

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 ESECUTIVO**

**VAR0008 – Specifiche Tecniche di Interoperabilità  
GN92A – Galleria di Sfollamento – Binario Dispari – Tratto A (Fermata Val  
Lemme)  
Zona Area Sicura Val Lemme  
Relazione geotecnica e di calcolo**

GENERAL CONTRACTOR	DIRETTORE DEI LAVORI
Consorzio <b>Cociv</b> 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 2 A 0	0 0 1	B

Progettazione :								
Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Progettista Integratore	Data	IL PROGETTISTA
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: A3010XDCVROGN92A00001B00
-----------	--------------------------------

CUP: F81H92000000008



<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;">A3010XDCVROGN92A00001B00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 3 di 67</p>

## INDICE

INDICE.....		3
1. INTRODUZIONE.....		5
2. NORMATIVE E RACCOMANDAZIONI.....		6
3. MATERIALI IMPIEGATI.....		8
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
5. INQUADRAMENTO GENERALE.....		22
5.1 Modifiche generali dell'opera.....		22
5.2 Caratteristiche generali dell'opera GN92A.....		23
5.3 Inquadramento Geologico – Idrogeologico.....		24
5.3.1 Scavo nelle Argille a Palombini (aP).....		24
5.3.2 Scavo nei Metabasalti del Monte Figogna (B').....		25
5.4 Inquadramento Geotecnico.....		26
5.4.1 Parametri ed ipotesi di calcolo.....		27
5.5 Analisi delle criticità lungo il tracciato.....		28
6. FASE DI DIAGNOSI: COMPORTAMENTO DELL'AMMASSI ALLO SCAVO.....		30
6.1 Calcolo e determinazione delle categorie di comportamento allo scavo.....		31
6.1.1 Analisi di stabilità del fronte di scavo.....		32
6.1.2 Analisi tramite il Metodo delle Linee Caratteristiche.....		35
6.1.3 Considerazioni conclusive.....		37
7. FASE DI TERAPIA: DEFINIZIONE DELLE SOLUZIONI PROGETTUALI.....		39
7.1 Tipologie di intervento in fase costruttiva.....		39
7.2 Sezioni tipo previste.....		40
8. ANALISI DELLE SOLUZIONI PROGETTUALI.....		43
8.1 Analisi di stabilità del fronte.....		43
8.2 Analisi tramite il Metodo delle Linee Caratteristiche.....		44
8.3 Analisi numeriche bidimensionali.....		45
8.3.1 Scelta delle sezioni di verifica rappresentative.....		45
8.3.2 Ipotesi e criteri di modellazione.....		46
8.3.3 Simulazione dello scavo.....		51

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p style="text-align: center;">A3010XDCVROGN92A00001B00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 4 di 67</p>

8.4	Modello 1: Sezione tipo C4pr.....	52
9.	<b>RISULTATI DELLE ANALISI NUMERICHE E VERIFICHE.....</b>	<b>56</b>
9.1	Criteri di verifica dei rivestimento di prima fase.....	56
9.2	Criteri di veifica dei rivestimenti definitivi.....	57
9.3	Modello 1: Sezione Tipo C4pr.....	59
9.3.1	Analisi deformativa.....	59
9.3.2	Analisi Tensionale.....	61
10.	<b>ANALISI DELLE INTERFERENZE DI SUPERIFCIE.....</b>	<b>65</b>
11.	<b>CONCLUSIONI.....</b>	<b>66</b>
12.	<b>ALLEGATO DI CALCOLO.....</b>	<b>67</b>

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN92A00001B00
	Foglio 5 di 67

## 1. INTRODUZIONE

Oggetto della presente relazione è il dimensionamento strutturale e geotecnico delle opere afferenti alla WBS GN92A, poste tra la pk 17+735 (Camerone di innesto Finestra Val Lemme) e la pk 18+190 CA del binario dispari della galleria Valico, compresa nel Progetto Esecutivo 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 150 m e i 210 m.

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. Si prevede dalla pk 17+800 ca l'attraversamento di ammasso riconducibile alla Metabasalti del Monte Figogna, da massicci a scistosi talora con tessitura a pillow e mediamente fratturati.

Lo scavo delle opere è caratterizzato da criticità di tipo geomeccanico dovuta al passaggio in una zona di faglia in metabasalto alla pk 17+950 ca. alla copertura di 150 m e dalla interferenza dovuta alla realizzazione dei by-pass di collegamento col binario dispari 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).

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>A3010XDCVROGN92A00001B00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 6 di 67</p>

## 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.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>A3010XDCVROGN92A00001B00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 7 di 67</p>

**- 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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN92A00001B00 <span style="float: right;">Foglio 8 di 67</span>

### 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.

#### Consolidamenti e rivestimenti provvisori

Spritz beton fibrorinforzato	Resistenza media su carote $h/\phi = 1$ : - a 48 ore $\geq 13$ MPa - a 28 gg $\geq 25$ MPa Dosaggio per fibre in acciaio* $\geq 30$ kg/m <sup>3</sup> *in alternativa alle fibre in acciaio potranno essere impiegate fibre sintetiche
Acciaio per centine, piastre e collegamenti:	- S275
Acciaio per catene	- S275
Acciaio per armatura e rete elettrosaldata:	- B450 C
Drenaggi	Tubi microfessurati in PVC: - $\phi_{est} > 60$ 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	- teli sp. 2+/-0.5 mm, - Resistenza a trazione $> 15$ MPa - Allungamento a rottura $> 250\%$ - Resistenza alla lacerazione $> 100$ N/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	- 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 $1\pm 0.2$ MPa
Pannelli drenanti in polipropilene	- Resistenza a compressione $\geq 150$ KN /m <sup>2</sup> - Allungamento a rottura $\geq 60$ % - Modulo di elasticità $\geq 1500$ N /mm <sup>2</sup> - Resistenza alla temperatura -30/80°C



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN92A00001B00 <span style="float: right;">Foglio 9 di 67</span>

Tubi in VTR (caratteristiche del composito)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Diametro esterno = 60 mm ad aderenza migliorata</li> <li>- Diametro di perforazione = 100-120 mm</li> <li>- Spessore medio = 10 mm</li> <li>- Densità <math>\geq 1.8</math> t/mc</li> <li>- Res. a trazione <math>\geq 600</math> MPa</li> <li>- Res. a taglio <math>\geq 100</math> MPa</li> <li>- Modulo elastico <math>\geq 30000</math> MPa</li> <li>- Contenuto in vetro <math>\geq 50</math> %</li> <li>- Resistenza a flessione <math>\geq 600</math> MPa</li> <li>- Resistenza allo scoppio <math>\geq 8</math>MPa</li> <li>- Perforazione eseguita a secco</li> </ul>
Miscele cementizie per cementazione a bassa pressione	Cemento 42.5R <ul style="list-style-type: none"> <li>- Rapporto a/c = 0.5-0.7</li> <li>- Fluidificante = 4 % di peso sul cemento</li> <li>- Resistenza a compressione a 48 ore <math>&gt; 5</math> MPa</li> </ul>
Iniezioni di guaina	Cemento R32.5 – R42.5 <ul style="list-style-type: none"> <li>- Rapporto a/c <math>\approx 1.5-2</math></li> <li>- Bentonite <math>\approx 5- 8</math> % sul peso di cemento</li> <li>- Densità <math>\approx 1.3</math> t/m<sup>3</sup></li> <li>- Rendimento volumetrico <math>\geq 95</math>%</li> <li>- Viscosità Marsh (ugello 4.7 mm) 30-35 sec.</li> </ul>
Iniezione di consolidamento	Cemento R42.5 <ul style="list-style-type: none"> <li>- Cemento a finezza di macinazione non inferiore a 4500 cm/g Blaine</li> <li>- Rapporto a/c <math>\approx 0.4-0.7</math></li> <li>- Bentonite <math>&lt; 2</math> %</li> <li>- Additivo fluidificante (Flowcable o simili) <math>\approx 4</math> % di peso del cemento</li> <li>- Viscosità Marsh (ugello 4.7 mm) 35-45 sec.</li> <li>- Densità <math>\approx 1.8</math> t/m<sup>3</sup></li> <li>- Rendimento volumetrico <math>&gt; 95</math>%</li> </ul>
Parametri minimi del terreno consolidato	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Resistenza a compressione 48h <math>&gt; 1.0</math> MPa</li> <li>- Resistenza a compressione 7gg <math>&gt; 1.5</math> MPa</li> <li>- R.Q.D. 48h <math>&gt; 50</math>%</li> <li>- R.Q.D. 7gg <math>&gt; 70</math>%</li> </ul>

## Rivestimenti definitivi

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN92A00001B00 <span style="float: right;">Foglio 10 di 67</span>

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

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

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

(\*\*) 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
	A3010XDCVROGN92A00001B00
	Foglio 11 di 67

## 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:

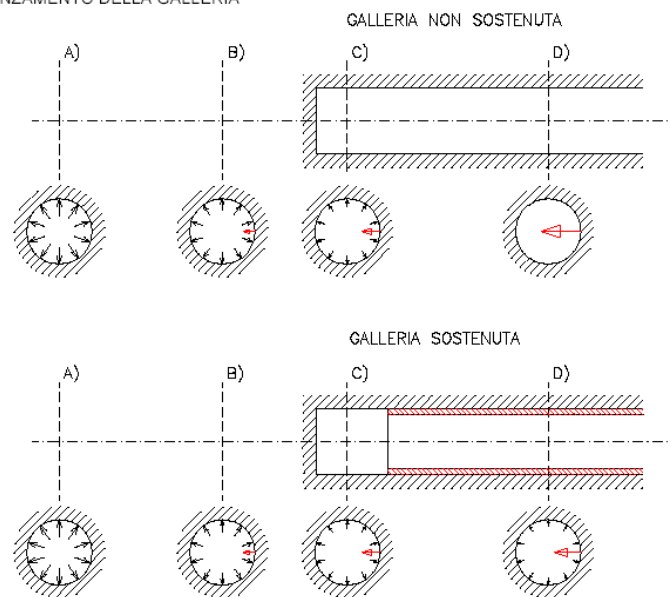
- quella valida presso il fronte di scavo, detta curva caratteristica del fronte, che tiene conto dell'effetto tridimensionale delle tensioni vicino ad esso e che permette di risalire, mediante

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.

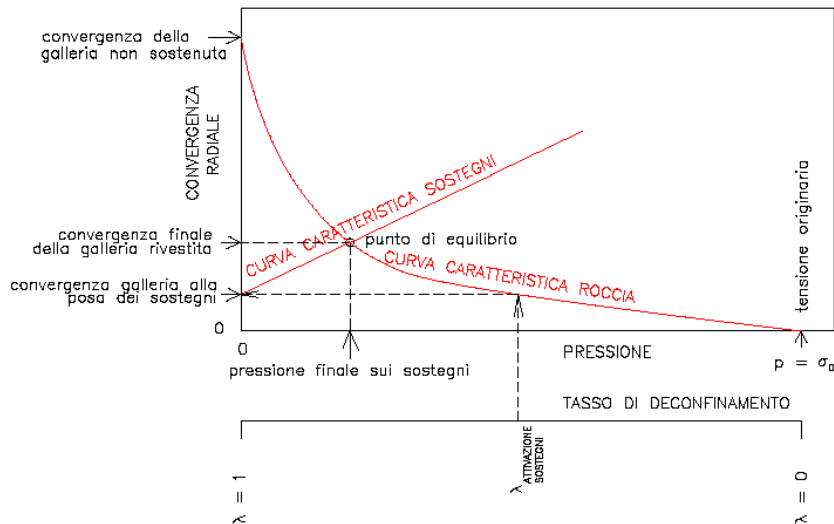
FIGURA 11. PROGRESSIVO DECONFINAMENTO DEL BORDO DI SCAVO PER SIMULARE L'AVANZAMENTO DELLA GALLERIA



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  $\lambda$ :

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

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  $\lambda$ , si calcola il valore della convergenza radiale già subita dal cavo, prima della posa in opera del rivestimento; la curva di confinamento risulta a questo punto completamente definita.

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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	A3010XDCVROGN92A00001B00 <table border="1" data-bbox="1420 235 1546 284"> <tr> <td>Foglio 14 di 67</td> </tr> </table>	Foglio 14 di 67
Foglio 14 di 67		

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  $\sigma_3^{VTR}$  fittizia, funzione dei parametri tecnici del trattamento secondo le equazioni:

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

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

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

dove:

$\tau_a$  = tensione di aderenza ammasso-fondazione

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>Censazio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>
	<p>A3010XDCVROGN92A00001B00</p> <p>Foglio 15 di 67</p>

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

$2p_A$  = perimetro della sezione reagente a sfilamento

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

$A_i$  = area di influenza di un elemento strutturale

$A_t$  = sezione dell'elemento resistente a trazione

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

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

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
	A3010XDCVROGN92A00001B00 <span style="float: right;">Foglio 16 di 67</span>

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:

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

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

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

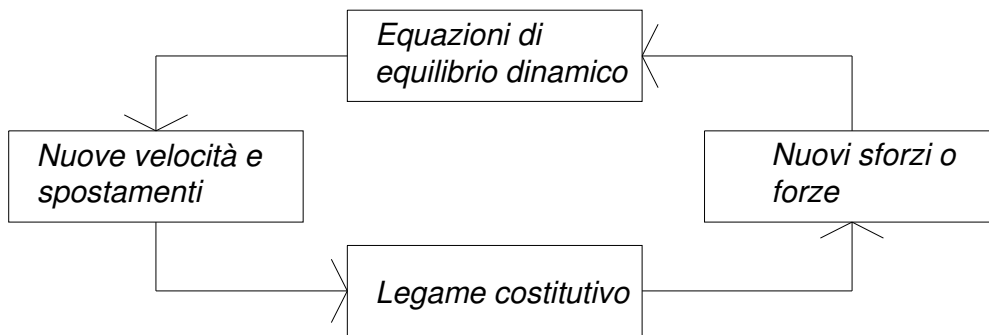
In modo analogo si opera per le derivate rispetto ad y, e per le derivate di ordine superiore. La legge costitutiva del materiale viene espressa nella seguente forma:

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

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  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$ , il criterio di rottura di Mohr-Coulomb, è rappresentato dalle seguenti equazioni lineari:

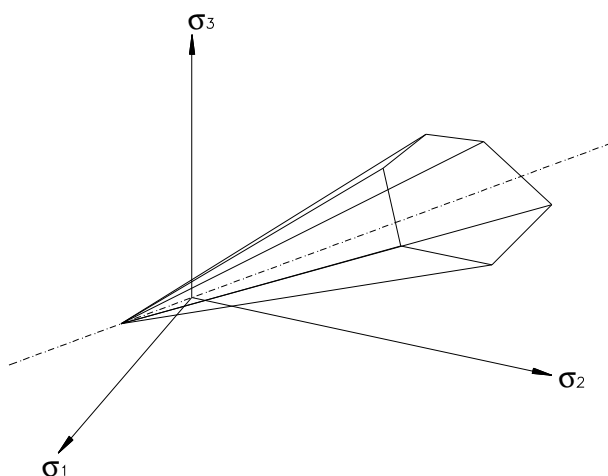
$$\sigma_1 - \sigma_2 = \pm 2 \cdot \left( c' \cdot \cos(\phi') + \frac{(\sigma_1 + \sigma_2)}{2} \cdot \sin(\phi') \right)$$

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

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

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
	A3010XDCVROGN92A00001B00
	Foglio 18 di 67



**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**

#### 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.

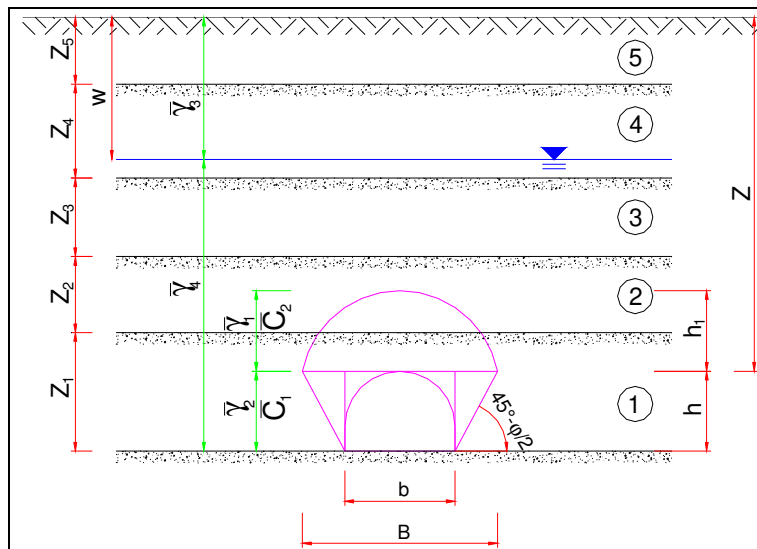


Figura 3 – Schema proposto da Tamez.

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).

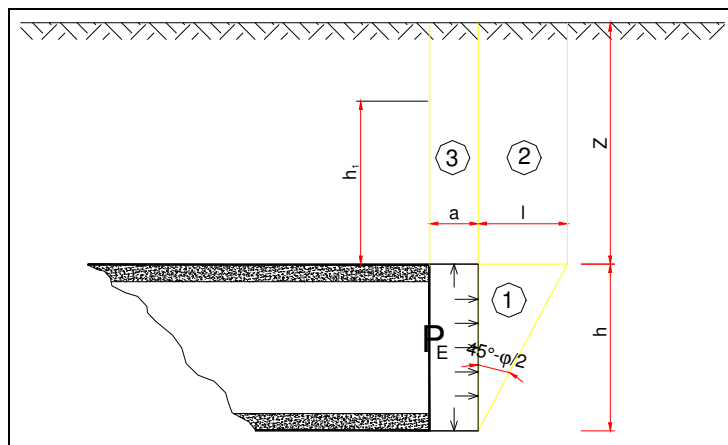


Figura 4 – Schema proposto da Tamez.

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.

### 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:

- $\gamma$  = peso dell'unità di volume del terreno
- $z$  = profondità dell'asse della galleria
- $\sigma_s$  = sovraccarico eventualmente presente in superficie
- $\sigma_T$  = 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).

<b>N</b>	<b>Deformazioni</b>
< 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**

### Metodo del tasso di deconfinamento critico $\lambda_E$ (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
	A3010XDCVROGN92A00001B00 <div style="float: right;">Foglio 21 di 67</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 ( $\lambda_e$ ) 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
	A3010XDCVROGN92A00001B00 <span style="float: right;">Foglio 22 di 67</span>

## 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 GN14M 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 ha 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.

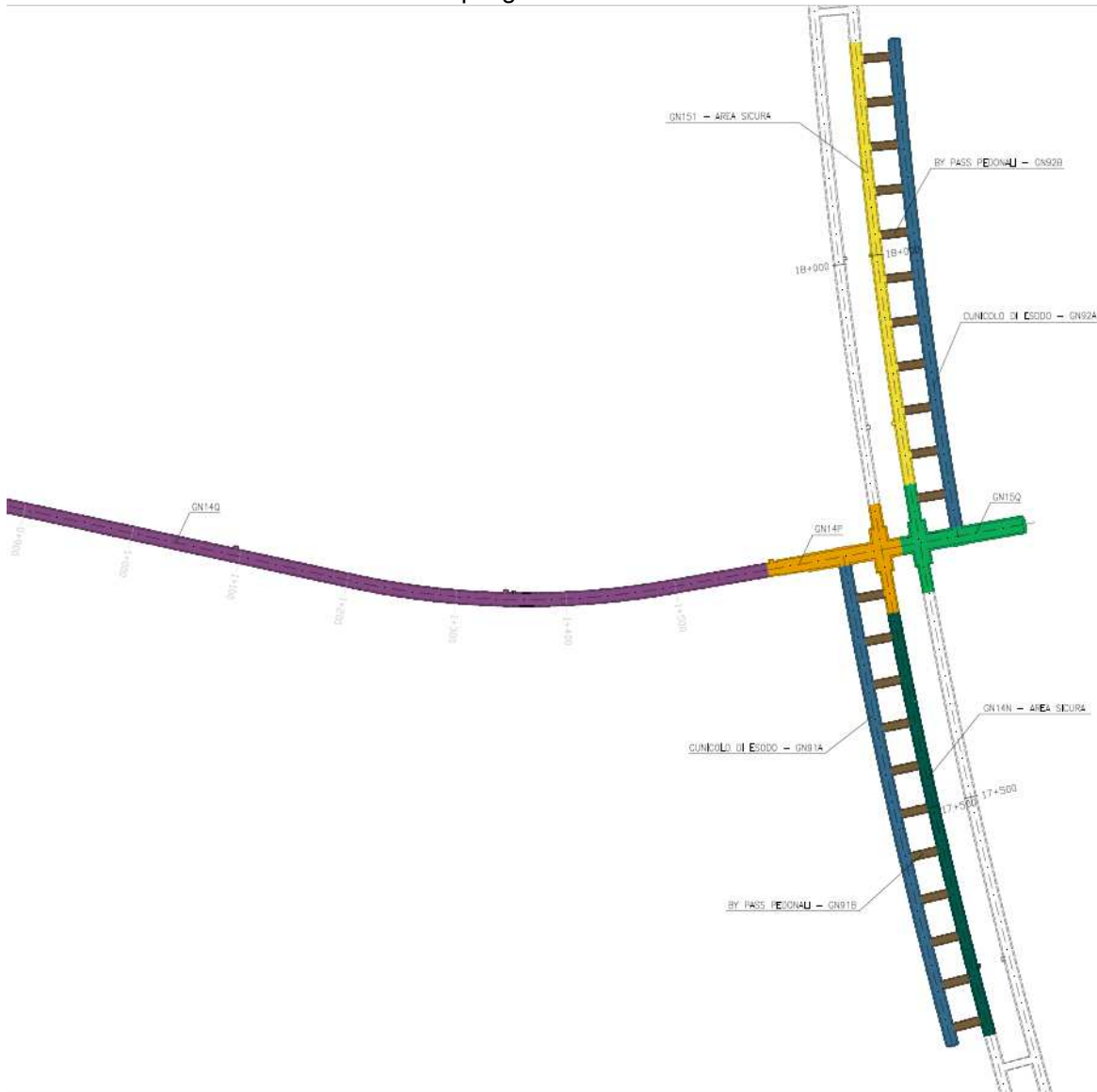
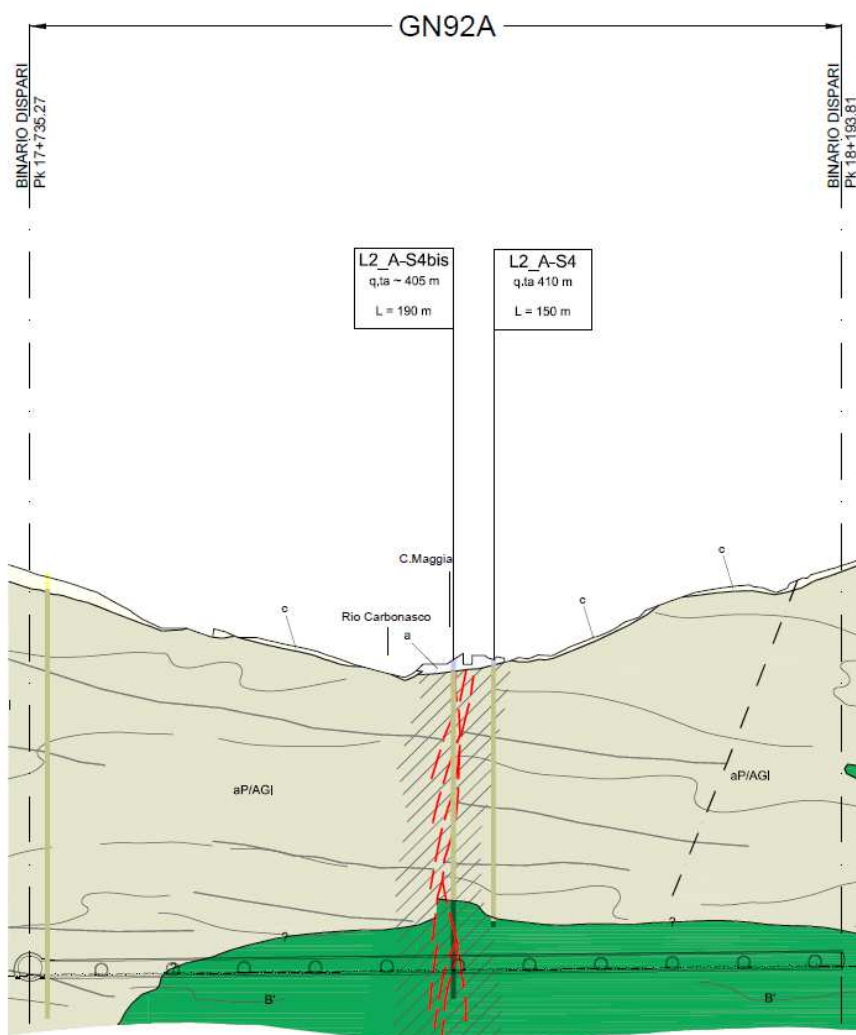


Figura 5. Opere in zona Area Sicura Val Lemme

## 5.2 Caratteristiche generali dell'opera GN92A

Le opere afferenti alla WBS GN92A si compongono di una galleria naturale di sfollamento, che si estende per 450 m ca. m tra le pk 17+735 ca. (Camerone di innesto Finestra Val Lemme) e la pk 18+193 ca. del binario dispari della galleria Valico, compresa nel Progetto Esecutivo della Linea AV/AC Milano Genova - Terzo Valico dei Giovi. Lo scavo attraversa gli argilloscisti riconducibili alla formazione delle Argille a Palombini e i Metabasiti del Monte Figogna, con copertura variabili tra 150m e 210m ca.



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 m<sup>2</sup> 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 – Idrogeologico

Nello scavo della galleria di sfollamento è previsto l'attraversamento dei Metabasalti del Monte Figogna (B') dalla pk 17+800 ca. Nel tratto iniziale (pk 17+750 ca. ÷ 17+800 ca.) del tracciato l'ammasso al contono dello scavo è riconducibile invece alla Formazione delle Argille a Palombini (aP). Per maggiori dettagli si rimanda alla relazione Geologica, Geomorfologica e idrogeologica.

#### 5.3.1 Scavo nelle Argille a Palombini (aP)



<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>A3010XDCVROGN92A00001B00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 25 di 67</p>

Lo scavo attraversa l'ammasso riconducibile alla formazione delle "Argille a Palombini del Passo della Bocchetta" (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").

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  $1 \times 10^{-7}$  e  $1 \times 10^{-8}$  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  $1 \times 10^{-6}$  e  $1 \times 10^{-7}$  m/s, con sporadici valori di conducibilità anche di poco maggiori di  $1 \times 10^{-6}$ .

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).

Sono ipotizzabili portate massime transitorie comprese 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.

I carichi idraulici stimati per le condizioni idrogeologiche imperturbate sono variabili nell'intervallo tra 100 e 200 m. 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.

### 5.3.2 Scavo nei Metabasalti del Monte Figogna (B')

L'unità dei metabasalti del monte Figogna è costituita in prevalenza da basalti a pillow, localmente massivi, con livelli brecciosi. Si presentano con colorazioni che vanno dal verde scuro al bruno-violaceo nei punti in cui sono maggiormente alterati. Localmente contengono corpi filoniani. Sono comunemente interessati, in affioramento, da una fitta maglia di giunti. A quota galleria i metabasalti si presentano frequentemente con struttura brecciata di colore variabile dal grigio verde al verde scuro, struttura scistosa compatta o, talora, microgranulare con tessitura lamellare, frequenti

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN92A00001B00
	Foglio 26 di 67

zonature. Numerose le vene di calcite, da millimetriche a pluricentriche. L'alterazione da assente a debole è talora rappresentata da aloni rossi dovuti alla probabile presenza di ematite.

A quota galleria i metabasalti si presentano frequentemente con struttura brecciata di colore variabile dal grigio verde al verde scuro, struttura scistosa compatta o, talora, microgranulare con tessitura lamellare, frequenti zonature. Numerose le vene di calcite, da millimetriche a pluricentriche. L'alterazione da assente a debole è talora rappresentata da aloni rossi dovuti alla probabile presenza di ematite.

In prossimità della pk 17+970 circa l'opera intercetta una faglia a medio-alto angolo immergente verso S come evidenziato dal sondaggio L2-S4A bis. La roccia di faglia è costituita da un gouge argilloso ad elementi di argilloscisti e basalti, sono inoltre presenti indizi dello sviluppo di piani a basso angolo. Lo stato di fratturazione fuori dalle zone di faglia è medio-alto per i metabasalti, che hanno un comportamento reologico tipico di materiali più rigidi e che quindi presentano giunti a persistenza più elevata, che comunemente non si propagano all'interno delle Argille a Palombini.

I Metabasalti presentano un comportamento reologico generalmente più fragile rispetto alla maggior parte degli altri complessi. Ciò determina una maggior persistenza e pervasività delle fratture, pertanto la permeabilità, anche in stato di fratturazione normale (fuori dalle zone di faglia), è maggiore che nelle altre formazioni. I test idraulici disponibili sull'intera area di progetto indicano per l'ammasso roccioso al di fuori delle zone di faglia, conducibilità idrauliche prevalenti variabili tra  $1 \times 10^{-6}$  e  $1 \times 10^{-7}$  m/s. Localmente si sono riscontrate anche conducibilità minori (fino a  $1 \times 10^{-8}$  m/s), che possono essere correlate a un basso stato di fratturazione o a una scarsa apertura delle fratture legata all'elevata copertura topografica.

Alla quota galleria la conducibilità idraulica potrebbe presentarsi da bassa fino a medio bassa; peraltro tra le progressive 17+940 e 17+980 ca. è prevista l'intersezione con una zona di faglia nel cui intorno la conducibilità può assumere valori medi.

Sono ipotizzabili le portate massime transitorie al di fuori della zona di faglia comprese tra 0.16 e 0.4 l/s per 10 m di galleria, ma in corrispondenza della zona di faglia prevista non si possono escludere venute transitorie di ordine superiore ai 2 l/s per 10 m di galleria.

I carichi idraulici stimati per le condizioni idrogeologiche imperturbate sono variabili nell'intervallo tra 100 e 200 m. 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

Come descritto in precedenza, la formazione maggiormente attraversata dallo scavo sarà quella delle Argille a Palombini, con probabili larghi tratti di scavo in Metabasalto. Vista la posizione dell'opera in oggetto, si rimanda per ulteriori approfondimenti di carattere geologico e geomeccanico alle relative relazioni della tratta 4.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN92A00001B00 <span style="float: right;">Foglio 27 di 67</span>

#### 5.4.1 Parametri ed ipotesi di calcolo

##### Formazione delle Argille a Palombini

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. Per un maggiore approfondimento sui parametri si rimanda alla relazione geomeccanica di riferimento.

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	$\gamma$	$\nu$	$E_{op}$	$\sigma_c$	$m_i$	GSI
	[kN/m <sup>3</sup> ]	[-]	[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**

Le portate indicate dall'inquadramento idrogeologico e valutate all'interno della relazione geologica ed idrogeologica, 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.

In fase definitiva tali afflussi risulteranno ancora inferiori; avendo provveduto ad inserire opportuni elementi atti ad abbattere l'eventuale carico idraulico (come i pannelli drenanti da adottarsi nei peggiori contesti geologici) e 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.

##### Formazione dei Metabasalti

L'analisi dei dati disponibili per la formazione dei Metabasalti (B') ha portato a individuare tre gruppi geomeccanici che si differenziano tra loro sia per indice della qualità della roccia (GSI), sia per la resistenza a compressione della matrice (UCS).

Cautelativamente si è scelto di modellare il comportamento meccanico medio dei meta-basalti come un mezzo continuo-equivalente (omogeneo e stratificato) riferendosi esclusivamente al gruppo 2,

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN92A00001B00 <span style="float: right;">Foglio 28 di 67</span>

“materiale fratturato” con GSI =40-50; UCS=20-25 MPa, ed al gruppo 3 relativo al “materiale molto fratturato” con GSI =20-30, UCS=3-15 MPa;

In ambito di studio delle sezioni tipo previste per lo scavo della tratta in oggetto si è ipotizzato un “associazione” tra le due formazioni aP e B’, per cui in generale il comportamento meccanico dei Basalti, sia compatti che fratturati è stato assimilato a quello delle argilliti a palombini ricadenti nel range GR1-GR2a, mentre il comportamento dei Basalti molto fratturati è stato assimilato a quello delle aP GR3b.

Vista la finalità della presente relazione, ossia definire il comportamento allo scavo degli ammassi incontrati, e data la semplificazione cautelativa effettuata, si rimanda alla relazione geotecnica e a quella geologica di riferimento per ulteriori informazioni sulla formazione dei Metabasalti, che da questo punto in poi del documento verranno come detto assimilati al comportamento dei relativi gruppi geomeccanici.

### 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, nel tratto di scavo in argilloscisti è atteso un ammasso di buone caratteristiche geomeccaniche, afferente ai gruppi geomeccanici 1 e 2, non è prevista la presenza di faglie o zone particolarmente destrutturate. Stante questo quadro generale, la principale criticità sarà dovuta alla possibilità di stress tettonici con locale aumento del valore di  $k_0$ . Non sono attese problematiche di tipo idraulico.

Nella tratta scavata nei Metabasalti, sebbene le caratteristiche d’ammasso attese siano buone e assimilabili alla parametrizzazione dei gruppi geomeccanici 1 e 2 delle aP, è presente una zona di faglia, in cui si ipotizza un decadimento dei parametri, un aumento del potenziale rischio squeezing e un incremento degli afflussi in fase di scavo.

Nelle zone di passaggio tra argilloscisti e metabasalti, si rilevano 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.

form. geologica	criticità	azione
Metabasalti (B’)	zona di faglia: fratturazione elevata	sezione con interventi di precontenimento di fronte e contorno
Metabasalti (B’)	zona di faglia: afflussi transitorio $> 2l/s * 10m$	drenaggi in avanzamento e disposizione di impermeabilizzazione in fase finale con sistema di drenaggio
Contatto aP - B’	Anisotropia, fratturazione medio-alta, fronti misti	Sezioni tipo con interventi adeguati (utilizzo del puntone nel priverimento, interventi di presostegno)

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
	<p>A3010XDCVROGN92A00001B00</p>	<p>Foglio 29 di 67</p>

<p>Argille a Palombini (aP)</p>	<p>Possibili stress tettonici (<math>K_0 &gt; 1</math>)</p>	<p>Sezioni tipo con interventi adeguati (utilizzo del puntone nel priverestimento)</p>
<p>Metabasalti (B') – Argille a Palombini (aP)</p>	<p>Interferenza scavo by-pass</p>	<p>Concio armato con carpenteria di risparmio</p>

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN92A00001B00
	Foglio 30 di 67

## 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 redistribuzione 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,

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN92A00001B00
	Foglio 31 di 67

interventi di confinamento delle pareti di scavo, e nel lungo termine, la realizzazione del rivestimento definitivo.

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

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

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

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

## **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.

Come indicato nel profilo Geomeccanico, lo scavo del cunicolo di sfollamento avviene in una zona di incertezza dove si ipotizza, oltre alla presenza della formazione delle Argille a Palombini, la presenza della formazione dei Metabasalti; quest'ultimi presentano una fratturazione intensa, soprattutto nella zona di passaggio tra le due formazioni. In tale contesto, le caratteristiche geomeccaniche dei Metabasalti possono essere del tutto riconducibili a quelle delle Argille a Palombini caratterizzate nel gruppo geomeccanico GR1 e GR2.



Viste le caratteristiche meccaniche simili ed essendo inoltre incerta la zona di passaggio tra le due formazioni, si ritiene opportuno applicare anche nella formazione dei Metabasalti le sezioni tipologiche previste per la formazione delle Argille a Palombini. Per questo motivo le analisi di stabilità e la verifica delle sezioni tipo di scavo sono state condotte esclusivamente nelle Argille a Palombini essendo queste rappresentative del comportamento dei Metabasalti.

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 150 m, 200 m e 250 m 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)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c'$ (kPa)	$\varphi$ (°)	SF
AN1	Ap-GR1	150	11,00	27	770	40	4,03
AN2	Ap-GR1	200	11,00	27	910	39	3,84
AN3	Ap-GR1	250	11,00	27	1043	39	3,72
AN4	Ap-GR2a	150	11,00	27	450	38	3,04
AN5	Ap-GR2a	200	11,00	27	550	36	2,98
AN6	Ap-GR2a	250	11,00	27	638	34	2,91
AN7	Ap-GR2b	150	11,00	27	390	33	2,80
AN8	Ap-GR2b	200	11,00	27	465	31	2,72
AN9	Ap-GR2b	250	11,00	27	530	30	2,66
AN10	Ap-GR3a	150	11,00	26	320	30	2,59
AN11	Ap-GR3a	200	11,00	26	380	29	2,42
AN12	Ap-GR3a	250	11,00	26	440	27	2,37
AN13	Ap-GR3b	150	11,00	26	250	27	2,32
AN14	Ap-GR3b	200	11,00	26	300	25	2,29
AN15	Ap-GR3b	250	11,00	26	350	24	2,27

**Figura 6 – Riepilogo analisi di stabilità - Fase di diagnosi – Tamez & Cornejo**



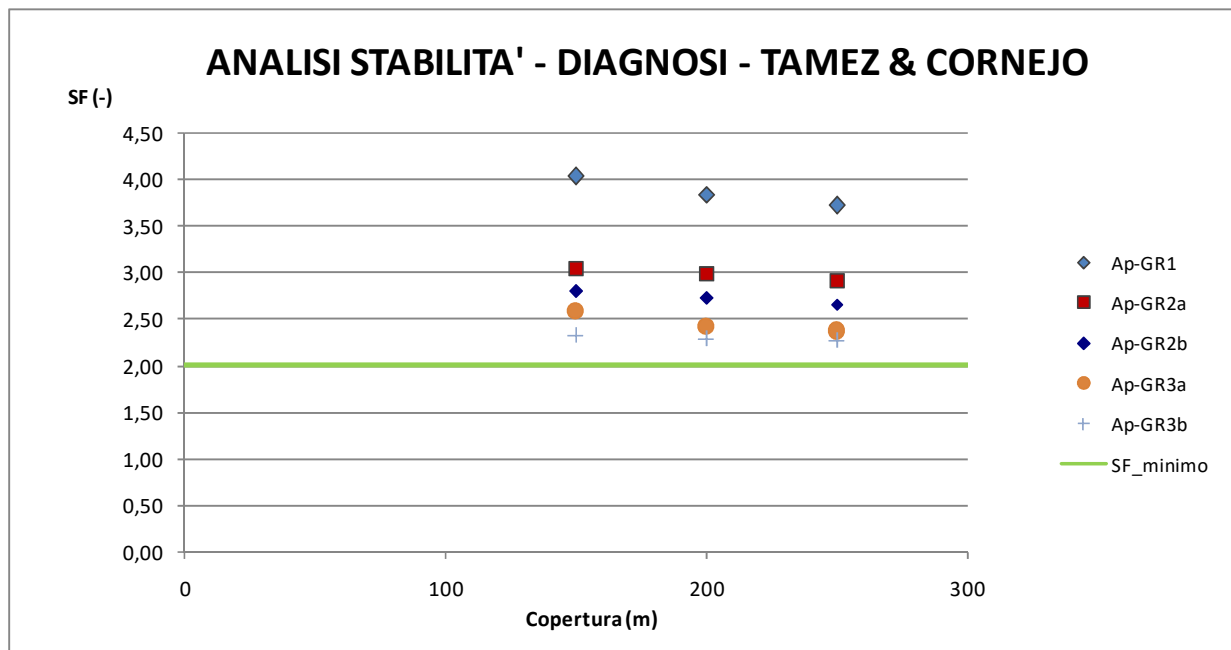


Figura 7 - Risultati analisi di stabilità - Fase di diagnosi - Tamez & Cornejo

ANALISI STABILITA' DEL FRONTE - FASE DI DIAGNOSI									
Analisi	Formazione	Copertura (m)	$z_0$ (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	GSI (-)	$\sigma_{ci}$ (kPa)	$m_i$	Stability Ratio	$\lambda_e$
AN1	Ap-GR1	150	155.00	27	50	35000	17.50	0.6	1.22
AN2	Ap-GR1	200	205.00	27	50	35000	17.50	0.8	1.08
AN3	Ap-GR1	250	255.00	27	50	35000	17.50	1.0	0.99
AN4	Ap-GR2a	150	155.00	27	42	12000	20.00	2.5	0.77
AN5	Ap-GR2a	200	205.00	27	42	12000	20.00	3.2	0.71
AN6	Ap-GR2a	250	255.00	27	42	12000	20.00	4.0	0.67
AN7	Ap-GR2b	150	155.00	27	37	10000	17.50	4.1	0.66
AN8	Ap-GR2b	200	205.00	27	37	10000	17.50	5.4	0.60
AN9	Ap-GR2b	250	255.00	27	37	10000	17.50	6.7	0.57
AN10	Ap-GR3a	150	155.00	26	33	7000	19.00	6.5	0.58
AN11	Ap-GR3a	200	205.00	26	33	7000	19.00	8.6	0.54
AN12	Ap-GR3a	250	255.00	26	33	7000	19.00	10.7	0.51
AN13	Ap-GR3b	150	155.00	26	28	5000	19.00	11.6	0.50
AN14	Ap-GR3b	200	205.00	26	28	5000	19.00	15.3	0.46
AN15	Ap-GR3b	250	255.00	26	28	5000	19.00	19.0	0.44

Figura 8 - Riepilogo analisi di stabilità - Fase di diagnosi - Broms & Bennermark / Panet

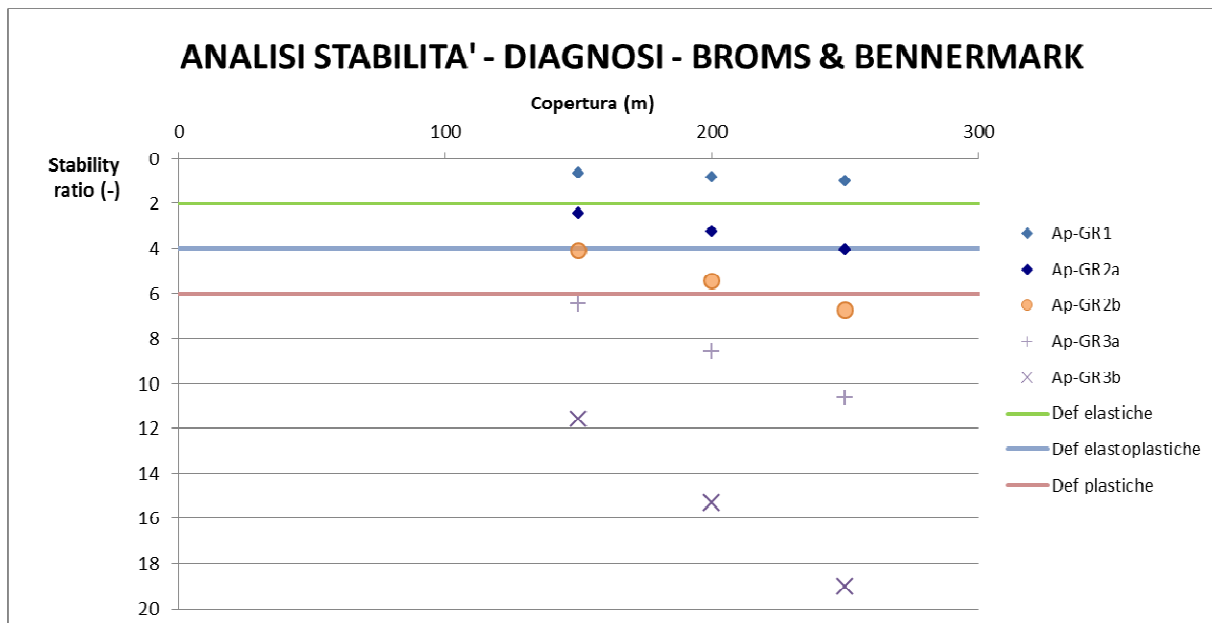


Figura 9 - Risultati analisi di stabilità - Fase di diagnosi - Broms & Bennermark

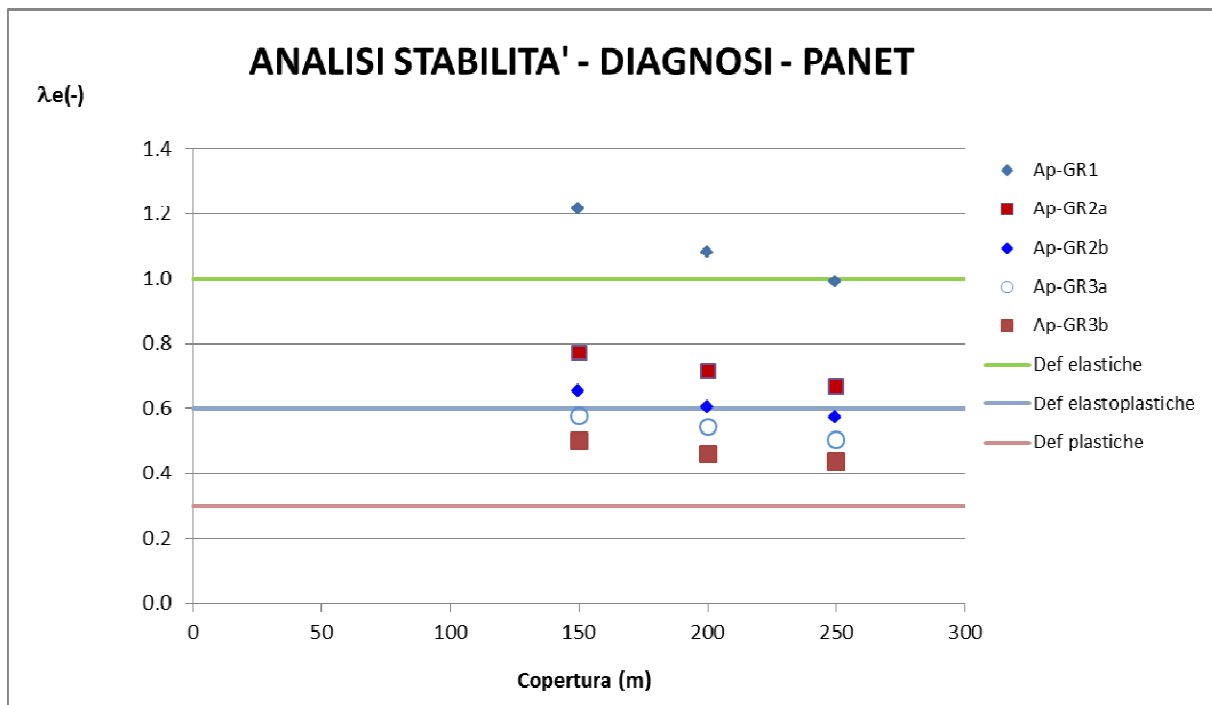


Figura 10 - Risultati analisi di stabilità - Fase di diagnosi - Panet

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 &

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN92A00001B00
	Foglio 35 di 67

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 Analisi tramite il 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.

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 allegate 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;

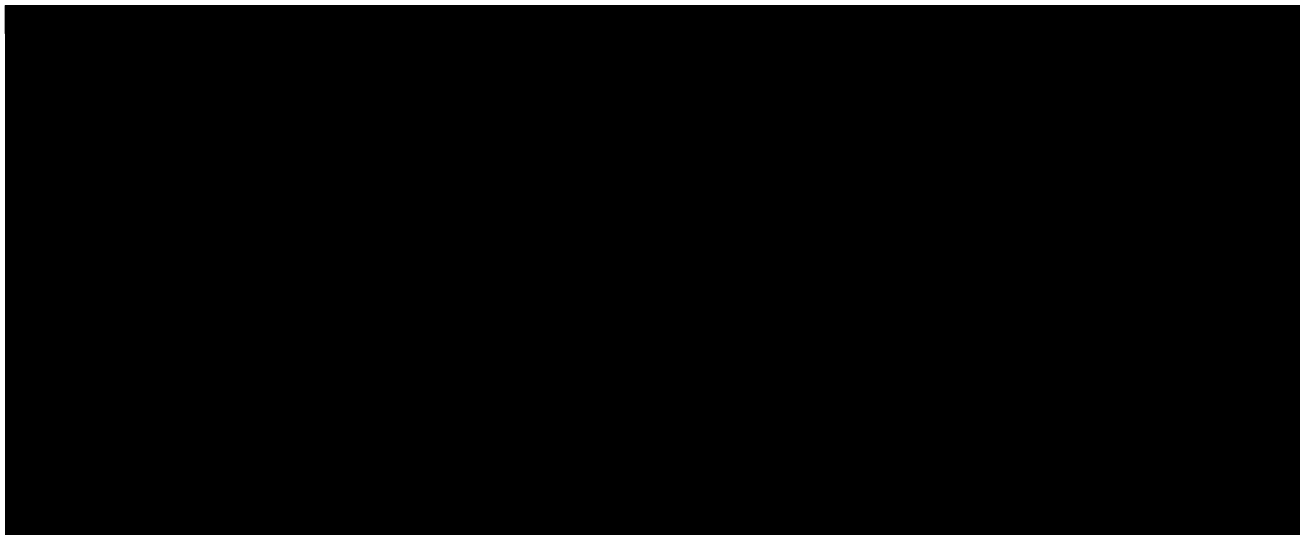
GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN92A00001B00
	Foglio 36 di 67

- 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 analisi condotte in fase di diagnosi tramite il metodo delle curve caratteristiche.



**Figura 11 – 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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN92A00001B00
	Foglio 37 di 67

- $R_{pl}$ =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 0,3% del raggio della galleria.

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 prerivestimento di adeguata rigidità.

#### Argille a Palombini (GR2)

Le analisi condotte, con riferimento alla linee caratteristiche in assenza di interventi, hanno evidenziato in genere, un comportamento di tipo “stabile a breve termine” (categoria B), sebbene

- nel gruppo geomeccanico con minore copertura per il quale si evidenzia un comportamento transitorio tra lo “stabile” e lo “stabile a breve termine”. Dall'applicazione del Metodo delle Linee Caratteristiche si evidenziano convergenze al fronte inferiori all'1% del raggio della galleria mentre i fenomeni di plasticizzazione al fronte risultano inferiori a 0.9 volte il raggio di scavo.
- 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 prerivestimento di adeguata rigidità.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN92A00001B00
	Foglio 38 di 67

### Argille a Palombini (GR3)

Le analisi condotte, con riferimento alla linee caratteristiche in assenza di interventi, hanno evidenziato in genere, un comportamento di tipo “a fronte instabile” (cat. C). Le Linee caratteristiche evidenziano infatti delle convergenze al fronte che, alle massime coperture e nel contesto geomeccanico più critico, raggiungono il 6,9% del raggio della galleria mentre i fenomeni di plasticizzazione arrivano a circa 4 volte il raggio della galleria.

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, e del contorno dello scavo, volti a favorire la creazione di un effetto arco.

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 prerivestimento di adeguata rigidità ed eventualmente con il getto ravvicinato al fronte dei rivestimenti definitivi.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN92A00001B00 <span style="float: right;">Foglio 39 di 67</span>

## 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

Nel capitolo precedente 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 	ALTA SORVEGLIANZA 
	A3010XDCVROGN92A00001B00 <span style="float: right;">Foglio 40 di 67</span>

- 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<sup>a</sup> 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.



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 12 - Fase di terapia: prerivestimenti**

RIVESTIMENTI							
SEZIONE TIPO	Variabilità	Classe cls Rck	Sp. AR	Sp. CAL	Fronte - murette	Fronte-AR	Fronte-definitivo
	[-]	[MPa]	[cm]	[cm]	∅	∅	∅
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 13 - Fase di terapia: rivestimento definitivo**

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

**Figura 14 – Fase di terapia: consolidamento al fronte**

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

**Figura 15 – Fase di terapia: consolidamento al contorno**

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN92A00001B00
	Foglio 43 di 67

## 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 prerivestimento 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.

Come si evince dal grafico seguente, tutte le sezioni tipo previste grazie agli interventi previsti in fase di terapia presentano un fattore di sicurezza maggiore di due (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.

ANALISI STABILITA' DEL FRONTE - FASE DI TERAPIA - Tamez & Cornejo											
Analisi	Formazione	Sezione tipo	Copertura (m)	$D_{eq}$ (m)	N° VTR	$\tau_{aderenza}$ (KPa)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	c' (kPa)	$\varphi$ (°)	Sfondo (m)	FSF
AN1	Ap-GR1	B0	150.00	10.99808	0	0	27.00	770	40	3.6	2.823
AN2	Ap-GR1	B0	200.00	10.99808	0	0	27.00	910	39	3.6	2.690
AN3	Ap-GR1	B0	250.00	10.99808	0	0	27.00	1043	39	3.6	2.605
AN4	Ap-GR2	B2	150.00	10.99808	60	250	27.00	450	38	1.2	3.441
AN5	Ap-GR2a	B2	200.00	10.99808	60	250	27.00	550	36	1.2	3.233
AN6	Ap-GR2a	B2	250.00	10.99808	60	250	27.00	638	34	1.2	3.081
AN7	Ap-GR3a	C4	150.00	10.99808	70	150	26.00	320	30	1	2.891
AN8	Ap-GR3a	C4	200.00	10.99808	70	150	26.00	380	29	1	2.629
AN9	Ap-GR3a	C4	250.00	10.99808	70	150	26.00	440	27	1	2.533

Figura 16 - Riepilogo analisi di stabilità - Fase di terapia

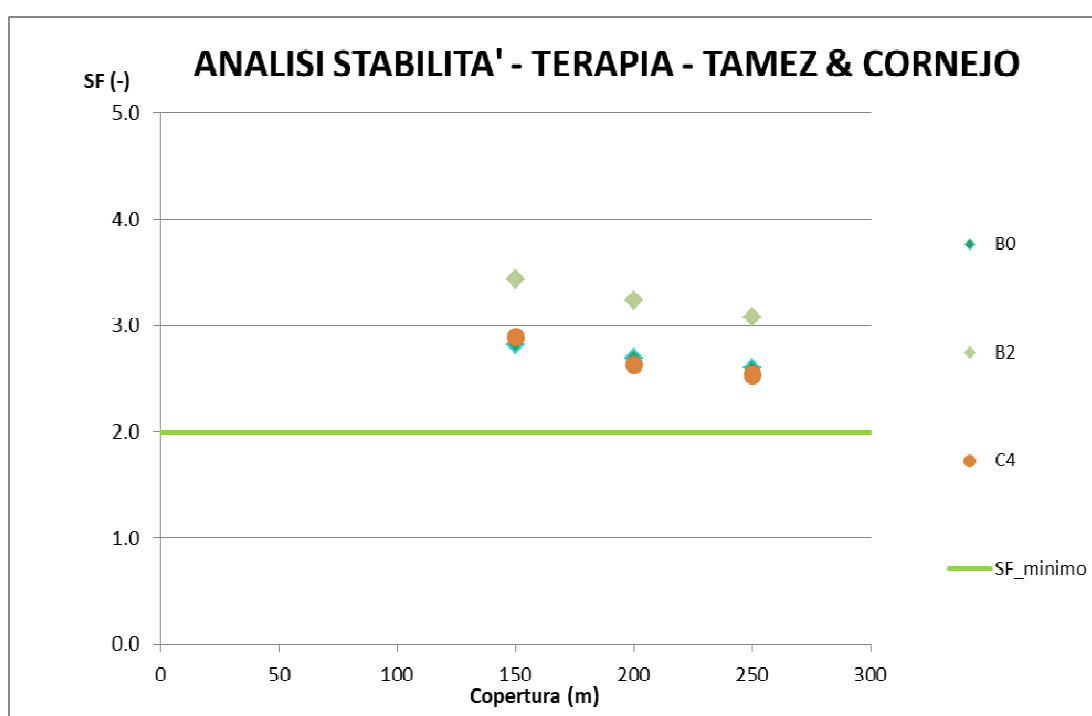


Figura 17 - Risultati analisi di stabilità - Fase di terapia

## 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.

RISULTATI ANALISI LC - FASE DI TERAPIA							Prerivestimenti				Rivestimenti definitivi		
Sezione tipologica	Formazione geologica	Copertura	R <sub>m</sub> (m)	U <sub>fronte</sub> (cm)	R <sub>pl fronte</sub> (m)	R <sub>pl fronte</sub> /R <sub>m</sub>	U <sub>messa opera</sub> (cm)	σ <sub>spritz</sub> (MPa)	σ <sub>cent</sub> (MPa)	Conv <sub>rad,preriv</sub> (cm)	U <sub>eq</sub> (cm)	R <sub>pl,eq</sub> (m)	σ <sub>cls</sub> * (MPa)
B0	AP - GR1	150	5.52	0.29	5.90	1.07	0.50	0.54	5.08	0.12	0.63	6.58	0.19
	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	250	5.52	0.52	6.09	1.10	0.91	1.02	9.58	0.23	1.15	6.98	0.37
B2	AP - GR2a	150	5.52	0.85	5.74	1.04	1.25	3.49	32.88	0.79	2.06	7.09	1.38
	AP - GR2a	200	5.52	1.21	5.96	1.08	1.77	5.05	47.53	1.14	2.93	7.45	2.01
	AP - GR2a	250	5.52	1.65	6.20	1.12	2.37	6.83	64.27	1.54	3.94	7.85	2.73
C4	AP - GR3a	150	5.52	1.64	6.45	1.17	2.57	6.86	64.56	1.54	4.14	8.73	2.15
	AP - GR3a	200	5.52	2.53	6.81	1.23	3.84	9.32	87.72	2.10	5.97	9.20	3.03
	AP - GR3a	250	5.52	3.78	7.28	1.32	5.54	12.25	115.27	2.76	8.35	9.96	4.12

**Figura 18 - Riepilogo analisi di stabilità con metodo delle linee caratteristiche**

- R<sub>m</sub>= raggio medio di scavo
- ν=coefficiente di Poisson
- U<sub>fronte</sub>=spostamento al fronte
- U<sub>messa in opera</sub>=spostamento alla messa in opera del prerivestimento
- U<sub>eq</sub>=spostamento all'equilibrio (rivestimenti definitivi)
- R<sub>pl fronte</sub>=raggio plastico al fronte
- R<sub>eq</sub>=raggio plastico all'equilibrio (rivestimenti definitivi)
- σ<sub>spritz</sub>=tensione nello spritz beton
- σ<sub>cent</sub>=tensione nelle centine metalliche
- σ<sub>cls</sub>\*=tensione nei rivestimenti definitivi

### Considerazioni conclusive sul comportamento dello scavo in fase di terapia

Le indagini svolte in fase di terapia, svolte coerentemente con quanto esposto nei capitoli precedenti, mostrano spostamenti massimi alla messa in opera dei prerivestimenti prossimi ai 6 cm per le sezioni tipo analizzate in presenza della formazione maggiormente 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.

## **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 contorno del cavo. Le analisi numeriche sono state distinte condizioni geomeccaniche della formazione geologica attraversata, della copertura e della tipologia di sezione di scavo prevista.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN92A00001B00 <span style="float: right;">Foglio 46 di 67</span>

In particolare è svolta l'analisi numerica della sezione tipo C4pr. 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. In particolare si considerano dimensionanti per la sezione B0pr e B2pr i calcoli effettuati per il cunicolo di sfollamento GN91, in cui le sezioni applicate sono le stesse, con stessa carpenteria e stessi interventi ma dimensionate a coperture maggiori. Per la sezione C invece la condizione dimensionante è rappresentata dalla zona di faglia presente nella WBS in esame, pertanto il calcolo viene fatto con H=150m.

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 della zona Area Sicura di Val Lemme.

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

Modello	Sezione tipo	Formazione geologica	Copertura [m]
1	C4pr	aP-GR3a	150

**Tabella 3. 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.

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.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN92A00001B00 <span style="float: right;">Foglio 47 di 67</span>

### Inizializzazione dello stato di sforzo

Nella prima fase di calcolo dell'analisi numerica, denominata "Elastic", è applicata la fish "ini-K<sub>0</sub>" 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 K<sub>0</sub> 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 k<sub>0</sub> prossimo all'unità.

Sebbene tale condizione di anisotropia possa trovare riscontro localmente, questa scelta appare corretta in quanto maggiormente rappresentativa delle condizioni riscontrabili 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 K<sub>0</sub> 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 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<sub>0</sub> sono in realtà diversi da quelli deducibili dallo stato tensionale indisturbato.

Le prove della misura del K<sub>0</sub> 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<sub>0</sub>=1.0). Tra l'altro le prove in foro eseguite in ambito di PE hanno fornito valori di K<sub>0</sub> del tutto congruenti con quelli utilizzati nei calcoli come mostra la Tabella 4.



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
A3010XDCVROGN92A00001B00		Foglio 48 di 67

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

**Tabella 4 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;

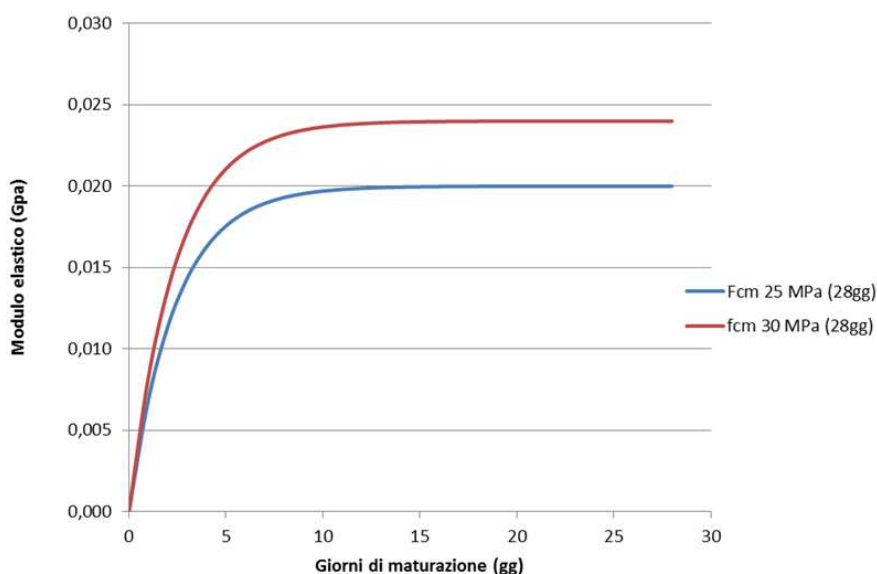


- s spessore di spritz beton impiegato;
- d passo delle centine metalliche;

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 19 - 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.

Spritz beton fcm = 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

Spritz beton fcm = 30 MPa a 28 gg		
Maturazione	$E_{sb,t}$	$f_{cm}$
[gg]	[GPa]	[MPa]
0.5	4.735	4
3	17.909	16
28	25.000	30

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.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN92A00001B00 <span style="float: right;">Foglio 50 di 67</span>

### 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 (coesione e angolo d'attrito interno) corrispondenti al criterio di rottura di Mohr-Coulomb sono determinate secondo la procedura di linearizzazione dell'involucro 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  $D = 0.3$ .

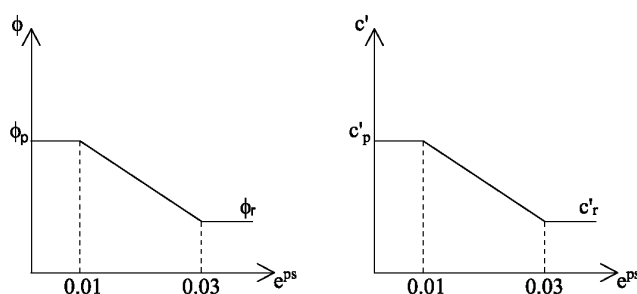
A partire dai valori di picco, i parametri di resistenza sono gradualmente ridotti in funzione della deformazioni plastica a taglio sviluppata ( $e^{ps}$ ) durante la successione delle fasi di calcolo. La legge adottata per descrivere il decadimento dei parametri geotecnici, prevede una variazione lineare 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 20 - Legge di decadimento dei parametri geotecnici**

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

### Consolidamento al contorno

Gli interventi di consolidamento al contorno del cavo sono simulati nelle elaborazioni numeriche in termini di incremento delle caratteristiche di resistenza e di deformabilità nella fascia di terreno trattato. Tali valori sono ottenuti secondo le medesime osservazioni esposte in precedenza per l'analisi della fase di terapia delle linee caratteristiche.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	A3010XDCVROGN92A00001B00 <table border="1" data-bbox="1420 230 1532 282"> <tr> <td>Foglio 51 di 67</td> </tr> </table>	Foglio 51 di 67
Foglio 51 di 67		

Per quanto riguarda gli interventi di consolidamento a bassa pressione tramite VTR cementati (sezioni tipo C4pr); tali interventi vengono tenuti in conto attraverso una coronella di terreno consolidato per la quale si incrementa unicamente il valore del GSI:

- modulo elastico adottato nella modellazione (E) pari a quello del terreno non trattato ( $E_{0P}$ );
- $\sigma_{ci}$  pari a quello del terreno non trattato;
- GSI = 40;
- $m_i$  pari a quello del terreno non trattato.

### 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) e dell'eventuale consolidamento al contorno del cavo (sezioni tipo C).

#### 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  $\sigma_r$  la pressione di rilassamento, ovvero la pressione radiale di confinamento esercitata dal nucleo di scavo persa a seguito dello scavo, e  $\sigma_0$  la pressione radiale esercitata sul contorno del cavo dal carico geostatico. L'adozione della sola curva  $\lambda$ , così come comunemente espressa quale criterio di riduzione delle caratteristiche elastiche e di resistenza del nucleo nel corso dell'analisi, non 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,

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN92A00001B00
	Foglio 52 di 67

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

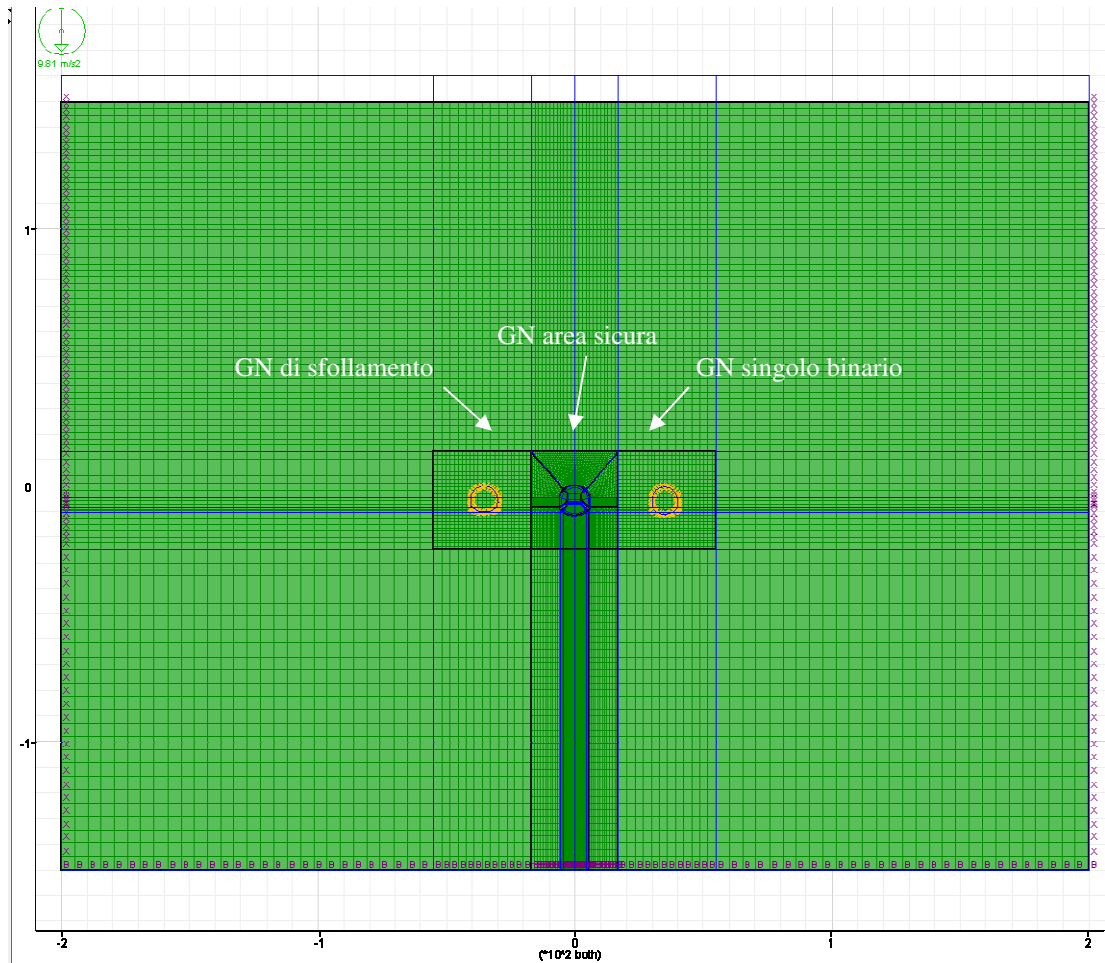
tiene conto delle percentuali di riduzione residue, dopo il rilassamento del fronte.

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

#### 8.4 Modello 1: Sezione tipo C4pr

La valutazione dello stato tenso-deformativo nei rivestimenti della sezione tipo C4pr e nell’ammasso circostante è riferita ad una copertura in chiave calotta di 150 m. L’analisi numerica è condotta tramite un modello bidimensionale al continuo. La griglia di calcolo di dimensioni 300 x 400 m è costituita da 20416 elementi quadrangolari. Il contorno superiore della griglia è posto a 150 metri ( $y=150$  m) dal profilo di scavo in chiave calotta ( $y=0$ m), simulando quindi la profondità in esame.

Project: AS\_04\_160m\_aP-GR3a.pj  
 Title: 416 03a  
 Layer: defined groups  
 Map: 012a  
 Grid  
 Boundary  
 Meshed Gridpoints  
 Fixed Gridpoints  
 Sketch (1)  
 Group: MESH (78)  
 Gravity



L'ammasso è modellato come un continuo equivalente, attraverso un unico materiale con valori dei parametri geo-meccanici rappresentativi del Gruppo Geomeccanico GR3a della Formazione delle Argilliti a Palombini (§Tabella 5-2). 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	$\gamma$	$\nu$	$E_{op}$	$c_p$	$\phi_p$	$c_r$	$\phi_r$
	[kN/m <sup>3</sup> ]	[-]	[GPa]	[MPa]	[°]	[MPa]	[°]
aP-GR3a	26	0.3	1.1	0.38	29	0.33	26

### 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 0.8 ÷ 1.4 m/g, tipiche per lo scavo in questo tipo di materiale, da cui derivano le caratteristiche di deformabilità e resistenza assegnate nel calcolo allo

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	A3010XDCVROGN92A00001B00 Foglio 54 di 67
--	--	---

strato di spritz beton. Si riportano le caratteristiche principali utilizzate nell'analisi per le sezioni omogenizzate composte da centine e spritz beton.

Centina	HEB 240	Spritz - Beton	
n° [-]	1	E <sub>28gg</sub> [GPa]	24.0
Passo [m]	1.0	Spessore [m]	0.30
E [GPa]	210.0		

Maturazione	E <sub>om</sub>	S <sub>om</sub>	EA	EI
[gg]	[GPa]	[m]	[kN]	[kN·m <sup>2</sup> ]
0.5	10.7144	0.3357	3 596 423	33 767
3.0	23.3937	0.3167	7 408 763	61 924
28.0	30.2579	0.3127	9 460 943	77 081

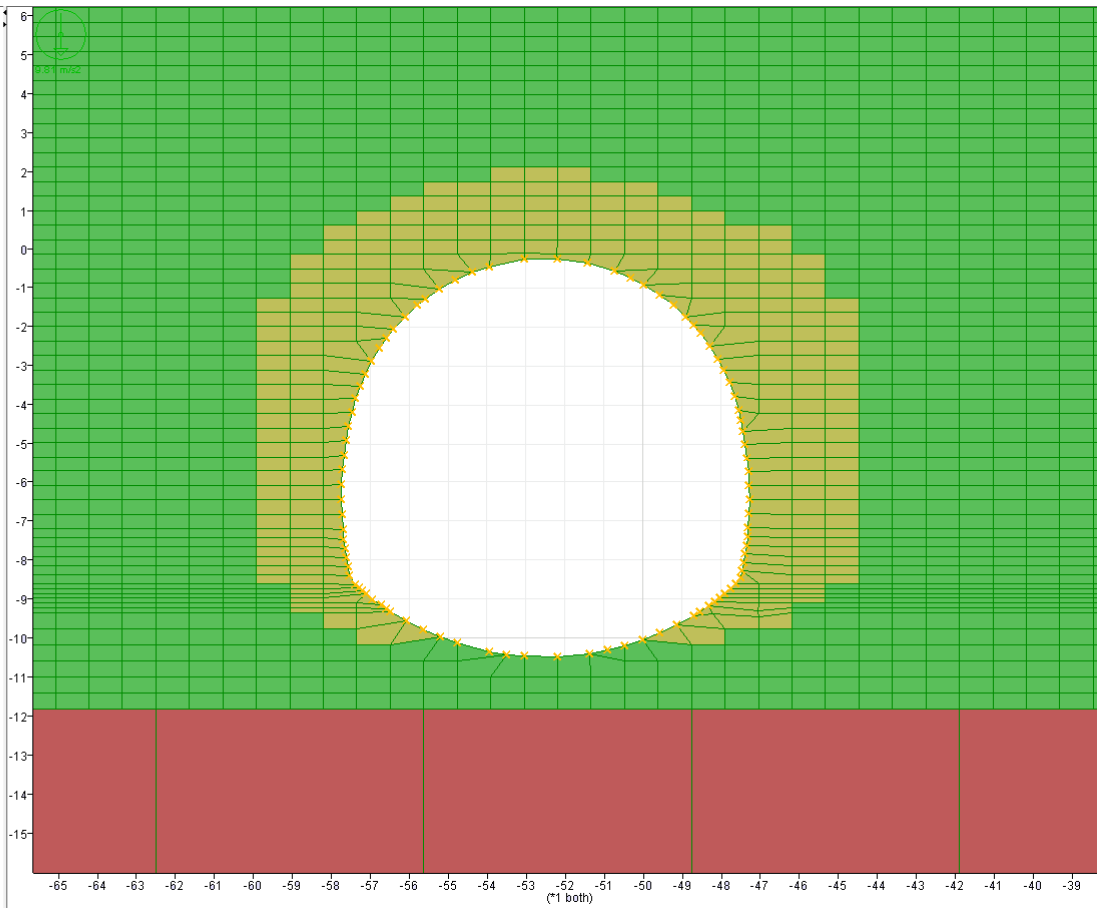
Di seguito si riportano le fasi di calcolo modellate ed i valori di M-stage utilizzati.

LAVORO		COCIV - TRATTA AV/AC TERZO VALICO DEI GIOVI									
Sezione		Area sicura - C4 - 150m									
TIME	DESCRIZIONE	RIFERIMENTO PRIMA CANNA					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	75.0%	-	-∞	0.0%	-∞	0.0%	-
Time 2	Avanzamento mezzo sfondo	0	75.0%	0.5	81.0%	-	-∞	0.0%	-∞	0.0%	-
Time 3	Installazione prerivestimento e avanzamento	0.5	81.0%	1.5	85.0%	0.5 gg	-∞	0.0%	-∞	0.0%	-
Time 4	Maturazione sb e avanzamento	1.5	85.0%	5	89.0%	3gg	-∞	0.0%	-∞	0.0%	-
Time 5	Maturazione sb e avanzamento	5	89.0%	≈ 3 diametri	92.0%	28gg	-∞	0.0%	-∞	0.0%	-
Time 6	Getto arco rovescio prima canna	≈ 3 diametri	92.0%	≈ 50m	94.0%	28gg	-∞	0.0%	-∞	0.0%	-
Time 7	Getto calotta e piedritti prima canna	≈ 50m	94.0%	> 9 diametri	100.0%	28gg	-∞	0.0%	-∞	0.0%	-
Time 8	Fronte di scavo seconda canna					28gg	-∞	0.0%	0	75.0%	-
Time 9	Avanzamento mezzo sfondo					28gg	0	75.0%	0.5	81.0%	-
Time 10	Installazione prerivestimento e avanzamento					28gg	0.5	81.0%	1.5	85.0%	0.5 gg
Time 11	Maturazione sb e avanzamento					28gg	1.5	85.0%	5	89.0%	3gg
Time 12	Maturazione sb e avanzamento					28gg	5	89.0%	≈ 3 diametri	92.0%	28gg
Time 13	Getto arco rovescio seconda canna					28gg	≈ 3 diametri	92.0%	≈ 9 diametri	94.0%	28gg
Time 14	Completamento seconda canna					28gg	≈ 9 diametri	94.0%	> 9 diametri	100.0%	28gg
		RIFERIMENTO CUNICOLO DI ESODO RAPIDO									
Time 15	Fronte di scavo cunicolo	0	0.0%	0	75.0%	-					
Time 16	Avanzamento mezzo sfondo	0	85.0%	0.5	80.0%	-					
Time 17	Installazione prerivestimento e avanzamento	2.1	91.0%	1.5	85.0%	0.5 gg					
Time 18	Maturazione sb e avanzamento	5	95.0%	5	89.0%	3gg					
Time 19	Maturazione sb e avanzamento	15	96.5%	≈ 3 diametri	92.0%	28gg					
Time 20	Getto arco rovescio cunicolo	≈ 9 diametri	98.0%	≈ 9 diametri	94.0%	28gg					
Time 21	Completamento cunicolo	≈ 15 diametri	99.0%	> 9 diametri	100.0%	28gg					
Time 22	Lungo termine			+∞	100.0%	-					

La figura seguente contiene il dettaglio della griglia al contorno dello scavo della sezione tipo C4pr, oggetto della presente analisi.



ProjectC4\_AS\_150m.prj  
Title:<No title>  
-----  
User-defined Groups  
Ap GR3  
CORONELLA\_1  
SOTTOFONDD  
CLS 25/30  
CORONELLA\_2  
Grid  
Marked Gridpoints  
Fixed Gridpoints  
Gravity



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN92A00001B00 <span style="float: right;">Foglio 56 di 67</span>

## 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 prerinvestimento 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 ( $\sigma_c$ ) e di trazione sull'acciaio ( $\sigma_s$ ), 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 ( $\tau$ ), prodotta dallo sforzo di taglio agente, sia inferiore al valore ammissibile:

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



## 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  $\tau_{c0}$ . Nella zona ove le tensioni tangenziali superano  $\tau_{c0}$ , gli sforzi tangenziali sono integralmente assorbiti dall'armatura trasversale. In ogni caso massima tensione tangenziale per solo taglio non deve superare il valore  $\tau_{c1}$ .

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	A3010XDCVROGN92A00001B00 <table border="1" style="float: right;"> <tr> <td>Foglio 58 di 67</td> </tr> </table>	Foglio 58 di 67
Foglio 58 di 67		

### 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

$\Phi$  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.

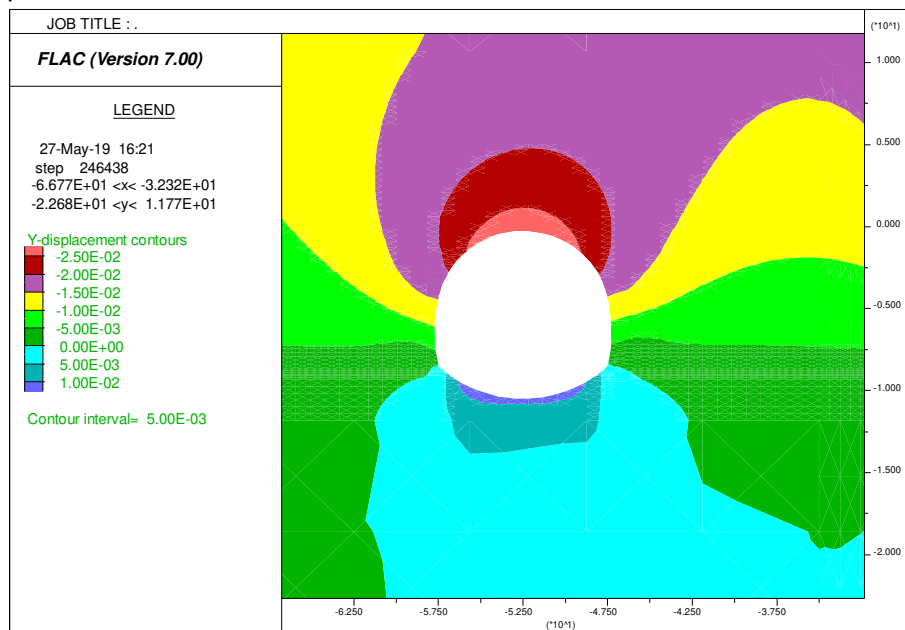
$\beta_1 = 1$  per barre ad aderenza migliorata

$\beta_2 = 0.5$  nel caso di azioni di lunga durata o ripetute.

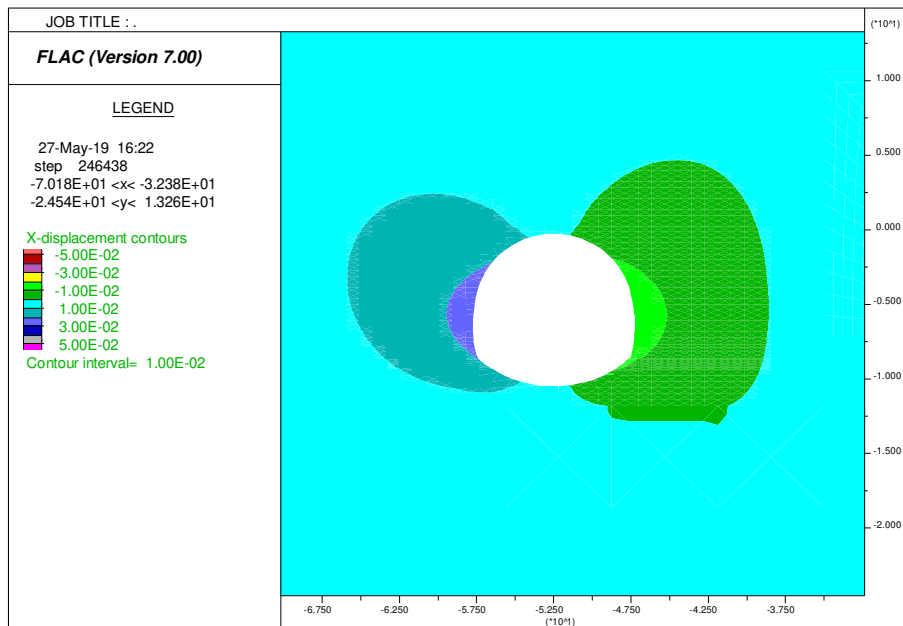
### 9.3 Modello 1: Sezione Tipo C4pr

#### 9.3.1 Analisi deformativa

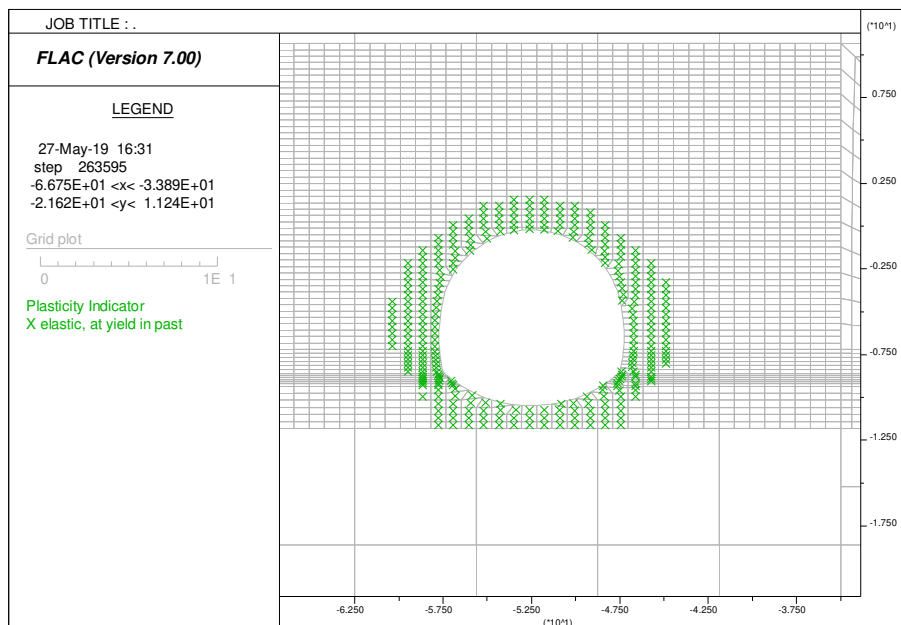
I risultati più significativi ottenuti dalla presente analisi sono riassunti nelle immagini contenute nel presente paragrafo. Il modello ha indicato spostamenti contenuti con deformazioni del cavo nel lungo termine di circa 3 centimetri. I fenomeni di plasticizzazione nel terreno al contorno della cavità, nella fase di lungo termine, si estendono per una fascia di circa 4 m come si può vedere nell'immagine riportata sotto.



**Figura 21– Modello 1: spostamenti in direzione verticale (Fase finale)**



**Figura 22– Modello 1: spostamenti in direzione orizzontale (Fase finale)**



**Figura 23 – Modello 1: Fenomeni di plasticizzazione (Fase finale)**

Per quanto riguarda il prerivestimento, la convergenza totale media prossima 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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
A3010XDCVROGN92A00001B00		Foglio 61 di 67

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	$\Delta$ Spostamento priverimenti (Time 20-16)	$\Delta$ spostamento rivestimento definitivo (Time 22-20)
	[cm]	[cm]
Chiave calotta Verticale	$\leq 1$	$\sim 0.1$
Piano centri Orizzontale	$\leq 1$	$\sim 0.1$
Chiave arco rovescio Verticale	-	$\sim 0.1$

**Tabella 5. Spostamenti individuati su pre-rivestimenti e rivestimenti definitivi**

### 9.3.2 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	1.0

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	M	$\sigma_c$	$\sigma_c$ limite	$\sigma_s$	$\sigma_s$ limite	V	$\tau$	$\tau$ limite
[-]	[m]	[KN/m]	[KNm/m]	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]	[KN/m]	[Mpa]	[Mpa]
0.5gg	0.3	-512	-37	-1.55	3.08	-62.32	190.0	187	74.9	109.7
3gg	0.3	-1179	-91	-6.93	12.31	-71.95	190.0	-182	-72.8	109.7
28gg	0.3	-2105	-183	-14.89	23.08	-108.71	190.0	-258	-103.3	109.7

**Tabella 6. Modello 1: verifiche priverimenti**

Come si nota tutte le verifiche risultano soddisfatte.

Il rivestimento definitivo mostra in calotta sollecitazioni assiali massime prossimi a 3800KN/m e momenti flettenti maggiori nella zona dei piedritti o a contatto con le murette piuttosto che in calotta. Per quanto riguarda l'arco rovescio le sollecitazioni flettenti raggiungono valori di momento dell'ordine dei 550 KNm/m ed azioni assiali prossime a 2000 KN/m.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN92A00001B00 <span style="float: right;">Foglio 62 di 67</span>

<b>FERRI ARMATURA PRINCIPALE</b>		
	Intradosso	Estradosso
Arco rovescio	$\Phi 24/20$	$\Phi 24/20$
Calotta	$\Phi 24/20$	$\Phi 24/20$

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. Nella tabella seguente viene riportato lo stato tensionale e l'apertura della fessura qualora il momento agente risultasse superiore al momento di fessurazione.

H	N	M	$\sigma_c$	$\sigma_s$	V	$\tau$
[m]	[kN]	[kNm]	[MPa]	[MPa]	[kN]	[MPa]
calotta - 0.9m	-3761.0	730.5	-8.60	-118.3	-436.2	-0.598
arco rovescio - 1.0m	-2063.0	-556.5	-5.05	-69.1	-451.5	-0.557

**Tabella 7. Modello 1: 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.

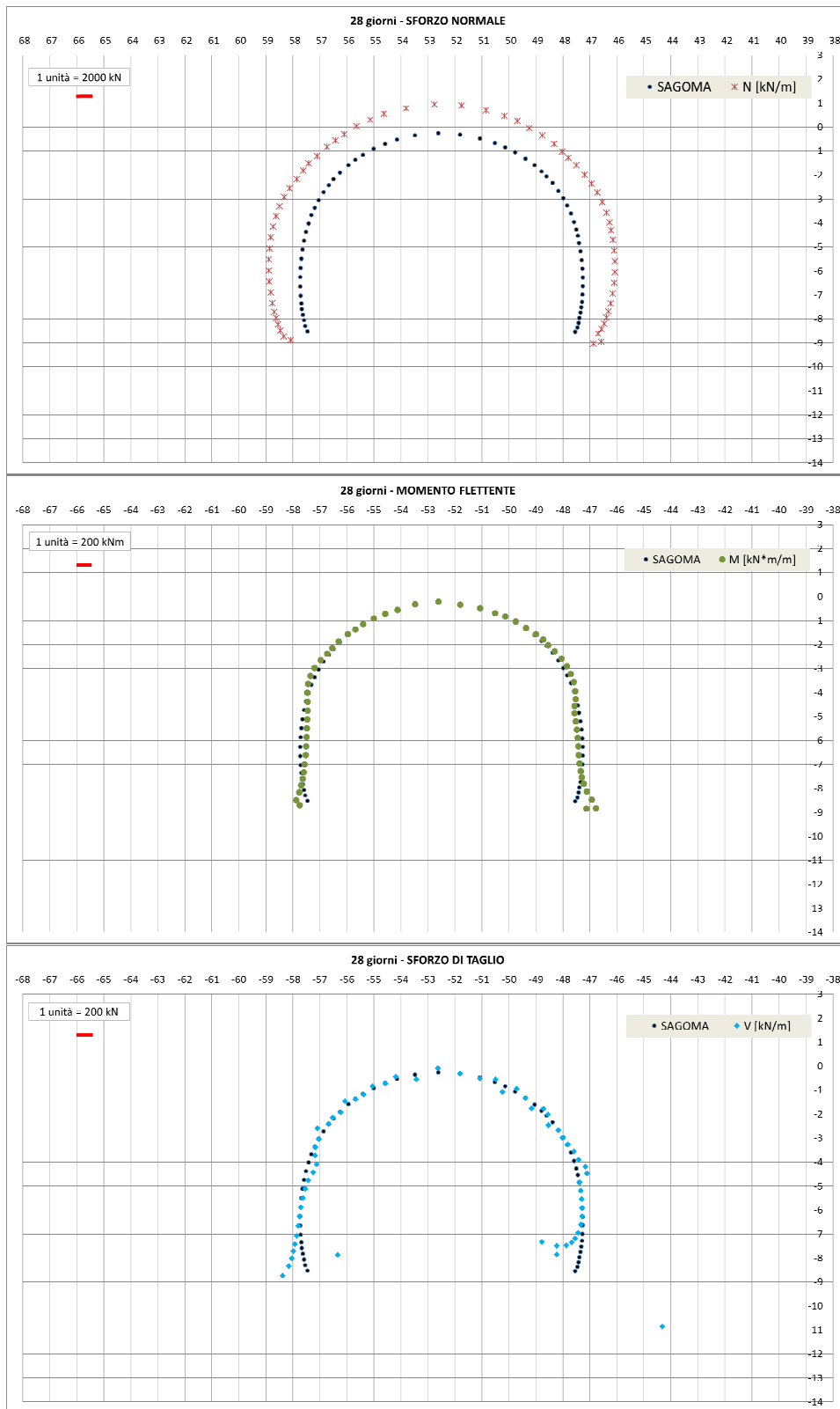


Figura 24– Modello 1: caratteristiche della sollecitazione ne l rivestimento provvisorio

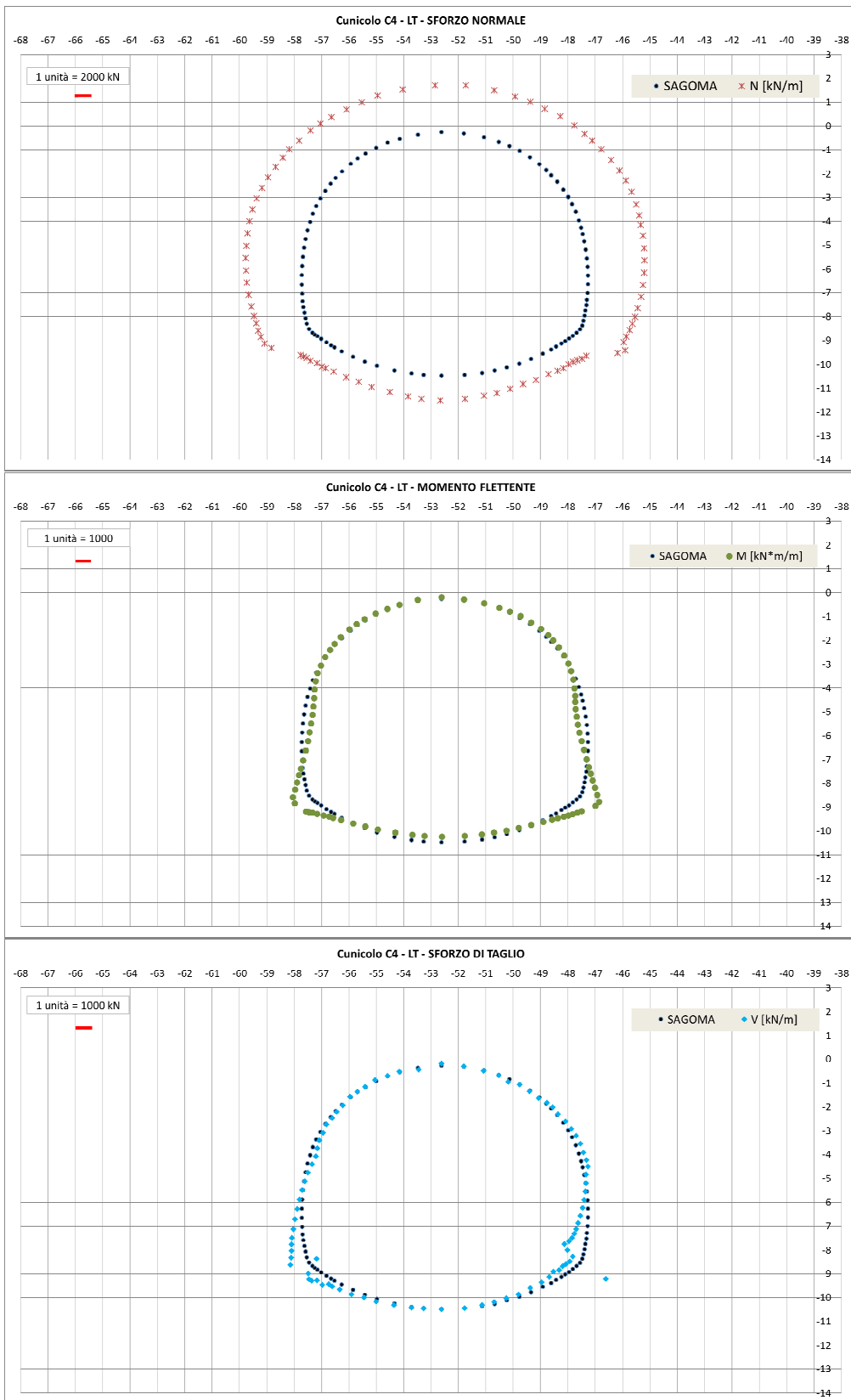


Figura 25– Modello 1: caratteristiche della sollecitazione nel rivestimento definitivo



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN92A00001B00
	Foglio 65 di 67

## 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  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGN92A00001B00
	Foglio 66 di 67

## 11. CONCLUSIONI

Oggetto della presente relazione è stata la descrizione delle principali problematiche legate allo scavo dei cunicoli di sfollamento da realizzarsi nel tratto dell'area sicura Val Lemme (WBS GN92A), 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>CODIV Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	
	<p>A3010XDCVROGN92A00001B00</p>	<p>Foglio 67 di 67</p>

## 12. ALLEGATO 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	$\Delta H$ [m]	$\gamma_n$ [ $\text{kNm}^{-3}$ ]	$c'$ [kPa]	$\phi'$ [°]
Ap-GR1	150.0	27.0	770	40.0

Excavated layers	$\Delta H$ [m]	$\gamma_n$ [ $\text{kNm}^{-3}$ ]	$c'$ [kPa]	$\phi'$ [°]
Ap-GR1	10.0	27.0	770	40.0

**Tunnel geometry**

Type of ground	CF/F	CF
Total Overburden	Z [m]	150.0
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]	4.7

**Prismatic volume properties**

Aver. weight of load mass	$\gamma_p$ [ $\text{kNm}^{-3}$ ]	27.0
Aver. cohesion of load mass	$c'_p$ [kPa]	770.0
Aver. friction of load mass	$\phi'_p$ [°]	40.0

Aver. weight of Excav. layers	$\gamma_E$ [ $\text{kNm}^{-3}$ ]	27.0
Aver. cohesion of Excav. layers	$c'_E$ [kPa]	770.0
Aver. friction of load mass	$\phi'_E$ [°]	40.0

Effective soil press. at crown	$\sigma'_v$ [kPa]	4050
--------------------------------	-------------------	------

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

**Shear resistance and Safety factor at Diagnosis phase**

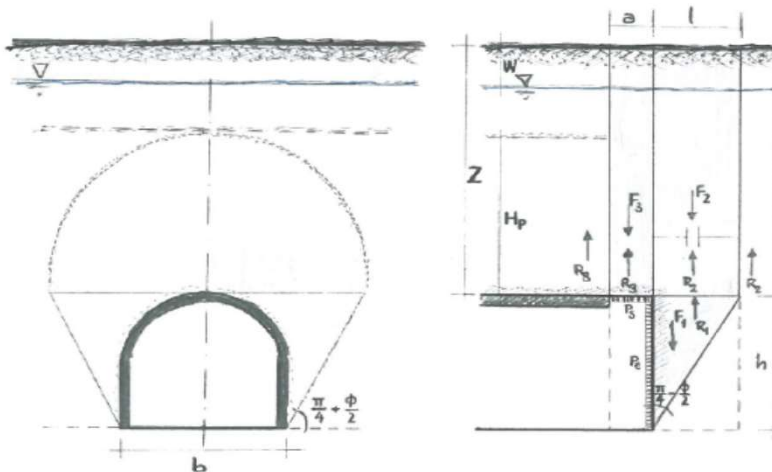
Shear resistance (prism 3)	$\tau_{m3}$ [kPa]	1518
Shear resistance (prisms 1-2)	$\tau_{m2}$ [kPa]	3863

Safety factor (prism 3)	$FS_3$	14.66
Safety factor (MΣFR/MSFA)	$FS_F$	4.03

Permitted free span length	$a_{max}$ [m]	29.7
Pressure on primary supports	$P_s$ [kPa]	1469
Required pressure at face	$P_E$ [kPa]	0

Obtained safety factor	SF	4.03
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  $\gamma$  is unit weight of the soil,  
 $s_u$  is undrained shear strength of the soil at tunnel axis level,  
 $\sigma_s$  is surface surcharge pressure,  
 $\sigma_T$  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]	$\gamma_n$ [kNm <sup>-3</sup> ]	$\sigma_s$ [kPa]	$\sigma_T$ [kPa]	$\sigma_c$ [kPa]	$m_i$ [-]	GSI [-]
Ap-GR1	155	27.0	0	0	35000	17.5	50
0	0	0.0					
0	0	0.0					
0	0	0.0					

**Results**

$\Delta H$ [m]	$\gamma_n$ [kNm <sup>-3</sup> ]	$\sigma_c$ [kPa]	$m_i$ [-]	GSI [-]	$\sigma_0$ [kPa]	$\sigma_{cm}$ [kPa]	$s_u$ [kPa]
155.0	27.0	35000.0	17.5	50.0	4185.0	13470.8	6735.4
0.0	0.0						
0.0	0.0						
0.0	0.0						

Stability ratio

N

[-]

0.6

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	[-]	0.6
Passive earth pressure	$K_p$	[-]	4.599
Deconfinement	$\lambda_e$	[-]	1.22

Stable face

**Geotechnical properties**

Overburden layers	$\Delta H$ [m]	$\gamma_n$ [ $\text{kNm}^{-3}$ ]	$c'$ [kPa]	$\phi'$ [°]
Ap-GR1	150	27	770	40

Excavated layers	$\Delta H$ [m]	$\gamma_n$ [ $\text{kNm}^{-3}$ ]	$c'$ [kPa]	$\phi'$ [°]
Ap-GR1	10	27	770	40

**Tunnel geometry**

Type of ground	CF/F	CF
Total Overburden	Z [m]	150.0
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]	4.7

**Injection modality**

Grout injection properties		
Cubic compression resistance	$R_{ck}$ [MPa]	
Injection influence ratio	$i_i$ [-]	1
Curing factor	$\gamma_c$ [-]	
Material's safety factor	$\gamma_f$ [-]	
Mortar's position ratio	$v_c$ [-]	
Elastic module of mortar	$E_c$ [GPa]	
Grout-soil bond	$\tau_a$ [kPa]	0.0
Injection penetrability coeff.	$\alpha_i$ [-]	1.0
ULS resistance of mortar	$\sigma_c$ [-]	

Face bolt properties		
Tensile resistance of bar	$\sigma_b$ [MPa]	600.0
Tensile resistance at joint	$\sigma_j$ [MPa]	600.0
Shear resistance of bar	$\sigma_t$ [MPa]	100.0
Drilling diameter	$\phi_{dril}$ [mm]	100.0
External diameter	$\phi_{ext}$ [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	$A_b$ [ $\text{mm}^2$ ]	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	$n_b$ [ $\text{m}^{-2}$ ]	0.00
Confining pressure	$P_e$ [kPa]	0.0
Increment of cohesion	$\Delta c'$ [kPa]	0.0
Improved cohesion at face	$c'_{eq}$ [kPa]	770.0

**Prismatic volume properties**

Aver. weight of load mass	$\gamma_p$ [ $\text{kNm}^{-3}$ ]	27.0
Aver. cohesion of load mass	$c'_p$ [kPa]	770.0
Aver. friction of load mass	$\phi'_p$ [°]	40.0

Aver. weight of Excav. layers	$\gamma_E$ [ $\text{kNm}^{-3}$ ]	27.0
Aver. cohesion of Excav. layers	$c'_E$ [kPa]	770.0
Aver. friction of load mass	$\phi'_E$ [°]	40.0

Effective soil press. at crown	$\sigma'_v$ [kPa]	4050
--------------------------------	-------------------	------

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

**Shear resistance and Safety factor at Diagnosis phase**

Shear resistance (prism 3)	$\tau_{m3}$ [kPa]	1518
Shear resistance (prisms 1-2)	$\tau_{m2}$ [kPa]	3863

Safety factor (prism 3)	$FS_3$	4.99
Safety factor (MΣFR/MSFA)	$FS_F$	2.82

Permitted free span length	$a_{max}$ [m]	29.7
Pressure on primary supports	$P_s$ [kPa]	1469
Requied pressure at face	$P_E$ [kPa]	0

Obtained safety factor	SF	2.82
Requested safety factor	$SF_R$	2.00

**Tamez & Conejo (1985)**

**Geotechnical properties**

Overburden layers	$\Delta H$ [m]	$\gamma_n$ [ $\text{kNm}^{-3}$ ]	$c'$ [kPa]	$\phi'$ [°]
Ap-GR1	200.0	27.0	910	39.0

Excavated layers	$\Delta H$ [m]	$\gamma_n$ [ $\text{kNm}^{-3}$ ]	$c'$ [kPa]	$\phi'$ [°]
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	$\gamma_p$ [ $\text{kNm}^{-3}$ ]	27.0
Aver. cohesion of load mass	$c'_p$ [kPa]	910.0
Aver. friction of load mass	$\phi'_p$ [°]	39.0

Aver. weight of Excav. layers	$\gamma_E$ [ $\text{kNm}^{-3}$ ]	27.0
Aver. cohesion of Excav. layers	$c'_E$ [kPa]	910.0
Aver. friction of load mass	$\phi'_E$ [°]	39.0

Effective soil press. at crown	$\sigma'_v$ [kPa]	5400
--------------------------------	-------------------	------

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

**Shear resistance and Safety factor at Diagnosis phase**

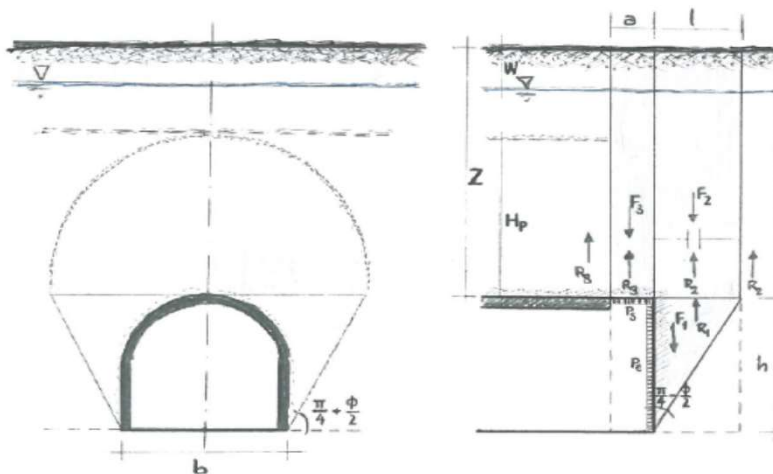
Shear resistance (prism 3)	$\tau_{m3}$ [kPa]	1906
Shear resistance (prisms 1-2)	$\tau_{m2}$ [kPa]	4916

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  $\gamma$  is unit weight of the soil,  
 $s_u$  is undrained shear strength of the soil at tunnel axis level,  
 $\sigma_s$  is surface surcharge pressure,  
 $\sigma_T$  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]	$\gamma_n$ [kNm <sup>-3</sup> ]	$\sigma_s$ [kPa]	$\sigma_T$ [kPa]	$\sigma_c$ [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**

$\Delta H$ [m]	$\gamma_n$ [kNm <sup>-3</sup> ]	$\sigma_c$ [kPa]	$m_i$ [-]	GSI [-]	$\sigma_0$ [kPa]	$\sigma_{cm}$ [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	$\lambda_e$	[-]	1.08

Stable face



**Geotechnical properties**

Overburden layers	$\Delta H$ [m]	$\gamma_n$ [ $\text{kNm}^{-3}$ ]	$c'$ [kPa]	$\phi'$ [°]	Excavated layers	$\Delta H$ [m]	$\gamma_n$ [ $\text{kNm}^{-3}$ ]	$c'$ [kPa]	$\phi'$ [°]
Ap-GR1	200	27	910	39	Ap-GR1	10	27	910	39

**Tunnel geometry**

Type of ground	CF/F	CF	Deep tunnel ( $Z > 5D$ )		
Total Overburden	Z [m]	200.0	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	$\sigma_b$ [MPa]	600.0
Injection influence ratio	$i_i$ [-]	1	Tensile resistance at joint	$\sigma_j$ [MPa]	600.0
Curing factor	$\gamma_c$ [-]		Shear resistance of bar	$\sigma_t$ [MPa]	100.0
Material's safety factor	$\gamma_f$ [-]		Drilling diameter	$\phi_{dril}$ [mm]	100.0
Mortar's position ratio	$v_c$ [-]		External diameter	$\phi_{ext}$ [mm]	60.0
Elastic module of mortar	$E_c$ [GPa]		Tube's Thickness	$th_b$ [mm]	10.0
Grout-soil bond	$\tau_a$ [kPa]	0.0	Overlapping length	$L_{LAP}$ [m]	9.0
Injection penetrability coeff.	$\alpha_i$ [-]	1.0	Joint step	$i_{joint}$ [m]	24.0
ULS resistance of mortar	$\sigma_c$ [-]		Resistance area of single bar	$A_b$ [ $\text{mm}^2$ ]	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	$n_b$ [ $\text{m}^{-2}$ ]	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]	910.0

**Prismatic volume properties**

Aver. weight of load mass	$\gamma_p$ [ $\text{kNm}^{-3}$ ]	27.0	Aver. weight of Excav. layers	$\gamma_E$ [ $\text{kNm}^{-3}$ ]	27.0
Aver. cohesion of load mass	$c'_p$ [kPa]	910.0	Aver. cohesion of Excav. layers	$c'_E$ [kPa]	910.0
Aver. friction of load mass	$\phi'_p$ [°]	39.0	Aver. friction of load mass	$\phi'_E$ [°]	39.0
Effective soil press. at crown	$\sigma'_v$ [kPa]	5400	hydraulic press. at crown	u [kPa]	0

**Shear resistance and Safety factor at Diagnosis phase**

Shear resistance (prism 3)	$\tau_{m3}$ [kPa]	1906	Safety factor (prism 3)	$FS_3$	4.70
Shear resistance (prisms 1-2)	$\tau_{m2}$ [kPa]	4916	Safety factor (MΣFR/MSFA)	$FS_F$	2.69
Permitted free span length	$a_{max}$ [m]	21.0	Obtained safety factor	SF	2.69
Pressure on primary supports	$P_s$ [kPa]	2160	Requested safety factor	$SF_R$	2.00
Requied pressure at face	$P_E$ [kPa]	0			

**Tamez & Conejo (1985)**

**Geotechnical properties**

Overburden layers	$\Delta H$ [m]	$\gamma_n$ [ $\text{kNm}^{-3}$ ]	$c'$ [kPa]	$\phi'$ [°]
Ap-GR1	250.0	27.0	1043	39.0

Excavated layers	$\Delta H$ [m]	$\gamma_n$ [ $\text{kNm}^{-3}$ ]	$c'$ [kPa]	$\phi'$ [°]
Ap-GR1	10.0	27.0	1043	39.0

**Tunnel geometry**

Type of ground	CF/F	CF
Total Overburden	Z [m]	250.0
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	$\gamma_p$ [ $\text{kNm}^{-3}$ ]	27.0
Aver. cohesion of load mass	$c'_p$ [kPa]	1043.0
Aver. friction of load mass	$\phi'_p$ [°]	39.0

Aver. weight of Excav. layers	$\gamma_E$ [ $\text{kNm}^{-3}$ ]	27.0
Aver. cohesion of Excav. layers	$c'_E$ [kPa]	1043.0
Aver. friction of load mass	$\phi'_E$ [°]	39.0

Effective soil press. at crown	$\sigma'_v$ [kPa]	6750
--------------------------------	-------------------	------

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

**Shear resistance and Safety factor at Diagnosis phase**

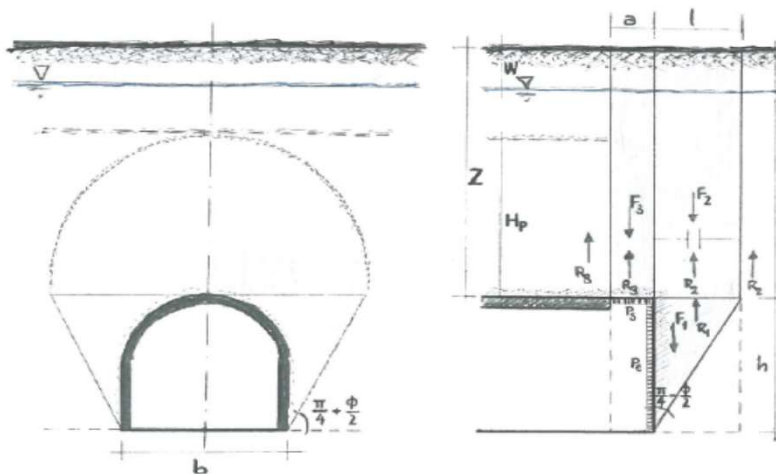
Shear resistance (prism 3)	$\tau_{m3}$ [kPa]	2312
Shear resistance (prisms 1-2)	$\tau_{m2}$ [kPa]	5950

Safety factor (prism 3)	$FS_3$	13.39
Safety factor (MΣFR/MSFA)	$FS_F$	3.72

Permitted free span length	$a_{max}$ [m]	18.2
Pressure on primary supports	$P_s$ [kPa]	2820
Required pressure at face	$P_E$ [kPa]	0

Obtained safety factor	SF	3.72
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  $\gamma$  is unit weight of the soil,  
 $s_u$  is undrained shear strength of the soil at tunnel axis level,  
 $\sigma_s$  is surface surcharge pressure,  
 $\sigma_T$  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]	$\gamma_n$ [kNm <sup>-3</sup> ]	$\sigma_s$ [kPa]	$\sigma_T$ [kPa]	$\sigma_c$ [kPa]	$m_i$ [-]	GSI [-]
Ap-GR1	255	27.0	0	0	35000	17.5	50
0	0	0.0					
0	0	0.0					
0	0	0.0					

**Results**

$\Delta H$ [m]	$\gamma_n$ [kNm <sup>-3</sup> ]	$\sigma_c$ [kPa]	$m_i$ [-]	GSI [-]	$\sigma_0$ [kPa]	$\sigma_{cm}$ [kPa]	$s_u$ [kPa]
255.0	27.0	35000.0	17.5	50.0	6885.0	13470.8	6735.4
0.0	0.0						
0.0	0.0						
0.0	0.0						

Stability ratio

N

[-]

1.0

**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	[-]	1.0
Passive earth pressure	$K_p$	[-]	4.395
Deconfinement	$\lambda_e$	[-]	0.99

**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	$\Delta H$ [m]	$\gamma_n$ [ $\text{kNm}^{-3}$ ]	$c'$ [kPa]	$\phi'$ [°]	Excavated layers	$\Delta H$ [m]	$\gamma_n$ [ $\text{kNm}^{-3}$ ]	$c'$ [kPa]	$\phi'$ [°]
Ap-GR1	250	27	1043	39	Ap-GR1	10	27	1043	39

**Tunnel geometry**

Type of ground	CF/F	CF	Deep tunnel ( $Z > 5D$ )		
Total Overburden	Z [m]	250.0	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	$\sigma_b$ [MPa]	600.0
Injection influence ratio	$i_i$ [-]	1	Tensile resistance at joint	$\sigma_j$ [MPa]	600.0
Curing factor	$\gamma_c$ [-]		Shear resistance of bar	$\sigma_t$ [MPa]	100.0
Material's safety factor	$\gamma_f$ [-]		Drilling diameter	$\phi_{dril}$ [mm]	100.0
Mortar's position ratio	$v_c$ [-]		External diameter	$\phi_{ext}$ [mm]	60.0
Elastic module of mortar	$E_c$ [GPa]		Tube's Thickness	$th_b$ [mm]	10.0
Grout-soil bond	$\tau_a$ [kPa]	0.0	Overlapping length	$L_{LAP}$ [m]	9.0
Injection penetrability coeff.	$\alpha_i$ [-]	1.0	Joint step	$i_{joint}$ [m]	24.0
ULS resistance of mortar	$\sigma_c$ [-]		Resistance area of single bar	$A_b$ [ $\text{mm}^2$ ]	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	$n_b$ [ $\text{m}^{-2}$ ]	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]	1043.0

**Prismatic volume properties**

Aver. weight of load mass	$\gamma_p$ [ $\text{kNm}^{-3}$ ]	27.0	Aver. weight of Excav. layers	$\gamma_E$ [ $\text{kNm}^{-3}$ ]	27.0
Aver. cohesion of load mass	$c'_p$ [kPa]	1043.0	Aver. cohesion of Excav. layers	$c'_E$ [kPa]	1043.0
Aver. friction of load mass	$\phi'_p$ [°]	39.0	Aver. friction of load mass	$\phi'_E$ [°]	39.0
Effective soil press. at crown	$\sigma'_v$ [kPa]	6750	hydraulic press. at crown	u [kPa]	0

**Shear resistance and Safety factor at Diagnosis phase**

Shear resistance (prism 3)	$\tau_{m3}$ [kPa]	2312	Safety factor (prism 3)	$FS_3$	4.56
Shear resistance (prisms 1-2)	$\tau_{m2}$ [kPa]	5950	Safety factor (MΣFR/MSFA)	$FS_F$	2.60
Permitted free span length	$a_{max}$ [m]	18.2	Obtained safety factor	SF	2.60
Pressure on primary supports	$P_s$ [kPa]	2820	Requested safety factor	$SF_R$	2.00
Requied pressure at face	$P_E$ [kPa]	0			

**Tamez & Conejo (1985)**

**Geotechnical properties**

Overburden layers	$\Delta H$ [m]	$\gamma_n$ [ $\text{kNm}^{-3}$ ]	$c'$ [kPa]	$\phi'$ [°]
Ap-GR2	150.0	27.0	450	38.0

Excavated layers	$\Delta H$ [m]	$\gamma_n$ [ $\text{kNm}^{-3}$ ]	$c'$ [kPa]	$\phi'$ [°]
Ap-GR2	10.0	27.0	450	38.0

**Tunnel geometry**

Type of ground	CF/F	CF
Total Overburden	Z [m]	150.0
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	$\gamma_p$ [ $\text{kNm}^{-3}$ ]	27.0
Aver. cohesion of load mass	$c'_p$ [kPa]	450.0
Aver. friction of load mass	$\phi'_p$ [°]	38.0

Aver. weight of Excav. layers	$\gamma_E$ [ $\text{kNm}^{-3}$ ]	27.0
Aver. cohesion of Excav. layers	$c'_E$ [kPa]	450.0
Aver. friction of load mass	$\phi'_E$ [°]	38.0

Effective soil press. at crown	$\sigma'_v$ [kPa]	4050
--------------------------------	-------------------	------

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

**Shear resistance and Safety factor at Diagnosis phase**

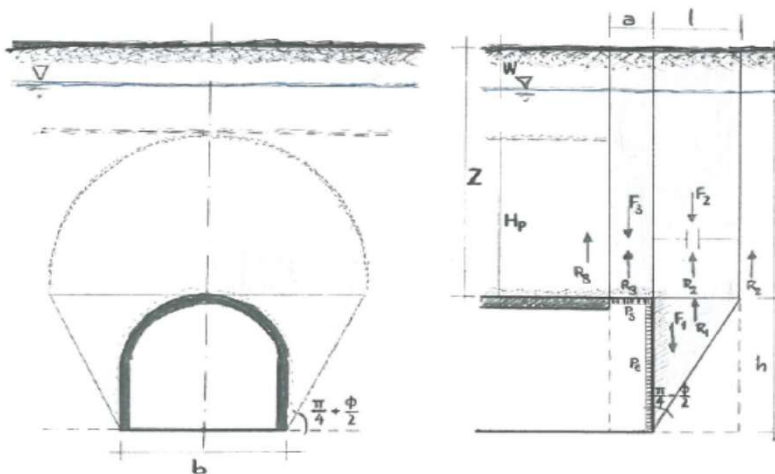
Shear resistance (prism 3)	$\tau_{m3}$ [kPa]	1147
Shear resistance (prisms 1-2)	$\tau_{m2}$ [kPa]	2999

Safety factor (prism 3)	$FS_3$	11.07
Safety factor (MΣFR/MSFA)	$FS_F$	3.04

Permitted free span length	$a_{max}$ [m]	9.4
Pressure on primary supports	$P_s$ [kPa]	2100
Required pressure at face	$P_E$ [kPa]	0

Obtained safety factor	SF	3.04
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  $\gamma$  is unit weight of the soil,  
 $s_u$  is undrained shear strength of the soil at tunnel axis level,  
 $\sigma_s$  is surface surcharge pressure,  
 $\sigma_T$  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]	$\gamma_n$ [kNm <sup>-3</sup> ]	$\sigma_s$ [kPa]	$\sigma_T$ [kPa]	$\sigma_c$ [kPa]	$m_i$ [-]	GSI [-]
Ap-GR2	155	27.0	0	0	12000	20	42
0	0	0.0					
0	0	0.0					
0	0	0.0					

**Results**

$\Delta H$ [m]	$\gamma_n$ [kNm <sup>-3</sup> ]	$\sigma_c$ [kPa]	$m_i$ [-]	GSI [-]	$\sigma_0$ [kPa]	$\sigma_{cm}$ [kPa]	$s_u$ [kPa]
155.0	27.0	12000.0	20.0	42.0	4185.0	3407.3	1703.7
0.0	0.0						
0.0	0.0						
0.0	0.0						

Stability ratio	N	[-]	2.5
-----------------	---	-----	-----

**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	[-]	2.5
Passive earth pressure	$K_p$	[-]	4.204
Deconfinement	$\lambda_e$	[-]	0.77

**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	$\Delta H$ [m]	$\gamma_n$ [ $\text{kNm}^{-3}$ ]	$c'$ [kPa]	$\phi'$ [°]
Ap-GR2	150	27	450	38

Excavated layers	$\Delta H$ [m]	$\gamma_n$ [ $\text{kNm}^{-3}$ ]	$c'$ [kPa]	$\phi'$ [°]
Ap-GR2	10	27	450	38

**Tunnel geometry**

Type of ground	CF/F	CF
Total Overburden	Z [m]	150.0
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]	4.9

**Injection modality**

Grout injection properties		
Cubic compression resistance	$R_{ck}$ [MPa]	
Injection influence ratio	$i_i$ [-]	1
Curing factor	$\gamma_c$ [-]	
Material's safety factor	$\gamma_f$ [-]	
Mortar's position ratio	$v_c$ [-]	
Elastic module of mortar	$E_c$ [GPa]	
Grout-soil bond	$\tau_a$ [kPa]	250.0
Injection penetrability coeff.	$\alpha_i$ [-]	1.0
ULS resistance of mortar	$\sigma_c$ [-]	

Face bolt properties		
Tensile resistance of bar	$\sigma_b$ [MPa]	600.0
Tensile resistance at joint	$\sigma_j$ [MPa]	600.0
Shear resistance of bar	$\sigma_t$ [MPa]	100.0
Drilling diameter	$\phi_{dril}$ [mm]	100.0
External diameter	$\phi_{ext}$ [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	$A_b$ [ $\text{mm}^2$ ]	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]	942.5
Max. resistance offered by bars	$T_{max}$ [kN]	942.5

Adopted number of bars	$N_b$ [-]	60.0
N° of bars for unit of area	$n_b$ [ $\text{m}^{-2}$ ]	0.63
Confining pressure	$P_e$ [kPa]	595.2
Increment of cohesion	$\Delta c'$ [kPa]	610.2
Improved cohesion at face	$c'_{eq}$ [kPa]	1060.2

**Prismatic volume properties**

Aver. weight of load mass	$\gamma_p$ [ $\text{kNm}^{-3}$ ]	27.0
Aver. cohesion of load mass	$c'_p$ [kPa]	450.0
Aver. friction of load mass	$\phi'_p$ [°]	38.0

Aver. weight of Excav. layers	$\gamma_E$ [ $\text{kNm}^{-3}$ ]	27.0
Aver. cohesion of Excav. layers	$c'_E$ [kPa]	450.0
Aver. friction of load mass	$\phi'_E$ [°]	38.0

Effective soil press. at crown	$\sigma'_v$ [kPa]	4050
--------------------------------	-------------------	------

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

**Shear resistance and Safety factor at Diagnosis phase**

Shear resistance (prism 3)	$\tau_{m3}$ [kPa]	1147
Shear resistance (prisms 1-2)	$\tau_{m2}$ [kPa]	2999

Safety factor (prism 3)	$FS_3$	9.39
Safety factor (MΣFR/MSFA)	$FS_F$	3.44

Permitted free span length	$a_{max}$ [m]	9.4
Pressure on primary supports	$P_s$ [kPa]	2100
Requied pressure at face	$P_E$ [kPa]	0

Obtained safety factor	SF	3.44
Requested safety factor	$SF_R$	2.00

**Tamez & Conejo (1985)**

**Geotechnical properties**

Overburden layers	$\Delta H$ [m]	$\gamma_n$ [ $\text{kNm}^{-3}$ ]	$c'$ [kPa]	$\phi'$ [°]
Ap-GR2a	200.0	27.0	550	36.0

Excavated layers	$\Delta H$ [m]	$\gamma_n$ [ $\text{kNm}^{-3}$ ]	$c'$ [kPa]	$\phi'$ [°]
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	$\gamma_p$ [ $\text{kNm}^{-3}$ ]	27.0
Aver. cohesion of load mass	$c'_p$ [kPa]	550.0
Aver. friction of load mass	$\phi'_p$ [°]	36.0

Aver. weight of Excav. layers	$\gamma_E$ [ $\text{kNm}^{-3}$ ]	27.0
Aver. cohesion of Excav. layers	$c'_E$ [kPa]	550.0
Aver. friction of load mass	$\phi'_E$ [°]	36.0

Effective soil press. at crown	$\sigma'_v$ [kPa]	5400
--------------------------------	-------------------	------

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

**Shear resistance and Safety factor at Diagnosis phase**

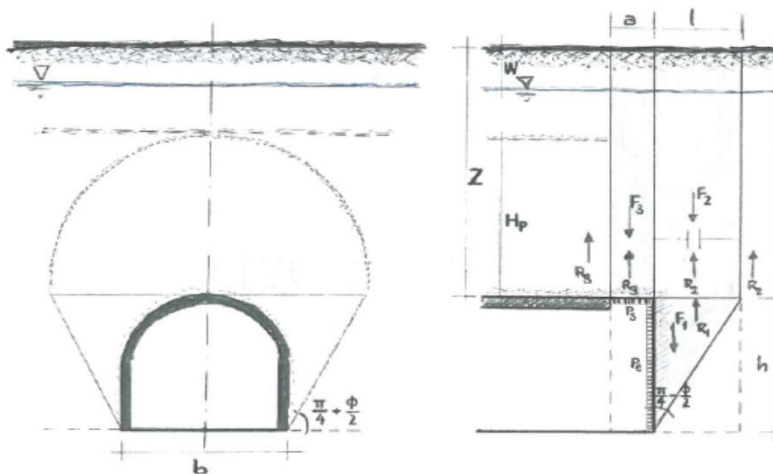
Shear resistance (prism 3)	$\tau_{m3}$ [kPa]	1443
Shear resistance (prisms 1-2)	$\tau_{m2}$ [kPa]	3944

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  $\gamma$  is unit weight of the soil,  
 $s_u$  is undrained shear strength of the soil at tunnel axis level,  
 $\sigma_s$  is surface surcharge pressure,  
 $\sigma_T$  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]	$\gamma_n$ [kNm <sup>-3</sup> ]	$\sigma_s$ [kPa]	$\sigma_T$ [kPa]	$\sigma_c$ [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**

$\Delta H$ [m]	$\gamma_n$ [kNm <sup>-3</sup> ]	$\sigma_c$ [kPa]	$m_i$ [-]	GSI [-]	$\sigma_0$ [kPa]	$\sigma_{cm}$ [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	$\lambda_e$	[-]	0.71

**Stable face**

**Geotechnical properties**

Overburden layers	$\Delta H$ [m]	$\gamma_n$ [ $\text{kNm}^{-3}$ ]	$c'$ [kPa]	$\phi'$ [°]
Ap-GR2a	200	27	550	36

Excavated layers	$\Delta H$ [m]	$\gamma_n$ [ $\text{kNm}^{-3}$ ]	$c'$ [kPa]	$\phi'$ [°]
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	$\gamma_c$ [-]	
Material's safety factor	$\gamma_f$ [-]	
Mortar's position ratio	$v_c$ [-]	
Elastic module of mortar	$E_c$ [GPa]	
Grout-soil bond	$\tau_a$ [kPa]	250.0
Injection penetrability coeff.	$\alpha_i$ [-]	1.0
ULS resistance of mortar	$\sigma_c$ [-]	

Face bolt properties		
Tensile resistance of bar	$\sigma_b$ [MPa]	600.0
Tensile resistance at joint	$\sigma_j$ [MPa]	600.0
Shear resistance of bar	$\sigma_t$ [MPa]	100.0
Drilling diameter	$\phi_{dril}$ [mm]	100.0
External diameter	$\phi_{ext}$ [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	$A_b$ [ $\text{mm}^2$ ]	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]	942.5
Max. resistance offered by bars	$T_{max}$ [kN]	942.5

Adopted number of bars	$N_b$ [-]	60.0
N° of bars for unit of area	$n_b$ [ $\text{m}^{-2}$ ]	0.63
Confining pressure	$P_e$ [kPa]	595.2
Increment of cohesion	$\Delta c'$ [kPa]	584.1
Improved cohesion at face	$c'_{eq}$ [kPa]	1134.1

**Prismatic volume properties**

Aver. weight of load mass	$\gamma_p$ [ $\text{kNm}^{-3}$ ]	27.0
Aver. cohesion of load mass	$c'_p$ [kPa]	550.0
Aver. friction of load mass	$\phi'_p$ [°]	36.0

Aver. weight of Excav. layers	$\gamma_E$ [ $\text{kNm}^{-3}$ ]	27.0
Aver. cohesion of Excav. layers	$c'_E$ [kPa]	550.0
Aver. friction of load mass	$\phi'_E$ [°]	36.0

Effective soil press. at crown	$\sigma'_v$ [kPa]	5400
--------------------------------	-------------------	------

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

**Shear resistance and Safety factor at Diagnosis phase**

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

Safety factor (prism 3)	$FS_3$	8.86
Safety factor (MΣFR/MSFA)	$FS_F$	3.23

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	3.23
Requested safety factor	$SF_R$	2.00

**Tamez & Conejo (1985)**

**Geotechnical properties**

Overburden layers	$\Delta H$ [m]	$\gamma_n$ [ $\text{kNm}^{-3}$ ]	$c'$ [kPa]	$\phi'$ [°]
Ap-GR2a	250.0	27.0	638	34.0

Excavated layers	$\Delta H$ [m]	$\gamma_n$ [ $\text{kNm}^{-3}$ ]	$c'$ [kPa]	$\phi'$ [°]
Ap-GR2a	10.0	27.0	638	34.0

**Tunnel geometry**

Type of ground	CF/F	CF
Total Overburden	Z [m]	250.0
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]	5.3

**Prismatic volume properties**

Aver. weight of load mass	$\gamma_p$ [ $\text{kNm}^{-3}$ ]	27.0
Aver. cohesion of load mass	$c'_p$ [kPa]	638.0
Aver. friction of load mass	$\phi'_p$ [°]	34.0

Aver. weight of Excav. layers	$\gamma_E$ [ $\text{kNm}^{-3}$ ]	27.0
Aver. cohesion of Excav. layers	$c'_E$ [kPa]	638.0
Aver. friction of load mass	$\phi'_E$ [°]	34.0

Effective soil press. at crown	$\sigma'_v$ [kPa]	6750
--------------------------------	-------------------	------

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

**Shear resistance and Safety factor at Diagnosis phase**

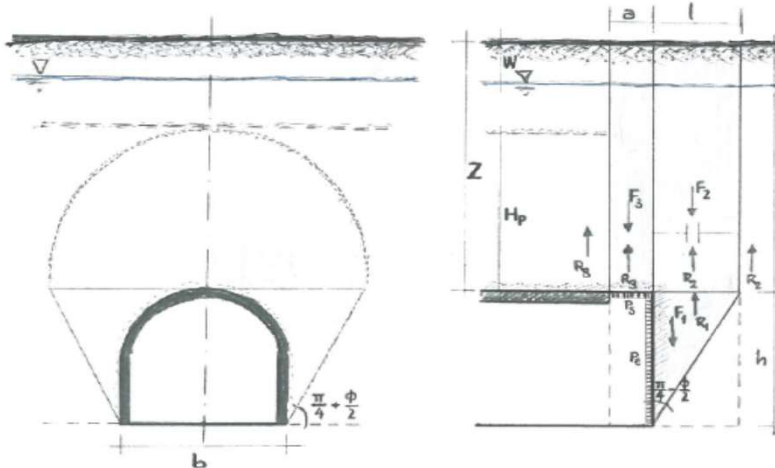
Shear resistance (prism 3)	$\tau_{m3}$ [kPa]	1695
Shear resistance (prisms 1-2)	$\tau_{m2}$ [kPa]	4857

Safety factor (prism 3)	$FS_3$	9.82
Safety factor (MΣFR/MSFA)	$FS_F$	2.91

Permitted free span length	$a_{max}$ [m]	6.9
Pressure on primary supports	$P_s$ [kPa]	3869
Required pressure at face	$P_E$ [kPa]	0

Obtained safety factor	SF	2.91
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  $\gamma$  is unit weight of the soil,  
 $s_u$  is undrained shear strength of the soil at tunnel axis level,  
 $\sigma_s$  is surface surcharge pressure,  
 $\sigma_T$  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]	$\gamma_n$ [kNm <sup>-3</sup> ]	$\sigma_s$ [kPa]	$\sigma_T$ [kPa]	$\sigma_c$ [kPa]	$m_i$ [-]	GSI [-]
Ap-GR2a	255	27.0	0	0	12000	20	42
0	0	0.0					
0	0	0.0					
0	0	0.0					

**Results**

$\Delta H$ [m]	$\gamma_n$ [kNm <sup>-3</sup> ]	$\sigma_c$ [kPa]	$m_i$ [-]	GSI [-]	$\sigma_0$ [kPa]	$\sigma_{cm}$ [kPa]	$s_u$ [kPa]
255.0	27.0	12000.0	20.0	42.0	6885.0	3407.3	1703.7
0.0	0.0						
0.0	0.0						
0.0	0.0						

Stability ratio

N

[-]

4.0

**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	[-]	4.0
Passive earth pressure	$K_p$	[-]	3.537
Deconfinement	$\lambda_e$	[-]	0.67

**Stable face**

**Geotechnical properties**

Overburden layers	$\Delta H$ [m]	$\gamma_n$ [ $\text{kNm}^{-3}$ ]	$c'$ [kPa]	$\phi'$ [°]
Ap-GR2a	250	27	638	34

Excavated layers	$\Delta H$ [m]	$\gamma_n$ [ $\text{kNm}^{-3}$ ]	$c'$ [kPa]	$\phi'$ [°]
Ap-GR2a	10	27	638	34

**Tunnel geometry**

Type of ground	CF/F	CF
Total Overburden	Z [m]	250.0
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]	5.3

**Injection modality**

Grout injection properties		
Cubic compression resistance	$R_{ck}$ [MPa]	
Injection influence ratio	$i_i$ [-]	1
Curing factor	$\gamma_c$ [-]	
Material's safety factor	$\gamma_f$ [-]	
Mortar's position ratio	$v_c$ [-]	
Elastic module of mortar	$E_c$ [GPa]	
Grout-soil bond	$\tau_a$ [kPa]	250.0
Injection penetrability coeff.	$\alpha_i$ [-]	1.0
ULS resistance of mortar	$\sigma_c$ [-]	

Face bolt properties		
Tensile resistance of bar	$\sigma_b$ [MPa]	600.0
Tensile resistance at joint	$\sigma_j$ [MPa]	600.0
Shear resistance of bar	$\sigma_t$ [MPa]	100.0
Drilling diameter	$\phi_{dril}$ [mm]	100.0
External diameter	$\phi_{ext}$ [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	$A_b$ [ $\text{mm}^2$ ]	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]	942.5
Max. resistance offered by bars	$T_{max}$ [kN]	942.5

Adopted number of bars	$N_b$ [-]	60.0
N° of bars for unit of area	$n_b$ [ $\text{m}^{-2}$ ]	0.63
Confining pressure	$P_e$ [kPa]	595.2
Increment of cohesion	$\Delta c'$ [kPa]	559.8
Improved cohesion at face	$c'_{eq}$ [kPa]	1197.8

**Prismatic volume properties**

Aver. weight of load mass	$\gamma_p$ [ $\text{kNm}^{-3}$ ]	27.0
Aver. cohesion of load mass	$c'_p$ [kPa]	638.0
Aver. friction of load mass	$\phi'_p$ [°]	34.0

Aver. weight of Excav. layers	$\gamma_E$ [ $\text{kNm}^{-3}$ ]	27.0
Aver. cohesion of Excav. layers	$c'_E$ [kPa]	638.0
Aver. friction of load mass	$\phi'_E$ [°]	34.0

Effective soil press. at crown	$\sigma'_v$ [kPa]	6750
--------------------------------	-------------------	------

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

**Shear resistance and Safety factor at Diagnosis phase**

Shear resistance (prism 3)	$\tau_{m3}$ [kPa]	1695
Shear resistance (prisms 1-2)	$\tau_{m2}$ [kPa]	4857

Safety factor (prism 3)	$FS_3$	8.32
Safety factor (MΣFR/MSFA)	$FS_F$	3.08

Permitted free span length	$a_{max}$ [m]	6.9
Pressure on primary supports	$P_s$ [kPa]	3869
Required pressure at face	$P_E$ [kPa]	0

Obtained safety factor	SF	3.08
Requested safety factor	$SF_R$	2.00

**Tamez & Conejo (1985)**

**Geotechnical properties**

Overburden layers	$\Delta H$ [m]	$\gamma_n$ [ $\text{kNm}^{-3}$ ]	$c'$ [kPa]	$\phi'$ [°]
Ap-GR3a	150.0	26.0	320	30.0

Excavated layers	$\Delta H$ [m]	$\gamma_n$ [ $\text{kNm}^{-3}$ ]	$c'$ [kPa]	$\phi'$ [°]
Ap-GR3a	10.0	26.0	320	30.0

**Tunnel geometry**

Type of ground	CF/F	CF
Total Overburden	Z [m]	150.0
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	$\gamma_p$ [ $\text{kNm}^{-3}$ ]	26.0
Aver. cohesion of load mass	$c'_p$ [kPa]	320.0
Aver. friction of load mass	$\phi'_p$ [°]	30.0

Aver. weight of Excav. layers	$\gamma_E$ [ $\text{kNm}^{-3}$ ]	26.0
Aver. cohesion of Excav. layers	$c'_E$ [kPa]	320.0
Aver. friction of load mass	$\phi'_E$ [°]	30.0

Effective soil press. at crown	$\sigma'_v$ [kPa]	3900
--------------------------------	-------------------	------

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

**Shear resistance and Safety factor at Diagnosis phase**

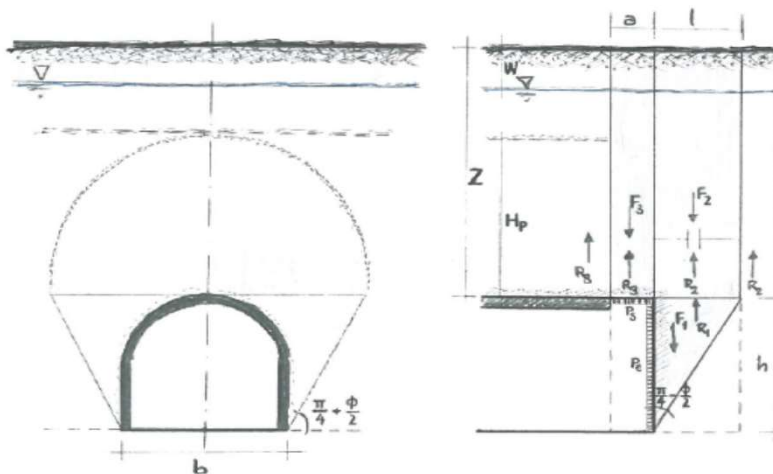
Shear resistance (prism 3)	$\tau_{m3}$ [kPa]	816
Shear resistance (prisms 1-2)	$\tau_{m2}$ [kPa]	2582

Safety factor (prism 3)	$FS_3$	8.18
Safety factor (MΣFR/MSFA)	$FS_F$	2.59

Permitted free span length	$a_{max}$ [m]	4.7
Pressure on primary supports	$P_s$ [kPa]	2513
Required pressure at face	$P_E$ [kPa]	0

Obtained safety factor	SF	2.59
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  $\gamma$  is unit weight of the soil,  
 $s_u$  is undrained shear strength of the soil at tunnel axis level,  
 $\sigma_s$  is surface surcharge pressure,  
 $\sigma_T$  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]	$\gamma_n$ [kNm <sup>-3</sup> ]	$\sigma_s$ [kPa]	$\sigma_T$ [kPa]	$\sigma_c$ [kPa]	$m_i$ [-]	GSI [-]
Ap-GR3a	155	26.0	0	0	7000	19	33
0	0	0.0					
0	0	0.0					
0	0	0.0					

**Results**

$\Delta H$ [m]	$\gamma_n$ [kNm <sup>-3</sup> ]	$\sigma_c$ [kPa]	$m_i$ [-]	GSI [-]	$\sigma_0$ [kPa]	$\sigma_{cm}$ [kPa]	$s_u$ [kPa]
155.0	26.0	7000.0	19.0	33.0	4030.0	1243.2	621.6
0.0	0.0						
0.0	0.0						
0.0	0.0						

Stability ratio

N

[-]

6.5

**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	[-]	6.5
Passive earth pressure	$K_p$	[-]	3.000
Deconfinement	$\lambda_e$	[-]	0.58

**Short term face stability**

**Geotechnical properties**

Overburden layers	$\Delta H$ [m]	$\gamma_n$ [ $\text{kNm}^{-3}$ ]	$c'$ [kPa]	$\phi'$ [°]
Ap-GR3a	148	26	320	30
Coronella	2	26.0	500	1.0

Excavated layers	$\Delta H$ [m]	$\gamma_n$ [ $\text{kNm}^{-3}$ ]	$c'$ [kPa]	$\phi'$ [°]
Ap-GR3a	10	26	320	30

**Tunnel geometry**

Type of ground	CF/F	CF
Total Overburden	Z [m]	150.0
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]	1.0

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

**Injection modality**

Grout injection properties		
Cubic compression resistance	$R_{ck}$ [MPa]	
Injection influence ratio	$i_i$ [-]	1
Curing factor	$\gamma_c$ [-]	
Material's safety factor	$\gamma_f$ [-]	
Mortar's position ratio	$v_c$ [-]	
Elastic module of mortar	$E_c$ [GPa]	
Grout-soil bond	$\tau_a$ [kPa]	150.0
Injection penetrability coeff.	$\alpha_i$ [-]	1.0
ULS resistance of mortar	$\sigma_c$ [-]	

Face bolt properties		
Tensile resistance of bar	$\sigma_b$ [MPa]	600.0
Tensile resistance at joint	$\sigma_j$ [MPa]	600.0
Shear resistance of bar	$\sigma_t$ [MPa]	100.0
Drilling diameter	$\phi_{dril}$ [mm]	100.0
External diameter	$\phi_{ext}$ [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	$A_b$ [ $\text{mm}^2$ ]	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]	565.5
Max. resistance offered by bars	$T_{max}$ [kN]	565.5

Adopted number of bars	$N_b$ [-]	70.0
N° of bars for unit of area	$n_b$ [ $\text{m}^{-2}$ ]	0.74
Confining pressure	$P_e$ [kPa]	416.7
Increment of cohesion	$\Delta c'$ [kPa]	360.9
Improved cohesion at face	$c'_{eq}$ [kPa]	680.9

**Prismatic volume properties**

Aver. weight of load mass	$\gamma_p$ [ $\text{kNm}^{-3}$ ]	26.0
Aver. cohesion of load mass	$c'_p$ [kPa]	322.4
Aver. friction of load mass	$\phi'_p$ [°]	29.6

Aver. weight of Excav. layers	$\gamma_E$ [ $\text{kNm}^{-3}$ ]	26.0
Aver. cohesion of Excav. layers	$c'_E$ [kPa]	320.0
Aver. friction of load mass	$\phi'_E$ [°]	30.0

Effective soil press. at crown	$\sigma'_v$ [kPa]	3900
--------------------------------	-------------------	------

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

**Shear resistance and Safety factor at Diagnosis phase**

Shear resistance (prism 3)	$\tau_{m3}$ [kPa]	811
Shear resistance (prisms 1-2)	$\tau_{m2}$ [kPa]	2584

Safety factor (prism 3)	$FS_3$	8.13
Safety factor (MΣFR/MSFA)	$FS_F$	2.89

Permitted free span length	$a_{max}$ [m]	4.7
Pressure on primary supports	$P_s$ [kPa]	2522
Requied pressure at face	$P_E$ [kPa]	0

Obtained safety factor	SF	2.89
Requested safety factor	$SF_R$	2.00



**Tamez & Conejo (1985)**

**Geotechnical properties**

Overburden layers	$\Delta H$ [m]	$\gamma_n$ [ $\text{kNm}^{-3}$ ]	$c'$ [kPa]	$\phi'$ [°]
Ap-GR3a	200.0	26.0	380	29.0

Excavated layers	$\Delta H$ [m]	$\gamma_n$ [ $\text{kNm}^{-3}$ ]	$c'$ [kPa]	$\phi'$ [°]
Ap-GR3a	10.0	26.0	380	29.0

**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]	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]	5.9

**Prismatic volume properties**

Aver. weight of load mass	$\gamma_p$ [ $\text{kNm}^{-3}$ ]	26.0
Aver. cohesion of load mass	$c'_p$ [kPa]	380.0
Aver. friction of load mass	$\phi'_p$ [°]	29.0

Aver. weight of Excav. layers	$\gamma_E$ [ $\text{kNm}^{-3}$ ]	26.0
Aver. cohesion of Excav. layers	$c'_E$ [kPa]	380.0
Aver. friction of load mass	$\phi'_E$ [°]	29.0

Effective soil press. at crown	$\sigma'_v$ [kPa]	5200
--------------------------------	-------------------	------

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

**Shear resistance and Safety factor at Diagnosis phase**

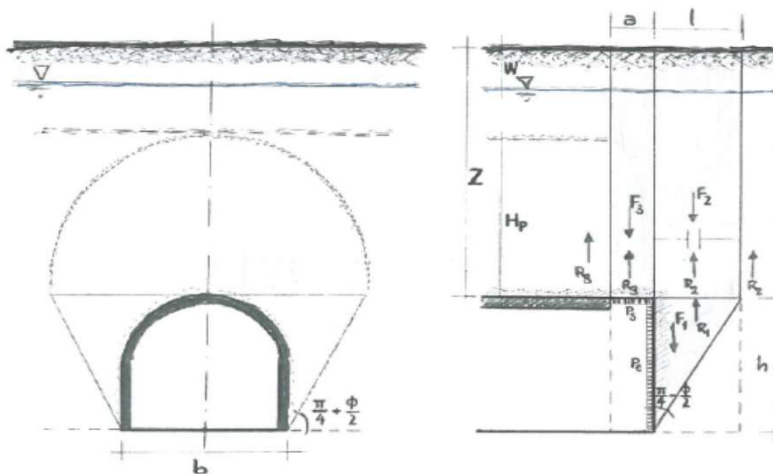
Shear resistance (prism 3)	$\tau_{m3}$ [kPa]	1052
Shear resistance (prisms 1-2)	$\tau_{m2}$ [kPa]	3451

Safety factor (prism 3)	$FS_3$	6.12
Safety factor (MΣFR/MSFA)	$FS_F$	2.42

Permitted free span length	$a_{max}$ [m]	3.3
Pressure on primary supports	$P_s$ [kPa]	3411
Required pressure at face	$P_E$ [kPa]	0

Obtained safety factor	SF	2.42
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  $\gamma$  is unit weight of the soil,  
 $s_u$  is undrained shear strength of the soil at tunnel axis level,  
 $\sigma_s$  is surface surcharge pressure,  
 $\sigma_T$  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]	$\gamma_n$ [kNm <sup>-3</sup> ]	$\sigma_s$ [kPa]	$\sigma_T$ [kPa]	$\sigma_c$ [kPa]	$m_i$ [-]	GSI [-]
Ap-GR3a	205	26.0	0	0	7000	19	33
0	0	0.0					
0	0	0.0					
0	0	0.0					

**Results**

$\Delta H$ [m]	$\gamma_n$ [kNm <sup>-3</sup> ]	$\sigma_c$ [kPa]	$m_i$ [-]	GSI [-]	$\sigma_0$ [kPa]	$\sigma_{cm}$ [kPa]	$s_u$ [kPa]
205.0	26.0	7000.0	19.0	33.0	5330.0	1243.2	621.6
0.0	0.0						
0.0	0.0						
0.0	0.0						

Stability ratio

N

[-]

8.6

**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	[-]	8.6
Passive earth pressure	$K_p$	[-]	2.882
Deconfinement	$\lambda_e$	[-]	0.54

**Short term face stability**

**Geotechnical properties**

Overburden layers	$\Delta H$ [m]	$\gamma_n$ [ $\text{kNm}^{-3}$ ]	$c'$ [kPa]	$\phi'$ [°]
Ap-GR3a	198	26	380	29
Coronella	2	26.0	500	1.0

Excavated layers	$\Delta H$ [m]	$\gamma_n$ [ $\text{kNm}^{-3}$ ]	$c'$ [kPa]	$\phi'$ [°]
Ap-GR3a	10	26	380	29

**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]	7.9
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]	5.9

**Injection modality**

Grout injection properties		
Cubic compression resistance	$R_{ck}$ [MPa]	
Injection influence ratio	$i_i$ [-]	1
Curing factor	$\gamma_c$ [-]	
Material's safety factor	$\gamma_f$ [-]	
Mortar's position ratio	$v_c$ [-]	
Elastic module of mortar	$E_c$ [GPa]	
Grout-soil bond	$\tau_a$ [kPa]	150.0
Injection penetrability coeff.	$\alpha_i$ [-]	1.0
ULS resistance of mortar	$\sigma_c$ [-]	

Face bolt properties		
Tensile resistance of bar	$\sigma_b$ [MPa]	600.0
Tensile resistance at joint	$\sigma_j$ [MPa]	600.0
Shear resistance of bar	$\sigma_t$ [MPa]	100.0
Drilling diameter	$\phi_{dril}$ [mm]	100.0
External diameter	$\phi_{ext}$ [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	$A_b$ [ $\text{mm}^2$ ]	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]	565.5
Max. resistance offered by bars	$T_{max}$ [kN]	565.5

Adopted number of bars	$N_b$ [-]	70.0
N° of bars for unit of area	$n_b$ [ $\text{m}^{-2}$ ]	0.74
Confining pressure	$P_e$ [kPa]	416.7
Increment of cohesion	$\Delta c'$ [kPa]	353.7
Improved cohesion at face	$c'_{eq}$ [kPa]	733.7

**Prismatic volume properties**

Aver. weight of load mass	$\gamma_p$ [ $\text{kNm}^{-3}$ ]	26.0
Aver. cohesion of load mass	$c'_p$ [kPa]	381.2
Aver. friction of load mass	$\phi'_p$ [°]	28.7

Aver. weight of Excav. layers	$\gamma_E$ [ $\text{kNm}^{-3}$ ]	26.0
Aver. cohesion of Excav. layers	$c'_E$ [kPa]	380.0
Aver. friction of load mass	$\phi'_E$ [°]	29.0

Effective soil press. at crown	$\sigma'_v$ [kPa]	5200
--------------------------------	-------------------	------

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

**Shear resistance and Safety factor at Diagnosis phase**

Shear resistance (prism 3)	$\tau_{m3}$ [kPa]	1046
Shear resistance (prisms 1-2)	$\tau_{m2}$ [kPa]	3453

Safety factor (prism 3)	$FS_3$	6.09
Safety factor (MΣFR/MSFA)	$FS_F$	2.63

Permitted free span length	$a_{max}$ [m]	3.3
Pressure on primary supports	$P_s$ [kPa]	3422
Required pressure at face	$P_E$ [kPa]	0

Obtained safety factor	SF	2.63
Requested safety factor	$SF_R$	2.00

**Tamez & Conejo (1985)**

**Geotechnical properties**

Overburden layers	$\Delta H$ [m]	$\gamma_n$ [ $\text{kNm}^{-3}$ ]	$c'$ [kPa]	$\phi'$ [°]
Ap-GR3a	250.0	26.0	440	27.0

Excavated layers	$\Delta H$ [m]	$\gamma_n$ [ $\text{kNm}^{-3}$ ]	$c'$ [kPa]	$\phi'$ [°]
Ap-GR3a	10.0	26.0	440	27.0

**Tunnel geometry**

Type of ground	CF/F	CF
Total Overburden	Z [m]	250.0
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]	6.1

**Prismatic volume properties**

Aver. weight of load mass	$\gamma_p$ [ $\text{kNm}^{-3}$ ]	26.0
Aver. cohesion of load mass	$c'_p$ [kPa]	440.0
Aver. friction of load mass	$\phi'_p$ [°]	27.0

Aver. weight of Excav. layers	$\gamma_E$ [ $\text{kNm}^{-3}$ ]	26.0
Aver. cohesion of Excav. layers	$c'_E$ [kPa]	440.0
Aver. friction of load mass	$\phi'_E$ [°]	27.0

Effective soil press. at crown	$\sigma'_v$ [kPa]	6500
--------------------------------	-------------------	------

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

**Shear resistance and Safety factor at Diagnosis phase**

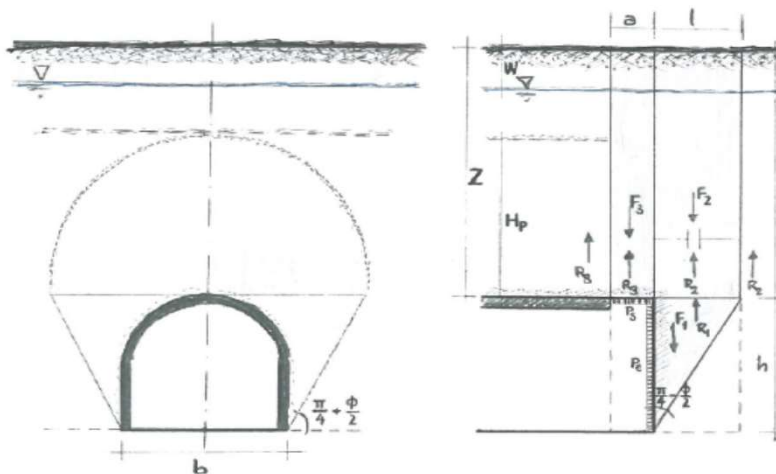
Shear resistance (prism 3)	$\tau_{m3}$ [kPa]	1223
Shear resistance (prisms 1-2)	$\tau_{m2}$ [kPa]	4263

Safety factor (prism 3)	$FS_3$	5.70
Safety factor (MΣFR/MSFA)	$FS_F$	2.37

Permitted free span length	$a_{max}$ [m]	2.9
Pressure on primary supports	$P_s$ [kPa]	4420
Required pressure at face	$P_E$ [kPa]	0

Obtained safety factor	SF	2.37
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  $\gamma$  is unit weight of the soil,  
 $s_u$  is undrained shear strength of the soil at tunnel axis level,  
 $\sigma_s$  is surface surcharge pressure,  
 $\sigma_T$  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]	$\gamma_n$ [kNm <sup>-3</sup> ]	$\sigma_s$ [kPa]	$\sigma_T$ [kPa]	$\sigma_c$ [kPa]	$m_i$ [-]	GSI [-]
Ap-GR3a	255	26.0	0	0	7000	19	33
0	0	0.0					
0	0	0.0					
0	0	0.0					

**Results**

$\Delta H$ [m]	$\gamma_n$ [kNm <sup>-3</sup> ]	$\sigma_c$ [kPa]	$m_i$ [-]	GSI [-]	$\sigma_0$ [kPa]	$\sigma_{cm}$ [kPa]	$s_u$ [kPa]
255.0	26.0	7000.0	19.0	33.0	6630.0	1243.2	621.6
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	$\lambda_e$	[-]	0.51

**Short term face stability**

Galleria valico tratta 4 - AEXCAV. [m2] = **95**  
**FACE STABILITY ANALYSIS - TAMEZ-CONEJO**  
**THERAPY PHASE**  
**sezione C4**

Parametro non influente al fine del calcolo

**Geotechnical properties**

Overburden layers	$\Delta H$ [m]	$\gamma_n$ [ $\text{kNm}^{-3}$ ]	$c'$ [kPa]	$\phi'$ [°]
Ap-GR3a	248	26	440	27
Coronella	2	26.0	500	1.0

Excavated layers	$\Delta H$ [m]	$\gamma_n$ [ $\text{kNm}^{-3}$ ]	$c'$ [kPa]	$\phi'$ [°]
Ap-GR3a	10	26	440	27

**Tunnel geometry**

Type of ground	CF/F	CF
Total Overburden	Z [m]	250.0
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]	1.0

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]	6.1

**Injection modality**

Grout injection properties		
Cubic compression resistance	$R_{ck}$ [MPa]	
Injection influence ratio	$i_i$ [-]	1
Curing factor	$\gamma_c$ [-]	
Material's safety factor	$\gamma_f$ [-]	
Mortar's position ratio	$v_c$ [-]	
Elastic module of mortar	$E_c$ [GPa]	
Grout-soil bond	$\tau_a$ [kPa]	150.0
Injection penetrability coeff.	$\alpha_i$ [-]	1.0
ULS resistance of mortar	$\sigma_c$ [-]	

Face bolt properties		
Tensile resistance of bar	$\sigma_b$ [MPa]	600.0
Tensile resistance at joint	$\sigma_j$ [MPa]	600.0
Shear resistance of bar	$\sigma_t$ [MPa]	100.0
Drilling diameter	$\phi_{dril}$ [mm]	100.0
External diameter	$\phi_{ext}$ [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	$A_b$ [ $\text{mm}^2$ ]	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]	565.5
Max. resistance offered by bars	$T_{max}$ [kN]	565.5

Adopted number of bars	$N_b$ [-]	70.0
N° of bars for unit of area	$n_b$ [ $\text{m}^{-2}$ ]	0.74
Confining pressure	$P_e$ [kPa]	416.7
Increment of cohesion	$\Delta c'$ [kPa]	340.0
Improved cohesion at face	$c'_{eq}$ [kPa]	780.0

**Prismatic volume properties**

Aver. weight of load mass	$\gamma_p$ [ $\text{kNm}^{-3}$ ]	26.0
Aver. cohesion of load mass	$c'_p$ [kPa]	440.5
Aver. friction of load mass	$\phi'_p$ [°]	26.8

Aver. weight of Excav. layers	$\gamma_E$ [ $\text{kNm}^{-3}$ ]	26.0
Aver. cohesion of Excav. layers	$c'_E$ [kPa]	440.0
Aver. friction of load mass	$\phi'_E$ [°]	27.0

Effective soil press. at crown	$\sigma'_v$ [kPa]	6500
--------------------------------	-------------------	------

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

**Shear resistance and Safety factor at Diagnosis phase**

Shear resistance (prism 3)	$\tau_{m3}$ [kPa]	1217
Shear resistance (prisms 1-2)	$\tau_{m2}$ [kPa]	4264

Safety factor (prism 3)	$FS_3$	5.67
Safety factor (MΣFR/MSFA)	$FS_F$	2.53

Permitted free span length	$a_{max}$ [m]	2.9
Pressure on primary supports	$P_s$ [kPa]	4431
Requied pressure at face	$P_E$ [kPa]	0

Obtained safety factor	SF	2.53
Requested safety factor	$SF_R$	2.00

```

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

```

CALCOLO GALLERIE CON METODO  
 CONVERGENZA-CONFINAMENTO  
 SOLUTORE ANALITICO

VERSIONE 4 (2003)

aP\_GR1\_150m

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] ..... 4.05000  
 Modulo di Young [MPa] ..... 5400.00000  
 Coefficiente di Poisson ..... .30000  
 Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] . .00000  
 RESISTENZA ROCCIA  
 Coesione picco [MPa] ..... .77000  
 Angolo attrito picco [°] ..... 40.00000  
 Coesione residua [MPa] ..... .69000  
 Angolo attrito residuo [MPa] ..... 32.00000  
 Angolo dilatanza [°] ..... .00000

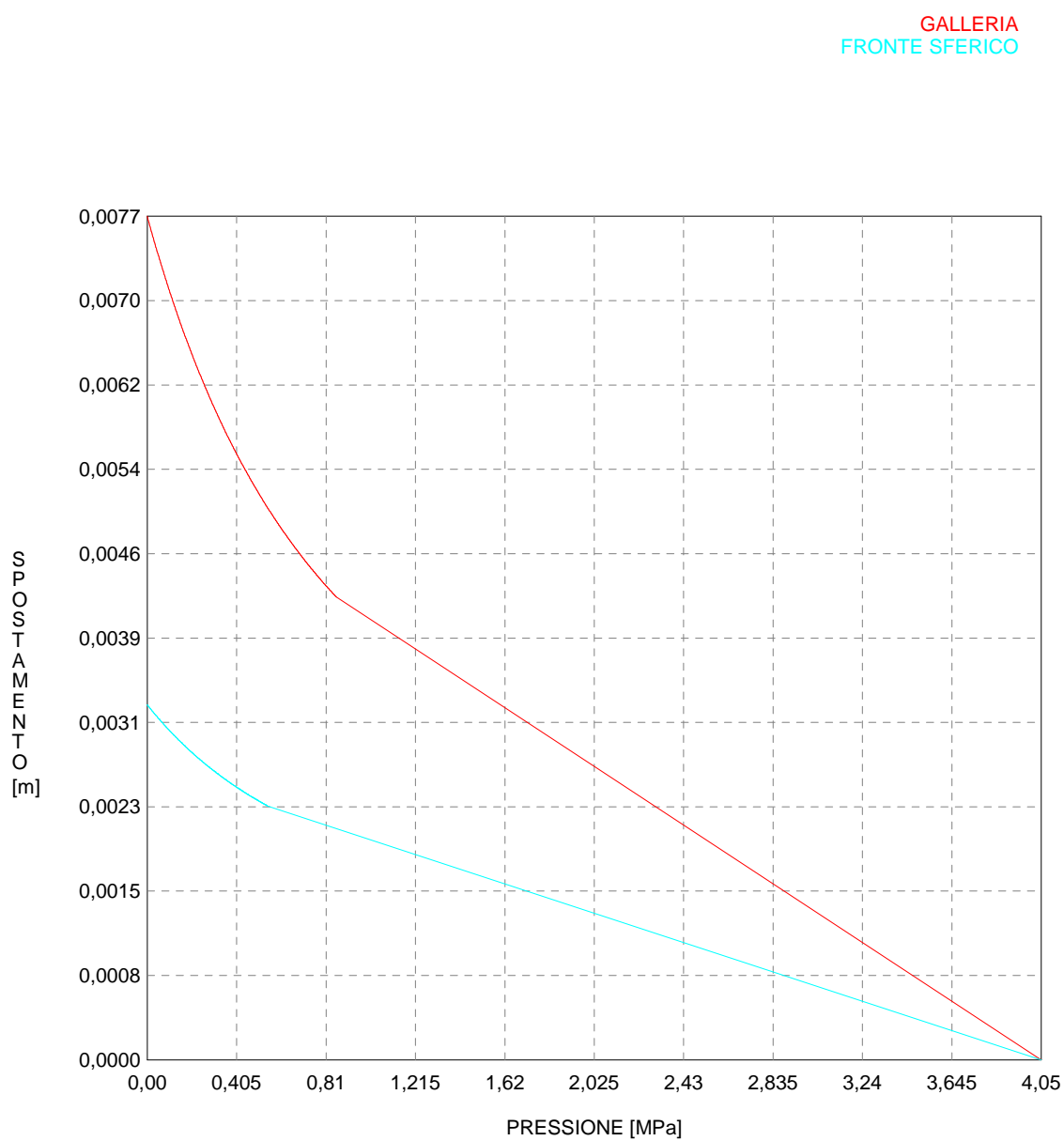
R I S U L T A T O A N A L I S I F R O N T E D I S C A V O

Press. fine calcolo galleria non sostenuta [MPa] .. .000000  
 Spostamento radiale galleria non sostenuta [m] .... .007735  
 Raggio plastico galleria non sostenuta [m] ..... 7.121547  
 Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] ..... .000000  
 Spostamento radiale fronte sferico [m] ..... .003256  
 Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] ..... .002005  
 Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ... .002243  
 Raggio plastico fronte sferico [m] ..... 6.032569

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] ..... .007735  
 Raggio plastico galleria fine calcolo [m] ..... 7.121547

## CURVE CARATTERISTICHE ANALISI BASE





```

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

```

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 Poisson ..... .30000  
 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

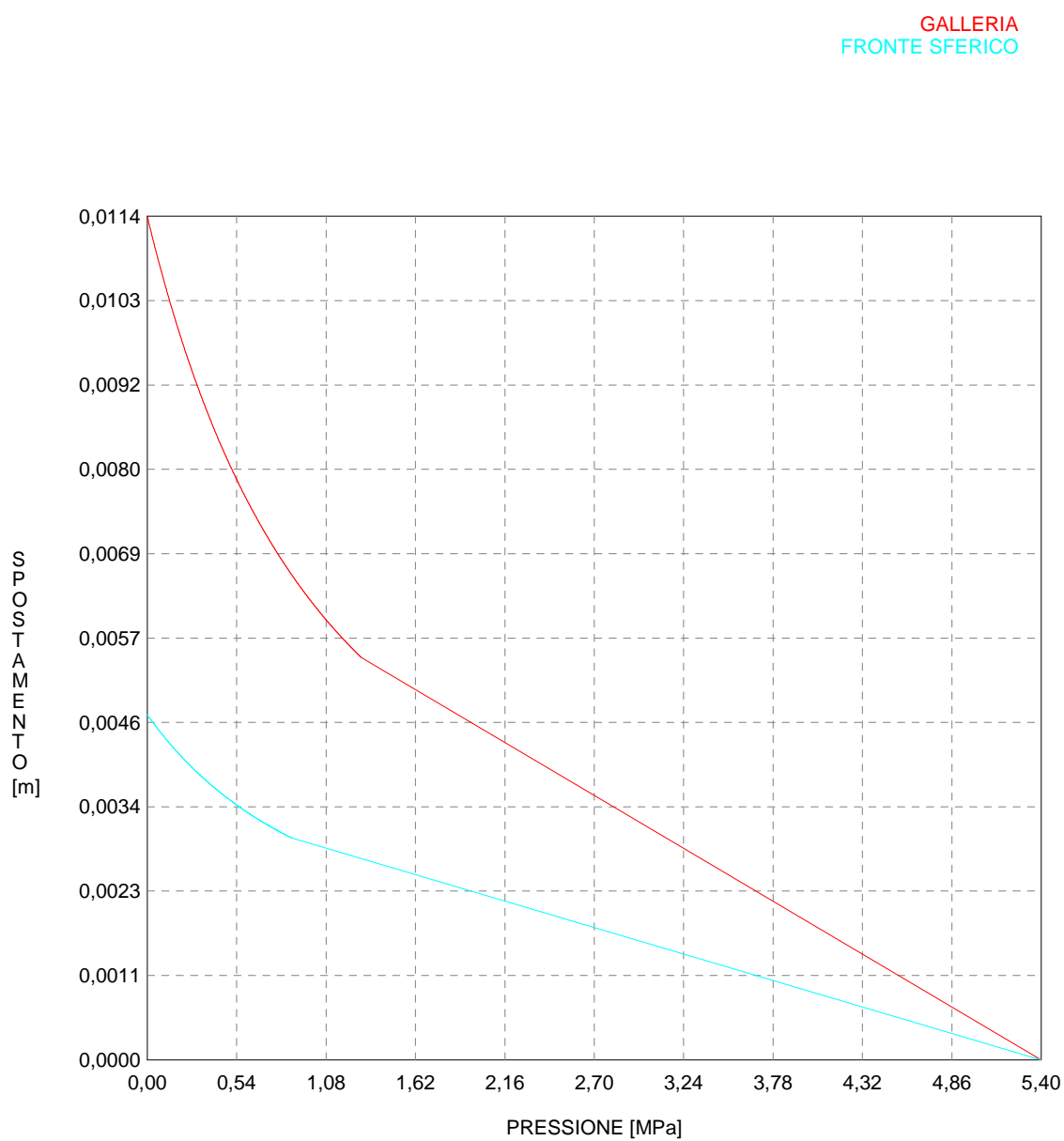
R I S U L T A T O A N A L I S I F R O N T E D I S C A V O

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  
 Spost. 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\_250m

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] ..... 6.75000  
 Modulo di Young [MPa] ..... 5400.00000  
 Coefficiente di Poisson ..... .30000  
 Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] . .00000  
 RESISTENZA ROCCIA  
 Coesione picco [MPa] ..... 1.04300  
 Angolo attrito picco [°] ..... 39.00000  
 Coesione residua [MPa] ..... .94000  
 Angolo attrito residuo [MPa] ..... 31.00000  
 Angolo dilatanza [°] ..... .00000

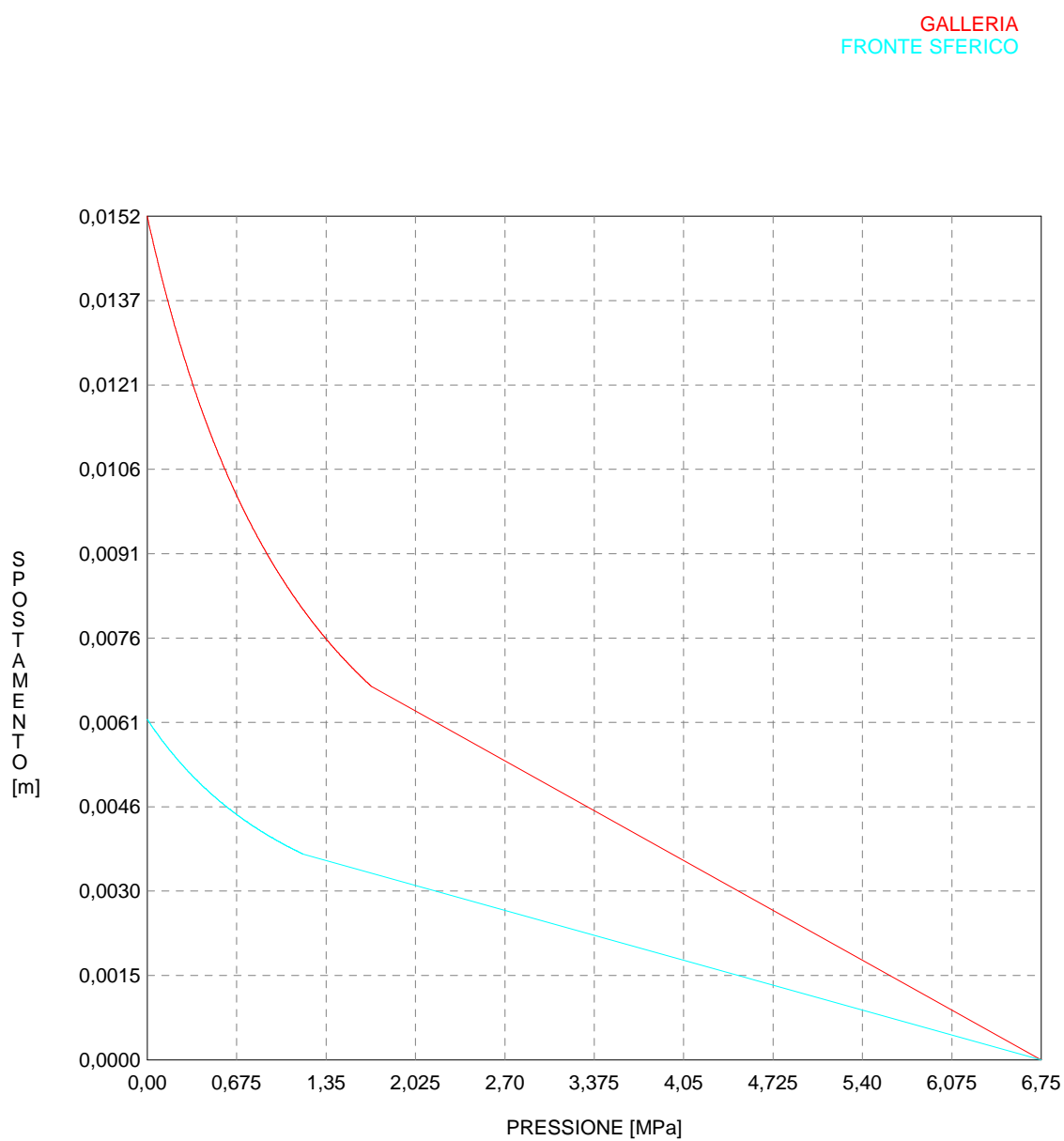
R I S U L T A T O A N A L I S I F R O N T E D I S C A V O

Press. fine calcolo galleria non sostenuta [MPa] .. .000000  
 Spostamento radiale galleria non sostenuta [m] .... .015178  
 Raggio plastico galleria non sostenuta [m] ..... 7.794823  
 Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] ..... .000000  
 Spostamento radiale fronte sferico [m] ..... .006128  
 Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] ..... .003331  
 Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ... .004402  
 Raggio plastico fronte sferico [m] ..... 6.298088

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] ..... .015178  
 Raggio plastico galleria fine calcolo [m] ..... 7.794823

## CURVE CARATTERISTICHE ANALISI BASE



```

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

```

CALCOLO GALLERIE CON METODO  
 CONVERGENZA-CONFINAMENTO  
 SOLUTORE ANALITICO

VERSIONE 4 (2003)

aP\_GR2a\_150m

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] ..... 4.05000  
 Modulo di Young [MPa] ..... 1750.00000  
 Coefficiente di Poisson ..... .30000  
 Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] . .00000  
 RESISTENZA ROCCIA  
 Coesione picco [MPa] ..... .45000  
 Angolo attrito picco [°] ..... 38.00000  
 Coesione residua [MPa] ..... .40000  
 Angolo attrito residuo [MPa] ..... 30.00000  
 Angolo dilatanza [°] ..... .00000

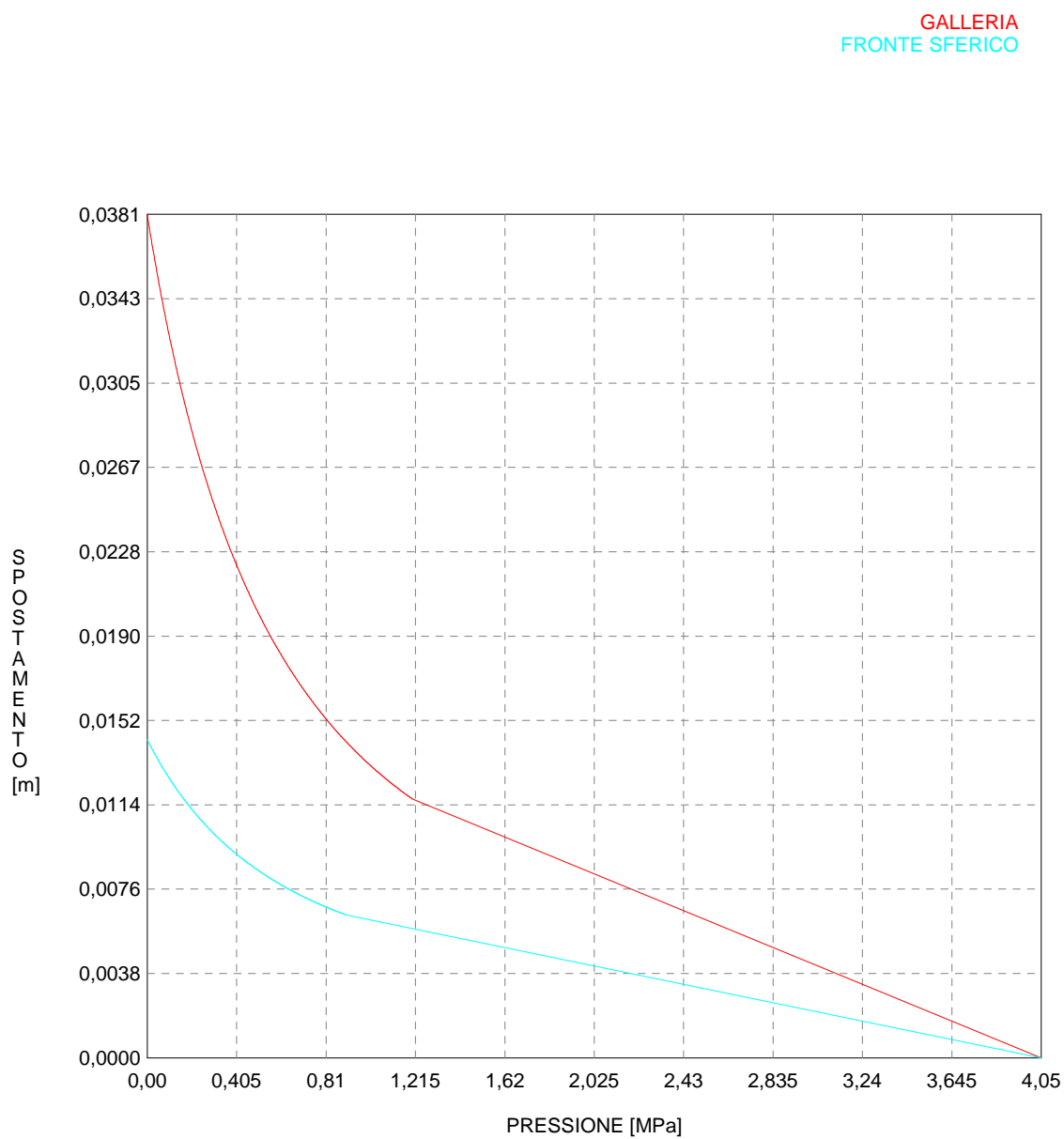
R I S U L T A T O A N A L I S I F R O N T E D I S C A V O

Press. fine calcolo galleria non sostenuta [MPa] .. .000000  
 Spostamento radiale galleria non sostenuta [m] .... .038072  
 Raggio plastico galleria non sostenuta [m] ..... 9.128699  
 Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] ..... .000000  
 Spostamento radiale fronte sferico [m] ..... .014366  
 Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] ..... .005245  
 Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ... .011041  
 Raggio plastico fronte sferico [m] ..... 6.796304

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] ..... .038072  
 Raggio plastico galleria fine calcolo [m] ..... 9.128699

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 Poisson .....	.30000
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

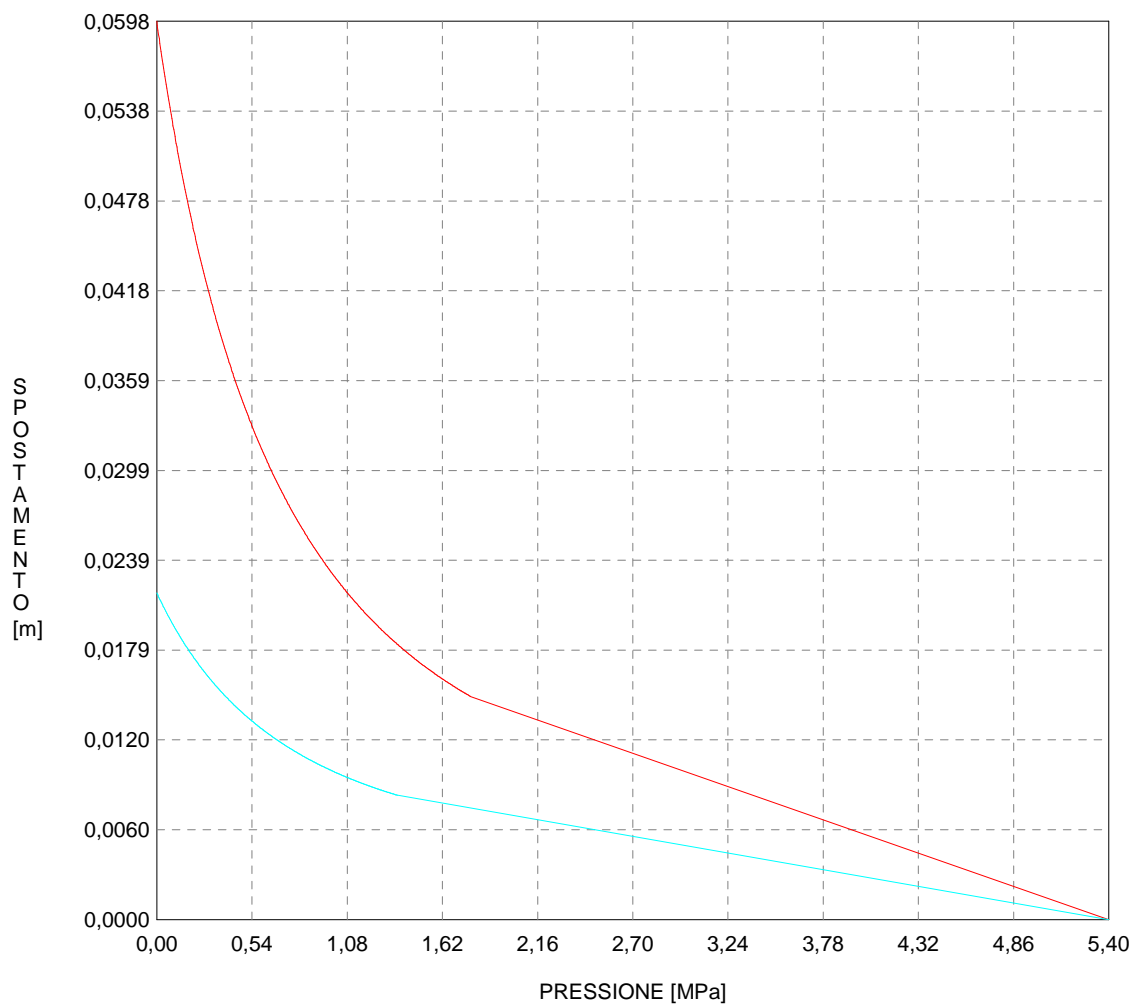
Press. fine calcolo galleria non sostenuta [MPa] ..	.000000
Spostamento radiale galleria non sostenuta [m] ....	.059768
Raggio plastico galleria non sostenuta [m] .....	10.032281
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] .....	.000000
Spostamento radiale fronte sferico [m] .....	.021745
Spostamento radiale 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

GALLERIA  
FRONTE SFERICO





```

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

```

CALCOLO GALLERIE CON METODO  
CONVERGENZA-CONFINAMENTO  
SOLUTORE ANALITICO

VERSIONE 4 (2003)

aP\_GR2a\_250m

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] ..... 6.75000  
Modulo di Young [MPa] ..... 1750.00000  
Coefficiente di Poisson ..... .30000  
Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] . .00000  
RESISTENZA ROCCIA  
Coesione picco [MPa] ..... .63800  
Angolo attrito picco [°] ..... 34.00000  
Coesione residua [MPa] ..... .55000  
Angolo attrito residuo [MPa] ..... 30.00000  
Angolo dilatanza [°] ..... .00000

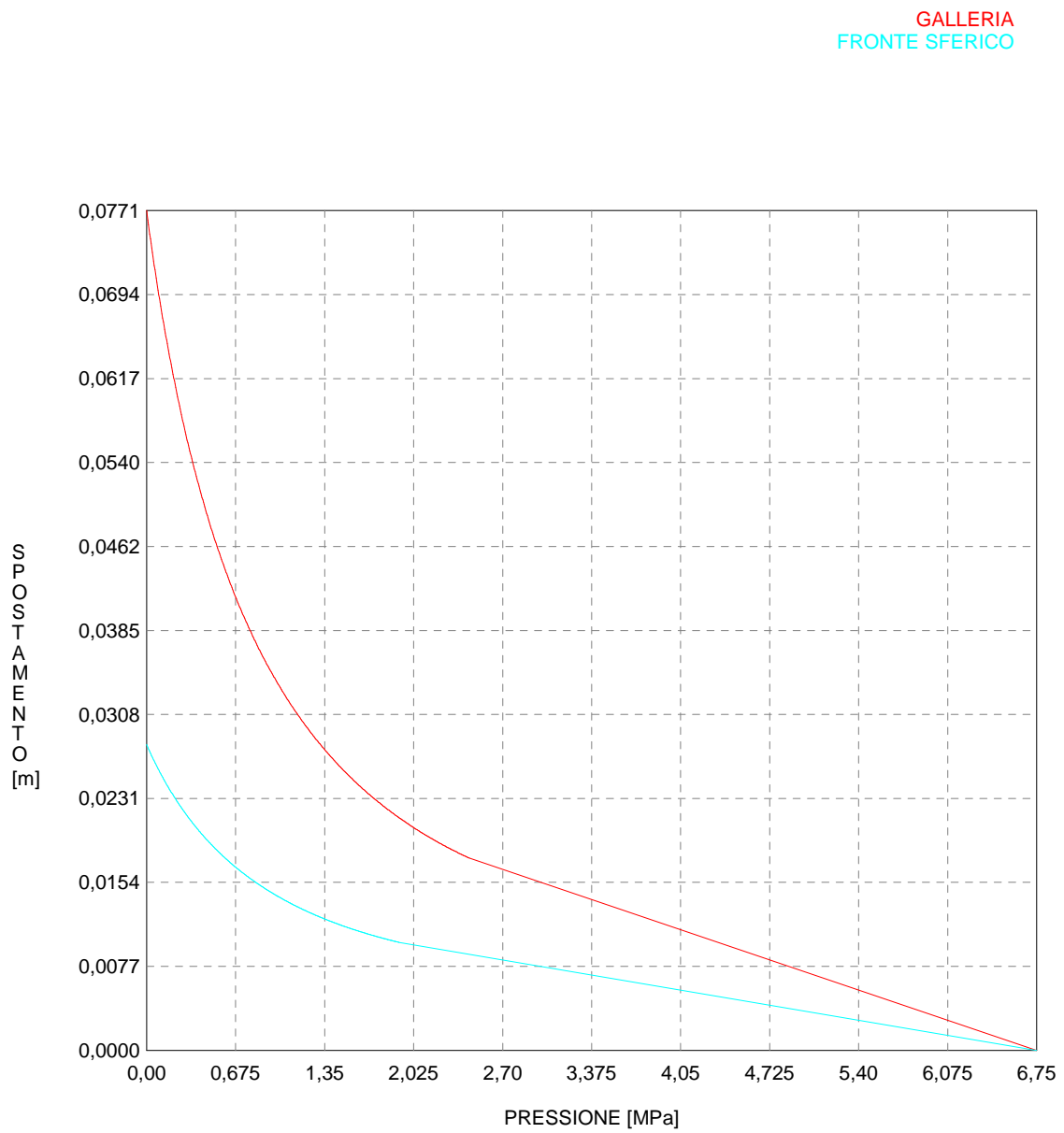
R I S U L T A T O   A N A L I S I   F R O N T E   D I   S C A V O

Press. fine calcolo galleria non sostenuta [MPa] .. .000000  
Spostamento radiale galleria non sostenuta [m] .... .077082  
Raggio plastico galleria non sostenuta [m] ..... 10.427077  
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] ..... .000000  
Spostamento radiale fronte sferico [m] ..... .028077  
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] ..... .007670  
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ... .022354  
Raggio plastico fronte sferico [m] ..... 7.269984

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] ..... .077082  
Raggio plastico galleria fine calcolo [m] ..... 10.427077

CURVE CARATTERISTICHE ANALISI BASE



```

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

```

CALCOLO GALLERIE CON METODO  
CONVERGENZA-CONFINAMENTO  
SOLUTORE ANALITICO

VERSIONE 4 (2003)

aP\_GR2b\_150m

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] ..... 4.05000  
Modulo di Young [MPa] ..... 1250.00000  
Coefficiente di Poisson ..... .30000  
Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] . .00000  
RESISTENZA ROCCIA  
Coesione picco [MPa] ..... .39000  
Angolo attrito picco [°] ..... 33.00000  
Coesione residua [MPa] ..... .34000  
Angolo attrito residuo [MPa] ..... 26.00000  
Angolo dilatanza [°] ..... .00000

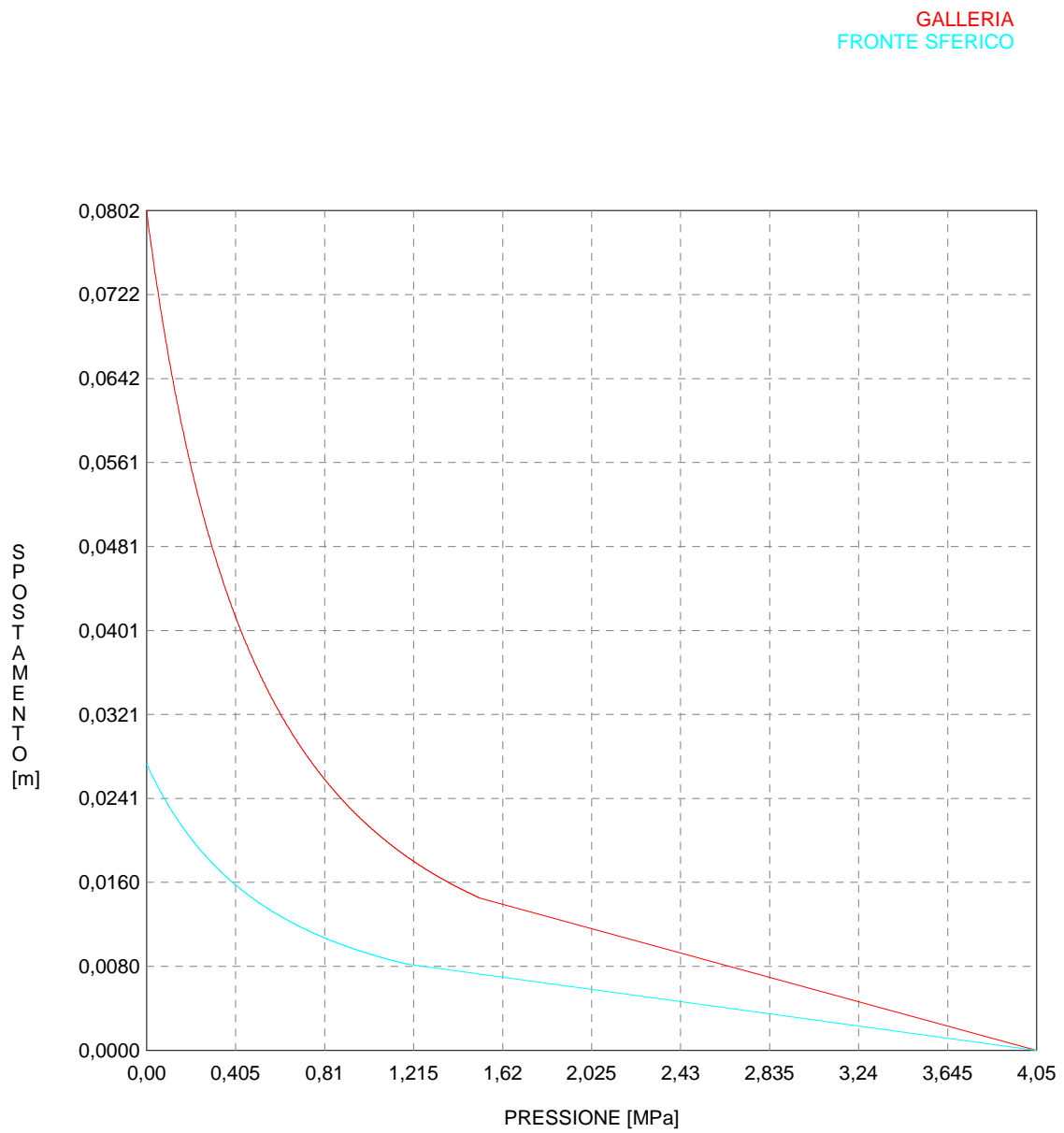
R I S U L T A T O   A N A L I S I   F R O N T E   D I   S C A V O

Press. fine calcolo galleria non sostenuta [MPa] .. .000000  
Spostamento radiale galleria non sostenuta [m] .... .080188  
Raggio plastico galleria non sostenuta [m] ..... 11.573536  
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] ..... .000000  
Spostamento radiale fronte sferico [m] ..... .027383  
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] ..... .007979  
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ... .023255  
Raggio plastico fronte sferico [m] ..... 7.596158

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  
Spst. radiale galleria fine calcolo [m] ..... .080188  
Raggio plastico galleria fine calcolo [m] ..... 11.573536

CURVE CARATTERISTICHE ANALISI BASE



```

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

```

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 Poisson .....	.30000
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

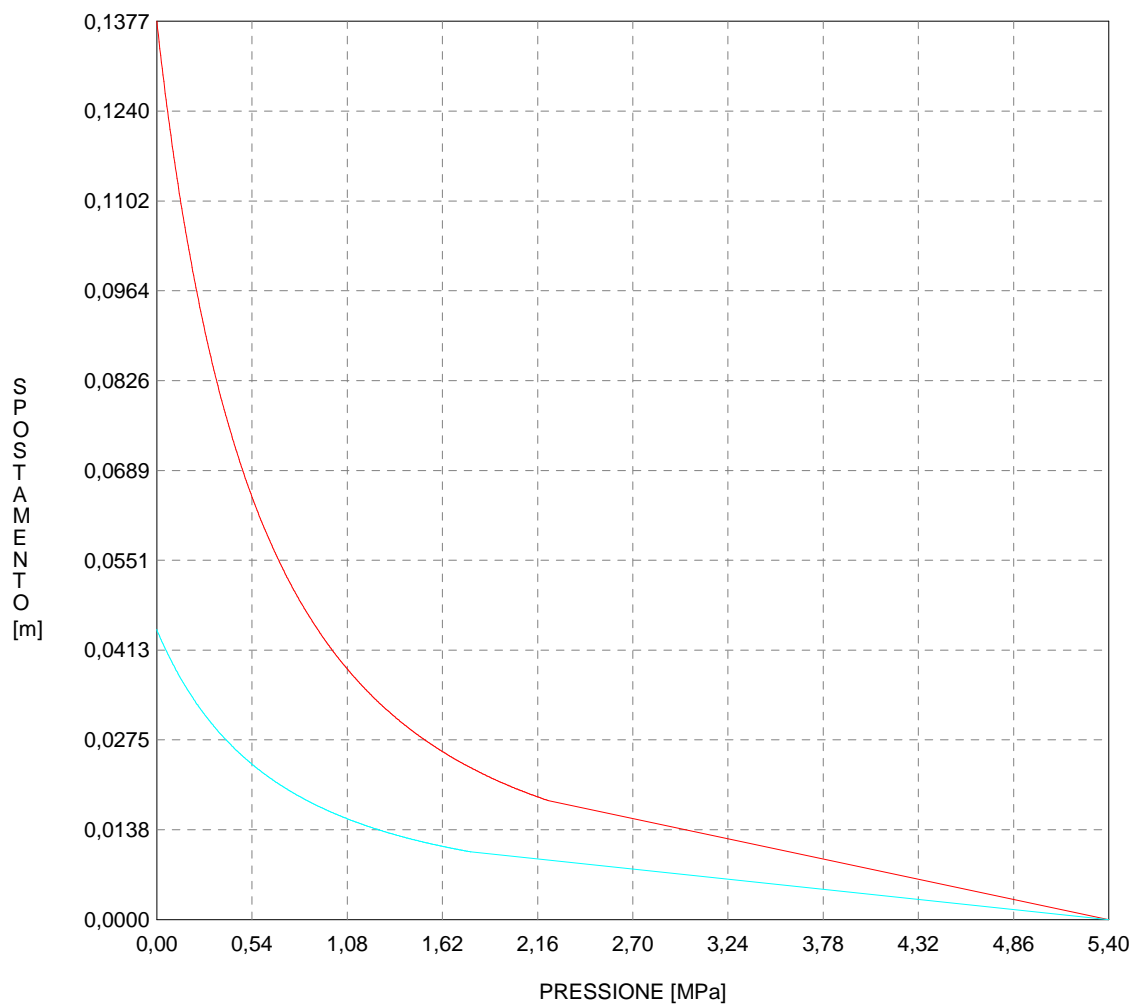
Press. fine calcolo galleria non sostenuta [MPa] ..	.000000
Spostamento radiale galleria non sostenuta [m] ....	.137725
Raggio plastico galleria non sostenuta [m] .....	13.378796
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] .....	.000000
Spostamento radiale fronte sferico [m] .....	.044477
Spostamento radiale 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

GALLERIA  
FRONTE SFERICO



```

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

```

CALCOLO GALLERIE CON METODO  
 CONVERGENZA-CONFINAMENTO  
 SOLUTORE ANALITICO

VERSIONE 4 (2003)

aP\_GR2b\_250m

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] ..... 6.75000  
 Modulo di Young [MPa] ..... 1250.00000  
 Coefficiente di Poisson ..... .30000  
 Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] . .00000  
 RESISTENZA ROCCIA  
 Coesione picco [MPa] ..... .53000  
 Angolo attrito picco [°] ..... 30.00000  
 Coesione residua [MPa] ..... .45000  
 Angolo attrito residuo [MPa] ..... 25.00000  
 Angolo dilatanza [°] ..... .00000

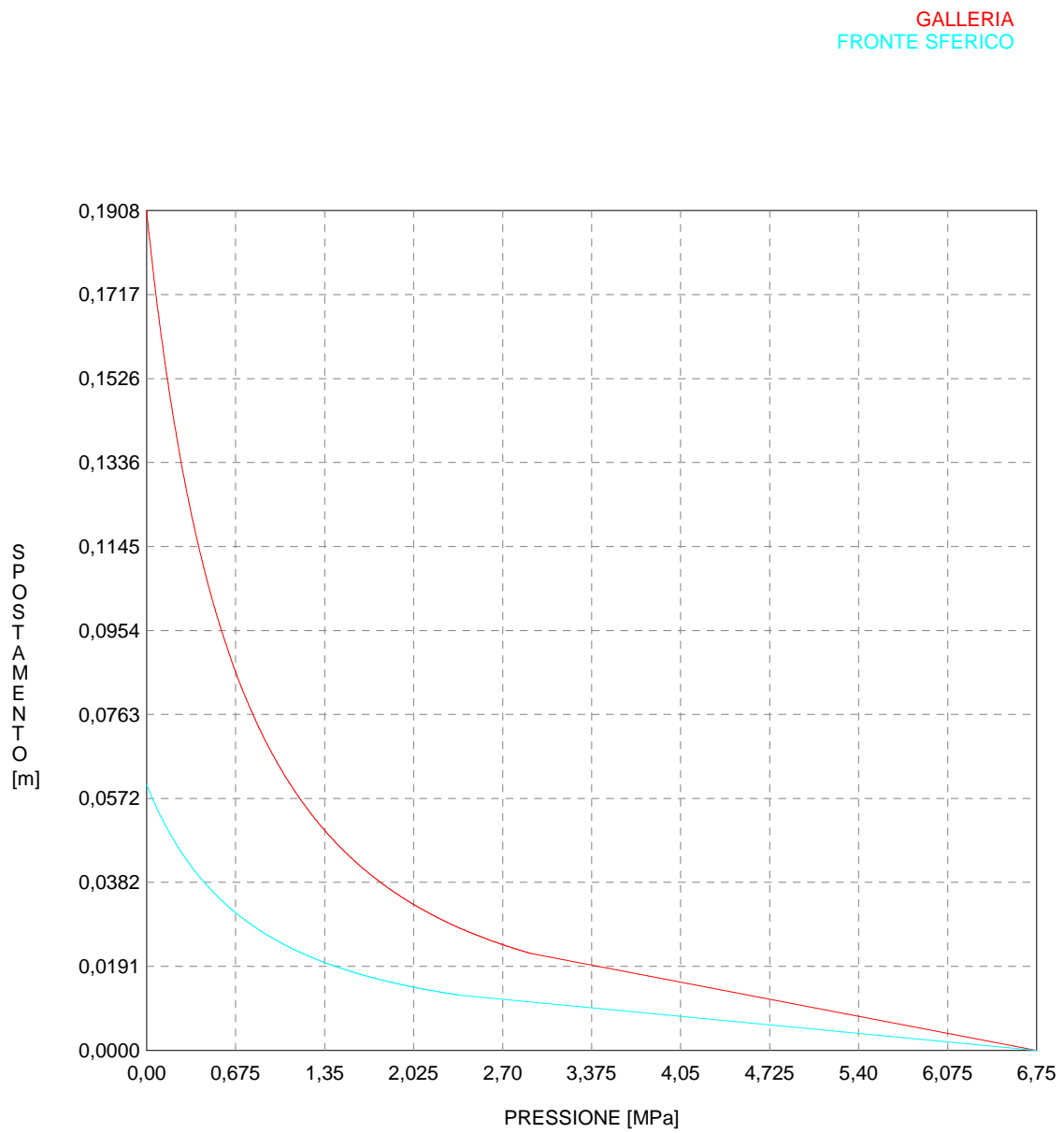
R I S U L T A T O A N A L I S I F R O N T E D I S C A V O

Press. fine calcolo galleria non sostenuta [MPa] .. .000000  
 Spostamento radiale galleria non sostenuta [m] .... .190798  
 Raggio plastico galleria non sostenuta [m] ..... 14.282701  
 Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] ..... .000000  
 Spostamento radiale fronte sferico [m] ..... .060432  
 Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] ..... .018984  
 Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ... .055331  
 Raggio plastico fronte sferico [m] ..... 8.429627

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] ..... .190798  
 Raggio plastico galleria fine calcolo [m] ..... 14.282701

CURVE CARATTERISTICHE ANALISI BASE





```

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

```

CALCOLO GALLERIE CON METODO  
CONVERGENZA-CONFINAMENTO  
SOLUTORE ANALITICO

VERSIONE 4 (2003)

aP\_GR3a\_150m

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] .....	3.90000
Modulo di Young [MPa] .....	1100.00000
Coefficiente di Poisson .....	.30000
Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] .	.00000
RESISTENZA ROCCIA	
Coesione picco [MPa] .....	.32000
Angolo attrito picco [°] .....	30.00000
Coesione residua [MPa] .....	.27000
Angolo attrito residuo [MPa] .....	24.00000
Angolo dilatanza [°] .....	.00000

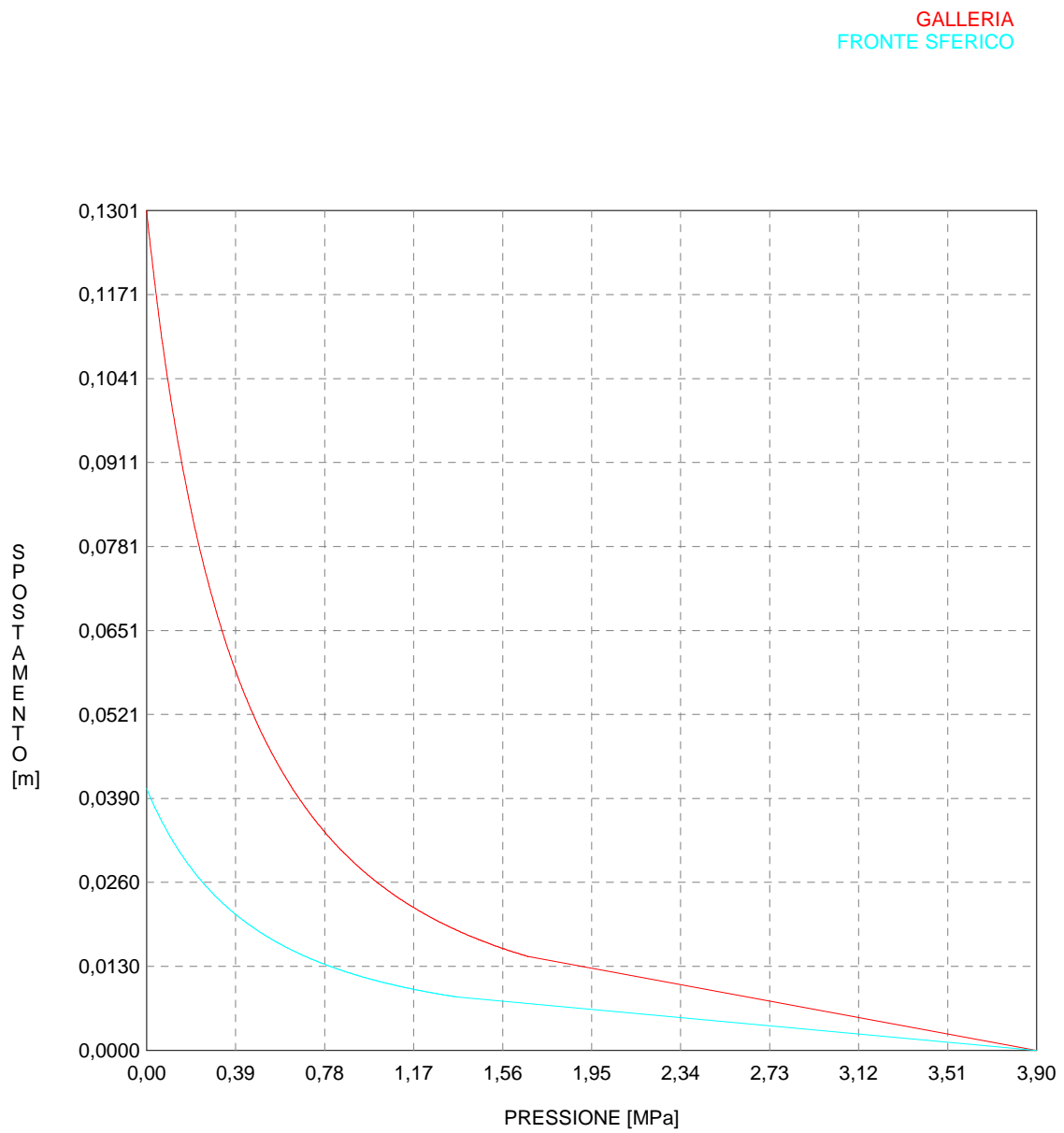
R I S U L T A T O A N A L I S I F R O N T E D I S C A V O

Press. fine calcolo galleria non sostenuta [MPa] ..	.000000
Spostamento radiale galleria non sostenuta [m] ....	.130132
Raggio plastico galleria non sostenuta [m] .....	14.497734
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] .....	.000000
Spostamento radiale fronte sferico [m] .....	.040599
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] .....	.012948
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ...	.037738
Raggio plastico fronte sferico [m] .....	8.468580

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] .....	.130132
Raggio plastico galleria fine calcolo [m] .....	14.497734

CURVE CARATTERISTICHE ANALISI BASE



```

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

```

CALCOLO GALLERIE CON METODO  
 CONVERGENZA-CONFINAMENTO  
 SOLUTORE ANALITICO

VERSIONE 4 (2003)

aP\_GR3a\_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] ..... 5.20000  
 Modulo di Young [MPa] ..... 1100.00000  
 Coefficiente di Poisson ..... .30000  
 Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] . .00000  
 RESISTENZA ROCCIA  
 Coesione picco [MPa] ..... .38000  
 Angolo attrito picco [°] ..... 29.00000  
 Coesione residua [MPa] ..... .32000  
 Angolo attrito residuo [MPa] ..... 23.00000  
 Angolo dilatanza [°] ..... .00000

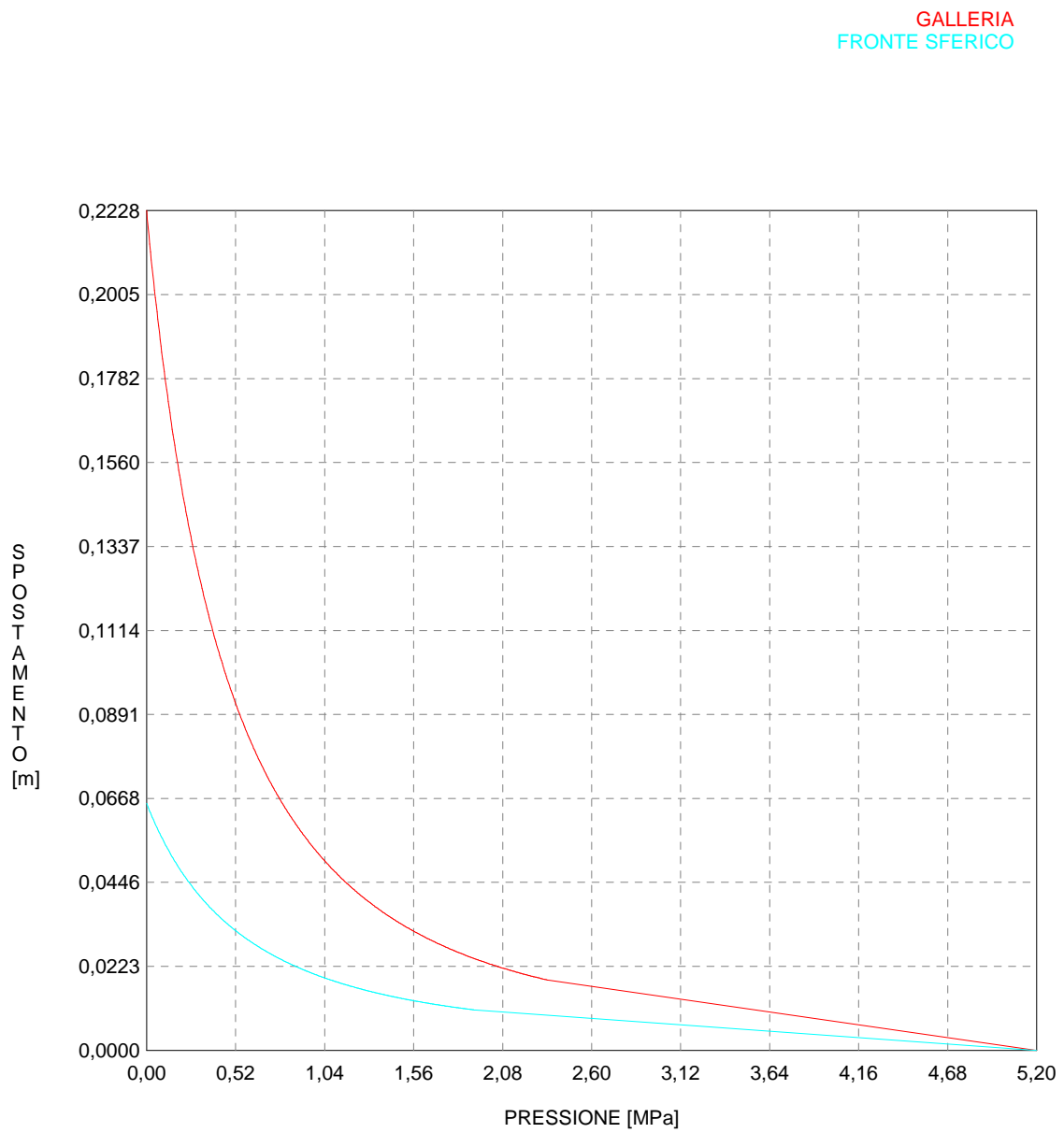
R I S U L T A T O   A N A L I S I   F R O N T E   D I   S C A V O

Press. fine calcolo galleria non sostenuta [MPa] .. .000000  
 Spostamento radiale galleria non sostenuta [m] .... .222804  
 Raggio plastico galleria non sostenuta [m] ..... 16.624578  
 Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] ..... .000000  
 Spostamento radiale fronte sferico [m] ..... .065580  
 Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] ..... .022169  
 Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ... .064613  
 Raggio plastico fronte sferico [m] ..... 9.048687

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] ..... .222804  
 Raggio plastico galleria fine calcolo [m] ..... 16.624578

CURVE CARATTERISTICHE ANALISI BASE



```

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

```

CALCOLO GALLERIE CON METODO  
CONVERGENZA-CONFINAMENTO  
SOLUTORE ANALITICO

VERSIONE 4 (2003)

aP\_GR3a\_250m

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] ..... 6.50000  
Modulo di Young [MPa] ..... 1100.00000  
Coefficiente di Poisson ..... .30000  
Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] . .00000  
RESISTENZA ROCCIA  
Coesione picco [MPa] ..... .44000  
Angolo attrito picco [°] ..... 27.00000  
Coesione residua [MPa] ..... .37000  
Angolo attrito residuo [MPa] ..... 23.00000  
Angolo dilatanza [°] ..... .00000

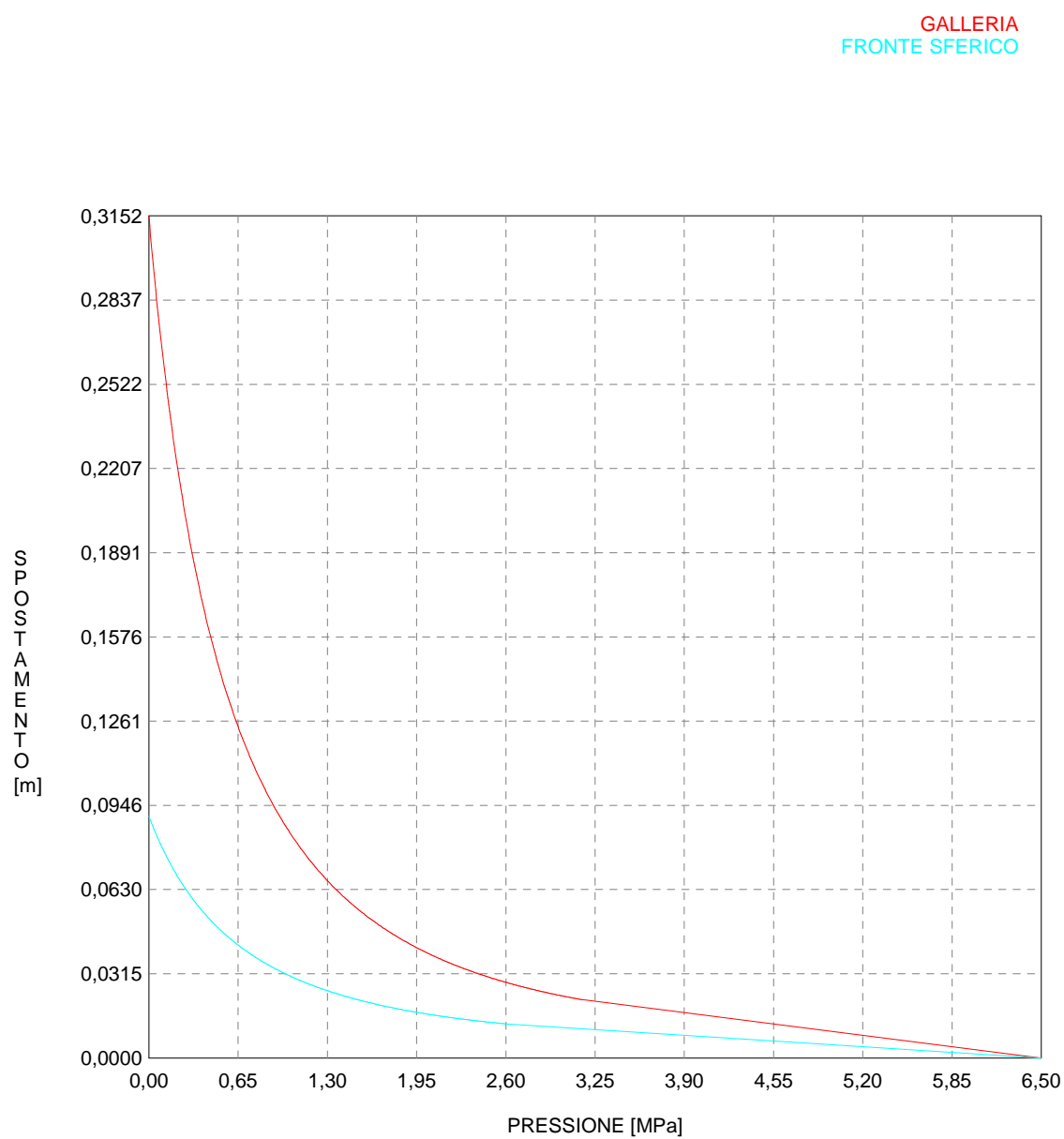
R I S U L T A T O A N A L I S I F R O N T E D I S C A V O

Press. fine calcolo galleria non sostenuta [MPa] .. .000000  
Spostamento radiale galleria non sostenuta [m] .... .315238  
Raggio plastico galleria non sostenuta [m] ..... 18.208008  
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] ..... .000000  
Spostamento radiale fronte sferico [m] ..... .090628  
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] ..... .031366  
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ... .091419  
Raggio plastico fronte sferico [m] ..... 9.490630

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] ..... .315238  
Raggio plastico galleria fine calcolo [m] ..... 18.208008

## CURVE CARATTERISTICHE ANALISI BASE



```

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

```

CALCOLO GALLERIE CON METODO  
CONVERGENZA-CONFINAMENTO  
SOLUTORE ANALITICO

VERSIONE 4 (2003)

aP\_GR3b\_150m

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] .....	3.90000
Modulo di Young [MPa] .....	900.00000
Coefficiente di Poisson .....	.30000
Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] .	.00000
RESISTENZA ROCCIA	
Coesione picco [MPa] .....	.25000
Angolo attrito picco [°] .....	27.00000
Coesione residua [MPa] .....	.20000
Angolo attrito residuo [MPa] .....	22.00000
Angolo dilatanza [°] .....	.00000

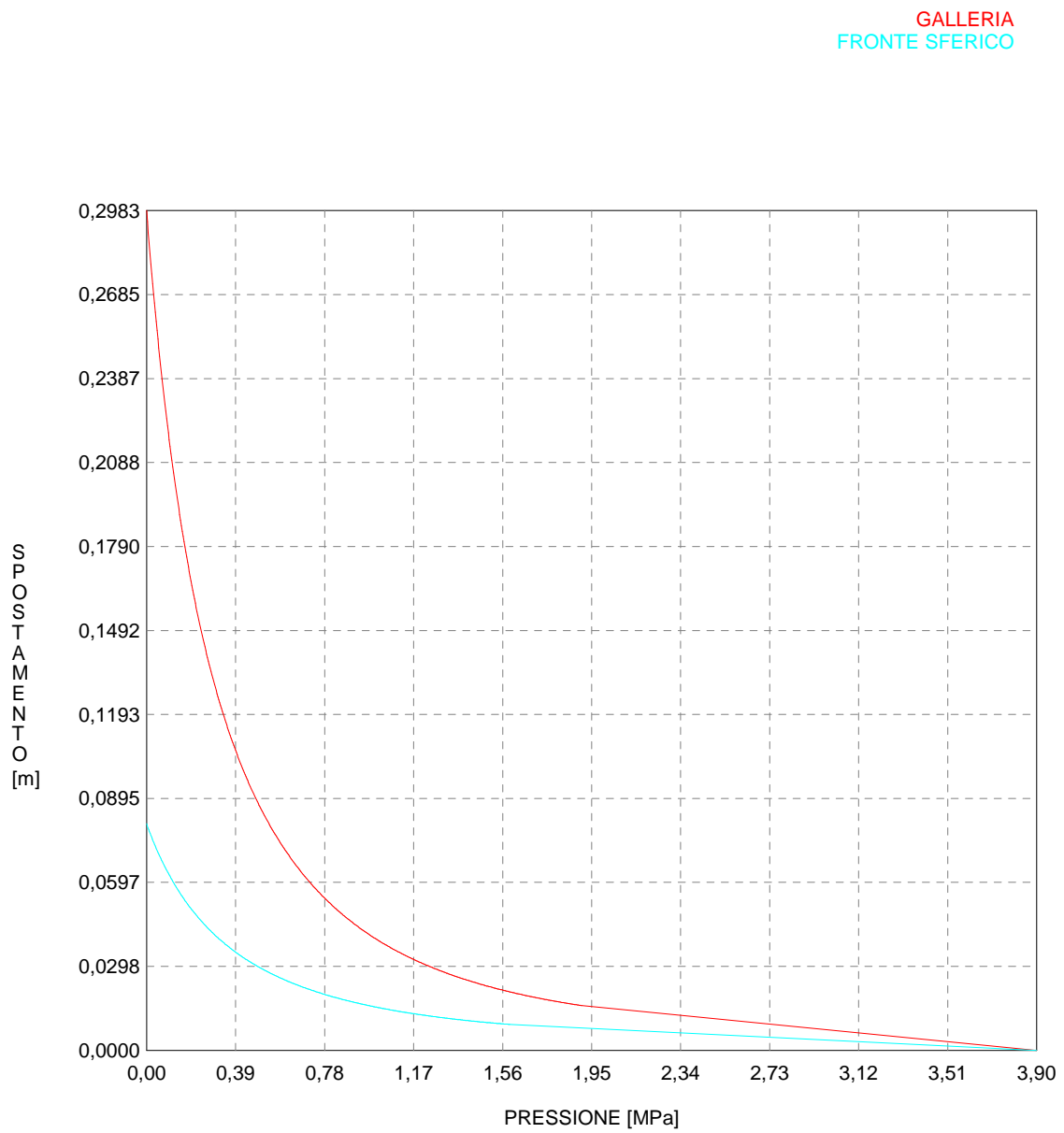
R I S U L T A T O   A N A L I S I   F R O N T E   D I   S C A V O

Press. fine calcolo galleria non sostenuta [MPa] ..	.000000
Spostamento radiale galleria non sostenuta [m] ....	.298325
Raggio plastico galleria non sostenuta [m] .....	20.629175
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] .....	.000000
Spostamento radiale fronte sferico [m] .....	.080493
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] .....	.029683
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ...	.086514
Raggio plastico fronte sferico [m] .....	10.062769

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] .....	.298325
Raggio plastico galleria fine calcolo [m] .....	20.629175

CURVE CARATTERISTICHE ANALISI BASE





```

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

```

CALCOLO GALLERIE CON METODO  
CONVERGENZA-CONFINAMENTO  
SOLUTORE ANALITICO

VERSIONE 4 (2003)

aP\_GR3b\_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] .....	5.20000
Modulo di Young [MPa] .....	900.00000
Coefficiente di Poisson .....	.30000
Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] .	.00000
RESISTENZA ROCCIA	
Coesione picco [MPa] .....	.30000
Angolo attrito picco [°] .....	25.00000
Coesione residua [MPa] .....	.25000
Angolo attrito residuo [MPa] .....	21.00000
Angolo dilatanza [°] .....	.00000

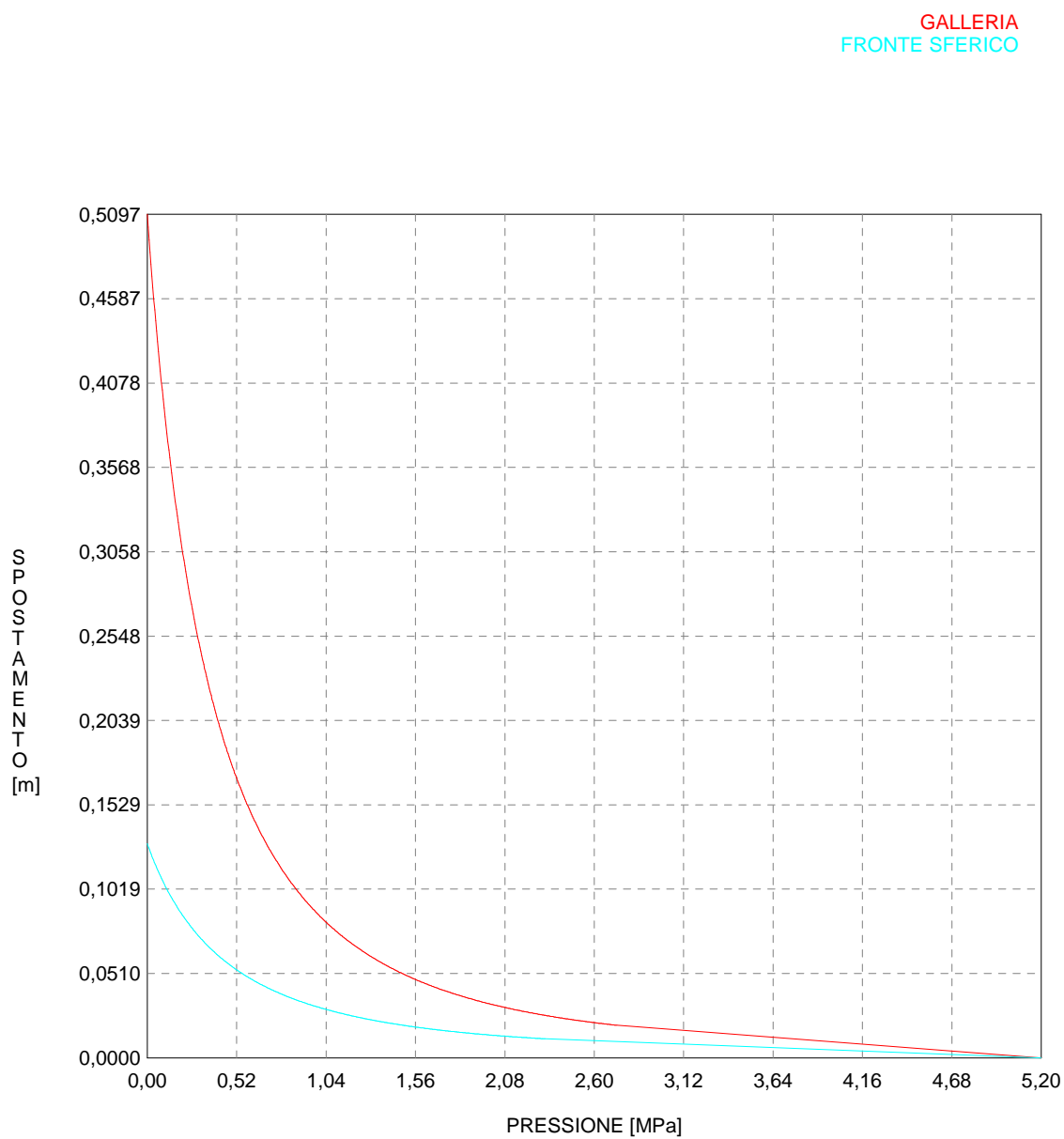
R I S U L T A T O   A N A L I S I   F R O N T E   D I   S C A V O

Press. fine calcolo galleria non sostenuta [MPa] ..	.000000
Spostamento radiale galleria non sostenuta [m] ....	.509695
Raggio plastico galleria non sostenuta [m] .....	24.118931
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] .....	.000000
Spostamento radiale fronte sferico [m] .....	.129528
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] .....	.050715
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ...	.147811
Raggio plastico fronte sferico [m] .....	10.879099

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] .....	.509695
Raggio plastico galleria fine calcolo [m] .....	24.118931

CURVE CARATTERISTICHE ANALISI BASE



```

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

```

CALCOLO GALLERIE CON METODO  
CONVERGENZA-CONFINAMENTO  
SOLUTORE ANALITICO

VERSIONE 4 (2003)

aP\_GR3b\_250m

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] ..... 6.50000  
 Modulo di Young [MPa] ..... 900.00000  
 Coefficiente di Poisson ..... .30000  
 Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] . .00000  
 RESISTENZA ROCCIA  
 Coesione picco [MPa] ..... .35000  
 Angolo attrito picco [°] ..... 24.00000  
 Coesione residua [MPa] ..... .30000  
 Angolo attrito residuo [MPa] ..... 20.00000  
 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

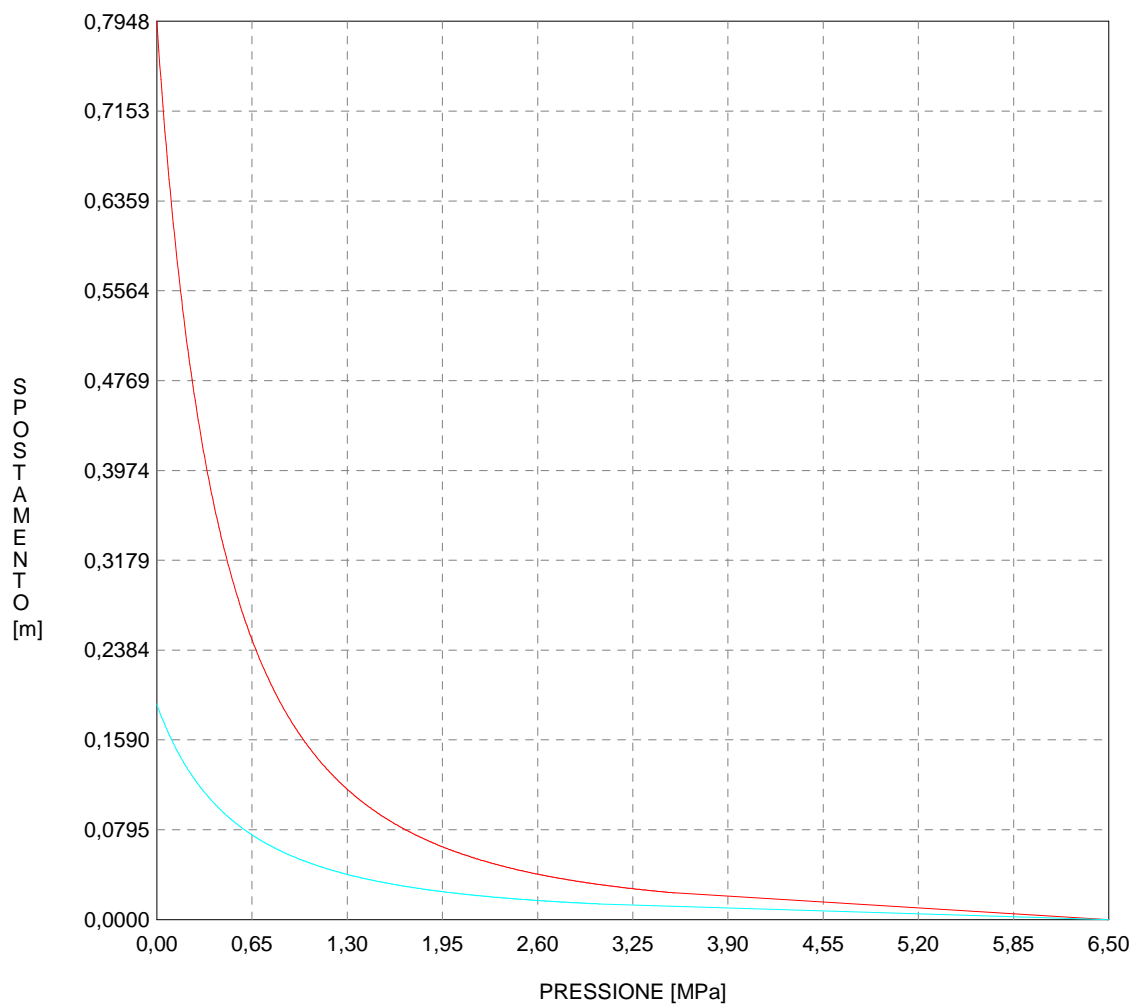
Press. fine calcolo galleria non sostenuta [MPa] .. .000000  
 Spostamento radiale galleria non sostenuta [m] .... .794826  
 Raggio plastico galleria non sostenuta [m] ..... 27.408008  
 Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] ..... .000000  
 Spostamento radiale fronte sferico [m] ..... .190780  
 Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] ..... .079085  
 Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ... .230499  
 Raggio plastico fronte sferico [m] ..... 11.577077

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] ..... .794826  
 Raggio plastico galleria fine calcolo [m] ..... 27.408008

CURVE CARATTERISTICHE ANALISI BASE

GALLERIA  
FRONTE SFERICO



```

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

```

CALCOLO GALLERIE CON METODO  
CONVERGENZA-CONFINAMENTO  
SOLUTORE TRANSFER-MATRIX

VERSIONE 4 (2003)

aP\_GR1\_150m\_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] ..... 4.05000  
Modulo di Young [MPa] ..... 5400.00000  
Coefficiente di Poisson ..... .30000  
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] ..... .77000  
Angolo attrito picco [°] ..... 40.00000  
Coesione residua [MPa] ..... .69000  
Angolo attrito residuo [MPa] ..... 32.00000  
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 rigidezza ..... .11000  
Forma del presinvestimento ..... CIRCOLARE CHIUSO  
SPRITZ-BETON E CENTINE  
Spessore spritz [m] ..... .30000  
Modulo Young spritz [MPa] ..... 20000.00000  
Coefficiente di Poisson spritz ..... .20000  
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 CLS ..... .20000  
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] ..... .006411

Raggio plastico galleria [m] .....	6.650060
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] .....	.000000
Spostamento radiale fronte sferico [m] .....	.002917
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] .....	.001662
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ...	.001859
Raggio plastico fronte sferico [m] .....	5.896195

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

Metodo Panet-Guenot

U [m] :	.00439
LAMBDA :	.81734

Trasformazione Omotetica

U [m] :	.00578
LAMBDA :	.96199

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione cavità sferica

U [m] :	.00503
LAMBDA :	.89892

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns

U [m] :	.00454
LAMBDA :	.83904

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica

U [m] :	.00461
LAMBDA :	.84983

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

Metodo Panet-Guenot

U [m] :	.00640
LAMBDA :	.99958

Trasformazione Omotetica

U [m] :	.00641
LAMBDA :	1.00000

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione cavità sferica

U [m] :	.00624
LAMBDA :	1.00000

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns

U [m] :	.00619
LAMBDA :	1.00000

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica

U [m] :	.00620
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] .....	.006411
Raggio plastico galleria fine calcolo [m] .....	6.650060

PRERIVESTIMENTO -----

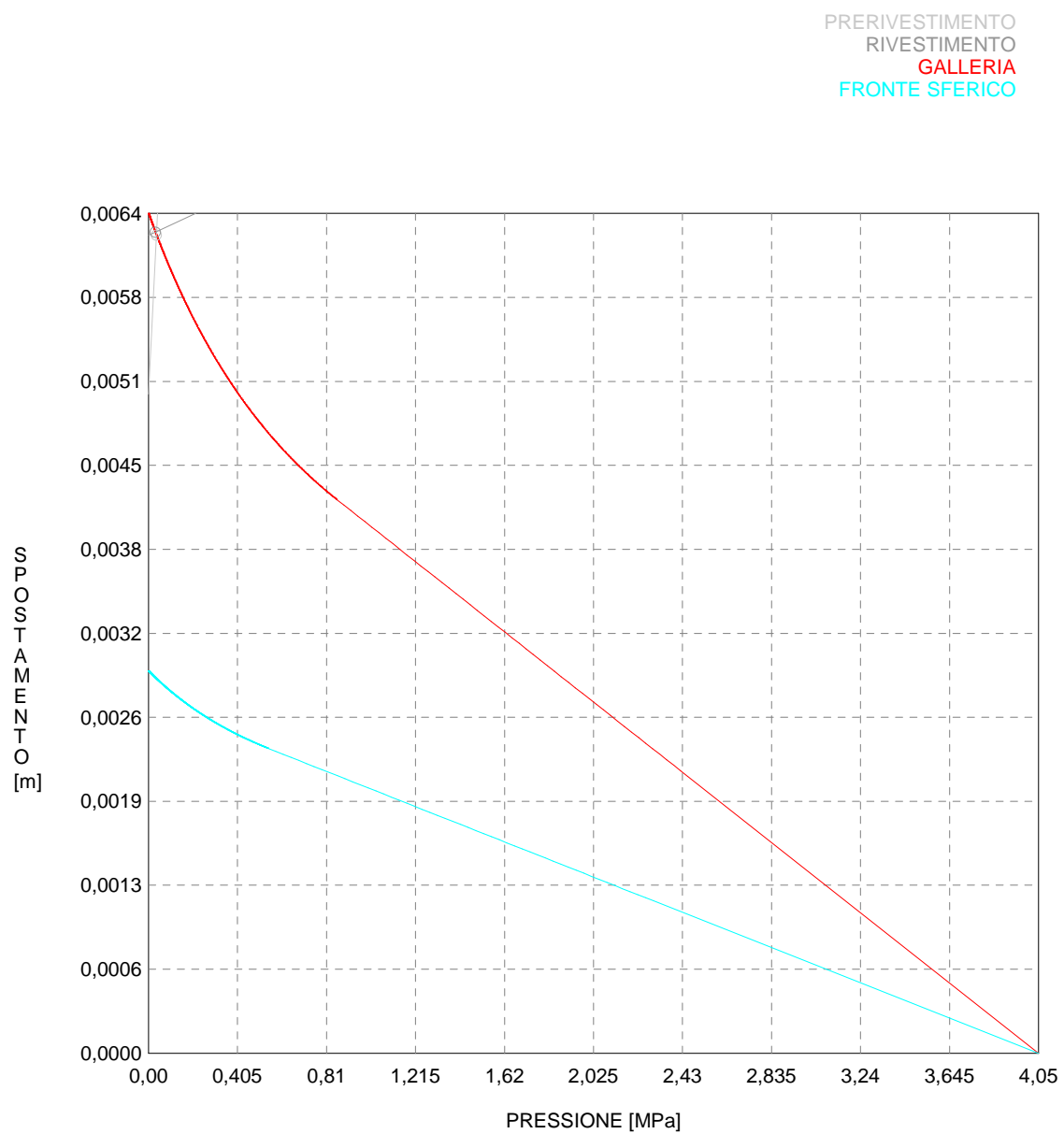
Raggio plastico punto di equilibrio [m] .....	6.56584
Pressione punto di equilibrio [MPa] .....	.03664
Spostamento punto di equilibrio [m] .....	.00624
Spostamento galleria alla messa in opera [m] .....	.00503
Convergenza radiale prerivestimento [m] .....	.00121
Tasso di deconfinamento alla messa in opera .....	.898922
SPRITZ-BETON E CENTINE (ANELLO CHIUSO)	
Tensione spritz [MPa] .....	.53929
Tensione centine [MPa] .....	5.07679
Coefficiente di sicurezza spritz .....	35.60228
Coefficiente di sicurezza centine .....	37.42519
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] .....	6.58260
Pressione punto di equilibrio [MPa] .....	.03120
Spostamento punto di equilibrio [MPa] .....	.00627
Spostamento galleria alla messa in opera [m] .....	.00624
Convergenza radiale rivestimento [m] .....	.00002
Tensione CLS [MPa] .....	.18859

Coefficiente di sicurezza CLS .....	51.69906
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\_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 Poisson ..... .30000  
 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 rigidezza ..... .11000  
 Forma del presivestimento ..... CIRCOLARE CHIUSO  
 SPRITZ-BETON E CENTINE  
 Spessore spritz [m] ..... .30000  
 Modulo Young spritz [MPa] ..... 20000.00000  
 Coefficiente di Poisson spritz ..... .20000  
 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 CLS ..... .20000  
 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 -----

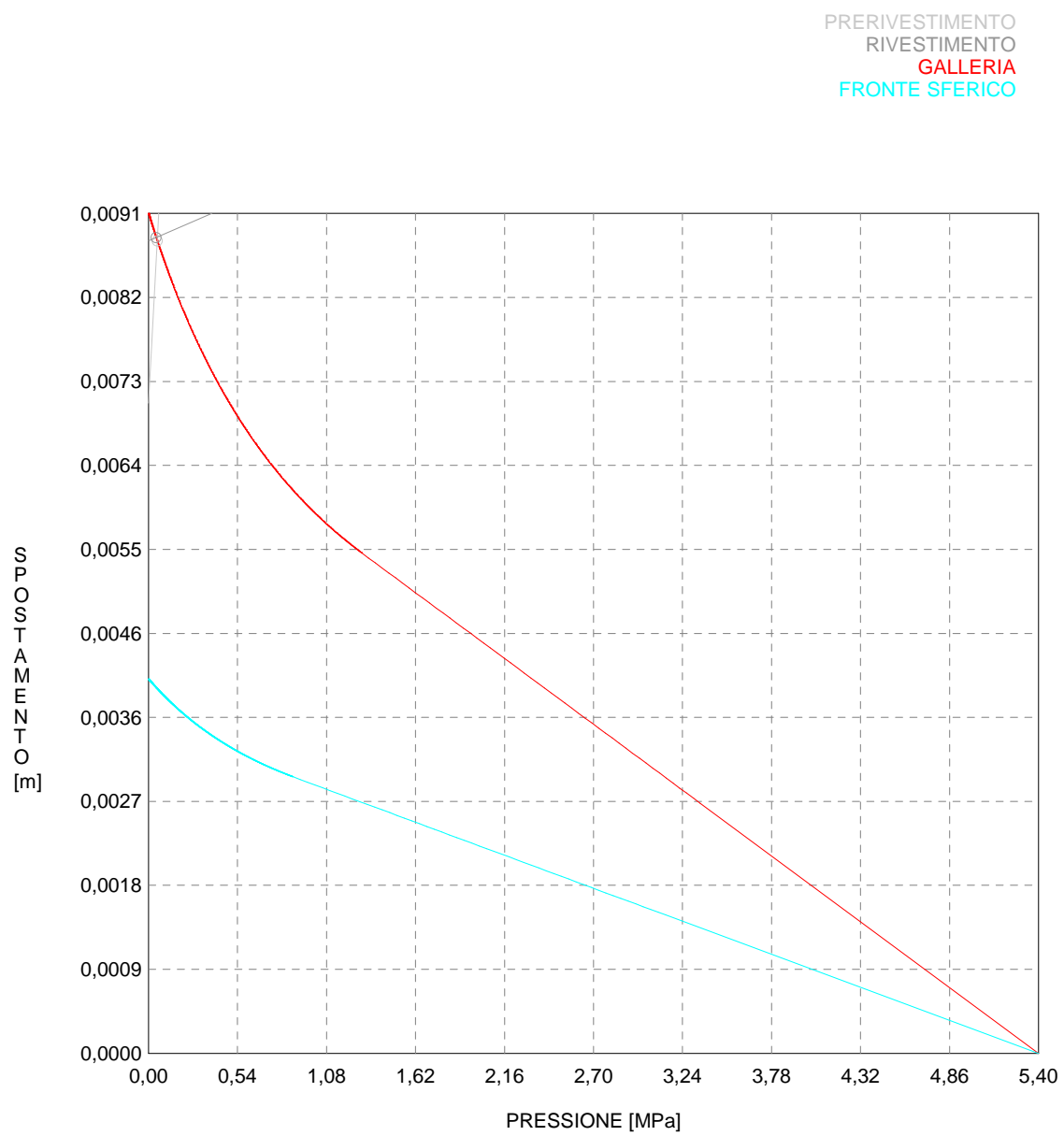
Raggio plastico punto di equilibrio [m] .....	6.83900
Pressione punto di equilibrio [MPa] .....	.05325
Spostamento punto di equilibrio [m] .....	.00882
Spostamento galleria alla messa in opera [m] .....	.00706
Convergenza radiale prerivestimento [m] .....	.00176
Tasso di deconfinamento alla messa in 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



```

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

```

CALCOLO GALLERIE CON METODO  
CONVERGENZA-CONFINAMENTO  
SOLUTORE TRANSFER-MATRIX

VERSIONE 4 (2003)

aP\_GR1\_250m\_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] ..... 6.75000  
Modulo di Young [MPa] ..... 5400.00000  
Coefficiente di Poisson ..... .30000  
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] ..... 1.04300  
Angolo attrito picco [°] ..... 39.00000  
Coesione residua [MPa] ..... .94000  
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 rigidezza ..... .11000  
Forma del presinvestimento ..... CIRCOLARE CHIUSO  
SPRITZ-BETON E CENTINE  
Spessore spritz [m] ..... .30000  
Modulo Young spritz [MPa] ..... 20000.00000  
Coefficiente di Poisson spritz ..... .20000  
Sezione centina [m2] ..... .01060  
Altezza sezione centina [m2] ..... .24000  
Posizione baricentro sezione centina [m] ..... .12000  
Momento inerzia baricentrico sezione centina [m4] . .00001868  
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 CLS ..... .20000  
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] ..... .011837

Raggio plastico galleria [m] .....	7.086104
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] .....	.000000
Spostamento radiale fronte sferico [m] .....	.005222
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] .....	.002598
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ...	.003433
Raggio plastico fronte sferico [m] .....	6.085030

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

Metodo Panet-Guenot	
U [m] :	.00790
LAMBDA :	.85119
Trasformazione Omotetica	
U [m] :	.01050
LAMBDA :	.96525
Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione cavità sferica	
U [m] :	.00911
LAMBDA :	.91506
Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns	
U [m] :	.00804
LAMBDA :	.85960
Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica	
U [m] :	.00838
LAMBDA :	.87942

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

Metodo Panet-Guenot	
U [m] :	.01182
LAMBDA :	.99961
Trasformazione Omotetica	
U [m] :	.01184
LAMBDA :	1.00000
Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione cavità sferica	
U [m] :	.01140
LAMBDA :	1.00000
Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns	
U [m] :	.01124
LAMBDA :	1.00000
Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica	
U [m] :	.01129
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] .....	.011837
Raggio plastico galleria fine calcolo [m] .....	7.086104

PRERIVESTIMENTO -----

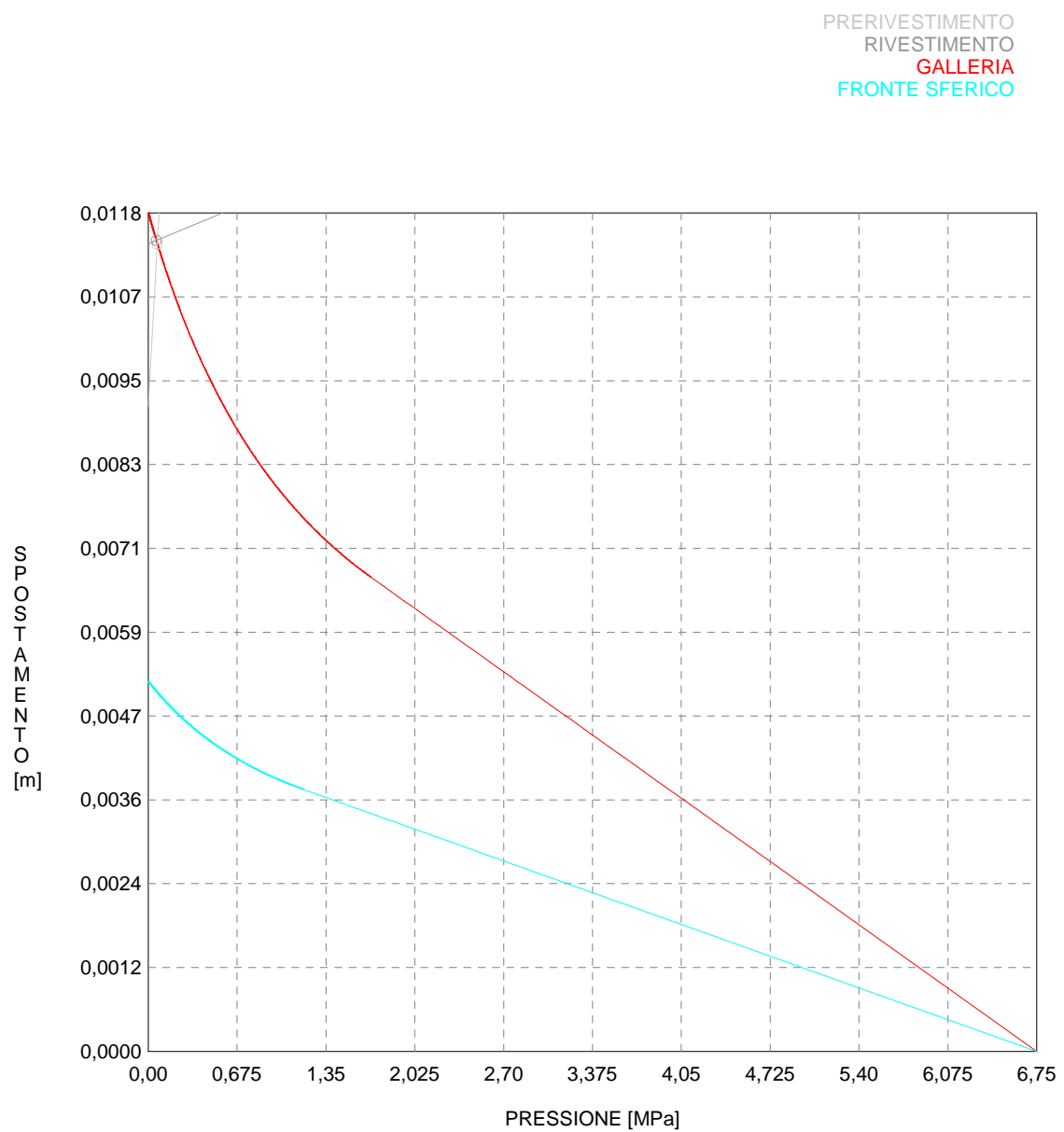
Raggio plastico punto di equilibrio [m] .....	6.97934
Pressione punto di equilibrio [MPa] .....	.06912
Spostamento punto di equilibrio [m] .....	.01140
Spostamento galleria alla messa in opera [m] .....	.00911
Convergenza radiale prerivestimento [m] .....	.00229
Tasso di deconfinamento alla messa in opera .....	.915059
SPRITZ-BETON E CENTINE (ANELLO CHIUSO)	
Tensione spritz [MPa] .....	1.01740
Tensione centine [MPa] .....	9.57761
Coefficiente di sicurezza spritz .....	18.87167
Coefficiente di sicurezza centine .....	19.83794
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] .....	6.97934
Pressione punto di equilibrio [MPa] .....	.06130
Spostamento punto di equilibrio [MPa] .....	.01145
Spostamento galleria alla messa in opera [m] .....	.01140
Convergenza radiale rivestimento [m] .....	.00005
Tensione CLS [MPa] .....	.37055

Coefficiente di sicurezza CLS .....	26.31242
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\_GR2a\_150m\_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] ..... 4.05000  
Modulo di Young [MPa] ..... 1750.00000  
Coefficiente di Poisson ..... .30000  
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] ..... .45000  
Angolo attrito picco [°] ..... 38.00000  
Coesione residua [MPa] ..... .40000  
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] ..... .61000  
Pressione sul fronte di scavo [MPa] ..... .00000  
Parametri di resistenza equivalenti del fronte rinforzato  
Coesione picco [MPa] ..... 1.06000  
Coesione residua [MPa] ..... .40000

PRERIVESTIMENTO -----

Distanza dal fronte alla messa in opera [m] ..... .60000  
Coefficiente riduzione rigidezza ..... .11000  
Forma del presinvestimento ..... CIRCOLARE CHIUSO  
SPRITZ-BETON E CENTINE  
Spessore spritz [m] ..... .30000  
Modulo Young spritz [MPa] ..... 20000.00000  
Coefficiente di Poisson spritz ..... .20000  
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 CLS ..... .20000  
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] ..... .026465  
Raggio plastico galleria [m] ..... 7.884327  
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] ..... .000000  
Spostamento radiale fronte sferico [m] ..... .008537  
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] ..... .007838  
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ... .007675  
Raggio plastico fronte sferico [m] ..... 5.736734

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

Metodo Panet-Guenot

U [m] : .01119  
LAMBDA : .67640

Trasformazione Omotetica

U [m] : .01727  
LAMBDA : .89195

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione cavità sferica

U [m] : .01252  
LAMBDA : .75036

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns

U [m] : .01199  
LAMBDA : .72382

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica

U [m] : .01187  
LAMBDA : .71690

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

Metodo Panet-Guenot

U [m] : .02639  
LAMBDA : .99950

Trasformazione Omotetica

U [m] : .02646  
LAMBDA : 1.00000

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione cavità sferica

U [m] : .02046  
LAMBDA : .99996

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns

U [m] : .02028  
LAMBDA : .99996

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica

U [m] : .02023  
LAMBDA : .99995

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

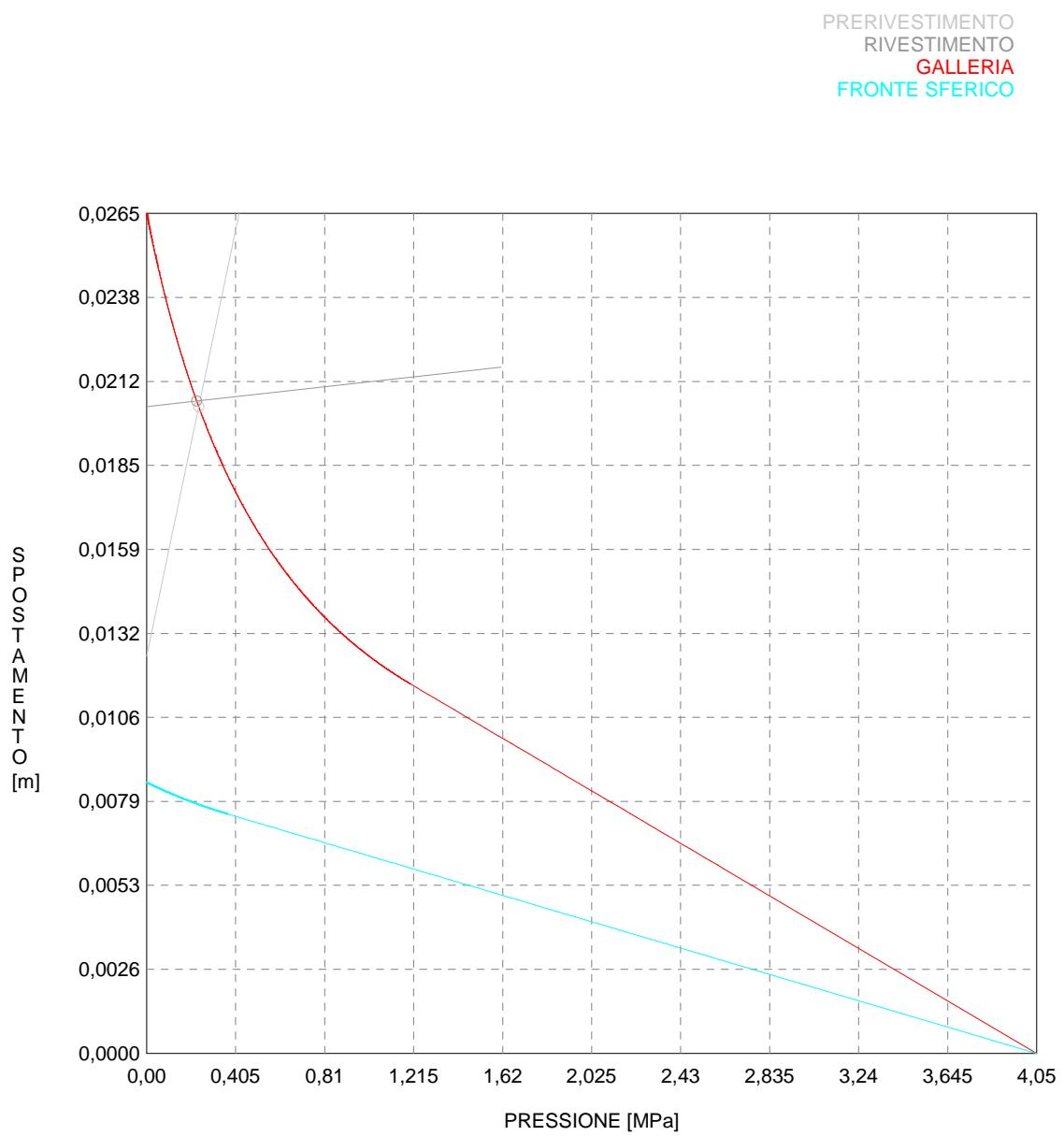
Pressione fine calcolo [MPa] ..... .000000  
Spot. radiale galleria fine calcolo [m] ..... .026465  
Raggio plastico galleria fine calcolo [m] ..... 7.884327

PRERIVESTIMENTO -----

Raggio plastico punto di equilibrio [m] ..... 7.06822  
Pressione punto di equilibrio [MPa] ..... .23744  
Spostamento punto di equilibrio [m] ..... .02038  
Spostamento galleria alla messa in opera [m] ..... .01252  
Convergenza radiale prerivestimento [m] ..... .00786  
Tasso di deconfinamento alla messa in opera ..... .750360  
SPRITZ-BETON E CENTINE (ANELLO CHIUSO)  
Tensione spritz [MPa] ..... 3.49268  
Tensione centine [MPa] ..... 32.87949  
Coefficiente di sicurezza spritz ..... 5.49721  
Coefficiente di sicurezza centine ..... 5.77868  
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] .....	.22827
Spostamento punto di equilibrio [MPa] .....	.02055
Spostamento galleria alla messa in opera [m] .....	.02038
Convergenza radiale rivestimento [m] .....	.00018
Tensione CLS [MPa] .....	1.37983
Coefficiente di sicurezza CLS .....	7.06609
Pressione rottura CLS [MPa] .....	1.61296
Rigidezza anello CLS [MPa] .....	6782.53615
Tasso di deconfinamento alla messa in opera .....	.999960

CURVE CARATTERISTICHE ANALISI BASE



```

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

```

CALCOLO GALLERIE CON METODO  
 CONVERGENZA-CONFINAMENTO  
 SOLUTORE TRANSFER-MATRIX

VERSIONE 4 (2003)

aP\_GR2a\_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] ..... 1750.00000  
 Coefficiente di Poisson ..... .30000  
 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] ..... .55000  
 Angolo attrito picco [°] ..... 36.00000  
 Coesione residua [MPa] ..... .47500  
 Angolo attrito residuo [MPa] ..... 29.00000  
 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] ..... .58400  
 Pressione sul fronte di scavo [MPa] ..... .00000  
 Parametri di resistenza equivalenti del fronte rinforzato  
 Coesione picco [MPa] ..... 1.13400  
 Coesione residua [MPa] ..... .47500

PRERIVESTIMENTO -----

Distanza dal fronte alla messa in opera [m] ..... .60000  
 Coefficiente riduzione rigidezza ..... .11000  
 Forma del presinvestimento ..... CIRCOLARE CHIUSO  
 SPRITZ-BETON E CENTINE  
 Spessore spritz [m] ..... .30000  
 Modulo Young spritz [MPa] ..... 20000.00000  
 Coefficiente di Poisson spritz ..... .20000  
 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 CLS ..... .20000  
 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] ..... .039786  
Raggio plastico galleria [m] ..... 8.470513  
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] ..... .000000  
Spostamento radiale fronte sferico [m] ..... .012145  
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] ..... .010379  
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ... .011538  
Raggio plastico fronte sferico [m] ..... 5.960412

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

Metodo Panet-Guenot

U [m] : .01598  
LAMBDA : .71803

Trasformazione Omotetica

U [m] : .02514  
LAMBDA : .89854

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione cavità sferica

U [m] : .01768  
LAMBDA : .76982

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns

U [m] : .01631  
LAMBDA : .72919

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] : .02917  
LAMBDA : .99996

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns

U [m] : .02863  
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

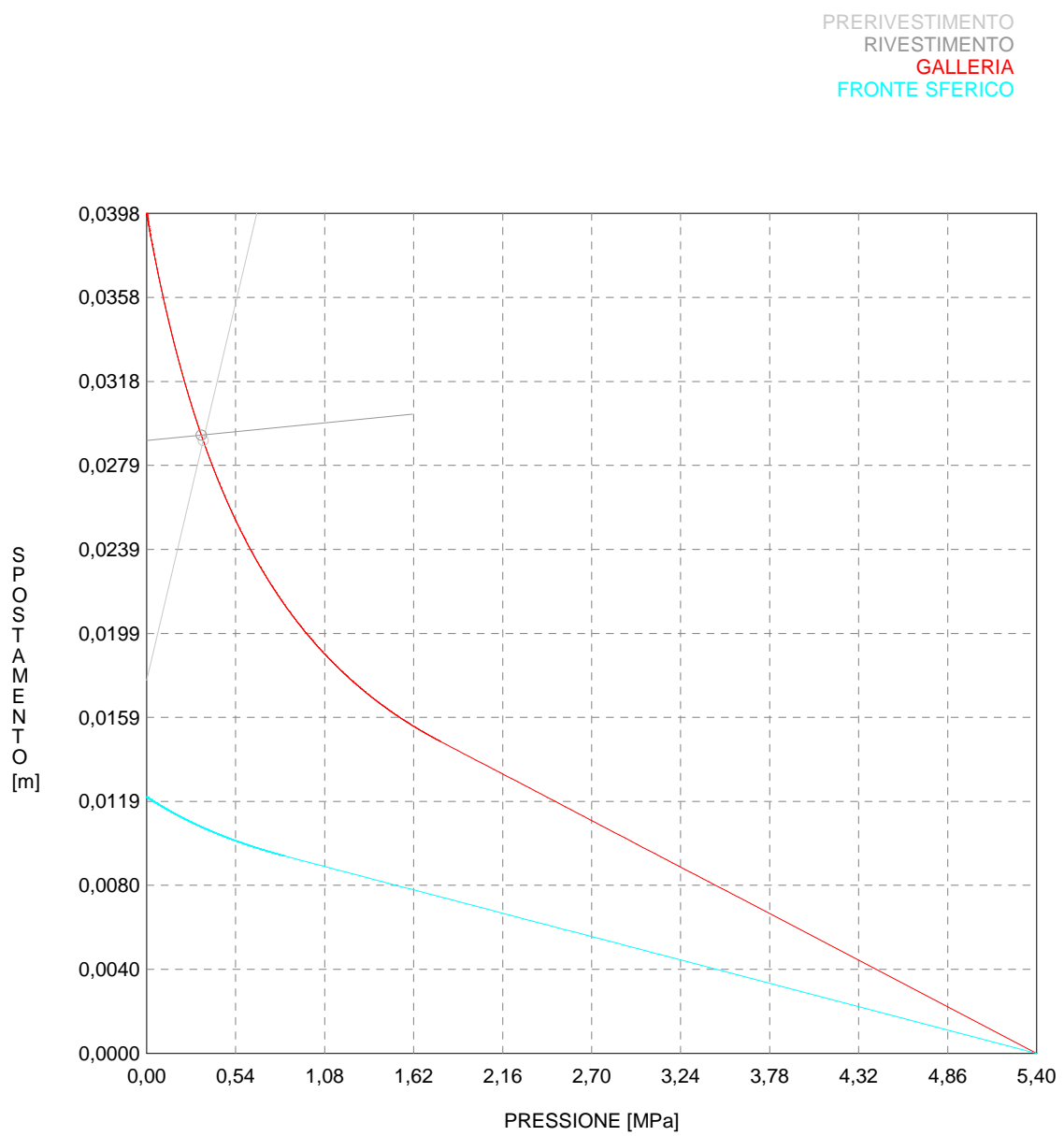
Pressione fine calcolo [MPa] ..... .000000  
Spot. radiale galleria fine calcolo [m] ..... .039786  
Raggio plastico galleria fine calcolo [m] ..... 8.470513

PRERIVESTIMENTO -----

Raggio plastico punto di equilibrio [m] ..... 7.41356  
Pressione punto di equilibrio [MPa] ..... .34327  
Spostamento punto di equilibrio [m] ..... .02904  
Spostamento galleria alla messa in opera [m] ..... .01768  
Convergenza radiale prerivestimento [m] ..... .01136  
Tasso di deconfinamento alla messa in opera ..... .769816  
SPRITZ-BETON E CENTINE (ANELLO CHIUSO)  
Tensione spritz [MPa] ..... 5.04982  
Tensione centine [MPa] ..... 47.53814  
Coefficiente di sicurezza spritz ..... 3.80211  
Coefficiente di sicurezza centine ..... 3.99679  
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] .....	.33193
Spostamento punto di equilibrio [MPa] .....	.02929
Spostamento galleria alla messa in opera [m] .....	.02904
Convergenza radiale rivestimento [m] .....	.00026
Tensione CLS [MPa] .....	2.00648
Coefficiente di sicurezza CLS .....	4.85926
Pressione rottura CLS [MPa] .....	1.61296
Rigidezza anello CLS [MPa] .....	6782.53615
Tasso di deconfinamento alla messa in opera .....	.999960

CURVE CARATTERISTICHE ANALISI BASE





```

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

```

CALCOLO GALLERIE CON METODO  
CONVERGENZA-CONFINAMENTO  
SOLUTORE TRANSFER-MATRIX

VERSIONE 4 (2003)

aP\_GR2a\_250m\_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] ..... 6.75000  
Modulo di Young [MPa] ..... 1750.00000  
Coefficiente di Poisson ..... .30000  
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] ..... .63800  
Angolo attrito picco [°] ..... 34.00000  
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] ..... .56000  
Pressione sul fronte di scavo [MPa] ..... .00000  
Parametri di resistenza equivalenti del fronte rinforzato  
Coesione picco [MPa] ..... 1.19800  
Coesione residua [MPa] ..... .55000

PRERIVESTIMENTO -----

Distanza dal fronte alla messa in opera [m] ..... .60000  
Coefficiente riduzione rigidezza ..... .11000  
Forma del presinvestimento ..... CIRCOLARE CHIUSO  
SPRITZ-BETON E CENTINE  
Spessore spritz [m] ..... .30000  
Modulo Young spritz [MPa] ..... 20000.00000  
Coefficiente di Poisson spritz ..... .20000  
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 CLS ..... .20000  
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] ..... .056687  
Raggio plastico galleria [m] ..... 9.179730  
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] ..... .000000  
Spostamento radiale fronte sferico [m] ..... .016509  
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] ..... .012764  
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ... .016439  
Raggio plastico fronte sferico [m] ..... 6.196929

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

Metodo Panet-Guenot

U [m] : .02170  
LAMBDA : .74818

Trasformazione Omotetica

U [m] : .03458  
LAMBDA : .90263

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione cavità sferica

U [m] : .02368  
LAMBDA : .78428

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns

U [m] : .02071  
LAMBDA : .72697

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica

U [m] : .02362  
LAMBDA : .78335

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

Metodo Panet-Guenot

U [m] : .05648  
LAMBDA : .99944

Trasformazione Omotetica

U [m] : .05669  
LAMBDA : 1.00000

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione cavità sferica

U [m] : .03923  
LAMBDA : .99996

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns

U [m] : .03795  
LAMBDA : .99995

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica

U [m] : .03920  
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

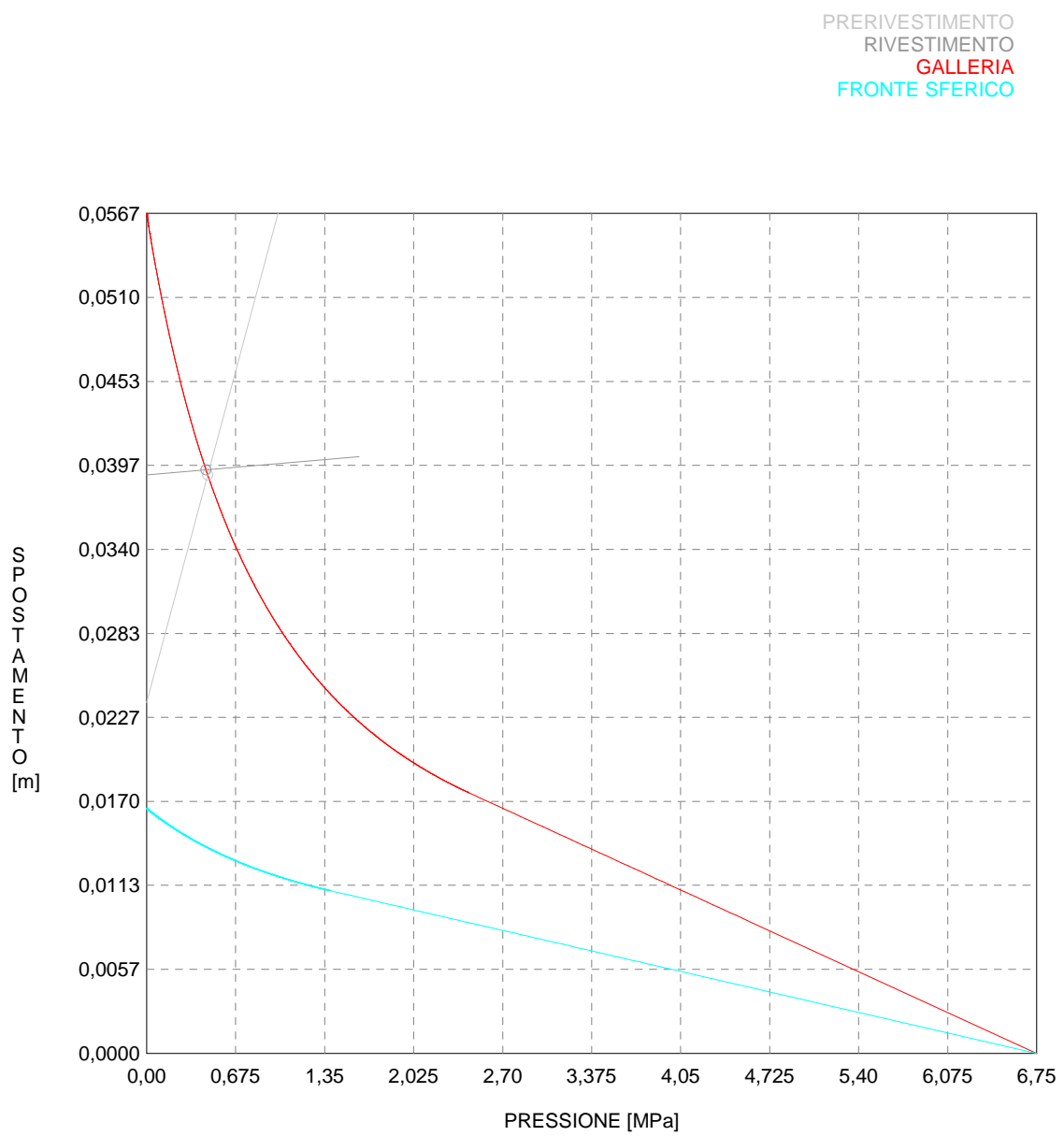
Pressione fine calcolo [MPa] ..... .000000  
Spot. radiale galleria fine calcolo [m] ..... .056687  
Raggio plastico galleria fine calcolo [m] ..... 9.179730

PRERIVESTIMENTO -----

Raggio plastico punto di equilibrio [m] ..... 7.82693  
Pressione punto di equilibrio [MPa] ..... .46407  
Spostamento punto di equilibrio [m] ..... .03904  
Spostamento galleria alla messa in opera [m] ..... .02368  
Convergenza radiale prerivestimento [m] ..... .01536  
Tasso di deconfinamento alla messa in opera ..... .784282  
SPRITZ-BETON E CENTINE (ANELLO CHIUSO)  
Tensione spritz [MPa] ..... 6.82725  
Tensione centine [MPa] ..... 64.27050  
Coefficiente di sicurezza spritz ..... 2.81226  
Coefficiente di sicurezza centine ..... 2.95626  
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] .....	7.84604
Pressione punto di equilibrio [MPa] .....	.45090
Spostamento punto di equilibrio [MPa] .....	.03938
Spostamento galleria alla messa in opera [m] .....	.03904
Convergenza radiale rivestimento [m] .....	.00035
Tensione CLS [MPa] .....	2.72558
Coefficiente di sicurezza CLS .....	3.57721
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\_GR3a\_150m\_C4

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] .....	3.90000
Modulo di Young [MPa] .....	1100.00000
Coefficiente di Poisson .....	.30000
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] .....	.32000
Angolo attrito picco [°] .....	30.00000
Coesione residua [MPa] .....	.27000
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] .....	.36090
Pressione sul fronte di scavo [MPa] .....	.00000
Parametri di resistenza equivalenti del fronte rinforzato	
Coesione picco [MPa] .....	.68090
Coesione residua [MPa] .....	.27000
INIEZIONI O JET-GROUTING	
Spessore corona trattata [m] .....	2.00000
Modulo terreno trattato [MPa] .....	2200.00000
Coefficiente di Poisson terreno trattato .....	.30000
Coesione picco terreno trattato [MPa] .....	.08949
Angolo attrito picco terreno trattato [°] .....	30.00000
Coesione residua terreno trattato [MPa] .....	.08949
Angolo attrito residuo terreno trattato [MPa] .....	30.00000
Angolo dilatanza terreno trattato [°] .....	.00000
Modulo di softening apparente Ha [MPa] .....	.00000
Modulo di softening H [MPa] .....	.00000
PRERIVESTIMENTO -----	
Distanza dal fronte alla messa in opera [m] .....	.50000
Coefficiente riduzione rigidezza .....	.11000
Forma del presinvestimento .....	CIRCOLARE CHIUSO
SPRITZ-BETON E CENTINE	
Spessore spritz [m] .....	.30000
Modulo Young spritz [MPa] .....	20000.00000
Coefficiente di Poisson spritz .....	.20000
Sezione centina [m2] .....	.01060
Altezza sezione centina [m2] .....	.24000
Posizione baricentro sezione centina [m] .....	.12000
Momento inerzia baricentrico sezione centina [m4] .	.00011259
Passo centine [m] .....	1.00000
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] .....	.90000
Modulo Young CLS [MPa] .....	31220.00000
Coefficiente di Poisson CLS .....	.20000
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] .....	.107114
Raggio plastico galleria [m] .....	13.540085
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] .....	.000000
Spostamento radiale fronte sferico [m] .....	.016438
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] .....	.014733
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ...	.020776
Raggio plastico fronte sferico [m] .....	6.448338

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

Metodo Panet-Guenot	
U [m] :	.02242
LAMBDA :	.75735
Trasformazione Omotetica	
U [m] :	.04015
LAMBDA :	.90707
Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione cavità sferica	
U [m] :	.02278
LAMBDA :	.76253
Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns	
U [m] :	.02136
LAMBDA :	.74107
Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica	
U [m] :	.02644
LAMBDA :	.80752

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

Metodo Panet-Guenot	
U [m] :	.07123
LAMBDA :	.99928
Trasformazione Omotetica	
U [m] :	.07164
LAMBDA :	1.00000
Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione cavità sferica	
U [m] :	.03633
LAMBDA :	.99996
Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns	
U [m] :	.03553
LAMBDA :	.99995
Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica	
U [m] :	.03854
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
Spost. radiale galleria fine calcolo [m] .....	.107114
Raggio plastico galleria fine calcolo [m] .....	13.540085
Pressione fine calcolo (L.T.) [MPa] .....	.000000
Spost. radiale galleria fine calcolo (L.T.) [m] ...	.071640
Raggio plastico galleria fine calcolo (L.T.) [m] ..	11.140278

CORONA DI ROCCIA CONSOLIDATA MEDIANTE GROUTING -----	
fattore di sicurezza .....	1.00000

PRERIVESTIMENTO -----	
Raggio plastico punto di equilibrio [m] .....	8.89301
Pressione punto di equilibrio [MPa] .....	.48675
Spostamento punto di equilibrio [m] .....	.04108
Spostamento galleria alla messa in opera [m] .....	.02565
Convergenza radiale prerivestimento [m] .....	.01543
Tasso di deconfinamento alla messa in opera .....	.762532
SPRITZ-BETON E CENTINE (ANELLO CHIUSO)	
Tensione spritz [MPa] .....	6.85839
Tensione centine [MPa] .....	64.56368
Coefficiente di sicurezza spritz .....	2.79949
Coefficiente di sicurezza centine .....	2.94283
Pressione rottura spritz [MPa] .....	1.36221
Pressione rottura centine [MPa] .....	1.43195
Rigidezza spritz [MPa] .....	129.73681
Rigidezza centinatura [MPa] .....	44.35870
RIVESTIMENTO DEFINITIVO (ANELLO CLS) -----	
Raggio plastico punto di equilibrio [m] .....	8.73095
Pressione punto di equilibrio [MPa] .....	.33950
Spostamento punto di equilibrio [MPa] .....	.04136
Spostamento galleria alla messa in opera [m] .....	.04108
Convergenza radiale rivestimento [m] .....	.00028
Tensione CLS [MPa] .....	2.15486
Coefficiente di sicurezza CLS .....	4.52466
Pressione rottura CLS [MPa] .....	1.53612
Rigidezza anello CLS [MPa] .....	6380.17459
Tasso di deconfinamento alla messa in opera .....	.999957

Diametro della galleria: 11,04 m

Tipo di analisi: calcolo accoppiato fronte-galleria - Nuovo Metodo Implicito (spostamento fronte soluzione cavità sferica)

Calcolo curve caratteristiche: SOLUZIONI TRANSFER-MATRIX

#### PARAMETRI DELLA ROCCIA

E: 1100 MPa NI: 0,3 GAMMA: 0 kN/m<sup>3</sup> SIGMA0: 3,9 MPa

Tipo di criterio di resistenza: MOHR-COULOMB

#### RESISTENZA

PHI picco: 30 °

C picco: 0,32 MPa

PHI residuo: 24 °

C residua: 0,27 MPa

PSI: 0 °

H apparente: 0 MPa

#### RESISTENZA A LUNGO TERMINE

PHI picco: 0,001 °

C picco: 0,000001 MPa

PHI residuo: 0,001 °

C residua: 0,000001 MPa

PSI: 0 °

H apparente: 0 MPa

#### CORONA DI ROCCIA MIGLIORATA

Spessore 2 m modulo 2200,0 MPa resistenza 0,3 MPa

Fattore di sicurezza della corona 1

#### PRECONSOLIDAMENTO FRONTE

Chiodatura assiale con barre sezione 0 m<sup>2</sup> incidenza 0,0 chiodi/m<sup>2</sup>

Ulteriore miglioramento fronte - incremento Cp 0,3609 MPa - pressione sul fronte 0 MPa

#### SOSTEGNI DI PRIMA FASE

Spritz-Beton sp. .3 m resistenza 19,2 MPa centine sez. 0,0106 m<sup>2</sup> passo 1 m resistenza 190 MPa

Spostamento radiale anello chiuso ,0154 m

TENSIONI ANELLO CHIUSO

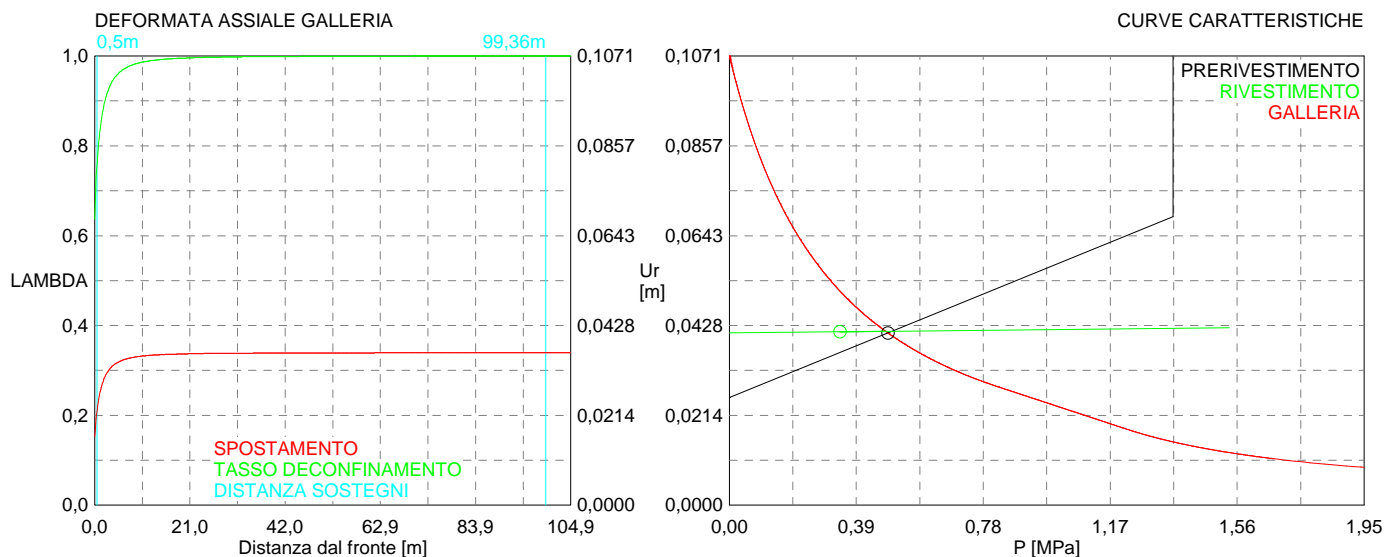
Spritz-beton 6,9 MPa Centine 64,6 MPa

#### RIVESTIMENTO DEFINITIVO

CLS spessore 0,9 m resistenza 9,75 MPa gioco radiale 0 m

Spostamento radiale 0,00028 m

Tensione CLS 2,2 MPa





```

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

```

CALCOLO GALLERIE CON METODO  
CONVERGENZA-CONFINAMENTO  
SOLUTORE TRANSFER-MATRIX

VERSIONE 4 (2003)

aP\_GR3a\_200m\_C4

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] .....	5.20000
Modulo di Young [MPa] .....	1100.00000
Coefficiente di Poisson .....	.30000
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] .....	.38000
Angolo attrito picco [°] .....	29.00000
Coesione residua [MPa] .....	.32000
Angolo attrito residuo [MPa] .....	23.00000
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] .....	.35370
Pressione sul fronte di scavo [MPa] .....	.00000
Parametri di resistenza equivalenti del fronte rinforzato	
Coesione picco [MPa] .....	.73370
Coesione residua [MPa] .....	.32000
INIEZIONI O JET-GROUTING	
Spessore corona trattata [m] .....	2.00000
Modulo terreno trattato [MPa] .....	2200.00000
Coefficiente di Poisson terreno trattato .....	.30000
Coesione picco terreno trattato [MPa] .....	.09130
Angolo attrito picco terreno trattato [°] .....	29.00000
Coesione residua terreno trattato [MPa] .....	.09130
Angolo attrito residuo terreno trattato [MPa] .....	29.00000
Angolo dilatanza terreno trattato [°] .....	.00000
Modulo di softening apparente Ha [MPa] .....	.00000
Modulo di softening H [MPa] .....	.00000
PRERIVESTIMENTO -----	
Distanza dal fronte alla messa in opera [m] .....	.50000
Coefficiente riduzione rigidezza .....	.11000
Forma del presinvestimento .....	CIRCOLARE CHIUSO
SPRITZ-BETON E CENTINE	
Spessore spritz [m] .....	.30000
Modulo Young spritz [MPa] .....	20000.00000
Coefficiente di Poisson spritz .....	.20000
Sezione centina [m2] .....	.01060
Altezza sezione centina [m2] .....	.24000
Posizione baricentro sezione centina [m] .....	.12000
Momento inerzia baricentrico sezione centina [m4] .	.00011259
Passo centine [m] .....	1.00000
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] .....	.90000
Modulo Young CLS [MPa] .....	31220.00000
Coefficiente di Poisson CLS .....	.20000
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] .....	.174492
Raggio plastico galleria [m] .....	15.216819
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] .....	.000000
Spostamento radiale fronte sferico [m] .....	.025346
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] .....	.017122
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ...	.032831
Raggio plastico fronte sferico [m] .....	6.808369

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

Metodo Panet-Guenot	
U [m] :	.03408
LAMBDA :	.78143
Trasformazione Omotetica	
U [m] :	.06070
LAMBDA :	.91099
Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione cavità sferica	
U [m] :	.03384
LAMBDA :	.77946
Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns	
U [m] :	.02688
LAMBDA :	.70795
Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica	
U [m] :	.04028
LAMBDA :	.82498

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

Metodo Panet-Guenot	
U [m] :	.11244
LAMBDA :	.99924
Trasformazione Omotetica	
U [m] :	.11321
LAMBDA :	1.00000
Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione cavità sferica	
U [m] :	.05242
LAMBDA :	.99996
Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns	
U [m] :	.04822
LAMBDA :	.99995
Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica	
U [m] :	.05655
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
Spost. radiale galleria fine calcolo [m] .....	.174492
Raggio plastico galleria fine calcolo [m] .....	15.216819
Pressione fine calcolo (L.T.) [MPa] .....	.000000
Spost. radiale galleria fine calcolo (L.T.) [m] ...	.113212
Raggio plastico galleria fine calcolo (L.T.) [m] ..	12.222572

CORONA DI ROCCIA CONSOLIDATA MEDIANTE GROUTING -----	
fattore di sicurezza .....	1.00000

PRERIVESTIMENTO -----	
Raggio plastico punto di equilibrio [m] .....	9.36607
Pressione punto di equilibrio [MPa] .....	.66132
Spostamento punto di equilibrio [m] .....	.05934
Spostamento galleria alla messa in opera [m] .....	.03838
Convergenza radiale prerivestimento [m] .....	.02096
Tasso di deconfinamento alla messa in opera .....	.779463
SPRITZ-BETON E CENTINE (ANELLO CHIUSO)	
Tensione spritz [MPa] .....	9.31832
Tensione centine [MPa] .....	87.72101
Coefficiente di sicurezza spritz .....	2.06046
Coefficiente di sicurezza centine .....	2.16596
Pressione rottura spritz [MPa] .....	1.36221
Pressione rottura centine [MPa] .....	1.43195
Rigidezza spritz [MPa] .....	129.73681
Rigidezza centinatura [MPa] .....	44.35870
RIVESTIMENTO DEFINITIVO (ANELLO CLS) -----	
Raggio plastico punto di equilibrio [m] .....	9.20036
Pressione punto di equilibrio [MPa] .....	.47784
Spostamento punto di equilibrio [MPa] .....	.05973
Spostamento galleria alla messa in opera [m] .....	.05934
Convergenza radiale rivestimento [m] .....	.00039
Tensione CLS [MPa] .....	3.03295
Coefficiente di sicurezza CLS .....	3.21469
Pressione rottura CLS [MPa] .....	1.53612
Rigidezza anello CLS [MPa] .....	6380.17459
Tasso di deconfinamento alla messa in opera .....	.999959

Diametro della galleria: 11,04 m

Tipo di analisi: calcolo accoppiato fronte-galleria - Nuovo Metodo Implicito (spostamento fronte soluzione cavità sferica)

Calcolo curve caratteristiche: SOLUZIONI TRANSFER-MATRIX

#### PARAMETRI DELLA ROCCIA

E: 1100 MPa NI: 0,3 GAMMA: 0 kN/m<sup>3</sup> SIGMA0: 5,2 MPa

Tipo di criterio di resistenza: MOHR-COULOMB

#### RESISTENZA

PHI picco: 29 °

C picco: 0,38 MPa

PHI residuo: 23 °

C residua: 0,32 MPa

PSI: 0 °

H apparente: 0 MPa

#### RESISTENZA A LUNGO TERMINE

PHI picco: 0,001 °

C picco: 0,000001 MPa

PHI residuo: 0,001 °

C residua: 0,000001 MPa

PSI: 0 °

H apparente: 0 MPa

#### CORONA DI ROCCIA MIGLIORATA

Spessore 2 m modulo 2200,0 MPa resistenza 0,3 MPa

Fattore di sicurezza della corona 1

#### PRECONSOLIDAMENTO FRONTE

Chiodatura assiale con barre sezione 0 m<sup>2</sup> incidenza 0,0 chiodi/m<sup>2</sup>

Ulteriore miglioramento fronte - incremento Cp 0,3537 MPa - pressione sul fronte 0 MPa

#### SOSTEGNI DI PRIMA FASE

Spritz-Beton sp. .3 m resistenza 19,2 MPa centine sez. 0,0106 m<sup>2</sup> passo 1 m resistenza 190 MPa

Spostamento radiale anello chiuso ,021 m

TENSIONI ANELLO CHIUSO

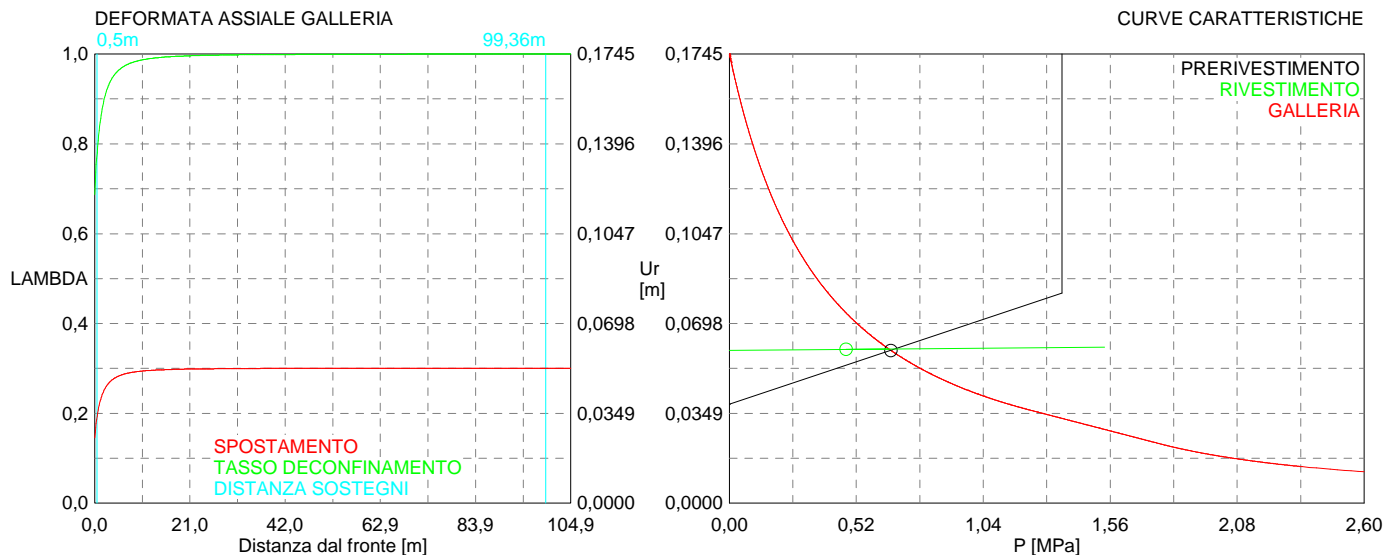
Spritz-beton 9,3 MPa Centine 87,7 MPa

#### RIVESTIMENTO DEFINITIVO

CLS spessore 0,9 m resistenza 9,75 MPa gioco radiale 0 m

Spostamento radiale 0,00039 m

Tensione CLS 3, MPa



```

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

```

CALCOLO GALLERIE CON METODO  
CONVERGENZA-CONFINAMENTO  
SOLUTORE TRANSFER-MATRIX

VERSIONE 4 (2003)

aP\_GR3a\_250m\_C4

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] .....	6.50000
Modulo di Young [MPa] .....	1100.00000
Coefficiente di Poisson .....	.30000
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] .....	.44000
Angolo attrito picco [°] .....	27.00000
Coesione residua [MPa] .....	.37000
Angolo attrito residuo [MPa] .....	23.00000
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] .....	.34000
Pressione sul fronte di scavo [MPa] .....	.00000
Parametri di resistenza equivalenti del fronte rinforzato	
Coesione picco [MPa] .....	.78000
Coesione residua [MPa] .....	.37000
INIEZIONI O JET-GROUTING	
Spessore corona trattata [m] .....	2.00000
Modulo terreno trattato [MPa] .....	2200.00000
Coefficiente di Poisson terreno trattato .....	.30000
Coesione picco terreno trattato [MPa] .....	.09498
Angolo attrito picco terreno trattato [°] .....	27.00000
Coesione residua terreno trattato [MPa] .....	.09498
Angolo attrito residuo terreno trattato [MPa] .....	27.00000
Angolo dilatanza terreno trattato [°] .....	.00000
Modulo di softening apparente Ha [MPa] .....	.00000
Modulo di softening H [MPa] .....	.00000
PRERIVESTIMENTO -----	
Distanza dal fronte alla messa in opera [m] .....	.50000
Coefficiente riduzione rigidezza .....	.11000
Forma del presinvestimento .....	CIRCOLARE CHIUSO
SPRITZ-BETON E CENTINE	
Spessore spritz [m] .....	.30000
Modulo Young spritz [MPa] .....	20000.00000
Coefficiente di Poisson spritz .....	.20000
Sezione centina [m2] .....	.01060
Altezza sezione centina [m2] .....	.24000
Posizione baricentro sezione centina [m] .....	.12000
Momento inerzia baricentrico sezione centina [m4] .	.00011259
Passo centine [m] .....	1.00000
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] .....	.90000
Modulo Young CLS [MPa] .....	31220.00000
Coefficiente di Poisson CLS .....	.20000
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] .....	.279266
Raggio plastico galleria [m] .....	17.534034
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] .....	.000000
Spostamento radiale fronte sferico [m] .....	.037781
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] .....	.017678
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ...	.051523
Raggio plastico fronte sferico [m] .....	7.277941

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

Metodo Panet-Guenot	
U [m] :	.05005
LAMBDA :	.79726
Trasformazione Omotetica	
U [m] :	.08992
LAMBDA :	.91243
Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione cavità sferica	
U [m] :	.04853
LAMBDA :	.78991
Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns	
U [m] :	.03120
LAMBDA :	.66355
Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica	
U [m] :	.06062
LAMBDA :	.83990

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

Metodo Panet-Guenot	
U [m] :	.17610
LAMBDA :	.99910
Trasformazione Omotetica	
U [m] :	.17767
LAMBDA :	1.00000
Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione cavità sferica	
U [m] :	.07312
LAMBDA :	.99996
Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns	
U [m] :	.06211
LAMBDA :	.99993
Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica	
U [m] :	.08141
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
Spost. radiale galleria fine calcolo [m] .....	.279266
Raggio plastico galleria fine calcolo [m] .....	17.534034
Pressione fine calcolo (L.T.) [MPa] .....	.000000
Spost. radiale galleria fine calcolo (L.T.) [m] ...	.177665
Raggio plastico galleria fine calcolo (L.T.) [m] ..	13.994872

CORONA DI ROCCIA CONSOLIDATA MEDIANTE GROUTING -----	
fattore di sicurezza .....	1.00000

PRERIVESTIMENTO -----	
Raggio plastico punto di equilibrio [m] .....	10.12614
Pressione punto di equilibrio [MPa] .....	.86903
Spostamento punto di equilibrio [m] .....	.08299
Spostamento galleria alla messa in opera [m] .....	.05544
Convergenza radiale prerivestimento [m] .....	.02755
Tasso di deconfinamento alla messa in opera .....	.789909
SPRITZ-BETON E CENTINE (ANELLO CHIUSO)	
Tensione spritz [MPa] .....	12.24504
Tensione centine [MPa] .....	115.27265
Coefficiente di sicurezza spritz .....	1.56798
Coefficiente di sicurezza centine .....	1.64827
Pressione rottura spritz [MPa] .....	1.36221
Pressione rottura centine [MPa] .....	1.43195
Rigidezza spritz [MPa] .....	129.73681
Rigidezza centinatura [MPa] .....	44.35870
RIVESTIMENTO DEFINITIVO (ANELLO CLS) -----	
Raggio plastico punto di equilibrio [m] .....	9.95529
Pressione punto di equilibrio [MPa] .....	.64854
Spostamento punto di equilibrio [MPa] .....	.08352
Spostamento galleria alla messa in opera [m] .....	.08299
Convergenza radiale rivestimento [m] .....	.00053
Tensione CLS [MPa] .....	4.11641
Coefficiente di sicurezza CLS .....	2.36857
Pressione rottura CLS [MPa] .....	1.53612
Rigidezza anello CLS [MPa] .....	6380.17459
Tasso di deconfinamento alla messa in opera .....	.999959

Diametro della galleria: 11,04 m

Tipo di analisi: calcolo accoppiato fronte-galleria - Nuovo Metodo Implicito (spostamento fronte soluzione cavità sferica)

Calcolo curve caratteristiche: SOLUZIONI TRANSFER-MATRIX

#### PARAMETRI DELLA ROCCIA

E: 1100 MPa NI: 0,3 GAMMA: 0 kN/m<sup>3</sup> SIGMA0: 6,5 MPa

Tipo di criterio di resistenza: MOHR-COULOMB

#### RESISTENZA

PHI picco: 27 °  
C picco: 0,44 MPa  
PHI residuo: 23 °  
C residua: 0,37 MPa  
PSI: 0 °  
H apparente: 0 MPa

#### RESISTENZA A LUNGO TERMINE

PHI picco: 0,001 °  
C picco: 0,000001 MPa  
PHI residuo: 0,001 °  
C residua: 0,000001 MPa  
PSI: 0 °  
H apparente: 0 MPa

#### CORONA DI ROCCIA MIGLIORATA

Spessore 2 m modulo 2200,0 MPa resistenza 0,3 MPa  
Fattore di sicurezza della corona 1

#### PRECONSOLIDAMENTO FRONTE

Chiodatura assiale con barre sezione 0 m<sup>2</sup> incidenza 0,0 chiodi/m<sup>2</sup>  
Ulteriore miglioramento fronte - incremento Cp 0,34 MPa - pressione sul fronte 0 MPa

#### SOSTEGNI DI PRIMA FASE

Spritz-Beton sp. .3 m resistenza 19,2 MPa centine sez. 0,0106 m<sup>2</sup> passo 1 m resistenza 190 MPa

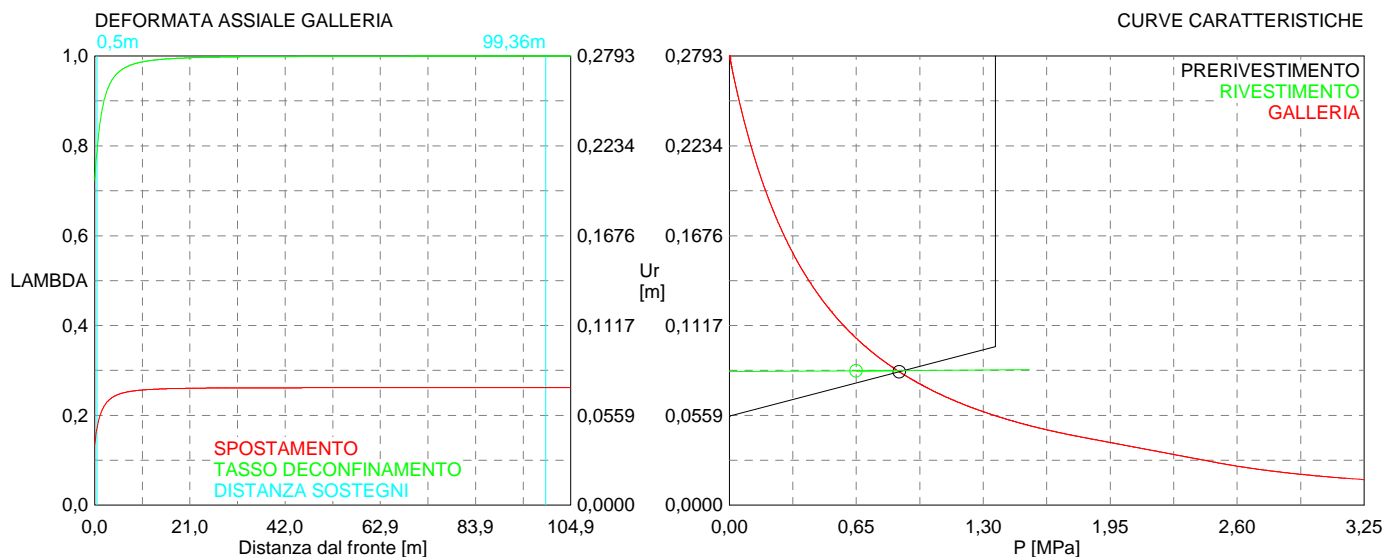
Spostamento radiale anello chiuso ,0275 m

#### TENSIONI ANELLO CHIUSO

Spritz-beton 12,2 MPa Centine 115,3 MPa

#### RIVESTIMENTO DEFINITIVO

CLS spessore 0,9 m resistenza 9,75 MPa gioco radiale 0 m  
Spostamento radiale 0,00053 m  
Tensione CLS 4,1 MPa





**SEZIONE TIPO C - CENTINE 1 HE 240 B - MATURAZIONE SPRITZ-BETON 0.5 GIORNI**

INPUT PROGRAM							VERIFICHE SEZIONALI				CHECK							
Element	Prop	Type	Height	N	V	M	Intradosso Af	Estradosso A'f	$\sigma_c$ [Mpa]	$\sigma_{s,inf}$ [Mpa]	$\sigma_{s,sup}$ [Mpa]	$\tau$ [MPa]	T	CLS	As	As'	%estra	%intra
-	-	-	m	KN	KN	KN-m	cm2	cm2										
301	1004	beam	0.3	-367.500	186.900	36.830	40.80	40.80	-1.3	3.5	-52.7	74.9	OK	OK	OK	OK	27.7	1.9
300	1004	beam	0.3	-512.400	-46.360	-36.830	40.80	40.80	-1.6	-62.3	-7.6	-18.6	OK	OK	OK	OK	4.0	32.8
299	1004	beam	0.3	-454.500	-70.010	-27.570	40.80	40.80	-1.3	-51.5	-10.5	-28.0	OK	OK	OK	OK	5.5	27.1
298	1004	beam	0.3	-484.700	-39.530	-13.600	40.80	40.80	-1.0	-43.2	-23.0	-15.8	OK	OK	OK	OK	12.1	22.7
297	1004	beam	0.3	-523.400	-19.820	-4.730	40.80	40.80	-0.9	-39.2	-32.2	-7.9	OK	OK	OK	OK	16.9	20.6
296	1004	beam	0.3	-553.900	-9.162	-1.832	40.80	40.80	-0.9	-39.2	-36.4	-3.7	OK	OK	OK	OK	19.2	20.6
295	1004	beam	0.3	-577.400	-4.295	-2.814	40.80	40.80	-0.9	-41.5	-37.3	-1.7	OK	OK	OK	OK	19.6	21.8
294	1004	beam	0.3	-599.300	-3.095	-3.933	40.80	40.80	-1.0	-43.8	-38.0	-1.2	OK	OK	OK	OK	20.0	23.1
293	1004	beam	0.3	-617.300	-2.342	-4.783	40.80	40.80	-1.0	-45.7	-38.6	-0.9	OK	OK	OK	OK	20.3	24.0
292	1004	beam	0.3	-636.500	-1.244	-5.234	40.80	40.80	-1.1	-47.3	-39.5	-0.5	OK	OK	OK	OK	20.8	24.9
291	1004	beam	0.3	-654.500	-0.103	-5.272	40.80	40.80	-1.1	-48.6	-40.7	0.0	OK	OK	OK	OK	21.4	25.6
290	1004	beam	0.3	-668.800	0.216	-5.272	40.80	40.80	-1.1	-41.7	-49.6	0.1	OK	OK	OK	OK	26.1	22.0
289	1004	beam	0.3	-675.900	0.006	5.194	40.80	40.80	-1.1	-42.3	-50.0	0.0	OK	OK	OK	OK	26.3	22.2
288	1004	beam	0.3	-688.200	-1.920	-5.869	40.80	40.80	-1.1	-51.3	-42.6	-0.8	OK	OK	OK	OK	22.4	27.0
287	1004	beam	0.3	-697.700	9.051	5.870	40.80	40.80	-1.2	-43.3	-52.0	3.6	OK	OK	OK	OK	27.4	22.8
286	1004	beam	0.3	-712.800	11.420	3.405	40.80	40.80	-1.1	-46.1	-51.2	4.6	OK	OK	OK	OK	26.9	24.3
285	1004	beam	0.3	-715.800	3.833	1.160	40.80	40.80	-1.1	-48.0	-49.7	1.5	OK	OK	OK	OK	26.2	25.3
284	1004	beam	0.3	-711.800	5.357	3.103	40.80	40.80	-1.1	-46.3	-50.9	2.1	OK	OK	OK	OK	26.8	24.4
283	1004	beam	0.3	-703.500	4.477	4.639	40.80	40.80	-1.1	-44.6	-51.5	1.8	OK	OK	OK	OK	27.1	23.5
282	1004	beam	0.3	-696.900	0.757	4.883	40.80	40.80	-1.1	-43.9	-51.2	0.3	OK	OK	OK	OK	26.9	23.1
281	1004	beam	0.3	-678.600	0.534	5.096	40.80	40.80	-1.1	-42.5	-50.1	0.2	OK	OK	OK	OK	26.4	22.4
280	1004	beam	0.3	-660.000	-12.320	-5.095	40.80	40.80	-1.1	-48.8	-41.3	-4.9	OK	OK	OK	OK	21.7	25.7
279	1004	beam	0.3	-651.800	3.233	1.128	40.80	40.80	-1.0	-43.6	-45.3	1.3	OK	OK	OK	OK	23.9	23.0
278	1004	beam	0.3	-658.600	5.100	2.491	40.80	40.80	-1.0	-43.1	-46.8	2.0	OK	OK	OK	OK	24.6	22.7
277	1004	beam	0.3	-677.900	-7.628	-2.490	40.80	40.80	-1.1	-48.1	-44.4	-3.1	OK	OK	OK	OK	23.4	25.3
276	1004	beam	0.3	-676.100	3.997	0.898	40.80	40.80	-1.0	-45.5	-46.8	1.6	OK	OK	OK	OK	24.6	23.9
275	1004	beam	0.3	-666.000	7.271	4.357	40.80	40.80	-1.1	-42.2	-48.7	2.9	OK	OK	OK	OK	25.6	22.2
274	1004	beam	0.3	-682.200	-17.780	-4.357	40.80	40.80	-1.1	-49.8	-43.3	-7.1	OK	OK	OK	OK	22.8	26.2
273	1004	beam	0.3	-676.800	4.789	2.467	40.80	40.80	-1.1	-44.4	-48.0	1.9	OK	OK	OK	OK	25.3	23.3
272	1004	beam	0.3	-696.500	-1.451	-1.324	40.80	40.80	-1.1	-48.5	-46.5	-0.6	OK	OK	OK	OK	24.5	25.5
271	1004	beam	0.3	-699.500	0.953	1.324	40.80	40.80	-1.1	-46.8	-48.7	0.4	OK	OK	OK	OK	25.6	24.6
270	1004	beam	0.3	-700.600	7.021	5.309	40.80	40.80	-1.1	-43.9	-51.8	2.8	OK	OK	OK	OK	27.2	23.1
269	1004	beam	0.3	-693.100	-10.080	-5.309	40.80	40.80	-1.1	-51.2	-43.4	-4.0	OK	OK	OK	OK	22.8	27.0
268	1004	beam	0.3	-683.700	8.390	3.855	40.80	40.80	-1.1	-43.8	-49.5	3.4	OK	OK	OK	OK	26.1	23.0
267	1004	beam	0.3	-666.000	-0.349	-0.131	40.80	40.80	-1.0	-45.5	-45.4	-0.1	OK	OK	OK	OK	23.9	24.0
266	1004	beam	0.3	-676.400	1.625	0.720	40.80	40.80	-1.0	-45.6	-46.7	0.7	OK	OK	OK	OK	24.6	24.0
265	1004	beam	0.3	-645.400	-3.303	-0.815	40.80	40.80	-1.0	-44.6	-43.4	-1.3	OK	OK	OK	OK	22.9	23.5
264	1004	beam	0.3	-638.300	-2.815	-1.479	40.80	40.80	-1.0	-44.7	-42.5	-1.1	OK	OK	OK	OK	22.3	23.5
263	1004	beam	0.3	-639.900	9.226	2.594	40.80	40.80	-1.0	-41.7	-45.6	3.7	OK	OK	OK	OK	24.0	22.0

262	1004	beam	0.3	-630.300	0.376	2.760	40.80	40.80	-1.0	-41.0	-45.1	0.2	OK	OK	OK	OK	23.7	21.6
261	1004	beam	0.3	-651.100	-0.400	-2.760	40.80	40.80	-1.0	-46.5	-42.4	-0.2	OK	OK	OK	OK	22.3	24.5
260	1004	beam	0.3	-639.300	-3.421	-2.644	40.80	40.80	-1.0	-45.6	-41.7	-1.4	OK	OK	OK	OK	21.9	24.0
259	1004	beam	0.3	-647.600	14.170	6.871	40.80	40.80	-1.1	-39.1	-49.3	5.7	OK	OK	OK	OK	25.9	20.6
258	1004	beam	0.3	-655.000	-1.956	-6.871	40.80	40.80	-1.1	-49.8	-39.6	-0.8	OK	OK	OK	OK	20.8	26.2
257	1004	beam	0.3	-671.800	-1.283	-6.137	40.80	40.80	-1.1	-50.4	-41.3	-0.5	OK	OK	OK	OK	21.7	26.5
256	1004	beam	0.3	-684.400	-6.959	-5.711	40.80	40.80	-1.1	-50.9	-42.5	-2.8	OK	OK	OK	OK	22.3	26.8
255	1004	beam	0.3	-692.900	-14.950	-3.281	40.80	40.80	-1.1	-49.7	-44.8	-6.0	OK	OK	OK	OK	23.6	26.2
254	1004	beam	0.3	-694.400	-9.994	-5.849	40.80	40.80	-1.2	-51.7	-43.0	-4.0	OK	OK	OK	OK	22.7	27.2
253	1004	beam	0.3	-684.900	-1.621	-6.458	40.80	40.80	-1.2	-51.5	-41.9	-0.6	OK	OK	OK	OK	22.1	27.1
252	1004	beam	0.3	-669.800	2.207	6.458	40.80	40.80	-1.1	-40.9	-50.5	0.9	OK	OK	OK	OK	26.6	21.5
251	1004	beam	0.3	-646.400	2.209	5.618	40.80	40.80	-1.1	-39.9	-48.3	0.9	OK	OK	OK	OK	25.4	21.0
250	1004	beam	0.3	-625.800	0.763	4.770	40.80	40.80	-1.0	-39.2	-46.2	0.3	OK	OK	OK	OK	24.3	20.6
249	1004	beam	0.3	-609.000	-2.385	-5.400	40.80	40.80	-1.0	-45.6	-37.5	-1.0	OK	OK	OK	OK	19.8	24.0
248	1004	beam	0.3	-594.200	-2.298	-6.290	40.80	40.80	-1.0	-45.2	-35.9	-0.9	OK	OK	OK	OK	18.9	23.8
247	1004	beam	0.3	-581.900	2.671	6.290	40.80	40.80	-1.0	-35.0	-44.4	1.1	OK	OK	OK	OK	23.4	18.4
246	1004	beam	0.3	-571.000	8.169	5.259	40.80	40.80	-1.0	-35.1	-42.9	3.3	OK	OK	OK	OK	22.6	18.5
245	1004	beam	0.3	-554.100	14.670	3.269	40.80	40.80	-0.9	-35.4	-40.2	5.9	OK	OK	OK	OK	21.2	18.6
244	1004	beam	0.3	-536.500	24.630	6.215	40.80	40.80	-0.9	-32.0	-41.2	9.9	OK	OK	OK	OK	21.7	16.8
243	1004	beam	0.3	-523.200	31.510	13.740	40.80	40.80	-1.1	-25.5	-45.9	12.6	OK	OK	OK	OK	24.2	13.4
242	1004	beam	0.3	-458.300	39.480	23.070	40.80	40.80	-1.2	-14.1	-48.4	15.8	OK	OK	OK	OK	25.5	7.4
241	1004	beam	0.3	-338.400	-91.630	-23.070	40.80	40.80	-1.0	-40.2	-6.0	-36.7	OK	OK	OK	OK	3.1	21.2

**SEZIONE TIPO C - CENTINE 1 HE 240 B - MATURAZIONE SPRITZ-BETON 3 GIORNI**

INPUT PROGRAM							VERIFICHE SEZIONALI						CHECK					
Element	Prop	Type	Height	N	V	M	Af	A'f	$\sigma_c$ [Mpa]	$\sigma_{s,inf}$ [Mpa]	$\sigma_{s,sup}$ [Mpa]	$\tau$ [MPa]	T	CLS	As	As'	%estra	%intra
301	1004	beam	0.3	-875.800	-112.080	90.610	40.80	40.80	-6.4	17.1	-64.0	-44.9	OK	OK	OK	OK	33.7	9.0
300	1004	beam	0.3	-1179.000	-93.400	-90.610	40.80	40.80	-6.9	-72.0	1.4	-37.4	OK	OK	OK	OK	0.7	37.9
299	1004	beam	0.3	-917.300	-168.400	-71.960	40.80	40.80	-5.5	-56.6	1.9	-67.5	OK	OK	OK	OK	1.0	29.8
298	1004	beam	0.3	-1015.000	-97.360	-38.330	40.80	40.80	-4.2	-46.0	-16.1	-39.0	OK	OK	OK	OK	8.5	24.2
297	1004	beam	0.3	-1111.000	-55.160	-16.490	40.80	40.80	-3.5	-40.4	-27.5	-22.1	OK	OK	OK	OK	14.5	21.3
296	1004	beam	0.3	-1179.000	-33.730	-4.034	40.80	40.80	-3.1	-37.6	-34.5	-13.5	OK	OK	OK	OK	18.1	19.8
295	1004	beam	0.3	-1229.000	-22.630	-8.804	40.80	40.80	-3.5	-41.0	-34.1	-9.1	OK	OK	OK	OK	18.0	21.6
294	1004	beam	0.3	-1277.000	-13.720	-13.760	40.80	40.80	-3.8	-44.4	-33.7	-5.5	OK	OK	OK	OK	17.7	23.4
293	1004	beam	0.3	-1332.000	-5.639	-15.810	40.80	40.80	-4.0	-46.9	-34.5	-2.3	OK	OK	OK	OK	18.2	24.7
292	1004	beam	0.3	-1381.000	-0.892	-16.130	40.80	40.80	-4.1	-48.5	-35.9	-0.4	OK	OK	OK	OK	18.9	25.5
291	1004	beam	0.3	-1420.000	1.848	16.130	40.80	40.80	-4.2	-37.1	-49.7	0.7	OK	OK	OK	OK	26.2	19.5
290	1004	beam	0.3	-1447.000	2.969	15.460	40.80	40.80	-4.3	-38.2	-50.3	1.2	OK	OK	OK	OK	26.5	20.1
289	1004	beam	0.3	-1464.000	2.488	14.390	40.80	40.80	-4.3	-39.1	-50.4	1.0	OK	OK	OK	OK	26.5	20.6
288	1004	beam	0.3	-1478.000	-0.797	-13.790	40.80	40.80	-4.3	-50.6	-39.8	-0.3	OK	OK	OK	OK	20.9	26.6
287	1004	beam	0.3	-1476.000	29.470	13.790	40.80	40.80	-4.3	-39.7	-50.5	11.8	OK	OK	OK	OK	26.6	20.9
286	1004	beam	0.3	-1503.000	32.010	5.770	40.80	40.80	-4.0	-43.7	-48.2	12.8	OK	OK	OK	OK	25.4	23.0
285	1004	beam	0.3	-1502.000	12.380	7.644	40.80	40.80	-4.1	-42.9	-48.9	5.0	OK	OK	OK	OK	25.7	22.6
284	1004	beam	0.3	-1491.000	10.480	11.440	40.80	40.80	-4.2	-41.1	-50.0	4.2	OK	OK	OK	OK	26.3	21.6
283	1004	beam	0.3	-1473.000	1.959	12.110	40.80	40.80	-4.2	-40.3	-49.7	0.8	OK	OK	OK	OK	26.2	21.2
282	1004	beam	0.3	-1455.000	-2.196	-12.110	40.80	40.80	-4.2	-49.2	-39.7	-0.9	OK	OK	OK	OK	20.9	25.9
281	1004	beam	0.3	-1428.000	2.428	12.370	40.80	40.80	-4.1	-38.8	-48.5	1.0	OK	OK	OK	OK	25.5	20.4
280	1004	beam	0.3	-1410.000	-19.340	-12.370	40.80	40.80	-4.1	-47.9	-38.3	-7.7	OK	OK	OK	OK	20.1	25.2
279	1004	beam	0.3	-1393.000	11.200	7.948	40.80	40.80	-3.8	-39.5	-45.7	4.5	OK	OK	OK	OK	24.0	20.8
278	1004	beam	0.3	-1404.000	12.010	11.160	40.80	40.80	-4.0	-38.6	-47.3	4.8	OK	OK	OK	OK	24.9	20.3
277	1004	beam	0.3	-1438.000	-23.190	-11.160	40.80	40.80	-4.1	-48.3	-39.6	-9.3	OK	OK	OK	OK	20.8	25.4
276	1004	beam	0.3	-1437.000	-0.990	-0.856	40.80	40.80	-3.6	-44.3	-43.6	-0.4	OK	OK	OK	OK	22.9	23.3
275	1004	beam	0.3	-1433.000	13.490	6.869	40.80	40.80	-3.9	-41.1	-46.5	5.4	OK	OK	OK	OK	24.5	21.6
274	1004	beam	0.3	-1482.000	-33.510	-6.867	40.80	40.80	-4.0	-48.0	-42.6	-13.4	OK	OK	OK	OK	22.4	25.2
273	1004	beam	0.3	-1488.000	14.840	5.993	40.80	40.80	-4.0	-43.1	-47.8	5.9	OK	OK	OK	OK	25.2	22.7
272	1004	beam	0.3	-1528.000	-2.991	-1.374	40.80	40.80	-3.9	-47.2	-46.2	-1.2	OK	OK	OK	OK	24.3	24.9
271	1004	beam	0.3	-1550.000	-1.867	-2.859	40.80	40.80	-4.0	-48.5	-46.3	-0.7	OK	OK	OK	OK	24.3	25.5
270	1004	beam	0.3	-1552.000	20.060	13.920	40.80	40.80	-4.5	-42.0	-52.9	8.0	OK	OK	OK	OK	27.8	22.1
269	1004	beam	0.3	-1532.000	-23.860	-13.920	40.80	40.80	-4.4	-52.3	-41.4	-9.6	OK	OK	OK	OK	21.8	27.5
268	1004	beam	0.3	-1512.000	15.220	7.763	40.80	40.80	-4.1	-43.2	-49.2	6.1	OK	OK	OK	OK	25.9	22.7
267	1004	beam	0.3	-1455.000	-1.025	-1.020	40.80	40.80	-3.7	-44.9	-44.1	-0.4	OK	OK	OK	OK	23.2	23.6
266	1004	beam	0.3	-1459.000	9.455	3.373	40.80	40.80	-3.8	-43.3	-45.9	3.8	OK	OK	OK	OK	24.2	22.8
265	1004	beam	0.3	-1400.000	-7.243	-3.376	40.80	40.80	-3.6	-44.1	-41.5	-2.9	OK	OK	OK	OK	21.8	23.2
264	1004	beam	0.3	-1387.000	-3.422	-0.799	40.80	40.80	-3.5	-42.7	-42.1	-1.4	OK	OK	OK	OK	22.1	22.5
263	1004	beam	0.3	-1391.000	21.660	8.765	40.80	40.80	-3.9	-39.1	-45.9	8.7	OK	OK	OK	OK	24.2	20.6

262	1004	beam	0.3	-1358.000	-3.607	-8.765	40.80	40.80	-3.8	-44.9	-38.1	-1.4	OK	OK	OK	OK	20.0	23.6
261	1004	beam	0.3	-1399.000	3.206	8.111	40.80	40.80	-3.8	-39.6	-45.9	1.3	OK	OK	OK	OK	24.2	20.8
260	1004	beam	0.3	-1373.000	-2.562	-8.112	40.80	40.80	-3.8	-45.1	-38.8	-1.0	OK	OK	OK	OK	20.4	23.8
259	1004	beam	0.3	-1387.000	30.480	18.730	40.80	40.80	-4.3	-35.1	-49.7	12.2	OK	OK	OK	OK	26.2	18.5
258	1004	beam	0.3	-1427.000	-3.246	-18.730	40.80	40.80	-4.4	-50.9	-36.3	-1.3	OK	OK	OK	OK	19.1	26.8
257	1004	beam	0.3	-1450.000	-6.448	-17.510	40.80	40.80	-4.4	-51.1	-37.5	-2.6	OK	OK	OK	OK	19.7	26.9
256	1004	beam	0.3	-1472.000	-17.110	-15.380	40.80	40.80	-4.3	-51.0	-39.0	-6.9	OK	OK	OK	OK	20.5	26.8
255	1004	beam	0.3	-1487.000	-32.870	-9.403	40.80	40.80	-4.1	-49.1	-41.8	-13.2	OK	OK	OK	OK	22.0	25.9
254	1004	beam	0.3	-1489.000	-23.790	-11.350	40.80	40.80	-4.2	-49.9	-41.1	-9.5	OK	OK	OK	OK	21.6	26.3
253	1004	beam	0.3	-1474.000	-9.550	-14.930	40.80	40.80	-4.3	-50.9	-39.2	-3.8	OK	OK	OK	OK	20.6	26.8
252	1004	beam	0.3	-1444.000	-2.959	-16.060	40.80	40.80	-4.3	-50.4	-37.9	-1.2	OK	OK	OK	OK	19.9	26.5
251	1004	beam	0.3	-1400.000	-0.273	-16.160	40.80	40.80	-4.2	-49.1	-36.5	-0.1	OK	OK	OK	OK	19.2	25.8
250	1004	beam	0.3	-1358.000	0.473	16.160	40.80	40.80	-4.1	-35.2	-47.8	0.2	OK	OK	OK	OK	25.2	18.5
249	1004	beam	0.3	-1320.000	-0.203	-16.060	40.80	40.80	-4.0	-46.6	-34.1	-0.1	OK	OK	OK	OK	17.9	24.5
248	1004	beam	0.3	-1286.000	2.084	16.060	40.80	40.80	-3.9	-33.0	-45.6	0.8	OK	OK	OK	OK	24.0	17.4
247	1004	beam	0.3	-1249.000	10.290	15.250	40.80	40.80	-3.8	-32.2	-44.1	4.1	OK	OK	OK	OK	23.2	17.0
246	1004	beam	0.3	-1211.000	20.920	11.280	40.80	40.80	-3.5	-32.6	-41.4	8.4	OK	OK	OK	OK	21.8	17.2
245	1004	beam	0.3	-1177.000	30.820	6.181	40.80	40.80	-3.2	-33.6	-38.4	12.3	OK	OK	OK	OK	20.2	17.7
244	1004	beam	0.3	-1141.000	43.310	11.710	40.80	40.80	-3.4	-30.3	-39.4	17.4	OK	OK	OK	OK	20.8	15.9
243	1004	beam	0.3	-1089.000	59.840	26.000	40.80	40.80	-3.8	-23.1	-43.4	24.0	OK	OK	OK	OK	22.9	12.2
242	1004	beam	0.3	-986.800	83.450	45.720	40.80	40.80	-4.4	-12.3	-48.0	33.4	OK	OK	OK	OK	25.3	6.5
241	1004	beam	0.3	-741.000	-181.600	-45.720	40.80	40.80	-3.8	-40.5	-4.8	-72.8	OK	OK	OK	OK	2.5	21.3

**SEZIONE TIPO C - CENTINE 1 HE 240 B - MATURAZIONE SPRITZ-BETON 28 GIORNI**

INPUT PROGRAM							VERIFICHE SEZIONALI						CHECK					
Element	Prop	Type	Height	N	V	M	Af	A'f	$\sigma_c$ [Mpa]	$\sigma_{s,inf}$ [Mpa]	$\sigma_{s,sup}$ [Mpa]	$\tau$ [Mpa]	T	CLS	As	As'	%estra	%intra
301	1004	beam	0.3	-1694.000	-218.280	182.500	40.80	40.80	-14.3	37.8	-101.1	-87.5	OK	OK	OK	OK	53.2	19.9
300	1004	beam	0.3	-2105.000	-181.900	-182.500	40.80	40.80	-14.9	-108.7	16.5	-72.9	OK	OK	OK	OK	8.7	57.2
299	1004	beam	0.3	-1716.000	-172.620	-146.200	40.80	40.80	-12.0	-87.7	11.9	-69.2	OK	OK	OK	OK	6.3	46.1
298	1004	beam	0.3	-1868.000	-191.800	-82.460	40.80	40.80	-9.0	-69.6	-18.4	-76.8	OK	OK	OK	OK	9.7	36.7
297	1004	beam	0.3	-1992.000	-117.200	-39.440	40.80	40.80	-7.2	-59.2	-34.7	-47.0	OK	OK	OK	OK	18.2	31.2
296	1004	beam	0.3	-2073.000	-77.010	-12.960	40.80	40.80	-6.2	-52.9	-44.8	-30.9	OK	OK	OK	OK	23.6	27.8
295	1004	beam	0.3	-2139.000	-52.410	-16.510	40.80	40.80	-6.5	-55.5	-45.3	-21.0	OK	OK	OK	OK	23.8	29.2
294	1004	beam	0.3	-2219.000	-32.090	-28.120	40.80	40.80	-7.3	-61.0	-43.5	-12.9	OK	OK	OK	OK	22.9	32.1
293	1004	beam	0.3	-2298.000	-15.730	-33.820	40.80	40.80	-7.8	-64.7	-43.6	-6.3	OK	OK	OK	OK	23.0	34.0
292	1004	beam	0.3	-2375.000	-6.314	-36.110	40.80	40.80	-8.1	-67.2	-44.7	-2.5	OK	OK	OK	OK	23.5	35.4
291	1004	beam	0.3	-2434.000	-2.238	-36.920	40.80	40.80	-8.3	-68.8	-45.9	-0.9	OK	OK	OK	OK	24.1	36.2
290	1004	beam	0.3	-2471.000	0.083	36.920	40.80	40.80	-8.4	-46.7	-69.7	0.0	OK	OK	OK	OK	36.7	24.6
289	1004	beam	0.3	-2493.000	2.617	36.890	40.80	40.80	-8.5	-47.3	-70.2	1.0	OK	OK	OK	OK	36.9	24.9
288	1004	beam	0.3	-2516.000	3.993	35.960	40.80	40.80	-8.5	-48.1	-70.5	1.6	OK	OK	OK	OK	37.1	25.3
287	1004	beam	0.3	-2515.000	71.250	34.550	40.80	40.80	-8.4	-48.5	-70.0	28.5	OK	OK	OK	OK	36.8	25.5
286	1004	beam	0.3	-2556.000	70.210	15.150	40.80	40.80	-7.6	-55.5	-64.9	28.1	OK	OK	OK	OK	34.2	29.2
285	1004	beam	0.3	-2538.000	36.160	17.700	40.80	40.80	-7.7	-54.3	-65.3	14.5	OK	OK	OK	OK	34.4	28.6
284	1004	beam	0.3	-2516.000	27.150	27.550	40.80	40.80	-8.1	-50.7	-67.8	10.9	OK	OK	OK	OK	35.7	26.7
283	1004	beam	0.3	-2477.000	6.003	29.610	40.80	40.80	-8.1	-49.2	-67.6	2.4	OK	OK	OK	OK	35.6	25.9
282	1004	beam	0.3	-2434.000	-7.564	-29.610	40.80	40.80	-8.0	-66.6	-48.1	-3.0	OK	OK	OK	OK	25.3	35.0
281	1004	beam	0.3	-2360.000	-1.883	-27.170	40.80	40.80	-7.7	-64.0	-47.2	-0.8	OK	OK	OK	OK	24.8	33.7
280	1004	beam	0.3	-2294.000	-38.820	-26.420	40.80	40.80	-7.4	-62.3	-45.8	-15.6	OK	OK	OK	OK	24.1	32.8
279	1004	beam	0.3	-2252.000	13.920	15.030	40.80	40.80	-6.8	-48.4	-57.7	5.6	OK	OK	OK	OK	30.4	25.5
278	1004	beam	0.3	-2266.000	17.890	19.810	40.80	40.80	-7.0	-47.2	-59.5	7.2	OK	OK	OK	OK	31.3	24.9
277	1004	beam	0.3	-2306.000	-40.040	-19.810	40.80	40.80	-7.2	-60.5	-48.2	-16.0	OK	OK	OK	OK	25.4	31.8
276	1004	beam	0.3	-2289.000	-3.212	-2.025	40.80	40.80	-6.3	-54.6	-53.3	-1.3	OK	OK	OK	OK	28.1	28.7
275	1004	beam	0.3	-2275.000	21.740	11.000	40.80	40.80	-6.7	-50.2	-57.0	8.7	OK	OK	OK	OK	30.0	26.4
274	1004	beam	0.3	-2349.000	-51.190	-11.000	40.80	40.80	-6.9	-58.8	-51.9	-20.5	OK	OK	OK	OK	27.3	30.9
273	1004	beam	0.3	-2345.000	22.090	8.642	40.80	40.80	-6.7	-52.6	-57.9	8.9	OK	OK	OK	OK	30.5	27.7
272	1004	beam	0.3	-2397.000	-7.772	-4.137	40.80	40.80	-6.7	-57.8	-55.2	-3.1	OK	OK	OK	OK	29.0	30.4
271	1004	beam	0.3	-2418.000	0.447	4.137	40.80	40.80	-6.7	-55.7	-58.3	0.2	OK	OK	OK	OK	30.7	29.3
270	1004	beam	0.3	-2397.000	35.430	25.870	40.80	40.80	-7.7	-48.4	-64.5	14.2	OK	OK	OK	OK	34.0	25.5
269	1004	beam	0.3	-2379.000	-40.600	-25.870	40.80	40.80	-7.6	-64.1	-48.0	-16.3	OK	OK	OK	OK	25.3	33.7
268	1004	beam	0.3	-2370.000	21.360	11.040	40.80	40.80	-6.9	-52.4	-59.3	8.6	OK	OK	OK	OK	31.2	27.6
267	1004	beam	0.3	-2290.000	-4.140	-2.863	40.80	40.80	-6.3	-54.8	-53.1	-1.7	OK	OK	OK	OK	27.9	28.9
266	1004	beam	0.3	-2296.000	16.800	4.944	40.80	40.80	-6.4	-52.6	-55.6	6.7	OK	OK	OK	OK	29.3	27.7
265	1004	beam	0.3	-2218.000	-8.350	-4.944	40.80	40.80	-6.2	-53.8	-50.7	-3.3	OK	OK	OK	OK	26.7	28.3
264	1004	beam	0.3	-2200.000	-4.071	-1.064	40.80	40.80	-6.0	-52.2	-51.5	-1.6	OK	OK	OK	OK	27.1	27.5
263	1004	beam	0.3	-2218.000	35.520	15.780	40.80	40.80	-6.7	-47.3	-57.2	14.2	OK	OK	OK	OK	30.1	24.9



**CUNICOLO - C4 - 150m - RIVESTIMENTI DEFINITIVI**

INPUT PLAXIS		Intradoso		Estradoso		VERIFICHE SEZIONALI						APERTURA FESSURE						CHECK							
Element	Node	Height	N	V	M	Af	Af'	$\sigma_c$ [MPa]	$\sigma_{s,inf}$ [MPa]	$\sigma_{s,sup}$ [MPa]	$\tau$ [kPa]	M fless	$\sigma_{sr}$ [MPa]	Ac eff [cm <sup>2</sup> ]	pas. [cm]	Srm [cm]	$\epsilon_{sm}$	Wk [mm]	T	CLS	As	As'	Fessurazione	%estra	%intra
-	-	m	KN	KN	KN-m	cm <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup>																		
calotta - 0.8m	301	0.90	-3371.000	-436.196	682.500	22.62	22.62	-7.9	6.0	-108.6	-598.3	997.4	-	2480.5	20.0	25.2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	42.6	2.3
calotta - 0.8m	300	0.90	-3761.000	-431.877	730.450	22.62	22.62	-8.6	2.9	-118.3	-592.4	1065.4	-	2480.5	20.0	25.2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	46.4	1.1
calotta - 0.8m	299	0.90	-3454.000	-427.601	582.500	22.62	22.62	-7.3	-6.2	-100.8	-586.6	1011.8	-	2480.5	20.0	25.2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	39.5	2.4
calotta - 0.8m	298	0.90	-3506.000	-423.368	427.500	22.62	22.62	-6.3	-19.7	-89.0	-580.8	1020.9	-	2480.5	20.0	25.2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	34.9	7.7
calotta - 0.8m	297	0.90	-3632.000	-419.176	292.500	22.62	22.62	-5.6	-32.6	-80.0	-575.0	1042.9	-	2480.5	20.0	25.2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	31.4	12.8
calotta - 0.8m	296	0.90	-3724.000	-399.215	176.550	22.62	22.62	-5.0	-43.4	-72.0	-547.6	1058.9	-	2480.5	20.0	25.2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	28.2	17.0
calotta - 0.8m	295	0.90	-3794.000	-380.205	74.295	22.62	22.62	-4.4	-52.8	-64.8	-521.5	1071.1	-	2480.5	20.0	25.2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	25.4	20.7
calotta - 0.8m	294	0.90	-3885.000	-362.100	-39.305	22.62	22.62	-4.3	-63.4	-57.0	-496.7	1087.0	-	2480.5	20.0	25.2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	22.4	24.9
calotta - 0.8m	293	0.90	-4020.000	-282.000	-155.950	22.62	22.62	-5.1	-75.0	-49.7	-386.8	1110.6	-	2480.5	20.0	25.2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	19.5	29.4
calotta - 0.8m	292	0.90	-4111.000	-193.100	-242.100	22.62	22.62	-5.8	-83.3	-44.1	-264.9	1126.5	-	2480.5	20.0	25.2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	17.3	32.7
calotta - 0.8m	291	0.90	-4180.000	-119.200	-298.700	22.62	22.62	-6.2	-89.0	-40.6	-163.5	1138.5	-	2480.5	20.0	25.2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	15.9	34.9
calotta - 0.8m	290	0.90	-4231.000	-54.790	-330.150	22.62	22.62	-6.5	-92.3	-38.8	-75.2	1147.4	-	2480.5	20.0	25.2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	15.2	36.2
calotta - 0.8m	289	0.90	-4276.000	6.166	-338.900	22.62	22.62	-6.6	-93.8	-38.8	8.5	1155.2	-	2480.5	20.0	25.2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	15.2	36.8
calotta - 0.8m	288	0.90	-4324.000	63.830	-326.550	22.62	22.62	-6.5	-93.5	-40.5	87.6	1163.6	-	2480.5	20.0	25.2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	15.9	36.7
calotta - 0.8m	287	0.90	-4318.000	198.800	-288.200	22.62	22.62	-6.3	-90.3	-43.5	272.7	1162.6	-	2480.5	20.0	25.2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	17.1	35.4
calotta - 0.8m	286	0.90	-4370.000	202.900	-233.500	22.62	22.62	-6.0	-86.7	-48.8	278.3	1171.6	-	2480.5	20.0	25.2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	19.1	34.0
calotta - 0.8m	285	0.90	-4398.000	170.200	-173.600	22.62	22.62	-5.6	-82.2	-54.1	233.5	1176.5	-	2480.5	20.0	25.2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	21.2	32.3
calotta - 0.8m	284	0.90	-4410.000	182.600	-108.160	22.62	22.62	-5.2	-77.1	-59.6	250.5	1178.6	-	2480.5	20.0	25.2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	23.4	30.2
calotta - 0.8m	283	0.90	-4395.000	156.800	-48.120	22.62	22.62	-4.8	-72.0	-64.2	215.1	1176.0	-	2480.5	20.0	25.2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	25.2	28.2
calotta - 0.8m	282	0.90	-4343.000	125.400	-1.035	22.62	22.62	-4.5	-67.4	-67.2	172.0	1166.9	-	2480.5	20.0	25.2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	26.4	26.4
calotta - 0.8m	281	0.90	-4281.000	102.600	39.635	22.62	22.62	-4.7	-63.1	-69.6	140.7	1156.1	-	2480.5	20.0	25.2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	27.3	24.8
calotta - 0.8m	280	0.90	-4217.000	43.980	68.890	22.62	22.62	-4.8	-59.8	-70.9	60.3	1144.9	-	2480.5	20.0	25.2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	27.8	23.4
calotta - 0.8m	279	0.90	-4154.000	65.220	87.275	22.62	22.62	-4.8	-57.3	-71.5	89.5	1134.0	-	2480.5	20.0	25.2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	28.0	22.5
calotta - 0.8m	278	0.90	-4130.000	49.930	103.545	22.62	22.62	-4.9	-55.6	-72.4	68.5	1129.8	-	2480.5	20.0	25.2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	28.4	21.8
calotta - 0.8m	277	0.90	-4156.000	-38.010	101.775	22.62	22.62	-4.9	-56.2	-72.7	-52.1	1134.3	-	2480.5	20.0	25.2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	28.5	22.0
calotta - 0.8m	276	0.90	-4093.000	-35.370	85.490	22.62	22.62	-4.8	-56.5	-70.4	-48.5	1123.3	-	2480.5	20.0	25.2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	27.6	22.2
calotta - 0.8m	275	0.90	-3994.000	-2.413	77.060	22.62	22.62	-4.6	-55.6	-68.1	-3.3	1106.0	-	2480.5	20.0	25.2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	26.7	21.8
calotta - 0.8m	274	0.90	-4010.000	-107.800	55.805	22.62	22.62	-4.5	-57.6	-66.7	-147.9	1108.8	-	2480.5	20.0	25.2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	26.1	22.6
calotta - 0.8m	273	0.90	-3980.000	-3.953	34.230	22.62	22.62	-4.3	-58.9	-64.5	-5.4	1103.6	-	2480.5	20.0	25.2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	25.3	23.1
calotta - 0.8m	272	0.90	-4033.000	-16.850	27.320	22.62	22.62	-4.3	-60.3	-64.7	-23.1	1112.8	-	2480.5	20.0	25.2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	25.4	23.6
calotta - 0.8m	271	0.90	-4042.000	20.870	29.605	22.62	22.62	-4.4	-60.2	-65.0	28.6	1114.4	-	2480.5	20.0	25.2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	25.5	23.6
calotta - 0.8m	270	0.90	-3962.000	70.690	67.470	22.62	22.62	-4.5	-55.9	-66.9	97.0	1100.5	-	2480.5	20.0	25.2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	26.2	21.9
calotta - 0.8m	269	0.90	-3950.000	-84.250	58.750	22.62	22.62	-4.5	-56.5	-66.0	-115.6	1098.4	-	2524.9	21.0	25.6	-	-	OK	OK	OK	OK	-	25.9	22.1
calotta - 0.8m	268	0.90	-3966.000	15.870	24.230	22.62	22.62	-4.3	-59.5	-63.4	21.8	1101.2	-	2568.4	22.0	26.0	-	-	OK	OK	OK	OK	-	24.9	23.3
calotta - 0.8m	267	0.90	-3870.000	8.221	29.945	22.62	22.62	-4.2	-57.5	-62.4	11.3	1084.4	-	2610.8	23.0	26.5	-	-	OK	OK	OK	OK	-	24.5	22.6
calotta - 0.8m	266	0.90	-3878.000	62.590	46.440	22.62	22.62	-4.3	-56.3	-63.9	85.9	1085.8	-	2652.3	24.0	26.9	-	-	OK	OK	OK	OK	-	25.0	22.1
calotta - 0.8m	265	0.90	-3936.000	12.660	63.925	22.62	22.62	-4.5	-55.8	-66.2	17.4	1095.9	-	2693.0	25.0	27.3	-	-	OK	OK	OK	OK	-	26.0	21.9
calotta - 0.8m	264	0.90	-4004.000	11.040	68.170	22.62	22.62	-4.6	-56.5	-67.6	15.1	1107.8	-	2732.9	26.0	27.7	-	-	OK	OK	OK	OK	-	26.5	22.2
calotta - 0.8m	263	0.90	-4060.000	24.180	74.805	22.62	22.62	-4.7	-56.9	-69.0	33.2	1117.6	-	2772.0	27.0	28.1	-	-	OK	OK	OK	OK	-	27.1	22.3
calotta - 0.8m	262	0.90	-4052.000	-39.760	71.365	22.62	22.62	-4.6	-57.0	-68.6	-54.5	1116.2	-	2810.4	28.0	28.5	-	-	OK	OK	OK	OK	-	26.9	22.4
calotta - 0.8m	261	0.90	-4142.000	-49.000	55.450	22.62	22.62	-4.6	-59.7	-68.7	-67.2	1131.9	-	2848.1	29.0	28.9	-	-	OK	OK	OK	OK	-	26.9	23.4
calotta - 0.8m	260	0.90	-4119.000	-69.560	37.230	22.62	22.62	-4.5	-60.8	-66.9	-95.4	1127.8	-	2885.1	30.0	29.3	-	-	OK	OK	OK	OK	-	26.2	23.8
calotta - 0.8m	259	0.90	-4156.000	-42.610	18.155	22.62	22.62	-4.4	-62.9	-65.9	-58.4	1134.3	-	2921.6	31.0	29.7	-	-	OK	OK	OK	OK	-	25.8	24.7
calotta - 0.8m	258	0.90	-4199.000	-101.500	-8.875	22.62	22.62	-4.4	-65.8	-64.4	-139.2	1141.8	-	2957.4	32.0	30.1	-	-	OK	OK	OK	OK	-	25.2	25.8
calotta - 0.8m	257	0.90	-4253.000	-120.800	-47.950	22.62	22.62	-4.7	-69.8	-62.0	-165.7	1151.2	-	2992.8	33.0	30.5	-	-	OK	OK	OK	OK	-	24.3	27.4
calotta - 0.8m	256	0.90	-4305.000	-164.600	-96.745	22.62	22.62	-5.1	-74.6	-58.9	-225.8	1160.3	-	3027.5	34.0	30.9	-	-	OK	OK	OK	OK	-	23.1	29.2
calotta - 0.8m	255	0.90	-4335.000	-212.200	-164.000	22.62	22.62	-5.5	-80.5	-53.9	-291.1	1165.5	-	3061.8	35.0	31.2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	21.1	31.6
calotta - 0.8m	254	0.90	-4329.000	-166.400	-233.350	22.62	22.62	-6.0	-86.0	-48.2	-228.3	1164.5	-	3095.6	36.0	31.6	-	-	OK	OK	OK	OK	-	18.9	33.7
calotta - 0.8m	253	0.90	-4290.000	-85.200	-280.100	22.62	22.62	-6.2	-89.2	-43.8	-116.9	1157.7	-	3128.9	37.0	32.0	-	-	OK	OK	OK	OK	-	17.2	35.0
calotta - 0.8m	252	0.90	-4225.000	-20.520	-300.000	22.62	22.62	-6.3	-89.8	-41.1	-28.1	1146.3	-	3161.8	38.0	32.4	-	-	OK	OK	OK	OK	-	16.1	35.2
calotta - 0.8m	251	0.90	-4173.000	26.070	-298.900	22.62	22.62	-6.2	-88.9	-40.4	-35.8	1137.3	-	3194.2	39.0	32.7	-	-	OK	OK	OK	OK	-	15.9	34.9
calotta - 0.8m	250	0.90	-4117.000	89.900	-276.550	22.62	22.62	-6.0	-86.2	-41.4	123.3														

calotta - 0.8m	249	0.90	-4050.000	164.600	-227.300	22.62	22.62	-5.6	-81.2	-44.3	225.8	1115.8	-	3257.9	41.0	33.5	-	-	OK	OK	OK	OK	-	17.4	31.8
calotta - 0.8m	248	0.90	-3967.000	248.600	-147.245	22.62	22.62	-5.0	-73.4	-49.5	341.0	1101.3	-	3289.1	42.0	33.8	-	-	OK	OK	OK	OK	-	19.4	28.8
calotta - 0.8m	247	0.90	-3871.000	338.500	-33.760	22.62	22.62	-4.2	-62.7	-57.3	464.3	1084.6	-	3320.0	43.0	34.2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	22.5	24.6
calotta - 0.8m	246	0.90	-3785.000	355.425	81.685	22.62	22.62	-4.4	-52.0	-65.3	487.6	1069.6	-	3350.5	44.0	34.6	-	-	OK	OK	OK	OK	-	25.6	20.4
calotta - 0.8m	245	0.90	-3716.000	373.196	187.500	22.62	22.62	-5.0	-42.4	-72.8	511.9	1057.5	-	3380.7	45.0	34.9	-	-	OK	OK	OK	OK	-	28.5	16.6
calotta - 0.8m	244	0.90	-3692.000	391.856	304.250	22.62	22.62	-5.8	-32.5	-81.9	537.5	1053.4	-	3410.6	46.0	35.3	-	-	OK	OK	OK	OK	-	32.1	12.8
calotta - 0.8m	243	0.90	-3623.000	411.449	433.850	22.62	22.62	-6.5	-21.0	-91.3	564.4	1041.3	-	3440.1	47.0	35.6	-	-	OK	OK	OK	OK	-	35.8	8.2
calotta - 0.8m	242	0.90	-3486.000	432.021	581.800	22.62	22.62	-7.3	-6.8	-101.2	592.6	1017.4	-	3469.3	48.0	36.0	-	-	OK	OK	OK	OK	-	39.7	2.7
calotta - 0.8m	241	0.90	-3180.000	-320.100	620.900	22.62	22.62	-7.3	2.8	-100.3	-439.1	964.0	-	3498.2	49.0	36.4	-	-	OK	OK	OK	OK	-	39.3	1.1
arco rovescio - 1.0m	330	1.00	-2078.000	420.700	-532.100	22.62	22.62	-4.9	-66.9	11.9	519.4	899.5	-	3526.8	50.0	36.7	-	-	OK	OK	OK	OK	-	4.7	26.3
arco rovescio - 1.0m	329	1.00	-2033.000	342.100	-462.500	22.62	22.62	-4.4	-60.5	4.5	422.3	890.8	-	3555.1	51.0	37.1	-	-	OK	OK	OK	OK	-	1.8	23.7
arco rovescio - 1.0m	328	1.00	-1905.000	346.600	-396.700	22.62	22.62	-3.9	-53.8	0.6	427.9	866.2	-	3583.2	52.0	37.4	-	-	OK	OK	OK	OK	-	0.2	21.1
arco rovescio - 1.0m	327	1.00	-1856.000	354.900	-338.150	22.62	22.62	-3.5	-48.9	-3.2	438.1	856.8	-	3611.0	53.0	37.8	-	-	OK	OK	OK	OK	-	1.3	19.2
arco rovescio - 1.0m	326	1.00	-1837.000	291.300	-282.600	22.62	22.62	-3.2	-44.9	-6.7	359.6	853.2	-	3638.5	54.0	38.1	-	-	OK	OK	OK	OK	-	2.6	17.6
arco rovescio - 1.0m	325	1.00	-1880.000	359.200	-206.450	22.62	22.62	-2.8	-40.3	-12.5	443.5	861.4	-	3665.8	55.0	38.4	-	-	OK	OK	OK	OK	-	4.9	15.8
arco rovescio - 1.0m	324	1.00	-1836.000	255.000	-135.150	22.62	22.62	-2.4	-34.9	-16.7	314.8	853.0	-	3692.8	56.0	38.8	-	-	OK	OK	OK	OK	-	6.5	13.7
arco rovescio - 1.0m	323	1.00	-1758.000	193.400	-63.445	22.62	22.62	-2.0	-29.0	-20.4	238.8	838.0	-	3719.6	57.0	39.1	-	-	OK	OK	OK	OK	-	8.0	11.4
arco rovescio - 1.0m	322	1.00	-1798.000	189.800	29.370	22.62	22.62	-1.8	-23.3	-27.2	234.3	845.7	-	3746.1	58.0	39.5	-	-	OK	OK	OK	OK	-	10.7	9.1
arco rovescio - 1.0m	321	1.00	-1762.000	102.600	99.970	22.62	22.62	-2.2	-18.0	-31.5	126.7	838.8	-	3772.4	59.0	39.8	-	-	OK	OK	OK	OK	-	12.4	7.1
arco rovescio - 1.0m	320	1.00	-1846.000	110.000	150.950	22.62	22.62	-2.5	-15.7	-36.1	135.8	854.9	-	3798.5	60.0	40.2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	14.2	6.2
arco rovescio - 1.0m	319	1.00	-1891.000	78.510	195.350	22.62	22.62	-2.8	-13.4	-39.7	96.9	863.6	-	3824.4	61.0	40.5	-	-	OK	OK	OK	OK	-	15.6	5.2
arco rovescio - 1.0m	318	1.00	-1935.000	43.730	223.500	22.62	22.62	-3.0	-12.1	-42.3	54.0	872.0	-	3850.1	62.0	40.8	-	-	OK	OK	OK	OK	-	16.6	4.7
arco rovescio - 1.0m	317	1.00	-2021.000	8.593	237.200	22.62	22.62	-3.1	-12.4	-44.4	10.6	888.5	-	3875.5	63.0	41.2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	17.4	4.9
arco rovescio - 1.0m	316	1.00	-2068.000	-0.319	240.650	22.62	22.62	-3.2	-12.8	-45.3	-0.4	897.5	-	3900.8	64.0	41.5	-	-	OK	OK	OK	OK	-	17.8	5.0
arco rovescio - 1.0m	315	1.00	-2018.000	-8.956	238.450	22.62	22.62	-3.1	-12.3	-44.4	-11.1	887.9	-	3925.9	65.0	41.8	-	-	OK	OK	OK	OK	-	17.4	4.8
arco rovescio - 1.0m	314	1.00	-1940.000	-34.060	228.650	22.62	22.62	-3.0	-11.8	-42.7	-42.0	873.0	-	3950.7	66.0	42.2	-	-	OK	OK	OK	OK	-	16.7	4.6
arco rovescio - 1.0m	313	1.00	-1870.000	-74.450	189.600	22.62	22.62	-2.7	-13.5	-39.1	-91.9	859.5	-	3975.4	67.0	42.5	-	-	OK	OK	OK	OK	-	15.3	5.3
arco rovescio - 1.0m	312	1.00	-1826.000	-117.400	130.400	22.62	22.62	-2.4	-16.8	-34.5	-144.9	851.1	-	3999.9	68.0	42.8	-	-	OK	OK	OK	OK	-	13.5	6.6
arco rovescio - 1.0m	311	1.00	-1742.000	-108.500	76.690	22.62	22.62	-2.0	-19.3	-29.6	-134.0	835.0	-	4024.2	69.0	43.1	-	-	OK	OK	OK	OK	-	11.6	7.6
arco rovescio - 1.0m	310	1.00	-1784.000	-200.300	3.140	22.62	22.62	-1.7	-24.8	-25.3	-247.3	843.0	-	4048.4	70.0	43.5	-	-	OK	OK	OK	OK	-	9.9	9.7
arco rovescio - 1.0m	309	1.00	-1786.000	-219.400	-96.900	22.62	22.62	-2.2	-31.6	-18.5	-270.9	843.4	-	4072.4	71.0	43.8	-	-	OK	OK	OK	OK	-	7.3	12.4
arco rovescio - 1.0m	308	1.00	-1845.000	-252.500	-167.650	22.62	22.62	-2.6	-37.2	-14.6	-311.7	854.7	-	4096.2	72.0	44.1	-	-	OK	OK	OK	OK	-	5.7	14.6
arco rovescio - 1.0m	307	1.00	-1900.000	-254.900	-206.500	22.62	22.62	-2.9	-40.6	-12.7	-314.7	865.3	-	4119.8	73.0	44.5	-	-	OK	OK	OK	OK	-	5.0	15.9
arco rovescio - 1.0m	306	1.00	-1873.000	-418.100	-278.800	22.62	22.62	-3.2	-45.1	-7.5	-516.2	860.1	-	4143.3	74.0	44.8	-	-	OK	OK	OK	OK	-	2.9	17.7
arco rovescio - 1.0m	305	1.00	-1980.000	-373.100	-374.500	22.62	22.62	-3.8	-53.1	-2.5	-460.6	880.6	-	4166.6	75.0	45.1	-	-	OK	OK	OK	OK	-	1.0	20.8
arco rovescio - 1.0m	304	1.00	-1969.000	-410.410	-448.850	22.62	22.62	-4.2	-58.6	4.5	-506.7	878.5	-	4189.8	76.0	45.4	-	-	OK	OK	OK	OK	-	1.7	23.0
arco rovescio - 1.0m	303	1.00	-2007.000	-451.451	-505.850	22.62	22.62	-4.7	-63.9	10.4	-557.3	885.8	-	4212.8	77.0	45.7	-	-	OK	OK	OK	OK	-	4.1	25.1
arco rovescio - 1.0m	302	1.00	-2063.000	-346.900	-556.450	22.62	22.62	-5.1	-69.1	16.0	-428.3	896.6	-	4235.7	78.0	46.1	-	-	OK	OK	OK	OK	-	6.3	27.1