

DIREZIONE CENTRALE PROGRAMMAZIONE PROGETTAZIONE

PA 12/09

CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO - NORD EUROPA

ITINERARIO AGRIGENTO - CALTANISSETTA - A19

S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE"

AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001

Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19

PROGETTO ESECUTIVO

Contraente Generale:



OPERE D'ARTE MAGGIORI
GALLERIE ARTIFICIALI
GALLERIA ARTIFICIALE FAVARELLA
RELAZIONE GEOTECNICA

Codice Unico Progetto (CUP) : F91B09000070001

Codice Elaborato:

PA12_09 - E 1 0 9 GA 2 0 2 GA 0 2 A R G 0 0 3 C

Scala:

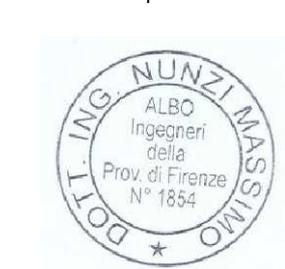
Table with 7 columns: F, E, D, C, B, A, REV. and 7 rows of project details including dates, descriptions, and roles.

Responsabile del procedimento: Ing. MAURIZIO ARAMINI

Il Progettista:



Il Consulente Specialista:



Il Geologo:



Il Coordinatore per la sicurezza in fase di progetto:



Il Direttore dei lavori:



S.S. N°640 "DI PORTO EMPEDOCLE"
AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO
ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001
Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19

PROGETTO ESECUTIVO

OPERE D'ARTE MAGGIORI
GALLERIE ARTIFICIALI
GALLERIA ARTIFICIALE FAVARELLA
RELAZIONE GEOTECNICA

| | | |
|--|--|---------------------------|
| <i>Cod. elab.:</i> 109GA202GA02ZRG003C | <i>Titolo GA FAVRELLA</i> Relazione Geotecnica | <i>Data:</i> ottobre 2011 |
| <i>Nome file:</i> 0 favarella _relazione geotecnica.docx | | <i>Pagina</i> 1 di 17 |

Sommario

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | Generalità | 3 |
| 1.1 | Descrizione dell'opera nel progetto esecutivo | 3 |
| 2 | Normativa | 6 |
| 3 | Parametri Geotecnici | 7 |
| 4 | Categorie del Suolo e Condizioni Topografiche | 9 |
| 5 | Calcolo della Spinta delle terre..... | 10 |
| 5.1 | Calcolo della spinta del terreno..... | 10 |
| 5.2 | Spinta in presenza di sisma | 11 |
| 6 | verifiche di stabilità degli scavi | 12 |
| 6.1 | Criteri generali di verifica | 12 |
| 6.2 | Criteri generali di analisi..... | 12 |
| 6.2.1 | Fondamenti teorici del metodo di Bishop | 13 |
| 6.3 | Sezioni analizzate..... | 14 |
| 6.3.1 | Combinazioni delle azioni (A2)..... | 15 |
| 6.3.2 | Parametri geotecnici nella combinazione M2 | 16 |
| 6.3.3 | Coefficiente di sicurezza R2..... | 16 |
| 6.4 | Risultati delle verifiche | 17 |

| | | |
|---|---|--------------------|
| Cod. elab.: 109GA202GA02ZRG003C | Titolo GA FAVRELLA Relazione Geotecnica | Data: ottobre 2011 |
| Nome file: 0 favarella _relazione geotecnica.docx | | Pagina 2 di 17 |

1 GENERALITÀ

La presente relazione geotecnica è relativa al progetto esecutivo delle opere per la realizzazione della galleria artificiale Favarella da realizzarsi nell'ambito dei lavori di ammodernamento e adeguamento alla cat. B del D.M. 05.11.2001, dal km 44+000 alla svincolo con l'A19 dell'Itinerario Agrigento - Caltanissetta – A19 S.S. N°640 "di Porto Empedocle".

1.1 Descrizione dell'opera nel progetto esecutivo

La galleria artificiale Favarella è composta da due canne singole in c.a. separate che si sviluppano dalla progressiva 9+690.414 alla progressiva 10+045.473 per la canna sx (lunghezza 355 m comprensivi degli imbocchi) e dalla 9+760.00 alla 10+005.00 (245 m comprensivi degli imbocchi) per la canna dx.

La geometria della galleria risulta del tutto simile a quella prevista nel progetto definitivo, infatti la sezione trasversale di ciascuna carreggiata è del tipo policentrica, composta da un arco superiore, (volta e piedritti) di raggio $R=6.45$ m, angolo di apertura pari a circa $119,49^\circ$ e spessore pari a 110 cm.

La fondazione è costituita da un solettone a spessore costante pari a 150 cm.

L'altezza massima interna, posta in corrispondenza dell'asse della galleria, è di 9.70 m, mentre la massima larghezza interna risulta di 12.90 m.

L'imbocco presenta, in senso longitudinale, una conformazione a becco di flauto, in senso trasversale la stessa geometria della sezione corrente.

In corrispondenza dell'imbocco lato Agrigento della canna dx la paratia MP31tris si attesta nella sezione di inizio del becco di flauto, pertanto la scarpata a monte della paratia si raccorderà con la scarpata a tergo della struttura di imbocco. In corrispondenza dell'imbocco lato Caltanissetta la II muro di contenimento proseguito l'imbocco si attesta ad una quota coincidente con quella di testa del muro del becco di flauto dell'imbocco della galleria. Sul lato caltanissetta tra le due canne è previsto un muro di contenimento del rilevato della viabilità complementare (Ramo 51 e 19) che nella fase di sistemazione superficiale definitiva è prevista attraversare la galleria.

La realizzazione della galleria è prevista con scavo a cielo aperto con una berlinese di protezione sul alto sinistro della canna sinistra.

Il ricoprimento massimo della galleria è di 6.50 metri .

A protezione dell scavo sarà costruita una paratia di protezione con pali di diametro 1.2 m e 1.5 m multitirantata (fino a 5 ordini di tiranti) con una altezza complessiva fino a 19.0 m. La paratia si sviluppa dalla progressiva 9+690.414 alla progressiva 10+030.593.

Di seguito si riportano le caratteristiche degli schemi di calcolo della paratia.

Paratia tipo A: due tiranti $h = 11.0$ m + 1.50 m cordolo, Lunghezza Pali 21.50 m diametro 1.2 m, interasse 1.4 m.

Paratia tipo B: tre tiranti $h = 13.50$ m +1.50 m cordolo, Lunghezza Pali 26.50 m diametro 1.2 m interasse 1.4 m

Paratia tipo C: quattro tiranti $h = 16.00$ +1.50 m cordolo, Lunghezza Pali 31.50 m diametro 1.2 m interasse 1.4 m

Paratia tipo D: cinque tiranti $h = 17.50$ + 1.50 m cordolo, Lunghezza Pali 36.50 m diametro 1.5 m interasse 2.0 m

| | | |
|---|--|--------------------|
| Cod. elab.: 109GA202GA02ZRG003C | Titolo GA FAVRELLA Relazione Geotecnica | Data: ottobre 2011 |
| Nome file: 0 favarella _relazione geotecnica.docx | | Pagina 3 di 17 |

PROGETTO ESECUTIVO

SEZIONE TIPO CANNA SX
 SCALA 1/50

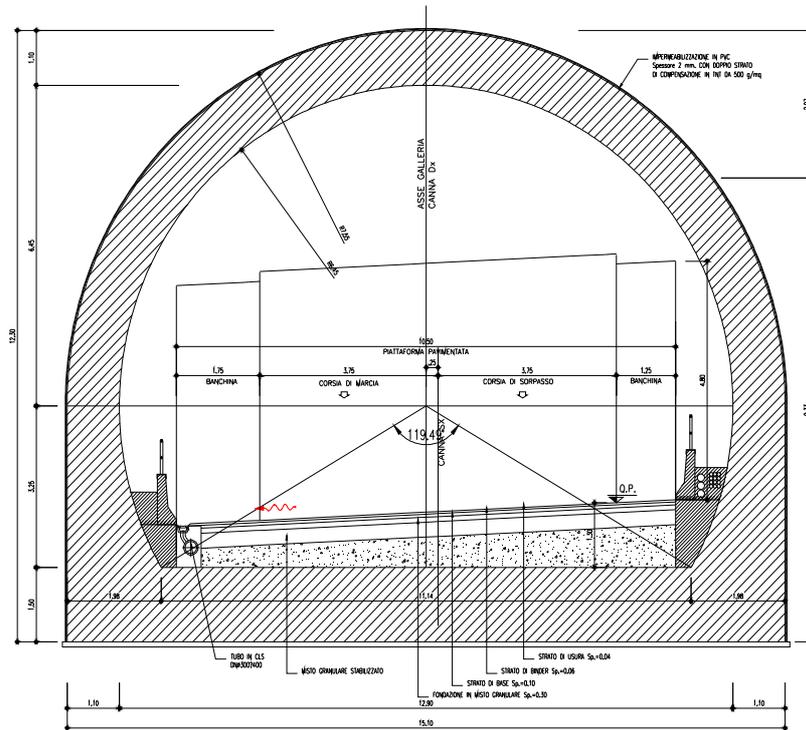


Figura 1 – sezione tipo della canna PE

PORTALE DI IMBOCCO
 VISTA LONGITUDINALE
 SCALA 1/100

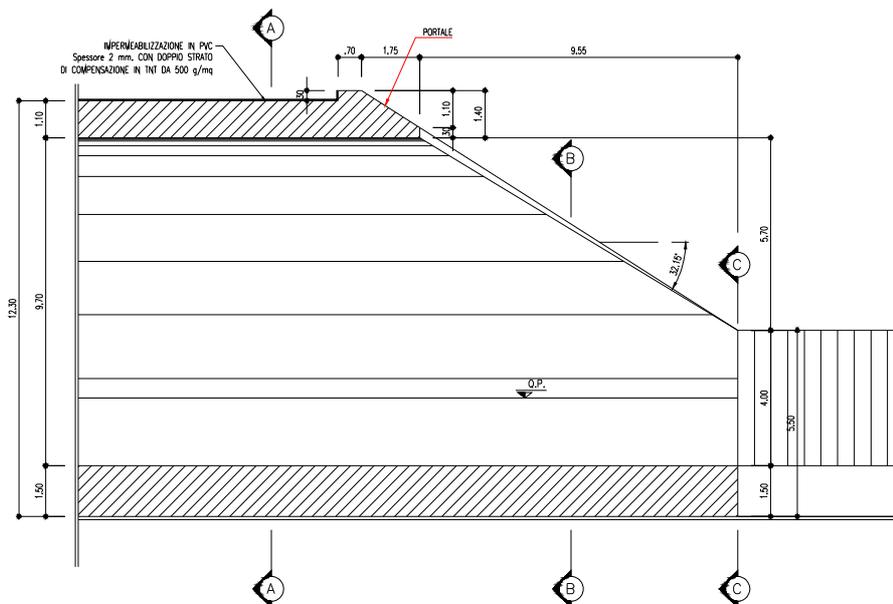


Figura 2 – sezione tipo di imbocco PE lato caltanissetta

Per quanto riguarda le fasi realizzative si riassumono di seguito:

| | | |
|---|--|--------------------|
| Cod. elab.: 109GA202GA02ZRG003C | Titolo GA FAVRELLA Relazione Geotecnica | Data: ottobre 2011 |
| Nome file: 0 favarella _relazione geotecnica.docx | | Pagina 4 di 17 |

PROGETTO ESECUTIVO

1. Esecuzione prescavo fino a quota testa palo;
2. Realizzazione pali □ 1200 - 1500;
3. Realizzazione cordolo di collegamento superiore;
4. Scavo fino a quota – 1.0 metro dalla prima fila di tiranti;
5. Realizzazione prima fila di tiranti;
6. Posizionamento travi di ripartizione e tesatura dei tiranti;
7. Scavo fino a quota n -1.0 metro dalla seconda fila di tiranti;
8. Realizzazione seconda fila di tiranti;
9. Posizionamento travi di ripartizione e tesatura dei tiranti;
10. Scavo fino a quota – 1.0 metro dalla terza fila di tiranti;
11. Realizzazione terza fila di tiranti;
12. Posizionamento travi di ripartizione e tesatura dei tiranti;
13. Scavo fino a quota – 1.0 metro dalla quarta fila di tiranti;
14. Realizzazione quarta fila di tiranti;
15. Posizionamento travi di ripartizione e tesatura tiranti;
16. Scavo fino a quota – 1.0 metro dalla quinta fila di tiranti;
17. Realizzazione quinta fila di tiranti;
18. Posizionamento travi di ripartizione e tesatura tiranti;
19. Sbancamento fino alla quota di progetto;
20. Realizzazione galleria artificiale;
21. Ritombamento con sistemazione finale del terreno.

Per ogni dettaglio riguardante gli ulteriori particolari si rimanda alle tavole di progetto allegate alla presente relazione.

| | | |
|---|--|--------------------|
| Cod. elab.: 109GA202GA02ZRG003C | Titolo GA FAVRELLA Relazione Geotecnica | Data: ottobre 2011 |
| Nome file: 0 favarella _relazione geotecnica.docx | | Pagina 5 di 17 |

2 NORMATIVA

- [1] **Legge nr. 1086 del 05/11/1971.**
Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio, normale e precompresso ed a struttura metallica.
- [2] **Legge nr. 64 del 02/02/1974.**
Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.
- [3] **D.M. LL.PP. del 11/03/1988.**
Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.
- [4] **D.M. LL.PP. del 14/02/1992.**
Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.
- [5] **D.M. 14 Gennaio 2008**
Norme Tecniche per le Costruzioni 2008
- [6] **Circolare 617 del 02/02/2009**
Istruzioni per l'applicazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008.

| | | |
|---|--|--------------------|
| Cod. elab.: 109GA202GA02ZRG003C | Titolo GA FAVRELLA Relazione Geotecnica | Data: ottobre 2011 |
| Nome file: 0 favarella _relazione geotecnica.docx | | Pagina 6 di 17 |

3 PARAMETRI GEOTECNICI

Di seguito si riportano i parametri geotecnici di calcolo estratti da "1-C - Modello Geotecnico 1 – GA Favarella: da prog. 9+500 a prog. 10+000" forniti dal geologo di riferimento.

Indagini dirette di riferimento:

| Sondaggio 2006 | Tipologia | Prof. (m) | Progr. Km | Campioni | | |
|----------------|---------------------|-----------|-----------|----------|-------|----------------|
| | | | | N° | Sigla | Profondità (m) |
| S16 | Carotaggio continuo | 25,00 | 9+875 | 1 | S16C1 | 8,00-8,50 |
| | | | | 2 | S16C2 | 16,00-16,50 |
| | | | | 3 | S16C3 | 24,00-24,50 |

| Sondaggio 2010 Fase 1 | Tipologia | Prof. (m) | Progr. Km | Campioni | | |
|-----------------------|-------------------------------|-----------|-----------|----------|-------|----------------|
| | | | | N° | Sigla | Profondità (m) |
| S03 | Carotaggio continuo Down-Hole | 30,00 | 9+820 | 1 | C1 | 6,00-6,50 |
| | | | | 2 | C2 | 12,00-12,50 |
| | | | | 3 | C3 | 18,00-18,50 |
| | | | | 4 | C4 | 24,00-24,50 |
| | | | | 5 | C5 | 29,50-30,00 |

| Penetrometriche dinamiche 2010 | Dimensione | Prog. Km |
|--------------------------------|---------------|----------|
| PD23 | Prof.= 7,60 m | 9+650 |

| ARGILLE PLIOCENICHE SOMMITALI GER1 | | | | |
|------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Campione | γ | c' | C_u | Φ |
| | KN/mc | KN/mq | KN/mq | (°) |
| S3C1 | 21,05 | 35,00 | 82,60 | 21,80 |
| S16C1 | 19,22 | 22,00 | 111,84 | 27,00 |
| Valori medi | 20,14 | 28,50 | 97,22 | 24,40 |
| Valori minimi | 19,22 | 22,00 | 82,60 | 21,80 |
| Valori massimi | 21,05 | 35,00 | 111,84 | 27,00 |

| ARGILLE PLIOCENICHE INTERMEDIE GER2 | | | | |
|-------------------------------------|--------------|--------------|---------------|--------------|
| Campione | γ | c' | C_u | Φ |
| | KN/mc | KN/mq | KN/mq | (°) |
| S3C2 | 21,05 | 10,60 | | 29,80 |
| S3C5 | 21,00 | | 338,30 | |
| S3bisC1 | 20,20 | 25,00 | 331,80 | 26,00 |
| S3bisC2 | 20,78 | | 428,20 | |
| S16C2 | 19,03 | 57,60 | 249,05 | 23,50 |
| S16C3 | 19,16 | 22,00 | | 29,10 |
| Valori medi | 20,20 | 28,80 | 336,84 | 27,10 |
| Valori minimi | 19,03 | 10,60 | 249,05 | 23,50 |
| Valori massimi | 21,05 | 57,60 | 428,20 | 29,80 |

| | | |
|---|--|--------------------|
| Cod. elab.: 109GA202GA02ZRG003C | Titolo GA FAVRELLA Relazione Geotecnica | Data: ottobre 2011 |
| Nome file: 0 favarella _relazione geotecnica.docx | | Pagina 7 di 17 |

PROGETTO ESECUTIVO

| Profondità (m) | Litotipo | Parametri Geotecnici |
|-----------------|--|------------------------------|
| 0.00 ÷ 8.00 | <u>Argille Plioceniche sommitali GER1:</u> Limo argilloso, plastico, con presenza di sostanza organica | $\gamma = 2.01 \text{ T/mc}$ |
| | | $C_u = 0.97 \text{ Kg/cm}^2$ |
| | | $c' = 0.28 \text{ Kg/cm}^2$ |
| | | $\phi' = 24.4^\circ$ |
| 8.00 ÷ in prof. | <u>Argille Plioceniche intermedie GER2:</u> argilla limosa con intercalazioni sabbiose a tratti scagliosa, consistente. | $\gamma = 2.02 \text{ T/mc}$ |
| | | $C_u = 3.36 \text{ Kg/cm}^2$ |
| | | $c' = 0.29 \text{ Kg/cm}^2$ |
| | | $\phi' = 27.1^\circ$ |

| | | |
|------------------------------|------|------|
| Numero di verticali indagate | 2 | |
| ξ_3 | 1,65 | 1,75 |
| ξ_4 | 1,55 | 1,65 |

La prima colonna dei coefficienti di correlazione si riferisce alla verifica della portata dei pali, mentre la seconda colonna si riferisce alla verifica a sfilamento dei tiranti.

Non vi è presenza di falda.

4 CATEGORIE DEL SUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE

Per il sito in questione si assume, sulla base dei dati delle indagini eseguite, che il sottosuolo sia identificato dalla categoria **C**: *“depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti”*.

Le condizioni topografiche del sito possono essere rappresentate dalla descrizione della categoria **T1**: *“Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$ ”*.

| | | |
|--|--|---------------------------|
| <i>Cod. elab.:</i> 109GA202GA02ZRG003C | <i>Titolo GA FAVRELLA</i> Relazione Geotecnica | <i>Data:</i> ottobre 2011 |
| <i>Nome file:</i> 0 favarella _relazione geotecnica.docx | | <i>Pagina</i> 9 di 17 |

5 CALCOLO DELLA SPINTA DELLE TERRE

5.1 Calcolo della spinta del terreno

I parametri che identificano il tipo di legge costitutiva possono essere distinti in due sottoclassi: parametri di spinta e parametri di deformabilità del terreno.

I parametri di spinta sono il coefficiente di spinta a riposo K_0 , il coefficiente di spinta attiva K_A e il coefficiente di spinta passiva K_P .

Il coefficiente di spinta a riposo fornisce lo stato tensionale presente in sito prima delle operazioni di scavo. Esso lega la tensione orizzontale efficace σ'_h a quella verticale σ'_v attraverso la relazione:

$$\sigma'_h = K_0 \sigma'_v$$

K_0 dipende dalla resistenza del terreno, attraverso il suo angolo di attrito efficace ϕ' e dalla sua storia geologica. Si può assumere che:

$$K_0 = K_0^{NC} (OCR)^m \text{ dove } K_0^{NC} = 1 - \sin \phi'$$

è il coefficiente di spinta a riposo per un terreno normalconsolidato ($OCR=1$). OCR è il grado di sovraconsolidazione e m è un parametro empirico, di solito compreso tra 0.4 e 0.7. Ladd et al. (1977), Jamiolkowski et al. (1979) forniscono valori di m per argille italiane.

Il coefficiente di spinta attiva e passiva sono dati secondo Rankine per una parete liscia, da:

$$K_A = \tan^2(45 - \phi'/2) \quad K_P = \tan^2(45 + \phi'/2)$$

Attraverso valori opportuni di K_A e K_P si può tener conto dell'angolo di attrito δ tra paratia e terreno e della pendenza del terreno a monte ed entro la luce di scavo; si possono usare a questo scopo i valori desunti da NAVFAC (1986) o quelle elaborate da Caquot e Kerisel (1948)

Il valore limite della tensione orizzontale sarà dato da:

$$\sigma'_h = K_A \sigma'_v - 2c' \sqrt{K_A} \quad \sigma'_h = K_P \sigma'_v + 2c' \sqrt{K_P}$$

a seconda che il collasso avvenga in spinta attiva o passiva rispettivamente. c' è la coesione drenata del terreno.

I parametri di deformabilità del terreno compaiono nella definizione della rigidezza delle molle. Per un letto di molle distribuite la rigidezza di ciascuna di esse, k , è data da:

$$k = E / L$$

ove E è un modulo di rigidezza del terreno mentre L è una grandezza geometrica caratteristica. Poiché nel programma PARATIE le molle sono posizionate a distanze finite Δ , la rigidezza di ogni molla è

$$K = E \Delta / L$$

Il valore di Δ è fornito dalla schematizzazione ad elementi finiti. Il valore di L è fissato automaticamente dal programma. Esso rappresenta una grandezza caratteristica che è diversa a valle e a monte della paratia perché diversa è la zona di terreno coinvolta dal movimento in zona attiva e passiva. Si è scelto, in zona attiva (uphill):

$$L_A = \frac{2}{3} \lambda_A \tan(45 - \phi'/2)$$

e in zona passiva (downhill):

$$L_P = \frac{2}{3} \lambda_P \tan(45 + \phi'/2)$$

$$\text{dove: } \lambda_A = \min\{l; 2H\} \quad \lambda_P = \min\{l - H; H\}$$

e dove l = altezza totale della paratia e H = altezza corrente dello scavo. La logica di questa scelta è illustrata nella pubblicazione di Becci e Nova (1987).

Si assume in ogni caso un valore di H non minore di 1/10 dell'altezza totale della parete.

Il parametro E dipende dalla storia tensionale del sito nonché dall'incremento locale dello stato tensionale come illustrato in Becci e Nova (1987).

| | | |
|---|--|--------------------|
| Cod. elab.: 109GA202GA02ZRG003C | Titolo GA FAVRELLA Relazione Geotecnica | Data: ottobre 2011 |
| Nome file: 0 favarella _relazione geotecnica.docx | | Pagina 10 di 17 |

5.2 Spinta in presenza di sisma

Per la valutazione dell'effetto che il sisma induce nella spinta trasmessa dal terreno alle paratie, il software fa ricorso ad una metodologia di analisi pseudo-statica secondo cui l'azione sismica viene definita mediante un'accelerazione equivalente costante nello spazio e nel tempo. Le componenti orizzontale e verticale a_h e a_v dell'accelerazione equivalente vengono ricavate in funzione delle proprietà del moto sismico atteso nel volume di terreno significativo per l'opera. In particolare nel caso delle paratie è possibile trascurare l'accelerazione verticale assumendo $a_v = 0$, mentre l'accelerazione orizzontale può essere valutata mediante la relazione:

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

dove:

- a_h componente orizzontale dell'accelerazione sismica
- k_h coefficiente sismico orizzontale
- g costante gravitazionale
- α coefficiente ricavabile in funzione dell'altezza complessiva della paratia e della categoria del sottosuolo tramite il diagramma riportato nella figura 7.11.2 delle NTC 2008
- β coefficiente funzione del massimo spostamento u_s che l'opera può tollerare senza riduzioni di resistenza, ricavabile dal diagramma riportato nella figura 7.11.3 delle NTC 2008. Per $u_s = 0$ si assume $\beta = 1$. Deve in ogni caso aversi $u_s \leq 0.005 \cdot H$. Inoltre se $\alpha \cdot \beta \leq 0.2$ si assume $k_h = 0.2 \cdot a_{max} / g$
- a_{max} accelerazione di picco valutata mediante analisi della risposta sismica locale mediante la relazione: $a_{max} = S_S \cdot S_T \cdot a_g$; essendo S_S ed S_T i coefficienti di amplificazione prima definiti e a_g l'accelerazione massima attesa su sito di riferimento rigido.

Di conseguenza per l'analisi strutturale della paratie sotto l'effetto del sisma si sono considerate complessivamente le seguenti azioni:

- $f_{h_{par}}$ forze sismiche orizzontali dovute alla massa delle paratie che emergono dal terreno,
- $\Delta\sigma_h$ incremento della spinta del terreno per effetto del sisma calcolato come differenza tra la spinta attiva sismica calcolata mediante il metodo di Mononobe-Okabe e la spinta statica. +

| | | |
|---|--|--------------------|
| Cod. elab.: 109GA202GA02ZRG003C | Titolo GA FAVRELLA Relazione Geotecnica | Data: ottobre 2011 |
| Nome file: 0 favarella _relazione geotecnica.docx | | Pagina 11 di 17 |

6 VERIFICHE DI STABILITÀ DEGLI SCAVI

Nel presente capitolo si riportano le verifiche di stabilità dei pendii in corrispondenza degli imbocchi della galleria. Per una descrizione più dettagliata delle caratteristiche del terreno di fondazione in corrispondenza della sezione in esame, si rimanda alla relazione geotecnica.

6.1 Criteri generali di verifica

Le verifiche di sicurezza devono essere effettuate con metodi che tengano conto della forma e posizione della superficie di scorrimento, dell'assetto strutturale, dei parametri geotecnici e del regime delle pressioni interstiziali.

Nel caso di pendii in frana le verifiche di sicurezza devono essere eseguite lungo le superfici di scorrimento che meglio approssimano quella/e riconosciuta/e con le indagini.

Negli altri casi, la verifica di sicurezza deve essere eseguita lungo superfici di scorrimento cinematicamente possibili, in numero sufficiente per ricercare la superficie critica alla quale corrisponde il grado di sicurezza più basso.

Quando sussistano condizioni tali da non consentire una agevole valutazione delle pressioni interstiziali, le verifiche di sicurezza devono essere eseguite assumendo le condizioni più sfavorevoli che ragionevolmente si possono prevedere.

Il livello di sicurezza è espresso, in generale, come rapporto tra resistenza al taglio disponibile, presa con il suo valore caratteristico, e sforzo di taglio mobilitato lungo la superficie di scorrimento effettiva o potenziale.

Il grado di sicurezza ritenuto accettabile dal progettista deve essere giustificato sulla base del livello di conoscenze raggiunto, dell'affidabilità dei dati disponibili e del modello di calcolo adottato in relazione alla complessità geologica e geotecnica, nonché sulla base delle conseguenze di un'eventuale frana.

La sicurezza strutturale è stata valutata nei confronti dei seguenti stati limite:

stati limite ultimi (SLU): capacità di evitare crolli, perdite di equilibrio e dissesti gravi, totali o parziali, che possano compromettere l'incolumità delle persone ovvero comportare la perdita di beni, ovvero provocare gravi danni ambientali e sociali, ovvero mettere fuori servizio l'opera;

In particolare, nel caso in esame, la stabilità dei pendii viene verificata nel rispetto del rispettivo stato limite ultimo di tipo geotecnico (GEO). In particolare, viene utilizzata la combinazione A2+M2+R2 in conformità a quanto previsto dal D.M. 14 Gennaio 2008.

6.2 Criteri generali di analisi

Nel presente paragrafo si riportano i risultati ottenuti nelle verifiche di stabilità del versante mediante l'ausilio del programma "Winstable" realizzato presso l'Università del Wisconsin – Madison. Tale programma è l'interfaccia grafica del programma risolutore STABL, scritto in Fortran elaborando il metodo di Bishop per la stabilità dei pendii.

La procedura che consente la ricerca della superficie critica si è dimostrata, in base a numerose applicazioni sia professionali che di ricerca particolarmente efficiente e flessibile. Infatti, oltre a consentire la schematizzazione di qualsiasi superficie topografica, permette di assegnare condizioni stratigrafiche particolarmente complesse, consente di simulare la presenza di orizzonti freatici comunque disposti ovvero di carichi esterni di qualsiasi intensità e comunque inclinati.

La particolarità di questo codice di calcolo automatico risiede soprattutto nella tecnica con cui vengono generate le superfici di prova tra le quali viene ricercata la superficie critica. La possibilità di schematizzare situazioni stratigrafiche, geometriche ed idrauliche molto complesse conferisce al programma di calcolo una grande flessibilità di applicazione.

| | | |
|---|--|--------------------|
| Cod. elab.: 109GA202GA02ZRG003C | Titolo GA FAVRELLA Relazione Geotecnica | Data: ottobre 2011 |
| Nome file: 0 favarella _relazione geotecnica.docx | | Pagina 12 di 17 |

Tra i vari metodi con cui può essere condotto il calcolo del coefficiente di sicurezza, è stato utilizzato il metodo di Bishop dal momento che è lecito ritenere che la superficie critica abbia forma sufficientemente prossima a quella circolare.

Le verifiche sono state condotte in ottemperanza a quanto previsto dal D.M. 14/1/2008 Norme Tecniche per le Costruzioni.

6.2.1 Fondamenti teorici del metodo di Bishop

Il metodo si basa sulla suddivisione della massa interessata dallo scivolamento in conci, su ognuno dei quali vengono applicate le equazioni di equilibrio della statica, dalle quali risulta:

Momento delle forze stabilizzanti:

$$M_s = r \sum_{i=1}^n (c \cdot l_i + N_i' \cdot \text{tg} \Phi)$$

(r = raggio della superficie di scivolamento)

Momento delle forze ribaltanti:

$$M_r = r \sum_{i=1}^n W_i \text{sen} \alpha_i$$

Il coefficiente di sicurezza è dato da: $F = \frac{M_s}{M_r}$

Il metodo di Bishop oltre a supporre la superficie circolare, fa l'ipotesi che la risultante in direzione verticale delle forze agenti sulle facce di ogni concio sia nulla, ossia:

$$X_i - X_{i-1} = 0$$

e la risultante $N' = N \cdot u \cdot l$ è valutata facendo l'equilibrio in direzione verticale e scrivendo la relazione:

$$N_i' = \frac{W_i - u_i b_i - (1/F) c b_i \text{tg} \alpha_i}{\cos \alpha_i \left(1 + \frac{\text{tg} \alpha_i \text{tg} \Phi'}{F} \right)}$$

per cui si ottiene:

$$F = \frac{M_s}{M_r} = \frac{\sum_{i=1}^n [c b_i + (W_i - u_i b_i) \text{tg} \Phi'] \frac{1}{m_{\alpha}}}{\sum_{i=1}^n W_i \text{sen} \alpha_i}$$

con
$$m_{\alpha} = \cos \alpha \left(1 + \frac{\text{tg} \alpha \cdot \text{tg} \Phi'}{F} \right)$$

Il coefficiente di sicurezza F compare in tutte e due le parti della relazione e quindi la soluzione può essere raggiunta per approssimazioni successive, supponendo varie superfici di scivolamento ricavando la soluzione con il valore minimo di F .

Il numero di superfici generate sono maggiori di 500.

| | | |
|---|--|--------------------|
| Cod. elab.: 109GA202GA02ZRG003C | Titolo GA FAVRELLA Relazione Geotecnica | Data: ottobre 2011 |
| Nome file: 0 favarella _relazione geotecnica.docx | | Pagina 13 di 17 |

PROGETTO ESECUTIVO

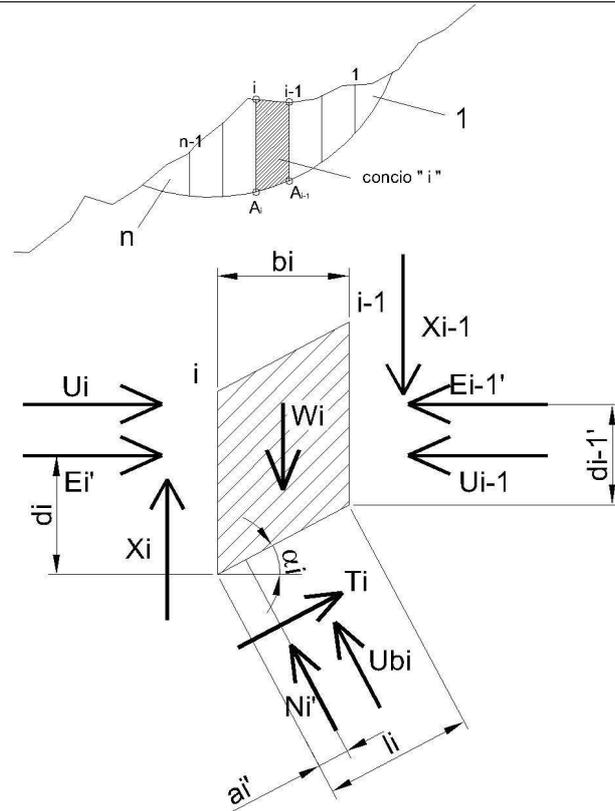


Figura 6-1 – Schema di Equilibrio del concio

6.3 Sezioni analizzate

Si riportano la verifiche della sezioni più critiche situate in corrispondenza delle progressive 10+015.530 e 10+035.439. Gli schemi delle sezioni sono riportate in Figura 6-2 E in Figura 6-3.

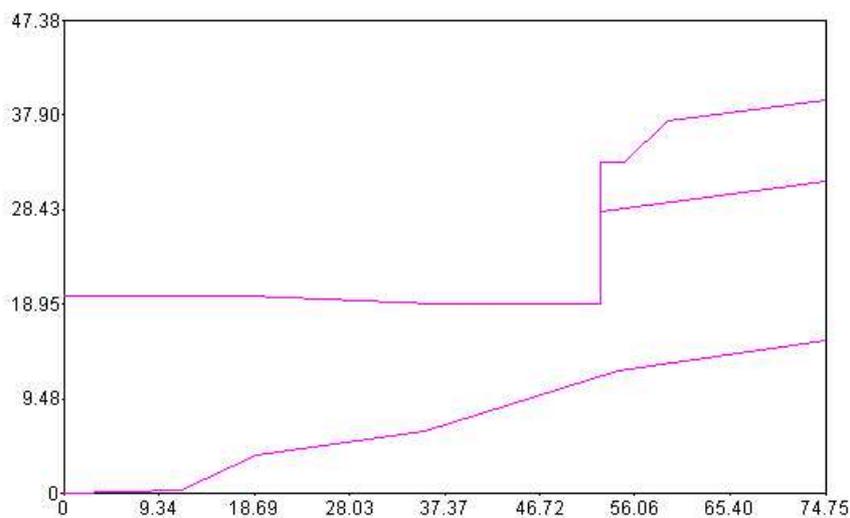


Figura 6-2: Sezione di verifica alla progressiva 10+015.530. Nel modello sono riportati i profili degli strati di terreno riportati nella relazione geotecnica

| | | |
|---|--|--------------------|
| Cod. elab.: 109GA202GA02ZRG003C | Titolo GA FAVRELLA Relazione Geotecnica | Data: ottobre 2011 |
| Nome file: 0 favarella _relazione geotecnica.docx | | Pagina 14 di 17 |

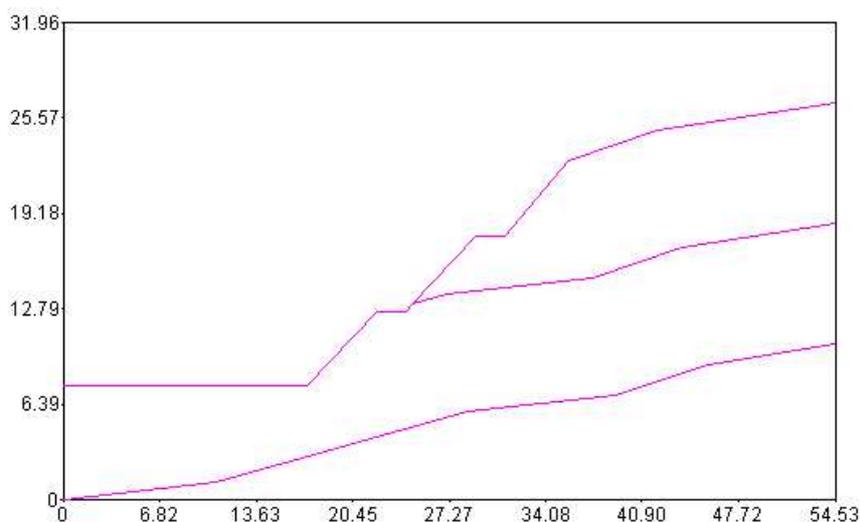


Figura 6-3- Sezione di verifica alla progressiva 10+035.439. Nel modello sono riportati i profili degli strati di terreno riportati nella relazione geotecnica.

Ai sensi del D.M. 14 Gennaio 2008 la verifica di stabilità viene condotta nella condizione A2+M2+R2. Inoltre, dal momento che le verifiche si riferiscono ad una situazione transitoria (a breve termine), la verifica di stabilità verrà condotta in condizioni non drenate e senza sisma.

6.3.1 Combinazioni delle azioni (A2)

Le verifiche vengono condotte allo stato limite ultimo, pertanto si utilizza la rispettiva combinazione di calcolo prevista dalla normativa vigente, ossia

$$\bullet \gamma_{G1}G_1 + \gamma_{G2}G_2 + \gamma_P P + \gamma_{Q1}Q_{k1} + \gamma_{Q2}\psi_{02}Q_{k2} + \gamma_{Q3}\psi_{03}Q_{k3} + \dots$$

I valori dei coefficienti γ nella combinazione A2 sono riportati in Tabella 6-1.

Tabella 6-1: Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU

| | | γ_F | EQU | A1 STR | A2 GEO |
|---|-------------|---------------|-----|--------|--------|
| Carichi permanenti | favorevoli | γ_{G1} | 0.9 | 1.0 | 1.0 |
| | sfavorevoli | | 1.1 | 1.3 | 1.0 |
| Carichi permanenti non strutturali ¹ | favorevoli | γ_{G2} | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | sfavorevoli | | 1.5 | 1.5 | 1.3 |
| Carichi variabili | favorevoli | γ_{Qi} | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | sfavorevoli | | 1.5 | 1.5 | 1.3 |

¹Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare per essi gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

Nel caso specifico sono presenti solo carichi permanenti pertanto $\gamma=1$.

6.3.2 Parametri geotecnici nella combinazione M2

I coefficienti da applicare ai parametri geotecnici nella condizione M2 sono riportati nella Tabella 6-2. **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** I valori di progetto dei parametri geotecnici sono riportati nella Tabella 6-3.

Tabella 6-2- Coefficienti da applicare ai parametri geotecnici nella combinazione M2

| COEFFICIENTI DA APPLICARE NELLA COMBINAZIONE M2 | | γ_M |
|--|-------|------------|
| Tangente dell'angolo di resistenza al taglio $\tan(\phi')$ | M_2 | 1.25 |
| Coesione efficace, c' | M_2 | 1.25 |
| Coesione non drenata c_u | M_2 | 1.40 |
| Peso dell'unità di volume γ | M_2 | 1.00 |

Tabella 6-3 - Caratteristiche meccaniche del terreno di progetto

PARAMETRI GEOTECNICI NELLA COMBINAZIONE M2

| Strato 1: | | | | |
|----------------------------------|----------|--------|-------------------|--|
| peso proprio: | γ | 20.10 | kN/m ³ | |
| resistenza a taglio non drenata: | c_u | 69.29 | kN/m ² | |
| coesione: | c' | 22.40 | kN/m ² | |
| angolo d'attrito: | ϕ' | 19.95 | gradi | |
| Strato 2: | | | | |
| peso proprio: | γ | 20.20 | kN/m ³ | |
| resistenza a taglio non drenata: | c_u | 240.00 | kN/m ² | |
| coesione: | c' | 23.20 | kN/m ² | |
| angolo d'attrito: | ϕ' | 22.26 | gradi | |

6.3.3 Coefficiente di sicurezza R2

Ai sensi del D.M. 14 Gennaio 2008, le verifiche di stabilità sono soddisfatte nel caso in cui il rapporto tra il momento stabilizzante e quello ribaltante sia maggiore di 1.1 (R2=1.1). Per maggiori dettagli sul calcolo del coefficiente di sicurezza si veda il § 6.2.1.

| | | |
|---|--|--------------------|
| Cod. elab.: 109GA202GA02ZRG003C | Titolo GA FAVRELLA Relazione Geotecnica | Data: ottobre 2011 |
| Nome file: 0 favarella _relazione geotecnica.docx | | Pagina 16 di 17 |

6.4 Risultati delle verifiche

Come si evince dalla Figura 6-4 e dalla Figura 6-5 i fattori di sicurezza minori sono $2.61 > 1.1$ e $3.55 > 1.1$. Pertanto, le verifiche di stabilità dei pendii risultano soddisfatte.

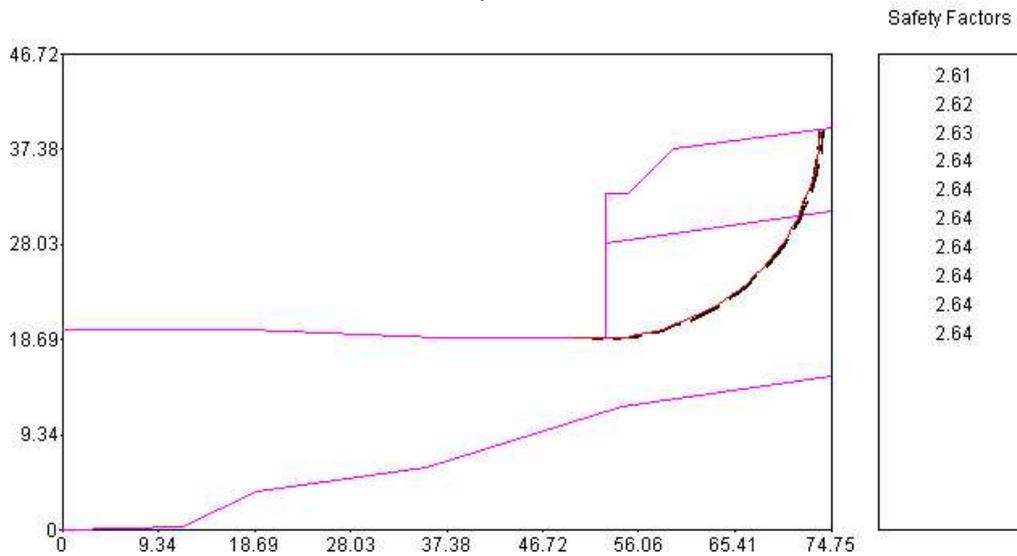


Figura 6-4: Sezione alla progressiva 10+015.530. Primi dieci fattori di sicurezza e rispettive superfici di rottura. La superficie cui corrisponde il minor fattore di sicurezza è rappresentata in rosso (linea continua)

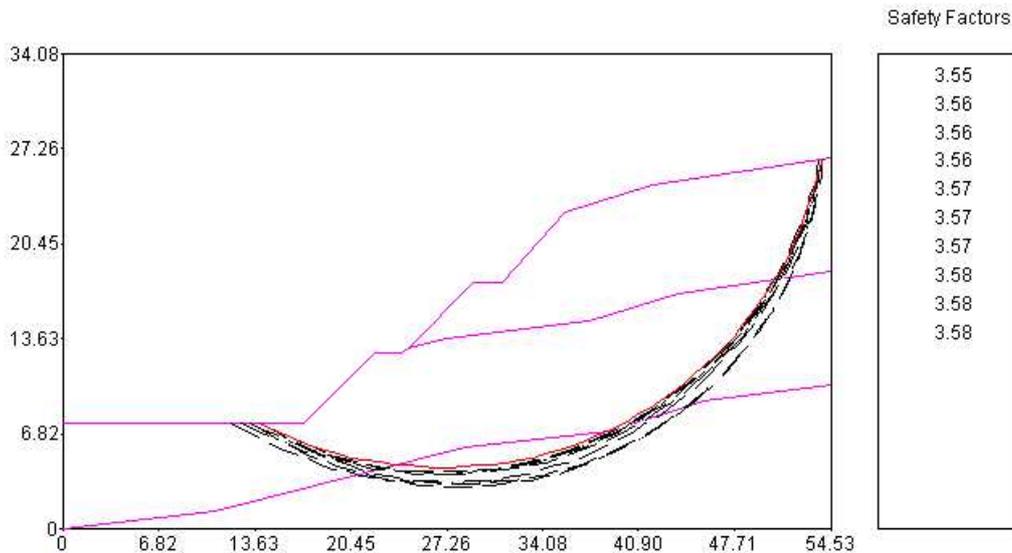


Figura 6-5: Sezione alla progressiva 10+035.439. Primi dieci fattori di sicurezza e rispettive superfici di rottura. La superficie cui corrisponde il minor fattore di sicurezza è rappresentata in rosso (linea continua)