



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

<i>Unità Funzionale</i>	COLLEGAMENTI SICILIA	SS0259_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>	"LE FOSSE" - 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 0 0 7 F 0

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> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA - "LE FOSSE" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0259_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 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.....	11
3 Caratteristiche dei materiali.....	14
4 FASE CONOSCITIVA: Contesto geologico, idrogeologico e geotecnico.....	17
4.1 Inquadramento geologico .....	17
4.2 Inquadramento geomorfologico .....	20
4.3 Sintesi lungo il tracciato .....	22
4.4 Inquadramento idrogeologico .....	28
4.4.1 Tratta da imbocco ovest al Km 8+400 circa .....	28
4.4.2 Tratta dal Km 8+400 al Km 9+800 circa.....	28
4.4.3 Tratta dal Km 9+800 circa al portale est.....	31
4.4.4 Stime sulle portate drenate .....	32
4.4.5 Perturbazione della piezometria e opere di mitigazione/compensazione .....	33
4.5 Sintesi dei parametri geotecnici e individuazione dei parametri operativi di calcolo .....	33
5 FASE DI DIAGNOSI: Previsioni sul comportamento degli amassi allo scavo .....	39
5.1 Individuazione delle sezioni di calcolo e analisi mediante linee caratteristiche.....	41
6 FASE DI TERAPIA.....	45
6.1.1 Verifica tensionale dei rivestimenti.....	55
6.1.1.1 Verifica dei rivestimenti di prima fase .....	55
6.1.1.2 Verifica dei rivestimenti definitivi .....	57
7 Analisi di stabilità del fronte.....	59
8 Analisi numeriche .....	61
8.1 Curve di "relax" nel modello di calcolo .....	64
8.2 Fasi di calcolo.....	65
8.3 Risultati delle analisi numeriche.....	66
8.3.1 Modalità di verifica.....	66

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA - "LE FOSSE" -          RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0259_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

8.3.1.1	Rivestimento di prima fase .....	66
8.3.1.2	Rivestimento definitivo .....	67
8.3.2	Risultati deformativi .....	68
8.3.3	Risultati tensionali.....	68
8.3.3.1	Verifica dei rivestimento di prima fase S.L.U. ....	68
8.3.3.2	Verifica dei rivestimenti definitivi S.L.U.....	69
8.3.3.3	Verifica dei rivestimenti definitivi S.L.E. ....	78
9	Opere complementari .....	82
9.1	FASE DI DIAGNOSI: Previsioni sul comportamento degli amassi allo scavo.....	82
9.2	FASE DI TERAPIA .....	83
9.2.1	Verifica tensionale dei rivestimenti.....	85
9.2.1.1	Verifica dei rivestimenti di prima fase .....	86
9.2.1.2	Verifica dei rivestimenti definitivi .....	86
9.3	Analisi di stabilità del fronte .....	87
ALLEGATO – RIFERIMENTI TEORICI E DI CALCOLO .....		88
10	Metodo delle curve caratteristiche .....	89
10.1	Aspetti generali.....	89
10.2	Consolidamento del fronte di scavo.....	92
11	Analisi di stabilità del fronte .....	94
12	Software di calcolo .....	96
12.1	PLAXIS.....	96
ALLEGATO – LINEE CARATTERISTICHE.....		102
ALLEGATO – STABILITA' DEL FRONTE .....		103
ALLEGATO – ANALISI NUMERICHE .....		104



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA - "LE FOSSE" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0259_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 1 Premessa

Nella presente relazione si analizzano le problematiche progettuali connesse alla realizzazione della galleria naturale Le Fosse, 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;

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA - "LE FOSSE" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0259_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- **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 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 simili.

## 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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA - "LE FOSSE" -          RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0259_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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;
- 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.

Le gallerie naturali "Le Fosse" hanno origine al termine del Viadotto Pace, e ha uno sviluppo di 3200 m circa.

Le due carreggiate rimangono per la maggior parte del tracciato parallele, con distanza tra i due assi di tracciamento pari a 35m.

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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA - "LE FOSSE" -          RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0259_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

avanzamento applicate lungo il tracciato della galleria in oggetto. Per i dettagli relativi alle scelte progettuali alla base della Tabella 2 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 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+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
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+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
C1A	Applicata come sezione prevalente nella formazione delle "GHIAIE E SABBIE DI MESSINA Gruppo Geomeccanico 1" per coperture maggiori di 100m circa	STANDARD	JET Dn600	JET Dn600	-	25CM	2IPN200/100
C1A+1,05	Applicata come sezione prevalente nella formazione delle "GHIAIE E SABBIE DI MESSINA Gruppo Geomeccanico 1" per coperture maggiori di 100m circa	ALLARGO VISIBILITA' 0.90m/0.95m/1.05m	JET Dn600	JET Dn600	-	25CM	2IPN220/100
B2V	Applicata come sezione tipo prevalente nella formazione di "SAN PIER NICETO" Gruppo Geomeccanico 2 e in corrispondenza della "SERIE GESSOSO SOLFIFERA"	STANDARD	VTR CEMENTATI	INIEZIONI	INFILAGGI SU 120	25	2IPN180/100
B2V+1,05	Applicata come sezione tipo prevalente nella formazione di "SAN PIER NICETO" Gruppo Geomeccanico 2 e in corrispondenza della "SERIE GESSOSO SOLFIFERA"	ALLARGO VISIBILITA' 0.90m/0.95m/1.05m	VTR CEMENTATI	INIEZIONI	INFILAGGI SU 120	25	2IPN220/100
B2V_ALL	Applicata come sezione tipo prevalente nella formazione di "SAN PIER NICETO" Gruppo Geomeccanico 1 e 2 e in corrispondenza della "SERIE GESSOSO SOLFIFERA"	CORSIA ACCELERAZIONE/DECELERAZIONE/ALLARGO VISIBILITA' +2.75	VTR CEMENTATI	INIEZIONI	INFILAGGI SU 120	25	2IPN240/100
B2	Applicata come sezione tipo prevalente nella formazione di "SAN PIER NICETO" Gruppo Geomeccanico 1	STANDARD	VTR CEMENTATI	-	-	25	2IPN180/100

**Tabella 1 Sintesi sezioni tipo applicate**

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA - "LE FOSSE" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0259_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 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> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA - "LE FOSSE" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0259_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 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> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA - "LE FOSSE" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0259_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 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 cinematiso 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).

## 2.2 Elaborati di riferimento

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

36 STUDI DI BASE													
36 Caratterizzazione geotecnica													
36 Generale													
36	relazione geotecnica generale	CG0800	P	RB	D	S	SB	C8	G0	00	00	00	01
36	Relazione sismica generale	CG0800	P	RG	D	S	SB	C8	G0	00	00	00	01



36 Caratterizzazione geologica												
36 Generale												
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
36 Tracciato stradale - Direzione Reggio Calabria												
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	11
36	Profilo geologico-geotecnico dal km 2+300 al km 4+700	CG0800	P	F6	D	S	SB	C6	ST	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	13
36	Profilo geologico-geotecnico dal km 6+900 al km 9+300	CG0800	P	F6	D	S	SB	C6	ST	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	15
36	Profilo idrogeologico dal km 0+000 al km 2+400	CG0800	P	F6	D	S	SB	C6	ST	00	00	16
36	Profilo idrogeologico dal km 2+300 al km 4+700	CG0800	P	F6	D	S	SB	C6	ST	00	00	17
36	Profilo idrogeologico dal km 4+600 al km 7+000	CG0800	P	F6	D	S	SB	C6	ST	00	00	18
36	Profilo idrogeologico dal km 6+900 al km 9+300	CG0800	P	F6	D	S	SB	C6	ST	00	00	19
36	Profilo idrogeologico dal km 9+200 al km 11+348	CG0800	P	F6	D	S	SB	C6	ST	00	00	20



**COLLEGAMENTI SICILIA**

**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 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	Sezione tipo C1A - Scavi e consolidamenti	CG0800	P	WB	D	S	GS	T7	GN	00	00	00	12
37	Sezione tipo C1A (+1.05) - Scavi e consolidamenti	CG0800	P	WB	D	S	GS	T7	GN	00	00	00	13
37	Sezione tipo B2V - Carpenteria	CG0800	P	BB	D	S	GS	T7	GN	00	00	00	06
37	Sezione tipo B2V - Scavi e consolidamenti	CG0800	P	WB	D	S	GS	T7	GN	00	00	00	06
37	Sezione tipo B2V Allargata - Carpenteria	CG0800	P	BB	D	S	GS	T7	GN	00	00	00	07
37	Sezione tipo B2V Allargata - Scavi e consolidamenti	CG0800	P	WB	D	S	GS	T7	GN	00	00	00	07
37	Sezione tipo B2V (+1,05) - Carpenteria	CG0800	P	BB	D	S	GS	T7	GN	00	00	00	12
37	Sezione tipo B2V (+1,05) - Scavi e consolidamenti	CG0800	P	WB	D	S	GS	T7	GN	00	00	00	12
37	Sezione tipo B2 - Carpenteria	CG0800	P	BB	D	S	GS	T7	GN	00	00	00	08
37	Sezione tipo B2 - Scavi e consolidamenti	CG0800	P	WB	D	S	GS	T7	GN	00	00	00	08
37	Sezione tipo B2 (+1,05) - Carpenteria	CG0800	P	BB	D	S	GS	T7	GN	00	00	00	09
37	Sezione tipo B2 (+1,05) - Scavi e consolidamenti	CG0800	P	WB	D	S	GS	T7	GN	00	00	00	09
37	Sezione tipo B2 Allargata - Carpenteria	CG0800	P	BB	D	S	GS	T7	GN	00	00	00	10
37	Sezione tipo B2 Allargata - Scavi e consolidamenti	CG0800	P	WB	D	S	GS	T7	GN	00	00	00	10
37	Sezione tipo B2 piazzola - Carpenteria	CG0800	P	BB	D	S	GS	T7	GN	00	00	00	11
37	Sezione tipo B2 piazzola - Scavi e consolidamenti	CG0800	P	WB	D	S	GS	T7	GN	00	00	00	11
37	"Le Fosse" - Profilo geotecnico e geomeccanico - dir. RC - tav 1/2	CG0800	P	F6	D	S	GS	T7	GN	00	00	00	09
37	"Le Fosse" - Profilo geotecnico e geomeccanico - dir. RC - tav 2/2	CG0800	P	F6	D	S	GS	T7	GN	00	00	00	10
37	"Le Fosse" - Profilo geotecnico e geomeccanico - dir. ME - tav 1/2	CG0800	P	F6	D	S	GS	T7	GN	00	00	00	11
37	"Le Fosse" - Profilo geotecnico e geomeccanico - dir. ME - tav 2/2	CG0800	P	F6	D	S	GS	T7	GN	00	00	00	12

**44 INFRASTRUTTURE STRADALI OPERE CIVILI**

**44 Elementi di carattere generale**

**44 Galleria Naturale**

44	"Le Fosse" - Ubicazione by pass nicchie e piazzole - Planimetria generale	CG0800	P	P6	D	S	SC	00	GN	00	00	00	03
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> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA - "LE FOSSE" -          RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0259_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 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

##### NOTE

Il cls riportato sopra è valido per le situazioni standard. Per le porzioni di galleria naturale scavata all'interno della seria Solfifera-gessosa dovrà essere prevista una classe di esposizione ambientale tipo XA2

##### 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	$R_{ak}$	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 ELETTROSALDATA: 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> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA - "LE FOSSE" -          RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0259_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## CONSOLIDAMENTI AL FRONTE

### TUBI IN VTR (Caratteristiche del composito)

diametro esterno ad aderenza migliorata	60 mm
spessore medio	10.00 mm
resistenza a trazione (UNI EN 61)	= 600 MPa
resistenza a taglio (ASTM D 732 85)	= 100 MPa
resistenza a flessione (UNI EN 63)	= 600 MPa
resistenza allo scoppio (solo per tubi valvolati)	= 8 MPa
allungamento a rottura	2 %
modulo elastico (UNI EN 61)	= 30000 MPa
contenuto in vetro	55 %
densità (UNI 7092/72)	1.8 t/mc
diametro di perforazione	100÷120 mm

### MISCELA CEMENTIZIA A RITIRO CONTROLLATO

resistenza a compressione monoassiale a 48h	>3 MPa
---	--------

### 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

### INFILAGGI METALLICI

TUBI IN ACCIAIO: tipo di acciaio	S355 -
copriferro minimo per la perforazione	>15 mm

### MISCELE PER INIEZIONI AL CONTORNO

#### MISCELA DI GUAINA

resistenza a compressione della miscela a 28 gg	1 MPa
---	-------

#### CARATTERISTICHE MINIME DEL TERRENO CONSOLIDATO



resistenza a compressione semplice a 48 h	1 MPa
resistenza a compressione semplice a 7 giorni	1.5 MPa
R.D.Q. a 48 h	50 %
R.D.Q. a 7 giorni	70 %

### 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.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA - "LE FOSSE" -          RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0259_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

### SISTEMI DI DRENAGGIO

#### DRENAGGI IN AVANZAMENTO EVENTUALI

tubo microfessurato in PVC ad alta resistenza rivestiti in TNT  
 diametro esterno  
 spessore  
 diametro perforazione  
 resistenza a trazione

60 mm  
 5 mm  
 100 mm  
 4.5 MPa

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

diametro  
 sella di appoggio  
 tubo in cls  
 cls di protezione 15cm

30-50 cm  
 C20/25 tipo III  
 C25/30 tipo II  
 C20/25 tipo III

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA - "LE FOSSE" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0259_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 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 Le Fosse. 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, come sopra specificato, 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:

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA - "LE FOSSE" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0259_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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

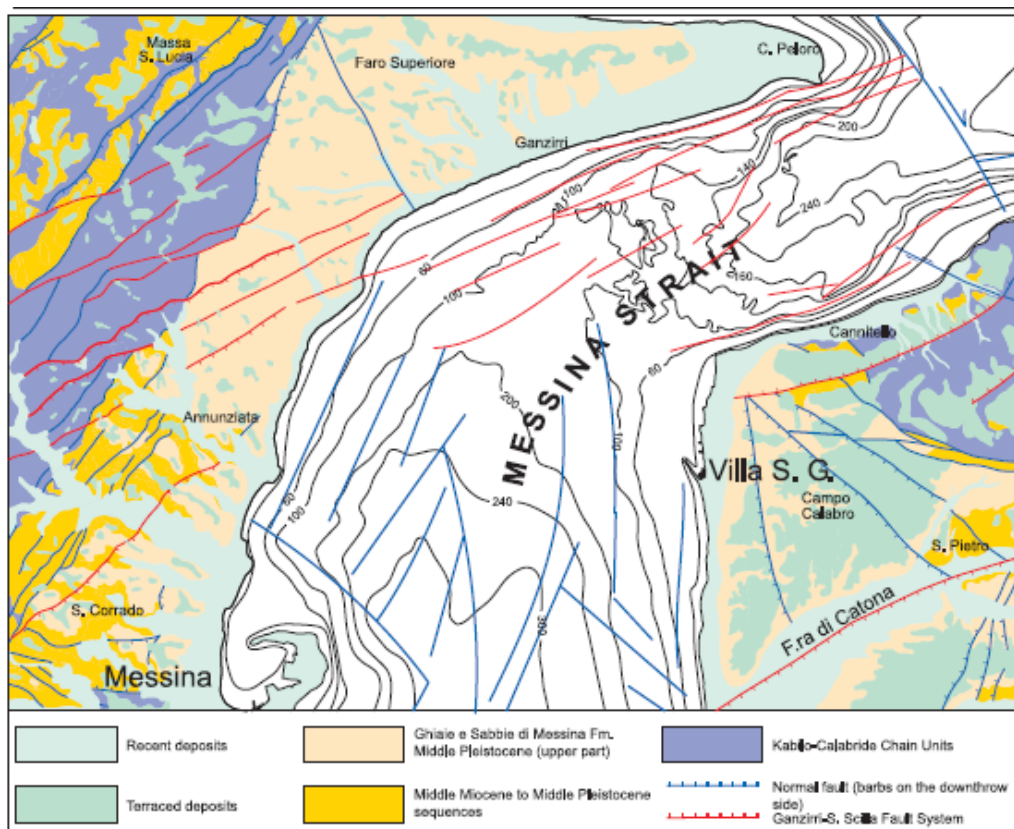
Particolarmente marcato appare il sistema orientato NE-SW.

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> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA - "LE FOSSE" -          RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0259_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 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 oligocenica di ricoprimento delle falde cristalline. La copertura sedimentaria inizia con i



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA - "LE FOSSE" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0259_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA - "LE FOSSE" -          RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0259_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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 occupate dall'urbanizzazione e, poiché raffigurarle entrambe avrebbe comportato una

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA - "LE FOSSE" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0259_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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 Le Fosse.

A partire dall'imbocco della galleria le **Fosse**, all'incirca progressiva km 7,350 dir. Messina ed all'incirca progressiva km 7.300 dir. Reggio, gli strati della formazione delle Ghiaie e sabbie di Messina immergono decisamente verso gli imbocchi (franapoggio) ed al loro interno, con buona probabilità, si troveranno strati spessi qualche metro, debolmente cementati. La formazione si presenta con le caratteristiche 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> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA - "LE FOSSE" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0259_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 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).

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA - "LE FOSSE" -          RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0259_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011



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

Dalle progressive km 7,580 dir. Messina e km 7,589 dir. Reggio con passaggio ipotizzato per faglia, si incontrerà presumibilmente la formazione tortoniano-messiniana (Formazione di S. Pier Niceto).

Il cambiamento litologico avverrà verosimilmente intorno alle progressive km 8,300-8,500.



Dall'interpretazione dei sondaggi preesistenti e dal primo affioramento rilevato in località Mandria è ragionevole supporre che si incontrerà in cavo la facies arenaceo-conglomeratica.

Non è da escludere però che nel tratto della galleria le Fosse, tra Fiumara Pace sino alla parte alta della Fiumara dell'Annunziata (edifici universitari), si rinvengano la successione sabbioso-argillosa e/o i calcari evaporitici.

La litofacies conglomeratica della Formazione di S. Pier Niceto poggia, nell'area di studio, direttamente sul cristallino peloritano. È costituita da clasti poligenici ed eterometrici, prevalentemente metamorfici di medio ed alto grado, immersi in abbondante matrice sabbiosa. I clasti hanno dimensioni variabili da pochi cm fino a un massimo di 60-70 cm (Figura 4) e mostrano un buon indice di arrotondamento. Tra i clasti di questa formazione, e ne segna la specificità, è la presenza di ciottoli di porfido con la loro caratteristica colorazione rossa.

La colorazione è bruno-nocciola all'alterazione e grigio al taglio fresco. I sondaggi geognostici che



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA - "LE FOSSE" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0259_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

hanno incontrato questa formazione evidenziano chiaramente questa variazione cromatica.

In genere la litofacies conglomeratica non presenta stratificazione, riscontrabile solo in qualche affioramento con immersioni di circa 30°.

Trattandosi di depositi in massa ad opera di flussi gravitativi l'assetto è caotico e a tratti prevalgono arenarie debolmente cementate con elementi cristallini minuti.



**Figura 4 – Litofacies conglomeratica della Formazione di S. Pier Niceto. Loc.: Trapani alto.**

In considerazione della variabilità di facies che la formazione di S. Pier Niceto presenta, e di una insufficienza di dati, è da supporre che dalla progressiva km 8,300 - 8,500 sino alla progressiva km 9,300 si potrebbe passare in maniera brusca o gradualmente dentro orizzonti prevalentemente arenacei ed a intervalli sabbioso-argillosi ed argilloso-sabbiosi. Il passaggio latero-verticale a facies litologiche differenti può avvenire con contatto netto, o sfumato con la presenza di tutte le tessiture intermedie, pertanto non è possibile effettuare correlazioni di dettaglio in tal senso.

Tali condizioni strutturali e deposizionali determinano una variabilità litologica lungo il cavo, che influirà notevolmente sul comportamento meccanico, anche nell'ambito di poche decine di metri.

Da questo settore in poi le dislocazioni tettoniche e la storia geologica del sito avranno forte importanza sul comportamento meccanico dei terreni; i litotipi che si incontreranno sono interessati da fagliazioni e da conseguenti alterazioni.

Le prove di laboratorio, nella valutazione del tenore della frazione argillosa, potranno stabilire se vi

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA - "LE FOSSE" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0259_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

sono settori in cui la frazione argillosa determini forti spinte in calotta o nei fianchi. Sempre in questo settore la spessa copertura rappresentata dalla formazione delle Ghiaie e Sabbie di Messina porterà in profondità una buona quantità di apporto idrico, anche se concentrato e legato ad eventi meteorologici intensi e prolungati; è possibile quindi avere in questo tratto la roccia impregnata d'acqua, incontrando il limite formazionale.

#### Parte terminale della galleria Le Fosse

Nella canna in **direzione Reggio**, dopo un primo tratto nella formazione arenaceo-conglomeratica, al km 9,825 si avrà un'accostamento per faglia alla successione evaporitica messiniana: in questo settore sino al termine della galleria le Fosse lo scavo interesserà il calcare evaporitico.

Si tratta di una formazione assai irregolare e discontinua, caratterizzata da numerose variazioni di facies: da calcari travertinosi o concrezionati a calcari bianchi farinosi e a brecce calcaree (Figura 5).

Anche lo spessore risulta variabile in funzione delle dislocazioni tettoniche che hanno interessato l'area. Indicazioni in tal senso provengono dalla valutazione del cutting del sondaggio **I1**, che dopo un livello calcarenitico attraversa la formazione sino alla profondità di -45 metri. Nella parte inferiore del calcare evaporitico brecciato, in funzione dell'andamento plano-altimetrico, si potrebbero incontrare le argille gessose.



La canna **direzione Messina** interessa per tutto il tratto la formazione arenaceo-conglomeratica tortoniano-messiniana di S. Pier Niceto precedentemente descritta, solo negli ultimi 30-40 metri incontra materiali detritici antropici.

Se sul profilo, il passaggio formazionale è distinto e netto, come è visibile in planimetria, le due canne passeranno in un'area di faglia con forte rigetto, di conseguenza è ipotizzabile un'ampia fascia di volume significativo fortemente tettonizzato ed alterato con diminuzione dei valori geomeccanici.

Si dovrà tener presente della immersione del piano di faglia, e della direzione dello stesso che è parallela alle due canne autostradali.

La buona permeabilità dei terreni che sormontano il cavo induce a presupporre venute di acqua concentrata in vie preferenziali di drenaggio, dove l'influenza della fratture determina variazioni di permeabilità.

Si avranno quindi fenomeni di brusche variazioni delle caratteristiche geomeccaniche dei litotipi che influiranno sulla stabilità del fronte di scavo.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA - "LE FOSSE" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0259_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011



*Figura 5 - Calcari pulverulenti e brecciati con livelli di argille. Loc.: Trapani.*

Un esempio abbastanza chiaro del litotipo che si incontrerà è stato carotato nel sondaggio **S 450** (Figura 6).



*Figura 6 - Aspetto del calcare vacuolare, nel sondaggio S 450.*

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA - "LE FOSSE" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0259_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

#### 4.4 Inquadramento idrogeologico

In questo paragrafo vengono indicati i principali aspetti idrogeologici dell'area interessata dalla galleria Le Fosse: per maggiori dettagli si faccia riferimento alla relativa Relazione Idrogeologica Descrittiva. Questa galleria presenta delle complessità geologiche e idrogeologiche, sia perché intercetta formazioni geologiche con grado di permeabilità sensibilmente differente, sia perché presenta lungo parte del tracciato probabili intersezioni con la zona satura. Poiché le problematiche non sono distribuite omogeneamente lungo lo sviluppo del tracciato, nella descrizione si procederà a una suddivisione per tratte.

##### 4.4.1 Tratta da imbocco ovest al Km 8+400 circa

In questa tratta la galleria Le Fosse viene realizzata all'interno della Formazione delle ghiaie e sabbie di Messina. Inoltre, ancora per questo tratto l'opera dovrebbe collocarsi interamente in zona non satura, e quindi in assenza di interferenze con la falda. Quest'ultima in tale settore si troverà tuttavia a quote crescenti, con un progressivo passaggio da 30 a 70-80m spostandosi da ovest verso est, con la galleria sistematicamente localizzata sopra i 100m. In una situazione di questo tipo appare quindi probabile che non si intercettino zone di venuta rilevanti. Sarà comunque sempre possibile la presenza di stillicidi ed eventualmente di venute temporanee più intense in corrispondenza dell'unica zona di faglia prevista, che si colloca intorno al chilometro 7+600. L'ipotesi di venute più consistenti in corrispondenza della zona di faglia è comunque estremamente conservativa, per le medesime ragioni già discusse per le zone di faglia relative alla galleria Faro superiore. In ogni evenienza si tratterebbe sempre di venute in zona insatura e dovute principalmente a moti di filtrazione.

##### 4.4.2 Tratta dal Km 8+400 al Km 9+800 circa

Dalla progressiva 8+400 ca. la galleria viene realizzata all'interno della litofacies conglomeratica della Formazione di San Pier Niceto. Tale formazione presenta anch'essa una conducibilità idraulica piuttosto elevata, che può variare mediamente tra  $1 \times 10^{-3}$  e  $1 \times 10^{-5}$  m/s e quindi deve essere considerata come un acquifero potenziale.

Non è possibile stabilire con certezza da quale progressiva le gallerie penetrino nella zona satura. Esistono però buone probabilità che almeno fino al Km 8+800 l'opera si trovi ancora in zona insatura. Dal Km 8+800 circa in avanti la galleria passa invece verosimilmente ad interessare la



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA - "LE FOSSE" -          RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0259_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

zona satura. In questo settore, che è quello collocato sotto il ramo occidentale della Fiumara dell'Annunziata, è infatti possibile che la superficie della falda si trovi sistematicamente al di sopra dei 150m, quota approssimativa alla quale peraltro si colloca anche l'opera.

La Formazione di San Pier Niceto in tutto questo settore è delimitata poco a monte delle gallerie, da una faglia che la mette a contatto con il basamento cristallino pre-mesozoico, che è un elemento acquicludo (cfr. carte idrogeologiche degli studi generali). Ciò fa sì che essa non possa ricevere apporti significativi di acqua da monte. Anche gli apporti laterali a questo settore di sottopassaggio del ramo occidentale della Fiumara dell'Annunziata risultano pure piuttosto limitati. Per le ragioni di cui sopra non sembra dunque verosimile che ad ovest del Km 9+200 il livello d'acqua all'interno della Formazione di San Pier Niceto possa collocarsi a quote di molto superiori ai 150m.

Un discorso differente vale invece per la tratta ad est del km 9+200 e in particolare tra il Km 9+200 e 9+600. In questo settore infatti, il livello piezometrico nei depositi alluvionali che si trovano al di sopra del tracciato può raggiungere i 170m. Inoltre, a causa del contatto diretto tra la Formazione di San Pier Niceto e le soprastanti Calcareniti di San Corrado e depositi alluvionali, è ragionevole ipotizzare che i depositi alluvionali, le ghiaie e sabbie di Messina e la Formazione di San Pier Niceto, costituiscano un unico sistema acquifero, ospitante un sistema di flusso che si sviluppa con continuità all'interno dei tre orizzonti stratigrafici. E' altresì probabile che la maggior parte dell'infiltrazione all'interno della Formazione di San Pier Niceto provenga proprio da scambi che avvengono con i depositi alluvionali (peraltro alimentati stagionalmente anche dalle acque della fiumara).

I dati piezometrici disponibili sembrano confermare questa ipotesi, ovvero che l'alimentazione del San Pier Niceto, proviene principalmente da infiltrazione dal ramo ovest della fiumara. In effetti il sondaggio S433, posto ad est del ramo ovest della fiumara, nel settembre 2010 ha registrato nel San Pier Niceto un livello d'acqua pari a circa 125m, quindi di circa 50m più basso del livello d'acqua nei depositi alluvionali in corrispondenza del ramo ovest della fiumara. Ciò sembra indicare che la superficie di falda sopra la galleria, si abbassa andando dal ramo ovest della fiumara verso est, implicando un'alimentazione dell'acquifero da parte della fiumara stessa. Un'alimentazione dalla fiumara verso il San Pier Niceto in direzione ovest è pure probabile per le ragioni esposte in precedenza.

In corrispondenza dell'altro ramo della fiumara, quello est, si incontra una situazione del tutto analoga a quanto accade in corrispondenza del ramo ovest. Il sondaggio S431, eseguito nei depositi alluvionali in contatto diretto con il San Pier Niceto, indicava a settembre 2010 un livello

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA - "LE FOSSE" -          RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0259_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

d'acqua di circa 158m, che è superiore a quello del sondaggio S433 (125m) posto ad ovest e citato in precedenza, ed a quello del sondaggio S434 (153m ca.) posto ad est.

Da queste considerazioni emerge un quadro in cui complessivamente la Formazione di San Pier Niceto riceve alimentazione da entrambi i rami della Fiumara dell'Annunziata, al di sotto dei quali si riscontrano quindi i maggiori carichi piezometrici, che tendono poi a diminuire allontanandosi dagli assi delle due fiumare.

Questo assetto idrogeologico ha le seguenti implicazioni ai fini dello scavo:

- Nel settore in cui la galleria sottopassa il ramo ovest della Fiumara dell'Annunziata la falda raggiunge verosimilmente un livello elevato (circa 170m sulla base delle ricostruzioni piezometriche), che si colloca mediamente venti metri circa al di sopra delle gallerie, le quali interessano la zona satura;
- viste le possibili permeabilità piuttosto elevate della Formazione di San Pier Niceto, ove si colloca l'opera, è possibile che le gallerie esercitino un drenaggio non trascurabile nei confronti del sistema di flusso;
- se si tiene in conto che tra la Formazione di San Pier Niceto e i depositi alluvionali esiste una continuità fisica, il drenaggio delle gallerie potrà determinare, in corrispondenza del ramo ovest della Fiumara dell'Annunziata, delle ripercussioni sul livello di falda, che attualmente è stabilizzato al di sopra del contatto San Pier Niceto / depositi alluvionali; si dovrà tenere in conto la possibile influenza di questi effetti sui pozzi che penetrano i depositi alluvionali a valle della galleria sfruttandone le riserve idriche (pozzi n. 4, 7, 8, 9, 22).
- Sia ad est che ad ovest della zona di sottopasso del ramo ovest della fiumara i carichi idraulici dovrebbero progressivamente abbassarsi; verso ovest essi si annulleranno a partire dal Km 8+800; verso est è pure possibile che essi calino rapidamente; in ogni caso in questa direzione la faglia posta al Km 9+830 ca. (canna Reggio) e Km 10+180 ca. (canna Messina), vista la forte dislocazione, determinerà delle variazioni delle condizioni idrogeologiche che saranno illustrate nel paragrafo successivo.

Al fine di valutare tutti gli aspetti sopra elencati, le problematiche idrogeologiche di questo settore sono state approfondite mediante modellizzazioni numeriche, cui si rimanda per una valutazione delle portate drenate in diverse condizioni e per una quantificazione delle possibili interferenze con il sistema di flusso.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA - "LE FOSSE" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0259_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

#### 4.4.3 Tratta dal Km 9+800 circa al portale est

A est della faglia posta in corrispondenza del Km 9+830 in direzione Reggio e del Km 10+180 ca. in direzione Messina, l'assetto idrogeologico sulle due canne è piuttosto differente e la situazione deve quindi essere descritta separatamente.

Sulla canna in direzione Reggio Calabria, al di là della faglia, il tracciato interessa la Formazione gessoso-solfifera e corre all'interfaccia tra il calcare evaporitico brecciato e le argille gessose. Il primo orizzonte, in posizione superiore, sulla base degli studi idrogeologici generali presenta delle permeabilità piuttosto elevate e variabili tra  $1 \times 10^{-3}$  e  $1 \times 10^{-4}$  (anche se le simulazioni numeriche eseguite sembrano restituire calibrizioni più realistiche con permeabilità inferiori e dell'ordine dell' $1 \times 10^{-5}$ ) ed è quindi un orizzonte potenzialmente acquifero. Il secondo orizzonte invece presenta permeabilità decisamente minori e comprese tra  $1 \times 10^{-7}$  e  $1 \times 10^{-9}$ . A tetto del calcare evaporitico brecciato si rinvengono invece le Calcareniti di San Corrado, ovvero un ulteriore orizzonte acquifero, che però non viene attraversato dallo scavo.

In questo tratto la galleria interessa quindi un livello acquifero che può ricevere una modesta alimentazione dall'alto e che sostanzialmente è in continuità idraulica laterale con i depositi alluvionali, che costituiscono gli alvei dei rami ovest ed est della Fiumara dell'Annunziata. La presenza verso monte della importante faglia che il tracciato incontra intorno al Km 9+830, sembra precludere la possibilità che esistano importanti contributi dalla retrostante Formazione di San Pier Niceto, nella quale peraltro, come indicato dal dato piezometrico del settembre 2010 per il sondaggio S433, il livello d'acqua si attesta a quote inferiori a quella della galleria (circa 125m).

In tale contesto sembra probabile che il livello d'acqua nell'acquifero non possa essere molto diverso da quello presente nei depositi alluvionali delle due fiumare adiacenti e che si attesti quindi su quote dell'ordine dei 150m, o di poco superiori (160-170m), se si assume che una modesta infiltrazione aggiuntiva possa provenire dallo spartiacque tra i due rami della fiumara.

Pur non disponendo di dati diretti è dunque possibile ipotizzare che il livello d'acqua all'interno dell'orizzonte acquifero costituito dai calcari brecciati sia paragonabile alla quota della galleria o di poco superiore. Secondo un approccio conservativo già applicato ad altre tratte, in questo settore, nella sezione idrogeologica previsionale è stata comunque indicata la possibilità di afflussi, che però dovrebbero essere di entità limitata, dal momento che il livello d'acqua dovrebbe essere al massimo equivalente a quello degli adiacenti depositi alluvionali del ramo ovest della Fiumara dell'Annunziata o di poco superiore. Per una miglior valutazione dell'entità degli afflussi possibili sono state realizzate alcune valutazioni analitiche.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA - "LE FOSSE" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0259_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

La canna in direzione Messina si sviluppa interamente all'interno della Formazione di San Pier Niceto, a monte della faglia principale posta in corrispondenza del tracciato al Km 10+180m ca. (stessa faglia che la canna in direzione Reggio incrocia alla progressiva 9+830). In questo settore la falda, per motivi già illustrati nel paragrafo precedente, dovrebbe trovarsi al di sotto della quota galleria o al più a quote comparabili. Non si attendono quindi venute rilevanti.

Dal punto di vista delle interferenze con la falda e quindi con le risorse idriche utilizzate, lo scavo di entrambe le canne non dovrebbe dare origine a problematiche rilevanti, trattandosi sempre di gallerie poste a quote superiori o al più equivalenti a quella della superficie piezometrica. Modesti abbassamenti potrebbero verificarsi nell'immediato intorno dell'opera, in particolare all'interno dei depositi alluvionali della Fiumara S. Leone, ma la caduta di carico idraulico sarebbe di scarsa rilevanza e non determinerebbe quindi impatti significativi sull'acquifero verso valle. Solo il pozzo n. 15, posto nelle immediate vicinanze dell'opera potrebbe tuttavia subire delle perturbazioni rilevanti.

#### **4.4.4 Stime sulle portate drenate**

Per la Galleria Le Fosse i problemi di afflussi sono piuttosto circoscritti a due zone, ovverosia quella compresa tra il Km 9+200 e 9+600 e quella compresa tra il Km 9+850 e 9+950 ca. (sempre con riferimento alla canna direzione Reggio). Nel primo caso le portate massime transitorie all'ingresso degli scavi nella zona acquifera dovrebbero essere dell'ordine dei 10-15 l/s\*5m. In regime stabilizzato si può estrapolare un valore probabile di portate drenate in permanenza dalle gallerie facendo riferimento ai modelli numerici realizzati (si faccia riferimento alla Relazione Idrogeologica Descrittiva). In questo caso, considerando che la tratta di possibili afflussi presenta una lunghezza di circa 400m e considerando che gli afflussi calcolati da modello sono pari a circa 1 l/s\*10m, si ottengono portate complessive dell'ordine dei 40 l/s (comprendendo entrambe le canne). Tale valore deve essere ritenuto un valore ampiamente cautelativo se si considera che la sezione per il modello numerico è stata realizzata in un punto di massima disponibilità di ricarica per la presenza della fiumara dell'Annunziata sopra la galleria e che le zone a lato della sezione disporranno verosimilmente di una minor ricarica.

Nella tratta compresa tra il Km 9+850 e 9+950 per le portate transitorie in corso di scavo all'ingresso nella zona acquifera, sulla base di calcoli analitici, si possono ipotizzare portate dell'ordine dei 30 l/s\*5m, mentre in regime stabilizzato le portate dovrebbero attestarsi al massimo

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA - "LE FOSSE" -          RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0259_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

intorno ai 10 l/s (comprendendo entrambe le canne).

Si evince dunque che complessivamente e secondo criteri piuttosto conservativi, in regime stabilizzato, la Gallerie Le Fosse potrebbe drenare portate dell'ordine dei 50 l/s\*10m (comprendendo entrambe le canne).

#### **4.4.5 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. Le zone sono elencate ai seguenti punti

1. 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 impatti piuttosto consistenti sui pozzi posti nella fiumara nel tratto a valle delle gallerie e più prossimo a queste ultime.
2. Ramo di monte est della Fiumara dell'Annunziata (zona dei portali delle gallerie Le Fosse e Serrazzo); in questo tratto i gli impatti vanno considerati possibili ma non certi. Essi sarebbero comunque di minima entità, riconducibili a modeste diminuzioni del deflusso in falda senza importanti variazioni del livello piezometrico e circoscritti all'intorno delle gallerie. In particolare questa situazione si verificherà per lo scavo delle gallerie Le Fosse e Serrazzo nella zona dei portali, dove il tracciato si sviluppa all'interno dell'acquifero costituito dal calcare evaporitico brecciato, nel quale però il livello di falda è inferiore o al più di pochissimo superiore a quello della galleria.

#### **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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA - "LE FOSSE" -          RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0259_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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
$c'_{picco}$ (kPa)	0÷10	20÷60	0÷10
$\phi'_{picco}$ (°)	38÷40 (p'ff=0-272KPa) 35÷38 (p'ff=272-350KPa)	35÷38 (p'ff=272-350KPa)	38÷40 (p'ff=0-272KPa)
$C_r'$ (kPa)	0	10÷50	0
$\phi_r'$ (°)	33÷35	30÷35	33÷35
$E' *$ (Mpa)	$E = (17 \div 35) \cdot (z)^{0.65}$	650-850	100-450
$\nu'$ (-)	0.2	0.2	0.2
$K$ (m/s)	$10^{-4} \div 10^{-5}$	$10^{-4} \div 10^{-5}$	$10^{-4} \div 10^{-5}$

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA - "LE FOSSE" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0259_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

**Tabella 2 Parametri di calcolo**

*Simbologia:*

$\gamma_t$  = peso di volume naturale;

$\varphi'$  = angolo di attrito operativo;

$c'$  = intercetta di coesione operativa;

$\varphi_r'$  = 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.

#### **Formazione del San Pier Niceto Facies Conglomeratica – Sabbiosa**

Tale formazione è costituita essenzialmente da due facies distinte, una basale conglomeratica ed arenacea e l'altra superiore di natura prevalentemente argillosa. Per la porzione sabbiosa, sulla base delle prove SPT, per i parametri di resistenza al taglio in termini di sforzi efficaci si sono ottenuti i seguenti valori di picco:

$\varphi' = 38 \div 40^\circ$  =angolo di resistenza al taglio

Tali valori sono compatibili con uno stato di sforzo che preveda una pressione normale alla superficie di rottura compresa nel range tra 0 e 272KPa. Tali valori sono stati confermati dalle prove pressiometriche effettuate per le quali il valore medio risulta pari a  $40^\circ$ .

A grande scala la formazione in esame, facies Conglomeratica – Sabbiosa, si presenta dagli affioramenti, come un ammasso eterogeneo costituito da ciottoli e ghiaie con matrice arenacea di natura sabbiosa, generalmente fratturato con discontinuità aventi una persistenza metrica dall'aspetto ruvido. L'interpretazione delle caratteristiche dell'ammasso parte dalla stima del parametro  $RMR_{89}$  che è stato valutato sulla base di un rilievo effettuato in corrispondenza dell'imbocco est della galleria stradale Serrazzo. Tale caratterizzazione, a partire da un parametro GSI pari a 46, ha fornito i seguenti risultati.

$\sigma_n$ (Mpa)	Picco		Residuo	
	$c'$ (MPa)	$\varphi'$ (°)	$c'$ (MPa)	$\varphi'$ (°)
0,21	0,14	55	0,09	45
0,42	0,21	50	0,15	38



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA - "LE FOSSE" -          RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0259_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Tenuto conto però che tali parametri sono stati determinati facendo riferimento ad un solo rilievo determinato su un fronte di roccia di altezza di circa 10-20m ed in base ad  $m_i$  stimato in letteratura, si ritiene prudente adottare nelle analisi valori più cautelativi, come suggerito anche nella "Relazione Geotecnica Generale", considerando alle massime coperture un valore di coesione di 140kPa. L'angolo di attrito è assunto comunque come massimo valore pari a  $38^\circ$ , considerando valori superiori non cautelativi ai fini della caratterizzazione dell'ammasso, considerato nelle analisi come continuo equivalente. In tal senso il limite inferiore dell'angolo di attrito è assunto pari all'angolo di attrito delle discontinuità, ipotizzato in relazione a valori di letteratura per contesti analoghi.

In Tabella 3 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 appartenenti ad un gruppo geomeccanico differente.

GRUPPI GEOMECCANICI – FORMAZIONE DELLA SAN PIER NICETO FACIES CONGLOMERATICA-SABBIOSA			
DATO	CARAT. GEOT. GENERALE	GRUPPO 1 (z>70m)	GRUPPO 2 (z<70m)
$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	20÷22	20÷22	20÷22
$c^3_{\text{picco}}$ (kPa)	0÷50	50÷140	0÷50
$\varphi^3_{\text{picco}}$ (°)	38÷40 ( $p'_{ff}=0-272\text{KPa}$ )	30÷38	30÷38
$C_r^3$ (kPa)	-	20÷60	0÷30
$\varphi_r^3$ (°)	-	24÷28	24÷28
$E^* \text{ (Mpa)}$	$(20-30) \cdot z^{0,7}$	350-500	100-350
$\nu^3$ (-)	0.2÷0.3	0.2÷0.3	0.2÷0.3
$K$ (m/s)	$10^{-6} \div 10^{-7}$	$10^{-6} \div 10^{-7}$	$10^{-6} \div 10^{-7}$

**Tabella 3 Parametri di calcolo**

*Simbologia:*

$\gamma_t$  = peso di volume naturale;

$\varphi^3$  = angolo di attrito operativo;

$c^3$  = intercetta di coesione operativa;

$\varphi_r^3$  = angolo di attrito residuo;

$c_r^3$  = 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



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA - "LE FOSSE" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0259_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

*fondazioni dirette, fondazioni su pali e rilevati.*

*$\nu'$  = rapporto di Poisson.*

### **Serie Gessosa Solifera – Calcari Brecciati**

Si tratta delle evaporiti relative alla crisi di salinità che ha interessato il Bacino Mediterraneo durante il Messiniano.

La litofacies evaporitica è caratterizzata da gessi e argille gessose, prevalentemente alla base della successione, e da calcari brecciati e vacuolari affioranti discontinuamente. L'appoggio della formazione è sempre sulle varie litofacies della Formazione di S. Pier Niceto.

La formazione del Calcari Brecciati è stata caratterizzata per quanto riguarda i parametri di resistenza, in mancanza di rilievi su affioramenti, ed in relazione ad una stima del parametro  $RMR_{89}$  difficile a partire dalle informazioni ricavabili dalle stratigrafie e dalle foto delle cassette (es: RQD) anche a causa del disturbo causato dal carotaggio, in base a quanto reperibile in letteratura. Per i parametri di deformabilità i dati sono stati desunti da prove dilatometriche, pressiometriche e da prove sismiche.

In Tabella 4 sono riportati i parametri utilizzati per le verifiche svolte nei successivi Capitoli.

GRUPPI GEOMECCANICI – SERIE GESSOSA-SOLFIFERA FORMAZIONE DEI CALCARI BRECCIATI			
DATO	CARAT. GEOT. GENERALE	GRUPPO 1 (Aspetto massivo)	GRUPPO 2 (Livelli Marnosi)
$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	19÷21	19÷21	19÷21
$c'_{picco}$ (kPa)	20÷50	20÷50	20÷50
$\varphi'_{picco}$ (°)	25÷30	25÷30	25÷30
$C_r'$ (kPa)	-	15÷35	15÷35
$\varphi_r'$ (°)	-	20÷25	20÷25
$E' *$ (Mpa)	40-70 (Liv. Marnosi) 180-600 (Liv. Massivi)	180-600	40-70
$\nu'$ (-)	0.2÷0.3	0.2÷0.3	0.2÷0.3
$K$ (m/s)	$10^{-8} \div 10^{-7}$	$10^{-8} \div 10^{-7}$	$10^{-8} \div 10^{-7}$



**Tabella 4 Parametri di calcolo**

*Simbologia:*

*$\gamma t$  = peso di volume naturale;*

*$\varphi'$  = angolo di attrito operativo;*

*$c'$  = intercetta di coesione operativa;*

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA - "LE FOSSE" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0259_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

$\varphi_r'$  = 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> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA - "LE FOSSE" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0259_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 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.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA - "LE FOSSE" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0259_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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 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.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA - "LE FOSSE" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0259_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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 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 Le Fosse attraversa per oltre il 50% del suo sviluppo la formazione delle Ghiaie di Messina, ed è interessata da coperture massime, misurate dal piano dei centri, superiori a 200m.

La parte terminale del tracciato interessa la Formazione di San Pier Niceto con litofacies conglomeratica per la direzione ME, e la formazione gessoso solfifera per la direzione RC.

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.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA - "LE FOSSE" -          RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0259_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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

GALLERIA LE FOSSE - SINTESI LC\_DIAGNOSI - GHIAIE DI MESSINA

<b>Geometrical Data</b>			<b>SEZ. STANDARD</b>						
Equivalent Tunnel Radius	ri	[m]	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
Overburden	H	[m]	45	60	80	100	150	200	230
Unit weight of the rock mass	g	[kN/m <sup>3</sup> ]	19	19	19	19	19	19	19

<b>Resistance Parameters</b>									
Cohesion in the elastic zone	Cel	[kPa]	5	5	5	5	40	40	40
Cohesion in the plastic zone	Cpl	[kPa]	0.4	0.4	0.4	0.4	30	30	30
Friction angle in the elastic zone	Φel	[°]	..	..	..	..	..	..	..
Friction angle in the plastic zone	Φpl	[°]	..	..	..	..	..	..	..

<b>Elastic parameters</b>									
Deformation moduls in elastic zone	Eel	[MPa]	275	350	450	450	650	650	650
Deformation moduls in plastic zone	Epl	[MPa]	275	350	450	450	650	650	650
Poisson's ratio	ν	[ ]	..	..	..	..	..	..	..
Friction angle in the elastic zone	Φel	[°]	..	..	..	..	..	..	..

<b>DEFORMATION RESULTS</b>									
Critical pressure	Pcr	[MPa]	0.31	0.42	0.56	0.70	1.10	1.48	1.71
Max cavity def. (2D)	u2d8	[cm]	INST	INST	INST	INST	59.7	INST	INST
Rpl (2D)/Ro	Rpmax/r0	[-]	11.8	13.3	14.9	16.3	4.1	4.6	4.9
Cavity def. at the face	uf	[cm]	57.0	64.5	78.8	111.8	14.1	22.7	28.6
Rpl (Face)/Ro	Rpface/r0	[-]	4.2	4.6	5.0	5.3	2.0	2.2	2.3

INST = Deformazione maggiore di 80cm

GALLERIA LE FOSSE - SINTESI LC\_DIAGNOSI - GHIAIE DI MESSINA

<b>Geometrical Data</b>			<b>SEZ. STANDARD+1.05</b>						
Equivalent Tunnel Radius	ri	[m]	8	8	8	8	8	8	8
Overburden	H	[m]	45	60	80	100	150	200	200
Unit weight of the rock mass	g	[kN/m <sup>3</sup> ]	19	19	19	19	19	19	19

<b>Resistance Parameters</b>									
Cohesion in the elastic zone	Cel	[kPa]	5	5	5	5	40	40	40
Cohesion in the plastic zone	Cpl	[kPa]	0.4	0.4	0.4	0.4	30	30	30
Friction angle in the elastic zone	Φel	[°]	..	..	..	..	..	..	..
Friction angle in the plastic zone	Φpl	[°]	..	..	..	..	..	..	..

<b>Elastic parameters</b>									
Deformation moduls in elastic zone	Eel	[MPa]	275	350	450	450	650	650	650
Deformation moduls in plastic zone	Epl	[MPa]	275	350	450	450	650	650	650
Poisson's ratio	ν	[ ]	..	..	..	..	..	..	..
Friction angle in the elastic zone	Φel	[°]	..	..	..	..	..	..	..

<b>DEFORMATION RESULTS</b>									
Critical pressure	Pcr	[MPa]	0.31	0.42	0.56	0.70	1.10	1.48	1.48
Max cavity def. (2D)	u2d8	[cm]	INST	INST	INST	INST	63.7	INST	INST
Rpl (2D)/Ro	Rpmax/r0	[-]	11.8	13.3	14.9	16.3	4.1	4.6	4.6
Cavity def. at the face	uf	[cm]	55.8	68.9	84.2	119.4	15.1	24.2	24.2
Rpl (Face)/Ro	Rpface/r0	[-]	4.2	4.6	5.0	5.3	2.0	2.2	2.2

INST = Deformazione maggiore di 80cm

GALLERIA LE FOSSE - SINTESI LC\_DIAGNOSI - GHIAIE DI MESSINA

Geometrical Data			SEZ. ALLARGO		SEZ. TIPO C1+1.05+PIAZZ	
Equivalent Tunnel Radius	ri	[m]	8.75	8.75	9.5	9.5
Overburden	H	[m]	150	200	120	200
Unit weight of the rock mass	g	[kN/m3]	19	19	19	19

**Resistance Parameters**

Cohesion in the elastic zone	Cel	[kPa]	40	40	40	40
Cohesion in the plastic zone	Cpl	[kPa]	30	30	30	30
Friction angle in the elastic zone	Øel	°	..	..	..	..
Friction angle in the plastic zone	Øpl	°	..	..	..	..

**Elastic parameters**

Deformation moduls in elastic zone	Eel	[MPa]	650	650	650	650
Deformation moduls in plastic zone	Epl	[MPa]	650	650	650	650
Poisson's ratio	v		..	..	..	..

**DEFORMATION RESULTS**

Critical pressure	Pcr	[MPa]	1.10	1.48	0.88	1.48
Max cavity def. (2D)	u2d8	[cm]	69.7	INST	49.7	INST
Rpl (2D)/Ro	Rpmax/r0	[-]	4.1	4.6	3.7	4.6
Cavity def. at the face	uf	[cm]	16.5	16.5	12.4	28.9
Rpl (Face)/Ro	Rpface/r0	[-]	2.0	2.0	1.9	2.2

INST = Deformazione maggiore di 80cm

GALLERIA LE FOSSE - SINTESI LC\_DIAGNOSI - SAN PIER NICETO GR1 - CGL

Geometrical Data			STANDARD		STANDARD +1,05			ALLARGATA		PIAZZ.+1.05
Equivalent Tunnel Radius	ri	[m]	7.5	7.5	8	8	8	8.75	8.75	9.5
Overburden	H	[m]	80	100	80	100	150	80	100	150
Unit weight of the rock mass	g	[kN/m3]	22	22	22	22	22	22	22	22

**Resistance Parameters**

Cohesion in the elastic zone	Cel	[kPa]	50	50	70	50	70	50	50	70
Cohesion in the plastic zone	Cpl	[kPa]	40	40	40	40	40	40	40	40
Friction angle in the elastic zone	Øel	°	..	..	..	..	..	..	..	..
Friction angle in the plastic zone	Øpl	°	..	..	..	..	..	..	..	..

**Elastic parameters**

Deformation moduls in elastic zone	Eel	[MPa]	450	450	450	450	550	450	450	550
Deformation moduls in plastic zone	Epl	[MPa]	450	450	450	450	550	450	450	550
Poisson's ratio	v		..	..	..	..	..	..	..	..

**DEFORMATION RESULTS**

Critical pressure	Pcr	[MPa]	0.76	0.96	0.74	0.96	1.44	0.76	0.96	1.44
Max cavity def. (2D)	u2d8	[cm]	58.4	INST	61.7	INST	INST	68.1	INST	INST
Rpl (2D)/Ro	Rpmax/r0	[-]	4.4	5.1	4.4	5.1	6.5	4.4	5.1	6.5
Cavity def. at the face	uf	[cm]	11.6	17.4	12.3	18.6	31.9	13.6	20.4	38.0
Rpl (Face)/Ro	Rpface/r0	[-]	2.0	2.2	2.0	2.2	2.5	2.0	2.2	2.5

INST = Deformazione maggiore di 80cm

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		<b>COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA - "LE FOSSE" -          RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0259_F0.doc

GALLERIA LE FOSSE - SINTESI LC\_DIAGNOSI - SAN PIER NICETO GR2 - CGL

			STANDARD		STANDARD (+1.05)		ALLARGATA		PIAZZ+1.05
Equivalent Tunnel Radius	ri	[m]	7.5	7.5	8	8	8.75	8.75	9.5
Overburden	H	[m]	45	60	45	60	45	60	50
Unit weight of the rock mass	$\gamma$	[kN/m3]	22	22	22	22	22	22	22

#### Resistance Parameters

Cohesion in the elastic zone	Cel	[kPa]	25	25	25	25	25	25	25
Cohesion in the plastic zone	Cpl	[kPa]	15	15	15	15	15	15	15
Friction angle in the elastic zone	$\Phi_{el}$	°	..	..	..	..	..	..	..

#### Elastic parameters

Deformation moduls in elastic zone	Eel	[MPa]	200	350	200	350	200	350	350
Deformation moduls in plastic zone	Epl	[MPa]	200	350	200	350	200	350	350
Poisson's ratio	$\nu$		..	..	..	..	..	..	..

#### DEFORMATION RESULTS

Critical pressure	Pcr	[MPa]	0.43	0.58	0.43	0.58	0.43	0.58	0.48
Max cavity def. (2D)	u2d8	[cm]	INST	INST	INST	INST	INST	INST	INST
Rpl (2D)/Ro	Rpmax/r0	[-]	5.7	6.8	5.7	6.8	5.7	6.8	6.0
Cavity def. at the face	uf	[cm]	20.5	19.8	21.9	21.1	24.0	23.2	18.1
Rpl (Face)/Ro	Rpface/r0	[-]	2.3	2.6	2.3	2.6	2.3	2.6	2.4

INST = Deformazione maggiore di 80cm

GALLERIA LE FOSSE - SINTESI LC\_DIAGNOSI - SERIE GESSOSO SOLFIFERA

			ALLARGATA
Equivalent Tunnel Radius	ri	[m]	8.75
Overburden	H	[m]	65
Unit weight of the rock mass	$\gamma$	[kN/m3]	20

#### Resistance Parameters

Cohesion in the elastic zone	Cel	[kPa]	35
Cohesion in the plastic zone	Cpl	[kPa]	20
Friction angle in the elastic zone	$\Phi_{el}$	°	..

#### Elastic parameters

Deformation moduls in elastic zone	Eel	[MPa]	50
Deformation moduls in plastic zone	Epl	[MPa]	50
Poisson's ratio	$\nu$		..

#### DEFORMATION RESULTS

Critical pressure	Pcr	[MPa]	0.66
Max cavity def. (2D)	u2d8	[cm]	INST
Rpl (2D)/Ro	Rpmax/r0	[-]	8.3
Cavity def. at the face	uf	[cm]	170.4
Rpl (Face)/Ro	Rpface/r0	[-]	2.8

INST = Deformazione maggiore di 80cm

I risultati delle analisi svolte in assenza di interventi di sostegno, evidenziano 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 B/C.



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA - "LE FOSSE" -          RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0259_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 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+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
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+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
C1A	Applicata come sezione prevalente nella formazione delle "GHIAIE E SABBIE DI MESSINA Gruppo Geomeccanico 1" per coperture maggiori di 100m circa	STANDARD	JET Dn600	JET Dn600	-	25CM	2IPN200/100
C1A+1,05	Applicata come sezione prevalente nella formazione delle "GHIAIE E SABBIE DI MESSINA Gruppo Geomeccanico 1" per coperture maggiori di 100m circa	ALLARGO VISIBILITA' 0.90m/0.95m/1.05m	JET Dn600	JET Dn600	-	25CM	2IPN220/100
B2V	Applicata come sezione tipo prevalente nella formazione di "SAN PIER NICETO" Gruppo Geomeccanico 2 e in corrispondenza della "SERIE GESSOSO SOLFIFERA"	STANDARD	VTR CEMENTATI	INIEZIONI	INFILAGGI SU 120	25	2IPN180/100
B2V+1,05	Applicata come sezione tipo prevalente nella formazione di "SAN PIER NICETO" Gruppo Geomeccanico 2 e in corrispondenza della "SERIE GESSOSO SOLFIFERA"	ALLARGO VISIBILITA' 0.90m/0.95m/1.05m	VTR CEMENTATI	INIEZIONI	INFILAGGI SU 120	25	2IPN220/100
B2V_ALL	Applicata come sezione tipo prevalente nella formazione di "SAN PIER NICETO" Gruppo Geomeccanico 1 e 2 e in corrispondenza della "SERIE GESSOSO SOLFIFERA"	CORSIA ACCELERAZIONE/DECELERAZIONE/ALLARGO VISIBILITA' +2.75	VTR CEMENTATI	INIEZIONI	INFILAGGI SU 120	25	2IPN240/100
B2	Applicata come sezione tipo prevalente nella formazione di "SAN PIER NICETO" Gruppo Geomeccanico 1	STANDARD	VTR CEMENTATI	-	-	25	2IPN180/100

**Tabella 5 Sintesi sezioni tipo applicate**

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA - "LE FOSSE" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0259_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 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 e solo sulla lunghezza di sovrapposizione.

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.

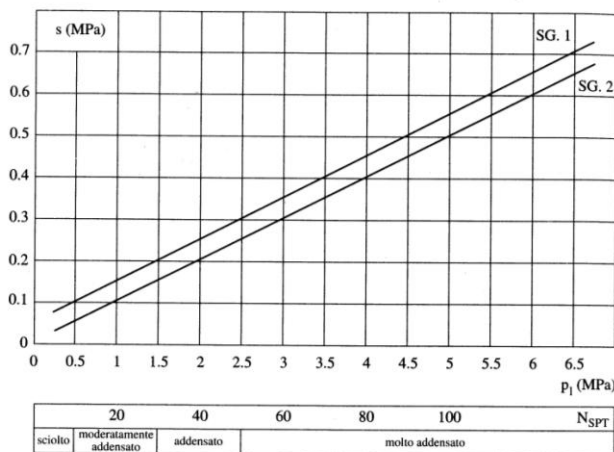


Fig. 13.16. Abaco per il calcolo di s per sabbie e ghiaie

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:

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

Con :

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA - "LE FOSSE" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0259_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

$$\xi_{a3} = 1.8$$

Per quanto riguarda invece la formazione di San Pier Niceto, è stato assunto un valore cautelativo della tensione tangenziale del terreno, per il gruppo geomeccanico 1, compreso tra 200 e 300 e per il gruppo geomeccanico 2 e la serie solfifera gessosa compreso tra 130 e 250.

$$\tau_{lim,Rd} = \frac{\tau_{lim}}{\xi_{a3}} = \begin{cases} 190/1.8 = 150kPa \text{ per GR2 e serie solfifera gessosa} \\ 315/1.8 = 250kPa \text{ per GR1} \end{cases}$$

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> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		<b>COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA - "LE FOSSE" -          RELAZIONE DI CALCOLO</b>	<i>Codice documento</i> SS0259_F0.doc	<i>Rev</i> F0

GALLERIA LE FOSSE - SINTESI LC\_TERAPIA - GHIAIE DI MESSINA

AN1 AN2 AN3 AN4 AN5 AN6 AN7

Geometrical Data			SEZ. C1					SEZ. C1	
Equivalent Tunnel Radius	ri	[m]	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
Overburden	H	[m]	45	60	80	100	150	200	230
Unit weight of the rock mass	g	[kN/m <sup>3</sup> ]	19	19	19	19	19	19	19

#### Resistance Parameters

Cohesion in the elastic zone	Cel	[kPa]	10	10	10	10	10	10	10
Cohesion in the plastic zone	Cpl	[kPa]	8	8	8	8	8	8	8
Friction angle in the elastic zone	Φel	[°]	38	38	38	38	38	38	38
Friction angle in the plastic zone	Φpl	[°]	30	30	30	30	30	30	30

#### Elastic parameters

Deformation moduls in elastic zone	Eel	[MPa]	275	350	450	450	650	650	650
Deformation moduls in plastic zone	Epl	[MPa]	275	350	450	450	650	650	650
Poisson's ratio	ν	[-]	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

#### DEFORMATION RESULTS (DIAGNOSIS PHASE)

Critical pressure	Pcr	[MPa]	0,32	0,43	0,58	0,72	1,09	1,45	1,67
Max cavity def. (2D)	u2d∞	[cm]	62,8	INST	INST	INST	INST	INST	INST
Rpl (2D)/Ro	Rpmax/r0	[-]	4,9	5,7	6,5	7,3	8,9	10,3	11,0
Cavity def. at the face	uf	[cm]	1,2	1,6	2,1	3,1	4,4	7,3	9,4
Rpl (Face)/Ro	Rpface/r0	[-]	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4

#### DEFORMATION RESULTS (THERAPY PHASE)

Deformation at (x) m	u(x)	[cm]	1,2	1,6	2,1	3,1	4,4	7,3	9,4
Def.at (x)m regarding gap	u'(x)	[cm]	1,2	1,6	2,1	3,1	4,4	7,3	9,4
Def.at equilibrium point	ueq	[cm]	2,9	3,7	4,4	5,8	7,7	11,3	13,8
Conv.at equilibrium point	Ceq	[cm]	3,4	4,1	4,5	5,4	6,6	8,0	8,8
Rpl (eq)/Ro	Rpeq/r0	[-]	1,2	1,2	1,4	1,4	1,6	1,6	1,7
Equilibrium pressure	C1	[MPa]	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6

#### TEMPORARY LINING RESULTS

Steel ribs stress	σst	[MPa]	56,6	67,6	74,1	88,4	107,8	131,9	144,7
Shotcrete stress	σsc	[MPa]	5,7	6,8	7,4	8,8	10,8	13,2	14,5

#### SUPPORT RESULTS

Concrete stress	σb	[MPa]	2,0	2,4	2,6	3,1	3,8	4,7	5,2
Reinforcement stress	σs	[MPa]	-	-	-	-	-	-	-

INST = deformazione maggiore di 80cm

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>			
		<b>COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA - "LE FOSSE" -          RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0259_F0.doc	<i>Rev</i> F0

GALLERIA LE FOSSE - SINTESI LC\_TERAPIA - GHIAIE DI MESSINA

Geometrical Data			SEZ. C1+1.05		SEZ. C1+1.05			
Equivalent Tunnel Radius	ri	[m]	8	8	8	8	8	8
Overburden	H	[m]	45	60	80	100	150	200
Unit weight of the rock mass	g	[kN/m3]	19	19	19	19	19	19

Resistance Parameters			SEZ. C1+1.05		SEZ. C1+1.05			
Cohesion in the elastic zone	Cel	[kPa]	10	10	10	10	10	10
Cohesion in the plastic zone	Cpl	[kPa]	8	8	8	8	8	8
Friction angle in the elastic zone	Φel	[°]	38	38	38	38	38	38
Friction angle in the plastic zone	Φpl	[°]	30	30	30	30	30	30

Elastic parameters			SEZ. C1+1.05		SEZ. C1+1.05			
Deformation moduls in elastic zone	Eel	[MPa]	275	350	450	450	650	650
Deformation moduls in plastic zone	Epl	[MPa]	275	350	450	450	650	650
Poisson's ratio	v	[-]	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Volume increase in plastic zone	ΔV	[%]	0	0	0	0	0	0

#### DEFORMATION RESULTS (DIAGNOSIS PHASE)

			SEZ. C1+1.05		SEZ. C1+1.05			
Critical pressure	Pcr	[MPa]	0,32	0,43	0,58	0,72	0,32	1,45
Max cavity def. (2D)	u2d∞	[cm]	67,0	INST	INST	INST	INST	INST
Rpl (2D)/Ro	Rpmax/r0	[-]	4,9	5,7	6,5	7,3	8,9	10,3
Cavity def. at the face	uf	[cm]	1,3	1,7	2,3	3,3	4,7	7,9
Rpl (Face)/Ro	Rpface/r0	[-]	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,4

#### DEFORMATION RESULTS (THERAPY PHASE)

			SEZ. C1+1.05		SEZ. C1+1.05			
Deformation at (x) m	u(x)	[cm]	1,3	1,7	2,3	3,3	4,7	7,9
Def.at (x)m regarding gap	u'(x)	[cm]	1,3	1,7	2,3	3,3	4,7	7,9
Def.at equilibrium point	ueq	[cm]	3,1	4,0	4,7	6,3	8,3	12,3
Conv.at equilibrium point	Ceq	[cm]	3,8	4,4	4,9	5,8	7,1	8,7
Rpl (eq)/Ro	Rpeq/r0	[-]	1,2	1,3	1,4	1,4	1,6	1,7
Equilibrium pressure	C1	[MPa]	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5

#### TEMPORARY LINING RESULTS

			SEZ. C1+1.05		SEZ. C1+1.05			
Steel ribs stress	σst	[MPa]	57,8	68,5	75,4	90,0	109,7	134,3
Shotcrete stress	σsc	[MPa]	5,8	6,9	7,5	9,0	11,0	13,4

#### SUPPORT RESULTS

			SEZ. C1+1.05		SEZ. C1+1.05			
Concrete stress	σb	[MPa]	2,1	2,5	2,8	3,3	4,0	4,9
Reinforcement stress	σs	[MPa]	-	-	-	-	-	74,0

INST = deformazione maggiore di 80cm

GALLERIA LE FOSSE SINTESI LC\_TERAPIA - GHIAIE DI MESSINA

Geometrical Data			SEZ. TIPO C1A				SEZ. TIPO C1A+1.05		
Equivalent Tunnel Radius	ri	[m]	7.5	7.5	7.5	7.5	8	8	8
Overburden	H	[m]	100	150	200	230	100	150	200
Unit weight of the rock mass	γ	[kN/m3]	19	19	19	19	19	19	19

**Resistance Parameters**

Cohesion in the elastic zone	Cel	[kPa]	40	40	40	40	40	40	40
Cohesion in the plastic zone	Cpl	[kPa]	30	30	30	30	30	30	30
Friction angle in the elastic zone	Φel	°	...	...	...	...	...	...	...
Friction angle in the plastic zone	Φpl	°	...	...	...	...	...	...	...

**Elastic parameters**

Deformation moduls in elastic zone	Eel	[MPa]	450	650	650	650	450	650	650
Deformation moduls in plastic zone	Epl	[MPa]	450	650	650	650	450	650	650
Poisson's ratio	ν		...	...	...	...	...	...	...

**PRECONFINEMENT (Therapy Phase)**

Number of reinforcements	n°	[-]	46	46	56	56	50	50	60
Design Length	L	[m]	6	6	6	6	6	6	6
Cohesion improvement	Δc	[kPa]	73	71	86	86	68	68	81

**SUPPORT DATA (Therapy Phase)**

Shotcrete Thickness	t	[cm]	25	25	25	25	25	25	25
Compression strenght (medium)	fcm	[MPa]	25	25	25	25	25	25	25
Steel ribs profile	-	-	IPN200	IPN200	IPN200	IPN200	IPN220	IPN220	IPN220
Number of profiles	n	-	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

**DEFORMATION RESULTS**

Critical pressure	Pcr	[MPa]	0.75	1.14	1.53	1.77	0.67	1.14	1.53
Cavity def. at the face	uf	[cm]	5.7	7.9	11.8	14.9	5.6	8.6	12.9
Rpl (Face)/Ro	Rpface/r0	[-]	1.4	1.6	1.6	1.7	1.3	1.6	1.7
Deformation at (x) m	u(x)	[cm]	5.7	7.9	11.8	14.9	5.6	8.6	12.9
Def.at (x)m regarding gap	u'(x)	[cm]	5.7	7.9	11.8	14.9	5.6	8.6	12.9
Def.at equilibrium point	ueq	[cm]	7.4	9.9	14.4	17.7	7.4	10.8	15.7
Conv.at equilibrium point	Ceq	[cm]	3.5	4.1	5.2	5.6	3.5	4.4	5.6
Rpl (eq)/Ro	Rpeq/r0	[-]	1.6	1.8	1.9	1.9	1.5	1.8	1.9
Equilibrium pressure	C1	[MPa]	0.2	0.3	0.3	0.4	0.2	0.3	0.3

**TEMPORARY LINING RESULTS**

Steel ribs stress	σst	[MPa]	57.4	67.8	85.4	92.3	54.1	68.4	85.8
Shotcrete stress	σsc	[MPa]	5.7	6.8	8.5	9.2	5.4	6.8	8.6

**SUPPORT RESULTS**

Concrete stress	σb	[MPa]	2.0	2.4	3.0	3.3	2.0	2.5	3.1
Reinforcement stress	σs	[MPa]	-	-	-	-	-	-	-

GALLERIA LE FOSSE SINTESI LC\_TERAPIA - GHIAIE DI MESSINA

<b>Geometrical Data</b>			<b>SEZ. TIPO C1 ALLARGO</b>		<b>SEZ. TIPO C1+1.05+PIAZZ</b>	
Equivalent Tunnel Radius	ri	[m]	8.75	8.75	9.5	9.5
Overburden	H	[m]	150	200	120	200
Unit weight of the rock mass	$\gamma$	[kN/m <sup>3</sup> ]	19	19	19	19

<b>Resistance Parameters</b>			<b>SEZ. TIPO C1 ALLARGO</b>		<b>SEZ. TIPO C1+1.05+PIAZZ</b>	
Cohesion in the elastic zone	Cel	[kPa]	40	40	40	40
Cohesion in the plastic zone	Cpl	[kPa]	30	30	30	30
Friction angle in the elastic zone	$\Phi_{el}$	[°]	..	..	..	..
.....	.....	.....	..	..	..	..

<b>Elastic parameters</b>			<b>SEZ. TIPO C1 ALLARGO</b>		<b>SEZ. TIPO C1+1.05+PIAZZ</b>	
Deformation moduls in elastic zone	Eel	[MPa]	650	650	650	650
Deformation moduls in plastic zone	Epl	[MPa]	650	650	650	650
Poisson's ratio	$\nu$	.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....

<b>PRECONFINEMENT (Therapy Phase)</b>			<b>SEZ. TIPO C1 ALLARGO</b>		<b>SEZ. TIPO C1+1.05+PIAZZ</b>	
Number of reinforcements	n°	[-]	70	70	100	100
Design Length	L	[m]	9	9	9	9
Cohesion improvement	$\Delta c$	[kPa]	242	242	294	294

<b>SUPPORT DATA (Therapy Phase)</b>			<b>SEZ. TIPO C1 ALLARGO</b>		<b>SEZ. TIPO C1+1.05+PIAZZ</b>	
Shotcrete Thickness	t	[cm]	25	25	30	30
Compression strenght (medium)	f <sub>cm</sub>	[MPa]	25	25	25	25
Steel ribs profile	-	-	IPN240	IPN240	IPN260	IPN260
Number of profiles	n	-	2.00	2.00	2.00	2.00
Steel ribs spacing	s	[m]	1.00	1.00	0.90	0.90

<b>DEFORMATION RESULTS</b>			<b>SEZ. TIPO C1 ALLARGO</b>		<b>SEZ. TIPO C1+1.05+PIAZZ</b>	
Critical pressure	P <sub>cr</sub>	[MPa]	1.14	1.53	0.91	1.53
Cavity def. at the face	u <sub>f</sub>	[cm]	4.8	8.0	3.3	7.8
R <sub>pl</sub> (Face)/R <sub>o</sub>	R <sub>pface</sub> /r <sub>o</sub>	[-]	1.2	1.3	1.1	1.3
Deformation at (x) m	u(x)	[cm]	4.8	8.0	3.3	7.8
Def.at (x)m regarding gap	u'(x)	[cm]	4.8	8.0	3.3	7.8
Def.at equilibrium point	u <sub>eq</sub>	[cm]	9.7	12.5	6.9	12.6
Conv.at equilibrium point	C <sub>eq</sub>	[cm]	9.7	9.0	7.2	9.5
R <sub>pl</sub> (eq)/R <sub>o</sub>	R <sub>p eq</sub> /r <sub>o</sub>	[-]	1.4	1.6	1.4	1.6
Equilibrium pressure	C <sub>1</sub>	[MPa]	0.5	0.5	0.4	0.5

<b>TEMPORARY LINING RESULTS</b>			<b>SEZ. TIPO C1 ALLARGO</b>		<b>SEZ. TIPO C1+1.05+PIAZZ</b>	
Steel ribs stress	$\sigma_{st}$	[MPa]	137.0	127.3	94.0	124.4
Shotcrete stress	$\sigma_{sc}$	[MPa]	13.7	12.7	9.4	12.4

<b>SUPPORT RESULTS</b>			<b>SEZ. TIPO C1 ALLARGO</b>		<b>SEZ. TIPO C1+1.05+PIAZZ</b>	
Concrete stress	$\sigma_b$	[MPa]	5.2	4.8	4.3	5.7
Reinforcement stress	$\sigma_s$	[MPa]	-	-	-	-

GALLERIA LE FOSSE SINTESI LC\_TERAPIA - SAN PIER NICETO, GR1

<b>Geometrical Data</b>			SEZ. TIPO B2		SEZ. TIPO B2+1.05			SEZ. TIPO B2 ALLARGO	
Equivalent Tunnel Radius	ri	[m]	7.5	7.5	8	8	8	8.75	8.75
Overburden	H	[m]	80	100	80	100	150	80	100
Unit weight of the rock mass	$\gamma$	[kN/m <sup>3</sup> ]	22	22	22	22	22	22	22

**Resistance Parameters**

Cohesion in the elastic zone	Cel	[kPa]	50	50	50	50	70	50	50
Cohesion in the plastic zone	Cpl	[kPa]	40	40	40	40	40	40	40
Friction angle in the elastic zone	$\Phi_{el}$	°	..	..	..	..	..	..	..
			..	..	..	..	..	..	..

**Elastic parameters**

Deformation moduls in elastic zone	Eel	[MPa]	450	450	450	450	550	450	450
Deformation moduls in plastic zone	Epl	[MPa]	450	450	450	450	550	450	450
Poisson's ratio	$\nu$		..	..	..	..	..	..	..
			..	..	..	..	..	..	..

**PRECONFINEMENT (Therapy Phase)**

Number of reinforcements	n°	[-]	60	60	100	100	100	121	121
Design Length	L	[m]	9	9	9	9	9	9	9
Cohesion improvement	$\Delta c$	[kPa]	265	265	388	388	388	393	393

**SUPPORT DATA (Therapy Phase)**

Shotcrete Thickness	t	[cm]	25	25	25	25	25	25	25
Compression strenght (medium)	f <sub>cm</sub>	[MPa]	25	25	25	25	25	25	25
Steel ribs profile	-	-	IPN180	IPN180	IPN220	IPN200	IPN200	IPN240	IPN240
Number of profiles	n	-	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

**DEFORMATION RESULTS**

Critical pressure	P <sub>cr</sub>	[MPa]	0.76	0.96	0.76	0.96	1.44	0.76	0.96
Cavity def. at the face	u <sub>f</sub>	[cm]	3.0	4.5	2.4	3.6	6.4	2.6	3.9
R <sub>pl</sub> (Face)/R <sub>o</sub>	R <sub>pface</sub> /r <sub>o</sub>	[-]	1.2	1.2	1.0	1.1	1.3	1.0	1.1
Deformation at (x) m	u(x)	[cm]	6.7	10.0	6.2	9.1	15.2	6.4	9.5
Def.at (x)m regarding gap	u'(x)	[cm]	6.7	10.0	6.2	9.1	15.2	6.4	9.5
Def.at equilibrium point	u <sub>eq</sub>	[cm]	8.7	12.3	8.5	11.9	18.8	9.1	12.6
Conv.at equilibrium point	C <sub>eq</sub>	[cm]	11.4	15.5	12.3	16.5	24.7	13.0	17.4
R <sub>pl</sub> (eq)/R <sub>o</sub>	R <sub>peq</sub> /r <sub>o</sub>	[-]	1.8	1.9	1.8	1.8	2.1	1.7	1.8
Equilibrium pressure	C <sub>1</sub>	[MPa]	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4	0.3	0.3

**TEMPORARY LINING RESULTS**

Steel ribs stress	$\sigma_{st}$	[MPa]	64.1	75.3	71.3	84.6	108.7	74.6	88.6
Shotcrete stress	$\sigma_{sc}$	[MPa]	6.4	7.5	7.1	8.5	10.9	7.5	8.9

**SUPPORT RESULTS**

Concrete stress	$\sigma_b$	[MPa]	2.8	3.3	2.8	3.4	4.3	2.8	3.4
Reinforcement stress	$\sigma_s$	[MPa]	-	-	-	-	-	-	-



GALLERIA LE FOSSE SINTESI LC\_TERAPIA - SAN PIER NICETO, GR.2

<b>Geometrical Data</b>			<b>SEZ. TIPO B2</b>		<b>SEZ. TIPO B2+1.05</b>		<b>SEZ B2 ALLARGO</b>	
Equivalent Tunnel Radius	ri	[m]	7.5	7.5	8	8	8.75	8.75
Overburden	H	[m]	45	60	45	60	45	60
Unit weight of the rock mass	$\gamma$	[kN/m <sup>3</sup> ]	22	22	22	22	22	22

**Resistance Parameters**

Cohesion in the elastic zone	Cel	[kPa]	25	25	25	25	25	25
Cohesion in the plastic zone	Cpl	[kPa]	15	15	15	15	15	15
Friction angle in the elastic zone	$\Phi_{el}$	[°]	..	..	..	..	..	..
			..	..	..	..	..	..

**Elastic parameters**

Deformation moduls in elastic zone	Eel	[MPa]	200	350	200	350	200	350
Deformation moduls in plastic zone	Epl	[MPa]	200	350	200	350	200	350
Poisson's ratio	$\nu$		..	..	..	..	..	..
			..	..	..	..	..	..

**PRECONFINEMENT (Therapy Phase)**

Number of reinforcements	n°	[-]	60	60	70	70	121	121
Design Length	L	[m]	9	9	9	9	9	9
Cohesion improvement	$\Delta c$	[kPa]	106	159	109	163	157	236

**SUPPORT DATA (Therapy Phase)**

Shotcrete Thickness	t	[cm]	25	25	25	25	25	25
Compression strenght (medium)	fcm	[MPa]	25	25	25	25	25	25
Steel ribs profile	-	-	IPN180	IPN180	IPN220	IPN220	IPN240	IPN240
Number of profiles	n	-	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

**DEFORMATION RESULTS**

Critical pressure	Pcr	[MPa]	0.43	0.58	0.43	0.58	0.43	0.58
Cavity def. at the face	uf	[cm]	3.8	3.7	5.4	3.9	4.5	3.2
Rpl (Face)/Ro	Rpface/r0	[-]	1.2	1.3	1.3	1.3	1.2	1.1
Deformation at (x) m	u(x)	[cm]	10.1	9.5	11.6	9.7	10.8	9.0
Def.at (x)m regarding gap	u'(x)	[cm]	10.1	9.5	11.6	9.7	10.8	9.0
Def.at equilibrium point	ueq	[cm]	11.2	10.8	12.8	11.1	13.4	10.8
Conv.at equilibrium point	Ceq	[cm]	14.9	14.2	14.8	14.5	17.9	15.4
Rpl (eq)/Ro	Rpeq/r0	[-]	1.8	2.0	1.9	2.0	1.3	1.9
Equilibrium pressure	C1	[MPa]	0.1	0.2	0.1	0.2	0.3	0.2

**TEMPORARY LINING RESULTS**

Steel ribs stress	$\sigma_{st}$	[MPa]	38.0	43.3	35.8	44.6	73.6	51.7
Shotcrete stress	$\sigma_{sc}$	[MPa]	3.8	4.3	3.6	4.5	7.4	5.2

**SUPPORT RESULTS**

Concrete stress	$\sigma_b$	[MPa]	1.3	1.5	1.3	1.6	2.5	1.8
Reinforcement stress	$\sigma_s$	[MPa]	-	-	-	-	-	-

GALLERIA LE FOSSE SINTESI LC\_TERAPIA - SERIE GESSOSA-SOLFIFERA

Geometrical Data			SEZ. TIPO B2V ALLARGO
Equivalent Tunnel Radius	ri	[m]	8.75
Overburden	H	[m]	65
Unit weight of the rock mass	$\gamma$	[kN/m <sup>3</sup> ]	20

Resistance Parameters			
Cohesion in the elastic zone	Cel	[kPa]	35
Cohesion in the plastic zone	Cpl	[kPa]	20
Friction angle in the elastic zone	$\Phi_{el}$	°	..
.....	.....	.....	..

Elastic parameters			
Deformation moduls in elastic zone	Eel	[MPa]	50
Deformation moduls in plastic zone	Epl	[MPa]	50
Poisson's ratio	$\nu$	.....	.....
.....	.....	.....	.....

PRECONFINEMENT (Therapy Phase)			
Number of reinforcements	n°	[-]	145
Design Length	L	[m]	12
Cohesion improvement	$\Delta c$	[kPa]	340

SUPPORT DATA (Therapy Phase)			
Shotcrete Thickness	t	[cm]	25
Compression strenght (medium)	fcm	[MPa]	25
Steel ribs profile	-	-	IPN240
Number of profiles	n	-	2.00
Steel ribs spacing	s	[m]	1.00

DEFORMATION RESULTS			
Critical pressure	Pcr	[MPa]	0.66
Cavity def. at the face	uf	[cm]	16.7
Rpl (Face)/Ro	Rpface/r0	[-]	1.1
Deformation at (x) m	u(x)	[cm]	16.7
Def.at (x)m regarding gap	u'(x)	[cm]	16.7
Def.at equilibrium point	ueq	[cm]	21.7
Conv.at equilibrium point	Ceq	[cm]	9.9
Rpl (eq)/Ro	Rpeq/r0	[-]	1.2
Equilibrium pressure	C1	[MPa]	0.5

TEMPORARY LINING RESULTS			
Steel ribs stress	$\sigma_{st}$	[MPa]	140.2
Shotcrete stress	$\sigma_{sc}$	[MPa]	14.0

SUPPORT RESULTS			
Concrete stress	$\sigma_b$	[MPa]	4.8
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.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA - "LE FOSSE" -          RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0259_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

### 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.

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 sfavorevoli	$\gamma_{G1}$	0,9 1,1	1,0 1,3	1,0 1,0
Carichi permanenti non strutturali(1)	favorevoli sfavorevoli	$\gamma_{G2}$	0,0 1,5	0,0 1,5	0,0 1,3
Carichi variabili	favorevoli sfavorevoli	$\gamma_{Qi}$	0,0 1,5	0,0 1,5	0,0 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.

GALLERIA LE FOSSE – GHIAIE DI MESSINA

##### VERIFICHE DEI RIVESTIMENTI DI PRIMA FASE

			SEZ. TIPO C1						
Overburden	H	[m]	45	60	80	100	150	200	230
Steel ribs stress	$\sigma_{st} \cdot \gamma_{G1}$	[MPa]	65.4	79.4	89.8	105.3	131.6	163.0	179.8
Shotcrete stress	$\sigma_{sc} \cdot \gamma_{G1}$	[MPa]	6.5	7.9	9.0	10.5	13.2	16.3	18.0

$\gamma_{G1} = 1.3$

##### VERIFICHE DEI RIVESTIMENTI DI PRIMA FASE

			SEZ. TIPO C1+1.05					
Overburden	H	[m]	45	60	80	100	150	200
Steel ribs stress	$\sigma_{st} \cdot \gamma_{G1}$	[MPa]	66.0	80.8	90.8	114.4	133.8	165.8
Shotcrete stress	$\sigma_{sc} \cdot \gamma_{G1}$	[MPa]	6.6	8.1	9.1	11.4	13.4	16.6

$\gamma_{G1} = 1.3$

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>			
<b>COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA - "LE FOSSE" -          RELAZIONE DI CALCOLO</b>			<i>Codice documento</i> SS0259_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

**VERIFICHE DEI RIVESTIMENTI DI PRIMA FASE**

	H	[m]	SEZ. TIPO C1A				SEZ. TIPO C1A+1.05		
			100	150	200	230	100	150	200
Overburden			100	150	200	230	100	150	200
Steel ribs stress	$\sigma_{st} \cdot \gamma_{G1}$	[MPa]	74.6	88.1	111.0	120.0	70.3	89.0	111.5
Shotcrete stress	$\sigma_{sc} \cdot \gamma_{G1}$	[MPa]	7.5	8.8	11.1	12.0	7.0	8.9	11.1

 $\gamma_{G1} \quad 1.3$ 
**VERIFICHE DEI RIVESTIMENTI DI PRIMA FASE**

	H	[m]	SEZ. TIPO C1 ALLARGO		SEZ. TIPO C1+1.05+PIAZZ	
			150	200	120	200
Overburden			150	200	120	200
Steel ribs stress	$\sigma_{st} \cdot \gamma_{G1}$	[MPa]	178.1	165.5	122.2	161.7
Shotcrete stress	$\sigma_{sc} \cdot \gamma_{G1}$	[MPa]	17.8	16.6	12.2	16.2

 $\gamma_{G1} \quad 1.3$ 
**GALLERIA LE FOSSE - SAN PIER NICETO, GR.1**
**VERIFICHE DEI RIVESTIMENTI DI PRIMA FASE**

	H	[m]	SEZ. TIPO B2		SEZ. TIPO B2+1.05			SEZ. TIPO B2 ALLARGO	
			80	100	80	100	150	80	100
Overburden			80	100	80	100	150	80	100
Steel ribs stress	$\sigma_{st} \cdot \gamma_{G1}$	[MPa]	83.3	97.8	92.7	109.9	141.3	96.9	115.2
Shotcrete stress	$\sigma_{sc} \cdot \gamma_{G1}$	[MPa]	8.3	9.8	9.3	11.0	14.1	9.7	11.5

 $\gamma_{G1} \quad 1.3$ 
**GALLERIA LE FOSSE - SAN PIER NICETO, GR.2**
**VERIFICHE DEI RIVESTIMENTI DI PRIMA FASE**

	H	[m]	SEZ. TIPO B2		SEZ. TIPO B2+1.05		SEZ. B2 ALLARGO	
			45	60	45	60	45	60
Overburden			45	60	45	60	45	60
Steel ribs stress	$\sigma_{st} \cdot \gamma_{G1}$	[MPa]	49.4	51.5	46.6	53.0	95.7	62.2
Shotcrete stress	$\sigma_{sc} \cdot \gamma_{G1}$	[MPa]	4.9	5.1	4.7	5.3	9.6	6.2

 $\gamma_{G1} \quad 1.3$ 
**GALLERIA LE FOSSE – SERIE GESSOSO-SOLFIFERA**
**VERIFICHE DEI RIVESTIMENTI DI PRIMA FASE**

	H	[m]	SEZ. TIPO C1 ALLARGO
			65
Overburden			65
Steel ribs stress	$\sigma_{st} \cdot \gamma_{G1}$	[MPa]	182.3
Shotcrete stress	$\sigma_{sc} \cdot \gamma_{G1}$	[MPa]	18.2

 $\gamma_{G1} \quad 1.3$ 

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:  $f_{sb,d} = f_{ck} / 1.0 = 25 / 1.0 = 25 \text{ MPa}$

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA - "LE FOSSE" -          RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0259_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

### 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:

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

Per le verifiche di resistenza delle strutture armate si è fatto riferimento ai limiti imposti dalla normativa:

- Acciaio:  $f_{yd} = f_{yk} \cdot 0.8 = 450 \cdot 0.8 = 360 \text{ MPa}$
- Calcestruzzo:  $f_{cd} = f_{ck} \cdot 0.60 = 25 \cdot 0.60 = 15 \text{ MPa}$

#### GALLERIA LE FOSSE – GHIAIE DI MESSINA

##### VERIFICHE DEI RIVESTIMENTI DEFINITIVI

			SEZ. TIPO C1						
Deformation moduls in elastic zone	H	[m]	45	60	80	100	150	200	230
Concrete stress	$\sigma_b \cdot \gamma_{G1}$	[MPa]	2.3	2.8	3.2	3.7	4.7	5.8	6.4
Reinforcement stress	$\sigma_s \cdot \gamma_{G1}$	[MPa]	-	-	-	-	-	-	96.1

$\gamma_{G1} \quad 1.3$

##### VERIFICHE DEI RIVESTIMENTI DEFINITIVI

			SEZ. TIPO C1+1.05					
Deformation moduls in elastic zone	H	[m]	45	60	80	100	150	200
Concrete stress	$\sigma_b \cdot \gamma_{G1}$	[MPa]	2.4	3.0	3.3	4.2	4.9	6.1
Reinforcement stress	$\sigma_s \cdot \gamma_{G1}$	[MPa]	-	-	-	-	-	-

$\gamma_{G1} \quad 1.3$

##### VERIFICHE DEI RIVESTIMENTI DEFINITIVI

			SEZ. TIPO C1A				SEZ. TIPO C1A+1.05		
Deformation moduls in elastic zone	H	[m]	100	150	200	230	100	150	200
Concrete stress	$\sigma_b \cdot \gamma_{G1}$	[MPa]	2.7	3.1	4.0	4.3	2.6	3.3	4.1
Reinforcement stress	$\sigma_s \cdot \gamma_{G1}$	[MPa]	-	-	-	-	-	-	-

$\gamma_{G1} \quad 1.3$

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>			
<b>COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA - "LE FOSSE" -          RELAZIONE DI CALCOLO</b>			<i>Codice documento</i> SS0259_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

**VERIFICHE DEI RIVESTIMENTI DEFINITIVI**

			SEZ. TIPO C1 ALLARGO		SEZ. TIPO C1+1.05+PIAZZ	
Deformation moduls in elastic zone	H	[m]	150	200	120	200
Concrete stress	$\sigma_b \cdot \gamma_{G1}$	[MPa]	6.8	6.3	5.6	7.4
Reinforcement stress	$\sigma_s \cdot \gamma_{G1}$	[MPa]	-	-	-	111.3

$\gamma_{G1}$  1.3

**GALLERIA LE FOSSE - SAN PIER NICETO, GR.1**
**VERIFICHE DEI RIVESTIMENTI DEFINITIVI**

			SEZ. TIPO B2		SEZ. TIPO B2+1.05			SEZ. TIPO B2 ALLARGO	
Deformation moduls in elastic zone	H	[m]	80	100	80	100	150	80	100
Concrete stress	$\sigma_b \cdot \gamma_{G1}$	[MPa]	3.6	4.3	3.7	4.4	5.6	3.7	4.4
Reinforcement stress	$\sigma_s \cdot \gamma_{G1}$	[MPa]	-	-	-	-	-	-	-

$\gamma_{G1}$  1.3

**GALLERIA LE FOSSE - SAN PIER NICETO, GR.2**
**VERIFICHE DEI RIVESTIMENTI DEFINITIVI**

			SEZ. TIPO B2		SEZ. TIPO B2+1.05		SEZ. B2 ALLARGO	
Deformation moduls in elastic zone	H	[m]	45	60	45	60	45	60
Concrete stress	$\sigma_b \cdot \gamma_{G1}$	[MPa]	1.7	1.8	1.7	1.9	3.3	2.1
Reinforcement stress	$\sigma_s \cdot \gamma_{G1}$	[MPa]	-	-	-	-	-	-

$\gamma_{G1}$  1.3

**GALLERIA LE FOSSE – SERIE GESSOSO-SOLFIFERA**
**VERIFICHE DEI RIVESTIMENTI DEFINITIVI**

			SEZ. TIPO B2		SEZ. TIPO B2+1.05		SEZ. B2 ALLARGO	
Deformation moduls in elastic zone	H	[m]	45	60	45	60	45	60
Concrete stress	$\sigma_b \cdot \gamma_{G1}$	[MPa]	1.7	1.8	1.7	1.9	3.3	2.1
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> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA - "LE FOSSE" -          RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0259_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 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.

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 LE FOSSE - GHIAIE DI MESSINA

SEZ. [.]	PARAMETRI GEOMETRICI				PARAMETRI GEOTECNICI			DIAGNOSI		TERAPIA				
	B [m]	D [m]	C [m]	Deq [m]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	c [kPa]	$\Phi$ [°]	[.]	[.]	$\Delta c$ [kPa]	[kPa]	FSF [.]	[.]	
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	20	15	19	4	33	0.03	FRONTE INSTABILE	58	292.0	296	2.93	FRONTE STABILE
C1	16.5	11.85	35	15	19	4	33	0.02	FRONTE INSTABILE	58	292.0	296	2.41	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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA - "LE FOSSE" -          RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0259_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

SINTESI VERIFICHE DI STABILITA' DEL FRONTE GALLERIA "LE FOSSE" - FORMAZIONE DI SAN PIER NICETO, GR2 (CGL)

SEZ. [-]	PARAMETRI GEOMETRICI				PARAMETRI GEOTECNICI			Φ [°]	DIAGNOSI	Δc [kPa]	TERAPIA			
	B [m]	D [m]	C [m]	Deq [m]	γ [kN/m <sup>3</sup> ]	c [kPa]	FSF [-]							
B2V	16.5	11.85	4	15	22	16.7	26	0.28	FRONTE INSTABILE	60	212.2	228.9	3.84	FRONTE STABILE
B2V	16.5	11.85	22	15	22	16.7	26	0.23	FRONTE INSTABILE	60	212.2	228.9	2.15	FRONTE STABILE
B2V	16.5	11.85	37	15	22	16.7	26	0.22	FRONTE INSTABILE	60	212.2	228.9	1.87	FRONTE STABILE
B2V+1.05	16.7	12.2	4	16	22	16.7	26	0.28	FRONTE INSTABILE	70	311	327.7	4.77	FRONTE STABILE
B2V+1.05	16.7	12.2	20	16	22	16.7	26	0.23	FRONTE INSTABILE	70	311	327.7	3.08	FRONTE STABILE
B2V+1.05	16.7	12.2	37	16	22	16.7	26	0.21	FRONTE INSTABILE	70	311	327.7	2.60	FRONTE STABILE
B2V P	19.8	12.85	37	17.5	22	16.7	26	0.19	FRONTE INSTABILE	121	157.2	173.9	1.29	FRONTE STABILE
B2V P	19.8	12.85	52	17.5	22	16.7	26	0.19	FRONTE INSTABILE	121	157.2	173.9	1.18	FRONTE STABILE
B2V+1.05+ P	21.7	16.1	15	19	22	16.7	26	0.17	FRONTE INSTABILE	100	276	292.7	2.88	FRONTE STABILE
B2V+1.05+ P	21.7	16.1	40	19	22	16.7	26	0.14	FRONTE INSTABILE	100	276	292.7	2.17	FRONTE STABILE

SINTESI VERIFICHE DI STABILITA' DEL FRONTE GALLERIA "LE FOSSE" - FORMAZIONE SOLFIFERA

SEZ. [-]	PARAMETRI GEOMETRICI				PARAMETRI GEOTECNICI			Φ [°]	DIAGNOSI	Δc [kPa]	TERAPIA			
	B [m]	D [m]	C [m]	Deq [m]	γ [kN/m <sup>3</sup> ]	c [kPa]	FSF [-]							
B2V, all	19.8	12.85	4	17.5	20	28	23	0.53	FRONTE INSTABILE	145	340	368.4	6.34	FRONTE STABILE
B2V, all	19.8	12.85	22	17.5	20	28	23	0.45	FRONTE INSTABILE	145	340	368	3.62	FRONTE STABILE
B2V, all	19.8	12.85	37	17.5	20	28	23	0.43	FRONTE INSTABILE	145	340	368	3.15	FRONTE STABILE
B2V, all	19.8	12.85	52	17.5	20	28	23	0.43	FRONTE INSTABILE	145	340	368	2.91	FRONTE STABILE

Le analisi evidenziano un fattore di sicurezza variabile compreso tra 1.18 e 6.34.

I fattori di sicurezza risultano numericamente accettabili nelle condizioni analizzate. Si ritiene comunque opportuno utilizzare, anche nei casi in cui il coefficiente di sicurezza risulti ampiamente al di sopra dell'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> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA - "LE FOSSE" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0259_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 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.

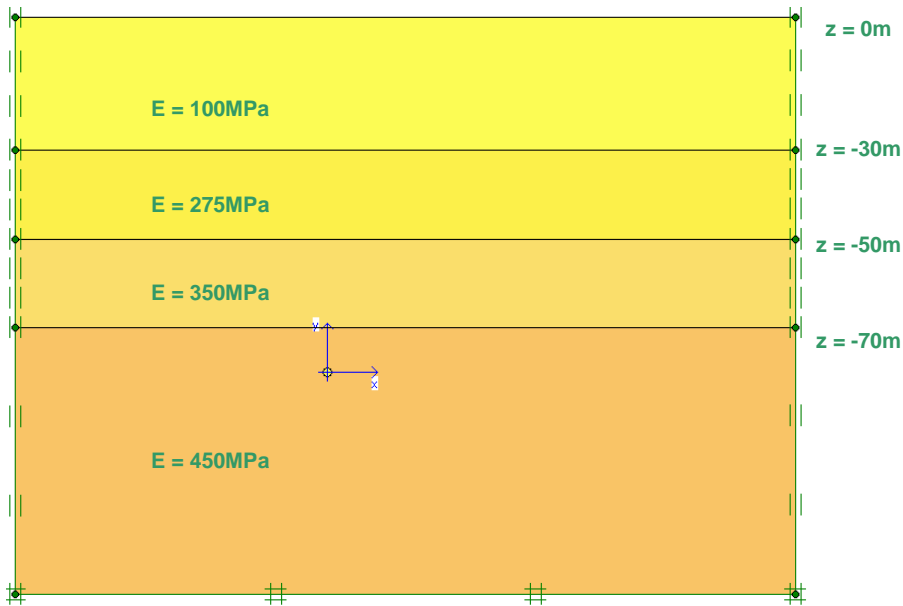
Nell'analisi condotta, quale modello costitutivo del terreno è stato assunto un modello di comportamento elasto-plastico incrudente di tipo "Hardening Soil", che riproduce in condizioni di primo carico triassiale, un legame tensione-deformazione di tipo iperbolico. L'incrudimento è funzione sia delle 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.

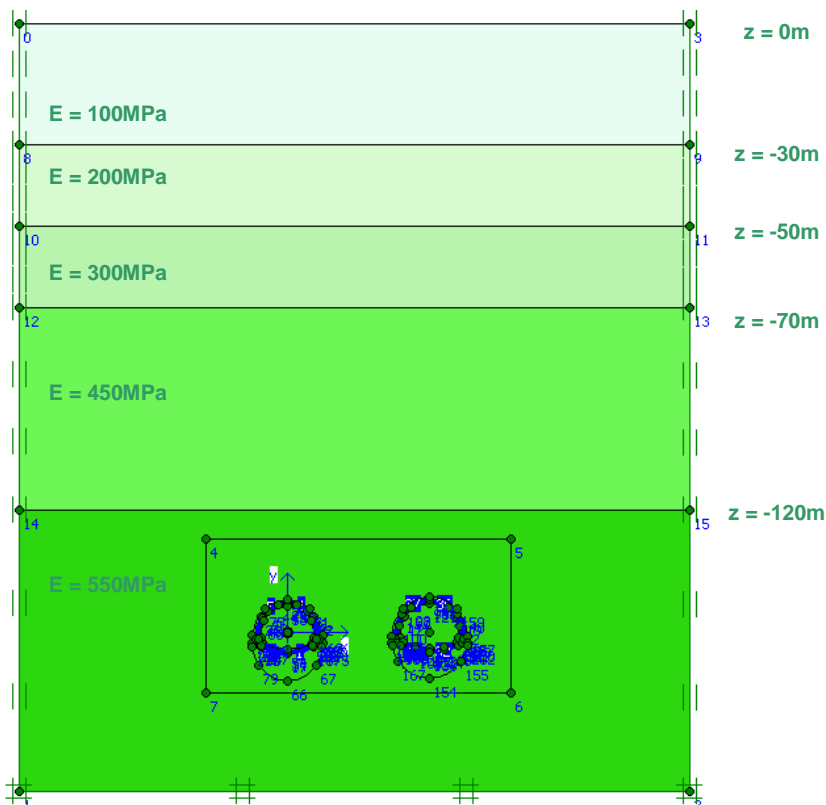
Ghiaie di Messina								
Applicazione	Copertura	$\gamma$	$\sigma'_{vm}$	$\sigma'_{vm}$	$\phi'$	$\phi'_{res}$	$\sigma'_{vm}$	$v'$
	[m]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[kPa]	[kPa]	[°]	[kPa]	[MPa]	[-]
	0-150	19	0-40	0-25	38	30	100-650	0.3
Copertura 0-30m	0-30	19	10	8	38	30	100	0.3
Copertura 30-50m	30-50	19	10	8	38	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

San Pier Niceto (CGL)								
Applicazione	Copertura	$\gamma$	$\sigma'_{vm}$	$\sigma'_{vm}$	$\phi'$	$\phi'_{res}$	$\sigma'_{vm}$	$v'$
	[m]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[kPa]	[kPa]	[°]	[kPa]	[MPa]	[-]
Alte coperture	70-200	22	10-60	8-45	30-38	24-28	450-500	0.3
	70-120	22	50	40	33	26	450	0.3
	>120	22	70	40	33	26	550	0.3

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA - "LE FOSSE" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0259_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011



**Figura 7 - Variazione del modulo elastico con la profondità - modello con ghiaie e sabbie di Messina**



**Figura 8 – Variazione del modulo elastico con la profondità – modello con San Pier Niceto (conglomeratico)**

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA - "LE FOSSE" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0259_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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 rigidezza 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 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 Le Fosse 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.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA - "LE FOSSE" -          RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0259_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

LE FOSSE	30	GHIAIE DI MESSINA	C1	SIMMETRICA
	100	GHIAIE DI MESSINA	C1	SIMMETRICA
	230	GHIAIE DI MESSINA	C1	SIMMETRICA
	30	GHIAIE DI MESSINA	C1+1.05	SIMMETRICA
	200	GHIAIE DI MESSINA	C1+1.05	SIMMETRICA
	200	GHIAIE DI MESSINA	C1-ALLARGO	SIMMETRICA
	150	SAN PIER NICETO	B2/B2+1,05	SIMMETRICA

**Tabella 6 - 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 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:

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

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

Una volta determinata la riduzione iniziale, le riduzioni alle Time successive verranno determinate

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA - "LE FOSSE" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0259_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

proporzionalmente all'andamento della curva  $1-\lambda$  di Panet in funzione della distanza dal fronte.

Si ha pertanto:

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

in cui il termine  $\beta = (100\% - \text{Rid. } \%) / (100\% - R_{PANET, fronte} \%)$  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:

TIME	DESCRIZIONE
Time 0	Geostatico
Time 1	Canna 1: Fronte di scavo
Time 2	Canna 1 : Avanzamento primo sfondo
Time 3	Canna 1: Installazione prerivestimento e avanzamento
Time 4	Canna 1: Maturazione prerivestimento 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 prerivestimento e avanzamento
Time 10	Canna 2: Maturazione prerivestimento 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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA - "LE FOSSE" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0259_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

### 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).

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



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA - "LE FOSSE" -          RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0259_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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

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

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

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:

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

da cui:

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

### 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.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA - "LE FOSSE" -          RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0259_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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.

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]
LE FOSSE	C1	30	GHIAIE DI MESSINA	SIMMETRICA	1.00	0.03	2.80	0.51
	C1	100	GHIAIE DI MESSINA	SIMMETRICA	4.07	1.26	1.67	3.53
	C1	230	GHIAIE DI MESSINA	SIMMETRICA	3.83	3.13	2.37	7.02
	C1+1.05	30	GHIAIE DI MESSINA	SIMMETRICA	0.26	0.05	1.64	0.18
	C1+1.05	200	GHIAIE DI MESSINA	SIMMETRICA	3.61	2.72	1.51	3.14
	C1-ALLARGO	200	GHIAIE DI MESSINA	SIMMETRICA	4.32	2.75	1.86	3.42
	B2/B2+1,05	150	SAN PIER NICETO	SIMMETRICA	6.39	6.28	3.67	8.38

### 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 7 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.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA - "LE FOSSE" - RELAZIONE DI CALCOLO	Codice documento SS0259_F0.doc	Rev F0

VERIFICA S.L.U.					CENTINE							SPRITZ-BETON	
CALCOLO	SEZIONE TIPO	COPERTURA [m]	LITOTIPO PREVALENTE	CONDIZIONE DI CARICO	M [kNm]	N [kN]	T [kN]	M <sub>s</sub> [kNm]	N <sub>s</sub> [kN]	T <sub>s</sub> [kN]	PL. [-]	N [kN]	f <sub>c</sub> [MPa]
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	100	GHIAIE DI MESSINA	SIMMETRICA	33.58	261.12	8.64	62.50	835.00	225.20	0.85	1420.00	7.38
3	C1	230	GHIAIE DI MESSINA	SIMMETRICA	12.42	512.91	81.93	62.50	835.00	225.20	0.81	3728.53	19.39
4	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
5	C1+1.05	200	GHIAIE DI MESSINA	SIMMETRICA	32.90	551.06	67.59	81.00	987.50	267.80	0.96	3278.99	17.05
6	C1-ALLARGO	200	GHIAIE DI MESSINA	SIMMETRICA	16.53	799.90	9.16	103.00	1152.50	313.90	0.85	4056.21	21.09
7	B2/B2+1,05	150	SAN PIER NICETO	SIMMETRICA	17.36	591.18	23.73	62.50	835.00	225.20	0.98	4256.00	22.13

**Tabella 7 - Verifiche tensionali S.L.U. rivestimento di prima fase**

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

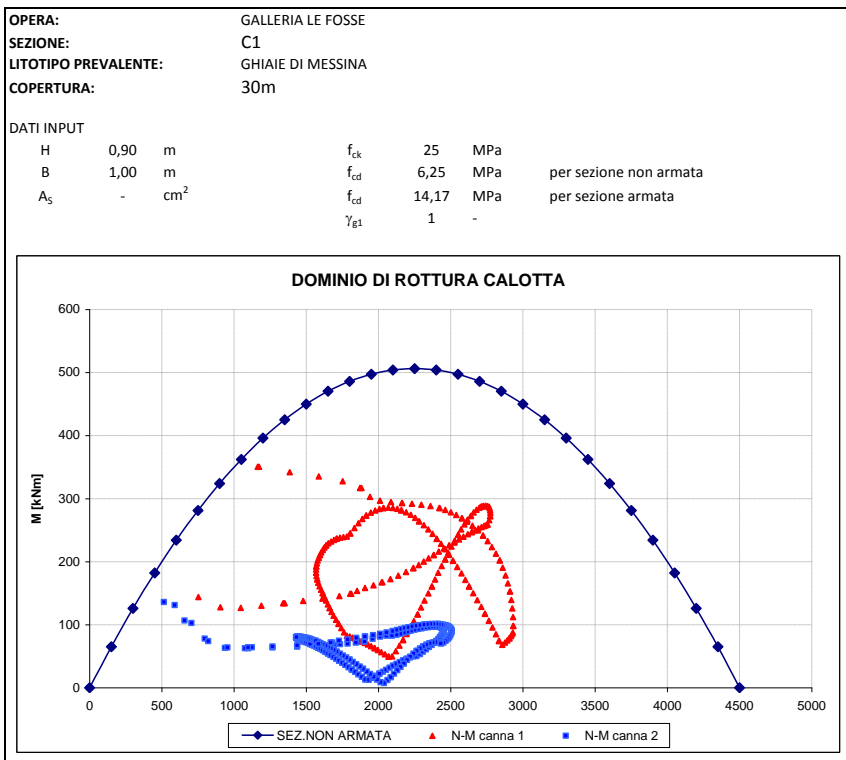
- Acciaio:  $f_{yd} = f_{yk} / 1.05 = 275 / 1.05 = 262 \text{ MPa}$
- Spritzbeton:  $f_{Sb,d} = f_{ck} / 1.0 = 25 / 1.0 = 25 \text{ MPa}$

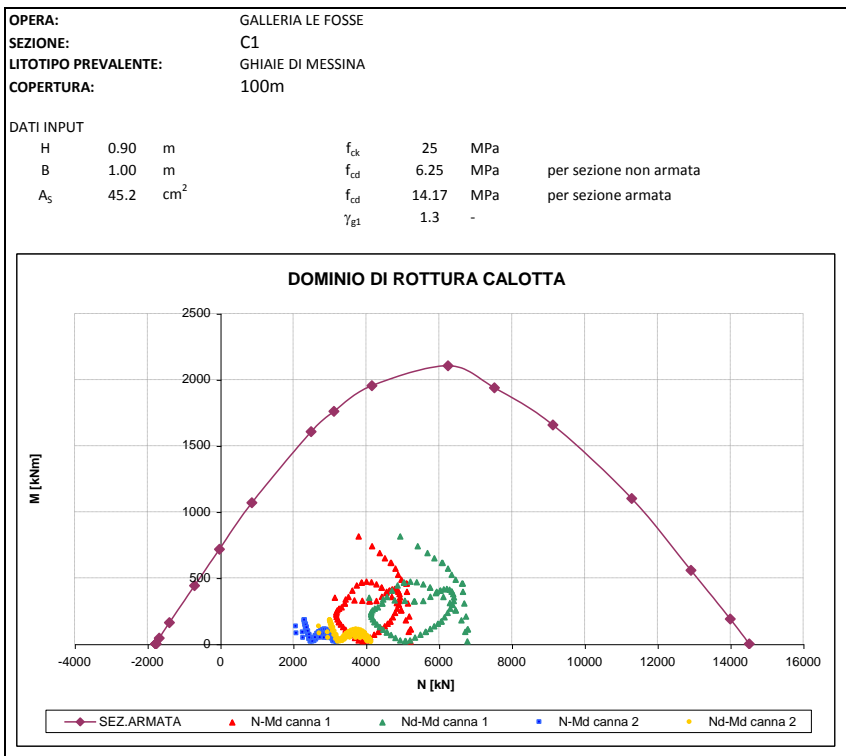
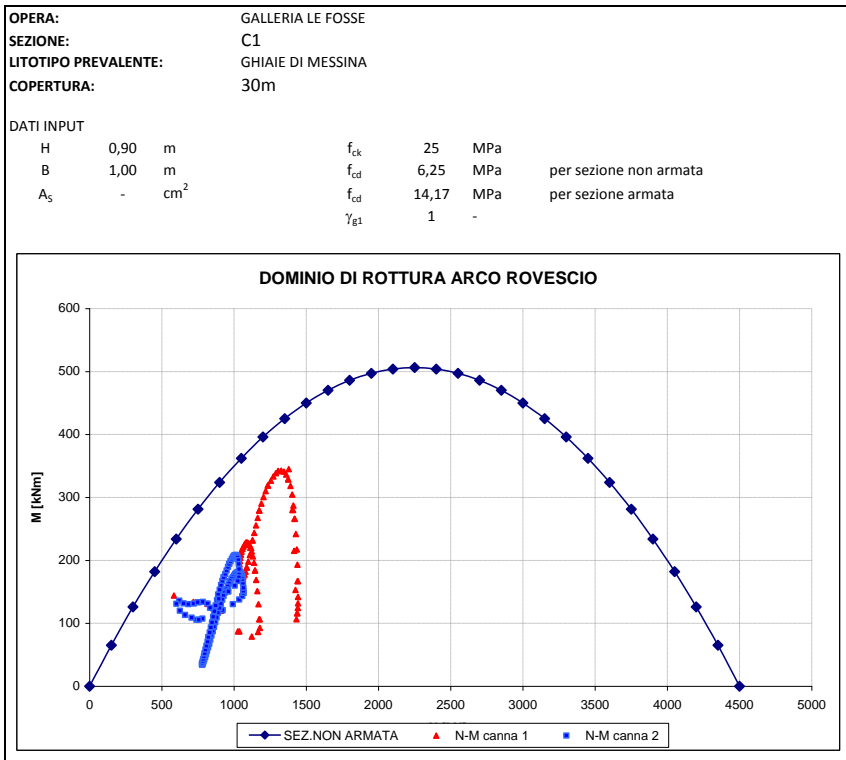
### 8.3.3.2 Verifica dei rivestimenti definitivi S.L.U.

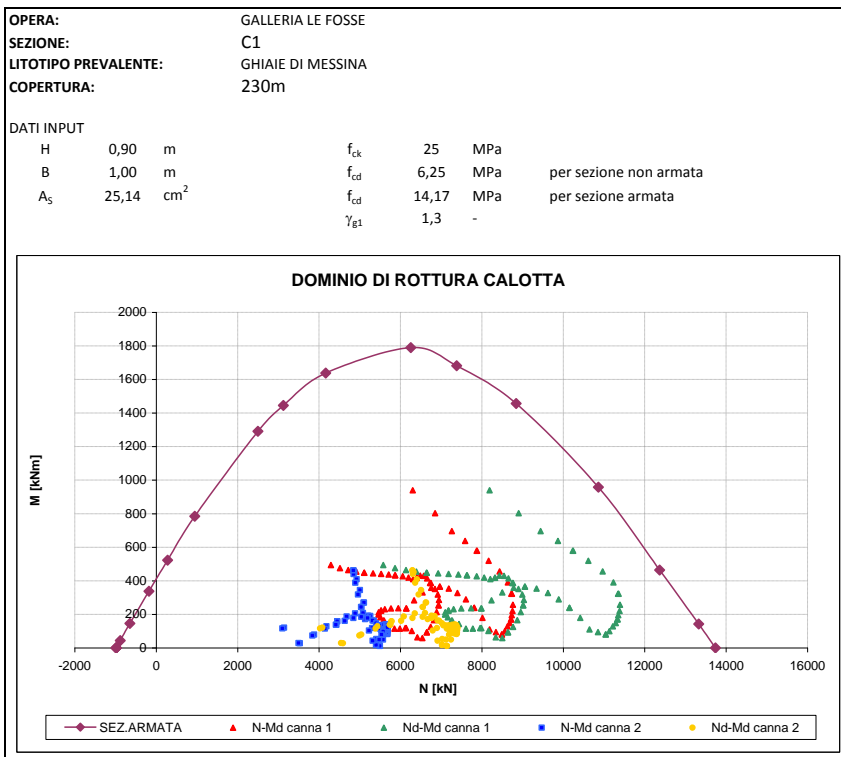
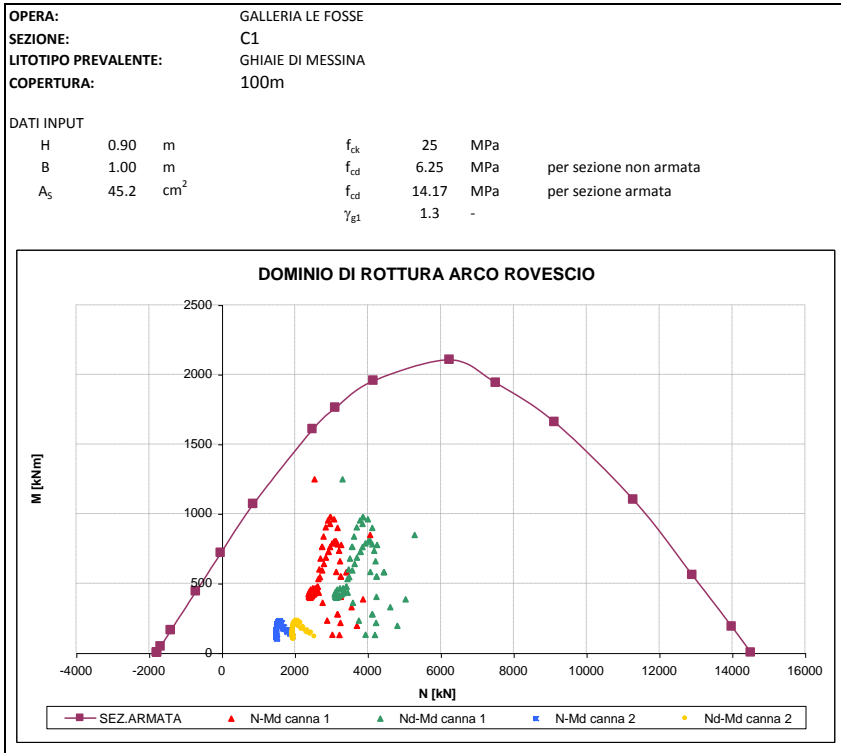
Come già detto nei capitoli precedenti, sono state previste diverse sezioni tipo di avanzamento lungo il tracciato dell'opera in esame. Sono stati svolte numerose analisi numeriche, allo scopo di poter verificare le condizioni di lavoro della struttura a diverse profondità. L'armatura a flessione e a taglio è stata prevista solo dove necessaria alla luce dei risultati delle analisi numeriche svolte; nella tabella seguente si riporta un quadro riassuntivo degli schemi di armatura previsti per le diverse sezioni alle coperture di calcolo:

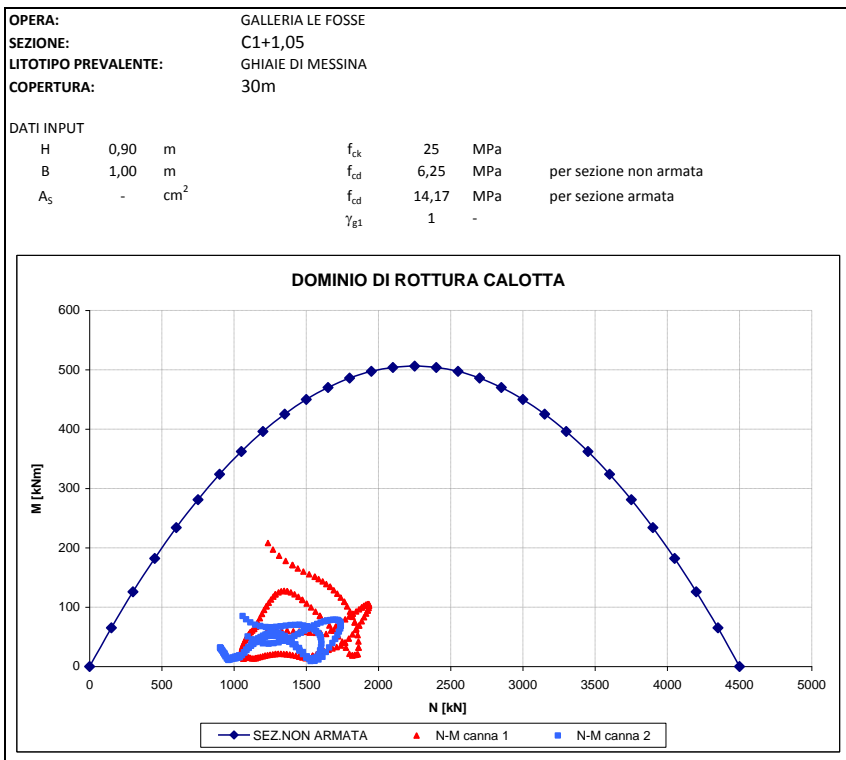
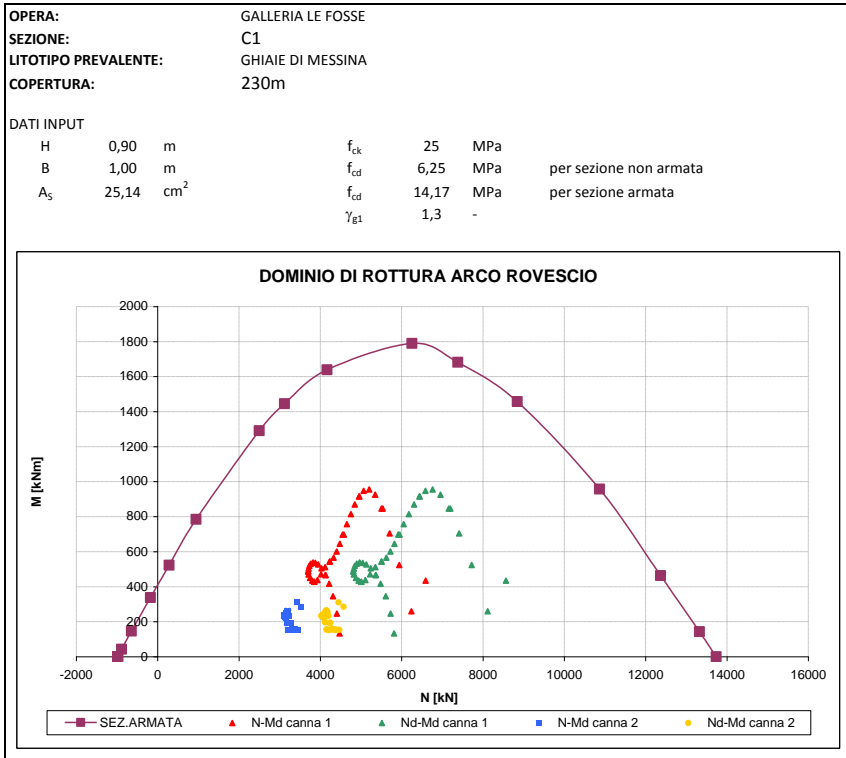
GALLERIA	CALCOLO	SEZIONE TIPO	COPERTURA [m]	LITOTIPO PREVALENTE	CONDIZIONE DI CARICO	CALOTTA		ARCO ROVESCIO	
						A <sub>s</sub> [cm <sup>2</sup> /cm]	A <sub>w</sub> [cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ]	A <sub>s</sub> [cm <sup>2</sup> /cm]	A <sub>w</sub> [cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ]
LE FOSSE	1	C1	30	GHIAIE DI MESSINA	SIMMETRICA	-	-	-	-
	2	C1	100	GHIAIE DI MESSINA	SIMMETRICA	φ24/20	min	φ24/20	48.26
	3	C1	230	GHIAIE DI MESSINA	SIMMETRICA	φ20/25	15.40	φ20/25	7.70
	4	C1+1.05	30	GHIAIE DI MESSINA	SIMMETRICA	-	-	-	-
	5	C1+1.05	200	GHIAIE DI MESSINA	SIMMETRICA	φ20/25	15.40	φ20/25	7.70
	6	C1-ALLARGO	200	GHIAIE DI MESSINA	SIMMETRICA	φ24/10	30.15	φ24/10	7.70
	7	B2/B2+1,05	150	SAN PIER NICETO	SIMMETRICA	φ24/10	15.40	φ24/10	7.70

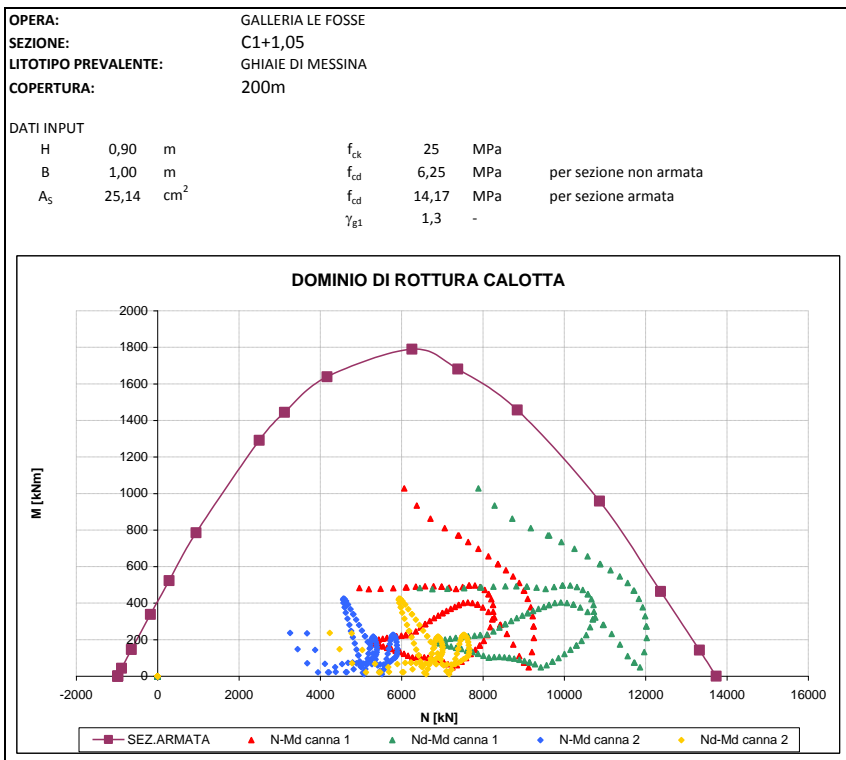
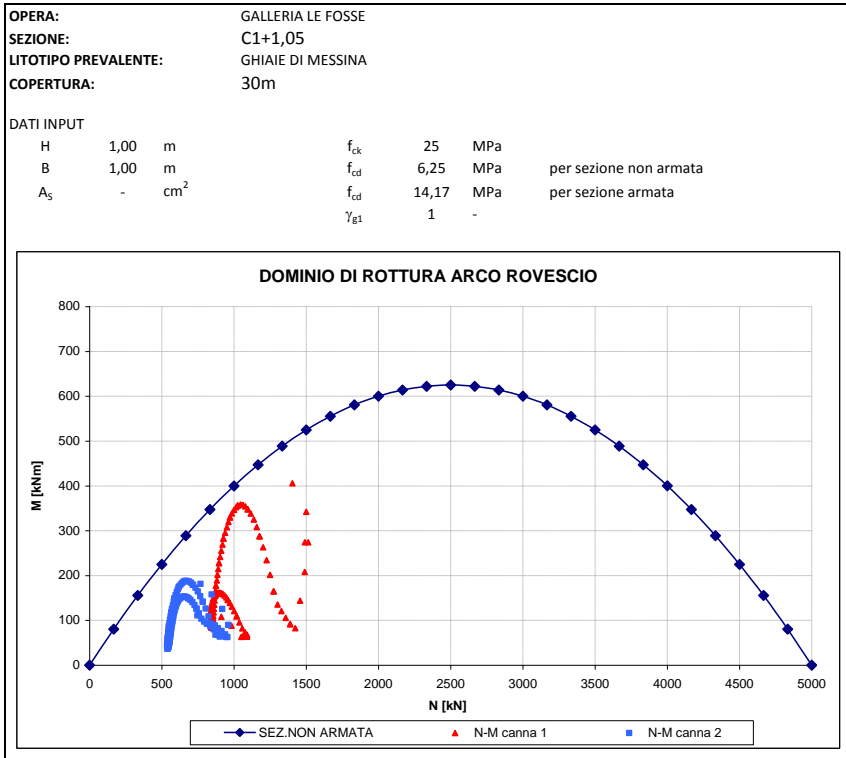
Si riportano di seguito i domini di rottura con la verifica dei valori tensionali per i rivestimenti definitivi di calotta ed arco rovescio.



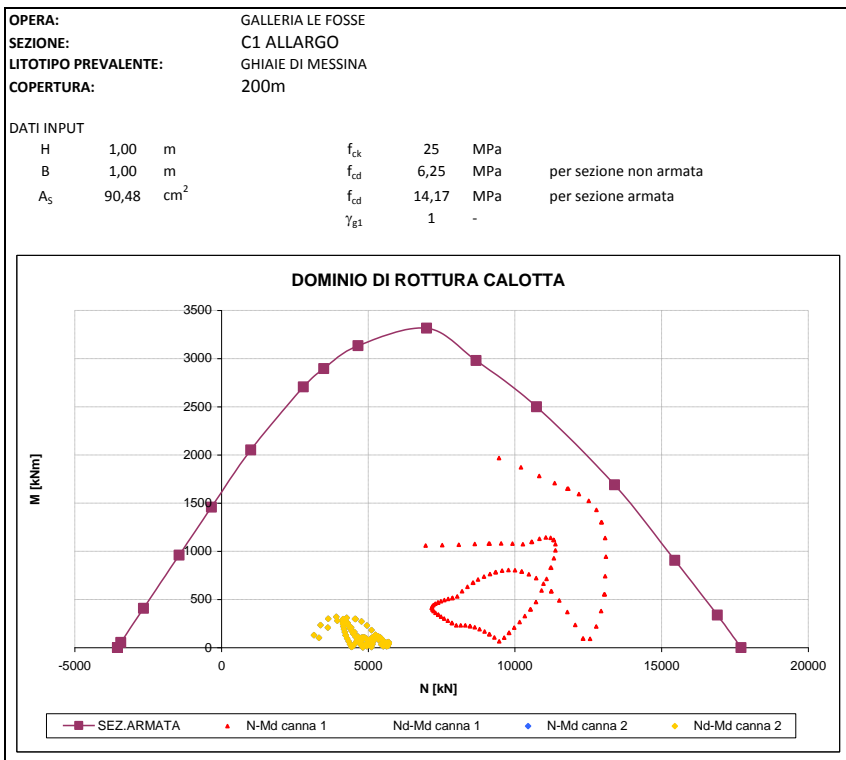
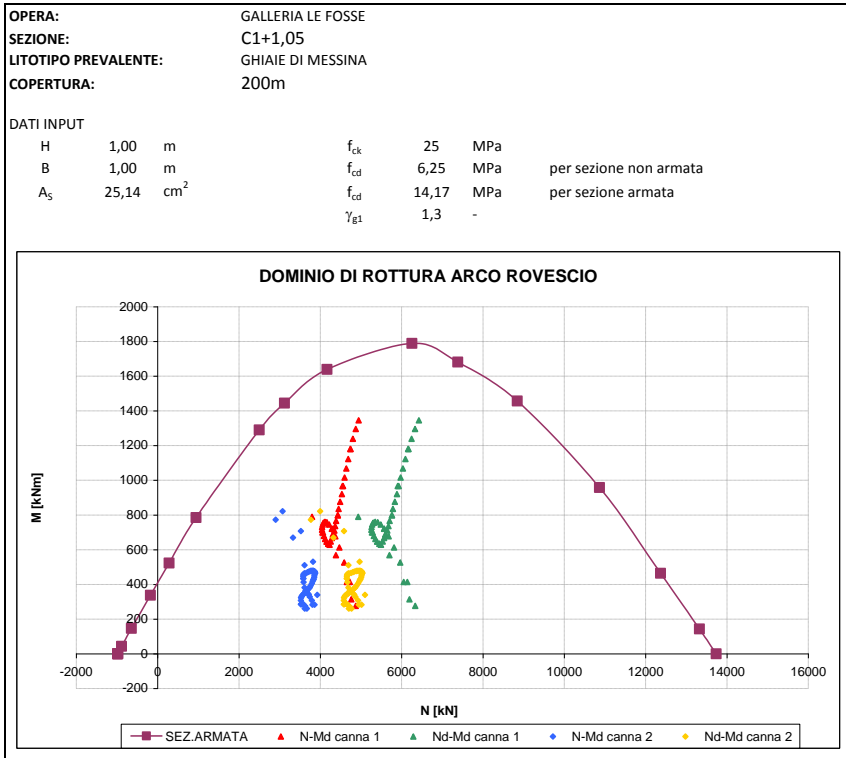


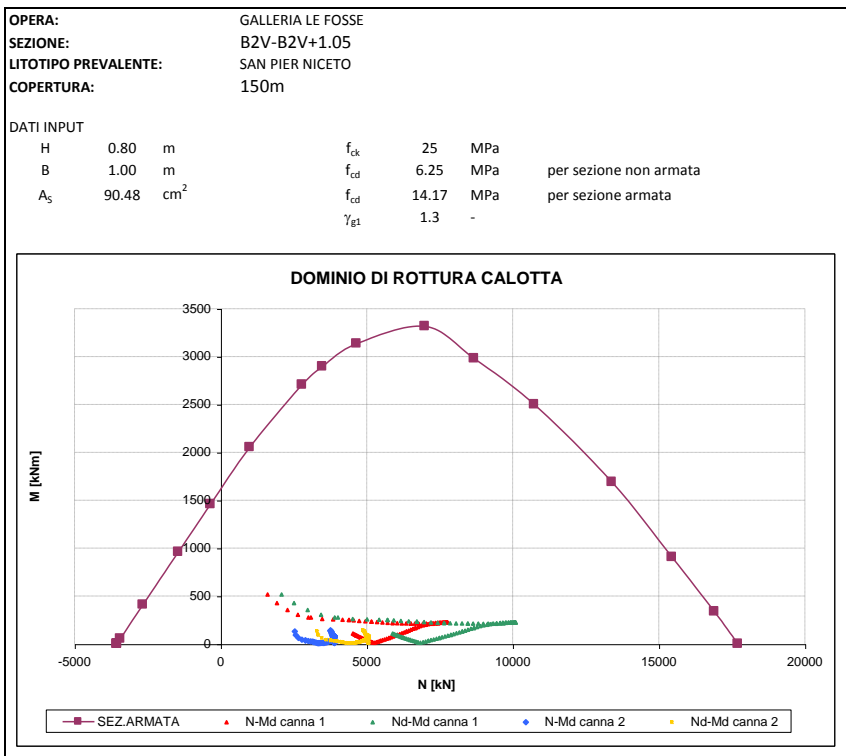
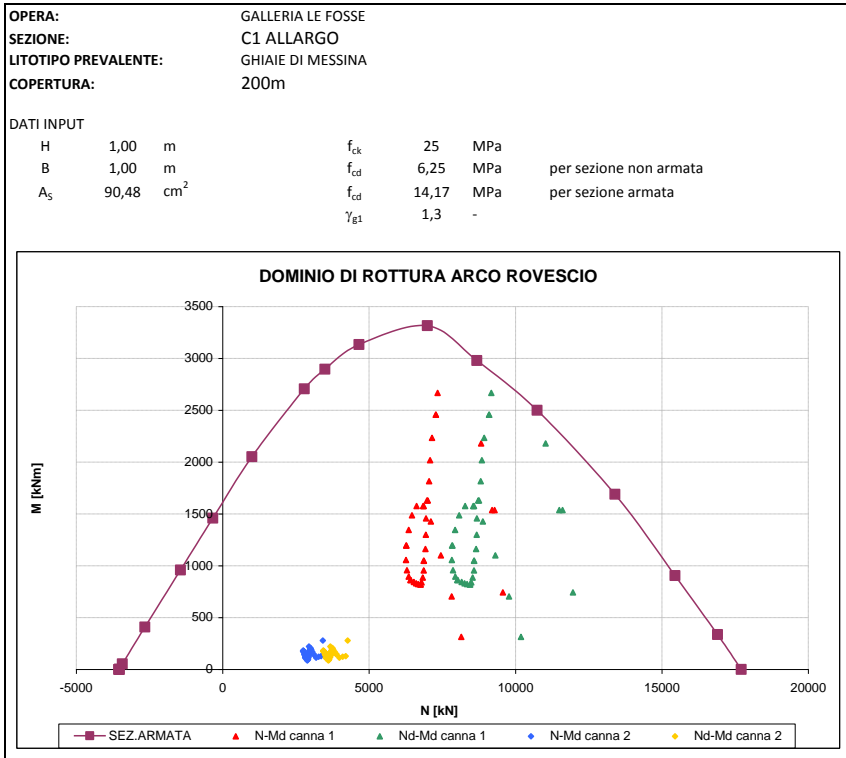


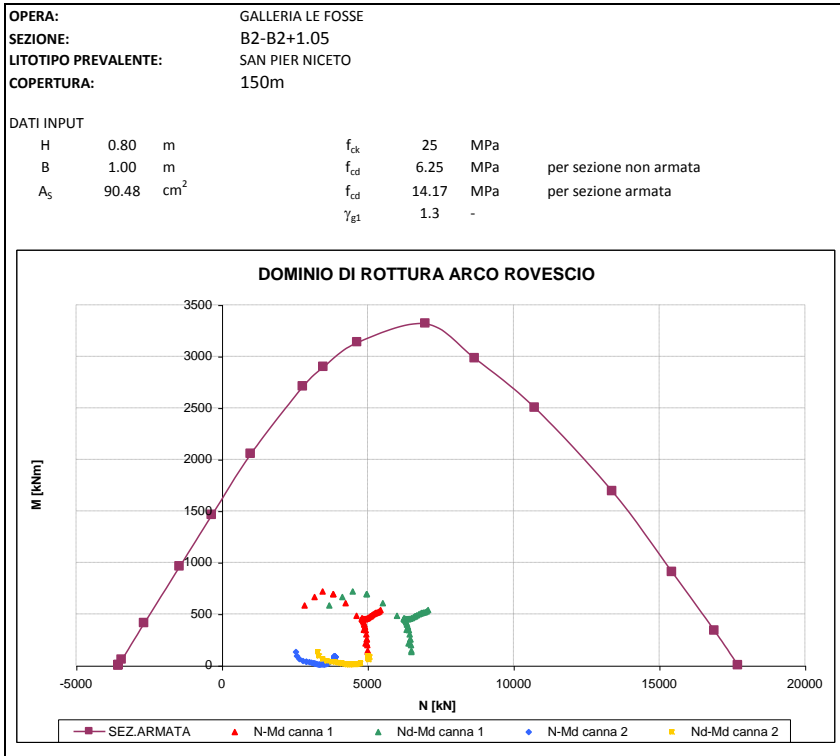












In Tabella 8 ed in Tabella 9 sono riportate le verifiche a taglio. Il contributo dello sforzo assiale e dell'azione tagliante sono amplificati secondo i coefficienti previsti da normativa ( $\gamma_{g1} = 1.3$ ). I valori del taglio corrispondono alle sollecitazioni massime agenti per ogni analisi.

VERIFICA S.L.U.						CALOTTA					
GALLERIA	CALCOLO	SEZIONE TIPO	COPERTURA [m]	LITOTIPO PREVALENTE	CONDIZIONE DI CARICO	N [kN]	T [kN]	$A_s$ [cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ]	$V_{Rd}$ [kN]	$V_{Rsd}$ [kN]	$V_{Rcd}$ [kN]
LE FOSSE	1	C1	30	GHIAIE DI MESSINA	SIMMETRICA	2113.46	162.93	-	294.00	-	-
	2	C1	100	GHIAIE DI MESSINA	SIMMETRICA	4943.13	276.61	-	294.00	-	-
	3	C1	230	GHIAIE DI MESSINA	SIMMETRICA	8192.0	440.60	15.40	-	515.02	2764.00
	4	C1+1.05	30	GHIAIE DI MESSINA	SIMMETRICA	1650.00	86.59	-	294.00	-	-
	5	C1+1.05	200	GHIAIE DI MESSINA	SIMMETRICA	7885.57	368.34	15.40	-	515.02	2940.00
	6	C1-ALLARGO	200	GHIAIE DI MESSINA	SIMMETRICA	13099.00	775.99	30.15	-	980.00	897.00
	7	B2/B2+1,05	150	SAN PIER NICETO	SIMMETRICA	8251.15	410.69	15.40	-	515.02	2801.25

**Tabella 8 - Verifica taglio S.L.U. calotta**

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA - "LE FOSSE" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0259_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

VERIFICA S.L.U.						ARCO ROVESCIO					
GALLERIA	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]
LE FOSSE	1	C1	30	GHIAIE DI MESSINA	SIMMETRICA	1792.99	249.90	-	294.90	-	-
	2	C1	100	GHIAIE DI MESSINA	SIMMETRICA	4071.29	1520.23	7.70	-	1568.00	4113.00
	3	C1	230	GHIAIE DI MESSINA	SIMMETRICA	520.94	908.66	7.70	-	980.00	3689.00
	4	C1+1.05	30	GHIAIE DI MESSINA	SIMMETRICA	1936.36	310.70	-	320.89	-	-
	5	C1+1.05	200	GHIAIE DI MESSINA	SIMMETRICA	7762.80	1120.45	7.70	-	1306.00	3008.00
	6	C1-ALLARGO	200	GHIAIE DI MESSINA	SIMMETRICA	6640.12	1253.90	7.70	-	1306.00	4127.00
	7	B2/B2+1,05	150	SAN PIER NICETO	SIMMETRICA	9397.37	689.69	7.70	-	813.19	2801.25

**Tabella 9 - Verifica S.L.U. taglio arco rovescio**

### 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* ( $\gamma_{g1} = 1$ ).

Per le verifiche di resistenza delle strutture armate si è fatto riferimento ai limiti imposti dalla normativa:

- Acciaio:  $f_{yd} = f_{yk} * 0.8 = 450 * 0.8 = 360 \text{ MPa}$
- Calcestruzzo:  $f_{cd} = f_{ck} * 0.60 = 25 * 0.60 = 15 \text{ MPa}$

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA - "LE FOSSE" - RELAZIONE DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> SS0259_F0.doc	<i>Rev</i> F0

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> ]	σ <sub>c</sub> [MPa]	σ <sub>s</sub> [MPa]
LE FOSSE	1	C1	30	GHIAIE DI MESSINA	SIMMETRICA	287.07	-2765.97	-	-5.20	-
	2	C1	100	GHIAIE DI MESSINA	SIMMETRICA	568.17	4170.70	45.24	-8.28	-15.67
	3	C1	230	GHIAIE DI MESSINA	SIMMETRICA	248.60	11358.20	25.14	-2.60	-38.70
	4	C1+1.05	30	GHIAIE DI MESSINA	SIMMETRICA	105.25	-1931.42	-	-2.85	-
	5	C1+1.05	200	GHIAIE DI MESSINA	SIMMETRICA	420.60	-8741.80	25.14	-2.20	-31.90
	6	C1-ALLARGO	200	GHIAIE DI MESSINA	SIMMETRICA	305.18	-7185.50	90.48	-0.90	-8.10
	7	B2/B2+1,05	150	SAN PIER NICETO	SIMMETRICA	942.18	1758.33	90.48	-7.98	108.90

**Tabella 10 - Verifica S.L.E calotta**

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]
LE FOSSE	1	C1	30	GHIAIE DI MESSINA	SIMMETRICA	290.17	-1189.48	-	-3.85	-
	2	C1	100	GHIAIE DI MESSINA	SIMMETRICA	310.20	1218.73	45.24	-4.16	28.02
	3	C1	230	GHIAIE DI MESSINA	SIMMETRICA	334.60	8566.30	25.14	-2.10	-30.50
	4	C1+1.05	30	GHIAIE DI MESSINA	SIMMETRICA	356.37	-1024.87	-	-4.49	-
	5	C1+1.05	200	GHIAIE DI MESSINA	SIMMETRICA	1035.50	4943.20	25.14	-12.52	22.52
	6	C1-ALLARGO	200	GHIAIE DI MESSINA	SIMMETRICA	1522.80	7080.30	90.48	-13.30	1.20
	7	B2/B2+1,05	150	SAN PIER NICETO	SIMMETRICA	1147.14	6838.47	90.48	-12.86	-15.57

**Tabella 11 - 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;

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA - "LE FOSSE" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0259_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- 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:

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

dove:

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

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

$c$  = mm                      copriferro netto armatura tesa

$s$  = 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

$\Phi$  = 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

GALLERIA	CALCOLO	SEZIONE TIPO	COPERTURA [m]	LITOTIPO PREVALENTE	CONDIZIONE DI CARICO	CALOTTA				ARCO ROVESCIO			
						M [kNm]	N [kN]	A <sub>s</sub> [cm <sup>2</sup> ]	w <sub>k</sub> [mm]	M [kNm]	N [kN]	A <sub>s</sub> [cm <sup>2</sup> ]	w <sub>k</sub> [mm]
LE FOSSE	1	C1	30	GHIAIE DI MESSINA	SIMMETRICA	287.07	-2765.97	-	< 0.3	290.17	-1189.48	-	-
	2	C1	100	GHIAIE DI MESSINA	SIMMETRICA	568.17	4170.70	φ24/20	< 0.3	310.20	1218.73	φ24/20	< 0.3
	3	C1	230	GHIAIE DI MESSINA	SIMMETRICA	248.60	11358.20	φ20/25	< 0.3	334.60	8566.30	φ20/25	< 0.3
	4	C1+1.05	30	GHIAIE DI MESSINA	SIMMETRICA	105.25	-1931.42	-	-	356.37	-1024.87	-	-
	5	C1+1.05	200	GHIAIE DI MESSINA	SIMMETRICA	420.60	-8741.80	φ20/25	< 0.3	1035.50	4943.20	φ20/25	< 0.3
	6	C1-ALLARGO	200	GHIAIE DI MESSINA	SIMMETRICA	305.18	-7185.50	φ24/10	< 0.3	1522.80	7080.30	φ24/10	< 0.3
	7	B2/B2+1,05	150	SAN PIER NICETO	SIMMETRICA	942.18	1758.33	φ24/10	< 0.3	1147.14	6838.47	φ24/10	< 0.3

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA - "LE FOSSE" -          RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0259_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 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 Le Fosse.

È prevista la realizzazione di tre bypass carrabili, posti alle progressive km 7+712.96 8+605.42 e 9+487.93 della canna direzione Reggio Calabria, che presentano un'area di scavo pari a circa 65m<sup>2</sup>, e di sei 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>.

I bypass di collegamento previsti verranno scavati all'interno di tutte le formazioni che interessano lo scavo della galleria naturale Le Fosse ad eccezione della serie gessoso solfifera. I bypass sono interessati da coperture variabili tra 40 e 200m circa.

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:

GALLERIA LE FOSSE - SINTESI LC\_DIAGNOSI - BYPASS

Geometrical Data			BYPASS CARRABILE, GHIAIE		BYPASS CARR., SPN	BYPASS PEDONALE, GHIAIE			BYPASS PEDONALE, SAN PIER NICETO		
Equivalent Tunnel Radius	ri	[m]	5	5	5	3	3	3	3	3	3
Overburden	H	[m]	120	200	40	50	180	210	50	70	150
Unit weight of the rock mass	g	[kN/m3]	19	19	19	19	19	19	19	19	19
<b>Resistance Parameters</b>											
Cohesion in the elastic zone	Cel	[kPa]	40	40	25	5	40	40	25	25	70
Cohesion in the plastic zone	Cpl	[kPa]	30	30	15	0	30	30	15	15	40
Friction angle in the elastic zone	Øel		..	..	..	..	..	..	..	..	..
.....	.....		..	..	..	..	..	..	..	..	..
<b>Elastic parameters</b>											
Deformation moduls in elastic zone	Eel	[MPa]	450	650	200	275	650	650	350	350	550
Deformation moduls in plastic zone	Epl	[MPa]	450	650	200	275	650	650	350	350	550
Poisson's ratio	v		..	..	..	..	..	..	..	..	..
.....	.....		..	..	..	..	..	..	..	..	..
<b>DEFORMATION RESULTS</b>											
Critical pressure	Pcr	[MPa]	0.91	1.53	0.33	0.35	1.38	1.61	0.41	0.58	1.24
Max cavity def. (2D)	u2d8	[cm]	39.7	72.2	46.7	INST	33.9	45.3	26.4	56.2	58.3
Rpl (2D)/Ro	Rpmax/r0	[-]	3.8	4.7	4.8	12.3	4.5	4.8	5.5	6.8	5.9
Cavity def. at the face	uf	[cm]	9.9	16.1	8.8	24.2	7.5	9.7	4.5	8.5	9.6
Rpl (Face)/Ro	Rpface/r0	[-]	1.9	2.2	2.1	4.3	2.1	2.2	2.3	2.6	2.4

INST = Deformazione maggiore di 80cm



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA - "LE FOSSE" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0259_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

I risultati delle analisi svolte in assenza di interventi di sostegno, evidenziano 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 B/C.

## 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.

GALLERIA LE FOSSE - BYPASS - SINTESI LC\_TERAPIA - GHIAIE DI MESSINA

Geometrical Data			BYPASS CARRABILE		BYPASS PEDONALE		
Equivalent Tunnel Radius	ri	[m]	5	5	3	3	3
Overburden	H	[m]	120	200	50	180	210
Unit weight of the rock mass	$\gamma$	[kN/m <sup>3</sup> ]	19	19	19	19	19

**Resistance Parameters**

Cohesion in the elastic zone	Cel	[kPa]	40	40	5	40	40
Cohesion in the plastic zone	Cpl	[kPa]	30	30	0	30	30
Friction angle in the elastic zone	$\Phi_{el}$	°	..	..	..	..	..

**Elastic parameters**

Deformation moduls in elastic zone	Eel	[MPa]	450	650	275	650	650
Deformation moduls in plastic zone	Epl	[MPa]	450	650	275	650	650
Poisson's ratio	$\nu$		..	..	..	..	..

**PRECONFINEMENT (Therapy Phase)**

Number of reinforcements	n°	[-]	38	38	14	18	18
Design Length	L	[m]	4.5	4.5	6	6	6
Cohesion improvement	$\Delta c$	[kPa]	201	201	294	353	353

**SUPPORT DATA (Therapy Phase)**

Shotcrete Thickness	t	[cm]	25	25	20	20	20
Compression strenght (medium)	fcm	[MPa]	25	25	25	25	25
Steel ribs profile	-	-	IPN180	IPN180	HEA140	HEA140	HEA140
Number of profiles	n	-	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

**DEFORMATION RESULTS**

Critical pressure	Pcr	[MPa]	0.91	1.53	0.35	1.38	1.61
Cavity def. at the face	uf	[cm]	3.1	5.1	0.6	1.8	2.3
Rpl (Face)/Ro	Rpface/r0	[-]	1.2	1.4	1.0	1.2	1.2
Deformation at (x) m	u(x)	[cm]	7.1	11.1	11.7	6.8	8.6
Def.at (x)m regarding gap	u'(x)	[cm]	7.1	11.1	11.7	6.8	8.6
Def.at equilibrium point	ueq	[cm]	7.8	14.2	11.7	7.1	8.9
Conv.at equilibrium point	Ceq	[cm]	9.5	18.3	22.2	10.6	13.3
Rpl (eq)/Ro	Rpeq/r0	[-]	1.8	1.2	4.0	2.1	2.2
Equilibrium pressure	C1	[MPa]	0.2	0.9	0.0	0.2	0.2

**TEMPORARY LINING RESULTS**

Steel ribs stress	$\sigma_{st}$	[MPa]	35.6	159.5	1.3	26.0	28.2
Shotcrete stress	$\sigma_{sc}$	[MPa]	3.6	15.9	0.1	2.6	2.8

**SUPPORT RESULTS**

Concrete stress	$\sigma_b$	[MPa]	2.2	9.7	0.1	1.7	1.8
Reinforcement stress	$\sigma_s$	[MPa]	-	-	-	-	-

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA - "LE FOSSE" -          RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<b>Codice documento</b> SS0259_F0.doc	<b>Rev</b> F0	<b>Data</b> 20/06/2011

GALLERIA LE FOSSE - BYPASS - SINTESI LC\_TERAPIA - SAN PIER NICETO

<b>Geometrical Data</b>			BYPASS CARRABILE	BYPASS PEDONALE		
Equivalent Tunnel Radius	ri	[m]	5	3	3	3
Overburden	H	[m]	40	50	70	150
Unit weight of the rock mass	$\gamma$	[kN/m <sup>3</sup> ]	19	19	19	19

**Resistance Parameters**

Cohesion in the elastic zone	Cel	[kPa]	25	25	25	70
Cohesion in the plastic zone	Cpl	[kPa]	15	15	15	40
Friction angle in the elastic zone	$\Phi_{el}$	[°]	..	..	..	..
Friction angle in the plastic zone	$\Phi_{pl}$	[°]	..	..	..	..

**Elastic parameters**

Deformation moduls in elastic zone	Eel	[MPa]	200	350	350	550
Deformation moduls in plastic zone	Epl	[MPa]	200	350	350	550
Poisson's ratio	$\nu$	[ ]	..	..	..	..
Friction angle in the elastic zone	$\Phi_{el}$	[°]	..	..	..	..

**PRECONFINEMENT (Therapy Phase)**

Number of reinforcements	n°	[-]	38	14	18	18
Design Length	L	[m]	4.5	6	6	6
Cohesion improvement	$\Delta c$	[kPa]	113	155	199	332

**SUPPORT DATA (Therapy Phase)**

Shotcrete Thickness	t	[cm]	25	20	20	20
Compression strenght (medium)	fcm	[MPa]	25	25	25	25
Steel ribs profile	-	-	IPN180	HEA140	HEA140	HEA140
Number of profiles	n	-	2.00	2.00	2.00	2.00
Steel ribs spacing	s	[m]	1.00	1.00	1.00	1.00

**DEFORMATION RESULTS**

Critical pressure	Pcr	[MPa]	0.33	0.41	0.58	1.24
Cavity def. at the face	uf	[cm]	2.0	0.8	0.5	2.0
Rpl (Face)/Ro	Rpface/r0	[-]	1.2	1.1	1.0	1.3
Deformation at (x) m	u(x)	[cm]	5.9	3.9	6.2	8.5
Def.at (x)m regarding gap	u'(x)	[cm]	5.9	3.9	6.2	8.5
Def.at equilibrium point	ueq	[cm]	6.2	4.3	6.4	8.8
Conv.at equilibrium point	Ceq	[cm]	8.6	6.9	11.8	13.7
Rpl (eq)/Ro	Rpeq/r0	[-]	1.9	1.4	2.1	2.4
Equilibrium pressure	c1	[MPa]	0.1	0.2	0.2	0.2

**TEMPORARY LINING RESULTS**

Steel ribs stress	$\sigma_{st}$	[MPa]	17.4	27.2	19.6	30.4
Shotcrete stress	$\sigma_{sc}$	[MPa]	1.7	2.7	2.0	3.0

**SUPPORT RESULTS**

Concrete stress	$\sigma_b$	[MPa]	1.1	1.8	1.3	2.0
Reinforcement stress	$\sigma_s$	[MPa]	-	-	-	-

## 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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA - "LE FOSSE" -          RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0259_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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.

GHIAIE DI MESSINA

#### VERIFICHE DEI RIVESTIMENTI DI PRIMA FASE

			BYPASS CARRABILE		BYPASS PEDONALE		
Overburden	H	[m]	120	200	50	180	210
Steel ribs stress	$\sigma_{st} \cdot \gamma_{G1}$	[MPa]	46.2	207.3	1.6	33.7	36.7
Shotcrete stress	$\sigma_{sc} \cdot \gamma_{G1}$	[MPa]	4.6	20.7	0.2	3.4	3.7

$\gamma_{G1}$  1.3

SAN PIER NICETO

GALLERIA LE FOSSE - BYPASS - SINTESI LC\_TERAPIA - SAN PIER NICETO

#### VERIFICHE DEI RIVESTIMENTI DI PRIMA FASE

			BYPASS CARR.	BYPASS PEDONALE		
Overburden	H	[m]	40	50	70	150
Steel ribs stress	$\sigma_{st} \cdot \gamma_{G1}$	[MPa]	22.7	35.4	25.5	39.5
Shotcrete stress	$\sigma_{sc} \cdot \gamma_{G1}$	[MPa]	2.3	3.5	2.6	4.0

$\gamma_{G1}$  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:

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA - "LE FOSSE" -          RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0259_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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

GHIAIE DI MESSINA

**VERIFICHE DEI RIVESTIMENTI DEFINITIVI**

			BYPASS CARRABILE		BYPASS PEDONALE		
Deformation moduls in elastic zone	H	[m]	120	200	50	180	210
Concrete stress	$\sigma_b \cdot \gamma_{G1}$	[MPa]	2.8	12.6	0.1	2.2	2.4
Reinforcement stress	$\sigma_s \cdot \gamma_{G1}$	[MPa]	-	-	-	-	-

$$\gamma_{G1} = 1.3$$

SAN PIER NICETO

**VERIFICHE DEI RIVESTIMENTI DEFINITIVI**



			BYPASS CARR.	BYPASS PEDONALE		
Deformation moduls in elastic zone	H	[m]	40	50	70	150
Concrete stress	$\sigma_b \cdot \gamma_{G1}$	[MPa]	1.4	2.3	1.6	2.6
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

I bypass carrabili e ferroviari in esame presentano tutti coperture superiori a tre diametri; pertanto non sono state effettuate analisi di stabilità del fronte.

		<p align="center"><b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> PROGETTO DEFINITIVO</p>		
<p align="center">COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA - "LE FOSSE" - RELAZIONE DI CALCOLO</p>		<p><i>Codice documento</i> SS0259_F0.doc</p>	<p><i>Rev</i> F0</p>	<p><i>Data</i> 20/06/2011</p>

## ALLEGATO – RIFERIMENTI TEORICI E DI CALCOLO

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA - "LE FOSSE" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0259_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 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*.

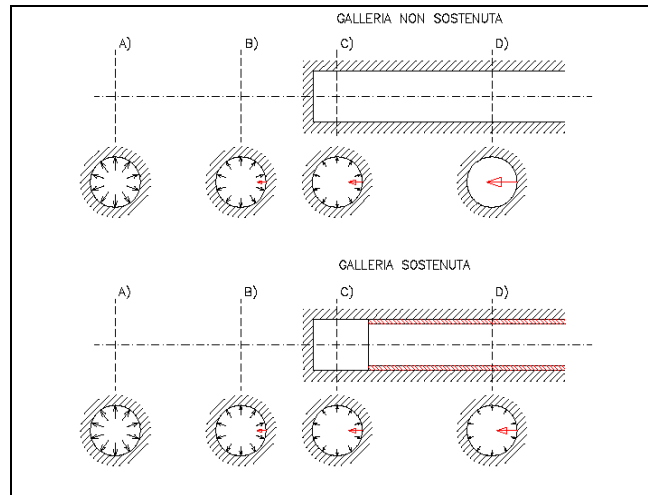
Tali curve possono quindi essere utilizzate, oltre che per valutare il comportamento dell'ammasso allo scavo, anche per determinare lo stato di sollecitazione sui diversi interventi costituenti la galleria, mediante la sovrapposizione degli effetti delle curve caratteristiche della cavità e dei singoli 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> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA - "LE FOSSE" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0259_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						





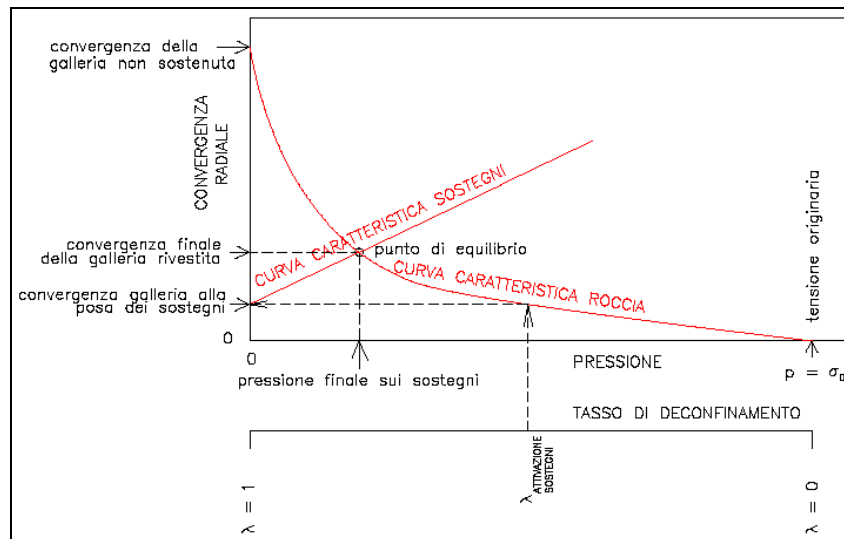
**Figura 9 - Progressivo deconfinamento del bordo di scavo per simulare l'avanzamento della galleria**

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> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA - "LE FOSSE" -          RELAZIONE DI CALCOLO</b>		Codice documento SS0259_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;">Rev</td> <td style="width: 50%;">Data</td> </tr> <tr> <td>F0</td> <td>20/06/2011</td> </tr> </table>	Rev	Data	F0	20/06/2011
Rev	Data						
F0	20/06/2011						



**Figura 10 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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA - "LE FOSSE" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0259_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

convergenza radiale già subita dal cavo, prima della posa in opera del rivestimento; la curva di 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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA - "LE FOSSE" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0259_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

resistenza coesiva dell'ammasso.

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> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA - "LE FOSSE" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0259_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 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.

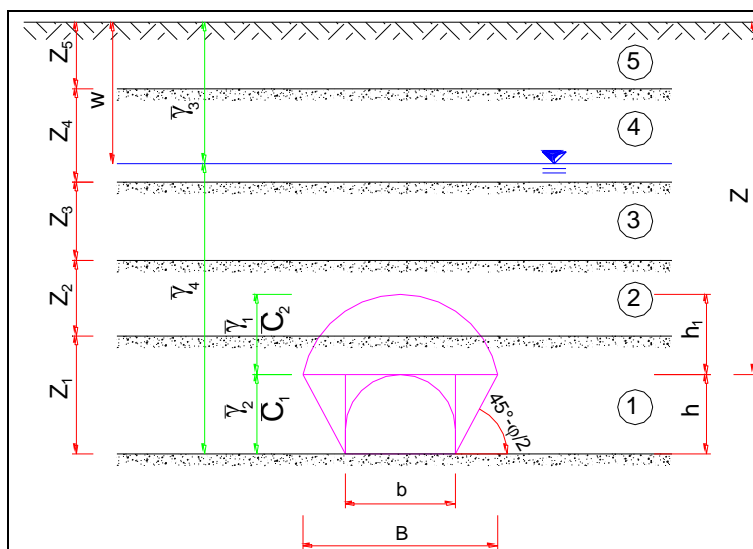
La valutazione della stabilità del fronte di scavo può essere condotta mediante l'impiego di metodi analitici semplificati all'equilibrio limite.

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.

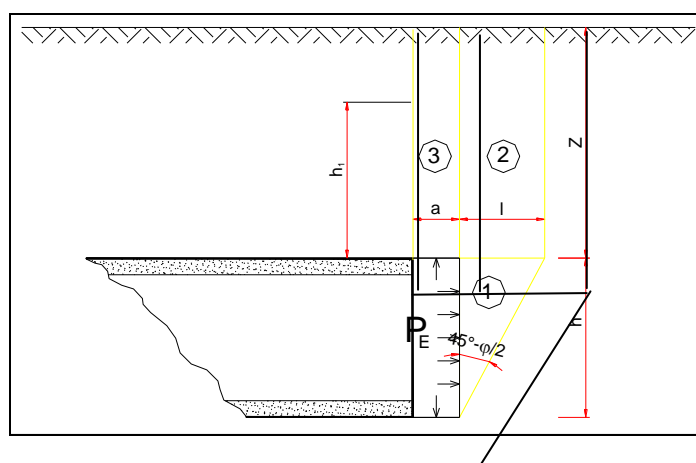
Il metodo dell'equilibrio limite proposto da Tamez tiene conto della riduzione dello stato di confinamento triassiale del nucleo di terreno oltre il fronte per mezzo di un meccanismo di rottura del tipo effetto volta, con il quale il volume di terreno gravante sulla corona della galleria è definito da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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA - "LE FOSSE" - RELAZIONE DI CALCOLO		Codice documento SS0259_F0.doc	Rev F0	Data 20/06/2011



**Figura 11 – 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 12 – 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> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA - "LE FOSSE" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0259_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 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 (*Rinter*). 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).

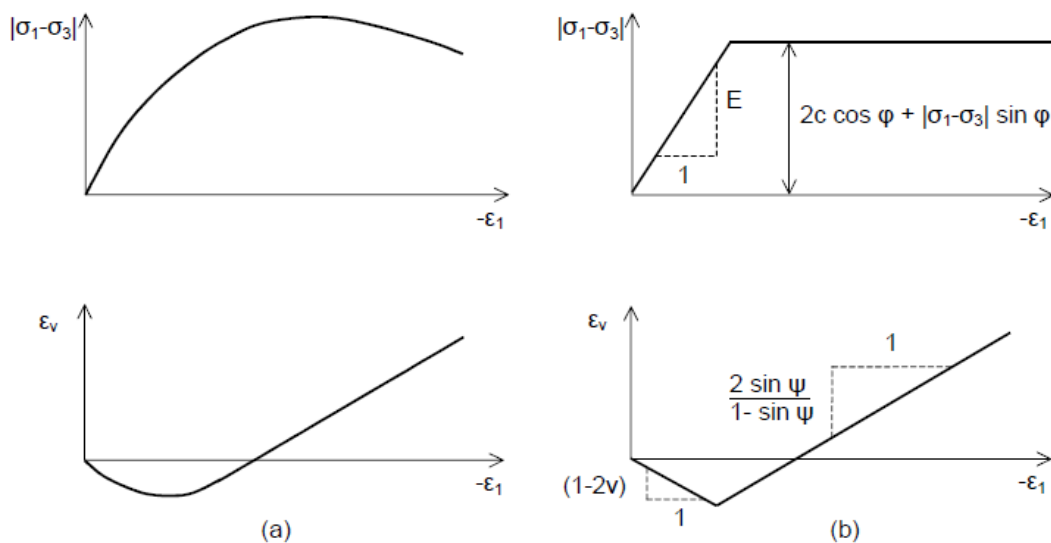
Il comportamento tensio-deformativo dei terreni può essere modellato per mezzo di vari legami costitutivi:

- **Modello Linear elastic (Elastico lineare)**: Questo modello rappresenta la legge di Hooke dell'elasticità isotropa lineare. Il modello richiede due parametri di rigidezza elastici, che sono il modulo di Young *E*, ed il coefficiente di Poisson  $\nu$ . Il modello elastico lineare è molto

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA - "LE FOSSE" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0259_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

limitato nei riguardi della simulazione del comportamento del terreno; è utilizzato principalmente per simulare strutture rigide nel terreno.

- **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.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA - "LE FOSSE" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0259_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- **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' 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:

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

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

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

dove  $\Delta p$  è un incremento della tensione totale media,  $\Delta p'$  è un incremento della tensione efficace



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA - "LE FOSSE" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0259_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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 rigidezza volumetrica non drenato,  $K'$  è il modulo di rigidezza volumetrica dello scheletro solido del terreno,  $K_w$  è il modulo di rigidezza 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 rigidezza volumetrica dell'acqua, in quanto questo potrebbe condurre al cattivo condizionamento della matrice delle rigidezze ed a problemi numerici. Infatti, in caso di compressione isotropa, la rigidezza del mezzo monofase equivalente è, per default, assunta pari ad un modulo di rigidezza volumetrica non drenato:

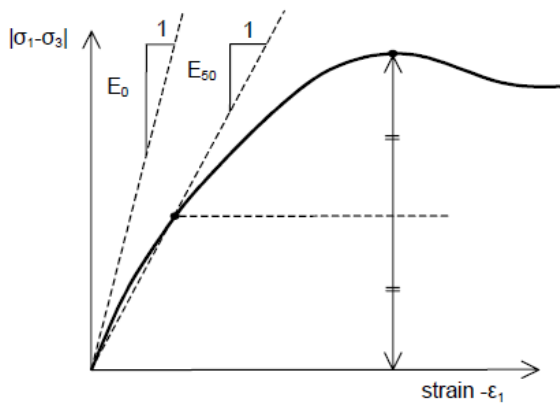
$$K_u = \frac{2G(1+\nu_u)}{3(1-2\nu_u)} \quad \text{dove} \quad G = \frac{E'}{2(1+\nu')} \quad \text{e} \quad \nu_u = 0.495$$

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  $E_{50}$ .

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA - "LE FOSSE" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0259_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011





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 per la fase di primo carico. Inoltre la rigidezza 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 rigidezza 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 rigidezza 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 rigidezza in un calcolo plastico normale è riferita alla geometria

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA - "LE FOSSE" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0259_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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>  <b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p>		
<p align="center">COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA - "LE FOSSE" -          RELAZIONE DI CALCOLO</p>		<p><i>Codice documento</i>          SS0259_F0.doc</p>	<p><i>Rev</i>          F0</p>	<p><i>Data</i>          20/06/2011</p>

## ALLEGATO – LINEE CARATTERISTICHE

AN1 AN2 AN3 AN4 AN5 AN6 AN7 AN8 AN9 AN10 AN11 AN12 AN13 AN14 AN15 AN16 AN17

GALLERIA LE FOSSE - SINTESI LC\_DIAGNOSI - GHIAIE DI MESSINA

Geometrical Data			SEZ. STANDARD							SEZ. STANDARD+1.05							SEZ. ALLARGO		SEZ. TIPO C1+1.05+PIAZ	
			ri	[m]	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	8	8	8	8	8	8	8,75	8,75	9,5	9,5
Equivalent Tunnel Radius	ri	[m]	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	8	8	8	8	8	8	8,75	8,75	9,5	9,5	
Overburden	H	[m]	45	60	80	100	150	200	230	45	60	80	100	150	200	150	200	120	200	
Unit weight of the rock mass	g	[kN/m3]	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	

**Resistance Parameters**

Cohesion in the elastic zone	Cel	[kPa]	5	5	5	5	40	40	40	5	5	5	5	40	40	40	40	40	40
Cohesion in the plastic zone	Cpl	[kPa]	0,4	0,4	0,4	0,4	30	30	30	0,4	0,4	0,4	0,4	30	30	30	30	30	30
Friction angle in the elastic zone	Φel	[°]	39	39	39	39	37	37	37	39	39	39	39	37	37	37	37	37	37
Friction angle in the plastic zone	Φpl	[°]	34	34	34	34	32	32	32	34	34	34	34	32	32	32	32	32	32

**Elastic parameters**

Deformation moduls in elastic zone	Eel	[MPa]	275	350	450	450	650	650	650	275	350	450	450	650	650	650	650	650	650
Deformation moduls in plastic zone	Epl	[MPa]	275	350	450	450	650	650	650	275	350	450	450	650	650	650	650	650	650
Poisson's ratio	ν	[-]	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	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	ΔV	[%]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

**DEFORMATION RESULTS**

Critical pressure	Pcr	[MPa]	0,31	0,42	0,56	0,70	1,10	1,48	1,71	0,31	0,42	0,56	0,70	1,10	1,48	1,10	1,48	0,88	1,48
Max cavity def. (2D)	u2d∞	[cm]	INST	INST	INST	INST	59,7	INST	INST	INST	INST	INST	INST	63,7	INST	69,7	INST	49,7	INST
Rpl (2D)/Ro	Rpmax/r0	[-]	11,8	13,3	14,9	16,3	4,1	4,6	4,9	11,8	13,3	14,9	16,3	4,1	4,6	4,1	4,6	3,7	4,6
Cavity def. at the face	uf	[cm]	57,0	64,5	78,8	111,8	14,1	22,7	28,6	55,8	68,9	84,2	119,4	15,1	24,2	16,5	16,5	12,4	28,9
Rpl (Face)/Ro	Rpface/r0	[-]	4,2	4,6	5,0	5,3	2,0	2,2	2,3	4,2	4,6	5,0	5,3	2,0	2,2	2,0	2,0	1,9	2,2

INST = Deformazione maggiore di 80cm

**PROGETTO**

PONTE SULLO STRETTO  
 GALLERIA LE FOSSE  
 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	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]

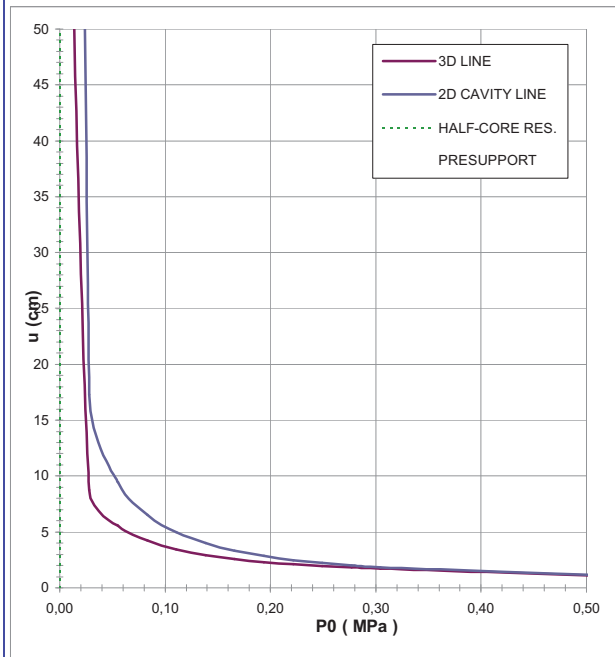
**FINAL LINING**

**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]	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	$u_{eq}$ [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 LE FOSSE  
 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	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]

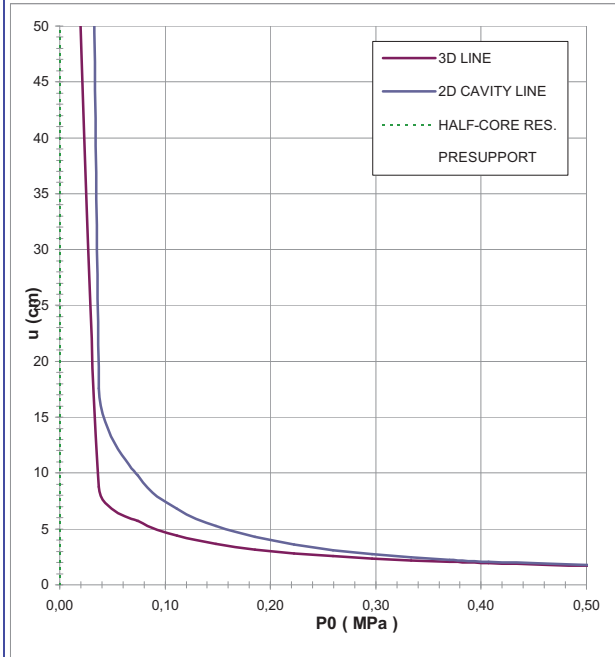
**FINAL LINING**

**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]	0,42					
Max cavity def. (2D)	$u_{2d_{max}}$ [cm]	494,60					
Rpl (2D)/Ro	$R_{p_{max}}/r_0$ [-]	13,28					
Cavity def. at the face	$u_f$ [cm]	64,51					
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	$u_{eq}$ [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 LE FOSSE  
 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	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]

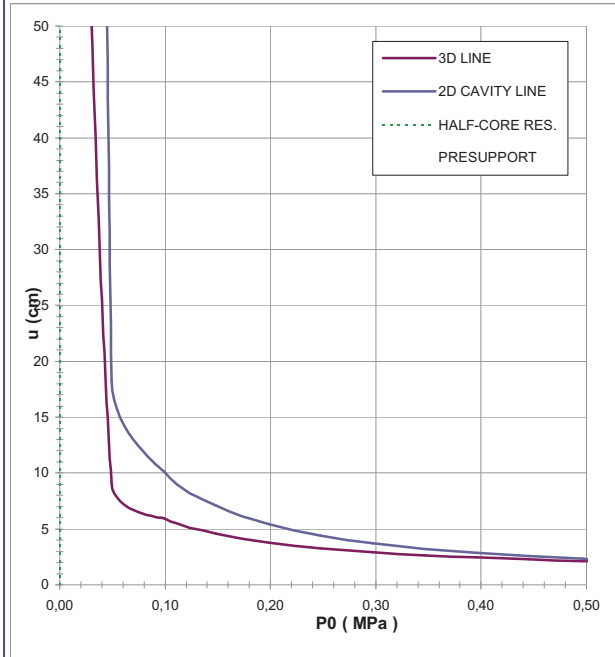
**FINAL LINING**

**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]	0,56					
Max cavity def. (2D)	$u_{2d_{max}}$ [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	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 LE FOSSE  
 SEZIONE TIPO STANDARD, COPERTURA 100m - 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]
100 [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]

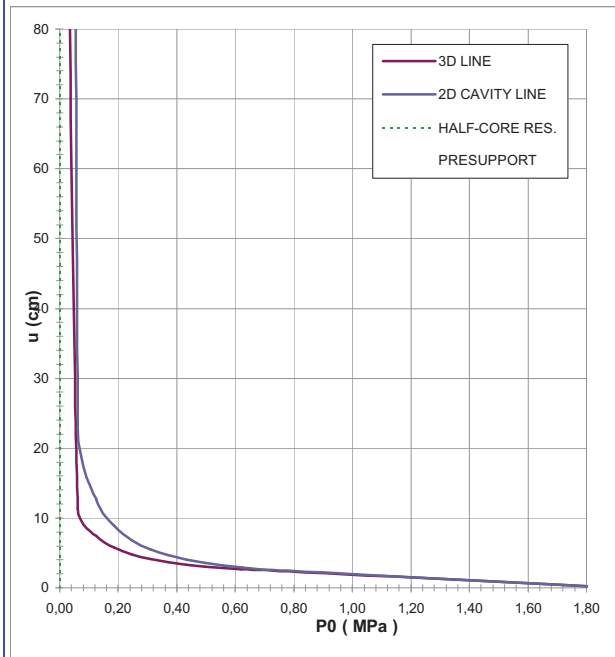
**FINAL LINING**

**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	$P_{cr}$ [MPa]	0,70					
Max cavity def. (2D)	$u_{2d_{max}}$ [cm]	960,18					
Rpl (2D)/Ro	$R_{p_{max}}/r_0$ [-]	16,26					
Cavity def. at the face	$u_f$ [cm]	111,83					
Rpl (Face)/Ro	$R_{p_{face}}/r_0$ [-]	5,27					
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 LE FOSSE  
 SEZIONE TIPO STANDARD, COPERTURA 150m - GHIAIE DI MESSINA, GR.2

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]
150 [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	$\Phi_{pl}$

40 [kPa]	[kPa]
30 [kPa]	[kPa]
37 [°]	[°]
32 [°]	[°]

[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	$\Delta V$

650 [MPa]	[MPa]
650 [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)	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	Eb	[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]

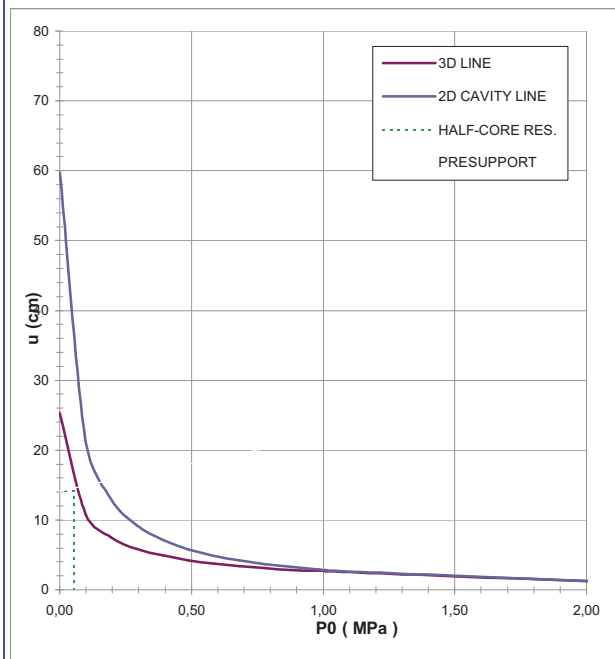
**FINAL LINING**

**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]	1,10					
Max cavity def. (2D)	$u_{2d_{max}}$ [cm]	59,73					
Rpl (2D)/Ro	$R_{p_{max}}/r_0$ [-]	4,09					
Cavity def. at the face	$u_f$ [cm]	14,13					
Rpl (Face)/Ro	$R_{p_{face}}/r_0$ [-]	1,99					
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 LE FOSSE  
 SEZIONE TIPO STANDARD, COPERTURA 200m - GHIAIE DI MESSINA, GR.2

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]
200 [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	$\Phi_{pl}$

40 [kPa]	[kPa]
30 [kPa]	[kPa]
37 [°]	[°]
32 [°]	[°]

[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	$\Delta V$

650 [MPa]	[MPa]
650 [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)	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	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]

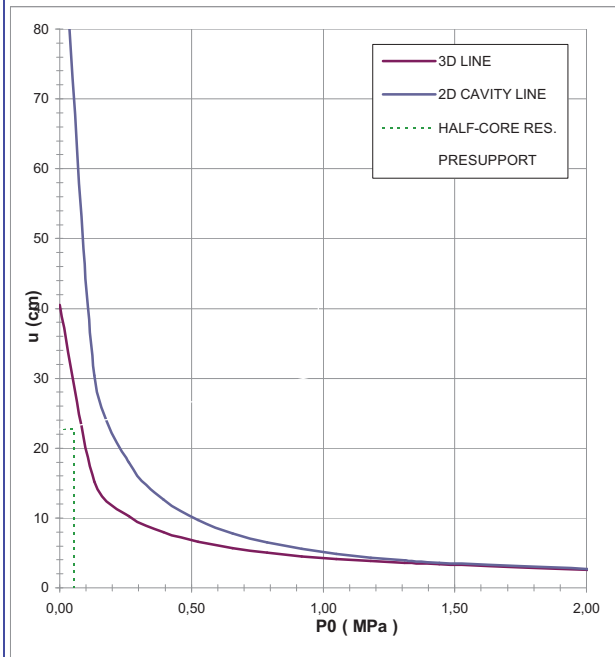
**FINAL LINING**

**CONCRETE**

Elastic Modulus	Ec	[MPa]
Poisson's Ratio	$\nu$	[-]
Thickness	T	[cm]
Concrete compression strenght	fc <sub>d</sub>	[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]	1,48					
Max cavity def. (2D)	$u_{2d\max}$ [cm]	102,65					
Rpl (2D)/Ro	$R_{p_{max}}/r_0$ [-]	4,64					
Cavity def. at the face	$u_f$ [cm]	22,70					
Rpl (Face)/Ro	$R_{p_{face}}/r_0$ [-]	2,16					
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 LE FOSSE  
 SEZIONE TIPO STANDARD, COPERTURA 230m - GHIAIE DI MESSINA, GR.2

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]
230 [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	$\Phi_{pl}$

40 [kPa]	[kPa]
30 [kPa]	[kPa]
37 [°]	[°]
32 [°]	[°]

[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	$\Delta V$

650 [MPa]	[MPa]
650 [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)	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	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	fy <sub>d</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	Ka	[-]
Stiffness reduction factor for Rock Bolts	Kbolt	[-]
Distance of support	d	[m]
Total Stiffness	Kt	[MPa/m]

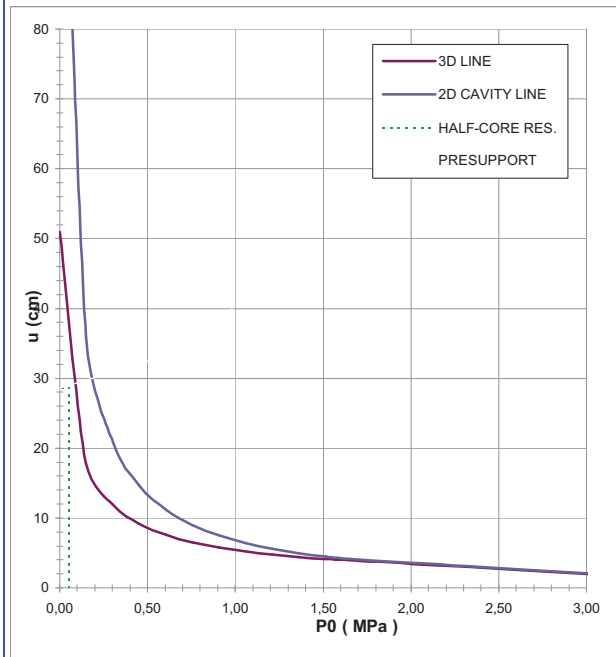
**FINAL LINING**

**CONCRETE**

Elastic Modulus	Ec	[MPa]
Poisson's Ratio	$\nu$	[-]
Thickness	T	[cm]
Concrete compression strenght	fc <sub>d</sub>	[MPa]

**STEEL REINFORCEMENTS**

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



DEFORMATION RESULTS							
		AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6
Critical pressure	Pcr [MPa]	1,71					
Max cavity def. (2D)	$u_{2d\max}$ [cm]	133,56					
Rpl (2D)/Ro	$R_{p_{max}}/r_0$ [-]	4,94					
Cavity def. at the face	$u_f$ [cm]	28,57					
Rpl (Face)/Ro	$R_{p_{face}}/r_0$ [-]	2,25					
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 LE FOSSE  
 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	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)	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]

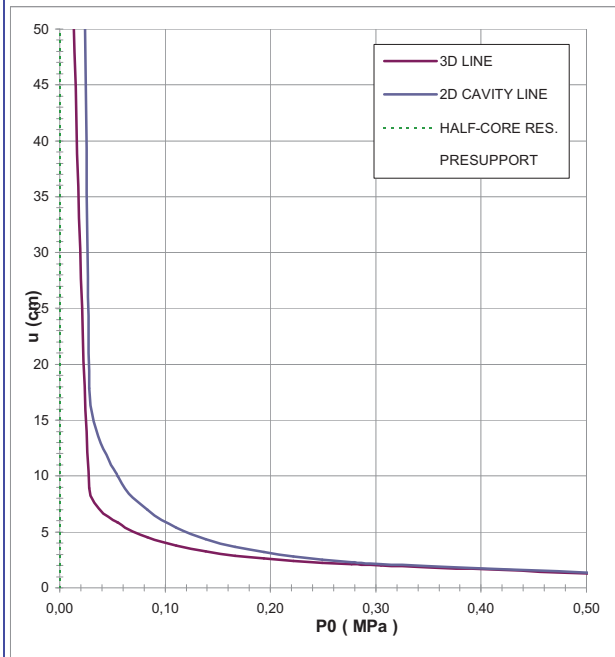
**FINAL LINING**

**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]	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	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 LE FOSSE  
 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	$C_{el}$
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	$E_{el}$
Deformation moduls in plastic zone	$E_{pl}$
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	$A_{el}$	[cm <sup>2</sup> ]
Reinforcement's tensile strength	$f_{td}$	[MPa]
Drilling/Grouting Diameter	$D_p$	[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	$D_n$	[mm]
Jet Cohesion	$c_{jet}$	[kPa]
Design cohesion for the soil	$c_s$	[kPa]
Cohesion improvement	$\Delta c$	[kPa]

**SUPPORT DATA (Therapy Phase)**

**SHOTCRETE**

Elastic Modulus	$E_{sb}$	[MPa]
Poisson's Ratio	$\nu$	[-]
Thickness	t	[cm]
Compression strenght (medium)	$f_{cm}$	[MPa]

**ROCK BOLTS**

Bolt length	L	[m]
Bolt diameter	d	[cm]
Circumferential bolt spacing	s	[m]
Longitudinal bolt spacing	a	[m]
Bolt elastic moduls	$E_b$	[MPa]
Ultimate failure load	$F_u$	[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	$A_s$	[cm <sup>2</sup> ]
HSL	IPN 180	Moment of Inertia	$I_y$	[cm <sup>4</sup> ]
HSU	IPN 200	Yielding strength	$f_{yd}$	[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	$K_a$	[-]
Stiffness reduction factor for Rock Bolts	$K_{bolt}$	[-]
Distance of support	d	[m]
Total Stiffness	$K_t$	[MPa/m]

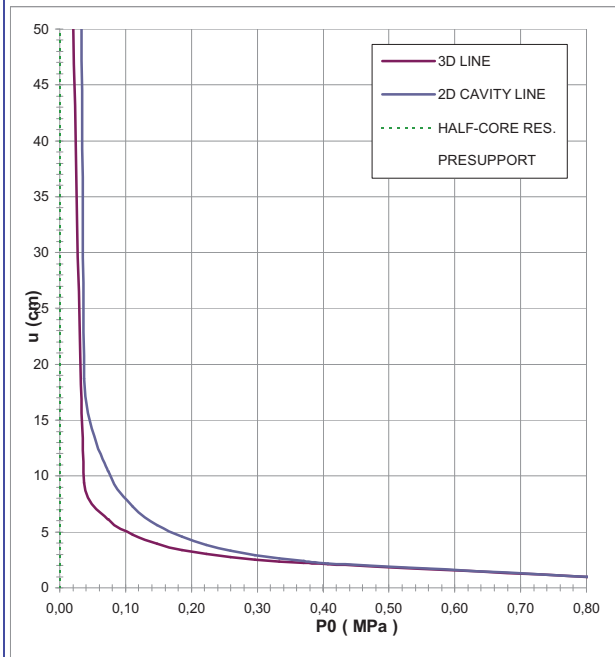
**FINAL LINING**

**CONCRETE**

Elastic Modulus	$E_c$	[MPa]
Poisson's Ratio	$\nu$	[-]
Thickness	T	[cm]
Concrete compression strenght	$f_{cd}$	[MPa]

**STEEL REINFORCEMENTS**

Diameter of the steel bars	$\phi$	[mm]
Steel bars spacing	s	[cm]
Number of set	n	[-]
Yielding strength	$f_{yd}$	[MPa]



DEFORMATION RESULTS							
		AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6
Critical pressure	$P_{cr}$ [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	$u_{eq}$ [cm]						
Conv.at equilibrium point	$C_{eq}$ [cm]						
Rpl (eq)/Ro	$R_{p_{eq}}/r_0$ [-]						
Equilibrium pressure	$C_1$ [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 LE FOSSE  
 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]

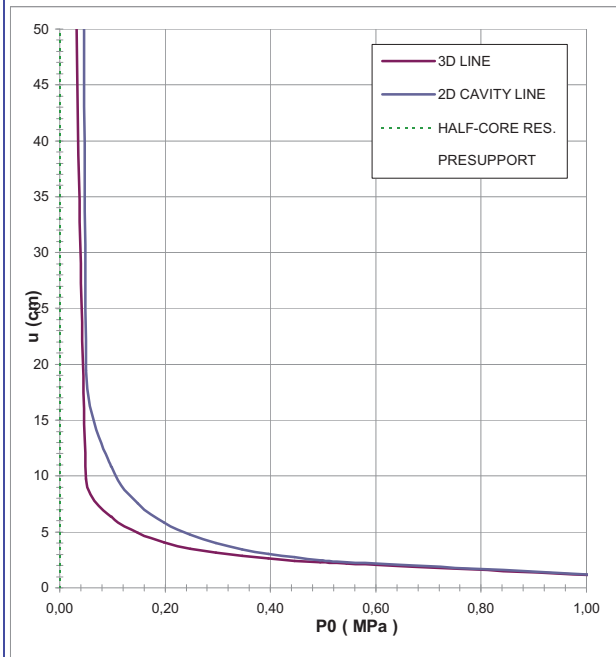
**FINAL LINING**

**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	$P_{cr}$ [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	$u_{eq}$ [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 LE FOSSE  
 SEZIONE TIPO + 1.05m, COPERTURA 100m - 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]
100 [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	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]

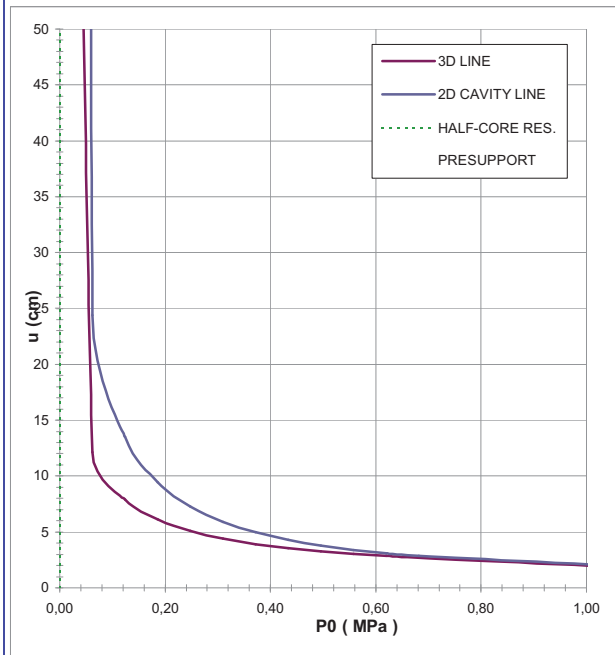
**FINAL LINING**

**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]	0,70					
Max cavity def. (2D)	$u_{2d\max}$ [cm]	1024,19					
Rpl (2D)/Ro	$R_{p_{max}}/r_0$ [-]	16,26					
Cavity def. at the face	$u_f$ [cm]	119,42					
Rpl (Face)/Ro	$R_{p_{face}}/r_0$ [-]	5,27					
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 LE FOSSE  
 SEZIONE TIPO STANDARD+1.05m, COPERTURA 150m - GHIAIE DI MESSINA, GR.2

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]
150 [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	$\Phi_{pl}$

40 [kPa]	[kPa]
30 [kPa]	[kPa]
37 [°]	[°]
32 [°]	[°]

[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	$\Delta V$

650 [MPa]	[MPa]
650 [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)	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	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]

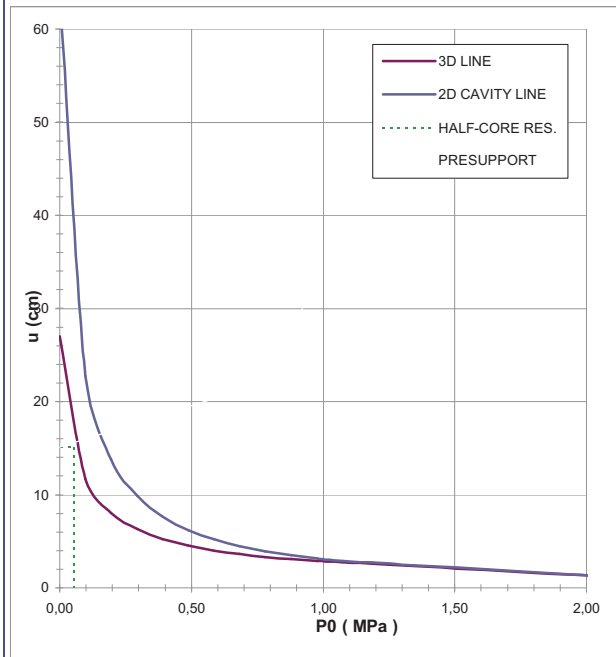
**FINAL LINING**

**CONCRETE**

Elastic Modulus	Ec	[MPa]
Poisson's Ratio	$\nu$	[-]
Thickness	T	[cm]
Concrete compression strenght	fc <sub>d</sub>	[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]	1,10					
Max cavity def. (2D)	$u_{2d\max}$ [cm]	63,71					
Rpl (2D)/Ro	$R_{p_{max}}/r_0$ [-]	4,09					
Cavity def. at the face	$u_f$ [cm]	15,10					
Rpl (Face)/Ro	$R_{p_{face}}/r_0$ [-]	1,99					
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 LE FOSSE  
 SEZIONE TIPO STANDARD+1.05m, COPERTURA 200m - GHIAIE DI MESSINA, GR.2

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

**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
8 [m]	[m]
200 [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> ]

40 [kPa]	[kPa]
30 [kPa]	[kPa]
37 [°]	[°]
32 [°]	[°]

[kPa]	[kPa]
[kPa]	[kPa]
[°]	[°]
[°]	[°]

[kPa]	[kPa]
[kPa]	[kPa]
[°]	[°]
[°]	[°]

650 [MPa]	[MPa]
650 [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)	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	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	fy <sub>d</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	Ka	[-]
Stiffness reduction factor for Rock Bolts	Kbolt	[-]
Distance of support	d	[m]
Total Stiffness	Kt	[MPa/m]

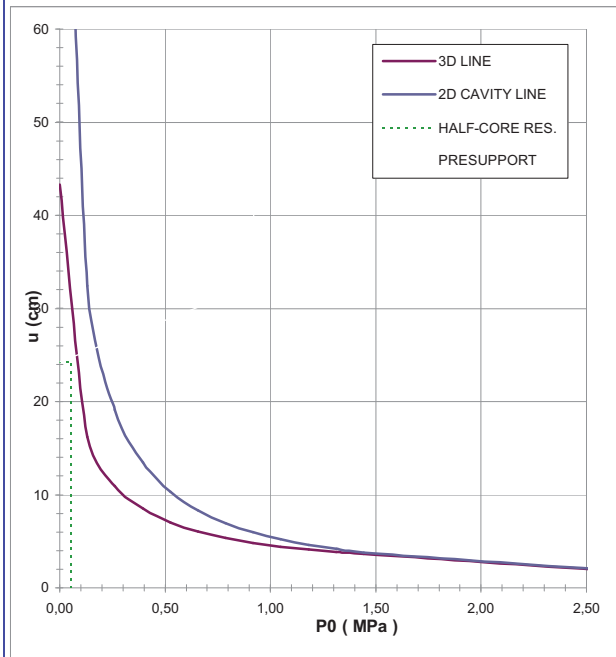
**FINAL LINING**

**CONCRETE**

Elastic Modulus	Ec	[MPa]
Poisson's Ratio	$\nu$	[-]
Thickness	T	[cm]
Concrete compression strenght	fc <sub>d</sub>	[MPa]

**STEEL REINFORCEMENTS**

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



DEFORMATION RESULTS							
		AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6
Critical pressure	$P_{cr}$ [MPa]	1,48					
Max cavity def. (2D)	$u_{2d_{max}}$ [cm]	109,49					
Rpl (2D)/Ro	$R_{p_{max}}/r_0$ [-]	4,64					
Cavity def. at the face	$u_f$ [cm]	24,24					
Rpl (Face)/Ro	$R_{p_{face}}/r_0$ [-]	2,16					
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 LE FOSSE  
 SEZIONE TIPO ALLARGATA, COPERTURA 150m - GHIAIE DI MESSINA, GR.2

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]
150 [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	$\Phi_{pl}$

40 [kPa]	[kPa]
30 [kPa]	[kPa]
37 [°]	[°]
32 [°]	[°]

[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	$\Delta V$

650 [MPa]	[MPa]
650 [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]

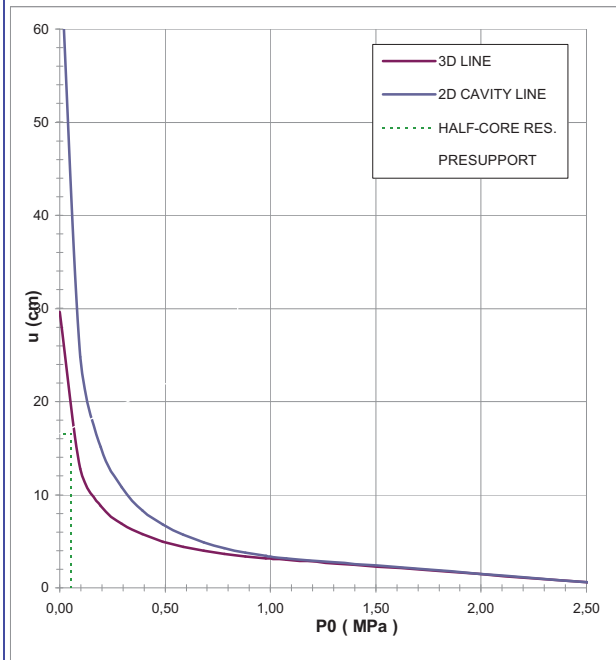
**FINAL LINING**

**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]	1,10					
Max cavity def. (2D)	$u_{2d\max}$ [cm]	69,68					
Rpl (2D)/Ro	$R_{p_{max}}/r_0$ [-]	4,09					
Cavity def. at the face	$u_f$ [cm]	16,54					
Rpl (Face)/Ro	$R_{p_{face}}/r_0$ [-]	1,99					
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 LE FOSSE  
 SEZIONE TIPO ALLARGATA, COPERTURA 200m - GHIAIE DI MESSINA, GR.2

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]
200 [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	$\Phi_{pl}$

40 [kPa]	[kPa]
30 [kPa]	[kPa]
37 [°]	[°]
32 [°]	[°]

[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	$\Delta V$

650 [MPa]	[MPa]
650 [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]

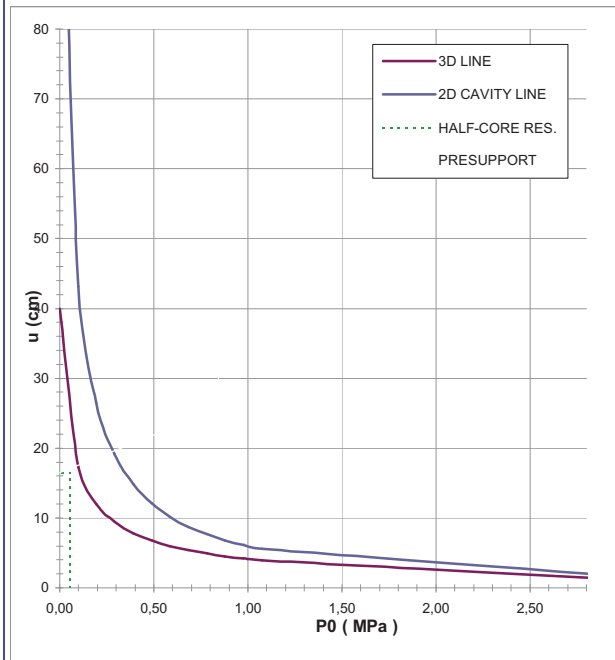
**FINAL LINING**

**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]	1,48					
Max cavity def. (2D)	$u_{2d_{max}}$ [cm]	119,75					
Rpl (2D)/Ro	$R_{p_{max}}/r_0$ [-]	4,64					
Cavity def. at the face	$u_f$ [cm]	16,54					
Rpl (Face)/Ro	$R_{p_{face}}/r_0$ [-]	1,99					
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 LE FOSSE  
 SEZIONE TIPO C1+1.05+PIAZZOLA COPERTURA 120m - GHIAIE DI MESSINA, GR.2

**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]
120 [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	$\Phi_{pl}$

40 [kPa]	[kPa]
30 [kPa]	[kPa]
37 [°]	[°]
32 [°]	[°]

[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	$\Delta V$

650 [MPa]	[MPa]
650 [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)	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	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]

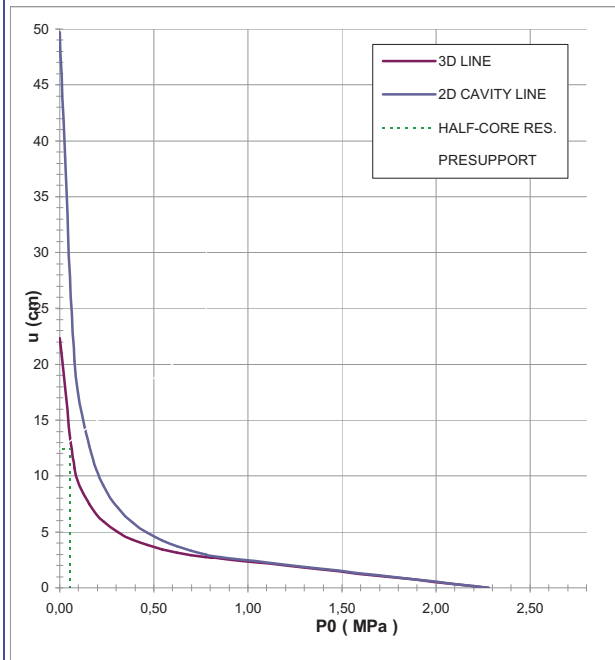
**FINAL LINING**

**CONCRETE**

Elastic Modulus	Ec	[MPa]
Poisson's Ratio	$\nu$	[-]
Thickness	T	[cm]
Concrete compression strenght	fc <sub>d</sub>	[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]	0,88					
Max cavity def. (2D)	$u_{2d_{max}}$ [cm]	49,74					
Rpl (2D)/Ro	$R_{p_{max}}/r_0$ [-]	3,71					
Cavity def. at the face	$u_f$ [cm]	12,45					
Rpl (Face)/Ro	$R_{p_{face}}/r_0$ [-]	1,87					
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 LE FOSSE  
 SEZIONE TIPO C1+1.05+PIAZZOLA COPERTURA 200m - GHIAIE DI MESSINA, GR.2

**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]
200 [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	$\Phi_{pl}$

40 [kPa]	[kPa]
30 [kPa]	[kPa]
37 [°]	[°]
32 [°]	[°]

[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	$\Delta V$

650 [MPa]	[MPa]
650 [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)	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	Eb	[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]

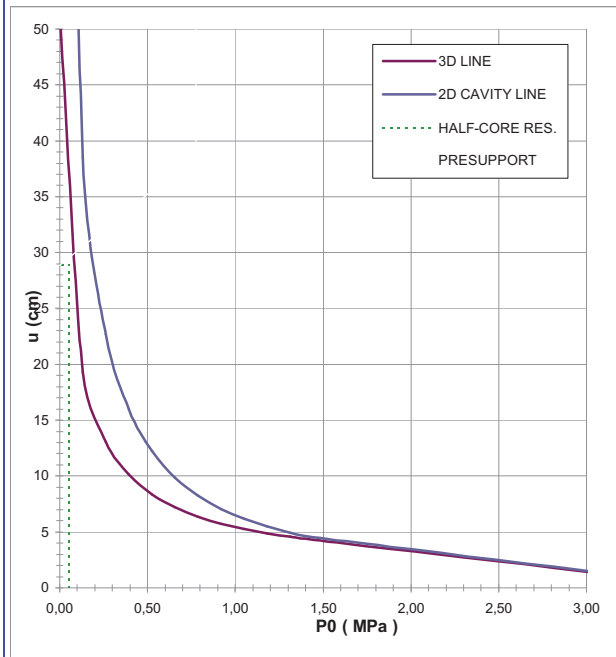
**FINAL LINING**

**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]	1,48					
Max cavity def. (2D)	$u_{2d_{max}}$ [cm]	130,02					
Rpl (2D)/Ro	$R_{p_{max}}/r_0$ [-]	4,64					
Cavity def. at the face	$u_f$ [cm]	28,88					
Rpl (Face)/Ro	$R_{p_{face}}/r_0$ [-]	2,17					
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]						

GALLERIA LE FOSSE - SINTESI LC\_DIAGNOSI - SAN PIER NICETO GR1 - C

<b>Geometrical Data</b>			<b>STANDARD</b>		<b>STANDARD +1,05</b>			<b>ALLARGATA</b>		<b>PIAZZ.+1.05</b>
Equivalent Tunnel Radius	ri	[m]	7,5	7,5	8	8	8	8,75	8,75	9,5
Overburden	H	[m]	80	100	80	100	150	80	100	150
Unit weight of the rock mass	g	[kN/m <sup>3</sup> ]	22	22	22	22	22	22	22	22

**Resistance Parameters**

Cohesion in the elastic zone	Cel	[kPa]	50	50	70	50	70	50	50	70
Cohesion in the plastic zone	Cpl	[kPa]	40	40	40	40	40	40	40	40
Friction angle in the elastic zone	Φel	[°]	33	33	33	33	33	33	33	33
Friction angle in the plastic zone	Φpl	[°]	26	26	26	26	26	26	26	26

**Elastic parameters**

Deformation moduls in elastic zone	Eel	[MPa]	450	450	450	450	550	450	450	550
Deformation moduls in plastic zone	Epl	[MPa]	450	450	450	450	550	450	450	550
Poisson's ratio	v	[-]	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

**DEFORMATION RESULTS**

Critical pressure	Pcr	[MPa]	0,76	0,96	0,74	0,96	1,44	0,76	0,96	1,44
Max cavity def. (2D)	u2d <sup>∞</sup>	[cm]	58,4	INST	61,7	INST	INST	68,1	INST	INST
Rpl (2D)/Ro	Rpmax/r0	[-]	4,4	5,1	4,4	5,1	6,5	4,4	5,1	6,5
Cavity def. at the face	uf	[cm]	11,6	17,4	12,3	18,6	31,9	13,6	20,4	38,0
Rpl (Face)/Ro	Rpface/r0	[-]	2,0	2,2	2,0	2,2	2,5	2,0	2,2	2,5

INST = Deformazione maggiore di 80cm

**PROGETTO**

PONTE SULLO STRETTO  
 GALLERIA LE FOSSE  
 SEZIONE TIPO STANDARD, COPERTURA 80m - SAN PIER NICETO GR1 - CGL

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]
22 [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	$\Phi_{pl}$

50 [kPa]	[kPa]
40 [kPa]	[kPa]
33 [°]	[°]
26 [°]	[°]

[kPa]	[kPa]
[kPa]	[kPa]
[°]	[°]
[°]	[°]

[kPa]	[kPa]
[kPa]	[kPa]
[°]	[°]
[°]	[°]

**Elastic parameters**

Deformation moduls in elastic zone	$E_{el}$
Deformation moduls in plastic zone	$E_{pl}$
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	$A_{el}$	[cm <sup>2</sup> ]
Reinforcement's tensile strength	$f_{td}$	[MPa]
Drilling/Grouting Diameter	$D_p$	[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	$D_n$	[mm]
Jet Cohesion	$c_{jet}$	[kPa]
Design cohesion for the soil	$c_s$	[kPa]
Cohesion improvement	$\Delta c$	[kPa]

**SUPPORT DATA (Therapy Phase)**

**SHOTCRETE**

Elastic Modulus	$E_{sb}$	[MPa]
Poisson's Ratio	$\nu$	[-]
Thickness	t	[cm]
Compression strenght (medium)	$f_{cm}$	[MPa]

**ROCK BOLTS**

Bolt length	L	[m]
Bolt diameter	d	[cm]
Circumferential bolt spacing	s	[m]
Longitudinal bolt spacing	a	[m]
Bolt elastic moduls	$E_b$	[MPa]
Ultimate failure load	$F_u$	[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	$A_s$	[cm <sup>2</sup> ]
HSL	IPN 180	Moment of Inertia	$I_y$	[cm <sup>4</sup> ]
HSU	IPN 200	Yielding strength	$f_{yd}$	[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	$K_a$	[-]
Stiffness reduction factor for Rock Bolts	$K_{bolt}$	[-]
Distance of support	d	[m]
Total Stiffness	$K_t$	[MPa/m]

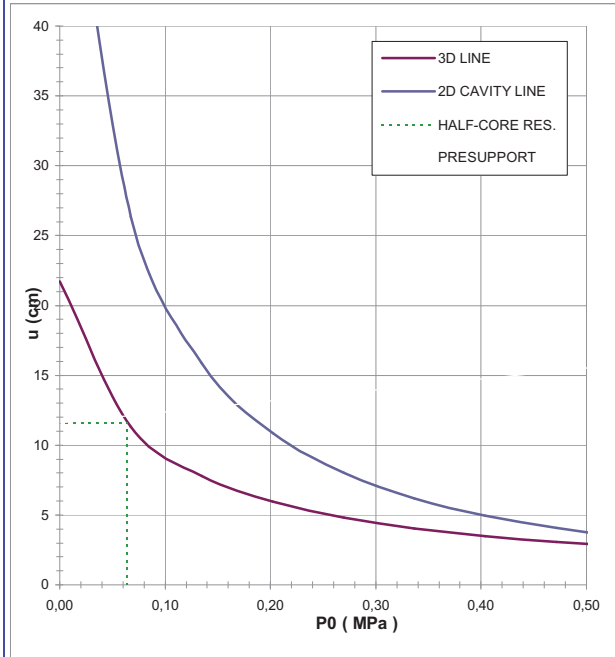
**FINAL LINING**

**CONCRETE**

Elastic Modulus	$E_c$	[MPa]
Poisson's Ratio	$\nu$	[-]
Thickness	T	[cm]
Concrete compression strenght	$f_{cd}$	[MPa]

**STEEL REINFORCEMENTS**

Diameter of the steel bars	$\phi$	[mm]
Steel bars spacing	s	[cm]
Number of set	n	[-]
Yielding strength	$f_{yd}$	[MPa]



DEFORMATION RESULTS							
		AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6
Critical pressure	$P_{cr}$ [MPa]	0,76					
Max cavity def. (2D)	$u_{2d_{max}}$ [cm]	58,40					
Rpl (2D)/Ro	$R_{p_{max}}/r_0$ [-]	4,44					
Cavity def. at the face	$u_f$ [cm]	11,59					
Rpl (Face)/Ro	$R_{p_{face}}/r_0$ [-]	1,98					
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	$C_1$ [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 LE FOSSE  
 SEZIONE TIPO STANDARD, COPERTURA 100m - SAN PIER NICETO GR1 - CGL

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]
100 [m]	[m]
22 [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	$\Phi_{pl}$

50 [kPa]	[kPa]
40 [kPa]	[kPa]
33 [°]	[°]
26 [°]	[°]

[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]

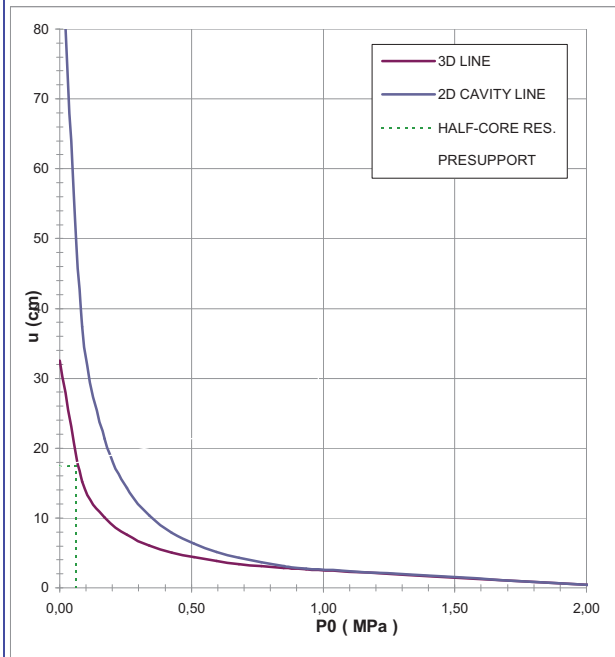
**FINAL LINING**

**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	$P_{cr}$ [MPa]	0,96					
Max cavity def. (2D)	$u_{2d_{max}}$ [cm]	95,75					
Rpl (2D)/Ro	$R_{p_{max}}/r_0$ [-]	5,10					
Cavity def. at the face	$u_f$ [cm]	17,43					
Rpl (Face)/Ro	$R_{p_{face}}/r_0$ [-]	2,15					
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 LE FOSSE  
 SEZIONE TIPO ALLARGATA (+1.05), COPERTURA 80m - SAN PIER NICETO GR1 - CGL

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
8 [m]	[m]
80 [m]	[m]
22 [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> ]

70 [kPa]	[kPa]
40 [kPa]	[kPa]
33 [°]	[°]
26 [°]	[°]

[kPa]	[kPa]
[kPa]	[kPa]
[°]	[°]
[°]	[°]

[kPa]	[kPa]
[kPa]	[kPa]
[°]	[°]
[°]	[°]

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]

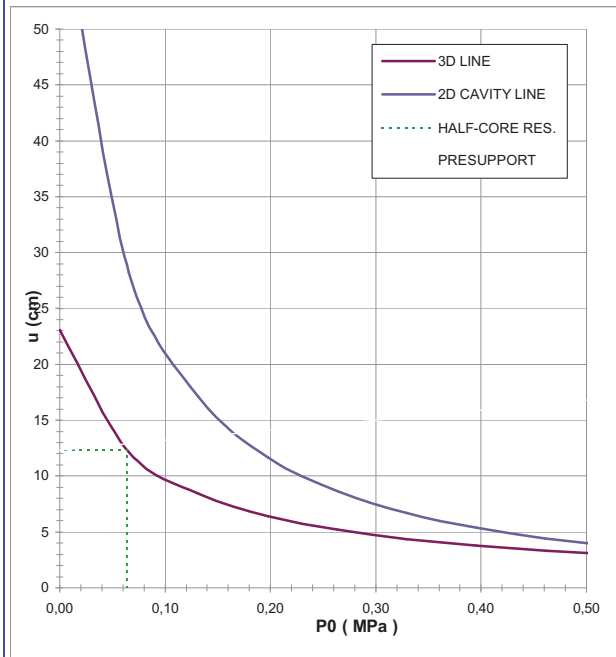
**FINAL LINING**

**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]	0,74					
Max cavity def. (2D)	$u_{2d\max}$ [cm]	61,71					
Rpl (2D)/Ro	$R_{p_{max}}/r_0$ [-]	4,39					
Cavity def. at the face	$u_f$ [cm]	12,33					
Rpl (Face)/Ro	$R_{p_{face}}/r_0$ [-]	1,97					
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 LE FOSSE  
 SEZIONE TIPO ALLARGATA (+1.05), COPERTURA 100m - SAN PIER NICETO GR1 - CGL

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
8 [m]	[m]
100 [m]	[m]
22 [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> ]

50 [kPa]	[kPa]
40 [kPa]	[kPa]
33 [°]	[°]
26 [°]	[°]

[kPa]	[kPa]
[kPa]	[kPa]
[°]	[°]
[°]	[°]

[kPa]	[kPa]
[kPa]	[kPa]
[°]	[°]
[°]	[°]

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	$n^\circ$	50	[-]
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	120	[mm]
Grout-soil bond	$\tau_d$	100	[kPa]
Cohesion improvement	$\Delta c$	77,700	[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	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]

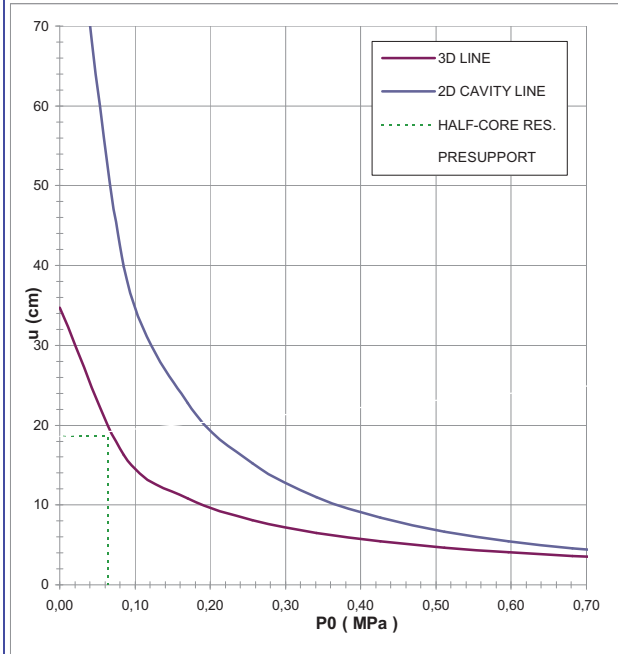
**FINAL LINING**

**CONCRETE**

Elastic Modulus	Ec	[MPa]
Poisson's Ratio	$\nu$	[-]
Thickness	T	[cm]
Concrete compression strenght	fc <sub>d</sub>	[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]	0,96					
Max cavity def. (2D)	$u_{2d_{max}}$ [cm]	102,14					
Rpl (2D)/Ro	$Rp_{max}/r0$ [-]	5,10					
Cavity def. at the face	$u_f$ [cm]	18,62					
Rpl (Face)/Ro	$Rp_{face}/r0$ [-]	2,15					
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 LE FOSSE  
 SEZIONE TIPO ALLARGATA (+1.05), COPERTURA 150m - SAN PIER NICETO GR1 - CGL

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
8 [m]	[m]
150 [m]	[m]
22 [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> ]

70 [kPa]	[kPa]
40 [kPa]	[kPa]
33 [°]	[°]
26 [°]	[°]

[kPa]	[kPa]
[kPa]	[kPa]
[°]	[°]
[°]	[°]

[kPa]	[kPa]
[kPa]	[kPa]
[°]	[°]
[°]	[°]

550 [MPa]	[MPa]
550 [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)	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	Eb	[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]

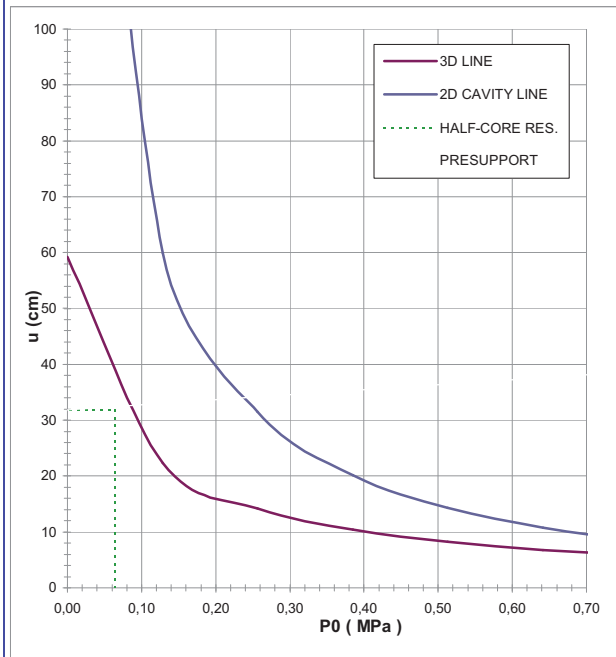
**FINAL LINING**

**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]	1,44					
Max cavity def. (2D)	$u_{2d_{max}}$ [cm]	205,50					
Rpl (2D)/Ro	$R_{p_{max}}/r_0$ [-]	6,51					
Cavity def. at the face	$u_f$ [cm]	31,87					
Rpl (Face)/Ro	$R_{p_{face}}/r_0$ [-]	2,50					
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 LE FOSSE  
 SEZIONE TIPO ALLARGO, COPERTURA 80m - SAN PIER NICETO GR1 - CGL

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

**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
8,75 [m]	[m]
80 [m]	[m]
22 [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> ]

50 [kPa]	[kPa]
40 [kPa]	[kPa]
33 [°]	[°]
26 [°]	[°]

[kPa]	[kPa]
[kPa]	[kPa]
[°]	[°]
[°]	[°]

[kPa]	[kPa]
[kPa]	[kPa]
[°]	[°]
[°]	[°]

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	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]

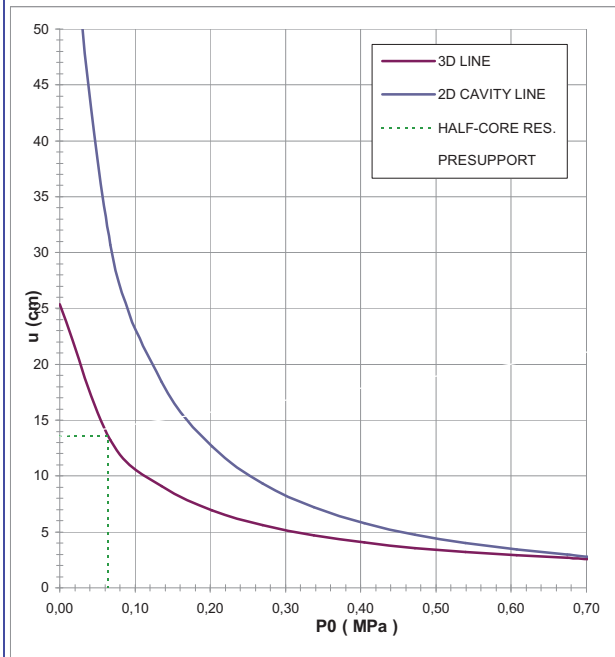
**FINAL LINING**

**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	$P_{cr}$ [MPa]	0,76					
Max cavity def. (2D)	$u_{2d_{max}}$ [cm]	68,14					
Rpl (2D)/Ro	$R_{p_{max}}/r_0$ [-]	4,44					
Cavity def. at the face	$u_f$ [cm]	13,57					
Rpl (Face)/Ro	$R_{p_{face}}/r_0$ [-]	1,98					
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 LE FOSSE  
 SEZIONE TIPO ALLARGO, COPERTURA 100m - SAN PIER NICETO GR1 - CGL

**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
8,75 [m]	[m]
100 [m]	[m]
22 [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> ]

50 [kPa]	[kPa]
40 [kPa]	[kPa]
33 [°]	[°]
26 [°]	[°]

[kPa]	[kPa]
[kPa]	[kPa]
[°]	[°]
[°]	[°]

[kPa]	[kPa]
[kPa]	[kPa]
[°]	[°]
[°]	[°]

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	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	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	fy <sub>d</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	Ka	[-]
Stiffness reduction factor for Rock Bolts	Kbolt	[-]
Distance of support	d	[m]
Total Stiffness	Kt	[MPa/m]

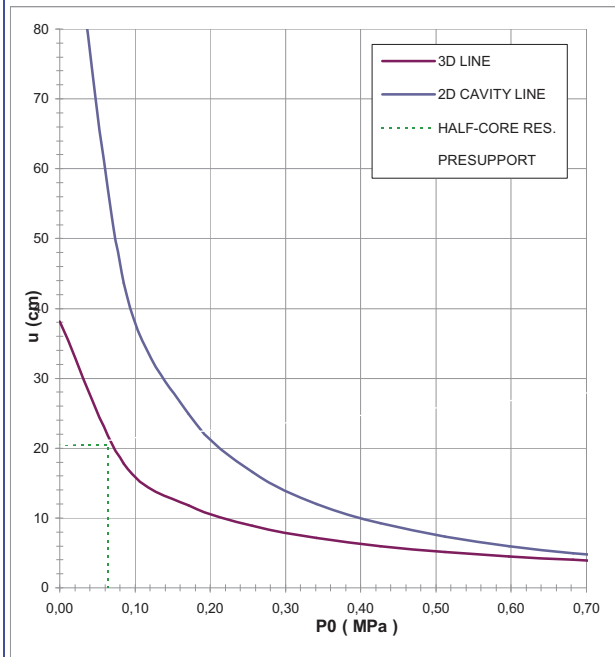
**FINAL LINING**

**CONCRETE**

Elastic Modulus	Ec	[MPa]
Poisson's Ratio	$\nu$	[-]
Thickness	T	[cm]
Concrete compression strenght	fc <sub>d</sub>	[MPa]

**STEEL REINFORCEMENTS**

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



DEFORMATION RESULTS							
		AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6
Critical pressure	Pcr [MPa]	0,96					
Max cavity def. (2D)	$u_{2d\max}$ [cm]	111,71					
Rpl (2D)/Ro	$R_{p_{max}}/r_0$ [-]	5,10					
Cavity def. at the face	$u_f$ [cm]	20,40					
Rpl (Face)/Ro	$R_{p_{face}}/r_0$ [-]	2,16					
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 LE FOSSE  
 SEZIONE TIPO C1-1.05+PIAZZOLA, COPERTURA 150m - SAN PIER NICETO GR1 - CGL

**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]
150 [m]	[m]
22 [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	$\Phi_{pl}$

70 [kPa]	[kPa]
40 [kPa]	[kPa]
33 [°]	[°]
26 [°]	[°]

[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	$\Delta V$

550 [MPa]	[MPa]
550 [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]

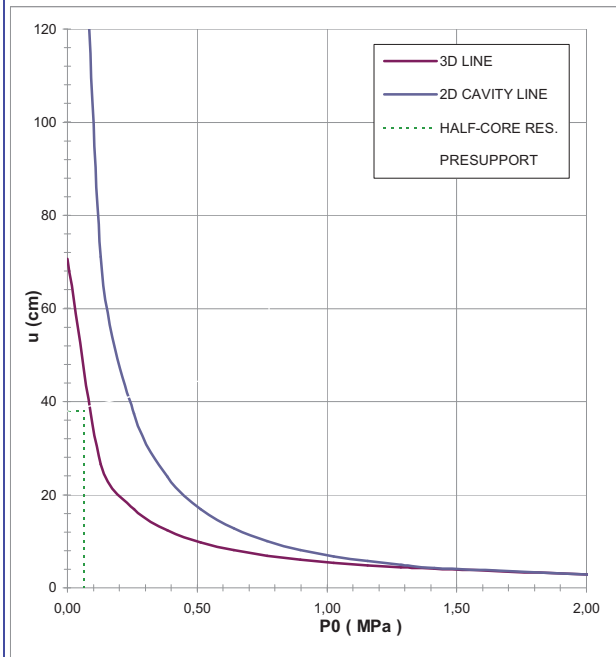
**FINAL LINING**

**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]	1,44					
Max cavity def. (2D)	$u_{2d_{max}}$ [cm]	244,03					
Rpl (2D)/Ro	$Rp_{max}/r0$ [-]	6,51					
Cavity def. at the face	$u_f$ [cm]	37,98					
Rpl (Face)/Ro	$Rp_{face}/r0$ [-]	2,50					
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]						

GALLERIA LE FOSSE - SINTESI LC\_DIAGNOSI - SAN PIER NICETO GR2 - CG

<b>Geometrical Data</b>			<b>STANDARD</b>		<b>STANDARD (+1.05)</b>		<b>ALLARGATA</b>		<b>PIAZZ+1.05</b>
Equivalent Tunnel Radius	ri	[m]	7,5	7,5	8	8	8,75	8,75	9,5
Overburden	H	[m]	45	60	45	60	45	60	50
Unit weight of the rock mass	$\gamma$	[kN/m <sup>3</sup> ]	22	22	22	22	22	22	22

**Resistance Parameters**

Cohesion in the elastic zone	Cel	[kPa]	25	25	25	25	25	25	25
Cohesion in the plastic zone	Cpl	[kPa]	15	15	15	15	15	15	15
Friction angle in the elastic zone	$\Phi_{el}$	[°]	33	33	33	33	33	33	33
Friction angle in the plastic zone	$\Phi_{pl}$	[°]	26	26	26	26	26	26	26

**Elastic parameters**

Deformation moduls in elastic zone	Eel	[MPa]	200	350	200	350	200	350	350
Deformation moduls in plastic zone	Epl	[MPa]	200	350	200	350	200	350	350
Poisson's ratio	$\nu$	[-]	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

**DEFORMATION RESULTS**

Critical pressure	Pcr	[MPa]	0,43	0,58	0,43	0,58	0,43	0,58	0,48
Max cavity def. (2D)	u <sub>2d∞</sub>	[cm]	INST	INST	INST	INST	INST	INST	INST
Rpl (2D)/Ro	Rpmax/r0	[-]	5,7	6,8	5,7	6,8	5,7	6,8	6,0
Cavity def. at the face	uf	[cm]	20,5	19,8	21,9	21,1	24,0	23,2	18,1
Rpl (Face)/Ro	Rpface/r0	[-]	2,3	2,6	2,3	2,6	2,3	2,6	2,4

INST = Deformazione maggiore di 80cm



**PROGETTO**

PONTE SULLO STRETTO  
 GALLERIA LE FOSSE  
 SEZIONE STANDARD, COPERTURA 45m - SAN PIER NICETO GR2 - CGL

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

**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
7,5 [m]	[m]
45 [m]	[m]
22 [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> ]

25 [kPa]	[kPa]
15 [kPa]	[kPa]
33 [°]	[°]
26 [°]	[°]

[kPa]	[kPa]
[kPa]	[kPa]
[°]	[°]
[°]	[°]

[kPa]	[kPa]
[kPa]	[kPa]
[°]	[°]
[°]	[°]

200 [MPa]	[MPa]
200 [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)	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	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]

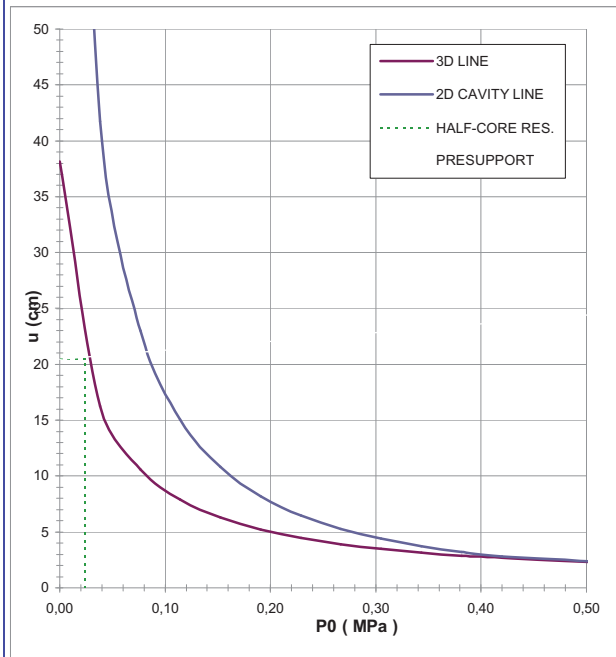
**FINAL LINING**

**CONCRETE**

Elastic Modulus	Ec	[MPa]
Poisson's Ratio	$\nu$	[-]
Thickness	T	[cm]
Concrete compression strenght	fc <sub>d</sub>	[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]	0,43					
Max cavity def. (2D)	$u_{2d\max}$ [cm]	120,6					
Rpl (2D)/Ro	$R_{p_{max}}/r_0$ [-]	5,66					
Cavity def. at the face	$u_f$ [cm]	20,47					
Rpl (Face)/Ro	$R_{p_{face}}/r_0$ [-]	2,30					
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 LE FOSSE  
 SEZIONE TIPO STANDARD, COPERTURA 60m - SAN PIER NICETO GR2 - CGL

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]
22 [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	$\Phi_{pl}$

25 [kPa]	[kPa]
15 [kPa]	[kPa]
33 [°]	[°]
26 [°]	[°]

[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)	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]

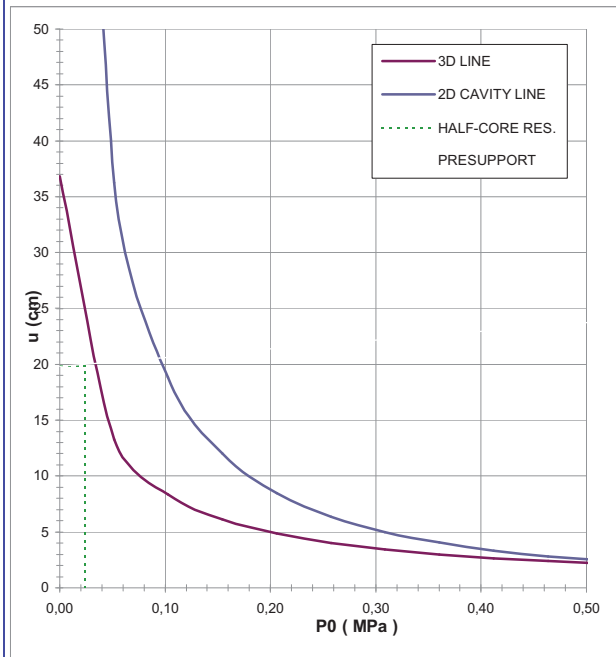
**FINAL LINING**

**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]	0,58					
Max cavity def. (2D)	u <sub>2d</sub> [cm]	131,3					
Rpl (2D)/Ro	R <sub>p,max</sub> /r0 [-]	6,78					
Cavity def. at the face	u <sub>f</sub> [cm]	19,79					
Rpl (Face)/Ro	R <sub>p,face</sub> /r0 [-]	2,56					
Deformation at (x) m	u <sub>(x)</sub> [cm]						
Def.at (x)m regarding gap	u' <sub>(x)</sub> [cm]						
Def.at equilibrium point	ueq [cm]						
Conv.at equilibrium point	Ceq [cm]						
Rpl (eq)/Ro	R <sub>p,eq</sub> /r0 [-]						
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 LE FOSSE  
 SEZIONE TIPO ALLARGATA (+1.05), COPERTURA 45m - SAN PIER NICETO GR2 - CGL

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

**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
8 [m]	[m]
45 [m]	[m]
22 [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> ]

25 [kPa]	[kPa]
15 [kPa]	[kPa]
33 [°]	[°]
26 [°]	[°]

[kPa]	[kPa]
[kPa]	[kPa]
[°]	[°]
[°]	[°]

[kPa]	[kPa]
[kPa]	[kPa]
[°]	[°]
[°]	[°]

200 [MPa]	[MPa]
200 [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)	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]

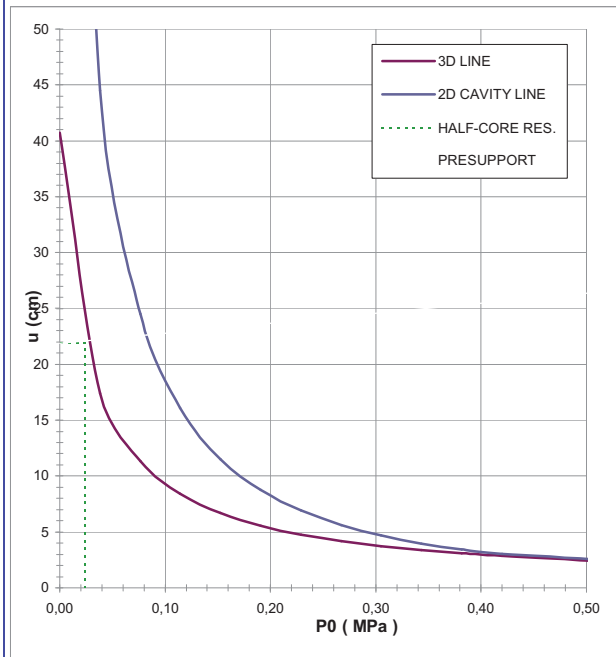
**FINAL LINING**

**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	$P_{cr}$ [MPa]	0,43					
Max cavity def. (2D)	$u_{2d_{max}}$ [cm]	128,7					
Rpl (2D)/Ro	$R_{p_{max}}/r_0$ [-]	5,66					
Cavity def. at the face	$u_f$ [cm]	21,87					
Rpl (Face)/Ro	$R_{p_{face}}/r_0$ [-]	2,30					
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 LE FOSSE  
 SEZIONE TIPO ALLARGATA (+1.05), COPERTURA 60m -SAN PIER NICETO GR2 - CGL

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

**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
8 [m]	[m]
60 [m]	[m]
22 [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> ]

25 [kPa]	[kPa]
15 [kPa]	[kPa]
33 [°]	[°]
26 [°]	[°]

[kPa]	[kPa]
[kPa]	[kPa]
[°]	[°]
[°]	[°]

[kPa]	[kPa]
[kPa]	[kPa]
[°]	[°]
[°]	[°]

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)	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]

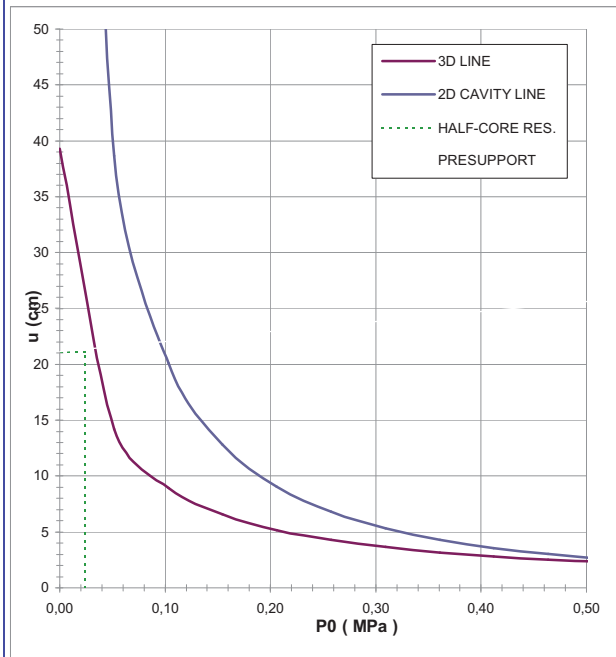
**FINAL LINING**

**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	$P_{cr}$ [MPa]	0,58					
Max cavity def. (2D)	$u_{2d_{max}}$ [cm]	140,10					
Rpl (2D)/Ro	$R_{p_{max}}/r_0$ [-]	6,78					
Cavity def. at the face	$u_f$ [cm]	21,14					
Rpl (Face)/Ro	$R_{p_{face}}/r_0$ [-]	2,56					
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 LE FOSSE  
 SEZIONE TIPO ALLARGO, COPERTURA 45m - SAN PIER NICETO GR2 - CGL

**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
8,75 [m]	[m]
45 [m]	[m]
22 [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> ]

25 [kPa]	[kPa]
15 [kPa]	[kPa]
33 [°]	[°]
26 [°]	[°]

[kPa]	[kPa]
[kPa]	[kPa]
[°]	[°]
[°]	[°]

[kPa]	[kPa]
[kPa]	[kPa]
[°]	[°]
[°]	[°]

200 [MPa]	[MPa]
200 [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)	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]

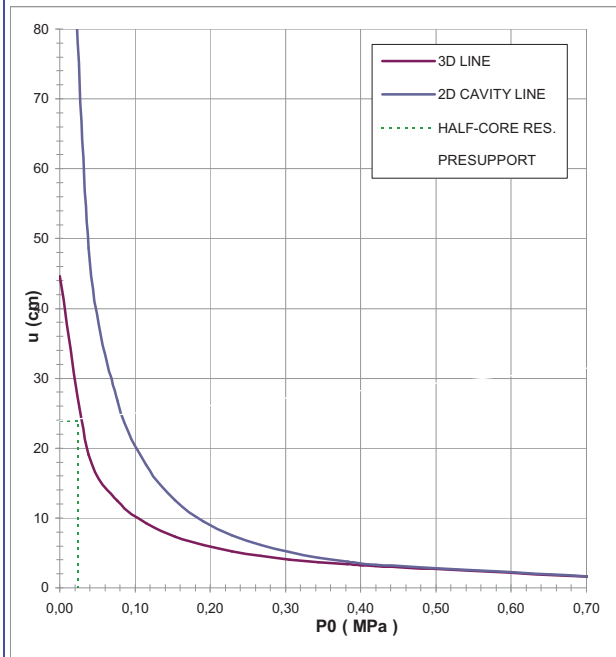
**FINAL LINING**

**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]	0,43					
Max cavity def. (2D)	$u_{2d\max}$ [cm]	140,7					
Rpl (2D)/Ro	$R_{p_{max}}/r_0$ [-]	5,66					
Cavity def. at the face	$u_f$ [cm]	23,96					
Rpl (Face)/Ro	$R_{p_{face}}/r_0$ [-]	2,30					
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 LE FOSSE  
 SEZIONE TIPO ALLARGO, COPERTURA 60m - SAN PIER NICETO GR2 - CGL

**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]
60 [m]	[m]
22 [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	$\Phi_{pl}$

25 [kPa]	[kPa]
15 [kPa]	[kPa]
33 [°]	[°]
26 [°]	[°]

[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]

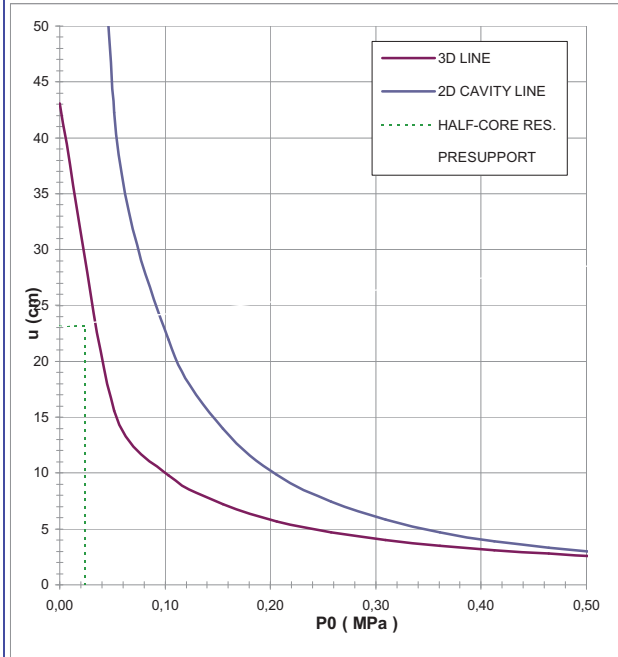
**FINAL LINING**

**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	Pcr [MPa]	0,58					
Max cavity def. (2D)	$u_{2d_{max}}$ [cm]	153,2					
Rpl (2D)/Ro	$R_{p_{max}}/r_0$ [-]	6,78					
Cavity def. at the face	$u_f$ [cm]	23,16					
Rpl (Face)/Ro	$R_{p_{face}}/r_0$ [-]	2,56					
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 LE FOSSE  
 SEZIONE TIPO STANDARD+1.05+PIAZZOLA, COPERTURA 50m - SAN PIER NICETO GR2 - CGL

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]
50 [m]	[m]
22 [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	$\Phi_{pl}$

25 [kPa]	[kPa]
15 [kPa]	[kPa]
33 [°]	[°]
26 [°]	[°]

[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]

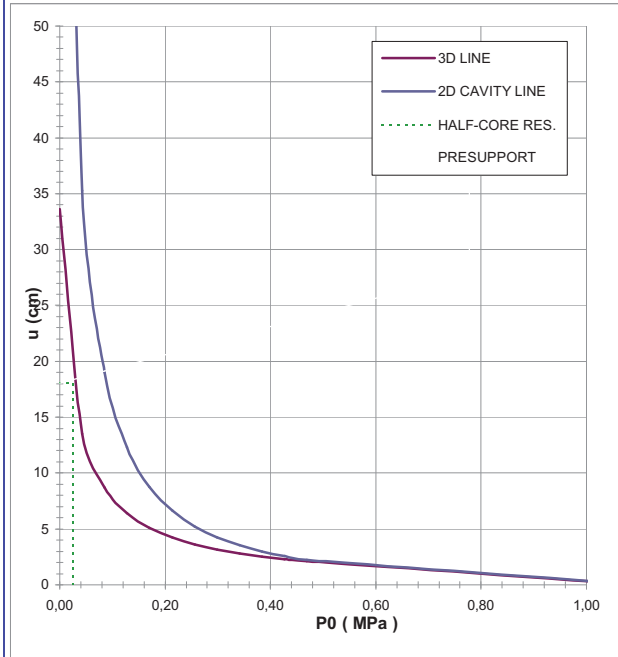
**FINAL LINING**

**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	Pcr [MPa]	0,48					
Max cavity def. (2D)	$u_{2d\max}$ [cm]	110,5					
Rpl (2D)/Ro	$R_{p_{max}}/r_0$ [-]	6,05					
Cavity def. at the face	$u_f$ [cm]	18,06					
Rpl (Face)/Ro	$R_{p_{face}}/r_0$ [-]	2,39					
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]						

GALLERIA LE FOSSE - SINTESI LC\_DIAGNOSI - SERIE GESSOSO SOLFIFE

<b>Geometrical Data</b>			<b>ALLARGATA</b>
Equivalent Tunnel Radius	$r_i$	[m]	8,75
Overburden	H	[m]	65
Unit weight of the rock mass	$\gamma$	[kN/m <sup>3</sup> ]	20

**Resistance Parameters**

Cohesion in the elastic zone	$C_{el}$	[kPa]	35
Cohesion in the plastic zone	$C_{pl}$	[kPa]	20
Friction angle in the elastic zone	$\Phi_{el}$	[°]	28
Friction angle in the plastic zone	$\Phi_{pl}$	[°]	23

**Elastic parameters**

Deformation moduls in elastic zone	$E_{el}$	[MPa]	50
Deformation moduls in plastic zone	$E_{pl}$	[MPa]	50
Poisson's ratio	$\nu$	[-]	0,3
Volume increase in plastic zone	$\Delta V$	[%]	0

**DEFORMATION RESULTS**

Critical pressure	$P_{cr}$	[MPa]	0,66
Max cavity def. (2D)	$u_{2d\infty}$	[cm]	INST
$R_{pl}$ (2D)/ $R_o$	$R_{pmax}/r_0$	[-]	8,3
Cavity def. at the face	$u_f$	[cm]	170,4
$R_{pl}$ (Face)/ $R_o$	$R_{pface}/r_0$	[-]	2,8

INST = Deformazione maggiore di 80cm



**PROGETTO**

PONTE SULLO STRETTO  
 GALLERIA LE FOSSE  
 SEZIONE TIPO ALLARGO, COPERTURA 65m - SERIE GESSOSO SOLFIFERA

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]
65 [m]	[m]
20 [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	$\Phi_{pl}$

35 [kPa]	[kPa]
20 [kPa]	[kPa]
28 [°]	[°]
23 [°]	[°]

[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	$\Delta V$

50 [MPa]	[MPa]
50 [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)	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	Eb	[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]

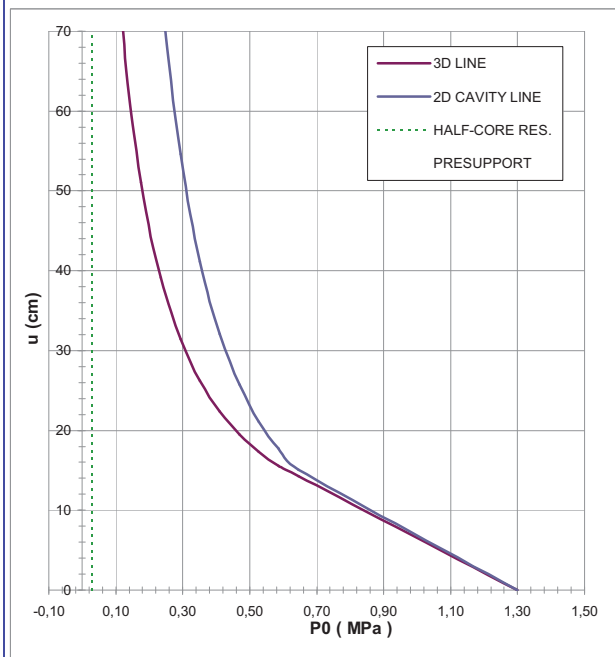
**FINAL LINING**

**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]	0,66					
Max cavity def. (2D)	u <sub>2d=</sub> [cm]	1378,70					
Rpl (2D)/Ro	R <sub>p,max</sub> /r0 [-]	8,25					
Cavity def. at the face	u <sub>f</sub> [cm]	170,39					
Rpl (Face)/Ro	R <sub>p,face</sub> /r0 [-]	2,77					
Deformation at (x) m	u <sub>(x)</sub> [cm]						
Def.at (x)m regarding gap	u' <sub>(x)</sub> [cm]						
Def.at equilibrium point	ueq [cm]						
Conv.at equilibrium point	Ceq [cm]						
Rpl (eq)/Ro	R <sub>p,eq</sub> /r0 [-]						
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]						

Geometrical Data			SEZ. TIPO B2V		SEZ. TIPO B2V+1.05			EZ. TIPO B2V ALLARGATO PIAZZ+1.05		
Equivalent Tunnel Radius	ri	[m]	7,5	7,5	8	8	8	8,75	8,75	9,5
Overburden	H	[m]	80	100	80	100	150	80	100	150
Unit weight of the rock mass	$\gamma$	[kN/m <sup>3</sup> ]	22	22	22	22	22	22	22	19

Resistance Parameters										
Cohesion in the elastic zone	Cel	[kPa]	50	50	50	50	70	50	50	70
Cohesion in the plastic zone	Cpl	[kPa]	40	40	40	40	40	40	40	40
Friction angle in the elastic zone	$\Phi_{el}$	[°]	33	33	33	33	33	33	33	33
Friction angle in the plastic zone	$\Phi_{pl}$	[°]	26	26	26	26	26	26	26	26

Elastic parameters										
Deformation moduls in elastic zone	Eel	[MPa]	450	450	450	450	550	450	450	550
Deformation moduls in plastic zone	Epl	[MPa]	450	450	450	450	550	450	450	550
Poisson's ratio	$\nu$	[-]	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

PRECONFINEMENT (Therapy Phase)										
Number of reinforcements	n°	[-]	60	60	100	100	100	121	121	100
Design Length	L	[m]	9	9	9	9	9	9	9	9
Cohesion improvement	$\Delta c$	[kPa]	212	212	311	311	311	314	314	276

SUPPORT DATA (Therapy Phase)										
Shotcrete Thickness	t	[cm]	25	25	25	25	25	25	25	30
Compression strenght (medium)	fcm	[MPa]	25	25	25	25	25	25	25	25
Steel ribs profile	-	-	IPN180	IPN180	IPN220	IPN200	IPN200	IPN240	IPN240	IPN260
Number of profiles	n	-	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	0,90

DEFORMATION RESULTS										
Critical pressure	Pcr	[MPa]	0,76	0,96	0,76	0,96	1,44	0,76	0,96	1,24
Cavity def. at the face	uf	[cm]	3,5	5,3	2,8	4,3	7,6	3,1	4,7	7,5
Rpl (Face)/Ro	Rpface/r0	[-]	1,2	1,3	1,1	1,2	1,4	1,1	1,2	1,3
Deformation at (x) m	u(x)	[cm]	7,2	10,7	6,6	9,8	16,4	6,9	10,2	7,5
Def.at (x)m regarding gap	u'(x)	[cm]	7,2	10,7	6,6	9,8	16,4	6,9	10,2	7,5
Def.at equilibrium point	ueq	[cm]	9,1	12,9	8,9	12,4	19,8	9,4	13,2	12,2
Conv.at equilibrium point	Ceq	[cm]	11,2	15,2	12,1	16,3	24,3	12,7	17,0	9,3
Rpl (eq)/Ro	Rpeq/r0	[-]	1,9	2,0	1,8	1,9	2,1	1,8	1,9	1,7
Equilibrium pressure	C1	[MPa]	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,5

TEMPORARY LINING RESULTS										
Steel ribs stress	$\sigma_{st}$	[MPa]	61,5	71,9	69,0	81,4	103,9	72,1	85,2	122,1
Shotcrete stress	$\sigma_{sc}$	[MPa]	6,2	7,2	6,9	8,1	10,4	7,2	8,5	12,2

SUPPORT RESULTS										
Concrete stress	$\sigma_b$	[MPa]	2,7	3,1	2,7	3,2	4,1	2,7	3,2	5,1
Reinforcement stress	$\sigma_s$	[MPa]	-	-	-	-	-	-	-	76,1

VERIFICHE DEI RIVESTIMENTI DI PRIMA FASE

			SEZ. TIPO B2V		SEZ. TIPO B2V+1.05			EZ. TIPO B2V ALLARGATO PIAZZ+1.05		
Overburden	H	[m]	80	100	80	100	150	80	100	150
Steel ribs stress	$\sigma_{st} \cdot \gamma_{G1}$	[MPa]	80,0	93,5	89,6	105,8	135,1	93,7	110,8	158,7
Shotcrete stress	$\sigma_{sc} \cdot \gamma_{G1}$	[MPa]	8,0	9,3	9,0	10,6	13,5	9,4	11,1	15,9

$\gamma_{G1}$  1,3

VERIFICHE DEI RIVESTIMENTI DEFINITIVI

			SEZ. TIPO B2V		SEZ. TIPO B2V+1.05			EZ. TIPO B2V ALLARGATO PIAZZ+1.05		
Deformation moduls in elastic zone	H	[m]	80	100	80	100	150	80	100	150
Concrete stress	$\sigma_b \cdot \gamma_{G1}$	[MPa]	3,5	4,1	3,6	4,2	5,4	3,6	4,2	6,6
Reinforcement stress	$\sigma_s \cdot \gamma_{G1}$	[MPa]	-	-	-	-	-	-	-	98,9

$\gamma_{G1}$  1,3

**PROGETTO**

PONTE SULLO STRETTO  
 GALLERIA LE FOSSE  
 SEZIONE TIPO B2V STANDARD, COPERTURA 80m - SAN PIER NICETO GR1 - CGL

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	el
Friction angle in the plastic zone	pl

**Elastic parameters**

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

ANALYSIS n°1	ANALYSIS n°2
7,5 [m]	[m]
80 [m]	[m]
22 [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> ]

50 [kPa]	[kPa]
40 [kPa]	[kPa]
33 [°]	[°]
26 [°]	[°]

[kPa]	[kPa]
[kPa]	[kPa]
[°]	[°]
[°]	[°]

[kPa]	[kPa]
[kPa]	[kPa]
[°]	[°]
[°]	[°]

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	$n^\circ$	60	[-]
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	120	[mm]
Grout-soil bond	d	200	[kPa]
Cohesion improvement	$\Delta c$	212,172	[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		0,2	[-]
Thickness	t	25	[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			[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	12,73	[MPa/m]

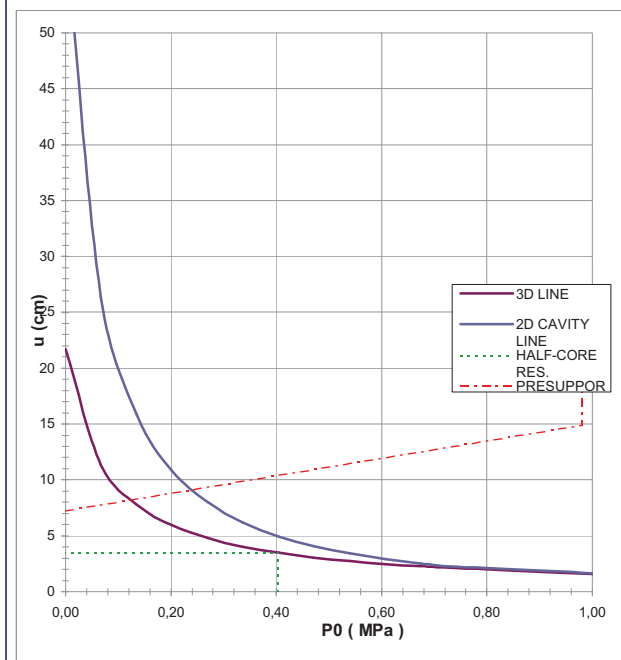
**FINAL LINING**

**CONCRETE**

Elastic Modulus	Ec	20000	[MPa]
Poisson's Ratio		0,2	[-]
Thickness	T	70	[cm]
Concrete compression strenght	fc <sub>d</sub>	14,17	[MPa]

**STEEL REINFORCEMENTS**

Diameter of the steel bars			[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]	0,76					
Max cavity def. (2D)	$u_{2d}$ [cm]	58,40					
Rpl (2D)/Ro	$Rp_{max}/r0$ [-]	4,44					
Cavity def. at the face	$u_f$ [cm]	3,48					
Rpl (Face)/Ro	$Rp_{face}/r0$ [-]	1,22					
Deformation at (x) m	$u_{(x)}$ [cm]	7,20					
Def.at (x)m regarding gap	$u'_{(x)}$ [cm]	7,20					
Def.at equilibrium point	ueq [cm]	9,08					
Conv.at equilibrium point	Ceq [cm]	11,21					
Rpl (eq)/Ro	$Rp_{eq}/r0$ [-]	1,85					
Equilibrium pressure	C1 [MPa]	0,24					

TEMPORARY LINING RESULTS							
		AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6
Presupp.el. deformation	ulim [cm]	14,90					
Presupport stress	$\sigma_{sup}$ [MPa]	6,15					
Steel ribs stress	$\sigma_{st}$ [MPa]	61,51					
Shotcrete stress	$\sigma_{sc}$ [MPa]	6,15					
Bolt stress	$\sigma_{rb}$ [MPa]	-					

SUPPORT RESULTS		
Support stress	$\sigma_{def}$ [MPa]	2,69
Concrete stress	$\sigma_b$ [MPa]	2,69
Reinforcement stress	$\sigma_s$ [MPa]	-

**PROGETTO**

PONTE SULLO STRETTO  
 GALLERIA LE FOSSE  
 SEZIONE TIPO B2V STANDARD, COPERTURA 100m - SAN PIER NICETO GR1 - CGL

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	el
Friction angle in the plastic zone	pl

**Elastic parameters**

Deformation moduls in elastic zone	Eel
Deformation moduls in plastic zone	Epl
Poisson's ratio	
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
7,5 [m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
100 [m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
22 [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> ]
50 [kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]
40 [kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]
33 [°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]
26 [°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]
450 [MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
450 [MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
0,3 [-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
0 [%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]

**PRECONFINEMENT (Therapy Phase)**  Structural Elements

**FACE PRECONFINEMENT (reinforcement elements)**

Number of reinforcements	$n^\circ$	60	[-]
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	120	[mm]
Grout-soil bond	d	200	[kPa]
Cohesion improvement	$\Delta c$	212,172	[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		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			[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	12,73	[MPa/m]

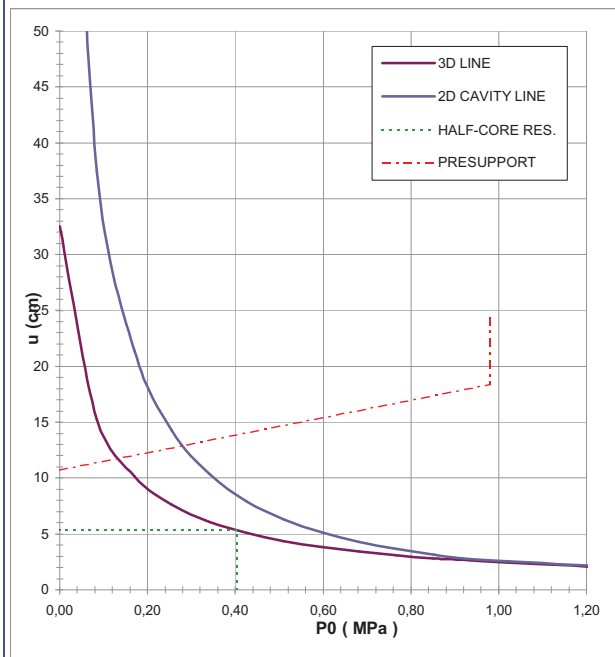
**FINAL LINING**

**CONCRETE**

Elastic Modulus	Ec	20000	[MPa]
Poisson's Ratio		0,2	[-]
Thickness	T	70	[cm]
Concrete compression strenght	fcd	14,17	[MPa]

**STEEL REINFORCEMENTS**

Diameter of the steel bars			[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]	0,96					
Max cavity def. (2D)	$u_{2d_{max}}$ [cm]	95,75					
Rpl (2D)/Ro	$Rp_{max}/r_0$ [-]	5,10					
Cavity def. at the face	$u_f$ [cm]	5,31					
Rpl (Face)/Ro	$Rp_{face}/r_0$ [-]	1,32					
Deformation at (x) m	$u_{(x)}$ [cm]	10,70					
Def.at (x)m regarding gap	$u'_{(x)}$ [cm]	10,70					
Def.at equilibrium point	$ueq$ [cm]	12,90					
Conv.at equilibrium point	$Ceq$ [cm]	15,17					
Rpl (eq)/Ro	$Rp_{eq}/r_0$ [-]	1,97					
Equilibrium pressure	C1 [MPa]	0,28					

TEMPORARY LINING RESULTS		AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6
Presupp.el. deformation	$u_{lim}$ [cm]	18,40					
Presupport stress	$\sigma_{sup}$ [MPa]	7,19					
Steel ribs stress	$\sigma_{st}$ [MPa]	71,91					
Shotcrete stress	$\sigma_{sc}$ [MPa]	7,19					
Bolt stress	$\sigma_{rb}$ [MPa]	-					

SUPPORT RESULTS		AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6
Support stress	$\sigma_{def}$ [MPa]	3,15					
Concrete stress	$\sigma_b$ [MPa]	3,15					
Reinforcement stress	$\sigma_s$ [MPa]	-					

**PROGETTO**

PONTE SULLO STRETTO  
 GALLERIA LE FOSSE  
 SEZIONE TIPO B2 ALLARGATA (+1.05), COPERTURA 80m - SAN PIER NICETO GR1 - CGL

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	el
Friction angle in the plastic zone	pl

**Elastic parameters**

Deformation moduls in elastic zone	Eel
Deformation moduls in plastic zone	Epl
Poisson's ratio	
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]
80 [m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
22 [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> ]
50 [kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]
40 [kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]
33 [°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]
26 [°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]
450 [MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
450 [MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
0,3 [-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
0 [%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]

**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	120	[mm]
Grout-soil bond	d	200	[kPa]
Cohesion improvement	$\Delta c$	310,799	[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		0,2	[-]
Thickness	t	25	[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			[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	1,00	[m]
Total Stiffness	Kt	11,58	[MPa/m]

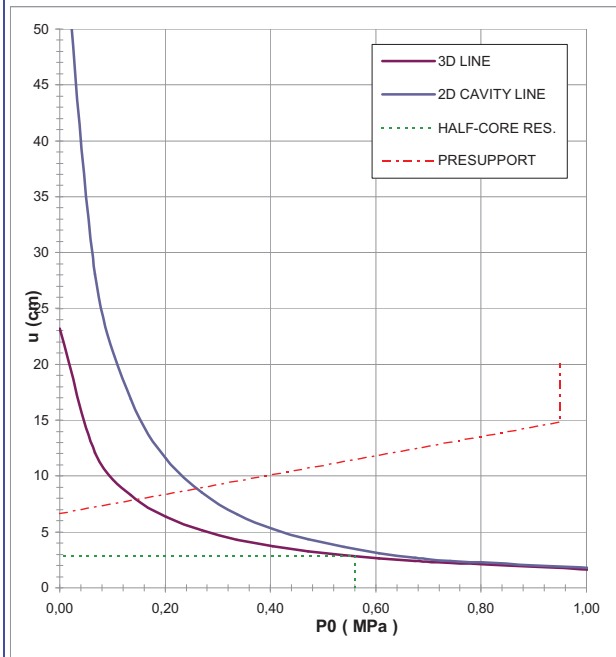
**FINAL LINING**

**CONCRETE**

Elastic Modulus	Ec	20000	[MPa]
Poisson's Ratio		0,2	[-]
Thickness	T	80	[cm]
Concrete compression strenght	fc <sub>d</sub>	14,17	[MPa]

**STEEL REINFORCEMENTS**

Diameter of the steel bars			[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]	0,76					
Max cavity def. (2D)	$u_{2d\max}$ [cm]	62,30					
Rpl (2D)/Ro	$R_{p_{max}}/r_0$ [-]	4,44					
Cavity def. at the face	$u_f$ [cm]	2,83					
Rpl (Face)/Ro	$R_{p_{face}}/r_0$ [-]	1,10					
Deformation at (x) m	$u_{(x)}$ [cm]	6,62					
Def.at (x)m regarding gap	$u'_{(x)}$ [cm]	6,62					
Def.at equilibrium point	ueq [cm]	8,87					
Conv.at equilibrium point	Ceq [cm]	12,08					
Rpl (eq)/Ro	$R_{p_{eq}}/r_0$ [-]	1,78					
Equilibrium pressure	C1 [MPa]	0,26					

TEMPORARY LINING RESULTS		AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6
Presupp.el. deformation	ulim [cm]	14,83					
Presupport stress	$\sigma_{sup}$ [MPa]	6,90					
Steel ribs stress	$\sigma_{st}$ [MPa]	68,95					
Shotcrete stress	$\sigma_{sc}$ [MPa]	6,90					
Bolt stress	$\sigma_{rb}$ [MPa]	-					

SUPPORT RESULTS		AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6
Support stress	$\sigma_{def}$ [MPa]	2,74					
Concrete stress	$\sigma_b$ [MPa]	2,74					
Reinforcement stress	$\sigma_s$ [MPa]	-					

**PROGETTO**

PONTE SULLO STRETTO  
 GALLERIA LE FOSSE  
 SEZIONE TIPO B2V ALLARGATA (+1.05), COPERTURA 100m - SAN PIER NICETO GR1 - CGL

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]
100 [m]	[m]
22 [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	el
Friction angle in the plastic zone	pl

50 [kPa]	[kPa]
40 [kPa]	[kPa]
33 [°]	[°]
26 [°]	[°]

[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	
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	$n^\circ$	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	120	[mm]
Grout-soil bond	d	200	[kPa]
Cohesion improvement	$\Delta c$	310,799	[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		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			[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	66,80			[cm <sup>2</sup> ]
Moment of Inertia	Iy	4280,0			[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	11,58	[MPa/m]

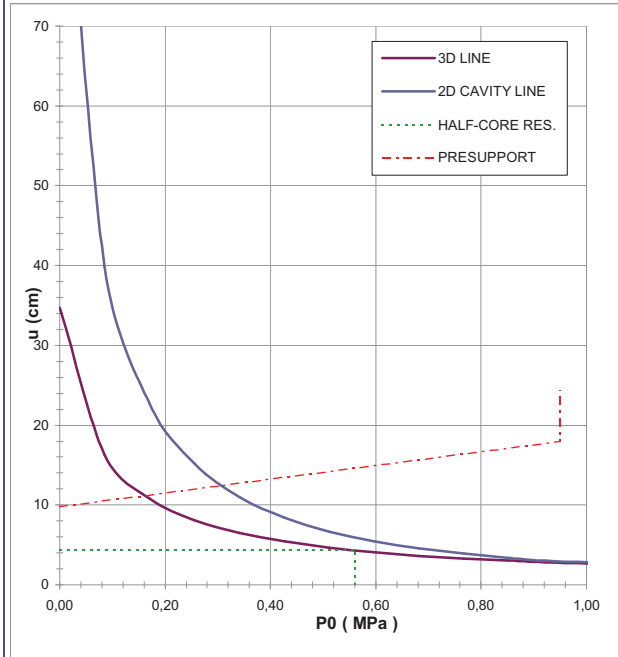
**FINAL LINING**

**CONCRETE**

Elastic Modulus	Ec	20000	[MPa]
Poisson's Ratio		0,2	[-]
Thickness	T	80	[cm]
Concrete compression strenght	fcd	14,17	[MPa]

**STEEL REINFORCEMENTS**

Diameter of the steel bars			[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]	0,96					
Max cavity def. (2D)	$u_{2d\max}$ [cm]	102,14					
Rpl (2D)/Ro	$Rp_{\max}/r_0$ [-]	5,10					
Cavity def. at the face	$u_f$ [cm]	4,30					
Rpl (Face)/Ro	$Rp_{\text{face}}/r_0$ [-]	1,19					
Deformation at (x) m	$u_{(x)}$ [cm]	9,77					
Def.at (x)m regarding gap	$u'_{(x)}$ [cm]	9,77					
Def.at equilibrium point	ueq [cm]	12,43					
Conv.at equilibrium point	Ceq [cm]	16,25					
Rpl (eq)/Ro	$Rp_{\text{eq}}/r_0$ [-]	1,88					
Equilibrium pressure	C1 [MPa]	0,31					

TEMPORARY LINING RESULTS							
		AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6
Presupp.el. deformation	ulim [cm]	17,98					
Presupport stress	$\sigma_{\text{sup}}$ [MPa]	8,14					
Steel ribs stress	$\sigma_{\text{st}}$ [MPa]	81,36					
Shotcrete stress	$\sigma_{\text{sc}}$ [MPa]	8,14					
Bolt stress	$\sigma_{\text{rb}}$ [MPa]	-					

SUPPORT RESULTS		
Support stress	$\sigma_{\text{def}}$ [MPa]	3,23
Concrete stress	$\sigma_{\text{b}}$ [MPa]	3,23
Reinforcement stress	$\sigma_{\text{s}}$ [MPa]	-

**PROGETTO**

PONTE SULLO STRETTO  
 GALLERIA LE FOSSE  
 SEZIONE TIPO B2V ALLARGATA (+1.05), COPERTURA 150m - SAN PIER NICETO GR1 - CGL

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	el
Friction angle in the plastic zone	pl

**Elastic parameters**

Deformation moduls in elastic zone	Eel
Deformation moduls in plastic zone	Epl
Poisson's ratio	
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]
150 [m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
22 [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> ]
70 [kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]
40 [kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]
33 [°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]
26 [°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]
550 [MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
550 [MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
0,3 [-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
0 [%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]

**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	120	[mm]
Grout-soil bond	d	200	[kPa]
Cohesion improvement	$\Delta c$	310,799	[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		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			[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	66,80		[cm <sup>2</sup> ]	
Moment of Inertia	Iy	4280,0		[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	11,58	[MPa/m]

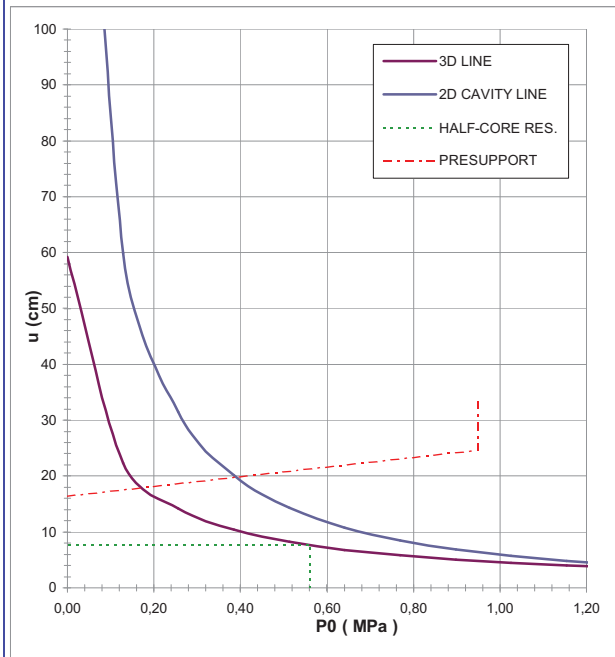
**FINAL LINING**

**CONCRETE**

Elastic Modulus	Ec	20000	[MPa]
Poisson's Ratio		0,2	[-]
Thickness	T	80	[cm]
Concrete compression strenght	fcd	14,17	[MPa]

**STEEL REINFORCEMENTS**

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



		AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6
Critical pressure	Pcr [MPa]	1,44					
Max cavity def. (2D)	$u_{2d\max}$ [cm]	205,50					
Rpl (2D)/Ro	$Rp_{max}/r0$ [-]	6,51					
Cavity def. at the face	$u_f$ [cm]	7,62					
Rpl (Face)/Ro	$Rp_{face}/r0$ [-]	1,37					
Deformation at (x) m	$u_{(x)}$ [cm]	16,37					
Def.at (x)m regarding gap	$u'_{(x)}$ [cm]	16,37					
Def.at equilibrium point	ueq [cm]	19,76					
Conv.at equilibrium point	Ceq [cm]	24,28					
Rpl (eq)/Ro	$Rp_{eq}/r0$ [-]	2,11					
Equilibrium pressure	C1 [MPa]	0,39					

		AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6
Presupp.el. deformation	ulim [cm]	24,58					
Presupport stress	$\sigma_{sup}$ [MPa]	10,39					
Steel ribs stress	$\sigma_{st}$ [MPa]	103,94					
Shotcrete stress	$\sigma_{sc}$ [MPa]	10,39					
Bolt stress	$\sigma_{rb}$ [MPa]	-					

		AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6
Support stress	$\sigma_{def}$ [MPa]	4,13					
Concrete stress	$\sigma_b$ [MPa]	4,13					
Reinforcement stress	$\sigma_s$ [MPa]	-					



**PROGETTO**

PONTE SULLO STRETTO  
 GALLERIA LE FOSSE  
 SEZIONE TIPO B2V ALLARGO, COPERTURA 80m - SAN PIER NICETO GR1 - CGL

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	el
Friction angle in the plastic zone	pl

**Elastic parameters**

Deformation moduls in elastic zone	Eel
Deformation moduls in plastic zone	Epl
Poisson's ratio	
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
8,75 [m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
80 [m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
22 [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> ]
50 [kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]
40 [kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]
33 [°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]
26 [°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]
450 [MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
450 [MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
0,3 [-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
0 [%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]

**PRECONFINEMENT (Therapy Phase)**  Structural Elements

**FACE PRECONFINEMENT (reinforcement elements)**

Number of reinforcements	n°	121	[-]
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	120	[mm]
Grout-soil bond	d	200	[kPa]
Cohesion improvement	$\Delta c$	314,361	[kPa]

Jet grouting

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

Number of reinforcements	n°	[-]
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		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		[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	1,00	[m]
Total Stiffness	Kt	10,43	[MPa/m]

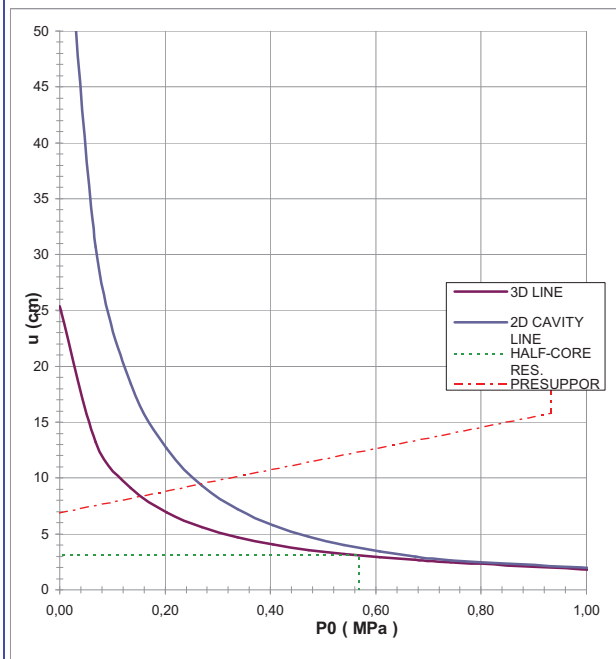
**FINAL LINING**

**CONCRETE**

Elastic Modulus	Ec	20000	[MPa]
Poisson's Ratio		0,2	[-]
Thickness	T	90	[cm]
Concrete compression strenght	fcd	14,17	[MPa]

**STEEL REINFORCEMENTS**

Diameter of the steel bars		[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]	0,76					
Max cavity def. (2D)	u <sub>2d</sub> [cm]	68,14					
Rpl (2D)/Ro	Rp <sub>max</sub> /r0 [-]	4,44					
Cavity def. at the face	u <sub>f</sub> [cm]	3,07					
Rpl (Face)/Ro	Rp <sub>face</sub> /r0 [-]	1,10					
Deformation at (x) m	u <sub>(x)</sub> [cm]	6,88					
Def.at (x)m regarding gap	u' <sub>(x)</sub> [cm]	6,88					
Def.at equilibrium point	ueq [cm]	9,44					
Conv.at equilibrium point	Ceq [cm]	12,73					
Rpl (eq)/Ro	Rp <sub>eq</sub> /r0 [-]	1,76					
Equilibrium pressure	C1 [MPa]	0,27					

TEMPORARY LINING RESULTS		AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6
Presupp.el. deformation	ulim [cm]	15,83					
Presupport stress	$\sigma_{sup}$ [MPa]	7,21					
Steel ribs stress	$\sigma_{st}$ [MPa]	72,09					
Shotcrete stress	$\sigma_{sc}$ [MPa]	7,21					
Bolt stress	$\sigma_{rb}$ [MPa]	-					

SUPPORT RESULTS		AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6
Support stress	$\sigma_{def}$ [MPa]	2,73					
Concrete stress	$\sigma_b$ [MPa]	2,73					
Reinforcement stress	$\sigma_s$ [MPa]	-					



**PROGETTO**

PONTE SULLO STRETTO  
 GALLERIA LE FOSSE  
 SEZIONE TIPO B2V ALLARGO, COPERTURA 100m - SAN PIER NICETO GR1 - CGL

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]
100 [m]	[m]
22 [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	el
Friction angle in the plastic zone	pl

50 [kPa]	[kPa]
40 [kPa]	[kPa]
33 [°]	[°]
26 [°]	[°]

[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	
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	$n^\circ$	121	[-]
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	120	[mm]
Grout-soil bond	d	200	[kPa]
Cohesion improvement	$\Delta c$	314,361	[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		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			[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	92,20	[cm <sup>2</sup> ]
Moment of Inertia	Iy	8500,0	[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	10,43	[MPa/m]

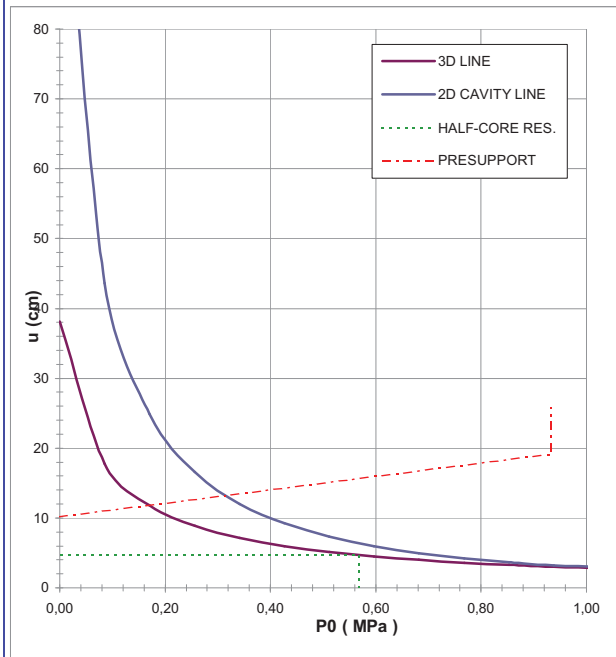
**FINAL LINING**

**CONCRETE**

Elastic Modulus	Ec	20000	[MPa]
Poisson's Ratio		0,2	[-]
Thickness	T	90	[cm]
Concrete compression strenght	fcd	14,17	[MPa]

**STEEL REINFORCEMENTS**

Diameter of the steel bars			[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]	0,96					
Max cavity def. (2D)	$u_{2d_{max}}$ [cm]	111,71					
Rpl (2D)/Ro	$R_{p_{max}}/r_0$ [-]	5,10					
Cavity def. at the face	$u_f$ [cm]	4,67					
Rpl (Face)/Ro	$R_{p_{face}}/r_0$ [-]	1,19					
Deformation at (x) m	$u_{(x)}$ [cm]	10,17					
Def.at (x)m regarding gap	$u'_{(x)}$ [cm]	10,17					
Def.at equilibrium point	$u_{eq}$ [cm]	13,19					
Conv.at equilibrium point	$C_{eq}$ [cm]	17,04					
Rpl (eq)/Ro	$R_{p_{eq}}/r_0$ [-]	1,85					
Equilibrium pressure	C1 [MPa]	0,32					

TEMPORARY LINING RESULTS							
		AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6
Presupp.el. deformation	$u_{lim}$ [cm]	19,12					
Presupport stress	$\sigma_{sup}$ [MPa]	8,52					
Steel ribs stress	$\sigma_{st}$ [MPa]	85,22					
Shotcrete stress	$\sigma_{sc}$ [MPa]	8,52					
Bolt stress	$\sigma_{rb}$ [MPa]	-					

SUPPORT RESULTS							
		AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6
Support stress	$\sigma_{def}$ [MPa]	3,23					
Concrete stress	$\sigma_b$ [MPa]	3,23					
Reinforcement stress	$\sigma_s$ [MPa]	-					

**PROGETTO**

PONTE SULLO STRETTO  
 GALLERIA LE FOSSE  
 SEZIONE TIPO C1+1,05+PIAZZOLA - ALLARGO COPERTURA 150m - SAN PIER NICETO, 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	el
Friction angle in the plastic zone	pl

**Elastic parameters**

Deformation moduls in elastic zone	Eel
Deformation moduls in plastic zone	Epl
Poisson's ratio	
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
9,5 [m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
150 [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> ]
70 [kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]
40 [kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]
33 [°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]
26 [°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]
550 [MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
550 [MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
0,3 [-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
0 [%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]

**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	d	100	[kPa]
Cohesion improvement	$\Delta c$	275,500	[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		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			[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	0,90			[m]
Cross section Area	As	118,44			[cm <sup>2</sup> ]
Moment of Inertia	Iy	12755,6			[cm <sup>4</sup> ]
Yielding strength	f <sub>yd</sub>	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	K <sub>bolt</sub>	1,00	[-]
Distance of support	d	0,00	[m]
Total Stiffness	Kt	10,83	[MPa/m]

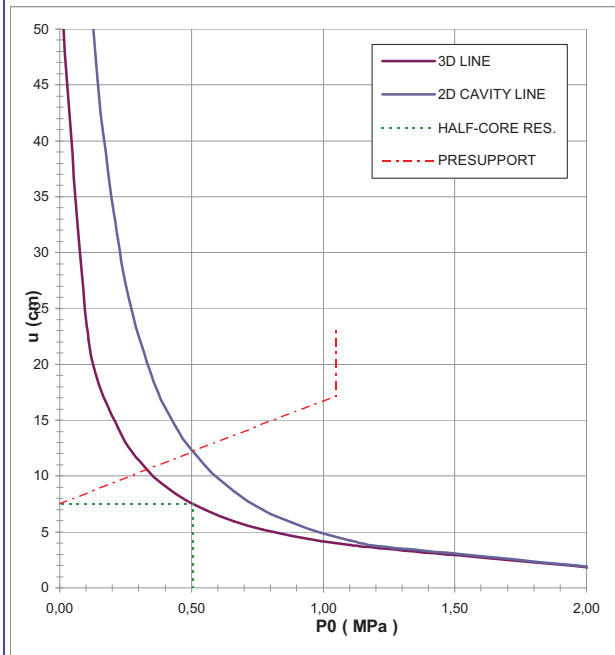
**FINAL LINING**

**CONCRETE**

Elastic Modulus	Ec	31476	[MPa]
Poisson's Ratio		0,2	[-]
Thickness	T	100	[cm]
Concrete compression strenght	f <sub>cd</sub>	14,17	[MPa]

**STEEL REINFORCEMENTS**

Diameter of the steel bars		24	[mm]
Steel bars spacing	s	10	[cm]
Number of set	n	2	[-]
Yielding strength	f <sub>yd</sub>	262	[MPa]



DEFORMATION RESULTS		AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6
Critical pressure	P <sub>cr</sub> [MPa]	1,24					
Max cavity def. (2D)	$u_{2d\max}$ [cm]	175,66					
Rpl (2D)/Ro	$R_{p_{max}}/r_0$ [-]	5,93					
Cavity def. at the face	$u_f$ [cm]	7,52					
Rpl (Face)/Ro	$R_{p_{face}}/r_0$ [-]	1,35					
Deformation at (x) m	$u_{(x)}$ [cm]	7,52					
Def.at (x)m regarding gap	$u'_{(x)}$ [cm]	7,52					
Def.at equilibrium point	ueq [cm]	12,19					
Conv.at equilibrium point	Ceq [cm]	9,34					
Rpl (eq)/Ro	$R_{p_{eq}}/r_0$ [-]	1,68					
Equilibrium pressure	C1 [MPa]	0,51					

TEMPORARY LINING RESULTS		AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6
Presupp.el. deformation	u <sub>lim</sub> [cm]	17,19					
Presupport stress	$\sigma_{sup}$ [MPa]	12,21					
Steel ribs stress	$\sigma_{st}$ [MPa]	122,08					
Shotcrete stress	$\sigma_{sc}$ [MPa]	12,21					
Bolt stress	$\sigma_{rb}$ [MPa]	-					

SUPPORT RESULTS		AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6
Support stress	$\sigma_{def}$ [MPa]	5,07					
Concrete stress	$\sigma_b$ [MPa]	5,07					
Reinforcement stress	$\sigma_s$ [MPa]	76,073					

Geometrical Data			SEZ. TIPO B2V		SEZ. TIPO B2V+1.05		SEZ. B2V ALLARGO		SEZ. C1+1.05+PIAZZ
Equivalent Tunnel Radius	ri	[m]	7,5	7,5	8	8	8,75	8,75	9,5
Overburden	H	[m]	45	60	45	60	45	60	50
Unit weight of the rock mass	$\gamma$	[kN/m <sup>3</sup> ]	22	22	22	22	22	22	19

**Resistance Parameters**

Cohesion in the elastic zone	Cel	[kPa]	25	25	25	25	25	25	25
Cohesion in the plastic zone	Cpl	[kPa]	15	15	15	15	15	15	15
Friction angle in the elastic zone	$\Phi_{el}$	[°]	33	33	33	33	33	33	33
Friction angle in the plastic zone	$\Phi_{pl}$	[°]	26	26	26	26	26	26	26

**Elastic parameters**

Deformation moduls in elastic zone	Eel	[MPa]	200	350	200	350	200	350	200
Deformation moduls in plastic zone	Epl	[MPa]	200	350	200	350	200	350	200
Poisson's ratio	$\nu$	[-]	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

**PRECONFINEMENT (Therapy Phase)**

Number of reinforcements	n <sup>*</sup>	[-]	60	60	70	70	121	121	100
Design Length	L	[m]	9	9	9	9	9	9	9
Cohesion improvement	$\Delta c$	[kPa]	106	106	109	109	157	157	276

**SUPPORT DATA (Therapy Phase)**

Shotcrete Thickness	t	[cm]	25	25	25	25	25	25	30
Compression strenght (medium)	fcm	[MPa]	25	25	25	25	25	25	25
Steel ribs profile	-	-	IPN180	IPN180	IPN220	IPN220	IPN240	IPN240	IPN260
Number of profiles	n	-	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	0,90

**DEFORMATION RESULTS**

Critical pressure	Pcr	[MPa]	0,43	0,58	0,43	0,58	0,43	0,58	0,41
Cavity def. at the face	uf	[cm]	3,8	5,1	5,4	5,4	4,5	4,4	2,7
Rpl (Face)/Ro	Rpface/ro	[-]	1,2	1,4	1,3	1,4	1,2	1,3	1,0
Deformation at (x) m	u(x)	[cm]	10,1	10,8	11,6	11,1	10,8	10,2	2,7
Def.at (x)m regarding gap	u'(x)	[cm]	10,1	10,8	11,6	11,1	10,8	10,2	2,7
Def.at equilibrium point	ueq	[cm]	11,2	12,0	12,8	12,4	13,4	11,9	5,6
Conv.at equilibrium point	Ceq	[cm]	14,9	13,8	14,8	14,1	17,9	15,0	5,7
Rpl (eq)/Ro	Rpeq/ro	[-]	1,8	2,1	1,9	2,1	1,3	2,0	1,2
Equilibrium pressure	C1	[MPa]	0,1	0,2	0,1	0,2	0,3	0,2	0,3

**TEMPORARY LINING RESULTS**

Steel ribs stress	$\sigma_{st}$	[MPa]	38,0	39,6	35,8	40,7	73,6	47,9	74,7
Shotcrete stress	$\sigma_{sc}$	[MPa]	3,8	4,0	3,6	4,1	7,4	4,8	7,5

**SUPPORT RESULTS**

Concrete stress	$\sigma_b$	[MPa]	1,3	1,4	1,3	1,5	2,5	1,6	3,4
Reinforcement stress	$\sigma_s$	[MPa]	-	-	-	-	-	-	-

**VERIFICHE DEI RIVESTIMENTI DI PRIMA FASE**

			SEZ. TIPO B2V		SEZ. TIPO B2V+1.05		SEZ. B2V ALLARGO		SEZ. C1+1.05+PIAZZ
Overburden	H	[m]	45	60	45	60	45	60	50
Steel ribs stress	$\sigma_{st} \cdot \gamma_{G1}$	[MPa]	49,4	51,5	46,6	53,0	95,7	62,2	97,1
Shotcrete stress	$\sigma_{sc} \cdot \gamma_{G1}$	[MPa]	4,9	5,1	4,7	5,3	9,6	6,2	9,7

 $\gamma_{G1}$  1,3**VERIFICHE DEI RIVESTIMENTI DEFINITIVI**

			SEZ. TIPO B2V		SEZ. TIPO B2V+1.05		SEZ. B2V ALLARGO		SEZ. C1+1.05+PIAZZ
Deformation moduls in elastic zone	H	[m]	45	60	45	60	45	60	50
Concrete stress	$\sigma_b \cdot \gamma_{G1}$	[MPa]	1,7	1,8	1,7	1,9	3,3	2,1	4,5
Reinforcement stress	$\sigma_s \cdot \gamma_{G1}$	[MPa]	-	-	-	-	-	-	-

 $\gamma_{G1}$  1,3

**PROGETTO**

PONTE SULLO STRETTO  
 GALLERIA LE FOSSE  
 SEZIONE B2V, COPERTURA 45m - SAN PIER NICETO GR2 - CGL

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

**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
7,5 [m]	[m]
45 [m]	[m]
22 [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> ]

25 [kPa]	[kPa]
15 [kPa]	[kPa]
33 [°]	[°]
26 [°]	[°]

[kPa]	[kPa]
[kPa]	[kPa]
[°]	[°]
[°]	[°]

[kPa]	[kPa]
[kPa]	[kPa]
[°]	[°]
[°]	[°]

200 [MPa]	[MPa]
200 [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	$n^\circ$	60	[-]
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	120	[mm]
Grout-soil bond	$\tau_d$	100	[kPa]
Cohesion improvement	$\Delta c$	106,086	[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			
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	[m]
Total Stiffness	Kt	12,73	[MPa/m]

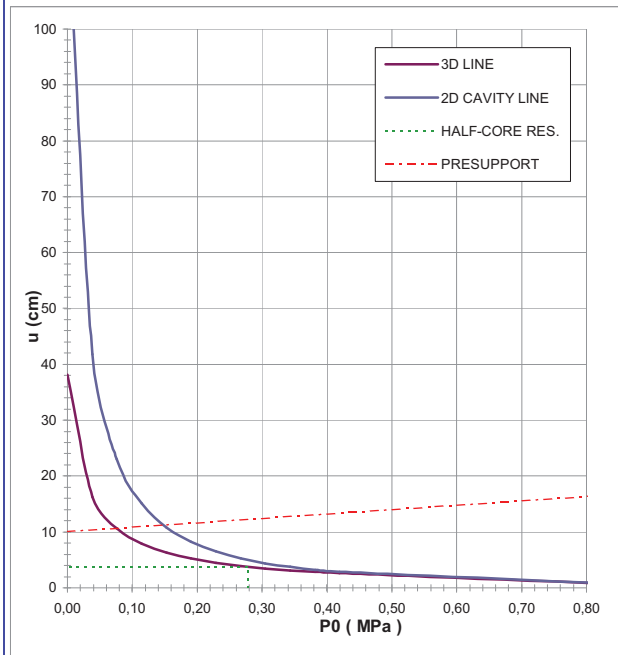
**FINAL LINING**

**CONCRETE**

Elastic Modulus	Ec	20000	[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]	0,43					
Max cavity def. (2D)	$u_{2d=}$ [cm]	120,6					
Rpl (2D)/Ro	$R_{p_{max}}/r_0$ [-]	5,66					
Cavity def. at the face	$u_f$ [cm]	3,77					
Rpl (Face)/Ro	$R_{p_{face}}/r_0$ [-]	1,15					
Deformation at (x) m	$u_{(x)}$ [cm]	10,05					
Def.at (x)m regarding gap	$u'_{(x)}$ [cm]	10,05					
Def.at equilibrium point	$u_{eq}$ [cm]	11,21					
Conv.at equilibrium point	$C_{eq}$ [cm]	14,90					
Rpl (eq)/Ro	$R_{p_{eq}}/r_0$ [-]	1,83					
Equilibrium pressure	C1 [MPa]	0,15					

TEMPORARY LINING RESULTS							
		AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6
Presupp.el. deformation	$u_{lim}$ [cm]	17,75					
Presupport stress	$\sigma_{sup}$ [MPa]	3,80					
Steel ribs stress	$\sigma_{st}$ [MPa]	37,97					
Shotcrete stress	$\sigma_{sc}$ [MPa]	3,80					
Bolt stress	$\sigma_{rb}$ [MPa]	-					

SUPPORT RESULTS		
Support stress	$\sigma_{def}$ [MPa]	1,31
Concrete stress	$\sigma_b$ [MPa]	1,31
Reinforcement stress	$\sigma_s$ [MPa]	-

**PROGETTO**

PONTE SULLO STRETTO  
 GALLERIA LE FOSSE  
 SEZIONE TIPO B2V STANDARD, COPERTURA 60m - SAN PIER NICETO GR2 - CGL

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
7,5 [m]	[m]
60 [m]	[m]
22 [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> ]

25 [kPa]	[kPa]
15 [kPa]	[kPa]
33 [°]	[°]
26 [°]	[°]

[kPa]	[kPa]
[kPa]	[kPa]
[°]	[°]
[°]	[°]

[kPa]	[kPa]
[kPa]	[kPa]
[°]	[°]
[°]	[°]

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	$n^\circ$	60	[-]
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	120	[mm]
Grout-soil bond	$\tau_d$	100	[kPa]
Cohesion improvement	$\Delta c$	106,086	[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				
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	12,73	[MPa/m]

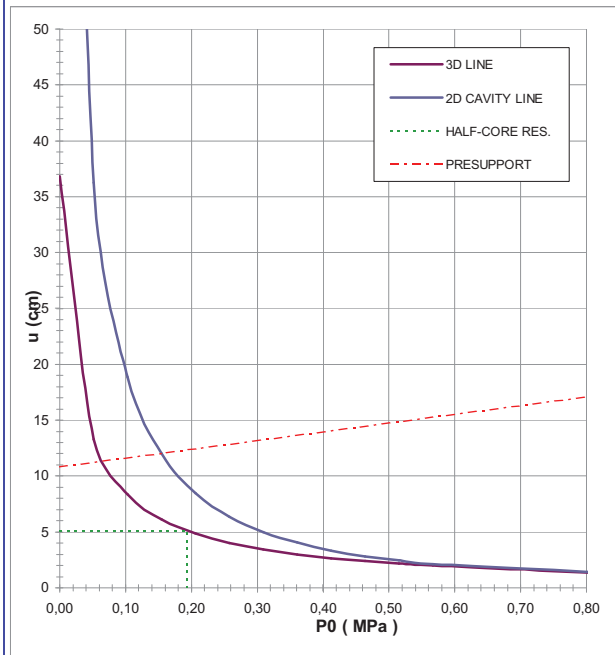
**FINAL LINING**

**CONCRETE**

Elastic Modulus	Ec	20000	[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]	0,58					
Max cavity def. (2D)	$u_{2d_{max}}$ [cm]	131,34					
Rpl (2D)/Ro	$Rp_{max}/r_0$ [-]	6,78					
Cavity def. at the face	$u_f$ [cm]	5,10					
Rpl (Face)/Ro	$Rp_{face}/r_0$ [-]	1,44					
Deformation at (x) m	$u_{(x)}$ [cm]	10,81					
Def.at (x)m regarding gap	$u'_{(x)}$ [cm]	10,81					
Def.at equilibrium point	ueq [cm]	12,02					
Conv.at equilibrium point	Ceq [cm]	13,84					
Rpl (eq)/Ro	$Rp_{eq}/r_0$ [-]	2,15					
Equilibrium pressure	C1 [MPa]	0,15					

TEMPORARY LINING RESULTS							
		AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6
Presupp.el. deformation	ulim [cm]	18,51					
Presupport stress	$\sigma_{sup}$ [MPa]	3,96					
Steel ribs stress	$\sigma_{st}$ [MPa]	39,61					
Shotcrete stress	$\sigma_{sc}$ [MPa]	3,96					
Bolt stress	$\sigma_{rb}$ [MPa]	-					

SUPPORT RESULTS		
Support stress	$\sigma_{def}$ [MPa]	1,37
Concrete stress	$\sigma_b$ [MPa]	1,37
Reinforcement stress	$\sigma_s$ [MPa]	-

PROGETTO

PONTE SULLO STRETTO  
 GALLERIA LE FOSSE  
 SEZIONE TIPO B2V+1.05, COPERTURA 45m - SAN PIER NICETO GR2 - CGL

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]
45 [m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
22 [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> ]
25 [kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]
15 [kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]
33 [°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]
26 [°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]
200 [MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
200 [MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
0,3 [-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
0 [%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]

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	120	[mm]
Grout-soil bond	$\tau_d$	100	[kPa]
Cohesion improvement	$\Delta c$	108,780	[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	1,00	[m]
Total Stiffness	Kt	12,02	[MPa/m]

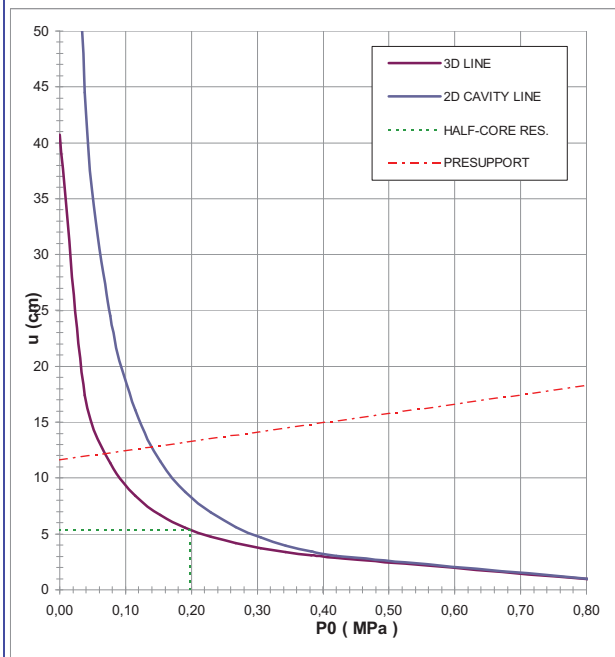
FINAL LINING

CONCRETE

Elastic Modulus	Ec	20000	[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]	0,43					
Max cavity def. (2D)	$u_{2d=}$ [cm]	128,66					
Rpl (2D)/Ro	$Rp_{max}/r0$ [-]	5,66					
Cavity def. at the face	$u_f$ [cm]	5,40					
Rpl (Face)/Ro	$Rp_{face}/r0$ [-]	1,29					
Deformation at (x) m	$u_{(x)}$ [cm]	11,64					
Def.at (x)m regarding gap	$u'_{(x)}$ [cm]	11,64					
Def.at equilibrium point	ueq [cm]	12,80					
Conv.at equilibrium point	Ceq [cm]	14,79					
Rpl (eq)/Ro	$Rp_{eq}/r0$ [-]	1,89					
Equilibrium pressure	C1 [MPa]	0,14					

TEMPORARY LINING RESULTS		AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6
Presupp.el. deformation	ulim [cm]	19,82					
Presupport stress	$\sigma_{sup}$ [MPa]	3,58					
Steel ribs stress	$\sigma_{st}$ [MPa]	35,84					
Shotcrete stress	$\sigma_{sc}$ [MPa]	3,58					
Bolt stress	$\sigma_{rb}$ [MPa]	-					

SUPPORT RESULTS		AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6
Support stress	$\sigma_{def}$ [MPa]	1,32					
Concrete stress	$\sigma_b$ [MPa]	1,32					
Reinforcement stress	$\sigma_s$ [MPa]	-					

PROGETTO

PONTE SULLO STRETTO  
 GALLERIA LE FOSSE  
 SEZIONE TIPO B2V+1.05, COPERTURA 60m -SAN PIER NICETO GR2 - CGL

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

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
8 [m]	[m]
60 [m]	[m]
22 [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> ]

25 [kPa]	[kPa]
15 [kPa]	[kPa]
33 [°]	[°]
26 [°]	[°]

[kPa]	[kPa]
[kPa]	[kPa]
[°]	[°]
[°]	[°]

[kPa]	[kPa]
[kPa]	[kPa]
[°]	[°]
[°]	[°]

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	$n^\circ$	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	120	[mm]
Grout-soil bond	$\tau_d$	100	[kPa]
Cohesion improvement	$\Delta c$	108,780	[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	1,00	[m]
Total Stiffness	Kt	12,02	[MPa/m]

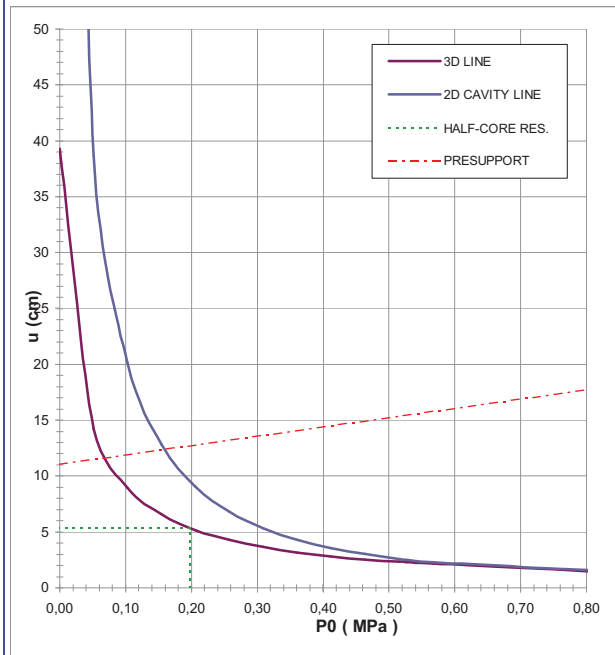
FINAL LINING

CONCRETE

Elastic Modulus	Ec	20000	[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]	0,58					
Max cavity def. (2D)	$u_{2d=}$ [cm]	140,10					
Rpl (2D)/Ro	$R_{p_{max}}/r_0$ [-]	6,78					
Cavity def. at the face	$u_f$ [cm]	5,35					
Rpl (Face)/Ro	$R_{p_{face}}/r_0$ [-]	1,43					
Deformation at (x) m	$u_{(x)}$ [cm]	11,08					
Def.at (x)m regarding gap	$u'_{(x)}$ [cm]	11,08					
Def.at equilibrium point	$u_{eq}$ [cm]	12,40					
Conv.at equilibrium point	$C_{eq}$ [cm]	14,09					
Rpl (eq)/Ro	$R_{p_{eq}}/r_0$ [-]	2,12					
Equilibrium pressure	C1 [MPa]	0,16					

TEMPORARY LINING RESULTS							
		AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6
Presupp.el. deformation	$u_{lim}$ [cm]	19,26					
Presupport stress	$\sigma_{sup}$ [MPa]	4,07					
Steel ribs stress	$\sigma_{st}$ [MPa]	40,74					
Shotcrete stress	$\sigma_{sc}$ [MPa]	4,07					
Bolt stress	$\sigma_{rb}$ [MPa]	-					

SUPPORT RESULTS		
Support stress	$\sigma_{def}$ [MPa]	1,50
Concrete stress	$\sigma_b$ [MPa]	1,50
Reinforcement stress	$\sigma_s$ [MPa]	-



**PROGETTO**

PONTE SULLO STRETTO  
 GALLERIA LE FOSSE  
 SEZIONE TIPO B2V ALLARGO, COPERTURA 45m - SAN PIER NICETO GR2 - CGL

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]
22 [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	$\Phi_{pl}$

25 [kPa]	[kPa]
15 [kPa]	[kPa]
33 [°]	[°]
26 [°]	[°]

[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	$\Delta V$

200 [MPa]	[MPa]
200 [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	$n^\circ$	121	[-]
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	120	[mm]
Grout-soil bond	$\tau_d$	100	[kPa]
Cohesion improvement	$\Delta c$	157,180	[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	1,00	[m]
Total Stiffness	Kt	10,43	[MPa/m]

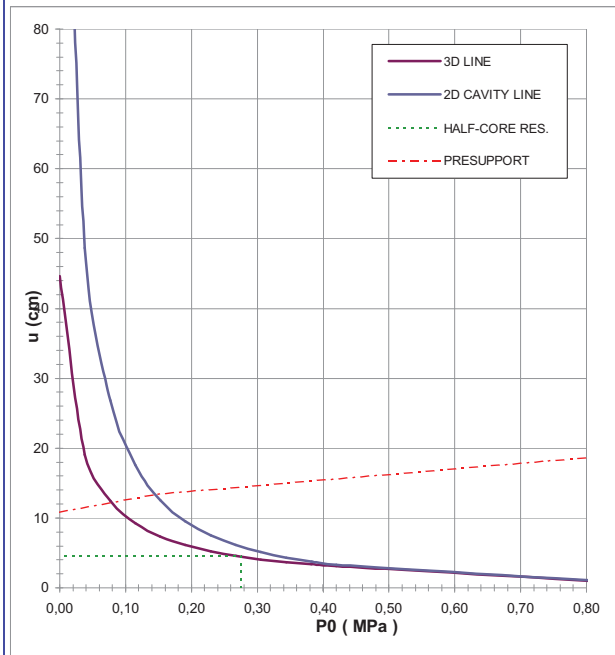
**FINAL LINING**

**CONCRETE**

Elastic Modulus	Ec	20000	[MPa]
Poisson's Ratio	$\nu$	0,2	[-]
Thickness	T	100	[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]	0,43					
Max cavity def. (2D)	$u_{2d=}$ [cm]	140,72					
Rpl (2D)/Ro	$Rp_{max}/r0$ [-]	5,66					
Cavity def. at the face	$u_f$ [cm]	4,45					
Rpl (Face)/Ro	$Rp_{face}/r0$ [-]	1,16					
Deformation at (x) m	$u_{(x)}$ [cm]	10,78					
Def.at (x)m regarding gap	$u'_{(x)}$ [cm]	10,78					
Def.at equilibrium point	ueq [cm]	13,39					
Conv.at equilibrium point	Ceq [cm]	17,86					
Rpl (eq)/Ro	$Rp_{eq}/r0$ [-]	1,31					
Equilibrium pressure	C1 [MPa]	0,27					

TEMPORARY LINING RESULTS							
		AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6
Presupp.el. deformation	ulim [cm]	19,73					
Presupport stress	$\sigma_{sup}$ [MPa]	7,36					
Steel ribs stress	$\sigma_{st}$ [MPa]	73,63					
Shotcrete stress	$\sigma_{sc}$ [MPa]	7,36					
Bolt stress	$\sigma_{rb}$ [MPa]	-					

SUPPORT RESULTS		
Support stress	$\sigma_{def}$ [MPa]	2,53
Concrete stress	$\sigma_b$ [MPa]	2,53
Reinforcement stress	$\sigma_s$ [MPa]	-



**PROGETTO**

PONTE SULLO STRETTO  
 GALLERIA LE FOSSE  
 SEZIONE TIPO B2V ALLARGO, COPERTURA 60m - SAN PIER NICETO GR2 - CGL

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
8,75 [m]	[m]
60 [m]	[m]
22 [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> ]

25 [kPa]	[kPa]
15 [kPa]	[kPa]
33 [°]	[°]
26 [°]	[°]

[kPa]	[kPa]
[kPa]	[kPa]
[°]	[°]
[°]	[°]

[kPa]	[kPa]
[kPa]	[kPa]
[°]	[°]
[°]	[°]

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	$n^\circ$	121	[-]
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	120	[mm]
Grout-soil bond	$\tau_d$	100	[kPa]
Cohesion improvement	$\Delta c$	157,180	[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	1,00	[m]
Total Stiffness	Kt	10,43	[MPa/m]

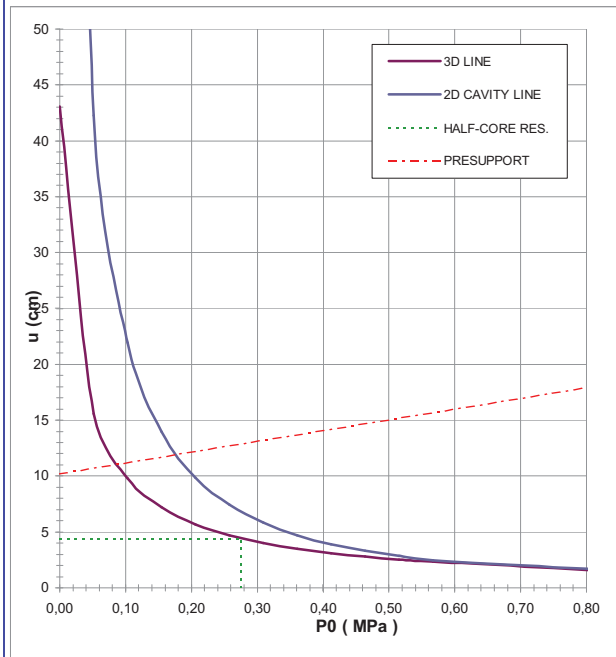
**FINAL LINING**

**CONCRETE**

Elastic Modulus	Ec	20000	[MPa]
Poisson's Ratio	$\nu$	0,2	[-]
Thickness	T	100	[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]	0,58					
Max cavity def. (2D)	$u_{2d\max}$ [cm]	153,23					
Rpl (2D)/Ro	$R_{p_{max}}/r_0$ [-]	6,78					
Cavity def. at the face	$u_f$ [cm]	4,42					
Rpl (Face)/Ro	$R_{p_{face}}/r_0$ [-]	1,28					
Deformation at (x) m	$u_{(x)}$ [cm]	10,21					
Def.at (x)m regarding gap	$u'_{(x)}$ [cm]	10,21					
Def.at equilibrium point	ueq [cm]	11,91					
Conv.at equilibrium point	Ceq [cm]	14,98					
Rpl (eq)/Ro	$R_{p_{eq}}/r_0$ [-]	1,99					
Equilibrium pressure	C1 [MPa]	0,18					

TEMPORARY LINING RESULTS							
		AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6
Presupp.el. deformation	ulim [cm]	19,16					
Presupport stress	$\sigma_{sup}$ [MPa]	4,79					
Steel ribs stress	$\sigma_{st}$ [MPa]	47,88					
Shotcrete stress	$\sigma_{sc}$ [MPa]	4,79					
Bolt stress	$\sigma_{rb}$ [MPa]	-					

SUPPORT RESULTS		
Support stress	$\sigma_{def}$ [MPa]	1,64
Concrete stress	$\sigma_b$ [MPa]	1,64
Reinforcement stress	$\sigma_s$ [MPa]	-

**PROGETTO**

PONTE SULLO STRETTO  
 GALLERIA LE FOSSE  
 SEZIONE TIPO C1+1,05+PIAZZOLA - ALLARGO COPERTURA 50m - SAN PIER NICETO, 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
Equivalent Tunnel Radius [m]	9,5					
Overburden [m]	50					
Unit weight of the rock mass [kN/m³]	19					
Cohesion in the elastic zone [kPa]	25					
Cohesion in the plastic zone [kPa]	15					
Friction angle in the elastic zone [°]	33					
Friction angle in the plastic zone [°]	26					
Deformation moduls in elastic zone [MPa]	200					
Deformation moduls in plastic zone [MPa]	200					
Poisson's ratio [-]	0,3					
Volume increase in plastic zone [%]	0					

**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	[cm²]
Reinforcement's tensile strength	ftd	600	[MPa]
Drilling/Grouting Diameter	Dp	300	[mm]
Grout-soil bond	$\tau_d$	100	[kPa]
Cohesion improvement	$\Delta c$	275,500	[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	[cm²]
HSL	IPN 180	Moment of Inertia	Iy	12755,6	[cm⁴]
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]

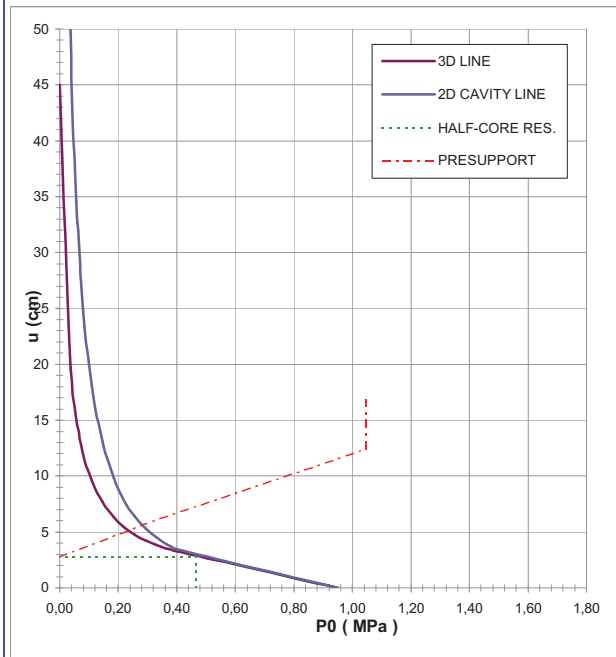
**FINAL LINING**

**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]



		AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6
Critical pressure	Pcr [MPa]	0,41					
Max cavity def. (2D)	$u_{2d\max}$ [cm]	139,33					
Rpl (2D)/Ro	$R_{p_{max}}/r_0$ [-]	5,52					
Cavity def. at the face	$u_f$ [cm]	2,75					
Rpl (Face)/Ro	$R_{p_{face}}/r_0$ [-]	0,93					
Deformation at (x) m	$u_{(x)}$ [cm]	2,75					
Def.at (x)m regarding gap	$u'_{(x)}$ [cm]	2,75					
Def.at equilibrium point	ueq [cm]	5,60					
Conv.at equilibrium point	Ceq [cm]	5,71					
Rpl (eq)/Ro	$R_{p_{eq}}/r_0$ [-]	1,18					
Equilibrium pressure	C1 [MPa]	0,31					

		AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6
Presupp.el. deformation	ulim [cm]	12,41					
Presupport stress	$\sigma_{sup}$ [MPa]	7,47					
Steel ribs stress	$\sigma_{st}$ [MPa]	74,67					
Shotcrete stress	$\sigma_{sc}$ [MPa]	7,47					
Bolt stress	$\sigma_{rb}$ [MPa]	-					
		SUPPORT RESULTS					
Support stress	$\sigma_{def}$ [MPa]	3,43					
Concrete stress	$\sigma_b$ [MPa]	3,43					
Reinforcement stress	$\sigma_s$ [MPa]	-					

		SEZ. TIPO C1							SEZ. TIPO C1+1.05							SEZ. TIPO C1 ALLARGO		SEZ. TIPO C1+1.05+PIAZZ	
Equivalent Tunnel Radius	ri	[m]	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	8	8	8	8	8	8	8.75	8.75	9.5	9.5
Overburden	H	[m]	45	60	80	100	150	200	230	45	60	80	100	150	200	150	200	120	200
Unit weight of the rock mass	γ	[kN/m <sup>3</sup> ]	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19

**Resistance Parameters**

Cohesion in the elastic zone	Cel	[kPa]	5	5	5	5	40	40	40	5	5	5	5	40	40	40	40	40	40
Cohesion in the plastic zone	Cpl	[kPa]	0	0	0	0	30	30	30	0	0	0	0	30	30	30	30	30	30
Friction angle in the elastic zone	Φel	[°]	39	39	39	39	36	36	36	39	39	39	39	36	36	36	36	36	36
Friction angle in the plastic zone	Φpl	[°]	34	34	34	34	32	32	32	34	34	34	34	32	32	32	32	32	32

**Elastic parameters**

Deformation moduls in elastic zone	Eel	[MPa]	275	350	450	450	650	650	650	275	350	450	450	650	650	650	650	650	650
Deformation moduls in plastic zone	Epl	[MPa]	275	350	450	450	650	650	650	275	350	450	450	650	650	650	650	650	650
Poisson's ratio	ν	[-]	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	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	ΔV	[%]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

**PRECONFINEMENT (Therapy Phase)**

Number of reinforcements	n <sup>r</sup>	[-]	45	58	58	58	58	58	58	52	65	65	65	65	65	70	70	100	100
Design Length	L	[m]	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Cohesion improvement	Δc	[kPa]	226	292	299	299	280	280	280	230	287	295	295	276	276	242	242	294	294

**SUPPORT DATA (Therapy Phase)**

Shotcrete Thickness	t	[cm]	25	25	25	25	25	25	25	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	25	25	25	25	25	25	25
Steel ribs profile	-	-	IPN200	IPN200	IPN200	IPN200	IPN200	IPN200	IPN200	IPN220	IPN220	IPN220	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	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	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.90	0.90

**DEFORMATION RESULTS**

Critical pressure	P <sub>cr</sub>	[MPa]	0.31	0.42	0.56	0.70	1.14	1.53	1.77	0.31	0.42	0.56	0.70	1.14	1.53	1.14	1.53	0.91	1.53
Cavity def. at the face	u <sub>f</sub>	[cm]	1.5	1.6	2.0	2.8	3.9	6.3	8.0	1.4	1.7	2.2	3.0	4.2	6.8	4.8	8.0	3.3	7.8
Rpl (Face)/Ro	R <sub>pface</sub> /R <sub>o</sub>	[-]	1.0	1.0	1.0	1.0	1.2	1.3	1.3	1.0	1.0	1.0	1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.1	1.3
Deformation at (x) m	u(x)	[cm]	1.5	1.6	2.0	2.8	3.9	6.3	8.0	1.4	1.7	2.2	3.0	4.2	6.8	4.8	8.0	3.3	7.8
Def.at (x)m regarding gap	u'(x)	[cm]	1.5	1.6	2.0	2.8	3.9	6.3	8.0	1.4	1.7	2.2	3.0	4.2	6.8	4.8	8.0	3.3	7.8
Def.at equilibrium point	u <sub>eq</sub>	[cm]	3.0	3.4	4.1	5.3	7.0	10.1	12.2	3.1	3.7	4.4	5.9	7.5	10.9	9.7	12.5	6.9	12.6
Conv.at equilibrium point	C <sub>eq</sub>	[cm]	3.1	3.7	4.2	4.9	6.2	7.6	8.4	3.3	4.0	4.5	5.7	6.7	8.3	9.7	9.0	7.2	9.5
Rpl (eq)/Ro	R <sub>p<sub>eq</sub></sub> /R <sub>o</sub>	[-]	1.2	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.6	1.2	1.2	1.3	1.3	1.5	1.6	1.4	1.6	1.4	1.6
Equilibrium pressure	C <sub>1</sub>	[MPa]	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.5	0.6	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.5	0.5	0.5	0.4	0.5

**TEMPORARY LINING RESULTS**

Steel ribs stress	σ <sub>st</sub>	[MPa]	50.3	61.1	69.1	81.0	101.2	125.4	138.3	50.8	62.1	69.9	88.0	102.9	127.5	137.0	127.3	94.0	124.4
Shotcrete stress	σ <sub>sc</sub>	[MPa]	5.0	6.1	6.9	8.1	10.1	12.5	13.8	5.1	6.2	7.0	8.8	10.3	12.8	13.7	12.7	9.4	12.4

**SUPPORT RESULTS**

Concrete stress	σ <sub>b</sub>	[MPa]	1.8	2.2	2.5	2.9	3.6	4.5	4.9	1.9	2.3	2.6	3.2	3.8	4.7	5.2	4.8	4.3	5.7
Reinforcement stress	σ <sub>s</sub>	[MPa]	-	-	-	-	-	-	73.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	85.6

**VERIFICHE DEI RIVESTIMENTI DI PRIMA FASE**

		SEZ. TIPO C1							SEZ. TIPO C1+1.05							SEZ. TIPO C1 ALLARGO		SEZ. TIPO C1+1.05+PIAZZ	
Overburden	H	[m]	45	60	80	100	150	200	230	45	60	80	100	150	200	150	200	120	200
Steel ribs stress	σ <sub>st</sub> *γ <sub>G1</sub>	[MPa]	65.4	79.4	89.8	105.3	131.6	163.0	179.8	66.0	80.8	90.8	114.4	133.8	165.8	178.1	165.5	122.2	161.7
Shotcrete stress	σ <sub>sc</sub> *γ <sub>G1</sub>	[MPa]	6.5	7.9	9.0	10.5	13.2	16.3	18.0	6.6	8.1	9.1	11.4	13.4	16.6	17.8	16.6	12.2	16.2

γ<sub>G1</sub> 1.3

**VERIFICHE DEI RIVESTIMENTI DEFINITIVI**

		SEZ. TIPO C1							SEZ. TIPO C1+1.05							SEZ. TIPO C1 ALLARGO		SEZ. TIPO C1+1.05+PIAZZ	
Deformation moduls in elastic zone	H	[m]	45	60	80	100	150	200	230	45	60	80	100	150	200	150	200	120	200
Concrete stress	σ <sub>b</sub> *γ <sub>G1</sub>	[MPa]	2.3	2.8	3.2	3.7	4.7	5.8	6.4	2.4	3.0	3.3	4.2	4.9	6.1	6.8	6.3	5.6	7.4
Reinforcement stress	σ <sub>s</sub> *γ <sub>G1</sub>	[MPa]	-	-	-	-	-	-	96.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	111.3

γ<sub>G1</sub> 1.3

**PROGETTO**

PONTE SULLO STRETTO  
 GALLERIA LE FOSSE  
 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]

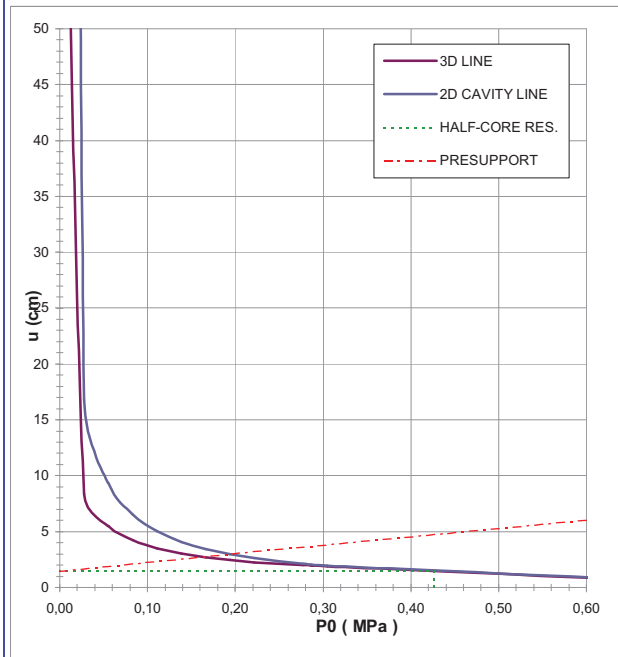
**FINAL LINING**

**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	$P_{cr}$ [MPa]	0,31					
Max cavity def. (2D)	$u_{2d=}$ [cm]	375,98					
Rpl (2D)/Ro	$Rp_{max}/r_0$ [-]	11,84					
Cavity def. at the face	$u_f$ [cm]	1,46					
Rpl (Face)/Ro	$Rp_{face}/r_0$ [-]	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	$Rp_{eq}/r_0$ [-]	1,19					
Equilibrium pressure	C1 [MPa]	0,20					

TEMPORARY LINING RESULTS		AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6
Presupp.el. deformation	$u_{lim}$ [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		AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6
Support stress	$\sigma_{def}$ [MPa]	1,79					
Concrete stress	$\sigma_b$ [MPa]	1,79					
Reinforcement stress	$\sigma_s$ [MPa]	-					

**PROGETTO**

PONTE SULLO STRETTO  
 GALLERIA LE FOSSE  
 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°	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°	[-]
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]

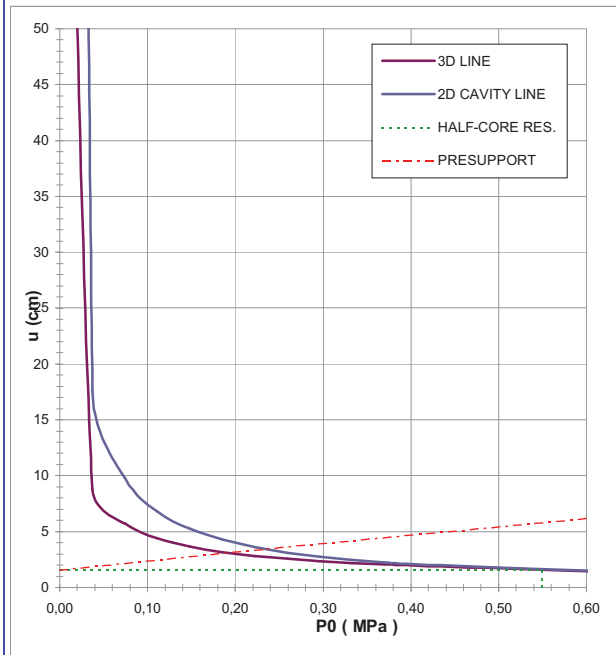
**FINAL LINING**

**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	$Rp_{max}/r_0$ [-]	13,28					
Cavity def. at the face	$u_f$ [cm]	1,56					
Rpl (Face)/Ro	$Rp_{face}/r_0$ [-]	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	$Rp_{eq}/r_0$ [-]	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 LE FOSSE  
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	$C_{el}$
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	$\Delta V$

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]

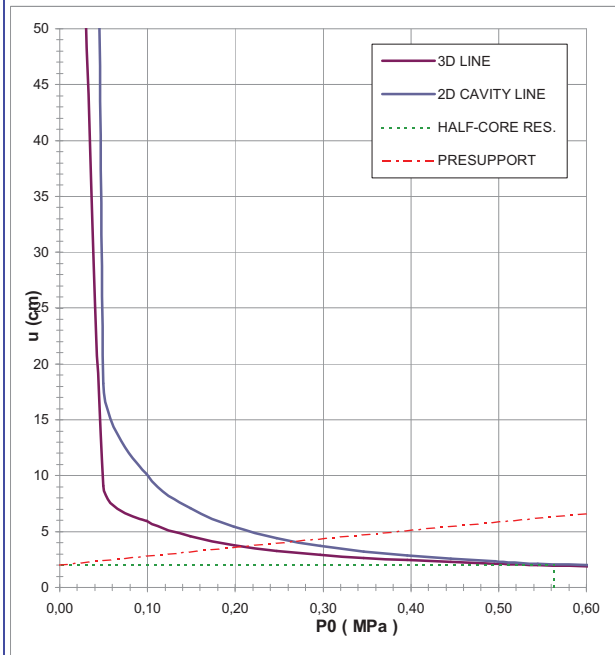
FINAL LINING

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	$P_{cr}$ [MPa]	0,56					
Max cavity def. (2D)	$u_{2d-c}$ [cm]	643,95					
Rpl (2D)/Ro	$R_{p_{max}}/r_0$ [-]	14,88					
Cavity def. at the face	$u_f$ [cm]	2,00					
Rpl (Face)/Ro	$R_{p_{face}}/r_0$ [-]	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	$u_{eq}$ [cm]	4,11					
Conv.at equilibrium point	$C_{eq}$ [cm]	4,21					
Rpl (eq)/Ro	$R_{p_{eq}}/r_0$ [-]	1,32					
Equilibrium pressure	C1 [MPa]	0,28					

TEMPORARY LINING RESULTS		AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6
Presupp.el. deformation	$u_{lim}$ [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		AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6
Support stress	$\sigma_{def}$ [MPa]	2,46					
Concrete stress	$\sigma_b$ [MPa]	2,46					
Reinforcement stress	$\sigma_s$ [MPa]	-					

**PROGETTO**

PONTE SULLO STRETTO  
 GALLERIA LE FOSSE  
 SEZIONE TIPO C1 STANDARD, COPERTURA 100m - 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]
100 [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]

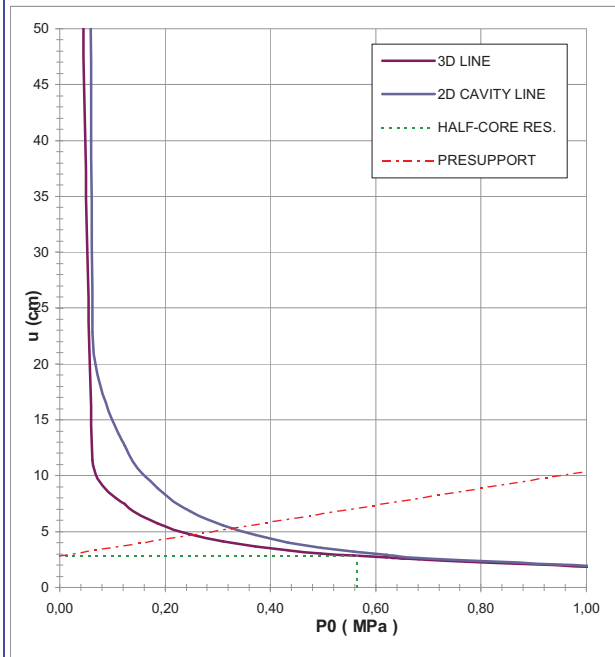
**FINAL LINING**

**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]	0,70					
Max cavity def. (2D)	$u_{2d}$ [cm]	960,18					
Rpl (2D)/Ro	$Rp_{max}/r_0$ [-]	16,26					
Cavity def. at the face	$u_f$ [cm]	2,82					
Rpl (Face)/Ro	$Rp_{face}/r_0$ [-]	1,05					
Deformation at (x) m	$u_{(x)}$ [cm]	2,82					
Def.at (x)m regarding gap	$u'_{(x)}$ [cm]	2,82					
Def.at equilibrium point	ueq [cm]	5,29					
Conv.at equilibrium point	Ceq [cm]	4,93					
Rpl (eq)/Ro	$Rp_{eq}/r_0$ [-]	1,35					
Equilibrium pressure	C1 [MPa]	0,33					

TEMPORARY LINING RESULTS							
		AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6
Presupp.el. deformation	ulim [cm]	10,50					
Presupport stress	$\sigma_{sup}$ [MPa]	8,10					
Steel ribs stress	$\sigma_{st}$ [MPa]	80,98					
Shotcrete stress	$\sigma_{sc}$ [MPa]	8,10					
Bolt stress	$\sigma_{rb}$ [MPa]	-					

SUPPORT RESULTS		
Support stress	$\sigma_{def}$ [MPa]	2,88
Concrete stress	$\sigma_b$ [MPa]	2,88
Reinforcement stress	$\sigma_s$ [MPa]	-

**PROGETTO**

PONTE SULLO STRETTO  
 GALLERIA LE FOSSE  
 SEZIONE TIPO C1 STANDARD, COPERTURA 150m - GHIAIE DI MESSINA, GR.2

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]
150 [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	$\Phi_{pl}$

40 [kPa]	[kPa]
30 [kPa]	[kPa]
36 [°]	[°]
32 [°]	[°]

[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	$\Delta V$

650 [MPa]	[MPa]
650 [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	$\Delta c$	280,207	[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]

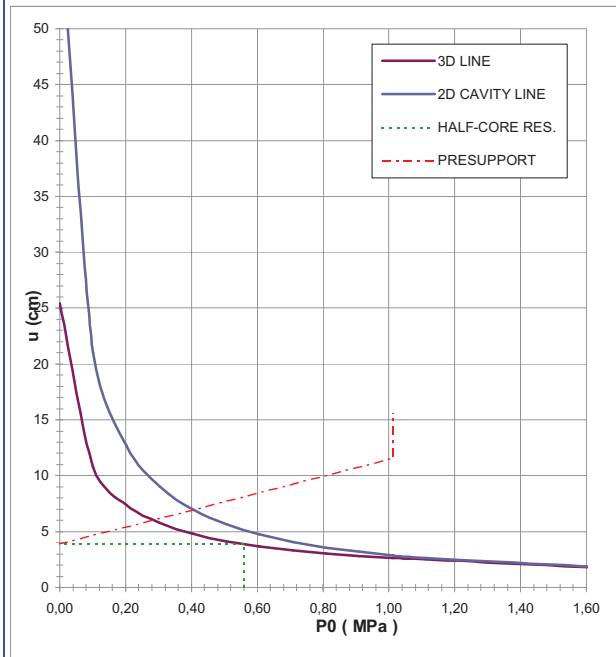
**FINAL LINING**

**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	$P_{cr}$ [MPa]	1,14					
Max cavity def. (2D)	$u_{2d-c}$ [cm]	60,17					
Rpl (2D)/Ro	$Rp_{max}/r_0$ [-]	4,15					
Cavity def. at the face	$u_f$ [cm]	3,87					
Rpl (Face)/Ro	$Rp_{face}/r_0$ [-]	1,20					
Deformation at (x) m	$u_{(x)}$ [cm]	3,87					
Def.at (x)m regarding gap	$u'_{(x)}$ [cm]	3,87					
Def.at equilibrium point	$u_{eq}$ [cm]	6,95					
Conv.at equilibrium point	$Ce_q$ [cm]	6,17					
Rpl (eq)/Ro	$Rp_{eq}/r_0$ [-]	1,53					
Equilibrium pressure	C1 [MPa]	0,41					

TEMPORARY LINING RESULTS		AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6
Presupp.el. deformation	$u_{lim}$ [cm]	11,55					
Presupport stress	$\sigma_{sup}$ [MPa]	10,12					
Steel ribs stress	$\sigma_{st}$ [MPa]	101,23					
Shotcrete stress	$\sigma_{sc}$ [MPa]	10,12					
Bolt stress	$\sigma_{rb}$ [MPa]	-					

SUPPORT RESULTS		AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6
Support stress	$\sigma_{def}$ [MPa]	3,61					
Concrete stress	$\sigma_b$ [MPa]	3,61					
Reinforcement stress	$\sigma_s$ [MPa]	-					



PROGETTO

PONTE SULLO STRETTO  
 GALLERIA LE FOSSE  
 SEZIONE TIPO C1 STANDARD, COPERTURA 200m - GHIAIE DI MESSINA, GR.2

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]
200 [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	$\Phi_{pl}$

40 [kPa]	[kPa]
30 [kPa]	[kPa]
36 [°]	[°]
32 [°]	[°]

[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	$\Delta V$

650 [MPa]	[MPa]
650 [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	$\Delta c$	280,207	[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]

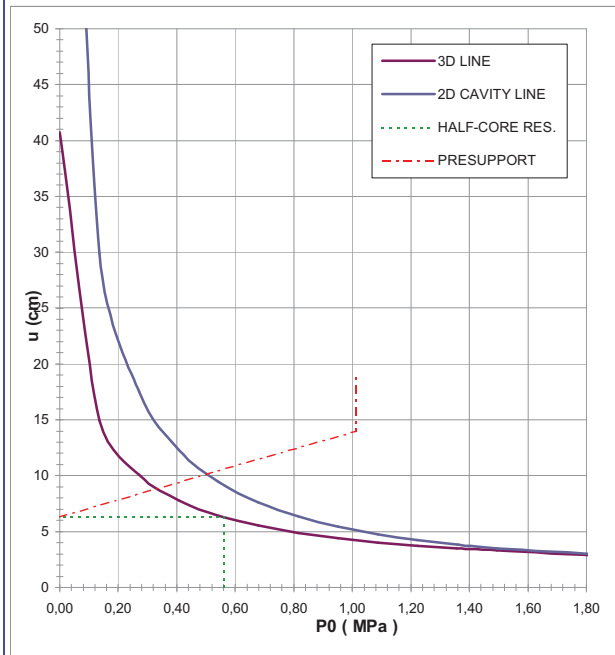
FINAL LINING

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]	1,53					
Max cavity def. (2D)	$u_{2d=}$ [cm]	103,39					
Rpl (2D)/Ro	$Rp_{max}/r0$ [-]	4,71					
Cavity def. at the face	$u_f$ [cm]	6,31					
Rpl (Face)/Ro	$Rp_{face}/r0$ [-]	1,29					
Deformation at (x) m	$u_{(x)}$ [cm]	6,31					
Def.at (x)m regarding gap	$u'_{(x)}$ [cm]	6,31					
Def.at equilibrium point	ueq [cm]	10,13					
Conv.at equilibrium point	Ceq [cm]	7,64					
Rpl (eq)/Ro	$Rp_{eq}/r0$ [-]	1,60					
Equilibrium pressure	C1 [MPa]	0,50					

TEMPORARY LINING RESULTS		AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6
Presupp.el. deformation	ulim [cm]	13,99					
Presupport stress	$\sigma_{sup}$ [MPa]	12,54					
Steel ribs stress	$\sigma_{st}$ [MPa]	125,41					
Shotcrete stress	$\sigma_{sc}$ [MPa]	12,54					
Bolt stress	$\sigma_{rb}$ [MPa]	-					

SUPPORT RESULTS		AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6
Support stress	$\sigma_{def}$ [MPa]	4,47					
Concrete stress	$\sigma_b$ [MPa]	4,47					
Reinforcement stress	$\sigma_s$ [MPa]	-					

**PROGETTO**

PONTE SULLO STRETTO  
 GALLERIA LE FOSSE  
 SEZIONE TIPO C1 STANDARD, COPERTURA 230m - GHIAIE DI MESSINA, GR.2

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]
230 [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	$\Phi_{pl}$

40 [kPa]	[kPa]
30 [kPa]	[kPa]
36 [°]	[°]
32 [°]	[°]

[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	$\Delta V$

650 [MPa]	[MPa]
650 [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	$\Delta c$	280,207	[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]

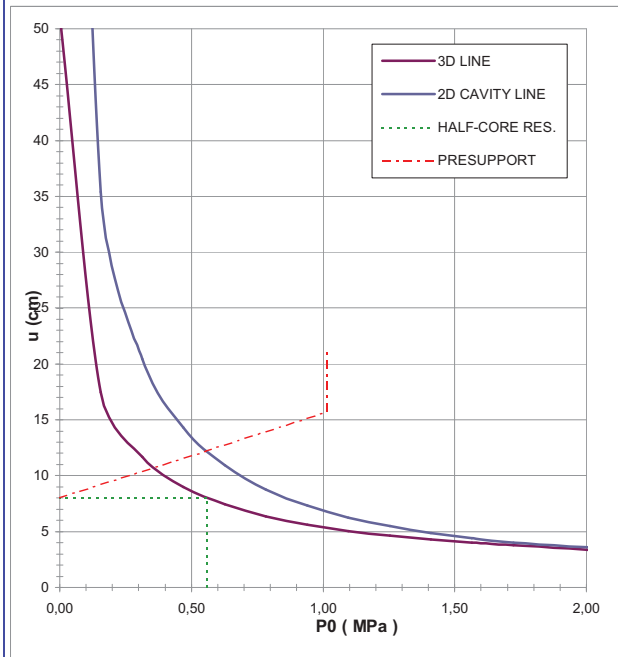
**FINAL LINING**

**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	$\phi$	24	[mm]
Steel bars spacing	s	25	[cm]
Number of set	n	2	[-]
Yielding strength	fyd	262	[MPa]



DEFORMATION RESULTS							
		AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6
Critical pressure	Pcr [MPa]	1,77					
Max cavity def. (2D)	$u_{2d=}$ [cm]	134,53					
Rpl (2D)/Ro	$Rp_{max}/r_0$ [-]	5,01					
Cavity def. at the face	$u_f$ [cm]	8,01					
Rpl (Face)/Ro	$Rp_{face}/r_0$ [-]	1,34					
Deformation at (x) m	$u_{(x)}$ [cm]	8,01					
Def.at (x)m regarding gap	$u'_{(x)}$ [cm]	8,01					
Def.at equilibrium point	ueq [cm]	12,23					
Conv.at equilibrium point	Ceq [cm]	8,43					
Rpl (eq)/Ro	$Rp_{eq}/r_0$ [-]	1,63					
Equilibrium pressure	C1 [MPa]	0,56					

TEMPORARY LINING RESULTS							
		AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6
Presupp.el. deformation	ulim [cm]	15,69					
Presupport stress	$\sigma_{sup}$ [MPa]	13,83					
Steel ribs stress	$\sigma_{st}$ [MPa]	138,32					
Shotcrete stress	$\sigma_{sc}$ [MPa]	13,83					
Bolt stress	$\sigma_{rb}$ [MPa]	-					

SUPPORT RESULTS							
		AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6
Support stress	$\sigma_{def}$ [MPa]	4,93					
Concrete stress	$\sigma_b$ [MPa]	4,93					
Reinforcement stress	$\sigma_s$ [MPa]	73,903					

**PROGETTO**

PONTE SULLO STRETTO  
 GALLERIA LE FOSSE  
 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	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	12,02	[MPa/m]

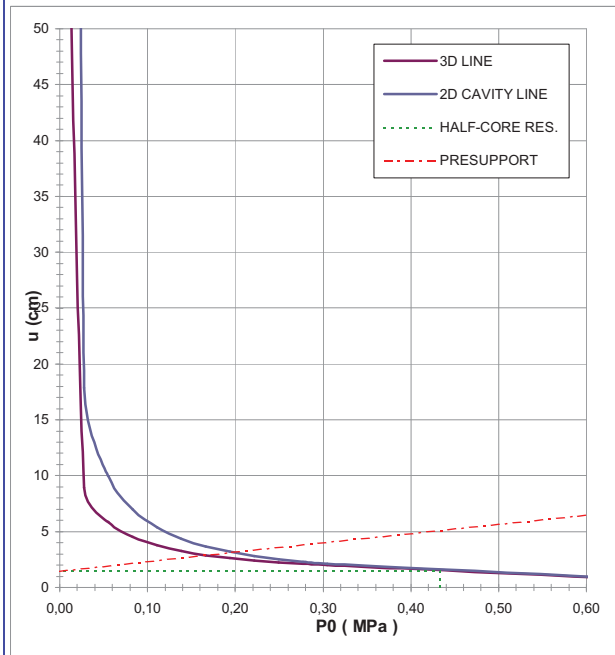
**FINAL LINING**

**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	f <sub>yd</sub>	[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	$Rp_{max}/r_0$ [-]	11,84					
Cavity def. at the face	$u_f$ [cm]	1,42					
Rpl (Face)/Ro	$Rp_{face}/r_0$ [-]	0,88					
Deformation at (x) m	$u_{(x)}$ [cm]	1,42					
Def.at (x)m regarding gap	$u'_{(x)}$ [cm]	1,42					
Def.at equilibrium point	ueq [cm]	3,07					
Conv.at equilibrium point	Ceq [cm]	3,29					
Rpl (eq)/Ro	$Rp_{eq}/r_0$ [-]	1,20					
Equilibrium pressure	C1 [MPa]	0,20					

TEMPORARY LINING RESULTS		AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6
Presupp.el. deformation	ulim [cm]	9,60					
Presupport stress	$\sigma_{sup}$ [MPa]	5,08					
Steel ribs stress	$\sigma_{st}$ [MPa]	50,75					
Shotcrete stress	$\sigma_{sc}$ [MPa]	5,08					
Bolt stress	$\sigma_{rb}$ [MPa]	-					

SUPPORT RESULTS		AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6
Support stress	$\sigma_{def}$ [MPa]	1,86					
Concrete stress	$\sigma_b$ [MPa]	1,86					
Reinforcement stress	$\sigma_s$ [MPa]	-					

PROGETTO

PONTE SULLO STRETTO  
 GALLERIA LE FOSSE  
 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	$\gamma$

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]
0,4 [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	$\Delta V$

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	$n^\circ$	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]

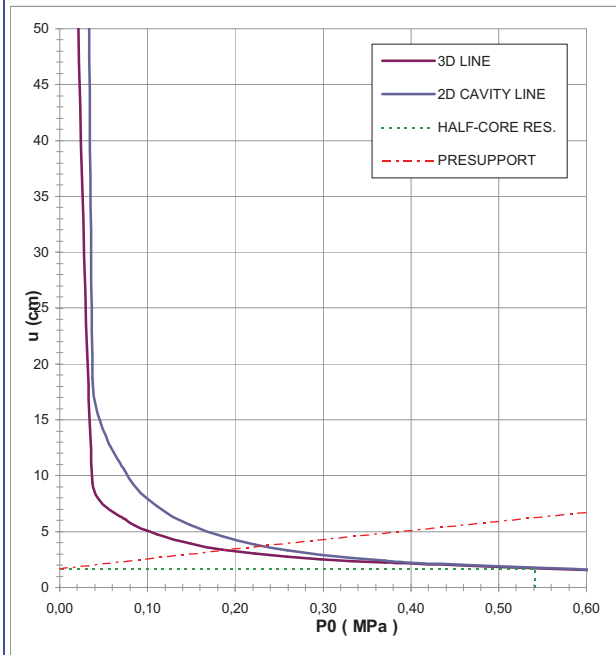
FINAL LINING

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]



DEFORMATION RESULTS		AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6
Critical pressure	Pcr [MPa]	0,42					
Max cavity def. (2D)	$u_{2d=}$ [cm]	527,58					
Rpl (2D)/Ro	$Rp_{max}/r_0$ [-]	13,28					
Cavity def. at the face	$u_f$ [cm]	1,69					
Rpl (Face)/Ro	$Rp_{face}/r_0$ [-]	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	$Rp_{eq}/r_0$ [-]	1,24					
Equilibrium pressure	C1 [MPa]	0,24					

TEMPORARY LINING RESULTS		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]	-					

SUPPORT RESULTS		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 LE FOSSE  
 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]

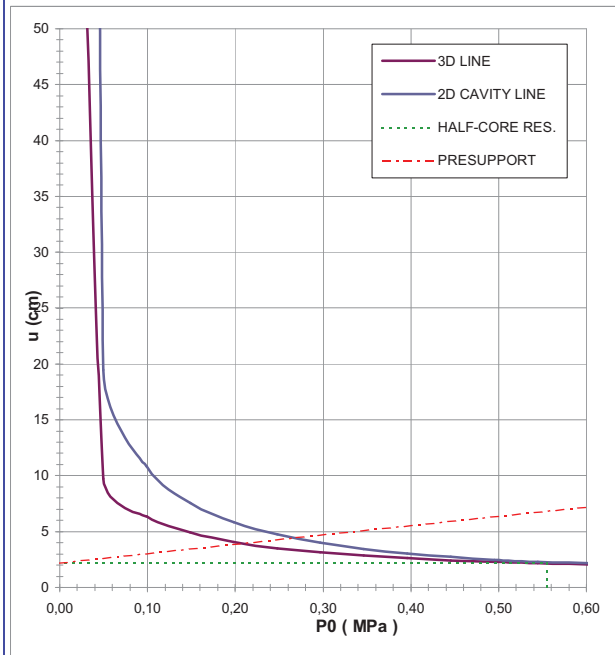
**FINAL LINING**

**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)	$u_{2d-c}$ [cm]	686,88					
Rpl (2D)/Ro	$Rp_{max}/r_0$ [-]	14,88					
Cavity def. at the face	$u_f$ [cm]	2,17					
Rpl (Face)/Ro	$Rp_{face}/r_0$ [-]	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	$Rp_{eq}/r_0$ [-]	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 LE FOSSE  
 SEZIONE TIPO C1 + 1.05m, COPERTURA 100m - 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]
100 [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°	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°	[-]
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]

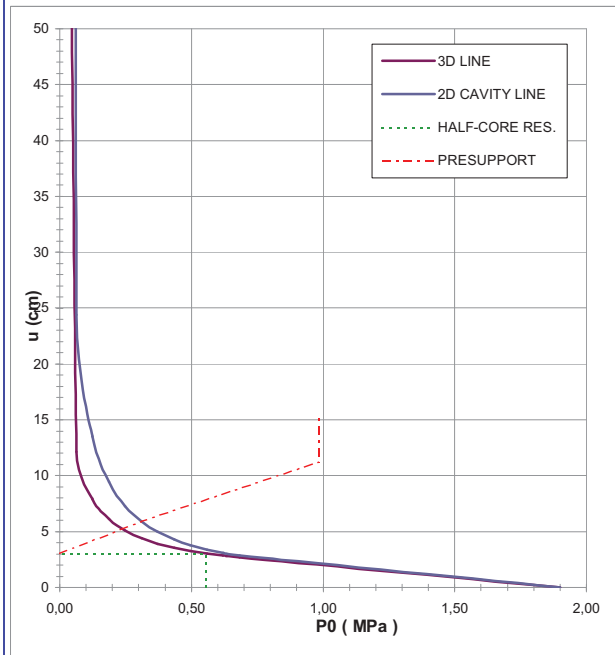
**FINAL LINING**

**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	$P_{cr}$ [MPa]	0,70					
Max cavity def. (2D)	$u_{2d=}$ [cm]	1024,19					
Rpl (2D)/Ro	$Rp_{max}/r_0$ [-]	16,26					
Cavity def. at the face	$u_f$ [cm]	3,04					
Rpl (Face)/Ro	$Rp_{face}/r_0$ [-]	1,05					
Deformation at (x) m	$u_{(x)}$ [cm]	3,04					
Def.at (x)m regarding gap	$u'_{(x)}$ [cm]	3,04					
Def.at equilibrium point	$ueq$ [cm]	5,90					
Conv.at equilibrium point	$Ceq$ [cm]	5,71					
Rpl (eq)/Ro	$Rp_{eq}/r_0$ [-]	1,32					
Equilibrium pressure	C1 [MPa]	0,34					

TEMPORARY LINING RESULTS		AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6
Presupp.el. deformation	$u_{lim}$ [cm]	11,23					
Presupport stress	$\sigma_{sup}$ [MPa]	8,80					
Steel ribs stress	$\sigma_{st}$ [MPa]	88,04					
Shotcrete stress	$\sigma_{sc}$ [MPa]	8,80					
Bolt stress	$\sigma_{rb}$ [MPa]	-					

SUPPORT RESULTS		AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6
Support stress	$\sigma_{def}$ [MPa]	3,23					
Concrete stress	$\sigma_b$ [MPa]	3,23					
Reinforcement stress	$\sigma_s$ [MPa]	-					

**PROGETTO**

PONTE SULLO STRETTO  
 GALLERIA LE FOSSE  
 SEZIONE TIPO C1 + 1.05m, COPERTURA 150m - 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]
150 [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	$\Phi_{pl}$

40 [kPa]	[kPa]
30 [kPa]	[kPa]
36 [°]	[°]
32 [°]	[°]

[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	$\Delta V$

650 [MPa]	[MPa]
650 [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°	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	$\Delta c$	275,999	[kPa]

Jet grouting

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

Number of reinforcements	n°	[-]
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]

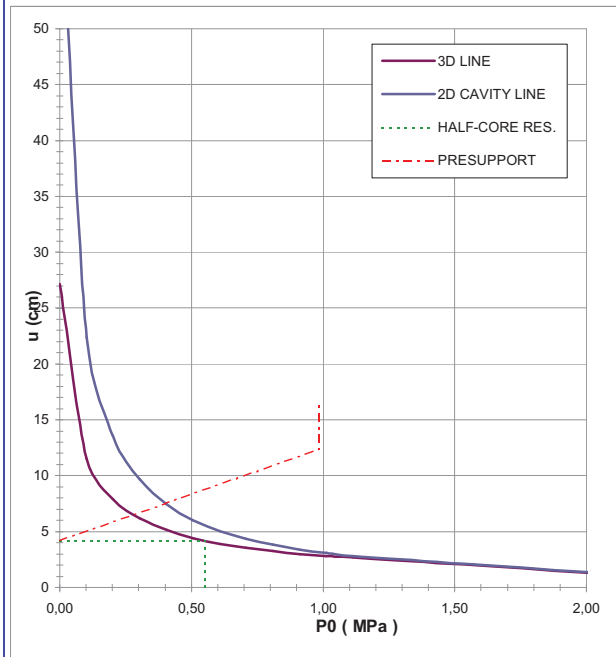
**FINAL LINING**

**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]	1,14					
Max cavity def. (2D)	$u_{2d=}$ [cm]	64,18					
Rpl (2D)/Ro	$Rp_{max}/r_0$ [-]	4,15					
Cavity def. at the face	$u_f$ [cm]	4,17					
Rpl (Face)/Ro	$Rp_{face}/r_0$ [-]	1,20					
Deformation at (x) m	$u_{(x)}$ [cm]	4,17					
Def.at (x)m regarding gap	$u'_{(x)}$ [cm]	4,17					
Def.at equilibrium point	ueq [cm]	7,51					
Conv.at equilibrium point	Ceq [cm]	6,68					
Rpl (eq)/Ro	$Rp_{eq}/r_0$ [-]	1,54					
Equilibrium pressure	C1 [MPa]	0,40					

TEMPORARY LINING RESULTS		AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6
Presupp.el. deformation	ulim [cm]	12,35					
Presupport stress	$\sigma_{sup}$ [MPa]	10,29					
Steel ribs stress	$\sigma_{st}$ [MPa]	102,92					
Shotcrete stress	$\sigma_{sc}$ [MPa]	10,29					
Bolt stress	$\sigma_{rb}$ [MPa]	-					

SUPPORT RESULTS		AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6
Support stress	$\sigma_{def}$ [MPa]	3,78					
Concrete stress	$\sigma_b$ [MPa]	3,78					
Reinforcement stress	$\sigma_s$ [MPa]	-					



**PROGETTO**

PONTE SULLO STRETTO  
 GALLERIA LE FOSSE  
 SEZIONE TIPO C1 + 1.05m, COPERTURA 200m - GHIAIE DI MESSINA

DIAGNOSI

TERAPIA



**INPUT DATA (Diagnosis phase)**

**Geometrical Data**

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

**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	$\Phi_{pl}$

**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]
200 [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> ]
40 [kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]
30 [kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]
36 [°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]
32 [°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]
650 [MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
650 [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	$\tau d$	200	[kPa]
Cohesion improvement	$\Delta c$	275,999	[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	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	12,02	[MPa/m]

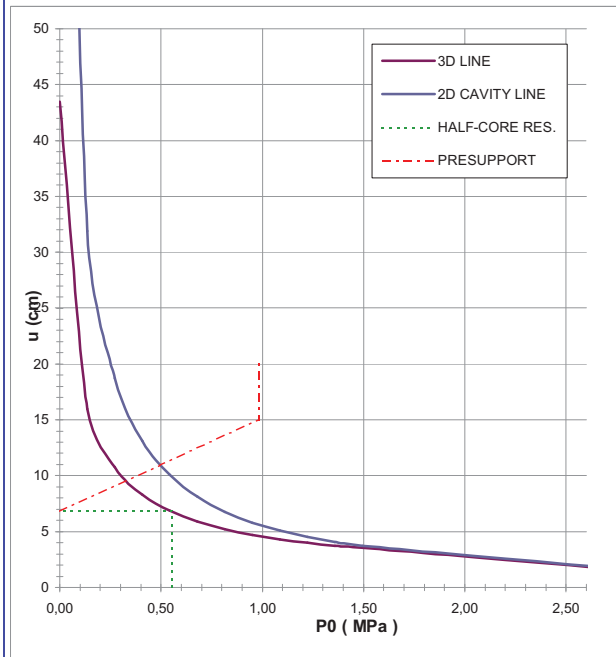
**FINAL LINING**

**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	f <sub>yd</sub>	[MPa]



DEFORMATION RESULTS		AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6
Critical pressure	$P_{cr}$ [MPa]	1,53					
Max cavity def. (2D)	$u_{2d-c}$ [cm]	110,28					
Rpl (2D)/Ro	$Rp_{max}/r0$ [-]	4,71					
Cavity def. at the face	$u_f$ [cm]	6,81					
Rpl (Face)/Ro	$Rp_{face}/r0$ [-]	1,30					
Deformation at (x) m	$u_{(x)}$ [cm]	6,81					
Def.at (x)m regarding gap	$u'_{(x)}$ [cm]	6,81					
Def.at equilibrium point	$u_{eq}$ [cm]	10,94					
Conv.at equilibrium point	$C_{eq}$ [cm]	8,28					
Rpl (eq)/Ro	$Rp_{eq}/r0$ [-]	1,60					
Equilibrium pressure	C1 [MPa]	0,50					

TEMPORARY LINING RESULTS		AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6
Presupp.el. deformation	$u_{lim}$ [cm]	14,99					
Presupport stress	$\sigma_{sup}$ [MPa]	12,75					
Steel ribs stress	$\sigma_{st}$ [MPa]	127,52					
Shotcrete stress	$\sigma_{sc}$ [MPa]	12,75					
Bolt stress	$\sigma_{rb}$ [MPa]	-					

SUPPORT RESULTS		AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6
Support stress	$\sigma_{def}$ [MPa]	4,68					
Concrete stress	$\sigma_b$ [MPa]	4,68					
Reinforcement stress	$\sigma_s$ [MPa]	-					



**PROGETTO**

PONTE SULLO STRETTO  
 GALLERIA LE FOSSE  
 SEZIONE TIPO C1 + ALLARGO, COPERTURA 150m - 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]
150 [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	$\Phi_{pl}$

40 [kPa]	[kPa]
30 [kPa]	[kPa]
36 [°]	[°]
32 [°]	[°]

[kPa]	[kPa]
[kPa]	[kPa]
[°]	[°]
[°]	[°]

[kPa]	[kPa]
[kPa]	[kPa]
[°]	[°]
[°]	[°]

**Elastic parameters**

Deformation moduls in elastic zone	$E_{el}$
Deformation moduls in plastic zone	$E_{pl}$
Poisson's ratio	$\nu$
Volume increase in plastic zone	$\Delta V$

650 [MPa]	[MPa]
650 [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	$A_{el}$	14,5	[cm <sup>2</sup> ]
Reinforcement's tensile strength	$f_{td}$	600	[MPa]
Drilling/Grouting Diameter	$D_p$	300	[mm]
Grout-soil bond	$\tau_d$	100	[kPa]
Cohesion improvement	$\Delta c$	242,242	[kPa]

**Jet grouting**

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

Number of reinforcements	$n^\circ$	[-]
Design Length	L	[m]
Coloumndiameter	$D_n$	[mm]
Jet Cohesion	$c_{jet}$	[kPa]
Design cohesion for the soil	$c_s$	[kPa]
Cohesion improvement	$\Delta c$	[kPa]

**SUPPORT DATA (Therapy Phase)**

**SHOTCRETE**

Elastic Modulus	$E_{sb}$	20000	[MPa]
Poisson's Ratio	$\nu$	0,2	[-]
Thickness	t	25	[cm]
Compression strenght (medium)	$f_{cm}$	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	$E_b$	[MPa]
Ultimate failure load	$F_u$	[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	$A_s$	92,20	[cm <sup>2</sup> ]
HSL	IPN 180	Moment of Inertia	$I_y$	8500,0	[cm <sup>4</sup> ]
HSU	IPN 200	Yielding strength	$f_{yd}$	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	$K_a$	0,11	[-]
Stiffness reduction factor for Rock Bolts	$K_{bolt}$	1,00	[-]
Distance of support	d	0,00	[m]
Total Stiffness	$K_t$	10,43	[MPa/m]

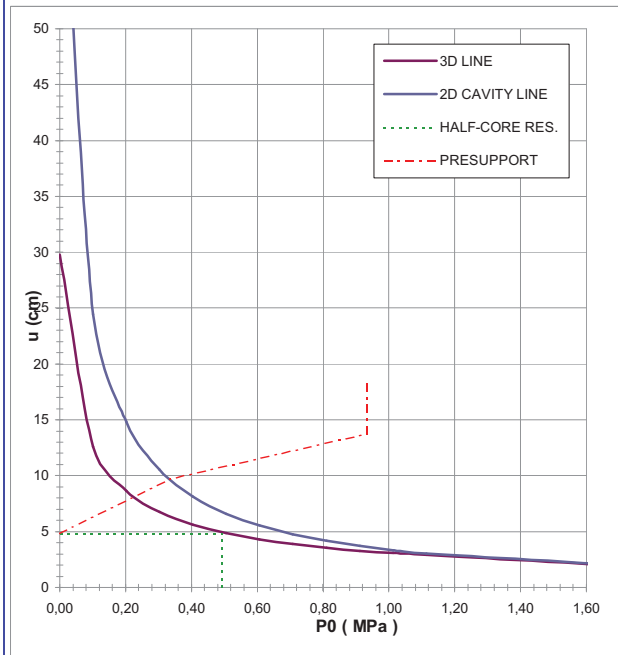
**FINAL LINING**

**CONCRETE**

Elastic Modulus	$E_c$	31476	[MPa]
Poisson's Ratio	$\nu$	0,2	[-]
Thickness	T	90	[cm]
Concrete compression strenght	$f_{cd}$	14,17	[MPa]

**STEEL REINFORCEMENTS**

Diameter of the steel bars	$\phi$	[mm]
Steel bars spacing	s	[cm]
Number of set	n	[-]
Yielding strength	$f_{yd}$	[MPa]



DEFORMATION RESULTS							
		AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6
Critical pressure	$P_{cr}$ [MPa]	1,14					
Max cavity def. (2D)	$u_{2d=}$ [cm]	70,19					
Rpl (2D)/Ro	$R_{p_{max}}/r_0$ [-]	4,15					
Cavity def. at the face	$u_f$ [cm]	4,80					
Rpl (Face)/Ro	$R_{p_{face}}/r_0$ [-]	1,24					
Deformation at (x) m	$u_{(x)}$ [cm]	4,80					
Def.at (x)m regarding gap	$u'_{(x)}$ [cm]	4,80					
Def.at equilibrium point	$u_{eq}$ [cm]	9,66					
Conv.at equilibrium point	$C_{eq}$ [cm]	9,72					
Rpl (eq)/Ro	$R_{p_{eq}}/r_0$ [-]	1,40					
Equilibrium pressure	$C_1$ [MPa]	0,51					

TEMPORARY LINING RESULTS							
		AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6
Presupp.el. deformation	$u_{lim}$ [cm]	13,75					
Presupport stress	$\sigma_{sup}$ [MPa]	13,70					
Steel ribs stress	$\sigma_{st}$ [MPa]	136,97					
Shotcrete stress	$\sigma_{sc}$ [MPa]	13,70					
Bolt stress	$\sigma_{rb}$ [MPa]	-					

SUPPORT RESULTS							
		AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6
Support stress	$\sigma_{def}$ [MPa]	5,19					
Concrete stress	$\sigma_b$ [MPa]	5,19					
Reinforcement stress	$\sigma_s$ [MPa]	-					

**PROGETTO**

PONTE SULLO STRETTO  
 GALLERIA LE FOSSE  
 SEZIONE TIPO C1 + ALLARGO, COPERTURA 200m - 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]
200 [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	$\Phi_{pl}$

40 [kPa]	[kPa]
30 [kPa]	[kPa]
36 [°]	[°]
32 [°]	[°]

[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	$\Delta V$

650 [MPa]	[MPa]
650 [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	$\Delta c$	242,242	[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]

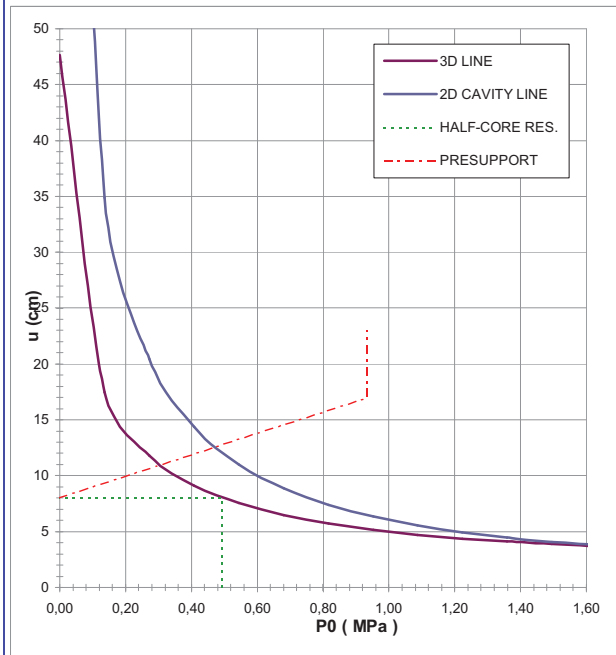
**FINAL LINING**

**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]	1,53					
Max cavity def. (2D)	$u_{2d=}$ [cm]	120,62					
Rpl (2D)/Ro	$Rp_{max}/r_0$ [-]	4,71					
Cavity def. at the face	$u_f$ [cm]	8,00					
Rpl (Face)/Ro	$Rp_{face}/r_0$ [-]	1,34					
Deformation at (x) m	$u_{(x)}$ [cm]	8,00					
Def.at (x)m regarding gap	$u'_{(x)}$ [cm]	8,00					
Def.at equilibrium point	ueq [cm]	12,52					
Conv.at equilibrium point	Ceq [cm]	9,03					
Rpl (eq)/Ro	$Rp_{eq}/r_0$ [-]	1,64					
Equilibrium pressure	C1 [MPa]	0,47					

TEMPORARY LINING RESULTS							
		AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6
Presupp.el. deformation	ulim [cm]	16,95					
Presupport stress	$\sigma_{sup}$ [MPa]	12,73					
Steel ribs stress	$\sigma_{st}$ [MPa]	127,33					
Shotcrete stress	$\sigma_{sc}$ [MPa]	12,73					
Bolt stress	$\sigma_{rb}$ [MPa]	-					

SUPPORT RESULTS		
Support stress	$\sigma_{def}$ [MPa]	4,83
Concrete stress	$\sigma_b$ [MPa]	4,83
Reinforcement stress	$\sigma_s$ [MPa]	-

**PROGETTO**

PONTE SULLO STRETTO  
 GALLERIA LE FOSSE  
 SEZIONE TIPO C1+1,05+PIAZZOLA - ALLARGO COPERTURA 120m - 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]
120 [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	$\Phi_{pl}$

40 [kPa]	[kPa]
30 [kPa]	[kPa]
36 [°]	[°]
32 [°]	[°]

[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	$\Delta V$

650 [MPa]	[MPa]
650 [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	$\Delta c$	293,576	[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]

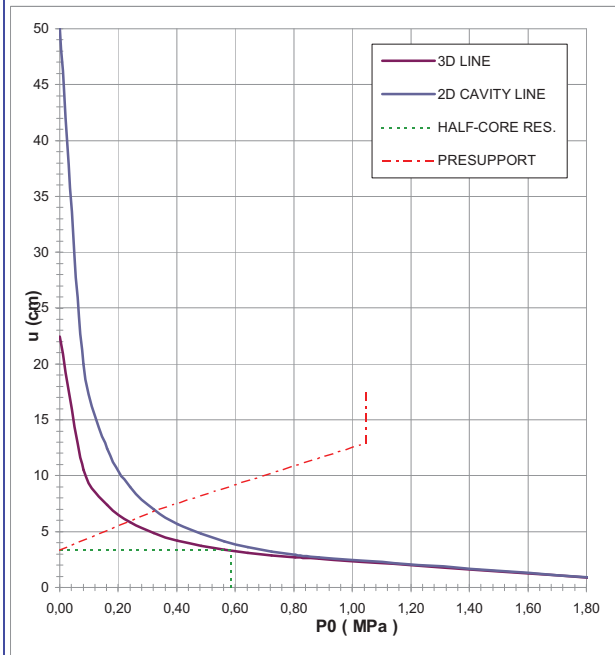
**FINAL LINING**

**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	$P_{cr}$ [MPa]	0,91					
Max cavity def. (2D)	$u_{2d=}$ [cm]	50,10					
Rpl (2D)/Ro	$R_{p_{max}}/r_0$ [-]	3,77					
Cavity def. at the face	$u_f$ [cm]	3,30					
Rpl (Face)/Ro	$R_{p_{face}}/r_0$ [-]	1,11					
Deformation at (x) m	$u_{(x)}$ [cm]	3,30					
Def.at (x)m regarding gap	$u'_{(x)}$ [cm]	3,30					
Def.at equilibrium point	$u_{eq}$ [cm]	6,89					
Conv.at equilibrium point	$C_{eq}$ [cm]	7,19					
Rpl (eq)/Ro	$R_{p_{eq}}/r_0$ [-]	1,41					
Equilibrium pressure	C1 [MPa]	0,39					

TEMPORARY LINING RESULTS		AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6
Presupp.el. deformation	$u_{lim}$ [cm]	12,96					
Presupport stress	$\sigma_{sup}$ [MPa]	9,40					
Steel ribs stress	$\sigma_{st}$ [MPa]	93,97					
Shotcrete stress	$\sigma_{sc}$ [MPa]	9,40					
Bolt stress	$\sigma_{rb}$ [MPa]	-					

SUPPORT RESULTS		AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6
Support stress	$\sigma_{def}$ [MPa]	4,31					
Concrete stress	$\sigma_b$ [MPa]	4,31					
Reinforcement stress	$\sigma_s$ [MPa]	-					

**PROGETTO**

PONTE SULLO STRETTO  
 GALLERIA LE FOSSE  
 SEZIONE TIPO C1+1,05+PIAZZOLA - ALLARGO COPERTURA 200m - 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]
200 [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	$\Phi_{pl}$

40 [kPa]	[kPa]
30 [kPa]	[kPa]
36 [°]	[°]
32 [°]	[°]

[kPa]	[kPa]
[kPa]	[kPa]
[°]	[°]
[°]	[°]

[kPa]	[kPa]
[kPa]	[kPa]
[°]	[°]
[°]	[°]

**Elastic parameters**

Deformation moduls in elastic zone	$E_{el}$
Deformation moduls in plastic zone	$E_{pl}$
Poisson's ratio	$\nu$
Volume increase in plastic zone	$\Delta V$

650 [MPa]	[MPa]
650 [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	$A_{el}$	14,5	[cm <sup>2</sup> ]
Reinforcement's tensile strength	$f_{td}$	600	[MPa]
Drilling/Grouting Diameter	$D_p$	300	[mm]
Grout-soil bond	$\tau_d$	100	[kPa]
Cohesion improvement	$\Delta c$	293,576	[kPa]

Jet grouting

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

Number of reinforcements	$n^\circ$		[-]
Design Length	L		[m]
Coloumndiameter	$D_n$		[mm]
Jet Cohesion	$c_{jet}$		[kPa]
Design cohesion for the soil	$c_s$		[kPa]
Cohesion improvement	$\Delta c$		[kPa]

**SUPPORT DATA (Therapy Phase)**

**SHOTCRETE**

Elastic Modulus	$E_{sb}$	20000	[MPa]
Poisson's Ratio	$\nu$	0,2	[-]
Thickness	t	30	[cm]
Compression strenght (medium)	$f_{cm}$	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	$E_b$		[MPa]
Ultimate failure load	$F_u$		[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	$A_s$	118,44	[cm <sup>2</sup> ]
HSL	IPN 180	Moment of Inertia	$I_y$	12755,6	[cm <sup>4</sup> ]
HSU	IPN 200	Yielding strength	$f_{yd}$	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	$K_a$	0,11	[-]
Stiffness reduction factor for Rock Bolts	$K_{bolt}$	1,00	[-]
Distance of support	d	0,00	[m]
Total Stiffness	$K_t$	10,83	[MPa/m]

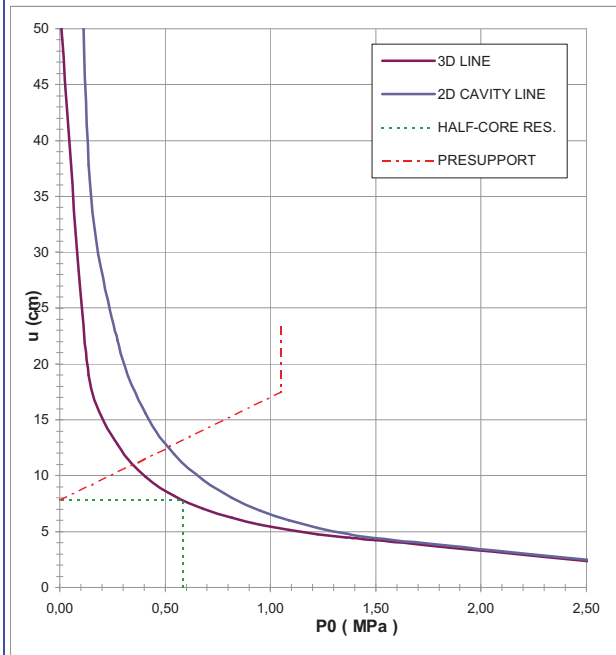
**FINAL LINING**

**CONCRETE**

Elastic Modulus	$E_c$	31476	[MPa]
Poisson's Ratio	$\nu$	0,2	[-]
Thickness	T	90	[cm]
Concrete compression strenght	$f_{cd}$	14,17	[MPa]

**STEEL REINFORCEMENTS**

Diameter of the steel bars	$\phi$	24	[mm]
Steel bars spacing	s	10	[cm]
Number of set	n	2	[-]
Yielding strength	$f_{yd}$	262	[MPa]



DEFORMATION RESULTS							
		AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6
Critical pressure	$P_{cr}$ [MPa]	1,53					
Max cavity def. (2D)	$u_{2d=}$ [cm]	130,96					
Rpl (2D)/Ro	$R_{p_{max}}/r_0$ [-]	4,71					
Cavity def. at the face	$u_f$ [cm]	7,81					
Rpl (Face)/Ro	$R_{p_{face}}/r_0$ [-]	1,28					
Deformation at (x) m	$u_{(x)}$ [cm]	7,81					
Def.at (x)m regarding gap	$u'_{(x)}$ [cm]	7,81					
Def.at equilibrium point	$u_{eq}$ [cm]	12,57					
Conv.at equilibrium point	$C_{eq}$ [cm]	9,51					
Rpl (eq)/Ro	$R_{p_{eq}}/r_0$ [-]	1,58					
Equilibrium pressure	$C_1$ [MPa]	0,52					

TEMPORARY LINING RESULTS							
		AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6
Presupp.el. deformation	$u_{lim}$ [cm]	17,48					
Presupport stress	$\sigma_{sup}$ [MPa]	12,44					
Steel ribs stress	$\sigma_{st}$ [MPa]	124,36					
Shotcrete stress	$\sigma_{sc}$ [MPa]	12,44					
Bolt stress	$\sigma_{rb}$ [MPa]	-					

SUPPORT RESULTS							
		AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6
Support stress	$\sigma_{def}$ [MPa]	5,71					
Concrete stress	$\sigma_b$ [MPa]	5,71					
Reinforcement stress	$\sigma_s$ [MPa]	85,631					

Geometrical Data			SEZ. TIPO C1A				SEZ. TIPO C1A+1.05		
Equivalent Tunnel Radius	ri	[m]	7,5	7,5	7,5	7,5	8	8	8
Overburden	H	[m]	100	150	200	230	100	150	200
Unit weight of the rock mass	$\gamma$	[kN/m <sup>3</sup> ]	19	19	19	19	19	19	19

**Resistance Parameters**

Cohesion in the elastic zone	Cel	[kPa]	5	40	40	40	5	40	40
Cohesion in the plastic zone	Cpl	[kPa]	0	30	30	30	0	30	30
Friction angle in the elastic zone	$\Phi_{el}$	[°]	39	36	36	36	39	36	36
Friction angle in the plastic zone	$\Phi_{pl}$	[°]	34	32	32	32	34	32	32

**Elastic parameters**

Deformation moduls in elastic zone	Eel	[MPa]	450	650	650	650	450	650	650
Deformation moduls in plastic zone	Epl	[MPa]	450	650	650	650	450	650	650
Poisson's ratio	$\nu$	[-]	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

**PRECONFINEMENT (Therapy Phase)**

Number of reinforcements	n°	[-]	46	46	46	46	50	50	50
Design Length	L	[m]	6	6	6	6	6	6	6
Cohesion improvement	$\Delta c$	[kPa]	73	71	71	71	70	68	68

**SUPPORT DATA (Therapy Phase)**

Shotcrete Thickness	t	[cm]	25	25	25	25	25	25	25
Compression strenght (medium)	fcm	[MPa]	25	25	25	25	25	25	25
Steel ribs profile	-	-	IPN200	IPN200	IPN200	IPN200	IPN220	IPN220	IPN220
Number of profiles	n	-	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

**DEFORMATION RESULTS**

Critical pressure	Pcr	[MPa]	0,70	1,14	1,53	1,77	0,70	1,14	1,53
Cavity def. at the face	uf	[cm]	6,9	7,9	12,8	16,1	7,6	8,6	13,9
Rpl (Face)/Ro	Rpface/r0	[-]	1,5	1,6	1,7	1,8	1,5	1,6	1,7
Deformation at (x) m	u(x)	[cm]	6,9	7,9	12,8	16,1	7,6	8,6	13,9
Def.at (x)m regarding gap	u'(x)	[cm]	6,9	7,9	12,8	16,1	7,6	8,6	13,9
Def.at equilibrium point	ueq	[cm]	8,4	9,9	15,2	18,7	9,2	10,8	16,5
Conv.at equilibrium point	Ceq	[cm]	3,0	4,1	4,9	5,3	3,2	4,4	5,2
Rpl (eq)/Ro	Rpeq/r0	[-]	1,6	1,8	1,9	2,0	1,7	1,8	1,9
Equilibrium pressure	C1	[MPa]	0,2	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3

**TEMPORARY LINING RESULTS**

Steel ribs stress	$\sigma_{st}$	[MPa]	48,9	67,8	80,0	86,3	49,0	68,4	80,8
Shotcrete stress	$\sigma_{sc}$	[MPa]	4,9	6,8	8,0	8,6	4,9	6,8	8,1

**SUPPORT RESULTS**

Concrete stress	$\sigma_b$	[MPa]	1,7	2,4	2,9	3,1	1,8	2,5	3,0
Reinforcement stress	$\sigma_s$	[MPa]	-	-	-	-	-	-	-

**VERIFICHE DEI RIVESTIMENTI DI PRIMA FASE**

			SEZ. TIPO C1				SEZ. TIPO C1+1.05		
Overburden	H	[m]	100	150	200	230	100	150	200
Steel ribs stress	$\sigma_{st} \cdot \gamma_{G1}$	[MPa]	63,6	88,1	104,1	112,2	63,7	89,0	105,1
Shotcrete stress	$\sigma_{sc} \cdot \gamma_{G1}$	[MPa]	6,4	8,8	10,4	11,2	6,4	8,9	10,5

$\gamma_{G1}$  1,3

**VERIFICHE DEI RIVESTIMENTI DEFINITIVI**

			SEZ. TIPO C1				SEZ. TIPO C1+1.05		
Deformation moduls in elastic zone	H	[m]	100	150	200	230	100	150	200
Concrete stress	$\sigma_b \cdot \gamma_{G1}$	[MPa]	2,3	3,1	3,7	4,0	2,3	3,3	3,9
Reinforcement stress	$\sigma_s \cdot \gamma_{G1}$	[MPa]	-	-	-	-	-	-	-

$\gamma_{G1}$  1,3

**PROGETTO**

PONTE SULLO STRETTO  
 GALLERIA LE FOSSE  
 SEZIONE TIPO C1A STANDARD, COPERTURA 100m - 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]
100 [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	$n^\circ$	46	[-]
Design Length	L	6	[m]
Coloumndiameter	Dn	600	[mm]
Jet Cohesion	cjet	1000	[kPa]
Design cohesion for the soil	cs	5	[kPa]
Cohesion improvement	$\Delta c$	73,232	[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]

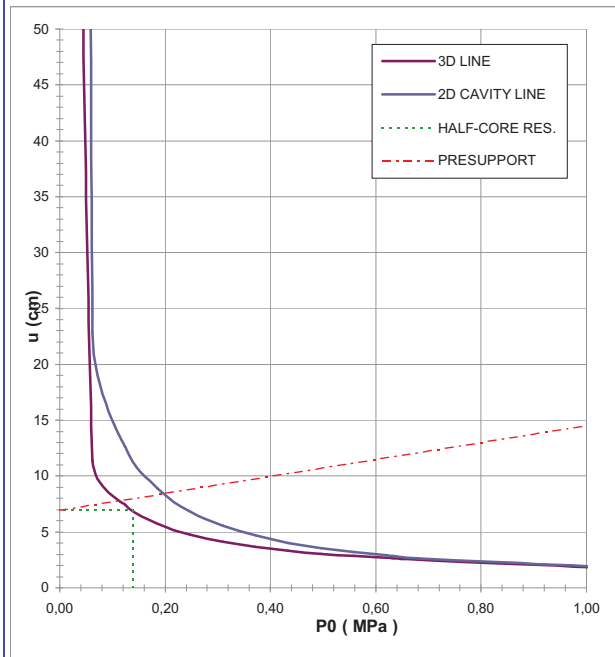
**FINAL LINING**

**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	$P_{cr}$ [MPa]	0,70					
Max cavity def. (2D)	$u_{2d_{max}}$ [cm]	960,18					
Rpl (2D)/Ro	$R_{p_{max}}/r_0$ [-]	16,26					
Cavity def. at the face	$u_f$ [cm]	6,93					
Rpl (Face)/Ro	$R_{p_{face}}/r_0$ [-]	1,48					
Deformation at (x) m	$u_{(x)}$ [cm]	6,93					
Def.at (x)m regarding gap	$u'_{(x)}$ [cm]	6,93					
Def.at equilibrium point	$u_{eq}$ [cm]	8,42					
Conv.at equilibrium point	$C_{eq}$ [cm]	2,98					
Rpl (eq)/Ro	$R_{p_{eq}}/r_0$ [-]	1,65					
Equilibrium pressure	C1 [MPa]	0,20					

TEMPORARY LINING RESULTS		AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6
Presupp.el. deformation	$u_{lim}$ [cm]	14,60					
Presupport stress	$\sigma_{sup}$ [MPa]	4,89					
Steel ribs stress	$\sigma_{st}$ [MPa]	48,91					
Shotcrete stress	$\sigma_{sc}$ [MPa]	4,89					
Bolt stress	$\sigma_{rb}$ [MPa]	-					

SUPPORT RESULTS		AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6
Support stress	$\sigma_{def}$ [MPa]	1,74					
Concrete stress	$\sigma_b$ [MPa]	1,74					
Reinforcement stress	$\sigma_s$ [MPa]	-					

**PROGETTO**

PONTE SULLO STRETTO  
 GALLERIA LE FOSSE  
 SEZIONE TIPO C1 STANDARD, COPERTURA 150m - GHIAIE DI MESSINA, GR.2

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]
150 [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	$\Phi_{pl}$

40 [kPa]	[kPa]
30 [kPa]	[kPa]
36 [°]	[°]
32 [°]	[°]

[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	$\Delta V$

650 [MPa]	[MPa]
650 [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	$n^\circ$	46	[-]
Design Length	L	6	[m]
Coloumndiameter	Dn	600	[mm]
Jet Cohesion	cjet	1000	[kPa]
Design cohesion for the soil	cs	40	[kPa]
Cohesion improvement	$\Delta c$	70,656	[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]

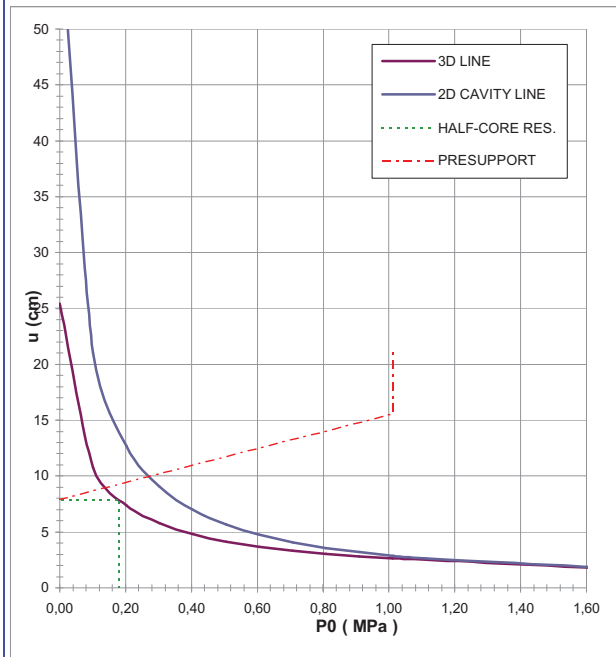
**FINAL LINING**

**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	$P_{cr}$ [MPa]	1,14					
Max cavity def. (2D)	$u_{2d_{max}}$ [cm]	60,17					
Rpl (2D)/Ro	$R_{p_{max}}/r_0$ [-]	4,15					
Cavity def. at the face	$u_f$ [cm]	7,88					
Rpl (Face)/Ro	$R_{p_{face}}/r_0$ [-]	1,57					
Deformation at (x) m	$u_{(x)}$ [cm]	7,88					
Def.at (x)m regarding gap	$u'_{(x)}$ [cm]	7,88					
Def.at equilibrium point	$u_{eq}$ [cm]	9,94					
Conv.at equilibrium point	$C_{eq}$ [cm]	4,13					
Rpl (eq)/Ro	$R_{p_{eq}}/r_0$ [-]	1,79					
Equilibrium pressure	C1 [MPa]	0,27					

TEMPORARY LINING RESULTS							
		AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6
Presupp.el. deformation	$u_{lim}$ [cm]	15,56					
Presupport stress	$\sigma_{sup}$ [MPa]	6,78					
Steel ribs stress	$\sigma_{st}$ [MPa]	67,77					
Shotcrete stress	$\sigma_{sc}$ [MPa]	6,78					
Bolt stress	$\sigma_{rb}$ [MPa]	-					

SUPPORT RESULTS		
Support stress	$\sigma_{def}$ [MPa]	2,41
Concrete stress	$\sigma_b$ [MPa]	2,41
Reinforcement stress	$\sigma_s$ [MPa]	-



**PROGETTO**

PONTE SULLO STRETTO  
 GALLERIA LE FOSSE  
 SEZIONE TIPO C1 STANDARD, COPERTURA 200m - GHIAIE DI MESSINA, GR.2

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]
200 [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	$\Phi_{pl}$

40 [kPa]	[kPa]
30 [kPa]	[kPa]
36 [°]	[°]
32 [°]	[°]

[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	$\Delta V$

650 [MPa]	[MPa]
650 [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	$\Delta c$	0,000 [kPa]

Jet grouting

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

Number of reinforcements	$n^\circ$	46	[-]
Design Length	L	6	[m]
Coloumndiameter	Dn	600	[mm]
Jet Cohesion	cjet	1000	[kPa]
Design cohesion for the soil	cs	40	[kPa]
Cohesion improvement	$\Delta c$	70,656	[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]

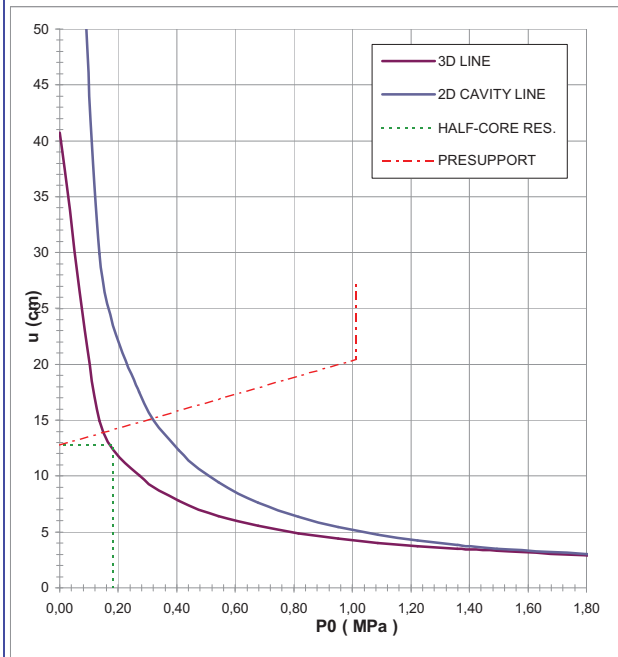
**FINAL LINING**

**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]	1,53					
Max cavity def. (2D)	$u_{2d_{max}}$ [cm]	103,39					
Rpl (2D)/Ro	$Rp_{max}/r_0$ [-]	4,71					
Cavity def. at the face	$u_f$ [cm]	12,76					
Rpl (Face)/Ro	$Rp_{face}/r_0$ [-]	1,70					
Deformation at (x) m	$u_{(x)}$ [cm]	12,76					
Def.at (x)m regarding gap	$u'_{(x)}$ [cm]	12,76					
Def.at equilibrium point	ueq [cm]	15,20					
Conv.at equilibrium point	Ceq [cm]	4,88					
Rpl (eq)/Ro	$Rp_{eq}/r_0$ [-]	1,91					
Equilibrium pressure	C1 [MPa]	0,32					

TEMPORARY LINING RESULTS							
		AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6
Presupp.el. deformation	ulim [cm]	20,43					
Presupport stress	$\sigma_{sup}$ [MPa]	8,00					
Steel ribs stress	$\sigma_{st}$ [MPa]	80,04					
Shotcrete stress	$\sigma_{sc}$ [MPa]	8,00					
Bolt stress	$\sigma_{rb}$ [MPa]	-					

SUPPORT RESULTS		
Support stress	$\sigma_{def}$ [MPa]	2,85
Concrete stress	$\sigma_b$ [MPa]	2,85
Reinforcement stress	$\sigma_s$ [MPa]	-



**PROGETTO**

PONTE SULLO STRETTO  
 GALLERIA LE FOSSE  
 SEZIONE TIPO C1 STANDARD, COPERTURA 230m - GHIAIE DI MESSINA, GR.2

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]
230 [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	$\Phi_{pl}$

40 [kPa]	[kPa]
30 [kPa]	[kPa]
36 [°]	[°]
32 [°]	[°]

[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	$\Delta V$

650 [MPa]	[MPa]
650 [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	$\Delta c$	0,000 [kPa]

Jet grouting

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

Number of reinforcements	$n^\circ$	46	[-]
Design Length	L	6	[m]
Coloumndiameter	Dn	600	[mm]
Jet Cohesion	cjet	1000	[kPa]
Design cohesion for the soil	cs	40	[kPa]
Cohesion improvement	$\Delta c$	70,656	[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]

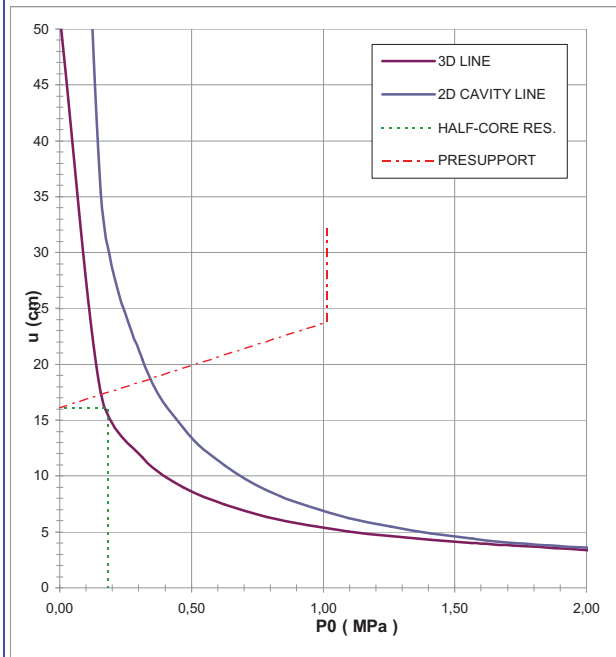
**FINAL LINING**

**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]	1,77					
Max cavity def. (2D)	$u_{2d\max}$ [cm]	134,53					
Rpl (2D)/Ro	$R_{p_{max}}/r_0$ [-]	5,01					
Cavity def. at the face	$u_f$ [cm]	16,11					
Rpl (Face)/Ro	$R_{p_{face}}/r_0$ [-]	1,77					
Deformation at (x) m	$u_{(x)}$ [cm]	16,11					
Def.at (x)m regarding gap	$u'_{(x)}$ [cm]	16,11					
Def.at equilibrium point	ueq [cm]	18,74					
Conv.at equilibrium point	Ceq [cm]	5,26					
Rpl (eq)/Ro	$R_{p_{eq}}/r_0$ [-]	1,97					
Equilibrium pressure	C1 [MPa]	0,35					

TEMPORARY LINING RESULTS							
		AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6
Presupp.el. deformation	ulim [cm]	23,79					
Presupport stress	$\sigma_{sup}$ [MPa]	8,63					
Steel ribs stress	$\sigma_{st}$ [MPa]	86,33					
Shotcrete stress	$\sigma_{sc}$ [MPa]	8,63					
Bolt stress	$\sigma_{rb}$ [MPa]	-					

SUPPORT RESULTS		
Support stress	$\sigma_{def}$ [MPa]	3,07
Concrete stress	$\sigma_b$ [MPa]	3,07
Reinforcement stress	$\sigma_s$ [MPa]	-

**PROGETTO**

PONTE SULLO STRETTO  
 GALLERIA LE FOSSE  
 SEZIONE TIPO C1 + 1.05m, COPERTURA 100m - 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]
100 [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	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	$n^\circ$	50	[-]
Design Length	L	6	[m]
Coloumndiameter	Dn	600	[mm]
Jet Cohesion	cjet	1000	[kPa]
Design cohesion for the soil	cs	5	[kPa]
Cohesion improvement	$\Delta c$	69,961	[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]

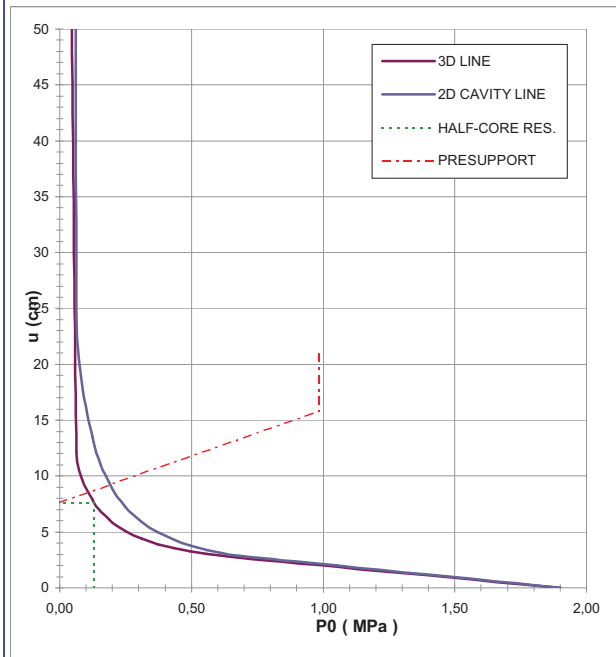
**FINAL LINING**

**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]	0,70					
Max cavity def. (2D)	$u_{2d_{max}}$ [cm]	1024,19					
Rpl (2D)/Ro	$R_{p_{max}}/r_0$ [-]	16,26					
Cavity def. at the face	$u_f$ [cm]	7,61					
Rpl (Face)/Ro	$R_{p_{face}}/r_0$ [-]	1,50					
Deformation at (x) m	$u_{(x)}$ [cm]	7,61					
Def.at (x)m regarding gap	$u'_{(x)}$ [cm]	7,61					
Def.at equilibrium point	ueq [cm]	9,20					
Conv.at equilibrium point	Ceq [cm]	3,18					
Rpl (eq)/Ro	$R_{p_{eq}}/r_0$ [-]	1,67					
Equilibrium pressure	C1 [MPa]	0,19					

TEMPORARY LINING RESULTS							
		AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6
Presupp.el. deformation	ulim [cm]	15,80					
Presupport stress	$\sigma_{sup}$ [MPa]	4,90					
Steel ribs stress	$\sigma_{st}$ [MPa]	49,02					
Shotcrete stress	$\sigma_{sc}$ [MPa]	4,90					
Bolt stress	$\sigma_{rb}$ [MPa]	-					

SUPPORT RESULTS		
Support stress	$\sigma_{def}$ [MPa]	1,80
Concrete stress	$\sigma_b$ [MPa]	1,80
Reinforcement stress	$\sigma_s$ [MPa]	-

**PROGETTO**

PONTE SULLO STRETTO  
 GALLERIA LE FOSSE  
 SEZIONE TIPO C1 + 1.05m, COPERTURA 150m - 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]
150 [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	$\Phi_{pl}$

40 [kPa]	[kPa]
30 [kPa]	[kPa]
36 [°]	[°]
32 [°]	[°]

[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	$\Delta V$

650 [MPa]	[MPa]
650 [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	$\Delta c$	0,000 [kPa]

Jet grouting

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

Number of reinforcements	$n^\circ$	50	[-]
Design Length	L	6	[m]
Coloumndiameter	Dn	600	[mm]
Jet Cohesion	cjet	1000	[kPa]
Design cohesion for the soil	cs	40	[kPa]
Cohesion improvement	$\Delta c$	67,5	[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]

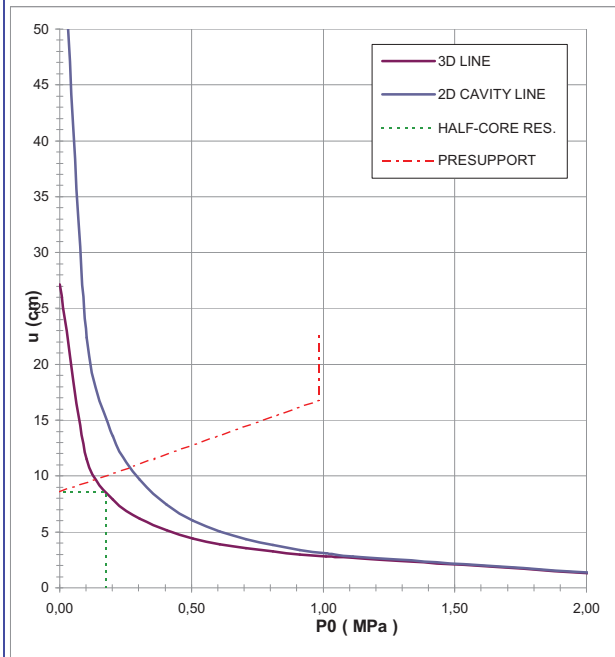
**FINAL LINING**

**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]	1,14					
Max cavity def. (2D)	$u_{2d\max}$ [cm]	64,18					
Rpl (2D)/Ro	$R_{p_{max}}/r_0$ [-]	4,15					
Cavity def. at the face	$u_f$ [cm]	8,57					
Rpl (Face)/Ro	$R_{p_{face}}/r_0$ [-]	1,58					
Deformation at (x) m	$u_{(x)}$ [cm]	8,57					
Def.at (x)m regarding gap	$u'_{(x)}$ [cm]	8,57					
Def.at equilibrium point	ueq [cm]	10,79					
Conv.at equilibrium point	Ceq [cm]	4,44					
Rpl (eq)/Ro	$R_{p_{eq}}/r_0$ [-]	1,80					
Equilibrium pressure	C1 [MPa]	0,27					

TEMPORARY LINING RESULTS							
		AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6
Presupp.el. deformation	ulim [cm]	16,76					
Presupport stress	$\sigma_{sup}$ [MPa]	6,84					
Steel ribs stress	$\sigma_{st}$ [MPa]	68,43					
Shotcrete stress	$\sigma_{sc}$ [MPa]	6,84					
Bolt stress	$\sigma_{rb}$ [MPa]	-					

SUPPORT RESULTS		
Support stress	$\sigma_{def}$ [MPa]	2,51
Concrete stress	$\sigma_b$ [MPa]	2,51
Reinforcement stress	$\sigma_s$ [MPa]	-

**PROGETTO**

PONTE SULLO STRETTO  
 GALLERIA LE FOSSE  
 SEZIONE TIPO C1 + 1.05m, COPERTURA 200m - 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]
200 [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	$\Phi_{pl}$

40 [kPa]	[kPa]
30 [kPa]	[kPa]
36 [°]	[°]
32 [°]	[°]

[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	$\Delta V$

650 [MPa]	[MPa]
650 [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	$n^\circ$	50	[-]
Design Length	L	6	[m]
Coloumndiameter	Dn	600	[mm]
Jet Cohesion	cjet	1000	[kPa]
Design cohesion for the soil	cs	40	[kPa]
Cohesion improvement	$\Delta c$	67,5	[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]

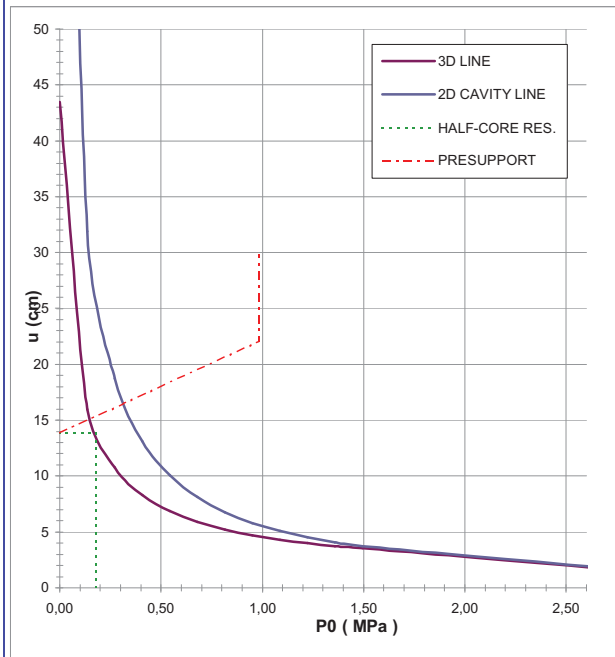
**FINAL LINING**

**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]	1,53					
Max cavity def. (2D)	$u_{2d\max}$ [cm]	110,28					
Rpl (2D)/Ro	$R_{p_{max}}/r_0$ [-]	4,71					
Cavity def. at the face	$u_f$ [cm]	13,87					
Rpl (Face)/Ro	$R_{p_{face}}/r_0$ [-]	1,72					
Deformation at (x) m	$u_{(x)}$ [cm]	13,87					
Def.at (x)m regarding gap	$u'_{(x)}$ [cm]	13,87					
Def.at equilibrium point	ueq [cm]	16,50					
Conv.at equilibrium point	Ceq [cm]	5,25					
Rpl (eq)/Ro	$R_{p_{eq}}/r_0$ [-]	1,92					
Equilibrium pressure	C1 [MPa]	0,32					

TEMPORARY LINING RESULTS							
		AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6
Presupp.el. deformation	ulim [cm]	22,06					
Presupport stress	$\sigma_{sup}$ [MPa]	8,08					
Steel ribs stress	$\sigma_{st}$ [MPa]	80,82					
Shotcrete stress	$\sigma_{sc}$ [MPa]	8,08					
Bolt stress	$\sigma_{rb}$ [MPa]	-					

SUPPORT RESULTS		
Support stress	$\sigma_{def}$ [MPa]	2,97
Concrete stress	$\sigma_b$ [MPa]	2,97
Reinforcement stress	$\sigma_s$ [MPa]	-

Geometrical Data			SEZ. TIPO B2V ALLARGO
Equivalent Tunnel Radius	ri	[m]	8,75
Overburden	H	[m]	65
Unit weight of the rock mass	$\gamma$	[kN/m <sup>3</sup> ]	20

Resistance Parameters			
Cohesion in the elastic zone	Cel	[kPa]	35
Cohesion in the plastic zone	Cpl	[kPa]	20
Friction angle in the elastic zone	$\Phi_{el}$	[°]	28
Friction angle in the plastic zone	$\Phi_{pl}$	[°]	23

Elastic parameters			
Deformation moduls in elastic zone	Eel	[MPa]	50
Deformation moduls in plastic zone	Epl	[MPa]	50
Poisson's ratio	$\nu$	[-]	0,3
Volume increase in plastic zone	$\Delta V$	[%]	0

PRECONFINEMENT (Therapy Phase)			
Number of reinforcements	n°	[-]	145
Design Length	L	[m]	12
Cohesion improvement	$\Delta c$	[kPa]	340

SUPPORT DATA (Therapy Phase)			
Shotcrete Thickness	t	[cm]	25
Compression strenght (medium)	f <sub>cm</sub>	[MPa]	25
Steel ribs profile	-	-	IPN240
Number of profiles	n	-	2,00
Steel ribs spacing	s	[m]	1,00

DEFORMATION RESULTS			
Critical pressure	P <sub>cr</sub>	[MPa]	0,66
Cavity def. at the face	u <sub>f</sub>	[cm]	16,7
R <sub>pl</sub> (Face)/R <sub>o</sub>	R <sub>pface</sub> /r <sub>0</sub>	[-]	1,1
Deformation at (x) m	u(x)	[cm]	16,7
Def.at (x)m regarding gap	u'(x)	[cm]	16,7
Def.at equilibrium point	u <sub>eq</sub>	[cm]	21,7
Conv.at equilibrium point	C <sub>eq</sub>	[cm]	9,9
R <sub>pl</sub> (eq)/R <sub>o</sub>	R <sub>p<sub>eq</sub></sub> /r <sub>0</sub>	[-]	1,2
Equilibrium pressure	C <sub>1</sub>	[MPa]	0,5

TEMPORARY LINING RESULTS			
Steel ribs stress	$\sigma_{st}$	[MPa]	140,2
Shotcrete stress	$\sigma_{sc}$	[MPa]	14,0

SUPPORT RESULTS			
Concrete stress	$\sigma_b$	[MPa]	4,8
Reinforcement stress	$\sigma_s$	[MPa]	-

**VERIFICHE DEI RIVESTIMENTI DI PRIMA FASE**

			SEZ. TIPO B2V ALLARGO
Overburden	H	[m]	65
Steel ribs stress	$\sigma_{st} \cdot \gamma_{G1}$	[MPa]	182,3
Shotcrete stress	$\sigma_{sc} \cdot \gamma_{G1}$	[MPa]	18,2

$\gamma_{G1}$  1,3

**VERIFICHE DEI RIVESTIMENTI DEFINITIVI**

			SEZ. TIPO B2V ALLARGO
Deformation moduls in elastic zone	H	[m]	65
Concrete stress	$\sigma_b \cdot \gamma_{G1}$	[MPa]	6,3
Reinforcement stress	$\sigma_s \cdot \gamma_{G1}$	[MPa]	-

$\gamma_{G1}$  1,3

**PROGETTO**

PONTE SULLO STRETTO  
 GALLERIA LE FOSSE  
 SEZIONE TIPO B2V ALLARGO, COPERTURA 65m - SERIE GESSOSO SOLFIFERA

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

**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
8,75 [m]	[m]
65 [m]	[m]
20 [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> ]

35 [kPa]	[kPa]
20 [kPa]	[kPa]
28 [°]	[°]
23 [°]	[°]

[kPa]	[kPa]
[kPa]	[kPa]
[°]	[°]
[°]	[°]

[kPa]	[kPa]
[kPa]	[kPa]
[°]	[°]
[°]	[°]

50 [MPa]	[MPa]
50 [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	$n^\circ$	145	[-]
Design Length	L	12	[m]
Reinforcement's cross section	Ael	14,5	[cm <sup>2</sup> ]
Reinforcement's tensile strength	ftd	600	[MPa]
Drilling/Grouting Diameter	Dp	120	[mm]
Grout-soil bond	$\tau d$	150	[kPa]
Cohesion improvement	$\Delta c$	340,410	[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		
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	92,20	[cm <sup>2</sup> ]
Moment of Inertia	Iy	8500,0	[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	0	[m]
Total Stiffness	Kt	10,43	[MPa/m]

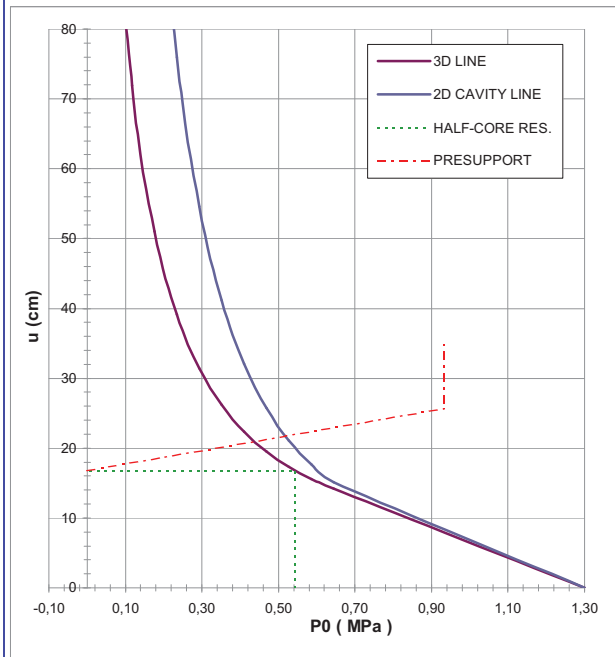
**FINAL LINING**

**CONCRETE**

Elastic Modulus	Ec	20000	[MPa]
Poisson's Ratio	$\nu$	0,2	[-]
Thickness	T	100	[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]	0,66					
Max cavity def. (2D)	$u_{2d\max}$ [cm]	1378,70					
Rpl (2D)/Ro	$R_{p_{max}}/r_0$ [-]	8,25					
Cavity def. at the face	$u_f$ [cm]	16,75					
Rpl (Face)/Ro	$R_{p_{face}}/r_0$ [-]	1,07					
Deformation at (x) m	$u_{(x)}$ [cm]	16,75					
Def.at (x)m regarding gap	$u'_{(x)}$ [cm]	16,75					
Def.at equilibrium point	$u_{eq}$ [cm]	21,72					
Conv.at equilibrium point	$C_{eq}$ [cm]	9,95					
Rpl (eq)/Ro	$R_{p_{eq}}/r_0$ [-]	1,19					
Equilibrium pressure	C1 [MPa]	0,52					

TEMPORARY LINING RESULTS							
		AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6
Presupp.el. deformation	$u_{lim}$ [cm]	25,70					
Presupport stress	$\sigma_{sup}$ [MPa]	14,02					
Steel ribs stress	$\sigma_{st}$ [MPa]	140,25					
Shotcrete stress	$\sigma_{sc}$ [MPa]	14,02					
Bolt stress	$\sigma_{rb}$ [MPa]	-					

SUPPORT RESULTS		
Support stress	$\sigma_{def}$ [MPa]	4,81
Concrete stress	$\sigma_b$ [MPa]	4,81
Reinforcement stress	$\sigma_s$ [MPa]	-

AN1 AN2 AN3 AN4 AN5 AN6 AN7 AN8 AN9

GALLERIA LE FOSSE - SINTESI LC\_DIAGNOSI - BYPASS

Geometrical Data			BYPASS CARRABILE, GHIAIE		BYPASS CARR., SPN	BYPASS PEDONALE, GHIAIE			BYPASS PEDONALE, SAN PIER NICETO		
Equivalent Tunnel Radius	ri	[m]	5	5	5	3	3	3	3	3	3
Overburden	H	[m]	120	200	40	50	180	210	50	70	150
Unit weight of the rock mass	g	[kN/m3]	19	19	19	19	19	19	19	19	19

**Resistance Parameters**

Cohesion in the elastic zone	Cel	[kPa]	40	40	25	5	40	40	25	25	70
Cohesion in the plastic zone	Cpl	[kPa]	30	30	15	0	30	30	15	15	40
Friction angle in the elastic zone	Φel	[°]	36	36	33	39	36	36	33	33	33
Friction angle in the plastic zone	Φpl	[°]	32	32	26	34	32	32	26	26	26

**Elastic parameters**

Deformation moduls in elastic zone	Eel	[MPa]	450	650	200	275	650	650	350	350	550
Deformation moduls in plastic zone	Epl	[MPa]	450	650	200	275	650	650	350	350	550
Poisson's ratio	v	[-]	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2
Volume increase in plastic zone	ΔV	[%]	0	0	0	0	0	0	0	0	0

**DEFORMATION RESULTS**

Critical pressure	Pcr	[MPa]	0,91	1,53	0,33	0,35	1,38	1,61	0,41	0,58	1,24
Max cavity def. (2D)	u2d∞	[cm]	39,7	72,2	46,7	INST	33,9	45,3	26,4	56,2	58,3
Rpl (2D)/Ro	Rpmax/r0	[-]	3,8	4,7	4,8	12,3	4,5	4,8	5,5	6,8	5,9
Cavity def. at the face	uf	[cm]	9,9	16,1	8,8	24,2	7,5	9,7	4,5	8,5	9,6
Rpl (Face)/Ro	Rpface/r0	[-]	1,9	2,2	2,1	4,3	2,1	2,2	2,3	2,6	2,4

INST = Deformazione maggiore di 80cm

**PROGETTO**

PONTE SULLO STRETTO  
 GALLERIA LE FOSSE  
 BYPASS CARRABILE - 120m - 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]
120 [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	$\Phi_{pl}$

40 [kPa]	[kPa]
30 [kPa]	[kPa]
36 [°]	[°]
32 [°]	[°]

[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]
0,2 [-]	[-]
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	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]

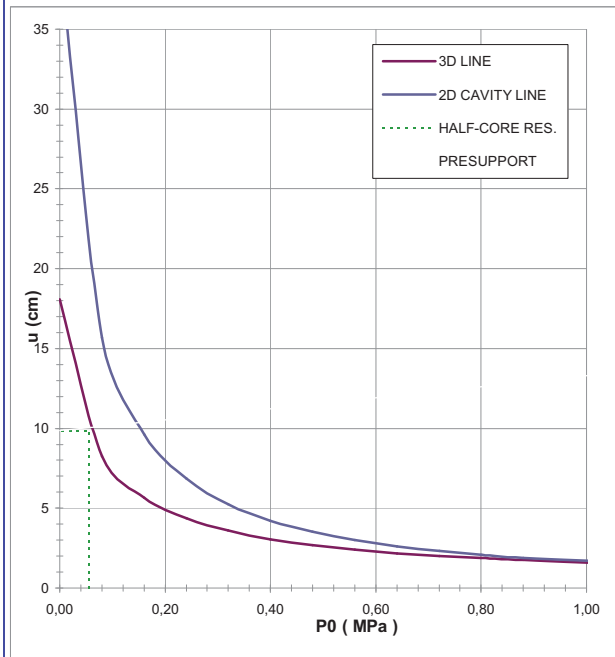
**FINAL LINING**

**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]	0,91					
Max cavity def. (2D)	$u_{2d_{max}}$ [cm]	39,75					
Rpl (2D)/Ro	$R_{p_{max}}/r_0$ [-]	3,77					
Cavity def. at the face	$u_f$ [cm]	9,85					
Rpl (Face)/Ro	$R_{p_{face}}/r_0$ [-]	1,88					
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 LE FOSSE  
 BYPASS CARRABILE - 200m - 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]
200 [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	$\Phi_{pl}$

40 [kPa]	[kPa]
30 [kPa]	[kPa]
36 [°]	[°]
32 [°]	[°]

[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	$\Delta V$

650 [MPa]	[MPa]
650 [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	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]

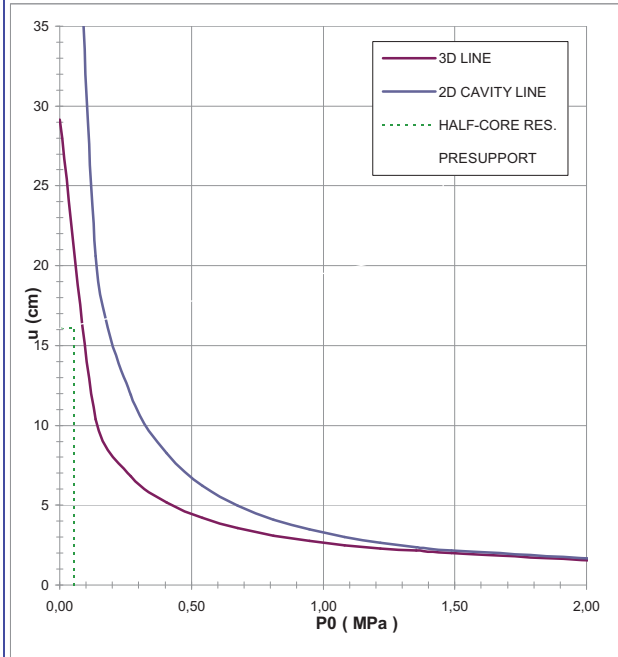
**FINAL LINING**

**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]	1,53					
Max cavity def. (2D)	$u_{2d=}$ [cm]	72,21					
Rpl (2D)/Ro	$R_{p_{max}}/r_0$ [-]	4,71					
Cavity def. at the face	$u_f$ [cm]	16,08					
Rpl (Face)/Ro	$R_{p_{face}}/r_0$ [-]	2,18					
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 LE FOSSE  
BYPASS CARRABILE - 40m - SAN PIER NICETO GR.2

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

25 [kPa]	[kPa]
15 [kPa]	[kPa]
33 [°]	[°]
26 [°]	[°]

[kPa]	[kPa]
[kPa]	[kPa]
[°]	[°]
[°]	[°]

[kPa]	[kPa]
[kPa]	[kPa]
[°]	[°]
[°]	[°]

**Elastic parameters**

Deformation moduls in elastic zone	$E_{el}$
Deformation moduls in plastic zone	$E_{pl}$
Poisson's ratio	$\nu$
Volume increase in plastic zone	$\Delta V$

200 [MPa]	[MPa]
200 [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	$A_{el}$	[cm <sup>2</sup> ]
Reinforcement's tensile strength	$f_{td}$	[MPa]
Drilling/Grouting Diameter	$D_p$	[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	$D_n$	[mm]
Jet Cohesion	$c_{jet}$	[kPa]
Design cohesion for the soil	$c_s$	[kPa]
Cohesion improvement	$\Delta c$	[kPa]

**SUPPORT DATA (Therapy Phase)**

**SHOTCRETE**

Elastic Modulus	$E_{sb}$	[MPa]
Poisson's Ratio	$\nu$	[-]
Thickness	t	[cm]
Compression strenght (medium)	$f_{cm}$	[MPa]

**ROCK BOLTS**

Bolt length	L	[m]
Bolt diameter	d	[cm]
Circumferential bolt spacing	s	[m]
Longitudinal bolt spacing	a	[m]
Bolt elastic moduls	$E_b$	[MPa]
Ultimate failure load	$F_u$	[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	$A_s$	[cm <sup>2</sup> ]
HSL	IPN 180	Moment of Inertia	$I_y$	[cm <sup>4</sup> ]
HSU	IPN 200	Yielding strength	$f_{yd}$	[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	$K_a$	[-]
Stiffness reduction factor for Rock Bolts	$K_{bolt}$	[-]
Distance of support	d	[m]
Total Stiffness	$K_t$	[MPa/m]

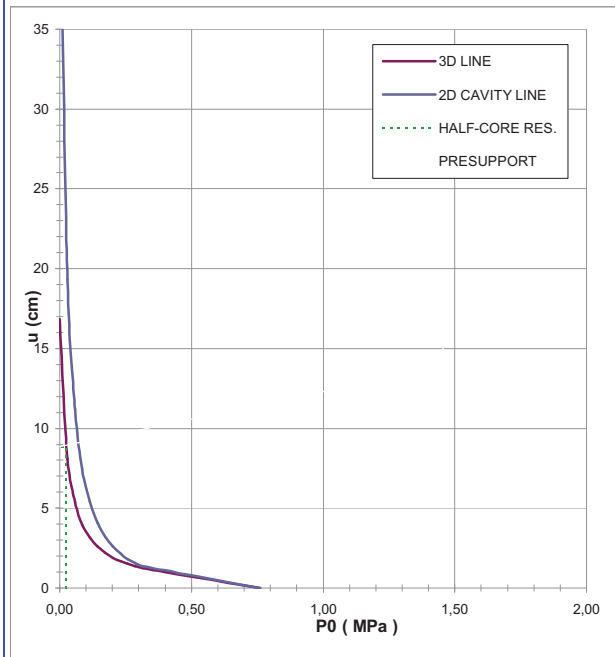
**FINAL LINING**

**CONCRETE**

Elastic Modulus	$E_c$	[MPa]
Poisson's Ratio	$\nu$	[-]
Thickness	T	[cm]
Concrete compression strenght	$f_{cd}$	[MPa]

**STEEL REINFORCEMENTS**

Diameter of the steel bars	$\phi$	[mm]
Steel bars spacing	s	[cm]
Number of set	n	[-]
Yielding strength	$f_{yd}$	[MPa]



DEFORMATION RESULTS							
		AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6
Critical pressure	$P_{cr}$ [MPa]	0,33					
Max cavity def. (2D)	$u_{2d=}$ [cm]	46,71					
Rpl (2D)/Ro	$R_{p_{max}}/r_0$ [-]	4,80					
Cavity def. at the face	$u_f$ [cm]	8,85					
Rpl (Face)/Ro	$R_{p_{face}}/r_0$ [-]	2,07					
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	$C_1$ [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 LE FOSSE  
 BYPASS PEDONALE, COPERTURA 50m - GHIAIE DI MESSINA, GR.2

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]
50 [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	$n^\circ$	[-]
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	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]

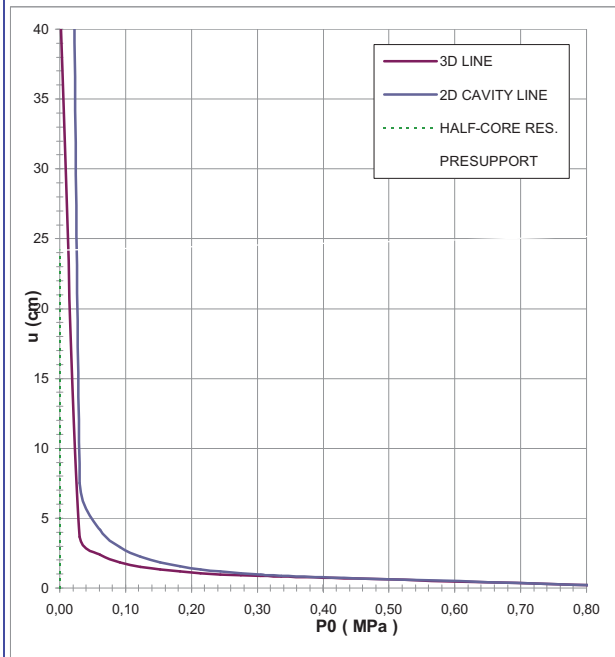
**FINAL LINING**

**CONCRETE**

Elastic Modulus	Ec	[MPa]
Poisson's Ratio	$\nu$	[-]
Thickness	T	[cm]
Concrete compression strenght	fc <sub>d</sub>	[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]	0,35					
Max cavity def. (2D)	$u_{2d=}$ [cm]	181,64					
Rpl (2D)/Ro	$R_{p_{max}}/r_0$ [-]	12,35					
Cavity def. at the face	$u_f$ [cm]	24,20					
Rpl (Face)/Ro	$R_{p_{face}}/r_0$ [-]	4,34					
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 LE FOSSE  
 BYPASS PEDONALE, COPERTURA 180m - 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
3 [m]	[m]
180 [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> ]

40 [kPa]	[kPa]
30 [kPa]	[kPa]
36 [°]	[°]
32 [°]	[°]

[kPa]	[kPa]
[kPa]	[kPa]
[°]	[°]
[°]	[°]

[kPa]	[kPa]
[kPa]	[kPa]
[°]	[°]
[°]	[°]

650 [MPa]	[MPa]
650 [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)	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]

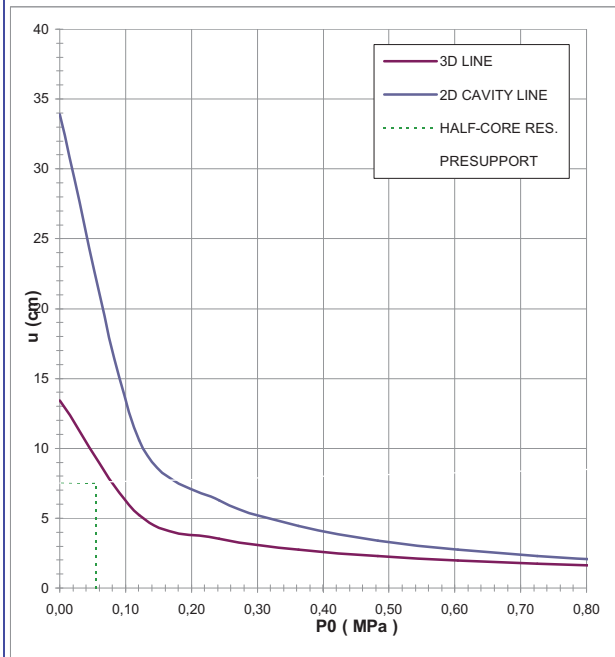
**FINAL LINING**

**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]	1,38					
Max cavity def. (2D)	u <sub>2d=</sub> [cm]	33,92					
Rpl (2D)/Ro	R <sub>p,max</sub> /r0 [-]	4,50					
Cavity def. at the face	u <sub>f</sub> [cm]	7,50					
Rpl (Face)/Ro	R <sub>p,face</sub> /r0 [-]	2,12					
Deformation at (x) m	u <sub>(x)</sub> [cm]						
Def.at (x)m regarding gap	u' <sub>(x)</sub> [cm]						
Def.at equilibrium point	ueq [cm]						
Conv.at equilibrium point	Ceq [cm]						
Rpl (eq)/Ro	R <sub>p,eq</sub> /r0 [-]						
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 LE FOSSE  
 BYPASS PEDONALE, COPERTURA 210m - 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
3 [m]	[m]
210 [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> ]

40 [kPa]	[kPa]
30 [kPa]	[kPa]
36 [°]	[°]
32 [°]	[°]

[kPa]	[kPa]
[kPa]	[kPa]
[°]	[°]
[°]	[°]

[kPa]	[kPa]
[kPa]	[kPa]
[°]	[°]
[°]	[°]

650 [MPa]	[MPa]
650 [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)	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]

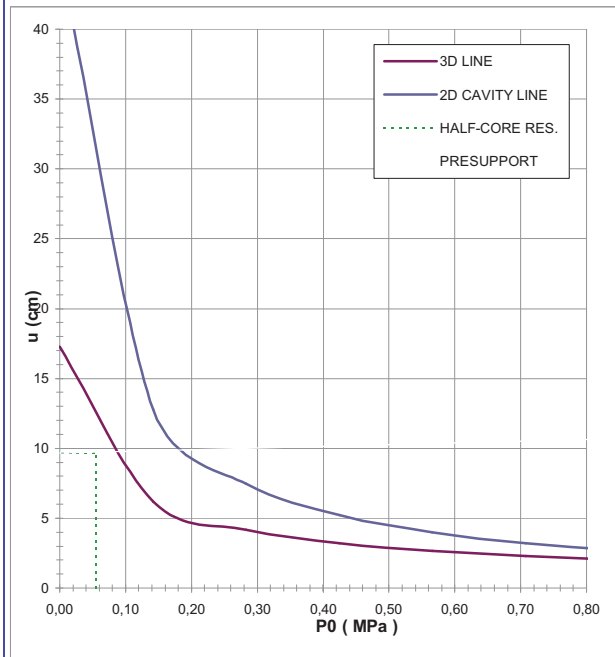
**FINAL LINING**

**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]	1,61					
Max cavity def. (2D)	u <sub>2d=</sub> [cm]	45,34					
Rpl (2D)/Ro	R <sub>p,max</sub> /r0 [-]	4,81					
Cavity def. at the face	u <sub>f</sub> [cm]	9,67					
Rpl (Face)/Ro	R <sub>p,face</sub> /r0 [-]	2,21					
Deformation at (x) m	u <sub>(x)</sub> [cm]						
Def.at (x)m regarding gap	u' <sub>(x)</sub> [cm]						
Def.at equilibrium point	ueq [cm]						
Conv.at equilibrium point	Ceq [cm]						
Rpl (eq)/Ro	R <sub>p,eq</sub> /r0 [-]						
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 LE FOSSE  
 BYPASS PEDONALE - 50m - SAN PIER NICETO GR.2

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]
50 [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	$\Phi_{pl}$

25 [kPa]	[kPa]
15 [kPa]	[kPa]
33 [°]	[°]
26 [°]	[°]

[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]
0,2 [-]	[-]
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	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]

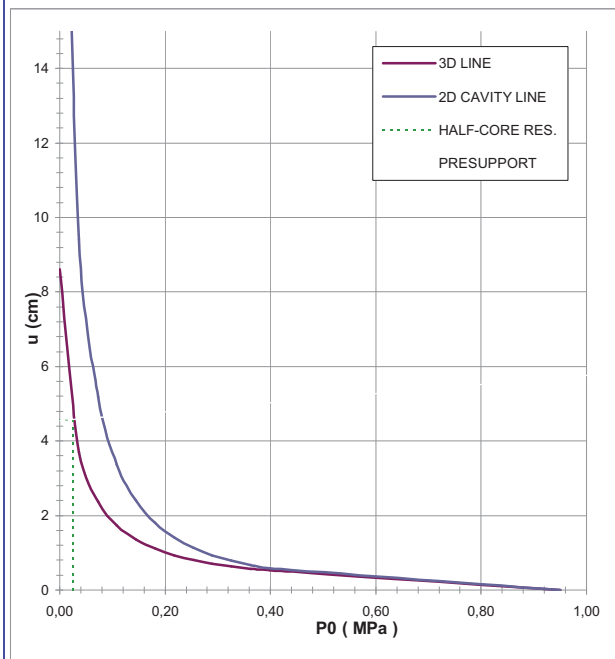
**FINAL LINING**

**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]	0,41					
Max cavity def. (2D)	$u_{2d=}$ [cm]	26,38					
Rpl (2D)/Ro	$R_{p_{max}}/r_0$ [-]	5,52					
Cavity def. at the face	$u_f$ [cm]	4,55					
Rpl (Face)/Ro	$R_{p_{face}}/r_0$ [-]	2,25					
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	$u_{lim}$ [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 LE FOSSE  
 BYPASS PEDONALE - 70m - SAN PIER NICETO GR.2

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]
70 [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> ]

25 [kPa]	[kPa]
15 [kPa]	[kPa]
33 [°]	[°]
26 [°]	[°]

[kPa]	[kPa]
[kPa]	[kPa]
[°]	[°]
[°]	[°]

[kPa]	[kPa]
[kPa]	[kPa]
[°]	[°]
[°]	[°]

350 [MPa]	[MPa]
350 [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	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]

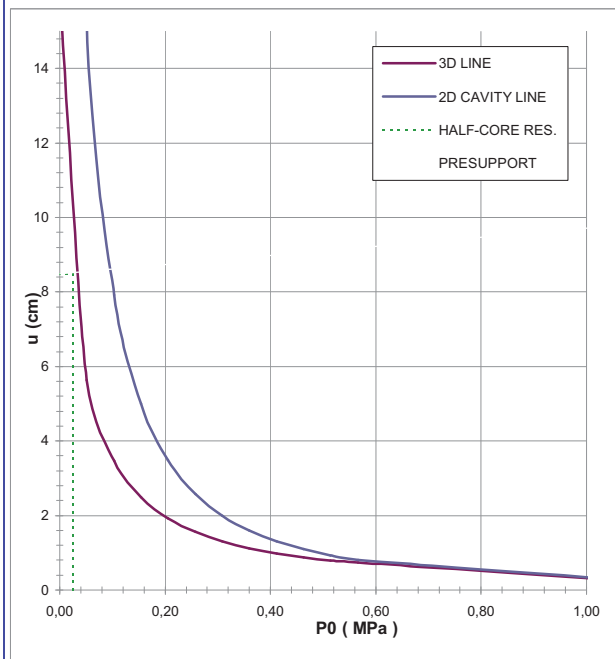
**FINAL LINING**

**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]	0,58					
Max cavity def. (2D)	$u_{2d}$ [cm]	56,18					
Rpl (2D)/Ro	$R_{p_{max}}/r_0$ [-]	6,82					
Cavity def. at the face	$u_f$ [cm]	8,49					
Rpl (Face)/Ro	$R_{p_{face}}/r_0$ [-]	2,56					
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 LE FOSSE  
BYPASS PEDONALE - 150m - SAN PIER NICETO 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]
150 [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	$\Phi_{pl}$

70 [kPa]	[kPa]
40 [kPa]	[kPa]
33 [°]	[°]
26 [°]	[°]

[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	$\Delta V$

550 [MPa]	[MPa]
550 [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	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)	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]

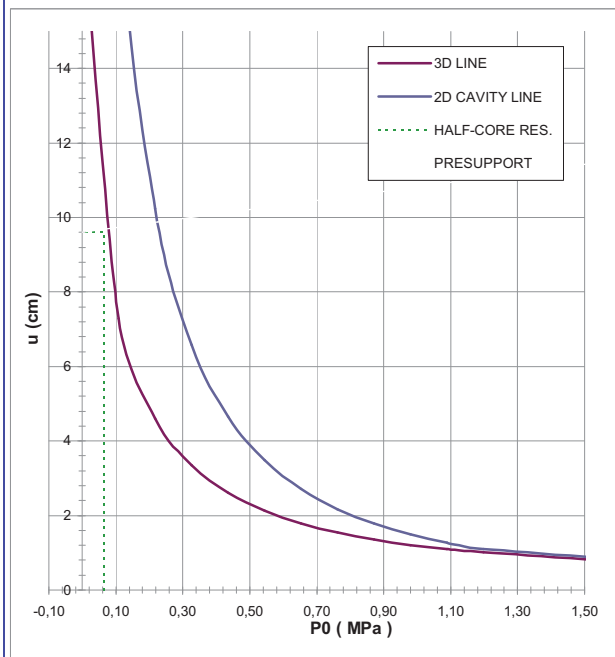
**FINAL LINING**

**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]	1,24					
Max cavity def. (2D)	$u_{2d=}$ [cm]	58,25					
Rpl (2D)/Ro	$Rp_{max}/r0$ [-]	5,93					
Cavity def. at the face	$u_f$ [cm]	9,60					
Rpl (Face)/Ro	$Rp_{face}/r0$ [-]	2,36					
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]						



Geometrical Data			BYPASS CARRABILE		BYPASS PEDONALE		
Equivalent Tunnel Radius	ri	[m]	5	5	3	3	3
Overburden	H	[m]	120	200	50	180	210
Unit weight of the rock mass	$\gamma$	[kN/m <sup>3</sup> ]	19	19	19	19	19

#### Resistance Parameters

Cohesion in the elastic zone	Cel	[kPa]	40	40	5	40	40
Cohesion in the plastic zone	Cpl	[kPa]	30	30	0	30	30
Friction angle in the elastic zone	$\Phi_{el}$	[°]	36	36	39	36	36
Friction angle in the plastic zone	$\Phi_{pl}$	[°]	32	32	34	32	32

#### Elastic parameters

Deformation moduls in elastic zone	Eel	[MPa]	450	650	275	650	650
Deformation moduls in plastic zone	Epl	[MPa]	450	650	275	650	650
Poisson's ratio	$\nu$	[-]	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Volume increase in plastic zone	$\Delta V$	[%]	0	0	0	0	0

#### PRECONFINEMENT (Therapy Phase)

Number of reinforcements	n°	[-]	38	38	14	18	18
Design Length	L	[m]	4,5	4,5	6	6	6
Cohesion improvement	$\Delta c$	[kPa]	201	201	294	353	353

#### SUPPORT DATA (Therapy Phase)

Shotcrete Thickness	t	[cm]	25	25	20	20	20
Compression strenght (medium)	fcm	[MPa]	25	25	25	25	25
Steel ribs profile	-	-	IPN180	IPN180	HEA140	HEA140	HEA140
Number of profiles	n	-	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

#### DEFORMATION RESULTS

Critical pressure	Pcr	[MPa]	0,91	1,53	0,35	1,38	1,61
Cavity def. at the face	uf	[cm]	3,1	5,1	0,6	1,8	2,3
Rpl (Face)/Ro	Rpface/r0	[-]	1,2	1,4	1,0	1,2	1,2
Deformation at (x) m	u(x)	[cm]	7,1	11,1	11,7	6,8	8,6
Def.at (x)m regarding gap	u'(x)	[cm]	7,1	11,1	11,7	6,8	8,6
Def.at equilibrium point	ueq	[cm]	7,8	14,2	11,7	7,1	8,9
Conv.at equilibrium point	Ceq	[cm]	9,5	18,3	22,2	10,6	13,3
Rpl (eq)/Ro	Rpeq/r0	[-]	1,8	1,2	4,0	2,1	2,2
Equilibrium pressure	C1	[MPa]	0,2	0,9	0,0	0,2	0,2

#### TEMPORARY LINING RESULTS

Steel ribs stress	$\sigma_{st}$	[MPa]	35,6	159,5	1,3	26,0	28,2
Shotcrete stress	$\sigma_{sc}$	[MPa]	3,6	15,9	0,1	2,6	2,8

#### SUPPORT RESULTS

Concrete stress	$\sigma_b$	[MPa]	2,2	9,7	0,1	1,7	1,8
Reinforcement stress	$\sigma_s$	[MPa]	-	-	-	-	-

#### VERIFICHE DEI RIVESTIMENTI DI PRIMA FASE

			BYPASS CARRABILE		BYPASS PEDONALE		
Overburden	H	[m]	120	200	50	180	210
Steel ribs stress	$\sigma_{st} \cdot \gamma_{G1}$	[MPa]	46,2	207,3	1,6	33,7	36,7
Shotcrete stress	$\sigma_{sc} \cdot \gamma_{G1}$	[MPa]	4,6	20,7	0,2	3,4	3,7

$\gamma_{G1}$  1,3

#### VERIFICHE DEI RIVESTIMENTI DEFINITIVI

			BYPASS CARRABILE		BYPASS PEDONALE		
Deformation moduls in elastic zone	H	[m]	120	200	50	180	210
Concrete stress	$\sigma_b \cdot \gamma_{G1}$	[MPa]	2,8	12,6	0,1	2,2	2,4
Reinforcement stress	$\sigma_s \cdot \gamma_{G1}$	[MPa]	-	-	-	-	-

$\gamma_{G1}$  1,3

**PROGETTO**

PONTE SULLO STRETTO  
 GALLERIA LE FOSSE  
 BYPASS CARRABILE, COPERTURA 120m - 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
5 [m]	[m]
120 [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> ]

40 [kPa]	[kPa]
30 [kPa]	[kPa]
36 [°]	[°]
32 [°]	[°]

[kPa]	[kPa]
[kPa]	[kPa]
[°]	[°]
[°]	[°]

[kPa]	[kPa]
[kPa]	[kPa]
[°]	[°]
[°]	[°]

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	$n^\circ$	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	$\Delta c$	201,364	[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	55,80	[cm <sup>2</sup> ]
HSL	IPN 180	Moment of Inertia	Iy	2900,0	[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	1,00	[m]
Total Stiffness	Kt	28,95	[MPa/m]

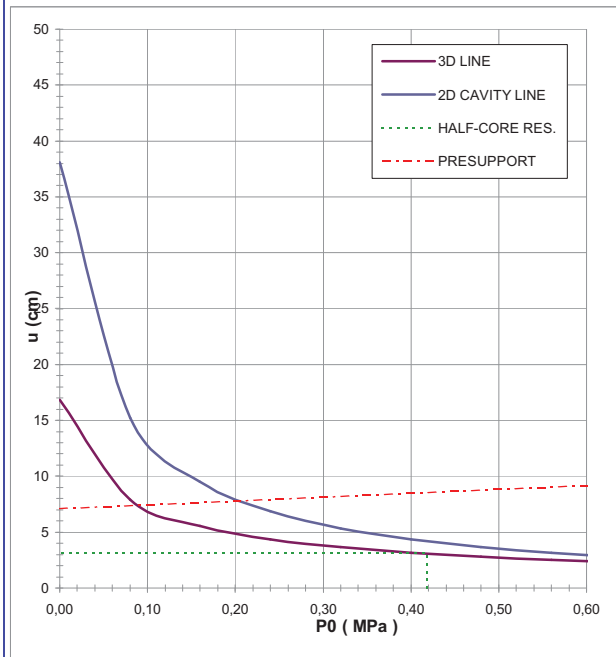
**FINAL LINING**

**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]	0,91					
Max cavity def. (2D)	$u_{2d=}$ [cm]	38,09					
Rpl (2D)/Ro	$R_{p_{max}}/r_0$ [-]	3,77					
Cavity def. at the face	$u_f$ [cm]	3,07					
Rpl (Face)/Ro	$R_{p_{face}}/r_0$ [-]	1,21					
Deformation at (x) m	$u_{(x)}$ [cm]	7,11					
Def.at (x)m regarding gap	$u'_{(x)}$ [cm]	7,11					
Def.at equilibrium point	ueq [cm]	7,82					
Conv.at equilibrium point	Ceq [cm]	9,50					
Rpl (eq)/Ro	$R_{p_{eq}}/r_0$ [-]	1,80					
Equilibrium pressure	C1 [MPa]	0,21					

TEMPORARY LINING RESULTS							
		AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6
Presupp.el. deformation	ulim [cm]	12,14					
Presupport stress	$\sigma_{sup}$ [MPa]	3,56					
Steel ribs stress	$\sigma_{st}$ [MPa]	35,57					
Shotcrete stress	$\sigma_{sc}$ [MPa]	3,56					
Bolt stress	$\sigma_{rb}$ [MPa]	-					

SUPPORT RESULTS							
		AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6
Support stress	$\sigma_{def}$ [MPa]	2,16					
Concrete stress	$\sigma_b$ [MPa]	2,16					
Reinforcement stress	$\sigma_s$ [MPa]	-					

**PROGETTO**

PONTE SULLO STRETTO  
 GALLERIA BALENA  
 BYPASS CARRABILE, COPERTURA 200m - 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]
200 [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	$\Phi_{pl}$

40 [kPa]	[kPa]
30 [kPa]	[kPa]
36 [°]	[°]
32 [°]	[°]

[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	$\Delta V$

650 [MPa]	[MPa]
650 [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	$\Delta c$	201,364	[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	55,80	[cm <sup>2</sup> ]
HSL	IPN 180	Moment of Inertia	Iy	2900,0	[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	1,00	[m]
Total Stiffness	Kt	28,95	[MPa/m]

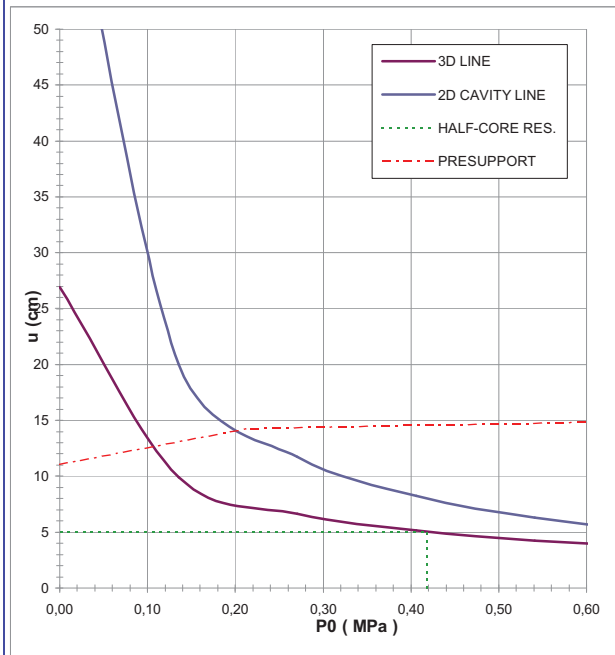
**FINAL LINING**

**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]	1,53					
Max cavity def. (2D)	$u_{2d=}$ [cm]	68,93					
Rpl (2D)/Ro	$Rp_{max}/r0$ [-]	4,71					
Cavity def. at the face	$u_f$ [cm]	5,06					
Rpl (Face)/Ro	$Rp_{face}/r0$ [-]	1,39					
Deformation at (x) m	$u_{(x)}$ [cm]	11,06					
Def.at (x)m regarding gap	$u'_{(x)}$ [cm]	11,06					
Def.at equilibrium point	ueq [cm]	14,24					
Conv.at equilibrium point	Ceq [cm]	18,35					
Rpl (eq)/Ro	$Rp_{eq}/r0$ [-]	1,24					
Equilibrium pressure	C1 [MPa]	0,92					

TEMPORARY LINING RESULTS							
		AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6
Presupp.el. deformation	ulim [cm]	16,09					
Presupport stress	$\sigma_{sup}$ [MPa]	15,95					
Steel ribs stress	$\sigma_{st}$ [MPa]	159,46					
Shotcrete stress	$\sigma_{sc}$ [MPa]	15,95					
Bolt stress	$\sigma_{rb}$ [MPa]	-					

SUPPORT RESULTS							
		AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6
Support stress	$\sigma_{def}$ [MPa]	9,68					
Concrete stress	$\sigma_b$ [MPa]	9,68					
Reinforcement stress	$\sigma_s$ [MPa]	-					

**PROGETTO**

PONTE SULLO STRETTO  
GALLERIA LE FOSSE  
BYPASS PEDONALE, COPERTURA 50m - 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	ANALYSIS n°3	ANALYSIS n°4	ANALYSIS n°5	ANALYSIS n°6
3 [m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
50 [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 [kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]
39 [°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]
34 [°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]
275 [MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
275 [MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
0,3 [-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
0 [%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]

**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]

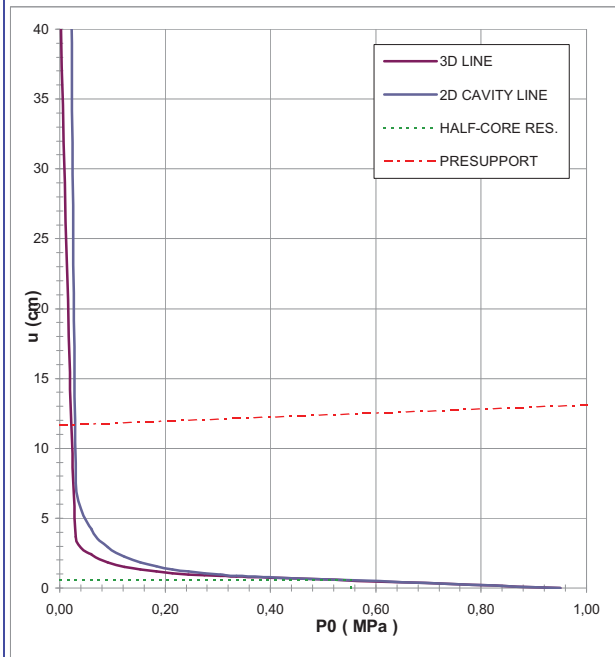
**FINAL LINING**

**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]



		AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6
Critical pressure	Pcr [MPa]	0,35					
Max cavity def. (2D)	$u_{2d=}$ [cm]	181,6					
Rpl (2D)/Ro	$Rp_{max}/r0$ [-]	12,35					
Cavity def. at the face	$u_f$ [cm]	0,57					
Rpl (Face)/Ro	$Rp_{face}/r0$ [-]	0,83					
Deformation at (x) m	$u_{(x)}$ [cm]	11,67					
Def.at (x)m regarding gap	$u'_{(x)}$ [cm]	11,67					
Def.at equilibrium point	ueq [cm]	11,69					
Conv.at equilibrium point	Ceq [cm]	22,23					
Rpl (eq)/Ro	$Rp_{eq}/r0$ [-]	3,95					
Equilibrium pressure	C1 [MPa]	0,01					

		AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6
Presupp.el. deformation	ulim [cm]	14,61					
Presupport stress	$\sigma_{sup}$ [MPa]	0,13					
Steel ribs stress	$\sigma_{st}$ [MPa]	1,25					
Shotcrete stress	$\sigma_{sc}$ [MPa]	0,13					
Bolt stress	$\sigma_{rb}$ [MPa]	-					

		AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6
Support stress	$\sigma_{def}$ [MPa]	0,08					
Concrete stress	$\sigma_b$ [MPa]	0,08					
Reinforcement stress	$\sigma_s$ [MPa]	-					

**PROGETTO**

PONTE SULLO STRETTO  
 GALLERIA BALENA  
 BYPASS PEDONALE, COPERTURA 180m - 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
3 [m]	[m]
180 [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	$\Phi_{pl}$

40 [kPa]	[kPa]
30 [kPa]	[kPa]
36 [°]	[°]
32 [°]	[°]

[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	$\Delta V$

650 [MPa]	[MPa]
650 [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	$n^\circ$	18	[-]
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	$\Delta c$	353,270	[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]

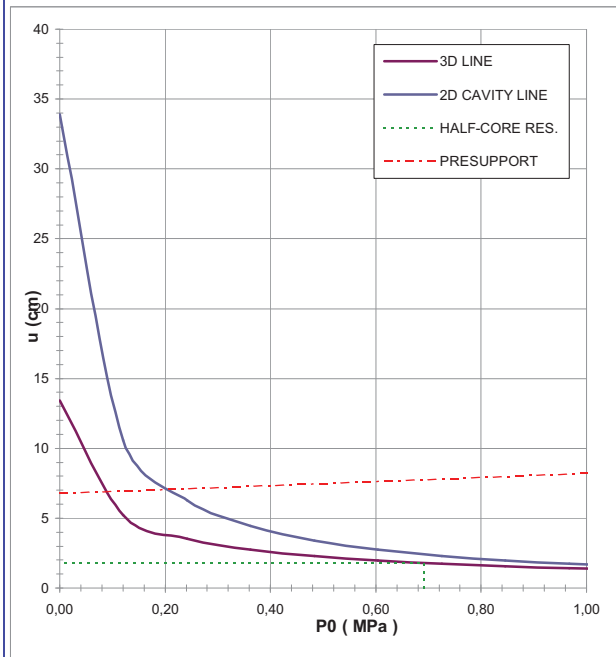
**FINAL LINING**

**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]	1,38					
Max cavity def. (2D)	$u_{2d=}$ [cm]	33,9					
Rpl (2D)/Ro	$R_{p_{max}}/r_0$ [-]	4,50					
Cavity def. at the face	$u_f$ [cm]	1,78					
Rpl (Face)/Ro	$R_{p_{face}}/r_0$ [-]	1,19					
Deformation at (x) m	$u_{(x)}$ [cm]	6,78					
Def.at (x)m regarding gap	$u'_{(x)}$ [cm]	6,78					
Def.at equilibrium point	ueq [cm]	7,08					
Conv.at equilibrium point	Ceq [cm]	10,59					
Rpl (eq)/Ro	$R_{p_{eq}}/r_0$ [-]	2,14					
Equilibrium pressure	C1 [MPa]	0,21					

TEMPORARY LINING RESULTS							
		AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6
Presupp.el. deformation	ulim [cm]	9,72					
Presupport stress	$\sigma_{sup}$ [MPa]	2,60					
Steel ribs stress	$\sigma_{st}$ [MPa]	25,96					
Shotcrete stress	$\sigma_{sc}$ [MPa]	2,60					
Bolt stress	$\sigma_{rb}$ [MPa]	-					

SUPPORT RESULTS		
Support stress	$\sigma_{def}$ [MPa]	1,68
Concrete stress	$\sigma_b$ [MPa]	1,68
Reinforcement stress	$\sigma_s$ [MPa]	-

**PROGETTO**

PONTE SULLO STRETTO  
 GALLERIA BALENA  
 BYPASS PEDONALE, COPERTURA 210m - 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	ANALYSIS n°3	ANALYSIS n°4	ANALYSIS n°5	ANALYSIS n°6
3 [m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
210 [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> ]
40 [kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]
30 [kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]
36 [°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]
32 [°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]
650 [MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
650 [MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
0,3 [-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
0 [%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]

**PRECONFINEMENT (Therapy Phase)**  Structural Elements

**FACE PRECONFINEMENT (reinforcement elements)**

Number of reinforcements	$n^\circ$	18	[-]
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	$\Delta c$	353,270	[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]

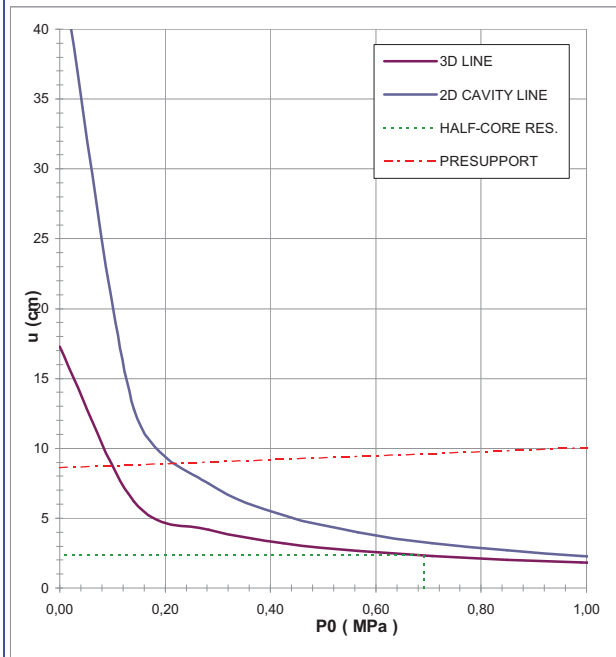
**FINAL LINING**

**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]	1,61					
Max cavity def. (2D)	$u_{2d=}$ [cm]	45,3					
Rpl (2D)/Ro	$Rp_{max}/r0$ [-]	4,81					
Cavity def. at the face	$u_f$ [cm]	2,32					
Rpl (Face)/Ro	$Rp_{face}/r0$ [-]	1,24					
Deformation at (x) m	$u_{(x)}$ [cm]	8,62					
Def.at (x)m regarding gap	$u'_{(x)}$ [cm]	8,62					
Def.at equilibrium point	ueq [cm]	8,94					
Conv.at equilibrium point	Ceq [cm]	13,26					
Rpl (eq)/Ro	$Rp_{eq}/r0$ [-]	2,22					
Equilibrium pressure	C1 [MPa]	0,23					

TEMPORARY LINING RESULTS							
		AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6
Presupp.el. deformation	ulim [cm]	11,56					
Presupport stress	$\sigma_{sup}$ [MPa]	2,82					
Steel ribs stress	$\sigma_{st}$ [MPa]	28,21					
Shotcrete stress	$\sigma_{sc}$ [MPa]	2,82					
Bolt stress	$\sigma_{rb}$ [MPa]	-					

SUPPORT RESULTS							
		AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6
Support stress	$\sigma_{def}$ [MPa]	1,82					
Concrete stress	$\sigma_b$ [MPa]	1,82					
Reinforcement stress	$\sigma_s$ [MPa]	-					

<b>Geometrical Data</b>			<b>BYPASS CARRABI</b>	<b>BYPASS PEDONALE</b>		
Equivalent Tunnel Radius	ri	[m]	5	3	3	3
Overburden	H	[m]	40	50	70	150
Unit weight of the rock mass	$\gamma$	[kN/m <sup>3</sup> ]	19	19	19	19

<b>Resistance Parameters</b>						
Cohesion in the elastic zone	Cel	[kPa]	25	25	25	70
Cohesion in the plastic zone	Cpl	[kPa]	15	15	15	40
Friction angle in the elastic zone	$\Phi_{el}$	[°]	33	33	33	33
Friction angle in the plastic zone	$\Phi_{pl}$	[°]	26	26	26	26

<b>Elastic parameters</b>						
Deformation moduls in elastic zone	Eel	[MPa]	200	350	350	550
Deformation moduls in plastic zone	Epl	[MPa]	200	350	350	550
Poisson's ratio	$\nu$	[-]	0,3	0,3	0,3	0,3
Volume increase in plastic zone	$\Delta V$	[%]	0	0	0	0

<b>PRECONFINEMENT (Therapy Phase)</b>						
Number of reinforcements	n°	[-]	38	14	18	18
Design Length	L	[m]	4,5	6	6	6
Cohesion improvement	$\Delta c$	[kPa]	76	103	332	332

<b>SUPPORT DATA (Therapy Phase)</b>						
Shotcrete Thickness	t	[cm]	25	20	20	20
Compression strenght (medium)	fcm	[MPa]	25	25	25	25
Steel ribs profile	-	-	IPN180	HEA140	HEA140	HEA140
Number of profiles	n	-	2,00	2,00	2,00	2,00
Steel ribs spacing	s	[m]	1,00	1,00	1,00	1,00

<b>DEFORMATION RESULTS</b>						
Critical pressure	Pcr	[MPa]	0,33	0,41	0,58	1,24
Cavity def. at the face	uf	[cm]	2,6	0,5	0,8	2,0
Rpl (Face)/Ro	Rpface/r0	[-]	1,3	1,0	1,0	1,3
Deformation at (x) m	u(x)	[cm]	6,5	3,7	6,4	8,5
Def.at (x)m regarding gap	u'(x)	[cm]	6,5	3,7	6,4	8,5
Def.at equilibrium point	ueq	[cm]	6,8	3,9	6,6	8,8
Conv.at equilibrium point	Ceq	[cm]	8,4	6,7	11,6	13,7
Rpl (eq)/Ro	Rpeq/r0	[-]	2,0	2,0	2,5	2,4
Equilibrium pressure	C1	[MPa]	0,1	0,1	0,1	0,2

<b>TEMPORARY LINING RESULTS</b>						
Steel ribs stress	$\sigma_{st}$	[MPa]	16,1	15,3	14,7	30,4
Shotcrete stress	$\sigma_{sc}$	[MPa]	1,6	1,5	1,5	3,0

<b>SUPPORT RESULTS</b>						
Concrete stress	$\sigma_b$	[MPa]	1,0	1,0	1,0	2,0
Reinforcement stress	$\sigma_s$	[MPa]	-	-	-	-

**VERIFICHE DEI RIVESTIMENTI DI PRIMA FASE**

			<b>BYPASS CARRABI</b>	<b>BYPASS PEDONALE</b>		
Overburden	H	[m]	40	50	70	150
Steel ribs stress	$\sigma_{st} \cdot \gamma_{G1}$	[MPa]	20,9	19,9	19,1	39,5
Shotcrete stress	$\sigma_{sc} \cdot \gamma_{G1}$	[MPa]	2,1	2,0	1,9	4,0

$\gamma_{G1}$  1,3

			<b>BYPASS CARRABI</b>	<b>BYPASS PEDONALE</b>		
Deformation moduls in elastic zone	H	[m]	40	50	70	150
Concrete stress	$\sigma_b \cdot \gamma_{G1}$	[MPa]	1,3	1,3	1,2	2,6
Reinforcement stress	$\sigma_s \cdot \gamma_{G1}$	[MPa]	-	-	-	-

$\gamma_{G1}$  1,3

**PROGETTO**

PONTE SULLO STRETTO  
GALLERIA LE FOSSE  
BYPASS CARRABILE, COPERTURA 40m - SAN PIER NICETO, GR.2

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
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> ]

25 [kPa]	[kPa]
15 [kPa]	[kPa]
33 [°]	[°]
26 [°]	[°]

[kPa]	[kPa]
[kPa]	[kPa]
[°]	[°]
[°]	[°]

[kPa]	[kPa]
[kPa]	[kPa]
[°]	[°]
[°]	[°]

200 [MPa]	[MPa]
200 [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	120	[mm]
Grout-soil bond	$\tau_d$	100	[kPa]
Cohesion improvement	$\Delta c$	75,586	[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	55,80	[cm <sup>2</sup> ]
HSL	IPN 180	Moment of Inertia	Iy	2900,0	[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	1,00	[m]
Total Stiffness	Kt	28,95	[MPa/m]

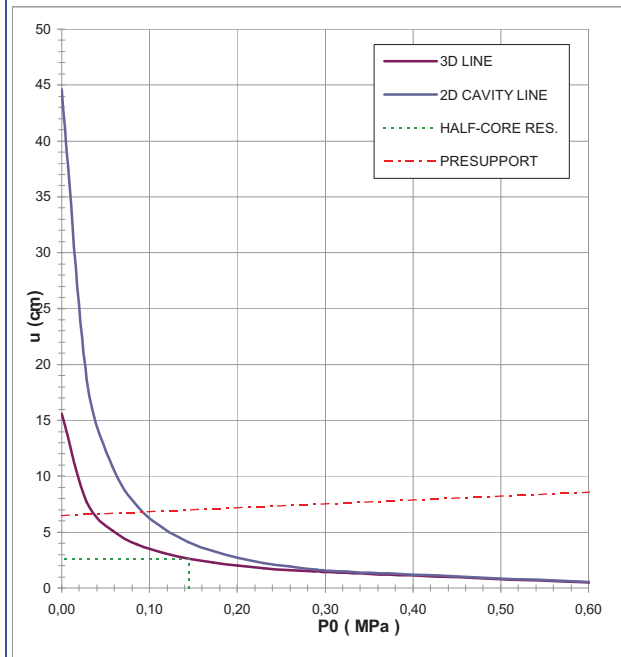
**FINAL LINING**

**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]	0,33					
Max cavity def. (2D)	$u_{2d}$ [cm]	44,59					
Rpl (2D)/Ro	$R_{p,max}/r0$ [-]	4,80					
Cavity def. at the face	$u_f$ [cm]	2,61					
Rpl (Face)/Ro	$R_{p,face}/r0$ [-]	1,29					
Deformation at (x) m	$u_{(x)}$ [cm]	6,49					
Def.at (x)m regarding gap	$u'_{(x)}$ [cm]	6,49					
Def.at equilibrium point	ueq [cm]	6,81					
Conv.at equilibrium point	Ceq [cm]	8,39					
Rpl (eq)/Ro	$R_{p,eq}/r0$ [-]	1,97					
Equilibrium pressure	C1 [MPa]	0,09					

TEMPORARY LINING RESULTS							
		AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6
Presupp.el. deformation	ulim [cm]	11,52					
Presupport stress	$\sigma_{sup}$ [MPa]	1,61					
Steel ribs stress	$\sigma_{st}$ [MPa]	16,08					
Shotcrete stress	$\sigma_{sc}$ [MPa]	1,61					
Bolt stress	$\sigma_{rb}$ [MPa]	-					

SUPPORT RESULTS		
Support stress	$\sigma_{def}$ [MPa]	0,98
Concrete stress	$\sigma_b$ [MPa]	0,98
Reinforcement stress	$\sigma_s$ [MPa]	-



**PROGETTO**

PONTE SULLO STRETTO  
GALLERIA LE FOSSE  
BYPASS PEDONALE, COPERTURA 50m - SAN PIER NICETO, GR.2

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]
50 [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> ]

25 [kPa]	[kPa]
15 [kPa]	[kPa]
33 [°]	[°]
26 [°]	[°]

[kPa]	[kPa]
[kPa]	[kPa]
[°]	[°]
[°]	[°]

[kPa]	[kPa]
[kPa]	[kPa]
[°]	[°]
[°]	[°]

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	$n^\circ$	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	120	[mm]
Grout-soil bond	$\tau_d$	100	[kPa]
Cohesion improvement	$\Delta c$	103,139	[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	f <sub>yd</sub>	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]

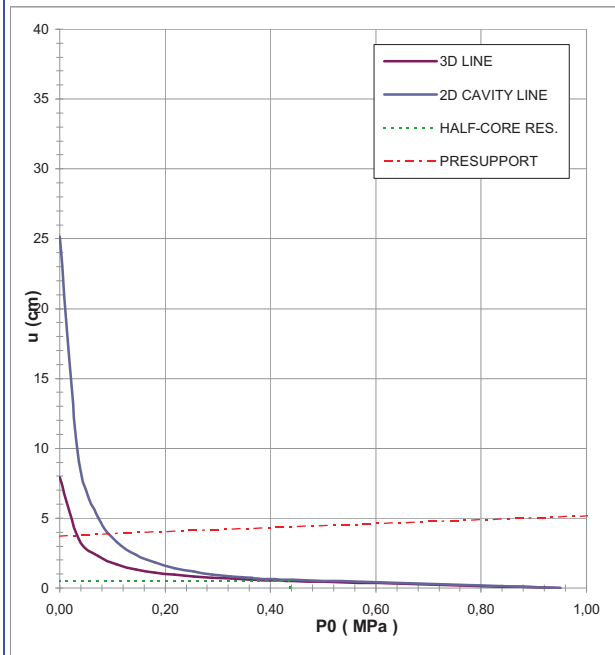
**FINAL LINING**

**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	f <sub>yd</sub>		[MPa]



DEFORMATION RESULTS							
		AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6
Critical pressure	Pcr [MPa]	0,41					
Max cavity def. (2D)	$u_{2d\max}$ [cm]	25,1					
Rpl (2D)/Ro	$R_{p_{max}}/r_0$ [-]	5,52					
Cavity def. at the face	$u_f$ [cm]	0,52					
Rpl (Face)/Ro	$R_{p_{face}}/r_0$ [-]	0,97					
Deformation at (x) m	$u_{(x)}$ [cm]	3,72					
Def.at (x)m regarding gap	$u'_{(x)}$ [cm]	3,72					
Def.at equilibrium point	ueq [cm]	3,89					
Conv.at equilibrium point	Ceq [cm]	6,74					
Rpl (eq)/Ro	$R_{p_{eq}}/r_0$ [-]	1,97					
Equilibrium pressure	C1 [MPa]	0,12					

TEMPORARY LINING RESULTS							
		AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6
Presupp.el. deformation	ulim [cm]	6,65					
Presupport stress	$\sigma_{sup}$ [MPa]	1,53					
Steel ribs stress	$\sigma_{st}$ [MPa]	15,33					
Shotcrete stress	$\sigma_{sc}$ [MPa]	1,53					
Bolt stress	$\sigma_{rb}$ [MPa]	-					

SUPPORT RESULTS							
		AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6
Support stress	$\sigma_{def}$ [MPa]	0,99					
Concrete stress	$\sigma_b$ [MPa]	0,99					
Reinforcement stress	$\sigma_s$ [MPa]	-					

**PROGETTO**

PONTE SULLO STRETTO  
GALLERIA LE FOSSE  
BYPASS PEDONALE, COPERTURA 70m - SAN PIER NICETO, GR2

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]
70 [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> ]

25 [kPa]	[kPa]
15 [kPa]	[kPa]
33 [°]	[°]
26 [°]	[°]

[kPa]	[kPa]
[kPa]	[kPa]
[°]	[°]
[°]	[°]

[kPa]	[kPa]
[kPa]	[kPa]
[°]	[°]
[°]	[°]

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	$n^\circ$	18	[-]
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	$\Delta c$	331,519	[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	f <sub>yd</sub>	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]

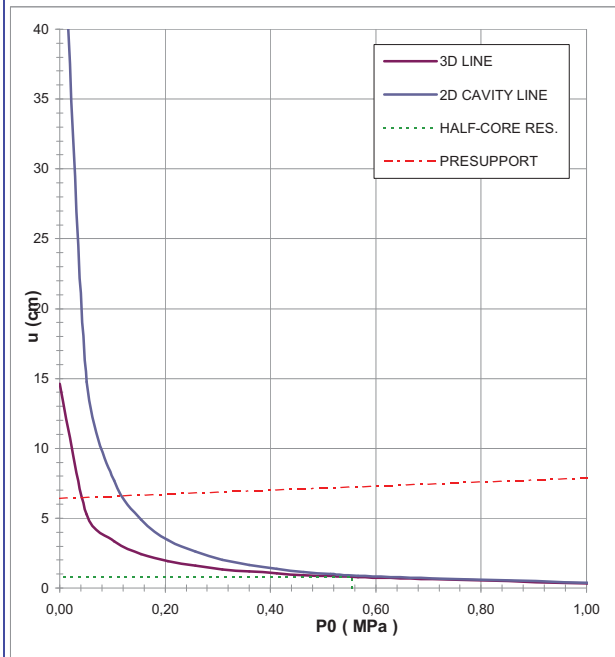
**FINAL LINING**

**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	f <sub>yd</sub>		[MPa]



DEFORMATION RESULTS							
		AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6
Critical pressure	Pcr [MPa]	0,58					
Max cavity def. (2D)	$u_{2d\max}$ [cm]	53,4					
Rpl (2D)/Ro	$R_{p_{max}}/r_0$ [-]	6,82					
Cavity def. at the face	$u_f$ [cm]	0,80					
Rpl (Face)/Ro	$R_{p_{face}}/r_0$ [-]	1,01					
Deformation at (x) m	$u_{(x)}$ [cm]	6,44					
Def.at (x)m regarding gap	$u'_{(x)}$ [cm]	6,44					
Def.at equilibrium point	ueq [cm]	6,61					
Conv.at equilibrium point	Ceq [cm]	11,60					
Rpl (eq)/Ro	$R_{p_{eq}}/r_0$ [-]	2,48					
Equilibrium pressure	C1 [MPa]	0,12					

TEMPORARY LINING RESULTS							
		AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6
Presupp.el. deformation	ulim [cm]	9,37					
Presupport stress	$\sigma_{sup}$ [MPa]	1,47					
Steel ribs stress	$\sigma_{st}$ [MPa]	14,73					
Shotcrete stress	$\sigma_{sc}$ [MPa]	1,47					
Bolt stress	$\sigma_{rb}$ [MPa]	-					

SUPPORT RESULTS							
		AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6
Support stress	$\sigma_{def}$ [MPa]	0,95					
Concrete stress	$\sigma_b$ [MPa]	0,95					
Reinforcement stress	$\sigma_s$ [MPa]	-					

**PROGETTO**

PONTE SULLO STRETTO  
GALLERIA LE FOSSE  
BYPASS PEDONALE, COPERTURA 150m - SAN PIER NICETO, 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	ANALYSIS n°3	ANALYSIS n°4	ANALYSIS n°5	ANALYSIS n°6
3 [m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
150 [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> ]
70 [kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]
40 [kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]
33 [°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]
26 [°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]
550 [MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
550 [MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
0,3 [-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
0 [%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]

**PRECONFINEMENT (Therapy Phase)**  Structural Elements

**FACE PRECONFINEMENT (reinforcement elements)**

Number of reinforcements	$n^\circ$	18	[-]
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	$\Delta c$	331,519	[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	f <sub>yd</sub>	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]

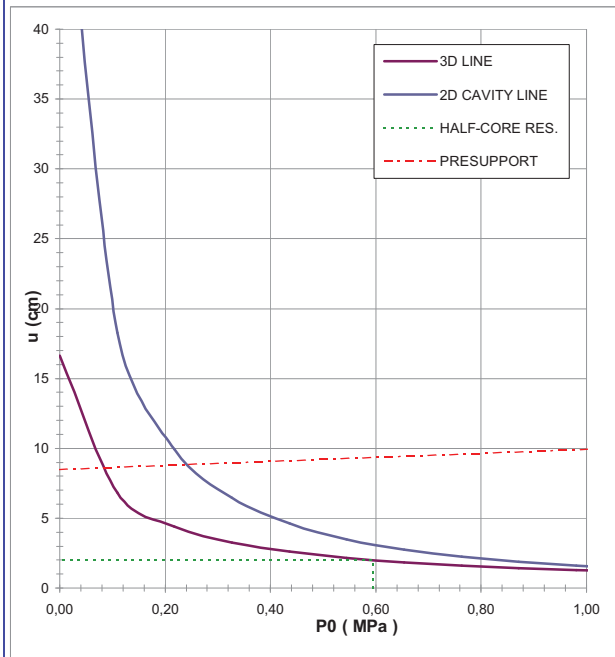
**FINAL LINING**

**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	f <sub>yd</sub>		[MPa]



		AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6
Critical pressure	Pcr [MPa]	1,24					
Max cavity def. (2D)	$u_{2d=}$ [cm]	55,5					
Rpl (2D)/Ro	$R_{p_{max}}/r_0$ [-]	5,93					
Cavity def. at the face	$u_f$ [cm]	2,00					
Rpl (Face)/Ro	$R_{p_{face}}/r_0$ [-]	1,27					
Deformation at (x) m	$u_{(x)}$ [cm]	8,49					
Def.at (x)m regarding gap	$u'_{(x)}$ [cm]	8,49					
Def.at equilibrium point	ueq [cm]	8,84					
Conv.at equilibrium point	Ceq [cm]	13,69					
Rpl (eq)/Ro	$R_{p_{eq}}/r_0$ [-]	2,45					
Equilibrium pressure	C1 [MPa]	0,24					

		AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6
Presupp.el. deformation	ulim [cm]	11,43					
Presupport stress	$\sigma_{sup}$ [MPa]	3,04					
Steel ribs stress	$\sigma_{st}$ [MPa]	30,42					
Shotcrete stress	$\sigma_{sc}$ [MPa]	3,04					
Bolt stress	$\sigma_{rb}$ [MPa]	-					

		AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6
Support stress	$\sigma_{def}$ [MPa]	1,97					
Concrete stress	$\sigma_b$ [MPa]	1,97					
Reinforcement stress	$\sigma_s$ [MPa]	-					

		<p align="center"><b>Ponte sullo Stretto di Messina</b>  <b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p>		
<p align="center">COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA - "LE FOSSE" -          RELAZIONE DI CALCOLO</p>		<p><i>Codice documento</i>          SS0259_F0.doc</p>	<p><i>Rev</i>          F0</p>	<p><i>Data</i>          20/06/2011</p>

## ALLEGATO – STABILITA' DEL FRONTE

SINTESI VERIFICHE DI STABILITA' DEL FRONTE GALLERIA LE FOSSE - GHIAIE DI MESSINA

SEZ. [-]	PARAMETRI GEOMETRICI				PARAMETRI GEOTECNICI			DIAGNOSI		n°consolid. [-]	TERAPIA			
	B [m]	D [m]	C [m]	Deq [m]	γ [kN/m³]	c [kPa]	Φ [°]	FSF [-]	Δc [kPa]		c [kPa]	FSF [-]		
C1	16,5	11,85	4	15	19	4	33	0,06	FRONTE INSTABILE	45	292,0	296	4,94	FRONTE STABILE
C1	16,5	11,85	20	15	19	4	33	0,03	FRONTE INSTABILE	45	292,0	296	2,93	FRONTE STABILE
C1	16,5	11,85	35	15	19	4	33	0,02	FRONTE INSTABILE	45	292,0	296	2,41	FRONTE STABILE
C1+1.05	16,7	12,2	4	16	19	4	33	0,06	FRONTE INSTABILE	52	287,0	291	4,75	FRONTE STABILE
C1+1.05	16,7	12,2	22	16	19	4	33	0,02	FRONTE INSTABILE	52	287,0	291	2,75	FRONTE STABILE
C1+1.05	16,7	12,2	37	16	19	4	33	0,02	FRONTE INSTABILE	52	287,0	291	2,30	FRONTE STABILE
C1 ALLARGO	19,8	12,85	4	17,5	19	4	33	0,06	FRONTE INSTABILE	70	296,0	300	4,66	FRONTE STABILE
C1 ALLARGO	19,8	12,85	22	17,5	19	4	33	0,02	FRONTE INSTABILE	70	296,0	300	2,63	FRONTE STABILE
C1 ALLARGO	19,8	12,85	37	17,5	19	4	33	0,02	FRONTE INSTABILE	70	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	82	314,0	318	3,99	FRONTE STABILE
∩1 + 1.05 + PIAZZOL	21,7	16,1	15	19	19	4	33	0,02	FRONTE INSTABILE	82	314,0	318	2,89	FRONTE STABILE
∩1 + 1.05 + PIAZZOL	21,7	16,1	30	19	19	4	33	0,00	FRONTE INSTABILE	82	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 [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 <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	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>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]	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]	222,31	<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]	221,00	221,00
<b>t m3</b> (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	20	19	4	33	1	11,85	19	4	33
Altezza totale da piano campagna ad arco rovescio [m]	31,85				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]	20
<b>D</b> altezza del tunnel [m]	11,85	<b>l</b> parametro geometrico paraboloide [m]	6,43
<b>C</b> profondità calotta [m]	20	<b>B</b> parametro geometrico paraboloide [m]	29,37
<b>a</b> avanzamento senza sostegno [m]	0	<b>z-w</b> parametro geometrico [m]	-80,00
<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 [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	20	19	4	33	1	11,85	19	296	33
Altezza totale da piano campagna ad arco rovescio [m]	31,85				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]	20
<b>D</b> altezza del tunnel [m]	11,85	<b>l</b> parametro geometrico paraboloide [m]	6,43
<b>C</b> profondità calotta [m]	20	<b>B</b> parametro geometrico paraboloide [m]	29,37
<b>a</b> avanzamento senza sostegno [m]	0	<b>z-w</b> parametro geometrico [m]	-80,00
<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]	112,64	<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]	221,00	221,00
<b>t m3</b> (resistenza taglio concio 3) [KPa]	4,00	4,00
<b>FSF</b>	<b>2,93</b>	<b>2,93</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	35	19	4	33	1	11,85	19	4	33
Altezza totale da piano campagna ad arco rovescio [m]	46,85				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]	35
D altezza del tunnel [m]	11,85	l parametro geometrico paraboloide [m]	6,43
C profondità calotta [m]	35	B parametro geometrico paraboloide [m]	29,37
a avanzamento senza sostegno [m]	0	z-w parametro geometrico [m]	-65,00
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

<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 [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	35	19	4	33	1	11,85	19	296	33
Altezza totale da piano campagna ad arco rovescio [m]	46,85				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]	35
<b>D</b> altezza del tunnel [m]	11,85	<b>l</b> parametro geometrico paraboloide [m]	6,43
<b>C</b> profondità calotta [m]	35	<b>B</b> parametro geometrico paraboloide [m]	29,37
<b>a</b> avanzamento senza sostegno [m]	0	<b>z-w</b> parametro geometrico [m]	-65,00
<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]	77,86	<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]	221,00	221,00
<b>t m3</b> (resistenza taglio concio 3) [KPa]	4,00	4,00
<b>FSF</b>	<b>2,41</b>	<b>2,41</b>

VERIFICA DI STABILITA' DEL FRONTE DI SCAVO - Tamez, Cornejo - SEZ. C1 ALLARGO, COP. 15m  
 GALLERIA LE FOSSE - 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
$K_{01}$ 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 [ $K_A - K_0 - f$ ] 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 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	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

$g_1$ 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]	229,73	$g_{(z-w)-h1}$ 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 [ $K_A - K_0 - f$ ] medi
t m2 (resistenza taglio concio 2) [KPa]	223,07	223,07
t m3 (resistenza taglio concio 3) [KPa]	4,00	4,00
FSF	4,66	4,66

### 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

<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 [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	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

<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]	113,14	<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</b> m2 (resistenza taglio concio 2) [KPa]	223,07	223,07
<b>t</b> m3 (resistenza taglio concio 3) [KPa]	4,00	4,00
<b>FSF</b>	<b>2,63</b>	<b>2,63</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	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 [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 **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	52	19	4	33

Strati SOTTO la calotta				
Strato n°	Spessore [m]	$\gamma$ [KN/m <sup>3</sup> ]	c [KPa]	$\phi$ [°]
1	12,85	19	300	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="19,8"/>
D altezza del tunnel [m]	<input type="text" value="12,85"/>
C profondità calotta [m]	<input type="text" value="52"/>
a avanzamento senza sostegno [m]	<input type="text" value="0"/>
Deq diametro equivalente [m]	<input type="text" value="17,5"/>

h1 altezza paraboloide [m]	<input type="text" value="52"/>
l parametro geometrico paraboloide [m]	<input type="text" value="6,98"/>
B parametro geometrico paraboloide [m]	<input type="text" value="33,75"/>
z-w parametro geometrico [m]	<input type="text" value="-48,00"/>
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="300,00"/>
$K_{01}$ spinta a riposo fronte (cuneo 1)	<input type="text" value="0,46"/>
$K_{A1}$ 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="19,00"/>
$f_m$ angolo medio (globale) [°]	<input type="text" value="33,00"/>
$c_m$ coesione media (globale) [KPa]	<input type="text" value="62,65"/>
$K_{0m}$ spinta a riposo (globale)	<input type="text" value="0,46"/>
$K_{Am}$ 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 [ $K_A - K_0 - f$ ] medi
t m2 (resistenza taglio concio 2) [KPa]	<input type="text" value="223,07"/>	<input type="text" value="223,07"/>
t m3 (resistenza taglio concio 3) [KPa]	<input type="text" value="4,00"/>	<input type="text" value="4,00"/>
FSF	<input type="text" value="1,93"/>	<input type="text" value="1,93"/>

### 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	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
$K_{01}$ 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 [ $K_A - K_0 - f$ ] 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 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	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

$g_1$ 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]	318,00	$c_{2-3}$ 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]	243,59	$g_{(z-w)-h1}$ 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 [ $K_A - K_0 - f$ ] medi
t m2 (resistenza taglio concio 2) [KPa]	233,67	233,67
t m3 (resistenza taglio concio 3) [KPa]	4,00	4,00
FSF	3,99	3,99

### 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	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

<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>U</b> press. acqua (sul fondo galleria) [KPa]	0
<b>K</b> <sub>A m</sub> coefficiente 0,5 < K <sub>A</sub> < 1 (globale)	1,00		

### 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
<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>0,02</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	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 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

<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]	166,55	<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>2,89</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 [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 [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

<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 [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	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>

**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>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]	-5,40	-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

<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

FRONTE INSTABILE	materiale stratificato	materiale stratificato [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>0,02</b>	<b>0,02</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	22	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="22"/>
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="22"/>
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="-78,00"/>
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="106,38"/>
$K_{0_m}$ 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 [ $K_A - K_0 - f$ ] 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="2,75"/>	<input type="text" value="2,75"/>

**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	12,2	19	4	33
Altezza totale da piano campagna ad arco rovescio [m]	49,2				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]	37
<b>D</b> altezza del tunnel [m]	12,2	<b>l</b> parametro geometrico paraboloide [m]	6,62
<b>C</b> profondità calotta [m]	37	<b>B</b> parametro geometrico paraboloide [m]	29,95
<b>a</b> avanzamento senza sostegno [m]	0	<b>z-w</b> parametro geometrico [m]	-63,00
<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>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]	-5,40	-5,40
<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	12,2	19	291	33
Altezza totale da piano campagna ad arco rovescio [m]	49,2				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]	37
<b>D</b> altezza del tunnel [m]	12,2	<b>l</b> parametro geometrico paraboloide [m]	6,62
<b>C</b> profondità calotta [m]	37	<b>B</b> parametro geometrico paraboloide [m]	29,95
<b>a</b> avanzamento senza sostegno [m]	0	<b>z-w</b> parametro geometrico [m]	-63,00
<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]	75,17	<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]	216,77	216,77
<b>t m3</b> (resistenza taglio concio 3) [KPa]	4,00	4,00
<b>FSF</b>	<b>2,30</b>	<b>2,30</b>

SINTESI VERIFICHE DI STABILITA' DEL FRONTE GALLERIA "LE FOSSE" - FORMAZIONE DI SAN PIER NICETO, GR2 (CGL)

PARAMETRI GEOMETRICI					PARAMETRI GEOTECNICI			DIAGNOSI		TERAPIA				
SEZ. [-]	B [m]	D [m]	C [m]	Deq [m]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	c [kPa]	$\phi$ [°]	FSF [-]		n° consolid [-]	$\Delta c$ [kPa]	c [kPa]	FSF [-]	
B2V	16,5	11,85	4	15	22	16,7	26	0,28	FRONTE INSTABILE	60	212,2	228,9	3,84	FRONTE STABILE
B2V	16,5	11,85	22	15	22	16,7	26	0,23	FRONTE INSTABILE	60	212,2	228,9	2,15	FRONTE STABILE
B2V	16,5	11,85	37	15	22	16,7	26	0,22	FRONTE INSTABILE	60	212,2	228,9	1,87	FRONTE STABILE
B2V+1.05	16,7	12,2	4	16	22	16,7	26	0,28	FRONTE INSTABILE	70	311	327,7	4,77	FRONTE STABILE
B2V+1.05	16,7	12,2	20	16	22	16,7	26	0,23	FRONTE INSTABILE	70	311	327,7	3,08	FRONTE STABILE
B2V+1.05	16,7	12,2	37	16	22	16,7	26	0,21	FRONTE INSTABILE	70	311	327,7	2,60	FRONTE STABILE
B2V P	19,8	12,85	37	17,5	22	16,7	26	0,19	FRONTE INSTABILE	121	157,2	173,9	1,29	FRONTE STABILE
B2V P	19,8	12,85	52	17,5	22	16,7	26	0,19	FRONTE INSTABILE	121	157,2	173,9	1,18	FRONTE STABILE
B2V+1.05+ F	21,7	16,1	15	19	22	16,7	26	0,17	FRONTE INSTABILE	100	276	292,7	2,88	FRONTE STABILE
B2V+1.05+ F	21,7	16,1	40	19	22	16,7	26	0,14	FRONTE INSTABILE	100	276	292,7	2,17	FRONTE STABILE
B2, all	16,7	12,2	20	16	22	16,7	26	0,23	FRONTE INSTABILE		311	327,7	3,08	FRONTE STABILE

### 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	22	17	26	1	11,85	22	17	26
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]	7,40
C profondità calotta [m]	4	B parametro geometrico paraboloide [m]	31,31
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

<b>g</b> <sub>1</sub> peso medio fronte (cuneo 1) [KN/m <sup>3</sup> ]	22,00	<b>g</b> <sub>2-3</sub> peso medio (cunei 2-3) [KN/m <sup>3</sup> ]	22,00
<b>f</b> <sub>1</sub> angolo medio fronte (cuneo 1) [°]	26,00	<b>f</b> <sub>2-3</sub> angolo medio (cunei 2-3) [°]	26,00
<b>c</b> <sub>1</sub> coesione media fronte (cuneo 1) [KPa]	16,67	<b>c</b> <sub>2-3</sub> coesione media (cunei 2-3) [KPa]	16,67
<b>K</b> <sub>0 1</sub> spinta a riposo fronte (cuneo 1)	0,56	<b>K</b> <sub>0 2-3</sub> spinta a riposo media (cunei 2-3)	0,56
<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> ]	22,00	<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) [°]	26,00	<b>g</b> <sub>uw 2-3</sub> peso medio (sopra falda) [KN/m <sup>3</sup> ]	22,00
<b>c</b> <sub>m</sub> coesione media (globale) [KPa]	16,67	<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)	0,56		
<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 [K <sub>A</sub> - K <sub>0</sub> - f] medi
<b>t m2</b> (resistenza taglio concio 2) [KPa]	12,61	12,61
<b>t m3</b> (resistenza taglio concio 3) [KPa]	16,67	16,67
<b>FSF</b>	<b>0,28</b>	<b>0,28</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	22	17	26	1	11,85	22	229	26
Altezza totale da piano campagna ad arco rovescio [m]	13,85				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]	2
<b>D</b> altezza del tunnel [m]	11,85	<b>l</b> parametro geometrico paraboloide [m]	7,40
<b>C</b> profondità calotta [m]	2	<b>B</b> parametro geometrico paraboloide [m]	31,31
<b>a</b> avanzamento senza sostegno [m]	0	<b>z-w</b> parametro geometrico [m]	-98,00
<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> ]	22,00	<b>g<sub>2-3</sub></b> peso medio (cunei 2-3) [KN/m <sup>3</sup> ]	22,00
<b>f<sub>1</sub></b> angolo medio fronte (cuneo 1) [°]	26,00	<b>f<sub>2-3</sub></b> angolo medio (cunei 2-3) [°]	26,00
<b>c<sub>1</sub></b> coesione media fronte (cuneo 1) [KPa]	228,87	<b>c<sub>2-3</sub></b> coesione media (cunei 2-3) [KPa]	16,67
<b>K<sub>0 1</sub></b> spinta a riposo fronte (cuneo 1)	0,56	<b>K<sub>0 2-3</sub></b> spinta a riposo media (cunei 2-3)	0,56
<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> ]	25,18	<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) [°]	29,75	<b>g<sub>uw 2-3</sub></b> peso medio (sopra falda) [KN/m <sup>3</sup> ]	22,00
<b>c<sub>m</sub></b> coesione media (globale) [KPa]	200,63	<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)	0,50		
<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]	215,22	194,74
<b>t m3</b> (resistenza taglio concio 3) [KPa]	16,67	16,67
<b>FSF</b>	<b>3,84</b>	<b>3,82</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	22	16,7	26	1	11,85	22	228,9	26
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]	7,40
<b>C</b> profondità calotta [m]	22	<b>B</b> parametro geometrico paraboloide [m]	31,31
<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> ]	22,00	<b>g<sub>2-3</sub></b> peso medio (cunei 2-3) [KN/m <sup>3</sup> ]	22,00
<b>f<sub>1</sub></b> angolo medio fronte (cuneo 1) [°]	26,00	<b>f<sub>2-3</sub></b> angolo medio (cunei 2-3) [°]	26,00
<b>c<sub>1</sub></b> coesione media fronte (cuneo 1) [KPa]	228,90	<b>c<sub>2-3</sub></b> coesione media (cunei 2-3) [KPa]	16,70
<b>K<sub>0 1</sub></b> spinta a riposo fronte (cuneo 1)	0,56	<b>K<sub>0 2-3</sub></b> spinta a riposo media (cunei 2-3)	0,56
<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> ]	22,00	<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) [°]	26,00	<b>g<sub>uw 2-3</sub></b> peso medio (sopra falda) [KN/m <sup>3</sup> ]	22,00
<b>c<sub>m</sub></b> coesione media (globale) [KPa]	90,99	<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)	0,56		
<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]	215,28	215,28
<b>t m3</b> (resistenza taglio concio 3) [KPa]	16,70	16,70
<b>FSF</b>	<b>2,15</b>	<b>2,15</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	22	16,7	26	1	11,85	22	16,7	26
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 larghezza del tunnel [m]	16,5	h1 altezza paraboloide [m]	37
D altezza del tunnel [m]	11,85	l parametro geometrico paraboloide [m]	7,40
C profondità calotta [m]	37	B parametro geometrico paraboloide [m]	31,31
a avanzamento senza sostegno [m]	0	z-w parametro geometrico [m]	-63,00
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

<b>g</b> <sub>1</sub> peso medio fronte (cuneo 1) [KN/m <sup>3</sup> ]	22,00	<b>g</b> <sub>2-3</sub> peso medio (cunei 2-3) [KN/m <sup>3</sup> ]	22,00
<b>f</b> <sub>1</sub> angolo medio fronte (cuneo 1) [°]	26,00	<b>f</b> <sub>2-3</sub> angolo medio (cunei 2-3) [°]	26,00
<b>c</b> <sub>1</sub> coesione media fronte (cuneo 1) [KPa]	16,70	<b>c</b> <sub>2-3</sub> coesione media (cunei 2-3) [KPa]	16,70
<b>K</b> <sub>0 1</sub> spinta a riposo fronte (cuneo 1)	0,56	<b>K</b> <sub>0 2-3</sub> spinta a riposo media (cunei 2-3)	0,56
<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> ]	22,00	<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) [°]	26,00	<b>g</b> <sub>uw 2-3</sub> peso medio (sopra falda) [KN/m <sup>3</sup> ]	22,00
<b>c</b> <sub>m</sub> coesione media (globale) [KPa]	16,70	<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)	0,56		
<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 [K <sub>A</sub> - K <sub>0</sub> - f] medi
<b>t m2</b> (resistenza taglio concio 2) [KPa]	12,68	12,68
<b>t m3</b> (resistenza taglio concio 3) [KPa]	16,70	16,70
<b>FSF</b>	<b>0,22</b>	<b>0,22</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	22	16,7	26	1	11,85	22	228,9	26
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 larghezza del tunnel [m]	16,5	h1 altezza paraboloide [m]	37
D altezza del tunnel [m]	11,85	l parametro geometrico paraboloide [m]	7,40
C profondità calotta [m]	37	B parametro geometrico paraboloide [m]	31,31
a avanzamento senza sostegno [m]	0	z-w parametro geometrico [m]	-63,00
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

<b>g</b> <sub>1</sub> peso medio fronte (cuneo 1) [KN/m <sup>3</sup> ]	22,00	<b>g</b> <sub>2-3</sub> peso medio (cunei 2-3) [KN/m <sup>3</sup> ]	22,00
<b>f</b> <sub>1</sub> angolo medio fronte (cuneo 1) [°]	26,00	<b>f</b> <sub>2-3</sub> angolo medio (cunei 2-3) [°]	26,00
<b>c</b> <sub>1</sub> coesione media fronte (cuneo 1) [KPa]	228,90	<b>c</b> <sub>2-3</sub> coesione media (cunei 2-3) [KPa]	16,70
<b>K</b> <sub>0 1</sub> spinta a riposo fronte (cuneo 1)	0,56	<b>K</b> <sub>0 2-3</sub> spinta a riposo media (cunei 2-3)	0,56
<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> ]	22,00	<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) [°]	26,00	<b>g</b> <sub>uw 2-3</sub> peso medio (sopra falda) [KN/m <sup>3</sup> ]	22,00
<b>c</b> <sub>m</sub> coesione media (globale) [KPa]	68,18	<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)	0,56		
<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]	215,28	215,28
<b>t m3</b> (resistenza taglio concio 3) [KPa]	16,70	16,70
<b>FSF</b>	<b>1,87</b>	<b>1,87</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	22	16,7	26	1	12,2	22	16,7	26
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 larghezza del tunnel [m]	16,7	h1 altezza paraboloide [m]	4
D altezza del tunnel [m]	12,2	l parametro geometrico paraboloide [m]	7,62
C profondità calotta [m]	4	B parametro geometrico paraboloide [m]	31,95
a avanzamento senza sostegno [m]	0	z-w parametro geometrico [m]	-96,00
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

<b>g</b> <sub>1</sub> peso medio fronte (cuneo 1) [KN/m <sup>3</sup> ]	22,00	<b>g</b> <sub>2-3</sub> peso medio (cunei 2-3) [KN/m <sup>3</sup> ]	22,00
<b>f</b> <sub>1</sub> angolo medio fronte (cuneo 1) [°]	26,00	<b>f</b> <sub>2-3</sub> angolo medio (cunei 2-3) [°]	26,00
<b>c</b> <sub>1</sub> coesione media fronte (cuneo 1) [KPa]	16,70	<b>c</b> <sub>2-3</sub> coesione media (cunei 2-3) [KPa]	16,70
<b>K</b> <sub>0 1</sub> spinta a riposo fronte (cuneo 1)	0,56	<b>K</b> <sub>0 2-3</sub> spinta a riposo media (cunei 2-3)	0,56
<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> ]	22,00	<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) [°]	26,00	<b>g</b> <sub>uw 2-3</sub> peso medio (sopra falda) [KN/m <sup>3</sup> ]	22,00
<b>c</b> <sub>m</sub> coesione media (globale) [KPa]	16,70	<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)	0,56		
<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 [K <sub>A</sub> - K <sub>0</sub> - f] medi
<b>t m2</b> (resistenza taglio concio 2) [KPa]	12,09	12,09
<b>t m3</b> (resistenza taglio concio 3) [KPa]	16,70	16,70
<b>FSF</b>	<b>0,28</b>	<b>0,28</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	22	16,7	26	1	12,2	22	327,7	26
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 larghezza del tunnel [m]	16,7	h1 altezza paraboloide [m]	4
D altezza del tunnel [m]	12,2	l parametro geometrico paraboloide [m]	7,62
C profondità calotta [m]	4	B parametro geometrico paraboloide [m]	31,95
a avanzamento senza sostegno [m]	0	z-w parametro geometrico [m]	-96,00
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

<b>g</b> <sub>1</sub> peso medio fronte (cuneo 1) [KN/m <sup>3</sup> ]	22,00	<b>g</b> <sub>2-3</sub> peso medio (cunei 2-3) [KN/m <sup>3</sup> ]	22,00
<b>f</b> <sub>1</sub> angolo medio fronte (cuneo 1) [°]	26,00	<b>f</b> <sub>2-3</sub> angolo medio (cunei 2-3) [°]	26,00
<b>c</b> <sub>1</sub> coesione media fronte (cuneo 1) [KPa]	327,70	<b>c</b> <sub>2-3</sub> coesione media (cunei 2-3) [KPa]	16,70
<b>K</b> <sub>0 1</sub> spinta a riposo fronte (cuneo 1)	0,56	<b>K</b> <sub>0 2-3</sub> spinta a riposo media (cunei 2-3)	0,56
<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> ]	66,81	<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) [°]	78,96	<b>g</b> <sub>uw 2-3</sub> peso medio (sopra falda) [KN/m <sup>3</sup> ]	22,00
<b>c</b> <sub>m</sub> coesione media (globale) [KPa]	284,93	<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)	0,02	<b>U</b> press. acqua (sul fondo galleria) [KPa]	0
<b>K</b> <sub>A m</sub> 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]	309,02	26,33
<b>t m3</b> (resistenza taglio concio 3) [KPa]	16,70	16,70
<b>FSF</b>	4,77	4,26

### 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	22	16,7	26	1	12,2	22	16,7	26
Altezza totale da piano campagna ad arco rovescio [m]	32,2				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]	20
D altezza del tunnel [m]	12,2	l parametro geometrico paraboloide [m]	7,62
C profondità calotta [m]	20	B parametro geometrico paraboloide [m]	31,95
a avanzamento senza sostegno [m]	0	z-w parametro geometrico [m]	-80,00
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

<b>g</b> <sub>1</sub> peso medio fronte (cuneo 1) [KN/m <sup>3</sup> ]	22,00	<b>g</b> <sub>2-3</sub> peso medio (cunei 2-3) [KN/m <sup>3</sup> ]	22,00
<b>f</b> <sub>1</sub> angolo medio fronte (cuneo 1) [°]	26,00	<b>f</b> <sub>2-3</sub> angolo medio (cunei 2-3) [°]	26,00
<b>c</b> <sub>1</sub> coesione media fronte (cuneo 1) [KPa]	16,70	<b>c</b> <sub>2-3</sub> coesione media (cunei 2-3) [KPa]	16,70
<b>K</b> <sub>0 1</sub> spinta a riposo fronte (cuneo 1)	0,56	<b>K</b> <sub>0 2-3</sub> spinta a riposo media (cunei 2-3)	0,56
<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> ]	22,00	<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) [°]	26,00	<b>g</b> <sub>uw 2-3</sub> peso medio (sopra falda) [KN/m <sup>3</sup> ]	22,00
<b>c</b> <sub>m</sub> coesione media (globale) [KPa]	16,70	<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)	0,56		
<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 [K <sub>A</sub> - K <sub>0</sub> - f] medi
<b>t m2</b> (resistenza taglio concio 2) [KPa]	12,09	12,09
<b>t m3</b> (resistenza taglio concio 3) [KPa]	16,70	16,70
<b>FSF</b>	<b>0,23</b>	<b>0,23</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	20	22	16,7	26	1	12,2	22	327,7	26
Altezza totale da piano campagna ad arco rovescio [m]	32,2				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]	20
D altezza del tunnel [m]	12,2	l parametro geometrico paraboloide [m]	7,62
C profondità calotta [m]	20	B parametro geometrico paraboloide [m]	31,95
a avanzamento senza sostegno [m]	0	z-w parametro geometrico [m]	-80,00
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

<b>g</b> <sub>1</sub> peso medio fronte (cuneo 1) [KN/m <sup>3</sup> ]	22,00	<b>g</b> <sub>2-3</sub> peso medio (cunei 2-3) [KN/m <sup>3</sup> ]	22,00
<b>f</b> <sub>1</sub> angolo medio fronte (cuneo 1) [°]	26,00	<b>f</b> <sub>2-3</sub> angolo medio (cunei 2-3) [°]	26,00
<b>c</b> <sub>1</sub> coesione media fronte (cuneo 1) [KPa]	327,70	<b>c</b> <sub>2-3</sub> coesione media (cunei 2-3) [KPa]	16,70
<b>K</b> <sub>0 1</sub> spinta a riposo fronte (cuneo 1)	0,56	<b>K</b> <sub>0 2-3</sub> spinta a riposo media (cunei 2-3)	0,56
<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> ]	22,00	<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) [°]	26,00	<b>g</b> <sub>uw 2-3</sub> peso medio (sopra falda) [KN/m <sup>3</sup> ]	22,00
<b>c</b> <sub>m</sub> coesione media (globale) [KPa]	134,53	<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)	0,56	<b>U</b> press. acqua (sul fondo galleria) [KPa]	0
<b>K</b> <sub>A m</sub> 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]	309,02	309,02
<b>t m3</b> (resistenza taglio concio 3) [KPa]	16,70	16,70
<b>FSF</b>	<b>3,08</b>	<b>3,08</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	37	22	16,7	26	1	12,2	22	16,7	26
Altezza totale da piano campagna ad arco rovescio [m]	49,2				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]	37
D altezza del tunnel [m]	12,2	l parametro geometrico paraboloide [m]	7,62
C profondità calotta [m]	37	B parametro geometrico paraboloide [m]	31,95
a avanzamento senza sostegno [m]	0	z-w parametro geometrico [m]	-63,00
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> ]	22,00	$g_{2-3}$ peso medio (cunei 2-3) [KN/m <sup>3</sup> ]	22,00
$f_1$ angolo medio fronte (cuneo 1) [°]	26,00	$f_{2-3}$ angolo medio (cunei 2-3) [°]	26,00
$c_1$ coesione media fronte (cuneo 1) [KPa]	16,70	$c_{2-3}$ coesione media (cunei 2-3) [KPa]	16,70
$K_{0_1}$ spinta a riposo fronte (cuneo 1)	0,56	$K_{0_2-3}$ spinta a riposo media (cunei 2-3)	0,56
$K_{A_1}$ 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> ]	22,00	$g_{dw_2-3}$ peso medio (sotto falda) [KN/m <sup>3</sup> ]	0,00
$f_m$ angolo medio (globale) [°]	26,00	$g_{uw_2-3}$ peso medio (sopra falda) [KN/m <sup>3</sup> ]	22,00
$c_m$ coesione media (globale) [KPa]	16,70	$g_{(z-w)-h1}$ peso medio (tra z-w e h1) [KN/m <sup>3</sup> ]	10,00
$K_{0_m}$ spinta a riposo (globale)	0,56		
$K_{A_m}$ 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 [ $K_A - K_0 - f$ ] medi
t m2 (resistenza taglio concio 2) [KPa]	12,09	12,09
t m3 (resistenza taglio concio 3) [KPa]	16,70	16,70
FSF	0,21	0,21

### 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	22	16,7	26	1	12,2	22	327,7	26
Altezza totale da piano campagna ad arco rovescio [m]	49,2				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]	37
D altezza del tunnel [m]	12,2	l parametro geometrico paraboloide [m]	7,62
C profondità calotta [m]	37	B parametro geometrico paraboloide [m]	31,95
a avanzamento senza sostegno [m]	0	z-w parametro geometrico [m]	-63,00
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

<b>g</b> <sub>1</sub> peso medio fronte (cuneo 1) [KN/m <sup>3</sup> ]	22,00	<b>g</b> <sub>2-3</sub> peso medio (cunei 2-3) [KN/m <sup>3</sup> ]	22,00
<b>f</b> <sub>1</sub> angolo medio fronte (cuneo 1) [°]	26,00	<b>f</b> <sub>2-3</sub> angolo medio (cunei 2-3) [°]	26,00
<b>c</b> <sub>1</sub> coesione media fronte (cuneo 1) [KPa]	327,70	<b>c</b> <sub>2-3</sub> coesione media (cunei 2-3) [KPa]	16,70
<b>K</b> <sub>0 1</sub> spinta a riposo fronte (cuneo 1)	0,56	<b>K</b> <sub>0 2-3</sub> spinta a riposo media (cunei 2-3)	0,56
<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> ]	22,00	<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) [°]	26,00	<b>g</b> <sub>uw 2-3</sub> peso medio (sopra falda) [KN/m <sup>3</sup> ]	22,00
<b>c</b> <sub>m</sub> coesione media (globale) [KPa]	93,82	<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)	0,56		
<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]	309,02	309,02
<b>t m3</b> (resistenza taglio concio 3) [KPa]	16,70	16,70
<b>FSF</b>	<b>2,60</b>	<b>2,60</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	22	16,7	26	1	12,85	22	16,7	26
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]	8,03
<b>C</b> profondità calotta [m]	37	<b>B</b> parametro geometrico paraboloide [m]	35,86
<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> ]	22,00	<b>g<sub>2-3</sub></b> peso medio (cunei 2-3) [KN/m <sup>3</sup> ]	22,00
<b>f<sub>1</sub></b> angolo medio fronte (cuneo 1) [°]	26,00	<b>f<sub>2-3</sub></b> angolo medio (cunei 2-3) [°]	26,00
<b>c<sub>1</sub></b> coesione media fronte (cuneo 1) [KPa]	16,70	<b>c<sub>2-3</sub></b> coesione media (cunei 2-3) [KPa]	16,70
<b>K<sub>0 1</sub></b> spinta a riposo fronte (cuneo 1)	0,56	<b>K<sub>0 2-3</sub></b> spinta a riposo media (cunei 2-3)	0,56
<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> ]	22,00	<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) [°]	26,00	<b>g<sub>uw 2-3</sub></b> peso medio (sopra falda) [KN/m <sup>3</sup> ]	22,00
<b>c<sub>m</sub></b> coesione media (globale) [KPa]	16,70	<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)	0,56		
<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]	10,99	10,99
<b>t m3</b> (resistenza taglio concio 3) [KPa]	16,70	16,70
<b>FSF</b>	<b>0,19</b>	<b>0,19</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	22	16,7	26	1	12,85	22	173,9	26
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]	8,03
<b>C</b> profondità calotta [m]	37	<b>B</b> parametro geometrico paraboloide [m]	35,86
<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> ]	22,00	<b>g<sub>2-3</sub></b> peso medio (cunei 2-3) [KN/m <sup>3</sup> ]	22,00
<b>f<sub>1</sub></b> angolo medio fronte (cuneo 1) [°]	26,00	<b>f<sub>2-3</sub></b> angolo medio (cunei 2-3) [°]	26,00
<b>c<sub>1</sub></b> coesione media fronte (cuneo 1) [KPa]	173,90	<b>c<sub>2-3</sub></b> coesione media (cunei 2-3) [KPa]	16,70
<b>K<sub>0 1</sub></b> spinta a riposo fronte (cuneo 1)	0,56	<b>K<sub>0 2-3</sub></b> spinta a riposo media (cunei 2-3)	0,56
<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> ]	22,00	<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) [°]	26,00	<b>g<sub>uw 2-3</sub></b> peso medio (sopra falda) [KN/m <sup>3</sup> ]	22,00
<b>c<sub>m</sub></b> coesione media (globale) [KPa]	57,22	<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)	0,56		
<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]	161,08	161,08
<b>t m3</b> (resistenza taglio concio 3) [KPa]	16,70	16,70
<b>FSF</b>	1,29	1,29



**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	52	22	16,7	26

**Strati SOTTO la calotta**

Strato n°	Spessore [m]	$\gamma$ [KN/m <sup>3</sup> ]	c [KPa]	$\phi$ [°]
1	12,85	22	16,7	26

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="19,8"/>
D altezza del tunnel [m]	<input type="text" value="12,85"/>
C profondità calotta [m]	<input type="text" value="52"/>
a avanzamento senza sostegno [m]	<input type="text" value="0"/>
Deq diametro equivalente [m]	<input type="text" value="17,5"/>

Shallow Tunnel =>  $Z < 3D$

h1 altezza paraboloide [m]	<input type="text" value="52"/>
l parametro geometrico paraboloide [m]	<input type="text" value="8,03"/>
B parametro geometrico paraboloide [m]	<input type="text" value="35,86"/>
z-w parametro geometrico [m]	<input type="text" value="-48,00"/>
z-w-h1 parametro geometrico [m]	<input type="text" value="0,00"/>
z-h1 parametro geometrico [m]	<input type="text" value="0,00"/>

**PARAMETRI DEL MATERIALE**

$g_1$ peso medio fronte (cuneo 1) [KN/m <sup>3</sup> ]	<input type="text" value="22,00"/>
$f_1$ angolo medio fronte (cuneo 1) [°]	<input type="text" value="26,00"/>
$c_1$ coesione media fronte (cuneo 1) [KPa]	<input type="text" value="16,70"/>
$K_{01}$ spinta a riposo fronte (cuneo 1)	<input type="text" value="0,56"/>
$K_{A1}$ 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="22,00"/>
$f_{2-3}$ angolo medio (cunei 2-3) [°]	<input type="text" value="26,00"/>
$c_{2-3}$ coesione media (cunei 2-3) [KPa]	<input type="text" value="16,70"/>
$K_{02-3}$ spinta a riposo media (cunei 2-3)	<input type="text" value="0,56"/>
$K_{A2-3}$ 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="22,00"/>
$f_m$ angolo medio (globale) [°]	<input type="text" value="26,00"/>
$c_m$ coesione media (globale) [KPa]	<input type="text" value="16,70"/>
$K_{0m}$ spinta a riposo (globale)	<input type="text" value="0,56"/>
$K_{Am}$ 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="22,00"/>
$g_{(z-w)-h1}$ 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 [ $K_A - K_0 - f$ ] medi
t m2 (resistenza taglio concio 2) [KPa]	<input type="text" value="10,99"/>	<input type="text" value="10,99"/>
t m3 (resistenza taglio concio 3) [KPa]	<input type="text" value="16,70"/>	<input type="text" value="16,70"/>
FSF	<input type="text" value="0,19"/>	<input type="text" value="0,19"/>

**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	22	16,7	26	1	12,85	22	173,9	26
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]	8,03
<b>C</b> profondità calotta [m]	52	<b>B</b> parametro geometrico paraboloide [m]	35,86
<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> ]	22,00	<b>g<sub>2-3</sub></b> peso medio (cunei 2-3) [KN/m <sup>3</sup> ]	22,00
<b>f<sub>1</sub></b> angolo medio fronte (cuneo 1) [°]	26,00	<b>f<sub>2-3</sub></b> angolo medio (cunei 2-3) [°]	26,00
<b>c<sub>1</sub></b> coesione media fronte (cuneo 1) [KPa]	173,90	<b>c<sub>2-3</sub></b> coesione media (cunei 2-3) [KPa]	16,70
<b>K<sub>0 1</sub></b> spinta a riposo fronte (cuneo 1)	0,56	<b>K<sub>0 2-3</sub></b> spinta a riposo media (cunei 2-3)	0,56
<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> ]	22,00	<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) [°]	26,00	<b>g<sub>uw 2-3</sub></b> peso medio (sopra falda) [KN/m <sup>3</sup> ]	22,00
<b>c<sub>m</sub></b> coesione media (globale) [KPa]	47,85	<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)	0,56		
<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]	161,08	161,08
<b>t m3</b> (resistenza taglio concio 3) [KPa]	16,70	16,70
<b>FSF</b>	1,18	1,18

### 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	22	16,7	26	1	16,1	22	16,7	26
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]	10,06
C profondità calotta [m]	15	B parametro geometrico paraboloide [m]	41,82
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

<b>g</b> <sub>1</sub> peso medio fronte (cuneo 1) [KN/m <sup>3</sup> ]	22,00	<b>g</b> <sub>2-3</sub> peso medio (cunei 2-3) [KN/m <sup>3</sup> ]	22,00
<b>f</b> <sub>1</sub> angolo medio fronte (cuneo 1) [°]	26,00	<b>f</b> <sub>2-3</sub> angolo medio (cunei 2-3) [°]	26,00
<b>c</b> <sub>1</sub> coesione media fronte (cuneo 1) [KPa]	16,70	<b>c</b> <sub>2-3</sub> coesione media (cunei 2-3) [KPa]	16,70
<b>K</b> <sub>0 1</sub> spinta a riposo fronte (cuneo 1)	0,56	<b>K</b> <sub>0 2-3</sub> spinta a riposo media (cunei 2-3)	0,56
<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> ]	22,00	<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) [°]	26,00	<b>g</b> <sub>uw 2-3</sub> peso medio (sopra falda) [KN/m <sup>3</sup> ]	22,00
<b>c</b> <sub>m</sub> coesione media (globale) [KPa]	16,70	<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)	0,56		
<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 [K <sub>A</sub> - K <sub>0</sub> - f] medi
<b>t m2</b> (resistenza taglio concio 2) [KPa]	5,52	5,52
<b>t m3</b> (resistenza taglio concio 3) [KPa]	16,70	16,70
<b>FSF</b>	<b>0,17</b>	<b>0,17</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	15	22	16,7	26	1	16,1	19	292,7	26
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]	10,06
C profondità calotta [m]	15	B parametro geometrico paraboloide [m]	41,82
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

<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> ]	22,00
<b>f</b> <sub>1</sub> angolo medio fronte (cuneo 1) [°]	26,00	<b>f</b> <sub>2-3</sub> angolo medio (cunei 2-3) [°]	26,00
<b>c</b> <sub>1</sub> coesione media fronte (cuneo 1) [KPa]	292,70	<b>c</b> <sub>2-3</sub> coesione media (cunei 2-3) [KPa]	16,70
<b>K</b> <sub>0 1</sub> spinta a riposo fronte (cuneo 1)	0,56	<b>K</b> <sub>0 2-3</sub> spinta a riposo media (cunei 2-3)	0,56
<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> ]	20,45	<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) [°]	26,00	<b>g</b> <sub>uw 2-3</sub> peso medio (sopra falda) [KN/m <sup>3</sup> ]	22,00
<b>c</b> <sub>m</sub> coesione media (globale) [KPa]	159,58	<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)	0,56		
<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]	275,82	275,82
<b>t m3</b> (resistenza taglio concio 3) [KPa]	16,70	16,70
<b>FSF</b>	<b>2,88</b>	<b>2,88</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	40	22	16,7	26	1	16,1	22	16,7	26
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]	10,06
C profondità calotta [m]	40	B parametro geometrico paraboloide [m]	41,82
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> ]	22,00	<b>g</b> <sub>2-3</sub> peso medio (cunei 2-3) [KN/m <sup>3</sup> ]	22,00
<b>f</b> <sub>1</sub> angolo medio fronte (cuneo 1) [°]	26,00	<b>f</b> <sub>2-3</sub> angolo medio (cunei 2-3) [°]	26,00
<b>c</b> <sub>1</sub> coesione media fronte (cuneo 1) [KPa]	16,70	<b>c</b> <sub>2-3</sub> coesione media (cunei 2-3) [KPa]	16,70
<b>K</b> <sub>0 1</sub> spinta a riposo fronte (cuneo 1)	0,56	<b>K</b> <sub>0 2-3</sub> spinta a riposo media (cunei 2-3)	0,56
<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> ]	22,00	<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) [°]	26,00	<b>g</b> <sub>uw 2-3</sub> peso medio (sopra falda) [KN/m <sup>3</sup> ]	22,00
<b>c</b> <sub>m</sub> coesione media (globale) [KPa]	16,70	<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)	0,56		
<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 [K <sub>A</sub> - K <sub>0</sub> - f] medi
<b>t m2</b> (resistenza taglio concio 2) [KPa]	5,52	5,52
<b>t m3</b> (resistenza taglio concio 3) [KPa]	16,70	16,70
<b>FSF</b>	<b>0,14</b>	<b>0,14</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	40	22	16,7	26	1	16,1	19	292,7	26
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]	10,06
C profondità calotta [m]	40	B parametro geometrico paraboloide [m]	41,82
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> ]	22,00
<b>f</b> <sub>1</sub> angolo medio fronte (cuneo 1) [°]	26,00	<b>f</b> <sub>2-3</sub> angolo medio (cunei 2-3) [°]	26,00
<b>c</b> <sub>1</sub> coesione media fronte (cuneo 1) [KPa]	292,70	<b>c</b> <sub>2-3</sub> coesione media (cunei 2-3) [KPa]	16,70
<b>K</b> <sub>0 1</sub> spinta a riposo fronte (cuneo 1)	0,56	<b>K</b> <sub>0 2-3</sub> spinta a riposo media (cunei 2-3)	0,56
<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> ]	21,14	<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) [°]	26,00	<b>g</b> <sub>uw 2-3</sub> peso medio (sopra falda) [KN/m <sup>3</sup> ]	22,00
<b>c</b> <sub>m</sub> coesione media (globale) [KPa]	95,91	<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)	0,56		
<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]	275,82	275,82
<b>t m3</b> (resistenza taglio concio 3) [KPa]	16,70	16,70
<b>FSF</b>	2,17	2,17

SINTESI VERIFICHE DI STABILITA' DEL FRONTE GALLERIA "LE FOSSE" - FORMAZIONE SOLFIFERA

SEZ. [-]	PARAMETRI GEOMETRICI				PARAMETRI GEOTECNICI			DIAGNOSI		TERAPIA				
	B [m]	D [m]	C [m]	Deq [m]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	c [kPa]	$\phi$ [°]	FSF [-]		n° consolid [-]	$\Delta c$ [kPa]	c [kPa]	FSF [-]	
B2V, all	19,8	12,85	4	17,5	20	28	23	0,53	FRONTE INSTABILE	145	340	368,4	6,34	FRONTE STABILE
B2V, all	19,8	12,85	22	17,5	20	28	23	0,45	FRONTE INSTABILE	145	340	368	3,62	FRONTE STABILE
B2V, all	19,8	12,85	37	17,5	20	28	23	0,43	FRONTE INSTABILE	145	340	368	3,15	FRONTE STABILE
B2V, all	19,8	12,85	52	17,5	20	28	23	0,43	FRONTE INSTABILE	145	340	368	2,91	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	20	28	23	1	12,85	20	28	23
Altezza totale da piano campagna ad arco rovescio [m]	14,85				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]	2
D altezza del tunnel [m]	12,85	l parametro geometrico paraboloide [m]	8,51
C profondità calotta [m]	2	B parametro geometrico paraboloide [m]	36,81
a avanzamento senza sostegno [m]	0	z-w parametro geometrico [m]	-98,00
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> ]	20,00	<b>g</b> <sub>2-3</sub> peso medio (cunei 2-3) [KN/m <sup>3</sup> ]	20,00
<b>f</b> <sub>1</sub> angolo medio fronte (cuneo 1) [°]	23,00	<b>f</b> <sub>2-3</sub> angolo medio (cunei 2-3) [°]	23,00
<b>c</b> <sub>1</sub> coesione media fronte (cuneo 1) [KPa]	28,00	<b>c</b> <sub>2-3</sub> coesione media (cunei 2-3) [KPa]	28,00
<b>K</b> <sub>0 1</sub> spinta a riposo fronte (cuneo 1)	0,61	<b>K</b> <sub>0 2-3</sub> spinta a riposo media (cunei 2-3)	0,61
<b>K</b> <sub>A 1</sub> coefficiente 0,5 < <b>K</b> <sub>A</sub> < 1 (cuneo 1)	1,00	<b>K</b> <sub>A 2-3</sub> coefficiente 0,5 < <b>K</b> <sub>A</sub> < 1 (cuneo 2-3)	1,00
<b>g</b> <sub>m</sub> peso medio (globale) [KN/m <sup>3</sup> ]	22,69	<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) [°]	26,10	<b>g</b> <sub>uw 2-3</sub> peso medio (sopra falda) [KN/m <sup>3</sup> ]	20,00
<b>c</b> <sub>m</sub> coesione media (globale) [KPa]	31,77	<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)	0,56	<b>U</b> press. acqua (sul fondo galleria) [KPa]	0
<b>K</b> <sub>A m</sub> coefficiente 0,5 < <b>K</b> <sub>A</sub> < 1 (globale)	1,00		

### 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
<b>t m2</b> (resistenza taglio concio 2) [KPa]	37,43	36,67
<b>t m3</b> (resistenza taglio concio 3) [KPa]	28,00	28,00
<b>FSF</b>	<b>0,53</b>	<b>0,53</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	20	28	23	1	12,85	20	368,4	23
Altezza totale da piano campagna ad arco rovescio [m]	14,85				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]	2
D altezza del tunnel [m]	12,85	l parametro geometrico paraboloide [m]	8,51
C profondità calotta [m]	2	B parametro geometrico paraboloide [m]	36,81
a avanzamento senza sostegno [m]	0	z-w parametro geometrico [m]	-98,00
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> ]	20,00	<b>g</b> <sub>2-3</sub> peso medio (cunei 2-3) [KN/m <sup>3</sup> ]	20,00
<b>f</b> <sub>1</sub> angolo medio fronte (cuneo 1) [°]	23,00	<b>f</b> <sub>2-3</sub> angolo medio (cunei 2-3) [°]	23,00
<b>c</b> <sub>1</sub> coesione media fronte (cuneo 1) [KPa]	368,40	<b>c</b> <sub>2-3</sub> coesione media (cunei 2-3) [KPa]	28,00
<b>K</b> <sub>0 1</sub> spinta a riposo fronte (cuneo 1)	0,61	<b>K</b> <sub>0 2-3</sub> spinta a riposo media (cunei 2-3)	0,61
<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> ]	22,69	<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) [°]	26,10	<b>g</b> <sub>uw 2-3</sub> peso medio (sopra falda) [KN/m <sup>3</sup> ]	20,00
<b>c</b> <sub>m</sub> coesione media (globale) [KPa]	326,33	<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)	0,56	<b>U</b> press. acqua (sul fondo galleria) [KPa]	0
<b>K</b> <sub>A m</sub> 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]	390,00	360,78
<b>t m3</b> (resistenza taglio concio 3) [KPa]	28,00	28,00
<b>FSF</b>	<b>6,34</b>	<b>6,31</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	22	20	28	23

Strati SOTTO la calotta				
Strato n°	Spessore [m]	$\gamma$ [KN/m <sup>3</sup> ]	c [KPa]	$\phi$ [°]
1	12,85	20	28	23

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="19,8"/>
D altezza del tunnel [m]	<input type="text" value="12,85"/>
C profondità calotta [m]	<input type="text" value="22"/>
a avanzamento senza sostegno [m]	<input type="text" value="0"/>
Deq diametro equivalente [m]	<input type="text" value="17,5"/>

h1 altezza paraboloide [m]	<input type="text" value="22"/>
l parametro geometrico paraboloide [m]	<input type="text" value="8,51"/>
B parametro geometrico paraboloide [m]	<input type="text" value="36,81"/>
z-w parametro geometrico [m]	<input type="text" value="-78,00"/>
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="20,00"/>
$f_1$ angolo medio fronte (cuneo 1) [°]	<input type="text" value="23,00"/>
$c_1$ coesione media fronte (cuneo 1) [KPa]	<input type="text" value="28,00"/>
$K_{01}$ spinta a riposo fronte (cuneo 1)	<input type="text" value="0,61"/>
$K_{A1}$ 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="20,00"/>
$f_{2-3}$ angolo medio (cunei 2-3) [°]	<input type="text" value="23,00"/>
$c_{2-3}$ coesione media (cunei 2-3) [KPa]	<input type="text" value="28,00"/>
$K_{02-3}$ spinta a riposo media (cunei 2-3)	<input type="text" value="0,61"/>
$K_{A2-3}$ 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="20,00"/>
$f_m$ angolo medio (globale) [°]	<input type="text" value="23,00"/>
$c_m$ coesione media (globale) [KPa]	<input type="text" value="28,00"/>
$K_{0m}$ spinta a riposo (globale)	<input type="text" value="0,61"/>
$K_{Am}$ 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="20,00"/>
$g_{(z-w)-h1}$ 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 [ $K_A - K_0 - f$ ] medi
t m2 (resistenza taglio concio 2) [KPa]	<input type="text" value="37,43"/>	<input type="text" value="37,43"/>
t m3 (resistenza taglio concio 3) [KPa]	<input type="text" value="28,00"/>	<input type="text" value="28,00"/>
FSF	<input type="text" value="0,45"/>	<input type="text" value="0,45"/>

### 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	22	20	28	23

#### Strati SOTTO la calotta

Strato n°	Spessore [m]	$\gamma$ [KN/m <sup>3</sup> ]	c [KPa]	$\phi$ [°]
1	12,85	20	368	23

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="19,8"/>
D altezza del tunnel [m]	<input type="text" value="12,85"/>
C profondità calotta [m]	<input type="text" value="22"/>
a avanzamento senza sostegno [m]	<input type="text" value="0"/>
Deq diametro equivalente [m]	<input type="text" value="17,5"/>

Shallow Tunnel =>  $Z < 3D$

h1 altezza paraboloide [m]	<input type="text" value="22"/>
l parametro geometrico paraboloide [m]	<input type="text" value="8,51"/>
B parametro geometrico paraboloide [m]	<input type="text" value="36,81"/>
z-w parametro geometrico [m]	<input type="text" value="-78,00"/>
z-w-h1 parametro geometrico [m]	<input type="text" value="0,00"/>
z-h1 parametro geometrico [m]	<input type="text" value="0,00"/>

### PARAMETRI DEL MATERIALE

$g_1$ peso medio fronte (cuneo 1) [KN/m <sup>3</sup> ]	<input type="text" value="20,00"/>
$f_1$ angolo medio fronte (cuneo 1) [°]	<input type="text" value="23,00"/>
$c_1$ coesione media fronte (cuneo 1) [KPa]	<input type="text" value="368,00"/>
$K_{01}$ spinta a riposo fronte (cuneo 1)	<input type="text" value="0,61"/>
$K_{A1}$ 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="20,00"/>
$f_{2-3}$ angolo medio (cunei 2-3) [°]	<input type="text" value="23,00"/>
$c_{2-3}$ coesione media (cunei 2-3) [KPa]	<input type="text" value="28,00"/>
$K_{02-3}$ spinta a riposo media (cunei 2-3)	<input type="text" value="0,61"/>
$K_{A2-3}$ 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="20,00"/>
$f_m$ angolo medio (globale) [°]	<input type="text" value="23,00"/>
$c_m$ coesione media (globale) [KPa]	<input type="text" value="153,37"/>
$K_{0m}$ spinta a riposo (globale)	<input type="text" value="0,61"/>
$K_{Am}$ 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="20,00"/>
$g_{(z-w)-h1}$ 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 [ $K_A - K_0 - f$ ] medi
t m2 (resistenza taglio concio 2) [KPa]	<input type="text" value="389,59"/>	<input type="text" value="389,59"/>
t m3 (resistenza taglio concio 3) [KPa]	<input type="text" value="28,00"/>	<input type="text" value="28,00"/>
FSF	<input type="text" value="3,62"/>	<input type="text" value="3,62"/>

### 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	20	28	23	1	12,85	20	28	23
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 larghezza del tunnel [m]	19,8	h1 altezza paraboloide [m]	37
D altezza del tunnel [m]	12,85	l parametro geometrico paraboloide [m]	8,51
C profondità calotta [m]	37	B parametro geometrico paraboloide [m]	36,81
a avanzamento senza sostegno [m]	0	z-w parametro geometrico [m]	-63,00
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> ]	20,00	<b>g</b> <sub>2-3</sub> peso medio (cunei 2-3) [KN/m <sup>3</sup> ]	20,00
<b>f</b> <sub>1</sub> angolo medio fronte (cuneo 1) [°]	23,00	<b>f</b> <sub>2-3</sub> angolo medio (cunei 2-3) [°]	23,00
<b>c</b> <sub>1</sub> coesione media fronte (cuneo 1) [KPa]	28,00	<b>c</b> <sub>2-3</sub> coesione media (cunei 2-3) [KPa]	28,00
<b>K</b> <sub>0 1</sub> spinta a riposo fronte (cuneo 1)	0,61	<b>K</b> <sub>0 2-3</sub> spinta a riposo media (cunei 2-3)	0,61
<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> ]	20,00	<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) [°]	23,00	<b>g</b> <sub>uw 2-3</sub> peso medio (sopra falda) [KN/m <sup>3</sup> ]	20,00
<b>c</b> <sub>m</sub> coesione media (globale) [KPa]	28,00	<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)	0,61		
<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 [K <sub>A</sub> - K <sub>0</sub> - f] medi
<b>t m2</b> (resistenza taglio concio 2) [KPa]	37,43	37,43
<b>t m3</b> (resistenza taglio concio 3) [KPa]	28,00	28,00
<b>FSF</b>	<b>0,43</b>	<b>0,43</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	20	28	23	1	12,85	20	368	23
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 larghezza del tunnel [m]	19,8	h1 altezza paraboloide [m]	37
D altezza del tunnel [m]	12,85	l parametro geometrico paraboloide [m]	8,51
C profondità calotta [m]	37	B parametro geometrico paraboloide [m]	36,81
a avanzamento senza sostegno [m]	0	z-w parametro geometrico [m]	-63,00
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> ]	20,00	<b>g</b> <sub>2-3</sub> peso medio (cunei 2-3) [KN/m <sup>3</sup> ]	20,00
<b>f</b> <sub>1</sub> angolo medio fronte (cuneo 1) [°]	23,00	<b>f</b> <sub>2-3</sub> angolo medio (cunei 2-3) [°]	23,00
<b>c</b> <sub>1</sub> coesione media fronte (cuneo 1) [KPa]	368,00	<b>c</b> <sub>2-3</sub> coesione media (cunei 2-3) [KPa]	28,00
<b>K</b> <sub>0 1</sub> spinta a riposo fronte (cuneo 1)	0,61	<b>K</b> <sub>0 2-3</sub> spinta a riposo media (cunei 2-3)	0,61
<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> ]	20,00	<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) [°]	23,00	<b>g</b> <sub>uw 2-3</sub> peso medio (sopra falda) [KN/m <sup>3</sup> ]	20,00
<b>c</b> <sub>m</sub> coesione media (globale) [KPa]	115,64	<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)	0,61		
<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]	389,59	389,59
<b>t m3</b> (resistenza taglio concio 3) [KPa]	28,00	28,00
<b>FSF</b>	<b>3,15</b>	<b>3,15</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	20	28	23	1	12,85	20	28	23
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 larghezza del tunnel [m]	19,8	h1 altezza paraboloide [m]	52
D altezza del tunnel [m]	12,85	l parametro geometrico paraboloide [m]	8,51
C profondità calotta [m]	52	B parametro geometrico paraboloide [m]	36,81
a avanzamento senza sostegno [m]	0	z-w parametro geometrico [m]	-48,00
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> ]	20,00	<b>g</b> <sub>2-3</sub> peso medio (cunei 2-3) [KN/m <sup>3</sup> ]	20,00
<b>f</b> <sub>1</sub> angolo medio fronte (cuneo 1) [°]	23,00	<b>f</b> <sub>2-3</sub> angolo medio (cunei 2-3) [°]	23,00
<b>c</b> <sub>1</sub> coesione media fronte (cuneo 1) [KPa]	28,00	<b>c</b> <sub>2-3</sub> coesione media (cunei 2-3) [KPa]	28,00
<b>K</b> <sub>0 1</sub> spinta a riposo fronte (cuneo 1)	0,61	<b>K</b> <sub>0 2-3</sub> spinta a riposo media (cunei 2-3)	0,61
<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> ]	20,00	<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) [°]	23,00	<b>g</b> <sub>uw 2-3</sub> peso medio (sopra falda) [KN/m <sup>3</sup> ]	20,00
<b>c</b> <sub>m</sub> coesione media (globale) [KPa]	28,00	<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)	0,61		
<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 [K <sub>A</sub> - K <sub>0</sub> - f] medi
<b>t m2</b> (resistenza taglio concio 2) [KPa]	37,43	37,43
<b>t m3</b> (resistenza taglio concio 3) [KPa]	28,00	28,00
<b>FSF</b>	<b>0,43</b>	<b>0,43</b>

VERIFICA DI STABILITA' DEL FRONTE DI SCAVO - Tamez, Cornejo - SEZ. C1 ALLARGO, COP. 60m  
 GALLERIA LE FOSSE - FORMAZIONE SOLFIFERA  
 FASE DI TERAPIA



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	52	20	28	23

Strati SOTTO la calotta

Strato n°	Spessore m	$\gamma$ KN/m <sup>3</sup>	c KPa	$\phi$ °
1	12,85	20	368	23

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="19,8"/>
D altezza del tunnel [m]	<input type="text" value="12,85"/>
C profondità calotta [m]	<input type="text" value="52"/>
a avanzamento senza sostegno [m]	<input type="text" value="0"/>
Deq diametro equivalente [m]	<input type="text" value="17,5"/>

Shallow Tunnel =>  $Z < 3D$

h1 altezza paraboloide [m]	<input type="text" value="52"/>
l parametro geometrico paraboloide [m]	<input type="text" value="8,51"/>
B parametro geometrico paraboloide [m]	<input type="text" value="36,81"/>
z-w parametro geometrico [m]	<input type="text" value="-48,00"/>
z-w-h1 parametro geometrico [m]	<input type="text" value="0,00"/>
z-h1 parametro geometrico [m]	<input type="text" value="0,00"/>

PARAMETRI DEL MATERIALE

$g_1$ peso medio fronte (cuneo 1) [KN/m <sup>3</sup> ]	<input type="text" value="20,00"/>
$f_1$ angolo medio fronte (cuneo 1) [°]	<input type="text" value="23,00"/>
$c_1$ coesione media fronte (cuneo 1) [KPa]	<input type="text" value="368,00"/>
$K_{01}$ spinta a riposo fronte (cuneo 1)	<input type="text" value="0,61"/>
$K_{A1}$ 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="20,00"/>
$f_{2-3}$ angolo medio (cunei 2-3) [°]	<input type="text" value="23,00"/>
$c_{2-3}$ coesione media (cunei 2-3) [KPa]	<input type="text" value="28,00"/>
$K_{02-3}$ spinta a riposo media (cunei 2-3)	<input type="text" value="0,61"/>
$K_{A2-3}$ 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="20,00"/>
$f_m$ angolo medio (globale) [°]	<input type="text" value="23,00"/>
$c_m$ coesione media (globale) [KPa]	<input type="text" value="95,37"/>
$K_{0m}$ spinta a riposo (globale)	<input type="text" value="0,61"/>
$K_{Am}$ 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="20,00"/>
$g_{(z-w)-h1}$ 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 [ $K_A - K_0 - f$ ] medi
t m2 (resistenza taglio concio 2) [KPa]	<input type="text" value="389,59"/>	<input type="text" value="389,59"/>
t m3 (resistenza taglio concio 3) [KPa]	<input type="text" value="28,00"/>	<input type="text" value="28,00"/>
FSF	<input type="text" value="2,91"/>	<input type="text" value="2,91"/>

		<p align="center"><b>Ponte sullo Stretto di Messina</b>  <b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p>		
<p align="center">COLLEGAMENTI STRADALI SICILIA - "LE FOSSE" -          RELAZIONE DI CALCOLO</p>		<p><i>Codice documento</i>          SS0259_F0.doc</p>	<p><i>Rev</i>          F0</p>	<p><i>Data</i>          20/06/2011</p>

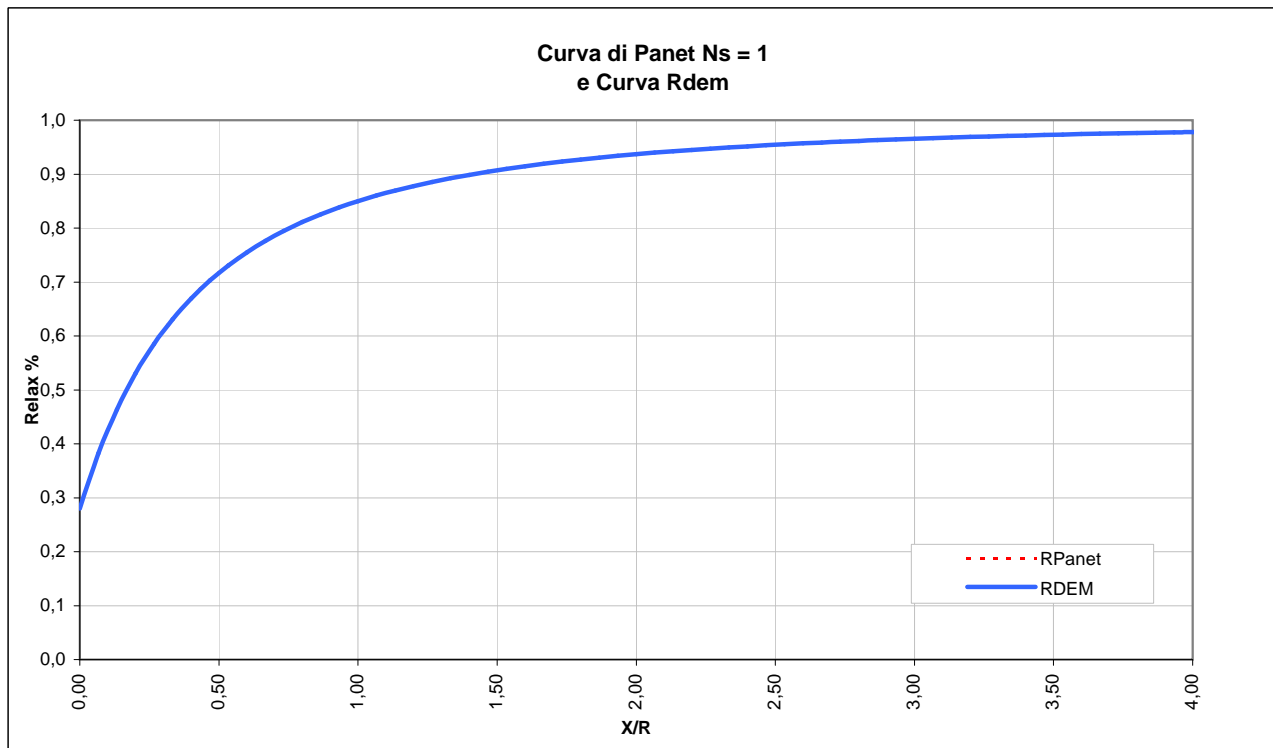
## ALLEGATO – ANALISI NUMERICHE



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

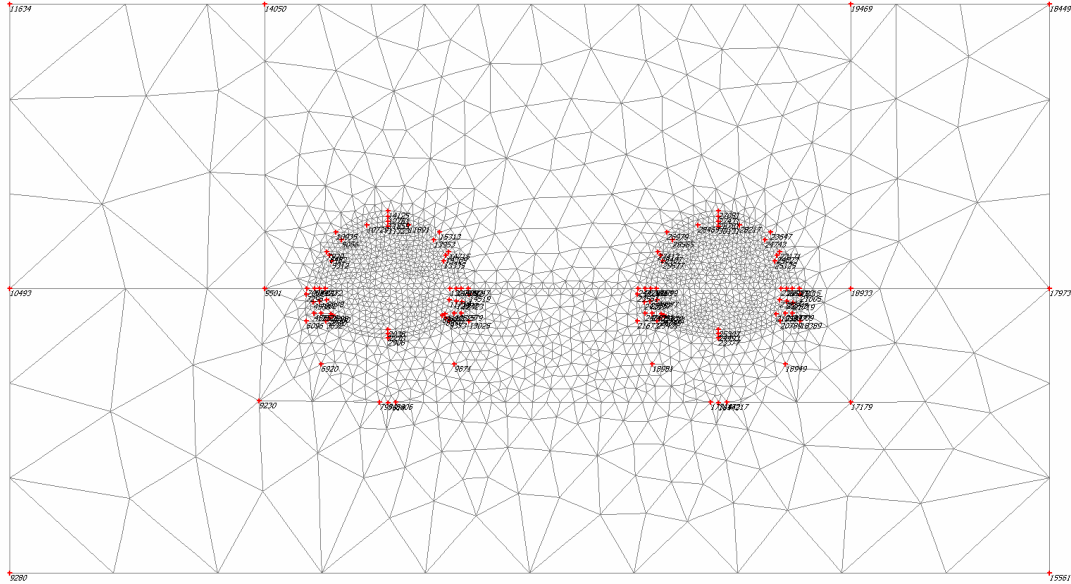


Fig. 1 Plot of the mesh with significant nodes

## 2. Material data

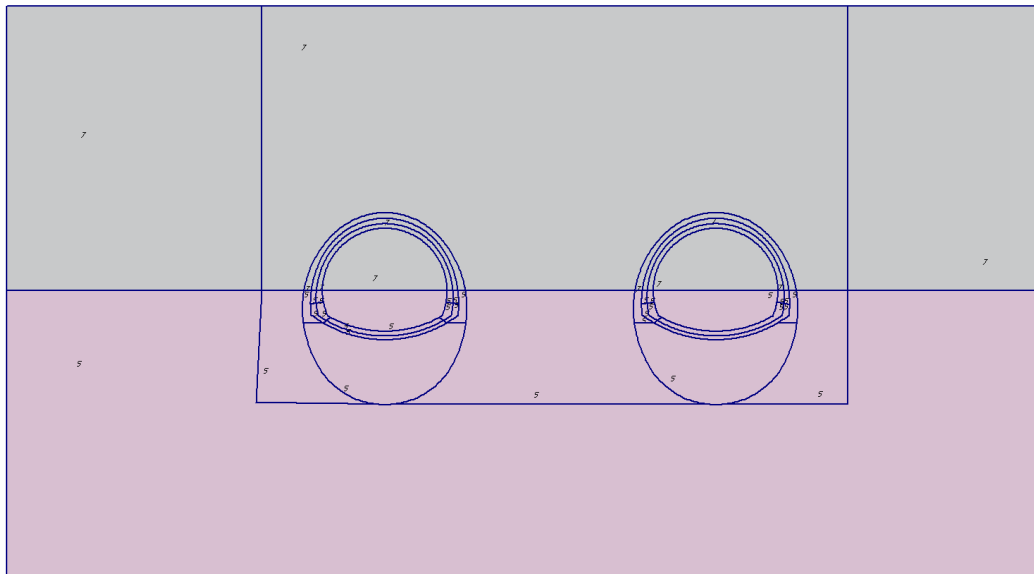


Fig. 2 Plot of geometry with material data sets

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

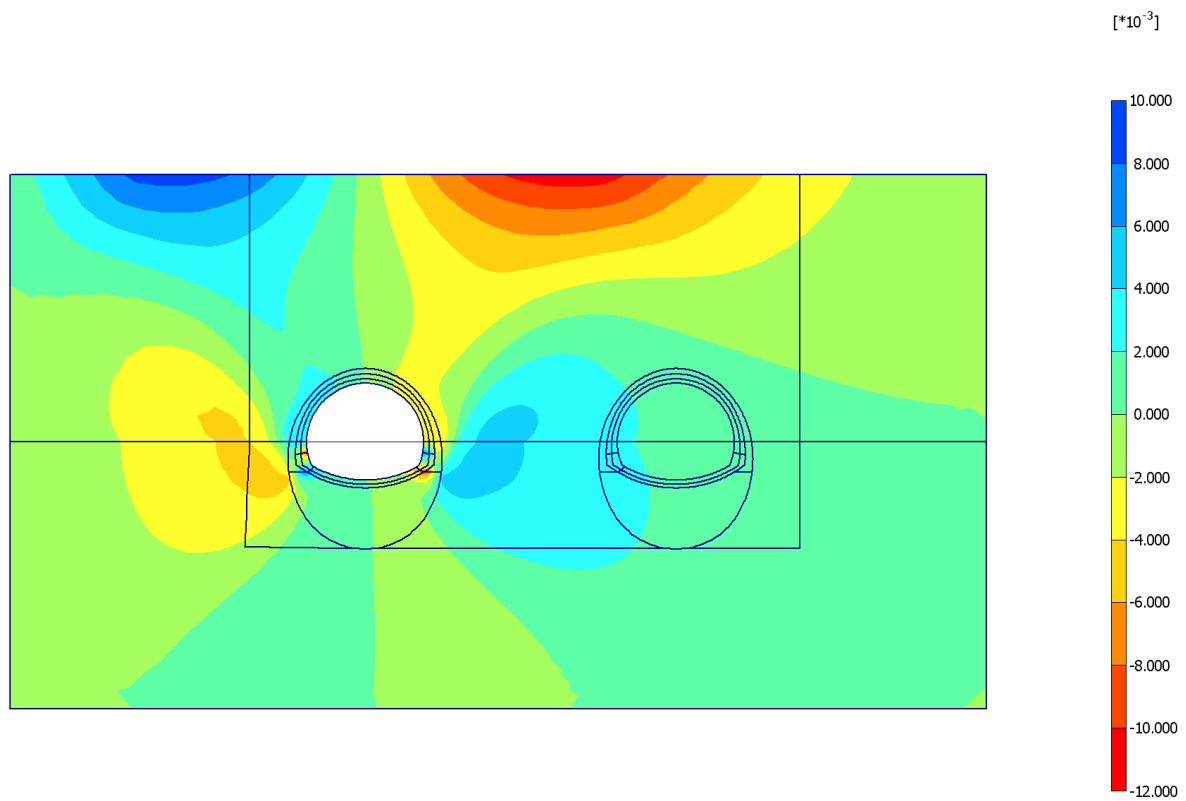


Fig. 3 Plot of horizontal displacements (shadings)  
- Step no: 73 - ( Phase: 7 )

### 3.1.2. Plot of vertical displacements

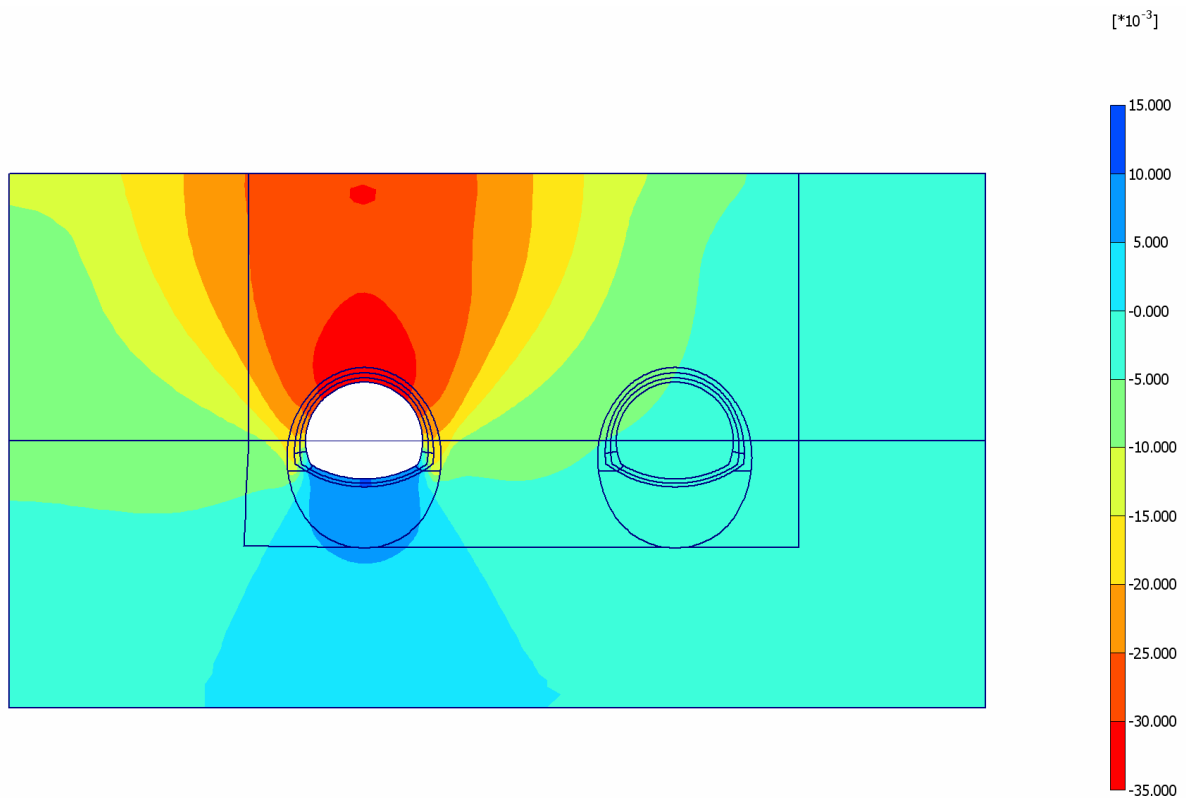


Fig. 4 Plot of vertical displacements (shadings)  
- Step no: 73 - ( Phase: 7 )

## 3.2. Stresses

### 3.2.3. Plot of total stresses

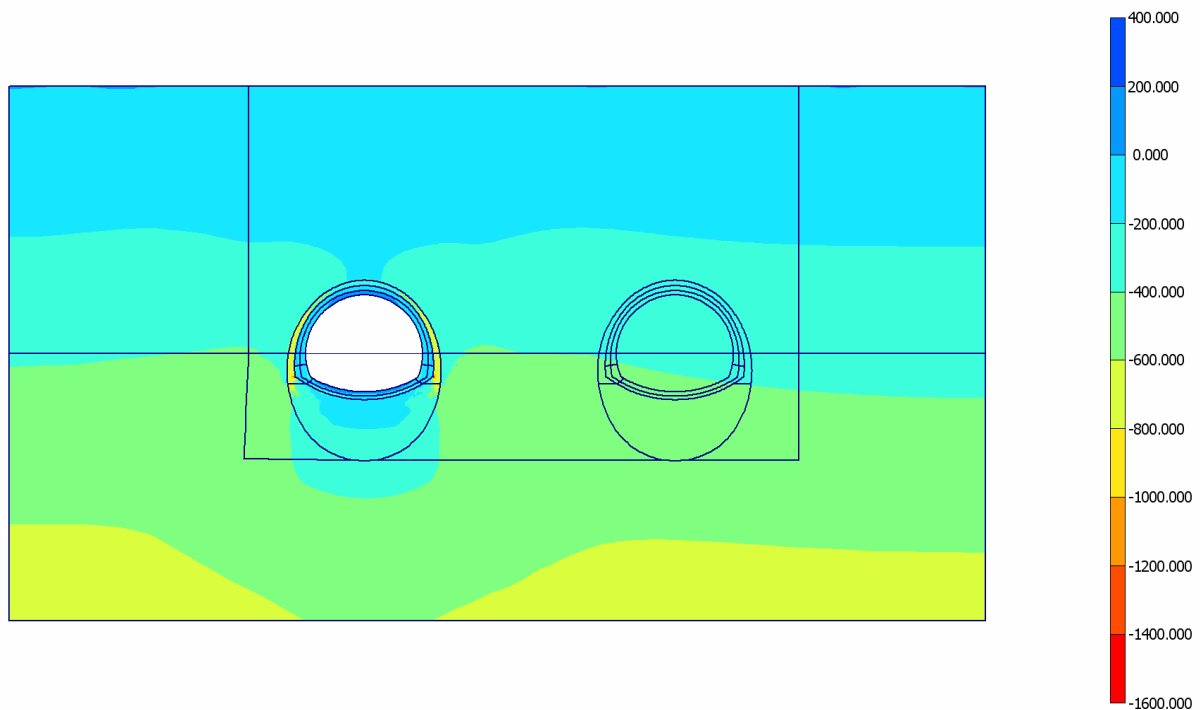
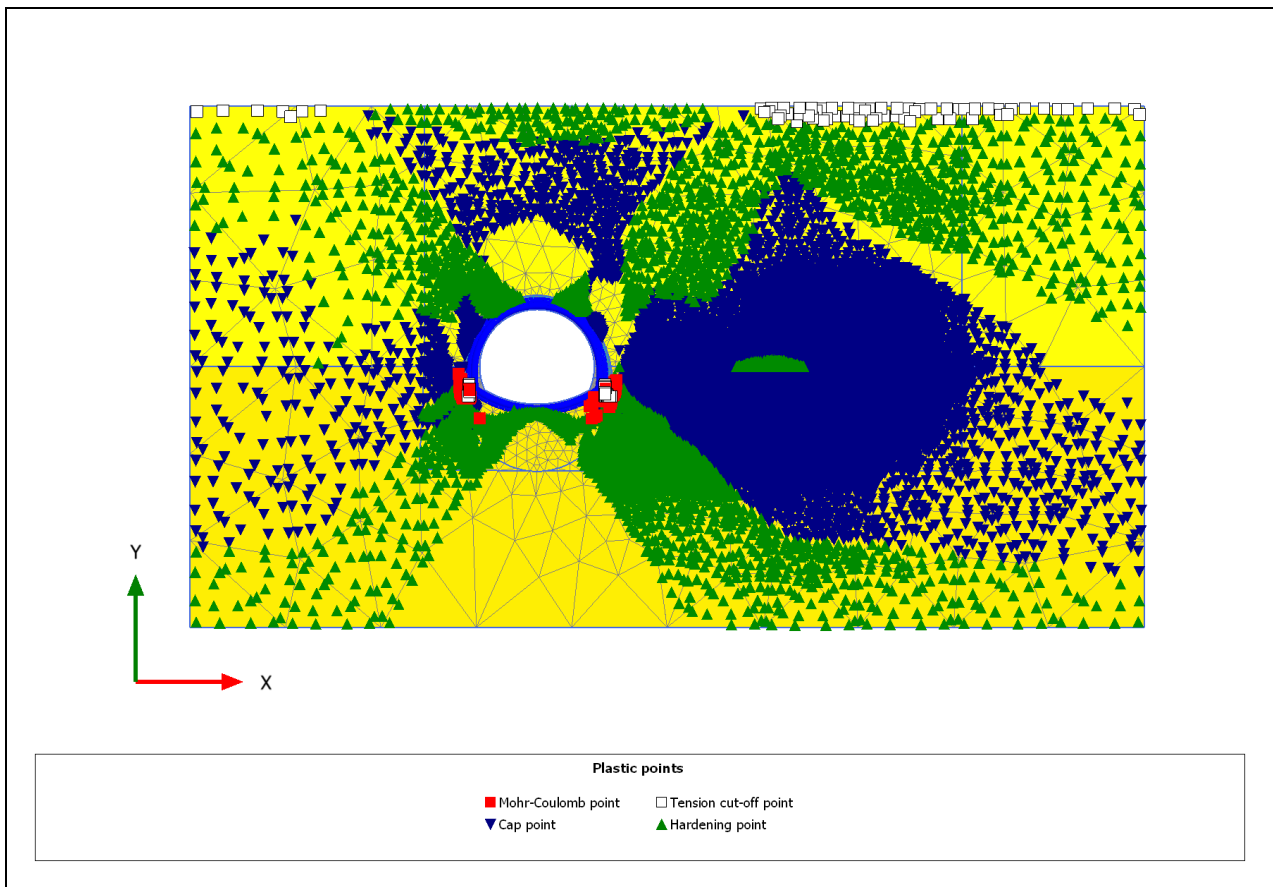


Fig. 5 Plot of total stresses (mean shadings)  
- Step no: 73 - ( Phase: 7 )

### 3.1.2. Plot of PLASTIC POINTS



### 3.3. Structures

#### 3.3.4. Beams

##### 3.3.4.1. Beams

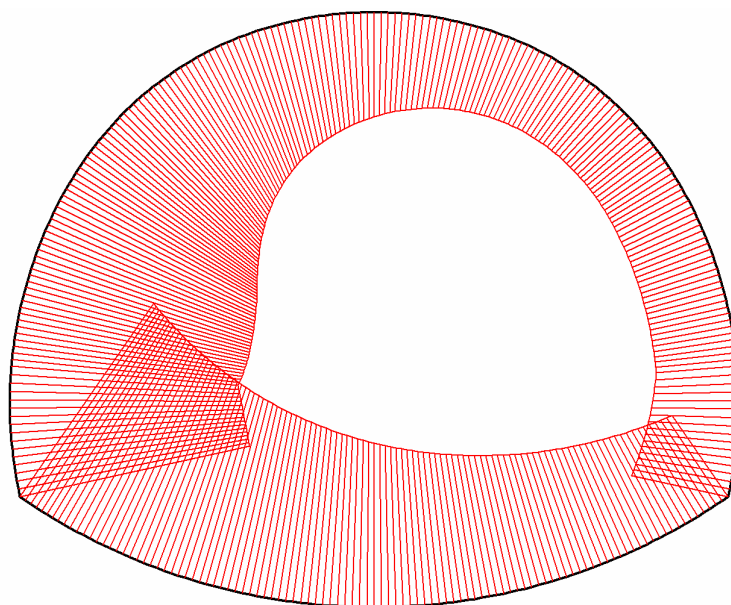
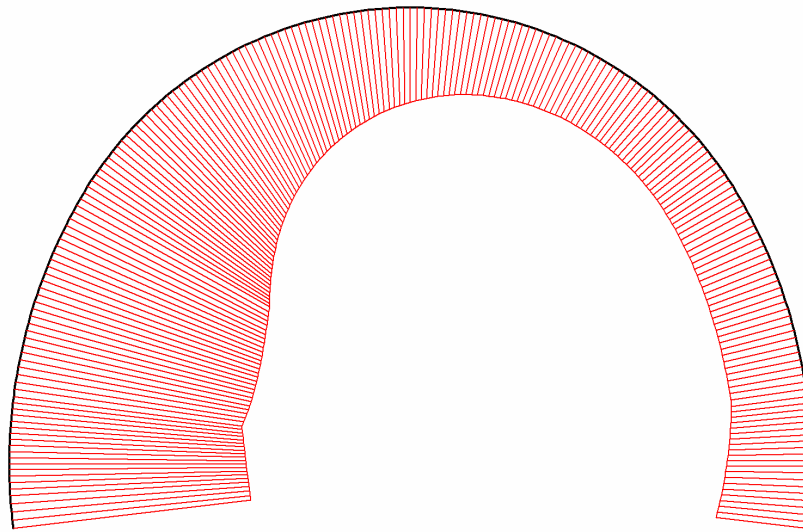


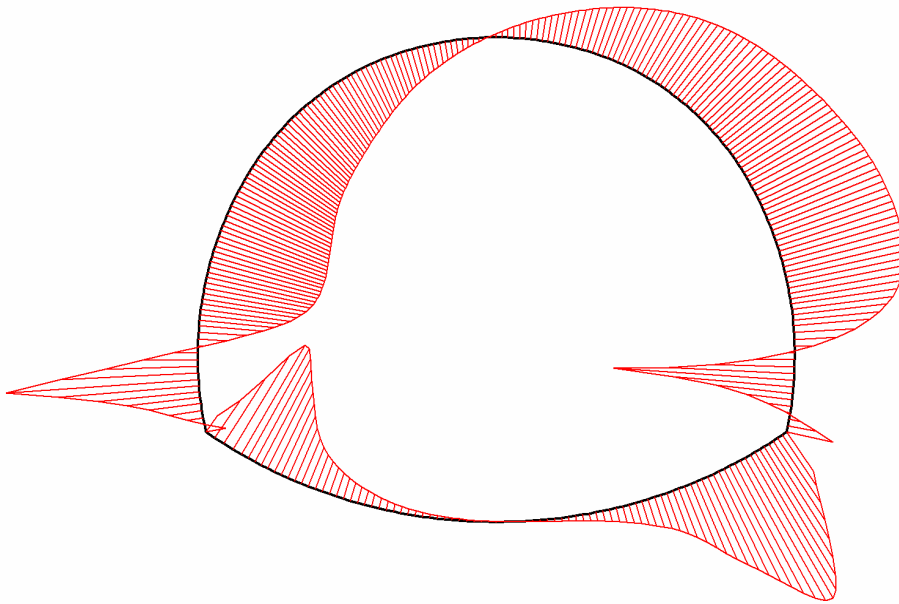
Fig. 6 Horizontal displacements in beam

Extreme value  $2,43 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 7)



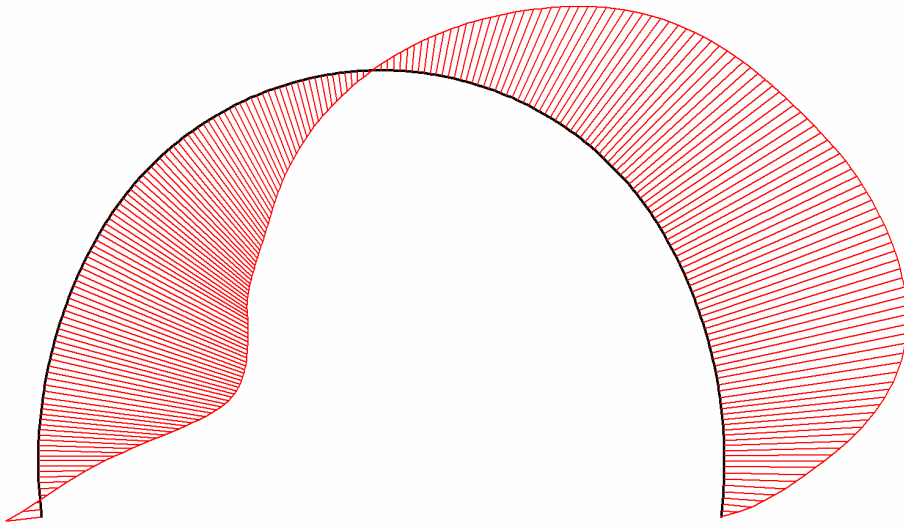
**Fig. 7 Horizontal displacements in beam**

Extreme value  $2,52 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 7)

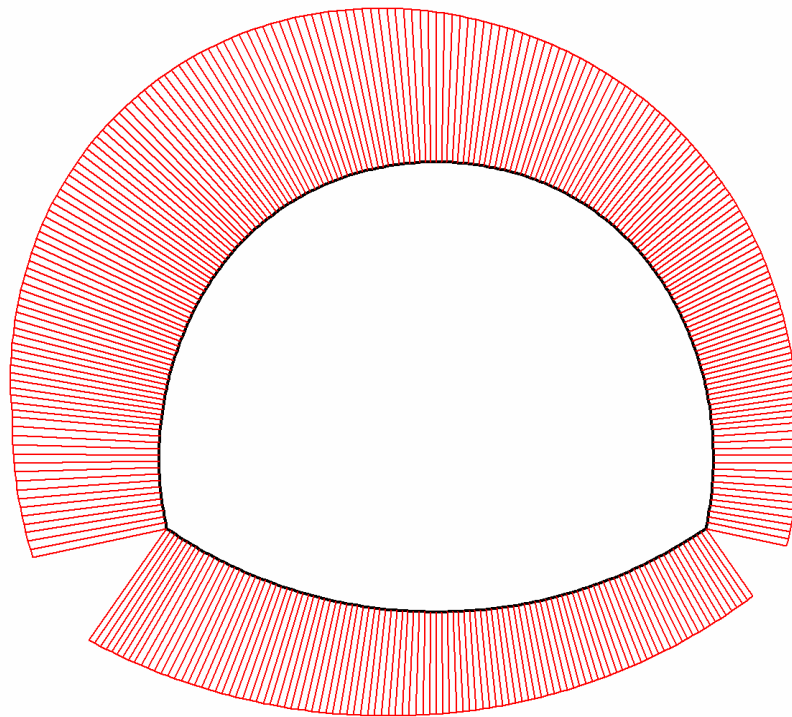


**Fig. 8 Horizontal displacements in beam**

Extreme value  $-6,09 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 7)

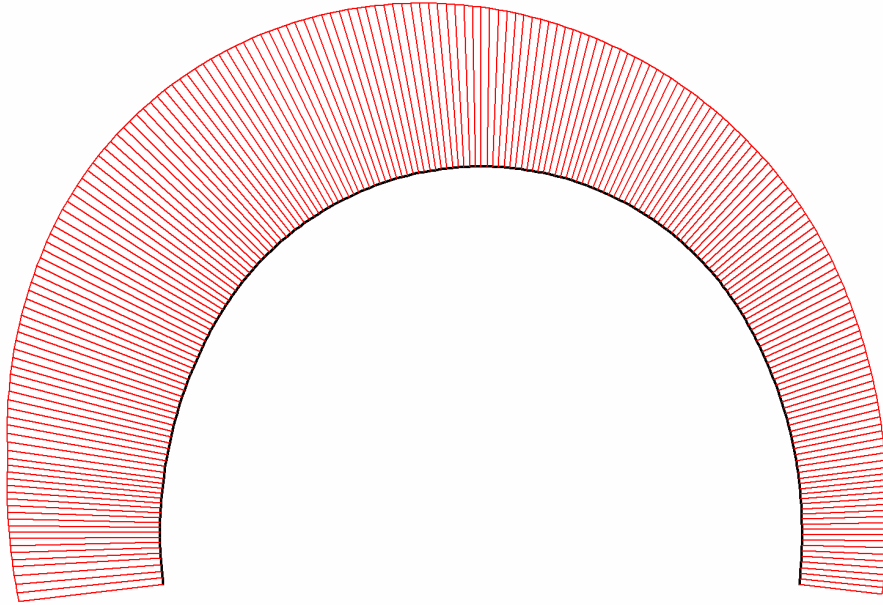


**Fig. 9 Horizontal displacements in beam**  
Extreme value  $-3,88 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 7)

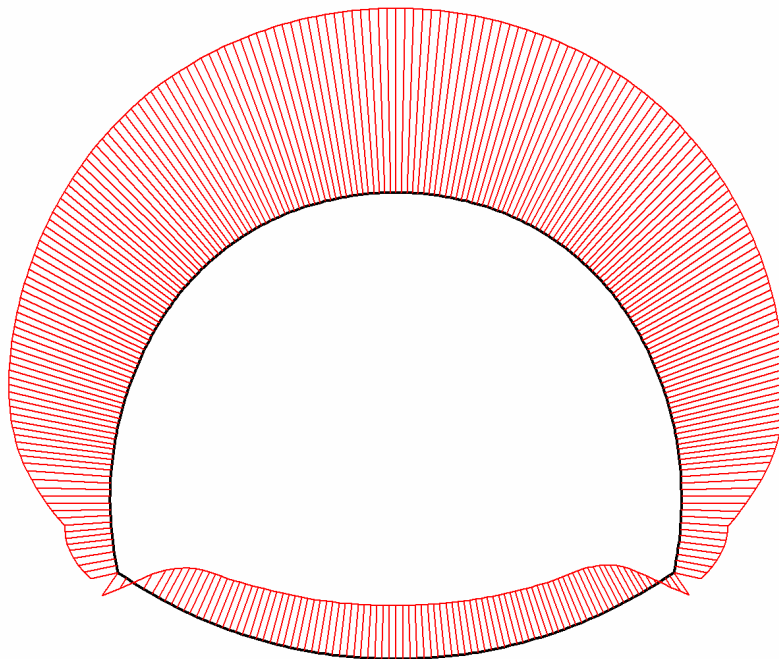


**Fig. 10 Vertical displacements in beam**  
Extreme value  $-5,87 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 7)

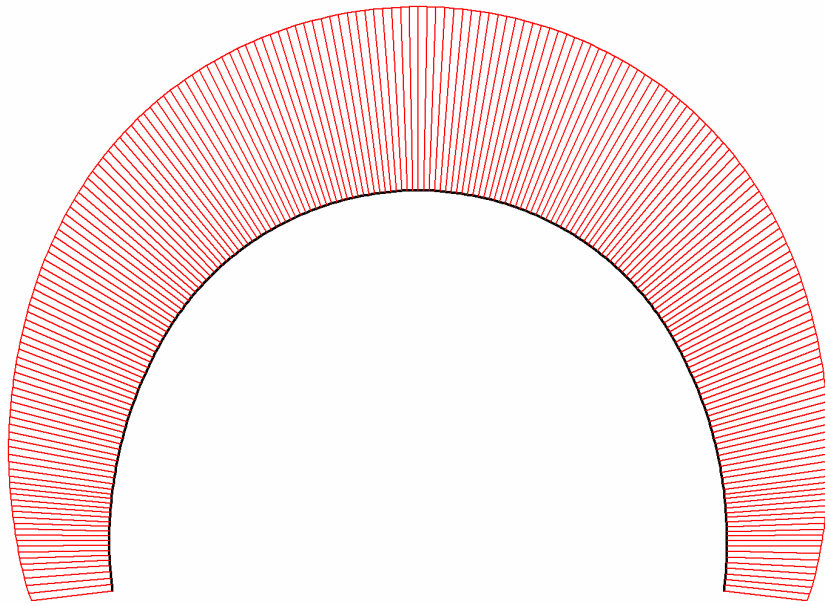




**Fig. 11 Vertical displacements in beam**  
Extreme value  $-6,04 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 7)

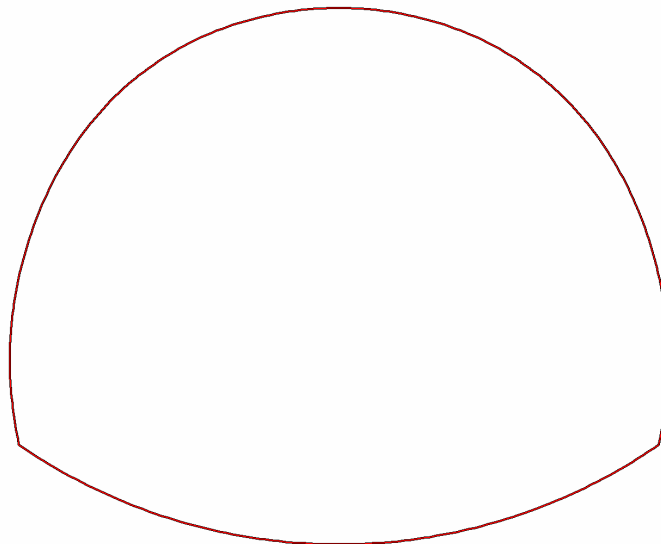


**Fig. 12 Vertical displacements in beam**  
Extreme value  $-34,55 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 7)

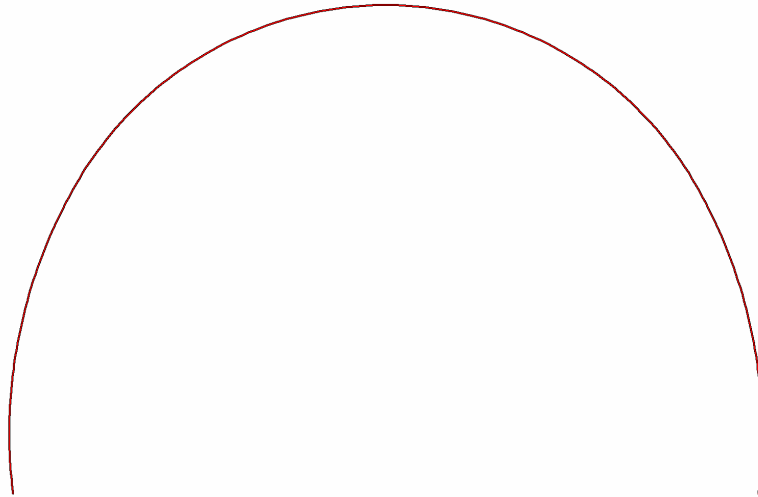


**Fig. 13 Vertical displacements in beam**  
Extreme value  $-34,53 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 7)

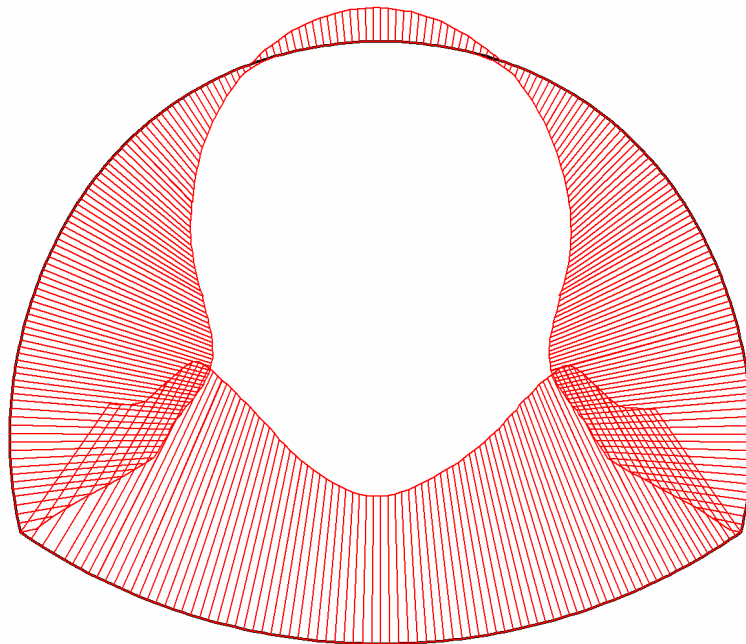
### 3.3.4.2. Beams



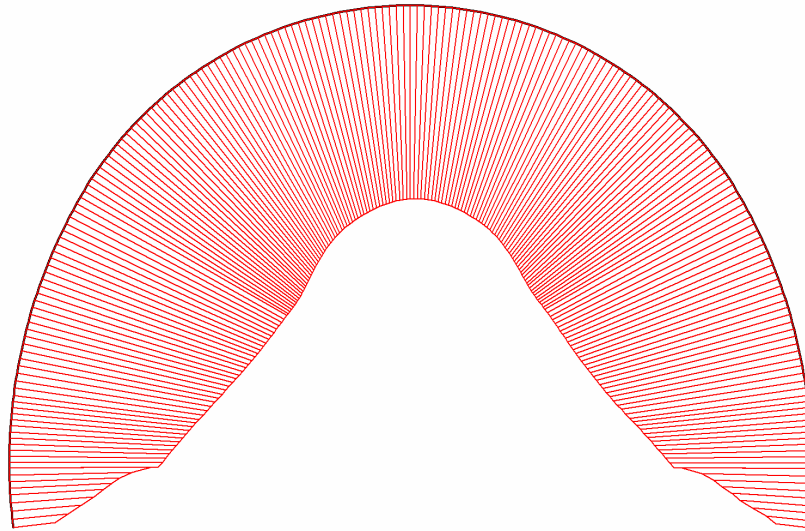
**Fig. 14 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value 0,00 kN/m (Phase: 7)



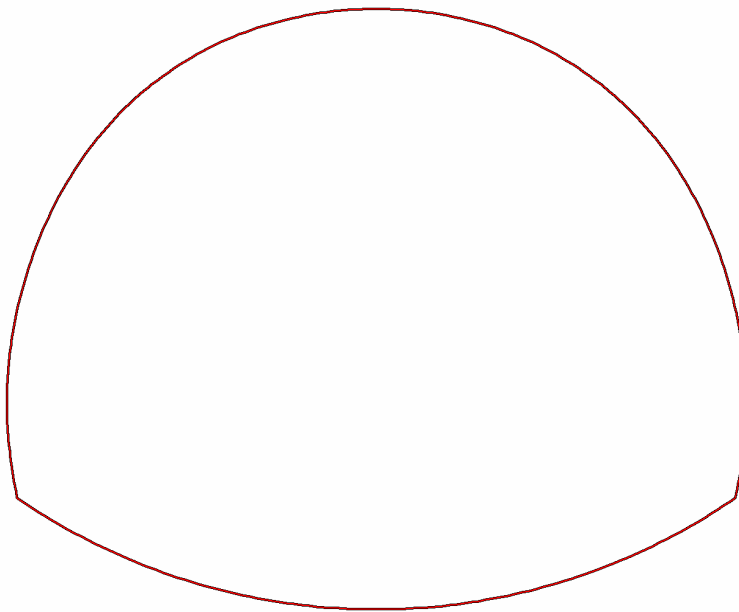
**Fig. 15 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value 0,00 kN/m (Phase: 7)



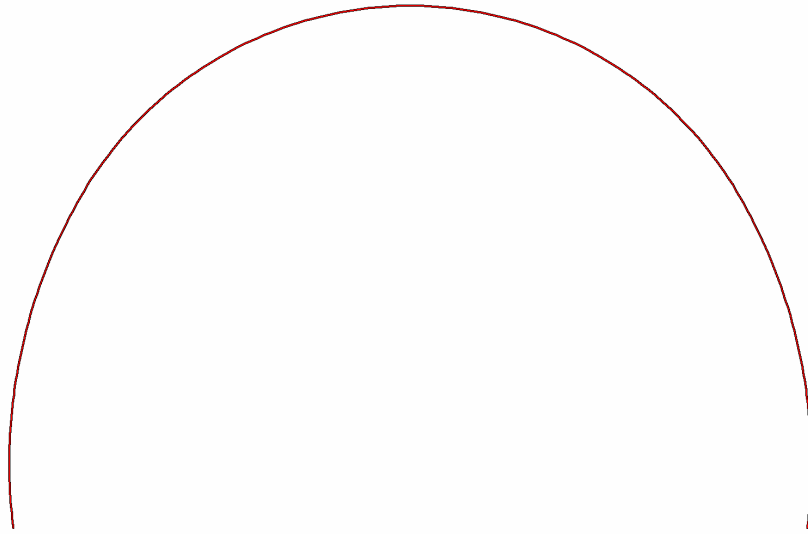
**Fig. 16 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value  $-32,62 \cdot 10^{-9}$  kN/m (Phase: 7)



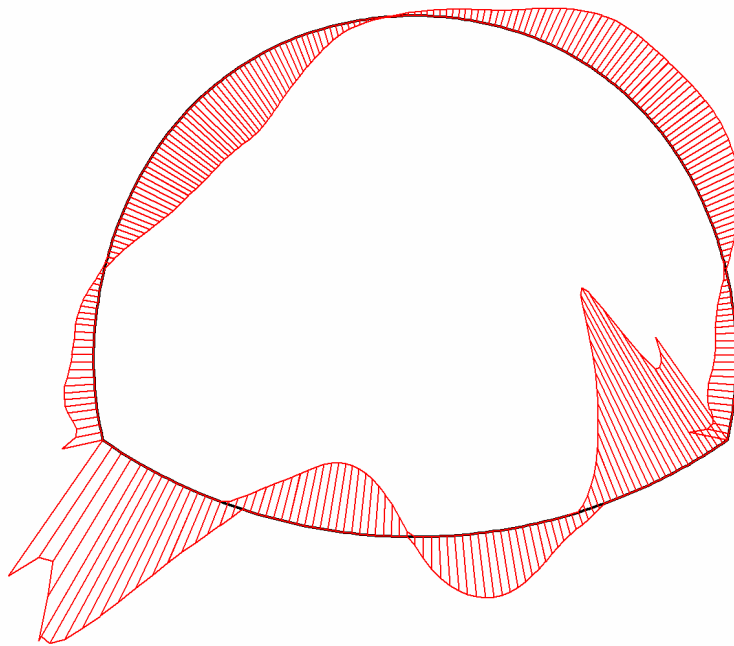
**Fig. 17 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value  $-1,31 \cdot 10^3$  kN/m (Phase: 7)



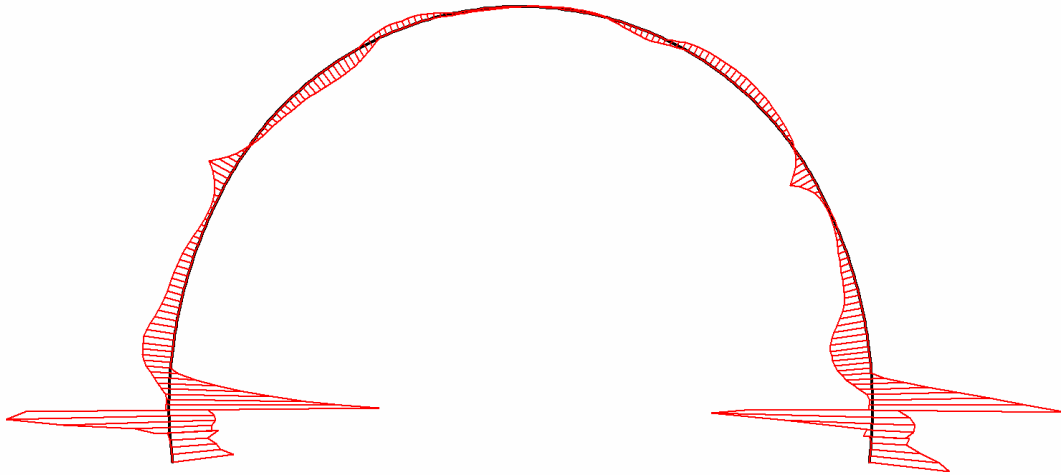
**Fig. 18 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value 0,00 kN/m (Phase: 7)



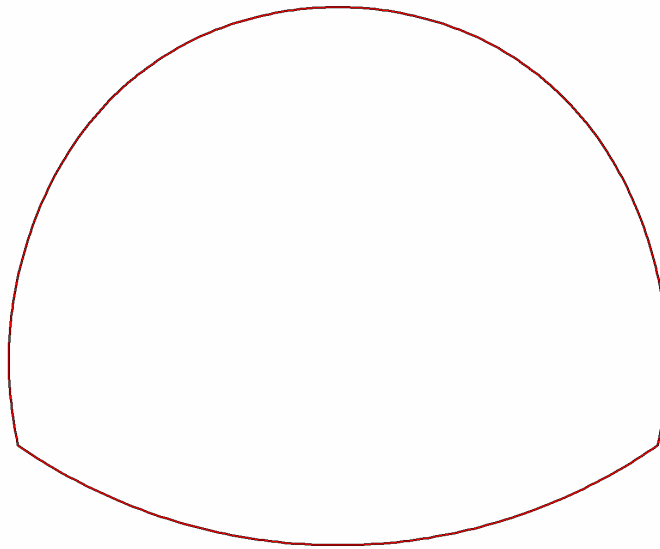
**Fig. 19 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value 0,00 kN/m (Phase: 7)



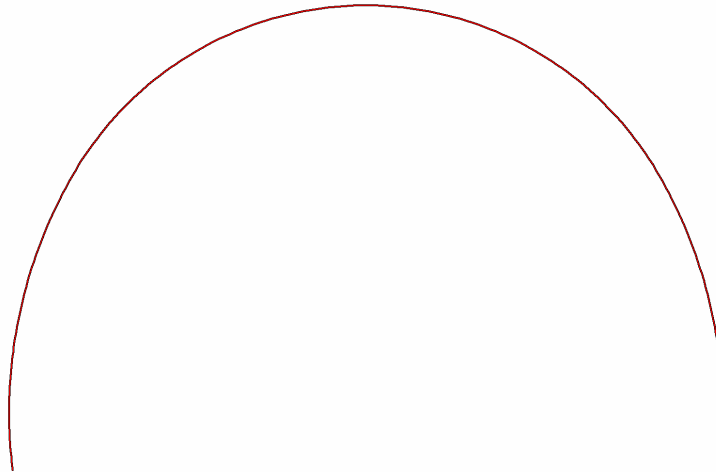
**Fig. 20 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value  $-11,42 \cdot 10^{-9}$  kN/m (Phase: 7)



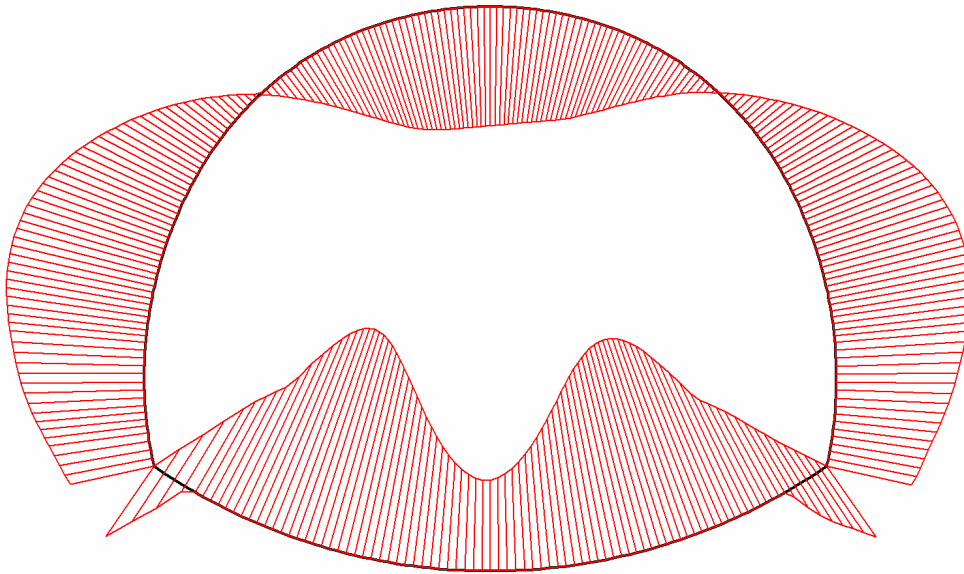
**Fig. 21 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value -85,64 kN/m (Phase: 7)



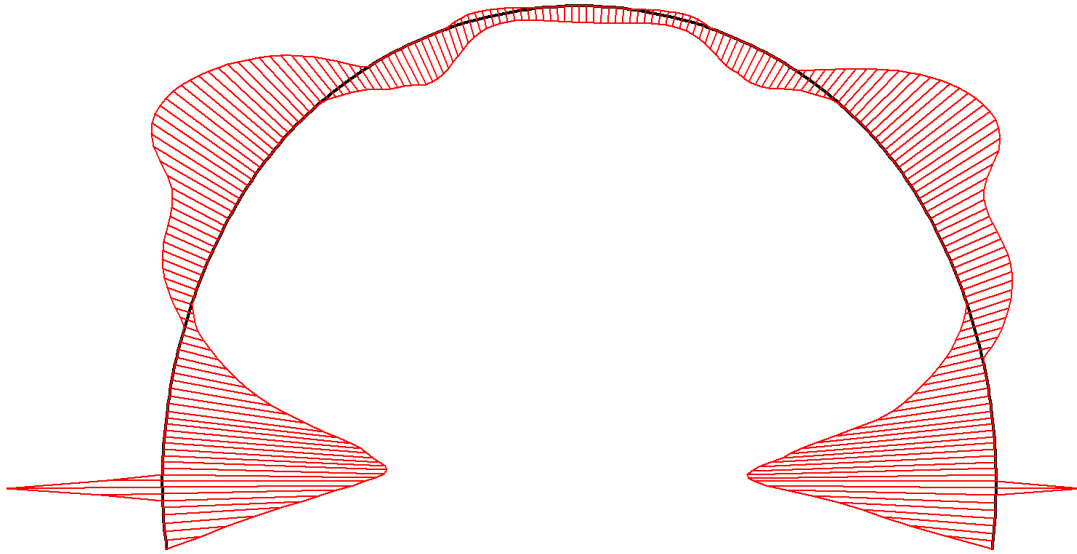
**Fig. 22 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value 0,00 kN/m/m (Phase: 7)



**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)



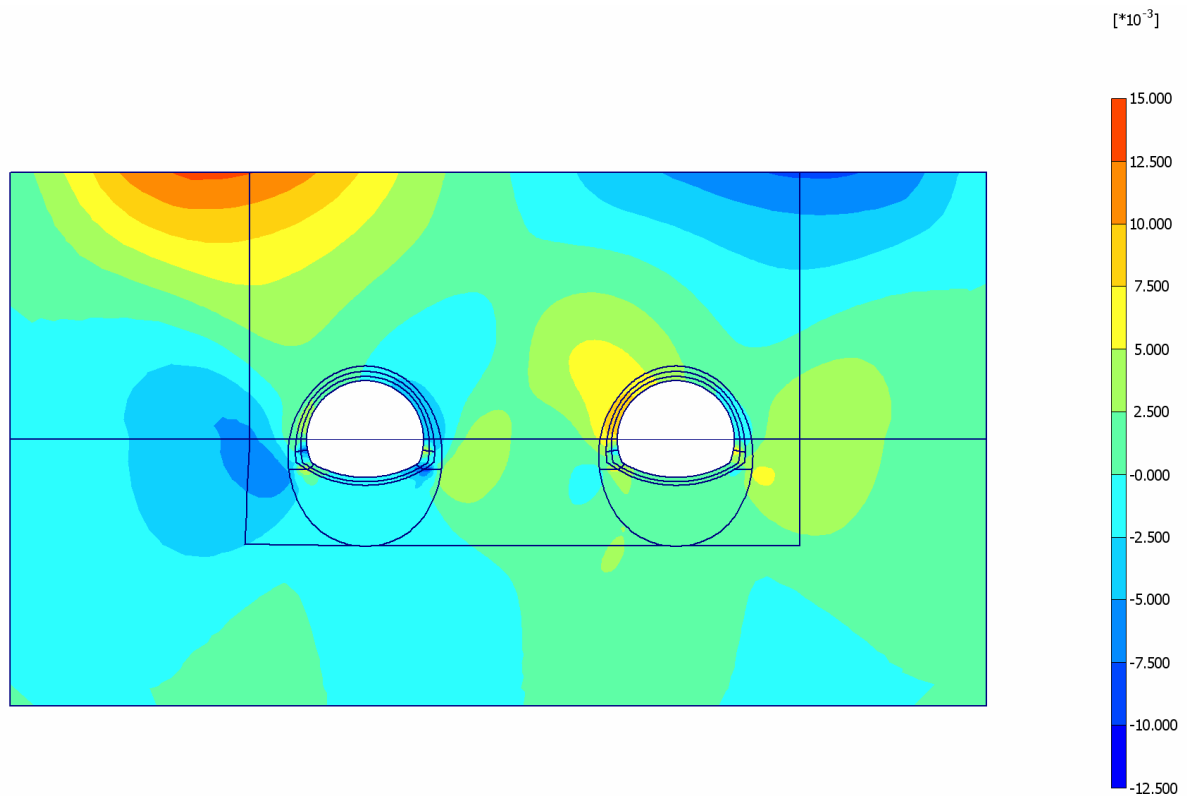
**Fig. 25 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value 22,97 kN/m/m (Phase: 7)



## 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

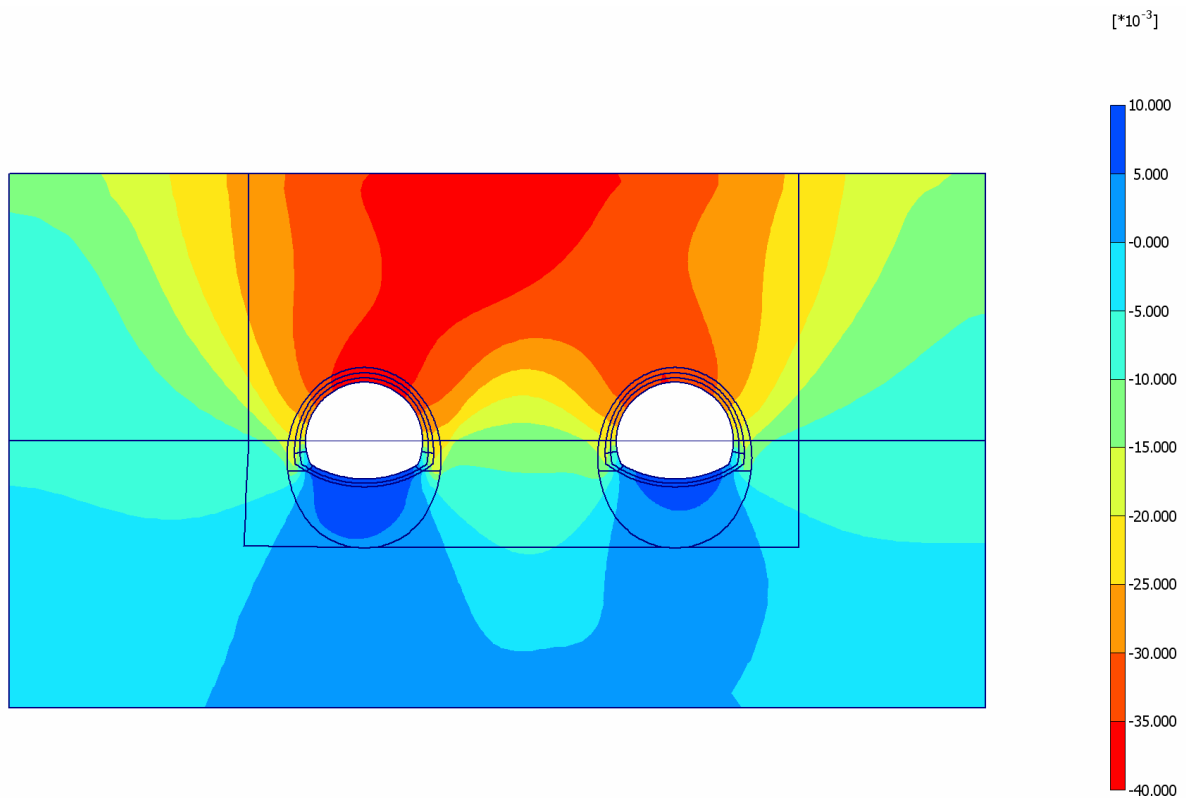


Fig. 27 Plot of vertical displacements (shadings)  
- Step no: 104 - ( Phase: 14 )

## 4.5. Stresses

### 4.5.7. Plot of total stresses

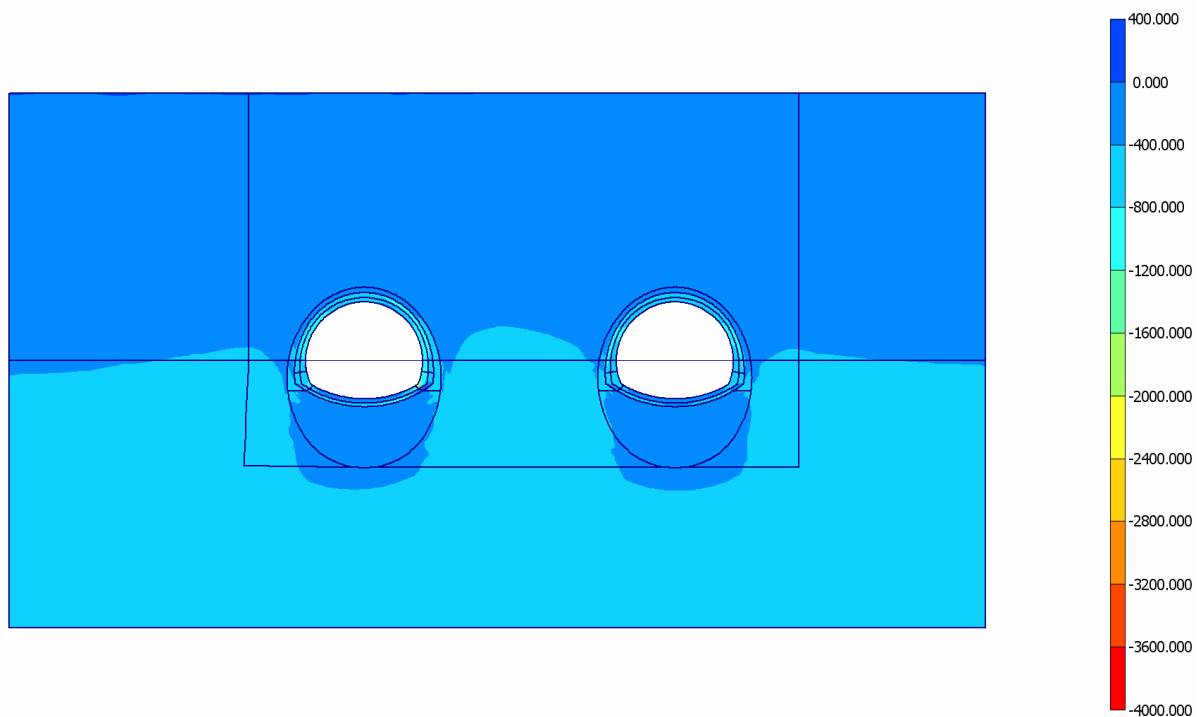
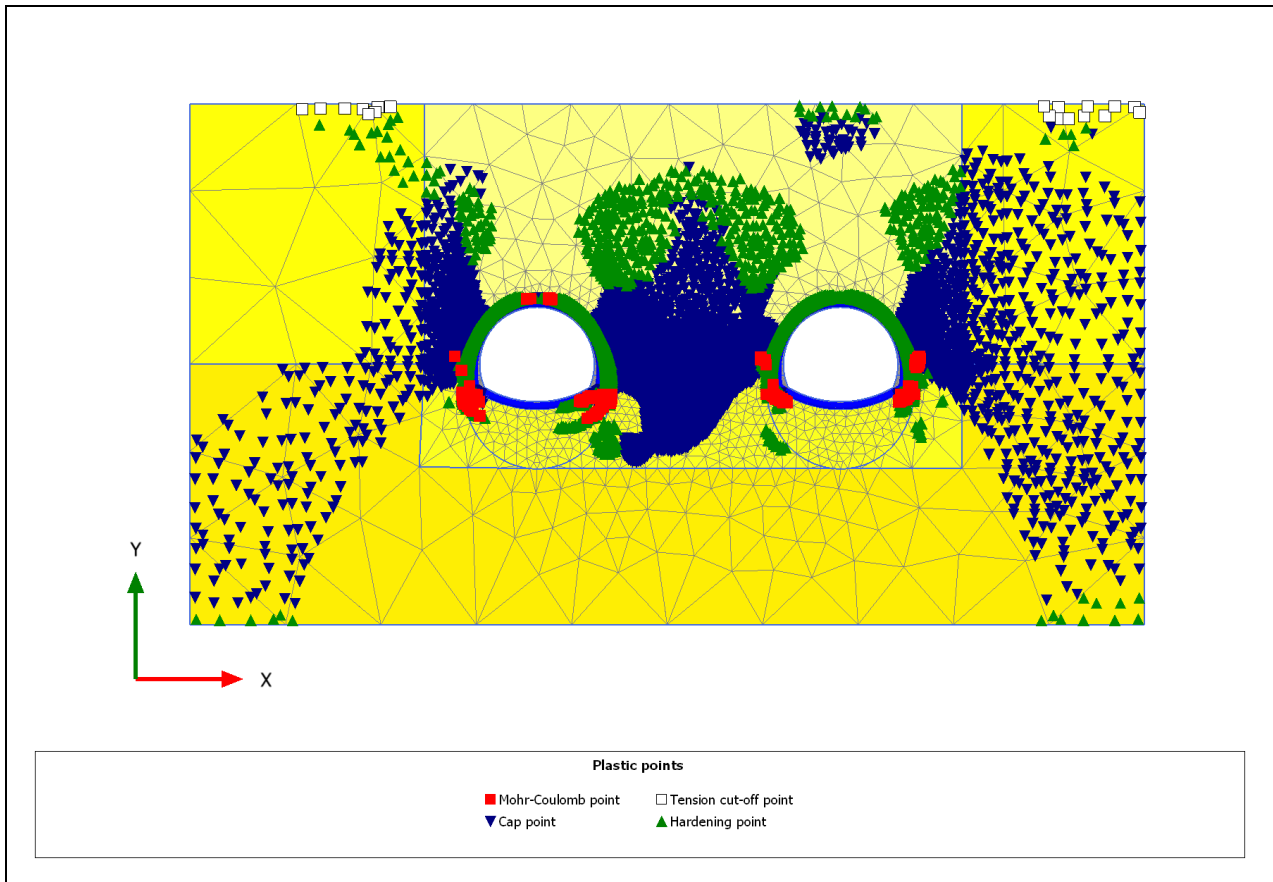


Fig. 28 Plot of total stresses (mean shadings)  
- Step no: 104 - ( Phase: 14 )

### 4.5.8 Plot of PLASTIC POINTS



## 4.6. Structures

### 4.6.8. Beams

#### 4.6.8.3. Beams

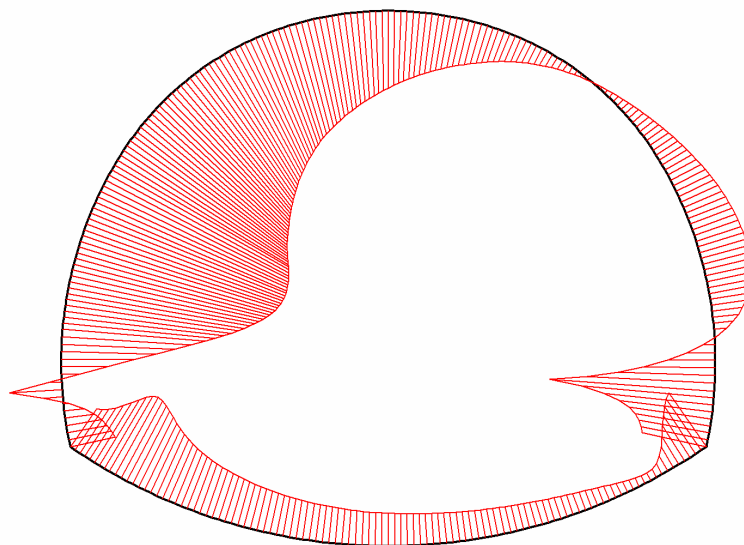
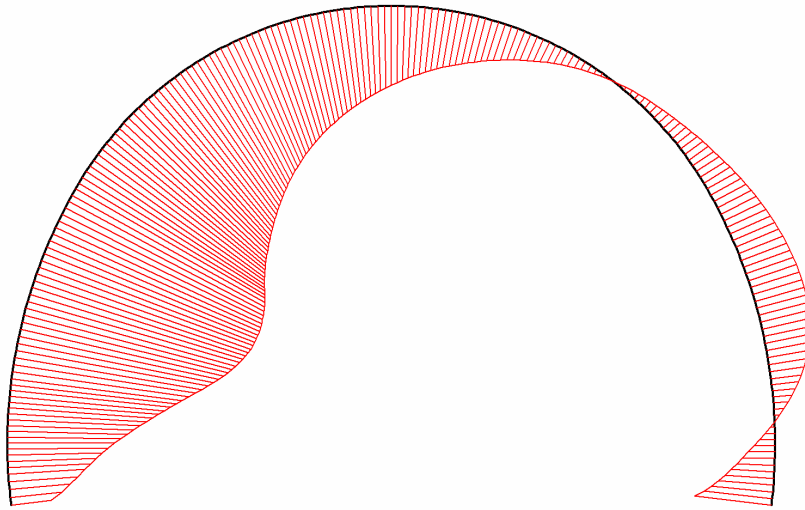
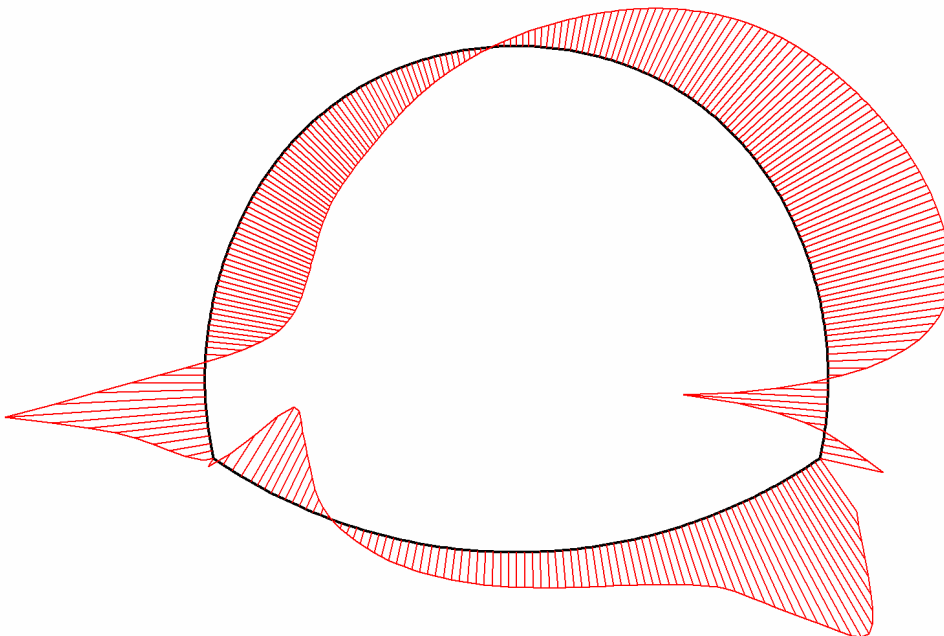


Fig. 29 Horizontal displacements in beam

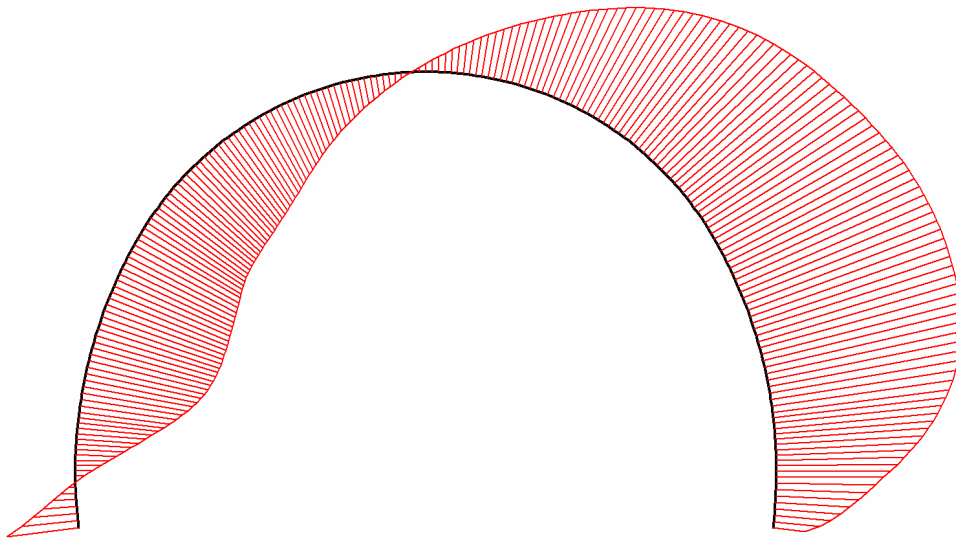
Extreme value  $8,95 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 14)



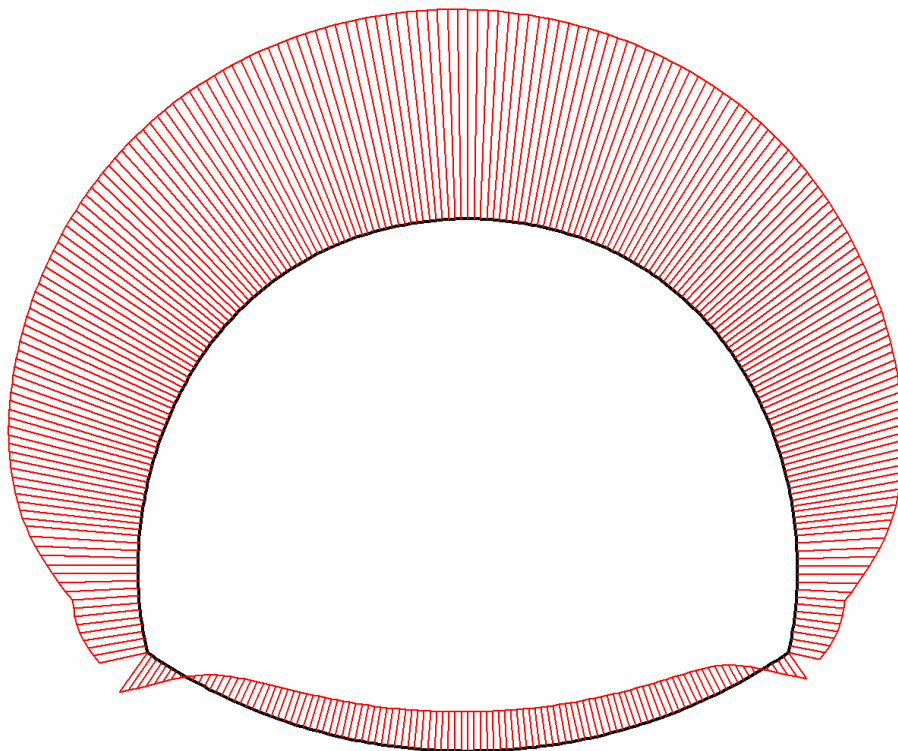
**Fig. 30 Horizontal displacements in beam**  
Extreme value  $8,97 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 14)



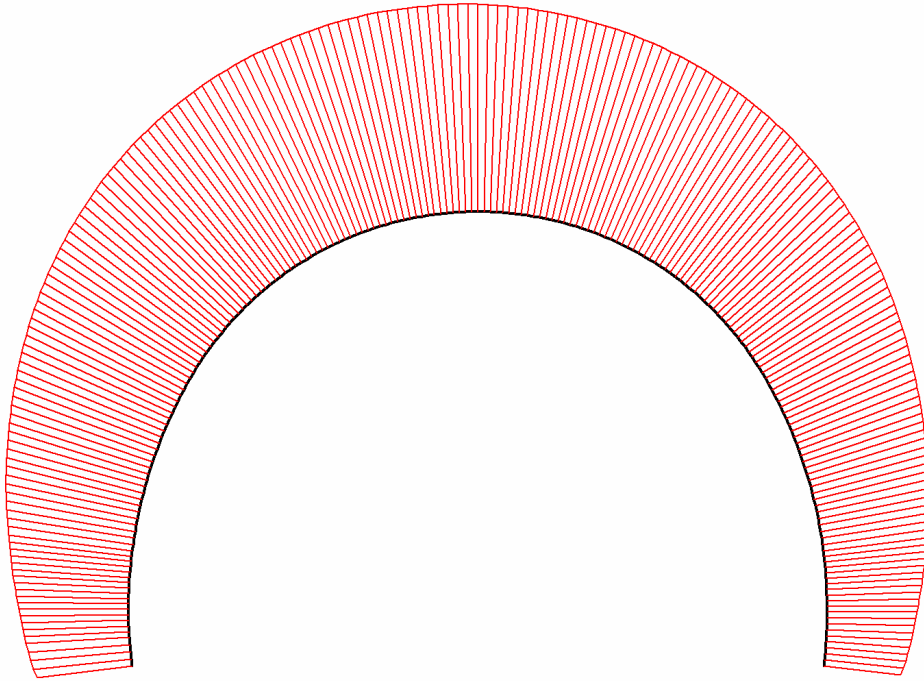
**Fig. 31 Horizontal displacements in beam**  
Extreme value  $-6,96 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 14)



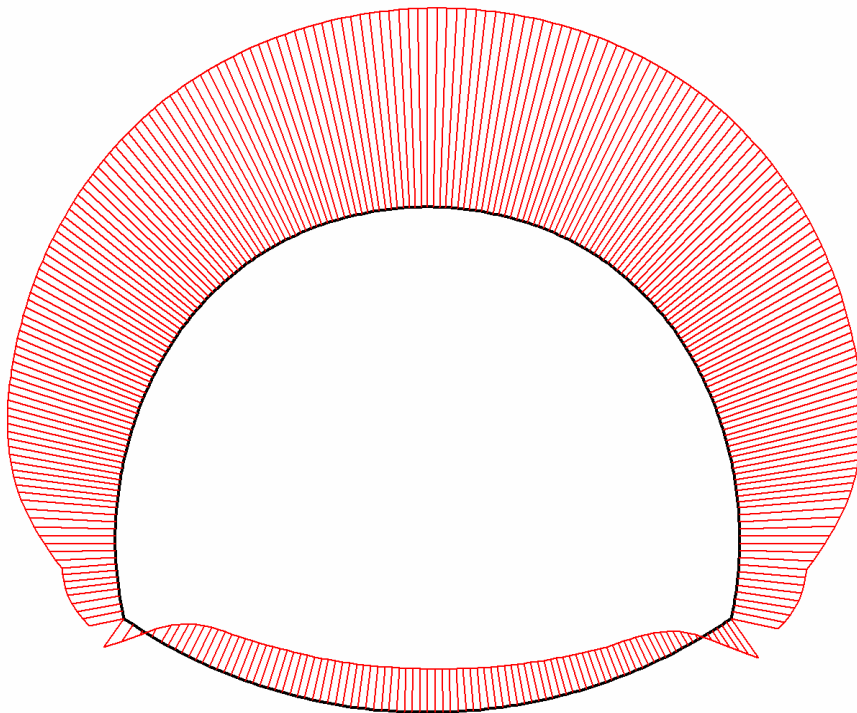
**Fig. 32 Horizontal displacements in beam**  
Extreme value  $-4,77 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 14)



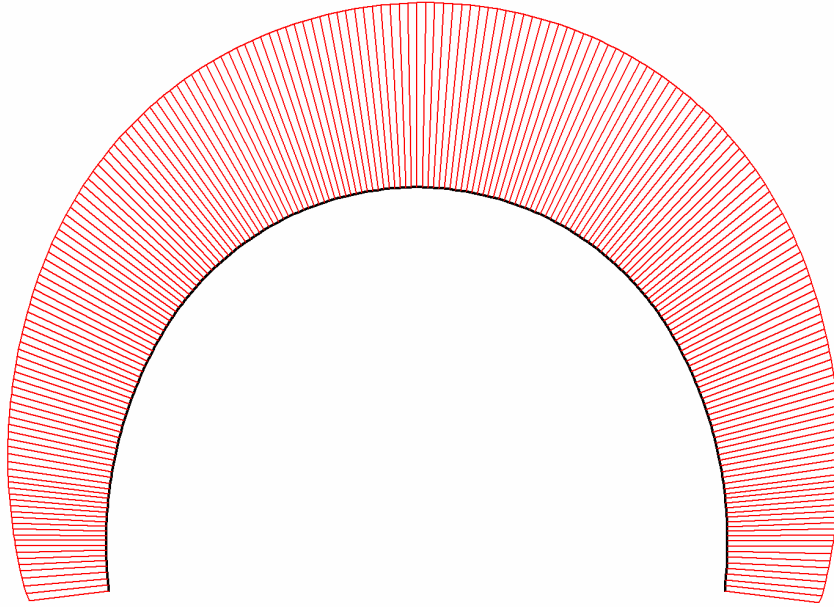
**Fig. 33 Vertical displacements in beam**  
Extreme value  $-35,01 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 14)



**Fig. 34 Vertical displacements in beam**  
Extreme value  $-35,01 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 14)

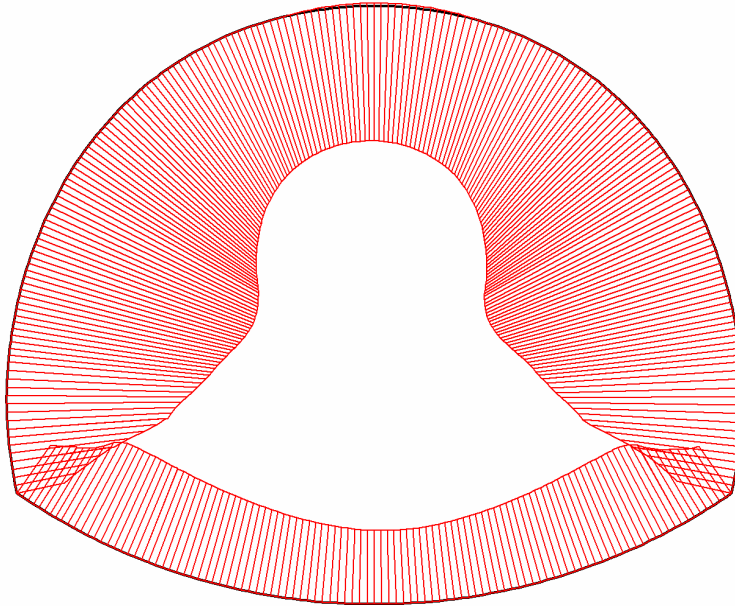


**Fig. 35 Vertical displacements in beam**  
Extreme value  $-38,14 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 14)

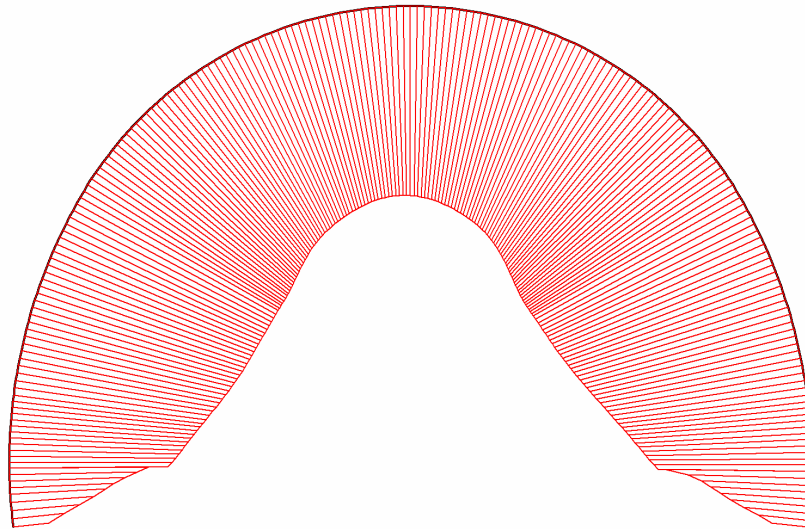


**Fig. 36 Vertical displacements in beam**  
Extreme value  $-38,14 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 14)

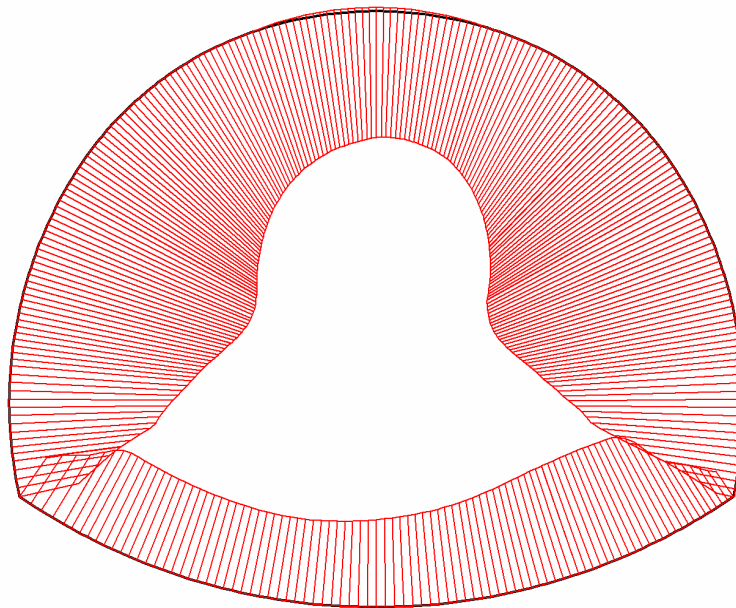
#### 4.6.8.4. Beams



**Fig. 37 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value  $-250,66 \cdot 10^{-9}$  kN/m (Phase: 14)

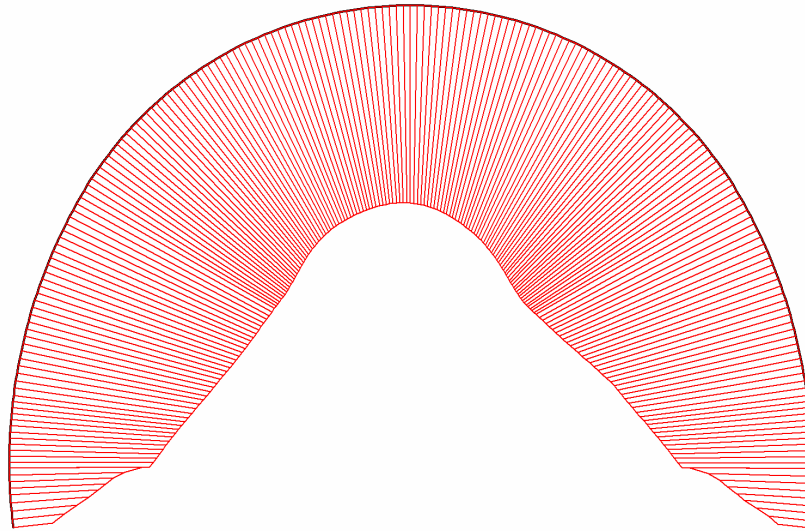


**Fig. 38 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value  $-1,36 \cdot 10^3$  kN/m (Phase: 14)

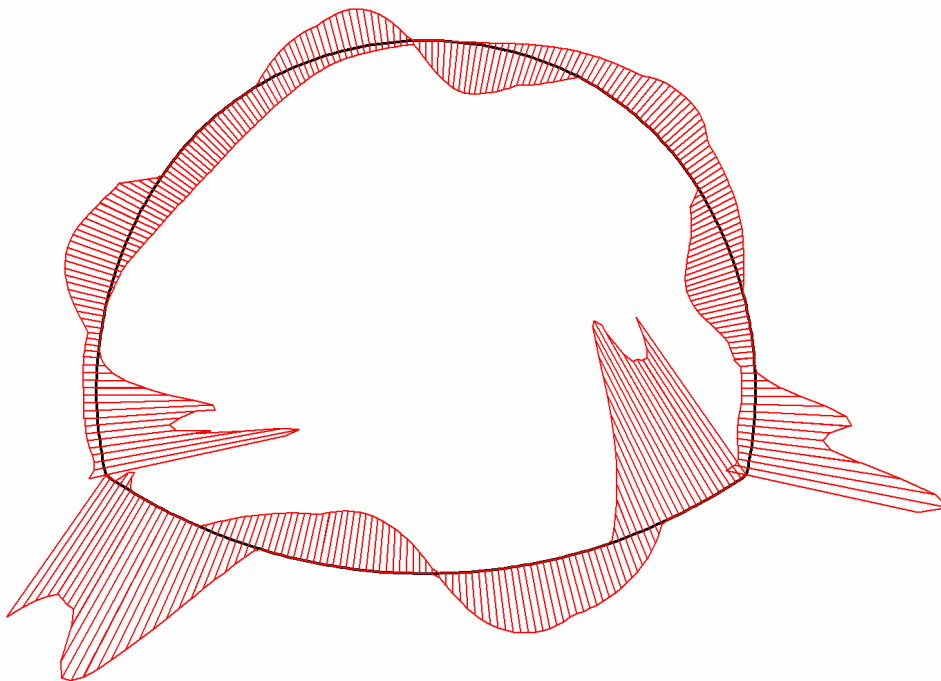


**Fig. 39 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value  $-293,32 \cdot 10^{-9}$  kN/m (Phase: 14)

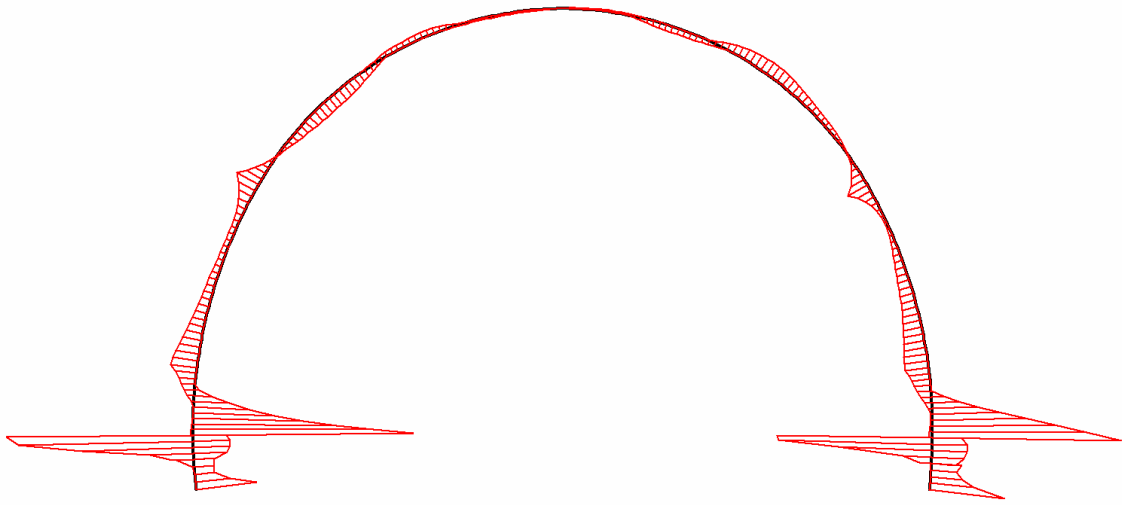




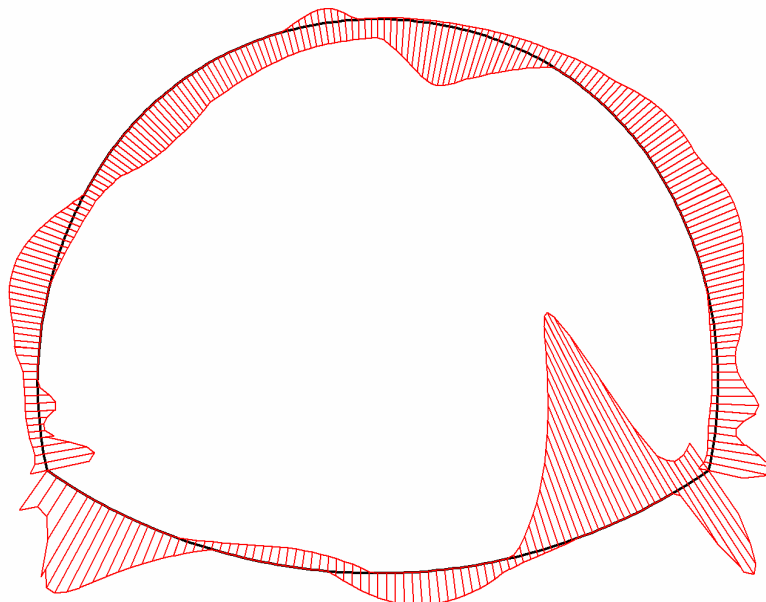
**Fig. 40 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value  $-1,39 \cdot 10^3$  kN/m (Phase: 14)



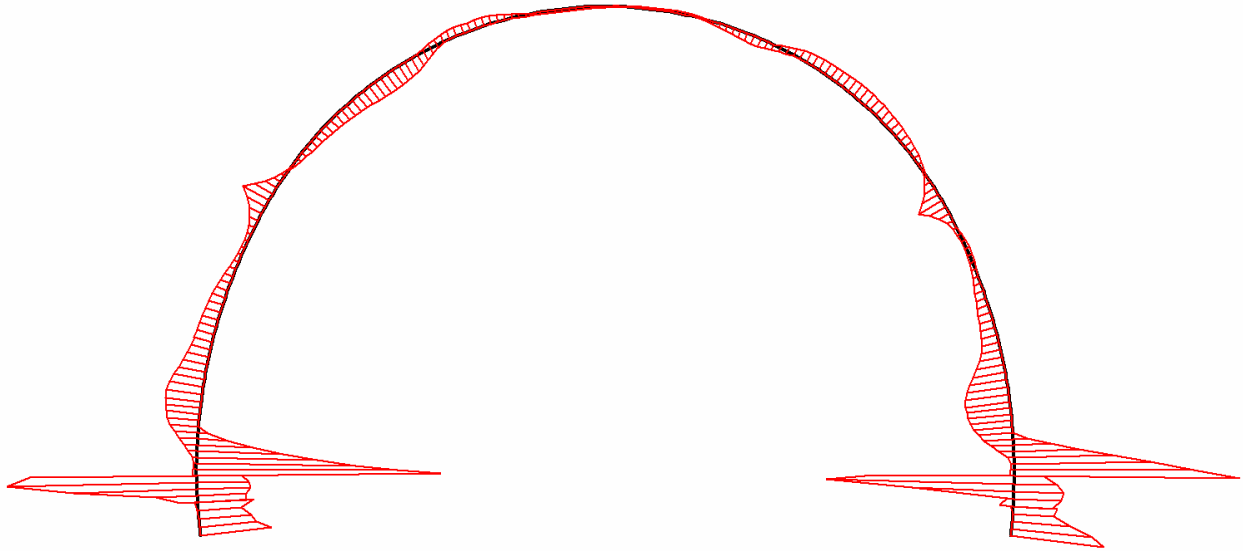
**Fig. 41 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value  $-19,89 \cdot 10^{-9}$  kN/m (Phase: 14)



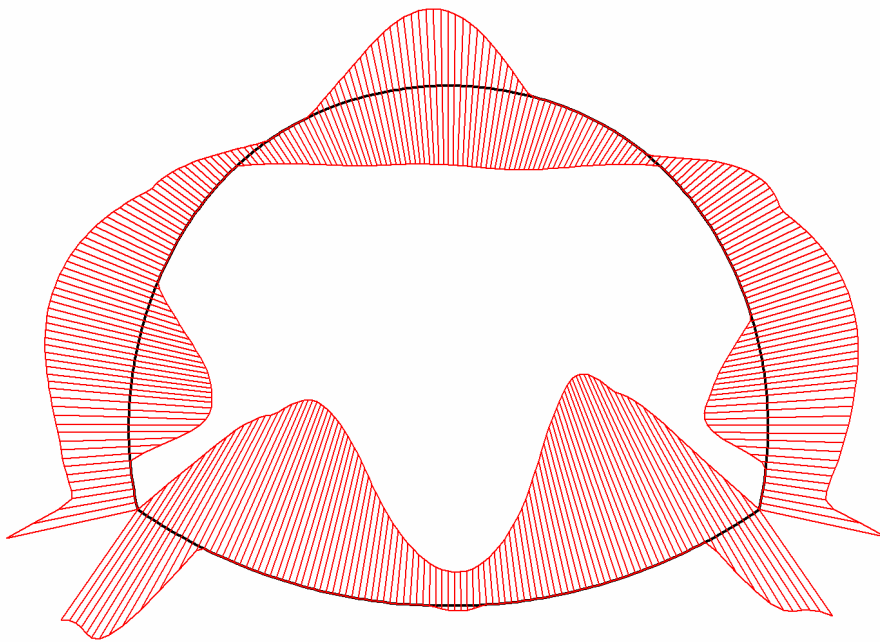
**Fig. 42 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value -109,81 kN/m (Phase: 14)



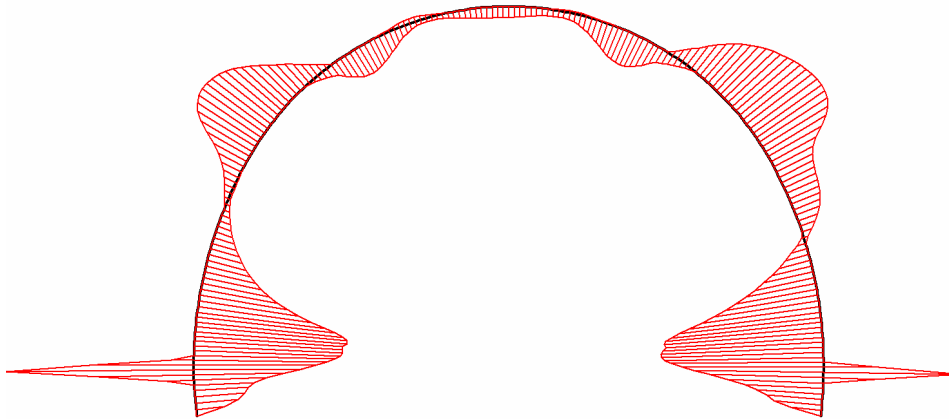
**Fig. 43 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value  $-45,38 \cdot 10^{-9}$  kN/m (Phase: 14)



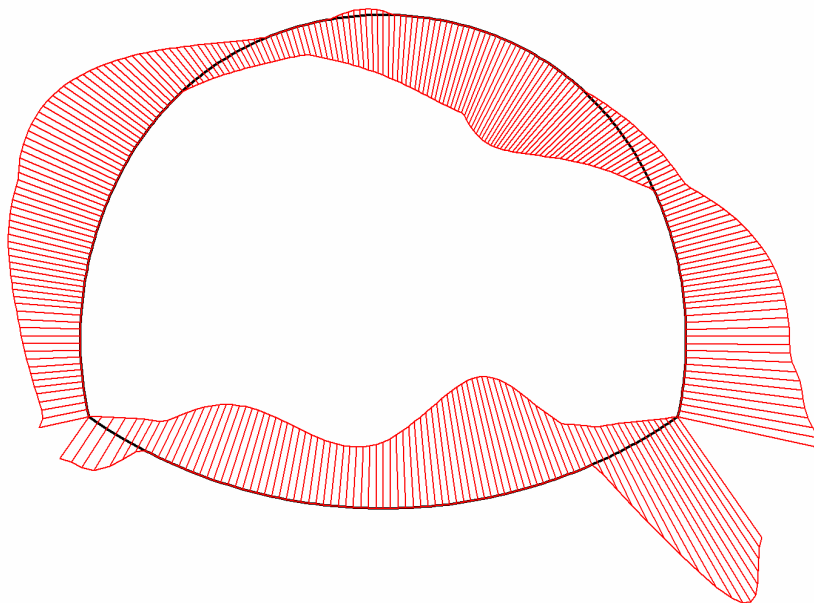
**Fig. 44 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value -85,64 kN/m (Phase: 14)



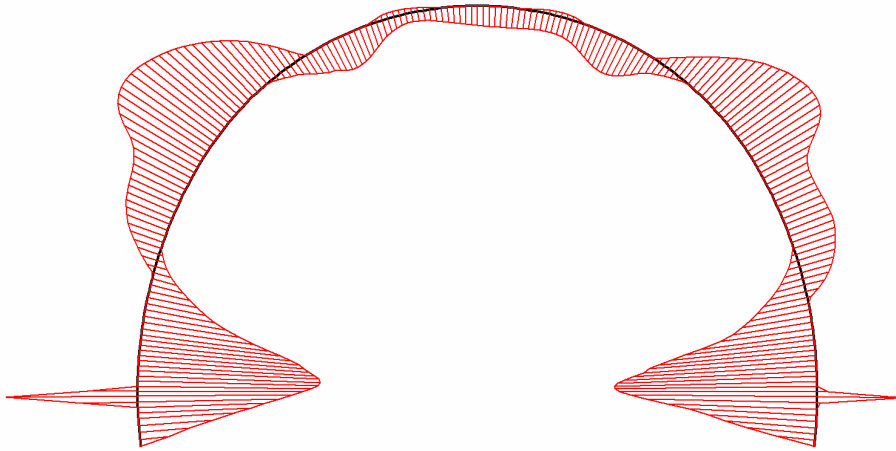
**Fig. 45 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value  $20,84 \cdot 10^{-9}$  kN/m/m (Phase: 14)



**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)

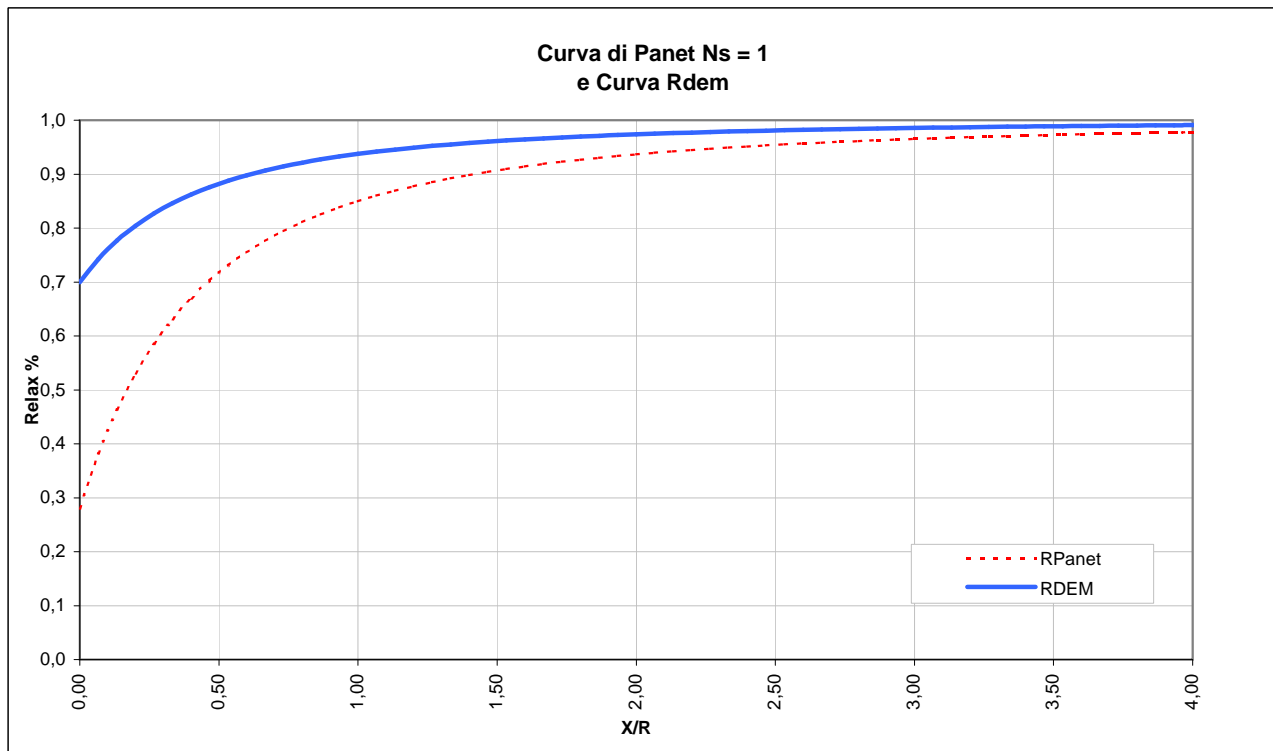


**Fig. 48 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value 22,97 kN/m/m (Phase: 14)

LAVORO PONTE SULLO STRETTO  
 Sezione C1

Copertura 100m  
 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%	70%
Time 2	Canna 1 : Avanzamento primo sfondo	1	46%	77%
Time 3	Canna 1: Installazione prerivestimento e avanzamento	6	81%	92%
Time 4	Canna 1: Maturazione prerivestimento e avanzamento	≈ 1 diametri	91%	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%	70%
Time 8	Canna 2 : Avanzamento primo sfondo	1	45%	80%
Time 9	Canna 2: Installazione prerivestimento e avanzamento	6	65%	85%
Time 10	Canna 2: Maturazione prerivestimento e avanzamento	≈ 2 diametri	84%	92%
Time 11	Canna 2: Getto arco rovescio e murette e avanzamento	≈ 6 diametri	100%	96%
Time 12	Canna 2: Getto calotte	> 6 diametri	100%	100%
Time 13	Canna 1 e 2: Analisi di lungo termine	+∞	100%	100%



# GHIAIE DI MESSINA – COPERTURA 100m – SEZ. C1

## 1. Mesh data

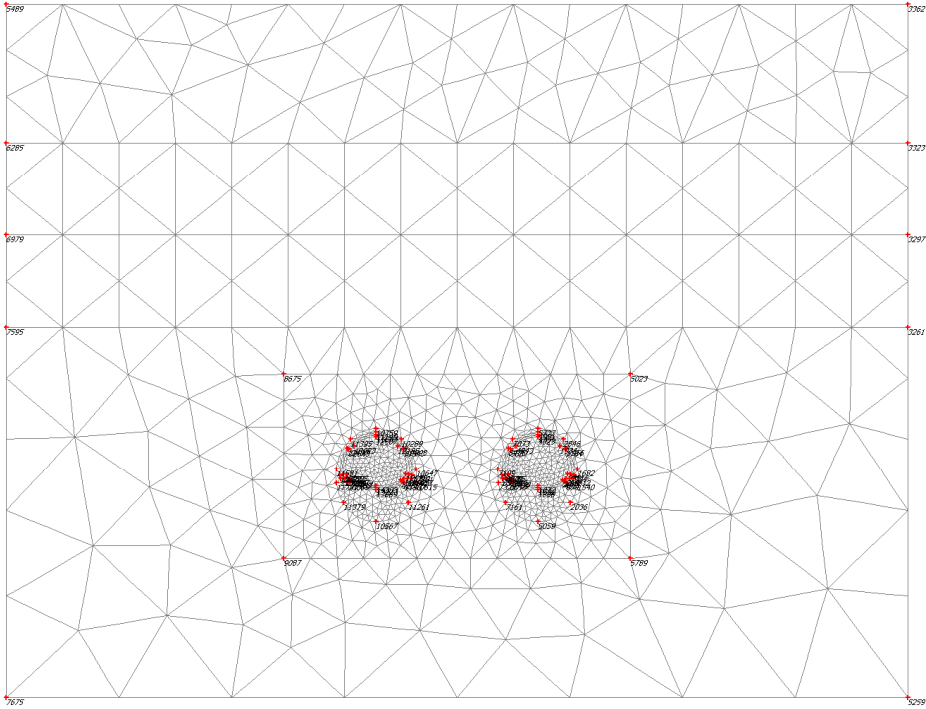


Fig. 1 Plot of the mesh with significant nodes

## 2. Material data

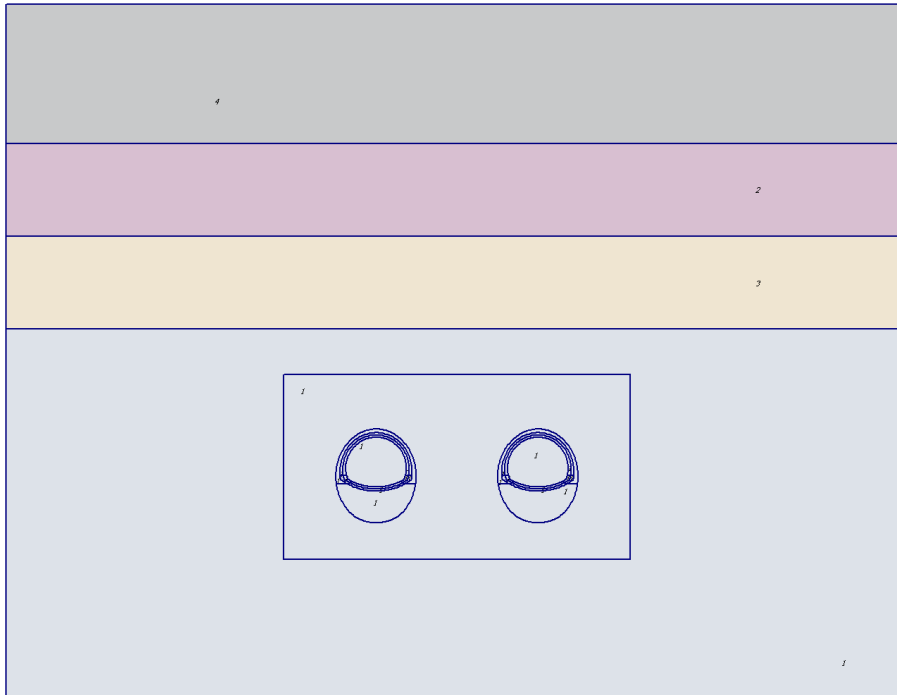


Fig. 2 Plot of geometry with material data sets

Table [1] Soil data sets parameters

<i>Hardening Soil</i>		1	2	3	4
		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 13

#### 3.1. Deformations

##### 3.1.1. Plot of horizontal displacements

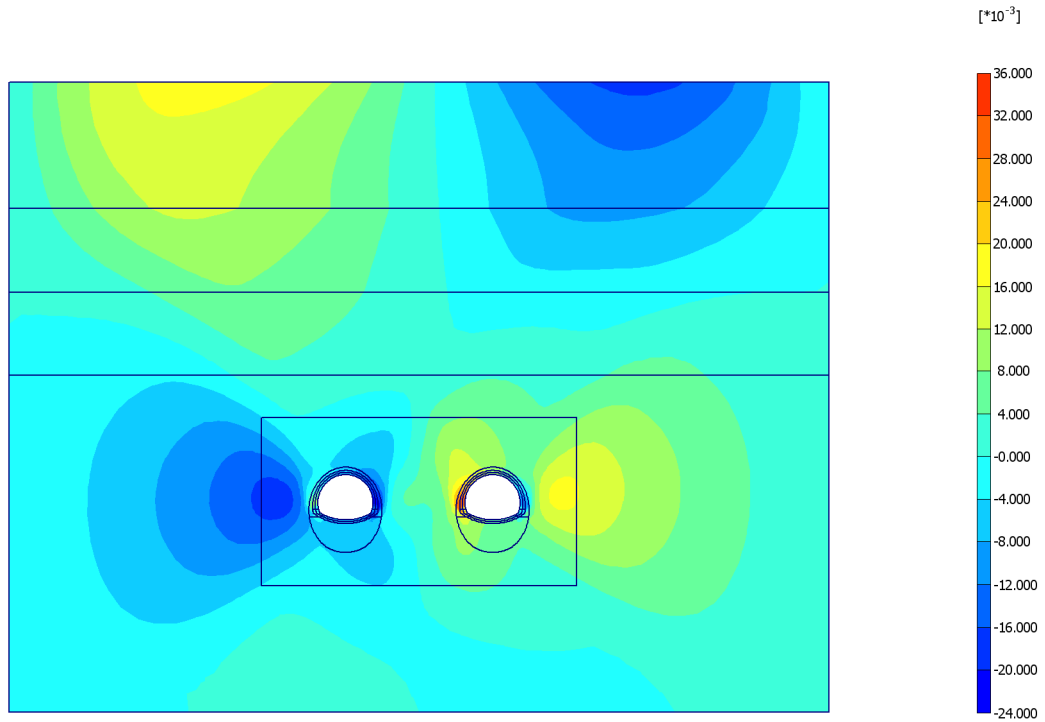


Fig. 3 Plot of horizontal displacements (shadings)  
- Step no: 98 - ( Phase: 13 )

##### 3.1.2. Plot of vertical displacements

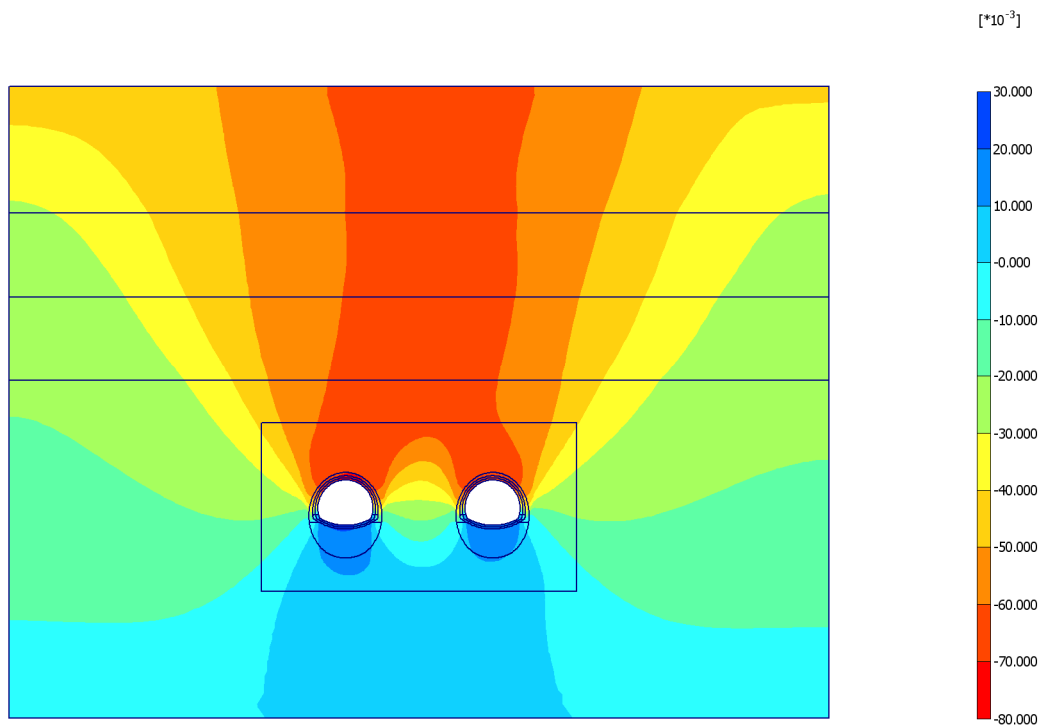


Fig. 4 Plot of vertical displacements (shadings)

- Step no: 98 - ( Phase: 13 )

## 3.2. Stresses

### 3.2.3. Plot of total stresses

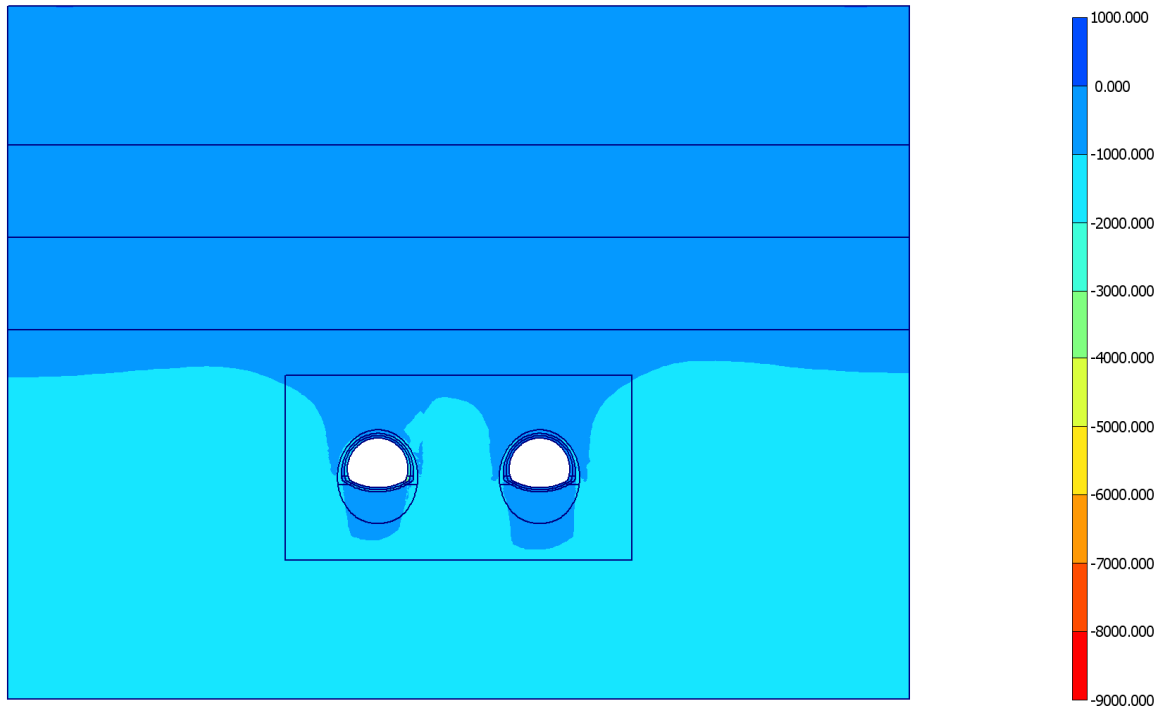
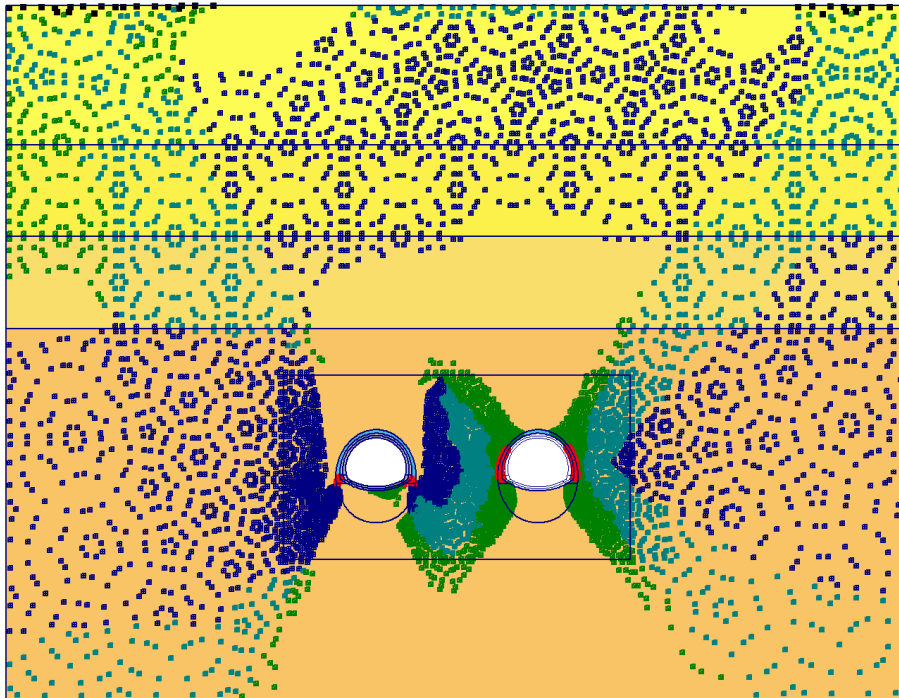


Fig. 5 Plot of total stresses (mean shadings)  
- Step no: 98 - ( Phase: 13 )

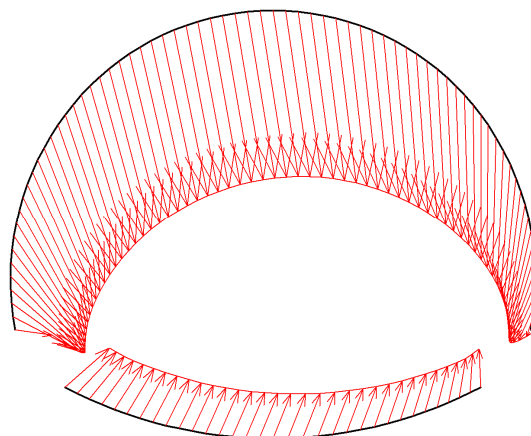
### 3.2.4. Plot of plastic points



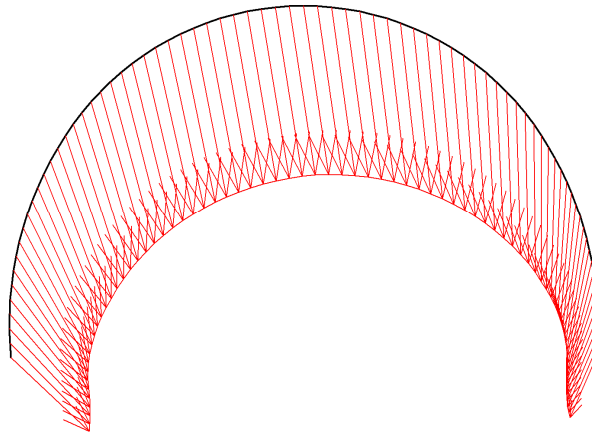
## 3.3. Structures

### 3.3.4. Beams

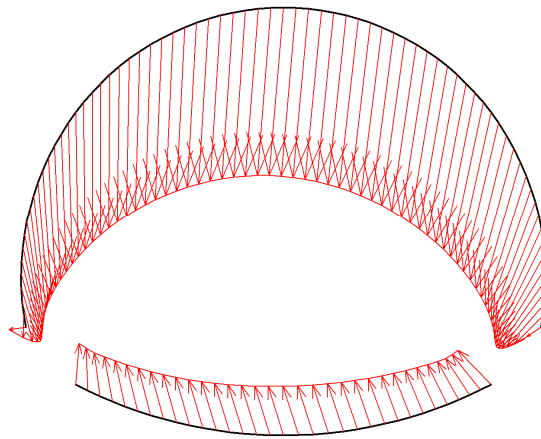
#### 3.3.4.1. Beams



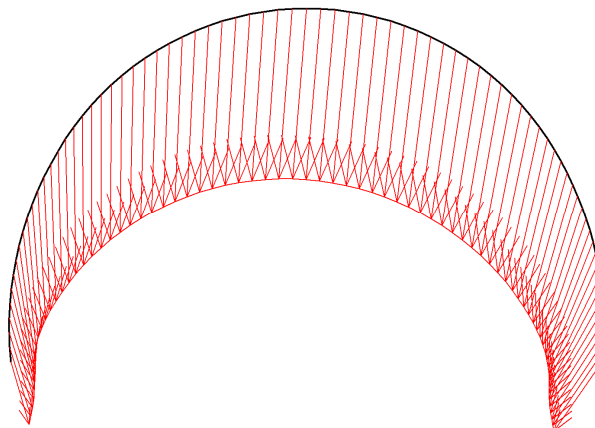
**Fig. 6 Total displacements in beam**  
Extreme value  $69,80 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 13)



**Fig. 7 Total displacements in beam**  
Extreme value  $69,82 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 13)

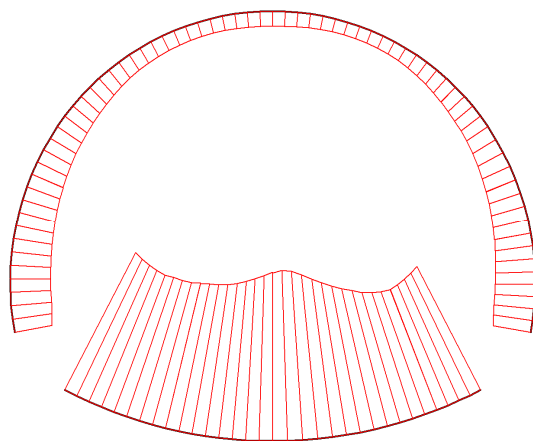


**Fig. 8 Total displacements in beam**  
Extreme value  $72,02 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 13)

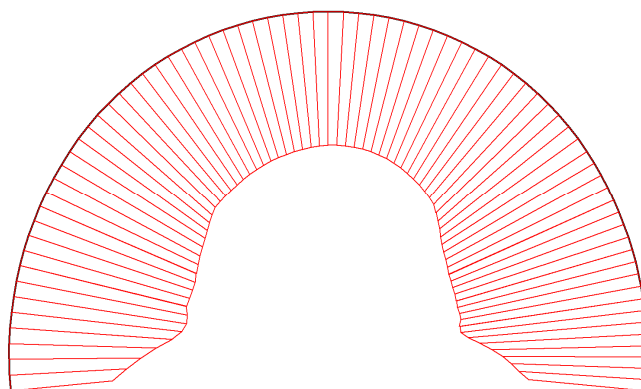


**Fig. 9 Total displacements in beam**  
Extreme value  $72,05 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 13)

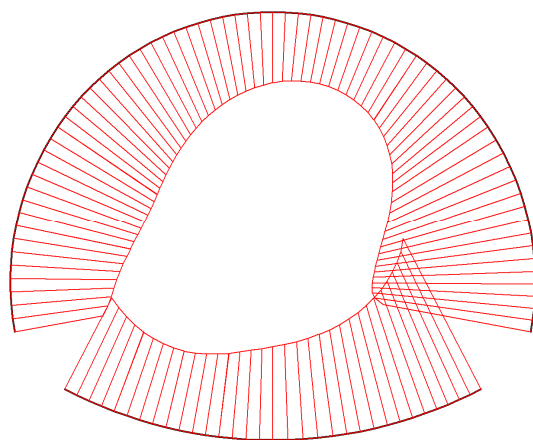
### 3.3.4.2. Beams



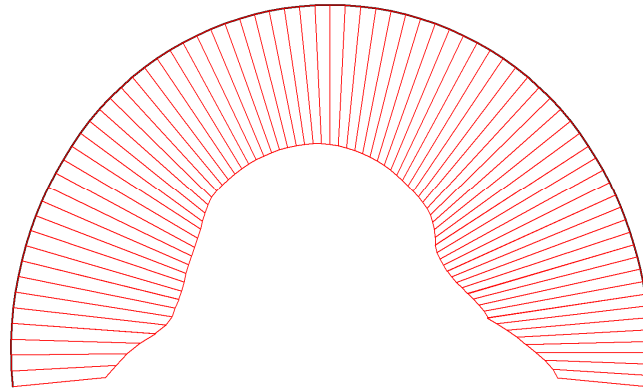
**Fig. 10 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value  $-50,84 \cdot 10^{-9}$  kN/m (Phase: 13)



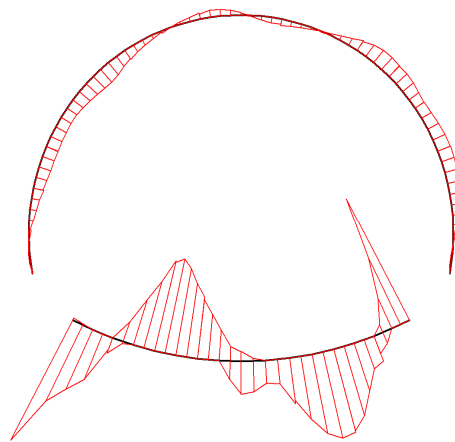
**Fig. 11 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value  $-2,13 \cdot 10^3$  kN/m (Phase: 13)



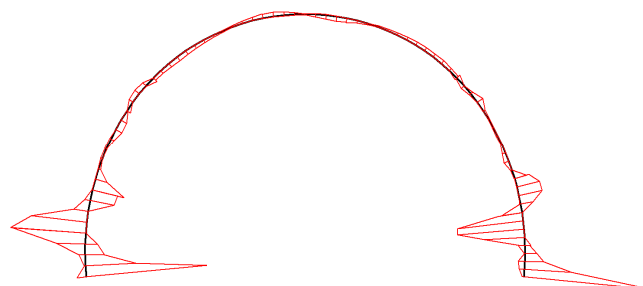
**Fig. 12 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value  $-364,73 \cdot 10^{-9}$  kN/m (Phase: 13)



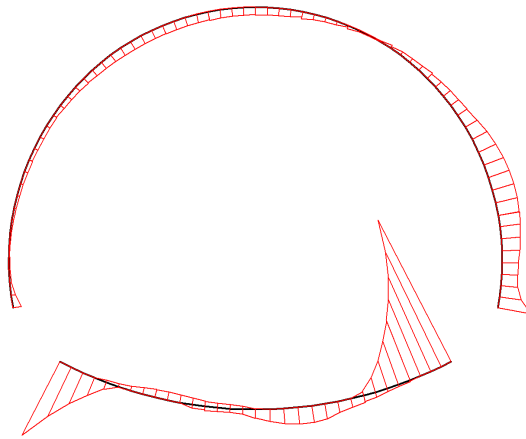
**Fig. 13 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value  $-2,63 \cdot 10^3$  kN/m (Phase: 13)



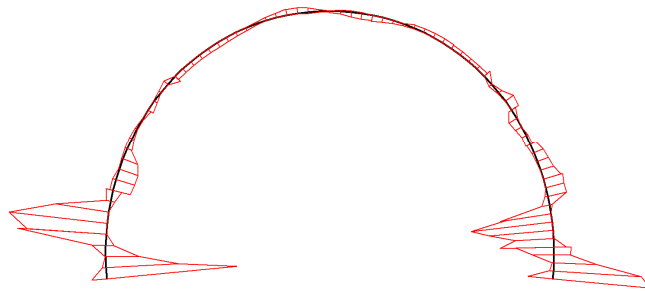
**Fig. 14 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value  $-4,47 \cdot 10^{-9}$  kN/m (Phase: 13)



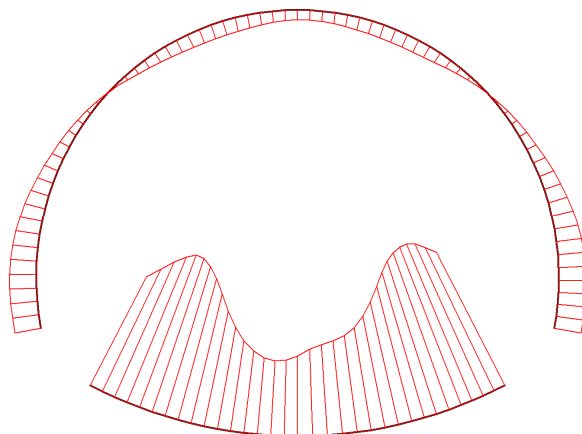
**Fig. 15 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value 163,83 kN/m (Phase: 13)



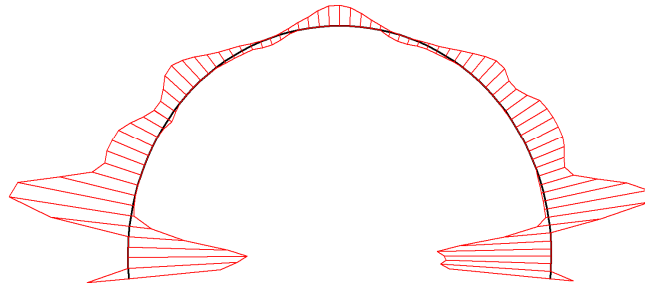
**Fig. 16 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value  $-87,07 \cdot 10^{-9}$  kN/m (Phase: 13)



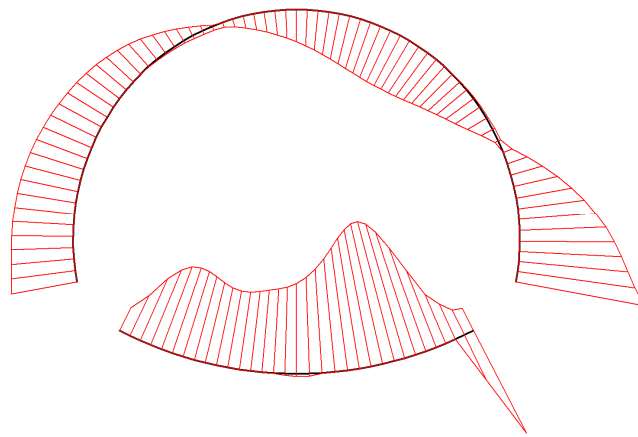
**Fig. 17 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value  $-122,95$  kN/m (Phase: 13)



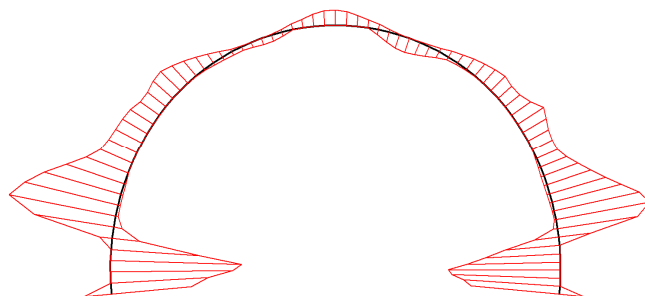
**Fig. 18 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value  $12,30 \cdot 10^{-9}$  kN/m/m (Phase: 13)



**Fig. 19 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value 42,01 kN/m/m (Phase: 13)



**Fig. 20 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value  $55,68 \cdot 10^{-9}$  kN/m/m (Phase: 13)



**Fig. 21 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value 51,66 kN/m/m (Phase: 13)



## 4. Results for phase 14

### 4.4. Deformations

#### 4.4.5. Plot of horizontal displacements

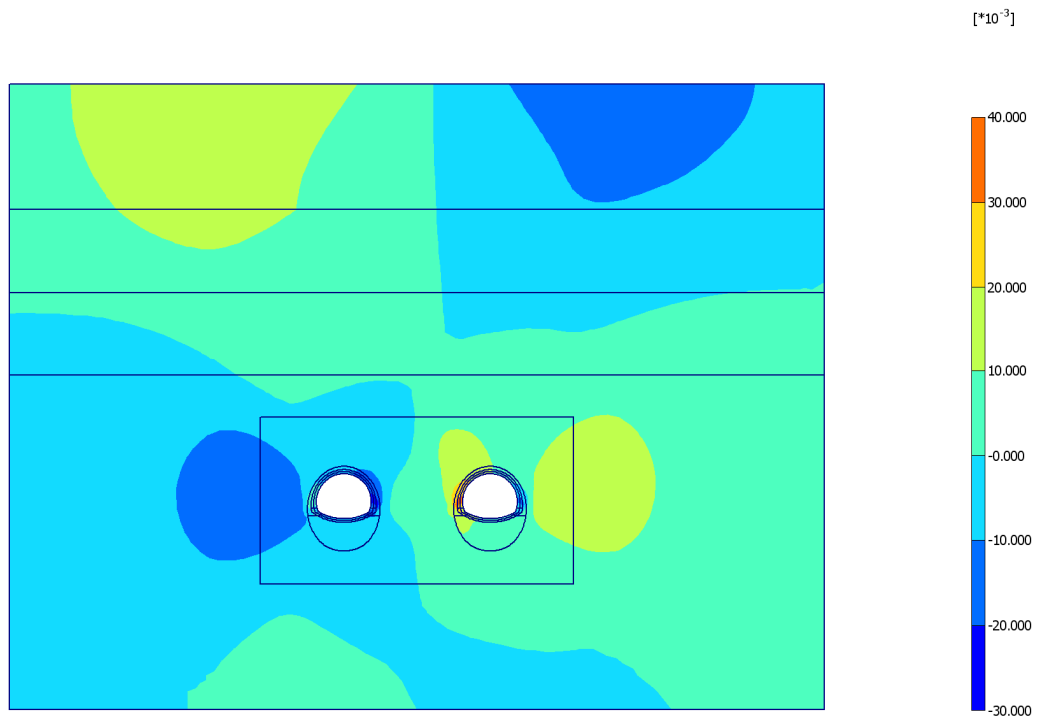


Fig. 22 Plot of horizontal displacements (shadings)  
- Step no: 105 - ( Phase: 14 )

#### 4.4.6. Plot of vertical displacements

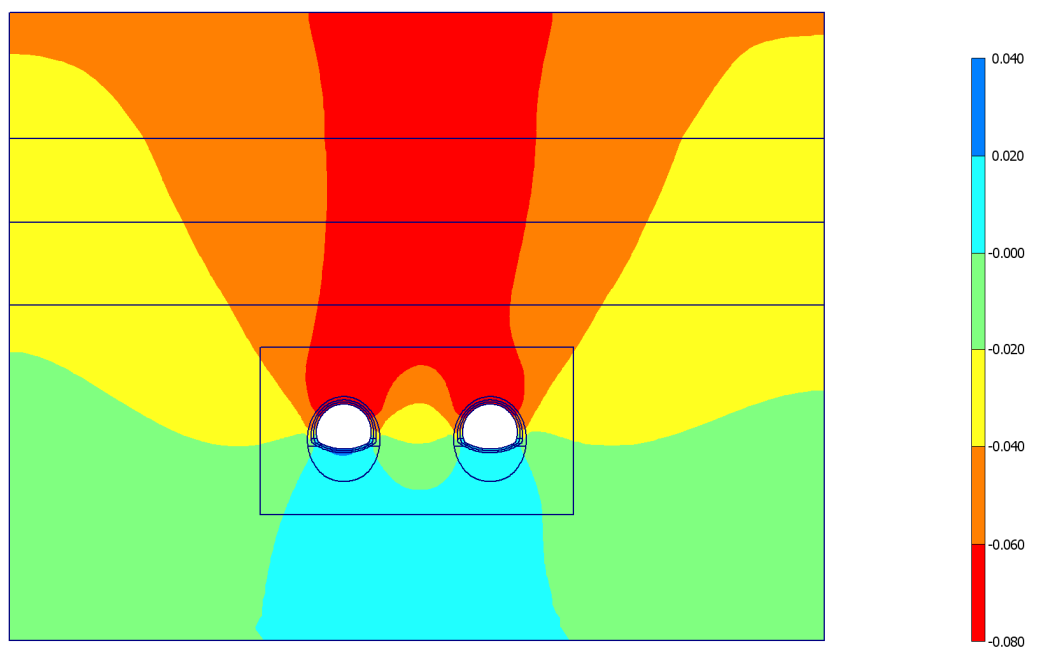
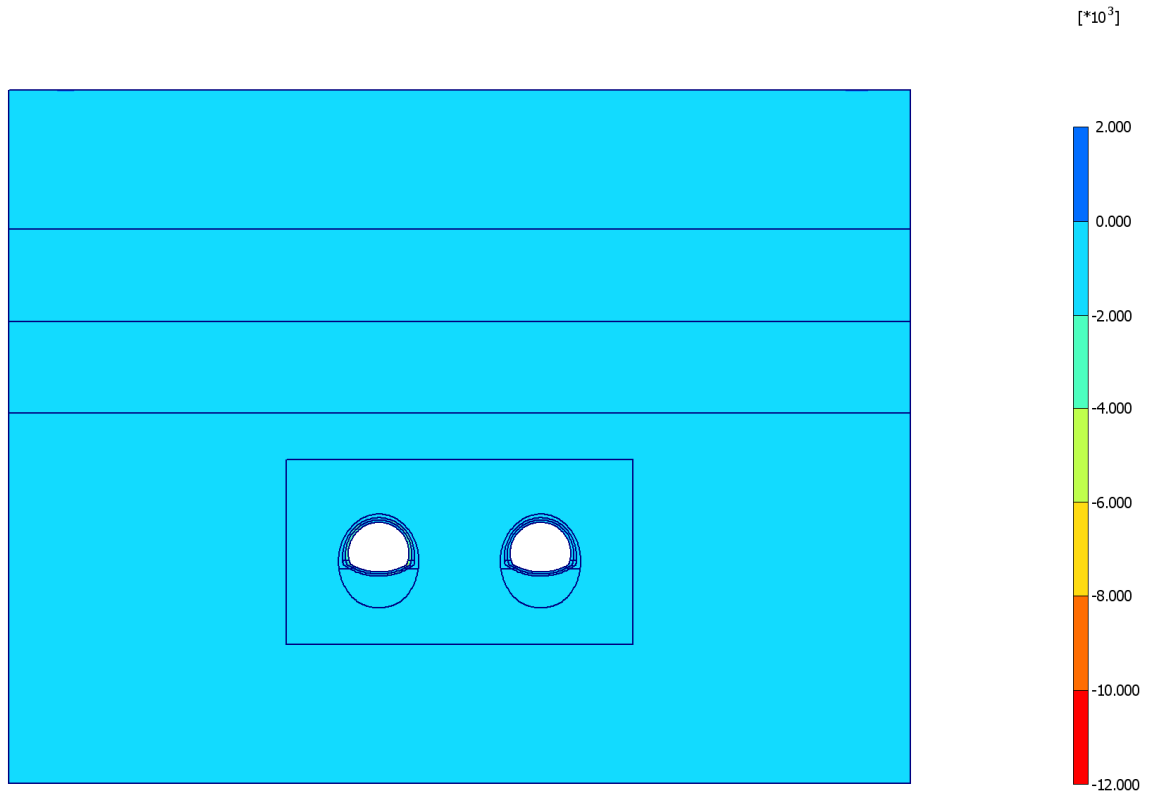


Fig. 23 Plot of vertical displacements (shadings)  
- Step no: 105 - ( Phase: 14 )

### 4.5. Stresses

#### 4.5.7. Plot of total stresses

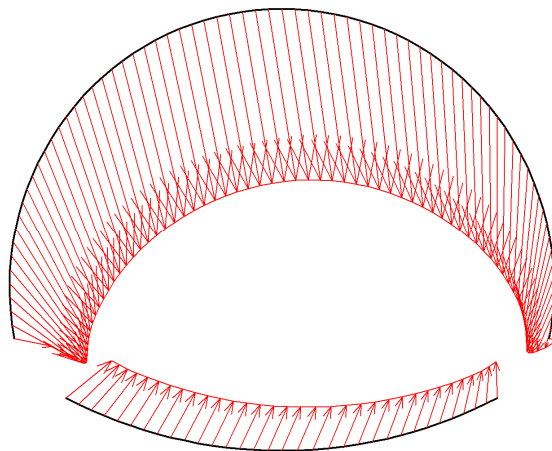


**Fig. 24 Plot of total stresses (mean shadings)**  
 - Step no: 105 - ( Phase: 14 )

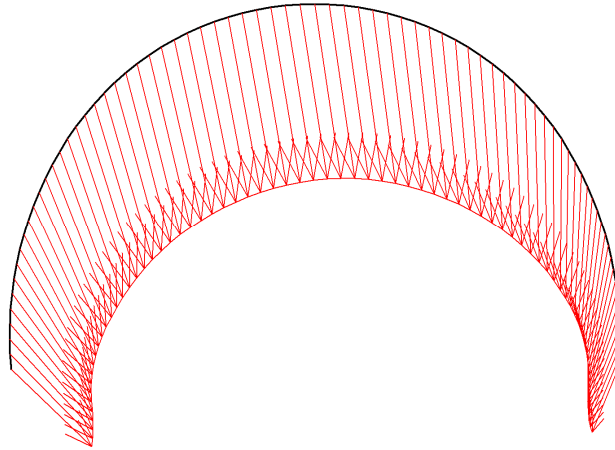
### 4.6. Structures

#### 4.6.8. Beams

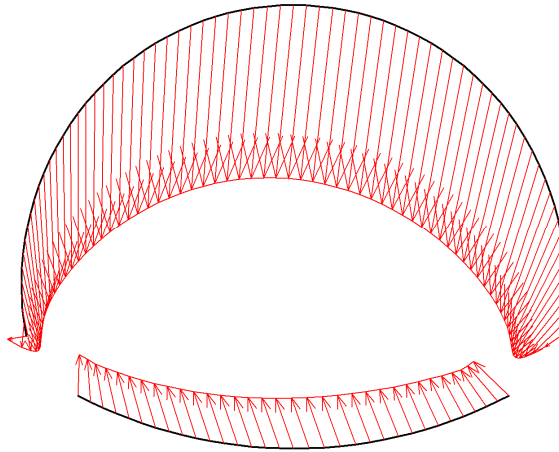
##### 4.6.8.3. Beams



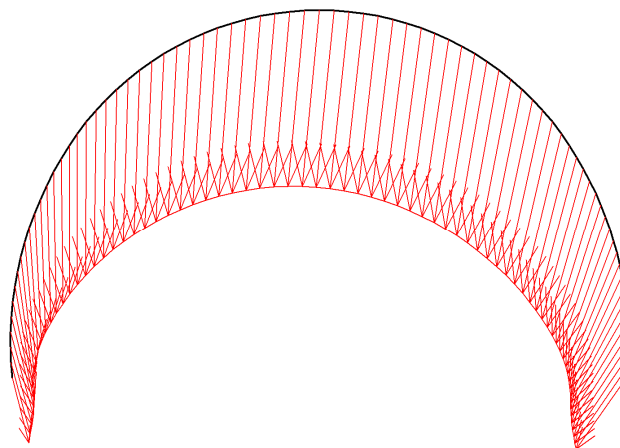
**Fig. 25 Total displacements in beam**  
 Extreme value  $71,65 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 14)



**Fig. 26 Total displacements in beam**  
Extreme value  $71,69 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 14)

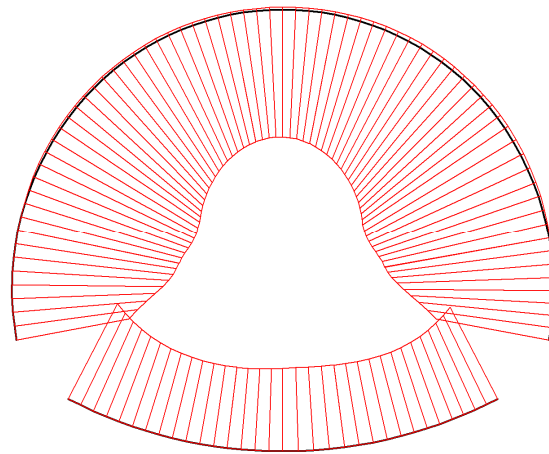


**Fig. 27 Total displacements in beam**  
Extreme value  $73,64 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 14)

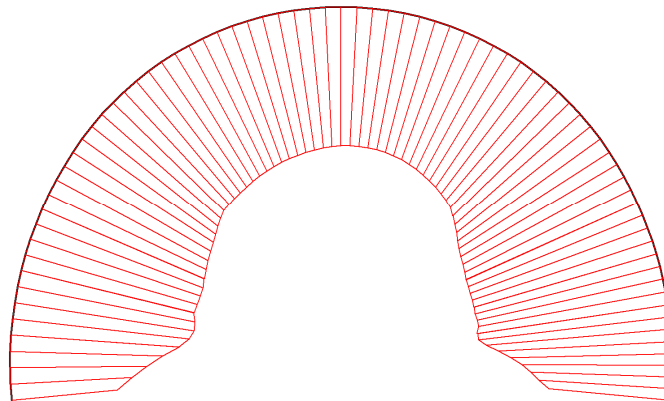


**Fig. 28 Total displacements in beam**  
Extreme value  $73,68 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 14)

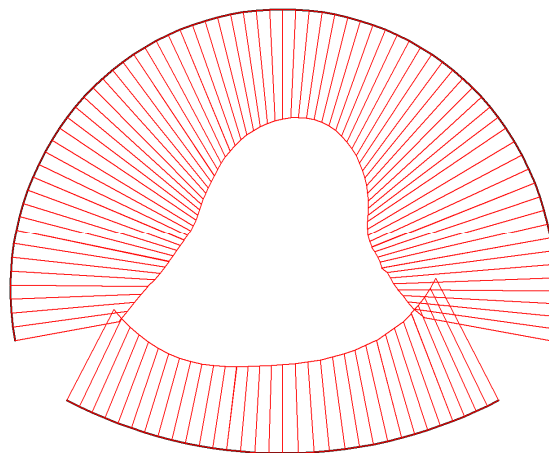
#### 4.6.8.4. Beams



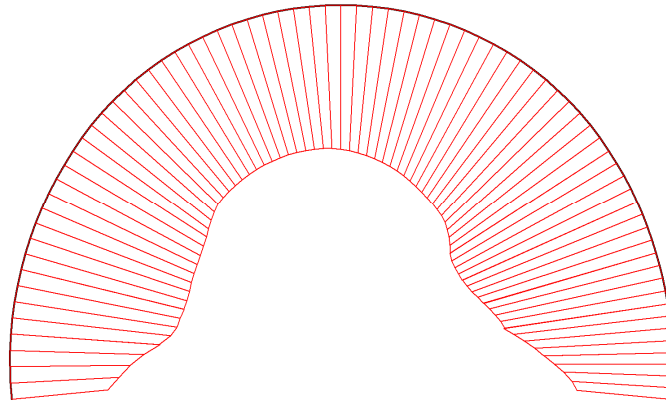
**Fig. 29 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value  $-320,01 \cdot 10^{-9}$  kN/m (Phase: 14)



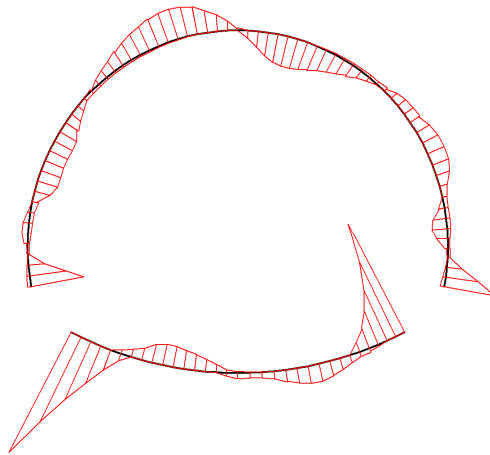
**Fig. 30 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value  $-2,13 \cdot 10^3$  kN/m (Phase: 14)



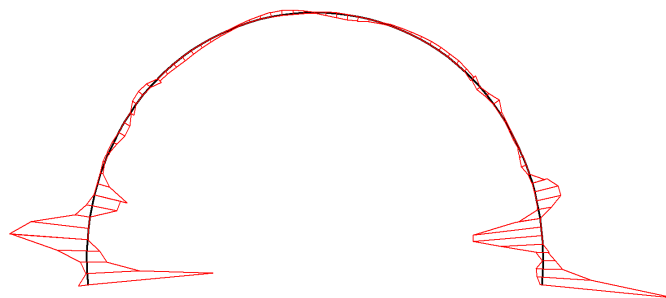
**Fig. 31 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value  $-523,06 \cdot 10^{-9}$  kN/m (Phase: 14)



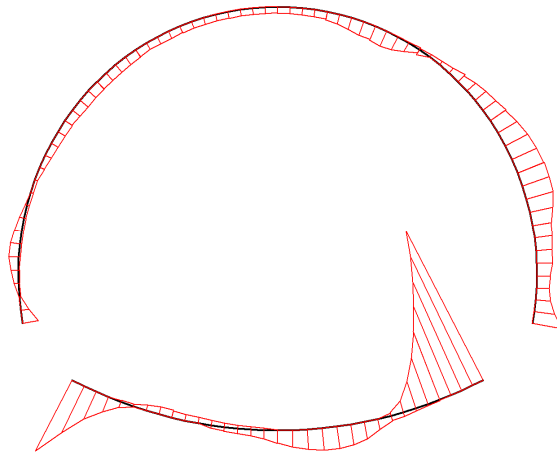
**Fig. 32 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value  $-2,63 \cdot 10^3$  kN/m (Phase: 14)



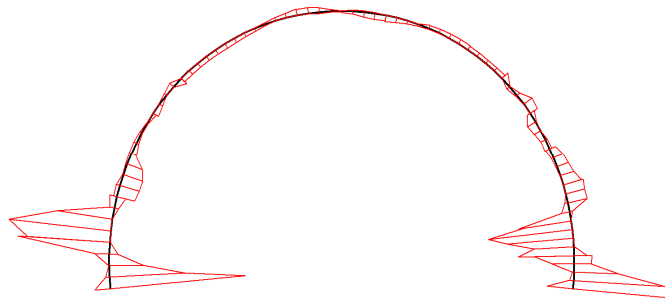
**Fig. 33 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value  $27,92 \cdot 10^{-9}$  kN/m (Phase: 14)



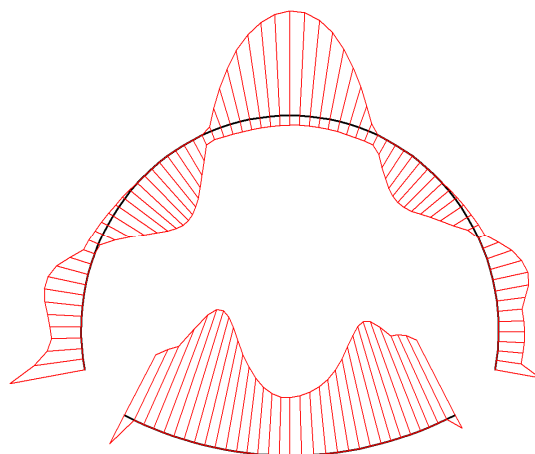
**Fig. 34 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value 163,83 kN/m (Phase: 14)



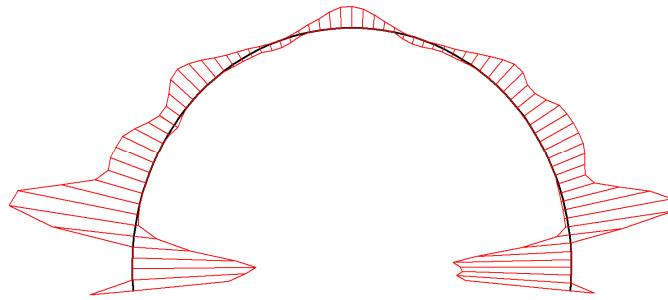
**Fig. 35 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value  $-116,94 \cdot 10^{-9}$  kN/m (Phase: 14)



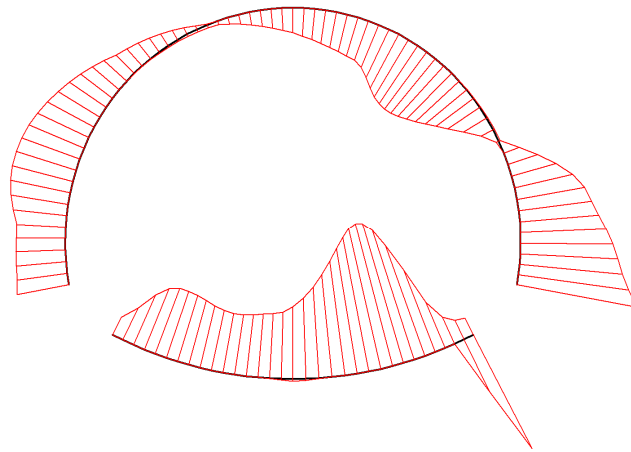
**Fig. 36 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value  $-122,95$  kN/m (Phase: 14)



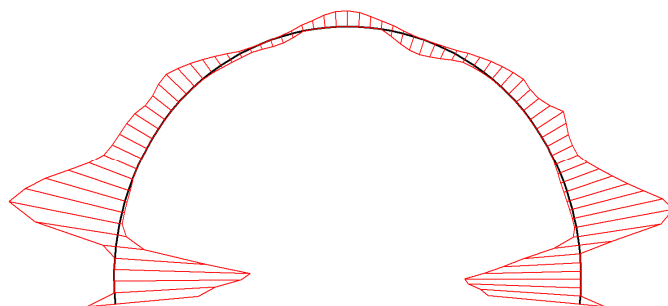
**Fig. 37 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value  $17,72 \cdot 10^{-9}$  kN/m/m (Phase: 14)



**Fig. 38 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value 42,01 kN/m/m (Phase: 14)



**Fig. 39 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value  $74,91 \cdot 10^{-9}$  kN/m/m (Phase: 14)

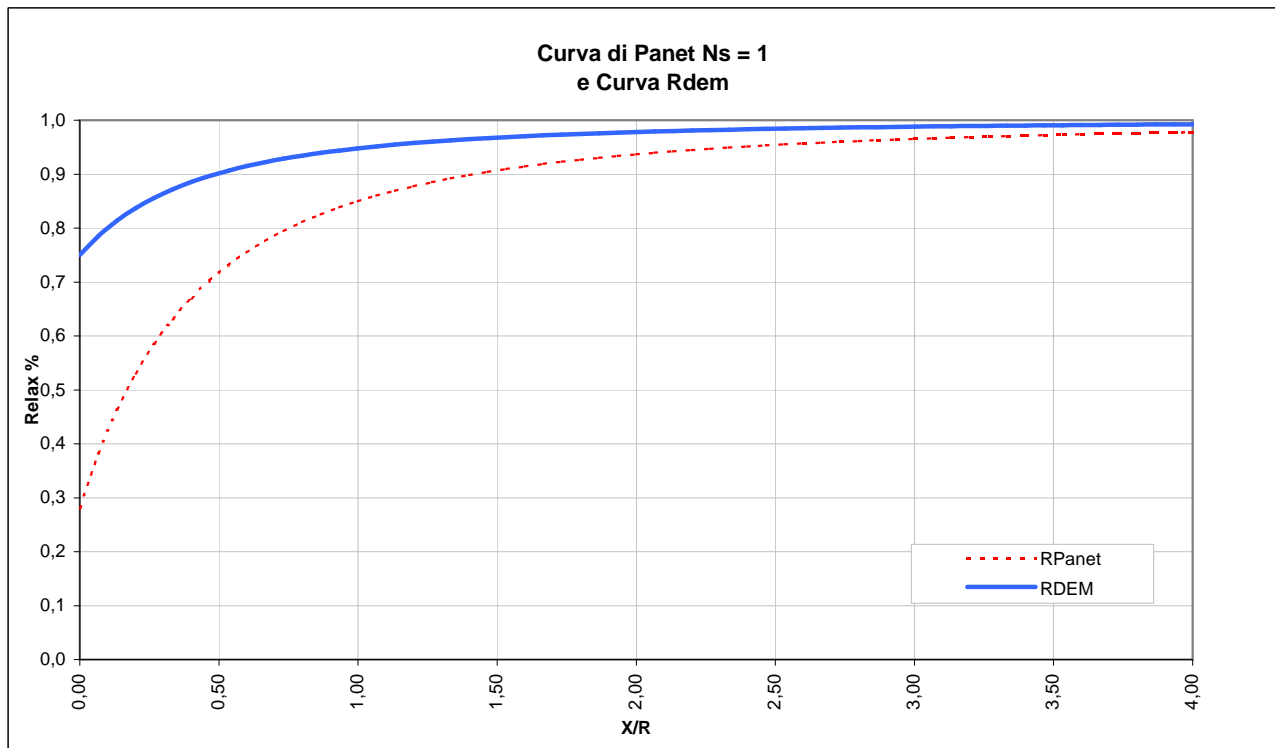


**Fig. 40 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value 51,66 kN/m/m (Phase: 14)

**LAVORO PONTE SULLO STRETTO**  
**Sezione C1**

**Copertura** 230m  
**Litotipo** Ghiaie e sabbie di Messina

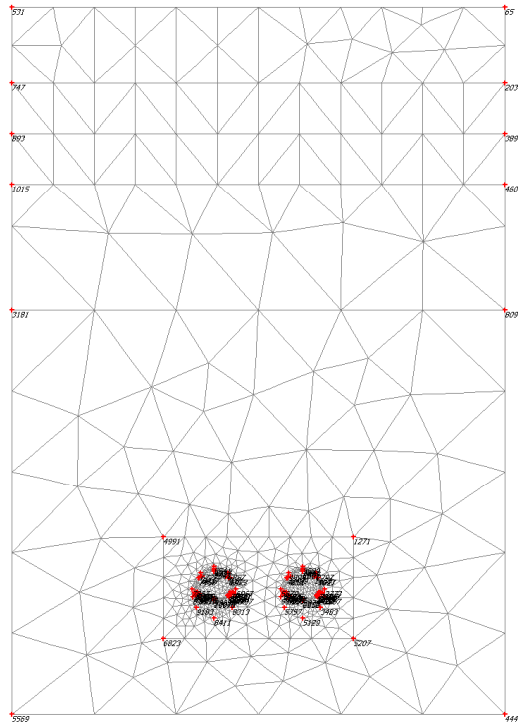
TIME	DESCRIZIONE	X <sub>fronte</sub> [m]	R <sub>panet</sub>	R(FEM)
Time 0	Geostatico	-∞	0%	0%
Time 1	Canna 1: Fronte di scavo	0	28%	75%
Time 2	Canna 1 : Avanzamento primo sfondo	1	46%	81%
Time 3	Canna 1: Installazione prerivestimento e avanzamento	6	81%	93%
Time 4	Canna 1: Maturazione prerivestimento e avanzamento	≈ 1 diametri	91%	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%	75%
Time 8	Canna 2 : Avanzamento primo sfondo	1	45%	81%
Time 9	Canna 2: Installazione prerivestimento e avanzamento	6	65%	93%
Time 10	Canna 2: Maturazione prerivestimento e avanzamento	≈ 2 diametri	84%	97%
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%





# GHIAIE DI MESSINA – COPERTURA 230m – SEZ. C1

## 1. Mesh data



**Fig. 1 Plot of the mesh with significant nodes**

## 2. Material data

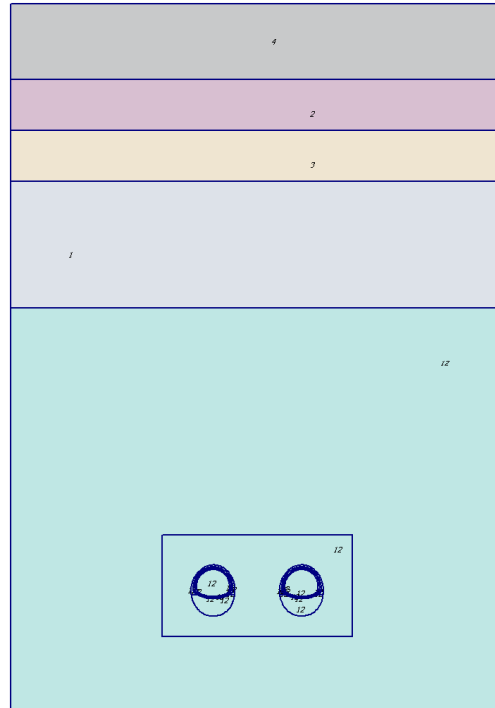


Fig. 2 Plot of geometry with material data sets

Table [1] Soil data sets parameters

<i>Hardening Soil</i>		1	2	3	4
		04_Ghiaie di ME_450	02_Ghiaie ME_275	03_Ghiaie ME_350	01_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> ]	30,00	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

<b>Hardening Soil</b>		<b>12</b>
		<b>05_Ghiaie ME_650</b>
<b>Type</b>		Drained
$\gamma_{\text{unsat}}$	[kN/m <sup>3</sup> ]	19,00
$\gamma_{\text{sat}}$	[kN/m <sup>3</sup> ]	19,00
$k_x$	[m/day]	0,000
$k_y$	[m/day]	0,000
$e_{\text{init}}$	[-]	0,50
$e_{\text{min}}$	[-]	0,00
$e_{\text{max}}$	[-]	999,00
$c_k$	[-]	1E15
$E_{50}^{\text{ref}}$	[kN/m <sup>2</sup> ]	650000,00
$E_{\text{oed}}^{\text{ref}}$	[kN/m <sup>2</sup> ]	650000,00
<b>power (m)</b>	[-]	0,00
$c_{\text{ref}}$	[kN/m <sup>2</sup> ]	40,00
$\phi$	[°]	38,00
$\psi$	[°]	0,00
$E_{\text{ur}}^{\text{ref}}$	[kN/m <sup>2</sup> ]	1950000,00
$v_{\text{ur}}^{(\text{nu})}$	[-]	0,200
$p^{\text{ref}}$	[kN/m <sup>2</sup> ]	100,00
$c_{\text{increment}}$	[kN/m <sup>2</sup> ]	0,00
$y_{\text{ref}}$	[m]	0,00
$R_f$	[-]	0,90
$T_{\text{str.}}$	[kN/m <sup>2</sup> ]	0,00
$R_{\text{inter}}$	[-]	1,00
$\delta_{\text{inter}}$	[m]	0,00
<b>Interface permeability</b>		Neutral

### 3. Results for phase 7

#### 3.1. Deformations

##### 3.1.1. Plot of horizontal displacements

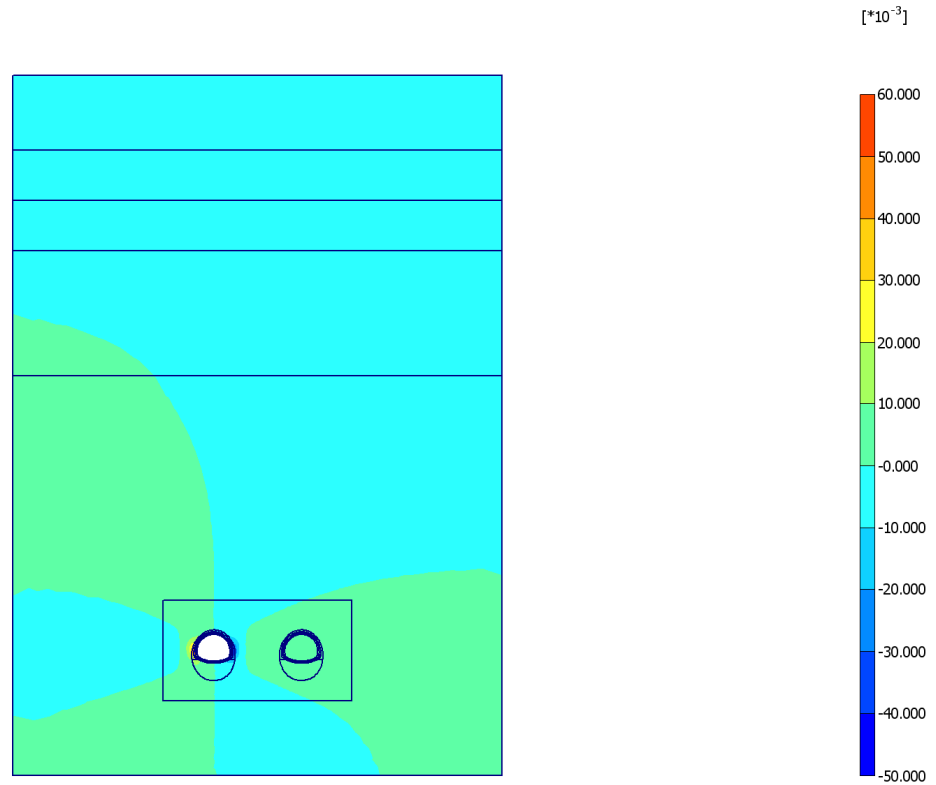


Fig. 3 Plot of horizontal displacements (shadings)  
- Step no: 44 - ( Phase: 7 )

##### 3.1.2. Plot of vertical displacements

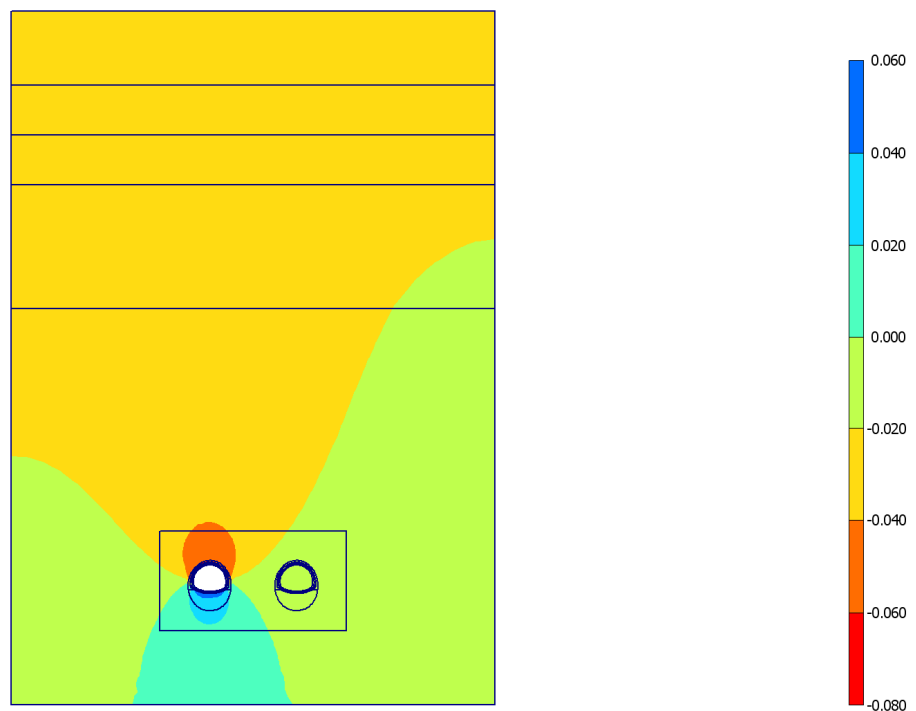


Fig. 4 Plot of vertical displacements (shadings)  
- Step no: 44 - ( Phase: 7 )

### 3.2. Stresses

#### 3.2.3. Plot of total stresses

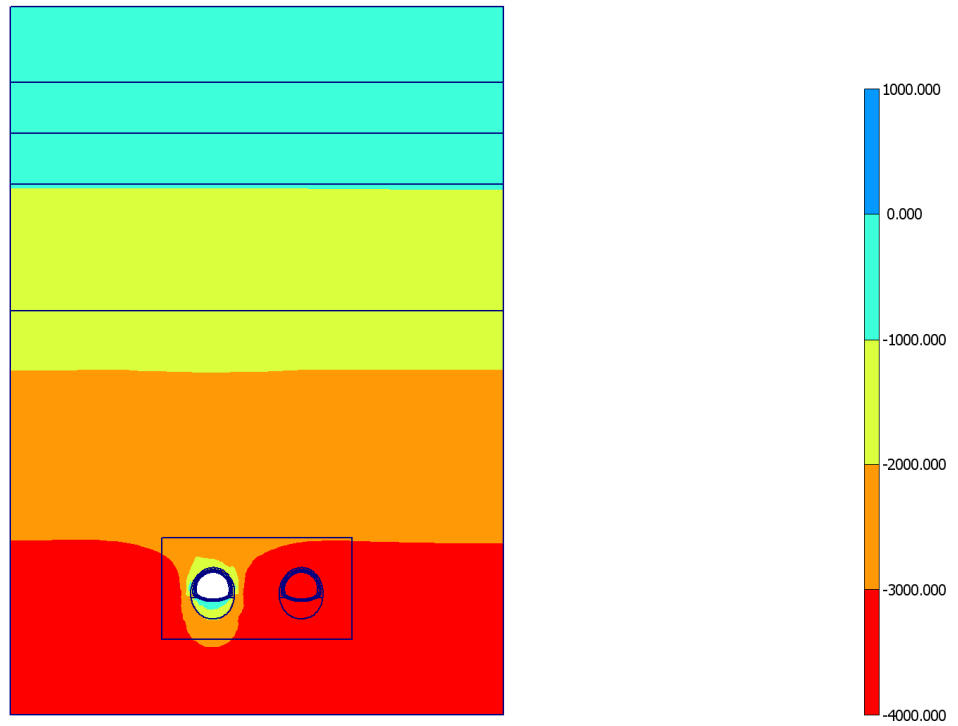


Fig. 5 Plot of total stresses (mean shadings)  
- Step no: 44 - ( Phase: 7 )

#### 3.2.4. Plot of plastic points

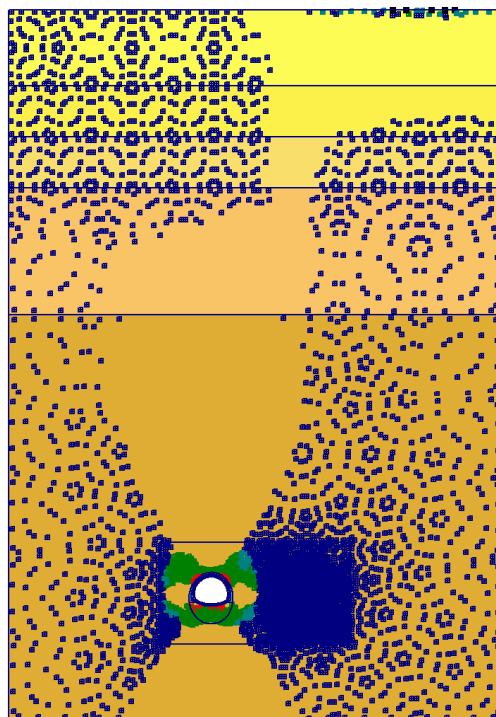
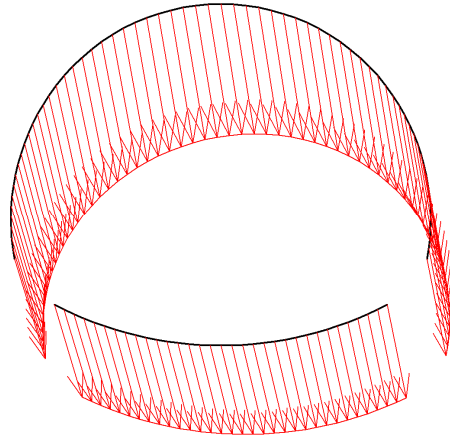


Fig. 7 Plot of plastic points  
- Step no: 44 - ( Phase: 7 )

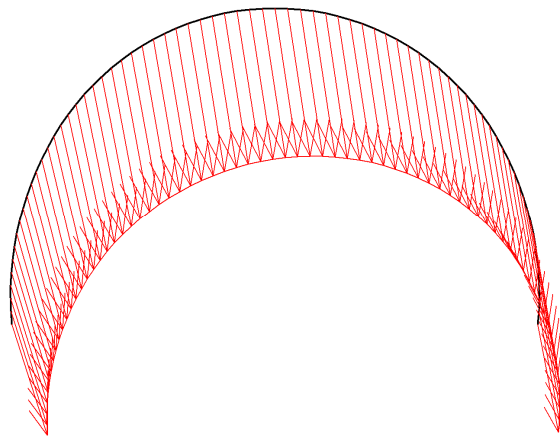
### 3.3. Structures

#### 3.3.4. Beams

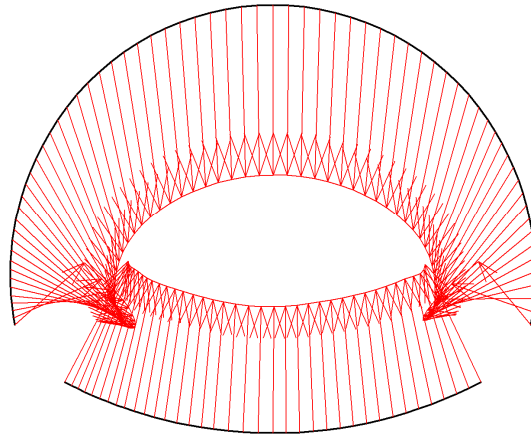
##### 3.3.4.1. Beams



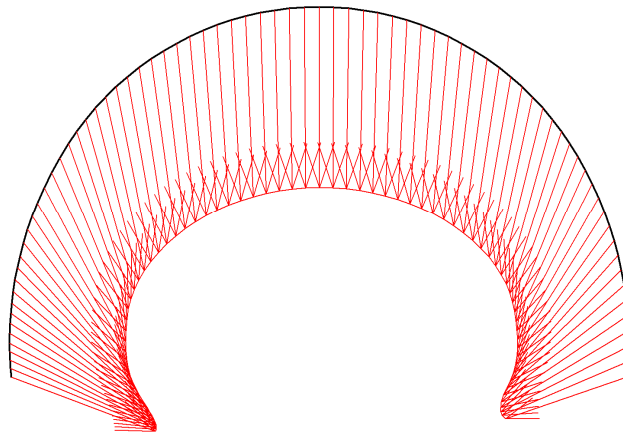
**Fig. 6 Total displacements in beam**  
Extreme value  $14,53 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 7)



**Fig. 7 Total displacements in beam**  
Extreme value  $14,77 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 7)

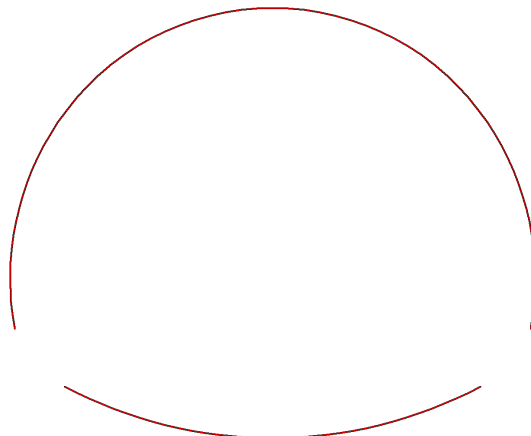


**Fig. 8 Total displacements in beam**  
Extreme value  $62,35 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 7)

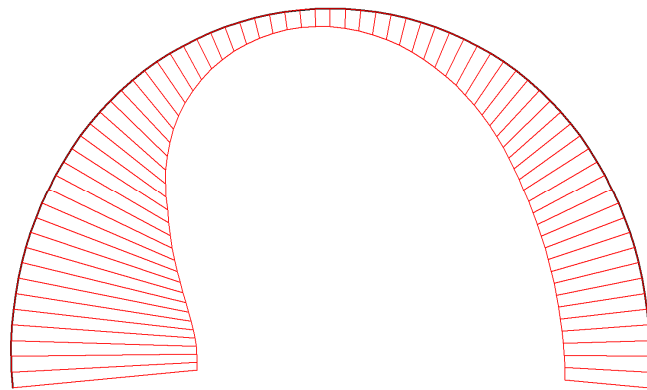


**Fig. 9 Total displacements in beam**  
Extreme value  $62,40 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 7)

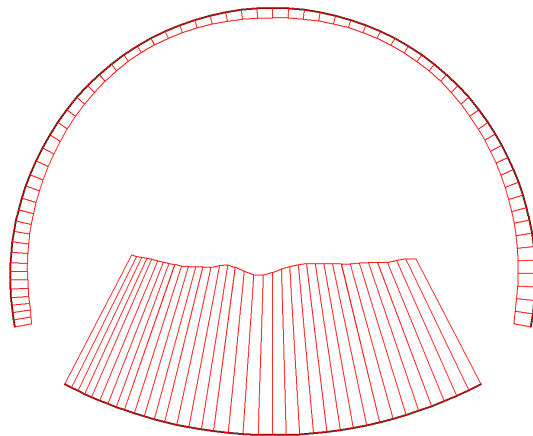
### 3.3.4.2. Beams



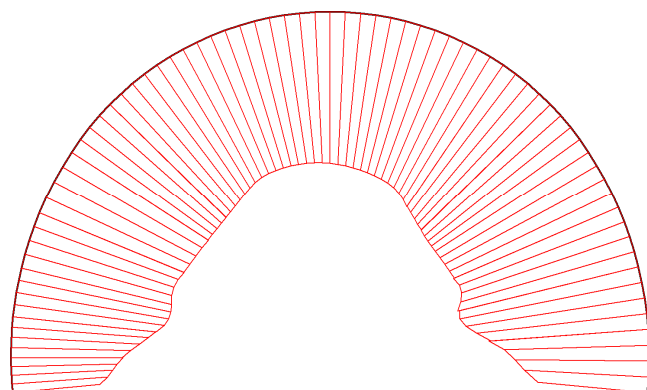
**Fig. 10 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value 0,00 kN/m (Phase: 7)



**Fig. 11 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value  $-612,72 \cdot 10^{-15}$  kN/m (Phase: 7)

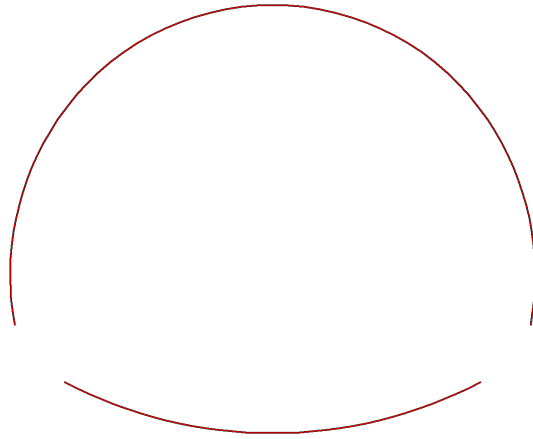


**Fig. 12 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value  $-112,71 \cdot 10^{-9}$  kN/m (Phase: 7)

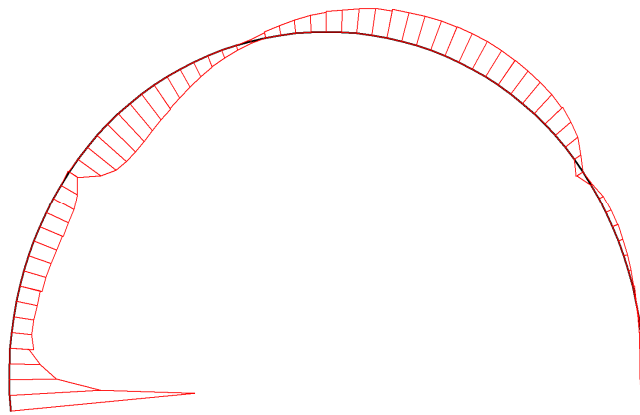


**Fig. 13 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value  $-3,68 \cdot 10^3$  kN/m (Phase: 7)

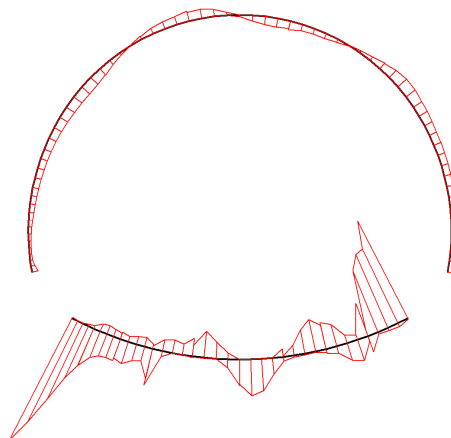




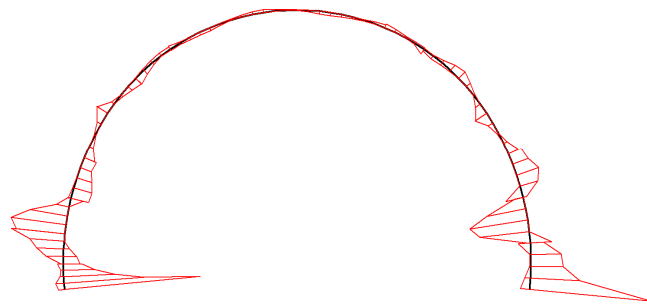
**Fig. 14 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value 0,00 kN/m (Phase: 7)



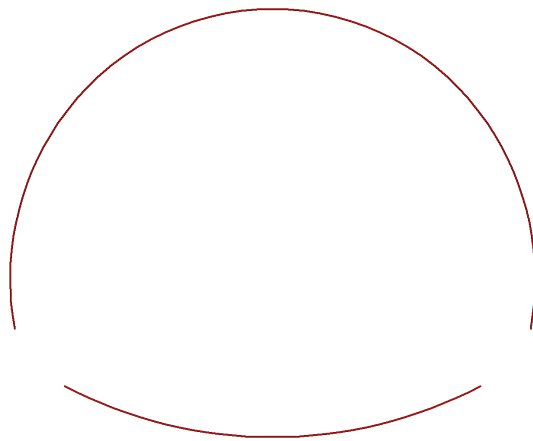
**Fig. 15 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value  $-8,07 \times 10^{-15}$  kN/m (Phase: 7)



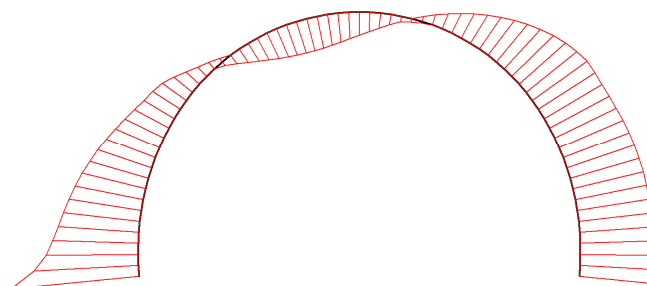
**Fig. 16 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value  $6,86 \times 10^{-9}$  kN/m (Phase: 7)



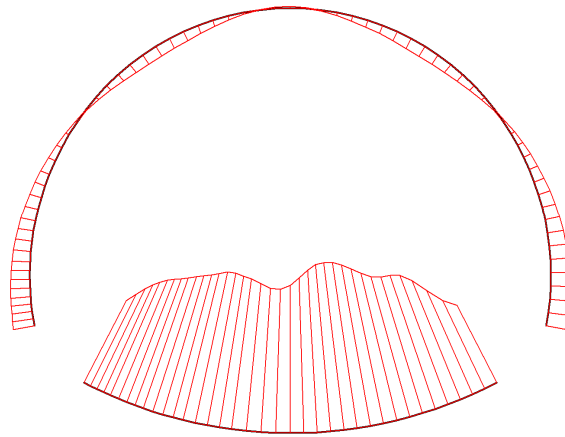
**Fig. 17 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value -292,71 kN/m (Phase: 7)



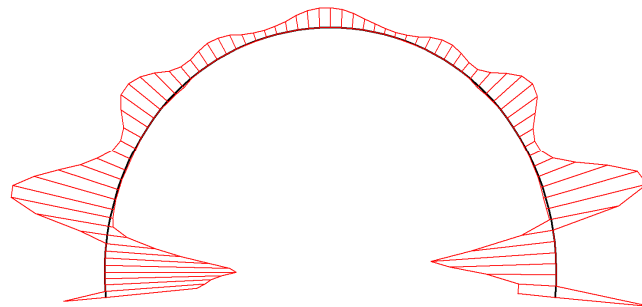
**Fig. 18 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value 0,00 kN/m/m (Phase: 7)



**Fig. 19 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value  $11,82 \cdot 10^{-15}$  kN/m/m (Phase: 7)



**Fig. 20 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value  $14,68 \cdot 10^{-9}$  kN/m/m (Phase: 7)



**Fig. 21 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value 78,46 kN/m/m (Phase: 7)

## 4. Results for phase 14

### 4.4. Deformations

#### 4.4.5. Plot of horizontal displacements

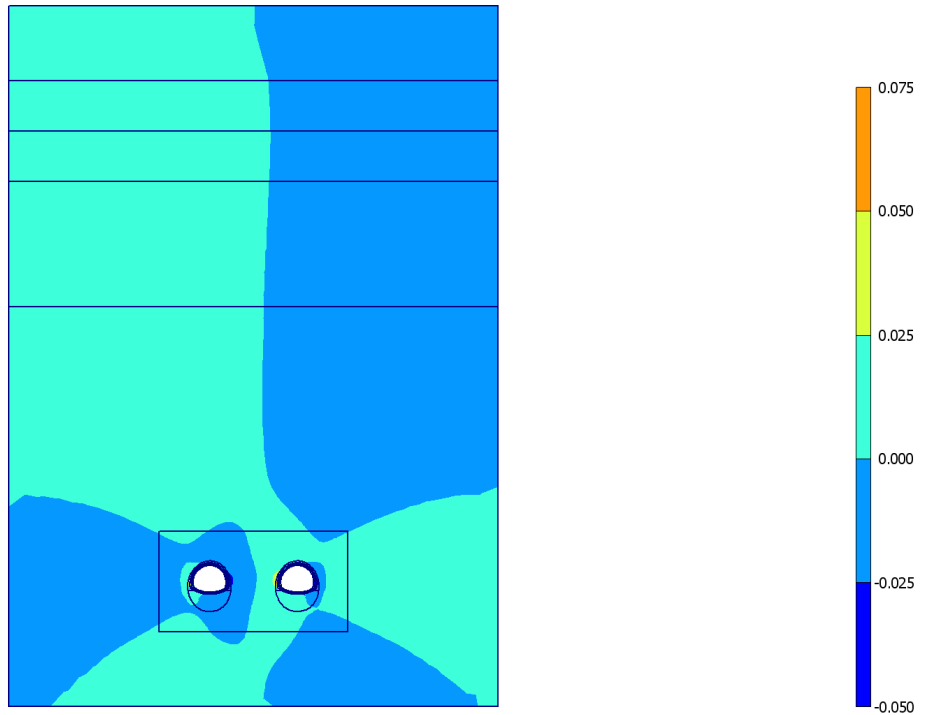


Fig. 22 Plot of horizontal displacements (shadings)  
- Step no: 85 - ( Phase: 14 )

#### 4.4.6. Plot of vertical displacements

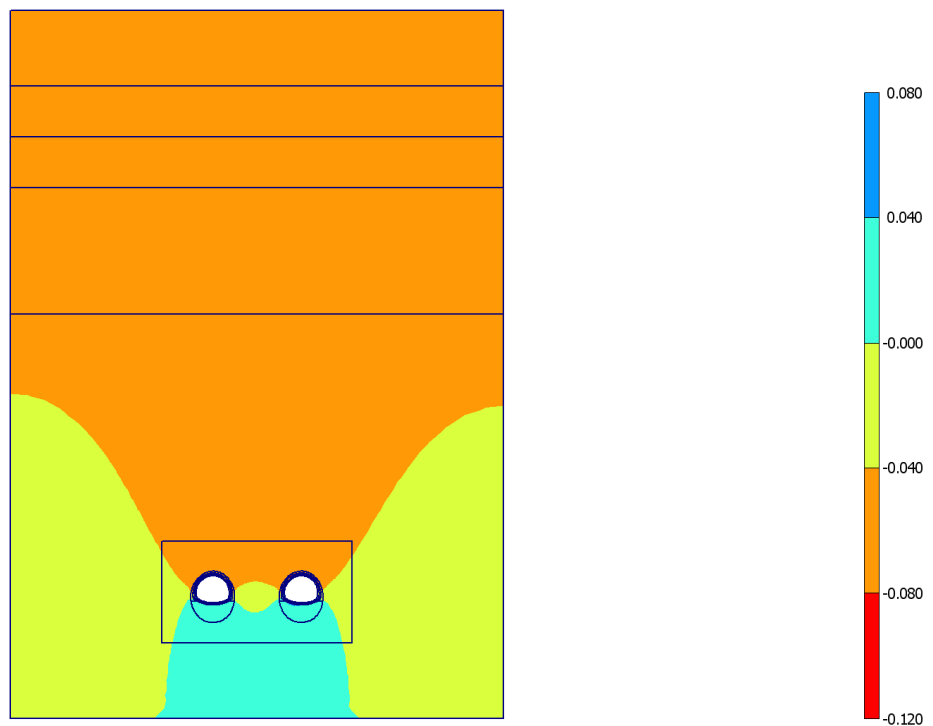
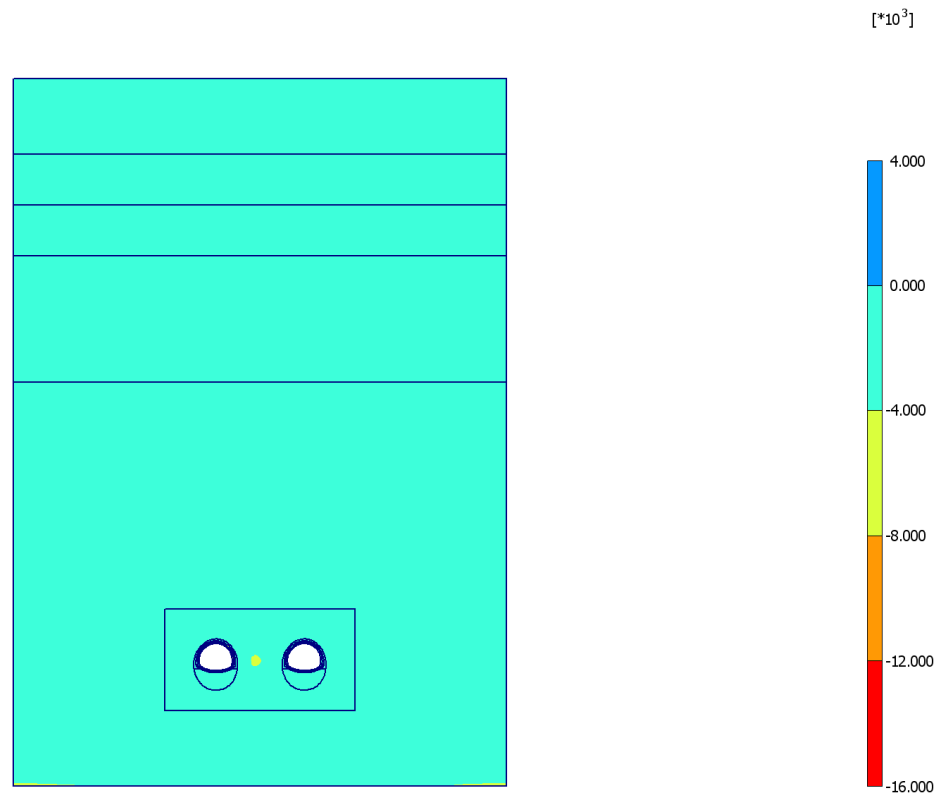


Fig. 23 Plot of vertical displacements (shadings)  
- Step no: 85 - ( Phase: 14 )

## 4.5. Stresses

### 4.5.7. Plot of total stresses



**Fig. 24 Plot of total stresses (mean shadings)**  
- Step no: 85 - ( Phase: 14 )

#### 4.5.8. Plot of plastic points

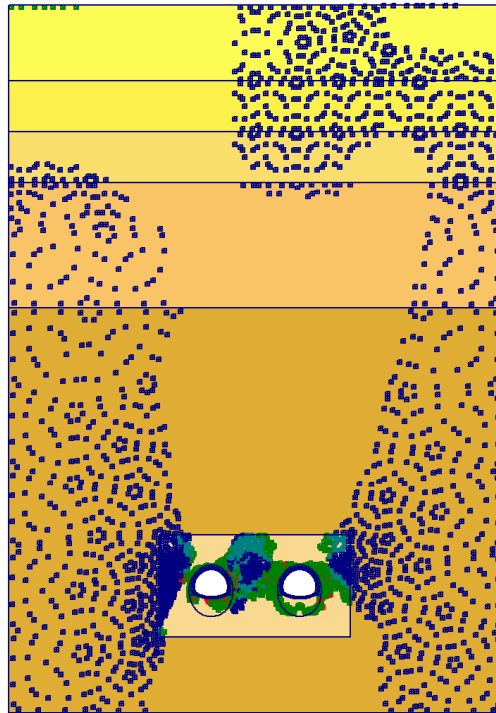


Fig. 14 Plot of plastic points  
- Step no: 85 - ( Phase: 14 )

### 4.6. Structures

#### 4.6.8. Beams

##### 4.6.8.3. Beams

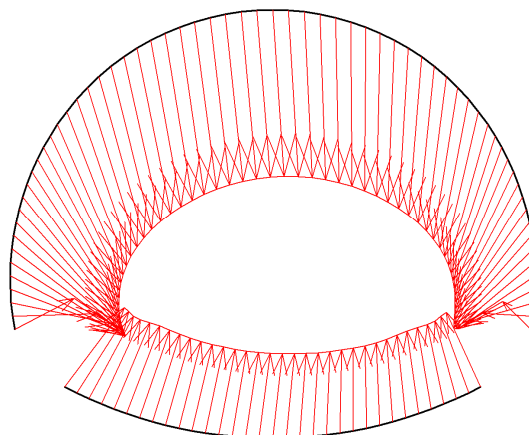
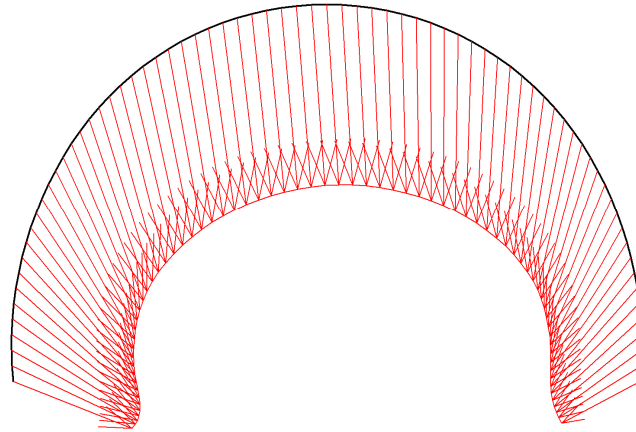
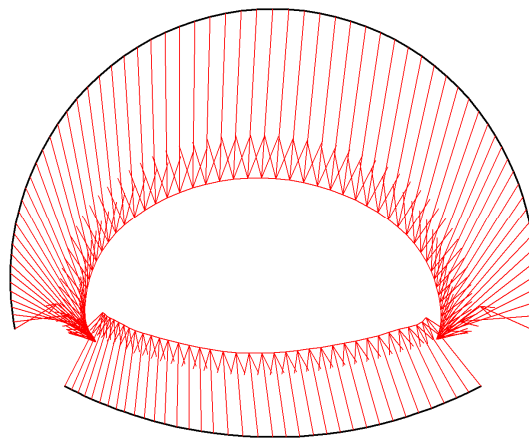


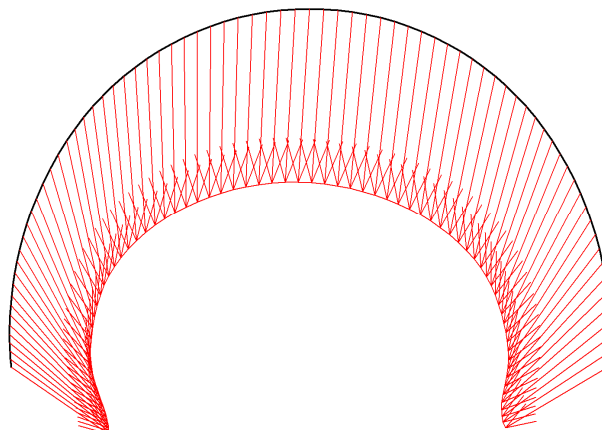
Fig. 25 Total displacements in beam  
Extreme value  $82,77 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 14)



**Fig. 26 Total displacements in beam**  
Extreme value  $83,10 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 14)

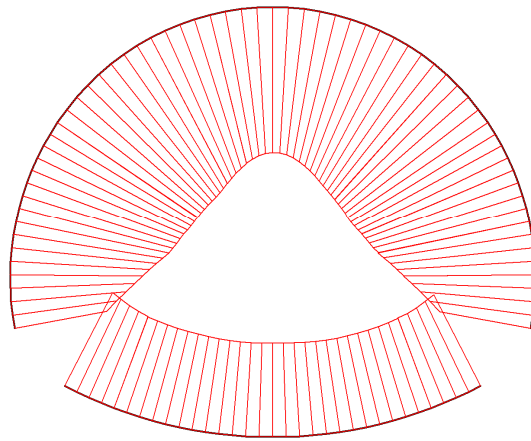


**Fig. 27 Total displacements in beam**  
Extreme value  $78,93 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 14)

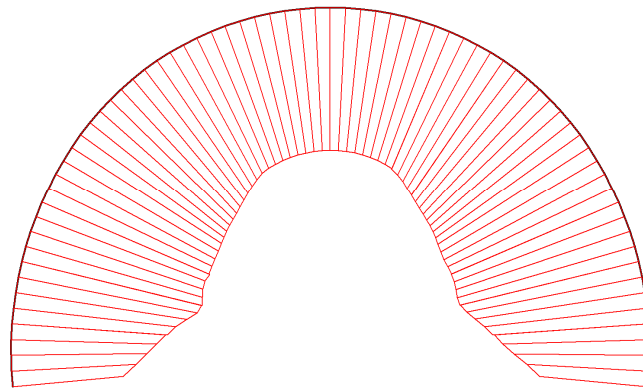


**Fig. 28 Total displacements in beam**  
Extreme value  $78,96 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 14)

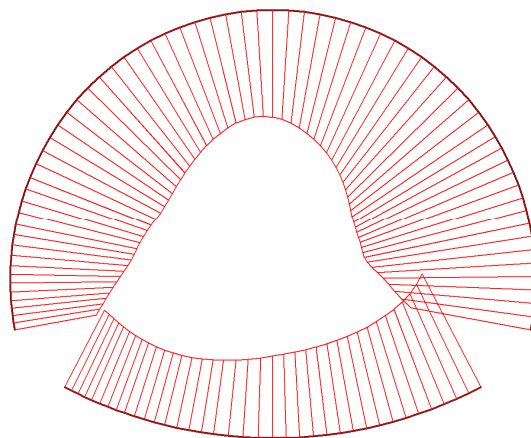
#### 4.6.8.4. Beams



**Fig. 29 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value  $-569,14 \cdot 10^{-9}$  kN/m (Phase: 14)

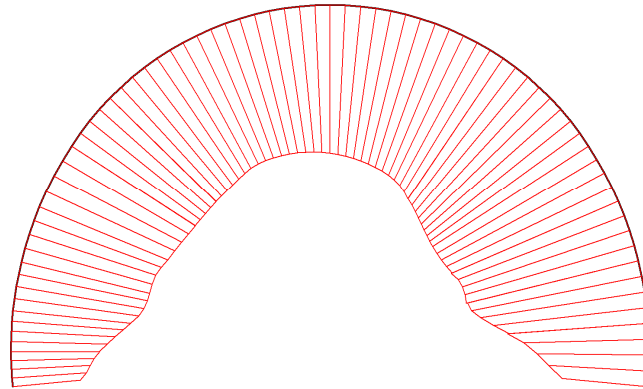


**Fig. 30 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value  $-4,37 \cdot 10^3$  kN/m (Phase: 14)

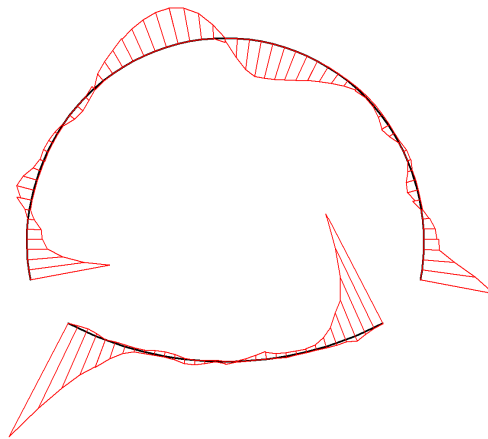


**Fig. 31 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value  $-876,37 \cdot 10^{-9}$  kN/m (Phase: 14)

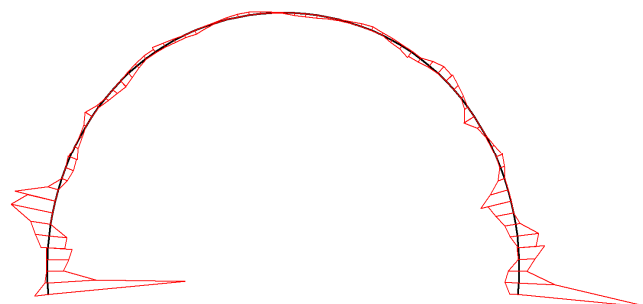




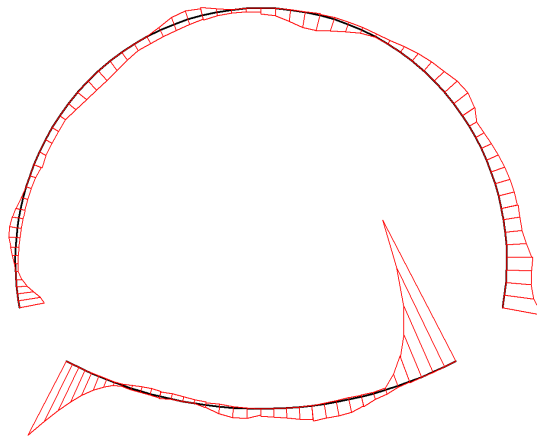
**Fig. 32 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value  $-4,73 \cdot 10^3$  kN/m (Phase: 14)



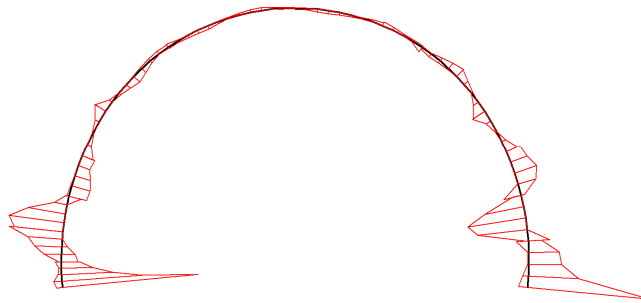
**Fig. 33 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value  $47,68 \cdot 10^{-9}$  kN/m (Phase: 14)



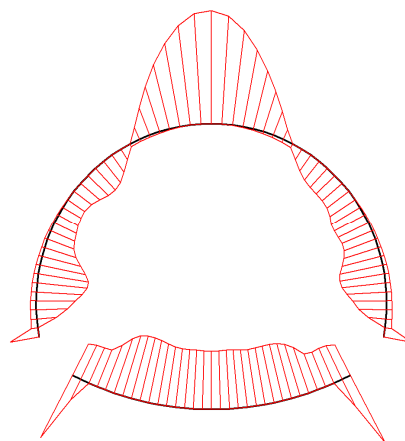
**Fig. 34 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value  $-297,21$  kN/m (Phase: 14)



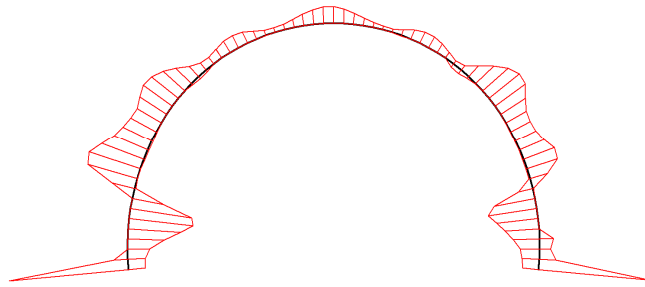
**Fig. 35 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value  $-132,84 \cdot 10^{-9}$  kN/m (Phase: 14)



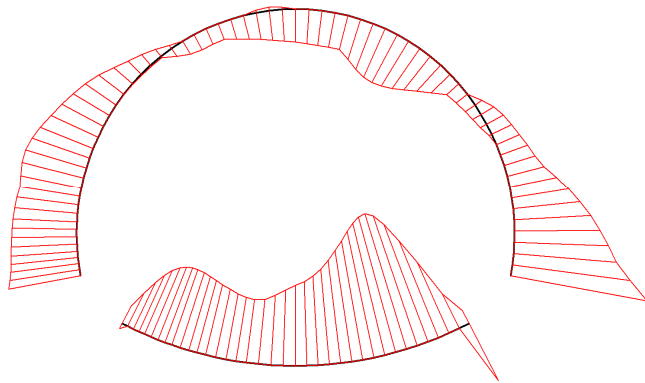
**Fig. 36 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value  $-292,71$  kN/m (Phase: 14)



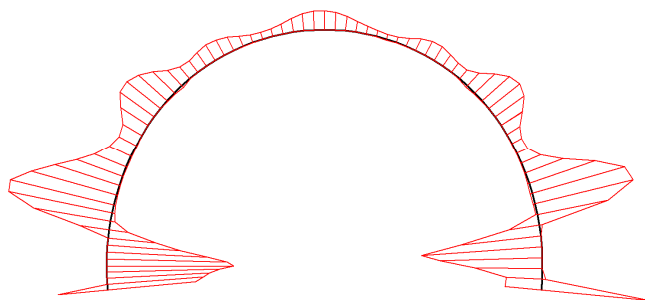
**Fig. 37 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value  $35,53 \cdot 10^{-9}$  kN/m/m (Phase: 14)



**Fig. 38 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value 81,98 kN/m/m (Phase: 14)



**Fig. 39 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value  $73,46 \cdot 10^{-9}$  kN/m/m (Phase: 14)

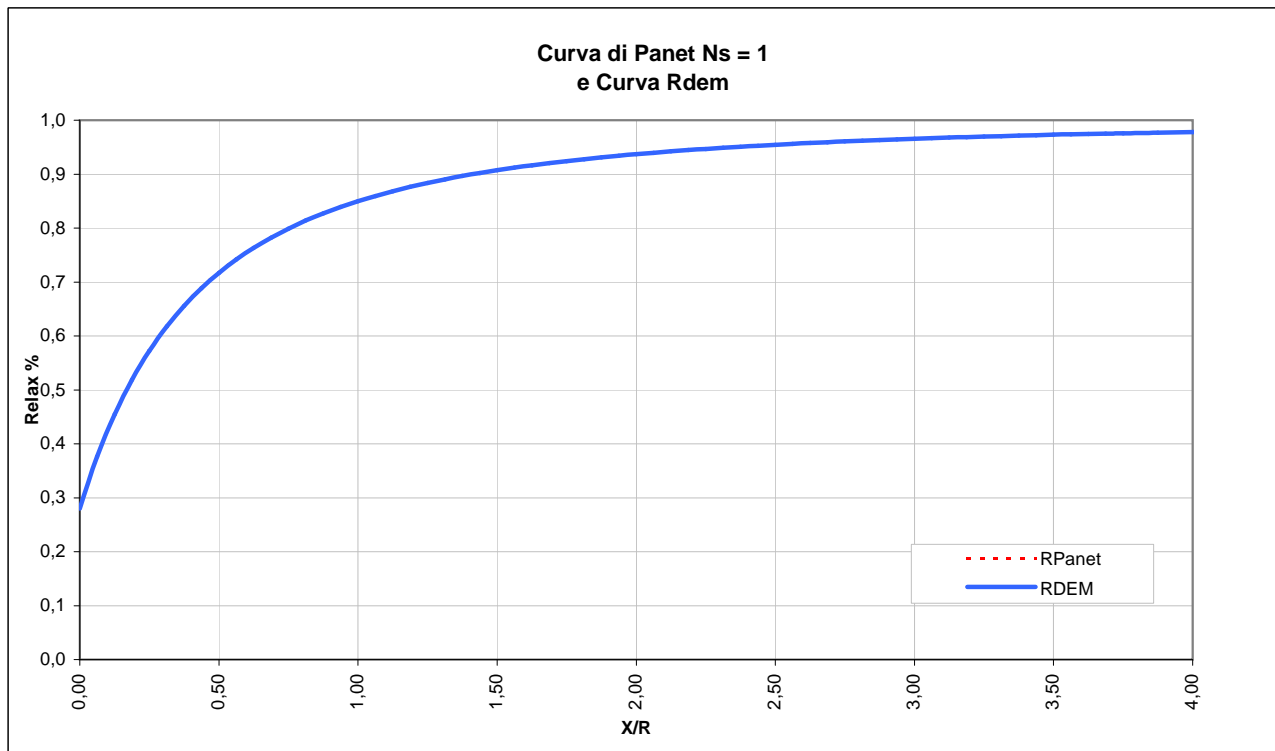


**Fig. 40 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value 78,46 kN/m/m (Phase: 14)

**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

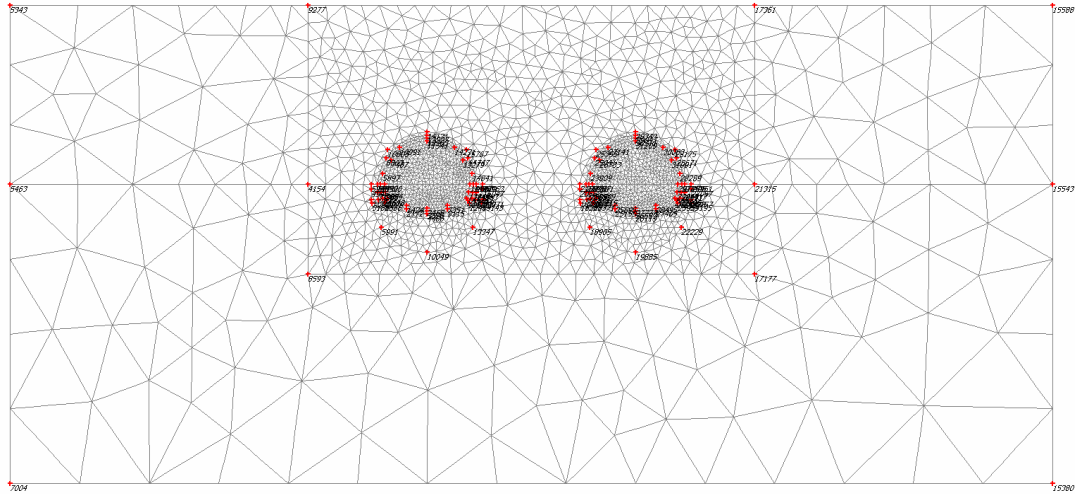


Fig. 1 Plot of the mesh with significant nodes

## 2. Material data

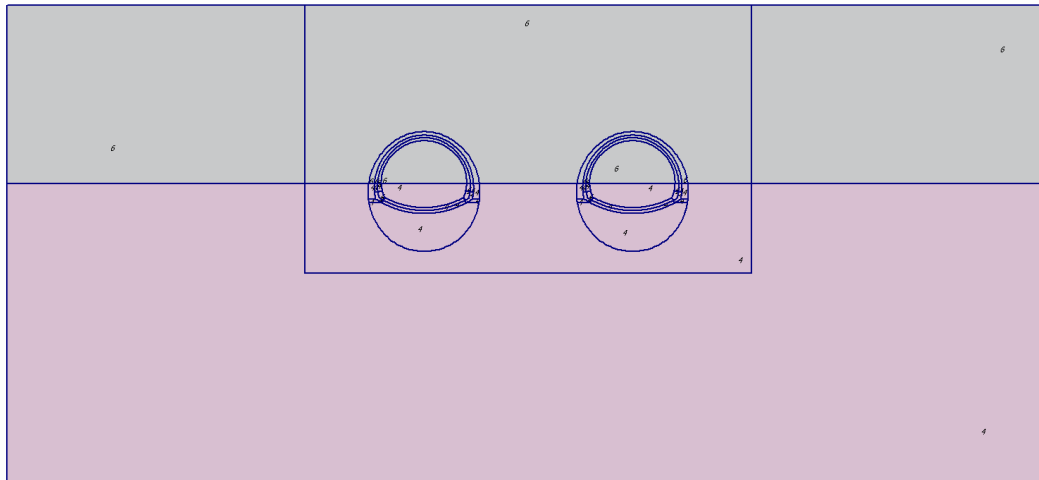


Fig. 2 Plot of geometry with material data sets

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

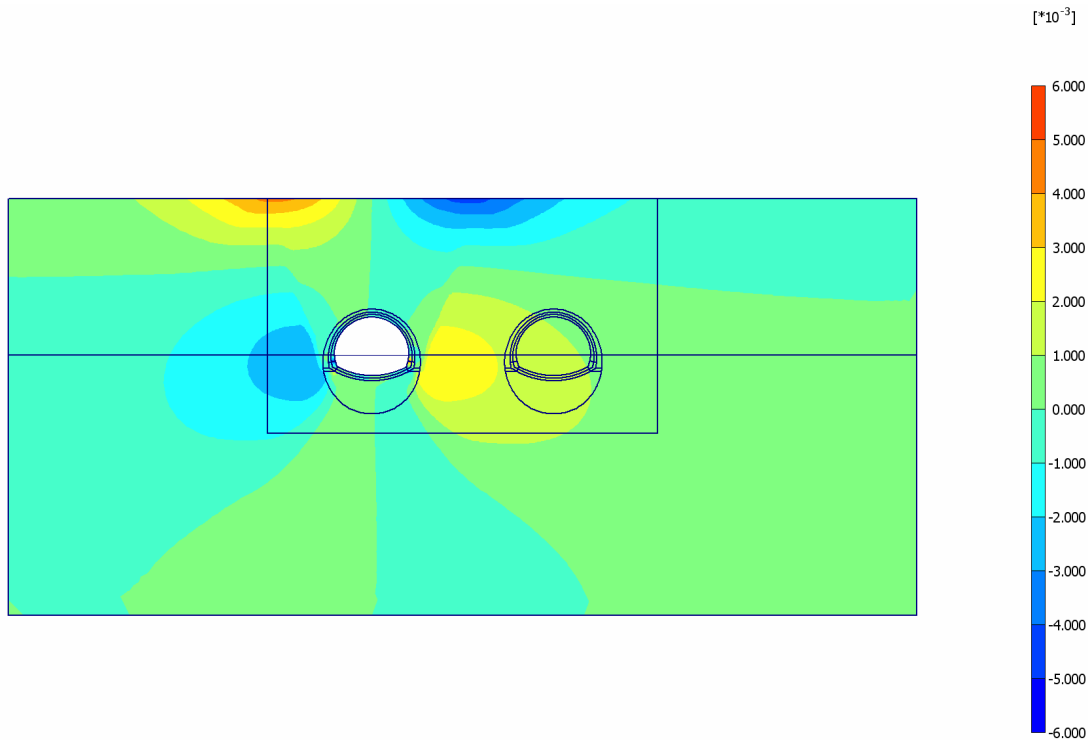


Fig. 3 Plot of horizontal displacements (shadings)  
- Step no: 84 - ( Phase: 14 )

##### 3.1.2. Plot of vertical displacements

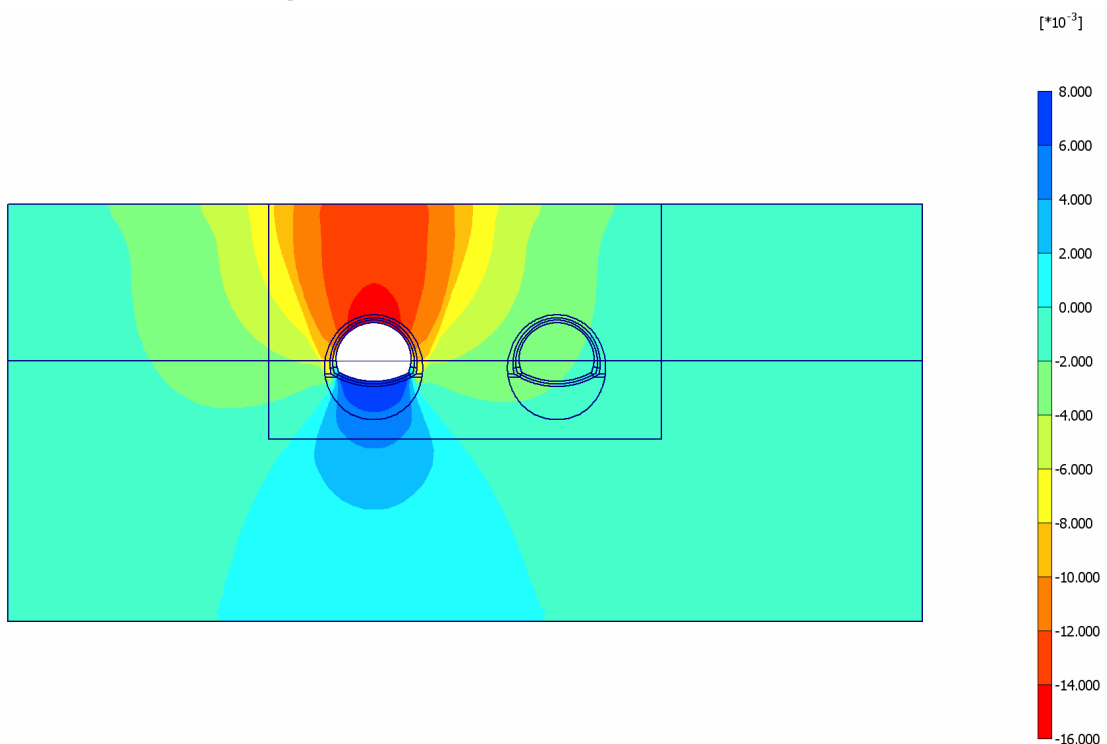


Fig. 4 Plot of vertical displacements (shadings)  
- Step no: 84 - ( Phase: 14 )

### 3.2. Stresses

#### 3.2.3. Plot of total stresses

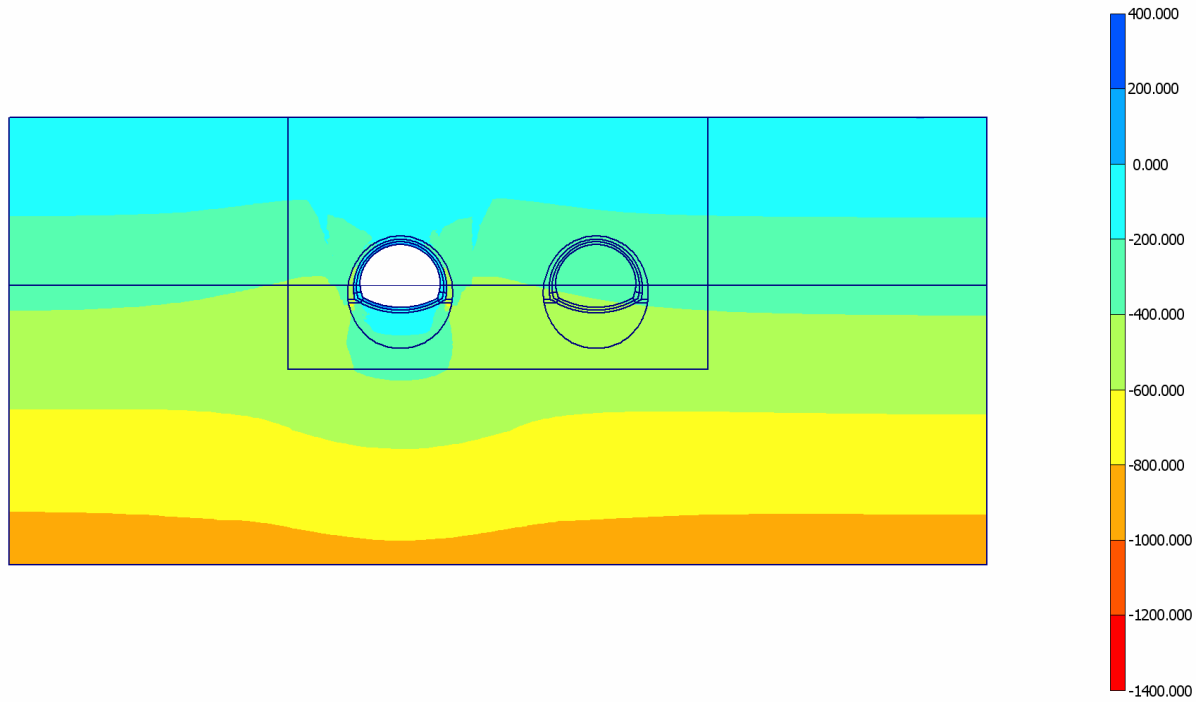
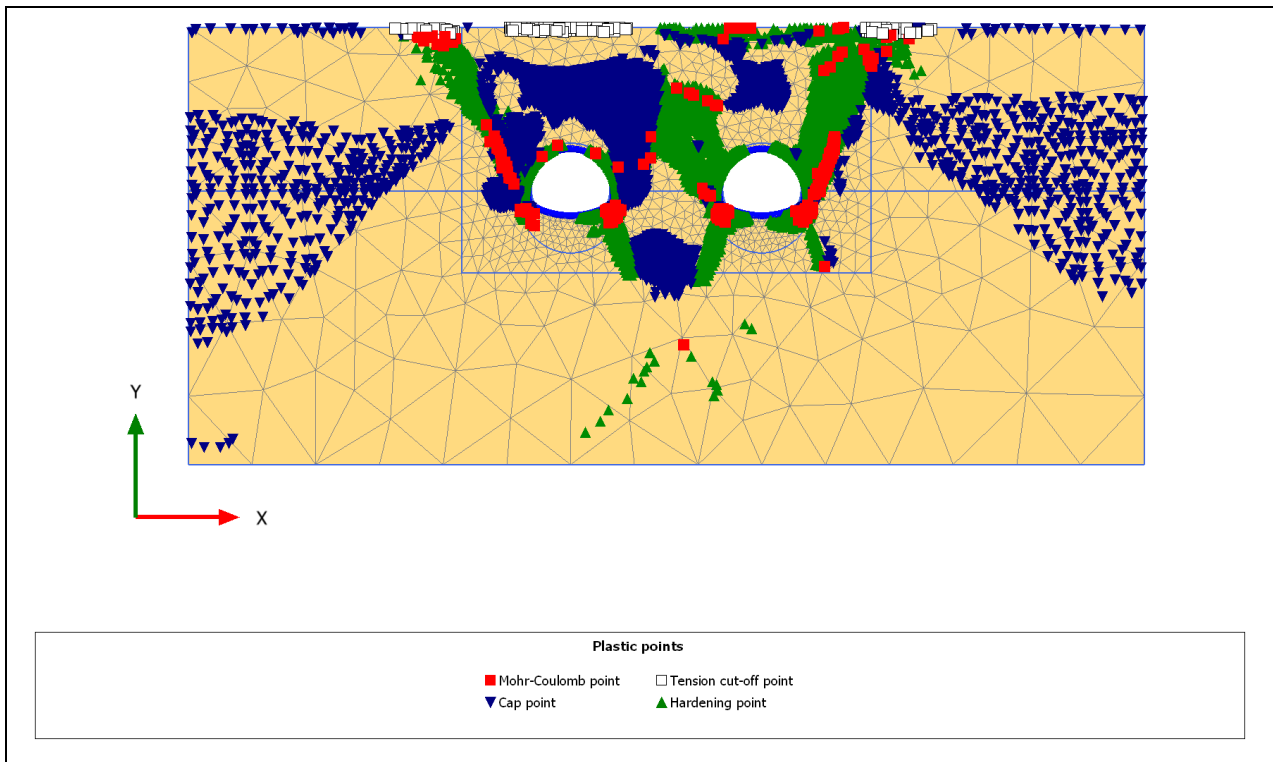


Fig. 5 Plot of total stresses (mean shadings)  
- Step no: 84 - ( Phase: 14 )

#### 3.2.4. Plot of plastic points

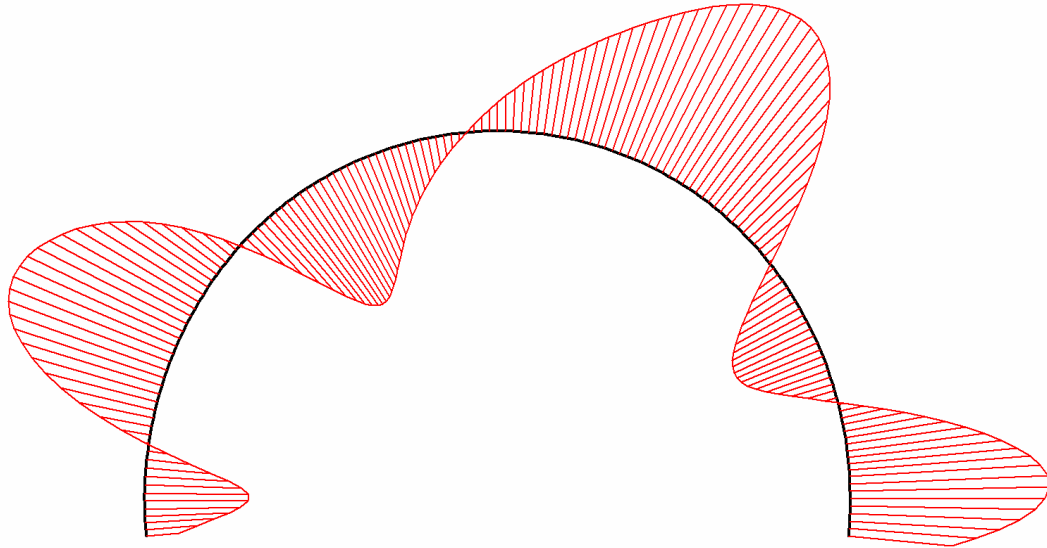




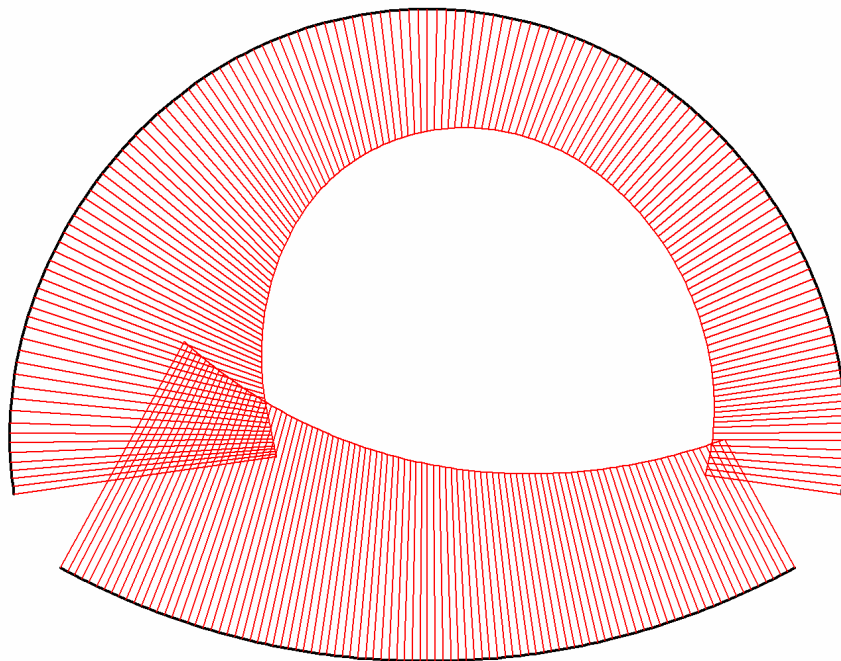
### 3.3. Structures

#### 3.3.4. Beams

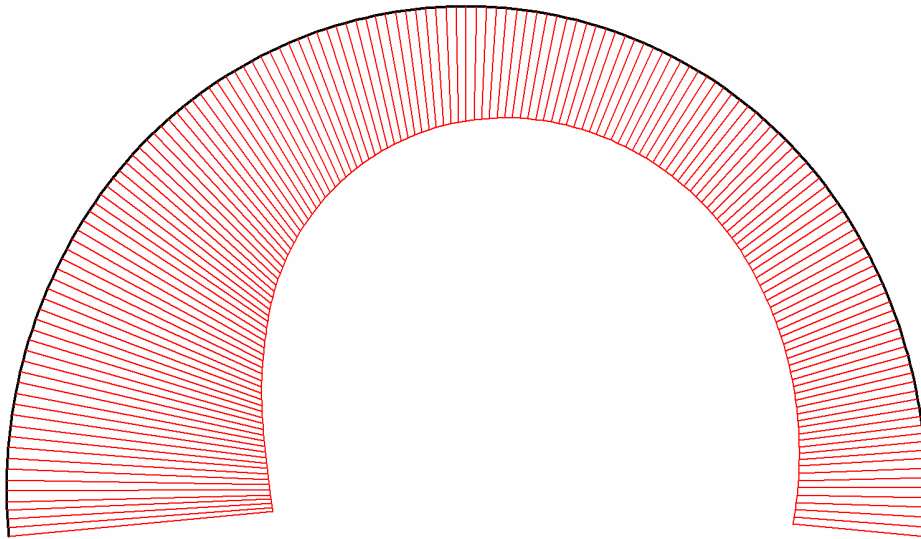
##### 3.3.4.1. Beams



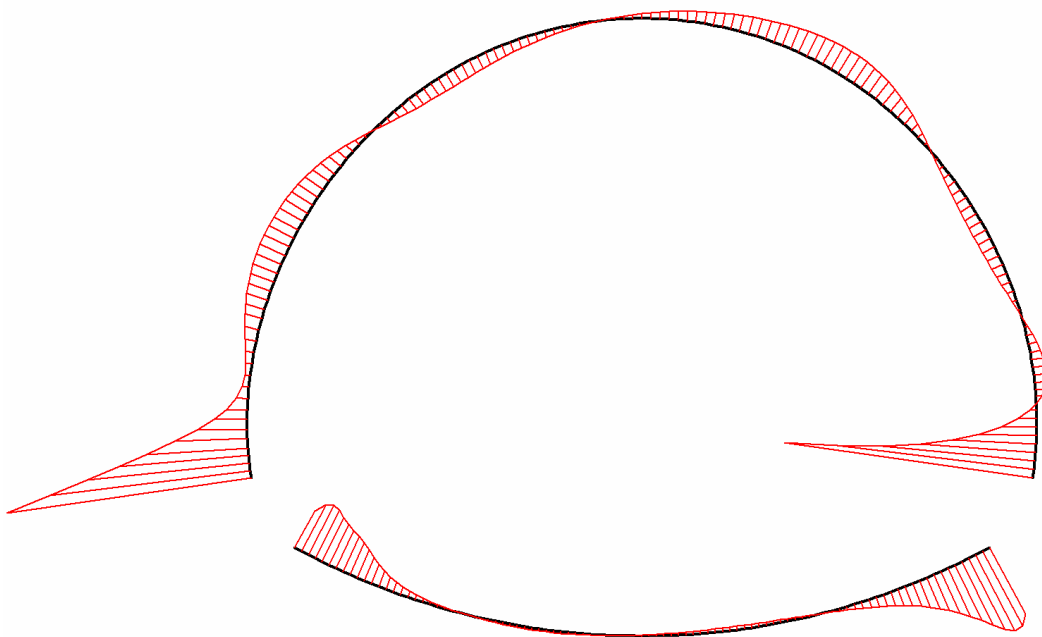
**Fig. 6 Horizontal displacements in beam**  
Extreme value  $-497,53 \cdot 10^{-6}$  m (Phase: 14)



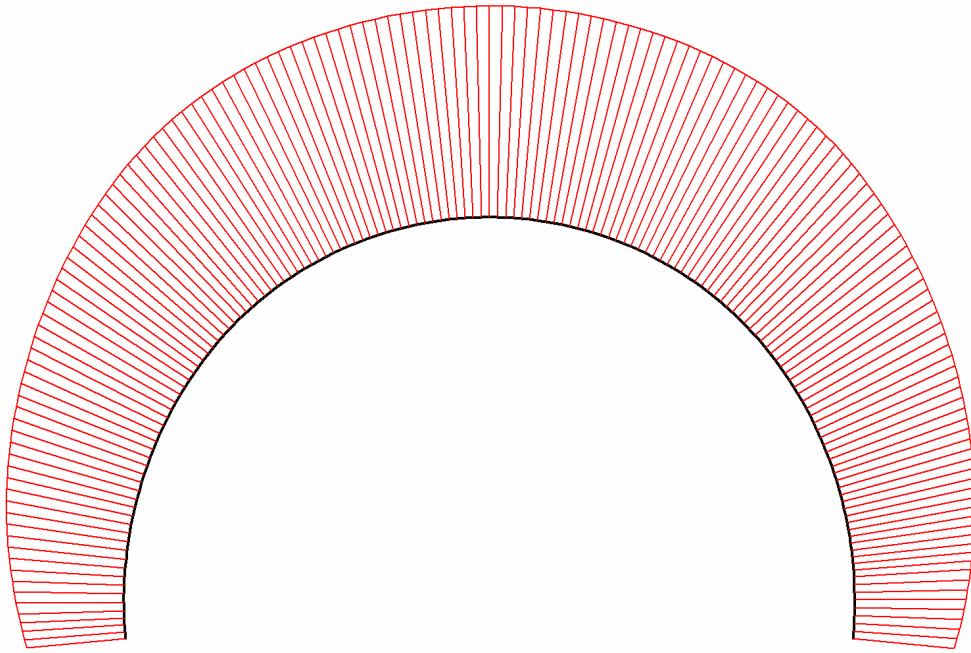
**Fig. 7 Horizontal displacements in beam**  
Extreme value  $1,78 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 14)



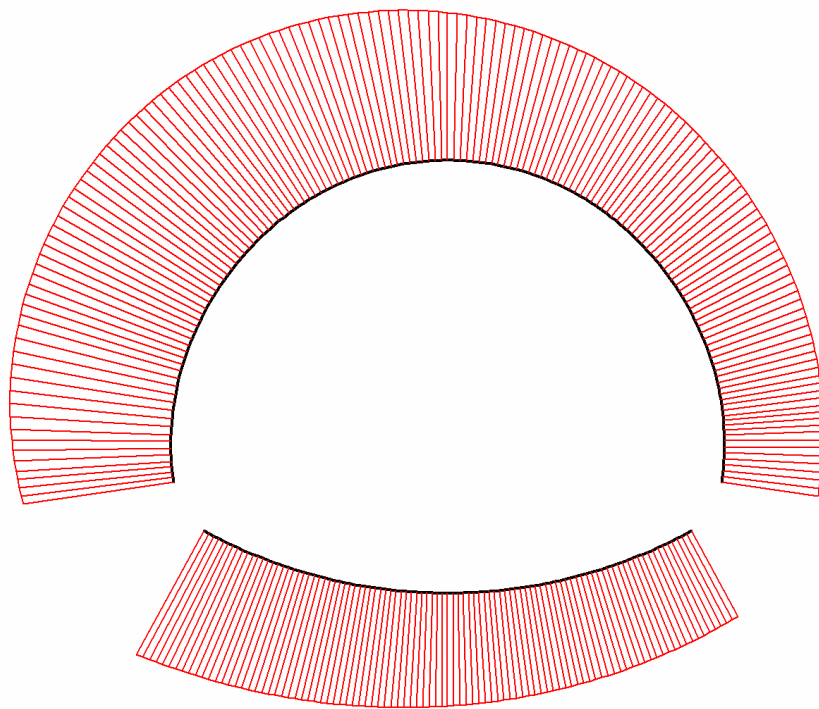
**Fig. 8 Horizontal displacements in beam**  
Extreme value  $1,82 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 14)



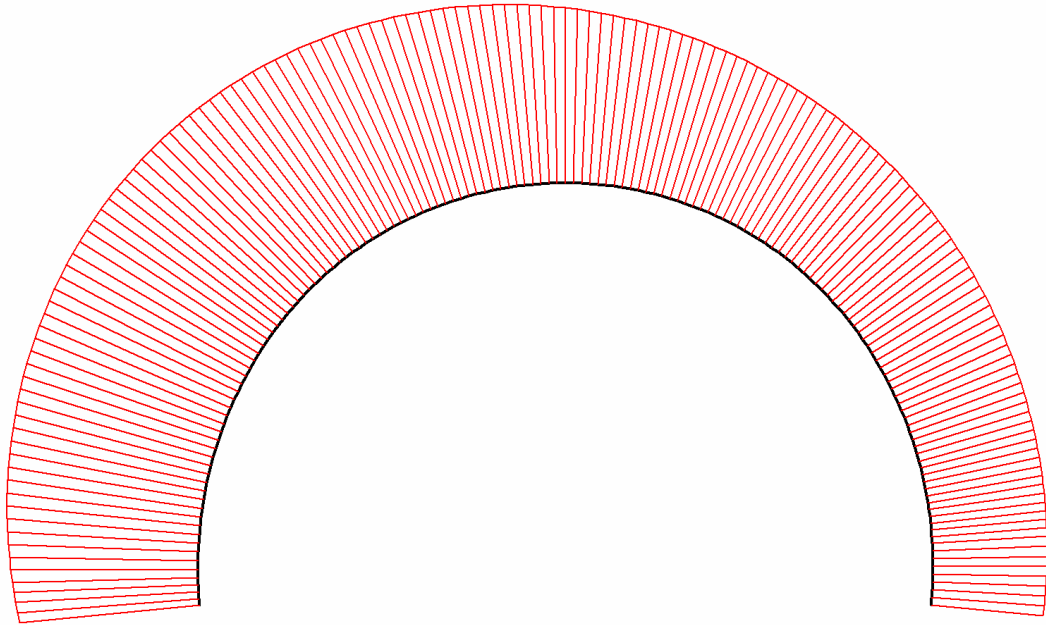
**Fig. 9 Horizontal displacements in beam**  
Extreme value  $3,84 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 14)



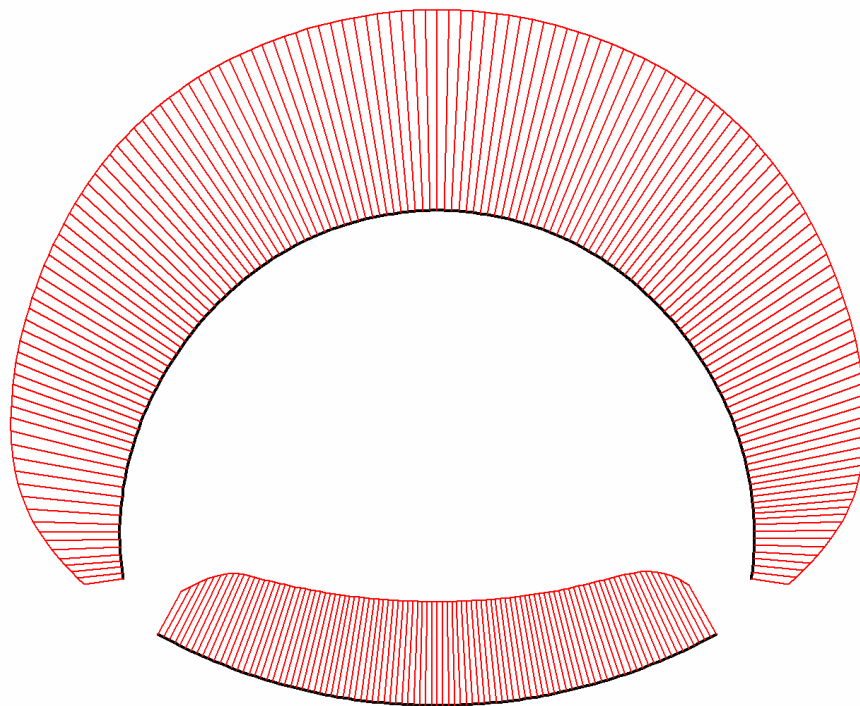
**Fig. 10 Vertical displacements in beam**  
Extreme value  $-15,33 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 14)



**Fig. 11 Vertical displacements in beam**  
Extreme value  $-3,11 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 14)

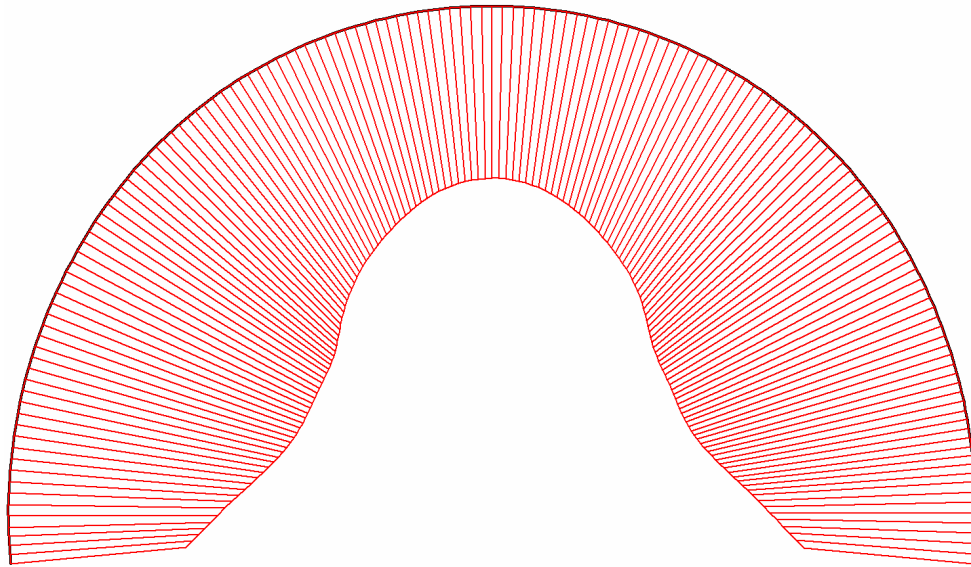


**Fig. 12 Vertical displacements in beam**  
Extreme value  $-3,19 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 14)

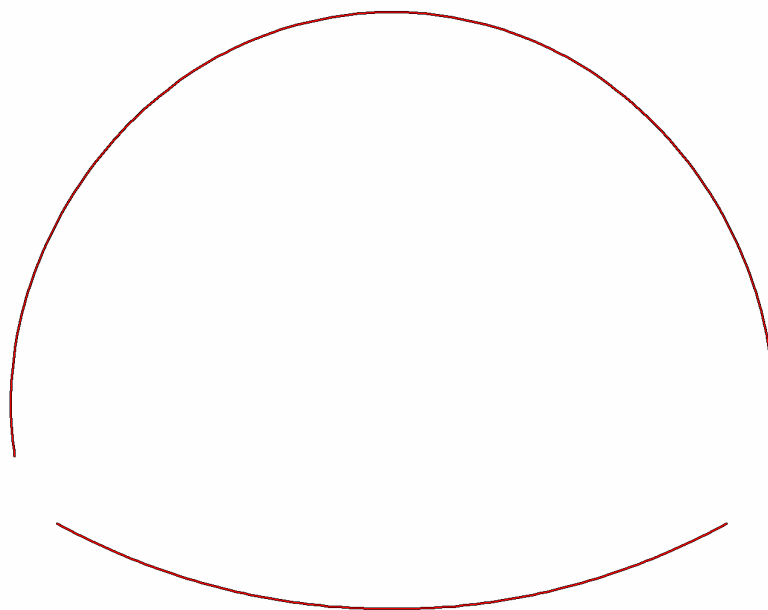


**Fig. 13 Vertical displacements in beam**  
Extreme value  $-15,33 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 14)

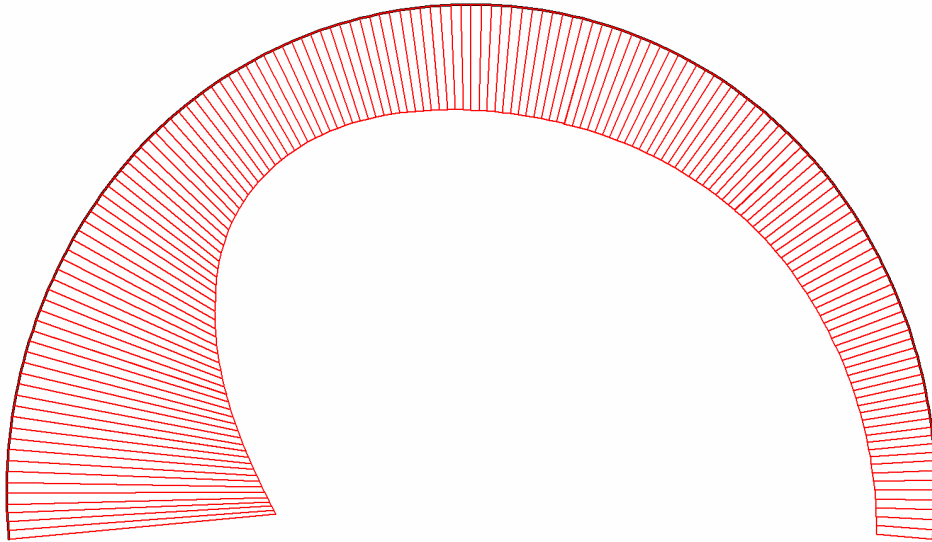
### 3.3.4.2. Beams



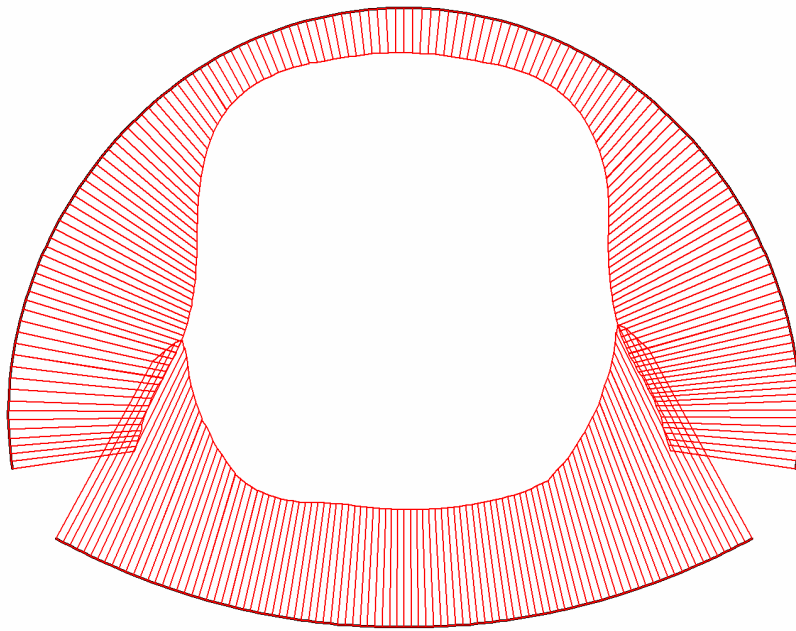
**Fig. 14 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value  $-1,17 \cdot 10^3$  kN/m (Phase: 14)



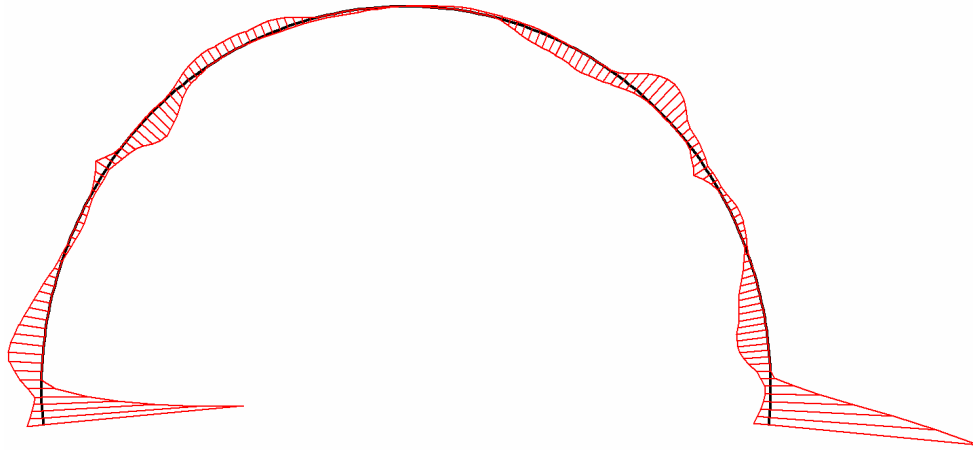
**Fig. 15 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value 0,00 kN/m (Phase: 14)



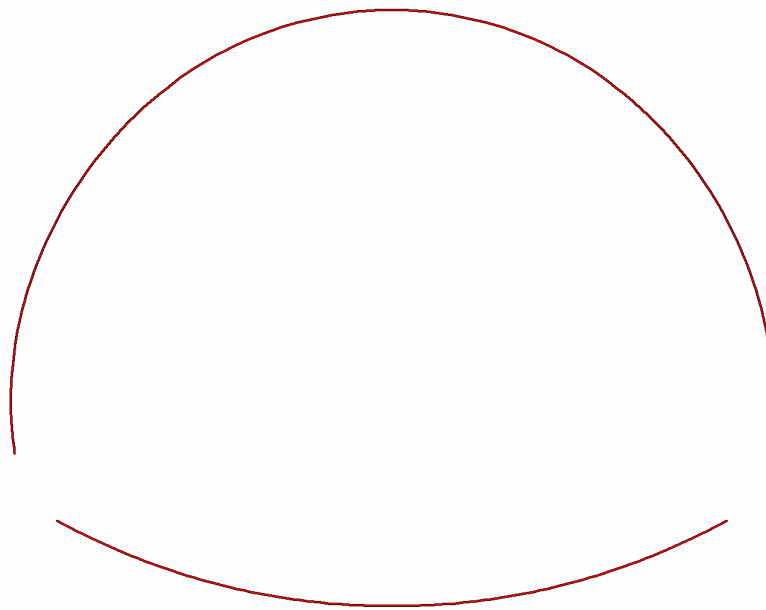
**Fig. 16 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value  $-114,06 \cdot 10^{-15}$  kN/m (Phase: 14)



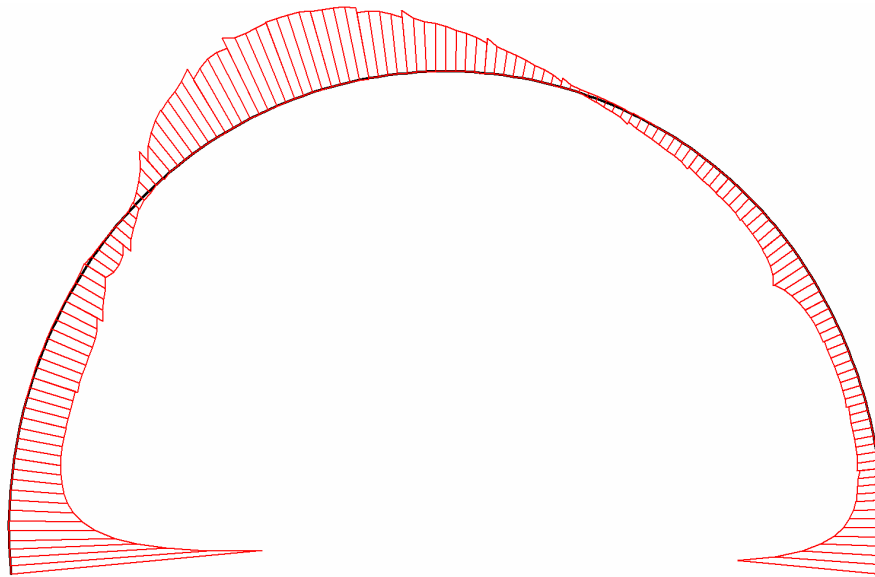
**Fig. 17 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value  $-23,86 \cdot 10^{-9}$  kN/m (Phase: 14)



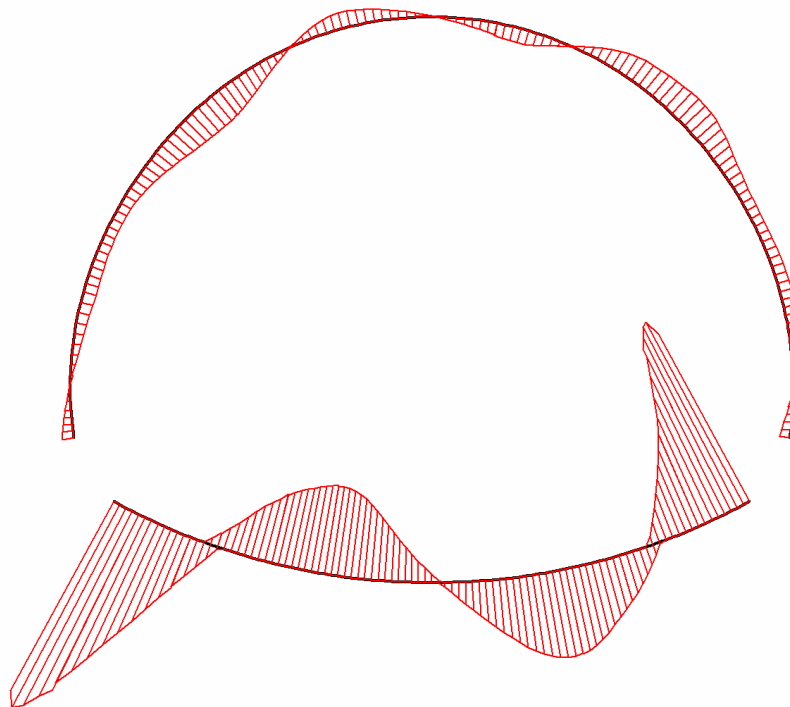
**Fig. 18 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value 57,08 kN/m (Phase: 14)



**Fig. 19 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value 0,00 kN/m (Phase: 14)

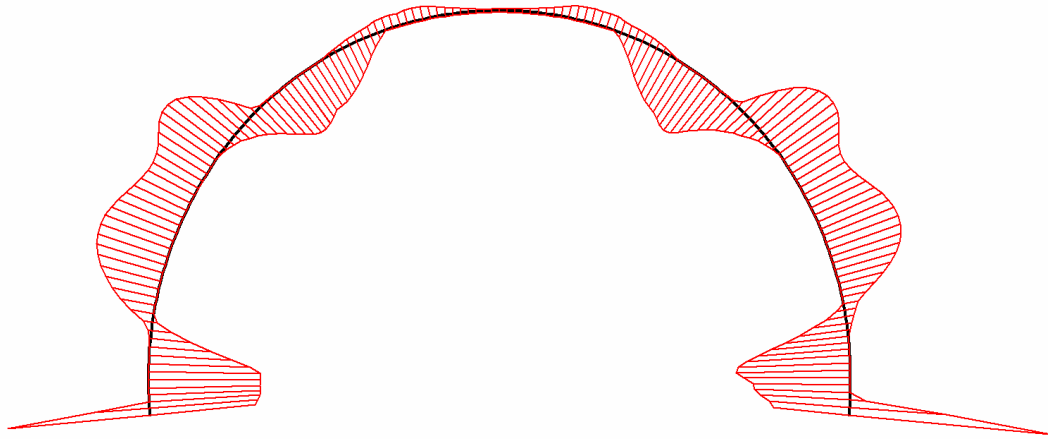


**Fig. 20 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value  $-1,02 \times 10^{-15}$  kN/m (Phase: 14)

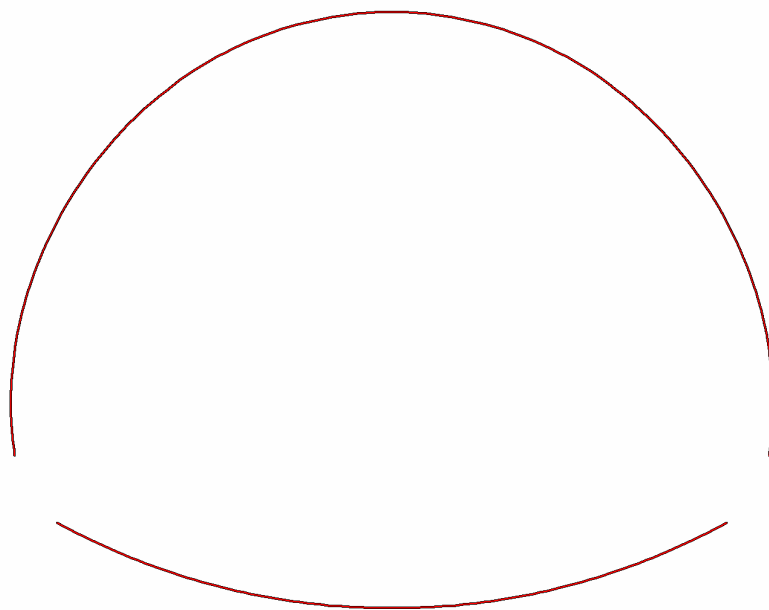


**Fig. 21 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value  $8,12 \times 10^{-9}$  kN/m (Phase: 14)

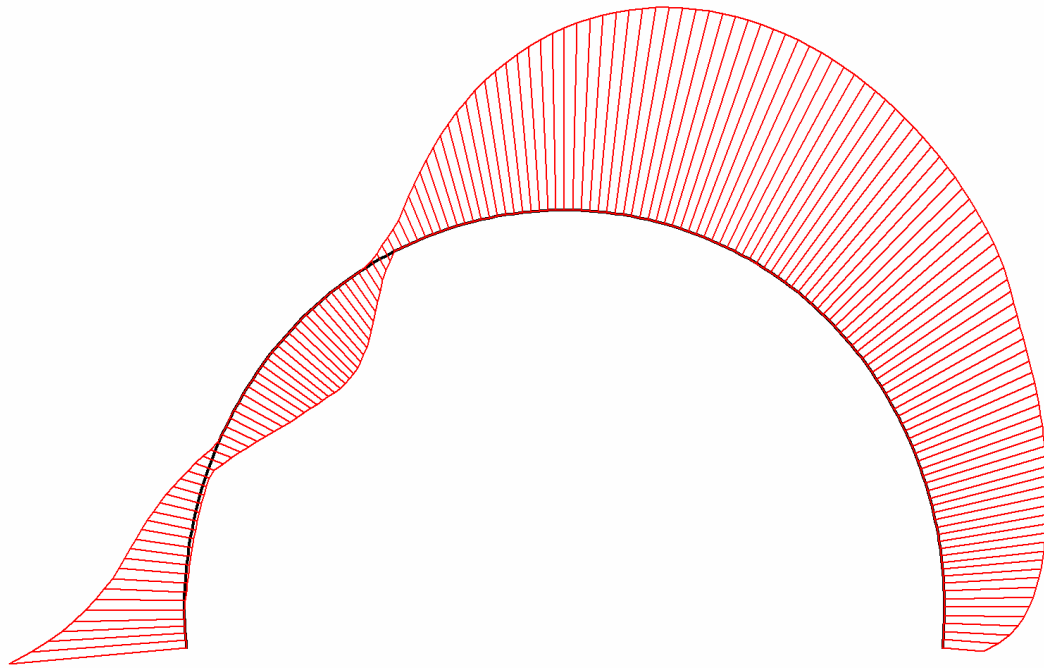




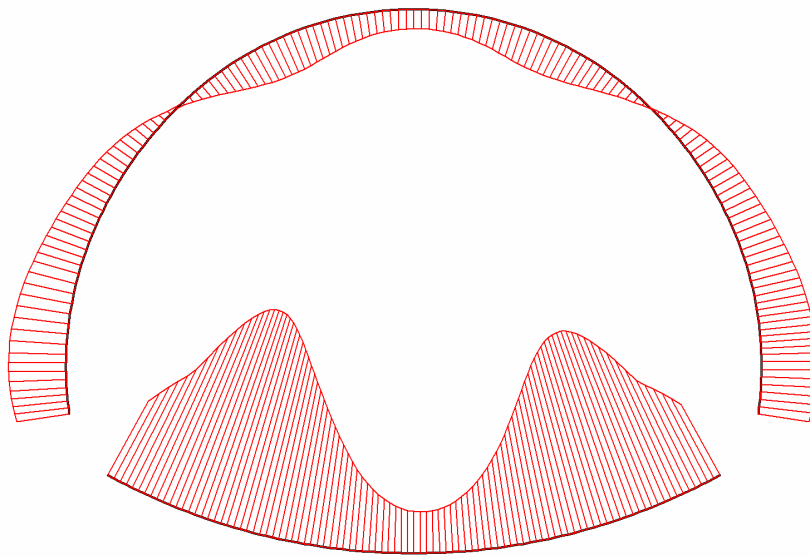
**Fig. 22 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value 17,38 kN/m/m (Phase: 14)



**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)

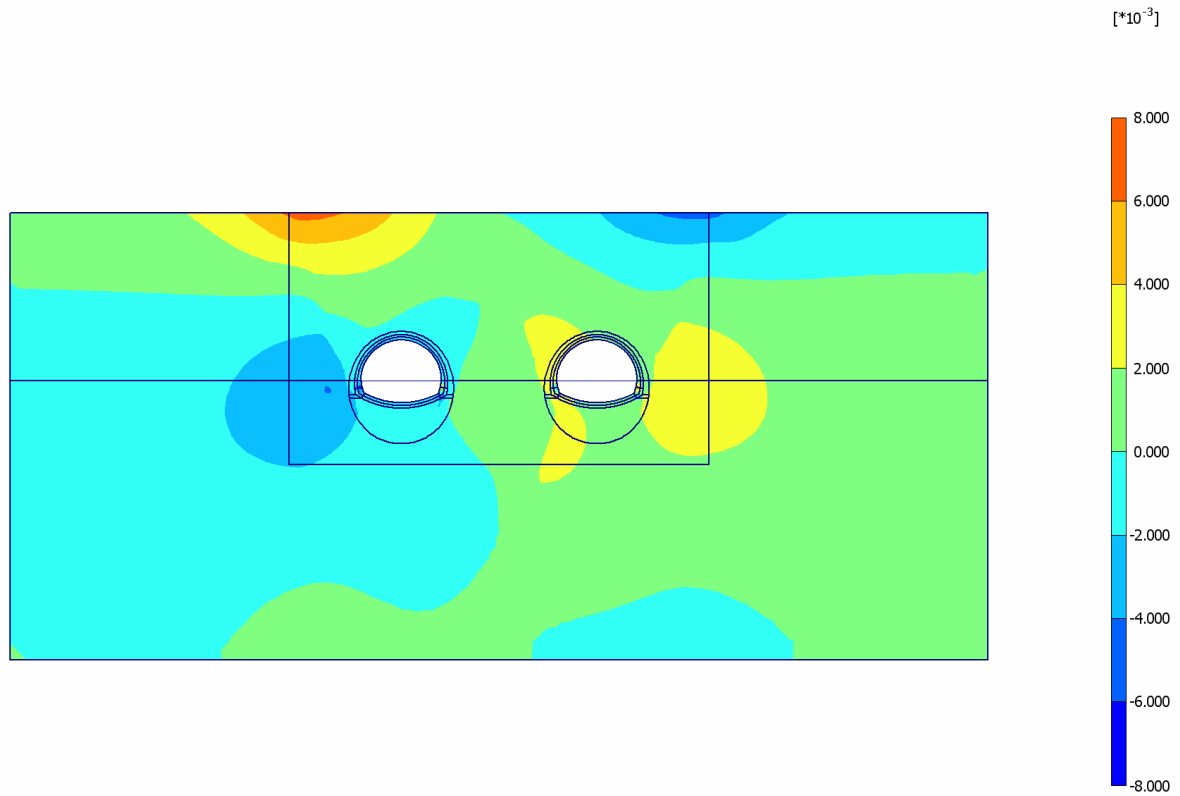


**Fig. 25 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value  $12,07 \cdot 10^{-9}$  kN/m/m (Phase: 14)

## 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

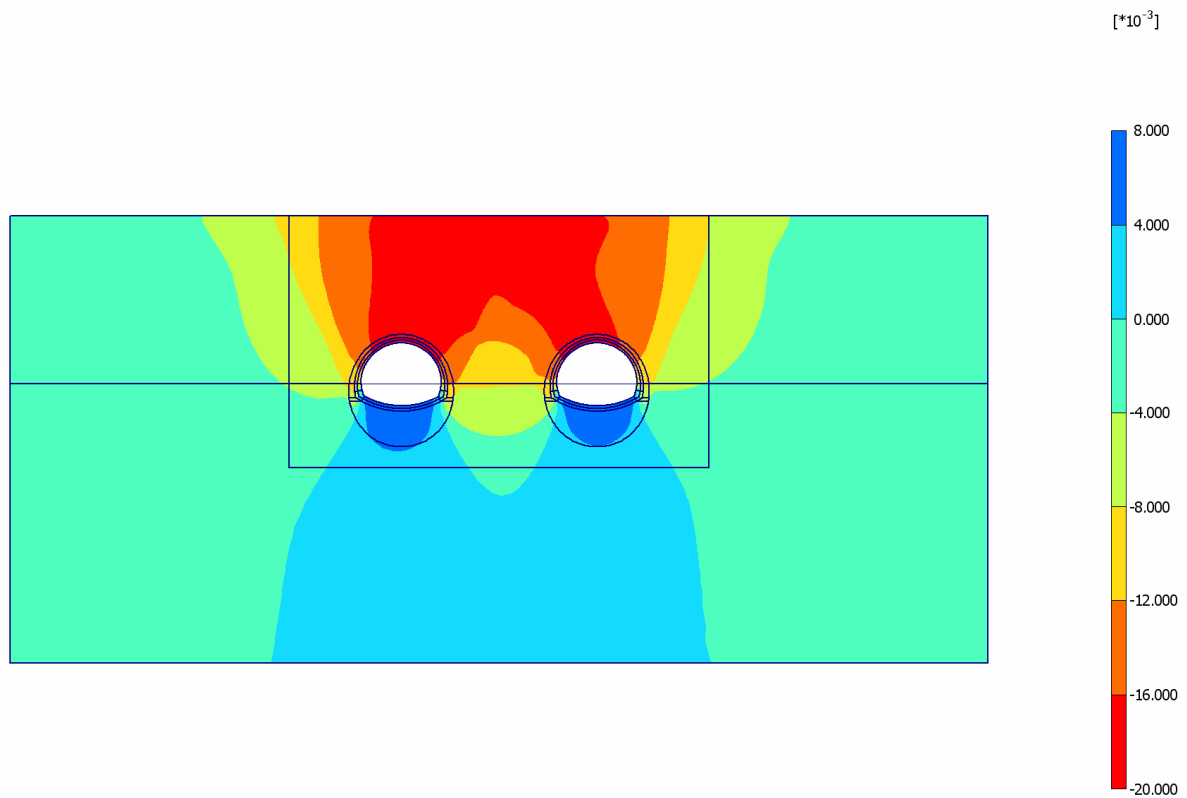


Fig. 27 Plot of vertical displacements (shadings)  
- Step no: 145 - ( Phase: 13 )

## 4.5. Stresses

### 4.5.7. Plot of total stresses

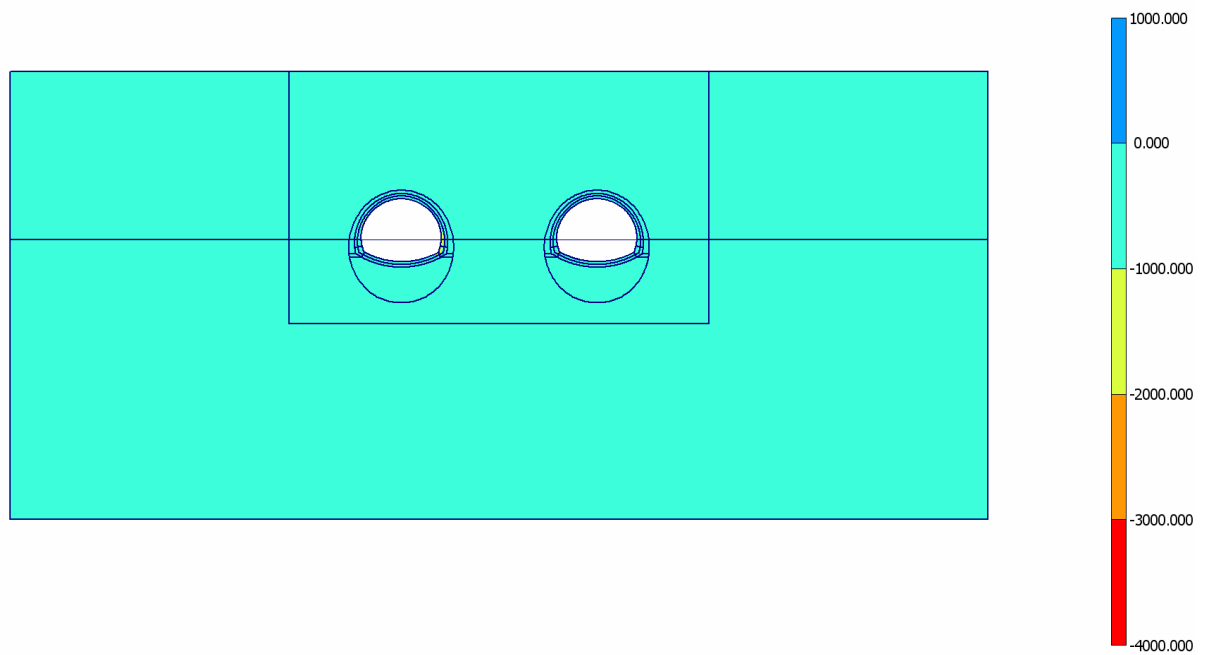
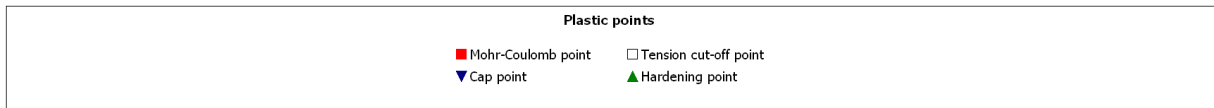
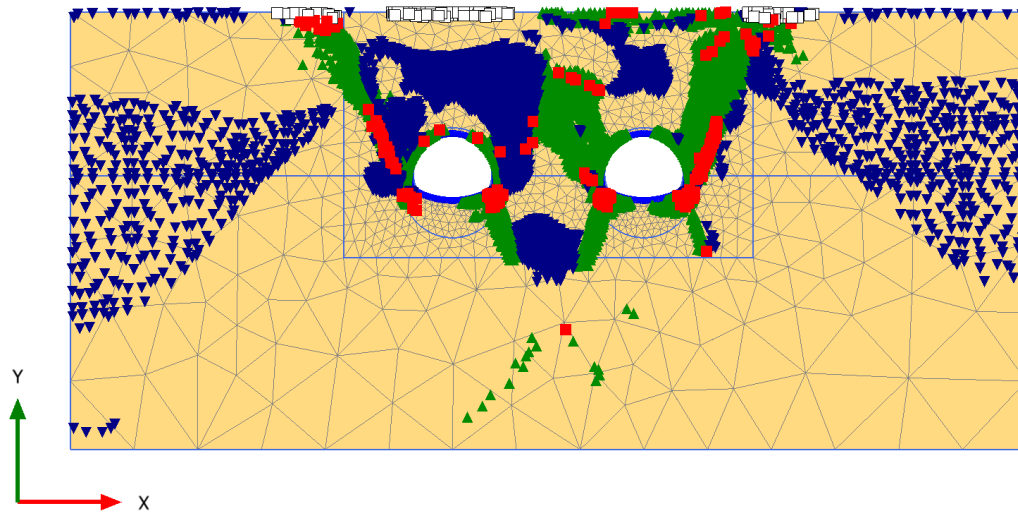


Fig. 28 Plot of total stresses (mean shadings)  
- Step no: 145 - ( Phase: 13 )

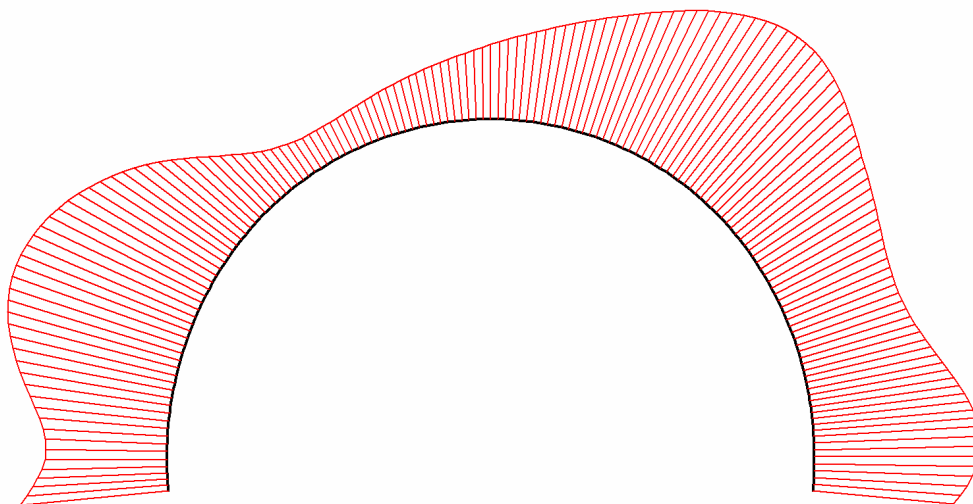
### 4.5.8. Plot of plastic points



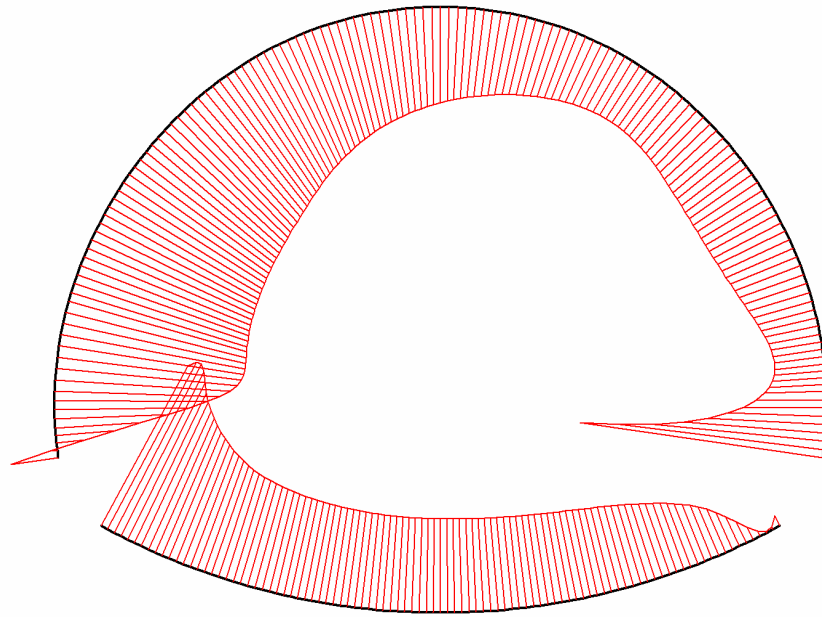
## 4.6. Structures

### 4.6.8. Beams

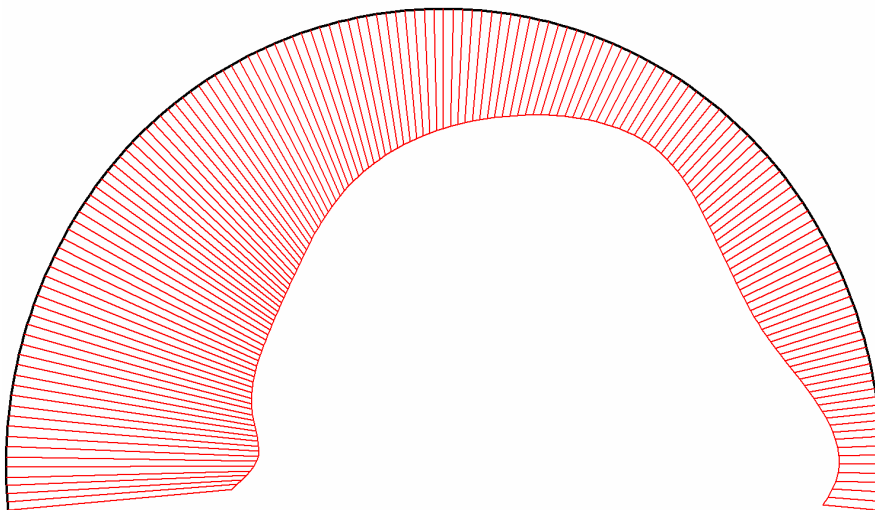
#### 4.6.8.3. Beams



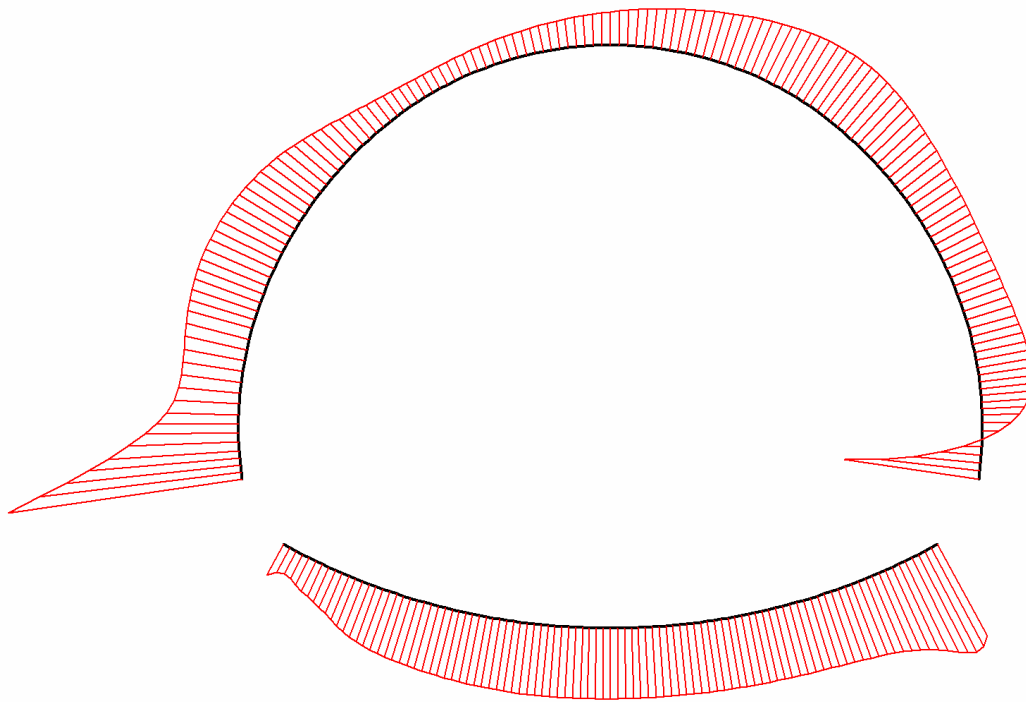
**Fig. 29 Horizontal displacements in beam**  
Extreme value  $-1,55 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 13)



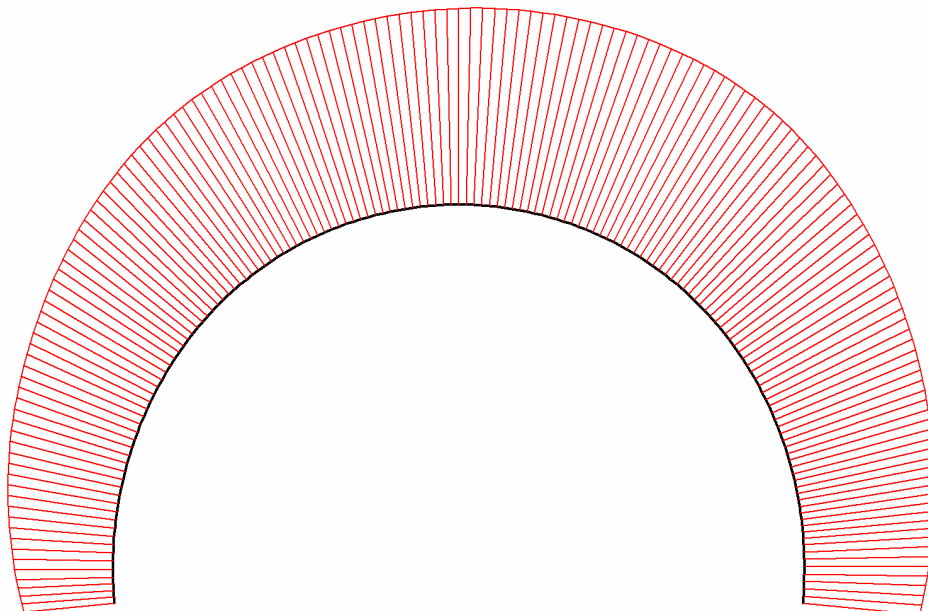
**Fig. 30 Horizontal displacements in beam**  
Extreme value  $4,54 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 13)



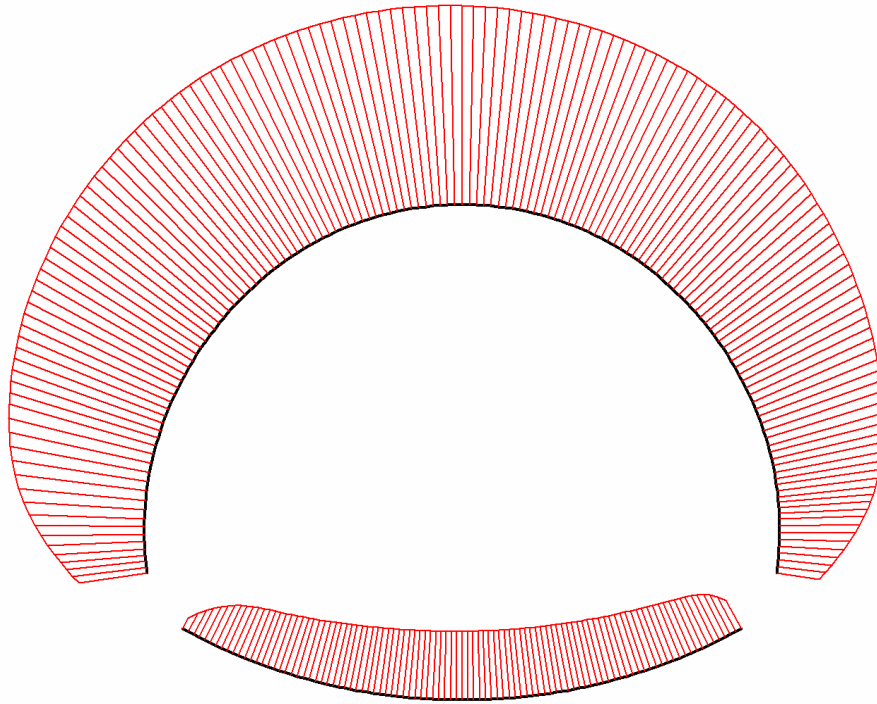
**Fig. 31 Horizontal displacements in beam**  
Extreme value  $3,60 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 13)



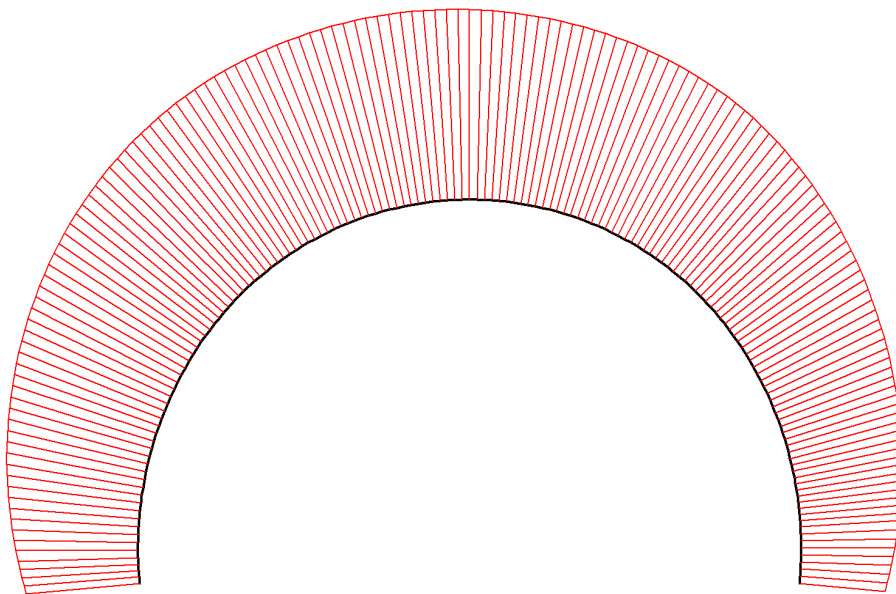
**Fig. 32 Horizontal displacements in beam**  
Extreme value  $-5,09 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 13)



**Fig. 33 Vertical displacements in beam**  
Extreme value  $-19,11 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 13)

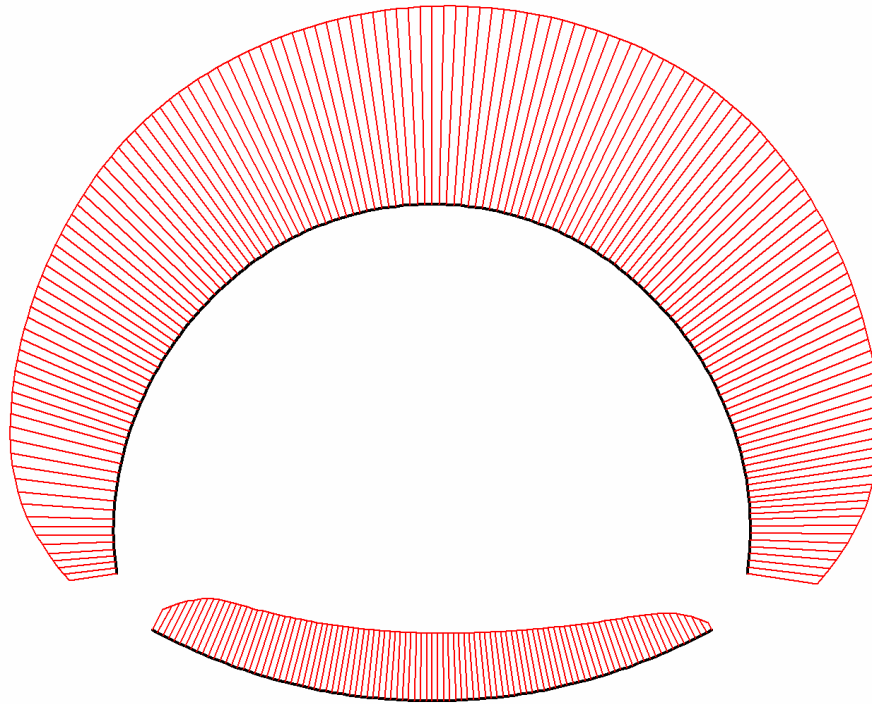


**Fig. 34 Vertical displacements in beam**  
Extreme value  $-17,54 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 13)



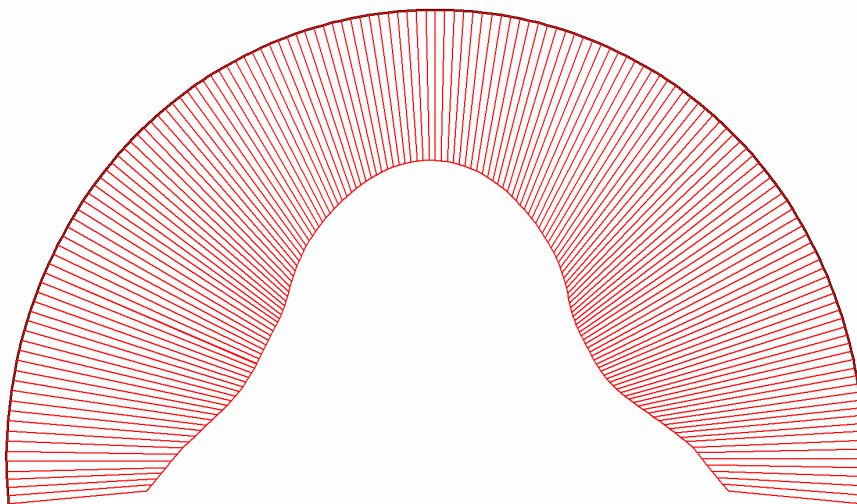
**Fig. 35 Vertical displacements in beam**  
Extreme value  $-17,55 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 13)



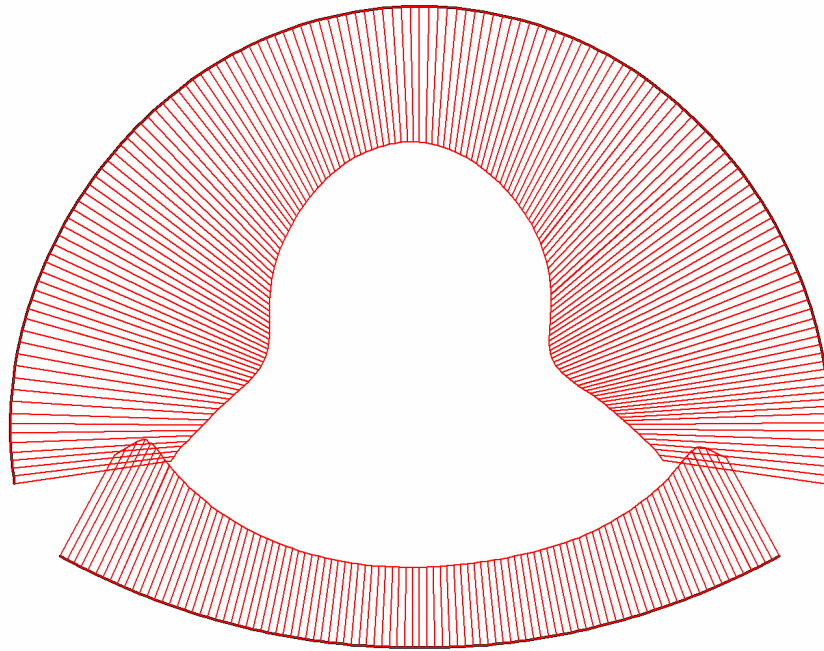


**Fig. 36 Vertical displacements in beam**  
Extreme value  $-19,10 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 13)

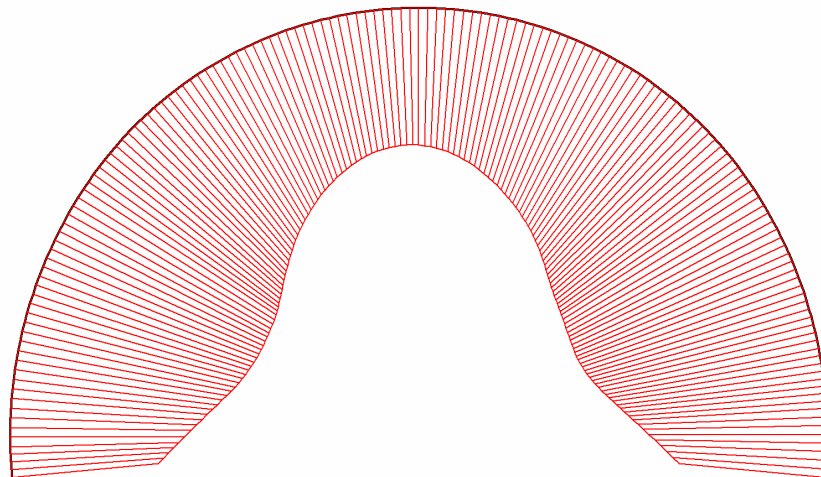
#### 4.6.8.4. Beams



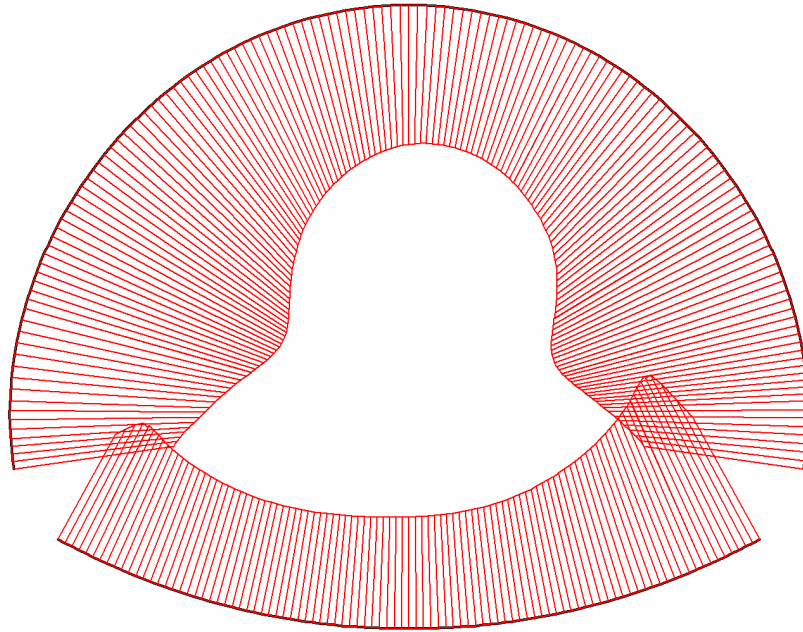
**Fig. 37 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value  $-1,32 \cdot 10^3$  kN/m (Phase: 13)



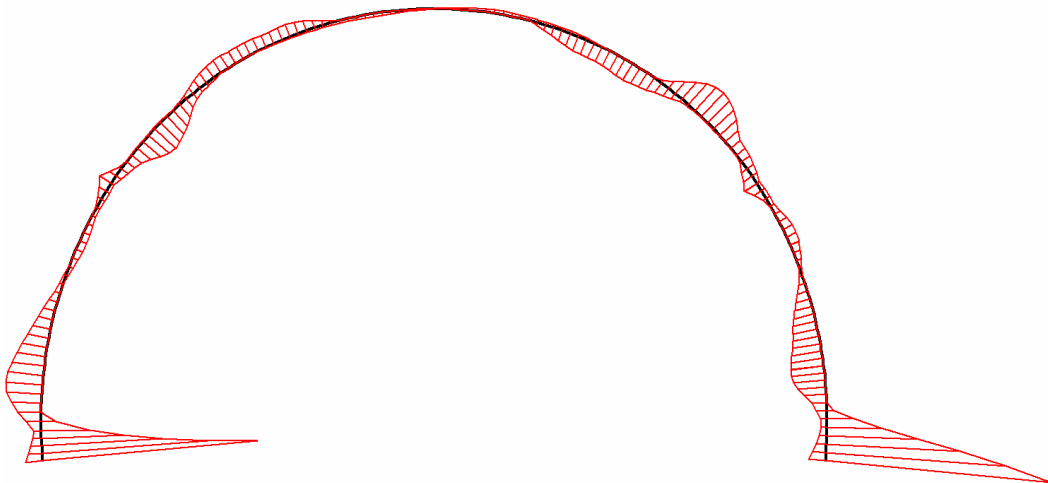
**Fig. 38 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value  $-174,05 \cdot 10^{-9}$  kN/m (Phase: 13)



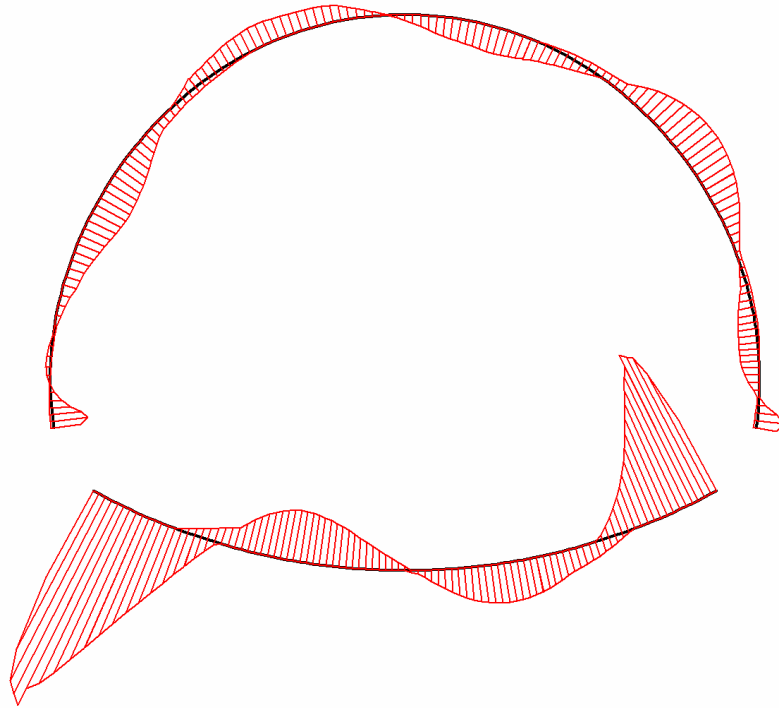
**Fig. 39 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value  $-1,15 \cdot 10^3$  kN/m (Phase: 13)



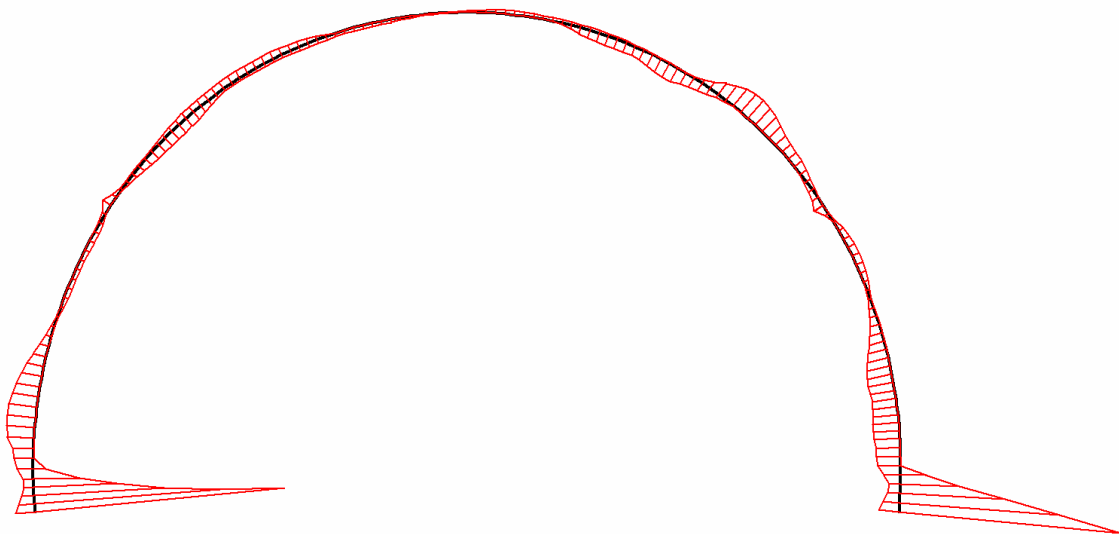
**Fig. 40 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value  $-193,43 \cdot 10^{-9}$  kN/m (Phase: 13)



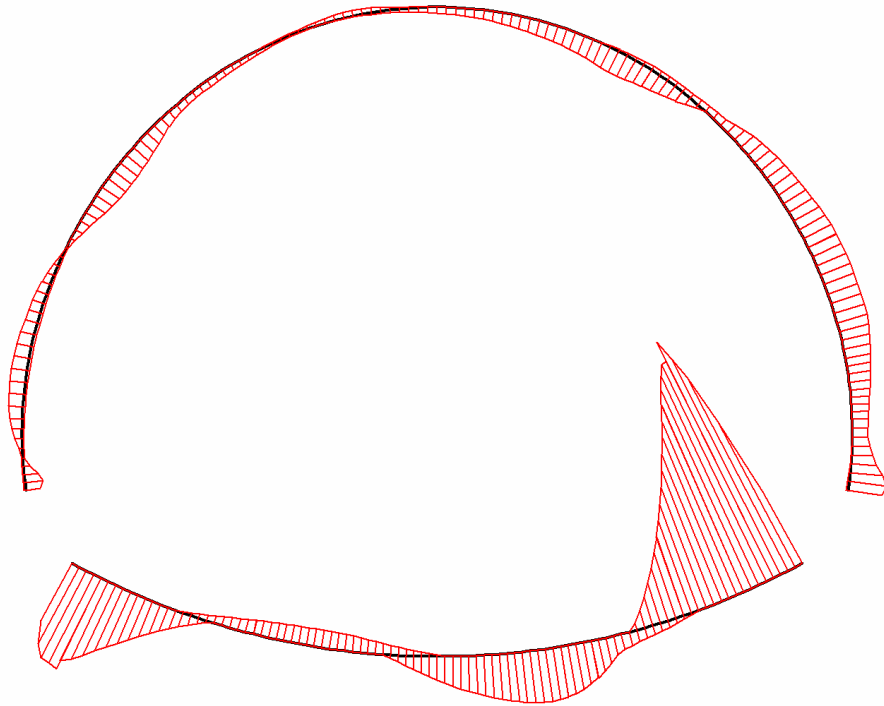
**Fig. 41 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value 57,47 kN/m (Phase: 13)



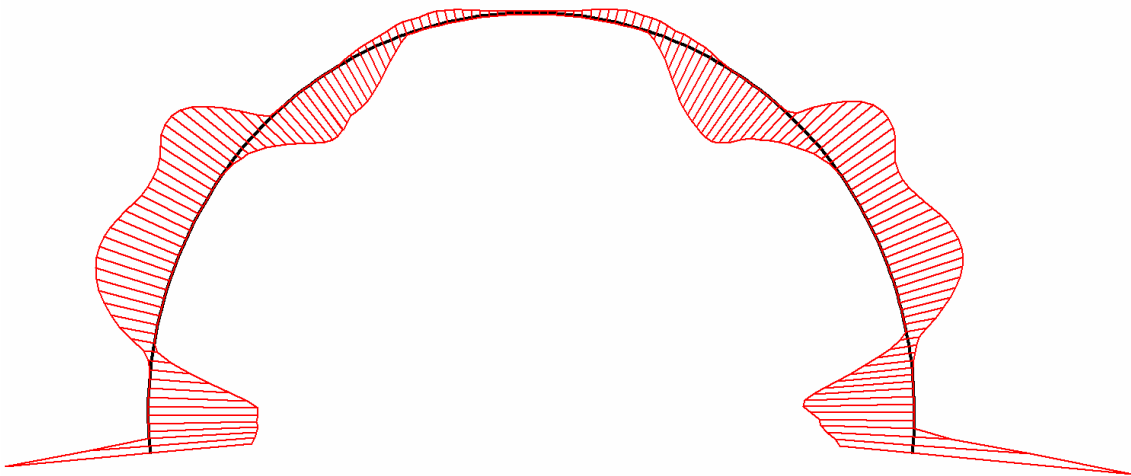
**Fig. 42 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value  $24,62 \cdot 10^{-9}$  kN/m (Phase: 13)



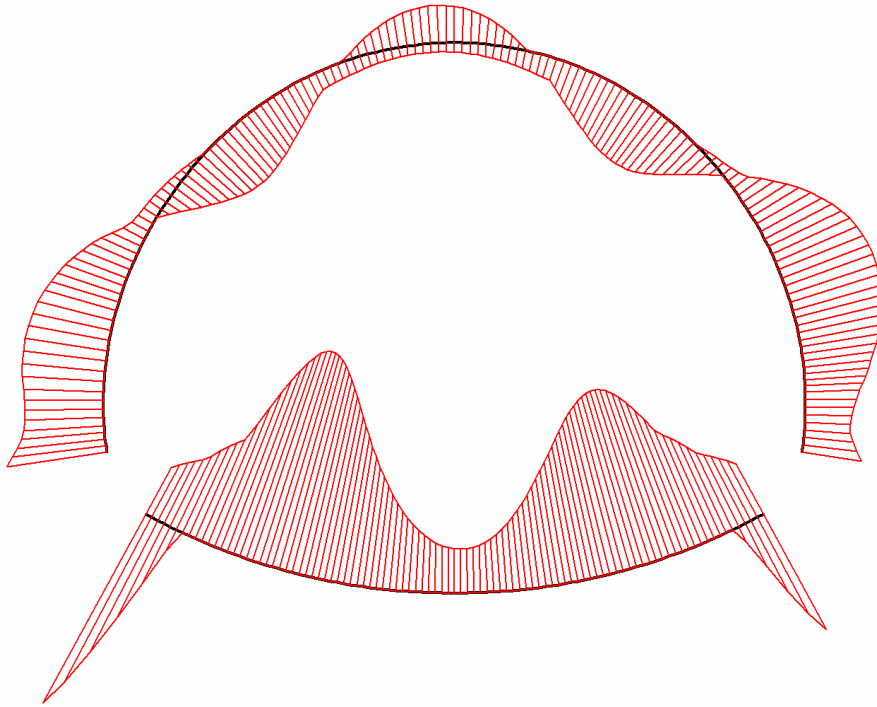
**Fig. 43 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value -61,80 kN/m (Phase: 13)



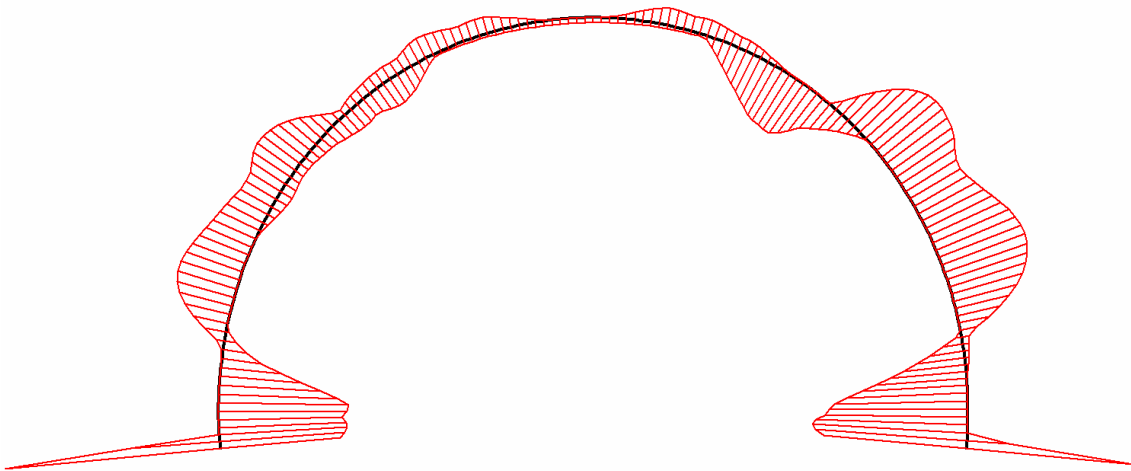
**Fig. 44 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value  $-46,92 \cdot 10^{-9}$  kN/m (Phase: 13)



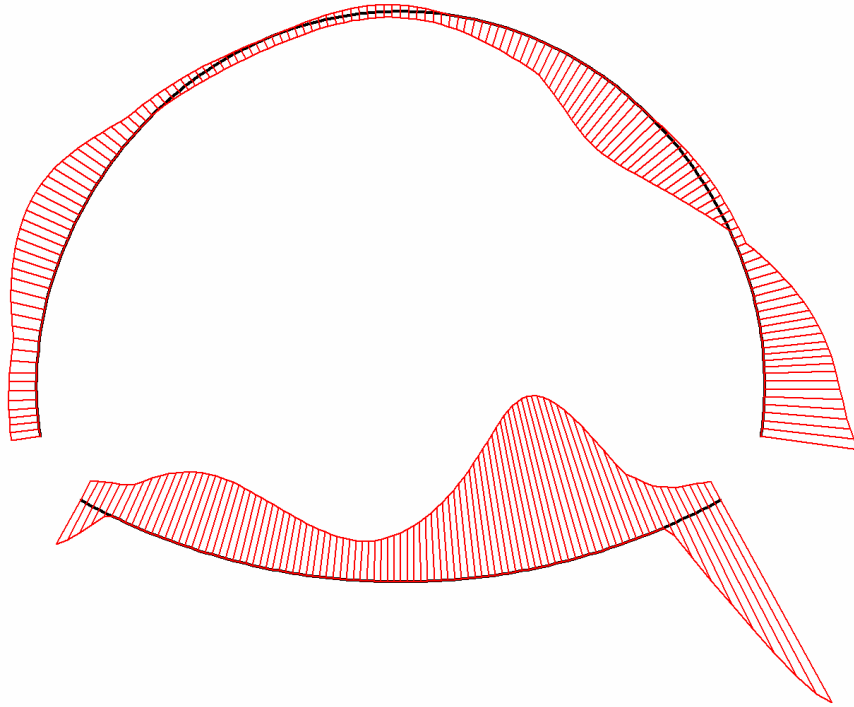
**Fig. 45 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value 19,50 kN/m/m (Phase: 13)



**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)

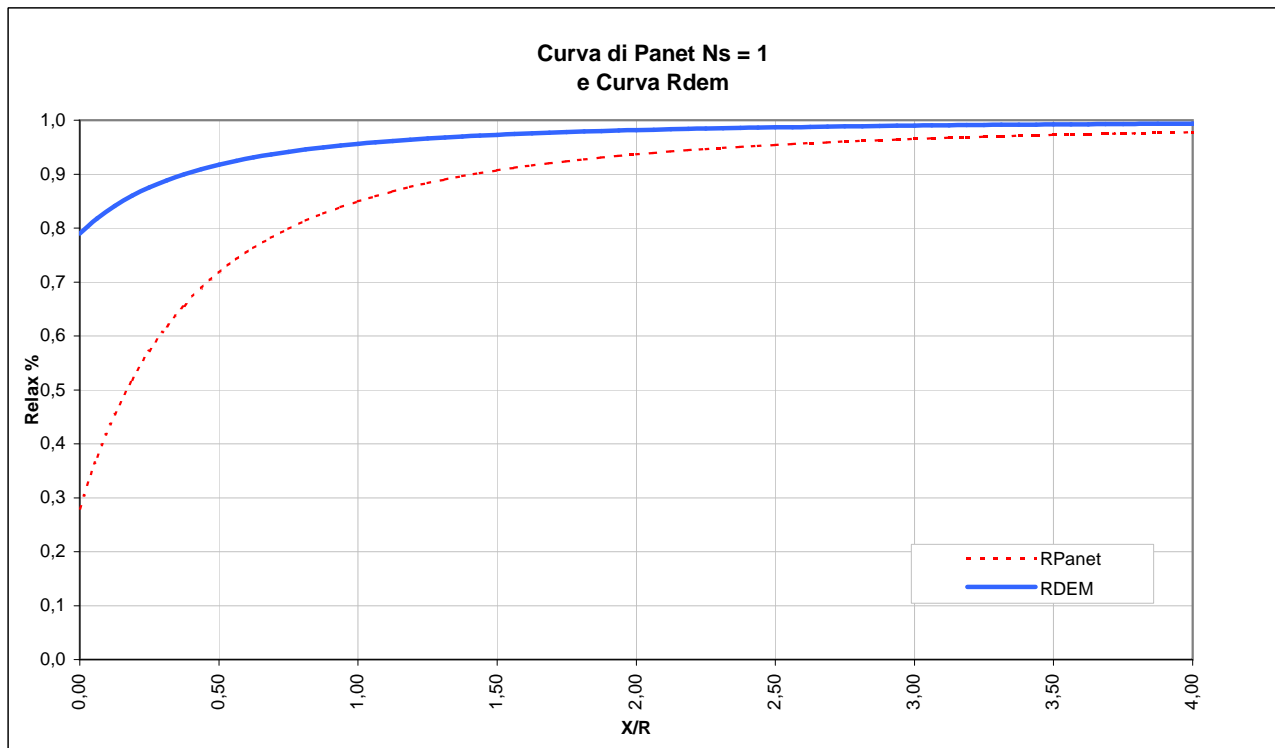


**Fig. 48 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value  $49,06 \cdot 10^{-9}$  kN/m/m (Phase: 13)

**LAVORO** PONTE SULLO STRETTO  
**Sezione** C1+1.05

**Copertura** 200m  
**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%	77%
Time 2	Canna 1 : Avanzamento primo sfondo	1	46%	81%
Time 3	Canna 1: Installazione prerivestimento e avanzamento	6	81%	92%
Time 4	Canna 1: Maturazione prerivestimento e avanzamento	≈ 1.5 diametri	98%	95%
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%	77%
Time 8	Canna 2 : Avanzamento primo sfondo	1	46%	81%
Time 9	Canna 2: Installazione prerivestimento e avanzamento	6	81%	92%
Time 10	Canna 2: Maturazione prerivestimento e avanzamento	≈ 1.5 diametri	98%	95%
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%





# GHIAIE DI MESSINA – COPERTURA 200m – SEZ. C1+1.05

## 1. Mesh data

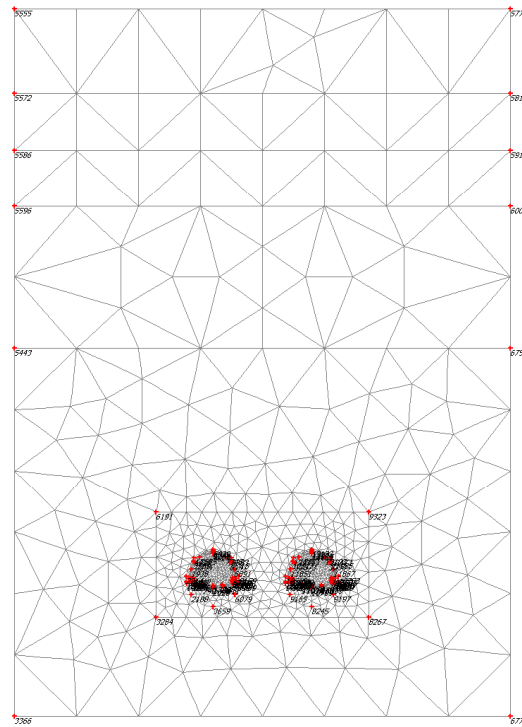


Fig. 1 Plot of the mesh with significant nodes

## 2. Material data

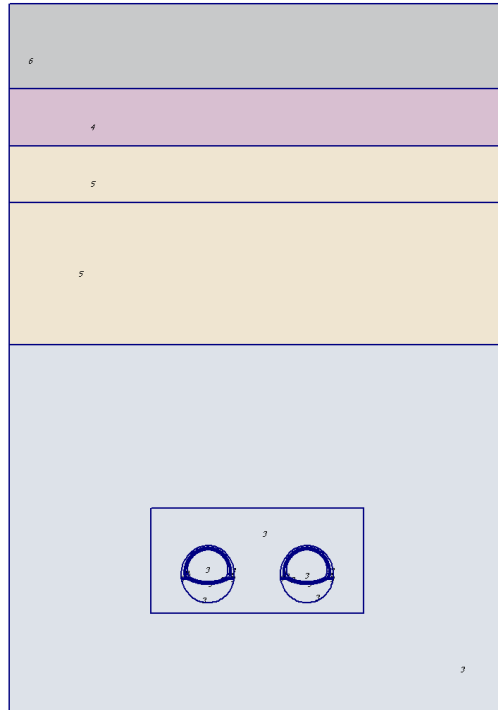


Fig. 2 Plot of geometry with material data sets

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
$\gamma_{unsat}$	[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> ]	30,00	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

<b>Hardening Soil</b>		<b>13</b>
		<b>Ghiaie ME_650</b>
<b>Type</b>		Drained
$\gamma_{\text{unsat}}$	[kN/m <sup>3</sup> ]	19,00
$\gamma_{\text{sat}}$	[kN/m <sup>3</sup> ]	19,00
$k_x$	[m/day]	0,000
$k_y$	[m/day]	0,000
$e_{\text{init}}$	[-]	0,50
$e_{\text{min}}$	[-]	0,00
$e_{\text{max}}$	[-]	999,00
$c_k$	[-]	1E15
$E_{50}^{\text{ref}}$	[kN/m <sup>2</sup> ]	650000,00
$E_{\text{oed}}^{\text{ref}}$	[kN/m <sup>2</sup> ]	650000,00
<b>power (m)</b>	[-]	0,00
$c_{\text{ref}}$	[kN/m <sup>2</sup> ]	40,00
$\phi$	[°]	38,00
$\psi$	[°]	0,00
$E_{\text{ur}}^{\text{ref}}$	[kN/m <sup>2</sup> ]	1950000,00
$\nu_{\text{ur}}^{(\text{nu})}$	[-]	0,200
$p^{\text{ref}}$	[kN/m <sup>2</sup> ]	100,00
$c_{\text{increment}}$	[kN/m <sup>2</sup> ]	0,00
$y_{\text{ref}}$	[m]	0,00
$R_f$	[-]	0,90
$T_{\text{str.}}$	[kN/m <sup>2</sup> ]	0,00
$R_{\text{inter}}$	[-]	1,00
$\delta_{\text{inter}}$	[m]	0,00
<b>Interface permeability</b>		Neutral

### 3. Results for phase 14

#### 3.1. Deformations

##### 3.1.1. Plot of horizontal displacements

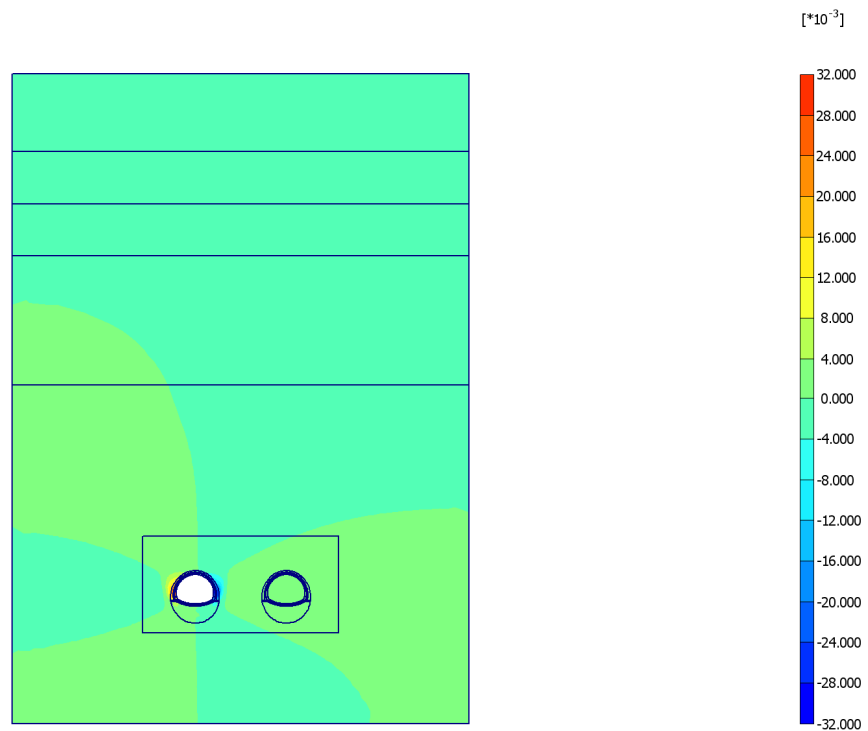


Fig. 3 Plot of horizontal displacements (shadings)  
- Step no: 33 - ( Phase: 14 )

##### 3.1.2. Plot of vertical displacements

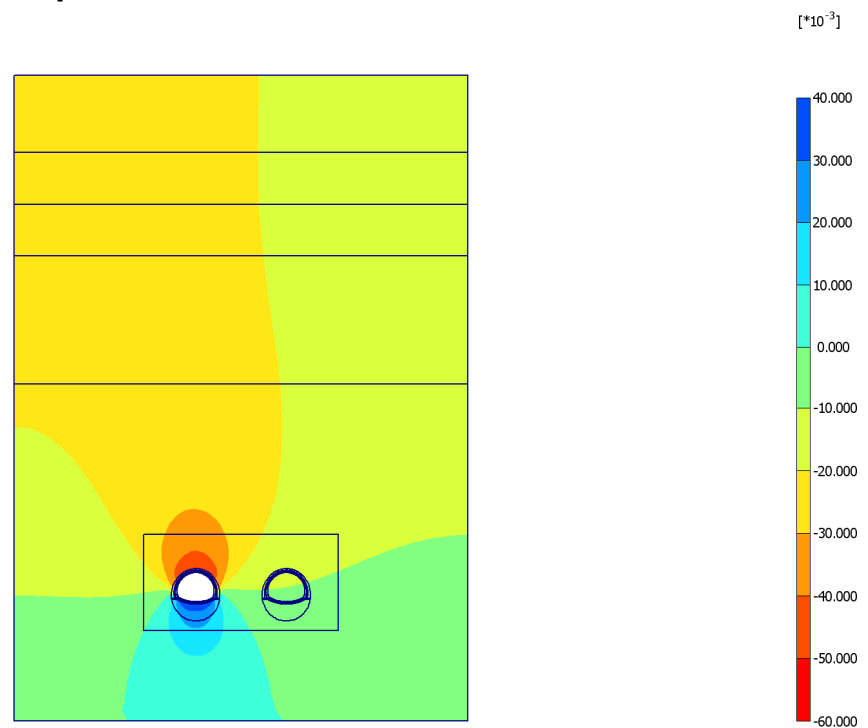


Fig. 4 Plot of vertical displacements (shadings)  
- Step no: 33 - ( Phase: 14 )

### 3.2. Stresses

#### 3.2.3. Plot of total stresses

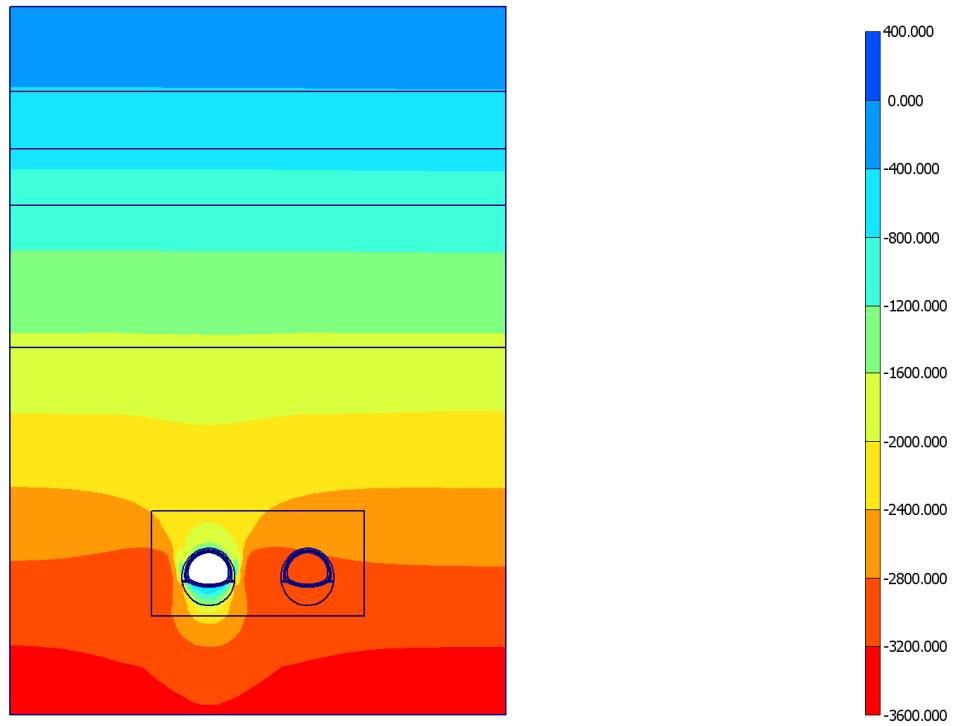


Fig. 5 Plot of total stresses (mean shadings)  
- Step no: 33 - ( Phase: 14 )

#### 3.2.4. Plot of plastic points

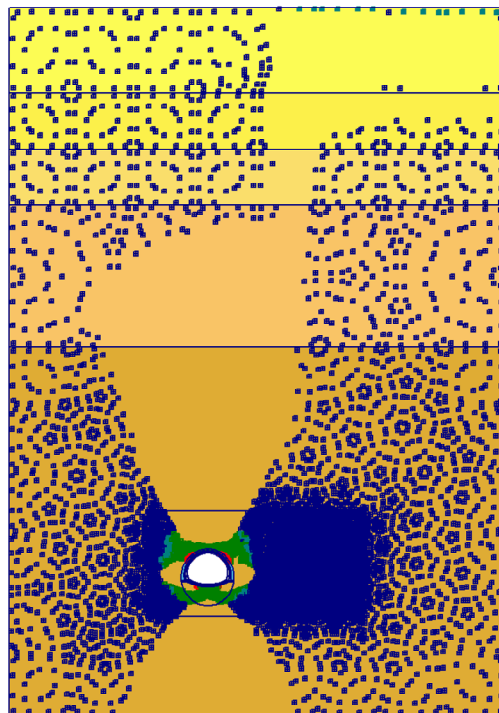
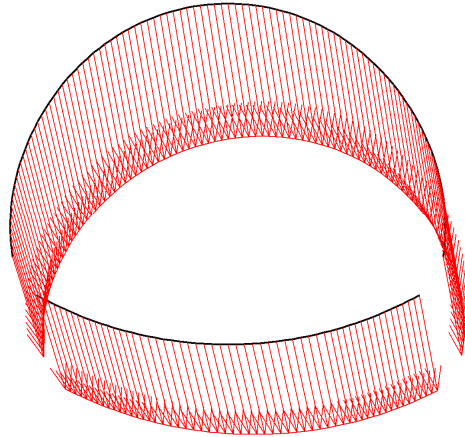


Fig. 7 Plot of plastic points  
- Step no: 33 - ( Phase: 14 )

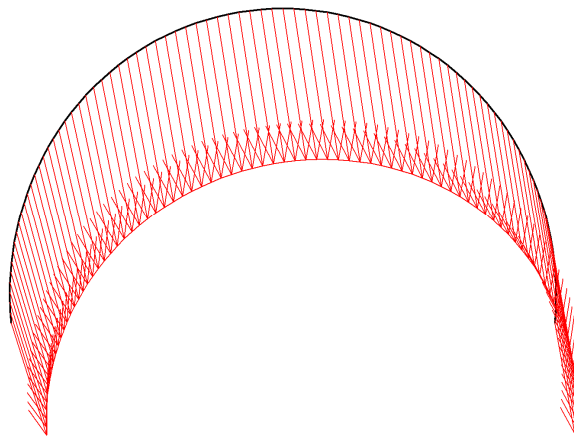
### 3.3. Structures

#### 3.3.4. Beams

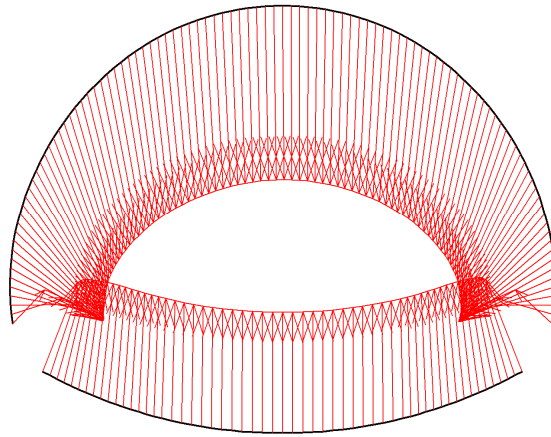
##### 3.3.4.1. Beams



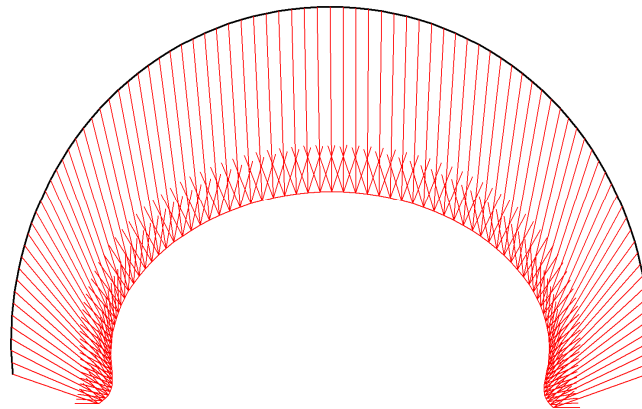
**Fig. 6 Total displacements in beam**  
Extreme value  $12,44 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 14)



**Fig. 7 Total displacements in beam**  
Extreme value  $12,63 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 14)

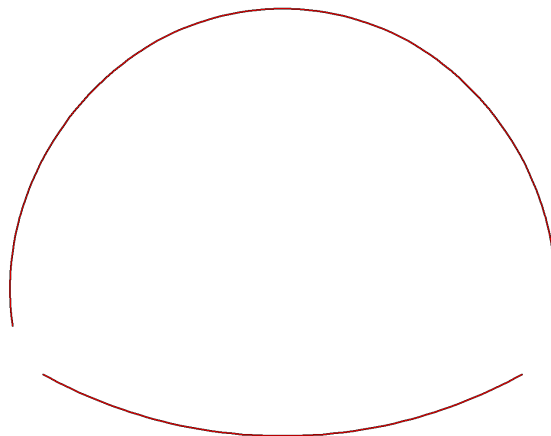


**Fig. 8 Total displacements in beam**  
Extreme value  $51,62 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 14)

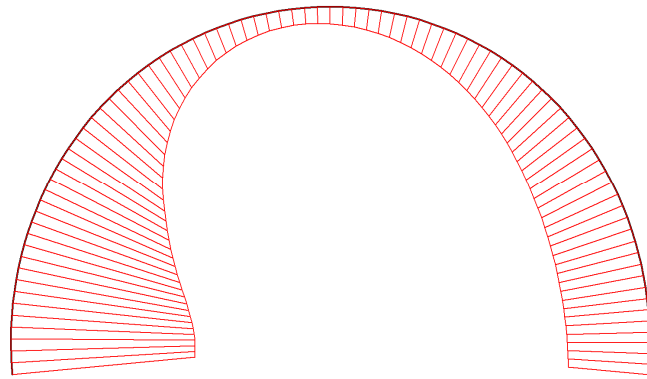


**Fig. 9 Total displacements in beam**  
Extreme value  $51,61 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 14)

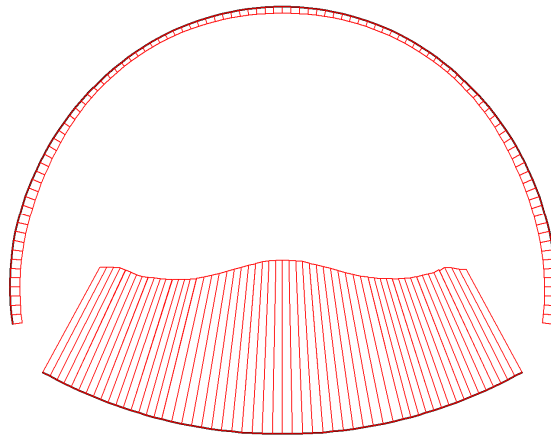
### 3.3.4.2. Beams



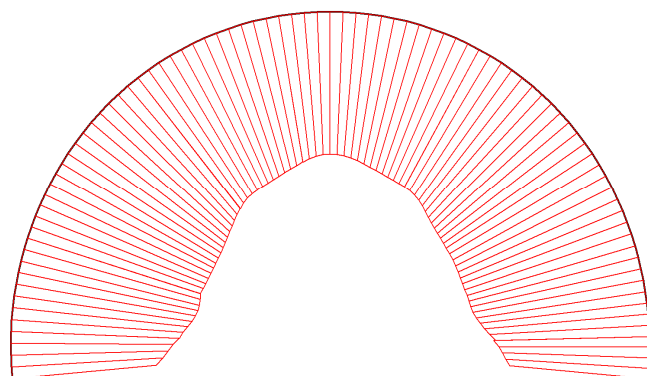
**Fig. 10 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value 0,00 kN/m (Phase: 14)



**Fig. 11 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value  $-528,54 \cdot 10^{-15}$  kN/m (Phase: 14)

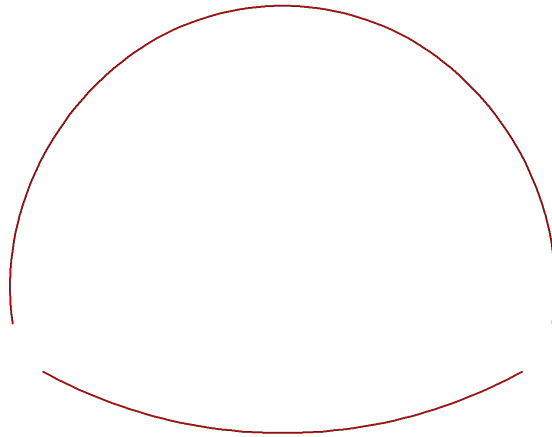


**Fig. 12 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value  $-177,89 \cdot 10^{-9}$  kN/m (Phase: 14)

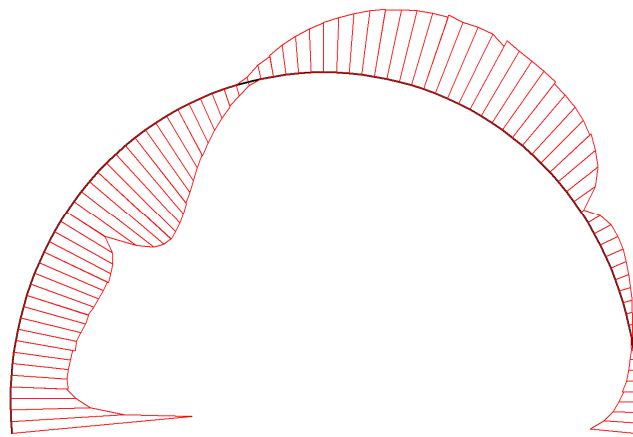


**Fig. 13 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value  $-3,37 \cdot 10^3$  kN/m (Phase: 14)

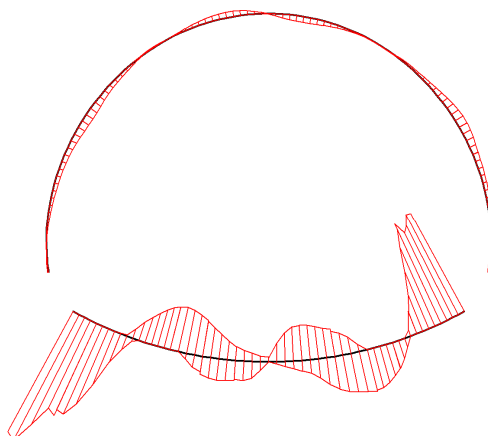




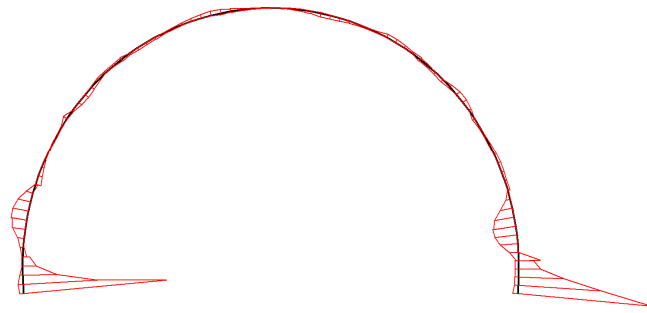
**Fig. 14 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value 0,00 kN/m (Phase: 14)



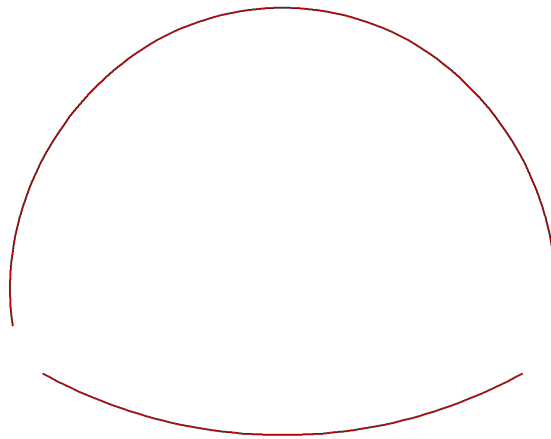
**Fig. 15 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value  $-2,32 \cdot 10^{-15}$  kN/m (Phase: 14)



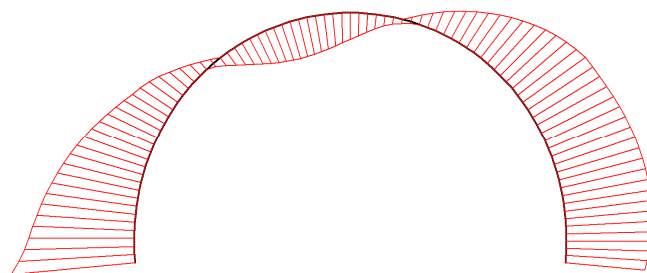
**Fig. 16 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value  $10,73 \cdot 10^{-9}$  kN/m (Phase: 14)



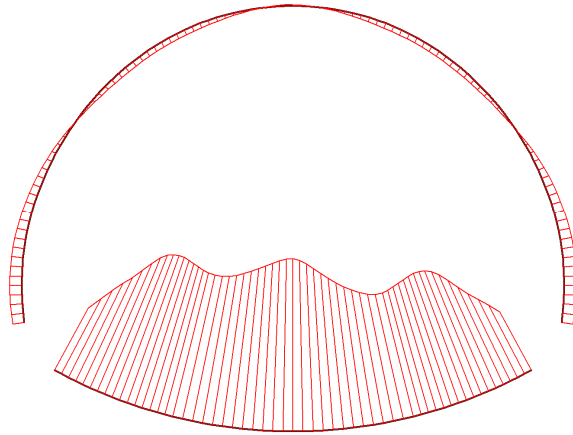
**Fig. 17 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value -328,66 kN/m (Phase: 14)



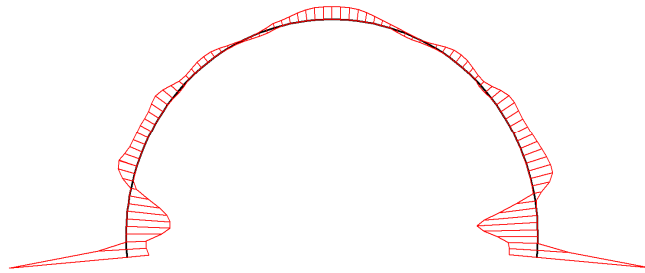
**Fig. 18 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value 0,00 kN/m/m (Phase: 14)



**Fig. 19 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value  $7,94 \cdot 10^{-15}$  kN/m/m (Phase: 14)



**Fig. 20 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value  $24,04 \cdot 10^{-9}$  kN/m/m (Phase: 14)



**Fig. 21 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value 98,88 kN/m/m (Phase: 14)

## 4. Results for phase 13

### 4.4. Deformations

#### 4.4.5. Plot of horizontal displacements

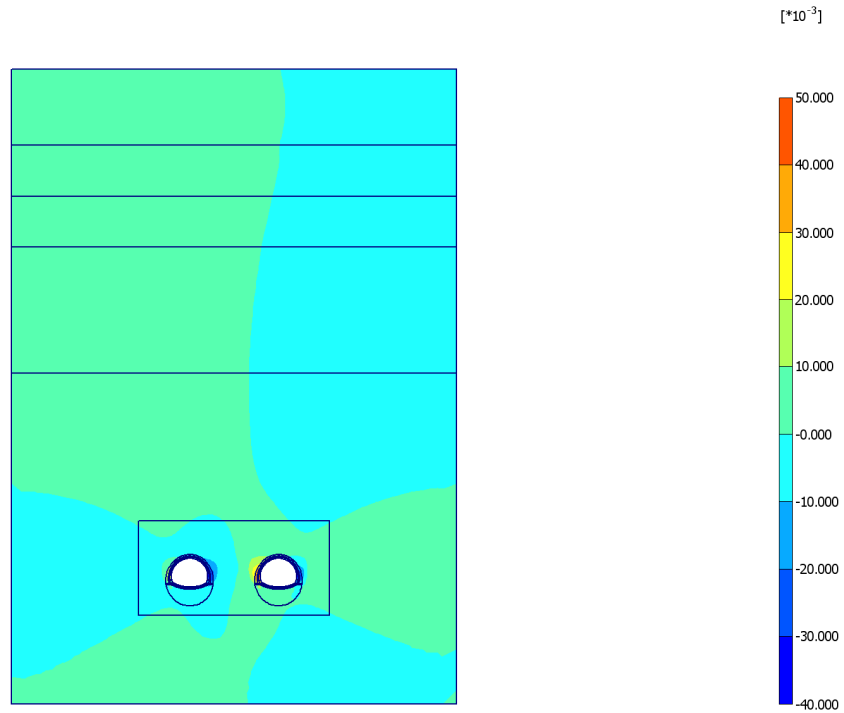


Fig. 22 Plot of horizontal displacements (shadings)  
- Step no: 65 - ( Phase: 13 )

#### 4.4.6. Plot of vertical displacements

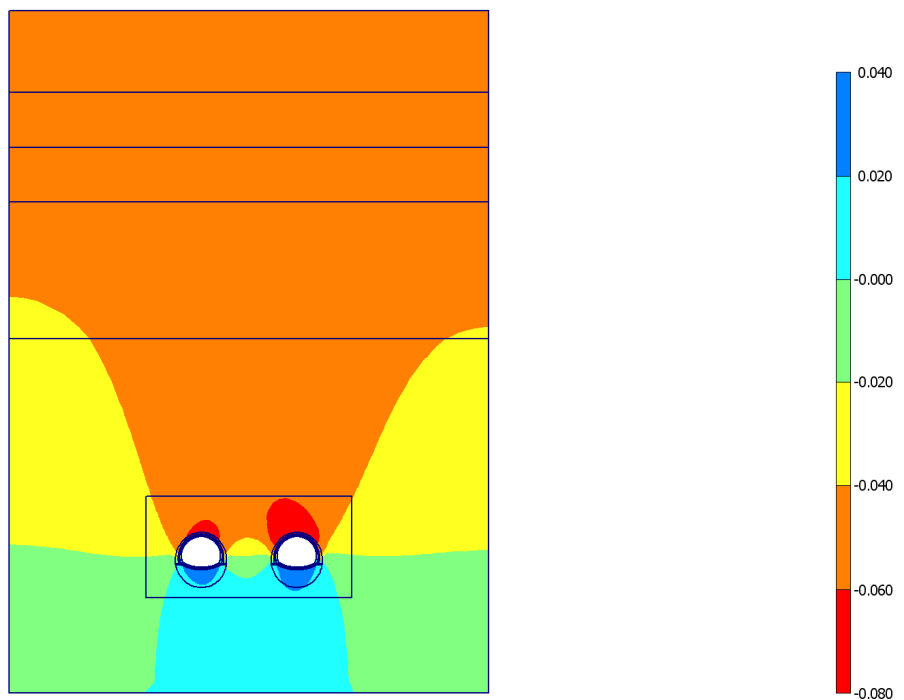
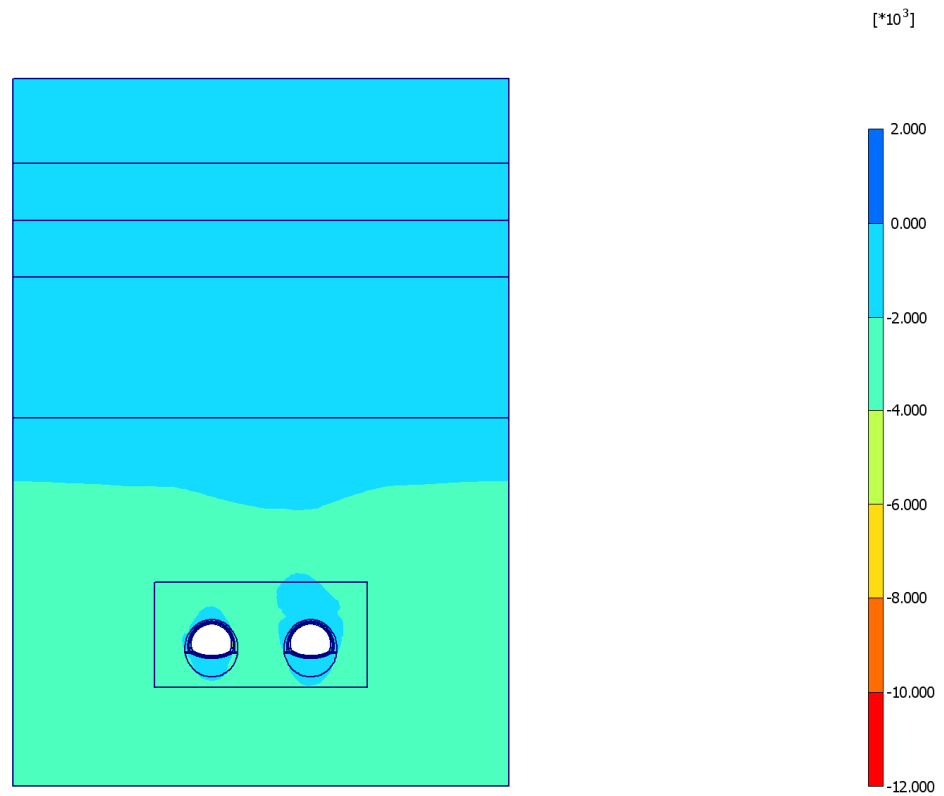


Fig. 23 Plot of vertical displacements (shadings)  
- Step no: 65 - ( Phase: 13 )

## 4.5. Stresses

### 4.5.7. Plot of total stresses



**Fig. 24 Plot of total stresses (mean shadings)**  
- Step no: 65 - ( Phase: 13 )

#### 4.5.8. Plot of plastic points

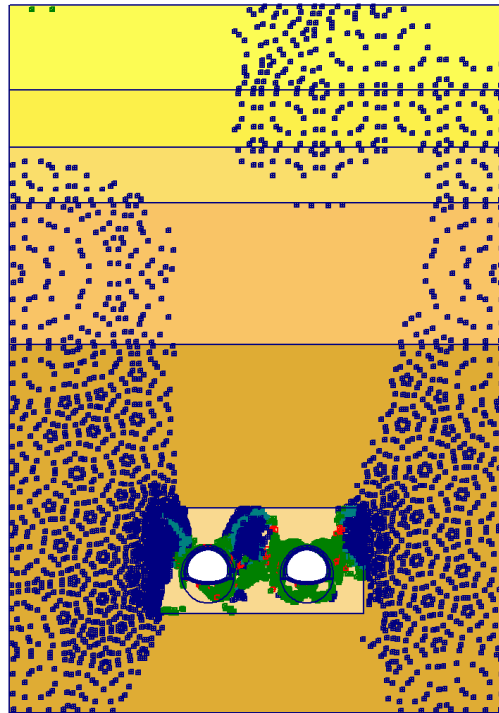


Fig. 14 Plot of plastic points  
- Step no: 65 - ( Phase: 13 )

### 4.6. Structures

#### 4.6.8. Beams

##### 4.6.8.3. Beams

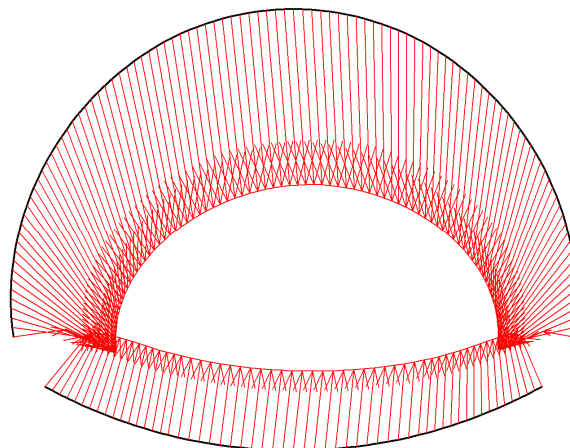
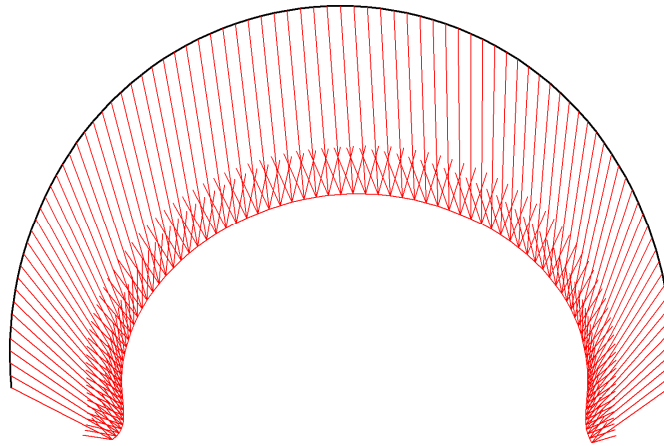
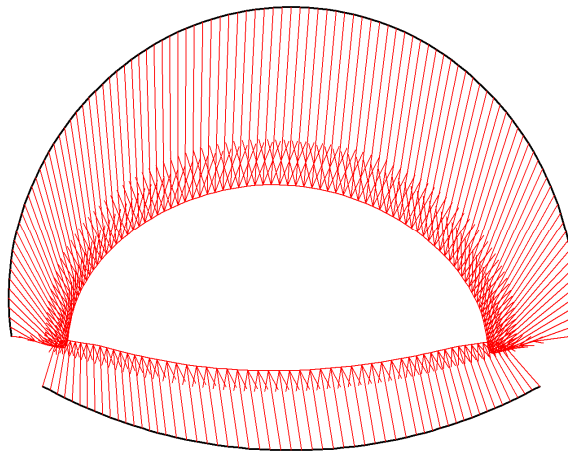


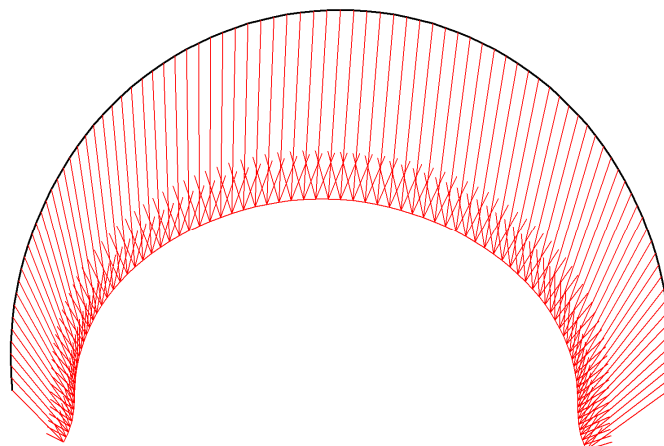
Fig. 25 Total displacements in beam  
Extreme value  $74,42 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 13)



**Fig. 26 Total displacements in beam**  
Extreme value  $74,55 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 13)

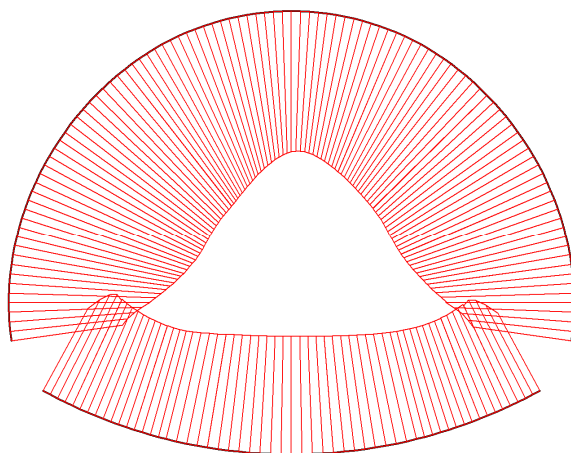


**Fig. 27 Total displacements in beam**  
Extreme value  $68,24 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 13)

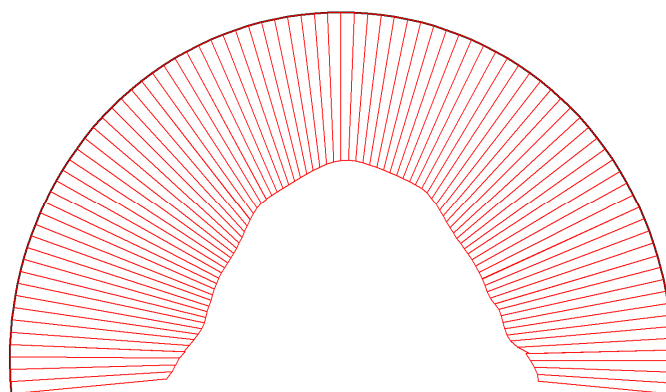


**Fig. 28 Total displacements in beam**  
Extreme value  $68,27 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 13)

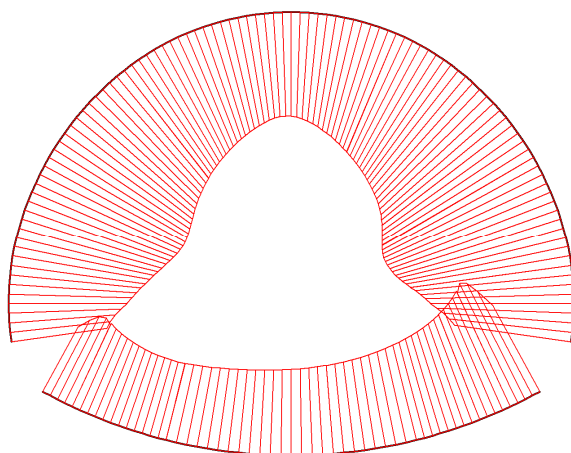
#### 4.6.8.4. Beams



**Fig. 29 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value  $-589,46 \cdot 10^{-9}$  kN/m (Phase: 13)

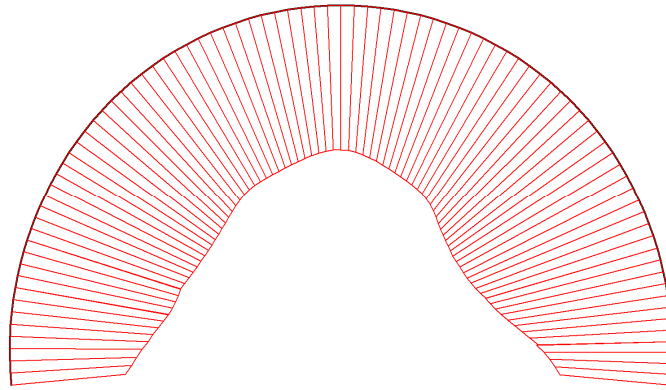


**Fig. 30 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value  $-3,62 \cdot 10^3$  kN/m (Phase: 13)

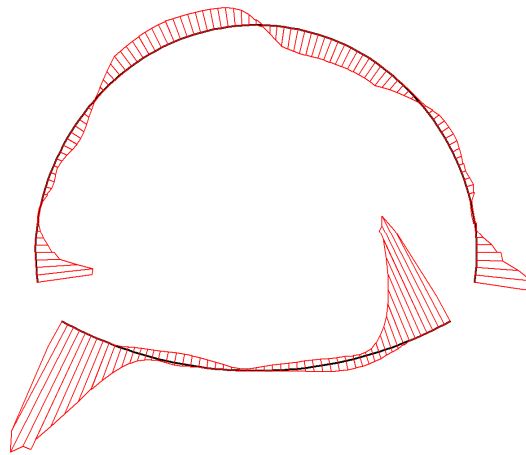


**Fig. 31 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value  $-924,98 \cdot 10^{-9}$  kN/m (Phase: 13)

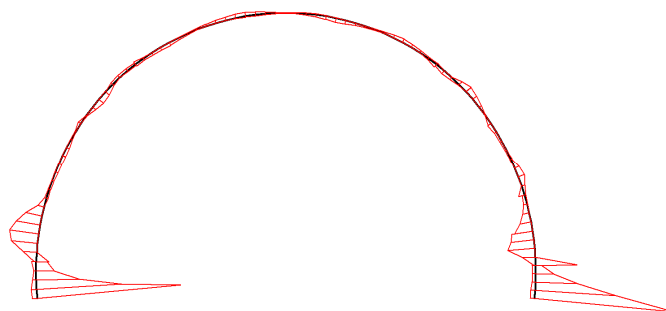




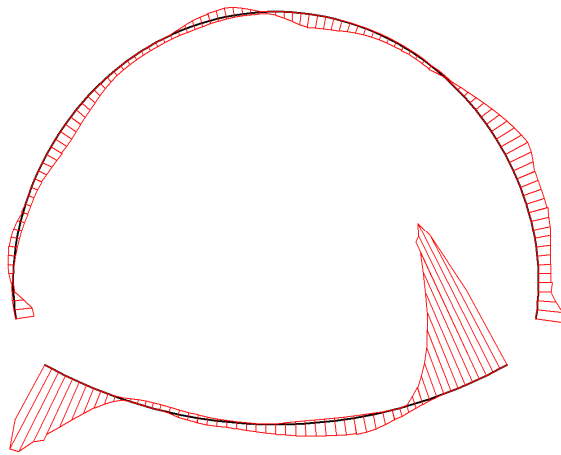
**Fig. 32 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value  $-4,40 \cdot 10^3$  kN/m (Phase: 13)



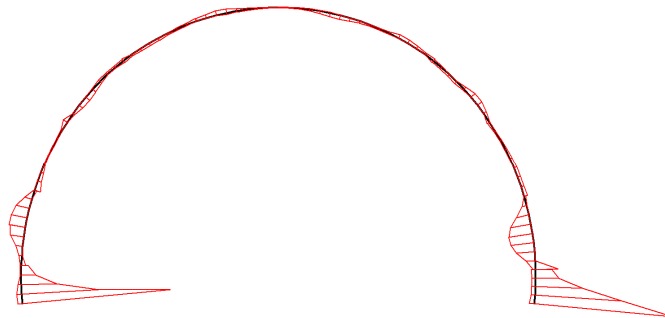
**Fig. 33 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value  $63,99 \cdot 10^{-9}$  kN/m (Phase: 13)



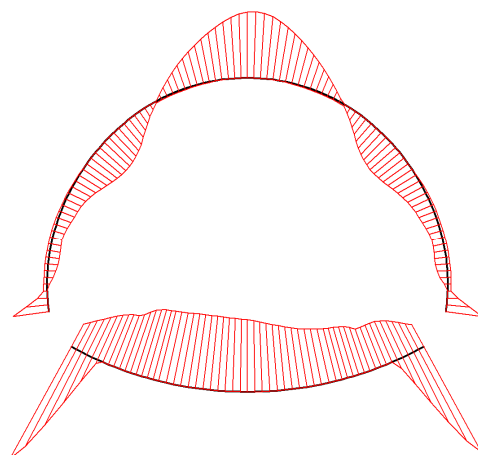
**Fig. 34 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value  $-361,02$  kN/m (Phase: 13)



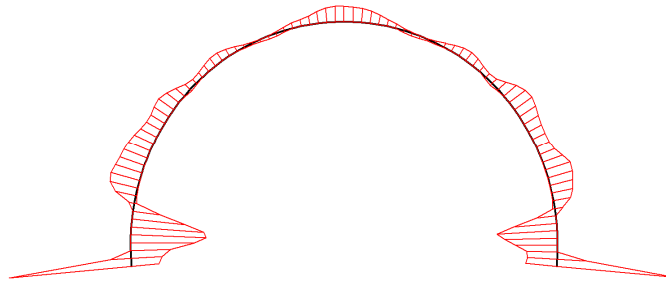
**Fig. 35 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value  $-159,64 \cdot 10^{-9}$  kN/m (Phase: 13)



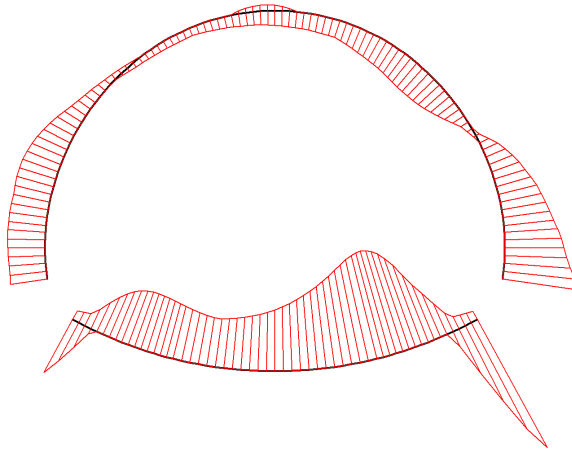
**Fig. 36 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value  $-328,66$  kN/m (Phase: 13)



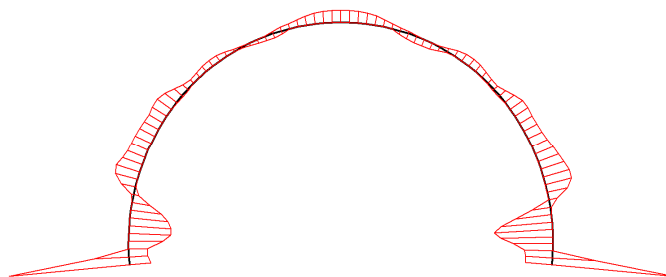
**Fig. 37 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value  $63,25 \cdot 10^{-9}$  kN/m/m (Phase: 13)



**Fig. 38 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value 104,95 kN/m/m (Phase: 13)



**Fig. 39 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value  $146,24 \cdot 10^{-9}$  kN/m/m (Phase: 13)

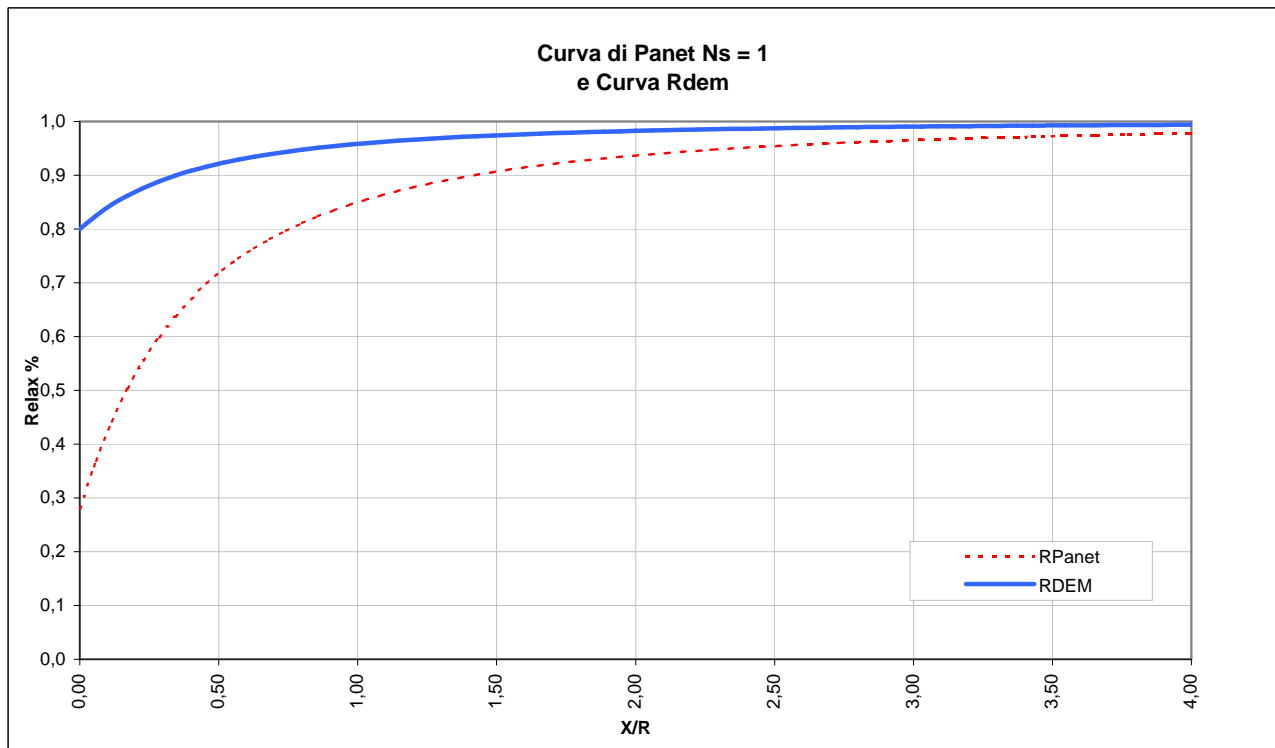


**Fig. 40 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value 105,99 kN/m/m (Phase: 13)

**LAVORO** PONTE SULLO STRETTO  
**Sezione** C1-ALLARGO

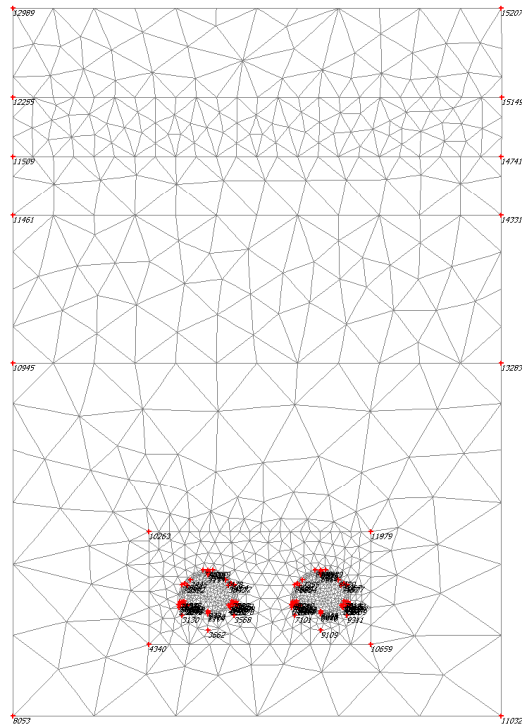
**Copertura** 200m  
**Litotipo** Ghiaie e sabbie di Messina

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%	80%
Time 2	Canna 1 : Avanzamento primo sfondo	1	44%	84%
Time 3	Canna 1: Installazione prerivestimento e avanzamento	6	78%	93%
Time 4	Canna 1: Maturazione prerivestimento e avanzamento	≈ 2 diametri	96%	98%
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%	80%
Time 8	Canna 2 : Avanzamento primo sfondo	1	44%	84%
Time 9	Canna 2: Installazione prerivestimento e avanzamento	2	78%	93%
Time 10	Canna 2: Maturazione prerivestimento e avanzamento	6	96%	98%
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%



# GHIAIE DI MESSINA – COPERTURA 200m - SEZ. C1 ALLARGO

## 1. Mesh data



**Fig. 1 Plot of the mesh with significant nodes**

## 2. Material data

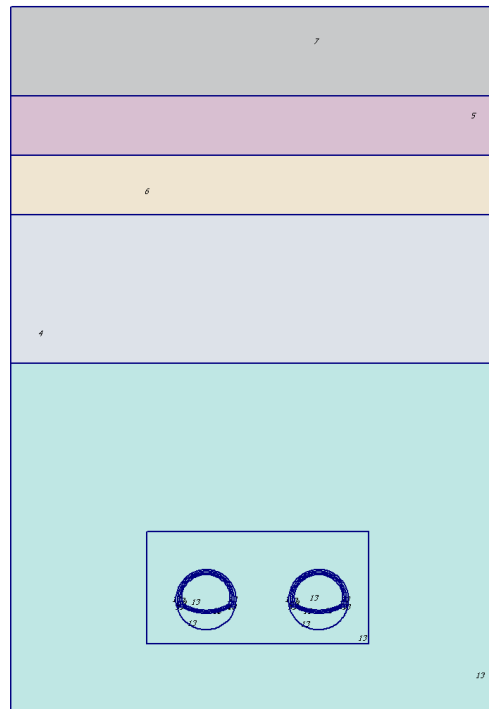


Fig. 2 Plot of geometry with material data sets

Table [1] Soil data sets parameters

<i>Hardening Soil</i>		4	5	6	7
		Ghiaie 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> ]	40,00	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
$\nu_{\text{ur}}^{(\text{nu})}$	[-]	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

<b>Hardening Soil</b>		<b>13</b>
		<b>Ghiaie ME_650</b>
<b>Type</b>		<b>Drained</b>
$\gamma_{\text{unsat}}$	[kN/m <sup>3</sup> ]	<b>19,00</b>
$\gamma_{\text{sat}}$	[kN/m <sup>3</sup> ]	<b>19,00</b>
$k_x$	[m/day]	<b>0,000</b>
$k_y$	[m/day]	<b>0,000</b>
$e_{\text{init}}$	[-]	<b>0,50</b>
$e_{\text{min}}$	[-]	<b>0,00</b>
$e_{\text{max}}$	[-]	<b>999,00</b>
$c_k$	[-]	<b>1E15</b>
$E_{50}^{\text{ref}}$	[kN/m <sup>2</sup> ]	<b>650000,00</b>
$E_{\text{oed}}^{\text{ref}}$	[kN/m <sup>2</sup> ]	<b>650000,00</b>
<b>power (m)</b>	[-]	<b>0,00</b>
$c_{\text{ref}}$	[kN/m <sup>2</sup> ]	<b>40,00</b>
$\phi$	[°]	<b>38,00</b>
$\psi$	[°]	<b>0,00</b>
$E_{\text{ur}}^{\text{ref}}$	[kN/m <sup>2</sup> ]	<b>1950000,00</b>
$v_{\text{ur}}^{(\text{nu})}$	[-]	<b>0,200</b>
$p^{\text{ref}}$	[kN/m <sup>2</sup> ]	<b>100,00</b>
$c_{\text{increment}}$	[kN/m <sup>2</sup> ]	<b>0,00</b>
$y_{\text{ref}}$	[m]	<b>0,00</b>
$R_f$	[-]	<b>0,90</b>
$T_{\text{str.}}$	[kN/m <sup>2</sup> ]	<b>0,00</b>
$R_{\text{inter}}$	[-]	<b>1,00</b>
$\delta_{\text{inter}}$	[m]	<b>0,00</b>
<b>Interface permeability</b>		<b>Neutral</b>

### 3. Results for phase 7

#### 3.1. Deformations

##### 3.1.1. Plot of horizontal displacements

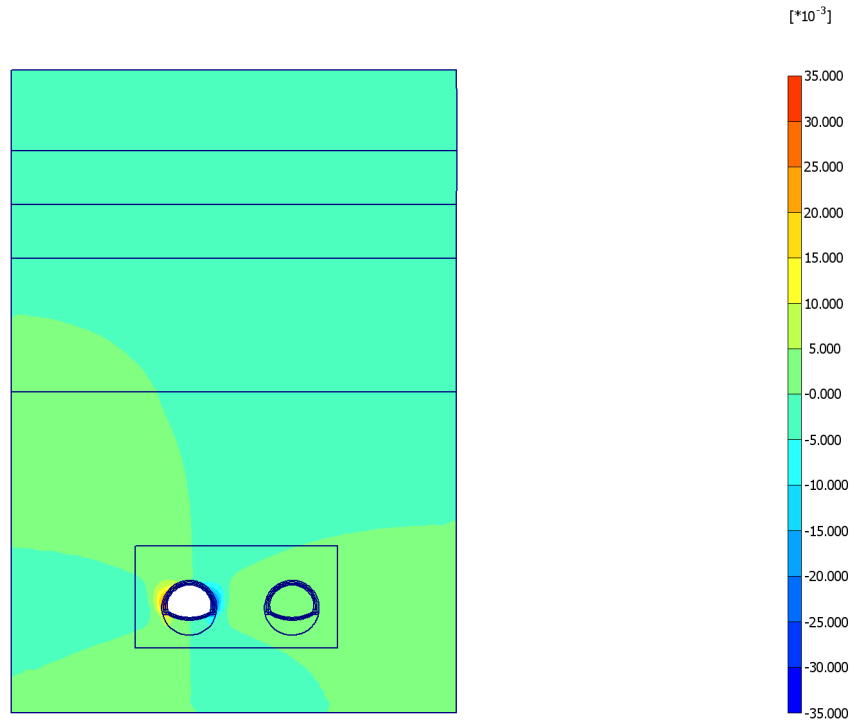


Fig. 3 Plot of horizontal displacements (shadings)  
- Step no: 23 - ( Phase: 7 )

##### 3.1.2. Plot of vertical displacements

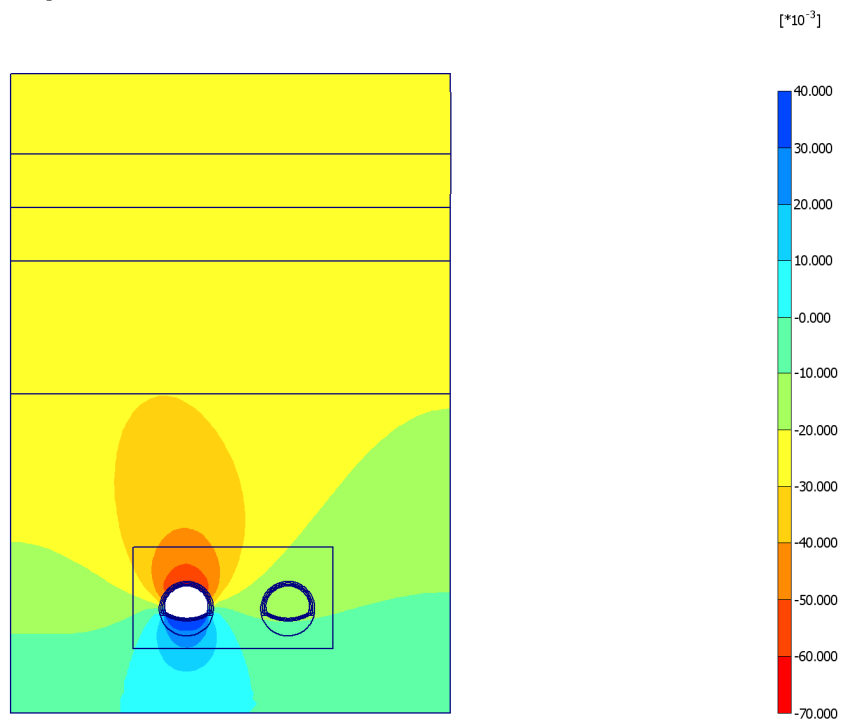


Fig. 4 Plot of vertical displacements (shadings)  
- Step no: 23 - ( Phase: 7 )



## 3.2. Stresses

### 3.2.3. Plot of total stresses

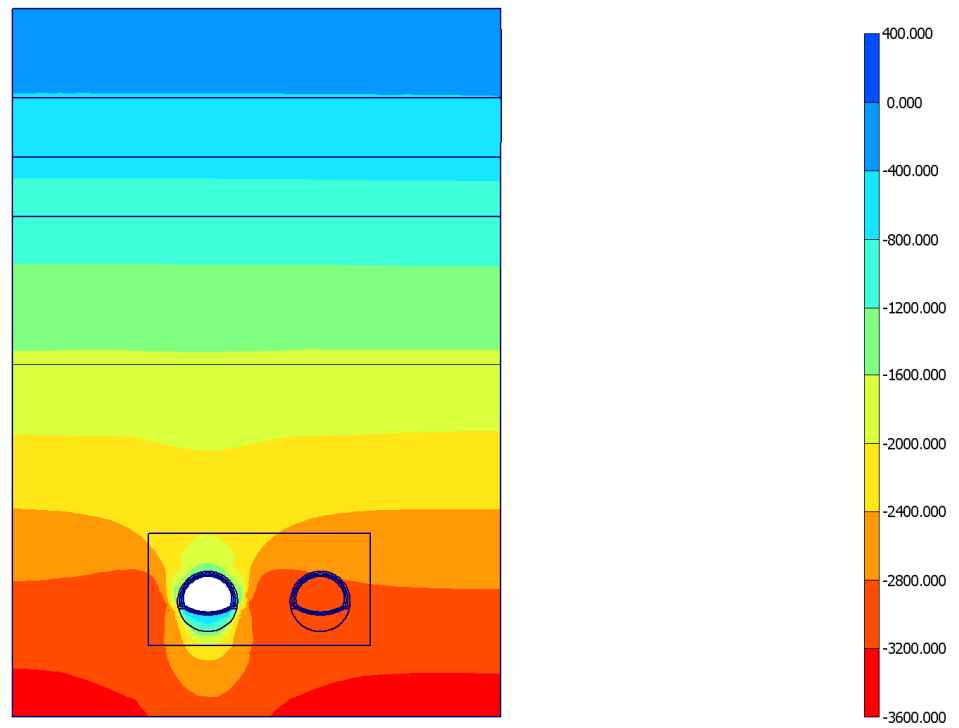


Fig. 5 Plot of total stresses (mean shadings)  
- Step no: 23 - ( Phase: 7 )

### 3.2.4. Plot of plastic points

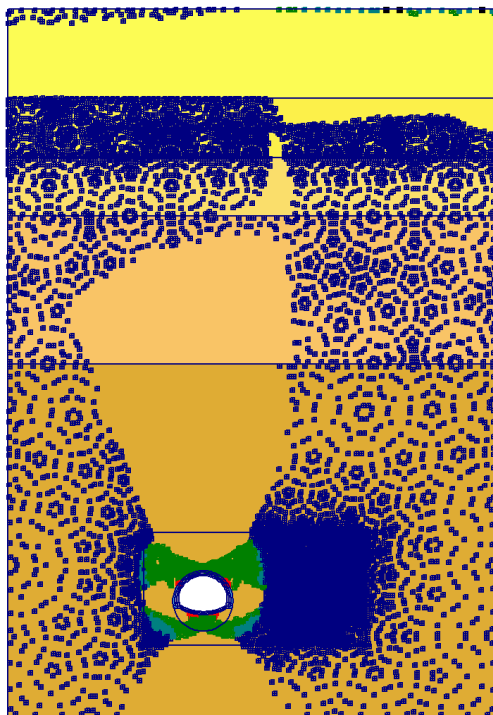


Fig. 7 Plot of plastic points  
- Step no: 23 - ( Phase: 7 )

## 3.3. Structures

### 3.3.4. Beams

#### 3.3.4.1. Beams

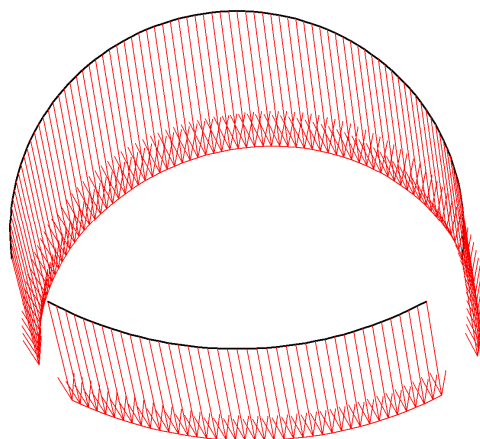
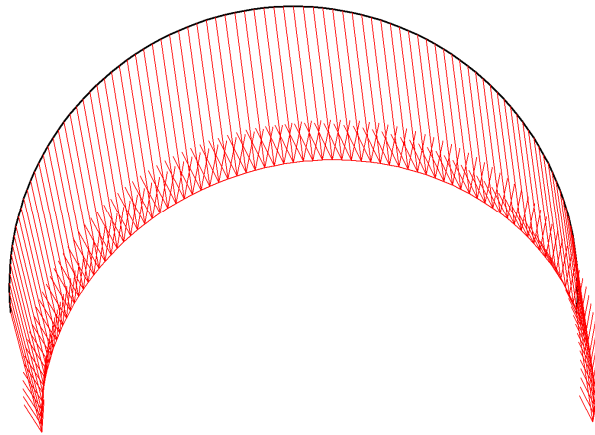
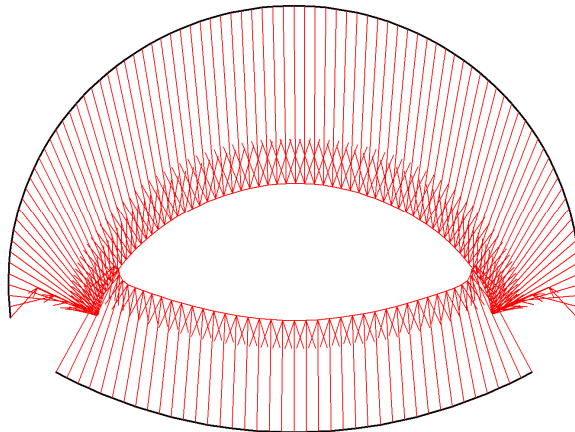


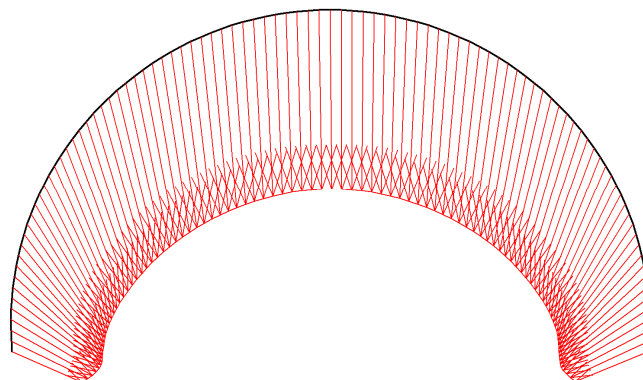
Fig. 6 Total displacements in beam  
Extreme value  $16,02 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 7)



**Fig. 7 Total displacements in beam**  
Extreme value  $16,29 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 7)

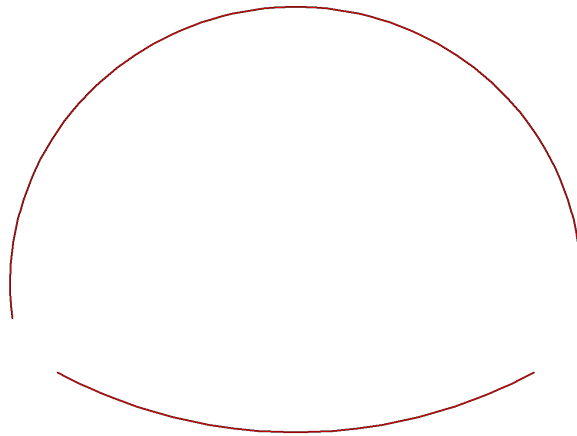


**Fig. 8 Total displacements in beam**  
Extreme value  $62,32 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 7)

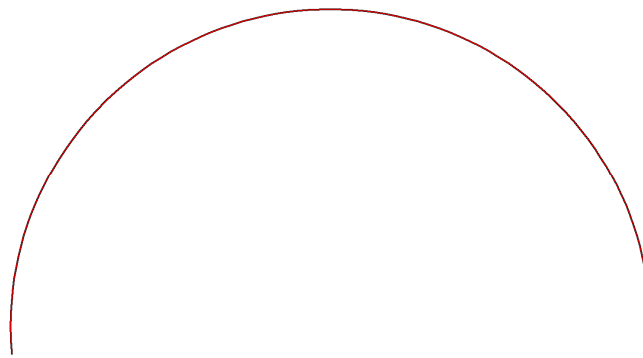


**Fig. 9 Total displacements in beam**  
Extreme value  $62,36 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 7)

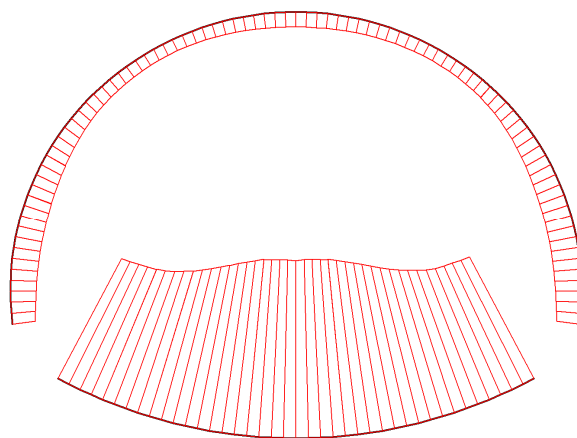
### 3.3.4.2. Beams



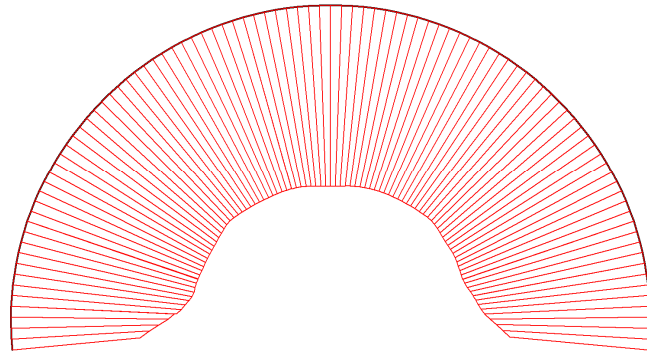
**Fig. 10 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value 0,00 kN/m (Phase: 7)



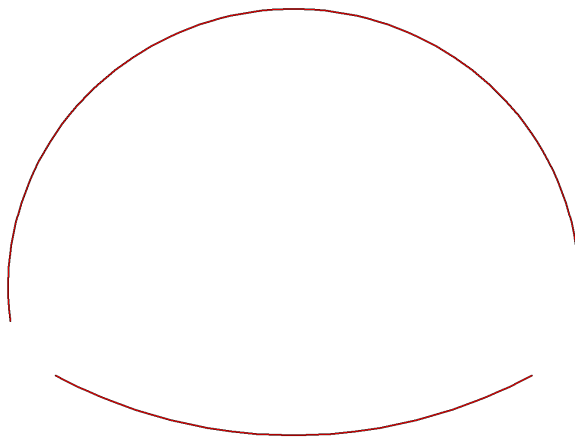
**Fig. 11 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value 0,00 kN/m (Phase: 7)



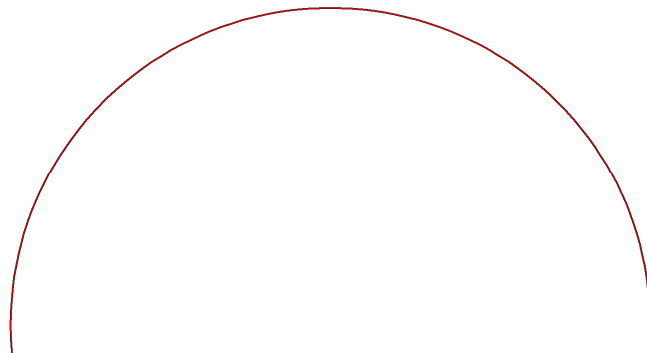
**Fig. 12 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value  $-137,11 * 10^{-9}$  kN/m (Phase: 7)



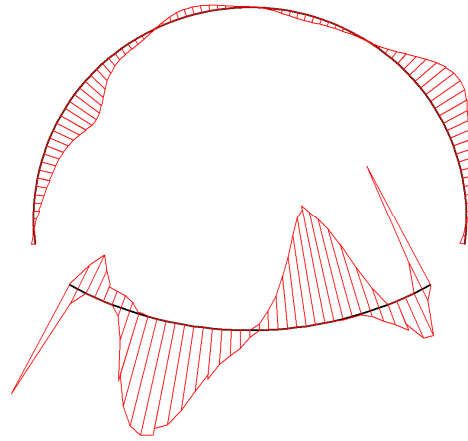
**Fig. 13 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value  $-3,00 \cdot 10^3$  kN/m (Phase: 7)



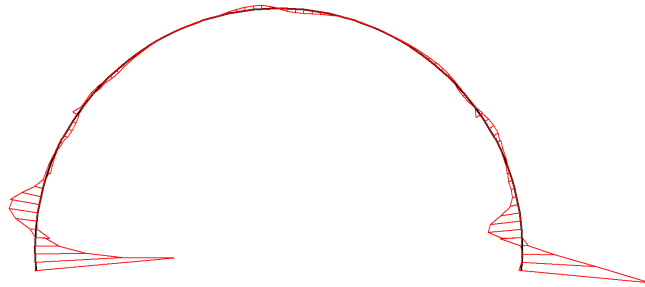
**Fig. 14 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value 0,00 kN/m (Phase: 7)



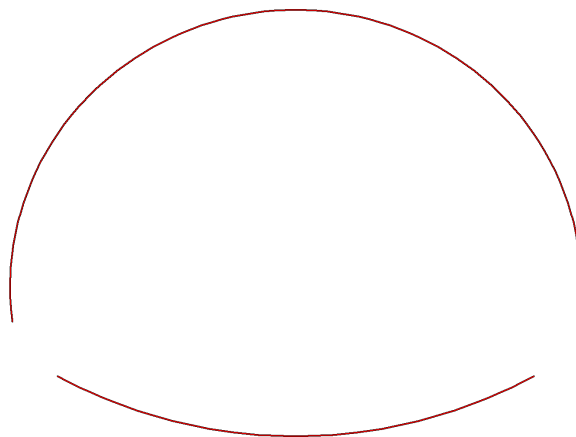
**Fig. 15 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value 0,00 kN/m (Phase: 7)



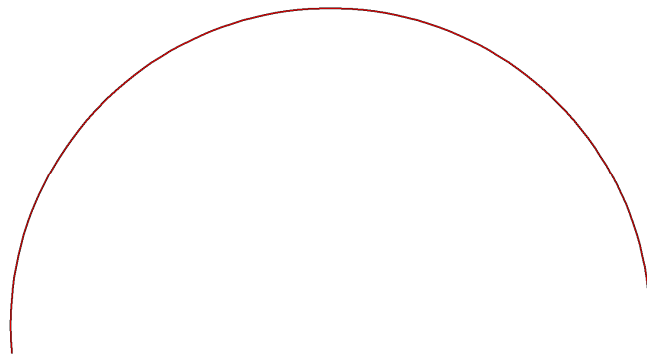
**Fig. 16 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value  $-5,64 \cdot 10^{-9}$  kN/m (Phase: 7)



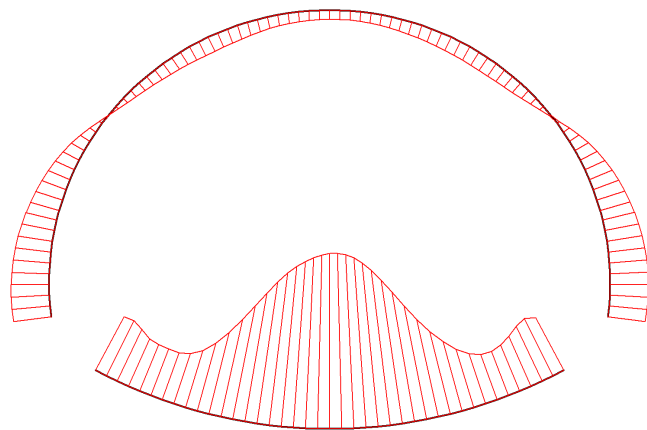
**Fig. 17 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value  $-283,07$  kN/m (Phase: 7)



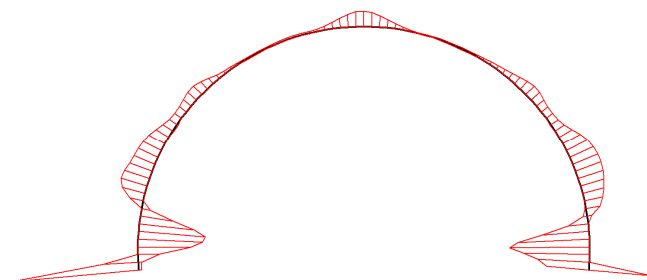
**Fig. 18 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value  $0,00$  kN/m/m (Phase: 7)



**Fig. 19 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value 0,00 kN/m/m (Phase: 7)



**Fig. 20 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value  $20,46 \cdot 10^{-9}$  kN/m/m (Phase: 7)



**Fig. 21 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value 100,35 kN/m/m (Phase: 7)

## 4. Results for phase 14

### 4.4. Deformations

#### 4.4.5. Plot of horizontal displacements

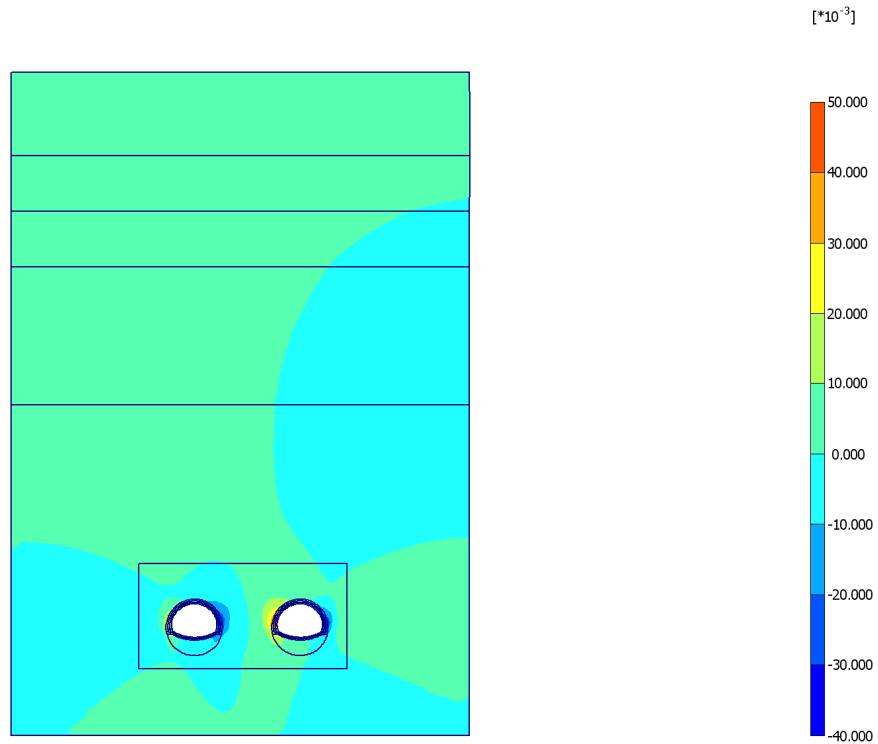


Fig. 22 Plot of horizontal displacements (shadings)  
- Step no: 58 - ( Phase: 14 )

#### 4.4.6. Plot of vertical displacements

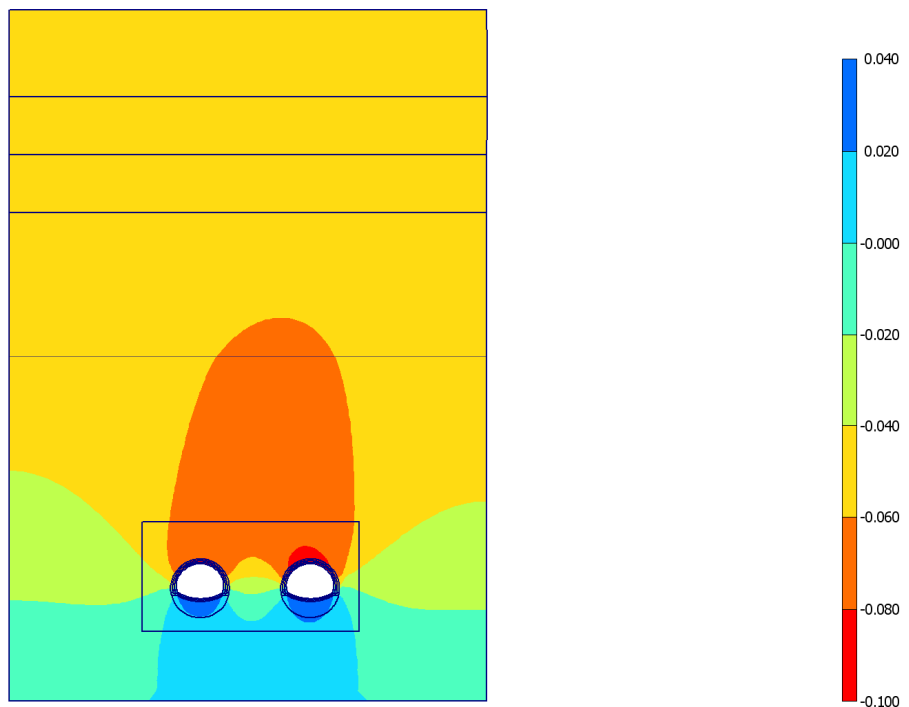
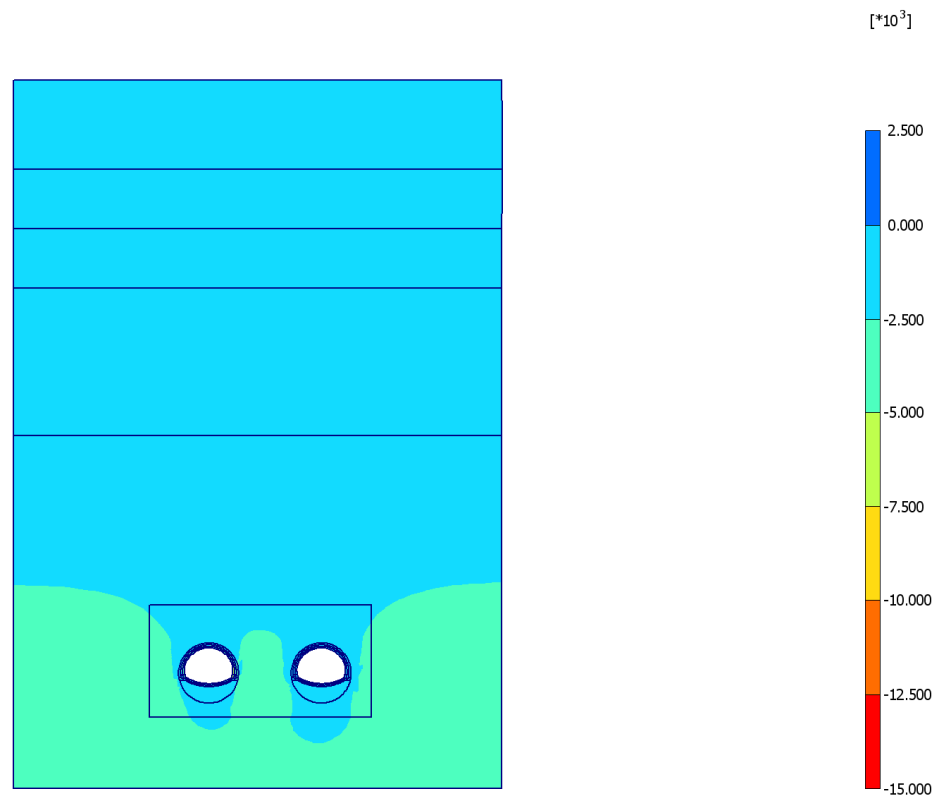


Fig. 23 Plot of vertical displacements (shadings)  
- Step no: 58 - ( Phase: 14 )



## 4.5. Stresses

### 4.5.7. Plot of total stresses



**Fig. 24 Plot of total stresses (mean shadings)**  
**- Step no: 58 - ( Phase: 14 )**

### 4.5.8. Plot of plastic points



Fig. 14 Plot of plastic points  
- Step no: 58 - ( Phase: 14 )

## 4.6. Structures

### 4.6.8. Beams

#### 4.6.8.3. Beams

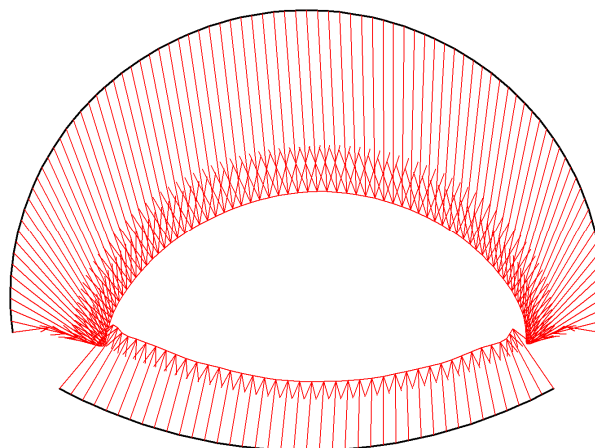
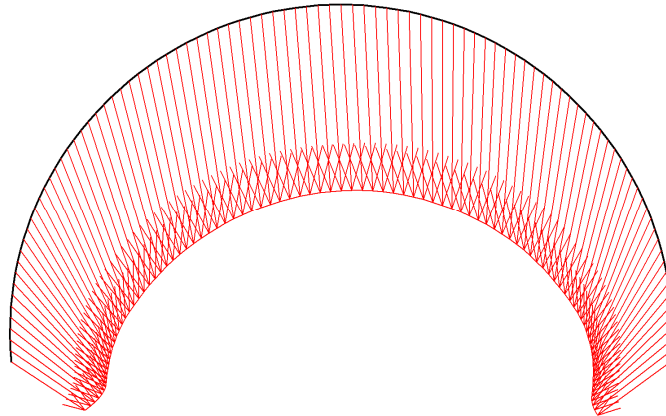
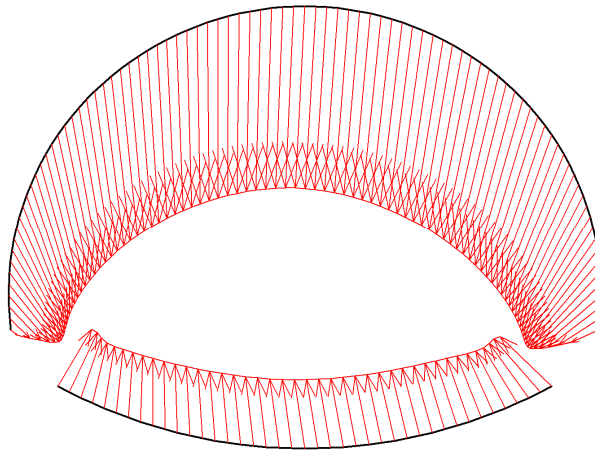


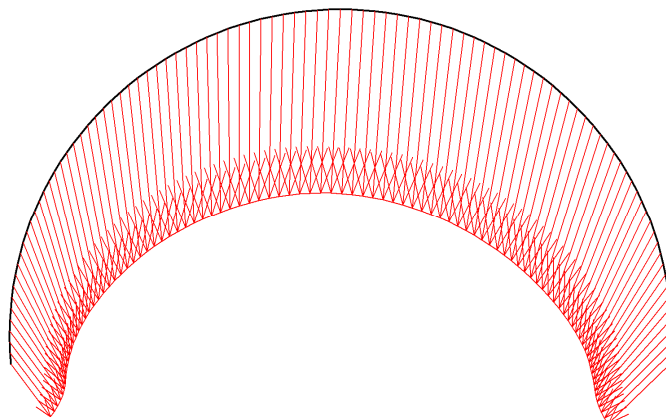
Fig. 25 Total displacements in beam  
Extreme value  $90,66 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 14)



**Fig. 26 Total displacements in beam**  
Extreme value  $90,76 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 14)

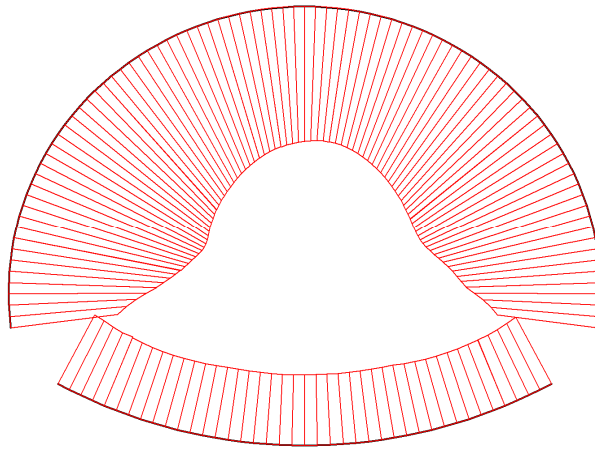


**Fig. 27 Total displacements in beam**  
Extreme value  $83,91 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 14)

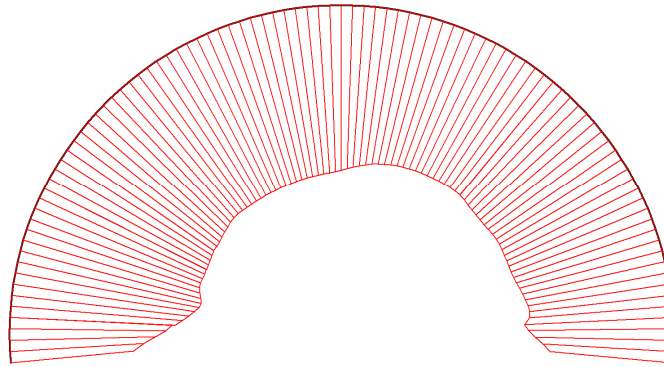


**Fig. 28 Total displacements in beam**  
Extreme value  $83,96 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 14)

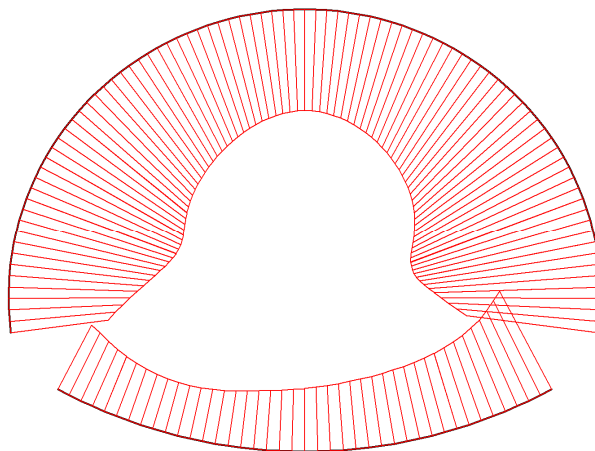
#### 4.6.8.4. Beams



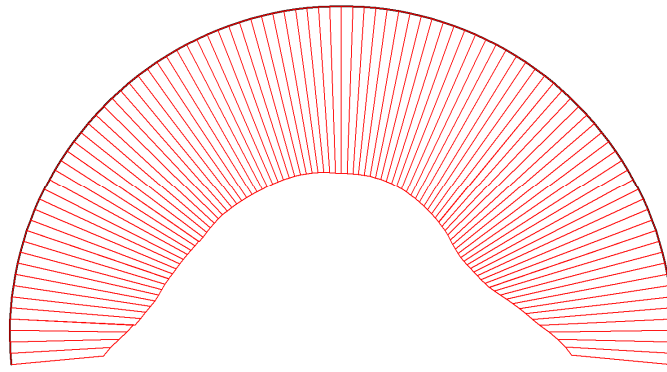
**Fig. 29 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value  $-570,58 \cdot 10^{-9}$  kN/m (Phase: 14)



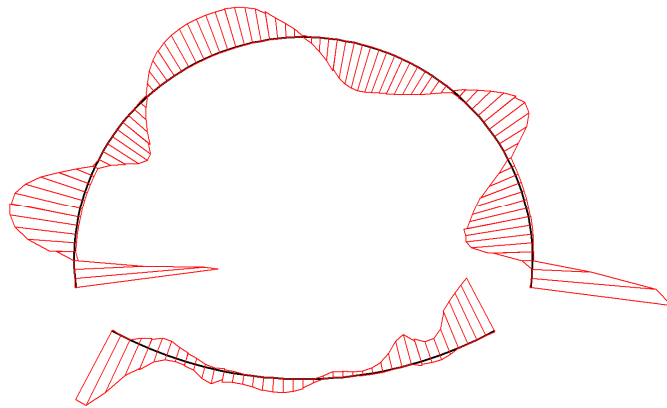
**Fig. 30 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value  $-3,71 \cdot 10^3$  kN/m (Phase: 14)



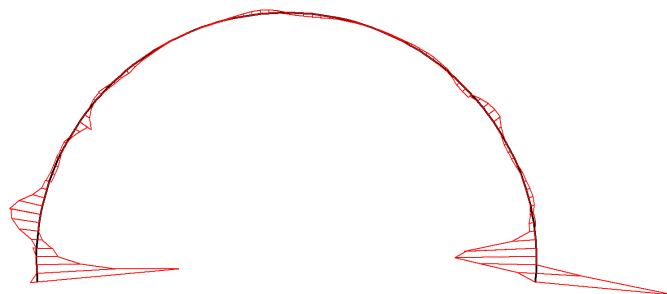
**Fig. 31 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value  $-1,31 \cdot 10^{-6}$  kN/m (Phase: 14)



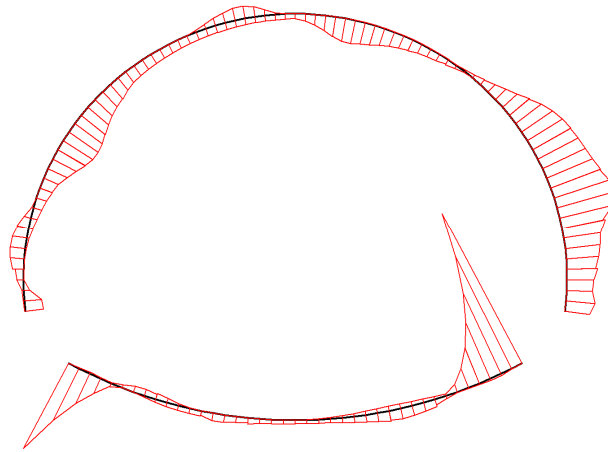
**Fig. 32 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value  $-4,33 \cdot 10^3$  kN/m (Phase: 14)



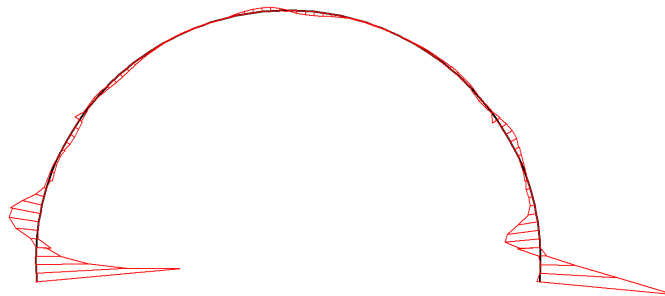
**Fig. 33 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value  $-31,12 \cdot 10^{-9}$  kN/m (Phase: 14)



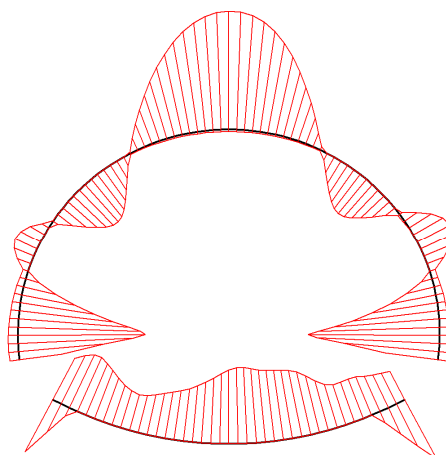
**Fig. 34 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value  $-302,97$  kN/m (Phase: 14)



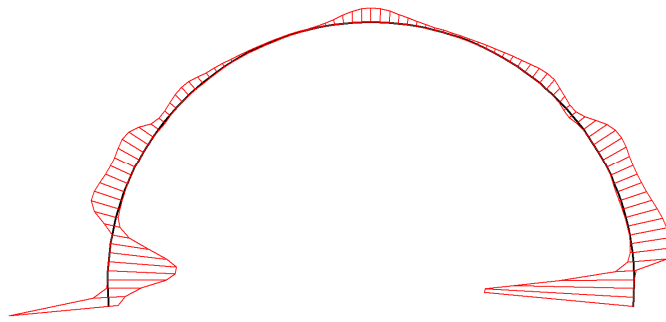
**Fig. 35 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value  $-169,74 \cdot 10^{-9}$  kN/m (Phase: 14)



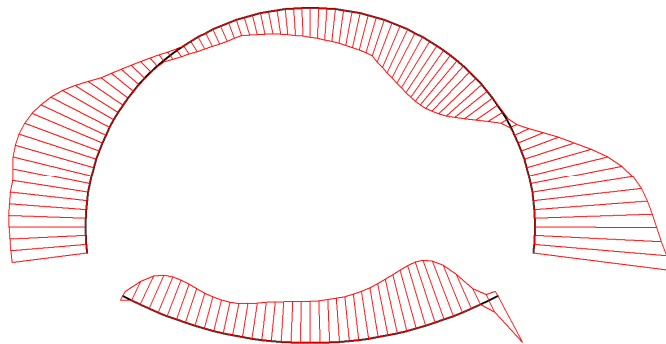
**Fig. 36 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value  $-283,12$  kN/m (Phase: 14)



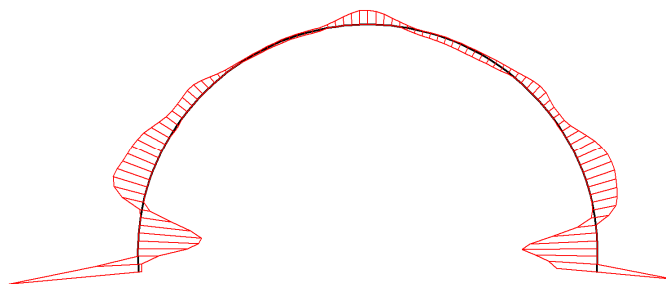
**Fig. 37 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value  $31,99 \cdot 10^{-9}$  kN/m/m (Phase: 14)



**Fig. 38 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value 127,91 kN/m/m (Phase: 14)



**Fig. 39 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value  $196,73 \cdot 10^{-9}$  kN/m/m (Phase: 14)

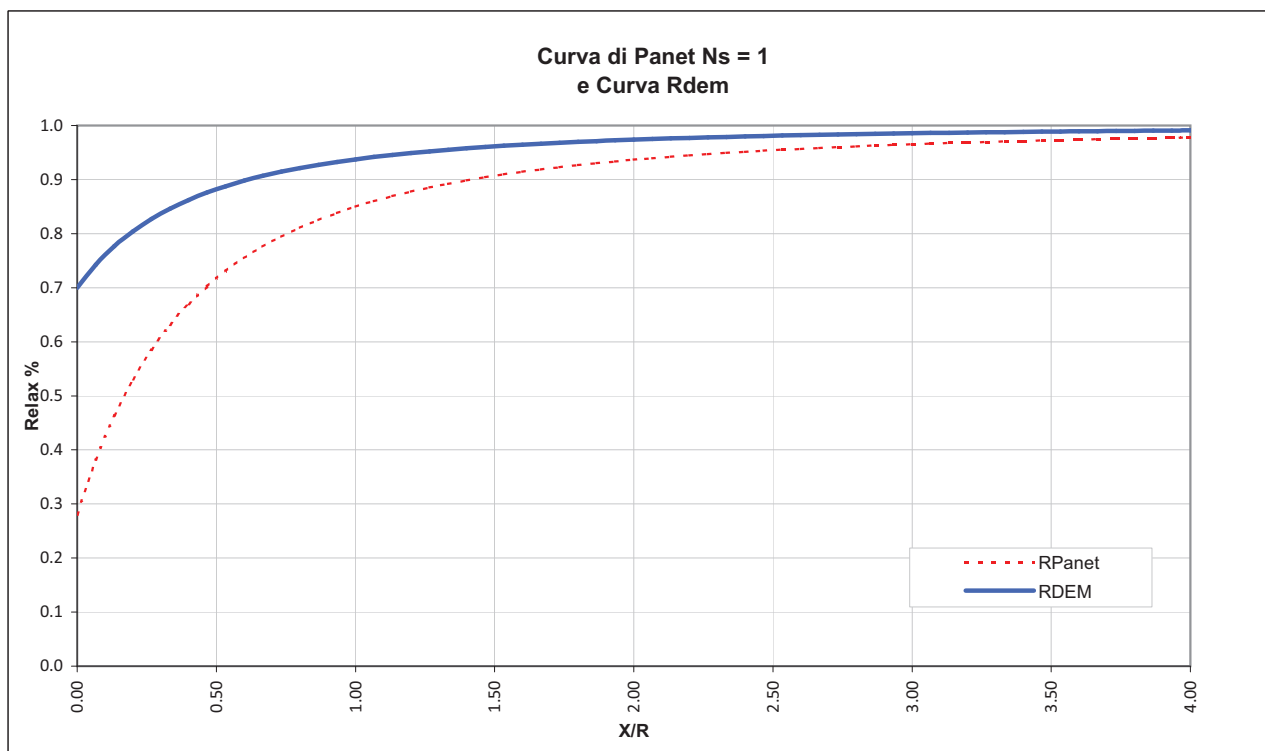


**Fig. 40 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value 108,64 kN/m/m (Phase: 14)

**LAVORO** PONTE SULL STRETTO  
**Sezione** B2/B2+1.05

**Copertura** 150m  
**Litotipo** San Pier Niceto CGL GR1

TIME	DESCRIZIONE	Xfronte [m]	Rpanet	R(FEM)
Time 0	Geostatico	$-\infty$	0%	0%
Time 1	Canna 1: Fronte di scavo	0	28%	77%
Time 2	Canna 1 : Avanzamento primo sfondo	1	44%	83%
Time 3	Canna 1: Installazione priverivestimento e avanzamento	6	78%	90%
Time 4	Canna 1: Maturazione priverivestimento e avanzamento	$\approx 2$ diametri	96%	97%
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%	77%
Time 8	Canna 2 : Avanzamento primo sfondo	1	44%	83%
Time 9	Canna 2: Installazione priverivestimento e avanzamento	2	78%	93%
Time 10	Canna 2: Maturazione priverivestimento e avanzamento	6	96%	95%
Time 11	Canna 2: Getto arco rovescio e murette e avanzamento	$\approx 2$ diametri	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%





# SAN PIER NICETO – COPERTURA 150m – SEZ. B2/B2+1.05

## 1. Mesh data

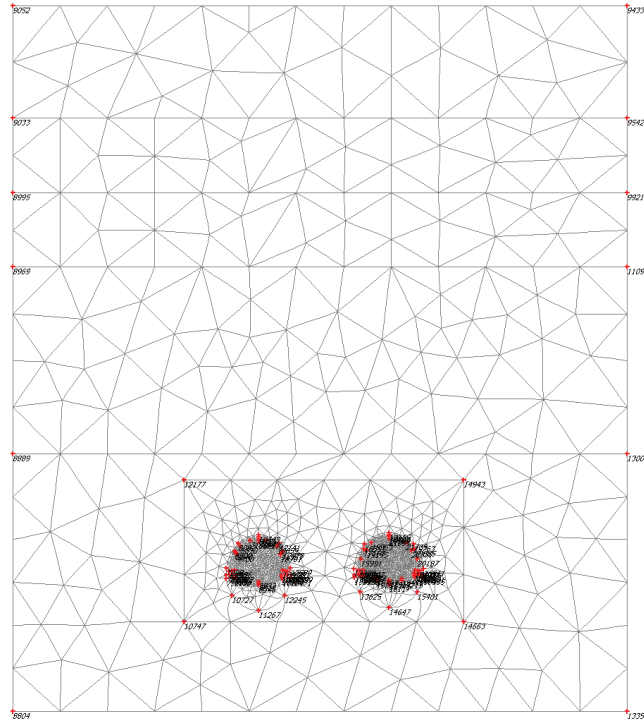


Fig. 1 Plot of the mesh with significant nodes

## 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
		Molassa 450	Molassa 200	Molassa 350	Molassa 100
<b>Type</b>		Drained	Drained	Drained	Drained
$\gamma_{unsat}$	[kN/m <sup>3</sup> ]	22,00	22,00	22,00	22,00
$\gamma_{sat}$	[kN/m <sup>3</sup> ]	22,00	22,00	22,00	22,00
$k_x$	[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	200000,00	250000,00	100000,00
$E_{oed}^{ref}$	[kN/m <sup>2</sup> ]	450000,00	200000,00	250000,00	100000,00
<b>power (m)</b>	[-]	0,00	0,00	0,00	0,00
$c_{ref}$	[kN/m <sup>2</sup> ]	50,00	5,00	5,00	5,00
$\phi$	[°]	33,00	33,00	33,00	33,00
$\psi$	[°]	0,00	0,00	0,00	0,00
$E_{ur}^{ref}$	[kN/m <sup>2</sup> ]	1350000,00	600000,00	750000,00	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

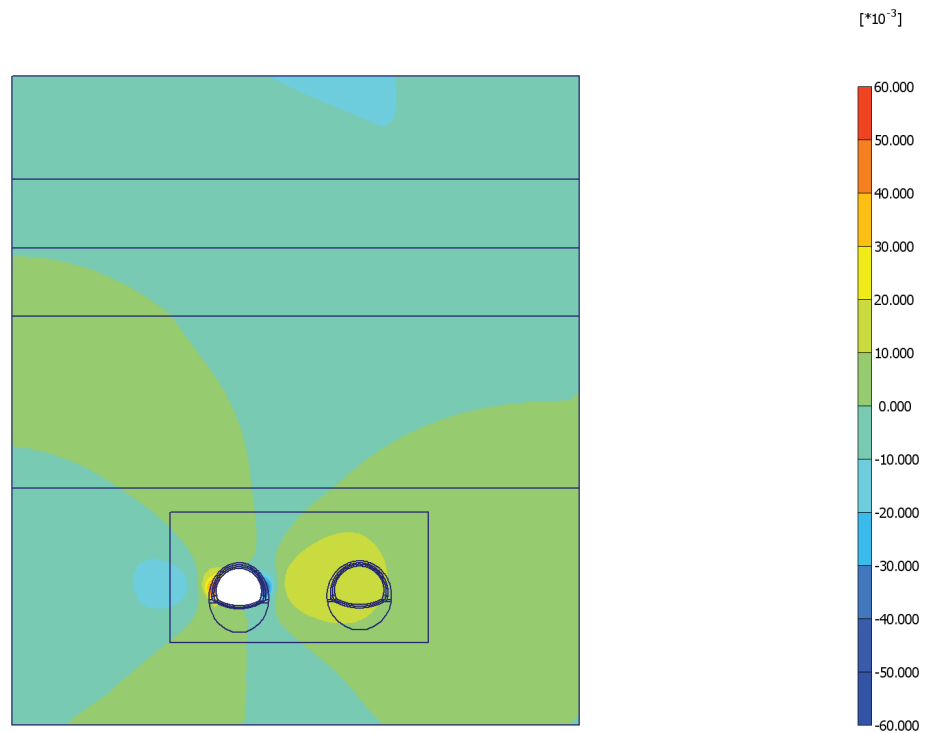


Fig. 3 Plot of horizontal displacements (shadings)  
- Step no: 32 - ( Phase: 7 )

##### 3.1.2. Plot of vertical displacements

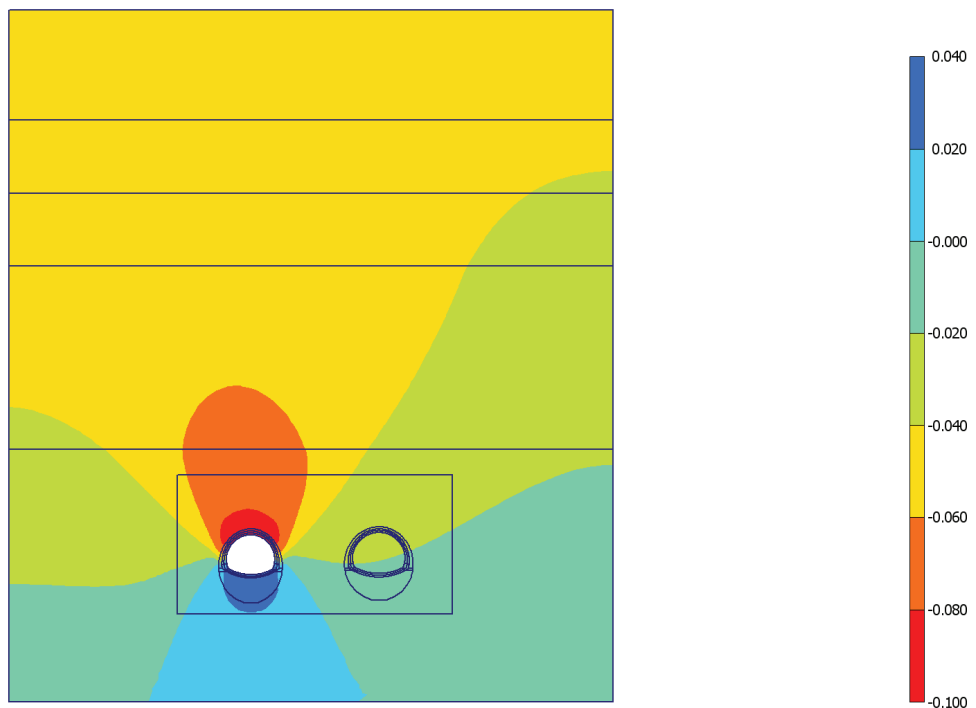


Fig. 4 Plot of vertical displacements (shadings)  
- Step no: 32 - ( Phase: 7 )

### 3.2. Stresses

#### 3.2.3. Plot of total stresses

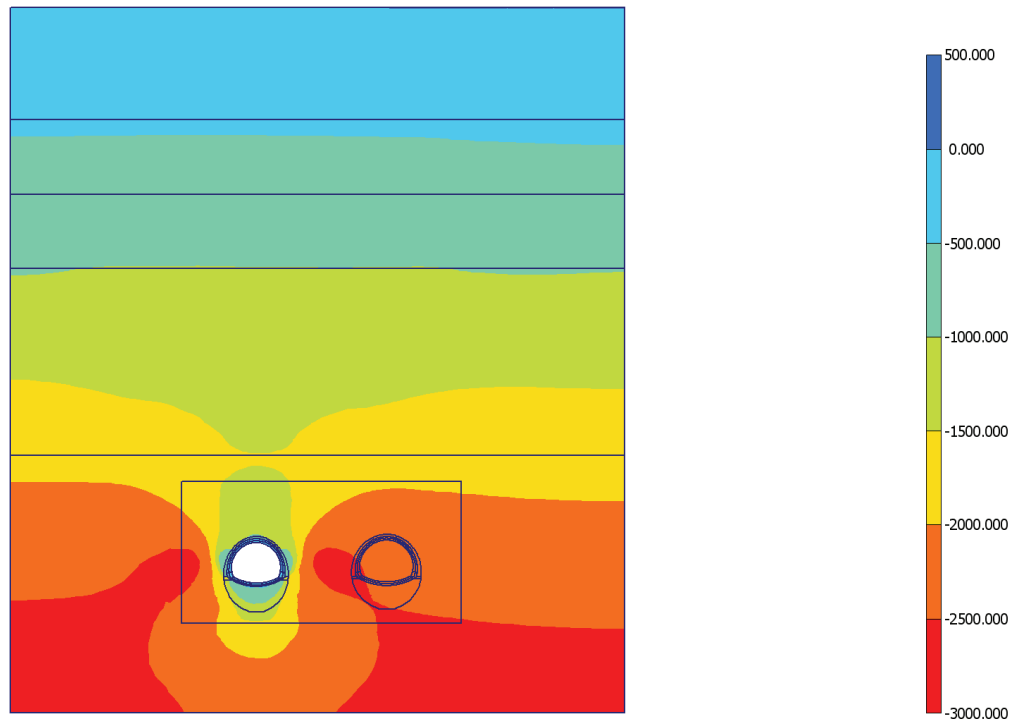


Fig. 5 Plot of total stresses (mean shadings)  
- Step no: 32 - ( Phase: 7 )

#### 3.2.4. Plot of plastic points

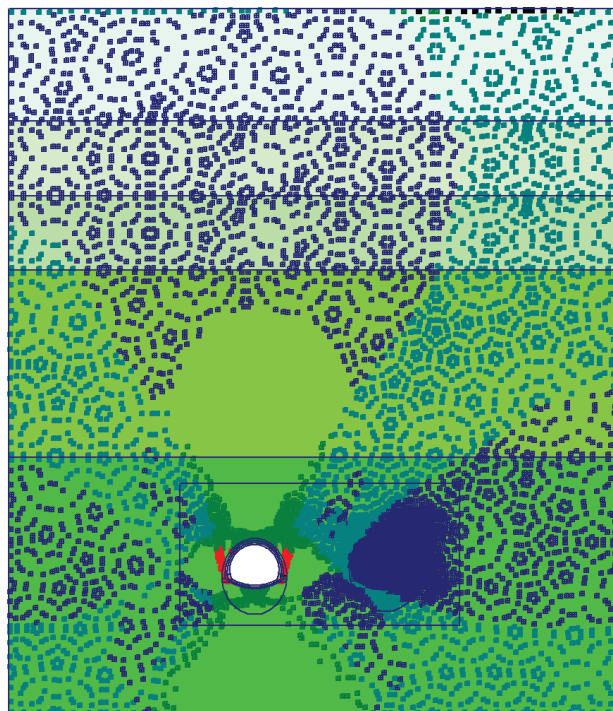
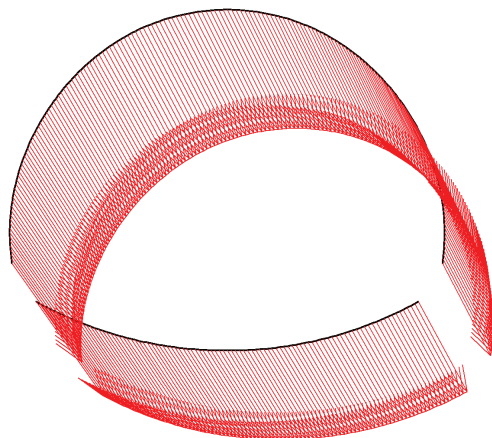


Fig. 7 Plot of plastic points  
- Step no: 32 - ( Phase: 7 )

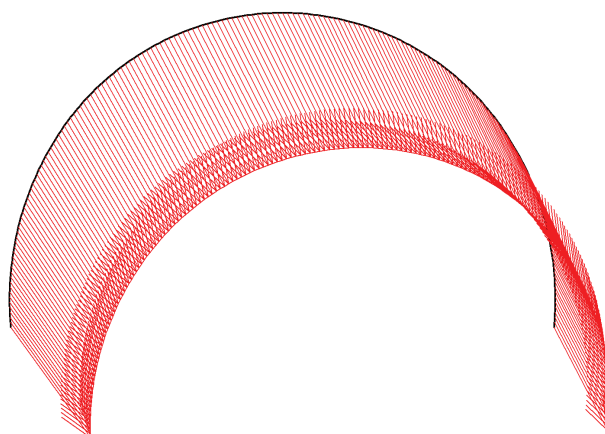
### 3.3. Structures

#### 3.3.4. Beams

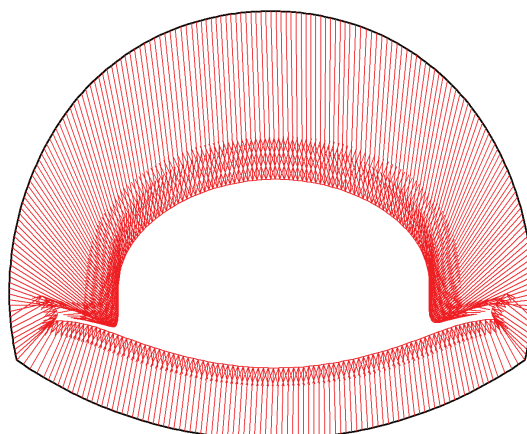
##### 3.3.4.1. Beams



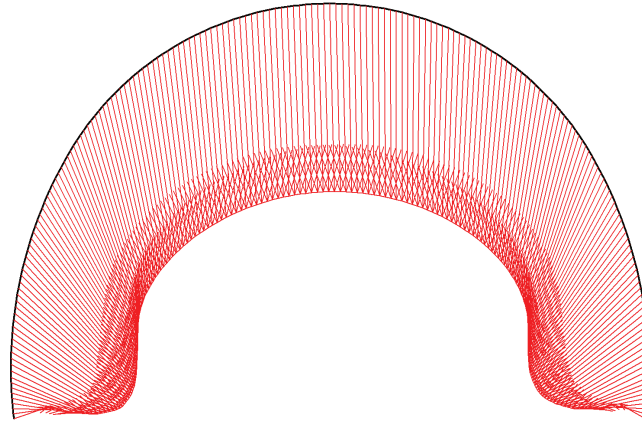
**Fig. 6 Total displacements in beam**  
Extreme value  $28,08 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 7)



**Fig. 7 Total displacements in beam**  
Extreme value  $28,39 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 7)

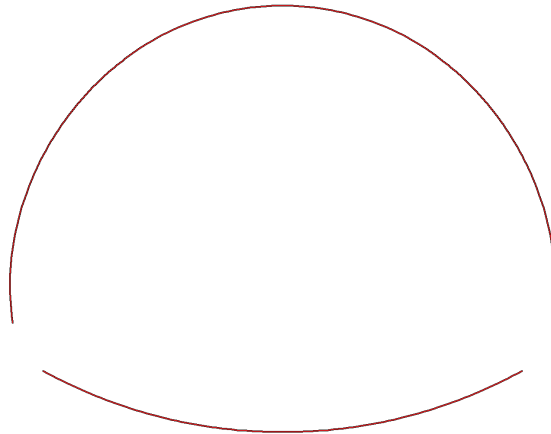


**Fig. 8 Total displacements in beam**  
Extreme value  $89,48 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 7)

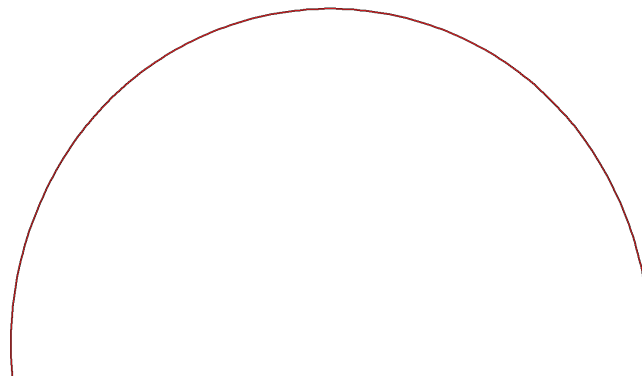


**Fig. 9 Total displacements in beam**  
Extreme value  $90,01 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 7)

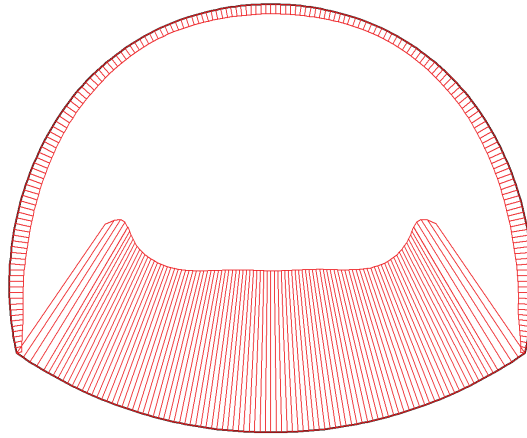
### 3.3.4.2. Beams



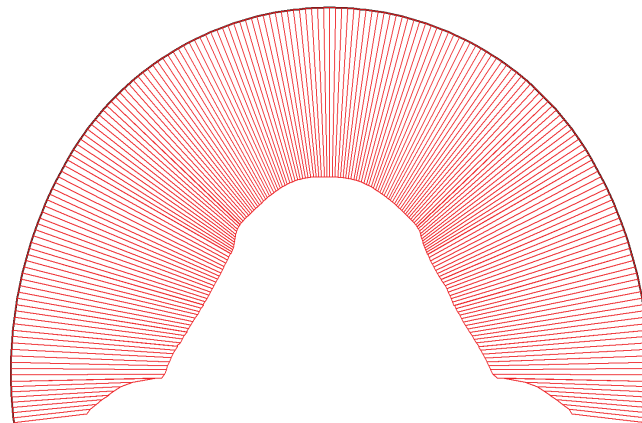
**Fig. 10 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value 0,00 kN/m (Phase: 7)



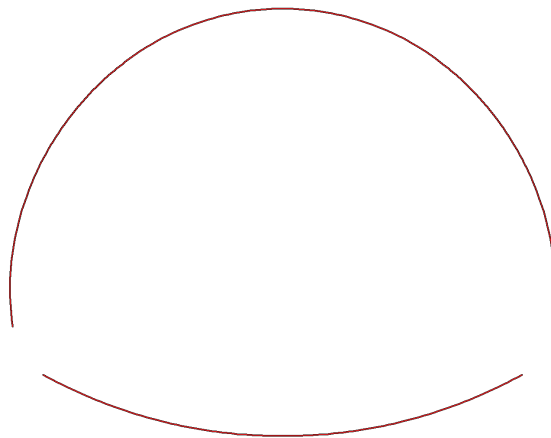
**Fig. 11 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value 0,00 kN/m (Phase: 7)



**Fig. 12 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value  $-127,98 \cdot 10^{-9}$  kN/m (Phase: 7)

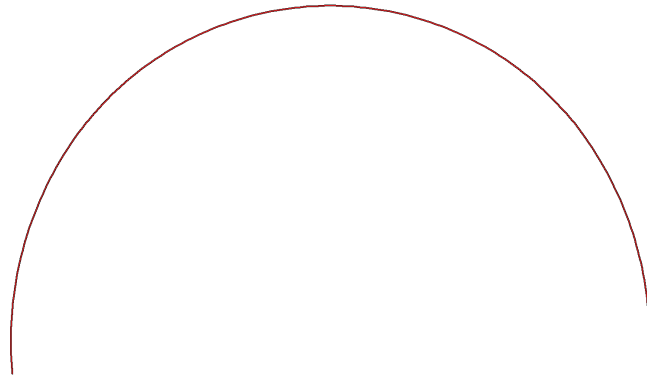


**Fig. 13 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value  $-3,20 \cdot 10^3$  kN/m (Phase: 7)



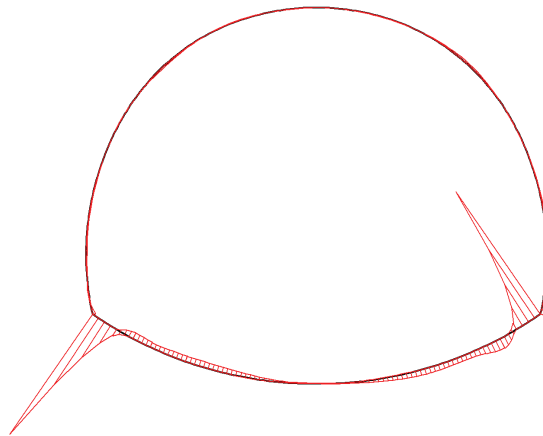
**Fig. 14 Shear forces envelop in beam**

Extreme value 0,00 kN/m (Phase: 7)



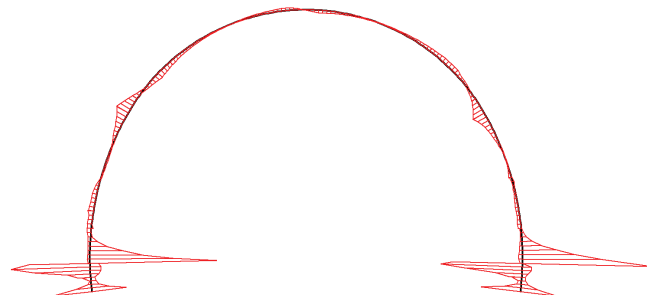
**Fig. 15 Shear forces envelop in beam**

Extreme value 0,00 kN/m (Phase: 7)



**Fig. 16 Shear forces envelop in beam**

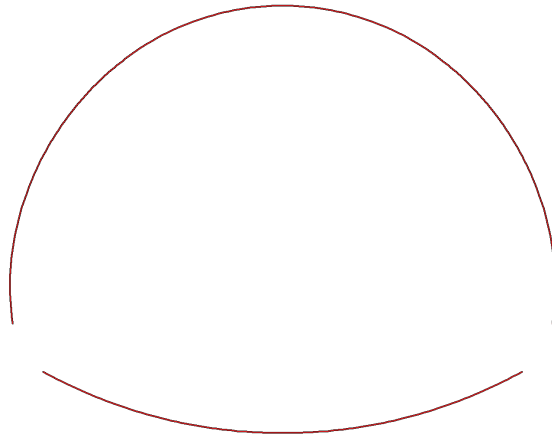
Extreme value  $-33,53 \cdot 10^{-9}$  kN/m (Phase: 7)



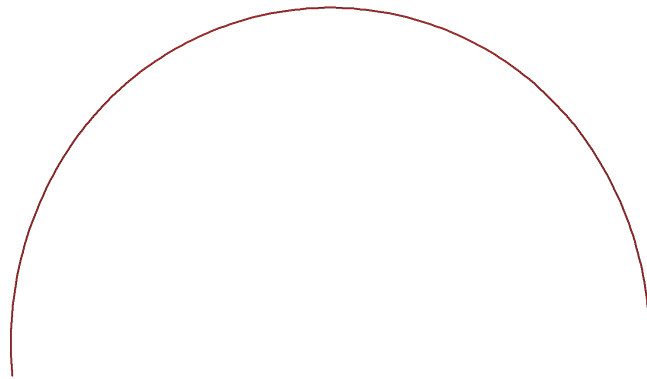
**Fig. 17 Shear forces envelop in beam**

Extreme value 364,92 kN/m (Phase: 7)

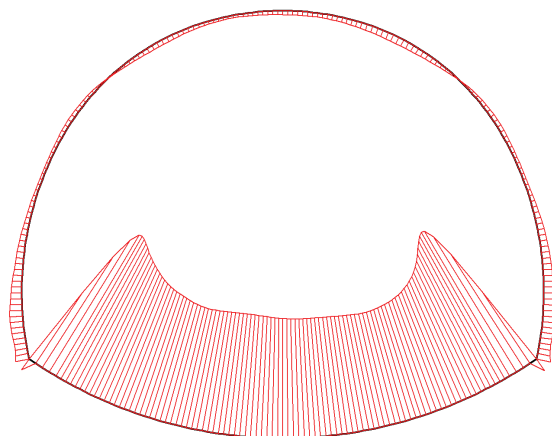




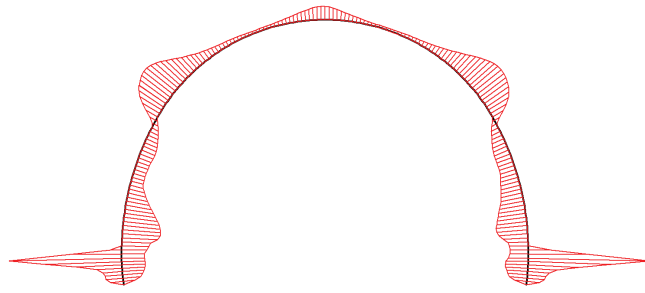
**Fig. 18 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value 0,00 kN/m/m (Phase: 7)



**Fig. 19 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value 0,00 kN/m/m (Phase: 7)



**Fig. 20 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value  $10,96 \cdot 10^{-9}$  kN/m/m (Phase: 7)



**Fig. 21 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value 92,02 kN/m/m (Phase: 7)

## 4. Results for phase 14

### 4.4. Deformations

#### 4.4.5. Plot of horizontal displacements

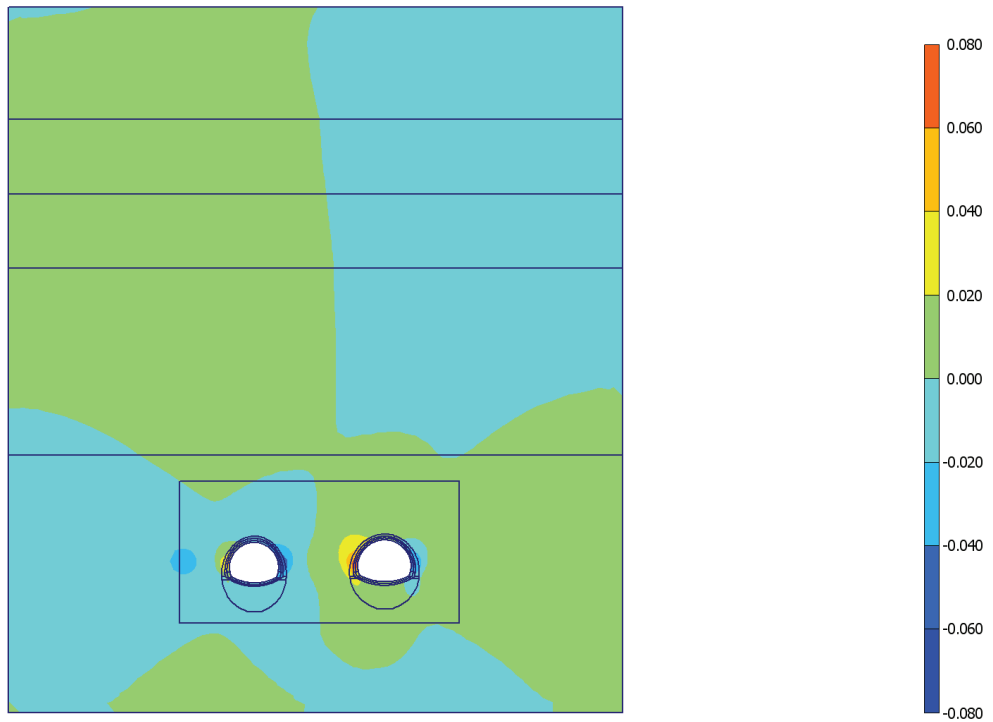


Fig. 22 Plot of horizontal displacements (shadings)  
- Step no: 62 - ( Phase: 14 )

#### 4.4.6. Plot of vertical displacements

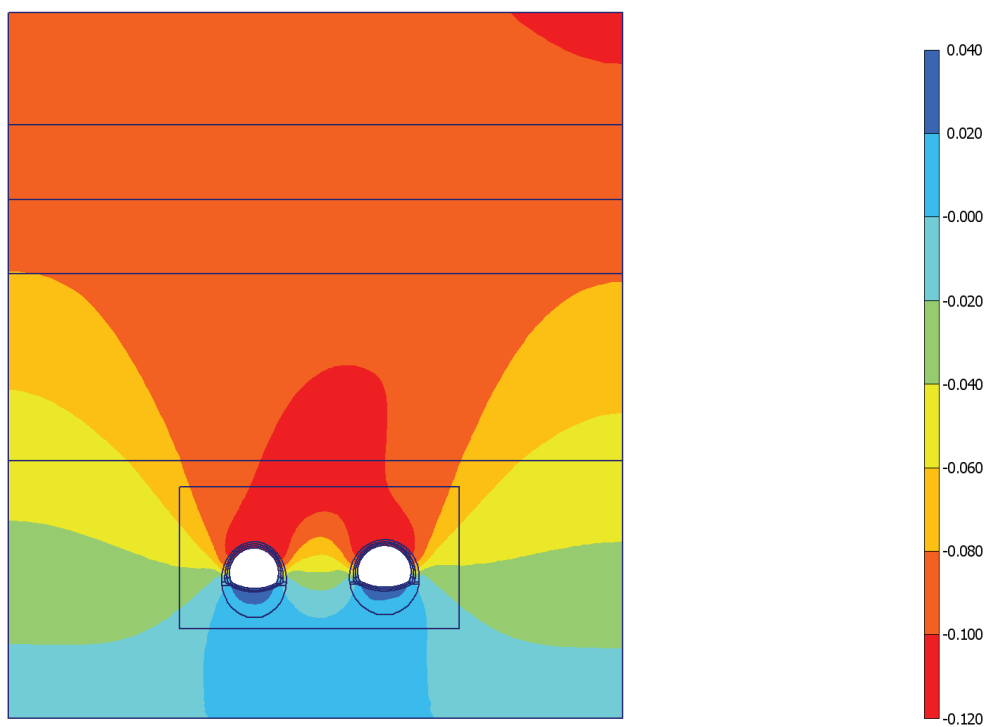


Fig. 23 Plot of vertical displacements (shadings)  
- Step no: 62 - ( Phase: 14 )

### 4.5. Stresses

#### 4.5.7. Plot of total stresses

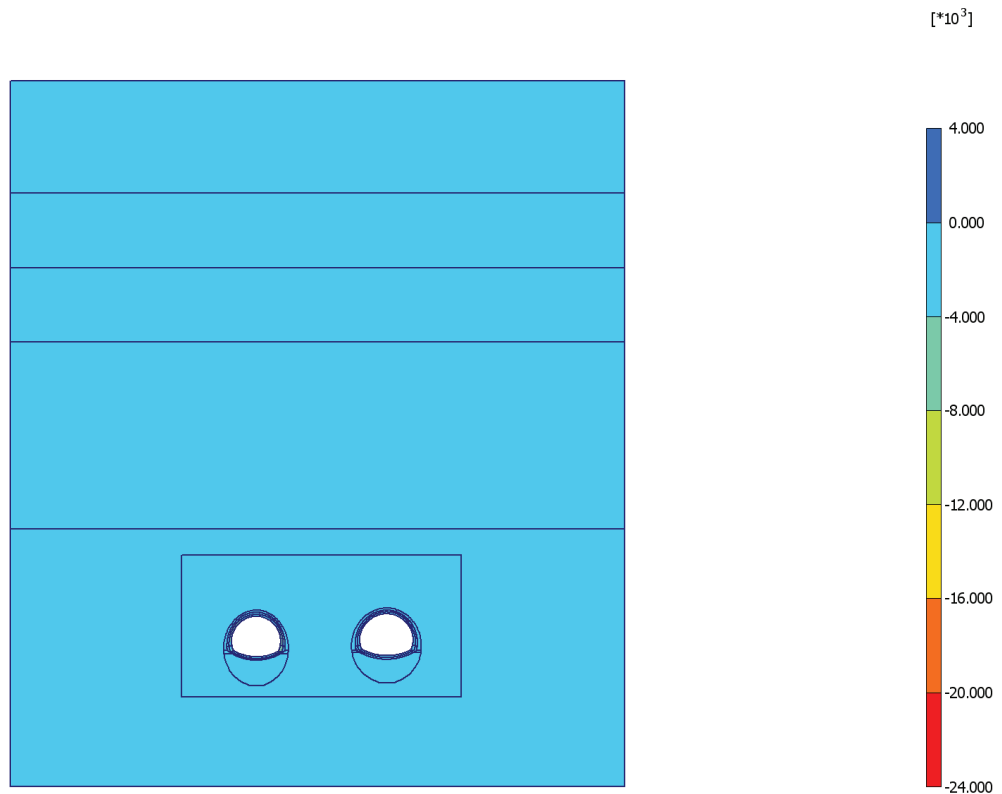


Fig. 24 Plot of total stresses (mean shadings)  
- Step no: 62 - ( Phase: 14 )

#### 4.5.8. Plot of plastic points

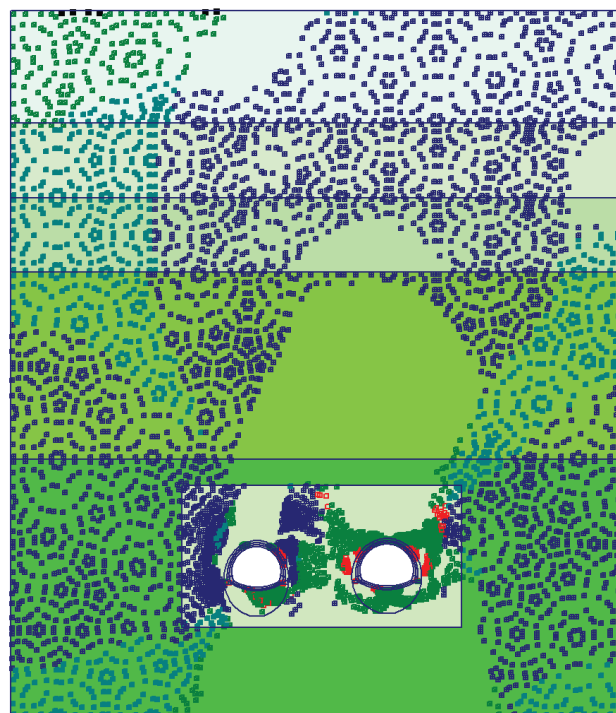
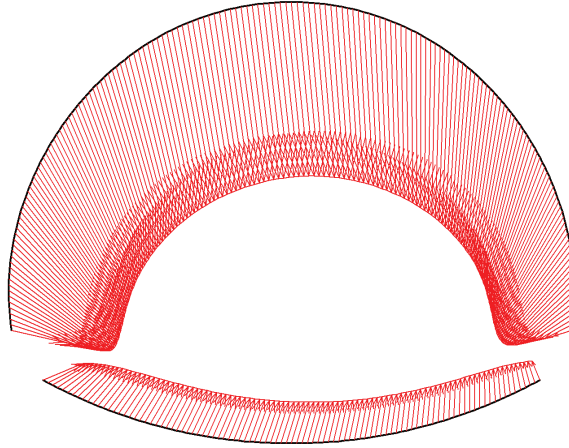


Fig. 14 Plot of plastic points - Step no: 62 - ( Phase: 14 )

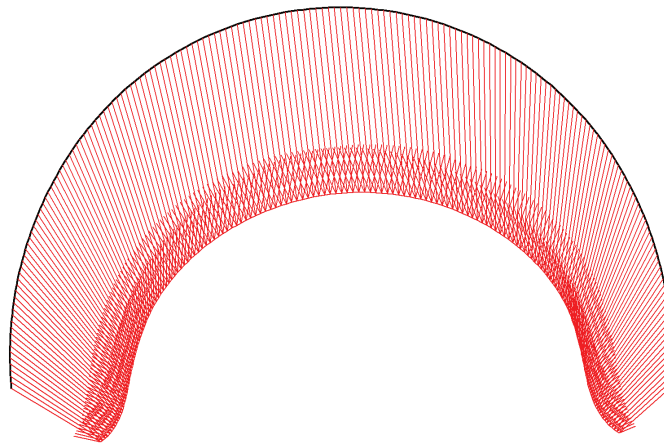
## 4.6. Structures

### 4.6.8. Beams

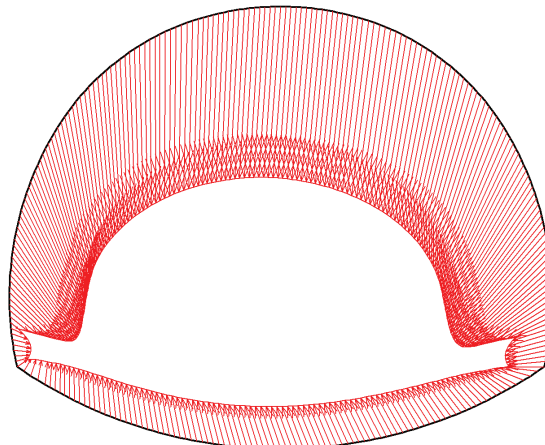
#### 4.6.8.3. Beams



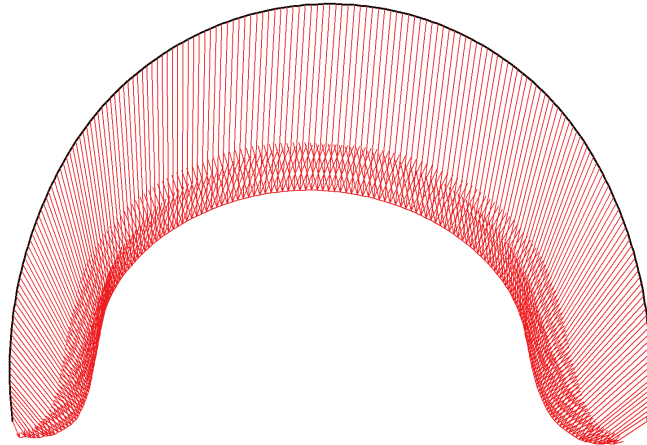
**Fig. 25 Total displacements in beam**  
Extreme value  $114,80 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 14)



**Fig. 26 Total displacements in beam**  
Extreme value  $115,23 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 14)

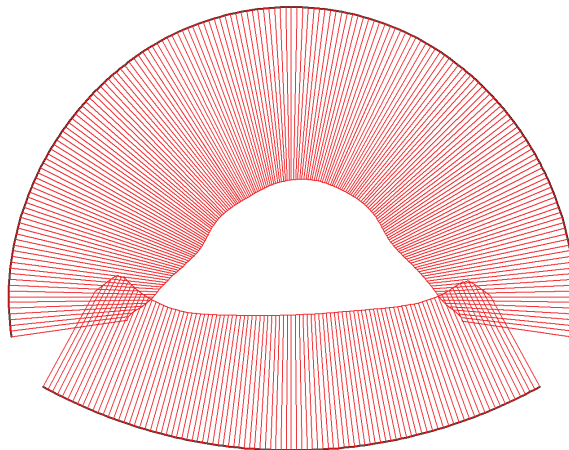


**Fig. 27 Total displacements in beam**  
Extreme value  $114,55 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 14)

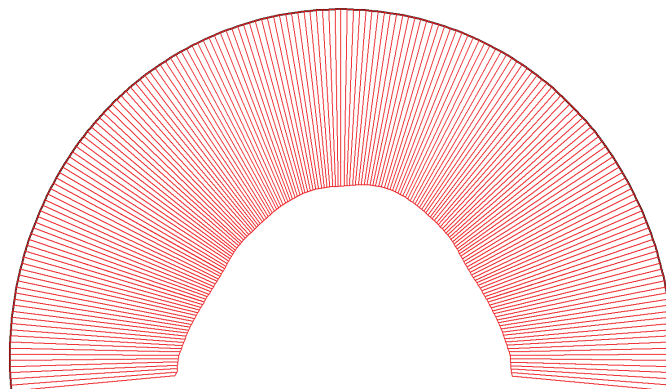


**Fig. 28 Total displacements in beam**  
Extreme value  $115,13 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 14)

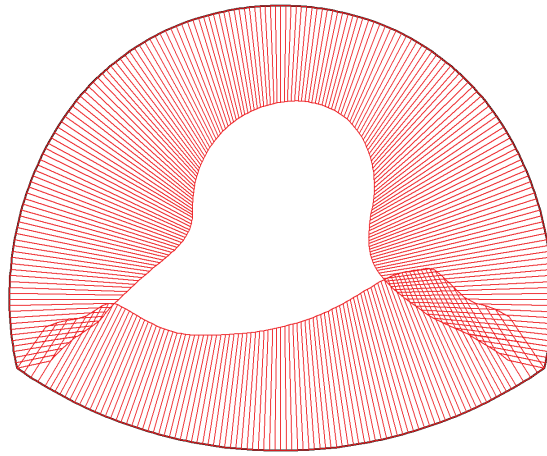
#### 4.6.8.4. Beams



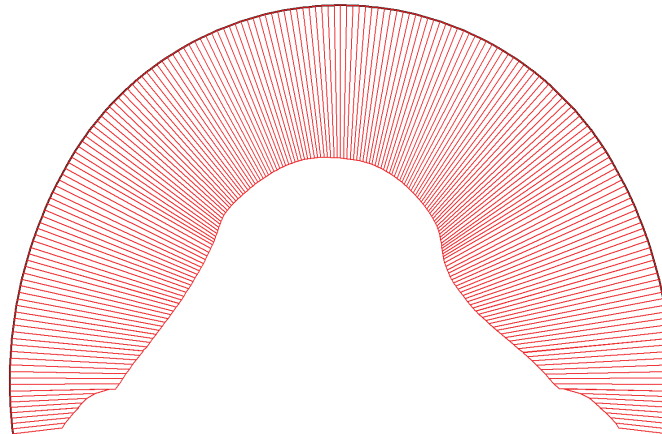
**Fig. 29 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value  $-390,92 \cdot 10^{-9}$  kN/m (Phase: 14)



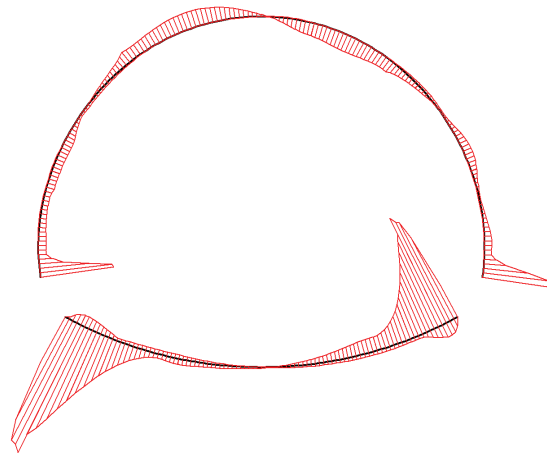
**Fig. 30 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value  $-3,66 \cdot 10^3$  kN/m (Phase: 14)



**Fig. 31 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value  $-825,19 \cdot 10^{-9}$  kN/m (Phase: 14)

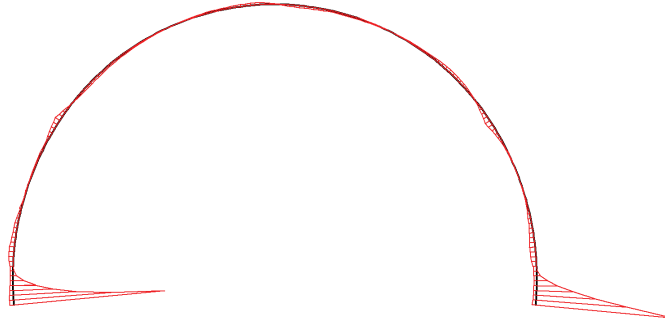


**Fig. 32 Axial forces envelop in beam**  
Extreme value  $-4,94 \cdot 10^3$  kN/m (Phase: 14)

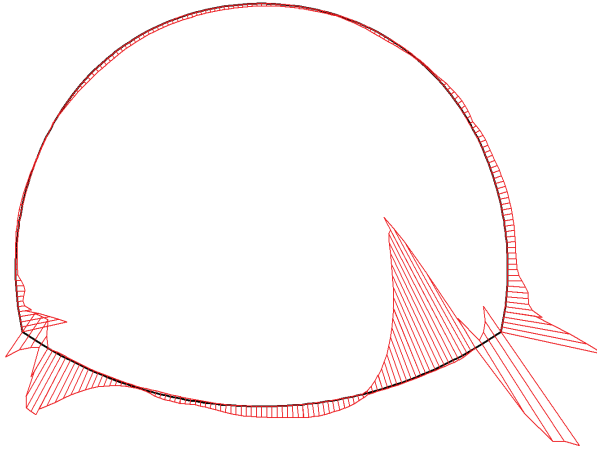


**Fig. 33 Shear forces envelop in beam**

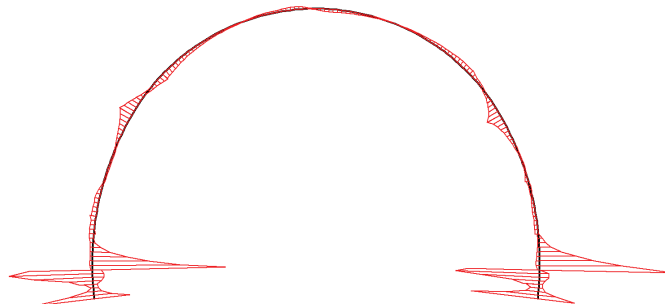
Extreme value  $33,78 \cdot 10^{-9}$  kN/m (Phase: 14)



**Fig. 34 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value -477,22 kN/m (Phase: 14)

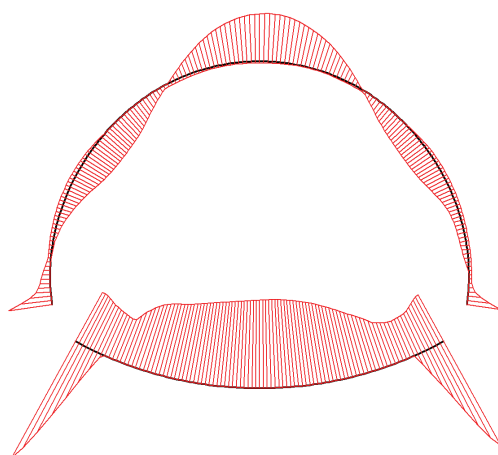


**Fig. 35 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value  $-172,01 \cdot 10^{-9}$  kN/m (Phase: 14)

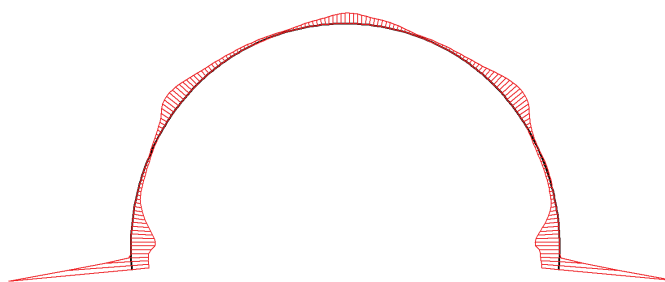


**Fig. 36 Shear forces envelop in beam**  
Extreme value 366,52 kN/m (Phase: 14)

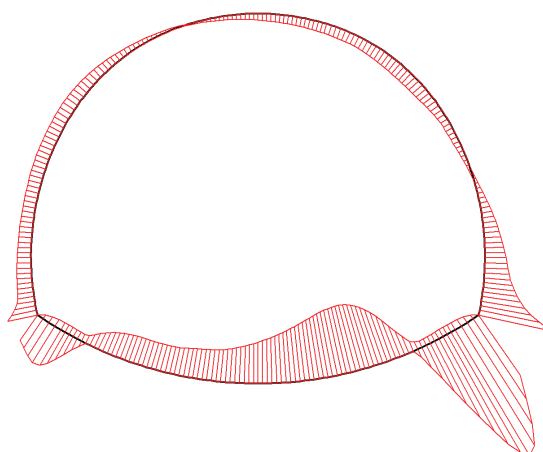




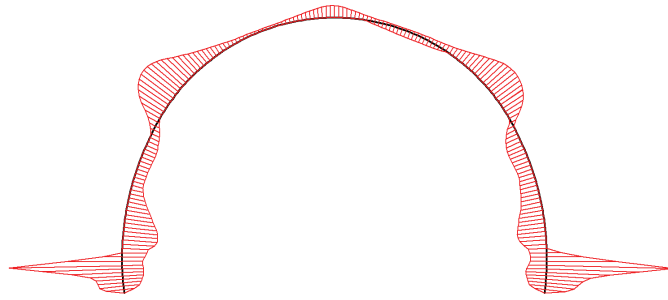
**Fig. 37 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value  $29,97 \cdot 10^{-9}$  kN/m/m (Phase: 14)



**Fig. 38 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value 125,24 kN/m/m (Phase: 14)



**Fig. 39 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value  $188,54 \cdot 10^{-9}$  kN/m/m (Phase: 14)



**Fig. 40 Bending moment envelop in beam**  
Extreme value 105,60 kN/m/m (Phase: 14)