

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



**DIREZIONE TECNICA**  
**U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI**

**PROGETTO DEFINITIVO**

**Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale**

**MIGLIORAMENTO SISMICO E OPERE DI COMPLETAMENTO DEI VIADOTTI ESISTENTI DELLA LINEA FERRANDINA MATERA**

**GEOTECNICA**

**Relazione stabilità delle scarpate delle pile di scavalco – Viadotto VI08 Gravina**

SCALA:

-
---

COMMESSA    LOTTO    FASE    ENTE    TIPO DOC.    OPERA/DISCIPLINA    PROGR.    REV.

I	A	5	F	0	1	D	0	9	R	H	V	I	0	8	0	0	0	0	2	A
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	EMISSIONE DEFINITIVA	S.Gasperoni	Luglio 2019	M.E.D'Effremo	Luglio 2019	F. Gernone	Luglio 2019	A. Vittozzi Luglio 2019 Opere Civili Gestione delle varianti Dir. Ing. S. M. M. M. M. Prov. di Roma N. 142/19

## INDICE

1.	PREMESSA .....	3
2.	NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	4
2.1	NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	4
2.2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	4
2.3	PROGRAMMI DI CALCOLO UTILIZZATI .....	5
3.	MATERIALI .....	5
4.	INQUADRAMENTO GEOTECNICO VIADOTTO.....	6
4.1	PREMESSA.....	6
4.2	RICONOSCIMENTO UNITÀ GEOTECNICHE .....	6
4.3	SINTESI DEI PARAMETRI GEOTECNICI DI PROGETTO.....	6
4.4	FALDA.....	8
5.	ANALISI DI STABILITA' .....	9
5.1	PREMESSA.....	9
5.2	METODOLOGIE DI CALCOLO.....	9
	5.2.1 Carichi.....	9
	5.2.2 Azioni sismiche per analisi di stabilità scarpate .....	10
5.3	SEZIONE DI CALCOLO .....	10
5.4	RISULTATI.....	11
6.	APPENDICE A: ANALISI DI STABILITÀ. TABULATI DI CALCOLO SLIDE.....	13

## 1. PREMESSA

Nella presente relazione si riportano le verifiche di stabilità della scarpata in corrispondenza delle pile di scavalco del fiume del viadotto Gravina (VI08), nell'ambito dell'miglioramento sismico propedeutico alla realizzazione della nuova Linea Ferrandina – Matera "La Martella" per il collegamento della città di Matera alla rete ferroviaria nazionale, in particolare con Salerno, per l'accesso al sistema AV/AC, e con Taranto, attraverso la linea Battipaglia-Potenza-Metaponto-Taranto.

Le analisi eseguite sono relative alla configurazione di progetto delle fondazioni che, a seguito di miglioramento sismico, risulta non necessitare di alcun intervento in fondazione, quindi la fondazione delle pile P21 e P22 rimane invariata rispetto allo stato di fatto.

In particolare verranno affrontati i seguenti aspetti:

- Breve richiamo delle condizioni geotecniche;
- Valutazione delle condizioni di stabilità del versante su cui sono inserite le fondazioni delle pile di scavalco fiume con azioni sismiche di progetto.

Tutte le analisi svolte nel seguito sono eseguite in conformità alla normativa italiana vigente sulle opere civili (DM 17/01/2018).

Relazione stabilità delle scarpate delle pile di scavalco	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENT	REV.	FOGLIO
	IA5F	01	D09 RH	VI 0800002	A	4 di 22

## 2. NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

### 2.1 Normativa di riferimento

- [N.1]. Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 17-01-18 (NTC-2018);
- [N.2]. Circolare N.7 del 21-01-2019, C.S.LL.PP. - Istruzioni per l'Applicazione Norme Tecniche Costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018.
- [N.3]. RFI DTC SI PS MA IFS 001 C - Manuale di Progettazione delle Opere Civili - Parte II – Sezione 2 – Ponti e Strutture
- [N.4]. Progetto DOC-Reluis 2005-2008 – linea 3: Valutazione e riduzione del rischio sismico di ponti esistenti – “linee guida e manuale applicativo per la valutazione della sicurezza sismica e il consolidamento dei ponti esistenti in c.a.” marzo 2009

### 2.2 Documenti di riferimento

- [DC1]. IA5F00D78RHGE0005001 - Nuova Linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale. Progetto Definitivo. Relazione geotecnica;
- [DC2]. IA5F00D78F6GE0005001 - Nuova Linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale. Progetto Definitivo. Profilo Geotecnico.
- [DC3]. E.0.2. Progetto Esecutivo. Costruzione di un tratto di linea tra Matera e Ferrandina in funzione di collegamento diretto della città di Matera alla rete F.S.. Stazione di Ferrandina – Stazione di Matera la Martella. Relazione calcoli statici 2 a parte. Novembre 1985.
- [DC4]. IA5F 01 D 09 RH VI0000 001 A - Nuova Linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale. Progetto Definitivo. Criteri di calcolo delle fondazioni.
- [DC5]. IA5F 01 D 09 RH VI0800 001 A - Nuova Linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale. Progetto Definitivo. Relazione descrittiva dello stato di fatto e degli interventi sul versante.
- [DC6]. IA5F 01 D 09 CL VI0803 003 A - Nuova Linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale. Progetto Definitivo. Relazione di calcolo fondazioni dirette su micropali P21-P22.
- [DC7]. F.8.1.1. e F.8.1.2 - Linea Ferrandina – Matera Centrale. Pianta e profilo longitudinale Tav.1 e 2. Novembre 1985.
- [DC8]. Linea Ferrandina – Matera Centrale. Carpenterie fondazioni e piante. Novembre 1985.
- [DC9]. Rv.1. Lunghezza pali in opera.

### 2.3 Programmi di calcolo utilizzati

- "SLIDE 7" - Il programma di calcolo è stato adottato per le verifiche di stabilità, è prodotto da Rocscience. E' validato ed utilizzato in svariati ambiti progettuali (Italferr, Autostrade, ecc.). In accordo a quanto prescritto nel paragrafo 10.2 del D.M. 14/01/2008, il progettista certifica la affidabilità del suddetto codice di calcolo e l' idoneità di utilizzo nel caso specifico.

### 3. MATERIALI

Nel presente progetto si utilizzeranno i seguenti materiali.

Acciaio per armatura micropali

Fe 360 S235

$f_{yk}=235$  MPa

$E=210000$  MPa

Per i materiali delle opere esistenti si definisce livello di conoscenza  $LC = 2$  e quindi nelle verifiche si assume un fattore di confidenza  $FC = 1.2$ .

Relazione stabilità delle scarpate delle pile di scavalco	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D09 RH	DOCUMENT VI 0800002	REV. A	FOGLIO 6 di 22
---	------------------	-------------	--------------------	------------------------	-----------	-------------------

## 4. INQUADRAMENTO GEOTECNICO VIADOTTO

### 4.1 Premessa

Di seguito si riportano le principali unità geotecniche intercettate lungo il tracciato ed una sintesi dei parametri di progetto. Per il dettaglio delle indagini eseguite e la scelta dei parametri si rimanda alla Relazione descrittiva dello stato di fatto e degli interventi sul versante [DC5].

### 4.2 Riconoscimento unità geotecniche

Le indagini hanno intercettato le seguenti unità geotecniche:

**Unità 1e – Depositi terrazzati del Fiume Bradano:** Si tratta di depositi alluvionali terrazzati.

**Unità ASP – Argille subappennine:** Si tratta di argille limose e argille marnose grigie da consistenti a dure.

**Unità GRA – Calcareniti di Gravina:** Si tratta di rocce, calcareniti di colore avana-giallastro passante ad avana-biancastro, a struttura granulare da fine a grossolana, con alterazione da debole a media, medio dura, poco fratturata, RQD da 40 a 100%.

**Unità Cc – Calcarea di Altamura:** Si tratta di rocce, calcilutiti di colore da nocciola-grigiastra a nocciola-biancastra, a struttura compatta, alterazione da media ad elevata, dura, con talvolta fratture, RQD da 30 a 90%.

### 4.3 Sintesi dei parametri geotecnici di progetto

Nel seguito si riassumono i parametri geotecnici di progetto per le unità intercettate (vedasi relazione geotecnica generale).

#### Unità 1e – Depositi terrazzati del Fiume Bradano

$\gamma = 19.0 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$c' = 0 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\phi' = 21 \div 23^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$V_s = 130 \div 400 \text{ m/s}$	velocità delle onde di taglio
$E_o = 200 \div 500 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico iniziale
$k = 3.5 \cdot 10^{-5} \div 4.5 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$	coefficiente di permeabilità

#### Unità 2 – Argille subappennine

$\gamma = 19.0 \div 21.0 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$c' = 27 \div 32 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\phi' = 22 \div 24^\circ$	angolo di resistenza al taglio

$c_u = 100 \div 300$ kPa	resistenza al taglio in condizioni non drenate
$V_s = 130 \div 210$ m/s	velocità delle onde di taglio
$E_0 = 120 \div 200$ MPa	modulo di deformazione elastico iniziale
$k = 9.0 \cdot 10^{-8} \div 1.0 \cdot 10^{-7}$ m/s	coefficiente di permeabilità

### Unità 3 – Calcareniti di Gravina

$\gamma = 19.0 \div 21.0$ kN/m <sup>3</sup>	peso di volume naturale
GSI = 37	Geological Strength Index
$\sigma_{ci} = 3$ MPa	resistenza a compressione della roccia intatta
$m_i = 9$	costante per la roccia intatta
$c' = 20$ kPa	coesione drenata
$\phi' = 32^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$V_s = 600 \div 1300$ m/s	velocità delle onde di taglio
$E_0 = 4000 \div 12300$ MPa	modulo di deformazione elastico iniziale
$k = 8.0 \cdot 10^{-7} \div 1.0 \cdot 10^{-7}$ m/s	coefficiente di permeabilità

### Unità 4 – Calcarea di Altamura

$\gamma = 24.0 \div 26.0$ kN/m <sup>3</sup>	peso di volume naturale
GSI = 45	Geological Strength Index
$\sigma_{ci} = 42$ MPa	resistenza a compressione della roccia intatta
$m_i = 9$	costante per la roccia intatta
$c' = 130$ kPa	coesione drenata
$\phi' = 40^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$V_s = 1400 \div 1800$ m/s	velocità delle onde di taglio
$E_0 = 15600 \div 21500$ MPa	modulo di deformazione elastico iniziale
$k = 2.0 \cdot 10^{-7} \div 1.0 \cdot 10^{-5}$ m/s	coefficiente di permeabilità

I moduli di deformabilità "operativi" ( $E'$ ) da adottare per le opere di sostegno e per le fondazioni, saranno assunti pari a  $1/3 \div 1/5$  di quello iniziale ( $E_0$ ).

#### 4.4 Falda

Non sono disponibili misure piezometriche in corrispondenza del viadotto in esame.

Durante la perforazione il sondaggio S10\_DH\_50 ha rilevato falda a 27 m da p.c., il sondaggio S11\_DH\_50 ha rilevato falda profonda, non interferente con le opere. Nel sondaggio S6\_10 la falda è assente.

Il piezometro S9\_PZ\_30, installato nelle vicinanze dell'opera, indica falda a 3 m dal p.c..

Per le analisi di stabilità la falda è stata assunta coerentemente con quanto riportato nel profilo geologico, di cui si riporta uno stralcio:

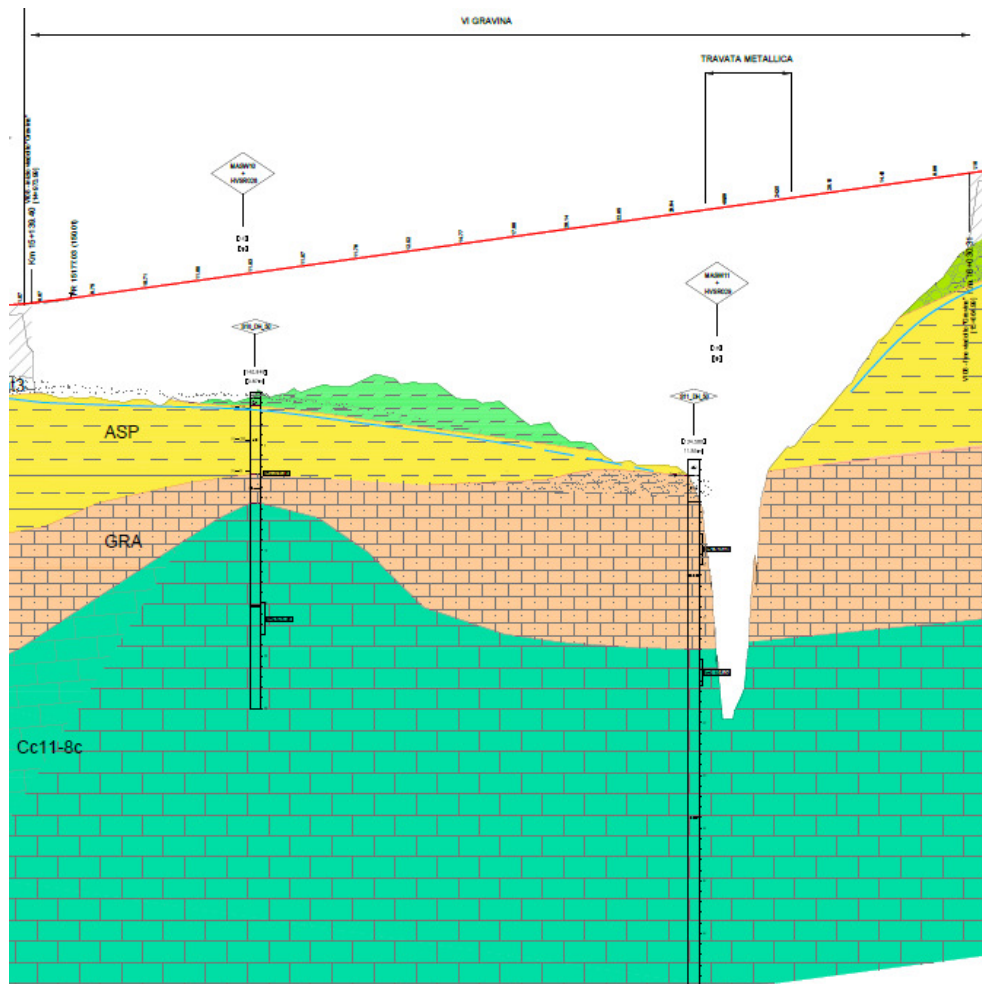


Figura 1 – Stralcio profilo geologico



Relazione stabilità delle scarpate delle pile di scavalco	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D09 RH	DOCUMENT VI 0800002	REV. A	FOGLIO 9 di 22
---	------------------	-------------	--------------------	------------------------	-----------	-------------------

## 5. ANALISI DI STABILITA'

### 5.1 Premessa

Nel seguente capitolo si riporta l'analisi di stabilità globale fondazione pila-scarpata in corrispondenza delle pile di scavalco del fiume, eseguita considerando la configurazione di progetto del 1985. La fondazione delle pile P21 e P22 non necessita di intervento di deguamento sismico, in quanto le fondazioni esistenti sono verificate secondo normativa vigente.

L'analisi è stata svolta per la situazione più critica (Pila P22) con le nuove condizioni sismiche di progetto ed analizzando tutte le superfici di scorrimento sia quelle che interessano anche il blocco di fondazione sia quelle più corticali della scarpata lato fiume interagenti con la fondazione dell'opera, al fine di indagare le condizioni di stabilità della scarpata interagente con la fondazione delle pile in oggetto.

### 5.2 Metodologie di calcolo

L'esame delle condizioni di stabilità è stato condotto utilizzando gli usuali metodi dell'equilibrio limite. Per la valutazione dei fattori di sicurezza alla stabilità globale si è impiegato il codice di calcolo denominato Slide 7.0, in cui la ricerca delle superfici critiche viene svolta attraverso la generazione automatica di un elevato numero di superfici di potenziale scivolamento. Sono state cautelativamente considerate ipotesi di deformazione piana. In particolare, in questa sede si fa riferimento al metodo di Bishop che prevede superfici di scorrimento circolari nei terreni. Nelle analisi sono state ovviamente tralasciate le superfici più corticali in quanto poco significative e per le quali non risulta idonea una analisi convenzionale all'equilibrio limite.

Il coefficiente di sicurezza FS a rottura lungo la superficie di scorrimento viene definito come rapporto tra la resistenza al taglio disponibile lungo la superficie S e quella effettivamente mobilitata lungo la stessa superficie:

$$FS = \frac{\int_S \tau_{\text{disp}}}{\int_S \tau_{\text{mob}}}$$

In condizioni sismiche le verifiche di sicurezza sono mirate a controllare che la resistenza del sistema sia maggiore delle azioni (condizione  $E_d < R_d$  [6.2.1] delle NTC 2018) impiegando lo stesso approccio delle condizioni statiche SLU (§ 6.8.2 delle NTC 2018) Combinazione (A2+M2+R2), ponendo pari all'unità i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici (§ 7.11.1 delle NTC 2018) e impiegando le resistenze di progetto calcolate con un coefficiente parziale pari a  $\gamma_R = 1.1$ .

#### 5.2.1 Carichi

Agente sulla fondazione, si considera il carico massimo a intradosso plinto derivante dalla sovrastruttura in condizioni sismiche (forza verticale pari a 2200 kN/m ed una forza orizzontale pari a 455 kN/m).

Relazione stabilità delle scarpate delle pile di scavalco	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D09 RH	DOCUMENT VI 0800002	REV. A	FOGLIO 10 di 22
---	------------------	-------------	--------------------	------------------------	-----------	--------------------

### 5.2.2 Azioni sismiche per analisi di stabilità scarpate

In generale, il metodo pseudo-statico modella l'azione sismica considerando in luogo delle azioni dinamiche azioni statiche equivalenti ovvero forze statiche orizzontali  $f_h$  e verticali  $f_v$  per unità di volume, d'intensità pari al prodotto fra il peso specifico del corpo  $\gamma$  sottoposto all'azione dinamica ed un coefficiente sismico:

$$f_h = \gamma \cdot k_h \quad \text{forza orizzontale per unità di volume}$$

$$f_v = \gamma \cdot k_v \quad \text{forza verticale per unità di volume}$$

dove:

$$\gamma = \text{peso specifico del volume considerato.}$$

In accordo alla normativa vigente per le analisi in esame, la componente orizzontale ( $a_h$ ) dell'accelerazione può essere legata all'accelerazione massima attraverso la seguente relazione:

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

$$k_v = \pm k_h / 2$$

dove:

$k_h$  = coefficiente sismico in direzione orizzontale;

$k_v$  = coefficiente sismico in direzione verticale;

$a_{\max}$  = accelerazione massima attesa al sito;  $g$  = accelerazione di gravità;

$\beta_s$  = coefficiente di riduzione dall'accelerazione massima attesa al sito.

$\beta_s = 0.24$ , coefficiente di riduzione che dipende dall'accelerazione massima e dalla categoria di suolo.

Nel caso in esame con riferimento a  $V_N = 50$  anni,  $C_U = 1$  e categoria di sottosuolo tipo E si ha:

$a_g = 0.159$  Accelerazione orizzontale massima su sito di riferimento rigido;

$S_s = 1.567$  Coefficiente di amplificazione stratigrafica;

$S_T = 1.4$  (T4) Coefficiente di amplificazione topografica

Da cui si ricava un'accelerazione massima attesa al piano campagna pari a  $a_{\max} = 0.349$  g; da cui:

$$k_h = \beta_s \cdot a_{\max} / g = 0.38 \cdot 0.285 = 0.084$$

$$k_v = \pm k_h / 2 = \pm 0.042$$

### 5.3 Sezione di calcolo

L'analisi di stabilità è stata condotta per il pendio in corrispondenza della pila P22. La stratigrafia è costituita da uno strato superficiale di argille limose ASP (unità 2), seguito dalle calcareniti di Gravina (unità 3) ed infine dal calcare di Altamura (unità 4).

Il livello di falda è stato assunto come da profilo geologico/geotecnico (vedasi paragrafo 4.4).

Relazione stabilità delle scarpate delle pile di scavalco	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D09 RH	DOCUMENT VI 0800002	REV. A	FOGLIO 11 di 22
---	------------------	-------------	--------------------	------------------------	-----------	--------------------

Sono stati considerati i seguenti parametri geotecnici:

#### Unità 2 – Argille subappennine

$\gamma = 19.0 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$c' = 28 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\varphi' = 22^\circ$	angolo di resistenza al taglio

#### Unità 3 – Calcareniti di Gravina

$\gamma = 19.0 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$c' = 20 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\varphi' = 32^\circ$	angolo di resistenza al taglio

#### Unità 4 – Calcarea di Altamura

$\gamma = 25.5 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$c' = 130 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\varphi' = 40^\circ$	angolo di resistenza al taglio

Nel modello è stata inserita anche la fondazione esistente della pila con plinto più i micropali, modellati come elementi "support", con lunghezza  $L=28 \text{ m}$ , interasse longitudinale medio pari a  $0.9 \text{ m}$  e interasse trasversale medio pari a  $0.975 \text{ m}$ . La forza di taglio sui micropali è pari a  $600 \text{ kN}$ , valutata considerando la resistenza del solo acciaio del tubo del micropalo.

## 5.4 Risultati

Nelle seguenti figure sono mostrati i risultati delle verifiche di stabilità in condizioni sismiche.

In Figura 2 si riportano i risultati di stabilità per le superfici di scorrimento globali che interessano la scarpata e la fondazione, da cui si evince che il fattore di sicurezza minimo è  $FS=3.87$ , quindi la verifica è soddisfatta.

In Figura 3 è riportata l'analisi di stabilità che interessa la scarpata davanti alla pila lato fiume; in questa analisi è stata trascurata la presenza dell'intervento di consolidamento con tiranti attivi, indicato dal Progetto Esecutivo del 1985 (per i dettagli vedasi [DC1]). Dall'analisi si evince che il fattore di sicurezza minimo è  $FS=1.22$ , quindi la verifica di stabilità è soddisfatta, anche trascurando gli interventi di consolidamento sulla scarpata.

I tabulati di calcolo completi sono riportati in **Appendice A**.

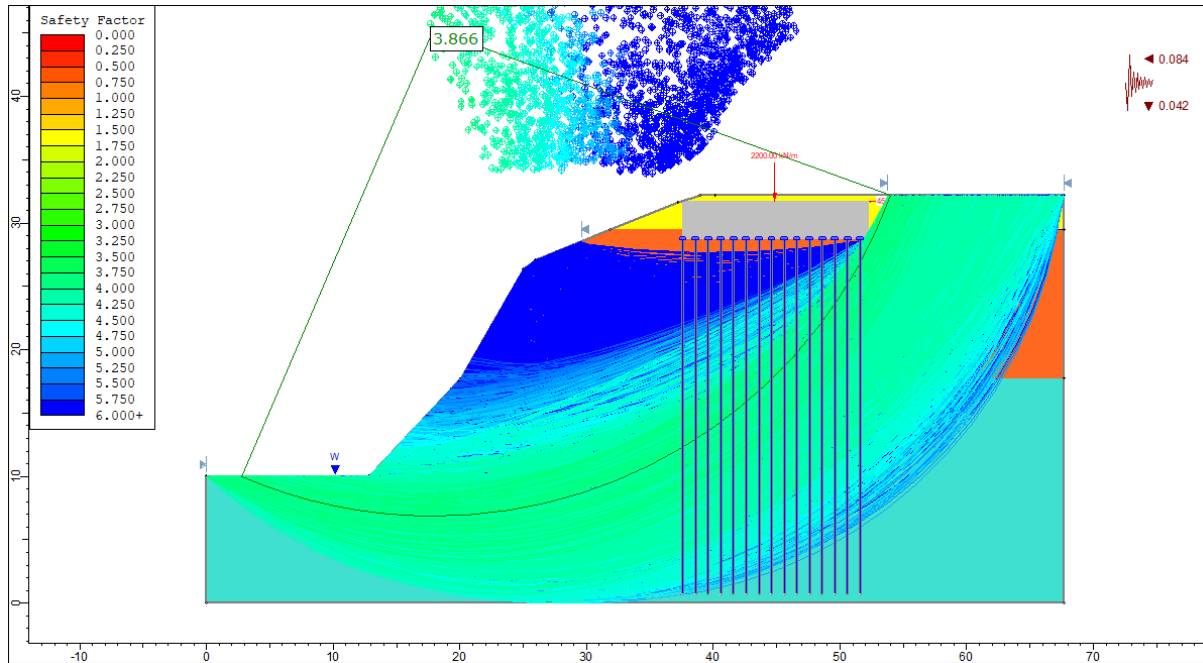


Figura 2 – Analisi sismica – Superfici di scorrimento globali

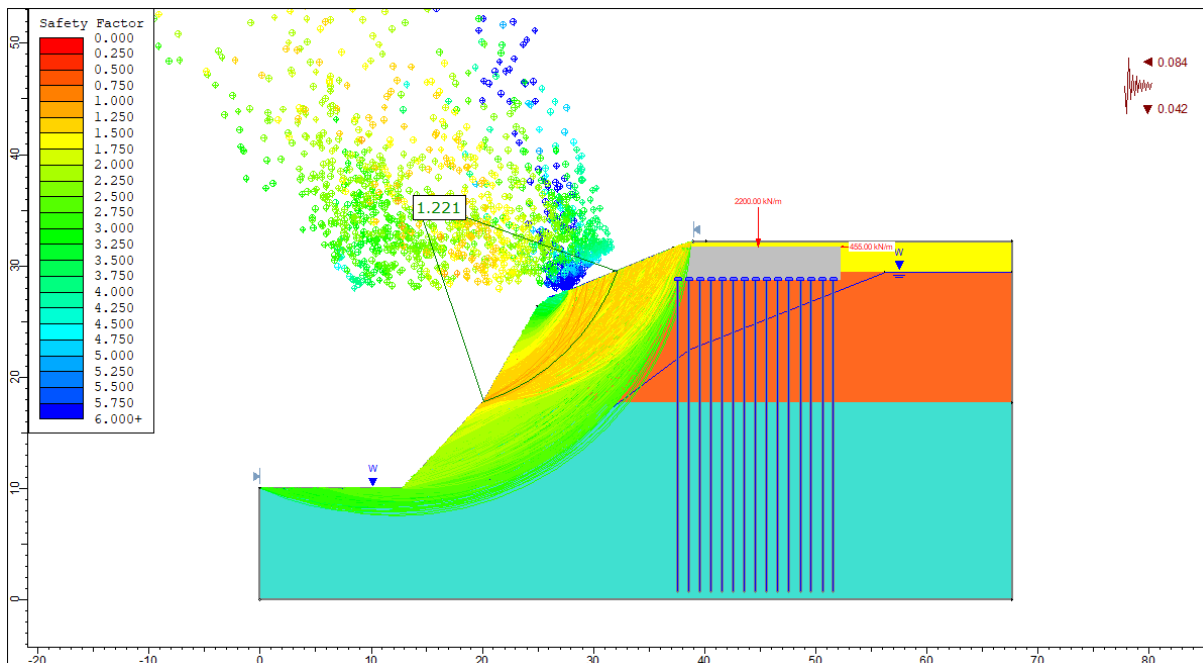


Figura 3 – Analisi sismica – Superfici di scorrimento scarpata davanti alla pila



Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella  
VIADOTTO "GRAVINA"

Relazione stabilità delle scarpate delle pile di  
scavalco

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENT	REV.	FOGLIO
IA5F	01	D09 RH	VI 0800002	A	13 di 22

## 6. APPENDICE A: ANALISI DI STABILITÀ. TABULATI DI CALCOLO SLIDE

### Slide Analysis Information

#### Gravina\_ stato di fatto

#### Project Summary

File Name: Gravina\_stato di fatto.slm  
Slide Modeler Version: 8.021  
Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program  
Date Created: 02/10/2017, 09:00:02

#### Currently Open Scenarios

Group Name	Scenario Name	Global Minimum	Compute Time
Analisi sismica	Master Scenario	Bishop Simplified: 3.866330	00h:00m:00.697s
	Master Scenario	Bishop Simplified: 1.220660	00h:00m:00.344s
Group 2			

#### General Settings

Units of Measurement: Metric Units  
Time Units: days  
Permeability Units: meters/second  
Data Output: Standard  
Failure Direction: Right to Left

#### Analysis Options

All Open Scenarios	
Slices Type:	Vertical
Analysis Methods Used	
	Bishop simplified
Number of slices:	50
Tolerance:	0.005
Maximum number of iterations:	75



Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella

VIADOTTO "GRAVINA"

Relazione stabilità delle scarpate delle pile di scavalco

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENT	REV.	FOGLIO
IA5F	01	D09 RH	VI 0800002	A	14 di 22

Check malpha < 0.2:	Yes
Create Interslice boundaries at intersections with water tables and piezos:	Yes
Initial trial value of FS:	1
Steffensen Iteration:	Yes

## Groundwater Analysis

All Open Scenarios	
Groundwater Method:	Water Surfaces
Pore Fluid Unit Weight [kN/m3]:	9.81
Use negative pore pressure cutoff:	Yes
Maximum negative pore pressure [kPa]:	0
Advanced Groundwater Method:	None

## Random Numbers

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

## Surface Options

All Open Scenarios	
Surface Type:	Circular
Search Method:	Slope Search
Number of Surfaces:	5000
Upper Angle [°]:	Not Defined
Lower Angle [°]:	Not Defined
Composite Surfaces:	Disabled
Reverse Curvature:	Invalid Surfaces
Minimum Elevation:	Not Defined
Minimum Depth:	Not Defined
Minimum Area:	Not Defined
Minimum Weight:	Not Defined

## Seismic Loading

All Open Scenarios	
Advanced seismic analysis:	No

Staged pseudostatic analysis: No

Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.084

Seismic Load Coefficient (Vertical): 0.042

## Loading

### All Open Scenarios

- 2 Line Loads present

#### Line Load #1

Angle from horizontal [°]: 270

Magnitude: 2200

#### Line Load #2

Angle from horizontal [°]: 180

Magnitude: 455

## Materials

Property	ASP	GRA	Cc	fond
Color				
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Infinite strength
Unit Weight [kN/m3]	19	19	25.5	25
Allow Sliding Along Boundary				Yes
Cohesion [kPa]	28	20	130	
Friction Angle [°]	22	32	40	
Water Surface	Assigned per scenario	Assigned per scenario	Assigned per scenario	Assigned per scenario
Hu Value	1	1	1	0

## Materials In Use

Material	Master Scenario	Master Scenario
ASP		
GRA		
Cc		
fond		

## Support

### Support 1

- Support Type: Pile/Micro Pile
- Force Application: Passive
- Out-of-Plane Spacing: 0.65 m
  - Failure Mode: Shear
- Pile Shear Strength: 600 kN
- Force Direction: Parallel to surface

## Global Minimums

Analisi sismica		Group 2	
Method: bishop simplified		Method: bishop simplified	
FS	3.866330	FS	1.220660
Center:	17.910, 45.278	Center:	14.032, 36.004
Radius:	38.399	Radius:	19.220
Left Slip Surface Endpoint:	2.747, 10.000	Left Slip Surface Endpoint:	20.104, 17.769
Right Slip Surface Endpoint:	54.004, 32.175	Right Slip Surface Endpoint:	32.139, 29.559
Resisting Moment:	1.10592e+06 kN-m	Resisting Moment:	14584.3 kN-m
Driving Moment:	286038 kN-m	Driving Moment:	11947.8 kN-m
Passive Support Moment:	531564 kN-m	Total Slice Area:	45.8023 m2
Maximum Single Support Force:	923.077 kN	Surface Horizontal Width:	12.0353 m
Total Support Force:	13846.2 kN	Surface Average Height:	3.80565 m
Total Slice Area:	588.593 m2		
Surface Horizontal Width:	51.2567 m		
Surface Average Height:	11.4832 m		

## Valid/Invalid Surfaces

Analisi sismica		Group 2	
Method: bishop simplified		Method: bishop simplified	
Number of Valid Surfaces:	3562	Number of Valid Surfaces:	1534
Number of Invalid Surfaces:	1438	Number of Invalid Surfaces:	3466

## Slice Data



Analisi sismica

• Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 3.86633

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Angle of Slice Base [degrees]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Base Prestress [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]	Base Vertical Stress [kPa]	Effective Vertical Stress [kPa]
1	1.0	5.4	-	Cc	130	40	37.77	146.04	21.18	2.0	19.115	5.5	3.5
2	1.0	16.0	-	Cc	130	40	39.08	151.19	31.04	6.0	25.149	16.0	10.0
3	1.0	25.0	-	Cc	130	40	40.24	155.61	40.21	9.6	30.869	26.0	16.0
4	1.0	34.0	-	Cc	130	40	41.28	159.61	48.30	13.0	35.293	35.0	22.0
5	1.0	42.0	-	Cc	130	40	42.18	163.11	55.50	16.0	39.463	43.0	27.0
6	1.0	49.0	-	Cc	130	40	42.96	166.13	61.82	18.0	43.757	50.0	32.0
7	1.0	56.0	-	Cc	130	40	43.63	168.69	67.30	21.0	46.116	57.0	36.0
8	1.0	61.0	-	Cc	130	40	44.17	170.81	71.96	23.0	48.322	63.0	39.0
9	1.0	66.0	-	Cc	130	40	44.61	172.5	75.15	25.0	50.179	68.0	43.0
10	1.0	71.0	-	Cc	130	40	44.99	173.95	79.14	26.0	52.756	72.0	45.0
11	1.0	92.0	-	Cc	130	40	49.07	189.74	99.72	28.0	71.529	94.0	65.0
12	1.0	120.0	-	Cc	130	40	55.40	214.23	130.07	30.0	100.38	120.0	95.0
13	1.0	150.0	-	Cc	130	40	61.57	238.05	160.6	31.0	128.831	150.0	124.0
14	1.0	180.0	-	Cc	130	40	67.56	261.21	180.94	33.0	156.078	180.0	153.0
15	1.0	210.0	-	Cc	130	40	73.38	283.72	210.5	34.0	183.058	210.0	182.0
16	1.0	240.0	-	Cc	130	40	79.04	305.59	240.4	34.0	209.771	240.0	210.0
17	1.0	260.0	-	Cc	130	40	84.53	326.84	260.98	35.0	234.218	270.0	238.0
18	1.0	290.0	-	Cc	130	40	90.20	348.76	290.8	37.0	260.349	300.0	267.0

Group 2

• Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.22066

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Angle of Slice Base [degrees]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Base Prestress [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]	Base Vertical Stress [kPa]	Effective Vertical Stress [kPa]
1	0.24	0.80	18.8	GR	20	32	15.44	18.859	-	0	-	3.4	3.4
2	0.24	2.40	19.5	GR	20	32	29.29	331.317	3.7	0	3.7	10.0	10.0
3	0.24	3.98	20.3	GR	20	32	21.06	718.514	9.1	0	9.1	16.0	16.0
4	0.24	5.54	21.1	GR	20	32	23.77	918.433	14.0	0	14.0	23.0	23.0
5	0.24	7.08	21.9	GR	20	32	26.40	1232.576	19.0	0	19.0	30.0	30.0
6	0.24	8.61	22.7	GR	20	32	28.96	1360.581	24.0	0	24.0	36.0	36.0
7	0.24	10.1	23.4	GR	20	32	31.45	1400.447	29.0	0	29.0	43.0	43.0
8	0.24	11.6	24.2	GR	20	32	33.87	1541.174	34.0	0	34.0	49.0	49.0
9	0.24	13.0	25.0	GR	20	32	36.22	1720.760	38.0	0	38.0	55.0	55.0
10	0.24	14.5	25.9	GR	20	32	38.50	1998.206	43.0	0	43.0	61.0	61.0
11	0.24	15.9	26.7	GR	20	32	40.59	2288.510	47.0	0	47.0	68.0	68.0
12	0.24	17.3	27.5	GR	20	32	42.83	2688.672	51.0	0	51.0	74.0	74.0
13	0.24	18.7	28.3	GR	20	32	44.89	3198.689	55.0	0	55.0	79.0	79.0
14	0.24	20.1	29.2	GR	20	32	46.87	3828.561	59.0	0	59.0	85.0	85.0
15	0.24	21.4	30.0	GR	20	32	48.16	4548.286	63.0	0	63.0	91.0	91.0
16	0.24	22.7	30.8	GR	20	32	50.23	5378.862	66.0	0	66.0	97.0	97.0
17	0.24	24.0	31.7	GR	20	32	52.36	6320.288	70.0	0	70.0	102.0	102.0
18	0.24	25.3	32.6	GR	20	32	54.09	7465.560	73.0	0	73.0	108.0	108.0



9	9						31	6	44	2	4	23	3
43	1.0	27	47.5	GR	20	32	10.	42.	95.	59.	35.	10	47.
645	8.2	473		A			89	108	15	773	380	7.0	285
9	63						1	3	45	9	6	6	8
44	1.0	25	49.9	GR	20	32	7.6	29.	67.	51.	15.	76.	24.
645	3.6	588		A			97	762	61	996	622	78	783
9	81						79	2	95	6	9		4
45	1.0	22	52.4	GR	20	32	4.4	17.	38.	43.	-	44.	1.1
645	6.8	982		A			28	120	51	122	4.6	28	622
9	37						1	5	45	7	081	5	8
46	1.0	19	55.1	GR	20	32	1.0	4.1	7.6	32.	-	9.1	-
645	7.3	946		A			78	695	17	951	25.	68	23.
9	18						41		13	2	334	45	782
47	1.0	16	58.0	GR	20	32	0	0	-	21.	-	-	-
645	4.5	89		A					29.	198	50.	29.	50.
9	4								13	7	337	13	337
48	1.0	12	61.2	GR	20	32	0	0	-	7.4	-	-	-
645	7.6	428		A					71.	427	78.	71.	78.
9	3								49	5	935	49	935
49	0.8	57.	64.2	GR	20	32	12.	50.	48.	0	48.	75.	75.
018	79	722		A			96	132	22	222	13	130	
35	44						64	4	2		08	8	
50	1.1	28.	67.8	ASP	28	22	8.0	30.	7.3	0	7.3	27.	27.
107	79	488					10	970	51	516	02	028	
6	14						24	3	6		8		

43	0.24	12.9	59.0	GR	20	32	24.	29.	15.	0	15.	55.	55.
478	788	112	A				14	475	164	0	164	37	370
8							75	9	6		6	06	6
44	0.24	11.4	60.4	GR	20	32	21.	26.	10.	0	10.	49.	49.
478	867	599	A				79	599	561	0	561	01	014
8							1	4	3		3	4	
45	0.24	9.87	61.9	GR	20	32	19.	23.	5.7	0	5.7	42.	42.
478	291	766	A				34	616	872	0	872	13	138
8							71	3	2		2	8	
46	0.24	8.11	63.5	GR	20	32	16.	20.	0.8	0	0.8	34.	34.
478	822	73	A				81	521	342	0	342	66	661
8							16	3	28		28	1	
47	0.24	6.19	65.2	GR	20	32	14.	17.	-	0	-	26.	26.
478	745	649	A				18	309	4.3	0	4.3	47	475
8							05	6	055	0	055	54	4
48	0.24	4.07	67.0	GR	20	32	11.	13.	-	0	-	17.	17.
478	619	736	A				45	977	9.6	0	9.6	43	434
8							06	3	382	0	382	44	4
49	0.24	1.70	69.0	GR	20	32	8.6	10.	-	0	-	7.3	7.3
478	531	298	A				21	523	15.	0	15.	28	281
8							11	5	165	0	165	12	2
50	0.04	0.03	70.2	ASP	28	22	12.	14.	-	0	-	1.0	1.0
070	743	288					12	800	32.	0	32.	61	617
82	24						5	5	669	0	669	73	3
									9		9		

Interslice Data

Analisi sismica						Group 2					
• Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 3.86633						• Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.22066					
Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]	Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	2.74701	10	0	0	0	1	20.1037	17.7685	0	0	0
2	3.76877	9.57815	47.0318	0	0	2	20.3485	17.8519	3.85506	0	0
3	4.79052	9.19015	97.6795	0	0	3	20.5933	17.9389	7.79325	0	0
4	5.81228	8.83491	150.891	0	0	4	20.8381	18.0297	11.7697	0	0
5	6.83404	8.51149	205.753	0	0	5	21.0828	18.1243	15.7401	0	0
6	7.85579	8.21904	261.471	0	0	6	21.3276	18.2228	19.661	0	0
7	8.87755	7.95685	317.358	0	0	7	21.5724	18.3252	23.4891	0	0
8	9.8993	7.72427	372.823	0	0	8	21.8172	18.4317	27.1822	0	0
9	10.9211	7.52077	427.361	0	0	9	22.062	18.5422	30.6982	0	0
10	11.9428	7.34587	480.549	0	0	10	22.3068	18.6568	33.9957	0	0
11	12.9646	7.19918	532.099	0	0	11	22.5516	18.7757	37.0338	0	0
12	13.9863	7.08038	586.297	0	0	12	22.7964	18.899	39.772	0	0
13	15.0081	6.9892	644.417	0	0	13	23.0412	19.0266	42.1703	0	0
14	16.0298	6.92544	704.593	0	0	14	23.2859	19.1588	44.1889	0	0
15	17.0516	6.88898	765.06	0	0	15	23.5307	19.2956	45.7887	0	0
16	18.0734	6.87973	824.136	0	0	16	23.7755	19.4372	46.9308	0	0
17	19.0951	6.89768	880.225	0	0	17	24.0203	19.5836	47.5767	0	0
18	20.1169	6.94285	931.797	0	0	18	24.2651	19.735	47.6882	0	0
19	21.1386	7.01536	977.188	0	0	19	24.5099	19.8916	47.2275	0	0
20	22.1604	7.11535	1014.4	0	0	20	24.7547	20.0534	46.1571	0	0

Relazione stabilità delle scarpate delle pile di scavalco

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENT	REV.	FOGLIO
IA5F	01	D09 RH	VI 0800002	A	20 di 22

21	23.1821	7.24304	1041.72	0	0	21	24.9995	20.2207	44.4399	0	0
22	24.2039	7.39871	1057.48	0	0	22	25.2443	20.3937	42.1779	0	0
23	25.2256	7.58271	1060.08	0	0	23	25.489	20.5725	39.4939	0	0
24	26.2474	7.79545	1048.97	0	0	24	25.7338	20.7572	36.3906	0	0
25	27.2692	8.03743	1024.5	0	0	25	25.9786	20.9483	32.8726	0	0
26	28.2909	8.30922	986.777	0	0	26	26.2234	21.1458	28.9961	0	0
27	29.3127	8.61149	935.364	0	0	27	26.4682	21.3501	24.8442	0	0
28	30.3344	8.94499	870.201	0	0	28	26.713	21.5614	20.4407	0	0
29	31.3562	9.3106	791.376	0	0	29	26.9578	21.78	15.8117	0	0
30	32.3779	9.7093	699.022	0	0	30	27.2026	22.0064	10.9863	0	0
31	33.3997	10.1422	593.321	0	0	31	27.4473	22.2408	5.99659	0	0
32	34.4215	10.6106	474.513	0	0	32	27.6921	22.4838	0.878352	0	0
33	35.4432	11.116	342.897	0	0	33	27.9369	22.7356	-4.32846	0	0
34	36.465	11.66	198.848	0	0	34	28.1817	22.997	-9.57919	0	0
35	37.4867	12.2446	42.8434	0	0	35	28.4265	23.2684	-14.8237	0	0
36	38.5085	12.8719	115.725	0	0	36	28.6713	23.5506	-20.0056	0	0
37	39.5302	13.5444	180.971	0	0	37	28.9161	23.8442	-25.0612	0	0
38	40.552	14.2652	243.878	0	0	38	29.1609	24.1501	-29.9179	0	0
39	41.5738	15.0376	306.904	0	0	39	29.4057	24.4694	-34.4929	0	0
40	42.5955	15.8657	633.837	0	0	40	29.6504	24.8031	-38.6911	0	0
41	43.6173	16.7545	704.952	0	0	41	29.8952	25.1525	-42.4023	0	0
42	44.639	17.7096	785.009	0	0	42	30.14	25.5193	-45.4975	0	0
43	45.7036	18.7833	-790.014	0	0	43	30.3848	25.9054	-47.8249	0	0
44	46.7682	19.947	-751.388	0	0	44	30.6296	26.3129	-49.203	0	0
45	47.8328	21.2139	-696.58	0	0	45	30.8744	26.7449	-49.4121	0	0
46	48.8974	22.6012	-619.01	0	0	46	31.1192	27.2048	-48.1817	0	0
47	49.962	24.1326	-509.828	0	0	47	31.364	27.6974	-45.1719	0	0
48	51.0266	25.8422	-347.631	0	0	48	31.6088	28.2287	-39.9441	0	0
49	52.0911	27.7821	-104.8	0	0	49	31.8535	28.8075	-31.914	0	0
50	52.893	29.4462	-634.511	0	0	50	32.0983	29.4462	-20.2672	0	0
51	54.0037	32.1746	0	0	0	51	32.139	29.5594	0	0	0

### Entity Information





#### Group: Analisi sismica

##### Shared Entities

Type	Coordinates	
	X	Y
External Boundary	0	0
	67.6992	0
	67.6992	17.7096
	67.6992	29.4462
	67.6992	32.1746
	40.1951	32.1746
	38.9802	32.1746
	37.2432	31.6229
	31.8589	29.4462

	25.9956	27.0758
	24.9954	26.3337
	20.0701	17.7096
	12.8392	10
	0	10
	<b>X</b>	<b>Y</b>
Material Boundary	37.5884	31.7096
	52.2884	31.7096
	52.2884	29.4462
	52.2884	28.7096
	37.5884	28.7096
	37.5884	29.4462
	37.5884	31.7096
	<b>X</b>	<b>Y</b>
Material Boundary	31.8589	29.4462
	37.5884	29.4462
	52.2884	29.4462
	67.6992	29.4462
	<b>X</b>	<b>Y</b>
Material Boundary	20.0701	17.7096
	67.6992	17.7096

Scenario-based Entities

Type	Coordinates	Master Scenario
Water Table	<b>X</b>	<b>Y</b>
	0	10
	12.8392	10
	20.159	10.552
	27.97	14.458
	38.588	22.423
	56.284	29.4462
67.6992	29.4462	
		Assigned to materials:
		 ASP
		 GRA
		 Cc
		 fond





Group: Group 2

Shared Entities

Type	Coordinates	
External Boundary	<b>X</b>	<b>Y</b>
	0	0
	67.6992	0
	67.6992	17.7096
	67.6992	29.4462
	40.1951	32.1746

	38.9802	32.1746
	37.2432	31.6229
	31.8589	29.4462
	25.9956	27.0758
	24.9954	26.3337
	20.0701	17.7096
	12.8392	10
	0	10
Material Boundary	<b>X</b>	<b>Y</b>
	37.5884	31.7096
	52.2884	31.7096
	52.2884	29.4462
	52.2884	28.7096
	37.5884	28.7096
	37.5884	29.4462
Material Boundary	<b>X</b>	<b>Y</b>
	31.8589	29.4462
	37.5884	29.4462
	52.2884	29.4462
Material Boundary	<b>X</b>	<b>Y</b>
	20.0701	17.7096
	67.6992	17.7096

Scenario-based Entities

Type	Coordinates	Master Scenario
Water Table	<b>X</b>	<b>Y</b>
	0	10
	12.8392	10
	20.159	10.552
	27.97	14.458
	38.5884	22.4227
	56.284	29.4462
67.6992	29.4462	
Assigned to materials:		
		ASP
		GRA
		Cc
		fond