



# PONTE SULLO STRETTO DI MESSINA



## PROGETTO DEFINITIVO

### EUROLINK S.C.p.A.

IMPREGILO S.p.A. (MANDATARIA)  
 SOCIETÀ ITALIANA PER CONDOTTE D'ACQUA S.p.A. (MANDANTE)  
 COOPERATIVA MURATORI E CEMENTISTI - C.M.C. DI RAVENNA SOC. COOP. A.R.L. (MANDANTE)  
 SACYR S.A.U. (MANDANTE)  
 ISHIKAWAJIMA - HARIMA HEAVY INDUSTRIES CO. LTD (MANDANTE)  
 A.C.I. S.C.P.A. - CONSORZIO STABILE (MANDANTE)

|   |   |  |  |
|---|---|--|--|
| <p><b>IL PROGETTISTA</b></p>  <p>CONSULENZA E ASSISTENZA TECNICA nel campo della GEOTECNICA</p> <p>Dott. Ing. G. Cassani<br/>Ordine Ingegneri Milano<br/>n° 20997</p> <p>Dott. Ing. E. Pagani<br/>Ordine Ingegneri Milano<br/>n° 15408</p>  | <p><b>IL CONTRAENTE GENERALE</b></p> <p>Project Manager<br/>(Ing. P.P. Marcheselli)</p> | <p><b>STRETTO DI MESSINA</b><br/>Direttore Generale e<br/>RUP Validazione<br/>(Ing. G. Fiammenghi)</p> | <p><b>STRETTO DI MESSINA</b><br/>Amministratore Delegato<br/>(Dott. P. Ciucci)</p> |
|---|---|--|--|

|   |  |           |
|---|--|-----------|
| <i>Unità Funzionale</i>                       | COLLEGAMENTI SICILIA                                       | SS0257_F0 |
| <i>Tipo di sistema</i>                        | PARTE GENERALE STRADALE – OPERE CIVILI                     |           |
| <i>Raggruppamento di opere/attività</i>       | SEZIONI TIPO COSTRUTTIVE DELLE OPERE D'ARTE IN SOTTERRANEO |           |
| <i>Opera - tratto d'opera - parte d'opera</i> | GALLERIA NATURALE  |           |
| <i>Titolo del documento</i>                   | “FARO SUPERIORE” - RELAZIONE DI CALCOLO                    |           |

|        |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
|--------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
| CODICE | C | G | 0 | 8 | 0 | 0 | P | C | L | D | S | G | S | T | 7 | G | N | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | F0 |
|--------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|

| REV | DATA       | DESCRIZIONE      | REDATTO    | VERIFICATO   | APPROVATO |
|-----|------------|------------------|------------|--------------|-----------|
| F0  | 20/06/2011 | EMISSIONE FINALE | M.FRANDINO | A.BELLOCCHIO | G.CASSANI |
|     |            |                  |            |              |           |
|     |            |                  |            |              |           |



|  |   |   |                  |                           |
|--|---|---|------------------|---------------------------|
|             |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |                  |                           |
| <b>COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA – GALLERIA<br/> “FARO SUPERIORE” – RELAZIONE DI CALCOLO</b> |   | <i>Codice documento</i><br>SS0257_F0.doc                            | <i>Rev</i><br>F0 | <i>Data</i><br>20/06/2011 |

## INDICE

|  |    |
|--|----|
| INDICE .....   | 3  |
| 1 Premessa .....   | 5  |
| 1.1 Approccio progettuale ADECO-RS .....   | 5  |
| 1.2 Inquadramento generale e sintesi delle sezioni tipo applicate.....                         | 6  |
| 2 Riferimenti normativi e documentazione di riferimento .....                                  | 9  |
| 2.1 Applicazione della Normativa .....   | 9  |
| 2.2 Elaborati di riferimento.....  | 12 |
| 3 Caratteristiche dei materiali.....   | 14 |
| 4 FASE CONOSCITIVA: Contesto geologico, idrogeologico e geotecnico.....                        | 16 |
| 4.1 Inquadramento geologico .....  | 16 |
| 4.2 Inquadramento geomorfologico .....   | 19 |
| 4.3 Sintesi lungo il tracciato.....  | 21 |
| 4.4 Inquadramento idrogeologico .....  | 24 |
| 4.4.1 Stime sulle portate drenate .....  | 25 |
| 4.4.2 Perturbazione della piezometria e opere di mitigazione/compensazione .....               | 25 |
| 4.5 Sintesi dei parametri geotecnici e individuazione dei parametri operativi di calcolo ..... | 26 |
| 5 FASE DI DIAGNOSI: Previsioni sul comportamento degli ammassi allo scavo .....                | 28 |
| 5.1 Individuazione delle sezioni di calcolo e analisi mediante linee caratteristiche.....      | 30 |
| 6 FASE DI TERAPIA.....   | 32 |
| 6.1.1 Verifica tensionale dei rivestimenti.....  | 35 |
| 6.1.1.1 Verifica dei rivestimenti di prima fase .....  | 36 |
| 6.1.1.2 Verifica dei rivestimenti definitivi .....   | 36 |
| 7 Analisi di stabilità del fronte.....   | 38 |
| 8 Analisi numeriche .....  | 39 |
| 8.1 Curve di “relax” nel modello di calcolo .....  | 41 |
| 8.2 Fasi di calcolo.....   | 42 |
| 8.3 Risultati delle analisi numeriche.....   | 43 |
| 8.3.1 Modalità di verifica .....   | 44 |
| 8.3.1.1 Rivestimento di prima fase .....   | 44 |
| 8.3.1.2 Rivestimento definitivo .....  | 45 |
| 8.3.2 Risultati deformativi .....  | 45 |

|  |   |   |                  |                           |
|--|---|---|------------------|---------------------------|
|             |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |                  |                           |
| <b>COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA – GALLERIA<br/> “FARO SUPERIORE” – RELAZIONE DI CALCOLO</b> |   | <i>Codice documento</i><br>SS0257_F0.doc                            | <i>Rev</i><br>F0 | <i>Data</i><br>20/06/2011 |

|         |   |    |
|---------|---|----|
| 8.3.3   | Risultati tensionali.....   | 46 |
| 8.3.3.1 | Verifica dei rivestimento di prima fase S.L.U. ....                         | 46 |
| 8.3.3.2 | Verifica dei rivestimenti definitivi S.L.U.....                             | 47 |
| 8.3.3.3 | Verifica dei rivestimenti definitivi S.L.E.....                             | 56 |
| 9       | Opere complementari .....   | 59 |
| 9.1     | FASE DI DIAGNOSI: Previsioni sul comportamento degli amassi allo scavo..... | 59 |
| 9.2     | FASE DI TERAPIA .....   | 60 |
| 9.2.1   | Verifica tensionale dei rivestimenti.....                                   | 61 |
| 9.2.1.1 | Verifica dei rivestimenti di prima fase .....                               | 61 |
| 9.2.1.2 | Verifica dei rivestimenti definitivi .....                                  | 62 |
| 9.3     | Analisi di stabilità del fronte .....                                       | 62 |
|         | ALLEGATO – RIFERIMENTI TEORICI E DI CALCOLO .....                           | 64 |
| 10      | Metodo delle curve caratteristiche .....                                    | 65 |
| 10.1    | Aspetti generali.....   | 65 |
| 10.2    | Consolidamento del fronte di scavo .....                                    | 68 |
| 11      | Analisi di stabilità del fronte .....                                       | 70 |
| 12      | Software di calcolo .....   | 72 |
| 12.1    | PLAXIS.....   | 72 |
|         | ALLEGATO – LINEE CARATTERISTICHE.....                                       | 77 |
|         | ALLEGATO – STABILITA' DEL FRONTE .....                                      | 78 |
|         | ALLEGATO – ANALISI NUMERICHE .....  | 79 |



|   |   |   |                  |                           |
|---|---|---|------------------|---------------------------|
|    |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |                  |                           |
| COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA – GALLERIA<br>“FARO SUPERIORE” – RELAZIONE DI CALCOLO |   | <i>Codice documento</i><br>SS0257_F0.doc                            | <i>Rev</i><br>F0 | <i>Data</i><br>20/06/2011 |

## 1 Premessa

Nella presente relazione si analizzano le problematiche progettuali connesse alla realizzazione della galleria naturale Faro Superiore, nell’ambito dei lavori di costruzione dei collegamenti stradali tra il Ponte sullo Stretto e la città di Messina. Lo scavo in naturale è previsto a piena sezione.

La tipologia e l’intensità dei trattamenti da applicare al fronte di scavo sono calibrati sulla base dell’analisi tenso-deformativa del fronte stesso e l’individuazione della relativa classe di comportamento (A, B, C secondo la classificazione A.De.Co.RS).

### 1.1 Approccio progettuale ADECO-RS

Nei paragrafi che seguono, dopo aver richiamato il quadro geologico-geotecnico sino ad oggi noto (FASE CONOSCITIVA), sulla base dei dati e delle considerazioni riportate all’interno della relazione geologica e geotecnica, verrà individuato il più probabile comportamento che l’ammasso potrebbe manifestare a seguito del proseguimento degli scavi (FASE DI DIAGNOSI).

In base a quanto determinato in fase di diagnosi verranno quindi stabilite le principali tipologie di intervento che si ritengono necessarie a garantire la stabilità globale della cavità nel breve e nel lungo termine (FASE DI TERAPIA).

La sequenza delle varie fasi progettuali può essere di seguito riassunta nelle quattro seguenti tappe fondamentali:

**Fase conoscitiva** che consente, attraverso un’analisi dettagliata ed un esame critico dei dati disponibili, una preliminare caratterizzazione geomeccanica dell’ammasso interessato dallo scavo;

**Fase di diagnosi** nella quale, utilizzando il metodo delle “linee caratteristiche”, analizzando i differenti gruppi geomeccanici individuati nella fase conoscitiva ed in base ai differenti valori di copertura, si individuano delle classi di comportamento, considerando quale elemento centrale per l’analisi, la stabilità del fronte di scavo (approccio ADECO-RS):

caso “A”, fronte stabile,

caso “B” fronte stabile a breve termine,

caso “C” fronte instabile;

**Fase di terapia** che consente, successivamente all’individuazione delle categorie di comportamento, la definizione degli interventi progettuali più idonei da mettere in atto per garantire la stabilità globale della cavità nel breve e nel lungo termine. In questa fase verranno svolte, per la verifica del comportamento del terreno allo scavo a seguito degli interventi di consolidamento e

|   |   |   |                  |                           |
|---|---|---|------------------|---------------------------|
|    |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |                  |                           |
| COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA – GALLERIA<br>“FARO SUPERIORE” – RELAZIONE DI CALCOLO |   | <i>Codice documento</i><br>SS0257_F0.doc                            | <i>Rev</i><br>F0 | <i>Data</i><br>20/06/2011 |

supporto previsti e per la determinazione degli stati tenso-deformativi indotti nelle strutture, analisi sia mediante il metodo delle “linee caratteristiche” sia utilizzando modelli numerici agli elementi finiti per le sezioni di scavo ritenute maggiormente significative;

**Fase di controllo** ove sono forniti, per ciascuna sezione tipo, dei valori limite di deformazione e delle linee guida per l’applicazione delle stesse sezioni (per questa fase si rimanda alla “Relazione tecnica generale”).

In fase di progettazione, lo studio e il dimensionamento degli interventi di preconsolidamento al fronte tiene conto dei seguenti aspetti:

- 1- Garantire la condizione di stabilità globale del fronte, verificate mediante metodi all’equilibrio limite (si veda capitolo 7). Tale aspetto risulta in genere dimensionante per le basse coperture, alle quali le analisi analitiche del comportamento deformativo del cavo e del fronte (Teoria delle Linee Caratteristiche) non sono applicabili, venendo meno le condizioni di stato tensionale isotropo in mezzo omogeneo;
- 2- Garantire il controllo deformativo del cavo e del fronte, legato a sua volta all’estensione del raggio plastico. Tale aspetto viene tenuto in debito conto nelle analisi analitiche sviluppate nella fase di terapia mediante il metodo delle Linee caratteristiche.
- 3- Verifiche locali di stabilità correlabili in prima approssimazione alla “densità di intervento”, intesa come numero di consolidamenti rapportato alla superficie di scavo. I valori limite superiori ed inferiori di densità dipendono dalla tipologia di consolidamento, dalle caratteristiche dell’ammasso e da considerazioni legate all’esperienza in contesti similari.

## 1.2 Inquadramento generale e sintesi delle sezioni tipo applicate

Le Gallerie Naturali in oggetto, si collocano all’interno della rete di nuove infrastrutture stradali che si rendono necessarie al fine di integrare la rete stradale esistente con il Ponte sullo Stretto di Messina. Il nuovo assetto infrastrutturale sarà in grado di soddisfare le molteplici esigenze del territorio attraversato, che possiamo così di seguito sintetizzare:

- Collegare funzionalmente il Ponte con le arterie autostradali esistenti;
- Collegare il Ponte con la rete viaria locale in costruzione e di piano;
- Definire l’ubicazione della barriera di esazione;

|  |   |   |                  |                           |
|--|---|---|------------------|---------------------------|
|             |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |                  |                           |
| <b>COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA – GALLERIA<br/> “FARO SUPERIORE” – RELAZIONE DI CALCOLO</b> |   | <i>Codice documento</i><br>SS0257_F0.doc                            | <i>Rev</i><br>F0 | <i>Data</i><br>20/06/2011 |

- Minimizzare, con opportune scelte plano-altimetriche, l’impatto sull’ambiente e sul paesaggio circostante;

La nuova infrastruttura a carattere autostradale attraversa l’ambito comunale di Messina da nord-est a sud-ovest, interessando le località Ganzirri, Faro Superiore, Curcuraci, Pace, S. Annunziata, realizzando un asse portante di collegamento tra la rete infrastrutturale esistente ed il Ponte sullo Stretto.

La galleria naturale “Faro Superiore” ha origine dopo l’area di esazione e ha uno sviluppo di 3400 m circa.

Le due carreggiate rimangono per la maggior parte del tracciato parallele, con distanza tra i due assi di tracciamento pari a 35m, sviluppando tutto un tratto in curva di raggio 1800m.

Altimetricamente i due assi si presentano con scostamenti minimi, il che permette l’applicazione delle norme di sicurezza per i tratti in galleria (bypass pedonali ogni 300 m e carrabili ogni 900), ed il contenimento entro i limiti imposti dalla normativa vigente le pendenze dei collegamenti tra le canne, siano essi carrabili o pedonali.

La sezione stradale tipo è costituita da una carreggiata autostradale di categoria A in ambito extraurbano che presenta:

- corsie da 3,75 m ciascuna, per sorpasso e marcia normale;
- margine laterale con corsia di emergenza da 3.00 m;
- margine interno risulta variabile, in relazione alle esigenze costruttive delle gallerie, e gestito nella sua configurazione minima da 4.00 metri come di seguito descritto: banchine pavimentate da 0,70 per i tratti in rettilineo mentre nei tratti in curva, le banchine saranno variabili al fine di garantire le corrette visuali libere e la corretta percezione visiva del tracciato.

In caso di corsie di accelerazione e decelerazione sempre in destra alla singola carreggiata è prevista l’aggiunta di una o due corsie da 3.75 m con eliminazione della corsia di emergenza e realizzazione di una banchina pavimentata da 2.50.

In presenza di piazzola di sosta si prevede l’allargamento della piattaforma di ulteriori 3,50 m oltre la corsia di emergenza. Planimetricamente le piazzole sono previste con una distanza massima in galleria di 600 m per senso di marcia e presentano uno sviluppo complessivo pari a 45 m

Di seguito si riporta, per facilità di consultazione della relazione, la sintesi delle sezioni tipo di avanzamento applicate lungo il tracciato della galleria in oggetto. Per i dettagli relativi alle scelte progettuali alla base della Tabella 1 e la definizione delle percentuali di applicazione delle sezioni tipo, si veda la relazione tecnica generale. Per la definizione dei gruppi geomeccanici si veda il

|  |   |   |                  |                           |
|--|---|---|------------------|---------------------------|
|             |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |                  |                           |
| <b>COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA – GALLERIA<br/> “FARO SUPERIORE” – RELAZIONE DI CALCOLO</b> |   | <i>Codice documento</i><br>SS0257_F0.doc                            | <i>Rev</i><br>F0 | <i>Data</i><br>20/06/2011 |

paragrafo 4.5.

| SEZIONE TIPO | CAMPO DI APPLICAZIONE  | TIPO DI CARREGGIATA  | PRECONS. FRONTE               | PRECONS. CONTORNO        | PRESOSTEGNO      | SPRITZ BETON | CENTINE     |
|--------------|--|--|-------------------------------|--------------------------|------------------|--------------|-------------|
| C1           | Applicata nella formazione delle "GHIAIE E SABBIE DI MESSINA Gruppo Geomeccanico 2" per coperture maggiori di 25m circa e sino a coperture massime di 100m circa.  | STANDARD   | MICRO JET ARMATO CON TUBI VTR | JET Dn600                | -                | 25CM         | 2IPN200/100 |
| C1_IN        | Applicata nella formazione delle "GHIAIE E SABBIE DI MESSINA Gruppo Geomeccanico 2" per coperture inferiori ai 25m circa.  | STANDARD   | MICRO JET ARMATO CON TUBI VTR | JET Dn600                | INFILAGGI SU 120 | 25CM         | 2IPN200/100 |
| C1_SE        | Applicata nella formazione delle "GHIAIE E SABBIE DI MESSINA Gruppo Geomeccanico 2" in presenza di edifici "sensibili"   | STANDARD   | MICRO JET ARMATO CON TUBI VTR | JET Dn600 IN AVANZAMENTO | INFILAGGI SU 120 | 25CM         | 2IPN200/75  |
| C1+1,05      | Applicata nella formazione delle "GHIAIE E SABBIE DI MESSINA Gruppo Geomeccanico 2" per coperture maggiori di 25m circa e sino a coperture massime di 100m circa.  | ALLARGO VISIBILITA' 0.90m/0.95m/1.05m                        | MICRO JET ARMATO CON TUBI VTR | JET Dn600                | -                | 25CM         | 2IPN220/100 |
| C1+1,05_IN   | Applicata nella formazione delle "GHIAIE E SABBIE DI MESSINA Gruppo Geomeccanico 2" per coperture inferiori ai 25m circa.  | ALLARGO VISIBILITA' 0.90m/0.95m/1.05m                        | \                             | JET Dn600                | INFILAGGI SU 120 | 25CM         | 2IPN220/100 |
| C1+1,05_SE   | Applicata nella formazione delle "GHIAIE E SABBIE DI MESSINA Gruppo Geomeccanico 2" in presenza di edifici "sensibili"   | ALLARGO VISIBILITA' 0.90m/0.95m/1.05m                        | MICRO JET ARMATO CON TUBI VTR | JET Dn600 IN AVANZAMENTO | INFILAGGI SU 120 | 25CM         | 2IPN220/75  |
| C1P          | Applicata nella formazione delle "GHIAIE E SABBIE DI MESSINA Gruppo Geomeccanico 2" indipendentemente dalle coperture. Applicata anche nella formazione di San Pier Niceto (facies conglomeratica) per le basse coperture. | PIAZZOLA DI SOSTA  | MICRO JET ARMATO CON TUBI VTR | JET Dn600 IN AVANZAMENTO | INFILAGGI SU 120 | 25CM         | 2IPN240/100 |
| C1P_SE       | Applicata nella formazione delle "GHIAIE E SABBIE DI MESSINA Gruppo Geomeccanico 2" in presenza di edifici "sensibili"   | PIAZZOLA DI SOSTA  | MICRO JET ARMATO CON TUBI VTR | JET Dn600 IN AVANZAMENTO | INFILAGGI SU 120 | 25CM         | 2IPN240/75  |
| C1_ALL       | Applicata nella formazione delle "GHIAIE E SABBIE DI MESSINA Gruppo Geomeccanico 2" indipendentemente dalle coperture.   | CORSIA ACCELERAZIONE/DECELERAZIONE/ALLARGO VISIBILITA' +2.75 | MICRO JET ARMATO CON TUBI VTR | JET Dn600 IN AVANZAMENTO | INFILAGGI SU 120 | 25CM         | 2IPN240/100 |
| C1_ALL_SE    | Applicata nella formazione delle "GHIAIE E SABBIE DI MESSINA Gruppo Geomeccanico 2" in presenza di edifici "sensibili"   | CORSIA ACCELERAZIONE/DECELERAZIONE/ALLARGO VISIBILITA' +2.75 | MICRO JET ARMATO CON TUBI VTR | JET Dn600 IN AVANZAMENTO | INFILAGGI SU 120 | 25CM         | 2IPN240/75  |
| C1P+1,05     | Applicata nella formazione delle "GHIAIE E SABBIE DI MESSINA Gruppo Geomeccanico 2" indipendentemente dalle coperture. Applicata anche nella formazione di San Pier Niceto (facies conglomeratica) per le basse coperture. | PIAZZOLA DI SOSTA CON ALLARGO VISIBILITA' +1.05              | MICRO JET ARMATO CON TUBI VTR | JET Dn600 IN AVANZAMENTO | INFILAGGI SU 120 | 30CM         | 2IPN260/90  |
| C1P+1,05_SE  | Applicata nella formazione delle "GHIAIE E SABBIE DI MESSINA Gruppo Geomeccanico 2" in presenza di edifici "sensibili"   | PIAZZOLA DI SOSTA CON ALLARGO VISIBILITA' +1.05              | MICRO JET ARMATO CON TUBI VTR | JET Dn600 IN AVANZAMENTO | INFILAGGI SU 120 | 30CM         | 2IPN260/75  |

**Tabella 1 Sintesi sezioni tipo applicate**

|   |   |   |                  |                           |
|---|---|---|------------------|---------------------------|
|    |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |                  |                           |
| COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA – GALLERIA<br>“FARO SUPERIORE” – RELAZIONE DI CALCOLO |   | <i>Codice documento</i><br>SS0257_F0.doc                            | <i>Rev</i><br>F0 | <i>Data</i><br>20/06/2011 |

## 2 Riferimenti normativi e documentazione di riferimento

Le verifiche statiche degli interventi e la redazione della presente relazione di calcolo, compresi gli elaborati tecnici allegati, sono state effettuate nel rispetto della Normativa in vigore e delle Specifiche tecniche fornite.

La normativa di riferimento è il D.M. 14/01/2008 “Norme Tecniche per le Costruzioni” (pubblicato sulla G.U. n.29 –Suppl. Ordinario n.30 – del 4 febbraio 2008). Si è inoltre fatto riferimento a quanto riportato all’interno della Circolare n. 617 del 2 febbraio 2009: “Istruzioni per l’Applicazione Nuove Norme Tecniche Costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008”.

### 2.1 Applicazione della Normativa

Le Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (di seguito, per brevità, NTC 2008) “definiscono i principi per il progetto, l’esecuzione e il collaudo delle costruzioni”, nei riguardi delle prestazioni richieste in termini di resistenza, stabilità, robustezza e durabilità. Le prestazioni di un’opera sono definite con riferimento a stati limite che si possono raggiungere durante la vita dell’opera, e che corrispondono a condizioni oltre le quali l’opera non soddisfa più i requisiti di progetto.

Nelle NTC 2008 i coefficienti di sicurezza sono introdotti direttamente sulle diverse fonti di incertezza (azioni, materiali, resistenza):

- $\gamma_F = \gamma_E$  per le azioni o l’effetto delle azioni (differenziati in funzione del tipo di carico (permanente o variabile) e in funzione dell’effetto (favorevole o sfavorevole);
- $\gamma_M$  per i materiali (applicati ai parametri di resistenza del terreno)
- $\gamma_R$  per le resistenze (definiti in funzione della tipologia di opera)

Le NTC 2008 richiedono, in linea con l’approccio progettuale tradizionale, che siano eseguite le analisi relative a:

- stabilità globale della cavità, con particolare riguardo al fronte e alla zona retrostante il fronte,
- valutazione dei risentimenti attesi in superficie in condizioni di bassa copertura,
- interazione terreno-struttura nelle fasi costruttive,
- interazione terreno-struttura in esercizio.

|   |   |   |                  |                           |
|---|---|---|------------------|---------------------------|
|    |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |                  |                           |
| COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA – GALLERIA<br>“FARO SUPERIORE” – RELAZIONE DI CALCOLO |   | <i>Codice documento</i><br>SS0257_F0.doc                            | <i>Rev</i><br>F0 | <i>Data</i><br>20/06/2011 |

Per le analisi progettuali le NTC 2008 impongono di fare ricorso a metodi analitici e/o metodi numerici, questi ultimi necessari per l’analisi dell’interazione terreno-struttura nelle fasi costruttive e in condizioni di esercizio. I metodi di calcolo utilizzati devono essere *“di comprovata validità, adeguati alla complessità del sistema opera-terreno e al livello di progettazione”*.

Nel seguito si illustra l’approccio progettuale utilizzato, inteso come modalità di verifica della sicurezza e delle prestazioni dell’opera coerente con indicazioni e prescrizioni della nuova normativa.

La verifica della sicurezza deve essere effettuata con riferimento a stati limite “ultimi” e di “esercizio”. In linea del tutto generale e non esaustiva per le opere in sotterraneo possono individuarsi i seguenti stati limite:

1. stati limite ultimi per sviluppo di meccanismi di collasso determinati dal raggiungimento della resistenza del terreno/ammasso roccioso interessato dallo scavo (GEO);
2. stati limite ultimi relativi al raggiungimento delle resistenze degli elementi strutturali (STR);
3. stati limite ultimi di erosione e sifonamento del terreno dovuta a gradienti idraulici (HYD);
4. stati limite di esercizio (SLE) connessi alla realizzazione delle opere in sotterraneo relativamente al danno funzionale dei manufatti presenti in superficie (edifici) o in profondità (tubazioni, fondazioni profonde, gallerie esistenti) con cui l’opera in sotterraneo interagisce;
5. stati limite di esercizio (SLE) relativi allo stato tensionale dei rivestimenti durante le fasi di esercizio.

In analogia con quanto indicato per le opere geotecniche per le quali l’interazione terreno-struttura è significativa (es. opere di sostegno flessibili), per le verifiche si adotta l’**Approccio 1**.

In particolare:

A. le verifiche di stabilità del fronte verranno condotte in accordo con gli **stati limite ultimi GEO Combinazione 2 dell’Approccio 1 (A2+M2+R2)**, nella quale i parametri di resistenza del terreno sono ridotti tramite i coefficienti parziali del gruppo M2, i coefficienti sulla resistenza globale (R2) sono unitari e solo le azioni variabili sono amplificate con coefficienti maggiori di 1 del gruppo A2. La procedura di riduzione dei parametri di resistenza tramite coefficienti parziali per l’analisi di un meccanismo di rottura agisce sulla maggiore fonte di incertezza e fornisce, di fatto, una misura della distanza dalle condizioni di collasso.

B. Le verifiche di interazione terreno struttura della cavità e le verifiche strutturali verranno condotte in accordo con gli **stati limite ultimi STR Combinazione 1 dell’Approccio 1**

|   |   |   |                  |                           |
|---|---|---|------------------|---------------------------|
|    |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |                  |                           |
| COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA – GALLERIA<br>“FARO SUPERIORE” – RELAZIONE DI CALCOLO |   | <i>Codice documento</i><br>SS0257_F0.doc                            | <i>Rev</i><br>F0 | <i>Data</i><br>20/06/2011 |

**(A1+M1+R1)**, nella quale i coefficienti sui parametri di resistenza (M1) e sulla resistenza globale del sistema (R1) sono unitari, mentre le azioni permanenti e le azioni variabili sono amplificate mediante i coefficienti del gruppo A1. E' opportuno, in questo caso, applicare i coefficienti amplificativi delle azioni direttamente alle sollecitazioni. Nelle analisi di interazione ai fini della valutazione delle sollecitazioni delle strutture, dove il fattore dominante è rappresentato dalle rigidità e dai rapporti relativi delle rigidità di terreno e struttura, la modellazione eseguita con i valori caratteristici delle azioni e delle resistenze fornisce una descrizione realistica dello stato tensionale nel terreno e negli elementi strutturali. La procedura di riduzione dei parametri di resistenza del terreno è sconsigliabile perché introdurrebbe nel calcolo parametri tra loro non congruenti e quindi risultati non attendibili.

C. Nelle verifiche degli **stati limite di esercizio** i valori di progetto delle azioni, delle proprietà dei materiali e della resistenza globale sono assunti pari ai valori caratteristici. La verifica dello SLE si esegue calcolando il valore di progetto dell'effetto delle azioni (ad es. cedimenti differenziali, distorsioni) e confrontandolo con il valore limite prefissato, da specificare come requisito di progetto. In funzione della complessità del sistema e dello scopo delle analisi la previsione degli spostamenti al contorno della galleria può essere effettuato, come è prassi, con metodi semi-empirici o metodi numerici.

Adottando tale approccio, di fatto, si conserva la distinzione tipica dell'analisi geotecnica tradizionale, in cui si affrontano separatamente, e spesso con metodi e modelli differenti, i due aspetti del dimensionamento di un'opera geotecnica: la sicurezza rispetto ad un cinematisma di collasso e l'interazione terreno-struttura dalla quale è possibile derivare il campo degli spostamenti e le condizioni di sollecitazione negli elementi strutturali. Tale modo di procedere è in conformità a quanto indicato nelle *“Recommandations de l’AFTES-Compatibilité des recommandations AFTES relatives aux revêtements des tunnels en béton avec le Eurocodes” (2007)*.



|  |   |   |                  |                           |
|--|---|---|------------------|---------------------------|
|             |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |                  |                           |
| <b>COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA – GALLERIA<br/> “FARO SUPERIORE” – RELAZIONE DI CALCOLO</b> |   | <i>Codice documento</i><br>SS0257_F0.doc                            | <i>Rev</i><br>F0 | <i>Data</i><br>20/06/2011 |

## 2.2 Elaborati di riferimento

Di seguito si riporta l’elenco degli elaborati di riferimento:

|  |  |        |   |    |   |   |    |    |    |    |    |    |
|--|--|--------|---|----|---|---|----|----|----|----|----|----|
| <b>36 STUDI DI BASE</b>                |  |        |   |    |   |   |    |    |    |    |    |    |
| <b>36 Caratterizzazione geotecnica</b> |  |        |   |    |   |   |    |    |    |    |    |    |
| <b>36 Generale</b>                     |  |        |   |    |   |   |    |    |    |    |    |    |
| 36                                     | relazione geotecnica generale                                  | CG0800 | P | RB | D | S | SB | C8 | G0 | 00 | 00 | 01 |
| 36                                     | Relazione sismica generale                                     | CG0800 | P | RG | D | S | SB | C8 | G0 | 00 | 00 | 01 |
| 36                                     | PK 0+00 - Galleria Faro Superiore Dir. ME - Profilo geotecnico | CG0800 | P | FZ | D | S | SB | C8 | G0 | 00 | 00 | 01 |
| 36                                     | PK 0+00 - Galleria faro Superiore Dir. RC - Profilo geotecnico | CG0800 | P | FZ | D | S | SB | C8 | G0 | 00 | 00 | 02 |

|  |  |        |   |    |   |   |    |    |    |    |    |    |
|--|--|--------|---|----|---|---|----|----|----|----|----|----|
| <b>36 Caratterizzazione geologica</b>                    |  |        |   |    |   |   |    |    |    |    |    |    |
| <b>36 Generale</b>                                       |  |        |   |    |   |   |    |    |    |    |    |    |
| 36   | Relazione geologica generale                           | CG0800 | P | RG | D | S | SB | C6 | G0 | 00 | 00 | 01 |
| 36   | Carta geologica - Tav. 1/4                             | CG0800 | P | N5 | D | S | SB | C6 | G0 | 00 | 00 | 01 |
| 36   | Carta geologica - Tav. 2/4                             | CG0800 | P | N5 | D | S | SB | C6 | G0 | 00 | 00 | 02 |
| 36   | Carta geologica - Tav. 3/4                             | CG0800 | P | N5 | D | S | SB | C6 | G0 | 00 | 00 | 03 |
| 36   | Carta geologica - Tav. 4/4                             | CG0800 | P | N5 | D | S | SB | C6 | G0 | 00 | 00 | 04 |
| 36   | Relazione geomorfologica                               | CG0800 | P | RG | D | S | SB | C6 | G0 | 00 | 00 | 02 |
| 36   | Carta geomorfologica - Tav. 1/4                        | CG0800 | P | N5 | D | S | SB | C6 | G0 | 00 | 00 | 05 |
| 36   | Carta geomorfologica - Tav. 2/4                        | CG0800 | P | N5 | D | S | SB | C6 | G0 | 00 | 00 | 06 |
| 36   | Carta geomorfologica - Tav. 3/4                        | CG0800 | P | N5 | D | S | SB | C6 | G0 | 00 | 00 | 07 |
| 36   | Carta geomorfologica - Tav. 4/4                        | CG0800 | P | N5 | D | S | SB | C6 | G0 | 00 | 00 | 08 |
| 36   | Relazione idrogeologica                                | CG0800 | P | RG | D | S | SB | C6 | G0 | 00 | 00 | 03 |
| 36   | Carta idrogeologica - Tav. 1/4                         | CG0800 | P | N5 | D | S | SB | C6 | G0 | 00 | 00 | 09 |
| 36   | Carta idrogeologica - Tav. 2/4                         | CG0800 | P | N5 | D | S | SB | C6 | G0 | 00 | 00 | 10 |
| 36   | Carta idrogeologica - Tav. 3/4                         | CG0800 | P | N5 | D | S | SB | C6 | G0 | 00 | 00 | 11 |
| 36   | Carta idrogeologica - Tav. 4/4                         | CG0800 | P | N5 | D | S | SB | C6 | G0 | 00 | 00 | 12 |
| 36   | Carta dei dissesti - Relazione generale                | CG0800 | P | RG | D | S | SB | C6 | G0 | 00 | 00 | 04 |
| 36   | Carta dei dissesti - Tav. 1/4                          | CG0800 | P | N5 | D | S | SB | C6 | G0 | 00 | 00 | 13 |
| 36   | Carta dei dissesti - Tav. 2/4                          | CG0800 | P | N5 | D | S | SB | C6 | G0 | 00 | 00 | 14 |
| 36   | Carta dei dissesti - Tav. 3/4                          | CG0800 | P | N5 | D | S | SB | C6 | G0 | 00 | 00 | 15 |
| 36   | Carta dei dissesti - Tav. 4/4                          | CG0800 | P | N5 | D | S | SB | C6 | G0 | 00 | 00 | 16 |
| <b>36 Tracciato stradale - Direzione Reggio Calabria</b> |  |        |   |    |   |   |    |    |    |    |    |    |
| 36   | Profilo geologico-geotecnico dal km 0+000 al km 2+400  | CG0800 | P | F6 | D | S | SB | C6 | ST | 00 | 00 | 01 |
| 36   | Profilo geologico-geotecnico dal km 2+300 al km 4+700  | CG0800 | P | F6 | D | S | SB | C6 | ST | 00 | 00 | 02 |
| 36   | Profilo geologico-geotecnico dal km 4+600 al km 7+000  | CG0800 | P | F6 | D | S | SB | C6 | ST | 00 | 00 | 03 |
| 36   | Profilo geologico-geotecnico dal km 6+900 al km 9+300  | CG0800 | P | F6 | D | S | SB | C6 | ST | 00 | 00 | 04 |
| 36   | Profilo geologico-geotecnico dal km 9+200 al km 11+274 | CG0800 | P | F6 | D | S | SB | C6 | ST | 00 | 00 | 05 |
| 36   | Profilo idrogeologico dal km 0+000 al km 2+400         | CG0800 | P | F6 | D | S | SB | C6 | ST | 00 | 00 | 06 |
| 36   | Profilo idrogeologico dal km 2+300 al km 4+700         | CG0800 | P | F6 | D | S | SB | C6 | ST | 00 | 00 | 07 |
| 36   | Profilo idrogeologico dal km 4+600 al km 7+000         | CG0800 | P | F6 | D | S | SB | C6 | ST | 00 | 00 | 08 |
| 36   | Profilo idrogeologico dal km 6+900 al km 9+300         | CG0800 | P | F6 | D | S | SB | C6 | ST | 00 | 00 | 09 |
| 36   | Profilo idrogeologico dal km 9+200 al km 11+274        | CG0800 | P | F6 | D | S | SB | C6 | ST | 00 | 00 | 10 |



**36 Tracciato stradale - Direzione Messina**

|    |  |        |   |    |   |   |    |    |    |    |    |    |    |
|----|--|--------|---|----|---|---|----|----|----|----|----|----|----|
| 36 | Profilo geologico-geotecnico dal km 0+000 al km 2+400  | CG0800 | P | F6 | D | S | SB | C6 | ST | 00 | 00 | 00 | 11 |
| 36 | Profilo geologico-geotecnico dal km 2+300 al km 4+700  | CG0800 | P | F6 | D | S | SB | C6 | ST | 00 | 00 | 00 | 12 |
| 36 | Profilo geologico-geotecnico dal km 4+600 al km 7+000  | CG0800 | P | F6 | D | S | SB | C6 | ST | 00 | 00 | 00 | 13 |
| 36 | Profilo geologico-geotecnico dal km 6+900 al km 9+300  | CG0800 | P | F6 | D | S | SB | C6 | ST | 00 | 00 | 00 | 14 |
| 36 | Profilo geologico-geotecnico dal km 9+200 al km 11+348 | CG0800 | P | F6 | D | S | SB | C6 | ST | 00 | 00 | 00 | 15 |
| 36 | Profilo idrogeologico dal km 0+000 al km 2+400         | CG0800 | P | F6 | D | S | SB | C6 | ST | 00 | 00 | 00 | 16 |
| 36 | Profilo idrogeologico dal km 2+300 al km 4+700         | CG0800 | P | F6 | D | S | SB | C6 | ST | 00 | 00 | 00 | 17 |
| 36 | Profilo idrogeologico dal km 4+600 al km 7+000         | CG0800 | P | F6 | D | S | SB | C6 | ST | 00 | 00 | 00 | 18 |
| 36 | Profilo idrogeologico dal km 6+900 al km 9+300         | CG0800 | P | F6 | D | S | SB | C6 | ST | 00 | 00 | 00 | 19 |
| 36 | Profilo idrogeologico dal km 9+200 al km 11+348        | CG0800 | P | F6 | D | S | SB | C6 | ST | 00 | 00 | 00 | 20 |

**37 PARTE GENERALE STRADALE - OPERE CIVILI**

**37 Sezioni tipo costruttive delle opere d'arte in sotterraneo**

**37 Galleria Naturale**

|    |  |        |   |    |   |   |    |    |    |    |    |    |    |
|----|--|--------|---|----|---|---|----|----|----|----|----|----|----|
| 37 | Sezione tipo C1 - Carpenteria  | CG0800 | P | BB | D | S | GS | T7 | GN | 00 | 00 | 00 | 01 |
| 37 | Sezione tipo C1 - Scavi e consolidamenti                                 | CG0800 | P | WB | D | S | GS | T7 | GN | 00 | 00 | 00 | 01 |
| 37 | Sezione tipo C1 (+1,05) - Carpenteria                                    | CG0800 | P | BB | D | S | GS | T7 | GN | 00 | 00 | 00 | 02 |
| 37 | Sezione tipo C1 (+1,05) - Scavi e consolidamenti                         | CG0800 | P | WB | D | S | GS | T7 | GN | 00 | 00 | 00 | 02 |
| 37 | Sezione tipo C1 Allargata - Carpenteria                                  | CG0800 | P | BB | D | S | GS | T7 | GN | 00 | 00 | 00 | 03 |
| 37 | Sezione tipo C1 Allargata - Scavi e consolidamenti                       | CG0800 | P | WB | D | S | GS | T7 | GN | 00 | 00 | 00 | 03 |
| 37 | Sezione tipo C1 piazzola - Carpenteria                                   | CG0800 | P | BB | D | S | GS | T7 | GN | 00 | 00 | 00 | 04 |
| 37 | Sezione tipo C1 piazzola - Scavi e consolidamenti                        | CG0800 | P | WB | D | S | GS | T7 | GN | 00 | 00 | 00 | 04 |
| 37 | Sezione tipo C1 piazzola (+1,05) - Carpenteria                           | CG0800 | P | BB | D | S | GS | T7 | GN | 00 | 00 | 00 | 05 |
| 37 | Sezione tipo C1 piazzola (+1,05) - Scavi e consolidamenti                | CG0800 | P | WB | D | S | GS | T7 | GN | 00 | 00 | 00 | 05 |
| 37 | "Faro Superiore" - Profilo geotecnico e geomeccanico - dir. RC - tav 1/3 | CG0800 | P | F6 | D | S | GS | T7 | GN | 00 | 00 | 00 | 01 |
| 37 | "Faro Superiore" - Profilo geotecnico e geomeccanico - dir. RC - tav 2/3 | CG0800 | P | F6 | D | S | GS | T7 | GN | 00 | 00 | 00 | 02 |
| 37 | "Faro Superiore" - Profilo geotecnico e geomeccanico - dir. RC - tav 3/3 | CG0800 | P | F6 | D | S | GS | T7 | GN | 00 | 00 | 00 | 03 |
| 37 | "Faro Superiore" - Profilo geotecnico e geomeccanico - dir. ME - tav 1/3 | CG0800 | P | F6 | D | S | GS | T7 | GN | 00 | 00 | 00 | 04 |
| 37 | "Faro Superiore" - Profilo geotecnico e geomeccanico - dir. ME - tav 2/3 | CG0800 | P | F6 | D | S | GS | T7 | GN | 00 | 00 | 00 | 05 |
| 37 | "Faro Superiore" - Profilo geotecnico e geomeccanico - dir. ME - tav 3/3 | CG0800 | P | F6 | D | S | GS | T7 | GN | 00 | 00 | 00 | 06 |

**44 INFRASTRUTTURE STRADALI OPERE CIVILI**

**44 Elementi di carattere generale**

**44 Galleria Naturale**

|    |   |        |   |    |   |   |    |    |    |    |    |    |    |
|----|---|--------|---|----|---|---|----|----|----|----|----|----|----|
| 44 | "Faro Superiore" - Ubicazione by pass nicchie e piazzole - Planimetria generale | CG0800 | P | P6 | D | S | SC | 00 | GN | 00 | 00 | 00 | 01 |
| 44 | By-Pass Carrabile - Tipologico di intervento - Carpenteria                      | CG0800 | P | BB | D | S | SC | 00 | GN | 00 | 00 | 00 | 01 |
| 44 | By-Pass Carrabile - Tipologico di intervento - Scavi TIPO1                      | CG0800 | P | BB | D | S | SC | 00 | GN | 00 | 00 | 00 | 02 |
| 44 | By-Pass Carrabile - Tipologico di intervento - Scavi TIPO2                      | CG0800 | P | BB | D | S | SC | 00 | GN | 00 | 00 | 00 | 06 |
| 44 | By-Pass Pedonale - Tipologico di intervento - Carpenteria                       | CG0800 | P | BB | D | S | SC | 00 | GN | 00 | 00 | 00 | 03 |
| 44 | By-Pass Pedonale - Tipologico di intervento - Scavi                             | CG0800 | P | BB | D | S | SC | 00 | GN | 00 | 00 | 00 | 04 |
| 44 | Sezione tipo con nicchia - Carpenteria, scavo e consolidamento                  | CG0800 | P | BB | D | S | SC | 00 | GN | 00 | 00 | 00 | 05 |
| 44 | Particolari di Impermeabilizzazione e drenaggio (TAV 1/2)                       | CG0800 | P | SB | D | S | SC | 00 | GN | 00 | 00 | 00 | 01 |
| 44 | Particolari di Impermeabilizzazione e drenaggio (TAV 2/2)                       | CG0800 | P | SB | D | S | SC | 00 | GN | 00 | 00 | 00 | 02 |
| 44 | Relazione tecnica generale  | CG0800 | P | RG | D | S | SC | 00 | GN | 00 | 00 | 00 | 01 |

|  |   |   |                  |                           |
|--|---|---|------------------|---------------------------|
|             |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |                  |                           |
| <b>COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA – GALLERIA<br/> “FARO SUPERIORE” – RELAZIONE DI CALCOLO</b> |   | <i>Codice documento</i><br>SS0257_F0.doc                            | <i>Rev</i><br>F0 | <i>Data</i><br>20/06/2011 |

### 3 Caratteristiche dei materiali

#### RIVESTIMENTI DEFINITIVI

##### CALCESTRUZZO PER RIV. DEFINITIVO

|  |                       |
|--|-----------------------|
| classe di resistenza min. (UNI EN 206) | C25/30 tipo II -      |
| tipo di cemento                        | 42,5 o 42,5R -        |
| dosaggio minimo di cemento             | 320 kg/m <sup>3</sup> |
| classe di esposizione                  | XC2                   |

##### PREDALLE PER CASSEFORME BY-PASS

|   |          |
|---|----------|
| SCASSERO: classe di resistenza min.           | C15/20 - |
| TRASPORTO: classe di resistenza min.          | C15/20 - |
| GETTO RIVESTIMENTO: classe di resistenza min. | C25/30 - |
| BARRE: tipo di acciaio                        | B450C -  |

##### MAGRONE DI PULIZIA

|  |          |
|--|----------|
| classe di resistenza min. (UNI EN 206) | C12/15 - |
| classe di esposizione                  | XC2      |

##### ACCIAIO PER C.A

|                   |          |
|-------------------|----------|
| tipo di acciaio   | B450C -  |
| copriferro minimo | c > 5 cm |

#### PRERIVESTIMENTI

##### SPRITZBETON E SPRITZBETON FIBRORINFORZATO (con silicati)

|                                   |             |           |
|-----------------------------------|-------------|-----------|
| resistenza media su carote a 28gg | $f_{cm}$    | 25 MPa    |
| resistenza media su carote a 24h  | $f_{cm-24}$ | 10.00 MPa |
| resistenza media su carote a 48h  | $f_{cm-48}$ | 15.00 MPa |
| rapporto a/c in peso max.         |             | 0.5 -     |

##### FIBRE IN ACCIAIO (CON ESTREMITA' SAGOMATA AD UNCINO)

|                              |     |                        |
|------------------------------|-----|------------------------|
| dosaggio in fibre            |     | = 30 kg/m <sup>3</sup> |
| energia assorbita            |     | 500 J                  |
| resistenza minima a trazione | Rak | 700 MPa                |
| lunghezza                    | L   | 30 mm                  |
| diametro                     | D   | 0.5 mm                 |
| rapporto di aspetto          | L/D | 60 -                   |

##### ACCIAIO

|                                      |         |
|--------------------------------------|---------|
| PROFILATI E PIASTRE: tipo di acciaio | S275 -  |
| CATENE: tipo di acciaio              | B450C - |
| RETE ELETTRICALDATA: tipo di acciaio | B450C - |

##### BULLONI AD ALTA RESISTENZA

|   |       |
|---|-------|
| viti: classe di resistenza                      | 8.8 - |
| dadi: classe di resistenza                      | 8 -   |
| rosette: acciaio temperato e rinvenuto HRC32÷40 | C50 - |

|  |   |   |                  |                           |
|--|---|---|------------------|---------------------------|
|             |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |                  |                           |
| <b>COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA – GALLERIA<br/> “FARO SUPERIORE” – RELAZIONE DI CALCOLO</b> |   | <i>Codice documento</i><br>SS0257_F0.doc                            | <i>Rev</i><br>F0 | <i>Data</i><br>20/06/2011 |

### CONSOLIDAMENTI AL FRONTE

#### MICROJET ARMATO CON TUBI IN VTR

|   |      |              |
|---|------|--------------|
| diametro teorico colonna                              | Dn   | 300 mm       |
| modalità di iniezione                                 |      | Monofluido - |
| res. media a compressione del terreno trattato a 48h  |      | >2 MPa       |
| res. media a compressione del terreno trattato a 28gg |      | >5 MPa       |
| RQD del terreno trattato                              |      | >70 %        |
| Tubo in VTR   | Diam | 60/40 mm     |
| resistenza a trazione (UNI EN 61)                     |      | = 600 MPa    |

#### NOTE

I parametri operativi di intervento saranno definiti con specifico campo prova.

### CONSOLIDAMENTI AL CONTORNO

#### JET-GROUTING

|   |      |                  |
|---|------|------------------|
| diametro teorico colonna                              | Dn   | 600 mm           |
| modalità di iniezione                                 |      | Monofluido -     |
| res. media a compressione del terreno trattato a 48h  |      | >2 MPa           |
| res. media a compressione del terreno trattato a 28gg |      | >5 MPa           |
| RQD del terreno trattato                              |      | >70 %            |
| TUBI IN ACCIAIO: tipo di acciaio                      |      | S355 -           |
| TUBI IN ACCIAIO (ARMATURA STANDARD):                  | diam | 114,3mm sp.10 mm |
| TUBI IN ACCIAIO (JET IN AVANZAMENTO):                 | diam | 168,3mm sp. 8mm  |

#### NOTE

I parametri operativi di intervento saranno definiti con specifico campo prova.

### SISTEMI DI DRENAGGIO

#### DRENAGGI IN AVANZAMENTO EVENTUALI

|  |  |         |
|--|--|---------|
| tubo microfessurato in PVC ad alta resistenza rivestiti in TNT |  |         |
| diametro esterno   |  | 60 mm   |
| spessore   |  | 5 mm    |
| diametro perforazione  |  | 100 mm  |
| resistenza a trazione  |  | 4.5 MPa |

#### TUBI DI RACCOLTA ACQUA SOTTO PIATTAFORMA IN CLS

|                        |  |                 |
|------------------------|--|-----------------|
| diametro               |  | 30-50 cm        |
| sella di appoggio      |  | C20/25 tipo III |
| tubo in cls            |  | C25/30 tipo II  |
| cls di protezione 15cm |  | C20/25 tipo III |

|  |   |   |                  |                           |
|--|---|---|------------------|---------------------------|
|             |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |                  |                           |
| <b>COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA – GALLERIA<br/> “FARO SUPERIORE” – RELAZIONE DI CALCOLO</b> |   | <i>Codice documento</i><br>SS0257_F0.doc                            | <i>Rev</i><br>F0 | <i>Data</i><br>20/06/2011 |

## **4 FASE CONOSCITIVA: Contesto geologico, idrogeologico e geotecnico**

Di seguito si riporta un sintetico inquadramento geologico, geomorfologico, idrogeologico e geotecnico dell’area interessata dallo scavo della Galleria naturale Faro Superiore. Per il dettaglio di tali caratteristiche si rimanda ai singoli elaborati: Relazione geologica generale, Relazione geomorfologica generale, Relazione idrogeologica generale e Relazione geotecnica generale.

### **4.1 Inquadramento geologico**

Dal punto di vista geologico generale lo Stretto di Messina è ubicato in corrispondenza della terminazione meridionale dell’Arco Calabro-Peloritano, caratterizzato, dalle Unità Kabilo-Calabridi o, brevemente Calabridi, e che rappresenta un segmento dell’Orogene Appenninco-Maghrebide.

L’edificio calabro-peloritano è composto da una pila di falde di ricoprimento, caratterizzate da un basamento cristallino con un grado metamorfico crescente verso l’alto, da termini semimetamorfici fino a unità d’alto grado. Nell’area in esame affiora soltanto la falda strutturalmente più elevata, cioè l’Unità dell’Aspromonte, costituita da rocce gneissiche e da micascisti con filoni pegmatitico-aplitici. Tale unità forma il substrato, sul quale poggiano le coperture mioceniche e plio-quadernarie; esso affiora lungo la dorsale peloritana e nell’estremità meridionale della Calabria, dove si aggiungono anche plutoniti a composizione granodioritica. Lembi minori si trovano all’interno della città di Messina, dove formano una dorsale orientata ENE-WSW.

Il quadro strutturale in cui si colloca l’area peritirrenica rappresenta il risultato dello stadio collisionale tra la crosta continentale “panormide”, originario basamento delle Unità Panormidi, riconosciuto nella fascia meridionale del Bacino Tirrenico ed il margine pelagiano della placca africana. A partire dal Pliocene superiore, si è registrata per la maggior parte della Sicilia la totale consumazione della crosta oceanica “paleoionica” che ospitava le coperture bacinali maghrebidi (imeresi, sicane, etc.) ed originariamente interposta tra i due blocchi (quello maghrebide e quello pelagiano). Tale stadio collisionale si è realizzato soltanto per la parte centro-occidentale dell’Isola, dove attualmente il processo di convergenza è inibito, mentre ad est dell’area di Milazzo la crosta “panormide” si contrappone invece alla crosta oceanica ionica, ancora in subduzione. Pertanto l’area dello Stretto si trova in pieno al disopra del processo di subduzione ionica.

Dal punto di vista strutturale esistono più sistemi di faglie:

Il sistema orientato NW-SE a componente destra, denominato Sistema Sud-Tirrenico, ed

|  |   |   |                  |                           |
|--|---|---|------------------|---------------------------|
|             |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |                  |                           |
| <b>COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA – GALLERIA<br/> “FARO SUPERIORE” – RELAZIONE DI CALCOLO</b> |   | <i>Codice documento</i><br>SS0257_F0.doc                            | <i>Rev</i><br>F0 | <i>Data</i><br>20/06/2011 |

interpretato come l’espressione superficiale del generale *shifting* dell’orogene dalle aree in collisione a quelle in subduzione, non è particolarmente evidente nelle zone attorno allo Stretto.

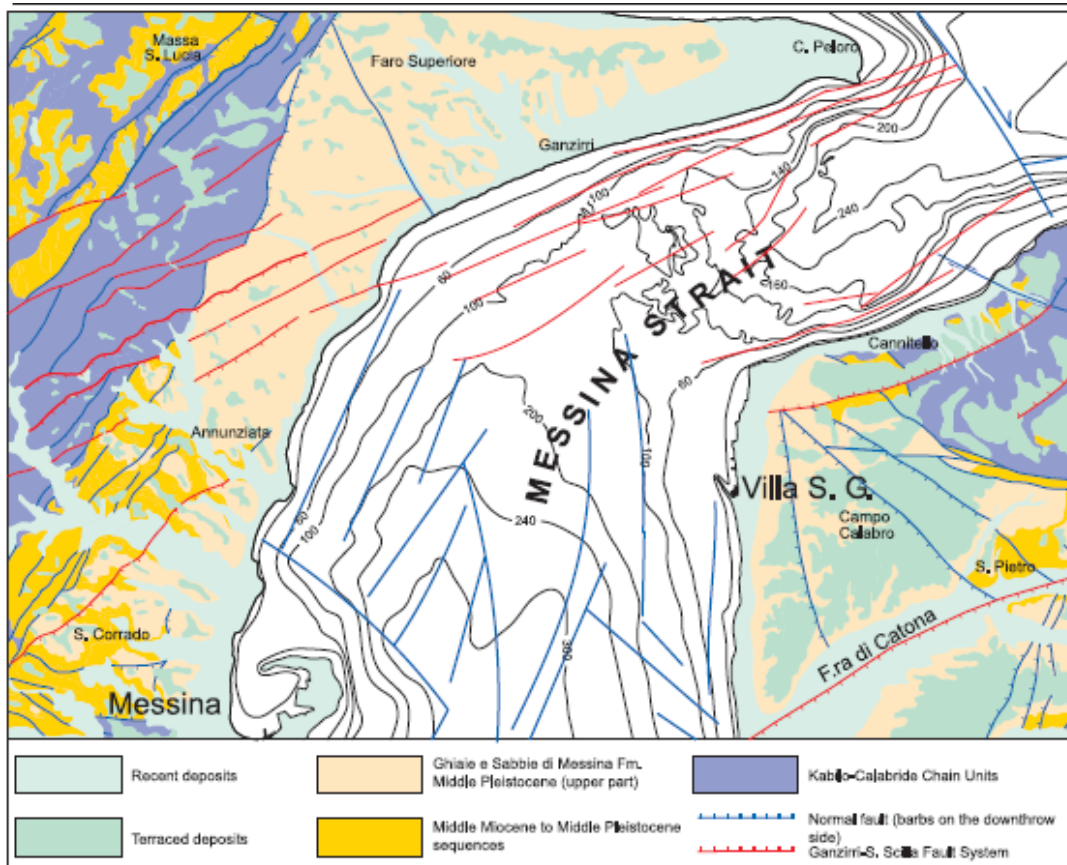
Particolarmente marcato appare il sistema orientato NE-SW.

Il sistema orientato NNE-SSW, è un elemento morfotettonico che domina la dorsale peloritana ed è responsabile della segmentazione dei depositi del Pliocene medio-inferiore, quindi la sua attivazione data dal Pliocene superiore ed è probabilmente attivo anche nel Pleistocene. Ad esso vengono associati da MONACO & TORTORICI (2000) tassi di sollevamento di 0,5-1,2 mm/anno per gli ultimi 700 ka.

Altro importante sistema di faglie è quello orientato ENE-WSW, cui appartiene il Sistema Ganzirri-Scilla e che corrisponde ad un importante elemento geomorfologico, che si esprime con scarpate sottomarine e controlla la morfologia costiera del tratto settentrionale dello Stretto di Messina. Linee sismiche, che attraversano lo Stretto, indicano chiaramente che il fondo mare è ritagliato da queste faglie.

La morfologia del fondo mare tra Villa S. Giovanni e Ganzirri mostra una superficie suborizzontale a profondità variabili da 60 ad 80 m bordata da strutture, che controllano poi la linea di costa su ambedue i lati dello Stretto. Tale piattaforma sommersa potrebbe corrispondere a quella di Campo Piale sul lato calabrese, ubicata a 120-170 m s.l.m.. Ciò implicherebbe un collasso della zona dello Stretto molto superiore ai tassi regionali.

|   |   |   |                  |                           |
|---|---|---|------------------|---------------------------|
|        |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |                  |                           |
| <b>COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA – GALLERIA “FARO SUPERIORE” – RELAZIONE DI CALCOLO</b> |   | <i>Codice documento</i><br>SS0257_F0.doc                            | <i>Rev</i><br>F0 | <i>Data</i><br>20/06/2011 |



**Figura 1 – Schema tettonico dell’area dello Stretto di Messina. Lo schema mostra la distribuzione delle Ghiaie e sabbie di Messina e i recenti sistemi di faglie che interessano l’intera area.**

Studi multidisciplinari eseguiti negli ultimi anni hanno messo in evidenza i caratteri stratigrafici e strutturali di quest’area e di ricostruire il trend evolutivo, che in una zona come questa presenta una complessa storia geodinamica. La ricostruzione stratigrafica, in particolare dell’intervallo pliocenico-quadernario, permette di dedurre il comportamento tettonico e di ricostruire i tassi di sollevamento dei settori siciliano e calabrese, che delimitano lo Stretto. L’analisi sul terreno e i dati delle aree sommerse consentono il riconoscimento di strutture, che controllano l’evoluzione geomorfologica e possono essere messe in relazione con l’attività sismica. Le stesse strutture inoltre possono essere individuate attraverso le linee sismiche, in particolare quelle ubicate nelle aree sommerse.

Nella zona studiata l’assenza delle arenarie del Flysch di Capo d’Orlando, dovuta ad antiche fasi erosive ovvero ad una originaria non sedimentazione, non fornisce indicazioni sulla fase

|  |   |   |                  |                           |
|--|---|---|------------------|---------------------------|
|             |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |                  |                           |
| <b>COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA – GALLERIA<br/> “FARO SUPERIORE” – RELAZIONE DI CALCOLO</b> |   | <i>Codice documento</i><br>SS0257_F0.doc                            | <i>Rev</i><br>F0 | <i>Data</i><br>20/06/2011 |

oligocenica di ricoprimento delle falde cristalline. La copertura sedimentaria inizia con i conglomerati e le sabbie della cosiddetta “molassa”, cioè la Formazione di S. Pier Niceto, ascrivibile al Miocene medio-superiore, presente su ambedue i versanti della dorsale peloritana, e nell’Aspromonte dove è più nota come “Flysch di Motta” (BARRIER et al., 1987) ed alla quale appartiene anche il cosiddetto “Conglomerato di Pezzo”.

Sul versante tirrenico siciliano l’alimentazione di tali depositi indica che la formazione era legata alle fasi incipienti dell’apertura del Bacino Tirrenico, mentre sul versante ionico l’area d’origine poteva essere quella attualmente collassata a formare il cosiddetto *Rise* di Messina, nel bordo ionico siciliano.

Le coperture sedimentarie del Miocene superiore e quelle del Pliocene-Quaternario, distribuite lungo il versante ionico della dorsale peloritana, si presentano lacunose e/o condensate a causa delle ripetute fasi di emersione e avanzamento del mare.

Nello Stretto di Messina il controllo strutturale è estremamente evidente. Una semplice analisi morfostrutturale, condotta anche con l’aiuto di immagini DEM del fondo marino, mostra una netta connessione tra il *trend* ENE-WSW (Sistema di faglie di Scilla) e le marcate scarpate sottomarine presenti sia sul lato calabrese, che su quello siciliano del settore nord dello Stretto. Mentre nella parte a sud dell’allineamento Punta Pezzo – Foce dell’Annunziata lo Stretto assume una direzione prossima a NE-SW, parallela cioè ai *trend* che delimitano la dorsale peloritana.

## 4.2 Inquadramento geomorfologico

Dal punto di vista geomorfologico l’area dello Stretto di Messina è ubicata in corrispondenza della terminazione meridionale dell’Arco Calabro tra la catena dei Monti Peloritani in Sicilia e l’estremità occidentale del Massiccio dell’Aspromonte in Calabria. La sua delimitazione geografica meridionale si pone a Scaletta Zanclea sulla sponda siciliana e a Pellaro su quella calabrese.

I Monti Peloritani si estendono da Capo Peloro sino alla congiungente S. Fratello-Giardini in senso geologico, o sino alla zona di Novara di Sicilia con terminologia geografica. Essi presentano molti caratteri comuni ai monti calabresi: essendo simile la costituzione geologica, appaiono simili anche i lineamenti morfologici di insieme. Risulta, così, molto comune la morfologia data da ampie e profonde fiamme, colmate da spesse coltri alluvionali; mentre diversa si presenta la conformazione delle creste, molto più aguzze e sottili quelle dei Peloritani, specialmente in corrispondenza delle rocce d’alto grado metamorfico, come gli gneiss. Lo spartiacque si trova più vicino alla costa ionica, che a quella tirrenica. Sono anche minori rispetto ai rilievi calabresi le altitudini che non superano di norma i 1300 m. In particolare i rilievi più elevati di tutto il sistema montuoso peloritano



|  |   |   |                  |                           |
|--|---|---|------------------|---------------------------|
|             |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |                  |                           |
| <b>COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA – GALLERIA<br/> “FARO SUPERIORE” – RELAZIONE DI CALCOLO</b> |   | <i>Codice documento</i><br>SS0257_F0.doc                            | <i>Rev</i><br>F0 | <i>Data</i><br>20/06/2011 |

sono Montagna Grande (1374 m) e Rocca Novara (1340 m).

I tratti geomorfologici più significativi dell'area sono dati dalla dorsale dei M. Peloritani e dalle fasce alluvionali che bordano sia la zona ionica della Sicilia, sia la terminazione occidentale del Massiccio dell'Aspromonte. Entrambi le dorsali sono incise da valli con versanti molto acclivi nel tratto a monte, che conferiscono al paesaggio un aspetto aspro. Verso valle il paesaggio è caratterizzato da una successione continua di superfici subpianeggianti variamente estese, degradanti e separate da evidenti gradini, che danno al versante ionico una tipica conformazione a gradinata. Esso è disseccato da incisioni fluviali, che nel loro tratto terminale svasano in pianure alluvionali, più ampie sul versante calabrese.

Questo aspetto è in stretto rapporto con l'evoluzione tettonica recente dell'area che nel Plio-Quaternario ha subito un generale sollevamento, legato a movimenti lungo i principali sistemi di faglie connesse con l'apertura del Bacino Tirrenico e con l'individuazione dello Stretto di Messina. Considerata la varietà delle litologie delle formazioni, anche gli aspetti geomorfologici sono estremamente vari. Infatti alla scarsa erodibilità delle rocce metamorfiche massive, come i gneiss, fa riscontro il degrado delle coperture sedimentarie argilloso-sabbiose oppure ghiaiose. Ma anche tra queste i conglomerati miocenici presentano rilievi aspri e tormentati.

Caratteristica è anche la risposta delle Ghiaie e Sabbie di Messina ai fenomeni di degradazione, con formazione di estese fasce di detrito ghiaioso sia alla base dei rilievi, che lungo le ampie valli. Frequenti sono gli orli di scarpata di degradazione, che quasi sempre non sono associati a coltri di frana, ma semmai a fasce o coni di detrito, come sul versante tirrenico. Gli orli di scarpata di degradazione con andamento semicircolare sono molto diffusi nella formazione delle Ghiaie e Sabbie di Messina e si rinvencono anche laddove si ha la combinazione di faglie dirette che mettono a contatto formazioni con analoghe caratteristiche di erodibilità.

Sono state prodotte quattro carte geomorfologiche, in cui sono state cartografate e delimitate le forme salienti, i bacini evidenziati in cartografia sono stati suddivisi e distinti nel successivo capitolo.

Si tratta in generale di corsi brevi e con pendenze importanti nella parte alta del bacino.

Da Capo Peloro alla Fiumara Annunziata prevalgono gli orli dei terrazzi marini e alla base dei versanti da modesti a forti accumuli di materiali erosi e risedimentati.

L'aspetto più visibile di una morfologia prodotta dall'intervento antropico sono le cave per l'estrazione di inerti e le connesse aree di lavorazione. Nel torrente Pace sono state cartografate tre grosse aree di cava, una sulla strada panoramica dello stretto e due nella fiumara Curcuraci.

Le tavole riportano anche le spiagge e le aree alluvionali. Queste ultime sono in gran parte



|  |   |   |                  |                           |
|--|---|---|------------------|---------------------------|
|             |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |                  |                           |
| <b>COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA – GALLERIA<br/> “FARO SUPERIORE” – RELAZIONE DI CALCOLO</b> |   | <i>Codice documento</i><br>SS0257_F0.doc                            | <i>Rev</i><br>F0 | <i>Data</i><br>20/06/2011 |

occupate dall'urbanizzazione e, poiché raffigurarle entrambe avrebbe comportato una sovrapposizione di retini, che rendeva illeggibile le aree, si è preferito privilegiare la raffigurazione delle aree alluvionali, cioè un elemento morfologico. In alcuni casi tuttavia le aree edificate sono state ottenute sbancando dei versanti acclivi e non le alluvioni, come nel caso della cittadella universitaria dell'Annunziata.

### 4.3 Sintesi lungo il tracciato

Di seguito si riporta una sintesi delle litologie incontrate lungo il tracciato della galleria naturale Faro Superiore.

A partire dall'imbocco della galleria **Faro Superiore**, all'incirca dal km 2,216 dir. Messina e sino al km 5,481 le coperture hanno potenza variabile e comunque limitata.

La medesima problematica è riscontrata nella carreggiata direzione Reggio tra il km 2,171 sino al km 5,414.

Complessivamente il tracciato della galleria naturale Faro Superiore sviluppa interamente alla Formazione delle "Ghiaie di Messina", le cui caratteristiche sono state descritte al precedente paragrafo.

Nell'area dello Stretto di Messina i depositi conglomeratico-sabbiosi affioranti costituiscono la successione tipo delle "Ghiaie e Sabbie di Messina", nota anche come "Formazione di Messina". Originariamente riferita al Calabriano è stata considerata discordante e trasgressiva sul substrato, ed ascritta in modo dubitativo al Pleistocene inferiore-medio.

Dal punto di vista stratigrafico, lungo la fascia costiera dei Monti Peloritani, sia sul lato ionico che tirrenico, e nel settore calabrese, affiorano notevoli volumi di sedimenti conglomeratico-sabbiosi poggianti in discordanza su diversi termini del substrato e sul basamento. Questi depositi clastici, attribuiti alle "Sabbie e Ghiaie di Messina" ed interpretati come il prodotto di antichi apparati fluvio-deltizi alimentati dalla dorsale peloritana ed aspromontina, si sono sviluppati durante le fasi di surrezione dell'area. In effetti essi sono riferibili a sistemi fluviali indipendenti, a volte coalescenti, con rapporti di letto e sviluppo verticale differenti a seconda delle diverse condizioni locali in cui essi si sono accresciuti.

In generale, all'interno di tutta la formazione sono state evidenziate delle dislocazioni che non incideranno in maniera significativa sulle condizioni di stabilità complessiva (Figura 2).

|  |   |   |                  |                           |
|--|---|---|------------------|---------------------------|
|             |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |                  |                           |
| <b>COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA – GALLERIA<br/> “FARO SUPERIORE” – RELAZIONE DI CALCOLO</b> |   | <i>Codice documento</i><br>SS0257_F0.doc                            | <i>Rev</i><br>F0 | <i>Data</i><br>20/06/2011 |



**Figura 2 - Formazione delle Ghiaie e sabbie di Messina: banconi conglomeratici debolmente cementati, con dislocazione degli strati. Loc.: Fiumara Pace, cava Monte Balena.**

La problematica maggiore nella formazione delle Ghiaie e sabbie di Messina è da mettere in evidenza in calotta, ed è dovuta a rilasci e sfornellamenti di materiale, o a causa dello scarso spessore della copertura, o della variabilità granulometrica e di addensamento della litotipi interessati.

Sono prevedibili, infatti, attraversamenti di strati con spessore decimetrico prevalentemente ciottolosi, con coesione e cementazioni nulli (Figura 3).



**Figura 3 - Formazione delle Ghiaie e sabbie di Messina. Livello prevalentemente a ghiaia grossolana (sondaggio S 409).**

|   |   |   |           |                    |
|---|---|---|-----------|--------------------|
|    |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |           |                    |
| COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA – GALLERIA<br>“FARO SUPERIORE” – RELAZIONE DI CALCOLO |   | Codice documento<br>SS0257_F0.doc                                   | Rev<br>F0 | Data<br>20/06/2011 |



**Figura 4 - Affioramento della formazione delle Ghiaie e sabbie di Messina. Loc.: Curcuraci ,cava per estrazione di inerti.**



**Figura 5 - Livello a bassa cementazione all'interno della formazione delle Ghiaie e sabbie di Messina.**

Il grado della cementazione aumenta negli orizzonti cartografati nell'area di Ganzirri (Fig. 5).



|  |   |   |                  |                           |
|--|---|---|------------------|---------------------------|
|             |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |                  |                           |
| <b>COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA – GALLERIA<br/> “FARO SUPERIORE” – RELAZIONE DI CALCOLO</b> |   | <i>Codice documento</i><br>SS0257_F0.doc                            | <i>Rev</i><br>F0 | <i>Data</i><br>20/06/2011 |



*Figura 6 - Banconi conglomeratici ben cementati della formazione Ghiaie e sabbie di Messina. Loc.: Ganzirri, panoramica dello stretto.*

#### **4.4 Inquadramento idrogeologico**

In questo paragrafo si evidenziano i principali aspetti idrogeologici nell’area interessata dalla galleria Faro Superiore: per maggiori dettagli fare riferimento alla relativa Relazione Idrogeologica Descrittiva. La galleria si sviluppa interamente all’interno della Formazione delle ghiaie e sabbie di Messina, quindi in depositi con permeabilità, per porosità, piuttosto elevata. I dati di conducibilità idraulica attualmente disponibili per questi terreni indicano valori dell’ordine del  $1 \times 10^{-4}$  m/s ma, soprattutto nel settore ovest dell’area di progetto, i sondaggi eseguiti in fase di progetto restituiscono valori dell’ordine del  $1 \times 10^{-5}$  m/s e sovente anche inferiori, fino a  $1 \times 10^{-6}$  m/s. Questo fatto è probabilmente dovuto alla presenza di una maggior quantità di livelli cementati nel settore dei Pantani, come già anche fatto rilevare nella relazione geologica generale.

Le ricostruzioni piezometriche effettuate indicano che in tutto il settore esiste una falda a superficie libera, il cui livello si colloca ben al di sotto della quota di platea della galleria. In particolare il livello della falda nel settore in esame varia tra i 3 ed i 5m, mentre la galleria si mantiene sempre a quote superiori ai 60m. Di conseguenza non sono prevedibili impatti sui livelli piezometrici naturali.

Il profilo previsionale realizzato indica però la possibilità di interferenze delle acque di infiltrazione nei confronti della galleria.

La zona di interferenza principale è segnalata tra le pK 3+900 e 4+100 ca., ove il tracciato sottopassa la fiumara che sfocia a mare a Sant’Agata. Tale interferenza è stata ipotizzata a livello del tutto teorico in relazione alla possibilità che in caso di eventi alluvionali particolarmente intensi i

|  |   |   |                  |                           |
|--|---|---|------------------|---------------------------|
|             |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |                  |                           |
| <b>COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA – GALLERIA<br/> “FARO SUPERIORE” – RELAZIONE DI CALCOLO</b> |   | <i>Codice documento</i><br>SS0257_F0.doc                            | <i>Rev</i><br>F0 | <i>Data</i><br>20/06/2011 |

terreni sottostanti la fiumara giungano a saturazione e determinino infiltrazioni verso la galleria. Inoltre l'ipotesi di potenziali infiltrazioni tiene in conto l'eventualità che all'interno delle ghiaie e sabbie di Messina siano presenti dei livelli locali compartimentanti (es. livelli cementati o livelli limosi) in grado, in caso di intense precipitazioni, di sostenere falde temporanee che potrebbero dunque determinare un carico piezometrico sull'opera.

Di fatto, se si fa riferimento ai dati stratigrafici dei sondaggi realizzati nella zona (es. S413), livelli compartimentanti di questo tipo non sembrano esistere, l'ipotesi di possibili infiltrazioni risulta quindi estremamente conservativa.

Altre zone di interferenza secondarie sono state segnalate ogni qualvolta il tracciato interseca una zona di faglia. Va detto che l'ipotesi di zone di interferenza legate alle faglie, nelle ghiaie e sabbie di Messina, è estremamente conservativa, poiché generalmente le zone di faglia in terreni di questo tipo agiscono da elementi di riduzione al deflusso, anziché da elementi di maggior drenaggio. Anche in questo caso comunque il profilo previsionale assume che l'infiltrazione lungo o a lato della faglia, possa determinare maggiori infiltrazioni in direzione della galleria.

#### **4.4.1 Stime sulle portate drenate**

La Galleria Faro si sviluppa totalmente in zona insatura. Ciò nonostante è stato valutato un problema di portate temporanee che si potrebbero generare in corso di scavo al sottopassaggio della fiumara Sant'Agata posta tra il Km 3+900 e 4+100 (canna Reggio). Si tratta di un problema prettamente costruttivo che non ha risvolti di tipo ambientale. In questo caso è stato previsto che temporaneamente, in caso di falde temporanee generatesi in periodi particolarmente piovosi, si potrebbero avere venute transitorie in galleria fino a 30 l/s\*5m.

#### **4.4.2 Perturbazione della piezometria e opere di mitigazione/compensazione**

Le gallerie stradali per la maggior parte del loro sviluppo non determineranno perturbazioni sulla piezometria, dal momento che si svilupperanno in gran parte sopra falda. Solo per alcune zone è prevista una perturbazione della superficie piezometrica in relazione con il permanere di condizioni di drenaggio lungo parte del cavo delle gallerie autostradali lato Sicilia. In particolare si deve considerare l'area in corrispondenza del ramo di monte ovest della Fiumara dell'Annunziata; in questo settore la presenza delle gallerie autostradali in condizioni di cavo parzialmente drenante determinerà molto probabilmente una diminuzione della quota piezometrica di un'entità che è stata spazialmente meglio definita tramite i modelli numerici. Questo abbassamento potrà generare

|   |   |   |                  |                           |
|---|---|---|------------------|---------------------------|
|    |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |                  |                           |
| COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA – GALLERIA<br>“FARO SUPERIORE” – RELAZIONE DI CALCOLO |   | <i>Codice documento</i><br>SS0257_F0.doc                            | <i>Rev</i><br>F0 | <i>Data</i><br>20/06/2011 |

impatti piuttosto consistenti sui pozzi posti nella fiamara nel tratto a valle delle gallerie e più prossimo a queste ultime.

#### **4.5 Sintesi dei parametri geotecnici e individuazione dei parametri operativi di calcolo**

Per i diversi litotipi rinvenuti lungo il tracciato stradale in corrispondenza dell’opera, sono riportati in sintesi i parametri geotecnici di interesse ai fini progettuali utilizzati per la verifica delle sezioni di scavo e dei rivestimenti definitivi. Laddove non vi sono determinazioni dirette per le profondità di interesse, alle quali si colloca l’asse della galleria, i dati di progetto sono estrapolati tenendo conto della variabilità dei parametri stessi con la profondità dal piano campagna in base anche all’esperienza maturata in analoghi contesti. E’ esclusa da tale trattazione la parametrizzazione geotecnica puntuale delle opere d’imbocco; per maggiori indicazioni si faccia riferimento alle relazioni specifiche dei singoli imbocchi.

Per maggiori dettagli sulla caratterizzazione geotecnica degli ammassi si rimanda alla relazione Geotecnica Generale

#### **Sabbie e Ghiaie di Messina**

La caratterizzazione geotecnica della formazione delle Sabbie e Ghiaie di Messina si è basata prevalentemente sui risultati di prove SPT eseguite a profondità relativamente ridotte in relazione all’opera in oggetto. Ai fini del calcolo e della verifica delle opere in sotterraneo, basandosi anche sull’esperienza maturata in contesti simili e sulle evidenze dei rilievi geostrutturali, sono stati individuati due gruppi geomeccanici, differenziati sulla base del probabile grado di cementazione dell’ammasso in relazione alle coperture. In particolare si ritiene che ad elevate coperture la stima dei parametri di resistenza al taglio, con particolare riferimento al “range” di variabilità della coesione di picco, possa essere eccessivamente cautelativa.

In Tabella 2 sono riportati i parametri utilizzati per le verifiche svolte nei successivi Capitoli. La suddivisione in gruppo geomeccanici è da intendersi finalizzata ai fini operativi e di calcolo. Non si esclude, tuttavia, che anche ad elevate coperture si possano incontrare orizzonti poco cementati e caratterizzati da parametri appartenenti al gruppo geomeccanico 2, e viceversa.

| GRUPPI GEOMECCANICI – FORMAZIONE DELLE SABBIE E GHIAIE DI MESSINA |                       |                   |                   |
|---|-----------------------|-------------------|-------------------|
| DATO  | CARAT. GEOT. GENERALE | GRUPPO 1 (z>120m) | GRUPPO 2 (z<120m) |
| $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )                                     | 18÷20                 | 18÷20             | 18÷20             |

|  |   |   |   |            |             |    |            |
|--|---|---|---|------------|-------------|----|------------|
|             |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |   |            |             |    |            |
| <b>COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA – GALLERIA<br/> “FARO SUPERIORE” – RELAZIONE DI CALCOLO</b> |   | <i>Codice documento</i><br>SS0257_F0.doc                            | <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;"><i>Rev</i></td> <td style="width: 50%;"><i>Data</i></td> </tr> <tr> <td>F0</td> <td>20/06/2011</td> </tr> </table> | <i>Rev</i> | <i>Data</i> | F0 | 20/06/2011 |
| <i>Rev</i>   | <i>Data</i>   |   |   |            |             |    |            |
| F0   | 20/06/2011  |   |   |            |             |    |            |

|                             |  |                         |                        |
|-----------------------------|--|-------------------------|------------------------|
| <b>c' piccolo (kPa)</b>     | 0÷10   | 20÷60                   | 0÷10                   |
| <b>φ' piccolo (°)</b>       | 38÷40 (p'ff=0-272KPa)<br>35÷38 (p'ff=272-350KPa) | 35÷38 (p'ff=272-350KPa) | 38÷40 (p'ff=0-272KPa)  |
| <b>C<sub>r</sub>' (kPa)</b> | 0  | 10÷50                   | 0                      |
| <b>φ<sub>r</sub>' (°)</b>   | 33÷35  | 30÷35                   | 33÷35                  |
| <b>E' * (Mpa)</b>           | $E = (17 \div 35) \cdot (z)^{0.65}$              | 650-850                 | 100-450                |
| <b>v' (-)</b>               | 0.2  | 0.2                     | 0.2                    |
| <b>K(m/s)</b>               | $10^{-4} \div 10^{-5}$                           | $10^{-4} \div 10^{-5}$  | $10^{-4} \div 10^{-5}$ |

**Tabella 2 - Parametri di calcolo**

*Simbologia:*

$\gamma_t$  = peso di volume naturale;

$\phi'$  = angolo di attrito operativo;

$c'$  = intercetta di coesione operativa;

$\phi_r'$  = angolo di attrito residuo;

$c_r'$  = intercetta di coesione residua;

$E'$  = modulo di Young “operativo”; \* = si considerano valori nel range per gallerie, fronti di scavo sostenuti con opere di sostegno tipo paratie tirantate e non; valori al minimo del range per fondazioni dirette, fondazioni su pali e rilevati.

$\nu'$  = rapporto di Poisson.

|   |   |   |                  |                           |
|---|---|---|------------------|---------------------------|
|    |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |                  |                           |
| COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA – GALLERIA<br>“FARO SUPERIORE” – RELAZIONE DI CALCOLO |   | <i>Codice documento</i><br>SS0257_F0.doc                            | <i>Rev</i><br>F0 | <i>Data</i><br>20/06/2011 |

## 5 FASE DI DIAGNOSI: Previsioni sul comportamento degli ammassi allo scavo

L'apertura di una cavità in un materiale caratterizzato da un campo di tensioni naturali preesistente indisturbato, dovuto essenzialmente a carichi litostatici e a sforzi tettonici, porta ad una generale ridistribuzione degli sforzi, sia in direzione trasversale che longitudinale, con conseguente incremento delle tensioni al contorno della galleria e già oltre il fronte di scavo.

Si genera così un nuovo campo tensionale che tende a far evolvere l'ammasso intorno al cavo verso una nuova situazione di equilibrio diversa da quella naturale, dando luogo a fenomeni deformativi.

Sulla base delle conoscenze dei terreni interessati dalle gallerie, è possibile, elaborando anche le esperienze maturate in lavori analoghi, svolgere delle previsioni sul comportamento dei terreni allo scavo, necessarie alla definizione degli interventi di stabilizzazione e degli schemi di avanzamento. Queste previsioni sono strettamente connesse con lo studio dello stato tenso-deformativo instauratosi nell'ammasso al contorno della galleria e indotto dalle operazioni di scavo.

La previsione delle modalità di avanzamento in sotterraneo è stata condotta secondo l'approccio del “Metodo per l'Analisi delle Deformazioni Controllate nelle Rocce e nei Suoli (ADECO-RS)”. Sulla base dei dati raccolti in fase di studio geologico e di caratterizzazione geomeccanica degli ammassi da attraversare, sono state effettuate le previsioni di comportamento tenso-deformativo della galleria in assenza di interventi, ed in particolare modo la previsione sul “comportamento deformativo del fronte di scavo”, il quale riveste notevole importanza nella definizione delle condizioni di stabilità, a breve e lungo termine, e degli interventi più idonei per garantirle. Il comportamento del fronte è principalmente condizionato da:

- le caratteristiche di resistenza e deformabilità dell'ammasso connesse con le varie strutture geologiche che interessano le gallerie;
- il comportamento del materiale nel breve e lungo termine: rigonfiamento, squeezing, fluage e rilasci tensionali;
- i carichi litostatici corrispondenti alle coperture in gioco;
- la forma e le dimensioni della sezione di scavo;
- lo schema di avanzamento e la tipologia dello scavo.

Il comportamento del fronte di scavo, al quale è legato quello della cavità, può essere sostanzialmente di tre tipi: “stabile”, “stabile a breve termine” e “instabile”, come di seguito



|  |   |   |                  |                           |
|--|---|---|------------------|---------------------------|
|             |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |                  |                           |
| <b>COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA – GALLERIA<br/> “FARO SUPERIORE” – RELAZIONE DI CALCOLO</b> |   | <i>Codice documento</i><br>SS0257_F0.doc                            | <i>Rev</i><br>F0 | <i>Data</i><br>20/06/2011 |

brevemente illustrato.

### **Gallerie a fronte stabile (CASO A)**

Se il fronte di scavo è stabile, ciò significa che lo stato tensionale al contorno della cavità in prossimità del fronte si mantiene in campo prevalentemente elastico e i fenomeni deformativi osservabili sono di piccola entità e tendono ad esaurirsi rapidamente. In questo caso anche il comportamento del cavo sarà stabile (rimanendo prevalentemente in campo elastico) e quindi non si rendono necessari interventi preventivi di consolidamento. Saranno sufficienti, nel breve termine, interventi di confinamento delle pareti di scavo, e nel lungo termine, la realizzazione del rivestimento definitivo.

### **Gallerie a fronte stabile a breve termine (CASO B)**

Questa condizione si verifica quando lo stato tensionale indotto dall'apertura della cavità supera le caratteristiche di resistenza meccanica del materiale al fronte, che assume un comportamento di tipo elasto-plastico. I fenomeni deformativi connessi con tale redistribuzione delle tensioni sono più accentuati che nel caso precedente e producono nell'ammasso roccioso al fronte una decompressione che porta ad una riduzione della resistenza interna. Questa decompressione deve essere opportunamente regimata, nel breve termine, mediante adeguati interventi di preconsolidamento al fronte (e talora al contorno del cavo), in grado di contenere l'ammasso e condurlo verso condizioni di stabilità; diversamente lo stato tenso-deformativo può evolvere verso condizioni di instabilità del cavo. Il rivestimento definitivo costituirà il margine di sicurezza a lungo termine.

### **Gallerie a fronte instabile (CASO C)**

L'instabilità progressiva del fronte di scavo è attribuibile ad una accentuazione dei fenomeni deformativi nel campo plastico, che risultano immediati, più rilevanti e si manifestano prima ancora che avvenga lo scavo, oltre il fronte stesso. Di conseguenza tali deformazioni producono una decompressione più spinta nell'ammasso roccioso al fronte e portano ad un decadimento rapido e progressivo delle caratteristiche meccaniche d'ammasso. Questo tipo di decompressione più accentuata deve essere contenuta prima dell'arrivo del fronte di scavo e richiede pertanto interventi di preconsolidamento sistematici in avanzamento che consentiranno di creare artificialmente quell'effetto arco capace di far evolvere la situazione verso configurazioni di equilibrio stabile nel breve termine e, con l'aggiunta del rivestimento definitivo, anche nel lungo termine.

Si vuole ora determinare il comportamento dell'ammasso allo scavo in funzione delle caratteristiche geotecniche del terreno attraversato, della sezione di scavo e dei carichi litostatici

|  |   |   |                  |                           |
|--|---|---|------------------|---------------------------|
|             |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |                  |                           |
| <b>COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA – GALLERIA<br/> “FARO SUPERIORE” – RELAZIONE DI CALCOLO</b> |   | <i>Codice documento</i><br>SS0257_F0.doc                            | <i>Rev</i><br>F0 | <i>Data</i><br>20/06/2011 |

dovuti alle differenti coperture riscontrate lungo il tracciato della galleria in oggetto.

Per ogni singolo gruppo sarà possibile ottenere diverse classi di comportamento allo scavo in funzione delle diverse coperture in esame. Nella successiva fase di terapia, in cui si definiranno gli interventi necessari per l'avanzamento nelle diverse classi di comportamento, ad una stessa classe di comportamento potranno corrispondere diverse sezioni tipo, adeguate alle caratteristiche geologiche e fisiche di ogni formazione.

## **5.1 Individuazione delle sezioni di calcolo e analisi mediante linee caratteristiche**

Per la determinazione del comportamento dell'ammasso allo scavo è stata utilizzata la teoria delle linee caratteristiche applicata con coperture minime pari a circa 3 diametri; per maggiori chiarimenti su tale metodologia di calcolo si rimanda alla teoria riportata in “Allegato – Riferimenti teorici e di calcolo”.

La galleria Faro Superiore attraversa per tutto il suo sviluppo la formazione delle Ghiaie di Messina, ed è interessata da coperture massime, misurate dal piano dei centri, pari a circa 80m.

Per le verifiche con il metodo delle curve caratteristiche è stata adottata la soluzione fornita da Lombardi (1974) che permette di determinare la curva caratteristica in condizioni piane, e quelle in prossimità del fronte tenendo conto di uno stato di tensione tridimensionale dovuto alla deviazione delle linee di forza delle tensioni longitudinali. Il materiale viene considerato elasto-plastico con criterio di rottura di Mohr-Coulomb.

I dati di input delle analisi sono assunti in accordo con la Combinazione 1 dell'Approccio 1 (A1-M1-R1), come specificato nel Paragrafo 2.1. I parametri geotecnici utilizzati rappresentano parametri di calcolo operativi assunti all'interno del “range” di variabilità descritto nel paragrafo di caratterizzazione geotecnica. La scelta operativa all'interno del “range” è legata sia alla tipologia di analisi, sia alle incertezze e al “peso” del parametro nella tipologia di analisi stessa.

Il diametro equivalente inserito nelle analisi è stato calcolato dall'area di scavo di progetto comprensiva dell'arco rovescio, con approssimazione pari a 50cm. Nel caso di sezioni a geometria variabile si è considerata, a favore di sicurezza, l'area di scavo massima. I valori di copertura utilizzati sono da intendersi misurati dal piano dei centri.

Le linee caratteristiche sono riportate in “Allegato – Linee caratteristiche”; di seguito si propone una tabella riepilogativa delle analisi effettuate.

|  |   |   |                  |                           |
|--|---|---|------------------|---------------------------|
|             |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |                  |                           |
| <b>COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA – GALLERIA<br/> “FARO SUPERIORE” – RELAZIONE DI CALCOLO</b> |   | <i>Codice documento</i><br>SS0257_F0.doc                            | <i>Rev</i><br>F0 | <i>Data</i><br>20/06/2011 |

| Geometrical Data                   |           |                      | SEZ. STANDARD |      |      | SEZ. STANDARD+1.05 |      |      | SEZ. ALLARGO |      | SEZ. PIAZZOLA + 1,05 |      |
|------------------------------------|-----------|----------------------|---------------|------|------|--------------------|------|------|--------------|------|----------------------|------|
| Equivalent Tunnel Radius           | ri        | [m]                  | 7,5           | 7,5  | 7,5  | 8                  | 8    | 8    | 8,75         | 8,75 | 9,5                  | 9,5  |
| Overburden                         | H         | [m]                  | 45            | 60   | 80   | 45                 | 60   | 80   | 45           | 55   | 45                   | 55   |
| Unit weight of the rock mass       | g         | [kN/m <sup>3</sup> ] | 19            | 19   | 19   | 19                 | 19   | 19   | 19           | 19   | 19                   | 19   |
| <b>Resistance Parameters</b>       |           |                      |               |      |      |                    |      |      |              |      |                      |      |
| Cohesion in the elastic zone       | Cel       | [kPa]                | 5             | 5    | 5    | 5                  | 5    | 5    | 5            | 5    | 5                    | 5    |
| Cohesion in the plastic zone       | Cpl       | [kPa]                | 0,4           | 0,4  | 0,4  | 0,4                | 0,4  | 0,4  | 0,4          | 0,4  | 0,4                  | 0,4  |
| Friction angle in the elastic zone | Φel       | [°]                  | 39            | 39   | 39   | 39                 | 39   | 39   | 39           | 39   | 39                   | 39   |
| Friction angle in the plastic zone | Φpl       | [°]                  | 34            | 34   | 34   | 34                 | 34   | 34   | 34           | 34   | 34                   | 34   |
| <b>Elastic parameters</b>          |           |                      |               |      |      |                    |      |      |              |      |                      |      |
| Deformation moduls in elastic zone | Eel       | [MPa]                | 275           | 350  | 450  | 275                | 350  | 450  | 275          | 350  | 350                  | 350  |
| Deformation moduls in plastic zone | Epl       | [MPa]                | 275           | 350  | 450  | 275                | 350  | 450  | 275          | 350  | 350                  | 350  |
| Poisson's ratio                    | ν         | [-]                  | 0,2           | 0,3  | 0,3  | 0,3                | 0,3  | 0,3  | 0,3          | 0,3  | 0,3                  | 0,3  |
| Volume increase in plastic zone    | ΔV        | [%]                  | 0             | 0    | 0    | 0                  | 0    | 0    | 0            | 0    | 0                    | 0    |
| <b>DEFORMATION RESULTS</b>         |           |                      |               |      |      |                    |      |      |              |      |                      |      |
| Critical pressure                  | Pcr       | [MPa]                | 0,31          | 0,42 | 0,56 | 0,31               | 0,42 | 0,56 | 0,31         | 0,38 | 0,31                 | 0,38 |
| Max cavity def. (2D)               | u2d∞      | [cm]                 | INST          | INST | INST | INST               | INST | INST | INST         | INST | INST                 | INST |
| Rpl (2D)/Ro                        | Rpmax/r0  | [-]                  | 11,8          | 13,3 | 14,9 | 11,8               | 13,3 | 14,9 | 11,8         | 12,8 | 11,8                 | 12,8 |
| Cavity def. at the face            | uf        | [cm]                 | 57,0          | 64,5 | 78,8 | 55,8               | 68,9 | 84,2 | 61,1         | 65,8 | 52,2                 | 71,6 |
| Rpl (Face)/Ro                      | Rpface/r0 | [-]                  | 4,2           | 4,6  | 5,0  | 4,2                | 4,6  | 5,0  | 4,2          | 4,5  | 4,2                  | 4,5  |

INST = Deformazione maggiore di 80cm

Visti i risultati delle analisi svolte in assenza di interventi di sostegno, risulta evidente lo sviluppo di fenomeni deformativi plastici di entità rilevante che riguardano sia il fronte dello scavo che la cavità. Il comportamento del fronte di scavo, a cui è legato quello della cavità, può essere classificato di tipo C, ovvero “instabile”.

|  |   |   |                  |                           |
|--|---|---|------------------|---------------------------|
|             |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |                  |                           |
| <b>COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA – GALLERIA<br/> “FARO SUPERIORE” – RELAZIONE DI CALCOLO</b> |   | <i>Codice documento</i><br>SS0257_F0.doc                            | <i>Rev</i><br>F0 | <i>Data</i><br>20/06/2011 |

## 6 FASE DI TERAPIA

Per lo scavo della galleria in oggetto si prevede l'applicazione prevalente della Sezione Tipo C1. Per quanto concerne la variabilità della sezione tipo, i criteri applicativi, i dettagli sugli interventi, e per tutto quanto non esplicitamente riportato si rimanda alla Relazione Tecnica Generale, parte integrante del Progetto.

Nella tabella seguente si riporta una sintesi delle caratteristiche principali delle sezioni tipo applicate per lo scavo della galleria in oggetto; si ricorda che quanto indicato in tabella rappresenta la sezione media di intervento.

| SEZIONE TIPO | CAMPO DI APPLICAZIONE  | TIPO DI CARREGGIATA  | PRECONS. FRONTE               | PRECONS. CONTORNO        | PRESOSTEGNO      | SPRITZ BETON | CENTINE     |
|--------------|--|--|-------------------------------|--------------------------|------------------|--------------|-------------|
| C1           | Applicata nella formazione delle "GHIAIE E SABBIE DI MESSINA Gruppo Geomeccanico 2" per coperture maggiori di 25m circa e sino a coperture massime di 100m circa.  | STANDARD   | MICRO JET ARMATO CON TUBI VTR | JET Dn600                | -                | 25CM         | 2IPN200/100 |
| C1_IN        | Applicata nella formazione delle "GHIAIE E SABBIE DI MESSINA Gruppo Geomeccanico 2" per coperture inferiori ai 25m circa.  | STANDARD   | MICRO JET ARMATO CON TUBI VTR | JET Dn600                | INFILAGGI SU 120 | 25CM         | 2IPN200/100 |
| C1_SE        | Applicata nella formazione delle "GHIAIE E SABBIE DI MESSINA Gruppo Geomeccanico 2" in presenza di edifici "sensibili"   | STANDARD   | MICRO JET ARMATO CON TUBI VTR | JET Dn600 IN AVANZAMENTO | INFILAGGI SU 120 | 25CM         | 2IPN200/75  |
| C1+1,05      | Applicata nella formazione delle "GHIAIE E SABBIE DI MESSINA Gruppo Geomeccanico 2" per coperture maggiori di 25m circa e sino a coperture massime di 100m circa.  | ALLARGO VISIBILITA' 0.90m/0.95m/1.05m                        | MICRO JET ARMATO CON TUBI VTR | JET Dn600                | -                | 25CM         | 2IPN220/100 |
| C1+1,05_IN   | Applicata nella formazione delle "GHIAIE E SABBIE DI MESSINA Gruppo Geomeccanico 2" per coperture inferiori ai 25m circa.  | ALLARGO VISIBILITA' 0.90m/0.95m/1.05m                        | \                             | JET Dn600                | INFILAGGI SU 120 | 25CM         | 2IPN220/100 |
| C1+1,05_SE   | Applicata nella formazione delle "GHIAIE E SABBIE DI MESSINA Gruppo Geomeccanico 2" in presenza di edifici "sensibili"   | ALLARGO VISIBILITA' 0.90m/0.95m/1.05m                        | MICRO JET ARMATO CON TUBI VTR | JET Dn600 IN AVANZAMENTO | INFILAGGI SU 120 | 25CM         | 2IPN220/75  |
| C1P          | Applicata nella formazione delle "GHIAIE E SABBIE DI MESSINA Gruppo Geomeccanico 2" indipendentemente dalle coperture. Applicata anche nella formazione di San Pier Niceto (facies conglomeratica) per le basse coperture. | PIAZZOLA DI SOSTA  | MICRO JET ARMATO CON TUBI VTR | JET Dn600 IN AVANZAMENTO | INFILAGGI SU 120 | 25CM         | 2IPN240/100 |
| C1P_SE       | Applicata nella formazione delle "GHIAIE E SABBIE DI MESSINA Gruppo Geomeccanico 2" in presenza di edifici "sensibili"   | PIAZZOLA DI SOSTA  | MICRO JET ARMATO CON TUBI VTR | JET Dn600 IN AVANZAMENTO | INFILAGGI SU 120 | 25CM         | 2IPN240/75  |
| C1_ALL       | Applicata nella formazione delle "GHIAIE E SABBIE DI MESSINA Gruppo Geomeccanico 2" indipendentemente dalle coperture.   | CORSIA ACCELERAZIONE/DECELERAZIONE/ALLARGO VISIBILITA' +2.75 | MICRO JET ARMATO CON TUBI VTR | JET Dn600 IN AVANZAMENTO | INFILAGGI SU 120 | 25CM         | 2IPN240/100 |
| C1_ALL_SE    | Applicata nella formazione delle "GHIAIE E SABBIE DI MESSINA Gruppo Geomeccanico 2" in presenza di edifici "sensibili"   | CORSIA ACCELERAZIONE/DECELERAZIONE/ALLARGO VISIBILITA' +2.75 | MICRO JET ARMATO CON TUBI VTR | JET Dn600 IN AVANZAMENTO | INFILAGGI SU 120 | 25CM         | 2IPN240/75  |
| C1P+1,05     | Applicata nella formazione delle "GHIAIE E SABBIE DI MESSINA Gruppo Geomeccanico 2" indipendentemente dalle coperture. Applicata anche nella formazione di San Pier Niceto (facies conglomeratica) per le basse coperture. | PIAZZOLA DI SOSTA CON ALLARGO VISIBILITA' +1.05              | MICRO JET ARMATO CON TUBI VTR | JET Dn600 IN AVANZAMENTO | INFILAGGI SU 120 | 30CM         | 2IPN260/90  |
| C1P+1,05_SE  | Applicata nella formazione delle "GHIAIE E SABBIE DI MESSINA Gruppo Geomeccanico 2" in presenza di edifici "sensibili"   | PIAZZOLA DI SOSTA CON ALLARGO VISIBILITA' +1.05              | MICRO JET ARMATO CON TUBI VTR | JET Dn600 IN AVANZAMENTO | INFILAGGI SU 120 | 30CM         | 2IPN260/75  |

**Tabella 3 Sintesi sezioni tipo applicate**

|  |   |   |                  |                           |
|--|---|---|------------------|---------------------------|
|             |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |                  |                           |
| <b>COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA – GALLERIA<br/> “FARO SUPERIORE” – RELAZIONE DI CALCOLO</b> |   | <i>Codice documento</i><br>SS0257_F0.doc                            | <i>Rev</i><br>F0 | <i>Data</i><br>20/06/2011 |

Per le analisi sono stati utilizzati i coefficienti di sicurezza relativi alla Combinazione 1 dell’Approccio 1 (A1-M1-R1), come specificato nel Paragrafo 2.1.

L’effetto stabilizzante dovuto alla presenza di trattamenti di rinforzo del fronte (VTR, Jet-grouting, micro-jet armati con tubi in VTR, ecc.) posti in opera in avanzamento è stato tenuto in conto incrementando la coesione del nucleo di scavo. Tale contributo è stato valutato come il minimo tra la resistenza allo sfilamento della fondazione e la resistenza a rottura del tubo. Inoltre è stato assunto che la tensione tangenziale lungo la superficie di contatto tra la fondazione ed il terreno circostante sia distribuita uniformemente su di una lunghezza efficace ridotta.

Per mancanza di prove dirette a sfilamento, nella formazione delle Sabbie e Ghiaie di Messina, è stato assunto un valore cautelativo della tensione tangenziale del terreno, per profondità fino a 60m, compreso tra 150kPa e 200kPa e tra 250kPa e 450kPa per profondità maggiori. I valori sono ipotizzati tenendo conto anche dei grafici riportati in letteratura (Bustamante – Doix), che mettono in relazione la tensione laterale di aderenza con il grado di addensamento del terreno, legato alle prove SPT.

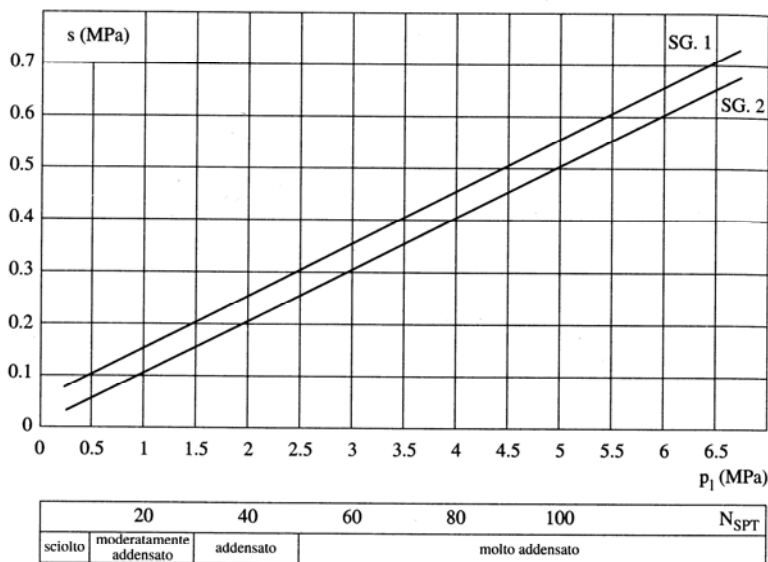


Fig. 13.16. Abaco per il calcolo di s per sabbie e ghiaie

Il valore caratteristico della resistenza allo sfilamento è stato valutato applicando dei coefficienti correttivi ai valori medi della resistenza del terreno. Cautelativamente tale valore riduttivo è stato posto pari ad 1.8, pertanto si ha che:

|  |   |   |                  |                           |
|--|---|---|------------------|---------------------------|
|             |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |                  |                           |
| <b>COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA – GALLERIA<br/> “FARO SUPERIORE” – RELAZIONE DI CALCOLO</b> |   | <i>Codice documento</i><br>SS0257_F0.doc                            | <i>Rev</i><br>F0 | <i>Data</i><br>20/06/2011 |

$$\tau_{lim,Rd} = \frac{\tau_{lim}}{\xi_{a3}} = \begin{cases} 180 / 1.8 = 100kPa & \text{per } D \leq 60m \\ 360 / 1.8 = 200kPa & \text{per } D > 60m \end{cases}$$

Con :

$$\xi_{a3} = 1.8$$

Per maggiori dettagli sulla valutazione del contributo dei consolidamenti all'incremento di coesione si faccia riferimento alla teoria riportata in “Allegato – Riferimenti teorici e di calcolo”.

Il calcolo delle tensioni agenti sul rivestimento definitivo fa riferimento allo spessore medio della calotta.

Alla base della teoria delle linee caratteristiche vi è l'ipotesi di scavo circolare in mezzo omogeneo, isotropo e in condizioni di spinta assialsimmetriche; questo comporta che la sezione risulti, per definizione, interamente compressa. In questa fase di analisi non si è pertanto tenuto conto dell'eventuale presenza di armatura all'interno del rivestimento definitivo. Nelle sezioni singolari, alle basse coperture ed in tutti i casi in cui verranno condotte delle analisi numeriche di approfondimento, eventuali armature necessarie verranno dimensionate caso per caso.

Le analisi complete svolte mediante le linee caratteristiche sono riportate in “Allegato – Linee caratteristiche”; di seguito si propone una tabella riepilogativa delle analisi effettuate.

|   |   |   |  |  |                  |
|---|---|---|--|--|------------------|
|  |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b>                               |  |  |                  |
|   |   | <b>COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA – GALLERIA</b><br><b>“FARO SUPERIORE” – RELAZIONE DI CALCOLO</b> |  | <i>Codice documento</i><br>SS0257_F0.doc | <i>Rev</i><br>F0 |

GALLERIA FARO SUPERIORE - SINTESI LC\_TERAPIA - GHIAIE DI MESSINA

| Geometrical Data                      |   |                      | SEZ TIPO C1 |        |        | SEZ TIPO C1+1,05 |        |        | SEZ. C1 ALLARGO |        | SEZ. C1+1,05 PIAZZOLA |        |
|---------------------------------------|---|----------------------|-------------|--------|--------|------------------|--------|--------|-----------------|--------|-----------------------|--------|
| Equivalent Tunnel Radius              | ri  | [m]                  | 7.5         | 7.5    | 7.5    | 8                | 8      | 8      | 8.75            | 8.75   | 9.5                   | 9.5    |
| Overburden                            | H   | [m]                  | 45          | 60     | 80     | 45               | 60     | 80     | 45              | 55     | 45                    | 55     |
| Unit weight of the rock mass          | $\gamma$                                    | [kN/m <sup>3</sup> ] | 19          | 19     | 19     | 19               | 19     | 19     | 19              | 19     | 19                    | 19     |
| <b>Resistance Parameters</b>          |   |                      |             |        |        |                  |        |        |                 |        |                       |        |
| Cohesion in the elastic zone          | Cel   | [kPa]                | 5           | 5      | 5      | 5                | 5      | 5      | 5               | 5      | 5                     | 5      |
| Cohesion in the plastic zone          | Cpl   | [kPa]                | 0           | 0      | 0      | 0                | 0      | 0      | 0               | 0      | 0                     | 0      |
| Friction angle in the elastic zone    | $\phi_{el}$                                 | [°]                  | 39          | 39     | 39     | 39               | 39     | 39     | 39              | 39     | 39                    | 39     |
| Friction angle in the plastic zone    | $\phi_{pl}$                                 | [°]                  | 34          | 34     | 34     | 34               | 34     | 34     | 34              | 34     | 34                    | 34     |
| <b>Elastic parameters</b>             |   |                      |             |        |        |                  |        |        |                 |        |                       |        |
| Deformation moduls in elastic zone    | Eel   | [MPa]                | 275         | 350    | 450    | 275              | 350    | 450    | 275             | 350    | 275                   | 350    |
| Deformation moduls in plastic zone    | Epl   | [MPa]                | 275         | 350    | 450    | 275              | 350    | 450    | 275             | 350    | 275                   | 350    |
| Poisson's ratio                       | $\nu$                                       | [-]                  | 0.3         | 0.3    | 0.3    | 0.3              | 0.3    | 0.3    | 0.3             | 0.3    | 0.3                   | 0.3    |
| Volume increase in plastic zone       | $\Delta V$                                  | [%]                  | 0           | 0      | 0      | 0                | 0      | 0      | 0               | 0      | 0                     | 0      |
| <b>PRECONFINEMENT (Therapy Phase)</b> |   |                      |             |        |        |                  |        |        |                 |        |                       |        |
| Number of reinforcements              | n°  | [-]                  | 45          | 58     | 58     | 52               | 65     | 65     | 70              | 80     | 82                    | 100    |
| Design Length                         | L   | [m]                  | 9           | 9      | 9      | 9                | 9      | 9      | 9               | 9      | 9                     | 9      |
| Cohesion improvement                  | $\Delta c$                                  | [kPa]                | 226         | 292    | 299    | 230              | 287    | 295    | 259             | 296    | 257                   | 314    |
| <b>SUPPORT DATA (Therapy Phase)</b>   |   |                      |             |        |        |                  |        |        |                 |        |                       |        |
| Shotcrete Thickness                   | t   | [cm]                 | 25          | 25     | 25     | 25               | 25     | 25     | 25              | 25     | 30                    | 30     |
| Compression strenght (medium)         | f <sub>cm</sub>                             | [MPa]                | 25          | 25     | 25     | 25               | 25     | 25     | 25              | 25     | 25                    | 25     |
| Steel ribs profile                    | -   | -                    | IPN200      | IPN200 | IPN200 | IPN220           | IPN220 | IPN220 | IPN240          | IPN240 | IPN260                | IPN260 |
| Number of profiles                    | n   | -                    | 2.00        | 2.00   | 2.00   | 2.00             | 2.00   | 2.00   | 2.00            | 2.00   | 2.00                  | 2.00   |
| Steel ribs spacing                    | s   | [m]                  | 1.00        | 1.00   | 1.00   | 1.00             | 1.00   | 1.00   | 1.00            | 1.00   | 0.90                  | 0.90   |
| <b>DEFORMATION RESULTS</b>            |   |                      |             |        |        |                  |        |        |                 |        |                       |        |
| Critical pressure                     | P <sub>cr</sub>                             | [MPa]                | 0.31        | 0.42   | 0.56   | 0.31             | 0.42   | 0.56   | 0.31            | 0.38   | 0.31                  | 0.38   |
| Cavity def. at the face               | u <sub>f</sub>                              | [cm]                 | 1.5         | 1.6    | 2.0    | 1.5              | 1.7    | 2.2    | 3.2             | 1.6    | 1.7                   | 1.6    |
| Rpl (Face)/Ro                         | R <sub>pface</sub> /r <sub>0</sub>          | [-]                  | 1.0         | 1.0    | 1.0    | 1.0              | 1.0    | 1.0    | 1.2             | 1.0    | 1.0                   | 1.0    |
| Deformation at (x) m                  | u(x)  | [cm]                 | 1.5         | 1.6    | 2.0    | 1.5              | 1.7    | 2.2    | 3.2             | 1.6    | 1.7                   | 1.6    |
| Def.at (x)m regarding gap             | u'(x)                                       | [cm]                 | 1.5         | 1.6    | 2.0    | 1.5              | 1.7    | 2.2    | 3.2             | 1.6    | 1.7                   | 1.6    |
| Def.at equilibrium point              | u <sub>eq</sub>                             | [cm]                 | 3.0         | 3.4    | 4.1    | 3.2              | 3.7    | 4.4    | 5.2             | 3.7    | 3.6                   | 3.7    |
| Conv.at equilibrium point             | C <sub>eq</sub>                             | [cm]                 | 3.1         | 3.7    | 4.2    | 3.3              | 4.0    | 4.5    | 4.0             | 4.2    | 3.7                   | 4.2    |
| Rpl (eq)/Ro                           | R <sub>p<sub>eq</sub></sub> /r <sub>0</sub> | [-]                  | 1.2         | 1.2    | 1.3    | 1.2              | 1.2    | 1.3    | 1.2             | 1.2    | 1.2                   | 1.2    |
| Equilibrium pressure                  | C <sub>1</sub>                              | [MPa]                | 0.2         | 0.2    | 0.3    | 0.2              | 0.2    | 0.3    | 0.2             | 0.2    | 0.2                   | 0.2    |
| <b>TEMPORARY LINING RESULTS</b>       |   |                      |             |        |        |                  |        |        |                 |        |                       |        |
| Steel ribs stress                     | $\sigma_{st}$                               | [MPa]                | 50.3        | 61.1   | 69.1   | 51.2             | 62.1   | 69.9   | 56.3            | 58.9   | 48.6                  | 54.6   |
| Shotcrete stress                      | $\sigma_{sc}$                               | [MPa]                | 5.0         | 6.1    | 6.9    | 5.1              | 6.2    | 7.0    | 5.6             | 5.9    | 4.9                   | 5.5    |
| <b>SUPPORT RESULTS</b>                |   |                      |             |        |        |                  |        |        |                 |        |                       |        |
| Concrete stress                       | $\sigma_b$                                  | [MPa]                | 1.8         | 2.2    | 2.5    | 1.9              | 2.3    | 2.6    | 2.1             | 2.2    | 2.2                   | 2.5    |
| Reinforcement stress                  | $\sigma_s$                                  | [MPa]                | -           | -      | -      | -                | -      | -      | -               | -      | -                     | -      |

Gli interventi di consolidamento inseriti nelle verifiche tengono conto della variabilità della sezione (Minima – Media – Massima). L'intensità di tali interventi è studiata in accordo con le linee guida presentate nel Paragrafo 1.1. Per gli interventi medi applicati per ciascuna tipologia di sezione si vedano gli elaborati grafici di riferimento.

### 6.1.1 Verifica tensionale dei rivestimenti

Le verifiche agli stati limite sono state condotte confrontando le tensioni di calcolo, opportunamente amplificate secondo i coefficienti previsti da normativa ( $\gamma_{G1} = 1.3$  - vedi tabella di seguito), con le resistenze di progetto.

|  |   |   |                  |                           |
|--|---|---|------------------|---------------------------|
|             |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |                  |                           |
| <b>COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA – GALLERIA<br/> “FARO SUPERIORE” – RELAZIONE DI CALCOLO</b> |   | <i>Codice documento</i><br>SS0257_F0.doc                            | <i>Rev</i><br>F0 | <i>Data</i><br>20/06/2011 |

Si riporta la Tabella 2.6.1 delle Norme tecniche delle costruzioni. In essa sono contenuti i Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU.

|                                       |                           | Coefficiente $\gamma_F$ | EQU        | A1 STR     | A2 GEO     |
|---------------------------------------|---------------------------|-------------------------|------------|------------|------------|
| Carichi permanenti                    | favorevoli<br>sfavorevoli | $\gamma_{G1}$           | 0,9<br>1,1 | 1,0<br>1,3 | 1,0<br>1,0 |
| Carichi permanenti non strutturali(1) | favorevoli<br>sfavorevoli | $\gamma_{G2}$           | 0,0<br>1,5 | 0,0<br>1,5 | 0,0<br>1,3 |
| Carichi variabili                     | favorevoli<br>sfavorevoli | $\gamma_{Qi}$           | 0,0<br>1,5 | 0,0<br>1,5 | 0,0<br>1,3 |

(1) Nel 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.

### 6.1.1.1 Verifica dei rivestimenti di prima fase

Di seguito si riportano i valori delle sollecitazioni agenti sul rivestimento di prima fase ottenuti dalle analisi delle linee caratteristiche, amplificate per il coefficiente moltiplicativo previsto da normativa.

#### VERIFICHE DEI RIVESTIMENTI DI PRIMA FASE

| Overburden        | H                               | [m]   | SEZ TIPO C1 |      |      | SEZ TIPO C1+1,05 |      |      | SEZ. C1 ALLARGO |      | SEZ. C1+1,05 PIAZZOLA |      |
|-------------------|---------------------------------|-------|-------------|------|------|------------------|------|------|-----------------|------|-----------------------|------|
|                   |                                 |       | 45          | 60   | 80   | 45               | 60   | 80   | 45              | 55   | 45                    | 55   |
| Steel ribs stress | $\sigma_{st} \cdot \gamma_{G1}$ | [MPa] | 65.4        | 79.4 | 89.8 | 66.6             | 80.8 | 90.8 | 73.2            | 76.6 | 63.2                  | 70.9 |
| Shotcrete stress  | $\sigma_{sc} \cdot \gamma_{G1}$ | [MPa] | 6.5         | 7.9  | 9.0  | 6.7              | 8.1  | 9.1  | 7.3             | 7.7  | 6.3                   | 7.1  |

$\gamma_{G1}$  1.3

Le sollecitazioni di progetto risultano compatibili con le resistenze dei materiali utilizzati:

- Acciaio:  $f_{yd} = f_{yk} / 1.05 = 275 / 1.05 = 262 \text{ MPa}$
- Spritzbeton:  $f_{sb,d} = f_{ck} / 1.0 = 25 / 1.0 = 25 \text{ MPa}$

### 6.1.1.2 Verifica dei rivestimenti definitivi

Di seguito si riportano i valori delle sollecitazioni agenti sul rivestimento definitivo ottenuti dalle analisi delle linee caratteristiche.

Per le verifiche di resistenza delle sezioni non armate, si è fatto riferimento a quanto riportato nel paragrafo 4.1.11 delle NTC2008. Per effetto delle azioni di calcolo sotto la combinazione rara, le tensioni che insorgono nel calcestruzzo devono risultare inferiori a:



|  |   |   |                  |                           |
|--|---|---|------------------|---------------------------|
|             |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |                  |                           |
| <b>COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA – GALLERIA<br/> “FARO SUPERIORE” – RELAZIONE DI CALCOLO</b> |   | <i>Codice documento</i><br>SS0257_F0.doc                            | <i>Rev</i><br>F0 | <i>Data</i><br>20/06/2011 |

$$\sigma_{c,lim} = 0.25 \cdot f_{ck} = 0.25 \cdot 25 = 6.25 \text{ MPa}$$

**VERIFICHE DEI RIVESTIMENTI DEFINITIVI**

|                                    |                              |       | SEZ TIPO C1 |     |     | SEZ TIPO C1+1,05 |     |     | SEZ. C1 ALLARGO |     | SEZ. C1+1,05 PIAZZOLA |     |
|------------------------------------|------------------------------|-------|-------------|-----|-----|------------------|-----|-----|-----------------|-----|-----------------------|-----|
|                                    |                              |       | 45          | 60  | 80  | 45               | 60  | 80  | 45              | 55  | 45                    | 55  |
| Deformation moduls in elastic zone | H                            | [m]   | 45          | 60  | 80  | 45               | 60  | 80  | 45              | 55  | 45                    | 55  |
| Concrete stress                    | $\sigma_b \cdot \gamma_{G1}$ | [MPa] | 2.3         | 2.8 | 3.2 | 2.4              | 3.0 | 3.3 | 2.8             | 2.9 | 2.9                   | 3.3 |
| Reinforcement stress               | $\sigma_s \cdot \gamma_{G1}$ | [MPa] | -           | -   | -   | -                | -   | -   | -               | -   | -                     | -   |

$\gamma_{G1}$  1.3

Le sollecitazioni di progetto risultano inferiori a quanto prescritto dalla normativa vigente:

|  |   |   |                  |                           |
|--|---|---|------------------|---------------------------|
|             |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |                  |                           |
| <b>COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA – GALLERIA<br/> “FARO SUPERIORE” – RELAZIONE DI CALCOLO</b> |   | <i>Codice documento</i><br>SS0257_F0.doc                            | <i>Rev</i><br>F0 | <i>Data</i><br>20/06/2011 |

## 7 Analisi di stabilità del fronte

Una valutazione della stabilità del fronte di scavo può essere condotta mediante l'impiego di metodi analitici semplificati all'equilibrio limite secondo la teoria Tamez e Cornejo. Per maggiori dettagli sui metodi di calcolo utilizzati si rimanda a quanto riportato all'interno del "Allegato – Riferimenti teorici e di calcolo".

Le analisi sono svolte in accordo alla combinazione GEO dell'approccio 1, utilizzando i coefficienti parziali (A2 – M2 – R2), come specificato nel paragrafo 2.1.

Le analisi di stabilità del fronte sono state svolte solo alle basse coperture, in quanto per coperture superiori a tre diametri il numero di consolidamenti non viene determinato ai fini della stabilità globale, ma dipende dalla necessità di operare il controllo deformativo del fronte e del contorno.

Per quanto riguarda i valori di tensione tangenziali del terreno utilizzati, si faccia riferimento a quanto già riportato all'interno del capitolo 6.

Come indicato al paragrafo 6.6.2 delle NTC2008, nella valutazione analitica della resistenza allo sfilamento non si applicano coefficienti parziali di sicurezza sui valori caratteristici della resistenza del terreno, facendo quindi riferimento a coefficienti parziali di sicurezza M1.

Di seguito si riporta una sintesi dei risultati delle analisi di stabilità del fronte di scavo al variare delle coperture.

SINTESI VERIFICHE DI STABILITA' DEL FRONTE GALLERIA FARO SUPERIORE

| SEZ.<br>[i]          | PARAMETRI GEOMETRICI |          |          |            | PARAMETRI GEOTECNICI             |            |               |            | DIAGNOSI            |                     | TERAPIA    |            |      |                |
|----------------------|----------------------|----------|----------|------------|----------------------------------|------------|---------------|------------|---------------------|---------------------|------------|------------|------|----------------|
|                      | B<br>[m]             | D<br>[m] | C<br>[m] | Deq<br>[m] | $\gamma$<br>[kN/m <sup>3</sup> ] | c<br>[kPa] | $\Phi$<br>[°] | FSF<br>[-] | n° consolid.<br>[-] | $\Delta c$<br>[kPa] | c<br>[kPa] | FSF<br>[-] |      |                |
| C1                   | 16.5                 | 11.85    | 4        | 15         | 19                               | 4          | 33            | 0.06       | FRONTE INSTABILE    | 58                  | 292.0      | 296        | 4.94 | FRONTE STABILE |
| C1                   | 16.5                 | 11.85    | 22       | 15         | 19                               | 4          | 33            | 0.03       | FRONTE INSTABILE    | 58                  | 292.0      | 296        | 2.84 | FRONTE STABILE |
| C1                   | 16.5                 | 11.85    | 37       | 15         | 19                               | 4          | 33            | 0.02       | FRONTE INSTABILE    | 58                  | 292.0      | 296        | 2.37 | FRONTE STABILE |
| C1+1.05              | 16.7                 | 12.2     | 4        | 16         | 19                               | 4          | 33            | 0.06       | FRONTE INSTABILE    | 65                  | 287.0      | 291        | 4.75 | FRONTE STABILE |
| C1+1.05              | 16.7                 | 12.2     | 22       | 16         | 19                               | 4          | 33            | 0.02       | FRONTE INSTABILE    | 65                  | 287.0      | 291        | 2.75 | FRONTE STABILE |
| C1+1.05              | 16.7                 | 12.2     | 37       | 16         | 19                               | 4          | 33            | 0.02       | FRONTE INSTABILE    | 65                  | 287.0      | 291        | 2.30 | FRONTE STABILE |
| C1 ALLARGO           | 19.8                 | 12.85    | 4        | 17.5       | 19                               | 4          | 33            | 0.06       | FRONTE INSTABILE    | 80                  | 296.0      | 300        | 4.66 | FRONTE STABILE |
| C1 ALLARGO           | 19.8                 | 12.85    | 22       | 17.5       | 19                               | 4          | 33            | 0.02       | FRONTE INSTABILE    | 80                  | 296.0      | 300        | 2.63 | FRONTE STABILE |
| C1 ALLARGO           | 19.8                 | 12.85    | 37       | 17.5       | 19                               | 4          | 33            | 0.02       | FRONTE INSTABILE    | 80                  | 296.0      | 300        | 2.17 | FRONTE STABILE |
| C1 ALLARGO           | 19.8                 | 12.85    | 52       | 17.5       | 19                               | 4          | 33            | 0.01       | FRONTE INSTABILE    | 80                  | 296.0      | 300        | 1.93 | FRONTE STABILE |
| C1 + 1.05 + PIAZZOLA | 21.7                 | 16.1     | 5        | 19         | 19                               | 4          | 33            | 0.04       | FRONTE INSTABILE    | 100                 | 314.0      | 318        | 3.99 | FRONTE STABILE |
| C1 + 1.05 + PIAZZOLA | 21.7                 | 16.1     | 15       | 19         | 19                               | 4          | 33            | 0.02       | FRONTE INSTABILE    | 100                 | 314.0      | 318        | 2.89 | FRONTE STABILE |
| C1 + 1.05 + PIAZZOLA | 21.7                 | 16.1     | 30       | 19         | 19                               | 4          | 33            | 0.00       | FRONTE INSTABILE    | 100                 | 314.0      | 318        | 2.25 | FRONTE STABILE |
| C1 + 1.05 + PIAZZOLA | 21.7                 | 16.1     | 40       | 19         | 19                               | 4          | 33            | 0.00       | FRONTE INSTABILE    | 100                 | 314.0      | 318        | 2.04 | FRONTE STABILE |

Le analisi evidenziano un fattore di sicurezza variabile compreso tra 1.93 e 4.94.

I fattori di sicurezza risultano numericamente accettabili nelle condizioni analizzate. Si ritiene opportuno utilizzare, anche nei casi in cui il coefficiente di sicurezza risulti di molto superiore all'unità, gli interventi previsti per la sezione tipo media, tenuto conto delle incertezze e della tipologia di analisi svolta.

|   |   |   |                  |                           |
|---|---|---|------------------|---------------------------|
|    |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |                  |                           |
| COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA – GALLERIA<br>“FARO SUPERIORE” – RELAZIONE DI CALCOLO |   | <i>Codice documento</i><br>SS0257_F0.doc                            | <i>Rev</i><br>F0 | <i>Data</i><br>20/06/2011 |

## 8 Analisi numeriche

Le analisi sono svolte mediante la realizzazione di un modello bidimensionale agli elementi finiti, implementato con il codice di calcolo **PLAXIS2D** versione 9.00, sviluppato dall’Università di DELFT, che ha consentito di simulare lo stato di sforzo e di deformazione generato all’interno della struttura dalle sollecitazioni dovute sia alla propria massa, sia a quanto trasmesso dal terreno circostante.

Nell’analisi condotta, quale modello costitutivo del terreno è stato assunto un modello di comportamento elasto-plastico incoerente di tipo “*Hardening Soil*”, che riproduce in condizioni di primo carico triassiale, un legame tensione-deformazione di tipo iperbolico. L’incrudimento è funzione sia delle deformazioni distorsionali plastiche sia delle deformazioni volumetriche plastiche. Per maggiori dettagli a riguardo si rimanda a quanto riportato all’interno del documento “Allegato – Riferimenti teorici e di calcolo”.

Per i parametri geomeccanici di calcolo utilizzati nelle analisi si rimanda a quanto riportato nel paragrafo 4.5. I valori di coesione e angolo di attrito utilizzati per le analisi numeriche si discostano lievemente dai parametri medi delle formazioni attraversate; questo per evitare l’insorgenza di problemi di natura numerica legati al programma di calcolo utilizzato.

| Ghiaie di Messina          |           |                      |       |            |         |               |         |        |
|----------------------------|-----------|----------------------|-------|------------|---------|---------------|---------|--------|
| Applicazione               | Copertura | $\gamma$             | $c'$  | $c'_{res}$ | $\phi'$ | $\phi'_{res}$ | $E'$    | $\nu'$ |
|                            | [m]       | [kN/m <sup>3</sup> ] | [kPa] | [kPa]      | [°]     | [kPa]         | [MPa]   | [-]    |
|                            | 0-150     | 19                   | 0-40  | 0-25       | 38      | 30            | 100-650 | 0.3    |
| Copertura 0-30m            | 0-30      | 19                   | 10    | 8          | 38      | 30            | 100     | 0.3    |
| Copertura 30-50m           | 30-50     | 19                   | 10    | 8          | 38      | 30            | 275     | 0.3    |
| Copertura 50-70m           | 50-70     | 19                   | 10    | 8          | 38      | 30            | 350     | 0.3    |
| Copertura 70-120m          | 70-120    | 19                   | 10    | 8          | 38      | 30            | 450     | 0.3    |
| Copertura superiore a 120m | >120      | 19                   | 40    | 8          | 38      | 30            | 650     | 0.3    |

|   |   |   |                  |                           |
|---|---|---|------------------|---------------------------|
|    |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |                  |                           |
| COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA – GALLERIA<br>“FARO SUPERIORE” – RELAZIONE DI CALCOLO |   | <i>Codice documento</i><br>SS0257_F0.doc                            | <i>Rev</i><br>F0 | <i>Data</i><br>20/06/2011 |

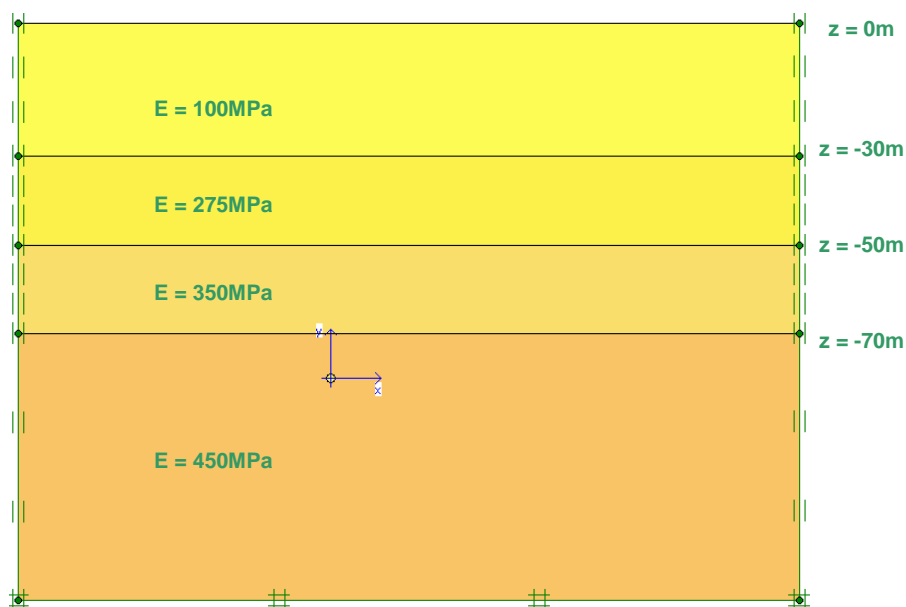


Figura 7 – Variazione del modulo elastico con la profondità

Per il consolidamento in jet-grouting sono stati considerati i seguenti parametri:

| PARAMETRI |                      | JET-GROUTING |
|-----------|----------------------|--------------|
| Modello   |                      | MC           |
| $\gamma$  | [kN/m <sup>3</sup> ] | 20           |
| $c_{ref}$ | [kPa]                | 1000         |
| $\phi$    | [°]                  | 5            |
| $E_{ref}$ | [MPa]                | 600          |
| $\nu$     | [-]                  | 0.2          |

I modelli sviluppati tengono conto delle differenti tipologie di interventi di consolidamento al contorno previsti per la sezione di scavo in esame.

Il rivestimento di prima fase è stato schematizzato con elementi *PLATE*, mentre il rivestimento definitivo è stato simulato con elementi di mesh a cui vengono attribuite le proprietà del calcestruzzo. Per entrambi i rivestimenti è stato adottato un modello costitutivo elastico-lineare ed isotropo.

Gli elementi rappresentativi dei rivestimenti sono attivati “*free stress*” (senza sforzi iniziali) e sono soggetti al peso proprio ed agli spostamenti indotti dalle variazioni di rigidità e di sollecitazione che intervengono nello stesso step di calcolo e nei successivi.

Le analisi sono state condotte in condizioni di deformazione piane (*PLANE STRAIN*), ma con

|  |   |   |                  |                           |
|--|---|---|------------------|---------------------------|
|             |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |                  |                           |
| <b>COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA – GALLERIA<br/> “FARO SUPERIORE” – RELAZIONE DI CALCOLO</b> |   | <i>Codice documento</i><br>SS0257_F0.doc                            | <i>Rev</i><br>F0 | <i>Data</i><br>20/06/2011 |

accorgimenti tali da rappresentare il progressivo passaggio dal problema tridimensionale, vicino al fronte, a quello piano, lontano dal fronte. L'effetto del fronte di scavo è stato considerato nel calcolo con una progressiva riduzione delle “forze di scavo”, ottenuta modificando il coefficiente  $\Sigma M_{stage}$  progressivamente da 0 ad 1. Per ulteriori dettagli sull'utilizzo di tale coefficiente si faccia riferimento al manuale tecnico del programma di calcolo.

Le analisi condotte con modelli numerici sono state sviluppate allo scopo di dimensionare le tipologie di sezione previste per lo scavo della galleria Faro in entrambe le carreggiate. E' stata inoltre inserita un'analisi al fine di verificare il comportamento tenso-deformativo della galleria in condizioni di parietalità associate a basso ricoprimento.

Di seguito si riporta una tabella riassuntiva delle analisi effettuate.

| GALLERIA       | COPERTURA [m] | LITOTIPO PREVALENTE | SEZIONE TIPO | CONDIZIONE DI CARICO |
|----------------|---------------|---------------------|--------------|----------------------|
| FARO SUPERIORE | 30            | GHIAIE DI MESSINA   | C1           | SIMMETRICA           |
|                | 80            | GHIAIE DI MESSINA   | C1           | SIMMETRICA           |
|                | 30            | GHIAIE DI MESSINA   | C1+1.05      | SIMMETRICA           |
|                | 80            | GHIAIE DI MESSINA   | C1+1.05      | SIMMETRICA           |
|                | 30            | GHIAIE DI MESSINA   | C1-ALLARGO   | SIMMETRICA           |
|                | 60            | GHIAIE DI MESSINA   | C1-ALLARGO   | SIMMETRICA           |
|                | 30-35         | GHIAIE DI MESSINA   | C1-ALLARGO   | ASIMMETRICA          |

**Tabella 4 - Analisi di calcolo effettuate**

## 8.1 Curve di “relax” nel modello di calcolo

Per simulare il progressivo allontanamento del fronte di scavo dalla sezione di verifica e la contemporanea posa in opera dei sostegni con un'analisi bidimensionale, è necessario introdurre numericamente l'“effetto fronte”, rilassando progressivamente le forze di scavo.

L'introduzione del concetto di “effetto fronte” nel calcolo richiede la definizione di una legge di rilassamento del nucleo in grado di simulare il progressivo incremento della deformazione della cavità, con conseguente diminuzione della pressione esercitata sui rivestimenti. Tale concetto risulta adeguatamente espresso in termini analitici dalla curva  $1-\lambda = \sigma_r/\sigma_0$  di Panet, che rappresenta in termini di sforzi radiali il passaggio dal comportamento tridimensionale a quello piano. L'adozione della sola curva  $\lambda$ , così come comunemente espressa quale criterio di riduzione delle caratteristiche elastiche e di resistenza del nucleo nel corso dell'analisi, non produce tuttavia i dovuti risultati tenso-deformativi, né per confronto con quanto ottenuto in base alla teoria delle

|  |   |   |                  |                           |
|--|---|---|------------------|---------------------------|
|             |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |                  |                           |
| <b>COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA – GALLERIA<br/> “FARO SUPERIORE” – RELAZIONE DI CALCOLO</b> |   | <i>Codice documento</i><br>SS0257_F0.doc                            | <i>Rev</i><br>F0 | <i>Data</i><br>20/06/2011 |

Curve Caratteristiche o a simulazioni con modelli assialsimmetrici, né per confronto con quanto effettivamente rilevato in corso d'opera. Tale curva deve essere tarata in funzione delle caratteristiche geomeccaniche del materiale, dello stato tensionale in sito e del criterio di rottura del materiale.

Per tale motivo si è stabilito di tarare la riduzione delle forze di scavo facendo in modo di ottenere un valore di convergenza al fronte prossimo a quello determinato mediante il calcolo delle Curve Caratteristiche.

La riduzione così ottenuta va applicata al termine della time geostatica. Si ha pertanto:

$$R_{\text{forze, fronte}} = R_{\text{PANET, fronte}} * \alpha$$

con  $\alpha = (\text{Rid. \%}) / R_{\text{PANET, fronte}} \%$ .

Una volta determinata la riduzione iniziale, le riduzioni alle Time successive verranno determinate proporzionalmente all'andamento della curva 1-λ di Panet in funzione della distanza dal fronte.

Si ha pertanto:

$$R_{\text{forze}} = R_{\text{forze, fronte}} + \beta * (R_{\text{PANET}} - R_{\text{PANET, fronte}})$$

in cui il termine  $\beta = (100\% - \text{Rid. \%}) / (100\% - R_{\text{PANET, fronte}} \%)$  tiene conto delle percentuali di riduzione residue, dopo il rilassamento del fronte.

I valori adottati nelle varie time per ogni sezione tipo sono riportati negli allegati di calcolo PLAXIS a cui si rimanda.

## 8.2 Fasi di calcolo

Le time di calcolo considerate per tutte le analisi prevedono il completamento dello scavo della prima canna ed il passaggio della canna adiacente successivamente al getto del rivestimento definito della prima. In particolare le fasistiche sono le seguenti:

|  |   |   |                  |                           |
|--|---|---|------------------|---------------------------|
|             |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |                  |                           |
| <b>COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA – GALLERIA<br/> “FARO SUPERIORE” – RELAZIONE DI CALCOLO</b> |   | <i>Codice documento</i><br>SS0257_F0.doc                            | <i>Rev</i><br>F0 | <i>Data</i><br>20/06/2011 |

| TIME    | DESCRIZIONE  |
|---------|--|
| Time 0  | Geostatico   |
| Time 1  | Canna 1: Fronte di scavo                               |
| Time 2  | Canna 1 : Avanzamento primo sfondo                     |
| Time 3  | Canna 1: Installazione priverivestimento e avanzamento |
| Time 4  | Canna 1: Maturazione priverivestimento e avanzamento   |
| Time 5  | Canna 1: Getto arco rovescio e murette e avanzamento   |
| Time 6  | Canna 1: Getto calotte                                 |
| Time 7  | Canna 2: Fronte di scavo                               |
| Time 8  | Canna 2 : Avanzamento primo sfondo                     |
| Time 9  | Canna 2: Installazione priverivestimento e avanzamento |
| Time 10 | Canna 2: Maturazione priverivestimento e avanzamento   |
| Time 11 | Canna 2: Getto arco rovescio e murette e avanzamento   |
| Time 12 | Canna 2: Getto calotte                                 |
| Time 13 | Canna 1 e 2: Analisi di lungo termine                  |

### 8.3 Risultati delle analisi numeriche

In questo paragrafo si illustrano gli esiti delle analisi numeriche condotte con il metodo degli elementi finiti, impiegando il codice di calcolo PLAXIS 2D, e le conseguenti verifiche statiche volte a dimostrare l'adeguatezza della soluzione progettuale indicata.

In allegato alla presente relazione si riportano i dati di input / output delle analisi numeriche svolte. Le verifiche del rivestimento definitivo e del rivestimento di prima fase sono state condotte secondo i metodi imposti dalla normativa vigente (NTC 2008): per quanto riguarda le verifiche delle sezioni in c.a., si è fatto riferimento al metodo degli stati limite, mentre per le sezioni in calcestruzzo non armato, si è fatto riferimento a quanto riportato nel paragrafo 4.1.11 della normativa. Come già illustrato nel Paragrafo 2.1, le analisi sono svolte con riferimento alla Combinazione 1 dell'Approccio1.

I coefficienti amplificativi dei carichi utilizzati fanno riferimento alla tabella di seguito (combinazione A1).

|  |   |   |                  |                           |
|--|---|---|------------------|---------------------------|
|             |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |                  |                           |
| <b>COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA – GALLERIA<br/> “FARO SUPERIORE” – RELAZIONE DI CALCOLO</b> |   | <i>Codice documento</i><br>SS0257_F0.doc                            | <i>Rev</i><br>F0 | <i>Data</i><br>20/06/2011 |

|                                       |                           | Coefficiente<br>$\gamma_F$ | EQU        | A1<br>STR  | A2<br>GEO  |
|---------------------------------------|---------------------------|----------------------------|------------|------------|------------|
| Carichi permanenti                    | favorevoli<br>sfavorevoli | $\gamma_{G1}$              | 0,9<br>1,1 | 1,0<br>1,3 | 1,0<br>1,0 |
| Carichi permanenti non strutturali(1) | favorevoli<br>sfavorevoli | $\gamma_{G2}$              | 0,0<br>1,5 | 0,0<br>1,5 | 0,0<br>1,3 |
| Carichi variabili                     | favorevoli<br>sfavorevoli | $\gamma_{Qi}$              | 0,0<br>1,5 | 0,0<br>1,5 | 0,0<br>1,3 |

(1) Nel 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.

### 8.3.1 Modalità di verifica

Si è proceduto all'individuazione delle situazioni ritenute più critiche e comunque rappresentative della tratta in esame.

#### 8.3.1.1 Rivestimento di prima fase

Al fine di dimensionare le strutture in esame, ottenuto dal calcolo numerico lo stato di sollecitazione nel sostegno equivalente ( $N_{tot}$ ,  $T_{tot}$  e  $M_{tot}$ ), si ipotizza che i momenti flettenti ed il taglio siano assorbiti interamente dalle centine metalliche, mentre la forza normale  $N$ , viene ripartita sulla base delle rigidezze normali secondo le formule riportate di seguito:

$$N_{cen} = \frac{E_{acc} \cdot A_{cen} / d}{\bar{E} \cdot \bar{s}} \cdot N_{tot} = \frac{E_{acc}}{E} \cdot \frac{A_{cen}}{\bar{s}} \cdot N_{tot} \qquad N_{cls} = N_{tot} - \frac{N_{cen}}{d}$$

$$M_{cen} = M_{tot} \cdot d$$

$$T_{cen} = T_{tot} \cdot d$$

Il modulo elastico e lo spessore omogeneizzato utilizzati nel modello derivano dall'uguaglianza delle rigidezze normali e flessionali del sistema reale e di quello equivalente e, quindi, dalla soluzione del conseguente sistema di equazioni:



|  |   |   |  |            |             |    |            |
|--|---|---|--|------------|-------------|----|------------|
|             |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |  |            |             |    |            |
| <b>COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA – GALLERIA<br/> “FARO SUPERIORE” – RELAZIONE DI CALCOLO</b> |   | <i>Codice documento</i><br>SS0257_F0.doc                            | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"><i>Rev</i></td> <td style="width: 50%;"><i>Data</i></td> </tr> <tr> <td>F0</td> <td>20/06/2011</td> </tr> </table> | <i>Rev</i> | <i>Data</i> | F0 | 20/06/2011 |
| <i>Rev</i>   | <i>Data</i>   |   |  |            |             |    |            |
| F0   | 20/06/2011  |   |  |            |             |    |            |

$$\begin{cases} E \cdot s = E_{cls} \cdot s + \left( \frac{E_{acc}}{E_{cls}} - 1 \right) \cdot E_{cls} \cdot \frac{A_{cen}}{d} \\ \left( E \cdot \frac{s^3}{12} \right) = E_{cls} \cdot \frac{s^3}{12} + \left( \frac{E_{acc}}{E_{cls}} - 1 \right) \cdot E_{cls} \cdot \frac{I_{cen}}{d} \end{cases}$$

da cui:

$$E = \frac{\left[ E_{cls} \cdot s + \left( \frac{E_{acc}}{E_{cls}} - 1 \right) \cdot E_{cls} \cdot \frac{A_{cen}}{d} \right]^{3/2}}{\sqrt{E_{cls} \cdot s^3 + 12 \cdot \left( \frac{E_{acc}}{E_{cls}} - 1 \right) \cdot E_{cls} \cdot \frac{I_{cen}}{d}}}$$

$$s = \sqrt{\frac{E_{cls} \cdot s^3 + 12 \cdot \left( \frac{E_{acc}}{E_{cls}} - 1 \right) \cdot E_{cls} \cdot \frac{I_{cen}}{d}}{E_{cls} \cdot s + \left( \frac{E_{acc}}{E_{cls}} - 1 \right) \cdot E_{cls} \cdot \frac{A_{cen}}{d}}}$$

### 8.3.1.2 Rivestimento definitivo

Il dimensionamento e le verifiche del rivestimento definitivo sono state condotte considerando le combinazioni di azioni interne più sfavorevoli, facendo riferimento allo spessore medio dello stesso.

Nel caso di sezioni non armate si fa riferimento al seguente dominio di rottura, in cui i coefficienti moltiplicativi delle azioni ( $\gamma_{g1}$ ) sono assunti unitari, come indicato nel paragrafo 4.1.11 delle NTC2008.

$$M_d(N_d) = N_d \cdot \left( \frac{H}{2} - \frac{N_d}{2 \cdot 0.8 \cdot f_{cd} \cdot B} \right)$$

dove H e B sono rispettivamente l'altezza e la base della sezione.

Nel caso di sezioni armate sono state analizzate, per ogni coppia di azioni interne, due combinazioni:

- N-M<sub>d</sub>: Sforzo normale moltiplicato per  $\gamma_{g1} = 1$  e momento moltiplicato per  $\gamma_{g1} = 1.3$ ;
- N<sub>d</sub>-M<sub>d</sub>: Sforzo normale e momento moltiplicati per  $\gamma_{g1} = 1.3$

### 8.3.2 Risultati deformativi

Si riporta di seguito una sintesi delle deformazioni massime ottenute dai modelli numerici.

In particolare si riportano i valori degli spostamenti verticali e delle convergenze del cavo e del rivestimento di prima fase.

|   |   |  |  |                  |
|---|---|--|--|------------------|
|  |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b>                          |  |                  |
|   |   | <b>COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA – GALLERIA<br/> “FARO SUPERIORE” – RELAZIONE DI CALCOLO</b> | <i>Codice documento</i><br>SS0257_F0.doc | <i>Rev</i><br>F0 |

| GALLERIA       | SEZIONE TIPO | COPERTURA [m] | LITOTIPO PREVALENTE | CONDIZIONE DI CARICO | CEDIMENTO VERT. FRONTE [cm] | PRECONV. ORIZ. [cm] | CED. PRERIV. VERT. [cm] | CONV. PRERIV. ORIZ. [cm] |
|----------------|--------------|---------------|---------------------|----------------------|-----------------------------|---------------------|-------------------------|--------------------------|
| FARO SUPERIORE | C1           | 30            | GHIAIE DI MESSINA   | SIMMETRICA           | 1.00                        | 0.03                | 2.80                    | 0.51                     |
|                | C1           | 80            | GHIAIE DI MESSINA   | SIMMETRICA           | 3.40                        | 0.89                | 3.00                    | 2.39                     |
|                | C1+1.05      | 30            | GHIAIE DI MESSINA   | SIMMETRICA           | 0.26                        | 0.05                | 1.64                    | 0.18                     |
|                | C1+1.05      | 80            | GHIAIE DI MESSINA   | SIMMETRICA           | 3.60                        | 0.53                | 3.30                    | 1.75                     |
|                | C1-ALLARGO   | 30            | GHIAIE DI MESSINA   | SIMMETRICA           | 1.30                        | 0.00                | 3.70                    | 0.56                     |
|                | C1-ALLARGO   | 60            | GHIAIE DI MESSINA   | SIMMETRICA           | 3.50                        | 0.12                | 5.90                    | 2.19                     |
|                | C1-ALLARGO   | 30-35         | GHIAIE DI MESSINA   | ASIMMETRICA          | 1.50                        | 0.00                | 5.20                    | 1.00                     |

### 8.3.3 Risultati tensionali

Nei paragrafi successivi sono presentate le verifiche tensionali dei rivestimenti di prima fase e definitivi.

#### 8.3.3.1 Verifica dei rivestimento di prima fase S.L.U.

Per il dimensionamento delle centine, le tensioni sono state analizzate verificando gli stati pluriassiali (combinazione di flessione, taglio e forza assiale). Nella Tabella 5 si riportano le azioni più sfavorevoli agenti per ogni analisi (moltiplicate per i coefficienti previsti da normativa), i valori resistenti ed il fattore per le verifiche agli stati pluriassiali.

| GALLERIA       | CALCOLO | SEZIONE TIPO | VERIFICA S.L.U. |                     |                      | CENTINE |        |        |                      |                     |                     |         | SPRITZ-BETON |                      |
|----------------|---------|--------------|-----------------|---------------------|----------------------|---------|--------|--------|----------------------|---------------------|---------------------|---------|--------------|----------------------|
|                |         |              | COPERTURA [m]   | LITOTIPO PREVALENTE | CONDIZIONE DI CARICO | M [kNm] | N [kN] | T [kN] | M <sub>r</sub> [kNm] | N <sub>r</sub> [kN] | T <sub>r</sub> [kN] | PL. [-] | N [kN]       | f <sub>c</sub> [MPa] |
| FARO SUPERIORE | 1       | C1           | 30              | GHIAIE DI MESSINA   | SIMMETRICA           | 14,93   | 199,43 | 55,66  | 62,50                | 835,00              | 225,20              | 0,89    | 705,25       | 3,67                 |
|                | 2       | C1           | 80              | GHIAIE DI MESSINA   | SIMMETRICA           | 31,50   | 299,58 | 105,61 | 62,50                | 835,00              | 225,20              | 0,86    | 1059,41      | 5,51                 |
|                | 3       | C1+1.05      | 30              | GHIAIE DI MESSINA   | SIMMETRICA           | 12,68   | 215,29 | 37,35  | 81,00                | 987,50              | 267,80              | 0,37    | 640,54       | 3,33                 |
|                | 4       | C1+1.05      | 80              | GHIAIE DI MESSINA   | SIMMETRICA           | 31,02   | 351,52 | 72,15  | 81,00                | 987,50              | 267,80              | 0,74    | 1045,84      | 5,44                 |
|                | 5       | C1-ALLARGO   | 30              | GHIAIE DI MESSINA   | SIMMETRICA           | 37,14   | 522,64 | 125,81 | 103,00               | 1152,50             | 313,90              | 0,81    | 1325,06      | 6,89                 |
|                | 6       | C1-ALLARGO   | 60              | GHIAIE DI MESSINA   | SIMMETRICA           | 32,77   | 370,85 | 32,61  | 103,00               | 1152,50             | 313,90              | 0,64    | 940,24       | 4,89                 |
|                | 7       | C1+1.05      | 30-35           | GHIAIE DI MESSINA   | ASIMMETRICA          | 26,80   | 592,99 | 39,82  | 81,00                | 987,50              | 267,80              | 0,93    | 1764,23      | 9,17                 |

**Tabella 5 - Verifiche tensionali S.L.U. rivestimento di prima fase**

Le sollecitazioni di progetto risultano compatibili con le resistenze dei materiali utilizzati:

|  |   |   |                  |                           |
|--|---|---|------------------|---------------------------|
|             |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |                  |                           |
| <b>COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA – GALLERIA<br/> “FARO SUPERIORE” – RELAZIONE DI CALCOLO</b> |   | <i>Codice documento</i><br>SS0257_F0.doc                            | <i>Rev</i><br>F0 | <i>Data</i><br>20/06/2011 |

- Acciaio:  $f_{yd} = f_{yk} / 1.05 = 275 / 1.05 = 262 \text{ MPa}$
- Spritzbeton:  $f_{sb,d} = f_{ck} / 1.0 = 25 / 1.0 = 25 \text{ MPa}$

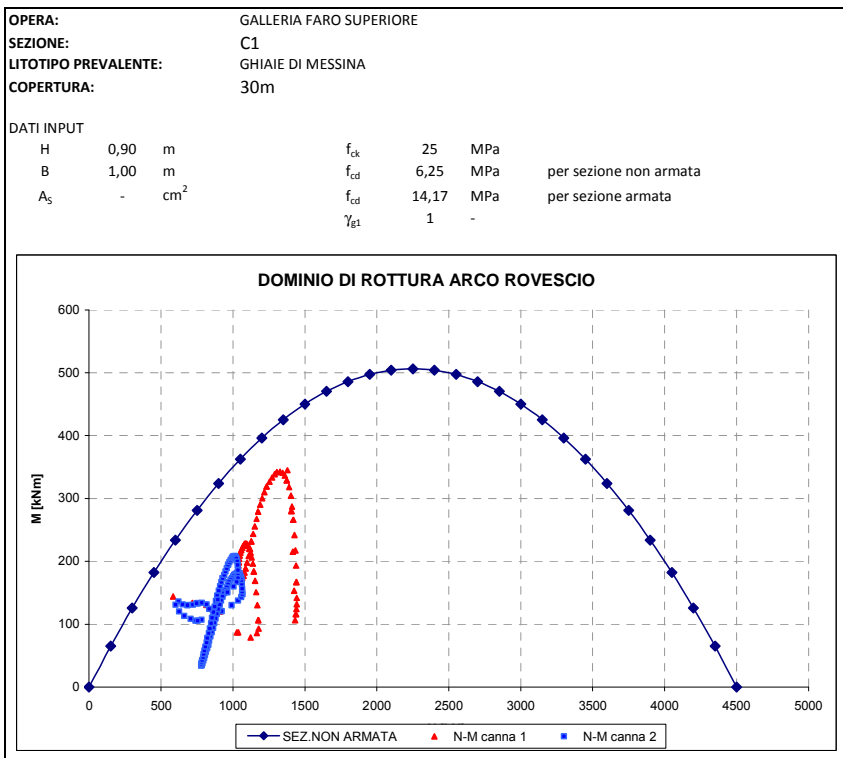
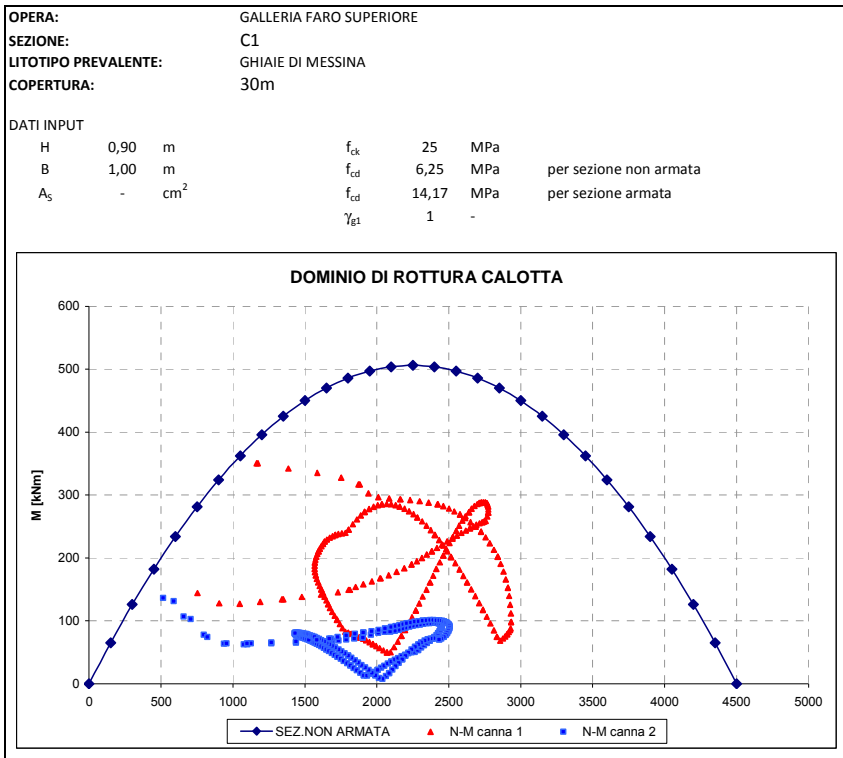
### 8.3.3.2 Verifica dei rivestimenti definitivi S.L.U.

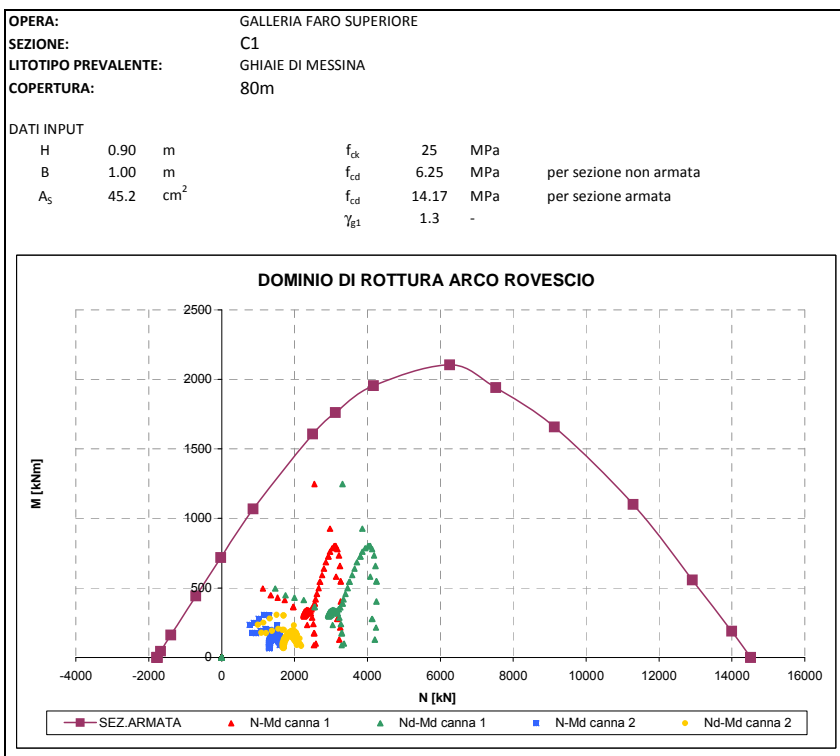
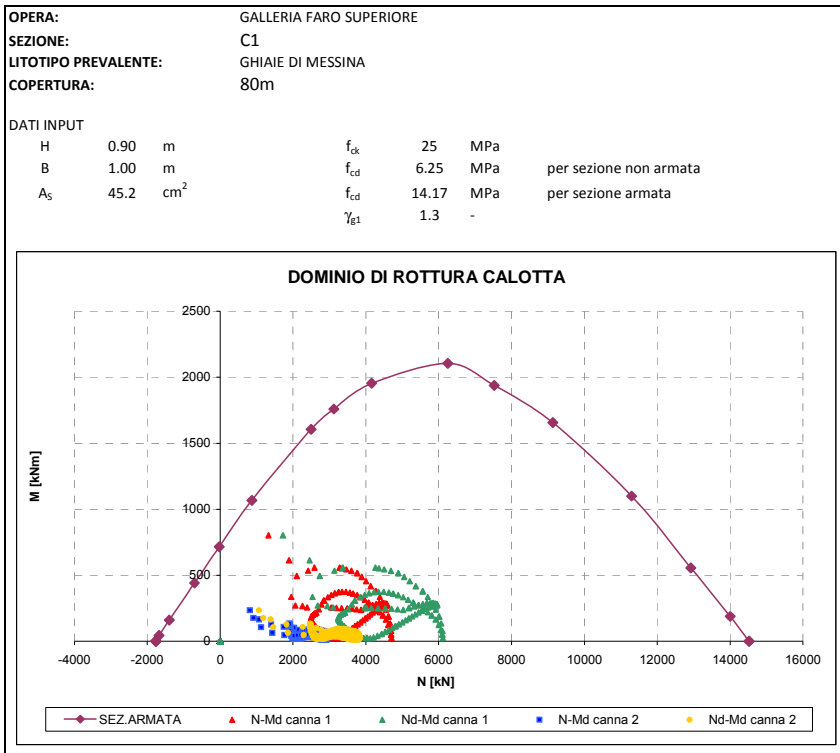
Come già detto nei capitoli precedenti, sono state previste diverse sezioni tipo di avanzamento lungo il tracciato dell’opera in esame. Sono state svolte analisi numeriche, allo scopo di poter verificare le condizioni di lavoro della struttura a diverse profondità. Nella tabella seguente si riporta un quadro riassuntivo degli schemi di armatura previsti per le diverse sezioni alle coperture di calcolo:

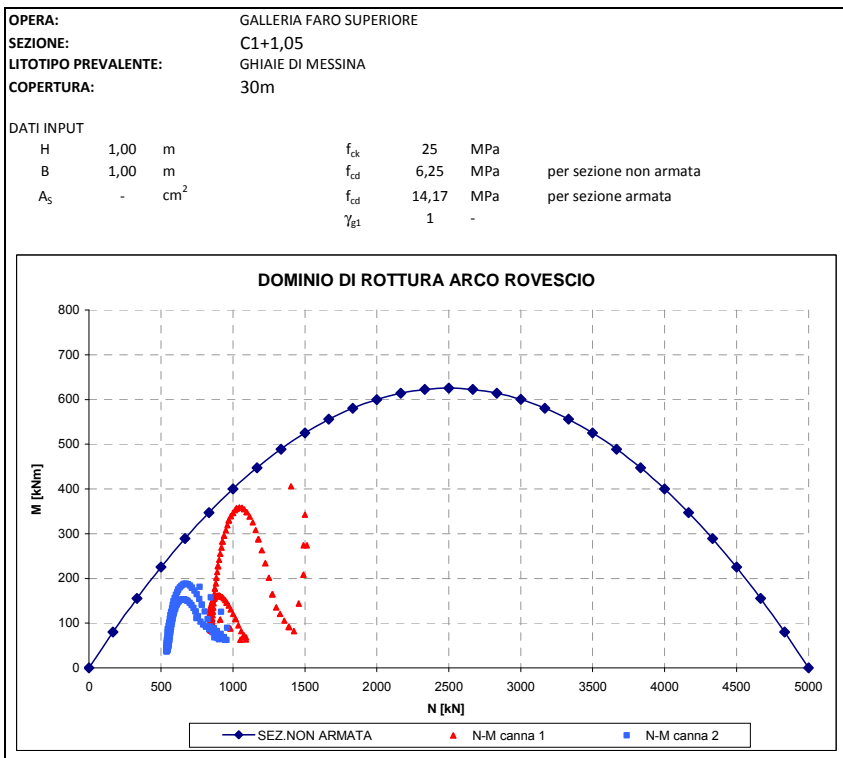
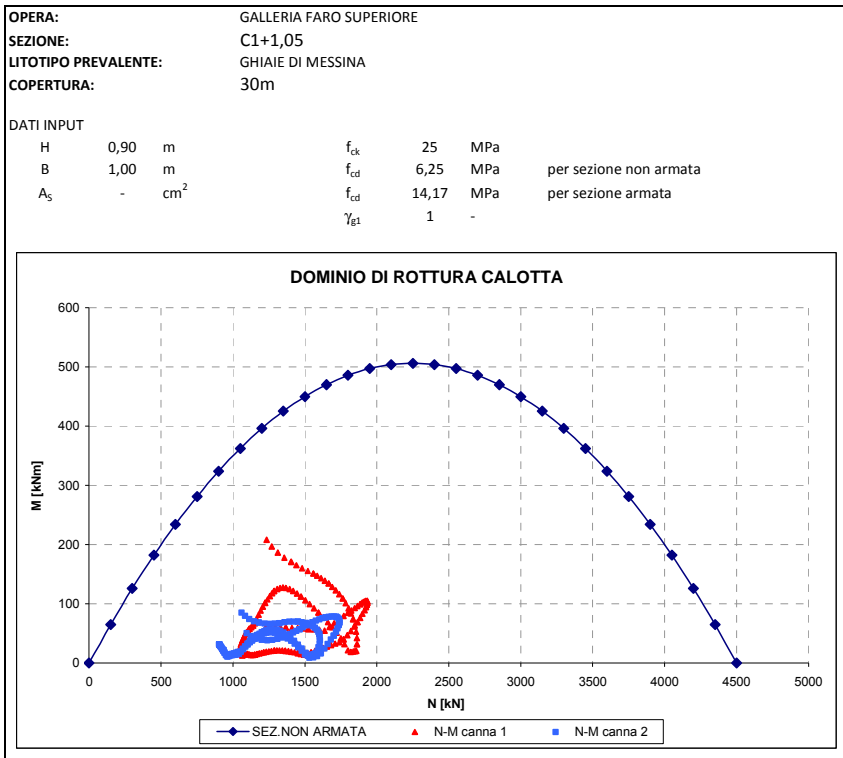
| GALLERIA       | CALCOLO | SEZIONE TIPO | COPERTURA [m] | LITOTIPO PREVALENTE | CONDIZIONE DI CARICO | CALOTTA                              |   | ARCO ROVESCIO                        |   |
|----------------|---------|--------------|---------------|---------------------|----------------------|--------------------------------------|---|--------------------------------------|---|
|                |         |              |               |                     |                      | A <sub>s</sub> [cm <sup>2</sup> /cm] | A <sub>w</sub> [cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ] | A <sub>s</sub> [cm <sup>2</sup> /cm] | A <sub>w</sub> [cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ] |
| FARO SUPERIORE | 1       | C1           | 30            | GHIAIE DI MESSINA   | SIMMETRICA           | -                                    | -   | -                                    | -   |
|                | 2       | C1           | 80            | GHIAIE DI MESSINA   | SIMMETRICA           | φ24/20                               | -   | φ24/20                               | 40.20   |
|                | 3       | C1+1.05      | 30            | GHIAIE DI MESSINA   | SIMMETRICA           | -                                    | -   | -                                    | -   |
|                | 4       | C1+1.05      | 80            | GHIAIE DI MESSINA   | SIMMETRICA           | φ24/20                               | min   | φ24/20                               | 40.20   |
|                | 5       | C1-ALLARGO   | 30            | GHIAIE DI MESSINA   | SIMMETRICA           | φ24/20                               | 15.40   | φ24/20                               | 20.10   |
|                | 6       | C1-ALLARGO   | 60            | GHIAIE DI MESSINA   | SIMMETRICA           | φ24/20                               | 20.10   | φ24/20                               | 48.26   |
|                | 7       | C1 ALLARGO   | 30-35         | GHIAIE DI MESSINA   | ASIMMETRICA          | φ24/20                               | 20.10   | φ24/10                               | 30.15   |

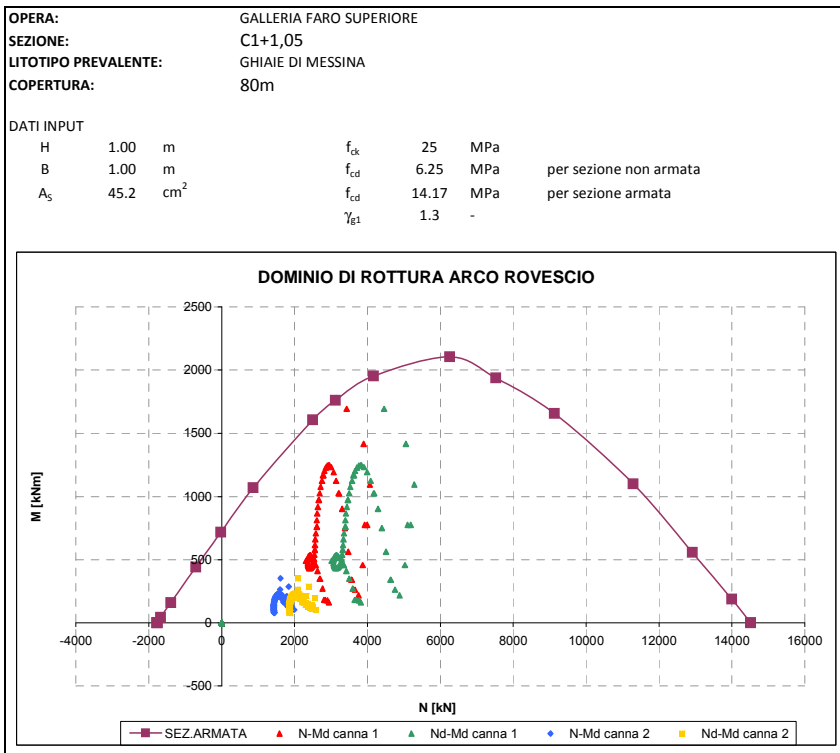
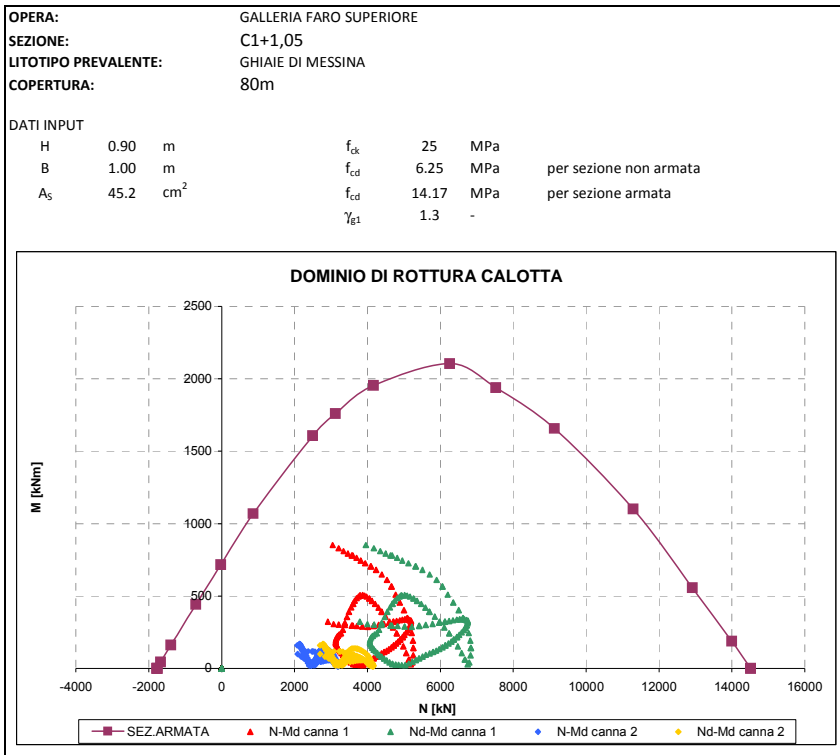
Per le tratte di scavo armate, non incluse nelle analisi, si rimanda a quanto riportato nei Profili Geomeccanici e nella tabella riassuntiva dell’applicazione delle sezioni tipo (Tabella 1 Sintesi sezioni tipo applicate). L’incidenza riportata nei profili è da considerarsi media.

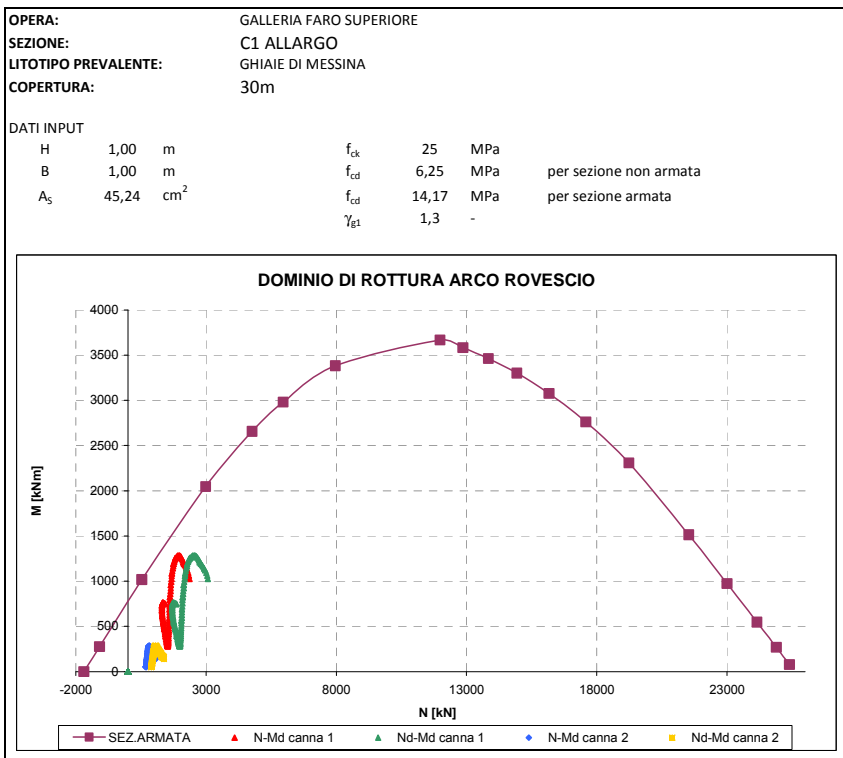
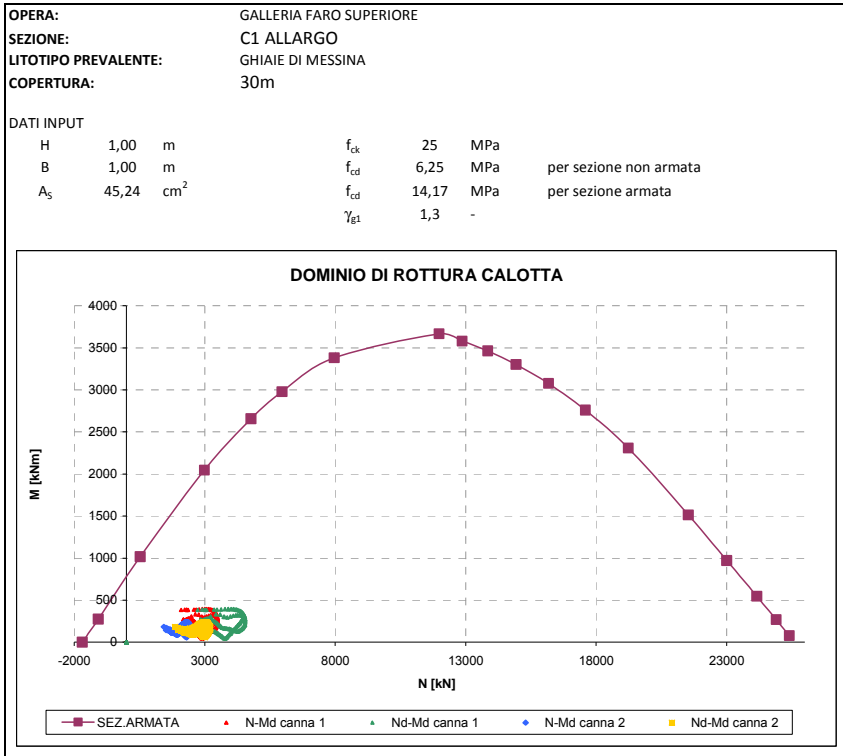
Si riportano di seguito i domini di rottura con la verifica dei valori tensionali per i rivestimenti definitivi di calotta ed arco rovescio.



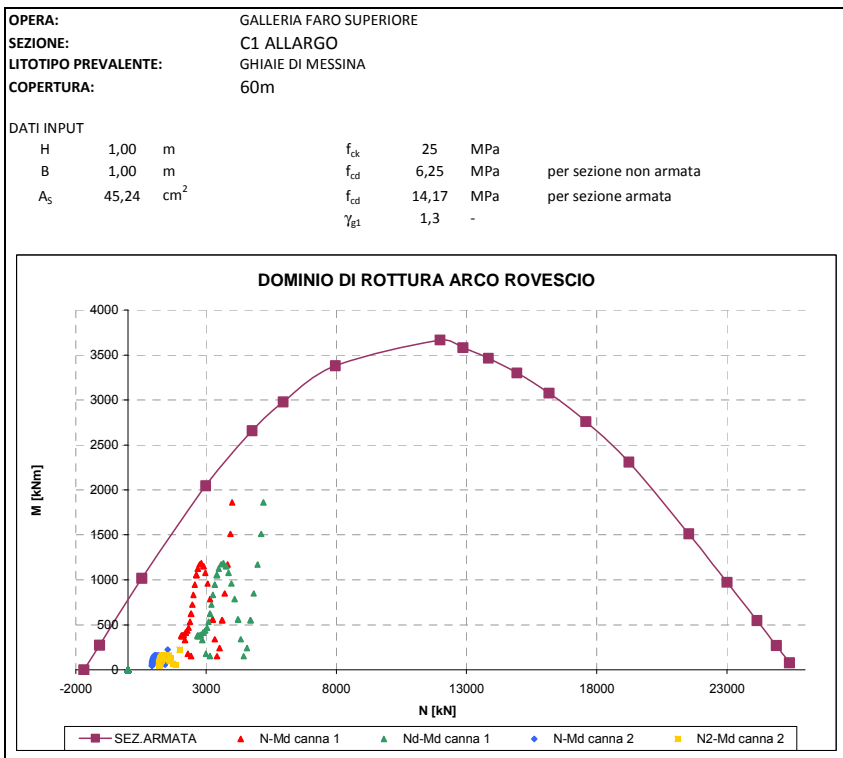
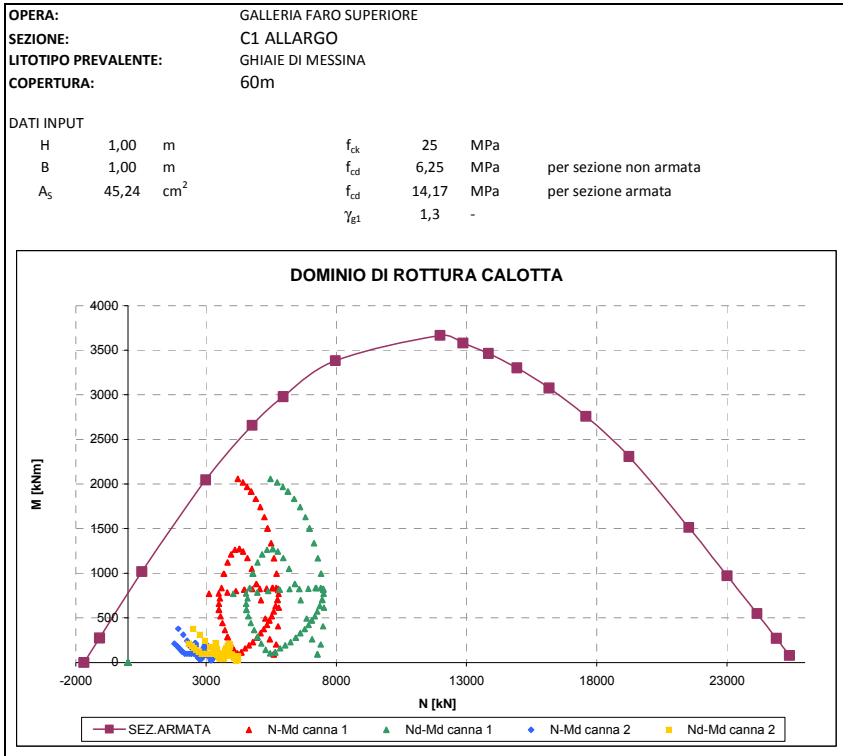


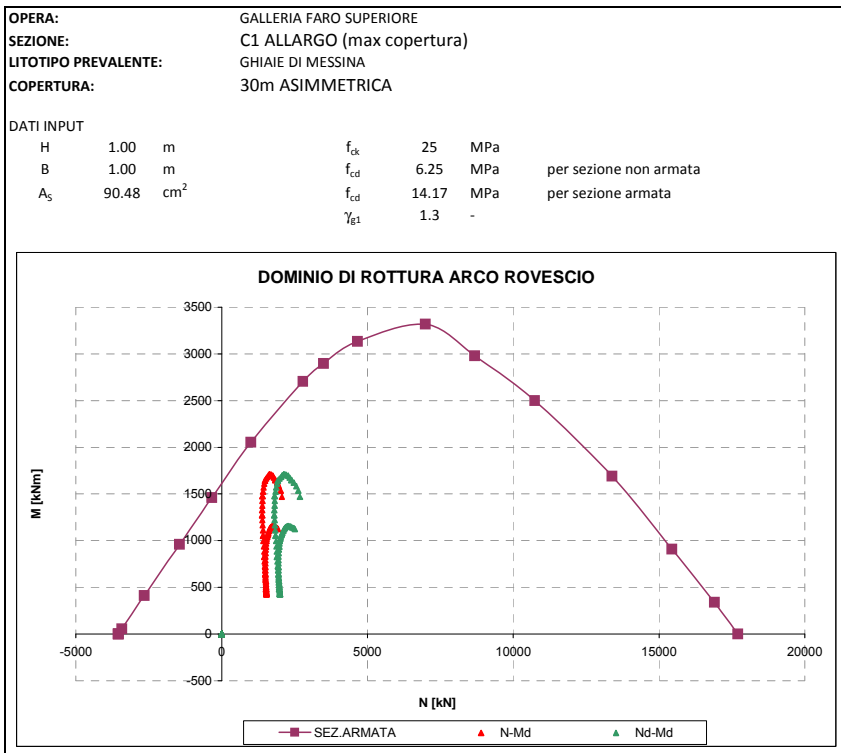
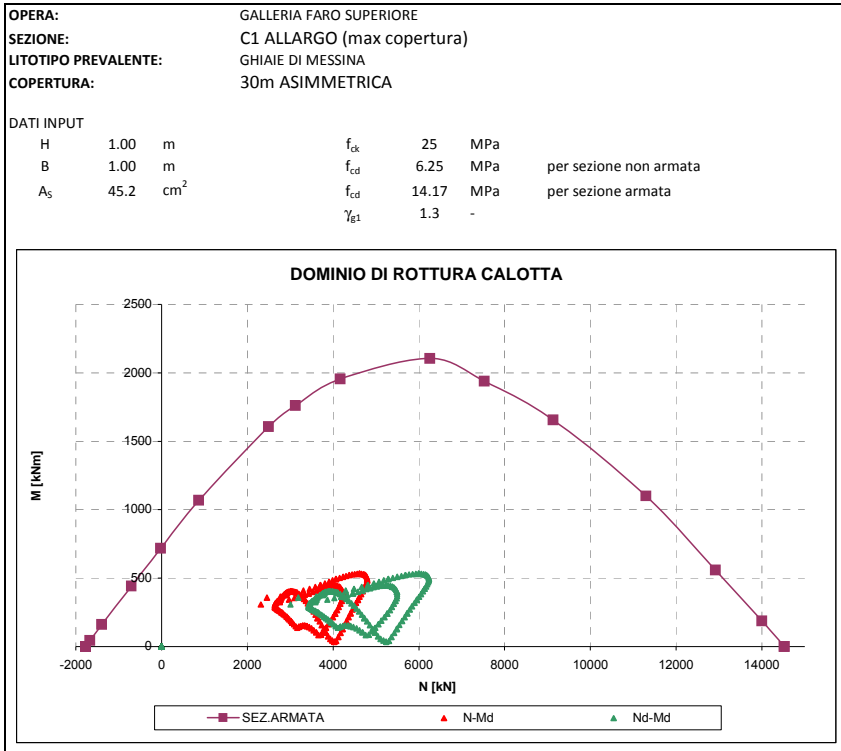












|   |   |   |  |                  |
|---|---|---|--|------------------|
|  |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b>                               |  |                  |
|   |   | <b>COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA – GALLERIA</b><br><b>“FARO SUPERIORE” – RELAZIONE DI CALCOLO</b> | <i>Codice documento</i><br>SS0257_F0.doc | <i>Rev</i><br>F0 |

In Tabella 6 ed in Tabella 7 sono riportate le verifiche a taglio. Il contributo dello sforzo assiale e dell'azione tagliante sono amplificati secondo i coefficienti previsti da normativa ( $\gamma_{g1} = 1.3$ ).

I valori del taglio corrispondono alle sollecitazioni massime agenti per ogni analisi.

| VERIFICA S.L.U. |              |               |                     |                             | CALOTTA |        |                                       |                      |                       |                       |
|-----------------|--------------|---------------|---------------------|-----------------------------|---------|--------|---------------------------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|
| CALCOLO         | SEZIONE TIPO | COPERTURA [m] | LITOTIPO PREVALENTE | CONDIZIONE DI CARICO        | N [kN]  | T [kN] | As [cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ] | V <sub>Rd</sub> [kN] | V <sub>Rsd</sub> [kN] | V <sub>Rcd</sub> [kN] |
| 1               | C1           | 30            | GHIAIE DI MESSINA   | SIMMETRICA                  | 2113,46 | 162,93 | -                                     | 294,00               | -                     | -                     |
| 2               | C1           | 80            | GHIAIE DI MESSINA   | SIMMETRICA                  | 6103,37 | 212,52 | -                                     | 294,00               | -                     | -                     |
| 3               | C1+1.05      | 30            | GHIAIE DI MESSINA   | SIMMETRICA                  | 1650,00 | 86,59  | -                                     | 294,00               | -                     | -                     |
| 4               | C1+1.05      | 80            | GHIAIE DI MESSINA   | SIMMETRICA                  | 6203,47 | 246,69 | -                                     | 294,00               | -                     | -                     |
| 5               | C1-ALLARGO   | 30            | GHIAIE DI MESSINA   | SIMMETRICA                  | 2642,38 | 394,16 | 15,40                                 | -                    | 515,02                | 4106,00               |
| 6               | C1-ALLARGO   | 60            | GHIAIE DI MESSINA   | SIMMETRICA                  | 7408,71 | 595,88 | 20,01                                 | -                    | 653,00                | 4122,00               |
| 7               | C1-ALLARGO   | 30-35         | GHIAIE DI MESSINA   | ASIMMETRICA (max copertura) | 3583,68 | 549,00 | 20,01                                 | -                    | 653,00                | 4098,00               |

**Tabella 6 - Verifica taglio S.L.U. calotta**

| VERIFICA S.L.U. |              |               |                     |                             | ARCO ROVESCIO |         |                                       |                      |                       |                       |
|-----------------|--------------|---------------|---------------------|-----------------------------|---------------|---------|---------------------------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|
| CALCOLO         | SEZIONE TIPO | COPERTURA [m] | LITOTIPO PREVALENTE | CONDIZIONE DI CARICO        | N [kN]        | T [kN]  | As [cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ] | V <sub>Rd</sub> [kN] | V <sub>Rsd</sub> [kN] | V <sub>Rcd</sub> [kN] |
| 1               | C1           | 30            | GHIAIE DI MESSINA   | SIMMETRICA                  | 1792,99       | 249,90  | -                                     | 294,90               | -                     | -                     |
| 2               | C1           | 80            | GHIAIE DI MESSINA   | SIMMETRICA                  | 4136,48       | 1150,23 | 40,20                                 | -                    | 1165,00               | 3680,00               |
| 3               | C1+1.05      | 30            | GHIAIE DI MESSINA   | SIMMETRICA                  | 1936,36       | 3109,70 | -                                     | 320,89               | -                     | -                     |
| 4               | C1+1.05      | 80            | GHIAIE DI MESSINA   | SIMMETRICA                  | 4884,04       | 1278,78 | 40,20                                 | -                    | 1306,00               | 4185,00               |
| 5               | C1-ALLARGO   | 30            | GHIAIE DI MESSINA   | SIMMETRICA                  | 3045,13       | 641,39  | 20,01                                 | -                    | 653,00                | 3976,00               |
| 6               | C1-ALLARGO   | 60            | GHIAIE DI MESSINA   | SIMMETRICA                  | 3719,90       | 1350,30 | 48,26                                 | -                    | 1568,00               | 4113,00               |
| 7               | C1-ALLARGO   | 30-35         | GHIAIE DI MESSINA   | ASIMMETRICA (max copertura) | 2684,14       | 817,06  | 30,15                                 | -                    | 980,00                | 3895,00               |

**Tabella 7 - Verifica S.L.U. taglio arco rovescio**

|  |   |   |                  |                           |
|--|---|---|------------------|---------------------------|
|             |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |                  |                           |
| <b>COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA – GALLERIA<br/> “FARO SUPERIORE” – RELAZIONE DI CALCOLO</b> |   | <i>Codice documento</i><br>SS0257_F0.doc                            | <i>Rev</i><br>F0 | <i>Data</i><br>20/06/2011 |

### 8.3.3.3 Verifica dei rivestimenti definitivi S.L.E.

Di seguito si riportano le verifiche agli stati limite di esercizio relative al rivestimento definitivo nella combinazione più sfavorevole. Per la determinazione dei coefficienti amplificativi previsti da normativa si è fatto riferimento alla combinazione di carico *rara* ( $\gamma_{g1} = 1$ ).

In particolare la massima tensione di compressione del conglomerato cementizio, ricavata dalle sollecitazioni fornite dal codice di calcolo, dovrà rispettare la limitazione seguente:

$$\sigma_c < 0.60f_{ck} = 15 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s < 0.8f_{yk} = 360 \text{ MPa}$$

| VERIFICA S.L.E. |         |              |               |                     |                      | CALOTTA |          |                                   |                  |                  |
|-----------------|---------|--------------|---------------|---------------------|----------------------|---------|----------|-----------------------------------|------------------|------------------|
| GALLERIA        | CALCOLO | SEZIONE TIPO | COPERTURA [m] | LITOTIPO PREVALENTE | CONDIZIONE DI CARICO | M [kNm] | N [kN]   | A <sub>s</sub> [cm <sup>2</sup> ] | $\sigma_c$ [MPa] | $\sigma_s$ [MPa] |
| FARO SUPERIORE  | 1       | C1           | 30            | GHIAIE DI MESSINA   | SIMMETRICA           | 287.07  | -2765.97 | -                                 | -5.20            | -                |
|                 | 2       | C1           | 80            | GHIAIE DI MESSINA   | SIMMETRICA           | 617.41  | -1327.19 | 45.24                             | -6.81            | 112.20           |
|                 | 3       | C1+1.05      | 30            | GHIAIE DI MESSINA   | SIMMETRICA           | 105.25  | -1931.42 | -                                 | -2.85            | -                |
|                 | 4       | C1+1.05      | 80            | GHIAIE DI MESSINA   | SIMMETRICA           | 263.10  | -5197.57 | 45.24                             | -6.92            | -101.57          |
|                 | 5       | C1-ALLARGO   | 30            | GHIAIE DI MESSINA   | SIMMETRICA           | 242.16  | -3414.47 | 45.24                             | -4.44            | -64.80           |
|                 | 6       | C1-ALLARGO   | 60            | GHIAIE DI MESSINA   | SIMMETRICA           | 1028.68 | -5496.55 | 45.24                             | -10.45           | -5.63            |
|                 | 7       | C1 ALLARGO   | 30-35         | GHIAIE DI MESSINA   | ASIMMETRICA          | 331.66  | -4165.27 | 45.24                             | -5.71            | -35.00           |

**Tabella 8 - Verifica S.L.E calotta**

|  |   |   |                  |                           |
|--|---|---|------------------|---------------------------|
|             |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |                  |                           |
| <b>COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA – GALLERIA<br/> “FARO SUPERIORE” – RELAZIONE DI CALCOLO</b> |   | <i>Codice documento</i><br>SS0257_F0.doc                            | <i>Rev</i><br>F0 | <i>Data</i><br>20/06/2011 |

| VERIFICA S.L.E. |         |              |               |                     |                      | ARCO ROVESCIO |          |                                   |                      |                      |
|-----------------|---------|--------------|---------------|---------------------|----------------------|---------------|----------|-----------------------------------|----------------------|----------------------|
| GALLERIA        | CALCOLO | SEZIONE TIPO | COPERTURA [m] | LITOTIPO PREVALENTE | CONDIZIONE DI CARICO | M [kNm]       | N [kN]   | A <sub>s</sub> [cm <sup>2</sup> ] | σ <sub>c</sub> [MPa] | σ <sub>s</sub> [MPa] |
| FARO SUPERIORE  | 1       | C1           | 30            | GHIAIE DI MESSINA   | SIMMETRICA           | 290.17        | -1189.48 | -                                 | -3.85                | -                    |
|                 | 2       | C1           | 80            | GHIAIE DI MESSINA   | SIMMETRICA           | 958.71        | 2547.74  | 45.24                             | -10.38               | 119.10               |
|                 | 3       | C1+1.05      | 30            | GHIAIE DI MESSINA   | SIMMETRICA           | 356.37        | -1024.87 | -                                 | -4.49                | -                    |
|                 | 4       | C1+1.05      | 80            | GHIAIE DI MESSINA   | SIMMETRICA           | 1089.16       | -3890.55 | 45.24                             | -11.72               | 63.13                |
|                 | 5       | C1-ALLARGO   | 30            | GHIAIE DI MESSINA   | SIMMETRICA           | 586.74        | -1340.81 | 45.24                             | -6.44                | 96.90                |
|                 | 6       | C1-ALLARGO   | 60            | GHIAIE DI MESSINA   | SIMMETRICA           | 1162.96       | -3938.20 | 45.24                             | -10.32               | 49.07                |
|                 | 7       | C1 ALLARGO   | 30-35         | GHIAIE DI MESSINA   | ASIMMETRICA          | 1096.71       | -1400.50 | 90.48                             | -7.76                | 149.60               |

**Tabella 9 - Verifica S.L.E. arco rovescio**

La verifica delle aperture delle fessure è stata svolta secondo le indicazioni del TU 2008, con riferimento a coefficienti parziali sulle azioni unitarie. Per assicurare la funzionalità e la durata delle strutture è necessario:

- Realizzare un sufficiente ricoprimento delle armature con calcestruzzo di buona qualità e compattezza, bassa porosità e bassa permeabilità;
- Non superare uno stato limite di fessurazione adeguato alle condizioni ambientali, alle sollecitazioni ed alla sensibilità delle armature alla corrosione;

Per la struttura in esame, viste le classi di esposizione ordinarie (XC2), la normativa in merito pone, come limite per le aperture delle fessure, valori minori di 0.3 mm per condizioni di carico quasi permanente.

Il valore di calcolo di apertura delle fessure ( $w_d$ ) è stato valutato mediante la seguente espressione:

$$w_d = 1.7 \cdot w_m = 1.7 \cdot s_{rm} \cdot \epsilon_{sm}$$

dove:

$$s_{rm} = 2(c+s/10) + k_2 k_3 \Phi / \rho_r$$

$$\epsilon_{sm} = \sigma_s / E_s (1 - \beta_1 \beta_2 (\sigma_{sr} / \sigma_s)^2)$$

|  |   |   |   |            |             |    |            |
|--|---|---|---|------------|-------------|----|------------|
|             |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |   |            |             |    |            |
| <b>COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA – GALLERIA<br/> “FARO SUPERIORE” – RELAZIONE DI CALCOLO</b> |   | <i>Codice documento</i><br>SS0257_F0.doc                            | <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;"><i>Rev</i></td> <td style="width: 50%;"><i>Data</i></td> </tr> <tr> <td>F0</td> <td>20/06/2011</td> </tr> </table> | <i>Rev</i> | <i>Data</i> | F0 | 20/06/2011 |
| <i>Rev</i>   | <i>Data</i>   |   |   |            |             |    |            |
| F0   | 20/06/2011  |   |   |            |             |    |            |

- $c = \text{mm}$                       copriferro netto armatura tesa  
 $s = \text{mm}$                       interasse tra i ferri  
 $k_2 = 0.4$                       per barre ad aderenza migliorata  
 $k_3 = 0.125$                     per diagramma delle  $s$  triangolare, dovuto a flessione o pressoflessione  
 $\Phi = \text{mm}$                       diametro delle barre  
 $\rho_r = A_s/A_{c \text{ eff}}$   
 $\sigma_s =$                       tensione dell'acciaio calcolata nella sezione fessurata per la combinazione di azioni considerata  
 $\sigma_{sr} =$                       tensione dell'acciaio calcolata nella sezione fessurata per la sollecitazione corrispondente al raggiungimento della resistenza a trazione  $f_{ctm}$  nella fibra di calcestruzzo più sollecitata nella sezione interamente reagente.  
 $\beta_1 = 1$                       per barre ad aderenza migliorata  
 $\beta_2 = 0.5$                       nel caso di azioni di lunga durata o ripetute.

La verifica si ritiene soddisfatta qualora le resistenza caratteristica dell'apertura delle fessure è inferiore la valore prescritto dalla normativa.

| VERIFICA S.L.E. fessurazione |         |              |               |                     |                      | CALOTTA |          |                          |            | ARCO ROVESCIO |          |                          |            |
|------------------------------|---------|--------------|---------------|---------------------|----------------------|---------|----------|--------------------------|------------|---------------|----------|--------------------------|------------|
| GALLERIA                     | CALCOLO | SEZIONE TIPO | COPERTURA [m] | LITOTIPO PREVALENTE | CONDIZIONE DI CARICO | M [kNm] | N [kN]   | $A_s$ [cm <sup>2</sup> ] | $w_k$ [mm] | M [kNm]       | N [kN]   | $A_s$ [cm <sup>2</sup> ] | $w_k$ [mm] |
| FARO SUPERIORE               | 1       | C1           | 30            | GHIAIE DI MESSINA   | SIMMETRICA           | 287.07  | -2765.97 | -                        | -          | 290.17        | -1189.48 | -                        | -          |
|                              | 2       | C1           | 80            | GHIAIE DI MESSINA   | SIMMETRICA           | 617.41  | -1327.19 | $\phi 24/20$             | < 0.3      | 958.71        | 2547.74  | $\phi 24/20$             | < 0.3      |
|                              | 3       | C1+1.05      | 30            | GHIAIE DI MESSINA   | SIMMETRICA           | 105.25  | -1931.42 | -                        | -          | 356.37        | -1024.87 | -                        | -          |
|                              | 4       | C1+1.05      | 80            | GHIAIE DI MESSINA   | SIMMETRICA           | 263.10  | -5197.57 | $\phi 24/25$             | < 0.3      | 1089.16       | -3890.55 | $\phi 24/25$             | < 0.3      |
|                              | 5       | C1-ALLARGO   | 30            | GHIAIE DI MESSINA   | SIMMETRICA           | 242.16  | -3414.47 | $\phi 24/20$             | < 0.3      | 586.74        | -1340.81 | $\phi 20/25$             | < 0.3      |
|                              | 6       | C1-ALLARGO   | 60            | GHIAIE DI MESSINA   | SIMMETRICA           | 1028.68 | -5496.55 | $\phi 24/20$             | < 0.3      | 1162.96       | -3938.20 | $\phi 24/20$             | < 0.3      |
|                              | 7       | C1 ALLARGO   | 30-35         | GHIAIE DI MESSINA   | ASIMMETRICA          | 331.66  | -4165.27 | $\phi 24/25$             | < 0.3      | 1096.71       | -1400.50 | $\phi 24/10$             | < 0.3      |

|   |   |   |                  |                           |
|---|---|---|------------------|---------------------------|
|    |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |                  |                           |
| COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA – GALLERIA<br>“FARO SUPERIORE” – RELAZIONE DI CALCOLO |   | <i>Codice documento</i><br>SS0257_F0.doc                            | <i>Rev</i><br>F0 | <i>Data</i><br>20/06/2011 |

## 9 Opere complementari

Nel presente capitolo si analizzano le problematiche progettuali connesse alla realizzazione dei bypass di collegamento tra le due canne della galleria naturale Faro Superiore.

È prevista la realizzazione di tre bypass carrabili, posti alle progressive km 3+039.62, 3+922.12 e 4+804.62 della canna direzione Reggio Calabria, che presentano un'area di scavo pari a circa 65m<sup>2</sup>, e di sette bypass pedonali. I bypass pedonali sono posti ad un'interasse di circa 300m e presentano un'area di scavo di circa 25m<sup>2</sup>.

Tutti i bypass di collegamento previsti verranno interamente scavati all'interno delle Ghiaie di Messina e sono interessati da coperture variabili tra 10 e 55m.

Di seguito si riportano i risultati delle analisi svolte sulle strutture complementari, per i riferimenti teorici si rimanda a quanto già riportato all'interno dei Capitoli 5, 6 e 7.

Le linee caratteristiche sono riportate in “Allegato – Linee caratteristiche”; di seguito si propone una tabella riepilogativa delle analisi effettuate.

### 9.1 FASE DI DIAGNOSI: Previsioni sul comportamento degli amassi allo scavo

Di seguito si riporta una tabella riepilogativa delle analisi svolte:

|  |   |   |                  |                           |
|--|---|---|------------------|---------------------------|
|             |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |                  |                           |
| <b>COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA – GALLERIA<br/> “FARO SUPERIORE” – RELAZIONE DI CALCOLO</b> |   | <i>Codice documento</i><br>SS0257_F0.doc                            | <i>Rev</i><br>F0 | <i>Data</i><br>20/06/2011 |

GALLERIA FARO SUPERIORE- SINTESI LC\_DIAGNOSI - GHIAIE DI MESSINA

| <b>Geometrical Data</b>      |    |         | <b>BYPASS CARRABILE</b> | <b>BYPASS PEDONALE</b> |
|------------------------------|----|---------|-------------------------|------------------------|
| Equivalent Tunnel Radius     | ri | [m]     | 5                       | 3                      |
| Overburden                   | H  | [m]     | 40                      | 55                     |
| Unit weight of the rock mass | g  | [kN/m3] | 19                      | 19                     |

| <b>Resistance Parameters</b>       |                 |       |     |     |
|------------------------------------|-----------------|-------|-----|-----|
| Cohesion in the elastic zone       | C <sub>el</sub> | [kPa] | 5   | 5   |
| Cohesion in the plastic zone       | C <sub>pl</sub> | [kPa] | 0.4 | 0.4 |
| Friction angle in the elastic zone | Φ <sub>el</sub> | [°]   | 39  | 39  |
| Friction angle in the plastic zone | Φ <sub>pl</sub> | [°]   | 34  | 34  |

| <b>Elastic parameters</b>          |                 |       |     |     |
|------------------------------------|-----------------|-------|-----|-----|
| Deformation moduls in elastic zone | E <sub>el</sub> | [MPa] | 275 | 275 |
| Deformation moduls in plastic zone | E <sub>pl</sub> | [MPa] | 275 | 275 |
| Poisson's ratio                    | ν               | [-]   | 0.2 | 0.3 |
| Volume increase in plastic zone    | ΔV              | [%]   | 0   | 0   |

| <b>DEFORMATION RESULTS</b>            |                                    |       |      |      |
|---------------------------------------|------------------------------------|-------|------|------|
| Critical pressure                     | P <sub>cr</sub>                    | [MPa] | 0.28 | 0.38 |
| Max cavity def. (2D)                  | u <sub>2d8</sub>                   | [cm]  | INST | INST |
| R <sub>pl</sub> (2D)/R <sub>o</sub>   | R <sub>pmax</sub> /r <sub>0</sub>  | [-]   | 11.3 | 12.8 |
| Cavity def. at the face               | u <sub>f</sub>                     | [cm]  | 31.4 | 28.1 |
| R <sub>pl</sub> (Face)/R <sub>o</sub> | R <sub>pface</sub> /r <sub>0</sub> | [-]   | 4.1  | 4.5  |

INST = Deformazione maggiore di 80cm

Visti i risultati delle analisi svolte in assenza di interventi di sostegno, risulta evidente lo sviluppo di fenomeni deformativi plastici di entità rilevante che riguardano sia il fronte dello scavo che la cavità. Il comportamento del fronte di scavo, a cui è legato quello della cavità, può essere classificato di tipo C, ovvero “instabile”.

## 9.2 FASE DI TERAPIA

Per quanto concerne la variabilità della sezione tipo, i criteri applicativi, i dettagli sugli interventi, e per tutto quanto non esplicitamente riportato si rimanda alla Relazione Tecnica Generale, parte integrante del Progetto.

Si ricorda che quanto indicato negli elaborati grafici rappresenta la sezione media di intervento; pertanto eventuali variazioni negli interventi utilizzati in sede di verifica sono da ritenersi frutto della variabilità prevista.

Di seguito si propone una tabella riepilogativa delle analisi effettuate.



|  |   |   |                  |                           |
|--|---|---|------------------|---------------------------|
|             |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |                  |                           |
| <b>COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA – GALLERIA<br/> “FARO SUPERIORE” – RELAZIONE DI CALCOLO</b> |   | <i>Codice documento</i><br>SS0257_F0.doc                            | <i>Rev</i><br>F0 | <i>Data</i><br>20/06/2011 |

GALLERIA FARO SUPERIORE - SINTESI LC\_TERAPIA - GHIAIE DI MESSINA

| <b>Geometrical Data</b>      |    |                      | BYPASS CARRABILE | BYPASS PEDONALE |
|------------------------------|----|----------------------|------------------|-----------------|
| Equivalent Tunnel Radius     | ri | [m]                  | 5                | 3               |
| Overburden                   | H  | [m]                  | 40               | 55              |
| Unit weight of the rock mass | γ  | [kN/m <sup>3</sup> ] | 19               | 19              |

| <b>Resistance Parameters</b>       |     |       |    |    |
|------------------------------------|-----|-------|----|----|
| Cohesion in the elastic zone       | Cel | [kPa] | 5  | 5  |
| Cohesion in the plastic zone       | Cpl | [kPa] | 0  | 0  |
| Friction angle in the elastic zone | Φel | [°]   | 39 | 39 |
| Friction angle in the plastic zone | Φpl | [°]   | 34 | 34 |

| <b>Elastic parameters</b>          |     |       |     |     |
|------------------------------------|-----|-------|-----|-----|
| Deformation moduls in elastic zone | Eel | [MPa] | 275 | 275 |
| Deformation moduls in plastic zone | Epl | [MPa] | 275 | 275 |
| Poisson's ratio                    | ν   | [-]   | 0.3 | 0.3 |
| Volume increase in plastic zone    | ΔV  | [%]   | 0   | 0   |

| <b>PRECONFINEMENT (Therapy Phase)</b> |    |       |     |     |
|---------------------------------------|----|-------|-----|-----|
| Number of reinforcements              | n° | [-]   | 38  | 14  |
| Design Length                         | L  | [m]   | 4.5 | 6   |
| Cohesion improvement                  | Δc | [kPa] | 215 | 294 |

| <b>SUPPORT DATA (Therapy Phase)</b> |     |       |        |        |
|-------------------------------------|-----|-------|--------|--------|
| Shotcrete Thickness                 | t   | [cm]  | 25     | 20     |
| Compression strenght (medium)       | fcm | [MPa] | 25     | 25     |
| Steel ribs profile                  | -   | -     | IPN180 | HEA140 |
| Number of profiles                  | n   | -     | 2.00   | 2.00   |
| Steel ribs spacing                  | s   | [m]   | 1.00   | 1.00   |

| <b>DEFORMATION RESULTS</b> |           |       |      |      |
|----------------------------|-----------|-------|------|------|
| Critical pressure          | Pcr       | [MPa] | 0.28 | 0.38 |
| Cavity def. at the face    | uf        | [cm]  | 0.8  | 0.7  |
| Rpl (Face)/Ro              | Rpface/r0 | [-]   | 1.0  | 1.0  |
| Deformation at (x) m       | u(x)      | [cm]  | 9.1  | 13.4 |
| Def.at (x)m regarding gap  | u'(x)     | [cm]  | 9.1  | 13.4 |
| Def.at equilibrium point   | ueq       | [cm]  | 9.2  | 13.4 |
| Conv.at equilibrium point  | Ceq       | [cm]  | 16.7 | 25.5 |
| Rpl (eq)/Ro                | Rpeq/r0   | [-]   | 2.3  | 2.5  |
| Equilibrium pressure       | C1        | [MPa] | 0.0  | 0.0  |

## 9.2.1 Verifica tensionale dei rivestimenti

Le verifiche agli stati limite sono state condotte confrontando le tensioni di calcolo, opportunamente amplificate secondo i coefficienti previsti da normativa ( $\gamma_{G1} = 1.3$  - vedi tabella di seguito), con le resistenze di progetto.

### 9.2.1.1 Verifica dei rivestimenti di prima fase

Di seguito si riportano i valori delle sollecitazioni agenti sul rivestimento di prima fase ottenuti dalle analisi delle linee caratteristiche, amplificate per il coefficiente moltiplicativo previsto da normativa.

|  |   |   |                  |                           |
|--|---|---|------------------|---------------------------|
|             |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |                  |                           |
| <b>COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA – GALLERIA<br/> “FARO SUPERIORE” – RELAZIONE DI CALCOLO</b> |   | <i>Codice documento</i><br>SS0257_F0.doc                            | <i>Rev</i><br>F0 | <i>Data</i><br>20/06/2011 |

#### VERIFICHE DEI RIVESTIMENTI DI PRIMA FASE

|                   |                                 |       | BYPASS CARRABILE | BYPASS PEDONALE |
|-------------------|---------------------------------|-------|------------------|-----------------|
| Overburden        | H                               | [m]   | 40               | 55              |
| Steel ribs stress | $\sigma_{st} \cdot \gamma_{G1}$ | [MPa] | 7.4              | 6.0             |
| Shotcrete stress  | $\sigma_{sc} \cdot \gamma_{G1}$ | [MPa] | 0.7              | 0.6             |

$\gamma_{G1}$  1.3

Le sollecitazioni di progetto risultano compatibili con le resistenze dei materiali utilizzati:

- Acciaio:  $f_{yd} = f_{yk} / 1.05 = 275 / 1.05 = 262 \text{ MPa}$
- Spritzbeton:  $f_{sb,d} = f_{ck} / 1.0 = 25 / 1.0 = 25 \text{ MPa}$

#### 9.2.1.2 Verifica dei rivestimenti definitivi

Di seguito si riportano i valori delle sollecitazioni agenti sul rivestimento definitivo ottenuti dalle analisi delle linee caratteristiche.

Per le verifiche di resistenza delle sezioni non armate, si è fatto riferimento a quanto riportato nel paragrafo 4.1.11 delle NTC2008. Per effetto delle azioni di calcolo sotto la combinazione rara, le tensioni che insorgono nel calcestruzzo devono risultare inferiori a:

$$\sigma_{c,lim} = 0.25 \cdot f_{ck} = 0.25 \cdot 25 = 6.25 \text{ MPa}$$

#### VERIFICHE DEI RIVESTIMENTI DEFINITIVI

|                                    |                              |       | BYPASS CARRABILE | BYPASS PEDONALE |
|------------------------------------|------------------------------|-------|------------------|-----------------|
| Deformation moduls in elastic zone | H                            | [m]   | 40               | 55              |
| Concrete stress                    | $\sigma_b \cdot \gamma_{G1}$ | [MPa] | 0.4              | 0.4             |
| Reinforcement stress               | $\sigma_s \cdot \gamma_{G1}$ | [MPa] | -                | -               |

$\gamma_{G1}$  1.3

Le sollecitazioni di progetto risultano inferiori a quanto prescritto dalla normativa vigente.

### 9.3 Analisi di stabilità del fronte

Una valutazione della stabilità del fronte di scavo può essere condotta mediante l'impiego di metodi analitici semplificati all'equilibrio limite secondo la teoria Tamez e Cornejo. Per maggiori dettagli sui metodi di calcolo utilizzati si rimanda a quanto riportato all'interno del "Allegato – Riferimenti teorici e di calcolo".

|  |   |   |                  |                           |
|--|---|---|------------------|---------------------------|
|             |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |                  |                           |
| <b>COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA – GALLERIA<br/> “FARO SUPERIORE” – RELAZIONE DI CALCOLO</b> |   | <i>Codice documento</i><br>SS0257_F0.doc                            | <i>Rev</i><br>F0 | <i>Data</i><br>20/06/2011 |

Di seguito si riporta una sintesi dei risultati delle analisi di stabilità del fronte di scavo al variare delle coperture.

SINTESI VERIFICHE DI STABILITA' DEL FRONTE GALLERIA FARO SUPERIORE - BYPASS

| SEZ.<br>[-]      | PARAMETRI GEOMETRICI |          |          |            | PARAMETRI GEOTECNICI             |            |               | DIAGNOSI   |                     | n° consolid.<br>[-] | TERAPIA    |            |      |                |
|------------------|----------------------|----------|----------|------------|----------------------------------|------------|---------------|------------|---------------------|---------------------|------------|------------|------|----------------|
|                  | B<br>[m]             | D<br>[m] | C<br>[m] | Deq<br>[m] | $\gamma$<br>[kN/m <sup>3</sup> ] | c<br>[kPa] | $\Phi$<br>[°] | FSF<br>[-] | $\Delta c$<br>[kPa] |                     | c<br>[kPa] | FSF<br>[-] |      |                |
| BYPASS CARRABILE | 9.8                  | 7.2      | 5        | 10         | 19                               | 4          | 33            | 0.06       | FRONTE INSTABILE    | 38                  | 215.0      | 219        | 4.90 | FRONTE STABILE |
| BYPASS CARRABILE | 9.8                  | 7.2      | 10       | 10         | 19                               | 4          | 33            | 0.04       | FRONTE INSTABILE    | 38                  | 215.0      | 219        | 3.84 | FRONTE STABILE |
| BYPASS CARRABILE | 9.8                  | 7.2      | 20       | 10         | 19                               | 4          | 33            | 0.01       | FRONTE INSTABILE    | 38                  | 215.0      | 219        | 3.01 | FRONTE STABILE |
| BYPASS PEDONALE  | 5.4                  | 5        | 5        | 10         | 19                               | 4          | 33            | 0.06       | FRONTE INSTABILE    | 14                  | 293.5      | 297.5      | 9.02 | FRONTE STABILE |
| BYPASS PEDONALE  | 5.4                  | 5        | 15       | 10         | 19                               | 4          | 33            | 0.01       | FRONTE INSTABILE    | 14                  | 293.5      | 297.5      | 6.50 | FRONTE STABILE |

Le verifiche di stabilità del fronte svolte in fase di terapia, restituiscono valori molto elevati del coefficiente di sicurezza. Va però ricordato che le analisi svolte non tengono conto delle condizioni tenso-deformative complesse in cui tali opere vengono realizzate e delle relative condizioni locali.

|  |   |   |                           |                                    |
|--|---|---|---------------------------|------------------------------------|
|             |  | <p align="center"><b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br/> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> |                           |                                    |
| <p>COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA – GALLERIA<br/> “FARO SUPERIORE” – RELAZIONE DI CALCOLO</p> | <p><i>Codice documento</i><br/> SS0257_F0.doc</p>                                 |   | <p><i>Rev</i><br/> F0</p> | <p><i>Data</i><br/> 20/06/2011</p> |

## ALLEGATO – RIFERIMENTI TEORICI E DI CALCOLO

|   |   |   |                  |                           |
|---|---|---|------------------|---------------------------|
|    |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |                  |                           |
| COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA – GALLERIA<br>“FARO SUPERIORE” – RELAZIONE DI CALCOLO |   | <i>Codice documento</i><br>SS0257_F0.doc                            | <i>Rev</i><br>F0 | <i>Data</i><br>20/06/2011 |

## 10 Metodo delle curve caratteristiche

### 10.1 Aspetti generali

Le curve caratteristiche consistono nel simulare lo scavo di una galleria nell'ipotesi di simmetria assiale e di stato di deformazione piana.

Per curve caratteristiche di una cavità si intendono delle curve che legano le pressioni di contenimento, esercitate in senso radiale sul bordo della galleria dalle opere di stabilizzazione e di rivestimento, agli spostamenti radiali al suo contorno (convergenze).

Lo scavo è rappresentato come una graduale riduzione di una pressione fittizia “ $p$ ” applicata alle pareti della galleria, tramite cui si simula il progressivo deconfinamento dell'ammasso prodotto dall'avvicinarsi del fronte di scavo alla sezione di calcolo ed al successivo avanzamento del fronte stesso, cui corrisponde una convergenza radiale “ $u$ ” crescente in funzione delle caratteristiche dell'ammasso. Questo fenomeno può essere descritto in un piano  $p-u$  e la linea che ne risulta prende il nome di *curva caratteristica della cavità*.

Tali curve possono quindi essere utilizzate, oltre che per valutare il comportamento dell'ammasso allo scavo, anche per determinare lo stato di sollecitazione sui diversi interventi costituenti la galleria, mediante la sovrapposizione degli effetti delle curve caratteristiche della cavità e dei singoli interventi che la costituiscono.

Per ogni galleria è possibile costruire due curve caratteristiche principali:

- quella valida presso il fronte di scavo, detta curva caratteristica del fronte, che tiene conto dell'effetto tridimensionale delle tensioni vicino ad esso e che permette di risalire, mediante considerazioni sulla resistenza del nucleo, all'entità della convergenza già subita dalla galleria nella sezione in corrispondenza al fronte di scavo;
- quella valida per qualsiasi sezione sufficientemente lontana dal fronte, detta curva caratteristica della cavità, per la quale lo stato di tensione può considerarsi piano.

In generale, ove la curva caratteristica non intersechi in un valore finito l'asse delle deformazioni radiali, la galleria risulta instabile senza adeguati interventi di stabilizzazione.

|   |   |   |   |            |             |    |            |
|---|---|---|---|------------|-------------|----|------------|
|    |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |   |            |             |    |            |
| COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA – GALLERIA<br>“FARO SUPERIORE” – RELAZIONE DI CALCOLO |   | <i>Codice documento</i><br>SS0257_F0.doc                            | <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;"><i>Rev</i></td> <td style="width: 50%;"><i>Data</i></td> </tr> <tr> <td>F0</td> <td>20/06/2011</td> </tr> </table> | <i>Rev</i> | <i>Data</i> | F0 | 20/06/2011 |
| <i>Rev</i>  | <i>Data</i>   |   |   |            |             |    |            |
| F0  | 20/06/2011  |   |   |            |             |    |            |

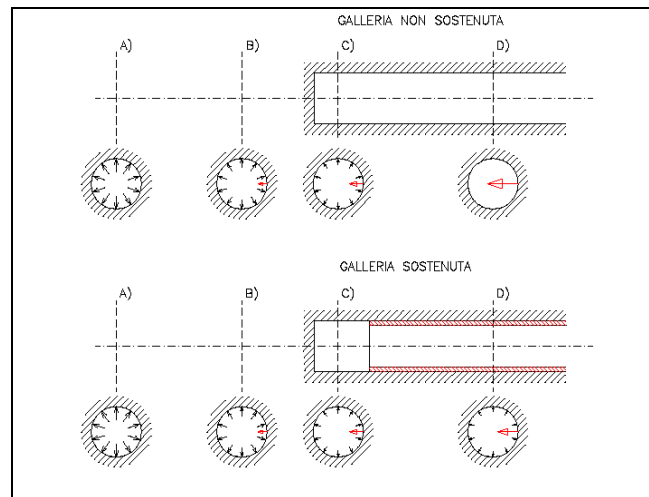


Figura 8 - Progressivo deconfinamento del bordo di scavo per simulare l'avanzamento della galleria

Se la galleria è scavata in assenza di sostegni, il valore finale della pressione di confinamento è pari a zero; in caso contrario allo stato finale è presente una pressione di confinamento maggiore di zero che rappresenta la pressione di equilibrio del cavo ottenuta dall'intersezione della curva caratteristica della cavità e dei rivestimenti impiegati. Quest'ultima curva, a sua volta, dipende dalle proprietà dei materiali impiegati e dalle deformazioni subite dall'ammasso prima della posa in opera dei sostegni provvisori e quindi, in ultima analisi, è legata al comportamento del fronte di scavo e al tipo di interventi previsti in avanzamento.

Mediante la sovrapposizione degli effetti delle curve "caratteristiche" della galleria, dei sostegni provvisori e definitivi e del fronte è possibile ridurre il problema tridimensionale in prossimità del fronte di scavo ad un problema bidimensionale; l'intersezione delle varie curve permette di determinare graficamente il comportamento della galleria allo scavo.

|   |   |   |  |            |             |    |            |
|---|---|---|--|------------|-------------|----|------------|
|        |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |  |            |             |    |            |
| <b>COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA – GALLERIA “FARO SUPERIORE” – RELAZIONE DI CALCOLO</b> |   | <i>Codice documento</i><br>SS0257_F0.doc                            | <table border="1"> <tr> <td><i>Rev</i></td> <td><i>Data</i></td> </tr> <tr> <td>F0</td> <td>20/06/2011</td> </tr> </table> | <i>Rev</i> | <i>Data</i> | F0 | 20/06/2011 |
| <i>Rev</i>  | <i>Data</i>   |   |  |            |             |    |            |
| F0  | 20/06/2011  |   |  |            |             |    |            |

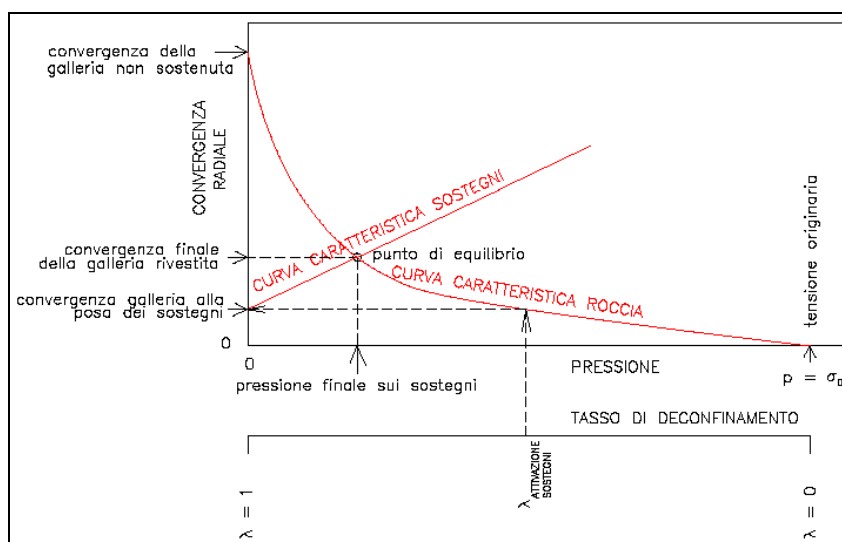


Figura 9 Curve caratteristiche

La curva caratteristica del rivestimento, o curva di confinamento, è individuata dalla rigidità della struttura  $K_{st}$  e dallo spostamento radiale  $u_{d0}$  che si è già generato nell'intorno del cavo prima dell'installazione del supporto, messo in opera a distanza  $d_0$  dal fronte di avanzamento della galleria.

$$u_r = u_{d0} + R \frac{p}{K_{st}}$$

Il valore della convergenza alla distanza di posa in opera del rivestimento,  $u_{d0}$ , viene determinato simulando l'effetto di deconfinamento dovuto allo scavo e all'allontanamento del fronte per mezzo di una pressione fittizia applicata alla parete della galleria. Tale pressione, inizialmente pari allo stato di sforzo originario, viene ridotta fino ad un valore  $P^*$  definito da un tasso di rilascio  $\lambda$ :

$$P^* = (1 - \lambda) \cdot \sigma_0$$

In tutti i casi è necessario valutare lo spostamento al fronte  $u_f$  per risalire allo spostamento radiale alla distanza  $d_0$ .

Tracciando la curva caratteristica del fronte, non solo si ricava il valore  $u_f$  (ovvero l'intersezione della curva del fronte con quella del nucleo), tenendo conto del tipo di preconsolidamento eventualmente effettuato in avanzamento dal fronte stesso, ma è anche possibile individuare a priori il comportamento della galleria, distinguendo tra fronte stabile (A), stabile a breve termine (B) ed instabile (C), secondo l'approccio A.De.Co.Rs.

Nota lo spostamento al fronte e determinato l'andamento della curva di convergenza longitudinale della galleria tramite la funzione che fornisce il tasso di deconfinamento  $\lambda$ , si calcola il valore della convergenza radiale già subita dal cavo, prima della posa in opera del rivestimento; la curva di



|  |   |   |                  |                           |
|--|---|---|------------------|---------------------------|
|             |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |                  |                           |
| <b>COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA – GALLERIA<br/> “FARO SUPERIORE” – RELAZIONE DI CALCOLO</b> |   | <i>Codice documento</i><br>SS0257_F0.doc                            | <i>Rev</i><br>F0 | <i>Data</i><br>20/06/2011 |

confinamento risulta a questo punto completamente definita.

La condizione di equilibrio, individuata dallo spostamento radiale  $u_{re}$  o dalla pressione radiale  $P=P_e$ , è determinata dall'intersezione della curva caratteristica del terreno e di quella del rivestimento. Tale condizione risulta verificata se la pressione di equilibrio è inferiore alla resistenza massima propria del rivestimento.

In virtù dei sistemi di avanzamento proposti, volti a conservare le caratteristiche meccaniche del terreno indisturbato, limitando al minimo il rimaneggiamento e l'alterazione dello stesso conseguente alle operazioni di scavo, diviene estremamente importante sapere quanto il terreno è effettivamente in grado di incassare nelle sue condizioni naturali e indisturbate, prima di giungere alla rottura. La conoscenza delle caratteristiche di resistenza al taglio del terreno nelle sue condizioni naturali è indispensabile per determinare con discreta accuratezza il contributo al contenimento del cavo che i vari interventi adottati saranno in grado di fornire.

Il discorso così impostato sulla sensibilità del terreno dovrà essere poi allargato per mettere in conto anche l'eterogeneità strutturale dell'ammasso, che in rapporto alle coperture in gioco, è determinante nella parametrizzazione geotecnica. Non essendo realmente praticabile l'ipotesi di una perfetta conoscenza delle condizioni del terreno ad ogni avanzamento sarà necessario individuare, anche facendo ipotesi di lavoro sulla base di esperienze maturate in casi analoghi, condizioni geotecniche standard in base alle quali svolgere i calcoli.

Si precisa inoltre che i calcoli svolti fanno riferimento a condizioni puramente statiche, considerando il consolidamento del fronte come un irrigidimento del nucleo e non come uno strumento di stabilizzazione del paramento, che pertanto rimane pur sempre una fonte di pericolo da tenere costantemente sotto controllo, evitando che le maestranze permangano entro il suo raggio di azione in particolare durante le operazioni di scavo.

La formulazione delle curve caratteristiche è stata desunta dall'articolo di G. Lombardi e A. Amberg: *"Une méthode de calcul élasto-plastique de l'état de tension et de déformation autour d'une cavité souterraine"*, mentre per il calcolo della convergenza a distanza  $x$  dal fronte  $C(x)$ , si è fatto riferimento a quanto descritto dall'articolo: Panet M., Guenot A.: *"Analysis of convergence behind the face of a tunnel"*.

## 10.2 Consolidamento del fronte di scavo

Nel caso di presenza di trattamenti di rinforzo del fronte (VTR, Jet-grouting ecc.) posti in opera in avanzamento, il loro effetto stabilizzante può utilmente essere tenuto in conto incrementando la resistenza coesiva dell'ammasso.

|  |   |   |                  |                           |
|--|---|---|------------------|---------------------------|
|             |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |                  |                           |
| <b>COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA – GALLERIA<br/> “FARO SUPERIORE” – RELAZIONE DI CALCOLO</b> |   | <i>Codice documento</i><br>SS0257_F0.doc                            | <i>Rev</i><br>F0 | <i>Data</i><br>20/06/2011 |

Infatti la chiodatura esercita un’azione di contenimento passivo del fronte, rappresentabile, nel caso di impiego di elementi strutturali in VTR, da una tensione di confinamento  $\sigma_3^{VTR}$  fittizia, funzione dei parametri tecnici del trattamento secondo le equazioni:

$$\sigma_3^{VTR_A} = \frac{\tau_a \cdot L_A \cdot 2p_A}{A_i}$$

$$\sigma_3^{VTR_B} = \frac{\sigma_T \cdot A_T}{A_i}$$

$$\sigma_3^{VTR} = \text{minimo} (\sigma_3^{VTR_A}, \sigma_3^{VTR_B})$$

dove:

- $\tau_a$  = tensione di aderenza ammasso-fondazione
- $L_A$  = semi-lunghezza dell’elemento di rinforzo (si assume che mezzo elemento costituisca la fondazione)
- $2p_A$  = perimetro della sezione reagente a sfilamento

$\sigma_t$  = resistenza a trazione dell’elemento di rinforzo

$A_i$  = area di influenza di un elemento strutturale

$A_t$  = sezione dell’elemento resistente a trazione

L’effetto di  $\sigma_3^{VTR}$  può essere considerato come incremento di coesione dell’ammasso:

$$\Delta\sigma_C^{\text{Fronte}} = \frac{\sigma_3^{VTR}}{2} * \sqrt{K_p}$$

Se il fronte di scavo è rinforzato con trattamenti colonnari in jet-grouting, allora i parametri di coesione sono migliorati specificando un incremento della coesione di picco pari alla differenza tra la coesione dell’ammasso non trattato e quella dell’ammasso trattato; quest’ultima è valutata come media pesata della coesione originaria del terreno e di quella del trattamento:

$$\Delta c = c_{\text{ammasso trattato}} - c_{\text{ammasso}} = \frac{c_{\text{jet}} \cdot A_{\text{jet}} + c_{\text{ammasso}} \cdot A_{\text{ammasso}}}{A_{\text{tot}}} - c_{\text{ammasso}}$$

dove:

- $c_{\text{jet}}$  = coesione dei trattamenti colonnari in jet grouting
- $c_{\text{ammasso}}$  = coesione dell’ammasso senza trattamenti
- $A_{\text{jet}}, A_{\text{ammasso}}, A_{\text{tot}}$  = sono le aree, rispettivamente, dei trattamenti colonnari, della sezione di scavo al netto dei trattamenti e della sezione di scavo.

|   |   |   |                  |                           |
|---|---|---|------------------|---------------------------|
|    |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |                  |                           |
| COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA – GALLERIA<br>“FARO SUPERIORE” – RELAZIONE DI CALCOLO |   | <i>Codice documento</i><br>SS0257_F0.doc                            | <i>Rev</i><br>F0 | <i>Data</i><br>20/06/2011 |

## 11 Analisi di stabilità del fronte

A partire dai parametri geotecnici e geomeccanici di caratterizzazione dei materiali interessati dallo scavo delle gallerie è doveroso effettuare analisi della risposta dell'ammasso roccioso allo scavo. Tali analisi di stabilità del fronte di scavo sono eseguibili mediante l'applicazione di criteri semiempirici e delle linee caratteristiche.

Si intende per instabilità del fronte la possibilità di collasso del nucleo. Lo scavo di una galleria comporta la modifica dello stato tensionale naturale. Al fronte l'ammasso subisce una forte decompressione verso la galleria con conseguente estrusione del materiale che costituisce il nucleo. Fintanto che si ammetta la presenza di un sufficiente sostegno radiale immediatamente a tergo del fronte, l'estrusione del nucleo costituisce l'unico elemento critico nel sistema. La deviazione verso l'esterno delle tensioni longitudinali lungo l'asse della galleria, dalla situazione naturale (non scavata) alla situazione equilibrata dello scavo sostenuto, provoca un particolare stato tensionale del nucleo. Esso subisce, infatti, una compressione radiale che, sommandosi all'assenza di un sufficiente contenimento verso lo scavo, ne può provocare il collasso similmente alla rottura di tipo passivo che si verifica in una cella triassiale con la diminuzione della tensione assiale lasciando invariata la compressione radiale.

La valutazione della stabilità del fronte di scavo può essere condotta mediante l'impiego di metodi analitici semplificati all'equilibrio limite.

Per casi di basse coperture (inferiori ai  $3\phi$ ) si fa riferimento alle teorie di Tamez e Cornejo che ipotizzano che esistano dei prismi di terreno in distacco secondo sezioni longitudinali, giungendo a definire un coefficiente di sicurezza FSF nei confronti della stabilità del fronte di scavo. Tali metodi consentono inoltre di tenere in conto degli interventi di preconsolidamento assumendo per il terreno trattato caratteristiche meccaniche incrementate rispetto a quelle del terreno naturale.

Si riporta nel seguito una breve sintesi di riepilogo del metodo adottato.

Il metodo dell'equilibrio limite proposto da Tamez tiene conto della riduzione dello stato di confinamento triassiale del nucleo di terreno oltre il fronte per mezzo di un meccanismo di rottura del tipo effetto volta, con il quale il volume di terreno gravante sulla corona della galleria è definito da un paraboloide, approssimato mediante tre solidi prismatici, come illustrato nelle figure seguenti.

|   |   |   |           |                    |
|---|---|---|-----------|--------------------|
|    |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |           |                    |
| COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA – GALLERIA<br>“FARO SUPERIORE” – RELAZIONE DI CALCOLO |   | Codice documento<br>SS0257_F0.doc                                   | Rev<br>F0 | Data<br>20/06/2011 |

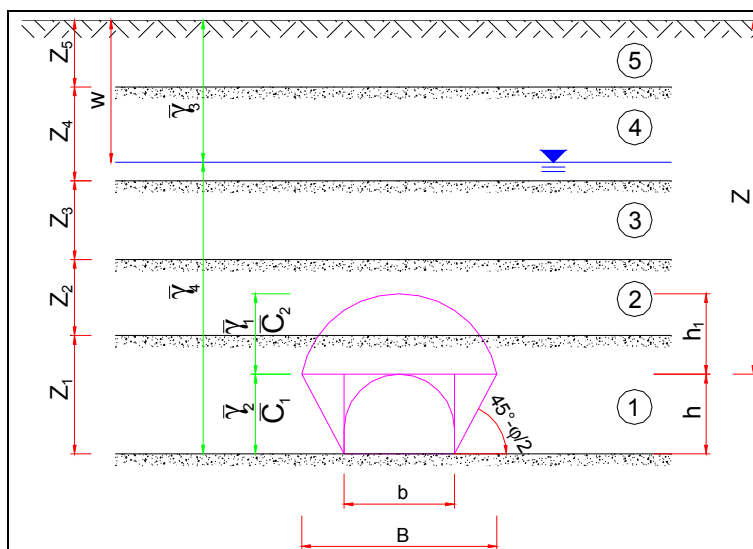


Figura 10 – Schema proposto da Tamez.

In questo modo si determinano le massime tensioni tangenziali che si possono sviluppare sulle facce di ogni prisma senza che avvengano scorrimenti (forze resistenti) e le forze di massa di ogni prisma (forze agenti). Il rapporto tra i momenti delle forze resistenti e delle forze agenti fornisce un coefficiente di sicurezza, denominato FSF (face security factor).

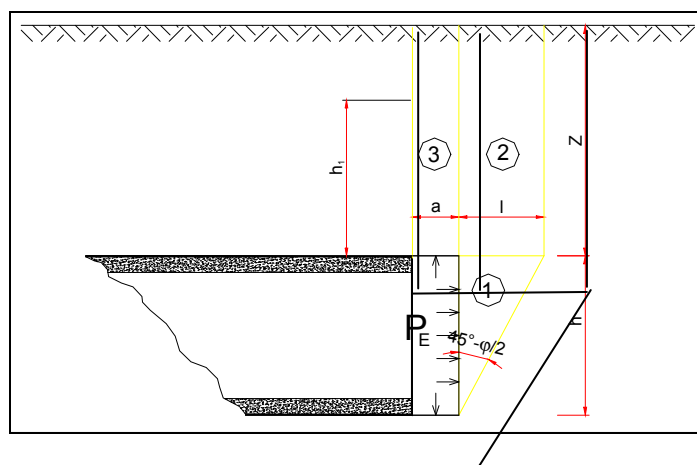


Figura 11 – Schema proposto da Tamez.

Anche per le analisi con il metodo dell'equilibrio limite è possibile tener conto di eventuali interventi di preconsolidamento del fronte mediante un approccio del tutto analogo a quanto illustrato per le linee caratteristiche.

|   |   |   |                  |                           |
|---|---|---|------------------|---------------------------|
|    |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |                  |                           |
| COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA – GALLERIA<br>“FARO SUPERIORE” – RELAZIONE DI CALCOLO |   | <i>Codice documento</i><br>SS0257_F0.doc                            | <i>Rev</i><br>F0 | <i>Data</i><br>20/06/2011 |

## 12 Software di calcolo

### 12.1 PLAXIS

Le analisi tensio-deformative riportate di seguito sono state condotte per mezzo del codice di calcolo *PLAXIS2D* versione 9, sviluppato dalla *Delft University of Technology & Plaxis bv*, Olanda, il quale consente di eseguire analisi di stabilità e di deformazione per applicazioni geotecniche in condizioni di deformazioni piane e condizioni assialsimmetriche.

Il problema in stato di deformazione piana viene studiato costruendo un modello agli elementi finiti, specificando le proprietà dei materiali e le condizioni al contorno.

Il modello in stato piano può essere adoperato nel caso in cui la geometria sia riconducibile ad una sezione trasversale (nel piano x,y) che si ripete in modo più o meno uniforme nella direzione ad essa normale. (direzione z) per una lunghezza significativa. In tal senso lo scavo della galleria viene simulato la definizione di una legge di rilassamento del nucleo in grado di simulare il progressivo incremento della deformazione della cavità, con conseguente diminuzione della pressione esercitata sui rivestimenti, attraverso un coefficiente  $\Sigma Mstage$  che viene progressivamente incrementato da 0 ad 1.

Il rivestimento di prima fase è stato schematizzato con elementi BEAM, mentre il rivestimento definitivo è simulato con elementi di mesh a cui vengono attribuite le proprietà del calcestruzzo. Per entrambi i rivestimenti si è adottato un modello costitutivo elastico-lineare ed isotropo.

L'interazione tra terreno e struttura può essere simulata per mezzo di elementi interfaccia che consentono di modellare un comportamento intermedio tra un contatto perfettamente liscio ed un contatto perfettamente scabro. La scabrezza dell'interazione è modellata mediante un opportuno valore del fattore di riduzione della resistenza all'interfaccia ( $R_{inter}$ ). Questo fattore mette in relazione la resistenza all'interfaccia (attrito ed adesione con il muro) con quella del terreno (angolo di resistenza a taglio e coesione).

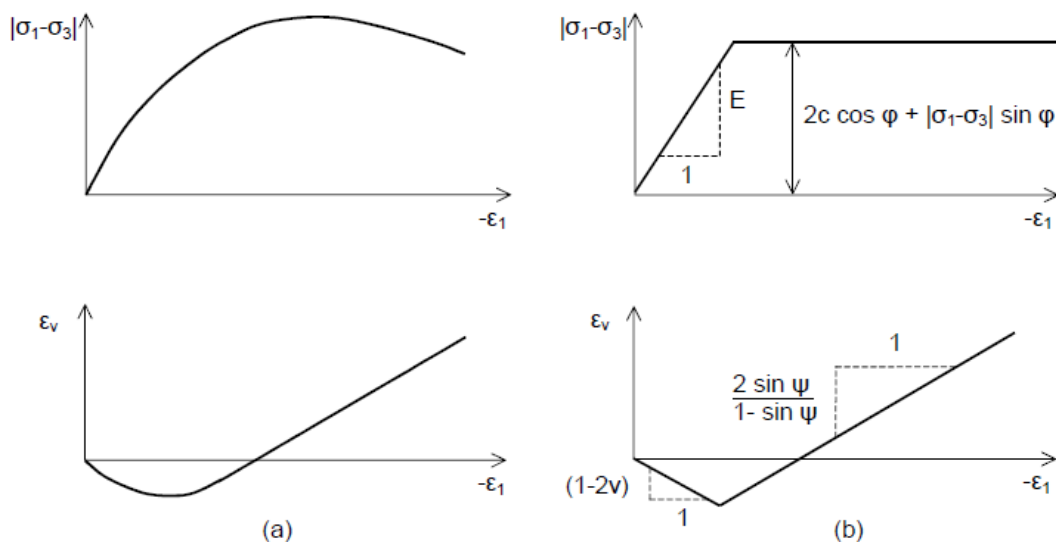
Il comportamento tensio-deformativo dei terreni può essere modellato per mezzo di vari legami costitutivi:

**Modello Linear elastic (Elastico lineare ):** Questo modello rappresenta la legge di Hooke dell'elasticità isotropa lineare. Il modello richiede due parametri di rigidità elastici, che sono il modulo di Young  $E$ , ed il coefficiente di Poisson  $\nu$ . Il modello elastico lineare è molto limitato nei riguardi della simulazione del comportamento del terreno; è utilizzato principalmente per simulare strutture rigide nel terreno.

|   |   |   |                  |                           |
|---|---|---|------------------|---------------------------|
|    |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |                  |                           |
| COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA – GALLERIA<br>“FARO SUPERIORE” – RELAZIONE DI CALCOLO |   | <i>Codice documento</i><br>SS0257_F0.doc                            | <i>Rev</i><br>F0 | <i>Data</i><br>20/06/2011 |

**Modello Mohr-Coulomb:** Questo modello viene utilizzato come una prima approssimazione del comportamento del terreno in generale. Il modello richiede cinque parametri, che sono il modulo di Young  $E$ , il coefficiente di Poisson  $\nu$ , la coesione  $c$ , l'angolo di attrito  $\varphi$ , e l'angolo di dilatanza  $\psi$ .

**Modello Jointed Rock model (Roccia fratturata):** E' un modello elasto-plastico anisotropo in cui può manifestarsi soltanto plasticizzazione per taglio lungo un limitato numero di direzioni (piani). Questo modello può essere adottato per simulare il comportamento di rocce stratificate o fratturate.



**Modello Hardening Soil (Terreno incrudente):** E' un modello elastoplastico incrudente che riproduce in condizioni di primo carico triassiale un legame tensioni deformazioni di tipo iperbolico. L'incrudimento è funzione sia delle deformazioni distorsionali plastiche sia delle deformazioni volumetriche plastiche. Il modello è quindi in grado di simulare, tra l'altro, la riduzione irreversibile di volume di un terreno sottoposto a compressione lungo percorsi di carico proporzionali (e.g. carico isotropo, edometrico) a partire da una condizione di normal-consolidazione. Questo modello di 'secondo livello' può essere utilizzato per simulare il comportamento sia di sabbie e di ghiaie sia di terreni più compressibili come argille e limi.

**Modello Soft Soil (Terreno compressibile):** E' un modello tipo Cam-clay che può essere utilizzato per simulare il comportamento di terreni compressibili quali argille normalmente consolidate e torba. Il modello è particolarmente adatto ad analizzare situazioni nelle quali il terreno è sollecitato lungo percorsi tensionali che lo mantengono in condizioni di normal-consolidazione.

**Modello Soft Soil Creep (Creep per terreno compressibile):** E' un modello di 'secondo livello'

|   |   |   |                  |                           |
|---|---|---|------------------|---------------------------|
|    |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |                  |                           |
| COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA – GALLERIA<br>“FARO SUPERIORE” – RELAZIONE DI CALCOLO |   | <i>Codice documento</i><br>SS0257_F0.doc                            | <i>Rev</i><br>F0 | <i>Data</i><br>20/06/2011 |

formulato nell’ambito della viscoplasticità. Il modello può essere utilizzato per simulare il comportamento nel tempo di terreni molto compressibili come argille normalconsolidate e torba. Il modello riproduce in condizioni di primo carico edometrico il legame lineare tra deformazioni volumetriche e logaritmo della tensione principale massima.

I parametri del modello in PLAXIS sono intesi a rappresentare la risposta del terreno in termini di tensioni efficaci, e cioè la relazione tra le tensioni e le deformazioni associate allo scheletro solido del terreno. Per consentire di tenere conto, nella risposta del terreno, dell’interazione acqua-scheletro solido, è possibile scegliere tra tre tipi di comportamento:

- **Drained behaviour (Comportamento drenato):** non vengono generate sovrappressioni neutre. Questo è il caso di terreni asciutti ed anche il caso in cui sia possibile un rapido drenaggio per l’elevata permeabilità dei terreni (sabbie) e/o per la bassa velocità di applicazione dei carichi. Questa scelta può anche essere utilizzata per simulare il comportamento del terreno a lungo termine senza la necessità di modellare l’esatta storia delle sollecitazioni in condizioni non drenate e della consolidazione.

- **Undrained behaviour (Comportamento non drenato):** viene utilizzato per simulare la generazione di sovrappressioni neutre in condizioni di flusso idraulico impedito. Tali condizioni possono verificarsi per la bassa permeabilità dei terreni (argille) e/o per l’elevata velocità di applicazione dei carichi. Oltre alla rigidità ed alla resistenza dello scheletro solido del terreno, PLAXIS aggiunge un modulo di compressibilità volumetrica per l’acqua e distingue tra tensioni totali, tensioni efficaci e sovrappressioni neutre:

$$\text{Tensioni totali: } \Delta p = K_u \Delta \varepsilon_v$$

$$\text{Tensioni efficaci: } \Delta p' = (1 - B) \Delta p = K' \Delta \varepsilon_v$$

$$\text{Sovrappressioni neutre: } \Delta p_w = B \Delta p = K_w / n \Delta \varepsilon_v$$

dove  $\Delta p$  è un incremento della tensione totale media,  $\Delta p'$  è un incremento della tensione efficace media e  $\Delta p_w$  è un incremento della sovrappressione neutra.  $B$  è il parametro di Skempton, che mette in relazione l’incremento della tensione totale media con l’incremento delle sovrappressioni neutre.  $K_u$  è il modulo di rigidità volumetrica non drenato,  $K'$  è il modulo di rigidità volumetrica dello scheletro solido del terreno,  $K_w$  è il modulo di rigidità volumetrica del fluido interstiziale,  $n$  è la porosità del terreno e  $\Delta \varepsilon_v$  è l’incremento della deformazione volumetrica.

Per simulare il comportamento non drenato PLAXIS non usa un valore realistico per il modulo di rigidità volumetrica dell’acqua, in quanto questo potrebbe condurre al cattivo condizionamento della matrice delle rigidità ed a problemi numerici. Infatti, in caso di compressione isotropa, la



|   |   |   |                           |
|---|---|---|---------------------------|
|    |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |                           |
| COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA – GALLERIA<br>“FARO SUPERIORE” – RELAZIONE DI CALCOLO | <i>Codice documento</i><br>SS0257_F0.doc  | <i>Rev</i><br>F0  | <i>Data</i><br>20/06/2011 |

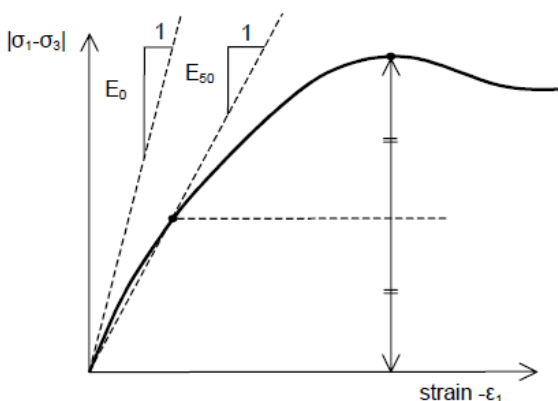
rigidezza del mezzo monofase equivalente è, per default, assunta pari ad un modulo di rigidezza volumetrica non drenato:

$$K_u = \frac{2G(1+\nu_u)}{3(1-2\nu_u)} \quad \text{dove} \quad G = \frac{E'}{2(1+\nu')} \quad \text{e} \quad \nu_u = 0.495$$

L'acqua interstiziale è quindi considerata leggermente compressibile ed il coefficiente B appena inferiore a 1,0. Quindi, in condizioni di carico isotrope, una piccola percentuale del carico sarà trasferito alle tensioni efficaci, almeno nel caso di piccoli valori del coefficiente di Poisson efficace.

- **Non-porous behaviour (Comportamento non poroso):** non sono considerate né pressioni neutre iniziali né sovrappressioni neutre. Applicazioni possibili di questo caso sono la modellazione del comportamento del calcestruzzo o di elementi strutturali in genere. Il comportamento non poroso viene spesso utilizzato in combinazione con il modello Linear elastic (Elastico-lineare). L'introduzione di un peso dell'unità di volume saturo e della permeabilità non è rilevante per materiali non porosi. Il tipo di materiale non poroso può essere applicato anche alle interfacce.

Il modulo di Young è utilizzato come modulo di rigidezza fondamentale dei modelli Elastic e Mohr-Coulomb, ma è possibile anche adottare alcuni moduli di rigidezza alternativi. Nella meccanica dei terreni, la pendenza iniziale della curva tensione-deformazione è indicata con  $E_0$  (modulo tangente iniziale) ed il modulo secante al 50% della resistenza è denotato con  $E_{50}$ . Per argille fortemente sovraconsolidate e per alcune rocce con un ampio intervallo di carico elastico-lineare, è realistico utilizzare  $E_0$ , invece per sabbie ed argille pressoché normalconsolidate, soggette a carico, è più appropriato utilizzare  $E_{50}$ .



Per i terreni, sia il modulo tangente iniziale che il modulo secante tendono ad aumentare con la tensione media efficace. Quindi, gli strati profondi di terreno tendono ad avere una rigidezza maggiore degli strati superficiali. Inoltre, la rigidezza osservata dipende dal percorso di sollecitazione seguito. La rigidezza è molto più alta per la fase di scarico e di ricarico piuttosto che



|   |   |   |                  |                           |
|---|---|---|------------------|---------------------------|
|    |  | <b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> |                  |                           |
| COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA – GALLERIA<br>“FARO SUPERIORE” – RELAZIONE DI CALCOLO |   | <i>Codice documento</i><br>SS0257_F0.doc                            | <i>Rev</i><br>F0 | <i>Data</i><br>20/06/2011 |

per la fase di primo carico. Inoltre la rigidità del terreno osservata in termini di modulo di Young è generalmente più bassa per compressione in condizioni drenate piuttosto che per taglio. Quindi, se si utilizza un modulo di rigidità costante per rappresentare il comportamento del terreno sarebbe opportuno scegliere un valore che sia coerente con il livello tensionale e con il percorso di sollecitazione atteso. La dipendenza del comportamento dei terreni dal livello tensionale è portata in conto dal software. Per il modello Mohr-Coulomb, è possibile prevedere una rigidità che aumenta con la profondità.

Le tensioni iniziali in un ammasso di terreno sono determinate dal peso del materiale e dalla storia della sua formazione. Questo stato tensionale è di solito caratterizzato da una tensione verticale efficace iniziale  $\sigma'_{v,0}$ . La tensione efficace orizzontale iniziale  $\sigma'_{h,0}$  è legata alla tensione efficace verticale iniziale attraverso il coefficiente di spinta a riposo,  $K_0$  ( $\sigma'_{h,0} = K_0 \sigma'_{v,0}$ ). In PLAXIS le tensioni iniziali possono essere generate specificando  $K_0$  oppure utilizzando la procedura Gravity loading (Generazione delle tensioni iniziali per incremento della gravità).

Per il tipo di calcolo da adottare in una fase viene fatta una distinzione fra tre tipi fondamentali:

- **Plastic calculation (Calcolo plastico):** utilizzato per eseguire un'analisi di deformazione elasto-plastica in cui non sia necessario prendere in considerazione la dissipazione delle sovrappressioni neutre nel tempo. La matrice di rigidità in un calcolo plastico normale è riferita alla geometria indeformata originaria. Questo tipo di calcolo è appropriato nella maggior parte delle applicazioni pratiche di tipo geotecnico.
- **Consolidation analysis (Analisi di consolidazione):** Quando è necessario analizzare l'evoluzione o la dissipazione delle sovrappressioni neutre nel tempo in terreni saturi di tipo argilloso, si deve effettuare un'analisi di consolidazione. PLAXIS consente di effettuare analisi di consolidazione elasto-plastiche. In generale, un'analisi di consolidazione senza ulteriori sollecitazioni viene eseguita dopo un calcolo plastico non drenato.
- **Phi-c reduction (Analisi di stabilità per riduzione dei parametri di resistenza):** Un'analisi di stabilità in PLAXIS può essere eseguita riducendo i parametri di resistenza del terreno; tale processo è denominato Phi-c reduction.

|  |   |   |                           |                                    |
|--|---|---|---------------------------|------------------------------------|
|             |  | <p align="center"><b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br/> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> |                           |                                    |
| <p>COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA – GALLERIA<br/> “FARO SUPERIORE” – RELAZIONE DI CALCOLO</p> |   | <p><i>Codice documento</i><br/> SS0257_F0.doc</p>   | <p><i>Rev</i><br/> F0</p> | <p><i>Data</i><br/> 20/06/2011</p> |

## ALLEGATO – LINEE CARATTERISTICHE

GALLERIA FARO SUPERIORE - SINTESI LC\_DIAGNOSI - GHIAIE DI MESSINA

| <b>Geometrical Data</b>      |    |         | <b>SEZ. STANDARD</b> |     |     | <b>SEZ. STANDARD+1.05</b> |    |    | <b>SEZ. ALLARGO</b> |      | <b>SEZ. PIAZZOLA + 1,05</b> |     |
|------------------------------|----|---------|----------------------|-----|-----|---------------------------|----|----|---------------------|------|-----------------------------|-----|
| Equivalent Tunnel Radius     | ri | [m]     | 7,5                  | 7,5 | 7,5 | 8                         | 8  | 8  | 8,75                | 8,75 | 9,5                         | 9,5 |
| Overburden                   | H  | [m]     | 45                   | 60  | 80  | 45                        | 60 | 80 | 45                  | 55   | 45                          | 55  |
| Unit weight of the rock mass | g  | [kN/m3] | 19                   | 19  | 19  | 19                        | 19 | 19 | 19                  | 19   | 19                          | 19  |

**Resistance Parameters**

|                                    |             |       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|------------------------------------|-------------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Cohesion in the elastic zone       | Cel         | [kPa] | 5   | 5   | 5   | 5   | 5   | 5   | 5   | 5   | 5   | 5   |
| Cohesion in the plastic zone       | Cpl         | [kPa] | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 |
| Friction angle in the elastic zone | $\Phi_{el}$ | [°]   | 39  | 39  | 39  | 39  | 39  | 39  | 39  | 39  | 39  | 39  |
| Friction angle in the plastic zone | $\Phi_{pl}$ | [°]   | 34  | 34  | 34  | 34  | 34  | 34  | 34  | 34  | 34  | 34  |

**Elastic parameters**

|                                    |            |       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|------------------------------------|------------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Deformation moduls in elastic zone | Eel        | [MPa] | 275 | 350 | 450 | 275 | 350 | 450 | 275 | 350 | 350 | 350 |
| Deformation moduls in plastic zone | Epl        | [MPa] | 275 | 350 | 450 | 275 | 350 | 450 | 275 | 350 | 350 | 350 |
| Poisson's ratio                    | v          | [-]   | 0,2 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 |
| Volume increase in plastic zone    | $\Delta V$ | [%]   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |

**DEFORMATION RESULTS**

|                         |              |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------------------|--------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Critical pressure       | Pcr          | [MPa] | 0,31 | 0,42 | 0,56 | 0,31 | 0,42 | 0,56 | 0,31 | 0,38 | 0,31 | 0,38 |
| Max cavity def. (2D)    | u2d $\infty$ | [cm]  | INST | INST | INST | INST | INST | INST | INST | INST | INST | INST |
| Rpl (2D)/Ro             | Rpmax/r0     | [-]   | 11,8 | 13,3 | 14,9 | 11,8 | 13,3 | 14,9 | 11,8 | 12,8 | 11,8 | 12,8 |
| Cavity def. at the face | uf           | [cm]  | 57,0 | 64,5 | 78,8 | 55,8 | 68,9 | 84,2 | 61,1 | 65,8 | 52,2 | 71,6 |
| Rpl (Face)/Ro           | Rpface/r0    | [-]   | 4,2  | 4,6  | 5,0  | 4,2  | 4,6  | 5,0  | 4,2  | 4,5  | 4,2  | 4,5  |

INST = Deformazione maggiore di 80cm

**PROGETTO**

PONTE SULLO STRETTO  
 GALLERIA FARO SUPERIORE  
 SEZIONE TIPO STANDARD, COPERTURA 45m - GHIAIE DI MESSINA GR.1

DIAGNOSI

TERAPIA



**INPUT DATA (Diagnosis phase)**

**Geometrical Data**

|                              |          |
|------------------------------|----------|
| Equivalent Tunnel Radius     | $r_i$    |
| Overburden                   | H        |
| Unit weight of the rock mass | $\gamma$ |

|                         |                      |
|-------------------------|----------------------|
| ANALYSIS n°1            | ANALYSIS n°2         |
| 7,5 [m]                 | [m]                  |
| 45 [m]                  | [m]                  |
| 19 [kN/m <sup>3</sup> ] | [kN/m <sup>3</sup> ] |

|                      |                      |
|----------------------|----------------------|
| ANALYSIS n°3         | ANALYSIS n°4         |
| [m]                  | [m]                  |
| [m]                  | [m]                  |
| [kN/m <sup>3</sup> ] | [kN/m <sup>3</sup> ] |

|                      |                      |
|----------------------|----------------------|
| ANALYSIS n°5         | ANALYSIS n°6         |
| [m]                  | [m]                  |
| [m]                  | [m]                  |
| [kN/m <sup>3</sup> ] | [kN/m <sup>3</sup> ] |

**Resistance Parameters**

|                                    |             |
|------------------------------------|-------------|
| Cohesion in the elastic zone       | Cel         |
| Cohesion in the plastic zone       | Cpl         |
| Friction angle in the elastic zone | $\Phi_{el}$ |
| Friction angle in the plastic zone | $\Phi_{pl}$ |

|         |       |
|---------|-------|
| 5 [kPa] | [kPa] |
| 0 [kPa] | [kPa] |
| 39 [°]  | [°]   |
| 34 [°]  | [°]   |

|       |       |
|-------|-------|
| [kPa] | [kPa] |
| [kPa] | [kPa] |
| [°]   | [°]   |
| [°]   | [°]   |

|       |       |
|-------|-------|
| [kPa] | [kPa] |
| [kPa] | [kPa] |
| [°]   | [°]   |
| [°]   | [°]   |

**Elastic parameters**

|                                    |            |
|------------------------------------|------------|
| Deformation moduls in elastic zone | Eel        |
| Deformation moduls in plastic zone | Epl        |
| Poisson's ratio                    | $\nu$      |
| Volume increase in plastic zone    | $\Delta V$ |

|           |       |
|-----------|-------|
| 275 [MPa] | [MPa] |
| 275 [MPa] | [MPa] |
| 0,2 [-]   | [-]   |
| 0 [%]     | [%]   |

|       |       |
|-------|-------|
| [MPa] | [MPa] |
| [MPa] | [MPa] |
| [-]   | [-]   |
| [%]   | [%]   |

|       |       |
|-------|-------|
| [MPa] | [MPa] |
| [MPa] | [MPa] |
| [-]   | [-]   |
| [%]   | [%]   |

**PRECONFINEMENT (Therapy Phase)**  Structural Elements

**FACE PRECONFINEMENT (reinforcement elements)**

|                                  |            |                    |
|----------------------------------|------------|--------------------|
| Number of reinforcements         | $n^\circ$  | [-]                |
| Design Length                    | L          | [m]                |
| Reinforcement's cross section    | Ael        | [cm <sup>2</sup> ] |
| Reinforcement's tensile strength | ftd        | [MPa]              |
| Drilling/Grouting Diameter       | Dp         | [mm]               |
| Grout-soil bond                  | $\tau d$   | [kPa]              |
| Cohesion improvement             | $\Delta c$ | [kPa]              |

Jet grouting

**FACE PRECONFINEMENT (jet grouting or similar)**

|                              |            |       |
|------------------------------|------------|-------|
| Number of reinforcements     | $n^\circ$  | [-]   |
| Design Length                | L          | [m]   |
| Coloumndiameter              | Dn         | [mm]  |
| Jet Cohesion                 | cjet       | [kPa] |
| Design cohesion for the soil | cs         | [kPa] |
| Cohesion improvement         | $\Delta c$ | [kPa] |

**SUPPORT DATA (Therapy Phase)**

**SHOTCRETE**

|                               |                 |       |
|-------------------------------|-----------------|-------|
| Elastic Modulus               | Esb             | [MPa] |
| Poisson's Ratio               | $\nu$           | [-]   |
| Thickness                     | t               | [cm]  |
| Compression strenght (medium) | fc <sub>m</sub> | [MPa] |

**ROCK BOLTS**

|                              |                |        |
|------------------------------|----------------|--------|
| Bolt length                  | L              | [m]    |
| Bolt diameter                | d              | [cm]   |
| Circumferential bolt spacing | s              | [m]    |
| Longitudinal bolt spacing    | a              | [m]    |
| Bolt elastic moduls          | E <sub>b</sub> | [MPa]  |
| Ultimate failure load        | F <sub>u</sub> | [kN]   |
| Load deformation constant    | $\delta$       | [m/MN] |

**STEEL RIBS**

|      |         |                       |                 |                    |
|------|---------|-----------------------|-----------------|--------------------|
| HSA  | IPN 120 | Number of profiles    | n               | [-]                |
| HSE  | IPN 140 | Steel ribs spacing    | s               | [m]                |
| HSH  | IPN 160 | Cross section Area    | A <sub>s</sub>  | [cm <sup>2</sup> ] |
| HSL  | IPN 180 | Moment of Inertia     | I <sub>y</sub>  | [cm <sup>4</sup> ] |
| HSU  | IPN 200 | Yielding strength     | f <sub>yd</sub> | [MPa]              |
| IPE  | IPN 220 | Homogenization coeff. | n               | [-]                |
| IPEA | IPN 240 | Gap ground/support    | g               | [cm]               |
| IPEO | IPN 260 |                       |                 |                    |
| IPEX | IPN 280 |                       |                 |                    |
| IPN  | IPN 300 |                       |                 |                    |

|   |                   |         |
|---|-------------------|---------|
| Stiffness reduction factor for Shotcrete and Steel Ribs | K <sub>a</sub>    | [-]     |
| Stiffness reduction factor for Rock Bolts               | K <sub>bolt</sub> | [-]     |
| Distance of support                                     | d                 | [m]     |
| Total Stiffness   | K <sub>t</sub>    | [MPa/m] |

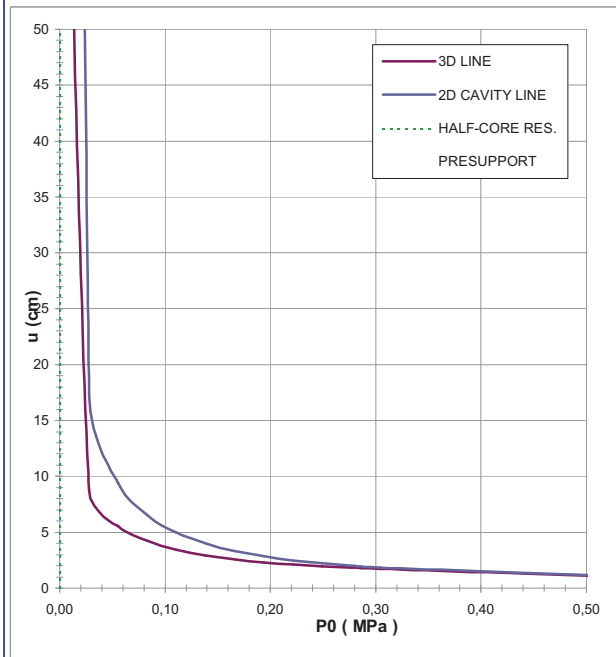
**FINAL LINING**

**CONCRETE**

|                               |                 |       |
|-------------------------------|-----------------|-------|
| Elastic Modulus               | E <sub>c</sub>  | [MPa] |
| Poisson's Ratio               | $\nu$           | [-]   |
| Thickness                     | T               | [cm]  |
| Concrete compression strenght | f <sub>cd</sub> | [MPa] |

**STEEL REINFORCEMENTS**

|                            |                 |       |
|----------------------------|-----------------|-------|
| Diameter of the steel bars | $\phi$          | [mm]  |
| Steel bars spacing         | s               | [cm]  |
| Number of set              | n               | [-]   |
| Yielding strength          | f <sub>yd</sub> | [MPa] |



| DEFORMATION RESULTS       |                        |        |     |     |     |     |     |
|---------------------------|------------------------|--------|-----|-----|-----|-----|-----|
|                           |                        | AN1    | AN2 | AN3 | AN4 | AN5 | AN6 |
| Critical pressure         | P <sub>cr</sub> [MPa]  | 0,31   |     |     |     |     |     |
| Max cavity def. (2D)      | $u_{2d_{max}}$ [cm]    | 396,24 |     |     |     |     |     |
| Rpl (2D)/Ro               | $R_{p_{max}}/r_0$ [-]  | 11,84  |     |     |     |     |     |
| Cavity def. at the face   | $u_f$ [cm]             | 57,05  |     |     |     |     |     |
| Rpl (Face)/Ro             | $R_{p_{face}}/r_0$ [-] | 4,22   |     |     |     |     |     |
| Deformation at (x) m      | $u_{(x)}$ [cm]         |        |     |     |     |     |     |
| Def.at (x)m regarding gap | $u'_{(x)}$ [cm]        |        |     |     |     |     |     |
| Def.at equilibrium point  | ueq [cm]               |        |     |     |     |     |     |
| Conv.at equilibrium point | Ceq [cm]               |        |     |     |     |     |     |
| Rpl (eq)/Ro               | $R_{p_{eq}}/r_0$ [-]   |        |     |     |     |     |     |
| Equilibrium pressure      | C1 [MPa]               |        |     |     |     |     |     |

| TEMPORARY LINING RESULTS |                       |     |     |     |     |     |     |
|--------------------------|-----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                          |                       | AN1 | AN2 | AN3 | AN4 | AN5 | AN6 |
| Presupp.el. deformation  | u <sub>lim</sub> [cm] |     |     |     |     |     |     |
| Presupport stress        | $\sigma_{sup}$ [MPa]  |     |     |     |     |     |     |
| Steel ribs stress        | $\sigma_{st}$ [MPa]   |     |     |     |     |     |     |
| Shotcrete stress         | $\sigma_{sc}$ [MPa]   |     |     |     |     |     |     |
| Bolt stress              | $\sigma_{rb}$ [MPa]   |     |     |     |     |     |     |

| SUPPORT RESULTS      |                      |     |     |     |     |     |     |
|----------------------|----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                      |                      | AN1 | AN2 | AN3 | AN4 | AN5 | AN6 |
| Support stress       | $\sigma_{def}$ [MPa] |     |     |     |     |     |     |
| Concrete stress      | $\sigma_b$ [MPa]     |     |     |     |     |     |     |
| Reinforcement stress | $\sigma_s$ [MPa]     |     |     |     |     |     |     |

**PROGETTO**

PONTE SULLO STRETTO  
 GALLERIA FARO SUPERIORE  
 SEZIONE TIPO STANDARD, COPERTURA 60m - GHIAIE DI MESSINA, GR.1

DIAGNOSI

TERAPIA



**INPUT DATA (Diagnosis phase)**

**Geometrical Data**

|                              |          |
|------------------------------|----------|
| Equivalent Tunnel Radius     | $r_i$    |
| Overburden                   | H        |
| Unit weight of the rock mass | $\gamma$ |

|                         |                      |
|-------------------------|----------------------|
| ANALYSIS n°1            | ANALYSIS n°2         |
| 7,5 [m]                 | [m]                  |
| 60 [m]                  | [m]                  |
| 19 [kN/m <sup>3</sup> ] | [kN/m <sup>3</sup> ] |

|                      |                      |
|----------------------|----------------------|
| ANALYSIS n°3         | ANALYSIS n°4         |
| [m]                  | [m]                  |
| [m]                  | [m]                  |
| [kN/m <sup>3</sup> ] | [kN/m <sup>3</sup> ] |

|                      |                      |
|----------------------|----------------------|
| ANALYSIS n°5         | ANALYSIS n°6         |
| [m]                  | [m]                  |
| [m]                  | [m]                  |
| [kN/m <sup>3</sup> ] | [kN/m <sup>3</sup> ] |

**Resistance Parameters**

|                                    |             |
|------------------------------------|-------------|
| Cohesion in the elastic zone       | Cel         |
| Cohesion in the plastic zone       | Cpl         |
| Friction angle in the elastic zone | $\Phi_{el}$ |
| Friction angle in the plastic zone | $\Phi_{pl}$ |

|         |       |
|---------|-------|
| 5 [kPa] | [kPa] |
| 0 [kPa] | [kPa] |
| 39 [°]  | [°]   |
| 34 [°]  | [°]   |

|       |       |
|-------|-------|
| [kPa] | [kPa] |
| [kPa] | [kPa] |
| [°]   | [°]   |
| [°]   | [°]   |

|       |       |
|-------|-------|
| [kPa] | [kPa] |
| [kPa] | [kPa] |
| [°]   | [°]   |
| [°]   | [°]   |

**Elastic parameters**

|                                    |            |
|------------------------------------|------------|
| Deformation moduls in elastic zone | Eel        |
| Deformation moduls in plastic zone | Epl        |
| Poisson's ratio                    | $\nu$      |
| Volume increase in plastic zone    | $\Delta V$ |

|           |       |
|-----------|-------|
| 350 [MPa] | [MPa] |
| 350 [MPa] | [MPa] |
| 0,3 [-]   | [-]   |
| 0 [%]     | [%]   |

|       |       |
|-------|-------|
| [MPa] | [MPa] |
| [MPa] | [MPa] |
| [-]   | [-]   |
| [%]   | [%]   |

|       |       |
|-------|-------|
| [MPa] | [MPa] |
| [MPa] | [MPa] |
| [-]   | [-]   |
| [%]   | [%]   |

**PRECONFINEMENT (Therapy Phase)  Structural Elements**

**FACE PRECONFINEMENT (reinforcement elements)**

|                                  |            |                    |
|----------------------------------|------------|--------------------|
| Number of reinforcements         | $n^\circ$  | [-]                |
| Design Length                    | L          | [m]                |
| Reinforcement's cross section    | Ael        | [cm <sup>2</sup> ] |
| Reinforcement's tensile strength | ftd        | [MPa]              |
| Drilling/Grouting Diameter       | Dp         | [mm]               |
| Grout-soil bond                  | $\tau d$   | [kPa]              |
| Cohesion improvement             | $\Delta c$ | [kPa]              |

Jet grouting

**FACE PRECONFINEMENT (jet grouting or similar)**

|                              |            |       |
|------------------------------|------------|-------|
| Number of reinforcements     | $n^\circ$  | [-]   |
| Design Length                | L          | [m]   |
| Coloumndiameter              | Dn         | [mm]  |
| Jet Cohesion                 | cjet       | [kPa] |
| Design cohesion for the soil | cs         | [kPa] |
| Cohesion improvement         | $\Delta c$ | [kPa] |

**SUPPORT DATA (Therapy Phase)**

**SHOTCRETE**

|                               |       |       |
|-------------------------------|-------|-------|
| Elastic Modulus               | Esb   | [MPa] |
| Poisson's Ratio               | $\nu$ | [-]   |
| Thickness                     | t     | [cm]  |
| Compression strenght (medium) | fcm   | [MPa] |

**ROCK BOLTS**

|                              |          |        |
|------------------------------|----------|--------|
| Bolt length                  | L        | [m]    |
| Bolt diameter                | d        | [cm]   |
| Circumferential bolt spacing | s        | [m]    |
| Longitudinal bolt spacing    | a        | [m]    |
| Bolt elastic moduls          | Eb       | [MPa]  |
| Ultimate failure load        | Fu       | [kN]   |
| Load deformation constant    | $\delta$ | [m/MN] |

**STEEL RIBS**

|      |         |                       |     |                    |
|------|---------|-----------------------|-----|--------------------|
| HSA  | IPN 120 | Number of profiles    | n   | [-]                |
| HSE  | IPN 140 | Steel ribs spacing    | s   | [m]                |
| HSH  | IPN 160 | Cross section Area    | As  | [cm <sup>2</sup> ] |
| HSL  | IPN 180 | Moment of Inertia     | Iy  | [cm <sup>4</sup> ] |
| HSU  | IPN 200 | Yielding strength     | fyd | [MPa]              |
| IPE  | IPN 220 | Homogenization coeff. | n   | [-]                |
| IPEA | IPN 240 | Gap ground/support    | g   | [cm]               |
| IPEO | IPN 260 |                       |     |                    |
| IPEX | IPN 280 |                       |     |                    |
| IPN  | IPN 300 |                       |     |                    |

|   |       |         |
|---|-------|---------|
| Stiffness reduction factor for Shotcrete and Steel Ribs | Ka    | [-]     |
| Stiffness reduction factor for Rock Bolts               | Kbolt | [-]     |
| Distance of support                                     | d     | [m]     |
| Total Stiffness   | Kt    | [MPa/m] |

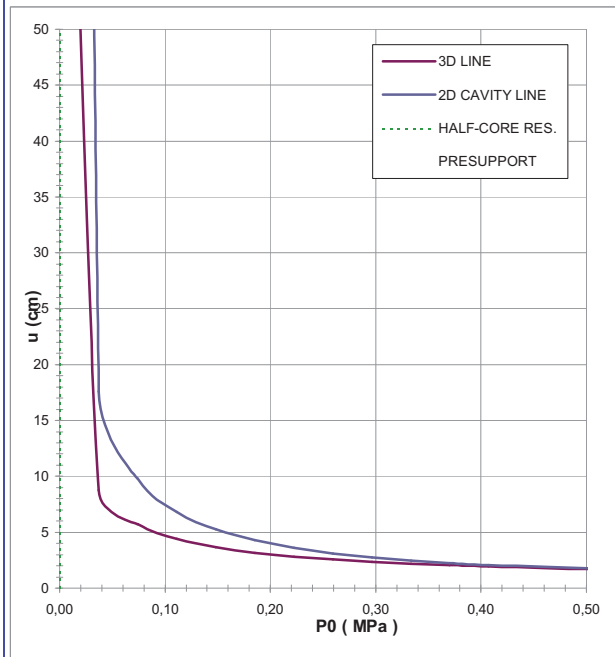
**FINAL LINING**

**CONCRETE**

|                               |       |       |
|-------------------------------|-------|-------|
| Elastic Modulus               | Ec    | [MPa] |
| Poisson's Ratio               | $\nu$ | [-]   |
| Thickness                     | T     | [cm]  |
| Concrete compression strenght | fcd   | [MPa] |

**STEEL REINFORCEMENTS**

|                            |        |       |
|----------------------------|--------|-------|
| Diameter of the steel bars | $\phi$ | [mm]  |
| Steel bars spacing         | s      | [cm]  |
| Number of set              | n      | [-]   |
| Yielding strength          | fyd    | [MPa] |



| DEFORMATION RESULTS       |                    |        |     |     |     |     |     |
|---------------------------|--------------------|--------|-----|-----|-----|-----|-----|
|                           |                    | AN1    | AN2 | AN3 | AN4 | AN5 | AN6 |
| Critical pressure         | Pcr [MPa]          | 0,42   |     |     |     |     |     |
| Max cavity def. (2D)      | $u_{2d=}$ [cm]     | 494,60 |     |     |     |     |     |
| Rpl (2D)/Ro               | $Rp_{max}/r0$ [-]  | 13,28  |     |     |     |     |     |
| Cavity def. at the face   | $u_f$ [cm]         | 64,51  |     |     |     |     |     |
| Rpl (Face)/Ro             | $Rp_{face}/r0$ [-] | 4,57   |     |     |     |     |     |
| Deformation at (x) m      | $u_{(x)}$ [cm]     |        |     |     |     |     |     |
| Def.at (x)m regarding gap | $u'_{(x)}$ [cm]    |        |     |     |     |     |     |
| Def.at equilibrium point  | ueq [cm]           |        |     |     |     |     |     |
| Conv.at equilibrium point | Ceq [cm]           |        |     |     |     |     |     |
| Rpl (eq)/Ro               | $Rp_{eq}/r0$ [-]   |        |     |     |     |     |     |
| Equilibrium pressure      | C1 [MPa]           |        |     |     |     |     |     |

| TEMPORARY LINING RESULTS |                      |     |     |     |     |     |     |
|--------------------------|----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                          |                      | AN1 | AN2 | AN3 | AN4 | AN5 | AN6 |
| Presupp.el. deformation  | ulim [cm]            |     |     |     |     |     |     |
| Presupport stress        | $\sigma_{sup}$ [MPa] |     |     |     |     |     |     |
| Steel ribs stress        | $\sigma_{st}$ [MPa]  |     |     |     |     |     |     |
| Shotcrete stress         | $\sigma_{sc}$ [MPa]  |     |     |     |     |     |     |
| Bolt stress              | $\sigma_{rb}$ [MPa]  |     |     |     |     |     |     |

| SUPPORT RESULTS      |                      |     |     |     |     |     |     |
|----------------------|----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                      |                      | AN1 | AN2 | AN3 | AN4 | AN5 | AN6 |
| Support stress       | $\sigma_{def}$ [MPa] |     |     |     |     |     |     |
| Concrete stress      | $\sigma_b$ [MPa]     |     |     |     |     |     |     |
| Reinforcement stress | $\sigma_s$ [MPa]     |     |     |     |     |     |     |

**PROGETTO**

PONTE SULLO STRETTO  
GALLERIA FARO SUPERIORE  
SEZIONE TIPO STANDARD, COPERTURA 80m - GHIAIE DI MESSINA, GR.1

DIAGNOSI

TERAPIA



**INPUT DATA (Diagnosis phase)**

**Geometrical Data**

|                              |          |
|------------------------------|----------|
| Equivalent Tunnel Radius     | $r_i$    |
| Overburden                   | H        |
| Unit weight of the rock mass | $\gamma$ |

| ANALYSIS n°1            | ANALYSIS n°2         |
|-------------------------|----------------------|
| 7,5 [m]                 | [m]                  |
| 80 [m]                  | [m]                  |
| 19 [kN/m <sup>3</sup> ] | [kN/m <sup>3</sup> ] |

| ANALYSIS n°3         | ANALYSIS n°4         |
|----------------------|----------------------|
| [m]                  | [m]                  |
| [m]                  | [m]                  |
| [kN/m <sup>3</sup> ] | [kN/m <sup>3</sup> ] |

| ANALYSIS n°5         | ANALYSIS n°6         |
|----------------------|----------------------|
| [m]                  | [m]                  |
| [m]                  | [m]                  |
| [kN/m <sup>3</sup> ] | [kN/m <sup>3</sup> ] |

**Resistance Parameters**

|                                    |             |
|------------------------------------|-------------|
| Cohesion in the elastic zone       | Cel         |
| Cohesion in the plastic zone       | Cpl         |
| Friction angle in the elastic zone | $\Phi_{el}$ |
| Friction angle in the plastic zone | $\Phi_{pl}$ |

|         |       |
|---------|-------|
| 5 [kPa] | [kPa] |
| 0 [kPa] | [kPa] |
| 39 [°]  | [°]   |
| 34 [°]  | [°]   |

|       |       |
|-------|-------|
| [kPa] | [kPa] |
| [kPa] | [kPa] |
| [°]   | [°]   |
| [°]   | [°]   |

|       |       |
|-------|-------|
| [kPa] | [kPa] |
| [kPa] | [kPa] |
| [°]   | [°]   |
| [°]   | [°]   |

**Elastic parameters**

|                                    |            |
|------------------------------------|------------|
| Deformation moduls in elastic zone | Eel        |
| Deformation moduls in plastic zone | Epl        |
| Poisson's ratio                    | $\nu$      |
| Volume increase in plastic zone    | $\Delta V$ |

|           |       |
|-----------|-------|
| 450 [MPa] | [MPa] |
| 450 [MPa] | [MPa] |
| 0,3 [-]   | [-]   |
| 0 [%]     | [%]   |

|       |       |
|-------|-------|
| [MPa] | [MPa] |
| [MPa] | [MPa] |
| [-]   | [-]   |
| [%]   | [%]   |

|       |       |
|-------|-------|
| [MPa] | [MPa] |
| [MPa] | [MPa] |
| [-]   | [-]   |
| [%]   | [%]   |

**PRECONFINEMENT (Therapy Phase)  Structural Elements**

**FACE PRECONFINEMENT (reinforcement elements)**

|                                  |            |                    |
|----------------------------------|------------|--------------------|
| Number of reinforcements         | $n^\circ$  | [-]                |
| Design Length                    | L          | [m]                |
| Reinforcement's cross section    | Ael        | [cm <sup>2</sup> ] |
| Reinforcement's tensile strength | fd         | [MPa]              |
| Drilling/Grouting Diameter       | Dp         | [mm]               |
| Grout-soil bond                  | $\tau d$   | [kPa]              |
| Cohesion improvement             | $\Delta c$ | [kPa]              |

Jet grouting

**FACE PRECONFINEMENT (jet grouting or similar)**

|                              |            |       |
|------------------------------|------------|-------|
| Number of reinforcements     | $n^\circ$  | [-]   |
| Design Length                | L          | [m]   |
| Coloumndiameter              | Dn         | [mm]  |
| Jet Cohesion                 | cjet       | [kPa] |
| Design cohesion for the soil | cs         | [kPa] |
| Cohesion improvement         | $\Delta c$ | [kPa] |

**SUPPORT DATA (Therapy Phase)**

**SHOTCRETE**

|                               |       |       |
|-------------------------------|-------|-------|
| Elastic Modulus               | Esb   | [MPa] |
| Poisson's Ratio               | $\nu$ | [-]   |
| Thickness                     | t     | [cm]  |
| Compression strenght (medium) | fc    | [MPa] |

**ROCK BOLTS**

|                              |          |        |
|------------------------------|----------|--------|
| Bolt length                  | L        | [m]    |
| Bolt diameter                | d        | [cm]   |
| Circumferential bolt spacing | s        | [m]    |
| Longitudinal bolt spacing    | a        | [m]    |
| Bolt elastic moduls          | Eb       | [MPa]  |
| Ultimate failure load        | Fu       | [kN]   |
| Load deformation constant    | $\delta$ | [m/MN] |

**STEEL RIBS**

|      |         |                       |     |                    |
|------|---------|-----------------------|-----|--------------------|
| HSA  | IPN 120 | Number of profiles    | n   | [-]                |
| HSE  | IPN 140 | Steel ribs spacing    | s   | [m]                |
| HSH  | IPN 160 | Cross section Area    | As  | [cm <sup>2</sup> ] |
| HSL  | IPN 180 | Moment of Inertia     | Iy  | [cm <sup>4</sup> ] |
| HSU  | IPN 200 | Yielding strength     | fyd | [MPa]              |
| IPE  | IPN 220 | Homogenization coeff. | n   | [-]                |
| IPEA | IPN 240 | Gap ground/support    | g   | [cm]               |
| IPEO | IPN 260 |                       |     |                    |
| IPEX | IPN 280 |                       |     |                    |
| IPN  | IPN 300 |                       |     |                    |

|   |       |         |
|---|-------|---------|
| Stiffness reduction factor for Shotcrete and Steel Ribs | Ka    | [-]     |
| Stiffness reduction factor for Rock Bolts               | Kbolt | [-]     |
| Distance of support                                     | d     | [m]     |
| Total Stiffness   | Kt    | [MPa/m] |

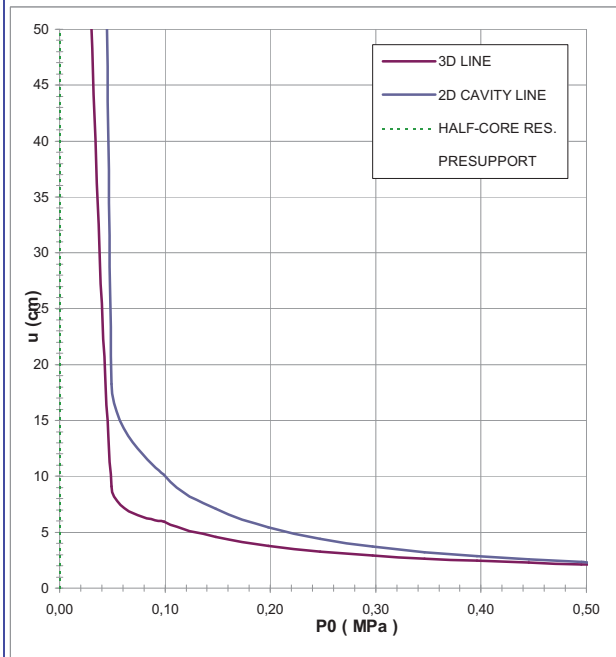
**FINAL LINING**

**CONCRETE**

|                               |       |       |
|-------------------------------|-------|-------|
| Elastic Modulus               | Ec    | [MPa] |
| Poisson's Ratio               | $\nu$ | [-]   |
| Thickness                     | T     | [cm]  |
| Concrete compression strenght | fc    | [MPa] |

**STEEL REINFORCEMENTS**

|                            |        |       |
|----------------------------|--------|-------|
| Diameter of the steel bars | $\phi$ | [mm]  |
| Steel bars spacing         | s      | [cm]  |
| Number of set              | n      | [-]   |
| Yielding strength          | fyd    | [MPa] |



| DEFORMATION RESULTS       |                        |        |     |     |     |     |     |
|---------------------------|------------------------|--------|-----|-----|-----|-----|-----|
|                           |                        | AN1    | AN2 | AN3 | AN4 | AN5 | AN6 |
| Critical pressure         | Pcr [MPa]              | 0,56   |     |     |     |     |     |
| Max cavity def. (2D)      | $u_{2d=}$ [cm]         | 643,95 |     |     |     |     |     |
| Rpl (2D)/Ro               | $R_{p_{max}}/r_0$ [-]  | 14,88  |     |     |     |     |     |
| Cavity def. at the face   | $u_f$ [cm]             | 78,81  |     |     |     |     |     |
| Rpl (Face)/Ro             | $R_{p_{face}}/r_0$ [-] | 4,95   |     |     |     |     |     |
| Deformation at (x) m      | $u_{(x)}$ [cm]         |        |     |     |     |     |     |
| Def.at (x)m regarding gap | $u'_{(x)}$ [cm]        |        |     |     |     |     |     |
| Def.at equilibrium point  | ueq [cm]               |        |     |     |     |     |     |
| Conv.at equilibrium point | Ceq [cm]               |        |     |     |     |     |     |
| Rpl (eq)/Ro               | $R_{p_{eq}}/r_0$ [-]   |        |     |     |     |     |     |
| Equilibrium pressure      | C1 [MPa]               |        |     |     |     |     |     |

| TEMPORARY LINING RESULTS |                      |     |     |     |     |     |     |
|--------------------------|----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                          |                      | AN1 | AN2 | AN3 | AN4 | AN5 | AN6 |
| Presupp.el. deformation  | ulim [cm]            |     |     |     |     |     |     |
| Presupport stress        | $\sigma_{sup}$ [MPa] |     |     |     |     |     |     |
| Steel ribs stress        | $\sigma_{st}$ [MPa]  |     |     |     |     |     |     |
| Shotcrete stress         | $\sigma_{sc}$ [MPa]  |     |     |     |     |     |     |
| Bolt stress              | $\sigma_{rb}$ [MPa]  |     |     |     |     |     |     |

| SUPPORT RESULTS      |                      |     |     |     |     |     |     |
|----------------------|----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                      |                      | AN1 | AN2 | AN3 | AN4 | AN5 | AN6 |
| Support stress       | $\sigma_{def}$ [MPa] |     |     |     |     |     |     |
| Concrete stress      | $\sigma_b$ [MPa]     |     |     |     |     |     |     |
| Reinforcement stress | $\sigma_s$ [MPa]     |     |     |     |     |     |     |

**PROGETTO**

PONTE SULLO STRETTO  
 GALLERIA FARO SUPERIORE  
 SEZIONE TIPO + 1.05m, COPERTURA 45m - GHIAIE DI MESSINA, GR.1

DIAGNOSI

TERAPIA



**INPUT DATA (Diagnosis phase)**

**Geometrical Data**

|                              |          |
|------------------------------|----------|
| Equivalent Tunnel Radius     | $r_i$    |
| Overburden                   | H        |
| Unit weight of the rock mass | $\gamma$ |

|                         |                      |
|-------------------------|----------------------|
| ANALYSIS n°1            | ANALYSIS n°2         |
| 8 [m]                   | [m]                  |
| 45 [m]                  | [m]                  |
| 19 [kN/m <sup>3</sup> ] | [kN/m <sup>3</sup> ] |

|                      |                      |
|----------------------|----------------------|
| ANALYSIS n°3         | ANALYSIS n°4         |
| [m]                  | [m]                  |
| [m]                  | [m]                  |
| [kN/m <sup>3</sup> ] | [kN/m <sup>3</sup> ] |

|                      |                      |
|----------------------|----------------------|
| ANALYSIS n°5         | ANALYSIS n°6         |
| [m]                  | [m]                  |
| [m]                  | [m]                  |
| [kN/m <sup>3</sup> ] | [kN/m <sup>3</sup> ] |

**Resistance Parameters**

|                                    |             |
|------------------------------------|-------------|
| Cohesion in the elastic zone       | $C_{el}$    |
| Cohesion in the plastic zone       | $C_{pl}$    |
| Friction angle in the elastic zone | $\Phi_{el}$ |
| Friction angle in the plastic zone | $\Phi_{pl}$ |

|         |       |
|---------|-------|
| 5 [kPa] | [kPa] |
| 0 [kPa] | [kPa] |
| 39 [°]  | [°]   |
| 34 [°]  | [°]   |

|       |       |
|-------|-------|
| [kPa] | [kPa] |
| [kPa] | [kPa] |
| [°]   | [°]   |
| [°]   | [°]   |

|       |       |
|-------|-------|
| [kPa] | [kPa] |
| [kPa] | [kPa] |
| [°]   | [°]   |
| [°]   | [°]   |

**Elastic parameters**

|                                    |            |
|------------------------------------|------------|
| Deformation moduls in elastic zone | Eel        |
| Deformation moduls in plastic zone | Epl        |
| Poisson's ratio                    | $\nu$      |
| Volume increase in plastic zone    | $\Delta V$ |

|           |       |
|-----------|-------|
| 275 [MPa] | [MPa] |
| 275 [MPa] | [MPa] |
| 0,3 [-]   | [-]   |
| 0 [%]     | [%]   |

|       |       |
|-------|-------|
| [MPa] | [MPa] |
| [MPa] | [MPa] |
| [-]   | [-]   |
| [%]   | [%]   |

|       |       |
|-------|-------|
| [MPa] | [MPa] |
| [MPa] | [MPa] |
| [-]   | [-]   |
| [%]   | [%]   |

**PRECONFINEMENT (Therapy Phase)  Structural Elements**

**FACE PRECONFINEMENT (reinforcement elements)**

|                                  |            |                    |
|----------------------------------|------------|--------------------|
| Number of reinforcements         | $n^\circ$  | [-]                |
| Design Length                    | L          | [m]                |
| Reinforcement's cross section    | Ael        | [cm <sup>2</sup> ] |
| Reinforcement's tensile strength | ftd        | [MPa]              |
| Drilling/Grouting Diameter       | Dp         | [mm]               |
| Grout-soil bond                  | $\tau d$   | [kPa]              |
| Cohesion improvement             | $\Delta c$ | [kPa]              |

**Jet grouting**

**FACE PRECONFINEMENT (jet grouting or similar)**

|                              |            |       |
|------------------------------|------------|-------|
| Number of reinforcements     | $n^\circ$  | [-]   |
| Design Length                | L          | [m]   |
| Coloumndiameter              | Dn         | [mm]  |
| Jet Cohesion                 | cjet       | [kPa] |
| Design cohesion for the soil | cs         | [kPa] |
| Cohesion improvement         | $\Delta c$ | [kPa] |

**SUPPORT DATA (Therapy Phase)**

**SHOTCRETE**

|                               |       |       |
|-------------------------------|-------|-------|
| Elastic Modulus               | Esb   | [MPa] |
| Poisson's Ratio               | $\nu$ | [-]   |
| Thickness                     | t     | [cm]  |
| Compression strenght (medium) | fcm   | [MPa] |

**ROCK BOLTS**

|                              |          |        |
|------------------------------|----------|--------|
| Bolt length                  | L        | [m]    |
| Bolt diameter                | d        | [cm]   |
| Circumferential bolt spacing | s        | [m]    |
| Longitudinal bolt spacing    | a        | [m]    |
| Bolt elastic moduls          | Eb       | [MPa]  |
| Ultimate failure load        | Fu       | [kN]   |
| Load deformation constant    | $\delta$ | [m/MN] |

**STEEL RIBS**

|      |         |                       |     |                    |
|------|---------|-----------------------|-----|--------------------|
| HSA  | IPN 120 | Number of profiles    | n   | [-]                |
| HSE  | IPN 140 | Steel ribs spacing    | s   | [m]                |
| HSH  | IPN 160 | Cross section Area    | As  | [cm <sup>2</sup> ] |
| HSL  | IPN 180 | Moment of Inertia     | Iy  | [cm <sup>4</sup> ] |
| HSU  | IPN 200 | Yielding strength     | fyd | [MPa]              |
| IPE  | IPN 220 | Homogenization coeff. | n   | [-]                |
| IPEA | IPN 240 | Gap ground/support    | g   | [cm]               |
| IPEO | IPN 260 |                       |     |                    |
| IPEX | IPN 280 |                       |     |                    |
| IPN  | IPN 300 |                       |     |                    |

|   |       |         |
|---|-------|---------|
| Stiffness reduction factor for Shotcrete and Steel Ribs | Ka    | [-]     |
| Stiffness reduction factor for Rock Bolts               | Kbolt | [-]     |
| Distance of support                                     | d     | [m]     |
| Total Stiffness   | Kt    | [MPa/m] |

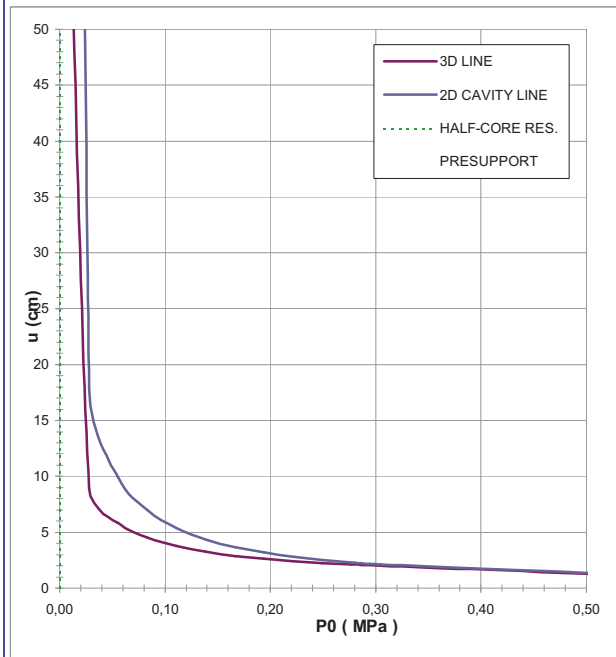
**FINAL LINING**

**CONCRETE**

|                               |       |       |
|-------------------------------|-------|-------|
| Elastic Modulus               | Ec    | [MPa] |
| Poisson's Ratio               | $\nu$ | [-]   |
| Thickness                     | T     | [cm]  |
| Concrete compression strenght | fcd   | [MPa] |

**STEEL REINFORCEMENTS**

|                            |        |       |
|----------------------------|--------|-------|
| Diameter of the steel bars | $\phi$ | [mm]  |
| Steel bars spacing         | s      | [cm]  |
| Number of set              | n      | [-]   |
| Yielding strength          | fyd    | [MPa] |



| DEFORMATION RESULTS       |                        |        |     |     |     |     |     |
|---------------------------|------------------------|--------|-----|-----|-----|-----|-----|
|                           |                        | AN1    | AN2 | AN3 | AN4 | AN5 | AN6 |
| Critical pressure         | $P_{cr}$ [MPa]         | 0,31   |     |     |     |     |     |
| Max cavity def. (2D)      | $u_{2d_{max}}$ [cm]    | 401,04 |     |     |     |     |     |
| Rpl (2D)/Ro               | $R_{p_{max}}/r_0$ [-]  | 11,84  |     |     |     |     |     |
| Cavity def. at the face   | $u_f$ [cm]             | 55,80  |     |     |     |     |     |
| Rpl (Face)/Ro             | $R_{p_{face}}/r_0$ [-] | 4,22   |     |     |     |     |     |
| Deformation at (x) m      | $u_{(x)}$ [cm]         |        |     |     |     |     |     |
| Def.at (x)m regarding gap | $u'_{(x)}$ [cm]        |        |     |     |     |     |     |
| Def.at equilibrium point  | $u_{eq}$ [cm]          |        |     |     |     |     |     |
| Conv.at equilibrium point | $C_{eq}$ [cm]          |        |     |     |     |     |     |
| Rpl (eq)/Ro               | $R_{p_{eq}}/r_0$ [-]   |        |     |     |     |     |     |
| Equilibrium pressure      | C1 [MPa]               |        |     |     |     |     |     |

| TEMPORARY LINING RESULTS |                      |     |     |     |     |     |     |
|--------------------------|----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                          |                      | AN1 | AN2 | AN3 | AN4 | AN5 | AN6 |
| Presupp.el. deformation  | $u_{lim}$ [cm]       |     |     |     |     |     |     |
| Presupport stress        | $\sigma_{sup}$ [MPa] |     |     |     |     |     |     |
| Steel ribs stress        | $\sigma_{st}$ [MPa]  |     |     |     |     |     |     |
| Shotcrete stress         | $\sigma_{sc}$ [MPa]  |     |     |     |     |     |     |
| Bolt stress              | $\sigma_{rb}$ [MPa]  |     |     |     |     |     |     |

| SUPPORT RESULTS      |                      |     |     |     |     |     |     |
|----------------------|----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                      |                      | AN1 | AN2 | AN3 | AN4 | AN5 | AN6 |
| Support stress       | $\sigma_{def}$ [MPa] |     |     |     |     |     |     |
| Concrete stress      | $\sigma_b$ [MPa]     |     |     |     |     |     |     |
| Reinforcement stress | $\sigma_s$ [MPa]     |     |     |     |     |     |     |

**PROGETTO**

PONTE SULLO STRETTO  
 GALLERIA FARO SUPERIORE  
 SEZIONE TIPO + 1.05m, COPERTURA 60m - GHIAIE DI MESSINA, GR.1

DIAGNOSI

TERAPIA



**INPUT DATA (Diagnosis phase)**

**Geometrical Data**

|                              |          |
|------------------------------|----------|
| Equivalent Tunnel Radius     | $r_i$    |
| Overburden                   | H        |
| Unit weight of the rock mass | $\gamma$ |

|                         |                      |
|-------------------------|----------------------|
| ANALYSIS n°1            | ANALYSIS n°2         |
| 8 [m]                   | [m]                  |
| 60 [m]                  | [m]                  |
| 19 [kN/m <sup>3</sup> ] | [kN/m <sup>3</sup> ] |

|                      |                      |
|----------------------|----------------------|
| ANALYSIS n°3         | ANALYSIS n°4         |
| [m]                  | [m]                  |
| [m]                  | [m]                  |
| [kN/m <sup>3</sup> ] | [kN/m <sup>3</sup> ] |

|                      |                      |
|----------------------|----------------------|
| ANALYSIS n°5         | ANALYSIS n°6         |
| [m]                  | [m]                  |
| [m]                  | [m]                  |
| [kN/m <sup>3</sup> ] | [kN/m <sup>3</sup> ] |

**Resistance Parameters**

|                                    |             |
|------------------------------------|-------------|
| Cohesion in the elastic zone       | Cel         |
| Cohesion in the plastic zone       | Cpl         |
| Friction angle in the elastic zone | $\Phi_{el}$ |
| Friction angle in the plastic zone | $\Phi_{pl}$ |

|         |       |
|---------|-------|
| 5 [kPa] | [kPa] |
| 0 [kPa] | [kPa] |
| 39 [°]  | [°]   |
| 34 [°]  | [°]   |

|       |       |
|-------|-------|
| [kPa] | [kPa] |
| [kPa] | [kPa] |
| [°]   | [°]   |
| [°]   | [°]   |

|       |       |
|-------|-------|
| [kPa] | [kPa] |
| [kPa] | [kPa] |
| [°]   | [°]   |
| [°]   | [°]   |

**Elastic parameters**

|                                    |            |
|------------------------------------|------------|
| Deformation moduls in elastic zone | Eel        |
| Deformation moduls in plastic zone | Epl        |
| Poisson's ratio                    | $\nu$      |
| Volume increase in plastic zone    | $\Delta V$ |

|           |       |
|-----------|-------|
| 350 [MPa] | [MPa] |
| 350 [MPa] | [MPa] |
| 0,3 [-]   | [-]   |
| 0 [%]     | [%]   |

|       |       |
|-------|-------|
| [MPa] | [MPa] |
| [MPa] | [MPa] |
| [-]   | [-]   |
| [%]   | [%]   |

|       |       |
|-------|-------|
| [MPa] | [MPa] |
| [MPa] | [MPa] |
| [-]   | [-]   |
| [%]   | [%]   |

**PRECONFINEMENT (Therapy Phase)**  Structural Elements

**FACE PRECONFINEMENT (reinforcement elements)**

|                                  |            |                    |
|----------------------------------|------------|--------------------|
| Number of reinforcements         | $n^\circ$  | [-]                |
| Design Length                    | L          | [m]                |
| Reinforcement's cross section    | Ael        | [cm <sup>2</sup> ] |
| Reinforcement's tensile strength | ftd        | [MPa]              |
| Drilling/Grouting Diameter       | Dp         | [mm]               |
| Grout-soil bond                  | $\tau d$   | [kPa]              |
| Cohesion improvement             | $\Delta c$ | [kPa]              |

Jet grouting

**FACE PRECONFINEMENT (jet grouting or similar)**

|                              |            |       |
|------------------------------|------------|-------|
| Number of reinforcements     | $n^\circ$  | [-]   |
| Design Length                | L          | [m]   |
| Coloumndiameter              | Dn         | [mm]  |
| Jet Cohesion                 | cjet       | [kPa] |
| Design cohesion for the soil | cs         | [kPa] |
| Cohesion improvement         | $\Delta c$ | [kPa] |

**SUPPORT DATA (Therapy Phase)**

**SHOTCRETE**

|                               |       |       |
|-------------------------------|-------|-------|
| Elastic Modulus               | Esb   | [MPa] |
| Poisson's Ratio               | $\nu$ | [-]   |
| Thickness                     | t     | [cm]  |
| Compression strenght (medium) | fcm   | [MPa] |

**ROCK BOLTS**

|                              |          |        |
|------------------------------|----------|--------|
| Bolt length                  | L        | [m]    |
| Bolt diameter                | d        | [cm]   |
| Circumferential bolt spacing | s        | [m]    |
| Longitudinal bolt spacing    | a        | [m]    |
| Bolt elastic moduls          | Eb       | [MPa]  |
| Ultimate failure load        | Fu       | [kN]   |
| Load deformation constant    | $\delta$ | [m/MN] |

**STEEL RIBS**

|      |         |                       |     |                    |
|------|---------|-----------------------|-----|--------------------|
| HSA  | IPN 120 | Number of profiles    | n   | [-]                |
| HSE  | IPN 140 | Steel ribs spacing    | s   | [m]                |
| HSH  | IPN 160 | Cross section Area    | As  | [cm <sup>2</sup> ] |
| HSL  | IPN 180 | Moment of Inertia     | Iy  | [cm <sup>4</sup> ] |
| HSU  | IPN 200 | Yielding strength     | fyd | [MPa]              |
| IPE  | IPN 220 | Homogenization coeff. | n   | [-]                |
| IPEA | IPN 240 | Gap ground/support    | g   | [cm]               |
| IPEO | IPN 260 |                       |     |                    |
| IPEX | IPN 280 |                       |     |                    |
| IPN  | IPN 300 |                       |     |                    |

|   |       |         |
|---|-------|---------|
| Stiffness reduction factor for Shotcrete and Steel Ribs | Ka    | [-]     |
| Stiffness reduction factor for Rock Bolts               | Kbolt | [-]     |
| Distance of support                                     | d     | [m]     |
| Total Stiffness   | Kt    | [MPa/m] |

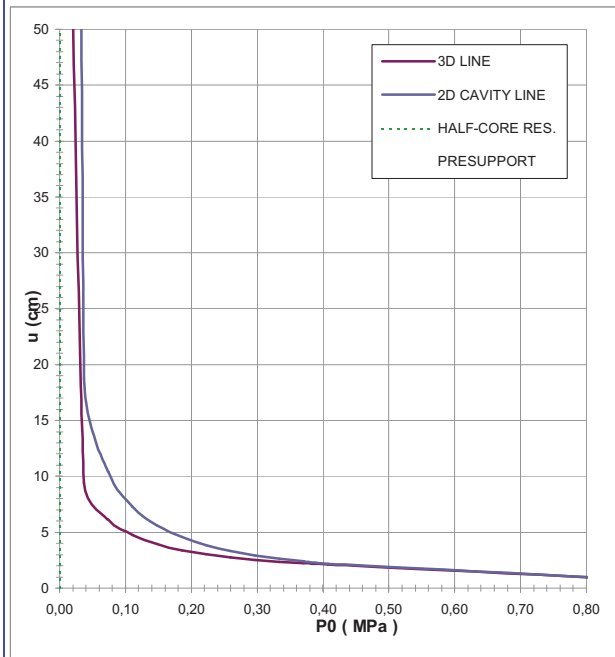
**FINAL LINING**

**CONCRETE**

|                               |       |       |
|-------------------------------|-------|-------|
| Elastic Modulus               | Ec    | [MPa] |
| Poisson's Ratio               | $\nu$ | [-]   |
| Thickness                     | T     | [cm]  |
| Concrete compression strenght | fcd   | [MPa] |

**STEEL REINFORCEMENTS**

|                            |        |       |
|----------------------------|--------|-------|
| Diameter of the steel bars | $\phi$ | [mm]  |
| Steel bars spacing         | s      | [cm]  |
| Number of set              | n      | [-]   |
| Yielding strength          | fyd    | [MPa] |



| DEFORMATION RESULTS       |                        |        |     |     |     |     |     |
|---------------------------|------------------------|--------|-----|-----|-----|-----|-----|
|                           |                        | AN1    | AN2 | AN3 | AN4 | AN5 | AN6 |
| Critical pressure         | Pcr [MPa]              | 0,42   |     |     |     |     |     |
| Max cavity def. (2D)      | $u_{2d\max}$ [cm]      | 527,58 |     |     |     |     |     |
| Rpl (2D)/Ro               | $R_{p_{max}}/r_0$ [-]  | 13,28  |     |     |     |     |     |
| Cavity def. at the face   | $u_f$ [cm]             | 68,89  |     |     |     |     |     |
| Rpl (Face)/Ro             | $R_{p_{face}}/r_0$ [-] | 4,57   |     |     |     |     |     |
| Deformation at (x) m      | $u_{(x)}$ [cm]         |        |     |     |     |     |     |
| Def.at (x)m regarding gap | $u'_{(x)}$ [cm]        |        |     |     |     |     |     |
| Def.at equilibrium point  | ueq [cm]               |        |     |     |     |     |     |
| Conv.at equilibrium point | Ceq [cm]               |        |     |     |     |     |     |
| Rpl (eq)/Ro               | $R_{p_{eq}}/r_0$ [-]   |        |     |     |     |     |     |
| Equilibrium pressure      | C1 [MPa]               |        |     |     |     |     |     |

| TEMPORARY LINING RESULTS |                      |     |     |     |     |     |     |
|--------------------------|----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                          |                      | AN1 | AN2 | AN3 | AN4 | AN5 | AN6 |
| Presupp.el. deformation  | ulim [cm]            |     |     |     |     |     |     |
| Presupport stress        | $\sigma_{sup}$ [MPa] |     |     |     |     |     |     |
| Steel ribs stress        | $\sigma_{st}$ [MPa]  |     |     |     |     |     |     |
| Shotcrete stress         | $\sigma_{sc}$ [MPa]  |     |     |     |     |     |     |
| Bolt stress              | $\sigma_{rb}$ [MPa]  |     |     |     |     |     |     |

| SUPPORT RESULTS      |                      |     |     |     |     |     |     |
|----------------------|----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                      |                      | AN1 | AN2 | AN3 | AN4 | AN5 | AN6 |
| Support stress       | $\sigma_{def}$ [MPa] |     |     |     |     |     |     |
| Concrete stress      | $\sigma_b$ [MPa]     |     |     |     |     |     |     |
| Reinforcement stress | $\sigma_s$ [MPa]     |     |     |     |     |     |     |



**PROGETTO**

PONTE SULLO STRETTO  
 GALLERIA FARO SUPERIORE  
 SEZIONE TIPO + 1.05m, COPERTURA 80m - GHIAIE DI MESSINA, GR.1

DIAGNOSI

TERAPIA



**INPUT DATA (Diagnosis phase)**

**Geometrical Data**

|                              |          |
|------------------------------|----------|
| Equivalent Tunnel Radius     | $r_i$    |
| Overburden                   | H        |
| Unit weight of the rock mass | $\gamma$ |

|                         |                      |
|-------------------------|----------------------|
| ANALYSIS n°1            | ANALYSIS n°2         |
| 8 [m]                   | [m]                  |
| 80 [m]                  | [m]                  |
| 19 [kN/m <sup>3</sup> ] | [kN/m <sup>3</sup> ] |

|                      |                      |
|----------------------|----------------------|
| ANALYSIS n°3         | ANALYSIS n°4         |
| [m]                  | [m]                  |
| [m]                  | [m]                  |
| [kN/m <sup>3</sup> ] | [kN/m <sup>3</sup> ] |

|                      |                      |
|----------------------|----------------------|
| ANALYSIS n°5         | ANALYSIS n°6         |
| [m]                  | [m]                  |
| [m]                  | [m]                  |
| [kN/m <sup>3</sup> ] | [kN/m <sup>3</sup> ] |

**Resistance Parameters**

|                                    |             |
|------------------------------------|-------------|
| Cohesion in the elastic zone       | Cel         |
| Cohesion in the plastic zone       | Cpl         |
| Friction angle in the elastic zone | $\Phi_{el}$ |
| Friction angle in the plastic zone | $\Phi_{pl}$ |

|         |       |
|---------|-------|
| 5 [kPa] | [kPa] |
| 0 [kPa] | [kPa] |
| 39 [°]  | [°]   |
| 34 [°]  | [°]   |

|       |       |
|-------|-------|
| [kPa] | [kPa] |
| [kPa] | [kPa] |
| [°]   | [°]   |
| [°]   | [°]   |

|       |       |
|-------|-------|
| [kPa] | [kPa] |
| [kPa] | [kPa] |
| [°]   | [°]   |
| [°]   | [°]   |

**Elastic parameters**

|                                    |            |
|------------------------------------|------------|
| Deformation moduls in elastic zone | Eel        |
| Deformation moduls in plastic zone | Epl        |
| Poisson's ratio                    | $\nu$      |
| Volume increase in plastic zone    | $\Delta V$ |

|           |       |
|-----------|-------|
| 450 [MPa] | [MPa] |
| 450 [MPa] | [MPa] |
| 0,3 [-]   | [-]   |
| 0 [%]     | [%]   |

|       |       |
|-------|-------|
| [MPa] | [MPa] |
| [MPa] | [MPa] |
| [-]   | [-]   |
| [%]   | [%]   |

|       |       |
|-------|-------|
| [MPa] | [MPa] |
| [MPa] | [MPa] |
| [-]   | [-]   |
| [%]   | [%]   |

**PRECONFINEMENT (Therapy Phase)**  Structural Elements

**FACE PRECONFINEMENT (reinforcement elements)**

|                                  |            |                    |
|----------------------------------|------------|--------------------|
| Number of reinforcements         | $n^\circ$  | [-]                |
| Design Length                    | L          | [m]                |
| Reinforcement's cross section    | Ael        | [cm <sup>2</sup> ] |
| Reinforcement's tensile strength | fd         | [MPa]              |
| Drilling/Grouting Diameter       | Dp         | [mm]               |
| Grout-soil bond                  | $\tau_d$   | [kPa]              |
| Cohesion improvement             | $\Delta c$ | [kPa]              |

Jet grouting

**FACE PRECONFINEMENT (jet grouting or similar)**

|                              |            |       |
|------------------------------|------------|-------|
| Number of reinforcements     | $n^\circ$  | [-]   |
| Design Length                | L          | [m]   |
| Coloumndiameter              | Dn         | [mm]  |
| Jet Cohesion                 | cjet       | [kPa] |
| Design cohesion for the soil | cs         | [kPa] |
| Cohesion improvement         | $\Delta c$ | [kPa] |

**SUPPORT DATA (Therapy Phase)**

**SHOTCRETE**

|                               |       |       |
|-------------------------------|-------|-------|
| Elastic Modulus               | Esb   | [MPa] |
| Poisson's Ratio               | $\nu$ | [-]   |
| Thickness                     | t     | [cm]  |
| Compression strenght (medium) | fc    | [MPa] |

**ROCK BOLTS**

|                              |          |        |
|------------------------------|----------|--------|
| Bolt length                  | L        | [m]    |
| Bolt diameter                | d        | [cm]   |
| Circumferential bolt spacing | s        | [m]    |
| Longitudinal bolt spacing    | a        | [m]    |
| Bolt elastic moduls          | Eb       | [MPa]  |
| Ultimate failure load        | Fu       | [kN]   |
| Load deformation constant    | $\delta$ | [m/MN] |

**STEEL RIBS**

|      |         |                       |     |                    |
|------|---------|-----------------------|-----|--------------------|
| HSA  | IPN 120 | Number of profiles    | n   | [-]                |
| HSE  | IPN 140 | Steel ribs spacing    | s   | [m]                |
| HSH  | IPN 160 | Cross section Area    | As  | [cm <sup>2</sup> ] |
| HSL  | IPN 180 | Moment of Inertia     | Iy  | [cm <sup>4</sup> ] |
| HSU  | IPN 200 | Yielding strength     | fyd | [MPa]              |
| IPE  | IPN 220 | Homogenization coeff. | n   | [-]                |
| IPEA | IPN 240 | Gap ground/support    | g   | [cm]               |
| IPEO | IPN 260 |                       |     |                    |
| IPEX | IPN 280 |                       |     |                    |
| IPN  | IPN 300 |                       |     |                    |

|   |       |         |
|---|-------|---------|
| Stiffness reduction factor for Shotcrete and Steel Ribs | Ka    | [-]     |
| Stiffness reduction factor for Rock Bolts               | Kbolt | [-]     |
| Distance of support                                     | d     | [m]     |
| Total Stiffness   | Kt    | [MPa/m] |

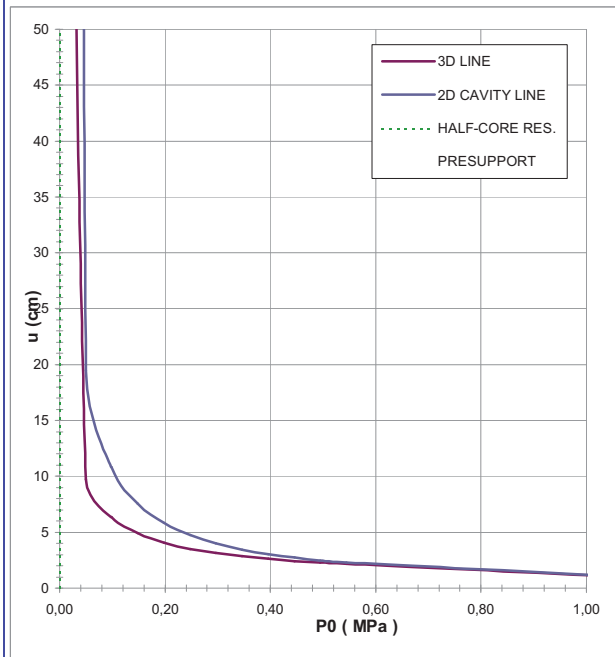
**FINAL LINING**

**CONCRETE**

|                               |       |       |
|-------------------------------|-------|-------|
| Elastic Modulus               | Ec    | [MPa] |
| Poisson's Ratio               | $\nu$ | [-]   |
| Thickness                     | T     | [cm]  |
| Concrete compression strenght | fc    | [MPa] |

**STEEL REINFORCEMENTS**

|                            |        |       |
|----------------------------|--------|-------|
| Diameter of the steel bars | $\phi$ | [mm]  |
| Steel bars spacing         | s      | [cm]  |
| Number of set              | n      | [-]   |
| Yielding strength          | fyd    | [MPa] |



| DEFORMATION RESULTS       |                        |        |     |     |     |     |     |
|---------------------------|------------------------|--------|-----|-----|-----|-----|-----|
|                           |                        | AN1    | AN2 | AN3 | AN4 | AN5 | AN6 |
| Critical pressure         | Pcr [MPa]              | 0,56   |     |     |     |     |     |
| Max cavity def. (2D)      | $u_{2d=}$ [cm]         | 686,88 |     |     |     |     |     |
| Rpl (2D)/Ro               | $R_{p_{max}}/r_0$ [-]  | 14,88  |     |     |     |     |     |
| Cavity def. at the face   | $u_f$ [cm]             | 84,16  |     |     |     |     |     |
| Rpl (Face)/Ro             | $R_{p_{face}}/r_0$ [-] | 4,95   |     |     |     |     |     |
| Deformation at (x) m      | $u_{(x)}$ [cm]         |        |     |     |     |     |     |
| Def.at (x)m regarding gap | $u'_{(x)}$ [cm]        |        |     |     |     |     |     |
| Def.at equilibrium point  | ueq [cm]               |        |     |     |     |     |     |
| Conv.at equilibrium point | Ceq [cm]               |        |     |     |     |     |     |
| Rpl (eq)/Ro               | $R_{p_{eq}}/r_0$ [-]   |        |     |     |     |     |     |
| Equilibrium pressure      | C1 [MPa]               |        |     |     |     |     |     |

| TEMPORARY LINING RESULTS |                      |     |     |     |     |     |     |
|--------------------------|----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                          |                      | AN1 | AN2 | AN3 | AN4 | AN5 | AN6 |
| Presupp.el. deformation  | ulim [cm]            |     |     |     |     |     |     |
| Presupport stress        | $\sigma_{sup}$ [MPa] |     |     |     |     |     |     |
| Steel ribs stress        | $\sigma_{st}$ [MPa]  |     |     |     |     |     |     |
| Shotcrete stress         | $\sigma_{sc}$ [MPa]  |     |     |     |     |     |     |
| Bolt stress              | $\sigma_{rb}$ [MPa]  |     |     |     |     |     |     |

| SUPPORT RESULTS      |                      |     |     |     |     |     |     |
|----------------------|----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                      |                      | AN1 | AN2 | AN3 | AN4 | AN5 | AN6 |
| Support stress       | $\sigma_{def}$ [MPa] |     |     |     |     |     |     |
| Concrete stress      | $\sigma_b$ [MPa]     |     |     |     |     |     |     |
| Reinforcement stress | $\sigma_s$ [MPa]     |     |     |     |     |     |     |

**PROGETTO**

PONTE SULLO STRETTO  
 GALLERIA FARO SUPERIORE  
 SEZIONE TIPO - ALLARGO, COPERTURA 45m - GHIAIE DI MESSINA, GR.1

DIAGNOSI

TERAPIA



**INPUT DATA (Diagnosis phase)**

**Geometrical Data**

|                              |          |
|------------------------------|----------|
| Equivalent Tunnel Radius     | $r_i$    |
| Overburden                   | H        |
| Unit weight of the rock mass | $\gamma$ |

|                         |                      |
|-------------------------|----------------------|
| ANALYSIS n°1            | ANALYSIS n°2         |
| 8,75 [m]                | [m]                  |
| 45 [m]                  | [m]                  |
| 19 [kN/m <sup>3</sup> ] | [kN/m <sup>3</sup> ] |

|                      |                      |
|----------------------|----------------------|
| ANALYSIS n°3         | ANALYSIS n°4         |
| [m]                  | [m]                  |
| [m]                  | [m]                  |
| [kN/m <sup>3</sup> ] | [kN/m <sup>3</sup> ] |

|                      |                      |
|----------------------|----------------------|
| ANALYSIS n°5         | ANALYSIS n°6         |
| [m]                  | [m]                  |
| [m]                  | [m]                  |
| [kN/m <sup>3</sup> ] | [kN/m <sup>3</sup> ] |

**Resistance Parameters**

|                                    |             |
|------------------------------------|-------------|
| Cohesion in the elastic zone       | Cel         |
| Cohesion in the plastic zone       | Cpl         |
| Friction angle in the elastic zone | $\Phi_{el}$ |
| Friction angle in the plastic zone | $\Phi_{pl}$ |

|         |       |
|---------|-------|
| 5 [kPa] | [kPa] |
| 0 [kPa] | [kPa] |
| 39 [°]  | [°]   |
| 34 [°]  | [°]   |

|       |       |
|-------|-------|
| [kPa] | [kPa] |
| [kPa] | [kPa] |
| [°]   | [°]   |
| [°]   | [°]   |

|       |       |
|-------|-------|
| [kPa] | [kPa] |
| [kPa] | [kPa] |
| [°]   | [°]   |
| [°]   | [°]   |

**Elastic parameters**

|                                    |            |
|------------------------------------|------------|
| Deformation moduls in elastic zone | Eel        |
| Deformation moduls in plastic zone | Epl        |
| Poisson's ratio                    | $\nu$      |
| Volume increase in plastic zone    | $\Delta V$ |

|           |       |
|-----------|-------|
| 275 [MPa] | [MPa] |
| 275 [MPa] | [MPa] |
| 0,3 [-]   | [-]   |
| 0 [%]     | [%]   |

|       |       |
|-------|-------|
| [MPa] | [MPa] |
| [MPa] | [MPa] |
| [-]   | [-]   |
| [%]   | [%]   |

|       |       |
|-------|-------|
| [MPa] | [MPa] |
| [MPa] | [MPa] |
| [-]   | [-]   |
| [%]   | [%]   |

**PRECONFINEMENT (Therapy Phase)  Structural Elements**

**FACE PRECONFINEMENT (reinforcement elements)**

|                                  |            |                    |
|----------------------------------|------------|--------------------|
| Number of reinforcements         | $n^\circ$  | [-]                |
| Design Length                    | L          | [m]                |
| Reinforcement's cross section    | Ael        | [cm <sup>2</sup> ] |
| Reinforcement's tensile strength | fd         | [MPa]              |
| Drilling/Grouting Diameter       | Dp         | [mm]               |
| Grout-soil bond                  | $\tau_d$   | [kPa]              |
| Cohesion improvement             | $\Delta c$ | [kPa]              |

Jet grouting

**FACE PRECONFINEMENT (jet grouting or similar)**

|                              |            |       |
|------------------------------|------------|-------|
| Number of reinforcements     | $n^\circ$  | [-]   |
| Design Length                | L          | [m]   |
| Coloumndiameter              | Dn         | [mm]  |
| Jet Cohesion                 | cjet       | [kPa] |
| Design cohesion for the soil | cs         | [kPa] |
| Cohesion improvement         | $\Delta c$ | [kPa] |

**SUPPORT DATA (Therapy Phase)**

**SHOTCRETE**

|                               |       |       |
|-------------------------------|-------|-------|
| Elastic Modulus               | Esb   | [MPa] |
| Poisson's Ratio               | $\nu$ | [-]   |
| Thickness                     | t     | [cm]  |
| Compression strenght (medium) | fc    | [MPa] |

**ROCK BOLTS**

|                              |          |        |
|------------------------------|----------|--------|
| Bolt length                  | L        | [m]    |
| Bolt diameter                | d        | [cm]   |
| Circumferential bolt spacing | s        | [m]    |
| Longitudinal bolt spacing    | a        | [m]    |
| Bolt elastic moduls          | Eb       | [MPa]  |
| Ultimate failure load        | Fu       | [kN]   |
| Load deformation constant    | $\delta$ | [m/MN] |

**STEEL RIBS**

|      |         |                       |     |                    |
|------|---------|-----------------------|-----|--------------------|
| HSA  | IPN 120 | Number of profiles    | n   | [-]                |
| HSE  | IPN 140 | Steel ribs spacing    | s   | [m]                |
| HSH  | IPN 160 | Cross section Area    | As  | [cm <sup>2</sup> ] |
| HSL  | IPN 180 | Moment of Inertia     | Iy  | [cm <sup>4</sup> ] |
| HSU  | IPN 200 | Yielding strength     | fyd | [MPa]              |
| IPE  | IPN 220 | Homogenization coeff. | n   | [-]                |
| IPEA | IPN 240 | Gap ground/support    | g   | [cm]               |
| IPEO | IPN 260 |                       |     |                    |
| IPEX | IPN 280 |                       |     |                    |
| IPN  | IPN 300 |                       |     |                    |

|   |       |         |
|---|-------|---------|
| Stiffness reduction factor for Shotcrete and Steel Ribs | Ka    | [-]     |
| Stiffness reduction factor for Rock Bolts               | Kbolt | [-]     |
| Distance of support                                     | d     | [m]     |
| Total Stiffness   | Kt    | [MPa/m] |

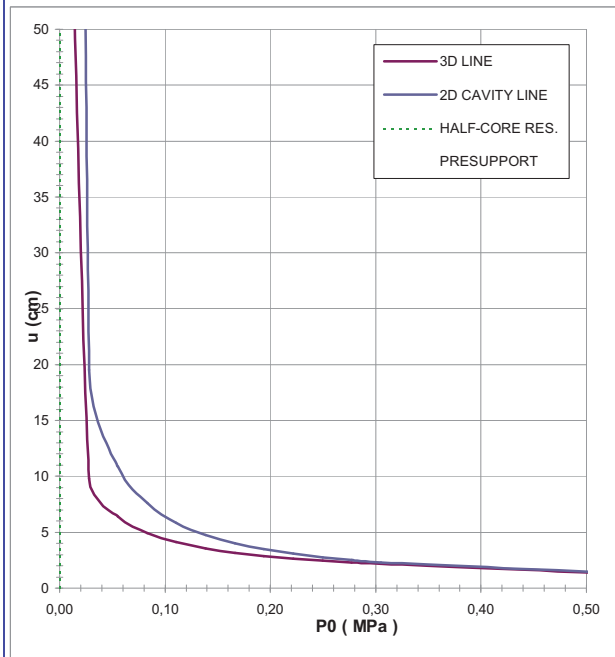
**FINAL LINING**

**CONCRETE**

|                               |       |       |
|-------------------------------|-------|-------|
| Elastic Modulus               | Ec    | [MPa] |
| Poisson's Ratio               | $\nu$ | [-]   |
| Thickness                     | T     | [cm]  |
| Concrete compression strenght | fc    | [MPa] |

**STEEL REINFORCEMENTS**

|                            |        |       |
|----------------------------|--------|-------|
| Diameter of the steel bars | $\phi$ | [mm]  |
| Steel bars spacing         | s      | [cm]  |
| Number of set              | n      | [-]   |
| Yielding strength          | fyd    | [MPa] |



| DEFORMATION RESULTS       |                        |        |     |     |     |     |     |
|---------------------------|------------------------|--------|-----|-----|-----|-----|-----|
|                           |                        | AN1    | AN2 | AN3 | AN4 | AN5 | AN6 |
| Critical pressure         | $P_{cr}$ [MPa]         | 0,31   |     |     |     |     |     |
| Max cavity def. (2D)      | $u_{2d_{max}}$ [cm]    | 438,64 |     |     |     |     |     |
| Rpl (2D)/Ro               | $R_{p_{max}}/r_0$ [-]  | 11,84  |     |     |     |     |     |
| Cavity def. at the face   | $u_f$ [cm]             | 61,13  |     |     |     |     |     |
| Rpl (Face)/Ro             | $R_{p_{face}}/r_0$ [-] | 4,22   |     |     |     |     |     |
| Deformation at (x) m      | $u_{(x)}$ [cm]         |        |     |     |     |     |     |
| Def.at (x)m regarding gap | $u'_{(x)}$ [cm]        |        |     |     |     |     |     |
| Def.at equilibrium point  | ueq [cm]               |        |     |     |     |     |     |
| Conv.at equilibrium point | Ceq [cm]               |        |     |     |     |     |     |
| Rpl (eq)/Ro               | $R_{p_{eq}}/r_0$ [-]   |        |     |     |     |     |     |
| Equilibrium pressure      | C1 [MPa]               |        |     |     |     |     |     |

| TEMPORARY LINING RESULTS |                      |     |     |     |     |     |     |
|--------------------------|----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                          |                      | AN1 | AN2 | AN3 | AN4 | AN5 | AN6 |
| Presupp.el. deformation  | ulim [cm]            |     |     |     |     |     |     |
| Presupport stress        | $\sigma_{sup}$ [MPa] |     |     |     |     |     |     |
| Steel ribs stress        | $\sigma_{st}$ [MPa]  |     |     |     |     |     |     |
| Shotcrete stress         | $\sigma_{sc}$ [MPa]  |     |     |     |     |     |     |
| Bolt stress              | $\sigma_{rb}$ [MPa]  |     |     |     |     |     |     |

| SUPPORT RESULTS      |                      |     |     |     |     |     |     |
|----------------------|----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                      |                      | AN1 | AN2 | AN3 | AN4 | AN5 | AN6 |
| Support stress       | $\sigma_{def}$ [MPa] |     |     |     |     |     |     |
| Concrete stress      | $\sigma_b$ [MPa]     |     |     |     |     |     |     |
| Reinforcement stress | $\sigma_s$ [MPa]     |     |     |     |     |     |     |

**PROGETTO**

PONTE SULLO STRETTO  
 GALLERIA FARO SUPERIORE  
 SEZIONE TIPO - ALLARGO, COPERTURA 55m - GHIAIE DI MESSINA, GR.1

DIAGNOSI

TERAPIA



**INPUT DATA (Diagnosis phase)**

**Geometrical Data**

|                              |          |
|------------------------------|----------|
| Equivalent Tunnel Radius     | $r_i$    |
| Overburden                   | H        |
| Unit weight of the rock mass | $\gamma$ |

|                         |                      |
|-------------------------|----------------------|
| ANALYSIS n°1            | ANALYSIS n°2         |
| 8,75 [m]                | [m]                  |
| 55 [m]                  | [m]                  |
| 19 [kN/m <sup>3</sup> ] | [kN/m <sup>3</sup> ] |

|                      |                      |
|----------------------|----------------------|
| ANALYSIS n°3         | ANALYSIS n°4         |
| [m]                  | [m]                  |
| [m]                  | [m]                  |
| [kN/m <sup>3</sup> ] | [kN/m <sup>3</sup> ] |

|                      |                      |
|----------------------|----------------------|
| ANALYSIS n°5         | ANALYSIS n°6         |
| [m]                  | [m]                  |
| [m]                  | [m]                  |
| [kN/m <sup>3</sup> ] | [kN/m <sup>3</sup> ] |

**Resistance Parameters**

|                                    |             |
|------------------------------------|-------------|
| Cohesion in the elastic zone       | Cel         |
| Cohesion in the plastic zone       | Cpl         |
| Friction angle in the elastic zone | $\Phi_{el}$ |
| Friction angle in the plastic zone | $\Phi_{pl}$ |

|         |       |
|---------|-------|
| 5 [kPa] | [kPa] |
| 0 [kPa] | [kPa] |
| 39 [°]  | [°]   |
| 34 [°]  | [°]   |

|       |       |
|-------|-------|
| [kPa] | [kPa] |
| [kPa] | [kPa] |
| [°]   | [°]   |
| [°]   | [°]   |

|       |       |
|-------|-------|
| [kPa] | [kPa] |
| [kPa] | [kPa] |
| [°]   | [°]   |
| [°]   | [°]   |

**Elastic parameters**

|                                    |            |
|------------------------------------|------------|
| Deformation moduls in elastic zone | Eel        |
| Deformation moduls in plastic zone | Epl        |
| Poisson's ratio                    | $\nu$      |
| Volume increase in plastic zone    | $\Delta V$ |

|           |       |
|-----------|-------|
| 350 [MPa] | [MPa] |
| 350 [MPa] | [MPa] |
| 0,3 [-]   | [-]   |
| 0 [%]     | [%]   |

|       |       |
|-------|-------|
| [MPa] | [MPa] |
| [MPa] | [MPa] |
| [-]   | [-]   |
| [%]   | [%]   |

|       |       |
|-------|-------|
| [MPa] | [MPa] |
| [MPa] | [MPa] |
| [-]   | [-]   |
| [%]   | [%]   |

**PRECONFINEMENT (Therapy Phase)  Structural Elements**

**FACE PRECONFINEMENT (reinforcement elements)**

|                                  |            |                    |
|----------------------------------|------------|--------------------|
| Number of reinforcements         | $n^\circ$  | [-]                |
| Design Length                    | L          | [m]                |
| Reinforcement's cross section    | Ael        | [cm <sup>2</sup> ] |
| Reinforcement's tensile strength | fd         | [MPa]              |
| Drilling/Grouting Diameter       | Dp         | [mm]               |
| Grout-soil bond                  | $\tau d$   | [kPa]              |
| Cohesion improvement             | $\Delta c$ | [kPa]              |

Jet grouting

**FACE PRECONFINEMENT (jet grouting or similar)**

|                              |            |       |
|------------------------------|------------|-------|
| Number of reinforcements     | $n^\circ$  | [-]   |
| Design Length                | L          | [m]   |
| Coloumndiameter              | Dn         | [mm]  |
| Jet Cohesion                 | cjet       | [kPa] |
| Design cohesion for the soil | cs         | [kPa] |
| Cohesion improvement         | $\Delta c$ | [kPa] |

**SUPPORT DATA (Therapy Phase)**

**SHOTCRETE**

|                               |       |       |
|-------------------------------|-------|-------|
| Elastic Modulus               | Esb   | [MPa] |
| Poisson's Ratio               | $\nu$ | [-]   |
| Thickness                     | t     | [cm]  |
| Compression strenght (medium) | fc    | [MPa] |

**ROCK BOLTS**

|                              |          |        |
|------------------------------|----------|--------|
| Bolt length                  | L        | [m]    |
| Bolt diameter                | d        | [cm]   |
| Circumferential bolt spacing | s        | [m]    |
| Longitudinal bolt spacing    | a        | [m]    |
| Bolt elastic moduls          | Eb       | [MPa]  |
| Ultimate failure load        | Fu       | [kN]   |
| Load deformation constant    | $\delta$ | [m/MN] |

**STEEL RIBS**

|      |         |                       |     |                    |
|------|---------|-----------------------|-----|--------------------|
| HSA  | IPN 120 | Number of profiles    | n   | [-]                |
| HSE  | IPN 140 | Steel ribs spacing    | s   | [m]                |
| HSH  | IPN 160 | Cross section Area    | As  | [cm <sup>2</sup> ] |
| HSL  | IPN 180 | Moment of Inertia     | Iy  | [cm <sup>4</sup> ] |
| HSU  | IPN 200 | Yielding strength     | fyd | [MPa]              |
| IPE  | IPN 220 | Homogenization coeff. | n   | [-]                |
| IPEA | IPN 240 | Gap ground/support    | g   | [cm]               |
| IPEO | IPN 260 |                       |     |                    |
| IPEX | IPN 280 |                       |     |                    |
| IPN  | IPN 300 |                       |     |                    |

|   |       |         |
|---|-------|---------|
| Stiffness reduction factor for Shotcrete and Steel Ribs | Ka    | [-]     |
| Stiffness reduction factor for Rock Bolts               | Kbolt | [-]     |
| Distance of support                                     | d     | [m]     |
| Total Stiffness   | Kt    | [MPa/m] |

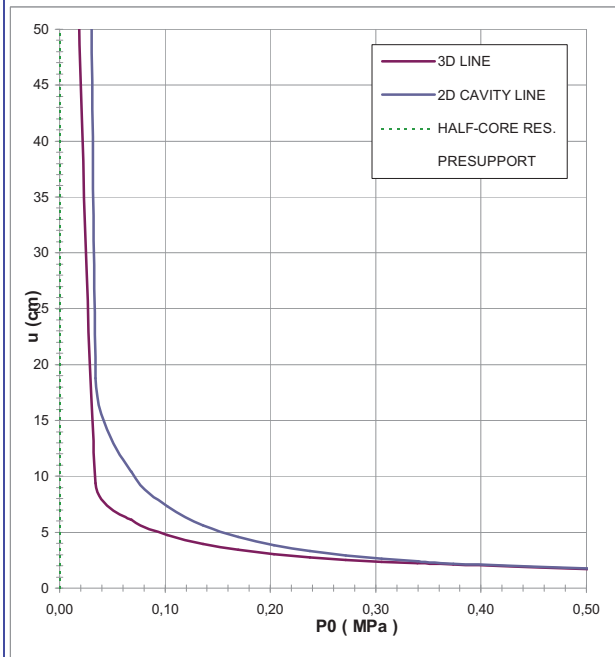
**FINAL LINING**

**CONCRETE**

|                               |       |       |
|-------------------------------|-------|-------|
| Elastic Modulus               | Ec    | [MPa] |
| Poisson's Ratio               | $\nu$ | [-]   |
| Thickness                     | T     | [cm]  |
| Concrete compression strenght | fc    | [MPa] |

**STEEL REINFORCEMENTS**

|                            |        |       |
|----------------------------|--------|-------|
| Diameter of the steel bars | $\phi$ | [mm]  |
| Steel bars spacing         | s      | [cm]  |
| Number of set              | n      | [-]   |
| Yielding strength          | fyd    | [MPa] |



| DEFORMATION RESULTS       |                        | AN1    | AN2 | AN3 | AN4 | AN5 | AN6 |
|---------------------------|------------------------|--------|-----|-----|-----|-----|-----|
| Critical pressure         | $P_{cr}$ [MPa]         | 0,38   |     |     |     |     |     |
| Max cavity def. (2D)      | $u_{2d_{max}}$ [cm]    | 493,76 |     |     |     |     |     |
| Rpl (2D)/Ro               | $R_{p_{max}}/r_0$ [-]  | 12,83  |     |     |     |     |     |
| Cavity def. at the face   | $u_f$ [cm]             | 65,83  |     |     |     |     |     |
| Rpl (Face)/Ro             | $R_{p_{face}}/r_0$ [-] | 4,47   |     |     |     |     |     |
| Deformation at (x) m      | $u_{(x)}$ [cm]         |        |     |     |     |     |     |
| Def.at (x)m regarding gap | $u'_{(x)}$ [cm]        |        |     |     |     |     |     |
| Def.at equilibrium point  | ueq [cm]               |        |     |     |     |     |     |
| Conv.at equilibrium point | Ceq [cm]               |        |     |     |     |     |     |
| Rpl (eq)/Ro               | $R_{p_{eq}}/r_0$ [-]   |        |     |     |     |     |     |
| Equilibrium pressure      | C1 [MPa]               |        |     |     |     |     |     |

| TEMPORARY LINING RESULTS |                      | AN1 | AN2 | AN3 | AN4 | AN5 | AN6 |
|--------------------------|----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Presupp.el. deformation  | ulim [cm]            |     |     |     |     |     |     |
| Presupport stress        | $\sigma_{sup}$ [MPa] |     |     |     |     |     |     |
| Steel ribs stress        | $\sigma_{st}$ [MPa]  |     |     |     |     |     |     |
| Shotcrete stress         | $\sigma_{sc}$ [MPa]  |     |     |     |     |     |     |
| Bolt stress              | $\sigma_{rb}$ [MPa]  |     |     |     |     |     |     |

| SUPPORT RESULTS      |                      | AN1 | AN2 | AN3 | AN4 | AN5 | AN6 |
|----------------------|----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Support stress       | $\sigma_{def}$ [MPa] |     |     |     |     |     |     |
| Concrete stress      | $\sigma_b$ [MPa]     |     |     |     |     |     |     |
| Reinforcement stress | $\sigma_s$ [MPa]     |     |     |     |     |     |     |

**PROGETTO**

PONTE SULLO STRETTO  
 GALLERIA FARO SUPERIORE  
 SEZIONE TIPO - C1+1,05+PIAZZOLA, COPERTURA 45m - GHIAIE DI MESSINA, GR.1

DIAGNOSI  
 TERAPIA



**INPUT DATA (Diagnosis phase)**

**Geometrical Data**

|                              |          |
|------------------------------|----------|
| Equivalent Tunnel Radius     | $r_i$    |
| Overburden                   | H        |
| Unit weight of the rock mass | $\gamma$ |

|                         |                      |
|-------------------------|----------------------|
| ANALYSIS n°1            | ANALYSIS n°2         |
| 9,5 [m]                 | [m]                  |
| 45 [m]                  | [m]                  |
| 19 [kN/m <sup>3</sup> ] | [kN/m <sup>3</sup> ] |

|                      |                      |
|----------------------|----------------------|
| ANALYSIS n°3         | ANALYSIS n°4         |
| [m]                  | [m]                  |
| [m]                  | [m]                  |
| [kN/m <sup>3</sup> ] | [kN/m <sup>3</sup> ] |

|                      |                      |
|----------------------|----------------------|
| ANALYSIS n°5         | ANALYSIS n°6         |
| [m]                  | [m]                  |
| [m]                  | [m]                  |
| [kN/m <sup>3</sup> ] | [kN/m <sup>3</sup> ] |

**Resistance Parameters**

|                                    |             |
|------------------------------------|-------------|
| Cohesion in the elastic zone       | Cel         |
| Cohesion in the plastic zone       | Cpl         |
| Friction angle in the elastic zone | $\Phi_{el}$ |
| Friction angle in the plastic zone | $\Phi_{pl}$ |

|         |       |
|---------|-------|
| 5 [kPa] | [kPa] |
| 0 [kPa] | [kPa] |
| 39 [°]  | [°]   |
| 34 [°]  | [°]   |

|       |       |
|-------|-------|
| [kPa] | [kPa] |
| [kPa] | [kPa] |
| [°]   | [°]   |
| [°]   | [°]   |

|       |       |
|-------|-------|
| [kPa] | [kPa] |
| [kPa] | [kPa] |
| [°]   | [°]   |
| [°]   | [°]   |

**Elastic parameters**

|                                    |            |
|------------------------------------|------------|
| Deformation moduls in elastic zone | Eel        |
| Deformation moduls in plastic zone | Epl        |
| Poisson's ratio                    | $\nu$      |
| Volume increase in plastic zone    | $\Delta V$ |

|           |       |
|-----------|-------|
| 350 [MPa] | [MPa] |
| 350 [MPa] | [MPa] |
| 0,3 [-]   | [-]   |
| 0 [%]     | [%]   |

|       |       |
|-------|-------|
| [MPa] | [MPa] |
| [MPa] | [MPa] |
| [-]   | [-]   |
| [%]   | [%]   |

|       |       |
|-------|-------|
| [MPa] | [MPa] |
| [MPa] | [MPa] |
| [-]   | [-]   |
| [%]   | [%]   |

**PRECONFINEMENT (Therapy Phase)**  Structural Elements

**FACE PRECONFINEMENT (reinforcement elements)**

|                                  |            |                    |
|----------------------------------|------------|--------------------|
| Number of reinforcements         | $n^\circ$  | [-]                |
| Design Length                    | L          | [m]                |
| Reinforcement's cross section    | Ael        | [cm <sup>2</sup> ] |
| Reinforcement's tensile strength | ftd        | [MPa]              |
| Drilling/Grouting Diameter       | Dp         | [mm]               |
| Grout-soil bond                  | $\tau_d$   | [kPa]              |
| Cohesion improvement             | $\Delta c$ | [kPa]              |

Jet grouting

**FACE PRECONFINEMENT (jet grouting or similar)**

|                              |            |       |
|------------------------------|------------|-------|
| Number of reinforcements     | $n^\circ$  | [-]   |
| Design Length                | L          | [m]   |
| Coloumndiameter              | Dn         | [mm]  |
| Jet Cohesion                 | cjet       | [kPa] |
| Design cohesion for the soil | cs         | [kPa] |
| Cohesion improvement         | $\Delta c$ | [kPa] |

**SUPPORT DATA (Therapy Phase)**

**SHOTCRETE**

|                               |       |       |
|-------------------------------|-------|-------|
| Elastic Modulus               | Esb   | [MPa] |
| Poisson's Ratio               | $\nu$ | [-]   |
| Thickness                     | t     | [cm]  |
| Compression strenght (medium) | fcm   | [MPa] |

**ROCK BOLTS**

|                              |          |        |
|------------------------------|----------|--------|
| Bolt length                  | L        | [m]    |
| Bolt diameter                | d        | [cm]   |
| Circumferential bolt spacing | s        | [m]    |
| Longitudinal bolt spacing    | a        | [m]    |
| Bolt elastic moduls          | Eb       | [MPa]  |
| Ultimate failure load        | Fu       | [kN]   |
| Load deformation constant    | $\delta$ | [m/MN] |

**STEEL RIBS**

|      |         |                       |     |                    |
|------|---------|-----------------------|-----|--------------------|
| HSA  | IPN 120 | Number of profiles    | n   | [-]                |
| HSE  | IPN 140 | Steel ribs spacing    | s   | [m]                |
| HSH  | IPN 160 | Cross section Area    | As  | [cm <sup>2</sup> ] |
| HSL  | IPN 180 | Moment of Inertia     | Iy  | [cm <sup>4</sup> ] |
| HSU  | IPN 200 | Yielding strength     | fyd | [MPa]              |
| IPE  | IPN 220 | Homogenization coeff. | n   | [-]                |
| IPEA | IPN 240 | Gap ground/support    | g   | [cm]               |
| IPEO | IPN 260 |                       |     |                    |
| IPEX | IPN 280 |                       |     |                    |
| IPN  | IPN 300 |                       |     |                    |

|   |       |         |
|---|-------|---------|
| Stiffness reduction factor for Shotcrete and Steel Ribs | Ka    | [-]     |
| Stiffness reduction factor for Rock Bolts               | Kbolt | [-]     |
| Distance of support                                     | d     | [m]     |
| Total Stiffness   | Kt    | [MPa/m] |

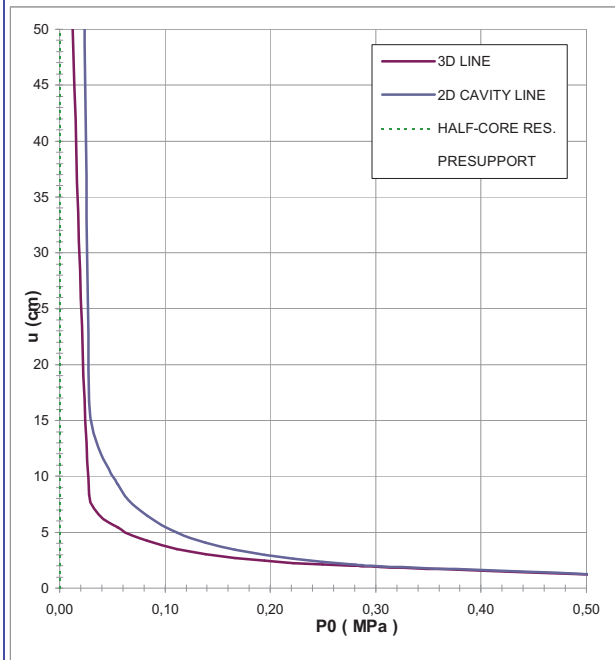
**FINAL LINING**

**CONCRETE**

|                               |       |       |
|-------------------------------|-------|-------|
| Elastic Modulus               | Ec    | [MPa] |
| Poisson's Ratio               | $\nu$ | [-]   |
| Thickness                     | T     | [cm]  |
| Concrete compression strenght | fcd   | [MPa] |

**STEEL REINFORCEMENTS**

|                            |        |       |
|----------------------------|--------|-------|
| Diameter of the steel bars | $\phi$ | [mm]  |
| Steel bars spacing         | s      | [cm]  |
| Number of set              | n      | [-]   |
| Yielding strength          | fyd    | [MPa] |



| DEFORMATION RESULTS       |                        |        |     |     |     |     |     |
|---------------------------|------------------------|--------|-----|-----|-----|-----|-----|
|                           |                        | AN1    | AN2 | AN3 | AN4 | AN5 | AN6 |
| Critical pressure         | $P_{cr}$ [MPa]         | 0,31   |     |     |     |     |     |
| Max cavity def. (2D)      | $u_{2d=}$ [cm]         | 374,19 |     |     |     |     |     |
| Rpl (2D)/Ro               | $R_{p_{max}}/r_0$ [-]  | 11,84  |     |     |     |     |     |
| Cavity def. at the face   | $u_f$ [cm]             | 52,22  |     |     |     |     |     |
| Rpl (Face)/Ro             | $R_{p_{face}}/r_0$ [-] | 4,22   |     |     |     |     |     |
| Deformation at (x) m      | $u_{(x)}$ [cm]         |        |     |     |     |     |     |
| Def.at (x)m regarding gap | $u'_{(x)}$ [cm]        |        |     |     |     |     |     |
| Def.at equilibrium point  | ueq [cm]               |        |     |     |     |     |     |
| Conv.at equilibrium point | Ceq [cm]               |        |     |     |     |     |     |
| Rpl (eq)/Ro               | $R_{p_{eq}}/r_0$ [-]   |        |     |     |     |     |     |
| Equilibrium pressure      | C1 [MPa]               |        |     |     |     |     |     |

| TEMPORARY LINING RESULTS |                      |     |     |     |     |     |     |
|--------------------------|----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                          |                      | AN1 | AN2 | AN3 | AN4 | AN5 | AN6 |
| Presupp.el. deformation  | ulim [cm]            |     |     |     |     |     |     |
| Presupport stress        | $\sigma_{sup}$ [MPa] |     |     |     |     |     |     |
| Steel ribs stress        | $\sigma_{st}$ [MPa]  |     |     |     |     |     |     |
| Shotcrete stress         | $\sigma_{sc}$ [MPa]  |     |     |     |     |     |     |
| Bolt stress              | $\sigma_{rb}$ [MPa]  |     |     |     |     |     |     |

| SUPPORT RESULTS      |                      |     |     |     |     |     |     |
|----------------------|----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                      |                      | AN1 | AN2 | AN3 | AN4 | AN5 | AN6 |
| Support stress       | $\sigma_{def}$ [MPa] |     |     |     |     |     |     |
| Concrete stress      | $\sigma_b$ [MPa]     |     |     |     |     |     |     |
| Reinforcement stress | $\sigma_s$ [MPa]     |     |     |     |     |     |     |

**PROGETTO**

PONTE SULLO STRETTO  
 GALLERIA FARO SUPERIORE  
 SEZIONE TIPO - C1+1,05+PIAZZOLA, COPERTURA 55m - GHIAIE DI MESSINA, GR.1

DIAGNOSI

TERAPIA



**INPUT DATA (Diagnosis phase)**

**Geometrical Data**

|                              |          |
|------------------------------|----------|
| Equivalent Tunnel Radius     | $r_i$    |
| Overburden                   | H        |
| Unit weight of the rock mass | $\gamma$ |

|                         |                      |
|-------------------------|----------------------|
| ANALYSIS n°1            | ANALYSIS n°2         |
| 9,5 [m]                 | [m]                  |
| 55 [m]                  | [m]                  |
| 19 [kN/m <sup>3</sup> ] | [kN/m <sup>3</sup> ] |

|                      |                      |
|----------------------|----------------------|
| ANALYSIS n°3         | ANALYSIS n°4         |
| [m]                  | [m]                  |
| [m]                  | [m]                  |
| [kN/m <sup>3</sup> ] | [kN/m <sup>3</sup> ] |

|                      |                      |
|----------------------|----------------------|
| ANALYSIS n°5         | ANALYSIS n°6         |
| [m]                  | [m]                  |
| [m]                  | [m]                  |
| [kN/m <sup>3</sup> ] | [kN/m <sup>3</sup> ] |

**Resistance Parameters**

|                                    |             |
|------------------------------------|-------------|
| Cohesion in the elastic zone       | Cel         |
| Cohesion in the plastic zone       | Cpl         |
| Friction angle in the elastic zone | $\Phi_{el}$ |
| Friction angle in the plastic zone | $\Phi_{pl}$ |

|         |       |
|---------|-------|
| 5 [kPa] | [kPa] |
| 0 [kPa] | [kPa] |
| 39 [°]  | [°]   |
| 34 [°]  | [°]   |

|       |       |
|-------|-------|
| [kPa] | [kPa] |
| [kPa] | [kPa] |
| [°]   | [°]   |
| [°]   | [°]   |

|       |       |
|-------|-------|
| [kPa] | [kPa] |
| [kPa] | [kPa] |
| [°]   | [°]   |
| [°]   | [°]   |

**Elastic parameters**

|                                    |            |
|------------------------------------|------------|
| Deformation moduls in elastic zone | Eel        |
| Deformation moduls in plastic zone | Epl        |
| Poisson's ratio                    | $\nu$      |
| Volume increase in plastic zone    | $\Delta V$ |

|           |       |
|-----------|-------|
| 350 [MPa] | [MPa] |
| 350 [MPa] | [MPa] |
| 0,3 [-]   | [-]   |
| 0 [%]     | [%]   |

|       |       |
|-------|-------|
| [MPa] | [MPa] |
| [MPa] | [MPa] |
| [-]   | [-]   |
| [%]   | [%]   |

|       |       |
|-------|-------|
| [MPa] | [MPa] |
| [MPa] | [MPa] |
| [-]   | [-]   |
| [%]   | [%]   |

**PRECONFINEMENT (Therapy Phase)  Structural Elements**

**FACE PRECONFINEMENT (reinforcement elements)**

|                                  |            |                    |
|----------------------------------|------------|--------------------|
| Number of reinforcements         | $n^\circ$  | [-]                |
| Design Length                    | L          | [m]                |
| Reinforcement's cross section    | Ael        | [cm <sup>2</sup> ] |
| Reinforcement's tensile strength | fd         | [MPa]              |
| Drilling/Grouting Diameter       | Dp         | [mm]               |
| Grout-soil bond                  | $\tau_d$   | [kPa]              |
| Cohesion improvement             | $\Delta c$ | [kPa]              |

Jet grouting

**FACE PRECONFINEMENT (jet grouting or similar)**

|                              |            |       |
|------------------------------|------------|-------|
| Number of reinforcements     | $n^\circ$  | [-]   |
| Design Length                | L          | [m]   |
| Coloumndiameter              | Dn         | [mm]  |
| Jet Cohesion                 | cjet       | [kPa] |
| Design cohesion for the soil | cs         | [kPa] |
| Cohesion improvement         | $\Delta c$ | [kPa] |

**SUPPORT DATA (Therapy Phase)**

**SHOTCRETE**

|                               |       |       |
|-------------------------------|-------|-------|
| Elastic Modulus               | Esb   | [MPa] |
| Poisson's Ratio               | $\nu$ | [-]   |
| Thickness                     | t     | [cm]  |
| Compression strenght (medium) | fc    | [MPa] |

**ROCK BOLTS**

|                              |          |        |
|------------------------------|----------|--------|
| Bolt length                  | L        | [m]    |
| Bolt diameter                | d        | [cm]   |
| Circumferential bolt spacing | s        | [m]    |
| Longitudinal bolt spacing    | a        | [m]    |
| Bolt elastic moduls          | Eb       | [MPa]  |
| Ultimate failure load        | Fu       | [kN]   |
| Load deformation constant    | $\delta$ | [m/MN] |

**STEEL RIBS**

|      |         |                       |     |                    |
|------|---------|-----------------------|-----|--------------------|
| HSA  | IPN 120 | Number of profiles    | n   | [-]                |
| HSE  | IPN 140 | Steel ribs spacing    | s   | [m]                |
| HSH  | IPN 160 | Cross section Area    | As  | [cm <sup>2</sup> ] |
| HSL  | IPN 180 | Moment of Inertia     | Iy  | [cm <sup>4</sup> ] |
| HSU  | IPN 200 | Yielding strength     | fyd | [MPa]              |
| IPE  | IPN 220 | Homogenization coeff. | n   | [-]                |
| IPEA | IPN 240 | Gap ground/support    | g   | [cm]               |
| IPEO | IPN 260 |                       |     |                    |
| IPEX | IPN 280 |                       |     |                    |
| IPN  | IPN 300 |                       |     |                    |

|   |       |         |
|---|-------|---------|
| Stiffness reduction factor for Shotcrete and Steel Ribs | Ka    | [-]     |
| Stiffness reduction factor for Rock Bolts               | Kbolt | [-]     |
| Distance of support                                     | d     | [m]     |
| Total Stiffness   | Kt    | [MPa/m] |

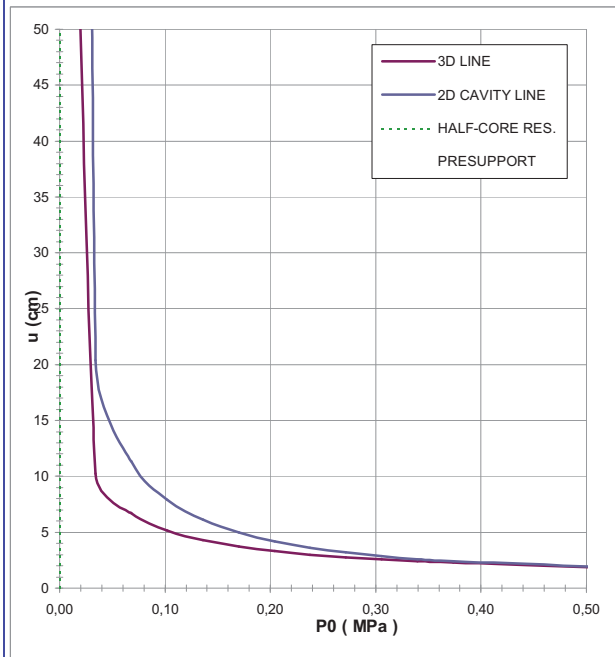
**FINAL LINING**

**CONCRETE**

|                               |       |       |
|-------------------------------|-------|-------|
| Elastic Modulus               | Ec    | [MPa] |
| Poisson's Ratio               | $\nu$ | [-]   |
| Thickness                     | T     | [cm]  |
| Concrete compression strenght | fc    | [MPa] |

**STEEL REINFORCEMENTS**

|                            |        |       |
|----------------------------|--------|-------|
| Diameter of the steel bars | $\phi$ | [mm]  |
| Steel bars spacing         | s      | [cm]  |
| Number of set              | n      | [-]   |
| Yielding strength          | fyd    | [MPa] |



| DEFORMATION RESULTS       |                        |        |     |     |     |     |     |
|---------------------------|------------------------|--------|-----|-----|-----|-----|-----|
|                           |                        | AN1    | AN2 | AN3 | AN4 | AN5 | AN6 |
| Critical pressure         | $P_{cr}$ [MPa]         | 0,38   |     |     |     |     |     |
| Max cavity def. (2D)      | $u_{2d=}$ [cm]         | 536,08 |     |     |     |     |     |
| Rpl (2D)/Ro               | $R_{p_{max}}/r_0$ [-]  | 12,83  |     |     |     |     |     |
| Cavity def. at the face   | $u_f$ [cm]             | 71,57  |     |     |     |     |     |
| Rpl (Face)/Ro             | $R_{p_{face}}/r_0$ [-] | 4,47   |     |     |     |     |     |
| Deformation at (x) m      | $u_{(x)}$ [cm]         |        |     |     |     |     |     |
| Def.at (x)m regarding gap | $u'_{(x)}$ [cm]        |        |     |     |     |     |     |
| Def.at equilibrium point  | ueq [cm]               |        |     |     |     |     |     |
| Conv.at equilibrium point | Ceq [cm]               |        |     |     |     |     |     |
| Rpl (eq)/Ro               | $R_{p_{eq}}/r_0$ [-]   |        |     |     |     |     |     |
| Equilibrium pressure      | C1 [MPa]               |        |     |     |     |     |     |

| TEMPORARY LINING RESULTS |                      |     |     |     |     |     |     |
|--------------------------|----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                          |                      | AN1 | AN2 | AN3 | AN4 | AN5 | AN6 |
| Presupp.el. deformation  | ulim [cm]            |     |     |     |     |     |     |
| Presupport stress        | $\sigma_{sup}$ [MPa] |     |     |     |     |     |     |
| Steel ribs stress        | $\sigma_{st}$ [MPa]  |     |     |     |     |     |     |
| Shotcrete stress         | $\sigma_{sc}$ [MPa]  |     |     |     |     |     |     |
| Bolt stress              | $\sigma_{rb}$ [MPa]  |     |     |     |     |     |     |

| SUPPORT RESULTS      |                      |     |     |     |     |     |     |
|----------------------|----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                      |                      | AN1 | AN2 | AN3 | AN4 | AN5 | AN6 |
| Support stress       | $\sigma_{def}$ [MPa] |     |     |     |     |     |     |
| Concrete stress      | $\sigma_b$ [MPa]     |     |     |     |     |     |     |
| Reinforcement stress | $\sigma_s$ [MPa]     |     |     |     |     |     |     |

| Geometrical Data             |          |                      | SEZ TIPO C1 |     |     | SEZ TIPO C1+1,05 |    |    | SEZ. C1 ALLARGO |      | SEZ. C1+1,05 PIAZZOLA |     |
|------------------------------|----------|----------------------|-------------|-----|-----|------------------|----|----|-----------------|------|-----------------------|-----|
| Equivalent Tunnel Radius     | ri       | [m]                  | 7,5         | 7,5 | 7,5 | 8                | 8  | 8  | 8,75            | 8,75 | 9,5                   | 9,5 |
| Overburden                   | H        | [m]                  | 45          | 60  | 80  | 45               | 60 | 80 | 45              | 55   | 45                    | 55  |
| Unit weight of the rock mass | $\gamma$ | [kN/m <sup>3</sup> ] | 19          | 19  | 19  | 19               | 19 | 19 | 19              | 19   | 19                    | 19  |

| Resistance Parameters              |             |       | SEZ TIPO C1 |    |    | SEZ TIPO C1+1,05 |    |    | SEZ. C1 ALLARGO |    | SEZ. C1+1,05 PIAZZOLA |    |
|------------------------------------|-------------|-------|-------------|----|----|------------------|----|----|-----------------|----|-----------------------|----|
| Cohesion in the elastic zone       | Cel         | [kPa] | 5           | 5  | 5  | 5                | 5  | 5  | 5               | 5  | 5                     | 5  |
| Cohesion in the plastic zone       | Cpl         | [kPa] | 0           | 0  | 0  | 0                | 0  | 0  | 0               | 0  | 0                     | 0  |
| Friction angle in the elastic zone | $\Phi_{el}$ | [°]   | 39          | 39 | 39 | 39               | 39 | 39 | 39              | 39 | 39                    | 39 |
| Friction angle in the plastic zone | $\Phi_{pl}$ | [°]   | 34          | 34 | 34 | 34               | 34 | 34 | 34              | 34 | 34                    | 34 |

| Elastic parameters                 |            |       | SEZ TIPO C1 |     |     | SEZ TIPO C1+1,05 |     |     | SEZ. C1 ALLARGO |     | SEZ. C1+1,05 PIAZZOLA |     |
|------------------------------------|------------|-------|-------------|-----|-----|------------------|-----|-----|-----------------|-----|-----------------------|-----|
| Deformation moduls in elastic zone | Eel        | [MPa] | 275         | 350 | 450 | 275              | 350 | 450 | 275             | 350 | 275                   | 350 |
| Deformation moduls in plastic zone | Epl        | [MPa] | 275         | 350 | 450 | 275              | 350 | 450 | 275             | 350 | 275                   | 350 |
| Poisson's ratio                    | $\nu$      | [-]   | 0,3         | 0,3 | 0,3 | 0,3              | 0,3 | 0,3 | 0,3             | 0,3 | 0,3                   | 0,3 |
| Volume increase in plastic zone    | $\Delta V$ | [%]   | 0           | 0   | 0   | 0                | 0   | 0   | 0               | 0   | 0                     | 0   |

| PRECONFINEMENT (Therapy Phase) |            |       | SEZ TIPO C1 |     |     | SEZ TIPO C1+1,05 |     |     | SEZ. C1 ALLARGO |     | SEZ. C1+1,05 PIAZZOLA |     |
|--------------------------------|------------|-------|-------------|-----|-----|------------------|-----|-----|-----------------|-----|-----------------------|-----|
| Number of reinforcements       | n°         | [-]   | 45          | 58  | 58  | 52               | 65  | 65  | 70              | 80  | 82                    | 100 |
| Design Length                  | L          | [m]   | 9           | 9   | 9   | 9                | 9   | 9   | 9               | 9   | 9                     | 9   |
| Cohesion improvement           | $\Delta c$ | [kPa] | 226         | 292 | 299 | 230              | 287 | 295 | 259             | 296 | 257                   | 314 |

| SUPPORT DATA (Therapy Phase)  |     |       | SEZ TIPO C1 |        |        | SEZ TIPO C1+1,05 |        |        | SEZ. C1 ALLARGO |        | SEZ. C1+1,05 PIAZZOLA |        |
|-------------------------------|-----|-------|-------------|--------|--------|------------------|--------|--------|-----------------|--------|-----------------------|--------|
| Shotcrete Thickness           | t   | [cm]  | 25          | 25     | 25     | 25               | 25     | 25     | 25              | 25     | 30                    | 30     |
| Compression strenght (medium) | fcm | [MPa] | 25          | 25     | 25     | 25               | 25     | 25     | 25              | 25     | 25                    | 25     |
| Steel ribs profile            | -   | -     | IPN200      | IPN200 | IPN200 | IPN220           | IPN220 | IPN220 | IPN240          | IPN240 | IPN260                | IPN260 |
| Number of profiles            | n   | -     | 2,00        | 2,00   | 2,00   | 2,00             | 2,00   | 2,00   | 2,00            | 2,00   | 2,00                  | 2,00   |
| Steel ribs spacing            | s   | [m]   | 1,00        | 1,00   | 1,00   | 1,00             | 1,00   | 1,00   | 1,00            | 1,00   | 0,90                  | 0,90   |

| DEFORMATION RESULTS       |           |       | SEZ TIPO C1 |      |      | SEZ TIPO C1+1,05 |      |      | SEZ. C1 ALLARGO |      | SEZ. C1+1,05 PIAZZOLA |      |
|---------------------------|-----------|-------|-------------|------|------|------------------|------|------|-----------------|------|-----------------------|------|
| Critical pressure         | Pcr       | [MPa] | 0,31        | 0,42 | 0,56 | 0,31             | 0,42 | 0,56 | 0,31            | 0,38 | 0,31                  | 0,38 |
| Cavity def. at the face   | uf        | [cm]  | 1,5         | 1,6  | 2,0  | 1,5              | 1,7  | 2,2  | 3,2             | 1,6  | 1,7                   | 1,6  |
| Rpl (Face)/Ro             | Rpface/r0 | [-]   | 1,0         | 1,0  | 1,0  | 1,0              | 1,0  | 1,0  | 1,2             | 1,0  | 1,0                   | 1,0  |
| Deformation at (x) m      | u(x)      | [cm]  | 1,5         | 1,6  | 2,0  | 1,5              | 1,7  | 2,2  | 3,2             | 1,6  | 1,7                   | 1,6  |
| Def.at (x)m regarding gap | u'(x)     | [cm]  | 1,5         | 1,6  | 2,0  | 1,5              | 1,7  | 2,2  | 3,2             | 1,6  | 1,7                   | 1,6  |
| Def.at equilibrium point  | ueq       | [cm]  | 3,0         | 3,4  | 4,1  | 3,2              | 3,7  | 4,4  | 5,2             | 3,7  | 3,6                   | 3,7  |
| Conv.at equilibrium point | Ceq       | [cm]  | 3,1         | 3,7  | 4,2  | 3,3              | 4,0  | 4,5  | 4,0             | 4,2  | 3,7                   | 4,2  |
| Rpl (eq)/Ro               | Rpeq/r0   | [-]   | 1,2         | 1,2  | 1,3  | 1,2              | 1,2  | 1,3  | 1,2             | 1,2  | 1,2                   | 1,2  |
| Equilibrium pressure      | C1        | [MPa] | 0,2         | 0,2  | 0,3  | 0,2              | 0,2  | 0,3  | 0,2             | 0,2  | 0,2                   | 0,2  |

| TEMPORARY LINING RESULTS |               |       | SEZ TIPO C1 |      |      | SEZ TIPO C1+1,05 |      |      | SEZ. C1 ALLARGO |      | SEZ. C1+1,05 PIAZZOLA |      |
|--------------------------|---------------|-------|-------------|------|------|------------------|------|------|-----------------|------|-----------------------|------|
| Steel ribs stress        | $\sigma_{st}$ | [MPa] | 50,3        | 61,1 | 69,1 | 51,2             | 62,1 | 69,9 | 56,3            | 58,9 | 48,6                  | 54,6 |
| Shotcrete stress         | $\sigma_{sc}$ | [MPa] | 5,0         | 6,1  | 6,9  | 5,1              | 6,2  | 7,0  | 5,6             | 5,9  | 4,9                   | 5,5  |

| SUPPORT RESULTS      |            |       | SEZ TIPO C1 |     |     | SEZ TIPO C1+1,05 |     |     | SEZ. C1 ALLARGO |     | SEZ. C1+1,05 PIAZZOLA |     |
|----------------------|------------|-------|-------------|-----|-----|------------------|-----|-----|-----------------|-----|-----------------------|-----|
| Concrete stress      | $\sigma_b$ | [MPa] | 1,8         | 2,2 | 2,5 | 1,9              | 2,3 | 2,6 | 2,1             | 2,2 | 2,2                   | 2,5 |
| Reinforcement stress | $\sigma_s$ | [MPa] | -           | -   | -   | -                | -   | -   | -               | -   | -                     | -   |

VERIFICHE DEI RIVESTIMENTI DI PRIMA FASE

|                   |                                 |       | SEZ TIPO C1 |      |      | SEZ TIPO C1+1,05 |      |      | SEZ. C1 ALLARGO |      | SEZ. C1+1,05 PIAZZOLA |      |
|-------------------|---------------------------------|-------|-------------|------|------|------------------|------|------|-----------------|------|-----------------------|------|
| Overburden        | H                               | [m]   | 45          | 60   | 80   | 45               | 60   | 80   | 45              | 55   | 45                    | 55   |
| Steel ribs stress | $\sigma_{st} \cdot \gamma_{G1}$ | [MPa] | 65,4        | 79,4 | 89,8 | 66,6             | 80,8 | 90,8 | 73,2            | 76,6 | 63,2                  | 70,9 |
| Shotcrete stress  | $\sigma_{sc} \cdot \gamma_{G1}$ | [MPa] | 6,5         | 7,9  | 9,0  | 6,7              | 8,1  | 9,1  | 7,3             | 7,7  | 6,3                   | 7,1  |

$\gamma_{G1}$  1,3

VERIFICHE DEI RIVESTIMENTI DEFINITIVI

|                                    |                              |       | SEZ TIPO C1 |     |     | SEZ TIPO C1+1,05 |     |     | SEZ. C1 ALLARGO |     | SEZ. C1+1,05 PIAZZOLA |     |
|------------------------------------|------------------------------|-------|-------------|-----|-----|------------------|-----|-----|-----------------|-----|-----------------------|-----|
| Deformation moduls in elastic zone | H                            | [m]   | 45          | 60  | 80  | 45               | 60  | 80  | 45              | 55  | 45                    | 55  |
| Concrete stress                    | $\sigma_b \cdot \gamma_{G1}$ | [MPa] | 2,3         | 2,8 | 3,2 | 2,4              | 3,0 | 3,3 | 2,8             | 2,9 | 2,9                   | 3,3 |
| Reinforcement stress               | $\sigma_s \cdot \gamma_{G1}$ | [MPa] | -           | -   | -   | -                | -   | -   | -               | -   | -                     | -   |

$\gamma_{G1}$  1,3

**PROGETTO**

PONTE SULLO STRETTO  
 GALLERIA FARO SUPERIORE  
 SEZIONE TIPO C1 STANDARD, COPERTURA 45m - GHIAIE DI MESSINA- GR1

DIAGNOSI  
 TERAPIA



**INPUT DATA (Diagnosis phase)**

**Geometrical Data**

|                              |          |
|------------------------------|----------|
| Equivalent Tunnel Radius     | $r_i$    |
| Overburden                   | H        |
| Unit weight of the rock mass | $\gamma$ |

|                         |                      |
|-------------------------|----------------------|
| ANALYSIS n°1            | ANALYSIS n°2         |
| 7,5 [m]                 | [m]                  |
| 45 [m]                  | [m]                  |
| 19 [kN/m <sup>3</sup> ] | [kN/m <sup>3</sup> ] |

|                      |                      |
|----------------------|----------------------|
| ANALYSIS n°3         | ANALYSIS n°4         |
| [m]                  | [m]                  |
| [m]                  | [m]                  |
| [kN/m <sup>3</sup> ] | [kN/m <sup>3</sup> ] |

|                      |                      |
|----------------------|----------------------|
| ANALYSIS n°5         | ANALYSIS n°6         |
| [m]                  | [m]                  |
| [m]                  | [m]                  |
| [kN/m <sup>3</sup> ] | [kN/m <sup>3</sup> ] |

**Resistance Parameters**

|                                    |             |
|------------------------------------|-------------|
| Cohesion in the elastic zone       | Cel         |
| Cohesion in the plastic zone       | Cpl         |
| Friction angle in the elastic zone | $\Phi_{el}$ |
| Friction angle in the plastic zone | $\Phi_{pl}$ |

|         |       |
|---------|-------|
| 5 [kPa] | [kPa] |
| 0 [kPa] | [kPa] |
| 39 [°]  | [°]   |
| 34 [°]  | [°]   |

|       |       |
|-------|-------|
| [kPa] | [kPa] |
| [kPa] | [kPa] |
| [°]   | [°]   |
| [°]   | [°]   |

|       |       |
|-------|-------|
| [kPa] | [kPa] |
| [kPa] | [kPa] |
| [°]   | [°]   |
| [°]   | [°]   |

**Elastic parameters**

|                                    |            |
|------------------------------------|------------|
| Deformation moduls in elastic zone | Eel        |
| Deformation moduls in plastic zone | Epl        |
| Poisson's ratio                    | $\nu$      |
| Volume increase in plastic zone    | $\Delta V$ |

|           |       |
|-----------|-------|
| 275 [MPa] | [MPa] |
| 275 [MPa] | [MPa] |
| 0,3 [-]   | [-]   |
| 0 [%]     | [%]   |

|       |       |
|-------|-------|
| [MPa] | [MPa] |
| [MPa] | [MPa] |
| [-]   | [-]   |
| [%]   | [%]   |

|       |       |
|-------|-------|
| [MPa] | [MPa] |
| [MPa] | [MPa] |
| [-]   | [-]   |
| [%]   | [%]   |

**PRECONFINEMENT (Therapy Phase)  Structural Elements**

**FACE PRECONFINEMENT (reinforcement elements)**

|                                  |            |         |                    |
|----------------------------------|------------|---------|--------------------|
| Number of reinforcements         | $n^\circ$  | 45      | [-]                |
| Design Length                    | L          | 9       | [m]                |
| Reinforcement's cross section    | Ael        | 14,5    | [cm <sup>2</sup> ] |
| Reinforcement's tensile strength | ftd        | 600     | [MPa]              |
| Drilling/Grouting Diameter       | Dp         | 300     | [mm]               |
| Grout-soil bond                  | $\tau_d$   | 100     | [kPa]              |
| Cohesion improvement             | $\Delta c$ | 226,427 | [kPa]              |

**Jet grouting**

**FACE PRECONFINEMENT (jet grouting or similar)**

|                              |            |       |
|------------------------------|------------|-------|
| Number of reinforcements     | $n^\circ$  | [-]   |
| Design Length                | L          | [m]   |
| Coloumndiameter              | Dn         | [mm]  |
| Jet Cohesion                 | cjet       | [kPa] |
| Design cohesion for the soil | cs         | [kPa] |
| Cohesion improvement         | $\Delta c$ | [kPa] |

**SUPPORT DATA (Therapy Phase)**

**SHOTCRETE**

|                               |       |       |       |
|-------------------------------|-------|-------|-------|
| Elastic Modulus               | Esb   | 20000 | [MPa] |
| Poisson's Ratio               | $\nu$ | 0,2   | [-]   |
| Thickness                     | t     | 25    | [cm]  |
| Compression strenght (medium) | fcm   | 25,00 | [MPa] |

**ROCK BOLTS**

|                              |          |        |
|------------------------------|----------|--------|
| Bolt length                  | L        | [m]    |
| Bolt diameter                | d        | [cm]   |
| Circumferential bolt spacing | s        | [m]    |
| Longitudinal bolt spacing    | a        | [m]    |
| Bolt elastic moduls          | Eb       | [MPa]  |
| Ultimate failure load        | Fu       | [kN]   |
| Load deformation constant    | $\delta$ | [m/MN] |

**STEEL RIBS**

|      |         |                       |     |        |                    |
|------|---------|-----------------------|-----|--------|--------------------|
| HSA  | IPN 120 | Number of profiles    | n   | 2,00   | [-]                |
| HSE  | IPN 140 | Steel ribs spacing    | s   | 1,00   | [m]                |
| HSH  | IPN 160 | Cross section Area    | As  | 66,80  | [cm <sup>2</sup> ] |
| HSL  | IPN 180 | Moment of Inertia     | Iy  | 4280,0 | [cm <sup>4</sup> ] |
| HSU  | IPN 200 | Yielding strength     | fyd | 275,00 | [MPa]              |
| IPE  | IPN 220 | Homogenization coeff. | n   | 10,00  | [-]                |
| IPEA | IPN 240 | Gap ground/support    | g   | 0,00   | [cm]               |
| IPEO | IPN 260 |                       |     |        |                    |
| IPEX | IPN 280 |                       |     |        |                    |
| IPN  | IPN 300 |                       |     |        |                    |

|   |       |       |         |
|---|-------|-------|---------|
| Stiffness reduction factor for Shotcrete and Steel Ribs | Ka    | 0,11  | [-]     |
| Stiffness reduction factor for Rock Bolts               | Kbolt | 1,00  | [-]     |
| Distance of support                                     | d     | 0,00  | [m]     |
| Total Stiffness   | Kt    | 13,19 | [MPa/m] |

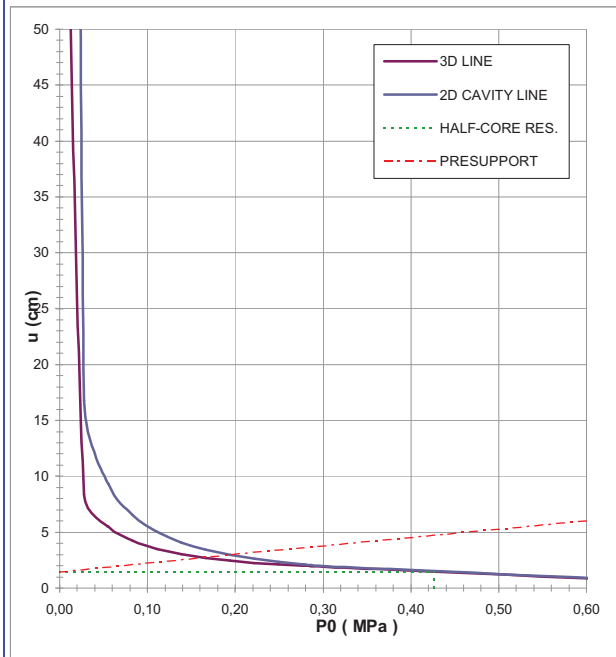
**FINAL LINING**

**CONCRETE**

|                               |       |       |       |
|-------------------------------|-------|-------|-------|
| Elastic Modulus               | Ec    | 31476 | [MPa] |
| Poisson's Ratio               | $\nu$ | 0,2   | [-]   |
| Thickness                     | T     | 90    | [cm]  |
| Concrete compression strenght | fcd   | 14,17 | [MPa] |

**STEEL REINFORCEMENTS**

|                            |        |       |
|----------------------------|--------|-------|
| Diameter of the steel bars | $\phi$ | [mm]  |
| Steel bars spacing         | s      | [cm]  |
| Number of set              | n      | [-]   |
| Yielding strength          | fyd    | [MPa] |



| DEFORMATION RESULTS       |                    |        |     |     |     |     |     |
|---------------------------|--------------------|--------|-----|-----|-----|-----|-----|
|                           |                    | AN1    | AN2 | AN3 | AN4 | AN5 | AN6 |
| Critical pressure         | Pcr [MPa]          | 0,31   |     |     |     |     |     |
| Max cavity def. (2D)      | $u_{2d}$ [cm]      | 375,98 |     |     |     |     |     |
| Rpl (2D)/Ro               | $Rp_{max}/r0$ [-]  | 11,84  |     |     |     |     |     |
| Cavity def. at the face   | $u_f$ [cm]         | 1,46   |     |     |     |     |     |
| Rpl (Face)/Ro             | $Rp_{face}/r0$ [-] | 0,89   |     |     |     |     |     |
| Deformation at (x) m      | $u_{(x)}$ [cm]     | 1,46   |     |     |     |     |     |
| Def.at (x)m regarding gap | $u'_{(x)}$ [cm]    | 1,46   |     |     |     |     |     |
| Def.at equilibrium point  | ueq [cm]           | 2,99   |     |     |     |     |     |
| Conv.at equilibrium point | Ceq [cm]           | 3,06   |     |     |     |     |     |
| Rpl (eq)/Ro               | $Rp_{eq}/r0$ [-]   | 1,19   |     |     |     |     |     |
| Equilibrium pressure      | C1 [MPa]           | 0,20   |     |     |     |     |     |

| TEMPORARY LINING RESULTS |                      |       |     |     |     |     |     |
|--------------------------|----------------------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|
|                          |                      | AN1   | AN2 | AN3 | AN4 | AN5 | AN6 |
| Presupp.el. deformation  | ulim [cm]            | 9,13  |     |     |     |     |     |
| Presupport stress        | $\sigma_{sup}$ [MPa] | 5,03  |     |     |     |     |     |
| Steel ribs stress        | $\sigma_{st}$ [MPa]  | 50,27 |     |     |     |     |     |
| Shotcrete stress         | $\sigma_{sc}$ [MPa]  | 5,03  |     |     |     |     |     |
| Bolt stress              | $\sigma_{rb}$ [MPa]  | -     |     |     |     |     |     |

| SUPPORT RESULTS      |                      |      |
|----------------------|----------------------|------|
|                      |                      |      |
| Support stress       | $\sigma_{def}$ [MPa] | 1,79 |
| Concrete stress      | $\sigma_b$ [MPa]     | 1,79 |
| Reinforcement stress | $\sigma_s$ [MPa]     | -    |

**PROGETTO**

PONTE SULLO STRETTO  
 GALLERIA FARO SUPERIORE  
 SEZIONE TIPO C1 STANDARD, COPERTURA 60m - GHIAIE DI MESSINA, GR.1

DIAGNOSI

TERAPIA



**INPUT DATA (Diagnosis phase)**

**Geometrical Data**

|                              |          |
|------------------------------|----------|
| Equivalent Tunnel Radius     | $r_i$    |
| Overburden                   | H        |
| Unit weight of the rock mass | $\gamma$ |

|                         |                      |
|-------------------------|----------------------|
| ANALYSIS n°1            | ANALYSIS n°2         |
| 7,5 [m]                 | [m]                  |
| 60 [m]                  | [m]                  |
| 19 [kN/m <sup>3</sup> ] | [kN/m <sup>3</sup> ] |

|                      |                      |
|----------------------|----------------------|
| ANALYSIS n°3         | ANALYSIS n°4         |
| [m]                  | [m]                  |
| [m]                  | [m]                  |
| [kN/m <sup>3</sup> ] | [kN/m <sup>3</sup> ] |

|                      |                      |
|----------------------|----------------------|
| ANALYSIS n°5         | ANALYSIS n°6         |
| [m]                  | [m]                  |
| [m]                  | [m]                  |
| [kN/m <sup>3</sup> ] | [kN/m <sup>3</sup> ] |

**Resistance Parameters**

|                                    |             |
|------------------------------------|-------------|
| Cohesion in the elastic zone       | Cel         |
| Cohesion in the plastic zone       | Cpl         |
| Friction angle in the elastic zone | $\Phi_{el}$ |
| Friction angle in the plastic zone | $\Phi_{pl}$ |

|         |       |
|---------|-------|
| 5 [kPa] | [kPa] |
| 0 [kPa] | [kPa] |
| 39 [°]  | [°]   |
| 34 [°]  | [°]   |

|       |       |
|-------|-------|
| [kPa] | [kPa] |
| [kPa] | [kPa] |
| [°]   | [°]   |
| [°]   | [°]   |

|       |       |
|-------|-------|
| [kPa] | [kPa] |
| [kPa] | [kPa] |
| [°]   | [°]   |
| [°]   | [°]   |

**Elastic parameters**

|                                    |            |
|------------------------------------|------------|
| Deformation moduls in elastic zone | Eel        |
| Deformation moduls in plastic zone | Epl        |
| Poisson's ratio                    | $\nu$      |
| Volume increase in plastic zone    | $\Delta V$ |

|           |       |
|-----------|-------|
| 350 [MPa] | [MPa] |
| 350 [MPa] | [MPa] |
| 0,3 [-]   | [-]   |
| 0 [%]     | [%]   |

|       |       |
|-------|-------|
| [MPa] | [MPa] |
| [MPa] | [MPa] |
| [-]   | [-]   |
| [%]   | [%]   |

|       |       |
|-------|-------|
| [MPa] | [MPa] |
| [MPa] | [MPa] |
| [-]   | [-]   |
| [%]   | [%]   |

**PRECONFINEMENT (Therapy Phase)  Structural Elements**

**FACE PRECONFINEMENT (reinforcement elements)**

|                                  |            |         |                    |
|----------------------------------|------------|---------|--------------------|
| Number of reinforcements         | $n^\circ$  | 58      | [-]                |
| Design Length                    | L          | 9       | [m]                |
| Reinforcement's cross section    | Ael        | 14,5    | [cm <sup>2</sup> ] |
| Reinforcement's tensile strength | ftd        | 600     | [MPa]              |
| Drilling/Grouting Diameter       | Dp         | 300     | [mm]               |
| Grout-soil bond                  | $\tau d$   | 100     | [kPa]              |
| Cohesion improvement             | $\Delta c$ | 291,839 | [kPa]              |

**Jet grouting**

**FACE PRECONFINEMENT (jet grouting or similar)**

|                              |            |       |
|------------------------------|------------|-------|
| Number of reinforcements     | $n^\circ$  | [-]   |
| Design Length                | L          | [m]   |
| Coloumndiameter              | Dn         | [mm]  |
| Jet Cohesion                 | cjet       | [kPa] |
| Design cohesion for the soil | cs         | [kPa] |
| Cohesion improvement         | $\Delta c$ | [kPa] |

**SUPPORT DATA (Therapy Phase)**

**SHOTCRETE**

|                               |       |       |       |
|-------------------------------|-------|-------|-------|
| Elastic Modulus               | Esb   | 20000 | [MPa] |
| Poisson's Ratio               | $\nu$ | 0,2   | [-]   |
| Thickness                     | t     | 25    | [cm]  |
| Compression strenght (medium) | fcm   | 25,00 | [MPa] |

**ROCK BOLTS**

|                              |          |        |
|------------------------------|----------|--------|
| Bolt length                  | L        | [m]    |
| Bolt diameter                | d        | [cm]   |
| Circumferential bolt spacing | s        | [m]    |
| Longitudinal bolt spacing    | a        | [m]    |
| Bolt elastic moduls          | Eb       | [MPa]  |
| Ultimate failure load        | Fu       | [kN]   |
| Load deformation constant    | $\delta$ | [m/MN] |

**STEEL RIBS**

|      |         |                       |     |        |                    |
|------|---------|-----------------------|-----|--------|--------------------|
| HSA  | IPN 120 | Number of profiles    | n   | 2,00   | [-]                |
| HSE  | IPN 140 | Steel ribs spacing    | s   | 1,00   | [m]                |
| HSH  | IPN 160 | Cross section Area    | As  | 66,80  | [cm <sup>2</sup> ] |
| HSL  | IPN 180 | Moment of Inertia     | Iy  | 4280,0 | [cm <sup>4</sup> ] |
| HSU  | IPN 200 | Yielding strength     | fyd | 275,00 | [MPa]              |
| IPE  | IPN 220 | Homogenization coeff. | n   | 10,00  | [-]                |
| IPEA | IPN 240 | Gap ground/support    | g   | 0,00   | [cm]               |
| IPEO | IPN 260 |                       |     |        |                    |
| IPEX | IPN 280 |                       |     |        |                    |
| IPN  | IPN 300 |                       |     |        |                    |

|   |       |       |         |
|---|-------|-------|---------|
| Stiffness reduction factor for Shotcrete and Steel Ribs | Ka    | 0,11  | [-]     |
| Stiffness reduction factor for Rock Bolts               | Kbolt | 1,00  | [-]     |
| Distance of support                                     | d     | 0,00  | [m]     |
| Total Stiffness   | Kt    | 13,19 | [MPa/m] |

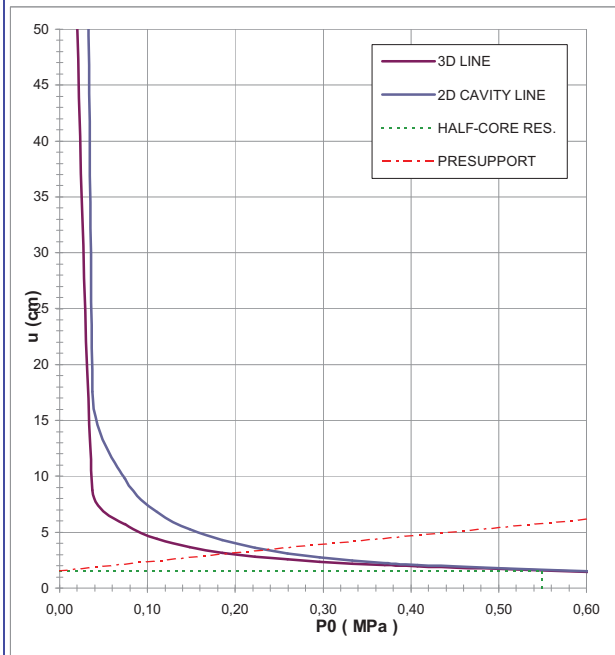
**FINAL LINING**

**CONCRETE**

|                               |       |       |       |
|-------------------------------|-------|-------|-------|
| Elastic Modulus               | Ec    | 31476 | [MPa] |
| Poisson's Ratio               | $\nu$ | 0,2   | [-]   |
| Thickness                     | T     | 90    | [cm]  |
| Concrete compression strenght | fcd   | 14,17 | [MPa] |

**STEEL REINFORCEMENTS**

|                            |        |       |
|----------------------------|--------|-------|
| Diameter of the steel bars | $\phi$ | [mm]  |
| Steel bars spacing         | s      | [cm]  |
| Number of set              | n      | [-]   |
| Yielding strength          | fyd    | [MPa] |



| DEFORMATION RESULTS       |                    |        |     |     |     |     |     |
|---------------------------|--------------------|--------|-----|-----|-----|-----|-----|
|                           |                    | AN1    | AN2 | AN3 | AN4 | AN5 | AN6 |
| Critical pressure         | Pcr [MPa]          | 0,42   |     |     |     |     |     |
| Max cavity def. (2D)      | $u_{2d}$ [cm]      | 494,60 |     |     |     |     |     |
| Rpl (2D)/Ro               | $Rp_{max}/r0$ [-]  | 13,28  |     |     |     |     |     |
| Cavity def. at the face   | $u_f$ [cm]         | 1,56   |     |     |     |     |     |
| Rpl (Face)/Ro             | $Rp_{face}/r0$ [-] | 0,90   |     |     |     |     |     |
| Deformation at (x) m      | $u_{(x)}$ [cm]     | 1,56   |     |     |     |     |     |
| Def.at (x)m regarding gap | $u'_{(x)}$ [cm]    | 1,56   |     |     |     |     |     |
| Def.at equilibrium point  | ueq [cm]           | 3,43   |     |     |     |     |     |
| Conv.at equilibrium point | Ceq [cm]           | 3,72   |     |     |     |     |     |
| Rpl (eq)/Ro               | $Rp_{eq}/r0$ [-]   | 1,23   |     |     |     |     |     |
| Equilibrium pressure      | C1 [MPa]           | 0,25   |     |     |     |     |     |

| TEMPORARY LINING RESULTS |                      |       |     |     |     |     |     |
|--------------------------|----------------------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|
|                          |                      | AN1   | AN2 | AN3 | AN4 | AN5 | AN6 |
| Presupp.el. deformation  | ulim [cm]            | 9,24  |     |     |     |     |     |
| Presupport stress        | $\sigma_{sup}$ [MPa] | 6,11  |     |     |     |     |     |
| Steel ribs stress        | $\sigma_{st}$ [MPa]  | 61,11 |     |     |     |     |     |
| Shotcrete stress         | $\sigma_{sc}$ [MPa]  | 6,11  |     |     |     |     |     |
| Bolt stress              | $\sigma_{rb}$ [MPa]  | -     |     |     |     |     |     |

| SUPPORT RESULTS      |                      |      |     |     |     |     |     |
|----------------------|----------------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|
|                      |                      | AN1  | AN2 | AN3 | AN4 | AN5 | AN6 |
| Support stress       | $\sigma_{def}$ [MPa] | 2,18 |     |     |     |     |     |
| Concrete stress      | $\sigma_b$ [MPa]     | 2,18 |     |     |     |     |     |
| Reinforcement stress | $\sigma_s$ [MPa]     | -    |     |     |     |     |     |



**PROGETTO**

PONTE SULLO STRETTO  
 GALLERIA FARO SUPERIORE  
 SEZIONE TIPO C1 STANDARD, COPERTURA 80m - GHIAIE DI MESSINA, GR.1

DIAGNOSI

TERAPIA



**INPUT DATA (Diagnosis phase)**

**Geometrical Data**

|                              |          |
|------------------------------|----------|
| Equivalent Tunnel Radius     | $r_i$    |
| Overburden                   | H        |
| Unit weight of the rock mass | $\gamma$ |

|                         |                      |
|-------------------------|----------------------|
| ANALYSIS n°1            | ANALYSIS n°2         |
| 7,5 [m]                 | [m]                  |
| 80 [m]                  | [m]                  |
| 19 [kN/m <sup>3</sup> ] | [kN/m <sup>3</sup> ] |

|                      |                      |
|----------------------|----------------------|
| ANALYSIS n°3         | ANALYSIS n°4         |
| [m]                  | [m]                  |
| [m]                  | [m]                  |
| [kN/m <sup>3</sup> ] | [kN/m <sup>3</sup> ] |

|                      |                      |
|----------------------|----------------------|
| ANALYSIS n°5         | ANALYSIS n°6         |
| [m]                  | [m]                  |
| [m]                  | [m]                  |
| [kN/m <sup>3</sup> ] | [kN/m <sup>3</sup> ] |

**Resistance Parameters**

|                                    |             |
|------------------------------------|-------------|
| Cohesion in the elastic zone       | Cel         |
| Cohesion in the plastic zone       | Cpl         |
| Friction angle in the elastic zone | $\Phi_{el}$ |
| Friction angle in the plastic zone | $\Phi_{pl}$ |

|         |       |
|---------|-------|
| 5 [kPa] | [kPa] |
| 0 [kPa] | [kPa] |
| 39 [°]  | [°]   |
| 34 [°]  | [°]   |

|       |       |
|-------|-------|
| [kPa] | [kPa] |
| [kPa] | [kPa] |
| [°]   | [°]   |
| [°]   | [°]   |

|       |       |
|-------|-------|
| [kPa] | [kPa] |
| [kPa] | [kPa] |
| [°]   | [°]   |
| [°]   | [°]   |

**Elastic parameters**

|                                    |            |
|------------------------------------|------------|
| Deformation moduls in elastic zone | Eel        |
| Deformation moduls in plastic zone | Epl        |
| Poisson's ratio                    | $\nu$      |
| Volume increase in plastic zone    | $\Delta V$ |

|           |       |
|-----------|-------|
| 450 [MPa] | [MPa] |
| 450 [MPa] | [MPa] |
| 0,3 [-]   | [-]   |
| 0 [%]     | [%]   |

|       |       |
|-------|-------|
| [MPa] | [MPa] |
| [MPa] | [MPa] |
| [-]   | [-]   |
| [%]   | [%]   |

|       |       |
|-------|-------|
| [MPa] | [MPa] |
| [MPa] | [MPa] |
| [-]   | [-]   |
| [%]   | [%]   |

**PRECONFINEMENT (Therapy Phase)  Structural Elements**

**FACE PRECONFINEMENT (reinforcement elements)**

|                                  |            |         |                    |
|----------------------------------|------------|---------|--------------------|
| Number of reinforcements         | $n^\circ$  | 58      | [-]                |
| Design Length                    | L          | 9       | [m]                |
| Reinforcement's cross section    | Ael        | 14,5    | [cm <sup>2</sup> ] |
| Reinforcement's tensile strength | ftd        | 600     | [MPa]              |
| Drilling/Grouting Diameter       | Dp         | 300     | [mm]               |
| Grout-soil bond                  | $\tau_d$   | 200     | [kPa]              |
| Cohesion improvement             | $\Delta c$ | 299,329 | [kPa]              |

**Jet grouting**

**FACE PRECONFINEMENT (jet grouting or similar)**

|                              |            |       |
|------------------------------|------------|-------|
| Number of reinforcements     | $n^\circ$  | [-]   |
| Design Length                | L          | [m]   |
| Coloumndiameter              | Dn         | [mm]  |
| Jet Cohesion                 | cjet       | [kPa] |
| Design cohesion for the soil | cs         | [kPa] |
| Cohesion improvement         | $\Delta c$ | [kPa] |

**SUPPORT DATA (Therapy Phase)**

**SHOTCRETE**

|                               |       |       |       |
|-------------------------------|-------|-------|-------|
| Elastic Modulus               | Esb   | 20000 | [MPa] |
| Poisson's Ratio               | $\nu$ | 0,2   | [-]   |
| Thickness                     | t     | 25    | [cm]  |
| Compression strenght (medium) | fcm   | 25,00 | [MPa] |

**ROCK BOLTS**

|                              |          |        |
|------------------------------|----------|--------|
| Bolt length                  | L        | [m]    |
| Bolt diameter                | d        | [cm]   |
| Circumferential bolt spacing | s        | [m]    |
| Longitudinal bolt spacing    | a        | [m]    |
| Bolt elastic moduls          | Eb       | [MPa]  |
| Ultimate failure load        | Fu       | [kN]   |
| Load deformation constant    | $\delta$ | [m/MN] |

**STEEL RIBS**

|      |         |                       |     |        |                    |
|------|---------|-----------------------|-----|--------|--------------------|
| HSA  | IPN 120 | Number of profiles    | n   | 2,00   | [-]                |
| HSE  | IPN 140 | Steel ribs spacing    | s   | 1,00   | [m]                |
| HSH  | IPN 160 | Cross section Area    | As  | 66,80  | [cm <sup>2</sup> ] |
| HSL  | IPN 180 | Moment of Inertia     | Iy  | 4280,0 | [cm <sup>4</sup> ] |
| HSU  | IPN 200 | Yielding strength     | fyd | 275,00 | [MPa]              |
| IPE  | IPN 220 | Homogenization coeff. | n   | 10,00  | [-]                |
| IPEA | IPN 240 | Gap ground/support    | g   | 0,00   | [cm]               |
| IPEO | IPN 260 |                       |     |        |                    |
| IPEX | IPN 280 |                       |     |        |                    |
| IPN  | IPN 300 |                       |     |        |                    |

|   |       |       |         |
|---|-------|-------|---------|
| Stiffness reduction factor for Shotcrete and Steel Ribs | Ka    | 0,11  | [-]     |
| Stiffness reduction factor for Rock Bolts               | Kbolt | 1,00  | [-]     |
| Distance of support                                     | d     | 0,00  | [m]     |
| Total Stiffness   | Kt    | 13,19 | [MPa/m] |

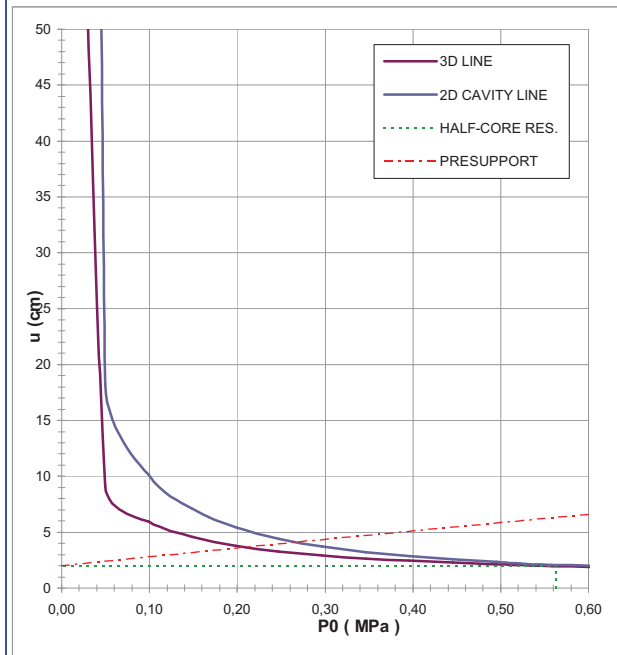
**FINAL LINING**

**CONCRETE**

|                               |       |       |       |
|-------------------------------|-------|-------|-------|
| Elastic Modulus               | Ec    | 31476 | [MPa] |
| Poisson's Ratio               | $\nu$ | 0,2   | [-]   |
| Thickness                     | T     | 90    | [cm]  |
| Concrete compression strenght | fcd   | 14,17 | [MPa] |

**STEEL REINFORCEMENTS**

|                            |        |       |
|----------------------------|--------|-------|
| Diameter of the steel bars | $\phi$ | [mm]  |
| Steel bars spacing         | s      | [cm]  |
| Number of set              | n      | [-]   |
| Yielding strength          | fyd    | [MPa] |



| DEFORMATION RESULTS       |                    |        |     |     |     |     |     |
|---------------------------|--------------------|--------|-----|-----|-----|-----|-----|
|                           |                    | AN1    | AN2 | AN3 | AN4 | AN5 | AN6 |
| Critical pressure         | Pcr [MPa]          | 0,56   |     |     |     |     |     |
| Max cavity def. (2D)      | $u_{2d}$ [cm]      | 643,95 |     |     |     |     |     |
| Rpl (2D)/Ro               | $Rp_{max}/r0$ [-]  | 14,88  |     |     |     |     |     |
| Cavity def. at the face   | $u_f$ [cm]         | 2,00   |     |     |     |     |     |
| Rpl (Face)/Ro             | $Rp_{face}/r0$ [-] | 1,00   |     |     |     |     |     |
| Deformation at (x) m      | $u_{(x)}$ [cm]     | 2,00   |     |     |     |     |     |
| Def.at (x)m regarding gap | $u'_{(x)}$ [cm]    | 2,00   |     |     |     |     |     |
| Def.at equilibrium point  | ueq [cm]           | 4,11   |     |     |     |     |     |
| Conv.at equilibrium point | Ceq [cm]           | 4,21   |     |     |     |     |     |
| Rpl (eq)/Ro               | $Rp_{eq}/r0$ [-]   | 1,32   |     |     |     |     |     |
| Equilibrium pressure      | C1 [MPa]           | 0,28   |     |     |     |     |     |

| TEMPORARY LINING RESULTS |                      |       |     |     |     |     |     |
|--------------------------|----------------------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|
|                          |                      | AN1   | AN2 | AN3 | AN4 | AN5 | AN6 |
| Presupp.el. deformation  | ulim [cm]            | 9,68  |     |     |     |     |     |
| Presupport stress        | $\sigma_{sup}$ [MPa] | 6,91  |     |     |     |     |     |
| Steel ribs stress        | $\sigma_{st}$ [MPa]  | 69,08 |     |     |     |     |     |
| Shotcrete stress         | $\sigma_{sc}$ [MPa]  | 6,91  |     |     |     |     |     |
| Bolt stress              | $\sigma_{rb}$ [MPa]  | -     |     |     |     |     |     |

| SUPPORT RESULTS      |                      |      |
|----------------------|----------------------|------|
|                      |                      |      |
| Support stress       | $\sigma_{def}$ [MPa] | 2,46 |
| Concrete stress      | $\sigma_b$ [MPa]     | 2,46 |
| Reinforcement stress | $\sigma_s$ [MPa]     | -    |

**PROGETTO**

PONTE SULLO STRETTO  
 GALLERIA FARO SUPERIORE  
 SEZIONE TIPO C1 + 1.05m, COPERTURA 45m - GHIAIE DI MESSINA

DIAGNOSI

TERAPIA



**INPUT DATA (Diagnosis phase)**

**Geometrical Data**

|                              |          |
|------------------------------|----------|
| Equivalent Tunnel Radius     | $r_i$    |
| Overburden                   | H        |
| Unit weight of the rock mass | $\gamma$ |

|                         |                      |
|-------------------------|----------------------|
| ANALYSIS n°1            | ANALYSIS n°2         |
| 8 [m]                   | [m]                  |
| 45 [m]                  | [m]                  |
| 19 [kN/m <sup>3</sup> ] | [kN/m <sup>3</sup> ] |

|                      |                      |
|----------------------|----------------------|
| ANALYSIS n°3         | ANALYSIS n°4         |
| [m]                  | [m]                  |
| [m]                  | [m]                  |
| [kN/m <sup>3</sup> ] | [kN/m <sup>3</sup> ] |

|                      |                      |
|----------------------|----------------------|
| ANALYSIS n°5         | ANALYSIS n°6         |
| [m]                  | [m]                  |
| [m]                  | [m]                  |
| [kN/m <sup>3</sup> ] | [kN/m <sup>3</sup> ] |

**Resistance Parameters**

|                                    |             |
|------------------------------------|-------------|
| Cohesion in the elastic zone       | Cel         |
| Cohesion in the plastic zone       | Cpl         |
| Friction angle in the elastic zone | $\Phi_{el}$ |
| Friction angle in the plastic zone | $\Phi_{pl}$ |

|         |       |
|---------|-------|
| 5 [kPa] | [kPa] |
| 0 [kPa] | [kPa] |
| 39 [°]  | [°]   |
| 34 [°]  | [°]   |

|       |       |
|-------|-------|
| [kPa] | [kPa] |
| [kPa] | [kPa] |
| [°]   | [°]   |
| [°]   | [°]   |

|       |       |
|-------|-------|
| [kPa] | [kPa] |
| [kPa] | [kPa] |
| [°]   | [°]   |
| [°]   | [°]   |

**Elastic parameters**

|                                    |            |
|------------------------------------|------------|
| Deformation moduls in elastic zone | Eel        |
| Deformation moduls in plastic zone | Epl        |
| Poisson's ratio                    | $\nu$      |
| Volume increase in plastic zone    | $\Delta V$ |

|           |       |
|-----------|-------|
| 275 [MPa] | [MPa] |
| 275 [MPa] | [MPa] |
| 0,3 [-]   | [-]   |
| 0 [%]     | [%]   |

|       |       |
|-------|-------|
| [MPa] | [MPa] |
| [MPa] | [MPa] |
| [-]   | [-]   |
| [%]   | [%]   |

|       |       |
|-------|-------|
| [MPa] | [MPa] |
| [MPa] | [MPa] |
| [-]   | [-]   |
| [%]   | [%]   |

**PRECONFINEMENT (Therapy Phase)**  Structural Elements

**FACE PRECONFINEMENT (reinforcement elements)**

|                                  |            |         |                    |
|----------------------------------|------------|---------|--------------------|
| Number of reinforcements         | $n^\circ$  | 52      | [-]                |
| Design Length                    | L          | 9       | [m]                |
| Reinforcement's cross section    | Ael        | 14,5    | [cm <sup>2</sup> ] |
| Reinforcement's tensile strength | ftd        | 600     | [MPa]              |
| Drilling/Grouting Diameter       | Dp         | 300     | [mm]               |
| Grout-soil bond                  | $\tau_d$   | 100     | [kPa]              |
| Cohesion improvement             | $\Delta c$ | 229,965 | [kPa]              |

Jet grouting

**FACE PRECONFINEMENT (jet grouting or similar)**

|                              |            |       |
|------------------------------|------------|-------|
| Number of reinforcements     | $n^\circ$  | [-]   |
| Design Length                | L          | [m]   |
| Coloumndiameter              | Dn         | [mm]  |
| Jet Cohesion                 | cjet       | [kPa] |
| Design cohesion for the soil | cs         | [kPa] |
| Cohesion improvement         | $\Delta c$ | [kPa] |

**SUPPORT DATA (Therapy Phase)**

**SHOTCRETE**

|                               |       |       |       |
|-------------------------------|-------|-------|-------|
| Elastic Modulus               | Esb   | 20000 | [MPa] |
| Poisson's Ratio               | $\nu$ | 0,2   | [-]   |
| Thickness                     | t     | 25    | [cm]  |
| Compression strenght (medium) | fcm   | 25    | [MPa] |

**ROCK BOLTS**

|                              |          |        |
|------------------------------|----------|--------|
| Bolt length                  | L        | [m]    |
| Bolt diameter                | d        | [cm]   |
| Circumferential bolt spacing | s        | [m]    |
| Longitudinal bolt spacing    | a        | [m]    |
| Bolt elastic moduls          | Eb       | [MPa]  |
| Ultimate failure load        | Fu       | [kN]   |
| Load deformation constant    | $\delta$ | [m/MN] |

**STEEL RIBS**

|      |         |                       |     |        |                    |
|------|---------|-----------------------|-----|--------|--------------------|
| HSA  | IPN 120 | Number of profiles    | n   | 2,00   | [-]                |
| HSE  | IPN 140 | Steel ribs spacing    | s   | 1,00   | [m]                |
| HSH  | IPN 160 | Cross section Area    | As  | 79,00  | [cm <sup>2</sup> ] |
| HSL  | IPN 180 | Moment of Inertia     | Iy  | 6120,0 | [cm <sup>4</sup> ] |
| HSU  | IPN 200 | Yielding strength     | fyd | 275,00 | [MPa]              |
| IPE  | IPN 220 | Homogenization coeff. | n   | 10,00  | [-]                |
| IPEA | IPN 240 | Gap ground/support    | g   | 0,00   | [cm]               |
| IPEO | IPN 260 |                       |     |        |                    |
| IPEX | IPN 280 |                       |     |        |                    |
| IPN  | IPN 300 |                       |     |        |                    |

|   |       |       |         |
|---|-------|-------|---------|
| Stiffness reduction factor for Shotcrete and Steel Ribs | Ka    | 0,11  | [-]     |
| Stiffness reduction factor for Rock Bolts               | Kbolt | 1,00  | [-]     |
| Distance of support                                     | d     | 0,00  | [m]     |
| Total Stiffness   | Kt    | 12,02 | [MPa/m] |

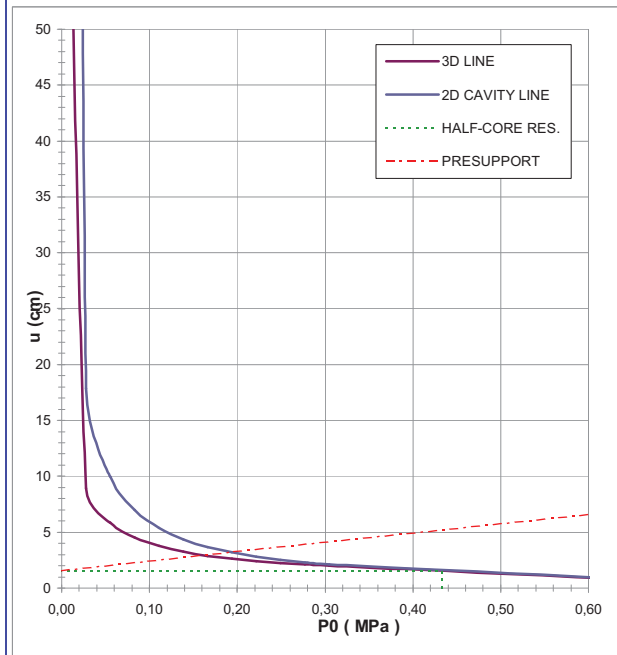
**FINAL LINING**

**CONCRETE**

|                               |       |       |       |
|-------------------------------|-------|-------|-------|
| Elastic Modulus               | Ec    | 31476 | [MPa] |
| Poisson's Ratio               | $\nu$ | 0,2   | [-]   |
| Thickness                     | T     | 90    | [cm]  |
| Concrete compression strenght | fcd   | 14,17 | [MPa] |

**STEEL REINFORCEMENTS**

|                            |        |       |
|----------------------------|--------|-------|
| Diameter of the steel bars | $\phi$ | [mm]  |
| Steel bars spacing         | s      | [cm]  |
| Number of set              | n      | [-]   |
| Yielding strength          | fyd    | [MPa] |



| DEFORMATION RESULTS       |                    |        |     |     |     |     |     |
|---------------------------|--------------------|--------|-----|-----|-----|-----|-----|
|                           |                    | AN1    | AN2 | AN3 | AN4 | AN5 | AN6 |
| Critical pressure         | Pcr [MPa]          | 0,31   |     |     |     |     |     |
| Max cavity def. (2D)      | $u_{2d}$ [cm]      | 401,04 |     |     |     |     |     |
| Rpl (2D)/Ro               | $Rp_{max}/r0$ [-]  | 11,84  |     |     |     |     |     |
| Cavity def. at the face   | $u_f$ [cm]         | 1,54   |     |     |     |     |     |
| Rpl (Face)/Ro             | $Rp_{face}/r0$ [-] | 0,88   |     |     |     |     |     |
| Deformation at (x) m      | $u_{(x)}$ [cm]     | 1,54   |     |     |     |     |     |
| Def.at (x)m regarding gap | $u'_{(x)}$ [cm]    | 1,54   |     |     |     |     |     |
| Def.at equilibrium point  | ueq [cm]           | 3,20   |     |     |     |     |     |
| Conv.at equilibrium point | Ceq [cm]           | 3,32   |     |     |     |     |     |
| Rpl (eq)/Ro               | $Rp_{eq}/r0$ [-]   | 1,19   |     |     |     |     |     |
| Equilibrium pressure      | C1 [MPa]           | 0,20   |     |     |     |     |     |

| TEMPORARY LINING RESULTS |                      |       |     |     |     |     |     |
|--------------------------|----------------------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|
|                          |                      | AN1   | AN2 | AN3 | AN4 | AN5 | AN6 |
| Presupp.el. deformation  | ulim [cm]            | 9,72  |     |     |     |     |     |
| Presupport stress        | $\sigma_{sup}$ [MPa] | 5,12  |     |     |     |     |     |
| Steel ribs stress        | $\sigma_{st}$ [MPa]  | 51,19 |     |     |     |     |     |
| Shotcrete stress         | $\sigma_{sc}$ [MPa]  | 5,12  |     |     |     |     |     |
| Bolt stress              | $\sigma_{rb}$ [MPa]  | -     |     |     |     |     |     |

| SUPPORT RESULTS      |                      |      |     |     |     |     |     |
|----------------------|----------------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|
|                      |                      | AN1  | AN2 | AN3 | AN4 | AN5 | AN6 |
| Support stress       | $\sigma_{def}$ [MPa] | 1,88 |     |     |     |     |     |
| Concrete stress      | $\sigma_b$ [MPa]     | 1,88 |     |     |     |     |     |
| Reinforcement stress | $\sigma_s$ [MPa]     | -    |     |     |     |     |     |

**PROGETTO**

PONTE SULLO STRETTO  
 GALLERIA FARO SUPERIORE  
 SEZIONE TIPO C1 + 1.05m, COPERTURA 60m - GHIAIE DI MESSINA, GR.1

DIAGNOSI  
 TERAPIA



**INPUT DATA (Diagnosis phase)**

**Geometrical Data**

|                              |          |
|------------------------------|----------|
| Equivalent Tunnel Radius     | $r_i$    |
| Overburden                   | H        |
| Unit weight of the rock mass | $\gamma$ |

**Resistance Parameters**

|                                    |             |
|------------------------------------|-------------|
| Cohesion in the elastic zone       | Cel         |
| Cohesion in the plastic zone       | Cpl         |
| Friction angle in the elastic zone | $\Phi_{el}$ |
| Friction angle in the plastic zone | $\Phi_{pl}$ |

**Elastic parameters**

|                                    |            |
|------------------------------------|------------|
| Deformation moduls in elastic zone | Eel        |
| Deformation moduls in plastic zone | Epl        |
| Poisson's ratio                    | $\nu$      |
| Volume increase in plastic zone    | $\Delta V$ |

| ANALYSIS n°1            | ANALYSIS n°2         | ANALYSIS n°3         | ANALYSIS n°4         | ANALYSIS n°5         | ANALYSIS n°6         |
|-------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 8 [m]                   | [m]                  | [m]                  | [m]                  | [m]                  | [m]                  |
| 60 [m]                  | [m]                  | [m]                  | [m]                  | [m]                  | [m]                  |
| 19 [kN/m <sup>3</sup> ] | [kN/m <sup>3</sup> ] | [kN/m <sup>3</sup> ] | [kN/m <sup>3</sup> ] | [kN/m <sup>3</sup> ] | [kN/m <sup>3</sup> ] |
| 5 [kPa]                 | [kPa]                | [kPa]                | [kPa]                | [kPa]                | [kPa]                |
| 0,4 [kPa]               | [kPa]                | [kPa]                | [kPa]                | [kPa]                | [kPa]                |
| 39 [°]                  | [°]                  | [°]                  | [°]                  | [°]                  | [°]                  |
| 34 [°]                  | [°]                  | [°]                  | [°]                  | [°]                  | [°]                  |
| 350 [MPa]               | [MPa]                | [MPa]                | [MPa]                | [MPa]                | [MPa]                |
| 350 [MPa]               | [MPa]                | [MPa]                | [MPa]                | [MPa]                | [MPa]                |
| 0,3 [-]                 | [-]                  | [-]                  | [-]                  | [-]                  | [-]                  |
| 0 [%]                   | [%]                  | [%]                  | [%]                  | [%]                  | [%]                  |

**PRECONFINEMENT (Therapy Phase)**  Structural Elements

**FACE PRECONFINEMENT (reinforcement elements)**

|                                  |            |         |                    |
|----------------------------------|------------|---------|--------------------|
| Number of reinforcements         | $n^\circ$  | 65      | [-]                |
| Design Length                    | L          | 9       | [m]                |
| Reinforcement's cross section    | Ael        | 14,5    | [cm <sup>2</sup> ] |
| Reinforcement's tensile strength | ftd        | 600     | [MPa]              |
| Drilling/Grouting Diameter       | Dp         | 300     | [mm]               |
| Grout-soil bond                  | $\tau d$   | 100     | [kPa]              |
| Cohesion improvement             | $\Delta c$ | 287,456 | [kPa]              |

Jet grouting

**FACE PRECONFINEMENT (jet grouting or similar)**

|                              |            |       |
|------------------------------|------------|-------|
| Number of reinforcements     | $n^\circ$  | [-]   |
| Design Length                | L          | [m]   |
| Coloumndiameter              | Dn         | [mm]  |
| Jet Cohesion                 | cjet       | [kPa] |
| Design cohesion for the soil | cs         | [kPa] |
| Cohesion improvement         | $\Delta c$ | [kPa] |

**SUPPORT DATA (Therapy Phase)**

**SHOTCRETE**

|                               |       |       |       |
|-------------------------------|-------|-------|-------|
| Elastic Modulus               | Esb   | 20000 | [MPa] |
| Poisson's Ratio               | $\nu$ | 0,2   | [-]   |
| Thickness                     | t     | 25    | [cm]  |
| Compression strenght (medium) | fcm   | 25    | [MPa] |

**ROCK BOLTS**

|                              |          |        |
|------------------------------|----------|--------|
| Bolt length                  | L        | [m]    |
| Bolt diameter                | d        | [cm]   |
| Circumferential bolt spacing | s        | [m]    |
| Longitudinal bolt spacing    | a        | [m]    |
| Bolt elastic moduls          | Eb       | [MPa]  |
| Ultimate failure load        | Fu       | [kN]   |
| Load deformation constant    | $\delta$ | [m/MN] |

**STEEL RIBS**

|      |         |                       |     |        |                    |
|------|---------|-----------------------|-----|--------|--------------------|
| HSA  | IPN 120 | Number of profiles    | n   | 2,00   | [-]                |
| HSE  | IPN 140 | Steel ribs spacing    | s   | 1,00   | [m]                |
| HSH  | IPN 160 | Cross section Area    | As  | 79,00  | [cm <sup>2</sup> ] |
| HSL  | IPN 180 | Moment of Inertia     | Iy  | 6120,0 | [cm <sup>4</sup> ] |
| HSU  | IPN 200 | Yielding strength     | fyd | 275,00 | [MPa]              |
| IPE  | IPN 220 | Homogenization coeff. | n   | 10,00  | [-]                |
| IPEA | IPN 240 | Gap ground/support    | g   | 0,00   | [cm]               |
| IPEO | IPN 260 |                       |     |        |                    |
| IPEX | IPN 280 |                       |     |        |                    |
| IPN  | IPN 300 |                       |     |        |                    |

|   |       |       |         |
|---|-------|-------|---------|
| Stiffness reduction factor for Shotcrete and Steel Ribs | Ka    | 0,11  | [-]     |
| Stiffness reduction factor for Rock Bolts               | Kbolt | 1,00  | [-]     |
| Distance of support                                     | d     | 0,00  | [m]     |
| Total Stiffness   | Kt    | 12,02 | [MPa/m] |

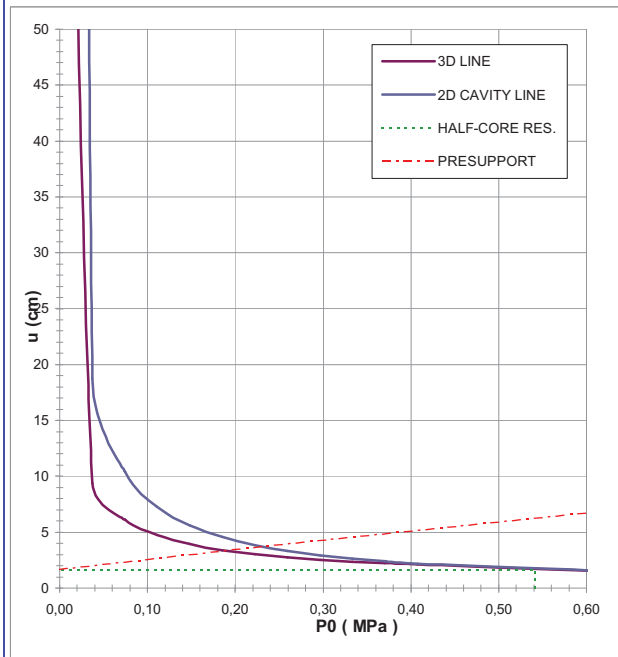
**FINAL LINING**

**CONCRETE**

|                               |       |       |       |
|-------------------------------|-------|-------|-------|
| Elastic Modulus               | Ec    | 31476 | [MPa] |
| Poisson's Ratio               | $\nu$ | 0,2   | [-]   |
| Thickness                     | T     | 90    | [cm]  |
| Concrete compression strenght | fcd   | 14,17 | [MPa] |

**STEEL REINFORCEMENTS**

|                            |        |       |
|----------------------------|--------|-------|
| Diameter of the steel bars | $\phi$ | [mm]  |
| Steel bars spacing         | s      | [cm]  |
| Number of set              | n      | [-]   |
| Yielding strength          | fyd    | [MPa] |



|                           |                    | AN1    | AN2 | AN3 | AN4 | AN5 | AN6 |
|---------------------------|--------------------|--------|-----|-----|-----|-----|-----|
| Critical pressure         | Pcr [MPa]          | 0,42   |     |     |     |     |     |
| Max cavity def. (2D)      | $u_{2d}$ [cm]      | 527,58 |     |     |     |     |     |
| Rpl (2D)/Ro               | $Rp_{max}/r0$ [-]  | 13,28  |     |     |     |     |     |
| Cavity def. at the face   | $u_f$ [cm]         | 1,69   |     |     |     |     |     |
| Rpl (Face)/Ro             | $Rp_{face}/r0$ [-] | 0,90   |     |     |     |     |     |
| Deformation at (x) m      | $u_{(x)}$ [cm]     | 1,69   |     |     |     |     |     |
| Def.at (x)m regarding gap | $u'_{(x)}$ [cm]    | 1,69   |     |     |     |     |     |
| Def.at equilibrium point  | ueq [cm]           | 3,70   |     |     |     |     |     |
| Conv.at equilibrium point | Ceq [cm]           | 4,03   |     |     |     |     |     |
| Rpl (eq)/Ro               | $Rp_{eq}/r0$ [-]   | 1,24   |     |     |     |     |     |
| Equilibrium pressure      | C1 [MPa]           | 0,24   |     |     |     |     |     |

|                         |                      | AN1   | AN2 | AN3 | AN4 | AN5 | AN6 |
|-------------------------|----------------------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|
| Presupp.el. deformation | ulim [cm]            | 9,87  |     |     |     |     |     |
| Presupport stress       | $\sigma_{sup}$ [MPa] | 6,21  |     |     |     |     |     |
| Steel ribs stress       | $\sigma_{st}$ [MPa]  | 62,13 |     |     |     |     |     |
| Shotcrete stress        | $\sigma_{sc}$ [MPa]  | 6,21  |     |     |     |     |     |
| Bolt stress             | $\sigma_{rb}$ [MPa]  | -     |     |     |     |     |     |

|                      |                      | AN1  | AN2 | AN3 | AN4 | AN5 | AN6 |
|----------------------|----------------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| Support stress       | $\sigma_{def}$ [MPa] | 2,28 |     |     |     |     |     |
| Concrete stress      | $\sigma_b$ [MPa]     | 2,28 |     |     |     |     |     |
| Reinforcement stress | $\sigma_s$ [MPa]     | -    |     |     |     |     |     |

**PROGETTO**

PONTE SULLO STRETTO  
 GALLERIA FARO SUPERIORE  
 SEZIONE TIPO C1 + 1.05m, COPERTURA 80m - GHIAIE DI MESSINA

DIAGNOSI  
 TERAPIA



**INPUT DATA (Diagnosis phase)**

**Geometrical Data**

|                              |          |
|------------------------------|----------|
| Equivalent Tunnel Radius     | $r_i$    |
| Overburden                   | H        |
| Unit weight of the rock mass | $\gamma$ |

| ANALYSIS n°1            | ANALYSIS n°2         |
|-------------------------|----------------------|
| 8 [m]                   | [m]                  |
| 80 [m]                  | [m]                  |
| 19 [kN/m <sup>3</sup> ] | [kN/m <sup>3</sup> ] |

| ANALYSIS n°3         | ANALYSIS n°4         |
|----------------------|----------------------|
| [m]                  | [m]                  |
| [m]                  | [m]                  |
| [kN/m <sup>3</sup> ] | [kN/m <sup>3</sup> ] |

| ANALYSIS n°5         | ANALYSIS n°6         |
|----------------------|----------------------|
| [m]                  | [m]                  |
| [m]                  | [m]                  |
| [kN/m <sup>3</sup> ] | [kN/m <sup>3</sup> ] |

**Resistance Parameters**

|                                    |             |
|------------------------------------|-------------|
| Cohesion in the elastic zone       | Cel         |
| Cohesion in the plastic zone       | Cpl         |
| Friction angle in the elastic zone | $\Phi_{el}$ |
| Friction angle in the plastic zone | $\Phi_{pl}$ |

|           |       |
|-----------|-------|
| 5 [kPa]   | [kPa] |
| 0,4 [kPa] | [kPa] |
| 39 [°]    | [°]   |
| 34 [°]    | [°]   |

|       |       |
|-------|-------|
| [kPa] | [kPa] |
| [kPa] | [kPa] |
| [°]   | [°]   |
| [°]   | [°]   |

|       |       |
|-------|-------|
| [kPa] | [kPa] |
| [kPa] | [kPa] |
| [°]   | [°]   |
| [°]   | [°]   |

**Elastic parameters**

|                                    |            |
|------------------------------------|------------|
| Deformation moduls in elastic zone | Eel        |
| Deformation moduls in plastic zone | Epl        |
| Poisson's ratio                    | $\nu$      |
| Volume increase in plastic zone    | $\Delta V$ |

|           |       |
|-----------|-------|
| 450 [MPa] | [MPa] |
| 450 [MPa] | [MPa] |
| 0,3 [-]   | [-]   |
| 0 [%]     | [%]   |

|       |       |
|-------|-------|
| [MPa] | [MPa] |
| [MPa] | [MPa] |
| [-]   | [-]   |
| [%]   | [%]   |

|       |       |
|-------|-------|
| [MPa] | [MPa] |
| [MPa] | [MPa] |
| [-]   | [-]   |
| [%]   | [%]   |

**PRECONFINEMENT (Therapy Phase)  Structural Elements**

**FACE PRECONFINEMENT (reinforcement elements)**

|                                  |            |         |                    |
|----------------------------------|------------|---------|--------------------|
| Number of reinforcements         | $n^\circ$  | 65      | [-]                |
| Design Length                    | L          | 9       | [m]                |
| Reinforcement's cross section    | Ael        | 14,5    | [cm <sup>2</sup> ] |
| Reinforcement's tensile strength | ftd        | 600     | [MPa]              |
| Drilling/Grouting Diameter       | Dp         | 300     | [mm]               |
| Grout-soil bond                  | $\tau d$   | 200     | [kPa]              |
| Cohesion improvement             | $\Delta c$ | 294,833 | [kPa]              |

**Jet grouting**

**FACE PRECONFINEMENT (jet grouting or similar)**

|                              |            |       |
|------------------------------|------------|-------|
| Number of reinforcements     | $n^\circ$  | [-]   |
| Design Length                | L          | [m]   |
| Coloumndiameter              | Dn         | [mm]  |
| Jet Cohesion                 | cjet       | [kPa] |
| Design cohesion for the soil | cs         | [kPa] |
| Cohesion improvement         | $\Delta c$ | [kPa] |

**SUPPORT DATA (Therapy Phase)**

**SHOTCRETE**

|                               |       |       |       |
|-------------------------------|-------|-------|-------|
| Elastic Modulus               | Esb   | 20000 | [MPa] |
| Poisson's Ratio               | $\nu$ | 0,2   | [-]   |
| Thickness                     | t     | 25    | [cm]  |
| Compression strenght (medium) | fcm   | 25    | [MPa] |

**ROCK BOLTS**

|                              |          |        |
|------------------------------|----------|--------|
| Bolt length                  | L        | [m]    |
| Bolt diameter                | d        | [cm]   |
| Circumferential bolt spacing | s        | [m]    |
| Longitudinal bolt spacing    | a        | [m]    |
| Bolt elastic moduls          | Eb       | [MPa]  |
| Ultimate failure load        | Fu       | [kN]   |
| Load deformation constant    | $\delta$ | [m/MN] |

**STEEL RIBS**

|      |         |                       |     |        |                    |
|------|---------|-----------------------|-----|--------|--------------------|
| HSA  | IPN 120 | Number of profiles    | n   | 2,00   | [-]                |
| HSE  | IPN 140 | Steel ribs spacing    | s   | 1,00   | [m]                |
| HSH  | IPN 160 | Cross section Area    | As  | 79,00  | [cm <sup>2</sup> ] |
| HSL  | IPN 180 | Moment of Inertia     | Iy  | 6120,0 | [cm <sup>4</sup> ] |
| HSU  | IPN 200 | Yielding strength     | fyd | 275,00 | [MPa]              |
| IPE  | IPN 220 | Homogenization coeff. | n   | 10,00  | [-]                |
| IPEA | IPN 240 | Gap ground/support    | g   | 0,00   | [cm]               |
| IPEO | IPN 260 |                       |     |        |                    |
| IPEX | IPN 280 |                       |     |        |                    |
| IPN  | IPN 300 |                       |     |        |                    |

|   |       |       |         |
|---|-------|-------|---------|
| Stiffness reduction factor for Shotcrete and Steel Ribs | Ka    | 0,11  | [-]     |
| Stiffness reduction factor for Rock Bolts               | Kbolt | 1,00  | [-]     |
| Distance of support                                     | d     | 0,00  | [m]     |
| Total Stiffness   | Kt    | 12,02 | [MPa/m] |

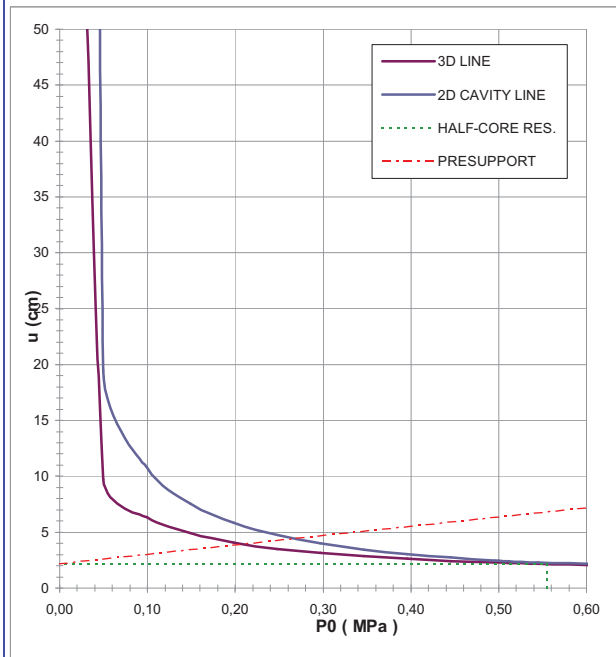
**FINAL LINING**

**CONCRETE**

|                               |       |       |       |
|-------------------------------|-------|-------|-------|
| Elastic Modulus               | Ec    | 31476 | [MPa] |
| Poisson's Ratio               | $\nu$ | 0,2   | [-]   |
| Thickness                     | T     | 90    | [cm]  |
| Concrete compression strenght | fcd   | 14,17 | [MPa] |

**STEEL REINFORCEMENTS**

|                            |        |       |
|----------------------------|--------|-------|
| Diameter of the steel bars | $\phi$ | [mm]  |
| Steel bars spacing         | s      | [cm]  |
| Number of set              | n      | [-]   |
| Yielding strength          | fyd    | [MPa] |



| DEFORMATION RESULTS       |                    |        |     |     |     |     |     |
|---------------------------|--------------------|--------|-----|-----|-----|-----|-----|
|                           |                    | AN1    | AN2 | AN3 | AN4 | AN5 | AN6 |
| Critical pressure         | Pcr [MPa]          | 0,56   |     |     |     |     |     |
| Max cavity def. (2D)      | $u_{2d=}$ [cm]     | 686,88 |     |     |     |     |     |
| Rpl (2D)/Ro               | $Rp_{max}/r0$ [-]  | 14,88  |     |     |     |     |     |
| Cavity def. at the face   | $u_f$ [cm]         | 2,17   |     |     |     |     |     |
| Rpl (Face)/Ro             | $Rp_{face}/r0$ [-] | 1,00   |     |     |     |     |     |
| Deformation at (x) m      | $u_{(x)}$ [cm]     | 2,17   |     |     |     |     |     |
| Def.at (x)m regarding gap | $u'_{(x)}$ [cm]    | 2,17   |     |     |     |     |     |
| Def.at equilibrium point  | ueq [cm]           | 4,44   |     |     |     |     |     |
| Conv.at equilibrium point | Ceq [cm]           | 4,53   |     |     |     |     |     |
| Rpl (eq)/Ro               | $Rp_{eq}/r0$ [-]   | 1,33   |     |     |     |     |     |
| Equilibrium pressure      | C1 [MPa]           | 0,27   |     |     |     |     |     |

| TEMPORARY LINING RESULTS |                      |       |     |     |     |     |     |
|--------------------------|----------------------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|
|                          |                      | AN1   | AN2 | AN3 | AN4 | AN5 | AN6 |
| Presupp.el. deformation  | ulim [cm]            | 10,35 |     |     |     |     |     |
| Presupport stress        | $\sigma_{sup}$ [MPa] | 6,99  |     |     |     |     |     |
| Steel ribs stress        | $\sigma_{st}$ [MPa]  | 69,87 |     |     |     |     |     |
| Shotcrete stress         | $\sigma_{sc}$ [MPa]  | 6,99  |     |     |     |     |     |
| Bolt stress              | $\sigma_{rb}$ [MPa]  | -     |     |     |     |     |     |

| SUPPORT RESULTS      |                      |      |
|----------------------|----------------------|------|
|                      |                      |      |
| Support stress       | $\sigma_{def}$ [MPa] | 2,57 |
| Concrete stress      | $\sigma_b$ [MPa]     | 2,57 |
| Reinforcement stress | $\sigma_s$ [MPa]     | -    |

**PROGETTO**

PONTE SULLO STRETTO  
 GALLERIA FARO SUPERIORE  
 SEZIONE TIPO C1 + ALLARGO, COPERTURA 45m - GHIAIE DI MESSINA

DIAGNOSI  
 TERAPIA



**INPUT DATA (Diagnosis phase)**

**Geometrical Data**

|                              |          |
|------------------------------|----------|
| Equivalent Tunnel Radius     | $r_i$    |
| Overburden                   | H        |
| Unit weight of the rock mass | $\gamma$ |

|                         |                      |
|-------------------------|----------------------|
| ANALYSIS n°1            | ANALYSIS n°2         |
| 8,75 [m]                | [m]                  |
| 45 [m]                  | [m]                  |
| 19 [kN/m <sup>3</sup> ] | [kN/m <sup>3</sup> ] |

|                      |                      |
|----------------------|----------------------|
| ANALYSIS n°3         | ANALYSIS n°4         |
| [m]                  | [m]                  |
| [m]                  | [m]                  |
| [kN/m <sup>3</sup> ] | [kN/m <sup>3</sup> ] |

|                      |                      |
|----------------------|----------------------|
| ANALYSIS n°5         | ANALYSIS n°6         |
| [m]                  | [m]                  |
| [m]                  | [m]                  |
| [kN/m <sup>3</sup> ] | [kN/m <sup>3</sup> ] |

**Resistance Parameters**

|                                    |             |
|------------------------------------|-------------|
| Cohesion in the elastic zone       | Cel         |
| Cohesion in the plastic zone       | Cpl         |
| Friction angle in the elastic zone | $\Phi_{el}$ |
| Friction angle in the plastic zone | $\Phi_{pl}$ |

|         |       |
|---------|-------|
| 5 [kPa] | [kPa] |
| 0 [kPa] | [kPa] |
| 39 [°]  | [°]   |
| 34 [°]  | [°]   |

|       |       |
|-------|-------|
| [kPa] | [kPa] |
| [kPa] | [kPa] |
| [°]   | [°]   |
| [°]   | [°]   |

|       |       |
|-------|-------|
| [kPa] | [kPa] |
| [kPa] | [kPa] |
| [°]   | [°]   |
| [°]   | [°]   |

**Elastic parameters**

|                                    |            |
|------------------------------------|------------|
| Deformation moduls in elastic zone | Eel        |
| Deformation moduls in plastic zone | Epl        |
| Poisson's ratio                    | $\nu$      |
| Volume increase in plastic zone    | $\Delta V$ |

|           |       |
|-----------|-------|
| 275 [MPa] | [MPa] |
| 275 [MPa] | [MPa] |
| 0,3 [-]   | [-]   |
| 0 [%]     | [%]   |

|       |       |
|-------|-------|
| [MPa] | [MPa] |
| [MPa] | [MPa] |
| [-]   | [-]   |
| [%]   | [%]   |

|       |       |
|-------|-------|
| [MPa] | [MPa] |
| [MPa] | [MPa] |
| [-]   | [-]   |
| [%]   | [%]   |

**PRECONFINEMENT (Therapy Phase)**  Structural Elements

**FACE PRECONFINEMENT (reinforcement elements)**

|                                  |            |         |                    |
|----------------------------------|------------|---------|--------------------|
| Number of reinforcements         | $n^\circ$  | 70      | [-]                |
| Design Length                    | L          | 9       | [m]                |
| Reinforcement's cross section    | Ael        | 14,5    | [cm <sup>2</sup> ] |
| Reinforcement's tensile strength | ftd        | 600     | [MPa]              |
| Drilling/Grouting Diameter       | Dp         | 300     | [mm]               |
| Grout-soil bond                  | $\tau d$   | 100     | [kPa]              |
| Cohesion improvement             | $\Delta c$ | 258,773 | [kPa]              |

Jet grouting

**FACE PRECONFINEMENT (jet grouting or similar)**

|                              |            |       |
|------------------------------|------------|-------|
| Number of reinforcements     | $n^\circ$  | [-]   |
| Design Length                | L          | [m]   |
| Coloumndiameter              | Dn         | [mm]  |
| Jet Cohesion                 | cjet       | [kPa] |
| Design cohesion for the soil | cs         | [kPa] |
| Cohesion improvement         | $\Delta c$ | [kPa] |

**SUPPORT DATA (Therapy Phase)**

**SHOTCRETE**

|                               |       |       |       |
|-------------------------------|-------|-------|-------|
| Elastic Modulus               | Esb   | 20000 | [MPa] |
| Poisson's Ratio               | $\nu$ | 0,2   | [-]   |
| Thickness                     | t     | 25    | [cm]  |
| Compression strenght (medium) | fcm   | 25    | [MPa] |

**ROCK BOLTS**

|                              |          |        |
|------------------------------|----------|--------|
| Bolt length                  | L        | [m]    |
| Bolt diameter                | d        | [cm]   |
| Circumferential bolt spacing | s        | [m]    |
| Longitudinal bolt spacing    | a        | [m]    |
| Bolt elastic moduls          | Eb       | [MPa]  |
| Ultimate failure load        | Fu       | [kN]   |
| Load deformation constant    | $\delta$ | [m/MN] |

**STEEL RIBS**

|      |         |                       |     |        |                    |
|------|---------|-----------------------|-----|--------|--------------------|
| HSA  | IPN 120 | Number of profiles    | n   | 2,00   | [-]                |
| HSE  | IPN 140 | Steel ribs spacing    | s   | 1,00   | [m]                |
| HSH  | IPN 160 | Cross section Area    | As  | 92,20  | [cm <sup>2</sup> ] |
| HSL  | IPN 180 | Moment of Inertia     | Iy  | 8500,0 | [cm <sup>4</sup> ] |
| HSU  | IPN 200 | Yielding strength     | fyd | 275,00 | [MPa]              |
| IPE  | IPN 220 | Homogenization coeff. | n   | 10,00  | [-]                |
| IPEA | IPN 240 | Gap ground/support    | g   | 0,00   | [cm]               |
| IPEO | IPN 260 |                       |     |        |                    |
| IPEX | IPN 280 |                       |     |        |                    |
| IPN  | IPN 300 |                       |     |        |                    |

|   |       |       |         |
|---|-------|-------|---------|
| Stiffness reduction factor for Shotcrete and Steel Ribs | Ka    | 0,11  | [-]     |
| Stiffness reduction factor for Rock Bolts               | Kbolt | 1,00  | [-]     |
| Distance of support                                     | d     | 0,00  | [m]     |
| Total Stiffness   | Kt    | 10,43 | [MPa/m] |

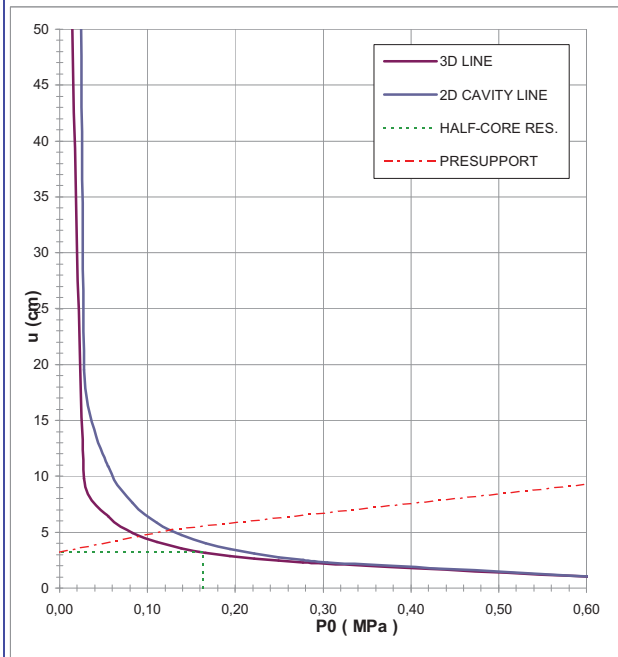
**FINAL LINING**

**CONCRETE**

|                               |       |       |       |
|-------------------------------|-------|-------|-------|
| Elastic Modulus               | Ec    | 31476 | [MPa] |
| Poisson's Ratio               | $\nu$ | 0,2   | [-]   |
| Thickness                     | T     | 90    | [cm]  |
| Concrete compression strenght | fcd   | 14,17 | [MPa] |

**STEEL REINFORCEMENTS**

|                            |        |       |
|----------------------------|--------|-------|
| Diameter of the steel bars | $\phi$ | [mm]  |
| Steel bars spacing         | s      | [cm]  |
| Number of set              | n      | [-]   |
| Yielding strength          | fyd    | [MPa] |



| DEFORMATION RESULTS       |                    |        |     |     |     |     |     |
|---------------------------|--------------------|--------|-----|-----|-----|-----|-----|
|                           |                    | AN1    | AN2 | AN3 | AN4 | AN5 | AN6 |
| Critical pressure         | Pcr [MPa]          | 0,31   |     |     |     |     |     |
| Max cavity def. (2D)      | $u_{2d}$ [cm]      | 438,64 |     |     |     |     |     |
| Rpl (2D)/Ro               | $Rp_{max}/r0$ [-]  | 11,84  |     |     |     |     |     |
| Cavity def. at the face   | $u_f$ [cm]         | 3,21   |     |     |     |     |     |
| Rpl (Face)/Ro             | $Rp_{face}/r0$ [-] | 1,17   |     |     |     |     |     |
| Deformation at (x) m      | $u_{(x)}$ [cm]     | 3,21   |     |     |     |     |     |
| Def.at (x)m regarding gap | $u'_{(x)}$ [cm]    | 3,21   |     |     |     |     |     |
| Def.at equilibrium point  | ueq [cm]           | 5,20   |     |     |     |     |     |
| Conv.at equilibrium point | Ceq [cm]           | 3,99   |     |     |     |     |     |
| Rpl (eq)/Ro               | $Rp_{eq}/r0$ [-]   | 1,17   |     |     |     |     |     |
| Equilibrium pressure      | C1 [MPa]           | 0,21   |     |     |     |     |     |

| TEMPORARY LINING RESULTS |                      |       |     |     |     |     |     |
|--------------------------|----------------------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|
|                          |                      | AN1   | AN2 | AN3 | AN4 | AN5 | AN6 |
| Presupp.el. deformation  | ulim [cm]            | 12,16 |     |     |     |     |     |
| Presupport stress        | $\sigma_{sup}$ [MPa] | 5,63  |     |     |     |     |     |
| Steel ribs stress        | $\sigma_{st}$ [MPa]  | 56,27 |     |     |     |     |     |
| Shotcrete stress         | $\sigma_{sc}$ [MPa]  | 5,63  |     |     |     |     |     |
| Bolt stress              | $\sigma_{rb}$ [MPa]  | -     |     |     |     |     |     |

| SUPPORT RESULTS      |                      |      |     |     |     |     |     |
|----------------------|----------------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|
|                      |                      | AN1  | AN2 | AN3 | AN4 | AN5 | AN6 |
| Support stress       | $\sigma_{def}$ [MPa] | 2,13 |     |     |     |     |     |
| Concrete stress      | $\sigma_b$ [MPa]     | 2,13 |     |     |     |     |     |
| Reinforcement stress | $\sigma_s$ [MPa]     | -    |     |     |     |     |     |

**PROGETTO**

PONTE SULLO STRETTO  
 GALLERIA FARO SUPERIORE  
 SEZIONE TIPO C1 - ALLARGO COPERTURA 55m - GHIAIE DI MESSINA

DIAGNOSI

TERAPIA



**INPUT DATA (Diagnosis phase)**

**Geometrical Data**

|                              |          |
|------------------------------|----------|
| Equivalent Tunnel Radius     | $r_i$    |
| Overburden                   | H        |
| Unit weight of the rock mass | $\gamma$ |

|                         |                      |
|-------------------------|----------------------|
| ANALYSIS n°1            | ANALYSIS n°2         |
| 8,75 [m]                | [m]                  |
| 55 [m]                  | [m]                  |
| 19 [kN/m <sup>3</sup> ] | [kN/m <sup>3</sup> ] |

|                      |                      |
|----------------------|----------------------|
| ANALYSIS n°3         | ANALYSIS n°4         |
| [m]                  | [m]                  |
| [m]                  | [m]                  |
| [kN/m <sup>3</sup> ] | [kN/m <sup>3</sup> ] |

|                      |                      |
|----------------------|----------------------|
| ANALYSIS n°5         | ANALYSIS n°6         |
| [m]                  | [m]                  |
| [m]                  | [m]                  |
| [kN/m <sup>3</sup> ] | [kN/m <sup>3</sup> ] |

**Resistance Parameters**

|                                    |             |
|------------------------------------|-------------|
| Cohesion in the elastic zone       | Cel         |
| Cohesion in the plastic zone       | Cpl         |
| Friction angle in the elastic zone | $\Phi_{el}$ |
| Friction angle in the plastic zone | $\Phi_{pl}$ |

|         |       |
|---------|-------|
| 5 [kPa] | [kPa] |
| 0 [kPa] | [kPa] |
| 39 [°]  | [°]   |
| 34 [°]  | [°]   |

|       |       |
|-------|-------|
| [kPa] | [kPa] |
| [kPa] | [kPa] |
| [°]   | [°]   |
| [°]   | [°]   |

|       |       |
|-------|-------|
| [kPa] | [kPa] |
| [kPa] | [kPa] |
| [°]   | [°]   |
| [°]   | [°]   |

**Elastic parameters**

|                                    |            |
|------------------------------------|------------|
| Deformation moduls in elastic zone | Eel        |
| Deformation moduls in plastic zone | Epl        |
| Poisson's ratio                    | $\nu$      |
| Volume increase in plastic zone    | $\Delta V$ |

|           |       |
|-----------|-------|
| 350 [MPa] | [MPa] |
| 350 [MPa] | [MPa] |
| 0,3 [-]   | [-]   |
| 0 [%]     | [%]   |

|       |       |
|-------|-------|
| [MPa] | [MPa] |
| [MPa] | [MPa] |
| [-]   | [-]   |
| [%]   | [%]   |

|       |       |
|-------|-------|
| [MPa] | [MPa] |
| [MPa] | [MPa] |
| [-]   | [-]   |
| [%]   | [%]   |

**PRECONFINEMENT (Therapy Phase)  Structural Elements**

**FACE PRECONFINEMENT (reinforcement elements)**

|                                  |            |         |                    |
|----------------------------------|------------|---------|--------------------|
| Number of reinforcements         | $n^\circ$  | 80      | [-]                |
| Design Length                    | L          | 9       | [m]                |
| Reinforcement's cross section    | Ael        | 14,5    | [cm <sup>2</sup> ] |
| Reinforcement's tensile strength | ftd        | 600     | [MPa]              |
| Drilling/Grouting Diameter       | Dp         | 300     | [mm]               |
| Grout-soil bond                  | $\tau_d$   | 100     | [kPa]              |
| Cohesion improvement             | $\Delta c$ | 295,741 | [kPa]              |

**Jet grouting**

**FACE PRECONFINEMENT (jet grouting or similar)**

|                              |            |       |
|------------------------------|------------|-------|
| Number of reinforcements     | $n^\circ$  | [-]   |
| Design Length                | L          | [m]   |
| Coloumndiameter              | Dn         | [mm]  |
| Jet Cohesion                 | cjet       | [kPa] |
| Design cohesion for the soil | cs         | [kPa] |
| Cohesion improvement         | $\Delta c$ | [kPa] |

**SUPPORT DATA (Therapy Phase)**

**SHOTCRETE**

|                               |       |       |       |
|-------------------------------|-------|-------|-------|
| Elastic Modulus               | Esb   | 20000 | [MPa] |
| Poisson's Ratio               | $\nu$ | 0,2   | [-]   |
| Thickness                     | t     | 25    | [cm]  |
| Compression strenght (medium) | fcm   | 25    | [MPa] |

**ROCK BOLTS**

|                              |          |        |
|------------------------------|----------|--------|
| Bolt length                  | L        | [m]    |
| Bolt diameter                | d        | [cm]   |
| Circumferential bolt spacing | s        | [m]    |
| Longitudinal bolt spacing    | a        | [m]    |
| Bolt elastic moduls          | Eb       | [MPa]  |
| Ultimate failure load        | Fu       | [kN]   |
| Load deformation constant    | $\delta$ | [m/MN] |

**STEEL RIBS**

|      |         |                       |     |        |                    |
|------|---------|-----------------------|-----|--------|--------------------|
| HSA  | IPN 120 | Number of profiles    | n   | 2,00   | [-]                |
| HSE  | IPN 140 | Steel ribs spacing    | s   | 1,00   | [m]                |
| HSH  | IPN 160 | Cross section Area    | As  | 92,20  | [cm <sup>2</sup> ] |
| HSL  | IPN 180 | Moment of Inertia     | Iy  | 8500,0 | [cm <sup>4</sup> ] |
| HSU  | IPN 200 | Yielding strength     | fyd | 275,00 | [MPa]              |
| IPE  | IPN 220 | Homogenization coeff. | n   | 10,00  | [-]                |
| IPEA | IPN 240 | Gap ground/support    | g   | 0,00   | [cm]               |
| IPEO | IPN 260 |                       |     |        |                    |
| IPEX | IPN 280 |                       |     |        |                    |
| IPN  | IPN 300 |                       |     |        |                    |

|   |       |       |         |
|---|-------|-------|---------|
| Stiffness reduction factor for Shotcrete and Steel Ribs | Ka    | 0,11  | [-]     |
| Stiffness reduction factor for Rock Bolts               | Kbolt | 1,00  | [-]     |
| Distance of support                                     | d     | 0,00  | [m]     |
| Total Stiffness   | Kt    | 10,43 | [MPa/m] |

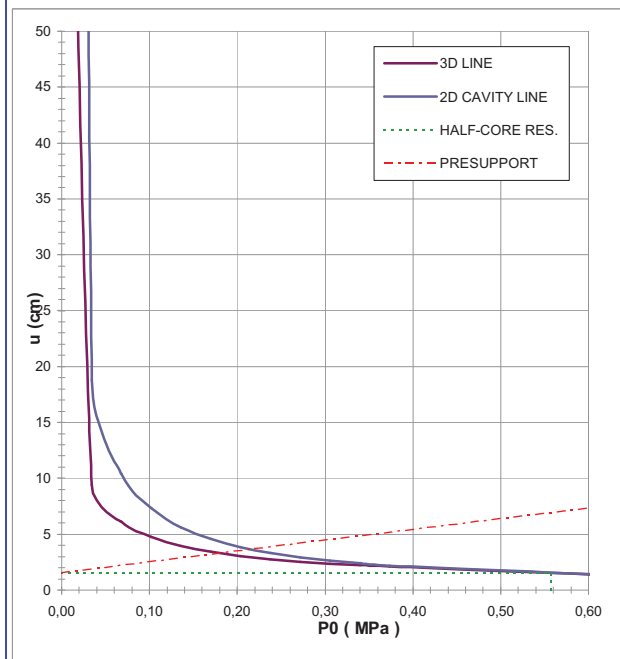
**FINAL LINING**

**CONCRETE**

|                               |       |       |       |
|-------------------------------|-------|-------|-------|
| Elastic Modulus               | Ec    | 31476 | [MPa] |
| Poisson's Ratio               | $\nu$ | 0,2   | [-]   |
| Thickness                     | T     | 90    | [cm]  |
| Concrete compression strenght | fcd   | 14,17 | [MPa] |

**STEEL REINFORCEMENTS**

|                            |        |       |
|----------------------------|--------|-------|
| Diameter of the steel bars | $\phi$ | [mm]  |
| Steel bars spacing         | s      | [cm]  |
| Number of set              | n      | [-]   |
| Yielding strength          | fyd    | [MPa] |



| DEFORMATION RESULTS       |                        |        |     |     |     |     |     |
|---------------------------|------------------------|--------|-----|-----|-----|-----|-----|
|                           |                        | AN1    | AN2 | AN3 | AN4 | AN5 | AN6 |
| Critical pressure         | $P_{cr}$ [MPa]         | 0,38   |     |     |     |     |     |
| Max cavity def. (2D)      | $u_{2d=}$ [cm]         | 493,76 |     |     |     |     |     |
| Rpl (2D)/Ro               | $R_{p_{max}}/r_0$ [-]  | 12,83  |     |     |     |     |     |
| Cavity def. at the face   | $u_f$ [cm]             | 1,57   |     |     |     |     |     |
| Rpl (Face)/Ro             | $R_{p_{face}}/r_0$ [-] | 0,86   |     |     |     |     |     |
| Deformation at (x) m      | $u_{(x)}$ [cm]         | 1,57   |     |     |     |     |     |
| Def.at (x)m regarding gap | $u'_{(x)}$ [cm]        | 1,57   |     |     |     |     |     |
| Def.at equilibrium point  | $u_{eq}$ [cm]          | 3,65   |     |     |     |     |     |
| Conv.at equilibrium point | $C_{eq}$ [cm]          | 4,18   |     |     |     |     |     |
| Rpl (eq)/Ro               | $R_{p_{eq}}/r_0$ [-]   | 1,25   |     |     |     |     |     |
| Equilibrium pressure      | C1 [MPa]               | 0,22   |     |     |     |     |     |

| TEMPORARY LINING RESULTS |                      |       |     |     |     |     |     |
|--------------------------|----------------------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|
|                          |                      | AN1   | AN2 | AN3 | AN4 | AN5 | AN6 |
| Presupp.el. deformation  | $u_{lim}$ [cm]       | 10,52 |     |     |     |     |     |
| Presupport stress        | $\sigma_{sup}$ [MPa] | 5,89  |     |     |     |     |     |
| Steel ribs stress        | $\sigma_{st}$ [MPa]  | 58,89 |     |     |     |     |     |
| Shotcrete stress         | $\sigma_{sc}$ [MPa]  | 5,89  |     |     |     |     |     |
| Bolt stress              | $\sigma_{rb}$ [MPa]  | -     |     |     |     |     |     |

| SUPPORT RESULTS      |                      |      |     |     |     |     |     |
|----------------------|----------------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|
|                      |                      | AN1  | AN2 | AN3 | AN4 | AN5 | AN6 |
| Support stress       | $\sigma_{def}$ [MPa] | 2,23 |     |     |     |     |     |
| Concrete stress      | $\sigma_b$ [MPa]     | 2,23 |     |     |     |     |     |
| Reinforcement stress | $\sigma_s$ [MPa]     | -    |     |     |     |     |     |

PROGETTO

PONTE SULLO STRETTO  
 GALLERIA FARO SUPERIORE  
 SEZIONE TIPO C1 + 1,05 + PIAZZOLA, COPERTURA 45m - GHIAIE DI MESSINA, GR.1

DIAGNOSI  
 TERAPIA



INPUT DATA (Diagnosis phase)

Geometrical Data

|                              |          |
|------------------------------|----------|
| Equivalent Tunnel Radius     | $r_i$    |
| Overburden                   | H        |
| Unit weight of the rock mass | $\gamma$ |

| ANALYSIS n°1            | ANALYSIS n°2         |
|-------------------------|----------------------|
| 9,5 [m]                 | [m]                  |
| 45 [m]                  | [m]                  |
| 19 [kN/m <sup>3</sup> ] | [kN/m <sup>3</sup> ] |

| ANALYSIS n°3         | ANALYSIS n°4         |
|----------------------|----------------------|
| [m]                  | [m]                  |
| [m]                  | [m]                  |
| [kN/m <sup>3</sup> ] | [kN/m <sup>3</sup> ] |

| ANALYSIS n°5         | ANALYSIS n°6         |
|----------------------|----------------------|
| [m]                  | [m]                  |
| [m]                  | [m]                  |
| [kN/m <sup>3</sup> ] | [kN/m <sup>3</sup> ] |

Resistance Parameters

|                                    |             |
|------------------------------------|-------------|
| Cohesion in the elastic zone       | Cel         |
| Cohesion in the plastic zone       | Cpl         |
| Friction angle in the elastic zone | $\Phi_{el}$ |
| Friction angle in the plastic zone | $\Phi_{pl}$ |

|         |       |
|---------|-------|
| 5 [kPa] | [kPa] |
| 0 [kPa] | [kPa] |
| 39 [°]  | [°]   |
| 34 [°]  | [°]   |

|       |       |
|-------|-------|
| [kPa] | [kPa] |
| [kPa] | [kPa] |
| [°]   | [°]   |
| [°]   | [°]   |

|       |       |
|-------|-------|
| [kPa] | [kPa] |
| [kPa] | [kPa] |
| [°]   | [°]   |
| [°]   | [°]   |

Elastic parameters

|                                    |            |
|------------------------------------|------------|
| Deformation moduls in elastic zone | Eel        |
| Deformation moduls in plastic zone | Epl        |
| Poisson's ratio                    | $\nu$      |
| Volume increase in plastic zone    | $\Delta V$ |

|           |       |
|-----------|-------|
| 275 [MPa] | [MPa] |
| 275 [MPa] | [MPa] |
| 0,3 [-]   | [-]   |
| 0 [%]     | [%]   |

|       |       |
|-------|-------|
| [MPa] | [MPa] |
| [MPa] | [MPa] |
| [-]   | [-]   |
| [%]   | [%]   |

|       |       |
|-------|-------|
| [MPa] | [MPa] |
| [MPa] | [MPa] |
| [-]   | [-]   |
| [%]   | [%]   |

PRECONFINEMENT (Therapy Phase)  Structural Elements

FACE PRECONFINEMENT (reinforcement elements)

|                                  |            |         |                    |
|----------------------------------|------------|---------|--------------------|
| Number of reinforcements         | $n^\circ$  | 82      | [-]                |
| Design Length                    | L          | 9       | [m]                |
| Reinforcement's cross section    | Ael        | 14,5    | [cm <sup>2</sup> ] |
| Reinforcement's tensile strength | ftd        | 600     | [MPa]              |
| Drilling/Grouting Diameter       | Dp         | 300     | [mm]               |
| Grout-soil bond                  | $\tau_d$   | 100     | [kPa]              |
| Cohesion improvement             | $\Delta c$ | 257,161 | [kPa]              |

Jet grouting

FACE PRECONFINEMENT (jet grouting or similar)

|                              |            |       |
|------------------------------|------------|-------|
| Number of reinforcements     | $n^\circ$  | [-]   |
| Design Length                | L          | [m]   |
| Coloumndiameter              | Dn         | [mm]  |
| Jet Cohesion                 | cjet       | [kPa] |
| Design cohesion for the soil | cs         | [kPa] |
| Cohesion improvement         | $\Delta c$ | [kPa] |

SUPPORT DATA (Therapy Phase)

SHOTCRETE

|                               |                 |       |       |
|-------------------------------|-----------------|-------|-------|
| Elastic Modulus               | Esb             | 20000 | [MPa] |
| Poisson's Ratio               | $\nu$           | 0,2   | [-]   |
| Thickness                     | t               | 30    | [cm]  |
| Compression strenght (medium) | fc <sub>m</sub> | 25    | [MPa] |

ROCK BOLTS

|                              |          |        |
|------------------------------|----------|--------|
| Bolt length                  | L        | [m]    |
| Bolt diameter                | d        | [cm]   |
| Circumferential bolt spacing | s        | [m]    |
| Longitudinal bolt spacing    | a        | [m]    |
| Bolt elastic moduls          | Eb       | [MPa]  |
| Ultimate failure load        | Fu       | [kN]   |
| Load deformation constant    | $\delta$ | [m/MN] |

STEEL RIBS

|      |         |                       |                 |         |                    |
|------|---------|-----------------------|-----------------|---------|--------------------|
| HSA  | IPN 120 | Number of profiles    | n               | 2,00    | [-]                |
| HSE  | IPN 140 | Steel ribs spacing    | s               | 0,90    | [m]                |
| HSH  | IPN 160 | Cross section Area    | As              | 118,44  | [cm <sup>2</sup> ] |
| HSL  | IPN 180 | Moment of Inertia     | Iy              | 12755,6 | [cm <sup>4</sup> ] |
| HSU  | IPN 200 | Yielding strength     | f <sub>yd</sub> | 275,00  | [MPa]              |
| IPE  | IPN 220 | Homogenization coeff. | n               | 10,00   | [-]                |
| IPEA | IPN 240 | Gap ground/support    | g               | 0,00    | [cm]               |
| IPEO | IPN 260 |                       |                 |         |                    |
| IPEX | IPN 280 |                       |                 |         |                    |
| IPN  | IPN 300 |                       |                 |         |                    |

|   |       |       |         |
|---|-------|-------|---------|
| Stiffness reduction factor for Shotcrete and Steel Ribs | Ka    | 0,11  | [-]     |
| Stiffness reduction factor for Rock Bolts               | Kbolt | 1,00  | [-]     |
| Distance of support                                     | d     | 0,00  | [m]     |
| Total Stiffness   | Kt    | 10,83 | [MPa/m] |

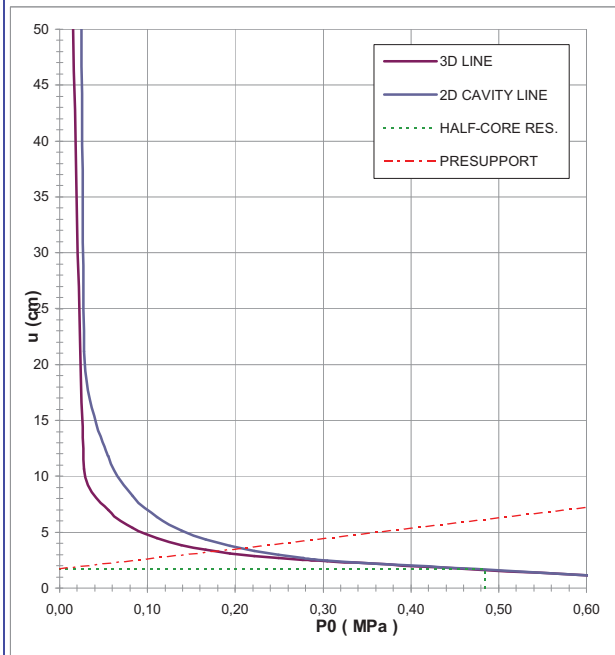
FINAL LINING

CONCRETE

|                               |                 |       |       |
|-------------------------------|-----------------|-------|-------|
| Elastic Modulus               | Ec              | 31476 | [MPa] |
| Poisson's Ratio               | $\nu$           | 0,2   | [-]   |
| Thickness                     | T               | 90    | [cm]  |
| Concrete compression strenght | fc <sub>d</sub> | 14,17 | [MPa] |

STEEL REINFORCEMENTS

|                            |                 |       |
|----------------------------|-----------------|-------|
| Diameter of the steel bars | $\phi$          | [mm]  |
| Steel bars spacing         | s               | [cm]  |
| Number of set              | n               | [-]   |
| Yielding strength          | f <sub>yd</sub> | [MPa] |



| DEFORMATION RESULTS       |                            |        |     |     |     |     |     |
|---------------------------|----------------------------|--------|-----|-----|-----|-----|-----|
|                           |                            | AN1    | AN2 | AN3 | AN4 | AN5 | AN6 |
| Critical pressure         | Pcr [MPa]                  | 0,31   |     |     |     |     |     |
| Max cavity def. (2D)      | u <sub>2d</sub> [cm]       | 476,24 |     |     |     |     |     |
| Rpl (2D)/Ro               | Rp <sub>max</sub> /r0 [-]  | 11,84  |     |     |     |     |     |
| Cavity def. at the face   | u <sub>f</sub> [cm]        | 1,71   |     |     |     |     |     |
| Rpl (Face)/Ro             | Rp <sub>face</sub> /r0 [-] | 0,84   |     |     |     |     |     |
| Deformation at (x) m      | u <sub>(x)</sub> [cm]      | 1,71   |     |     |     |     |     |
| Def.at (x)m regarding gap | u' <sub>(x)</sub> [cm]     | 1,71   |     |     |     |     |     |
| Def.at equilibrium point  | ueq [cm]                   | 3,57   |     |     |     |     |     |
| Conv.at equilibrium point | Ceq [cm]                   | 3,72   |     |     |     |     |     |
| Rpl (eq)/Ro               | Rp <sub>eq</sub> /r0 [-]   | 1,19   |     |     |     |     |     |
| Equilibrium pressure      | C1 [MPa]                   | 0,20   |     |     |     |     |     |

| TEMPORARY LINING RESULTS |                      |       |     |     |     |     |     |
|--------------------------|----------------------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|
|                          |                      | AN1   | AN2 | AN3 | AN4 | AN5 | AN6 |
| Presupp.el. deformation  | ulim [cm]            | 11,37 |     |     |     |     |     |
| Presupport stress        | $\sigma_{sup}$ [MPa] | 4,86  |     |     |     |     |     |
| Steel ribs stress        | $\sigma_{st}$ [MPa]  | 48,63 |     |     |     |     |     |
| Shotcrete stress         | $\sigma_{sc}$ [MPa]  | 4,86  |     |     |     |     |     |
| Bolt stress              | $\sigma_{rb}$ [MPa]  | -     |     |     |     |     |     |

| SUPPORT RESULTS      |                      |      |
|----------------------|----------------------|------|
|                      |                      |      |
| Support stress       | $\sigma_{def}$ [MPa] | 2,23 |
| Concrete stress      | $\sigma_b$ [MPa]     | 2,23 |
| Reinforcement stress | $\sigma_s$ [MPa]     | -    |



**PROGETTO**

PONTE SULLO STRETTO  
 GALLERIA FARO SUPERIORE  
 SEZIONE TIPO C1+1,05+PIAZZOLA - ALLARGO COPERTURA 55m - GHIAIE DI MESSINA, GR.1

DIAGNOSI  
 TERAPIA



**INPUT DATA (Diagnosis phase)**

**Geometrical Data**

|                              |          |
|------------------------------|----------|
| Equivalent Tunnel Radius     | $r_i$    |
| Overburden                   | H        |
| Unit weight of the rock mass | $\gamma$ |

|                         |                      |
|-------------------------|----------------------|
| ANALYSIS n°1            | ANALYSIS n°2         |
| 9,5 [m]                 | [m]                  |
| 55 [m]                  | [m]                  |
| 19 [kN/m <sup>3</sup> ] | [kN/m <sup>3</sup> ] |

|                      |                      |
|----------------------|----------------------|
| ANALYSIS n°3         | ANALYSIS n°4         |
| [m]                  | [m]                  |
| [m]                  | [m]                  |
| [kN/m <sup>3</sup> ] | [kN/m <sup>3</sup> ] |

|                      |                      |
|----------------------|----------------------|
| ANALYSIS n°5         | ANALYSIS n°6         |
| [m]                  | [m]                  |
| [m]                  | [m]                  |
| [kN/m <sup>3</sup> ] | [kN/m <sup>3</sup> ] |

**Resistance Parameters**

|                                    |             |
|------------------------------------|-------------|
| Cohesion in the elastic zone       | Cel         |
| Cohesion in the plastic zone       | Cpl         |
| Friction angle in the elastic zone | $\Phi_{el}$ |
| Friction angle in the plastic zone | $\Phi_{pl}$ |

|         |       |
|---------|-------|
| 5 [kPa] | [kPa] |
| 0 [kPa] | [kPa] |
| 39 [°]  | [°]   |
| 34 [°]  | [°]   |

|       |       |
|-------|-------|
| [kPa] | [kPa] |
| [kPa] | [kPa] |
| [°]   | [°]   |
| [°]   | [°]   |

|       |       |
|-------|-------|
| [kPa] | [kPa] |
| [kPa] | [kPa] |
| [°]   | [°]   |
| [°]   | [°]   |

**Elastic parameters**

|                                    |            |
|------------------------------------|------------|
| Deformation moduls in elastic zone | Eel        |
| Deformation moduls in plastic zone | Epl        |
| Poisson's ratio                    | $\nu$      |
| Volume increase in plastic zone    | $\Delta V$ |

|           |       |
|-----------|-------|
| 350 [MPa] | [MPa] |
| 350 [MPa] | [MPa] |
| 0,3 [-]   | [-]   |
| 0 [%]     | [%]   |

|       |       |
|-------|-------|
| [MPa] | [MPa] |
| [MPa] | [MPa] |
| [-]   | [-]   |
| [%]   | [%]   |

|       |       |
|-------|-------|
| [MPa] | [MPa] |
| [MPa] | [MPa] |
| [-]   | [-]   |
| [%]   | [%]   |

**PRECONFINEMENT (Therapy Phase)  Structural Elements**

**FACE PRECONFINEMENT (reinforcement elements)**

|                                  |            |         |                    |
|----------------------------------|------------|---------|--------------------|
| Number of reinforcements         | $n^\circ$  | 100     | [-]                |
| Design Length                    | L          | 9       | [m]                |
| Reinforcement's cross section    | Ael        | 14,5    | [cm <sup>2</sup> ] |
| Reinforcement's tensile strength | ftd        | 600     | [MPa]              |
| Drilling/Grouting Diameter       | Dp         | 300     | [mm]               |
| Grout-soil bond                  | $\tau_d$   | 100     | [kPa]              |
| Cohesion improvement             | $\Delta c$ | 313,610 | [kPa]              |

**Jet grouting**

**FACE PRECONFINEMENT (jet grouting or similar)**

|                              |            |       |
|------------------------------|------------|-------|
| Number of reinforcements     | $n^\circ$  | [-]   |
| Design Length                | L          | [m]   |
| Coloumndiameter              | Dn         | [mm]  |
| Jet Cohesion                 | cjet       | [kPa] |
| Design cohesion for the soil | cs         | [kPa] |
| Cohesion improvement         | $\Delta c$ | [kPa] |

**SUPPORT DATA (Therapy Phase)**

**SHOTCRETE**

|                               |       |       |       |
|-------------------------------|-------|-------|-------|
| Elastic Modulus               | Esb   | 20000 | [MPa] |
| Poisson's Ratio               | $\nu$ | 0,2   | [-]   |
| Thickness                     | t     | 30    | [cm]  |
| Compression strenght (medium) | fcm   | 25    | [MPa] |

**ROCK BOLTS**

|                              |          |        |
|------------------------------|----------|--------|
| Bolt length                  | L        | [m]    |
| Bolt diameter                | d        | [cm]   |
| Circumferential bolt spacing | s        | [m]    |
| Longitudinal bolt spacing    | a        | [m]    |
| Bolt elastic moduls          | Eb       | [MPa]  |
| Ultimate failure load        | Fu       | [kN]   |
| Load deformation constant    | $\delta$ | [m/MN] |

**STEEL RIBS**

|      |         |                       |     |         |                    |
|------|---------|-----------------------|-----|---------|--------------------|
| HSA  | IPN 120 | Number of profiles    | n   | 2,00    | [-]                |
| HSE  | IPN 140 | Steel ribs spacing    | s   | 0,90    | [m]                |
| HSH  | IPN 160 | Cross section Area    | As  | 118,44  | [cm <sup>2</sup> ] |
| HSL  | IPN 180 | Moment of Inertia     | Iy  | 12755,6 | [cm <sup>4</sup> ] |
| HSU  | IPN 200 | Yielding strength     | fyd | 275,00  | [MPa]              |
| IPE  | IPN 220 | Homogenization coeff. | n   | 10,00   | [-]                |
| IPEA | IPN 240 | Gap ground/support    | g   | 0,00    | [cm]               |
| IPEO | IPN 260 |                       |     |         |                    |
| IPEX | IPN 280 |                       |     |         |                    |
| IPN  | IPN 300 |                       |     |         |                    |

|   |       |       |         |
|---|-------|-------|---------|
| Stiffness reduction factor for Shotcrete and Steel Ribs | Ka    | 0,11  | [-]     |
| Stiffness reduction factor for Rock Bolts               | Kbolt | 1,00  | [-]     |
| Distance of support                                     | d     | 0,00  | [m]     |
| Total Stiffness   | Kt    | 10,83 | [MPa/m] |

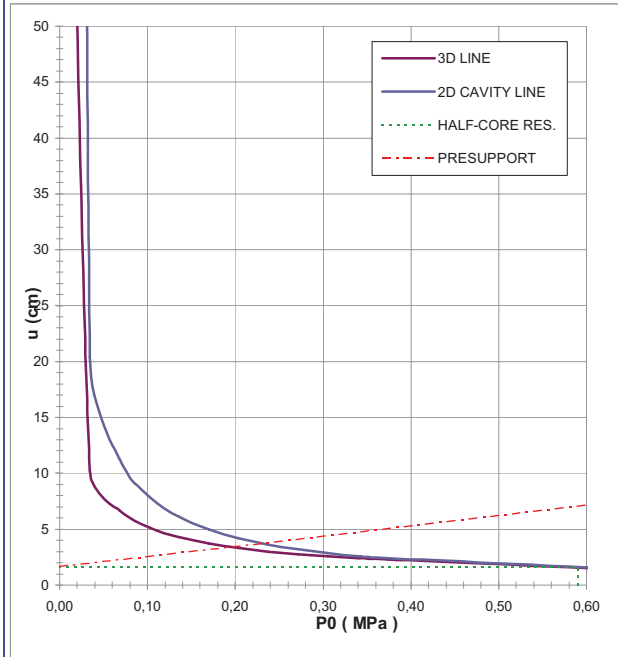
**FINAL LINING**

**CONCRETE**

|                               |       |       |       |
|-------------------------------|-------|-------|-------|
| Elastic Modulus               | Ec    | 31476 | [MPa] |
| Poisson's Ratio               | $\nu$ | 0,2   | [-]   |
| Thickness                     | T     | 90    | [cm]  |
| Concrete compression strenght | fcd   | 14,17 | [MPa] |

**STEEL REINFORCEMENTS**

|                            |        |       |
|----------------------------|--------|-------|
| Diameter of the steel bars | $\phi$ | [mm]  |
| Steel bars spacing         | s      | [cm]  |
| Number of set              | n      | [-]   |
| Yielding strength          | fyd    | [MPa] |



| DEFORMATION RESULTS       |                     |        |     |     |     |     |     |
|---------------------------|---------------------|--------|-----|-----|-----|-----|-----|
|                           |                     | AN1    | AN2 | AN3 | AN4 | AN5 | AN6 |
| Critical pressure         | Pcr [MPa]           | 0,38   |     |     |     |     |     |
| Max cavity def. (2D)      | $u_{2d=}$ [cm]      | 536,08 |     |     |     |     |     |
| Rpl (2D)/Ro               | $Rp_{max}/r_0$ [-]  | 12,83  |     |     |     |     |     |
| Cavity def. at the face   | $u_f$ [cm]          | 1,64   |     |     |     |     |     |
| Rpl (Face)/Ro             | $Rp_{face}/r_0$ [-] | 0,84   |     |     |     |     |     |
| Deformation at (x) m      | $u_{(x)}$ [cm]      | 1,64   |     |     |     |     |     |
| Def.at (x)m regarding gap | $u'_{(x)}$ [cm]     | 1,64   |     |     |     |     |     |
| Def.at equilibrium point  | ueq [cm]            | 3,73   |     |     |     |     |     |
| Conv.at equilibrium point | Ceq [cm]            | 4,17   |     |     |     |     |     |
| Rpl (eq)/Ro               | $Rp_{eq}/r_0$ [-]   | 1,23   |     |     |     |     |     |
| Equilibrium pressure      | C1 [MPa]            | 0,23   |     |     |     |     |     |

| TEMPORARY LINING RESULTS |                      |       |     |     |     |     |     |
|--------------------------|----------------------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|
|                          |                      | AN1   | AN2 | AN3 | AN4 | AN5 | AN6 |
| Presupp.el. deformation  | ulim [cm]            | 11,31 |     |     |     |     |     |
| Presupport stress        | $\sigma_{sup}$ [MPa] | 5,46  |     |     |     |     |     |
| Steel ribs stress        | $\sigma_{st}$ [MPa]  | 54,57 |     |     |     |     |     |
| Shotcrete stress         | $\sigma_{sc}$ [MPa]  | 5,46  |     |     |     |     |     |
| Bolt stress              | $\sigma_{rb}$ [MPa]  | -     |     |     |     |     |     |

| SUPPORT RESULTS      |                      |      |
|----------------------|----------------------|------|
| Support stress       | $\sigma_{def}$ [MPa] | 2,50 |
| Concrete stress      | $\sigma_b$ [MPa]     | 2,50 |
| Reinforcement stress | $\sigma_s$ [MPa]     | -    |



GALLERIA FARO SUPERIORE- SINTESI LC\_DIAGNOSI - GHIAIE DI MESSINA

| <b>Geometrical Data</b>      |    |                      | <b>BYPASS CARRABI</b> | <b>BYPASS PEDONALE</b> |
|------------------------------|----|----------------------|-----------------------|------------------------|
| Equivalent Tunnel Radius     | ri | [m]                  | 5                     | 3                      |
| Overburden                   | H  | [m]                  | 40                    | 55                     |
| Unit weight of the rock mass | g  | [kN/m <sup>3</sup> ] | 19                    | 19                     |

**Resistance Parameters**

|                                    |     |       |     |     |
|------------------------------------|-----|-------|-----|-----|
| Cohesion in the elastic zone       | Cel | [kPa] | 5   | 5   |
| Cohesion in the plastic zone       | Cpl | [kPa] | 0,4 | 0,4 |
| Friction angle in the elastic zone | Φel | [°]   | 39  | 39  |
| Friction angle in the plastic zone | Φpl | [°]   | 34  | 34  |

**Elastic parameters**

|                                    |     |       |     |     |
|------------------------------------|-----|-------|-----|-----|
| Deformation moduls in elastic zone | Eel | [MPa] | 275 | 275 |
| Deformation moduls in plastic zone | Epl | [MPa] | 275 | 275 |
| Poisson's ratio                    | ν   | [-]   | 0,2 | 0,3 |
| Volume increase in plastic zone    | ΔV  | [%]   | 0   | 0   |

**DEFORMATION RESULTS**

|                         |                  |       |      |      |
|-------------------------|------------------|-------|------|------|
| Critical pressure       | Pcr              | [MPa] | 0,28 | 0,38 |
| Max cavity def. (2D)    | u <sub>2d∞</sub> | [cm]  | INST | INST |
| Rpl (2D)/Ro             | Rpmax/r0         | [-]   | 11,3 | 12,8 |
| Cavity def. at the face | uf               | [cm]  | 31,4 | 28,1 |
| Rpl (Face)/Ro           | Rpface/r0        | [-]   | 4,1  | 4,5  |

INST = Deformazione maggiore di 80cm

**INPUT DATA (Diagnosis phase)**

**Geometrical Data**

|                              |          |
|------------------------------|----------|
| Equivalent Tunnel Radius     | $r_i$    |
| Overburden                   | H        |
| Unit weight of the rock mass | $\gamma$ |

| ANALYSIS n°1            | ANALYSIS n°2         |
|-------------------------|----------------------|
| 5 [m]                   | [m]                  |
| 40 [m]                  | [m]                  |
| 19 [kN/m <sup>3</sup> ] | [kN/m <sup>3</sup> ] |

| ANALYSIS n°3         | ANALYSIS n°4         |
|----------------------|----------------------|
| [m]                  | [m]                  |
| [m]                  | [m]                  |
| [kN/m <sup>3</sup> ] | [kN/m <sup>3</sup> ] |

| ANALYSIS n°5         | ANALYSIS n°6         |
|----------------------|----------------------|
| [m]                  | [m]                  |
| [m]                  | [m]                  |
| [kN/m <sup>3</sup> ] | [kN/m <sup>3</sup> ] |

**Resistance Parameters**

|                                    |             |
|------------------------------------|-------------|
| Cohesion in the elastic zone       | Cel         |
| Cohesion in the plastic zone       | Cpl         |
| Friction angle in the elastic zone | $\Phi_{el}$ |
| Friction angle in the plastic zone | $\Phi_{pl}$ |

|         |       |
|---------|-------|
| 5 [kPa] | [kPa] |
| 0 [kPa] | [kPa] |
| 39 [°]  | [°]   |
| 34 [°]  | [°]   |

|       |       |
|-------|-------|
| [kPa] | [kPa] |
| [kPa] | [kPa] |
| [°]   | [°]   |
| [°]   | [°]   |

|       |       |
|-------|-------|
| [kPa] | [kPa] |
| [kPa] | [kPa] |
| [°]   | [°]   |
| [°]   | [°]   |

**Elastic parameters**

|                                    |            |
|------------------------------------|------------|
| Deformation moduls in elastic zone | Eel        |
| Deformation moduls in plastic zone | Epl        |
| Poisson's ratio                    | $\nu$      |
| Volume increase in plastic zone    | $\Delta V$ |

|           |       |
|-----------|-------|
| 275 [MPa] | [MPa] |
| 275 [MPa] | [MPa] |
| 0,2 [-]   | [-]   |
| 0 [%]     | [%]   |

|       |       |
|-------|-------|
| [MPa] | [MPa] |
| [MPa] | [MPa] |
| [-]   | [-]   |
| [%]   | [%]   |

|       |       |
|-------|-------|
| [MPa] | [MPa] |
| [MPa] | [MPa] |
| [-]   | [-]   |
| [%]   | [%]   |

**PRECONFINEMENT (Therapy Phase)**  Structural Elements

**FACE PRECONFINEMENT (reinforcement elements)**

|                                  |            |                    |
|----------------------------------|------------|--------------------|
| Number of reinforcements         | $n^\circ$  | [-]                |
| Design Length                    | L          | [m]                |
| Reinforcement's cross section    | Ael        | [cm <sup>2</sup> ] |
| Reinforcement's tensile strength | ftd        | [MPa]              |
| Drilling/Grouting Diameter       | Dp         | [mm]               |
| Grout-soil bond                  | $\tau d$   | [kPa]              |
| Cohesion improvement             | $\Delta c$ | [kPa]              |

Jet grouting

**FACE PRECONFINEMENT (jet grouting or similar)**

|                              |            |       |
|------------------------------|------------|-------|
| Number of reinforcements     | $n^\circ$  | [-]   |
| Design Length                | L          | [m]   |
| Coloumndiameter              | Dn         | [mm]  |
| Jet Cohesion                 | cjet       | [kPa] |
| Design cohesion for the soil | cs         | [kPa] |
| Cohesion improvement         | $\Delta c$ | [kPa] |

**SUPPORT DATA (Therapy Phase)**

**SHOTCRETE**

|                               |       |       |
|-------------------------------|-------|-------|
| Elastic Modulus               | Esb   | [MPa] |
| Poisson's Ratio               | $\nu$ | [-]   |
| Thickness                     | t     | [cm]  |
| Compression strenght (medium) | fcm   | [MPa] |

**ROCK BOLTS**

|                              |          |        |
|------------------------------|----------|--------|
| Bolt length                  | L        | [m]    |
| Bolt diameter                | d        | [cm]   |
| Circumferential bolt spacing | s        | [m]    |
| Longitudinal bolt spacing    | a        | [m]    |
| Bolt elastic moduls          | Eb       | [MPa]  |
| Ultimate failure load        | Fu       | [kN]   |
| Load deformation constant    | $\delta$ | [m/MN] |

**STEEL RIBS**

|      |         |                       |     |                    |
|------|---------|-----------------------|-----|--------------------|
| HSA  | IPN 120 | Number of profiles    | n   | [-]                |
| HSE  | IPN 140 | Steel ribs spacing    | s   | [m]                |
| HSH  | IPN 160 | Cross section Area    | As  | [cm <sup>2</sup> ] |
| HSL  | IPN 180 | Moment of Inertia     | Iy  | [cm <sup>4</sup> ] |
| HSU  | IPN 200 | Yielding strength     | fyd | [MPa]              |
| IPE  | IPN 220 | Homogenization coeff. | n   | [-]                |
| IPEA | IPN 240 | Gap ground/support    | g   | [cm]               |
| IPEO | IPN 260 |                       |     |                    |
| IPEX | IPN 280 |                       |     |                    |
| IPN  | IPN 300 |                       |     |                    |

|   |       |         |
|---|-------|---------|
| Stiffness reduction factor for Shotcrete and Steel Ribs | Ka    | [-]     |
| Stiffness reduction factor for Rock Bolts               | Kbolt | [-]     |
| Distance of support                                     | d     | [m]     |
| Total Stiffness   | Kt    | [MPa/m] |

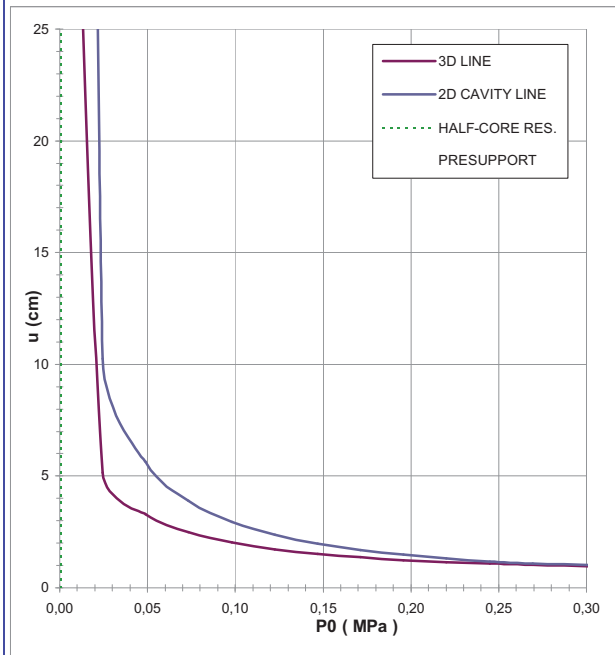
**FINAL LINING**

**CONCRETE**

|                               |       |       |
|-------------------------------|-------|-------|
| Elastic Modulus               | Ec    | [MPa] |
| Poisson's Ratio               | $\nu$ | [-]   |
| Thickness                     | T     | [cm]  |
| Concrete compression strenght | fcd   | [MPa] |

**STEEL REINFORCEMENTS**

|                            |        |       |
|----------------------------|--------|-------|
| Diameter of the steel bars | $\phi$ | [mm]  |
| Steel bars spacing         | s      | [cm]  |
| Number of set              | n      | [-]   |
| Yielding strength          | fyd    | [MPa] |



| DEFORMATION RESULTS       |                     |        |     |     |     |     |     |
|---------------------------|---------------------|--------|-----|-----|-----|-----|-----|
|                           |                     | AN1    | AN2 | AN3 | AN4 | AN5 | AN6 |
| Critical pressure         | Pcr [MPa]           | 0,28   |     |     |     |     |     |
| Max cavity def. (2D)      | $u_{2d_{max}}$ [cm] | 213,87 |     |     |     |     |     |
| Rpl (2D)/Ro               | $Rp_{max}/r_0$ [-]  | 11,30  |     |     |     |     |     |
| Cavity def. at the face   | $u_f$ [cm]          | 31,36  |     |     |     |     |     |
| Rpl (Face)/Ro             | $Rp_{face}/r_0$ [-] | 4,08   |     |     |     |     |     |
| Deformation at (x) m      | $u_{(x)}$ [cm]      |        |     |     |     |     |     |
| Def.at (x)m regarding gap | $u'_{(x)}$ [cm]     |        |     |     |     |     |     |
| Def.at equilibrium point  | ueq [cm]            |        |     |     |     |     |     |
| Conv.at equilibrium point | Ceq [cm]            |        |     |     |     |     |     |
| Rpl (eq)/Ro               | $Rp_{eq}/r_0$ [-]   |        |     |     |     |     |     |
| Equilibrium pressure      | C1 [MPa]            |        |     |     |     |     |     |

| TEMPORARY LINING RESULTS |                      |     |     |     |     |     |     |
|--------------------------|----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                          |                      | AN1 | AN2 | AN3 | AN4 | AN5 | AN6 |
| Presupp.el. deformation  | ulim [cm]            |     |     |     |     |     |     |
| Presupport stress        | $\sigma_{sup}$ [MPa] |     |     |     |     |     |     |
| Steel ribs stress        | $\sigma_{st}$ [MPa]  |     |     |     |     |     |     |
| Shotcrete stress         | $\sigma_{sc}$ [MPa]  |     |     |     |     |     |     |
| Bolt stress              | $\sigma_{rb}$ [MPa]  |     |     |     |     |     |     |

| SUPPORT RESULTS      |                      |     |     |     |     |     |     |
|----------------------|----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                      |                      | AN1 | AN2 | AN3 | AN4 | AN5 | AN6 |
| Support stress       | $\sigma_{def}$ [MPa] |     |     |     |     |     |     |
| Concrete stress      | $\sigma_b$ [MPa]     |     |     |     |     |     |     |
| Reinforcement stress | $\sigma_s$ [MPa]     |     |     |     |     |     |     |

**PROGETTO**

PONTE SULLO STRETTO  
 GALLERIA FARO SUPERIORE  
 BYPASS PEDONALE, COPERTURA 55m - GHIAIE DI MESSINA, GR.1

DIAGNOSI  
 TERAPIA



**INPUT DATA (Diagnosis phase)**

**Geometrical Data**

|                              |          |
|------------------------------|----------|
| Equivalent Tunnel Radius     | $r_i$    |
| Overburden                   | H        |
| Unit weight of the rock mass | $\gamma$ |

| ANALYSIS n°1            | ANALYSIS n°2         |
|-------------------------|----------------------|
| 3 [m]                   | [m]                  |
| 55 [m]                  | [m]                  |
| 19 [kN/m <sup>3</sup> ] | [kN/m <sup>3</sup> ] |

| ANALYSIS n°3         | ANALYSIS n°4         |
|----------------------|----------------------|
| [m]                  | [m]                  |
| [m]                  | [m]                  |
| [kN/m <sup>3</sup> ] | [kN/m <sup>3</sup> ] |

| ANALYSIS n°5         | ANALYSIS n°6         |
|----------------------|----------------------|
| [m]                  | [m]                  |
| [m]                  | [m]                  |
| [kN/m <sup>3</sup> ] | [kN/m <sup>3</sup> ] |

**Resistance Parameters**

|                                    |             |
|------------------------------------|-------------|
| Cohesion in the elastic zone       | Cel         |
| Cohesion in the plastic zone       | Cpl         |
| Friction angle in the elastic zone | $\Phi_{el}$ |
| Friction angle in the plastic zone | $\Phi_{pl}$ |

|         |       |
|---------|-------|
| 5 [kPa] | [kPa] |
| 0 [kPa] | [kPa] |
| 39 [°]  | [°]   |
| 34 [°]  | [°]   |

|       |       |
|-------|-------|
| [kPa] | [kPa] |
| [kPa] | [kPa] |
| [°]   | [°]   |
| [°]   | [°]   |

|       |       |
|-------|-------|
| [kPa] | [kPa] |
| [kPa] | [kPa] |
| [°]   | [°]   |
| [°]   | [°]   |

**Elastic parameters**

|                                    |            |
|------------------------------------|------------|
| Deformation moduls in elastic zone | Eel        |
| Deformation moduls in plastic zone | Epl        |
| Poisson's ratio                    | $\nu$      |
| Volume increase in plastic zone    | $\Delta V$ |

|           |       |
|-----------|-------|
| 275 [MPa] | [MPa] |
| 275 [MPa] | [MPa] |
| 0,3 [-]   | [-]   |
| 0 [%]     | [%]   |

|       |       |
|-------|-------|
| [MPa] | [MPa] |
| [MPa] | [MPa] |
| [-]   | [-]   |
| [%]   | [%]   |

|       |       |
|-------|-------|
| [MPa] | [MPa] |
| [MPa] | [MPa] |
| [-]   | [-]   |
| [%]   | [%]   |

**PRECONFINEMENT (Therapy Phase)  Structural Elements**

**FACE PRECONFINEMENT (reinforcement elements)**

|                                  |            |                    |
|----------------------------------|------------|--------------------|
| Number of reinforcements         | $n^\circ$  | [-]                |
| Design Length                    | L          | [m]                |
| Reinforcement's cross section    | Ael        | [cm <sup>2</sup> ] |
| Reinforcement's tensile strength | ftd        | [MPa]              |
| Drilling/Grouting Diameter       | Dp         | [mm]               |
| Grout-soil bond                  | $\tau d$   | [kPa]              |
| Cohesion improvement             | $\Delta c$ | [kPa]              |

Jet grouting

**FACE PRECONFINEMENT (jet grouting or similar)**

|                              |            |       |
|------------------------------|------------|-------|
| Number of reinforcements     | $n^\circ$  | [-]   |
| Design Length                | L          | [m]   |
| Coloumndiameter              | Dn         | [mm]  |
| Jet Cohesion                 | cjet       | [kPa] |
| Design cohesion for the soil | cs         | [kPa] |
| Cohesion improvement         | $\Delta c$ | [kPa] |

**SUPPORT DATA (Therapy Phase)**

**SHOTCRETE**

|                               |       |       |
|-------------------------------|-------|-------|
| Elastic Modulus               | Esb   | [MPa] |
| Poisson's Ratio               | $\nu$ | [-]   |
| Thickness                     | t     | [cm]  |
| Compression strenght (medium) | fcm   | [MPa] |

**ROCK BOLTS**

|                              |          |        |
|------------------------------|----------|--------|
| Bolt length                  | L        | [m]    |
| Bolt diameter                | d        | [cm]   |
| Circumferential bolt spacing | s        | [m]    |
| Longitudinal bolt spacing    | a        | [m]    |
| Bolt elastic moduls          | Eb       | [MPa]  |
| Ultimate failure load        | Fu       | [kN]   |
| Load deformation constant    | $\delta$ | [m/MN] |

**STEEL RIBS**

|      |         |                       |     |                    |
|------|---------|-----------------------|-----|--------------------|
| HSA  | IPN 120 | Number of profiles    | n   | [-]                |
| HSE  | IPN 140 | Steel ribs spacing    | s   | [m]                |
| HSH  | IPN 160 | Cross section Area    | As  | [cm <sup>2</sup> ] |
| HSL  | IPN 180 | Moment of Inertia     | Iy  | [cm <sup>4</sup> ] |
| HSU  | IPN 200 | Yielding strength     | fyd | [MPa]              |
| IPE  | IPN 220 | Homogenization coeff. | n   | [-]                |
| IPEA | IPN 240 | Gap ground/support    | g   | [cm]               |
| IPEO | IPN 260 |                       |     |                    |
| IPEX | IPN 280 |                       |     |                    |
| IPN  | IPN 300 |                       |     |                    |

|   |       |         |
|---|-------|---------|
| Stiffness reduction factor for Shotcrete and Steel Ribs | Ka    | [-]     |
| Stiffness reduction factor for Rock Bolts               | Kbolt | [-]     |
| Distance of support                                     | d     | [m]     |
| Total Stiffness   | Kt    | [MPa/m] |

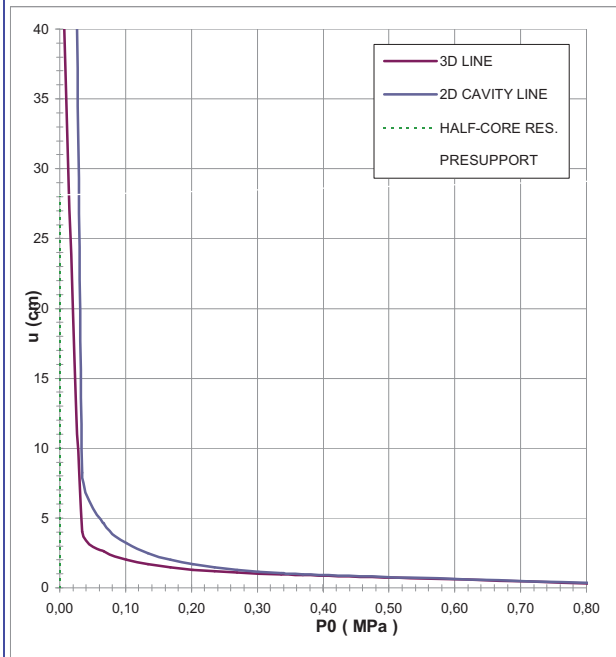
**FINAL LINING**

**CONCRETE**

|                               |       |       |
|-------------------------------|-------|-------|
| Elastic Modulus               | Ec    | [MPa] |
| Poisson's Ratio               | $\nu$ | [-]   |
| Thickness                     | T     | [cm]  |
| Concrete compression strenght | fcd   | [MPa] |

**STEEL REINFORCEMENTS**

|                            |        |       |
|----------------------------|--------|-------|
| Diameter of the steel bars | $\phi$ | [mm]  |
| Steel bars spacing         | s      | [cm]  |
| Number of set              | n      | [-]   |
| Yielding strength          | fyd    | [MPa] |



| DEFORMATION RESULTS       |                        |        |     |     |     |     |     |
|---------------------------|------------------------|--------|-----|-----|-----|-----|-----|
|                           |                        | AN1    | AN2 | AN3 | AN4 | AN5 | AN6 |
| Critical pressure         | Pcr [MPa]              | 0,38   |     |     |     |     |     |
| Max cavity def. (2D)      | $u_{2d\max}$ [cm]      | 215,46 |     |     |     |     |     |
| Rpl (2D)/Ro               | $R_{p_{max}}/r_0$ [-]  | 12,83  |     |     |     |     |     |
| Cavity def. at the face   | $u_f$ [cm]             | 28,11  |     |     |     |     |     |
| Rpl (Face)/Ro             | $R_{p_{face}}/r_0$ [-] | 4,45   |     |     |     |     |     |
| Deformation at (x) m      | $u_{(x)}$ [cm]         |        |     |     |     |     |     |
| Def.at (x)m regarding gap | $u'_{(x)}$ [cm]        |        |     |     |     |     |     |
| Def.at equilibrium point  | ueq [cm]               |        |     |     |     |     |     |
| Conv.at equilibrium point | Ceq [cm]               |        |     |     |     |     |     |
| Rpl (eq)/Ro               | $R_{p_{eq}}/r_0$ [-]   |        |     |     |     |     |     |
| Equilibrium pressure      | C1 [MPa]               |        |     |     |     |     |     |

| TEMPORARY LINING RESULTS |                      |     |     |     |     |     |     |
|--------------------------|----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                          |                      | AN1 | AN2 | AN3 | AN4 | AN5 | AN6 |
| Presupp.el. deformation  | ulim [cm]            |     |     |     |     |     |     |
| Presupport stress        | $\sigma_{sup}$ [MPa] |     |     |     |     |     |     |
| Steel ribs stress        | $\sigma_{st}$ [MPa]  |     |     |     |     |     |     |
| Shotcrete stress         | $\sigma_{sc}$ [MPa]  |     |     |     |     |     |     |
| Bolt stress              | $\sigma_{rb}$ [MPa]  |     |     |     |     |     |     |

| SUPPORT RESULTS      |                      |     |     |     |     |     |     |
|----------------------|----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                      |                      | AN1 | AN2 | AN3 | AN4 | AN5 | AN6 |
| Support stress       | $\sigma_{def}$ [MPa] |     |     |     |     |     |     |
| Concrete stress      | $\sigma_b$ [MPa]     |     |     |     |     |     |     |
| Reinforcement stress | $\sigma_s$ [MPa]     |     |     |     |     |     |     |

| Geometrical Data             |          |                      | BYPASS CARRABI | BYPASS PEDONALE |
|------------------------------|----------|----------------------|----------------|-----------------|
| Equivalent Tunnel Radius     | ri       | [m]                  | 5              | 3               |
| Overburden                   | H        | [m]                  | 40             | 55              |
| Unit weight of the rock mass | $\gamma$ | [kN/m <sup>3</sup> ] | 19             | 19              |

| Resistance Parameters              |             |       |    |    |
|------------------------------------|-------------|-------|----|----|
| Cohesion in the elastic zone       | Cel         | [kPa] | 5  | 5  |
| Cohesion in the plastic zone       | Cpl         | [kPa] | 0  | 0  |
| Friction angle in the elastic zone | $\Phi_{el}$ | [°]   | 39 | 39 |
| Friction angle in the plastic zone | $\Phi_{pl}$ | [°]   | 34 | 34 |

| Elastic parameters                 |            |       |     |     |
|------------------------------------|------------|-------|-----|-----|
| Deformation moduls in elastic zone | Eel        | [MPa] | 275 | 275 |
| Deformation moduls in plastic zone | Epl        | [MPa] | 275 | 275 |
| Poisson's ratio                    | $\nu$      | [-]   | 0,3 | 0,3 |
| Volume increase in plastic zone    | $\Delta V$ | [%]   | 0   | 0   |

| PRECONFINEMENT (Therapy Phase) |            |       |     |     |
|--------------------------------|------------|-------|-----|-----|
| Number of reinforcements       | n°         | [-]   | 38  | 14  |
| Design Length                  | L          | [m]   | 4,5 | 6   |
| Cohesion improvement           | $\Delta c$ | [kPa] | 215 | 294 |

| SUPPORT DATA (Therapy Phase)  |     |       |        |        |
|-------------------------------|-----|-------|--------|--------|
| Shotcrete Thickness           | t   | [cm]  | 25     | 20     |
| Compression strenght (medium) | fcm | [MPa] | 25     | 25     |
| Steel ribs profile            | -   | -     | IPN180 | HEA140 |
| Number of profiles            | n   | -     | 2,00   | 2,00   |
| Steel ribs spacing            | s   | [m]   | 1,00   | 1,00   |

| DEFORMATION RESULTS       |           |       |      |      |
|---------------------------|-----------|-------|------|------|
| Critical pressure         | Pcr       | [MPa] | 0,28 | 0,38 |
| Cavity def. at the face   | uf        | [cm]  | 0,8  | 0,7  |
| Rpl (Face)/Ro             | Rpface/r0 | [-]   | 1,0  | 1,0  |
| Deformation at (x) m      | u(x)      | [cm]  | 9,1  | 13,4 |
| Def.at (x)m regarding gap | u'(x)     | [cm]  | 9,1  | 13,4 |
| Def.at equilibrium point  | ueq       | [cm]  | 9,2  | 13,4 |
| Conv.at equilibrium point | Ceq       | [cm]  | 16,7 | 25,5 |
| Rpl (eq)/Ro               | Rpeq/r0   | [-]   | 2,3  | 2,5  |
| Equilibrium pressure      | C1        | [MPa] | 0,0  | 0,0  |

| TEMPORARY LINING RESULTS |               |       |     |     |
|--------------------------|---------------|-------|-----|-----|
| Steel ribs stress        | $\sigma_{st}$ | [MPa] | 5,7 | 4,6 |
| Shotcrete stress         | $\sigma_{sc}$ | [MPa] | 0,6 | 0,5 |

| SUPPORT RESULTS      |            |       |     |     |
|----------------------|------------|-------|-----|-----|
| Concrete stress      | $\sigma_b$ | [MPa] | 0,3 | 0,3 |
| Reinforcement stress | $\sigma_s$ | [MPa] | -   | -   |

## VERIFICHE DEI RIVESTIMENTI DI PRIMA FASE

|                   |                                 |       | BYPASS CARRABI | BYPASS PEDONALE |
|-------------------|---------------------------------|-------|----------------|-----------------|
| Overburden        | H                               | [m]   | 40             | 55              |
| Steel ribs stress | $\sigma_{st} \cdot \gamma_{G1}$ | [MPa] | 7,4            | 6,0             |
| Shotcrete stress  | $\sigma_{sc} \cdot \gamma_{G1}$ | [MPa] | 0,7            | 0,6             |

 $\gamma_{G1}$  1,3

## VERIFICHE DEI RIVESTIMENTI DEFINITIVI

|                                    |                              |       | BYPASS CARRABI | BYPASS PEDONALE |
|------------------------------------|------------------------------|-------|----------------|-----------------|
| Deformation moduls in elastic zone | H                            | [m]   | 40             | 55              |
| Concrete stress                    | $\sigma_b \cdot \gamma_{G1}$ | [MPa] | 0,4            | 0,4             |
| Reinforcement stress               | $\sigma_s \cdot \gamma_{G1}$ | [MPa] | -              | -               |

 $\gamma_{G1}$  1,3

**PROGETTO**

PONTE SULLO STRETTO  
 GALLERIA FARO SUPERIORE  
 BYPASS CARRABILE, COPERTURA 35m - GHIAIE DI MESSINA, GR.1

DIAGNOSI

TERAPIA



**INPUT DATA (Diagnosis phase)**

**Geometrical Data**

|                              |          |
|------------------------------|----------|
| Equivalent Tunnel Radius     | $r_i$    |
| Overburden                   | H        |
| Unit weight of the rock mass | $\gamma$ |

|                         |                      |
|-------------------------|----------------------|
| ANALYSIS n°1            | ANALYSIS n°2         |
| 5 [m]                   | [m]                  |
| 40 [m]                  | [m]                  |
| 19 [kN/m <sup>3</sup> ] | [kN/m <sup>3</sup> ] |

|                      |                      |
|----------------------|----------------------|
| ANALYSIS n°3         | ANALYSIS n°4         |
| [m]                  | [m]                  |
| [m]                  | [m]                  |
| [kN/m <sup>3</sup> ] | [kN/m <sup>3</sup> ] |

|                      |                      |
|----------------------|----------------------|
| ANALYSIS n°5         | ANALYSIS n°6         |
| [m]                  | [m]                  |
| [m]                  | [m]                  |
| [kN/m <sup>3</sup> ] | [kN/m <sup>3</sup> ] |

**Resistance Parameters**

|                                    |             |
|------------------------------------|-------------|
| Cohesion in the elastic zone       | Cel         |
| Cohesion in the plastic zone       | Cpl         |
| Friction angle in the elastic zone | $\Phi_{el}$ |
| Friction angle in the plastic zone | $\Phi_{pl}$ |

|         |       |
|---------|-------|
| 5 [kPa] | [kPa] |
| 0 [kPa] | [kPa] |
| 39 [°]  | [°]   |
| 34 [°]  | [°]   |

|       |       |
|-------|-------|
| [kPa] | [kPa] |
| [kPa] | [kPa] |
| [°]   | [°]   |
| [°]   | [°]   |

|       |       |
|-------|-------|
| [kPa] | [kPa] |
| [kPa] | [kPa] |
| [°]   | [°]   |
| [°]   | [°]   |

**Elastic parameters**

|                                    |            |
|------------------------------------|------------|
| Deformation moduls in elastic zone | Eel        |
| Deformation moduls in plastic zone | Epl        |
| Poisson's ratio                    | $\nu$      |
| Volume increase in plastic zone    | $\Delta V$ |

|           |       |
|-----------|-------|
| 275 [MPa] | [MPa] |
| 275 [MPa] | [MPa] |
| 0,3 [-]   | [-]   |
| 0 [%]     | [%]   |

|       |       |
|-------|-------|
| [MPa] | [MPa] |
| [MPa] | [MPa] |
| [-]   | [-]   |
| [%]   | [%]   |

|       |       |
|-------|-------|
| [MPa] | [MPa] |
| [MPa] | [MPa] |
| [-]   | [-]   |
| [%]   | [%]   |

**PRECONFINEMENT (Therapy Phase)  Structural Elements**

**FACE PRECONFINEMENT (reinforcement elements)**

|                                  |            |         |                    |
|----------------------------------|------------|---------|--------------------|
| Number of reinforcements         | $n^\circ$  | 38      | [-]                |
| Design Length                    | L          | 4,5     | [m]                |
| Reinforcement's cross section    | Ael        | 14,5    | [cm <sup>2</sup> ] |
| Reinforcement's tensile strength | ftd        | 600     | [MPa]              |
| Drilling/Grouting Diameter       | Dp         | 300     | [mm]               |
| Grout-soil bond                  | $\tau d$   | 100     | [kPa]              |
| Cohesion improvement             | $\Delta c$ | 215,105 | [kPa]              |

**Jet grouting**

**FACE PRECONFINEMENT (jet grouting or similar)**

|                              |            |  |       |
|------------------------------|------------|--|-------|
| Number of reinforcements     | $n^\circ$  |  | [-]   |
| Design Length                | L          |  | [m]   |
| Coloumndiameter              | Dn         |  | [mm]  |
| Jet Cohesion                 | cjet       |  | [kPa] |
| Design cohesion for the soil | cs         |  | [kPa] |
| Cohesion improvement         | $\Delta c$ |  | [kPa] |

**SUPPORT DATA (Therapy Phase)**

**SHOTCRETE**

|                               |       |       |       |
|-------------------------------|-------|-------|-------|
| Elastic Modulus               | Esb   | 20000 | [MPa] |
| Poisson's Ratio               | $\nu$ | 0,2   | [-]   |
| Thickness                     | t     | 25    | [cm]  |
| Compression strenght (medium) | fcm   | 25,00 | [MPa] |

**ROCK BOLTS**

|                              |          |  |        |
|------------------------------|----------|--|--------|
| Bolt length                  | L        |  | [m]    |
| Bolt diameter                | d        |  | [cm]   |
| Circumferential bolt spacing | s        |  | [m]    |
| Longitudinal bolt spacing    | a        |  | [m]    |
| Bolt elastic moduls          | Eb       |  | [MPa]  |
| Ultimate failure load        | Fu       |  | [kN]   |
| Load deformation constant    | $\delta$ |  | [m/MN] |

**STEEL RIBS**

|      |         |  |  |
|------|---------|--|--|
| HSA  | IPN 120 |  |  |
| HSE  | IPN 140 |  |  |
| HSH  | IPN 160 |  |  |
| HSL  | IPN 180 |  |  |
| HSU  | IPN 200 |  |  |
| IPE  | IPN 220 |  |  |
| IPEA | IPN 240 |  |  |
| IPEO | IPN 260 |  |  |
| IPEX | IPN 280 |  |  |
| IPN  | IPN 300 |  |  |

|                       |     |        |                    |
|-----------------------|-----|--------|--------------------|
| Number of profiles    | n   | 2,00   | [-]                |
| Steel ribs spacing    | s   | 1,00   | [m]                |
| Cross section Area    | As  | 55,80  | [cm <sup>2</sup> ] |
| Moment of Inertia     | Iy  | 2900,0 | [cm <sup>4</sup> ] |
| Yielding strength     | fyd | 275,00 | [MPa]              |
| Homogenization coeff. | n   | 10,00  | [-]                |
| Gap ground/support    | g   | 0,00   | [cm]               |

|   |       |       |         |
|---|-------|-------|---------|
| Stiffness reduction factor for Shotcrete and Steel Ribs | Ka    | 0,11  | [-]     |
| Stiffness reduction factor for Rock Bolts               | Kbolt | 1,00  | [-]     |
| Distance of support                                     | d     | 1,00  | [m]     |
| Total Stiffness   | Kt    | 28,95 | [MPa/m] |

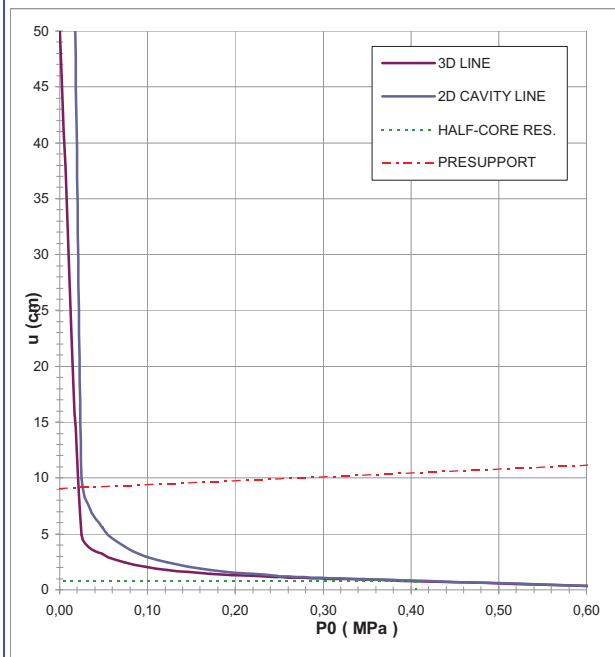
**FINAL LINING**

**CONCRETE**

|                               |       |       |       |
|-------------------------------|-------|-------|-------|
| Elastic Modulus               | Ec    | 31476 | [MPa] |
| Poisson's Ratio               | $\nu$ | 0,2   | [-]   |
| Thickness                     | T     | 50    | [cm]  |
| Concrete compression strenght | fcd   | 14,17 | [MPa] |

**STEEL REINFORCEMENTS**

|                            |        |  |       |
|----------------------------|--------|--|-------|
| Diameter of the steel bars | $\phi$ |  | [mm]  |
| Steel bars spacing         | s      |  | [cm]  |
| Number of set              | n      |  | [-]   |
| Yielding strength          | fyd    |  | [MPa] |



| DEFORMATION RESULTS       |                        |        |     |     |     |     |     |
|---------------------------|------------------------|--------|-----|-----|-----|-----|-----|
|                           |                        | AN1    | AN2 | AN3 | AN4 | AN5 | AN6 |
| Critical pressure         | Pcr [MPa]              | 0,28   |     |     |     |     |     |
| Max cavity def. (2D)      | $u_{2d\max}$ [cm]      | 202,96 |     |     |     |     |     |
| Rpl (2D)/Ro               | $R_{p_{max}}/r_0$ [-]  | 11,30  |     |     |     |     |     |
| Cavity def. at the face   | $u_f$ [cm]             | 0,82   |     |     |     |     |     |
| Rpl (Face)/Ro             | $R_{p_{face}}/r_0$ [-] | 0,86   |     |     |     |     |     |
| Deformation at (x) m      | $u_{(x)}$ [cm]         | 9,07   |     |     |     |     |     |
| Def.at (x)m regarding gap | $u'_{(x)}$ [cm]        | 9,07   |     |     |     |     |     |
| Def.at equilibrium point  | ueq [cm]               | 9,19   |     |     |     |     |     |
| Conv.at equilibrium point | Ceq [cm]               | 16,74  |     |     |     |     |     |
| Rpl (eq)/Ro               | $R_{p_{eq}}/r_0$ [-]   | 2,31   |     |     |     |     |     |
| Equilibrium pressure      | C1 [MPa]               | 0,03   |     |     |     |     |     |

| TEMPORARY LINING RESULTS |                      |       |     |     |     |     |     |
|--------------------------|----------------------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|
|                          |                      | AN1   | AN2 | AN3 | AN4 | AN5 | AN6 |
| Presupp.el. deformation  | ulim [cm]            | 14,10 |     |     |     |     |     |
| Presupport stress        | $\sigma_{sup}$ [MPa] | 0,57  |     |     |     |     |     |
| Steel ribs stress        | $\sigma_{st}$ [MPa]  | 5,70  |     |     |     |     |     |
| Shotcrete stress         | $\sigma_{sc}$ [MPa]  | 0,57  |     |     |     |     |     |
| Bolt stress              | $\sigma_{rb}$ [MPa]  | -     |     |     |     |     |     |

| SUPPORT RESULTS      |                      |      |     |     |     |     |     |
|----------------------|----------------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|
|                      |                      | AN1  | AN2 | AN3 | AN4 | AN5 | AN6 |
| Support stress       | $\sigma_{def}$ [MPa] | 0,35 |     |     |     |     |     |
| Concrete stress      | $\sigma_b$ [MPa]     | 0,35 |     |     |     |     |     |
| Reinforcement stress | $\sigma_s$ [MPa]     | -    |     |     |     |     |     |

**PROGETTO**

PONTE SULLO STRETTO  
GALLERIA FARO SUPERIORE  
BYPASS PEDONALE, COPERTURA 45m - GHIAIE DI MESSINA, GR1

DIAGNOSI  
TERAPIA



**INPUT DATA (Diagnosis phase)**

**Geometrical Data**

|                              |          |
|------------------------------|----------|
| Equivalent Tunnel Radius     | $r_i$    |
| Overburden                   | H        |
| Unit weight of the rock mass | $\gamma$ |

**Resistance Parameters**

|                                    |             |
|------------------------------------|-------------|
| Cohesion in the elastic zone       | Cel         |
| Cohesion in the plastic zone       | Cpl         |
| Friction angle in the elastic zone | $\Phi_{el}$ |
| Friction angle in the plastic zone | $\Phi_{pl}$ |

**Elastic parameters**

|                                    |            |
|------------------------------------|------------|
| Deformation moduls in elastic zone | Eel        |
| Deformation moduls in plastic zone | Epl        |
| Poisson's ratio                    | $\nu$      |
| Volume increase in plastic zone    | $\Delta V$ |

| ANALYSIS n°1            | ANALYSIS n°2         |
|-------------------------|----------------------|
| 3 [m]                   | [m]                  |
| 55 [m]                  | [m]                  |
| 19 [kN/m <sup>3</sup> ] | [kN/m <sup>3</sup> ] |

| ANALYSIS n°3         | ANALYSIS n°4         |
|----------------------|----------------------|
| [m]                  | [m]                  |
| [m]                  | [m]                  |
| [kN/m <sup>3</sup> ] | [kN/m <sup>3</sup> ] |

| ANALYSIS n°5         | ANALYSIS n°6         |
|----------------------|----------------------|
| [m]                  | [m]                  |
| [m]                  | [m]                  |
| [kN/m <sup>3</sup> ] | [kN/m <sup>3</sup> ] |

|         |       |
|---------|-------|
| 5 [kPa] | [kPa] |
| 0 [kPa] | [kPa] |
| 39 [°]  | [°]   |
| 34 [°]  | [°]   |

|       |       |
|-------|-------|
| [kPa] | [kPa] |
| [kPa] | [kPa] |
| [°]   | [°]   |
| [°]   | [°]   |

|       |       |
|-------|-------|
| [kPa] | [kPa] |
| [kPa] | [kPa] |
| [°]   | [°]   |
| [°]   | [°]   |

|           |       |
|-----------|-------|
| 275 [MPa] | [MPa] |
| 275 [MPa] | [MPa] |
| 0,3 [-]   | [-]   |
| 0 [%]     | [%]   |

|       |       |
|-------|-------|
| [MPa] | [MPa] |
| [MPa] | [MPa] |
| [-]   | [-]   |
| [%]   | [%]   |

|       |       |
|-------|-------|
| [MPa] | [MPa] |
| [MPa] | [MPa] |
| [-]   | [-]   |
| [%]   | [%]   |

**PRECONFINEMENT (Therapy Phase)**  Structural Elements

**FACE PRECONFINEMENT (reinforcement elements)**

|                                  |            |         |                    |
|----------------------------------|------------|---------|--------------------|
| Number of reinforcements         | $n^\circ$  | 14      | [-]                |
| Design Length                    | L          | 6       | [m]                |
| Reinforcement's cross section    | Ael        | 14,5    | [cm <sup>2</sup> ] |
| Reinforcement's tensile strength | ftd        | 600     | [MPa]              |
| Drilling/Grouting Diameter       | Dp         | 300     | [mm]               |
| Grout-soil bond                  | $\tau d$   | 100     | [kPa]              |
| Cohesion improvement             | $\Delta c$ | 293,516 | [kPa]              |

Jet grouting

**FACE PRECONFINEMENT (jet grouting or similar)**

|                              |            |  |       |
|------------------------------|------------|--|-------|
| Number of reinforcements     | $n^\circ$  |  | [-]   |
| Design Length                | L          |  | [m]   |
| Coloumndiameter              | Dn         |  | [mm]  |
| Jet Cohesion                 | cjet       |  | [kPa] |
| Design cohesion for the soil | cs         |  | [kPa] |
| Cohesion improvement         | $\Delta c$ |  | [kPa] |

**SUPPORT DATA (Therapy Phase)**

**SHOTCRETE**

|                               |       |       |       |
|-------------------------------|-------|-------|-------|
| Elastic Modulus               | Esb   | 20000 | [MPa] |
| Poisson's Ratio               | $\nu$ | 0,2   | [-]   |
| Thickness                     | t     | 20    | [cm]  |
| Compression strenght (medium) | fcm   | 25    | [MPa] |

**ROCK BOLTS**

|                              |          |  |        |
|------------------------------|----------|--|--------|
| Bolt length                  | L        |  | [m]    |
| Bolt diameter                | d        |  | [cm]   |
| Circumferential bolt spacing | s        |  | [m]    |
| Longitudinal bolt spacing    | a        |  | [m]    |
| Bolt elastic moduls          | Eb       |  | [MPa]  |
| Ultimate failure load        | Fu       |  | [kN]   |
| Load deformation constant    | $\delta$ |  | [m/MN] |

**STEEL RIBS**

|      |          |                       |     |        |                    |
|------|----------|-----------------------|-----|--------|--------------------|
| HD   | HE 140 A | Number of profiles    | n   | 2,00   | [-]                |
| HE   | HE 160 A | Steel ribs spacing    | s   | 1,00   | [m]                |
| HEAA | HE 180 A | Cross section Area    | As  | 62,84  | [cm <sup>2</sup> ] |
| HEB  | HE 200 A | Moment of Inertia     | Iy  | 2066,0 | [cm <sup>4</sup> ] |
| HEM  | HE 220 A | Yielding strength     | fyd | 275,00 | [MPa]              |
| HEX  | HE 240 A | Homogenization coeff. | n   | 10,00  | [-]                |
| HL   | HE 260 A | Gap ground/support    | g   | 0,00   | [cm]               |
| HP   | HE 280 A |                       |     |        |                    |
| HSA  | HE 300 A |                       |     |        |                    |
| HSE  | HE 320 A |                       |     |        |                    |

|   |       |       |         |
|---|-------|-------|---------|
| Stiffness reduction factor for Shotcrete and Steel Ribs | Ka    | 0,11  | [-]     |
| Stiffness reduction factor for Rock Bolts               | Kbolt | 1,00  | [-]     |
| Distance of support                                     | d     | 1,00  | [m]     |
| Total Stiffness   | Kt    | 69,67 | [MPa/m] |

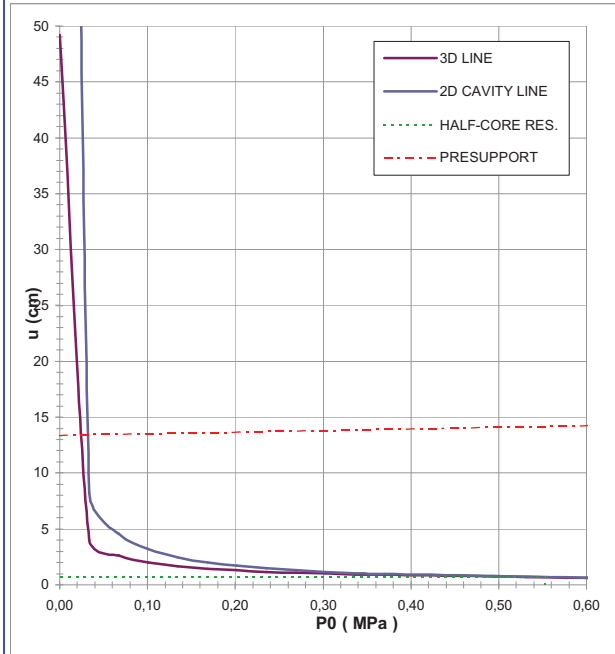
**FINAL LINING**

**CONCRETE**

|                               |       |       |       |
|-------------------------------|-------|-------|-------|
| Elastic Modulus               | Ec    | 31476 | [MPa] |
| Poisson's Ratio               | $\nu$ | 0,2   | [-]   |
| Thickness                     | T     | 40    | [cm]  |
| Concrete compression strenght | fcd   | 14,17 | [MPa] |

**STEEL REINFORCEMENTS**

|                            |        |  |       |
|----------------------------|--------|--|-------|
| Diameter of the steel bars | $\phi$ |  | [mm]  |
| Steel bars spacing         | s      |  | [cm]  |
| Number of set              | n      |  | [-]   |
| Yielding strength          | fyd    |  | [MPa] |



| DEFORMATION RESULTS       |                     |        |     |     |     |     |     |
|---------------------------|---------------------|--------|-----|-----|-----|-----|-----|
|                           |                     | AN1    | AN2 | AN3 | AN4 | AN5 | AN6 |
| Critical pressure         | Pcr [MPa]           | 0,38   |     |     |     |     |     |
| Max cavity def. (2D)      | $u_{2d\max}$ [cm]   | 215,46 |     |     |     |     |     |
| Rpl (2D)/Ro               | $Rp_{max}/r_0$ [-]  | 12,83  |     |     |     |     |     |
| Cavity def. at the face   | $u_f$ [cm]          | 0,67   |     |     |     |     |     |
| Rpl (Face)/Ro             | $Rp_{face}/r_0$ [-] | 0,87   |     |     |     |     |     |
| Deformation at (x) m      | $u_{(x)}$ [cm]      | 13,37  |     |     |     |     |     |
| Def.at (x)m regarding gap | $u'_{(x)}$ [cm]     | 13,37  |     |     |     |     |     |
| Def.at equilibrium point  | ueq [cm]            | 13,42  |     |     |     |     |     |
| Conv.at equilibrium point | Ceq [cm]            | 25,50  |     |     |     |     |     |
| Rpl (eq)/Ro               | $Rp_{eq}/r_0$ [-]   | 2,49   |     |     |     |     |     |
| Equilibrium pressure      | C1 [MPa]            | 0,04   |     |     |     |     |     |

| TEMPORARY LINING RESULTS |                      |       |     |     |     |     |     |
|--------------------------|----------------------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|
|                          |                      | AN1   | AN2 | AN3 | AN4 | AN5 | AN6 |
| Presupp.el. deformation  | ulim [cm]            | 16,31 |     |     |     |     |     |
| Presupport stress        | $\sigma_{sup}$ [MPa] | 0,46  |     |     |     |     |     |
| Steel ribs stress        | $\sigma_{st}$ [MPa]  | 4,63  |     |     |     |     |     |
| Shotcrete stress         | $\sigma_{sc}$ [MPa]  | 0,46  |     |     |     |     |     |
| Bolt stress              | $\sigma_{rb}$ [MPa]  | -     |     |     |     |     |     |

| SUPPORT RESULTS      |                      |      |
|----------------------|----------------------|------|
|                      |                      |      |
| Support stress       | $\sigma_{def}$ [MPa] | 0,30 |
| Concrete stress      | $\sigma_b$ [MPa]     | 0,30 |
| Reinforcement stress | $\sigma_s$ [MPa]     | -    |

|  |   |   |                           |                                    |
|--|---|---|---------------------------|------------------------------------|
|             |  | <p align="center"><b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br/> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> |                           |                                    |
| <p>COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA – GALLERIA<br/> “FARO SUPERIORE” – RELAZIONE DI CALCOLO</p> |   | <p><i>Codice documento</i><br/> SS0257_F0.doc</p>   | <p><i>Rev</i><br/> F0</p> | <p><i>Data</i><br/> 20/06/2011</p> |

## ALLEGATO – STABILITA’ DEL FRONTE

SINTESI VERIFICHE DI STABILITA' DEL FRONTE GALLERIA FARO SUPERIORE

| PARAMETRI GEOMETRICI |          |          |          |            | PARAMETRI GEOTECNICI             |            |               | DIAGNOSI   |                  | TERAPIA             |                     |            |            |                |
|----------------------|----------|----------|----------|------------|----------------------------------|------------|---------------|------------|------------------|---------------------|---------------------|------------|------------|----------------|
| SEZ.<br>[-]          | B<br>[m] | D<br>[m] | C<br>[m] | Deq<br>[m] | $\gamma$<br>[kN/m <sup>3</sup> ] | c<br>[kPa] | $\Phi$<br>[°] | FSF<br>[-] |                  | n° consolid.<br>[-] | $\Delta c$<br>[kPa] | c<br>[kPa] | FSF<br>[-] |                |
| C1                   | 16,5     | 11,85    | 4        | 15         | 19                               | 4          | 33            | 0,06       | FRONTE INSTABILE | 58                  | 292,0               | 296        | 4,94       | FRONTE STABILE |
| C1                   | 16,5     | 11,85    | 22       | 15         | 19                               | 4          | 33            | 0,03       | FRONTE INSTABILE | 58                  | 292,0               | 296        | 2,84       | FRONTE STABILE |
| C1                   | 16,5     | 11,85    | 37       | 15         | 19                               | 4          | 33            | 0,02       | FRONTE INSTABILE | 58                  | 292,0               | 296        | 2,37       | FRONTE STABILE |
| C1+1.05              | 16,7     | 12,2     | 4        | 16         | 19                               | 4          | 33            | 0,06       | FRONTE INSTABILE | 65                  | 287,0               | 291        | 4,75       | FRONTE STABILE |
| C1+1.05              | 16,7     | 12,2     | 22       | 16         | 19                               | 4          | 33            | 0,02       | FRONTE INSTABILE | 65                  | 287,0               | 291        | 2,75       | FRONTE STABILE |
| C1+1.05              | 16,7     | 12,2     | 37       | 16         | 19                               | 4          | 33            | 0,02       | FRONTE INSTABILE | 65                  | 287,0               | 291        | 2,30       | FRONTE STABILE |
| C1 ALLARGO           | 19,8     | 12,85    | 4        | 17,5       | 19                               | 4          | 33            | 0,06       | FRONTE INSTABILE | 80                  | 296,0               | 300        | 4,66       | FRONTE STABILE |
| C1 ALLARGO           | 19,8     | 12,85    | 22       | 17,5       | 19                               | 4          | 33            | 0,02       | FRONTE INSTABILE | 80                  | 296,0               | 300        | 2,63       | FRONTE STABILE |
| C1 ALLARGO           | 19,8     | 12,85    | 37       | 17,5       | 19                               | 4          | 33            | 0,02       | FRONTE INSTABILE | 80                  | 296,0               | 300        | 2,17       | FRONTE STABILE |
| C1 ALLARGO           | 19,8     | 12,85    | 52       | 17,5       | 19                               | 4          | 33            | 0,01       | FRONTE INSTABILE | 80                  | 296,0               | 300        | 1,93       | FRONTE STABILE |
| ∩1 + 1.05 + PIAZZOL  | 21,7     | 16,1     | 5        | 19         | 19                               | 4          | 33            | 0,04       | FRONTE INSTABILE | 100                 | 314,0               | 318        | 3,99       | FRONTE STABILE |
| ∩1 + 1.05 + PIAZZOL  | 21,7     | 16,1     | 15       | 19         | 19                               | 4          | 33            | 0,02       | FRONTE INSTABILE | 100                 | 314,0               | 318        | 2,89       | FRONTE STABILE |
| ∩1 + 1.05 + PIAZZOL  | 21,7     | 16,1     | 30       | 19         | 19                               | 4          | 33            | 0,00       | FRONTE INSTABILE | 100                 | 314,0               | 318        | 2,25       | FRONTE STABILE |
| ∩1 + 1.05 + PIAZZOL  | 21,7     | 16,1     | 40       | 19         | 19                               | 4          | 33            | 0,00       | FRONTE INSTABILE | 100                 | 314,0               | 318        | 2,04       | FRONTE STABILE |



**STRATIGRAFIA**

| N°strati <b>SOPRA</b> la calotta                      | 1          | (max 6)                    | N°strati <b>SOTTO</b> la calotta | 1        | (max 6)                                    |            |                            |       |          |
|---|------------|----------------------------|----------------------------------|----------|--|------------|----------------------------|-------|----------|
| Strati SOPRA la calotta                               |            |                            |                                  |          | Strati SOTTO la calotta                    |            |                            |       |          |
| Strato n°   | Spessore m | $\gamma$ KN/m <sup>3</sup> | c KPa                            | $\phi$ ° | Strato n°                                  | Spessore m | $\gamma$ KN/m <sup>3</sup> | c KPa | $\phi$ ° |
| 1   | 4          | 19                         | 4                                | 33       | 1  | 11,85      | 19                         | 4     | 33       |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
| Altezza totale da piano campagna ad arco rovescio [m] |            |                            | 15,85                            |          | Altezza galleria [m]                       |            |                            | 11,85 |          |
| w profondità falda da piano campagna [m]              |            |                            | 100                              |          | $\gamma_w$ peso acqua [KN/m <sup>3</sup> ] |            |                            | 10    |          |

**PARAMETRI GEOMETRICI**

|   |       |   |        |
|---|-------|---|--------|
| <b>B</b> larghezza del tunnel [m]       | 16,5  | <b>h1</b> altezza paraboloide [m]             | 4      |
| <b>D</b> altezza del tunnel [m]         | 11,85 | <b>l</b> parametro geometrico paraboloide [m] | 6,43   |
| <b>C</b> profondità calotta [m]         | 4     | <b>B</b> parametro geometrico paraboloide [m] | 29,37  |
| <b>a</b> avanzamento senza sostegno [m] | 0     | <b>z-w</b> parametro geometrico [m]           | -96,00 |
| <b>Deq</b> diametro equivalente [m]     | 15    | <b>z-w-h1</b> parametro geometrico [m]        | 0,00   |
| <b>Shallow Tunnel =&gt; Z &lt; 3D</b>   |       | <b>z-h1</b> parametro geometrico [m]          | 0,00   |

**PARAMETRI DEL MATERIALE**

|  |       |  |       |
|--|-------|--|-------|
| <b>g<sub>1</sub></b> peso medio fronte (cuneo 1) [KN/m <sup>3</sup> ]  | 19,00 | <b>g<sub>2-3</sub></b> peso medio (cunei 2-3) [KN/m <sup>3</sup> ]         | 19,00 |
| <b>f<sub>1</sub></b> angolo medio fronte (cuneo 1) [°]                 | 33,00 | <b>f<sub>2-3</sub></b> angolo medio (cunei 2-3) [°]                        | 33,00 |
| <b>c<sub>1</sub></b> coesione media fronte (cuneo 1) [KPa]             | 4,00  | <b>c<sub>2-3</sub></b> coesione media (cunei 2-3) [KPa]                    | 4,00  |
| <b>K<sub>0 1</sub></b> spinta a riposo fronte (cuneo 1)                | 0,46  | <b>K<sub>0 2-3</sub></b> spinta a riposo media (cunei 2-3)                 | 0,46  |
| <b>K<sub>A 1</sub></b> coefficiente 0,5 < K <sub>A</sub> < 1 (cuneo 1) | 1,00  | <b>K<sub>A 2-3</sub></b> coefficiente 0,5 < K <sub>A</sub> < 1 (cuneo 2-3) | 1,00  |
| <b>g<sub>m</sub></b> peso medio (globale) [KN/m <sup>3</sup> ]         | 19,00 | <b>g<sub>dw 2-3</sub></b> peso medio (sotto falda) [KN/m <sup>3</sup> ]    | 0,00  |
| <b>f<sub>m</sub></b> angolo medio (globale) [°]                        | 33,00 | <b>g<sub>uw 2-3</sub></b> peso medio (sopra falda) [KN/m <sup>3</sup> ]    | 19,00 |
| <b>c<sub>m</sub></b> coesione media (globale) [KPa]                    | 4,00  | <b>g<sub>(z-w)-h1</sub></b> peso medio (tra z-w e h1) [KN/m <sup>3</sup> ] | 10,00 |
| <b>K<sub>0 m</sub></b> spinta a riposo (globale)                       | 0,46  |  |       |
| <b>K<sub>A m</sub></b> coefficiente 0,5 < K <sub>A</sub> < 1 (globale) | 1,00  | <b>U</b> press. acqua (sul fondo galleria) [KPa]                           | 0     |

**CALCOLO DELLE RESISTENZE AL TAGLIO E FATTORE DI SICUREZZA**

| <b>FRONTE INSTABILE</b>                        | materiale stratificato | materiale stratificato<br>[K <sub>A</sub> - K <sub>0</sub> - f] medi |
|--|------------------------|--|
| <b>t m2</b> (resistenza taglio concio 2) [KPa] | -5,04                  | -5,04  |
| <b>t m3</b> (resistenza taglio concio 3) [KPa] | 4,00                   | 4,00   |
| <b>FSF</b>                                     | <b>0,06</b>            | <b>0,06</b>  |

STRATIGRAFIA

| N°strati SOPRA la calotta                             | 1          | (max 6)                    | N°strati SOTTO la calotta | 1        | (max) 6                                    |            |                            |       |          |
|---|------------|----------------------------|---------------------------|----------|--|------------|----------------------------|-------|----------|
| Strati SOPRA la calotta                               |            |                            |                           |          | Strati SOTTO la calotta                    |            |                            |       |          |
| Strato n°   | Spessore m | $\gamma$ KN/m <sup>3</sup> | c KPa                     | $\phi$ ° | Strato n°                                  | Spessore m | $\gamma$ KN/m <sup>3</sup> | c KPa | $\phi$ ° |
| 1   | 4          | 19                         | 4                         | 33       | 1  | 11,85      | 19                         | 296   | 33       |
|   |            |                            |                           |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                           |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                           |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                           |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                           |          |  |            |                            |       |          |
| Altezza totale da piano campagna ad arco rovescio [m] | 15,85      |                            |                           |          | Altezza galleria [m]                       | 11,85      |                            |       |          |
| w profondità falda da piano campagna [m]              | 100        |                            |                           |          | $\gamma_w$ peso acqua [KN/m <sup>3</sup> ] | 10         |                            |       |          |

PARAMETRI GEOMETRICI

|                                       |       |  |        |
|---------------------------------------|-------|--|--------|
| B larghezza del tunnel [m]            | 16,5  | h1 altezza paraboloide [m]             | 4      |
| D altezza del tunnel [m]              | 11,85 | l parametro geometrico paraboloide [m] | 6,43   |
| C profondità calotta [m]              | 4     | B parametro geometrico paraboloide [m] | 29,37  |
| a avanzamento senza sostegno [m]      | 0     | z-w parametro geometrico [m]           | -96,00 |
| Deq diametro equivalente [m]          | 15    | z-w-h1 parametro geometrico [m]        | 0,00   |
| <b>Shallow Tunnel =&gt; Z &lt; 3D</b> |       | z-h1 parametro geometrico [m]          | 0,00   |

PARAMETRI DEL MATERIALE

|  |        |   |       |
|--|--------|---|-------|
| $g_1$ peso medio fronte (cuneo 1) [KN/m <sup>3</sup> ] | 19,00  | $g_{2-3}$ peso medio (cunei 2-3) [KN/m <sup>3</sup> ]         | 19,00 |
| $f_1$ angolo medio fronte (cuneo 1) [°]                | 33,00  | $f_{2-3}$ angolo medio (cunei 2-3) [°]                        | 33,00 |
| $c_1$ coesione media fronte (cuneo 1) [KPa]            | 296,00 | $c_{2-3}$ coesione media (cunei 2-3) [KPa]                    | 4,00  |
| $K_{01}$ spinta a riposo fronte (cuneo 1)              | 0,46   | $K_{02-3}$ spinta a riposo media (cunei 2-3)                  | 0,46  |
| $K_{A1}$ coefficiente $0,5 < K_A < 1$ (cuneo 1)        | 1,00   | $K_{A2-3}$ coefficiente $0,5 < K_A < 1$ (cuneo 2-3)           | 1,00  |
| $g_m$ peso medio (globale) [KN/m <sup>3</sup> ]        | 19,00  | $g_{dw2-3}$ peso medio (sotto falda) [KN/m <sup>3</sup> ]     | 0,00  |
| $f_m$ angolo medio (globale) [°]                       | 33,00  | $g_{uw2-3}$ peso medio (sopra falda) [KN/m <sup>3</sup> ]     | 19,00 |
| $c_m$ coesione media (globale) [KPa]                   | 222,31 | $g_{(z-w)-h1}$ peso medio (tra z-w e h1) [KN/m <sup>3</sup> ] | 10,00 |
| $K_{0m}$ spinta a riposo (globale)                     | 0,46   |   |       |
| $K_{Am}$ coefficiente $0,5 < K_A < 1$ (globale)        | 1,00   | U press. acqua (sul fondo galleria) [KPa]                     | 0     |

CALCOLO DELLE RESISTENZE AL TAGLIO E FATTORE DI SICUREZZA

| FRONTE STABILE                          | materiale stratificato | materiale stratificato [K <sub>A</sub> - K <sub>0</sub> - f] medi |
|---|------------------------|---|
| t m2 (resistenza taglio concio 2) [KPa] | 221,00                 | 221,00  |
| t m3 (resistenza taglio concio 3) [KPa] | 4,00                   | 4,00  |
| <b>FSF</b>                              | <b>4,94</b>            | <b>4,94</b>   |

**STRATIGRAFIA**

| N°strati <b>SOPRA</b> la calotta                      | 1          | (max 6)                    | N°strati <b>SOTTO</b> la calotta | 1        | (max 6)                                    |            |                            |       |          |
|---|------------|----------------------------|----------------------------------|----------|--|------------|----------------------------|-------|----------|
| Strati SOPRA la calotta                               |            |                            |                                  |          | Strati SOTTO la calotta                    |            |                            |       |          |
| Strato n°   | Spessore m | $\gamma$ KN/m <sup>3</sup> | c KPa                            | $\phi$ ° | Strato n°                                  | Spessore m | $\gamma$ KN/m <sup>3</sup> | c KPa | $\phi$ ° |
| 1   | 22         | 19                         | 4                                | 33       | 1  | 11,85      | 19                         | 4     | 33       |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
| Altezza totale da piano campagna ad arco rovescio [m] | 33,85      |                            |                                  |          | Altezza galleria [m]                       | 11,85      |                            |       |          |
| w profondità falda da piano campagna [m]              | 100        |                            |                                  |          | $\gamma_w$ peso acqua [KN/m <sup>3</sup> ] | 10         |                            |       |          |

**PARAMETRI GEOMETRICI**

|   |       |   |        |
|---|-------|---|--------|
| <b>B</b> larghezza del tunnel [m]       | 16,5  | <b>h1</b> altezza paraboloide [m]             | 22     |
| <b>D</b> altezza del tunnel [m]         | 11,85 | <b>l</b> parametro geometrico paraboloide [m] | 6,43   |
| <b>C</b> profondità calotta [m]         | 22    | <b>B</b> parametro geometrico paraboloide [m] | 29,37  |
| <b>a</b> avanzamento senza sostegno [m] | 0     | <b>z-w</b> parametro geometrico [m]           | -78,00 |
| <b>Deq</b> diametro equivalente [m]     | 15    | <b>z-w-h1</b> parametro geometrico [m]        | 0,00   |
| <b>Shallow Tunnel =&gt; Z &lt; 3D</b>   |       | <b>z-h1</b> parametro geometrico [m]          | 0,00   |

**PARAMETRI DEL MATERIALE**

|  |       |  |       |
|--|-------|--|-------|
| <b>g<sub>1</sub></b> peso medio fronte (cuneo 1) [KN/m <sup>3</sup> ]  | 19,00 | <b>g<sub>2-3</sub></b> peso medio (cunei 2-3) [KN/m <sup>3</sup> ]         | 19,00 |
| <b>f<sub>1</sub></b> angolo medio fronte (cuneo 1) [°]                 | 33,00 | <b>f<sub>2-3</sub></b> angolo medio (cunei 2-3) [°]                        | 33,00 |
| <b>c<sub>1</sub></b> coesione media fronte (cuneo 1) [KPa]             | 4,00  | <b>c<sub>2-3</sub></b> coesione media (cunei 2-3) [KPa]                    | 4,00  |
| <b>K<sub>0 1</sub></b> spinta a riposo fronte (cuneo 1)                | 0,46  | <b>K<sub>0 2-3</sub></b> spinta a riposo media (cunei 2-3)                 | 0,46  |
| <b>K<sub>A 1</sub></b> coefficiente 0,5 < K <sub>A</sub> < 1 (cuneo 1) | 1,00  | <b>K<sub>A 2-3</sub></b> coefficiente 0,5 < K <sub>A</sub> < 1 (cuneo 2-3) | 1,00  |
| <b>g<sub>m</sub></b> peso medio (globale) [KN/m <sup>3</sup> ]         | 19,00 | <b>g<sub>dw 2-3</sub></b> peso medio (sotto falda) [KN/m <sup>3</sup> ]    | 0,00  |
| <b>f<sub>m</sub></b> angolo medio (globale) [°]                        | 33,00 | <b>g<sub>uw 2-3</sub></b> peso medio (sopra falda) [KN/m <sup>3</sup> ]    | 19,00 |
| <b>c<sub>m</sub></b> coesione media (globale) [KPa]                    | 4,00  | <b>g<sub>(z-w)-h1</sub></b> peso medio (tra z-w e h1) [KN/m <sup>3</sup> ] | 10,00 |
| <b>K<sub>0 m</sub></b> spinta a riposo (globale)                       | 0,46  | <b>U</b> press. acqua (sul fondo galleria) [KPa]                           | 0     |
| <b>K<sub>A m</sub></b> coefficiente 0,5 < K <sub>A</sub> < 1 (globale) | 1,00  |  |       |

**CALCOLO DELLE RESISTENZE AL TAGLIO E FATTORE DI SICUREZZA**

| <b>FRONTE INSTABILE</b>                        | materiale stratificato | materiale stratificato<br>[K <sub>A</sub> - K <sub>0</sub> - f] medi |
|--|------------------------|--|
| <b>t m2</b> (resistenza taglio concio 2) [KPa] | -5,04                  | -5,04  |
| <b>t m3</b> (resistenza taglio concio 3) [KPa] | 4,00                   | 4,00   |
| <b>FSF</b>                                     | <b>0,03</b>            | <b>0,03</b>  |

**STRATIGRAFIA**

| N°strati <b>SOPRA</b> la calotta                      | 1          | (max 6)                    | N°strati <b>SOTTO</b> la calotta | 1        | (max 6)                                    |            |                            |       |          |
|---|------------|----------------------------|----------------------------------|----------|--|------------|----------------------------|-------|----------|
| Strati SOPRA la calotta                               |            |                            |                                  |          | Strati SOTTO la calotta                    |            |                            |       |          |
| Strato n°   | Spessore m | $\gamma$ KN/m <sup>3</sup> | c KPa                            | $\phi$ ° | Strato n°                                  | Spessore m | $\gamma$ KN/m <sup>3</sup> | c KPa | $\phi$ ° |
| 1   | 22         | 19                         | 4                                | 33       | 1  | 11,85      | 19                         | 296   | 33       |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
| Altezza totale da piano campagna ad arco rovescio [m] | 33,85      |                            |                                  |          | Altezza galleria [m]                       | 11,85      |                            |       |          |
| w profondità falda da piano campagna [m]              | 100        |                            |                                  |          | $\gamma_w$ peso acqua [KN/m <sup>3</sup> ] | 10         |                            |       |          |

**PARAMETRI GEOMETRICI**

|   |       |   |        |
|---|-------|---|--------|
| <b>B</b> larghezza del tunnel [m]       | 16,5  | <b>h1</b> altezza paraboloide [m]             | 22     |
| <b>D</b> altezza del tunnel [m]         | 11,85 | <b>l</b> parametro geometrico paraboloide [m] | 6,43   |
| <b>C</b> profondità calotta [m]         | 22    | <b>B</b> parametro geometrico paraboloide [m] | 29,37  |
| <b>a</b> avanzamento senza sostegno [m] | 0     | <b>z-w</b> parametro geometrico [m]           | -78,00 |
| <b>Deq</b> diametro equivalente [m]     | 15    | <b>z-w-h1</b> parametro geometrico [m]        | 0,00   |
| <b>Shallow Tunnel =&gt; Z &lt; 3D</b>   |       | <b>z-h1</b> parametro geometrico [m]          | 0,00   |

**PARAMETRI DEL MATERIALE**

|  |        |  |       |
|--|--------|--|-------|
| <b>g<sub>1</sub></b> peso medio fronte (cuneo 1) [KN/m <sup>3</sup> ]  | 19,00  | <b>g<sub>2-3</sub></b> peso medio (cunei 2-3) [KN/m <sup>3</sup> ]         | 19,00 |
| <b>f<sub>1</sub></b> angolo medio fronte (cuneo 1) [°]                 | 33,00  | <b>f<sub>2-3</sub></b> angolo medio (cunei 2-3) [°]                        | 33,00 |
| <b>c<sub>1</sub></b> coesione media fronte (cuneo 1) [KPa]             | 296,00 | <b>c<sub>2-3</sub></b> coesione media (cunei 2-3) [KPa]                    | 4,00  |
| <b>K<sub>0 1</sub></b> spinta a riposo fronte (cuneo 1)                | 0,46   | <b>K<sub>0 2-3</sub></b> spinta a riposo media (cunei 2-3)                 | 0,46  |
| <b>K<sub>A 1</sub></b> coefficiente 0,5 < K <sub>A</sub> < 1 (cuneo 1) | 1,00   | <b>K<sub>A 2-3</sub></b> coefficiente 0,5 < K <sub>A</sub> < 1 (cuneo 2-3) | 1,00  |
| <b>g<sub>m</sub></b> peso medio (globale) [KN/m <sup>3</sup> ]         | 19,00  | <b>g<sub>dw 2-3</sub></b> peso medio (sotto falda) [KN/m <sup>3</sup> ]    | 0,00  |
| <b>f<sub>m</sub></b> angolo medio (globale) [°]                        | 33,00  | <b>g<sub>uw 2-3</sub></b> peso medio (sopra falda) [KN/m <sup>3</sup> ]    | 19,00 |
| <b>c<sub>m</sub></b> coesione media (globale) [KPa]                    | 106,22 | <b>g<sub>(z-w)-h1</sub></b> peso medio (tra z-w e h1) [KN/m <sup>3</sup> ] | 10,00 |
| <b>K<sub>0 m</sub></b> spinta a riposo (globale)                       | 0,46   | <b>U</b> press. acqua (sul fondo galleria) [KPa]                           | 0     |
| <b>K<sub>A m</sub></b> coefficiente 0,5 < K <sub>A</sub> < 1 (globale) | 1,00   |  |       |

**CALCOLO DELLE RESISTENZE AL TAGLIO E FATTORE DI SICUREZZA**

| FRONTE STABILE                                 | materiale stratificato | materiale stratificato [K <sub>A</sub> - K <sub>0</sub> - f] medi |
|--|------------------------|---|
| <b>t m2</b> (resistenza taglio concio 2) [KPa] | 221,00                 | 221,00  |
| <b>t m3</b> (resistenza taglio concio 3) [KPa] | 4,00                   | 4,00  |
| <b>FSF</b>                                     | <b>2,84</b>            | <b>2,84</b>   |

**STRATIGRAFIA**

| N°strati <b>SOPRA</b> la calotta                      | 1          | (max 6)                    | N°strati <b>SOTTO</b> la calotta | 1        | (max 6)                                    |            |                            |       |          |
|---|------------|----------------------------|----------------------------------|----------|--|------------|----------------------------|-------|----------|
| Strati SOPRA la calotta                               |            |                            |                                  |          | Strati SOTTO la calotta                    |            |                            |       |          |
| Strato n°   | Spessore m | $\gamma$ KN/m <sup>3</sup> | c KPa                            | $\phi$ ° | Strato n°                                  | Spessore m | $\gamma$ KN/m <sup>3</sup> | c KPa | $\phi$ ° |
| 1   | 37         | 19                         | 4                                | 33       | 1  | 11,85      | 19                         | 4     | 33       |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
| Altezza totale da piano campagna ad arco rovescio [m] | 48,85      |                            |                                  |          | Altezza galleria [m]                       | 11,85      |                            |       |          |
| w profondità falda da piano campagna [m]              | 100        |                            |                                  |          | $\gamma_w$ peso acqua [KN/m <sup>3</sup> ] | 10         |                            |       |          |

**PARAMETRI GEOMETRICI**

|   |       |   |        |
|---|-------|---|--------|
| <b>B</b> larghezza del tunnel [m]       | 16,5  | <b>h1</b> altezza paraboloide [m]             | 37     |
| <b>D</b> altezza del tunnel [m]         | 11,85 | <b>l</b> parametro geometrico paraboloide [m] | 6,43   |
| <b>C</b> profondità calotta [m]         | 37    | <b>B</b> parametro geometrico paraboloide [m] | 29,37  |
| <b>a</b> avanzamento senza sostegno [m] | 0     | <b>z-w</b> parametro geometrico [m]           | -63,00 |
| <b>Deq</b> diametro equivalente [m]     | 15    | <b>z-w-h1</b> parametro geometrico [m]        | 0,00   |
| <b>Shallow Tunnel =&gt; Z &lt; 3D</b>   |       | <b>z-h1</b> parametro geometrico [m]          | 0,00   |

**PARAMETRI DEL MATERIALE**

|  |       |  |       |
|--|-------|--|-------|
| <b>g<sub>1</sub></b> peso medio fronte (cuneo 1) [KN/m <sup>3</sup> ]  | 19,00 | <b>g<sub>2-3</sub></b> peso medio (cunei 2-3) [KN/m <sup>3</sup> ]         | 19,00 |
| <b>f<sub>1</sub></b> angolo medio fronte (cuneo 1) [°]                 | 33,00 | <b>f<sub>2-3</sub></b> angolo medio (cunei 2-3) [°]                        | 33,00 |
| <b>c<sub>1</sub></b> coesione media fronte (cuneo 1) [KPa]             | 4,00  | <b>c<sub>2-3</sub></b> coesione media (cunei 2-3) [KPa]                    | 4,00  |
| <b>K<sub>0 1</sub></b> spinta a riposo fronte (cuneo 1)                | 0,46  | <b>K<sub>0 2-3</sub></b> spinta a riposo media (cunei 2-3)                 | 0,46  |
| <b>K<sub>A 1</sub></b> coefficiente 0,5 < K <sub>A</sub> < 1 (cuneo 1) | 1,00  | <b>K<sub>A 2-3</sub></b> coefficiente 0,5 < K <sub>A</sub> < 1 (cuneo 2-3) | 1,00  |
| <b>g<sub>m</sub></b> peso medio (globale) [KN/m <sup>3</sup> ]         | 19,00 | <b>g<sub>dw 2-3</sub></b> peso medio (sotto falda) [KN/m <sup>3</sup> ]    | 0,00  |
| <b>f<sub>m</sub></b> angolo medio (globale) [°]                        | 33,00 | <b>g<sub>uw 2-3</sub></b> peso medio (sopra falda) [KN/m <sup>3</sup> ]    | 19,00 |
| <b>c<sub>m</sub></b> coesione media (globale) [KPa]                    | 4,00  | <b>g<sub>(z-w)-h1</sub></b> peso medio (tra z-w e h1) [KN/m <sup>3</sup> ] | 10,00 |
| <b>K<sub>0 m</sub></b> spinta a riposo (globale)                       | 0,46  | <b>U</b> press. acqua (sul fondo galleria) [KPa]                           | 0     |
| <b>K<sub>A m</sub></b> coefficiente 0,5 < K <sub>A</sub> < 1 (globale) | 1,00  |  |       |

**CALCOLO DELLE RESISTENZE AL TAGLIO E FATTORE DI SICUREZZA**

| <b>FRONTE INSTABILE</b>                        | materiale stratificato | materiale stratificato [K <sub>A</sub> - K <sub>0</sub> - f] medi |
|--|------------------------|---|
| <b>t m2</b> (resistenza taglio concio 2) [KPa] | -5,04                  | -5,04   |
| <b>t m3</b> (resistenza taglio concio 3) [KPa] | 4,00                   | 4,00  |
| <b>FSF</b>                                     | <b>0,02</b>            | <b>0,02</b>   |

**STRATIGRAFIA**

| N°strati <b>SOPRA</b> la calotta                      | 1          | (max 6)                    | N°strati <b>SOTTO</b> la calotta | 1        | (max 6)                                    |            |                            |       |          |
|---|------------|----------------------------|----------------------------------|----------|--|------------|----------------------------|-------|----------|
| Strati SOPRA la calotta                               |            |                            |                                  |          | Strati SOTTO la calotta                    |            |                            |       |          |
| Strato n°   | Spessore m | $\gamma$ KN/m <sup>3</sup> | c KPa                            | $\phi$ ° | Strato n°                                  | Spessore m | $\gamma$ KN/m <sup>3</sup> | c KPa | $\phi$ ° |
| 1   | 37         | 19                         | 4                                | 33       | 1  | 11,85      | 19                         | 296   | 33       |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
| Altezza totale da piano campagna ad arco rovescio [m] | 48,85      |                            |                                  |          | Altezza galleria [m]                       | 11,85      |                            |       |          |
| w profondità falda da piano campagna [m]              | 100        |                            |                                  |          | $\gamma_w$ peso acqua [KN/m <sup>3</sup> ] | 10         |                            |       |          |

**PARAMETRI GEOMETRICI**

|   |       |   |        |
|---|-------|---|--------|
| <b>B</b> larghezza del tunnel [m]       | 16,5  | <b>h1</b> altezza paraboloide [m]             | 37     |
| <b>D</b> altezza del tunnel [m]         | 11,85 | <b>l</b> parametro geometrico paraboloide [m] | 6,43   |
| <b>C</b> profondità calotta [m]         | 37    | <b>B</b> parametro geometrico paraboloide [m] | 29,37  |
| <b>a</b> avanzamento senza sostegno [m] | 0     | <b>z-w</b> parametro geometrico [m]           | -63,00 |
| <b>Deq</b> diametro equivalente [m]     | 15    | <b>z-w-h1</b> parametro geometrico [m]        | 0,00   |
| <b>Shallow Tunnel =&gt; Z &lt; 3D</b>   |       | <b>z-h1</b> parametro geometrico [m]          | 0,00   |

**PARAMETRI DEL MATERIALE**

|  |        |  |       |
|--|--------|--|-------|
| <b>g<sub>1</sub></b> peso medio fronte (cuneo 1) [KN/m <sup>3</sup> ]  | 19,00  | <b>g<sub>2-3</sub></b> peso medio (cunei 2-3) [KN/m <sup>3</sup> ]         | 19,00 |
| <b>f<sub>1</sub></b> angolo medio fronte (cuneo 1) [°]                 | 33,00  | <b>f<sub>2-3</sub></b> angolo medio (cunei 2-3) [°]                        | 33,00 |
| <b>c<sub>1</sub></b> coesione media fronte (cuneo 1) [KPa]             | 296,00 | <b>c<sub>2-3</sub></b> coesione media (cunei 2-3) [KPa]                    | 4,00  |
| <b>K<sub>0 1</sub></b> spinta a riposo fronte (cuneo 1)                | 0,46   | <b>K<sub>0 2-3</sub></b> spinta a riposo media (cunei 2-3)                 | 0,46  |
| <b>K<sub>A 1</sub></b> coefficiente 0,5 < K <sub>A</sub> < 1 (cuneo 1) | 1,00   | <b>K<sub>A 2-3</sub></b> coefficiente 0,5 < K <sub>A</sub> < 1 (cuneo 2-3) | 1,00  |
| <b>g<sub>m</sub></b> peso medio (globale) [KN/m <sup>3</sup> ]         | 19,00  | <b>g<sub>dw 2-3</sub></b> peso medio (sotto falda) [KN/m <sup>3</sup> ]    | 0,00  |
| <b>f<sub>m</sub></b> angolo medio (globale) [°]                        | 33,00  | <b>g<sub>uw 2-3</sub></b> peso medio (sopra falda) [KN/m <sup>3</sup> ]    | 19,00 |
| <b>c<sub>m</sub></b> coesione media (globale) [KPa]                    | 74,83  | <b>g<sub>(z-w)-h1</sub></b> peso medio (tra z-w e h1) [KN/m <sup>3</sup> ] | 10,00 |
| <b>K<sub>0 m</sub></b> spinta a riposo (globale)                       | 0,46   | <b>U</b> press. acqua (sul fondo galleria) [KPa]                           | 0     |
| <b>K<sub>A m</sub></b> coefficiente 0,5 < K <sub>A</sub> < 1 (globale) | 1,00   |  |       |

**CALCOLO DELLE RESISTENZE AL TAGLIO E FATTORE DI SICUREZZA**

| FRONTE STABILE                                 | materiale stratificato | materiale stratificato [K <sub>A</sub> - K <sub>0</sub> - f] medi |
|--|------------------------|---|
| <b>t m2</b> (resistenza taglio concio 2) [KPa] | 221,00                 | 221,00  |
| <b>t m3</b> (resistenza taglio concio 3) [KPa] | 4,00                   | 4,00  |
| <b>FSF</b>                                     | <b>2,37</b>            | <b>2,37</b>   |

**STRATIGRAFIA**

| N°strati <b>SOPRA</b> la calotta                      |            | 1                          |       | (max 6)  | N°strati <b>SOTTO</b> la calotta |            | 1  |       | (max 6)  |      |
|---|------------|----------------------------|-------|----------|----------------------------------|------------|--|-------|----------|------|
| Strati SOPRA la calotta                               |            |                            |       |          | Strati SOTTO la calotta          |            |  |       |          |      |
| Strato n°   | Spessore m | $\gamma$ KN/m <sup>3</sup> | c KPa | $\phi$ ° | Strato n°                        | Spessore m | $\gamma$ KN/m <sup>3</sup>                 | c KPa | $\phi$ ° |      |
| 1   | 4          | 19                         | 4     | 33       | 1                                | 12,2       | 19   | 4     | 33       |      |
|   |            |                            |       |          |                                  |            |  |       |          |      |
|   |            |                            |       |          |                                  |            |  |       |          |      |
|   |            |                            |       |          |                                  |            |  |       |          |      |
|   |            |                            |       |          |                                  |            |  |       |          |      |
|   |            |                            |       |          |                                  |            |  |       |          |      |
| Altezza totale da piano campagna ad arco rovescio [m] |            |                            |       |          | 16,2                             |            | Altezza galleria [m]                       |       |          | 12,2 |
| w profondità falda da piano campagna [m]              |            |                            |       |          | 100                              |            | $\gamma_w$ peso acqua [KN/m <sup>3</sup> ] |       |          | 10   |

**PARAMETRI GEOMETRICI**

|   |      |   |        |
|---|------|---|--------|
| <b>B</b> larghezza del tunnel [m]       | 16,7 | <b>h1</b> altezza paraboloide [m]             | 4      |
| <b>D</b> altezza del tunnel [m]         | 12,2 | <b>l</b> parametro geometrico paraboloide [m] | 6,62   |
| <b>C</b> profondità calotta [m]         | 4    | <b>B</b> parametro geometrico paraboloide [m] | 29,95  |
| <b>a</b> avanzamento senza sostegno [m] | 0    | <b>z-w</b> parametro geometrico [m]           | -96,00 |
| <b>Deq</b> diametro equivalente [m]     | 16   | <b>z-w-h1</b> parametro geometrico [m]        | 0,00   |
| <b>Shallow Tunnel =&gt; Z &lt; 3D</b>   |      | <b>z-h1</b> parametro geometrico [m]          | 0,00   |

**PARAMETRI DEL MATERIALE**

|  |       |  |       |
|--|-------|--|-------|
| <b>g<sub>1</sub></b> peso medio fronte (cuneo 1) [KN/m <sup>3</sup> ]  | 19,00 | <b>g<sub>2-3</sub></b> peso medio (cunei 2-3) [KN/m <sup>3</sup> ]         | 19,00 |
| <b>f<sub>1</sub></b> angolo medio fronte (cuneo 1) [°]                 | 33,00 | <b>f<sub>2-3</sub></b> angolo medio (cunei 2-3) [°]                        | 33,00 |
| <b>c<sub>1</sub></b> coesione media fronte (cuneo 1) [KPa]             | 4,00  | <b>c<sub>2-3</sub></b> coesione media (cunei 2-3) [KPa]                    | 4,00  |
| <b>K<sub>0 1</sub></b> spinta a riposo fronte (cuneo 1)                | 0,46  | <b>K<sub>0 2-3</sub></b> spinta a riposo media (cunei 2-3)                 | 0,46  |
| <b>K<sub>A 1</sub></b> coefficiente 0,5 < K <sub>A</sub> < 1 (cuneo 1) | 1,00  | <b>K<sub>A 2-3</sub></b> coefficiente 0,5 < K <sub>A</sub> < 1 (cuneo 2-3) | 1,00  |
| <b>g<sub>m</sub></b> peso medio (globale) [KN/m <sup>3</sup> ]         | 19,00 | <b>g<sub>dw 2-3</sub></b> peso medio (sotto falda) [KN/m <sup>3</sup> ]    | 0,00  |
| <b>f<sub>m</sub></b> angolo medio (globale) [°]                        | 33,00 | <b>g<sub>uw 2-3</sub></b> peso medio (sopra falda) [KN/m <sup>3</sup> ]    | 19,00 |
| <b>c<sub>m</sub></b> coesione media (globale) [KPa]                    | 4,00  | <b>g<sub>(z-w)-h1</sub></b> peso medio (tra z-w e h1) [KN/m <sup>3</sup> ] | 10,00 |
| <b>K<sub>0 m</sub></b> spinta a riposo (globale)                       | 0,46  |  |       |
| <b>K<sub>A m</sub></b> coefficiente 0,5 < K <sub>A</sub> < 1 (globale) | 1,00  | <b>U</b> press. acqua (sul fondo galleria) [KPa]                           | 0     |

**CALCOLO DELLE RESISTENZE AL TAGLIO E FATTORE DI SICUREZZA**

| <b>FRONTE INSTABILE</b>                        | materiale stratificato | materiale stratificato<br>[K <sub>A</sub> - K <sub>0</sub> - f] medi |
|--|------------------------|--|
| <b>t m2</b> (resistenza taglio concio 2) [KPa] | -5,40                  | -5,40  |
| <b>t m3</b> (resistenza taglio concio 3) [KPa] | 4,00                   | 4,00   |
| <b>FSF</b>                                     | <b>0,06</b>            | <b>0,06</b>  |

**STRATIGRAFIA**

| N°strati <b>SOPRA</b> la calotta                      | 1          | (max 6)                    | N°strati <b>SOTTO</b> la calotta | 1        | (max 6)                                    |            |                            |       |          |
|---|------------|----------------------------|----------------------------------|----------|--|------------|----------------------------|-------|----------|
| Strati SOPRA la calotta                               |            |                            |                                  |          | Strati SOTTO la calotta                    |            |                            |       |          |
| Strato n°   | Spessore m | $\gamma$ KN/m <sup>3</sup> | c KPa                            | $\phi$ ° | Strato n°                                  | Spessore m | $\gamma$ KN/m <sup>3</sup> | c KPa | $\phi$ ° |
| 1   | 4          | 19                         | 4                                | 33       | 1  | 12,2       | 19                         | 291   | 33       |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
| Altezza totale da piano campagna ad arco rovescio [m] | 16,2       |                            |                                  |          | Altezza galleria [m]                       | 12,2       |                            |       |          |
| w profondità falda da piano campagna [m]              | 100        |                            |                                  |          | $\gamma_w$ peso acqua [KN/m <sup>3</sup> ] | 10         |                            |       |          |

**PARAMETRI GEOMETRICI**

|   |      |   |        |
|---|------|---|--------|
| <b>B</b> larghezza del tunnel [m]       | 16,7 | <b>h1</b> altezza paraboloide [m]             | 4      |
| <b>D</b> altezza del tunnel [m]         | 12,2 | <b>l</b> parametro geometrico paraboloide [m] | 6,62   |
| <b>C</b> profondità calotta [m]         | 4    | <b>B</b> parametro geometrico paraboloide [m] | 29,95  |
| <b>a</b> avanzamento senza sostegno [m] | 0    | <b>z-w</b> parametro geometrico [m]           | -96,00 |
| <b>Deq</b> diametro equivalente [m]     | 16   | <b>z-w-h1</b> parametro geometrico [m]        | 0,00   |
| <b>Shallow Tunnel =&gt; Z &lt; 3D</b>   |      | <b>z-h1</b> parametro geometrico [m]          | 0,00   |

**PARAMETRI DEL MATERIALE**

|  |        |  |       |
|--|--------|--|-------|
| <b>g<sub>1</sub></b> peso medio fronte (cuneo 1) [KN/m <sup>3</sup> ]  | 19,00  | <b>g<sub>2-3</sub></b> peso medio (cunei 2-3) [KN/m <sup>3</sup> ]         | 19,00 |
| <b>f<sub>1</sub></b> angolo medio fronte (cuneo 1) [°]                 | 33,00  | <b>f<sub>2-3</sub></b> angolo medio (cunei 2-3) [°]                        | 33,00 |
| <b>c<sub>1</sub></b> coesione media fronte (cuneo 1) [KPa]             | 291,00 | <b>c<sub>2-3</sub></b> coesione media (cunei 2-3) [KPa]                    | 4,00  |
| <b>K<sub>0 1</sub></b> spinta a riposo fronte (cuneo 1)                | 0,46   | <b>K<sub>0 2-3</sub></b> spinta a riposo media (cunei 2-3)                 | 0,46  |
| <b>K<sub>A 1</sub></b> coefficiente 0,5 < K <sub>A</sub> < 1 (cuneo 1) | 1,00   | <b>K<sub>A 2-3</sub></b> coefficiente 0,5 < K <sub>A</sub> < 1 (cuneo 2-3) | 1,00  |
| <b>g<sub>m</sub></b> peso medio (globale) [KN/m <sup>3</sup> ]         | 19,00  | <b>g<sub>dw 2-3</sub></b> peso medio (sotto falda) [KN/m <sup>3</sup> ]    | 0,00  |
| <b>f<sub>m</sub></b> angolo medio (globale) [°]                        | 33,00  | <b>g<sub>uw 2-3</sub></b> peso medio (sopra falda) [KN/m <sup>3</sup> ]    | 19,00 |
| <b>c<sub>m</sub></b> coesione media (globale) [KPa]                    | 220,14 | <b>g<sub>(z-w)-h1</sub></b> peso medio (tra z-w e h1) [KN/m <sup>3</sup> ] | 10,00 |
| <b>K<sub>0 m</sub></b> spinta a riposo (globale)                       | 0,46   | <b>U</b> press. acqua (sul fondo galleria) [KPa]                           | 0     |
| <b>K<sub>A m</sub></b> coefficiente 0,5 < K <sub>A</sub> < 1 (globale) | 1,00   |  |       |

**CALCOLO DELLE RESISTENZE AL TAGLIO E FATTORE DI SICUREZZA**

| FRONTE STABILE                                 | materiale stratificato | materiale stratificato [K <sub>A</sub> - K <sub>0</sub> - f] medi |
|--|------------------------|---|
| <b>t m2</b> (resistenza taglio concio 2) [KPa] | 216,77                 | 216,77  |
| <b>t m3</b> (resistenza taglio concio 3) [KPa] | 4,00                   | 4,00  |
| <b>FSF</b>                                     | 4,75                   | 4,75  |



### STRATIGRAFIA

| N°strati SOPRA la calotta                             | 1          | (max 6)                    | N°strati SOTTO la calotta | 1        | (max 6)                                    |            |                            |       |          |
|---|------------|----------------------------|---------------------------|----------|--|------------|----------------------------|-------|----------|
| Strati SOPRA la calotta                               |            |                            |                           |          | Strati SOTTO la calotta                    |            |                            |       |          |
| Strato n°   | Spessore m | $\gamma$ KN/m <sup>3</sup> | c KPa                     | $\phi$ ° | Strato n°                                  | Spessore m | $\gamma$ KN/m <sup>3</sup> | c KPa | $\phi$ ° |
| 1   | 22         | 19                         | 4                         | 33       | 1  | 12,2       | 19                         | 4     | 33       |
|   |            |                            |                           |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                           |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                           |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                           |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                           |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                           |          |  |            |                            |       |          |
| Altezza totale da piano campagna ad arco rovescio [m] | 34,2       |                            |                           |          | Altezza galleria [m]                       | 12,2       |                            |       |          |
| w profondità falda da piano campagna [m]              | 100        |                            |                           |          | $\gamma_w$ peso acqua [KN/m <sup>3</sup> ] | 10         |                            |       |          |

### PARAMETRI GEOMETRICI

|                                       |      |  |        |
|---------------------------------------|------|--|--------|
| B larghezza del tunnel [m]            | 16,7 | h1 altezza paraboloide [m]             | 22     |
| D altezza del tunnel [m]              | 12,2 | l parametro geometrico paraboloide [m] | 6,62   |
| C profondità calotta [m]              | 22   | B parametro geometrico paraboloide [m] | 29,95  |
| a avanzamento senza sostegno [m]      | 0    | z-w parametro geometrico [m]           | -78,00 |
| Deq diametro equivalente [m]          | 16   | z-w-h1 parametro geometrico [m]        | 0,00   |
| <b>Shallow Tunnel =&gt; Z &lt; 3D</b> |      | z-h1 parametro geometrico [m]          | 0,00   |

### PARAMETRI DEL MATERIALE

|  |       |   |       |
|--|-------|---|-------|
| $g_1$ peso medio fronte (cuneo 1) [KN/m <sup>3</sup> ] | 19,00 | $g_{2-3}$ peso medio (cunei 2-3) [KN/m <sup>3</sup> ]         | 19,00 |
| $f_1$ angolo medio fronte (cuneo 1) [°]                | 33,00 | $f_{2-3}$ angolo medio (cunei 2-3) [°]                        | 33,00 |
| $c_1$ coesione media fronte (cuneo 1) [KPa]            | 4,00  | $c_{2-3}$ coesione media (cunei 2-3) [KPa]                    | 4,00  |
| $K_{01}$ spinta a riposo fronte (cuneo 1)              | 0,46  | $K_{02-3}$ spinta a riposo media (cunei 2-3)                  | 0,46  |
| $K_{A1}$ coefficiente $0,5 < K_A < 1$ (cuneo 1)        | 1,00  | $K_{A2-3}$ coefficiente $0,5 < K_A < 1$ (cuneo 2-3)           | 1,00  |
| $g_m$ peso medio (globale) [KN/m <sup>3</sup> ]        | 19,00 | $g_{dw2-3}$ peso medio (sotto falda) [KN/m <sup>3</sup> ]     | 0,00  |
| $f_m$ angolo medio (globale) [°]                       | 33,00 | $g_{uw2-3}$ peso medio (sopra falda) [KN/m <sup>3</sup> ]     | 19,00 |
| $c_m$ coesione media (globale) [KPa]                   | 4,00  | $g_{(z-w)-h1}$ peso medio (tra z-w e h1) [KN/m <sup>3</sup> ] | 10,00 |
| $K_{0m}$ spinta a riposo (globale)                     | 0,46  |   |       |
| $K_{Am}$ coefficiente $0,5 < K_A < 1$ (globale)        | 1,00  | U press. acqua (sul fondo galleria) [KPa]                     | 0     |

### CALCOLO DELLE RESISTENZE AL TAGLIO E FATTORE DI SICUREZZA

| FRONTE INSTABILE                        | materiale stratificato | materiale stratificato<br>[ $K_A - K_0 - f$ ] medi |
|---|------------------------|--|
| t m2 (resistenza taglio concio 2) [KPa] | -5,40                  | -5,40  |
| t m3 (resistenza taglio concio 3) [KPa] | 4,00                   | 4,00   |
| FSF                                     | 0,02                   | 0,02   |

**STRATIGRAFIA**

| N°strati <b>SOPRA</b> la calotta                      | 1          | (max 6)                    | N°strati <b>SOTTO</b> la calotta | 1        | (max 6)                                    |            |                            |       |          |
|---|------------|----------------------------|----------------------------------|----------|--|------------|----------------------------|-------|----------|
| Strati SOPRA la calotta                               |            |                            |                                  |          | Strati SOTTO la calotta                    |            |                            |       |          |
| Strato n°   | Spessore m | $\gamma$ KN/m <sup>3</sup> | c KPa                            | $\phi$ ° | Strato n°                                  | Spessore m | $\gamma$ KN/m <sup>3</sup> | c KPa | $\phi$ ° |
| 1   | 22         | 19                         | 4                                | 33       | 1  | 12,2       | 19                         | 291   | 33       |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
| Altezza totale da piano campagna ad arco rovescio [m] | 34,2       |                            |                                  |          | Altezza galleria [m]                       | 12,2       |                            |       |          |
| w profondità falda da piano campagna [m]              | 100        |                            |                                  |          | $\gamma_w$ peso acqua [KN/m <sup>3</sup> ] | 10         |                            |       |          |

**PARAMETRI GEOMETRICI**

|   |      |   |        |
|---|------|---|--------|
| <b>B</b> larghezza del tunnel [m]       | 16,7 | <b>h1</b> altezza paraboloide [m]             | 22     |
| <b>D</b> altezza del tunnel [m]         | 12,2 | <b>l</b> parametro geometrico paraboloide [m] | 6,62   |
| <b>C</b> profondità calotta [m]         | 22   | <b>B</b> parametro geometrico paraboloide [m] | 29,95  |
| <b>a</b> avanzamento senza sostegno [m] | 0    | <b>z-w</b> parametro geometrico [m]           | -78,00 |
| <b>Deq</b> diametro equivalente [m]     | 16   | <b>z-w-h1</b> parametro geometrico [m]        | 0,00   |
| <b>Shallow Tunnel =&gt; Z &lt; 3D</b>   |      | <b>z-h1</b> parametro geometrico [m]          | 0,00   |

**PARAMETRI DEL MATERIALE**

|  |        |  |       |
|--|--------|--|-------|
| <b>g<sub>1</sub></b> peso medio fronte (cuneo 1) [KN/m <sup>3</sup> ]  | 19,00  | <b>g<sub>2-3</sub></b> peso medio (cunei 2-3) [KN/m <sup>3</sup> ]         | 19,00 |
| <b>f<sub>1</sub></b> angolo medio fronte (cuneo 1) [°]                 | 33,00  | <b>f<sub>2-3</sub></b> angolo medio (cunei 2-3) [°]                        | 33,00 |
| <b>c<sub>1</sub></b> coesione media fronte (cuneo 1) [KPa]             | 291,00 | <b>c<sub>2-3</sub></b> coesione media (cunei 2-3) [KPa]                    | 4,00  |
| <b>K<sub>0 1</sub></b> spinta a riposo fronte (cuneo 1)                | 0,46   | <b>K<sub>0 2-3</sub></b> spinta a riposo media (cunei 2-3)                 | 0,46  |
| <b>K<sub>A 1</sub></b> coefficiente 0,5 < K <sub>A</sub> < 1 (cuneo 1) | 1,00   | <b>K<sub>A 2-3</sub></b> coefficiente 0,5 < K <sub>A</sub> < 1 (cuneo 2-3) | 1,00  |
| <b>g<sub>m</sub></b> peso medio (globale) [KN/m <sup>3</sup> ]         | 19,00  | <b>g<sub>dw 2-3</sub></b> peso medio (sotto falda) [KN/m <sup>3</sup> ]    | 0,00  |
| <b>f<sub>m</sub></b> angolo medio (globale) [°]                        | 33,00  | <b>g<sub>uw 2-3</sub></b> peso medio (sopra falda) [KN/m <sup>3</sup> ]    | 19,00 |
| <b>c<sub>m</sub></b> coesione media (globale) [KPa]                    | 106,38 | <b>g<sub>(z-w)-h1</sub></b> peso medio (tra z-w e h1) [KN/m <sup>3</sup> ] | 10,00 |
| <b>K<sub>0 m</sub></b> spinta a riposo (globale)                       | 0,46   |  |       |
| <b>K<sub>A m</sub></b> coefficiente 0,5 < K <sub>A</sub> < 1 (globale) | 1,00   | <b>U</b> press. acqua (sul fondo galleria) [KPa]                           | 0     |

**CALCOLO DELLE RESISTENZE AL TAGLIO E FATTORE DI SICUREZZA**

| FRONTE STABILE                                 | materiale stratificato | materiale stratificato<br>[K <sub>A</sub> - K <sub>0</sub> - f] medi |
|--|------------------------|--|
| <b>t m2</b> (resistenza taglio concio 2) [KPa] | 216,77                 | 216,77   |
| <b>t m3</b> (resistenza taglio concio 3) [KPa] | 4,00                   | 4,00   |
| <b>FSF</b>                                     | <b>2,75</b>            | <b>2,75</b>  |

**STRATIGRAFIA**

N°strati **SOPRA** la calotta  (max 6)

N°strati **SOTTO** la calotta  (max 6)

| Strati SOPRA la calotta |            |                            |       |          |
|-------------------------|------------|----------------------------|-------|----------|
| Strato n°               | Spessore m | $\gamma$ KN/m <sup>3</sup> | c KPa | $\phi$ ° |
| 1                       | 37         | 19                         | 4     | 33       |
|                         |            |                            |       |          |
|                         |            |                            |       |          |
|                         |            |                            |       |          |
|                         |            |                            |       |          |

| Strati SOTTO la calotta |            |                            |       |          |
|-------------------------|------------|----------------------------|-------|----------|
| Strato n°               | Spessore m | $\gamma$ KN/m <sup>3</sup> | c KPa | $\phi$ ° |
| 1                       | 12,2       | 19                         | 4     | 33       |
|                         |            |                            |       |          |
|                         |            |                            |       |          |
|                         |            |                            |       |          |
|                         |            |                            |       |          |

Altezza totale da piano campagna ad arco rovescio [m]

Altezza galleria [m]

w profondità falda da piano campagna [m]

$\gamma_w$  peso acqua [KN/m<sup>3</sup>]

**PARAMETRI GEOMETRICI**

|                                  |                                   |
|----------------------------------|-----------------------------------|
| B larghezza del tunnel [m]       | <input type="text" value="16,7"/> |
| D altezza del tunnel [m]         | <input type="text" value="12,2"/> |
| C profondità calotta [m]         | <input type="text" value="37"/>   |
| a avanzamento senza sostegno [m] | <input type="text" value="0"/>    |
| Deq diametro equivalente [m]     | <input type="text" value="16"/>   |

|  |                                     |
|--|-------------------------------------|
| h1 altezza paraboloide [m]             | <input type="text" value="37"/>     |
| l parametro geometrico paraboloide [m] | <input type="text" value="6,62"/>   |
| B parametro geometrico paraboloide [m] | <input type="text" value="29,95"/>  |
| z-w parametro geometrico [m]           | <input type="text" value="-63,00"/> |
| z-w-h1 parametro geometrico [m]        | <input type="text" value="0,00"/>   |
| z-h1 parametro geometrico [m]          | <input type="text" value="0,00"/>   |

Shallow Tunnel =>  $Z < 3D$

**PARAMETRI DEL MATERIALE**

|  |                                    |
|--|------------------------------------|
| $g_1$ peso medio fronte (cuneo 1) [KN/m <sup>3</sup> ] | <input type="text" value="19,00"/> |
| $f_1$ angolo medio fronte (cuneo 1) [°]                | <input type="text" value="33,00"/> |
| $c_1$ coesione media fronte (cuneo 1) [KPa]            | <input type="text" value="4,00"/>  |
| $K_{0_1}$ spinta a riposo fronte (cuneo 1)             | <input type="text" value="0,46"/>  |
| $K_{A_1}$ coefficiente $0,5 < K_A < 1$ (cuneo 1)       | <input type="text" value="1,00"/>  |

|   |                                    |
|---|------------------------------------|
| $g_{2-3}$ peso medio (cunei 2-3) [KN/m <sup>3</sup> ] | <input type="text" value="19,00"/> |
| $f_{2-3}$ angolo medio (cunei 2-3) [°]                | <input type="text" value="33,00"/> |
| $c_{2-3}$ coesione media (cunei 2-3) [KPa]            | <input type="text" value="4,00"/>  |
| $K_{0_2-3}$ spinta a riposo media (cunei 2-3)         | <input type="text" value="0,46"/>  |
| $K_{A_2-3}$ coefficiente $0,5 < K_A < 1$ (cuneo 2-3)  | <input type="text" value="1,00"/>  |

|  |                                    |
|--|------------------------------------|
| $g_m$ peso medio (globale) [KN/m <sup>3</sup> ]  | <input type="text" value="19,00"/> |
| $f_m$ angolo medio (globale) [°]                 | <input type="text" value="33,00"/> |
| $c_m$ coesione media (globale) [KPa]             | <input type="text" value="4,00"/>  |
| $K_{0_m}$ spinta a riposo (globale)              | <input type="text" value="0,46"/>  |
| $K_{A_m}$ coefficiente $0,5 < K_A < 1$ (globale) | <input type="text" value="1,00"/>  |

|   |                                    |
|---|------------------------------------|
| $g_{dw_2-3}$ peso medio (sotto falda) [KN/m <sup>3</sup> ]    | <input type="text" value="0,00"/>  |
| $g_{uw_2-3}$ peso medio (sopra falda) [KN/m <sup>3</sup> ]    | <input type="text" value="19,00"/> |
| $g_{(z-w)-h1}$ peso medio (tra z-w e h1) [KN/m <sup>3</sup> ] | <input type="text" value="10,00"/> |

U press. acqua (sul fondo galleria) [KPa]

**CALCOLO DELLE RESISTENZE AL TAGLIO E FATTORE DI SICUREZZA**

| FRONTE INSTABILE                        | materiale stratificato             | materiale stratificato<br>[ $K_A - K_0 - f$ ] medi |
|---|------------------------------------|--|
| t m2 (resistenza taglio concio 2) [KPa] | <input type="text" value="-5,40"/> | <input type="text" value="-5,40"/>                 |
| t m3 (resistenza taglio concio 3) [KPa] | <input type="text" value="4,00"/>  | <input type="text" value="4,00"/>                  |
| FSF                                     | <input type="text" value="0,02"/>  | <input type="text" value="0,02"/>                  |

**STRATIGRAFIA**

N°strati **SOPRA** la calotta  (max 6)

N°strati **SOTTO** la calotta  (max 6)

**Strati SOPRA la calotta**

| Strato n° | Spessore m | $\gamma$ KN/m <sup>3</sup> | c KPa | $\phi$ ° |
|-----------|------------|----------------------------|-------|----------|
| 1         | 37         | 19                         | 4     | 33       |
|           |            |                            |       |          |
|           |            |                            |       |          |
|           |            |                            |       |          |
|           |            |                            |       |          |
|           |            |                            |       |          |

**Strati SOTTO la calotta**

| Strato n° | Spessore m | $\gamma$ KN/m <sup>3</sup> | c KPa | $\phi$ ° |
|-----------|------------|----------------------------|-------|----------|
| 1         | 12,2       | 19                         | 291   | 33       |
|           |            |                            |       |          |
|           |            |                            |       |          |
|           |            |                            |       |          |
|           |            |                            |       |          |
|           |            |                            |       |          |

Altezza totale da piano campagna ad arco rovescio [m]

Altezza galleria [m]

w profondità falda da piano campagna [m]

$\gamma_w$  peso acqua [KN/m<sup>3</sup>]

**PARAMETRI GEOMETRICI**

|                                  |                                   |
|----------------------------------|-----------------------------------|
| B larghezza del tunnel [m]       | <input type="text" value="16,7"/> |
| D altezza del tunnel [m]         | <input type="text" value="12,2"/> |
| C profondità calotta [m]         | <input type="text" value="37"/>   |
| a avanzamento senza sostegno [m] | <input type="text" value="0"/>    |
| Deq diametro equivalente [m]     | <input type="text" value="16"/>   |

|  |                                     |
|--|-------------------------------------|
| h1 altezza paraboloide [m]             | <input type="text" value="37"/>     |
| l parametro geometrico paraboloide [m] | <input type="text" value="6,62"/>   |
| B parametro geometrico paraboloide [m] | <input type="text" value="29,95"/>  |
| z-w parametro geometrico [m]           | <input type="text" value="-63,00"/> |
| z-w-h1 parametro geometrico [m]        | <input type="text" value="0,00"/>   |
| z-h1 parametro geometrico [m]          | <input type="text" value="0,00"/>   |

Shallow Tunnel =>  $Z < 3D$

**PARAMETRI DEL MATERIALE**

|  |                                     |
|--|-------------------------------------|
| $g_1$ peso medio fronte (cuneo 1) [KN/m <sup>3</sup> ] | <input type="text" value="19,00"/>  |
| $f_1$ angolo medio fronte (cuneo 1) [°]                | <input type="text" value="33,00"/>  |
| $c_1$ coesione media fronte (cuneo 1) [KPa]            | <input type="text" value="291,00"/> |
| $K_{0_1}$ spinta a riposo fronte (cuneo 1)             | <input type="text" value="0,46"/>   |
| $K_{A_1}$ coefficiente $0,5 < K_A < 1$ (cuneo 1)       | <input type="text" value="1,00"/>   |

|   |                                    |
|---|------------------------------------|
| $g_{2-3}$ peso medio (cunei 2-3) [KN/m <sup>3</sup> ] | <input type="text" value="19,00"/> |
| $f_{2-3}$ angolo medio (cunei 2-3) [°]                | <input type="text" value="33,00"/> |
| $c_{2-3}$ coesione media (cunei 2-3) [KPa]            | <input type="text" value="4,00"/>  |
| $K_{0_2-3}$ spinta a riposo media (cunei 2-3)         | <input type="text" value="0,46"/>  |
| $K_{A_2-3}$ coefficiente $0,5 < K_A < 1$ (cuneo 2-3)  | <input type="text" value="1,00"/>  |

|  |                                    |
|--|------------------------------------|
| $g_m$ peso medio (globale) [KN/m <sup>3</sup> ]  | <input type="text" value="19,00"/> |
| $f_m$ angolo medio (globale) [°]                 | <input type="text" value="33,00"/> |
| $c_m$ coesione media (globale) [KPa]             | <input type="text" value="75,17"/> |
| $K_{0_m}$ spinta a riposo (globale)              | <input type="text" value="0,46"/>  |
| $K_{A_m}$ coefficiente $0,5 < K_A < 1$ (globale) | <input type="text" value="1,00"/>  |

|   |                                    |
|---|------------------------------------|
| $g_{dw_2-3}$ peso medio (sotto falda) [KN/m <sup>3</sup> ]    | <input type="text" value="0,00"/>  |
| $g_{uw_2-3}$ peso medio (sopra falda) [KN/m <sup>3</sup> ]    | <input type="text" value="19,00"/> |
| $g_{(z-w)-h1}$ peso medio (tra z-w e h1) [KN/m <sup>3</sup> ] | <input type="text" value="10,00"/> |

U press. acqua (sul fondo galleria) [KPa]

**CALCOLO DELLE RESISTENZE AL TAGLIO E FATTORE DI SICUREZZA**

| FRONTE STABILE                          | materiale stratificato              | materiale stratificato<br>[ $K_A - K_0 - f$ ] medi |
|---|-------------------------------------|--|
| t m2 (resistenza taglio concio 2) [KPa] | <input type="text" value="216,77"/> | <input type="text" value="216,77"/>                |
| t m3 (resistenza taglio concio 3) [KPa] | <input type="text" value="4,00"/>   | <input type="text" value="4,00"/>                  |
| FSF                                     | <input type="text" value="2,30"/>   | <input type="text" value="2,30"/>                  |

VERIFICA DI STABILITA' DEL FRONTE DI SCAVO - Tamez, Cornejo - SEZ. C1 ALLARGO, COP. 12m  
GALLERIA FARO SUPERIORE - GHIAIE DI MESSINA  
FASE DI DIAGNOSI



STRATIGRAFIA

| N°strati SOPRA la calotta                             | 1          | (max 6)                    | N°strati SOTTO la calotta | 1        | (max 6)                                    |            |                            |       |          |
|---|------------|----------------------------|---------------------------|----------|--|------------|----------------------------|-------|----------|
| Strati SOPRA la calotta                               |            |                            |                           |          | Strati SOTTO la calotta                    |            |                            |       |          |
| Strato n°   | Spessore m | $\gamma$ KN/m <sup>3</sup> | c KPa                     | $\phi$ ° | Strato n°                                  | Spessore m | $\gamma$ KN/m <sup>3</sup> | c KPa | $\phi$ ° |
| 1   | 5          | 19                         | 4                         | 33       | 1  | 16,1       | 19                         | 4     | 33       |
|   |            |                            |                           |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                           |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                           |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                           |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                           |          |  |            |                            |       |          |
| Altezza totale da piano campagna ad arco rovescio [m] | 21,1       |                            |                           |          | Altezza galleria [m]                       | 16,1       |                            |       |          |
| w profondità falda da piano campagna [m]              | 100        |                            |                           |          | $\gamma_w$ peso acqua [KN/m <sup>3</sup> ] | 10         |                            |       |          |

PARAMETRI GEOMETRICI

|                                       |      |  |        |
|---------------------------------------|------|--|--------|
| B larghezza del tunnel [m]            | 21,7 | h1 altezza paraboloide [m]             | 5      |
| D altezza del tunnel [m]              | 16,1 | l parametro geometrico paraboloide [m] | 8,74   |
| C profondità calotta [m]              | 5    | B parametro geometrico paraboloide [m] | 39,18  |
| a avanzamento senza sostegno [m]      | 0    | z-w parametro geometrico [m]           | -95,00 |
| Deq diametro equivalente [m]          | 19   | z-w-h1 parametro geometrico [m]        | 0,00   |
| <b>Shallow Tunnel =&gt; Z &lt; 3D</b> |      | z-h1 parametro geometrico [m]          | 0,00   |

PARAMETRI DEL MATERIALE

|  |       |   |       |
|--|-------|---|-------|
| $g_1$ peso medio fronte (cuneo 1) [KN/m <sup>3</sup> ] | 19,00 | $g_{2-3}$ peso medio (cunei 2-3) [KN/m <sup>3</sup> ]         | 19,00 |
| $f_1$ angolo medio fronte (cuneo 1) [°]                | 33,00 | $f_{2-3}$ angolo medio (cunei 2-3) [°]                        | 33,00 |
| $c_1$ coesione media fronte (cuneo 1) [KPa]            | 4,00  | $c_{2-3}$ coesione media (cunei 2-3) [KPa]                    | 4,00  |
| $K_{0_1}$ spinta a riposo fronte (cuneo 1)             | 0,46  | $K_{0_2-3}$ spinta a riposo media (cunei 2-3)                 | 0,46  |
| $K_{A_1}$ coefficiente $0,5 < K_A < 1$ (cuneo 1)       | 1,00  | $K_{A_2-3}$ coefficiente $0,5 < K_A < 1$ (cuneo 2-3)          | 1,00  |
| $g_m$ peso medio (globale) [KN/m <sup>3</sup> ]        | 19,00 | $g_{dw_2-3}$ peso medio (sotto falda) [KN/m <sup>3</sup> ]    | 0,00  |
| $f_m$ angolo medio (globale) [°]                       | 33,00 | $g_{uw_2-3}$ peso medio (sopra falda) [KN/m <sup>3</sup> ]    | 19,00 |
| $c_m$ coesione media (globale) [KPa]                   | 4,00  | $g_{(z-w)-h1}$ peso medio (tra z-w e h1) [KN/m <sup>3</sup> ] | 10,00 |
| $K_{0_m}$ spinta a riposo (globale)                    | 0,46  |   |       |
| $K_{A_m}$ coefficiente $0,5 < K_A < 1$ (globale)       | 1,00  | U press. acqua (sul fondo galleria) [KPa]                     | 0     |

CALCOLO DELLE RESISTENZE AL TAGLIO E FATTORE DI SICUREZZA

| FRONTE INSTABILE                        | materiale stratificato | materiale stratificato<br>[ $K_A - K_0 - f$ ] medi |
|---|------------------------|--|
| t m2 (resistenza taglio concio 2) [KPa] | -9,40                  | -9,40  |
| t m3 (resistenza taglio concio 3) [KPa] | 4,00                   | 4,00   |
| FSF                                     | 0,04                   | 0,04   |

### STRATIGRAFIA

| N°strati <b>SOPRA</b> la calotta                      | 1          | (max 6)                    | N°strati <b>SOTTO</b> la calotta | 1        | (max 6)                                    |            |                            |       |          |
|---|------------|----------------------------|----------------------------------|----------|--|------------|----------------------------|-------|----------|
| Strati SOPRA la calotta                               |            |                            |                                  |          | Strati SOTTO la calotta                    |            |                            |       |          |
| Strato n°   | Spessore m | $\gamma$ KN/m <sup>3</sup> | c KPa                            | $\phi$ ° | Strato n°                                  | Spessore m | $\gamma$ KN/m <sup>3</sup> | c KPa | $\phi$ ° |
| 1   | 5          | 19                         | 4                                | 33       | 1  | 16,1       | 19                         | 318   | 33       |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
| Altezza totale da piano campagna ad arco rovescio [m] | 21,1       |                            |                                  |          | Altezza galleria [m]                       | 16,1       |                            |       |          |
| w profondità falda da piano campagna [m]              | 100        |                            |                                  |          | $\gamma_w$ peso acqua [KN/m <sup>3</sup> ] | 10         |                            |       |          |

### PARAMETRI GEOMETRICI

|                                       |      |  |        |
|---------------------------------------|------|--|--------|
| B larghezza del tunnel [m]            | 21,7 | h1 altezza paraboloide [m]             | 5      |
| D altezza del tunnel [m]              | 16,1 | l parametro geometrico paraboloide [m] | 8,74   |
| C profondità calotta [m]              | 5    | B parametro geometrico paraboloide [m] | 39,18  |
| a avanzamento senza sostegno [m]      | 0    | z-w parametro geometrico [m]           | -95,00 |
| Deq diametro equivalente [m]          | 19   | z-w-h1 parametro geometrico [m]        | 0,00   |
| <b>Shallow Tunnel =&gt; Z &lt; 3D</b> |      | z-h1 parametro geometrico [m]          | 0,00   |

### PARAMETRI DEL MATERIALE

|   |        |   |       |
|---|--------|---|-------|
| <b>g</b> <sub>1</sub> peso medio fronte (cuneo 1) [KN/m <sup>3</sup> ]  | 19,00  | <b>g</b> <sub>2-3</sub> peso medio (cunei 2-3) [KN/m <sup>3</sup> ]         | 19,00 |
| <b>f</b> <sub>1</sub> angolo medio fronte (cuneo 1) [°]                 | 33,00  | <b>f</b> <sub>2-3</sub> angolo medio (cunei 2-3) [°]                        | 33,00 |
| <b>c</b> <sub>1</sub> coesione media fronte (cuneo 1) [KPa]             | 318,00 | <b>c</b> <sub>2-3</sub> coesione media (cunei 2-3) [KPa]                    | 4,00  |
| <b>K</b> <sub>0 1</sub> spinta a riposo fronte (cuneo 1)                | 0,46   | <b>K</b> <sub>0 2-3</sub> spinta a riposo media (cunei 2-3)                 | 0,46  |
| <b>K</b> <sub>A 1</sub> coefficiente 0,5 < K <sub>A</sub> < 1 (cuneo 1) | 1,00   | <b>K</b> <sub>A 2-3</sub> coefficiente 0,5 < K <sub>A</sub> < 1 (cuneo 2-3) | 1,00  |
| <b>g</b> <sub>m</sub> peso medio (globale) [KN/m <sup>3</sup> ]         | 19,00  | <b>g</b> <sub>dw 2-3</sub> peso medio (sotto falda) [KN/m <sup>3</sup> ]    | 0,00  |
| <b>f</b> <sub>m</sub> angolo medio (globale) [°]                        | 33,00  | <b>g</b> <sub>uw 2-3</sub> peso medio (sopra falda) [KN/m <sup>3</sup> ]    | 19,00 |
| <b>c</b> <sub>m</sub> coesione media (globale) [KPa]                    | 243,59 | <b>g</b> <sub>(z-w)-h1</sub> peso medio (tra z-w e h1) [KN/m <sup>3</sup> ] | 10,00 |
| <b>K</b> <sub>0 m</sub> spinta a riposo (globale)                       | 0,46   |   |       |
| <b>K</b> <sub>A m</sub> coefficiente 0,5 < K <sub>A</sub> < 1 (globale) | 1,00   | <b>U</b> press. acqua (sul fondo galleria) [KPa]                            | 0     |

### CALCOLO DELLE RESISTENZE AL TAGLIO E FATTORE DI SICUREZZA

| FRONTE STABILE                                 | materiale stratificato | materiale stratificato<br>[K <sub>A</sub> - K <sub>0</sub> - f] medi |
|--|------------------------|--|
| <b>t m2</b> (resistenza taglio concio 2) [KPa] | 233,67                 | 233,67   |
| <b>t m3</b> (resistenza taglio concio 3) [KPa] | 4,00                   | 4,00   |
| <b>FSF</b>                                     | <b>3,99</b>            | <b>3,99</b>  |

VERIFICA DI STABILITA' DEL FRONTE DI SCAVO - Tamez, Cornejo - SEZ. C1 +1.05+PIAZ., 30m  
 GALLERIA FARO SUPERIORE - GHIAIE DI MESSINA  
 FASE DI DIAGNOSI



STRATIGRAFIA

| N°strati SOPRA la calotta                             | 1          | (max 6)                    | N°strati SOTTO la calotta | 1        | (max 6)                                    |            |                            |       |          |
|---|------------|----------------------------|---------------------------|----------|--|------------|----------------------------|-------|----------|
| Strati SOPRA la calotta                               |            |                            |                           |          | Strati SOTTO la calotta                    |            |                            |       |          |
| Strato n°   | Spessore m | $\gamma$ KN/m <sup>3</sup> | c KPa                     | $\phi$ ° | Strato n°                                  | Spessore m | $\gamma$ KN/m <sup>3</sup> | c KPa | $\phi$ ° |
| 1   | 15         | 19                         | 4                         | 33       | 1  | 16,1       | 19                         | 4     | 33       |
|   |            |                            |                           |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                           |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                           |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                           |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                           |          |  |            |                            |       |          |
| Altezza totale da piano campagna ad arco rovescio [m] | 31,1       |                            |                           |          | Altezza galleria [m]                       | 16,1       |                            |       |          |
| w profondità falda da piano campagna [m]              | 100        |                            |                           |          | $\gamma_w$ peso acqua [KN/m <sup>3</sup> ] | 10         |                            |       |          |

PARAMETRI GEOMETRICI

|                                       |      |  |        |
|---------------------------------------|------|--|--------|
| B larghezza del tunnel [m]            | 21,7 | h1 altezza paraboloide [m]             | 15     |
| D altezza del tunnel [m]              | 16,1 | l parametro geometrico paraboloide [m] | 8,74   |
| C profondità calotta [m]              | 15   | B parametro geometrico paraboloide [m] | 39,18  |
| a avanzamento senza sostegno [m]      | 0    | z-w parametro geometrico [m]           | -85,00 |
| Deq diametro equivalente [m]          | 19   | z-w-h1 parametro geometrico [m]        | 0,00   |
| <b>Shallow Tunnel =&gt; Z &lt; 3D</b> |      | z-h1 parametro geometrico [m]          | 0,00   |

PARAMETRI DEL MATERIALE

|  |       |   |       |
|--|-------|---|-------|
| $g_1$ peso medio fronte (cuneo 1) [KN/m <sup>3</sup> ] | 19,00 | $g_{2-3}$ peso medio (cunei 2-3) [KN/m <sup>3</sup> ]         | 19,00 |
| $f_1$ angolo medio fronte (cuneo 1) [°]                | 33,00 | $f_{2-3}$ angolo medio (cunei 2-3) [°]                        | 33,00 |
| $c_1$ coesione media fronte (cuneo 1) [KPa]            | 4,00  | $c_{2-3}$ coesione media (cunei 2-3) [KPa]                    | 4,00  |
| $K_{0_1}$ spinta a riposo fronte (cuneo 1)             | 0,46  | $K_{0_2-3}$ spinta a riposo media (cunei 2-3)                 | 0,46  |
| $K_{A_1}$ coefficiente $0,5 < K_A < 1$ (cuneo 1)       | 1,00  | $K_{A_2-3}$ coefficiente $0,5 < K_A < 1$ (cuneo 2-3)          | 1,00  |
| $g_m$ peso medio (globale) [KN/m <sup>3</sup> ]        | 19,00 | $g_{dw_2-3}$ peso medio (sotto falda) [KN/m <sup>3</sup> ]    | 0,00  |
| $f_m$ angolo medio (globale) [°]                       | 33,00 | $g_{uw_2-3}$ peso medio (sopra falda) [KN/m <sup>3</sup> ]    | 19,00 |
| $c_m$ coesione media (globale) [KPa]                   | 4,00  | $g_{(z-w)-h1}$ peso medio (tra z-w e h1) [KN/m <sup>3</sup> ] | 10,00 |
| $K_{0_m}$ spinta a riposo (globale)                    | 0,46  |   |       |
| $K_{A_m}$ coefficiente $0,5 < K_A < 1$ (globale)       | 1,00  | U press. acqua (sul fondo galleria) [KPa]                     | 0     |

CALCOLO DELLE RESISTENZE AL TAGLIO E FATTORE DI SICUREZZA

| FRONTE INSTABILE                        | materiale stratificato | materiale stratificato<br>[ $K_A - K_0 - f$ ] medi |
|---|------------------------|--|
| t m2 (resistenza taglio concio 2) [KPa] | -9,40                  | -9,40  |
| t m3 (resistenza taglio concio 3) [KPa] | 4,00                   | 4,00   |
| FSF                                     | 0,02                   | 0,02   |

**STRATIGRAFIA**

| N°strati <b>SOPRA</b> la calotta                      | 1          | (max 6)                    | N°strati <b>SOTTO</b> la calotta | 1        | (max 6)                                    |            |                            |       |          |
|---|------------|----------------------------|----------------------------------|----------|--|------------|----------------------------|-------|----------|
| Strati SOPRA la calotta                               |            |                            |                                  |          | Strati SOTTO la calotta                    |            |                            |       |          |
| Strato n°   | Spessore m | $\gamma$ KN/m <sup>3</sup> | c KPa                            | $\phi$ ° | Strato n°                                  | Spessore m | $\gamma$ KN/m <sup>3</sup> | c KPa | $\phi$ ° |
| 1   | 15         | 19                         | 4                                | 33       | 1  | 16,1       | 19                         | 318   | 33       |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
| Altezza totale da piano campagna ad arco rovescio [m] | 31,1       |                            |                                  |          | Altezza galleria [m]                       | 16,1       |                            |       |          |
| w profondità falda da piano campagna [m]              | 100        |                            |                                  |          | $\gamma_w$ peso acqua [KN/m <sup>3</sup> ] | 10         |                            |       |          |

**PARAMETRI GEOMETRICI**

|   |      |   |        |
|---|------|---|--------|
| <b>B</b> larghezza del tunnel [m]       | 21,7 | <b>h1</b> altezza paraboloide [m]             | 15     |
| <b>D</b> altezza del tunnel [m]         | 16,1 | <b>l</b> parametro geometrico paraboloide [m] | 8,74   |
| <b>C</b> profondità calotta [m]         | 15   | <b>B</b> parametro geometrico paraboloide [m] | 39,18  |
| <b>a</b> avanzamento senza sostegno [m] | 0    | <b>z-w</b> parametro geometrico [m]           | -85,00 |
| <b>Deq</b> diametro equivalente [m]     | 19   | <b>z-w-h1</b> parametro geometrico [m]        | 0,00   |
| <b>Shallow Tunnel =&gt; Z &lt; 3D</b>   |      | <b>z-h1</b> parametro geometrico [m]          | 0,00   |

**PARAMETRI DEL MATERIALE**

|   |        |  |       |
|---|--------|--|-------|
| <b>g<sub>1</sub></b> peso medio fronte (cuneo 1) [KN/m <sup>3</sup> ] | 19,00  | <b>g<sub>2-3</sub></b> peso medio (cunei 2-3) [KN/m <sup>3</sup> ]         | 19,00 |
| <b>f<sub>1</sub></b> angolo medio fronte (cuneo 1) [°]                | 33,00  | <b>f<sub>2-3</sub></b> angolo medio (cunei 2-3) [°]                        | 33,00 |
| <b>c<sub>1</sub></b> coesione media fronte (cuneo 1) [KPa]            | 318,00 | <b>c<sub>2-3</sub></b> coesione media (cunei 2-3) [KPa]                    | 4,00  |
| <b>K<sub>0 1</sub></b> spinta a riposo fronte (cuneo 1)               | 0,46   | <b>K<sub>0 2-3</sub></b> spinta a riposo media (cunei 2-3)                 | 0,46  |
| <b>K<sub>A 1</sub></b> coefficiente 0,5<K <sub>A</sub> <1 (cuneo 1)   | 1,00   | <b>K<sub>A 2-3</sub></b> coefficiente 0,5<K <sub>A</sub> <1 (cuneo 2-3)    | 1,00  |
| <b>g<sub>m</sub></b> peso medio (globale) [KN/m <sup>3</sup> ]        | 19,00  | <b>g<sub>dw 2-3</sub></b> peso medio (sotto falda) [KN/m <sup>3</sup> ]    | 0,00  |
| <b>f<sub>m</sub></b> angolo medio (globale) [°]                       | 33,00  | <b>g<sub>uw 2-3</sub></b> peso medio (sopra falda) [KN/m <sup>3</sup> ]    | 19,00 |
| <b>c<sub>m</sub></b> coesione media (globale) [KPa]                   | 166,55 | <b>g<sub>(z-w)-h1</sub></b> peso medio (tra z-w e h1) [KN/m <sup>3</sup> ] | 10,00 |
| <b>K<sub>0 m</sub></b> spinta a riposo (globale)                      | 0,46   |  |       |
| <b>K<sub>A m</sub></b> coefficiente 0,5<K <sub>A</sub> <1 (globale)   | 1,00   | <b>U</b> press. acqua (sul fondo galleria) [KPa]                           | 0     |

**CALCOLO DELLE RESISTENZE AL TAGLIO E FATTORE DI SICUREZZA**

| FRONTE STABILE                                 | materiale stratificato | materiale stratificato [K <sub>A</sub> - K <sub>0</sub> - f] medi |
|--|------------------------|---|
| <b>t m2</b> (resistenza taglio concio 2) [KPa] | 233,67                 | 233,67  |
| <b>t m3</b> (resistenza taglio concio 3) [KPa] | 4,00                   | 4,00  |
| <b>FSF</b>                                     | <b>2,89</b>            | <b>2,89</b>   |



### STRATIGRAFIA

| N°strati <b>SOPRA</b> la calotta                      | 1          | (max 6)                    | N°strati <b>SOTTO</b> la calotta | 1        | (max 6)                                    |            |                            |       |          |
|---|------------|----------------------------|----------------------------------|----------|--|------------|----------------------------|-------|----------|
| Strati SOPRA la calotta                               |            |                            |                                  |          | Strati SOTTO la calotta                    |            |                            |       |          |
| Strato n°   | Spessore m | $\gamma$ KN/m <sup>3</sup> | c KPa                            | $\phi$ ° | Strato n°                                  | Spessore m | $\gamma$ KN/m <sup>3</sup> | c KPa | $\phi$ ° |
| 1   | 30         | 19                         | 4                                | 33       | 1  | 16,1       | 19                         | 4     | 33       |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
| Altezza totale da piano campagna ad arco rovescio [m] | 46,1       |                            |                                  |          | Altezza galleria [m]                       | 16,1       |                            |       |          |
| w profondità falda da piano campagna [m]              | 100        |                            |                                  |          | $\gamma_w$ peso acqua [KN/m <sup>3</sup> ] | 10         |                            |       |          |

### PARAMETRI GEOMETRICI

|                                       |      |  |        |
|---------------------------------------|------|--|--------|
| B larghezza del tunnel [m]            | 21,7 | h1 altezza paraboloide [m]             | 30     |
| D altezza del tunnel [m]              | 16,1 | l parametro geometrico paraboloide [m] | 8,74   |
| C profondità calotta [m]              | 30   | B parametro geometrico paraboloide [m] | 39,18  |
| a avanzamento senza sostegno [m]      | 0    | z-w parametro geometrico [m]           | -70,00 |
| Deq diametro equivalente [m]          | 19   | z-w-h1 parametro geometrico [m]        | 0,00   |
| <b>Shallow Tunnel =&gt; Z &lt; 3D</b> |      | z-h1 parametro geometrico [m]          | 0,00   |

### PARAMETRI DEL MATERIALE

|  |       |   |       |
|--|-------|---|-------|
| <b>g</b> <sub>1</sub> peso medio fronte (cuneo 1) [KN/m <sup>3</sup> ] | 19,00 | <b>g</b> <sub>2-3</sub> peso medio (cunei 2-3) [KN/m <sup>3</sup> ]         | 19,00 |
| <b>f</b> <sub>1</sub> angolo medio fronte (cuneo 1) [°]                | 33,00 | <b>f</b> <sub>2-3</sub> angolo medio (cunei 2-3) [°]                        | 33,00 |
| <b>c</b> <sub>1</sub> coesione media fronte (cuneo 1) [KPa]            | 4,00  | <b>c</b> <sub>2-3</sub> coesione media (cunei 2-3) [KPa]                    | 4,00  |
| <b>K</b> <sub>0 1</sub> spinta a riposo fronte (cuneo 1)               | 0,46  | <b>K</b> <sub>0 2-3</sub> spinta a riposo media (cunei 2-3)                 | 0,46  |
| <b>K</b> <sub>A 1</sub> coefficiente 0,5<K <sub>A</sub> <1 (cuneo 1)   | 1,00  | <b>K</b> <sub>A 2-3</sub> coefficiente 0,5<K <sub>A</sub> <1 (cuneo 2-3)    | 1,00  |
| <b>g</b> <sub>m</sub> peso medio (globale) [KN/m <sup>3</sup> ]        | 19,00 | <b>g</b> <sub>dw 2-3</sub> peso medio (sotto falda) [KN/m <sup>3</sup> ]    | 0,00  |
| <b>f</b> <sub>m</sub> angolo medio (globale) [°]                       | 33,00 | <b>g</b> <sub>uw 2-3</sub> peso medio (sopra falda) [KN/m <sup>3</sup> ]    | 19,00 |
| <b>c</b> <sub>m</sub> coesione media (globale) [KPa]                   | 4,00  | <b>g</b> <sub>(z-w)-h1</sub> peso medio (tra z-w e h1) [KN/m <sup>3</sup> ] | 10,00 |
| <b>K</b> <sub>0 m</sub> spinta a riposo (globale)                      | 0,46  |   |       |
| <b>K</b> <sub>A m</sub> coefficiente 0,5<K <sub>A</sub> <1 (globale)   | 1,00  | <b>U</b> press. acqua (sul fondo galleria) [KPa]                            | 0     |

### CALCOLO DELLE RESISTENZE AL TAGLIO E FATTORE DI SICUREZZA

| FRONTE INSTABILE                               | materiale stratificato | materiale stratificato<br>[K <sub>A</sub> - K <sub>0</sub> - f] medi |
|--|------------------------|--|
| <b>t m2</b> (resistenza taglio concio 2) [KPa] | -9,40                  | -9,40  |
| <b>t m3</b> (resistenza taglio concio 3) [KPa] | 4,00                   | 4,00   |
| <b>FSF</b>                                     | <b>0,00</b>            | <b>0,00</b>  |

### STRATIGRAFIA

| N°strati <b>SOPRA</b> la calotta                      | 1          | (max 6)                    | N°strati <b>SOTTO</b> la calotta | 1        | (max 6)                                    |            |                            |       |          |
|---|------------|----------------------------|----------------------------------|----------|--|------------|----------------------------|-------|----------|
| Strati SOPRA la calotta                               |            |                            |                                  |          | Strati SOTTO la calotta                    |            |                            |       |          |
| Strato n°   | Spessore m | $\gamma$ KN/m <sup>3</sup> | c KPa                            | $\phi$ ° | Strato n°                                  | Spessore m | $\gamma$ KN/m <sup>3</sup> | c KPa | $\phi$ ° |
| 1   | 30         | 19                         | 4                                | 33       | 1  | 16,1       | 19                         | 318   | 33       |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
| Altezza totale da piano campagna ad arco rovescio [m] | 46,1       |                            |                                  |          | Altezza galleria [m]                       | 16,1       |                            |       |          |
| w profondità falda da piano campagna [m]              | 100        |                            |                                  |          | $\gamma_w$ peso acqua [KN/m <sup>3</sup> ] | 10         |                            |       |          |

### PARAMETRI GEOMETRICI

|                                       |      |  |        |
|---------------------------------------|------|--|--------|
| B larghezza del tunnel [m]            | 21,7 | h1 altezza paraboloide [m]             | 30     |
| D altezza del tunnel [m]              | 16,1 | l parametro geometrico paraboloide [m] | 8,74   |
| C profondità calotta [m]              | 30   | B parametro geometrico paraboloide [m] | 39,18  |
| a avanzamento senza sostegno [m]      | 0    | z-w parametro geometrico [m]           | -70,00 |
| Deq diametro equivalente [m]          | 19   | z-w-h1 parametro geometrico [m]        | 0,00   |
| <b>Shallow Tunnel =&gt; Z &lt; 3D</b> |      | z-h1 parametro geometrico [m]          | 0,00   |

### PARAMETRI DEL MATERIALE

|   |        |   |       |
|---|--------|---|-------|
| <b>g</b> <sub>1</sub> peso medio fronte (cuneo 1) [KN/m <sup>3</sup> ]  | 19,00  | <b>g</b> <sub>2-3</sub> peso medio (cunei 2-3) [KN/m <sup>3</sup> ]         | 19,00 |
| <b>f</b> <sub>1</sub> angolo medio fronte (cuneo 1) [°]                 | 33,00  | <b>f</b> <sub>2-3</sub> angolo medio (cunei 2-3) [°]                        | 33,00 |
| <b>c</b> <sub>1</sub> coesione media fronte (cuneo 1) [KPa]             | 318,00 | <b>c</b> <sub>2-3</sub> coesione media (cunei 2-3) [KPa]                    | 4,00  |
| <b>K</b> <sub>0 1</sub> spinta a riposo fronte (cuneo 1)                | 0,46   | <b>K</b> <sub>0 2-3</sub> spinta a riposo media (cunei 2-3)                 | 0,46  |
| <b>K</b> <sub>A 1</sub> coefficiente 0,5 < K <sub>A</sub> < 1 (cuneo 1) | 1,00   | <b>K</b> <sub>A 2-3</sub> coefficiente 0,5 < K <sub>A</sub> < 1 (cuneo 2-3) | 1,00  |
| <b>g</b> <sub>m</sub> peso medio (globale) [KN/m <sup>3</sup> ]         | 19,00  | <b>g</b> <sub>dw 2-3</sub> peso medio (sotto falda) [KN/m <sup>3</sup> ]    | 0,00  |
| <b>f</b> <sub>m</sub> angolo medio (globale) [°]                        | 33,00  | <b>g</b> <sub>uw 2-3</sub> peso medio (sopra falda) [KN/m <sup>3</sup> ]    | 19,00 |
| <b>c</b> <sub>m</sub> coesione media (globale) [KPa]                    | 113,66 | <b>g</b> <sub>(z-w)-h1</sub> peso medio (tra z-w e h1) [KN/m <sup>3</sup> ] | 10,00 |
| <b>K</b> <sub>0 m</sub> spinta a riposo (globale)                       | 0,46   |   |       |
| <b>K</b> <sub>A m</sub> coefficiente 0,5 < K <sub>A</sub> < 1 (globale) | 1,00   | <b>U</b> press. acqua (sul fondo galleria) [KPa]                            | 0     |

### CALCOLO DELLE RESISTENZE AL TAGLIO E FATTORE DI SICUREZZA

| FRONTE STABILE                                 | materiale stratificato | materiale stratificato<br>[K <sub>A</sub> - K <sub>0</sub> - f] medi |
|--|------------------------|--|
| <b>t m2</b> (resistenza taglio concio 2) [KPa] | 233,67                 | 233,67   |
| <b>t m3</b> (resistenza taglio concio 3) [KPa] | 4,00                   | 4,00   |
| <b>FSF</b>                                     | 2,25                   | 2,25   |

### STRATIGRAFIA

| N°strati <b>SOPRA</b> la calotta                      | 1          | (max 6)                    | N°strati <b>SOTTO</b> la calotta | 1        | (max 6)                                    |            |                            |       |          |
|---|------------|----------------------------|----------------------------------|----------|--|------------|----------------------------|-------|----------|
| Strati SOPRA la calotta                               |            |                            |                                  |          | Strati SOTTO la calotta                    |            |                            |       |          |
| Strato n°   | Spessore m | $\gamma$ KN/m <sup>3</sup> | c KPa                            | $\phi$ ° | Strato n°                                  | Spessore m | $\gamma$ KN/m <sup>3</sup> | c KPa | $\phi$ ° |
| 1   | 40         | 19                         | 4                                | 33       | 1  | 16,1       | 19                         | 4     | 33       |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
| Altezza totale da piano campagna ad arco rovescio [m] | 56,1       |                            |                                  |          | Altezza galleria [m]                       | 16,1       |                            |       |          |
| w profondità falda da piano campagna [m]              | 100        |                            |                                  |          | $\gamma_w$ peso acqua [KN/m <sup>3</sup> ] | 10         |                            |       |          |

### PARAMETRI GEOMETRICI

|                                       |      |  |        |
|---------------------------------------|------|--|--------|
| B larghezza del tunnel [m]            | 21,7 | h1 altezza paraboloide [m]             | 40     |
| D altezza del tunnel [m]              | 16,1 | l parametro geometrico paraboloide [m] | 8,74   |
| C profondità calotta [m]              | 40   | B parametro geometrico paraboloide [m] | 39,18  |
| a avanzamento senza sostegno [m]      | 0    | z-w parametro geometrico [m]           | -60,00 |
| Deq diametro equivalente [m]          | 19   | z-w-h1 parametro geometrico [m]        | 0,00   |
| <b>Shallow Tunnel =&gt; Z &lt; 3D</b> |      | z-h1 parametro geometrico [m]          | 0,00   |

### PARAMETRI DEL MATERIALE

|  |       |   |       |
|--|-------|---|-------|
| $g_1$ peso medio fronte (cuneo 1) [KN/m <sup>3</sup> ] | 19,00 | $g_{2-3}$ peso medio (cunei 2-3) [KN/m <sup>3</sup> ]         | 19,00 |
| $f_1$ angolo medio fronte (cuneo 1) [°]                | 33,00 | $f_{2-3}$ angolo medio (cunei 2-3) [°]                        | 33,00 |
| $c_1$ coesione media fronte (cuneo 1) [KPa]            | 4,00  | $c_{2-3}$ coesione media (cunei 2-3) [KPa]                    | 4,00  |
| $K_{0_1}$ spinta a riposo fronte (cuneo 1)             | 0,46  | $K_{0_2-3}$ spinta a riposo media (cunei 2-3)                 | 0,46  |
| $K_{A_1}$ coefficiente $0,5 < K_A < 1$ (cuneo 1)       | 1,00  | $K_{A_2-3}$ coefficiente $0,5 < K_A < 1$ (cuneo 2-3)          | 1,00  |
| $g_m$ peso medio (globale) [KN/m <sup>3</sup> ]        | 19,00 | $g_{dw_2-3}$ peso medio (sotto falda) [KN/m <sup>3</sup> ]    | 0,00  |
| $f_m$ angolo medio (globale) [°]                       | 33,00 | $g_{uw_2-3}$ peso medio (sopra falda) [KN/m <sup>3</sup> ]    | 19,00 |
| $c_m$ coesione media (globale) [KPa]                   | 4,00  | $g_{(z-w)-h1}$ peso medio (tra z-w e h1) [KN/m <sup>3</sup> ] | 10,00 |
| $K_{0_m}$ spinta a riposo (globale)                    | 0,46  |   |       |
| $K_{A_m}$ coefficiente $0,5 < K_A < 1$ (globale)       | 1,00  | U press. acqua (sul fondo galleria) [KPa]                     | 0     |

### CALCOLO DELLE RESISTENZE AL TAGLIO E FATTORE DI SICUREZZA

| FRONTE INSTABILE                        | materiale stratificato | materiale stratificato<br>[ $K_A - K_0 - f$ ] medi |
|---|------------------------|--|
| t m2 (resistenza taglio concio 2) [KPa] | -9,40                  | -9,40  |
| t m3 (resistenza taglio concio 3) [KPa] | 4,00                   | 4,00   |
| FSF                                     | 0,00                   | 0,00   |

### STRATIGRAFIA

| N°strati <b>SOPRA</b> la calotta                      | 1          | (max 6)                    | N°strati <b>SOTTO</b> la calotta | 1        | (max 6)                                    |            |                            |       |          |
|---|------------|----------------------------|----------------------------------|----------|--|------------|----------------------------|-------|----------|
| Strati SOPRA la calotta                               |            |                            |                                  |          | Strati SOTTO la calotta                    |            |                            |       |          |
| Strato n°   | Spessore m | $\gamma$ KN/m <sup>3</sup> | c KPa                            | $\phi$ ° | Strato n°                                  | Spessore m | $\gamma$ KN/m <sup>3</sup> | c KPa | $\phi$ ° |
| 1   | 40         | 19                         | 4                                | 33       | 1  | 16,1       | 19                         | 318   | 33       |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
| Altezza totale da piano campagna ad arco rovescio [m] | 56,1       |                            |                                  |          | Altezza galleria [m]                       | 16,1       |                            |       |          |
| w profondità falda da piano campagna [m]              | 100        |                            |                                  |          | $\gamma_w$ peso acqua [KN/m <sup>3</sup> ] | 10         |                            |       |          |

### PARAMETRI GEOMETRICI

|                                       |      |  |        |
|---------------------------------------|------|--|--------|
| B larghezza del tunnel [m]            | 21,7 | h1 altezza paraboloide [m]             | 40     |
| D altezza del tunnel [m]              | 16,1 | l parametro geometrico paraboloide [m] | 8,74   |
| C profondità calotta [m]              | 40   | B parametro geometrico paraboloide [m] | 39,18  |
| a avanzamento senza sostegno [m]      | 0    | z-w parametro geometrico [m]           | -60,00 |
| Deq diametro equivalente [m]          | 19   | z-w-h1 parametro geometrico [m]        | 0,00   |
| <b>Shallow Tunnel =&gt; Z &lt; 3D</b> |      | z-h1 parametro geometrico [m]          | 0,00   |

### PARAMETRI DEL MATERIALE

|   |        |   |       |
|---|--------|---|-------|
| <b>g</b> <sub>1</sub> peso medio fronte (cuneo 1) [KN/m <sup>3</sup> ]  | 19,00  | <b>g</b> <sub>2-3</sub> peso medio (cunei 2-3) [KN/m <sup>3</sup> ]         | 19,00 |
| <b>f</b> <sub>1</sub> angolo medio fronte (cuneo 1) [°]                 | 33,00  | <b>f</b> <sub>2-3</sub> angolo medio (cunei 2-3) [°]                        | 33,00 |
| <b>c</b> <sub>1</sub> coesione media fronte (cuneo 1) [KPa]             | 318,00 | <b>c</b> <sub>2-3</sub> coesione media (cunei 2-3) [KPa]                    | 4,00  |
| <b>K</b> <sub>0 1</sub> spinta a riposo fronte (cuneo 1)                | 0,46   | <b>K</b> <sub>0 2-3</sub> spinta a riposo media (cunei 2-3)                 | 0,46  |
| <b>K</b> <sub>A 1</sub> coefficiente 0,5 < K <sub>A</sub> < 1 (cuneo 1) | 1,00   | <b>K</b> <sub>A 2-3</sub> coefficiente 0,5 < K <sub>A</sub> < 1 (cuneo 2-3) | 1,00  |
| <b>g</b> <sub>m</sub> peso medio (globale) [KN/m <sup>3</sup> ]         | 19,00  | <b>g</b> <sub>dw 2-3</sub> peso medio (sotto falda) [KN/m <sup>3</sup> ]    | 0,00  |
| <b>f</b> <sub>m</sub> angolo medio (globale) [°]                        | 33,00  | <b>g</b> <sub>uw 2-3</sub> peso medio (sopra falda) [KN/m <sup>3</sup> ]    | 19,00 |
| <b>c</b> <sub>m</sub> coesione media (globale) [KPa]                    | 94,11  | <b>g</b> <sub>(z-w)-h1</sub> peso medio (tra z-w e h1) [KN/m <sup>3</sup> ] | 10,00 |
| <b>K</b> <sub>0 m</sub> spinta a riposo (globale)                       | 0,46   |   |       |
| <b>K</b> <sub>A m</sub> coefficiente 0,5 < K <sub>A</sub> < 1 (globale) | 1,00   | <b>U</b> press. acqua (sul fondo galleria) [KPa]                            | 0     |

### CALCOLO DELLE RESISTENZE AL TAGLIO E FATTORE DI SICUREZZA

| FRONTE STABILE                                 | materiale stratificato | materiale stratificato [K <sub>A</sub> - K <sub>0</sub> - f] medi |
|--|------------------------|---|
| <b>t m2</b> (resistenza taglio concio 2) [KPa] | 233,67                 | 233,67  |
| <b>t m3</b> (resistenza taglio concio 3) [KPa] | 4,00                   | 4,00  |
| <b>FSF</b>                                     | <b>2,04</b>            | <b>2,04</b>   |

VERIFICA DI STABILITA' DEL FRONTE DI SCAVO - Tamez, Cornejo - SEZ. C1 ALLARGO, COP. 12m  
 GALLERIA FARO SUPERIORE - GHIAIE DI MESSINA  
 FASE DI DIAGNOSI



STRATIGRAFIA

| N°strati SOPRA la calotta                             | 1          | (max 6)                    | N°strati SOTTO la calotta | 1        | (max 6)                                    |            |                            |       |          |
|---|------------|----------------------------|---------------------------|----------|--|------------|----------------------------|-------|----------|
| Strati SOPRA la calotta                               |            |                            |                           |          | Strati SOTTO la calotta                    |            |                            |       |          |
| Strato n°   | Spessore m | $\gamma$ KN/m <sup>3</sup> | c KPa                     | $\phi$ ° | Strato n°                                  | Spessore m | $\gamma$ KN/m <sup>3</sup> | c KPa | $\phi$ ° |
| 1   | 4          | 19                         | 4                         | 33       | 1  | 12,85      | 19                         | 4     | 33       |
|   |            |                            |                           |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                           |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                           |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                           |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                           |          |  |            |                            |       |          |
| Altezza totale da piano campagna ad arco rovescio [m] | 16,85      |                            |                           |          | Altezza galleria [m]                       | 12,85      |                            |       |          |
| w profondità falda da piano campagna [m]              | 100        |                            |                           |          | $\gamma_w$ peso acqua [KN/m <sup>3</sup> ] | 10         |                            |       |          |

PARAMETRI GEOMETRICI

|                                       |       |  |        |
|---------------------------------------|-------|--|--------|
| B larghezza del tunnel [m]            | 19,8  | h1 altezza paraboloide [m]             | 4      |
| D altezza del tunnel [m]              | 12,85 | l parametro geometrico paraboloide [m] | 6,98   |
| C profondità calotta [m]              | 4     | B parametro geometrico paraboloide [m] | 33,75  |
| a avanzamento senza sostegno [m]      | 0     | z-w parametro geometrico [m]           | -96,00 |
| Deq diametro equivalente [m]          | 17,5  | z-w-h1 parametro geometrico [m]        | 0,00   |
| <b>Shallow Tunnel =&gt; Z &lt; 3D</b> |       | z-h1 parametro geometrico [m]          | 0,00   |

PARAMETRI DEL MATERIALE

|  |       |   |       |
|--|-------|---|-------|
| $g_1$ peso medio fronte (cuneo 1) [KN/m <sup>3</sup> ] | 19,00 | $g_{2-3}$ peso medio (cunei 2-3) [KN/m <sup>3</sup> ]         | 19,00 |
| $f_1$ angolo medio fronte (cuneo 1) [°]                | 33,00 | $f_{2-3}$ angolo medio (cunei 2-3) [°]                        | 33,00 |
| $c_1$ coesione media fronte (cuneo 1) [KPa]            | 4,00  | $c_{2-3}$ coesione media (cunei 2-3) [KPa]                    | 4,00  |
| $K_{0_1}$ spinta a riposo fronte (cuneo 1)             | 0,46  | $K_{0_2-3}$ spinta a riposo media (cunei 2-3)                 | 0,46  |
| $K_{A_1}$ coefficiente $0,5 < K_A < 1$ (cuneo 1)       | 1,00  | $K_{A_2-3}$ coefficiente $0,5 < K_A < 1$ (cuneo 2-3)          | 1,00  |
| $g_m$ peso medio (globale) [KN/m <sup>3</sup> ]        | 19,00 | $g_{dw_2-3}$ peso medio (sotto falda) [KN/m <sup>3</sup> ]    | 0,00  |
| $f_m$ angolo medio (globale) [°]                       | 33,00 | $g_{uw_2-3}$ peso medio (sopra falda) [KN/m <sup>3</sup> ]    | 19,00 |
| $c_m$ coesione media (globale) [KPa]                   | 4,00  | $g_{(z-w)-h1}$ peso medio (tra z-w e h1) [KN/m <sup>3</sup> ] | 10,00 |
| $K_{0_m}$ spinta a riposo (globale)                    | 0,46  |   |       |
| $K_{A_m}$ coefficiente $0,5 < K_A < 1$ (globale)       | 1,00  | U press. acqua (sul fondo galleria) [KPa]                     | 0     |

CALCOLO DELLE RESISTENZE AL TAGLIO E FATTORE DI SICUREZZA

| FRONTE INSTABILE                        | materiale stratificato | materiale stratificato<br>[ $K_A - K_0 - f$ ] medi |
|---|------------------------|--|
| t m2 (resistenza taglio concio 2) [KPa] | -6,07                  | -6,07  |
| t m3 (resistenza taglio concio 3) [KPa] | 4,00                   | 4,00   |
| FSF                                     | 0,06                   | 0,06   |

### STRATIGRAFIA

| N°strati <b>SOPRA</b> la calotta                      | 1          | (max 6)                    | N°strati <b>SOTTO</b> la calotta | 1        | (max 6)                                    |            |                            |       |          |
|---|------------|----------------------------|----------------------------------|----------|--|------------|----------------------------|-------|----------|
| Strati SOPRA la calotta                               |            |                            |                                  |          | Strati SOTTO la calotta                    |            |                            |       |          |
| Strato n°   | Spessore m | $\gamma$ KN/m <sup>3</sup> | c KPa                            | $\phi$ ° | Strato n°                                  | Spessore m | $\gamma$ KN/m <sup>3</sup> | c KPa | $\phi$ ° |
| 1   | 4          | 19                         | 4                                | 33       | 1  | 12,85      | 19                         | 300   | 33       |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
| Altezza totale da piano campagna ad arco rovescio [m] | 16,85      |                            |                                  |          | Altezza galleria [m]                       | 12,85      |                            |       |          |
| w profondità falda da piano campagna [m]              | 100        |                            |                                  |          | $\gamma_w$ peso acqua [KN/m <sup>3</sup> ] | 10         |                            |       |          |

### PARAMETRI GEOMETRICI

|                                       |       |  |        |
|---------------------------------------|-------|--|--------|
| B larghezza del tunnel [m]            | 19,8  | h1 altezza paraboloide [m]             | 4      |
| D altezza del tunnel [m]              | 12,85 | l parametro geometrico paraboloide [m] | 6,98   |
| C profondità calotta [m]              | 4     | B parametro geometrico paraboloide [m] | 33,75  |
| a avanzamento senza sostegno [m]      | 0     | z-w parametro geometrico [m]           | -96,00 |
| Deq diametro equivalente [m]          | 17,5  | z-w-h1 parametro geometrico [m]        | 0,00   |
| <b>Shallow Tunnel =&gt; Z &lt; 3D</b> |       | z-h1 parametro geometrico [m]          | 0,00   |

### PARAMETRI DEL MATERIALE

|   |        |   |       |
|---|--------|---|-------|
| <b>g</b> <sub>1</sub> peso medio fronte (cuneo 1) [KN/m <sup>3</sup> ]  | 19,00  | <b>g</b> <sub>2-3</sub> peso medio (cunei 2-3) [KN/m <sup>3</sup> ]         | 19,00 |
| <b>f</b> <sub>1</sub> angolo medio fronte (cuneo 1) [°]                 | 33,00  | <b>f</b> <sub>2-3</sub> angolo medio (cunei 2-3) [°]                        | 33,00 |
| <b>c</b> <sub>1</sub> coesione media fronte (cuneo 1) [KPa]             | 300,00 | <b>c</b> <sub>2-3</sub> coesione media (cunei 2-3) [KPa]                    | 4,00  |
| <b>K</b> <sub>0 1</sub> spinta a riposo fronte (cuneo 1)                | 0,46   | <b>K</b> <sub>0 2-3</sub> spinta a riposo media (cunei 2-3)                 | 0,46  |
| <b>K</b> <sub>A 1</sub> coefficiente 0,5 < K <sub>A</sub> < 1 (cuneo 1) | 1,00   | <b>K</b> <sub>A 2-3</sub> coefficiente 0,5 < K <sub>A</sub> < 1 (cuneo 2-3) | 1,00  |
| <b>g</b> <sub>m</sub> peso medio (globale) [KN/m <sup>3</sup> ]         | 19,00  | <b>g</b> <sub>dw 2-3</sub> peso medio (sotto falda) [KN/m <sup>3</sup> ]    | 0,00  |
| <b>f</b> <sub>m</sub> angolo medio (globale) [°]                        | 33,00  | <b>g</b> <sub>uw 2-3</sub> peso medio (sopra falda) [KN/m <sup>3</sup> ]    | 19,00 |
| <b>c</b> <sub>m</sub> coesione media (globale) [KPa]                    | 229,73 | <b>g</b> <sub>(z-w)-h1</sub> peso medio (tra z-w e h1) [KN/m <sup>3</sup> ] | 10,00 |
| <b>K</b> <sub>0 m</sub> spinta a riposo (globale)                       | 0,46   |   |       |
| <b>K</b> <sub>A m</sub> coefficiente 0,5 < K <sub>A</sub> < 1 (globale) | 1,00   | <b>U</b> press. acqua (sul fondo galleria) [KPa]                            | 0     |

### CALCOLO DELLE RESISTENZE AL TAGLIO E FATTORE DI SICUREZZA

| FRONTE STABILE                                 | materiale stratificato | materiale stratificato<br>[K <sub>A</sub> - K <sub>0</sub> - f] medi |
|--|------------------------|--|
| <b>t m2</b> (resistenza taglio concio 2) [KPa] | 223,07                 | 223,07   |
| <b>t m3</b> (resistenza taglio concio 3) [KPa] | 4,00                   | 4,00   |
| <b>FSF</b>                                     | <b>4,66</b>            | <b>4,66</b>  |

### STRATIGRAFIA

| N°strati <b>SOPRA</b> la calotta                      | 1          | (max 6)                    | N°strati <b>SOTTO</b> la calotta | 1        | (max 6)                                    |            |                            |       |          |
|---|------------|----------------------------|----------------------------------|----------|--|------------|----------------------------|-------|----------|
| Strati SOPRA la calotta                               |            |                            |                                  |          | Strati SOTTO la calotta                    |            |                            |       |          |
| Strato n°   | Spessore m | $\gamma$ KN/m <sup>3</sup> | c KPa                            | $\phi$ ° | Strato n°                                  | Spessore m | $\gamma$ KN/m <sup>3</sup> | c KPa | $\phi$ ° |
| 1   | 22         | 19                         | 4                                | 33       | 1  | 12,85      | 19                         | 4     | 33       |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
| Altezza totale da piano campagna ad arco rovescio [m] |            | 34,85                      |                                  |          | Altezza galleria [m]                       |            | 12,85                      |       |          |
| w profondità falda da piano campagna [m]              |            | 100                        |                                  |          | $\gamma_w$ peso acqua [KN/m <sup>3</sup> ] |            | 10                         |       |          |

### PARAMETRI GEOMETRICI

|                                       |       |  |        |
|---------------------------------------|-------|--|--------|
| B larghezza del tunnel [m]            | 19,8  | h1 altezza paraboloide [m]             | 22     |
| D altezza del tunnel [m]              | 12,85 | l parametro geometrico paraboloide [m] | 6,98   |
| C profondità calotta [m]              | 22    | B parametro geometrico paraboloide [m] | 33,75  |
| a avanzamento senza sostegno [m]      | 0     | z-w parametro geometrico [m]           | -78,00 |
| Deq diametro equivalente [m]          | 17,5  | z-w-h1 parametro geometrico [m]        | 0,00   |
| <b>Shallow Tunnel =&gt; Z &lt; 3D</b> |       | z-h1 parametro geometrico [m]          | 0,00   |

### PARAMETRI DEL MATERIALE

|  |       |   |       |
|--|-------|---|-------|
| $g_1$ peso medio fronte (cuneo 1) [KN/m <sup>3</sup> ] | 19,00 | $g_{2-3}$ peso medio (cunei 2-3) [KN/m <sup>3</sup> ]         | 19,00 |
| $f_1$ angolo medio fronte (cuneo 1) [°]                | 33,00 | $f_{2-3}$ angolo medio (cunei 2-3) [°]                        | 33,00 |
| $c_1$ coesione media fronte (cuneo 1) [KPa]            | 4,00  | $c_{2-3}$ coesione media (cunei 2-3) [KPa]                    | 4,00  |
| $K_{01}$ spinta a riposo fronte (cuneo 1)              | 0,46  | $K_{02-3}$ spinta a riposo media (cunei 2-3)                  | 0,46  |
| $K_{A1}$ coefficiente $0,5 < K_A < 1$ (cuneo 1)        | 1,00  | $K_{A2-3}$ coefficiente $0,5 < K_A < 1$ (cuneo 2-3)           | 1,00  |
| $g_m$ peso medio (globale) [KN/m <sup>3</sup> ]        | 19,00 | $g_{dw2-3}$ peso medio (sotto falda) [KN/m <sup>3</sup> ]     | 0,00  |
| $f_m$ angolo medio (globale) [°]                       | 33,00 | $g_{uw2-3}$ peso medio (sopra falda) [KN/m <sup>3</sup> ]     | 19,00 |
| $c_m$ coesione media (globale) [KPa]                   | 4,00  | $g_{(z-w)-h1}$ peso medio (tra z-w e h1) [KN/m <sup>3</sup> ] | 10,00 |
| $K_{0m}$ spinta a riposo (globale)                     | 0,46  | U press. acqua (sul fondo galleria) [KPa]                     | 0     |
| $K_{Am}$ coefficiente $0,5 < K_A < 1$ (globale)        | 1,00  |   |       |

### CALCOLO DELLE RESISTENZE AL TAGLIO E FATTORE DI SICUREZZA

| FRONTE INSTABILE                        | materiale stratificato | materiale stratificato<br>[ $K_A - K_0 - f$ ] medi |
|---|------------------------|--|
| t m2 (resistenza taglio concio 2) [KPa] | -6,07                  | -6,07  |
| t m3 (resistenza taglio concio 3) [KPa] | 4,00                   | 4,00   |
| FSF                                     | 0,02                   | 0,02   |

### STRATIGRAFIA

| N°strati <b>SOPRA</b> la calotta                      | 1          | (max 6)                    | N°strati <b>SOTTO</b> la calotta | 1        | (max 6)                                    |            |                            |       |          |
|---|------------|----------------------------|----------------------------------|----------|--|------------|----------------------------|-------|----------|
| Strati SOPRA la calotta                               |            |                            |                                  |          | Strati SOTTO la calotta                    |            |                            |       |          |
| Strato n°   | Spessore m | $\gamma$ KN/m <sup>3</sup> | c KPa                            | $\phi$ ° | Strato n°                                  | Spessore m | $\gamma$ KN/m <sup>3</sup> | c KPa | $\phi$ ° |
| 1   | 22         | 19                         | 4                                | 33       | 1  | 12,85      | 19                         | 300   | 33       |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
| Altezza totale da piano campagna ad arco rovescio [m] | 34,85      |                            |                                  |          | Altezza galleria [m]                       | 12,85      |                            |       |          |
| w profondità falda da piano campagna [m]              | 100        |                            |                                  |          | $\gamma_w$ peso acqua [KN/m <sup>3</sup> ] | 10         |                            |       |          |

### PARAMETRI GEOMETRICI

|                                       |       |  |        |
|---------------------------------------|-------|--|--------|
| B larghezza del tunnel [m]            | 19,8  | h1 altezza paraboloide [m]             | 22     |
| D altezza del tunnel [m]              | 12,85 | l parametro geometrico paraboloide [m] | 6,98   |
| C profondità calotta [m]              | 22    | B parametro geometrico paraboloide [m] | 33,75  |
| a avanzamento senza sostegno [m]      | 0     | z-w parametro geometrico [m]           | -78,00 |
| Deq diametro equivalente [m]          | 17,5  | z-w-h1 parametro geometrico [m]        | 0,00   |
| <b>Shallow Tunnel =&gt; Z &lt; 3D</b> |       | z-h1 parametro geometrico [m]          | 0,00   |

### PARAMETRI DEL MATERIALE

|  |        |   |       |
|--|--------|---|-------|
| $g_1$ peso medio fronte (cuneo 1) [KN/m <sup>3</sup> ] | 19,00  | $g_{2-3}$ peso medio (cunei 2-3) [KN/m <sup>3</sup> ]         | 19,00 |
| $f_1$ angolo medio fronte (cuneo 1) [°]                | 33,00  | $f_{2-3}$ angolo medio (cunei 2-3) [°]                        | 33,00 |
| $c_1$ coesione media fronte (cuneo 1) [KPa]            | 300,00 | $c_{2-3}$ coesione media (cunei 2-3) [KPa]                    | 4,00  |
| $K_{01}$ spinta a riposo fronte (cuneo 1)              | 0,46   | $K_{02-3}$ spinta a riposo media (cunei 2-3)                  | 0,46  |
| $K_{A1}$ coefficiente $0,5 < K_A < 1$ (cuneo 1)        | 1,00   | $K_{A2-3}$ coefficiente $0,5 < K_A < 1$ (cuneo 2-3)           | 1,00  |
| $g_m$ peso medio (globale) [KN/m <sup>3</sup> ]        | 19,00  | $g_{dw2-3}$ peso medio (sotto falda) [KN/m <sup>3</sup> ]     | 0,00  |
| $f_m$ angolo medio (globale) [°]                       | 33,00  | $g_{uw2-3}$ peso medio (sopra falda) [KN/m <sup>3</sup> ]     | 19,00 |
| $c_m$ coesione media (globale) [KPa]                   | 113,14 | $g_{(z-w)-h1}$ peso medio (tra z-w e h1) [KN/m <sup>3</sup> ] | 10,00 |
| $K_{0m}$ spinta a riposo (globale)                     | 0,46   |   |       |
| $K_{Am}$ coefficiente $0,5 < K_A < 1$ (globale)        | 1,00   | U press. acqua (sul fondo galleria) [KPa]                     | 0     |

### CALCOLO DELLE RESISTENZE AL TAGLIO E FATTORE DI SICUREZZA

| FRONTE STABILE                          | materiale stratificato | materiale stratificato<br>[K <sub>A</sub> - K <sub>0</sub> - f] medi |
|---|------------------------|--|
| t m2 (resistenza taglio concio 2) [KPa] | 223,07                 | 223,07   |
| t m3 (resistenza taglio concio 3) [KPa] | 4,00                   | 4,00   |
| FSF                                     | 2,63                   | 2,63   |



**STRATIGRAFIA**

| N°strati <b>SOPRA</b> la calotta                      | 1          | (max 6)                    | N°strati <b>SOTTO</b> la calotta | 1        | (max 6)                                    |            |                            |       |          |
|---|------------|----------------------------|----------------------------------|----------|--|------------|----------------------------|-------|----------|
| Strati SOPRA la calotta                               |            |                            |                                  |          | Strati SOTTO la calotta                    |            |                            |       |          |
| Strato n°   | Spessore m | $\gamma$ KN/m <sup>3</sup> | c KPa                            | $\phi$ ° | Strato n°                                  | Spessore m | $\gamma$ KN/m <sup>3</sup> | c KPa | $\phi$ ° |
| 1   | 37         | 19                         | 4                                | 33       | 1  | 12,85      | 19                         | 4     | 33       |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
| Altezza totale da piano campagna ad arco rovescio [m] | 49,85      |                            |                                  |          | Altezza galleria [m]                       | 12,85      |                            |       |          |
| w profondità falda da piano campagna [m]              | 100        |                            |                                  |          | $\gamma_w$ peso acqua [KN/m <sup>3</sup> ] | 10         |                            |       |          |

**PARAMETRI GEOMETRICI**

|   |       |   |        |
|---|-------|---|--------|
| <b>B</b> larghezza del tunnel [m]       | 19,8  | <b>h1</b> altezza paraboloide [m]             | 37     |
| <b>D</b> altezza del tunnel [m]         | 12,85 | <b>l</b> parametro geometrico paraboloide [m] | 6,98   |
| <b>C</b> profondità calotta [m]         | 37    | <b>B</b> parametro geometrico paraboloide [m] | 33,75  |
| <b>a</b> avanzamento senza sostegno [m] | 0     | <b>z-w</b> parametro geometrico [m]           | -63,00 |
| <b>Deq</b> diametro equivalente [m]     | 17,5  | <b>z-w-h1</b> parametro geometrico [m]        | 0,00   |
| <b>Shallow Tunnel =&gt; Z &lt; 3D</b>   |       | <b>z-h1</b> parametro geometrico [m]          | 0,00   |

**PARAMETRI DEL MATERIALE**

|  |       |  |       |
|--|-------|--|-------|
| <b>g<sub>1</sub></b> peso medio fronte (cuneo 1) [KN/m <sup>3</sup> ]  | 19,00 | <b>g<sub>2-3</sub></b> peso medio (cunei 2-3) [KN/m <sup>3</sup> ]         | 19,00 |
| <b>f<sub>1</sub></b> angolo medio fronte (cuneo 1) [°]                 | 33,00 | <b>f<sub>2-3</sub></b> angolo medio (cunei 2-3) [°]                        | 33,00 |
| <b>c<sub>1</sub></b> coesione media fronte (cuneo 1) [KPa]             | 4,00  | <b>c<sub>2-3</sub></b> coesione media (cunei 2-3) [KPa]                    | 4,00  |
| <b>K<sub>0 1</sub></b> spinta a riposo fronte (cuneo 1)                | 0,46  | <b>K<sub>0 2-3</sub></b> spinta a riposo media (cunei 2-3)                 | 0,46  |
| <b>K<sub>A 1</sub></b> coefficiente 0,5 < K <sub>A</sub> < 1 (cuneo 1) | 1,00  | <b>K<sub>A 2-3</sub></b> coefficiente 0,5 < K <sub>A</sub> < 1 (cuneo 2-3) | 1,00  |
| <b>g<sub>m</sub></b> peso medio (globale) [KN/m <sup>3</sup> ]         | 19,00 | <b>g<sub>dw 2-3</sub></b> peso medio (sotto falda) [KN/m <sup>3</sup> ]    | 0,00  |
| <b>f<sub>m</sub></b> angolo medio (globale) [°]                        | 33,00 | <b>g<sub>uw 2-3</sub></b> peso medio (sopra falda) [KN/m <sup>3</sup> ]    | 19,00 |
| <b>c<sub>m</sub></b> coesione media (globale) [KPa]                    | 4,00  | <b>g<sub>(z-w)-h1</sub></b> peso medio (tra z-w e h1) [KN/m <sup>3</sup> ] | 10,00 |
| <b>K<sub>0 m</sub></b> spinta a riposo (globale)                       | 0,46  |  |       |
| <b>K<sub>A m</sub></b> coefficiente 0,5 < K <sub>A</sub> < 1 (globale) | 1,00  | <b>U</b> press. acqua (sul fondo galleria) [KPa]                           | 0     |

**CALCOLO DELLE RESISTENZE AL TAGLIO E FATTORE DI SICUREZZA**

| <b>FRONTE INSTABILE</b>                        | materiale stratificato | materiale stratificato [K <sub>A</sub> - K <sub>0</sub> - f] medi |
|--|------------------------|---|
| <b>t m2</b> (resistenza taglio concio 2) [KPa] | -6,07                  | -6,07   |
| <b>t m3</b> (resistenza taglio concio 3) [KPa] | 4,00                   | 4,00  |
| <b>FSF</b>                                     | <b>0,02</b>            | <b>0,02</b>   |

**STRATIGRAFIA**

| N°strati <b>SOPRA</b> la calotta                      | 1          | (max 6)                    | N°strati <b>SOTTO</b> la calotta | 1        | (max 6)                                    |            |                            |       |          |
|---|------------|----------------------------|----------------------------------|----------|--|------------|----------------------------|-------|----------|
| Strati SOPRA la calotta                               |            |                            |                                  |          | Strati SOTTO la calotta                    |            |                            |       |          |
| Strato n°   | Spessore m | $\gamma$ KN/m <sup>3</sup> | c KPa                            | $\phi$ ° | Strato n°                                  | Spessore m | $\gamma$ KN/m <sup>3</sup> | c KPa | $\phi$ ° |
| 1   | 37         | 19                         | 4                                | 33       | 1  | 12,85      | 19                         | 300   | 33       |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
| Altezza totale da piano campagna ad arco rovescio [m] | 49,85      |                            |                                  |          | Altezza galleria [m]                       | 12,85      |                            |       |          |
| w profondità falda da piano campagna [m]              | 100        |                            |                                  |          | $\gamma_w$ peso acqua [KN/m <sup>3</sup> ] | 10         |                            |       |          |

**PARAMETRI GEOMETRICI**

|   |       |   |        |
|---|-------|---|--------|
| <b>B</b> larghezza del tunnel [m]       | 19,8  | <b>h1</b> altezza paraboloide [m]             | 37     |
| <b>D</b> altezza del tunnel [m]         | 12,85 | <b>l</b> parametro geometrico paraboloide [m] | 6,98   |
| <b>C</b> profondità calotta [m]         | 37    | <b>B</b> parametro geometrico paraboloide [m] | 33,75  |
| <b>a</b> avanzamento senza sostegno [m] | 0     | <b>z-w</b> parametro geometrico [m]           | -63,00 |
| <b>Deq</b> diametro equivalente [m]     | 17,5  | <b>z-w-h1</b> parametro geometrico [m]        | 0,00   |
| <b>Shallow Tunnel =&gt; Z &lt; 3D</b>   |       | <b>z-h1</b> parametro geometrico [m]          | 0,00   |

**PARAMETRI DEL MATERIALE**

|  |        |  |       |
|--|--------|--|-------|
| <b>g<sub>1</sub></b> peso medio fronte (cuneo 1) [KN/m <sup>3</sup> ]  | 19,00  | <b>g<sub>2-3</sub></b> peso medio (cunei 2-3) [KN/m <sup>3</sup> ]         | 19,00 |
| <b>f<sub>1</sub></b> angolo medio fronte (cuneo 1) [°]                 | 33,00  | <b>f<sub>2-3</sub></b> angolo medio (cunei 2-3) [°]                        | 33,00 |
| <b>c<sub>1</sub></b> coesione media fronte (cuneo 1) [KPa]             | 300,00 | <b>c<sub>2-3</sub></b> coesione media (cunei 2-3) [KPa]                    | 4,00  |
| <b>K<sub>0 1</sub></b> spinta a riposo fronte (cuneo 1)                | 0,46   | <b>K<sub>0 2-3</sub></b> spinta a riposo media (cunei 2-3)                 | 0,46  |
| <b>K<sub>A 1</sub></b> coefficiente 0,5 < K <sub>A</sub> < 1 (cuneo 1) | 1,00   | <b>K<sub>A 2-3</sub></b> coefficiente 0,5 < K <sub>A</sub> < 1 (cuneo 2-3) | 1,00  |
| <b>g<sub>m</sub></b> peso medio (globale) [KN/m <sup>3</sup> ]         | 19,00  | <b>g<sub>dw 2-3</sub></b> peso medio (sotto falda) [KN/m <sup>3</sup> ]    | 0,00  |
| <b>f<sub>m</sub></b> angolo medio (globale) [°]                        | 33,00  | <b>g<sub>uw 2-3</sub></b> peso medio (sopra falda) [KN/m <sup>3</sup> ]    | 19,00 |
| <b>c<sub>m</sub></b> coesione media (globale) [KPa]                    | 80,30  | <b>g<sub>(z-w)-h1</sub></b> peso medio (tra z-w e h1) [KN/m <sup>3</sup> ] | 10,00 |
| <b>K<sub>0 m</sub></b> spinta a riposo (globale)                       | 0,46   |  |       |
| <b>K<sub>A m</sub></b> coefficiente 0,5 < K <sub>A</sub> < 1 (globale) | 1,00   | <b>U</b> press. acqua (sul fondo galleria) [KPa]                           | 0     |

**CALCOLO DELLE RESISTENZE AL TAGLIO E FATTORE DI SICUREZZA**

| FRONTE STABILE                                 | materiale stratificato | materiale stratificato [K <sub>A</sub> - K <sub>0</sub> - f] medi |
|--|------------------------|---|
| <b>t m2</b> (resistenza taglio concio 2) [KPa] | 223,07                 | 223,07  |
| <b>t m3</b> (resistenza taglio concio 3) [KPa] | 4,00                   | 4,00  |
| <b>FSF</b>                                     | 2,17                   | 2,17  |

**STRATIGRAFIA**

| N°strati <b>SOPRA</b> la calotta                      | 1          | (max 6)                    | N°strati <b>SOTTO</b> la calotta | 1        | (max 6)                                    |            |                            |       |          |
|---|------------|----------------------------|----------------------------------|----------|--|------------|----------------------------|-------|----------|
| Strati SOPRA la calotta                               |            |                            |                                  |          | Strati SOTTO la calotta                    |            |                            |       |          |
| Strato n°   | Spessore m | $\gamma$ KN/m <sup>3</sup> | c KPa                            | $\phi$ ° | Strato n°                                  | Spessore m | $\gamma$ KN/m <sup>3</sup> | c KPa | $\phi$ ° |
| 1   | 52         | 19                         | 4                                | 33       | 1  | 12,85      | 19                         | 4     | 33       |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
| Altezza totale da piano campagna ad arco rovescio [m] | 64,85      |                            |                                  |          | Altezza galleria [m]                       | 12,85      |                            |       |          |
| w profondità falda da piano campagna [m]              | 100        |                            |                                  |          | $\gamma_w$ peso acqua [KN/m <sup>3</sup> ] | 10         |                            |       |          |

**PARAMETRI GEOMETRICI**

|   |       |   |        |
|---|-------|---|--------|
| <b>B</b> larghezza del tunnel [m]       | 19,8  | <b>h1</b> altezza paraboloide [m]             | 52     |
| <b>D</b> altezza del tunnel [m]         | 12,85 | <b>l</b> parametro geometrico paraboloide [m] | 6,98   |
| <b>C</b> profondità calotta [m]         | 52    | <b>B</b> parametro geometrico paraboloide [m] | 33,75  |
| <b>a</b> avanzamento senza sostegno [m] | 0     | <b>z-w</b> parametro geometrico [m]           | -48,00 |
| <b>Deq</b> diametro equivalente [m]     | 17,5  | <b>z-w-h1</b> parametro geometrico [m]        | 0,00   |
| <b>Shallow Tunnel =&gt; Z &lt; 3D</b>   |       | <b>z-h1</b> parametro geometrico [m]          | 0,00   |

**PARAMETRI DEL MATERIALE**

|  |       |  |       |
|--|-------|--|-------|
| <b>g<sub>1</sub></b> peso medio fronte (cuneo 1) [KN/m <sup>3</sup> ]  | 19,00 | <b>g<sub>2-3</sub></b> peso medio (cunei 2-3) [KN/m <sup>3</sup> ]         | 19,00 |
| <b>f<sub>1</sub></b> angolo medio fronte (cuneo 1) [°]                 | 33,00 | <b>f<sub>2-3</sub></b> angolo medio (cunei 2-3) [°]                        | 33,00 |
| <b>c<sub>1</sub></b> coesione media fronte (cuneo 1) [KPa]             | 4,00  | <b>c<sub>2-3</sub></b> coesione media (cunei 2-3) [KPa]                    | 4,00  |
| <b>K<sub>0 1</sub></b> spinta a riposo fronte (cuneo 1)                | 0,46  | <b>K<sub>0 2-3</sub></b> spinta a riposo media (cunei 2-3)                 | 0,46  |
| <b>K<sub>A 1</sub></b> coefficiente 0,5 < K <sub>A</sub> < 1 (cuneo 1) | 1,00  | <b>K<sub>A 2-3</sub></b> coefficiente 0,5 < K <sub>A</sub> < 1 (cuneo 2-3) | 1,00  |
| <b>g<sub>m</sub></b> peso medio (globale) [KN/m <sup>3</sup> ]         | 19,00 | <b>g<sub>dw 2-3</sub></b> peso medio (sotto falda) [KN/m <sup>3</sup> ]    | 0,00  |
| <b>f<sub>m</sub></b> angolo medio (globale) [°]                        | 33,00 | <b>g<sub>uw 2-3</sub></b> peso medio (sopra falda) [KN/m <sup>3</sup> ]    | 19,00 |
| <b>c<sub>m</sub></b> coesione media (globale) [KPa]                    | 4,00  | <b>g<sub>(z-w)-h1</sub></b> peso medio (tra z-w e h1) [KN/m <sup>3</sup> ] | 10,00 |
| <b>K<sub>0 m</sub></b> spinta a riposo (globale)                       | 0,46  |  |       |
| <b>K<sub>A m</sub></b> coefficiente 0,5 < K <sub>A</sub> < 1 (globale) | 1,00  | <b>U</b> press. acqua (sul fondo galleria) [KPa]                           | 0     |

**CALCOLO DELLE RESISTENZE AL TAGLIO E FATTORE DI SICUREZZA**

| <b>FRONTE INSTABILE</b>                        | materiale stratificato | materiale stratificato<br>[K <sub>A</sub> - K <sub>0</sub> - f] medi |
|--|------------------------|--|
| <b>t m2</b> (resistenza taglio concio 2) [KPa] | -6,07                  | -6,07  |
| <b>t m3</b> (resistenza taglio concio 3) [KPa] | 4,00                   | 4,00   |
| <b>FSF</b>                                     | <b>0,01</b>            | <b>0,01</b>  |

**STRATIGRAFIA**

| N°strati <b>SOPRA</b> la calotta                      | 1          | (max 6)                    | N°strati <b>SOTTO</b> la calotta | 1        | (max 6)                                    |            |                            |       |          |
|---|------------|----------------------------|----------------------------------|----------|--|------------|----------------------------|-------|----------|
| Strati SOPRA la calotta                               |            |                            |                                  |          | Strati SOTTO la calotta                    |            |                            |       |          |
| Strato n°   | Spessore m | $\gamma$ KN/m <sup>3</sup> | c KPa                            | $\phi$ ° | Strato n°                                  | Spessore m | $\gamma$ KN/m <sup>3</sup> | c KPa | $\phi$ ° |
| 1   | 52         | 19                         | 4                                | 33       | 1  | 12,85      | 19                         | 300   | 33       |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |                                  |          |  |            |                            |       |          |
| Altezza totale da piano campagna ad arco rovescio [m] | 64,85      |                            |                                  |          | Altezza galleria [m]                       | 12,85      |                            |       |          |
| w profondità falda da piano campagna [m]              | 100        |                            |                                  |          | $\gamma_w$ peso acqua [KN/m <sup>3</sup> ] | 10         |                            |       |          |

**PARAMETRI GEOMETRICI**

|   |       |   |        |
|---|-------|---|--------|
| <b>B</b> larghezza del tunnel [m]       | 19,8  | <b>h1</b> altezza paraboloide [m]             | 52     |
| <b>D</b> altezza del tunnel [m]         | 12,85 | <b>l</b> parametro geometrico paraboloide [m] | 6,98   |
| <b>C</b> profondità calotta [m]         | 52    | <b>B</b> parametro geometrico paraboloide [m] | 33,75  |
| <b>a</b> avanzamento senza sostegno [m] | 0     | <b>z-w</b> parametro geometrico [m]           | -48,00 |
| <b>Deq</b> diametro equivalente [m]     | 17,5  | <b>z-w-h1</b> parametro geometrico [m]        | 0,00   |
| <b>Shallow Tunnel =&gt; Z &lt; 3D</b>   |       | <b>z-h1</b> parametro geometrico [m]          | 0,00   |

**PARAMETRI DEL MATERIALE**

|   |        |  |       |
|---|--------|--|-------|
| <b>g<sub>1</sub></b> peso medio fronte (cuneo 1) [KN/m <sup>3</sup> ] | 19,00  | <b>g<sub>2-3</sub></b> peso medio (cunei 2-3) [KN/m <sup>3</sup> ]         | 19,00 |
| <b>f<sub>1</sub></b> angolo medio fronte (cuneo 1) [°]                | 33,00  | <b>f<sub>2-3</sub></b> angolo medio (cunei 2-3) [°]                        | 33,00 |
| <b>c<sub>1</sub></b> coesione media fronte (cuneo 1) [KPa]            | 300,00 | <b>c<sub>2-3</sub></b> coesione media (cunei 2-3) [KPa]                    | 4,00  |
| <b>K<sub>0 1</sub></b> spinta a riposo fronte (cuneo 1)               | 0,46   | <b>K<sub>0 2-3</sub></b> spinta a riposo media (cunei 2-3)                 | 0,46  |
| <b>K<sub>A 1</sub></b> coefficiente 0,5<K <sub>A</sub> <1 (cuneo 1)   | 1,00   | <b>K<sub>A 2-3</sub></b> coefficiente 0,5<K <sub>A</sub> <1 (cuneo 2-3)    | 1,00  |
| <b>g<sub>m</sub></b> peso medio (globale) [KN/m <sup>3</sup> ]        | 19,00  | <b>g<sub>dw 2-3</sub></b> peso medio (sotto falda) [KN/m <sup>3</sup> ]    | 0,00  |
| <b>f<sub>m</sub></b> angolo medio (globale) [°]                       | 33,00  | <b>g<sub>uw 2-3</sub></b> peso medio (sopra falda) [KN/m <sup>3</sup> ]    | 19,00 |
| <b>c<sub>m</sub></b> coesione media (globale) [KPa]                   | 62,65  | <b>g<sub>(z-w)-h1</sub></b> peso medio (tra z-w e h1) [KN/m <sup>3</sup> ] | 10,00 |
| <b>K<sub>0 m</sub></b> spinta a riposo (globale)                      | 0,46   |  |       |
| <b>K<sub>A m</sub></b> coefficiente 0,5<K <sub>A</sub> <1 (globale)   | 1,00   | <b>U</b> press. acqua (sul fondo galleria) [KPa]                           | 0     |

**CALCOLO DELLE RESISTENZE AL TAGLIO E FATTORE DI SICUREZZA**

| FRONTE STABILE                                 | materiale stratificato | materiale stratificato [K <sub>A</sub> - K <sub>0</sub> - f] medi |
|--|------------------------|---|
| <b>t m2</b> (resistenza taglio concio 2) [KPa] | 223,07                 | 223,07  |
| <b>t m3</b> (resistenza taglio concio 3) [KPa] | 4,00                   | 4,00  |
| <b>FSF</b>                                     | 1,93                   | 1,93  |

INTESI VERIFICHE DI STABILITA' DEL FRONTE GALLERIA FARO SUPERIORE - BYPASS

| Deq<br>[m] | PARAMETRI GEOTECNICI      |            |          | DIAGNOSI   |                  | n° consolid.<br>[-] | Δc<br>[kPa] | c<br>[kPa] | TERAPIA    |                |
|------------|---------------------------|------------|----------|------------|------------------|---------------------|-------------|------------|------------|----------------|
|            | γ<br>[kN/m <sup>3</sup> ] | c<br>[kPa] | Φ<br>[°] | FSF<br>[-] | FRONTE           |                     |             |            | FSF<br>[-] | FRONTE         |
| 10         | 19                        | 4          | 33       | 0,06       | FRONTE INSTABILE | 38                  | 215,0       | 219        | 4,90       | FRONTE STABILE |
| 10         | 19                        | 4          | 33       | 0,04       | FRONTE INSTABILE | 38                  | 215,0       | 219        | 3,84       | FRONTE STABILE |
| 10         | 19                        | 4          | 33       | 0,01       | FRONTE INSTABILE | 38                  | 215,0       | 219        | 3,01       | FRONTE STABILE |
| 10         | 19                        | 4          | 33       | 0,06       | FRONTE INSTABILE | 38                  | 293,5       | 297,5      | 9,02       | FRONTE STABILE |
| 10         | 19                        | 4          | 33       | 0,01       | FRONTE INSTABILE | 14                  | 293,5       | 297,5      | 6,50       | FRONTE STABILE |

**STRATIGRAFIA**

| N° strati <b>SOPRA</b> la calotta                     |            | 1                          | (max 6) | N° strati <b>SOTTO</b> la calotta |  | 1          | (max 6)                    |       |          |
|---|------------|----------------------------|---------|-----------------------------------|--|------------|----------------------------|-------|----------|
| Strati SOPRA la calotta                               |            |                            |         |                                   | Strati SOTTO la calotta                    |            |                            |       |          |
| Strato n°   | Spessore m | $\gamma$ KN/m <sup>3</sup> | c KPa   | $\phi$ °                          | Strato n°                                  | Spessore m | $\gamma$ KN/m <sup>3</sup> | c KPa | $\phi$ ° |
| 1   | 5          | 19                         | 4       | 33                                | 1  | 11,85      | 19                         | 4     | 33       |
|   |            |                            |         |                                   |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |         |                                   |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |         |                                   |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |         |                                   |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |         |                                   |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |         |                                   |  |            |                            |       |          |
| Altezza totale da piano campagna ad arco rovescio [m] | 12,2       |                            |         |                                   | Altezza galleria [m]                       | 7,2        |                            |       |          |
| w profondità falda da piano campagna [m]              | 100        |                            |         |                                   | $\gamma_w$ peso acqua [KN/m <sup>3</sup> ] | 10         |                            |       |          |

**PARAMETRI GEOMETRICI**

|                                       |     |  |        |
|---------------------------------------|-----|--|--------|
| B larghezza del tunnel [m]            | 9,8 | h1 altezza paraboloide [m]             | 5      |
| D altezza del tunnel [m]              | 7,2 | l parametro geometrico paraboloide [m] | 2,32   |
| C profondità calotta [m]              | 5   | B parametro geometrico paraboloide [m] | 14,44  |
| a avanzamento senza sostegno [m]      | 0   | z-w parametro geometrico [m]           | -95,00 |
| Deq diametro equivalente [m]          | 10  | z-w-h1 parametro geometrico [m]        | 0,00   |
| <b>Shallow Tunnel =&gt; Z &lt; 3D</b> |     | z-h1 parametro geometrico [m]          | 0,00   |

**PARAMETRI DEL MATERIALE**

|  |       |   |       |
|--|-------|---|-------|
| $g_1$ peso medio fronte (cuneo 1) [KN/m <sup>3</sup> ] | 31,27 | $g_{2-3}$ peso medio (cunei 2-3) [KN/m <sup>3</sup> ]         | 19,00 |
| $f_1$ angolo medio fronte (cuneo 1) [°]                | 54,31 | $f_{2-3}$ angolo medio (cunei 2-3) [°]                        | 33,00 |
| $c_1$ coesione media fronte (cuneo 1) [KPa]            | 6,58  | $c_{2-3}$ coesione media (cunei 2-3) [KPa]                    | 4,00  |
| $K_{01}$ spinta a riposo fronte (cuneo 1)              | 0,19  | $K_{02-3}$ spinta a riposo media (cunei 2-3)                  | 0,46  |
| $K_{A1}$ coefficiente $0,5 < K_A < 1$ (cuneo 1)        | 1,00  | $K_{A2-3}$ coefficiente $0,5 < K_A < 1$ (cuneo 2-3)           | 1,00  |
| $g_m$ peso medio (globale) [KN/m <sup>3</sup> ]        | 26,24 | $g_{dw2-3}$ peso medio (sotto falda) [KN/m <sup>3</sup> ]     | 0,00  |
| $f_m$ angolo medio (globale) [°]                       | 45,58 | $g_{uw2-3}$ peso medio (sopra falda) [KN/m <sup>3</sup> ]     | 19,00 |
| $c_m$ coesione media (globale) [KPa]                   | 5,52  | $g_{(z-w)-h1}$ peso medio (tra z-w e h1) [KN/m <sup>3</sup> ] | 10,00 |
| $K_{0m}$ spinta a riposo (globale)                     | 0,29  | U press. acqua (sul fondo galleria) [KPa]                     | 0     |
| $K_{Am}$ coefficiente $0,5 < K_A < 1$ (globale)        | 1,00  |   |       |

**CALCOLO DELLE RESISTENZE AL TAGLIO E FATTORE DI SICUREZZA**

| FRONTE INSTABILE                        | materiale stratificato | materiale stratificato<br>[ $K_A - K_0 - f$ ] medi |
|---|------------------------|--|
| t m2 (resistenza taglio concio 2) [KPa] | -8,34                  | -3,74  |
| t m3 (resistenza taglio concio 3) [KPa] | 4,00                   | 4,00   |
| <b>FSF</b>                              | <b>0,06</b>            | <b>0,08</b>  |

**STRATIGRAFIA**

N° strati **SOPRA** la calotta  (max 6)

N° strati **SOTTO** la calotta  (max 6)

| Strati SOPRA la calotta |              |                               |         |            |
|-------------------------|--------------|-------------------------------|---------|------------|
| Strato n°               | Spessore [m] | $\gamma$ [KN/m <sup>3</sup> ] | c [KPa] | $\phi$ [°] |
| 1                       | 5            | 19                            | 4       | 33         |
|                         |              |                               |         |            |
|                         |              |                               |         |            |
|                         |              |                               |         |            |
|                         |              |                               |         |            |

| Strati SOTTO la calotta |              |                               |         |            |
|-------------------------|--------------|-------------------------------|---------|------------|
| Strato n°               | Spessore [m] | $\gamma$ [KN/m <sup>3</sup> ] | c [KPa] | $\phi$ [°] |
| 1                       | 11,85        | 19                            | 219     | 33         |
|                         |              |                               |         |            |
|                         |              |                               |         |            |
|                         |              |                               |         |            |
|                         |              |                               |         |            |

Altezza totale da piano campagna ad arco rovescio [m]

Altezza galleria [m]

w profondità falda da piano campagna [m]

$\gamma_w$  peso acqua [KN/m<sup>3</sup>]

**PARAMETRI GEOMETRICI**

|                                  |                                  |
|----------------------------------|----------------------------------|
| B larghezza del tunnel [m]       | <input type="text" value="9,8"/> |
| D altezza del tunnel [m]         | <input type="text" value="7,2"/> |
| C profondità calotta [m]         | <input type="text" value="5"/>   |
| a avanzamento senza sostegno [m] | <input type="text" value="0"/>   |
| Deq diametro equivalente [m]     | <input type="text" value="10"/>  |

|  |                                     |
|--|-------------------------------------|
| h1 altezza paraboloide [m]             | <input type="text" value="5"/>      |
| l parametro geometrico paraboloide [m] | <input type="text" value="2,32"/>   |
| B parametro geometrico paraboloide [m] | <input type="text" value="14,44"/>  |
| z-w parametro geometrico [m]           | <input type="text" value="-95,00"/> |
| z-w-h1 parametro geometrico [m]        | <input type="text" value="0,00"/>   |
| z-h1 parametro geometrico [m]          | <input type="text" value="0,00"/>   |

Shallow Tunnel => Z < 3D

**PARAMETRI DEL MATERIALE**

|  |                                     |
|--|-------------------------------------|
| $g_1$ peso medio fronte (cuneo 1) [KN/m <sup>3</sup> ] | <input type="text" value="31,27"/>  |
| $f_1$ angolo medio fronte (cuneo 1) [°]                | <input type="text" value="54,31"/>  |
| $c_1$ coesione media fronte (cuneo 1) [KPa]            | <input type="text" value="360,44"/> |
| $K_{01}$ spinta a riposo fronte (cuneo 1)              | <input type="text" value="0,19"/>   |
| $K_{A1}$ coefficiente $0,5 < K_A < 1$ (cuneo 1)        | <input type="text" value="1,00"/>   |

|   |                                    |
|---|------------------------------------|
| $g_{2-3}$ peso medio (cunei 2-3) [KN/m <sup>3</sup> ] | <input type="text" value="19,00"/> |
| $f_{2-3}$ angolo medio (cunei 2-3) [°]                | <input type="text" value="33,00"/> |
| $c_{2-3}$ coesione media (cunei 2-3) [KPa]            | <input type="text" value="4,00"/>  |
| $K_{02-3}$ spinta a riposo media (cunei 2-3)          | <input type="text" value="0,46"/>  |
| $K_{A2-3}$ coefficiente $0,5 < K_A < 1$ (cuneo 2-3)   | <input type="text" value="1,00"/>  |

|   |                                     |
|---|-------------------------------------|
| $g_m$ peso medio (globale) [KN/m <sup>3</sup> ] | <input type="text" value="26,24"/>  |
| $f_m$ angolo medio (globale) [°]                | <input type="text" value="45,58"/>  |
| $c_m$ coesione media (globale) [KPa]            | <input type="text" value="214,36"/> |
| $K_{0m}$ spinta a riposo (globale)              | <input type="text" value="0,29"/>   |
| $K_{Am}$ coefficiente $0,5 < K_A < 1$ (globale) | <input type="text" value="1,00"/>   |

|   |                                    |
|---|------------------------------------|
| $g_{dw2-3}$ peso medio (sotto falda) [KN/m <sup>3</sup> ]     | <input type="text" value="0,00"/>  |
| $g_{uw2-3}$ peso medio (sopra falda) [KN/m <sup>3</sup> ]     | <input type="text" value="19,00"/> |
| $g_{(z-w)-h1}$ peso medio (tra z-w e h1) [KN/m <sup>3</sup> ] | <input type="text" value="10,00"/> |

U press. acqua (sul fondo galleria) [KPa]

**CALCOLO DELLE RESISTENZE AL TAGLIO E FATTORE DI SICUREZZA**

| FRONTE STABILE                          | materiale stratificato              | materiale stratificato<br>[ $K_A - K_0 - f$ ] medi |
|---|-------------------------------------|--|
| t m2 (resistenza taglio concio 2) [KPa] | <input type="text" value="265,58"/> | <input type="text" value="168,18"/>                |
| t m3 (resistenza taglio concio 3) [KPa] | <input type="text" value="4,00"/>   | <input type="text" value="4,00"/>                  |
| FSF                                     | <input type="text" value="4,90"/>   | <input type="text" value="4,58"/>                  |

STRATIGRAFIA

| N° strati SOPRA la calotta                            |            |                            |       |          | 1                       | (max 6)    | N° strati SOTTO la calotta |       |          |  |  | 1 | (max 6) |  |     |  |  |  |  |
|---|------------|----------------------------|-------|----------|-------------------------|------------|----------------------------|-------|----------|--|--|---|---------|--|-----|--|--|--|--|
| Strati SOPRA la calotta                               |            |                            |       |          | Strati SOTTO la calotta |            |                            |       |          |  |  |   |         |  |     |  |  |  |  |
| Strato n°   | Spessore m | $\gamma$ KN/m <sup>3</sup> | c KPa | $\phi$ ° | Strato n°               | Spessore m | $\gamma$ KN/m <sup>3</sup> | c KPa | $\phi$ ° |  |  |   |         |  |     |  |  |  |  |
| 1   | 10         | 19                         | 4     | 33       | 1                       | 11,85      | 19                         | 219   | 33       |  |  |   |         |  |     |  |  |  |  |
|   |            |                            |       |          |                         |            |                            |       |          |  |  |   |         |  |     |  |  |  |  |
|   |            |                            |       |          |                         |            |                            |       |          |  |  |   |         |  |     |  |  |  |  |
|   |            |                            |       |          |                         |            |                            |       |          |  |  |   |         |  |     |  |  |  |  |
|   |            |                            |       |          |                         |            |                            |       |          |  |  |   |         |  |     |  |  |  |  |
|   |            |                            |       |          |                         |            |                            |       |          |  |  |   |         |  |     |  |  |  |  |
| Altezza totale da piano campagna ad arco rovescio [m] |            |                            |       |          | 17,2                    |            |                            |       |          | Altezza galleria [m]                       |  |   |         |  | 7,2 |  |  |  |  |
| w profondità falda da piano campagna [m]              |            |                            |       |          | 100                     |            |                            |       |          | $\gamma_w$ peso acqua [KN/m <sup>3</sup> ] |  |   |         |  | 10  |  |  |  |  |

PARAMETRI GEOMETRICI

|                                  |     |  |        |
|----------------------------------|-----|--|--------|
| B larghezza del tunnel [m]       | 9,8 | h1 altezza paraboloide [m]             | 10     |
| D altezza del tunnel [m]         | 7,2 | l parametro geometrico paraboloide [m] | 2,32   |
| C profondità calotta [m]         | 10  | B parametro geometrico paraboloide [m] | 14,44  |
| a avanzamento senza sostegno [m] | 0   | z-w parametro geometrico [m]           | -90,00 |
| Deq diametro equivalente [m]     | 10  | z-w-h1 parametro geometrico [m]        | 0,00   |
| Shallow Tunnel => Z < 3D         |     | z-h1 parametro geometrico [m]          | 0,00   |

PARAMETRI DEL MATERIALE

|  |        |   |       |
|--|--------|---|-------|
| $g_1$ peso medio fronte (cuneo 1) [KN/m <sup>3</sup> ] | 31,27  | $g_{2-3}$ peso medio (cunei 2-3) [KN/m <sup>3</sup> ]         | 19,00 |
| $f_1$ angolo medio fronte (cuneo 1) [°]                | 54,31  | $f_{2-3}$ angolo medio (cunei 2-3) [°]                        | 33,00 |
| $c_1$ coesione media fronte (cuneo 1) [KPa]            | 360,44 | $c_{2-3}$ coesione media (cunei 2-3) [KPa]                    | 4,00  |
| $K_{01}$ spinta a riposo fronte (cuneo 1)              | 0,19   | $K_{02-3}$ spinta a riposo media (cunei 2-3)                  | 0,46  |
| $K_{A1}$ coefficiente $0,5 < K_A < 1$ (cuneo 1)        | 1,00   | $K_{A2-3}$ coefficiente $0,5 < K_A < 1$ (cuneo 2-3)           | 1,00  |
| $g_m$ peso medio (globale) [KN/m <sup>3</sup> ]        | 24,14  | $g_{dw2-3}$ peso medio (sotto falda) [KN/m <sup>3</sup> ]     | 0,00  |
| $f_m$ angolo medio (globale) [°]                       | 41,92  | $g_{uw2-3}$ peso medio (sopra falda) [KN/m <sup>3</sup> ]     | 19,00 |
| $c_m$ coesione media (globale) [KPa]                   | 153,21 | $g_{(z-w)-h1}$ peso medio (tra z-w e h1) [KN/m <sup>3</sup> ] | 10,00 |
| $K_{0m}$ spinta a riposo (globale)                     | 0,33   |   |       |
| $K_{Am}$ coefficiente $0,5 < K_A < 1$ (globale)        | 1,00   | U press. acqua (sul fondo galleria) [KPa]                     | 0     |

CALCOLO DELLE RESISTENZE AL TAGLIO E FATTORE DI SICUREZZA

| FRONTE STABILE                          | materiale stratificato | materiale stratificato<br>[K <sub>A</sub> - K <sub>0</sub> - f] medi |
|---|------------------------|--|
| t m2 (resistenza taglio concio 2) [KPa] | 265,58                 | 194,66   |
| t m3 (resistenza taglio concio 3) [KPa] | 4,00                   | 4,00   |
| FSF                                     | 3,84                   | 3,53   |



**STRATIGRAFIA**

N° strati **SOPRA** la calotta  (max 6)

N° strati **SOTTO** la calotta  (max 6)

| Strati SOPRA la calotta |            |                            |       |          |
|-------------------------|------------|----------------------------|-------|----------|
| Strato n°               | Spessore m | $\gamma$ KN/m <sup>3</sup> | c KPa | $\phi$ ° |
| 1                       | 10         | 19                         | 4     | 33       |
|                         |            |                            |       |          |
|                         |            |                            |       |          |
|                         |            |                            |       |          |
|                         |            |                            |       |          |

| Strati SOTTO la calotta |            |                            |       |          |
|-------------------------|------------|----------------------------|-------|----------|
| Strato n°               | Spessore m | $\gamma$ KN/m <sup>3</sup> | c KPa | $\phi$ ° |
| 1                       | 11,85      | 19                         | 4     | 33       |
|                         |            |                            |       |          |
|                         |            |                            |       |          |
|                         |            |                            |       |          |
|                         |            |                            |       |          |

Altezza totale da piano campagna ad arco rovescio [m]

Altezza galleria [m]

w profondità falda da piano campagna [m]

$\gamma_w$  peso acqua [KN/m<sup>3</sup>]

**PARAMETRI GEOMETRICI**

|                                  |                                  |
|----------------------------------|----------------------------------|
| B larghezza del tunnel [m]       | <input type="text" value="9,8"/> |
| D altezza del tunnel [m]         | <input type="text" value="7,2"/> |
| C profondità calotta [m]         | <input type="text" value="10"/>  |
| a avanzamento senza sostegno [m] | <input type="text" value="0"/>   |
| Deq diametro equivalente [m]     | <input type="text" value="10"/>  |

|  |                                     |
|--|-------------------------------------|
| h1 altezza paraboloide [m]             | <input type="text" value="10"/>     |
| l parametro geometrico paraboloide [m] | <input type="text" value="2,32"/>   |
| B parametro geometrico paraboloide [m] | <input type="text" value="14,44"/>  |
| z-w parametro geometrico [m]           | <input type="text" value="-90,00"/> |
| z-w-h1 parametro geometrico [m]        | <input type="text" value="0,00"/>   |
| z-h1 parametro geometrico [m]          | <input type="text" value="0,00"/>   |

Shallow Tunnel => Z < 3D

**PARAMETRI DEL MATERIALE**

|  |                                    |
|--|------------------------------------|
| $g_1$ peso medio fronte (cuneo 1) [KN/m <sup>3</sup> ] | <input type="text" value="31,27"/> |
| $f_1$ angolo medio fronte (cuneo 1) [°]                | <input type="text" value="54,31"/> |
| $c_1$ coesione media fronte (cuneo 1) [KPa]            | <input type="text" value="6,58"/>  |
| $K_{01}$ spinta a riposo fronte (cuneo 1)              | <input type="text" value="0,19"/>  |
| $K_{A1}$ coefficiente $0,5 < K_A < 1$ (cuneo 1)        | <input type="text" value="1,00"/>  |

|   |                                    |
|---|------------------------------------|
| $g_{2-3}$ peso medio (cunei 2-3) [KN/m <sup>3</sup> ] | <input type="text" value="19,00"/> |
| $f_{2-3}$ angolo medio (cunei 2-3) [°]                | <input type="text" value="33,00"/> |
| $c_{2-3}$ coesione media (cunei 2-3) [KPa]            | <input type="text" value="4,00"/>  |
| $K_{02-3}$ spinta a riposo media (cunei 2-3)          | <input type="text" value="0,46"/>  |
| $K_{A2-3}$ coefficiente $0,5 < K_A < 1$ (cuneo 2-3)   | <input type="text" value="1,00"/>  |

|   |                                    |
|---|------------------------------------|
| $g_m$ peso medio (globale) [KN/m <sup>3</sup> ] | <input type="text" value="24,14"/> |
| $f_m$ angolo medio (globale) [°]                | <input type="text" value="41,92"/> |
| $c_m$ coesione media (globale) [KPa]            | <input type="text" value="5,08"/>  |
| $K_{0m}$ spinta a riposo (globale)              | <input type="text" value="0,33"/>  |
| $K_{Am}$ coefficiente $0,5 < K_A < 1$ (globale) | <input type="text" value="1,00"/>  |

|   |                                    |
|---|------------------------------------|
| $g_{dw2-3}$ peso medio (sotto falda) [KN/m <sup>3</sup> ]     | <input type="text" value="0,00"/>  |
| $g_{uw2-3}$ peso medio (sopra falda) [KN/m <sup>3</sup> ]     | <input type="text" value="19,00"/> |
| $g_{(z-w)-h1}$ peso medio (tra z-w e h1) [KN/m <sup>3</sup> ] | <input type="text" value="10,00"/> |

U press. acqua (sul fondo galleria) [KPa]

**CALCOLO DELLE RESISTENZE AL TAGLIO E FATTORE DI SICUREZZA**

| FRONTE INSTABILE                        | materiale stratificato             | materiale stratificato<br>[ $K_A - K_0 - f$ ] medi |
|---|------------------------------------|--|
| t m2 (resistenza taglio concio 2) [KPa] | <input type="text" value="-8,34"/> | <input type="text" value="-4,99"/>                 |
| t m3 (resistenza taglio concio 3) [KPa] | <input type="text" value="4,00"/>  | <input type="text" value="4,00"/>                  |
| FSF                                     | <input type="text" value="0,04"/>  | <input type="text" value="0,05"/>                  |

**STRATIGRAFIA**

| N° strati <b>SOPRA</b> la calotta                     |            | 1                          | (max 6) | N° strati <b>SOTTO</b> la calotta |  | 1          | (max 6)                    |       |          |
|---|------------|----------------------------|---------|-----------------------------------|--|------------|----------------------------|-------|----------|
| Strati SOPRA la calotta                               |            |                            |         |                                   | Strati SOTTO la calotta                    |            |                            |       |          |
| Strato n°   | Spessore m | $\gamma$ KN/m <sup>3</sup> | c KPa   | $\phi$ °                          | Strato n°                                  | Spessore m | $\gamma$ KN/m <sup>3</sup> | c KPa | $\phi$ ° |
| 1   | 20         | 19                         | 4       | 33                                | 1  | 11,85      | 19                         | 219   | 33       |
|   |            |                            |         |                                   |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |         |                                   |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |         |                                   |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |         |                                   |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |         |                                   |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |         |                                   |  |            |                            |       |          |
| Altezza totale da piano campagna ad arco rovescio [m] |            |                            |         | 27,2                              | Altezza galleria [m]                       |            |                            |       | 7,2      |
| w profondità falda da piano campagna [m]              |            |                            |         | 100                               | $\gamma_w$ peso acqua [KN/m <sup>3</sup> ] |            |                            |       | 10       |

**PARAMETRI GEOMETRICI**

|                                       |     |  |        |
|---------------------------------------|-----|--|--------|
| B larghezza del tunnel [m]            | 9,8 | h1 altezza paraboloide [m]             | 20     |
| D altezza del tunnel [m]              | 7,2 | l parametro geometrico paraboloide [m] | 2,32   |
| C profondità calotta [m]              | 20  | B parametro geometrico paraboloide [m] | 14,44  |
| a avanzamento senza sostegno [m]      | 0   | z-w parametro geometrico [m]           | -80,00 |
| Deq diametro equivalente [m]          | 10  | z-w-h1 parametro geometrico [m]        | 0,00   |
| <b>Shallow Tunnel =&gt; Z &lt; 3D</b> |     | z-h1 parametro geometrico [m]          | 0,00   |

**PARAMETRI DEL MATERIALE**

|  |        |   |       |
|--|--------|---|-------|
| $g_1$ peso medio fronte (cuneo 1) [KN/m <sup>3</sup> ] | 31,27  | $g_{2-3}$ peso medio (cunei 2-3) [KN/m <sup>3</sup> ]         | 19,00 |
| $f_1$ angolo medio fronte (cuneo 1) [°]                | 54,31  | $f_{2-3}$ angolo medio (cunei 2-3) [°]                        | 33,00 |
| $c_1$ coesione media fronte (cuneo 1) [KPa]            | 360,44 | $c_{2-3}$ coesione media (cunei 2-3) [KPa]                    | 4,00  |
| $K_{01}$ spinta a riposo fronte (cuneo 1)              | 0,19   | $K_{02-3}$ spinta a riposo media (cunei 2-3)                  | 0,46  |
| $K_{A1}$ coefficiente $0,5 < K_A < 1$ (cuneo 1)        | 1,00   | $K_{A2-3}$ coefficiente $0,5 < K_A < 1$ (cuneo 2-3)           | 1,00  |
| $g_m$ peso medio (globale) [KN/m <sup>3</sup> ]        | 22,25  | $g_{dw2-3}$ peso medio (sotto falda) [KN/m <sup>3</sup> ]     | 0,00  |
| $f_m$ angolo medio (globale) [°]                       | 38,64  | $g_{uw2-3}$ peso medio (sopra falda) [KN/m <sup>3</sup> ]     | 19,00 |
| $c_m$ coesione media (globale) [KPa]                   | 98,35  | $g_{(z-w)-h1}$ peso medio (tra z-w e h1) [KN/m <sup>3</sup> ] | 10,00 |
| $K_{0m}$ spinta a riposo (globale)                     | 0,38   | U press. acqua (sul fondo galleria) [KPa]                     | 0     |
| $K_{Am}$ coefficiente $0,5 < K_A < 1$ (globale)        | 1,00   |   |       |

**CALCOLO DELLE RESISTENZE AL TAGLIO E FATTORE DI SICUREZZA**

| FRONTE STABILE                          | materiale stratificato | materiale stratificato<br>[ $K_A - K_0 - f$ ] medi |
|---|------------------------|--|
| t m2 (resistenza taglio concio 2) [KPa] | 265,58                 | 219,74   |
| t m3 (resistenza taglio concio 3) [KPa] | 4,00                   | 4,00   |
| FSF                                     | 3,01                   | 2,77   |

**STRATIGRAFIA**

N° strati **SOPRA** la calotta  (max 6)

N° strati **SOTTO** la calotta  (max 6)

| Strati SOPRA la calotta |              |                               |         |            |
|-------------------------|--------------|-------------------------------|---------|------------|
| Strato n°               | Spessore [m] | $\gamma$ [KN/m <sup>3</sup> ] | c [KPa] | $\phi$ [°] |
| 1                       | 20           | 19                            | 4       | 33         |
|                         |              |                               |         |            |
|                         |              |                               |         |            |
|                         |              |                               |         |            |
|                         |              |                               |         |            |

| Strati SOTTO la calotta |              |                               |         |            |
|-------------------------|--------------|-------------------------------|---------|------------|
| Strato n°               | Spessore [m] | $\gamma$ [KN/m <sup>3</sup> ] | c [KPa] | $\phi$ [°] |
| 1                       | 11,85        | 19                            | 4       | 33         |
|                         |              |                               |         |            |
|                         |              |                               |         |            |
|                         |              |                               |         |            |
|                         |              |                               |         |            |

Altezza totale da piano campagna ad arco rovescio [m]

Altezza galleria [m]

w profondità falda da piano campagna [m]

$\gamma_w$  peso acqua [KN/m<sup>3</sup>]

**PARAMETRI GEOMETRICI**

|                                  |                                  |
|----------------------------------|----------------------------------|
| B larghezza del tunnel [m]       | <input type="text" value="9,8"/> |
| D altezza del tunnel [m]         | <input type="text" value="7,2"/> |
| C profondità calotta [m]         | <input type="text" value="20"/>  |
| a avanzamento senza sostegno [m] | <input type="text" value="0"/>   |
| Deq diametro equivalente [m]     | <input type="text" value="10"/>  |

|  |                                     |
|--|-------------------------------------|
| h1 altezza paraboloide [m]             | <input type="text" value="20"/>     |
| l parametro geometrico paraboloide [m] | <input type="text" value="2,32"/>   |
| B parametro geometrico paraboloide [m] | <input type="text" value="14,44"/>  |
| z-w parametro geometrico [m]           | <input type="text" value="-80,00"/> |
| z-w-h1 parametro geometrico [m]        | <input type="text" value="0,00"/>   |
| z-h1 parametro geometrico [m]          | <input type="text" value="0,00"/>   |

Shallow Tunnel => Z < 3D

**PARAMETRI DEL MATERIALE**

|  |                                    |
|--|------------------------------------|
| $g_1$ peso medio fronte (cuneo 1) [KN/m <sup>3</sup> ] | <input type="text" value="31,27"/> |
| $f_1$ angolo medio fronte (cuneo 1) [°]                | <input type="text" value="54,31"/> |
| $c_1$ coesione media fronte (cuneo 1) [KPa]            | <input type="text" value="6,58"/>  |
| $K_{01}$ spinta a riposo fronte (cuneo 1)              | <input type="text" value="0,19"/>  |
| $K_{A1}$ coefficiente $0,5 < K_A < 1$ (cuneo 1)        | <input type="text" value="1,00"/>  |

|   |                                    |
|---|------------------------------------|
| $g_{2-3}$ peso medio (cunei 2-3) [KN/m <sup>3</sup> ] | <input type="text" value="19,00"/> |
| $f_{2-3}$ angolo medio (cunei 2-3) [°]                | <input type="text" value="33,00"/> |
| $c_{2-3}$ coesione media (cunei 2-3) [KPa]            | <input type="text" value="4,00"/>  |
| $K_{02-3}$ spinta a riposo media (cunei 2-3)          | <input type="text" value="0,46"/>  |
| $K_{A2-3}$ coefficiente $0,5 < K_A < 1$ (cuneo 2-3)   | <input type="text" value="1,00"/>  |

|   |                                    |
|---|------------------------------------|
| $g_m$ peso medio (globale) [KN/m <sup>3</sup> ] | <input type="text" value="22,25"/> |
| $f_m$ angolo medio (globale) [°]                | <input type="text" value="38,64"/> |
| $c_m$ coesione media (globale) [KPa]            | <input type="text" value="4,68"/>  |
| $K_{0m}$ spinta a riposo (globale)              | <input type="text" value="0,38"/>  |
| $K_{Am}$ coefficiente $0,5 < K_A < 1$ (globale) | <input type="text" value="1,00"/>  |

|   |                                    |
|---|------------------------------------|
| $g_{dw2-3}$ peso medio (sotto falda) [KN/m <sup>3</sup> ]     | <input type="text" value="0,00"/>  |
| $g_{uw2-3}$ peso medio (sopra falda) [KN/m <sup>3</sup> ]     | <input type="text" value="19,00"/> |
| $g_{(z-w)-h1}$ peso medio (tra z-w e h1) [KN/m <sup>3</sup> ] | <input type="text" value="10,00"/> |

U press. acqua (sul fondo galleria) [KPa]

**CALCOLO DELLE RESISTENZE AL TAGLIO E FATTORE DI SICUREZZA**

| FRONTE INSTABILE                        | materiale stratificato             | materiale stratificato [K <sub>A</sub> - K <sub>0</sub> - f] medi |
|---|------------------------------------|---|
| t m2 (resistenza taglio concio 2) [KPa] | <input type="text" value="-8,34"/> | <input type="text" value="-6,18"/>                                |
| t m3 (resistenza taglio concio 3) [KPa] | <input type="text" value="4,00"/>  | <input type="text" value="4,00"/>                                 |
| FSF                                     | <input type="text" value="0,01"/>  | <input type="text" value="0,03"/>                                 |

**STRATIGRAFIA**

| N° strati <b>SOPRA</b> la calotta                     |            | 1                          | (max 6) | N° strati <b>SOTTO</b> la calotta |  | 1          | (max 6)                    |       |          |
|---|------------|----------------------------|---------|-----------------------------------|--|------------|----------------------------|-------|----------|
| Strati SOPRA la calotta                               |            |                            |         |                                   | Strati SOTTO la calotta                    |            |                            |       |          |
| Strato n°   | Spessore m | $\gamma$ KN/m <sup>3</sup> | c KPa   | $\phi$ °                          | Strato n°                                  | Spessore m | $\gamma$ KN/m <sup>3</sup> | c KPa | $\phi$ ° |
| 1   | 5          | 19                         | 4       | 33                                | 1  | 11,85      | 19                         | 4     | 33       |
|   |            |                            |         |                                   |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |         |                                   |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |         |                                   |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |         |                                   |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |         |                                   |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |         |                                   |  |            |                            |       |          |
| Altezza totale da piano campagna ad arco rovescio [m] |            |                            |         | 10                                | Altezza galleria [m]                       |            |                            |       | 5        |
| w profondità falda da piano campagna [m]              |            |                            |         | 100                               | $\gamma_w$ peso acqua [KN/m <sup>3</sup> ] |            |                            |       | 10       |

**PARAMETRI GEOMETRICI**

|                                       |     |  |        |
|---------------------------------------|-----|--|--------|
| B larghezza del tunnel [m]            | 5,4 | h1 altezza paraboloide [m]             | 5      |
| D altezza del tunnel [m]              | 5   | l parametro geometrico paraboloide [m] | 0,52   |
| C profondità calotta [m]              | 5   | B parametro geometrico paraboloide [m] | 6,43   |
| a avanzamento senza sostegno [m]      | 0   | z-w parametro geometrico [m]           | -95,00 |
| Deq diametro equivalente [m]          | 6   | z-w-h1 parametro geometrico [m]        | 0,00   |
| <b>Shallow Tunnel =&gt; Z &lt; 3D</b> |     | z-h1 parametro geometrico [m]          | 0,00   |

**PARAMETRI DEL MATERIALE**

|  |       |   |       |
|--|-------|---|-------|
| $g_1$ peso medio fronte (cuneo 1) [KN/m <sup>3</sup> ] | 45,03 | $g_{2-3}$ peso medio (cunei 2-3) [KN/m <sup>3</sup> ]         | 19,00 |
| $f_1$ angolo medio fronte (cuneo 1) [°]                | 78,21 | $f_{2-3}$ angolo medio (cunei 2-3) [°]                        | 33,00 |
| $c_1$ coesione media fronte (cuneo 1) [KPa]            | 9,48  | $c_{2-3}$ coesione media (cunei 2-3) [KPa]                    | 4,00  |
| $K_{01}$ spinta a riposo fronte (cuneo 1)              | 0,02  | $K_{02-3}$ spinta a riposo media (cunei 2-3)                  | 0,46  |
| $K_{A1}$ coefficiente $0,5 < K_A < 1$ (cuneo 1)        | 1,00  | $K_{A2-3}$ coefficiente $0,5 < K_A < 1$ (cuneo 2-3)           | 1,00  |
| $g_m$ peso medio (globale) [KN/m <sup>3</sup> ]        | 32,02 | $g_{dw2-3}$ peso medio (sotto falda) [KN/m <sup>3</sup> ]     | 0,00  |
| $f_m$ angolo medio (globale) [°]                       | 55,61 | $g_{uw2-3}$ peso medio (sopra falda) [KN/m <sup>3</sup> ]     | 19,00 |
| $c_m$ coesione media (globale) [KPa]                   | 6,74  | $g_{(z-w)-h1}$ peso medio (tra z-w e h1) [KN/m <sup>3</sup> ] | 10,00 |
| $K_{0m}$ spinta a riposo (globale)                     | 0,17  | U press. acqua (sul fondo galleria) [KPa]                     | 0     |
| $K_{Am}$ coefficiente $0,5 < K_A < 1$ (globale)        | 1,00  |   |       |

**CALCOLO DELLE RESISTENZE AL TAGLIO E FATTORE DI SICUREZZA**

| FRONTE INSTABILE                        | materiale stratificato | materiale stratificato<br>[ $K_A - K_0 - f$ ] medi |
|---|------------------------|--|
| t m2 (resistenza taglio concio 2) [KPa] | -8,60                  | -0,84  |
| t m3 (resistenza taglio concio 3) [KPa] | 4,00                   | 4,00   |
| <b>FSF</b>                              | <b>0,06</b>            | <b>0,10</b>  |

**STRATIGRAFIA**

| N° strati <b>SOPRA</b> la calotta                     |            | 1                          | (max 6) | N° strati <b>SOTTO</b> la calotta |  | 1          | (max 6)                    |       |          |
|---|------------|----------------------------|---------|-----------------------------------|--|------------|----------------------------|-------|----------|
| Strati SOPRA la calotta                               |            |                            |         |                                   | Strati SOTTO la calotta                    |            |                            |       |          |
| Strato n°   | Spessore m | $\gamma$ KN/m <sup>3</sup> | c KPa   | $\phi$ °                          | Strato n°                                  | Spessore m | $\gamma$ KN/m <sup>3</sup> | c KPa | $\phi$ ° |
| 1   | 5          | 19                         | 4       | 33                                | 1  | 11,85      | 19                         | 297,5 | 33       |
|   |            |                            |         |                                   |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |         |                                   |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |         |                                   |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |         |                                   |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |         |                                   |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |         |                                   |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |         |                                   |  |            |                            |       |          |
| Altezza totale da piano campagna ad arco rovescio [m] |            |                            |         | 10                                | Altezza galleria [m]                       |            |                            |       | 5        |
| w profondità falda da piano campagna [m]              |            |                            |         | 100                               | $\gamma_w$ peso acqua [KN/m <sup>3</sup> ] |            |                            |       | 10       |

**PARAMETRI GEOMETRICI**

|                                       |     |  |        |
|---------------------------------------|-----|--|--------|
| B larghezza del tunnel [m]            | 5,4 | h1 altezza paraboloide [m]             | 5      |
| D altezza del tunnel [m]              | 5   | l parametro geometrico paraboloide [m] | 0,52   |
| C profondità calotta [m]              | 5   | B parametro geometrico paraboloide [m] | 6,43   |
| a avanzamento senza sostegno [m]      | 0   | z-w parametro geometrico [m]           | -95,00 |
| Deq diametro equivalente [m]          | 10  | z-w-h1 parametro geometrico [m]        | 0,00   |
| <b>Shallow Tunnel =&gt; Z &lt; 3D</b> |     | z-h1 parametro geometrico [m]          | 0,00   |

**PARAMETRI DEL MATERIALE**

|  |        |   |       |
|--|--------|---|-------|
| $g_1$ peso medio fronte (cuneo 1) [KN/m <sup>3</sup> ] | 45,03  | $g_{2-3}$ peso medio (cunei 2-3) [KN/m <sup>3</sup> ]         | 19,00 |
| $f_1$ angolo medio fronte (cuneo 1) [°]                | 78,21  | $f_{2-3}$ angolo medio (cunei 2-3) [°]                        | 33,00 |
| $c_1$ coesione media fronte (cuneo 1) [KPa]            | 705,08 | $c_{2-3}$ coesione media (cunei 2-3) [KPa]                    | 4,00  |
| $K_{01}$ spinta a riposo fronte (cuneo 1)              | 0,02   | $K_{02-3}$ spinta a riposo media (cunei 2-3)                  | 0,46  |
| $K_{A1}$ coefficiente $0,5 < K_A < 1$ (cuneo 1)        | 1,00   | $K_{A2-3}$ coefficiente $0,5 < K_A < 1$ (cuneo 2-3)           | 1,00  |
| $g_m$ peso medio (globale) [KN/m <sup>3</sup> ]        | 32,02  | $g_{dw2-3}$ peso medio (sotto falda) [KN/m <sup>3</sup> ]     | 0,00  |
| $f_m$ angolo medio (globale) [°]                       | 55,61  | $g_{uw2-3}$ peso medio (sopra falda) [KN/m <sup>3</sup> ]     | 19,00 |
| $c_m$ coesione media (globale) [KPa]                   | 354,54 | $g_{(z-w)-h1}$ peso medio (tra z-w e h1) [KN/m <sup>3</sup> ] | 10,00 |
| $K_{0m}$ spinta a riposo (globale)                     | 0,17   | U press. acqua (sul fondo galleria) [KPa]                     | 0     |
| $K_{Am}$ coefficiente $0,5 < K_A < 1$ (globale)        | 1,00   |   |       |

**CALCOLO DELLE RESISTENZE AL TAGLIO E FATTORE DI SICUREZZA**

| FRONTE STABILE                          | materiale stratificato | materiale stratificato<br>[ $K_A - K_0 - f$ ] medi |
|---|------------------------|--|
| t m2 (resistenza taglio concio 2) [KPa] | 529,87                 | 205,91   |
| t m3 (resistenza taglio concio 3) [KPa] | 4,00                   | 4,00   |
| FSF                                     | 9,02                   | 7,43   |

**STRATIGRAFIA**

N° strati **SOPRA** la calotta  (max 6)

N° strati **SOTTO** la calotta  (max 6)

| Strati SOPRA la calotta |            |                            |       |          |
|-------------------------|------------|----------------------------|-------|----------|
| Strato n°               | Spessore m | $\gamma$ KN/m <sup>3</sup> | c KPa | $\phi$ ° |
| 1                       | 15         | 19                         | 4     | 33       |
|                         |            |                            |       |          |
|                         |            |                            |       |          |
|                         |            |                            |       |          |
|                         |            |                            |       |          |

| Strati SOTTO la calotta |            |                            |       |          |
|-------------------------|------------|----------------------------|-------|----------|
| Strato n°               | Spessore m | $\gamma$ KN/m <sup>3</sup> | c KPa | $\phi$ ° |
| 1                       | 11,85      | 19                         | 4     | 33       |
|                         |            |                            |       |          |
|                         |            |                            |       |          |
|                         |            |                            |       |          |
|                         |            |                            |       |          |

Altezza totale da piano campagna ad arco rovescio [m]

Altezza galleria [m]

w profondità falda da piano campagna [m]

$\gamma_w$  peso acqua [KN/m<sup>3</sup>]

**PARAMETRI GEOMETRICI**

|                                  |                                  |
|----------------------------------|----------------------------------|
| B larghezza del tunnel [m]       | <input type="text" value="5,4"/> |
| D altezza del tunnel [m]         | <input type="text" value="5"/>   |
| C profondità calotta [m]         | <input type="text" value="15"/>  |
| a avanzamento senza sostegno [m] | <input type="text" value="0"/>   |
| Deq diametro equivalente [m]     | <input type="text" value="6"/>   |

|  |                                     |
|--|-------------------------------------|
| h1 altezza paraboloide [m]             | <input type="text" value="15"/>     |
| l parametro geometrico paraboloide [m] | <input type="text" value="0,52"/>   |
| B parametro geometrico paraboloide [m] | <input type="text" value="6,43"/>   |
| z-w parametro geometrico [m]           | <input type="text" value="-85,00"/> |
| z-w-h1 parametro geometrico [m]        | <input type="text" value="0,00"/>   |
| z-h1 parametro geometrico [m]          | <input type="text" value="0,00"/>   |

Shallow Tunnel => Z < 3D

**PARAMETRI DEL MATERIALE**

|  |                                    |
|--|------------------------------------|
| $g_1$ peso medio fronte (cuneo 1) [KN/m <sup>3</sup> ] | <input type="text" value="45,03"/> |
| $f_1$ angolo medio fronte (cuneo 1) [°]                | <input type="text" value="78,21"/> |
| $c_1$ coesione media fronte (cuneo 1) [KPa]            | <input type="text" value="9,48"/>  |
| $K_{01}$ spinta a riposo fronte (cuneo 1)              | <input type="text" value="0,02"/>  |
| $K_{A1}$ coefficiente $0,5 < K_A < 1$ (cuneo 1)        | <input type="text" value="1,00"/>  |

|   |                                    |
|---|------------------------------------|
| $g_{2-3}$ peso medio (cunei 2-3) [KN/m <sup>3</sup> ] | <input type="text" value="19,00"/> |
| $f_{2-3}$ angolo medio (cunei 2-3) [°]                | <input type="text" value="33,00"/> |
| $c_{2-3}$ coesione media (cunei 2-3) [KPa]            | <input type="text" value="4,00"/>  |
| $K_{02-3}$ spinta a riposo media (cunei 2-3)          | <input type="text" value="0,46"/>  |
| $K_{A2-3}$ coefficiente $0,5 < K_A < 1$ (cuneo 2-3)   | <input type="text" value="1,00"/>  |

|   |                                    |
|---|------------------------------------|
| $g_m$ peso medio (globale) [KN/m <sup>3</sup> ] | <input type="text" value="25,51"/> |
| $f_m$ angolo medio (globale) [°]                | <input type="text" value="44,30"/> |
| $c_m$ coesione media (globale) [KPa]            | <input type="text" value="5,37"/>  |
| $K_{0m}$ spinta a riposo (globale)              | <input type="text" value="0,30"/>  |
| $K_{Am}$ coefficiente $0,5 < K_A < 1$ (globale) | <input type="text" value="1,00"/>  |

|   |                                    |
|---|------------------------------------|
| $g_{dw2-3}$ peso medio (sotto falda) [KN/m <sup>3</sup> ]     | <input type="text" value="0,00"/>  |
| $g_{uw2-3}$ peso medio (sopra falda) [KN/m <sup>3</sup> ]     | <input type="text" value="19,00"/> |
| $g_{(z-w)-h1}$ peso medio (tra z-w e h1) [KN/m <sup>3</sup> ] | <input type="text" value="10,00"/> |

U press. acqua (sul fondo galleria) [KPa]

**CALCOLO DELLE RESISTENZE AL TAGLIO E FATTORE DI SICUREZZA**

| FRONTE INSTABILE                        | materiale stratificato             | materiale stratificato<br>[ $K_A - K_0 - f$ ] medi |
|---|------------------------------------|--|
| t m2 (resistenza taglio concio 2) [KPa] | <input type="text" value="-8,60"/> | <input type="text" value="-4,34"/>                 |
| t m3 (resistenza taglio concio 3) [KPa] | <input type="text" value="4,00"/>  | <input type="text" value="4,00"/>                  |
| FSF                                     | <input type="text" value="0,01"/>  | <input type="text" value="0,04"/>                  |

**STRATIGRAFIA**

N° strati **SOPRA** la calotta  (max 6)

N° strati **SOTTO** la calotta  (max 6)

| Strati SOPRA la calotta |            |                            |       |          |
|-------------------------|------------|----------------------------|-------|----------|
| Strato n°               | Spessore m | $\gamma$ KN/m <sup>3</sup> | c KPa | $\phi$ ° |
| 1                       | 15         | 19                         | 4     | 33       |
|                         |            |                            |       |          |
|                         |            |                            |       |          |
|                         |            |                            |       |          |
|                         |            |                            |       |          |

| Strati SOTTO la calotta |            |                            |       |          |
|-------------------------|------------|----------------------------|-------|----------|
| Strato n°               | Spessore m | $\gamma$ KN/m <sup>3</sup> | c KPa | $\phi$ ° |
| 1                       | 11,85      | 19                         | 297,5 | 33       |
|                         |            |                            |       |          |
|                         |            |                            |       |          |
|                         |            |                            |       |          |
|                         |            |                            |       |          |

Altezza totale da piano campagna ad arco rovescio [m]

Altezza galleria [m]

w profondità falda da piano campagna [m]

$\gamma_w$  peso acqua [KN/m<sup>3</sup>]

**PARAMETRI GEOMETRICI**

|                                  |                                  |
|----------------------------------|----------------------------------|
| B larghezza del tunnel [m]       | <input type="text" value="5,4"/> |
| D altezza del tunnel [m]         | <input type="text" value="5"/>   |
| C profondità calotta [m]         | <input type="text" value="15"/>  |
| a avanzamento senza sostegno [m] | <input type="text" value="0"/>   |
| Deq diametro equivalente [m]     | <input type="text" value="10"/>  |

|  |                                     |
|--|-------------------------------------|
| h1 altezza paraboloide [m]             | <input type="text" value="15"/>     |
| l parametro geometrico paraboloide [m] | <input type="text" value="0,52"/>   |
| B parametro geometrico paraboloide [m] | <input type="text" value="6,43"/>   |
| z-w parametro geometrico [m]           | <input type="text" value="-85,00"/> |
| z-w-h1 parametro geometrico [m]        | <input type="text" value="0,00"/>   |
| z-h1 parametro geometrico [m]          | <input type="text" value="0,00"/>   |

Shallow Tunnel => Z < 3D

**PARAMETRI DEL MATERIALE**

|  |                                     |
|--|-------------------------------------|
| $g_1$ peso medio fronte (cuneo 1) [KN/m <sup>3</sup> ] | <input type="text" value="45,03"/>  |
| $f_1$ angolo medio fronte (cuneo 1) [°]                | <input type="text" value="78,21"/>  |
| $c_1$ coesione media fronte (cuneo 1) [KPa]            | <input type="text" value="705,08"/> |
| $K_{01}$ spinta a riposo fronte (cuneo 1)              | <input type="text" value="0,02"/>   |
| $K_{A1}$ coefficiente $0,5 < K_A < 1$ (cuneo 1)        | <input type="text" value="1,00"/>   |

|   |                                    |
|---|------------------------------------|
| $g_{2-3}$ peso medio (cunei 2-3) [KN/m <sup>3</sup> ] | <input type="text" value="19,00"/> |
| $f_{2-3}$ angolo medio (cunei 2-3) [°]                | <input type="text" value="33,00"/> |
| $c_{2-3}$ coesione media (cunei 2-3) [KPa]            | <input type="text" value="4,00"/>  |
| $K_{02-3}$ spinta a riposo media (cunei 2-3)          | <input type="text" value="0,46"/>  |
| $K_{A2-3}$ coefficiente $0,5 < K_A < 1$ (cuneo 2-3)   | <input type="text" value="1,00"/>  |

|   |                                     |
|---|-------------------------------------|
| $g_m$ peso medio (globale) [KN/m <sup>3</sup> ] | <input type="text" value="25,51"/>  |
| $f_m$ angolo medio (globale) [°]                | <input type="text" value="44,30"/>  |
| $c_m$ coesione media (globale) [KPa]            | <input type="text" value="179,27"/> |
| $K_{0m}$ spinta a riposo (globale)              | <input type="text" value="0,30"/>   |
| $K_{Am}$ coefficiente $0,5 < K_A < 1$ (globale) | <input type="text" value="1,00"/>   |

|   |                                    |
|---|------------------------------------|
| $g_{dw2-3}$ peso medio (sotto falda) [KN/m <sup>3</sup> ]     | <input type="text" value="0,00"/>  |
| $g_{uw2-3}$ peso medio (sopra falda) [KN/m <sup>3</sup> ]     | <input type="text" value="19,00"/> |
| $g_{(z-w)-h1}$ peso medio (tra z-w e h1) [KN/m <sup>3</sup> ] | <input type="text" value="10,00"/> |

U press. acqua (sul fondo galleria) [KPa]

**CALCOLO DELLE RESISTENZE AL TAGLIO E FATTORE DI SICUREZZA**

| FRONTE STABILE                          | materiale stratificato              | materiale stratificato<br>[ $K_A - K_0 - f$ ] medi |
|---|-------------------------------------|--|
| t m2 (resistenza taglio concio 2) [KPa] | <input type="text" value="529,87"/> | <input type="text" value="352,25"/>                |
| t m3 (resistenza taglio concio 3) [KPa] | <input type="text" value="4,00"/>   | <input type="text" value="4,00"/>                  |
| FSF                                     | <input type="text" value="6,50"/>   | <input type="text" value="5,30"/>                  |

**STRATIGRAFIA**

| N° strati <b>SOPRA</b> la calotta                     |            | 1                          | (max 6) | N° strati <b>SOTTO</b> la calotta |  | 1          | (max 6)                    |       |          |
|---|------------|----------------------------|---------|-----------------------------------|--|------------|----------------------------|-------|----------|
| Strati SOPRA la calotta                               |            |                            |         |                                   | Strati SOTTO la calotta                    |            |                            |       |          |
| Strato n°   | Spessore m | $\gamma$ KN/m <sup>3</sup> | c KPa   | $\phi$ °                          | Strato n°                                  | Spessore m | $\gamma$ KN/m <sup>3</sup> | c KPa | $\phi$ ° |
| 1   | 30         | 19                         | 4       | 33                                | 1  | 11,85      | 19                         | 4     | 33       |
|   |            |                            |         |                                   |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |         |                                   |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |         |                                   |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |         |                                   |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |         |                                   |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |         |                                   |  |            |                            |       |          |
| Altezza totale da piano campagna ad arco rovescio [m] | 35         |                            |         |                                   | Altezza galleria [m]                       | 5          |                            |       |          |
| w profondità falda da piano campagna [m]              | 100        |                            |         |                                   | $\gamma_w$ peso acqua [KN/m <sup>3</sup> ] | 10         |                            |       |          |

**PARAMETRI GEOMETRICI**

|                                    |     |  |        |
|------------------------------------|-----|--|--------|
| B larghezza del tunnel [m]         | 5,4 | h1 altezza paraboloide [m]             | 9,18   |
| D altezza del tunnel [m]           | 5   | l parametro geometrico paraboloide [m] | 0,52   |
| C profondità calotta [m]           | 30  | B parametro geometrico paraboloide [m] | 6,43   |
| a avanzamento senza sostegno [m]   | 0   | z-w parametro geometrico [m]           | -70,00 |
| Deq diametro equivalente [m]       | 6   | z-w-h1 parametro geometrico [m]        | 0,00   |
| <b>Deep Tunnel =&gt; Z &gt; 3D</b> |     | z-h1 parametro geometrico [m]          | 20,82  |

**PARAMETRI DEL MATERIALE**

|  |       |   |       |
|--|-------|---|-------|
| $g_1$ peso medio fronte (cuneo 1) [KN/m <sup>3</sup> ] | 45,03 | $g_{2-3}$ peso medio (cunei 2-3) [KN/m <sup>3</sup> ]         | 19,00 |
| $f_1$ angolo medio fronte (cuneo 1) [°]                | 78,21 | $f_{2-3}$ angolo medio (cunei 2-3) [°]                        | 33,00 |
| $c_1$ coesione media fronte (cuneo 1) [KPa]            | 9,48  | $c_{2-3}$ coesione media (cunei 2-3) [KPa]                    | 4,00  |
| $K_{01}$ spinta a riposo fronte (cuneo 1)              | 0,02  | $K_{02-3}$ spinta a riposo media (cunei 2-3)                  | 0,46  |
| $K_{A1}$ coefficiente $0,5 < K_A < 1$ (cuneo 1)        | 1,00  | $K_{A2-3}$ coefficiente $0,5 < K_A < 1$ (cuneo 2-3)           | 1,00  |
| $g_m$ peso medio (globale) [KN/m <sup>3</sup> ]        | 22,72 | $g_{dw2-3}$ peso medio (sotto falda) [KN/m <sup>3</sup> ]     | 0,00  |
| $f_m$ angolo medio (globale) [°]                       | 39,46 | $g_{uw2-3}$ peso medio (sopra falda) [KN/m <sup>3</sup> ]     | 19,00 |
| $c_m$ coesione media (globale) [KPa]                   | 4,78  | $g_{(z-w)-h1}$ peso medio (tra z-w e h1) [KN/m <sup>3</sup> ] | 10,00 |
| $K_{0m}$ spinta a riposo (globale)                     | 0,36  | U press. acqua (sul fondo galleria) [KPa]                     | 0     |
| $K_{Am}$ coefficiente $0,5 < K_A < 1$ (globale)        | 1,00  |   |       |

**CALCOLO DELLE RESISTENZE AL TAGLIO E FATTORE DI SICUREZZA**

| FRONTE STABILE                          | materiale stratificato | materiale stratificato<br>[ $K_A - K_0 - f$ ] medi |
|---|------------------------|--|
| t m2 (resistenza taglio concio 2) [KPa] | 423,99                 | 340,17   |
| t m3 (resistenza taglio concio 3) [KPa] | 312,47                 | 394,98   |
| FSF                                     | 1,75                   | 1,76   |



**STRATIGRAFIA**

| N° strati <b>SOPRA</b> la calotta                     |            | 1                          | (max 6) | N° strati <b>SOTTO</b> la calotta |  | 1          | (max 6)                    |       |          |
|---|------------|----------------------------|---------|-----------------------------------|--|------------|----------------------------|-------|----------|
| Strati SOPRA la calotta                               |            |                            |         |                                   | Strati SOTTO la calotta                    |            |                            |       |          |
| Strato n°   | Spessore m | $\gamma$ KN/m <sup>3</sup> | c KPa   | $\phi$ °                          | Strato n°                                  | Spessore m | $\gamma$ KN/m <sup>3</sup> | c KPa | $\phi$ ° |
| 1   | 30         | 19                         | 4       | 33                                | 1  | 11,85      | 19                         | 297,5 | 33       |
|   |            |                            |         |                                   |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |         |                                   |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |         |                                   |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |         |                                   |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |         |                                   |  |            |                            |       |          |
|   |            |                            |         |                                   |  |            |                            |       |          |
| Altezza totale da piano campagna ad arco rovescio [m] |            |                            |         | 35                                | Altezza galleria [m]                       |            |                            |       | 5        |
| w profondità falda da piano campagna [m]              |            |                            |         | 100                               | $\gamma_w$ peso acqua [KN/m <sup>3</sup> ] |            |                            |       | 10       |

**PARAMETRI GEOMETRICI**

|                                       |     |  |        |
|---------------------------------------|-----|--|--------|
| B larghezza del tunnel [m]            | 5,4 | h1 altezza paraboloide [m]             | 30     |
| D altezza del tunnel [m]              | 5   | l parametro geometrico paraboloide [m] | 0,52   |
| C profondità calotta [m]              | 30  | B parametro geometrico paraboloide [m] | 6,43   |
| a avanzamento senza sostegno [m]      | 0   | z-w parametro geometrico [m]           | -70,00 |
| Deq diametro equivalente [m]          | 10  | z-w-h1 parametro geometrico [m]        | 0,00   |
| <b>Shallow Tunnel =&gt; Z &lt; 3D</b> |     | z-h1 parametro geometrico [m]          | 0,00   |

**PARAMETRI DEL MATERIALE**

|  |        |   |       |
|--|--------|---|-------|
| $g_1$ peso medio fronte (cuneo 1) [KN/m <sup>3</sup> ] | 45,03  | $g_{2-3}$ peso medio (cunei 2-3) [KN/m <sup>3</sup> ]         | 19,00 |
| $f_1$ angolo medio fronte (cuneo 1) [°]                | 78,21  | $f_{2-3}$ angolo medio (cunei 2-3) [°]                        | 33,00 |
| $c_1$ coesione media fronte (cuneo 1) [KPa]            | 705,08 | $c_{2-3}$ coesione media (cunei 2-3) [KPa]                    | 4,00  |
| $K_{01}$ spinta a riposo fronte (cuneo 1)              | 0,02   | $K_{02-3}$ spinta a riposo media (cunei 2-3)                  | 0,46  |
| $K_{A1}$ coefficiente $0,5 < K_A < 1$ (cuneo 1)        | 1,00   | $K_{A2-3}$ coefficiente $0,5 < K_A < 1$ (cuneo 2-3)           | 1,00  |
| $g_m$ peso medio (globale) [KN/m <sup>3</sup> ]        | 22,72  | $g_{dw2-3}$ peso medio (sotto falda) [KN/m <sup>3</sup> ]     | 0,00  |
| $f_m$ angolo medio (globale) [°]                       | 39,46  | $g_{uw2-3}$ peso medio (sopra falda) [KN/m <sup>3</sup> ]     | 19,00 |
| $c_m$ coesione media (globale) [KPa]                   | 104,15 | $g_{(z-w)-h1}$ peso medio (tra z-w e h1) [KN/m <sup>3</sup> ] | 10,00 |
| $K_{0m}$ spinta a riposo (globale)                     | 0,36   | U press. acqua (sul fondo galleria) [KPa]                     | 0     |
| $K_{Am}$ coefficiente $0,5 < K_A < 1$ (globale)        | 1,00   |   |       |

**CALCOLO DELLE RESISTENZE AL TAGLIO E FATTORE DI SICUREZZA**

| FRONTE STABILE                          | materiale stratificato | materiale stratificato<br>[ $K_A - K_0 - f$ ] medi |
|---|------------------------|--|
| t m2 (resistenza taglio concio 2) [KPa] | 529,87                 | 424,92   |
| t m3 (resistenza taglio concio 3) [KPa] | 312,47                 | 394,98   |
| FSF                                     | 8,02                   | 7,90   |

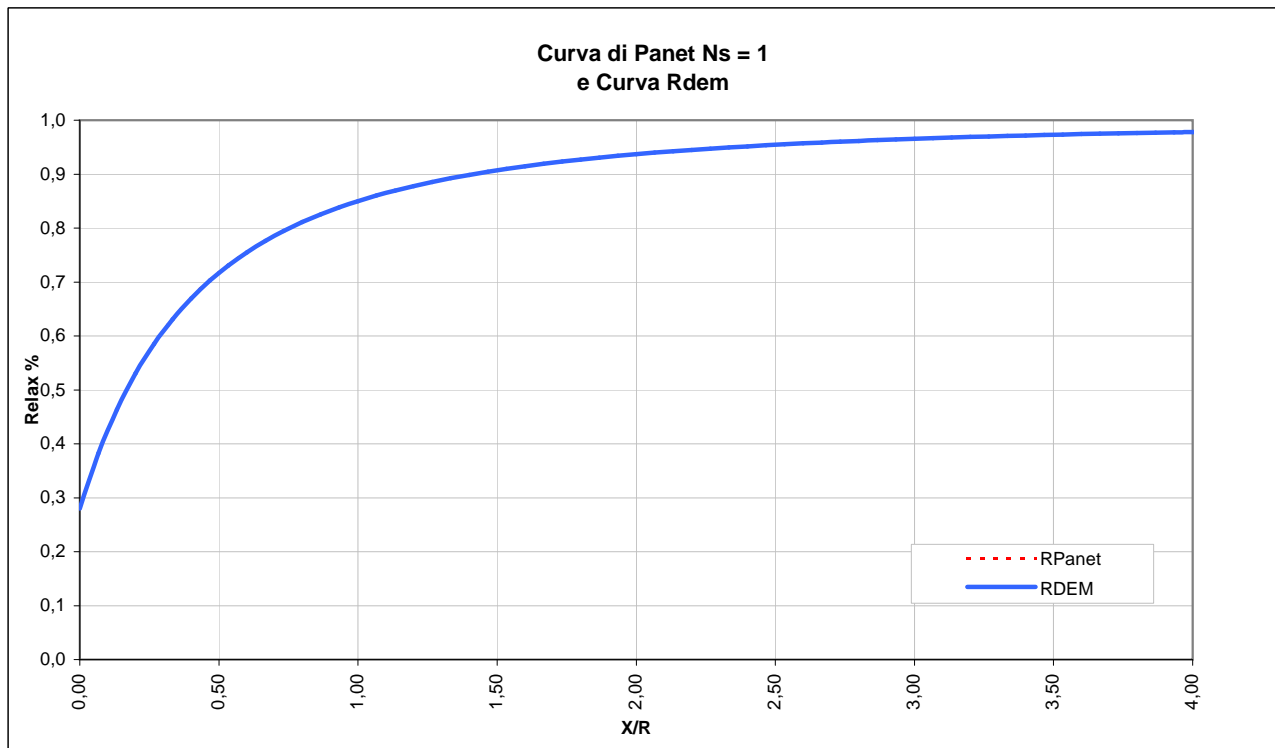
|  |   |   |                           |                                    |
|--|---|---|---------------------------|------------------------------------|
|             |  | <p align="center"><b>Ponte sullo Stretto di Messina</b><br/> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> |                           |                                    |
| <p>COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA – GALLERIA<br/> “FARO SUPERIORE” – RELAZIONE DI CALCOLO</p> |   | <p><i>Codice documento</i><br/> SS0257_F0.doc</p>   | <p><i>Rev</i><br/> F0</p> | <p><i>Data</i><br/> 20/06/2011</p> |

## ALLEGATO – ANALISI NUMERICHE

**LAVORO PONTE SULLO STRETTO**  
**Sezione C1**

**Copertura** 30m  
**Litotipo** Ghiaie e sabbie di Messina

| TIME    | DESCRIZIONE  | X <sub>fronte</sub> [m] | R <sub>panet</sub> | R(FEM) |
|---------|--|-------------------------|--------------------|--------|
| Time 0  | Geostatico   | -∞                      | 0%                 | 0%     |
| Time 1  | Canna 1: Fronte di scavo                             | 0                       | 28%                | 28%    |
| Time 2  | Canna 1 : Avanzamento primo sfondo                   | 1                       | 46%                | 46%    |
| Time 3  | Canna 1: Installazione prerivestimento e avanzamento | 6                       | 81%                | 78%    |
| Time 4  | Canna 1: Maturazione prerivestimento e avanzamento   | ≈ 2 diametri            | 97%                | 92%    |
| Time 5  | Canna 1: Getto arco rovescio e murette e avanzamento | ≈ 6 diametri            | 100%               | 100%   |
| Time 6  | Canna 1: Getto calotte                               | > 6 diametri            | 100%               | 100%   |
| Time 7  | Canna 2: Fronte di scavo                             | 0                       | 28%                | 28%    |
| Time 8  | Canna 2 : Avanzamento primo sfondo                   | 1                       | 46%                | 46%    |
| Time 9  | Canna 2: Installazione prerivestimento e avanzamento | 2                       | 81%                | 78%    |
| Time 10 | Canna 2: Maturazione prerivestimento e avanzamento   | 6                       | 97%                | 92%    |
| Time 11 | Canna 2: Getto arco rovescio e murette e avanzamento | ≈ 2 diametri            | 100%               | 100%   |
| Time 12 | Canna 2: Getto calotte                               | > 6 diametri            | 100%               | 100%   |
| Time 13 | Canna 1 e 2: Analisi di lungo termine                | +∞                      | 100%               | 100%   |



# SEZIONE C1 – GHIAIE DI MESSINA – COPERTURA 30m

## 1. Mesh data

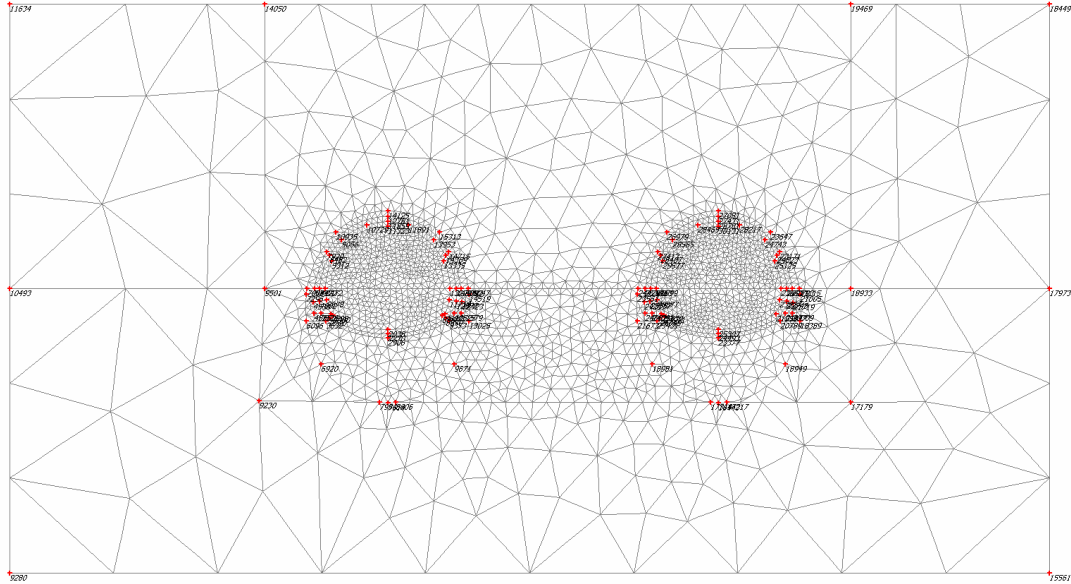


Fig. 1 Plot of the mesh with significant nodes

## 2. Material data

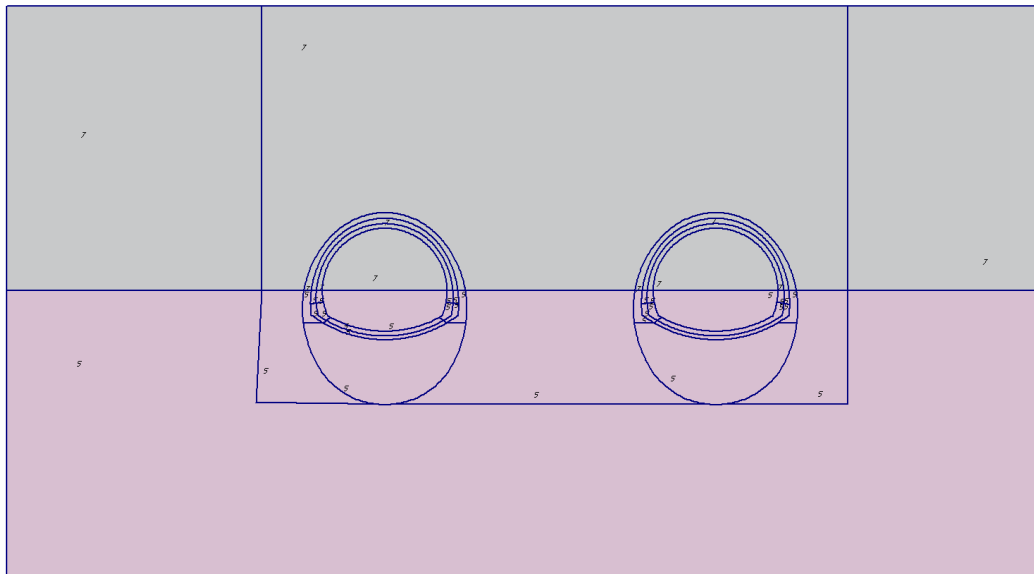


Fig. 2 Plot of geometry with material data sets

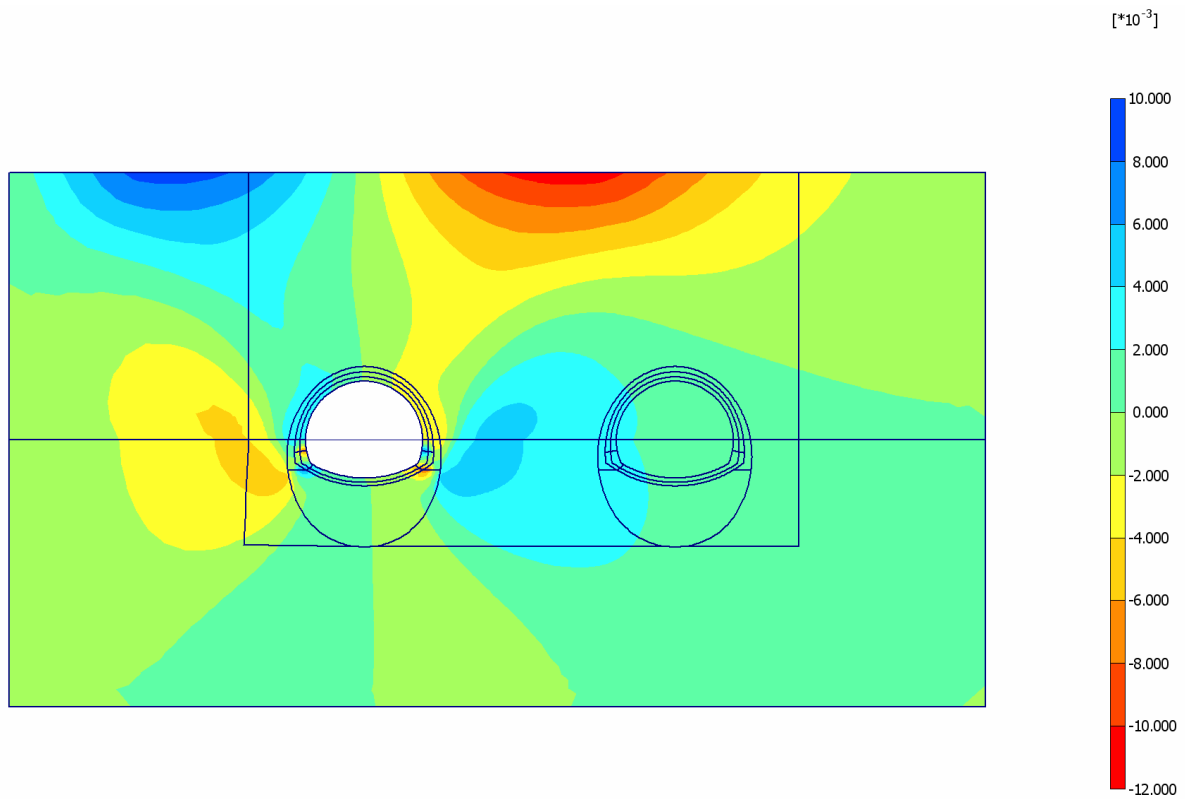
Table [1] Soil data sets parameters

| <i>Hardening Soil</i>         |                      | 4                | 5             | 6             | 7             |
|-------------------------------|----------------------|------------------|---------------|---------------|---------------|
|                               |                      | Ghiaie di ME_450 | Ghiaie ME_275 | Ghiaie ME_350 | Ghiaie ME_100 |
| <b>Type</b>                   |                      | Drained          | Drained       | Drained       | Drained       |
| $\gamma_{unsat}$              | [kN/m <sup>3</sup> ] | 19,00            | 19,00         | 19,00         | 19,00         |
| $\gamma_{sat}$                | [kN/m <sup>3</sup> ] | 19,00            | 19,00         | 19,00         | 19,00         |
| $k_x$                         | [m/day]              | 0,000            | 0,000         | 0,000         | 1,000         |
| $k_y$                         | [m/day]              | 0,000            | 0,000         | 0,000         | 1,000         |
| $e_{init}$                    | [-]                  | 0,50             | 0,50          | 0,50          | 0,50          |
| $e_{min}$                     | [-]                  | 0,00             | 0,00          | 0,00          | 0,00          |
| $e_{max}$                     | [-]                  | 999,00           | 999,00        | 999,00        | 999,00        |
| $c_k$                         | [-]                  | 1E15             | 1E15          | 1E15          | 1E15          |
| $E_{50}^{ref}$                | [kN/m <sup>2</sup> ] | 450000,00        | 275000,00     | 350000,00     | 100000,00     |
| $E_{oed}^{ref}$               | [kN/m <sup>2</sup> ] | 450000,00        | 275000,00     | 350000,00     | 100000,00     |
| <b>power (m)</b>              | [-]                  | 0,00             | 0,00          | 0,00          | 0,00          |
| $c_{ref}$                     | [kN/m <sup>2</sup> ] | 10,00            | 10,00         | 10,00         | 10,00         |
| $\phi$                        | [°]                  | 38,00            | 38,00         | 38,00         | 38,00         |
| $\psi$                        | [°]                  | 0,00             | 0,00          | 0,00          | 0,00          |
| $E_{ur}^{ref}$                | [kN/m <sup>2</sup> ] | 1350000,00       | 825000,00     | 1050000,00    | 300000,00     |
| $v_{ur}^{(nu)}$               | [-]                  | 0,200            | 0,200         | 0,200         | 0,200         |
| $p^{ref}$                     | [kN/m <sup>2</sup> ] | 100,00           | 100,00        | 100,00        | 100,00        |
| $c_{increment}$               | [kN/m <sup>2</sup> ] | 0,00             | 0,00          | 0,00          | 0,00          |
| $y_{ref}$                     | [m]                  | 0,00             | 0,00          | 0,00          | 28,00         |
| $R_f$                         | [-]                  | 0,90             | 0,90          | 0,90          | 0,90          |
| $T_{str.}$                    | [kN/m <sup>2</sup> ] | 0,00             | 0,00          | 0,00          | 0,00          |
| $R_{inter}$                   | [-]                  | 1,00             | 1,00          | 1,00          | 1,00          |
| $\delta_{inter}$              | [m]                  | 0,00             | 0,00          | 0,00          | 0,00          |
| <b>Interface permeability</b> |                      | Neutral          | Neutral       | Neutral       | Neutral       |

### 3. Results for phase 7

#### 3.1. Deformations

##### 3.1.1. Plot of horizontal displacements



**Fig. 3 Plot of horizontal displacements (shadings)**  
- Step no: 73 - ( Phase: 7 )

### 3.1.2. Plot of vertical displacements

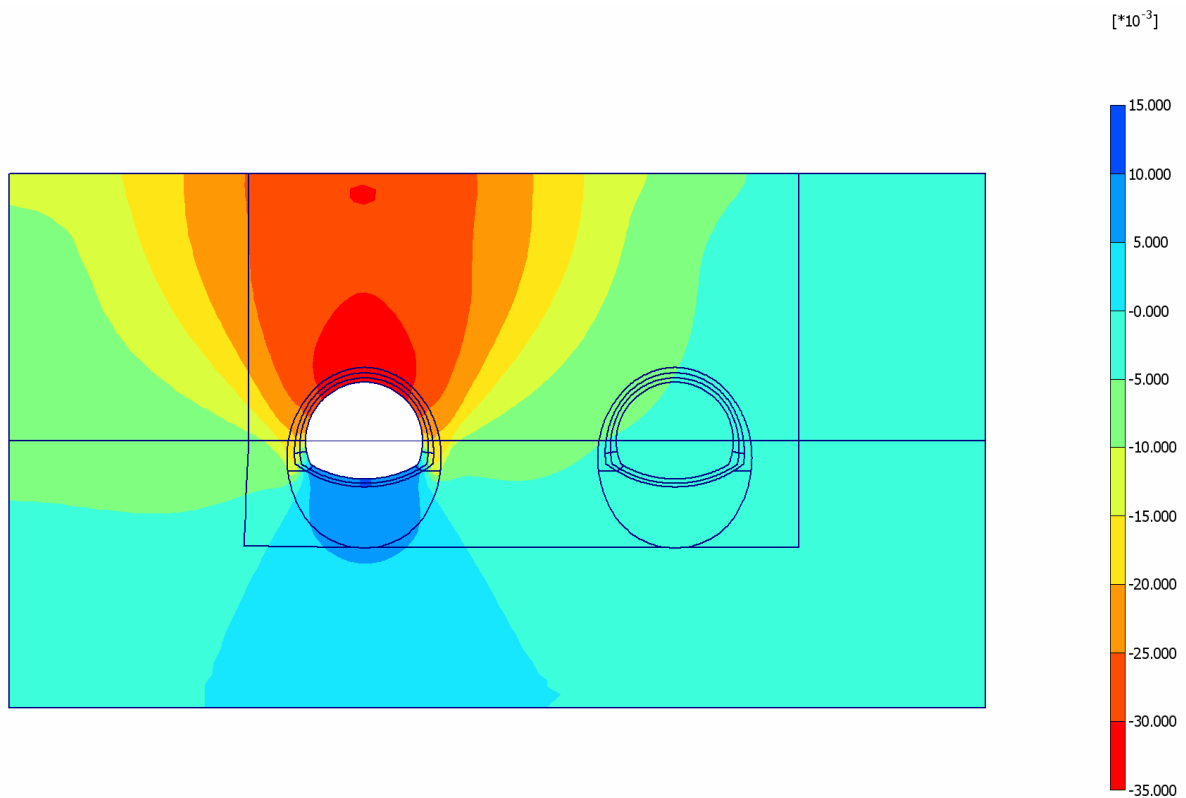


Fig. 4 Plot of vertical displacements (shadings)  
- Step no: 73 - ( Phase: 7 )

## 3.2. Stresses

### 3.2.3. Plot of total stresses

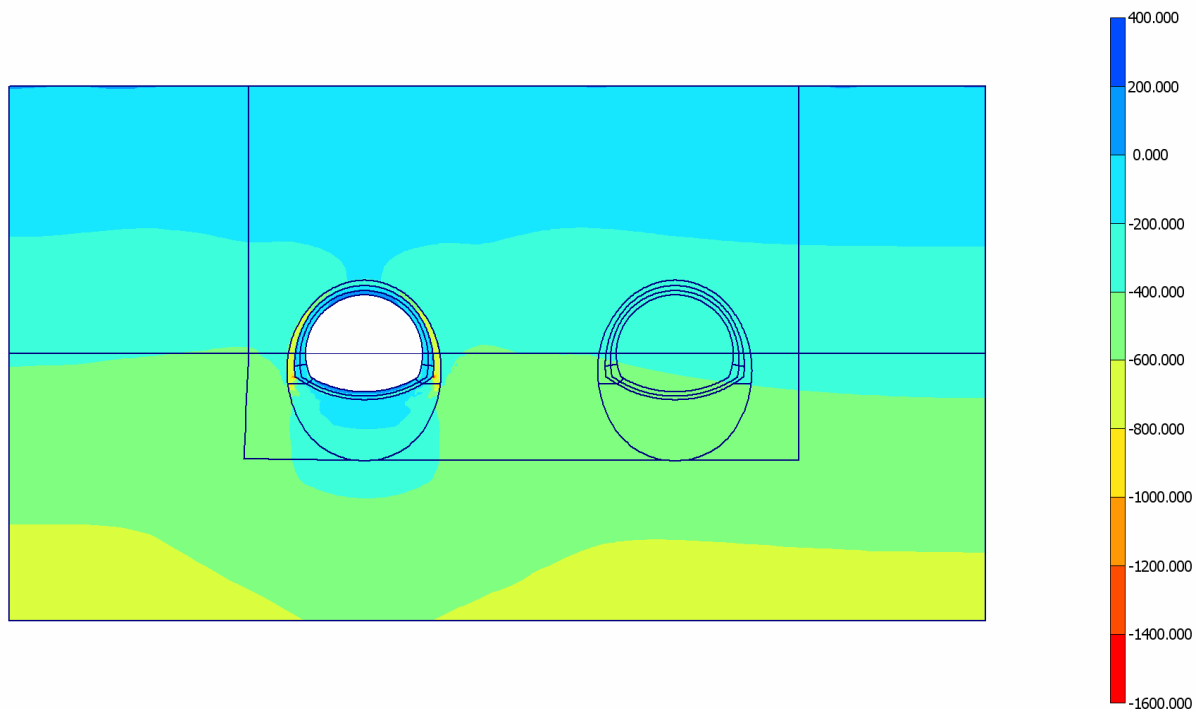
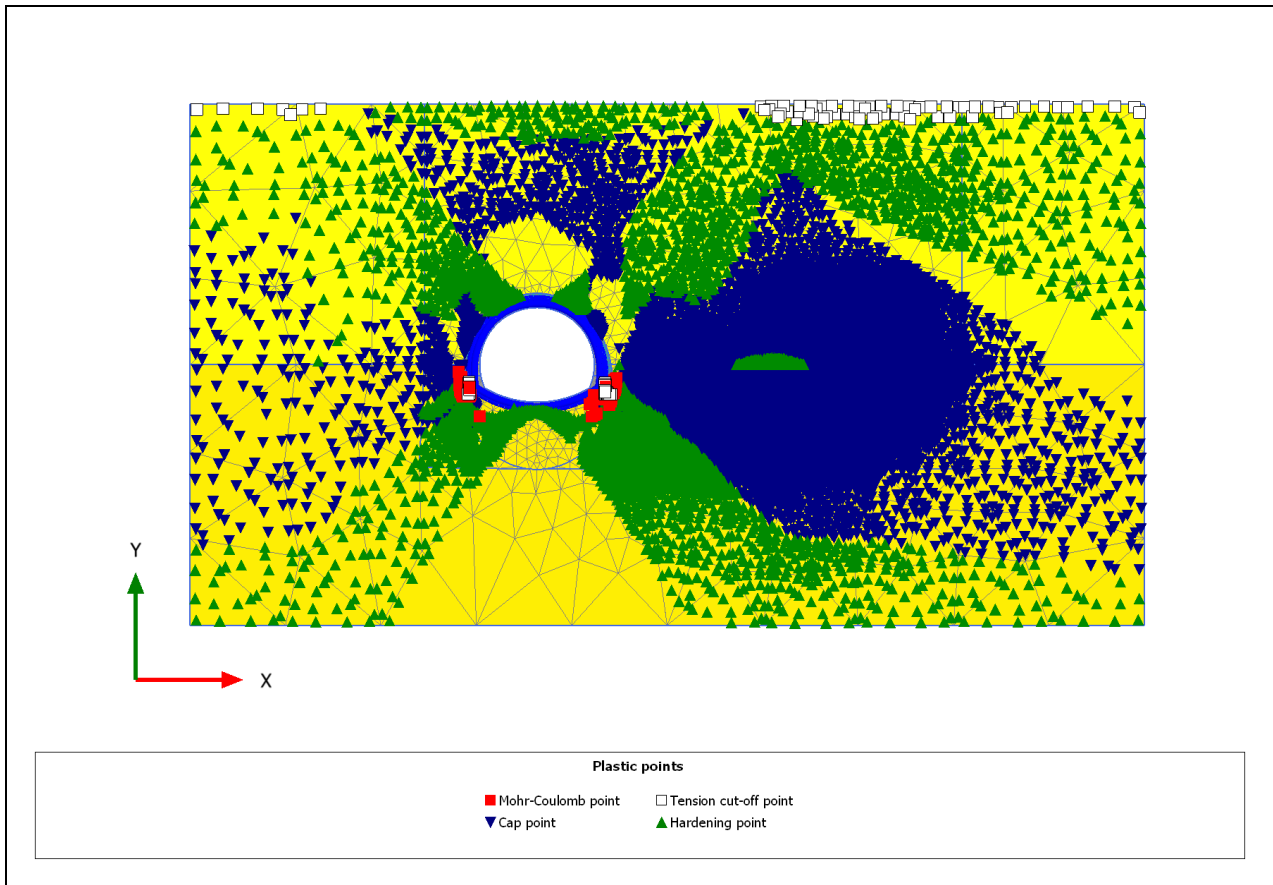


Fig. 5 Plot of total stresses (mean shadings)  
- Step no: 73 - ( Phase: 7 )

### 3.1.2. Plot of PLASTIC POINTS



### 3.3. Structures

#### 3.3.4. Beams

##### 3.3.4.1. Beams

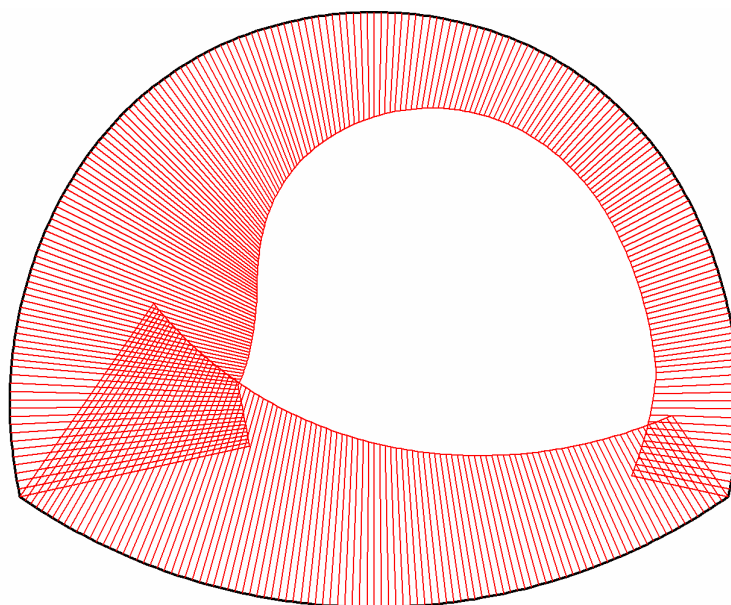
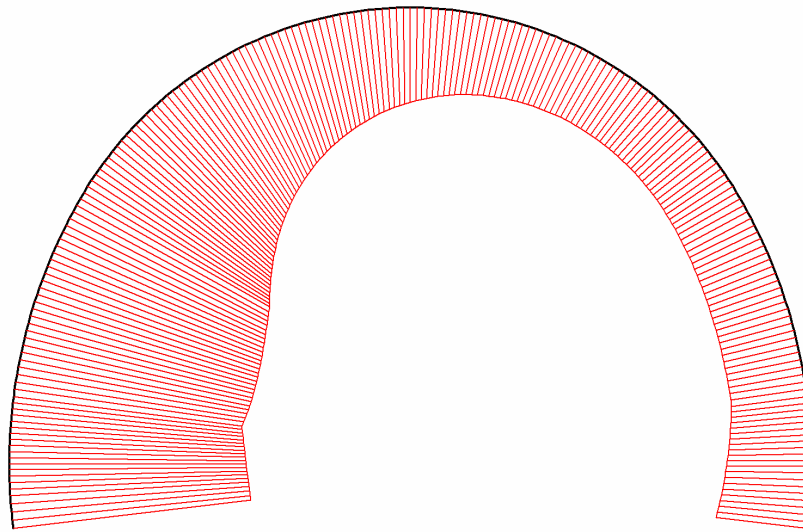


Fig. 6 Horizontal displacements in beam

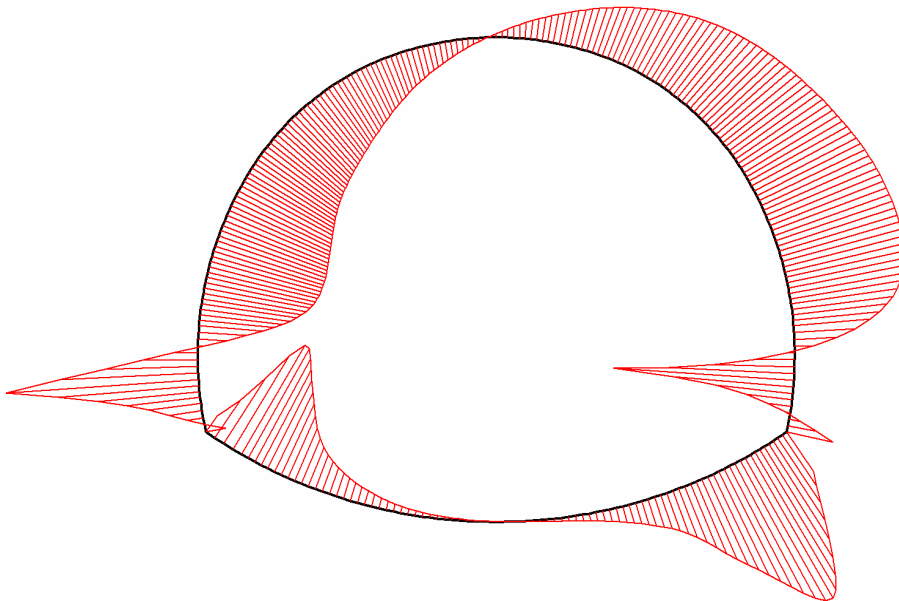


Extreme value  $2,43 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 7)



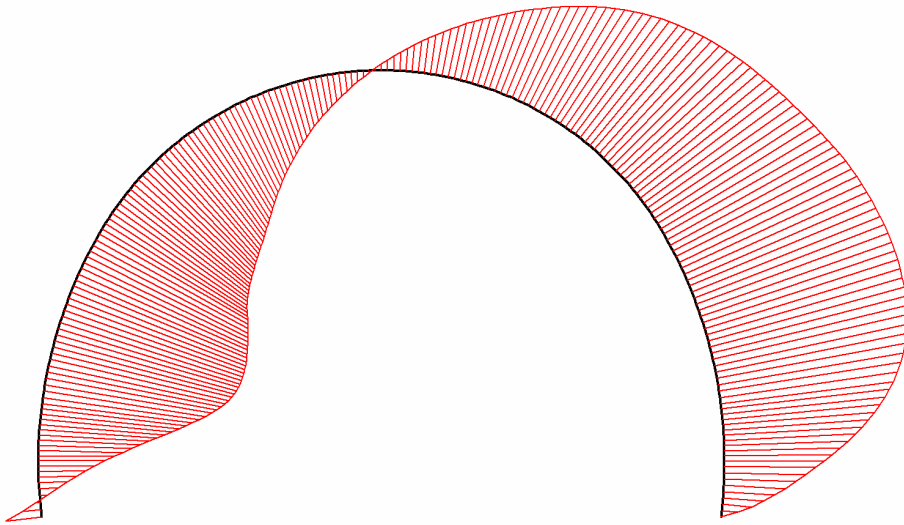
**Fig. 7 Horizontal displacements in beam**

Extreme value  $2,52 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 7)

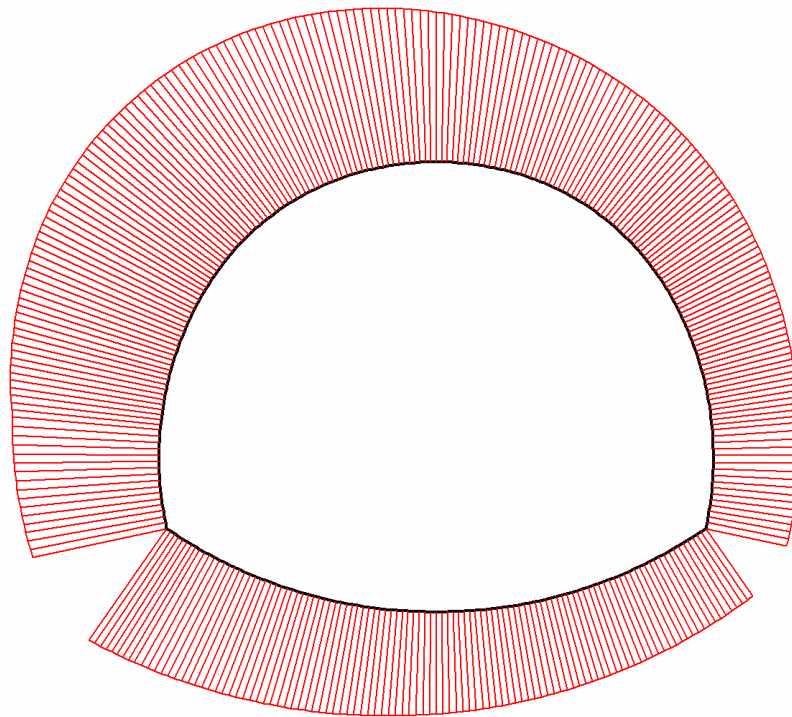


**Fig. 8 Horizontal displacements in beam**

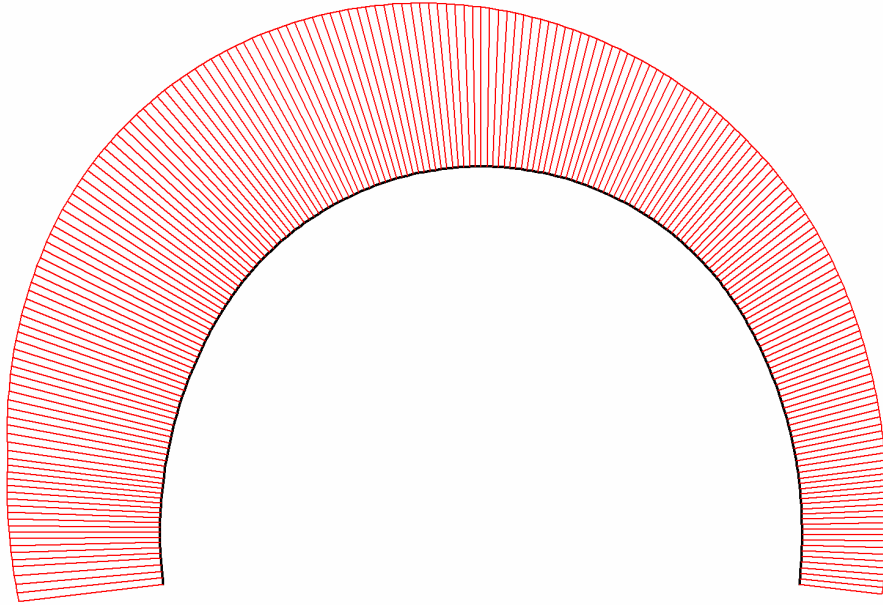
Extreme value  $-6,09 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 7)



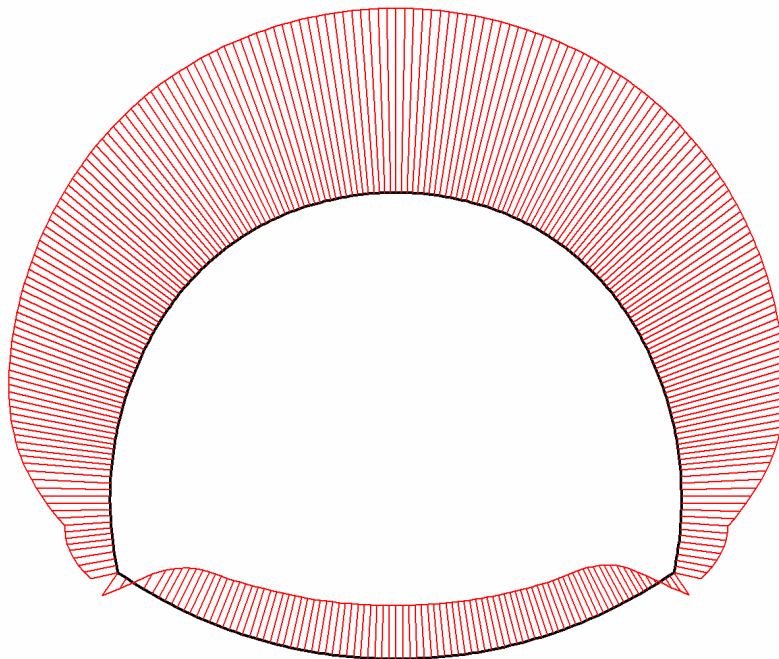
**Fig. 9 Horizontal displacements in beam**  
Extreme value  $-3,88 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 7)



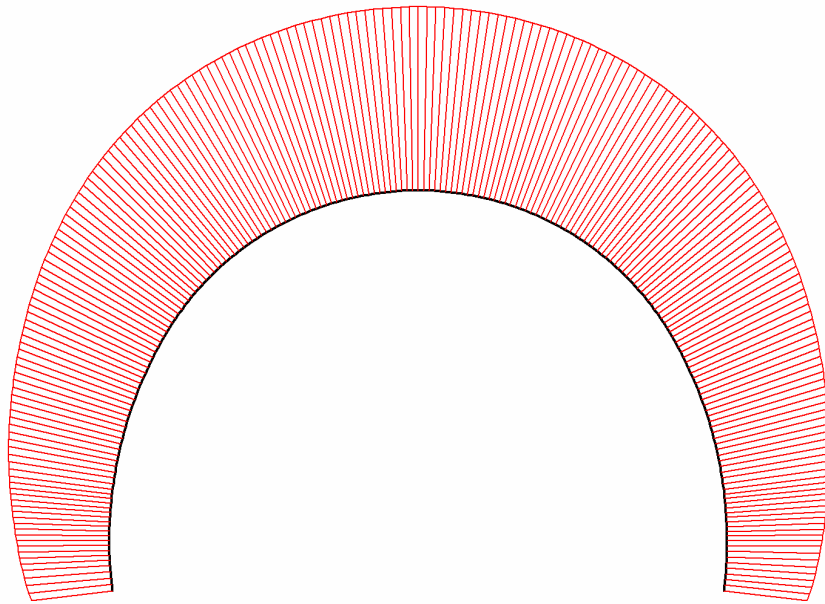
**Fig. 10 Vertical displacements in beam**  
Extreme value  $-5,87 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 7)



**Fig. 11 Vertical displacements in beam**  
Extreme value  $-6,04 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 7)

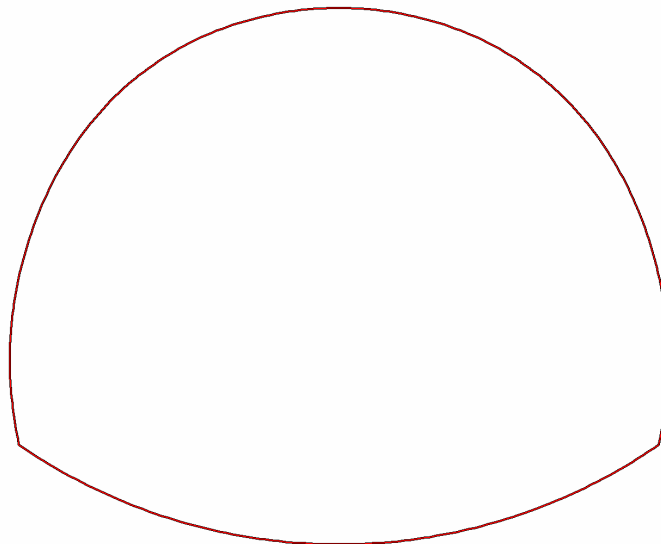


**Fig. 12 Vertical displacements in beam**  
Extreme value  $-34,55 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 7)

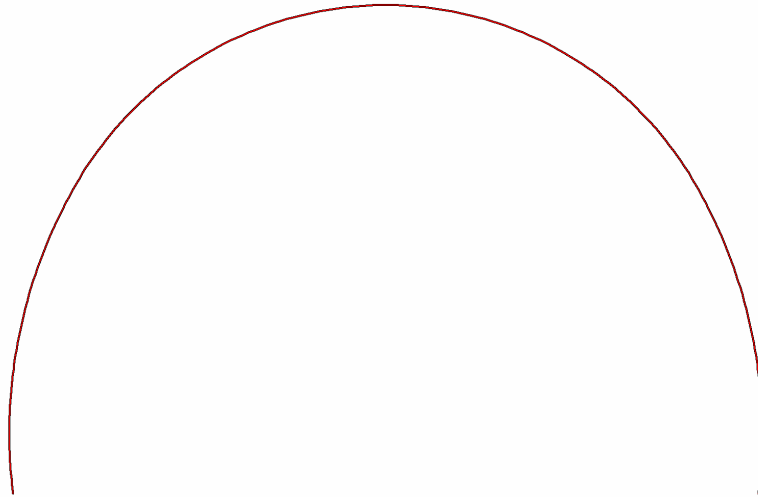


**Fig. 13 Vertical displacements in beam**  
Extreme value  $-34,53 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 7)

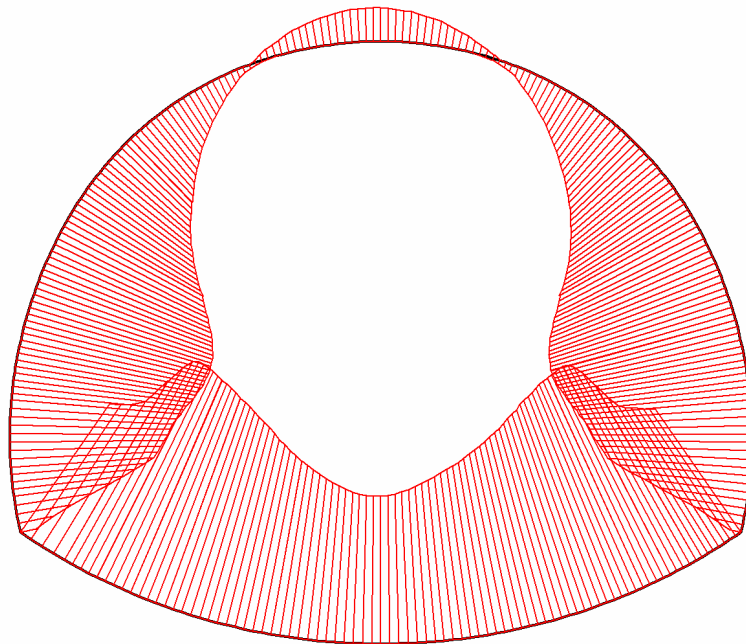
### 3.3.4.2. Beams



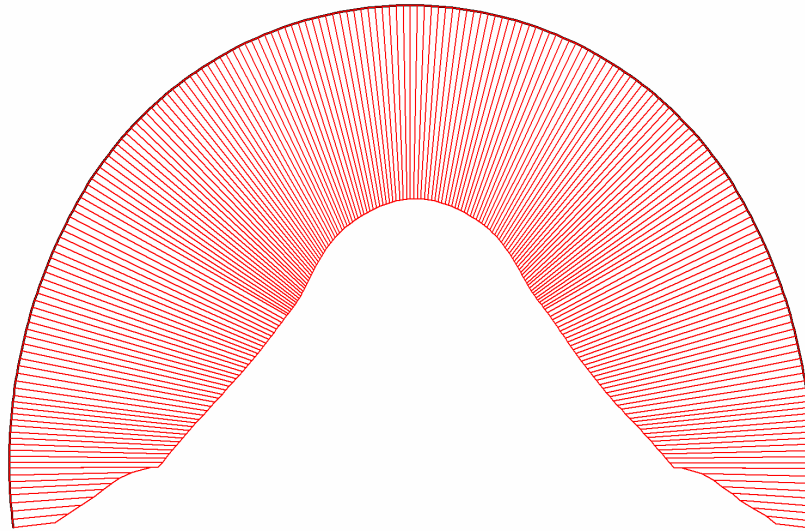
**Fig. 14 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value 0,00 kN/m (Phase: 7)



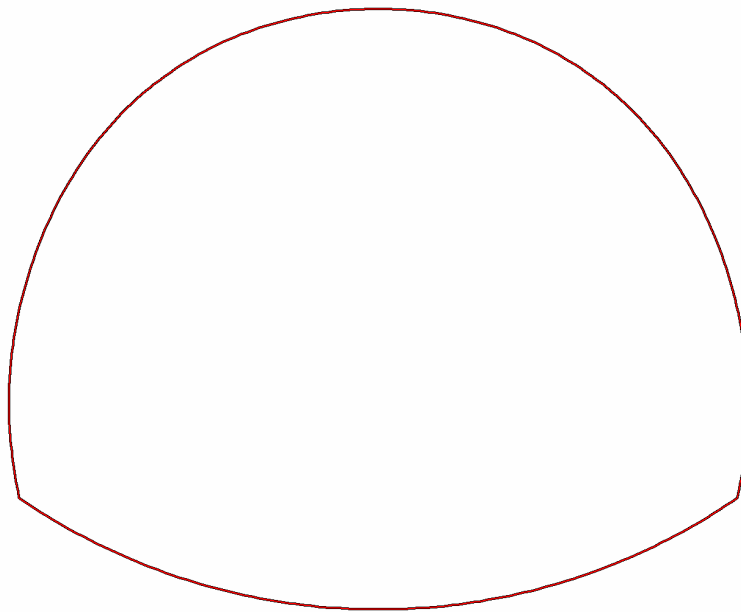
**Fig. 15 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value 0,00 kN/m (Phase: 7)



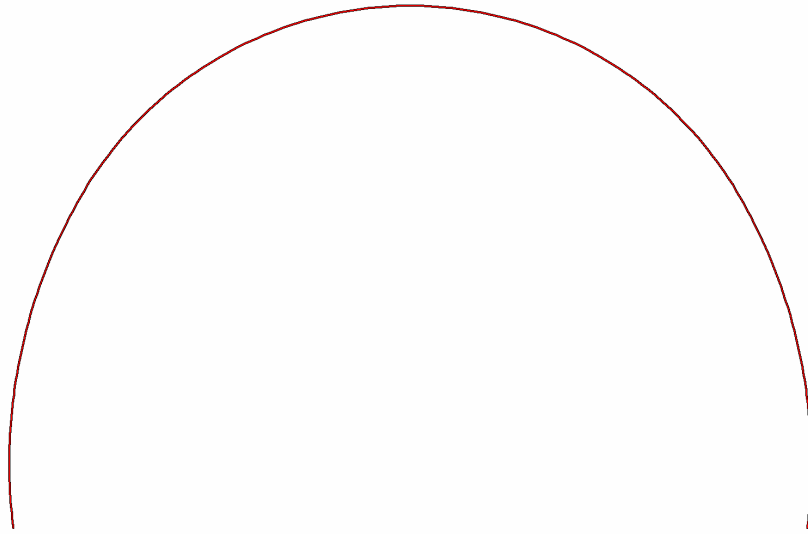
**Fig. 16 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value  $-32,62 \cdot 10^{-9}$  kN/m (Phase: 7)



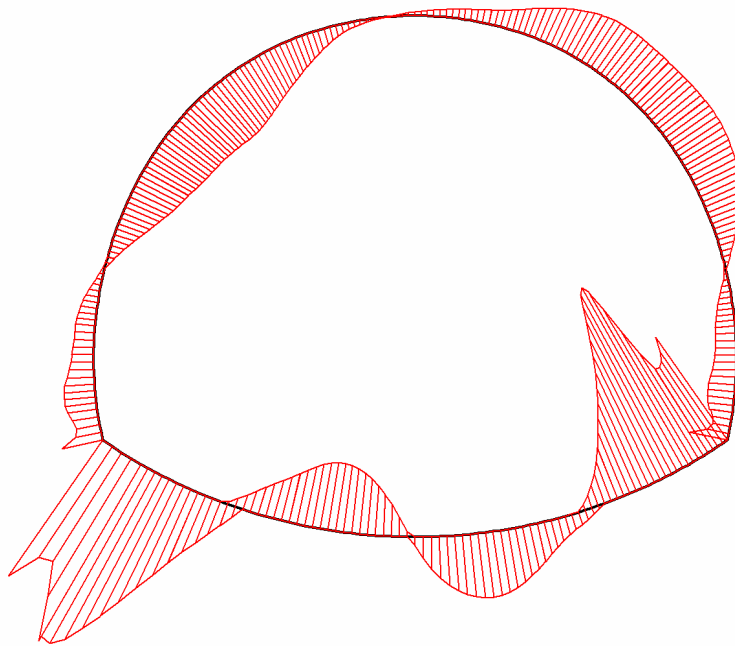
**Fig. 17 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value  $-1,31 \cdot 10^3$  kN/m (Phase: 7)



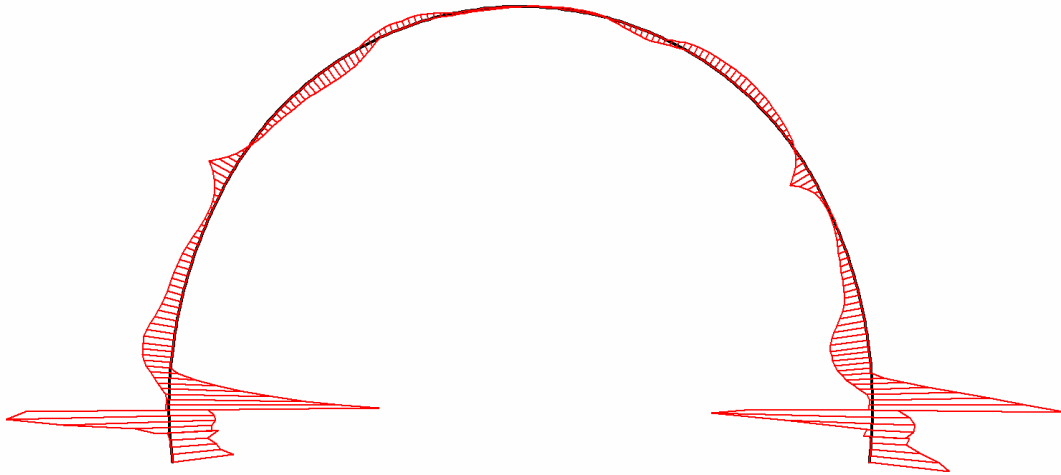
**Fig. 18 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value 0,00 kN/m (Phase: 7)



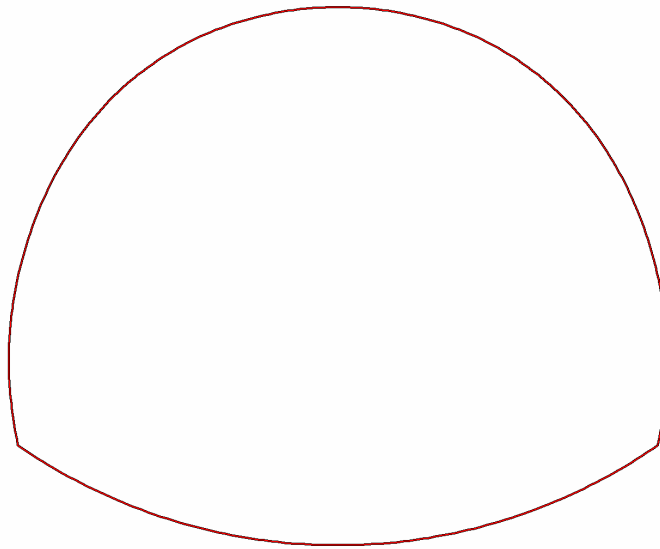
**Fig. 19 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value 0,00 kN/m (Phase: 7)



**Fig. 20 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value  $-11,42 \cdot 10^{-9}$  kN/m (Phase: 7)

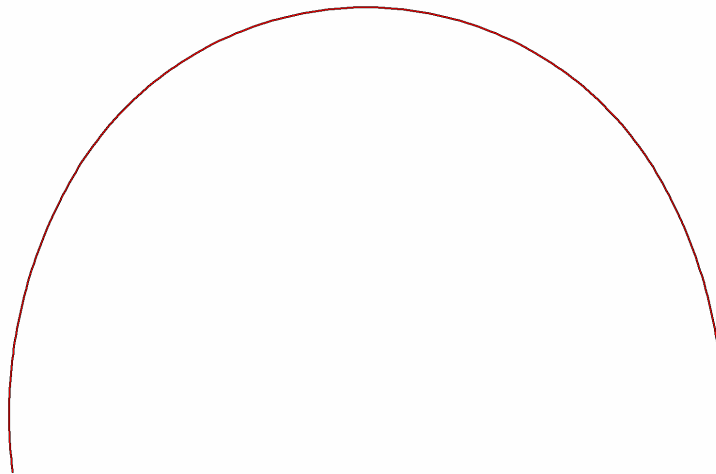


**Fig. 21 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value -85,64 kN/m (Phase: 7)

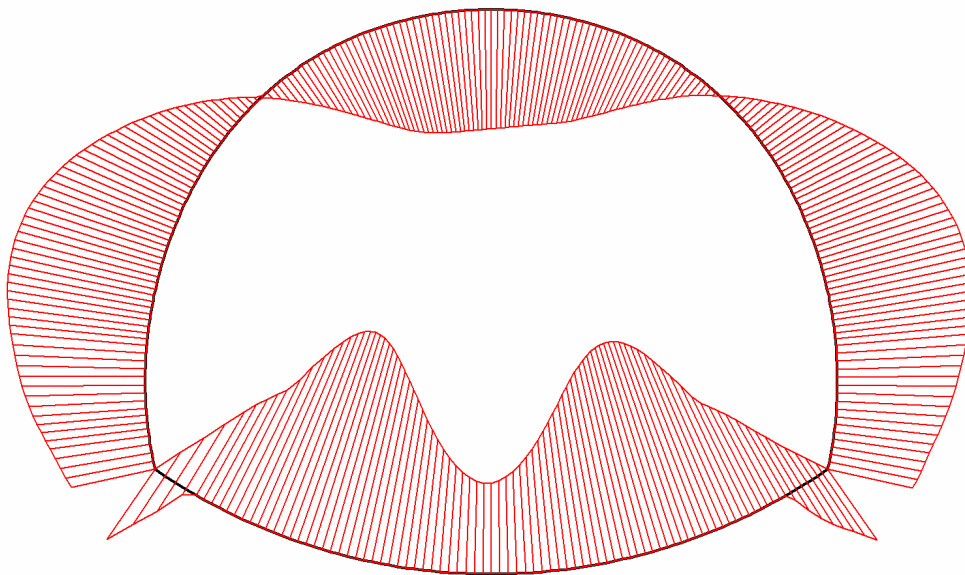


**Fig. 22 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value 0,00 kN/m/m (Phase: 7)

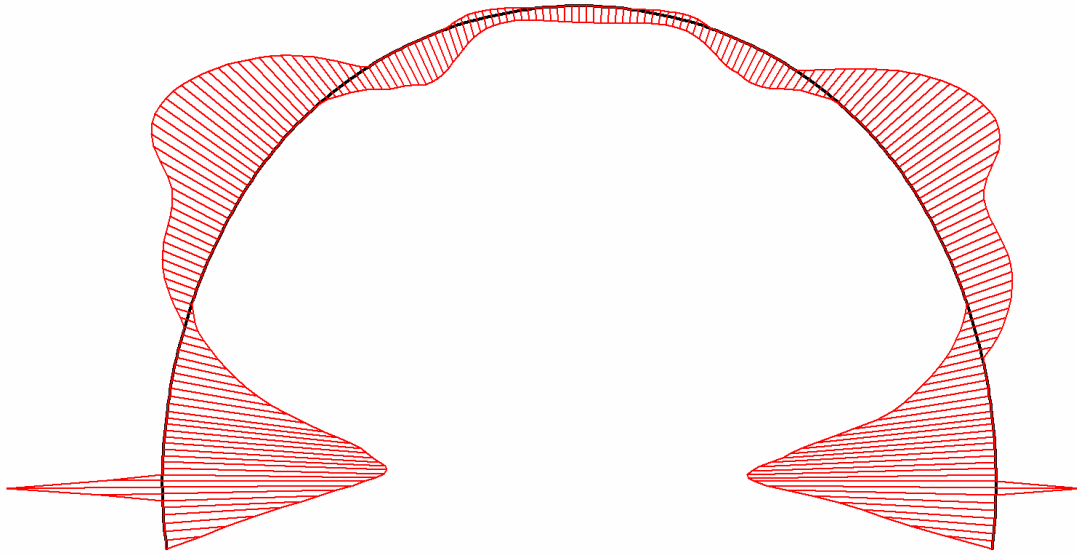




**Fig. 23 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value 0,00 kN/m/m (Phase: 7)



**Fig. 24 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value  $16,22 \cdot 10^{-9}$  kN/m/m (Phase: 7)

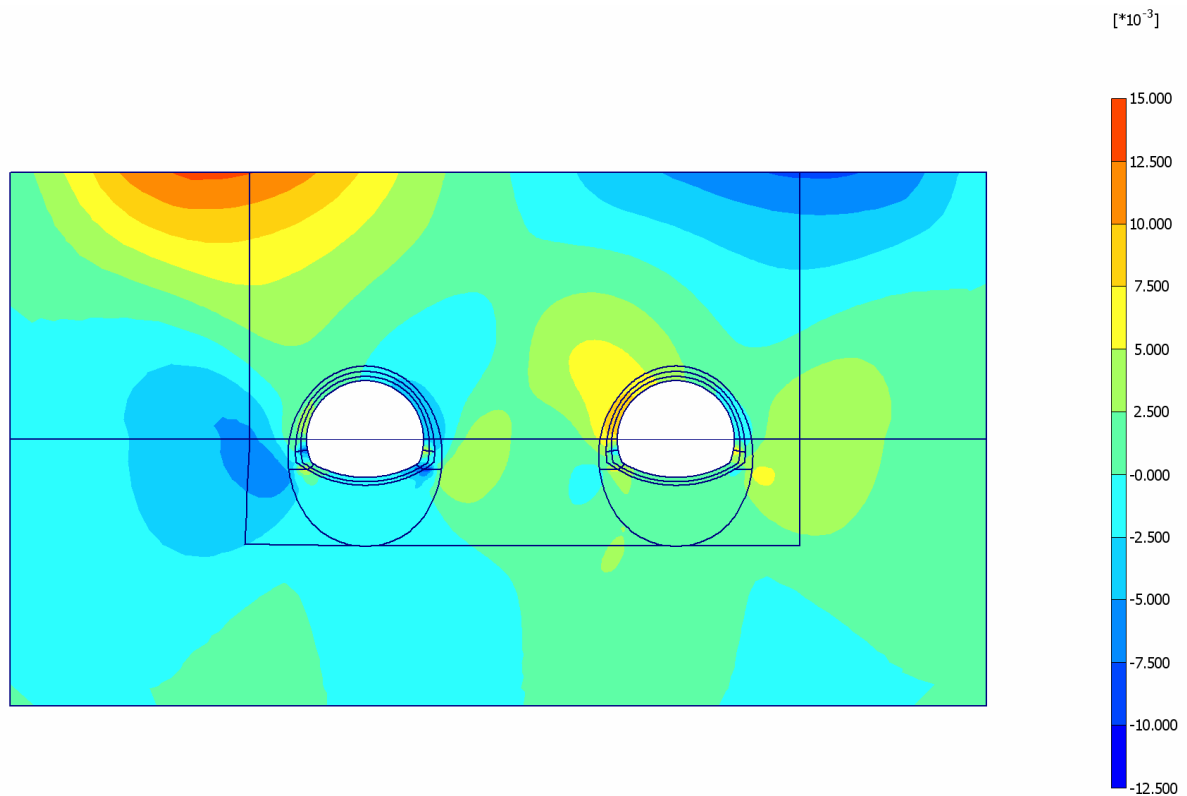


**Fig. 25 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value 22,97 kN/m/m (Phase: 7)

## 4. Results for phase 14

### 4.4. Deformations

#### 4.4.5. Plot of horizontal displacements



**Fig. 26 Plot of horizontal displacements (shadings)**  
- Step no: 104 - ( Phase: 14 )

### 4.4.6. Plot of vertical displacements

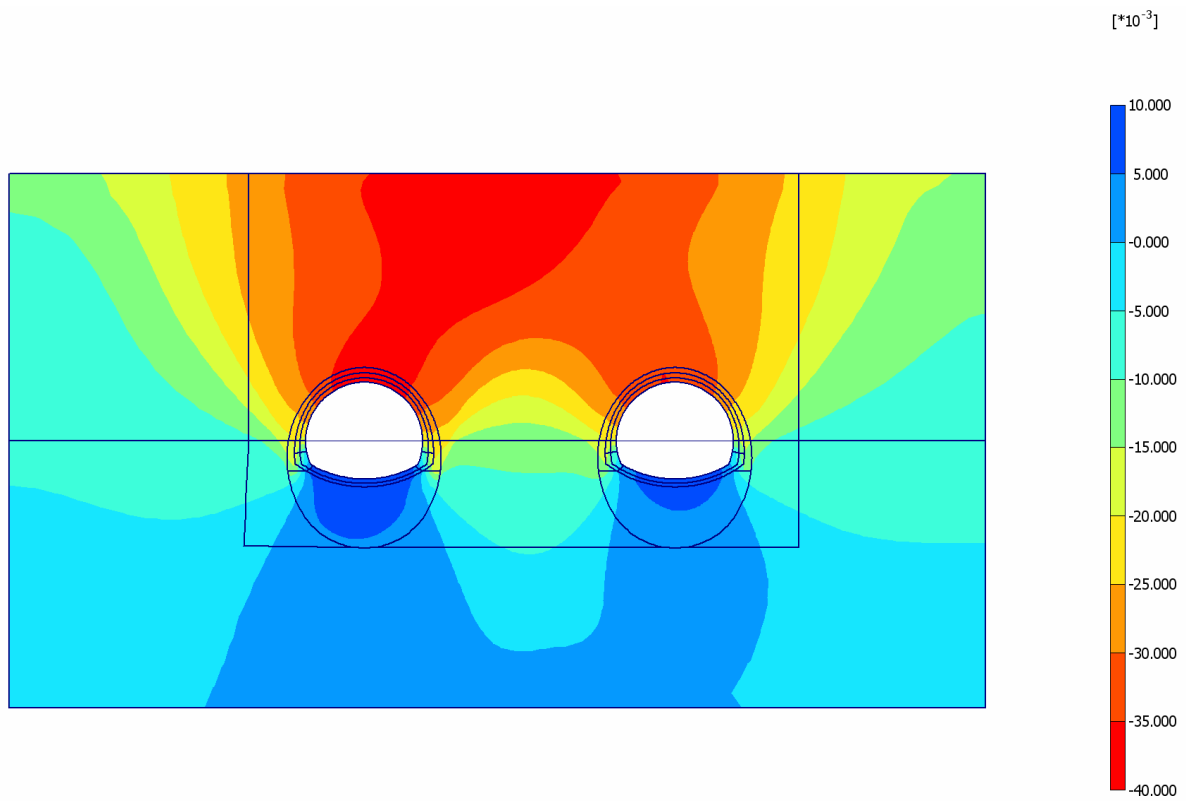


Fig. 27 Plot of vertical displacements (shadings)  
- Step no: 104 - ( Phase: 14 )

## 4.5. Stresses

### 4.5.7. Plot of total stresses

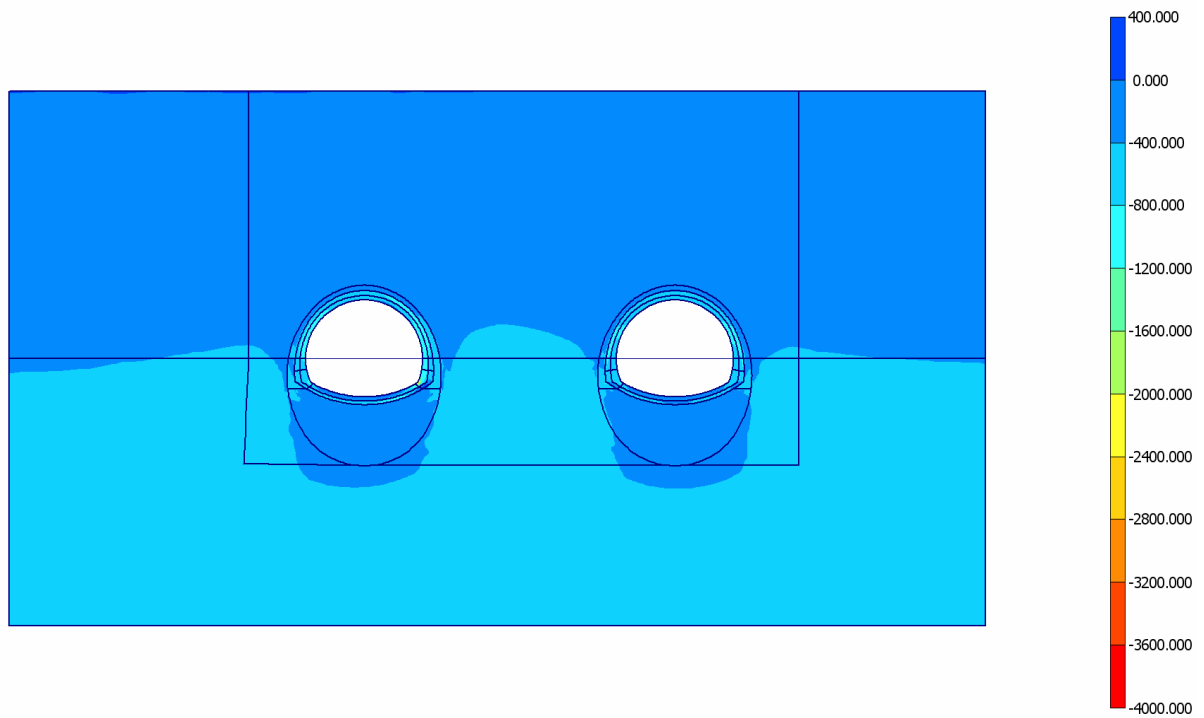
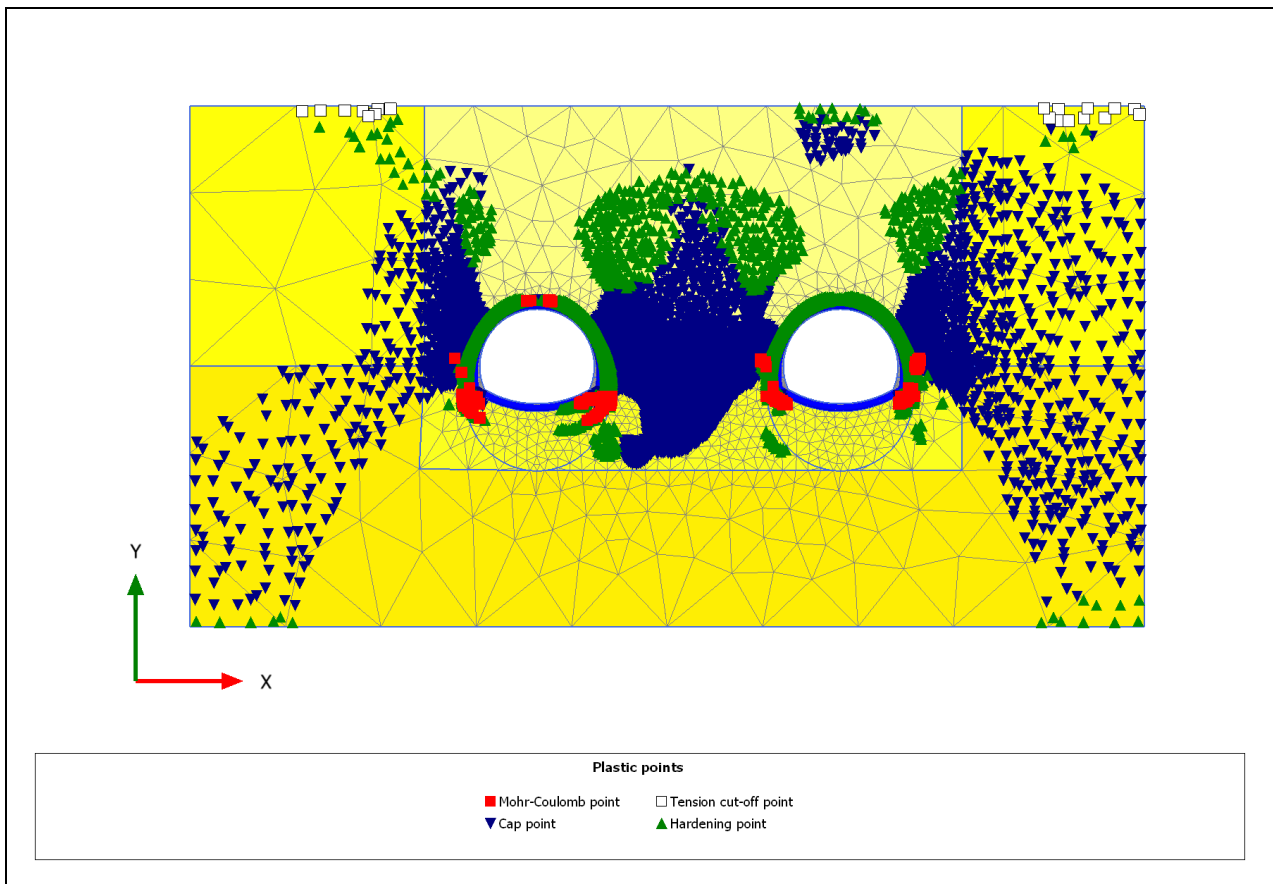


Fig. 28 Plot of total stresses (mean shadings)  
- Step no: 104 - ( Phase: 14 )

### 4.5.8 Plot of PLASTIC POINTS



## 4.6. Structures

### 4.6.8. Beams

#### 4.6.8.3. Beams

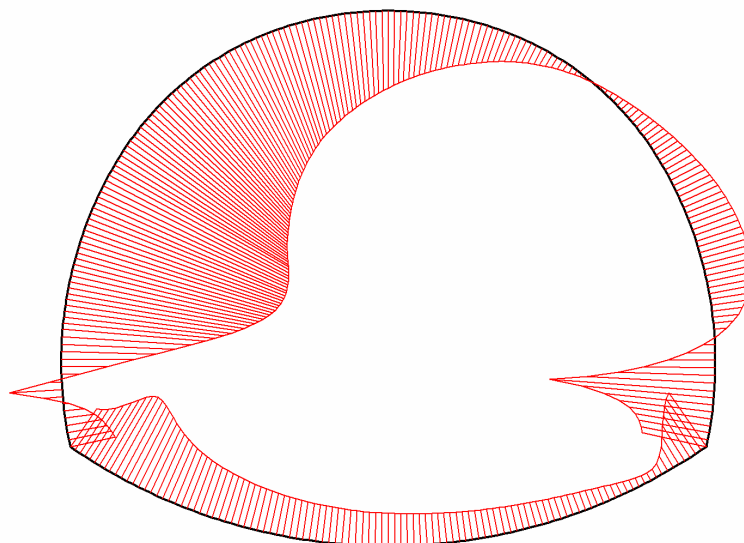
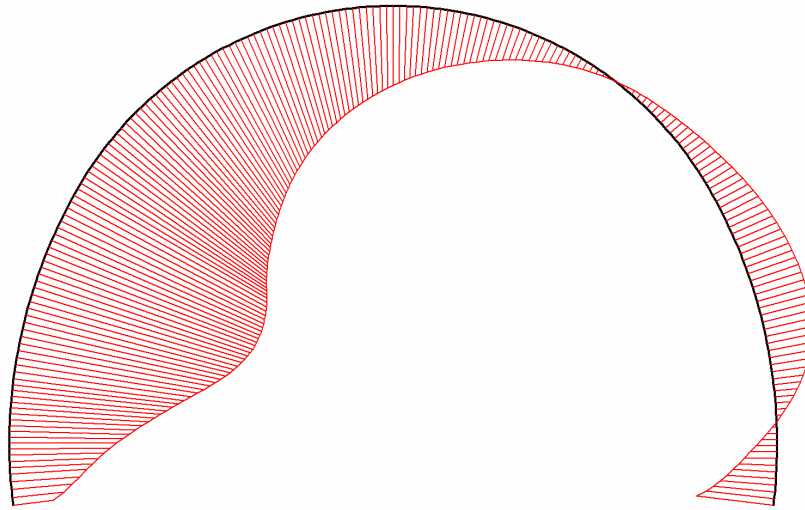
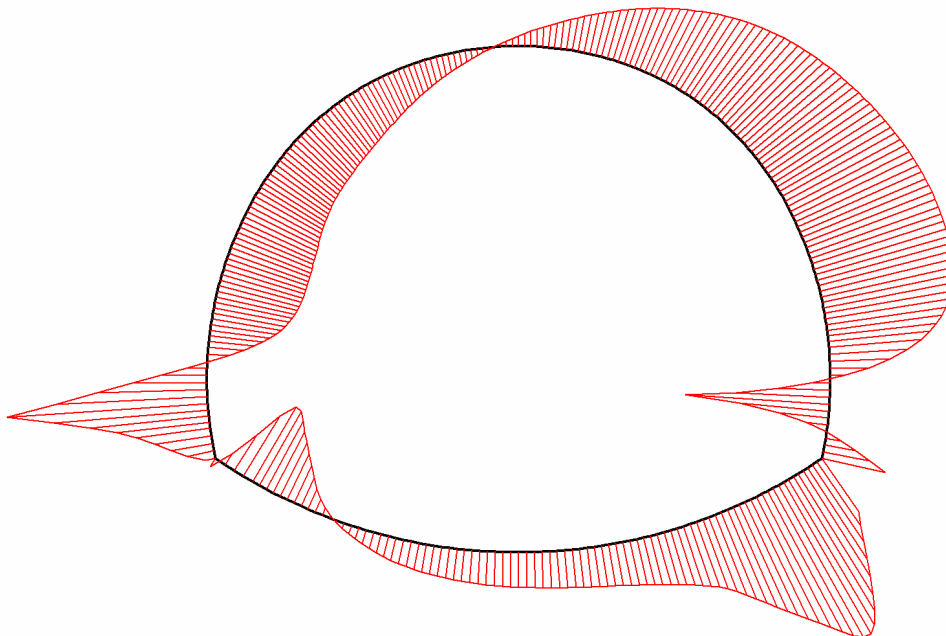


Fig. 29 Horizontal displacements in beam

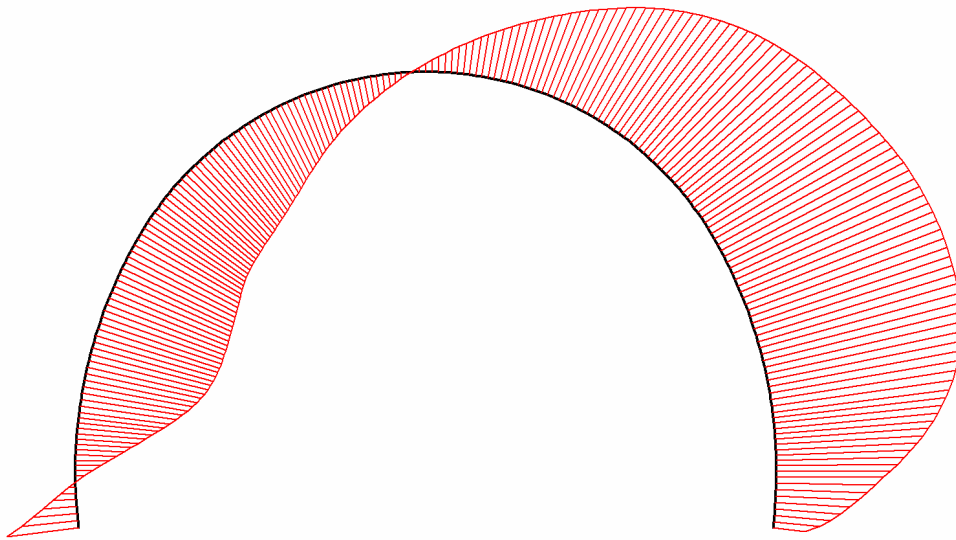
Extreme value  $8,95 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 14)



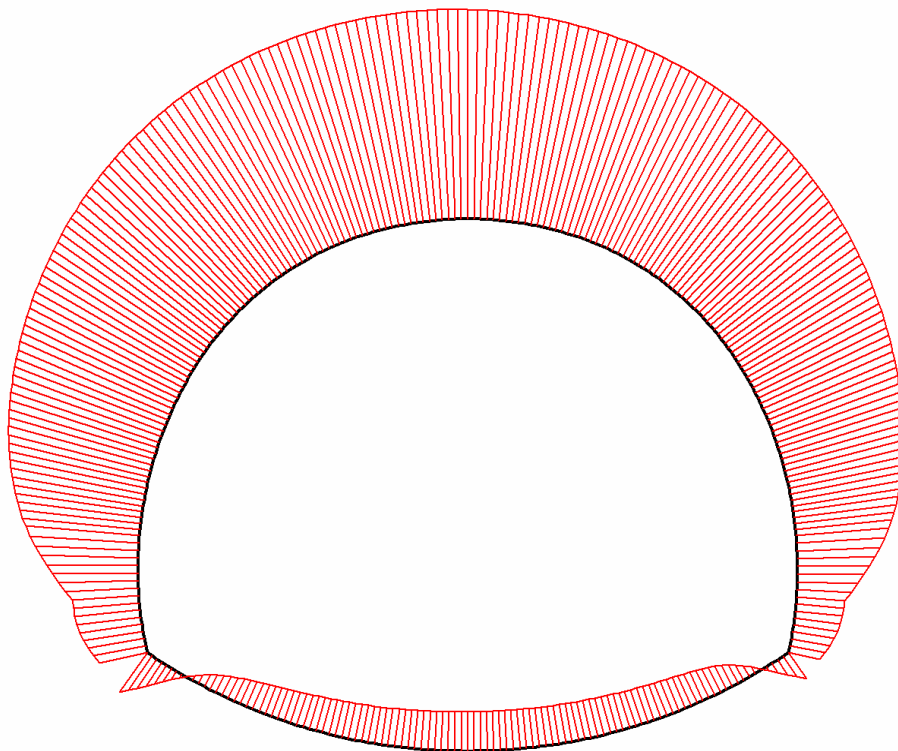
**Fig. 30 Horizontal displacements in beam**  
Extreme value  $8,97 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 14)



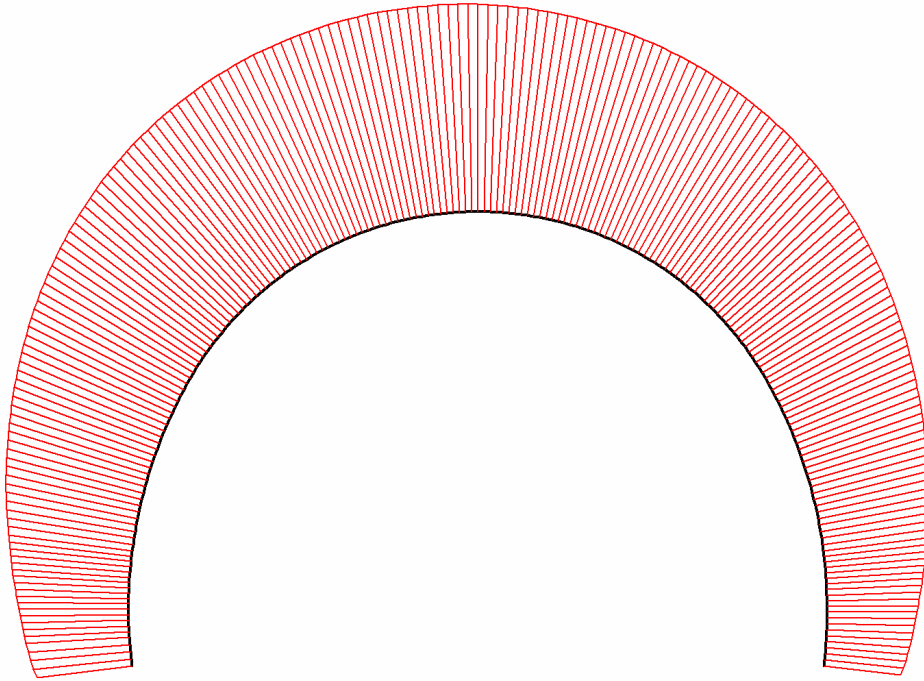
**Fig. 31 Horizontal displacements in beam**  
Extreme value  $-6,96 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 14)



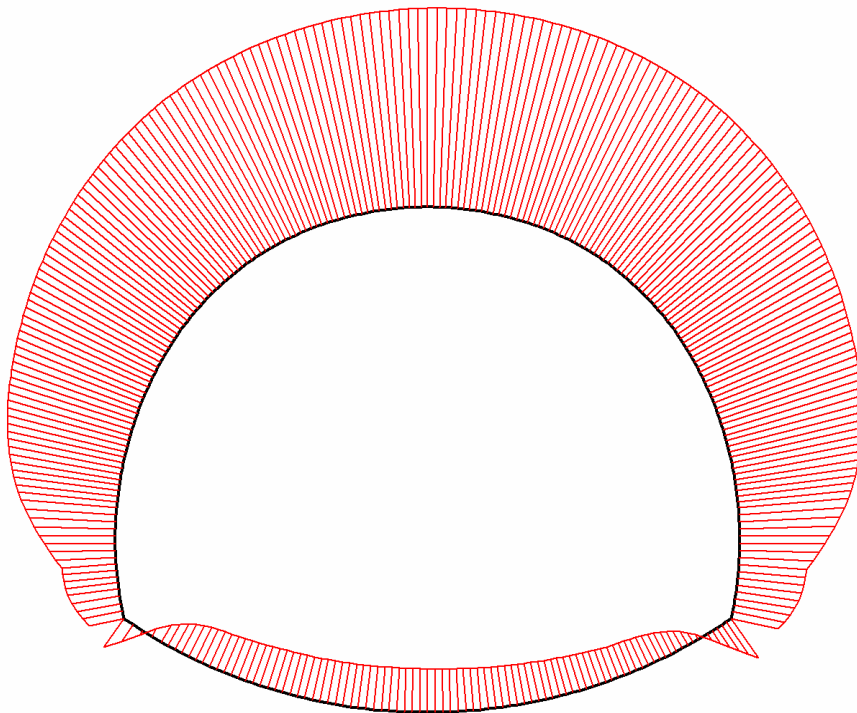
**Fig. 32 Horizontal displacements in beam**  
Extreme value  $-4,77 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 14)



**Fig. 33 Vertical displacements in beam**  
Extreme value  $-35,01 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 14)

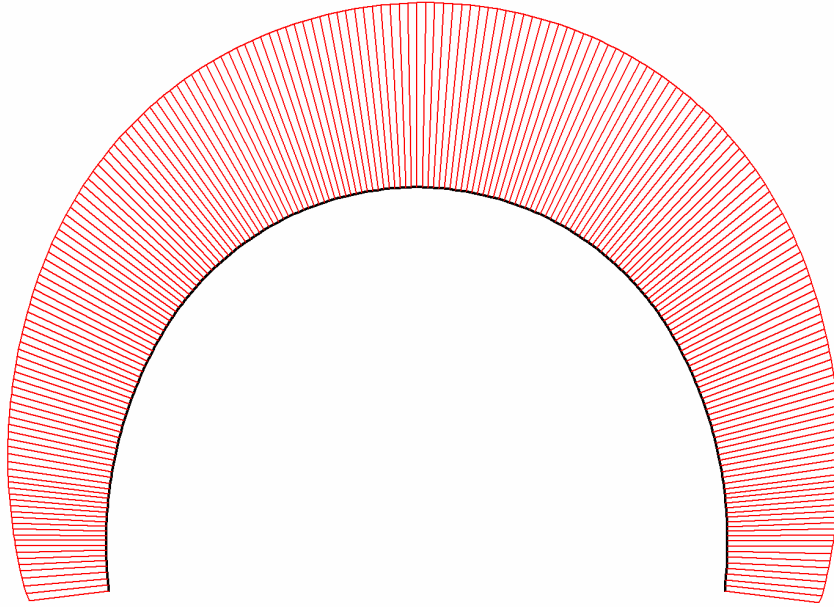


**Fig. 34 Vertical displacements in beam**  
Extreme value  $-35,01 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 14)



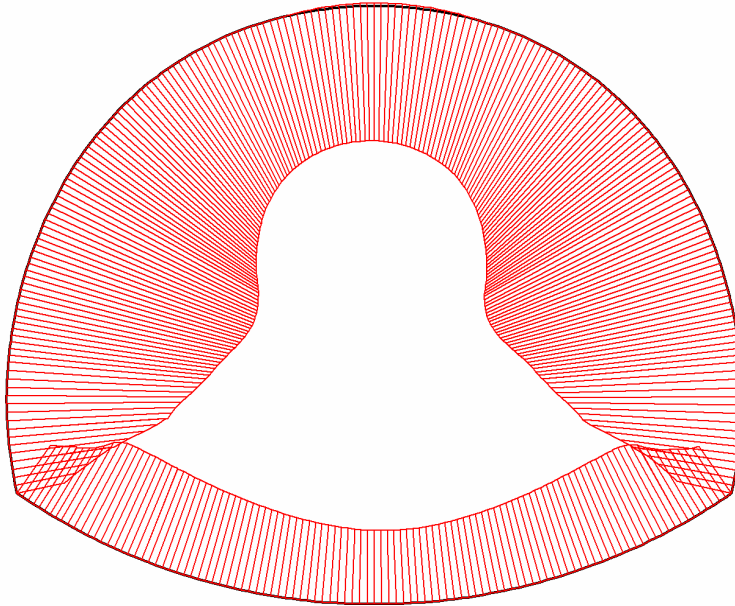
**Fig. 35 Vertical displacements in beam**  
Extreme value  $-38,14 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 14)



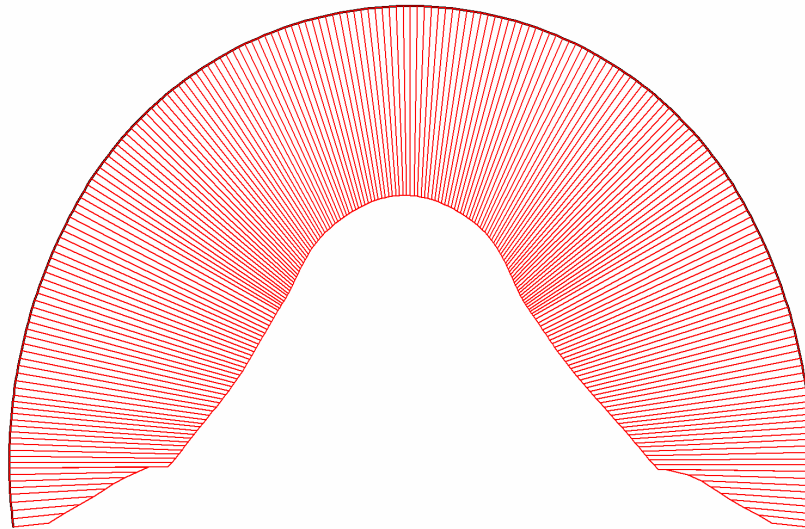


**Fig. 36 Vertical displacements in beam**  
Extreme value  $-38,14 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 14)

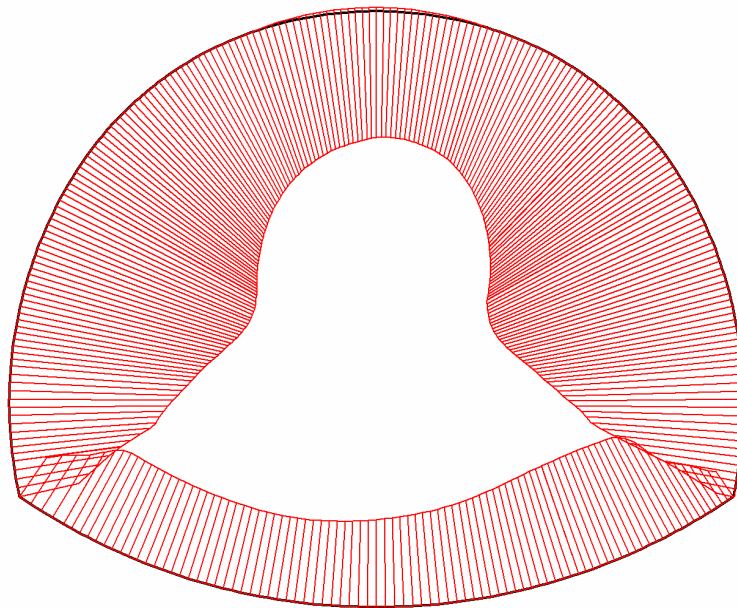
#### 4.6.8.4. Beams



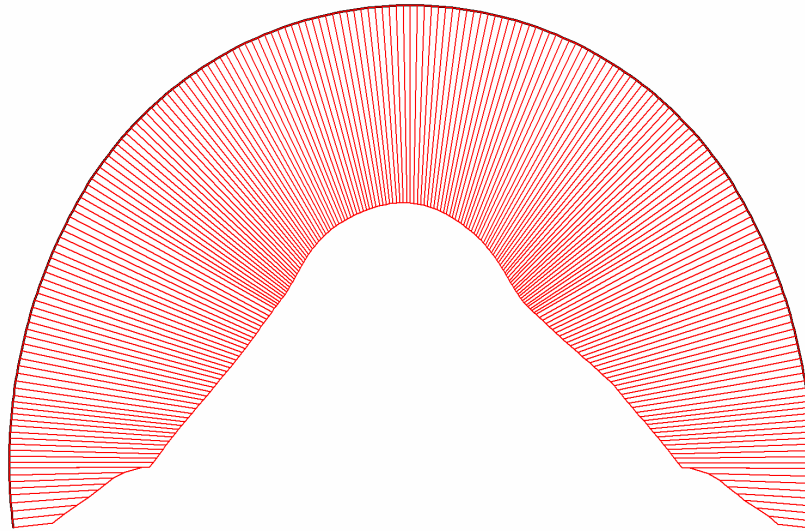
**Fig. 37 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value  $-250,66 \cdot 10^{-9}$  kN/m (Phase: 14)



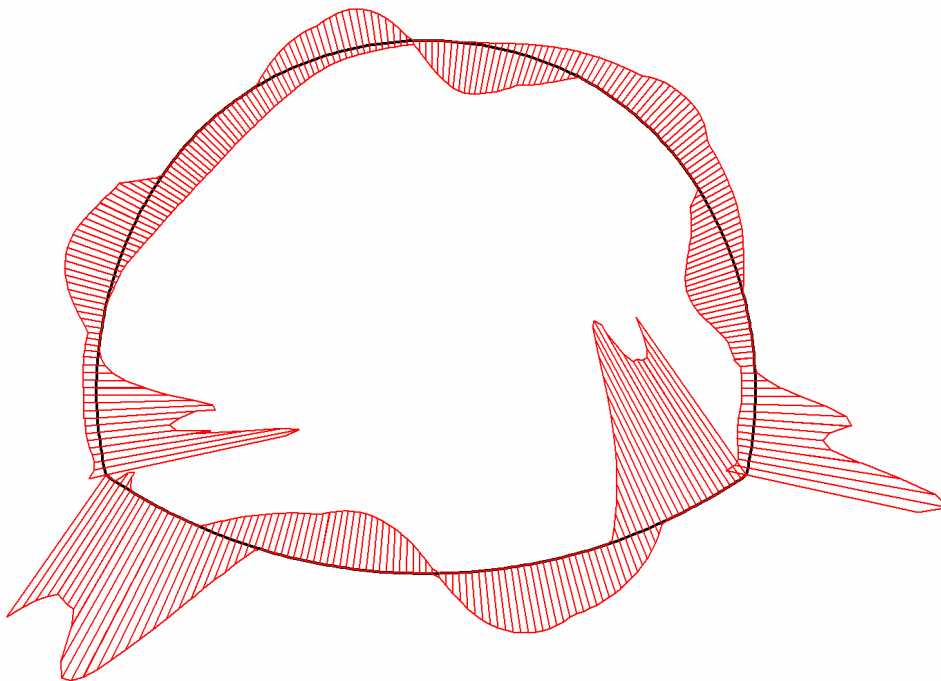
**Fig. 38 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value  $-1,36 \cdot 10^3$  kN/m (Phase: 14)



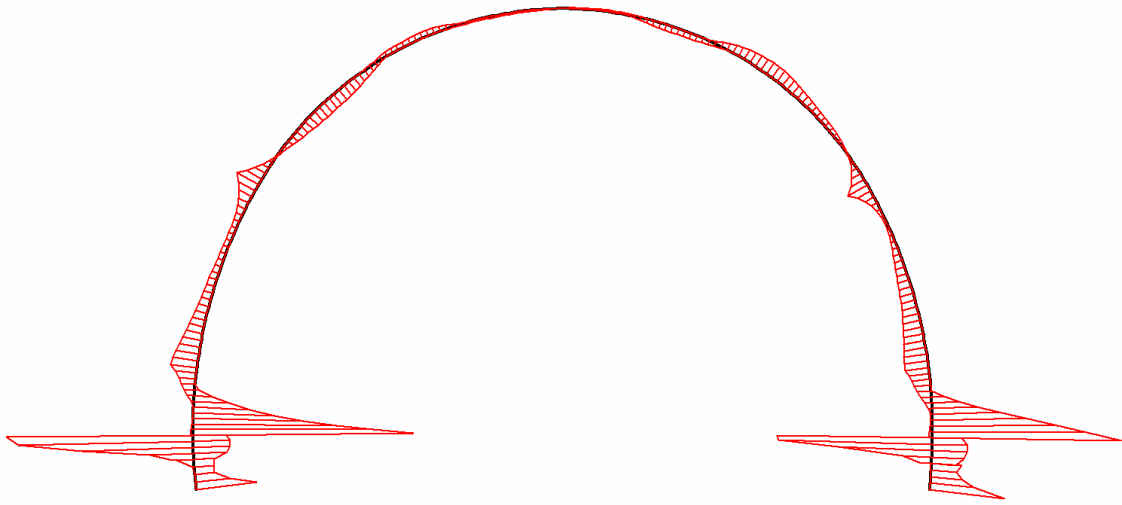
**Fig. 39 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value  $-293,32 \cdot 10^{-9}$  kN/m (Phase: 14)



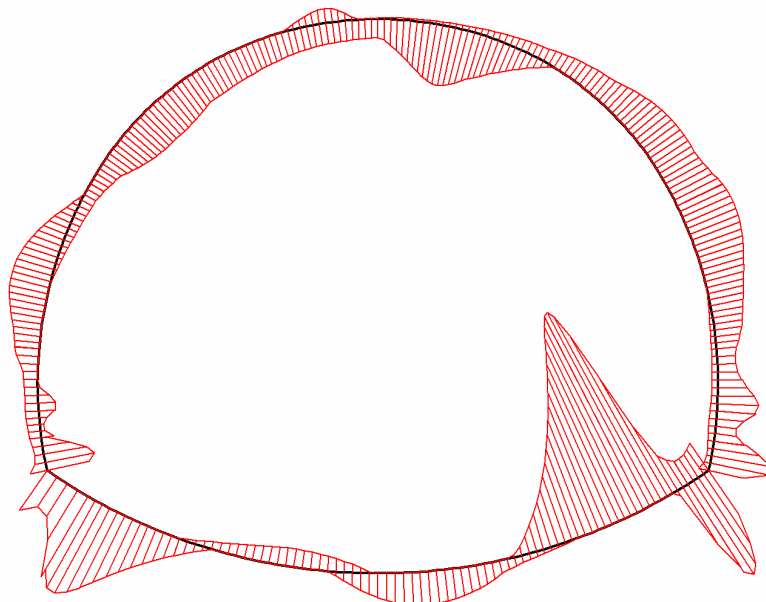
**Fig. 40 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value  $-1,39 \cdot 10^3$  kN/m (Phase: 14)



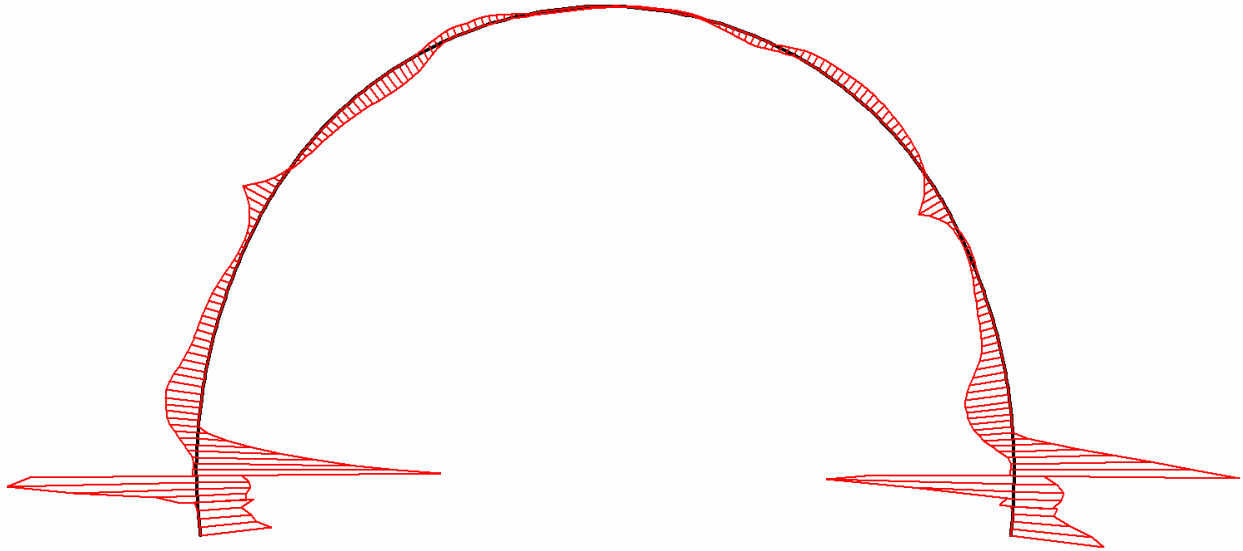
**Fig. 41 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value  $-19,89 \cdot 10^{-9}$  kN/m (Phase: 14)



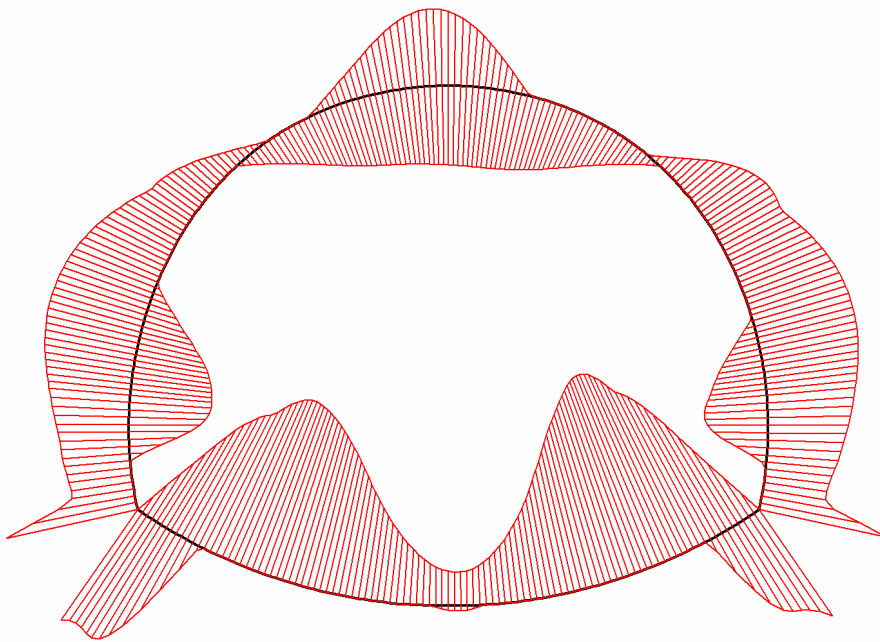
**Fig. 42 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value -109,81 kN/m (Phase: 14)



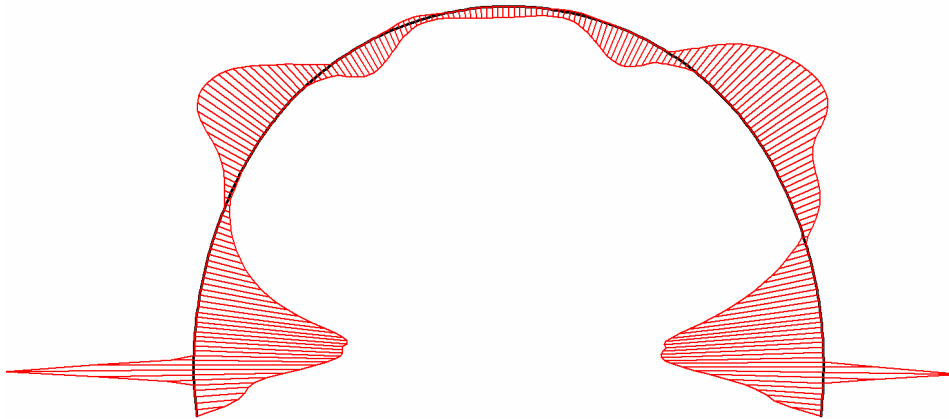
**Fig. 43 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value  $-45,38 \cdot 10^{-9}$  kN/m (Phase: 14)



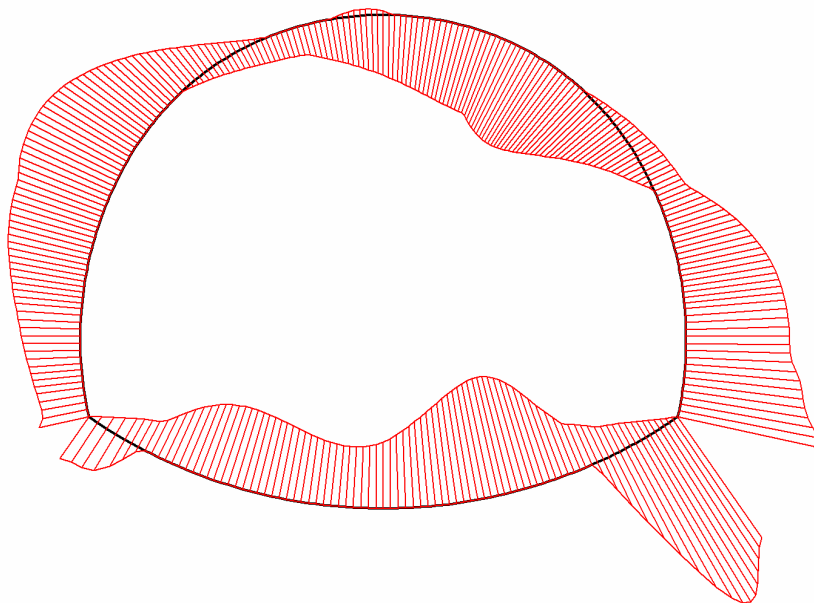
**Fig. 44 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value  $-85,64 \text{ kN/m}$  (Phase: 14)



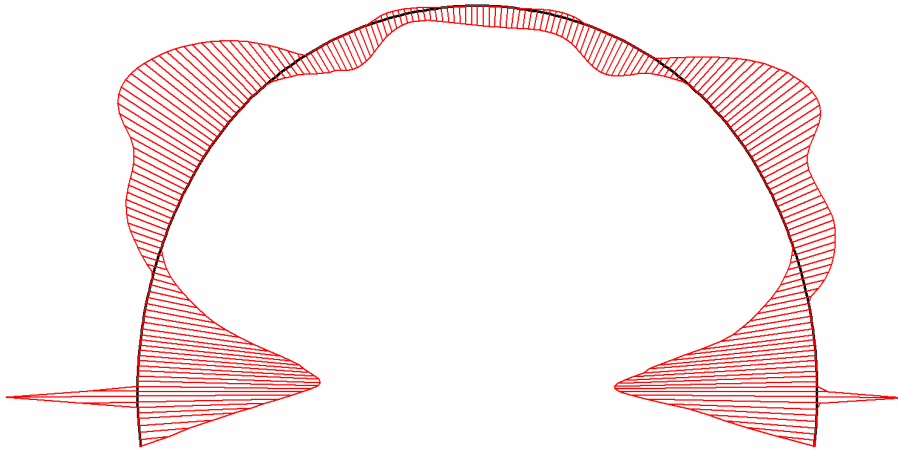
**Fig. 45 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value  $20,84 \cdot 10^{-9} \text{ kN/m/m}$  (Phase: 14)



**Fig. 46 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value 24,46 kN/m/m (Phase: 14)



**Fig. 47 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value  $55,55 \cdot 10^{-9}$  kN/m/m (Phase: 14)

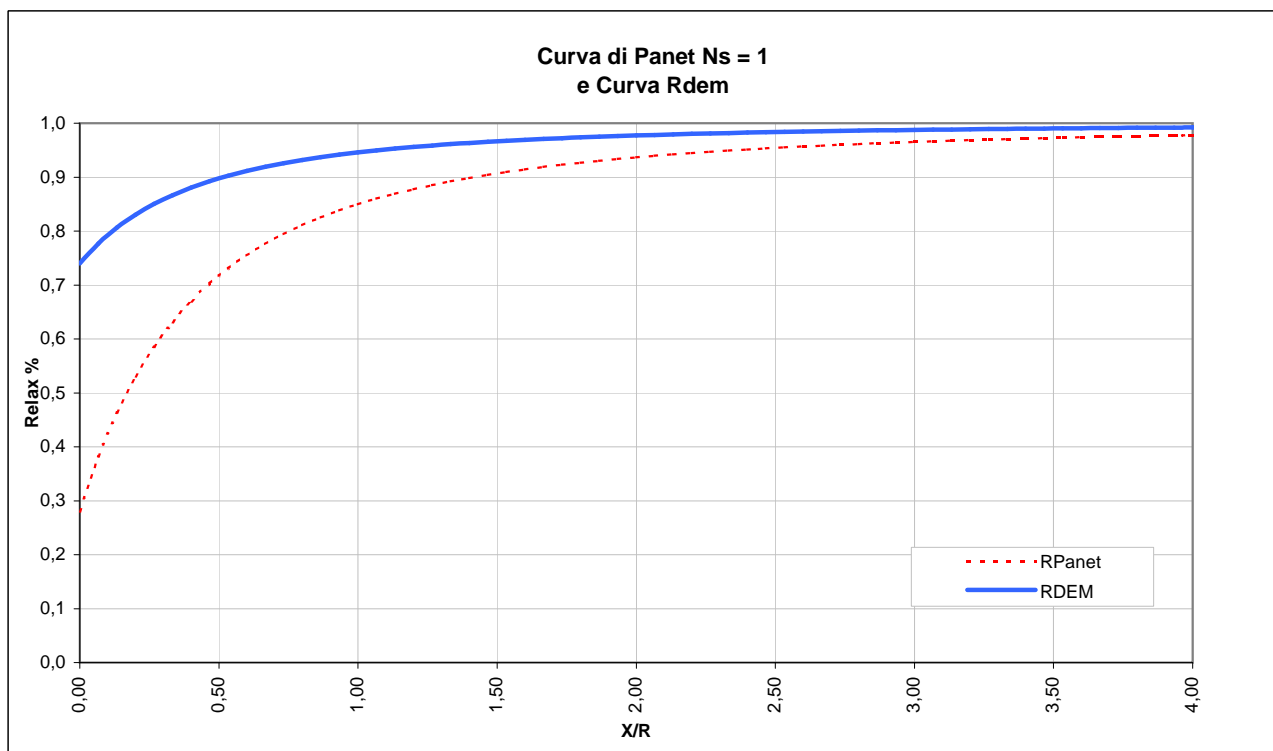


**Fig. 48 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value 22,97 kN/m/m (Phase: 14)

**LAVORO PONTE SULLO STRETTO**  
**Sezione C1**

**Copertura** 80m  
**Litotipo** Ghiaie e sabbie di Messina

| TIME    | DESCRIZIONE  | X <sub>fronte</sub> [m] | R <sub>panet</sub> | R(FEM) |
|---------|--|-------------------------|--------------------|--------|
| Time 0  | Geostatico   | -∞                      | 0%                 | 0%     |
| Time 1  | Canna 1: Fronte di scavo                             | 0                       | 28%                | 74%    |
| Time 2  | Canna 1 : Avanzamento primo sfondo                   | 1                       | 46%                | 85%    |
| Time 3  | Canna 1: Installazione prerivestimento e avanzamento | 6                       | 81%                | 93%    |
| Time 4  | Canna 1: Maturazione prerivestimento e avanzamento   | ≈ 1.5 diametri          | 98%                | 96%    |
| Time 5  | Canna 1: Getto arco rovescio e murette e avanzamento | ≈ 6 diametri            | 100%               | 100%   |
| Time 6  | Canna 1: Getto calotte                               | >6 diametri             | 100%               | 100%   |
| Time 7  | Canna 2: Fronte di scavo                             | 0                       | 28%                | 74%    |
| Time 8  | Canna 2 : Avanzamento primo sfondo                   | 1                       | 46%                | 85%    |
| Time 9  | Canna 2: Installazione prerivestimento e avanzamento | 6                       | 81%                | 93%    |
| Time 10 | Canna 2: Maturazione prerivestimento e avanzamento   | ≈ 1.5 diametri          | 98%                | 96%    |
| Time 11 | Canna 2: Getto arco rovescio e murette e avanzamento | ≈ 6 diametri            | 100%               | 100%   |
| Time 12 | Canna 2: Getto calotte                               | >6 diametri             | 100%               | 100%   |
| Time 13 | Canna 1 e 2: Analisi di lungo termine                | +∞                      | 100%               | 100%   |





# SEZIONE C1 – GHIAIE DI MESSINA – COPERTURA 80m

## 1. Mesh data

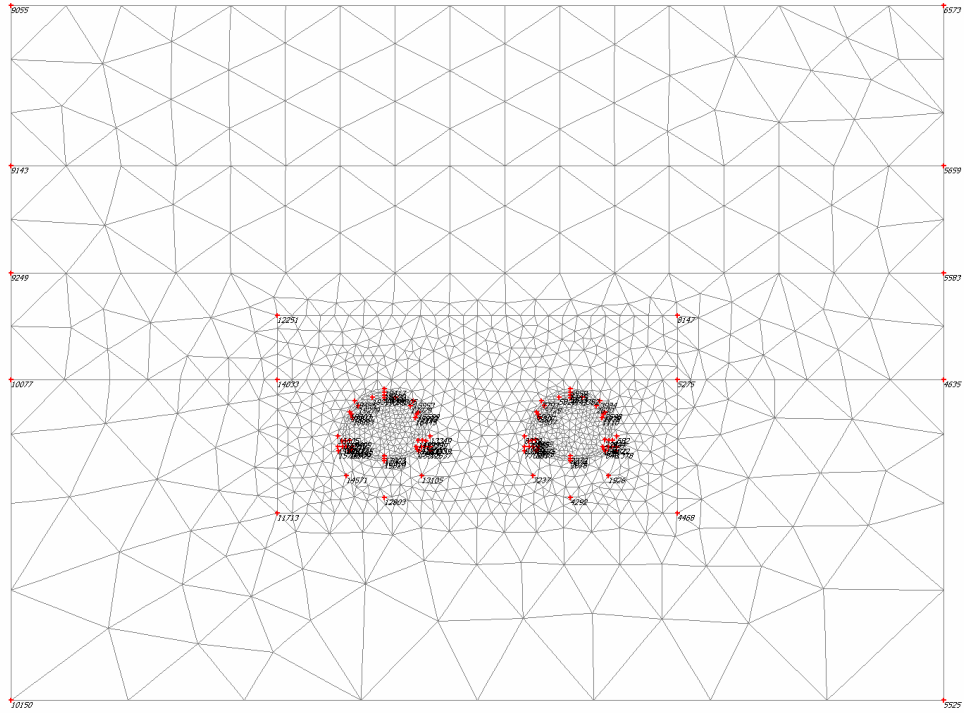


Fig. 1 Plot of the mesh with significant nodes

## 2. Material data

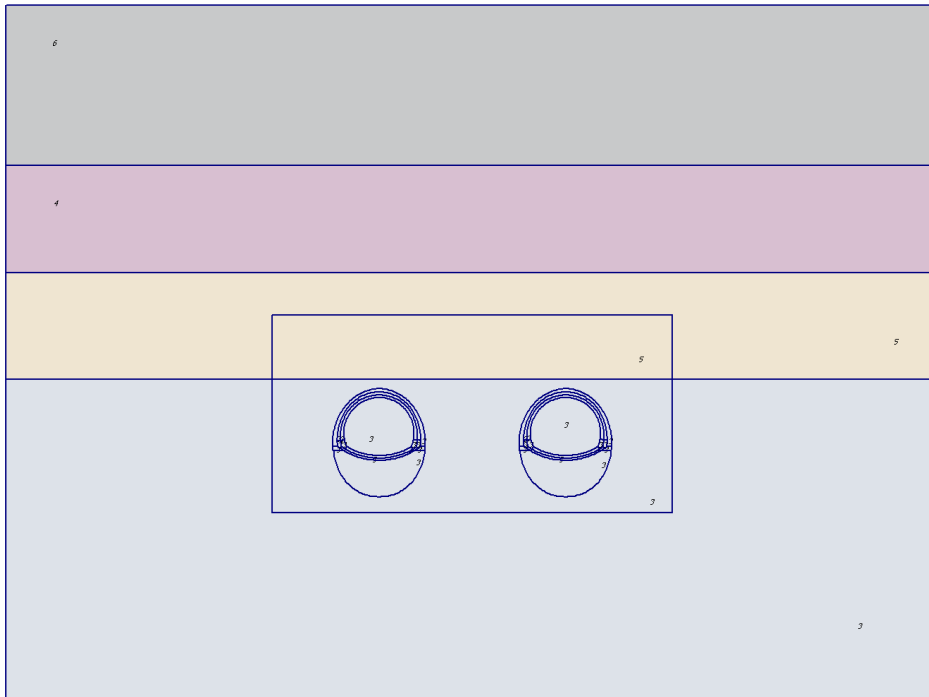


Fig. 2 Plot of geometry with material data sets

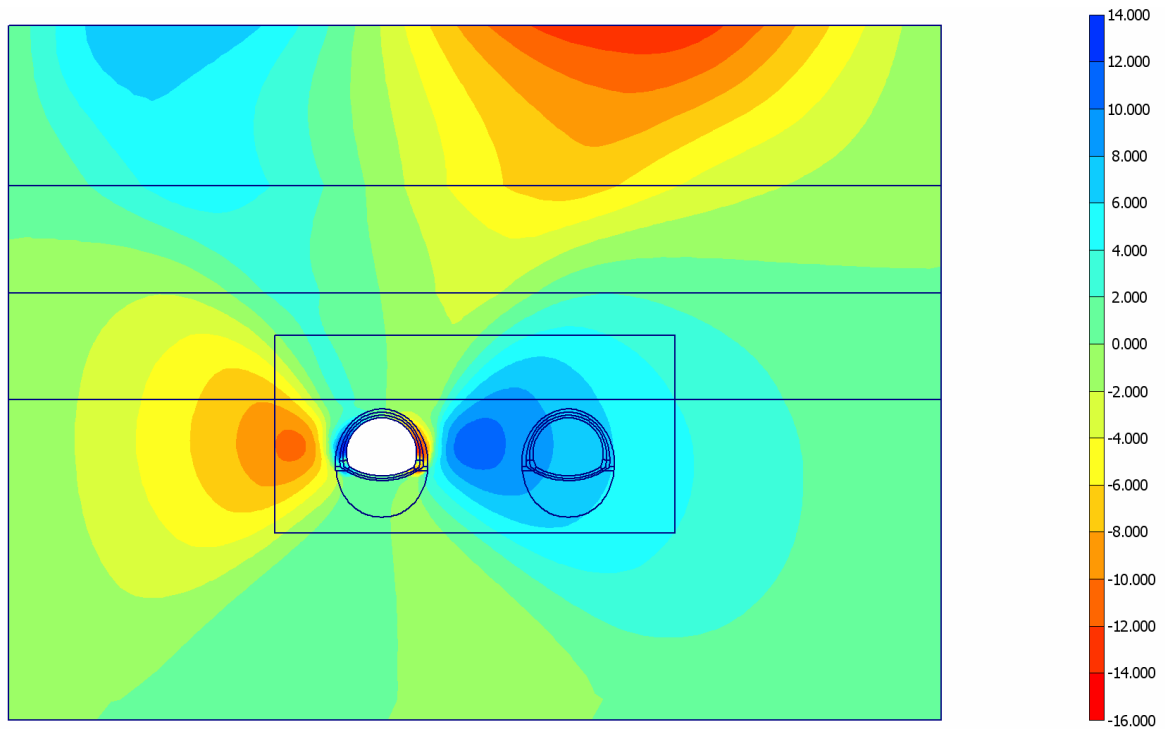
Table [1] Soil data sets parameters

| <i>Hardening Soil</i>         |                      | <b>3</b>                | <b>4</b>             | <b>5</b>             | <b>6</b>             |
|-------------------------------|----------------------|-------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|                               |                      | <b>Ghiaie di ME_450</b> | <b>Ghiaie ME_275</b> | <b>Ghiaie ME_350</b> | <b>Ghiaie_ME_100</b> |
| <b>Type</b>                   |                      | Drained                 | Drained              | Drained              | Drained              |
| $\gamma_{unsat}$              | [kN/m <sup>3</sup> ] | 19,00                   | 19,00                | 19,00                | 19,00                |
| $\gamma_{sat}$                | [kN/m <sup>3</sup> ] | 19,00                   | 19,00                | 19,00                | 19,00                |
| $k_x$                         | [m/day]              | 0,000                   | 0,000                | 0,000                | 1,000                |
| $k_y$                         | [m/day]              | 0,000                   | 0,000                | 0,000                | 1,000                |
| $e_{init}$                    | [-]                  | 0,50                    | 0,50                 | 0,50                 | 0,50                 |
| $e_{min}$                     | [-]                  | 0,00                    | 0,00                 | 0,00                 | 0,00                 |
| $e_{max}$                     | [-]                  | 999,00                  | 999,00               | 999,00               | 999,00               |
| $c_k$                         | [-]                  | 1E15                    | 1E15                 | 1E15                 | 1E15                 |
| $E_{50}^{ref}$                | [kN/m <sup>2</sup> ] | 450000,00               | 275000,00            | 350000,00            | 100000,00            |
| $E_{oed}^{ref}$               | [kN/m <sup>2</sup> ] | 450000,00               | 275000,00            | 350000,00            | 100000,00            |
| <b>power (m)</b>              | [-]                  | 0,00                    | 0,00                 | 0,00                 | 0,00                 |
| $c_{ref}$                     | [kN/m <sup>2</sup> ] | 10,00                   | 10,00                | 10,00                | 10,00                |
| $\phi$                        | [°]                  | 38,00                   | 38,00                | 38,00                | 38,00                |
| $\psi$                        | [°]                  | 0,00                    | 0,00                 | 0,00                 | 0,00                 |
| $E_{ur}^{ref}$                | [kN/m <sup>2</sup> ] | 1350000,00              | 825000,00            | 1050000,00           | 300000,00            |
| $v_{ur}^{(nu)}$               | [-]                  | 0,200                   | 0,200                | 0,200                | 0,200                |
| $p^{ref}$                     | [kN/m <sup>2</sup> ] | 100,00                  | 100,00               | 100,00               | 100,00               |
| $c_{increment}$               | [kN/m <sup>2</sup> ] | 0,00                    | 0,00                 | 0,00                 | 0,00                 |
| $y_{ref}$                     | [m]                  | 0,00                    | 0,00                 | 0,00                 | 28,00                |
| $R_f$                         | [-]                  | 0,90                    | 0,90                 | 0,90                 | 0,90                 |
| $T_{str.}$                    | [kN/m <sup>2</sup> ] | 0,00                    | 0,00                 | 0,00                 | 0,00                 |
| $R_{inter}$                   | [-]                  | 1,00                    | 1,00                 | 1,00                 | 1,00                 |
| $\delta_{inter}$              | [m]                  | 0,00                    | 0,00                 | 0,00                 | 0,00                 |
| <b>Interface permeability</b> |                      | Neutral                 | Neutral              | Neutral              | Neutral              |

### 3. Results for phase 7

#### 3.1. Deformations

##### 3.1.1. Plot of horizontal displacements



**Fig. 3 Plot of horizontal displacements (shadings)**  
- Step no: 66 - ( Phase: 14 )

### 3.1.2. Plot of vertical displacements

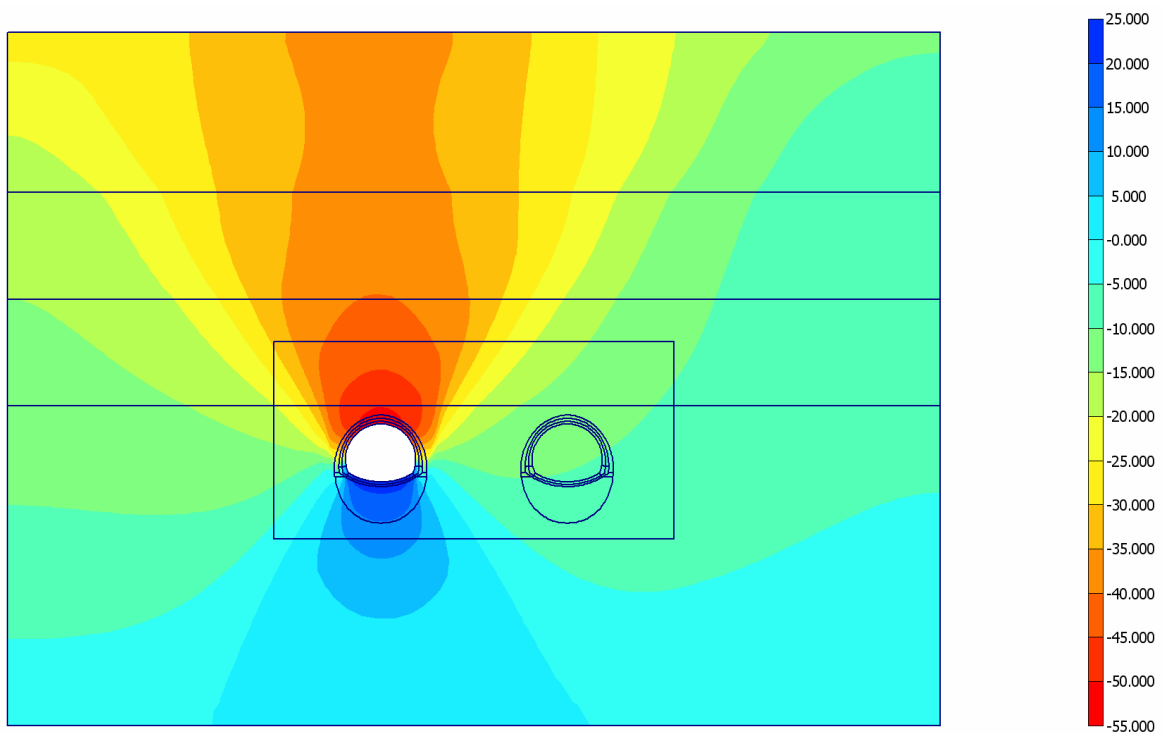


Fig. 4 Plot of vertical displacements (shadings)  
- Step no: 66 - ( Phase: 14 )

## 3.2. Stresses

### 3.2.3. Plot of total stresses

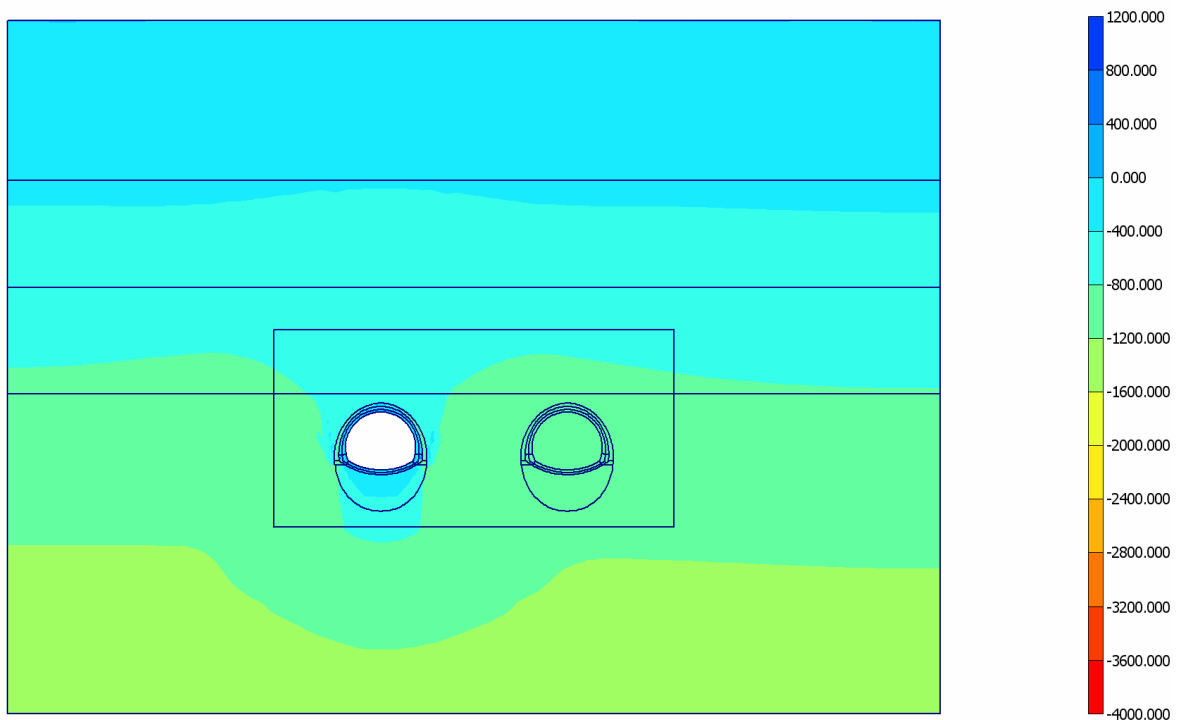
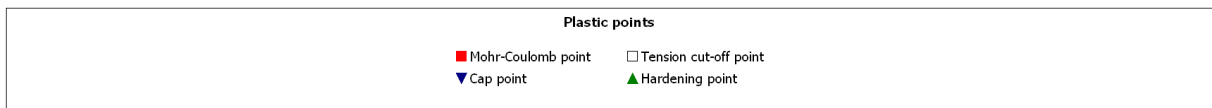
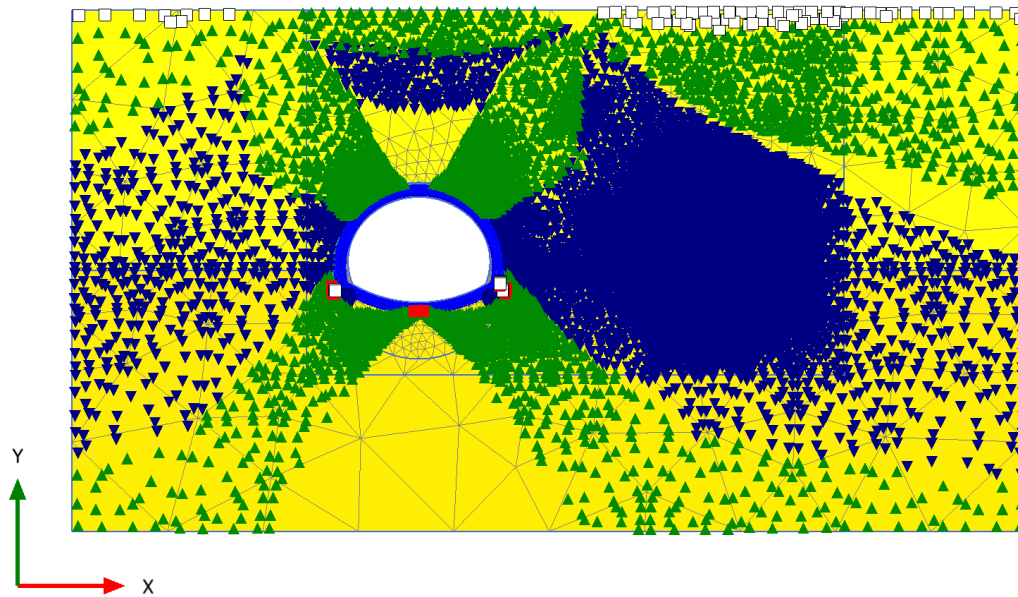


Fig. 5 Plot of total stresses (mean shadings)  
- Step no: 66 - ( Phase: 14 )

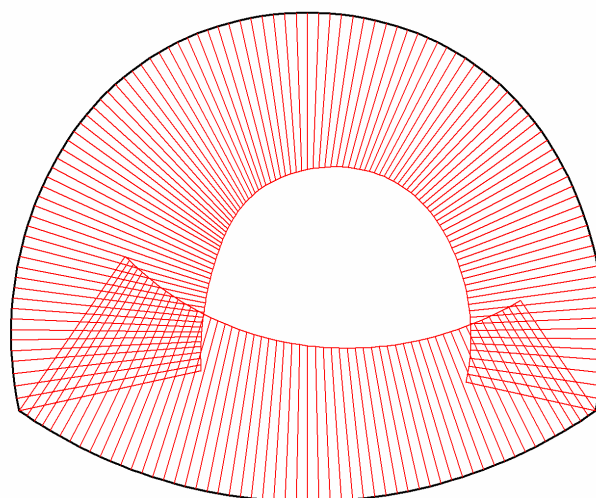
### 3.2.4. Plot of plastic points



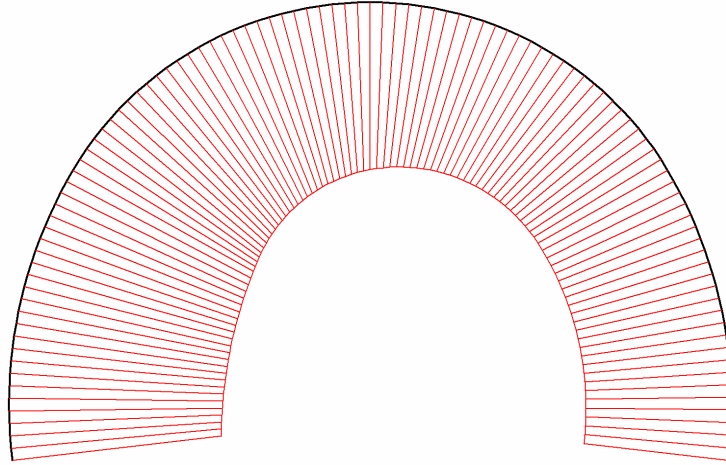
## 3.3. Structures

### 3.3.4. Beams

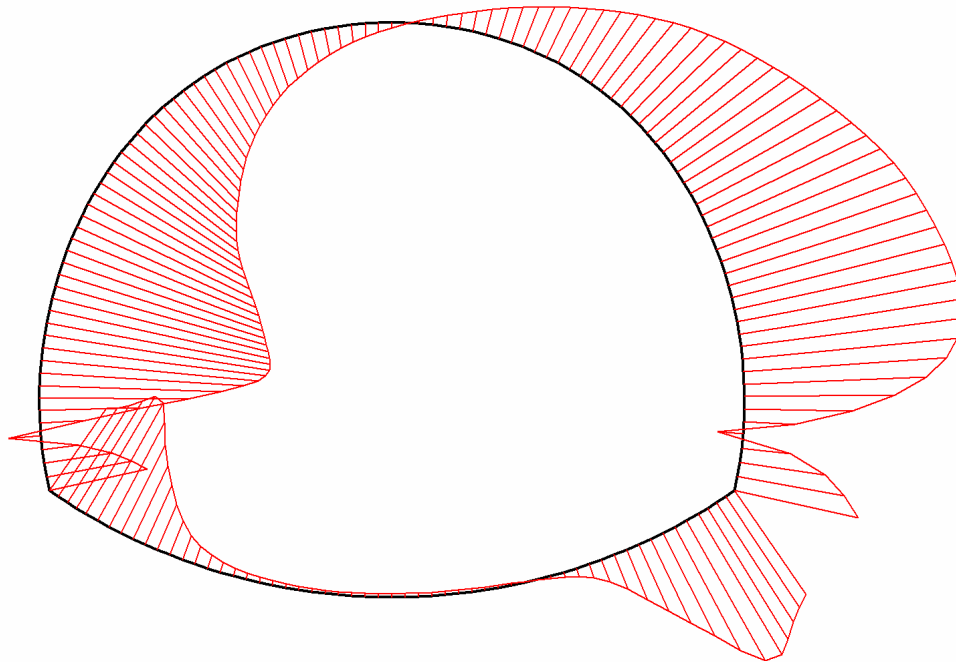
#### 3.3.4.1. Beams



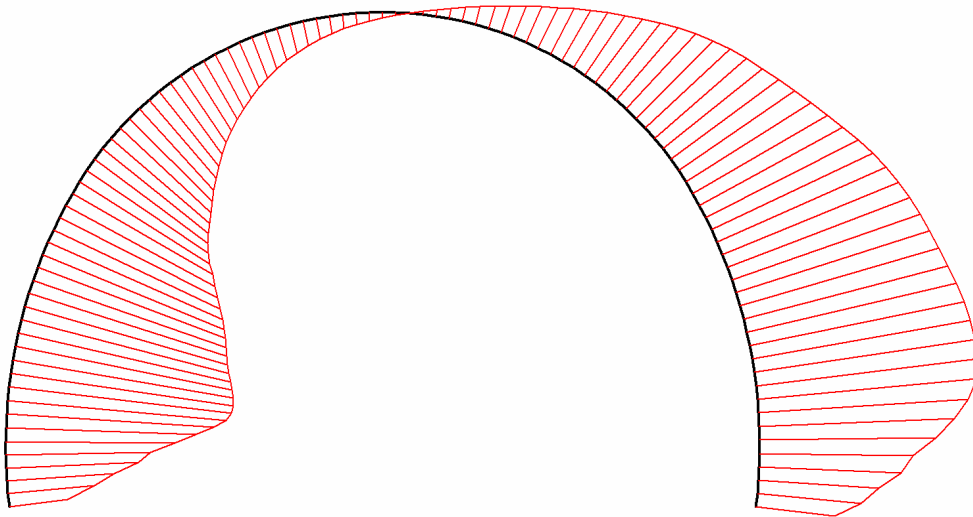
**Fig. 6 Horizontal displacements in beam**  
 Extreme value  $8,92 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 14)



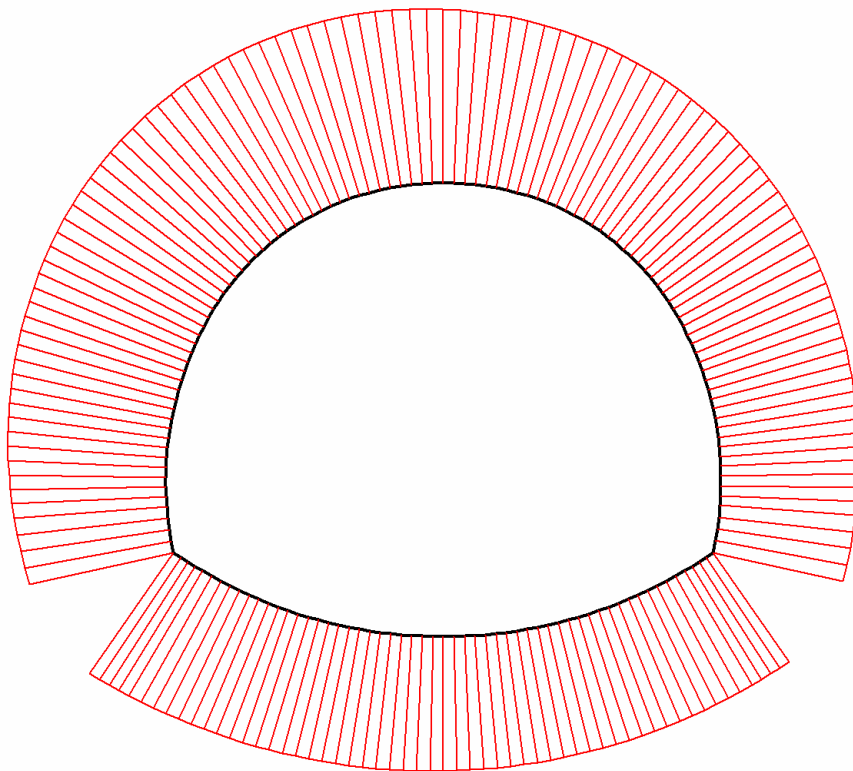
**Fig. 7 Horizontal displacements in beam**  
Extreme value  $9,03 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 14)



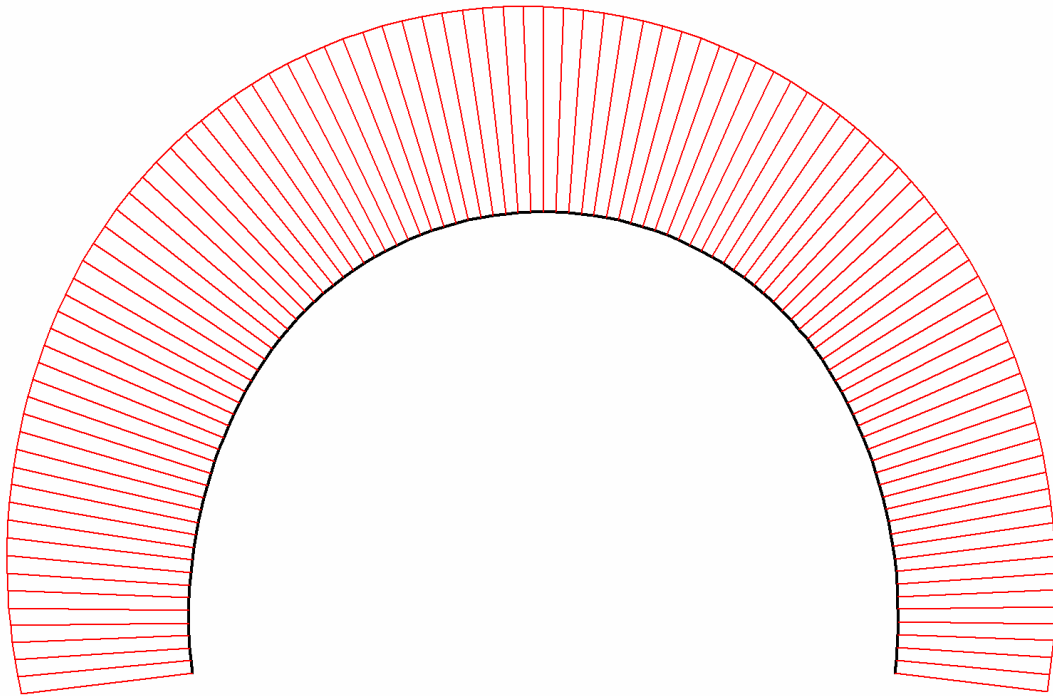
**Fig. 8 Horizontal displacements in beam**  
Extreme value  $12,88 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 14)



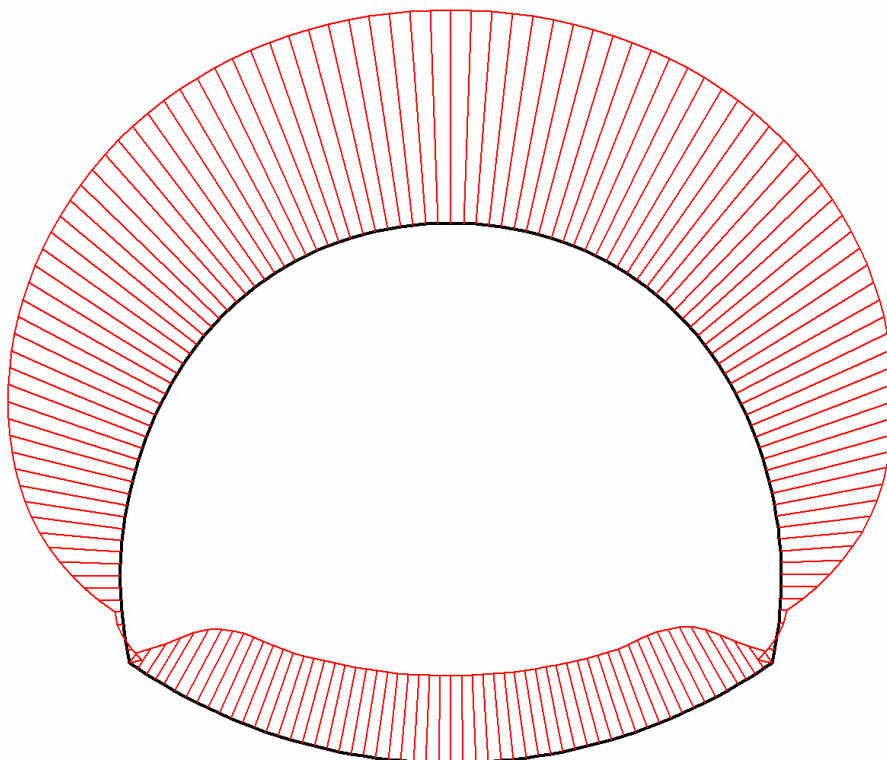
**Fig. 9 Horizontal displacements in beam**  
Extreme value  $13,07 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 14)



**Fig. 10 Vertical displacements in beam**  
Extreme value  $-12,58 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 14)

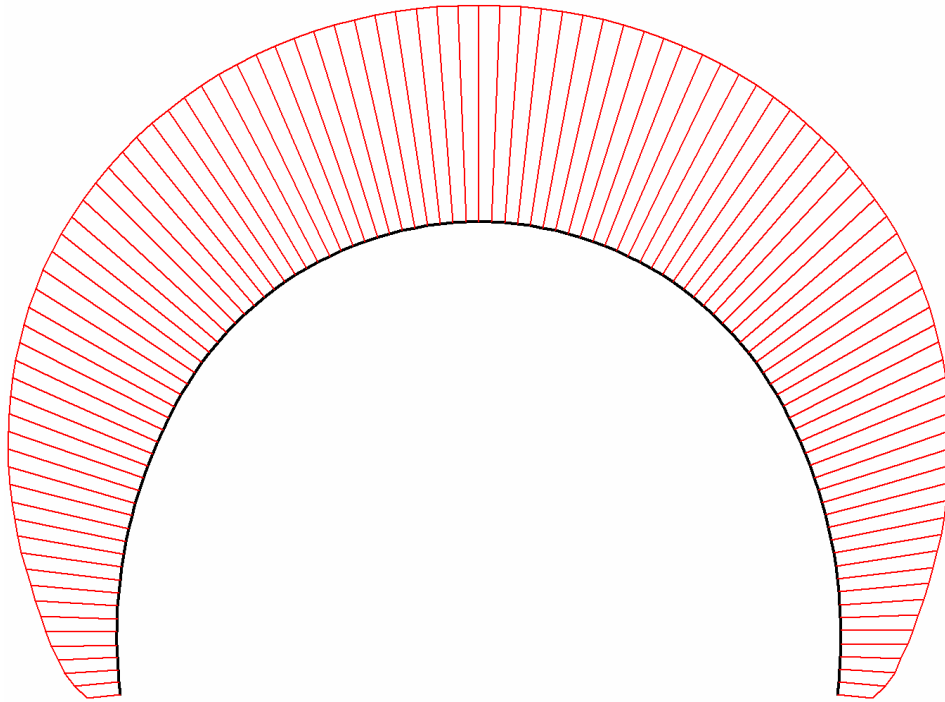


**Fig. 11 Vertical displacements in beam**  
Extreme value  $-12,74 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 14)



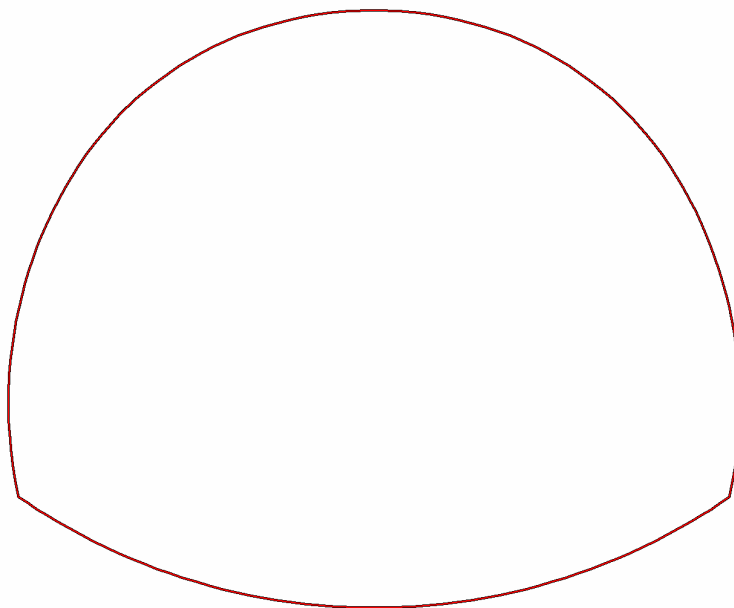
**Fig. 12 Vertical displacements in beam**  
Extreme value  $-52,50 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 14)



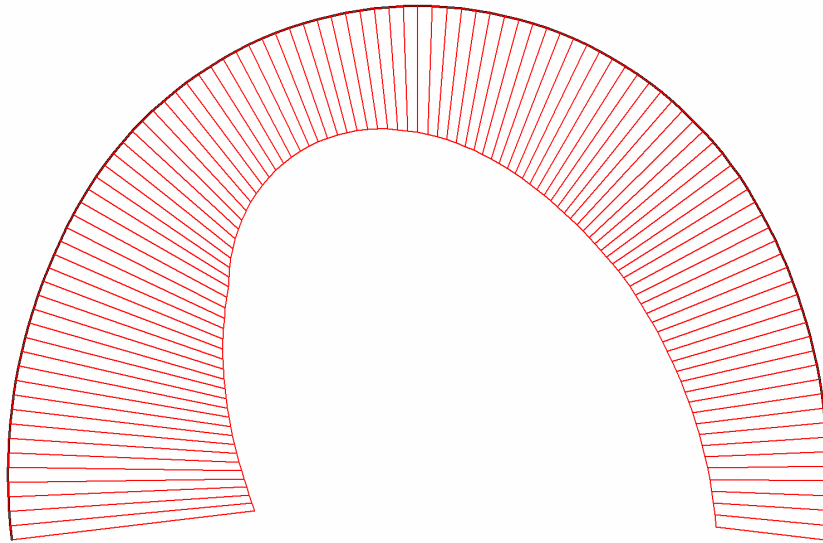


**Fig. 13 Vertical displacements in beam**  
Extreme value  $-52,50 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 14)

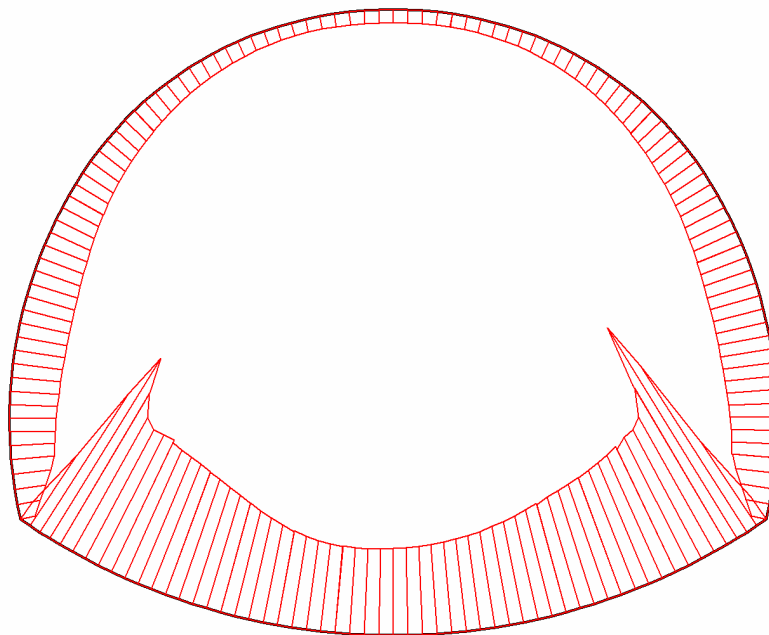
### 3.3.4.2. Beams



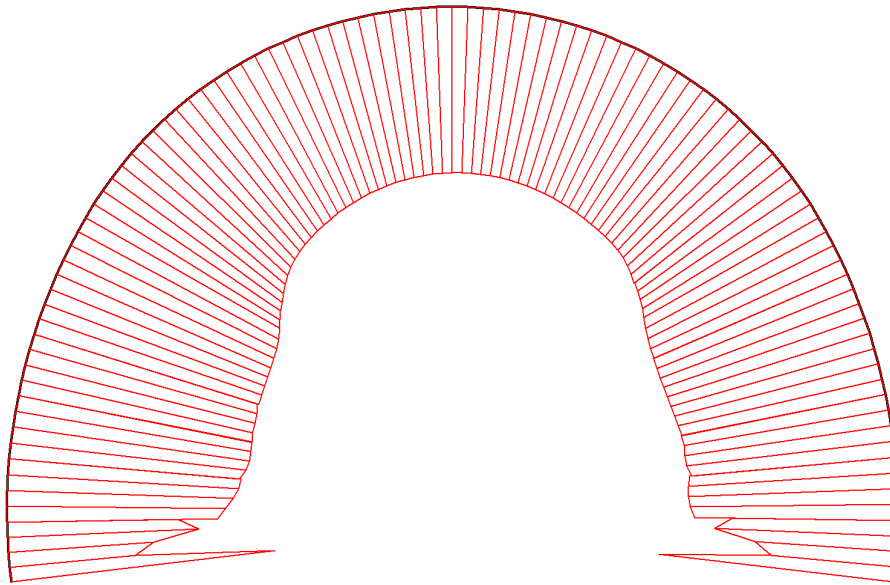
**Fig. 14 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value 0,00 kN/m (Phase: 14)



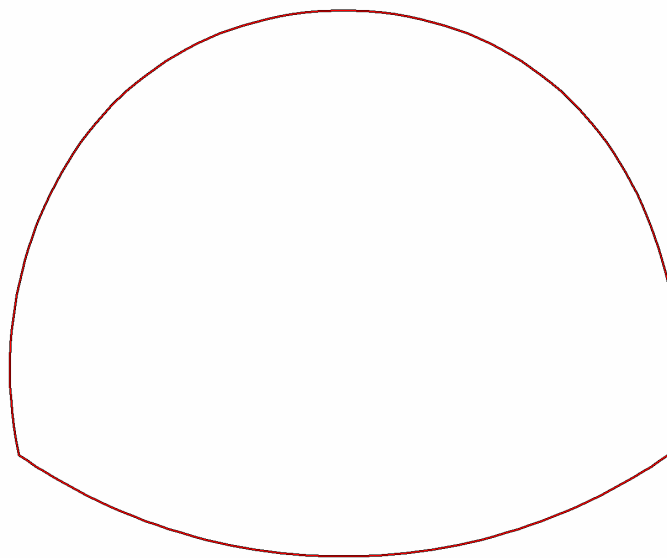
**Fig. 15 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value  $-357,58 \cdot 10^{-15}$  kN/m (Phase: 14)



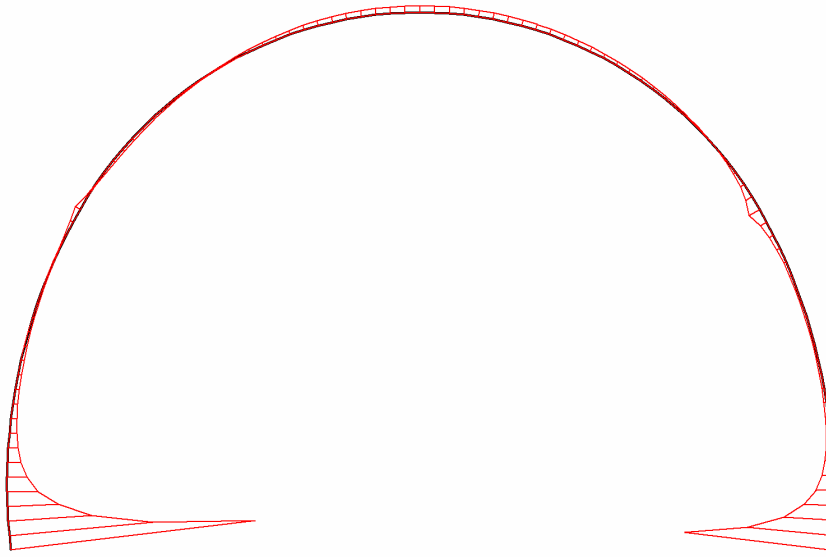
**Fig. 16 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value  $-64,00 \cdot 10^{-9}$  kN/m (Phase: 14)



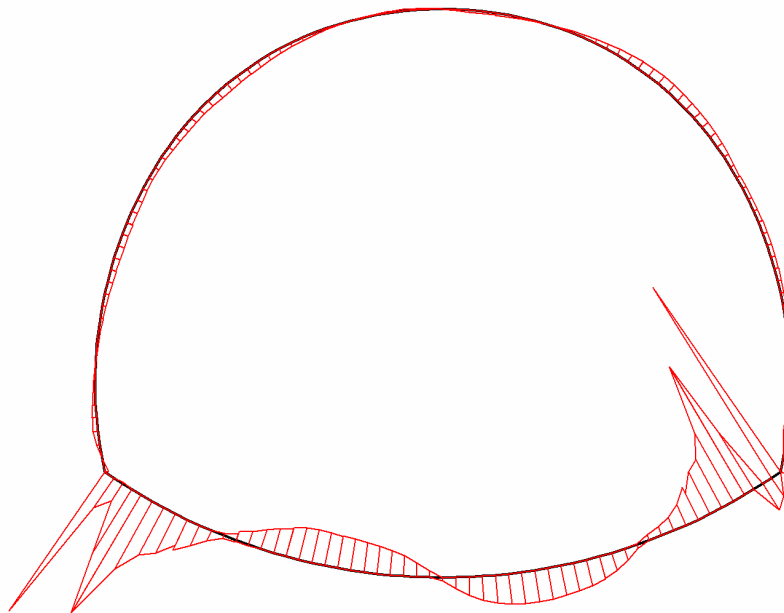
**Fig. 17 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value  $-1,85 \cdot 10^3$  kN/m (Phase: 14)



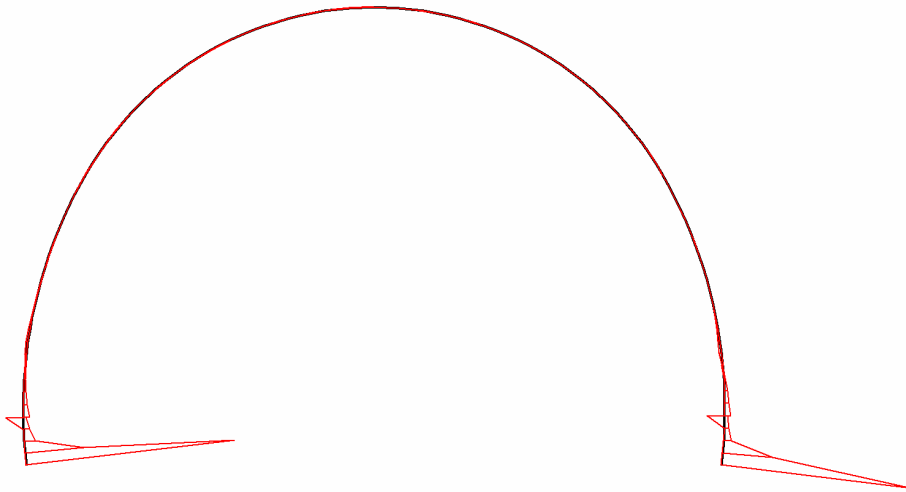
**Fig. 18 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value 0,00 kN/m (Phase: 14)



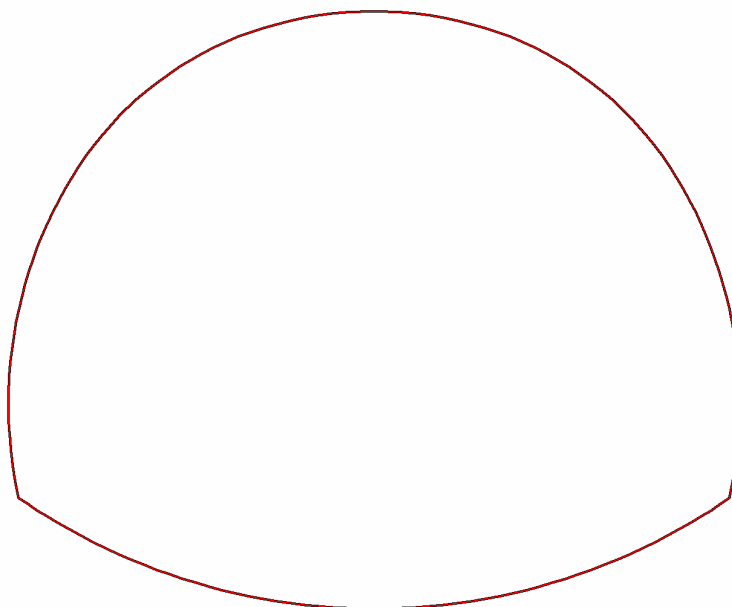
**Fig. 19 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value  $-27,89 \cdot 10^{-15}$  kN/m (Phase: 14)



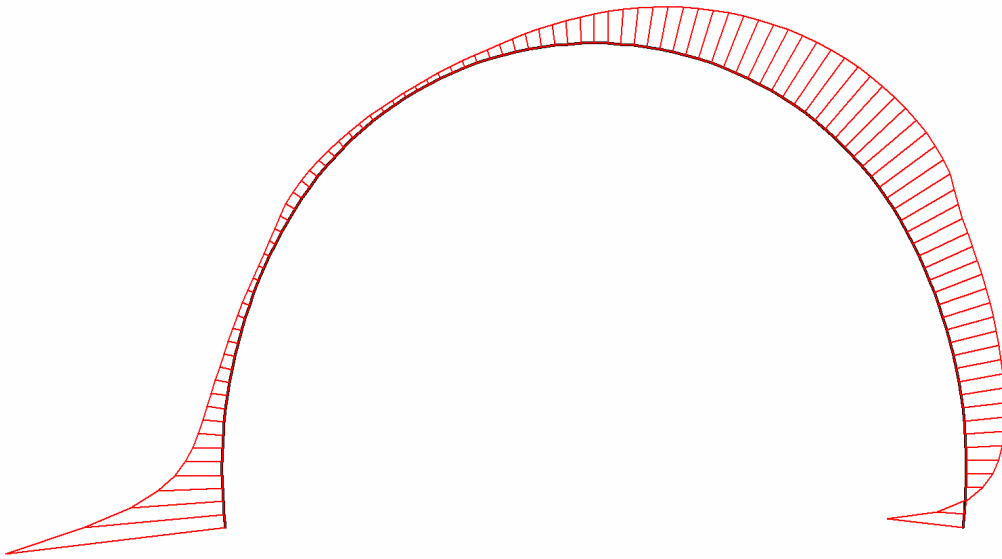
**Fig. 20 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value  $-18,94 \cdot 10^{-9}$  kN/m (Phase: 14)



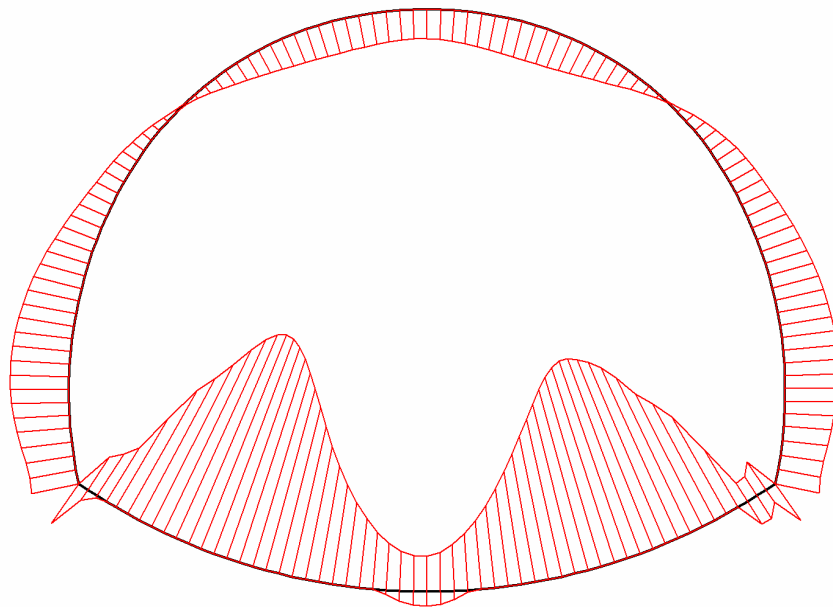
**Fig. 21 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value  $-4,57 \cdot 10^3$  kN/m (Phase: 14)



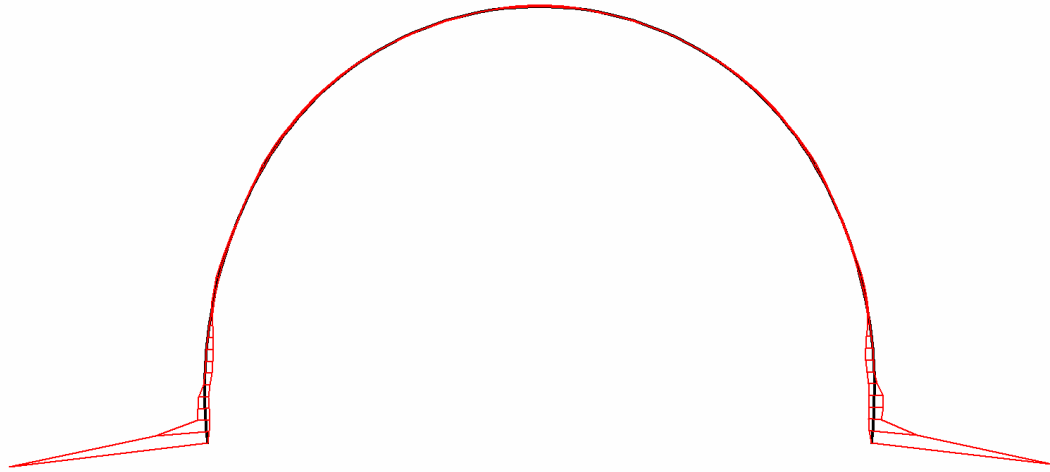
**Fig. 22 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value 0,00 kN/m/m (Phase: 14)



**Fig. 23 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value  $16,26 \cdot 10^{-15}$  kN/m/m (Phase: 14)



**Fig. 24 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value  $9,73 \cdot 10^{-9}$  kN/m/m (Phase: 14)



**Fig. 25 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value 935,32 kN/m/m (Phase: 14)

## 4. Results for phase 13

### 4.4. Deformations

#### 4.4.5. Plot of horizontal displacements

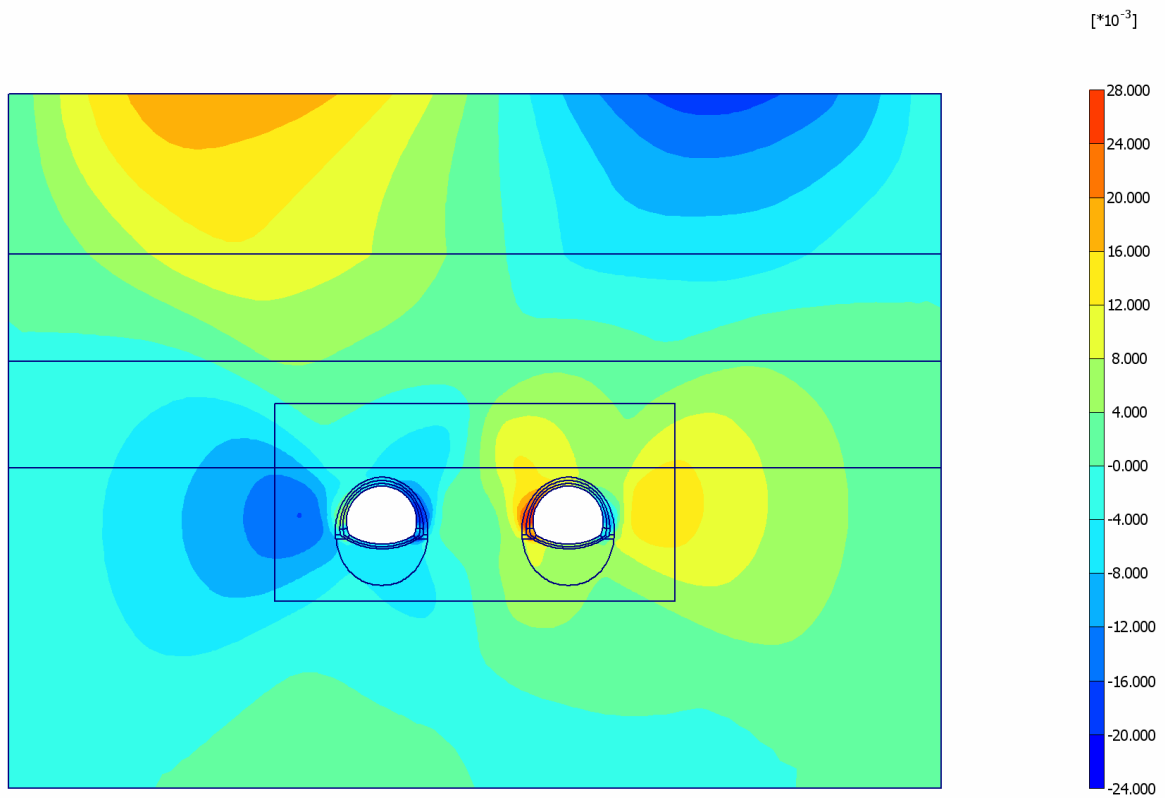
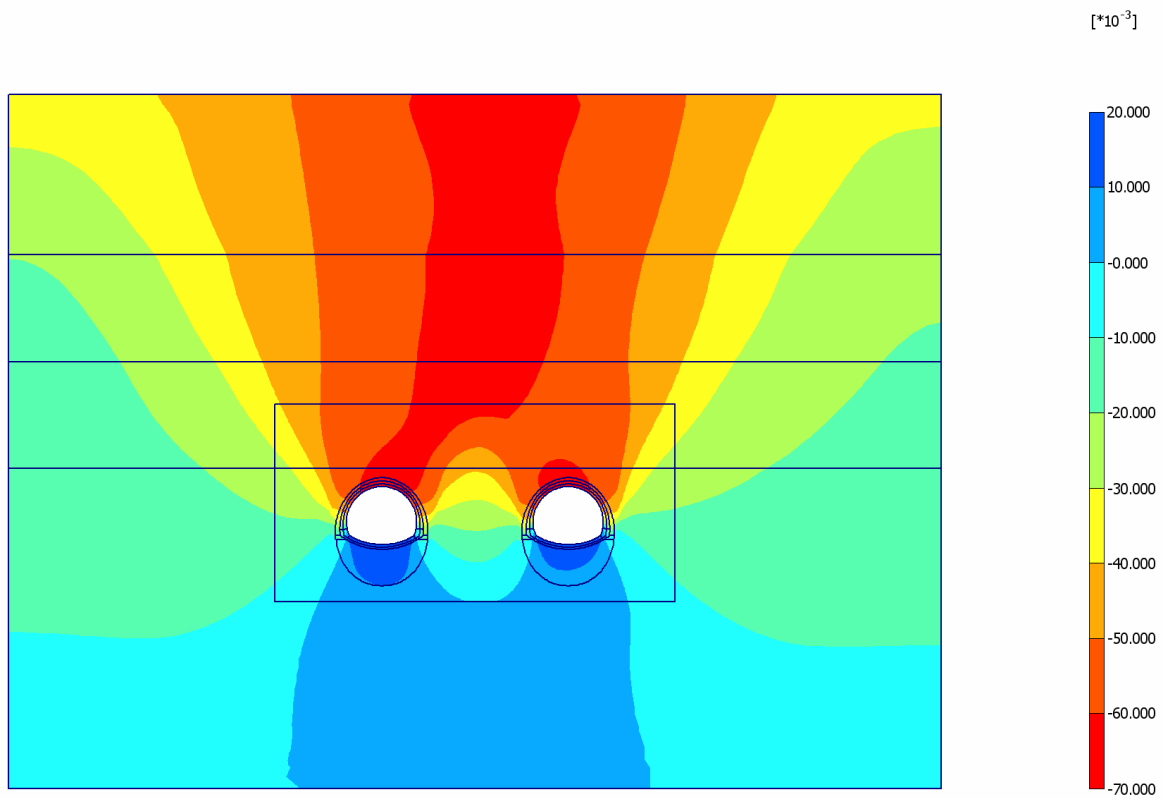


Fig. 26 Plot of horizontal displacements (shadings)  
- Step no: 124 - ( Phase: 13 )



#### 4.4.6. Plot of vertical displacements



**Fig. 27 Plot of vertical displacements (shadings)**  
- Step no: 124 - ( Phase: 13 )

### 4.5. Stresses

#### 4.5.7. Plot of total stresses

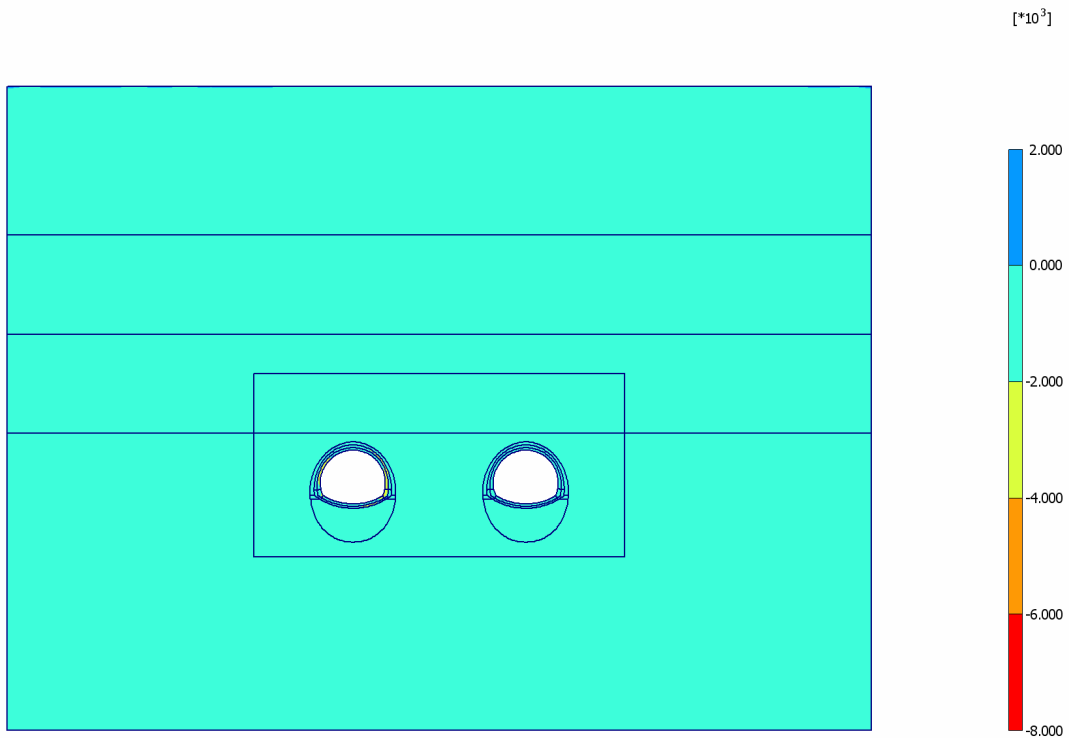
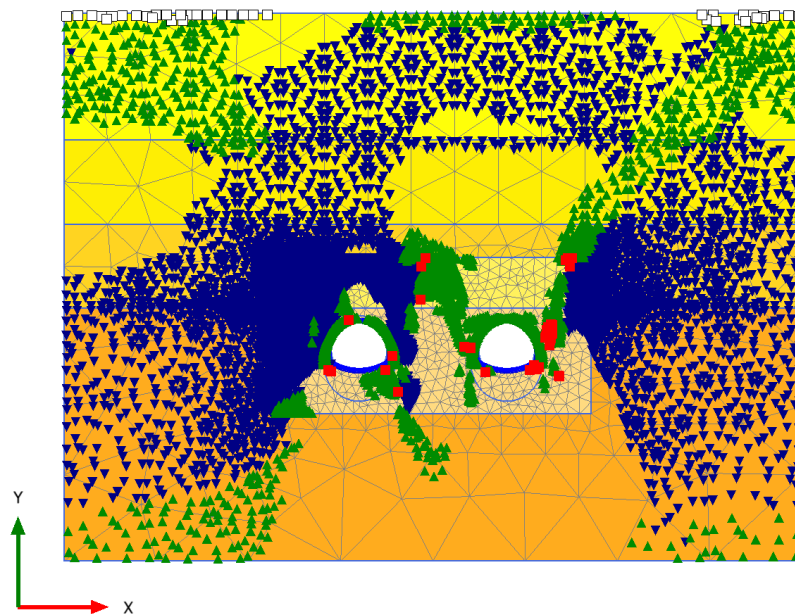


Fig. 28 Plot of total stresses (mean shadings)  
- Step no: 124 - ( Phase: 13 )

#### 4.5.8 Plot of plastic points

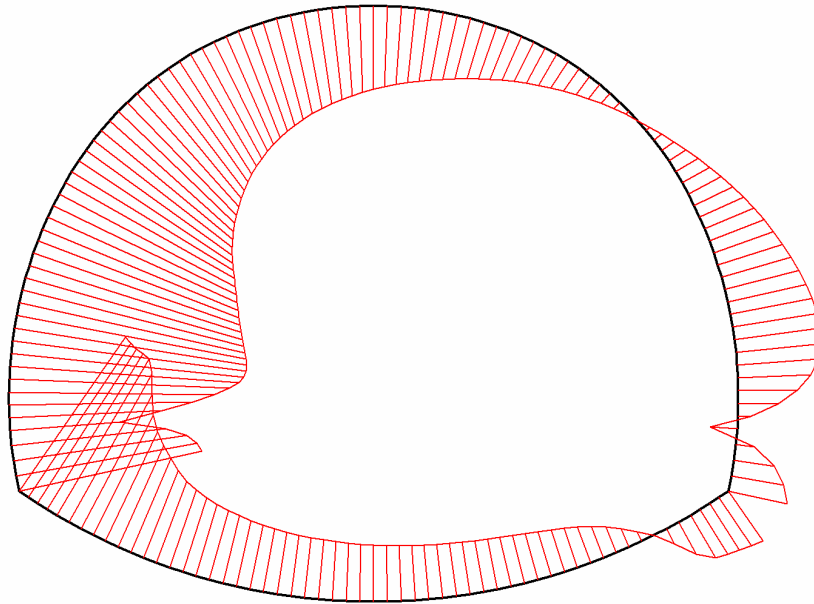


| Plastic points       |                         |             |                   |
|----------------------|-------------------------|-------------|-------------------|
| ■ Mohr-Coulomb point | □ Tension cut-off point | ▼ Cap point | ▲ Hardening point |

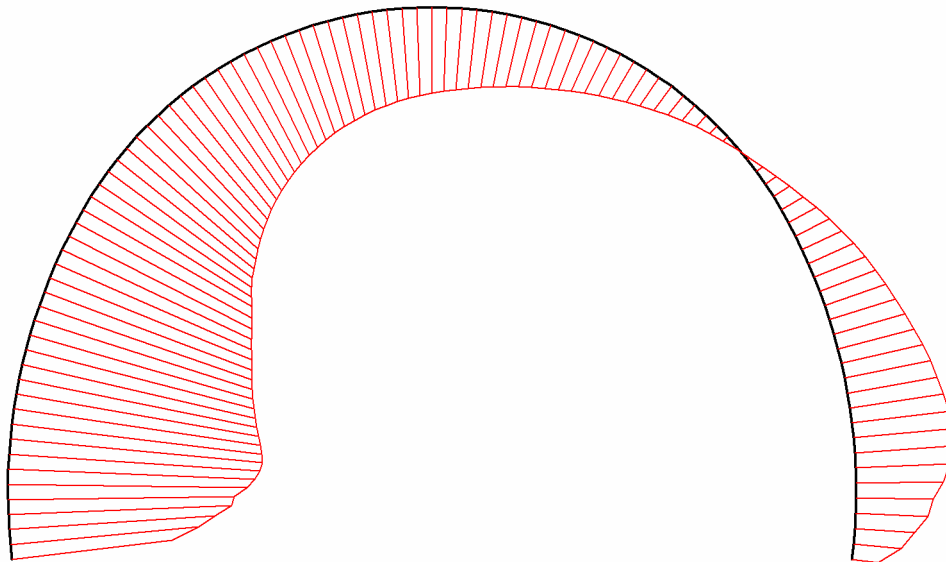
## 4.6. Structures

### 4.6.8. Beams

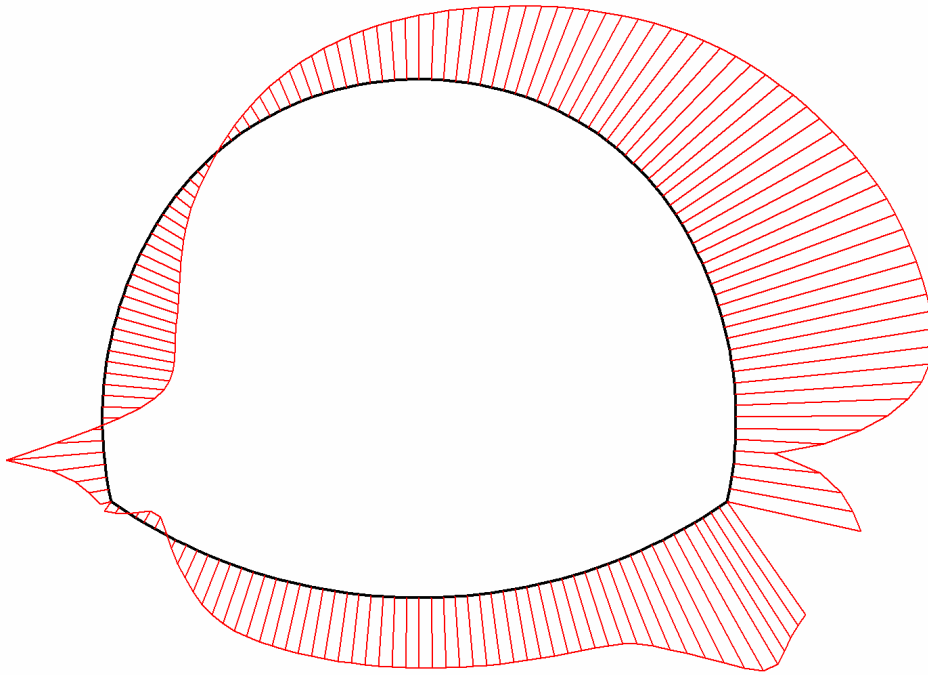
#### 4.6.8.3. Beams



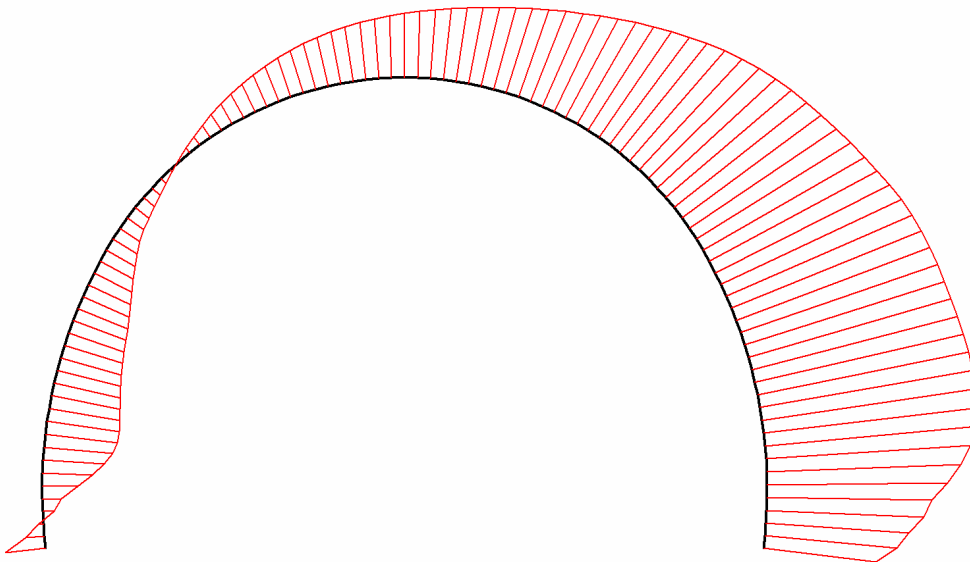
**Fig. 29 Horizontal displacements in beam**  
Extreme value  $26,83 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 13)



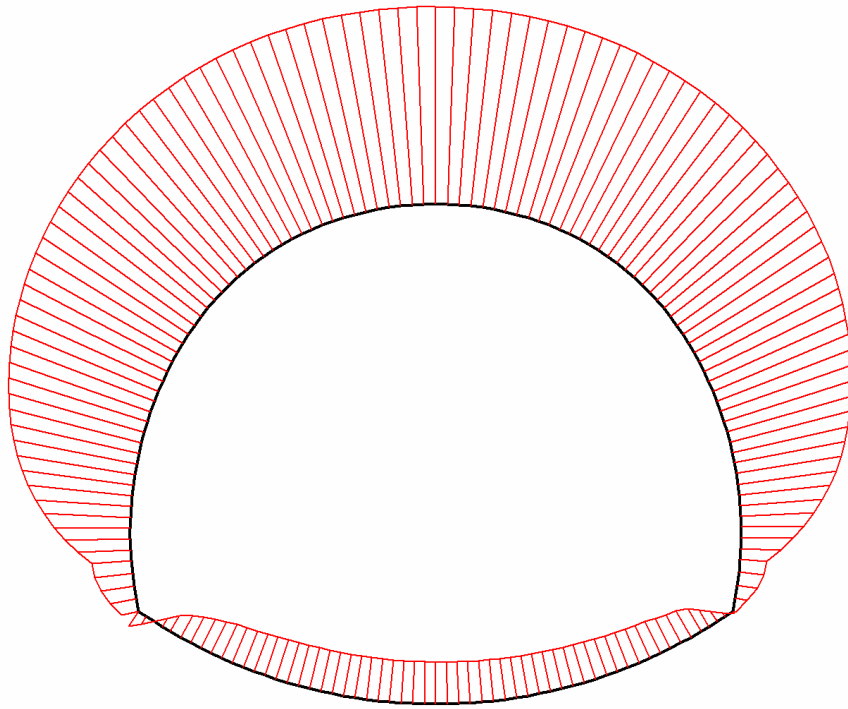
**Fig. 30 Horizontal displacements in beam**  
Extreme value  $27,88 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 13)



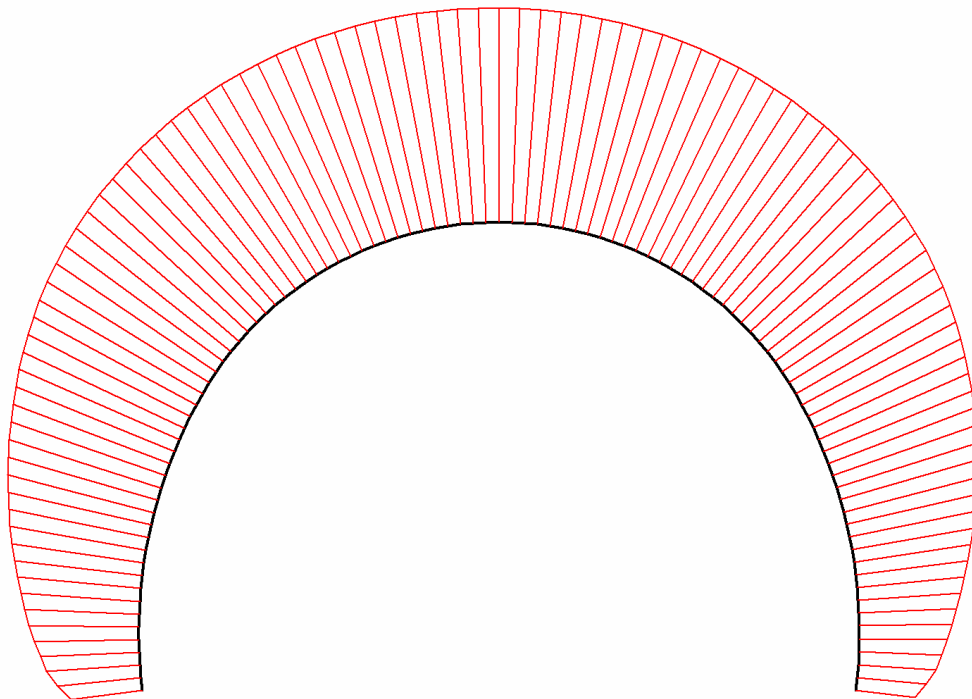
**Fig. 31 Horizontal displacements in beam**  
Extreme value  $-18,19 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 13)



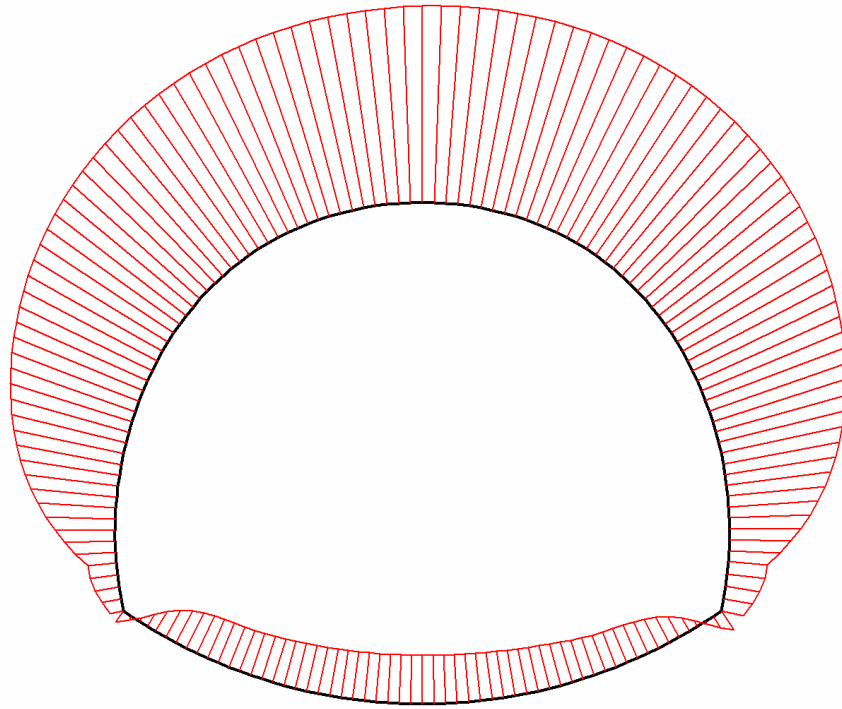
**Fig. 32 Horizontal displacements in beam**  
Extreme value  $-18,20 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 13)



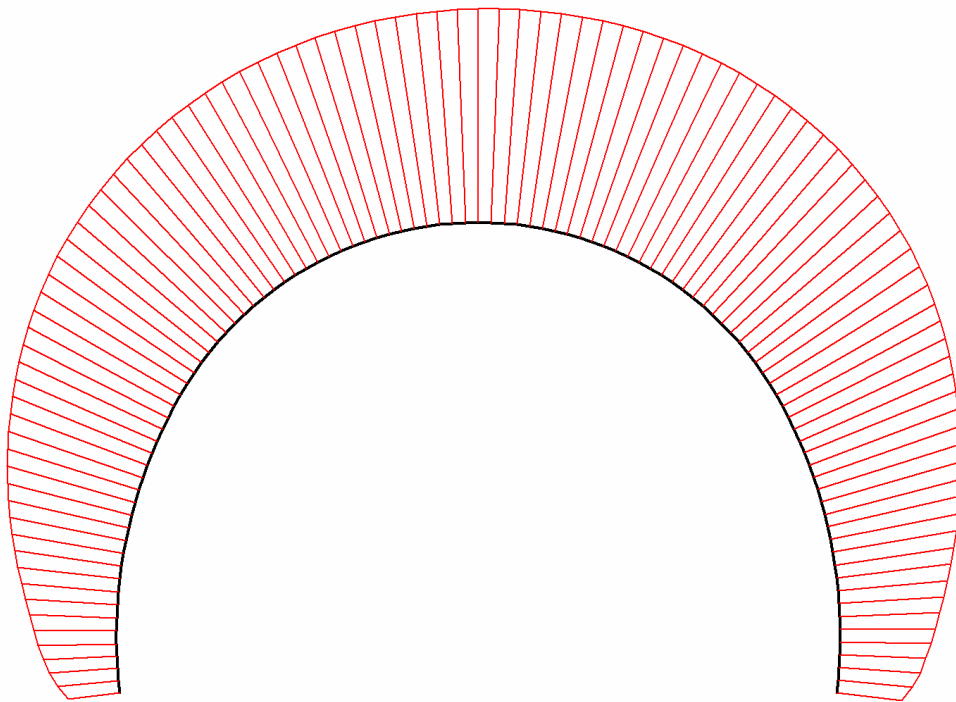
**Fig. 33 Vertical displacements in beam**  
Extreme value  $-63,41 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 13)



**Fig. 34 Vertical displacements in beam**  
Extreme value  $-63,46 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 13)

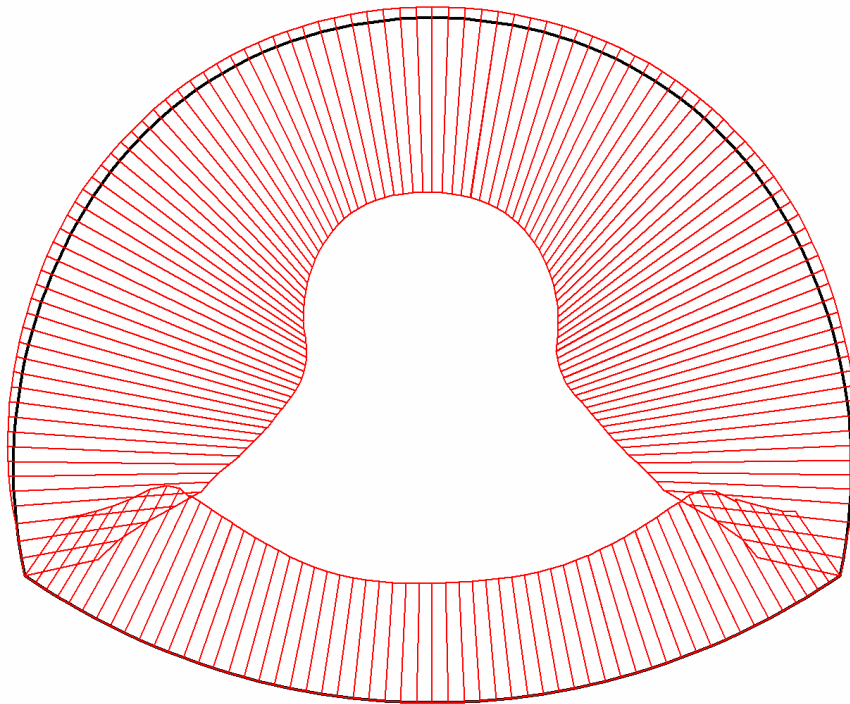


**Fig. 35 Vertical displacements in beam**  
Extreme value  $-64,84 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 13)

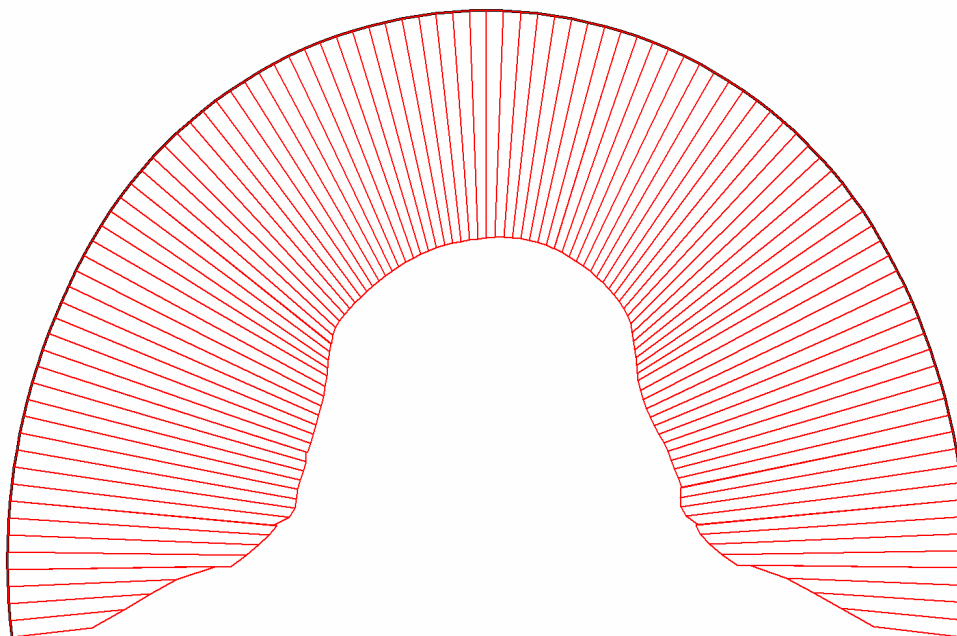


**Fig. 36 Vertical displacements in beam**  
Extreme value  $-64,96 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 13)

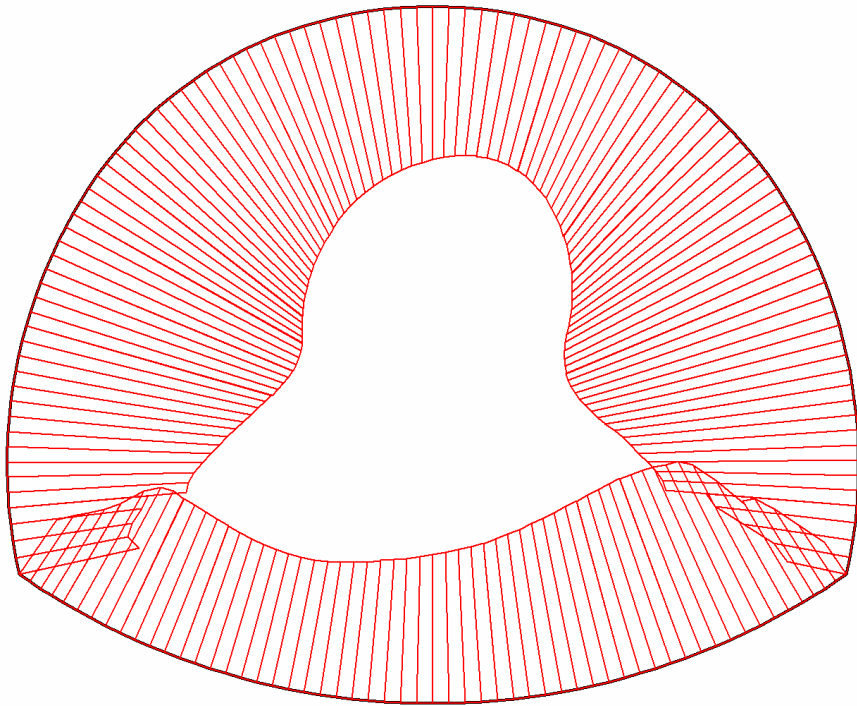
#### 4.6.8.4. Beams



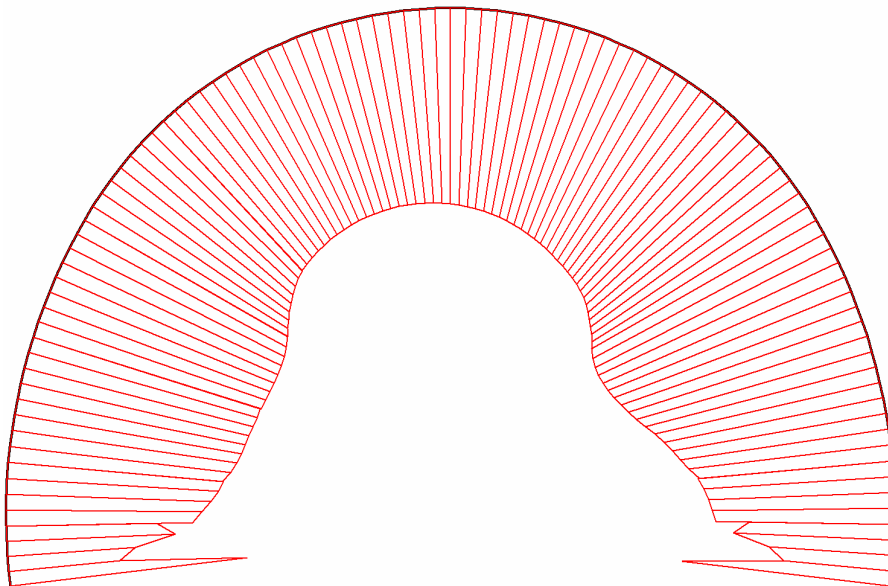
**Fig. 37 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value  $-294,98 \cdot 10^{-9}$  kN/m (Phase: 13)



**Fig. 38 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value  $-1,63 \cdot 10^3$  kN/m (Phase: 13)

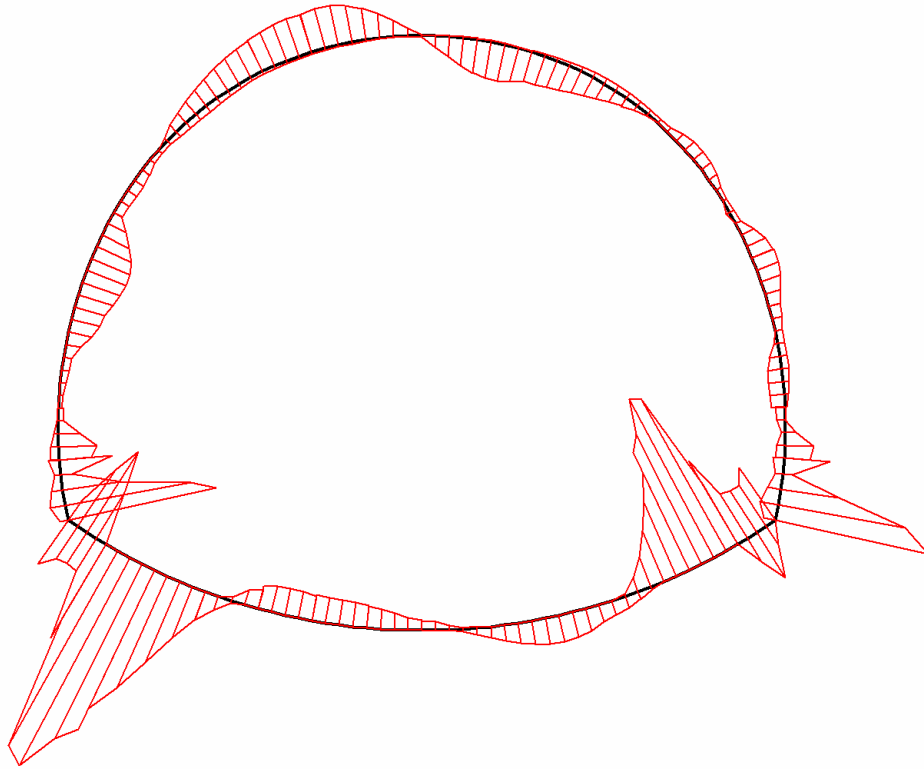


**Fig. 39 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value  $-470,41 \cdot 10^{-9}$  kN/m (Phase: 13)

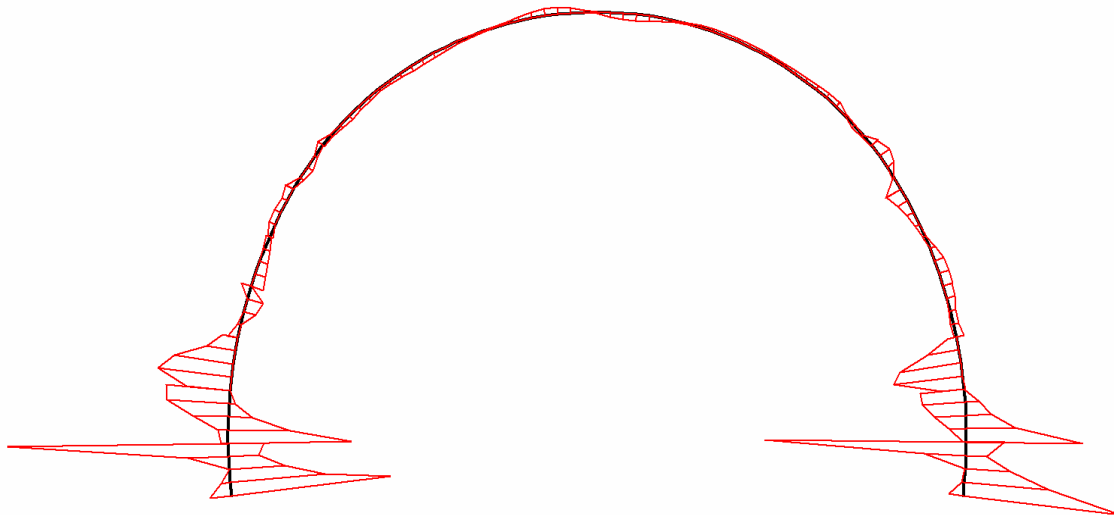


**Fig. 40 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value  $-2,09 \cdot 10^3$  kN/m (Phase: 13)

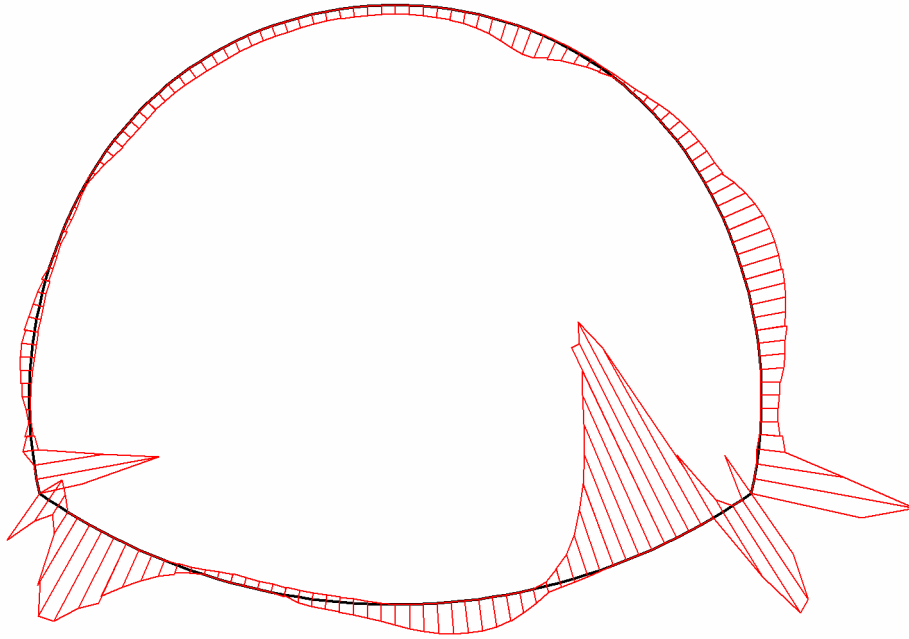




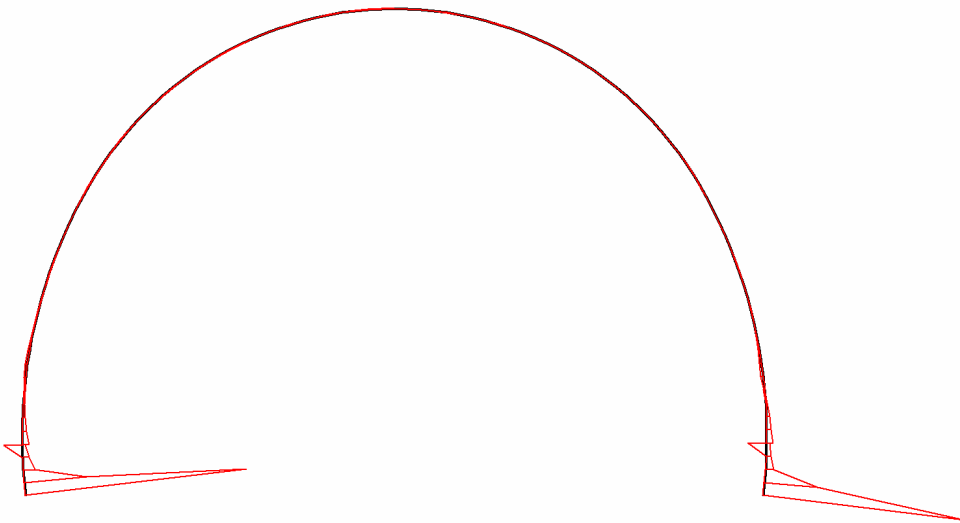
**Fig. 41 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value  $27,31 \cdot 10^{-9}$  kN/m (Phase: 13)



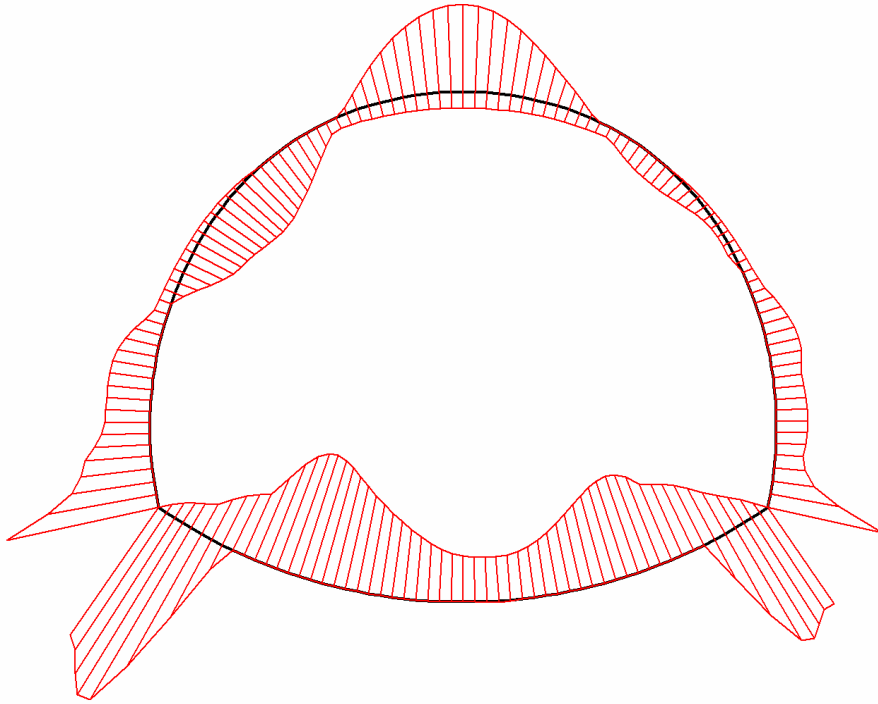
**Fig. 42 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value 168,52 kN/m (Phase: 13)



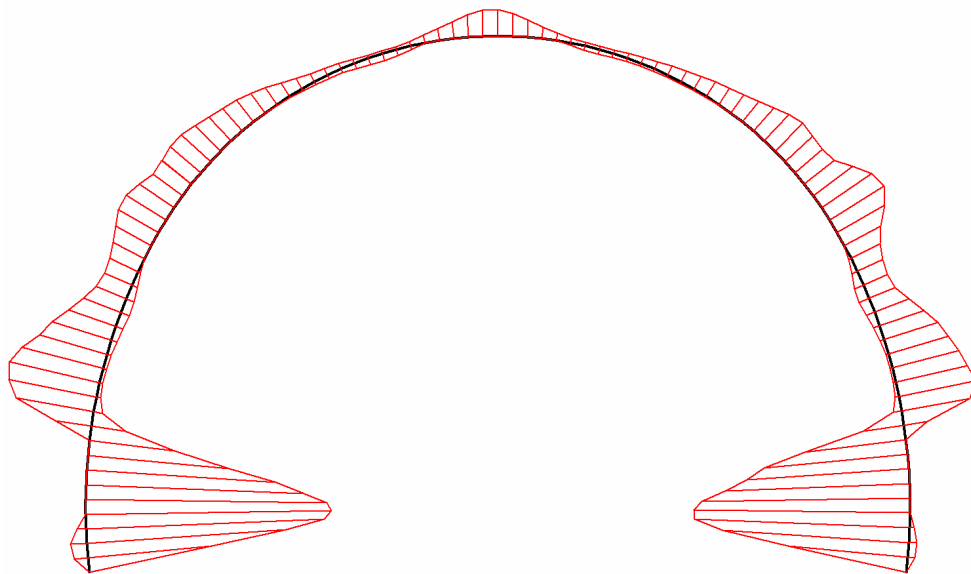
**Fig. 43 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value  $-96,57 \cdot 10^{-9}$  kN/m (Phase: 13)



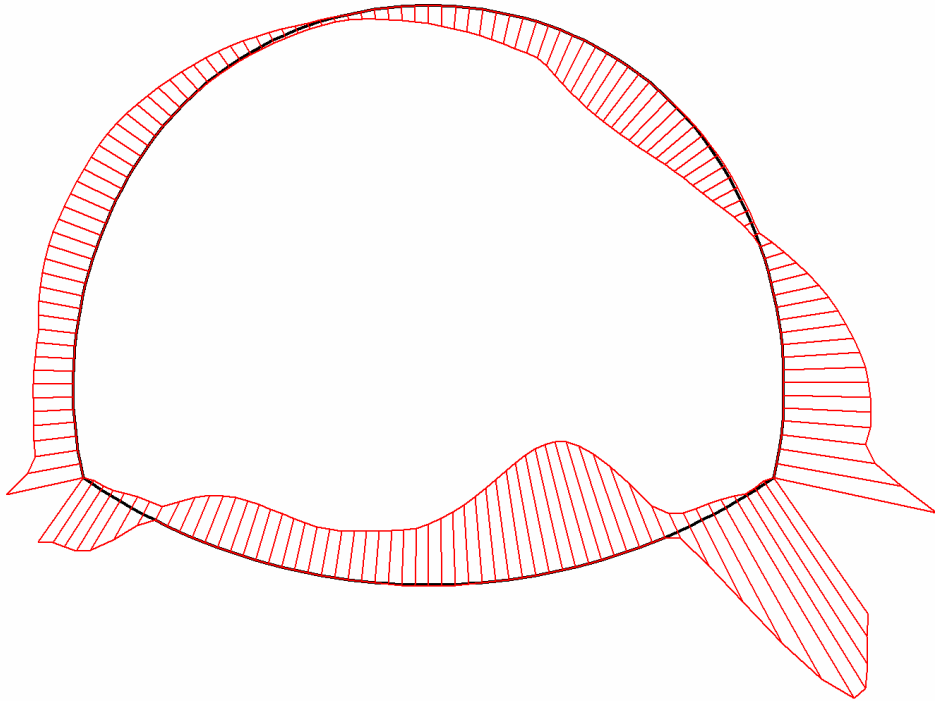
**Fig. 44 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value  $-4,57 \cdot 10^3$  kN/m (Phase: 13)



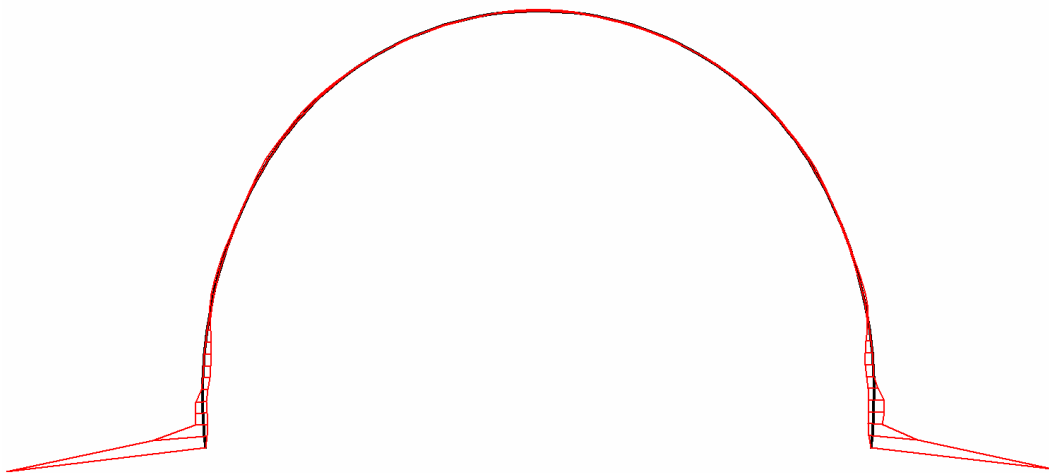
**Fig. 45 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value  $23,46 \cdot 10^{-9}$  kN/m/m (Phase: 13)



**Fig. 46 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value 51,03 kN/m/m (Phase: 13)



**Fig. 47 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value  $111,50 \cdot 10^{-9}$  kN/m/m (Phase: 13)

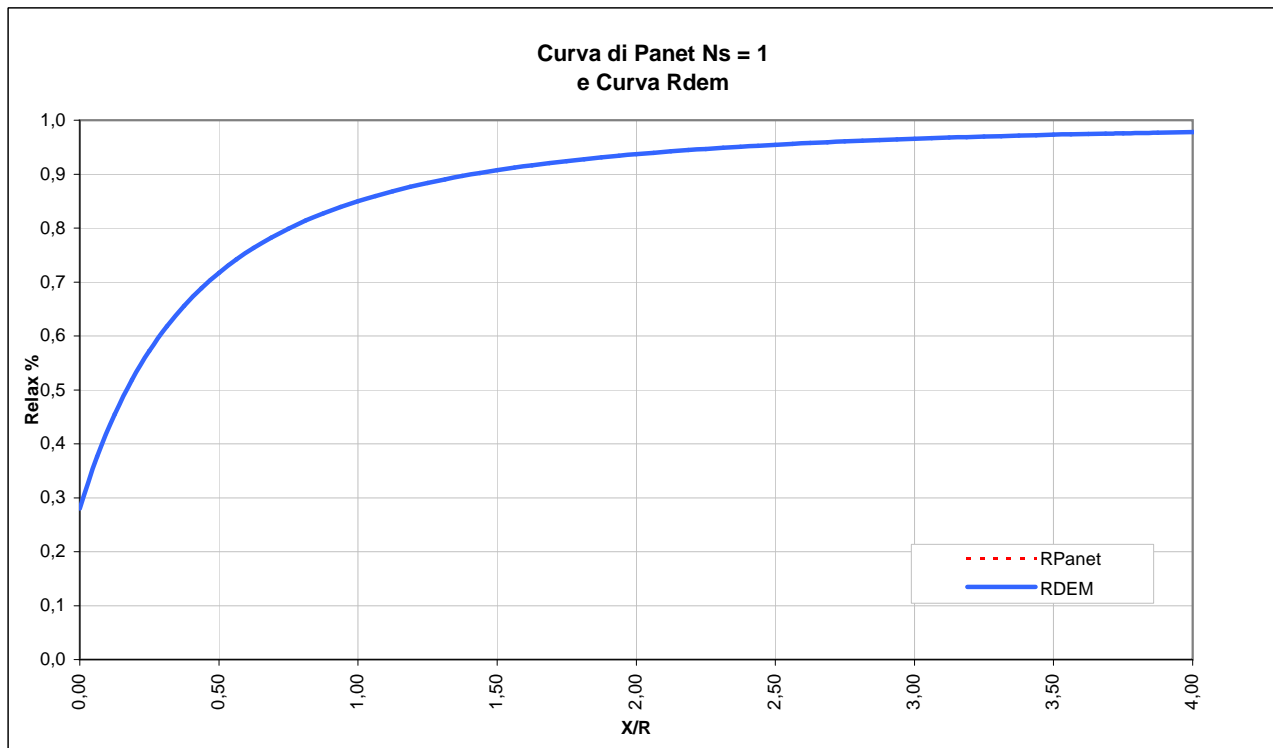


**Fig. 48 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value 935,32 kN/m/m (Phase: 13)

**LAVORO PONTE SULLO STRETTO**  
**Sezione C1+1.05**

**Copertura** 30m  
**Litotipo** Ghiaie e sabbie di Messina

| TIME    | DESCRIZIONE  | X <sub>fronte</sub> [m] | R <sub>panet</sub> | R(FEM) |
|---------|--|-------------------------|--------------------|--------|
| Time 0  | Geostatico   | -∞                      | 0%                 | 0%     |
| Time 1  | Canna 1: Fronte di scavo                             | 0                       | 28%                | 28%    |
| Time 2  | Canna 1 : Avanzamento primo sfondo                   | 1                       | 45%                | 45%    |
| Time 3  | Canna 1: Installazione prerivestimento e avanzamento | 6                       | 79%                | 78%    |
| Time 4  | Canna 1: Maturazione prerivestimento e avanzamento   | ≈ 1 diametro            | 85%                | 92%    |
| Time 5  | Canna 1: Getto arco rovescio e murette e avanzamento | ≈ 6 diametri            | 100%               | 100%   |
| Time 6  | Canna 1: Getto calotte                               | > 6 diametri            | 100%               | 100%   |
| Time 7  | Canna 2: Fronte di scavo                             | 0                       | 28%                | 28%    |
| Time 8  | Canna 2 : Avanzamento primo sfondo                   | 1                       | 45%                | 45%    |
| Time 9  | Canna 2: Installazione prerivestimento e avanzamento | 2                       | 79%                | 78%    |
| Time 10 | Canna 2: Maturazione prerivestimento e avanzamento   | 6                       | 85%                | 92%    |
| Time 11 | Canna 2: Getto arco rovescio e murette e avanzamento | ≈ 1 diametro            | 100%               | 100%   |
| Time 12 | Canna 2: Getto calotte                               | > 6 diametri            | 100%               | 100%   |
| Time 13 | Canna 1 e 2: Analisi di lungo termine                | +∞                      | 100%               | 100%   |



# SEZIONE C1+1.05 – GHIAIE DI MESSINA – COPERTURA 30m

## 1. Mesh data

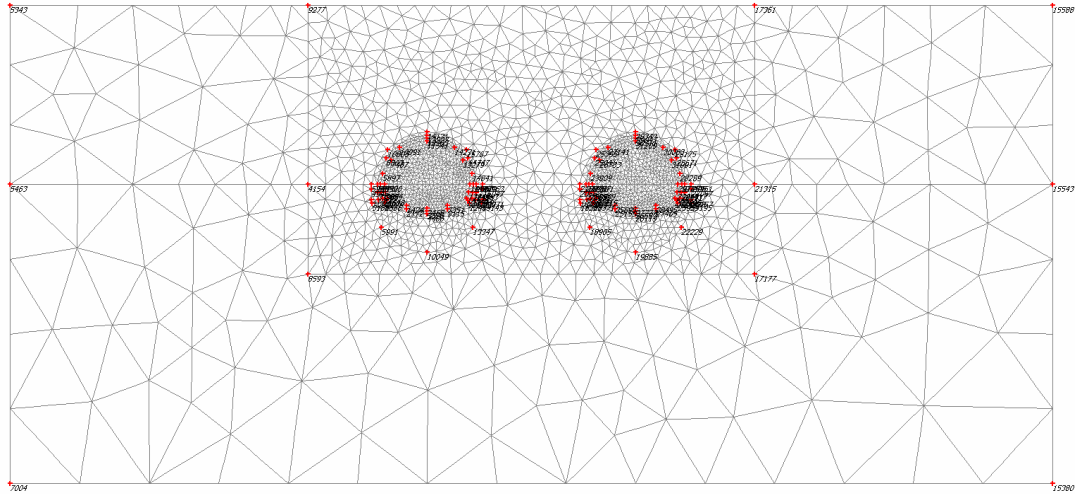


Fig. 1 Plot of the mesh with significant nodes

## 2. Material data

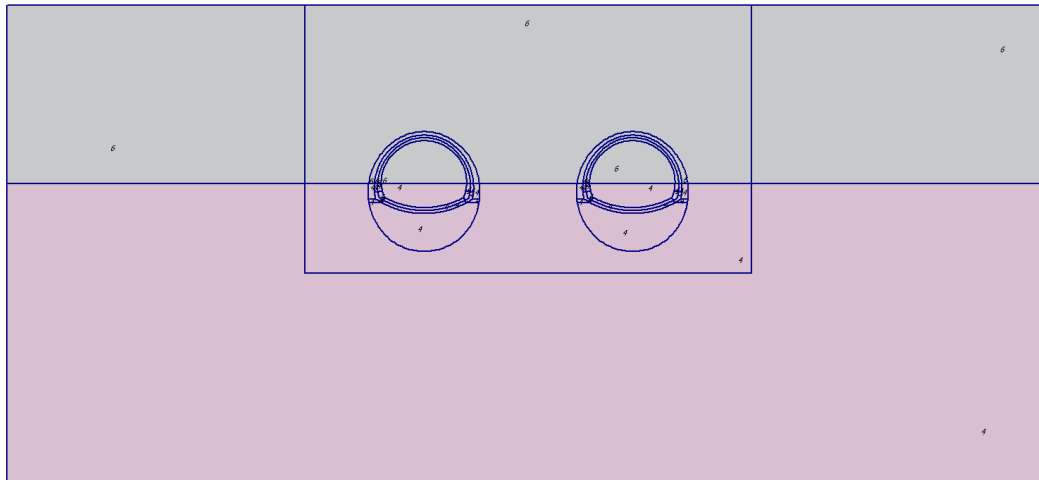


Fig. 2 Plot of geometry with material data sets

Table [1] Soil data sets parameters

| <i>Hardening Soil</i>         |                      | 3                | 4             | 5             | 6             |
|-------------------------------|----------------------|------------------|---------------|---------------|---------------|
|                               |                      | Ghiaie di ME_450 | Ghiaie ME_275 | Ghiaie ME_350 | Ghiaie_ME_100 |
| <b>Type</b>                   |                      | Drained          | Drained       | Drained       | Drained       |
| $\gamma_{\text{unsat}}$       | [kN/m <sup>3</sup> ] | 19,00            | 19,00         | 19,00         | 19,00         |
| $\gamma_{\text{sat}}$         | [kN/m <sup>3</sup> ] | 19,00            | 19,00         | 19,00         | 19,00         |
| $k_x$                         | [m/day]              | 0,000            | 0,000         | 0,000         | 1,000         |
| $k_y$                         | [m/day]              | 0,000            | 0,000         | 0,000         | 1,000         |
| $e_{\text{init}}$             | [-]                  | 0,50             | 0,50          | 0,50          | 0,50          |
| $e_{\text{min}}$              | [-]                  | 0,00             | 0,00          | 0,00          | 0,00          |
| $e_{\text{max}}$              | [-]                  | 999,00           | 999,00        | 999,00        | 999,00        |
| $c_k$                         | [-]                  | 1E15             | 1E15          | 1E15          | 1E15          |
| $E_{50}^{\text{ref}}$         | [kN/m <sup>2</sup> ] | 450000,00        | 275000,00     | 350000,00     | 100000,00     |
| $E_{\text{oed}}^{\text{ref}}$ | [kN/m <sup>2</sup> ] | 450000,00        | 275000,00     | 350000,00     | 100000,00     |
| <b>power (m)</b>              | [-]                  | 0,00             | 0,00          | 0,00          | 0,00          |
| $c_{\text{ref}}$              | [kN/m <sup>2</sup> ] | 10,00            | 10,00         | 10,00         | 10,00         |
| $\phi$                        | [°]                  | 38,00            | 38,00         | 38,00         | 38,00         |
| $\psi$                        | [°]                  | 0,00             | 0,00          | 0,00          | 0,00          |
| $E_{\text{ur}}^{\text{ref}}$  | [kN/m <sup>2</sup> ] | 1350000,00       | 825000,00     | 1050000,00    | 300000,00     |
| $v_{\text{ur}}^{(\text{nu})}$ | [-]                  | 0,200            | 0,200         | 0,200         | 0,200         |
| $p^{\text{ref}}$              | [kN/m <sup>2</sup> ] | 100,00           | 100,00        | 100,00        | 100,00        |
| $c_{\text{increment}}$        | [kN/m <sup>2</sup> ] | 0,00             | 0,00          | 0,00          | 0,00          |
| $y_{\text{ref}}$              | [m]                  | 0,00             | 0,00          | 0,00          | 28,00         |
| $R_f$                         | [-]                  | 0,90             | 0,90          | 0,90          | 0,90          |
| $T_{\text{str.}}$             | [kN/m <sup>2</sup> ] | 0,00             | 0,00          | 0,00          | 0,00          |
| $R_{\text{inter}}$            | [-]                  | 1,00             | 1,00          | 1,00          | 1,00          |
| $\delta_{\text{inter}}$       | [m]                  | 0,00             | 0,00          | 0,00          | 0,00          |
| <b>Interface permeability</b> |                      | Neutral          | Neutral       | Neutral       | Neutral       |

### 3. Results for phase 14

#### 3.1. Deformations

##### 3.1.1. Plot of horizontal displacements

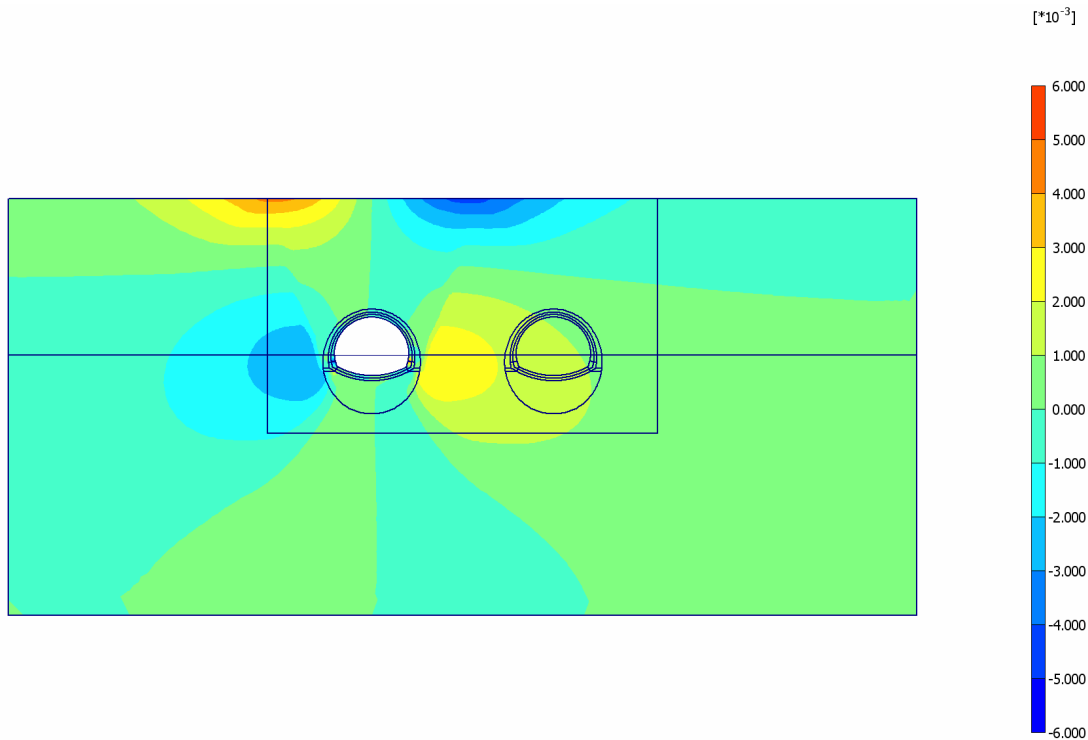


Fig. 3 Plot of horizontal displacements (shadings)  
- Step no: 84 - ( Phase: 14 )

##### 3.1.2. Plot of vertical displacements

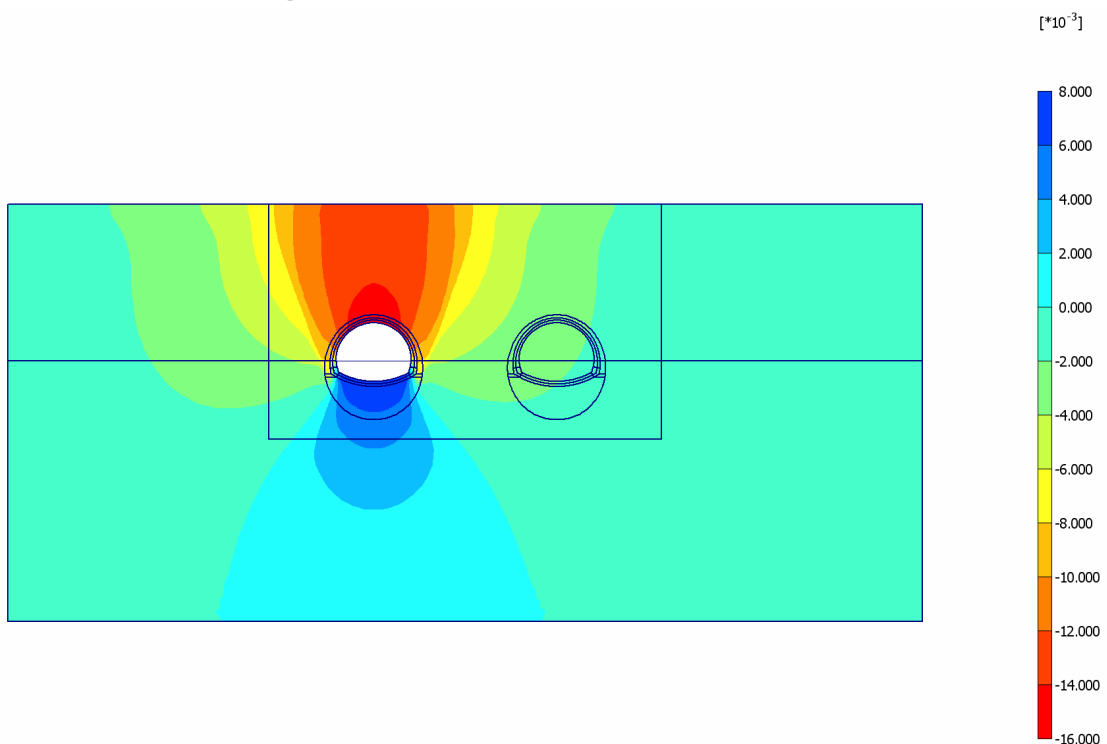


Fig. 4 Plot of vertical displacements (shadings)  
- Step no: 84 - ( Phase: 14 )



### 3.2. Stresses

#### 3.2.3. Plot of total stresses

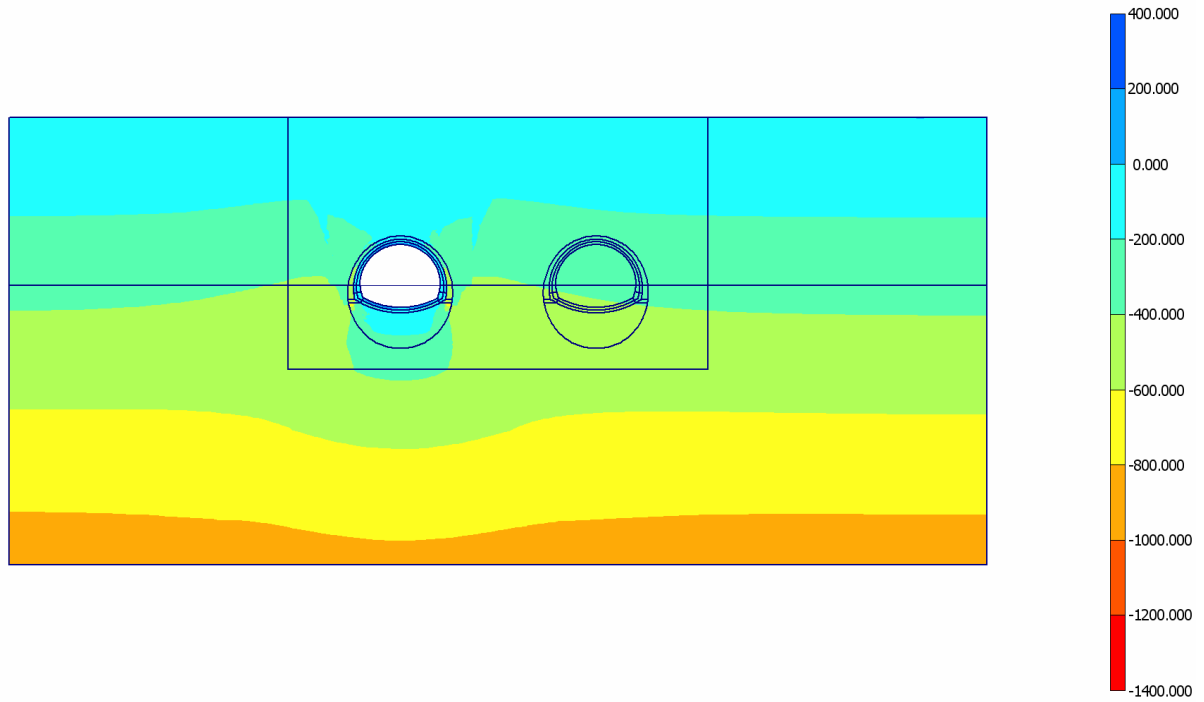
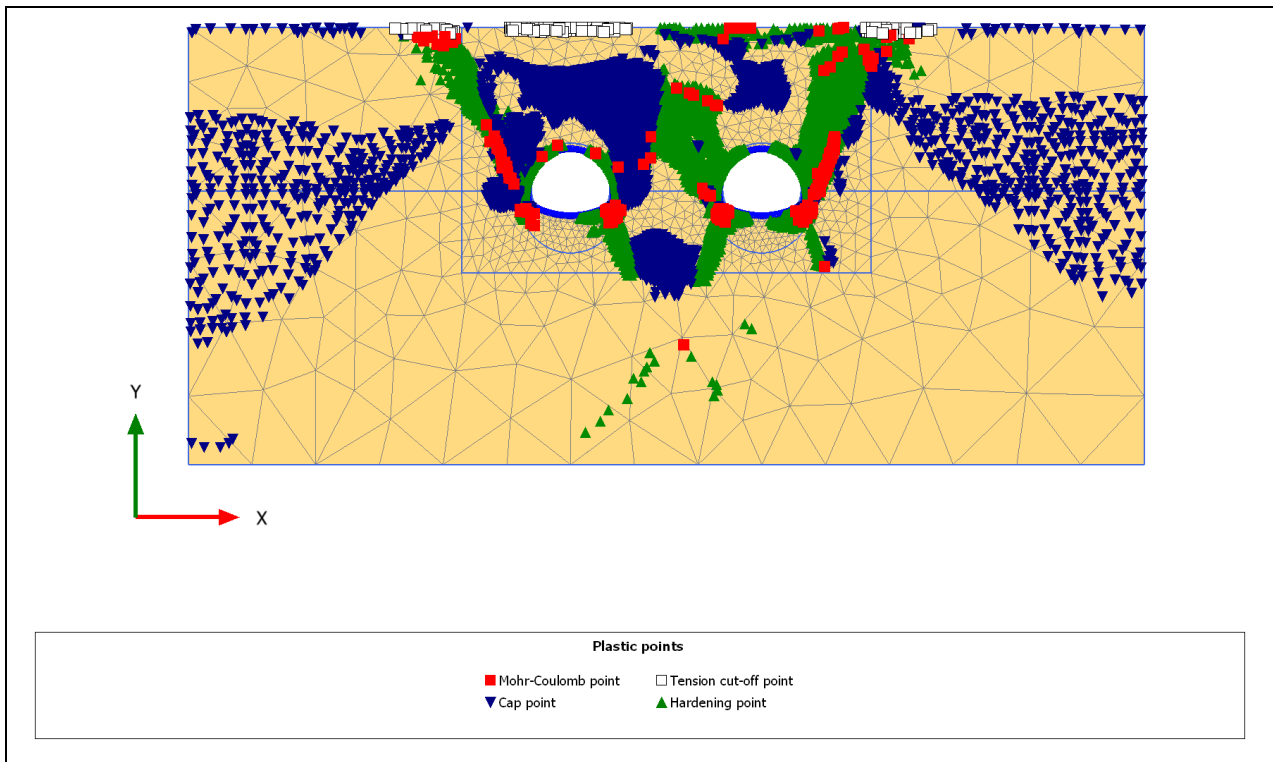


Fig. 5 Plot of total stresses (mean shadings)  
- Step no: 84 - ( Phase: 14 )

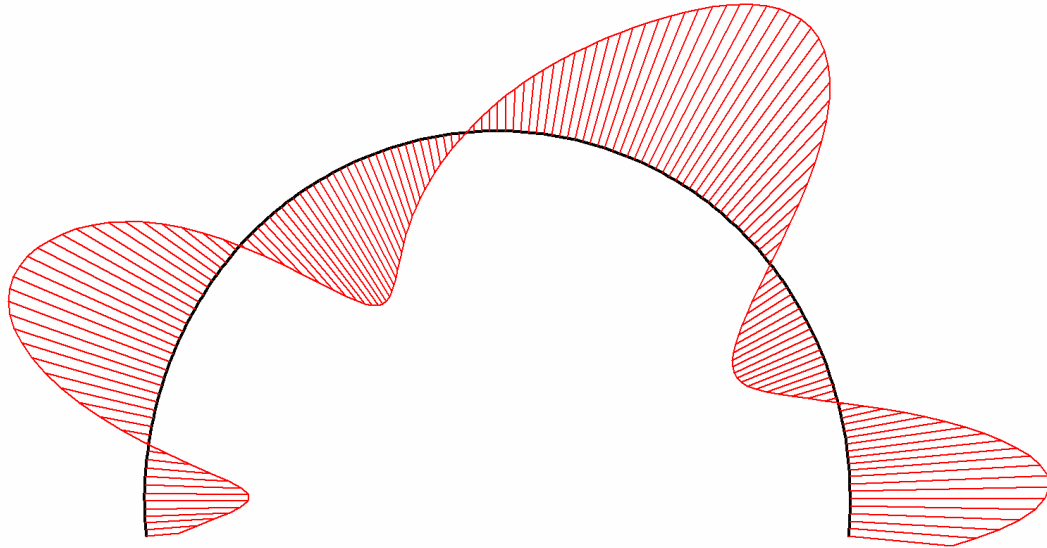
#### 3.2.4. Plot of plastic points



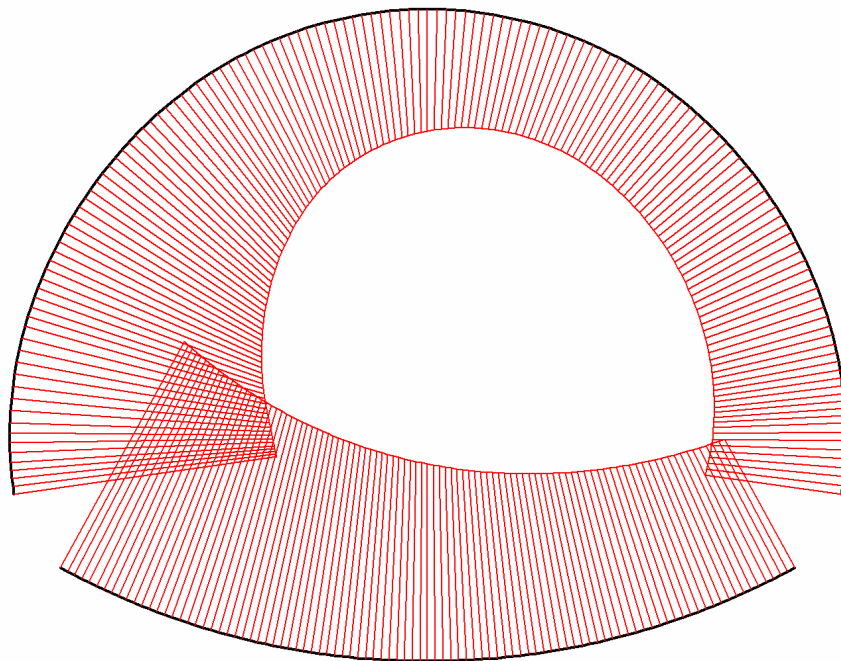
### 3.3. Structures

#### 3.3.4. Beams

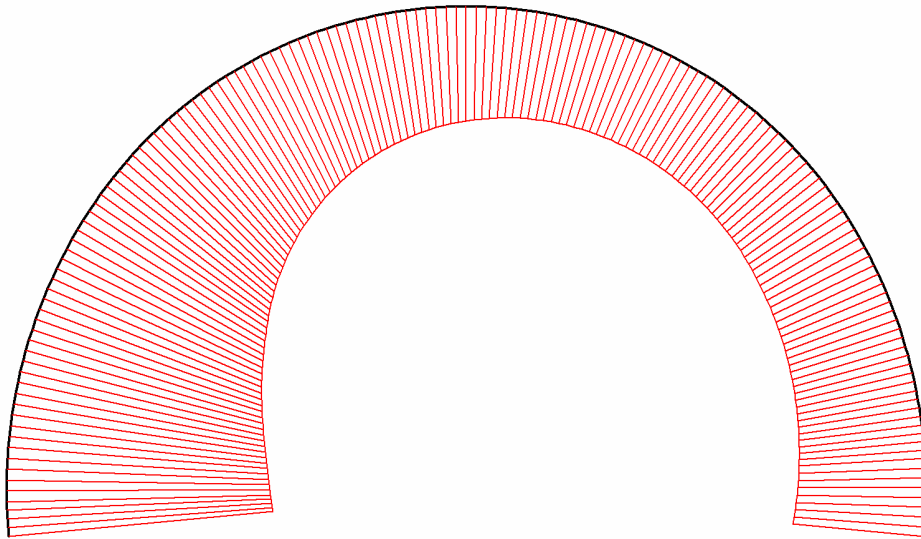
##### 3.3.4.1. Beams



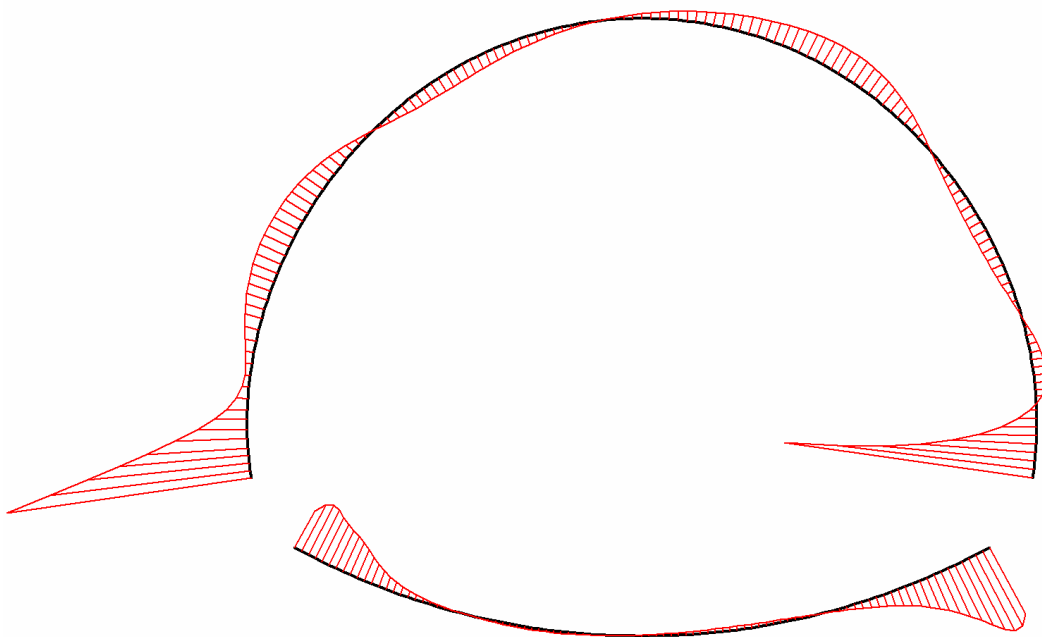
**Fig. 6 Horizontal displacements in beam**  
Extreme value  $-497,53 \cdot 10^{-6}$  m (Phase: 14)



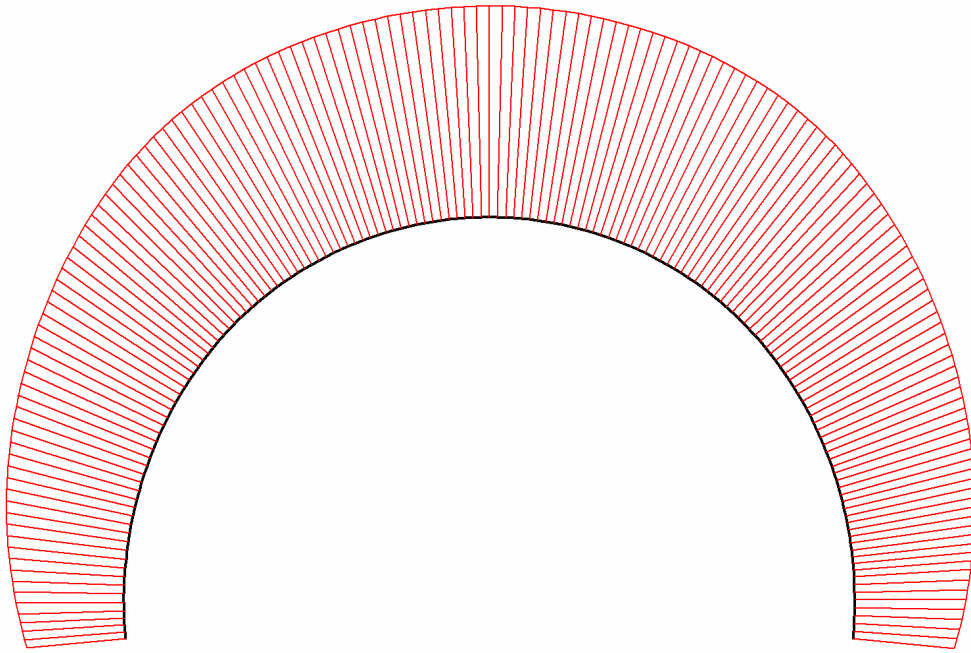
**Fig. 7 Horizontal displacements in beam**  
Extreme value  $1,78 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 14)



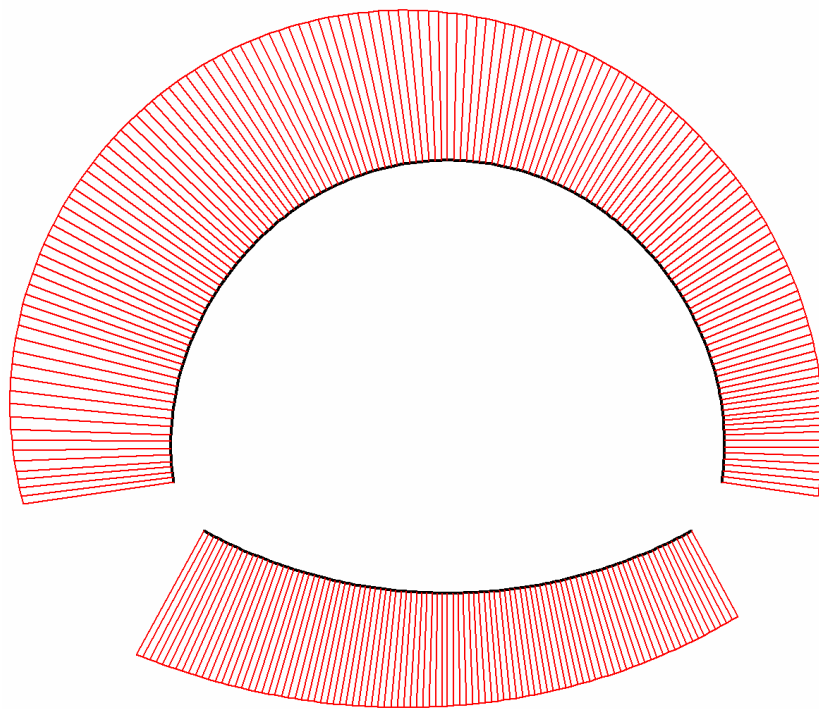
**Fig. 8 Horizontal displacements in beam**  
Extreme value  $1,82 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 14)



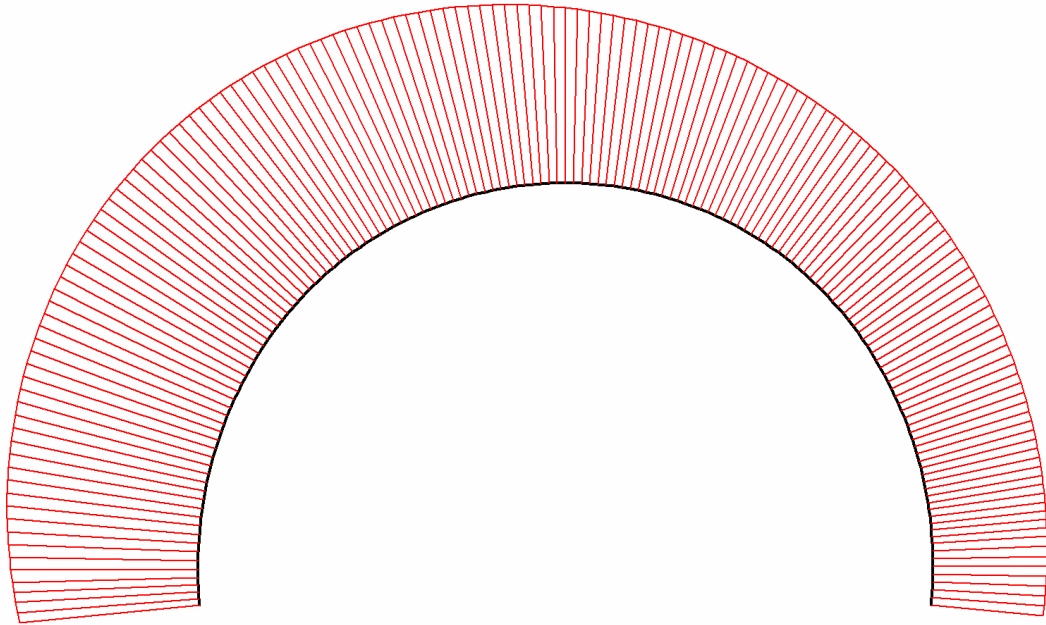
**Fig. 9 Horizontal displacements in beam**  
Extreme value  $3,84 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 14)



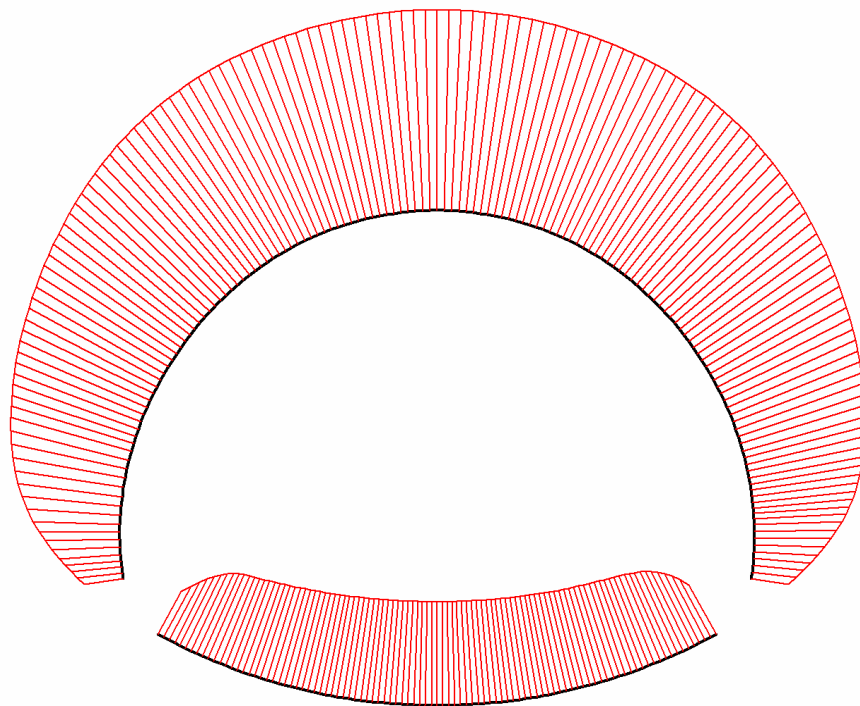
**Fig. 10 Vertical displacements in beam**  
Extreme value  $-15,33 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 14)



**Fig. 11 Vertical displacements in beam**  
Extreme value  $-3,11 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 14)

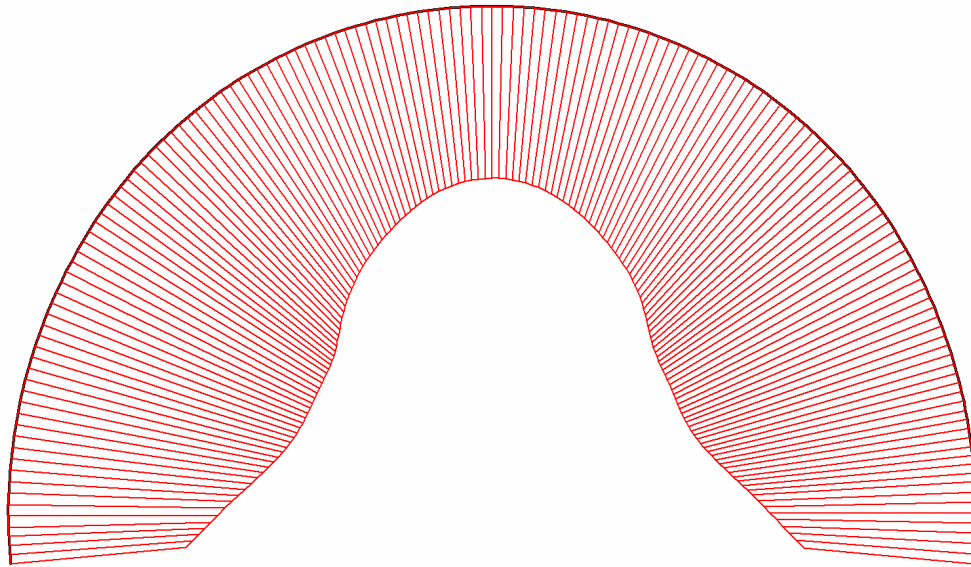


**Fig. 12 Vertical displacements in beam**  
Extreme value  $-3,19 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 14)

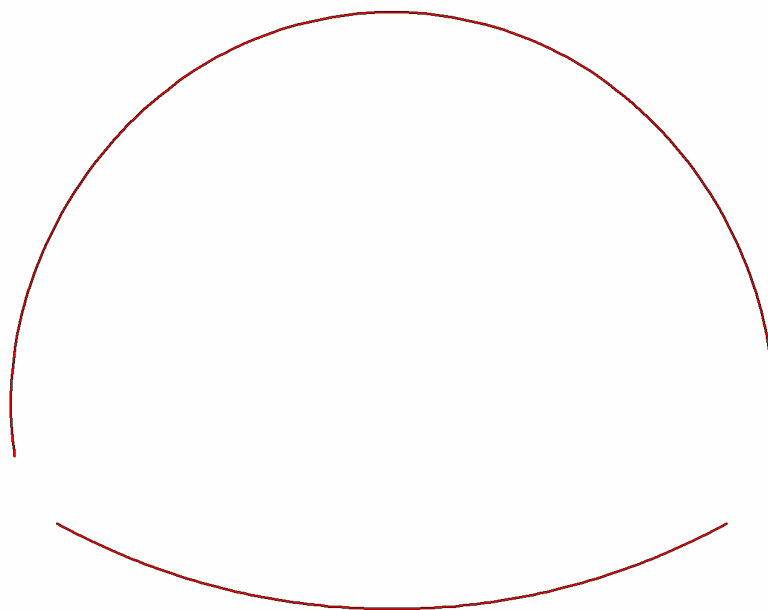


**Fig. 13 Vertical displacements in beam**  
Extreme value  $-15,33 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 14)

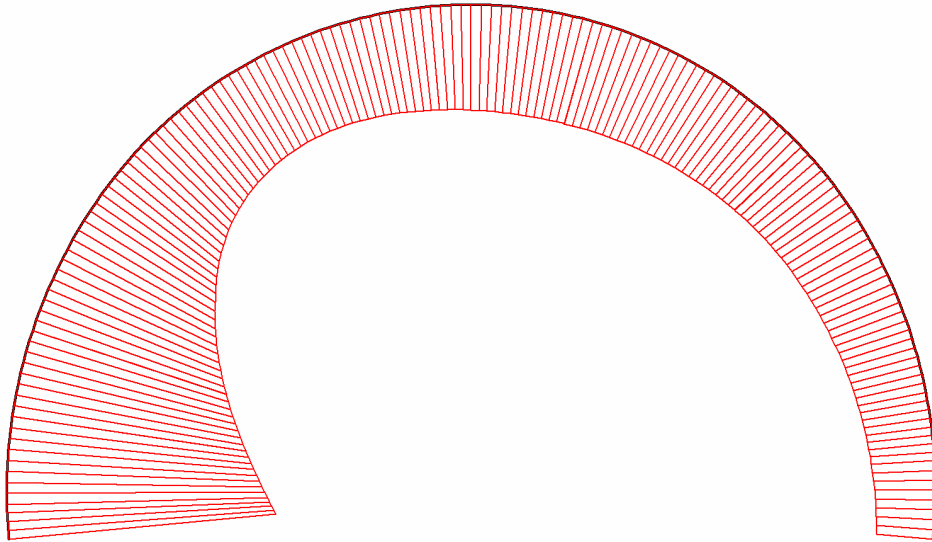
### 3.3.4.2. Beams



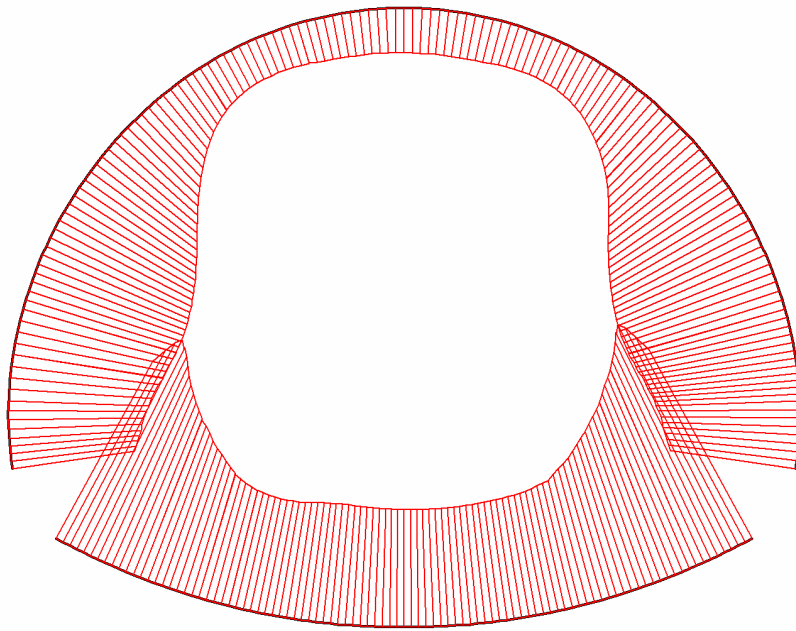
**Fig. 14 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value  $-1,17 \cdot 10^3$  kN/m (Phase: 14)



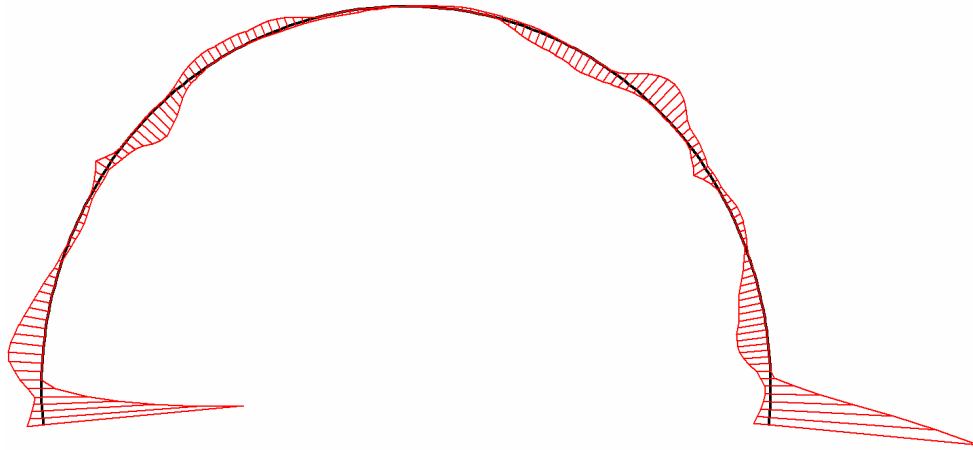
**Fig. 15 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value 0,00 kN/m (Phase: 14)



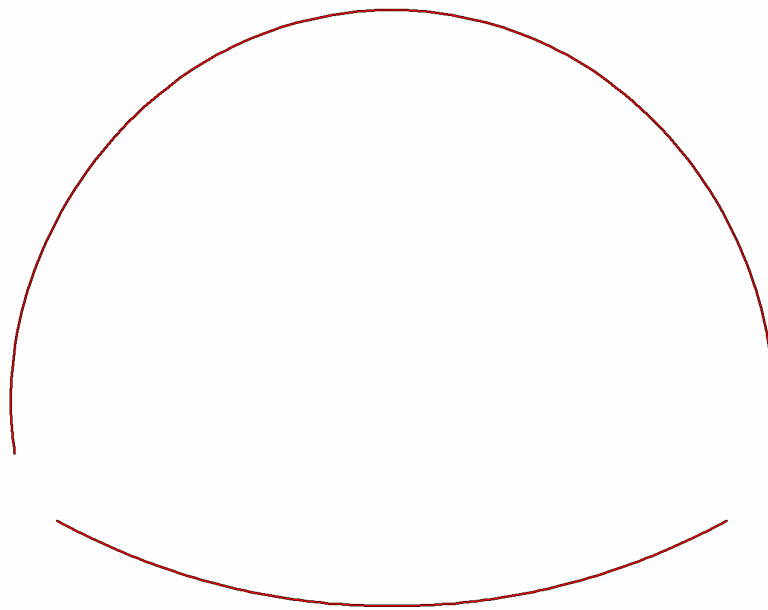
**Fig. 16 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value  $-114,06 \cdot 10^{-15}$  kN/m (Phase: 14)



**Fig. 17 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value  $-23,86 \cdot 10^{-9}$  kN/m (Phase: 14)

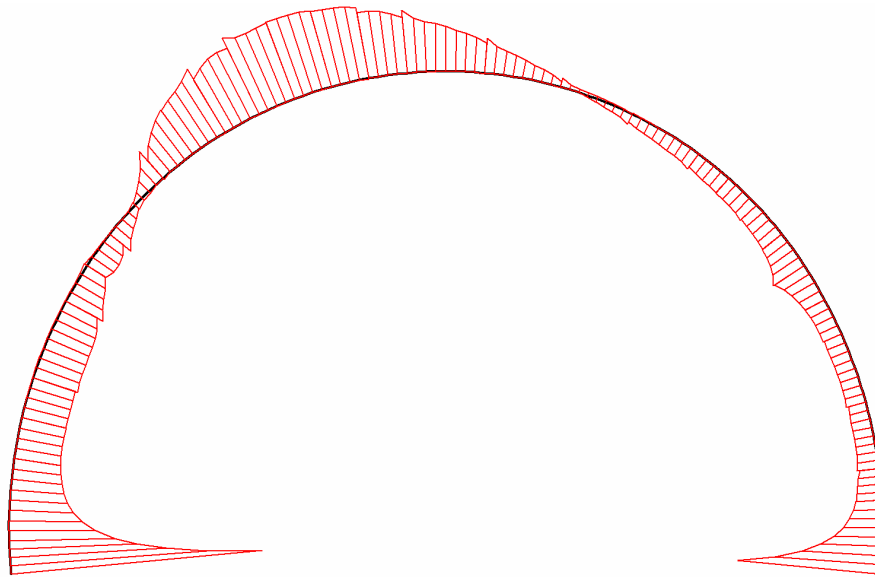


**Fig. 18 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value 57,08 kN/m (Phase: 14)

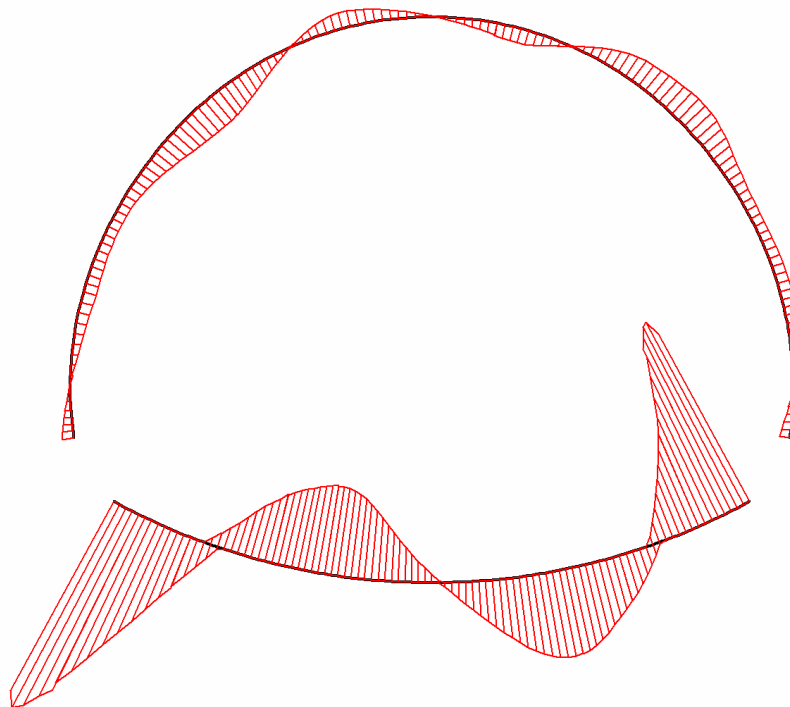


**Fig. 19 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value 0,00 kN/m (Phase: 14)

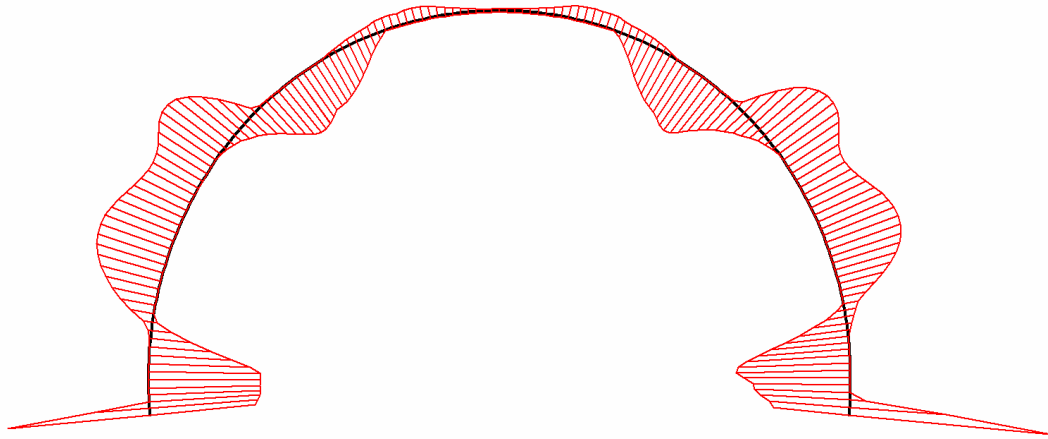




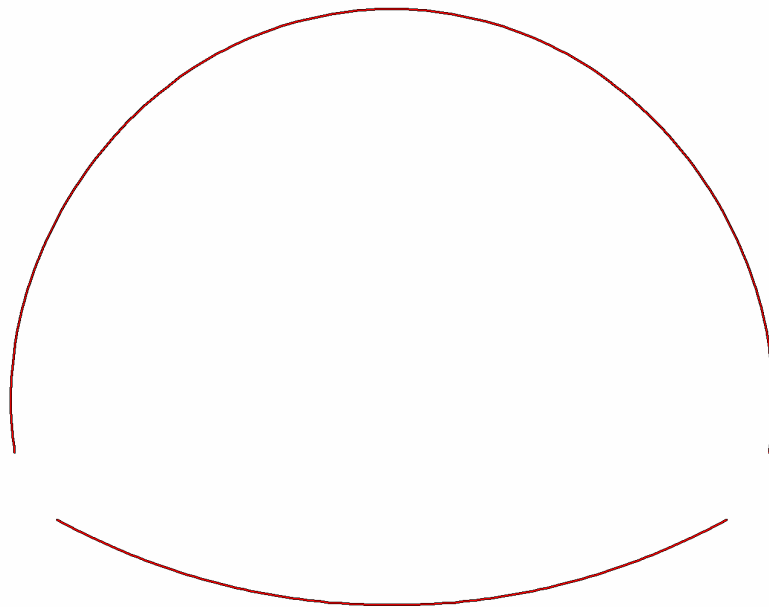
**Fig. 20 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value  $-1,02 \times 10^{-15}$  kN/m (Phase: 14)



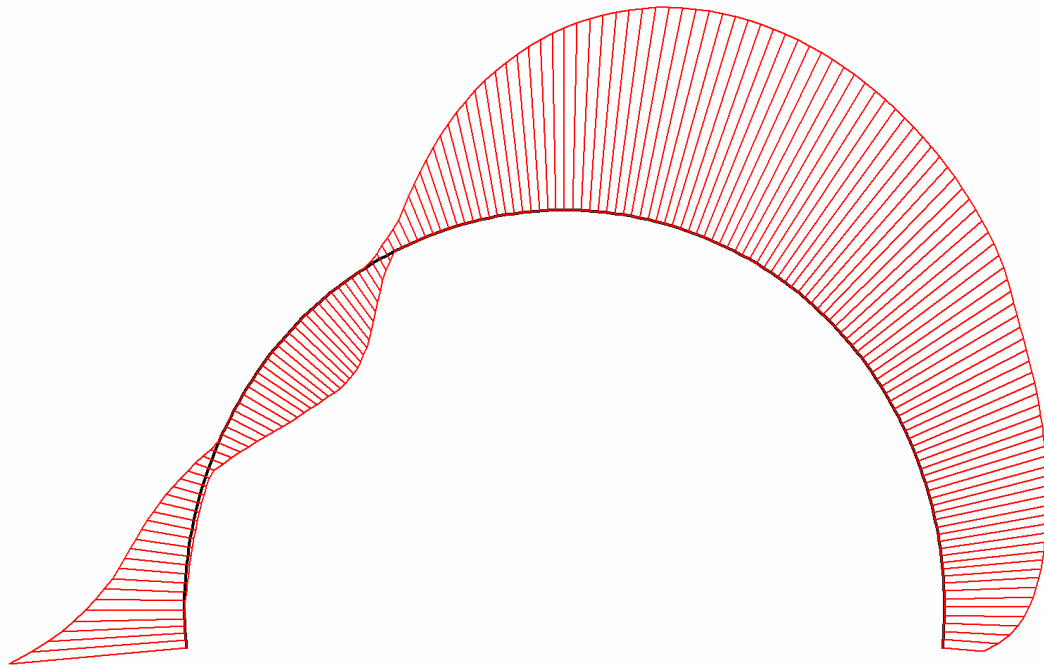
**Fig. 21 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value  $8,12 \times 10^{-9}$  kN/m (Phase: 14)



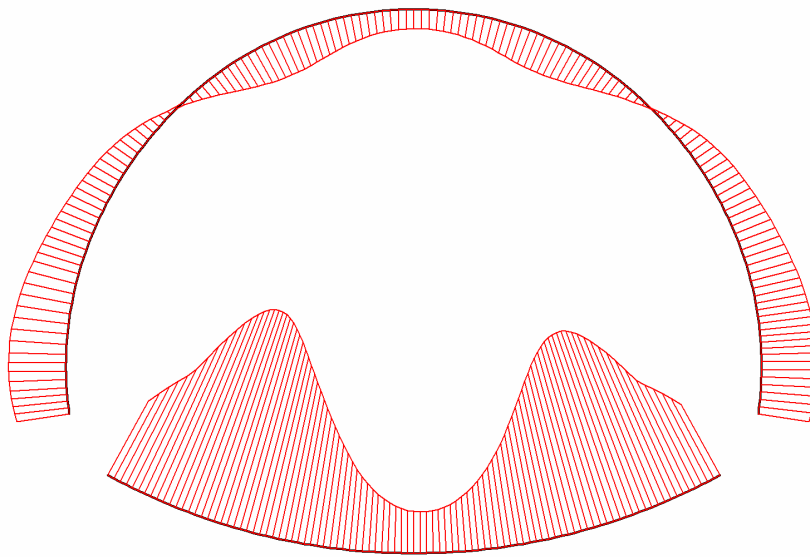
**Fig. 22 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value 17,38 kN/m/m (Phase: 14)



**Fig. 23 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value 0,00 kN/m/m (Phase: 14)



**Fig. 24 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value  $1,36 \cdot 10^{-15}$  kN/m/m (Phase: 14)

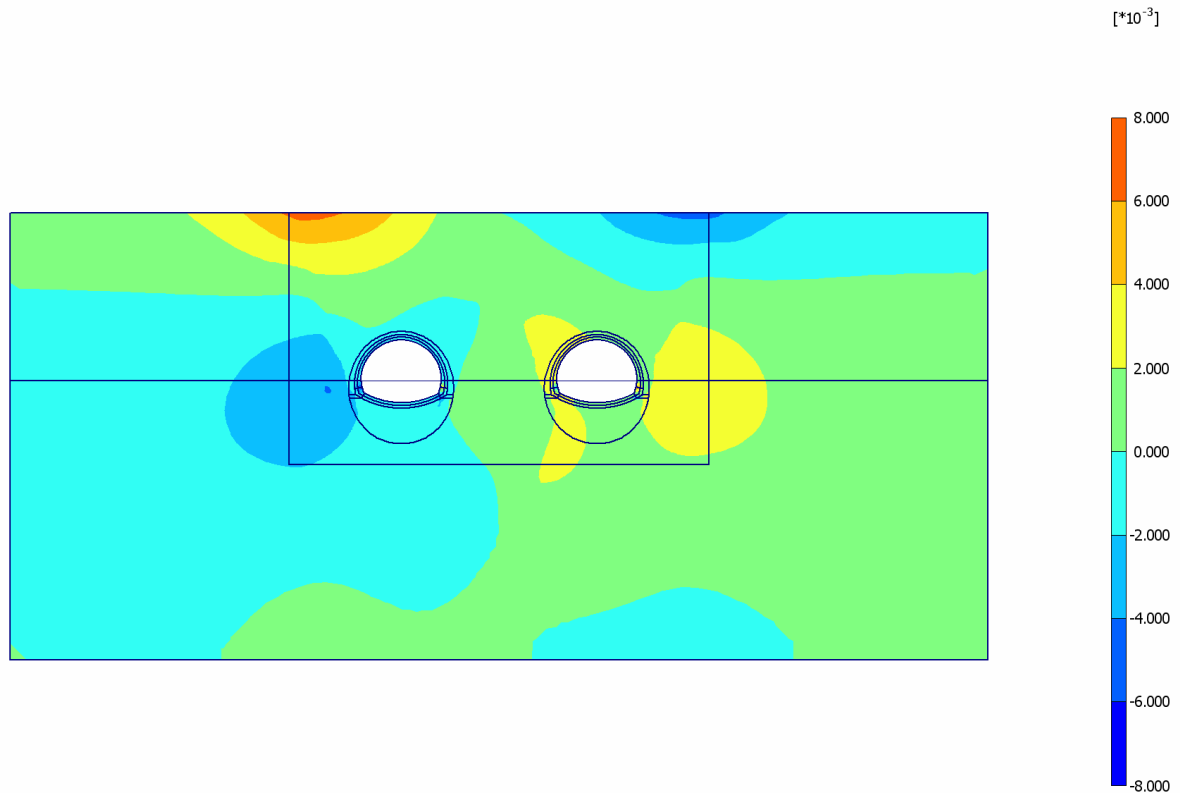


**Fig. 25 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value  $12,07 \cdot 10^{-9}$  kN/m/m (Phase: 14)

## 4. Results for phase 13

### 4.4. Deformations

#### 4.4.5. Plot of horizontal displacements



**Fig. 26 Plot of horizontal displacements (shadings)**  
- Step no: 145 - ( Phase: 13 )

### 4.4.6. Plot of vertical displacements

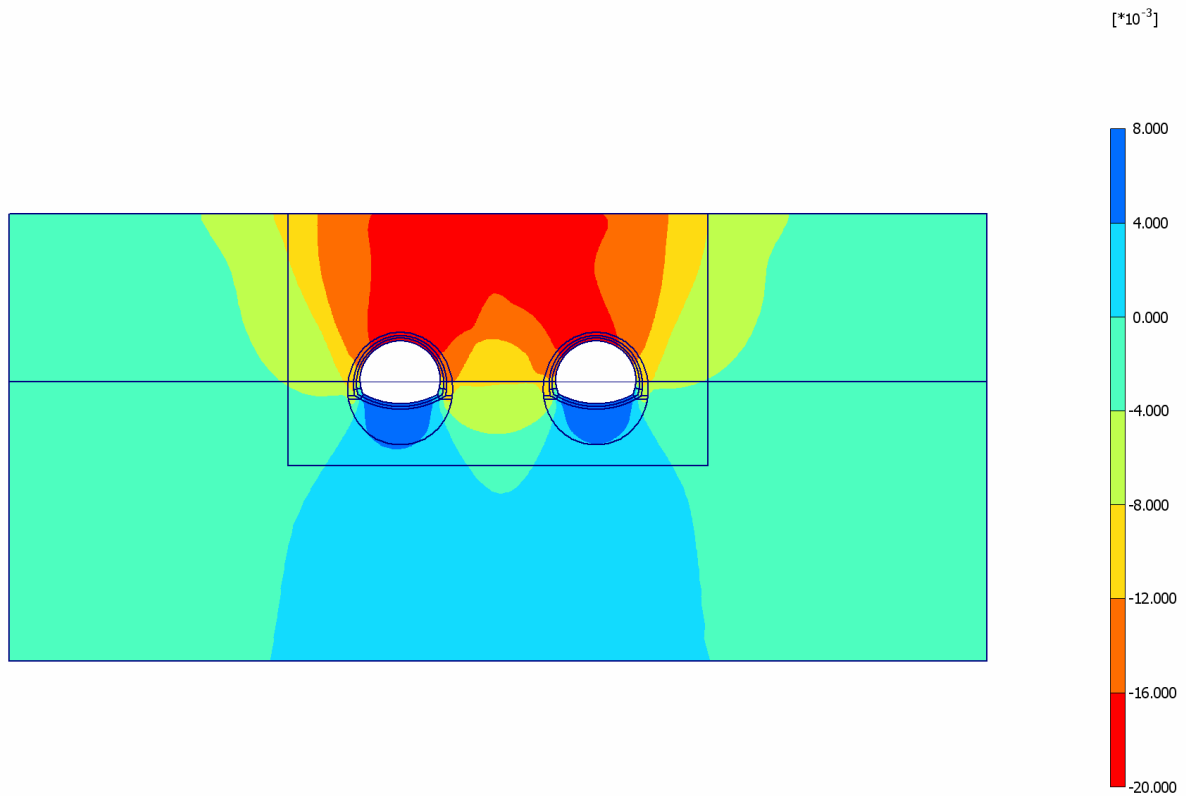


Fig. 27 Plot of vertical displacements (shadings)  
- Step no: 145 - ( Phase: 13 )

## 4.5. Stresses

### 4.5.7. Plot of total stresses

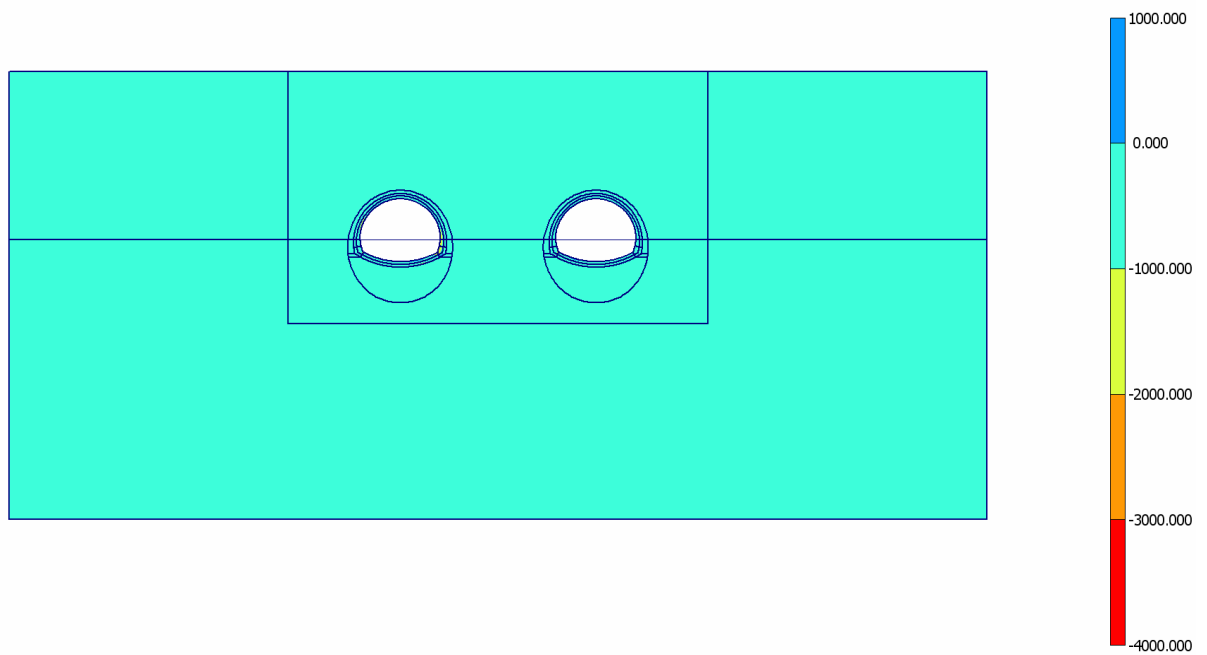
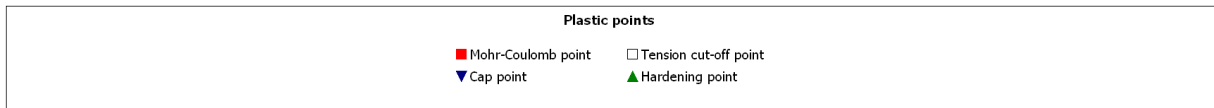
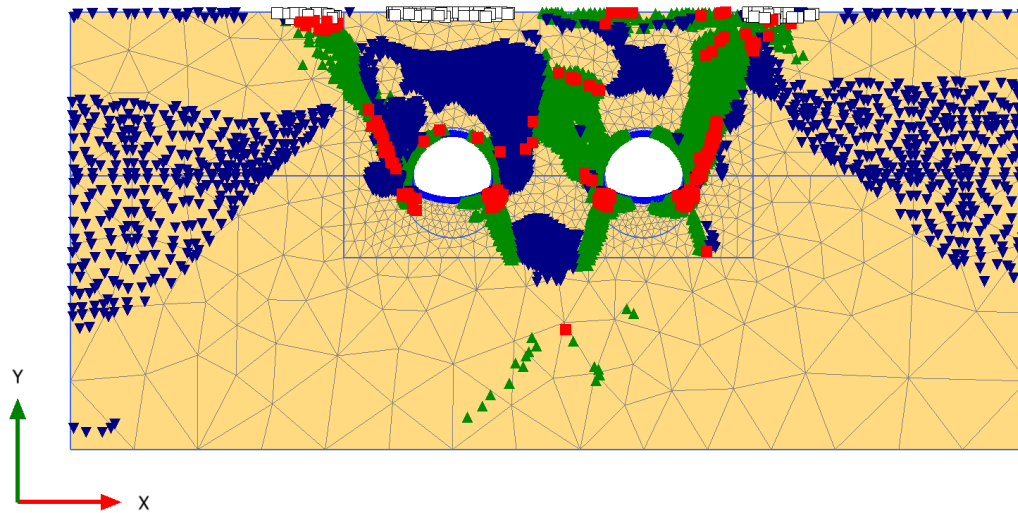


Fig. 28 Plot of total stresses (mean shadings)  
- Step no: 145 - ( Phase: 13 )

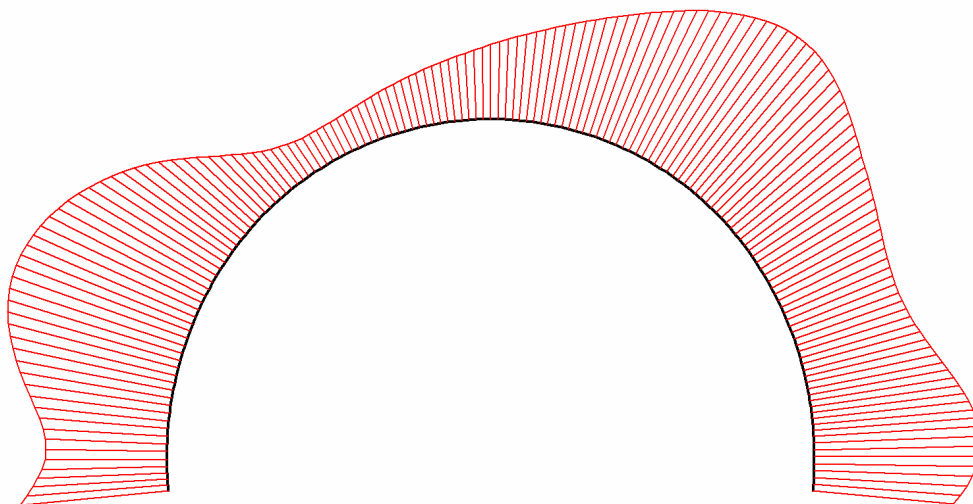
### 4.5.8. Plot of plastic points



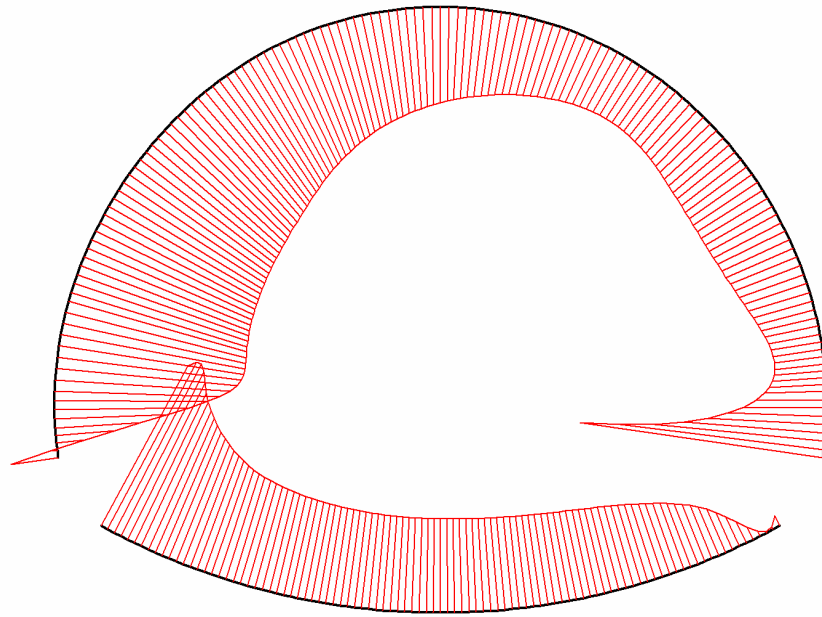
## 4.6. Structures

### 4.6.8. Beams

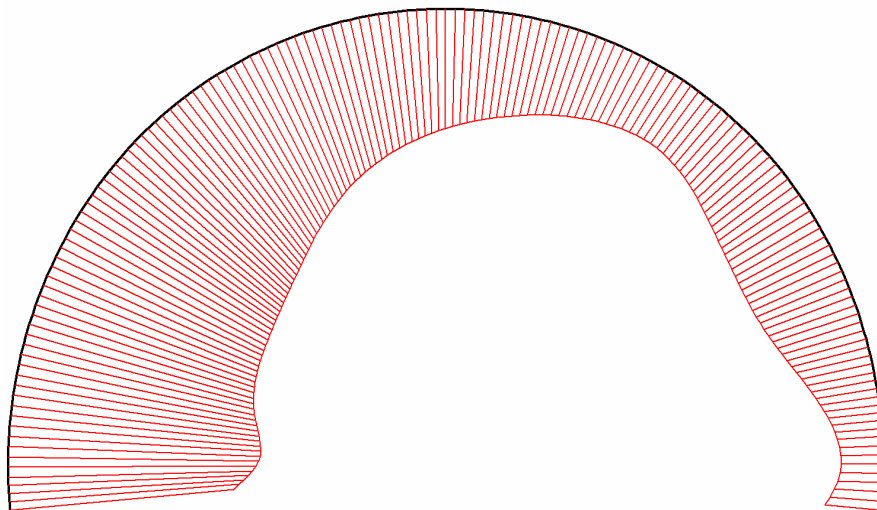
#### 4.6.8.3. Beams



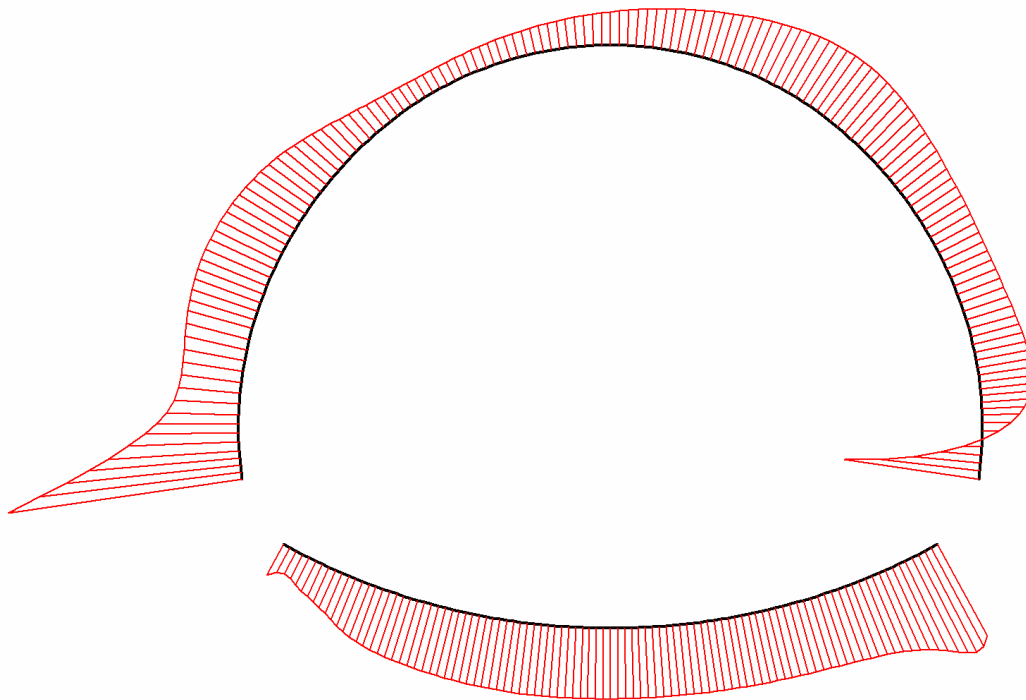
**Fig. 29 Horizontal displacements in beam**  
Extreme value  $-1,55 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 13)



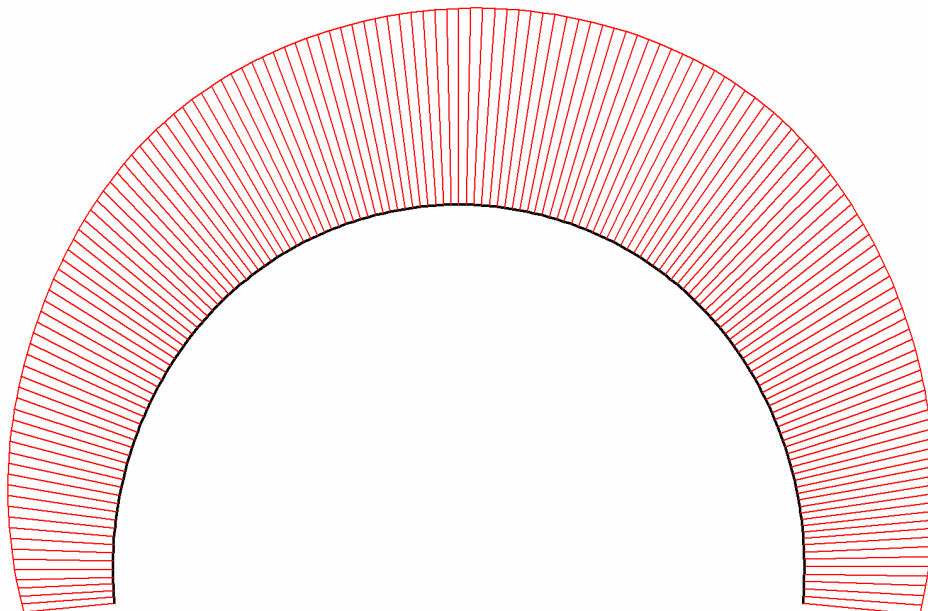
**Fig. 30 Horizontal displacements in beam**  
Extreme value  $4,54 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 13)



**Fig. 31 Horizontal displacements in beam**  
Extreme value  $3,60 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 13)

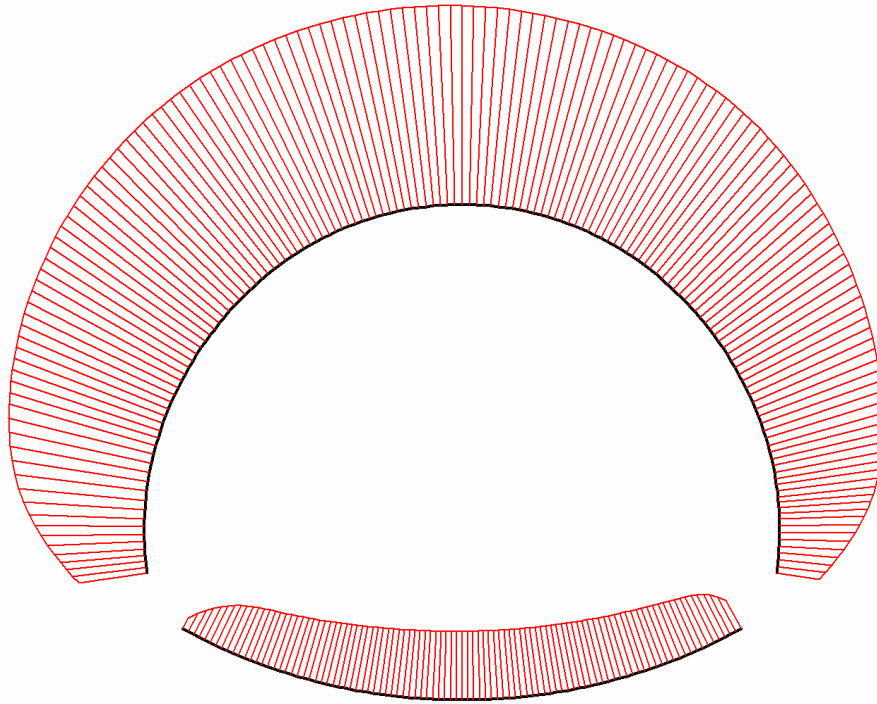


**Fig. 32 Horizontal displacements in beam**  
Extreme value  $-5,09 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 13)

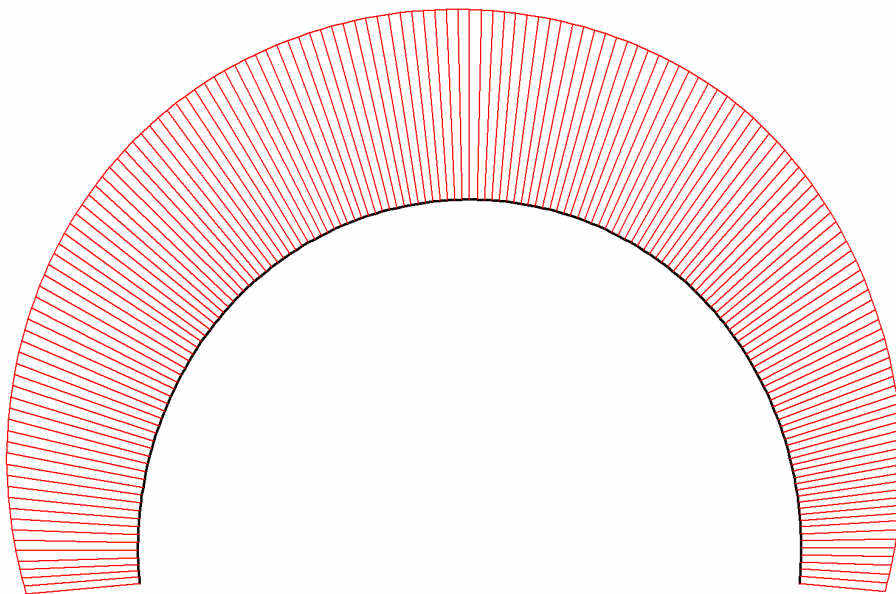


**Fig. 33 Vertical displacements in beam**  
Extreme value  $-19,11 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 13)

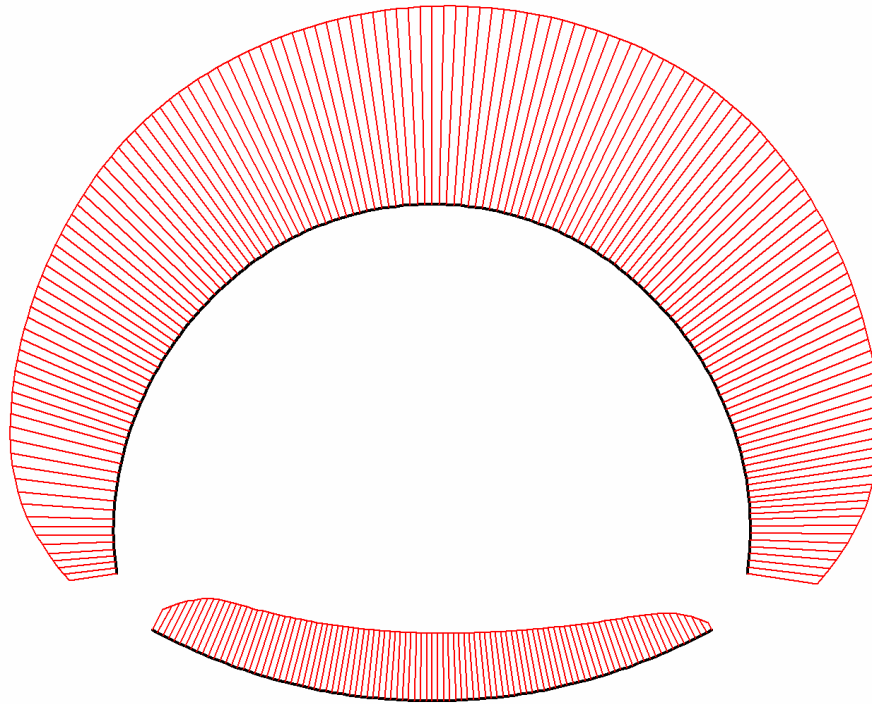




**Fig. 34 Vertical displacements in beam**  
Extreme value  $-17,54 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 13)

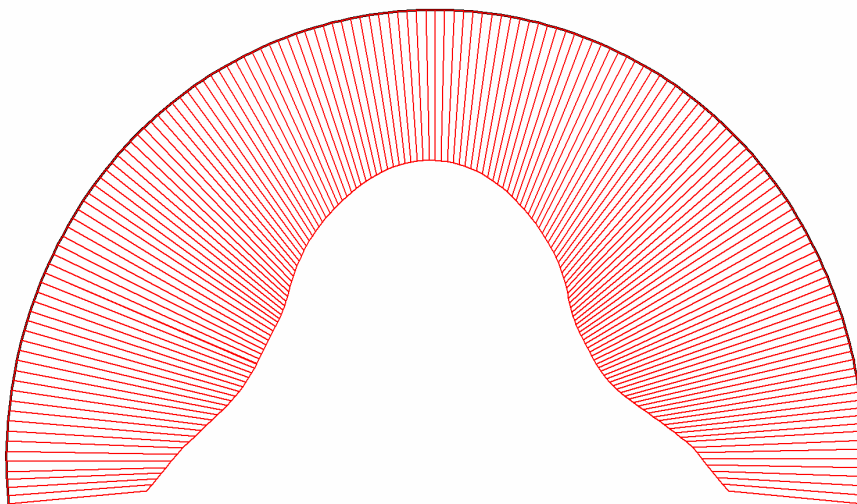


**Fig. 35 Vertical displacements in beam**  
Extreme value  $-17,55 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 13)

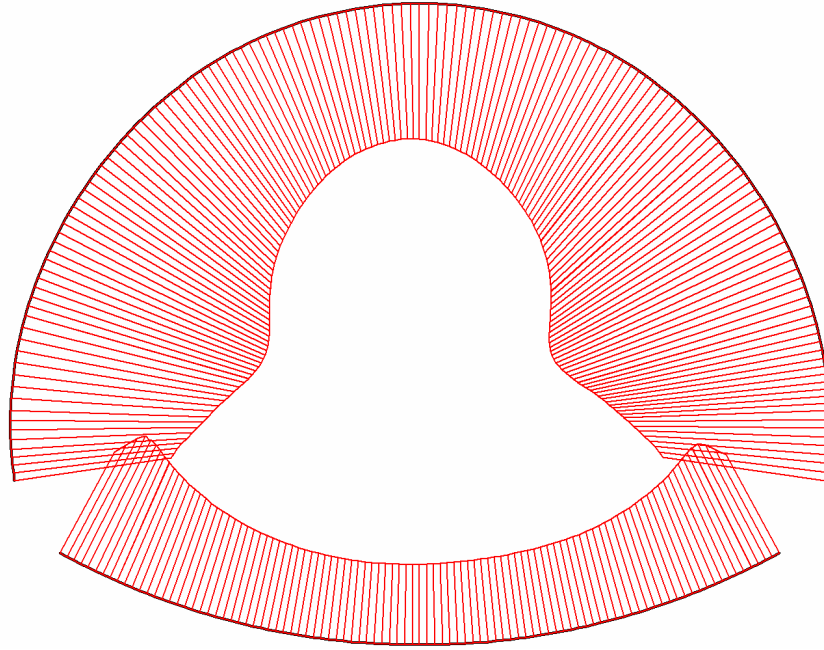


**Fig. 36 Vertical displacements in beam**  
Extreme value  $-19,10 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 13)

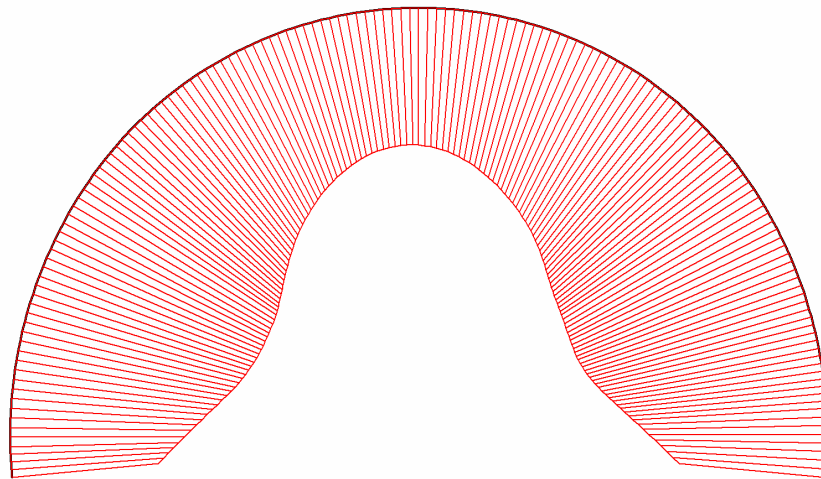
#### 4.6.8.4. Beams



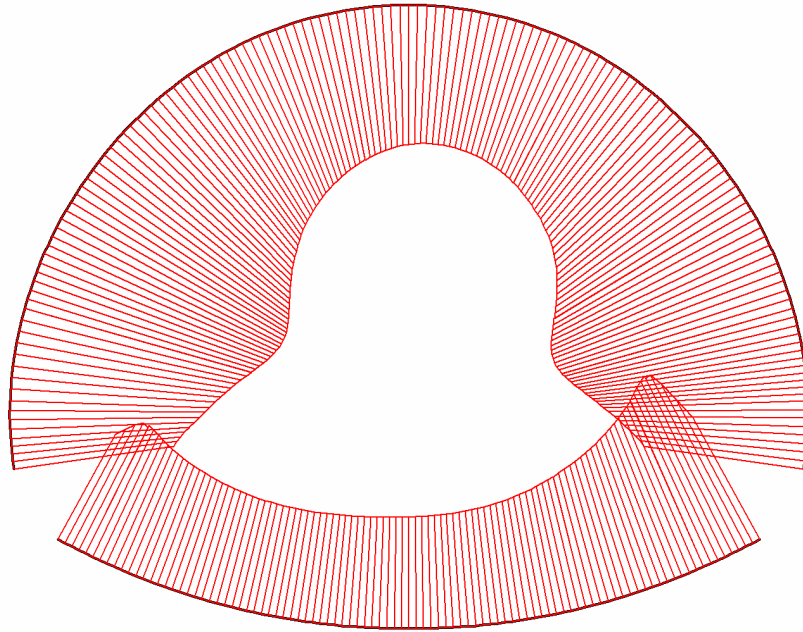
**Fig. 37 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value  $-1,32 \cdot 10^3$  kN/m (Phase: 13)



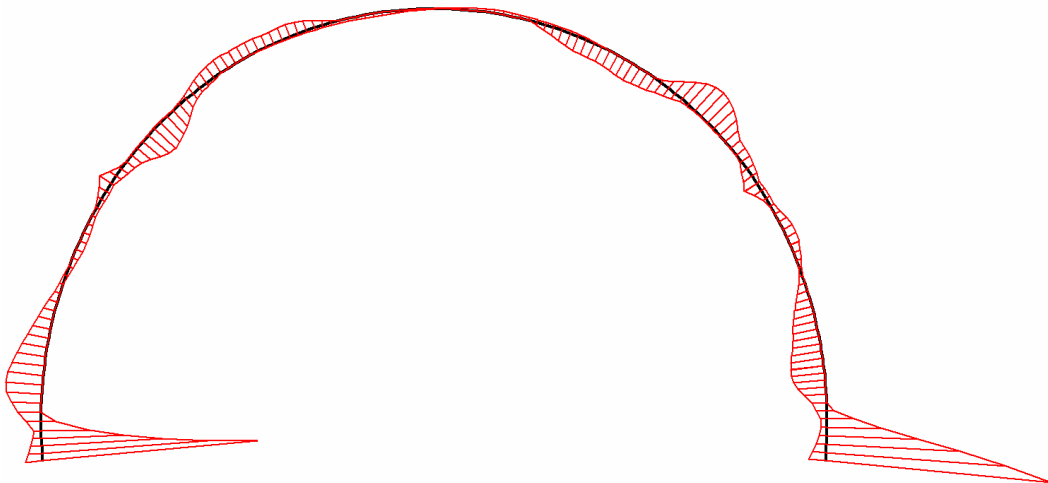
**Fig. 38 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value  $-174,05 \cdot 10^{-9}$  kN/m (Phase: 13)



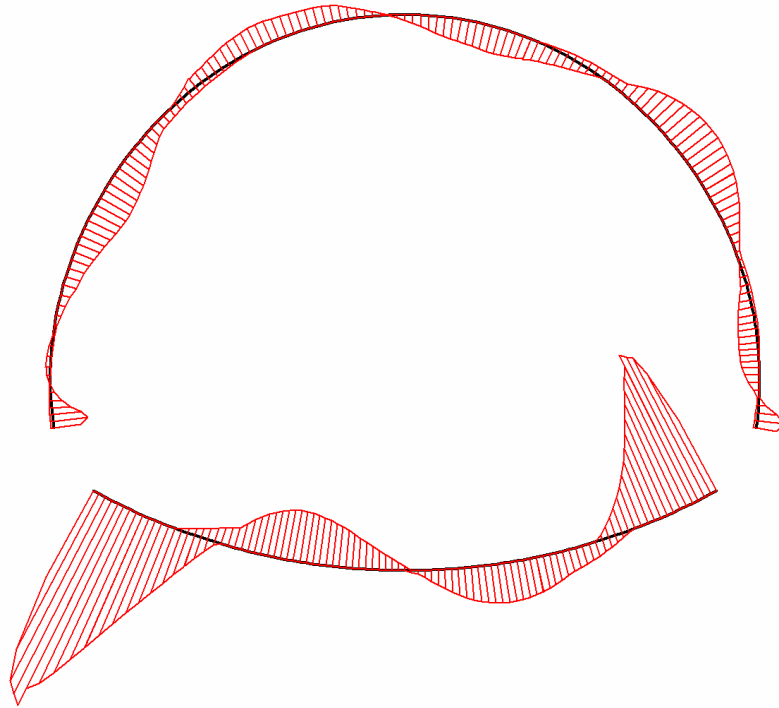
**Fig. 39 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value  $-1,15 \cdot 10^3$  kN/m (Phase: 13)



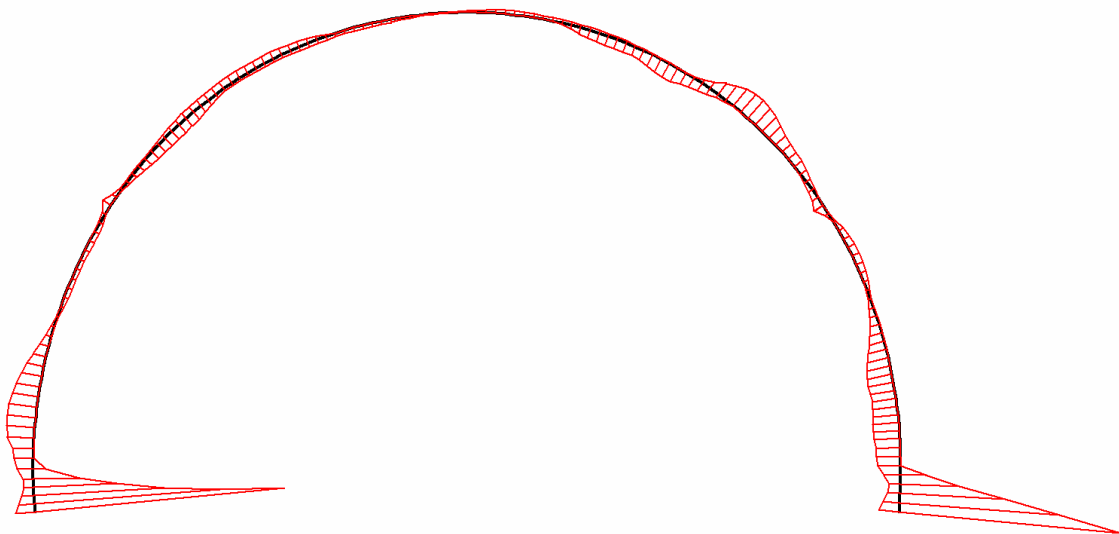
**Fig. 40 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value  $-193,43 \cdot 10^{-9}$  kN/m (Phase: 13)



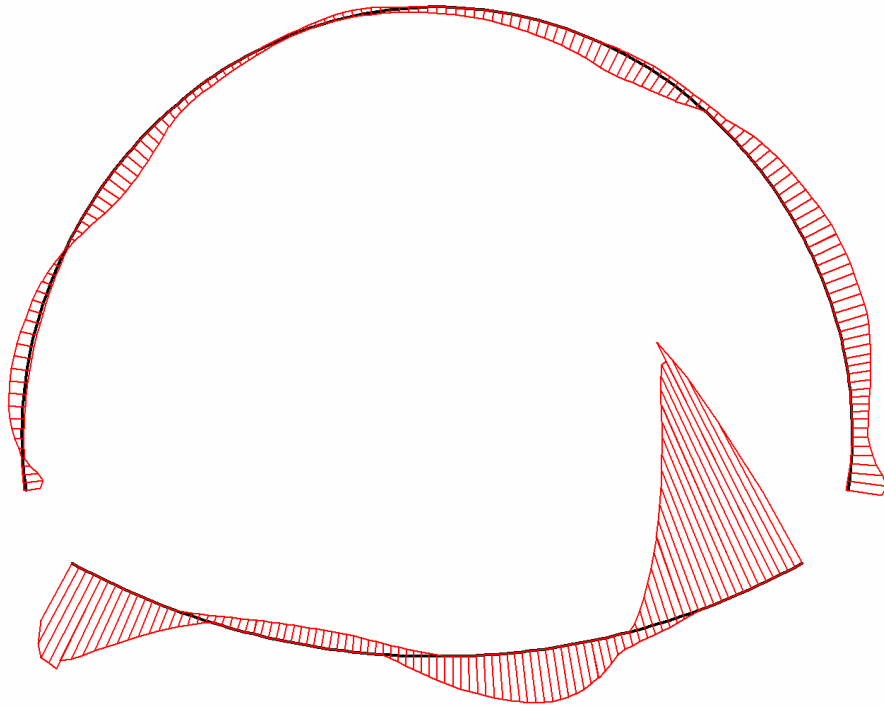
**Fig. 41 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value 57,47 kN/m (Phase: 13)



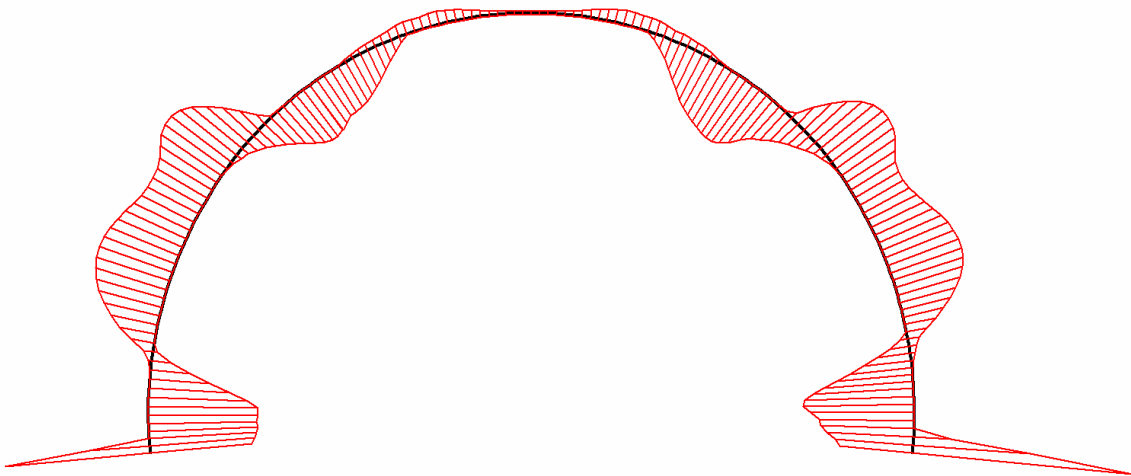
**Fig. 42 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value  $24,62 \cdot 10^{-9}$  kN/m (Phase: 13)



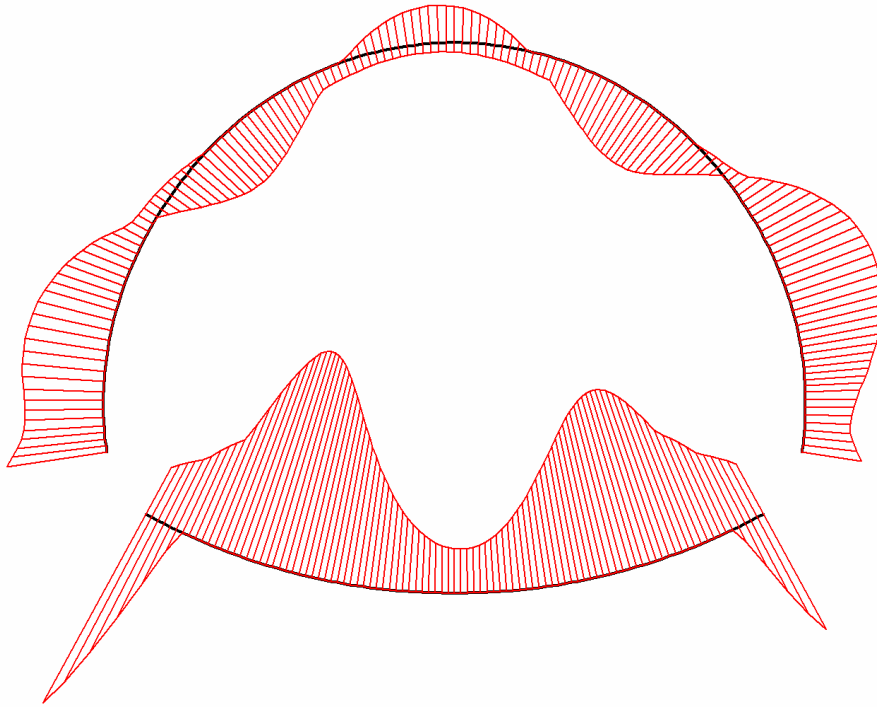
**Fig. 43 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value -61,80 kN/m (Phase: 13)



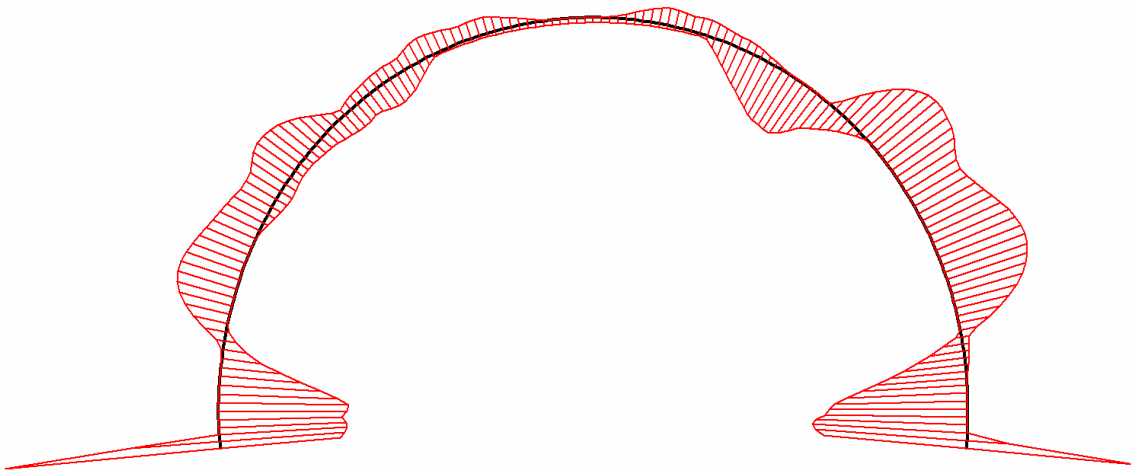
**Fig. 44 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value  $-46,92 \cdot 10^{-9}$  kN/m (Phase: 13)



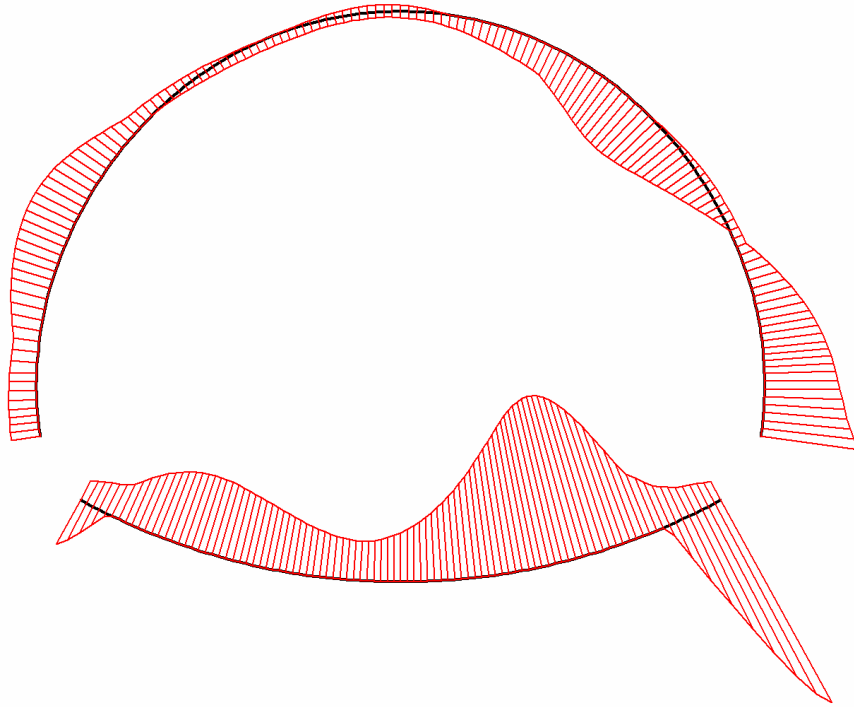
**Fig. 45 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value 19,50 kN/m/m (Phase: 13)



**Fig. 46 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value  $18,81 \cdot 10^{-9}$  kN/m/m (Phase: 13)



**Fig. 47 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value 14,40 kN/m/m (Phase: 13)



**Fig. 48 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value  $49,06 \cdot 10^{-9}$  kN/m/m (Phase: 13)



LAVORO PONTE SULLO STRETTO

Sezione C1+1.05

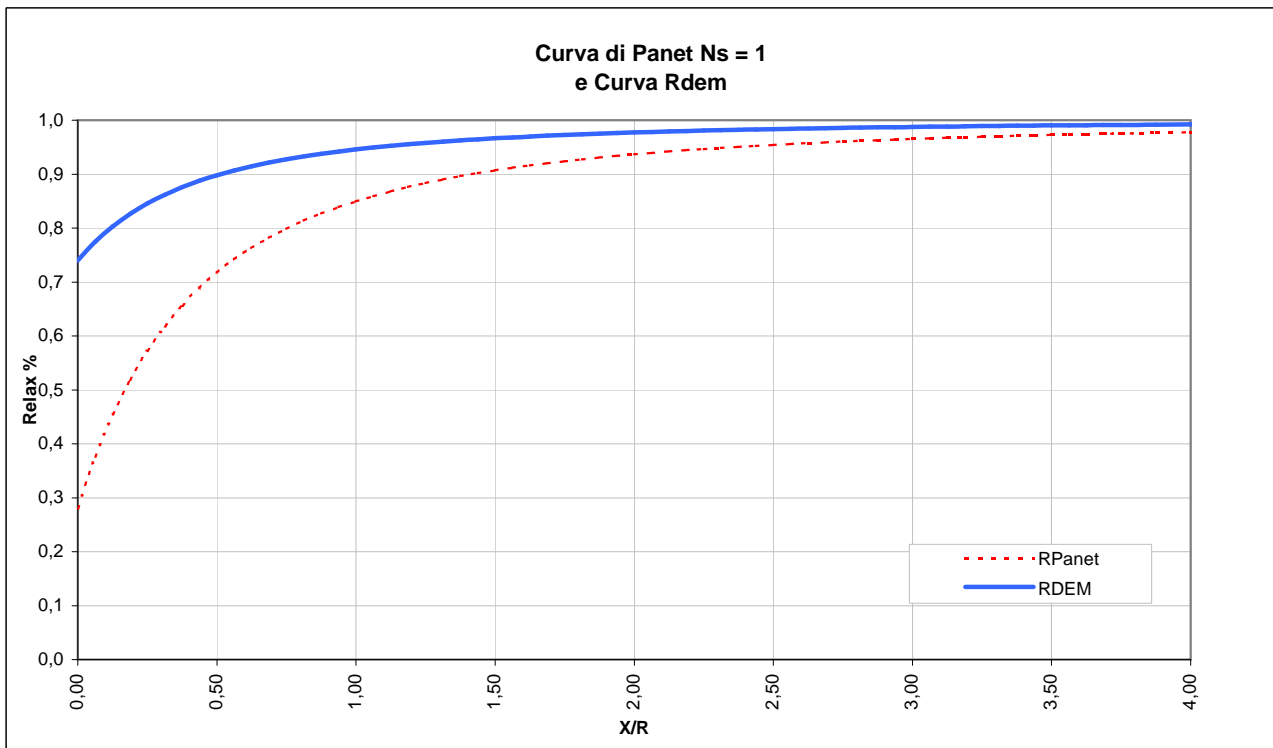
Copertura

80m

Litotipo

Ghiaie e sabbie di Messina

| TIME    | DESCRIZIONE  | X <sub>fronte</sub> [m] | R <sub>panet</sub> | R(FEM) |
|---------|--|-------------------------|--------------------|--------|
| Time 0  | Geostatico   | -∞                      | 0%                 | 0%     |
| Time 1  | Canna 1: Fronte di scavo                             | 0                       | 28%                | 74%    |
| Time 2  | Canna 1 : Avanzamento primo sfondo                   | 1                       | 46%                | 81%    |
| Time 3  | Canna 1: Installazione prerivestimento e avanzamento | 6                       | 81%                | 93%    |
| Time 4  | Canna 1: Maturazione prerivestimento e avanzamento   | ≈ 1.5 diametri          | 98%                | 96%    |
| Time 5  | Canna 1: Getto arco rovescio e murette e avanzamento | ≈ 6 diametri            | 100%               | 100%   |
| Time 6  | Canna 1: Getto calotte                               | >6 diametri             | 100%               | 100%   |
| Time 7  | Canna 2: Fronte di scavo                             | 0                       | 28%                | 74%    |
| Time 8  | Canna 2 : Avanzamento primo sfondo                   | 1                       | 46%                | 81%    |
| Time 9  | Canna 2: Installazione prerivestimento e avanzamento | 6                       | 81%                | 93%    |
| Time 10 | Canna 2: Maturazione prerivestimento e avanzamento   | ≈ 1.5 diametri          | 98%                | 96%    |
| Time 11 | Canna 2: Getto arco rovescio e murette e avanzamento | ≈ 6 diametri            | 100%               | 100%   |
| Time 12 | Canna 2: Getto calotte                               | >6 diametri             | 100%               | 100%   |
| Time 13 | Canna 1 e 2: Analisi di lungo termine                | +∞                      | 100%               | 100%   |



## SEZIONE C1 – GHIAIE DI MESSINA – 80m

### 1. Mesh data

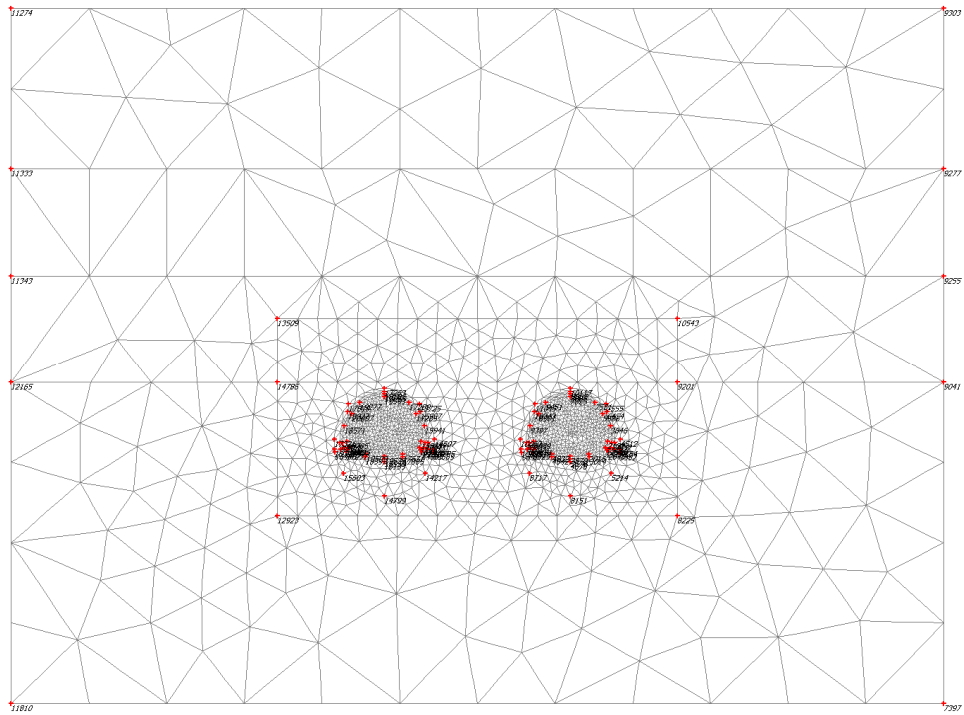


Fig. 1 Plot of the mesh with significant nodes

## 2. Material data

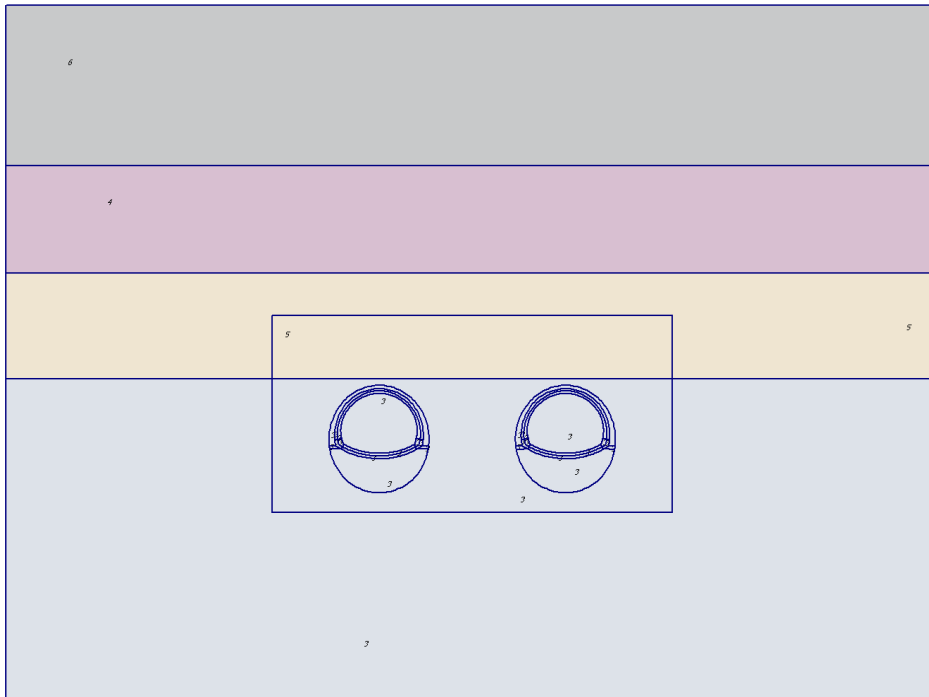


Fig. 2 Plot of geometry with material data sets

Table [1] Soil data sets parameters

| <i>Hardening Soil</i>         |                      | <b>3</b>         | <b>4</b>      | <b>5</b>      | <b>6</b>      |
|-------------------------------|----------------------|------------------|---------------|---------------|---------------|
|                               |                      | Ghiaie di ME_450 | Ghiaie ME_275 | Ghiaie ME_350 | Ghiaie_ME_100 |
| <b>Type</b>                   |                      | Drained          | Drained       | Drained       | Drained       |
| $\gamma_{unsat}$              | [kN/m <sup>3</sup> ] | 19,00            | 19,00         | 19,00         | 19,00         |
| $\gamma_{sat}$                | [kN/m <sup>3</sup> ] | 19,00            | 19,00         | 19,00         | 19,00         |
| $k_x$                         | [m/day]              | 0,000            | 0,000         | 0,000         | 1,000         |
| $k_y$                         | [m/day]              | 0,000            | 0,000         | 0,000         | 1,000         |
| $e_{init}$                    | [-]                  | 0,50             | 0,50          | 0,50          | 0,50          |
| $e_{min}$                     | [-]                  | 0,00             | 0,00          | 0,00          | 0,00          |
| $e_{max}$                     | [-]                  | 999,00           | 999,00        | 999,00        | 999,00        |
| $c_k$                         | [-]                  | 1E15             | 1E15          | 1E15          | 1E15          |
| $E_{50}^{ref}$                | [kN/m <sup>2</sup> ] | 450000,00        | 275000,00     | 350000,00     | 100000,00     |
| $E_{oed}^{ref}$               | [kN/m <sup>2</sup> ] | 450000,00        | 275000,00     | 350000,00     | 100000,00     |
| <b>power (m)</b>              | [-]                  | 0,00             | 0,00          | 0,00          | 0,00          |
| $c_{ref}$                     | [kN/m <sup>2</sup> ] | 10,00            | 10,00         | 10,00         | 10,00         |
| $\phi$                        | [°]                  | 38,00            | 38,00         | 38,00         | 38,00         |
| $\psi$                        | [°]                  | 0,00             | 0,00          | 0,00          | 0,00          |
| $E_{ur}^{ref}$                | [kN/m <sup>2</sup> ] | 1350000,00       | 825000,00     | 1050000,00    | 300000,00     |
| $v_{ur}^{(nu)}$               | [-]                  | 0,200            | 0,200         | 0,200         | 0,200         |
| $p^{ref}$                     | [kN/m <sup>2</sup> ] | 100,00           | 100,00        | 100,00        | 100,00        |
| $c_{increment}$               | [kN/m <sup>2</sup> ] | 0,00             | 0,00          | 0,00          | 0,00          |
| $y_{ref}$                     | [m]                  | 0,00             | 0,00          | 0,00          | 28,00         |
| $R_f$                         | [-]                  | 0,90             | 0,90          | 0,90          | 0,90          |
| $T_{str.}$                    | [kN/m <sup>2</sup> ] | 0,00             | 0,00          | 0,00          | 0,00          |
| $R_{inter}$                   | [-]                  | 1,00             | 1,00          | 1,00          | 1,00          |
| $\delta_{inter}$              | [m]                  | 0,00             | 0,00          | 0,00          | 0,00          |
| <b>Interface permeability</b> |                      | Neutral          | Neutral       | Neutral       | Neutral       |

### 3. Results for phase 14

#### 3.1. Deformations

##### 3.1.1. Plot of horizontal displacements

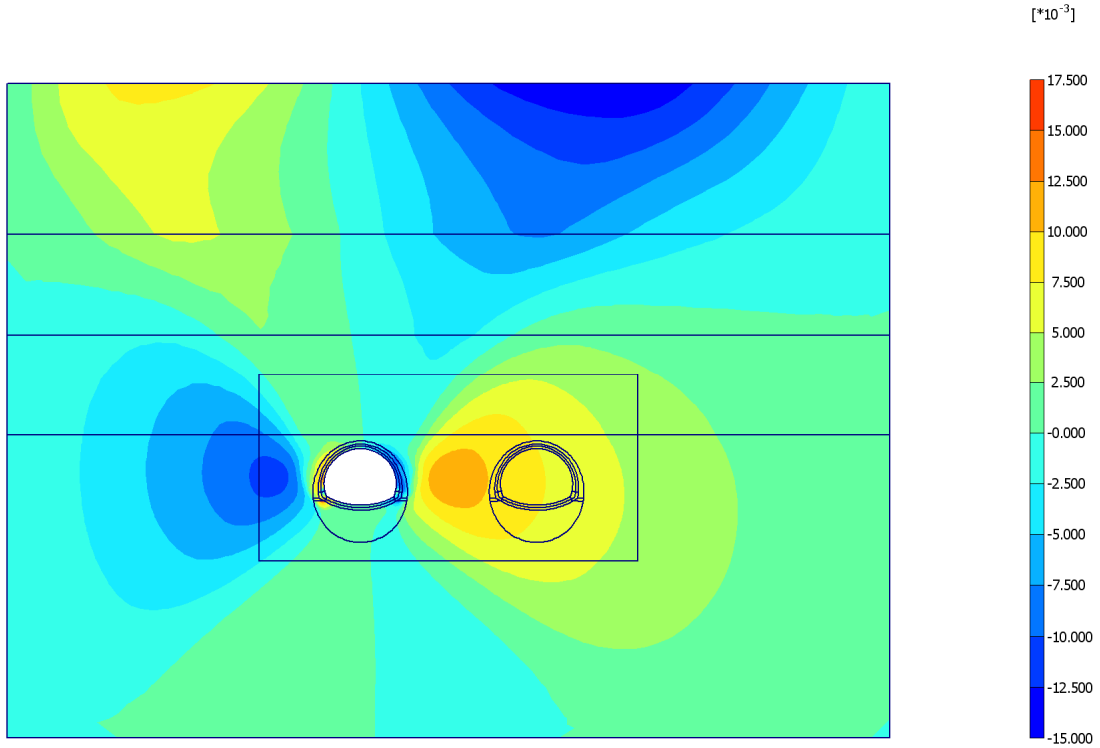


Fig. 3 Plot of horizontal displacements (shadings)  
- Step no: 80 - ( Phase: 14 )

##### 3.1.2. Plot of vertical displacements

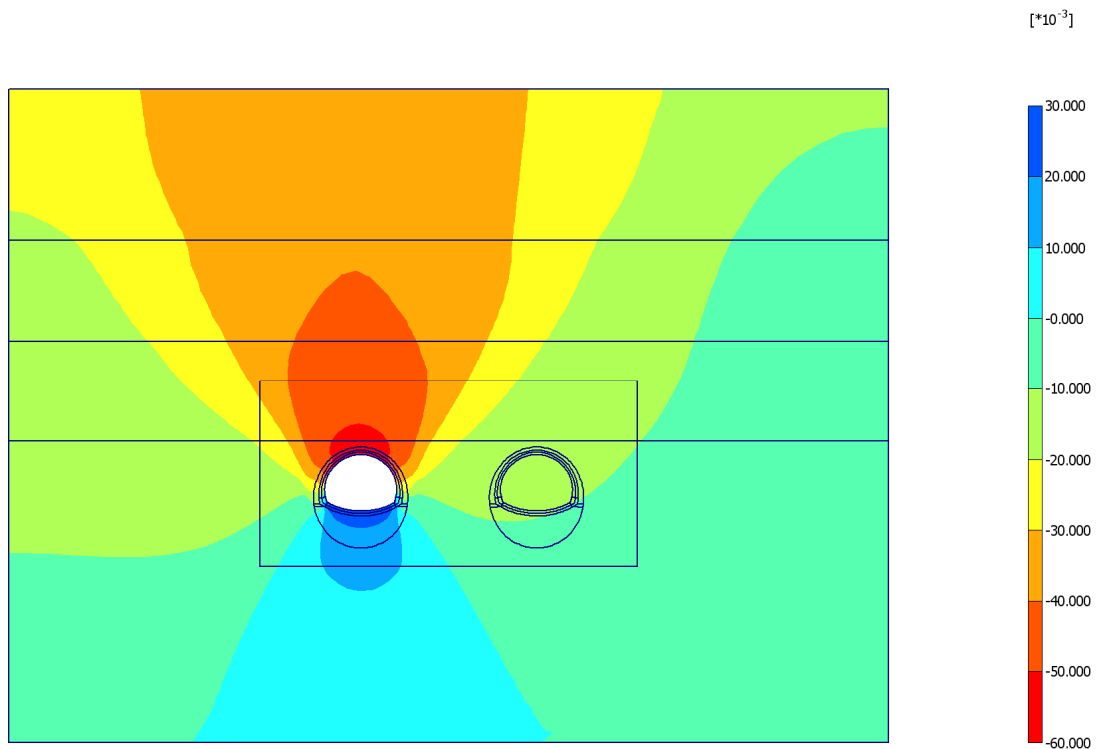


Fig. 4 Plot of vertical displacements (shadings)  
- Step no: 80 - ( Phase: 14 )

### 3.2. Stresses

#### 3.2.3. Plot of total stresses

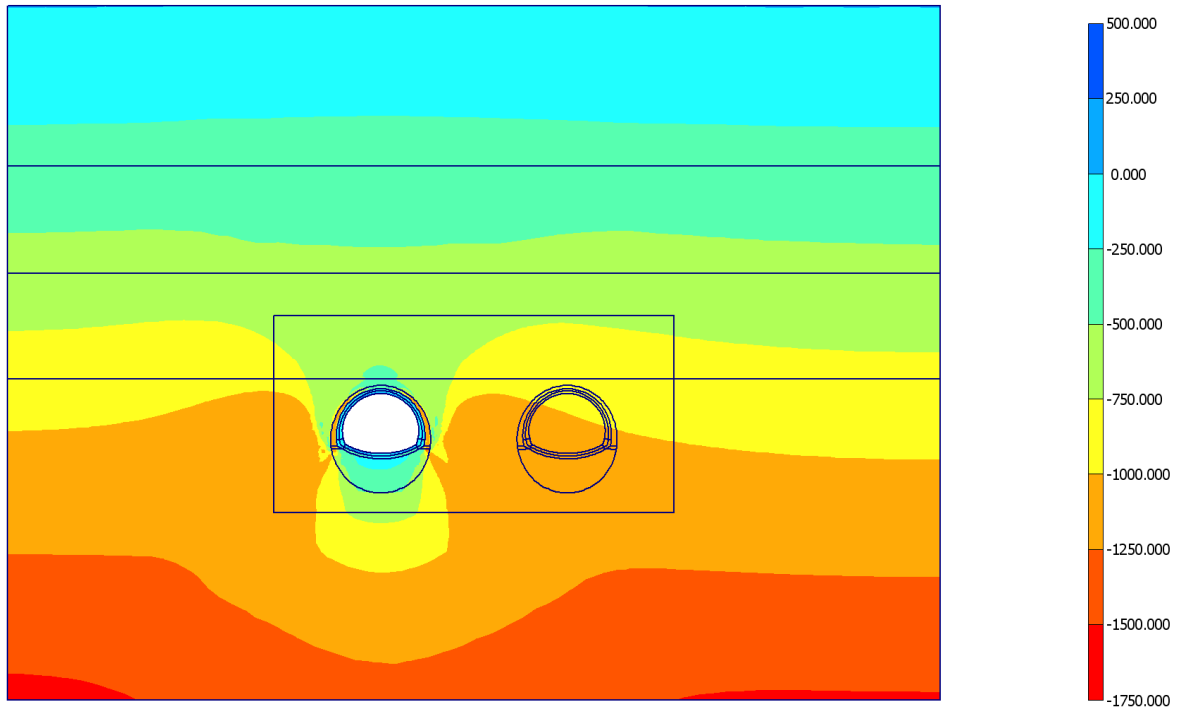


Fig. 5 Plot of total stresses (mean shadings)  
- Step no: 80 - ( Phase: 14 )

#### 3.2.4. Plot of plastic points

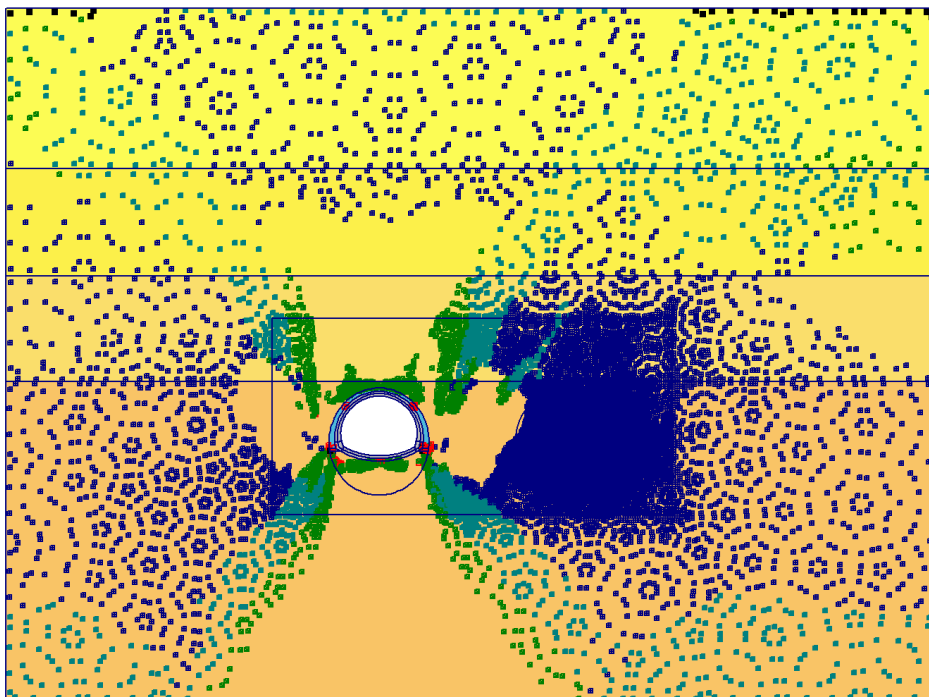
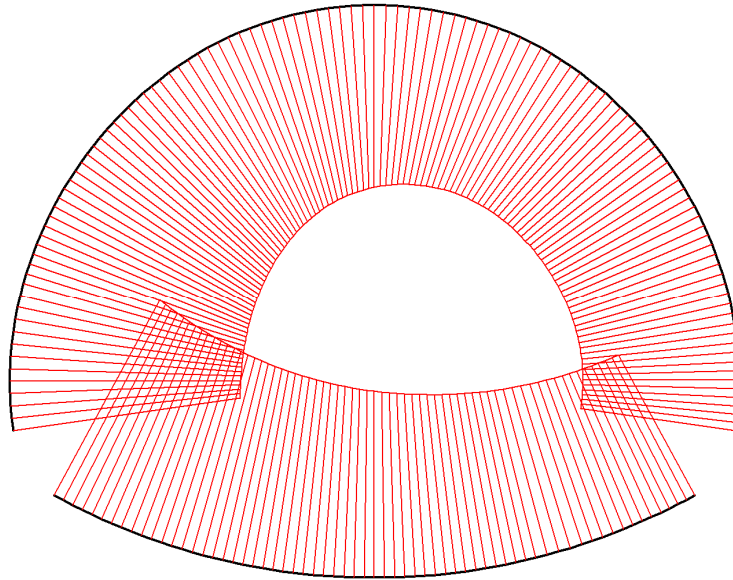


Fig. 7 Plot of plastic points  
- Step no: 80 - ( Phase: 14 )

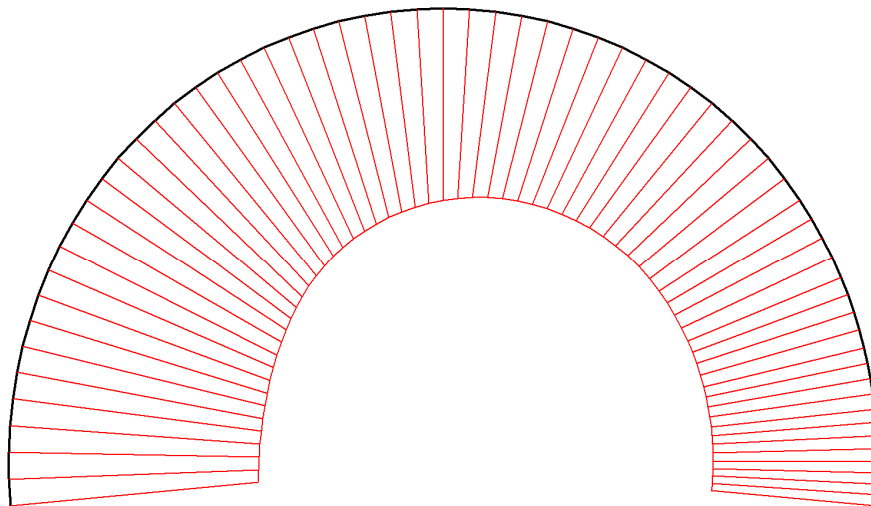
### 3.3. Structures

#### 3.3.4. Beams

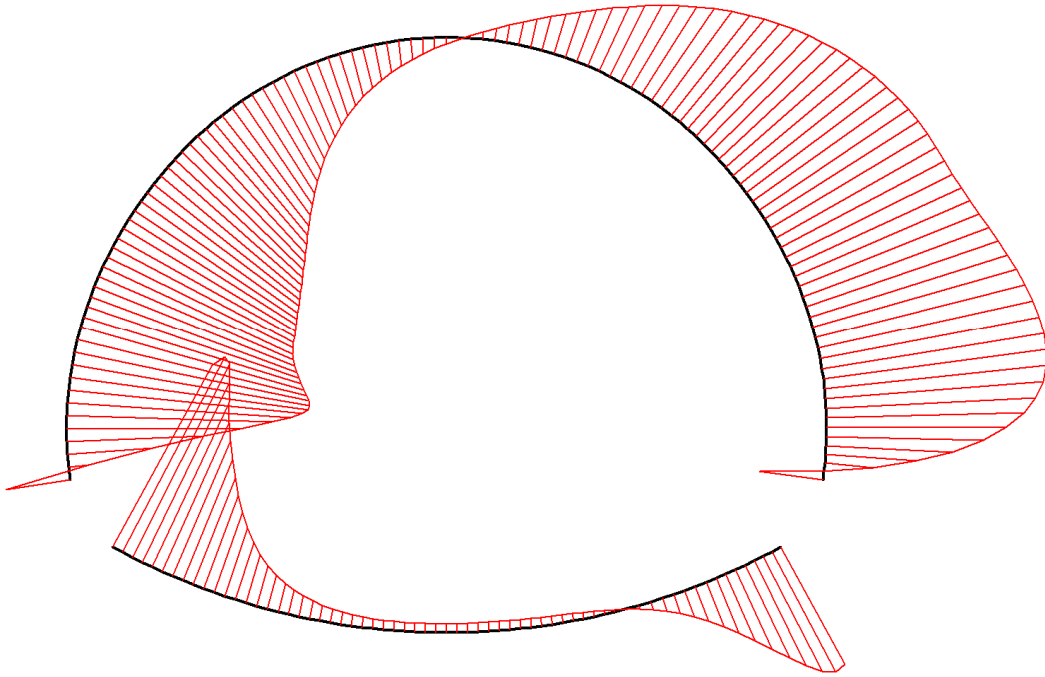
##### 3.3.4.1. Beams



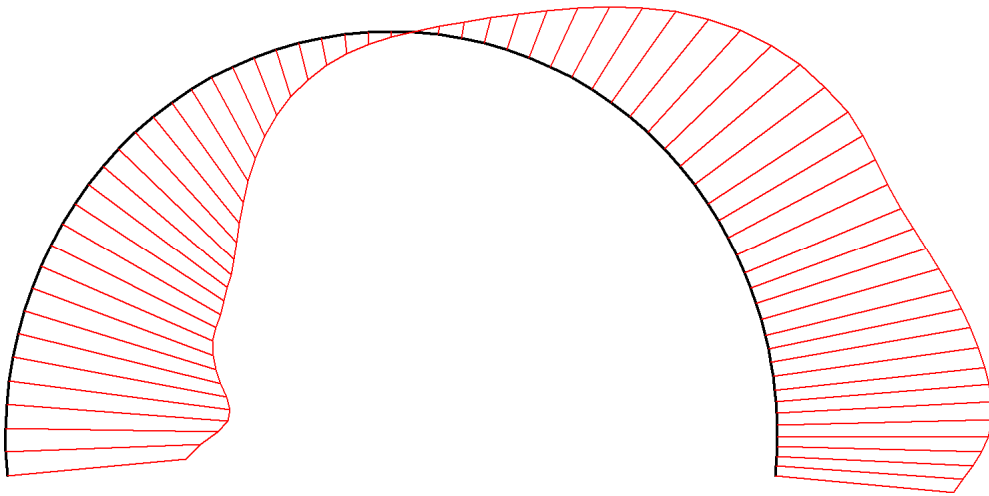
**Fig. 6 Horizontal displacements in beam**  
Extreme value  $9,54 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 14)



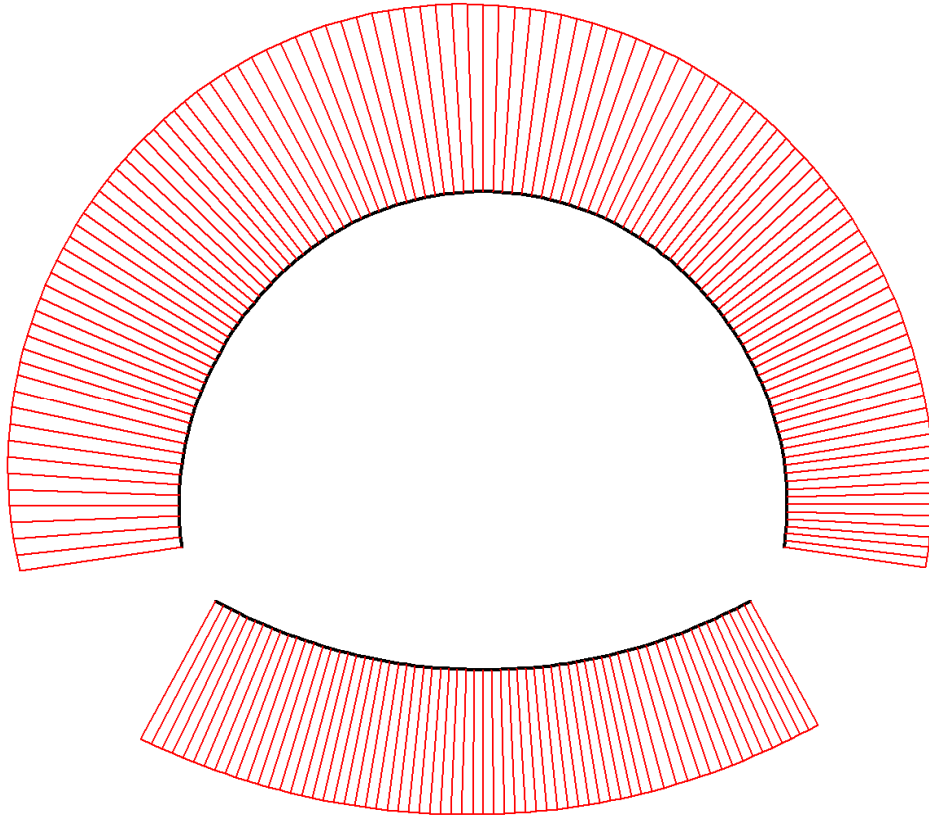
**Fig. 7 Horizontal displacements in beam**  
Extreme value  $9,66 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 14)



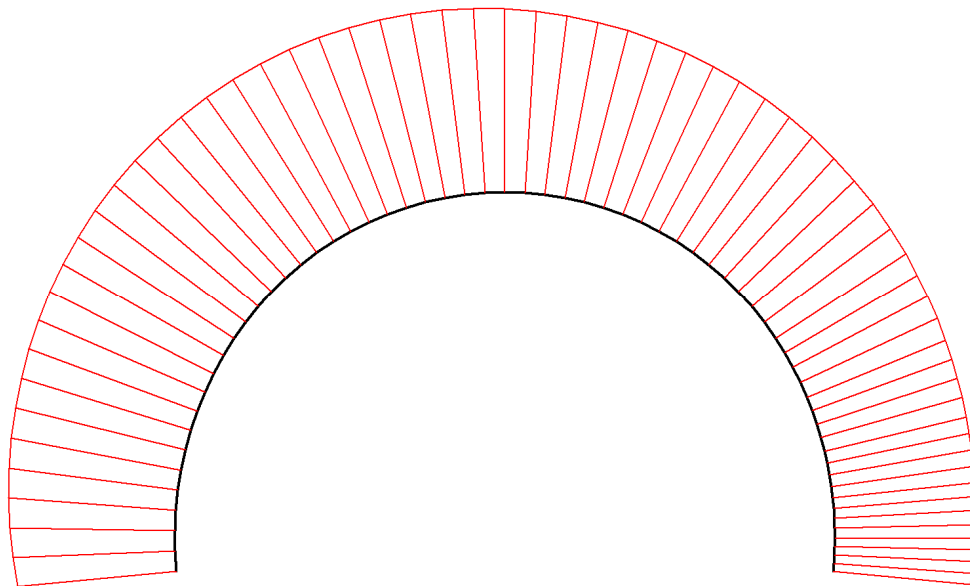
**Fig. 8 Horizontal displacements in beam**  
Extreme value  $10,21 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 14)



**Fig. 9 Horizontal displacements in beam**  
Extreme value  $10,33 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 14)

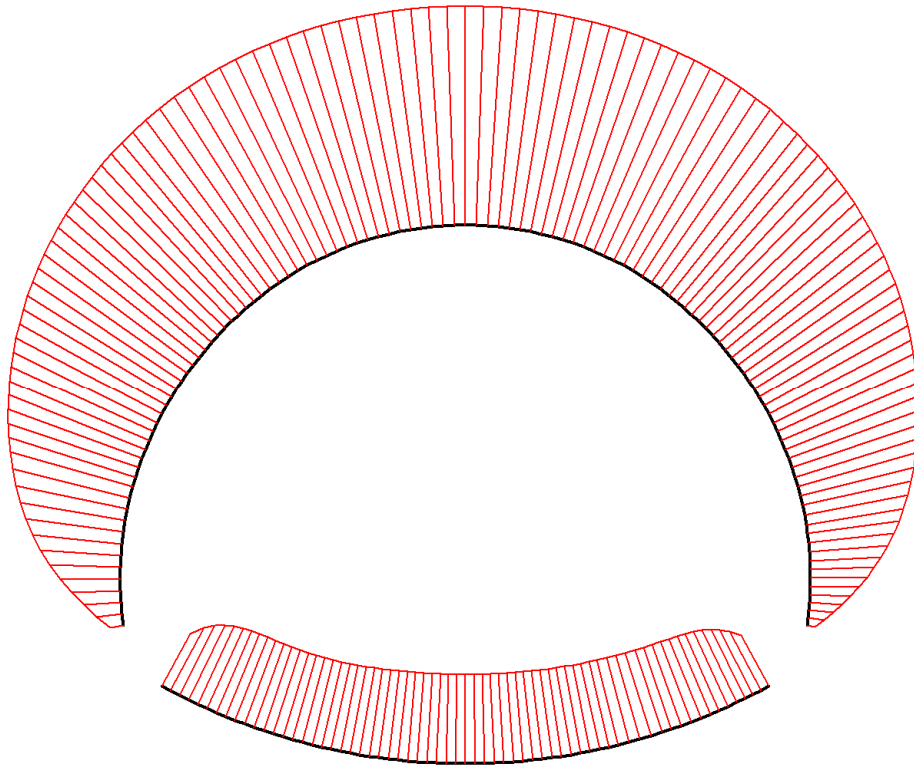


**Fig. 10 Vertical displacements in beam**  
Extreme value  $-13,78 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 14)

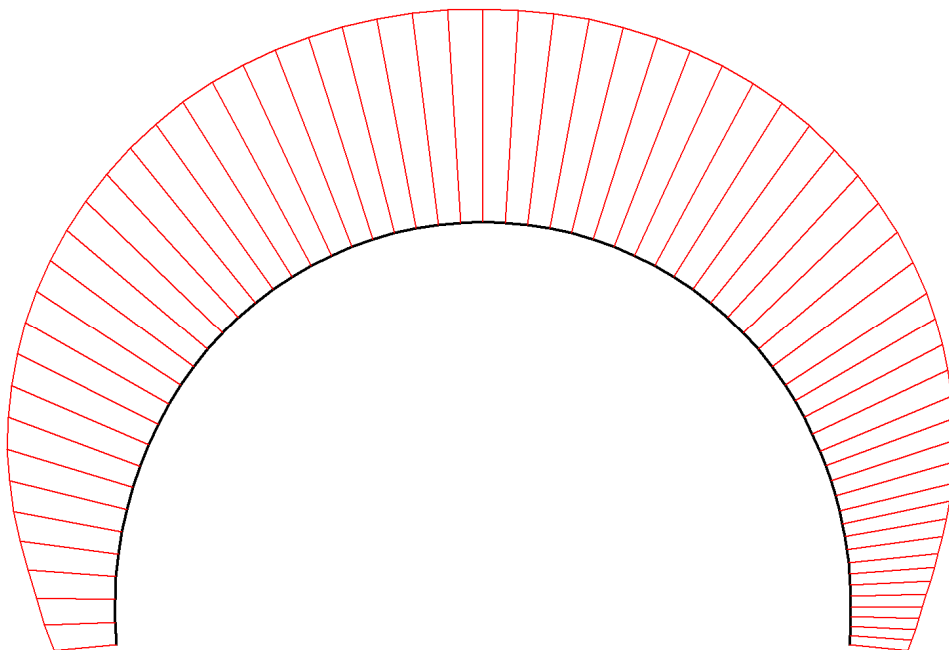


**Fig. 11 Vertical displacements in beam**  
Extreme value  $-13,95 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 14)



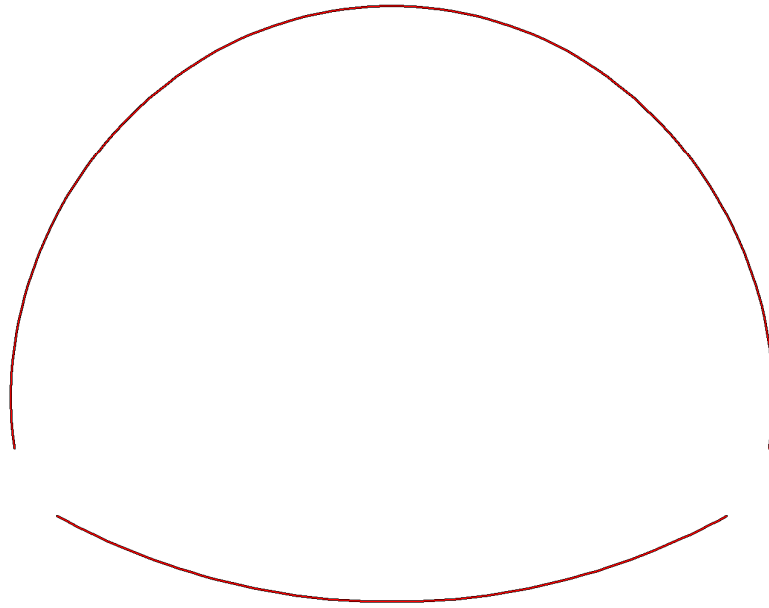


**Fig. 12 Vertical displacements in beam**  
Extreme value  $-55,27 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 14)

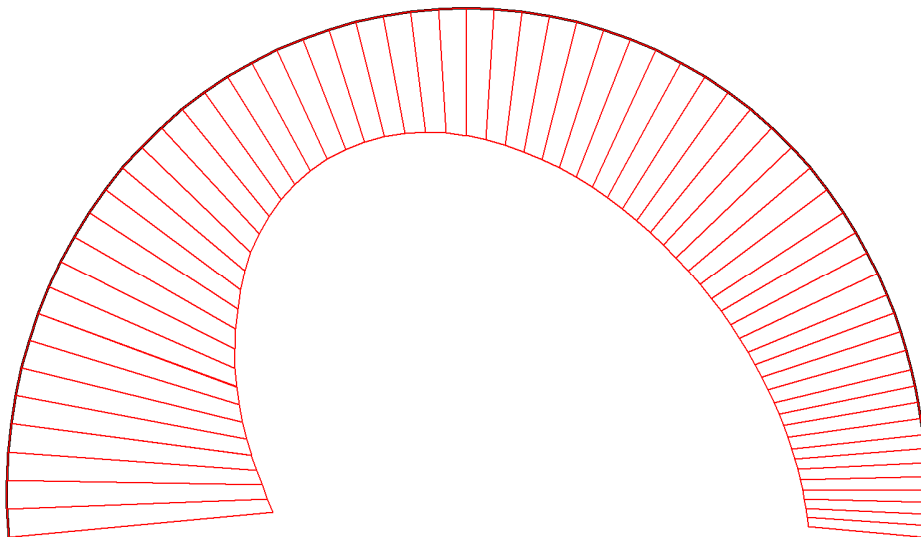


**Fig. 13 Vertical displacements in beam**  
Extreme value  $-55,28 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 14)

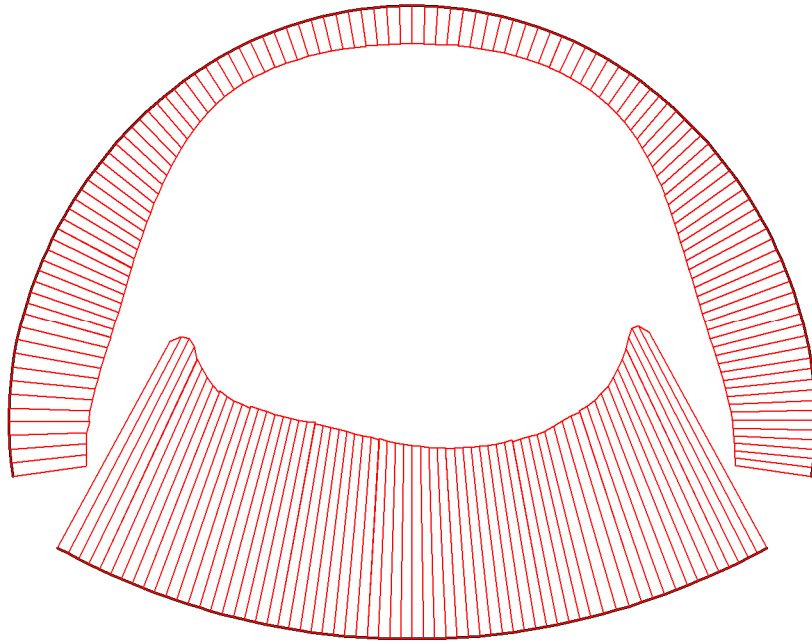
### 3.3.4.2. Beams



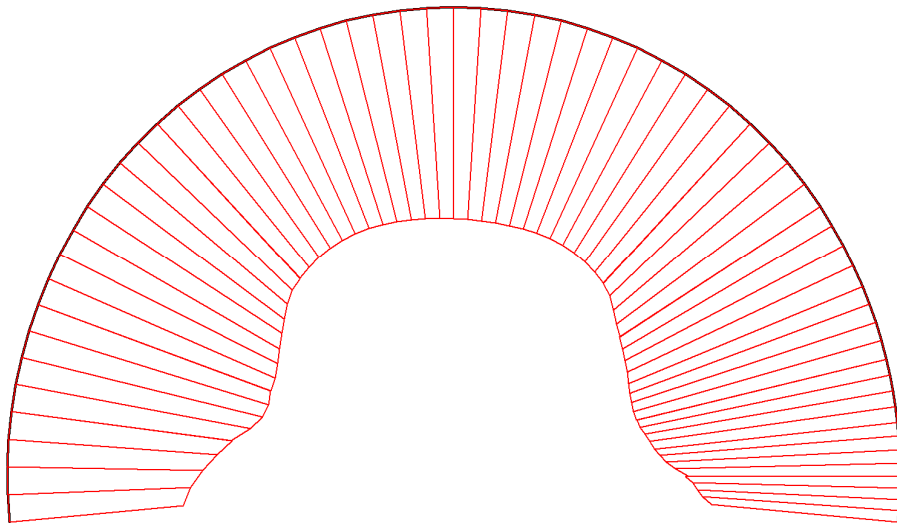
**Fig. 14 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value 0,00 kN/m (Phase: 14)



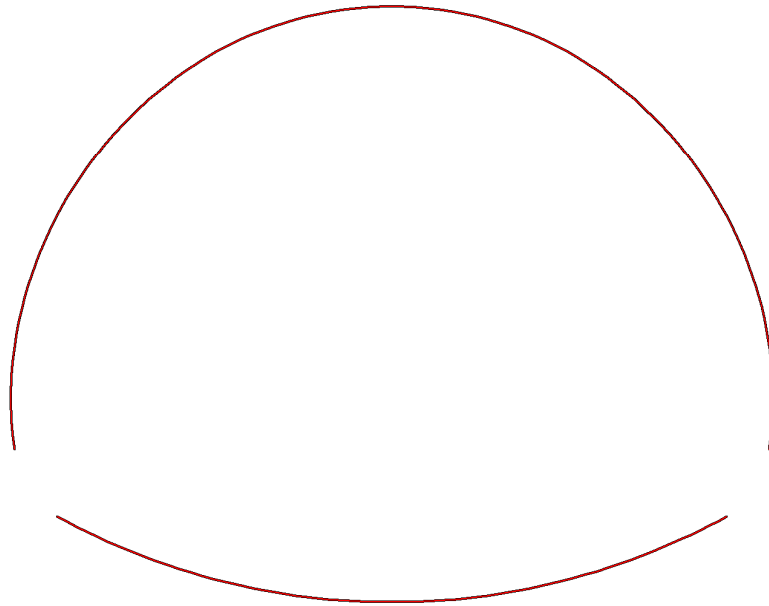
**Fig. 15 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value  $-391,48 \cdot 10^{-15}$  kN/m (Phase: 14)



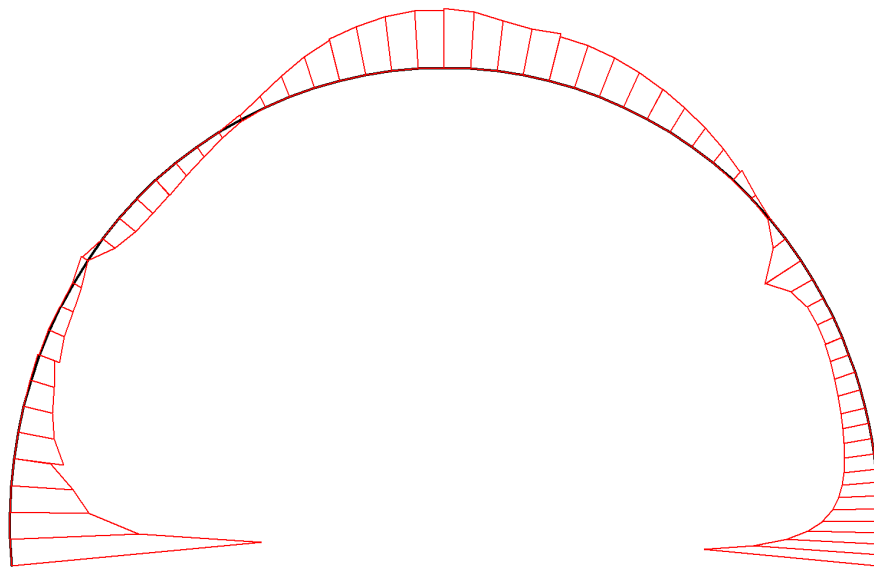
**Fig. 16 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value  $-37,46 \cdot 10^{-9}$  kN/m (Phase: 14)



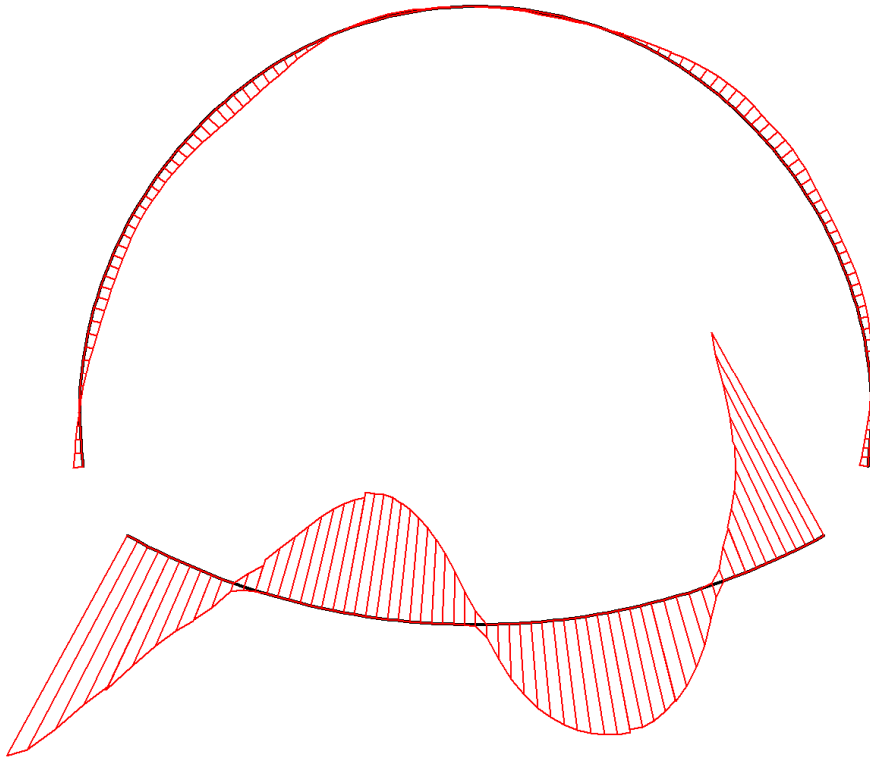
**Fig. 17 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value  $-1,51 \cdot 10^3$  kN/m (Phase: 14)



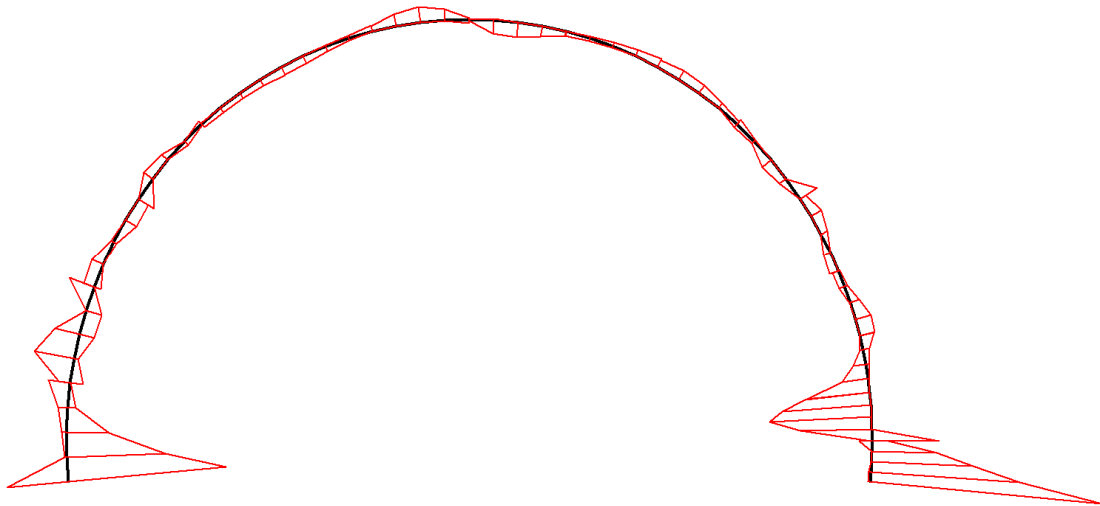
**Fig. 18 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value 0,00 kN/m (Phase: 14)



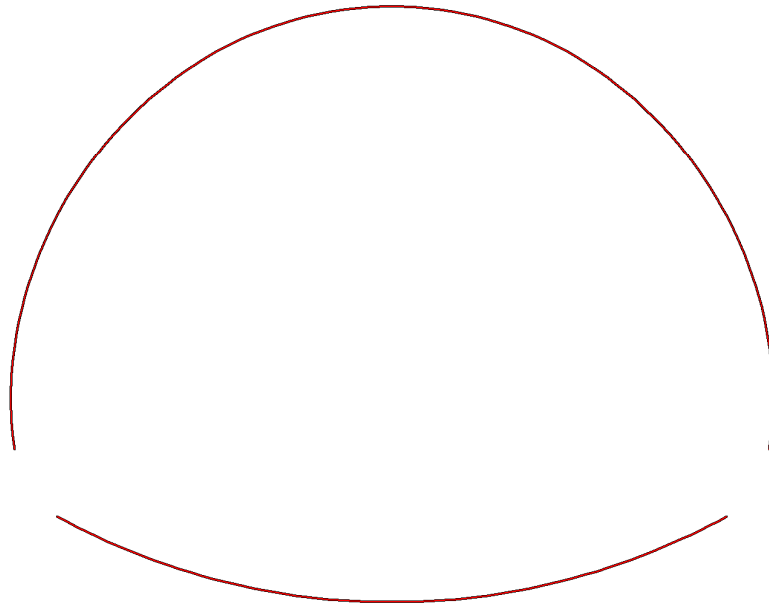
**Fig. 19 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value  $-3,15 \cdot 10^{-15}$  kN/m (Phase: 14)



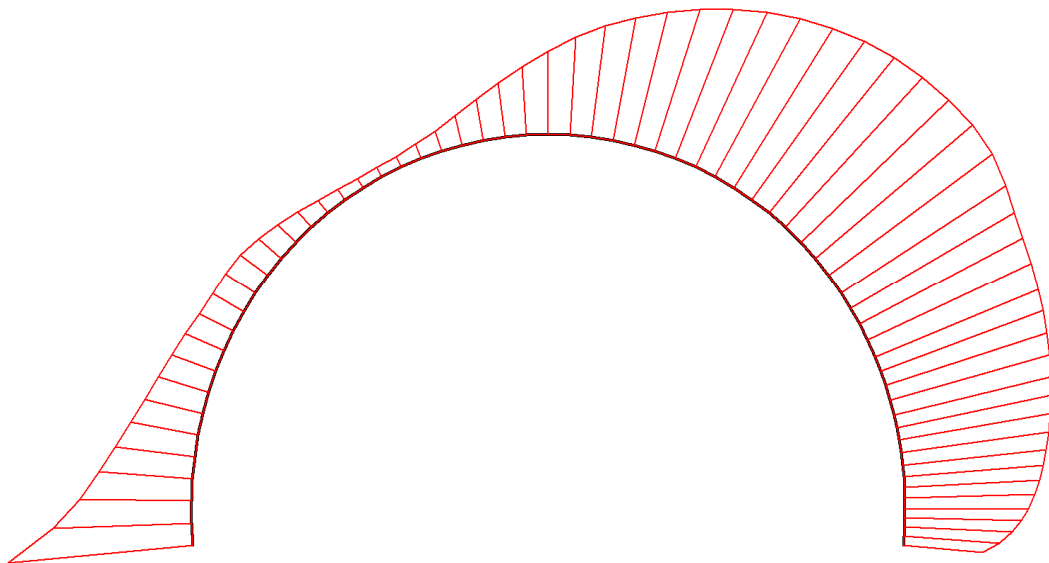
**Fig. 20 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value  $10,59 \cdot 10^{-9}$  kN/m (Phase: 14)



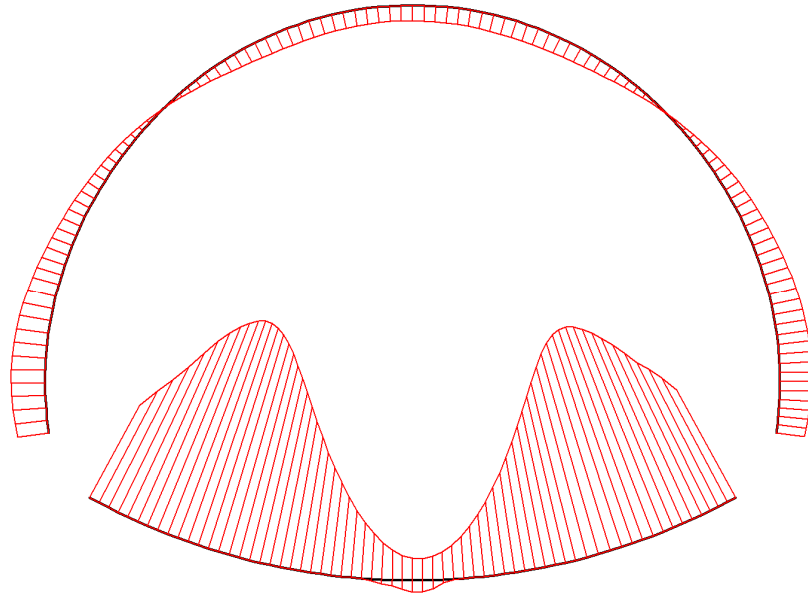
**Fig. 21 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value 109,50 kN/m (Phase: 14)



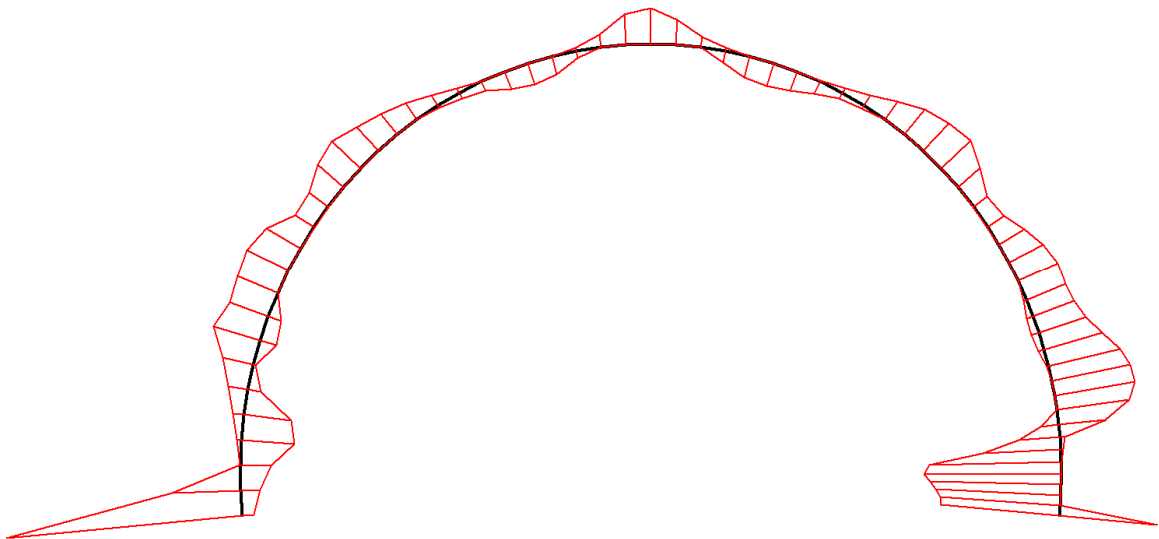
**Fig. 22 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value 0,00 kN/m/m (Phase: 14)



**Fig. 23 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value  $5,04 \cdot 10^{-15}$  kN/m/m (Phase: 14)



**Fig. 24 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value  $18,04 \cdot 10^{-9}$  kN/m/m (Phase: 14)



**Fig. 25 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value 44,06 kN/m/m (Phase: 14)

## 4. Results for phase 13

### 4.4. Deformations

#### 4.4.5. Plot of horizontal displacements

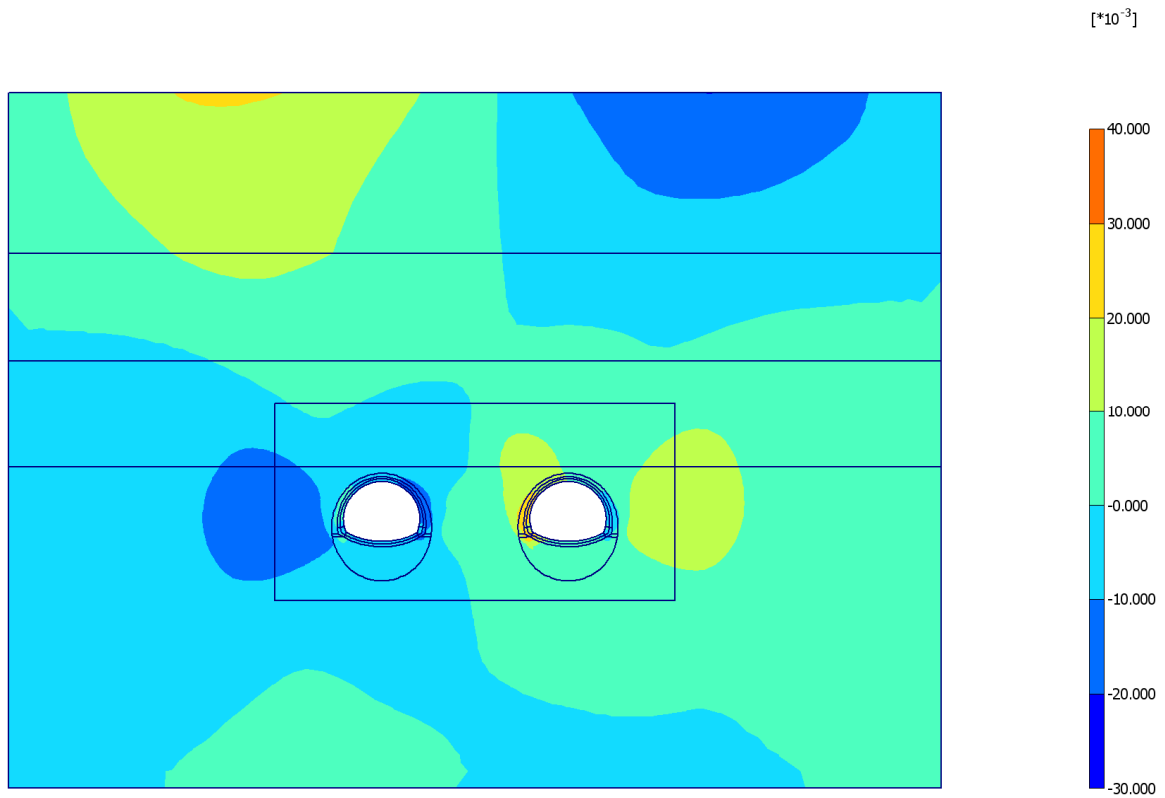


Fig. 26 Plot of horizontal displacements (shadings)  
- Step no: 158 - ( Phase: 13 )



### 4.4.6. Plot of vertical displacements

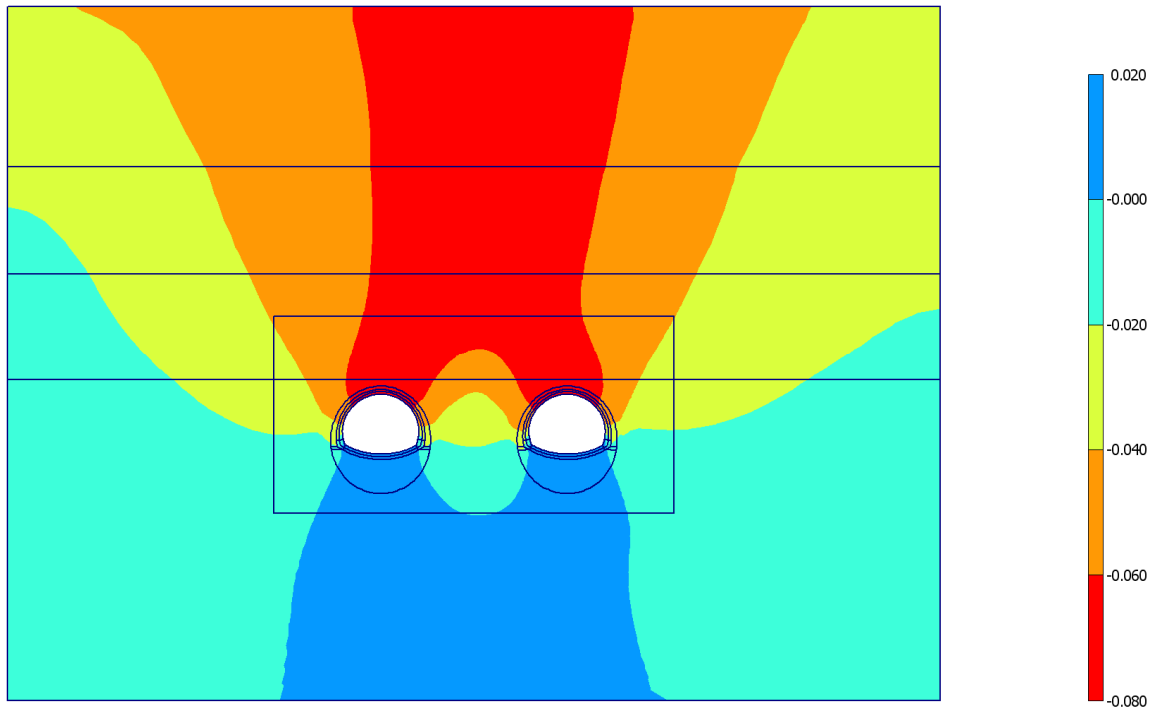


Fig. 27 Plot of vertical displacements (shadings)  
- Step no: 158 - ( Phase: 13 )

## 4.5. Stresses

### 4.5.7. Plot of total stresses

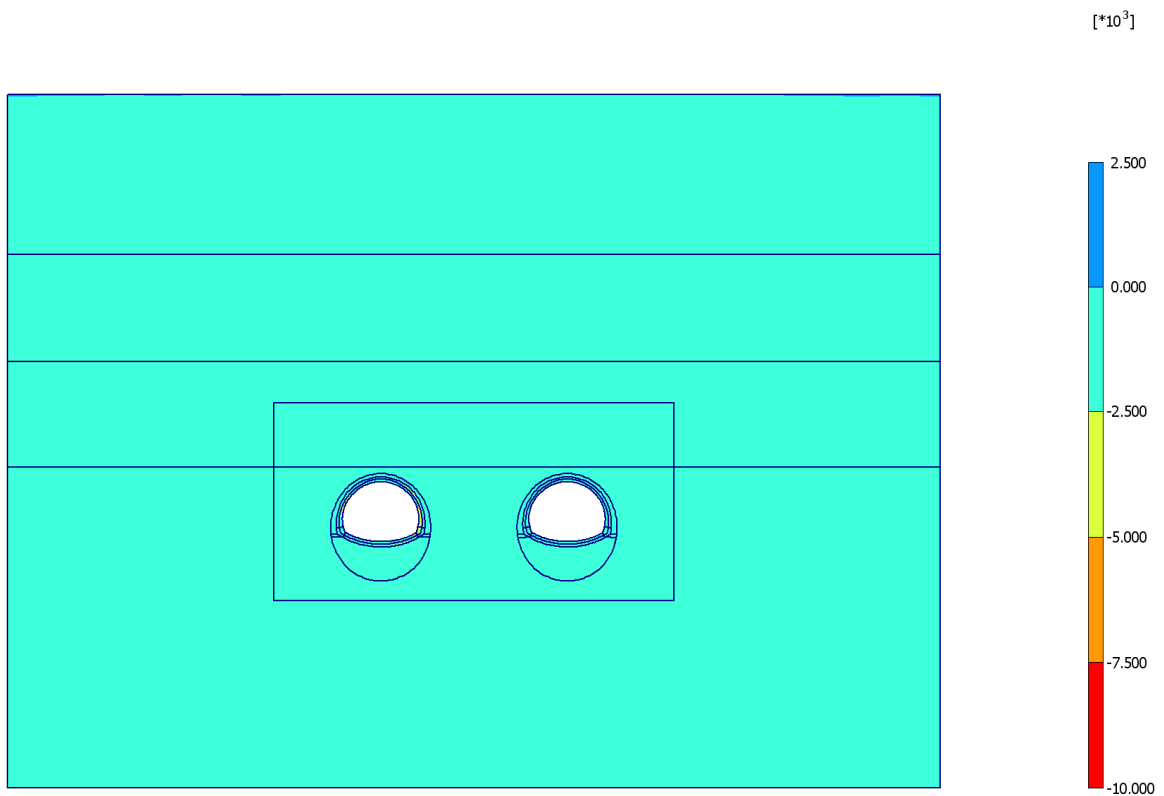
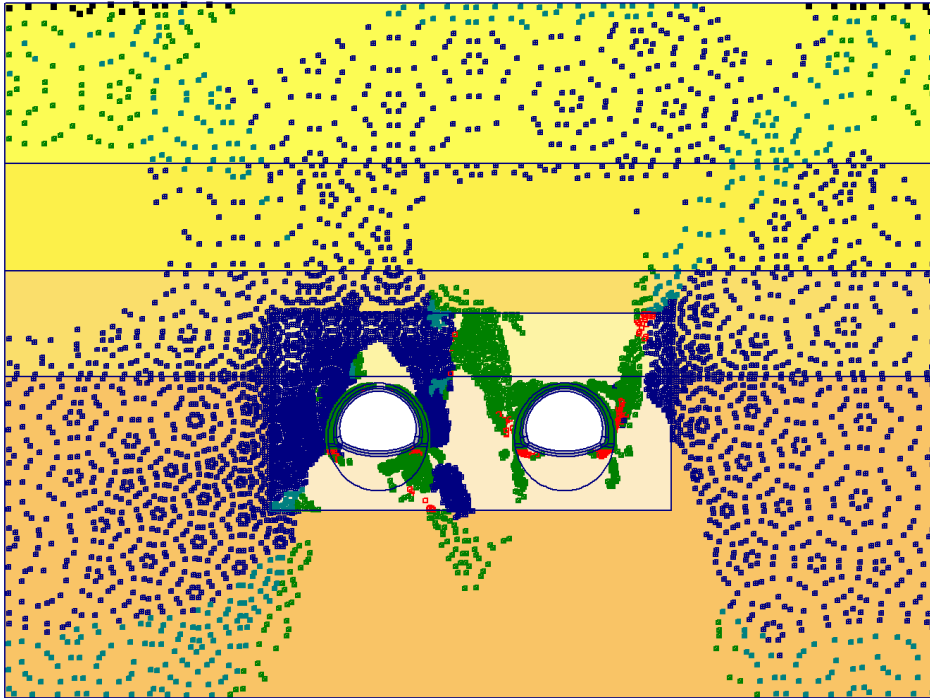


Fig. 28 Plot of total stresses (mean shadings)  
- Step no: 158 - ( Phase: 13 )

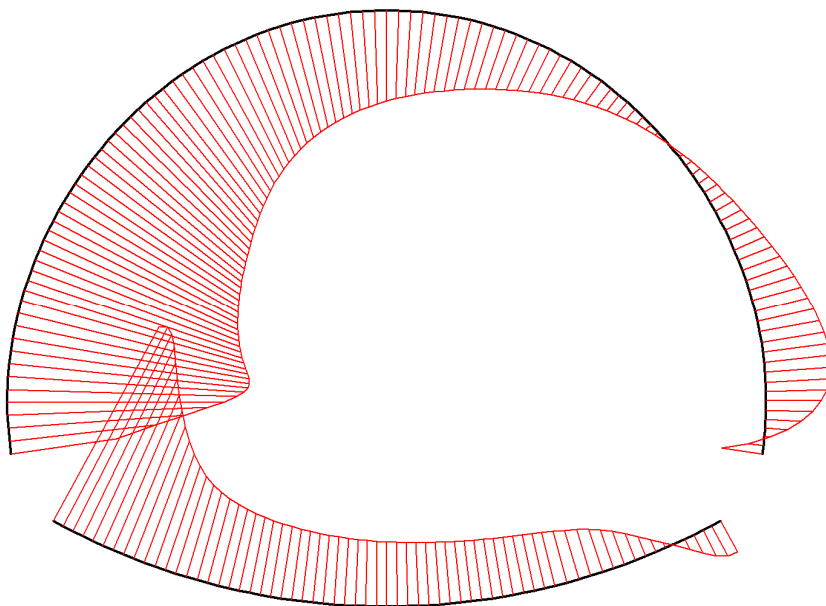
#### 4.5.7. Plot of plastic points



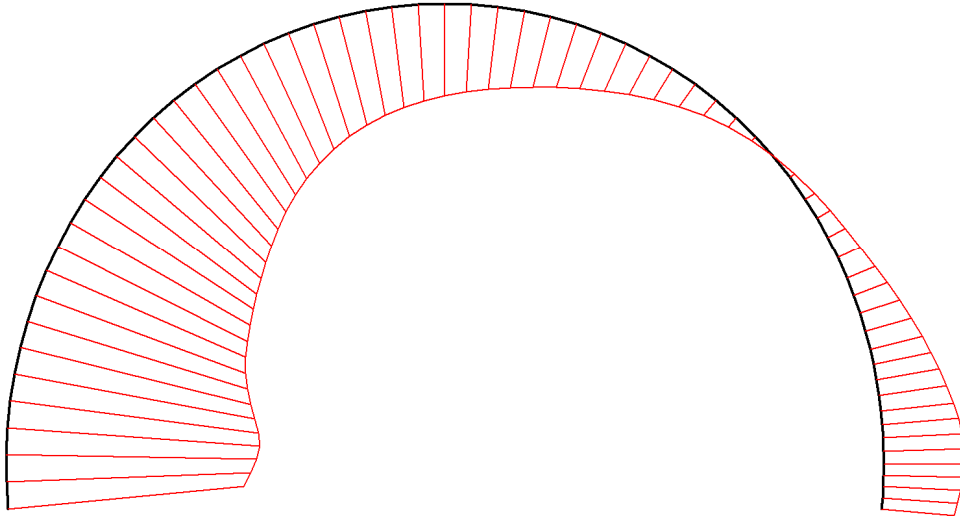
### 4.6. Structures

#### 4.6.8. Beams

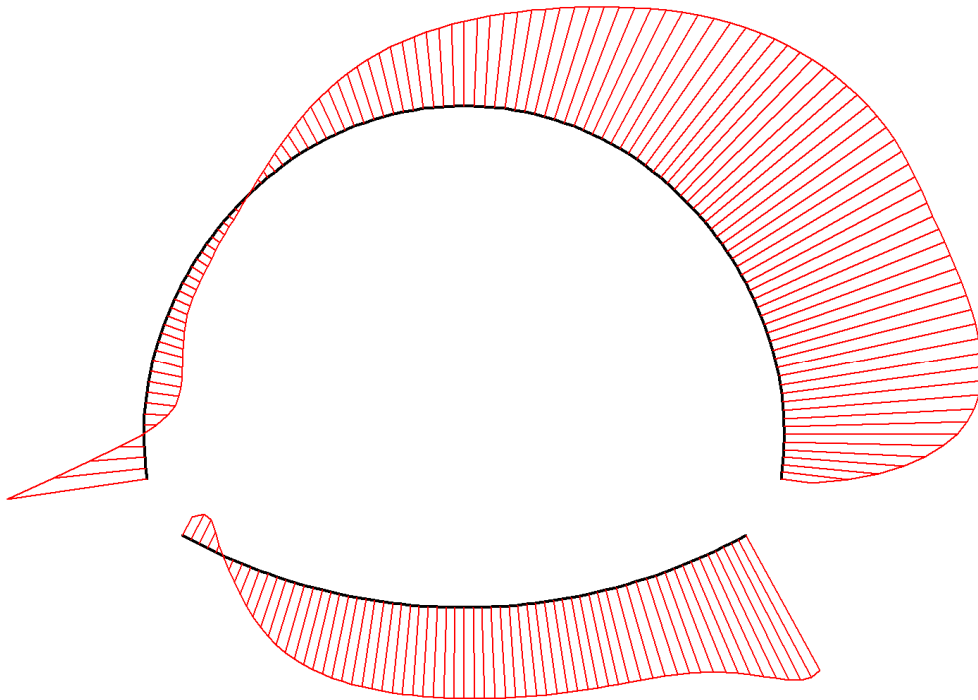
##### 4.6.8.3. Beams



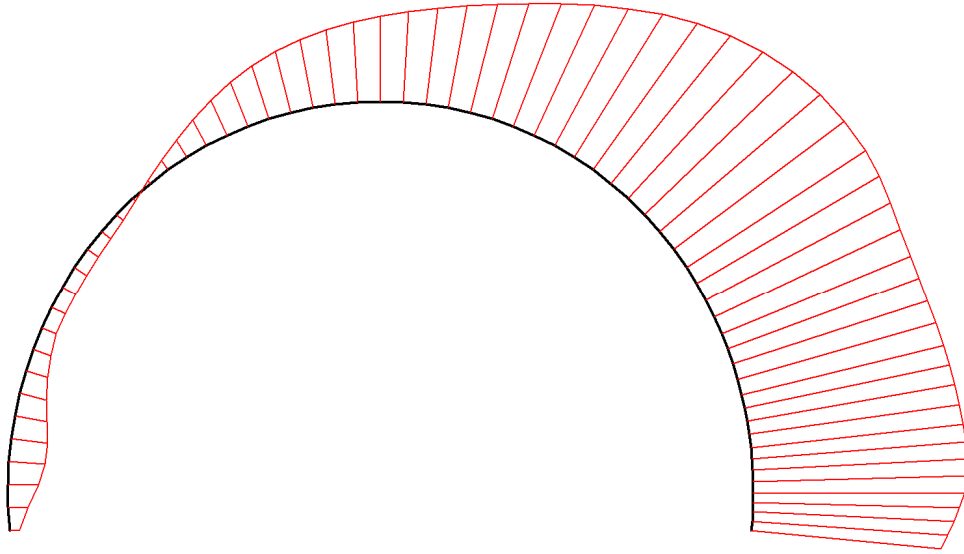
**Fig. 29 Horizontal displacements in beam**  
Extreme value  $25,98 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 13)



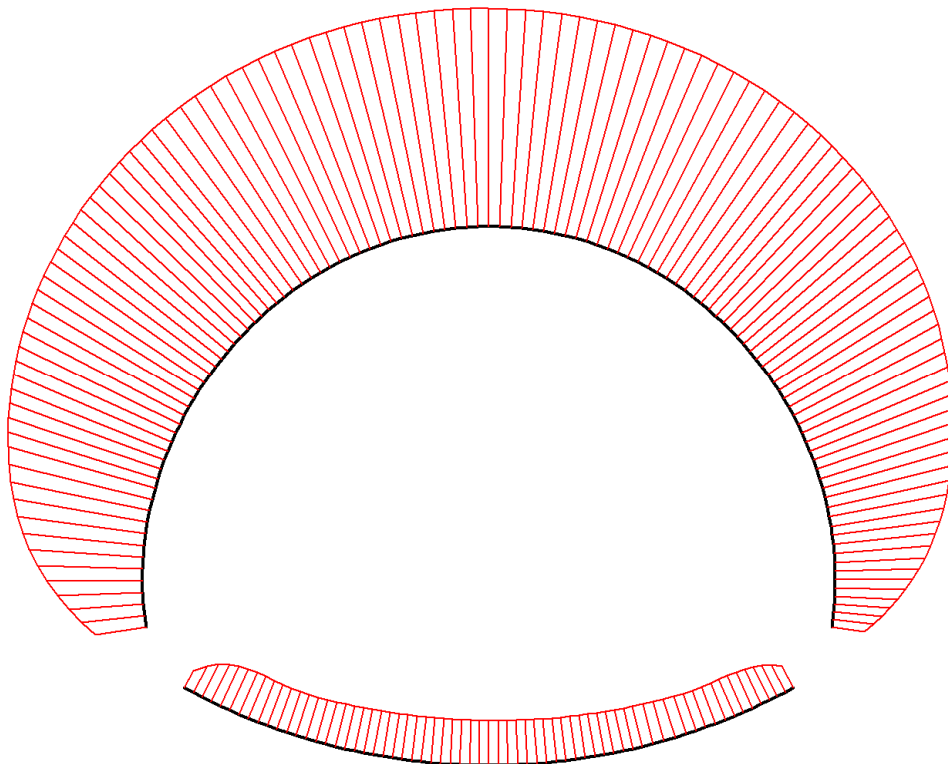
**Fig. 30 Horizontal displacements in beam**  
Extreme value  $26,63 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 13)



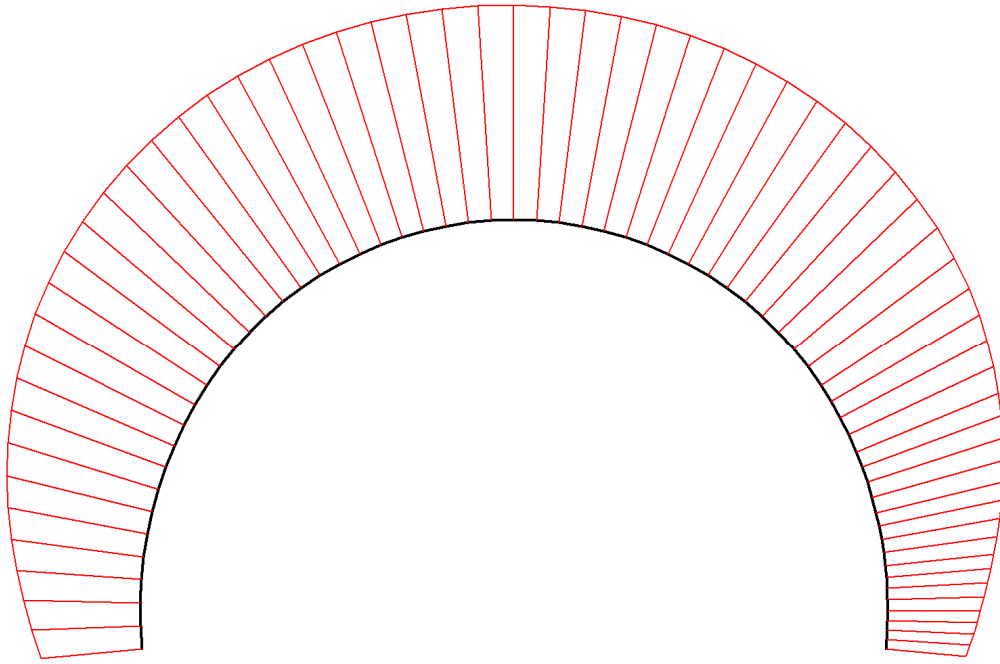
**Fig. 31 Horizontal displacements in beam**  
Extreme value  $-14,88 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 13)



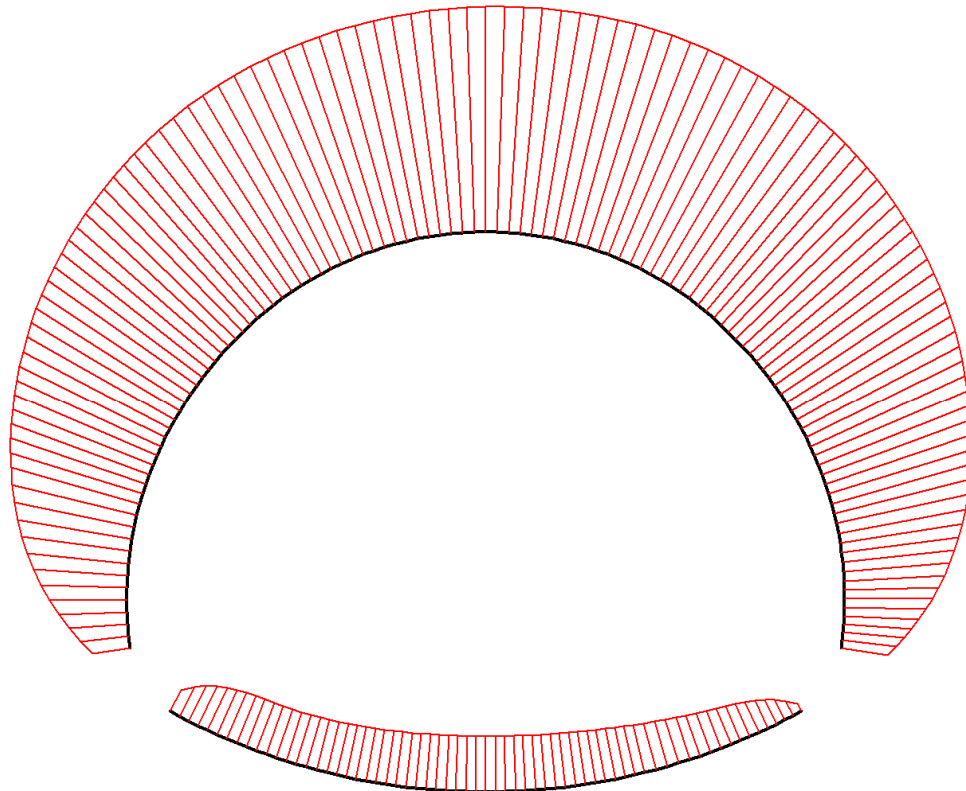
**Fig. 32 Horizontal displacements in beam**  
Extreme value  $-15,06 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 13)



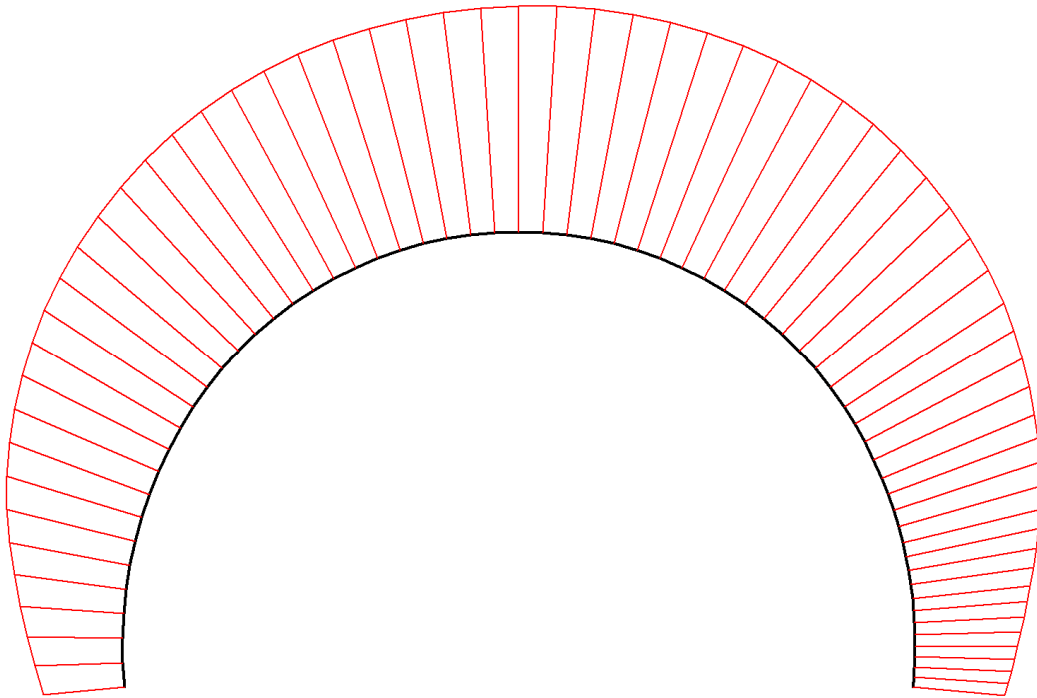
**Fig. 33 Vertical displacements in beam**  
Extreme value  $-67,99 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 13)



**Fig. 34 Vertical displacements in beam**  
Extreme value  $-68,03 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 13)

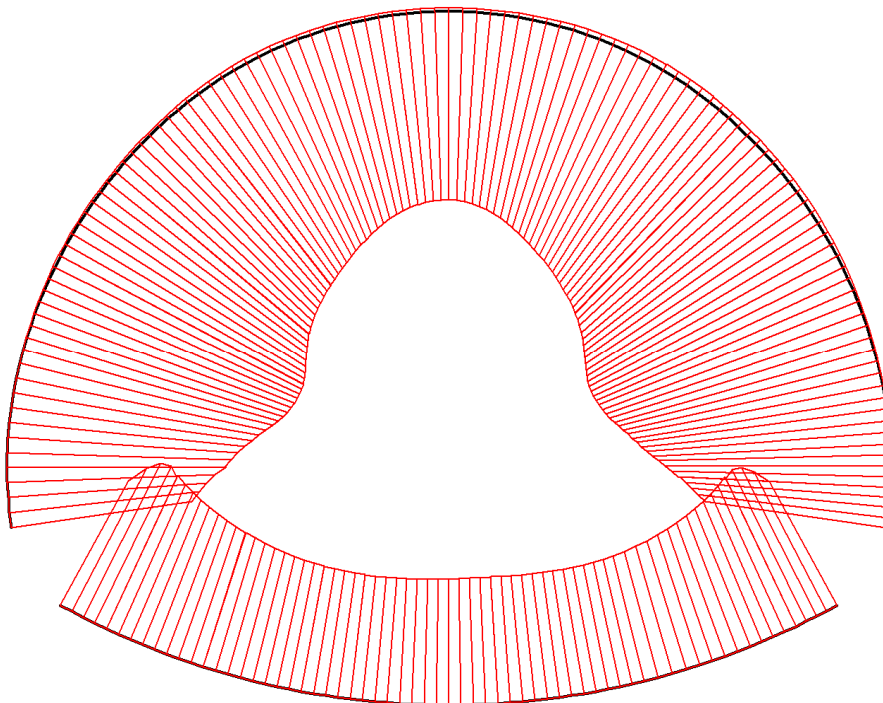


**Fig. 35 Vertical displacements in beam**  
Extreme value  $-69,50 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 13)

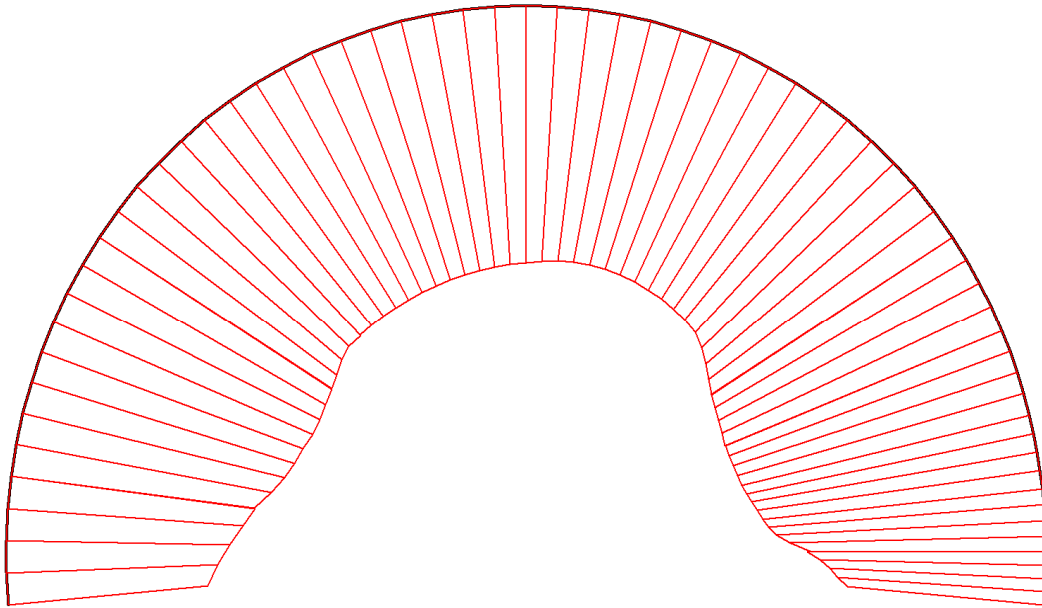


**Fig. 36 Vertical displacements in beam**  
Extreme value  $-69,57 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 13)

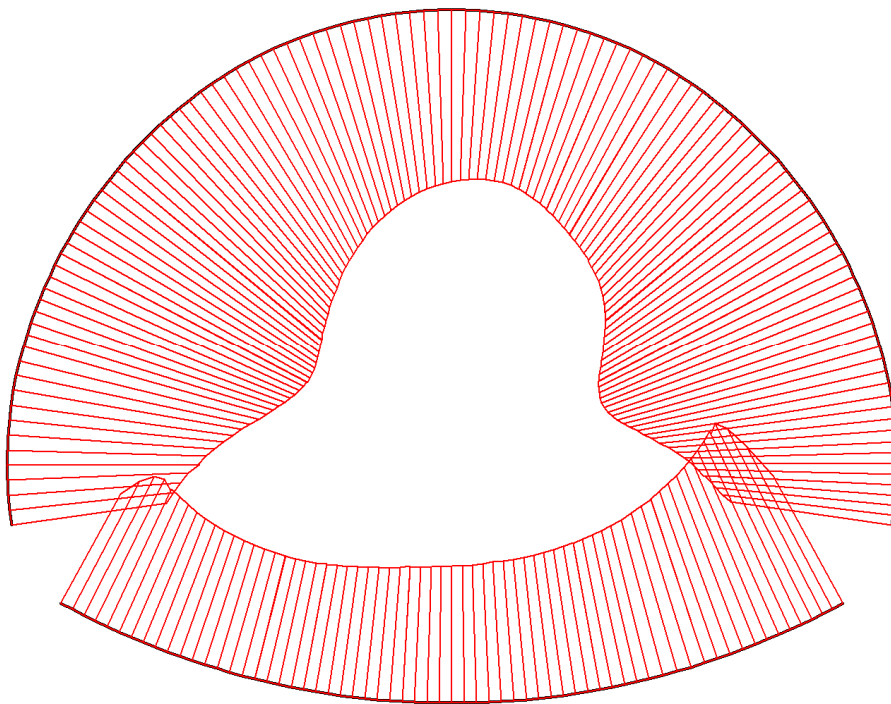
#### 4.6.8.4. Beams



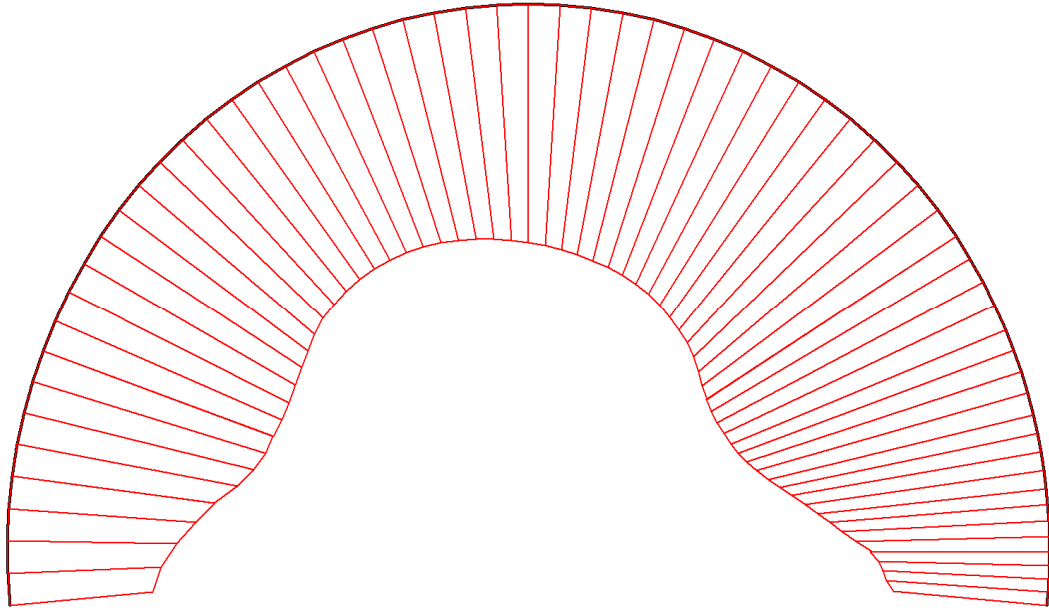
**Fig. 37 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value  $-320,34 \cdot 10^{-9}$  kN/m (Phase: 13)



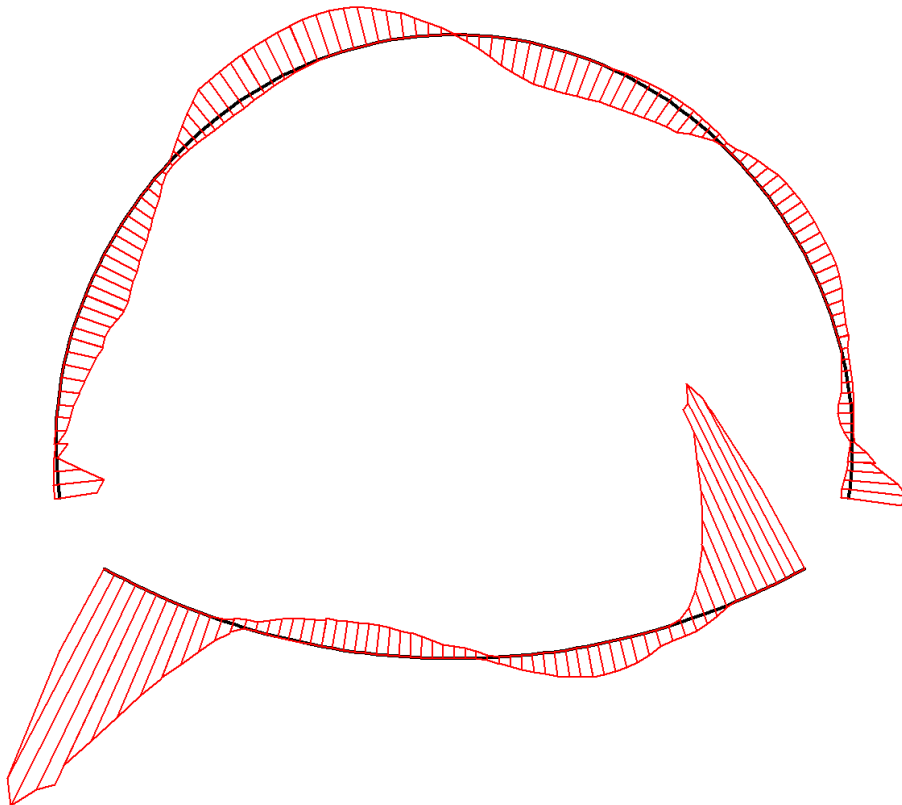
**Fig. 38 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value  $-1,64 \cdot 10^3$  kN/m (Phase: 13)



**Fig. 39 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value  $-526,19 \cdot 10^{-9}$  kN/m (Phase: 13)

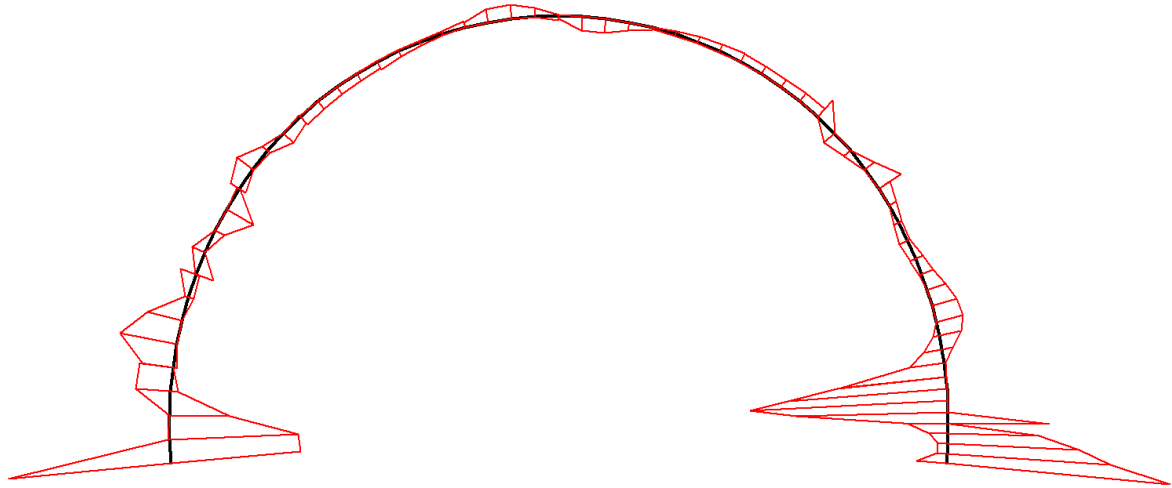


**Fig. 40 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value  $-2,15 \cdot 10^3$  kN/m (Phase: 13)

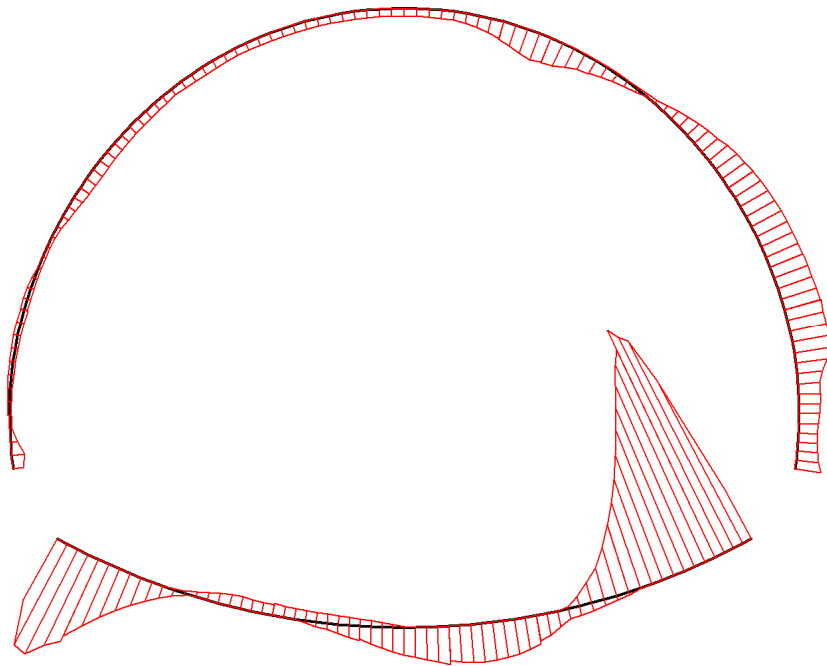


**Fig. 41 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value  $31,93 \cdot 10^9$  kN/m (Phase: 13)

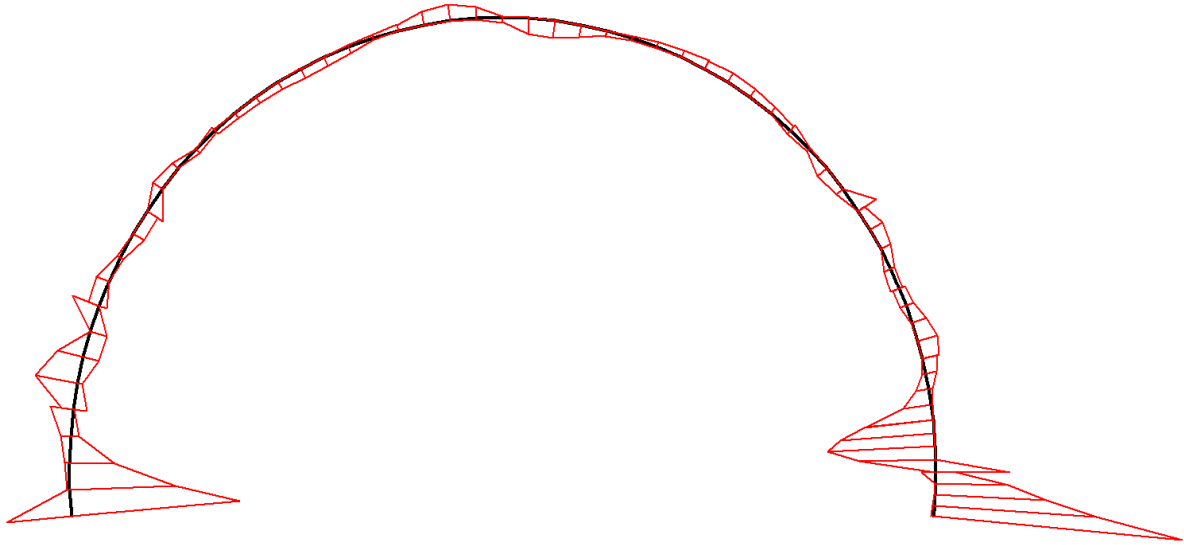




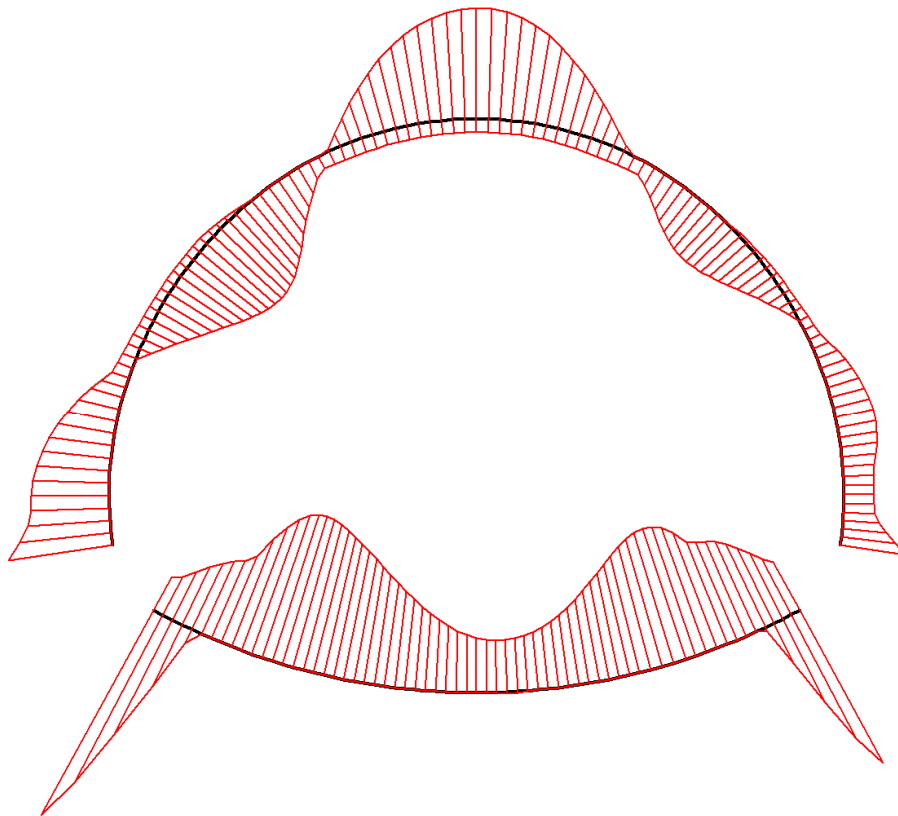
**Fig. 42 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value 68,23 kN/m (Phase: 13)



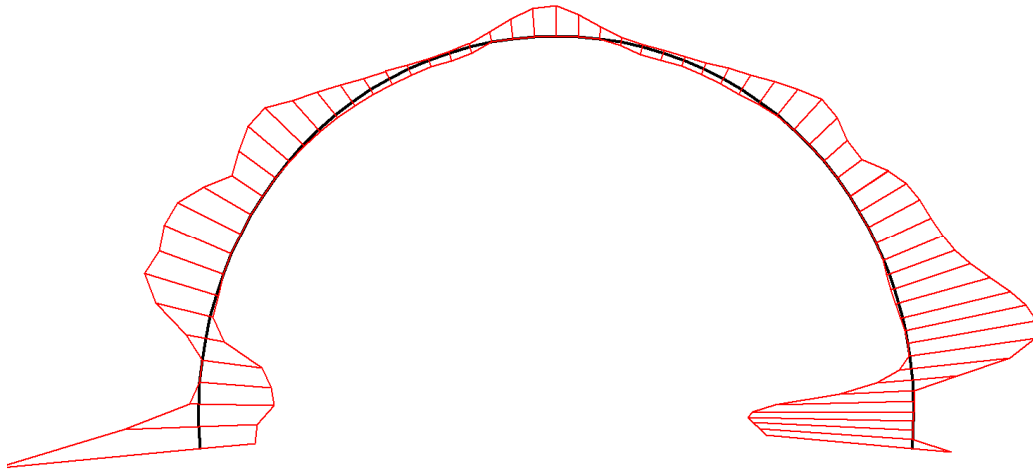
**Fig. 43 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value  $-125,22 \times 10^{-9}$  kN/m (Phase: 13)



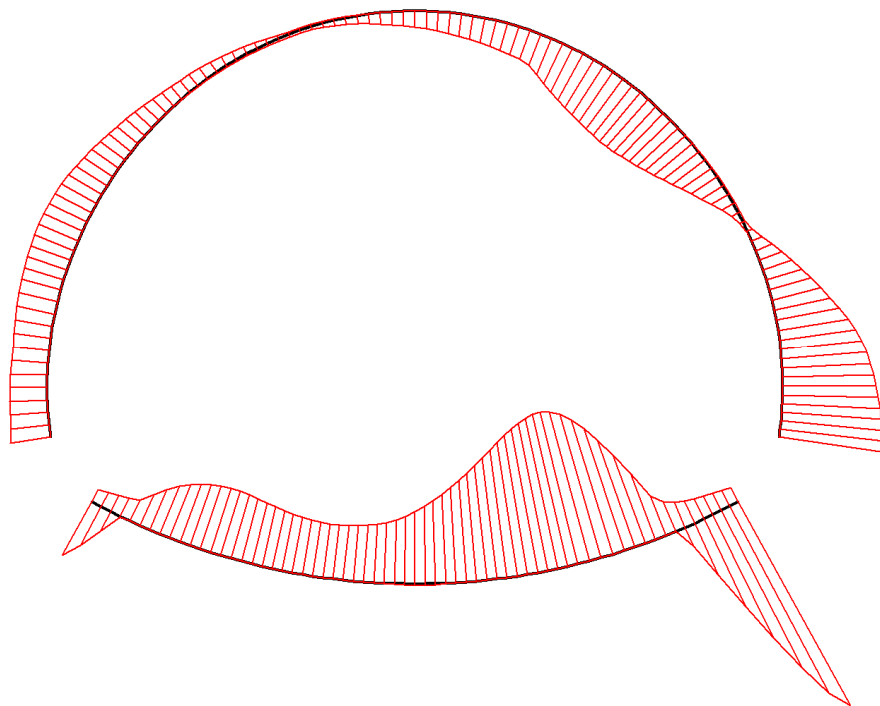
**Fig. 44 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value 111,00 kN/m (Phase: 13)



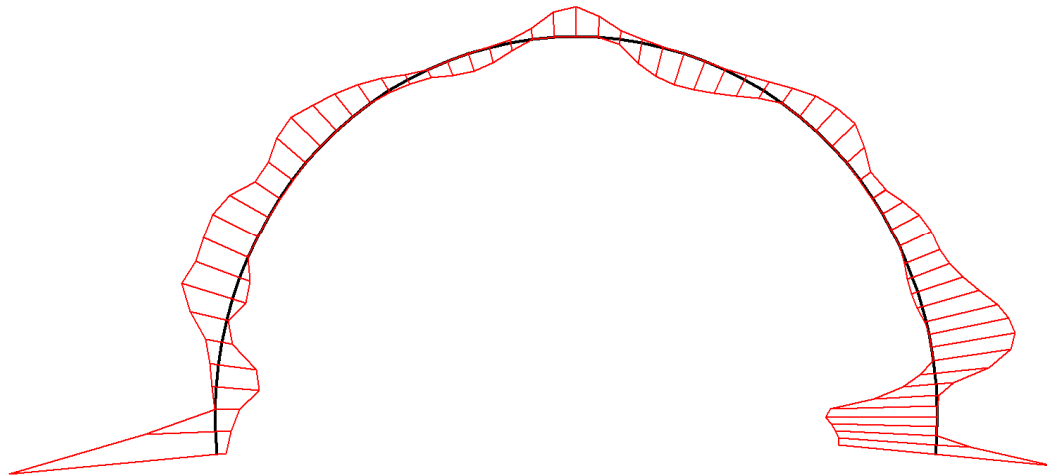
**Fig. 45 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value  $27,15 \cdot 10^{-9}$  kN/m/m (Phase: 13)



**Fig. 46 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value 34,33 kN/m/m (Phase: 13)



**Fig. 47 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value  $142,90 \cdot 10^{-9}$  kN/m/m (Phase: 13)

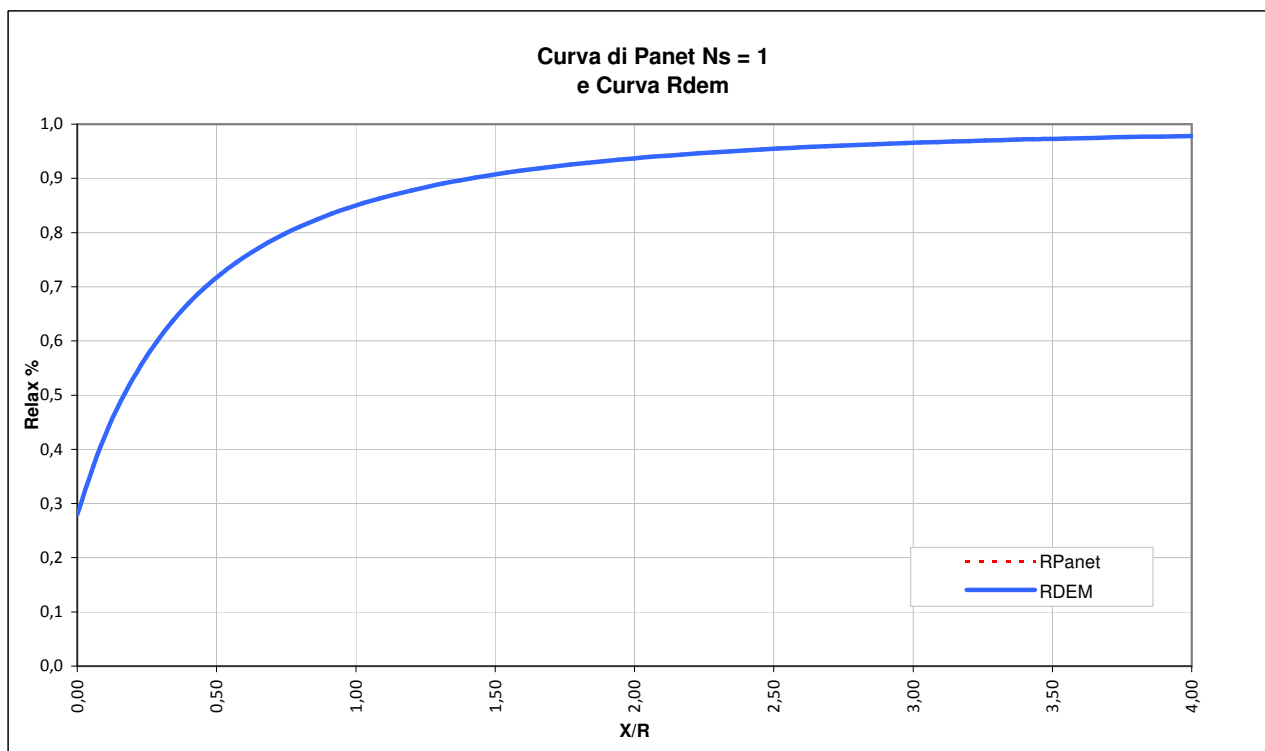


**Fig. 48 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value 47,73 kN/m/m (Phase: 13)

**LAVORO** PONTE SULLO STRETTO  
**Sezione** C1-ALLARGO

**Copertura** 30m  
**Litotipo** Ghiaie e sabbie di Messina

| TIME    | DESCRIZIONE  | Xfronte [m]          | Rpanet | R(FEM) |
|---------|--|----------------------|--------|--------|
| Time 0  | Geostatico   | $-\infty$            | 0%     | 0%     |
| Time 1  | Canna 1: Fronte di scavo                               | 0                    | 28%    | 28%    |
| Time 2  | Canna 1 : Avanzamento primo sfondo                     | 1                    | 44%    | 44%    |
| Time 3  | Canna 1: Installazione priverivestimento e avanzamento | 6                    | 78%    | 78%    |
| Time 4  | Canna 1: Maturazione priverivestimento e avanzamento   | $\approx 1$ diametro | 89%    | 89%    |
| Time 5  | Canna 1: Getto arco rovescio e murette e avanzamento   | $\approx 6$ diametri | 100%   | 100%   |
| Time 6  | Canna 1: Getto calotte                                 | $> 6$ diametri       | 100%   | 100%   |
| Time 7  | Canna 2: Fronte di scavo                               | 0                    | 28%    | 28%    |
| Time 8  | Canna 2 : Avanzamento primo sfondo                     | 1                    | 44%    | 44%    |
| Time 9  | Canna 2: Installazione priverivestimento e avanzamento | 2                    | 78%    | 78%    |
| Time 10 | Canna 2: Maturazione priverivestimento e avanzamento   | 6                    | 89%    | 89%    |
| Time 11 | Canna 2: Getto arco rovescio e murette e avanzamento   | $\approx 1$ diametro | 100%   | 100%   |
| Time 12 | Canna 2: Getto calotte                                 | $> 6$ diametri       | 100%   | 100%   |
| Time 13 | Canna 1 e 2: Analisi di lungo termine                  | $+\infty$            | 100%   | 100%   |





## 2. Material data

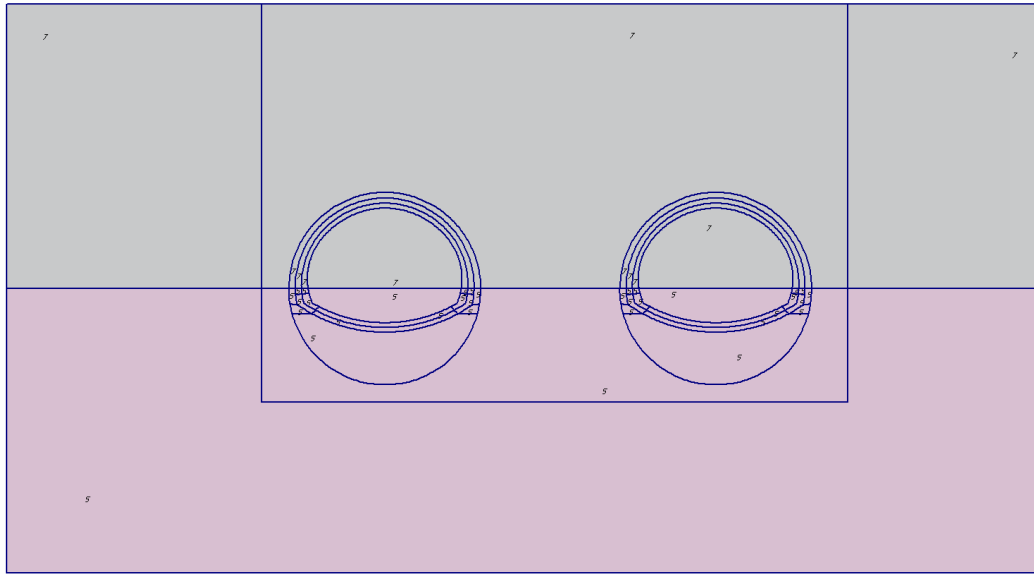


Fig. 2 Plot of geometry with material data sets

Table [1] Soil data sets parameters

| <i>Hardening Soil</i>         |                      | 4                | 5             | 6             | 7             |
|-------------------------------|----------------------|------------------|---------------|---------------|---------------|
|                               |                      | Ghiaie di ME_450 | Ghiaie ME_275 | Ghiaie ME_350 | Ghiaie_ME_100 |
| <b>Type</b>                   |                      | Drained          | Drained       | Drained       | Drained       |
| $\gamma_{unsat}$              | [kN/m <sup>3</sup> ] | 19,00            | 19,00         | 19,00         | 19,00         |
| $\gamma_{sat}$                | [kN/m <sup>3</sup> ] | 19,00            | 19,00         | 19,00         | 19,00         |
| $k_x$                         | [m/day]              | 0,000            | 0,000         | 0,000         | 1,000         |
| $k_y$                         | [m/day]              | 0,000            | 0,000         | 0,000         | 1,000         |
| $e_{init}$                    | [-]                  | 0,50             | 0,50          | 0,50          | 0,50          |
| $e_{min}$                     | [-]                  | 0,00             | 0,00          | 0,00          | 0,00          |
| $e_{max}$                     | [-]                  | 999,00           | 999,00        | 999,00        | 999,00        |
| $c_k$                         | [-]                  | 1E15             | 1E15          | 1E15          | 1E15          |
| $E_{50}^{ref}$                | [kN/m <sup>2</sup> ] | 450000,00        | 275000,00     | 350000,00     | 100000,00     |
| $E_{oed}^{ref}$               | [kN/m <sup>2</sup> ] | 450000,00        | 275000,00     | 350000,00     | 100000,00     |
| <b>power (m)</b>              | [-]                  | 0,00             | 0,00          | 0,00          | 0,00          |
| $c_{ref}$                     | [kN/m <sup>2</sup> ] | 10,00            | 10,00         | 10,00         | 10,00         |
| $\phi$                        | [°]                  | 38,00            | 38,00         | 38,00         | 38,00         |
| $\psi$                        | [°]                  | 0,00             | 0,00          | 0,00          | 0,00          |
| $E_{ur}^{ref}$                | [kN/m <sup>2</sup> ] | 1350000,00       | 825000,00     | 1050000,00    | 300000,00     |
| $v_{ur}^{(nu)}$               | [-]                  | 0,200            | 0,200         | 0,200         | 0,200         |
| $p^{ref}$                     | [kN/m <sup>2</sup> ] | 100,00           | 100,00        | 100,00        | 100,00        |
| $c_{increment}$               | [kN/m <sup>2</sup> ] | 0,00             | 0,00          | 0,00          | 0,00          |
| $y_{ref}$                     | [m]                  | 0,00             | 0,00          | 0,00          | 28,00         |
| $R_f$                         | [-]                  | 0,90             | 0,90          | 0,90          | 0,90          |
| $T_{str.}$                    | [kN/m <sup>2</sup> ] | 0,00             | 0,00          | 0,00          | 0,00          |
| $R_{inter}$                   | [-]                  | 1,00             | 1,00          | 1,00          | 1,00          |
| $\delta_{inter}$              | [m]                  | 0,00             | 0,00          | 0,00          | 0,00          |
| <b>Interface permeability</b> |                      | Neutral          | Neutral       | Neutral       | Neutral       |

### 3. Results for phase 14

#### 3.1. Deformations

##### 3.1.1. Plot of horizontal displacements

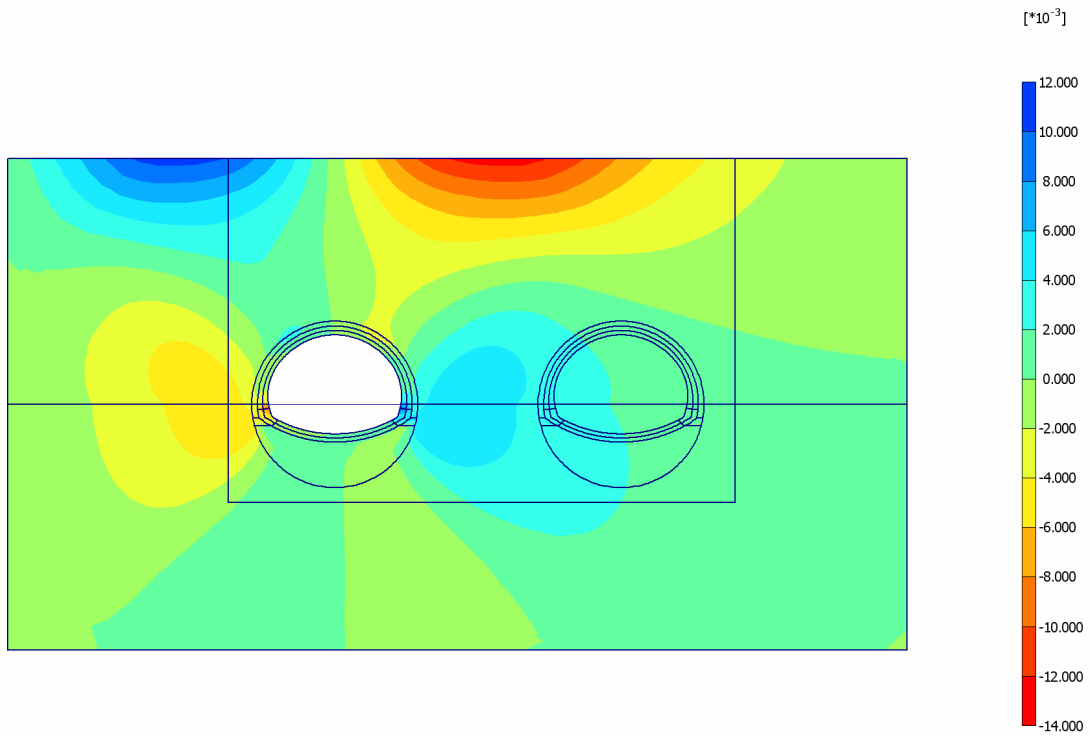


Fig. 3 Plot of horizontal displacements (shadings)  
- Step no: 27 - ( Phase: 14 )

##### 3.1.2. Plot of vertical displacements

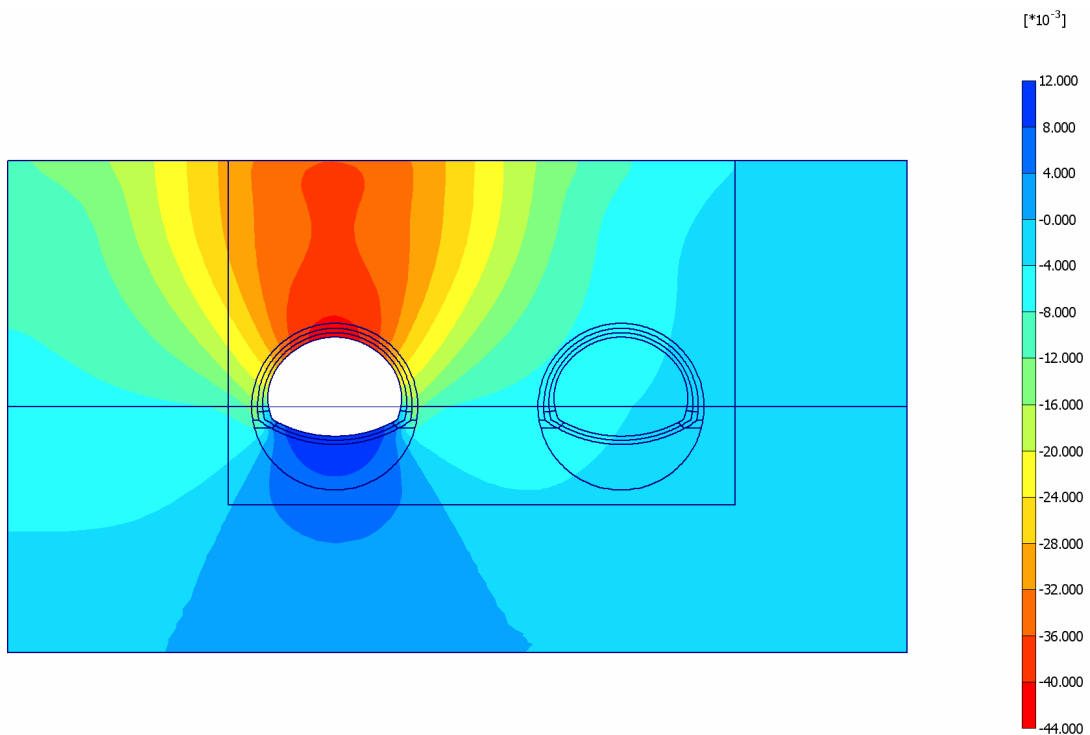


Fig. 4 Plot of vertical displacements (shadings)  
- Step no: 27 - ( Phase: 14 )



### 3.2. Stresses

#### 3.2.3. Plot of total stresses

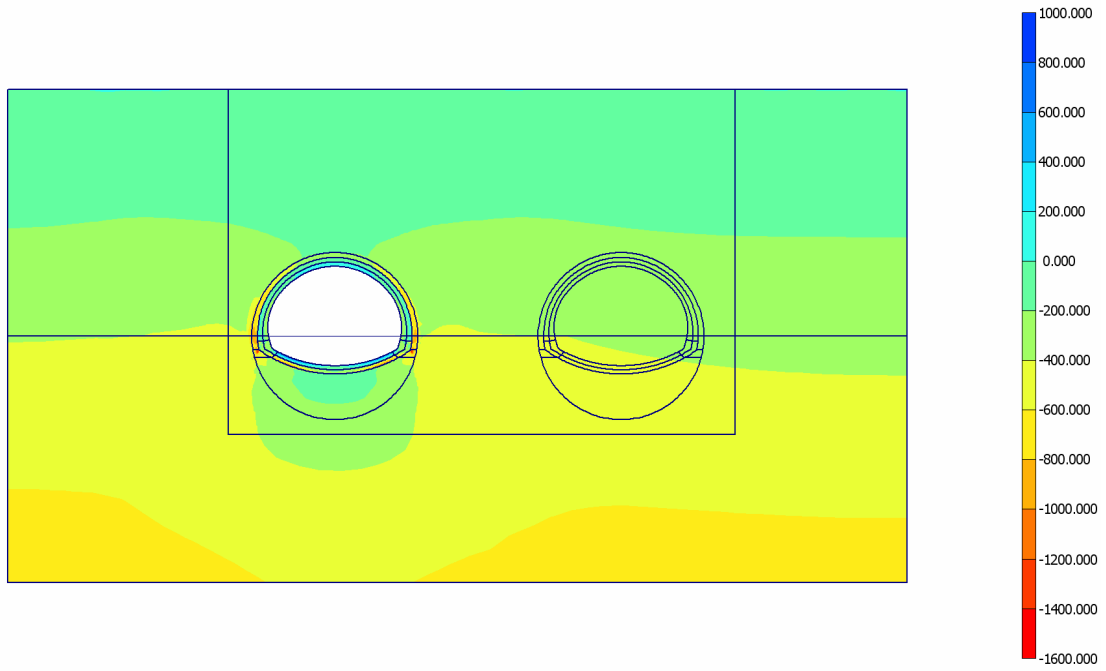
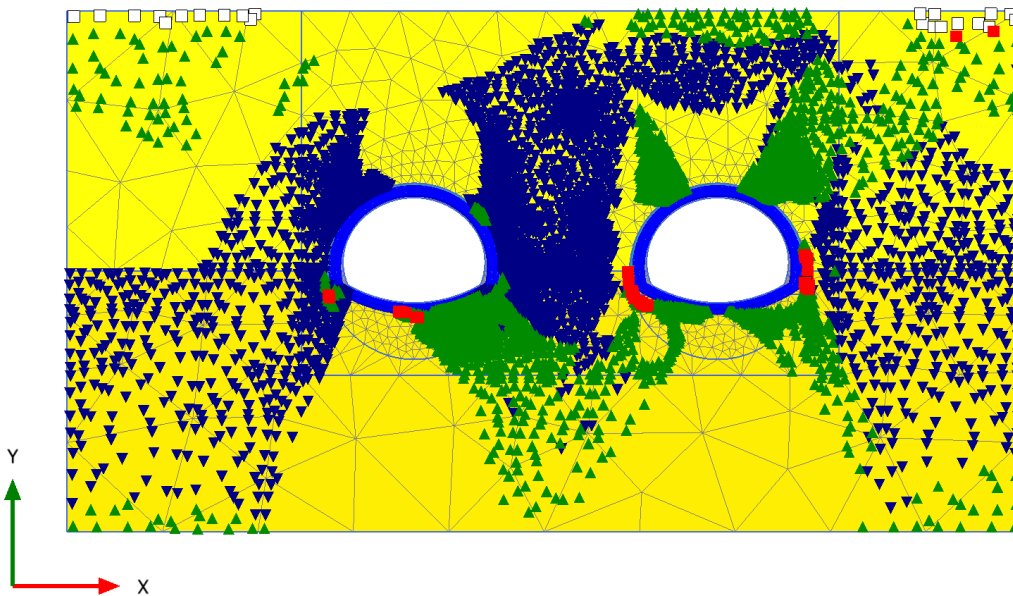


Fig. 5 Plot of total stresses (mean shadings)  
- Step no: 27 - ( Phase: 14 )

#### 3.2.3. Plot of plastic points

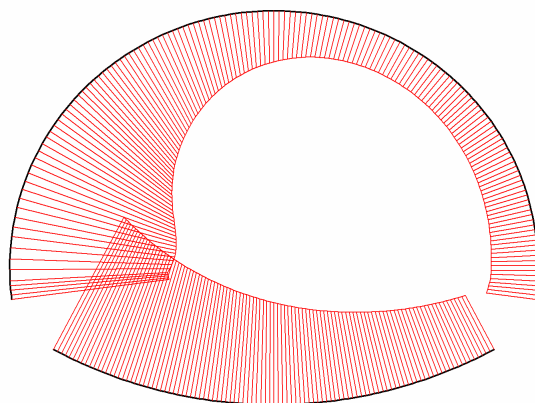


| Plastic points       |                         |
|----------------------|-------------------------|
| ■ Mohr-Coulomb point | □ Tension cut-off point |
| ▼ Cap point          | ▲ Hardening point       |

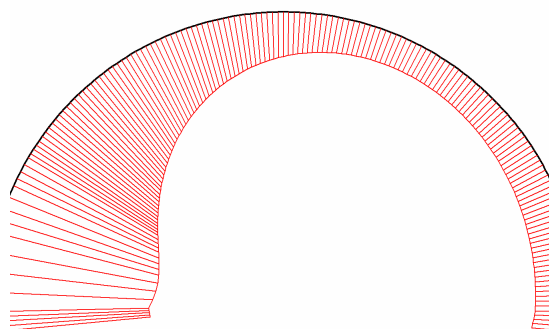
### 3.3. Structures

#### 3.3.4. Beams

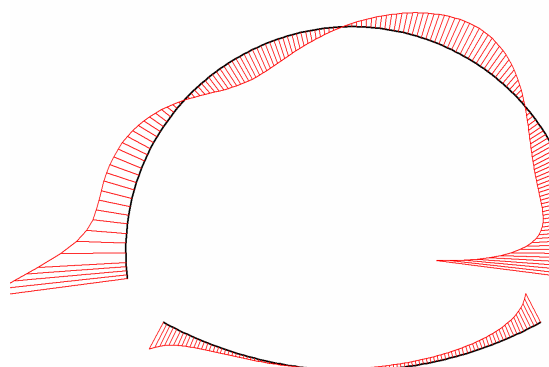
##### 3.3.4.1. Beams



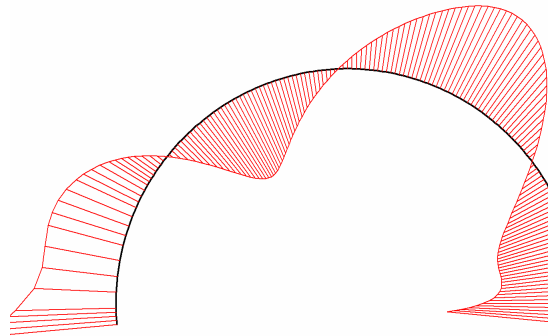
**Fig. 6 Horizontal displacements in beam**  
Extreme value  $3,32 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 14)



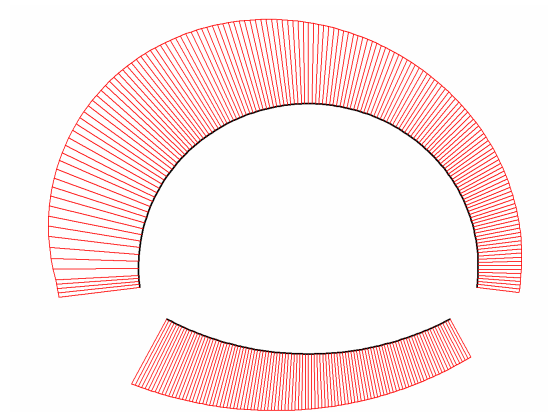
**Fig. 7 Horizontal displacements in beam**  
Extreme value  $3,46 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 14)



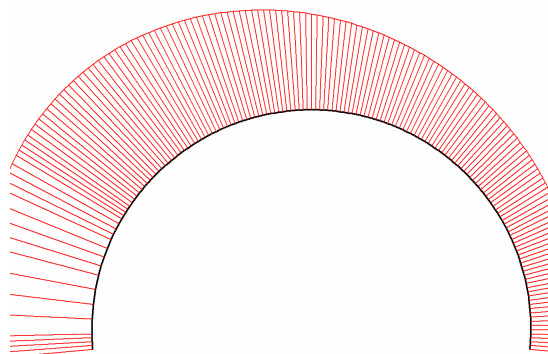
**Fig. 8 Horizontal displacements in beam**  
Extreme value  $8,33 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 14)



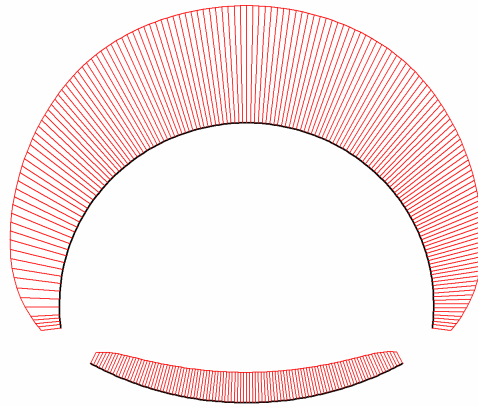
**Fig. 9 Horizontal displacements in beam**  
Extreme value  $3,22 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 14)



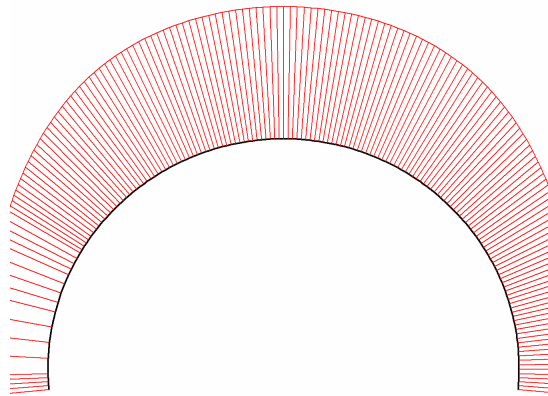
**Fig. 10 Vertical displacements in beam**  
Extreme value  $-7,29 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 14)



**Fig. 11 Vertical displacements in beam**  
Extreme value  $-7,53 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 14)

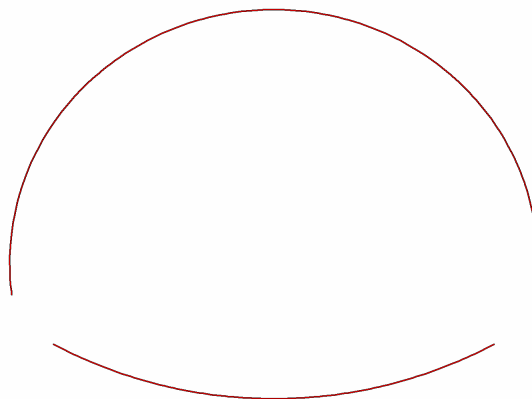


**Fig. 12 Vertical displacements in beam**  
Extreme value  $-41,15 \times 10^{-3}$  m (Phase: 14)

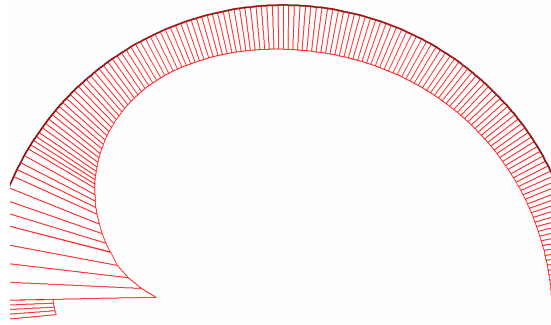


**Fig. 13 Vertical displacements in beam**  
Extreme value  $-41,13 \times 10^{-3}$  m (Phase: 14)

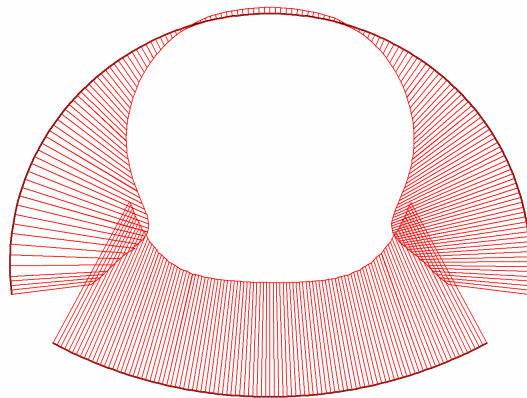
### 3.3.4.2. Beams



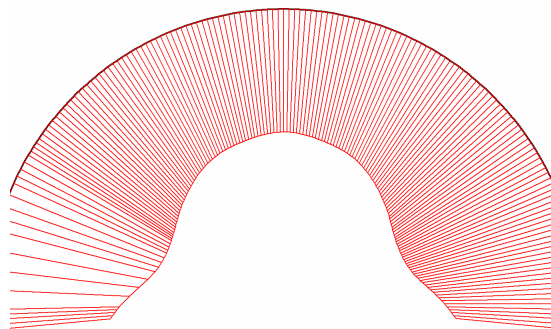
**Fig. 14 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value 0,00 kN/m (Phase: 14)



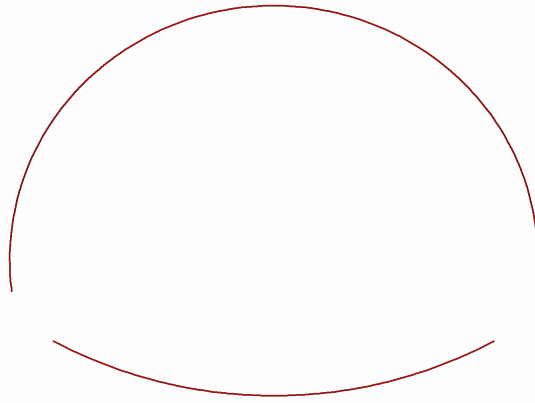
**Fig. 15 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value  $-464,67 \cdot 10^{-15}$  kN/m (Phase: 14)



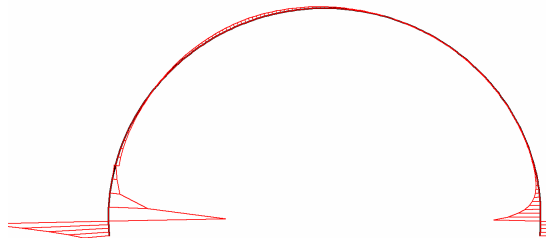
**Fig. 16 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value  $-52,75 \cdot 10^{-9}$  kN/m (Phase: 14)



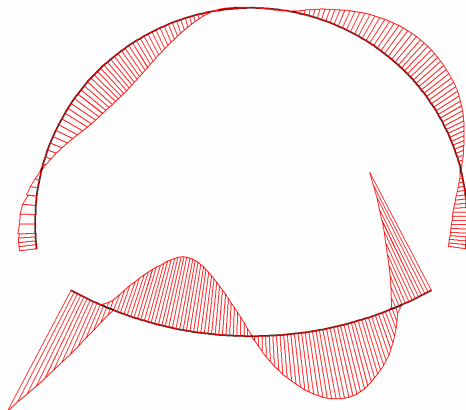
**Fig. 17 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value  $-1,64 \cdot 10^3$  kN/m (Phase: 14)



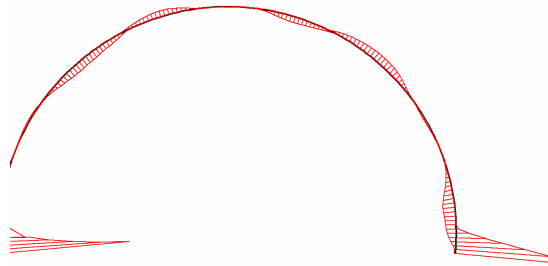
**Fig. 18 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value 0,00 kN/m (Phase: 14)



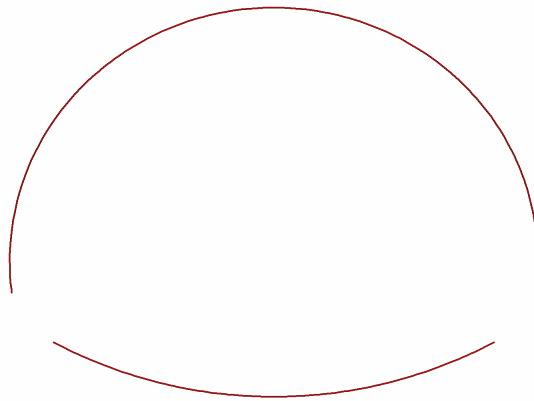
**Fig. 19 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value  $41,17 \cdot 10^{-15}$  kN/m (Phase: 14)



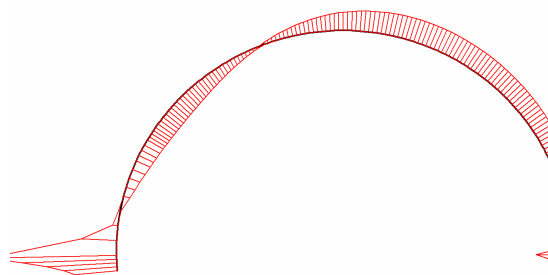
**Fig. 20 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value  $18,49 \cdot 10^{-9}$  kN/m (Phase: 14)



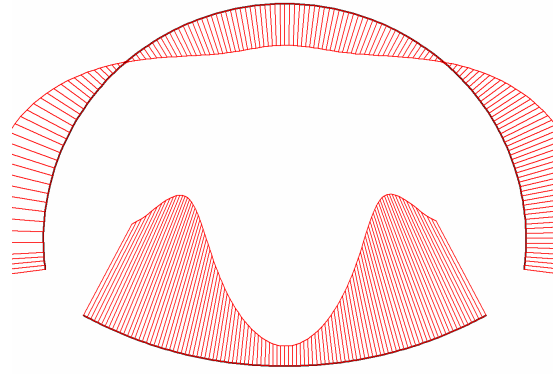
**Fig. 21 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value -151,92 kN/m (Phase: 14)



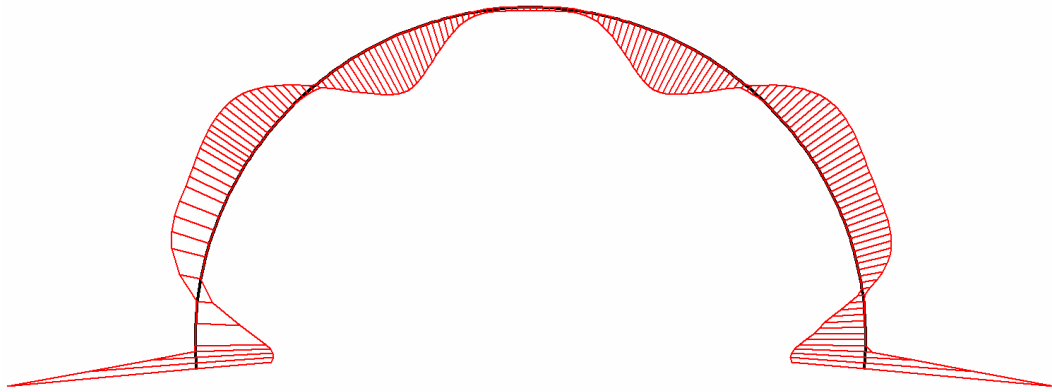
**Fig. 22 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value 0,00 kN/m/m (Phase: 14)



**Fig. 23 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value  $21,06 \cdot 10^{-15}$  kN/m/m (Phase: 14)



**Fig. 24 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value  $43,03 \cdot 10^{-9}$  kN/m/m (Phase: 14)



**Fig. 25 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value 49,70 kN/m/m (Phase: 14)



## 4. Results for phase 13

### 4.4. Deformations

#### 4.4.5. Plot of horizontal displacements

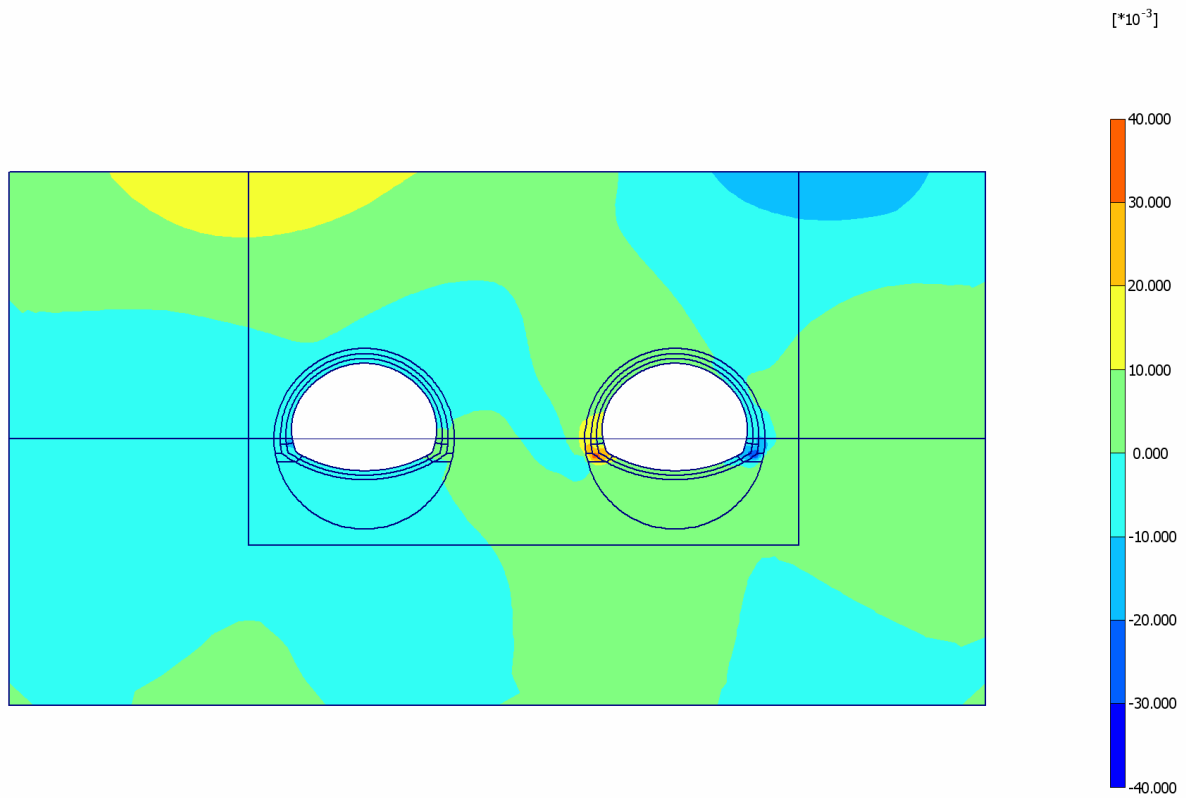


Fig. 26 Plot of horizontal displacements (shadings)  
- Step no: 120 - ( Phase: 13 )

### 4.4.6. Plot of vertical displacements

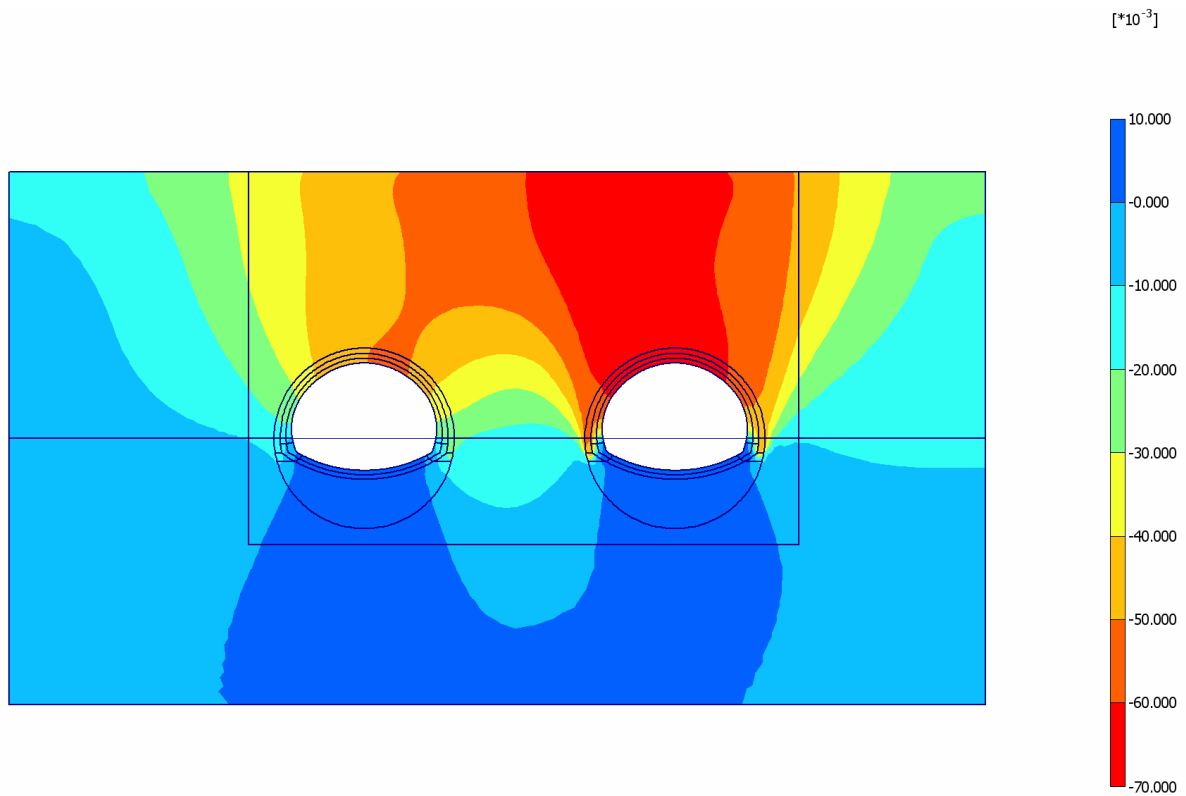


Fig. 27 Plot of vertical displacements (shadings)  
- Step no: 120 - ( Phase: 13 )

## 4.5. Stresses

### 4.5.7. Plot of total stresses

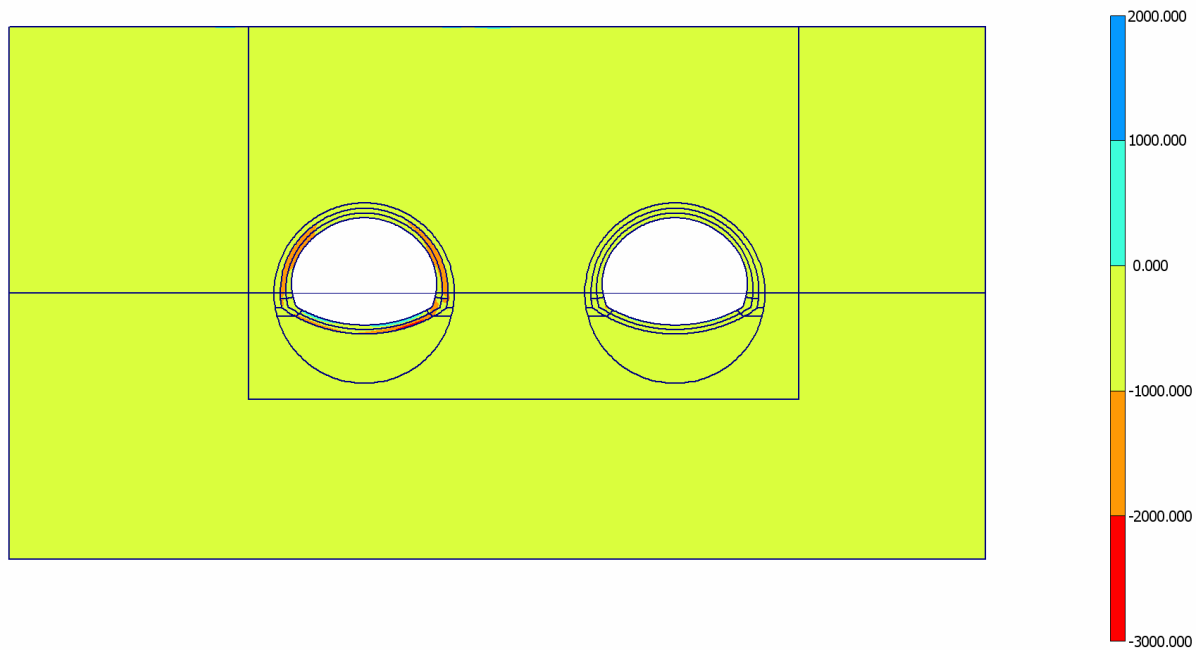
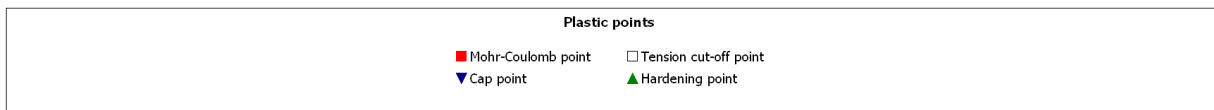
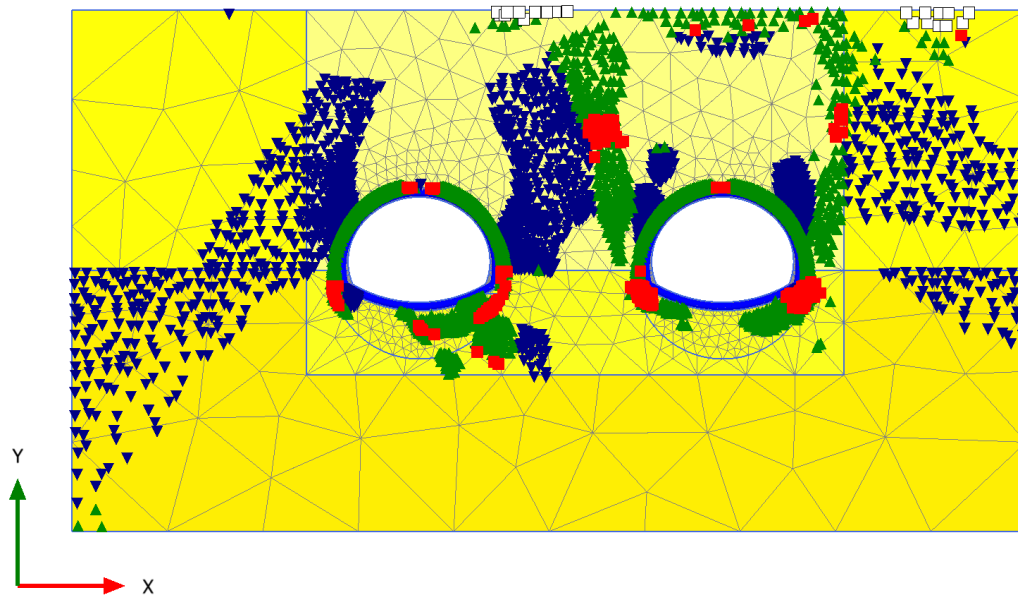


Fig. 28 Plot of total stresses (mean shadings)  
- Step no: 120 - ( Phase: 13 )

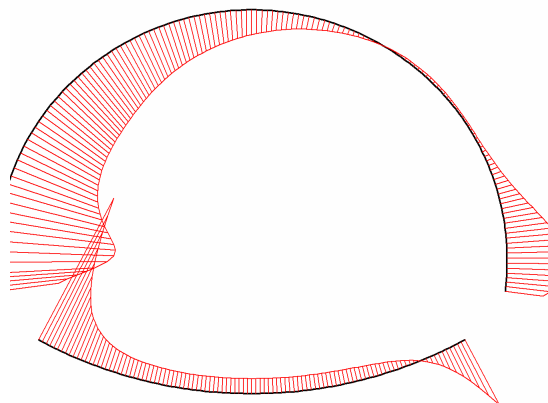
### 4.5.8. Plot of plastic points



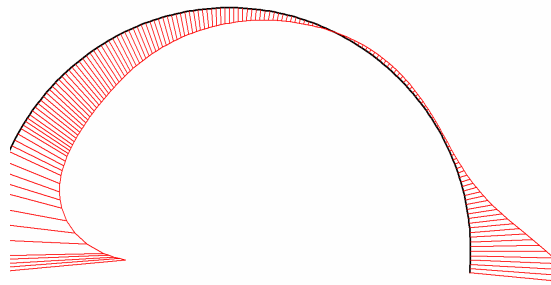
## 4.6. Structures

### 4.6.8. Beams

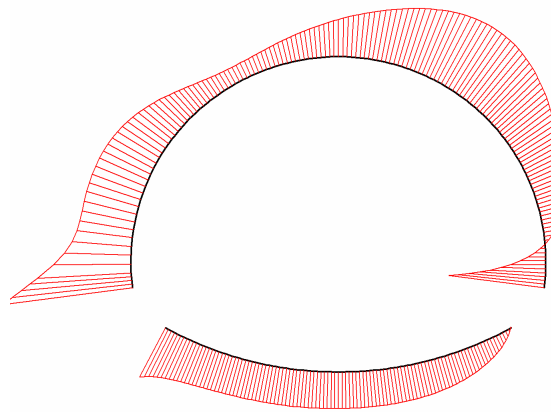
#### 4.6.8.3. Beams



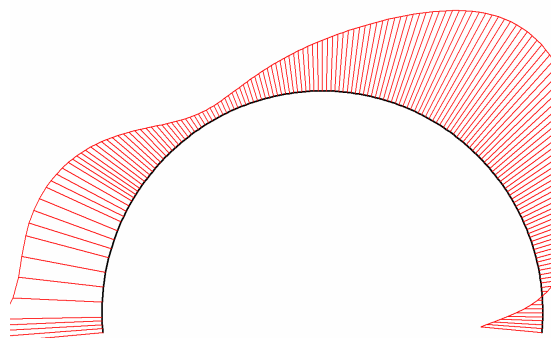
**Fig. 29 Horizontal displacements in beam**  
 Extreme value  $16,14 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 13)



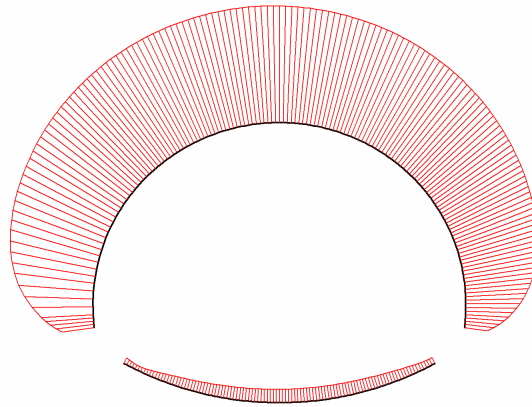
**Fig. 30 Horizontal displacements in beam**  
Extreme value  $20,88 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 13)



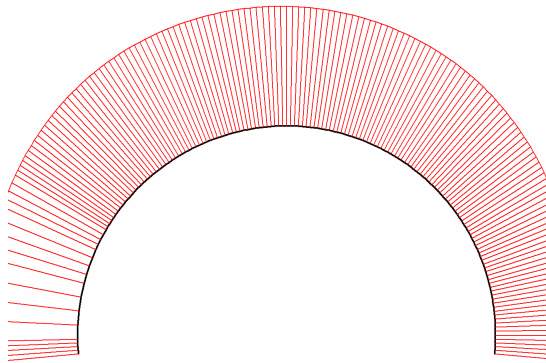
**Fig. 31 Horizontal displacements in beam**  
Extreme value  $-11,69 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 13)



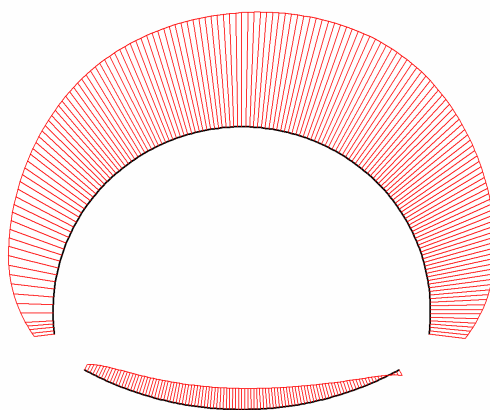
**Fig. 32 Horizontal displacements in beam**  
Extreme value  $-7,13 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 13)



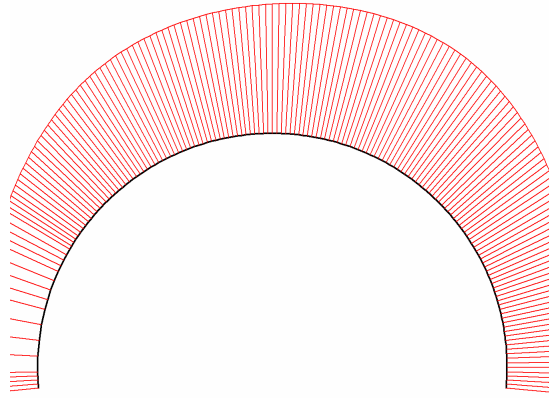
**Fig. 33 Vertical displacements in beam**  
Extreme value  $-66,97 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 13)



**Fig. 34 Vertical displacements in beam**  
Extreme value  $-66,97 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 13)

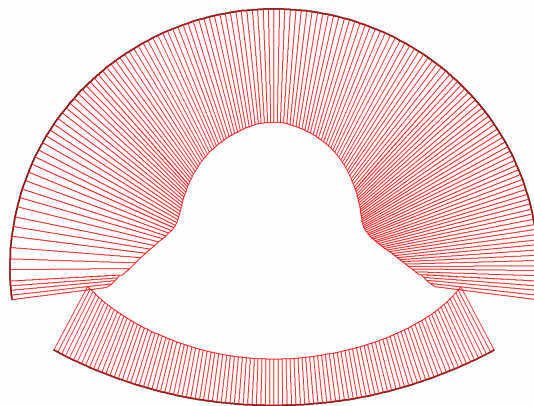


**Fig. 35 Vertical displacements in beam**  
Extreme value  $-51,47 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 13)

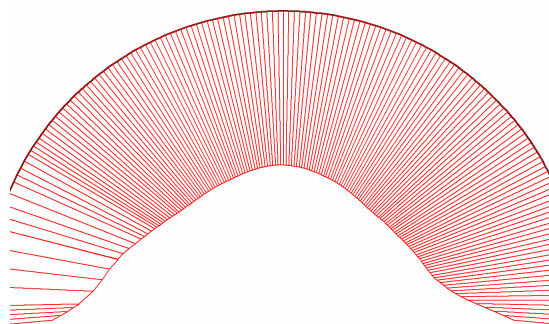


**Fig. 36 Vertical displacements in beam**  
Extreme value  $-51,49 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 13)

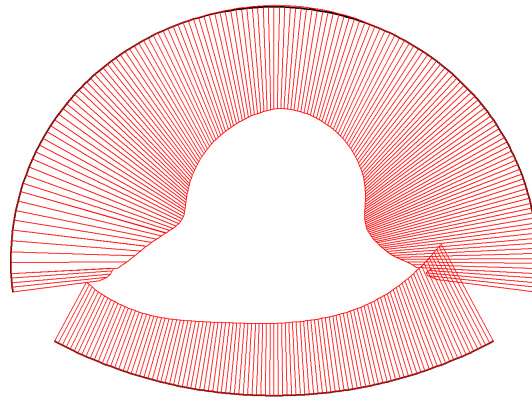
#### 4.6.8.4. Beams



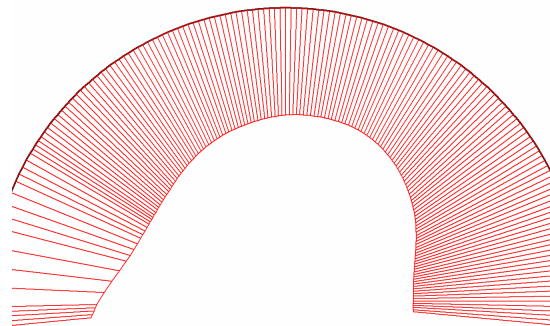
**Fig. 37 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value  $-246,92 \cdot 10^{-9}$  kN/m (Phase: 13)



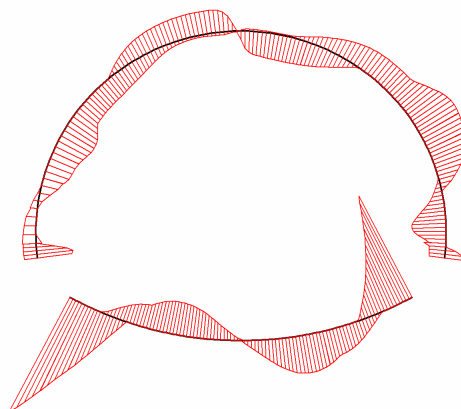
**Fig. 38 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value  $-1,44 \cdot 10^3$  kN/m (Phase: 13)



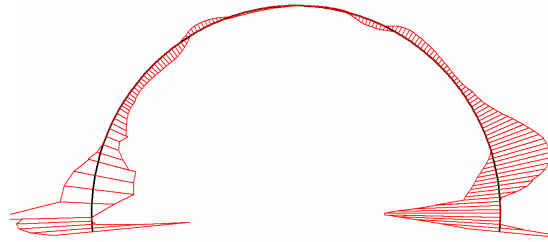
**Fig. 39 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value  $-350,26 \cdot 10^{-9}$  kN/m (Phase: 13)



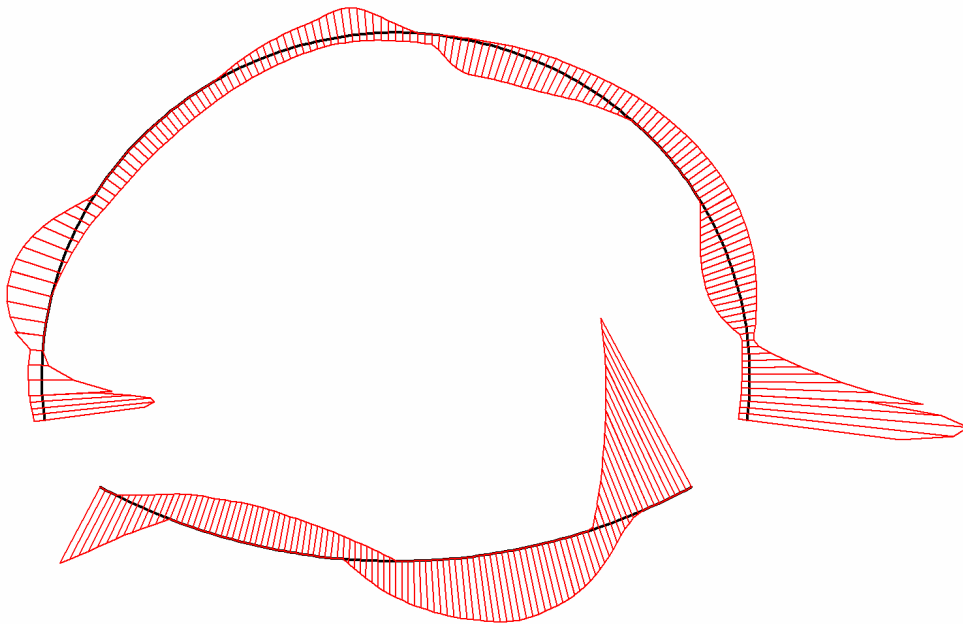
**Fig. 40 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value  $-2,84 \cdot 10^3$  kN/m (Phase: 13)



**Fig. 41 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value  $20,02 \cdot 10^{-9}$  kN/m (Phase: 13)

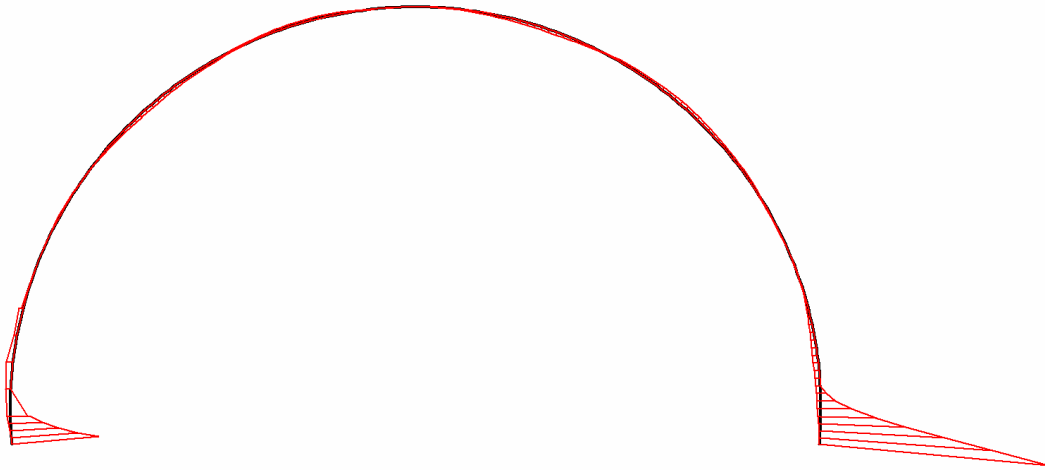


**Fig. 42 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value -63,88 kN/m (Phase: 13)

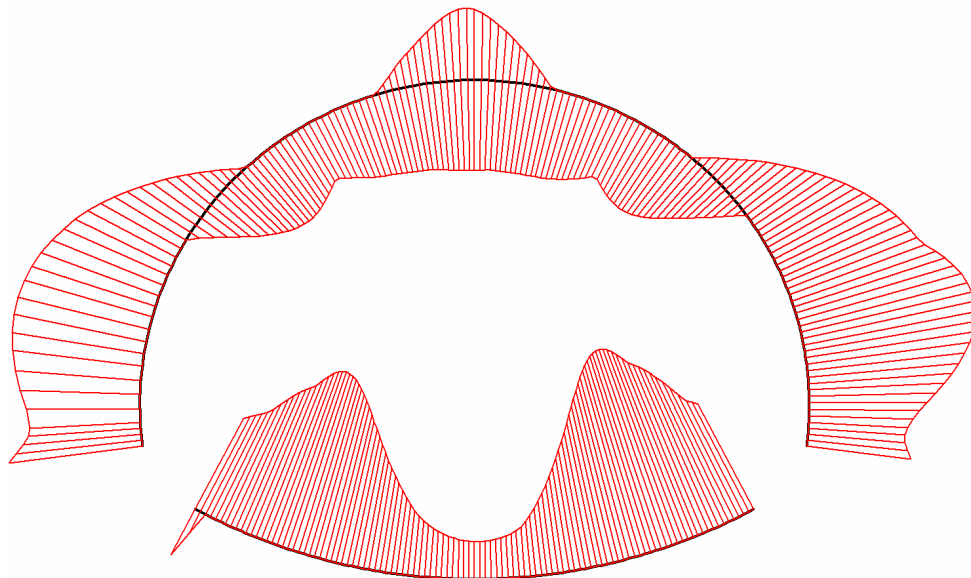


**Fig. 43 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value  $60,17 \cdot 10^{-9}$  kN/m (Phase: 13)

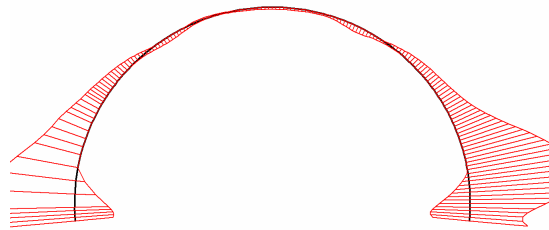




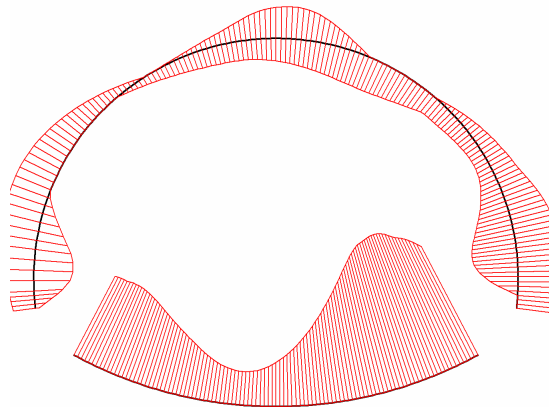
**Fig. 44 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value 675,20 kN/m (Phase: 13)



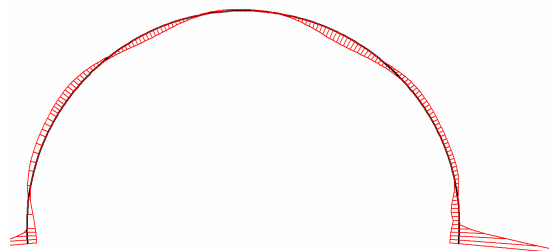
**Fig. 45 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value  $21,91 \cdot 10^{-9}$  kN/m/m (Phase: 13)



**Fig. 46 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value 97,73 kN/m/m (Phase: 13)



**Fig. 47 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value  $0,10 \cdot 10^{-6}$  kN/m/m (Phase: 13)

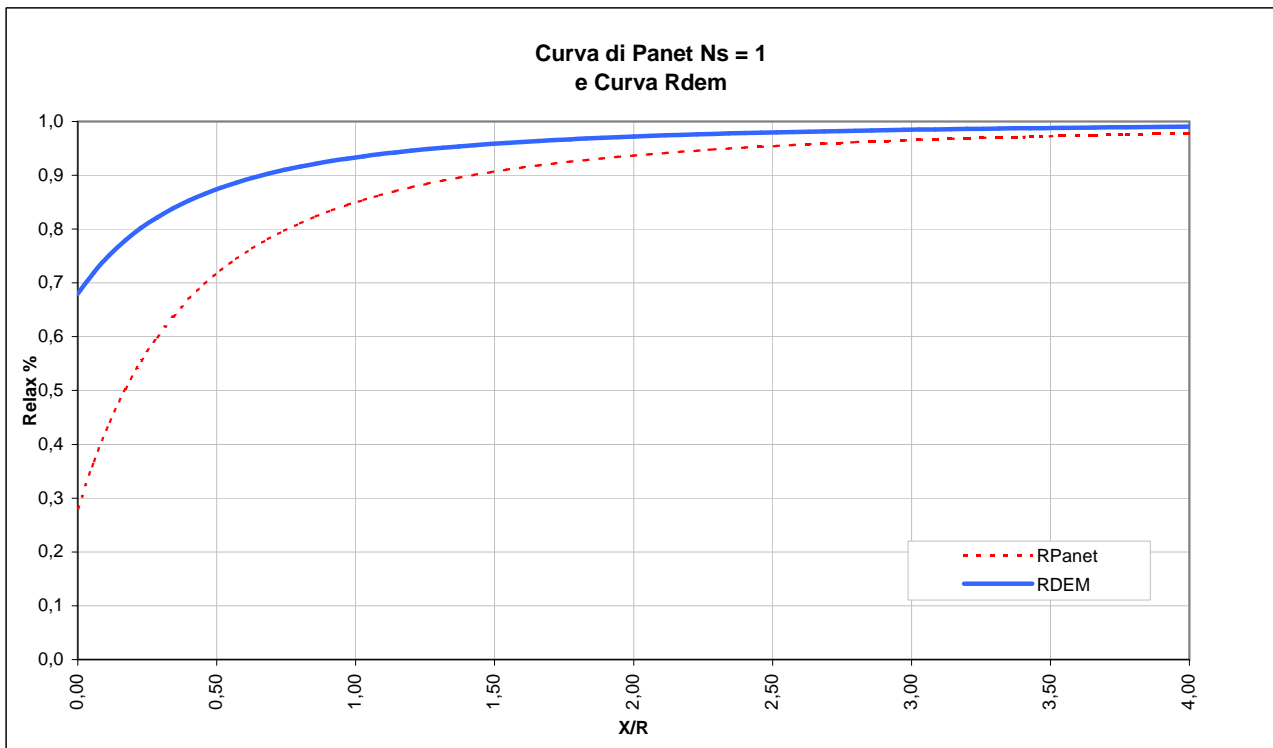


**Fig. 48 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value 272,77 kN/m/m (Phase: 13)

**LAVORO** PONTE SULLO STRETTO  
**Sezione** C1-ALLARGO

**Copertura** 60m  
**Litotipo** Ghiaie e sabbie di Messina

| TIME    | DESCRIZIONE  | X <sub>fronte</sub> [m] | R <sub>panet</sub> | R(FEM) |
|---------|--|-------------------------|--------------------|--------|
| Time 0  | Geostatico   | -∞                      | 0%                 | 0%     |
| Time 1  | Canna 1: Fronte di scavo                             | 0                       | 28%                | 68%    |
| Time 2  | Canna 1 : Avanzamento primo sfondo                   | 1                       | 44%                | 75%    |
| Time 3  | Canna 1: Installazione prerivestimento e avanzamento | 6                       | 78%                | 90%    |
| Time 4  | Canna 1: Maturazione prerivestimento e avanzamento   | ≈ 2 diametri            | 96%                | 97%    |
| Time 5  | Canna 1: Getto arco rovescio e murette e avanzamento | ≈ 6 diametri            | 100%               | 100%   |
| Time 6  | Canna 1: Getto calotte                               | > 6 diametri            | 100%               | 100%   |
| Time 7  | Canna 2: Fronte di scavo                             | 0                       | 28%                | 68%    |
| Time 8  | Canna 2 : Avanzamento primo sfondo                   | 1                       | 44%                | 75%    |
| Time 9  | Canna 2: Installazione prerivestimento e avanzamento | 2                       | 78%                | 90%    |
| Time 10 | Canna 2: Maturazione prerivestimento e avanzamento   | 6                       | 96%                | 97%    |
| Time 11 | Canna 2: Getto arco rovescio e murette e avanzamento | ≈ 2 diametri            | 100%               | 100%   |
| Time 12 | Canna 2: Getto calotte                               | > 6 diametri            | 100%               | 100%   |
| Time 13 | Canna 1 e 2: Analisi di lungo termine                | +∞                      | 100%               | 100%   |



# SEZIONE C1 – GHIAIE DI MESSINA – COPERTURA 60m

## 1. Mesh data

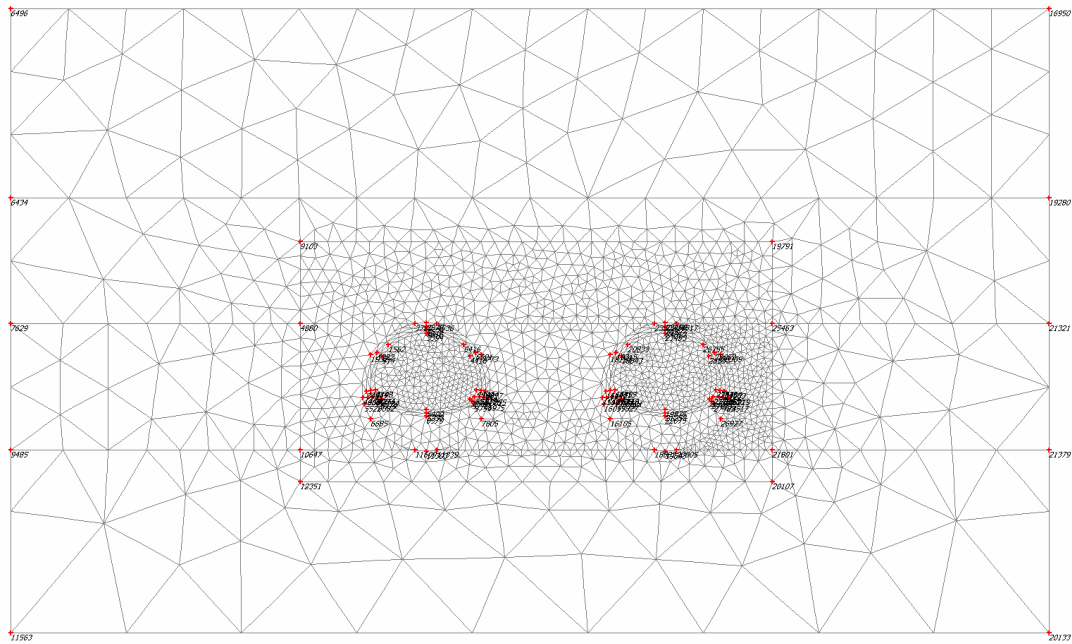


Fig. 1 Plot of the mesh with significant nodes

## 2. Material data

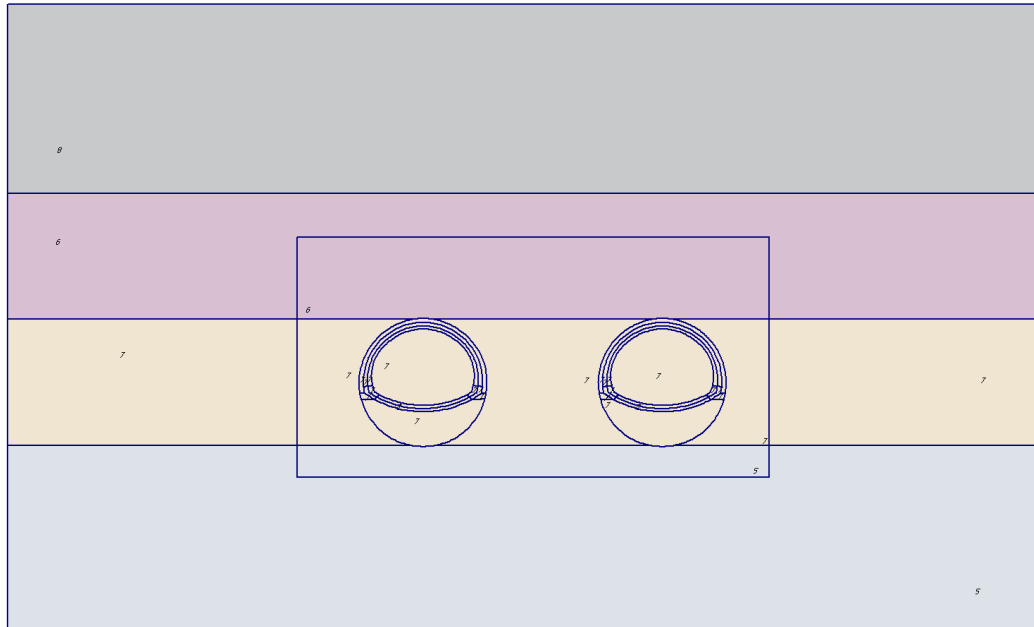


Fig. 2 Plot of geometry with material data sets

Table [1] Soil data sets parameters

| <i>Hardening Soil</i>         |                      | 5                | 6             | 7             | 8             |
|-------------------------------|----------------------|------------------|---------------|---------------|---------------|
|                               |                      | Ghiaie di ME_450 | Ghiaie ME_275 | Ghiaie ME_350 | Ghiaie_ME_100 |
| <b>Type</b>                   |                      | Drained          | Drained       | Drained       | Drained       |
| $\gamma_{unsat}$              | [kN/m <sup>3</sup> ] | 19,00            | 19,00         | 19,00         | 19,00         |
| $\gamma_{sat}$                | [kN/m <sup>3</sup> ] | 19,00            | 19,00         | 19,00         | 19,00         |
| $k_x$                         | [m/day]              | 0,000            | 0,000         | 0,000         | 1,000         |
| $k_y$                         | [m/day]              | 0,000            | 0,000         | 0,000         | 1,000         |
| $e_{init}$                    | [-]                  | 0,50             | 0,50          | 0,50          | 0,50          |
| $e_{min}$                     | [-]                  | 0,00             | 0,00          | 0,00          | 0,00          |
| $e_{max}$                     | [-]                  | 999,00           | 999,00        | 999,00        | 999,00        |
| $c_k$                         | [-]                  | 1E15             | 1E15          | 1E15          | 1E15          |
| $E_{50}^{ref}$                | [kN/m <sup>2</sup> ] | 450000,00        | 275000,00     | 350000,00     | 100000,00     |
| $E_{oed}^{ref}$               | [kN/m <sup>2</sup> ] | 450000,00        | 275000,00     | 350000,00     | 100000,00     |
| <b>power (m)</b>              | [-]                  | 0,00             | 0,00          | 0,00          | 0,00          |
| $c_{ref}$                     | [kN/m <sup>2</sup> ] | 10,00            | 10,00         | 10,00         | 10,00         |
| $\phi$                        | [°]                  | 38,00            | 38,00         | 38,00         | 38,00         |
| $\psi$                        | [°]                  | 0,00             | 0,00          | 0,00          | 0,00          |
| $E_{ur}^{ref}$                | [kN/m <sup>2</sup> ] | 1350000,00       | 825000,00     | 1050000,00    | 300000,00     |
| $\nu_{ur}^{(nu)}$             | [-]                  | 0,200            | 0,200         | 0,200         | 0,200         |
| $p^{ref}$                     | [kN/m <sup>2</sup> ] | 100,00           | 100,00        | 100,00        | 100,00        |
| $c_{increment}$               | [kN/m <sup>2</sup> ] | 0,00             | 0,00          | 0,00          | 0,00          |
| $y_{ref}$                     | [m]                  | 0,00             | 0,00          | 0,00          | 28,00         |
| $R_f$                         | [-]                  | 0,90             | 0,90          | 0,90          | 0,90          |
| $T_{str.}$                    | [kN/m <sup>2</sup> ] | 0,00             | 0,00          | 0,00          | 0,00          |
| $R_{inter}$                   | [-]                  | 1,00             | 1,00          | 1,00          | 1,00          |
| $\delta_{inter}$              | [m]                  | 0,00             | 0,00          | 0,00          | 0,00          |
| <b>Interface permeability</b> |                      | Neutral          | Neutral       | Neutral       | Neutral       |

### 3. Results for phase 7

#### 3.1. Deformations

##### 3.1.1. Plot of horizontal displacements

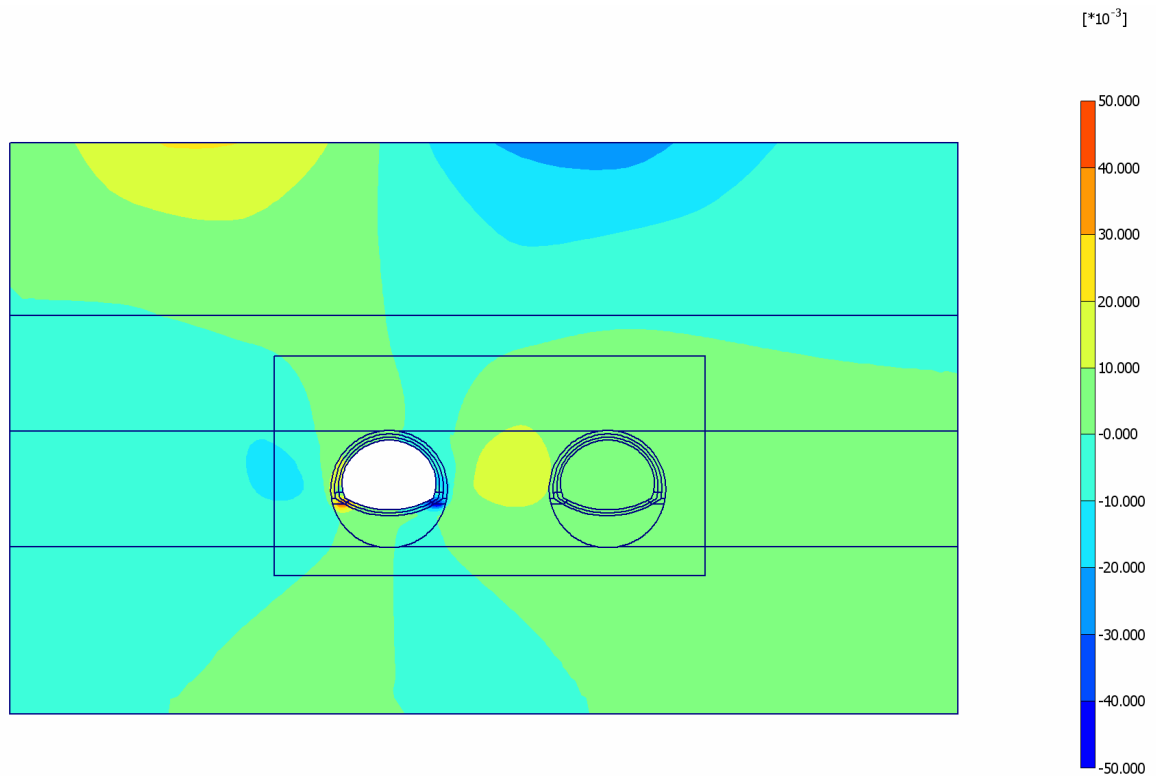


Fig. 3 Plot of horizontal displacements (shadings)  
- Step no: 57 - ( Phase: 7 )

##### 3.1.2. Plot of vertical displacements

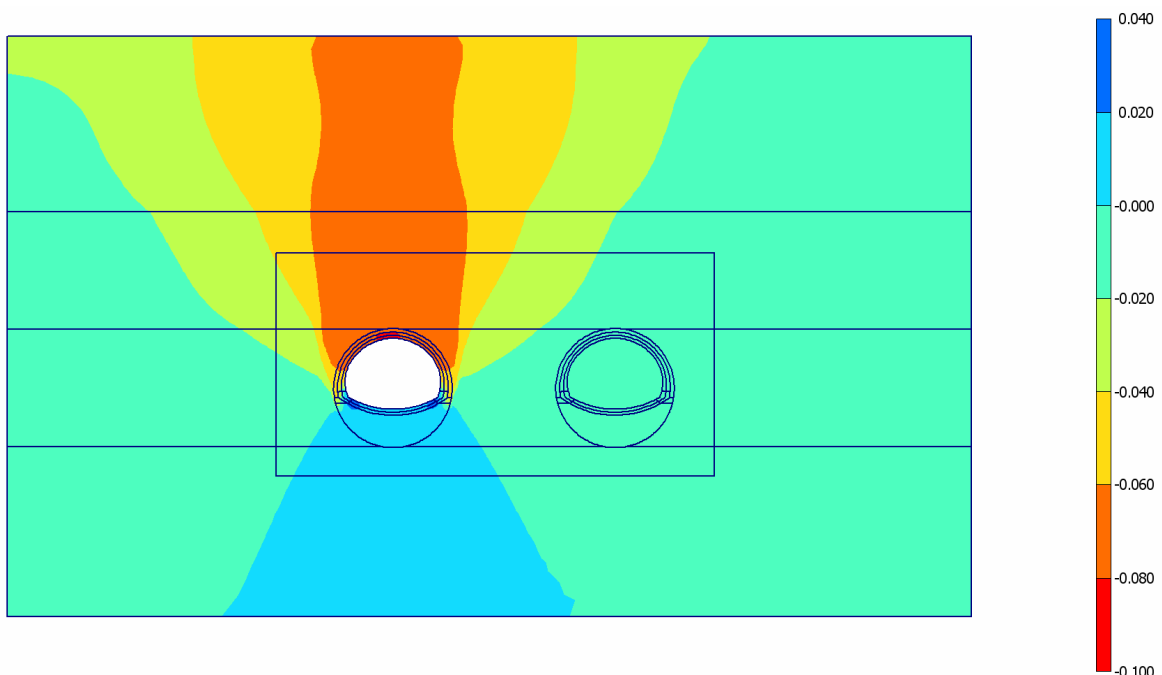


Fig. 4 Plot of vertical displacements (shadings)  
- Step no: 57 - ( Phase: 7 )

### 3.2. Stresses

#### 3.2.3. Plot of total stresses

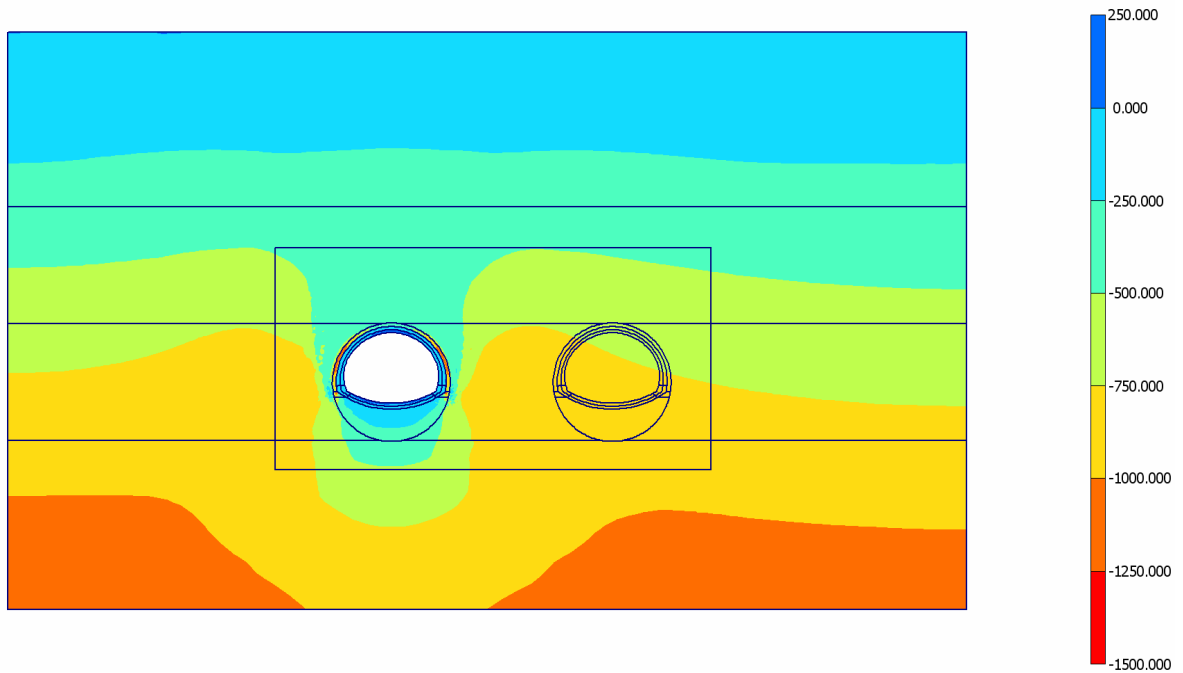
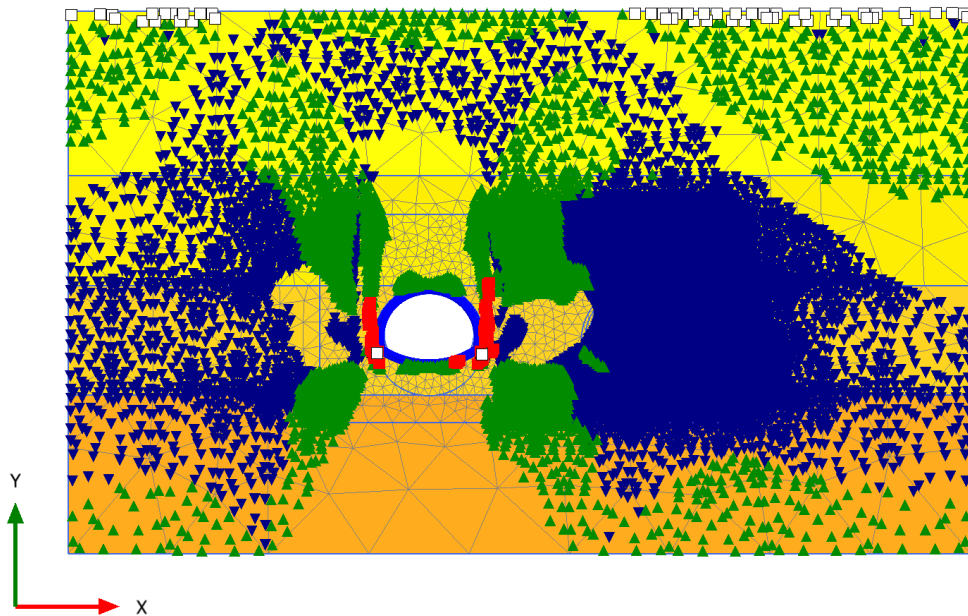


Fig. 5 Plot of total stresses (mean shadings)  
- Step no: 57 - ( Phase: 7 )

#### 3.2.4. Plot of plastic points

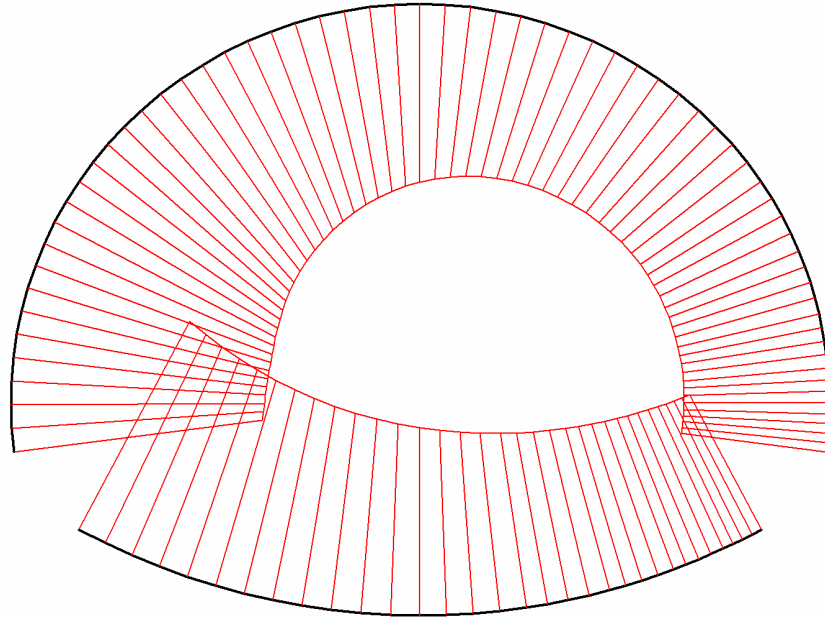


| Plastic points       |                         |
|----------------------|-------------------------|
| ■ Mohr-Coulomb point | □ Tension cut-off point |
| ▼ Cap point          | ▲ Hardening point       |

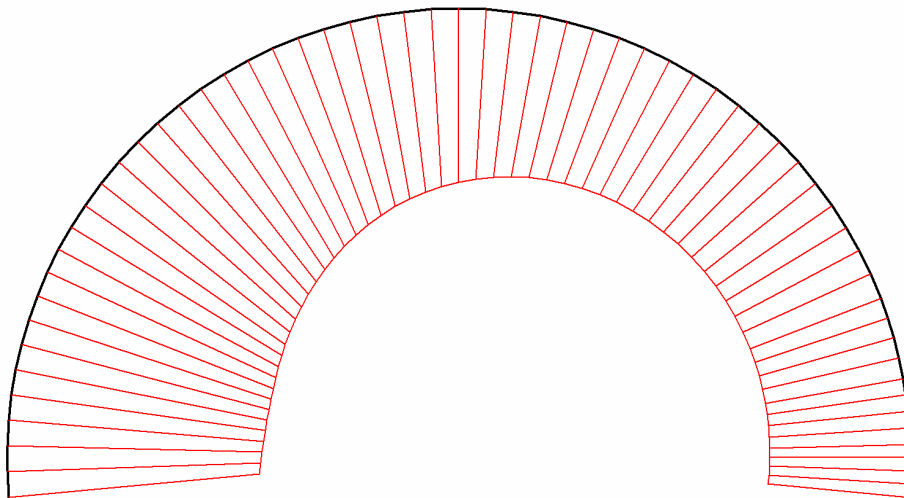
### 3.3. Structures

#### 3.3.4. Beams

##### 3.3.4.1. Beams

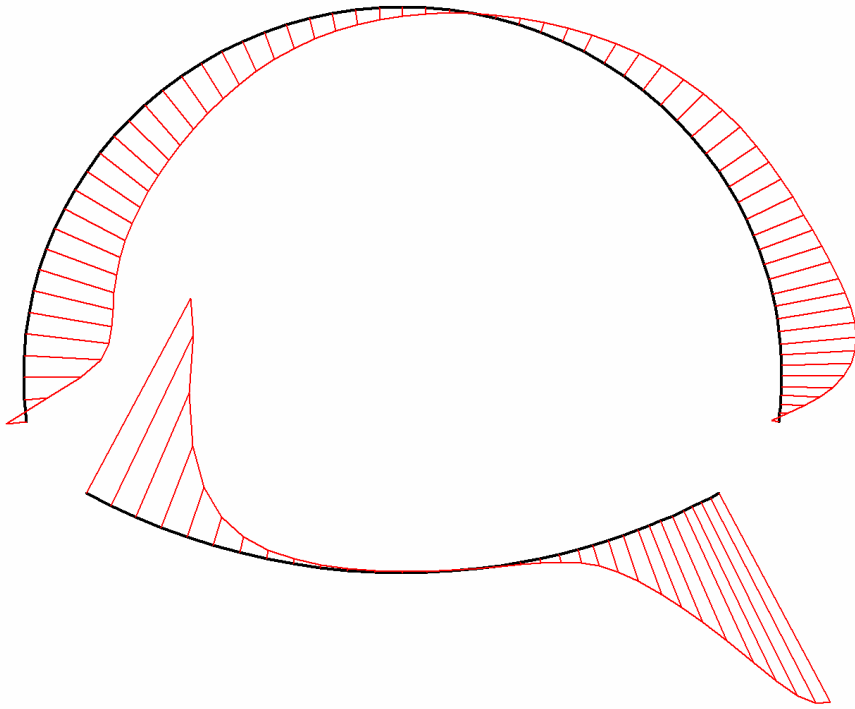


**Fig. 6 Horizontal displacements in beam**  
Extreme value  $9,65 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 7)

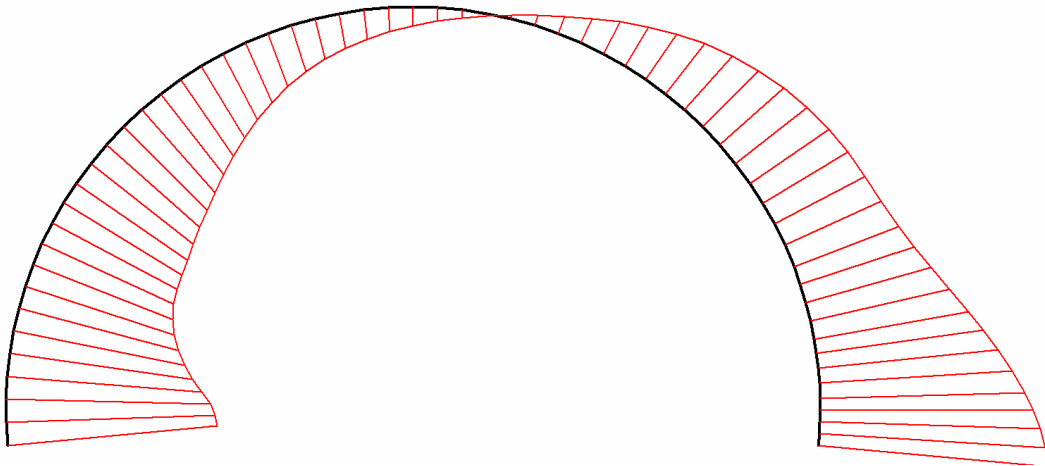


**Fig. 7 Horizontal displacements in beam**  
Extreme value  $9,83 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 7)

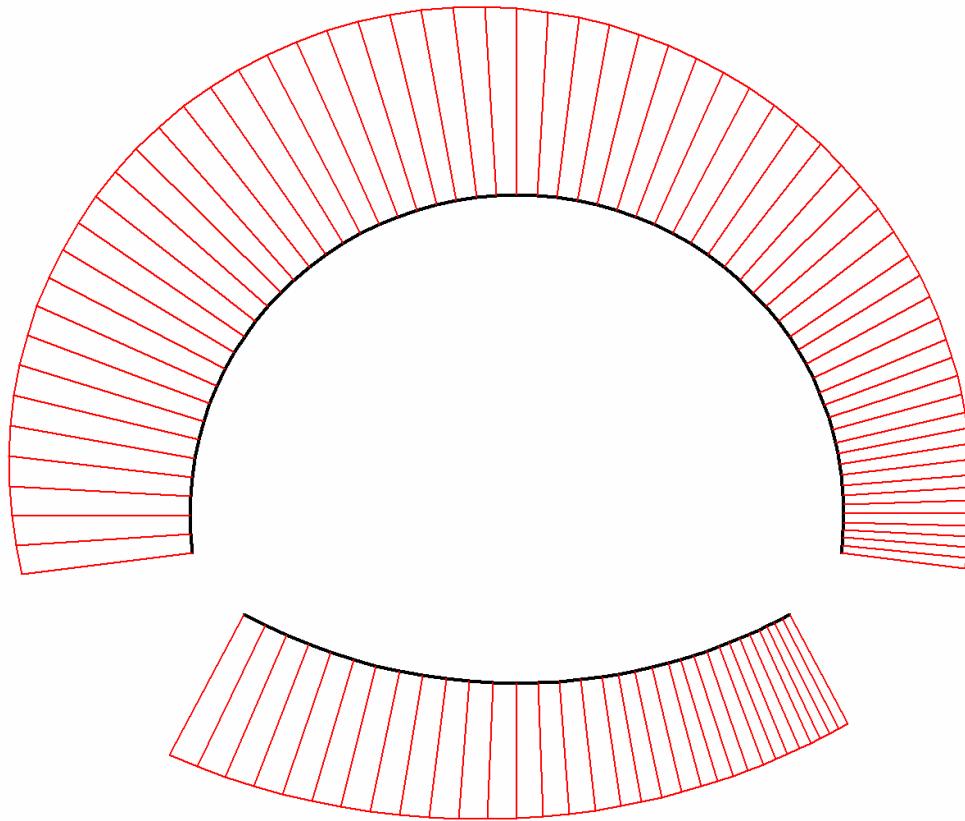




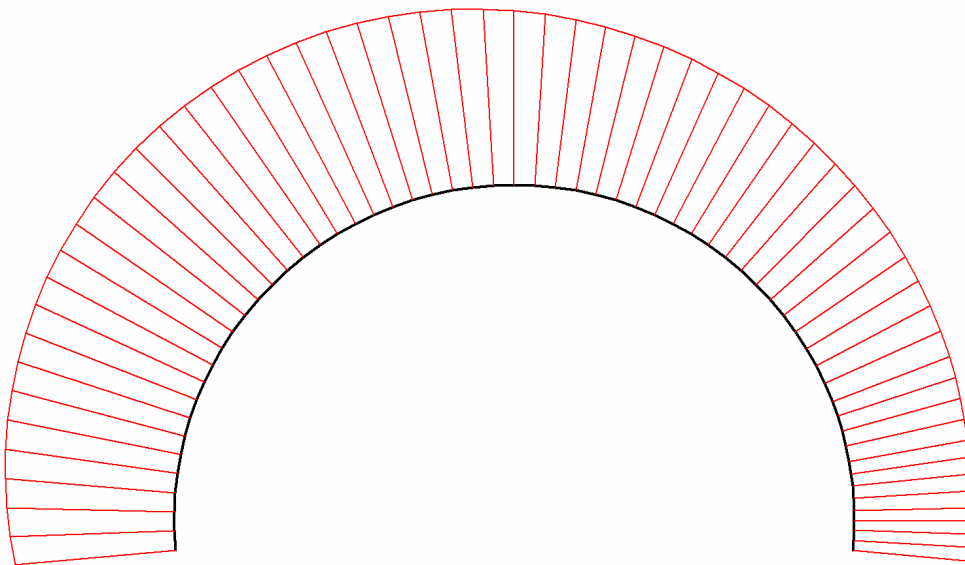
**Fig. 8 Horizontal displacements in beam**  
Extreme value  $-35,90 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 7)



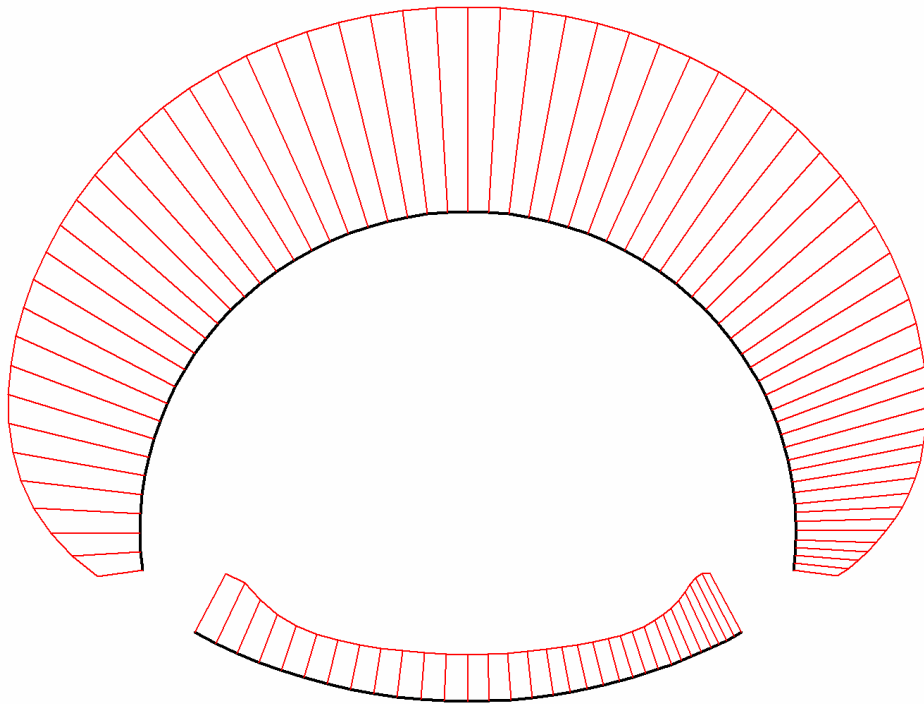
**Fig. 9 Horizontal displacements in beam**  
Extreme value  $-16,82 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 7)



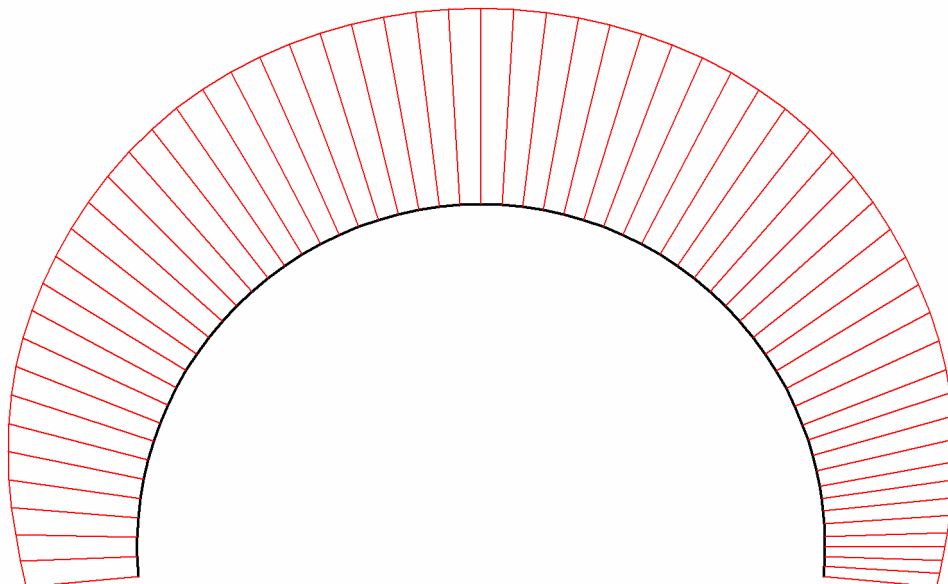
**Fig. 10 Vertical displacements in beam**  
Extreme value  $-15,38 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 7)



**Fig. 11 Vertical displacements in beam**  
Extreme value  $-15,66 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 7)

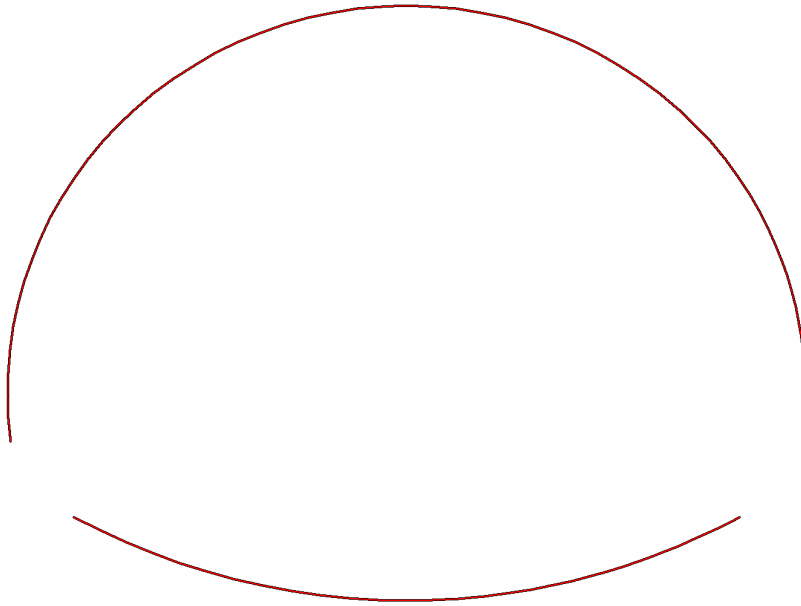


**Fig. 12 Vertical displacements in beam**  
Extreme value  $-80,14 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 7)

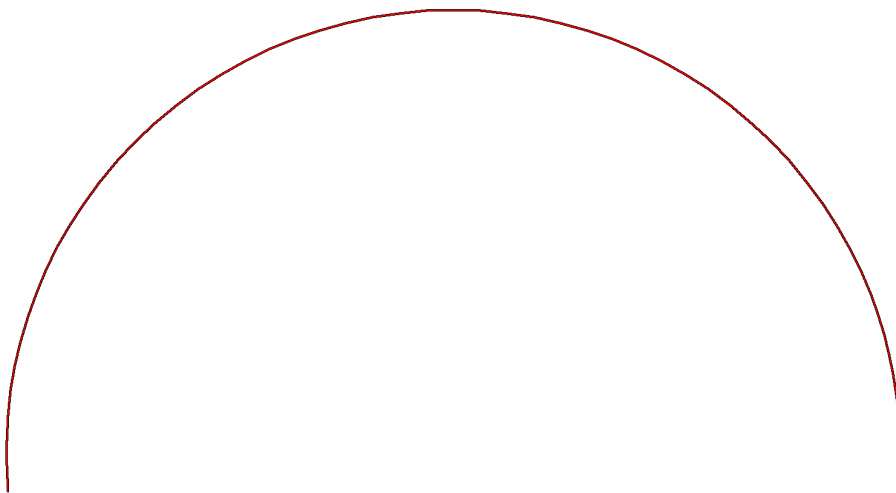


**Fig. 13 Vertical displacements in beam**  
Extreme value  $-80,15 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 7)

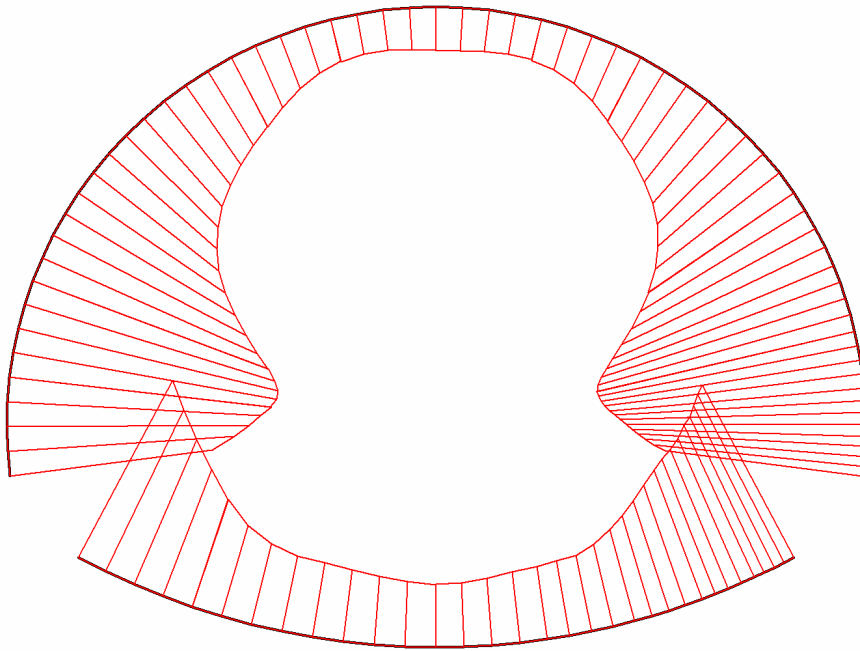
### 3.3.4.2. Beams



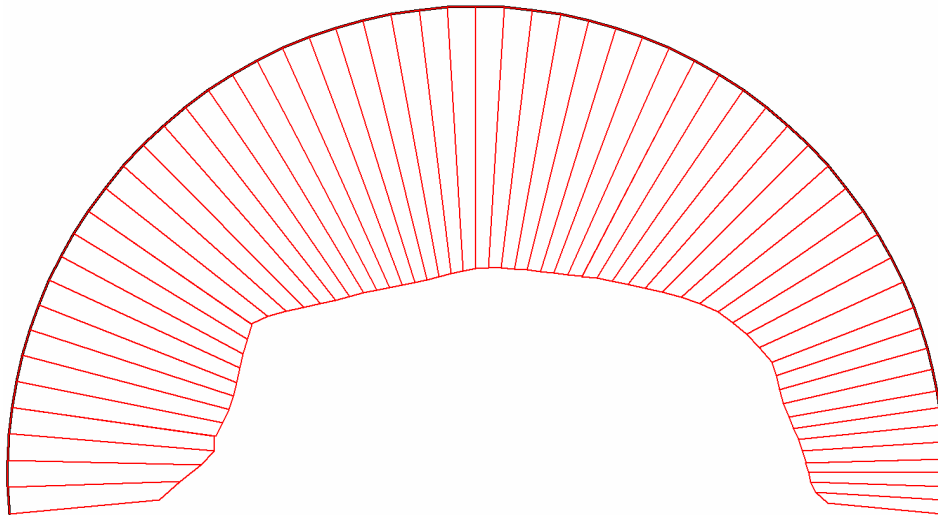
**Fig. 14 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value 0,00 kN/m (Phase: 7)



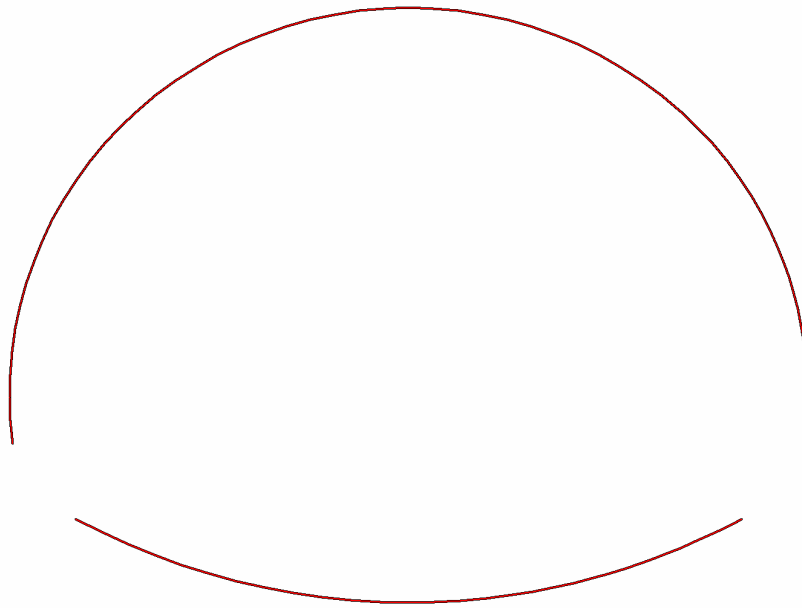
**Fig. 15 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value 0,00 kN/m (Phase: 7)



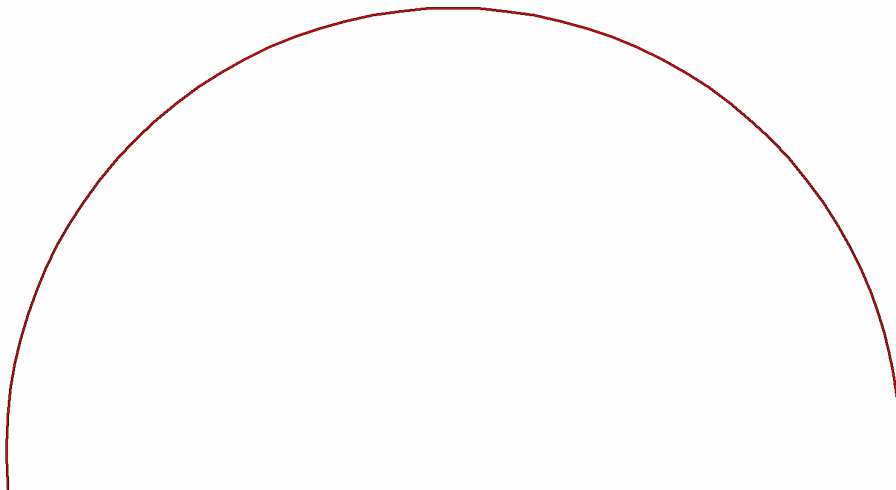
**Fig. 16 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value  $-28,45 \cdot 10^9$  kN/m (Phase: 7)



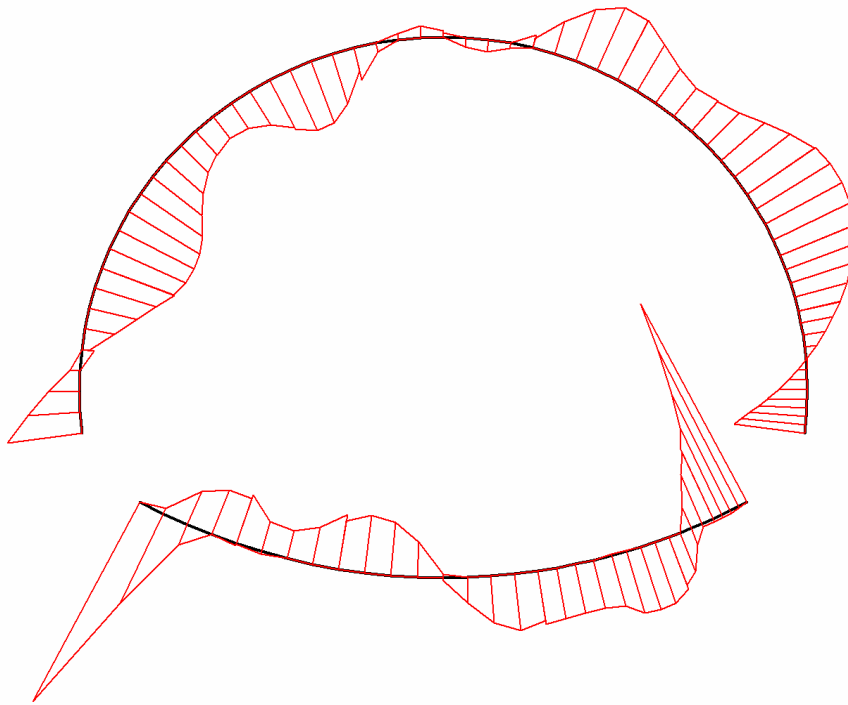
**Fig. 17 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value  $-1,51 \cdot 10^3$  kN/m (Phase: 7)



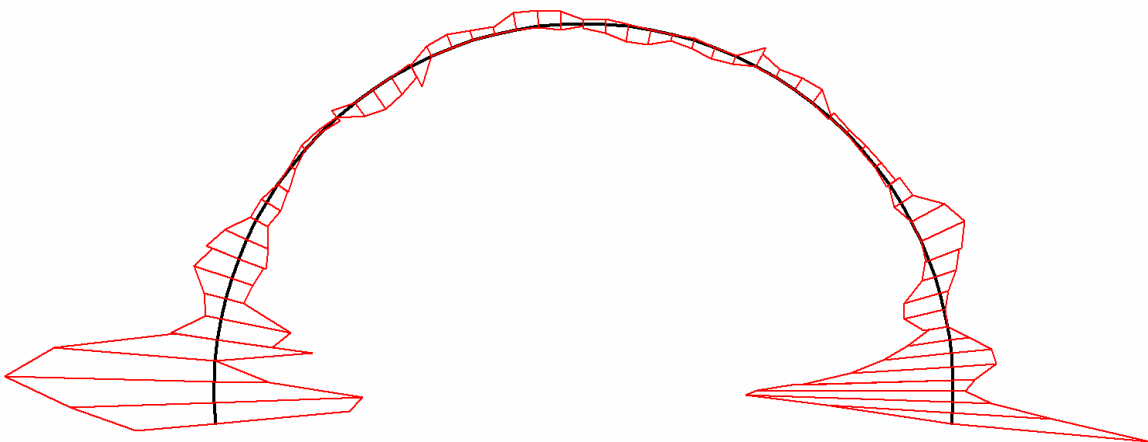
**Fig. 18 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value 0,00 kN/m (Phase: 7)



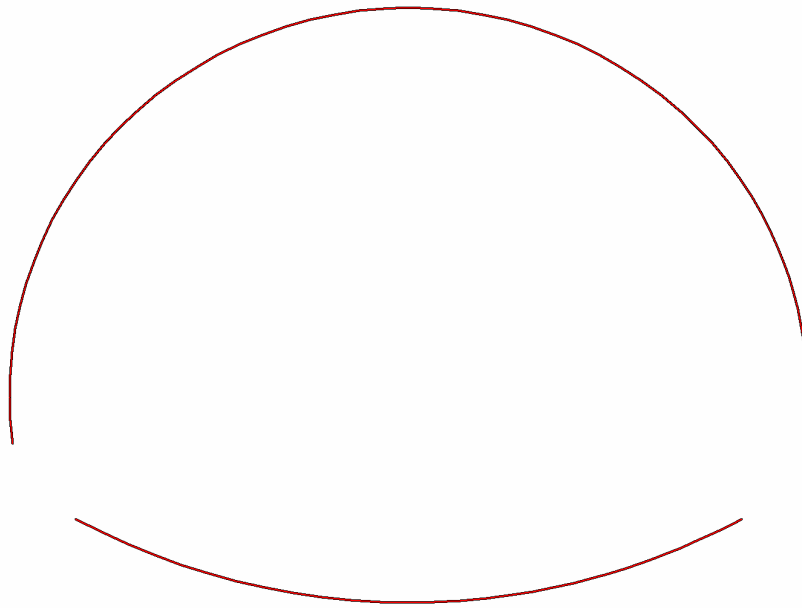
**Fig. 19 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value 0,00 kN/m (Phase: 7)



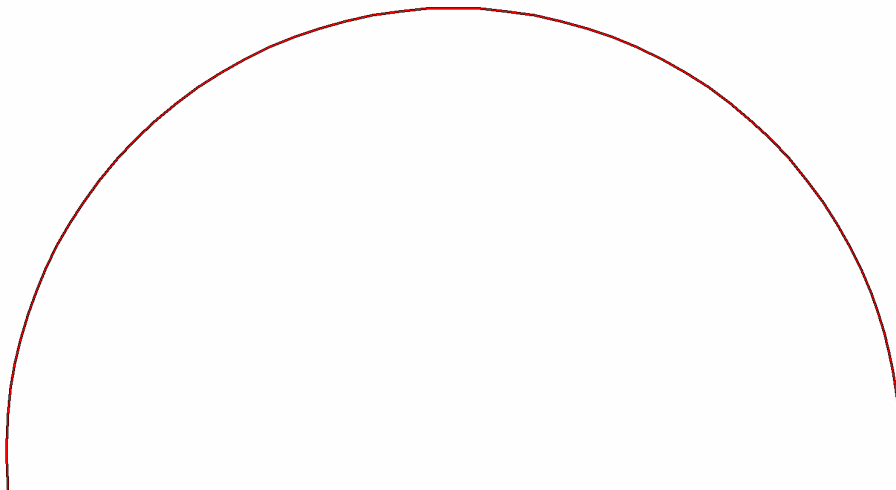
**Fig. 20 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value  $4,92 \cdot 10^{-9}$  kN/m (Phase: 7)



**Fig. 21 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value 50,17 kN/m (Phase: 7)

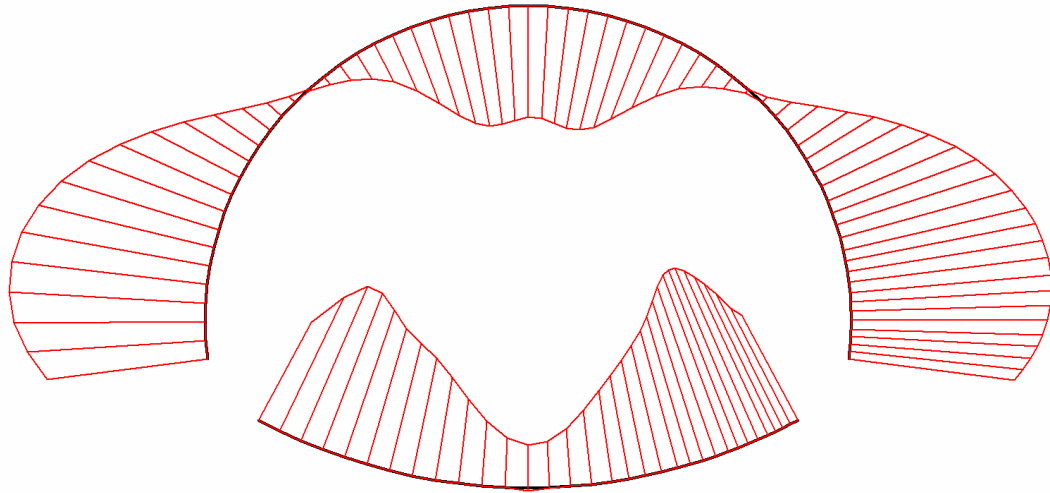


**Fig. 22 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value 0,00 kN/m/m (Phase: 7)

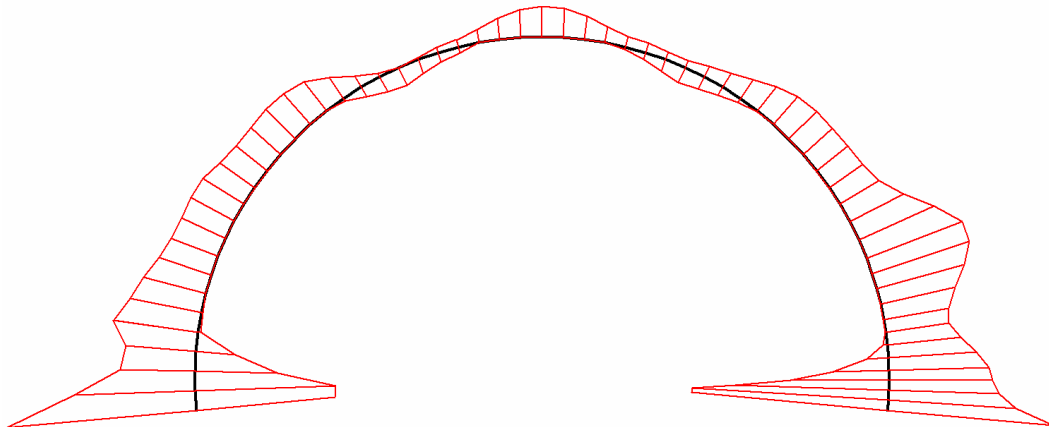


**Fig. 23 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value 0,00 kN/m/m (Phase: 7)





**Fig. 24 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value  $8,06 \cdot 10^{-9}$  kN/m/m (Phase: 7)



**Fig. 25 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value 48,41 kN/m/m (Phase: 7)

## 4. Results for phase 14

### 4.4. Deformations

#### 4.4.5. Plot of horizontal displacements

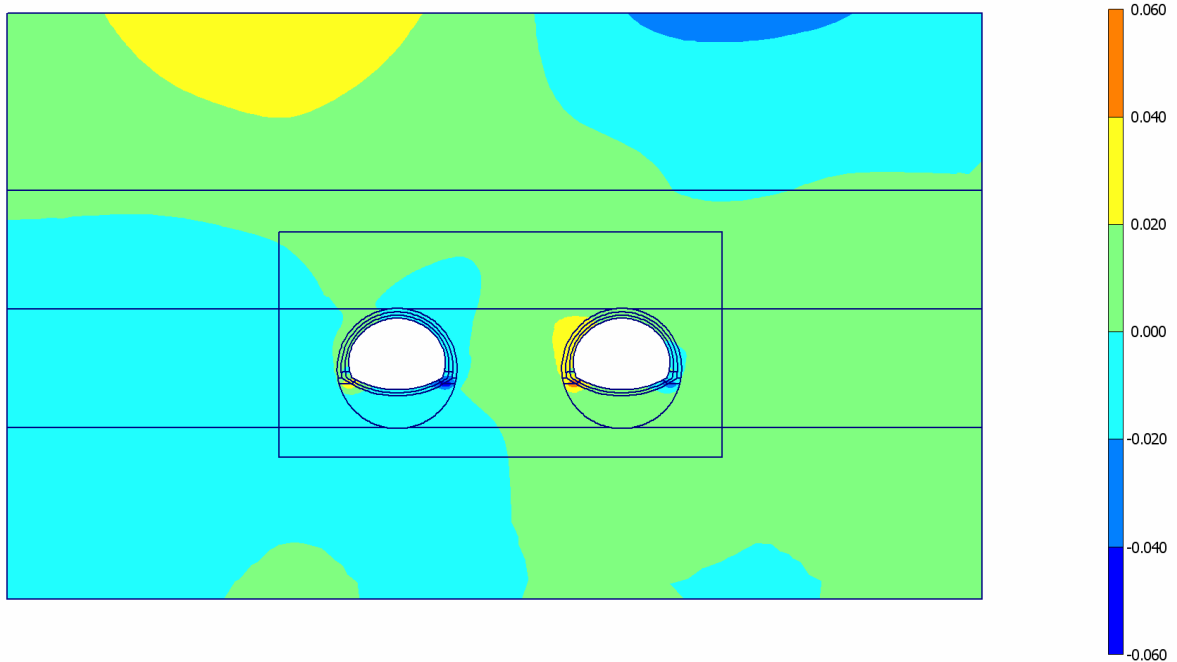


Fig. 26 Plot of horizontal displacements (shadings)  
- Step no: 122 - ( Phase: 14 )

#### 4.4.6. Plot of vertical displacements

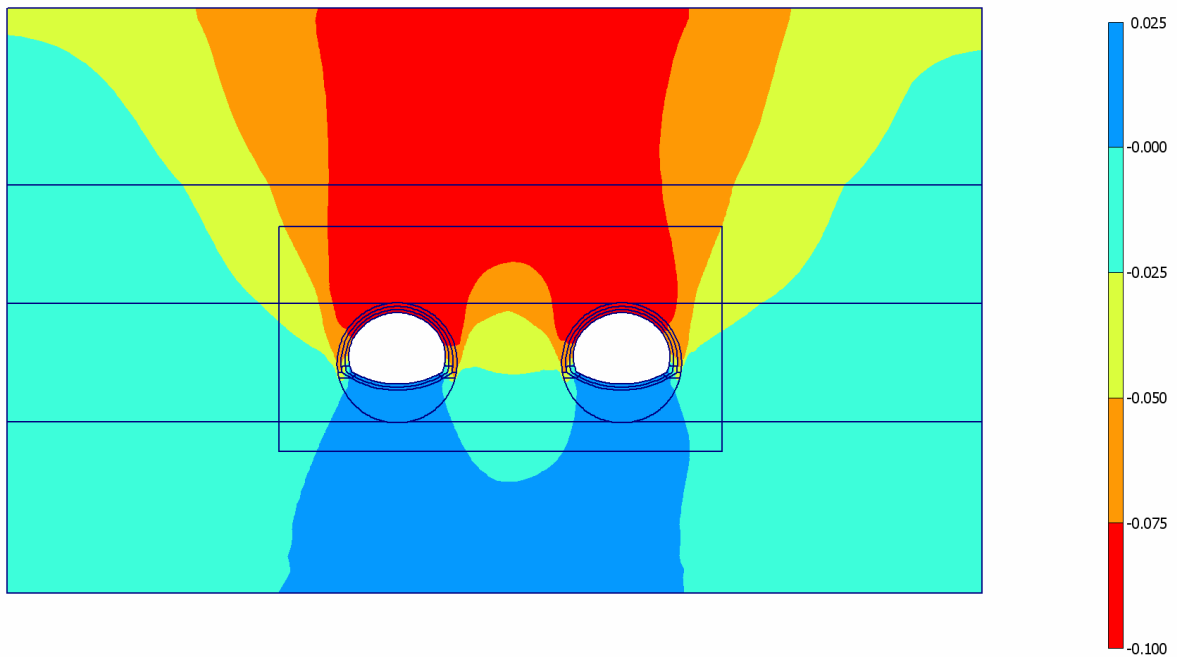
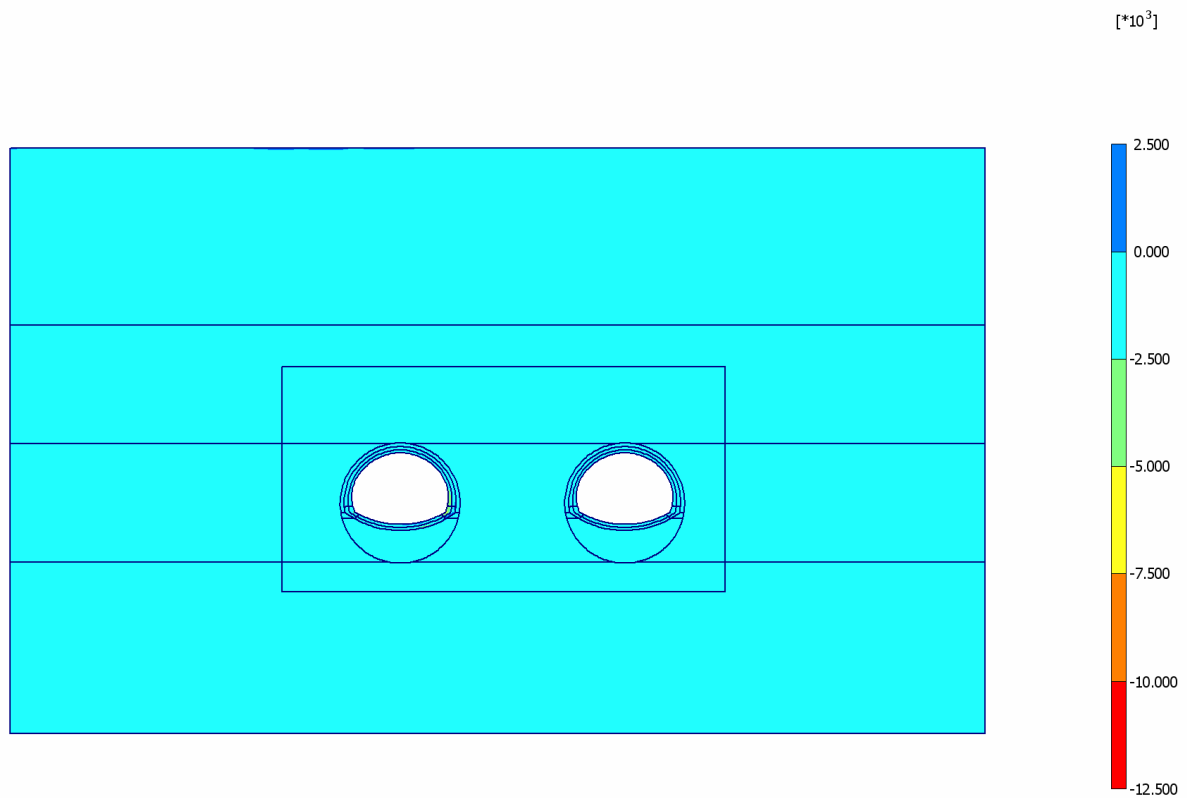


Fig. 27 Plot of vertical displacements (shadings)  
- Step no: 122 - ( Phase: 14 )

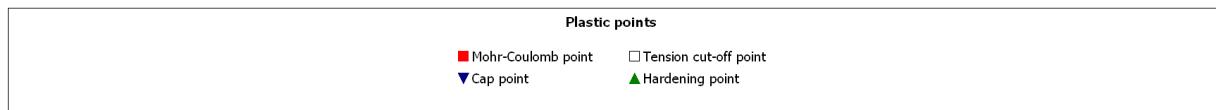
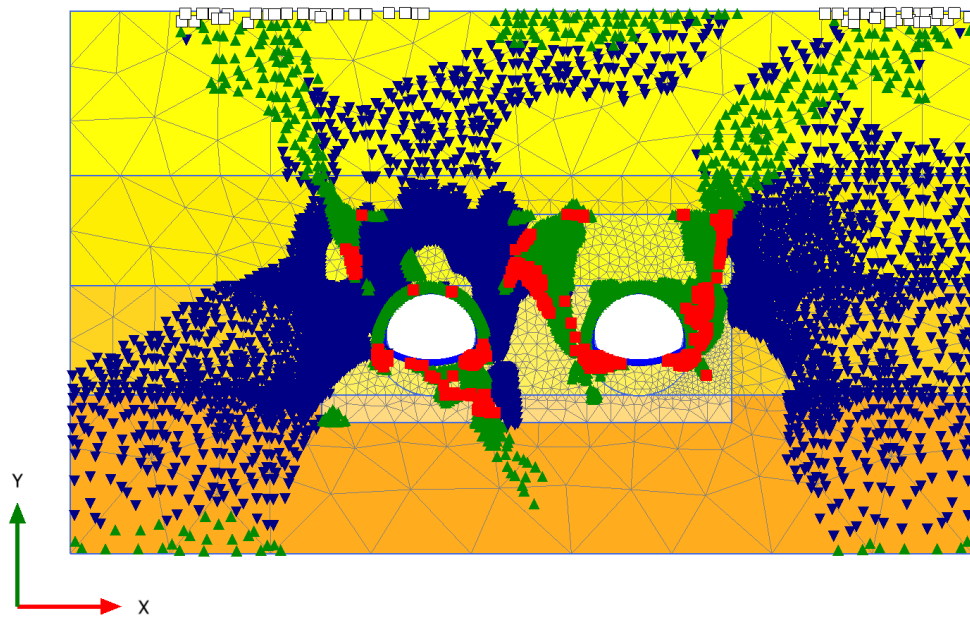
## 4.5. Stresses

### 4.5.7. Plot of total stresses



**Fig. 28 Plot of total stresses (mean shadings)**  
- Step no: 122 - ( Phase: 14 )

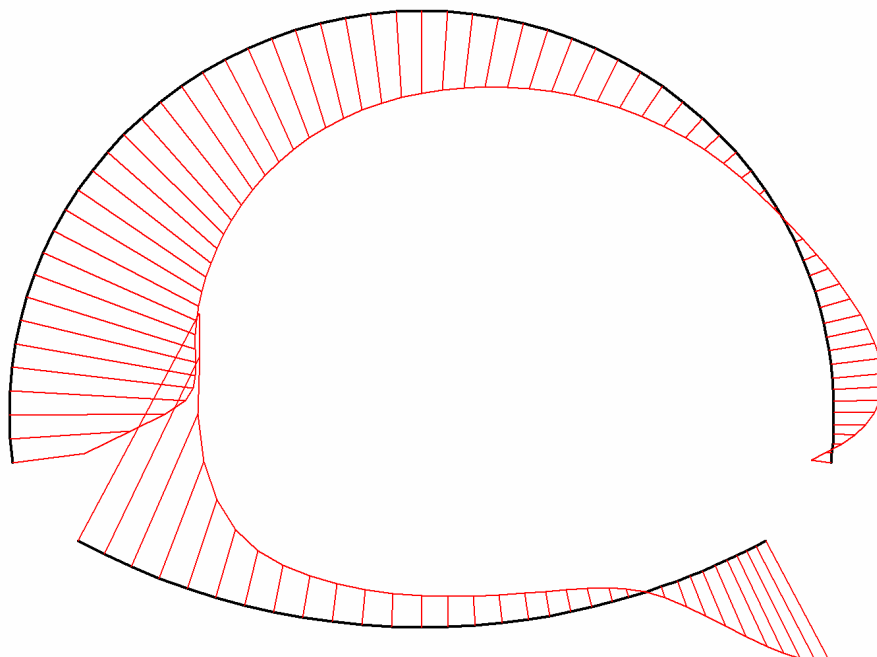
### 4.5.8. Plot of plastic points

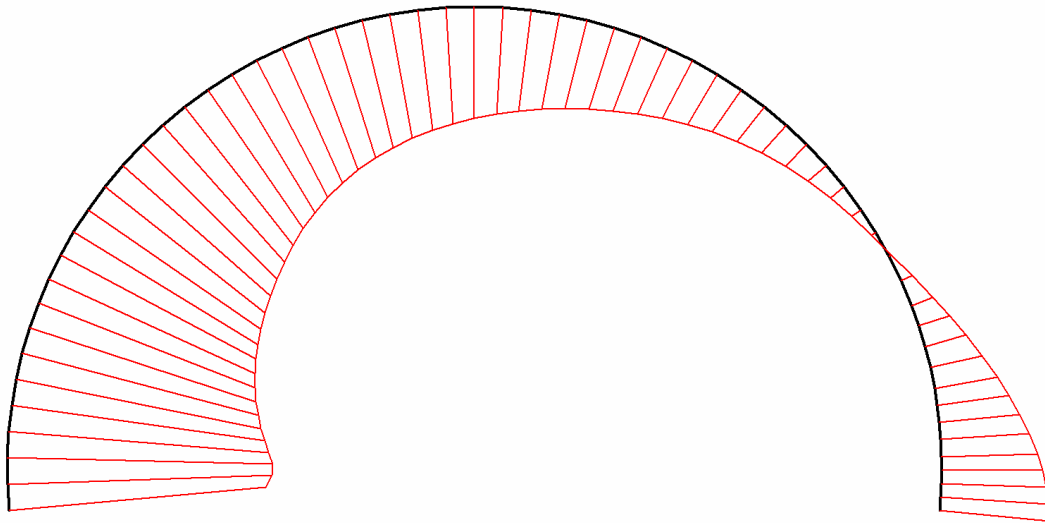
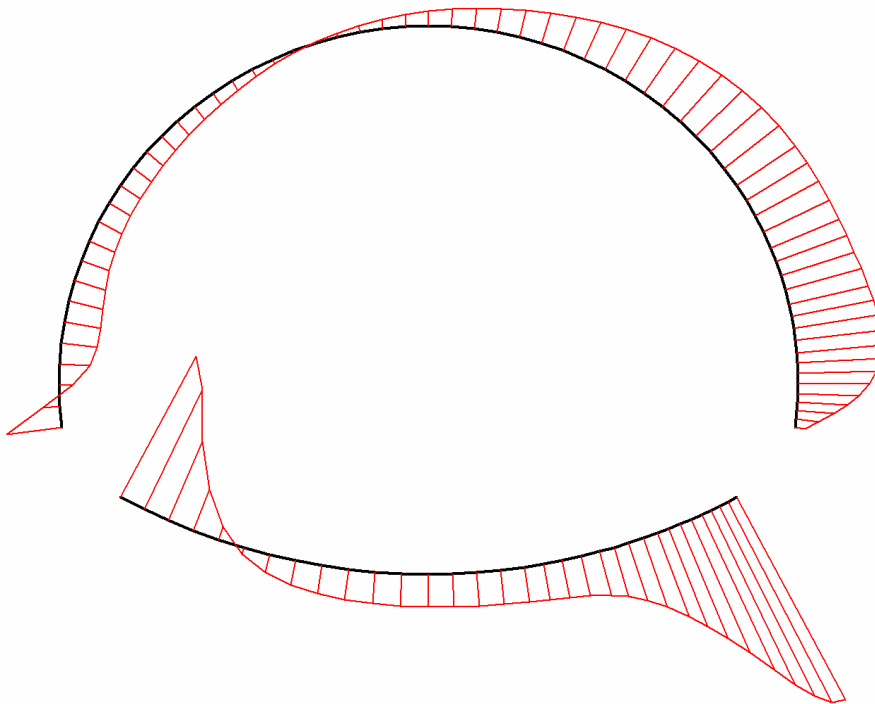


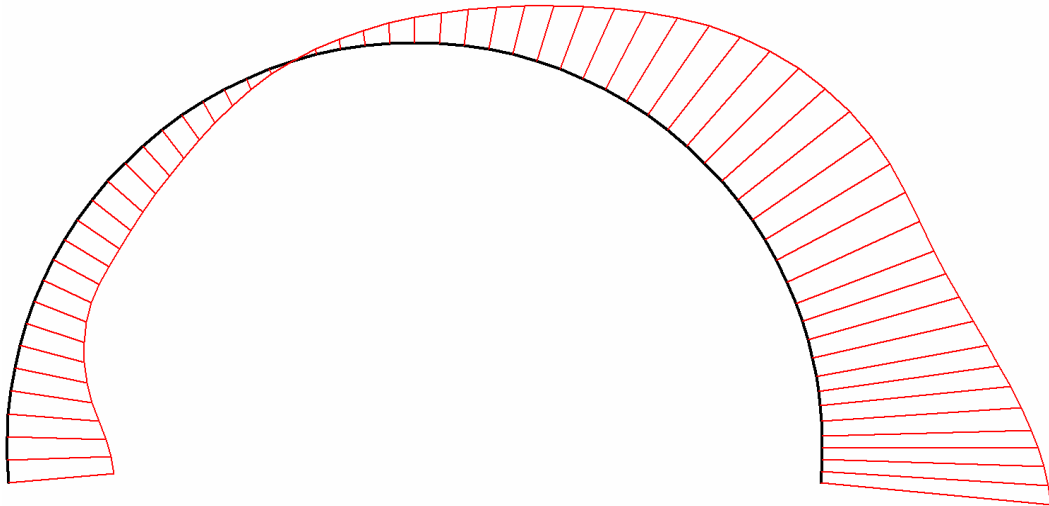
## 4.6. Structures

### 4.6.8. Beams

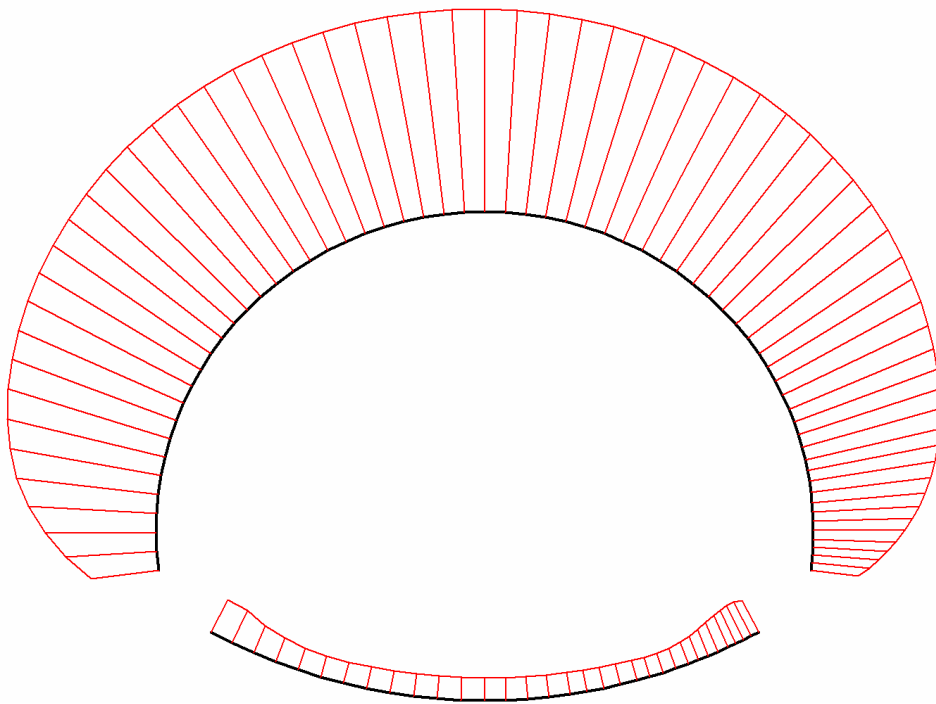
#### 4.6.8.3. Beams



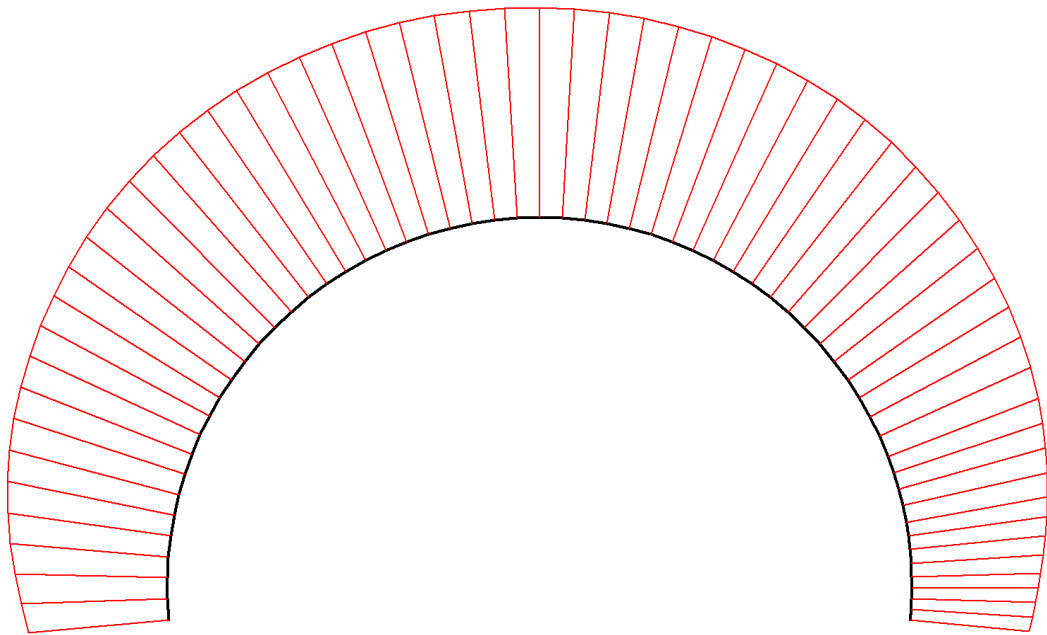
**Fig. 29 Horizontal displacements in beam**Extreme value  $43,84 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 14)**Fig. 30 Horizontal displacements in beam**Extreme value  $33,03 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 14)**Fig. 31 Horizontal displacements in beam**Extreme value  $-39,56 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 14)



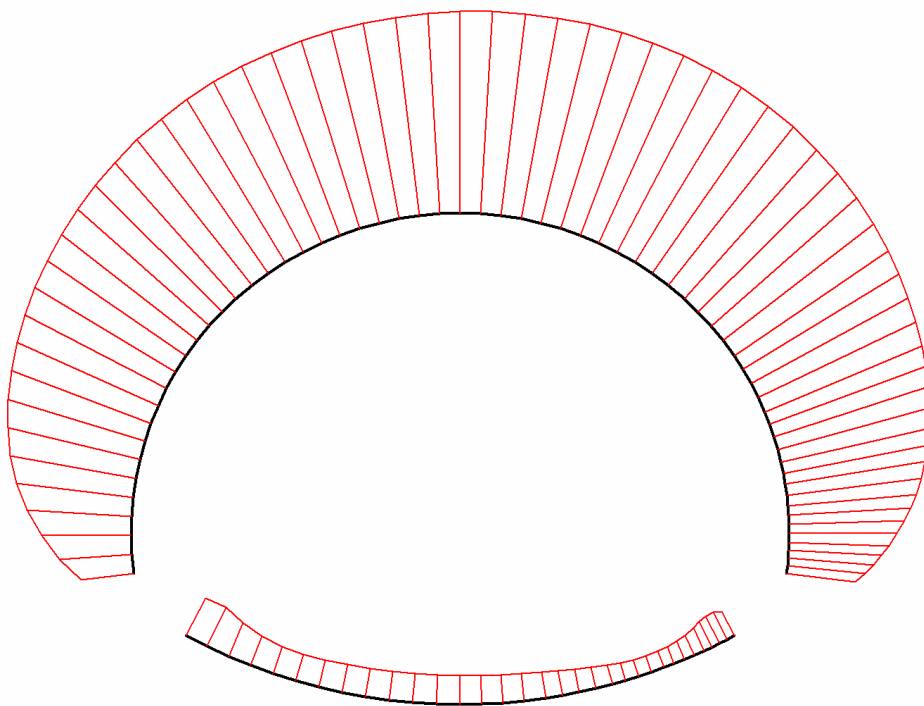
**Fig. 32 Horizontal displacements in beam**  
Extreme value  $-19,64 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 14)



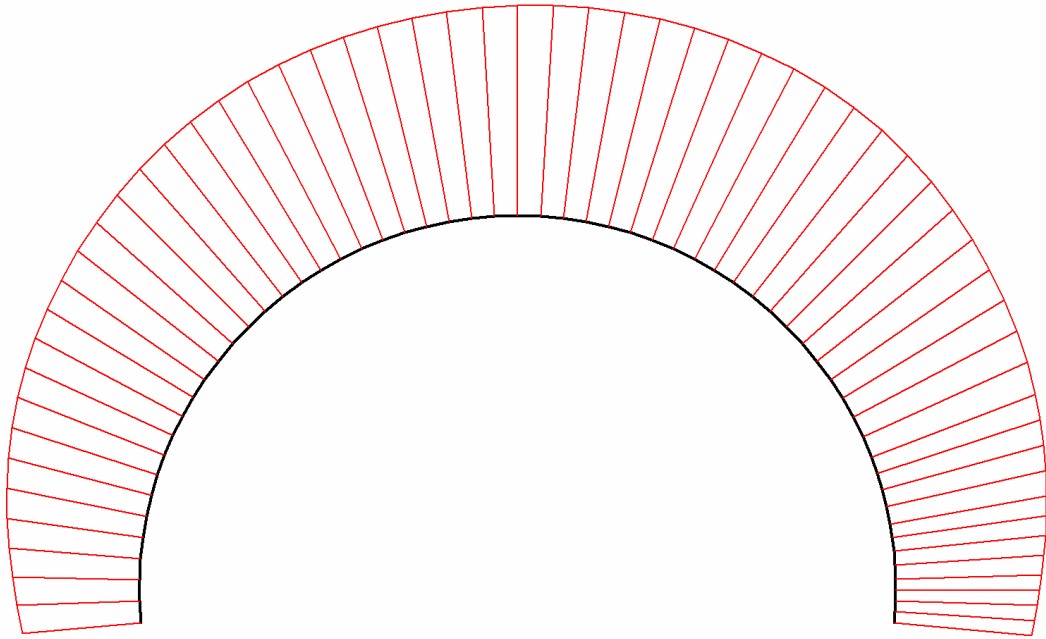
**Fig. 33 Vertical displacements in beam**  
Extreme value  $-88,33 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 14)



**Fig. 34 Vertical displacements in beam**  
Extreme value  $-88,43 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 14)

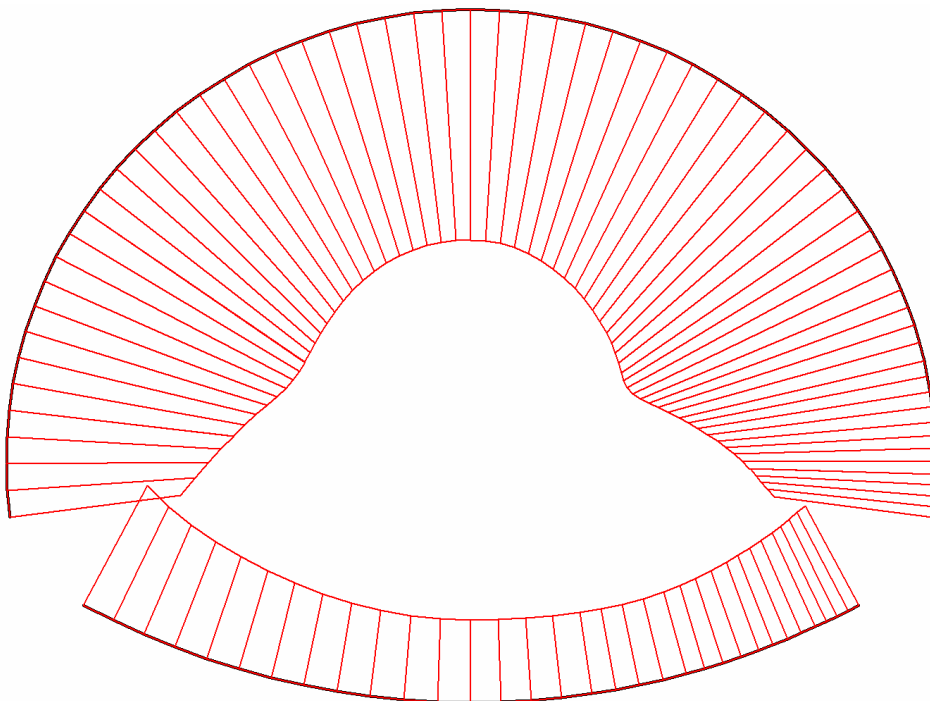


**Fig. 35 Vertical displacements in beam**  
Extreme value  $-96,06 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 14)



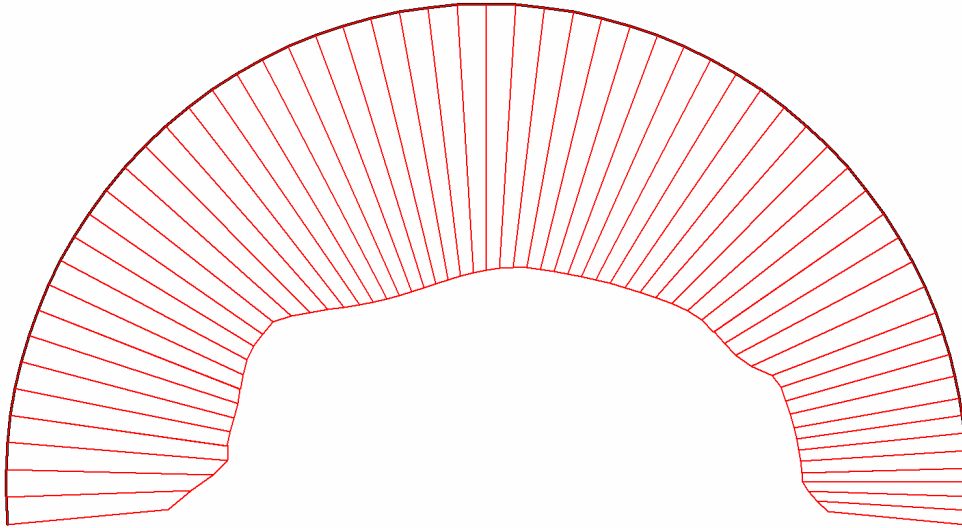
**Fig. 36 Vertical displacements in beam**  
Extreme value  $-96,20 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 14)

#### 4.6.8.4. Beams

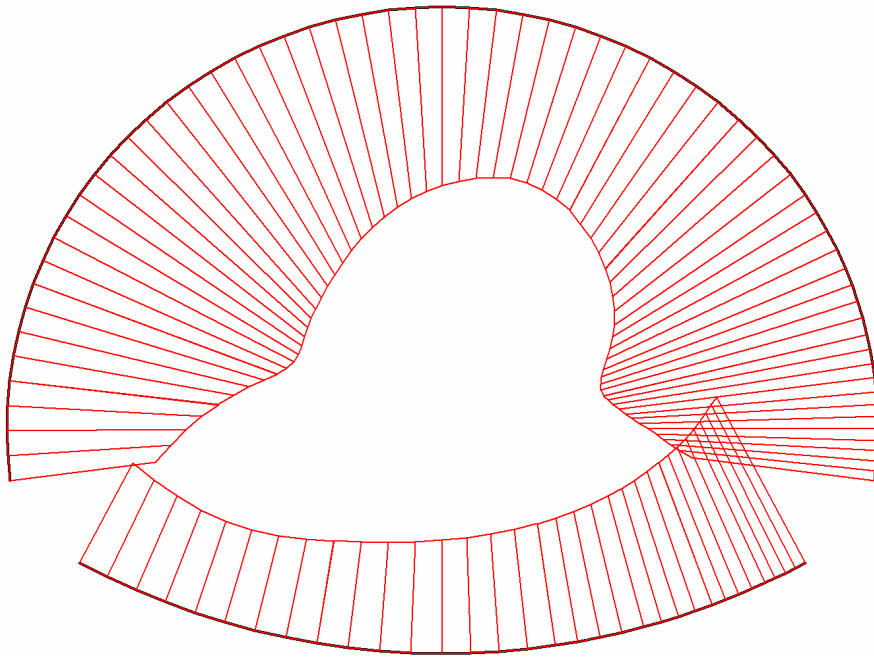


**Fig. 37 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value  $-325,88 \cdot 10^{-9}$  kN/m (Phase: 14)

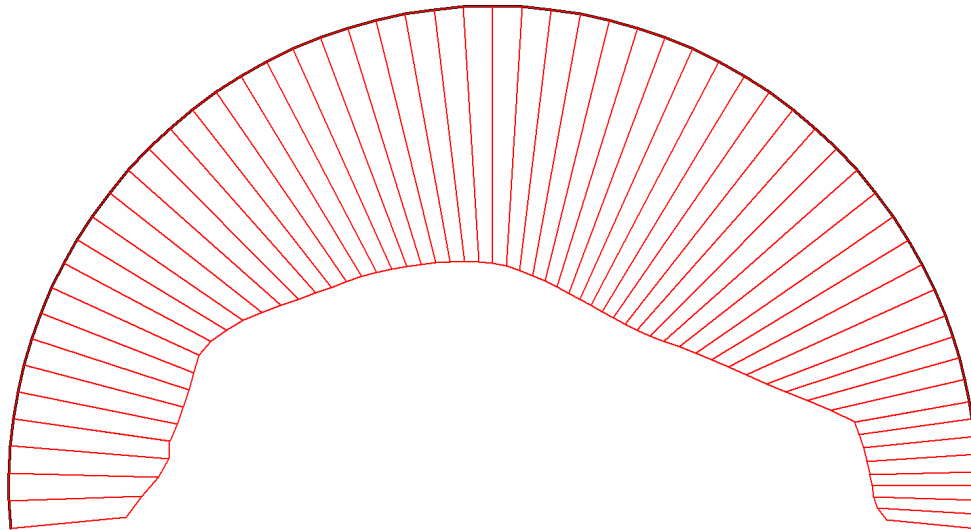




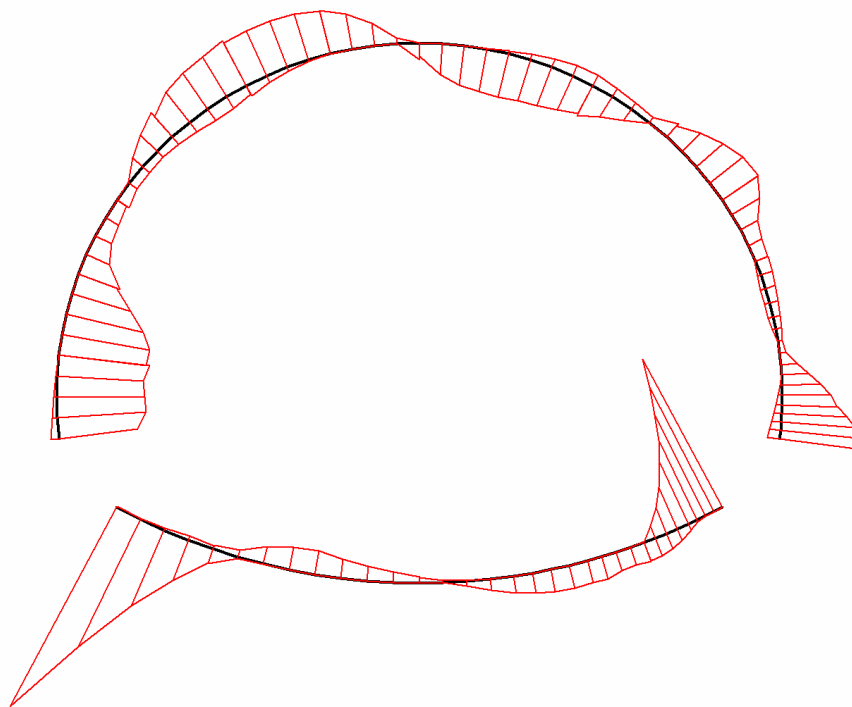
**Fig. 38 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value  $-1,59 \cdot 10^3$  kN/m (Phase: 14)



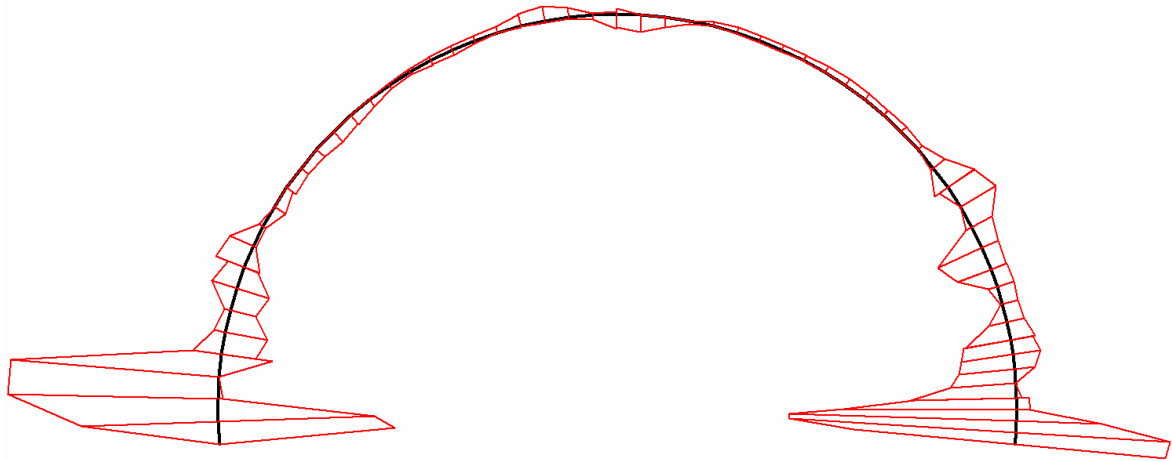
**Fig. 39 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value  $-579,33 \cdot 10^{-9}$  kN/m (Phase: 14)



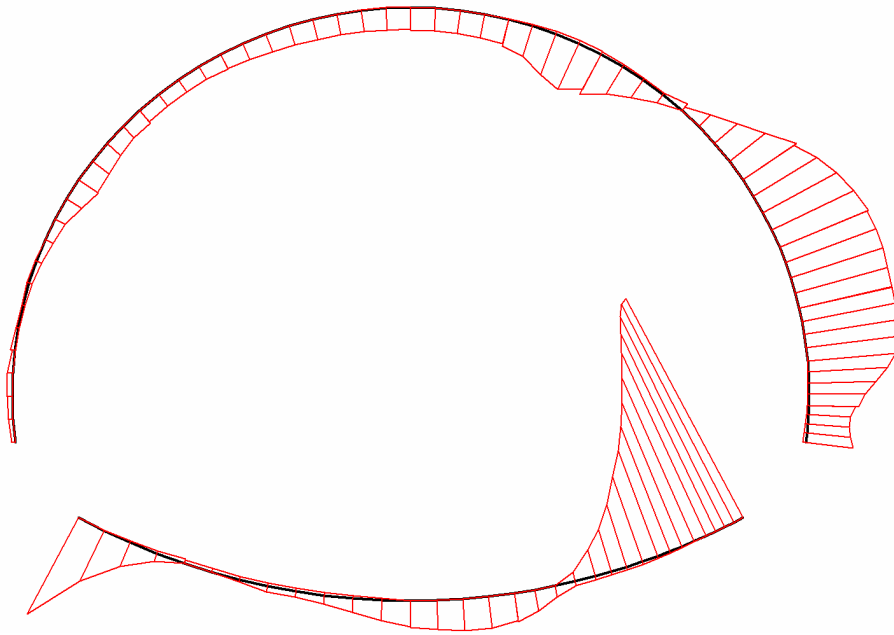
**Fig. 40 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value  $-2,02 \cdot 10^3$  kN/m (Phase: 14)



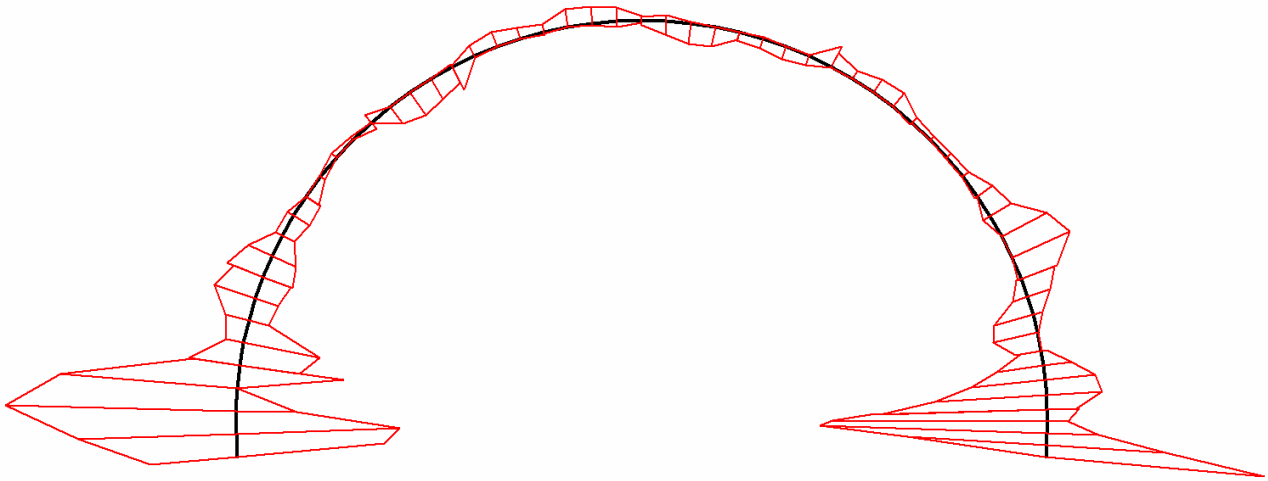
**Fig. 41 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value  $27,14 \cdot 10^{-9}$  kN/m (Phase: 14)



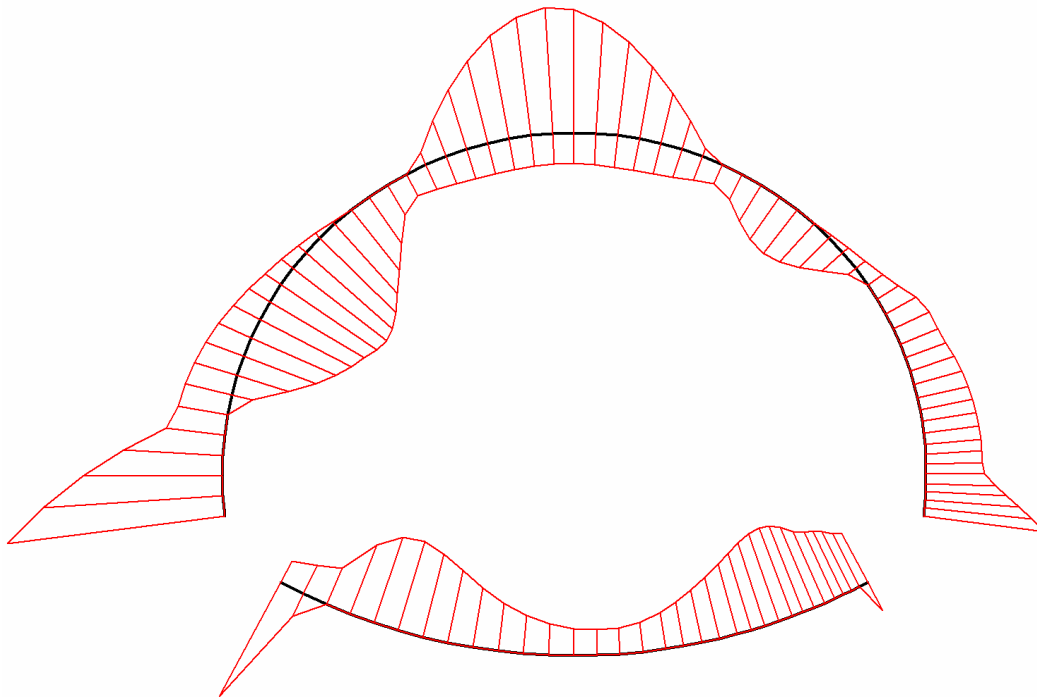
**Fig. 42 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value -66,59 kN/m (Phase: 14)



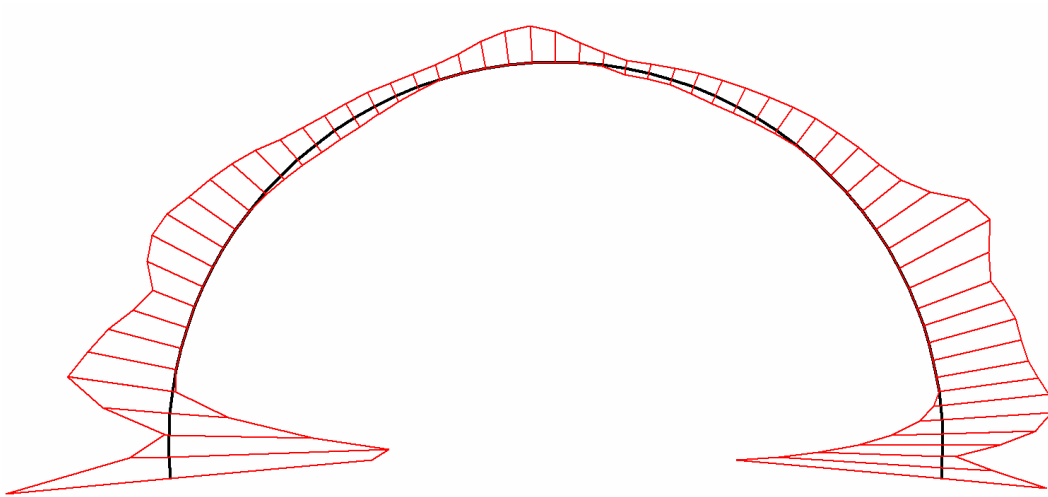
**Fig. 43 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value  $-117,64 \cdot 10^{-9}$  kN/m (Phase: 14)



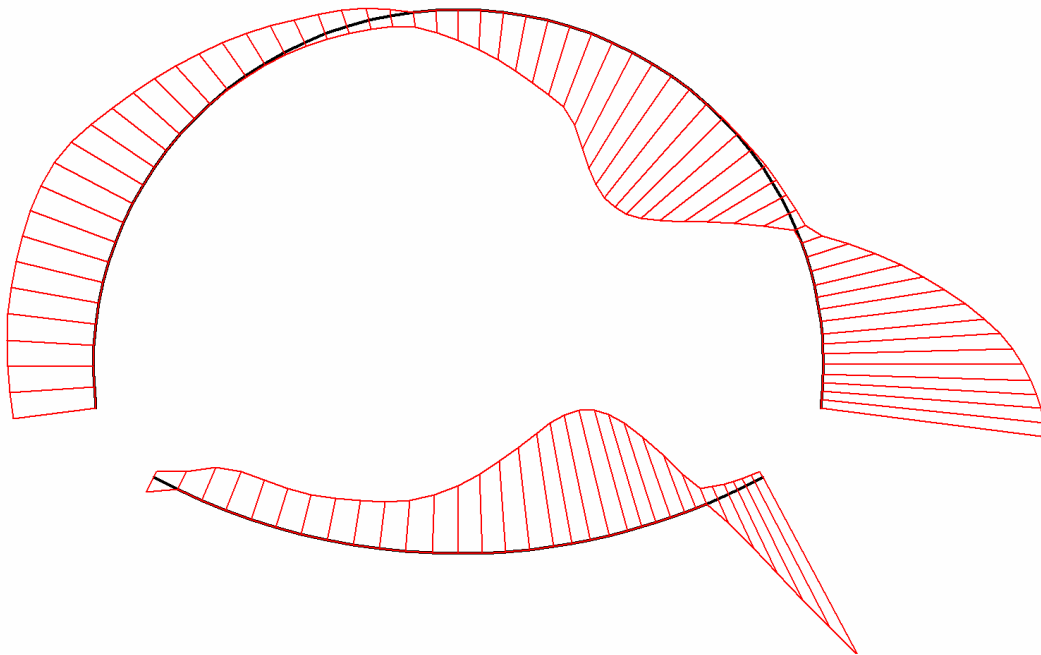
**Fig. 44 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value 50,17 kN/m (Phase: 14)



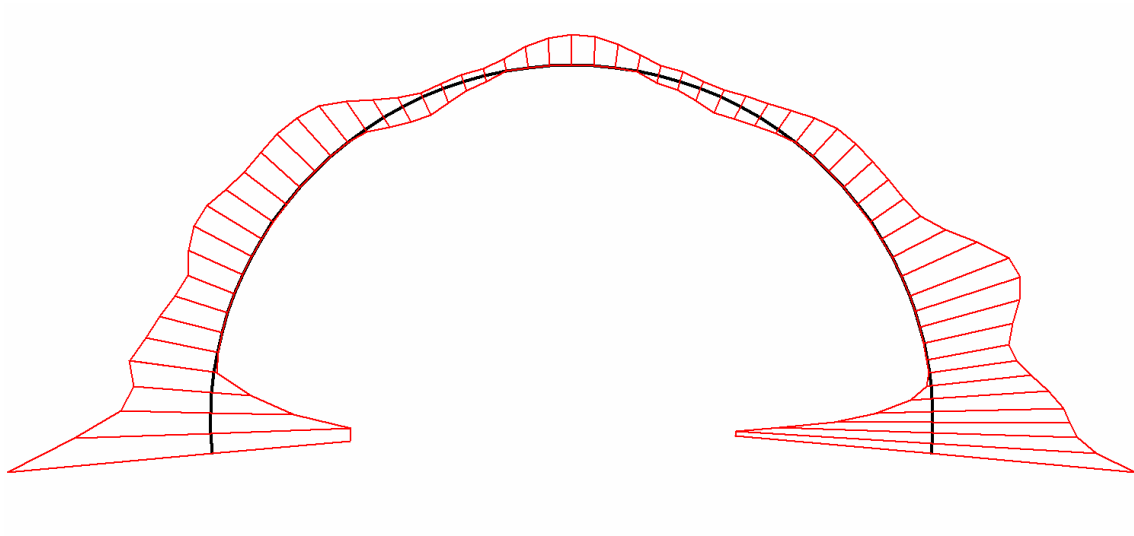
**Fig. 45 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value  $29,08 \cdot 10^{-9}$  kN/m/m (Phase: 14)



**Fig. 46 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value 53,10 kN/m/m (Phase: 14)



**Fig. 47 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value  $160,97 \cdot 10^{-9}$  kN/m/m (Phase: 14)

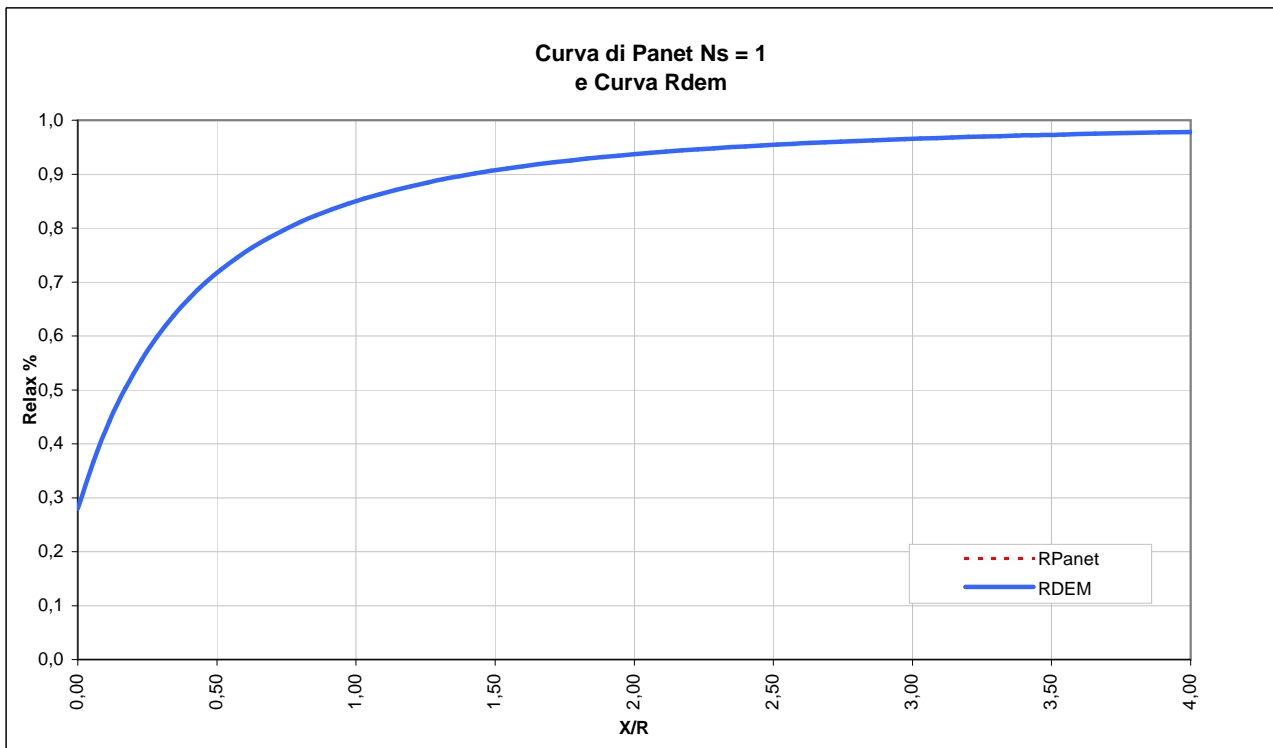


**Fig. 48 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value 50,41 kN/m/m (Phase: 14)

**LAVORO** PONTE SULLO STRETTO  
**Sezione** C1-ALLARGO

**Copertura** 30m asimmetrica  
**Litotipo** Ghiaie e sabbie di Messina

| TIME    | DESCRIZIONE  | X <sub>fronte</sub> [m] | R <sub>panet</sub> | R(FEM) |
|---------|--|-------------------------|--------------------|--------|
| Time 0  | Geostatico   | -∞                      | 0%                 | 0%     |
| Time 1  | Canna 1: Fronte di scavo                             | 0                       | 28%                | 28%    |
| Time 2  | Canna 1 : Avanzamento primo sfondo                   | 1                       | 44%                | 44%    |
| Time 3  | Canna 1: Installazione prerivestimento e avanzamento | 6                       | 78%                | 78%    |
| Time 4  | Canna 1: Maturazione prerivestimento e avanzamento   | ≈ 1 diametro            | 89%                | 89%    |
| Time 5  | Canna 1: Getto arco rovescio e murette e avanzamento | ≈ 6 diametri            | 100%               | 100%   |
| Time 6  | Canna 1: Getto calotte                               | > 6 diametri            | 100%               | 100%   |
| Time 7  | Canna 2: Fronte di scavo                             | 0                       | 28%                | 28%    |
| Time 8  | Canna 2 : Avanzamento primo sfondo                   | 1                       | 44%                | 44%    |
| Time 9  | Canna 2: Installazione prerivestimento e avanzamento | 2                       | 78%                | 78%    |
| Time 10 | Canna 2: Maturazione prerivestimento e avanzamento   | 6                       | 89%                | 89%    |
| Time 11 | Canna 2: Getto arco rovescio e murette e avanzamento | ≈ 1 diametro            | 100%               | 100%   |
| Time 12 | Canna 2: Getto calotte                               | > 6 diametri            | 100%               | 100%   |
| Time 13 | Canna 1 e 2: Analisi di lungo termine                | +∞                      | 100%               | 100%   |



# SEZ. C1+1.05 / C1 ALLARGO – GHIAIE DI MESSINA – COPERTURA 30m ASIMMETRICA

## 1. Mesh data

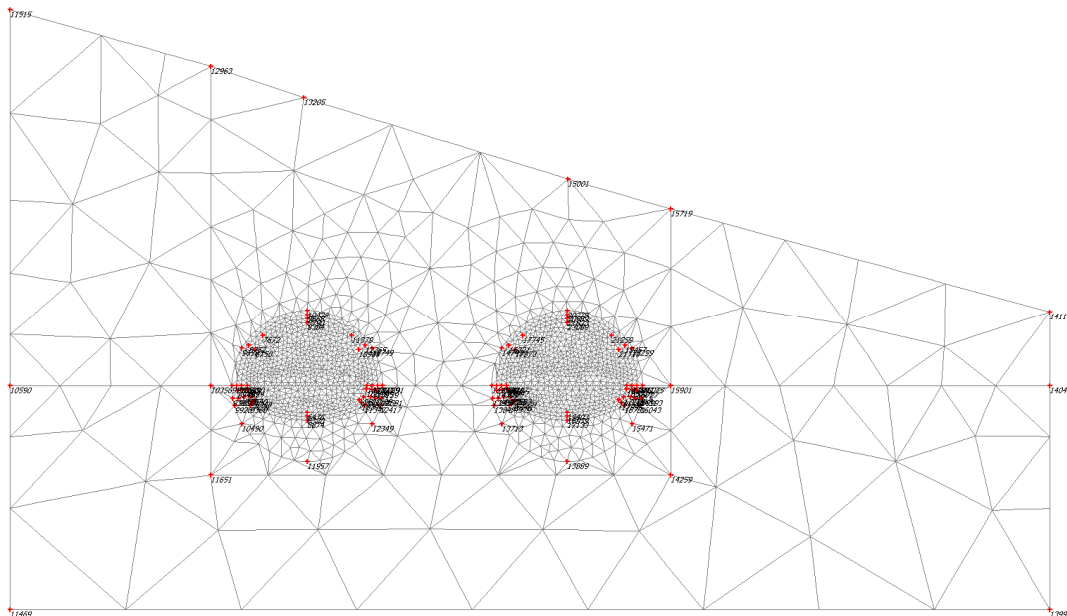


Fig. 1 Plot of the mesh with significant nodes



## 2. Material data

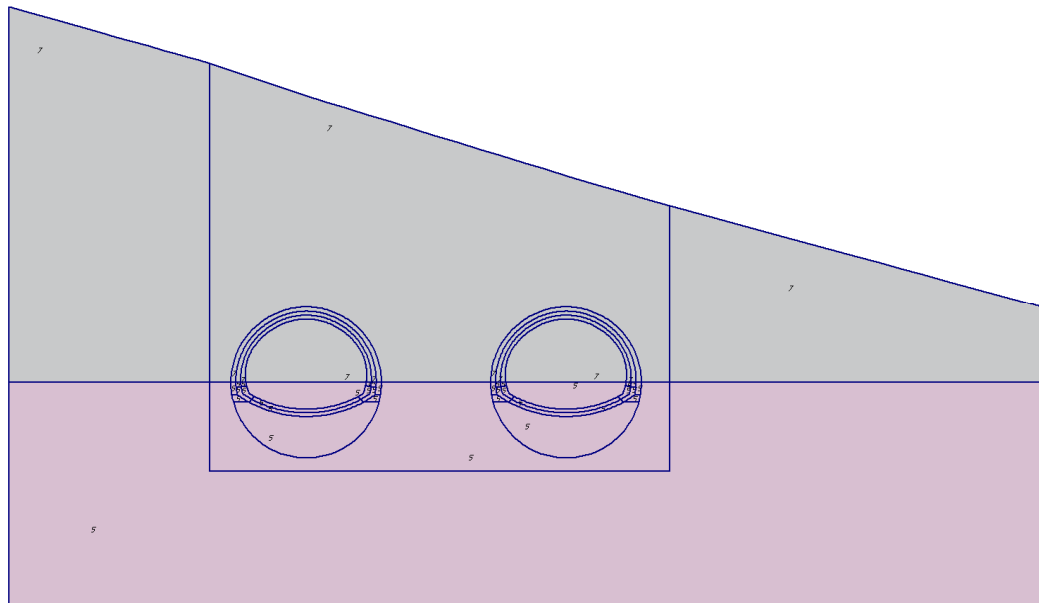


Fig. 2 Plot of geometry with material data sets

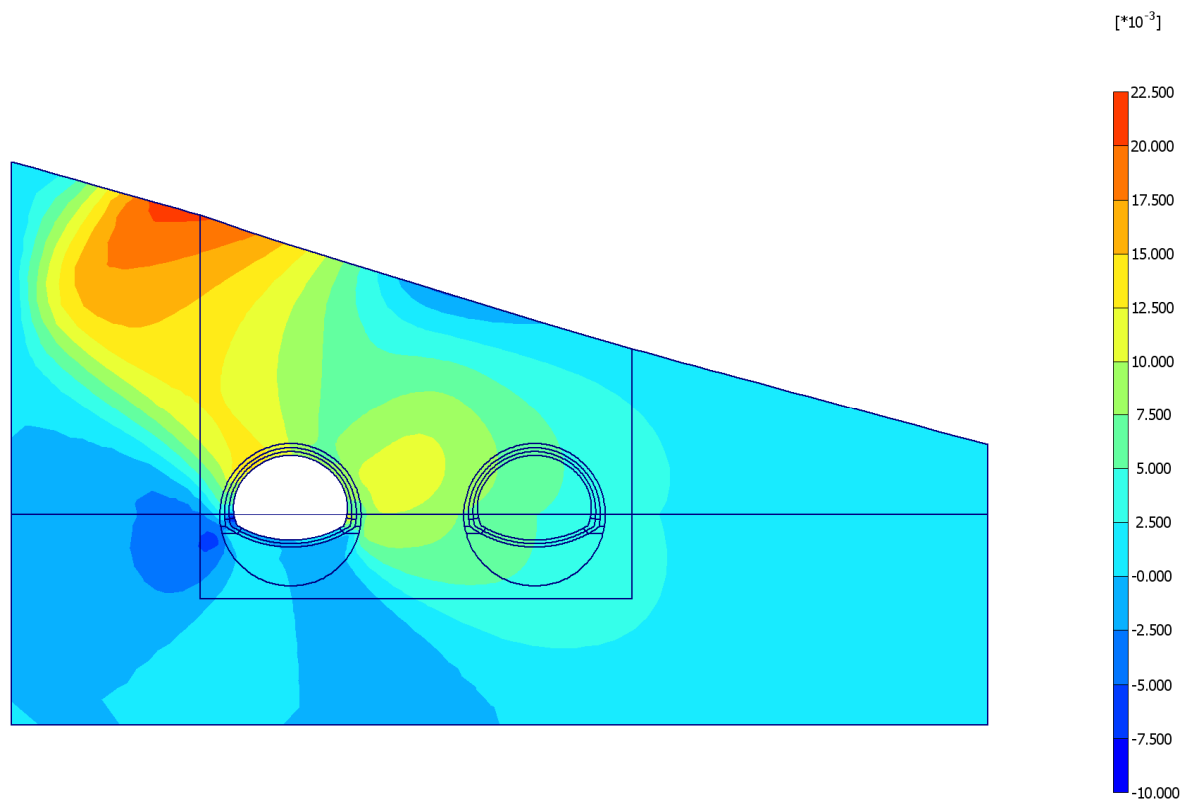
Table [1] Soil data sets parameters

| Hardening Soil                |                      | 4                | 5             | 6             | 7             |
|-------------------------------|----------------------|------------------|---------------|---------------|---------------|
|                               |                      | Ghiaie di ME_450 | Ghiaie ME_275 | Ghiaie ME_350 | Ghiaie ME_100 |
| <b>Type</b>                   |                      | Drained          | Drained       | Drained       | Drained       |
| $\gamma_{unsat}$              | [kN/m <sup>3</sup> ] | 19,00            | 19,00         | 19,00         | 19,00         |
| $\gamma_{sat}$                | [kN/m <sup>3</sup> ] | 19,00            | 19,00         | 19,00         | 19,00         |
| $k_x$                         | [m/day]              | 0,000            | 0,000         | 0,000         | 1,000         |
| $k_y$                         | [m/day]              | 0,000            | 0,000         | 0,000         | 1,000         |
| $e_{init}$                    | [-]                  | 0,50             | 0,50          | 0,50          | 0,50          |
| $e_{min}$                     | [-]                  | 0,00             | 0,00          | 0,00          | 0,00          |
| $e_{max}$                     | [-]                  | 999,00           | 999,00        | 999,00        | 999,00        |
| $c_k$                         | [-]                  | 1E15             | 1E15          | 1E15          | 1E15          |
| $E_{50}^{ref}$                | [kN/m <sup>2</sup> ] | 450000,00        | 275000,00     | 350000,00     | 100000,00     |
| $E_{oed}^{ref}$               | [kN/m <sup>2</sup> ] | 450000,00        | 275000,00     | 350000,00     | 100000,00     |
| <b>power (m)</b>              | [-]                  | 0,00             | 0,00          | 0,00          | 0,00          |
| $c_{ref}$                     | [kN/m <sup>2</sup> ] | 10,00            | 10,00         | 10,00         | 10,00         |
| $\phi$                        | [°]                  | 38,00            | 38,00         | 38,00         | 38,00         |
| $\psi$                        | [°]                  | 0,00             | 0,00          | 0,00          | 0,00          |
| $E_{ur}^{ref}$                | [kN/m <sup>2</sup> ] | 1350000,00       | 825000,00     | 1050000,00    | 300000,00     |
| $\nu_{ur}^{(nu)}$             | [-]                  | 0,200            | 0,200         | 0,200         | 0,200         |
| $p^{ref}$                     | [kN/m <sup>2</sup> ] | 100,00           | 100,00        | 100,00        | 100,00        |
| $c_{increment}$               | [kN/m <sup>2</sup> ] | 0,00             | 0,00          | 0,00          | 0,00          |
| $y_{ref}$                     | [m]                  | 0,00             | 0,00          | 0,00          | 28,00         |
| $R_f$                         | [-]                  | 0,90             | 0,90          | 0,90          | 0,90          |
| $T_{str.}$                    | [kN/m <sup>2</sup> ] | 0,00             | 0,00          | 0,00          | 0,00          |
| $R_{inter}$                   | [-]                  | 1,00             | 1,00          | 1,00          | 1,00          |
| $\delta_{inter}$              | [m]                  | 0,00             | 0,00          | 0,00          | 0,00          |
| <b>Interface permeability</b> |                      | Neutral          | Neutral       | Neutral       | Neutral       |

### 3. Results for phase 14

#### 3.1. Deformations

##### 3.1.1. Plot of horizontal displacements



**Fig. 3** Plot of horizontal displacements (shadings)  
- Step no: 28 - ( Phase: 14 )

### 3.1.2. Plot of vertical displacements

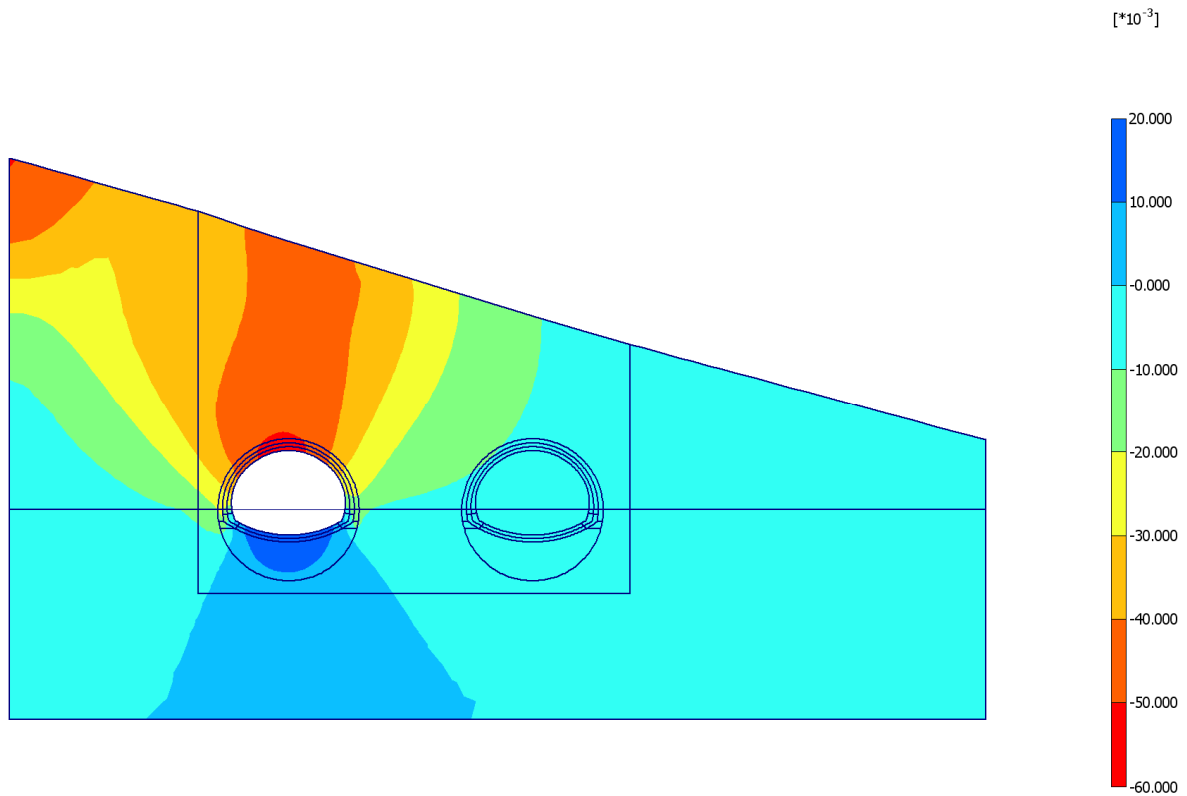


Fig. 4 Plot of vertical displacements (shadings)  
- Step no: 28 - ( Phase: 14 )

## 3.2. Stresses

### 3.2.3. Plot of total stresses

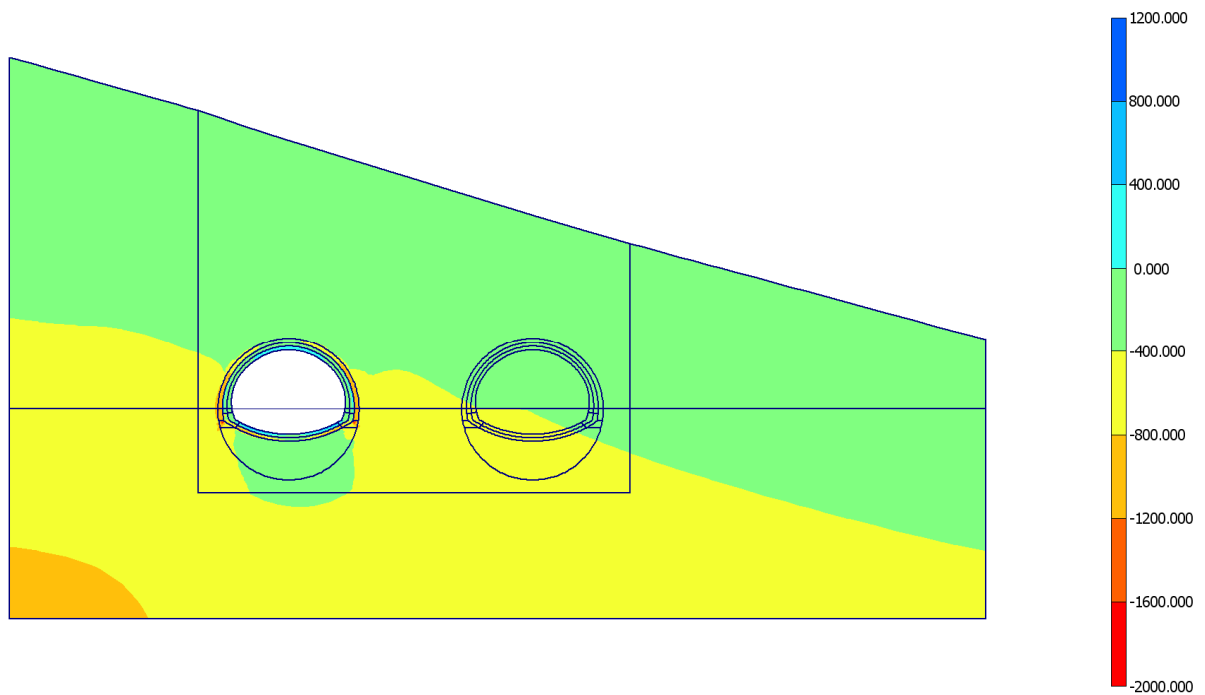


Fig. 5 Plot of total stresses (mean shadings)  
- Step no: 28 - ( Phase: 14 )

### 3.2.4. Plot of plastic points

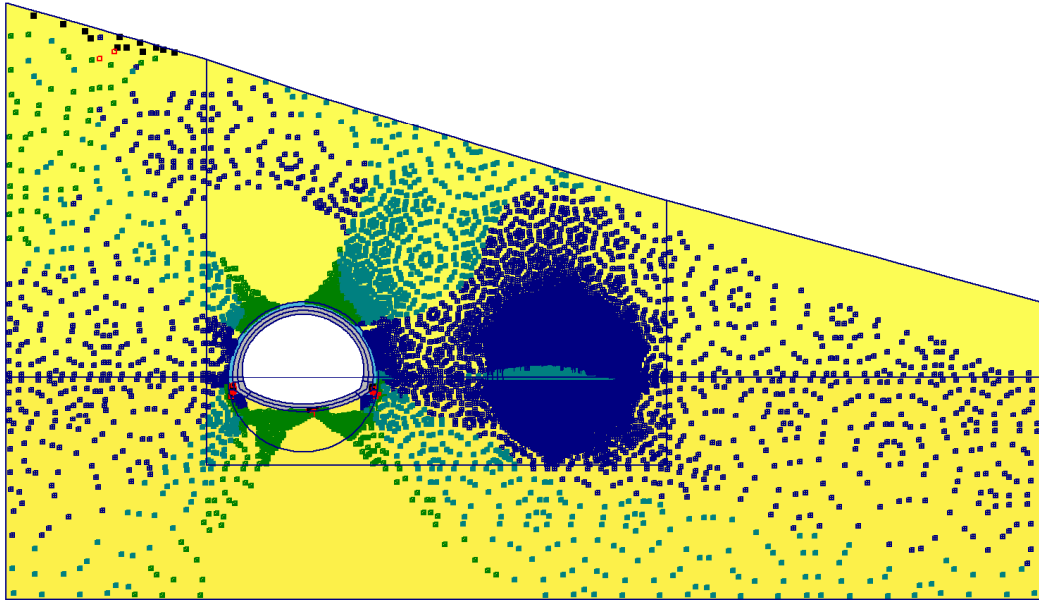
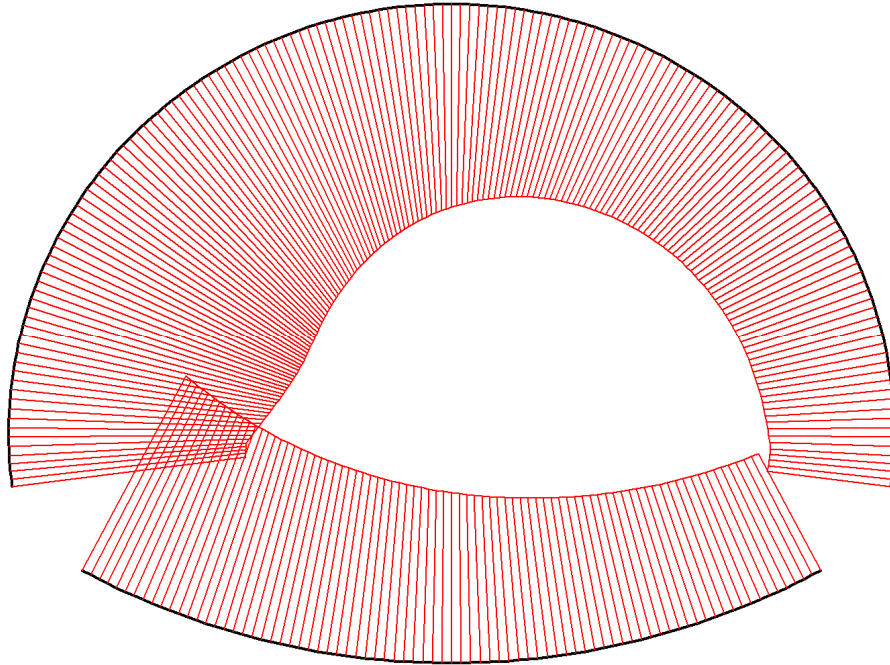


Fig. 7 Plot of plastic points  
- Step no: 28 - ( Phase: 14 )

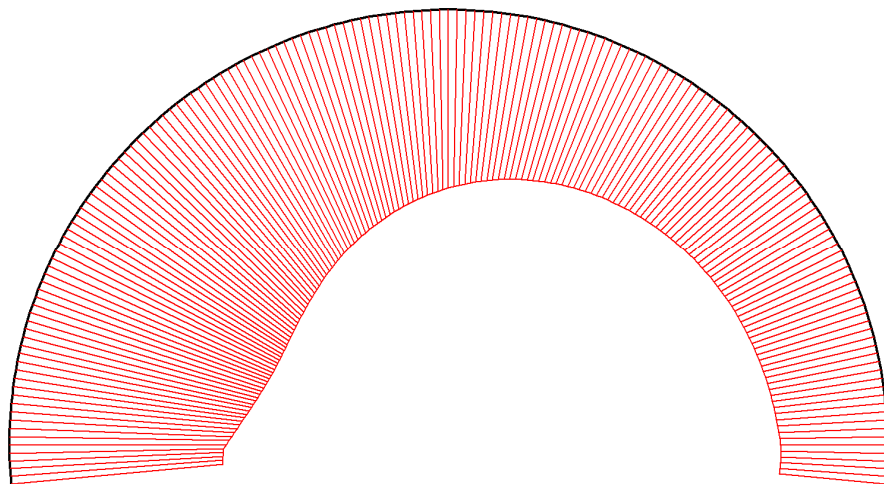
### 3.3. Structures

#### 3.3.4. Beams

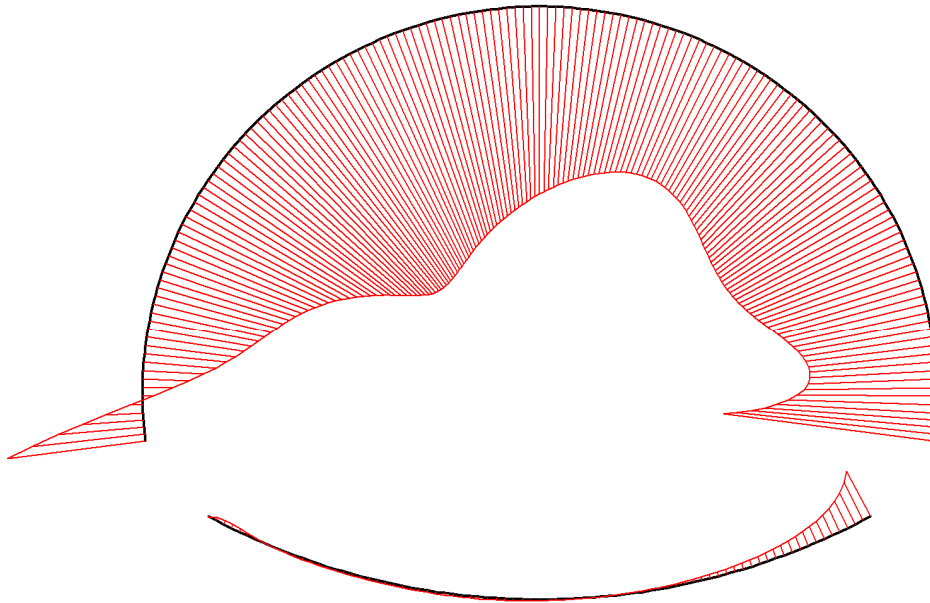
##### 3.3.4.1. Beams



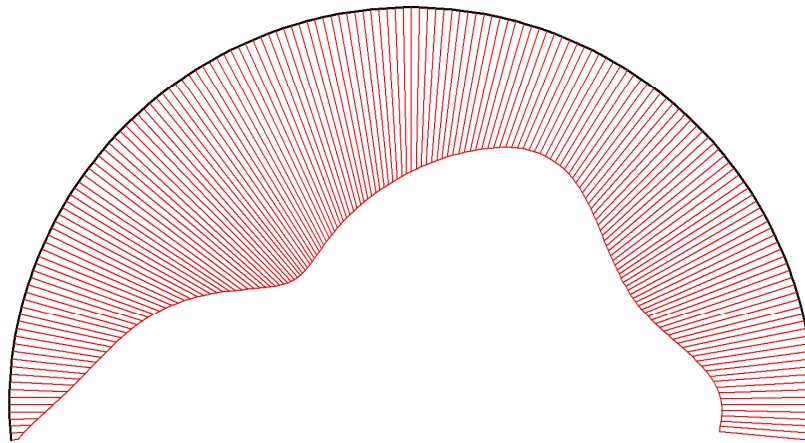
**Fig. 6 Horizontal displacements in beam**  
Extreme value  $8,10 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 14)



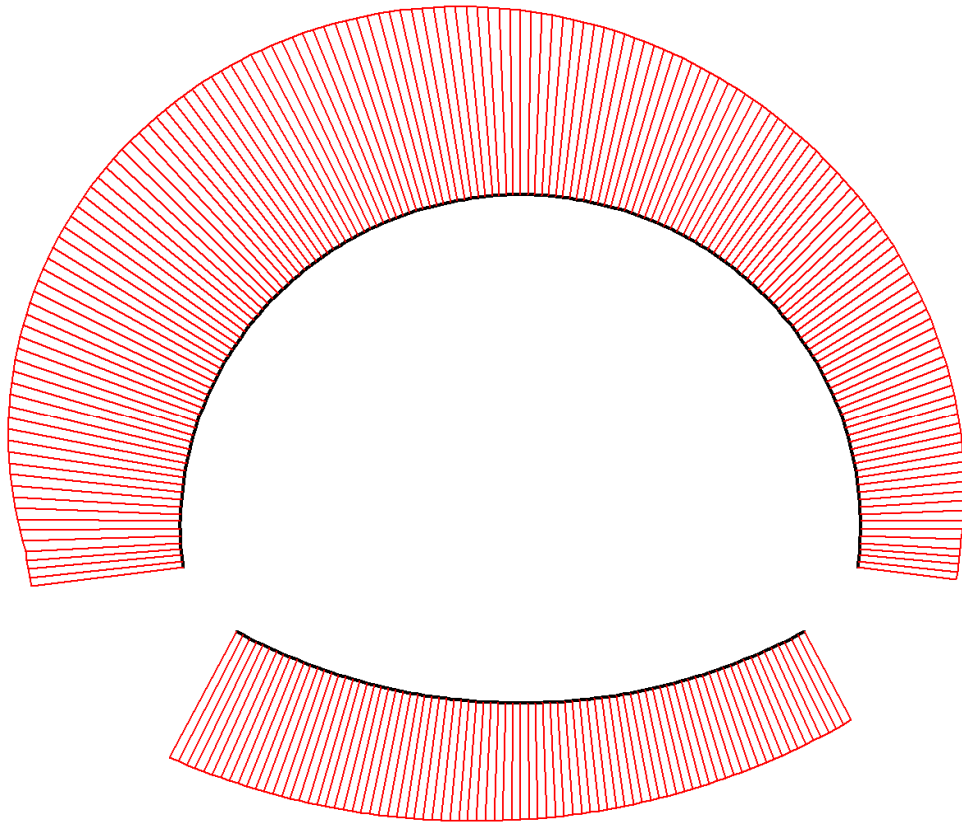
**Fig. 7 Horizontal displacements in beam**  
Extreme value  $8,30 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 14)



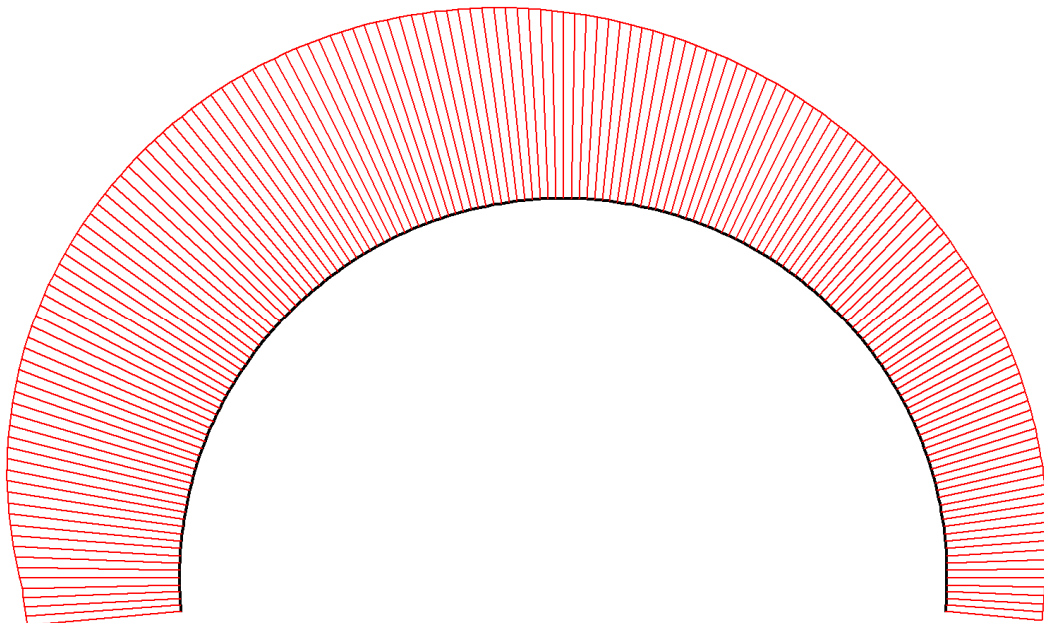
**Fig. 8 Horizontal displacements in beam**  
Extreme value  $13,41 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 14)



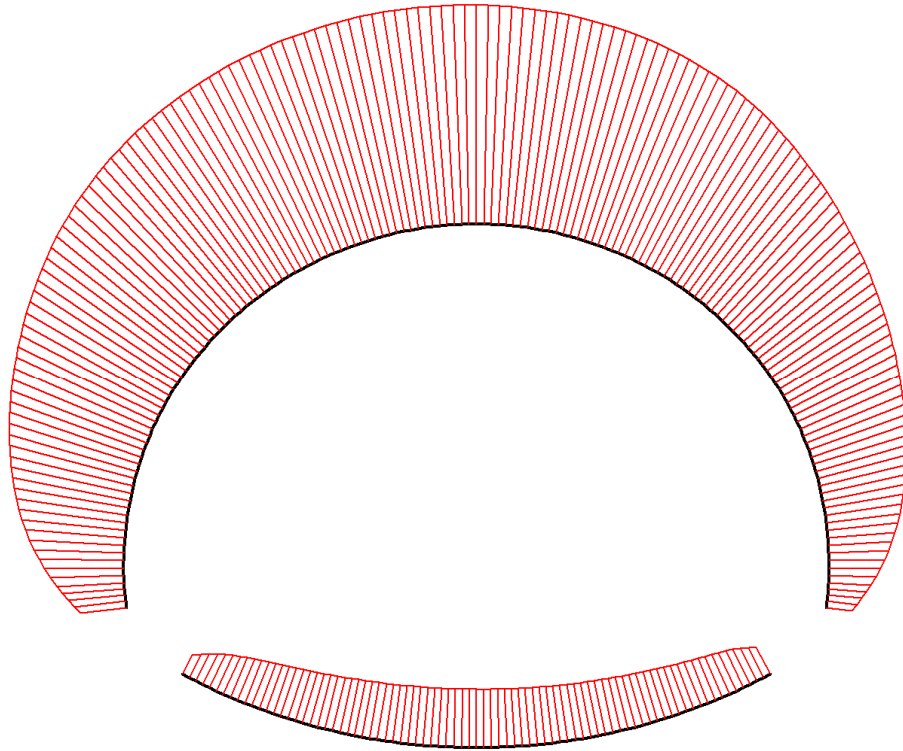
**Fig. 9 Horizontal displacements in beam**  
Extreme value  $13,91 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 14)



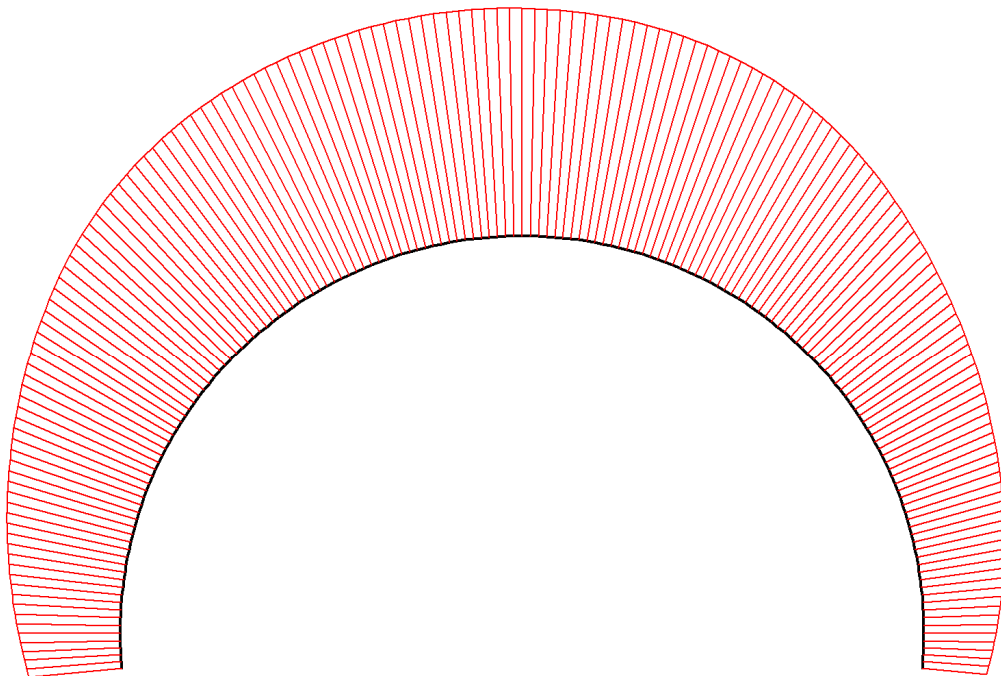
**Fig. 10 Vertical displacements in beam**  
Extreme value  $-9,72 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 14)



**Fig. 11 Vertical displacements in beam**  
Extreme value  $-0,01$  m (Phase: 14)



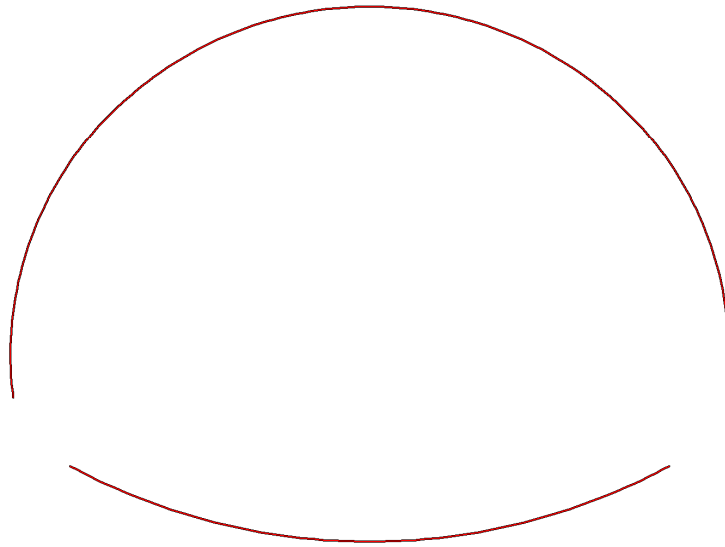
**Fig. 12 Vertical displacements in beam**  
Extreme value  $-51,79 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 14)



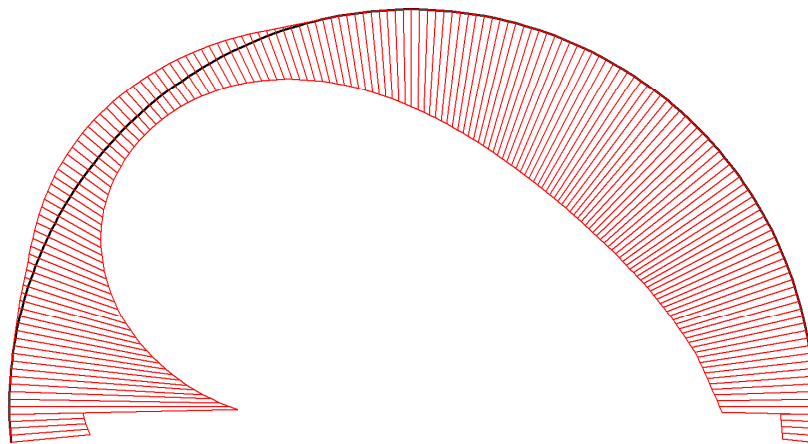
**Fig. 13 Vertical displacements in beam**  
Extreme value  $-51,76 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 14)



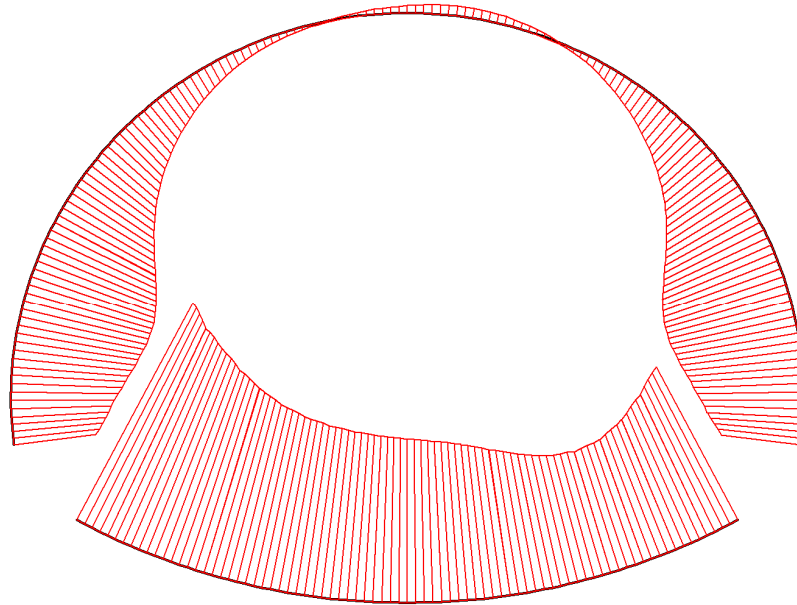
### 3.3.4.2. Beams



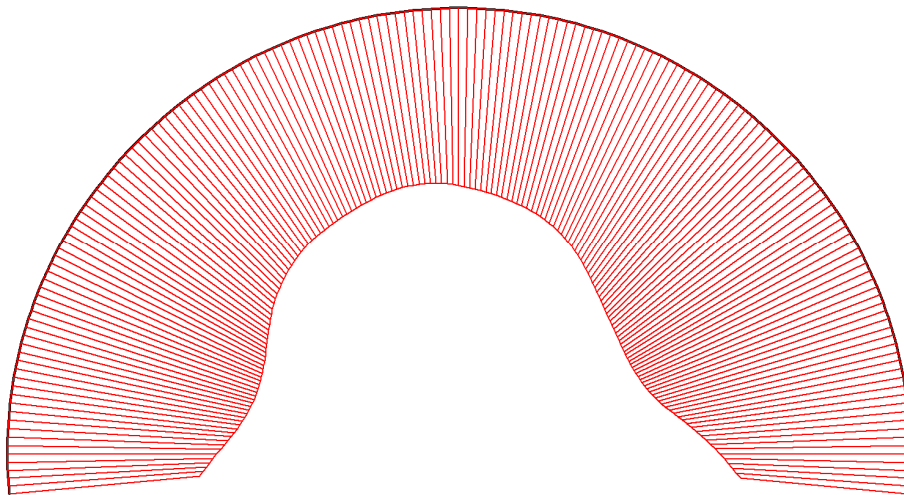
**Fig. 14 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value 0,00 kN/m (Phase: 14)



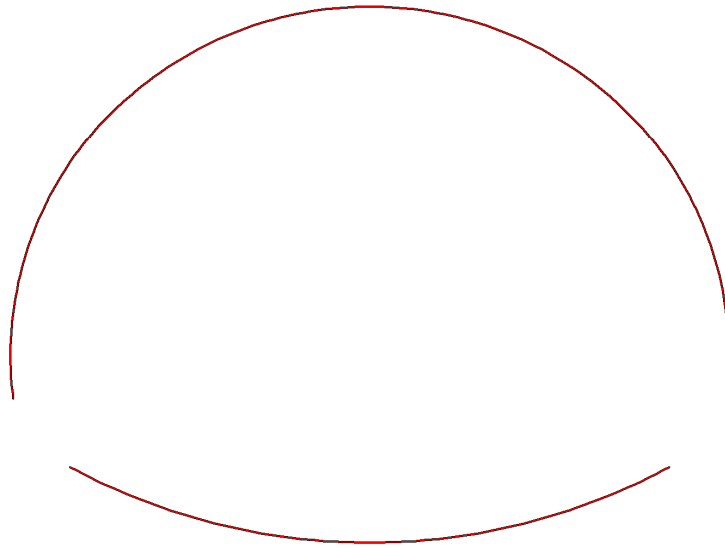
**Fig. 15 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value  $-854,60 \cdot 10^{-15}$  kN/m (Phase: 14)



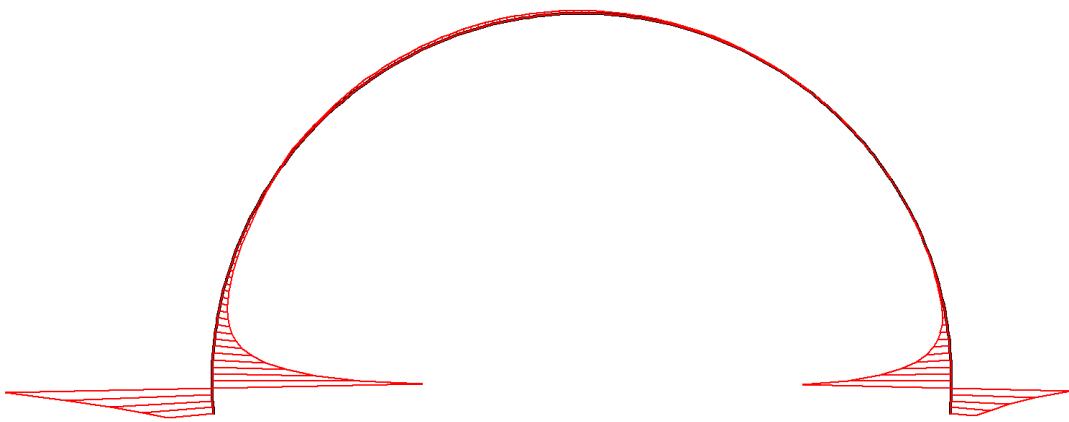
**Fig. 16 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value  $-78,77 \cdot 10^{-9}$  kN/m (Phase: 14)



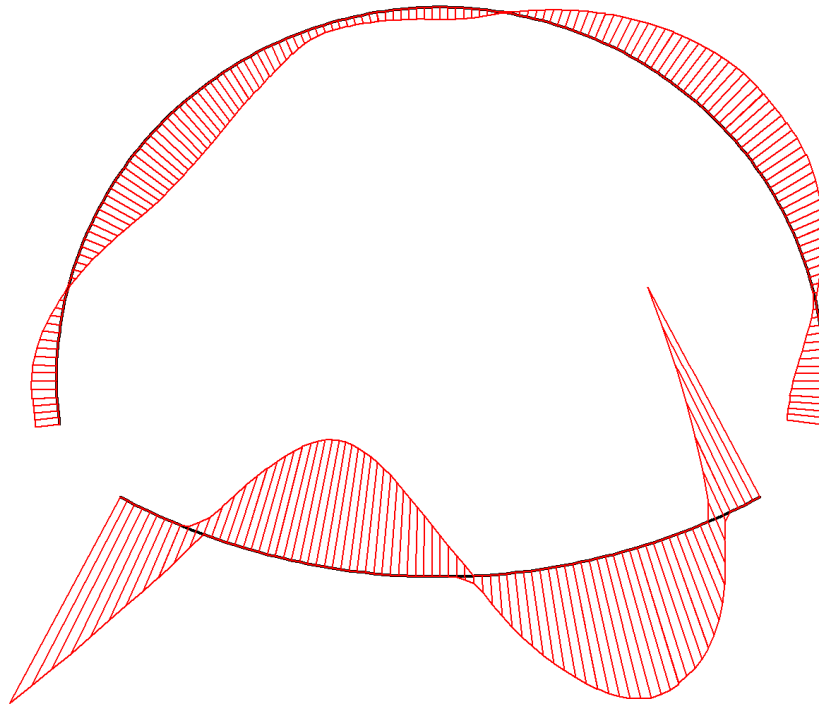
**Fig. 17 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value  $-2,24 \cdot 10^3$  kN/m (Phase: 14)



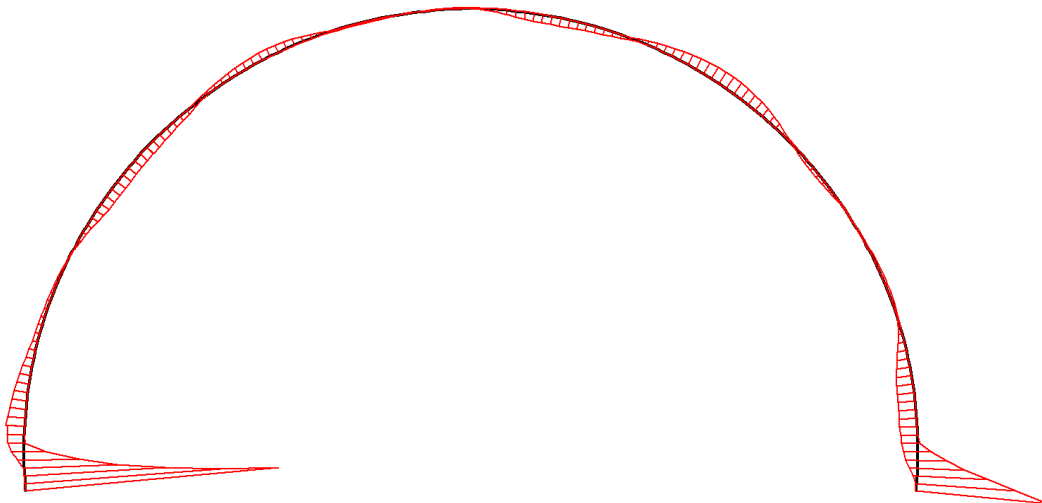
**Fig. 18 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value 0,00 kN/m (Phase: 14)



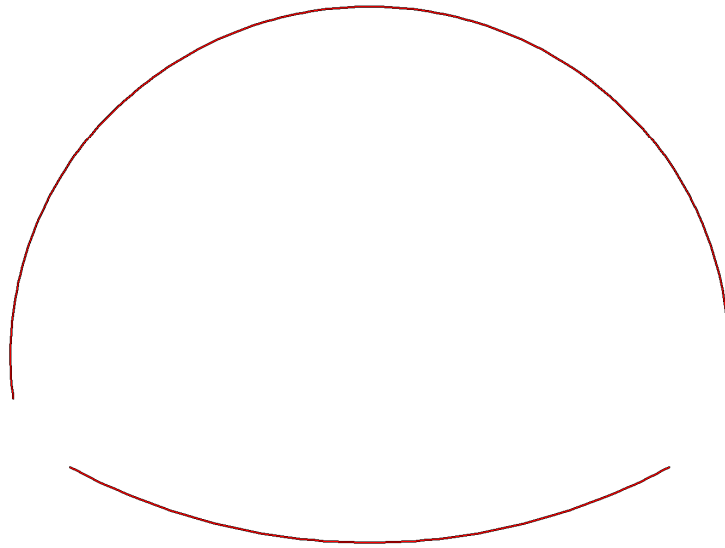
**Fig. 19 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value  $-165,51 \cdot 10^{-15}$  kN/m (Phase: 14)



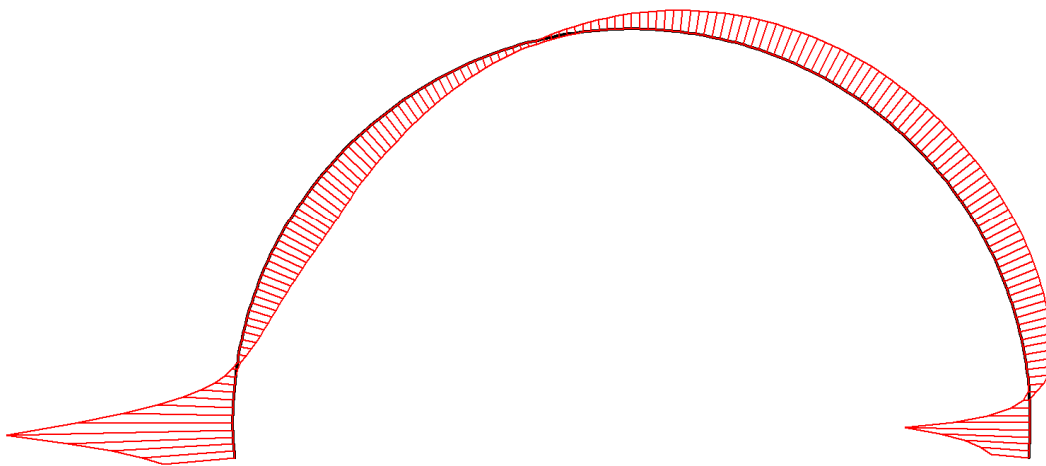
**Fig. 20 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value  $-19,66 \cdot 10^{-9}$  kN/m (Phase: 14)



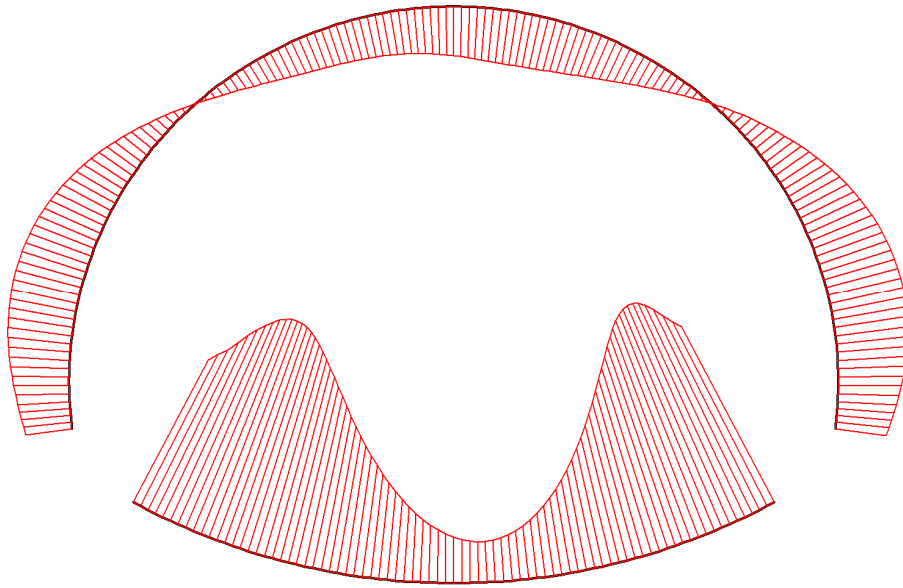
**Fig. 21 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value  $-265,60$  kN/m (Phase: 14)



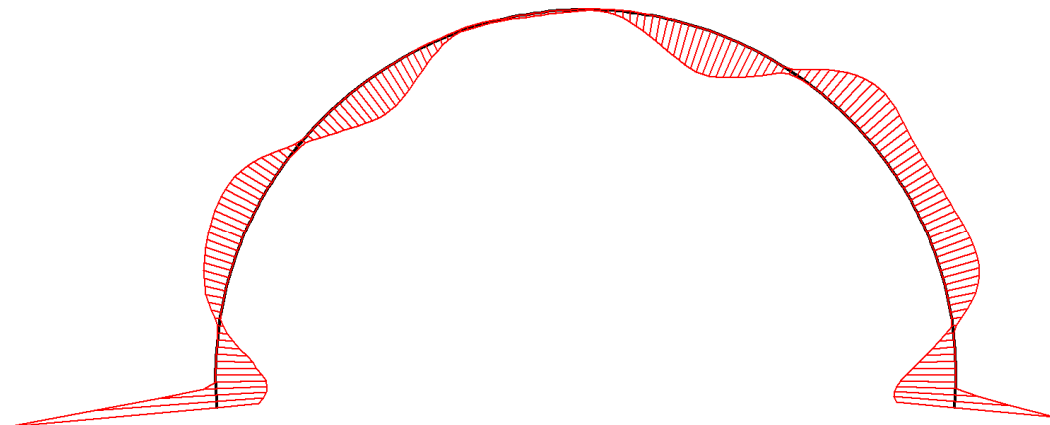
**Fig. 22 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value 0,00 kN/m/m (Phase: 14)



**Fig. 23 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value  $82,77 \cdot 10^{-15}$  kN/m/m (Phase: 14)



**Fig. 24 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value  $53,95 \times 10^{-9}$  kN/m/m (Phase: 14)



**Fig. 25 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value  $91,67$  kN/m/m (Phase: 14)

## 4. Results for phase 13

### 4.4. Deformations

#### 4.4.5. Plot of horizontal displacements

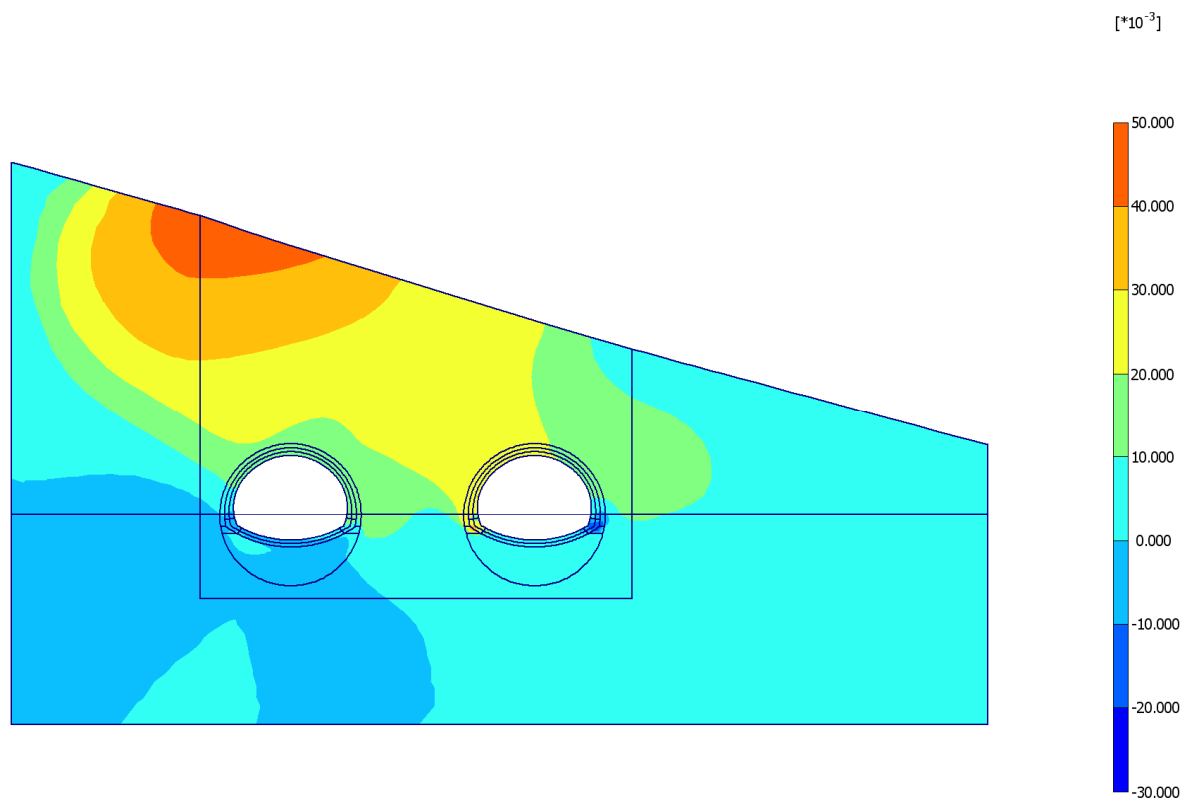


Fig. 26 Plot of horizontal displacements (shadings)  
- Step no: 104 - ( Phase: 13 )

### 4.4.6. Plot of vertical displacements

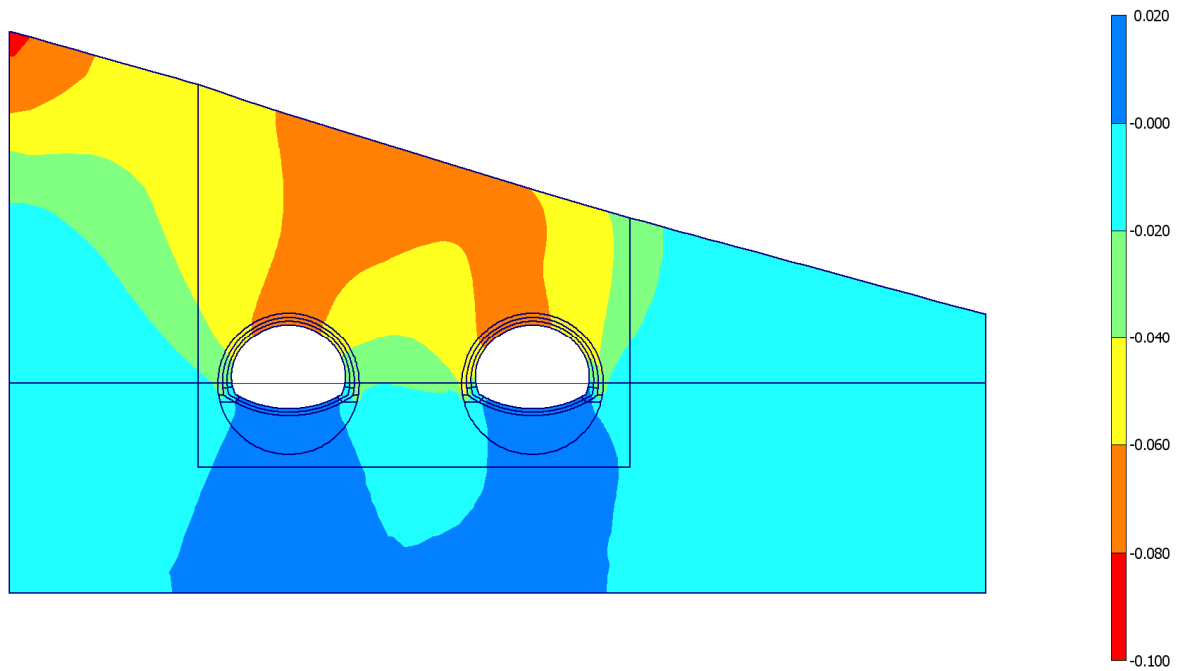


Fig. 27 Plot of vertical displacements (shadings)  
- Step no: 104 - ( Phase: 13 )

## 4.5. Stresses

### 4.5.7. Plot of total stresses

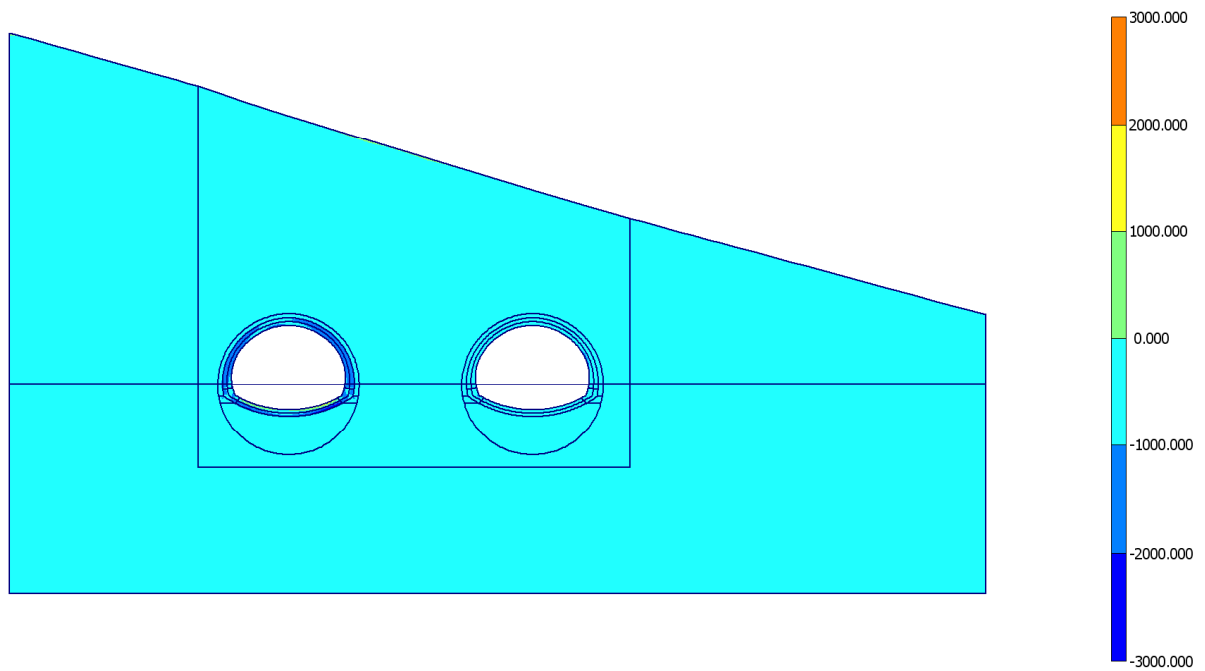


Fig. 28 Plot of total stresses (mean shadings)  
- Step no: 104 - ( Phase: 13 )



#### 4.5.8. Plot of plastic points

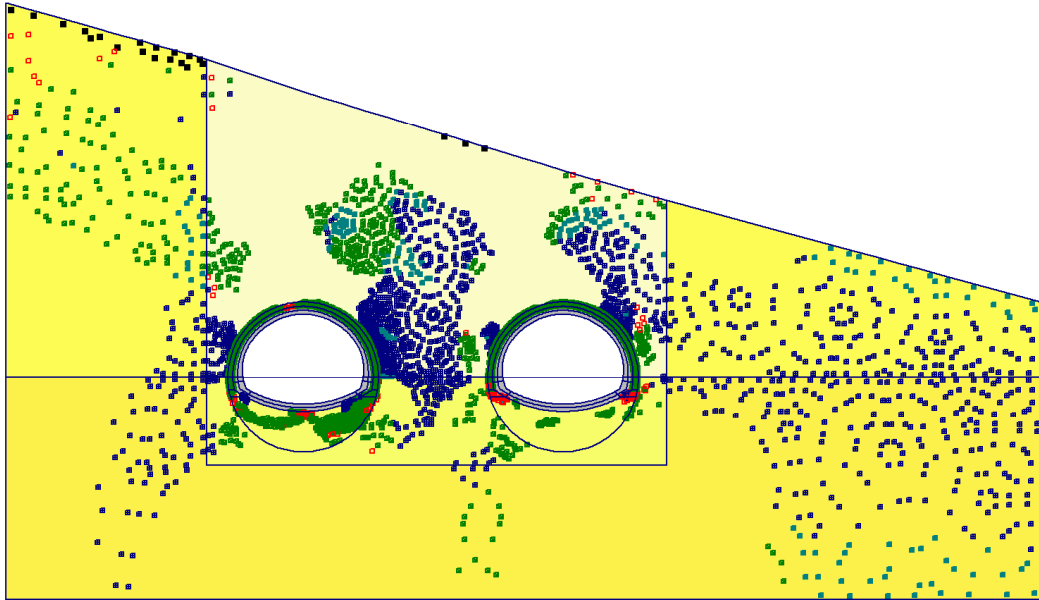
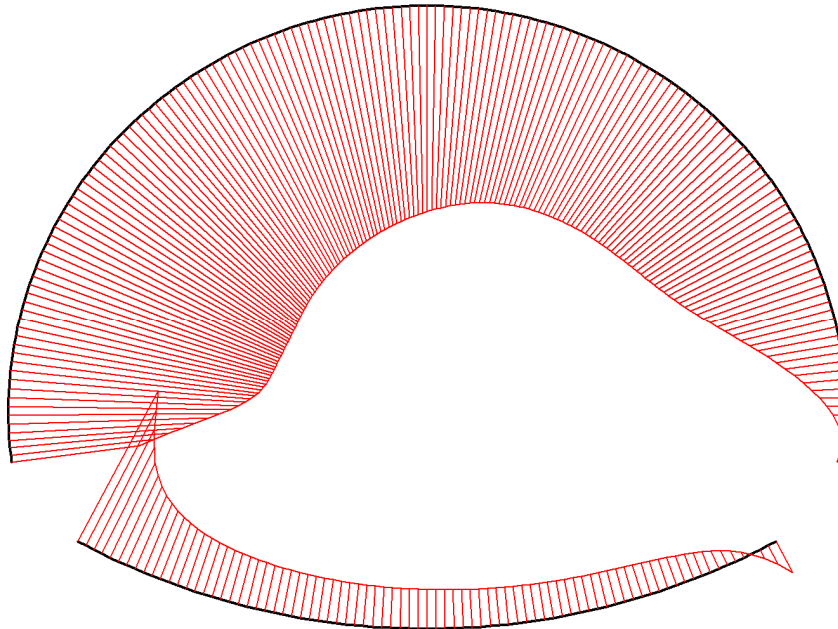


Fig. 14 Plot of plastic points  
- Step no: 104 - ( Phase: 13 )

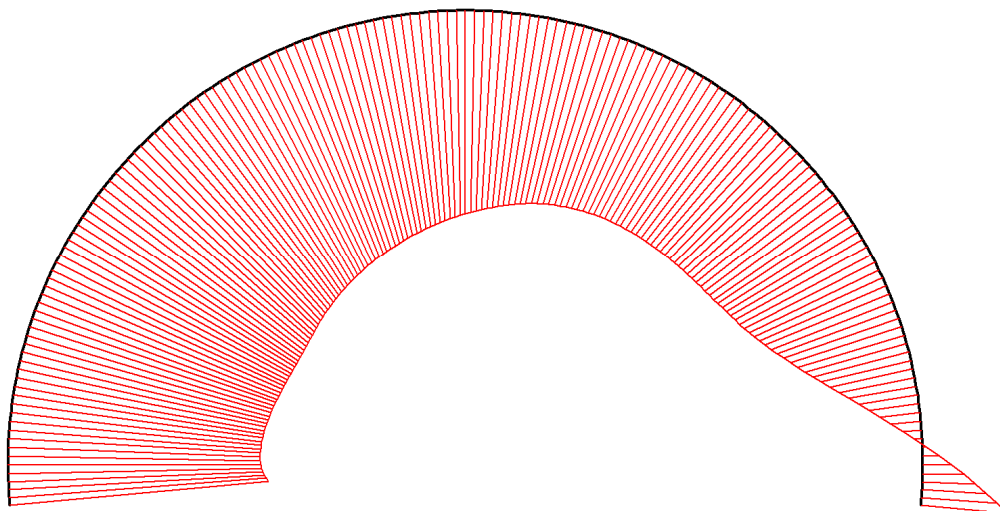
## 4.6. Structures

### 4.6.8. Beams

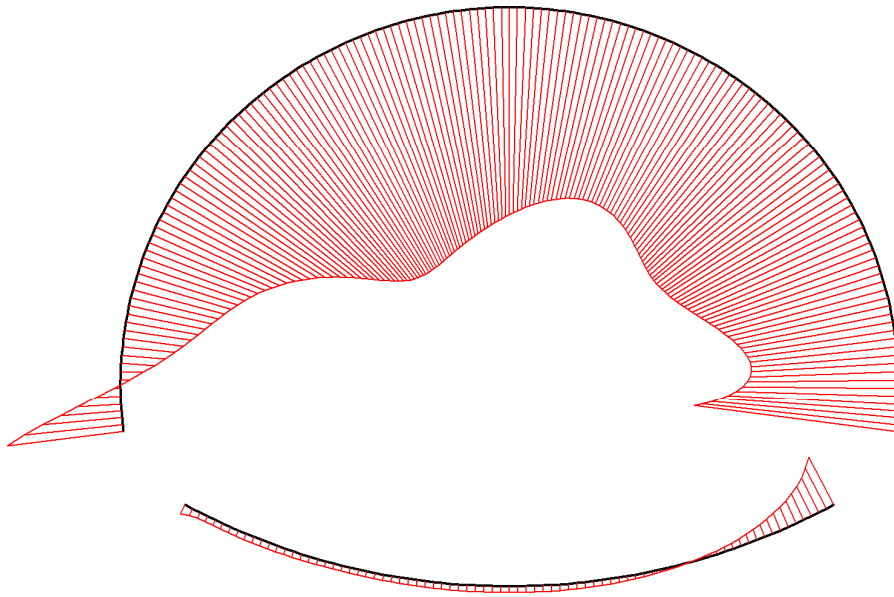
#### 4.6.8.3. Beams



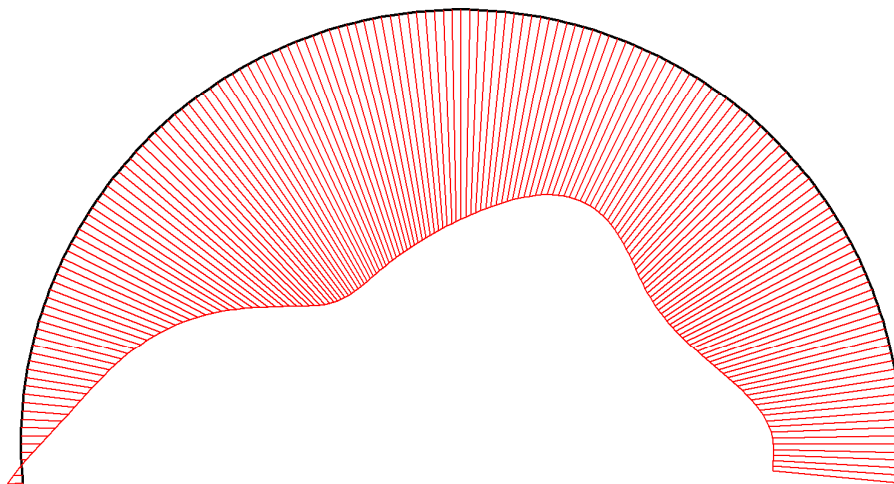
**Fig. 29 Horizontal displacements in beam**  
Extreme value  $27,99 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 13)



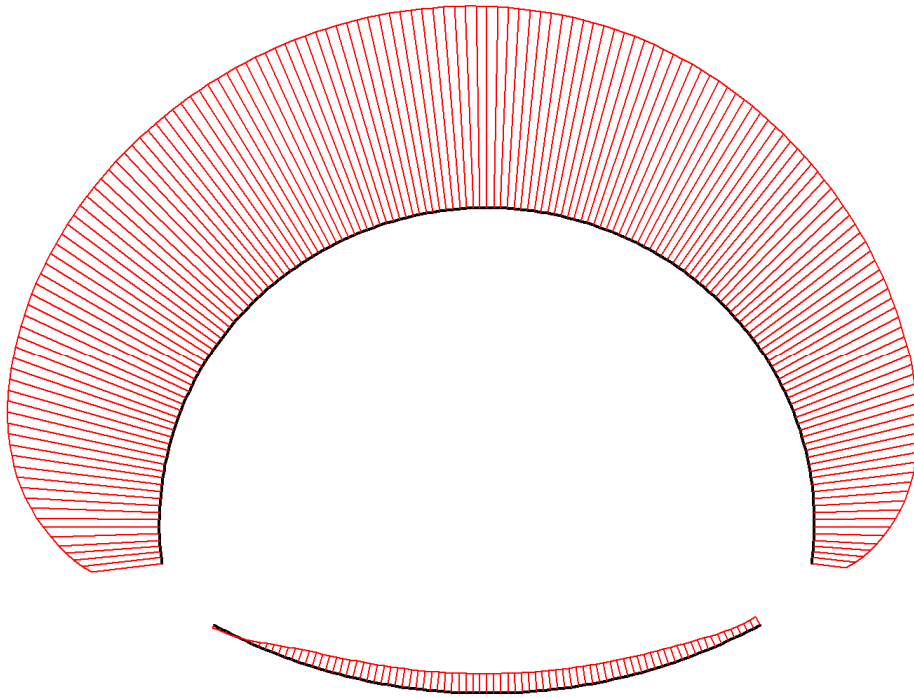
**Fig. 30 Horizontal displacements in beam**  
Extreme value  $27,96 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 13)



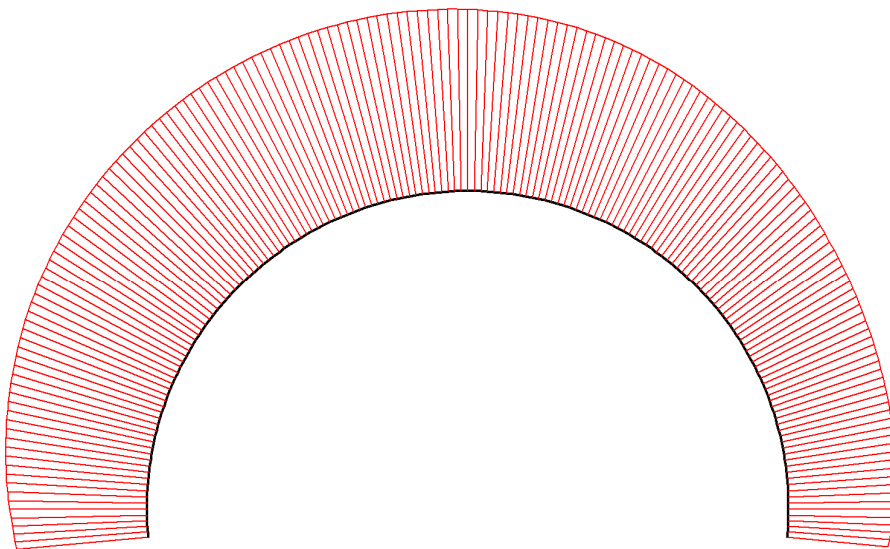
**Fig. 31 Horizontal displacements in beam**  
Extreme value  $19,03 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 13)



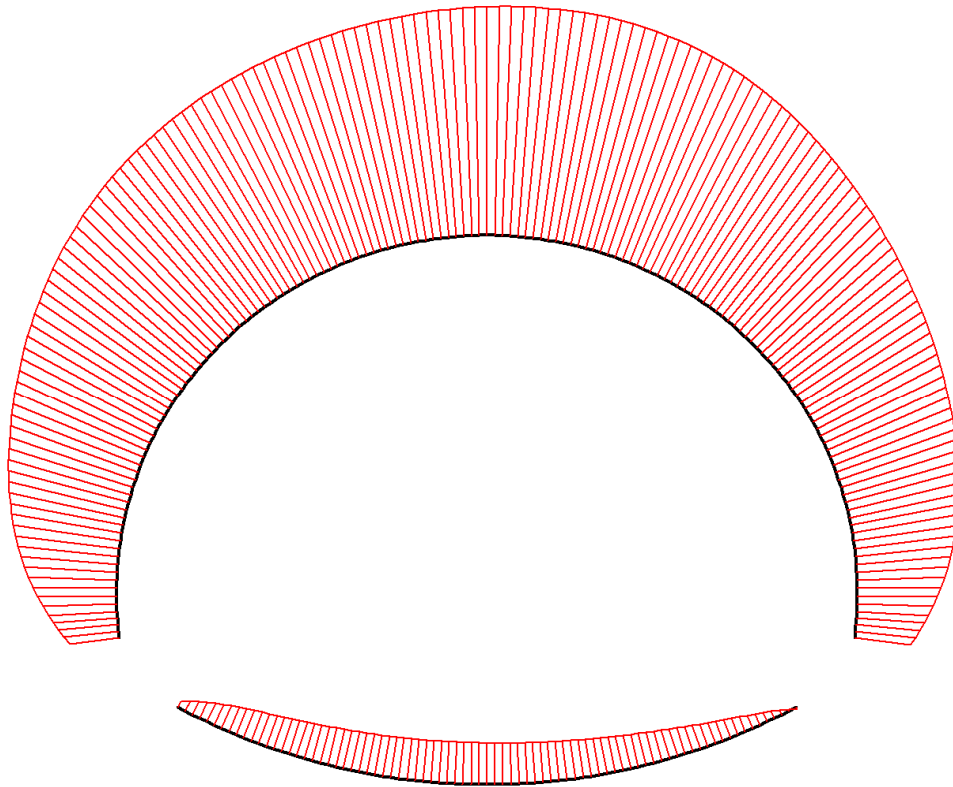
**Fig. 32 Horizontal displacements in beam**  
Extreme value  $19,77 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 13)



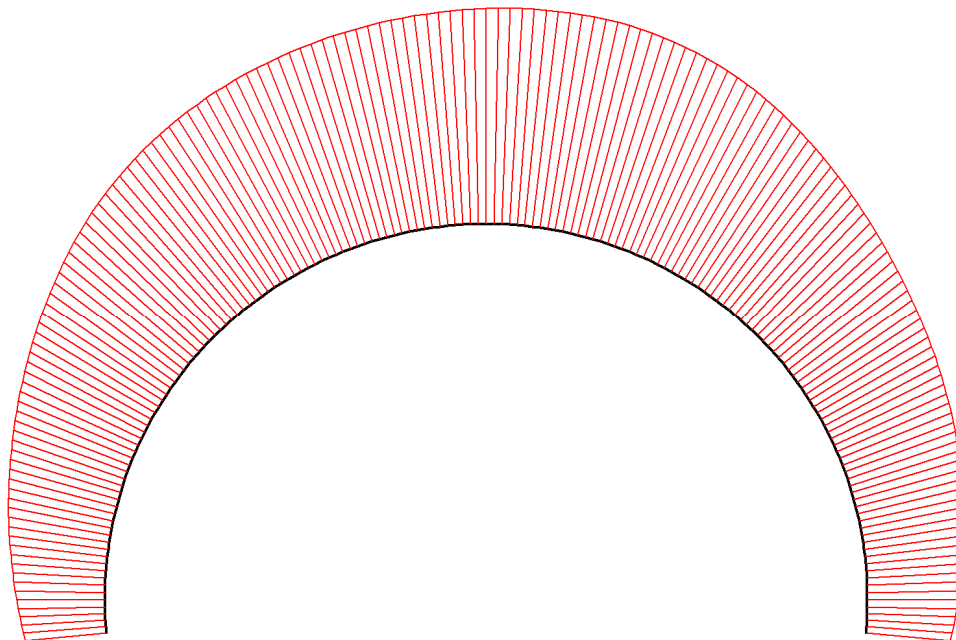
**Fig. 33 Vertical displacements in beam**  
Extreme value  $-63,89 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 13)



**Fig. 34 Vertical displacements in beam**  
Extreme value  $-63,89 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 13)

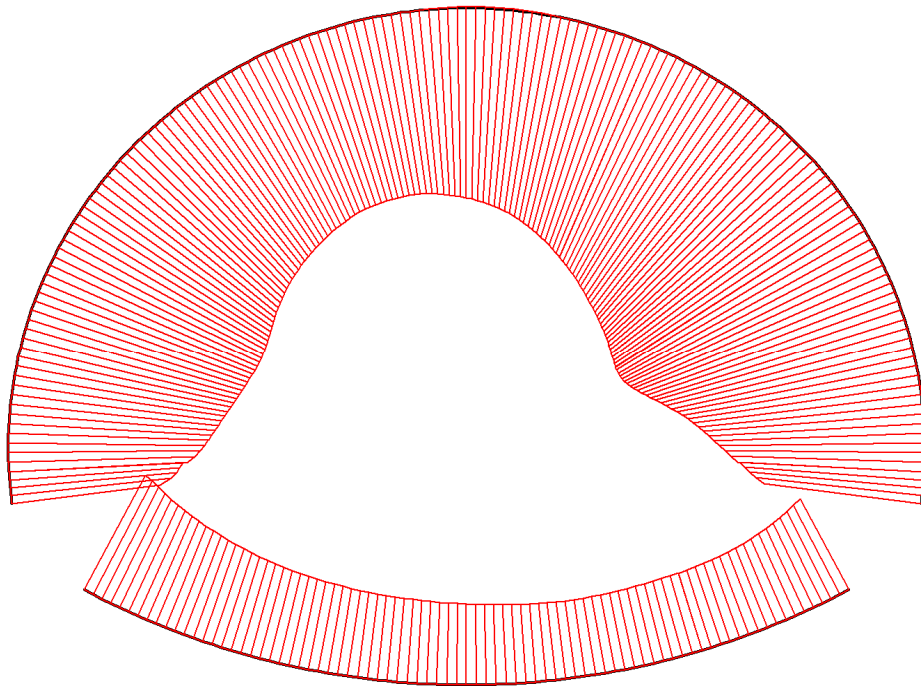


**Fig. 35 Vertical displacements in beam**  
Extreme value  $-67,75 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 13)

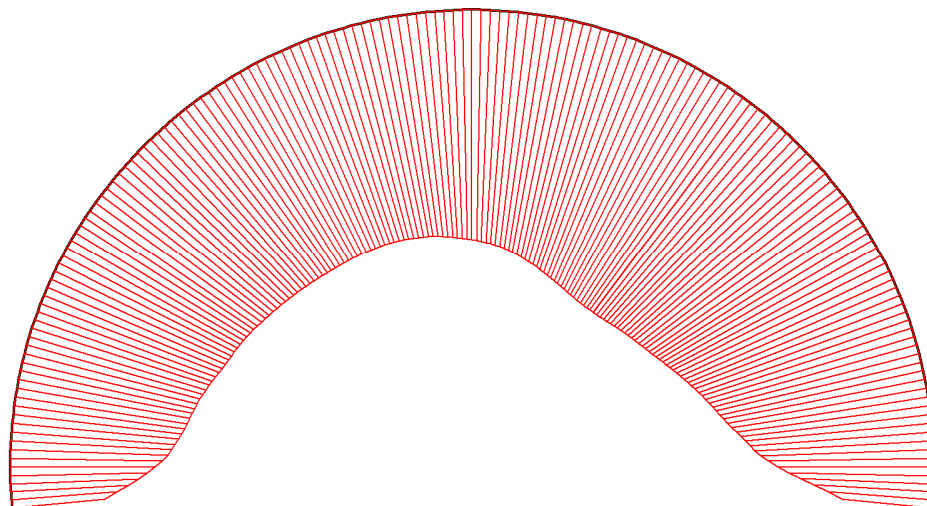


**Fig. 36 Vertical displacements in beam**  
Extreme value  $-67,71 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 13)

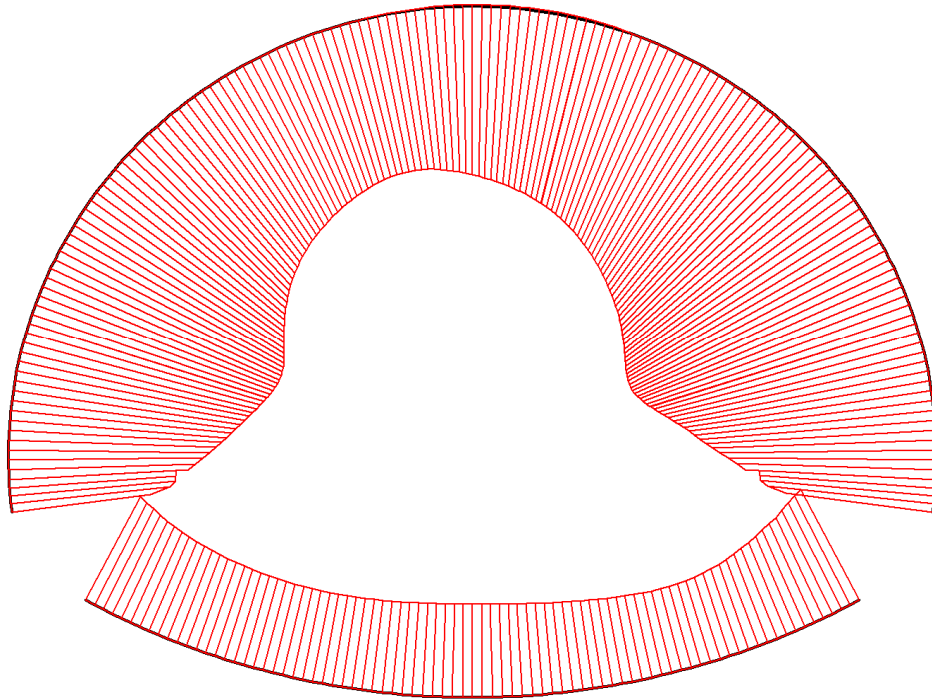
#### 4.6.8.4. Beams



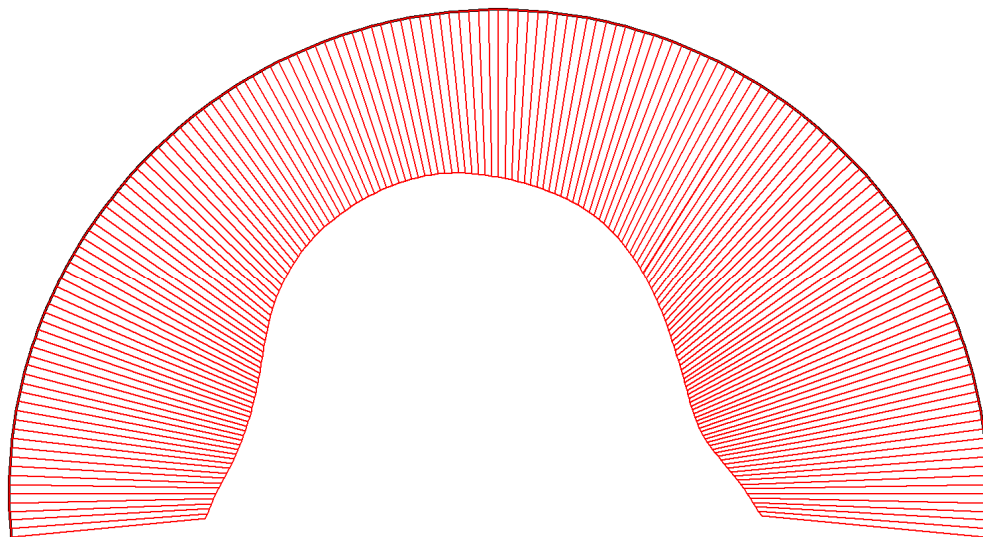
**Fig. 37 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value  $-260,54 \cdot 10^{-9}$  kN/m (Phase: 13)



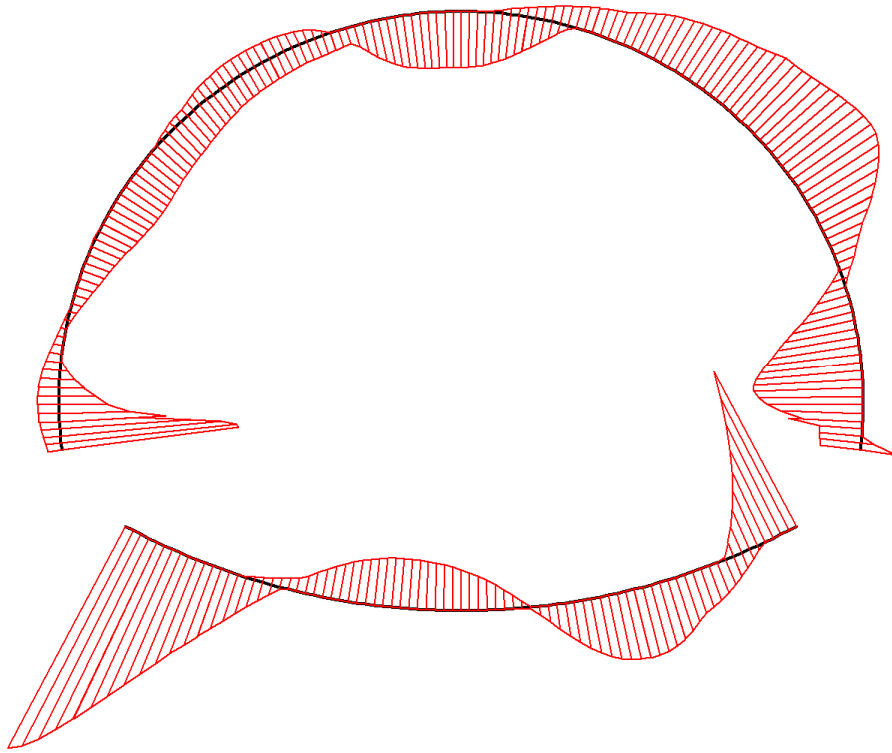
**Fig. 38 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value  $-1,64 \cdot 10^3$  kN/m (Phase: 13)



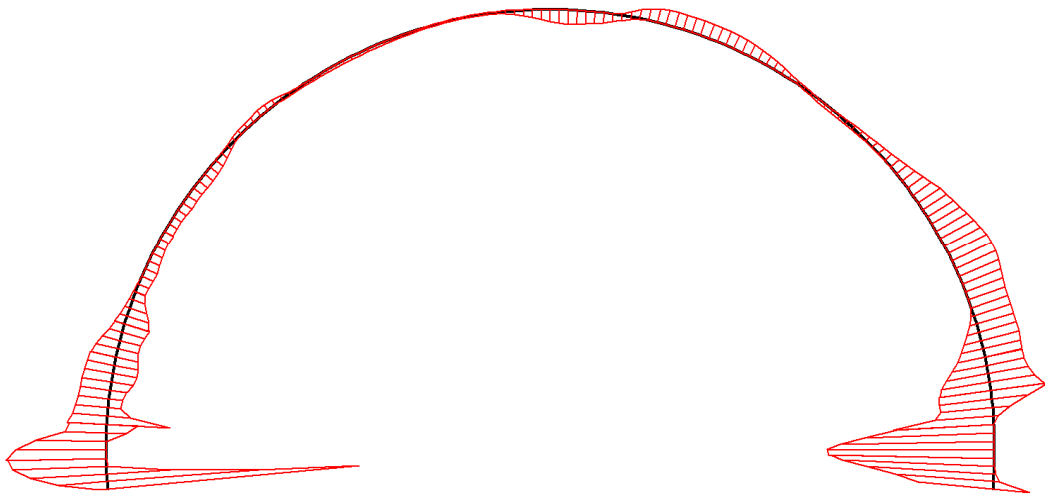
**Fig. 39 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value  $-479,36 \cdot 10^{-9}$  kN/m (Phase: 13)



**Fig. 40 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value  $-3,63 \cdot 10^3$  kN/m (Phase: 13)

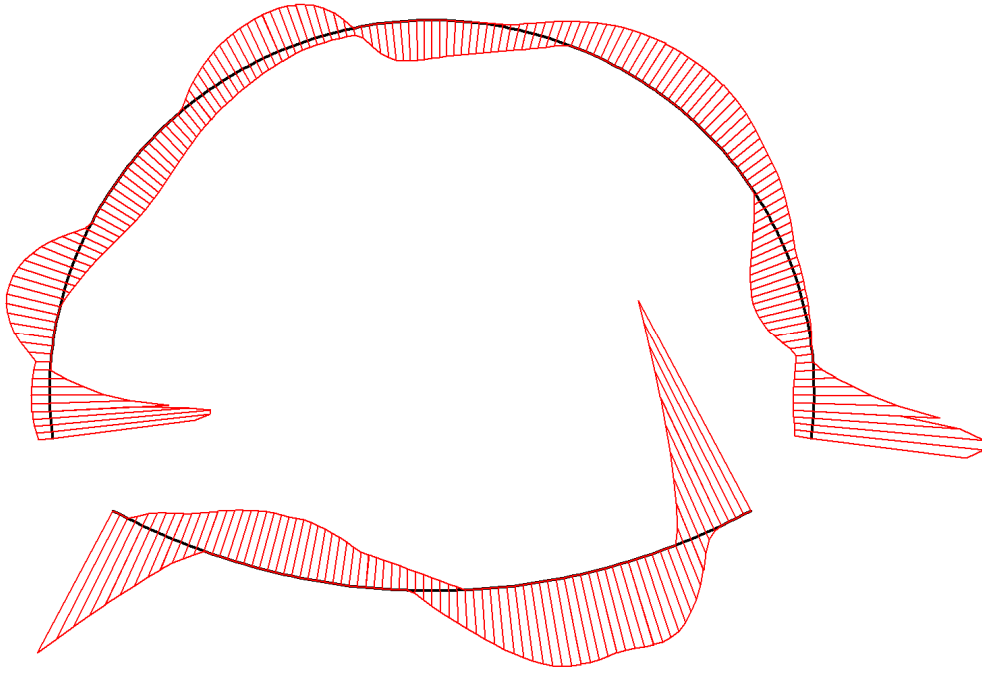


**Fig. 41 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value  $19,73 \times 10^{-9}$  kN/m (Phase: 13)

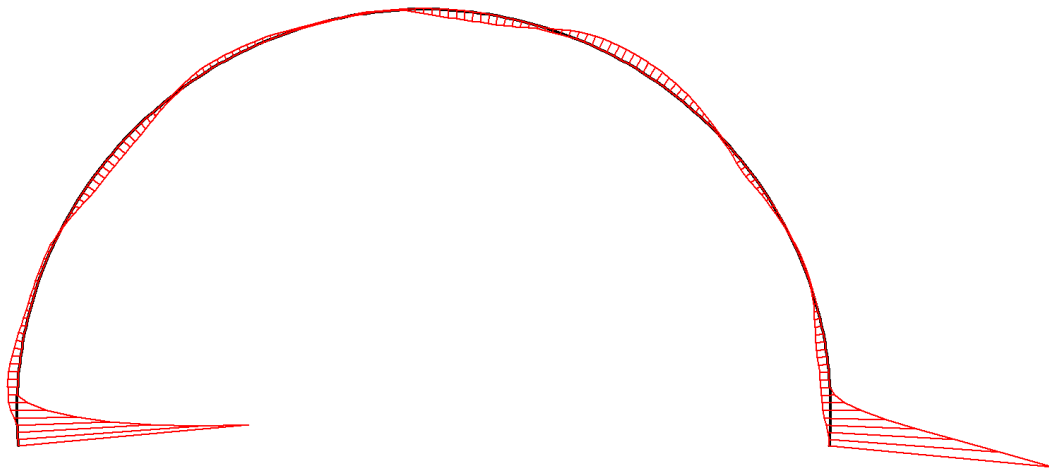


**Fig. 42 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value -105,82 kN/m (Phase: 13)

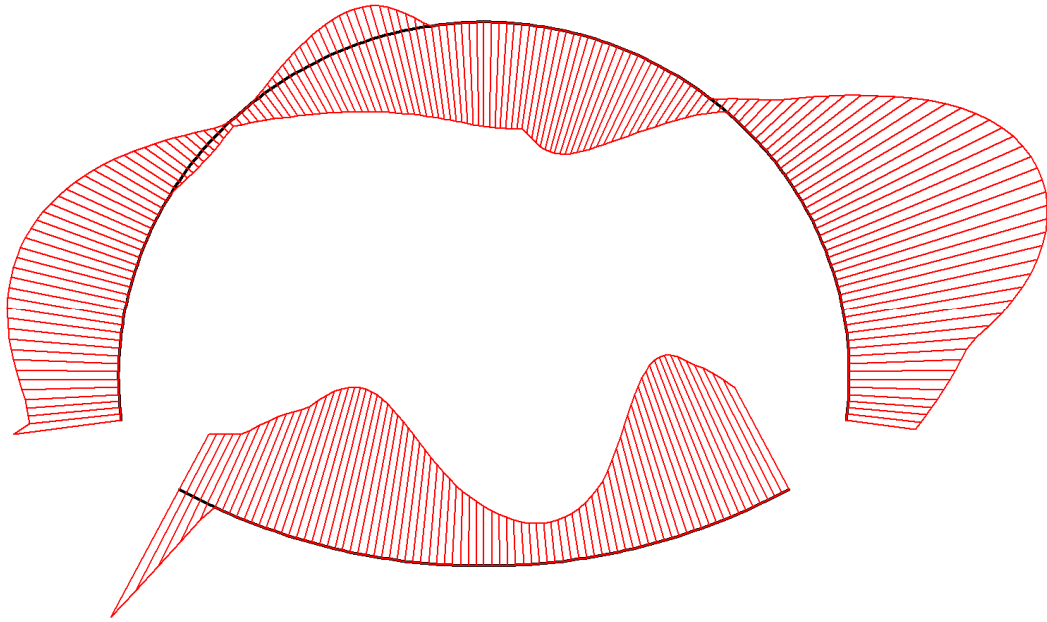




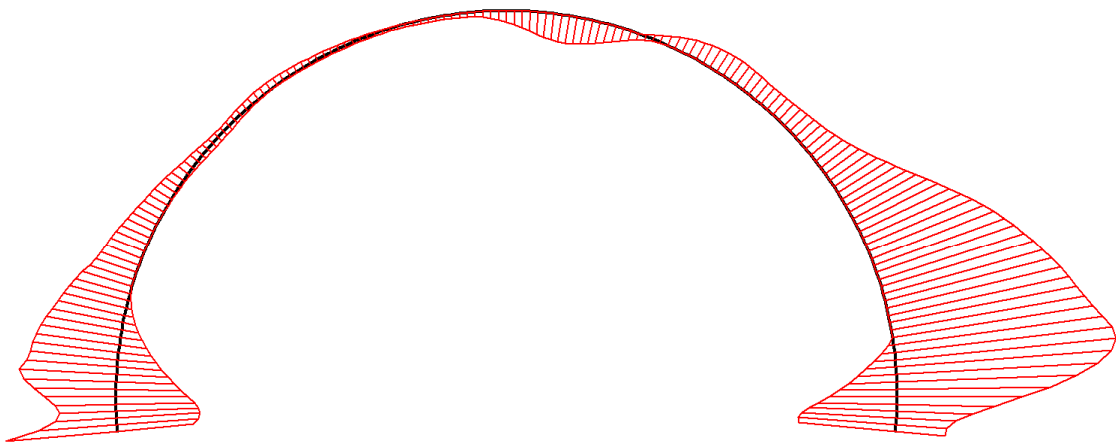
**Fig. 43 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value  $-62,85 \cdot 10^{-9}$  kN/m (Phase: 13)



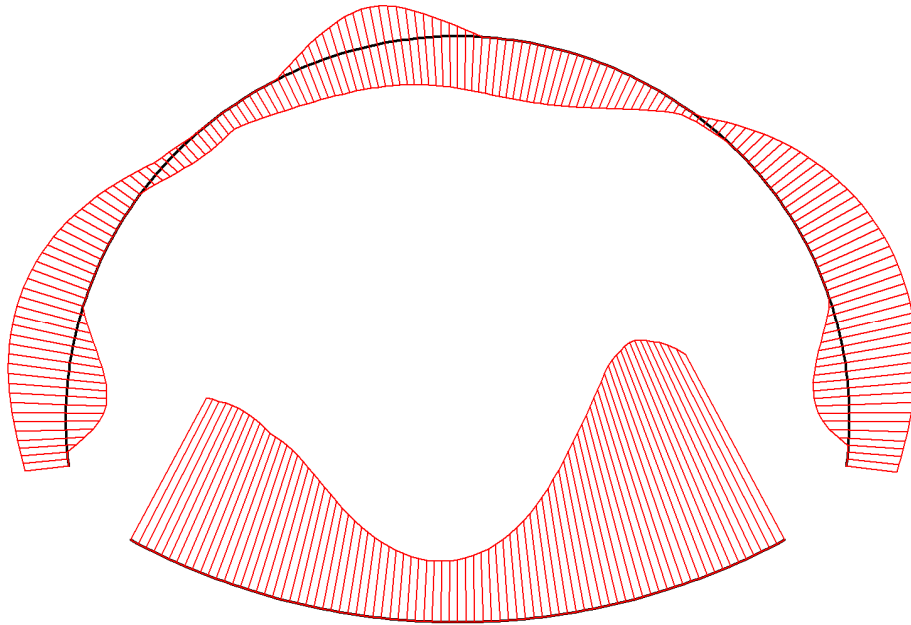
**Fig. 44 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value -460,92 kN/m (Phase: 13)



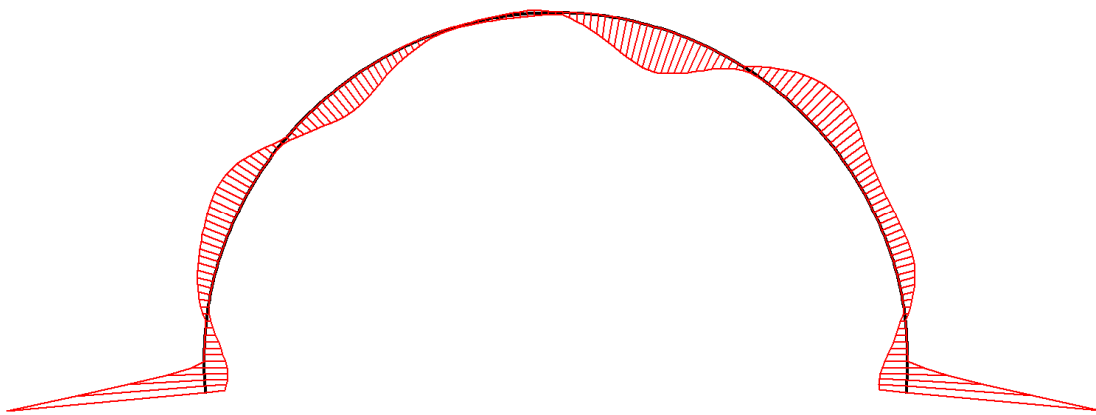
**Fig. 45 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value  $24,39 \cdot 10^{-9}$  kN/m/m (Phase: 13)



**Fig. 46 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value 90,38 kN/m/m (Phase: 13)



**Fig. 47 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value  $131,46 \cdot 10^{-9}$  kN/m/m (Phase: 13)



**Fig. 48 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value 189,97 kN/m/m (Phase: 13)