



# ANAS S.p.A.

DIREZIONE REGIONALE PER LA SICILIA

## PA17/08

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotatoria Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 - Svincolo Manganaro incluso) compresi raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121

### Bolognetta S.c.p.a.

## - PERIZIA DI VARIANTE N.3 -

Il Responsabile Ambientale:  
Dott. Maurizio D'angelo



Titolo elaborato:

### OPERE D'ARTE - OPERE DI SOSTEGNO

### Gabbionata

### OS101 Relazione descrittiva e di calcolo

Codice Unico Progetto (CUP): **F41B03000230001**

Codice elaborato:	OPERA	ARGOMENTO	DOC. E PROG.	FASE	REVISIONE
PA17/08	PV	OS101	RC01	6	1

CARTELLA:	FILE NAME:	NOTE:	PROT.	SCALA:
	PV_OS101RC01_61_4137	1=1	4 1 3 7	-
5				
4				
3				
2				
1	EMISSIONE A SEGUITO ISTRUTTORIA ANAS		Maggio 2021	Q. Napoleoni S. Fortino N. Behmann
0	PRIMA EMISSIONE		Dicembre 2019	Q. Napoleoni S. Fortino D. Tironi
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO APPROVATO

Progettisti:

F.A.C.E. S.r.l. - Società di ingegneria  
 via Flaminia 71 - 00196 Roma  
 tel: 06 32609519  
 e-mail: info@facesrl.com  
 pec: pec.facesrl@pec.com

Direttore Tecnico: ing. Antonio Ambrosi

Consulenti:

**E&G S.r.l.**  
 ENVIRONMENT & GEOTECHNIC  
 STUDIO DI INGEGNERIA GEOTECNICA E AMBIENTALE

Direttore Tecnico: ing. Quintilio Napoleoni



Il Progettista Responsabile  
Ing. Antonio Ambrosi



Il Geologo  
Dott. Geol. Gualtiero Bellomo



Il Coordinatore per la Sicurezza  
in fase di Esecuzione:  
Arch. Francesco Rondelli



Il Direttore dei Lavori:  
Ing. Sandro Favero



ANAS S.p.A.

DATA: \_\_\_\_\_ PROTOCOLLO: \_\_\_\_\_ VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

CODICE PROGETTO **LO410CE1101**

Dott. Ing. Luigi Mupo

## INDICE

1	PREMESSA .....	3
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	4
3	MATERIALI .....	4
4	DESCRIZIONE DELL'OPERA.....	4
5	CARATTERIZZAZIONE SISMICA DELL'AREA.....	5
5.1	PERIODO DI RIFERIMENTO PER L'AZIONE SISMICA .....	5
5.2	AZIONE SISMICA DI RIFERIMENTO.....	5
6	INQUADRAMENTO GEOLOGICO GEOMORFOLOGICO ED I DROGEOLOGICO .....	6
6.1	INDAGINI GEOGNOSTICHE.....	6
6.2	INQUADRAMENTO GEOLOGICO GEOMORFOLOGICO ED I DROGEOLOGICO .....	7
7	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....	8
7.1	MODELLO GEOTECNICO DI RIFERIMENTO .....	8
8	DEFINIZIONE DELLA PORTATA DI PROGETTO .....	9
8.1	APPLICAZIONE DELLE LINEE GUIDA DEL PROGETTO VAPI .....	9
8.1.1	Determinazione del parametro CN.....	14
8.1.2	Calcolo del coefficiente di deflusso .....	19
8.1.3	Calcolo della portata di progetto.....	19
9	SOFTWARE UTILIZZATI .....	20
9.1	METODOLOGIA DI CALCOLO SOFTWARE GEOSLOPE.....	20
9.2	Metodologia di calcolo Software HEC-RAS .....	22
10	AZIONI DI CALCOLO .....	27
10.1	AZIONI VARIABILI .....	27
10.2	FALDA .....	27
11	RISULTATI DELLE ANALISI.....	28
11.1	RISULTATI MODELLAZIONE IDRAULICA .....	28
11.3	VERIFICA A TRASCINAMENTO DEI GABBIONI DEL RILEVATO.....	32
11.4	VERIFICHE DI STABILITA' INTERVENTO .....	34
11.4.1	GENERALITA' .....	34
11.4.2	APPROCCIO NORMATIVO .....	34
11.4.3	RISULTATI DI CALCOLO .....	36
12	ALLEGATI FILE DI INPUT OUTPUT DEI MODELLI DI CALCOLO - GEOSLOPE .....	39

Affidamento a Contraente Generale dei “Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotatoria Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121”.

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE N.3

---

OS101 – Gabbionata dx dal km 12+489.7 al Km 12+681.65 Relazione descrittiva e di Calcolo

## 1 PREMESSA

---

La presente relazione si riferisce all'opera identificata con la WBS OS101, costituita da una gabbionata al piede del rilevato lato dx, ubicato tra le progressive km 12+489.7 e 12+681.65 della tratta Palermo Lercara-Frididi.

L'area oggetto di intervento è stata, in occasione degli eventi alluvionali del Novembre 2018, sede dell'erosione del fiume Frattina. La piena verificata ha causato l'erosione del piede del rilevato stradale esistente come mostrato in figura n.1

L'integrazione progettuale proposta nel presente Progetto di Variante consiste pertanto nell'inserimento di una gabbionata a protezione del rilevato stradale. Tale intervento, è previsto a corredo del prolungamento della sistemazione fluviale SF09 per i quali dettagli si rimanda agli specifici elaborati.

La nuova progettazione delle opere ha tenuto conto dell'altezza del battente idrico corrispondente all'erosione del corso d'acqua per un tempo di ritorno di 300 anni. A tal fine è stata condotta la modellazione idraulica del tratto in oggetto con l'ausilio del codice di calcolo HEC-RAS 5.0.2.

Si provvederà a commentare dal punto stratigrafico, fisico e meccanico i risultati delle prove di laboratorio geotecniche, delle prove in sito e dei sondaggi effettuati durante le campagne di indagine.

Si provvederà altresì a dar conto delle verifiche di stabilità dell'opera e di tutte le altre verifiche di carattere geotecnico ed idraulico previste in normativa.



Figura 1 Foto dell'area in esame a seguito dell'evento alluvionale di Novembre 2018



## 5 CARATTERIZZAZIONE SISMICA DELL'AREA

### 5.1 PERIODO DI RIFERIMENTO PER L'AZIONE SISMICA

Come stabilito nel C.S.A. la progettazione delle strutture farà riferimento a:

- vita nominale:  $V_N = 50$  anni
- classe d'uso: IV

da cui risulta:

- coefficiente d'uso:  $C_U = 2.0$
- periodo di riferimento per l'azione sismica:  $V_R = V_N \times C_U = 100$  anni

### 5.2 AZIONE SISMICA DI RIFERIMENTO

Il calcolo delle azioni sismiche, viene condotto nel rispetto della normativa vigente.

Le coordinate geografiche di riferimento (secondo sistema ED50) per l'opera in esame sono:

Longitudine:  $13^\circ.463$   
Latitudine:  $37^\circ.882$

Per le analisi in condizioni sismiche, concordemente alle indicazioni della normativa vigente, è stato preso come riferimento lo stato limite di salvaguardia della vita (SLV) e, dunque, i seguenti parametri:

- categoria di suolo C
- Coefficiente topografico T1
- fattore di sito  $S = 1.451$
- accelerazione orizzontale su sito di riferimento rigido:  $a_g = 0.165g$
- massima accelerazione su sottosuolo tipo C  $a_{max} = 0.239g$
- coefficiente sismico orizzontale:  $k_h = 0.091$
- coefficiente sismico verticale:  $k_v = \pm 0.045$

Concordemente alle indicazioni di normativa i coefficienti di smorzamento sono stati posti pari a  $\beta = 0.38$ .



## 6 INQUADRAMENTO GEOLOGICO GEOMORFOLOGICO ED I DROGEOLOGICO

### 6.1 INDAGINI GEOGNOSTICHE

Le prove in sito ed i sondaggi effettuati nei pressi dell'opera sono riepilogati nelle seguente tabella e nella seguente figura.

OS 101						
INDAGINI	CPT1	CPT2	CPT3	PZ1	S1	PZ2

Tabella 1- INDAGINI IN CORRISPONDENZA DELL'OPERA

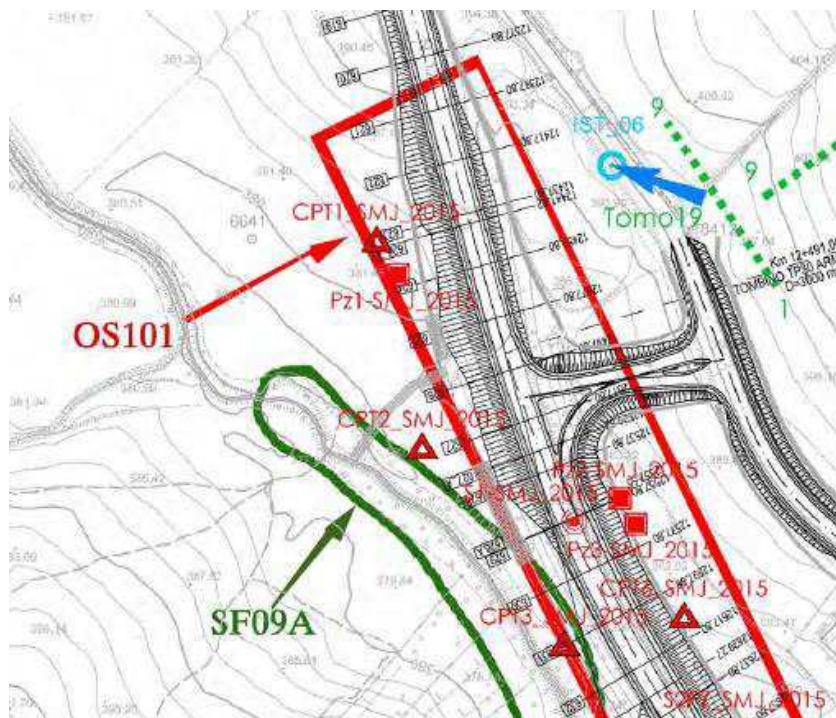


Figura 3: UBICAZIONE INDAGINI DI RIFERIMENTO

In totale sono stati eseguiti:

- n.2 prove penetrometriche CPT
- n.2 piezometri
- n.1 sondaggio a carotaggio continuo

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotatoria Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE N.3

OS101 – Gabbionata dx dal km 12+489.7 al Km 12+681.65 Relazione descrittiva e di Calcolo

## 6.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO GEOMORFOLOGICO ED I DROGEOLOGICO

Per tale inquadramento si rimanda alla relazione geologica Generale .

Con specifico riferimento a tale documento, alla relazione geotecnica generale, ed alle indagini effettuate nell'area, la stratigrafia di riferimento per le opere in esame risulta essere la seguente:

Area (OS101)		
Profondità m. da p.c.	Litologia	Formazione
0.0-11.5	Limi sabbiosi argillosi (alterati)	LSA
>11.5	Argille limose grigie consistenti	AG

Tabella 2- CARATTERISTICHE LITOLOGICHE



## 7 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

### 7.1 MODELLO GEOTECNICO DI RIFERIMENTO

Come riportato nella Relazione Geotecnica Generale, sulla base del modello geologico e geotecnico di riferimento le unità stratigrafiche, presenti nell'intera area di svincolo, sono le seguenti:

- **Unità LSA:** limi sabbiosi argillosi moderatamente consistenti.
- **Unità AG:** argille limose grigie. Si tratta di argille limose grigie a struttura scagliettata con inclusi elementi lapidei, da consistenti a molto consistenti, talvolta con intercalati livelli sabbiosi e/o livelli, strati di argilliti a consistenza pseudo-litoide.

Per quanto riguarda la stratigrafia di riferimento ed i parametri geotecnici delle formazioni interagenti con l'opera ci si riferirà a quanto segue:

OS101						
Profondità	Unità stratigrafica	$\gamma$	$c'$	$\varphi'$	$c_u$	$E'$
m	-	kN/mc	kPa	deg	kPa	MPa
11.5	LSA	20	5	25	100	25
inf	AG	20.5	20	26	400	100

Tabella 3- PARAMETRI GEOTECNICI DI PROGETTO

## **8 DEFINIZIONE DELLA PORTATA DI PROGETTO**

---

A seguito degli eventi alluvionali del novembre 2018, meglio descritti nella premessa del presente elaborato, vista la notevole vicinanza dell'opera in esame al fiume Frattina, i rilevati in terra rinforzata sono stati riprogettati e verificati tenendo in conto l'eventualità di un'esondazione del corso d'acqua per un evento straordinario corrispondente al deflusso di una portata di piena con tempo di ritorno  $T_r=300$  anni.

Si riporta nel presente paragrafo la metodologia proposta per il calcolo di detta portata.

### **8.1 APPLICAZIONE DELLE LINEE GUIDA DEL PROGETTO VAPI**

Con riferimento al bacino oggetto di studio, l'individuazione delle caratteristiche pluviometriche è stata determinata in conformità a quanto previsto dal progetto di valutazione Piene (VaPi) del gruppo Nazionale di Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche (GNDCI), mediante le procedure di regionalizzazione, secondo le procedure indicate nel rapporto della Regione Sicilia (Ferro e Carnozzo 1993).

La determinazione dell'altezza di pioggia ( $h$ ), e le relative intensità ( $i$ ) è stata condotta utilizzando il modello TCEV (Two Component Extreme Value Distribution).

La procedura gerarchica di regionalizzazione si articola in tre livelli successivi in ognuno dei quali è possibile ritenere costanti alcuni parametri statistici.

Nel primo livello di regionalizzazione si ipotizza che il coefficiente di asimmetria teorico della serie dei massimi annuali delle piogge di assegnata durata  $t$  sia costante per l'intera regione Sicilia. L'intera regione si ritiene pertanto una zona pluviometricamente omogenea ed i valori dei parametri sono costanti ed indipendenti dalla durata  $t$ .

Il secondo livello di regionalizzazione prevede l'individuazione di sottozone omogenee (SZO) all'interno di quella individuata al primo livello. In tali zone risulta costante, oltre al coefficiente di asimmetria, anche il coefficiente di variazione della legge teorica. Al secondo livello di regionalizzazione la Sicilia è suddivisa in cinque sottozone pluviometricamente omogenee.

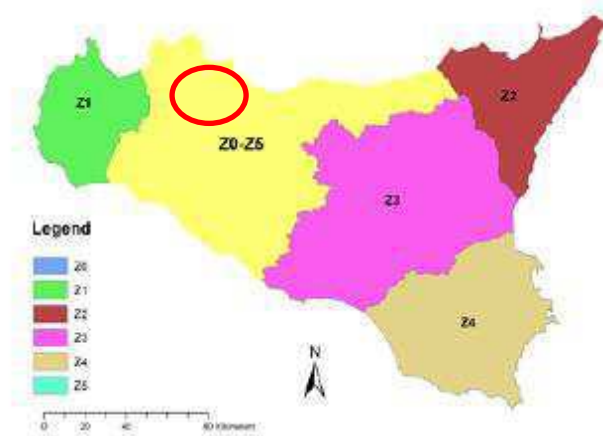


Figura 4: Sottozone pluviometricamente omogenee regione Sicilia. Cerchiata in rosso l'area di interesse.

In ogni sottozona la variabile adimensionale  $h = h(t, T)$ , valore dell'altezza di pioggia per fissata durata  $t$  e tempo di ritorno  $T$  rapportata alla media della legge TCEV, assume la seguente espressione:

$$K_T = a * \ln(T) + b$$

Dove:

$K_T$ : coefficiente adimensionale di crescita per ogni SZO fissato il tempo di ritorno;

$a, b$ : parametri per le differenti SZO definiti nella tabella seguente.

Sottozona Parametro	Z <sub>0</sub> -Z <sub>5</sub>	Z <sub>1</sub>	Z <sub>2</sub>	Z <sub>3</sub>	Z <sub>4</sub>
<b>a</b>	0.4485	0.4695	0.4799	0.5011	0.4946
<b>b</b>	0.5117	0.4889	0.4776	0.4545	0.4616

Tabella 4.2: Valori, per la regione Sicilia, dei coefficienti  $a$  e  $b$  per la definizione del fattore di crescita (Lo Conti et al., 2007).

Figura 5: Coefficienti  $a, b$  per la definizione del coefficiente di crescita. Cerchiata in rosso la zona di interesse.

Il terzo livello di regionalizzazione prevede, infine, la ricerca di relazioni regionali tra il parametro centrale della distribuzione di probabilità ( $\mu$ ) e le grandezze relative al sito di misura, dipendenti dai parametri geografici.

L'espressione della curva di probabilità pluviometria assume quindi la forma:

$$h(t, T) = K_T * \mu(t)$$

Dove:

$h(t, T)$ : è l'altezza di pioggia per assegnata durata  $t$  e tempo di ritorno  $T$ ;

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotatoria Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE N.3

---

OS101 – Gabbionata dx dal km 12+489.7 al Km 12+681.65 Relazione descrittiva e di Calcolo

$\mu(t)$ : assume per le stazioni pluviografiche siciliane la seguente forma:  $\mu(t) = a * t^n$ , con  $a, n$  tabellati per ogni stazione pluviografica.

Nel presente caso, vista l'ubicazione dell'area oggetto del presente studio, sono stati utilizzati i valori di  $a$  ed  $n$  afferenti alla stazione pluviometrica di **Mezzojuso**.

L'espressione analitica della legge di probabilità pluviometrica, per il tempo di ritorno pari a 300 anni assume quindi la seguente forma:

$$h(t, T = 300) = 63.24 * t^{0.3415}$$

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE N.3

OS101 – Gabbionata dx dal km 12+489.7 al Km 12+681.65 Relazione descrittiva e di Calcolo

Tab. 5.III - Valori delle costanti a e n della (5.17) per le stazioni pluviografiche siciliane

Codice	Stazione	Bacino di appartenenza	a	n
1	Monforte S. Giorgio	Niceto	35.9	0.3391
2	Milazzo	Tra Muro e Mela	30.3	0.2208
3	Castroreale	Longano	27.4	0.4470
4	Montalbano Elicona	Mazzarra	26.2	0.4255
5	Tindari	Tra Mazzarra e Timeto	26.5	0.2977
6	S. Piero Patti	Timeto	28.3	0.3369
7	Capo d'Orlando	Tra Naso e Zappulla	20.5	0.2934
8	Tortorici	Zappulla	28.4	0.3347
9	Alicata Li Fusi	Rosmarino	23.2	0.3970
10	Sanfratello	Inganno	21.9	0.3723
11	S. Stefano di Camastra	S. Stefano	26.7	0.2560
12	Castelbuono	Pollina	25.6	0.3451
13	Isnello	Pollina	25.0	0.4109
14	Cefalù	Pollina	27.3	0.2827
15	Collesano	Roccella	28.1	0.3880
16	Caltavuturo	Imera Settentrionale	20.4	0.4252
17	Gioia (Fattoria)	Torto	20.5	0.3147
18	Termini Imerese	Tra Torto e S. Leonardo	30.5	0.2635
19	Imbriaca	S. Leonardo	22.6	0.3567
20	Vicari	S. Leonardo	22.5	0.3205
21	Campofelice di Fitalia	S. Leonardo	22.9	0.2244
22	Mezzocuso	S. Leonardo	20.6	0.3415

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE N.3

OS101 – Gabbionata dx dal km 12+489.7 al Km 12+681.65 Relazione descrittiva e di Calcolo

Codice	Stazione	Bacino di appartenenza	a	n
23	Sambuchi	S. Leonardo	19.5	0.3172
24	Caccamo	S. Leonardo	22.0	0.3414
25	Ciminna	S. Leonardo	20.8	0.3529
26	Monumentale	S. Leonardo	29.3	0.2608
27	Turdiepi (Fattoria)	Eleuterio	21.6	0.3511
28	Lupo	Eleuterio	24.9	0.2819
29	Ficuzza	Eleuterio	22.2	0.3088
30	Ficuzza Bosco	Eleuterio	24.1	0.3792
31	Marineo	Eleuterio	27.4	0.2979
32	Risalaimi	Eleuterio	24.9	0.3272
33	Misilmeri	Eleuterio	21.0	0.3054
34	Pioppo	Oreto	27.4	0.4032
35	Altofonte	Oreto	25.0	0.3567
36	Romitello	Tra Oreto e Giancaldara	30.1	0.2972
37	S. Martino delle Scale	Tra Oreto e Giancaldara	28.2	0.3327
38	Montepellegrino	Tra Oreto e Giancaldara	29.5	0.2733
39	Partinico	Tra Oreto e Giancaldara	21.2	0.3120
40	Palermo Ist. Zoot.	Tra Oreto e Giancaldara	25.1	0.2928
41	Palermo Serv. Idr.	Tra Oreto e Giancaldara	28.7	0.3143
42	Palermo Oss. Astr.	Tra Oreto e Giancaldara	22.2	0.2687
43	Palermo Ist. Castel.	Tra Oreto e Giancaldara	23.2	0.3119
44	Isola delle femmine	Tra Oreto e Giancaldara	21.7	0.2968
45	Ginestra	Giancaldara	27.9	0.3874

Figura 6: Parametri a, n delle curve CPP per le differenti stazioni pluviometriche.

All'analisi pluviometrica segue la valutazione della portata al colmo di piena istantanea. Per tale valutazione ci si è riferiti al modello di regionalizzazione proposto dal VaPi Sicilia al terzo livello di

regionalizzazione, utilizzando come metodo di trasformazione afflussi-deflussi la formula razionale per la quale:

$$Q = \frac{\psi * I(t_c) * A}{3.6} [mc/s]$$

Dove:

$\psi$ : Coefficiente di deflusso;

$I(t_c)$ : Intensità di precipitazione massima registrata in un intervallo orario pari al tempo di corrivazione del bacino;

A: Area del bacino.

L'area del bacino di pertinenza della zona di studio è stata posta pari a 25.1 km<sup>2</sup>, coerentemente agli studi idrologici presentati nelle precedenti fasi progettuali, i cui contenuti sono stati verificati dallo scrivente a monte della redazione del presente elaborato.

Il tempo di corrivazione del bacino è stato ricavato utilizzando la metodologia indicata dal Vapi della regione Sicilia, per la quale:

$$t_c = 0.35\sqrt{A}$$

Nel caso in esame risulta pertanto:

$$t_c = 1.8 [h]$$

Il valore del coefficiente di deflusso è stato determinato mediante il metodo "Curve Number" proposto dal Soil Conservation Service (1972), metodologia indicata dai rapporti relativi al *P.A.I. per "Area territoriale tra il bacino del fiume Milicia e il bacino del fiume San Leonardo (n.0.35)"* "Bacino idrografico del fiume San Leonardo (PA)" (2004 e successivi aggiornamenti). La metodologia completa viene illustrata nel seguente paragrafo.

### 8.1.1 Determinazione del parametro CN

Il metodo del Curve Number si basa sull'assunzione che il volume specifico (altezza) di pioggia netta (efficace) risulti legato al volume specifico (altezza) di pioggia lorda (effettiva) caduta nel medesimo intervallo temporale secondo la relazione:



$$P_{net} = \frac{(P-I_a)^2}{P-I_a+S} [mm] \quad (1)$$

Dove:

S: Massimo volume specifico di acqua che il terreno può trattenere in condizioni sature;

I<sub>a</sub>: Perdita iniziale, equivalente al valore limite di altezza di pioggia che può essere trattenuta dal terreno senza che si origini il deflusso.

In assenza di adeguate osservazioni utili il parametro I<sub>a</sub> può essere calcolato come:

$$I_a = 0.2 * S \quad (2)$$

La valutazione di S può invece essere ricondotta a quella dell'indice CN (Curve Number), secondo la seguente relazione:

$$S = 254 \left( \frac{100}{CN} - 1 \right) [mm] \quad (3)$$

Dove CN è un numero adimensionale, compreso fra 0 e 100, funzione della permeabilità della litologia superficiale, dell'uso del suolo e della condizione di saturazione del terreno prima dell'evento meteorico.

Il Soil Conservation Service (SCS), sulla base delle capacità di assorbimento del terreno, ha classificato i vari tipi di suolo n 4 gruppi (A,B,C,D) come indicato nella tabella che segue.

Tipo idrologico di suolo	Descrizione
A	Scarsa potenzialità di deflusso. Comprende sabbie profonde con scarsissimo limo e argilla; anche ghiaie profonde, molto permeabili.
B	Potenzialità di deflusso moderatamente bassa. Comprende la maggior parte dei suoli sabbiosi meno profondi che nel gruppo A, ma il gruppo nel suo insieme mantiene alte capacità di infiltrazione anche a saturazione.
C	Potenzialità di deflusso moderatamente alta. Comprende suoli sottili e suoli contenenti considerevoli quantità di argilla e colloidali, anche se meno che nel gruppo D. Il gruppo ha scarsa capacità di infiltrazione a saturazione.
D	Potenzialità di deflusso molto alta. Comprende la maggior parte delle argille con alta capacità di rigonfiamento, ma anche suoli sottili con orizzonti pressoché impermeabili in vicinanza delle superfici.

Tabella 4 - Metodo SCS-CN Classi di suolo

Per tali gruppi si riportano i valori del parametro CN corrispondenti a diverse tipologie di uso del suolo.

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE N.3

OS101 – Gabbionata dx dal km 12+489.7 al Km 12+681.65 Relazione descrittiva e di Calcolo

Tipologia di Uso del Territorio	Tipo idrologico Suolo			
	A	B	C	D
<u>Terreno coltivato</u>				
in presenza di pratiche di conservazione del suolo	62	71	78	81
in assenza di pratiche di conservazione del suolo	72	81	88	91
<u>Terreno a pascolo</u>				
in cattive condizioni	68	79	86	89
in buone condizioni	39	61	74	80
<u>Terreni boscosi o forestati</u>				
in presenza di copertura rada e senza sottobosco	45	66	77	83
in presenza di copertura fitta e con sottobosco	25	55	70	77
<u>Spazi aperti, prati rasati, parchi</u>				
con copertura erbosa superiore al 75% dell'area	39	61	74	80
con copertura erbosa compresa tra il 50 ed il 75% dell'area	49	69	79	84
con copertura erbosa inferiore al 50% dell'area	68	79	86	89
<u>Aree commerciali (area impermeabile 85%)</u>	89	92	94	95
<u>Distretti industriali (area impermeabile 72%)</u>	81	88	91	93
<u>Aree residenziali</u>				
impermeabilità media 65%	77	85	90	92
impermeabilità media 38%	61	75	83	87
impermeabilità media 30%	57	72	81	86
impermeabilità media 25%	54	70	80	85
impermeabilità media 20%	51	68	79	84
impermeabilità media 12%	46	65	77	82
<u>Parcheggi, tetti, autostrade</u>	98	98	98	98
<u>Strade</u>				
pavimentate o asfaltate, dotate di drenaggio	98	98	98	98
con letto in ghiaia	76	85	89	91
battute in terra	72	82	87	89

**Tabella 5 - Metodo SCS-CN ;CN per diversi tipi di uso del suolo per condizioni di umidità iniziale media (Classe II)**

I valori di CN riportati in tabella si riferiscono ad una condizione di umidità del suolo intermedia secondo la classifica AMC (Antecedent Moisture Condition). Si assume pertanto che il valore di CN vari in relazione alle condizioni di imbibimento all'atto della piena. Tale stato di imbibimento viene espresso, dalla classificazione AMC, in base ad un indice di altezza di pioggia corrispondente all'altezza cumulata dei 5 giorni precedenti all'evento che si intende considerare (API5).

Noto il valore di CN per le condizioni medie (ACM II), è possibile ricavare il corrispondente valore per le condizioni di interesse secondo le curve di seguito riportate.

CLASSE AMC	Altezza di pioggia nei 5 giorni precedenti (mm)	
	Stagione di riposo	Stagione di crescita
I - asciutta	< 12.7	< 35.5
II - media	12.7 - 28.0	35.5 - 53.3
III - umida	> 28.0	> 53.3

**Tabella 6 - Definizione della classe di umidità in base all'indice API<sub>5</sub>**

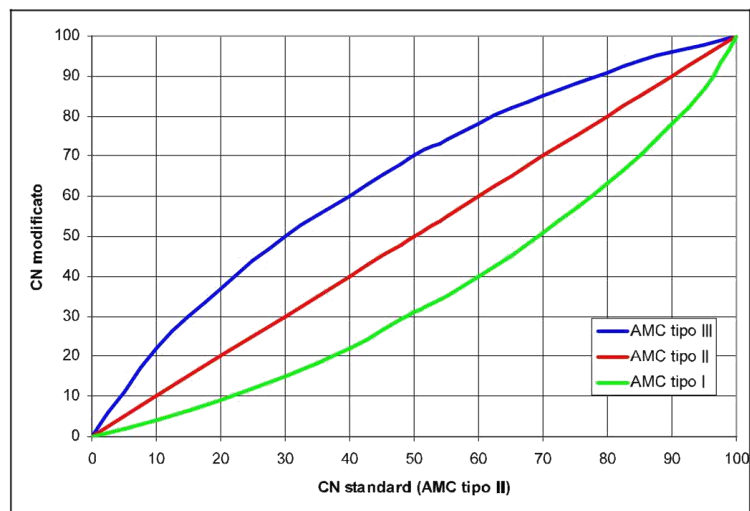


Figura 7 - Curve di conversione dei valori di CN per le diverse condizioni iniziali

Considerando le caratteristiche geologiche del bacino idrografico oggetto del presente studio (vedasi relazione Geologica Generale allegata al presente progetto), si è considerata la tipologia idrologica di suolo **D**.

il valore del parametro CN è stato ricavato come media pesata dei valori  $CN_i$  attribuiti ai diversi usi del suolo.

A partire dalla carta di uso del suolo del 2018 della Regione Sicilia, le categorie di uso del suolo presenti nel bacino di competenza sono state ricondotte a 3 categorie principali, a ciascuna delle quali è stato attribuito un valore di CN stabilito sulla base di quanto riportato in **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**

Si riportano i valori di CN attribuiti a ciascuna categoria:

- 1- Spazi aperti, pascoli e terreni coltivati  $CN_{SA}=85$
- 2- Aree boschive o forestali  $CN_{AB}=82$
- 3- Aree impermeabilizzate, aree residenziali e commerciali  $CN_{AI}=95$

Il valore del CN da attribuire al bacino o sottobacino è stato quindi calcolato come:

$$CN = \frac{\sum_i CN_i A_i}{A_{tot}}$$

Essendo le aree di pertinenza di ogni categoria per il bacino in esame:

- $A_{SA} = 18.61$  (km<sup>2</sup> Spazi aperti/pascoli e terreni coltivati)
- $A_{AB} = 6.68$  (km<sup>2</sup> Aree boscate e forestali)
- $A_{AI} = 0.0$  (km<sup>2</sup> Aree impermeabilizzate residenziali e commerciali)

Si ottiene quindi:

$$CN = \frac{\sum_i CN_i A_i}{A_{tot}} = \frac{85 * 18.61 + 82 * 6.68 + 95 * 0.0}{25.09} = 84$$

Considerando una condizione di imbibimento del terreno media (classe AMC II) si è attribuito un valore di CN pari a 84.

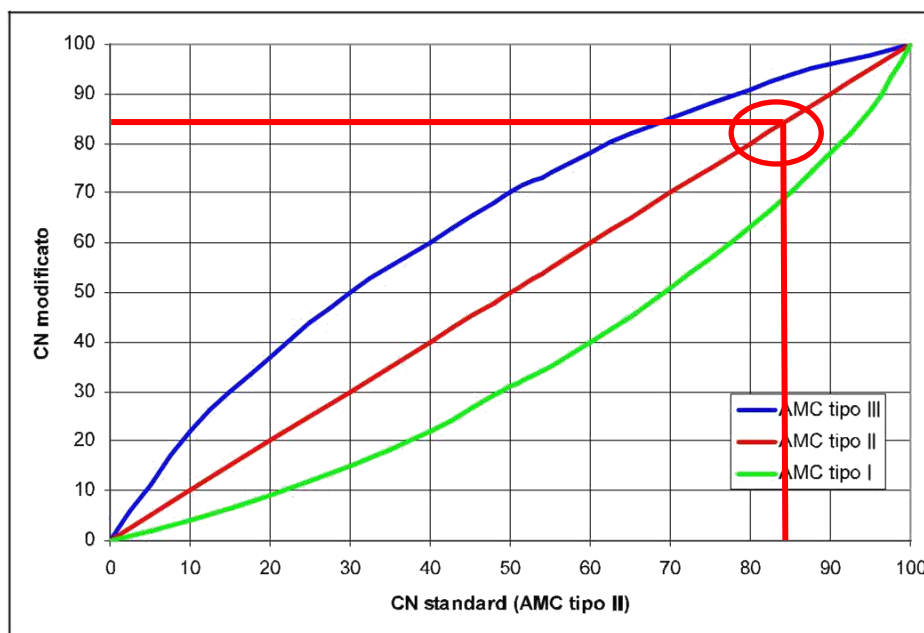


Figura 8 - Procedura grafica per la stima di CN

Il valore di CN così ottenuto risulta in linea con i valori proposti dal rapporto relativo al P.A.I per l'area in esame.

## 8.1.2 Calcolo del coefficiente di deflusso

La determinazione della pioggia lorda è stata eseguita secondo la metodologia proposta dal VaPi Sicilia, come illustrato nel precedente paragrafo.

Il valore di pioggia lorda, per il tempo di ritorno pari a 300 anni, per il bacino in esame risulta pertanto:

$$h(t_c, T = 300) = 63.24 * 1.8^{0.3415} = 76.6 [mm]$$

Utilizzando le relazioni (1), (2), (3) del paragrafo 8.1.1 si ottengono pertanto i seguenti valori:

- $S = 254 \left( \frac{100}{84} - 1 \right) = 48.4 [mm]$
- $I_a = 0.2 * 48.4 = 9.7$
- $P_{net} = \frac{(76.6-9.7)^2}{76.6-9.7+48.4} = 38.8 [mm]$

Il valore del coefficiente di deflusso è quindi calcolabile come rapporto tra la pioggia effettiva e la pioggia netta calcolata con il metodo SCS-CN e pertanto pari a:

$$\psi = \frac{P_{net}}{P} = 0.51$$

## 8.1.3 Calcolo della portata di progetto

La portata di progetto con tempo di ritorno trecentennale è quindi stata calcolata sulla base delle metodologie e dei risultati illustrati nei precedenti paragrafi. Applicando pertanto la formula razionale, utilizzando i coefficienti di deflusso calcolati con il metodo SCS, si ottiene per il bacino in esame:

$$Q = 154.43 m^3/s$$

## 9 SOFTWARE UTILIZZATI

---

Il software utilizzato per il calcolo dell'opera in esame è di seguito indicato:

- **Geoslope 2007** - Geostudio, per la verifica di stabilità
- **HEC-RAS 5.0.5** – US Army Corps of Engineers

Per quanto riguarda i suddetti software/codici di calcolo si dichiara di aver condotto una valutazione di affidabilità e dell'idoneità al caso specifico di applicazione, attraverso verifiche alternative di controllo sui modelli realizzati ed una validazione critica dei risultati degli stessi mediante analisi semplificate tradizionali, nonché di aver esaminato la documentazione fornita dal produttore o dal distributore sulle modalità e procedure seguite per la validazione dei programmi.

### 9.1 METODOLOGIA DI CALCOLO SOFTWARE GEOSLOPE

Le verifiche di stabilità con i metodi dell'equilibrio limite rispondono a requisiti di semplicità e rapidità e sono correntemente impiegate, malgrado le loro limitazioni, nella pratica professionale e nella ricerca; ognuno dei metodi disponibili fornisce un'equazione finale che permette di determinare il coefficiente di sicurezza. [Tancredi, 1996].

Ogni metodo assume una serie di ipotesi semplificative così da poter rendere risolvibile il sistema di equazioni che, come vedremo, risulta essere staticamente indeterminato.

Alcuni di questi metodi sono stati risolti con metodo iterativo, vale a dire creando una procedura di calcolo che facilita la loro implementazione su macchina. Tra questi ci interessa maggiormente approfondire il metodo implementato dal programma di calcolo SLOPE/W, che è il metodo di Bishop (1955) e la sua semplificazione.

Le analisi di stabilità che adottano tali metodi sono quelle dell'equilibrio limite globale. Tale verifica si conduce esaminando un certo numero di possibili superfici di scivolamento per ricercare quella che rappresenta il rapporto minimo tra la resistenza a rottura disponibile e quella effettivamente mobilitata; il valore di questo rapporto costituisce il coefficiente di sicurezza del pendio. Scelta quindi una superficie di rottura si suddivide in conci la parte instabile, si studia dapprima l'equilibrio della singola striscia e poi si passa alla stabilità globale.

Dato l'elevato numero di incognite, ogni metodo assume delle ipotesi semplificative che rendono risolvibile il sistema e sono proprio tali ipotesi che differenziano un metodo dall'altro.

Esistono diverse formulazioni ascrivibili a diversi autori per il calcolo e la soluzione di problemi relativi alla stabilità dei pendii tramite metodi dell'equilibrio limite, tutti questi metodi si basano su ipotesi comuni, che sono:

- Il coefficiente di sicurezza è definito come il rapporto tra la resistenza al taglio lungo un'ipotetica superficie di scorrimento e lo sforzo di taglio mobilitato lungo la stessa superficie;
- La rottura avviene, per il raggiungimento della resistenza limite, contemporaneamente in tutti i punti della superficie di scorrimento.
- Il coefficiente di sicurezza è costante in tutti i punti della superficie di scorrimento.
- La resistenza al taglio è espressa dal criterio di Coulomb.

Nell'utilizzare tali metodi di calcolo si fa sempre riferimento a problemi piani nei quali, quindi, la superficie di scorrimento è rappresentata da una curva e si trascura ogni effetto dovuto alle sezioni adiacenti. Tali schematizzazioni sono giustificabili se le proprietà meccaniche dei terreni sono omogenee in direzione trasversale e quando l'estensione del pendio è predominante sulla dimensione trasversale.

In generale la massa di terreno compresa tra la superficie di scorrimento e la superficie del suolo viene suddivisa in conci e le forze che agiscono su ciascuna striscia possono essere calcolate imponendo le condizioni di equilibrio. L'equilibrio dell'intera massa è dato poi dalla composizione delle forze che agiscono su ciascuna striscia. [Tancredi, 1996]

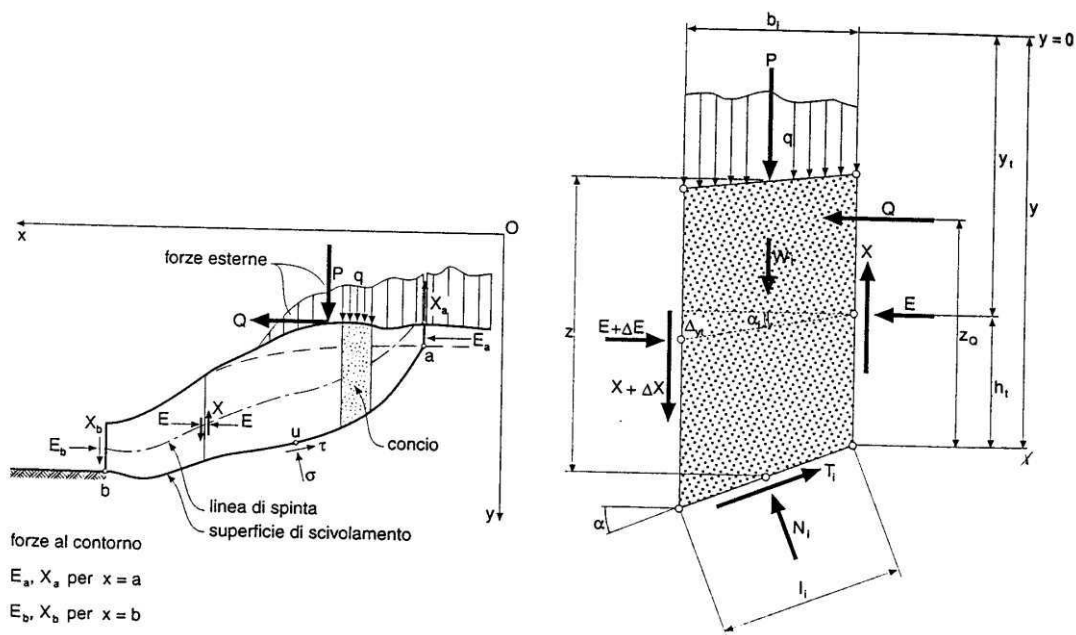


Figura 9: METODO DELLE STRISCE



Le forze agenti su ciascun concio sono, con riferimento alla figura precedente: Il peso  $W$ , l'azione tangenziale alla base  $T$ , l'azione normale efficace alla base  $N$ , la spinta dell'acqua sulla base  $U$ , gli sforzi tangenziali  $X$  e quelli normali  $E$  sulle superfici laterali (forze d'interfaccia).

Le condizioni di equilibrio di ciascun concio sono date dalle tre equazioni della statica, pertanto, ammettendo di suddividere il volume di terreno in esame in  $n$  conci, si hanno a disposizione  $3n$  equazioni, mentre le incognite del problema risultano essere  $5n-2$  così composte:

- $n$  valori per l'azione delle forze normali efficaci alla base.
- $n-1$  valori per ciascuna delle forze d'interfaccia ( $X$  ed  $E$ )
- $n-1$  valori per il punto di applicazione delle forze d'interfaccia in direzione orizzontale.
- $n$  valori per il punto di applicazione degli sforzi normali efficaci alla base.
- 1 valore del coefficiente di sicurezza.

Come già accennato, dal bilancio fra le equazioni disponibili e il numero delle incognite risulta che si hanno  $2n-2$  incognite sovrabbondanti e quindi il problema risulta staticamente indeterminato, per riportarlo a staticamente determinato e rendere possibile la soluzione del sistema di equazioni che descrivono l'equilibrio della massa di terreno potenzialmente instabile, è necessario introdurre alcune ipotesi semplificative che consentono di ridurre il numero delle incognite del problema. La prima tra tutte, che risulta, tra le altre cose, comune a tutti i metodi, è quella di considerare centrata la forza agente alla base della striscia, il che è accettabile nel caso in cui i conci siano di larghezza limitata. Le altre ipotesi necessarie per risolvere il sistema di equazioni sono diverse caso per caso e sono queste stesse che caratterizzano un metodo da un altro. L'esistenza di molti metodi di calcolo porta alcune volte alla indeterminatezza della soluzione, è bene quindi sottolineare che da studi comparativi effettuati per indagare la risposta dei diversi metodi di calcolo, indicano che, quelli che soddisfano tutte le condizioni di equilibrio danno sostanzialmente gli stessi risultati in termini di coefficiente di sicurezza, o meglio che non differiscono tra loro più del 5%. [Duncan, 1980].

## 9.2 METODOLOGIA DI CALCOLO SOFTWARE HEC-RAS

Il modello di simulazione HEC-RAS (River Analysis System) è stato inizialmente sviluppato dall'US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center per lo studio delle reti di canali aperti, attraverso la ricostruzione dei profili idraulici di moto permanente in regime subcritico e supercritico, operando nell'ipotesi di monodimensionalità del flusso.

La determinazione dei parametri fisici che descrivono il deflusso all'interno di una sezione d'alveo in HEC-RAS è basata sulle seguenti ipotesi semplificative:

- moto monodimensionale;
- moto gradualmente variato;
- distribuzione idrostatica delle pressioni in ciascuna sezione (linee di corrente rettilinee e parallele);
- alvei a debole pendenza ( $i < 1:10$ );
- perdite di carico continue mediamente costanti fra due sezioni trasversali adiacenti;
- sponde e fondo delle sezioni fisse (no erosione).

Sotto le predette ipotesi, le principali caratteristiche della corrente (livello idrico e velocità media) vengono calcolate a partire da una sezione alla successiva, posta a monte o a valle, a seconda che il regime sia rispettivamente supercritico o subcritico, risolvendo, con la procedura iterativa dello standard step method, l'equazione che esprime il bilancio di energia della corrente tra le medesime sezioni ():

$$z_1 + h_1 + \frac{\alpha_1 \cdot V_1^2}{2g} = z_2 + h_2 + \frac{\alpha_2 \cdot V_2^2}{2g} + \Delta H \quad (1)$$

dove, indicando con i pedici 1 e 2 le grandezze che si riferiscono alle due sezioni che individuano il volume di controllo:

- $h_1$  e  $h_2$  sono le altezze idriche;
- $z_1$  e  $z_2$  sono le quote del fondo alveo rispetto ad un riferimento prefissato;  $V_1$  e  $V_2$  sono le velocità medie;
- $\alpha_1$  e  $\alpha_2$  sono i coefficienti di ragguglio delle potenze cinetiche o coefficienti di Coriolis;
- $\Delta H$  è la perdita di carico tra le due sezioni.

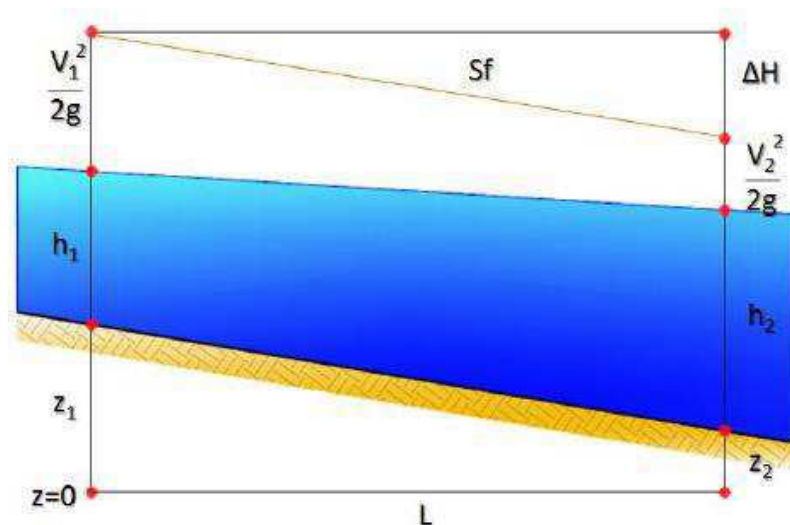


Figura 10: Conservazione dell'energia, schema di calcolo

L'equazione (1) esprime il ben noto principio per cui la variazione tra due sezioni dell'energia specifica della corrente è pari alle perdite distribuite, derivanti dagli attriti interni dovuti all'esistenza di strati a diversa velocità nell'interno della massa liquida, ed alle perdite localizzate, in genere dovute alla presenza di strutture in alveo che inizialmente producono un restringimento della corrente e un successivo allargamento con formazione di vortici.

La perdita di carico tra le due sezioni viene, infatti, valutata come la somma di due termini: una componente di attrito  $h_f$ , dovuta alla scabrezza di fondo, calcolata per mezzo dell'equazione di Manning, e una componente  $h_0$  che rappresenta le perdite dovute a contrazioni ed espansioni della vena fluida, calcolata come frazione del carico cinetico:

$$\Delta H = h_f + h_0 = L \cdot \overline{S_f} + C \cdot \left| \frac{\alpha_2 \cdot V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 \cdot V_1^2}{2g} \right| \quad (2)$$

con  $S_f$  : cadente della linea dei carichi totali;

C: coefficiente di contrazione ed espansione.

HEC-RAS possiede quattro diverse modalità per la valutazione della cadente media  $S_f$  :

1. Trasporto medio valutato tra le sezioni 1,2;
2. Media aritmetica della pendenza d'attrito valutata tra le sezioni 1,2;
3. Media geometrica della pendenza d'attrito valutata tra le sezioni 1,2;
4. Media armonica della pendenza d'attrito valutata tra le sezioni 1,2;

Il programma utilizza per default la prima delle quattro opzioni, a meno di indicazioni diverse da parte dell'utente. Il programma offre una quinta opzione che consente la selezione automatica della formula più idonea tra quelle illustrate in funzione del regime della corrente.

Il codice HEC-RAS suddivide l'area interessata dal moto in tre zone principali: zona golenale sinistra (LOB, left overbank), alveo ordinario (CH, channel), zona golenale destra (ROB, right overbank). Per tener conto dell'andamento curvilineo dell'asse, la distanza di calcolo tra due sezioni viene ponderata rispetto alla frazione di portata che fluisce rispettivamente nelle tre zone. La lunghezza mediata del tratto viene quindi calcolata come:

$$L = \frac{L_{LOB} \cdot \overline{Q}_{LOB} + L_{CH} \cdot \overline{Q}_{CH} + L_{ROB} \cdot \overline{Q}_{ROB}}{\overline{Q}_{LOB} + \overline{Q}_{CH} + \overline{Q}_{ROB}} \quad (3)$$

Con:

$L_{LOB}, L_{CH}, L_{ROB}$  : lunghezze del tratto relative rispettivamente all'area golenale sinistra, alveo ordinario e area golenale destra;

$Q_{LOB}, Q_{CH}, Q_{ROB}$  : portate medie attraverso la sezione rispettivamente in golena sinistra, alveo ordinario e golena destra.

Per illustrare lo standard step method utilizzato da HEC-RAS per la soluzione dell'equazione (1) si possono descrivere i passi necessari per il calcolo del profilo relativo a condizioni di moto subcritico con l'equazione dell'energia.

Si suppongano quindi due sezioni di cui si conosca la quota della superficie libera della sezione di valle; il problema che si vuole risolvere è la conoscenza della quota corrispondente alla sezione di monte.

Assumendo che la geometria delle sezioni sia nota, i termini incogniti dell'equazione sono  $h_1$ ,  $V_1$  e  $\Delta H$ .  $V_1$  è desumibile direttamente dal valore di  $h_1$ , per cui le incognite possono essere ridotte a due. Con due incognite è necessaria una seconda equazione, riguardante le perdite di energia ed espressa da  $h_e = h_f + h_o$ , per poter ottenere una soluzione. Stante la tipologia delle equazioni, la ricerca della soluzione sarà del tipo "trial and error", per successivi tentativi.

I passi attraverso cui avviene il calcolo sono i seguenti:

- Viene supposta una quota di pelo libero per la sezione di monte. Un primo tentativo può essere fatto imponendo la pendenza della linea dell'energia pari alla pendenza del tronco d'alveo; quindi,  $\Delta h = (Q/K)^2 L$ , dove  $\Delta h$  rappresenta la variazione nella quota del pelo libero,  $Q$  è la portata,  $K$  il termine di trasporto e  $L$  la distanza dalla sezione a monte;
- Sulla base della quota di pelo libero assunta e della geometria della sezione, vengono determinati i termini cinetico e il trasporto totale per la sezione a monte;
- Con i valori calcolati del termine cinetico e di trasporto del passo 2, viene calcolato il valore di  $h_e$ ;
- Con il valore calcolato di  $h_e$ , viene calcolata l'altezza di pelo libero della sezione a monte utilizzando l'equazione dell'energia;
- Viene fatto un confronto fra il valore calcolato al passo 4 e il valore impostato al passo 1. Se la differenza non è inferiore a una prefissata tolleranza (di default pari a 3 mm), il ciclo riprende cambiando il valore al passo 1.

Questa tecnica richiede tempi di elaborazione brevissimi e non incontra problemi di convergenza nemmeno in presenza di discontinuità geometriche o idrauliche.

In corrispondenza di particolari situazioni localizzate, per le quali il moto non può, a rigore, essere considerato gradualmente variato, come avviene in corrispondenza di ponti, tombini, stramazzi, risalti idraulici ecc. (passaggio attraverso lo stato critico), per il calcolo dei profili idrici viene utilizzata l'equazione di bilancio della quantità di moto:

$$P_1 - P_2 + W_x - F_f = M_1 - M_2 \quad (4)$$

Dove:

- P1 e P2 sono le spinte agenti in corrispondenza delle sezioni 1 e 2;
- Wx è la componente della forza peso del volume di controllo nella direzione del moto; Ff è la forza resistente dovuta all'attrito;
- M2 e M1 sono i flussi della quantità di moto entranti ed uscenti dalle sezioni 2 e 1.

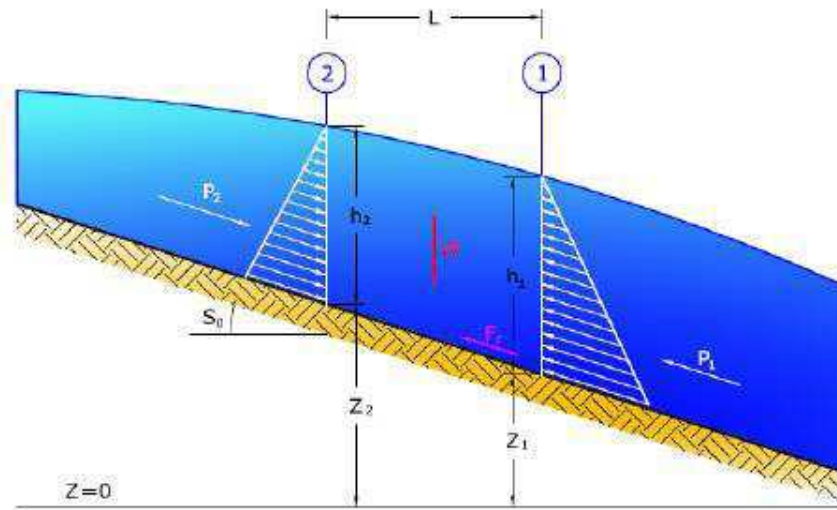


Figura 11: Conservazione della quantità di moto, schema di calcolo

Esplicitando i vari termini si ottiene la formula funzionale dell'equazione di conservazione della quantità di moto utilizzata da HEC-RAS:

$$\frac{\beta_2 \cdot Q_2^2}{g \cdot \Sigma_2} + \Sigma_2 \cdot h_2 + \left( \frac{\Sigma_1 + \Sigma_2}{2} \right) \cdot L \cdot S_0 - \left( \frac{\Sigma_1 + \Sigma_2}{2} \right) \cdot L \cdot \overline{S_f} = \frac{\beta_1 \cdot Q_1^2}{g \cdot \Sigma_1} + \Sigma_1 \cdot h_1$$

---

## 10 AZIONI DI CALCOLO

---

Per il progetto e la verifica delle opere sono state esaminate le varie azioni riportate nei paragrafi seguenti.

### 10.1 AZIONI VARIABILI

#### Sovraccarico uniforme indefinito

Nel caso specifico si terrà conto di un sovraccarico accidentale uniforme indefinito, dovuto al traffico stradale, pari a 20 kPa in condizioni statiche.

### 10.2 FALDA

Relativamente ai livelli di falda analizzati nelle verifiche di stabilità sono stati esaminati i seguenti casi:

- Condizione di piena (analisi statica), con livello idrico posto alla quota +380.38;
- Condizione di rapido svasso (analisi statica);
- Condizione di magra (analisi statica e sismica).

## 11 RISULTATI DELLE ANALISI

### 11.1 RISULTATI MODELLAZIONE IDRAULICA

In corrispondenza dell'opera OS101 sono state analizzate otto sezioni nel modello idraulico realizzato. Poiché la sistemazione idraulica ha riguardato nel tratto specifico la rimodellazione dell'alveo attraverso i gabbioni, è stato utilizzato un coefficiente di Manning pari a 0.03 in tutte le sezioni.

Infine, per la determinazione della portata di progetto si veda il par. 8 della presente relazione.

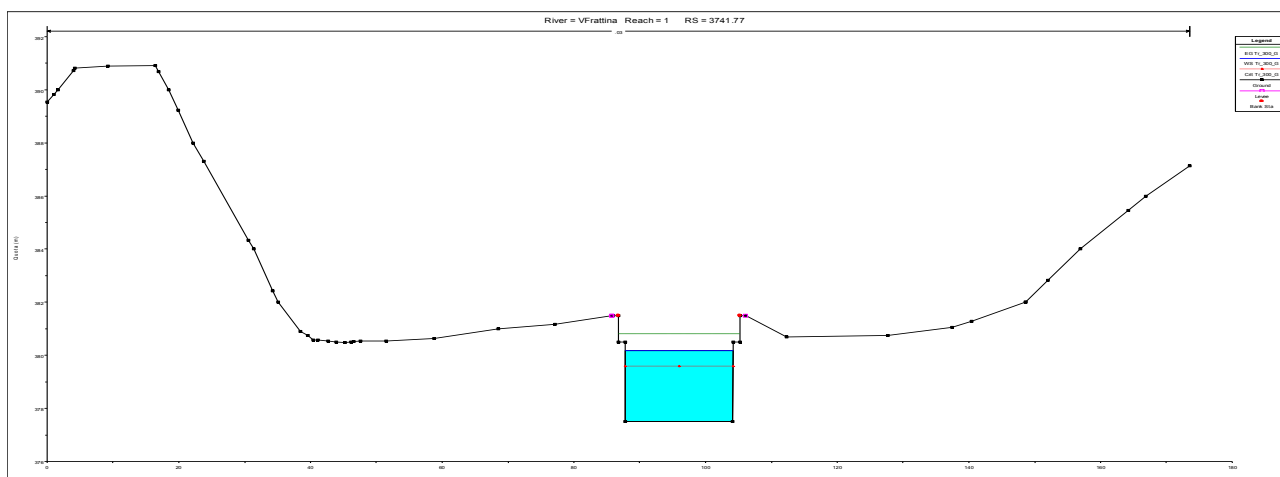


Figura 12- River station 3741.77 del modello idraulico del fiume Frattina con Tr 300 anni

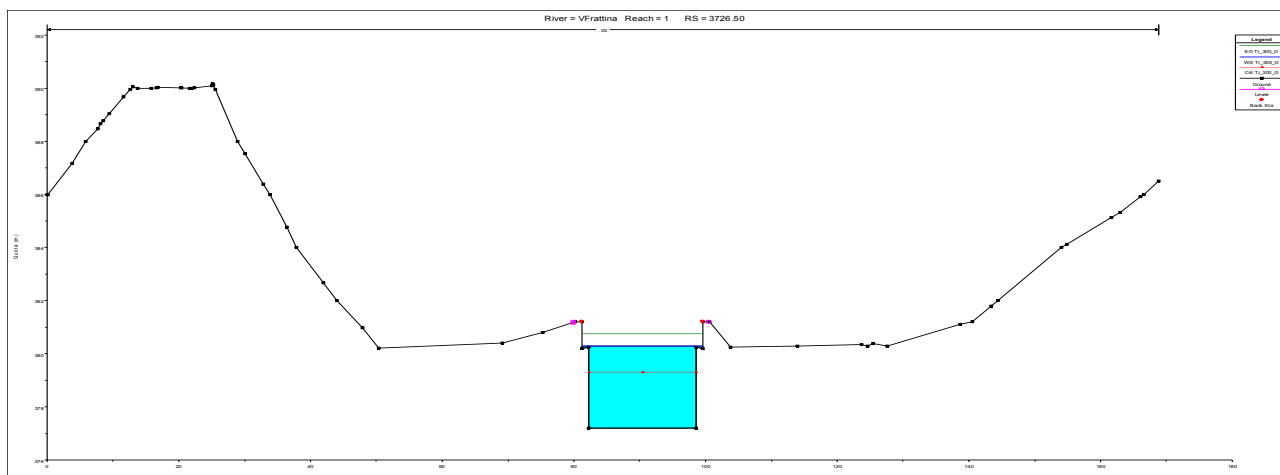


Figura 13- River station 3726.50 del modello idraulico del fiume Frattina con Tr 300 anni







Affidamento a Contraente Generale dei “Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotatoria Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121”.

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE N.3

OS101 – Gabbionata dx dal km 12+489.7 al Km 12+681.65 Relazione descrittiva e di Calcolo

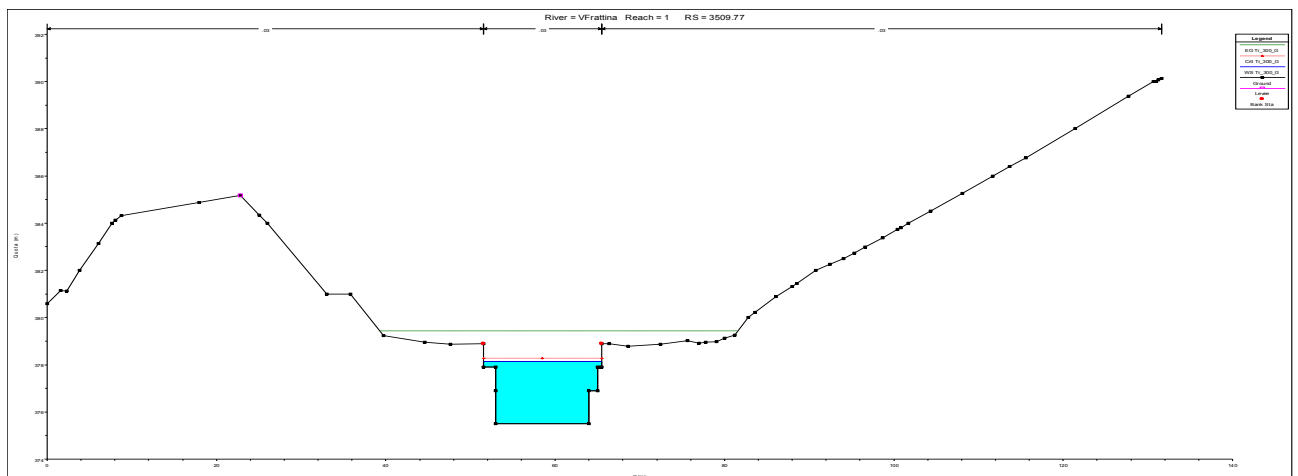


Figura 19: River station 3509.77 del modello idraulico del torrente Frattina con Tr 300 anni

Dalla modellazione risulta pertanto che la piena corrispondente al Tr di 300 anni provoca un esondazione dall'alveo ordinario, la cui area risulta interessare l'opera OS101.

Nelle verifiche di stabilità si considera pertanto l'altezza del livello idrico così determinata.

### 11.3 VERIFICA A TRASCINAMENTO DEI GABBIONI DEL RILEVATO

I risultati ottenuti dal modello idraulico hanno mostrato come l'opera OS101 è interessata dall'esonazione del torrente Frattina in occasione della piena con tempo di ritorno T=300 anni.

Alla luce di tali risultati si è ritenuto necessario procedere con la verifica a trascinamento dei gabbioni posti a protezione del rilevato.

Per la determinazione della velocità critica del materiale costituente i gabbioni si è fatto riferimento alla formulazione di Shields per la quale:

$$\tau_{cr} = \gamma R_H i$$

Dove:

$\tau_{cr}$ : tensione critica di trascinamento

$\gamma$ : peso specifico della massa liquida

$R_H$ : raggio idraulico

$i$ : pendenza del fondo

Secondo la formulazione di Gauckler-Strikler la stessa relazione può essere scritta come:

$$\tau_{cr} = \gamma \frac{v_{cr}^2}{K_s^2 R_H^{1/3}}$$

Considerato un materiale cui  $\gamma_s = 2600 \text{ kg/m}^3$  la precedente equazione può scriversi come:

$$v_{cr} = 0.31 K_s R_H^{1/6} \sqrt{d}$$

Dove il coefficiente di scabrezza  $K_s$  assume valori compresi tra 25 e 35  $\text{m}^{1/3}/\text{s}$ .

Nella verifica in esame sono stati considerati i seguenti valori tabellati.

Material	Allowable velocity [m/s]
Gabions 0.50m - $d_{50} = 0.21 \text{ m}$	7.60
Reno mattress 0.17m - $d_{50} = 0.10 \text{ m}$	4.20
Reno mattress 0.23m - $d_{50} = 0.12 \text{ m}$	5.50
Reno mattress 0.30m - $d_{50} = 0.15 \text{ m}$	6.40
MacMat R	1.50 - 3.00(*)

\* For duration less than 60 hours (Utah water research Laboratory)

Come mostrato nella tabella seguente, i risultati ottenuti dal modello di calcolo presentano una massima velocità, al di fuori dell'alveo in sinistra idraulica, pari a 1.54 m/s. L'intervento di progetto risulta pertanto verificato.

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotatoria Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE N.3

OS101 – Gabbionata dx dal km 12+489.7 al Km 12+681.65 Relazione descrittiva e di Calcolo

River Station	Portata (mc/s)	Quota fondo alveo (m)	Quota battente idrico (m)	Velocità fuori alveo in sinistra idraulica (m/s)
3659.77	154.43	376.66	380.38	1.44
3623.51	154.43	376.68	380.38	1.50
3584.16	154.43	376.57	379.36	
3549.15	154.43	376.00	378.43	
3509.77	154.43	375.50	378.14	

Tabella 7 – Output modello HEC-RAS per le sezioni di interesse per l'opera OS101

## 11.4 VERIFICHE DI STABILITA' INTERVENTO

### 11.4.1 GENERALITA'

Come detto le verifiche di stabilità dell'intervento sono state eseguite con il codice di calcolo Slope/W della GeoSlope International Ltd adottando il criterio di verifica all'equilibrio limite globale. Le analisi di stabilità hanno investigato diversi scenari al fine di determinare i coefficienti di sicurezza in funzione dei possibili meccanismi di rottura ed in particolare:

1. Analisi statica in condizioni di magra;
2. Analisi sismica in condizioni di magra;
3. Analisi statica in condizioni di piena;
4. Analisi statica in condizioni di rapido svasso.

Come d'uso nei Metodi all'Equilibrio Limite Globale, tra le superfici generate viene individuata quella più critica.

Per tutti i casi analizzati è stato determinato il valore del coefficiente di sicurezza minimo (che è comunque risultato sempre maggiore del minimo di normativa) caratteristico della singola verifica di stabilità.

### 11.4.2 APPROCCIO NORMATIVO

Come detto, le verifiche di stabilità, nel seguito riportate, sono state eseguite seguendo i metodi dell'equilibrio limite globale secondo quanto prescritto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni approvate con il D.M. 17 gennaio 2018 come suggerito ai punti §6.8 e §7.11.

Per tali opere deve essere verificata la condizione  $E_d < R_d$  in cui  $E_d$  è il valore di progetto delle azioni ed è pari a

$$E_d = \gamma_E E [F_k; X_k / \gamma_M; a_d]$$

mentre  $R_d$  è il valore della resistenza del sistema geotecnico pari a

$$R_d = R / \gamma_R [\gamma_F F_k; X_k / \gamma_M; a_d]$$

Con riferimento alle verifiche agli SLU la norma distingue la verifica statica da quella sismica, nello specifico gli approcci da adottare sono:

- Condizione statica: approccio 1, combinazione 2 - A2+M2+R2, coefficiente  $\gamma_R = 1.1$  (§6.8 delle NTC18);
- Condizione sismica: coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici pari a 1 e coefficiente  $\gamma_R = 1.2$  (§7.11.1 e §7.11.4 delle NTC18).

Relativamente alla sola verifica statica i coefficienti correttivi delle azioni sono stati scelti secondo la tab. 6.2.I nel seguito riportata mentre per le resistenze va applicata la tab. 6.2.II relativa ai coefficienti correttivi dei parametri geotecnici.

Carichi	Effetto	Coefficiente parziale $\gamma_F$ o $\gamma_E$	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 8: COEFFICIENTI PARZIALI PER LE AZIONI E PER L'EFFETTO DELLE AZIONI (TAB. 6.2.I DELLE NTC18)

Parametro	Grandezza alla quale applicare Il coefficiente parziale	Coefficiente parziale	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di Resistenza al taglio	$\tan \varphi'$	$\gamma_\varphi$	1.0	1.25
Coesione efficace	$c'$	$\gamma_c$	1.0	1.25
Resistenza non drenata	$c_u$	$\gamma_{cu}$	1.0	1.4
Peso dell'unità di volume	$\gamma$	$\gamma_\gamma$	1.0	1.0

Tabella 9: COEFFICIENTI PARZIALI PER I PARAMETRI GEOTECNICI DEL TERRENO (TAB. 6.2.II DELLE NTC18)

Nello specifico, per Ed si intende lo sforzo di taglio mobilitato lungo la superficie di scorrimento critica e per Rd la resistenza al taglio disponibile.

Pertanto, la verifica di stabilità si ritiene superata se il coefficiente di sicurezza ottenuto dal calcolo (pari a  $Rd/Ed$ ) risulterà superiore a

- 1,1 per le analisi statiche;
- 1,2 per le analisi sismiche.



### 11.4.3 RISULTATI DI CALCOLO

Come anticipato in precedenza per l'intervento in oggetto sono state eseguite n.4 analisi di stabilità:

- n.3 analisi statiche (magra, piena, svaso rapido);
- n.1 analisi sismica in condizioni di magra.

La tabella seguente mostra i risultati delle analisi condotte mentre nelle figure seguenti sono disponibili i modelli utilizzati ed è possibile ricavare l'andamento e l'estensione delle superfici critiche.

Stati Limite	Rd /Ed statico	Rd /Ed Sismico
Condizione di magra	1.57	1.68
Condizione di piena	1.44	-
Condizione di svaso rapido	1.47	-

Tabella 10: RISULTATI ANALISI DI STABILITA'

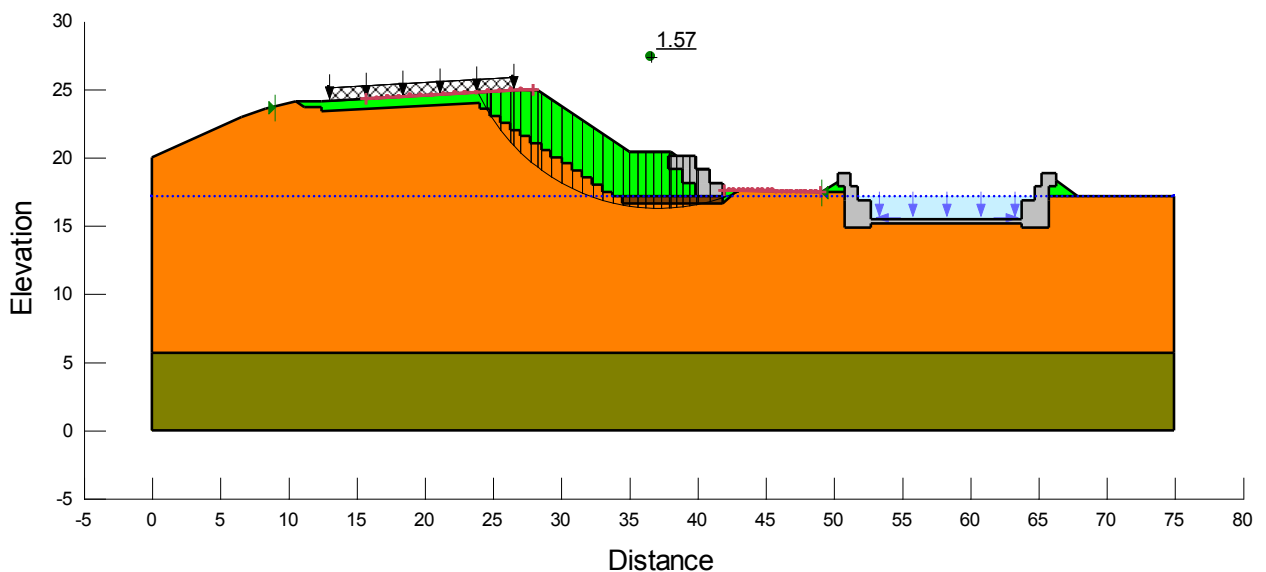


Figura 20: VERIFICA DI STABILITA' STATICA IN CONDIZIONI DI MAGRA

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotatoria Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE N.3

OS101 – Gabbionata dx dal km 12+489.7 al Km 12+681.65 Relazione descrittiva e di Calcolo

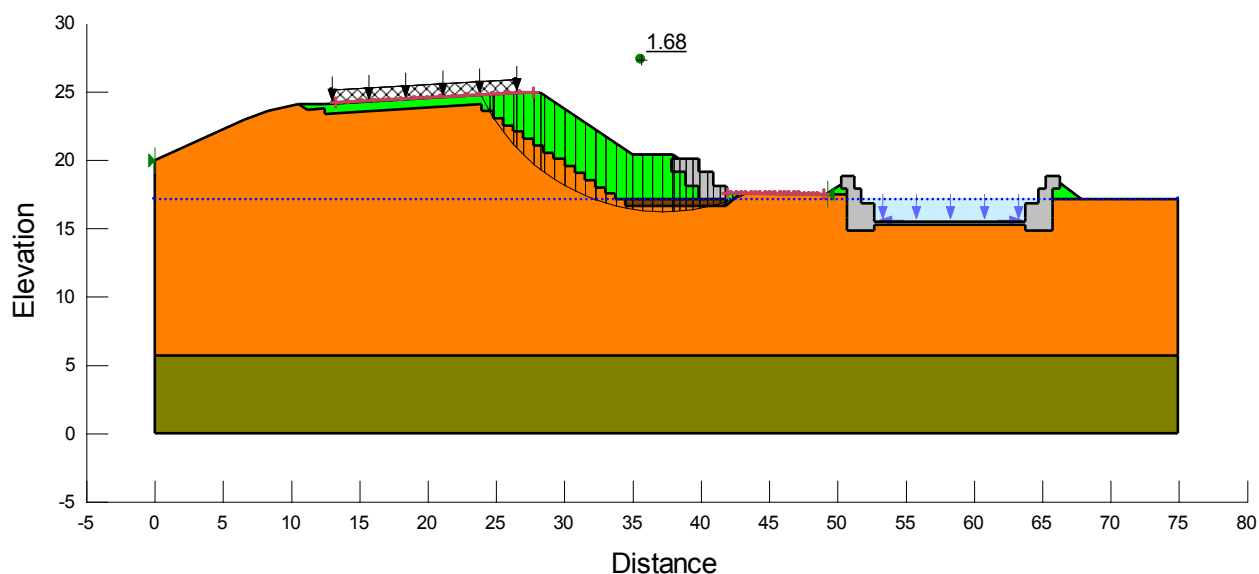


Figura 21: VERIFICA DI STABILITA' SISMICA IN CONDIZIONI DI MAGRA

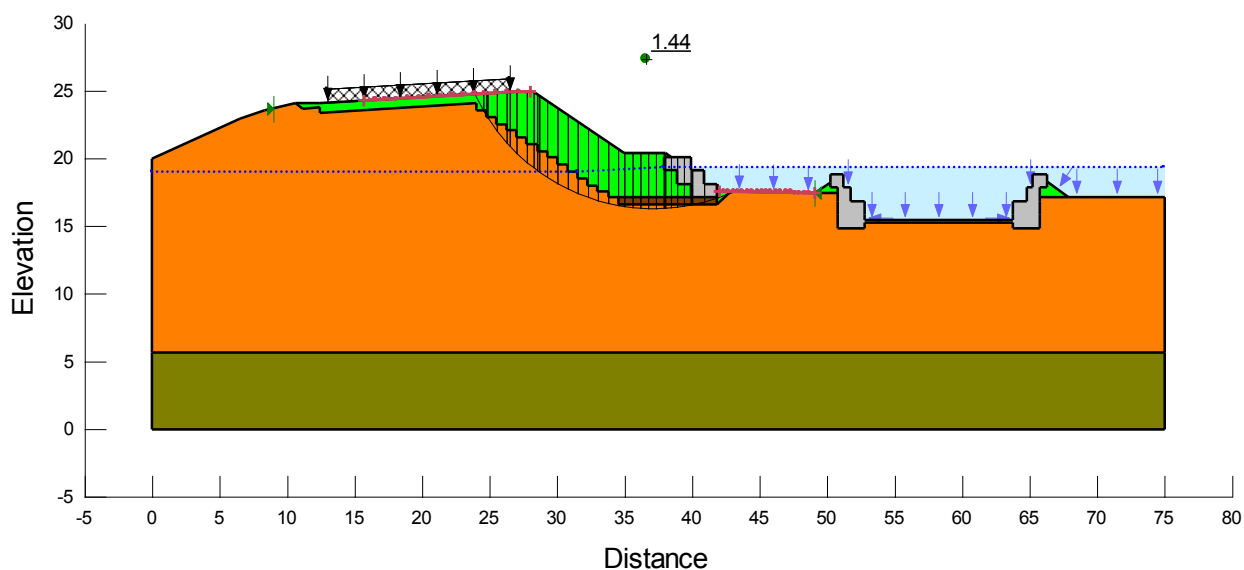


Figura 22: VERIFICA DI STABILITA' STATICA IN CONDIZIONI DI PIENA

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotatoria Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE N.3

OS101 – Gabbionata dx dal km 12+489.7 al Km 12+681.65 Relazione descrittiva e di Calcolo

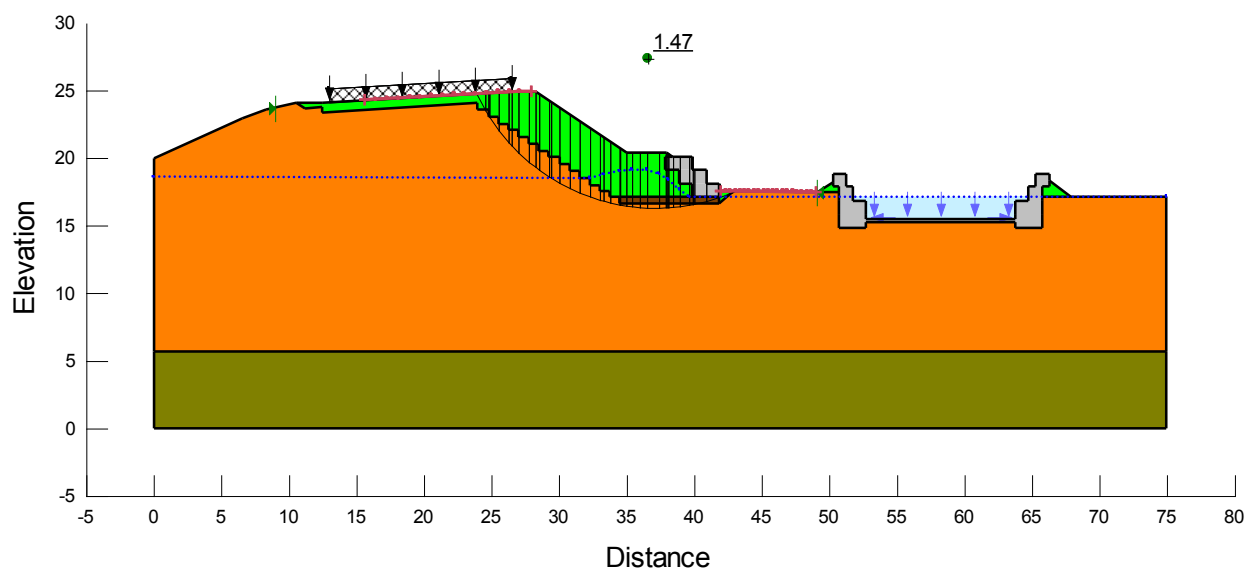


Figura 23: VERIFICA DI STABILITA' STATICA IN CONDIZIONI DI SVASO RAPIDO

Le superfici critiche, come è possibile verificare dalle immagini riportate, hanno teso ad indagare sull'accadimento di diversi fenomeni di rottura.

Tali verifiche risultano soddisfatte sia in condizioni statiche che sismiche.

Affidamento a Contraente Generale dei “Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotatoria Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121”.

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE N.3

---

OS101 – Gabbionata dx dal km 12+489.7 al Km 12+681.65 Relazione descrittiva e di Calcolo

## **12 ALLEGATI FILE DI INPUT OUTPUT DEI MODELLI DI CALCOLO - GEOSLOPE**

---

# Magra

Report generated using GeoStudio 2007, version 7.17. Copyright © 1991-2010 GEO-SLOPE International Ltd.

## File Information

Created By: Claudio Gravina  
Revision Number: 48  
Last Edited By: Claudio Gravina  
Date: 02/12/2019  
Time: 17:19:20  
File Name: OS101.gsz  
Directory: W:\public\CMC-BLG-Dissesto idrologico Bolognetta\Calcoli\OS101\Stabilità\  
Last Solved Date: 02/12/2019  
Last Solved Time: 17:19:32

## Project Settings

Length(L) Units: meters  
Time(t) Units: Seconds  
Force(F) Units: kN  
Pressure(p) Units: kPa  
Strength Units: kPa  
Unit Weight of Water: 9.807 kN/m<sup>3</sup>  
View: 2D

## Analysis Settings

### Magra

Kind: SLOPE/W  
Method: Morgenstern-Price  
Settings  
Apply Phreatic Correction: No  
Side Function  
Interslice force function option: Half-Sine  
PWP Conditions Source: Piezometric Line with Ru  
Slip Surface  
Direction of movement: Left to Right  
Use Passive Mode: No  
Slip Surface Option: Entry and Exit  
Critical slip surfaces saved: 1  
Optimize Critical Slip Surface Location: No  
Tension Crack  
Tension Crack Option: (none)  
FOS Distribution  
FOS Calculation Option: Constant  
Advanced  
Number of Slices: 30  
Optimization Tolerance: 0.01  
Minimum Slip Surface Depth: 2 m  
Optimization Maximum Iterations: 2000  
Optimization Convergence Tolerance: 1e-007  
Starting Optimization Points: 8  
Ending Optimization Points: 16  
Complete Passes per Insertion: 1  
Driving Side Maximum Convex Angle: 5 °  
Resisting Side Maximum Convex Angle: 1 °

## Materials

### Rilevato

Model: Mohr-Coulomb  
Unit Weight: 20 kN/m<sup>3</sup>  
Cohesion: 0 kPa  
Phi: 32 °  
Phi-B: 0 °  
Pore Water Pressure  
Piezometric Line: 1  
Include in PWP: No

### Gabbioni

Model: Mohr-Coulomb  
Unit Weight: 16 kN/m<sup>3</sup>  
Cohesion: 40 kPa  
Phi: 38.7 °  
Phi-B: 0 °  
Pore Water Pressure  
Piezometric Line: 1  
Include in PWP: No

### Bonifica

Model: Mohr-Coulomb  
Unit Weight: 20 kN/m<sup>3</sup>  
Cohesion: 0 kPa  
Phi: 32 °  
Phi-B: 0 °  
Pore Water Pressure  
Piezometric Line: 1  
Include in PWP: No

### LSA

Model: Mohr-Coulomb  
Unit Weight: 20 kN/m<sup>3</sup>  
Cohesion: 12 kPa  
Phi: 21.3 °  
Phi-B: 0 °  
Pore Water Pressure  
Piezometric Line: 1  
Include in PWP: No

**AG**

Model: Mohr-Coulomb  
 Unit Weight: 20.5 kN/m<sup>3</sup>  
 Cohesion: 16 kPa  
 Phi: 21.3 °  
 Phi-B: 0 °  
 Pore Water Pressure  
 Piezometric Line: 1  
 Include in PWP: No

**Slip Surface Entry and Exit**

Left Projection: Range  
 Left-Zone Left Coordinate: (15.669387, 24.286378) m  
 Left-Zone Right Coordinate: (27.972354, 24.910706) m  
 Left-Zone Increment: 15  
 Right Projection: Range  
 Right-Zone Left Coordinate: (42.011938, 17.562195) m  
 Right-Zone Right Coordinate: (49.063512, 17.450768) m  
 Right-Zone Increment: 20  
 Radius Increments: 10

**Slip Surface Limits**

Left Coordinate: (8.9904018, 23.689691) m  
 Right Coordinate: (49.065565, 17.450724) m

**Piezometric Lines****Piezometric Line 1****Coordinates**

X (m)	Y (m)
0	17.114198
75	17.16

**Surcharge Loads****Surcharge Load 1**

Surcharge (Unit Weight): 30 kN/m<sup>3</sup>  
 Direction: Vertical

**Coordinates**

X (m)	Y (m)
12.99	25.13
26.49	25.92

**Regions**

	Material	Points	Area (m <sup>2</sup> )
Region 1	AG	1,2,62,63	424.5
Region 2	LSA	2,3,4,5,6,64,65,66,67,68,69,70,71,72,73,74,75,76,77,78,79,80,81,82,83,84,85,86,87,88,89,90,91,92,93,94,95,96,97,98,27,99,35,39,40,41,42,45,46,47,48,51,61,59,60,62	1004.7173
Region 3	Gabbioni	46,45,44,49,48,47	2
Region 4	Gabbioni	49,50,52,51,48	2
Region 5	Gabbioni	52,53,55,54,61,51	1
Region 6	Gabbioni	55,56,57,100,58,54	1
Region 7	Rilevato	59,61,54,58,100	1.2698722
Region 8	Gabbioni	40,39,38,43,42,41	2
Region 9	Gabbioni	39,35,36,37,38	2
Region 10	Gabbioni	35,99,33,31,34,36	1
Region 11	Gabbioni	31,33,32,28,29,30	1
Region 12	Rilevato	27,99,33,32,28	0.6557
Region 13	Gabbioni	42,43,44,45	2.53
Region 14	Rilevato	97,23,26,98	0.4896
Region 15	Bonifica	96,95,25,24,23,97	3.7
Region 16	Gabbioni	25,20,19,22,26,23,24	2
Region 17	Gabbioni	21,16,17,18,19,20	2
Region 18	Gabbioni	15,13,12,14,17,16	2
Region 19	Rilevato	6,7,8,9,10,11,12,13,15,16,21,20,25,95,94,93,92,91,90,89,88,87,86,85,84,83,82,81,80,79,78,77,76,75,74,73,72,71,70,69,68,67,66,65,64	58.97045

**Points**

	X (m)	Y (m)
Point 1	0	0
Point 2	0	5.66
Point 3	0	20

Point 4	6.53	22.97
Point 5	8.33	23.54
Point 6	10.58	24.05
Point 7	12.49	24.1
Point 8	26.99	24.95
Point 9	28.24	24.9
Point 10	34.99	20.4
Point 11	37.99	20.4
Point 12	38.44	20.1
Point 13	37.9	20.1
Point 14	39.9	20.1
Point 15	37.9	19.1
Point 16	38.9	19.1
Point 17	39.9	19.1
Point 18	40.9	19.1
Point 19	40.9	18.1
Point 20	39.9	18.1
Point 21	38.9	18.1
Point 22	41.9	18.1
Point 23	41.9	17.1
Point 24	40.9	17.1
Point 25	39.9	17.1
Point 26	41.9	17.56
Point 27	49.1	17.45
Point 28	50.26	18.21
Point 29	50.26	18.83
Point 30	51.26	18.83
Point 31	51.26	17.83
Point 32	50.26	17.83
Point 33	50.76	17.83
Point 34	51.76	17.83
Point 35	50.76	16.83
Point 36	51.76	16.83
Point 37	52.76	16.83
Point 38	52.76	15.83
Point 39	50.76	15.83
Point 40	50.76	14.83
Point 41	52.76	14.83
Point 42	52.76	15.2
Point 43	52.76	15.43
Point 44	63.76	15.43
Point 45	63.76	15.2
Point 46	63.76	14.83
Point 47	65.76	14.83
Point 48	65.76	15.83
Point 49	63.76	15.83
Point 50	63.76	16.83
Point 51	65.76	16.83
Point 52	64.76	16.83
Point 53	64.76	17.83
Point 54	65.76	17.83
Point 55	65.26	17.83
Point 56	65.26	18.83
Point 57	66.26	18.83
Point 58	66.26	17.83
Point 59	67.92	17.16
Point 60	75	17.16
Point 61	65.76	17.16
Point 62	75	5.66
Point 63	75	0
Point 64	11.16	23.67
Point 65	12.49	23.72
Point 66	12.49	23.35
Point 67	24.01	24.02
Point 68	24.01	23.52
Point 69	24.76	23.52
Point 70	24.76	23.02
Point 71	25.52	23.02
Point 72	25.52	22.52
Point 73	26.27	22.52
Point 74	26.27	22.02
Point 75	27.02	22.02
Point 76	27.02	21.52
Point 77	27.77	21.52
Point 78	27.77	21.02
Point 79	28.52	21.02
Point 80	28.52	20.52
Point 81	29.27	20.52
Point 82	29.27	20.02
Point 83	30.02	20.02
Point 84	30.02	19.52
Point 85	30.77	19.52
Point 86	30.77	19.02
Point 87	31.52	19.02
Point 88	31.52	18.52
Point 89	32.27	18.52
Point 90	32.27	18.02
Point 91	33.02	18.02
Point 92	33.02	17.52
Point 93	33.77	17.52
Point 94	33.77	17.1
Point 95	34.5	17.1

Point 96	34.5	16.6
Point 97	41.9	16.6
Point 98	42.92	17.58
Point 99	50.76	17.42
Point 100	66.26	18.286352

### Critical Slip Surfaces

	Slip Surface	FOS	Center (m)	Radius (m)	Entry (m)	Exit (m)
1	2350	1.57	(37.129, 30.942)	14.626	(23.8708, 24.7672)	(43.0697, 17.5769)

### Slices of Slip Surface: 2350

	Slip Surface	X (m)	Y (m)	PWP (kPa)	Base Normal Stress (kPa)	Frictional Strength (kPa)	Cohesive Strength (kPa)
1	2350	24.19863	24.143575	-68.792103	23.340913	14.585021	0
2	2350	24.643245	23.328535	-60.796427	30.449494	11.871762	12
3	2350	24.797325	23.078535	-58.343759	36.404258	22.747905	0
4	2350	25.177325	22.532965	-52.990758	42.285639	16.486482	12
5	2350	25.895	21.595215	-43.790193	56.411319	21.993854	12
6	2350	26.38	21.025265	-38.197455	65.265158	25.445822	12
7	2350	26.74	20.653585	-34.550984	50.315724	19.617281	12
8	2350	27.38	20.052	-28.64749	60.108053	23.43515	12
9	2350	28.005	19.515215	-23.378545	69.144694	26.95839	12
10	2350	28.38	19.22305	-20.511627	73.131322	28.512711	12
11	2350	28.895	18.8629	-16.976165	75.33786	29.373004	12
12	2350	29.645	18.383785	-12.27369	78.4412	30.582946	12
13	2350	30.395	17.96569	-8.1684687	81.256275	31.680498	12
14	2350	31.145	17.602845	-4.605632	83.749049	32.65239	12
15	2350	31.913695	17.28427	-1.4767854	85.856912	33.474211	12
16	2350	32.663695	17.019645	1.1229278	87.317304	33.605783	12
17	2350	33.395	16.806295	3.2196807	87.867014	33.002616	12
18	2350	34.135	16.63086	4.9445748	87.401933	32.148781	12
19	2350	34.745	16.514005	6.0942829	86.115699	31.199046	12
20	2350	35.281	16.43644	6.8581221	88.039014	31.651107	12
21	2350	35.863	16.37406	7.4733646	93.078558	33.37607	12
22	2350	36.445	16.33513	7.858562	97.314218	34.877303	12
23	2350	37.027	16.31946	8.0157824	100.56798	36.084592	12
24	2350	37.609	16.32697	7.945551	102.66123	36.9281	12
25	2350	37.945	16.339035	7.8292421	98.820427	35.475981	12
26	2350	38.215	16.3583	7.6419666	95.484693	34.248448	12
27	2350	38.67	16.399415	7.241436	91.585346	32.884317	12
28	2350	39.15	16.458655	6.6634657	85.537586	30.751734	12
29	2350	39.65	16.537275	5.8952279	83.123029	30.109861	12
30	2350	39.948305	16.59051	5.3750559	57.676071	20.391314	12
31	2350	40.448305	16.7053	4.2523259	53.854529	30.994897	0
32	2350	41.4	16.96335	1.7272923	25.105559	14.608362	0
33	2350	41.93411	17.127965	0.11613822	11.657574	7.2118892	0
34	2350	42.379955	17.298275	-1.5514382	7.2784653	4.5480899	0
35	2350	42.855845	17.48402	-3.3701967	6.188196	2.4126768	12
36	2350	42.99485	17.544085	-3.9583802	4.6687285	1.8202612	12



# Piena

Report generated using GeoStudio 2007, version 7.17. Copyright © 1991-2010 GEO-SLOPE International Ltd.

## File Information

Created By: Claudio Gravina  
Revision Number: 48  
Last Edited By: Claudio Gravina  
Date: 02/12/2019  
Time: 17:19:20  
File Name: OS101.gsz  
Directory: W:\public\CMC-BLG-Dissesto idrologico Bolognetta\Calcoli\OS101\Stabilità\  
Last Solved Date: 02/12/2019  
Last Solved Time: 17:19:40

## Project Settings

Length(L) Units: meters  
Time(t) Units: Seconds  
Force(F) Units: kN  
Pressure(p) Units: kPa  
Strength Units: kPa  
Unit Weight of Water: 9.807 kN/m<sup>3</sup>  
View: 2D

## Analysis Settings

### Piena

Kind: **SLOPE/W**  
Method: **Morgenstern-Price**  
Settings  
Apply Phreatic Correction: **No**  
Side Function  
Interslice force function option: **Half-Sine**  
PWP Conditions Source: **Piezometric Line with Ru**  
Slip Surface  
Direction of movement: **Left to Right**  
Use Passive Mode: **No**  
Slip Surface Option: **Entry and Exit**  
Critical slip surfaces saved: **1**  
Optimize Critical Slip Surface Location: **No**  
Tension Crack  
Tension Crack Option: **(none)**  
FOS Distribution  
FOS Calculation Option: **Constant**  
Advanced  
Number of Slices: **30**  
Optimization Tolerance: **0.01**  
Minimum Slip Surface Depth: **2 m**  
Optimization Maximum Iterations: **2000**  
Optimization Convergence Tolerance: **1e-007**  
Starting Optimization Points: **8**  
Ending Optimization Points: **16**  
Complete Passes per Insertion: **1**  
Driving Side Maximum Convex Angle: **5 °**  
Resisting Side Maximum Convex Angle: **1 °**

## Materials

### Rilevato

Model: **Mohr-Coulomb**  
Unit Weight: **20 kN/m<sup>3</sup>**  
Cohesion: **0 kPa**  
Phi: **32 °**  
Phi-B: **0 °**  
Pore Water Pressure  
Piezometric Line: **1**  
Include in PWP: **No**

### Gabbioni

Model: **Mohr-Coulomb**  
Unit Weight: **16 kN/m<sup>3</sup>**  
Cohesion: **40 kPa**  
Phi: **38.7 °**  
Phi-B: **0 °**  
Pore Water Pressure  
Piezometric Line: **1**  
Include in PWP: **No**

### Bonifica

Model: **Mohr-Coulomb**  
Unit Weight: **20 kN/m<sup>3</sup>**  
Cohesion: **0 kPa**  
Phi: **32 °**  
Phi-B: **0 °**  
Pore Water Pressure  
Piezometric Line: **1**  
Include in PWP: **No**

### LSA

Model: **Mohr-Coulomb**  
Unit Weight: **20 kN/m<sup>3</sup>**  
Cohesion: **12 kPa**  
Phi: **21.3 °**  
Phi-B: **0 °**  
Pore Water Pressure  
Piezometric Line: **1**  
Include in PWP: **No**

**AG**

Model: Mohr-Coulomb  
 Unit Weight: 20.5 kN/m<sup>3</sup>  
 Cohesion: 16 kPa  
 Phi: 21.3 °  
 Phi-B: 0 °  
 Pore Water Pressure  
 Piezometric Line: 1  
 Include in PWP: No

**Slip Surface Entry and Exit**

Left Projection: Range  
 Left-Zone Left Coordinate: (15.669387, 24.286378) m  
 Left-Zone Right Coordinate: (27.972354, 24.910706) m  
 Left-Zone Increment: 15  
 Right Projection: Range  
 Right-Zone Left Coordinate: (42.011938, 17.562195) m  
 Right-Zone Right Coordinate: (49.063512, 17.450768) m  
 Right-Zone Increment: 20  
 Radius Increments: 10

**Slip Surface Limits**

Left Coordinate: (8.9904018, 23.689691) m  
 Right Coordinate: (49.065565, 17.450724) m

**Piezometric Lines**

**Piezometric Line 1**

**Coordinates**

X (m)	Y (m)
0	19.009774
31.52	19.02
37.9	19.348423
75	19.36

**Surcharge Loads**

**Surcharge Load 1**

Surcharge (Unit Weight): 30 kN/m<sup>3</sup>  
 Direction: Vertical

**Coordinates**

X (m)	Y (m)
12.99	25.13
26.49	25.92

**Regions**

	Material	Points	Area (m <sup>2</sup> )
Region 1	AG	1,2,62,63	424.5
Region 2	LSA	2,3,4,5,6,64,65,66,67,68,69,70,71,72,73,74,75,76,77,78,79,80,81,82,83,84,85,86,87,88,89,90,91,92,93,94,95,96,97,98,27,99,35,39,40,41,42,45,46,47,48,51,61,59,60,62	1004.7173
Region 3	Gabbioni	46,45,44,49,48,47	2
Region 4	Gabbioni	49,50,52,51,48	2
Region 5	Gabbioni	52,53,55,54,61,51	1
Region 6	Gabbioni	55,56,57,100,58,54	1
Region 7	Rilevato	59,61,54,58,100	1.2698722
Region 8	Gabbioni	40,39,38,43,42,41	2
Region 9	Gabbioni	39,35,36,37,38	2
Region 10	Gabbioni	35,99,33,31,34,36	1
Region 11	Gabbioni	31,33,32,28,29,30	1
Region 12	Rilevato	27,99,33,32,28	0.6557
Region 13	Gabbioni	42,43,44,45	2.53
Region 14	Rilevato	97,23,26,98	0.4896
Region 15	Bonifica	96,95,25,24,23,97	3.7
Region 16	Gabbioni	25,20,19,22,26,23,24	2
Region 17	Gabbioni	21,16,17,18,19,20	2
Region 18	Gabbioni	15,13,12,14,17,16	2
Region 19	Rilevato	6,7,8,9,10,11,12,13,15,16,21,20,25,95,94,93,92,91,90,89,88,87,86,85,84,83,82,81,80,79,78,77,76,75,74,73,72,71,70,69,68,67,66,65,64	58.97045

**Points**

	X (m)	Y (m)
Point 1	0	0

Point 2	0	5.66
Point 3	0	20
Point 4	6.53	22.97
Point 5	8.33	23.54
Point 6	10.58	24.05
Point 7	12.49	24.1
Point 8	26.99	24.95
Point 9	28.24	24.9
Point 10	34.99	20.4
Point 11	37.99	20.4
Point 12	38.44	20.1
Point 13	37.9	20.1
Point 14	39.9	20.1
Point 15	37.9	19.1
Point 16	38.9	19.1
Point 17	39.9	19.1
Point 18	40.9	19.1
Point 19	40.9	18.1
Point 20	39.9	18.1
Point 21	38.9	18.1
Point 22	41.9	18.1
Point 23	41.9	17.1
Point 24	40.9	17.1
Point 25	39.9	17.1
Point 26	41.9	17.56
Point 27	49.1	17.45
Point 28	50.26	18.21
Point 29	50.26	18.83
Point 30	51.26	18.83
Point 31	51.26	17.83
Point 32	50.26	17.83
Point 33	50.76	17.83
Point 34	51.76	17.83
Point 35	50.76	16.83
Point 36	51.76	16.83
Point 37	52.76	16.83
Point 38	52.76	15.83
Point 39	50.76	15.83
Point 40	50.76	14.83
Point 41	52.76	14.83
Point 42	52.76	15.2
Point 43	52.76	15.43
Point 44	63.76	15.43
Point 45	63.76	15.2
Point 46	63.76	14.83
Point 47	65.76	14.83
Point 48	65.76	15.83
Point 49	63.76	15.83
Point 50	63.76	16.83
Point 51	65.76	16.83
Point 52	64.76	16.83
Point 53	64.76	17.83
Point 54	65.76	17.83
Point 55	65.26	17.83
Point 56	65.26	18.83
Point 57	66.26	18.83
Point 58	66.26	17.83
Point 59	67.92	17.16
Point 60	75	17.16
Point 61	65.76	17.16
Point 62	75	5.66
Point 63	75	0
Point 64	11.16	23.67
Point 65	12.49	23.72
Point 66	12.49	23.35
Point 67	24.01	24.02
Point 68	24.01	23.52
Point 69	24.76	23.52
Point 70	24.76	23.02
Point 71	25.52	23.02
Point 72	25.52	22.52
Point 73	26.27	22.52
Point 74	26.27	22.02
Point 75	27.02	22.02
Point 76	27.02	21.52
Point 77	27.77	21.52
Point 78	27.77	21.02
Point 79	28.52	21.02
Point 80	28.52	20.52
Point 81	29.27	20.52
Point 82	29.27	20.02
Point 83	30.02	20.02
Point 84	30.02	19.52
Point 85	30.77	19.52
Point 86	30.77	19.02
Point 87	31.52	19.02
Point 88	31.52	18.52
Point 89	32.27	18.52
Point 90	32.27	18.02
Point 91	33.02	18.02
Point 92	33.02	17.52
Point 93	33.77	17.52

Point 94	33.77	17.1
Point 95	34.5	17.1
Point 96	34.5	16.6
Point 97	41.9	16.6
Point 98	42.92	17.58
Point 99	50.76	17.42
Point 100	66.26	18.286352

**Critical Slip Surfaces**

	Slip Surface	FOS	Center (m)	Radius (m)	Entry (m)	Exit (m)
1	2350	1.44	(37.129, 30.942)	14.626	(23.8708, 24.7672)	(43.0697, 17.5769)

**Slices of Slip Surface: 2350**

	Slip Surface	X (m)	Y (m)	PWP (kPa)	Base Normal Stress (kPa)	Frictional Strength (kPa)	Cohesive Strength (kPa)
1	2350	24.19863	24.143575	-50.270115	22.64114	14.147754	0
2	2350	24.643245	23.328535	-42.275233	29.43949	11.477978	12
3	2350	24.797325	23.078535	-39.82328	35.763237	22.347351	0
4	2350	25.177325	22.532965	-34.472162	41.62654	16.22951	12
5	2350	25.895	21.595215	-25.272953	56.311544	21.954954	12
6	2350	26.38	21.025265	-19.681876	65.557965	25.559983	12
7	2350	26.74	20.653585	-16.036352	50.829394	19.817553	12
8	2350	27.38	20.052	-10.133748	60.962959	23.768465	12
9	2350	28.005	19.515215	-4.8677452	70.306887	27.41151	12
10	2350	28.38	19.22305	-2.0013096	74.444904	29.024855	12
11	2350	28.58914	19.0688	-0.48791327	75.476351	29.426999	12
12	2350	28.96414	18.81317	2.0202883	77.2803	29.342652	12
13	2350	29.645	18.383785	6.2333987	80.287522	28.872496	12
14	2350	30.395	17.96569	10.336092	83.03383	28.343664	12
15	2350	31.145	17.602845	13.896335	85.174814	27.790318	12
16	2350	31.895	17.290825	17.146771	86.676288	27.108426	12
17	2350	32.645	17.0262	20.121107	87.435127	26.244639	12
18	2350	33.395	16.806295	22.656105	87.304963	25.205536	12
19	2350	34.135	16.63086	24.750361	86.129487	23.930721	12
20	2350	34.745	16.514005	26.203785	84.27938	22.642728	12
21	2350	35.281	16.43644	27.235115	85.755075	22.815979	12
22	2350	35.863	16.37406	28.141303	90.358574	24.2575	12
23	2350	36.445	16.33513	28.817187	94.233404	25.504717	12
24	2350	37.027	16.31946	29.263886	97.227852	26.498043	12
25	2350	37.609	16.32697	29.484128	99.19059	27.177414	12
26	2350	37.945	16.339035	29.512891	95.359155	25.672385	12
27	2350	38.215	16.3583	29.325526	92.089643	24.470706	12
28	2350	38.67	16.399415	28.92294	88.366402	23.176037	12
29	2350	39.15	16.458655	28.343499	82.605978	21.156056	12
30	2350	39.65	16.537275	27.575025	80.719547	20.720183	12
31	2350	39.948305	16.59051	27.05302	58.322028	12.191277	12
32	2350	40.448305	16.7053	25.929	54.815062	18.050015	0
33	2350	41.4	16.96335	23.401315	37.849133	9.0279989	0
34	2350	42.345845	17.28641	20.236091	25.266827	3.1435531	0
35	2350	42.855845	17.48402	18.299247	24.066482	2.248551	12
36	2350	42.99485	17.544085	17.710975	22.480491	1.8595567	12

# Sisma

Report generated using GeoStudio 2007, version 7.17. Copyright © 1991-2010 GEO-SLOPE International Ltd.

## File Information

Created By: Claudio Gravina  
Revision Number: 48  
Last Edited By: Claudio Gravina  
Date: 02/12/2019  
Time: 17:19:20  
File Name: OS101.gsz  
Directory: W:\public\CMC-BLG-Dissesto idrologico Bolognetta\Calcol\OS101\Stabilità\  
Last Solved Date: 02/12/2019  
Last Solved Time: 17:19:46

## Project Settings

Length(L) Units: meters  
Time(t) Units: Seconds  
Force(F) Units: kN  
Pressure(p) Units: kPa  
Strength Units: kPa  
Unit Weight of Water: 9.807 kN/m<sup>3</sup>  
View: 2D

## Analysis Settings

### Sisma

Kind: SLOPE/W  
Method: Morgenstern-Price  
Settings  
Apply Phreatic Correction: No  
Side Function  
Interslice force function option: Half-Sine  
PWP Conditions Source: Piezometric Line with Ru  
Slip Surface  
Direction of movement: Left to Right  
Use Passive Mode: No  
Slip Surface Option: Entry and Exit  
Critical slip surfaces saved: 1  
Optimize Critical Slip Surface Location: No  
Tension Crack  
Tension Crack Option: (none)  
FOS Distribution  
FOS Calculation Option: Constant  
Advanced  
Number of Slices: 30  
Optimization Tolerance: 0.01  
Minimum Slip Surface Depth: 2 m  
Optimization Maximum Iterations: 2000  
Optimization Convergence Tolerance: 1e-007  
Starting Optimization Points: 8  
Ending Optimization Points: 16  
Complete Passes per Insertion: 1  
Driving Side Maximum Convex Angle: 5 °  
Resisting Side Maximum Convex Angle: 1 °

## Materials

### Rilevato\_sisma

Model: Mohr-Coulomb  
Unit Weight: 20 kN/m<sup>3</sup>  
Cohesion: 0 kPa  
Phi: 38 °  
Phi-B: 0 °  
Pore Water Pressure  
Piezometric Line: 1  
Include in PWP: No

### Gabbioni\_sisma

Model: Mohr-Coulomb  
Unit Weight: 16 kN/m<sup>3</sup>  
Cohesion: 50 kPa  
Phi: 45 °  
Phi-B: 0 °  
Pore Water Pressure  
Piezometric Line: 1  
Include in PWP: No

### Bonifica\_sisma

Model: Mohr-Coulomb  
Unit Weight: 20 kN/m<sup>3</sup>  
Cohesion: 0 kPa  
Phi: 38 °  
Phi-B: 0 °  
Pore Water Pressure  
Piezometric Line: 1  
Include in PWP: No

### AG\_sisma

Model: Mohr-Coulomb  
Unit Weight: 20.5 kN/m<sup>3</sup>  
Cohesion: 20 kPa  
Phi: 26 °  
Phi-B: 0 °  
Pore Water Pressure  
Piezometric Line: 1  
Include in PWP: No

### LSA\_sisma

Model: Mohr-Coulomb

Unit Weight: 20 kN/m<sup>3</sup>  
 Cohesion: 15 kPa  
 Phi: 26 °  
 Phi-B: 0 °  
 Pore Water Pressure  
 Piezometric Line: 1  
 Include in PWP: No

## Slip Surface Entry and Exit

Left Projection: Range  
 Left-Zone Left Coordinate: (13.330734, 24.149284) m  
 Left-Zone Right Coordinate: (27.718439, 24.920862) m  
 Left-Zone Increment: 15  
 Right Projection: Range  
 Right-Zone Left Coordinate: (41.956695, 17.561112) m  
 Right-Zone Right Coordinate: (49.000996, 17.452083) m  
 Right-Zone Increment: 20  
 Radius Increments: 10

## Slip Surface Limits

Left Coordinate: (0, 20) m  
 Right Coordinate: (49.253203, 17.550374) m

## Piezometric Lines

### Piezometric Line 1

#### Coordinates

X (m)	Y (m)
0	17.114198
75	17.16

## Surcharge Loads

### Surcharge Load 1

Surcharge (Unit Weight): 20 kN/m<sup>3</sup>  
 Direction: Vertical

#### Coordinates

X (m)	Y (m)
12.99	25.13
26.49	25.92

## Seismic Loads

Horz Seismic Load: 0.091  
 Vert Seismic Load: -0.045  
 Ignore seismic load in strength: No

## Regions

	Material	Points	Area (m <sup>2</sup> )
Region 1	AG_sisma	1,2,62,63	424.5
Region 2	LSA_sisma	2,3,4,5,6,64,65,66,67,68,69,70,71,72,73,74,75,76,77,78,79,80,81,82,83,84,85,86,87,88,89,90,91,92,93,94,95,96,97,98,27,99,35,39,40,41,42,45,46,47,48,51,61,59,60,62	1004.7173
Region 3	Gabbioni_sisma	46,45,44,49,48,47	2
Region 4	Gabbioni_sisma	49,50,52,51,48	2
Region 5	Gabbioni_sisma	52,53,55,54,61,51	1
Region 6	Gabbioni_sisma	55,56,57,100,58,54	1
Region 7	Rilevato_sisma	59,61,54,58,100	1.2698722
Region 8	Gabbioni_sisma	40,39,38,43,42,41	2
Region 9	Gabbioni_sisma	39,35,36,37,38	2
Region 10	Gabbioni_sisma	35,99,33,31,34,36	1
Region 11	Gabbioni_sisma	31,33,32,28,29,30	1
Region 12	Rilevato_sisma	27,99,33,32,28	0.6557
Region 13	Gabbioni_sisma	42,43,44,45	2.53
Region 14	Rilevato_sisma	97,23,26,98	0.4896
Region 15	Bonifica_sisma	96,95,25,24,23,97	3.7
Region 16	Gabbioni_sisma	25,20,19,22,26,23,24	2
Region 17	Gabbioni_sisma	21,16,17,18,19,20	2
Region 18	Gabbioni_sisma	15,13,12,14,17,16	2
Region 19	Rilevato_sisma	6,7,8,9,10,11,12,13,15,16,21,20,25,95,94,93,92,91,90,89,88,87,86,85,84,83,82,81,80,79,78,77,76,75,74,73,72,71,70,69,68,67,66,65,64	58.97045

## Points

	X (m)	Y (m)
Point 1	0	0
Point 2	0	5.66

Point 3	0	20
Point 4	6.53	22.97
Point 5	8.33	23.54
Point 6	10.58	24.05
Point 7	12.49	24.1
Point 8	26.99	24.95
Point 9	28.24	24.9
Point 10	34.99	20.4
Point 11	37.99	20.4
Point 12	38.44	20.1
Point 13	37.9	20.1
Point 14	39.9	20.1
Point 15	37.9	19.1
Point 16	38.9	19.1
Point 17	39.9	19.1
Point 18	40.9	19.1
Point 19	40.9	18.1
Point 20	39.9	18.1
Point 21	38.9	18.1
Point 22	41.9	18.1
Point 23	41.9	17.1
Point 24	40.9	17.1
Point 25	39.9	17.1
Point 26	41.9	17.56
Point 27	49.1	17.45
Point 28	50.26	18.21
Point 29	50.26	18.83
Point 30	51.26	18.83
Point 31	51.26	17.83
Point 32	50.26	17.83
Point 33	50.76	17.83
Point 34	51.76	17.83
Point 35	50.76	16.83
Point 36	51.76	16.83
Point 37	52.76	16.83
Point 38	52.76	15.83
Point 39	50.76	15.83
Point 40	50.76	14.83
Point 41	52.76	14.83
Point 42	52.76	15.2
Point 43	52.76	15.43
Point 44	63.76	15.43
Point 45	63.76	15.2
Point 46	63.76	14.83
Point 47	65.76	14.83
Point 48	65.76	15.83
Point 49	63.76	15.83
Point 50	63.76	16.83
Point 51	65.76	16.83
Point 52	64.76	16.83
Point 53	64.76	17.83
Point 54	65.76	17.83
Point 55	65.26	17.83
Point 56	65.26	18.83
Point 57	66.26	18.83
Point 58	66.26	17.83
Point 59	67.92	17.16
Point 60	75	17.16
Point 61	65.76	17.16
Point 62	75	5.66
Point 63	75	0
Point 64	11.16	23.67
Point 65	12.49	23.72
Point 66	12.49	23.35
Point 67	24.01	24.02
Point 68	24.01	23.52
Point 69	24.76	23.52
Point 70	24.76	23.02
Point 71	25.52	23.02
Point 72	25.52	22.52
Point 73	26.27	22.52
Point 74	26.27	22.02
Point 75	27.02	22.02
Point 76	27.02	21.52
Point 77	27.77	21.52
Point 78	27.77	21.02
Point 79	28.52	21.02
Point 80	28.52	20.52
Point 81	29.27	20.52
Point 82	29.27	20.02
Point 83	30.02	20.02
Point 84	30.02	19.52
Point 85	30.77	19.52
Point 86	30.77	19.02
Point 87	31.52	19.02
Point 88	31.52	18.52
Point 89	32.27	18.52
Point 90	32.27	18.02
Point 91	33.02	18.02
Point 92	33.02	17.52
Point 93	33.77	17.52
Point 94	33.77	17.1
Point 95	34.5	17.1
Point 96	34.5	16.6
Point 97	41.9	16.6

Point 98	42.92	17.58
Point 99	50.76	17.42
Point 100	66.26	18.286352

### Critical Slip Surfaces

	Slip Surface	FOS	Center (m)	Radius (m)	Entry (m)	Exit (m)
1	2592	1.68	(37.261, 31.018)	14.768	(23.8812, 24.7678)	(43.3656, 17.5706)

### Slices of Slip Surface: 2592

	Slip Surface	X (m)	Y (m)	PWP (kPa)	Base Normal Stress (kPa)	Frictional Strength (kPa)	Cohesive Strength (kPa)
1	2592	24.20982	24.14388	-68.794992	16.355279	12.778145	0
2	2592	24.649205	23.33805	-60.888795	20.532072	10.01416	15
3	2592	24.803315	23.08805	-58.437232	27.897766	21.796123	0
4	2592	25.183315	22.54033	-53.063248	31.570559	15.397991	15
5	2592	25.895	21.60771	-43.912978	44.48352	21.696062	15
6	2592	26.38	21.034865	-38.291465	52.555888	25.63322	15
7	2592	26.74	20.661	-34.622728	44.530971	21.719206	15
8	2592	27.38	20.055495	-28.681023	53.236733	25.96529	15
9	2592	28.005	19.51486	-23.375911	61.25112	29.874167	15
10	2592	28.38	19.220365	-20.485208	64.778282	31.594479	15
11	2592	28.895	18.85698	-16.918846	66.738376	32.550481	15
12	2592	29.645	18.37312	-12.168458	69.591155	33.941874	15
13	2592	30.395	17.95021	-8.0167057	72.335661	35.280459	15
14	2592	31.145	17.582455	-4.4056322	74.969165	36.564905	15
15	2592	31.874495	17.27281	-1.3645535	77.368911	37.735339	15
16	2592	32.249495	17.12648	0.072672865	78.565507	38.283513	15
17	2592	32.645	16.995625	1.3582865	79.483504	38.104215	15
18	2592	33.395	16.77041	3.571498	80.908487	37.71977	15
19	2592	34.135	16.58956	5.3495574	81.527265	37.154351	15
20	2592	34.745	16.4681	6.5444792	81.303249	36.462288	15
21	2592	35.35375	16.37833	7.4283368	84.690236	37.683146	15
22	2592	36.08125	16.30176	8.1836261	91.656283	40.712335	15
23	2592	36.80875	16.261435	8.5834551	97.451082	43.343638	15
24	2592	37.53625	16.257055	8.6308064	101.64424	45.365681	15
25	2592	37.945	16.265915	8.5463834	98.952691	44.094102	15
26	2592	38.215	16.28256	8.3846815	96.196535	42.828702	15
27	2592	38.67	16.319165	8.0284349	93.108205	41.496177	15
28	2592	39.15	16.37345	7.499094	87.84449	39.187068	15
29	2592	39.65	16.44667	6.7838545	85.962639	38.618074	15
30	2592	40.1787	16.543825	5.8342253	59.958474	26.39816	15
31	2592	40.6787	16.652645	4.7701903	56.377574	40.320107	0
32	2592	41.15	16.77354	3.5873275	31.66719	21.938393	0
33	2592	41.65	16.91961	2.1578681	27.135669	19.514797	0
34	2592	42.105335	17.068735	0.69803311	14.279027	10.610635	0
35	2592	42.43463	17.186405	-0.45394324	11.19709	8.7481256	0
36	2592	42.739295	17.304955	-1.6147496	11.906729	5.8072997	15
37	2592	43.14279	17.473885	-3.2690025	7.3083202	3.564506	15



# Svaso

Report generated using GeoStudio 2007, version 7.17. Copyright © 1991-2010 GEO-SLOPE International Ltd.

## File Information

Created By: Claudio Gravina  
Revision Number: 48  
Last Edited By: Claudio Gravina  
Date: 02/12/2019  
Time: 17:19:20  
File Name: OS101.gsz  
Directory: W:\public\CMC-BLG-Dissesto idrologico Bolognetta\Calcoli\OS101\Stabilità\  
Last Solved Date: 02/12/2019  
Last Solved Time: 17:19:54

## Project Settings

Length(L) Units: meters  
Time(t) Units: Seconds  
Force(F) Units: kN  
Pressure(p) Units: kPa  
Strength Units: kPa  
Unit Weight of Water: 9.807 kN/m<sup>3</sup>  
View: 2D

## Analysis Settings

### Svaso

Kind: [SLOPE/W](#)  
Method: [Morgenstern-Price](#)  
Settings  
Apply Phreatic Correction: No  
Side Function  
Interslice force function option: [Half-Sine](#)  
PWP Conditions Source: [Piezometric Line with Ru](#)  
Slip Surface  
Direction of movement: [Left to Right](#)  
Use Passive Mode: No  
Slip Surface Option: [Entry and Exit](#)  
Critical slip surfaces saved: 1  
Optimize Critical Slip Surface Location: No  
Tension Crack  
Tension Crack Option: [\(none\)](#)  
FOS Distribution  
FOS Calculation Option: [Constant](#)  
Advanced  
Number of Slices: 30  
Optimization Tolerance: 0.01  
Minimum Slip Surface Depth: 2 m  
Optimization Maximum Iterations: 2000  
Optimization Convergence Tolerance: 1e-007  
Starting Optimization Points: 8  
Ending Optimization Points: 16  
Complete Passes per Insertion: 1  
Driving Side Maximum Convex Angle: 5 °  
Resisting Side Maximum Convex Angle: 1 °

## Materials

### Rilevato

Model: [Mohr-Coulomb](#)  
Unit Weight: 20 kN/m<sup>3</sup>  
Cohesion: 0 kPa  
Phi: 32 °  
Phi-B: 0 °  
Pore Water Pressure  
Piezometric Line: 1  
Include in PWP: No

### Gabbioni

Model: [Mohr-Coulomb](#)  
Unit Weight: 16 kN/m<sup>3</sup>  
Cohesion: 40 kPa  
Phi: 38.7 °  
Phi-B: 0 °  
Pore Water Pressure  
Piezometric Line: 1  
Include in PWP: No

### Bonifica

Model: [Mohr-Coulomb](#)  
Unit Weight: 20 kN/m<sup>3</sup>  
Cohesion: 0 kPa  
Phi: 32 °  
Phi-B: 0 °  
Pore Water Pressure  
Piezometric Line: 1  
Include in PWP: No

### LSA

Model: [Mohr-Coulomb](#)  
Unit Weight: 20 kN/m<sup>3</sup>  
Cohesion: 12 kPa  
Phi: 21.3 °  
Phi-B: 0 °  
Pore Water Pressure  
Piezometric Line: 1  
Include in PWP: No

**AG**

Model: Mohr-Coulomb  
 Unit Weight: 20.5 kN/m<sup>3</sup>  
 Cohesion: 16 kPa  
 Phi: 21.3 °  
 Phi-B: 0 °  
 Pore Water Pressure  
 Piezometric Line: 1  
 Include in PWP: No

**Slip Surface Entry and Exit**

Left Projection: Range  
 Left-Zone Left Coordinate: (15.669387, 24.286378) m  
 Left-Zone Right Coordinate: (27.972354, 24.910706) m  
 Left-Zone Increment: 15  
 Right Projection: Range  
 Right-Zone Left Coordinate: (42.011938, 17.562195) m  
 Right-Zone Right Coordinate: (49.063512, 17.450768) m  
 Right-Zone Increment: 20  
 Radius Increments: 10

**Slip Surface Limits**

Left Coordinate: (8.9904018, 23.689691) m  
 Right Coordinate: (49.065565, 17.450724) m

**Piezometric Lines****Piezometric Line 1****Coordinates**

	X (m)	Y (m)
	0	18.580247
	32.27	18.52
	33.269462	18.759002
	34.469736	19.02692
	35.412809	19.144805
	36.505916	19.144805
	37.395405	18.855453
	38.091992	18.416067
	38.917181	17.708762
	39.624486	17.1
	75	17.16

**Surcharge Loads****Surcharge Load 1**

Surcharge (Unit Weight): 30 kN/m<sup>3</sup>  
 Direction: Vertical

**Coordinates**

	X (m)	Y (m)
	12.99	25.13
	26.49	25.92

**Regions**

	Material	Points	Area (m <sup>2</sup> )
Region 1	AG	1,2,62,63	424.5
Region 2	LSA	2,3,4,5,6,64,65,66,67,68,69,70,71,72,73,74,75,76,77,78,79,80,81,82,83,84,85,86,87,88,89,90,91,92,93,94,95,96,97,98,27,99,35,39,40,41,42,45,46,47,48,51,61,59,60,62	1004.7173
Region 3	Gabbioni	46,45,44,49,48,47	2
Region 4	Gabbioni	49,50,52,51,48	2
Region 5	Gabbioni	52,53,55,54,61,51	1
Region 6	Gabbioni	55,56,57,100,58,54	1
Region 7	Rilevato	59,61,54,58,100	1.2698722
Region 8	Gabbioni	40,39,38,43,42,41	2
Region 9	Gabbioni	39,35,36,37,38	2
Region 10	Gabbioni	35,99,33,31,34,36	1
Region 11	Gabbioni	31,33,32,28,29,30	1
Region 12	Rilevato	27,99,33,32,28	0.6557
Region 13	Gabbioni	42,43,44,45	2.53
Region 14	Rilevato	97,23,26,98	0.4896
Region 15	Bonifica	96,95,25,24,23,97	3.7
Region 16	Gabbioni	25,20,19,22,26,23,24	2
Region 17	Gabbioni	21,16,17,18,19,20	2
Region 18	Gabbioni	15,13,12,14,17,16	2

Region 19	Rilevato	6,7,8,9,10,11,12,13,15,16,21,20,25,95,94,93,92,91,90,89,88,87,86,85,84,83,82,81,80,79,78,77,76,75,74,73,72,71,70,69,68,67,66,65,64	58.97045
--------------	----------	--	----------

## Points

	X (m)	Y (m)
Point 1	0	0
Point 2	0	5.66
Point 3	0	20
Point 4	6.53	22.97
Point 5	8.33	23.54
Point 6	10.58	24.05
Point 7	12.49	24.1
Point 8	26.99	24.95
Point 9	28.24	24.9
Point 10	34.99	20.4
Point 11	37.99	20.4
Point 12	38.44	20.1
Point 13	37.9	20.1
Point 14	39.9	20.1
Point 15	37.9	19.1
Point 16	38.9	19.1
Point 17	39.9	19.1
Point 18	40.9	19.1
Point 19	40.9	18.1
Point 20	39.9	18.1
Point 21	38.9	18.1
Point 22	41.9	18.1
Point 23	41.9	17.1
Point 24	40.9	17.1
Point 25	39.9	17.1
Point 26	41.9	17.56
Point 27	49.1	17.45
Point 28	50.26	18.21
Point 29	50.26	18.83
Point 30	51.26	18.83
Point 31	51.26	17.83
Point 32	50.26	17.83
Point 33	50.76	17.83
Point 34	51.76	17.83
Point 35	50.76	16.83
Point 36	51.76	16.83
Point 37	52.76	16.83
Point 38	52.76	15.83
Point 39	50.76	15.83
Point 40	50.76	14.83
Point 41	52.76	14.83
Point 42	52.76	15.2
Point 43	52.76	15.43
Point 44	63.76	15.43
Point 45	63.76	15.2
Point 46	63.76	14.83
Point 47	65.76	14.83
Point 48	65.76	15.83
Point 49	63.76	15.83
Point 50	63.76	16.83
Point 51	65.76	16.83
Point 52	64.76	16.83
Point 53	64.76	17.83
Point 54	65.76	17.83
Point 55	65.26	17.83
Point 56	65.26	18.83
Point 57	66.26	18.83
Point 58	66.26	17.83
Point 59	67.92	17.16
Point 60	75	17.16
Point 61	65.76	17.16
Point 62	75	5.66
Point 63	75	0
Point 64	11.16	23.67
Point 65	12.49	23.72
Point 66	12.49	23.35
Point 67	24.01	24.02
Point 68	24.01	23.52
Point 69	24.76	23.52
Point 70	24.76	23.02
Point 71	25.52	23.02
Point 72	25.52	22.52
Point 73	26.27	22.52
Point 74	26.27	22.02
Point 75	27.02	22.02
Point 76	27.02	21.52
Point 77	27.77	21.52
Point 78	27.77	21.02
Point 79	28.52	21.02
Point 80	28.52	20.52
Point 81	29.27	20.52
Point 82	29.27	20.02
Point 83	30.02	20.02
Point 84	30.02	19.52
Point 85	30.77	19.52
Point 86	30.77	19.02

Point 87	31.52	19.02
Point 88	31.52	18.52
Point 89	32.27	18.52
Point 90	32.27	18.02
Point 91	33.02	18.02
Point 92	33.02	17.52
Point 93	33.77	17.52
Point 94	33.77	17.1
Point 95	34.5	17.1
Point 96	34.5	16.6
Point 97	41.9	16.6
Point 98	42.92	17.58
Point 99	50.76	17.42
Point 100	66.26	18.286352

### Critical Slip Surfaces

	Slip Surface	FOS	Center (m)	Radius (m)	Entry (m)	Exit (m)
1	2350	1.47	(37.129, 30.942)	14.626	(23.8708, 24.7672)	(43.0697, 17.5769)

### Slices of Slip Surface: 2350

	Slip Surface	X (m)	Y (m)	PWP (kPa)	Base Normal Stress (kPa)	Frictional Strength (kPa)	Cohesive Strength (kPa)
1	2350	24.19863	24.143575	-55.002456	22.735531	14.206737	0
2	2350	24.643245	23.328535	-47.017568	29.493	11.49884	12
3	2350	24.797325	23.078535	-44.568999	35.702016	22.309095	0
4	2350	25.177325	22.532965	-39.225235	41.439305	16.15651	12
5	2350	25.895	21.595215	-30.041692	55.771735	21.744491	12
6	2350	26.38	21.025265	-24.461412	64.781256	25.257156	12
7	2350	26.74	20.653585	-20.822629	50.077888	19.524553	12
8	2350	27.38	20.052	-14.934597	60.017308	23.399771	12
9	2350	28.005	19.515215	-9.681953	69.202887	26.981078	12
10	2350	28.38	19.22305	-6.8234723	73.277276	28.569616	12
11	2350	28.895	18.8629	-3.3010372	75.598964	29.474804	12
12	2350	29.33503	18.566315	-0.40044529	77.638812	30.270108	12
13	2350	29.71003	18.34283	1.784432	79.201373	30.183604	12
14	2350	30.395	17.96569	5.4704195	81.838536	29.774685	12
15	2350	31.145	17.602845	9.0151607	84.245391	29.331041	12
16	2350	31.895	17.290825	12.061377	86.071239	28.855239	12
17	2350	32.645	17.0262	15.529612	87.182582	27.936326	12
18	2350	33.14473	16.87004	18.232366	87.515047	27.012189	12
19	2350	33.51973	16.770975	20.04375	87.367365	26.24838	12
20	2350	34.11987	16.63364	22.704839	86.537114	24.887164	12
21	2350	34.48487	16.55727	24.238288	85.752401	23.98335	12
22	2350	34.745	16.514005	24.981586	84.887459	23.356324	12
23	2350	35.201405	16.445405	26.213761	85.906862	23.273368	12
24	2350	35.686085	16.390185	27.013933	90.067077	24.583394	12
25	2350	36.23264	16.34629	27.444191	94.228465	26.0381	12
26	2350	36.95066	16.324065	26.244568	98.537978	28.186023	12
27	2350	37.6477	16.327575	23.229777	101.62953	30.566787	12
28	2350	37.945	16.339035	21.279058	97.909625	29.87701	12
29	2350	38.040995	16.344735	20.629079	97.302396	29.893677	12
30	2350	38.265995	16.361485	18.686555	94.123195	29.411517	12
31	2350	38.67859	16.400465	14.836169	91.451782	29.871179	12
32	2350	39.270835	16.47824	9.0826067	85.532471	29.806557	12
33	2350	39.762245	16.55581	5.339002	83.462518	30.459086	12
34	2350	39.948305	16.59051	5.0019038	58.513987	20.86349	12
35	2350	40.448305	16.7053	3.8844989	54.764395	31.793287	0
36	2350	41.382095	16.9572	1.4296658	25.833806	15.249399	0
37	2350	41.882095	17.10995	-0.060028484	38.850661	31.125248	40
38	2350	42.345845	17.28641	-1.7828629	7.7171833	4.8222314	0
39	2350	42.855845	17.48402	-3.7123439	6.512343	2.5390565	12
40	2350	42.99485	17.544085	-4.2990512	4.9770275	1.9404619	12