

COMMITTENTE:



ALTA SORVEGLIANZA:



GENERAL CONTRACTOR:



INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE OBIETTIVO N. 443/01

TRATTA A.V. /A.C. TERZO VALICO DEI GIOVI PROGETTO DEFINITIVO

**VAR0008 – Specifiche Tecniche di Interoperabilità
GN91A – Galleria di Sfollamento – Binario Pari – Tratto A (Fermata Val Lemme) - Zona Area Sicura Val Lemme
Relazione geotecnica e di calcolo**

GENERAL CONTRACTOR	DIRETTORE DEI LAVORI
Consorzio Cociv Ing. N.Meistro	

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
A 3 0 1	0 X	D	C V	R O	G N 9 1 A 0	0 0 1	B

Progettazione :								IL PROGETTISTA
Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Progettista Integratore	Data	
A00	Emissione	Rocksoil 	24/02/2020	Rocksoil 	26/02/2020	A.Mancarella 	28/02/2020	 Consorzio Collegamenti Integrati Veloci Dott. Ing. Aldo Mancarella Ordine Ingegneri Prov. TO n. 6271 R
A01	Revisione generale	Rocksoil 	15/06/2020	Rocksoil 	17/06/2020	A.Mancarella 	19/06/2020	
B00	Revisione per istruttoria A3010XD07ISGN0000015A	Rocksoil 	13/10/2020	Rocksoil 	13/10/2020	A.Mancarella 	14/10/2020	

n. Elab.:	File: A3010XDCVROGN91A00001B00
-----------	--------------------------------

CUP: F81H92000000008

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>Censozio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>
	<p style="text-align: center;">A3010XDCVROGN91A00001B00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 3 di 71</p>

INDICE

INDICE.....		3
1. INTRODUZIONE.....		5
2. NORMATIVE E RACCOMANDAZIONI.....		6
3. MATERIALI IMPIEGATI.....		8
3.1 Consolidamenti e rivestimenti provvisori.....		8
3.2 Rivestimenti definitivi.....		10
3.3 Valori di verifica.....		10
4. DESCRIZIONE DEI METODI DI CALCOLO UTILIZZATI.....		11
4.1 Metodo delle curve caratteristiche.....		11
4.1.1 Aspetti generali.....		11
4.1.2 Consolidamento del fronte di scavo.....		14
4.2 Analisi numeriche bidimensionali: FLAC.....		15
4.3 Analisi stabilità del fronte in gallerie superficiali.....		18
4.3.1 Metodo di Tamez & Cornejo (1985).....		18
4.3.2 Metodo di Broms e Bennermark (1967).....		20
4.3.3 Metodo del tasso di deconfinamento critico λ_E (Panet, 1990).....		20
5. INQUADRAMENTO GENERALE.....		22
5.1 Modifiche generali dell'opera.....		22
5.2 Caratteristiche dell'opera GN91A.....		23
5.3 Inquadramento Geologico – Geomorfologico.....		24
5.4 Inquadramento Geotecnico.....		25
5.4.1 Parametri ed ipotesi di calcolo.....		26
5.5 Analisi delle criticità lungo il tracciato.....		27
6. FASE DI DIAGNOSI: COMPORTAMENTO DELL'AMMASSI ALLO SCAVO.....		29
6.1 Calcolo e determinazione delle categorie di comportamento allo scavo.....		30
6.1.1 Analisi di stabilità del fronte di scavo.....		31
6.1.2 Metodo delle Linee Caratteristiche.....		33
6.1.3 Considerazioni conclusive.....		35
7. FASE DI TERAPIA: DEFINIZIONE DELLE SOLUZIONI PROGETTUALI.....		37
7.1 Tipologie di intervento in fase costruttiva.....		37
7.2 Sezioni tipo previste.....		38
8. ANALISI DELLE SOLUZIONI PROGETTUALI.....		41
8.1 Analisi di stabilità del fronte.....		41
8.2 Analisi tramite il Metodo delle Linee Caratteristiche.....		42

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>A3010XDCVROGN91A00001B00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 4 di 71</p>

8.3	Analisi numeriche bidimensionali	44
8.3.1	Scelta delle sezioni di verifica rappresentative.....	44
8.3.2	Ipotesi e criteri di modellazione	44
8.3.3	Simulazione dello scavo	49
8.4	Modello 01: Sezione tipo B0pr.....	50
8.5	Modello 02: Sezione tipo B2pr.....	54
9.	RISULTATI DELLE ANALISI NUMERICHE E VERIFICHE.....	57
9.1	Criteri di verifica dei rivestimento di prima fase.....	57
9.2	Criteri di veifica dei rivestimenti definitivi	58
9.3	Modello 01: Sezione Tipo B0pr.....	60
9.3.1	Analisi deformativa	60
9.3.1	Analisi Tensionale.....	62
9.4	Modello 02: Sezione Tipo B2pr.....	65
9.4.1	Analisi deformativa	65
9.4.2	Analisi Tensionale.....	67
10.	ANALISI DELLE INTERFERENZE DI SUPERIFCIE	69
11.	CONCLUSIONI	70
12.	ALLEGATI DI CALCOLO	71

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN91A00001B00
	Foglio 5 di 71

1. INTRODUZIONE

Oggetto della presente relazione è il dimensionamento strutturale e geotecnico delle opere afferenti alla WBS GN91A, poste tra la pk 17+290 ca. e la pk 17+740 ca del binario pari della galleria Valico, compresa nel Progetto della Linea AV/AC Milano Genova - Terzo Valico dei Giovi. L'opera rientra nella Variante di progettazione dell'area Val Lemme per effetto dell'applicazione delle Specifiche Tecniche di Interoperabilità (STI). Le parti componenti la WBS in oggetto e le relative fasi costruttive sono descritte al § 5.1.

La metodologia di lavoro è stata sviluppata secondo l'approccio del metodo ADECO-RS (Analisi delle Deformazioni Controllate nelle Rocce e nei Suoli; Lunardi, 2006), che prevede le seguenti fasi progettuali:

- 1) FASE CONOSCITIVA: in tale fase sono raccolte le informazioni geologiche e geotecniche sull'area in esame e sono definiti i parametri geotecnici di progetto;
- 2) FASE DI DIAGNOSI: in tale fase è valutato il comportamento allo scavo dei materiali attraversati in assenza di interventi. Sono definite pertanto 3 classi di comportamento del fronte a seconda dei fenomeni deformativi attesi: A (fronte stabile), B (fronte stabile a breve termine), C (fronte instabile).
- 3) FASE DI TERAPIA: in tale fase sono individuati gli interventi idonei per realizzare l'opera in condizioni di sicurezza, mediante la definizione di sezioni tipo di scavo e consolidamento.

Le coperture previste in chiave calotta risultano comprese tra i 200 m e i 350 m circa.

La formazione geologica prevalentemente attraversata dagli scavi è riconducibile alla Formazione delle Argilliti a Palombini (aP), scisti micaceo-carbonatici, ricchi in grafite, con intercalazione decimetrico-metriche di calcari micritici, calcari micacei e metasiltiti.

Lo scavo delle opere non presenta zone in cui sono previste particolari criticità puntuali dal punto di vista geomeccanico (quali faglie e passaggi interformazionali), mentre non trascurabile risulta l'interferenza costituita dalla realizzazione dei by-pass di collegamento col binario pari della galleria di Valico, nonché lo scavo in affiancamento alle opere di linea.

La presente relazione elenca preliminarmente le normative di riferimento, i materiali adottati e i metodi di calcolo utilizzati, per poi inquadrare l'opera e le criticità che ne caratterizzano la realizzazione (Fase Conoscitiva); a seguire è analizzata, tramite metodi analitici, la risposta deformativa dell'ammasso allo scavo (Fase di Diagnosi) e sono dimensionati, tramite metodi analitici e modelli numerici bidimensionali, i conseguenti interventi di stabilizzazione (Fase di Terapia).

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN91A00001B00 Foglio 6 di 71

2. NORMATIVE E RACCOMANDAZIONI

Per il calcolo e per le verifiche delle opere strutturali si è fatto riferimento alle seguenti norme:

- Legge 5/11/1971 n. 1086

Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica.

- Legge n° 64 del 2 febbraio 1974

Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.

- Circolare Ministero Lavori Pubblici n. 11951 del 14/2/1974

Legge 5 novembre 1971, n. 1086. Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica. Istruzioni per l'applicazione.

- Circolare Ministero Lavori Pubblici n. 20049 del 9/1/1980

Legge 5 novembre 1971 n. 1086 - Istruzioni relative ai controlli sul conglomerato cementizio adoperato per le strutture in cemento armato.

- Istruzioni C.N.R. 10012-81

Azioni sulle costruzioni.

- Decreto Ministero Lavori Pubblici 11/3/1988

Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.

- Circolare Ministero Lavori Pubblici n. 30483 del 24/9/1988

Legge 2 febbraio 1974 art. 1-D.M. 11 marzo 1988. Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione. Istruzioni per l'applicazione.

- Nota Ministero Lavori Pubblici n. 183 del 13/4/1989

D.M. 11.3.88. Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, la progettazione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.

- Decreto Ministero Lavori Pubblici 14/02/1992

Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.

- Circolare Ministero Lavori Pubblici 24/06/1993 n. 406/STC

Istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche di cui al D. M. 14/02/1992.

- Decreto Ministero Lavori Pubblici 9/01/1996

Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN91A00001B00
	Foglio 7 di 71

- Decreto Ministero Lavori Pubblici 16/01/1996

Norme tecniche relative ai "Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi".

- Decreto Ministero Lavori Pubblici 16/01/1996

Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche

- Circolare Ministero Lavori Pubblici 15/10/1996 n. 252

Istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche di cui al D. M. 9/01/96.

- Circolare Ministero Lavori Pubblici 4/07/1996 n. 156AA.GG/STC

Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi" di cui al decreto ministeriale 16 gennaio 1996.

- Circolare Ministero Lavori Pubblici 10/04/1997 n. 65/AA./GG.

Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche" di cui al D. M. 16/01/96.

- Decreto Ministero Lavori Pubblici 5/08/1999

Modificazioni al decreto ministeriale 9 gennaio 1996 contenente norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.

- D.P.R. 6 Giugno 2001, n°380

Testo unico delle disposizioni legislative e regolamenti in materia edilizia

RACCOMANDAZIONI

- Eurocodice 1 UNI-EN-1991

Criteri generali di progettazione strutturale

- Eurocodice 2 UNI-EN-1992

Progettazione delle strutture in calcestruzzo

- Eurocodice 3 UNI-EN-1993

Progettazione delle strutture in acciaio

- Eurocodice 4 UNI-EN-1994

Progettazione delle strutture composte acciaio-calcestruzzo

- Eurocodice 7 UNI-EN-1997

Progettazione Geotecnica

- Eurocodice 8 UNI-EN-1998

Progettazione delle strutture per la resistenza sismica

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>Censorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>
	<p style="text-align: center;">A3010XDCVROGN91A00001B00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 8 di 71</p>

3. MATERIALI IMPIEGATI

Nei paragrafi seguenti sono elencate le caratteristiche dei materiali utili al calcolo delle opere in progetto. Per il dettaglio dei materiali impiegati si rimanda agli elaborati grafici di riferimento.

3.1 Consolidamenti e rivestimenti provvisori

Spritz beton fibrorinforzato	<p>Resistenza media su carote $h/\phi = 1$:</p> <ul style="list-style-type: none"> - a 48 ore ≥ 13 MPa - a 28 gg ≥ 25 MPa <p>Dosaggio per fibre in acciaio* ≥ 30 kg/m³</p> <p>*in alternativa alle fibre in acciaio potranno essere impiegate fibre sintetiche</p>
Acciaio per centine, piastre e collegamenti:	- S275
Acciaio per catene	- S275
Acciaio per armatura e rete elettrosaldata:	- B450 C
Drenaggi	<p>Tubi microfessurati in PVC:</p> <ul style="list-style-type: none"> - $\phi_{est} > 60$ mm, sp. 5 mm - Resistenza alla trazione 4.5 MPa, perforo 80 mm rivestiti con TNT - I primi 10m da boccaforo devono essere ciechi.
Impermeabilizzazione in PVC	<ul style="list-style-type: none"> - teli sp. 2+/-0.5 mm, - Resistenza a trazione > 15 MPa - Allungamento a rottura $> 250\%$ - Resistenza alla lacerazione > 100N/mm - Resistenza alla giunzione > 10.5 MPa - Stabilità al calore = 70°C - Flessibilità a freddo = -30°C - Resistenza alle soluzioni acide alcaline = +/-20% max allungamento - Comportamento al fuoco B2 - Resistenza alla pressione dell'acqua a 1 MPa per 10 ore: impermeabile
Impermeabilizzazione con membrana a spruzzo	<ul style="list-style-type: none"> - Peso specifico (g/ml a 20°C) 0.5-0.7 - Resistenza a pressione idraulica > 20 bar - Spessore di applicazione 2-10mm - Resistenza a rottura a 20°C, 28gg $> 1.5-4$ MPa - Allungamento a rottura a 20°C, 28gg $> 100\%$ - Adesione su calcestruzzo, 28gg 1 ± 0.2 MPa
Pannelli drenanti in polipropilene	<ul style="list-style-type: none"> - Resistenza a compressione ≥ 150 KN /m² - Allungamento a rottura ≥ 60 % - Modulo di elasticità ≥ 1500 N /mm² - Resistenza alla temperatura -30/80°C

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN91A00001B00 Foglio 9 di 71

Tubi in VTR (caratteristiche del composito)	<ul style="list-style-type: none"> - Diametro esterno = 60 mm ad aderenza migliorata - Diametro di perforazione = 100-120 mm - Spessore medio = 10 mm - Densità ≥ 1.8 t/mc - Res. a trazione ≥ 600 MPa - Res. a taglio ≥ 100 MPa - Modulo elastico ≥ 30000 MPa - Contenuto in vetro ≥ 50 % - Resistenza a flessione ≥ 600 MPa - Resistenza allo scoppio ≥ 8 MPa - Perforazione eseguita a secco
Miscele cementizie per cementazione a bassa pressione	Cemento 42.5R <ul style="list-style-type: none"> - Rapporto a/c = 0.5-0.7 - Fluidificante = 4 % di peso sul cemento - Resistenza a compressione a 48 ore > 5 MPa
Iniezioni di guaina	Cemento R32.5 – R42.5 <ul style="list-style-type: none"> - Rapporto a/c $\approx 1.5-2$ - Bentonite $\approx 5-8$ % sul peso di cemento - Densità ≈ 1.3 t/m³ - Rendimento volumetrico ≥ 95 % - Viscosità Marsh (ugello 4.7 mm) 30-35 sec.
Iniezione di consolidamento	Cemento R42.5 <ul style="list-style-type: none"> - Cemento a finezza di macinazione non inferiore a 4500 cm/g Blaine - Rapporto a/c $\approx 0.4-0.7$ - Bentonite < 2 % - Additivo fluidificante (Flowcable o simili) ≈ 4 % di peso del cemento - Viscosità Marsh (ugello 4.7 mm) 35-45 sec. - Densità ≈ 1.8 t/m³ - Rendimento volumetrico > 95 %
Parametri minimi del terreno consolidato	<ul style="list-style-type: none"> - Resistenza a compressione 48h > 1.0 MPa - Resistenza a compressione 7gg > 1.5 MPa - R.Q.D. 48h > 50 % - R.Q.D. 7gg > 70 %

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN91A00001B00 Foglio 10 di 71

3.2 Rivestimenti definitivi

Acciaio per armatura:	B450 C
Calcestruzzo strutturale calotta e piedritti	C25/30, Tipo CEM III-V, XC2, S4
Calcestruzzo strutturale arco rovescio	C25/30, Tipo CEM III-V, XC2, S3
Magrone di pulizia di sottofondo	Rm \geq 15 MPa, Tipo CEM I-V

3.3 Valori di verifica

Le verifiche strutturali sono condotte mediante il metodo delle tensioni ammissibili; nel seguito si indicano i valori di resistenza di progetto per i vari materiali.

Acciaio S275	$\sigma_{amm} = 190$ MPa
Acciaio tubi S355	$\sigma_{amm} = 240$ MPa
Acciaio B450 C	$\sigma_{amm} = 160$ MPa (*)
Calcestruzzo proiettato $f_{cm} \geq 25$ MPa	$\sigma_{amm} = 25/1.3 = 19.2$ MPa (**)
Calcestruzzo proiettato $f_{cm} \geq 30$ MPa	$\sigma_{amm} = 30/1.3 = 23.1$ MPa (**)
Calcestruzzo strutturale armato C25/30 MPa	$\sigma_{amm} = 9.75$ MPa $\tau_{c0} = 0.60$ MPa $\tau_{c1} = 1.80$ MPa
Calcestruzzo strutturale non armato C25/30 MPa	$\sigma_{amm} = 7.5$ MPa $\tau_{c0} = 0.60$ MPa

(*) In condizioni sismiche o in condizioni di esercizio con verifica a fessurazione $\sigma_{amm} = 255$ MPa

(**) Le verifiche tengono conto delle diverse fasi di maturazione dello spritz beton

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN91A00001B00
	Foglio 11 di 71

4. DESCRIZIONE DEI METODI DI CALCOLO UTILIZZATI

I metodi di calcolo utilizzati per la verifica delle sezioni tipo previste nell'opera in esame sono i seguenti:

- 1) Metodo delle curve caratteristiche;
- 2) Modelli numerici a elementi e differenze finite;
- 3) Analisi di stabilità del fronte.

Nei paragrafi successivi della presente relazione verranno spiegate le ipotesi principali su cui si basano i metodi sopra elencati.

I software di calcolo utilizzati per la progettazione dell'opera oggetto della presente relazione sono i seguenti:

- **GV4-rev1/2003**: "Metodo convergenza-confinamento e similari" – Sial.Tec Engineering
- **FLAC ver. 7**: Programma alle differenze finite - *Itasca Consulting Group, Inc.*

4.1 Metodo delle curve caratteristiche

4.1.1 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 della roccia prodotto dall'avvicinarsi del fronte di scavo alla sezione di calcolo e al successivo avanzamento del fronte stesso, cui corrisponde una convergenza radiale "u" crescente in funzione delle caratteristiche dell'ammasso.

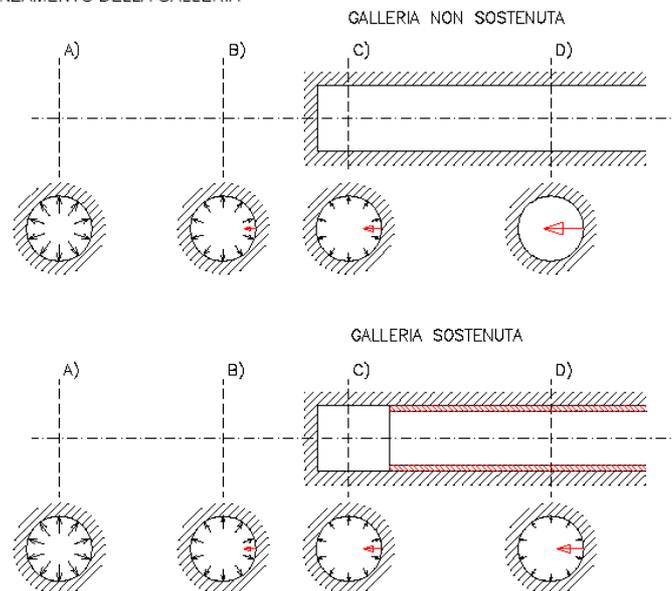
Esse possono quindi essere utilizzate, oltre che per valutare il comportamento dell'ammasso allo scavo, anche per determinare lo stato di sollecitazione sui diversi interventi costituenti la galleria, mediante la sovrapposizione degli effetti delle curve caratteristiche della cavità e dei singoli interventi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

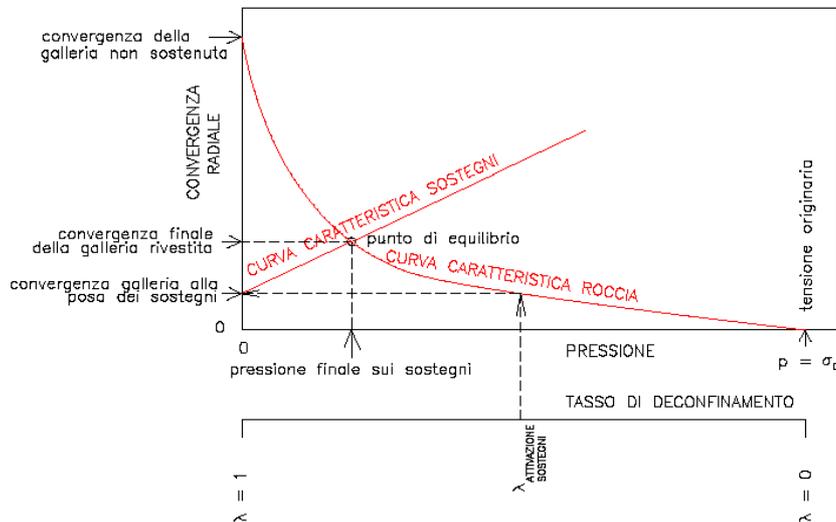
FIGURA 11. PROGRESSIVO DECONFINAMENTO DEL BORDO DI SCAVO PER SIMULARE L'AVANZAMENTO DELLA GALLERIA



Se la galleria è scavata in assenza di sostegni, il valore finale della pressione di confinamento è pari a 0; in caso contrario allo stato finale è presente una pressione di confinamento > 0 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.

FIGURA 12. 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.

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 λ :

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

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

Tracciando la **curva caratteristica del fronte**, non solo si ricava il valore "uf", 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 la classificazione A.De.Co.Rs.

Noto lo spostamento al fronte e determinato l'andamento della curva di convergenza longitudinale della galleria tramite la funzione che fornisce il tasso di deconfinamento λ , si calcola il valore della convergenza radiale già subito 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.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	A3010XDCVROGN91A00001B00 <table border="1" style="float: right;"> <tr> <td>Foglio 14 di 71</td> </tr> </table>	Foglio 14 di 71
Foglio 14 di 71		

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 dell'ammasso. 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.

Infatti quando il fronte è assoggettato all'opera di demolizione mediante utensili quali la sega dentata del pretaglio, il ripper, ecc. si vanno a modificare le condizioni iniziali, che quindi in tale contesto perdono la loro validità anche a prescindere dalla stabilità dimostrata dal fronte prima della sua demolizione.

4.1.2 Consolidamento del fronte di scavo

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

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 σ_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:

τ_a = tensione di aderenza ammasso-fondazione

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	A3010XDCVROGN91A00001B00 <table border="1" data-bbox="1420 235 1546 284"> <tr> <td>Foglio 15 di 71</td> </tr> </table>	Foglio 15 di 71
Foglio 15 di 71		

L_A = semi-lunghezza dell'elemento di rinforzo (si assume che mezzo elemento costituisca la fondazione)

$2p_A$ = perimetro della sezione reagente a sfilamento

σ_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 σ_3^{VTR} può essere considerato come incremento di coesione dell'ammasso:

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

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:

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

dove:

c_{jet} = coesione dei trattamenti colonnari in jet grouting

$c_{ammasso}$ = coesione dell'ammasso senza trattamenti

A_{jet} , $A_{ammasso}$, A_{tot} = sono le aree, rispettivamente, dei trattamenti colonnari, della sezione di scavo al netto dei trattamenti e della sezione di scavo.

4.2 Analisi numeriche bidimensionali: FLAC

Le analisi tenso-deformative presentate nel seguito, sono state condotte impiegando il codice di calcolo FLAC 7.0 (Fast Lagrangian Analysis of Continua), sviluppato da ITASCA Consulting, il quale consente di affrontare problemi di meccanica del continuo, determinando gli stati tensionali e deformativi in un dominio bidimensionale, le cui caratteristiche sono definite da leggi di comportamento di tipo elastico o plastico e da imposte condizioni al contorno, implementando il metodo delle differenze finite. Tale metodo si basa sulla discretizzazione delle equazioni differenziali che governano il problema fisico in esame attraverso la sostituzione delle derivate con quozienti di differenze finite. Le equazioni differenziali vengono così trasformate in equazioni algebriche da risolversi in successivi passi di calcolo. L'algoritmo di calcolo segue uno schema lagrangiano denominato "esplicito per integrazione diretta nel tempo" (explicit time marking), il quale è in grado di lavorare agevolmente e molto velocemente per sistemi con grandi deformazioni, con stati di collasso molto avanzati e in condizioni di instabilità (la possibilità di giungere al collasso non è infatti limitata da problemi di stabilità numerica, quale l'invertibilità di matrici). L'adattamento del metodo alle differenze finite a casi di griglia di forma qualunque segue l'approccio di Wilkins M.L..

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN91A00001B00 Foglio 16 di 71

La discretizzazione viene operata sovrapponendo alla porzione di continuo considerata un reticolo, in genere di maglie quadrilatera, in corrispondenza dei cui nodi (gridpoints) sono definite le grandezze in gioco. E' allora possibile approssimare la derivata prima di una funzione rispetto a una variabile indipendente, con il rapporto tra la variazione subita dalla funzione stessa nel passare da un nodo ad uno contiguo, e la corrispondente variazione della variabile indipendente.

Con riferimento alla figura seguente, può assumersi ad un certo istante t una delle seguenti equivalenze:

$$\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)_{i,j} \approx \frac{u_{i+1,j}^t - u_{i,j}^t}{\Delta x},$$

$$\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)_{i,j} \approx \frac{u_{i+1,j}^t - u_{i-1,j}^t}{2\Delta x},$$

$$\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)_{i,j} \approx \frac{u_{i,j}^t - u_{i-1,j}^t}{\Delta x}.$$

In modo analogo si opera per le derivate rispetto ad y, e per le derivate di ordine superiore. La legge costitutiva del materiale viene espressa nella seguente forma:

$$\sigma = E \cdot \frac{\partial u}{\partial x} \Rightarrow \sigma_{i,j}^t = E \cdot \frac{u_{i+1,j}^t - u_{i,j}^t}{\Delta x}$$

Il codice di calcolo FLAC usa uno schema di soluzione "esplicito condizionatamente stabile", la cui sequenza di calcolo iterativo, illustrata schematicamente nella figura seguente, comprende i seguenti passi:

- per ogni nodo della griglia si valuta la massa m, la risultante delle forze esterne Fe (gravità, carichi esterni ...), la risultante delle forze interne Fi, calcolata per integrazione degli sforzi nelle zone collegate al nodo stesso, così che è possibile determinare la forza squilibrata agente sul nodo Fu (unbalanced force Fu=Fe-Fi);
- per ogni gridpoint si scrive l'equazione di Newton Fu=m•a , tramite la quale è possibile determinare l'accelerazione del nodo in esame; integrando due volte l'accelerazione si ottiene la velocità e lo spostamento incrementale di ogni nodo;
- dal campo di spostamenti incrementali, è possibile risalire al campo di deformazioni incrementali e quindi, attraverso il legame costitutivo dei materiali, al campo di variazioni degli sforzi nel reticolo;
- la variazione degli sforzi comporta la modifica, per ogni nodo della griglia, della risultante delle forze interne e conseguentemente la necessità di rideterminare la Fu, dando inizio ad un nuovo passo di calcolo. Il processo iterativo ha termine qualora si ottenga una forza squilibrata che abbia un valore minore di una tolleranza prestabilita.

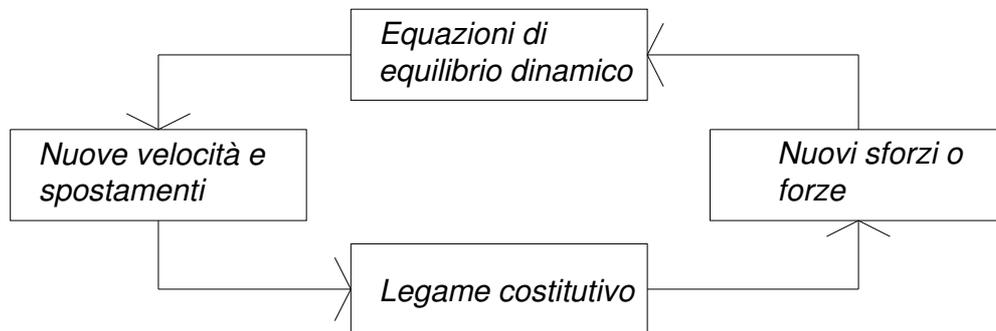


Figura 1– Fasi di computazione del codice di calcolo FLAC

Il codice di calcolo consente di adottare un modello di comportamento del terreno elastoplastico di tipo strain-softening.

Il criterio di rottura adottato è quello di Mohr-Coulomb: in condizioni di strain-softening, i parametri di resistenza (coesione e angolo d'attrito interno) vengono gradualmente ridotti in funzione della deformazioni plastica sviluppata, secondo una legge di tipo lineare e adottando i parametri di picco e residui individuati nei capitoli successivi.

La funzione di plasticizzazione F definita dal criterio di rottura consente di individuare quelle zone di terreno in cui lo stato tensionale ha superato il limite al di sotto del quale il materiale mantiene un comportamento elastico e che sono quindi soggette a sollecitazioni tali da comportare deformazioni irreversibili nell'ammasso.

Per un generico stato di sforzo, individuato dalle tensioni principali σ_1 , σ_2 , σ_3 , il criterio di rottura di Mohr-Coulomb, è rappresentato dalle seguenti equazioni lineari:

$$\sigma_1 - \sigma_2 = \pm 2 \cdot \left(c' \cdot \cos(\phi') + \frac{(\sigma_1 + \sigma_2)}{2} \cdot \sin(\phi') \right)$$

$$\sigma_2 - \sigma_3 = \pm 2 \cdot \left(c' \cdot \cos(\phi') + \frac{(\sigma_2 + \sigma_3)}{2} \cdot \sin(\phi') \right)$$

$$\sigma_3 - \sigma_1 = \pm 2 \cdot \left(c' \cdot \cos(\phi') + \frac{(\sigma_3 + \sigma_1)}{2} \cdot \sin(\phi') \right)$$

Tale criterio è rappresentato, nello spazio delle tensioni principali, da una piramide a base esagonale non regolare avente, come asse, la trisettrice del primo ottante:

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	A3010XDCVROGN91A00001B00 <table border="1" data-bbox="1420 230 1532 282"> <tr> <td>Foglio 18 di 71</td> </tr> </table>	Foglio 18 di 71
Foglio 18 di 71		

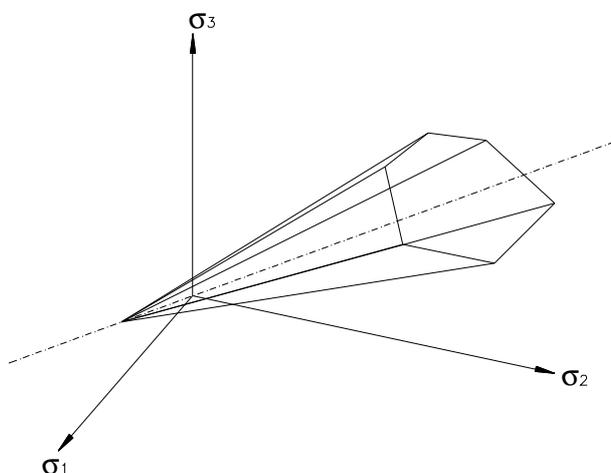


Figura 2 – Dominio di rottura di Mohr-Coulomb

Nel criterio di rottura di Mohr-Coulomb la resistenza al taglio non è influenzata dallo sforzo principale avente intensità intermedia; la resistenza del materiale è variabile in funzione dello stato di sforzo esistente.

La simulazione dello scavo avviene mediante il progressivo annullamento delle forze interne al profilo di scavo, fino al loro completo rilassamento; gli step di rilassamento vengono operati in funzione della distanza dal fronte della sezione considerata nell'analisi, mediante l'impiego delle curve di Panet. Per quanto riguarda i valori di rilassamento si fa riferimento a quanto riportato nei paragrafi relativi alle analisi numeriche.

4.3 Analisi stabilità del fronte in gallerie superficiali

4.3.1 Metodo di Tamez & Cornejo (1985)

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

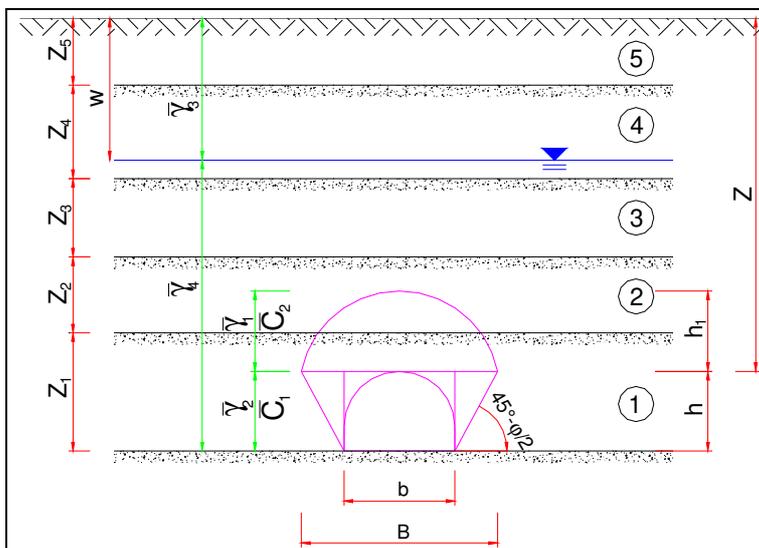


Figura 3 – Schema proposto da Tamez.

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).

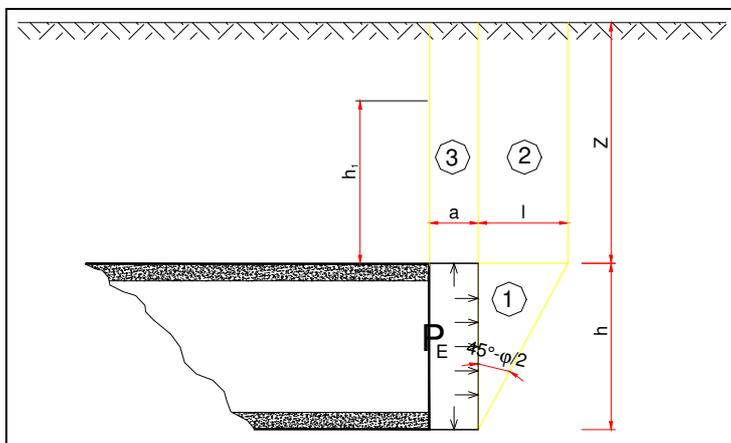


Figura 4 – Schema proposto da Tamez.

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

4.3.2 Metodo di Broms e Bennermark (1967)

Un secondo metodo per valutare la stabilità del fronte è basato sulla definizione del rapporto di stabilità definito da Broms e Bennermark (1967) nella seguente maniera:

$$N = \frac{\sigma_s + \gamma z - \sigma_T}{c_u}$$

dove:

- γ = peso dell'unità di volume del terreno
- z = profondità dell'asse della galleria
- σ_s = sovraccarico eventualmente presente in superficie
- σ_T = eventuale pressione di sostegno applicata al fronte
- c_u = resistenza al taglio, in condizioni non drenate, alla profondità della galleria.

Sulla base di prove di estrusione eseguite in laboratorio e d'osservazioni in sito, Broms e Bennermark (1967) hanno concluso che il valore del rapporto di stabilità critico N_c perché si manifesti il collasso è pari a circa 6. A conclusioni simili giunse Peck (1969).

Il rapporto di stabilità definito da Broms e Bennermark può ovviamente essere visto come un coefficiente di sicurezza, ma tenendo tuttavia in conto che un valore del rapporto di stabilità più elevato corrisponde ad un coefficiente di sicurezza più basso e pertanto il margine di sicurezza non è facilmente definibile.

La seguente tabella fornisce una indicazione della relazione fra il numero di stabilità e le deformazioni attese (P.B. Attewell in Geddes, 1978).

N	Deformazioni
< 1	Trascurabili
1 – 2	Elastiche
2 – 4	Elasto-plastiche
4-6	Plastiche
> 6	Collasso

Tabella 1. Relazione fra il numero di stabilità e le deformazioni attese

4.3.3 Metodo del tasso di deconfinamento critico λ_E (Panet, 1990)

Il metodo convergenza-confinamento proposto da Panet permette di analizzare l'interazione fra l'ammasso roccioso ed il sostegno in funzione dell'avanzamento del fronte di scavo.

La sua applicazione agli ammassi rocciosi a debole resistenza suppone la definizione di un mezzo continuo equivalente al quale attribuire un comportamento elastoplastico rammollente. In questi ammassi, lo scavo di una galleria situata a profondità tali da sviluppare la resistenza massima

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN91A00001B00 <div style="float: right;">Foglio 21 di 71</div>

(gallerie profonde $H > 2D$), provoca elevate convergenze legate alla formazione di una zona decompressa attorno al cavo.

Sotto queste ipotesi, il criterio di Panet consente di verificare le condizioni di stabilità del cavo in funzione del valore critico del tasso di deconfinamento (λ_e) del materiale (valore cui si manifestano le prime plasticizzazioni). Tale indice, in relazione al criterio di rottura di Mohr-Coulomb, è funzione del coefficiente di spinta passiva K_p e del fattore di stabilità N secondo l'equazione:

$$\lambda_e = \frac{1}{K_p + 1} \left[K_p - 1 + \frac{2}{N} \right]$$

dove $N = \frac{2\sigma_z}{\sigma_c}$

Nel caso di una galleria priva di rivestimento, se $N < 1$, non si raggiunge mai la resistenza massima dell'ammasso roccioso. Raggiunto il limite di rottura ($N > 1$) l'autore suggerisce i seguenti valori limite del tasso di deconfinamento, ai quali corrispondono determinate condizioni di stabilità del fronte:

- se $0,6 < \lambda_e < 1$ il fronte di scavo è stabile; le pressioni raggiungono il valore massimo di resistenza dell'ammasso a tergo del fronte;
- se $0,3 < \lambda_e < 0,6$ il fronte di scavo è stabile a breve termine; al fronte di scavo le pressioni raggiungono il valore di resistenza massima prima in vicinanza del bordo poi verso il nucleo;
- se $\lambda_e < 0,3$ il fronte di scavo instabile; il fronte di scavo è in condizioni di instabilità per cui necessita di interventi preventivi di consolidamento.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN91A00001B00 Foglio 22 di 71

5. INQUADRAMENTO GENERALE

5.1 Modifiche generali dell'opera

Il progetto dell'area Val Lemme approvato in PE prevedeva lo scavo di una finestra (GN14Q), che arrivava ad incontrare la linea ad una profondità di circa 200m, la realizzazione di un camerone di innesto, suddiviso in due WBS in binario pari (GN14P) e binario dispari (GN15Q), da cui partiva lo scavo in 4 fronti delle canne pari e dispari verso Genova e Milano. Di queste le WBS GN141 e GN15P avevano la sagoma standard di linea, mentre le WBS GN14N e GN151 avevano una sagoma interna allargata nella zona di Area Sicura, per poi passare alla sagoma interna standard di linea. Sempre dal camerone si aprivano altri due fronti di scavo, uno in direzione Genova ed uno in direzione Milano, per lo scavo e la realizzazione di due cunicoli di esodo rapido, collegati a loro volta con le canne in adiacenza mediante cunicoli.

L'aggiornamento delle STI e il relativo adeguamento del progetto in oggetto hanno comportato una razionalizzazione delle sagome delle gallerie, sia quelle di linea standard che in area sicura, dei bypass e dei cunicoli, e della lunghezza della zona ad esodo rapido. Le modifiche dei funzionali d'opera hanno quindi reso necessario un adeguamento anche del progetto strutturale ed esecutivo delle WBS ancora in fase di realizzazione. Si riportano in tabella le WBS oggetto di modifica e le principali modifiche apportate in fase di PD.

WBS	Modifiche funzionali	Modifiche progettuali
GN141 e GN15P – galleria di linea in sagoma standard	Nessuna	Nessuna
GN14N e GN151 – parte di galleria di linea in sagoma standard	Aumentata la lunghezza della tratta standard in seguito alla riduzione dell'area sicura	Nessuna
GN14N e GN151 – parte di galleria di linea in tratta Area Sicura	Diminuzione della lunghezza Sagoma interna diminuita e resa identica a quella standard di linea	Omogenizzazione delle sezioni di scavo a quelle di linea. Mantenimento delle stesse ipotesi di PE
GN14P e GN15Q	Prolungamento fino a pk 1+830.77 (sezione corrente)	Adeguate elaborati di scavo e carpenteria
GN91B e GN92B	Modifica delle sagome interne, rese tutte uguali	Congruenza con el sezioni tipo applicate sulla linea e sui cunicoli.
GN91A e GN92A	Modifica della lunghezza di sviluppo	Ottimizzazione delle sezioni tipo – vedi paragrafo specifico

Tabella 2. Principali Modifiche rispetto al precedente progetto

Le modifiche riportate in tabella hanno chiaramente comportato una serie di modifiche di dettaglio che non vengono in questa sede riportate, ma che sono state adottate sempre in un'ottica di ottimizzazione e di razionalizzazione progettuale.



Figura 5. Opere in zona Area Sicura Val Lemme

5.2 Caratteristiche dell'opera GN91A

La galleria naturale di sfollamento si estende per 455 m ca. m tra le pk 17+290 ca. e la pk 17+740 ca (Camerone di innesto Finestra Val Lemme) del binario pari della galleria Valico, compresa nel Progetto Definitivo della Linea AV/AC Milano Genova - Terzo Valico dei Giovi. Lo scavo attraversa gli argilloscisti riconducibili alla formazione delle Argille a Palombini, con copertura variabili tra 200 m e 350 m ca.

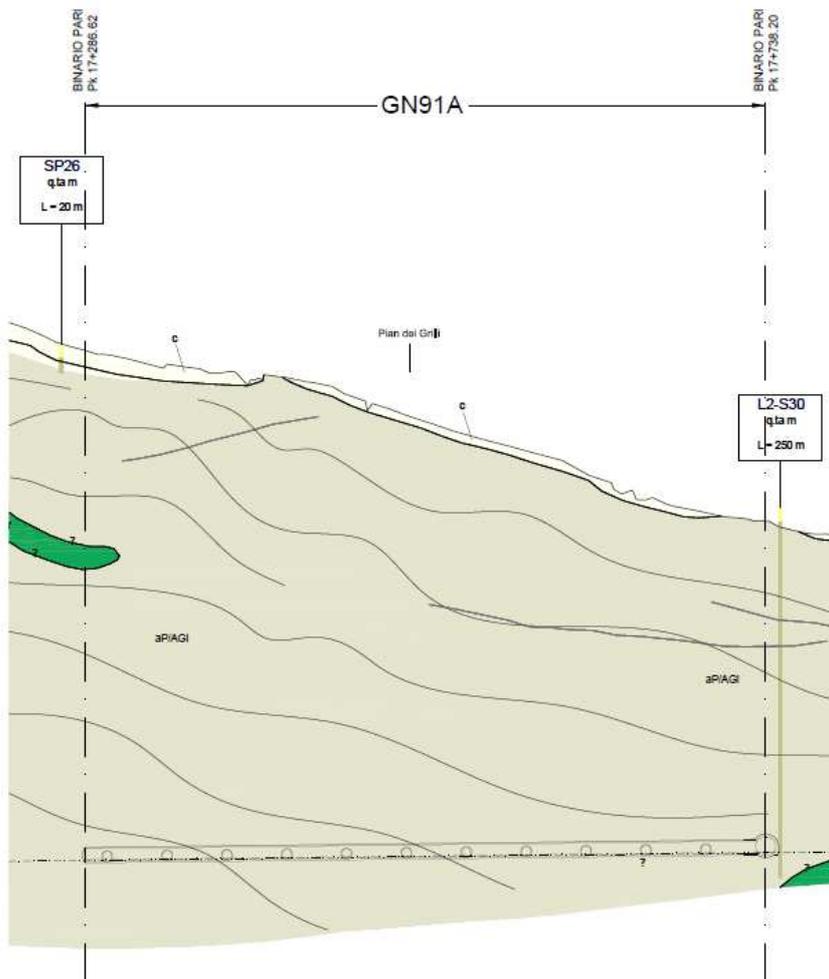


Figura 6

La galleria di sfollamento è collegata al binario dispari della galleria di Valico, tramite 11 by-pass di collegamento, intervallati ogni 40m del tracciato. L'area in scavo (compreso lo scavo di ribasso per il getto di arco rovescio) è costante per tutte le sezioni tipo e pari a 95 m² ca., corrispondente ad un raggio equivalente pari a 5.50 m. Lo scavo è previsto a piena sezione con interventi di precontenimento, presostegno e contenimento del cavo, in funzione della sezione tipo applicata. I rivestimenti sono previsti in calcestruzzo armato solo per le sezioni tipo C, oltre in tutti i conci da cui partiranno gli scavi dei by-pass.

5.3 Inquadramento Geologico – Geomorfologico

Lungo l'intero tracciato della galleria di sfollamento, l'ammasso al contono dello scavo è riconducibile alla Formazione delle Argille a Palombini (aP) e in particolare della sotto-unità l'Unità degli Argilloscisti di Costagiutta (AGI), che si caratterizzano per la presenza di livelli di calcari micritici silicei a grana fine ("Palombini"). È probabile l'attraversamento di lenti livelli riconducibili ai metabasalti del Monte Figogna, intercettati dai sondaggi puntuali a quote diverse da quelle della galleria. Per maggiori dettagli si rimanda alla relazione Geologica, Geomorfologica e idrogeologica.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	A3010XDCVROGN91A00001B00 <table border="1" data-bbox="1420 230 1532 282"> <tr> <td>Foglio 25 di 71</td> </tr> </table>	Foglio 25 di 71
Foglio 25 di 71		

A quota galleria gli argilloscisti si presentano come argilliti di colore grigio scuro con livelli e di metasedimenti calcarei (con spessore massimo di 5-6 cm). Presentano evidenti strutture plicative, alla mesoscala. Localmente sono molto sviluppate vene e noduli di quarzo e calcite con spessore da millimetrico a centimetrico. Sono inoltre presenti livelli di cataclasiti caratterizzate argille di colore grigio scuro con elementi millimetrici di argilliti metamorfiche e subordinatamente clasti di calcite o quarzo angolari alterati (con diametro massimo di 2-4 cm).

Nello scavo in argilloscisto non sono previsti tratti in faglia. Il grado di fratturazione è generalmente medio.

Le Argille a Palombini sono caratterizzate da permeabilità sostanzialmente legata alla fratturazione dell'ammasso roccioso. Trattandosi di litotipi a prevalente composizione fillosilicatica il grado di permeabilità non raggiunge mai valori particolarmente elevati. I test idraulici disponibili sull'intera area di progetto indicano, al di fuori delle zone di faglia, conducibilità idrauliche prevalenti variabili tra 1×10^{-7} e 1×10^{-8} m/s. Dall'analisi dei sondaggi è stato possibile inoltre osservare che la conducibilità idraulica nella zona di faglia è distribuita con maggior frequenza in un intervallo compreso all'incirca tra 1×10^{-6} e 1×10^{-7} m/s, con sporadici valori di conducibilità anche di poco maggiori di 1×10^{-6} .

Durante lo scavo non è prevista l'intersezione con discontinuità importanti; il grado di permeabilità atteso è perciò da basso a molto basso, con corrispondente connettività ridotta, fatta eccezione per la possibile presenza di lenti di basalti di estensione e posizione incerta, che potrebbero portare a locali aumenti del grado di permeabilità (medio-alta).

In regime transitorio sono attesi afflussi idrici in galleria compresi nel range $0 \div 0.16$ l/s*10 m di galleria, con possibili incrementi fino a 2 l/s*10 m di galleria per presenza di lenti, o livelli più continui, di basalto.

In regime imperturbato, il carico idraulico (H_w) varia in funzione delle coperture, variando quindi dai 150m ai 350m. A seguito degli scavi, i carichi tenderanno poi a diminuire in maniera consistente. In tempi prolungati, l'adozione di rivestimenti drenanti consente di ridurre sensibilmente il carico idraulico preesistente

5.4 Inquadramento Geotecnico

Per la caratterizzazione dell'ammasso riconducibile alla Formazione delle Argille a Polombini sono presi a riferimento i dati e le considerazioni già svolte nel corso degli studi precedenti, sulla base dei dati raccolti, scaturiti dai rilievi strutturali, dalle colonne stratigrafiche ricavate dai sondaggi, nonché dai rilievi del fronte di scavo durante l'avanzamento del cunicolo esplorativo, è stato possibile effettuare una suddivisione dell'ammasso roccioso in 3 gruppi geomeccanici (gruppi 1, 2 e 3).

L'omogeneità e l'assimilabilità nell'ambito di ciascun gruppo sono state definite in base a criteri litologici (composizione mineralogica e petrografica, percentuale di *palombino* relativamente alla matrice argillitica, grado di alterazione).

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN91A00001B00 Foglio 26 di 71

I principali fattori considerati per l'individuazione di tali gruppi sono:

- Criteri litologici (composizione mineralogica e petrografica, percentuale di *palombino* relativamente alla matrice argillitica, grado di alterazione, eventuale presenza di acqua)
- Criteri strutturali (caratteristiche delle strutture di separazione, indice RDQ, intensità della foliazione, intensità della tettonizzazione come ad esempio la presenza di struttura a pieghe fino alla microscala,
- Criteri litomeccanici (con riferimento ad una prima valutazione delle proprietà fisiche, di resistenza e deformabilità).

In sintesi il **Gruppo 3** può essere considerato rappresentativo del comportamento dell'ammasso roccioso delle zone a bassa copertura o in corrispondenza di importanti strutture geologiche (es. faglie, nuclei di pieghe, sovrascorrimenti, ecc.); il **Gruppo 1**, al contrario, può essere considerato rappresentativo delle condizioni migliori d'ammasso roccioso.

5.4.1 Parametri ed ipotesi di calcolo

Si è scelto in fase di progettazione esecutiva di suddividere all'interno delle Argille a Palombini i gruppi geomeccanici 2 e 3 in due ulteriori sottogruppi così da ottenere una maggiore correlazione con quanto richiesto dall'applicabilità delle sezioni tipo.

I parametri di calcolo utilizzati sono presentati nella seguente tabella assumendo i valori sotto riportati in base al criterio di rottura di Hoek e Brown. Laddove non sarà impiegato direttamente tale modello costitutivo verranno utilizzati i parametri secondo il modello di Mohr Coulomb, ottenuti mediante linearizzazione dei valori di Hoek e Brown alle differenti coperture. In ogni caso i parametri puntuali verranno presentati per le singole analisi.

Formazione	γ	ν	E_{op}	σ_c	m_i	GSI
	[kN/m ³]	[-]	[GPa]	[MPa]	[-]	[-]
GR1	27	0,25-0,3	3.0÷7.8	30÷40	15÷20	45÷55
GR2a	27	0,25-0,3	1.5÷2.0	10÷12	20÷25	40÷45
GR2b	27	0,25-0,3	1.0÷1.5		15÷20	35÷40
GR3a	26	0.3	0.6÷1.2	5÷7	19	30÷35
GR3b	26	0.3			19	25÷30

Tabella 5-2. Argille a Palombini: Range di variabilità

Formazione	γ	ν	E_{op}	σ_c	m_i	GSI	a	m_{bp}	s_p	m_{br}	s_r
	[kN/m ³]	[-]	[GPa]	[MPa]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
GR1	27	0.3	5.4	35	17.5	50	0.506	2.93	0.0039	2.14	0.0021
GR2a	27	0.3	1.75	12	20	42	0.510	2.52	0.0016	1.75	0.0008
GR2b	27	0.3	1.25	10	17.5	37	0.514	1.84	0.0009	1.24	0.0004
GR3a	26	0.3	1.1	7	19	33	0.518	1.74	0.0006	1.14	0.0003
GR3b	26	0.3	0.9	5		28	0.526	1.45	0.0003	0.92	0.0001

Tabella 3. Parametri geotecnici/geomeccanici di calcolo, criterio di rottura di Hoek-Brown

Argille a Palombini - Parametri di calcolo (Linearizzazione Modello Mohr-Coulomb)								
Formazione	Profondità	ϕ_p	ϕ_r	c_p	c_r	γ	ν	E_{op}
	[m]	[°]	[°]	[kPa]	[kPa]	[kN/m ³]	[-]	[MPa]
GR1	200	39	31	910	820	27	0,3	5400
	300	39	31	1175	1060			
	400	38	30	1450	1300			
GR2a	200	36	29	550	475	27	0,3	1750
	300	33	30	725	550			
	400	30	27	850	750			
GR2b	200	31	25	465	390	27	0,3	1250
	300	29	25	590	500			
	400	27	24	700	600			

Tabella 4. Linearizzazione dei parametri meccanici

Vista l'assenza di zone di faglia lungo lo sviluppo della galleria di sfollamento, non sono stati presi in esame, per le analisi, i parametri dei Gruppi Geomeccanici GR3a GR3b.

Per quanto riguarda le portate indicate dall'inquadrimento idrogeologico e valutate all'interno della relazione geologica ed idrogeologica, esse risultano piuttosto limitate già in fase di scavo nonostante le cautelative ipotesi di calcolo: verranno quindi adottati drenaggi in avanzamento capaci di captare tali portate consentendo in ultimo di limitare le pressioni idrostatiche al fronte.

Vista la sostanziale impermeabilità della formazione pertanto, in fase definitiva tali afflussi risulteranno ancora inferiori provvedendo inoltre ad inserire opportuni elementi atti a convogliare le acque captate. Le analisi sono state condotte in assenza di carico idraulico agente sui rivestimenti definitivi: la galleria in esame è stata infatti considerata, in conformità alla fase di Progetto Definitivo approvato, drenante.

5.5 Analisi delle criticità lungo il tracciato

La tabella seguente evidenzia le principali criticità relative allo scavo della galleria di sfollamento, dovute sia a fattori geomeccanici, che a interferenze con opere lungo il tracciato.

Come evidenziato nei paragrafi precedenti è atteso un ammasso di buone caratteristiche geomeccaniche, afferente ai gruppi geomeccanici 1 e 2 (cfr. Tabella 5-2), non è prevista la presenza

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN91A00001B00 Foglio 28 di 71

di faglie o zone particolarmente destrutturate. Stante questo quadro generale, le principali criticità saranno dovute al rischio squeezing, in aumento alle alte coperture, e possibilità di stress tettonici con locale aumento del valore di k_0 . Non sono attese problematiche di tipo idraulico.

È comunque possibile la presenza di passaggi in metabasalti, anche se non riportata nel profilo geomeccanico, rilevando una criticità dovuta a fronti misti, incremento della fratturazione di ammasso, comportamento anisotropo e locale aumento delle permeabilità.

Ulteriore criticità è dovuta all'interferenza tra la galleria principale e lo scavo dei by-pass presenti lungo tutto il tracciato dell'opera in esame.

criticità	azione
Possibili stress tettonici ($K_0 > 1$)	Sezioni tipo con interventi adeguati (utilizzo del puntone nel privervestimento)
Anisotropia, fratturazione medio-alta, fronti misti	Sezioni tipo con interventi adeguati (utilizzo del puntone nel privervestimento, interventi di presostegno)
Interferenza scavo by-pass	Concio armato con carpenteria di risparmio

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN91A00001B00
	Foglio 29 di 71

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN91A00001B00
	Foglio 30 di 71

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.

6.1 Calcolo e determinazione delle categorie di comportamento allo scavo

Si vuole adesso determinare il comportamento dell'ammasso allo scavo per le suddivisioni operate sui litotipi precedentemente esaminati, in funzione anche 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. Nella fase di diagnosi, sulla base degli elementi raccolti nella fase conoscitiva, vengono sviluppate le previsioni sul comportamento deformativo del fronte e del cavo in assenza di interventi, al fine di giungere all'individuazione di tratte a comportamento omogeneo, suddivise nelle categorie di comportamento precedentemente descritte.

Gli strumenti numerici adottati in fase di diagnosi per la determinazione del comportamento dell'ammasso allo scavo sono stati:

- Analisi di stabilità del fronte;
- Metodo delle Linee Caratteristiche.

6.1.1 Analisi di stabilità del fronte di scavo

Per quanto riguarda le analisi di stabilità del fronte, queste sono state condotte per coperture pari a 200m, 300m e 400m per il contesto geomeccanico di appartenenza della WBS in esame. Nel seguito sono riepilogate le analisi svolte e i risultati ottenuti in termini di fattore di sicurezza per i tre metodi considerati.

ANALISI STABILITA' DEL FRONTE - FASE DI DIAGNOSI - Tamez & Cornejo

Analisi	Formazione	Copertura (m)	D_{eq} (m)	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	φ (°)	SF
AN1	Ap-GR1	200	11,00	27	910	39	3,84
AN2	Ap-GR1	300	11,00	27	1175	39	3,64
AN3	Ap-GR1	400	11,00	27	1450	38	3,53
AN4	Ap-GR2a	200	11,00	27	550	36	2,98
AN5	Ap-GR2a	300	11,00	27	725	33	2,86
AN6	Ap-GR2a	400	11,00	27	850	30	2,73
AN7	Ap-GR2b	200	11,00	27	465	31	2,72
AN8	Ap-GR2b	300	11,00	27	590	29	2,60
AN9	Ap-GR2b	400	11,00	27	700	28	2,38

Figura 7 – Riepilogo analisi di stabilità - Fase di diagnosi – Tamez & Cornejo

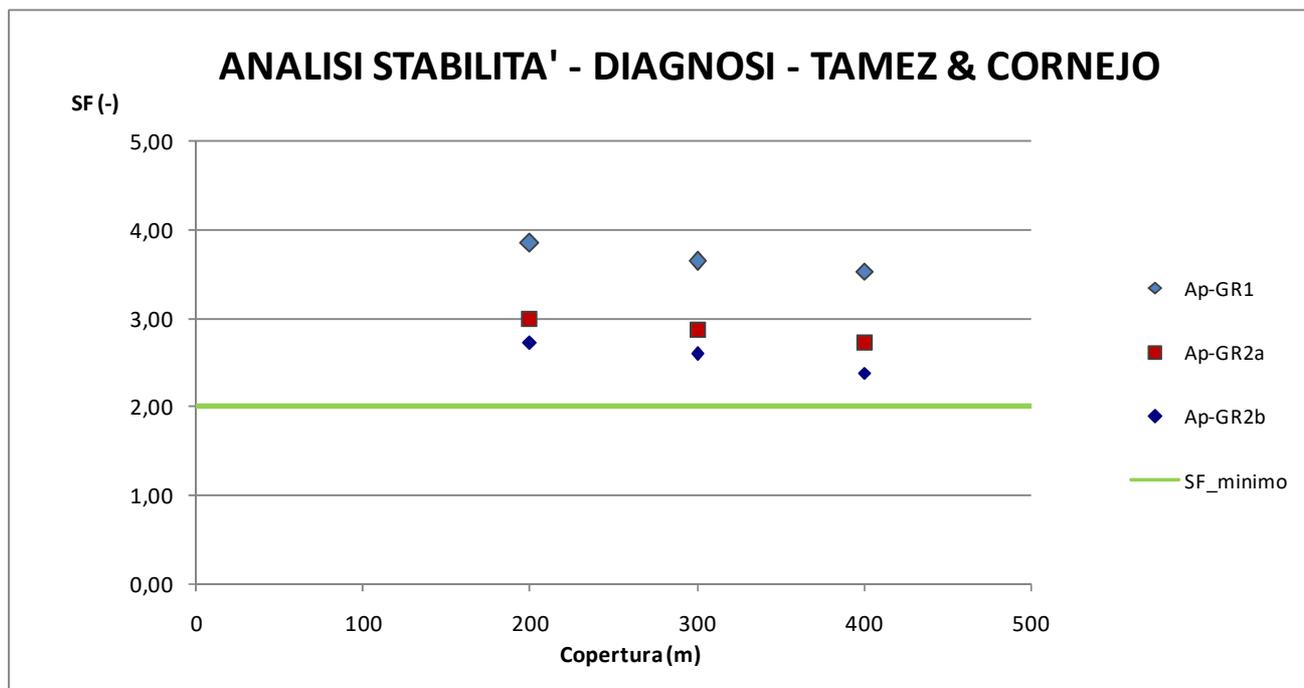


Figura 8 - Risultati analisi di stabilità - Fase di diagnosi - Tamez & Cornejo

ANALISI STABILITA' DEL FRONTE - FASE DI DIAGNOSI									
Analisi	Formazio ne	Copertura (m)	z_0 (m)	γ (kN/m ³)	GSI (-)	σ_{ci} (kPa)	m_i	Stability Ratio	λ_e
AN1	Ap-GR1	200	205.00	27	50	35000	17.50	0.82	1.08
AN2	Ap-GR1	300	305.00	27	50	35000	17.50	1.22	0.93
AN3	Ap-GR1	400	405.00	27	50	35000	17.50	1.62	0.85
AN4	Ap-GR2a	200	205.00	27	42	12000	20.00	3.25	0.71
AN5	Ap-GR2a	300	305.00	27	42	12000	20.00	4.83	0.64
AN6	Ap-GR2a	400	405.00	27	42	12000	20.00	6.42	0.58
AN7	Ap-GR2b	200	205.00	27	37	10000	17.50	5.42	0.60
AN8	Ap-GR2b	300	305.00	27	37	10000	17.50	8.07	0.55
AN9	Ap-GR2b	400	405.00	27	37	10000	17.50	10.71	0.50

Figura 9. Riepilogo analisi di stabilità - Fase di diagnosi - Broms & Bennermark / Panet

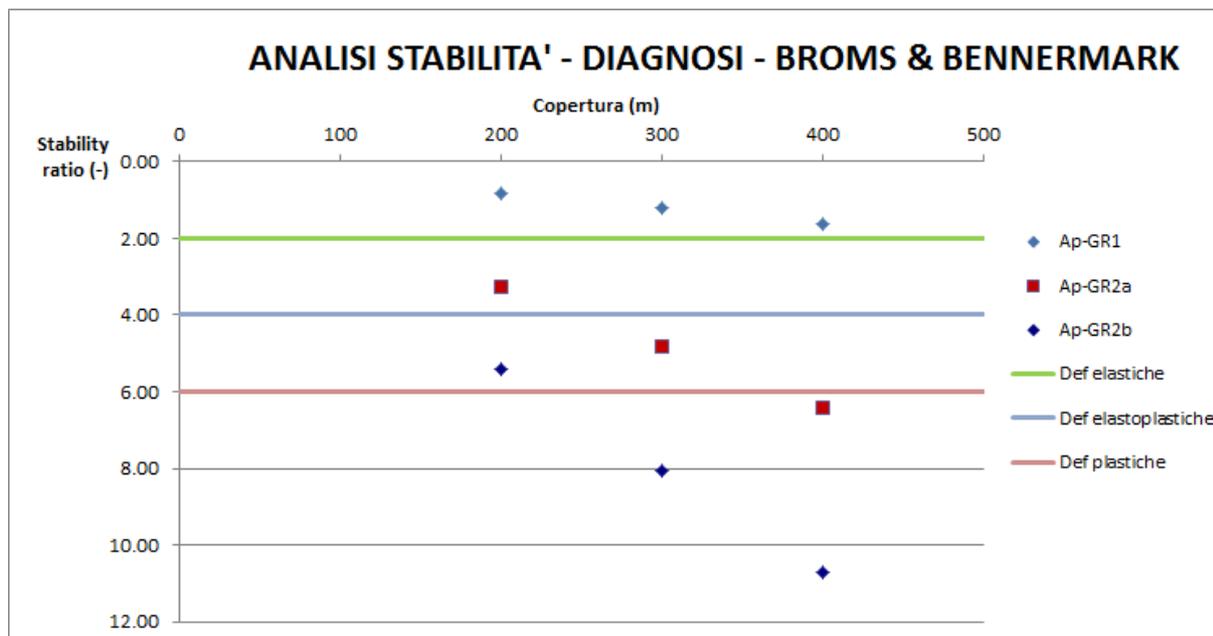


Figura 10. Risultati analisi di stabilità - Fase di diagnosi - Broms & Bennermark

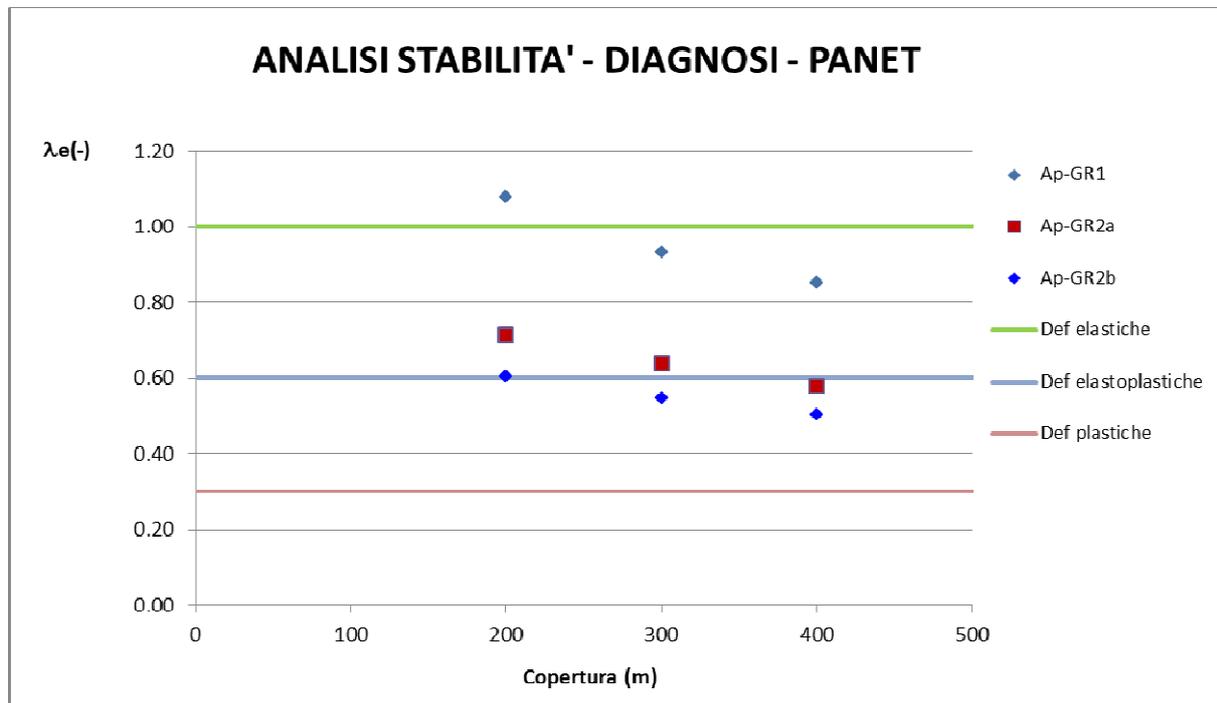


Figura 11 - Risultati analisi di stabilità - Fase di diagnosi – Panet

Esame critico dei risultati e considerazioni conclusive

L'analisi permette di valutare le condizioni di stabilità del fronte di scavo della galleria nei diversi contesti geotecnici. Sintetizzando le analisi, si nota come il metodo di Tamez Cornejo indichi per tutte le analisi effettuate un fattore di sicurezza maggiore del valore minimo di soglia. Gli interventi al fronte saranno comunque necessari per contenere gli effetti deformativi. Tale aspetto è particolarmente evidente osservando i risultati emersi dalle analisi secondo i metodi di Broms & Bennermark e Panet, i quali indicano solamente in alcuni contesti per il GR1 deformazioni elastiche o con plasticizzazioni limitate, mentre per gli altri contesti geomeccanici sono valutati risultati che indicano ingenti deformazioni plastiche o addirittura il collasso del fronte in assenza di interventi.

6.1.2 Metodo delle Linee Caratteristiche

Le "linee caratteristiche" di una cavità sono delle curve che legano le pressioni di contenimento, esercitate in senso radiale sul contorno della galleria dalle opere di stabilizzazione, agli spostamenti radiali sul contorno stesso (convergenze). Per ogni galleria si possono determinare due linee caratteristiche principali:

- La linea caratteristica del fronte, valida presso il fronte di scavo, che tiene conto dell'effetto tridimensionale delle tensioni vicino ad esso, e che permette di risalire all'entità della convergenza già subita dalla galleria in corrispondenza del fronte di scavo;
- La linea caratteristica del cavo, valida per qualsiasi sezione sufficientemente lontana dal fronte per la quale lo stato tensionale possa considerarsi piano.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	A3010XDCVROGN91A00001B00 <table border="1" data-bbox="1420 230 1532 282"> <tr> <td>Foglio 34 di 71</td> </tr> </table>	Foglio 34 di 71
Foglio 34 di 71		

Il Metodo delle Linee Caratteristiche è valido nei casi in cui si ritenga lecito ipotizzare che l'andamento delle sollecitazioni indotte dallo scavo, sotto l'azione delle spinte di montagna, sia di tipo idrostatico; ciò si verifica generalmente per coperture $H > 3D$ (D =diametro di scavo della galleria); valori di copertura inferiori conducono a un risultato poco rappresentativo dell'effettivo comportamento dell'ammasso roccioso.

Le analisi sono state condotte per tutte la formazione incontrata lungo il tracciato della galleria e per le coperture per le quali risulta presente il contesto geomeccanico analizzato. Sulla base delle elaborazioni effettuate, è possibile esprimere delle considerazioni sul comportamento dell'ammasso allo scavo, con particolare riguardo alla prevedibile entità dei fenomeni deformativi del fronte e del cavo e all'estensione dell'eventuale fascia di materiale al contorno della cavità in cui il livello tensionale supera il limite elastico.

In generale, ove le linee caratteristiche non intersecano per un valore finito l'asse delle deformazioni radiali, la galleria risulta instabile senza adeguati interventi di contenimento. Si possono verificare altresì casi in cui il metodo porta a prevedere deformazioni radiali finite tali da non essere ritenute compatibili con la stabilità e la funzionalità dell'opera, oppure un'estensione della fascia d'ammasso a comportamento plastico non accettabile. Dall'esame dell'andamento della curva caratteristica è possibile quindi definire il comportamento del fronte di scavo come "stabile", "stabile a breve termine", o "instabile".

Si sono costruite le linee caratteristiche relative alle situazioni a diverso comportamento geomeccanico. Il loro andamento, calcolato sulla base dei parametri geomeccanici caratteristici dei materiali attraversati, è riportato nelle figure allegare alla presente relazione.

La definizione delle categorie di comportamento secondo il Metodo ADECO viene effettuata procedendo alla valutazione comparata e sistematica di tre fattori:

- Entità del fenomeno deformativo al fronte e a scavo avvenuto;
- Entità della fascia plasticizzata al fronte e a scavo avvenuto;
- Andamento della linea caratteristica (forma e ampiezza del tratto elastico e plastico).

In particolare, in questo caso, sulla base delle caratteristiche dei materiali si è considerato in linea generale per la definizione della classe di comportamento quanto di seguito:

- Se la convergenza prevista al fronte è inferiore a 0.5-0.6% del raggio il comportamento è di classe A, se la convergenza prevista al fronte è inferiore a 1.0-1.5% del raggio il comportamento è di classe B, altrimenti di classe C;
- Se la fascia plastica risulta non rilevante (inferiore a 0.5 volte il raggio) il comportamento è di classe A, se la fascia plastica è inferiore a 1-2 volte il raggio il comportamento è di classe B, altrimenti di classe C;
- Si valuta la forma della linea caratteristica del cavo; in classe A questa è quasi interamente lineare (tratto elastico); in classe B compare una parte curva (tratto plastico) ma non rilevante; in classe C il tratto curvo è rilevante e generalmente, a pressione nulla, con convergenze del cavo non compatibili con lo scavo.

Nella tabella seguente sono riassunti i principali risultati forniti dalle elaborazioni numeriche condotte.

RISULTATI ANALISI LC - FASE DI DIAGNOSI

Formazione geologica	Copertura*	Par.	R _m	H/D _{medio}	U _{rad}	R _{pl}	R _{pl} /R _m	U _{fronte}	U _{fronte} /R _m	R _{pl} fronte	R _{pl} fronte /R _m	Comportamento
	[m]		[m]	[m]	[cm]	[m]		[cm]		[m]		
AP - GR1	200	medi	5,52	18,12	1,14	7,56	1,37	0,47	0,08%	6,20	1,12	A
	300	medi	5,52	27,17	1,90	7,97	1,44	0,76	0,14%	6,37	1,15	A
	400	medi	5,52	36,23	2,81	8,44	1,53	1,10	0,20%	6,54	1,18	A
AP - GR2a	200	medi	5,52	18,12	5,98	10,03	1,82	2,22	0,40%	7,11	1,29	B
	300	medi	5,52	27,17	10,87	11,36	2,06	3,84	0,70%	7,58	1,37	B
	400	medi	5,52	36,23	17,84	13,02	2,36	5,96	1,08%	8,10	1,47	B
AP - GR2b	200	medi	5,52	18,12	13,77	13,38	2,42	4,45	0,81%	8,15	1,48	B
	300	medi	5,52	27,17	25,26	15,21	2,76	7,85	1,42%	8,71	1,58	B/C
	400	medi	5,52	36,23	42,81	17,63	3,19	12,60	2,28%	9,37	1,70	C

Figura 12. Fase di diagnosi: metodo delle linee caratteristiche

Dove:

- Copertura= copertura in chiave calotta
- R_m= raggio (in fase di diagnosi si è assunto un raggio medio pari a 5.52 m)
- U_{rad}=spostamento radiale del cavo
- U_{fronte}=spostamento al fronte
- R_{pl}=raggio plastico del cavo
- R_{pl} fronte=raggio plastico al fronte

In particolare, secondo le formulazioni di Lombardi (1985), il valore di U_{fronte} indica la convergenza del cavo presso il fronte (ovvero la preconvergenza del nucleo).

6.1.3 Considerazioni conclusive

Le analisi condotte, con riferimento ai risultati ottenuti dalle Linee Caratteristiche hanno permesso di assegnare a ciascun contesto geomeccanico uno dei tre comportamenti del fronte allo scavo menzionati nei paragrafi precedenti; verranno nel seguito discusse le principali formazioni geomeccaniche analizzate.

Argille a Palombini (GR1)

Le analisi condotte, con riferimento alla linee caratteristiche in assenza di interventi, hanno evidenziato un comportamento allo scavo di tipo “a fronte stabile” (categoria A) con preconvergenze radiali limitate. Tale classificazione di comportamento del fronte trova riscontro sia analizzando la fascia plastica della galleria che risulta inferiore a 0.5 volte il raggio di scavo sia valutando la convergenza al fronte, inferiore allo 0,4% del raggio della galleria.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN91A00001B00
	Foglio 36 di 71

Dalle analisi svolte risulta necessario operare unicamente un adeguato confinamento delle pareti dello scavo e di contrastare tempestivamente i fenomeni deformativi del cavo mediante l'utilizzo di sistemi di prriverstimento di adeguata rigidità.

Argille a Palombini (GR2a)

Le analisi condotte, con riferimento alle linee caratteristiche in assenza di interventi, hanno evidenziato un comportamento allo scavo di tipo B con "fronte stabile a breve termine". Le Linee caratteristiche evidenziano convergenze al fronte intorno al limite della classificazione di tipo B per le massime coperture, mentre i fenomeni di plasticizzazione al fronte risultano inferiori a 1.4 volte il raggio di scavo.

Da quanto discusso attraverso il Metodo delle Linee Caratteristiche appare evidente la necessità di operare un adeguato confinamento delle pareti dello scavo e di contrastare tempestivamente i fenomeni deformativi del cavo mediante l'utilizzo di sistemi di prriverstimento di adeguata rigidità. Si ritiene opportuno inoltre prevedere interventi di preconsolidamento del fronte, volti ad incrementare il valore di resistenza del nucleo.

Argille a Palombini (GR2b)

Le analisi condotte, con riferimento alle linee caratteristiche in assenza di interventi, hanno evidenziato in genere, un comportamento di tipo "stabile a breve termine" (categoria B), sebbene alle coperture più elevate siano evidenti fenomeni di plasticizzazione al contorno del cavo e convergenze della galleria con valori prossimi a quelli previsti per la categoria di comportamento di tipo C.

Da quanto discusso attraverso il Metodo delle Linee Caratteristiche, si ritiene opportuno prevedere interventi di preconsolidamento del fronte, volti ad incrementare il valore di resistenza del nucleo. Appare inoltre evidente la necessità di operare un adeguato confinamento delle pareti dello scavo e di contrastare tempestivamente i fenomeni deformativi del cavo mediante l'utilizzo di sistemi di prriverstimento di adeguata rigidità. Si valuta la possibilità anche di intervenire con consolidamenti in avanzamento al contorno.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN91A00001B00
	Foglio 37 di 71

7. FASE DI TERAPIA: DEFINIZIONE DELLE SOLUZIONI PROGETTUALI

Sulla base delle analisi condotte nella fase di diagnosi, si presentano gli aspetti che hanno guidato la definizione degli interventi, allo scopo di garantire condizioni di stabilità del fronte e del cavo. Per la descrizione delle sezioni tipo di avanzamento, i campi di impiego e le relative percentuali di applicazione previste lungo il tracciato si rimanda alle Linee Guida.

7.1 Tipologie di intervento in fase costruttiva

Nei capitoli precedenti sono stati definiti tre tipi di comportamento d'ammasso allo scavo che prevedono l'impiego di opportuni interventi scelti in base alle caratteristiche geotecniche/geomeccaniche dei terreni interessati dagli scavi, determinando così la scelta delle sezioni tipo più adatte.

CASO A) fronte stabile:

I fenomeni deformativi avvengono in campo elastico; il materiale ha comportamento di tipo lapideo per cui si possono ipotizzare locali fenomeni di instabilità al contorno riconducibili per lo più al distacco gravitativo di blocchi o volumi rocciosi, individuati dall'intreccio di superfici di discontinuità preesistenti nell'ammasso oppure create dai fenomeni di distensione prodotti dalle modalità di scavo. Il probabile comportamento allo scavo tipo A, "a fronte stabile", consente di prevedere, quali interventi di prima fase, interventi di solo contenimento del cavo, quale la realizzazione di uno strato di spritz-beton a seguito della messa in opera di centine, in funzione del grado di discontinuità dell'ammasso. Potrà essere previsto in casi di anisotropia significativa o sforzi tettonici anomali la messa in opera del puntone.

CASO B) fronte stabile a breve termine:

Si possono ipotizzare fenomeni di instabilità più o meno diffusi al contorno del cavo, dovuti alla plasticizzazione dell'ammasso roccioso e conseguenti fenomeni deformativi (convergenze radiali) di ordine centimetrico.

Tali deformazioni, se non regimate mediante opportuni e tempestivi interventi di preconsolidamento e/o di consolidamento, possono innescare decompressioni progressivamente crescenti all'interno dell'ammasso roccioso, sviluppando di conseguenza carichi maggiori sia nel breve termine che nel lungo termine.

Come interventi di preconsolidamento si possono utilizzare:

chiodi in vetroresina al fronte per aumentare le caratteristiche di resistenza del nucleo;
drenaggi al contorno in caso di presenza d'acqua per lo scarico delle pressioni interstiziali.

Gli interventi di consolidamento lungo la cavità consistono principalmente in:

- prerivestimento costituito da spritz-beton;
- centine metalliche.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN91A00001B00 Foglio 38 di 71

- Eventuale puntone

Questi interventi di preconsolidamento e consolidamento concorreranno a formare diverse sezioni tipo (descritte in seguito) che si differenziano tra di loro in funzione delle formazioni geologiche incontrate.

CASO C) fronte instabile:

I fenomeni deformativi, in assenza di interventi, sono di entità maggiore rispetto al caso precedente, fino ad arrivare alla rottura e al collasso del cavo, legato all'instabilità del fronte di scavo. Perché si possa realizzare l'avanzamento in galleria, senza innescare fenomeni deformativi incontrollabili, è indispensabile operare "preconsolidamenti" lanciati oltre il fronte di scavo, che garantiscano sia la tenuta del fronte stesso che quella della fascia di terreno perimetrale al cavo.

Questi preconsolidamenti possono essere di diversa natura, in funzione delle differenti caratteristiche geologiche delle formazioni attraversate lungo il tracciato:

- anello consolidato da iniezioni cementizie;
- chiodi in vetroresina al fronte;
- drenaggi.

Sono inoltre necessari interventi di consolidamento al contorno del cavo in modo da fornire il necessario contenimento nel breve termine. Questi interventi possono essere il rivestimento di 1^a fase con spritz-beton e centine metalliche, eventualmente integrate da un puntone in arco rovescio.

In previsione di un comportamento tipo C, al fine di effettuare un controllo dello stato deformativo al fronte, appare consigliabile l'esecuzione di un preconsolidamento sistematico del fronte mediante elementi strutturali o tubi in vetroresina ad aderenza migliorata, tali da irrigidire il nucleo di scavo e ridurre i valori di estrusione del fronte e conseguentemente di preconvergenza del cavo. Tale operazione consentirebbe di mantenere le proprietà del materiale prossime alle condizioni di picco, o al limite di ridurre il decadimento. Le deformazioni al fronte si traducono infatti in decompressione al contorno del cavo con decremento della resistenza d'ammasso e incremento delle spinte sui priverestimenti.

Andrà inoltre prevista la realizzazione dei priverestimenti a seguito di ogni singolo sfondo di avanzamento, mediante posa in opera di centine metalliche ed un congruo strato di spritz-beton. Sempre per la categoria di comportamento C occorre inoltre prevedere la possibilità di stabilizzare, a breve distanza dal fronte, il piede della centina, mediante il getto di arco rovescio e murette a distanze anche inferiori ai 2 diametri dal fronte di scavo.

7.2 Sezioni tipo previste

Sulla base della precedente fase di diagnosi, sono stati evidenziati tre comportamenti differenti allo scavo, variabili in funzione del comportamento geomeccanico e della copertura presente.

Sebbene non siano state fatte analisi specifiche in zone di faglia o tettonizzate, poiché non si ritiene presente questa possibilità lungo la tratta, risulta necessaria l'applicazione di una percentuale limitata di sezione tipo C, in presenza di massime coperture e parametri nel range inferiore del gruppo 2.

Si rimanda al profilo geomeccanico per la definizione della percentuale di applicazione ipotizzata delle singole sezioni tipo.

I criteri per la loro applicazione sono stati determinati in funzione dalla litologia degli ammassi attraversati, delle caratteristiche geomeccaniche e dello stato tensionale in situ, del valore di copertura (H), e delle geometrie di scavo; fattori come l'entità dei valori di pre-convergenza ed estrusione, l'evoluzione in campo elastico o elasto-plastico hanno infatti permesso di definire il comportamento del fronte di scavo e quindi le condizioni di stabilità: "stabile" – categoria A – "stabile a breve termine" – categoria B – "instabile" – categoria C.

Inoltre, come dettagliato nella relazione linee guida, nell'attuale fase progettuale sono state introdotte per l'opera in esame sezioni tipo che, pur rispettando i criteri progettuali comuni a tutto il progetto già presentato nell'ambito del Terzo Valico, sono state adeguate alle particolari condizioni tecniche e logistiche dell'opera, privilegiando il controllo deformativo attraverso un irrigidimento del presostegno e l'applicazione del puntone eventuale su tutte le sezioni. Tali sezioni risultano distinte dalle sezioni progettuali per la presenza del pedice "pr". Per maggiori dettagli si rimanda alla relazione Linee Guida.

In presenza di un comportamento di tipo "stabile" si procede all'applicazione di una sezione tipo B0pr mentre ad un comportamento di tipo "stabile a breve termine" corrisponderanno sezioni di tipo B2pr. Per il gruppo geomeccanico con comportamento al limite tra "stabile a breve termine" e "instabile", si procede all'applicazione di una sezione tipo C4pr.

Per tutte le sezioni adottate, lo scavo a piena sezione consente inoltre – in funzione del comportamento deformativo del cavo - di chiudere il rivestimento del cavo con l'applicazione del puntone in arco rovescio limitando consistentemente i fenomeni deformativi particolarmente critici in relazione allo scavo in affiancamento alla linea.

Nel seguito vengono riassunte le caratteristiche tecniche degli interventi previsti per le diverse sezioni applicate.

PRERIVESTIMENTI					
SEZIONE TIPO	Variabilità	centine	passo	Sfondi	spritz beton
	[-]	[-]	[m]	[m]	[cm]
B0	Media	HEB240	1,2	3,6	30
B2	Media	HEB240	1,2	1,2	30
C4	Media	HEB240	1	1	30

*Puntone eventuale HEB240

Figura 13 - Fase di terapia: prerivestimenti

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
A3010XDCVROGN91A00001B00		Foglio 40 di 71

RIVESTIMENTI							
SEZIONE TIPO	Variabilità [-]	Classe cls Rck [MPa]	Sp. AR [cm]	Sp. CAL [cm]	Fronte - murette ∅	Fronte-AR ∅	Fronte-definitivo ∅
B0	Media	30	100	90	9	12	15
B2	Media	30	100	90	3	3	9
C4	Media	30	100	90	3	3	9

Figura 14 - Fase di terapia: rivestimento definitivo

CONSOLIDAMENTI FRONTE					
SEZIONE TIPO	Variabilità [-]	TIPO [-]	N° [-]	L-interventi [m]	L-sovrapp [m]
B0	Media	-	-	-	-
B2	Media	VTR - CEM	70	24	12
C4	Media	VTR - CEM	70	24	12

Figura 15 – Fase di terapia: consolidamento al fronte

INTERVENTI CONTORNO					
SEZIONE TIPO	Variabilità [-]	TIPO [-]	N° [-]	L-interventi [m]	L-sovrapp [m]
B0	Media	-	-	-	-
B2	Media	-	-	-	-
C4	Media	VTR - CEM	69	24	12
		VTR - CEM piede centina	6+6	18	6

Figura 16 – Fase di terapia: consolidamento al contorno

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN91A00001B00
	Foglio 41 di 71

8. ANALISI DELLE SOLUZIONI PROGETTUALI

Nei seguenti paragrafi sono riportati i risultati ottenuti dalla analisi di stabilità del fronte e dall'applicazione del metodo delle curve caratteristiche e sono definiti le sezioni rappresentative su cui condurre le analisi numeriche bidimensionali e assialsimmetriche.

Per il dimensionamento degli interventi previsti per le singole opere in progetto e per la determinazione dello stato tenso-deformativo nei rivestimenti e al contorno del cavo, è fatto ricorso ai seguenti metodi di calcolo:

1. analisi di stabilità del fronte
2. analisi tramite il metodo delle linee caratteristiche;
3. analisi numeriche bidimensionali.

Le analisi di stabilità del fronte consentono di valutare le condizioni di equilibrio nell'intorno del fronte e di predimensionare, qualora le analisi ne avessero evidenziato la necessità, interventi di preconsolidamento.

L'applicazione del metodo delle linee caratteristiche ha permesso di cogliere approssimativamente l'entità delle sollecitazioni e delle convergenze nel priverivestimento e nel rivestimento definitivo, rappresentando una fase di predimensionamento degli interventi di sostegno e di guidare le scelte circa le sezioni di galleria da sottoporre ad analisi più accurate.

Le analisi numeriche bidimensionali e assialsimmetriche consentono di determinare, al succedersi delle fasi costruttive, lo stato tenso-deformativo al contorno del cavo a seguito dello scavo e all'interno dei rivestimenti dovuto all'interazione con il terreno circostante.

8.1 Analisi di stabilità del fronte

Nelle successive tabelle sono riportati i principali dati di input ed i risultati ottenuti per quanto riguarda le analisi di stabilità del fronte di scavo, effettuate in base alle formazioni incontrate lungo il tracciato della galleria alle differenti coperture in cui tali condizioni si presentano. In allegato sono inseriti tutti i valori impiegati nel calcolo.

I parametri utilizzati per il terreno sono i medesimi impiegati nel calcolo in fase di diagnosi e vengono sotto riportati in tabella per comodità di lettura. Le analisi sono state condotte per tutte le sezioni tipo riepilogate nelle tabelle successive. Per le verifiche della sezione tipo C4pr si rimanda alla relazione GN92A, che ha le stesse sezioni tipo della presente WBS ma in cui si presentano le condizioni dimensionanti per tale sezione tipo.

ANALISI STABILITA' DEL FRONTE - FASE DI TERAPIA - Tamez & Cornejo											
Analisi	Formazione	Sezione tipo	Copertura (m)	D _{eq} (m)	N° VTR	T _{aderenza} (KPa)	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	φ (°)	Sfondo (m)	FSF
AN1	Ap-GR1	B0	200	11.00	0	0	27	910	39	3.6	2.69
AN2	Ap-GR1	B0	300	11.00	0	0	27	1175	39	3.6	2.55
AN3	Ap-GR1	B0	400	11.00	0	0	27	1450	38	3.6	2.47
AN4	Ap-GR2a	B2	200	11.00	70	250	27	550	36	1.2	3.18
AN5	Ap-GR2a	B2	300	11.00	70	250	27	725	33	1.2	2.96
AN6	Ap-GR2a	B2	400	11.00	70	250	27	725	33	1.2	2.66
AN7	Ap-GR2b	B2	200	11.00	70	220	27	465	31	1.2	3.02
AN8	Ap-GR2b	B2	300	11.00	70	220	27	590	29	1.2	2.72
AN9	Ap-GR2b	B2	400	11.00	70	220	27	700	28	1.2	2.43

Figura 17 - Riepilogo analisi di stabilità - Fase di terapia

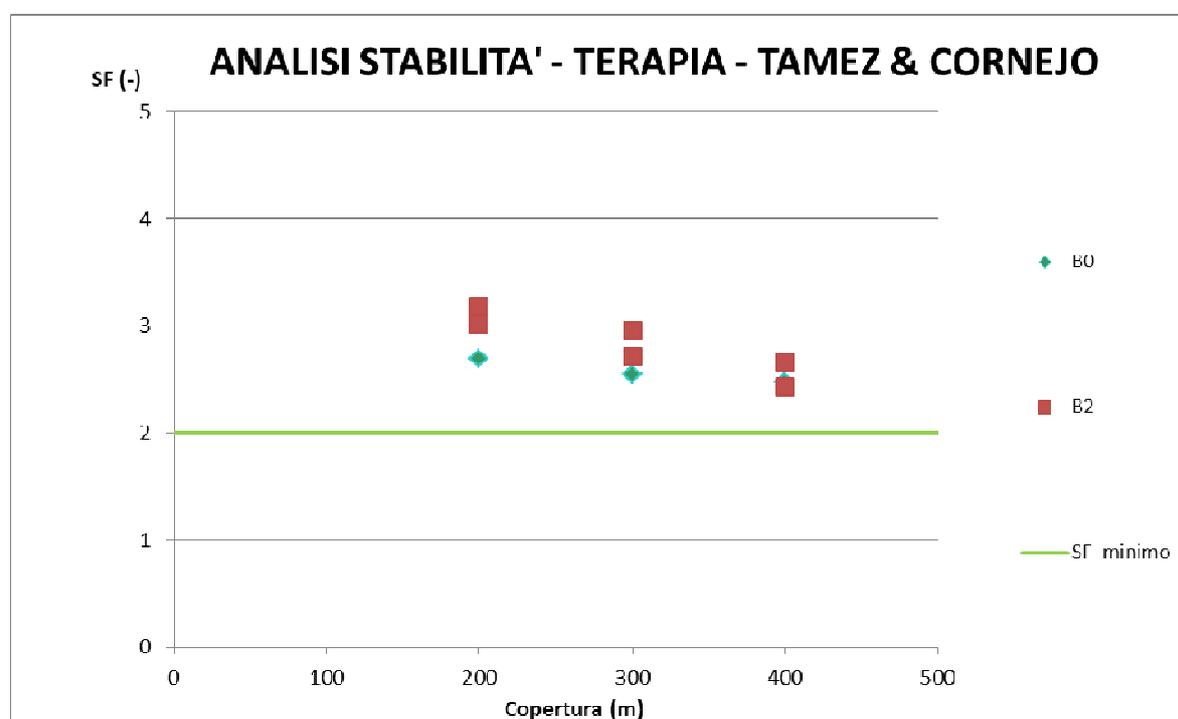


Figura 18 – Risultati analisi di stabilità - Fase di terapia

Come si evince dal grafico sopra riportato, tutte le sezioni tipo analizzate grazie agli interventi previsti in fase di terapia presentano un fattore di sicurezza maggiore di 2 consentendo inoltre un buon margine di sicurezza rispetto al valore minimo da ottenere date le semplificazioni dovute alla schematizzazione di calcolo e alle incertezze geologico/geotecniche.

8.2 Analisi tramite il Metodo delle Linee Caratteristiche

I principali risultati in termini deformativi e tensionali ottenuti in fase di terapia sono riassunti nelle seguenti tabelle. Si ricorda che si impiegheranno i parametri medi del range impiegando un criterio di rottura di tipo Mohr-Coulomb. Le analisi sono state condotte per tutte le sezioni precedentemente

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
A3010XDCVROGN91A00001B00	
Foglio 43 di 71	

riepilgate ad eccezione della sezione C per la quale si rimanda ai calcoli riportati nella relazione di calcolo della WBS GN92A¹.

RISULTATI ANALISI LC - FASE DI TERAPIA							Prerivestimenti			Rivestimenti definitivi			
Sezione tipologica	Formazione geologica	Copertura	R _m (m)	U _{fronte} (cm)	R _{pl fronte} (m)	R _{pl fronte} / R _m	U _{messa in opera} (cm)	σ _{spritz} (MPa)	σ _{cent} (MPa)	CONV _{rad,pre riv} (cm)	U _{eq} (cm)	R _{pl,eq} (m)	σ _{cls} [*] (MPa)
B0	AP - GR1	200	5.52	0.41	6.02	1.09	0.71	0.78	7.38	0.18	0.89	6.86	0.28
	AP - GR1	300	5.52	0.64	6.13	1.11	1.12	1.26	11.82	0.28	1.43	7.09	0.46
	AP - GR1	400	5.52	0.89	6.24	1.13	1.57	1.81	17.05	0.41	1.98	7.34	0.68
B2	AP - GR2a	200	5.52	1.24	6.01	1.09	1.79	5.00	47.06	1.13	2.94	7.45	1.99
	AP - GR2a	300	5.52	2.18	6.44	1.17	3.05	8.40	79.11	1.89	4.98	8.14	3.36
	AP - GR2a	400	5.52	3.50	6.92	1.25	4.72	12.78	120.32	2.88	7.66	8.99	5.15
B2	AP - GR2b	200	5.52	1.85	6.22	1.13	2.68	7.88	74.17	1.77	4.49	8.19	3.17
	AP - GR2b	300	5.52	3.54	6.86	1.24	4.81	12.55	118.16	2.82	7.69	8.95	5.08
	AP - GR2b	400	5.52	5.82	7.40	1.34	7.54	17.90	168.49	4.03	11.66	9.78	7.26

Figura 19 - Riepilogo analisi di stabilità con metodo delle linee caratteristiche

- R_m= raggio medio di scavo
- ν=coefficiente di Poisson
- U_{fronte}=spostamento al fronte
- U_{messa in opera}=spostamento alla messa in opera del prerivestimento
- U_{eq}=spostamento all'equilibrio (rivestimenti definitivi)
- R_{pl fronte}=raggio plastico al fronte
- R_{eq}=raggio plastico all'equilibrio (rivestimenti definitivi)
- σ_{spritz}=tensione nello spritz beton
- σ_{cent}=tensione nelle centine metalliche
- σ_{cls}^{*}=tensione nei rivestimenti definitivi

Considerazioni conclusive sul comportamento dello scavo in fase di terapia

Le indagini eseguite in fase di terapia, svolte coerentemente con quanto esposto nei capitoli precedenti, mostrano spostamenti massimi alla messa in opera dei prerivestimenti appena superiori a 8 cm per le sezioni tipo analizzate in presenza della formazione alterata delle Argille a Palombini con la massima copertura prevista. Si sottolinea che alle massime coperture e nei contesti di peggiori caratteristiche geotecniche andrà sempre previsto un adeguato sistema di controllo e monitoraggio dei prerivestimenti al fine di valutare i tassi di lavoro effettivi ed il mantenimento degli adeguati margini di sicurezza richiesti delle caratteristiche di resistenza dei materiali impiegati.

I valori delle convergenze calcolati dovranno essere poi valutati ed amplificati con opportuni coefficienti per tenere in conto dei reali fattori non schematizzabili numericamente al fine di definire quelle soglie di convergenza necessarie al monitoraggio delle sezioni e all'applicazione delle variabilità.

¹ La ricostruzione geomeccanica non prevede il passaggio in zone tettonizzate, al contrario del cunicolo disparti, pertanto si ritiene dimensionante per la sezione tipo C4pr l'analisi riportata nella GN92A

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN91A00001B00
	Foglio 44 di 71

8.3 Analisi numeriche bidimensionali

8.3.1 Scelta delle sezioni di verifica rappresentative

Nei seguenti paragrafi sono descritti i modelli di calcolo bidimensionali impiegati per il dimensionamento dei rivestimenti di prima fase e definitivi della galleria di sfollamento e per la valutazione dello stato tenso-deformativo al controno del cavo. Le analisi numeriche sono state distinte condizioni geomeccaniche della formazione geologica attraversata, della copertura e della tipologia di sezione di scavo prevista.

In particolare sono svolte due analisi numeriche relative alle sezioni tipo B0pr e B2pr. Per quanto riguarda il dimensionamento e la verifica della sezione tipo C, come già spiegato al §8.1, si rimanda alla relazione di calcolo della WBS GN92A.

L'analisi numerica di ciascuna sezione tipo è riferita alla copertura rappresentativa nei tratti in cui ne è prevista l'applicazione.

Al fine di ricreare lo stato tensionale presente nell'ammasso al momento dello scavo della galleria di sfollamento, nell'analisi numerica sono state preliminarmente modellate le fasi di scavo della due canne della galleria di Valico (area sicura e galleria a singolo binario).

Nell'analisi di ciascuna sezione tipo della galleria di sfollamento, la modellazione dello scavo delle due canne della galleria di Valico (area sicura e galleria a singolo binario) è stata considerata procedere secondo la stessa sezione tipo applicata per la galleria di sfollamento. Relativamente alle due canne della galleria di Valico nel tratto in esame, le analisi numeriche qui presentate, sono quindi in accordo con quanto contenuto nella Relazione di Calcolo della Area sicura Val Lemme.

Le condizioni di calcolo analizzate sono ritenute le più critiche lungo il tracciato della galleria di sfollamento e quindi quelle rappresentative e dimensionanti per l'opera in esame.

La tabella seguente riassume le sezioni tipo oggetto di analisi numerica.

Modello	Sezione tipo	Formazione geologica	Copertura [m]
01	B0pr	aP-GR1	350
02	B2pr	aP-GR2a	400

Tabella 5. Descrizioni dei modelli numerici impiegati

8.3.2 Ipotesi e criteri di modellazione

Al fine di definire le condizioni di carico sui rivestimenti è stato fatto ricorso alla modellazione numerica bidimensionale, condotta impiegando il codice di calcolo FLAC 7.0. Le modellazioni numeriche effettuate hanno permesso di simulare la complessità dell'interazione tra ammasso-struttura, simulando l'avvenuta successione delle fasi scavo e di posa dei rivestimenti, in maniera più fedele possibile a quanto previsto.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN91A00001B00
	Foglio 45 di 71

Nel seguito sono specificati i criteri utilizzati per la modellazione della sezione oggetto di analisi.

Caratteristiche della griglia e condizioni al contorno

Le dimensioni della griglia sono fissate in maniera da evitare che il problema in esame risulti influenzato da *effetti di bordo*.

Le condizioni di vincolo applicate sono definite tramite il comando *Automatic boundary condition* all'interno del programma FLAC 7.0, che permette di applicare un vincolo traslazione orizzontale e verticale al contorno inferiore e alla traslazione orizzontale al contorno laterale. La formulazione del vincolo laterale permette dunque lo sviluppo di tensioni normali di compressione, ma non di tensioni di taglio agenti in direzione verticale. Tali tensioni sono invece generate al contorno inferiore.

Inizializzazione dello stato di sforzo

Nella prima fase di calcolo dell'analisi numerica, denominata "*Elastic*", è applicata la fish "ini-K₀" implementata in FLAC 7.0: il carico applicato in direzione orizzontale viene determinato in funzione del carico verticale, attraverso il coefficiente di spinta a riposo K₀ posto pari all'unità. La procedura è utilizzata unicamente con lo scopo di modellare lo stato tensionale iniziale, quindi al termine di tale procedura non è generato alcun quadro deformativo.

In riferimento alle criticità riportate al §5.5, e in particolare alla possibilità nelle Argille a Palombini e alle coperture in gioco di avere locali stress tettonici tali da ricreare tensioni orizzontali superiori alle verticali ($k_0 > 1$), si è scelto di non riportare i calcoli con tale ipotesi, ma di adottare sempre ad alte coperture un valore di k₀ prossimo all'unità.

Sebbene tale condizione di anisotropia possa trovare riscontro localmente, questa scelta appare corretta in quanto maggiormente rappresentativa delle condizioni ricontrabili in progetto.

Lo stato di sforzo in sito a cui l'ammasso roccioso è soggetto ad una certa profondità, prima che qualsiasi intervento antropico sia messo in atto, è generalmente definito dalla sovrapposizione di tre contributi naturali:

- Quello gravitativo, dovuto al peso della copertura di roccia;
- Quello tettonico, legato a fenomeni deformativi che hanno interessato nel passato, o interessano, la crosta terrestre;
- Quello residuo, che rimane quale "ricordo" di azioni verificatesi nel passato e poi rimosse (spessori di copertura asportati, ad esempio, per effetto dei fenomeni di erosione, o azioni termiche).

Nel campo dell'ingegneria geotecnica la conoscenza dello stato di sforzo in sito deriva dall'interpretazione di prove ad hoc, nonostante la loro interpretazione spesso risulti complessa e per certi versi incerta. Prova ne sia, ad esempio, che la sezione L2 del cunicolo Val lemme (nella tratta scavata negli anni 90') una delle stazioni di misura del K₀ ha fornito dei valori non attendibili. Infatti, nella citata stazione la misura della tensione principale normale è risultata notevolmente inferiore a quella derivabile dalla gravità. Quest'ultima circostanza, del tutto anomala, è da attribuirsi

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
A3010XDCVROGN91A00001B00		Foglio 46 di 71

sia all'effetto del forte disturbo tettonico e in parte anche alle modalità di esecuzione della prova. La prova, infatti, è stata eseguita sulla parte di scavo del cunicolo e quindi i risultati delle misure sono affetti dai disturbi indotti dagli scavi. Stante le considerazioni di cui sopra, i valori di K_0 sono in realtà diversi da quelli deducibili dallo stato tensionale indisturbato.

Le prove della misura del K_0 nel cunicolo pilota Val Lemme (anno 1997-1998) sono state eseguite in punti del tutto localizzati e quindi non possono essere ritenute solo indicative di un possibile stato di anisotropia dei carichi litostatici ($k_0 > 1$). Si è scelto di dare un peso minore alle misure eseguite in sito anche alla luce dei fattori d'incertezza connessa alla rilevazione strumentale, ipotizzando nei calcoli uno stato di sforzo originario di tipo isotropo ($K_0 = 1.0$). Tra l'altro le prove in foro eseguite in ambito di PE hanno fornito valori di K_0 del tutto congruenti con quelli utilizzati nei calcoli come mostra la Tabella 6.

Dalla tabella di evince chiaramente che circa il 77% delle prove (ovvero 39 su 51) ha fornito valori di $K_0 < 1$.

n. (-)	sondaggio (-)	pk (m)	n. prove (-)	formazione interessata (-)	range copertura prove (m)	K_0 (-)
01	L2-S05	F. Castagnola	2	aP	202 ÷ 209	1.32
02	L2-S06	F. Castagnola	2	aP	106 ÷ 117	1.26
03	L2-S30	17+730 (Innesto F. Val Lemme)	2	aP	173 ÷ 209	1.43
04	L4-S17	12+500	4	aP	202 ÷ 193	1.19
05	L2-S04bis	14+850 (Innesto F. Castagnola)	2	aP	443 ÷ 452	0.60
06	L2-S14	5+197 (Innesto F. Polcevera)	2	aP	540 ÷ 550	0.75
07	L4-S14	3+740	2	aP	311 ÷ 320	0.67
08	SLH-10	F. Val Lemme	6	aP	224 ÷ 233	0.96
09	SLH-11	F. Val Lemme	3	aP	209 ÷ 219	0.93
10	SLI-12	F. Val Lemme	2	aP	203 ÷ 206	1.62
11	SC-21	4+400	1	aP	138 ÷ 145	0.70
12	SR-15	19+550	5	aP	360	0.89
13	SR-14	16+400	6	aP	265 ÷ 300	0.32
14	SR-12	10+750	3, 3	aP	260 ÷ 270, 340 ÷ 349	1.02
15	SR-11	10+500	7	f (fascia Milonitica)	302 ÷ 403	0.88
16	L2-CR3	9+880 (Innesto F. Cravasco)	2	f (fascia Milonitica)	131 ÷ 147	1.65
17	L2-CR5	10+300	4	f (fascia Milonitica)	241 ÷ 253	1.03

Tabella 6 Sintesi dei valori k_0 ottenuti da prove in foro in fase di PE

Per gestire eventuali anomalie deformative riconducibili ad uno stato di sforzo iniziale anisotropo il progetto prevede comunque l'utilizzo di sezioni tipo in cui verranno adottati interventi adeguati al caso in esame, quali bullonature radiali, posa del puntone in arco rovescio, impiego di un prerivestimento flessibile con centine deformabili.

Modellazione degli elementi strutturali

Il sistema di rivestimento di prima fase composto da centine e spritz beton è modellato tramite elementi *beam* disposti lungo l'estradosso della galleria. Le caratteristiche degli elementi *beam* sono determinate tramite l'omogenizzazione delle proprietà meccaniche e geometriche delle centine e

dello spritz – beton, ovvero ottenendo un modulo elastico ed uno spessore equivalente, tramite la seguente formulazione:

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

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

dove:

- E_{sb} modulo elastico dello spritz beton impiegato;
- E_{cen} modulo elastico delle centine metalliche,
- I_{cen} modulo di inerzia delle centine metalliche;
- A_{cen} area delle centine metalliche;
- s spessore di spritz beton impiegato;
- d passo delle centine metalliche;

Per simulare le fasi di maturazione dello spritz-beton si è utilizzata la seguente formulazione che mostra la variazione del modulo elastico in funzione del tempo trascorso dalla messa in opera.

$$E_{sb,t} = E_{28} \cdot (1 - e^{-0.42t})$$

Dove con E_{28} si indica il modulo elastico dello spritz-beton dopo 28 giorni di maturazione e con t il tempo trascorso in giorni. Di seguito si riporta la curva di maturazione ottenuta attraverso tale formulazione:

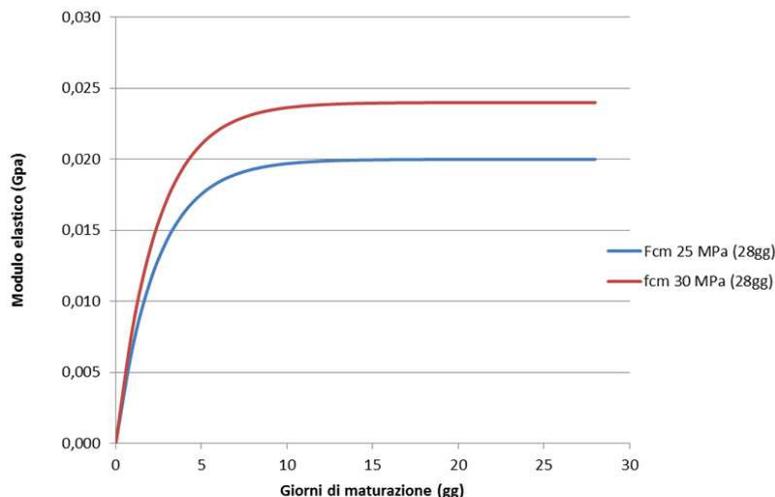


Figura 20 - Curve di maturazione dello spritz beton in termini di modulo elastico

In particolare si sono utilizzati nei modelli di calcolo 3 differenti moduli elastici per il calcestruzzo relativi a 0,5, 3 e 28 giorni. Come si nota dal grafico già a partire da 10 giorni di maturazione il modulo elastico risulta pressoché pari al valore finale, per cui risulta verosimile non variare le caratteristiche del supporto a partire da tale istante temporale.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN91A00001B00 Foglio 48 di 71

Spritz beton $f_{cm} = 25$ MPa a 28 gg		
Maturazione	$E_{sb,t}$	f_{cm}
[gg]	[GPa]	[MPa]
0.5	3.788	4
3	14.327	14
28	20.000	25

I rivestimenti definitivi della galleria di sfollamento sono simulati con elementi beam, a cui è assegnato modulo di Young $E=31220$ MPa e dimensioni geometriche corrispondenti al tratto di rivestimento modellato.

Caratteristiche dell'ammasso

L'ammasso è simulato mediante un continuo equivalente, con legame costitutivo elasto-plastico. In particolare all'ammasso riconducibile alla Formazione delle Argilliti a Palombini è assegnato il criterio di rottura di Mohr-Coulomb e legame costitutivo strain softening.

I parametri di resistenza corrispondenti al criterio di rottura di Mohr-Coulomb sono determinati secondo la procedura di linearizzazione dell'involuppo a rottura di Hoek-Brown, proposto da Hoek et al. (2002), alla profondità corrispondente alla copertura che caratterizza il problema esame; in particolare i parametri resistenti di picco sono relativi a valori del fattore di disturbo $D=0$, mentre i valori residui sono determinati considerando $D=0.3$.

A partire dai valori di picco, i parametri di resistenza sono gradualmente ridotti in funzione della deformazioni plastica a taglio sviluppata (e^{ps}) durante la successione delle fasi di calcolo. La legge adottata per descrivere il decadimento dei parametri geotecnici, rappresentata in Figura 21, prevede una variazione lineare dell'angolo d'attrito e della coesione in funzione del parametro di incrudimento a taglio e^{ps} definito come:

$$\Delta e^{ps} = \left\{ \frac{1}{2}(\Delta e_1^{ps} - \Delta e_m^{ps})^2 + \frac{1}{2}(\Delta e_m^{ps})^2 + \frac{1}{2}(\Delta e_3^{ps} - \Delta e_m^{ps})^2 \right\}^{\frac{1}{2}}$$

dove

$$\Delta e_m^{ps} = \frac{1}{3}(\Delta e_1^{ps} + \Delta e_3^{ps})$$

mentre e_1^{ps} e e_3^{ps} sono le deformazioni principali plastiche.

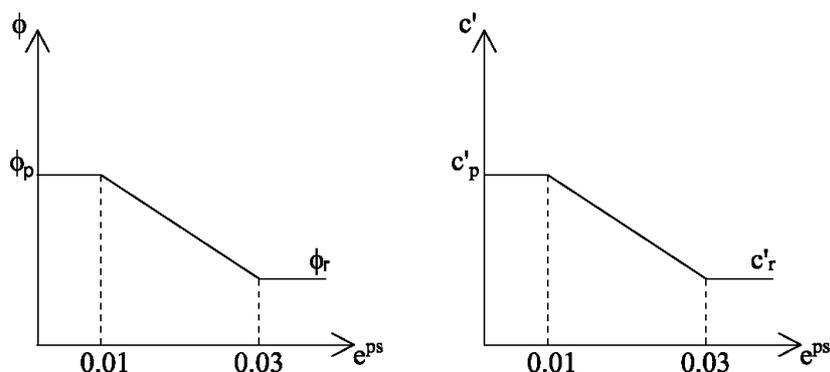


Figura 21 - Legge di decadimento dei parametri geotecnici

Il ricorso al modello strain-softening permette di cogliere gli effetti del decadimento delle caratteristiche meccaniche dell'argilloscisto ad elevati livelli deformativi, a cui può conseguire ad elevate coperture fenomeni spingenti differiti nel tempo.

Condizioni idrogeologiche

Gli esiti delle analisi e degli studi idrogeologici hanno confermato la sostanziale impermeabilità della formazione delle Argilliti a Palombini. Modeste manifestazioni idriche potrebbero quindi verificarsi unicamente in corrispondenza di faglie. In fase di terapia è prevista la possibilità di impiegare sistemi di impermeabilizzazione dotati di pannelli drenanti col fine di ridurre eventuali pressioni al contorno. Le evidenze idrogeologiche espresse e i sistemi di drenaggio previsti consentono di condurre le analisi numeriche in assenza di carico idraulico.

Fase di lungo termine

Nella fase di calcolo di lungo termine è modellato il decadimento degli elementi componenti il rivestimento di prima fase (centine, spritz beton).

8.3.3 Simulazione dello scavo

Per modellare 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.

Per tener conto dell'effetto di contenimento della cavità offerto dal terreno a monte del fronte di scavo (nucleo), che viene perso nell'analisi bidimensionale condotta, si è proceduto, sulla base di quanto suggerito dall'AFTES (si veda Recommendation for use of convergence confinement method), ad una riduzione progressiva delle forze di reazione esercitate dagli elementi di terreno rimossi, in funzione della distanza dal fronte della sezione di calcolo, secondo quanto espresso in termini analitici dalle curve $\lambda = \sigma_r/\sigma_0$ di Panet, essendo σ_r la pressione di rilassamento, ovvero la pressione radiale di confinamento esercitata dal nucleo di scavo persa a seguito dello scavo, e σ_0 la pressione

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN91A00001B00
	Foglio 50 di 71

radiale esercitata sul contorno del cavo dal carico geostatico. L'adozione della sola curva λ , così come comunemente espressa quale criterio di riduzione delle caratteristiche elastiche e di resistenza del nucleo nel corso dell'analisi, non sempre produce 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 quindi tarata in funzione delle caratteristiche geomeccaniche del materiale, dello stato tensionale in sito e del criterio di rottura del materiale. Tale "taratura" si basa sui risultati ottenuti dalle linee caratteristiche. In particolare il valore di riduzione delle forze nodali al fronte è stato definito sulla base di un procedimento di taratura effettuato attraverso le linee caratteristiche di diagnosi caratteristiche di ogni sezione tipo, formazione e copertura di riferimento, determinando per ogni analisi un valore di preconvergenza analogo. Nella valutazione del rilassamento al fronte si tiene ovviamente anche in conto dell'eventuale intervento di preconsolidamento del nucleo. L'operazione viene eseguita in corrispondenza della prima fase di scavo (rilassamento iniziale), considerando quale grandezze di riferimento lo spostamento e lo stato tensionale agente al fronte per effetto della resistenza di mezzo nucleo. Una volta stabilita la prima corrispondenza è possibile procedere nella definizione dei rilassamenti successivi considerando una nuova curva; questa ultima viene dedotta estendendo i valori di rilassamento in modo proporzionale alla curva di Panet elastica (identificata dal numero $N_s=1$) proporzionalmente al rapporto al fronte dedotto inizialmente. Seguendo questo approccio è possibile dunque definire una corrispondenza tra i rilassamenti teorici basati sulla teoria di Panet e quelli relativi al caso in esame

Si ha pertanto: $R_{forze, fronte} = R_{PANET, fronte} * \alpha$

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

Si ha pertanto: $R_{forze} = R_{forze, fronte} + \beta * (R_{PANET} - R_{PANET, fronte})$

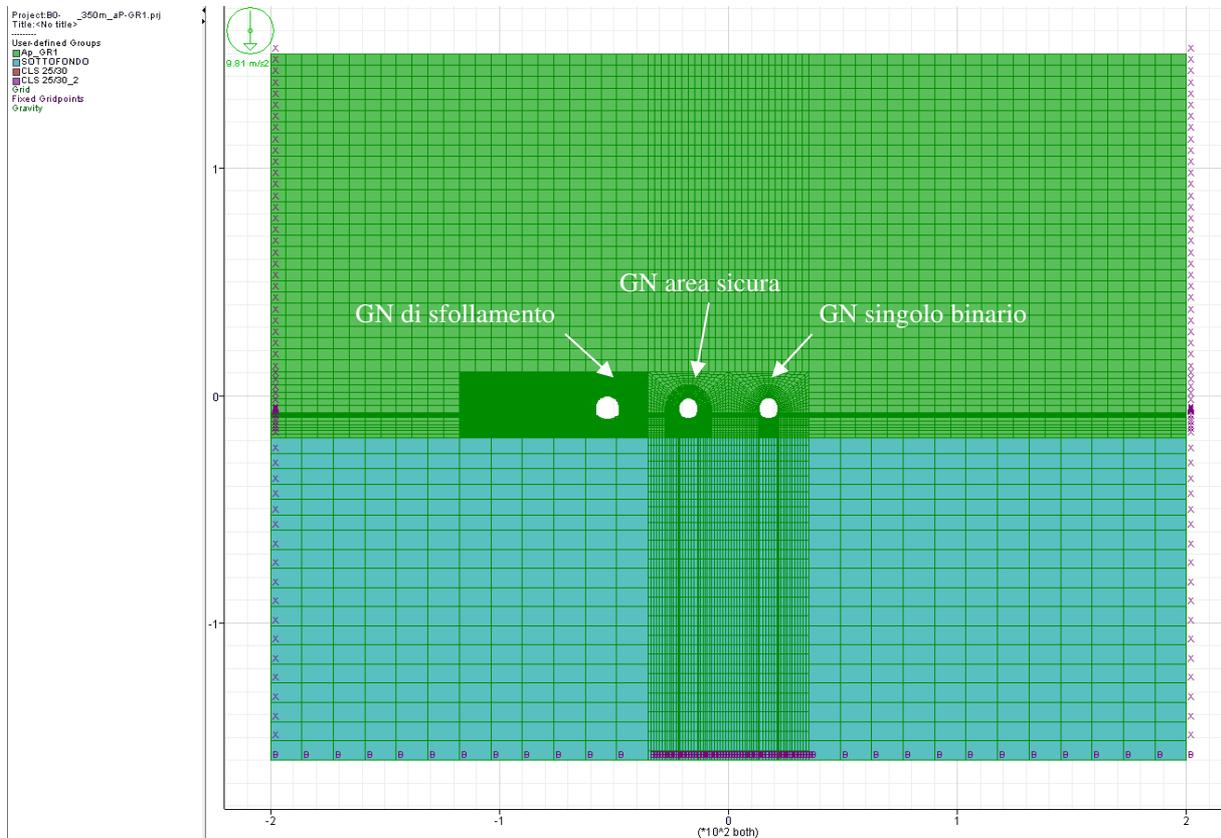
in cui il termine $\beta = (100\% - Rid. %) / (100\% - R_{PANET, fronte}\%)$

tiene conto delle percentuali di riduzione residue, dopo il rilassamento del fronte.

I valori adottati nelle varie tinte di calcolo per ogni sezione tipo sono riportati nelle descrizioni dei singoli modelli a cui si rimanda.

8.4 Modello 01: Sezione tipo B0pr

La valutazione dello stato tenso-deformativo nei rivestimenti della sezione tipo B0pr e nell'ammasso circostante è riferita ad una copertura in chiave calotta di 350 m. L'analisi numerica è condotta tramite un modello bidimensionale al continuo. La griglia di calcolo di dimensioni 310x400 m è costituita da 25200 elementi quadrangolari. Il contorno superiore della griglia è posto a 150 metri ($y=160$ m) dal profilo di scavo in chiave calotta ($y=0$ m). Il carico litostatico in chiave calotta è stato ricreato ponendo un carico superficiale pari a 5400kPa (200m di terreno).



L'ammasso è modellato come un continuo equivalente, attraverso un unico materiale con valori dei parametri geo-meccanici rappresentativi del Gruppo Geomeccanico GR1 della Formazione delle Argilliti a Palombini (§ 5.4.1). Alle zone che modellano l'ammasso è assegnato il criterio di rottura di Mohr - Coulomb e legame costitutivo strain softening. Le caratteristiche meccaniche corrispondenti al criterio di rottura di Mohr-Coulomb sono determinate secondo la procedura di linearizzazione dell'involuppo a rottura di Hoek-Brown, proposto da Hoek et al. (2002), alla profondità corrispondente alla copertura in esame.

Formazione	γ	u	E_{op}	c_p	ϕ_p	c_r	ϕ_r
	[kN/m ³]	[-]	[GPa]	[MPa]	[°]	[MPa]	[°]
aP-GR1	27	0.3	5.4	1175	39	1060	31

Caratteristiche rivestimento di prima fase e fasi di calcolo

L'analisi numerica si basa su Time di calcolo, che permettono di simulare la successione delle fasi di scavo e di posa e maturazione dei rivestimenti. La simulazione delle fasi fa riferimento ad una velocità di avanzamento variabile di circa 2.0÷3.0 m/g, tipiche per lo scavo in questo tipo di materiale, da cui derivano le caratteristiche di deformabilità e resistenza assegnate nel calcolo allo strato di spritz beton. Si riportano le caratteristiche principali utilizzate nell'analisi per le sezioni omogenizzate composte da centine e spritz beton.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	A3010XDCVROGN91A00001B00	Foglio 52 di 71
--	--	--------------------------	--------------------

Centina	HE 240 B
n°	1,0
Passo [m]	1,2
E [Gpa]	210,0

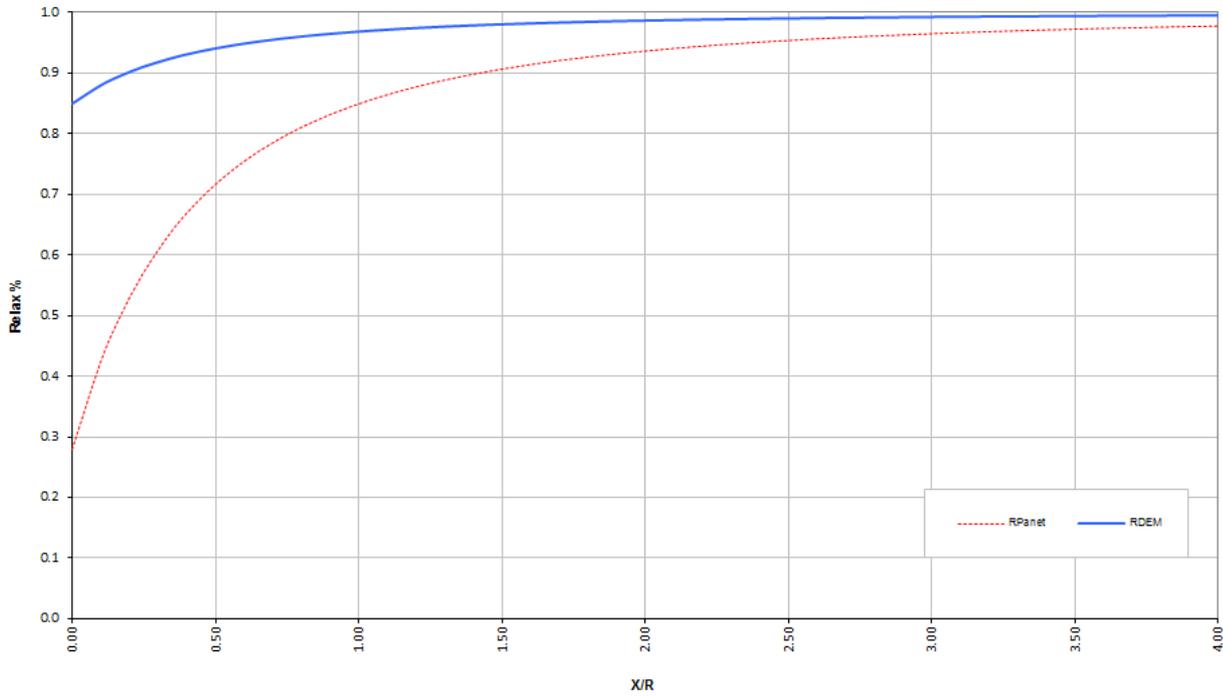
Spritz - Beton	
E _{28gg} [Gpa]	20
Spessore [m]	0,3

Maturazione	E _{om}	S _{om}	EA	EI
[gg]	[Gpa]	[m]	[KN]	[KN*m ²]
0,5	8,797	0,3363	2958031	27873
3	18,987	0,3174	6026521	50596
28	24,504	0,3134	7678288	62828
28	24,504	0,3134	7678288	62828

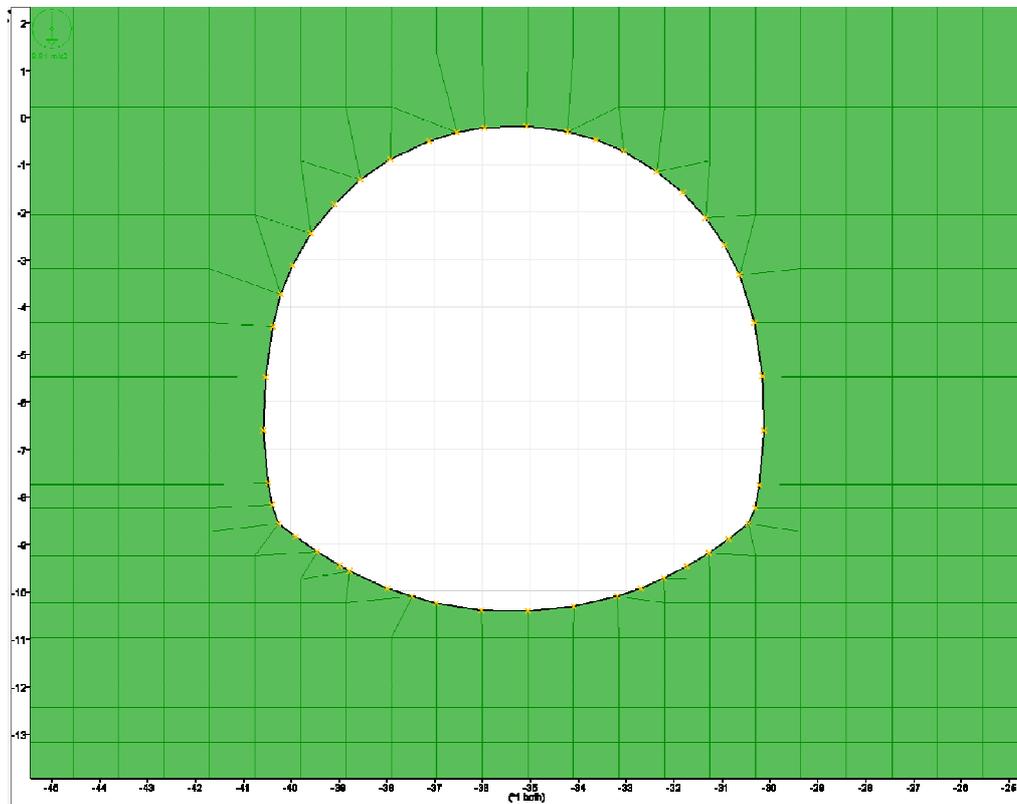
Di seguito si riportano le fasi di calcolo modellate ed i valori di M-stage utilizzati.

Sezione AREA SICURA B0 - 400m - GR1 aP		RIFERIMENTO GN FERMATA AREA SICURA					RIFERIMENTO SINGOLO BINARIO				
TIME	DESCRIZIONE	INIZIO STAGE		FINE STAGE		MATURAZIONE SPRITZ BETON	INIZIO STAGE		FINE STAGE		MATURAZIONE SPRITZ BETON
		Xfronte [m]	R(FEM)	Xfronte [m]	R(FEM)		Xfronte [m]	R(FEM)	Xfronte [m]	R(FEM)	
Geostatico	Geostatico	-∞	0.0%	-∞	0.0%	-	-∞	0.0%	-∞	0.0%	-
Time 1	Fronte di scavo prima canna	0.0	0.0%	0.0	85.0%	-	-∞	0.0%	-∞	0.0%	-
Time 2	Avanzamento mezzo sfondo	0.0	85.0%	1.8	90.0%	-	-∞	0.0%	-∞	0.0%	-
Time 3	Installazione prerivestimento e avanzamento	1.8	90.0%	5.0	94.0%	0.5 gg	-∞	0.0%	-∞	0.0%	-
Time 4	Maturazione sb e avanzamento	5.0	94.0%	15.0	95.0%	3gg	-∞	0.0%	-∞	0.0%	-
Time 5	Maturazione sb e avanzamento	15.0	95.0%	50.0	97.0%	28gg	-∞	0.0%	0	0.0%	-
Time 6	Fronte di scavo seconda canna					28gg	0	0.0%	0	85.0%	-
Time 7	Avanzamento mezzo sfondo					28gg	0	85.0%	1.8	90.0%	-
Time 8	Installazione prerivestimento e avanzamento					28gg	1.8	90.0%	5	94.0%	0.5 gg
Time 9	Maturazione sb e avanzamento					28gg	5	94.0%	15	95.0%	3gg
Time 10	Maturazione sb e avanzamento					28gg	15	95.0%	50	96.0%	28gg
Time 11	Getto arco rovescio prima canna	≈ 9 diametri	97.0%	≈ 15 diametri	97.5%	28gg				97.5%	28gg
Time 12	Completamento prima canna	≈ 15 diametri	97.5%	> 15 diametri	100.0%	28gg					28gg
Time 13	Getto arco rovescio seconda canna					28gg	≈ 9 diametri	96.0%	≈ 15 diametri	98.0%	28gg
Time 14	Completamento seconda canna					28gg	≈ 15 diametri	98.0%	> 15 diametri	100.0%	28gg
RIFERIMENTO GN DI SFOLLAMENTO											
Time 15	Fronte di scavo cunicolo	0.0	0.0%	0.0	85.0%	-					
Time 16	Avanzamento mezzo sfondo	0.0	85.0%	2.1	91.0%	-					
Time 17	Installazione prerivestimento e avanzamento	2.1	91.0%	5.0	95.0%	0.5 gg					
Time 18	Maturazione sb e avanzamento	5.0	95.0%	15.0	96.5%	3gg					
Time 19	Maturazione sb e avanzamento	15.0	96.5%	≈ 9 diametri	98.0%	28gg					
Time 20	Getto arco rovescio cunicolo	≈ 9 diametri	98.0%	≈ 15 diametri	99.0%	28gg					
Time 21	Completamento cunicolo	≈ 15 diametri	99.0%	> 15 diametri	100.0%	28gg					
Time 22	Fase di lungo termine		100.0%		100.0%	-					

La figura seguente contiene la curva λ per $N_S=1$ (curva rossa) e la curva λ tarata tramite l'analisi DEM (curva blu), entrambe riferite alla sezione tipo B0pr relativa al tratto di area di area sicura.

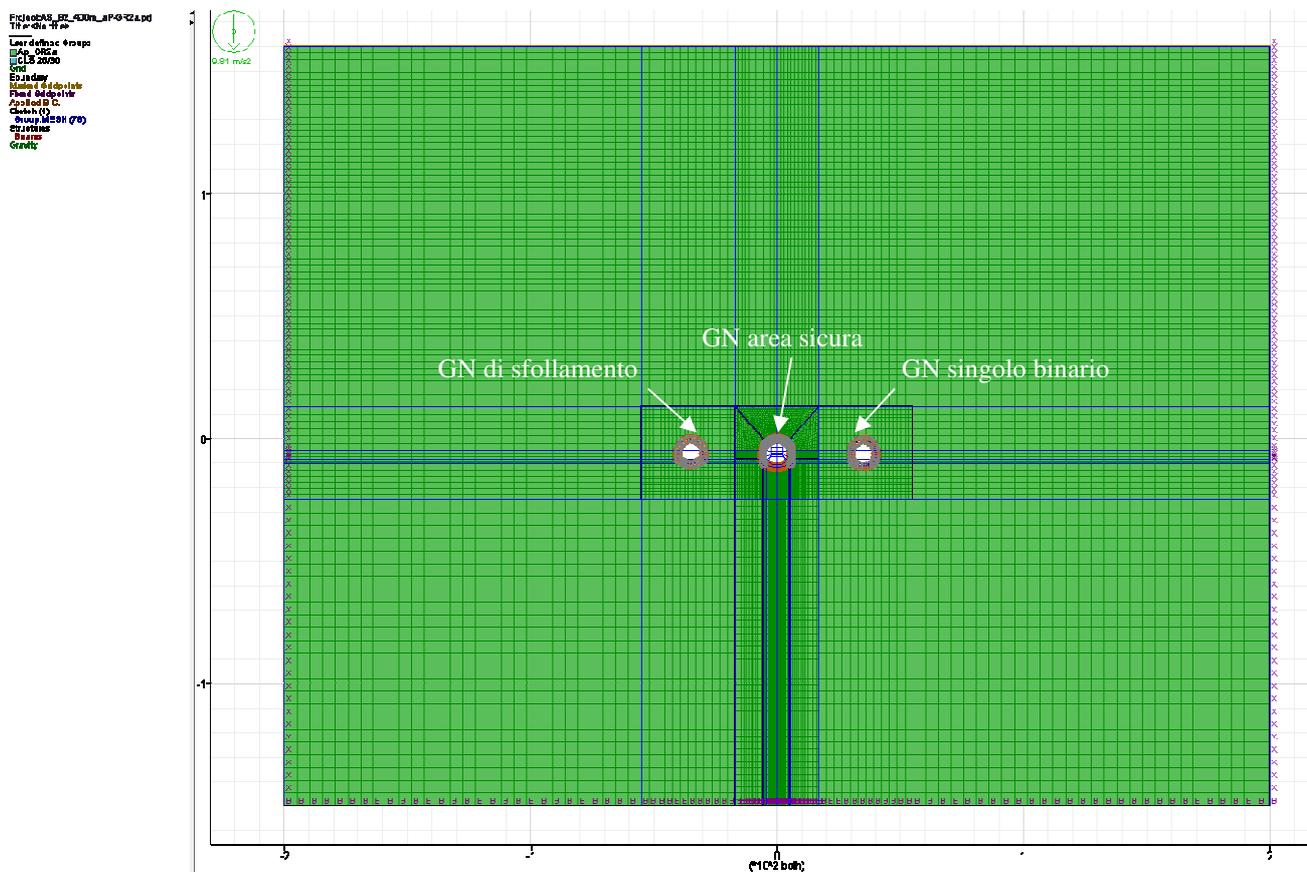


La figura seguente contiene il dettaglio della griglia al contorno dello scavo della sezione tipo B0pr, oggetto della presente analisi.



8.5 Modello 02: Sezione tipo B2pr

La valutazione dello stato tenso-deformativo nei rivestimenti della sezione tipo B2pr e nell'ammasso circostante è riferita ad una copertura in chiave calotta di 400 m. L'analisi numerica è condotta tramite un modello bidimensionale al continuo. La griglia di calcolo di dimensioni 310x400 m è costituita da 20416 elementi quadrangolari. Il contorno superiore della griglia è posto a 160 metri ($y=160$ m) dal profilo di scavo in chiave calotta ($y=0$ m). Il carico litostatico in chiave calotta è stato ricreato ponendo un carico superficiale pari a 5400kPa (200m di terreno).



L'ammasso è modellato come un continuo equivalente, attraverso un unico materiale con valori dei parametri geo-meccanici rappresentativi del Gruppo Geomeccanico GR2 della Formazione delle Argilliti a Palombini (§ 5.4.1). Alle zone che modellano l'ammasso è assegnato il criterio di rottura di Mohr - Coulomb e legame costitutivo strain softening. Le caratteristiche meccaniche corrispondenti al criterio di rottura di Mohr-Coulomb sono determinate secondo la procedura di linearizzazione dell'involuppo a rottura di Hoek-Brown, proposto da Hoek et al. (2002), alla profondità corrispondente alla copertura in esame.

Formazione	γ	u	E_{op}	c_p	ϕ_p	c_r	ϕ_r
	[kN/m ³]	[-]	[GPa]	[MPa]	[°]	[MPa]	[°]
aP-GR2	27	0.3	1.75	0.85	30	0.75	27

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
A3010XDCVROGN91A00001B00		Foglio 55 di 71

Caratteristiche rivestimento di prima fase e fasi di calcolo

L'analisi numerica si basa su Time di calcolo, che permettono di simulare la successione delle fasi di scavo e di posa e maturazione dei rivestimenti. La simulazione delle fasi fa riferimento ad una velocità di avanzamento variabile di circa 1.5÷2.0 m/g, tipiche per lo scavo in questo tipo di materiale, da cui derivano le caratteristiche di deformabilità e resistenza assegnate nel calcolo allo strato di spritz beton. Si riportano le caratteristiche principali utilizzate nell'analisi per le sezioni omogeneizzate composte da centine e spritz beton.

Centina	HE 240 B
n°	1.0
Passo [m]	1.2
E [Gpa]	210.0

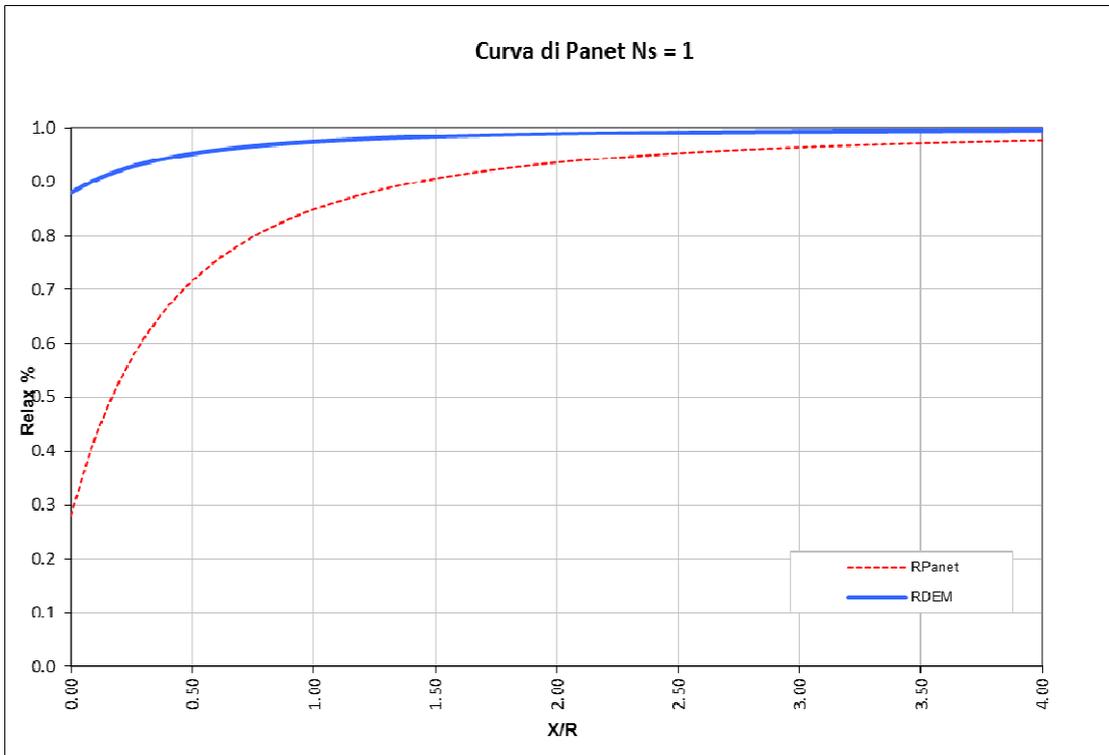
Spritz - Beton	
E _{28gg} [Gpa]	20
Spessore [m]	0.3

Maturazione	E _{om}	S _{om}	EA	EI
[gg]	[Gpa]	[m]	[KN]	[KN*m ²]
0.5	8.797	0.3363	2958031	27873
3	18.987	0.3174	6026521	50596
28	24.504	0.3134	7678288	62828
28	24.504	0.3134	7678288	62828

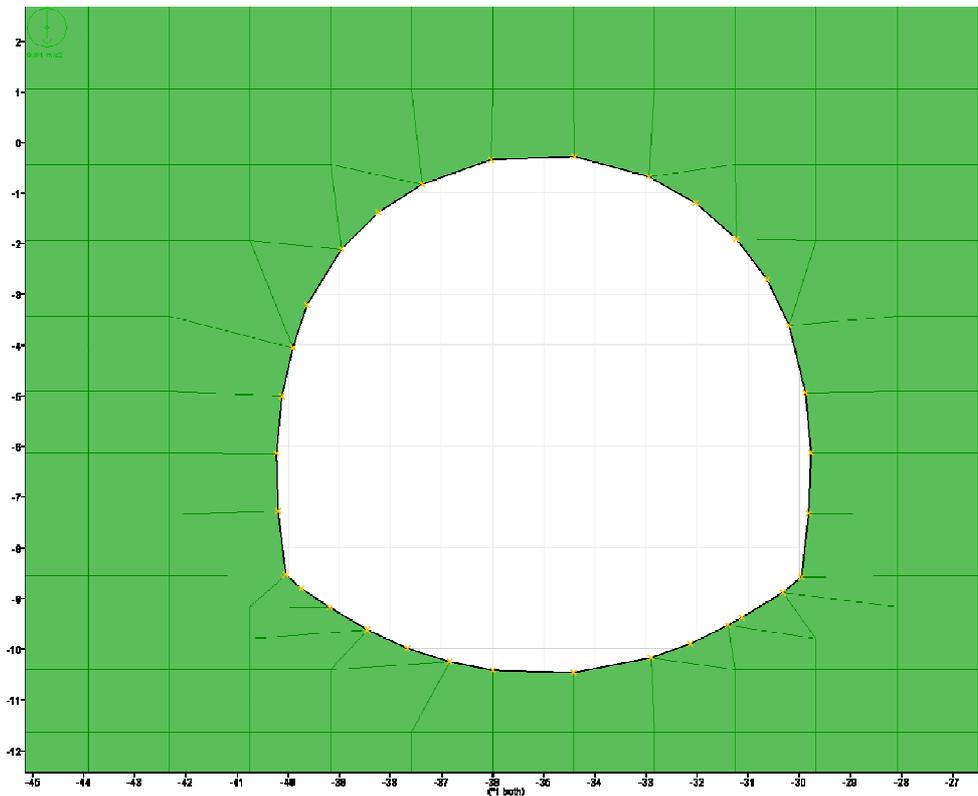
Di seguito si riportano le fasi di calcolo modellate ed i valori di M-stage utilizzati.

LAVORO		COCIV - TRATTA AV/AC TERZO VALICO DEI GIOVI									
Sezione		CUNICULO B2 - 400m									
TIME	DESCRIZIONE	RIFERIMENTO AREA SICURA					RIFERIMENTO SECONDA CANNA				
		INIZIO STAGE		FINE STAGE		MATURAZIONE SPRITZ BETON	INIZIO STAGE		FINE STAGE		MATURAZIONE SPRITZ BETON
Xfronte [m]	R(FEM)	Xfronte [m]	R(FEM)		Xfronte [m]		R(FEM)	Xfronte [m]	R(FEM)		
Geostatico	Geostatico	-∞	0.0%	-∞	0.0%	-	-∞	0.0%	-∞	0.0%	-
Time 1	Fronte di scavo prima canna	0	0.0%	0	88.0%	-	-∞	0.0%	-∞	0.0%	-
Time 2	Avanzamento mezzo sfondo	0	88.0%	0.5	91.0%	-	-∞	0.0%	-∞	0.0%	-
Time 3	Installazione prerivestimento e avanzamento	0.5	91.0%	2	93.0%	0.5 gg	-∞	0.0%	-∞	0.0%	-
Time 4	Maturazione sb e avanzamento	2	93.0%	9	94.5%	3gg	-∞	0.0%	-∞	0.0%	-
Time 5	Maturazione sb e avanzamento	9	94.5%	≈ 5 diametri	96.0%	28gg	-∞	0.0%	0	0.0%	-
Time 6	Getto arco rovescio prima canna	≈ 5 diametri	96.0%	> 5 diametri	98.0%	28gg	0	0.0%	0	0.0%	-
Time 7	Fronte di scavo seconda canna					28gg	0	0.0%	0	88.0%	-
Time 8	Avanzamento mezzo sfondo					28gg	0	88.0%	0.5	91.0%	-
Time 9	Installazione prerivestimento e avanzamento					28gg	2	91.0%	2	93.0%	0.5 gg
Time 10	Maturazione sb e avanzamento					28gg	9	93.0%	9	94.5%	3gg
Time 11	Maturazione sb e avanzamento					28gg	9	94.5%	50	96.0%	28gg
Time 12	Completamento prima canna	≈ 9 diametri	98.0%	> 15 diametri	100.0%	28gg					
Time 13	Getto arco rovescio seconda canna					28gg	≈ 5 diametri	96.0%	≈ 9 diametri	98.0%	28gg
Time 14	Completamento seconda canna					28gg	≈ 9 diametri	98.0%	> 15 diametri	100.0%	28gg
RIFERIMENTO CUNICULO DI ESODO RAPIDO											
Time 15	Fronte di scavo cunicolo	0	0.0%	0	88.0%	-					
Time 16	Avanzamento mezzo sfondo	0	88.0%	0.5	91.0%	-					
Time 17	Installazione prerivestimento e avanzamento	0.5	91.0%	2	93.0%	0.5 gg					
Time 18	Maturazione sb e avanzamento	2	93.0%	9	94.5%	3gg					
Time 19	Maturazione sb e avanzamento	9	94.5%	≈ 5 diametri	96.0%	28gg					
Time 20	Getto arco rovescio cunicolo	≈ 5 diametri	96.0%	≈ 9 diametri	98.0%	28gg					
Time 21	Completamento cunicolo	≈ 9 diametri	98.0%	> 15 diametri	100.0%	28gg					
Time 22	Fase di lungo termine		100.0%		100.0%	-					

La figura seguente contiene la curva λ per $N_s=1$ (curva rossa) e la curva λ tarata tramite l'analisi DEM (curva blu), entrambe riferite alla sezione tipo B2pr relativa al tratto di area di area sicura.



La figura seguente contiene il dettaglio della griglia al contorno dello scavo della sezione tipo B2pr, oggetto della presente analisi.



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN91A00001B00 Foglio 57 di 71

9. RISULTATI DELLE ANALISI NUMERICHE E VERIFICHE

Nel presente capitolo sono preliminarmente indicati i criteri di verifica degli elementi strutturali e sono forniti in seguito i risultati delle analisi numeriche condotte, in termini di stato deformativo e tensionale a carico dei rivestimenti e del contorno del cavo. Per ultimo sono condotte le verifiche di resistenza strutturale dei rivestimenti secondo i criteri indicati.

9.1 Criteri di verifica dei rivestimento di prima fase

I rivestimenti di prima fase sono realizzati impiegando centine metalliche e spritz- beton, per i quali sono previsti i valori ammissibili indicati nella tabella seguente.

Acciaio S 275	$\sigma_{amm}=190 \text{ MPa}$ $\tau_{amm}=109.7 \text{ MPa}$
Calcestruzzo proiettato ($f_{cm} \geq 25 \text{ MPa}$ a 28gg) $f_{cm} \geq 4 \text{ MPa}$ a 0.5 gg $f_{cm} \geq 14 \text{ MPa}$ a 3 gg $f_{cm} \geq 25 \text{ MPa}$ a 28 gg	$\sigma_{amm} = 3.1 \text{ MPa}$ a 0.5gg $\sigma_{amm} = 10.7 \text{ MPa}$ a 3gg $\sigma_{amm} = 19.2 \text{ MPa}$ a 28gg
Calcestruzzo proiettato ($f_{cm} \geq 30 \text{ MPa}$ a 28gg) $f_{cm} \geq 4 \text{ MPa}$ a 0.5 gg $f_{cm} \geq 16 \text{ MPa}$ a 3 gg $f_{cm} \geq 30 \text{ MPa}$ a 28 gg	$\sigma_{amm} = 3.1 \text{ MPa}$ a 0.5gg $\sigma_{amm} = 12.3 \text{ MPa}$ a 3gg $\sigma_{amm} = 23.1 \text{ MPa}$ a 28gg

Le verifiche tensionali sono svolte in corrispondenza di tutte le sezioni nelle quali è discretizzata la struttura, a partire dalla sollecitazioni agenti sui rivestimenti di prima fase, così come ottenute dai modelli numerici in ciascuna fase di calcolo di interesse.

Verifica di resistenza a pressoflessione

Il diagramma delle tensioni normali agenti sul prerivestimento è tracciato considerando una sezione in calcestruzzo armato di spessore pari allo spessore di spritz beton e con armatura simmetrica di area pari all'area delle ali della centina (AFTES "Recommendations for the Design Of Sprayed Concrete For Underground Support" – 09/11/2000). Il fattore di omogenizzazione tra acciaio e spritz beton è assunto pari al reale rapporto tra i moduli elastici dei materiali: risulta quindi variabile in funzione della maturazione del calcestruzzo. La verifica è eseguita controllando che le tensioni normali massime di compressione sul calcestruzzo (σ_c) e di trazione sull'acciaio (σ_s), prodotte dalla combinazione di sforzo normale e momento flettente, sia inferiore al relativo valore ammissibile:

$$\sigma_c \leq \sigma_{amm} \quad \sigma_s \leq \sigma_{amm}$$

Verifica di resistenza a taglio

Per quanto riguarda le sollecitazioni taglianti (T), si assume che queste agiscano unicamente sull'anima delle centine (A_{tw}), senza alcun contributo resistente fornito dalle ali del profilo e dallo spritz-beton. La verifica è quindi eseguita controllando che la tensione (τ), prodotta dallo sforzo di taglio agente, sia inferiore al valore ammissibile:

$$\tau = T / A_{tw} \leq \tau_{amm}$$

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN91A00001B00 Foglio 58 di 71

9.2 Criteri di verifica dei rivestimenti definitivi

I rivestimenti definitivi della galleria di sfollamento sono realizzati in calcestruzzo armato ordinario. Il conglomerato cementizio è di classe $R_{ck} = 30$ MPa e le barre di armatura sono di tipo B450 C ad aderenza migliorata. Le tensioni ammissibili dei materiali utilizzati nelle verifiche strutturali sono riassunte nella tabella seguente.

Acciaio B450 C	$\sigma_{amm} = 160$ MPa (*)
Calcestruzzo strutturale non armato Rck 30 MPa	$\sigma_{amm} = 7.5$ MPa $\tau_{c0} = 0.60$ MPa
Calcestruzzo strutturale armato Rck 30 MPa	$\sigma_{amm} = 9.75$ MPa $\tau_{c0} = 0.60$ MPa $\tau_{c1} = 1.80$ MPa

(*) in condizioni di esercizio con verifica a fessurazione: $\sigma_{amm}=255$ MPa

Le verifiche tensionali sono svolte in corrispondenza di tutte le sezioni nelle quali è discretizzata la struttura, a partire dalla sollecitazioni agenti sui rivestimenti definitivi, così come ottenute dai modelli numerici in ciascuna fase di calcolo di interesse.

Il calcolo delle sezioni resistenti è eseguito con i metodi della scienza delle costruzioni, basati sull'ipotesi dell'elasticità lineare dei materiali.

Verifica di resistenza a pressoflessione

Le tensioni del conglomerato compresso e dell'armatura sono calcolate prescindendo dal contributo a trazione del conglomerato, assumendo come area della sezione resistente quella corrispondente al conglomerato compresso ed alle aree metalliche tese e compresse, affette dal coefficiente convenzionale di omogeneizzazione $n=15$.

Verifica di resistenza a taglio

Le tensioni tangenziali sono calcolate secondo la seguente equazione:

$$\tau = \frac{T}{0.9 \cdot b \cdot d}$$

con:

T = taglio agente sulla sezione; b = larghezza della sezione pari a 1.0 m;

d = altezza utile della sezione.

La verifica delle eventuali armature al taglio è considerata soddisfatta quando le tensioni tangenziali massime del conglomerato sono inferiori a τ_{c0} . Nella zona ove le tensioni tangenziali superano τ_{c0} , gli sforzi tangenziali sono integralmente assorbiti dall'armatura trasversale. In ogni caso massima tensione tangenziale per solo taglio non deve superare il valore τ_{c1} .

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	A3010XDCVROGN91A00001B00 <table border="1" style="float: right;"> <tr> <td>Foglio 59 di 71</td> </tr> </table>	Foglio 59 di 71
Foglio 59 di 71		

Verifica a fessurazione

La verifica a fessurazione è eseguita in accordo con il D.M. 09/07/96.

In funzione della classe di esposizione, “ambiente poco aggressivo”, può ritenersi accettabile un’apertura delle fessure minore di 0.2 mm. Poiché il copriferro minimo previsto per i rivestimenti è pari a 4 cm, ovvero maggiore di $1.5 \cdot c_{\min}$ (con $c_{\min} = 2.5$ cm), è ammesso un aumento del limite di apertura delle fessure (w_k). Il valore limite di w_k è quindi pari a:

$$0.2 \cdot 1.5 = 0.3 \text{ mm}$$

Si considera quindi:

$$M_f \text{ II} = W_i \cdot f_{cfm}$$

dove

$$f_{cfm} = 1.2 \cdot 0.27 (Rck)^{2/3} \quad (\text{N/mm}^2)$$

L’apertura delle fessure vale:

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

dove:

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

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

per la sezione in esame si ha:

$c =$ copriferro netto armatura tesa

s 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

Φ diametro delle barre

$\rho_r =$ $A_s / A_{c \text{ eff}}$

$\sigma_s =$ tensione dell’acciaio calcolata nella sezione fessurata per la

$\sigma_{sr} =$ 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.

9.3 Modello 01: Sezione Tipo B0pr

9.3.1 Analisi deformativa

I risultati più significativi ottenuti dalla presente analisi sono riassunti nelle immagini contenute nel presente paragrafo. Il modello ha indicato spostamenti contenuti con deformazioni del cavo nel lungo termine di circa 2 centimetri.

I fenomeni di plasticizzazione nel terreno al contorno della cavità, nella fase di lungo termine, risultano limitati; come si può vedere nella figura sottostante, infatti, risulta plasticizzata unicamente una fascia di circa 1-2 m.

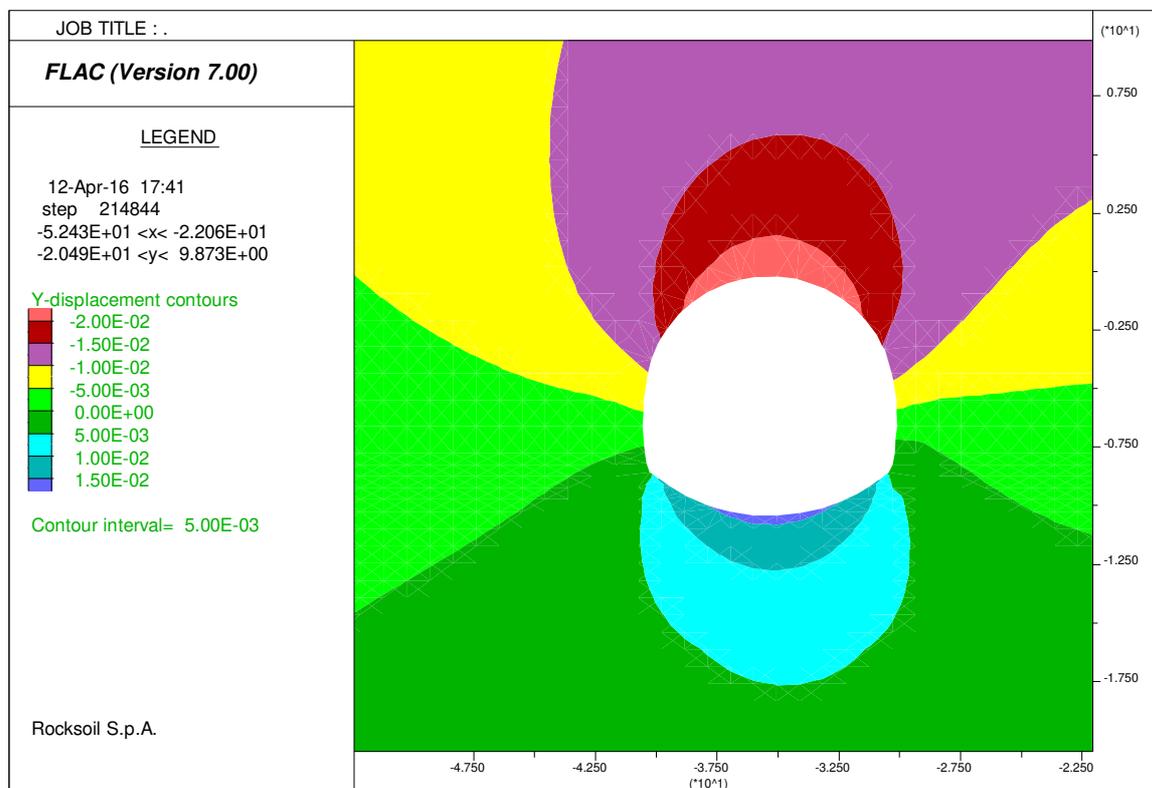


Figura 22– Modello 01: spostamenti in direzione verticale (Fase finale)

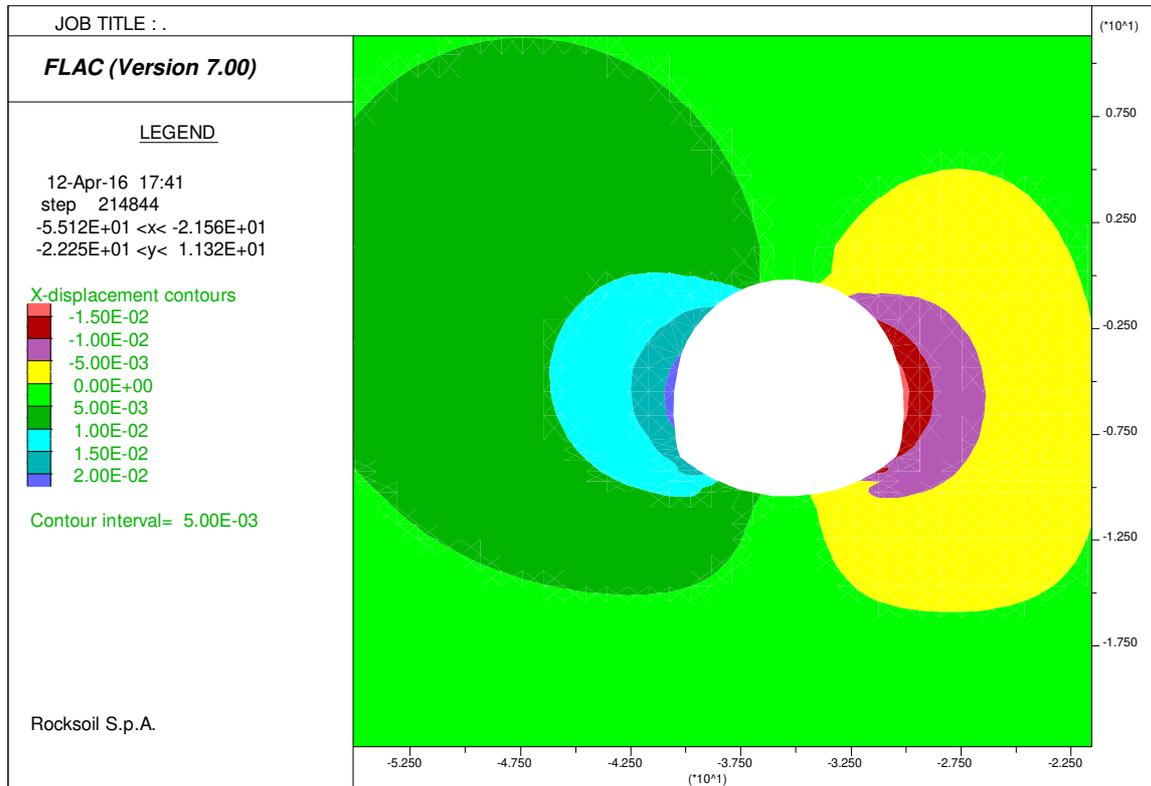


Figura 23– Modello 01: spostamenti in direzione orizzontale (Fase finale)

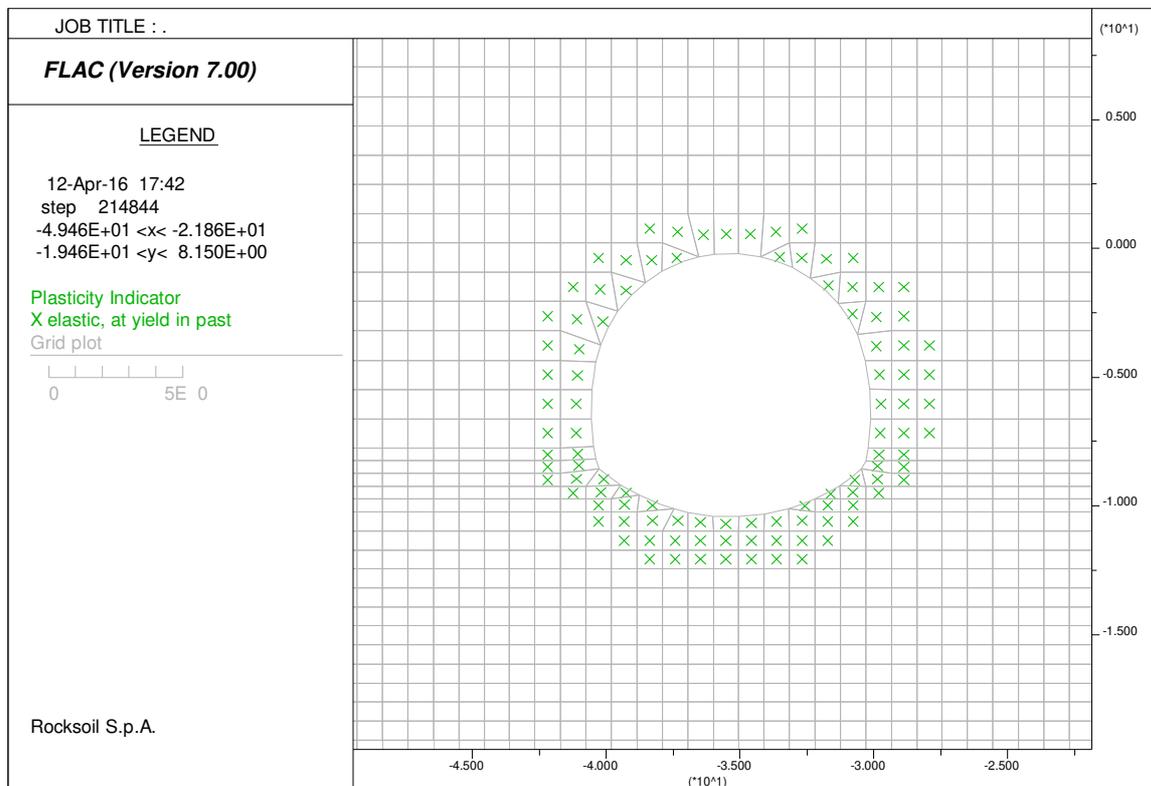


Figura 24– Modello 01: Fenomeni di plasticizzazione

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
A3010XDCVROGN91A00001B00		Foglio 62 di 71

Per quanto riguarda il prriverstimento, la convergenza totale media rilevata risulta pari a circa 1cm, mentre il rivestimento definitivo è caratterizzato da una deformazione media, nel lungo termine, di ordine millimetrico. I valori di spostamento del prriverstimento sono stati rilevati in corrispondenza della Time 20 ovvero ultima fase di presenza delle centine. I valori di convergenza dei rivestimenti definitivi sono stati invece rilevati nel lungo termine. Data la tipologia di analisi effettuata ogni singolo elemento strutturale è stato attivato nella fase di calcolo in cui ne è prevista la posa. Ciò ha permesso di ottenere valori di convergenza già depurati della preconvergenza del terreno. Nella seguente tabella si riporta un riassunto dei risultati.

SEZIONE	Δ Spostamento prriverstimenti (Time 20-16)	Δ spostamento rivestimento definitivo (Time 22-20)
	[cm]	[cm]
Chiave calotta Verticale	0.2	~0.1
Piano centri Orizzontale	0.6	~0.1
Chiave arco rovescio Verticale	-	~0.1

Tabella 7. Spostamenti individuati su pre-rivestimenti e rivestimenti definitivi

9.3.1 Analisi Tensionale

I rivestimenti di prima fase utilizzati sono descritti nella seguente tabella:

Spessore spritz beton (m)	Centine (-)	Numero (-)	Passo (m)
0.30	HEB240	1	1.2

Nella tabella sottostante viene riportato lo stato tensionale sia sulle ali delle centine che sullo spritz beton. Si presentano unicamente le condizioni più gravose in base a quanto valutato nei vari step di calcolo. Le sollecitazioni relative a tutti i beam e le relative tensioni valutate sui materiali sono riportate in allegato. Come si nota tutte le verifiche risultano soddisfatte.

FASE	H	N [KN/m]	M [KNm/m]	σ [Mpa]	σ limite [Mpa]	σ [Mpa]	σ limite [Mpa]	V [KN/m]	τ [Mpa]	τ limite [Mpa]
0.5gg	0,3	-277,9	-84,0	-2,328	3,08	-99,1	190,0	-26,6	-12,8	109,7
3gg	0,3	-64,1	83,2	-4,701	10,77	99,3	190,0	-41,1	-19,8	109,7
28gg	0,3	-592,6	121,1	-8,940	19,23	79,8	190,0	-42,4	-20,4	109,7

Tabella 8. Modello 01: verifiche prriverstimenti

I rivestimenti definitivi sono verificati armati. In sintesi vengono indicate le condizioni più gravose per le diverse parti strutturali (arco rovescio, e calotta) della sezione in esame in base a quanto valutato nella fase di lungo termine nella quale si verificano le sollecitazioni maggiori.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN91A00001B00 Foglio 63 di 71

FERRI ARMATURA PRINCIPALE		
	Intradosso	Estradosso
Arco rovescio	Ø20/20	Ø20/20
Calotta	Ø20/20	Ø20/20

ELEMENTO	N	M	σ_c	σ_s	V	τ
[m]	[kN]	[kNm]	[MPa]	[MPa]	[kN]	[MPa]
CALOTTA	-1398,8	327,7	-3,82	-51,8	223,3	0,306
AR	-1406,0	66,8	-1,71	-24,8	-375,0	-0,463

Tabella 9. Modello 01: verifiche rivestimenti definitivi

Come si nota, tutte le verifiche risultano soddisfatte. Poiché si verifica ovunque $\tau < \tau_{c0}$ non è necessario disporre armatura specifica a taglio al fine del superamento di tale verifica .

L'incidenza è pari a 60kg/mc.

Si mostra nei grafici sottostanti l'andamento delle azioni interne nel rivestimento definitivo.

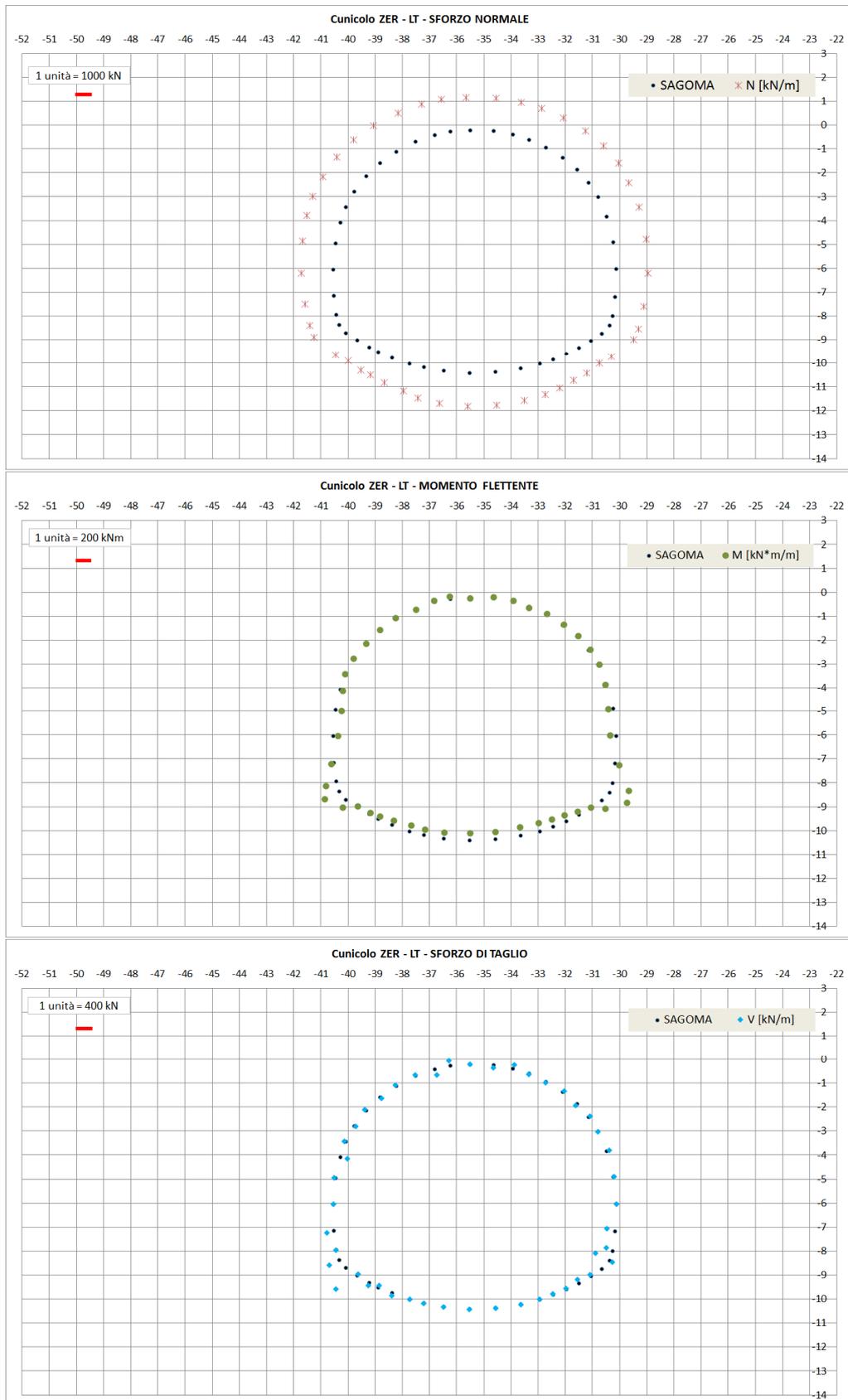


Figura 25– Modello 01: Andamento azioni assiali nel rivestimento definitivo

9.4 Modello 02: Sezione Tipo B2pr

9.4.1 Analisi deformativa

I risultati più significativi ottenuti dalla presente analisi sono riassunti nelle immagini contenute nel presente paragrafo. Il modello ha indicato spostamenti contenuti con deformazioni medi del cavo nel lungo termine di circa 5-6 centimetri. I fenomeni di plasticizzazione nel terreno al contorno della cavità, nella fase di lungo termine, si estendono per una fascia di circa 4 m come si può vedere nell'immagine riportata sotto.

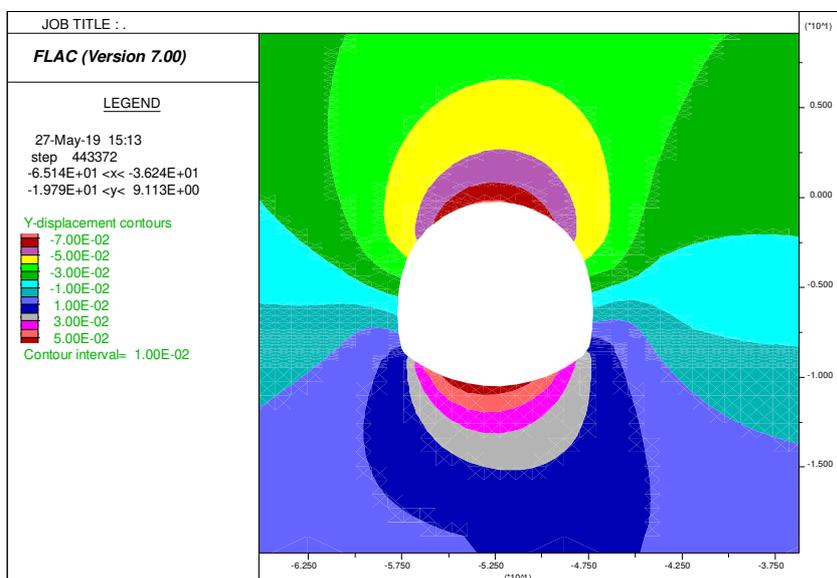


Figura 26– Modello 02: spostamenti in direzione verticale (Fase finale)

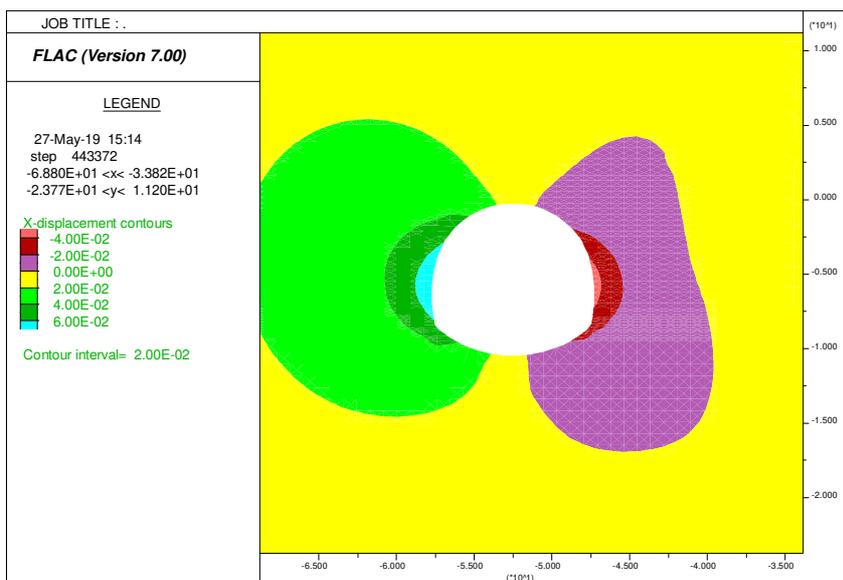


Figura 27– Modello 02: spostamenti in direzione orizzontale (Fase finale)

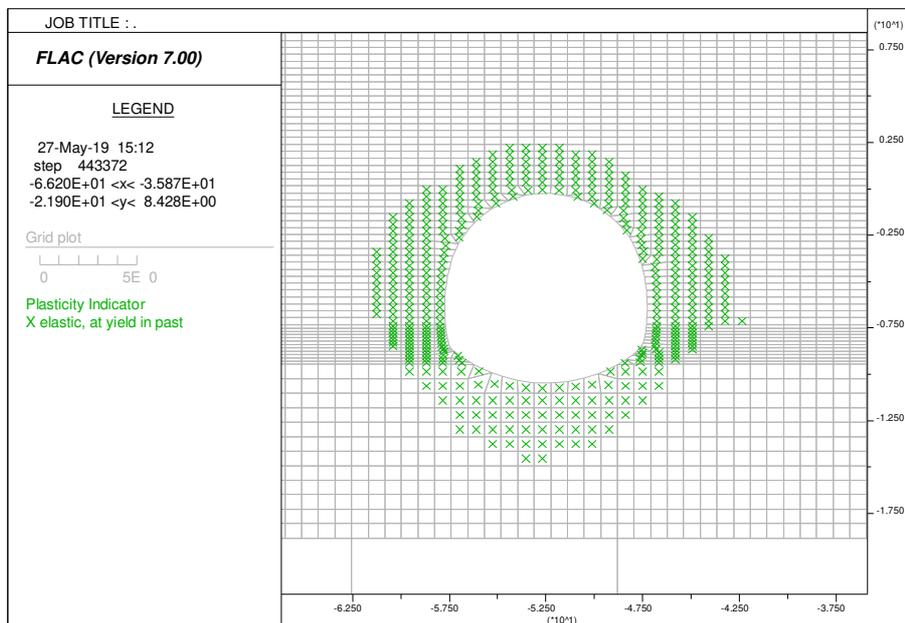


Figura 28– Modello 02: Fenomeni di plasticizzazione

Per quanto riguarda il prerivestimento, la convergenza totale media è di poco superiore al centimetro, mentre il rivestimento definitivo è caratterizzato da una deformazione media, nel lungo termine, di ordine millimetrico. I valori di spostamento del prerivestimento sono stati rilevati in corrispondenza della Time 20 ovvero ultima fase di presenza delle centine. I valori di convergenza dei rivestimenti definitivi sono stati invece rilevati a partire dalla loro installazione. Data la tipologia di analisi effettuata ogni singolo elemento strutturale è stato attivato nella fase di calcolo in cui ne è prevista la posa. Ciò ha permesso di ottenere valori di convergenza già depurati della preconvergenza del terreno. Nella seguente tabella si riporta un riassunto dei risultati.

SEZIONE	Δ Spostamento prerivestimenti (Time 20-16)	Δ spostamento rivestimento definitivo (Time 22-20)
	[cm]	[cm]
Chiave calotta Verticale	1.5	~0.1
Piano centri Orizzontale	1.3	~0.1
Chiave arco rovescio Verticale	-	~0.1

Tabella 10. Spostamenti individuati su pre-rivestimenti e rivestimenti definitivi

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
A3010XDCVROGN91A00001B00		Foglio 67 di 71

9.4.2 Analisi Tensionale

I rivestimenti di prima fase utilizzati sono descritti nella seguente tabella:

Spessore spritz beton (m)	Centine (-)	Numero (-)	Passo (m)
0.30	HEB 240	1	1.2

Nella tabella sottostante viene riportato lo stato tensionale sia sulle ali delle centine che sullo spritz beton. Si presentano unicamente le condizioni più gravose in base a quanto valutato nei vari step di calcolo. Le sollecitazioni relative a tutti i beam e le relative tensioni valutate sui materiali sono riportate in allegato.

FASE	H	N [kN/m]	M [kNm/m]	σ_c [Mpa]	σ_c limite [Mpa]	σ_s [Mpa]	σ_s limite [Mpa]	V [kN/m]	τ [Mpa]	τ limite [Mpa]
0.5gg	0.3	-1074.5	-12.4	-1.855	3.08	-99.0	190.0	14.7	7.0	109.7
3gg	0.3	-1859.6	22.6	-5.624	10.77	-78.8	190.0	31.7	15.3	109.7
28gg	0.3	-2559.9	153.8	-14.253	19.23	-129.8	190.0	172.2	82.8	109.7

Tabella 11. Modello 02: verifiche priverimenti

Come si nota tutte le verifiche risultano soddisfatte.

I rivestimenti definitivi sono verificati armati. In sintesi vengono indicate le condizioni più gravose per le diverse parti strutturali (arco rovescio, e calotta) della sezione in esame in base a quanto valutato nella fase di lungo termine nella quale si verificano le sollecitazioni maggiori.

FERRI ARMATURA PRINCIPALE		
	Intradosso	Estradosso
Arco rovescio	$\varnothing 24/20$	$\varnothing 24/20$
Calotta	$\varnothing 24/20$	$\varnothing 24/20$

H	N	M	σ_c	σ_s	V	τ
[m]	[kN]	[kNm]	[MPa]	[MPa]	[kN]	[MPa]
CALOTTA	-3839,0	546,2	-7,45	-103,8	-369,7	-0,507
ARCO ROVESCIO	-2208,0	-474,0	-4,57	-63,4	-406,4	-0,502

Tabella 12. Modello 02: verifiche rivestimenti definitivi

Come si nota, tutte le verifiche risultano soddisfatte. Poiché si verifica ovunque $\tau < \tau_{c0}$ non è necessario disporre armatura specifica a taglio al fine del superamento di tale verifica.

L'incidenza è pari a 75kg/mc.

Si mostra nei grafici sottostanti l'andamento delle azioni interne nel rivestimento definitivo.

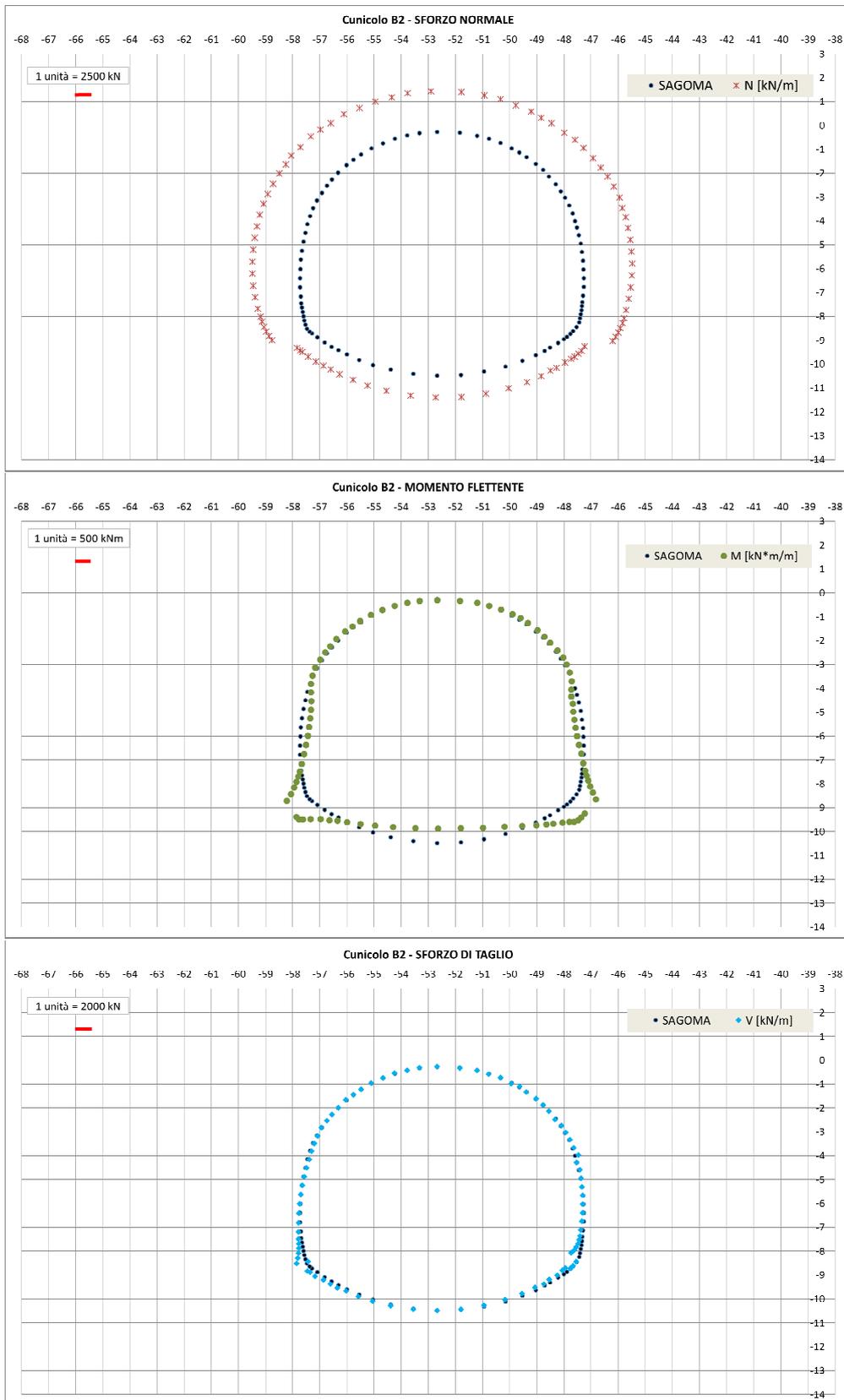


Figura 29– Modello 02: Andamento azioni assiali nel rivestimento definitivo

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
	<p>A3010XDCVROGN91A00001B00</p>	<p>Foglio 69 di 71</p>

10. ANALISI DELLE INTERFERENZE DI SUPERIFICIE

Date le elevate coperture prese in considerazione nella galleria in esame (superiori ai 150 metri), le interferenze con opere di superficie possono essere trascurate.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	A3010XDCVROGN91A00001B00 <div style="float: right;">Foglio 70 di 71</div>

11. CONCLUSIONI

Oggetto della presente relazione è la descrizione delle principali problematiche legate allo scavo dei cunicoli di sfollamento da realizzarsi nel tratto dell'area sicura Val Lemme (WBS GN91A), le scelte progettuali effettuate con conseguente definizione delle sezioni tipo d'avanzamento e la verifica di tali sezioni, con riferimento alle condizioni critiche rappresentative presenti lungo lo sviluppo dei cunicoli di sfollamento.

Sono state esaminate le scelte progettuali effettuate con conseguente definizione delle sezioni tipo d'avanzamento e la successiva verifica di tali sezioni, con riferimento alle condizioni critiche rappresentative presenti lungo lo sviluppo della galleria. Le verifiche, condotte in conformità a quanto previsto dal D.M. 1996, dimostrano l'idoneità della soluzione progettuale adottata.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>A3010XDCVROGN91A00001B00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 71 di 71</p>

12. ALLEGATI DI CALCOLO

L'allegato di calcolo contiene nell'ordine:

- dati di input e output delle analisi tramite il metodo delle curve caratteristiche in fase di diagnosi;
- dati di input e output delle analisi tramite il metodo delle curve caratteristiche in fase di terapia;
- dati di input e output delle analisi di stabilità del fronte in fase di diagnosi e in fase di terapia;
- verifiche strutturali dei rivestimenti di prima fase;
- verifiche strutturali dei rivestimenti definitivi.

Tamez & Conejo (1985)

Geotechnical properties

Overburden layers	ΔH [m]	γ_n [kNm^{-3}]	c' [kPa]	ϕ' [°]
Ap-GR1	200.0	27.0	910	39.0

Excavated layers	ΔH [m]	γ_n [kNm^{-3}]	c' [kPa]	ϕ' [°]
Ap-GR1	10.0	27.0	910	39.0

Tunnel geometry

Type of ground	CF/F	CF
Total Overburden	Z [m]	200.0
Depth of water table	W [m]	1000.0
Excavated height	h [m]	10.0
Tunnel's width	b [m]	10.50
Free span length	a [m]	1.0

Deep tunnel (Z>5D)		
Equivalent tunnel diameter	D_{eq} [m]	11.0
Earth coefficient at rest	k_0 [-]	1.0
Depth coefficient	k_A [-]	1.0
Height of mass load at crown	H_p [m]	17.9
Length of prisms in advance	L_p [m]	4.8

Prismatic volume properties

Aver. weight of load mass	γ_p [kNm^{-3}]	27.0
Aver. cohesion of load mass	c'_p [kPa]	910.0
Aver. friction of load mass	ϕ'_p [°]	39.0

Aver. weight of Excav. layers	γ_E [kNm^{-3}]	27.0
Aver. cohesion of Excav. layers	c'_E [kPa]	910.0
Aver. friction of load mass	ϕ'_E [°]	39.0

Effective soil press. at crown	σ'_v [kPa]	5400
--------------------------------	-------------------	------

hydraulic press. at crown	u [kPa]	0
---------------------------	---------	---

Shear resistance and Safety factor at Diagnosis phase

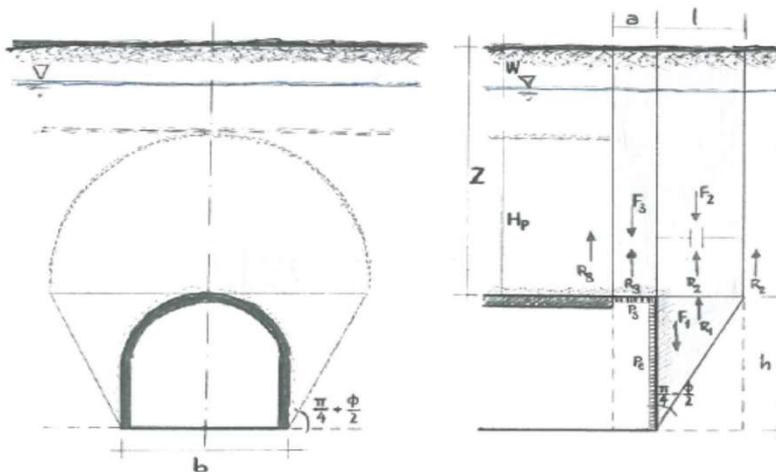
Shear resistance (prism 3)	τ_{m3} [kPa]	1906
Shear resistance (prisms 1-2)	τ_{m2} [kPa]	4916

Safety factor (prism 3)	FS_3	13.80
Safety factor (MΣFR/MSFA)	FS_F	3.84

Permitted free span length	a_{max} [m]	21.0
Pressure on primary supports	P_s [kPa]	2160
Required pressure at face	P_E [kPa]	0

Obtained safety factor	SF	3.84
Requested safety factor	SF_R	2.00

Prismatic volume gravitating over the crown system of forces



Broms & Bennermark (1967)

$$N = \frac{\sigma_s + \gamma z_0 - \sigma_T}{s_u}$$

where γ is unit weight of the soil,
 s_u is undrained shear strength of the soil at tunnel axis level,
 σ_s is surface surcharge pressure,
 σ_T is tunnel support pressure, and
 z_0 is depth to the tunnel axis

$$s_u = \frac{\sigma_{cm}}{2}$$

$$\sigma_{cm} = (0.0034 \cdot m_i^{0.8}) \cdot \sigma_c \cdot [1.029 + 0.025 \cdot e^{(-0.01 \cdot m_i)}]^{GSI}$$

Input data

Layers	z_0 [m]	γ_n [kNm ⁻³]	σ_s [kPa]	σ_T [kPa]	σ_c [kPa]	m_i [-]	GSI [-]
Ap-GR1	205	27.0	0	0	35000	17.5	50
0	0	0.0					
0	0	0.0					
0	0	0.0					

Results

ΔH [m]	γ_n [kNm ⁻³]	σ_c [kPa]	m_i [-]	GSI [-]	σ_0 [kPa]	σ_{cm} [kPa]	s_u [kPa]
205.0	27.0	35000.0	17.5	50.0	5535.0	13470.8	6735.4
0.0	0.0						
0.0	0.0						
0.0	0.0						

Stability ratio

N

[-]

0.8

Neglectable deformations

Panet (1990)

$$N_s = \frac{\sigma_0}{C_U} = \frac{2 \cdot \sigma_0}{\sigma_{cm}}$$

$$\lambda_e = \frac{1}{K_p + 1} \left[K_p - 1 + \frac{2}{N} \right]$$

Stability ratio	N	[-]	0.8
Passive earth pressure	K_p	[-]	4.395
Deconfinement	λ_e	[-]	1.08

Stable face

Geotechnical properties

Overburden layers	ΔH [m]	γ_n [kNm^{-3}]	c' [kPa]	ϕ' [°]
Ap-GR1	200	27	910	39

Excavated layers	ΔH [m]	γ_n [kNm^{-3}]	c' [kPa]	ϕ' [°]
Ap-GR1	10	27	910	39

Tunnel geometry

Type of ground	CF/F	CF
Total Overburden	Z [m]	200.0
Depth of water table	W [m]	1000.0
Excavated height	h [m]	10.0
Tunnel's width	b [m]	10.5
Free span length	a [m]	3.6

Deep tunnel (>5D)		
Equivalent tunnel diameter	D_{eq} [m]	11.0
Earth coefficient at rest	k_0 [-]	1.0
Depth coefficient	k_A [-]	1.0
Height of mass load at crown	H_p [m]	17.9
Length of prisms in advance	L_p [m]	4.8

Injection modality

Grout injection properties		
Cubic compression resistance	R_{ck} [MPa]	
Injection influence ratio	i_i [-]	1
Curing factor	γ_c [-]	
Material's safety factor	γ_f [-]	
Mortar's position ratio	v_c [-]	
Elastic module of mortar	E_c [GPa]	
Grout-soil bond	τ_a [kPa]	0.0
Injection penetrability coeff.	α_i [-]	1.0
ULS resistance of mortar	σ_c [-]	

Face bolt properties		
Tensile resistance of bar	σ_b [MPa]	600.0
Tensile resistance at joint	σ_j [MPa]	600.0
Shear resistance of bar	σ_t [MPa]	100.0
Drilling diameter	ϕ_{dril} [mm]	100.0
External diameter	ϕ_{ext} [mm]	60.0
Tube's Thickness	th_b [mm]	10.0
Overlapping length	L_{LAP} [m]	9.0
Joint step	i_{joint} [m]	24.0
Resistance area of single bar	A_b [mm ²]	1570.8

Improved face properties

Shear force resist. of bars	T_t [kN]	157.1
Tensile force resist. of bars	T_T [kN]	942.5
Pull-out resistance of bars	T_F [kN]	0.0
Max. resistance offered by bars	T_{max} [kN]	0.0

Adopted number of bars	N_b [-]	0.0
N° of bars for unit of area	n_b [m ⁻²]	0.00
Confining pressure	P_e [kPa]	0.0
Increment of cohesion	$\Delta c'$ [kPa]	0.0
Improved cohesion at face	c'_{eq} [kPa]	910.0

Prismatic volume properties

Aver. weight of load mass	γ_p [kNm^{-3}]	27.0
Aver. cohesion of load mass	c'_p [kPa]	910.0
Aver. friction of load mass	ϕ'_p [°]	39.0

Aver. weight of Excav. layers	γ_E [kNm^{-3}]	27.0
Aver. cohesion of Excav. layers	c'_E [kPa]	910.0
Aver. friction of load mass	ϕ'_E [°]	39.0

Effective soil press. at crown	σ'_v [kPa]	5400
--------------------------------	-------------------	------

hydraulic press. at crown	u [kPa]	0
---------------------------	-----------	---

Shear resistance and Safety factor at Diagnosis phase

Shear resistance (prism 3)	τ_{m3} [kPa]	1906
Shear resistance (prisms 1-2)	τ_{m2} [kPa]	4916

Safety factor (prism 3)	FS_3	4.70
Safety factor (MΣFR/MSFA)	FS_F	2.69

Permitted free span length	a_{max} [m]	21.0
Pressure on primary supports	P_s [kPa]	2160
Requied pressure at face	P_E [kPa]	0

Obtained safety factor	SF	2.69
Requested safety factor	SF_R	2.00

Tamez & Conejo (1985)

Geotechnical properties

Overburden layers	ΔH [m]	γ_n [kNm^{-3}]	c' [kPa]	ϕ' [°]
Ap-GR1	300.0	27.0	1175	39.0

Excavated layers	ΔH [m]	γ_n [kNm^{-3}]	c' [kPa]	ϕ' [°]
Ap-GR1	10.0	27.0	1175	39.0

Tunnel geometry

Type of ground	CF/F	CF
Total Overburden	Z [m]	300.0
Depth of water table	W [m]	1000.0
Excavated height	h [m]	10.0
Tunnel's width	b [m]	10.50
Free span length	a [m]	1.0

Deep tunnel (Z>5D)		
Equivalent tunnel diameter	D_{eq} [m]	11.0
Earth coefficient at rest	k_0 [-]	1.0
Depth coefficient	k_A [-]	1.0
Height of mass load at crown	H_p [m]	17.9
Length of prisms in advance	L_p [m]	4.8

Prismatic volume properties

Aver. weight of load mass	γ_p [kNm^{-3}]	27.0
Aver. cohesion of load mass	c'_p [kPa]	1175.0
Aver. friction of load mass	ϕ'_p [°]	39.0

Aver. weight of Excav. layers	γ_E [kNm^{-3}]	27.0
Aver. cohesion of Excav. layers	c'_E [kPa]	1175.0
Aver. friction of load mass	ϕ'_E [°]	39.0

Effective soil press. at crown	σ'_v [kPa]	8100
--------------------------------	-------------------	------

hydraulic press. at crown	u [kPa]	0
---------------------------	---------	---

Shear resistance and Safety factor at Diagnosis phase

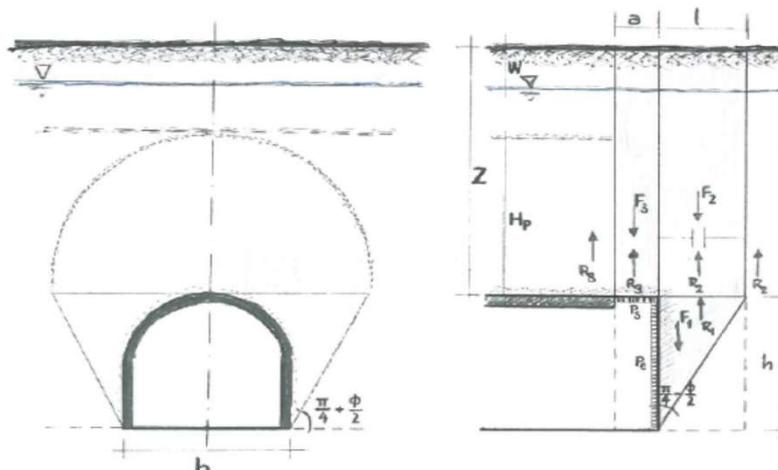
Shear resistance (prism 3)	τ_{m3} [kPa]	2717
Shear resistance (prisms 1-2)	τ_{m2} [kPa]	6982

Safety factor (prism 3)	FS_3	13.12
Safety factor (MΣFR/MSFA)	FS_F	3.64

Permitted free span length	a_{max} [m]	16.7
Pressure on primary supports	P_s [kPa]	3481
Required pressure at face	P_E [kPa]	0

Obtained safety factor	SF	3.64
Requested safety factor	SF_R	2.00

Prismatic volume gravitating over the crown system of forces



Broms & Bennermark (1967)

$$N = \frac{\sigma_s + \gamma z_0 - \sigma_T}{s_u}$$

where γ is unit weight of the soil,
 s_u is undrained shear strength of the soil at tunnel axis level,
 σ_s is surface surcharge pressure,
 σ_T is tunnel support pressure, and
 z_0 is depth to the tunnel axis

$$s_u = \frac{\sigma_{cm}}{2}$$

$$\sigma_{cm} = (0.0034 \cdot m_i^{0.8}) \cdot \sigma_c \cdot [1.029 + 0.025 \cdot e^{(-0.01 \cdot m_i)}]^{GSI}$$

Input data

Layers	z_0 [m]	γ_n [kNm ⁻³]	σ_s [kPa]	σ_T [kPa]	σ_c [kPa]	m_i [-]	GSI [-]
Ap-GR1	305	27.0	0	0	35000	17.5	50
0	0	0.0					
0	0	0.0					
0	0	0.0					

Results

ΔH [m]	γ_n [kNm ⁻³]	σ_c [kPa]	m_i [-]	GSI [-]	σ_0 [kPa]	σ_{cm} [kPa]	s_u [kPa]
305.0	27.0	35000.0	17.5	50.0	8235.0	13470.8	6735.4
0.0	0.0						
0.0	0.0						
0.0	0.0						

Stability ratio

N

[-]

1.2

Elastic deformations

Panet (1990)

$$N_s = \frac{\sigma_0}{C_U} = \frac{2 \cdot \sigma_0}{\sigma_{cm}}$$

$$\lambda_e = \frac{1}{K_p + 1} \left[K_p - 1 + \frac{2}{N} \right]$$

Stability ratio	N	[-]	1.2
Passive earth pressure	K_p	[-]	4.395
Deconfinement	λ_e	[-]	0.93

Stable face

Galleria valico tratta 4 - AEXCAV. [m2] = **95**
FACE STABILITY ANALYSIS - TAMEZ-CONEJO
THERAPY PHASE
sezione B0

Parametro non influente al fine del calcolo

Geotechnical properties

Overburden layers	ΔH [m]	γ_n [kNm^{-3}]	c' [kPa]	ϕ' [°]	Excavated layers	ΔH [m]	γ_n [kNm^{-3}]	c' [kPa]	ϕ' [°]
Ap-GR1	300	27	1175	39	Ap-GR1	10	27	1175	39

Tunnel geometry

Type of ground	CF/F	CF	Deep tunnel ($Z > 5D$)		
Total Overburden	Z [m]	300.0	Equivalent tunnel diameter	D_{eq} [m]	11.0
Depth of water table	W [m]	1000.0	Earth coefficient at rest	k_0 [-]	1.0
Excavated height	h [m]	10.0	Depth coefficient	k_A [-]	1.0
Tunnel's width	b [m]	10.5	Height of mass load at crown	H_p [m]	17.9
Free span length	a [m]	3.6	Length of prisms in advance	L_p [m]	4.8

Injection modality

Grout injection properties			Face bolt properties		
Cubic compression resistance	R_{ck} [MPa]		Tensile resistance of bar	σ_b [MPa]	600.0
Injection influence ratio	i_i [-]	1	Tensile resistance at joint	σ_j [MPa]	600.0
Curing factor	γ_c [-]		Shear resistance of bar	σ_t [MPa]	100.0
Material's safety factor	γ_f [-]		Drilling diameter	ϕ_{dril} [mm]	100.0
Mortar's position ratio	v_c [-]		External diameter	ϕ_{ext} [mm]	60.0
Elastic module of mortar	E_c [GPa]		Tube's Thickness	th_b [mm]	10.0
Grout-soil bond	τ_a [kPa]	0.0	Overlapping length	L_{LAP} [m]	9.0
Injection penetrability coeff.	α_i [-]	1.0	Joint step	i_{joint} [m]	24.0
ULS resistance of mortar	σ_c [-]		Resistance area of single bar	A_b [mm^2]	1570.8

Improved face properties

Shear force resist. of bars	T_t [kN]	157.1	Adopted number of bars	N_b [-]	0.0
Tensile force resist. of bars	T_T [kN]	942.5	N° of bars for unit of area	n_b [m^{-2}]	0.00
Pull-out resistance of bars	T_F [kN]	0.0	Confining pressure	P_e [kPa]	0.0
Max. resistance offered by bars	T_{max} [kN]	0.0	Increment of cohesion	$\Delta c'$ [kPa]	0.0
			Improved cohesion at face	c'_{eq} [kPa]	1175.0

Prismatic volume properties

Aver. weight of load mass	γ_p [kNm^{-3}]	27.0	Aver. weight of Excav. layers	γ_E [kNm^{-3}]	27.0
Aver. cohesion of load mass	c'_p [kPa]	1175.0	Aver. cohesion of Excav. layers	c'_E [kPa]	1175.0
Aver. friction of load mass	ϕ'_p [°]	39.0	Aver. friction of load mass	ϕ'_E [°]	39.0
Effective soil press. at crown	σ'_v [kPa]	8100	hydraulic press. at crown	u [kPa]	0

Shear resistance and Safety factor at Diagnosis phase

Shear resistance (prism 3)	τ_{m3} [kPa]	2717	Safety factor (prism 3)	FS_3	4.47
Shear resistance (prisms 1-2)	τ_{m2} [kPa]	6982	Safety factor (MΣFR/MSFA)	FS_F	2.55
Permitted free span length	a_{max} [m]	16.7	Obtained safety factor	SF	2.55
Pressure on primary supports	P_s [kPa]	3481	Requested safety factor	SF_R	2.00
Requied pressure at face	P_E [kPa]	0			

Tamez & Conejo (1985)

Geotechnical properties

Overburden layers	ΔH [m]	γ_n [kNm^{-3}]	c' [kPa]	ϕ' [°]
Ap-GR1	400.0	27.0	1450	38.0

Excavated layers	ΔH [m]	γ_n [kNm^{-3}]	c' [kPa]	ϕ' [°]
Ap-GR1	10.0	27.0	1450	38.0

Tunnel geometry

Type of ground	CF/F	CF
Total Overburden	Z [m]	400.0
Depth of water table	W [m]	1000.0
Excavated height	h [m]	10.0
Tunnel's width	b [m]	10.50
Free span length	a [m]	1.0

Deep tunnel (Z>5D)		
Equivalent tunnel diameter	D_{eq} [m]	11.0
Earth coefficient at rest	k_0 [-]	1.0
Depth coefficient	k_A [-]	1.0
Height of mass load at crown	H_p [m]	17.9
Length of prisms in advance	L_p [m]	4.9

Prismatic volume properties

Aver. weight of load mass	γ_p [kNm^{-3}]	27.0
Aver. cohesion of load mass	c'_p [kPa]	1450.0
Aver. friction of load mass	ϕ'_p [°]	38.0

Aver. weight of Excav. layers	γ_E [kNm^{-3}]	27.0
Aver. cohesion of Excav. layers	c'_E [kPa]	1450.0
Aver. friction of load mass	ϕ'_E [°]	38.0

Effective soil press. at crown	σ'_v [kPa]	10800
--------------------------------	-------------------	-------

hydraulic press. at crown	u [kPa]	0
---------------------------	---------	---

Shear resistance and Safety factor at Diagnosis phase

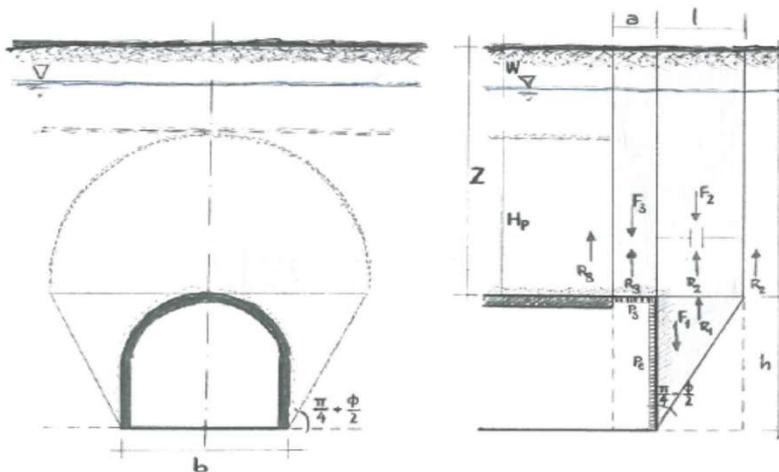
Shear resistance (prism 3)	τ_{m3} [kPa]	3465
Shear resistance (prisms 1-2)	τ_{m2} [kPa]	9074

Safety factor (prism 3)	FS_3	12.55
Safety factor (MΣFR/MSFA)	FS_F	3.53

Permitted free span length	a_{max} [m]	14.0
Pressure on primary supports	P_s [kPa]	4909
Required pressure at face	P_E [kPa]	0

Obtained safety factor	SF	3.53
Requested safety factor	SF_R	2.00

Prismatic volume gravitating over the crown system of forces



Broms & Bennermark (1967)

$$N = \frac{\sigma_s + \gamma z_0 - \sigma_T}{s_u}$$

where γ is unit weight of the soil,
 s_u is undrained shear strength of the soil at tunnel axis level,
 σ_s is surface surcharge pressure,
 σ_T is tunnel support pressure, and
 z_0 is depth to the tunnel axis

$$s_u = \frac{\sigma_{cm}}{2}$$

$$\sigma_{cm} = (0.0034 \cdot m_i^{0.8}) \cdot \sigma_c \cdot [1.029 + 0.025 \cdot e^{(-0.01 \cdot m_i)}]^{GSI}$$

Input data

Layers	z_0 [m]	γ_n [kNm ⁻³]	σ_s [kPa]	σ_T [kPa]	σ_c [kPa]	m_i [-]	GSI [-]
Ap-GR1	405	27.0	0	0	35000	17.5	50
0	0	0.0					
0	0	0.0					
0	0	0.0					

Results

ΔH [m]	γ_n [kNm ⁻³]	σ_c [kPa]	m_i [-]	GSI [-]	σ_0 [kPa]	σ_{cm} [kPa]	s_u [kPa]
405.0	27.0	35000.0	17.5	50.0	10935.0	13470.8	6735.4
0.0	0.0						
0.0	0.0						
0.0	0.0						

Stability ratio

N

[-]

1.6

Elastic deformations

Panet (1990)

$$N_s = \frac{\sigma_0}{C_U} = \frac{2 \cdot \sigma_0}{\sigma_{cm}}$$

$$\lambda_e = \frac{1}{K_p + 1} \left[K_p - 1 + \frac{2}{N} \right]$$

Stability ratio	N	[-]	1.6
Passive earth pressure	K_p	[-]	4.204
Deconfinement	λ_e	[-]	0.85

Stable face

Geotechnical properties

Overburden layers	ΔH [m]	γ_n [kNm^{-3}]	c' [kPa]	ϕ' [°]
Ap-GR1	400	27	1450	38

Excavated layers	ΔH [m]	γ_n [kNm^{-3}]	c' [kPa]	ϕ' [°]
Ap-GR1	10	27	1450	38

Tunnel geometry

Type of ground	CF/F	CF
Total Overburden	Z [m]	400.0
Depth of water table	W [m]	1000.0
Excavated height	h [m]	10.0
Tunnel's width	b [m]	10.5
Free span length	a [m]	3.6

Deep tunnel ($Z > 5D$)		
Equivalent tunnel diameter	D_{eq} [m]	11.0
Earth coefficient at rest	k_0 [-]	1.0
Depth coefficient	k_A [-]	1.0
Height of mass load at crown	H_p [m]	17.9
Length of prisms in advance	L_p [m]	4.9

Injection modality

Grout injection properties		
Cubic compression resistance	R_{ck} [MPa]	
Injection influence ratio	i_i [-]	1
Curing factor	γ_c [-]	
Material's safety factor	γ_f [-]	
Mortar's position ratio	v_c [-]	
Elastic module of mortar	E_c [GPa]	
Grout-soil bond	τ_a [kPa]	0.0
Injection penetrability coeff.	α_i [-]	1.0
ULS resistance of mortar	σ_c [-]	

Face bolt properties		
Tensile resistance of bar	σ_b [MPa]	600.0
Tensile resistance at joint	σ_j [MPa]	600.0
Shear resistance of bar	σ_t [MPa]	100.0
Drilling diameter	ϕ_{dril} [mm]	100.0
External diameter	ϕ_{ext} [mm]	60.0
Tube's Thickness	th_b [mm]	10.0
Overlapping length	L_{LAP} [m]	9.0
Joint step	i_{joint} [m]	18.0
Resistance area of single bar	A_b [mm^2]	1570.8

Improved face properties

Shear force resist. of bars	T_t [kN]	157.1
Tensile force resist. of bars	T_T [kN]	942.5
Pull-out resistance of bars	T_F [kN]	0.0
Max. resistance offered by bars	T_{max} [kN]	0.0

Adopted number of bars	N_b [-]	0.0
N° of bars for unit of area	n_b [m^{-2}]	0.00
Confining pressure	P_e [kPa]	0.0
Increment of cohesion	$\Delta c'$ [kPa]	0.0
Improved cohesion at face	c'_{eq} [kPa]	1450.0

Prismatic volume properties

Aver. weight of load mass	γ_p [kNm^{-3}]	27.0
Aver. cohesion of load mass	c'_p [kPa]	1450.0
Aver. friction of load mass	ϕ'_p [°]	38.0

Aver. weight of Excav. layers	γ_E [kNm^{-3}]	27.0
Aver. cohesion of Excav. layers	c'_E [kPa]	1450.0
Aver. friction of load mass	ϕ'_E [°]	38.0

Effective soil press. at crown	σ'_v [kPa]	10800
--------------------------------	-------------------	-------

hydraulic press. at crown	u [kPa]	0
---------------------------	-----------	---

Shear resistance and Safety factor at Diagnosis phase

Shear resistance (prism 3)	τ_{m3} [kPa]	3465
Shear resistance (prisms 1-2)	τ_{m2} [kPa]	9074

Safety factor (prism 3)	FS_3	4.27
Safety factor (MΣFR/MSFA)	FS_F	2.47

Permitted free span length	a_{max} [m]	14.0
Pressure on primary supports	P_s [kPa]	4909
Required pressure at face	P_E [kPa]	0

Obtained safety factor	SF	2.47
Requested safety factor	SF_R	2.00

Tamez & Conejo (1985)

Geotechnical properties

Overburden layers	ΔH [m]	γ_n [kNm^{-3}]	c' [kPa]	ϕ' [°]
Ap-GR2a	200.0	27.0	550	36.0

Excavated layers	ΔH [m]	γ_n [kNm^{-3}]	c' [kPa]	ϕ' [°]
Ap-GR2a	10.0	27.0	550	36.0

Tunnel geometry

Type of ground	CF/F	CF
Total Overburden	Z [m]	200.0
Depth of water table	W [m]	1000.0
Excavated height	h [m]	10.0
Tunnel's width	b [m]	10.50
Free span length	a [m]	1.0

Deep tunnel (Z>5D)		
Equivalent tunnel diameter	D_{eq} [m]	11.0
Earth coefficient at rest	k_0 [-]	1.0
Depth coefficient	k_A [-]	1.0
Height of mass load at crown	H_p [m]	17.9
Length of prisms in advance	L_p [m]	5.1

Prismatic volume properties

Aver. weight of load mass	γ_p [kNm^{-3}]	27.0
Aver. cohesion of load mass	c'_p [kPa]	550.0
Aver. friction of load mass	ϕ'_p [°]	36.0

Aver. weight of Excav. layers	γ_E [kNm^{-3}]	27.0
Aver. cohesion of Excav. layers	c'_E [kPa]	550.0
Aver. friction of load mass	ϕ'_E [°]	36.0

Effective soil press. at crown	σ'_v [kPa]	5400
--------------------------------	-------------------	------

hydraulic press. at crown	u [kPa]	0
---------------------------	---------	---

Shear resistance and Safety factor at Diagnosis phase

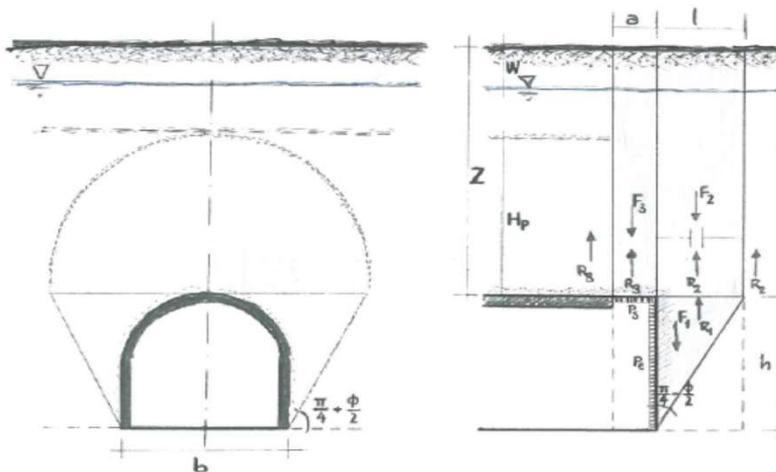
Shear resistance (prism 3)	τ_{m3} [kPa]	1443
Shear resistance (prisms 1-2)	τ_{m2} [kPa]	3944

Safety factor (prism 3)	FS_3	10.45
Safety factor (MΣFR/MSFA)	FS_F	2.98

Permitted free span length	a_{max} [m]	8.1
Pressure on primary supports	P_s [kPa]	2946
Required pressure at face	P_E [kPa]	0

Obtained safety factor	SF	2.98
Requested safety factor	SF_R	2.00

Prismatic volume gravitating over the crown system of forces



Broms & Bennermark (1967)

$$N = \frac{\sigma_s + \gamma z_0 - \sigma_T}{s_u}$$

where γ is unit weight of the soil,
 s_u is undrained shear strength of the soil at tunnel axis level,
 σ_s is surface surcharge pressure,
 σ_T is tunnel support pressure, and
 z_0 is depth to the tunnel axis

$$s_u = \frac{\sigma_{cm}}{2}$$

$$\sigma_{cm} = (0.0034 \cdot m_i^{0.8}) \cdot \sigma_c \cdot [1.029 + 0.025 \cdot e^{(-0.01 \cdot m_i)}]^{GSI}$$

Input data

Layers	z_0 [m]	γ_n [kNm ⁻³]	σ_s [kPa]	σ_T [kPa]	σ_c [kPa]	m_i [-]	GSI [-]
Ap-GR2a	205	27.0	0	0	12000	20	42
0	0	0.0					
0	0	0.0					
0	0	0.0					

Results

ΔH [m]	γ_n [kNm ⁻³]	σ_c [kPa]	m_i [-]	GSI [-]	σ_0 [kPa]	σ_{cm} [kPa]	s_u [kPa]
205.0	27.0	12000.0	20.0	42.0	5535.0	3407.3	1703.7
0.0	0.0						
0.0	0.0						
0.0	0.0						

Stability ratio

N

[-]

3.2

Elastoplastic deformations

Panet (1990)

$$N_s = \frac{\sigma_0}{C_U} = \frac{2 \cdot \sigma_0}{\sigma_{cm}}$$

$$\lambda_e = \frac{1}{K_p + 1} \left[K_p - 1 + \frac{2}{N} \right]$$

Stability ratio	N	[-]	3.2
Passive earth pressure	K_p	[-]	3.852
Deconfinement	λ_e	[-]	0.71

Stable face

Geotechnical properties

Overburden layers	ΔH [m]	γ_n [kNm^{-3}]	c' [kPa]	ϕ' [°]
Ap-GR2a	200	27	550	36

Excavated layers	ΔH [m]	γ_n [kNm^{-3}]	c' [kPa]	ϕ' [°]
Ap-GR2a	10	27	550	36

Tunnel geometry

Type of ground	CF/F	CF
Total Overburden	Z [m]	200.0
Depth of water table	W [m]	1000.0
Excavated height	h [m]	10.0
Tunnel's width	b [m]	10.5
Free span length	a [m]	1.2

Deep tunnel (>5D)		
Equivalent tunnel diameter	D_{eq} [m]	11.0
Earth coefficient at rest	k_0 [-]	1.0
Depth coefficient	k_A [-]	1.0
Height of mass load at crown	H_p [m]	17.9
Length of prisms in advance	L_p [m]	5.1

Injection modality

Grout injection properties		
Cubic compression resistance	R_{ck} [MPa]	
Injection influence ratio	i_i [-]	1
Curing factor	γ_c [-]	
Material's safety factor	γ_f [-]	
Mortar's position ratio	v_c [-]	
Elastic module of mortar	E_c [GPa]	
Grout-soil bond	τ_a [kPa]	250.0
Injection penetrability coeff.	α_i [-]	1.0
ULS resistance of mortar	σ_c [-]	

Face bolt properties		
Tensile resistance of bar	σ_b [MPa]	600.0
Tensile resistance at joint	σ_j [MPa]	600.0
Shear resistance of bar	σ_t [MPa]	100.0
Drilling diameter	ϕ_{dril} [mm]	100.0
External diameter	ϕ_{ext} [mm]	60.0
Tube's Thickness	th_b [mm]	10.0
Overlapping length	L_{LAP} [m]	9.0
Joint step	i_{joint} [m]	18.0
Resistance area of single bar	A_b [mm^2]	1570.8

Improved face properties

Shear force resist. of bars	T_t [kN]	157.1
Tensile force resist. of bars	T_T [kN]	942.5
Pull-out resistance of bars	T_F [kN]	706.9
Max. resistance offered by bars	T_{max} [kN]	706.9

Adopted number of bars	N_b [-]	70.0
N° of bars for unit of area	n_b [m^{-2}]	0.74
Confining pressure	P_e [kPa]	520.8
Increment of cohesion	$\Delta c'$ [kPa]	511.1
Improved cohesion at face	c'_{eq} [kPa]	1061.1

Prismatic volume properties

Aver. weight of load mass	γ_p [kNm^{-3}]	27.0
Aver. cohesion of load mass	c'_p [kPa]	550.0
Aver. friction of load mass	ϕ'_p [°]	36.0

Aver. weight of Excav. layers	γ_E [kNm^{-3}]	27.0
Aver. cohesion of Excav. layers	c'_E [kPa]	550.0
Aver. friction of load mass	ϕ'_E [°]	36.0

Effective soil press. at crown	σ'_v [kPa]	5400
--------------------------------	-------------------	------

hydraulic press. at crown	u [kPa]	0
---------------------------	-----------	---

Shear resistance and Safety factor at Diagnosis phase

Shear resistance (prism 3)	τ_{m3} [kPa]	1443
Shear resistance (prisms 1-2)	τ_{m2} [kPa]	3944

Safety factor (prism 3)	FS_3	8.86
Safety factor (MΣFR/MSFA)	FS_F	3.18

Permitted free span length	a_{max} [m]	8.1
Pressure on primary supports	P_s [kPa]	2946
Requied pressure at face	P_E [kPa]	0

Obtained safety factor	SF	3.18
Requested safety factor	SF_R	2.00

Tamez & Conejo (1985)

Geotechnical properties

Overburden layers	ΔH [m]	γ_n [kNm^{-3}]	c' [kPa]	ϕ' [°]
Ap-GR2a	300.0	27.0	725	33.0

Excavated layers	ΔH [m]	γ_n [kNm^{-3}]	c' [kPa]	ϕ' [°]
Ap-GR2a	10.0	27.0	725	33.0

Tunnel geometry

Type of ground	CF/F	CF
Total Overburden	Z [m]	300.0
Depth of water table	W [m]	1000.0
Excavated height	h [m]	10.0
Tunnel's width	b [m]	10.50
Free span length	a [m]	1.0

Deep tunnel (Z>5D)		
Equivalent tunnel diameter	D_{eq} [m]	11.0
Earth coefficient at rest	k_0 [-]	1.0
Depth coefficient	k_A [-]	1.0
Height of mass load at crown	H_p [m]	17.9
Length of prisms in advance	L_p [m]	5.4

Prismatic volume properties

Aver. weight of load mass	γ_p [kNm^{-3}]	27.0
Aver. cohesion of load mass	c'_p [kPa]	725.0
Aver. friction of load mass	ϕ'_p [°]	33.0

Aver. weight of Excav. layers	γ_E [kNm^{-3}]	27.0
Aver. cohesion of Excav. layers	c'_E [kPa]	725.0
Aver. friction of load mass	ϕ'_E [°]	33.0

Effective soil press. at crown	σ'_v [kPa]	8100
--------------------------------	-------------------	------

hydraulic press. at crown	u [kPa]	0
---------------------------	---------	---

Shear resistance and Safety factor at Diagnosis phase

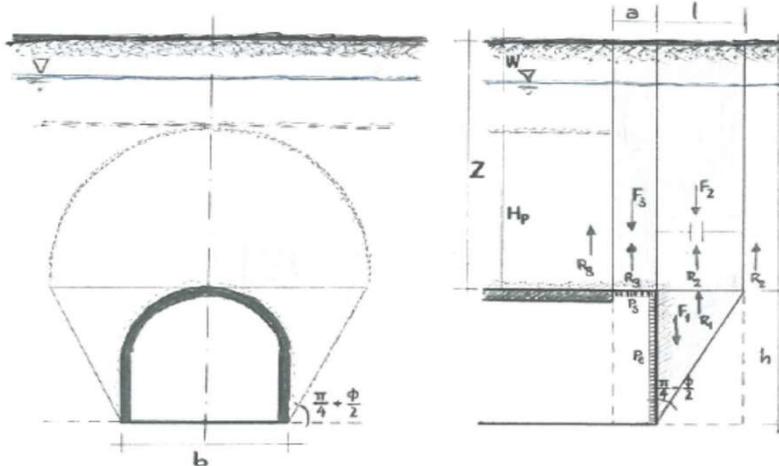
Shear resistance (prism 3)	τ_{m3} [kPa]	1962
Shear resistance (prisms 1-2)	τ_{m2} [kPa]	5767

Safety factor (prism 3)	FS_3	9.47
Safety factor (MΣFR/MSFA)	FS_F	2.86

Permitted free span length	a_{max} [m]	6.4
Pressure on primary supports	P_s [kPa]	4765
Required pressure at face	P_E [kPa]	0

Obtained safety factor	SF	2.86
Requested safety factor	SF_R	2.00

Prismatic volume gravitating over the crown system of forces



Broms & Bennermark (1967)

$$N = \frac{\sigma_s + \gamma z_0 - \sigma_T}{s_u}$$

where γ is unit weight of the soil,
 s_u is undrained shear strength of the soil at tunnel axis level,
 σ_s is surface surcharge pressure,
 σ_T is tunnel support pressure, and
 z_0 is depth to the tunnel axis

$$s_u = \frac{\sigma_{cm}}{2}$$

$$\sigma_{cm} = (0.0034 \cdot m_i^{0.8}) \cdot \sigma_c \cdot [1.029 + 0.025 \cdot e^{(-0.01 \cdot m_i)}]^{GSI}$$

Input data

Layers	z_0 [m]	γ_n [kNm ⁻³]	σ_s [kPa]	σ_T [kPa]	σ_c [kPa]	m_i [-]	GSI [-]
Ap-GR2a	305	27.0	0	0	12000	20	42
0	0	0.0					
0	0	0.0					
0	0	0.0					

Results

ΔH [m]	γ_n [kNm ⁻³]	σ_c [kPa]	m_i [-]	GSI [-]	σ_0 [kPa]	σ_{cm} [kPa]	s_u [kPa]
305.0	27.0	12000.0	20.0	42.0	8235.0	3407.3	1703.7
0.0	0.0						
0.0	0.0						
0.0	0.0						

Stability ratio

N

[-]

4.8

Plastic deformations

Panet (1990)

$$N_s = \frac{\sigma_0}{C_U} = \frac{2 \cdot \sigma_0}{\sigma_{cm}}$$

$$\lambda_e = \frac{1}{K_p + 1} \left[K_p - 1 + \frac{2}{N} \right]$$

Stability ratio	N	[-]	4.8
Passive earth pressure	K_p	[-]	3.392
Deconfinement	λ_e	[-]	0.64

Stable face

Geotechnical properties

Overburden layers	ΔH [m]	γ_n [kNm^{-3}]	c' [kPa]	ϕ' [°]
Ap-GR2a	300	27	725	33

Excavated layers	ΔH [m]	γ_n [kNm^{-3}]	c' [kPa]	ϕ' [°]
Ap-GR2a	10	27	725	33

Tunnel geometry

Type of ground	CF/F	CF
Total Overburden	Z [m]	300.0
Depth of water table	W [m]	1000.0
Excavated height	h [m]	10.0
Tunnel's width	b [m]	10.5
Free span length	a [m]	1.2

Deep tunnel ($Z > 5D$)		
Equivalent tunnel diameter	D_{eq} [m]	11.0
Earth coefficient at rest	k_0 [-]	1.0
Depth coefficient	k_A [-]	1.0
Height of mass load at crown	H_p [m]	17.9
Length of prisms in advance	L_p [m]	5.4

Injection modality

Grout injection properties		
Cubic compression resistance	R_{ck} [MPa]	
Injection influence ratio	i_i [-]	1
Curing factor	γ_c [-]	
Material's safety factor	γ_f [-]	
Mortar's position ratio	v_c [-]	
Elastic module of mortar	E_c [GPa]	
Grout-soil bond	τ_a [kPa]	250.0
Injection penetrability coeff.	α_i [-]	1.0
ULS resistance of mortar	σ_c [-]	

Face bolt properties		
Tensile resistance of bar	σ_b [MPa]	600.0
Tensile resistance at joint	σ_j [MPa]	600.0
Shear resistance of bar	σ_t [MPa]	100.0
Drilling diameter	ϕ_{dril} [mm]	100.0
External diameter	ϕ_{ext} [mm]	60.0
Tube's Thickness	th_b [mm]	10.0
Overlapping length	L_{LAP} [m]	9.0
Joint step	i_{joint} [m]	18.0
Resistance area of single bar	A_b [mm^2]	1570.8

Improved face properties

Shear force resist. of bars	T_t [kN]	157.1
Tensile force resist. of bars	T_T [kN]	942.5
Pull-out resistance of bars	T_F [kN]	706.9
Max. resistance offered by bars	T_{max} [kN]	706.9

Adopted number of bars	N_b [-]	70.0
N° of bars for unit of area	n_b [m^{-2}]	0.74
Confining pressure	P_e [kPa]	520.8
Increment of cohesion	$\Delta c'$ [kPa]	479.6
Improved cohesion at face	c'_{eq} [kPa]	1204.6

Prismatic volume properties

Aver. weight of load mass	γ_p [kNm^{-3}]	27.0
Aver. cohesion of load mass	c'_p [kPa]	725.0
Aver. friction of load mass	ϕ'_p [°]	33.0

Aver. weight of Excav. layers	γ_E [kNm^{-3}]	27.0
Aver. cohesion of Excav. layers	c'_E [kPa]	725.0
Aver. friction of load mass	ϕ'_E [°]	33.0

Effective soil press. at crown	σ'_v [kPa]	8100
--------------------------------	-------------------	------

hydraulic press. at crown	u [kPa]	0
---------------------------	-----------	---

Shear resistance and Safety factor at Diagnosis phase

Shear resistance (prism 3)	τ_{m3} [kPa]	1962
Shear resistance (prisms 1-2)	τ_{m2} [kPa]	5767

Safety factor (prism 3)	FS_3	8.03
Safety factor (MΣFR/MSFA)	FS_F	2.96

Permitted free span length	a_{max} [m]	6.4
Pressure on primary supports	P_s [kPa]	4765
Required pressure at face	P_E [kPa]	0

Obtained safety factor	SF	2.96
Requested safety factor	SF_R	2.00

Tamez & Conejo (1985)

Geotechnical properties

Overburden layers	ΔH [m]	γ_n [kNm^{-3}]	c' [kPa]	ϕ' [°]
Ap-GR2a	400.0	27.0	850	30.0

Excavated layers	ΔH [m]	γ_n [kNm^{-3}]	c' [kPa]	ϕ' [°]
Ap-GR2a	10.0	27.0	850	30.0

Tunnel geometry

Type of ground	CF/F	CF
Total Overburden	Z [m]	400.0
Depth of water table	W [m]	1000.0
Excavated height	h [m]	10.0
Tunnel's width	b [m]	10.50
Free span length	a [m]	1.0

Deep tunnel (Z>5D)		
Equivalent tunnel diameter	D_{eq} [m]	11.0
Earth coefficient at rest	k_0 [-]	1.0
Depth coefficient	k_A [-]	1.0
Height of mass load at crown	H_p [m]	17.9
Length of prisms in advance	L_p [m]	5.8

Prismatic volume properties

Aver. weight of load mass	γ_p [kNm^{-3}]	27.0
Aver. cohesion of load mass	c'_p [kPa]	850.0
Aver. friction of load mass	ϕ'_p [°]	30.0

Aver. weight of Excav. layers	γ_E [kNm^{-3}]	27.0
Aver. cohesion of Excav. layers	c'_E [kPa]	850.0
Aver. friction of load mass	ϕ'_E [°]	30.0

Effective soil press. at crown	σ'_v [kPa]	10800
--------------------------------	-------------------	-------

hydraulic press. at crown	u [kPa]	0
---------------------------	---------	---

Shear resistance and Safety factor at Diagnosis phase

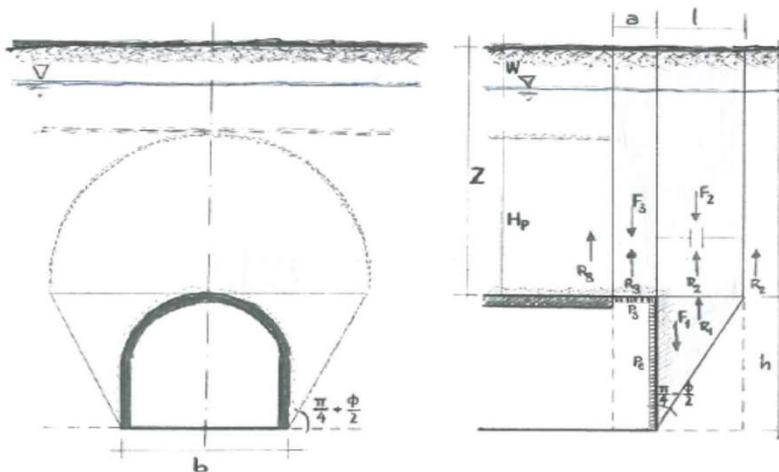
Shear resistance (prism 3)	τ_{m3} [kPa]	2339
Shear resistance (prisms 1-2)	τ_{m2} [kPa]	7454

Safety factor (prism 3)	FS_3	8.47
Safety factor (MΣFR/MSFA)	FS_F	2.73

Permitted free span length	a_{max} [m]	5.1
Pressure on primary supports	P_s [kPa]	6823
Required pressure at face	P_E [kPa]	0

Obtained safety factor	SF	2.73
Requested safety factor	SF_R	2.00

Prismatic volume gravitating over the crown system of forces



Broms & Bennermark (1967)

$$N = \frac{\sigma_s + \gamma z_0 - \sigma_T}{s_u}$$

where γ is unit weight of the soil,
 s_u is undrained shear strength of the soil at tunnel axis level,
 σ_s is surface surcharge pressure,
 σ_T is tunnel support pressure, and
 z_0 is depth to the tunnel axis

$$s_u = \frac{\sigma_{cm}}{2}$$

$$\sigma_{cm} = (0.0034 \cdot m_i^{0.8}) \cdot \sigma_c \cdot [1.029 + 0.025 \cdot e^{(-0.01 \cdot m_i)}]^{GSI}$$

Input data

Layers	z_0 [m]	γ_n [kNm ⁻³]	σ_s [kPa]	σ_T [kPa]	σ_c [kPa]	m_i [-]	GSI [-]
Ap-GR2a	405	27.0	0	0	12000	20	42
0	0	0.0					
0	0	0.0					
0	0	0.0					

Results

ΔH [m]	γ_n [kNm ⁻³]	σ_c [kPa]	m_i [-]	GSI [-]	σ_0 [kPa]	σ_{cm} [kPa]	s_u [kPa]
405.0	27.0	12000.0	20.0	42.0	10935.0	3407.3	1703.7
0.0	0.0						
0.0	0.0						
0.0	0.0						

Stability ratio

N

[-]

6.4

Collapse

Panet (1990)

$$N_s = \frac{\sigma_0}{C_U} = \frac{2 \cdot \sigma_0}{\sigma_{cm}}$$

$$\lambda_e = \frac{1}{K_p + 1} \left[K_p - 1 + \frac{2}{N} \right]$$

Stability ratio	N	[-]	6.4
Passive earth pressure	K_p	[-]	3.000
Deconfinement	λ_e	[-]	0.58

Short term face stability

Geotechnical properties

Overburden layers	ΔH [m]	γ_n [kNm^{-3}]	c' [kPa]	ϕ' [°]
Ap-GR2a	400	27	850	30

Excavated layers	ΔH [m]	γ_n [kNm^{-3}]	c' [kPa]	ϕ' [°]
Ap-GR2a	10	27	725	33

Tunnel geometry

Type of ground	CF/F	CF
Total Overburden	Z [m]	400.0
Depth of water table	W [m]	1000.0
Excavated height	h [m]	10.0
Tunnel's width	b [m]	10.5
Free span length	a [m]	1.2

Deep tunnel (>5D)		
Equivalent tunnel diameter	D_{eq} [m]	11.0
Earth coefficient at rest	k_0 [-]	1.0
Depth coefficient	k_A [-]	1.0
Height of mass load at crown	H_p [m]	17.9
Length of prisms in advance	L_p [m]	5.4

Injection modality

Grout injection properties		
Cubic compression resistance	R_{ck} [MPa]	
Injection influence ratio	i_i [-]	1
Curing factor	γ_c [-]	
Material's safety factor	γ_f [-]	
Mortar's position ratio	v_c [-]	
Elastic module of mortar	E_c [GPa]	
Grout-soil bond	τ_a [kPa]	250.0
Injection penetrability coeff.	α_i [-]	1.0
ULS resistance of mortar	σ_c [-]	

Face bolt properties		
Tensile resistance of bar	σ_b [MPa]	600.0
Tensile resistance at joint	σ_j [MPa]	600.0
Shear resistance of bar	σ_t [MPa]	100.0
Drilling diameter	ϕ_{dril} [mm]	100.0
External diameter	ϕ_{ext} [mm]	60.0
Tube's Thickness	th_b [mm]	10.0
Overlapping length	L_{LAP} [m]	9.0
Joint step	i_{joint} [m]	18.0
Resistance area of single bar	A_b [mm^2]	1570.8

Improved face properties

Shear force resist. of bars	T_t [kN]	157.1
Tensile force resist. of bars	T_T [kN]	942.5
Pull-out resistance of bars	T_F [kN]	706.9
Max. resistance offered by bars	T_{max} [kN]	706.9

Adopted number of bars	N_b [-]	70.0
N° of bars for unit of area	n_b [m^{-2}]	0.74
Confining pressure	P_e [kPa]	520.8
Increment of cohesion	$\Delta c'$ [kPa]	479.6
Improved cohesion at face	c'_{eq} [kPa]	1204.6

Prismatic volume properties

Aver. weight of load mass	γ_p [kNm^{-3}]	27.0
Aver. cohesion of load mass	c'_p [kPa]	850.0
Aver. friction of load mass	ϕ'_p [°]	30.0

Aver. weight of Excav. layers	γ_E [kNm^{-3}]	27.0
Aver. cohesion of Excav. layers	c'_E [kPa]	725.0
Aver. friction of load mass	ϕ'_E [°]	33.0

Effective soil press. at crown	σ'_v [kPa]	10800
--------------------------------	-------------------	-------

hydraulic press. at crown	u [kPa]	0
---------------------------	-----------	---

Shear resistance and Safety factor at Diagnosis phase

Shear resistance (prism 3)	τ_{m3} [kPa]	2339
Shear resistance (prisms 1-2)	τ_{m2} [kPa]	7242

Safety factor (prism 3)	FS_3	7.18
Safety factor (MΣFR/MSFA)	FS_F	2.66

Permitted free span length	a_{max} [m]	5.1
Pressure on primary supports	P_s [kPa]	6823
Required pressure at face	P_E [kPa]	0

Obtained safety factor	SF	2.66
Requested safety factor	SF_R	2.00

Tamez & Conejo (1985)

Geotechnical properties

Overburden layers	ΔH [m]	γ_n [kNm^{-3}]	c' [kPa]	ϕ' [°]
Ap-GR2b	200.0	27.0	465	31.0

Excavated layers	ΔH [m]	γ_n [kNm^{-3}]	c' [kPa]	ϕ' [°]
Ap-GR2b	10.0	27.0	465	31.0

Tunnel geometry

Type of ground	CF/F	CF
Total Overburden	Z [m]	200.0
Depth of water table	W [m]	1000.0
Excavated height	h [m]	10.0
Tunnel's width	b [m]	10.50
Free span length	a [m]	1.0

Deep tunnel (Z>5D)		
Equivalent tunnel diameter	D_{eq} [m]	11.0
Earth coefficient at rest	k_0 [-]	1.0
Depth coefficient	k_A [-]	1.0
Height of mass load at crown	H_p [m]	17.9
Length of prisms in advance	L_p [m]	5.7

Prismatic volume properties

Aver. weight of load mass	γ_p [kNm^{-3}]	27.0
Aver. cohesion of load mass	c'_p [kPa]	465.0
Aver. friction of load mass	ϕ'_p [°]	31.0

Aver. weight of Excav. layers	γ_E [kNm^{-3}]	27.0
Aver. cohesion of Excav. layers	c'_E [kPa]	465.0
Aver. friction of load mass	ϕ'_E [°]	31.0

Effective soil press. at crown	σ'_v [kPa]	5400
--------------------------------	-------------------	------

hydraulic press. at crown	u [kPa]	0
---------------------------	---------	---

Shear resistance and Safety factor at Diagnosis phase

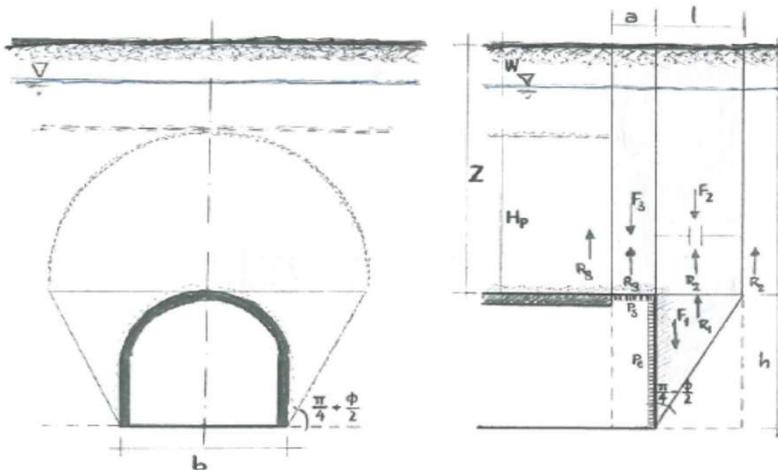
Shear resistance (prism 3)	τ_{m3} [kPa]	1204
Shear resistance (prisms 1-2)	τ_{m2} [kPa]	3715

Safety factor (prism 3)	FS_3	8.72
Safety factor (MΣFR/MSFA)	FS_F	2.72

Permitted free span length	a_{max} [m]	5.4
Pressure on primary supports	P_s [kPa]	3354
Required pressure at face	P_E [kPa]	0

Obtained safety factor	SF	2.72
Requested safety factor	SF_R	2.00

Prismatic volume gravitating over the crown system of forces



Broms & Bennermark (1967)

$$N = \frac{\sigma_s + \gamma z_0 - \sigma_T}{s_u}$$

where γ is unit weight of the soil,
 s_u is undrained shear strength of the soil at tunnel axis level,
 σ_s is surface surcharge pressure,
 σ_T is tunnel support pressure, and
 z_0 is depth to the tunnel axis

$$s_u = \frac{\sigma_{cm}}{2}$$

$$\sigma_{cm} = (0.0034 \cdot m_i^{0.8}) \cdot \sigma_c \cdot [1.029 + 0.025 \cdot e^{(-0.01 \cdot m_i)}]^{GSI}$$

Input data

Layers	z_0 [m]	γ_n [kNm ⁻³]	σ_s [kPa]	σ_T [kPa]	σ_c [kPa]	m_i [-]	GSI [-]
Ap-GR2b	205	27.0	0	0	10000	17.5	37
0	0	0.0					
0	0	0.0					
0	0	0.0					

Results

ΔH [m]	γ_n [kNm ⁻³]	σ_c [kPa]	m_i [-]	GSI [-]	σ_0 [kPa]	σ_{cm} [kPa]	s_u [kPa]
205.0	27.0	10000.0	17.5	37.0	5535.0	2041.2	1020.6
0.0	0.0						
0.0	0.0						
0.0	0.0						

Stability ratio

N

[-]

5.4

Plastic deformations

Panet (1990)

$$N_s = \frac{\sigma_0}{C_U} = \frac{2 \cdot \sigma_0}{\sigma_{cm}}$$

$$\lambda_e = \frac{1}{K_p + 1} \left[K_p - 1 + \frac{2}{N} \right]$$

Stability ratio	N	[-]	5.4
Passive earth pressure	K_p	[-]	3.124
Deconfinement	λ_e	[-]	0.60

Stable face

Galleria valico tratta 4 - AEXCAV. [m2] = **95**
FACE STABILITY ANALYSIS - TAMEZ-CONEJO
THERAPY PHASE
sezione B2

Parametro non influente al fine del calcolo

Geotechnical properties

Overburden layers	ΔH [m]	γ_n [kNm^{-3}]	c' [kPa]	ϕ' [°]
Ap-GR2b	200	27	465	31

Excavated layers	ΔH [m]	γ_n [kNm^{-3}]	c' [kPa]	ϕ' [°]
Ap-GR2b	10	27	465	31

Tunnel geometry

Type of ground	CF/F	CF
Total Overburden	Z [m]	200.0
Depth of water table	W [m]	1000.0
Excavated height	h [m]	10.0
Tunnel's width	b [m]	10.5
Free span length	a [m]	1.2

Deep tunnel (>5D)		
Equivalent tunnel diameter	D_{eq} [m]	11.0
Earth coefficient at rest	k_0 [-]	1.0
Depth coefficient	k_A [-]	1.0
Height of mass load at crown	H_p [m]	17.9
Length of prisms in advance	L_p [m]	5.7

Injection modality

Grout injection properties		
Cubic compression resistance	R_{ck} [MPa]	
Injection influence ratio	i_i [-]	1
Curing factor	γ_c [-]	
Material's safety factor	γ_f [-]	
Mortar's position ratio	v_c [-]	
Elastic module of mortar	E_c [GPa]	
Grout-soil bond	τ_a [kPa]	220.0
Injection penetrability coeff.	α_i [-]	1.2
ULS resistance of mortar	σ_c [-]	

Face bolt properties		
Tensile resistance of bar	σ_b [MPa]	600.0
Tensile resistance at joint	σ_j [MPa]	600.0
Shear resistance of bar	σ_t [MPa]	100.0
Drilling diameter	ϕ_{dril} [mm]	100.0
External diameter	ϕ_{ext} [mm]	60.0
Tube's Thickness	th_b [mm]	10.0
Overlapping length	L_{LAP} [m]	12.0
Joint step	i_{joint} [m]	24.0
Resistance area of single bar	A_b [mm^2]	1570.8

Improved face properties

Shear force resist. of bars	T_t [kN]	157.1
Tensile force resist. of bars	T_T [kN]	942.5
Pull-out resistance of bars	T_F [kN]	995.3
Max. resistance offered by bars	T_{max} [kN]	942.5

Adopted number of bars	N_b [-]	70.0
N° of bars for unit of area	n_b [m^{-2}]	0.74
Confining pressure	P_e [kPa]	694.5
Increment of cohesion	$\Delta c'$ [kPa]	613.7
Improved cohesion at face	c'_{eq} [kPa]	1078.7

Prismatic volume properties

Aver. weight of load mass	γ_p [kNm^{-3}]	27.0
Aver. cohesion of load mass	c'_p [kPa]	465.0
Aver. friction of load mass	ϕ'_p [°]	31.0

Aver. weight of Excav. layers	γ_E [kNm^{-3}]	27.0
Aver. cohesion of Excav. layers	c'_E [kPa]	465.0
Aver. friction of load mass	ϕ'_E [°]	31.0

Effective soil press. at crown	σ'_v [kPa]	5400
--------------------------------	-------------------	------

hydraulic press. at crown	u [kPa]	0
---------------------------	-----------	---

Shear resistance and Safety factor at Diagnosis phase

Shear resistance (prism 3)	τ_{m3} [kPa]	1204
Shear resistance (prisms 1-2)	τ_{m2} [kPa]	3715

Safety factor (prism 3)	FS_3	7.39
Safety factor (MΣFR/MSFA)	FS_F	3.02

Permitted free span length	a_{max} [m]	5.4
Pressure on primary supports	P_s [kPa]	3354
Requied pressure at face	P_E [kPa]	0

Obtained safety factor	SF	3.02
Requested safety factor	SF_R	2.00

Tamez & Conejo (1985)

Geotechnical properties

Overburden layers	ΔH [m]	γ_n [kNm^{-3}]	c' [kPa]	ϕ' [°]
Ap-GR2b	300.0	27.0	590	29.0

Excavated layers	ΔH [m]	γ_n [kNm^{-3}]	c' [kPa]	ϕ' [°]
Ap-GR2b	10.0	27.0	590	29.0

Tunnel geometry

Type of ground	CF/F	CF
Total Overburden	Z [m]	300.0
Depth of water table	W [m]	1000.0
Excavated height	h [m]	10.0
Tunnel's width	b [m]	10.50
Free span length	a [m]	1.0

Deep tunnel (Z>5D)		
Equivalent tunnel diameter	D_{eq} [m]	11.0
Earth coefficient at rest	k_0 [-]	1.0
Depth coefficient	k_A [-]	1.0
Height of mass load at crown	H_p [m]	17.9
Length of prisms in advance	L_p [m]	5.9

Prismatic volume properties

Aver. weight of load mass	γ_p [kNm^{-3}]	27.0
Aver. cohesion of load mass	c'_p [kPa]	590.0
Aver. friction of load mass	ϕ'_p [°]	29.0

Aver. weight of Excav. layers	γ_E [kNm^{-3}]	27.0
Aver. cohesion of Excav. layers	c'_E [kPa]	590.0
Aver. friction of load mass	ϕ'_E [°]	29.0

Effective soil press. at crown	σ'_v [kPa]	8100
--------------------------------	-------------------	------

hydraulic press. at crown	u [kPa]	0
---------------------------	---------	---

Shear resistance and Safety factor at Diagnosis phase

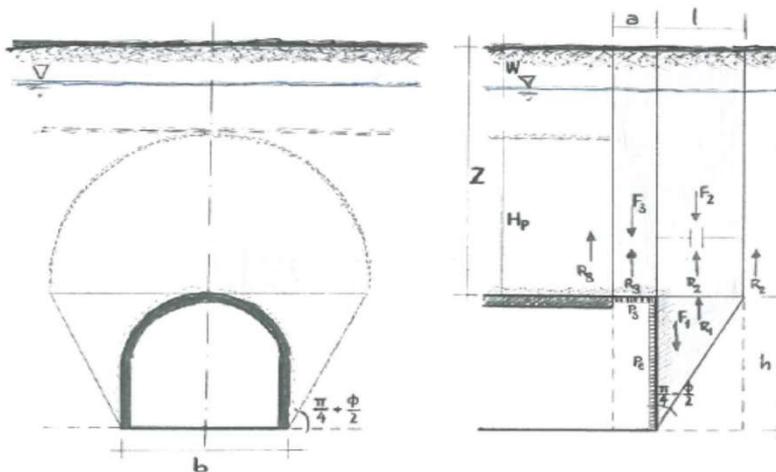
Shear resistance (prism 3)	τ_{m3} [kPa]	1646
Shear resistance (prisms 1-2)	τ_{m2} [kPa]	5402

Safety factor (prism 3)	FS_3	7.94
Safety factor (MΣFR/MSFA)	FS_F	2.60

Permitted free span length	a_{max} [m]	4.5
Pressure on primary supports	P_s [kPa]	5302
Required pressure at face	P_E [kPa]	0

Obtained safety factor	SF	2.60
Requested safety factor	SF_R	2.00

Prismatic volume gravitating over the crown system of forces



Broms & Bennermark (1967)

$$N = \frac{\sigma_s + \gamma z_0 - \sigma_T}{s_u}$$

where γ is unit weight of the soil,
 s_u is undrained shear strength of the soil at tunnel axis level,
 σ_s is surface surcharge pressure,
 σ_T is tunnel support pressure, and
 z_0 is depth to the tunnel axis

$$s_u = \frac{\sigma_{cm}}{2}$$

$$\sigma_{cm} = (0.0034 \cdot m_i^{0.8}) \cdot \sigma_c \cdot [1.029 + 0.025 \cdot e^{(-0.01 \cdot m_i)}]^{GSI}$$

Input data

Layers	z_0 [m]	γ_n [kNm ⁻³]	σ_s [kPa]	σ_T [kPa]	σ_c [kPa]	m_i [-]	GSI [-]
Ap-GR2b	305	27.0	0	0	10000	17.5	37
0	0	0.0					
0	0	0.0					
0	0	0.0					

Results

ΔH [m]	γ_n [kNm ⁻³]	σ_c [kPa]	m_i [-]	GSI [-]	σ_0 [kPa]	σ_{cm} [kPa]	s_u [kPa]
305.0	27.0	10000.0	17.5	37.0	8235.0	2041.2	1020.6
0.0	0.0						
0.0	0.0						
0.0	0.0						

Stability ratio

N

[-]

8.1

Collapse

Panet (1990)

$$N_s = \frac{\sigma_0}{C_U} = \frac{2 \cdot \sigma_0}{\sigma_{cm}}$$

$$\lambda_e = \frac{1}{K_p + 1} \left[K_p - 1 + \frac{2}{N} \right]$$

Stability ratio	N	[-]	8.1
Passive earth pressure	K_p	[-]	2.882
Deconfinement	λ_e	[-]	0.55

Short term face stability

Geotechnical properties

Overburden layers	ΔH [m]	γ_n [kNm^{-3}]	c' [kPa]	ϕ' [°]
Ap-GR2b	300	27	590	29

Excavated layers	ΔH [m]	γ_n [kNm^{-3}]	c' [kPa]	ϕ' [°]
Ap-GR2b	10	27	590	29

Tunnel geometry

Type of ground	CF/F	CF
Total Overburden	Z [m]	300.0
Depth of water table	W [m]	1000.0
Excavated height	h [m]	10.0
Tunnel's width	b [m]	10.5
Free span length	a [m]	1.2

Deep tunnel (>5D)		
Equivalent tunnel diameter	D_{eq} [m]	11.0
Earth coefficient at rest	k_0 [-]	1.0
Depth coefficient	k_A [-]	1.0
Height of mass load at crown	H_p [m]	17.9
Length of prisms in advance	L_p [m]	5.9

Injection modality

Grout injection properties		
Cubic compression resistance	R_{ck} [MPa]	
Injection influence ratio	i_i [-]	1
Curing factor	γ_c [-]	
Material's safety factor	γ_f [-]	
Mortar's position ratio	v_c [-]	
Elastic module of mortar	E_c [GPa]	
Grout-soil bond	τ_a [kPa]	220.0
Injection penetrability coeff.	α_i [-]	1.0
ULS resistance of mortar	σ_c [-]	

Face bolt properties		
Tensile resistance of bar	σ_b [MPa]	600.0
Tensile resistance at joint	σ_j [MPa]	600.0
Shear resistance of bar	σ_t [MPa]	100.0
Drilling diameter	ϕ_{dril} [mm]	100.0
External diameter	ϕ_{ext} [mm]	60.0
Tube's Thickness	th_b [mm]	10.0
Overlapping length	L_{LAP} [m]	12.0
Joint step	i_{joint} [m]	24.0
Resistance area of single bar	A_b [mm ²]	1570.8

Improved face properties

Shear force resist. of bars	T_t [kN]	157.1
Tensile force resist. of bars	T_T [kN]	942.5
Pull-out resistance of bars	T_F [kN]	829.4
Max. resistance offered by bars	T_{max} [kN]	829.4

Adopted number of bars	N_b [-]	70.0
N° of bars for unit of area	n_b [m ⁻²]	0.74
Confining pressure	P_e [kPa]	611.1
Increment of cohesion	$\Delta c'$ [kPa]	518.7
Improved cohesion at face	c'_{eq} [kPa]	1108.7

Prismatic volume properties

Aver. weight of load mass	γ_p [kNm^{-3}]	27.0
Aver. cohesion of load mass	c'_p [kPa]	590.0
Aver. friction of load mass	ϕ'_p [°]	29.0

Aver. weight of Excav. layers	γ_E [kNm^{-3}]	27.0
Aver. cohesion of Excav. layers	c'_E [kPa]	590.0
Aver. friction of load mass	ϕ'_E [°]	29.0

Effective soil press. at crown	σ'_v [kPa]	8100
--------------------------------	-------------------	------

hydraulic press. at crown	u [kPa]	0
---------------------------	-----------	---

Shear resistance and Safety factor at Diagnosis phase

Shear resistance (prism 3)	τ_{m3} [kPa]	1646
Shear resistance (prisms 1-2)	τ_{m2} [kPa]	5402

Safety factor (prism 3)	FS_3	6.74
Safety factor (MΣFR/MSFA)	FS_F	2.72

Permitted free span length	a_{max} [m]	4.5
Pressure on primary supports	P_s [kPa]	5302
Requied pressure at face	P_E [kPa]	0

Obtained safety factor	SF	2.72
Requested safety factor	SF_R	2.00

Tamez & Conejo (1985)

Geotechnical properties

Overburden layers	ΔH [m]	γ_n [kNm^{-3}]	c' [kPa]	ϕ' [°]
Ap-GR2b	400.0	27.0	700	27.0

Excavated layers	ΔH [m]	γ_n [kNm^{-3}]	c' [kPa]	ϕ' [°]
Ap-GR2b	10.0	27.0	700	28.0

Tunnel geometry

Type of ground	CF/F	CF
Total Overburden	Z [m]	400.0
Depth of water table	W [m]	1000.0
Excavated height	h [m]	10.0
Tunnel's width	b [m]	7.90
Free span length	a [m]	1.0

Deep tunnel (Z>5D)		
Equivalent tunnel diameter	D_{eq} [m]	11.0
Earth coefficient at rest	k_0 [-]	1.0
Depth coefficient	k_A [-]	1.0
Height of mass load at crown	H_p [m]	13.4
Length of prisms in advance	L_p [m]	6.0

Prismatic volume properties

Aver. weight of load mass	γ_p [kNm^{-3}]	27.0
Aver. cohesion of load mass	c'_p [kPa]	700.0
Aver. friction of load mass	ϕ'_p [°]	27.0

Aver. weight of Excav. layers	γ_E [kNm^{-3}]	27.0
Aver. cohesion of Excav. layers	c'_E [kPa]	700.0
Aver. friction of load mass	ϕ'_E [°]	28.0

Effective soil press. at crown	σ'_v [kPa]	10800
--------------------------------	-------------------	-------

hydraulic press. at crown	u [kPa]	0
---------------------------	---------	---

Shear resistance and Safety factor at Diagnosis phase

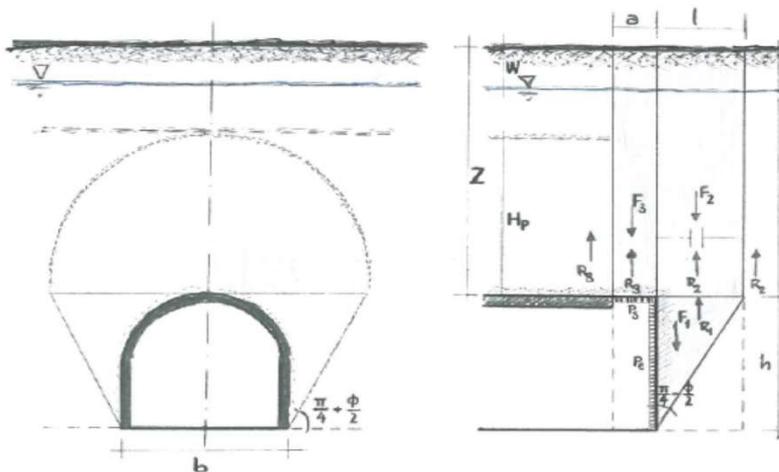
Shear resistance (prism 3)	τ_{m3} [kPa]	2030
Shear resistance (prisms 1-2)	τ_{m2} [kPa]	7109

Safety factor (prism 3)	FS_3	5.69
Safety factor (MΣFR/MSFA)	FS_F	2.38

Permitted free span length	a_{max} [m]	2.9
Pressure on primary supports	P_s [kPa]	7350
Required pressure at face	P_E [kPa]	0

Obtained safety factor	SF	2.38
Requested safety factor	SF_R	2.00

Prismatic volume gravitating over the crown system of forces



Broms & Bennermark (1967)

$$N = \frac{\sigma_s + \gamma z_0 - \sigma_T}{s_u}$$

where γ is unit weight of the soil,
 s_u is undrained shear strength of the soil at tunnel axis level,
 σ_s is surface surcharge pressure,
 σ_T is tunnel support pressure, and
 z_0 is depth to the tunnel axis

$$s_u = \frac{\sigma_{cm}}{2}$$

$$\sigma_{cm} = (0.0034 \cdot m_i^{0.8}) \cdot \sigma_c \cdot [1.029 + 0.025 \cdot e^{(-0.01 \cdot m_i)}]^{GSI}$$

Input data

Layers	z_0 [m]	γ_n [kNm ⁻³]	σ_s [kPa]	σ_T [kPa]	σ_c [kPa]	m_i [-]	GSI [-]
Ap-GR2b	405	27.0	0	0	10000	17.5	37
0	0	0.0					
0	0	0.0					
0	0	0.0					

Results

ΔH [m]	γ_n [kNm ⁻³]	σ_c [kPa]	m_i [-]	GSI [-]	σ_0 [kPa]	σ_{cm} [kPa]	s_u [kPa]
405.0	27.0	10000.0	17.5	37.0	10935.0	2041.2	1020.6
0.0	0.0						
0.0	0.0						
0.0	0.0						

Stability ratio

N

[-]

10.7

Collapse

Panet (1990)

$$N_s = \frac{\sigma_0}{C_U} = \frac{2 \cdot \sigma_0}{\sigma_{cm}}$$

$$\lambda_e = \frac{1}{K_p + 1} \left[K_p - 1 + \frac{2}{N} \right]$$

Stability ratio	N	[-]	10.7
Passive earth pressure	K_p	[-]	2.663
Deconfinement	λ_e	[-]	0.50

Short term face stability

Geotechnical properties

Overburden layers	ΔH [m]	γ_n [kNm^{-3}]	c' [kPa]	ϕ' [°]
Ap-GR2b	400	27	700	27

Excavated layers	ΔH [m]	γ_n [kNm^{-3}]	c' [kPa]	ϕ' [°]
Ap-GR2b	10	27	700	28

Tunnel geometry

Type of ground	CF/F	CF
Total Overburden	Z [m]	400.0
Depth of water table	W [m]	1000.0
Excavated height	h [m]	10.0
Tunnel's width	b [m]	7.9
Free span length	a [m]	1.2

Deep tunnel ($Z > 5D$)		
Equivalent tunnel diameter	D_{eq} [m]	11.0
Earth coefficient at rest	k_0 [-]	1.0
Depth coefficient	k_A [-]	1.0
Height of mass load at crown	H_p [m]	13.4
Length of prisms in advance	L_p [m]	6.0

Injection modality

Grout injection properties		
Cubic compression resistance	R_{ck} [MPa]	
Injection influence ratio	i_i [-]	1
Curing factor	γ_c [-]	
Material's safety factor	γ_f [-]	
Mortar's position ratio	v_c [-]	
Elastic module of mortar	E_c [GPa]	
Grout-soil bond	τ_a [kPa]	220.0
Injection penetrability coeff.	α_i [-]	1.0
ULS resistance of mortar	σ_c [-]	

Face bolt properties		
Tensile resistance of bar	σ_b [MPa]	600.0
Tensile resistance at joint	σ_j [MPa]	600.0
Shear resistance of bar	σ_t [MPa]	100.0
Drilling diameter	ϕ_{dril} [mm]	100.0
External diameter	ϕ_{ext} [mm]	60.0
Tube's Thickness	th_b [mm]	10.0
Overlapping length	L_{LAP} [m]	12.0
Joint step	i_{joint} [m]	24.0
Resistance area of single bar	A_b [mm^2]	1570.8

Improved face properties

Shear force resist. of bars	T_t [kN]	157.1
Tensile force resist. of bars	T_T [kN]	942.5
Pull-out resistance of bars	T_F [kN]	829.4
Max. resistance offered by bars	T_{max} [kN]	829.4

Adopted number of bars	N_b [-]	70.0
N° of bars for unit of area	n_b [m^{-2}]	0.74
Confining pressure	P_e [kPa]	611.1
Increment of cohesion	$\Delta c'$ [kPa]	508.5
Improved cohesion at face	c'_{eq} [kPa]	1208.5

Prismatic volume properties

Aver. weight of load mass	γ_p [kNm^{-3}]	27.0
Aver. cohesion of load mass	c'_p [kPa]	700.0
Aver. friction of load mass	ϕ'_p [°]	27.0

Aver. weight of Excav. layers	γ_E [kNm^{-3}]	27.0
Aver. cohesion of Excav. layers	c'_E [kPa]	700.0
Aver. friction of load mass	ϕ'_E [°]	28.0

Effective soil press. at crown	σ'_v [kPa]	10800
--------------------------------	-------------------	-------

hydraulic press. at crown	u [kPa]	0
---------------------------	-----------	---

Shear resistance and Safety factor at Diagnosis phase

Shear resistance (prism 3)	τ_{m3} [kPa]	2030
Shear resistance (prisms 1-2)	τ_{m2} [kPa]	7109

Safety factor (prism 3)	FS_3	4.85
Safety factor (MΣFR/MSFA)	FS_F	2.43

Permitted free span length	a_{max} [m]	2.9
Pressure on primary supports	P_s [kPa]	7350
Requied pressure at face	P_E [kPa]	0

Obtained safety factor	SF	2.43
Requested safety factor	SF_R	2.00

```

#####
#####
###
###
### ##### ## ## ##
### ##### ## ## ##
### ##### ## ## ##
##### ## ## ## ##
##### ##### #####
###

```

CALCOLO GALLERIE CON METODO
CONVERGENZA-CONFINAMENTO
SOLUTORE ANALITICO

VERSIONE 4 (2003)

aP_GR1_200m

Fase di diagnosi

TIPO DI ANALISI: CALCOLO ACCOPPIATO FRONTE-GALLERIA
VALUTAZIONE DEFORMATA GALLERIA AL FRONTE: 1
1 -> metodo Panet-Guenot (galleria non sostenuta)
2 -> metodo trasformazione omotetica (galleria non sostenuta)
3 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da vuoto sferico)
4 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da correlazione Ns)
5 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da trasformazione omotetica)

D A T I A N A L I S I

R galleria [m] 5.52000

PARAMETRI GEOTECNICI -----
Tensione originaria [MPa] 5.40000
Modulo di Young [MPa] 5400.00000
Coefficiente di Poisson30000
Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] . .00000
RESISTENZA ROCCIA
Coesione picco [MPa]91000
Angolo attrito picco [°] 39.00000
Coesione residua [MPa]82000
Angolo attrito residuo [MPa] 31.00000
Angolo dilatanza [°]00000

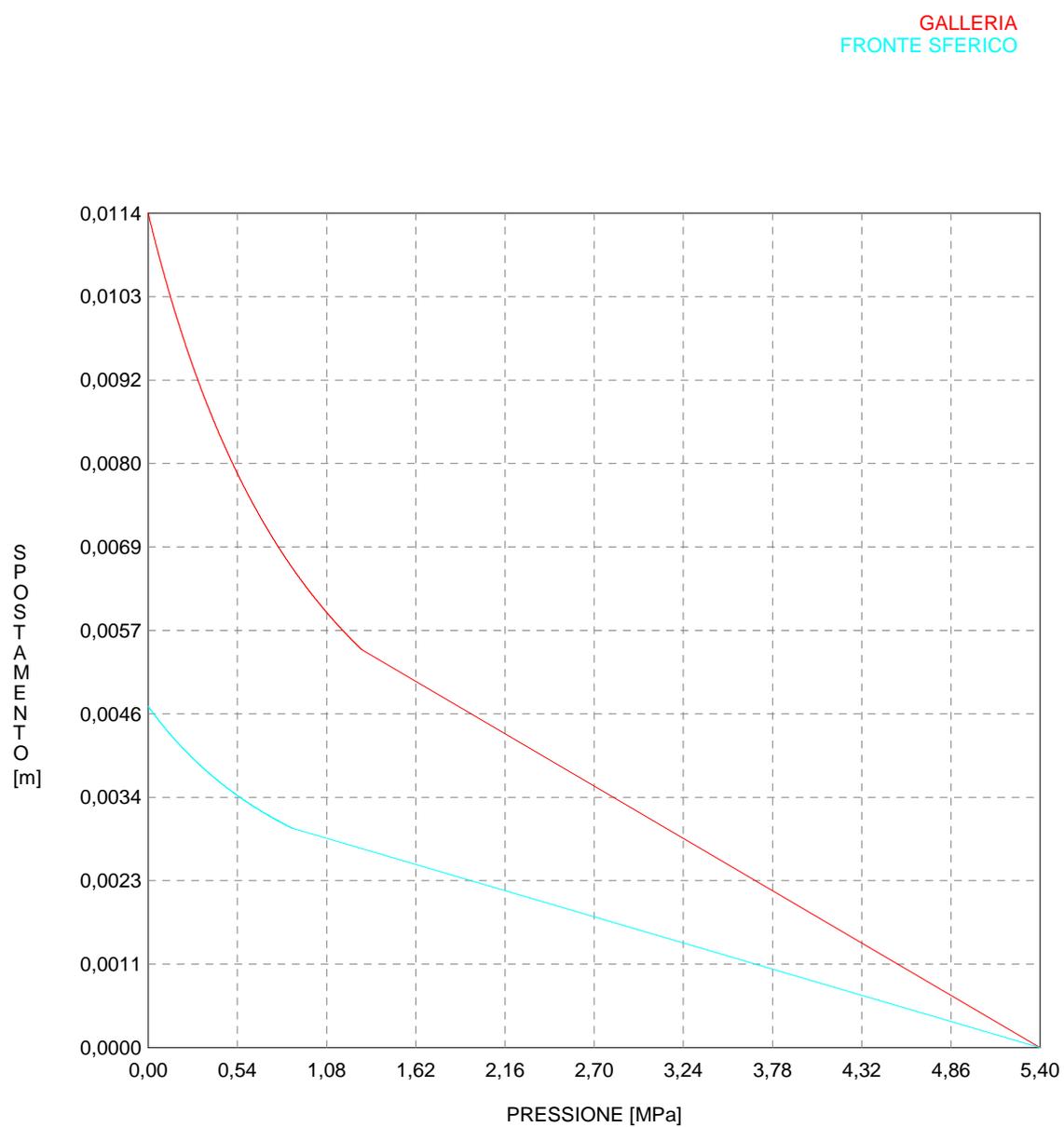
R I S U L T A T O A N A L I S I F R O N T E D I S C A V O

Press. fine calcolo galleria non sostenuta [MPa] .. .000000
Spostamento radiale galleria non sostenuta [m]011444
Raggio plastico galleria non sostenuta [m] 7.556727
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa]000000
Spostamento radiale fronte sferico [m]004683
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m]002695
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m]003319
Raggio plastico fronte sferico [m] 6.202872

R I S U L T A T O A N A L I S I G A L L E R I A

Pressione fine calcolo [MPa]000000
Sp. radiale galleria fine calcolo [m]011444
Raggio plastico galleria fine calcolo [m] 7.556727

CURVE CARATTERISTICHE ANALISI BASE



```

#####
#####
###
###
### ##### ## ## ##
### ##### ## ## ##
### ##### ## ## ##
##### ## ## ## ##
##### ##### #####
###

```

CALCOLO GALLERIE CON METODO
 CONVERGENZA-CONFINAMENTO
 SOLUTORE ANALITICO

VERSIONE 4 (2003)

aP_GR1_300m

Fase di diagnosi

TIPO DI ANALISI: CALCOLO ACCOPPIATO FRONTE-GALLERIA
 VALUTAZIONE DEFORMATA GALLERIA AL FRONTE: 1
 1 -> metodo Panet-Guenot (galleria non sostenuta)
 2 -> metodo trasformazione omotetica (galleria non sostenuta)
 3 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da vuoto sferico)
 4 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da correlazione Ns)
 5 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da trasformazione omotetica)

D A T I A N A L I S I

R galleria [m] 5.52000

PARAMETRI GEOTECNICI -----
 Tensione originaria [MPa] 8.10000
 Modulo di Young [MPa] 5400.00000
 Coefficiente di Poisson30000
 Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] . .00000
 RESISTENZA ROCCIA
 Coesione picco [MPa] 1.17500
 Angolo attrito picco [°] 39.00000
 Coesione residua [MPa] 1.06000
 Angolo attrito residuo [MPa] 31.00000
 Angolo dilatanza [°]00000

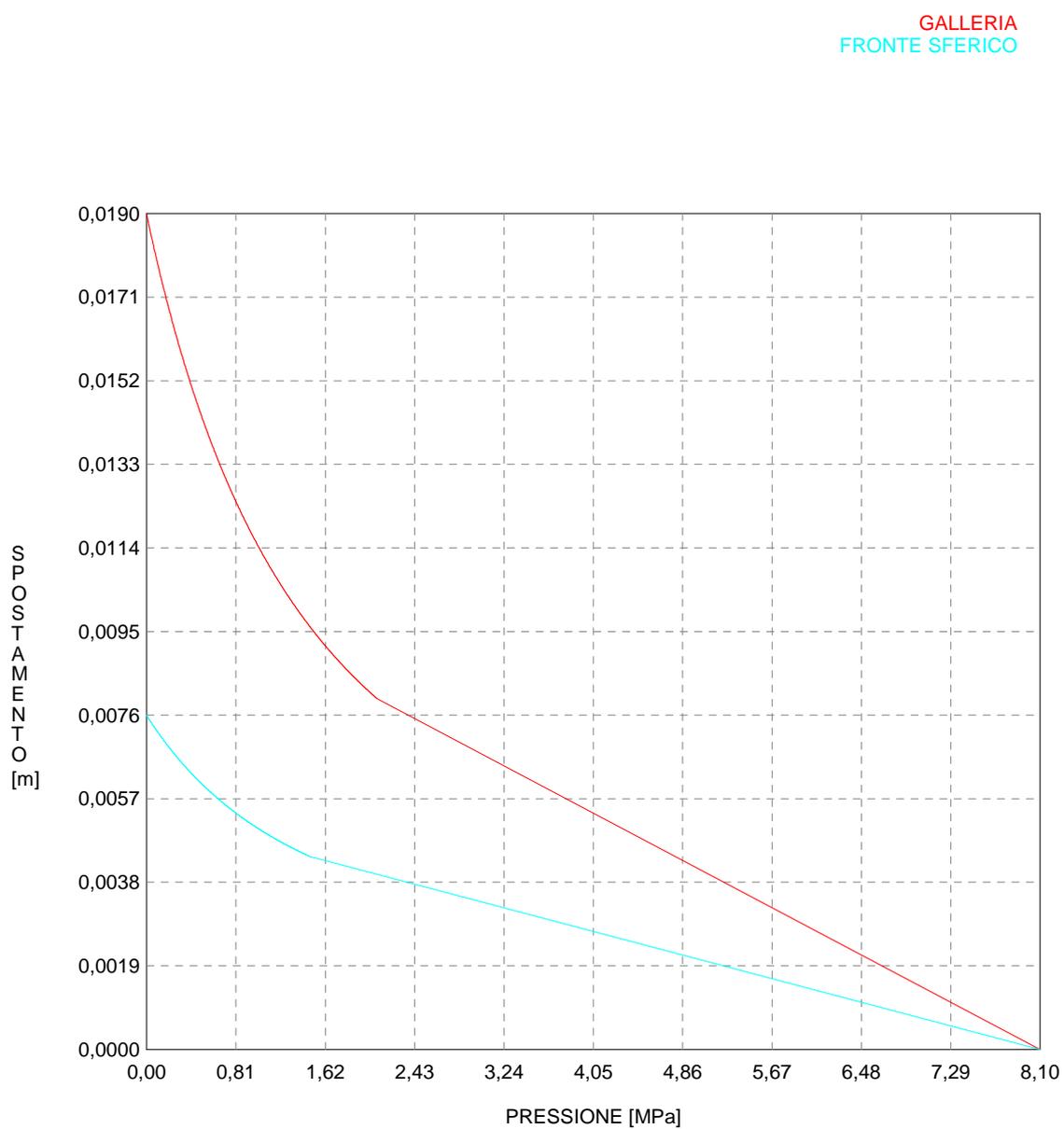
R I S U L T A T O A N A L I S I F R O N T E D I S C A V O

Press. fine calcolo galleria non sostenuta [MPa] .. .000000
 Spostamento radiale galleria non sostenuta [m]019031
 Raggio plastico galleria non sostenuta [m] 7.974305
 Press. fine calcolo fronte sferico [MPa]000000
 Spostamento radiale fronte sferico [m]007610
 Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m]003936
 Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m]005519
 Raggio plastico fronte sferico [m] 6.369060

R I S U L T A T O A N A L I S I G A L L E R I A

Pressione fine calcolo [MPa]000000
 Spost. radiale galleria fine calcolo [m]019031
 Raggio plastico galleria fine calcolo [m] 7.974305

CURVE CARATTERISTICHE ANALISI BASE



```

#####
#####
###
###
### ##### ## ## ##
### ##### ## ## ##
### ##### ## ## ##
##### ## ## ## ##
##### ##### #####
###

```

CALCOLO GALLERIE CON METODO
CONVERGENZA-CONFINAMENTO
SOLUTORE ANALITICO

VERSIONE 4 (2003)

aP_GR1_400m

Fase di diagnosi

TIPO DI ANALISI: CALCOLO ACCOPPIATO FRONTE-GALLERIA
 VALUTAZIONE DEFORMATA GALLERIA AL FRONTE: 1
 1 -> metodo Panet-Guenot (galleria non sostenuta)
 2 -> metodo trasformazione omotetica (galleria non sostenuta)
 3 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da vuoto sferico)
 4 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da correlazione Ns)
 5 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da trasformazione omotetica)

D A T I A N A L I S I

R galleria [m] 5.52000

PARAMETRI GEOTECNICI -----
 Tensione originaria [MPa] 10.80000
 Modulo di Young [MPa] 5400.00000
 Coefficiente di Poisson30000
 Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] . .00000
 RESISTENZA ROCCIA
 Coesione picco [MPa] 1.45000
 Angolo attrito picco [°] 38.00000
 Coesione residua [MPa] 1.30000
 Angolo attrito residuo [MPa] 30.00000
 Angolo dilatanza [°]00000

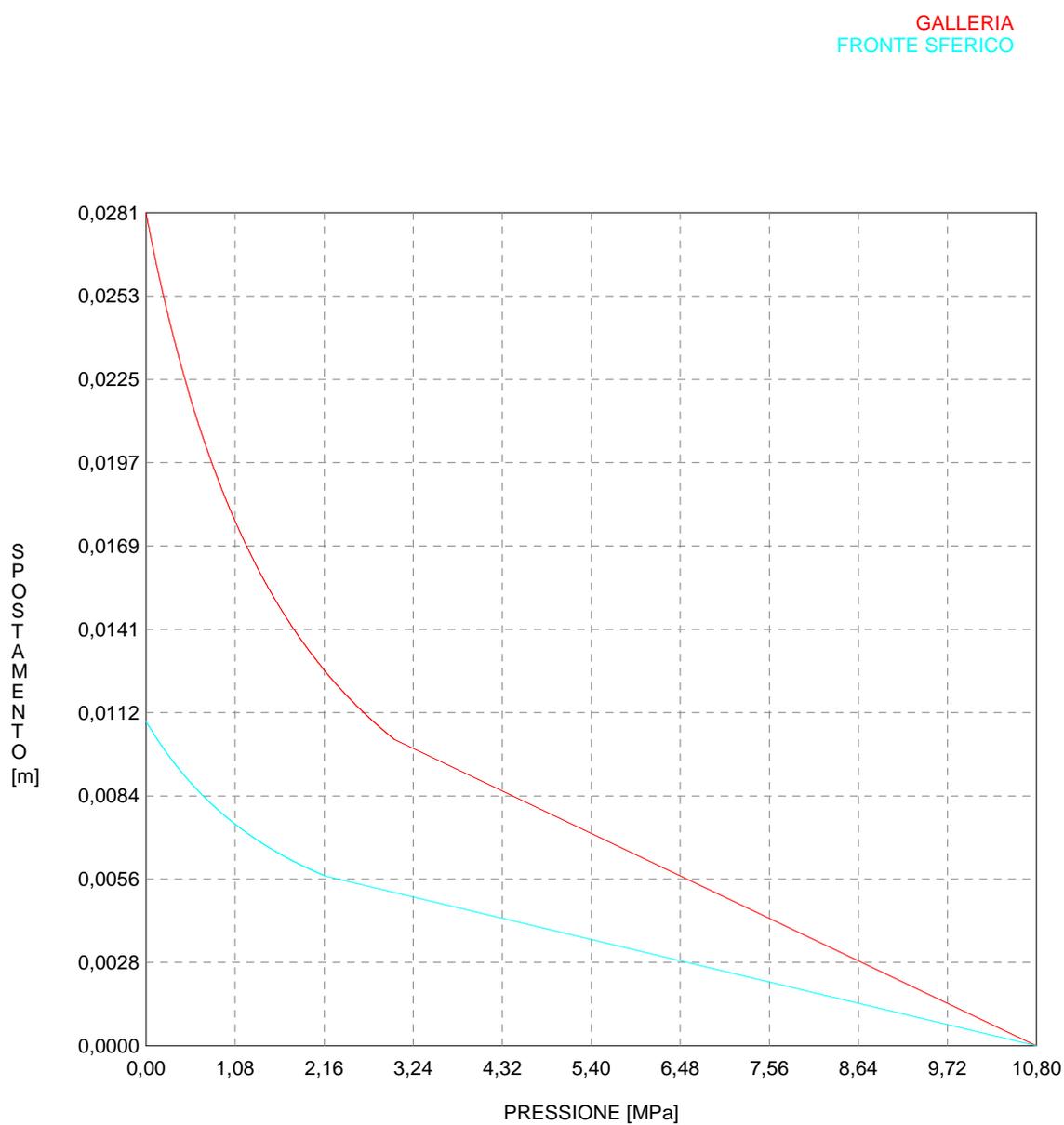
R I S U L T A T O A N A L I S I F R O N T E D I S C A V O

Press. fine calcolo galleria non sostenuta [MPa] .. .000000
 Spostamento radiale galleria non sostenuta [m]028122
 Raggio plastico galleria non sostenuta [m] 8.436768
 Press. fine calcolo fronte sferico [MPa]000000
 Spostamento radiale fronte sferico [m]010958
 Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m]005209
 Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m]008155
 Raggio plastico fronte sferico [m] 6.538146

R I S U L T A T O A N A L I S I G A L L E R I A

Pressione fine calcolo [MPa]000000
 Spost. radiale galleria fine calcolo [m]028122
 Raggio plastico galleria fine calcolo [m] 8.436768

CURVE CARATTERISTICHE ANALISI BASE



```

#####
#####
###
###
### ##### ## ## ##
### ##### ## ## ##
### ##### ## ## ##
##### ## ## ## ##
##### ##### #####
###

```

CALCOLO GALLERIE CON METODO
 CONVERGENZA-CONFINAMENTO
 SOLUTORE ANALITICO

VERSIONE 4 (2003)

aP_GR2a_200m

Fase di diagnosi

TIPO DI ANALISI: CALCOLO ACCOPPIATO FRONTE-GALLERIA
 VALUTAZIONE DEFORMATA GALLERIA AL FRONTE: 1
 1 -> metodo Panet-Guenot (galleria non sostenuta)
 2 -> metodo trasformazione omotetica (galleria non sostenuta)
 3 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da vuoto sferico)
 4 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da correlazione Ns)
 5 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da trasformazione omotetica)

D A T I A N A L I S I

R galleria [m] 5.52000

PARAMETRI GEOTECNICI -----
 Tensione originaria [MPa] 5.40000
 Modulo di Young [MPa] 1750.00000
 Coefficiente di Poisson30000
 Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] . .00000
 RESISTENZA ROCCIA
 Coesione picco [MPa]55000
 Angolo attrito picco [°] 36.00000
 Coesione residua [MPa]47500
 Angolo attrito residuo [MPa] 29.00000
 Angolo dilatanza [°]00000

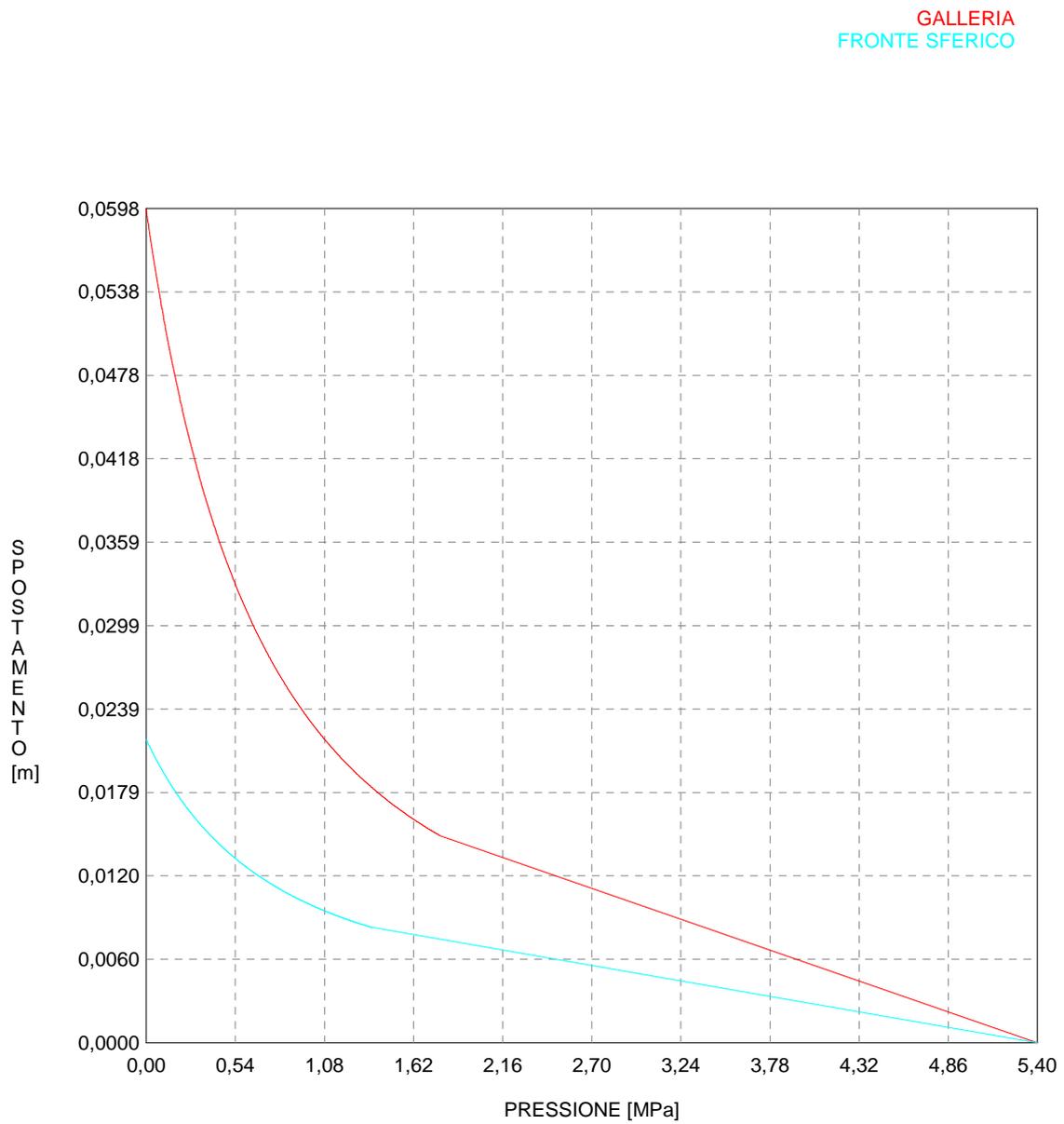
R I S U L T A T O A N A L I S I F R O N T E D I S C A V O

Press. fine calcolo galleria non sostenuta [MPa] .. .000000
 Spostamento radiale galleria non sostenuta [m]059768
 Raggio plastico galleria non sostenuta [m] 10.032281
 Press. fine calcolo fronte sferico [MPa]000000
 Spostamento radiale fronte sferico [m]021745
 Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m]005947
 Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m]017333
 Raggio plastico fronte sferico [m] 7.110150

R I S U L T A T O A N A L I S I G A L L E R I A

Pressione fine calcolo [MPa]000000
 Spost. radiale galleria fine calcolo [m]059768
 Raggio plastico galleria fine calcolo [m] 10.032281

CURVE CARATTERISTICHE ANALISI BASE



```

#####
#####
###
###
### ##### ## ## ##
### ##### ## ## ##
### ##### ## ## ##
##### ## ## ## ##
##### ##### #####
###

```

CALCOLO GALLERIE CON METODO
 CONVERGENZA-CONFINAMENTO
 SOLUTORE ANALITICO

VERSIONE 4 (2003)

aP_GR2a_300m

Fase di diagnosi

TIPO DI ANALISI: CALCOLO ACCOPPIATO FRONTE-GALLERIA
 VALUTAZIONE DEFORMATA GALLERIA AL FRONTE: 1
 1 -> metodo Panet-Guenot (galleria non sostenuta)
 2 -> metodo trasformazione omotetica (galleria non sostenuta)
 3 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da vuoto sferico)
 4 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da correlazione Ns)
 5 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da trasformazione omotetica)

D A T I A N A L I S I

R galleria [m]	5.52000
PARAMETRI GEOTECNICI -----	
Tensione originaria [MPa]	8.10000
Modulo di Young [MPa]	1750.00000
Coefficiente di Poisson .....	.30000
Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] .	.00000
RESISTENZA ROCCIA	
Coesione picco [MPa] .....	.72500
Angolo attrito picco [°]	33.00000
Coesione residua [MPa] .....	.55000
Angolo attrito residuo [MPa]	30.00000
Angolo dilatanza [°] .....	.00000

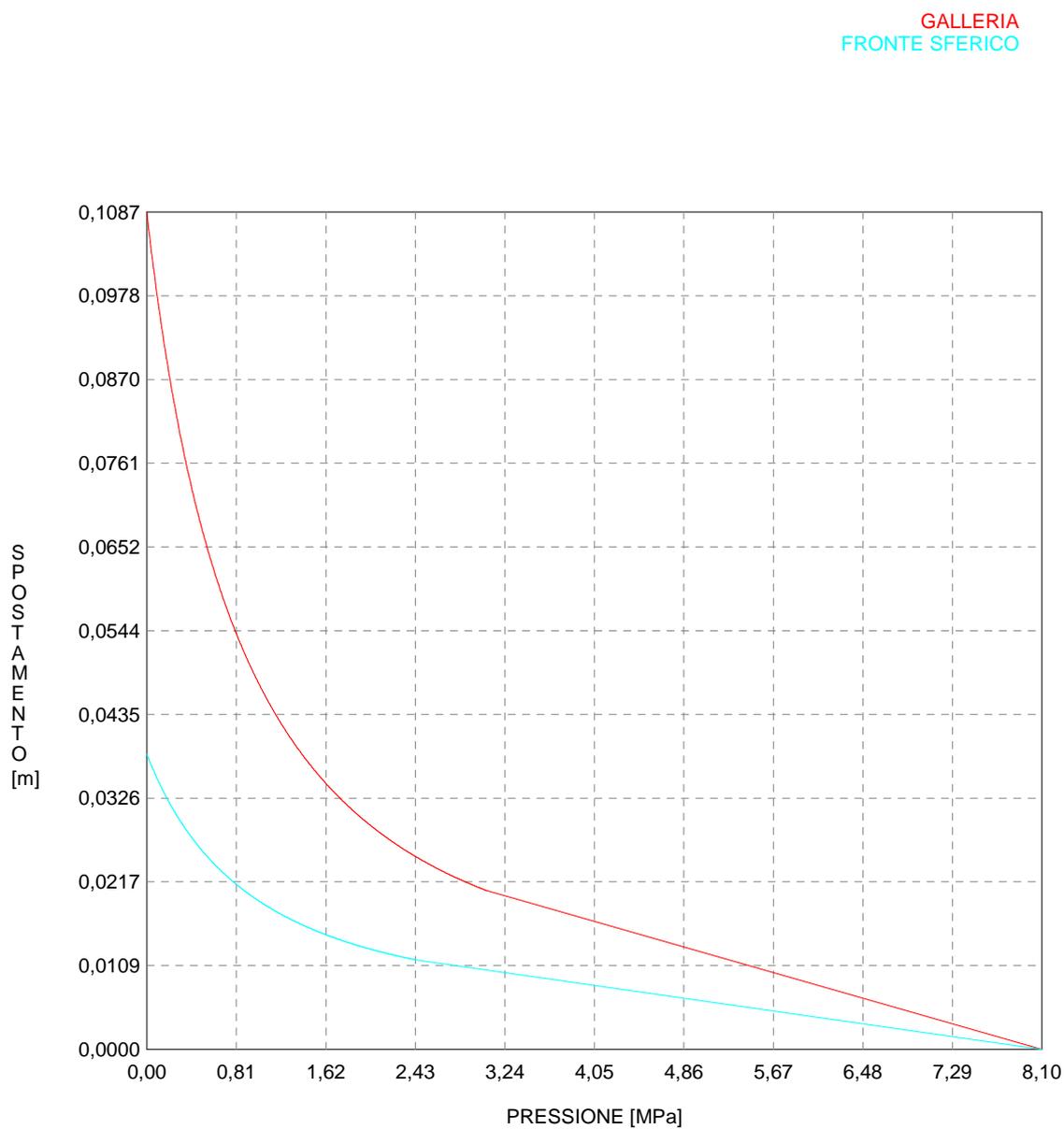
R I S U L T A T O A N A L I S I F R O N T E D I S C A V O

Press. fine calcolo galleria non sostenuta [MPa] ..	.000000
Spostamento radiale galleria non sostenuta [m] ....	.108711
Raggio plastico galleria non sostenuta [m]	11.357752
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] .....	.000000
Spostamento radiale fronte sferico [m] .....	.038368
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] .....	.010817
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ...	.031526
Raggio plastico fronte sferico [m]	7.580531

R I S U L T A T O A N A L I S I G A L L E R I A

Pressione fine calcolo [MPa] .....	.000000
Spost. radiale galleria fine calcolo [m] .....	.108711
Raggio plastico galleria fine calcolo [m]	11.357752

CURVE CARATTERISTICHE ANALISI BASE



```

#####
#####
###
###
### ##### ## ## ##
### ##### ## ## ##
### ##### ## ## ##
##### ## ## ## ##
##### ##### #####
###

```

CALCOLO GALLERIE CON METODO
 CONVERGENZA-CONFINAMENTO
 SOLUTORE ANALITICO

VERSIONE 4 (2003)

aP_GR2a_400m

Fase di diagnosi

TIPO DI ANALISI: CALCOLO ACCOPPIATO FRONTE-GALLERIA
 VALUTAZIONE DEFORMATA GALLERIA AL FRONTE: 1
 1 -> metodo Panet-Guenot (galleria non sostenuta)
 2 -> metodo trasformazione omotetica (galleria non sostenuta)
 3 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da vuoto sferico)
 4 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da correlazione Ns)
 5 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da trasformazione omotetica)

D A T I A N A L I S I

R galleria [m] 5.52000

PARAMETRI GEOTECNICI -----
 Tensione originaria [MPa] 10.80000
 Modulo di Young [MPa] 1750.00000
 Coefficiente di Poisson30000
 Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] . .00000
 RESISTENZA ROCCIA
 Coesione picco [MPa]85000
 Angolo attrito picco [°] 30.00000
 Coesione residua [MPa]75000
 Angolo attrito residuo [MPa] 27.00000
 Angolo dilatanza [°]00000

R I S U L T A T O A N A L I S I F R O N T E D I S C A V O

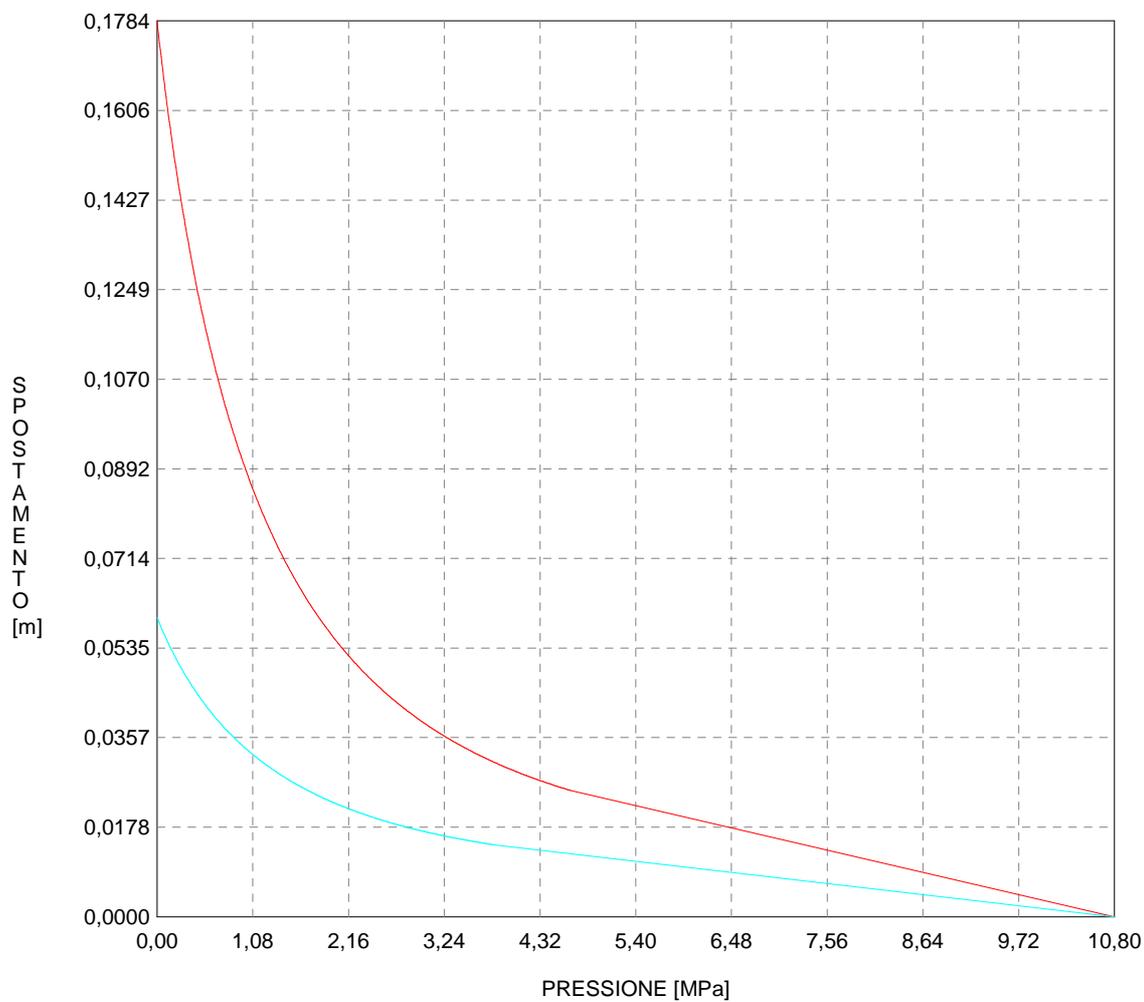
Press. fine calcolo galleria non sostenuta [MPa] .. .000000
 Spostamento radiale galleria non sostenuta [m]178399
 Raggio plastico galleria non sostenuta [m] 13.024461
 Press. fine calcolo fronte sferico [MPa]000000
 Spostamento radiale fronte sferico [m]059625
 Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m]017751
 Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m]051736
 Raggio plastico fronte sferico [m] 8.095047

R I S U L T A T O A N A L I S I G A L L E R I A

Pressione fine calcolo [MPa]000000
 Spost. radiale galleria fine calcolo [m]178399
 Raggio plastico galleria fine calcolo [m] 13.024461

CURVE CARATTERISTICHE ANALISI BASE

GALLERIA
FRONTE SFERICO



```

#####
#####
###
###
###   #####  ##   ##   ##
###   #####  ##   ##   ##
###   #####  ##   ##   ##
#####      ##  ##   ##  ##
#####      #####  #####
###

```

CALCOLO GALLERIE CON METODO
 CONVERGENZA-CONFINAMENTO
 SOLUTORE ANALITICO

VERSIONE 4 (2003)

aP_GR2b_200m

Fase di diagnosi

TIPO DI ANALISI: CALCOLO ACCOPPIATO FRONTE-GALLERIA
 VALUTAZIONE DEFORMATA GALLERIA AL FRONTE: 1
 1 -> metodo Panet-Guenot (galleria non sostenuta)
 2 -> metodo trasformazione omotetica (galleria non sostenuta)
 3 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da vuoto sferico)
 4 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da correlazione Ns)
 5 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da trasformazione omotetica)

D A T I A N A L I S I

R galleria [m] 5.52000

PARAMETRI GEOTECNICI -----
 Tensione originaria [MPa] 5.40000
 Modulo di Young [MPa] 1250.00000
 Coefficiente di Poisson30000
 Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] . .00000
 RESISTENZA ROCCIA
 Coesione picco [MPa]46500
 Angolo attrito picco [°] 31.00000
 Coesione residua [MPa]39000
 Angolo attrito residuo [MPa] 25.00000
 Angolo dilatanza [°]00000

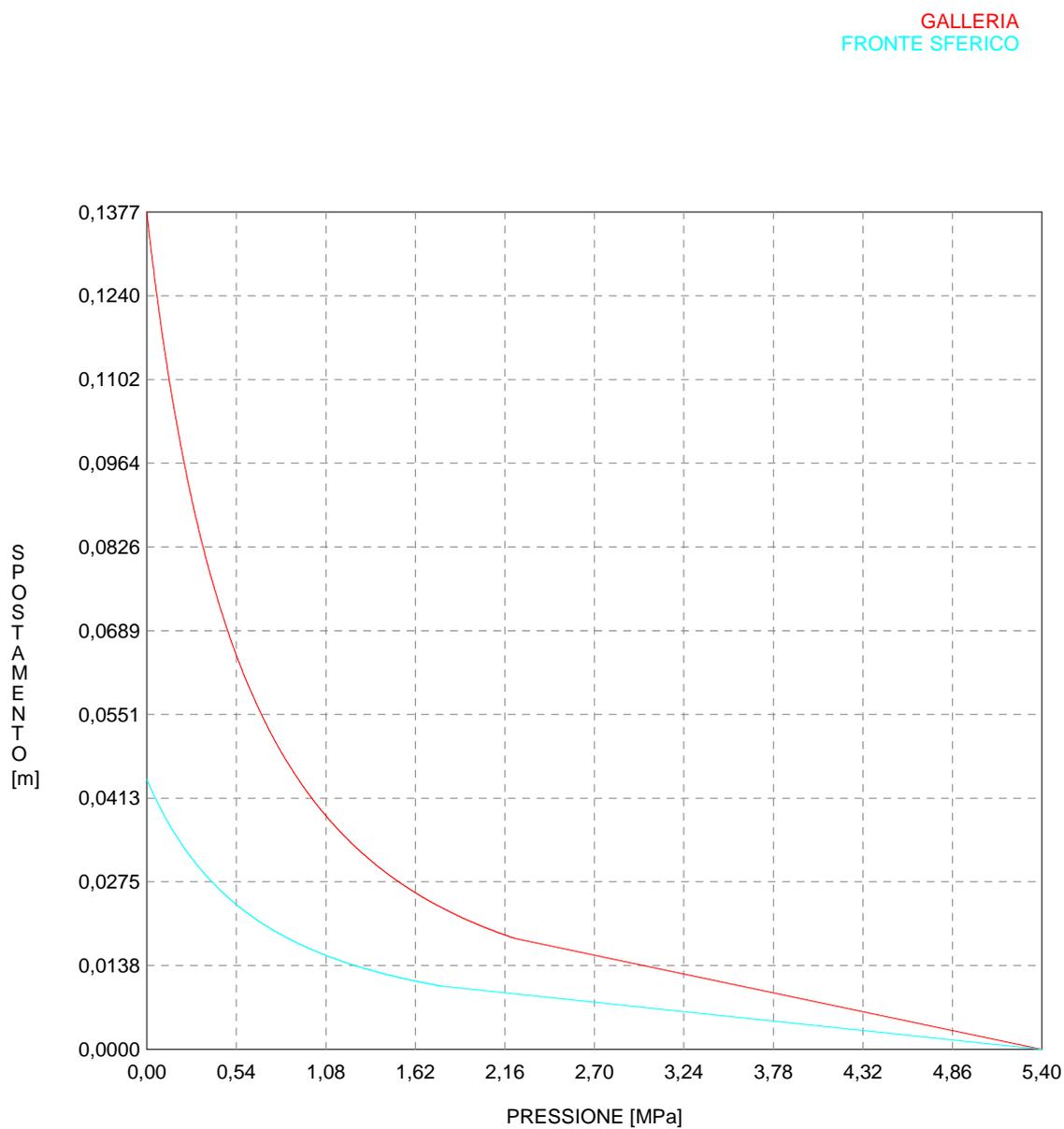
R I S U L T A T O A N A L I S I F R O N T E D I S C A V O

Press. fine calcolo galleria non sostenuta [MPa] .. .000000
 Spostamento radiale galleria non sostenuta [m]137725
 Raggio plastico galleria non sostenuta [m] 13.378796
 Press. fine calcolo fronte sferico [MPa]000000
 Spostamento radiale fronte sferico [m]044477
 Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m]013704
 Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m]039940
 Raggio plastico fronte sferico [m] 8.150719

R I S U L T A T O A N A L I S I G A L L E R I A

Pressione fine calcolo [MPa]000000
 Spost. radiale galleria fine calcolo [m]137725
 Raggio plastico galleria fine calcolo [m] 13.378796

CURVE CARATTERISTICHE ANALISI BASE



```

#####
#####
###
###
### ##### ## ## ##
### ##### ## ## ##
### ##### ## ## ##
##### ## ## ## ##
##### ##### #####
###

```

CALCOLO GALLERIE CON METODO
CONVERGENZA-CONFINAMENTO
SOLUTORE ANALITICO

VERSIONE 4 (2003)

aP_GR2b_300m

Fase di diagnosi

TIPO DI ANALISI: CALCOLO ACCOPPIATO FRONTE-GALLERIA
VALUTAZIONE DEFORMATA GALLERIA AL FRONTE: 1
1 -> metodo Panet-Guenot (galleria non sostenuta)
2 -> metodo trasformazione omotetica (galleria non sostenuta)
3 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da vuoto sferico)
4 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da correlazione Ns)
5 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da trasformazione omotetica)

D A T I A N A L I S I

R galleria [m] 5.52000

PARAMETRI GEOTECNICI -----
Tensione originaria [MPa] 8.10000
Modulo di Young [MPa] 1250.00000
Coefficiente di Poisson30000
Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] . .00000
RESISTENZA ROCCIA
Coesione picco [MPa]59000
Angolo attrito picco [°] 29.00000
Coesione residua [MPa]50000
Angolo attrito residuo [MPa] 25.00000
Angolo dilatanza [°]00000

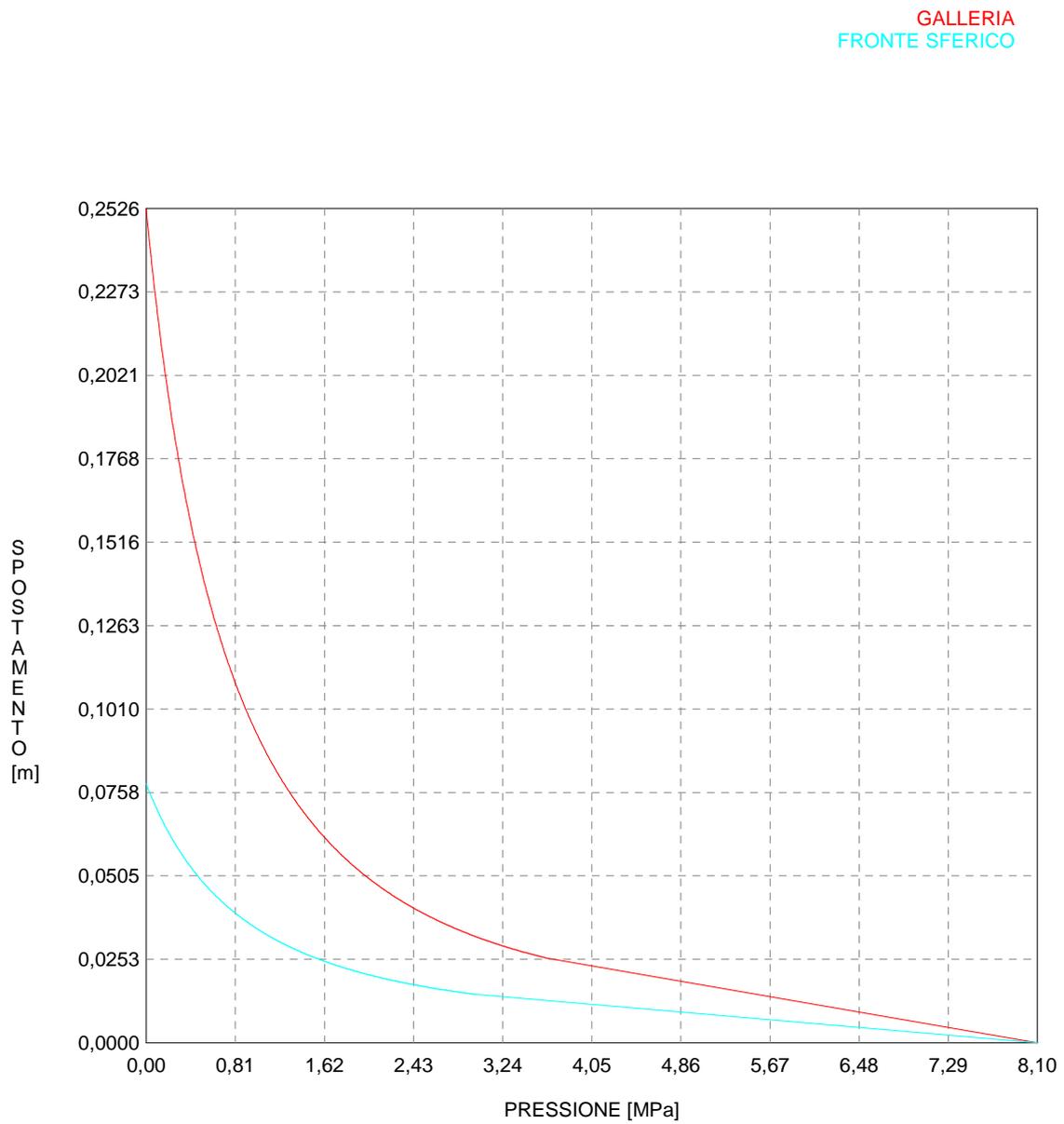
R I S U L T A T O A N A L I S I F R O N T E D I S C A V O

Press. fine calcolo galleria non sostenuta [MPa] .. .000000
Spostamento radiale galleria non sostenuta [m]252598
Raggio plastico galleria non sostenuta [m] 15.212313
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa]000000
Spostamento radiale fronte sferico [m]078507
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m]025134
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m]073254
Raggio plastico fronte sferico [m] 8.707360

R I S U L T A T O A N A L I S I G A L L E R I A

Pressione fine calcolo [MPa]000000
Sp. radiale galleria fine calcolo [m]252598
Raggio plastico galleria fine calcolo [m] 15.212313

CURVE CARATTERISTICHE ANALISI BASE



```

#####
#####
###
###
### ##### ## ## ##
### ##### ## ## ##
### ##### ## ## ##
##### ## ## ## ##
##### ##### #####
###

```

CALCOLO GALLERIE CON METODO
CONVERGENZA-CONFINAMENTO
SOLUTORE ANALITICO

VERSIONE 4 (2003)

aP_GR2b_400m

Fase di diagnosi

TIPO DI ANALISI: CALCOLO ACCOPPIATO FRONTE-GALLERIA
VALUTAZIONE DEFORMATA GALLERIA AL FRONTE: 1
1 -> metodo Panet-Guenot (galleria non sostenuta)
2 -> metodo trasformazione omotetica (galleria non sostenuta)
3 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da vuoto sferico)
4 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da correlazione Ns)
5 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da trasformazione omotetica)

D A T I A N A L I S I

R galleria [m]	5.52000
PARAMETRI GEOTECNICI -----	
Tensione originaria [MPa]	10.80000
Modulo di Young [MPa]	1250.00000
Coefficiente di Poisson .....	.30000
Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] .	.00000
RESISTENZA ROCCIA	
Coesione picco [MPa] .....	.70000
Angolo attrito picco [°]	27.00000
Coesione residua [MPa] .....	.60000
Angolo attrito residuo [MPa]	24.00000
Angolo dilatanza [°] .....	.00000

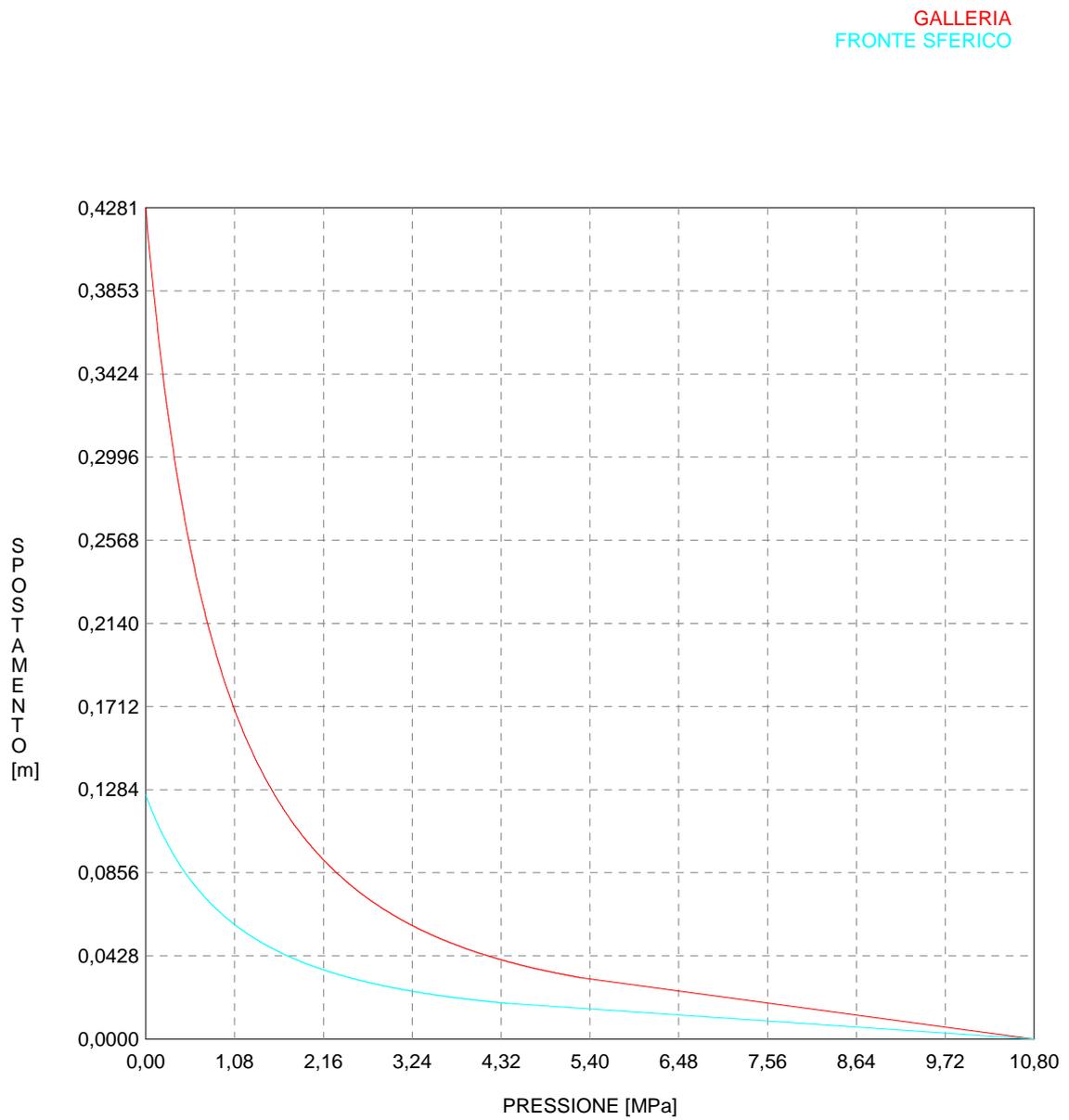
R I S U L T A T O A N A L I S I F R O N T E D I S C A V O

Press. fine calcolo galleria non sostenuta [MPa] ..	.000000
Spostamento radiale galleria non sostenuta [m] ....	.428059
Raggio plastico galleria non sostenuta [m]	17.625186
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] .....	.000000
Spostamento radiale fronte sferico [m] .....	.125963
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] .....	.042592
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ...	.124137
Raggio plastico fronte sferico [m]	9.367530

R I S U L T A T O A N A L I S I G A L L E R I A

Pressione fine calcolo [MPa] .....	.000000
Spost. radiale galleria fine calcolo [m] .....	.428059
Raggio plastico galleria fine calcolo [m]	17.625186

CURVE CARATTERISTICHE ANALISI BASE



```

#####
#####
###
###
### ##### ## ## ##
### ##### ## ## ##
### ##### ## ## ##
##### ## ## ## ##
##### ##### #####
###

```

CALCOLO GALLERIE CON METODO
 CONVERGENZA-CONFINAMENTO
 SOLUTORE TRANSFER-MATRIX

VERSIONE 4 (2003)

aP_GR1_200m_B0

Fase di terapia

TIPO DI ANALISI: CALCOLO ACCOPPIATO FRONTE-GALLERIA
 VALUTAZIONE DEFORMATA GALLERIA AL FRONTE: 3
 1 -> metodo Panet-Guenot (galleria non sostenuta)
 2 -> metodo trasformazione omotetica (galleria non sostenuta)
 3 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da vuoto sferico)
 4 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da correlazione Ns)
 5 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da trasformazione omotetica)

D A T I A N A L I S I

R galleria [m] 5.52000

PARAMETRI GEOTECNICI -----

Tensione originaria [MPa] 5.40000
 Modulo di Young [MPa] 5400.00000
 Coefficiente di Poisson30000
 Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] . .00000
 Pressione interstiziale falda indisturbata [MPa] .. .00000
 Pressione interstiziale al bordo scavo B.T. [MPa].. .00000
 Raggio influenza idraulica galleria B.T. [m] 5.52000
 Pressione interstiziale al bordo scavo L.T. [MPa].. .00000
 Raggio influenza idraulica galleria L.T. [m] 5.52000
 RESISTENZA ROCCIA
 Coesione picco [MPa]91000
 Angolo attrito picco [°] 39.00000
 Coesione residua [MPa]82000
 Angolo attrito residuo [MPa] 31.00000
 Angolo dilatanza [°]00000
 Modulo di softening apparente Ha [MPa]00000
 Modulo di softening H [MPa]00000

PRERIVESTIMENTO -----

Distanza dal fronte alla messa in opera [m] 1.80000
 Coefficiente riduzione rigidezza11000
 Forma del presivestimento CIRCOLARE CHIUSO
 SPRITZ-BETON E CENTINE
 Spessore spritz [m]30000
 Modulo Young spritz [MPa] 20000.00000
 Coefficiente di Poisson spritz20000
 Sezione centina [m2]01060
 Altezza sezione centina [m2]24000
 Posizione baricentro sezione centina [m]12000
 Momento inerzia baricentrico sezione centina [m4] . .00011260
 Passo centine [m] 1.20000
 Modulo Young ferro centine [MPa] 210000.00000
 Resistenza compressione spritz [MPa] 19.20000
 Resistenza ferro centine [MPa] 190.00000

RIVESTIMENTO DEFINITIVO -----

Distanza dal fronte alla messa in opera [m] 165.60000
 Spessore CLS [m]95000
 Modulo Young CLS [MPa] 31220.00000
 Coefficiente di Poisson CLS20000
 Resistenza compressione CLS [MPa] 9.75000
 Opzione calcolo rivestimento 0
 [0 prerivestimenti non collaboranti a lungo termine]
 [1 prerivestimenti collaboranti a lungo termine]
 Gioco radiale posa in opera rivestimento [m]00000

R I S U L T A T O A N A L I S I F R O N T E D I S C A V O

Press. fine calcolo curva galleria [MPa]00000
 Spostamento radiale galleria [m]009122

Raggio plastico galleria [m]	6.926433
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] .....	.000000
Spostamento radiale fronte sferico [m] .....	.004064
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] .....	.002148
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ...	.002645
Raggio plastico fronte sferico [m]	6.017923

STATO GALLERIA ALLA MESSA IN OPERA DEL PRERIVESTIMENTO -----

Metodo Panet-Guenot	
U [m] :	.00615
LAMBDA :	.84045
Trasformazione Omotetica	
U [m] :	.00814
LAMBDA :	.96404
Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione cavità sferica	
U [m] :	.00706
LAMBDA :	.90903
Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns	
U [m] :	.00628
LAMBDA :	.85274
Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica	
U [m] :	.00648
LAMBDA :	.86913

STATO GALLERIA ALLA MESSA IN OPERA DEL RIVESTIMENTO -----

Metodo Panet-Guenot	
U [m] :	.00911
LAMBDA :	.99959
Trasformazione Omotetica	
U [m] :	.00912
LAMBDA :	1.00000
Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione cavità sferica	
U [m] :	.00883
LAMBDA :	1.00000
Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns	
U [m] :	.00872
LAMBDA :	1.00000
Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica	
U [m] :	.00875
LAMBDA :	1.00000

R I S U L T A T O A N A L I S I G A L L E R I A

Pressione fine calcolo [MPa] .....	.000000
Spost. radiale galleria fine calcolo [m] .....	.009122
Raggio plastico galleria fine calcolo [m]	6.926433

PRERIVESTIMENTO -----

Raggio plastico punto di equilibrio [m]	6.83900
Pressione punto di equilibrio [MPa] .....	.05325
Spostamento punto di equilibrio [m] .....	.00882
Spostamento galleria alla messa in opera [m] .....	.00706
Convergenza radiale prerivestimento [m] .....	.00176
Tasso di deconfinamento alla messa in opera .....	.909032
SPRITZ-BETON E CENTINE (ANELLO CHIUSO)	
Tensione spritz [MPa] .....	.78386
Tensione centine [MPa]	7.37910
Coefficiente di sicurezza spritz	24.49425
Coefficiente di sicurezza centine	25.74841
Pressione rottura spritz [MPa]	1.30436
Pressione rottura centine [MPa]	1.37115
Rigidezza spritz [MPa]	129.73681
Rigidezza centinatura [MPa]	36.96558

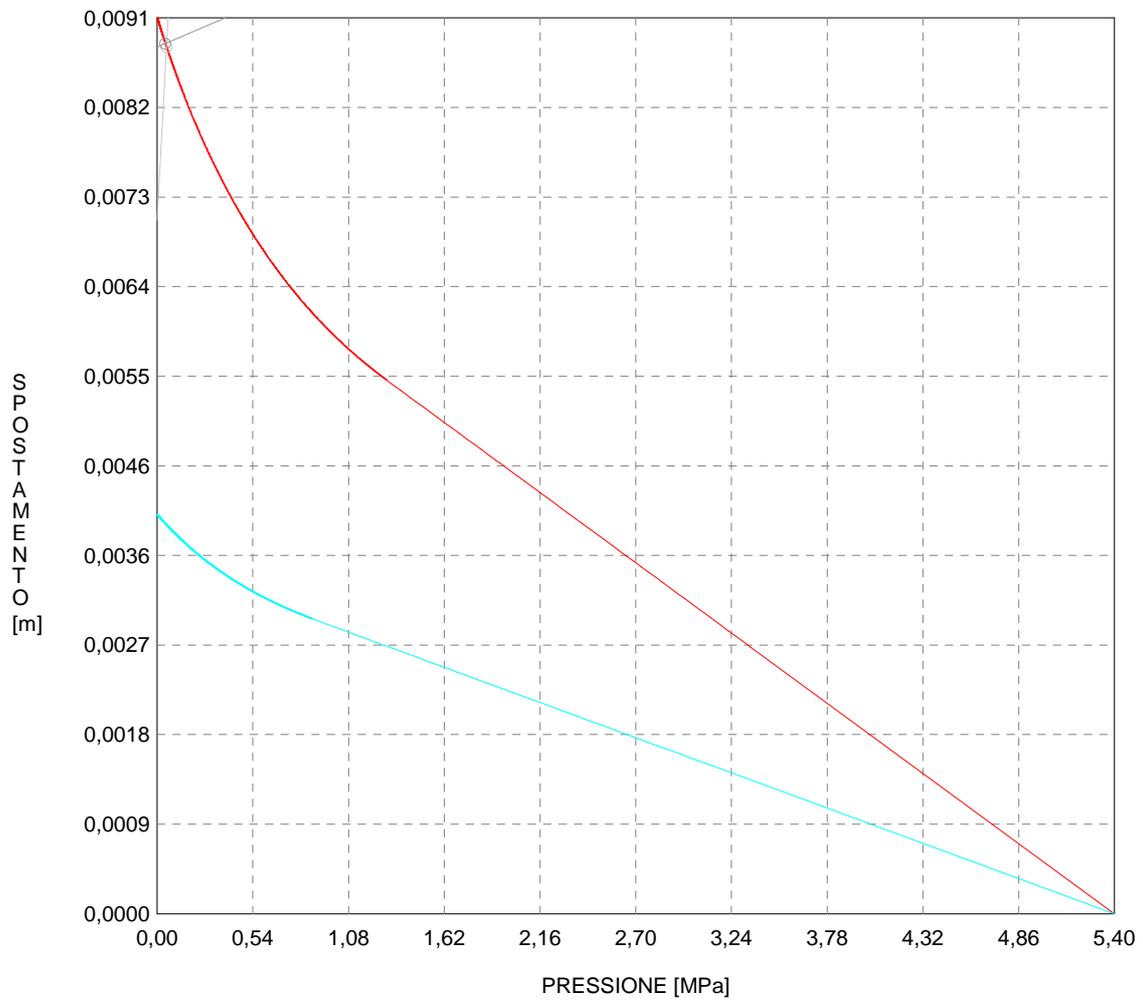
RIVESTIMENTO DEFINITIVO (ANELLO CLS) -----

Raggio plastico punto di equilibrio [m]	6.85641
Pressione punto di equilibrio [MPa] .....	.04659
Spostamento punto di equilibrio [MPa] .....	.00886
Spostamento galleria alla messa in opera [m] .....	.00882
Convergenza radiale rivestimento [m] .....	.00004
Tensione CLS [MPa] .....	.28162

Coefficiente di sicurezza CLS	34.62147
Pressione rottura CLS [MPa]	1.61296
Rigidezza anello CLS [MPa]	6782.53615
Tasso di deconfinamento alla messa in opera	1.000000

CURVE CARATTERISTICHE ANALISI BASE

PRERIVESTIMENTO
RIVESTIMENTO
GALLERIA
FRONTE SFERICO



```

#####
#####
###
###
### ##### ## ## ##
### ##### ## ## ##
### ##### ## ## ##
##### ## ## ## ##
##### ##### #####
###

```

CALCOLO GALLERIE CON METODO
CONVERGENZA-CONFINAMENTO
SOLUTORE TRANSFER-MATRIX

VERSIONE 4 (2003)

aP_GR1_300m_B0

Fase di terapia

TIPO DI ANALISI: CALCOLO ACCOPPIATO FRONTE-GALLERIA
VALUTAZIONE DEFORMATA GALLERIA AL FRONTE: 3
1 -> metodo Panet-Guenot (galleria non sostenuta)
2 -> metodo trasformazione omotetica (galleria non sostenuta)
3 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da vuoto sferico)
4 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da correlazione Ns)
5 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da trasformazione omotetica)

D A T I A N A L I S I

R galleria [m] 5.52000

PARAMETRI GEOTECNICI -----
Tensione originaria [MPa] 8.10000
Modulo di Young [MPa] 5400.00000
Coefficiente di Poisson30000
Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] . .00000
Pressione interstiziale falda indisturbata [MPa] .. .00000
Pressione interstiziale al bordo scavo B.T. [MPa].. .00000
Raggio influenza idraulica galleria B.T. [m] 5.52000
Pressione interstiziale al bordo scavo L.T. [MPa].. .00000
Raggio influenza idraulica galleria L.T. [m] 5.52000
RESISTENZA ROCCIA
Coesione picco [MPa] 1.17500
Angolo attrito picco [°] 39.00000
Coesione residua [MPa] 1.06000
Angolo attrito residuo [MPa] 31.00000
Angolo dilatanza [°]00000
Modulo di softening apparente Ha [MPa]00000
Modulo di softening H [MPa]00000

PRERIVESTIMENTO -----
Distanza dal fronte alla messa in opera [m] 1.80000
Coefficiente riduzione rigidezza11000
Forma del presivestimento CIRCOLARE CHIUSO
SPRITZ-BETON E CENTINE
Spessore spritz [m]30000
Modulo Young spritz [MPa] 20000.00000
Coefficiente di Poisson spritz20000
Sezione centina [m2]01060
Altezza sezione centina [m2]24000
Posizione baricentro sezione centina [m]12000
Momento inerzia baricentrico sezione centina [m4] . .01060000
Passo centine [m] 1.20000
Modulo Young ferro centine [MPa] 210000.00000
Resistenza compressione spritz [MPa] 19.20000
Resistenza ferro centine [MPa] 190.00000

RIVESTIMENTO DEFINITIVO -----
Distanza dal fronte alla messa in opera [m] 165.60000
Spessore CLS [m]95000
Modulo Young CLS [MPa] 31220.00000
Coefficiente di Poisson CLS20000
Resistenza compressione CLS [MPa] 9.75000
Opzione calcolo rivestimento 0
[0 prerivestimenti non collaboranti a lungo termine]
[1 prerivestimenti collaboranti a lungo termine]
Gioco radiale posa in opera rivestimento [m]00000

R I S U L T A T O A N A L I S I F R O N T E D I S C A V O

Press. fine calcolo curva galleria [MPa]00000
Spostamento radiale galleria [m]014613

Raggio plastico galleria [m]	7.194099
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] .....	.000000
Spostamento radiale fronte sferico [m] .....	.006401
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] .....	.003022
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ...	.004238
Raggio plastico fronte sferico [m]	6.127668

STATO GALLERIA ALLA MESSA IN OPERA DEL PRERIVESTIMENTO -----

Metodo Panet-Guenot	
U [m] :	.00970
LAMBDA :	.85849
Trasformazione Omotetica	
U [m] :	.01290
LAMBDA :	.96604
Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione cavità sferica	
U [m] :	.01120
LAMBDA :	.91902
Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns	
U [m] :	.00981
LAMBDA :	.86383
Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica	
U [m] :	.01031
LAMBDA :	.88603

STATO GALLERIA ALLA MESSA IN OPERA DEL RIVESTIMENTO -----

Metodo Panet-Guenot	
U [m] :	.01459
LAMBDA :	.99962
Trasformazione Omotetica	
U [m] :	.01461
LAMBDA :	1.00000
Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione cavità sferica	
U [m] :	.01403
LAMBDA :	1.00000
Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns	
U [m] :	.01380
LAMBDA :	1.00000
Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica	
U [m] :	.01388
LAMBDA :	1.00000

R I S U L T A T O A N A L I S I G A L L E R I A

Pressione fine calcolo [MPa] .....	.000000
Spost. radiale galleria fine calcolo [m] .....	.014613
Raggio plastico galleria fine calcolo [m]	7.194099

PRERIVESTIMENTO -----

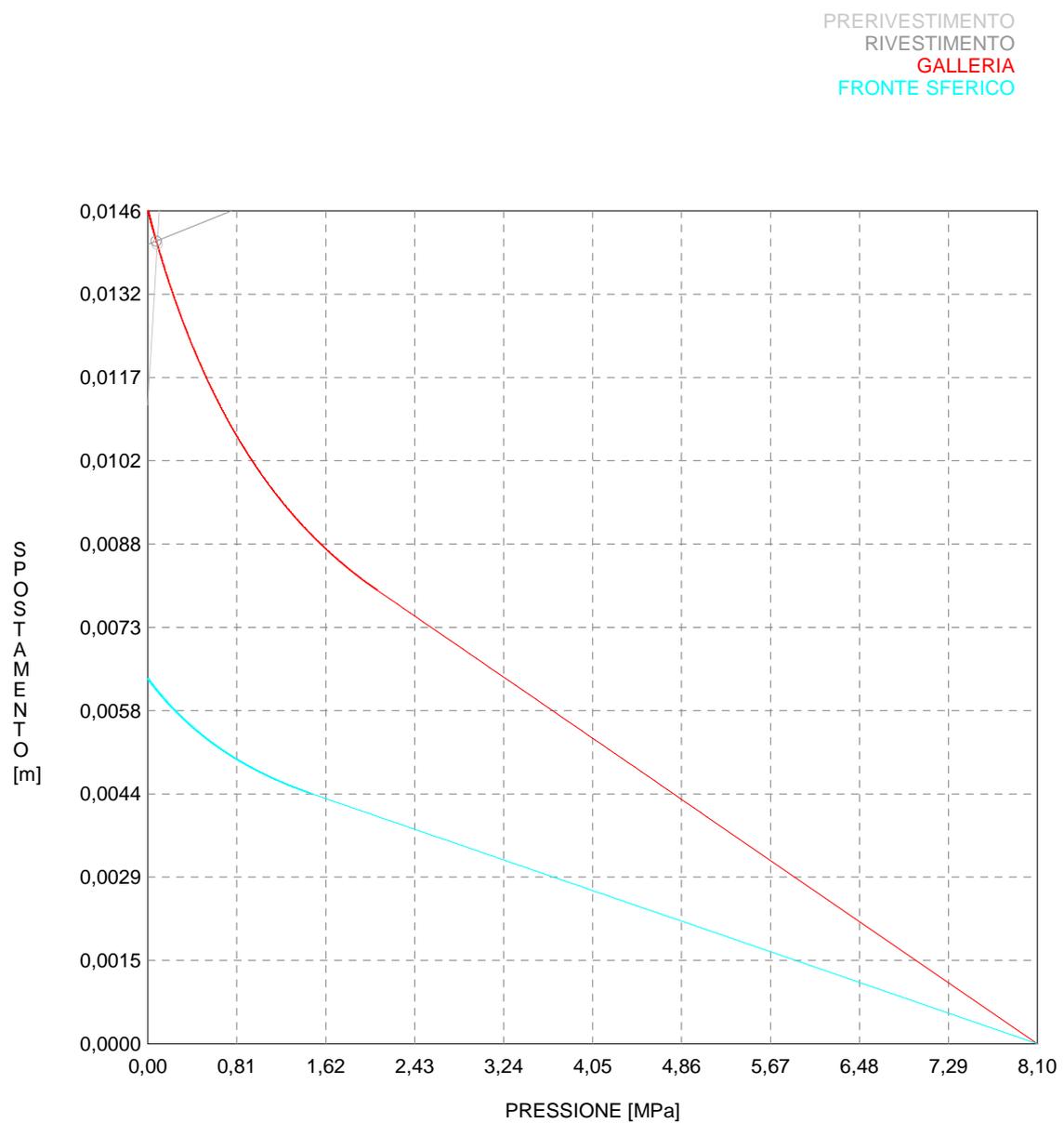
Raggio plastico punto di equilibrio [m]	7.06822
Pressione punto di equilibrio [MPa] .....	.08528
Spostamento punto di equilibrio [m] .....	.01403
Spostamento galleria alla messa in opera [m] .....	.01120
Convergenza radiale prerivestimento [m] .....	.00282
Tasso di deconfinamento alla messa in opera .....	.919020
SPRITZ-BETON E CENTINE (ANELLO CHIUSO)	
Tensione spritz [MPa]	1.25534
Tensione centine [MPa]	11.81758
Coefficiente di sicurezza spritz	15.29462
Coefficiente di sicurezza centine	16.07774
Pressione rottura spritz [MPa]	1.30436
Pressione rottura centine [MPa]	1.37115
Rigidezza spritz [MPa]	129.73681
Rigidezza centinatura [MPa]	36.96558

RIVESTIMENTO DEFINITIVO (ANELLO CLS) -----

Raggio plastico punto di equilibrio [m]	7.08610
Pressione punto di equilibrio [MPa] .....	.07637
Spostamento punto di equilibrio [MPa] .....	.01408
Spostamento galleria alla messa in opera [m] .....	.01403
Convergenza radiale rivestimento [m] .....	.00006
Tensione CLS [MPa] .....	.46164

Coefficiente di sicurezza CLS	21.12046
Pressione rottura CLS [MPa]	1.61296
Rigidezza anello CLS [MPa]	6782.53615
Tasso di deconfinamento alla messa in opera	1.000000

CURVE CARATTERISTICHE ANALISI BASE



```

#####
#####
###
###
###   #####  ##   ##   ##
###   #####  ##   ##   ##
###   #####  ##   ##   ##
#####      ##  ##   ##  ##
#####      #####  #####
###

```

CALCOLO GALLERIE CON METODO
CONVERGENZA-CONFINAMENTO
SOLUTORE TRANSFER-MATRIX

VERSIONE 4 (2003)

aP_GR1_400m_B0

Fase di terapia

TIPO DI ANALISI: CALCOLO ACCOPPIATO FRONTE-GALLERIA
VALUTAZIONE DEFORMATA GALLERIA AL FRONTE: 3
1 -> metodo Panet-Guenot (galleria non sostenuta)
2 -> metodo trasformazione omotetica (galleria non sostenuta)
3 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da vuoto sferico)
4 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da correlazione Ns)
5 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da trasformazione omotetica)

D A T I A N A L I S I

R galleria [m] 5.52000

PARAMETRI GEOTECNICI -----
Tensione originaria [MPa] 10.80000
Modulo di Young [MPa] 5400.00000
Coefficiente di Poisson30000
Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] . .00000
Pressione interstiziale falda indisturbata [MPa] .. .00000
Pressione interstiziale al bordo scavo B.T. [MPa].. .00000
Raggio influenza idraulica galleria B.T. [m] 5.52000
Pressione interstiziale al bordo scavo L.T. [MPa].. .00000
Raggio influenza idraulica galleria L.T. [m] 5.52000
RESISTENZA ROCCIA
Coesione picco [MPa] 1.45000
Angolo attrito picco [°] 38.00000
Coesione residua [MPa] 1.30000
Angolo attrito residuo [MPa] 30.00000
Angolo dilatanza [°]00000
Modulo di softening apparente Ha [MPa]00000
Modulo di softening H [MPa]00000

PRERIVESTIMENTO -----
Distanza dal fronte alla messa in opera [m] 1.80000
Coefficiente riduzione rigidezza11000
Forma del presinvestimento CIRCOLARE CHIUSO
SPRITZ-BETON E CENTINE
Spessore spritz [m]30000
Modulo Young spritz [MPa] 20000.00000
Coefficiente di Poisson spritz20000
Sezione centina [m2]01060
Altezza sezione centina [m2]24000
Posizione baricentro sezione centina [m]12000
Momento inerzia baricentrico sezione centina [m4] . .00012600
Passo centine [m] 1.20000
Modulo Young ferro centine [MPa] 210000.00000
Resistenza compressione spritz [MPa] 19.20000
Resistenza ferro centine [MPa] 190.00000

RIVESTIMENTO DEFINITIVO -----
Distanza dal fronte alla messa in opera [m] 165.60000
Spessore CLS [m]95000
Modulo Young CLS [MPa] 31220.00000
Coefficiente di Poisson CLS20000
Resistenza compressione CLS [MPa] 9.75000
Opzione calcolo rivestimento 0
[0 prerivestimenti non collaboranti a lungo termine]
[1 prerivestimenti collaboranti a lungo termine]
Gioco radiale posa in opera rivestimento [m]00000

R I S U L T A T O A N A L I S I F R O N T E D I S C A V O

Press. fine calcolo curva galleria [MPa]00000
Spostamento radiale galleria [m]020734

Raggio plastico galleria [m]	7.487696
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] .....	.000000
Spostamento radiale fronte sferico [m] .....	.008928
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] .....	.003840
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ...	.006013
Raggio plastico fronte sferico [m]	6.240833

STATO GALLERIA ALLA MESSA IN OPERA DEL PRERIVESTIMENTO -----

Metodo Panet-Guenot	
U [m] :	.01354
LAMBDA :	.86867
Trasformazione Omotetica	
U [m] :	.01812
LAMBDA :	.96650
Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione cavità sferica	
U [m] :	.01567
LAMBDA :	.92305
Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns	
U [m] :	.01351
LAMBDA :	.86794
Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica	
U [m] :	.01444
LAMBDA :	.89404

STATO GALLERIA ALLA MESSA IN OPERA DEL RIVESTIMENTO -----

Metodo Panet-Guenot	
U [m] :	.02070
LAMBDA :	.99962
Trasformazione Omotetica	
U [m] :	.02073
LAMBDA :	1.00000
Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione cavità sferica	
U [m] :	.01975
LAMBDA :	1.00000
Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns	
U [m] :	.01936
LAMBDA :	1.00000
Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica	
U [m] :	.01953
LAMBDA :	1.00000

R I S U L T A T O A N A L I S I G A L L E R I A

Pressione fine calcolo [MPa] .....	.000000
Spost. radiale galleria fine calcolo [m] .....	.020734
Raggio plastico galleria fine calcolo [m]	7.487696

PRERIVESTIMENTO -----

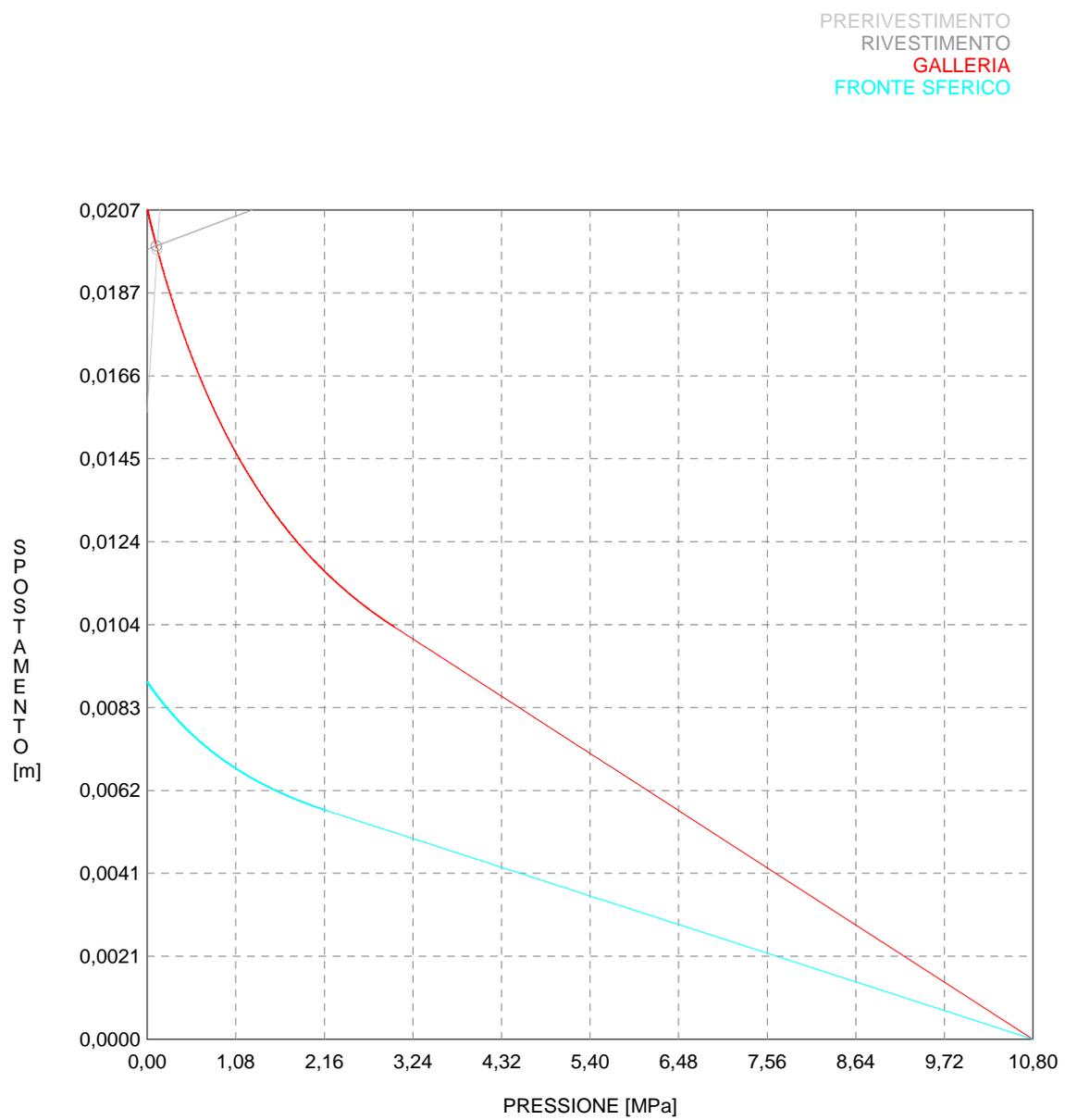
Raggio plastico punto di equilibrio [m]	7.32157
Pressione punto di equilibrio [MPa] .....	.12307
Spostamento punto di equilibrio [m] .....	.01975
Spostamento galleria alla messa in opera [m] .....	.01567
Convergenza radiale prerivestimento [m] .....	.00408
Tasso di deconfinamento alla messa in opera .....	.923051
SPRITZ-BETON E CENTINE (ANELLO CHIUSO)	
Tensione spritz [MPa]	1.81152
Tensione centine [MPa]	17.05330
Coefficiente di sicurezza spritz	10.59886
Coefficiente di sicurezza centine	11.14154
Pressione rottura spritz [MPa]	1.30436
Pressione rottura centine [MPa]	1.37115
Rigidezza spritz [MPa]	129.73681
Rigidezza centinatura [MPa]	36.96558

RIVESTIMENTO DEFINITIVO (ANELLO CLS) -----

Raggio plastico punto di equilibrio [m]	7.33991
Pressione punto di equilibrio [MPa] .....	.11178
Spostamento punto di equilibrio [MPa] .....	.01983
Spostamento galleria alla messa in opera [m] .....	.01975
Convergenza radiale rivestimento [m] .....	.00009
Tensione CLS [MPa] .....	.67568

Coefficiente di sicurezza CLS	14.43001
Pressione rottura CLS [MPa]	1.61296
Rigidezza anello CLS [MPa]	6782.53615
Tasso di deconfinamento alla messa in opera	1.000000

CURVE CARATTERISTICHE ANALISI BASE



Gioco radiale posa in opera rivestimento [m]00000

R I S U L T A T O A N A L I S I F R O N T E D I S C A V O

Press. fine calcolo curva galleria [MPa]000000
Spostamento radiale galleria [m]039786
Raggio plastico galleria [m] 8.470513
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa]000000
Spostamento radiale fronte sferico [m]012393
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m]009963
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m]011538
Raggio plastico fronte sferico [m] 6.009636

STATO GALLERIA ALLA MESSA IN OPERA DEL PRERIVESTIMENTO -----

Metodo Panet-Guenot

U [m] : .01620
LAMBDA : .72543

Trasformazione Omotetica

U [m] : .02514
LAMBDA : .89854

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione cavità sferica

U [m] : .01787
LAMBDA : .77481

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns

U [m] : .01599
LAMBDA : .71821

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica

U [m] : .01720
LAMBDA : .75680

STATO GALLERIA ALLA MESSA IN OPERA DEL RIVESTIMENTO -----

Metodo Panet-Guenot

U [m] : .03966
LAMBDA : .99948

Trasformazione Omotetica

U [m] : .03979
LAMBDA : 1.00000

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione cavità sferica

U [m] : .02924
LAMBDA : .99996

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns

U [m] : .02850
LAMBDA : .99995

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica

U [m] : .02898
LAMBDA : .99996

R I S U L T A T O A N A L I S I G A L L E R I A

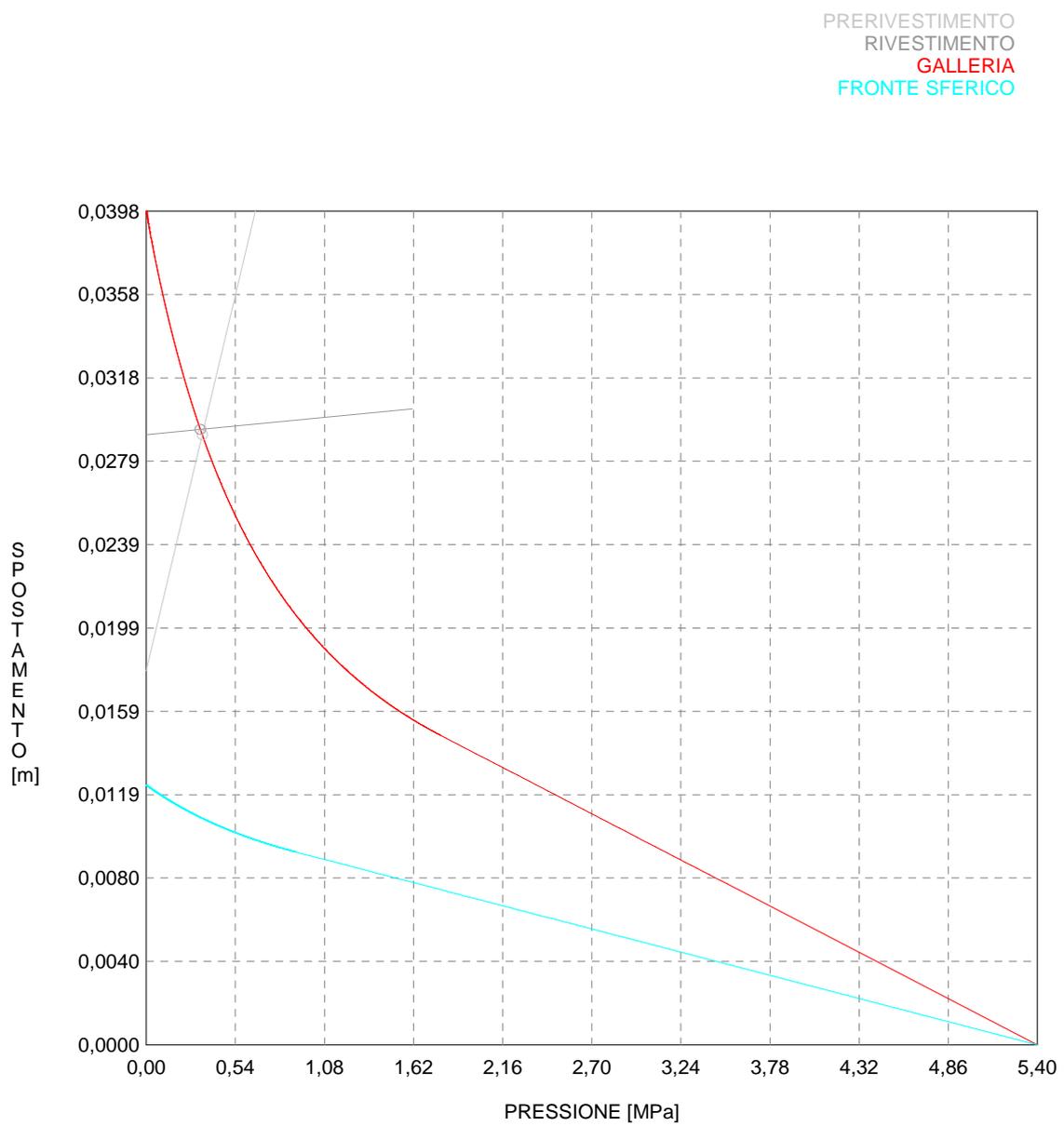
Pressione fine calcolo [MPa]000000
Spost. radiale galleria fine calcolo [m]039786
Raggio plastico galleria fine calcolo [m] 8.470513

PRERIVESTIMENTO -----

Raggio plastico punto di equilibrio [m] 7.43205
Pressione punto di equilibrio [MPa]33983
Spostamento punto di equilibrio [m]02911
Spostamento galleria alla messa in opera [m]01787
Convergenza radiale prerivestimento [m]01125
Tasso di deconfinamento alla messa in opera774810
SPRITZ-BETON E CENTINE (ANELLO CHIUSO)
Tensione spritz [MPa] 4.99923
Tensione centine [MPa] 47.06191
Coefficiente di sicurezza spritz 3.84059
Coefficiente di sicurezza centine 4.03724
Pressione rottura spritz [MPa] 1.30436
Pressione rottura centine [MPa] 1.37115
Rigidezza spritz [MPa] 129.73681
Rigidezza centinatura [MPa] 36.96558

RIVESTIMENTO DEFINITIVO (ANELLO CLS) -----	
Raggio plastico punto di equilibrio [m]	7.45057
Pressione punto di equilibrio [MPa] .....	.32867
Spostamento punto di equilibrio [MPa] .....	.02937
Spostamento galleria alla messa in opera [m] .....	.02911
Convergenza radiale rivestimento [m] .....	.00025
Tensione CLS [MPa]	1.98675
Coefficiente di sicurezza CLS	4.90752
Pressione rottura CLS [MPa]	1.61296
Rigidezza anello CLS [MPa]	6782.53615
Tasso di deconfinamento alla messa in opera .....	.999961

CURVE CARATTERISTICHE ANALISI BASE



```

#####
#####
###
###
### ##### ## ## ##
### ##### ## ## ##
### ##### ## ## ##
##### ## ## ## ##
##### ##### #####
###

```

CALCOLO GALLERIE CON METODO
 CONVERGENZA-CONFINAMENTO
 SOLUTORE TRANSFER-MATRIX

VERSIONE 4 (2003)

aP_GR2a_300m_B2

Fase di terapia

TIPO DI ANALISI: CALCOLO ACCOPPIATO FRONTE-GALLERIA
 VALUTAZIONE DEFORMATA GALLERIA AL FRONTE: 3
 1 -> metodo Panet-Guenot (galleria non sostenuta)
 2 -> metodo trasformazione omotetica (galleria non sostenuta)
 3 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da vuoto sferico)
 4 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da correlazione Ns)
 5 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da trasformazione omotetica)

D A T I A N A L I S I

R galleria [m] 5.52000

PARAMETRI GEOTECNICI -----

Tensione originaria [MPa] 8.10000
 Modulo di Young [MPa] 1750.00000
 Coefficiente di Poisson30000
 Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] . .00000
 Pressione interstiziale falda indisturbata [MPa] .. .00000
 Pressione interstiziale al bordo scavo B.T. [MPa].. .00000
 Raggio influenza idraulica galleria B.T. [m] 5.52000
 Pressione interstiziale al bordo scavo L.T. [MPa].. .00000
 Raggio influenza idraulica galleria L.T. [m] 5.52000

RESISTENZA ROCCIA

Coesione picco [MPa]72500
 Angolo attrito picco [°] 33.00000
 Coesione residua [MPa]55000
 Angolo attrito residuo [MPa] 30.00000
 Angolo dilatanza [°]00000
 Modulo di softening apparente Ha [MPa]00000
 Modulo di softening H [MPa]00000

FRONTE DI SCAVO RINFORZATO

Consolidamento generico del fronte
 Incremento coesione picco [MPa]47920
 Pressione sul fronte di scavo [MPa]00000
 Parametri di resistenza equivalenti del fronte rinforzato
 Coesione picco [MPa] 1.20420
 Coesione residua [MPa]55000

PRERIVESTIMENTO -----

Distanza dal fronte alla messa in opera [m]60000
 Coefficiente riduzione rigidezza11000
 Forma del presinvestimento CIRCOLARE CHIUSO
 SPRITZ-BETON E CENTINE
 Spessore spritz [m]30000
 Modulo Young spritz [MPa] 20000.00000
 Coefficiente di Poisson spritz20000
 Sezione centina [m2]01060
 Altezza sezione centina [m2]24000
 Posizione baricentro sezione centina [m]12000
 Momento inerzia baricentrico sezione centina [m4] . .00011260
 Passo centine [m] 1.20000
 Modulo Young ferro centine [MPa] 210000.00000
 Resistenza compressione spritz [MPa] 19.20000
 Resistenza ferro centine [MPa] 190.00000

RIVESTIMENTO DEFINITIVO -----

Distanza dal fronte alla messa in opera [m] 99.36000
 Spessore CLS [m]95000
 Modulo Young CLS [MPa] 31220.00000
 Coefficiente di Poisson CLS20000
 Resistenza compressione CLS [MPa] 9.75000
 Opzione calcolo rivestimento 0
 [0 prerivestimenti non collaboranti a lungo termine]
 [1 prerivestimenti collaboranti a lungo termine]

Gioco radiale posa in opera rivestimento [m]00000

R I S U L T A T O A N A L I S I F R O N T E D I S C A V O

Press. fine calcolo curva galleria [MPa]000000
Spostamento radiale galleria [m]074101
Raggio plastico galleria [m] 9.637892
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa]000000
Spostamento radiale fronte sferico [m]021823
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m]013635
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m]021489
Raggio plastico fronte sferico [m] 6.439139

STATO GALLERIA ALLA MESSA IN OPERA DEL PRERIVESTIMENTO -----

Metodo Panet-Guenot

U [m] : .02828
LAMBDA : .77299

Trasformazione Omotetica

U [m] : .04418
LAMBDA : .90495

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione cavità sferica

U [m] : .03046
LAMBDA : .79961

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns

U [m] : .02390
LAMBDA : .70218

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica

U [m] : .03019
LAMBDA : .79656

STATO GALLERIA ALLA MESSA IN OPERA DEL RIVESTIMENTO -----

Metodo Panet-Guenot

U [m] : .07380
LAMBDA : .99943

Trasformazione Omotetica

U [m] : .07410
LAMBDA : 1.00000

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione cavità sferica

U [m] : .04961
LAMBDA : .99996

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns

U [m] : .04665
LAMBDA : .99994

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica

U [m] : .04949
LAMBDA : .99996

R I S U L T A T O A N A L I S I G A L L E R I A

Pressione fine calcolo [MPa]000000
Spot. radiale galleria fine calcolo [m]074101
Raggio plastico galleria fine calcolo [m] 9.637892

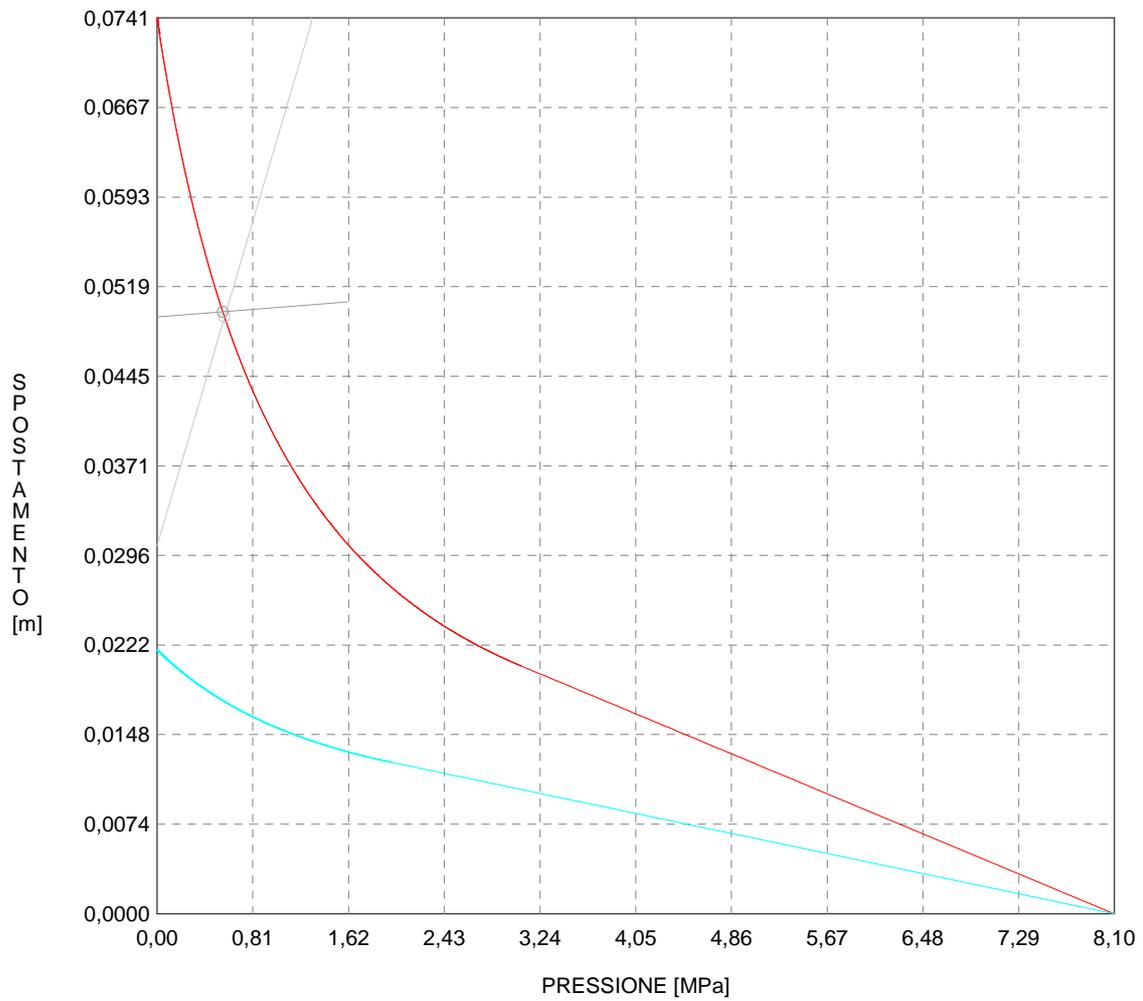
PRERIVESTIMENTO -----

Raggio plastico punto di equilibrio [m] 8.09674
Pressione punto di equilibrio [MPa]57119
Spostamento punto di equilibrio [m]04936
Spostamento galleria alla messa in opera [m]03046
Convergenza radiale prerivestimento [m]01890
Tasso di deconfinamento alla messa in opera799611
SPRITZ-BETON E CENTINE (ANELLO CHIUSO)
Tensione spritz [MPa] 8.40340
Tensione centine [MPa] 79.10817
Coefficiente di sicurezza spritz 2.28479
Coefficiente di sicurezza centine 2.40177
Pressione rottura spritz [MPa] 1.30436
Pressione rottura centine [MPa] 1.37115
Rigidezza spritz [MPa] 129.73681
Rigidezza centinatura [MPa] 36.96558

RIVESTIMENTO DEFINITIVO (ANELLO CLS) -----	
Raggio plastico punto di equilibrio [m]	8.13568
Pressione punto di equilibrio [MPa] .....	.55658
Spostamento punto di equilibrio [MPa] .....	.04979
Spostamento galleria alla messa in opera [m] .....	.04936
Convergenza radiale rivestimento [m] .....	.00043
Tensione CLS [MPa]	3.36443
Coefficiente di sicurezza CLS	2.89796
Pressione rottura CLS [MPa]	1.61296
Rigidezza anello CLS [MPa]	6782.53615
Tasso di deconfinamento alla messa in opera .....	.999962

CURVE CARATTERISTICHE ANALISI BASE

PRERIVESTIMENTO
RIVESTIMENTO
GALLERIA
FRONTE SFERICO



```

#####
#####
###
###
###   #####  ##   ##   ##
###   #####  ##   ##   ##
###   #####  ##   ##   ##
#####      ##  ##   ##  ##
#####      #####  #####
###

```

CALCOLO GALLERIE CON METODO
 CONVERGENZA-CONFINAMENTO
 SOLUTORE TRANSFER-MATRIX

VERSIONE 4 (2003)

aP_GR2a_400m_B2

Fase di terapia

TIPO DI ANALISI: CALCOLO ACCOPPIATO FRONTE-GALLERIA
 VALUTAZIONE DEFORMATA GALLERIA AL FRONTE: 3
 1 -> metodo Panet-Guenot (galleria non sostenuta)
 2 -> metodo trasformazione omotetica (galleria non sostenuta)
 3 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da vuoto sferico)
 4 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da correlazione Ns)
 5 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da trasformazione omotetica)

D A T I A N A L I S I

R galleria [m] 5.52000

PARAMETRI GEOTECNICI -----

Tensione originaria [MPa] 10.80000
 Modulo di Young [MPa] 1750.00000
 Coefficiente di Poisson30000
 Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] . .00000
 Pressione interstiziale falda indisturbata [MPa] .. .00000
 Pressione interstiziale al bordo scavo B.T. [MPa].. .00000
 Raggio influenza idraulica galleria B.T. [m] 5.52000
 Pressione interstiziale al bordo scavo L.T. [MPa].. .00000
 Raggio influenza idraulica galleria L.T. [m] 5.52000

RESISTENZA ROCCIA

Coesione picco [MPa]85000
 Angolo attrito picco [°] 30.00000
 Coesione residua [MPa]75000
 Angolo attrito residuo [MPa] 27.00000
 Angolo dilatanza [°]00000
 Modulo di softening apparente Ha [MPa]00000
 Modulo di softening H [MPa]00000

FRONTE DI SCAVO RINFORZATO

Consolidamento generico del fronte
 Incremento coesione picco [MPa]47900
 Pressione sul fronte di scavo [MPa]00000
 Parametri di resistenza equivalenti del fronte rinforzato
 Coesione picco [MPa] 1.32900
 Coesione residua [MPa]75000

PRERIVESTIMENTO -----

Distanza dal fronte alla messa in opera [m]60000
 Coefficiente riduzione rigidezza11000
 Forma del presinvestimento CIRCOLARE CHIUSO
 SPRITZ-BETON E CENTINE
 Spessore spritz [m]30000
 Modulo Young spritz [MPa] 20000.00000
 Coefficiente di Poisson spritz20000
 Sezione centina [m2]01060
 Altezza sezione centina [m2]24000
 Posizione baricentro sezione centina [m]12000
 Momento inerzia baricentrico sezione centina [m4] . .00011260
 Passo centine [m] 1.20000
 Modulo Young ferro centine [MPa] 210000.00000
 Resistenza compressione spritz [MPa] 19.20000
 Resistenza ferro centine [MPa] 190.00000

RIVESTIMENTO DEFINITIVO -----

Distanza dal fronte alla messa in opera [m] 99.36000
 Spessore CLS [m]95000
 Modulo Young CLS [MPa] 31220.00000
 Coefficiente di Poisson CLS20000
 Resistenza compressione CLS [MPa] 9.75000
 Opzione calcolo rivestimento 0
 [0 prerivestimenti non collaboranti a lungo termine]
 [1 prerivestimenti collaboranti a lungo termine]

Gioco radiale posa in opera rivestimento [m]00000

R I S U L T A T O A N A L I S I F R O N T E D I S C A V O

Press. fine calcolo curva galleria [MPa]000000
Spostamento radiale galleria [m]129276
Raggio plastico galleria [m] 11.362078
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa]000000
Spostamento radiale fronte sferico [m]034952
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m]015361
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m]037490
Raggio plastico fronte sferico [m] 6.916054

STATO GALLERIA ALLA MESSA IN OPERA DEL PRERIVESTIMENTO -----

Metodo Panet-Guenot

U [m] : .04498
LAMBDA : .79847

Trasformazione Omotetica

U [m] : .07177
LAMBDA : .90872

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione cavità sferica

U [m] : .04723
LAMBDA : .81207

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns

U [m] : .03102
LAMBDA : .67103

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica

U [m] : .04934
LAMBDA : .82382

STATO GALLERIA ALLA MESSA IN OPERA DEL RIVESTIMENTO -----

Metodo Panet-Guenot

U [m] : .12855
LAMBDA : .99932

Trasformazione Omotetica

U [m] : .12928
LAMBDA : 1.00000

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione cavità sferica

U [m] : .07639
LAMBDA : .99996

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns

U [m] : .06821
LAMBDA : .99993

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica

U [m] : .07749
LAMBDA : .99996

R I S U L T A T O A N A L I S I G A L L E R I A

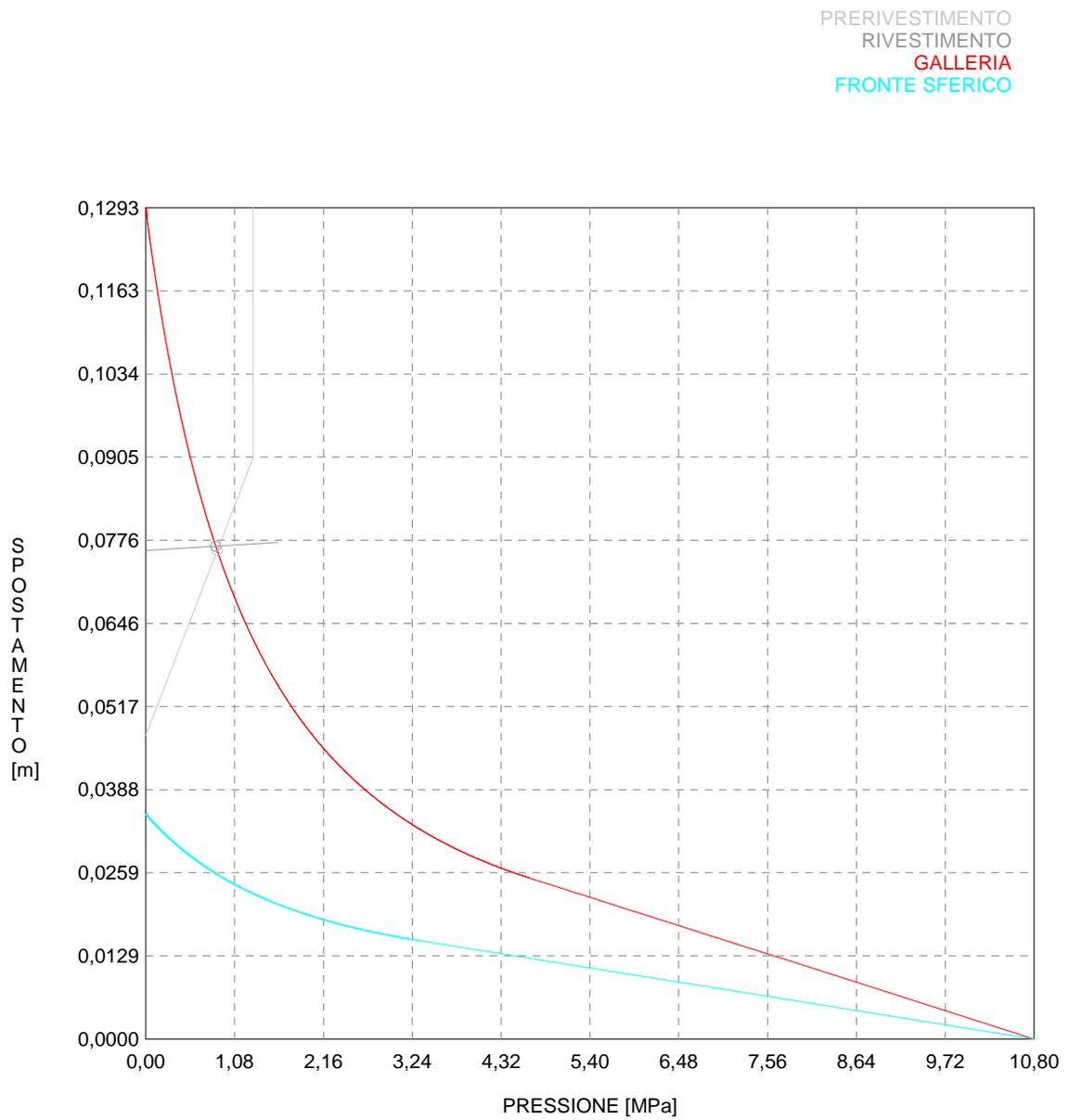
Pressione fine calcolo [MPa]000000
Spost. radiale galleria fine calcolo [m]129276
Raggio plastico galleria fine calcolo [m] 11.362078

PRERIVESTIMENTO -----

Raggio plastico punto di equilibrio [m] 8.95412
Pressione punto di equilibrio [MPa]86871
Spostamento punto di equilibrio [m]07598
Spostamento galleria alla messa in opera [m]04723
Convergenza radiale prerivestimento [m]02875
Tasso di deconfinamento alla messa in opera812071
SPRITZ-BETON E CENTINE (ANELLO CHIUSO)
Tensione spritz [MPa] 12.78127
Tensione centine [MPa] 120.32065
Coefficiente di sicurezza spritz 1.50220
Coefficiente di sicurezza centine 1.57911
Pressione rottura spritz [MPa] 1.30436
Pressione rottura centine [MPa] 1.37115
Rigidezza spritz [MPa] 129.73681
Rigidezza centinatura [MPa] 36.96558

RIVESTIMENTO DEFINITIVO (ANELLO CLS) -----	
Raggio plastico punto di equilibrio [m]	8.99496
Pressione punto di equilibrio [MPa] .....	.85155
Spostamento punto di equilibrio [MPa] .....	.07664
Spostamento galleria alla messa in opera [m] .....	.07598
Convergenza radiale rivestimento [m] .....	.00066
Tensione CLS [MPa]	5.14744
Coefficiente di sicurezza CLS	1.89415
Pressione rottura CLS [MPa]	1.61296
Rigidezza anello CLS [MPa]	6782.53615
Tasso di deconfinamento alla messa in opera .....	.999961

CURVE CARATTERISTICHE ANALISI BASE



```

#####
#####
###
###
### ##### ## ## ##
### ##### ## ## ##
### ##### ## ## ##
##### ## ## ## ##
##### ##### #####
###

```

CALCOLO GALLERIE CON METODO
 CONVERGENZA-CONFINAMENTO
 SOLUTORE TRANSFER-MATRIX

VERSIONE 4 (2003)

aP_GR2b_200m_B2

Fase di terapia

TIPO DI ANALISI: CALCOLO ACCOPPIATO FRONTE-GALLERIA
 VALUTAZIONE DEFORMATA GALLERIA AL FRONTE: 3
 1 -> metodo Panet-Guenot (galleria non sostenuta)
 2 -> metodo trasformazione omotetica (galleria non sostenuta)
 3 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da vuoto sferico)
 4 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da correlazione Ns)
 5 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da trasformazione omotetica)

D A T I A N A L I S I

R galleria [m] 5.52000

PARAMETRI GEOTECNICI -----

Tensione originaria [MPa] 5.40000
 Modulo di Young [MPa] 1250.00000
 Coefficiente di Poisson30000
 Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] . .00000
 Pressione interstiziale falda indisturbata [MPa] .. .00000
 Pressione interstiziale al bordo scavo B.T. [MPa].. .00000
 Raggio influenza idraulica galleria B.T. [m] 5.52000
 Pressione interstiziale al bordo scavo L.T. [MPa].. .00000
 Raggio influenza idraulica galleria L.T. [m] 5.52000

RESISTENZA ROCCIA

Coesione picco [MPa]46500
 Angolo attrito picco [°] 31.00000
 Coesione residua [MPa]39000
 Angolo attrito residuo [MPa] 25.00000
 Angolo dilatanza [°]00000
 Modulo di softening apparente Ha [MPa]00000
 Modulo di softening H [MPa]00000

FRONTE DI SCAVO RINFORZATO

Consolidamento generico del fronte
 Incremento coesione picco [MPa]61300
 Pressione sul fronte di scavo [MPa]00000
 Parametri di resistenza equivalenti del fronte rinforzato
 Coesione picco [MPa] 1.07800
 Coesione residua [MPa]39000

PRERIVESTIMENTO -----

Distanza dal fronte alla messa in opera [m]60000
 Coefficiente riduzione rigidezza11000
 Forma del presinvestimento CIRCOLARE CHIUSO
 SPRITZ-BETON E CENTINE
 Spessore spritz [m]30000
 Modulo Young spritz [MPa] 20000.00000
 Coefficiente di Poisson spritz20000
 Sezione centina [m2]01060
 Altezza sezione centina [m2]24000
 Posizione baricentro sezione centina [m]12000
 Momento inerzia baricentrico sezione centina [m4] . .00011260
 Passo centine [m] 1.20000
 Modulo Young ferro centine [MPa] 210000.00000
 Resistenza compressione spritz [MPa] 19.20000
 Resistenza ferro centine [MPa] 190.00000

RIVESTIMENTO DEFINITIVO -----

Distanza dal fronte alla messa in opera [m] 99.36000
 Spessore CLS [m]95000
 Modulo Young CLS [MPa] 31220.00000
 Coefficiente di Poisson CLS20000
 Resistenza compressione CLS [MPa] 9.75000
 Opzione calcolo rivestimento 0
 [0 prerivestimenti non collaboranti a lungo termine]
 [1 prerivestimenti collaboranti a lungo termine]

Gioco radiale posa in opera rivestimento [m]00000

R I S U L T A T O A N A L I S I F R O N T E D I S C A V O

Press. fine calcolo curva galleria [MPa]000000
Spostamento radiale galleria [m]079103
Raggio plastico galleria [m] 10.492706
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa]000000
Spostamento radiale fronte sferico [m]018461
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m]018613
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m]022940
Raggio plastico fronte sferico [m] 6.223216

STATO GALLERIA ALLA MESSA IN OPERA DEL PRERIVESTIMENTO -----

Metodo Panet-Guenot

U [m] : .02540
LAMBDA : .74241

Trasformazione Omotetica

U [m] : .04550
LAMBDA : .90577

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione cavità sferica

U [m] : .02675
LAMBDA : .76089

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns

U [m] : .02688
LAMBDA : .76257

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica

U [m] : .03044
LAMBDA : .80305

STATO GALLERIA ALLA MESSA IN OPERA DEL RIVESTIMENTO -----

Metodo Panet-Guenot

U [m] : .07870
LAMBDA : .99932

Trasformazione Omotetica

U [m] : .07910
LAMBDA : 1.00000

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione cavità sferica

U [m] : .04474
LAMBDA : .99996

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns

U [m] : .04482
LAMBDA : .99996

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica

U [m] : .04674
LAMBDA : .99996

R I S U L T A T O A N A L I S I G A L L E R I A

Pressione fine calcolo [MPa]000000
Spot. radiale galleria fine calcolo [m]079103
Raggio plastico galleria fine calcolo [m] 10.492706

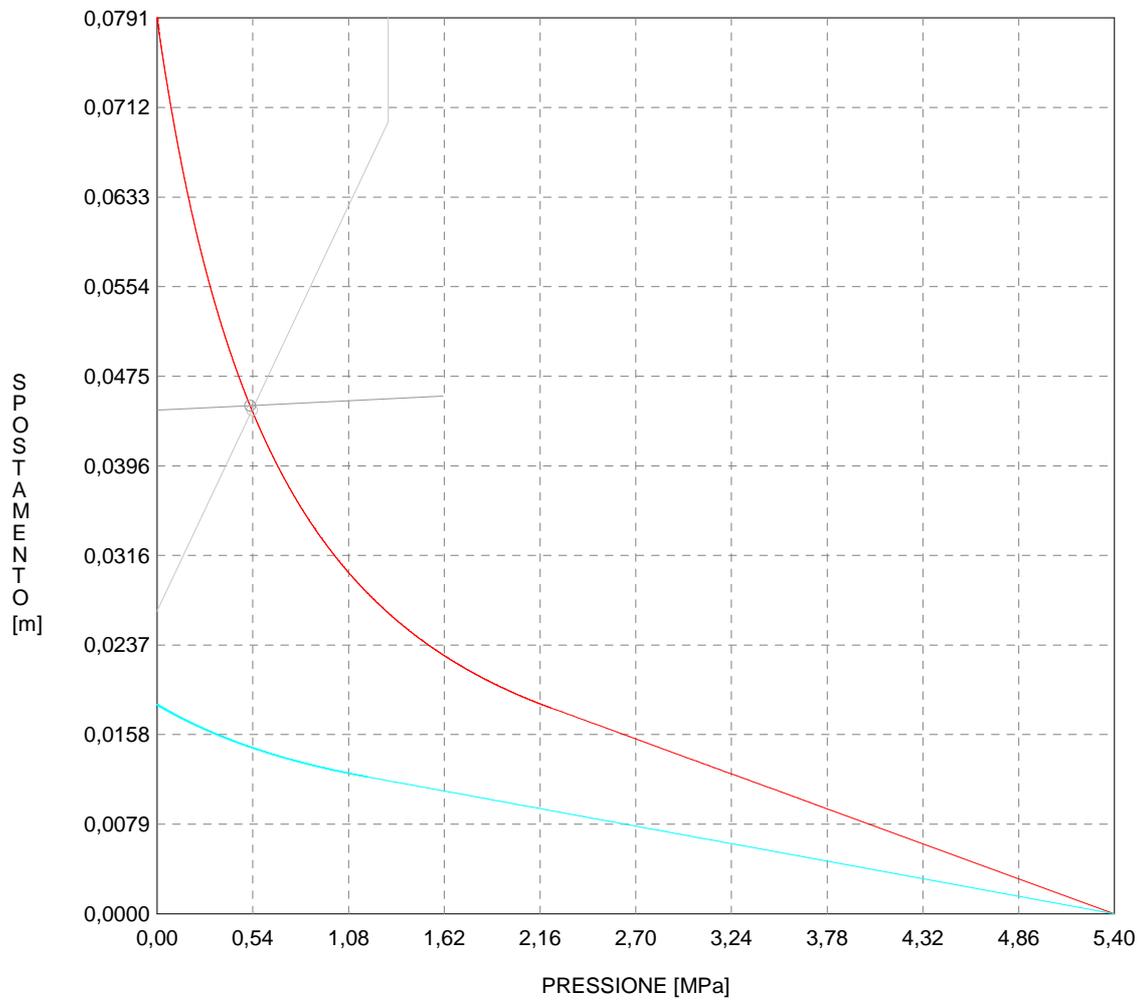
PRERIVESTIMENTO -----

Raggio plastico punto di equilibrio [m] 8.15519
Pressione punto di equilibrio [MPa]53547
Spostamento punto di equilibrio [m]04447
Spostamento galleria alla messa in opera [m]02675
Convergenza radiale prerivestimento [m]01772
Tasso di deconfinamento alla messa in opera760890
SPRITZ-BETON E CENTINE (ANELLO CHIUSO)
Tensione spritz [MPa] 7.87859
Tensione centine [MPa] 74.16770
Coefficiente di sicurezza spritz 2.43698
Coefficiente di sicurezza centine 2.56176
Pressione rottura spritz [MPa] 1.30436
Pressione rottura centine [MPa] 1.37115
Rigidezza spritz [MPa] 129.73681
Rigidezza centinatura [MPa] 36.96558

RIVESTIMENTO DEFINITIVO (ANELLO CLS) -----	
Raggio plastico punto di equilibrio [m]	8.19428
Pressione punto di equilibrio [MPa] .....	.52489
Spostamento punto di equilibrio [MPa] .....	.04487
Spostamento galleria alla messa in opera [m] .....	.04447
Convergenza radiale rivestimento [m] .....	.00040
Tensione CLS [MPa]	3.17284
Coefficiente di sicurezza CLS	3.07296
Pressione rottura CLS [MPa]	1.61296
Rigidezza anello CLS [MPa]	6782.53615
Tasso di deconfinamento alla messa in opera .....	.999956

CURVE CARATTERISTICHE ANALISI BASE

PRERIVESTIMENTO
RIVESTIMENTO
GALLERIA
FRONTE SFERICO



```

#####
#####
###
###
### ##### ## ## ##
### ##### ## ## ##
### ##### ## ## ##
##### ## ## ## ##
##### ##### #####
###

```

CALCOLO GALLERIE CON METODO
CONVERGENZA-CONFINAMENTO
SOLUTORE TRANSFER-MATRIX

VERSIONE 4 (2003)

aP_GR2b_300m_B2

Fase di terapia

TIPO DI ANALISI: CALCOLO ACCOPPIATO FRONTE-GALLERIA
VALUTAZIONE DEFORMATA GALLERIA AL FRONTE: 3
1 -> metodo Panet-Guenot (galleria non sostenuta)
2 -> metodo trasformazione omotetica (galleria non sostenuta)
3 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da vuoto sferico)
4 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da correlazione Ns)
5 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da trasformazione omotetica)

D A T I A N A L I S I

R galleria [m] 5.52000

PARAMETRI GEOTECNICI -----

Tensione originaria [MPa] 8.10000
Modulo di Young [MPa] 1250.00000
Coefficiente di Poisson30000
Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] . .00000
Pressione interstiziale falda indisturbata [MPa] .. .00000
Pressione interstiziale al bordo scavo B.T. [MPa].. .00000
Raggio influenza idraulica galleria B.T. [m] 5.52000
Pressione interstiziale al bordo scavo L.T. [MPa].. .00000
Raggio influenza idraulica galleria L.T. [m] 5.52000

RESISTENZA ROCCIA

Coesione picco [MPa]59000
Angolo attrito picco [°] 29.00000
Coesione residua [MPa]50000
Angolo attrito residuo [MPa] 25.00000
Angolo dilatanza [°]00000
Modulo di softening apparente Ha [MPa]00000
Modulo di softening H [MPa]00000

FRONTE DI SCAVO RINFORZATO

Consolidamento generico del fronte
Incremento coesione picco [MPa]51800
Pressione sul fronte di scavo [MPa]00000
Parametri di resistenza equivalenti del fronte rinforzato
Coesione picco [MPa] 1.10800
Coesione residua [MPa]50000

PRERIVESTIMENTO -----

Distanza dal fronte alla messa in opera [m]60000
Coefficiente riduzione rigidezza11000
Forma del presinvestimento CIRCOLARE CHIUSO
SPRITZ-BETON E CENTINE
Spessore spritz [m]30000
Modulo Young spritz [MPa] 20000.00000
Coefficiente di Poisson spritz20000
Sezione centina [m2]01060
Altezza sezione centina [m2]24000
Posizione baricentro sezione centina [m]12000
Momento inerzia baricentrico sezione centina [m4] . .00011260
Passo centine [m] 1.20000
Modulo Young ferro centine [MPa] 210000.00000
Resistenza compressione spritz [MPa] 19.20000
Resistenza ferro centine [MPa] 190.00000

RIVESTIMENTO DEFINITIVO -----

Distanza dal fronte alla messa in opera [m] 99.36000
Spessore CLS [m]95000
Modulo Young CLS [MPa] 31220.00000
Coefficiente di Poisson CLS20000
Resistenza compressione CLS [MPa] 9.75000
Opzione calcolo rivestimento 0
[0 prerivestimenti non collaboranti a lungo termine]
[1 prerivestimenti collaboranti a lungo termine]

Gioco radiale posa in opera rivestimento [m]00000

R I S U L T A T O A N A L I S I F R O N T E D I S C A V O

Press. fine calcolo curva galleria [MPa]000000
Spostamento radiale galleria [m]155634
Raggio plastico galleria [m] 12.313985
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa]000000
Spostamento radiale fronte sferico [m]035419
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m]022256
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m]045134
Raggio plastico fronte sferico [m] 6.857138

STATO GALLERIA ALLA MESSA IN OPERA DEL PRERIVESTIMENTO -----

Metodo Panet-Guenot

U [m] : .04729
LAMBDA : .78462

Trasformazione Omotetica

U [m] : .08338
LAMBDA : .91111

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione cavità sferica

U [m] : .04805
LAMBDA : .78898

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns

U [m] : .03696
LAMBDA : .70884

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica

U [m] : .05635
LAMBDA : .82973

STATO GALLERIA ALLA MESSA IN OPERA DEL RIVESTIMENTO -----

Metodo Panet-Guenot

U [m] : .15457
LAMBDA : .99924

Trasformazione Omotetica

U [m] : .15563
LAMBDA : 1.00000

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione cavità sferica

U [m] : .07673
LAMBDA : .99996

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns

U [m] : .07034
LAMBDA : .99994

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica

U [m] : .08182
LAMBDA : .99997

R I S U L T A T O A N A L I S I G A L L E R I A

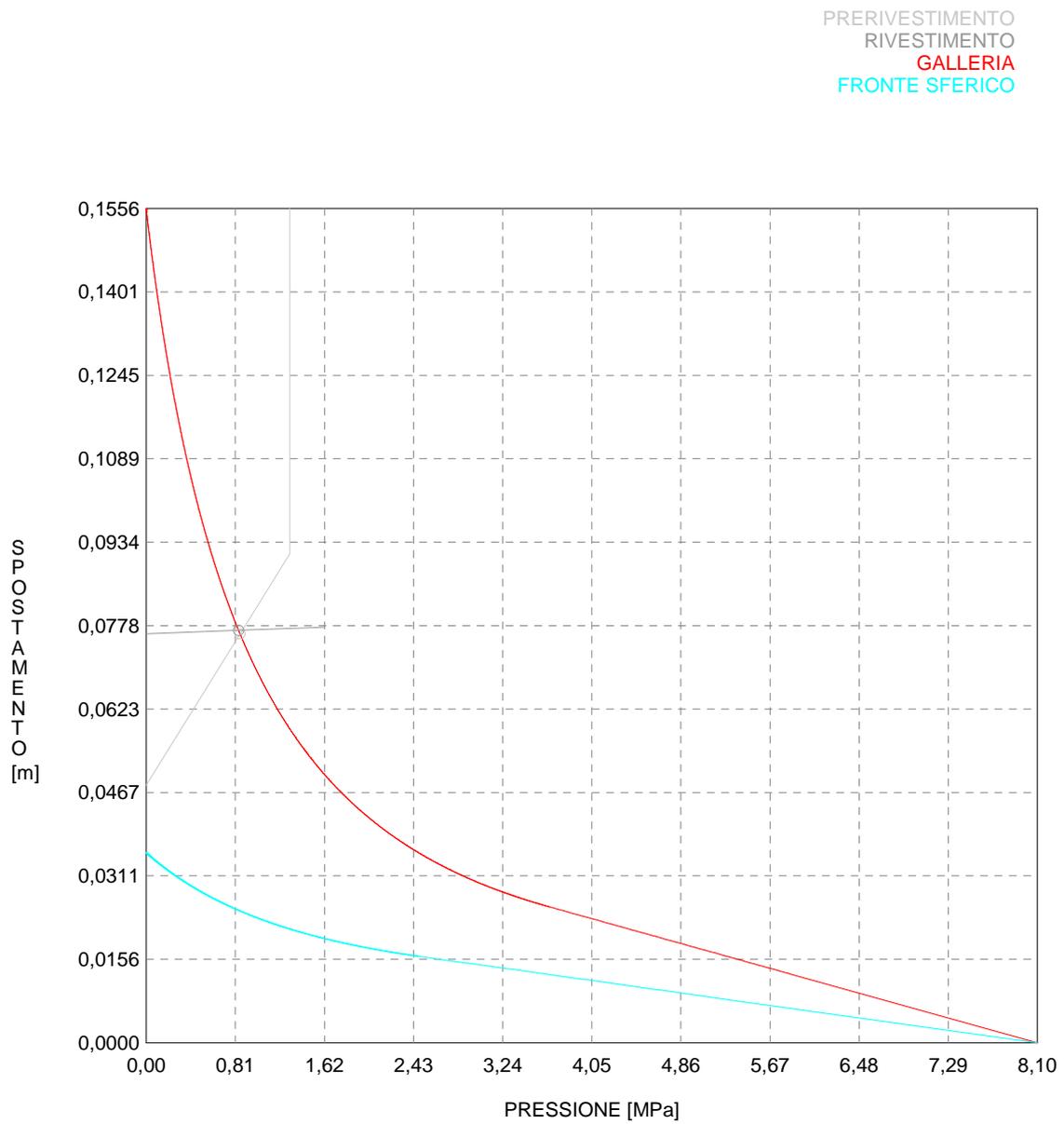
Pressione fine calcolo [MPa]000000
Spot. radiale galleria fine calcolo [m]155634
Raggio plastico galleria fine calcolo [m] 12.313985

PRERIVESTIMENTO -----

Raggio plastico punto di equilibrio [m] 8.93373
Pressione punto di equilibrio [MPa]85307
Spostamento punto di equilibrio [m]07629
Spostamento galleria alla messa in opera [m]04805
Convergenza radiale prerivestimento [m]02824
Tasso di deconfinamento alla messa in opera788985
SPRITZ-BETON E CENTINE (ANELLO CHIUSO)
Tensione spritz [MPa] 12.55224
Tensione centine [MPa] 118.16457
Coefficiente di sicurezza spritz 1.52961
Coefficiente di sicurezza centine 1.60793
Pressione rottura spritz [MPa] 1.30436
Pressione rottura centine [MPa] 1.37115
Rigidezza spritz [MPa] 129.73681
Rigidezza centinatura [MPa] 36.96558

RIVESTIMENTO DEFINITIVO (ANELLO CLS) -----	
Raggio plastico punto di equilibrio [m]	8.95412
Pressione punto di equilibrio [MPa] .....	.84005
Spostamento punto di equilibrio [MPa] .....	.07693
Spostamento galleria alla messa in opera [m] .....	.07629
Convergenza radiale rivestimento [m] .....	.00065
Tensione CLS [MPa]	5.07792
Coefficiente di sicurezza CLS	1.92008
Pressione rottura CLS [MPa]	1.61296
Rigidezza anello CLS [MPa]	6782.53615
Tasso di deconfinamento alla messa in opera .....	.999959

CURVE CARATTERISTICHE ANALISI BASE



```

#####
#####
###
###
### ##### ## ## ##
### ##### ## ## ##
### ##### ## ## ##
##### ## ## ## ##
##### ##### #####
###

```

CALCOLO GALLERIE CON METODO
CONVERGENZA-CONFINAMENTO
SOLUTORE TRANSFER-MATRIX

VERSIONE 4 (2003)

aP_GR2b_400m_B2

Fase di terapia

TIPO DI ANALISI: CALCOLO ACCOPPIATO FRONTE-GALLERIA
VALUTAZIONE DEFORMATA GALLERIA AL FRONTE: 3
1 -> metodo Panet-Guenot (galleria non sostenuta)
2 -> metodo trasformazione omotetica (galleria non sostenuta)
3 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da vuoto sferico)
4 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da correlazione Ns)
5 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da trasformazione omotetica)

D A T I A N A L I S I

R galleria [m] 5.52000

PARAMETRI GEOTECNICI -----

Tensione originaria [MPa] 10.80000
Modulo di Young [MPa] 1250.00000
Coefficiente di Poisson30000
Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] . .00000
Pressione interstiziale falda indisturbata [MPa] .. .00000
Pressione interstiziale al bordo scavo B.T. [MPa].. .00000
Raggio influenza idraulica galleria B.T. [m] 5.52000
Pressione interstiziale al bordo scavo L.T. [MPa].. .00000
Raggio influenza idraulica galleria L.T. [m] 5.52000

RESISTENZA ROCCIA

Coesione picco [MPa]70000
Angolo attrito picco [°] 27.00000
Coesione residua [MPa]60000
Angolo attrito residuo [MPa] 24.00000
Angolo dilatanza [°]00000
Modulo di softening apparente Ha [MPa]00000
Modulo di softening H [MPa]00000

FRONTE DI SCAVO RINFORZATO

Consolidamento generico del fronte
Incremento coesione picco [MPa]50800
Pressione sul fronte di scavo [MPa]00000
Parametri di resistenza equivalenti del fronte rinforzato
Coesione picco [MPa] 1.20800
Coesione residua [MPa]60000

PRERIVESTIMENTO -----

Distanza dal fronte alla messa in opera [m]60000
Coefficiente riduzione rigidezza11000
Forma del presinvestimento CIRCOLARE CHIUSO
SPRITZ-BETON E CENTINE
Spessore spritz [m]30000
Modulo Young spritz [MPa] 20000.00000
Coefficiente di Poisson spritz20000
Sezione centina [m2]01060
Altezza sezione centina [m2]24000
Posizione baricentro sezione centina [m]12000
Momento inerzia baricentrico sezione centina [m4] . .00011260
Passo centine [m] 1.20000
Modulo Young ferro centine [MPa] 210000.00000
Resistenza compressione spritz [MPa] 19.20000
Resistenza ferro centine [MPa] 190.00000

RIVESTIMENTO DEFINITIVO -----

Distanza dal fronte alla messa in opera [m] 99.36000
Spessore CLS [m]95000
Modulo Young CLS [MPa] 31220.00000
Coefficiente di Poisson CLS20000
Resistenza compressione CLS [MPa] 9.75000
Opzione calcolo rivestimento 0
[0 prerivestimenti non collaboranti a lungo termine]
[1 prerivestimenti collaboranti a lungo termine]

Gioco radiale posa in opera rivestimento [m]00000

R I S U L T A T O A N A L I S I F R O N T E D I S C A V O

Press. fine calcolo curva galleria [MPa]000000
Spostamento radiale galleria [m]271891
Raggio plastico galleria [m] 14.349207
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa]000000
Spostamento radiale fronte sferico [m]058198
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m]027053
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m]078849
Raggio plastico fronte sferico [m] 7.401531

STATO GALLERIA ALLA MESSA IN OPERA DEL PRERIVESTIMENTO -----

Metodo Panet-Guenot

U [m] : .07650
LAMBDA : .80479

Trasformazione Omotetica

U [m] : .13607
LAMBDA : .91413

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione cavità sferica

U [m] : .07544
LAMBDA : .80157

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns

U [m] : .04860
LAMBDA : .68269

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica

U [m] : .09350
LAMBDA : .84765

STATO GALLERIA ALLA MESSA IN OPERA DEL RIVESTIMENTO -----

Metodo Panet-Guenot

U [m] : .26939
LAMBDA : .99911

Trasformazione Omotetica

U [m] : .27189
LAMBDA : 1.00000

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione cavità sferica

U [m] : .11643
LAMBDA : .99996

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns

U [m] : .09986
LAMBDA : .99993

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica

U [m] : .12836
LAMBDA : .99997

R I S U L T A T O A N A L I S I G A L L E R I A

Pressione fine calcolo [MPa]000000
Spot. radiale galleria fine calcolo [m]271891
Raggio plastico galleria fine calcolo [m] 14.349207

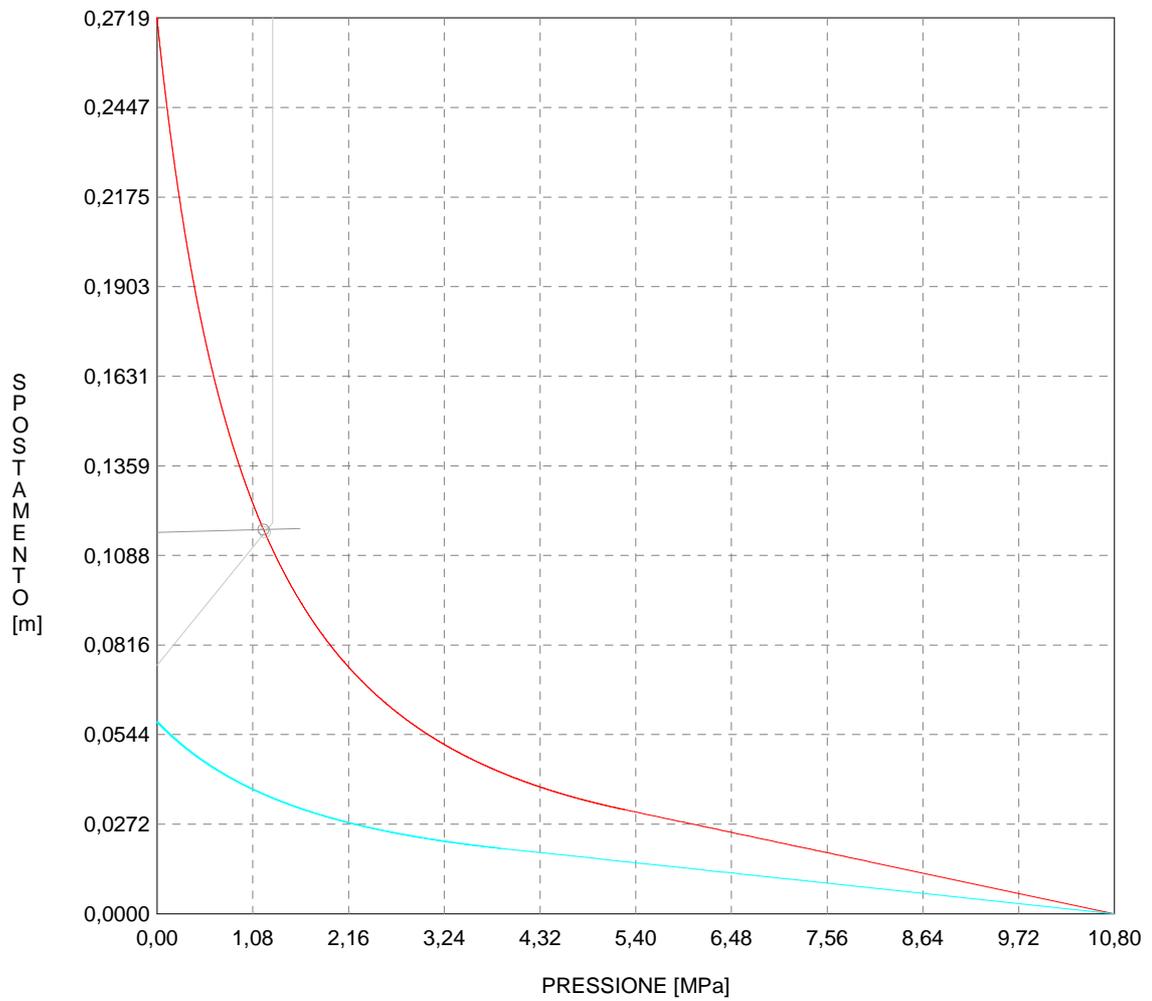
PRERIVESTIMENTO -----

Raggio plastico punto di equilibrio [m] 9.74325
Pressione punto di equilibrio [MPa] 1.21638
Spostamento punto di equilibrio [m]11570
Spostamento galleria alla messa in opera [m]07544
Convergenza radiale prerivestimento [m]04026
Tasso di deconfinamento alla messa in opera801565
SPRITZ-BETON E CENTINE (ANELLO CHIUSO)
Tensione spritz [MPa] 17.89847
Tensione centine [MPa] 168.49311
Coefficiente di sicurezza spritz 1.07272
Coefficiente di sicurezza centine 1.12764
Pressione rottura spritz [MPa] 1.30436
Pressione rottura centine [MPa] 1.37115
Rigidezza spritz [MPa] 129.73681
Rigidezza centinatura [MPa] 36.96558

RIVESTIMENTO DEFINITIVO (ANELLO CLS) -----	
Raggio plastico punto di equilibrio [m]	9.78416
Pressione punto di equilibrio [MPa]	1.20148
Spostamento punto di equilibrio [MPa] .....	.11662
Spostamento galleria alla messa in opera [m] .....	.11570
Convergenza radiale rivestimento [m] .....	.00092
Tensione CLS [MPa]	7.26268
Coefficiente di sicurezza CLS	1.34248
Pressione rottura CLS [MPa]	1.61296
Rigidezza anello CLS [MPa]	6782.53615
Tasso di deconfinamento alla messa in opera .....	.999958

CURVE CARATTERISTICHE ANALISI BASE

PRERIVESTIMENTO
RIVESTIMENTO
GALLERIA
FRONTE SFERICO



Cunicolo B0 - 350m - RIVESTIMENTI DEFINITIVI

INPUT PLAXIS		Intradosso		Estradosso		VERIFICHE SEZIONALI						APERTURA FESSURE						CHECK							
Element	Node	Height	N	V	M	Af	Af'	σ_c [Mpa]	$\sigma_{s,inf}$ [Mpa]	$\sigma_{s,sup}$ [Mpa]	τ [kPa]	M fess	σ_{sr} [Mpa]	Ac eff [cm2]	pas. [cm]	Srm [cm]	ϵ_{sm}	Wk [mm]	T	CLS	As	As'	Fessurazione	%estra	%intra
-	-	m	KN	KN	KN-m	cm2	cm2																		
CALOTTA	163	0,90	-1398,800	56,576	327,701	15,71	15,71	-3,8	11,0	-51,8	77,6	625,3	-	2180,5	20,0	25,9	-	-	OK	OK	OK	OK	-	20,3	4,3
CALOTTA	162	0,90	-1419,600	-145,990	285,527	15,71	15,71	-3,4	3,2	-47,2	-200,3	628,8	-	2180,5	20,0	25,9	-	-	OK	OK	OK	OK	-	18,5	1,3
CALOTTA	161	0,90	-1470,300	-172,770	63,783	15,71	15,71	-2,0	-17,9	-28,7	-237,0	637,3	-	2180,5	20,0	25,9	-	-	OK	OK	OK	OK	-	11,3	7,0
CALOTTA	160	0,90	-1535,300	2,973	-96,244	15,71	15,71	-2,3	-32,5	-16,2	4,1	648,1	-	2180,5	20,0	25,9	-	-	OK	OK	OK	OK	-	6,3	12,7
CALOTTA	159	0,90	-1592,500	12,999	-81,366	15,71	15,71	-2,2	-32,1	-18,3	17,8	657,7	-	2180,5	20,0	25,9	-	-	OK	OK	OK	OK	-	7,2	12,6
CALOTTA	158	0,90	-1635,400	47,021	-28,775	15,71	15,71	-1,9	-28,3	-23,5	64,5	664,8	-	2180,5	20,0	25,9	-	-	OK	OK	OK	OK	-	9,2	11,1
CALOTTA	157	0,90	-1664,000	-7,816	7,268	15,71	15,71	-1,8	-25,7	-27,0	-10,7	669,6	-	2180,5	20,0	25,9	-	-	OK	OK	OK	OK	-	10,6	10,1
CALOTTA	156	0,90	-1799,200	37,141	24,137	15,71	15,71	-2,1	-26,4	-30,5	50,9	692,2	-	2180,5	20,0	25,9	-	-	OK	OK	OK	OK	-	12,0	10,4
CALOTTA	155	0,90	-1805,700	-38,090	23,292	15,71	15,71	-2,1	-26,6	-30,6	-52,2	693,3	-	2180,5	20,0	25,9	-	-	OK	OK	OK	OK	-	12,0	10,4
CALOTTA	154	0,90	-1808,300	34,268	21,066	15,71	15,71	-2,0	-26,9	-30,4	47,0	693,7	-	2180,5	20,0	25,9	-	-	OK	OK	OK	OK	-	11,9	10,5
CALOTTA	153	0,90	-1808,300	-32,500	19,509	15,71	15,71	-2,0	-27,0	-30,3	-44,6	693,7	-	2180,5	20,0	25,9	-	-	OK	OK	OK	OK	-	11,9	10,6
CALOTTA	152	0,90	-1804,400	-18,499	-11,420	15,71	15,71	-2,0	-29,5	-27,6	-25,4	693,1	-	2180,5	20,0	25,9	-	-	OK	OK	OK	OK	-	10,8	11,6
CALOTTA	151	0,90	-1805,700	86,489	23,106	15,71	15,71	-2,1	-26,6	-30,6	118,6	693,3	-	2180,5	20,0	25,9	-	-	OK	OK	OK	OK	-	12,0	10,4
CALOTTA	150	0,90	-1797,900	-56,836	26,947	15,71	15,71	-2,1	-26,2	-30,8	-78,0	692,0	-	2180,5	20,0	25,9	-	-	OK	OK	OK	OK	-	12,1	10,3
CALOTTA	149	0,90	-1788,800	4,645	-9,803	15,71	15,71	-2,0	-29,2	-27,5	6,4	690,5	-	2180,5	20,0	25,9	-	-	OK	OK	OK	OK	-	10,8	11,4
CALOTTA	148	0,90	-1801,800	114,439	49,450	15,71	15,71	-2,2	-24,3	-32,7	157,0	692,6	-	2180,5	20,0	25,9	-	-	OK	OK	OK	OK	-	12,8	9,5
CALOTTA	147	0,90	-1803,100	-137,670	38,084	15,71	15,71	-2,2	-25,3	-31,8	-188,8	692,8	-	2180,5	20,0	25,9	-	-	OK	OK	OK	OK	-	12,5	9,9
CALOTTA	146	0,90	-1787,500	22,880	-12,321	15,71	15,71	-2,0	-29,4	-27,3	31,4	690,2	-	2180,5	20,0	25,9	-	-	OK	OK	OK	OK	-	10,7	11,5
CALOTTA	145	0,90	-1783,600	18,655	16,094	15,71	15,71	-2,0	-26,9	-29,6	25,6	689,6	-	2180,5	20,0	25,9	-	-	OK	OK	OK	OK	-	11,6	10,5
CALOTTA	144	0,90	-1769,300	-33,696	6,757	15,71	15,71	-1,9	-27,4	-28,6	-46,2	687,2	-	2180,5	20,0	25,9	-	-	OK	OK	OK	OK	-	11,2	10,8
CALOTTA	143	0,90	-1752,400	37,674	9,866	15,71	15,71	-1,9	-26,9	-28,6	51,7	684,4	-	2180,5	20,0	25,9	-	-	OK	OK	OK	OK	-	11,2	10,6
CALOTTA	142	0,90	-1727,700	-26,728	16,835	15,71	15,71	-1,9	-25,9	-28,8	-36,7	680,3	-	2180,5	20,0	25,9	-	-	OK	OK	OK	OK	-	11,3	10,2
CALOTTA	141	0,90	-1697,800	31,785	17,326	15,71	15,71	-1,9	-25,4	-28,4	43,6	675,3	-	2180,5	20,0	25,9	-	-	OK	OK	OK	OK	-	11,1	10,0
CALOTTA	140	0,90	-1654,900	-136,630	-41,961	15,71	15,71	-2,0	-29,8	-22,7	-187,4	668,1	-	2180,5	20,0	25,9	-	-	OK	OK	OK	OK	-	8,9	11,7
CALOTTA	139	0,90	-1600,300	30,433	-91,579	15,71	15,71	-2,3	-33,1	-17,6	41,7	659,0	-	2180,5	20,0	25,9	-	-	OK	OK	OK	OK	-	6,9	13,0
CALOTTA	138	0,90	-1530,100	-10,988	-74,433	15,71	15,71	-2,1	-30,5	-17,9	-15,1	647,3	-	2180,5	20,0	25,9	-	-	OK	OK	OK	OK	-	7,0	12,0
CALOTTA	137	0,90	-1454,700	143,780	45,838	15,71	15,71	-1,8	-19,2	-26,9	197,2	634,7	-	2180,5	20,0	25,9	-	-	OK	OK	OK	OK	-	10,6	7,5
CALOTTA	136	0,90	-1393,600	13,702	181,455	15,71	15,71	-2,7	-6,7	-37,4	18,8	624,5	-	2180,5	20,0	25,9	-	-	OK	OK	OK	OK	-	14,7	2,6
CALOTTA	135	0,90	-1374,100	223,340	262,405	15,71	15,71	-3,2	1,3	-44,3	306,4	621,2	-	2180,5	20,0	25,9	-	-	OK	OK	OK	OK	-	17,4	0,5
AR	180	1,00	-1042,000	279,300	-73,536	15,71	15,71	-1,4	-20,1	-9,8	344,8	672,3	-	2180,5	20,0	25,9	-	-	OK	OK	OK	OK	-	3,8	7,9
AR	179	1,00	-995,500	25,860	5,635	15,71	15,71	-1,0	-13,9	-14,7	31,9	663,8	-	2180,5	20,0	25,9	-	-	OK	OK	OK	OK	-	5,7	5,4
AR	178	1,00	-1118,000	68,540	30,650	15,71	15,71	-1,2	-13,9	-18,2	84,6	686,3	-	2180,5	20,0	25,9	-	-	OK	OK	OK	OK	-	7,1	5,4
AR	177	1,00	-1137,000	19,290	54,110	15,71	15,71	-1,4	-12,5	-20,1	23,8	689,8	-	2180,5	20,0	25,9	-	-	OK	OK	OK	OK	-	7,9	4,9
AR	176	1,00	-1238,000	19,970	64,530	15,71	15,71	-1,5	-13,2	-22,3	24,7	708,4	-	2180,5	20,0	25,9	-	-	OK	OK	OK	OK	-	8,7	5,2
AR	175	1,00	-1302,000	9,725	72,360	15,71	15,71	-1,6	-13,6	-23,7	12,0	720,2	-	2180,5	20,0	25,9	-	-	OK	OK	OK	OK	-	9,3	5,3
AR	174	1,00	-1349,000	-6,859	71,760	15,71	15,71	-1,7	-14,3	-24,4	-8,5	728,9	-	2180,5	20,0	25,9	-	-	OK	OK	OK	OK	-	9,6	5,6
AR	173	1,00	-1406,000	-3,694	66,815	15,71	15,71	-1,7	-15,4	-24,8	-4,6	739,4	-	2180,5	20,0	25,9	-	-	OK	OK	OK	OK	-	9,7	6,1
AR	172	1,00	-1403,000	-9,420	60,455	15,71	15,71	-1,7	-15,8	-24,3	-11,6	738,8	-	2180,5	20,0	25,9	-	-	OK	OK	OK	OK	-	9,5	6,2
AR	171	1,00	-1366,000	-8,286	51,940	15,71	15,71	-1,6	-15,9	-23,2	-10,2	732,0	-	2180,5	20,0	25,9	-	-	OK	OK	OK	OK	-	9,1	6,2
AR	170	1,00	-1313,000	-1,557	47,590	15,71	15,71	-1,5	-15,5	-22,2	-1,9	722,3	-	2180,5	20,0	25,9	-	-	OK	OK	OK	OK	-	8,7	6,1
AR	169	1,00	-1180,000	10,800	50,075	15,71	15,71	-1,4	-13,4	-20,4	13,3	697,8	-	2180,5	20,0	25,9	-	-	OK	OK	OK	OK	-	8,0	5,2
AR	168	1,00	-1100,000	-37,050	36,910	15,71	15,71	-1,3	-13,2	-18,4	-45,7	683,0	-	2180,5	20,0	25,9	-	-	OK	OK	OK	OK	-	7,2	5,2
AR	167	1,00	-1008,000	36,930	25,290	15,71	15,71	-1,1	-12,7	-16,2	45,6	666,1	-	2180,5	20,0	25,9	-	-	OK	OK	OK	OK	-	6,4	5,0
AR	166	1,00	-1022,000	-47,880	16,615	15,71	15,71	-1,1	-13,5	-15,8	-59,1	668,6	-	2180,5	20,0	25,9	-	-	OK	OK	OK	OK	-	6,2	5,3
AR	165	1,00	-950,600	25,540	10,514	15,71	15,71	-1,0	-12,9	-14,4	31,5	655,5	-	2180,5	20,0	25,9	-	-	OK	OK	OK	OK	-	5,6	5,1
AR	164	1,00	-1009,000	-375,000	-70,590	15,71	15,71	-1,3	-19,4	-9,5	-463,0	666,2	-	2180,5	20,0	25,9	-	-	OK	OK	OK	OK	-	3,7	7,6

B2 - CUNICOLO AS - CENTINE 1 HE 240 B - MATURAZIONE SPRITZ-BETON 0.5 GIORNI

INPUT PROGRAM							Intradosso	Estradosso	VERIFICHE SEZIONALI				CHECK					
Element	Prop	Type	Height	N	V	M	Af	Af	σ_c [Mpa]	$\sigma_{s,inf}$ [Mpa]	$\sigma_{s,sup}$ [Mpa]	τ [MPa]	T	CLS	As	As'	%estra	%intra
-	-	-	m	KN	KN	KN-m	cm2	cm2										
302	1003	beam	0.3	-639.430	-8.942	-5.032	34.00	34.00	-1.1	-56.8	-47.9	-4.3	OK	OK	OK	OK	25.2	29.9
301	1003	beam	0.3	-682.550	-2.462	-6.426	34.00	34.00	-1.1472	-61.6	-50.2	-1.2	OK	OK	OK	OK	26.4	32.4
300	1003	beam	0.3	-741.180	0.141	6.426	34.00	34.00	-1.2338	-55.0	-66.4	0.1	OK	OK	OK	OK	35.0	28.9
299	1003	beam	0.3	-771.100	1.391	6.346	34.00	34.00	-1.2763	-57.5	-68.8	0.7	OK	OK	OK	OK	36.2	30.3
298	1003	beam	0.3	-794.420	1.773	5.548	34.00	34.00	-1.2935	-60.1	-70.0	0.9	OK	OK	OK	OK	36.8	31.6
297	1003	beam	0.3	-826.100	1.404	4.528	34.00	34.00	-1.3182	-63.6	-71.7	0.7	OK	OK	OK	OK	37.7	33.5
296	1003	beam	0.3	-868.890	-0.244	-4.014	34.00	34.00	-1.3703	-74.7	-67.6	-0.1	OK	OK	OK	OK	35.6	39.3
295	1003	beam	0.3	-904.530	-0.620	-4.773	34.00	34.00	-1.4394	-78.3	-69.8	-0.3	OK	OK	OK	OK	36.7	41.2
294	1003	beam	0.3	-938.630	-0.793	-5.744	34.00	34.00	-1.5108	-82.0	-71.7	-0.4	OK	OK	OK	OK	37.8	43.1
293	1003	beam	0.3	-965.470	-0.954	-6.912	34.00	34.00	-1.5757	-85.2	-72.9	-0.5	OK	OK	OK	OK	38.4	44.9
292	1003	beam	0.3	-987.800	-0.695	-7.757	34.00	34.00	-1.6270	-87.8	-74.0	-0.3	OK	OK	OK	OK	38.9	46.2
291	1003	beam	0.3	-1009.360	0.028	7.757	34.00	34.00	-1.6588	-75.7	-89.6	0.0	OK	OK	OK	OK	47.1	39.9
290	1003	beam	0.3	-1031.690	1.208	7.724	34.00	34.00	-1.6911	-77.6	-91.4	0.6	OK	OK	OK	OK	48.1	40.8
289	1003	beam	0.3	-1052.370	3.620	6.279	34.00	34.00	-1.6904	-80.6	-91.8	1.7	OK	OK	OK	OK	48.3	42.4
288	1003	beam	0.3	-1074.480	-10.429	-12.377	34.00	34.00	-1.8549	-99.0	-77.0	-5.0	OK	OK	OK	OK	40.5	52.1
287	1003	beam	0.3	-1040.600	14.658	12.377	34.00	34.00	-1.8049	-74.2	-96.2	7.0	OK	OK	OK	OK	50.7	39.0
286	1003	beam	0.3	-1075.250	1.567	3.140	34.00	34.00	-1.6563	-85.3	-90.8	0.8	OK	OK	OK	OK	47.8	44.9
285	1003	beam	0.3	-1062.710	0.917	4.224	34.00	34.00	-1.6612	-83.3	-90.8	0.4	OK	OK	OK	OK	47.8	43.8
284	1003	beam	0.3	-1040.930	1.347	5.719	34.00	34.00	-1.6614	-80.1	-90.3	0.6	OK	OK	OK	OK	47.5	42.2
283	1003	beam	0.3	-1022.230	4.435	10.310	34.00	34.00	-1.7330	-74.5	-92.9	2.1	OK	OK	OK	OK	48.9	39.2
282	1003	beam	0.3	-1043.900	-7.455	-10.310	34.00	34.00	-1.7650	-94.7	-76.3	-3.6	OK	OK	OK	OK	40.2	49.8
281	1003	beam	0.3	-1044.560	1.183	1.868	34.00	34.00	-1.5834	-83.9	-87.2	0.6	OK	OK	OK	OK	45.9	44.1
280	1003	beam	0.3	-1054.680	-0.602	-1.866	34.00	34.00	-1.5983	-88.0	-84.7	-0.3	OK	OK	OK	OK	44.6	46.3
279	1003	beam	0.3	-1029.160	2.654	5.333	34.00	34.00	-1.6356	-79.5	-89.0	1.3	OK	OK	OK	OK	46.9	41.9
278	1003	beam	0.3	-1082.400	-1.660	-5.333	34.00	34.00	-1.7143	-93.4	-83.9	-0.8	OK	OK	OK	OK	44.1	49.2
277	1003	beam	0.3	-1054.240	8.711	8.953	34.00	34.00	-1.7510	-78.4	-94.3	4.2	OK	OK	OK	OK	49.6	41.2
276	1003	beam	0.3	-1046.540	-8.639	-8.953	34.00	34.00	-1.7396	-93.7	-77.7	-4.2	OK	OK	OK	OK	40.9	49.3
275	1003	beam	0.3	-1070.300	6.905	6.287	34.00	34.00	-1.7170	-82.0	-93.2	3.3	OK	OK	OK	OK	49.1	43.2
274	1003	beam	0.3	-1088.890	-4.158	-6.287	34.00	34.00	-1.7445	-94.8	-83.6	-2.0	OK	OK	OK	OK	44.0	49.9
273	1003	beam	0.3	-1066.010	-1.511	-2.362	34.00	34.00	-1.6258	-89.4	-85.2	-0.7	OK	OK	OK	OK	44.8	47.1
272	1003	beam	0.3	-1096.260	-0.002	-2.367	34.00	34.00	-1.6706	-91.9	-87.7	0.0	OK	OK	OK	OK	46.1	48.4
271	1003	beam	0.3	-1095.930	1.083	2.367	34.00	34.00	-1.6701	-87.6	-91.9	0.5	OK	OK	OK	OK	48.3	46.1
270	1003	beam	0.3	-1112.100	0.718	1.812	34.00	34.00	-1.6820	-89.5	-92.7	0.3	OK	OK	OK	OK	48.8	47.1
269	1003	beam	0.3	-1069.750	-3.160	-3.059	34.00	34.00	-1.6464	-90.3	-84.9	-1.5	OK	OK	OK	OK	44.7	47.5
268	1003	beam	0.3	-1073.490	4.360	3.945	34.00	34.00	-1.6711	-84.4	-91.4	2.1	OK	OK	OK	OK	48.1	44.4
267	1003	beam	0.3	-1069.530	-1.572	-3.945	34.00	34.00	-1.6652	-91.1	-84.1	-0.8	OK	OK	OK	OK	44.2	47.9
266	1003	beam	0.3	-1148.400	1.034	3.034	34.00	34.00	-1.7620	-91.3	-96.7	0.5	OK	OK	OK	OK	50.9	48.1
265	1003	beam	0.3	-1097.580	-2.246	-3.034	34.00	34.00	-1.6870	-92.6	-87.2	-1.1	OK	OK	OK	OK	45.9	48.7
264	1003	beam	0.3	-1099.560	-1.925	-2.050	34.00	34.00	-1.6686	-91.9	-88.2	-0.9	OK	OK	OK	OK	46.4	48.4

B2 - CUNICOLO AS - CENTINE 1 HE 240 B - MATURAZIONE SPRITZ-BETON 0.5 GIORNI

INPUT PLAXIS							Intradosso	Estradosso	VERIFICHE SEZIONALI				CHECK					
Element	Prop	Type	Height	N	V	M	Af	Af	σ_c [Mpa]	$\sigma_{s,inf}$ [Mpa]	$\sigma_{s,sup}$ [Mpa]	τ [MPa]	T	CLS	As	As'	%estra	%intra
302	1003	beam	0.3	-1138.200	-11.682	-5.376	34.00	34.00	-3.1	-44.3	-39.2	-5.6	OK	OK	OK	OK	20.6	23.3
301	1003	beam	0.3	-1241.100	-3.616	-7.051	34.00	34.00	-3.4	-48.8	-42.2	-1.7	OK	OK	OK	OK	22.2	25.7
300	1003	beam	0.3	-1337.700	-0.185	-7.138	34.00	34.00	-3.7	-52.4	-45.7	-0.1	OK	OK	OK	OK	24.1	27.6
299	1003	beam	0.3	-1397.550	1.214	7.138	34.00	34.00	-3.8	-47.9	-54.6	0.6	OK	OK	OK	OK	28.7	25.2
298	1003	beam	0.3	-1447.950	1.189	6.569	34.00	34.00	-3.9	-50.0	-56.2	0.6	OK	OK	OK	OK	29.6	26.3
297	1003	beam	0.3	-1512.000	-0.416	-6.205	34.00	34.00	-4.0	-58.4	-52.5	-0.2	OK	OK	OK	OK	27.7	30.7
296	1003	beam	0.3	-1573.950	-2.977	-9.172	34.00	34.00	-4.3	-62.0	-53.4	-1.4	OK	OK	OK	OK	28.1	32.6
295	1003	beam	0.3	-1634.850	-3.640	-12.816	34.00	34.00	-4.6	-66.0	-54.0	-1.7	OK	OK	OK	OK	28.4	34.7
294	1003	beam	0.3	-1684.200	-3.513	-16.332	34.00	34.00	-4.9	-69.4	-54.1	-1.7	OK	OK	OK	OK	28.5	36.5
293	1003	beam	0.3	-1727.250	-2.922	-19.260	34.00	34.00	-5.1	-72.4	-54.3	-1.4	OK	OK	OK	OK	28.6	38.1
292	1003	beam	0.3	-1759.800	-1.448	-20.700	34.00	34.00	-5.3	-74.2	-54.8	-0.7	OK	OK	OK	OK	28.9	39.1
291	1003	beam	0.3	-1790.250	0.789	-20.700	34.00	34.00	-5.4	-56.0	-75.4	0.4	OK	OK	OK	OK	39.7	29.5
290	1003	beam	0.3	-1820.700	3.864	19.920	34.00	34.00	-5.4	-57.4	-76.1	1.9	OK	OK	OK	OK	40.1	30.2
289	1003	beam	0.3	-1849.050	8.919	16.140	34.00	34.00	-5.3	-60.3	-75.4	4.3	OK	OK	OK	OK	39.7	31.7
288	1003	beam	0.3	-1881.600	-15.365	-20.040	34.00	34.00	-5.6	-78.4	-59.6	-7.4	OK	OK	OK	OK	31.4	41.3
287	1003	beam	0.3	-1838.550	31.737	20.040	34.00	34.00	-5.5	-58.0	-76.8	15.3	OK	OK	OK	OK	40.4	30.5
286	1003	beam	0.3	-1894.200	7.731	11.891	34.00	34.00	-5.3	-63.9	-75.0	3.7	OK	OK	OK	OK	39.5	33.6
285	1003	beam	0.3	-1880.550	4.514	16.260	34.00	34.00	-5.4	-61.4	-76.6	2.2	OK	OK	OK	OK	40.3	32.3
284	1003	beam	0.3	-1844.850	2.305	18.348	34.00	34.00	-5.4	-59.1	-76.3	1.1	OK	OK	OK	OK	40.1	31.1
283	1003	beam	0.3	-1806.000	5.029	22.608	34.00	34.00	-5.5	-55.6	-76.8	2.4	OK	OK	OK	OK	40.4	29.3
282	1003	beam	0.3	-1824.900	-17.301	-22.608	34.00	34.00	-5.5	-77.5	-56.3	-8.3	OK	OK	OK	OK	29.7	40.8
281	1003	beam	0.3	-1811.250	-0.814	-3.557	34.00	34.00	-4.7	-68.1	-64.8	-0.4	OK	OK	OK	OK	34.1	35.8
280	1003	beam	0.3	-1816.500	-0.952	-2.662	34.00	34.00	-4.7	-67.9	-65.4	-0.5	OK	OK	OK	OK	34.4	35.7
279	1003	beam	0.3	-1769.250	5.676	8.978	34.00	34.00	-4.8	-60.7	-69.1	2.7	OK	OK	OK	OK	36.4	31.9
278	1003	beam	0.3	-1810.200	-1.825	-8.978	34.00	34.00	-4.9	-70.6	-62.2	-0.9	OK	OK	OK	OK	32.7	37.2
277	1003	beam	0.3	-1761.900	15.510	15.660	34.00	34.00	-5.1	-57.3	-72.0	7.5	OK	OK	OK	OK	37.9	30.1
276	1003	beam	0.3	-1772.400	-15.646	-15.660	34.00	34.00	-5.1	-72.3	-57.7	-7.5	OK	OK	OK	OK	30.4	38.1
275	1003	beam	0.3	-1786.050	9.266	7.640	34.00	34.00	-4.8	-61.9	-69.1	4.5	OK	OK	OK	OK	36.4	32.6
274	1003	beam	0.3	-1829.100	-6.706	-7.640	34.00	34.00	-4.9	-70.7	-63.5	-3.2	OK	OK	OK	OK	33.4	37.2
273	1003	beam	0.3	-1803.900	1.220	0.790	34.00	34.00	-4.5	-65.8	-66.5	0.6	OK	OK	OK	OK	35.0	34.6
272	1003	beam	0.3	-1844.850	-2.010	-3.799	34.00	34.00	-4.8	-69.4	-65.9	-1.0	OK	OK	OK	OK	34.7	36.5
271	1003	beam	0.3	-1850.100	2.087	3.798	34.00	34.00	-4.8	-66.1	-69.6	1.0	OK	OK	OK	OK	36.6	34.8
270	1003	beam	0.3	-1864.800	3.038	4.877	34.00	34.00	-4.9	-66.1	-70.7	1.5	OK	OK	OK	OK	37.2	34.8
269	1003	beam	0.3	-1816.500	-7.264	-4.877	34.00	34.00	-4.8	-68.9	-64.3	-3.5	OK	OK	OK	OK	33.9	36.3
268	1003	beam	0.3	-1835.400	7.823	5.993	34.00	34.00	-4.8	-64.5	-70.1	3.8	OK	OK	OK	OK	36.9	34.0
267	1003	beam	0.3	-1828.050	-4.563	-5.993	34.00	34.00	-4.8	-69.8	-64.2	-2.2	OK	OK	OK	OK	33.8	36.8
266	1003	beam	0.3	-1933.050	6.433	8.210	34.00	34.00	-5.2	-67.0	-74.7	3.1	OK	OK	OK	OK	39.3	35.3
265	1003	beam	0.3	-1855.350	-5.254	-8.210	34.00	34.00	-5.0	-71.9	-64.2	-2.5	OK	OK	OK	OK	33.8	37.8
264	1003	beam	0.3	-1876.350	-2.144	-1.499	34.00	34.00	-4.8	-69.5	-68.1	-1.0	OK	OK	OK	OK	35.8	36.6

B2 - CUNICOLO AS - CENTINE 1 HE 240 B - MATURAZIONE SPRITZ-BETON 0.5 GIORNI

INPUT PLAXIS							Intradosso	Estradosso	VERIFICHE SEZIONALI				CHECK					
Element	Prop	Type	Height	N	V	M	Af	A'f	σ_c [Mpa]	$\sigma_{s,inf}$ [Mpa]	$\sigma_{s,sup}$ [Mpa]	τ [MPa]	T	CLS	As	As'	%estra	%intra
-	-	-	m	KN	KN	KN-m	cm2	cm2										
302	1003	beam	0.3	-2733.150	-146.872	-133.860	34.00	34.00	-13.8	-127.2	-27.3	-70.6	OK	OK	OK	OK	14.4	67.0
301	1003	beam	0.3	-2916.900	-83.820	-69.046	34.00	34.00	-11.2	-108.2	-56.7	-40.3	OK	OK	OK	OK	29.8	57.0
300	1003	beam	0.3	-3068.100	-47.520	-31.832	34.00	34.00	-9.8	-98.6	-74.9	-22.8	OK	OK	OK	OK	39.4	51.9
299	1003	beam	0.3	-3168.900	-26.325	-10.605	34.00	34.00	-9.0	-93.5	-85.6	-12.7	OK	OK	OK	OK	45.1	49.2
298	1003	beam	0.3	-3262.350	-15.673	-8.290	34.00	34.00	-9.2	-95.3	-89.1	-7.5	OK	OK	OK	OK	46.9	50.2
297	1003	beam	0.3	-3352.650	-12.984	-14.180	34.00	34.00	-9.7	-100.1	-89.5	-6.2	OK	OK	OK	OK	47.1	52.7
296	1003	beam	0.3	-3410.400	-13.050	-26.646	34.00	34.00	-10.5	-106.4	-86.5	-6.3	OK	OK	OK	OK	45.5	56.0
295	1003	beam	0.3	-3504.900	-11.480	-37.651	34.00	34.00	-11.2	-113.1	-85.0	-5.5	OK	OK	OK	OK	44.8	59.5
294	1003	beam	0.3	-3592.050	-9.794	-47.058	34.00	34.00	-11.9	-119.1	-84.0	-4.7	OK	OK	OK	OK	44.2	62.7
293	1003	beam	0.3	-3682.350	-7.462	-54.211	34.00	34.00	-12.5	-124.3	-83.9	-3.6	OK	OK	OK	OK	44.1	65.4
292	1003	beam	0.3	-3743.250	-4.102	-58.133	34.00	34.00	-12.9	-127.5	-84.1	-2.0	OK	OK	OK	OK	44.3	67.1
291	1003	beam	0.3	-3772.650	0.426	-58.133	34.00	34.00	-12.9	-85.0	-128.3	0.2	OK	OK	OK	OK	67.6	44.7
290	1003	beam	0.3	-3795.750	7.036	57.730	34.00	34.00	-13.0	-85.8	-128.9	3.4	OK	OK	OK	OK	67.8	45.1
289	1003	beam	0.3	-3813.600	17.701	51.129	34.00	34.00	-12.7	-88.7	-126.9	8.5	OK	OK	OK	OK	66.8	46.7
288	1003	beam	0.3	-3852.450	-26.039	-55.062	34.00	34.00	-13.0	-129.5	-88.4	-12.5	OK	OK	OK	OK	46.5	68.1
287	1003	beam	0.3	-3783.150	80.036	55.062	34.00	34.00	-12.8	-86.4	-127.5	38.5	OK	OK	OK	OK	67.1	45.5
286	1003	beam	0.3	-3872.400	26.277	28.750	34.00	34.00	-11.8	-98.8	-120.2	12.6	OK	OK	OK	OK	63.3	52.0
285	1003	beam	0.3	-3830.400	15.325	42.953	34.00	34.00	-12.4	-92.3	-124.3	7.4	OK	OK	OK	OK	65.4	48.6
284	1003	beam	0.3	-3753.750	6.829	48.887	34.00	34.00	-12.4	-87.9	-124.4	3.3	OK	OK	OK	OK	65.5	46.3
283	1003	beam	0.3	-3666.600	6.758	54.372	34.00	34.00	-12.5	-83.4	-123.9	3.2	OK	OK	OK	OK	65.2	43.9
282	1003	beam	0.3	-3640.350	-34.716	-54.372	34.00	34.00	-12.4	-123.2	-82.6	-16.7	OK	OK	OK	OK	43.5	64.8
281	1003	beam	0.3	-3577.350	-5.245	-17.745	34.00	34.00	-10.5	-107.8	-94.5	-2.5	OK	OK	OK	OK	49.7	56.7
280	1003	beam	0.3	-3557.400	-3.232	-12.213	34.00	34.00	-10.2	-105.1	-96.0	-1.6	OK	OK	OK	OK	50.5	55.3
279	1003	beam	0.3	-3435.600	10.987	22.920	34.00	34.00	-10.3	-88.6	-105.7	5.3	OK	OK	OK	OK	55.6	46.6
278	1003	beam	0.3	-3455.550	-7.339	-22.920	34.00	34.00	-10.4	-106.2	-89.1	-3.5	OK	OK	OK	OK	46.9	55.9
277	1003	beam	0.3	-3362.100	29.137	30.303	34.00	34.00	-10.5	-83.7	-106.4	14.0	OK	OK	OK	OK	56.0	44.1
276	1003	beam	0.3	-3434.550	-26.013	-30.303	34.00	34.00	-10.7	-108.4	-85.8	-12.5	OK	OK	OK	OK	45.2	57.1
275	1003	beam	0.3	-3400.950	11.414	12.719	34.00	34.00	-9.8	-91.4	-100.9	5.5	OK	OK	OK	OK	53.1	48.1
274	1003	beam	0.3	-3466.050	-13.314	-12.719	34.00	34.00	-9.9	-102.7	-93.2	-6.4	OK	OK	OK	OK	49.1	54.1
273	1003	beam	0.3	-3429.300	1.010	3.212	34.00	34.00	-9.4	-95.8	-98.2	0.5	OK	OK	OK	OK	51.7	50.4
272	1003	beam	0.3	-3486.000	-4.453	-11.742	34.00	34.00	-9.9	-102.9	-94.2	-2.1	OK	OK	OK	OK	49.6	54.2
271	1003	beam	0.3	-3489.150	5.029	11.742	34.00	34.00	-10.0	-94.3	-103.0	2.4	OK	OK	OK	OK	54.2	49.6
270	1003	beam	0.3	-3500.700	8.400	9.593	34.00	34.00	-9.9	-95.4	-102.5	4.0	OK	OK	OK	OK	54.0	50.2
269	1003	beam	0.3	-3400.950	-12.764	-9.593	34.00	34.00	-9.6	-99.7	-92.6	-6.1	OK	OK	OK	OK	48.7	52.5
268	1003	beam	0.3	-3473.400	16.381	14.801	34.00	34.00	-10.1	-92.7	-103.7	7.9	OK	OK	OK	OK	54.6	48.8
267	1003	beam	0.3	-3450.300	-10.718	-14.801	34.00	34.00	-10.0	-103.1	-92.0	-5.2	OK	OK	OK	OK	48.4	54.2
266	1003	beam	0.3	-3628.800	17.098	22.230	34.00	34.00	-10.8	-94.3	-110.9	8.2	OK	OK	OK	OK	58.4	49.6
265	1003	beam	0.3	-3534.300	-10.789	-22.230	34.00	34.00	-10.6	-108.2	-91.6	-5.2	OK	OK	OK	OK	48.2	57.0
264	1003	beam	0.3	-3595.200	-3.304	-9.023	34.00	34.00	-10.1	-105.0	-98.3	-1.6	OK	OK	OK	OK	51.7	55.3

CUNICOLO - B2 - 350m - RIVESTIMENTI DEFINITIVI																																
INPUT PROGRAM						Intradosso		Estradosso		VERIFICHE SEZIONALI											APERTURA FESSURE						CHECK					
Element	Node	Height	N	V	M	Af	At	σ_c [Mpa]	$\sigma_{s,inf}$ [Mpa]	$\sigma_{s,sup}$ [Mpa]	τ [Mpa]	M fess	σ_{sr} [Mpa]	Ac eff [cm ²]	pas. [cm]	S _{sm} [cm]	ϵ_{sm}	Wk [mm]	T	CLS	As	As'	Fessurazione	%estra	%intra							
-	-	m	KN	KN	KN-m	cm ²	cm ²																									
CALOTTA	302	0.90	-4041,400	-369,664	403,780	22,62	22,62	-6,7	-29,9	-95,4	-507,1	1114,3	-	2480,5	20,0	25,2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	37,4	11,7							
CALOTTA	301	0.90	-4220,700	-352,061	373,870	22,62	22,62	-6,7	-35,1	-95,7	-482,9	1145,6	-	2480,5	20,0	25,2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	37,5	13,8							
CALOTTA	300	0.90	-4365,900	-335,297	270,340	22,62	22,62	-6,2	-45,7	-89,6	-459,9	1170,9	-	2480,5	20,0	25,2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	35,1	17,9							
CALOTTA	299	0.90	-4459,400	-319,330	190,750	22,62	22,62	-5,8	-53,6	-84,6	-438,0	1187,2	-	2480,5	20,0	25,2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	33,2	21,0							
CALOTTA	298	0.90	-4544,100	-258,940	127,351	22,62	22,62	-5,5	-60,1	-80,8	-355,2	1202,0	-	2480,5	20,0	25,2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	31,7	23,6							
CALOTTA	297	0.90	-4632,100	-223,850	74,186	22,62	22,62	-5,3	-65,8	-77,8	-307,1	1217,4	-	2480,5	20,0	25,2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	30,5	25,8							
CALOTTA	296	0.90	-4688,200	-187,660	5,838	22,62	22,62	-4,9	-72,2	-73,1	-257,4	1227,1	-	2480,5	20,0	25,2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	28,7	28,3							
CALOTTA	295	0.90	-4780,600	-145,200	-71,715	22,62	22,62	-5,4	-79,9	-68,3	-199,2	1243,3	-	2480,5	20,0	25,2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	26,8	31,3							
CALOTTA	294	0.90	-4859,800	-107,987	-130,858	22,62	22,62	-5,9	-85,9	-64,7	-148,1	1257,1	-	2480,5	20,0	25,2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	25,4	33,7							
CALOTTA	293	0.90	-4945,600	-71,984	-172,900	22,62	22,62	-6,2	-90,7	-62,6	-98,7	1272,0	-	2480,5	20,0	25,2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	24,6	35,6							
CALOTTA	292	0.90	-4998,400	-36,124	-198,100	22,62	22,62	-6,4	-93,5	-61,4	-49,6	1281,3	-	2480,5	20,0	25,2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	24,1	36,7							
CALOTTA	291	0.90	-5020,400	0,635	-206,360	22,62	22,62	-6,5	-94,5	-61,1	0,9	1285,1	-	2480,5	20,0	25,2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	23,9	37,1							
CALOTTA	290	0.90	-5038,000	40,645	-196,980	22,62	22,62	-6,5	-94,1	-62,1	55,8	1288,2	-	2480,5	20,0	25,2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	24,4	36,9							
CALOTTA	289	0.90	-5050,100	87,934	-167,930	22,62	22,62	-6,3	-91,9	-64,6	120,6	1290,3	-	2480,5	20,0	25,2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	25,4	36,0							
CALOTTA	288	0.90	-5062,100	-33,398	-154,840	22,62	22,62	-6,2	-91,3	-66,2	-48,6	1296,0	-	2480,5	20,0	25,2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	26,0	35,8							
CALOTTA	287	0.90	-4996,200	286,220	-110,985	22,62	22,62	-5,9	-86,4	-68,4	392,6	1280,9	-	2480,5	20,0	25,2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	26,8	33,9							
CALOTTA	286	0.90	-5091,900	120,560	-31,653	22,62	22,62	-5,5	-81,5	-76,3	165,4	1297,6	-	2480,5	20,0	25,2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	29,9	32,0							
CALOTTA	285	0.90	-5042,400	81,532	15,499	22,62	22,62	-5,3	-76,9	-79,4	111,8	1288,9	-	2480,5	20,0	25,2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	31,1	30,2							
CALOTTA	284	0.90	-4958,800	53,691	45,269	22,62	22,62	-5,4	-73,2	-80,5	73,7	1274,3	-	2480,5	20,0	25,2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	31,6	28,7							
CALOTTA	283	0.90	-4870,800	45,760	65,688	22,62	22,62	-5,5	-70,2	-80,8	62,8	1259,0	-	2480,5	20,0	25,2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	31,7	27,5							
CALOTTA	282	0.90	-4838,900	-68,563	57,113	22,62	22,62	-5,4	-70,4	-79,6	-94,1	1253,4	-	2480,5	20,0	25,2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	31,2	27,6							
CALOTTA	281	0.90	-4775,100	1,894	39,984	22,62	22,62	-5,2	-70,8	-77,2	2,6	1242,3	-	2480,5	20,0	25,2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	30,3	27,7							
CALOTTA	280	0.90	-4760,800	1,737	40,775	22,62	22,62	-5,2	-70,5	-77,1	2,4	1239,8	-	2480,5	20,0	25,2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	30,2	27,6							
CALOTTA	279	0.90	-4634,300	33,649	50,813	22,62	22,62	-5,1	-67,7	-75,9	46,2	1217,7	-	2480,5	20,0	25,2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	29,8	26,5							
CALOTTA	278	0.90	-4667,300	-16,995	55,636	22,62	22,62	-5,2	-67,8	-76,8	-23,3	1223,5	-	2480,5	20,0	25,2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	30,1	26,6							
CALOTTA	277	0.90	-4569,400	69,025	60,004	22,62	22,62	-5,1	-66,0	-75,7	94,7	1206,4	-	2480,5	20,0	25,2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	29,7	25,9							
CALOTTA	276	0.90	-4670,600	-76,824	46,760	22,62	22,62	-5,1	-68,6	-76,2	-105,4	1224,1	-	2480,5	20,0	25,2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	29,9	26,9							
CALOTTA	275	0.90	-4638,700	17,182	29,274	22,62	22,62	-5,0	-69,5	-74,3	23,6	1218,5	-	2480,5	20,0	25,2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	29,1	27,3							
CALOTTA	274	0.90	-4721,200	-43,890	21,525	22,62	22,62	-5,0	-71,4	-74,9	-60,2	1232,9	-	2480,5	20,0	25,2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	29,4	28,0							
CALOTTA	273	0.90	-4683,800	-9,957	5,835	22,62	22,62	-4,9	-72,1	-73,1	-13,7	1226,4	-	2480,5	20,0	25,2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	28,7	28,3							
CALOTTA	272	0.90	-4738,800	-25,828	-10,825	22,62	22,62	-5,0	-74,3	-72,6	-35,4	1236,0	-	2480,5	20,0	25,2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	28,5	29,1							
CALOTTA	271	0.90	-4744,300	10,138	-19,093	22,62	22,62	-5,0	-75,1	-72,0	13,9	1236,9	-	2480,5	20,0	25,2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	28,2	29,4							
CALOTTA	270	0.90	-4760,800	33,550	-3,731	22,62	22,62	-4,9	-74,1	-73,5	46,0	1239,8	-	2480,5	20,0	25,2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	28,8	29,1							
CALOTTA	269	0.90	-4655,200	-16,478	1,292	22,62	22,62	-4,8	-72,0	-72,3	-22,6	1221,4	-	2480,5	20,0	25,2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	28,3	28,3							
CALOTTA	268	0.90	-4726,700	56,958	13,901	22,62	22,62	-5,0	-72,1	-74,4	78,1	1233,9	-	2480,5	20,0	25,2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	29,2	28,3							
CALOTTA	267	0.90	-4691,500	-16,544	26,292	22,62	22,62	-5,0	-70,6	-74,8	-22,7	1227,7	-	2480,5	20,0	25,2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	29,3	27,7							
CALOTTA	266	0.90	-4876,300	51,524	36,575	22,62	22,62	-5,3	-72,6	-78,5	70,7	1260,0	-	2480,5	20,0	25,2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	30,8	28,5							
CALOTTA	265	0.90	-4744,300	-19,932	45,990	22,62	22,62	-5,2	-69,8	-77,3	-27,3	1236,9	-	2480,5	20,0	25,2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	30,3	27,4							
CALOTTA	264	0.90	-4808,100	-4,938	39,277	22,62	22,62	-5,2	-71,3	-77,7	-6,8	1248,1	-	2480,5	20,0	25,2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	30,5	28,0							
CALOTTA	263	0.90	-4879,600	57,068	54,509	22,62	22,62	-5,4	-71,2	-80,0	78,3	1260,5	-	2480,5	20,0	25,2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	31,4	27,9							
CALOTTA	262	0.90	-4841,100	-23,056	64,050	22,62	22,62	-5,4	-69,8	-80,2	-31,6	1253,8	-	2480,5	20,0	25,2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	31,5	27,4							
CALOTTA	261	0.90	-4958,800	-7,831	56,091	22,62	22,62	-5,5	-72,3	-81,4	-10,7	1274,3	-	2480,5	20,0	25,2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	31,9	28,4							
CALOTTA	260	0.90	-4846,600	-21,747	50,078	22,62	22,62	-5,3	-71,1	-79,2	-29,8	1254,8	-	2480,5	20,0	25,2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	31,0	27,9							
CALOTTA	259	0.90	-4851,000	52,833	57,960	22,62	22,62	-5,4	-70,5	-79,9	72,5	1255,5	-	2480,5	20,0	25,2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	31,3	27,6							
CALOTTA	258	0.90	-4848,800	-64,251	55,279	22,62	22,62	-5,4	-70,7	-79,6	-88,1	1255,2	-	2480,5	20,0	25,2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	31,2	27,7							
CALOTTA	257	0.90	-4898,300	-76,879	23,741	22,62	22,62	-5,2	-74,0	-77,8	-105,5	1263,8	-	2480,5	20,0	25,2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	30,5	29,0							
CALOTTA	256	0.90	-4935,700	-120,120	-19,688	22,62	22,62	-5,2	-78,1	-74,9	-164,8	1270,3	-	2480,5	20,0	25,2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	29,4	30,6							
CALOTTA	255	0.90	-4947,800	-164,780	-84,987	22,62	22,62	-5,7	-83,6	-69,8	-226,0	1272,4	-	2480,5	20,0	25,2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	27,4	32,8							
CALOTTA	254	0.90	-4957,700	-111,540	-149,716	22,62	22,62	-6,1	-89,0	-64,7	-153,0	1274,2	-	2480,5	20,0	25,2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	25,4	34,9							
CALOTTA	253	0.90	-4956,600	-60,830	-190,680	22,62	22,62	-6,3	-92,3	-61,4	-83,4	1274,0	-	2480,5	20,0	25,2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	24,1	36,2							
CALOTTA	252	0.90	-4941,200	-18,689	-209,790	22,62	22,62	-6,4	-93,6	-69,6	-25,6	1271,3	-	2480,5	20,0	25,2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	23,4	36,7							
CALOTTA	251	0.90	-4907,100	19,569	-209,580	22,62	22,62	-6,4	-93,0	-69,1	26,8	1265,3	-	2480,5	20,0	25,2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	23,2	36,5							

CALOTTA	250	0,90	-4869,700	55,968	-191,030	22,62	22,62	-6,2	-91,0	-60,0	76,8	1258,8	-	2480,5	20,0	25,2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	23,5	35,7
CALOTTA	249	0,90	-4816,900	91,168	-154,756	22,62	22,62	-6,0	-87,2	-62,1	125,1	1249,6	-	2480,5	20,0	25,2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	24,4	34,2
CALOTTA	248	0,90	-4703,600	131,890	-99,792	22,62	22,62	-5,5	-81,0	-64,8	180,9	1229,8	-	2480,5	20,0	25,2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	25,4	31,8
CALOTTA	247	0,90	-4543,000	183,590	-22,295	22,62	22,62	-4,8	-72,2	-68,6	251,8	1201,8	-	2480,5	20,0	25,2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	26,9	28,3
CALOTTA	246	0,90	-4427,500	236,720	50,232	22,62	22,62	-4,9	-64,5	-72,7	324,7	1181,7	-	2480,5	20,0	25,2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	28,5	25,3
CALOTTA	245	0,90	-4358,200	281,160	110,271	22,62	22,62	-5,2	-58,6	-76,5	385,7	1169,6	-	2480,5	20,0	25,2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	30,0	23,0
CALOTTA	244	0,90	-4269,100	344,960	182,490	22,62	22,62	-5,6	-51,4	-81,0	473,2	1154,0	-	2480,5	20,0	25,2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	31,8	20,1
CALOTTA	243	0,90	-4171,200	348,410	272,440	22,62	22,62	-6,0	-42,6	-86,7	477,9	1137,0	-	2480,5	20,0	25,2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	34,0	16,7
CALOTTA	242	0,90	-4042,500	351,894	389,130	22,62	22,62	-6,7	-31,1	-94,2	482,7	1114,5	-	2480,5	20,0	25,2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	36,9	12,2
CALOTTA	241	0,90	-3839,000	355,413	546,210	22,62	22,62	-7,4	-15,2	-103,8	487,5	1079,0	-	2480,5	20,0	25,2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	40,7	6,0
ARCO ROVESCIO	328	1,00	-2368,300	14,641	-590,940	22,62	22,62	-5,4	-74,9	11,5	18,1	955,2	-	2480,5	20,0	25,2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	4,5	29,4
ARCO ROVESCIO	327	1,00	-2416,700	19,305	-586,600	22,62	22,62	-5,4	-75,0	9,6	23,8	964,5	-	2480,5	20,0	25,2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	3,8	29,4
ARCO ROVESCIO	326	1,00	-2399,100	34,716	-581,280	22,62	22,62	-5,4	-74,3	9,4	42,9	961,1	-	2480,5	20,0	25,2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	3,7	29,2
ARCO ROVESCIO	325	1,00	-2393,600	356,620	-532,490	22,62	22,62	-5,1	-70,2	0,0	440,3	960,1	-	2480,5	20,0	25,2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	1,6	27,5
ARCO ROVESCIO	324	1,00	-2390,300	359,150	-462,700	22,62	22,62	-4,7	-64,9	-2,2	443,4	959,4	-	2480,5	20,0	25,2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	0,9	25,4
ARCO ROVESCIO	323	1,00	-2336,400	236,280	-376,950	22,62	22,62	-4,2	-58,3	-7,4	291,7	949,1	-	2480,5	20,0	25,2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	2,9	22,8
ARCO ROVESCIO	322	1,00	-2399,100	279,070	-262,990	22,62	22,62	-3,6	-51,5	-15,9	344,5	961,1	-	2480,5	20,0	25,2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	6,3	20,2
ARCO ROVESCIO	321	1,00	-2382,600	169,400	-188,510	22,62	22,62	-3,2	-46,2	-20,7	209,1	957,9	-	2480,5	20,0	25,2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	8,1	18,1
ARCO ROVESCIO	320	1,00	-2490,400	246,070	-81,183	22,62	22,62	-2,8	-40,5	-29,5	303,8	978,6	-	2480,5	20,0	25,2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	11,6	15,9
ARCO ROVESCIO	319	1,00	-2487,100	191,840	71,319	22,62	22,62	-2,7	-30,1	-30,7	236,8	978,0	-	2480,5	20,0	25,2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	15,6	11,8
ARCO ROVESCIO	318	1,00	-2527,800	147,290	212,772	22,62	22,62	-3,5	-21,1	-49,9	181,8	985,8	-	2480,5	20,0	25,2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	19,6	8,3
ARCO ROVESCIO	317	1,00	-2544,300	92,906	337,470	22,62	22,62	-4,1	-13,0	-58,5	114,7	989,0	-	2480,5	20,0	25,2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	22,9	5,1
ARCO ROVESCIO	316	1,00	-2545,400	39,897	409,780	22,62	22,62	-4,5	-8,1	-63,4	49,3	989,2	-	2480,5	20,0	25,2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	24,9	3,2
ARCO ROVESCIO	315	1,00	-2530,000	-9,710	426,580	22,62	22,62	-4,6	-6,7	-64,3	-12,0	986,2	-	2480,5	20,0	25,2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	25,2	2,6
ARCO ROVESCIO	314	1,00	-2504,700	-55,638	390,390	22,62	22,62	-4,4	-8,8	-61,5	-68,7	981,4	-	2480,5	20,0	25,2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	24,1	3,5
ARCO ROVESCIO	313	1,00	-2469,500	-98,747	307,650	22,62	22,62	-3,9	-13,9	-55,5	-121,9	974,6	-	2480,5	20,0	25,2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	21,7	5,5
ARCO ROVESCIO	312	1,00	-2443,100	-134,640	208,390	22,62	22,62	-3,4	-20,3	-48,4	-166,2	969,6	-	2480,5	20,0	25,2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	19,0	7,9
ARCO ROVESCIO	311	1,00	-2395,800	-162,690	104,048	22,62	22,62	-2,8	-26,6	-40,7	-200,9	960,5	-	2480,5	20,0	25,2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	16,0	10,4
ARCO ROVESCIO	310	1,00	-2407,900	-167,420	-3,395	22,62	22,62	-2,3	-34,1	-33,6	-206,7	962,8	-	2480,5	20,0	25,2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	13,2	13,4
ARCO ROVESCIO	309	1,00	-2319,900	-255,090	-92,477	22,62	22,62	-2,7	-38,8	-26,3	-314,9	945,9	-	2480,5	20,0	25,2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	10,3	15,2
ARCO ROVESCIO	308	1,00	-2346,300	-262,350	-187,964	22,62	22,62	-3,2	-45,6	-20,3	-323,9	951,0	-	2480,5	20,0	25,2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	7,9	17,9
ARCO ROVESCIO	307	1,00	-2377,100	-278,080	-296,170	22,62	22,62	-3,8	-53,4	-13,4	-343,3	956,9	-	2480,5	20,0	25,2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	5,3	20,9
ARCO ROVESCIO	306	1,00	-2407,900	-433,180	-456,120	22,62	22,62	-4,6	-64,6	-3,0	-534,8	962,8	-	2480,5	20,0	25,2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	1,2	25,4
ARCO ROVESCIO	305	1,00	-2363,900	-406,450	-593,950	22,62	22,62	-5,5	-75,1	12,0	-601,8	954,4	-	2480,5	20,0	25,2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	4,7	29,5
ARCO ROVESCIO	304	1,00	-2369,400	-447,040	-656,810	22,62	22,62	-5,9	-81,0	21,3	-551,9	955,4	-	2480,5	20,0	25,2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	8,3	31,8
ARCO ROVESCIO	303	1,00	-2428,800	209,110	-663,600	22,62	22,62	-6,0	-82,1	20,2	258,2	966,8	-	2480,5	20,0	25,2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	7,9	32,2