

COMMITTENTE:



DIREZIONE LAVORI:



APPALTATORE:

CONSORZIO:



SOCI:



PROGETTAZIONE:

MANDATARIA:



MANDANTI:



## PROGETTO ESECUTIVO

### ITINERARIO NAPOLI - BARI RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE - HIRPINIA

GN09 - GALLERIA ROCCHETTA - FINESTRA COSTRUTTIVA/USCITA DI EMERGENZA F6 pk 13+850 E CUNICOLI PEDONALI pk 12+975 (LATO BA) E 14+725 (LATO NA)  
ELABORATI GENERALI

Relazione di calcolo uscita di emergenza

APPALTATORE Consorzio HIRPINIA AV Il Direttore Tecnico Ing. Vincenzo Moriello 23/12/2019	DIRETTORE DELLA PROGETTAZIONE Il Responsabile integrazione fra le varie prestazioni specialistiche Ing. G. Cassani	PROGETTISTA  Ing. G. Cassani
--	--	------------------------------------

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA Progr. REV. SCALA:

IF28	01	E	ZZ	CL	GN0900	001	B	-
------	----	---	----	----	--------	-----	---	---

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione per consegna	A. Zimbaldi	22/02/2020	B. Spigarelli	22/02/2020	M. Gatti	20/02/2020	G. Cassani
B	Revisione per istruttoria	A. Zimbaldi	10/06/2020	B. Spigarelli	10/06/2020	M. Gatti	10/06/2020	G. Cassani
								10/06/2020

File: IF2801EZZCLGN0900001B.docx

n. Elab.:

<b>APPALTATORE:</b> <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> <b>HIRPINIA AV</b> <b>SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A.</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> <u>Mandataria</u> <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A</b> <b>NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.</b>						
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Relazione di calcolo uscita di emergenza</b>	<b>COMMESSA</b> <b>IF28</b>	<b>LOTTO</b> <b>01</b>	<b>CODIFICA</b> <b>E ZZ CL</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>GN0900 001</b>	<b>REV.</b> <b>B</b>	<b>FOGLIO</b> <b>2 di 19</b>

## Indice

<b>1</b>	<b>PREMESSA .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>SCOPO E CONTENUTI DEL DOCUMENTO.....</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....</b>	<b>4</b>
3.2	<b>LEGGI E NORMATIVE COGENTI .....</b>	<b>4</b>
3.2	<b>NORMATIVE NON COGENTI E RACCOMANDAZIONI.....</b>	<b>4</b>
3.3	<b>PRESCRIZIONI E SPECIFICHE TECNICHE (RFI, ITF).....</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....</b>	<b>4</b>
4.1	<b>DOCUMENTI REFERENZIATI.....</b>	<b>4</b>
4.2	<b>DOCUMENTI CORRELATI .....</b>	<b>4</b>
4.3	<b>DOCUMENTI SUPERATI.....</b>	<b>5</b>
<b>5</b>	<b>ALLEGATI .....</b>	<b>5</b>
<b>6</b>	<b>DOCUMENTI PRODOTTI A SUPPORTO.....</b>	<b>5</b>
<b>7</b>	<b>FASE DI DIAGNOSI.....</b>	<b>6</b>
7.1	<b>INQUADRAMENTO GEOLOGICO .....</b>	<b>6</b>
7.2	<b>DETERMINAZIONE DELLE CATEGORIE DI COMPORTAMENTO .....</b>	<b>7</b>
7.2.1	<b>ANALISI CON IL METODO DELLE LINEE CARATTERISTICHE (ALTE COPERTURE C &gt; 4D) .....</b>	<b>7</b>
7.2.2	<b>ANALISI DELLA STABILITÀ DEL FRONTE (BASSE COPERTURE C &lt; 4D) .....</b>	<b>10</b>
<b>8</b>	<b>FASE DI TERAPIA.....</b>	<b>13</b>
8.1	<b>VERIFICA DEGLI INTERVENTI PROPOSTI.....</b>	<b>13</b>
8.1.1	<b>ANALISI CON IL METODO DELLE LINEE CARATTERISTICHE (ALTE COPERTURE C &gt; 4D) .....</b>	<b>16</b>
8.1.2	<b>ANALISI DELLA STABILITÀ DEL FRONTE (BASSE COPERTURE C &lt; 4D) .....</b>	<b>17</b>

<b>APPALTATORE:</b> <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> <b>HIRPINIA AV</b> <b>SALINI IMPREGILO S.P.A.</b> <b>ASTALDI S.P.A</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A</b> <b>NET ENGINEERING S.P.A.</b> <b>ALPINA S.P.A.</b>						
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> Relazione di calcolo uscita di emergenza	<b>COMMESSA</b> IF28	<b>LOTTO</b> 01	<b>CODIFICA</b> E ZZ CL	<b>DOCUMENTO</b> GN0900 001	<b>REV.</b> B	<b>FOGLIO</b> <b>3 di 19</b>

## 1 PREMESSA

Il presente documento riguarda le analisi, mediante metodi analitici, per la valutazione dell'applicazione delle sezioni tipo descritte nella "Relazione tecnica e linee guida per l'applicazione delle sezioni tipo", con riferimento all'uscita di emergenza pedonale F1 alla pk 3+700 della Galleria Grottaminarda GN04.

Per le analisi di dettaglio delle condizioni dimensionanti e rappresentative dei contesti attesi durante lo scavo, si rimanda alla "Relazione di calcolo generale" per le uscite/accessi di emergenza e innesti su linea" IF2801EZZRHGN0000001.

## 2 SCOPO E CONTENUTI DEL DOCUMENTO

La progettazione delle opere in sotterraneo, condotta secondo il metodo ADECO-RS (Rif. [14]), si è articolata nelle seguenti fasi:

1. Fase conoscitiva: è finalizzata allo studio e all'analisi del contesto geologico e geotecnico in cui sarà realizzata la galleria; i risultati dello studio geologico sono descritti nelle relazioni di caratterizzazione geotecnica Rif. [12] e Rif. [13], a cui si rimanda per l'illustrazione del modello geologico; lo studio geotecnico con la definizione del modello geotecnico di sottosuolo e dei parametri di progetto è illustrata nel Rif. [11].
2. Fase di diagnosi: si esegue la valutazione della risposta deformativa dell'ammasso allo scavo in assenza di interventi di stabilizzazione per la determinazione delle categorie di comportamento (Cap. 7).
3. Fase di terapia: sulla base dei risultati delle precedenti fasi, si individuano le modalità di scavo e gli interventi di stabilizzazione idonei (sezioni tipo) per realizzare l'opera in condizioni di sicurezza (Cap.0). Le soluzioni progettuali sono state analizzate per verificarne l'adeguatezza: vengono illustrati metodi e risultati delle analisi condotte per la verifica della stabilità globale della cavità, per il dimensionamento degli interventi di stabilizzazione.
4. Fase di verifica di dettaglio della soluzione prescelta: nella relazione di calcolo generale Rif. [11] vengono analizzate nel dettaglio le risposte deformative nelle condizioni di scavo più significative e si riportano le verifiche strutturali dei priverestimenti e dei rivestimenti definitivi.
5. Fase di verifica e messa a punto: il progetto è completato dal piano di monitoraggio da predisporre ed attuare nella fase realizzativa, così come descritto nella relazione di monitoraggio 0. Nel piano di monitoraggio sono individuate le grandezze fisiche a cui riferirsi in corso d'opera per controllare la risposta deformativa dell'ammasso al procedere dello scavo, verificare la rispondenza con le previsioni progettuali e mettere a punto le soluzioni progettuali nell'ambito delle variabilità previste in progetto.

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> <b>HIRPINIA AV</b> <b>SALINI IMPREGILO S.P.A.</b> <b>ASTALDI S.P.A.</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A.</b> <b>NET ENGINEERING S.P.A.</b> <b>ALPINA S.P.A.</b>						
PROGETTO ESECUTIVO <b>Relazione di calcolo uscita di emergenza</b>	COMMESSA <b>IF28</b>	LOTTO <b>01</b>	CODIFICA <b>E ZZ CL</b>	DOCUMENTO <b>GN0900 001</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>4 di 19</b>

### 3 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

#### 3.2 LEGGI E NORMATIVE COGENTI

Rif. [1] C.S.LL.PP., Circolare n°617 del 02/02/2009, "Istruzioni per l'applicazione delle "nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al DM 14/01/2008".

#### 3.2 NORMATIVE NON COGENTI E RACCOMANDAZIONI

- Rif. [2] UNI EN 14487-1:2006, "Calcestruzzo proiettato – parte 1: definizioni, specificazioni e conformità";  
 Rif. [3] UNI EN 14487-2:2006, "Calcestruzzo proiettato – parte 2: esecuzione";  
 Rif. [4] UNI EN 206-1 2006, "Calcestruzzo – parte 1: specificazione, prestazione, produzione e conformità".

#### 3.3 PRESCRIZIONI E SPECIFICHE TECNICHE (RFI, ITF)

- Rif. [5] RFI, doc S.OC.S.3870 "Sagome. Profili minimi degli ostacoli" datato Lug 1990;  
 Rif. [6] RFI, doc RFIDINICMAGAGN00001B "Manuale Progettazione Gallerie" datato Dic 2003;  
 Rif. [7] RFI, "Manuale di progettazione delle opere civili" codifica RFIDTCSIPSMAlFS001C, datato 21.12.2018;  
 Rif. [8] ITALFERR, Specifica Tecnica PPA.0002403 "Linee guida per la progettazione geotecnica delle gallerie naturali" datato Dicembre 2015;  
 Rif. [9] RFI, "Capitolato generale tecnico di appalto delle opere civili" codifica RFIDTCSISPIFS001C, datato 21.12.2018.

### 4 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

#### 4.1 DOCUMENTI REFERENZIATI

Sono stati utilizzati come input per il presente documento i seguenti elaborati:

- Rif. [10] "Relazione tecnica generale" IF2801EZZRGGN0000002  
 Rif. [11] "Relazione di calcolo generale" per le uscite/accessi di emergenza e innesti su linea" IF2801EZZRHGN0000001  
 Rif. [12] "Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica generale" IF2801EZZRBOC0201001  
 Rif. [13] "Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica del Flysch Rosso interagente con le Gallerie Grottaminarda e Melito" IF2801EZZRBOC0201002

#### 4.2 DOCUMENTI CORRELATI

- Rif. [14] Lunardi P. (2006). Progetto e Costruzione di Gallerie: Analisi delle deformazioni controllate nelle rocce e nei suoli - ADECO-RS – (Hoepli Ed.).  
 Rif. [15] Bernaud D., Benamar I., Rousset G. (1994). La "nouvelle méthode implicite" pour le calcul des tunnel dans les milieux élastoplastiques et viscoplastiques – Revue Francaise de Géotechnique, N° 68.  
 Rif. [16] Bernaud D., Rousset G. (1992). La « nouvelle méthode implicite » pour l'étude du dimensionnement des tunnels – Revue Francaise de Géotechnique, N° 60.  
 Rif. [17] Tamez E. (1984) "Estabilidad de tuneles excavados en suelos" - Mexican Engineering Academy.  
 Rif. [18] Broms B.B., Bennermark H. (1967). Stability of a clay at a vertical opening. J.Soil Mech. Found. Div. ASCE

<b>APPALTATORE:</b> <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> <b>HIRPINIA AV</b> <b>SALINI IMPREGILO S.P.A.</b> <b>ASTALDI S.P.A.</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A.</b> <b>NET ENGINEERING S.P.A.</b> <b>ALPINA S.P.A.</b>						
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Relazione di calcolo uscita di emergenza</b>	<b>COMMESSA</b> <b>IF28</b>	<b>LOTTO</b> <b>01</b>	<b>CODIFICA</b> <b>E ZZ CL</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>GN0900 001</b>	<b>REV.</b> <b>B</b>	<b>FOGLIO</b> <b>5 di 19</b>

### 4.3 DOCUMENTI SUPERATI

Non sono presenti documenti superati.

## 5 ALLEGATI

Il documento è corredato dai seguenti allegati:

- [Risultati delle analisi in fase di diagnosi - Carrabili. Allegato 1];
- [Risultati delle analisi in fase di terapia - Carrabili Allegato 2];
- [Risultati delle analisi in fase di diagnosi - Pedonali Allegato 3].
- [Risultati delle analisi in fase di terapia. - Pedonali Allegato 4].

## 6 DOCUMENTI PRODOTTI A SUPPORTO

I contenuti della presente relazione sono utilmente completati e arricchiti dai seguenti elaborati di progetto:

“Relazione tecnica e linee guida per l'applicazione delle sezioni tipo” IF2801EZZRGGN0900001B

Rif. [19]

“Relazione di monitoraggio” IF2801EZZRHGN0900120B

Rif. [20]

“Profilo geotecnico/geomeccanico - Finestra F6” IF2801EZZF6GN0901011B

<b>APPALTATORE:</b> <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> <b>HIRPINIA AV</b> <b>SALINI IMPREGILO S.P.A.</b> <b>ASTALDI S.P.A.</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A.</b> <b>NET ENGINEERING S.P.A.</b> <b>ALPINA S.P.A.</b>						
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Relazione di calcolo uscita di emergenza</b>	<b>COMMESSA</b> <b>IF28</b>	<b>LOTTO</b> <b>01</b>	<b>CODIFICA</b> <b>E ZZ CL</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>GN0900 001</b>	<b>REV.</b> <b>B</b>	<b>FOGLIO</b> <b>6 di 19</b>

## 7 FASE DI DIAGNOSI

Nella fase di diagnosi, sulla base del modello geotecnico scaturito dagli studi e dalle indagini effettuati nella fase conoscitiva Rif. [12] e Rif. [13], si procede alla previsione della risposta tensio-deformativa dell'ammasso allo scavo, in assenza di interventi di stabilizzazione. La valutazione della risposta deformativa dell'ammasso allo scavo è condotta con riferimento alle tre categorie di comportamento fondamentali individuate nel metodo ADECO-RS (Rif. [14]) di seguito brevemente richiamate, sulla base delle quali il tracciato sotterraneo è suddiviso in tratte a comportamento deformativo omogeneo.

### 7.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Secondo l'approccio ADECO-RS, la previsione dell'evoluzione dello stato tensionale a seguito dell'apertura di una galleria è possibile attraverso l'analisi dei fenomeni deformativi, che forniscono indicazioni sul comportamento della cavità nei riguardi della stabilità a breve e a lungo termine. Dati sperimentali e analisi teoriche hanno dimostrato che il comportamento della cavità è significativamente condizionato, oltre che dalle caratteristiche geometriche della galleria stessa e dai carichi litostatici, anche dalle caratteristiche di resistenza e di rigidità del nucleo d'avanzamento, inteso come il volume di terreno a monte del fronte di scavo. Se il nucleo non è costituito da materiale sufficientemente rigido e resistente da mantenere in campo elastico il proprio comportamento tensio-deformativo, si sviluppano fenomeni deformativi e plasticizzazioni rilevanti in avanzamento, a cui consegue l'evoluzione verso condizioni di instabilità del fronte e del cavo. Se, invece, il comportamento del nucleo d'avanzamento si mantiene in campo elastico, il nucleo stesso svolge un'azione di precontenimento del cavo, che si mantiene a sua volta in condizioni elastiche, conservando le caratteristiche di massima resistenza del materiale attraversato e quindi configurazioni di stabilità.

Sulla base di tali considerazioni, il comportamento del nucleo-fronte di scavo, al quale è legato quello della cavità, può essere sostanzialmente ricondotto alle seguenti tre categorie:

#### Categoria A: nucleo-fronte stabile

Tale categoria corrisponde alla condizione in cui lo stato tensionale nel terreno al fronte e al contorno della cavità non supera le caratteristiche di resistenza dell'ammasso; in tal caso le deformazioni sono prevalentemente elastiche, di piccola entità e tendono ad esaurirsi rapidamente con la distanza dal fronte. Il fronte di scavo e il cavo sono stabili e quindi non si rendono necessari interventi preventivi di stabilizzazione, se non localizzati e in misura ridotta. Il rivestimento definitivo costituisce il margine di sicurezza per la stabilità a lungo termine.

#### Categoria B: nucleo-fronte stabile a breve termine

Tale categoria corrisponde alla condizione in cui lo stato tensionale nel terreno al fronte e al contorno della cavità, a seguito delle operazioni di scavo, raggiunge la resistenza dell'ammasso. I fenomeni deformativi tensionali sono di tipo elasto-plastico, di maggiore entità rispetto al caso precedente. Nell'ammasso può prodursi una eventuale riduzione delle caratteristiche di resistenza con decadimento verso i parametri residui. La risposta tensio-deformativa può essere opportunamente controllata con adeguati interventi di preconsolidamento del fronte e/o di consolidamento al contorno del cavo. In tal modo si fornisce l'opportuno contenimento all'ammasso perché mantenga un comportamento stabile. Nel caso non si prevedano interventi, lo stato tensio-deformativo può evolvere verso situazioni di instabilità del cavo in fase di realizzazione. Il rivestimento definitivo costituisce il margine di sicurezza per la stabilità a lungo termine.

#### Categoria C: nucleo-fronte instabile

Tale categoria corrisponde alla condizione in cui, superata la resistenza del terreno, i fenomeni deformativi evolvono molto rapidamente in campo plastico, producendo la progressiva instabilità del fronte di scavo e un incremento dell'estensione della zona dell'ammasso decompressa e plasticizzata al contorno della cavità, con rapido decadimento delle caratteristiche meccaniche del materiale. L'espansione della fascia di materiale decompresso al contorno del cavo deve essere contenuta prima dell'arrivo del fronte di scavo, mediante interventi di preconsolidamento in avanzamento, che consentono di creare artificialmente l'effetto arco per far evolvere la risposta tensio-deformativa verso configurazioni di stabilità.

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A.	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatario Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo uscita di emergenza	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ CL	DOCUMENTO GN0900 001	REV. B	FOGLIO 7 di 19

## 7.2 DETERMINAZIONE DELLE CATEGORIE DI COMPORTAMENTO

La valutazione del comportamento deformativo del fronte è stata condotta utilizzando:

- il metodo delle linee caratteristiche (per le tratte ad alta copertura);
- i metodi di analisi della stabilità del fronte (per le tratte a bassa copertura).

Tali valutazioni sono state condotte con riferimento ai valori caratteristici dei parametri geotecnici e delle azioni.

La definizione delle sezioni analizzate è stata eseguita sulla base dei risultati della caratterizzazione geotecnica, in funzione delle condizioni idrauliche previste e della distribuzione delle diverse classi di copertura lungo il tracciato.

### 7.2.1 Analisi con il metodo delle linee caratteristiche (Alte Coperture $C > 4D$ )

Il comportamento delle strutture di rivestimento e dell'ammasso sono studiati separatamente: la curva caratteristica del cavo (o curva di convergenza) rappresenta l'evoluzione della convergenza radiale del cavo al diminuire della tensione radiale agente sul contorno del profilo di scavo, espressa in funzione del tasso di deconfinamento  $\lambda$  con cui è simulato l'effetto dello scavo in avanzamento; la curva caratteristica dei sostegni (o curva di confinamento) rappresenta l'evoluzione della loro convergenza radiale al crescere della pressione radiale agente sugli stessi. L'intersezione tra la curva di convergenza e la curva di confinamento individua il punto di equilibrio rappresentativo dello stato finale della galleria rivestita.

Le ipotesi alla base del metodo rendono lo stesso adatto allo studio di gallerie profonde a sezione circolare.

Per l'ammasso si utilizza un modello costitutivo elasto-plastico, con criterio di resistenza di Mohr-Coulomb.

Ove necessario, per la definizione del comportamento deformativo della galleria in funzione della distanza dal fronte, si è utilizzato il Nuovo Metodo Implicito (NMI) (Rif. [15] e Rif. [16]).

Per il calcolo della convergenza al fronte si utilizzano le soluzioni analitiche per cavità sferiche.

Per le analisi relative alla fase di diagnosi, finalizzate quindi alla sola valutazione del comportamento deformativo dell'ammasso per la determinazione della categoria di comportamento, non viene presa in considerazione l'interazione con i sostegni, per cui la soluzione del problema è ridotta alla valutazione della sola curva caratteristica del fronte (e del cavo) in assenza di interventi.

#### 7.2.1.1 INDIVIDUAZIONE DELLE SEZIONI DI CALCOLO

Nelle tabelle seguenti sono riepilogate le sezioni analizzate con i relativi dati di input utilizzati per il calcolo.

**Tabella 1 – Sezioni analizzate con il metodo delle curve caratteristiche: dati di input - Carrabili**

Analisi	Unità	$Z_0$	$\sigma_0$	$\gamma$	$c'_k$	$\varphi'_k$	$E_k$
	Terreno	[m]	[MPa]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[kPa]	[°]	[MPa]
BNA2_50	BNA2	50	1.13	22.5	210	36	600
BNA2_100	BNA2	100	2.25	22.5	265	31	600
BNA2_150	BNA2	150	3.38	22.5	330	28	600
BNA2_200	BNA2	200	4.50	22.5	520	30.5	670
BNA2_250	BNA2	250	5.88	23.5	810	36	1950
BNA2_300	BNA2	300	7.05	23.5	890	34.5	2000

$Z_0$  = copertura rispetto al piano dei centri della galleria

<b>APPALTATORE:</b> <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> <b>HIRPINIA AV</b> <b>SALINI IMPREGILO S.P.A.</b> <b>ASTALDI S.P.A.</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A.</b> <b>NET ENGINEERING S.P.A.</b> <b>ALPINA S.P.A.</b>						
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Relazione di calcolo uscita di emergenza</b>	<b>COMMESSA</b> <b>IF28</b>	<b>LOTTO</b> <b>01</b>	<b>CODIFICA</b> <b>E ZZ CL</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>GN0900 001</b>	<b>REV.</b> <b>B</b>	<b>FOGLIO</b> <b>8 di 19</b>

$\sigma_0$  = tensione totale iniziale al livello del cavo

$\gamma$  = peso dell'unità di volume dell'ammasso

$c'_k$  = valore caratteristico della coesione efficace dell'ammasso

$\phi'_k$  = valore caratteristico dell'angolo di attrito dell'ammasso

$E_k$  = valore caratteristico del modulo elastico dell'ammasso

Le analisi sono svolte con riferimento allo scavo di una galleria di raggio equivalente  $R_{eq}$  pari a 4.7m.

**Tabella 2 – Sezioni analizzate con il metodo delle curve caratteristiche: dati di input – Pedonali (lato Bari, lato Napoli)**

Analisi	Unità	$Z_0$	$\sigma_0$	$\gamma$	$c'_k$	$\phi'_k$	$E_k$
	Terreno	[m]	[MPa]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[kPa]	[°]	[MPa]
BNA2_200	<i>BNA2</i>	<i>200</i>	4.50	22.5	520	30.5	670
BNA2_250	<i>BNA2</i>	<i>250</i>	5.88	23.5	810	36	1950
BNA2_300	<i>BNA2</i>	<i>300</i>	7.05	23.5	890	34.5	2000
BNA2_350	<i>BNA2</i>	<i>350</i>	8.23	23.5	950	33.5	2000

$Z_0$  = copertura rispetto al piano dei centri della galleria

$\sigma_0$  = tensione totale iniziale al livello del cavo

$\gamma$  = peso dell'unità di volume dell'ammasso

$c'_k$  = valore caratteristico della coesione efficace dell'ammasso

$\phi'_k$  = valore caratteristico dell'angolo di attrito dell'ammasso

$E_k$  = valore caratteristico del modulo elastico dell'ammasso

Le analisi sono svolte con riferimento allo scavo di una galleria di raggio equivalente  $R_{eq}$  pari a 2.5m.

La rappresentazione delle curve caratteristiche delle sezioni di analisi eseguite è riportata integralmente in allegato.

APPALTATORE: Consortio Soci HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A.	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatario Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo uscita di emergenza	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ CL	DOCUMENTO GN0900 001	REV. B	FOGLIO 9 di 19

### 7.2.1.2 RISULTATI DELLE ANALISI

I risultati delle analisi sono stati esaminati considerando lo sviluppo dei fenomeni deformativi e di plasticizzazione nella sezione al fronte e al contorno del cavo, prendendo a riferimento per la definizione della categoria di comportamento il seguente criterio:

**Tabella 3 – Criterio 11**

$u_F/R_{eq}$	$R_{pIF}/R_{eq}$	Classe di comportamento
$\leq 0,5\%$	$\leq 1,5$	B
$> 0,5\%$	$> 1,5$	C

$u_F$  = convergenza al fronte  
 $R_{pIF}$  = raggio plastico al fronte  
 $R_{eq}$  = raggio di scavo equivalente della galleria

Sulla base di queste valutazioni quantitative, unitamente all'analisi critica dei risultati ottenuti rispetto all'affidabilità dei dati di ingresso in termini di parametri di ammasso (rigidezza e resistenza) e condizioni idrauliche al contorno, in relazione ad eventuali variabilità attese lungo il tracciato della galleria e alle possibili conseguenze per comportamenti imprevisti, è stata definita la categoria di comportamento del fronte di scavo.

I risultati delle analisi sono riassunti nella tabella seguente; la rappresentazione delle curve caratteristiche è invece riportata integralmente in Allegato.

**Tabella 4 – Risultati delle analisi – Carrabile**

Sezione di analisi	$u_f$	$u_f/R_{eq}$	$R_{pf}$	$R_{pf}/R_{eq}$	$u$	$R_p$	Cat.
	[m]	[%]	[m]	[-]	[m]	[m]	
BNA2_50	0.006	0.14%	5.02	1.07	0.015	5.86	B
BNA2_100	0.017	0.37%	5.70	1.21	0.045	7.63	B
BNA2_150	0.033	0.71%	6.22	1.32	0.091	9.17	B
BNA2_200	0.033	0.70%	5.93	1.26	0.085	8.05	B
BNA2_250	0.012	0.25%	5.40	1.15	0.028	6.59	B
BNA2_300	0.015	0.31%	5.56	1.18	0.036	6.99	B

**Tabella 5 – Risultati delle analisi – Pedonale**

Sezione di analisi	$u_f$	$u_f/R_{eq}$	$R_{pf}$	$R_{pf}/R_{eq}$	$u$	$R_p$	Cat.
	[m]	[%]	[m]	[-]	[m]	[m]	
BNA2_200	0.018	0.72%	3.22	1.29	0.046	4.36	B
BNA2_250	0.006	0.26%	2.93	1.17	0.015	3.57	B
BNA2_300	0.008	0.32%	3.01	1.21	0.019	3.79	B
BNA2_350	0.010	0.40%	3.10	1.24	0.025	4.01	B

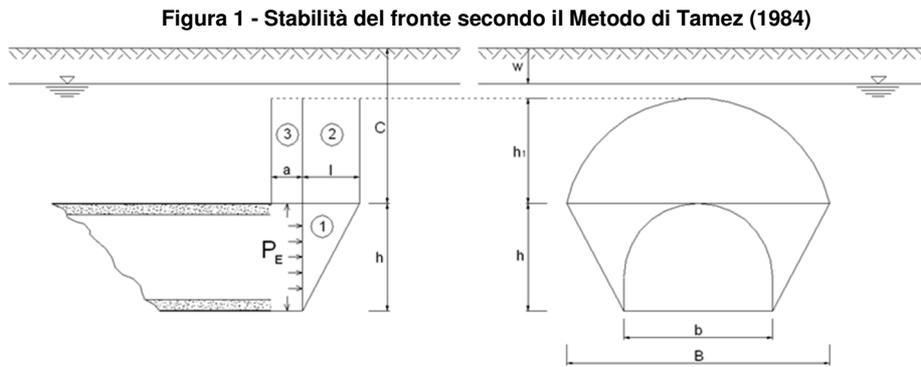
<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA AV                      SALINI IMPREGIO S.P.A.    ASTALDI S.P.A</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING S.P.A.    ALPINA S.P.A.</b>						
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Relazione di calcolo uscita di emergenza</b>	COMMESSA <b>IF28</b>	LOTTO <b>01</b>	CODIFICA <b>E ZZ CL</b>	DOCUMENTO <b>GN0900 001</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>10 di 19</b>

### 7.2.2 Analisi della stabilità del fronte (Basse Coperture C < 4D)

Le analisi di stabilità del nucleo-fronte sono state condotte all'equilibrio limite con il metodo di Tamez (1984) in condizioni drenate e con il metodo di Broms e Bennermark (1969) in condizioni non drenate.

#### Metodo di Tamez & Cornejo (1984)

Il metodo all'equilibrio limite proposto da Tamez (1984, Rif. [17]) è basato sull'ipotesi di risposta del fronte di scavo in condizioni drenate e pertanto il calcolo è eseguito in tensioni efficaci. Si ipotizza che al fronte si formi un meccanismo di rottura approssimabile mediante solidi prismatici, come mostrato in Figura 1, e si valuta il coefficiente di sicurezza FSF rispetto a tale condizione di collasso, come rapporto tra i momenti delle forze resistenti e i momenti delle forze agenti.



Talvolta la stabilità del solo prisma 3, gravante sulla zona di galleria non ancora sostenuta dal rivestimento, può risultare più critica rispetto all'insieme dei tre prismi; è definito in tal senso un secondo coefficiente di sicurezza FS<sub>3</sub>, per cui ai fini della stabilità del fronte si assume il coefficiente di sicurezza minimo tra i due:

$$\begin{aligned}
 A &= \left[ \frac{2(\tau_{m2} - \tau_{m3})}{(1 + a/l)^2} + 2\tau_{m3} \right] \times \frac{h_1}{b} \\
 B &= \left[ \frac{2\tau_{m3}}{(1 + a/l) \times \sqrt{K_A}} \right] \times \frac{h_1}{h} \\
 C &= \left[ \frac{3.4C_1}{(1 + a/l)^2 \times \sqrt{K_A}} \right] \\
 D &= \left[ 1 + \frac{2h}{3Z(1 + a/l)^2} \right] \times (\gamma Z - P_E) \\
 \text{FSF} &= \frac{(A + B + C)}{D} \\
 \text{FS}_3 &= \frac{2\tau_{m3}}{(\gamma Z - P_E)} \times \frac{h_1}{b} \times \left( 1 + \frac{b}{a} \right)
 \end{aligned}$$

Il fronte di scavo è considerato stabile per valori di FSF > 1,5 e il sostegno del fronte può considerarsi non necessario per valori di FSF superiori a 2.

APPALTATORE: Conorzio Soci HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatara Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo uscita di emergenza	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ CL	DOCUMENTO GN0900 001	REV. B	FOGLIO 11 di 19

### 7.2.2.1 INDIVIDUAZIONE DELLE SEZIONI DI CALCOLO

#### FACE STABILITY ANALYSIS



Enrique Tamez Gonzales - Diseño Geotécnico de Túneles (1997)

#### Stratigraphy and geotechnical properties

Overburden layers	$\Delta H$ [m]	$\gamma_n$ [ $\text{kNm}^{-3}$ ]	$c'/c_u$ [kPa]	$\phi'$ [°]
<i>layers ordering: from tunnel crown to ground surface</i>				
BNA3	30.0	20.0	12.5	33.5

Tunnel Face layers	$\Delta H$ [m]	$\gamma_n$ [ $\text{kNm}^{-3}$ ]	$c'/c_u$ [kPa]	$\phi'$ [°]
<i>layers ordering: invert-crown</i>				
BNA3	8.3	20.0	12.5	33.5

#### Excavation cross section and Failure Mechanism geometry

Total Overburden	H [m]	30.0
Surface load	qs [kPa]	0.0
water table level above tunnel invert	H <sub>w</sub> [m]	0.00
Tunnel full face area	A <sub>EXCAV</sub> [m <sup>2</sup> ]	69.4
Tunnel face height	A [m]	8.3
Tunnel face width	D [m]	8.3

Equivalent tunnel diameter	D <sub>eq</sub> [m]	9.40
Free span length	a [m]	1.0

#### Failure Mechanism geometry

Discharge zone height	Z <sub>d</sub> [m]	14.16
Length of prisms in advance	L <sub>p</sub> [m]	4.48

#### Failure Mechanism Prisms - Average geotechnical properties

##### Prisms 1

Average buoyant unit weight	$\gamma_b$ [ $\text{kNm}^{-3}$ ]	20.0
Average saturated unit weight	$\gamma_n$ [ $\text{kNm}^{-3}$ ]	20.0
Average cohesion	c <sub>u</sub> [kPa]	12.5
Average friction angle	$\phi'_E$ [°]	33.5
Coefficient of passive earth pressure	K <sub>p</sub> [-]	3.46

##### Prisms 2-3

Average buoyant unit weight	$\gamma_b$ [ $\text{kNm}^{-3}$ ]	20.0
Average saturated unit weight	$\gamma_n$ [ $\text{kNm}^{-3}$ ]	20.0
Average cohesion within Discharge Zone	c <sub>u</sub> [kPa]	12.5
Average friction angle within Discharge Zone	$\phi'_P$ [°]	33.5
Friction Coefficient within Discharge Zone	K <sub>f</sub> [-]	0.53

#### Prismatic volumes shear resistance and Safety factors

##### Failure Mechanism wedges - Effective stresses

Eff. vert. stress at discharge-zone top	$\sigma'_{vd}$ [kPa]	317
Eff. vertical stress at 1/3 discharge zone	$\sigma'_{vd}$ [kPa]	211
Eff. vertical stress at 2/3 discharge zone	$\sigma'_{vd}$ [kPa]	106
Undist. eff. vertical stress at crown	$\sigma'_v$ [kPa]	600
Undist. eff. vert. stress at tunnel springline	$\sigma'_{v0}$ [kPa]	683

##### Pore Pressure distribution

pore pressure at discharge-zone top	u <sub>d</sub> [kPa]	0
pore pressure at 1/3 discharge-zone	u <sub>d1/3</sub> [kPa]	0
pore pressure at 2/3 discharge-zone	u <sub>d2/3</sub> [kPa]	0
pore pressure at tunnel springline	u <sub>o</sub> [kPa]	0
pore pressure at tunnel invert	u <sub>i</sub> [kPa]	0

##### Failure Mechanism wedges - Unit strengths

Face wedge unit strength (prism 1)	q [kPa]	0
Unit shear strength (prisms 2)	s <sub>m2</sub> [kPa]	62.5
Unit shear strength (prism 3)	s <sub>m3</sub> [kPa]	62.5

Tunnel-face global stability  
(M<sub>ΣFR</sub>/M<sub>ΣFA</sub>)

FS<sub>g</sub> 0.90

Crown-wedge stability (vertical sliding)  
(Shear stresses elastic field)

FS<sub>c</sub> 3.31

<b>APPALTATORE:</b> <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> <b>HIRPINIA AV</b> <b>SALINI IMPREGILO S.P.A.</b> <b>ASTALDI S.P.A.</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A.</b> <b>NET ENGINEERING S.P.A.</b> <b>ALPINA S.P.A.</b>						
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Relazione di calcolo uscita di emergenza</b>	<b>COMMESSA</b> <b>IF28</b>	<b>LOTTO</b> <b>01</b>	<b>CODIFICA</b> <b>E ZZ CL</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>GN0900 001</b>	<b>REV.</b> <b>B</b>	<b>FOGLIO</b> <b>12 di 19</b>

### 7.2.2.2 RISULTATI DELLE ANALISI

Per l'analisi eseguita con il metodo di Tamez i risultati sono stati esaminati in funzione dei valori dei coefficienti di sicurezza FSF e FS<sub>3</sub> calcolati secondo quanto riportato nel paragrafo precedente. In particolare, per la definizione della categoria di comportamento si è preso a riferimento il seguente criterio:

**Tabella 6 – Criterio per la definizione della categoria di comportamento**

FS = min (FSF; FS3)	<u>Classe di comportamento</u>
$\geq 2$	<u>A</u>
$< 2 \text{ e } \geq 1,5$	<u>B</u>
$< 1,5$	<u>C</u>

Dall'analisi in BNA3 con una copertura di 30 metri si ottiene un comportamento di tipo C che corrisponde a deformazioni plastiche, quindi un comportamento instabile.

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> <b>HIRPINIA AV</b> <b>SALINI IMPREGILO S.P.A.</b> <b>ASTALDI S.P.A.</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A.</b> <b>NET ENGINEERING S.P.A.</b> <b>ALPINA S.P.A.</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
PROGETTO ESECUTIVO <b>Relazione di calcolo uscita di emergenza</b>	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ CL	DOCUMENTO GN0900 001	REV. B	FOGLIO 13 di 19

## 8 FASE DI TERAPIA

Nel presente capitolo sono definiti gli interventi necessari per garantire la stabilità del cavo a breve e a lungo termine, in accordo con le indicazioni provenienti dalla fase conoscitiva e dall'analisi del comportamento allo scavo in assenza di interventi (fase di diagnosi).

### 8.1 VERIFICA DEGLI INTERVENTI PROPOSTI

Rimandando alla Rif. [11] per ulteriori dettagli sulle sezioni tipo previste per questa galleria, si riportano nella seguente tabella le caratteristiche principali delle sezioni tipo adottate in questa finestra:

Tabella 7 – Sintesi caratteristiche sezioni di scavo e consolidamento – Sezioni carrabili

Sezione Tipo	Area di scavo media	Lunghezza campo	Interventi di precontenimento e presostegno		
			interventi al fronte	interventi al contorno	drenaggi
[-]	[m <sup>2</sup> ]	[m]	[-]	[-]	[-]
<b>B0V</b>	71.8	10.00	20±20% elementi strutturali in VTR, L=18.00m sovrapposizione 8m, cementati con miscele cementizie	23 tubi in acciaio $\phi$ 127mm sp.10mm L=14m, sovrapposizione 4.0m, cementati con miscele cementizie, passo 0.40m	2+2 tubi microfessurati in PVC L=30m sovrapposizione 10m
<b>B2</b>	68.7	10.00	30±20% elementi strutturali in VTR, L=18m sovrapposizione 10 m, cementati con miscele cementizie	-	2+2 tubi microfessurati in PVC L=30m sovrapposizione 10m
<b>B2R</b>	72.9	10.00	30±20% elementi strutturali in VTR, L=18m sovrapposizione 10 m, cementati con miscele cementizie		2+2 tubi microfessurati in PVC L=20m sovrapposizione 10m
<b>C1V</b>	76.03	10.00	11 colonne in jet-grouting $\phi$ 600 L=18.00m perforazione a vuoto 1.50m (sovrapp. min. 8.00m) ±20%	49 colonne in jet-grouting $\phi$ 600 l=16.00m perforazione a vuoto 1.50m, passo 0.45m (sovrapp. min. 6.00m) ±20%	2+2 tubi microfessurati in pvc l=30m (sovrapp. min. 10m)
<b>C2</b>	72.22	10.00	40 elementi in VTR cementati con miscele cementizie espansive l=20m (sovrapp. min. 10m) ±20%	39 elementi in vtr cementati con miscele cementizie espansive l=16m (sovrapp. min. 6m) passo 0.50m ±20%	2+2 tubi microfessurati in PVC L=20m sovrapposizione 10m

APPALTATORE: Consortio Soci HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatario Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo uscita di emergenza	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ CL	DOCUMENTO GN0900 001	REV. B	FOGLIO 14 di 19

Tabella 8 – Sintesi caratteristiche sezioni di scavo e consolidamento – Sezioni pedonali

Sezione Tipo	Area di scavo media [m <sup>2</sup> ]	Lunghezza campo [m]	Interventi di precontenimento e presostegno		
			interventi al fronte [-]	interventi al contorno [-]	drenaggi [-]
A2	21.06	-		6/7 ±20% bulloni eventuali Ø24 (o tipo swellex), ad ancoraggio continuo disposti in raggiera alternate, l=3m, passo long.=1.2m passo trasv.=1.2m	4(2+2) tubi microfessurati in pvc l=24m (sovrapp. min. 8m)
B0V	24.64	8	13 elementi in vtr cementati con miscele cementizie l=12.00m (sovrapp. min. 4m) ±20%	n° 13 tubi in acciaio Ø127mm sp.10mm l=12m, (sovrapp. min. 4m) cementati con miscele cementizie p=0.40m ±20%	4(2+2) tubi microfessurati in pvc l=24m (sovrapp. min. 8m)
B2	20.61	8	14 elementi in vtr cementati con miscele cementizie l=14m (sovrapp. min. 6m) ±20%		4(2+2) tubi microfessurati in pvc l=24m (sovrapp. min. 8m)
C2	20.61	7	17 elementi in vtr cementati con miscele cementizie l=14m (sovrapp. min. 7m) ±20%	25 elementi in vtr cementati con miscele cementizie espansive l=12m (sovrapp. min. 5m) passo 0.40m ±20%	6 (3+3) elementi in vtr cementati con miscele cementizie espansive l=12m (sovrapp. min. 5m)

Si riportano nel seguito le analisi di terapia con le sezioni tipo prescelte.

Si rimanda alla "Relazione di calcolo generale" IF2801EZZRHGN0000001B per la verifica strutturale delle sezioni di scavo, della sezione allargata, del camerone e dell'innesto sulla galleria di linea.

#### VTR AL FRONTE

Gli interventi di consolidamento del fronte, realizzati mediante elementi strutturali in VTR, sono simulati mediante un incremento di coesione equivalente del fronte ( $\Delta c$ ) valutato attraverso il calcolo della pressione equivalente al fronte ( $\sigma_3$ ) determinata sulla base del valore più basso tra resistenza a trazione e resistenza a sfilamento dei singoli elementi, secondo le seguenti relazioni:

$$\Delta c = \frac{1}{2} \sqrt{K_p} \cdot \sigma_3^{VTR}$$

con:

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A.	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatario Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo uscita di emergenza	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ CL	DOCUMENTO GN0900 001	REV. B	FOGLIO 15 di 19

$$K_p = \frac{1 + \operatorname{sen}\varphi}{1 - \operatorname{sen}\varphi}$$

$$\sigma_3^{VTR} = \text{minimo} (\sigma_{3,A}^{VTR}, \sigma_{3,B}^{VTR}, \sigma_{3,A}^{VTR}, \sigma_{3,B}^{VTR})$$

$$\sigma_{3,A}^{VTR} = \frac{\tau_{b,k} \cdot L_A \cdot p_A}{A_i}$$

$$\sigma_{3,B}^{VTR} = \frac{f_{t,k} \cdot A_T}{A_i}$$

dove:

$\tau_{b,k}$  = tensione di aderenza all'interfaccia con il terreno,

$L_A$  = lunghezza utile dell'elemento,

$p_A$  = perimetro dell'interfaccia con il terreno,

$f_{t,k}$  = resistenza a trazione dell'elemento in VTR,

$A_T$  = sezione resistente a trazione dell'elemento in VTR

$A_i$  = area di influenza del singolo elemento di consolidamento.

### JET-GROUTING AL FRONTE

Per gli interventi di precontenimento al fronte con colonne in jet-grouting (sezione tipo C1), l'effetto è simulato agendo direttamente sulle proprietà di rigidità e resistenza dell'ammasso, mediando sull'area di scavo i parametri del terreno naturale e delle colonne trattate:

$$\Delta c'_k \cdot A_{\text{jet}} + c'_k \cdot A_{\text{terr}} = c^*_k \cdot A^*$$

dove:

$\Delta c'_k$  = coesione del materiale trattato;

$A_{\text{jet}}$  = area delle colonne in jet-grouting;

$c'_k$  = coesione del terreno non interessato dal trattamento;

$A_{\text{terr}}$  = area di terreno non interessato dal trattamento;

$c^*_k$  = coesione equivalente;

$A^*$  = area totale del fronte.

La coesione ( $\Delta c'_k$ ) del materiale trattato è stata calcolata a partire dalla resistenza a compressione monoassiale attribuibile al materiale consolidato ( $\sigma_{c,\text{jet}}$ ), ipotizzando di mantenere immutato l'angolo d'attrito del materiale naturale, attraverso la seguente relazione:

$$\sigma_{c,\text{jet}} = (2 \cdot \Delta c'_k \cdot \cos \varphi'_k) / (1 - \operatorname{sen} \varphi'_k)$$

I valori di resistenza a compressione monoassiale ( $\sigma_{c,\text{jet}}$ ) attribuiti al materiale consolidato sono stati ricavati da dati sperimentali di letteratura per formazioni analoghe a quelle di interesse.

### CONSOLIDAMENTI AL CONTORNO

Il consolidamento al contorno è simulato nella verifica di stabilità del fronte raddoppiando modulo elastico e coesione del terreno nella zona interessata dal trattamento.

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A.	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo uscita di emergenza	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ CL	DOCUMENTO GN0900 001	REV. B	FOGLIO 16 di 19

## JET-GROUTING AL CONTORNO

Per gli interventi di precontenimento al contorno l'effetto della coronella in jet grouting viene tenuto in conto nella verifica di stabilità del fronte incrementando il valore di coesione a 600kPa e mantenendo immutato l'angolo d'attrito del materiale naturale.

Le valutazioni relative all'effetto dei consolidamenti sono condotte a partire dai parametri geotecnici caratteristici e adottando coefficienti parziali unitari sulle resistenze dei materiali; agli incrementi di coesione equivalente calcolati come sopra descritto può quindi essere applicato lo stesso coefficiente parziale previsto per la coesione dell'ammasso.

### 8.1.1 Analisi con il metodo delle linee caratteristiche (Alte Coperture $C > 4D$ )

Si riportano i risultati in termini deformativi e di raggio plastico, tenendo conto degli interventi al fronte delle diverse sezioni tipo, così come definito nella seguente tabella:

Tabella 9 – Interventi di consolidamento al fronte con VTR – Carrabili

Sezione	Tipologia	Numero	Lunghezza	Diametro	Aderenza terreno-malta	Sovrapposizione	$\Delta c_d$
	[-]	[-]	[m]	[m]	[kPa]	[m]	[kPa]
B2	VTR	30	18	0.11	100	10	63
B2R	VTR	30	18	0.11	100	10	59

Tabella 10 – Interventi di consolidamento al fronte con VTR – Pedonali

Sezione	Tipologia	Numero	Lunghezza	Diametro	Aderenza terreno-malta	Sovrapposizione	$\Delta c_d$
	[-]	[-]	[m]	[m]	[kPa]	[m]	[kPa]
B2	VTR	14	14	0.11	100	7	70

Tabella 11 – Risultati delle analisi in presenza di interventi – Carrabili

Sezione di analisi	$u_F$	$u_F/R_{eq}$	$R_{PF}$	$R_{PF}/R_{eq}$
	[m]	[%]	[m]	[-]
VALORI CARATT. – BNA2 50 – (B2)	0.005	0.11%	4.72	1.03
VALORI CARATT. – BNA2 100 – (B2)	0.014	0.30%	5.38	1.17
VALORI CARATT. – BNA2 150 – (B2)	0.029	0.62%	6.12	1.34
VALORI CARATT. – BNA2 200 – (B2R)	0.030	0.63%	5.76	1.22
VALORI CARATT. – BNA2 250 – (B2R)	0.011	0.23%	5.31	1.13
VALORI CARATT. – BNA2 300 – (B2R)	0.014	0.29%	5.47	1.16

$u_F$  = convergenza al fronte

$R_{PF}$  = raggio plastico al fronte

$R_P$  = raggio plastico finale al contorno del cavo

$R_{eq}$  = raggio di scavo equivalente della galleria

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A.	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatario Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo uscita di emergenza	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ CL	DOCUMENTO GN0900 001	REV. B	FOGLIO 17 di 19

**Tabella 12 – Risultati delle analisi in presenza di interventi – Pedonali**

Sezione di analisi	$u_F$	$u_F/R_{eq}$	$R_{PF}$	$R_{PF}/R_{eq}$
	[m]	[%]	[m]	[-]
VALORI CARATT. – BNA2 200 – (B2)	0.016	0.61%	3.11	1.21
VALORI CARATT. – BNA2 250 – (B2)	0.006	0.23%	2.87	1.12
VALORI CARATT. – BNA2 300 – (B2)	0.007	0.29%	2.96	1.16
VALORI CARATT. – BNA2 350 – (B2)	0.009	0.37%	3.04	1.19
$u_F$ = convergenza al fronte $R_{PF}$ = raggio plastico al fronte $R_P$ = raggio plastico finale al contorno del cavo $R_{eq}$ = raggio di scavo equivalente della galleria				

**Tabella 13 – Risultati delle analisi in presenza di interventi – Carrabili – A2M2**

Sezione di analisi	$u_F$	$u_F/R_{eq}$	$R_{PF}$	$R_{PF}/R_{eq}$
	[m]	[%]	[m]	[-]
VALORI RIDOTTI – BNA2 300 – (B2R)	0.02	0.39%	6.14	1.30
$u_F$ = convergenza al fronte $R_{PF}$ = raggio plastico al fronte $R_P$ = raggio plastico finale al contorno del cavo $R_{eq}$ = raggio di scavo equivalente della galleria				

**Tabella 14 – Risultati delle analisi in presenza di interventi – Pedonali – A2M2**

Sezione di analisi	$u_F$	$u_F/R_{eq}$	$R_{PF}$	$R_{PF}/R_{eq}$
	[m]	[%]	[m]	[-]
VALORI RIDOTTI – BNA2 350 – (B2)	0.01	0.50%	3.45	1.35
$u_F$ = convergenza al fronte $R_{PF}$ = raggio plastico al fronte $R_P$ = raggio plastico finale al contorno del cavo $R_{eq}$ = raggio di scavo equivalente della galleria				

### 8.1.2 Analisi della stabilità del fronte (Basse Coperture $C < 4D$ )

Si riportano le verifiche di stabilità del fronte aggiornate, tenendo conto degli interventi al fronte e al contorno, ove presenti. Le analisi di stabilità del fronte e del cavo sono mirate alla valutazione dello sviluppo di possibili meccanismi di collasso, con o senza propagazione verso la superficie, o di deformazioni e spostamenti elevati al contorno ed in superficie. Trattandosi di una verifica per uno stato limite ultimo di tipo GEO, si è utilizzato l'Approccio 1- Combinazione 2 (A2+M2+R2), con  $R2 = 1$ .

La verifica della stabilità del fronte è condotta applicando i coefficienti parziali sui parametri di resistenza dell'ammasso e valutando il risultato della verifica in funzione della formulazione del particolare metodo di calcolo adottato (si può fare riferimento ad esempio, al fattore di stabilità, o alla pressione di equilibrio sul fronte, o al coefficiente di sicurezza globale o a sviluppo di elevate deformazioni/plasticizzazioni al fronte).

APPALTATORE: Conorzio Soci HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A.	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatara Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo uscita di emergenza	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ CL	DOCUMENTO GN0900 001	REV. B	FOGLIO 18 di 19

## FACE STABILITY ANALYSIS

## SEZIONE TIPO C1V



Enrique Tamez Gonzales - Diseño Geotécnico de Túneles (1997)

## Stratigraphy and geotechnical properties

Overburden layers	$\Delta H$ [m]	$\gamma_n$ [kNm <sup>-3</sup> ]	$c'/c_u$ [kPa]	$\phi'$ [°]
<i>layers ordering: from tunnel crown to ground surface</i>				
Coronella Je	1.0	20.0	600.0	33.5
BNA3	29.0	20.0	12.5	33.5

Tunnel Face layers	$\Delta H$ [m]	$\gamma_n$ [kNm <sup>-3</sup> ]	$c'/c_u$ [kPa]	$\phi'$ [°]
<i>layers ordering: invert-crown</i>				
Coronella Je	8.3	20.0	234.9	33.5

## Excavation cross section and Failure Mechanism geometry

Total Overburden	H [m]	30.0
Surface load	$q_s$ [kPa]	0.0
water table level above tunnel invert	$H_w$ [m]	0.00
Tunnel full face area	$A_{EXCAV}$ [m <sup>2</sup> ]	69.4
Tunnel face height	A [m]	8.3
Tunnel face width	D [m]	8.3

Equivalent tunnel diameter	$D_{eq}$ [m]	9.40
Free span length	a [m]	1.0

## Failure Mechanism geometry

Discharge zone height	$Z_d$ [m]	14.16
Length of prisms in advance	$L_p$ [m]	4.48

## Failure Mechanism Prisms - Average geotechnical properties

Prisms 1		
Average buoyant unit weight	$\gamma_b$ [kNm <sup>-3</sup> ]	20.0
Average saturated unit weight	$\gamma_n$ [kNm <sup>-3</sup> ]	20.0
Average cohesion	$c_u$ [kPa]	234.9
Average friction angle	$\phi'_E$ [°]	33.5
Coefficient of passive earth pressure	$K_p$ [-]	3.46

Prisms 2-3		
Average buoyant unit weight	$\gamma_b$ [kNm <sup>-3</sup> ]	20.0
Average saturated unit weight	$\gamma_n$ [kNm <sup>-3</sup> ]	20.0
Average cohesion within Discharge Zone	$c_u$ [kPa]	54.0
Average friction angle within Discharge Zone	$\phi'_p$ [°]	33.5
Friction Coefficient within Discharge Zone	$K_f$ [-]	0.53

## Prismatic volumes shear resistance and Safety factors

## Failure Mechanism wedges - Effective stresses

Eff. vert. stress at discharge-zone top	$\sigma'_{vd}$ [kPa]	317
Eff. vertical stress at 1/3 discharge zone	$\sigma'_{vd}$ [kPa]	211
Eff. vertical stress at 2/3 discharge zone	$\sigma'_{vd}$ [kPa]	106
Undist. eff. vertical stress at crown	$\sigma'_v$ [kPa]	600
Undist. eff. vert. stress at tunnel springline	$\sigma'_{v0}$ [kPa]	683

## Pore Pressure distribution

pore pressure at discharge-zone top	$u_d$ [kPa]	0
pore pressure at 1/3 discharge-zone	$u_{d1/3}$ [kPa]	0
pore pressure at 2/3 discharge-zone	$u_{d2/3}$ [kPa]	0
pore pressure at tunnel springline	$u_o$ [kPa]	0
pore pressure at tunnel invert	$u_i$ [kPa]	0

## Failure Mechanism wedges - Unit strenghts

Face wedge unit strength (prism 1)	$q$ [kPa]	600
Unit shear strength (prisms 2)	$s_{m2}$ [kPa]	119.9
Unit shear strength (prism 3)	$s_{m3}$ [kPa]	84.6

Tunnel-face global stability ( $M_{\Sigma F_R} / M_{\Sigma F_A}$ )	$FS_g$	3.27
---	--------	------

Crown-wedge stability (vertical sliding) (Shear stresses elastic field)	$FS_c$	4.48
--	--------	------

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A.	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.						
PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo uscita di emergenza	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ CL	DOCUMENTO GN0900 001	REV. B	FOGLIO 19 di 19

## FACE STABILITY ANALYSIS

## SEZIONE TIPO C1V



Enrique Tamez Gonzales - Diseño Geotécnico de Túneles (1997)

## Stratigraphy and geotechnical properties

Overburden layers	$\Delta H$ [m]	$\gamma_n$ [kNm <sup>-3</sup> ]	$c'/c_u$ [kPa]	$\phi'$ [°]
<i>layers ordering: from tunnel crown to ground surface</i>				
Coronella Je	1.0	20.0	480.0	27.9
BNA3	29.0	20.0	10	27.9

Tunnel Face layers	$\Delta H$ [m]	$\gamma_n$ [kNm <sup>-3</sup> ]	$c'/c_u$ [kPa]	$\phi'$ [°]
<i>layers ordering: invert-crown</i>				
Coronella Je	8.3	20.0	208.5	27.9

## Excavation cross section and Failure Mechanism geometry

Total Overburden	H [m]	30.0
Surface load	qs [kPa]	0.0
water table level above tunnel invert	H <sub>w</sub> [m]	0.00
Tunnel full face area	A <sub>EXCAV</sub> [m <sup>2</sup> ]	69.4
Tunnel face height	A [m]	8.3
Tunnel face width	D [m]	8.3

Equivalent tunnel diameter	D <sub>eq</sub> [m]	9.40
Free span length	a [m]	1.0

## Failure Mechanism geometry

Discharge zone height	Z <sub>d</sub> [m]	14.16
Length of prisms in advance	L <sub>p</sub> [m]	5.02

## Failure Mechanism Prisms - Average geotechnical properties

Prisms 1		
Average buoyant unit weight	$\gamma_b$ [kNm <sup>-3</sup> ]	20.0
Average saturated unit weight	$\gamma_n$ [kNm <sup>-3</sup> ]	20.0
Average cohesion	c <sub>u</sub> [kPa]	208.5
Average friction angle	$\phi'_E$ [°]	27.9
Coefficient of passive earth pressure	K <sub>p</sub> [-]	2.76

Prisms 2-3		
Average buoyant unit weight	$\gamma_b$ [kNm <sup>-3</sup> ]	20.0
Average saturated unit weight	$\gamma_n$ [kNm <sup>-3</sup> ]	20.0
Average cohesion within Discharge Zone	c <sub>u</sub> [kPa]	43.2
Average friction angle within Discharge Zone	$\phi'_p$ [°]	27.9
Friction Coefficient within Discharge Zone	K <sub>f</sub> [-]	0.64

## Prismatic volumes shear resistance and Safety factors

## Failure Mechanism wedges - Effective stresses

Eff. vert. stress at discharge-zone top	$\sigma'_{vd}$ [kPa]	317
Eff. vertical stress at 1/3 discharge zone	$\sigma'_{vd}$ [kPa]	211
Eff. vertical stress at 2/3 discharge zone	$\sigma'_{vd}$ [kPa]	106
Undist. eff. vertical stress at crown	$\sigma'_v$ [kPa]	600
Undist. eff. vert. stress at tunnel springline	$\sigma'_{v0}$ [kPa]	683

## Pore Pressure distribution

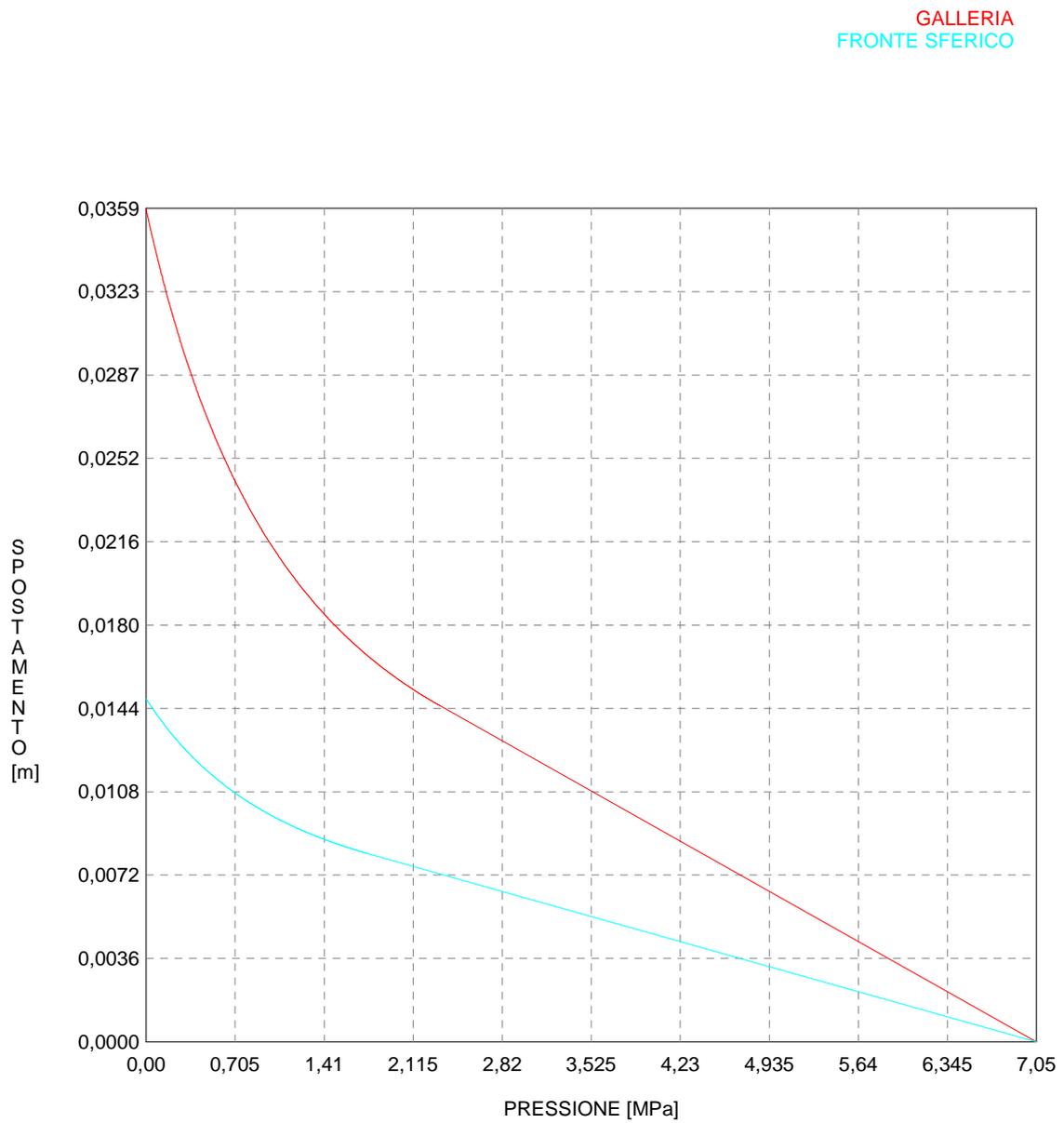
pore pressure at discharge-zone top	u <sub>d</sub> [kPa]	0
pore pressure at 1/3 discharge-zone	u <sub>d1/3</sub> [kPa]	0
pore pressure at 2/3 discharge-zone	u <sub>d2/3</sub> [kPa]	0
pore pressure at tunnel springline	u <sub>o</sub> [kPa]	0
pore pressure at tunnel invert	u <sub>i</sub> [kPa]	0

## Failure Mechanism wedges - Unit strengths

Face wedge unit strength (prism 1)	q [kPa]	600
Unit shear strength (prism 2)	s <sub>m2</sub> [kPa]	115.3
Unit shear strength (prism 3)	s <sub>m3</sub> [kPa]	81.4

Tunnel-face global stability (MΣ <sub>F<sub>R</sub></sub> /MS <sub>F<sub>A</sub></sub> )	FS <sub>g</sub>	2.78
--	-----------------	------

Crown-wedge stability (vertical sliding) (Shear stresses elastic field)	FS <sub>c</sub>	4.30
---	-----------------	------



BNA2300\_DIA.OUT

```

#####
#####          CALCOLO GALLERIE CON METODO
#####          CONVERGENZA-CONFINAMENTO
###           SOLUTORE ANALITICO
###
###   #####   ##   ##   ##
###   #####   ##   ##   ##
###   #####   ##   ##   ##
#####          ##   ##   ##   ##
#####          #####   #####
#####          ##

```

VERSIONE 4 (2003)

BNA2\_300\_DIA

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  $N_s$ )

5 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da

trasformazione omotetica)

D A T I   A N A L I S I

R galleria [m] ..... 4.72000

PARAMETRI GEOTECNICI -----

Tensione originaria [MPa] ..... 7.05000

Modulo di Young [MPa] ..... 2000.00000

Coefficiente di Poisson ..... .30000

Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] . . . . .0.00000

RESISTENZA ROCCIA

Coesione picco [MPa] ..... .89000

Angolo attrito picco [°] ..... 34.50000

Coesione residua [MPa] ..... .89000

Angolo attrito residuo [MPa] ..... 34.50000

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] .... .035929

Raggio plastico galleria non sostenuta [m] ..... 6.994370

Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] ..... .000000

Spostamento radiale fronte sferico [m] ..... .014802

Spostamento radiale fronte (correl.  $N_s$ ) [m] ..... .005450

Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ... .010419

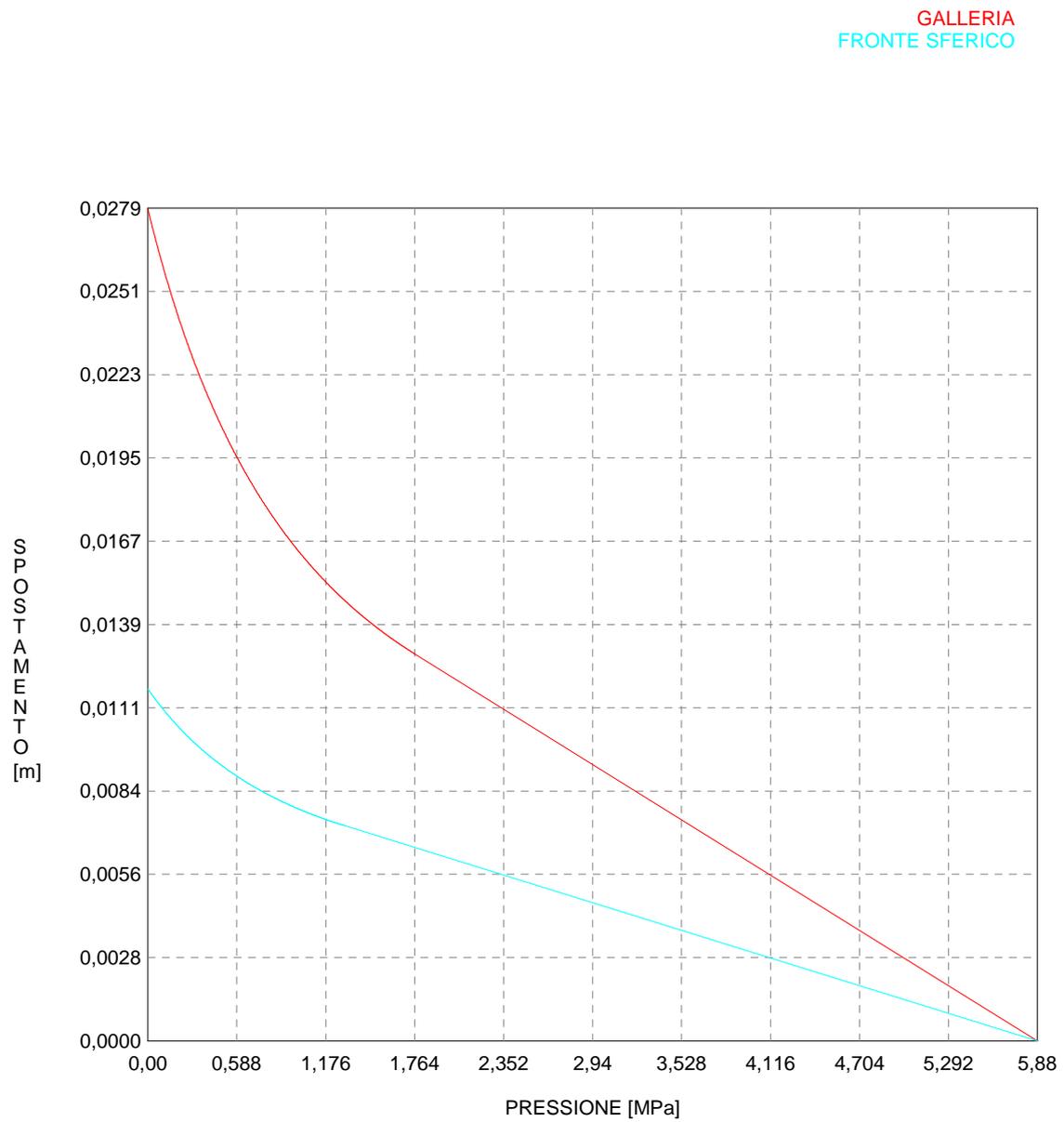
Raggio plastico fronte sferico [m] ..... 5.558670

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] ..... .035929

Raggio plastico galleria fine calcolo [m] ..... 6.994370



BNA2250\_DIA.OUT

```

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

```

CALCOLO GALLERIE CON METODO  
 CONVERGENZA-CONFINAMENTO  
 SOLUTORE ANALITICO

VERSIONE 4 (2003)

BNA2\_250\_DIA

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  $N_s$ )
- 5 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da trasformazione omotetica)

D A T I A N A L I S I

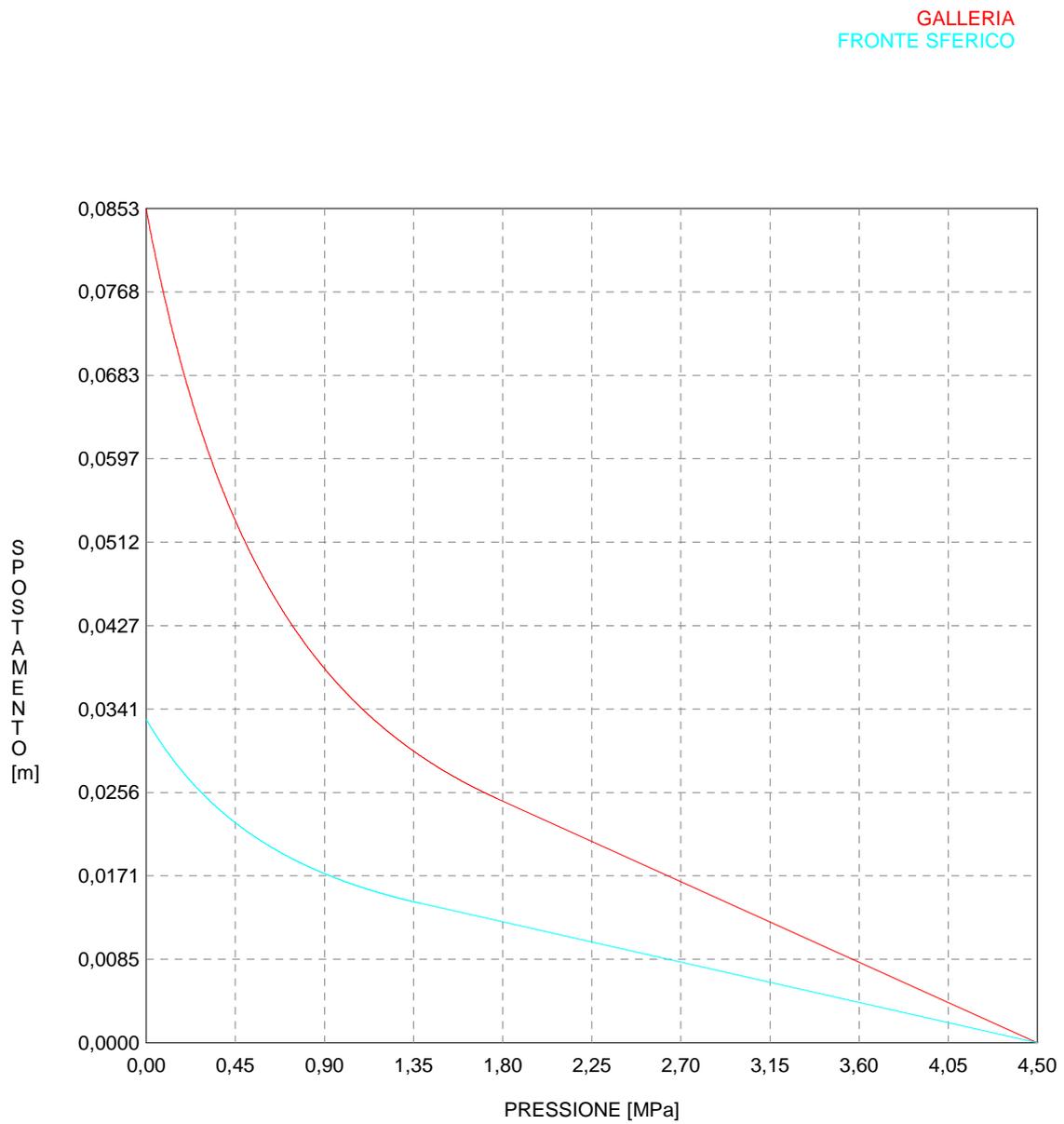
R galleria [m] .....	4.72000
PARAMETRI GEOTECNICI -----	
Tensione originaria [MPa] .....	5.88000
Modulo di Young [MPa] .....	1950.00000
Coefficiente di Poisson .....	.30000
Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] .	.00000
RESISTENZA ROCCIA	
Coesione picco [MPa] .....	.81000
Angolo attrito picco [°] .....	36.00000
Coesione residua [MPa] .....	.81000
Angolo attrito residuo [MPa] .....	36.00000
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] ....	.027868
Raggio plastico galleria non sostenuta [m] .....	6.586403
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] .....	.000000
Spostamento radiale fronte sferico [m] .....	.011786
Spostamento radiale fronte (correl. $N_s$ ) [m] .....	.005046
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ...	.008082
Raggio plastico fronte sferico [m] .....	5.403454

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] .....	.027868
Raggio plastico galleria fine calcolo [m] .....	6.586403



BNA2200\_DIA.OUT

```

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

```

CALCOLO GALLERIE CON METODO  
 CONVERGENZA-CONFINAMENTO  
 SOLUTORE ANALITICO

VERSIONE 4 (2003)

BNA2\_200\_DIA

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  $N_s$ )

5 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da

trasformazione omotetica)

D A T I A N A L I S I

R galleria [m] ..... 4.72000

PARAMETRI GEOTECNICI -----

Tensione originaria [MPa] ..... 4.50000

Modulo di Young [MPa] ..... 670.00000

Coefficiente di Poisson ..... .30000

Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] . . . . .0.00000

RESISTENZA ROCCIA

Coesione picco [MPa] ..... .52000

Angolo attrito picco [°] ..... 30.50000

Coesione residua [MPa] ..... .52000

Angolo attrito residuo [MPa] ..... 30.50000

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] .... .085317

Raggio plastico galleria non sostenuta [m] ..... 8.046587

Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] ..... .000000

Spostamento radiale fronte sferico [m] ..... .033102

Spostamento radiale fronte (correl.  $N_s$ ) [m] ..... .008777

Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ... .024742

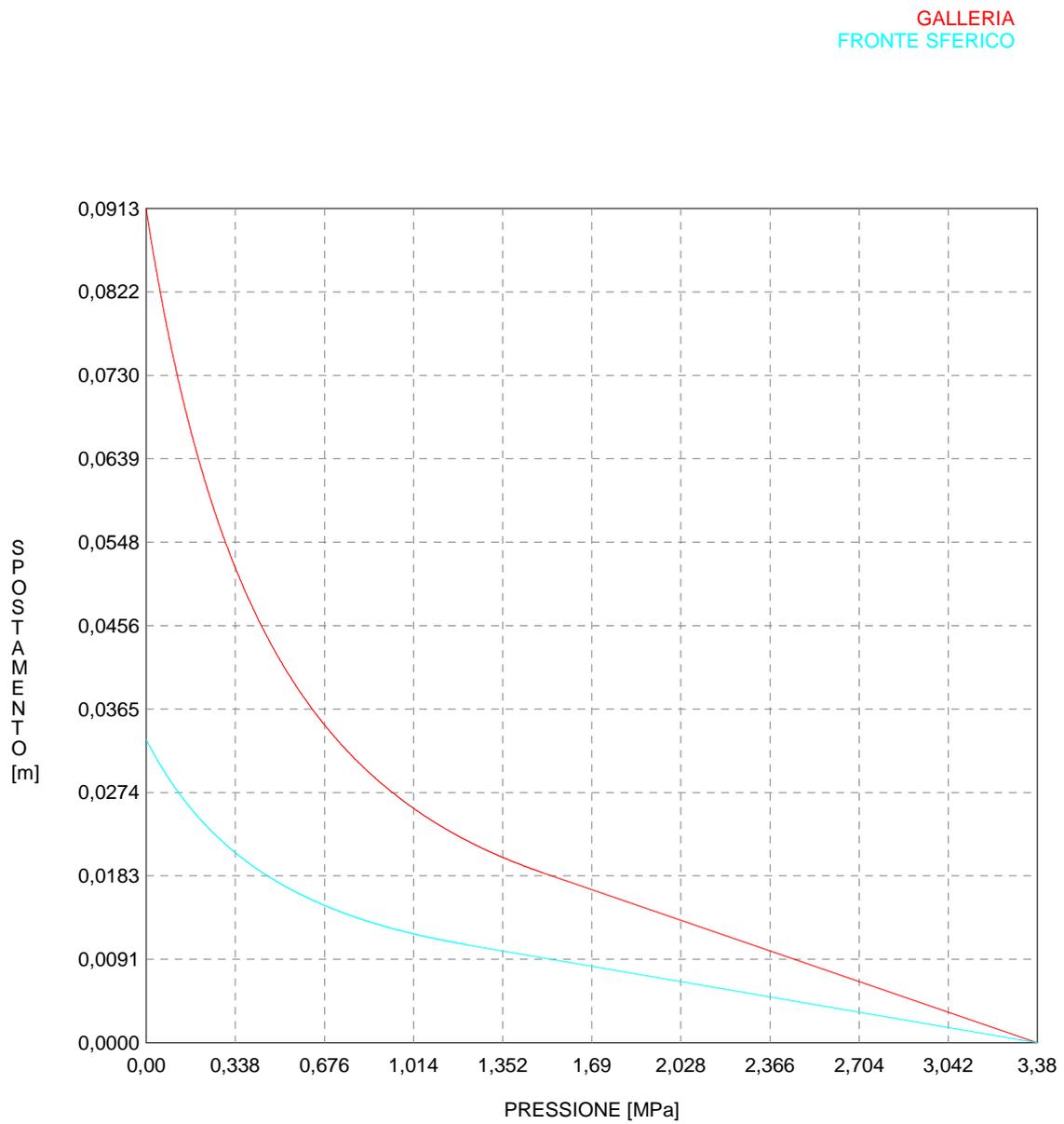
Raggio plastico fronte sferico [m] ..... 5.933496

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] ..... .085317

Raggio plastico galleria fine calcolo [m] ..... 8.046587



BNA2150\_DIA.OUT

```

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

```

CALCOLO GALLERIE CON METODO  
CONVERGENZA-CONFINAMENTO  
SOLUTORE ANALITICO

VERSIONE 4 (2003)

BNA2\_150\_TER

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  $N_s$ )  
 5 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da  
 trasformazione omotetica)

D A T I   A N A L I S I

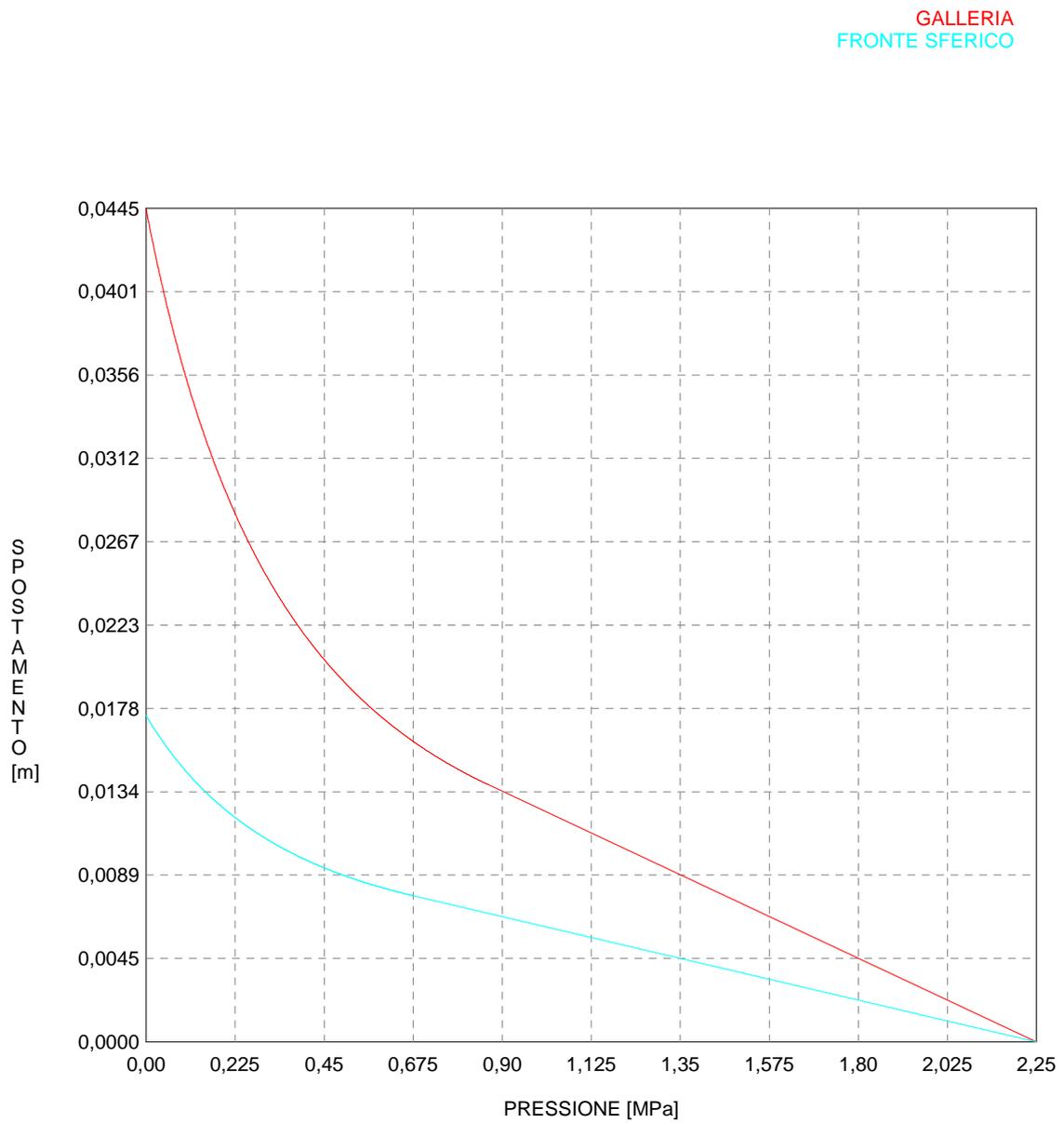
R galleria [m] .....	4.58000
PARAMETRI GEOTECNICI -----	
Tensione originaria [MPa] .....	3.38000
Modulo di Young [MPa] .....	600.00000
Coefficiente di Poisson .....	.30000
Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] .	.00000
RESISTENZA ROCCIA	
Coesione picco [MPa] .....	.33000
Angolo attrito picco [°] .....	28.00000
Coesione residua [MPa] .....	.33000
Angolo attrito residuo [MPa] .....	28.00000
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] ....	.091290
Raggio plastico galleria non sostenuta [m] .....	9.174643
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] .....	.000000
Spostamento radiale fronte sferico [m] .....	.033182
Spostamento radiale fronte (correl. $N_s$ ) [m] .....	.009083
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ...	.026474
Raggio plastico fronte sferico [m] .....	6.221410

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] .....	.091290
Raggio plastico galleria fine calcolo [m] .....	9.174643



BNA2100\_DIA.OUT

```

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

```

CALCOLO GALLERIE CON METODO  
CONVERGENZA-CONFINAMENTO  
SOLUTORE ANALITICO

VERSIONE 4 (2003)

BNA2\_100\_DIA

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  $N_s$ )  
 5 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da  
 trasformazione omotetica)

D A T I A N A L I S I

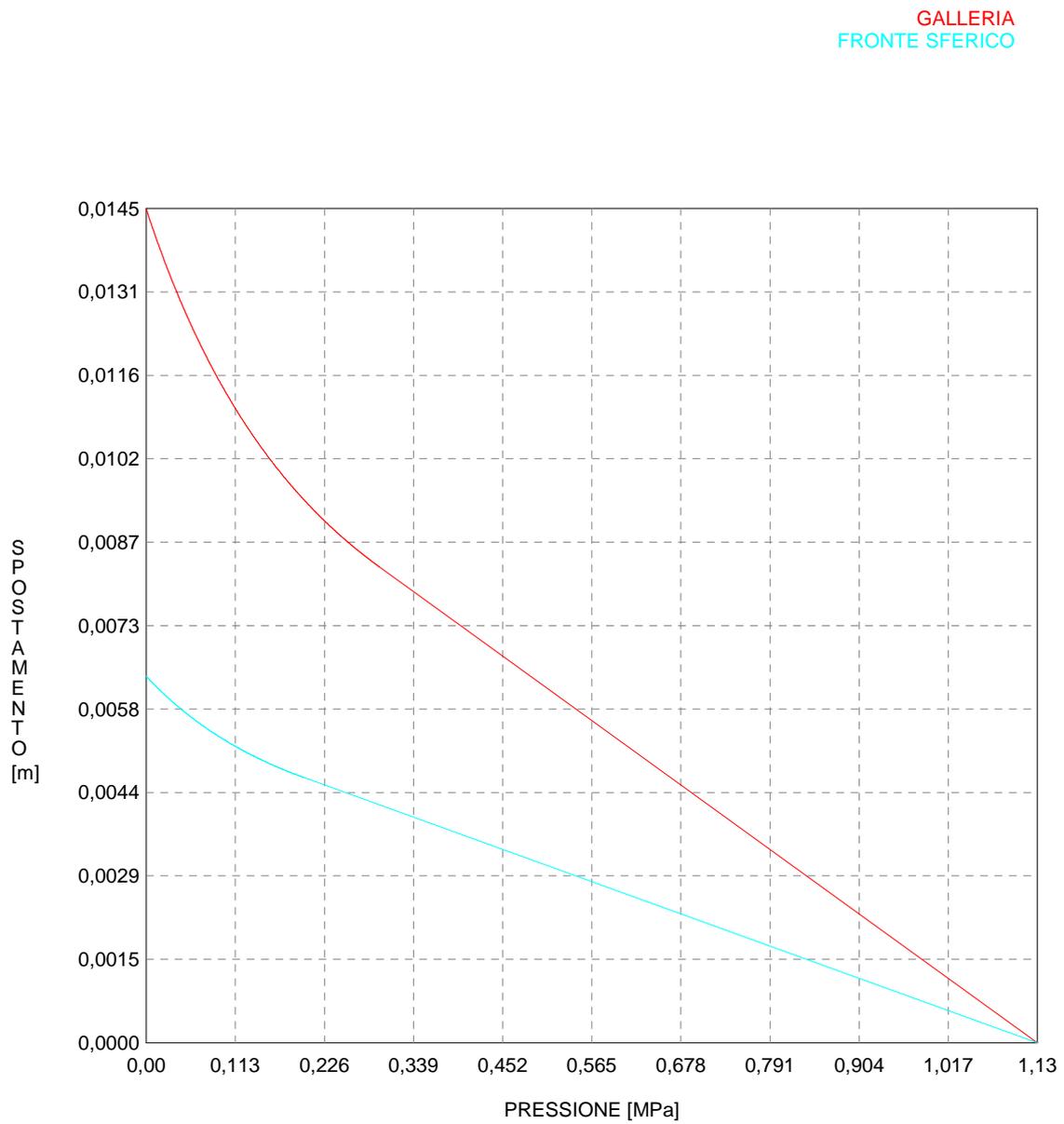
R galleria [m] .....	4.58000
PARAMETRI GEOTECNICI -----	
Tensione originaria [MPa] .....	2.25000
Modulo di Young [MPa] .....	600.00000
Coefficiente di Poisson .....	.30000
Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] .	.00000
RESISTENZA ROCCIA	
Coesione picco [MPa] .....	.26500
Angolo attrito picco [°] .....	31.00000
Coesione residua [MPa] .....	.26500
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] ....	.044548
Raggio plastico galleria non sostenuta [m] .....	7.632838
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] .....	.000000
Spostamento radiale fronte sferico [m] .....	.017448
Spostamento radiale fronte (correl. $N_s$ ) [m] .....	.004981
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ...	.012919
Raggio plastico fronte sferico [m] .....	5.696107

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] .....	.044548
Raggio plastico galleria fine calcolo [m] .....	7.632838



BNA250\_DIA.OUT

```

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

```

CALCOLO GALLERIE CON METODO  
CONVERGENZA-CONFINAMENTO  
SOLUTORE ANALITICO

VERSIONE 4 (2003)

BNA2\_50\_DIA

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  $N_s$ )  
 5 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da  
 trasformazione omotetica)

D A T I A N A L I S I

R galleria [m] .....	4.58000
PARAMETRI GEOTECNICI -----	
Tensione originaria [MPa] .....	1.13000
Modulo di Young [MPa] .....	600.00000
Coefficiente di Poisson .....	.30000
Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] .	.00000
RESISTENZA ROCCIA	
Coesione picco [MPa] .....	.21000
Angolo attrito picco [°] .....	36.00000
Coesione residua [MPa] .....	.21000
Angolo attrito residuo [MPa] .....	36.00000
Angolo dilatanza [°] .....	.00000

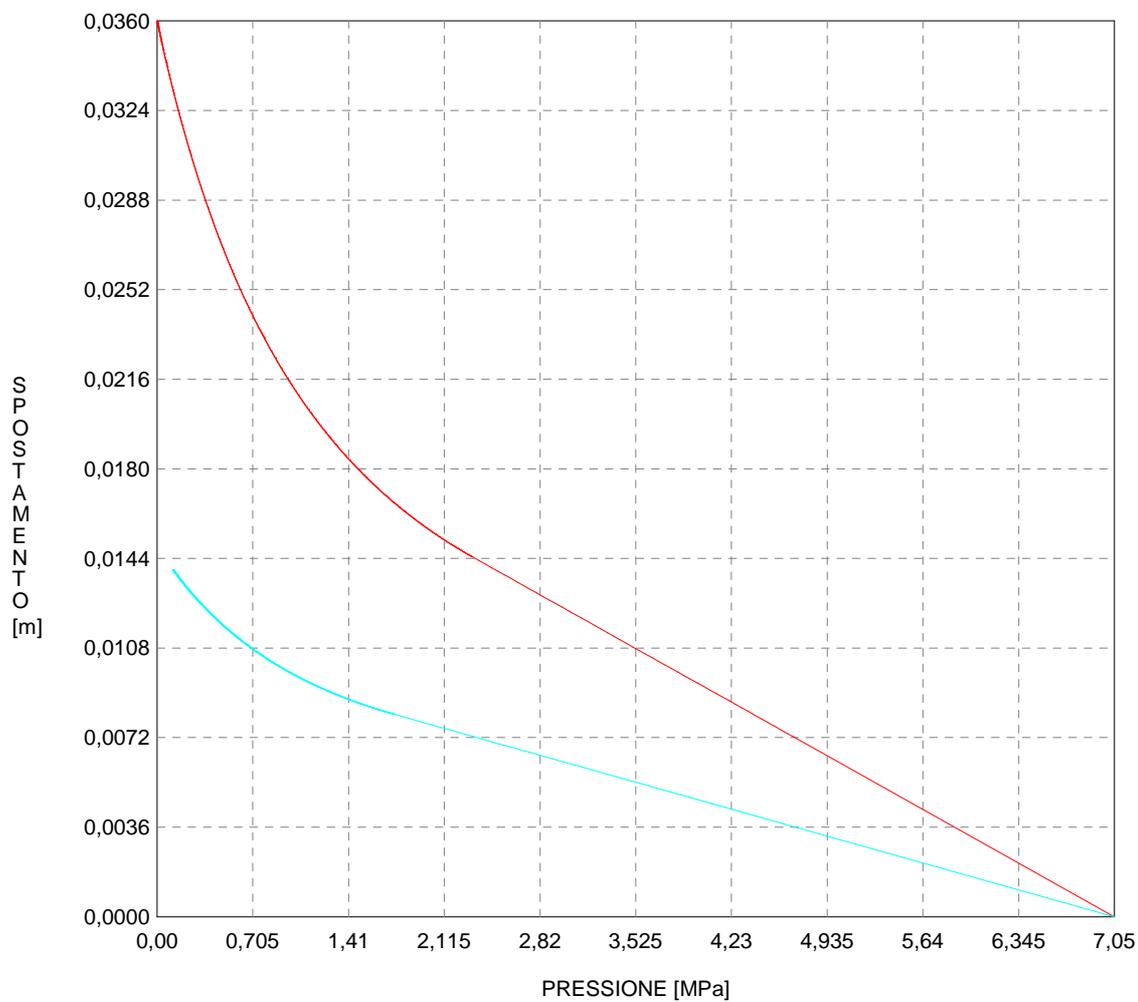
R I S U L T A T O A N A L I S I F R O N T E D I S C A V O

Press. fine calcolo galleria non sostenuta [MPa] ..	.000000
Spostamento radiale galleria non sostenuta [m] ....	.014513
Raggio plastico galleria non sostenuta [m] .....	5.864361
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] .....	.000000
Spostamento radiale fronte sferico [m] .....	.006379
Spostamento radiale fronte (correl. $N_s$ ) [m] .....	.003499
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ...	.004209
Raggio plastico fronte sferico [m] .....	5.022494

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] .....	.014513
Raggio plastico galleria fine calcolo [m] .....	5.864361

GALLERIA  
FRONTE SFERICO





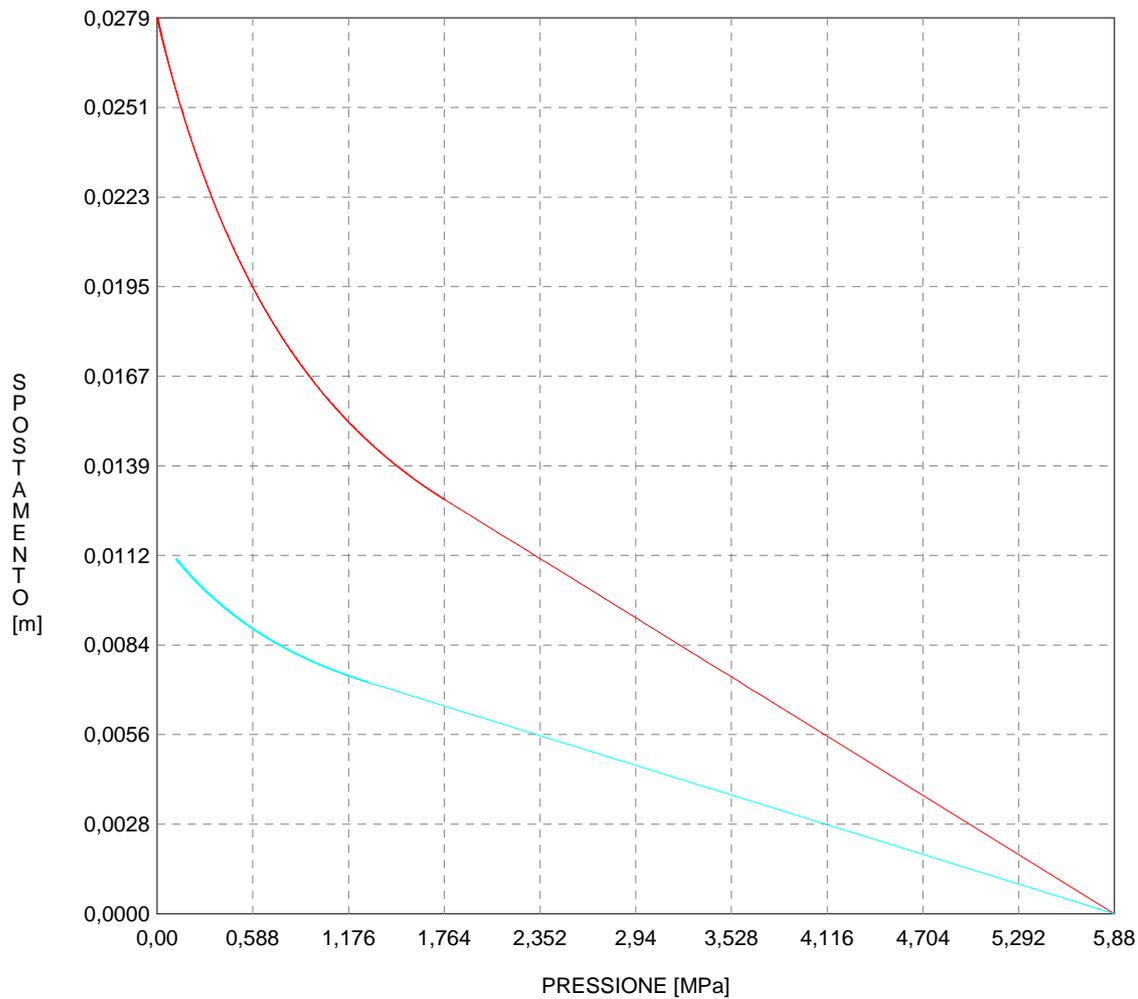
BNA2300\_TER.OUT

Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] .....	.118000
Spostamento radiale fronte sferico [m] .....	.013918
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] .....	.005456
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ...	.010431
Raggio plastico fronte sferico [m] .....	5.474599

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] .....	.035968
Raggio plastico galleria fine calcolo [m] .....	7.023442

GALLERIA  
FRONTE SFERICO





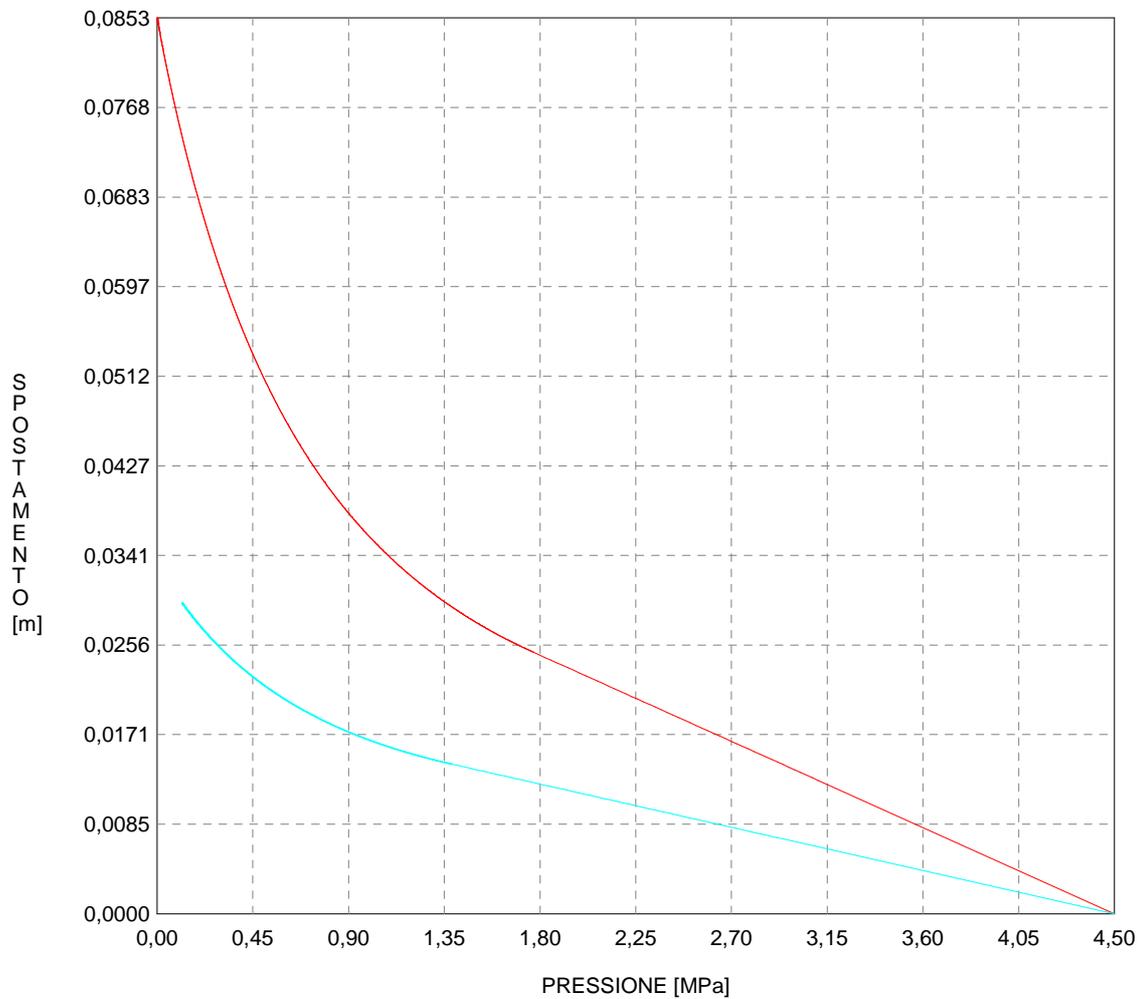
BNA2250\_TER.OUT

Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] .....	.118000
Spostamento radiale fronte sferico [m] .....	.011032
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] .....	.005050
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ...	.008088
Raggio plastico fronte sferico [m] .....	5.313793

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] .....	.027888
Raggio plastico galleria fine calcolo [m] .....	6.611255

GALLERIA  
FRONTE SFERICO



BNA2200\_TER.OUT

```

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

```

CALCOLO GALLERIE CON METODO  
 CONVERGENZA-CONFINAMENTO  
 SOLUTORE TRANSFER-MATRIX

VERSIONE 4 (2003)

BNA2\_200\_TER

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] .....	4.72000
PARAMETRI GEOTECNICI -----	
Tensione originaria [MPa] .....	4.50000
Modulo di Young [MPa] .....	670.00000
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] .....	4.72000
Pressione interstiziale al bordo scavo L.T. [MPa] ..	.00000
Raggio influenza idraulica galleria L.T. [m] .....	4.72000
RESISTENZA ROCCIA	
Coesione picco [MPa] .....	.52000
Angolo attrito picco [°] .....	30.50000
Coesione residua [MPa] .....	.52000
Angolo attrito residuo [MPa] .....	30.50000
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] .....	.00000
Pressione sul fronte di scavo [MPa] .....	.11800
Parametri di resistenza equivalenti del fronte rinforzato	
Coesione picco [MPa] .....	.52000
Coesione residua [MPa] .....	.52000

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] .....	.085331
Raggio plastico galleria [m] .....	8.079902

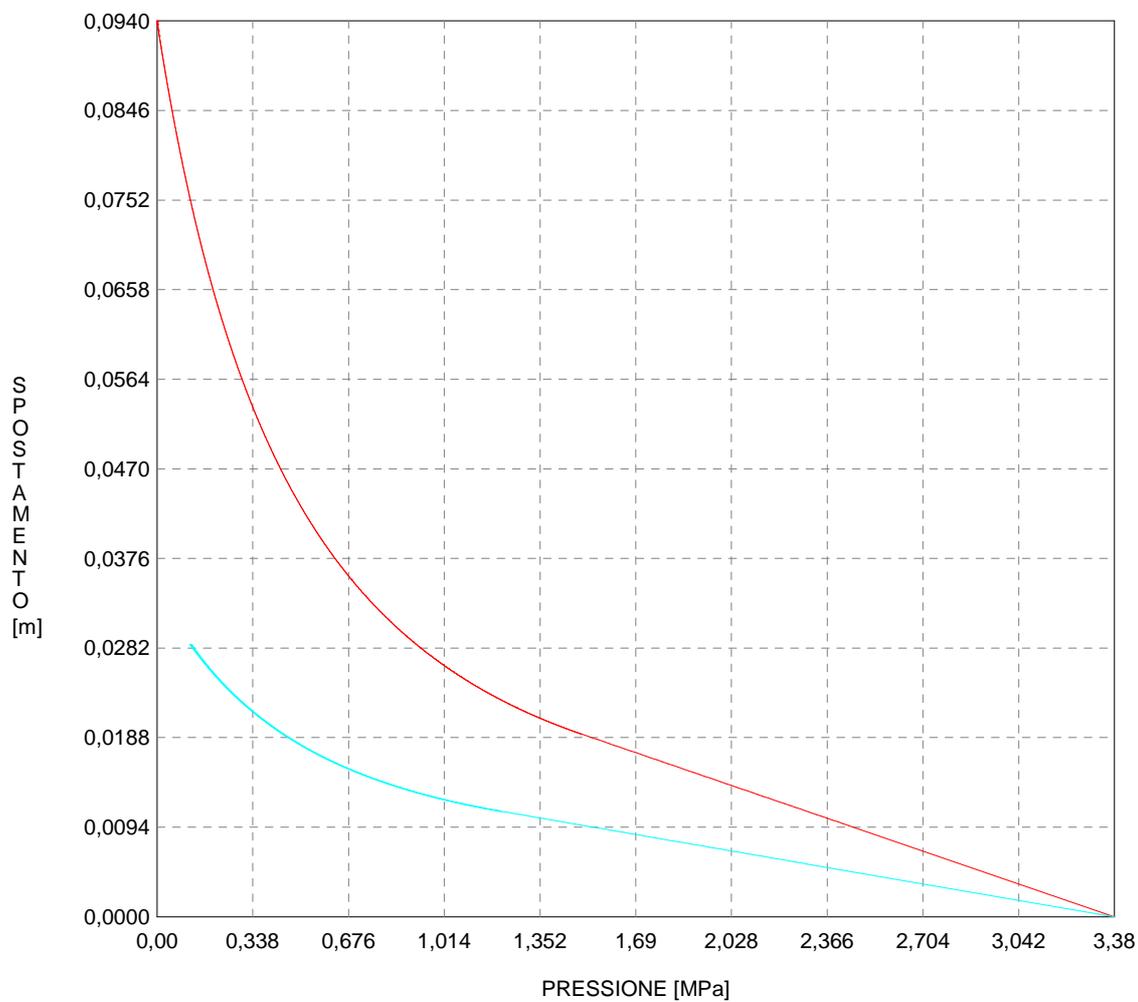
BNA2200\_TER.OUT

Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] .....	.118000
Spostamento radiale fronte sferico [m] .....	.029571
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] .....	.008779
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ...	.024746
Raggio plastico fronte sferico [m] .....	5.763707

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] .....	.085331
Raggio plastico galleria fine calcolo [m] .....	8.079902

GALLERIA  
FRONTE SFERICO





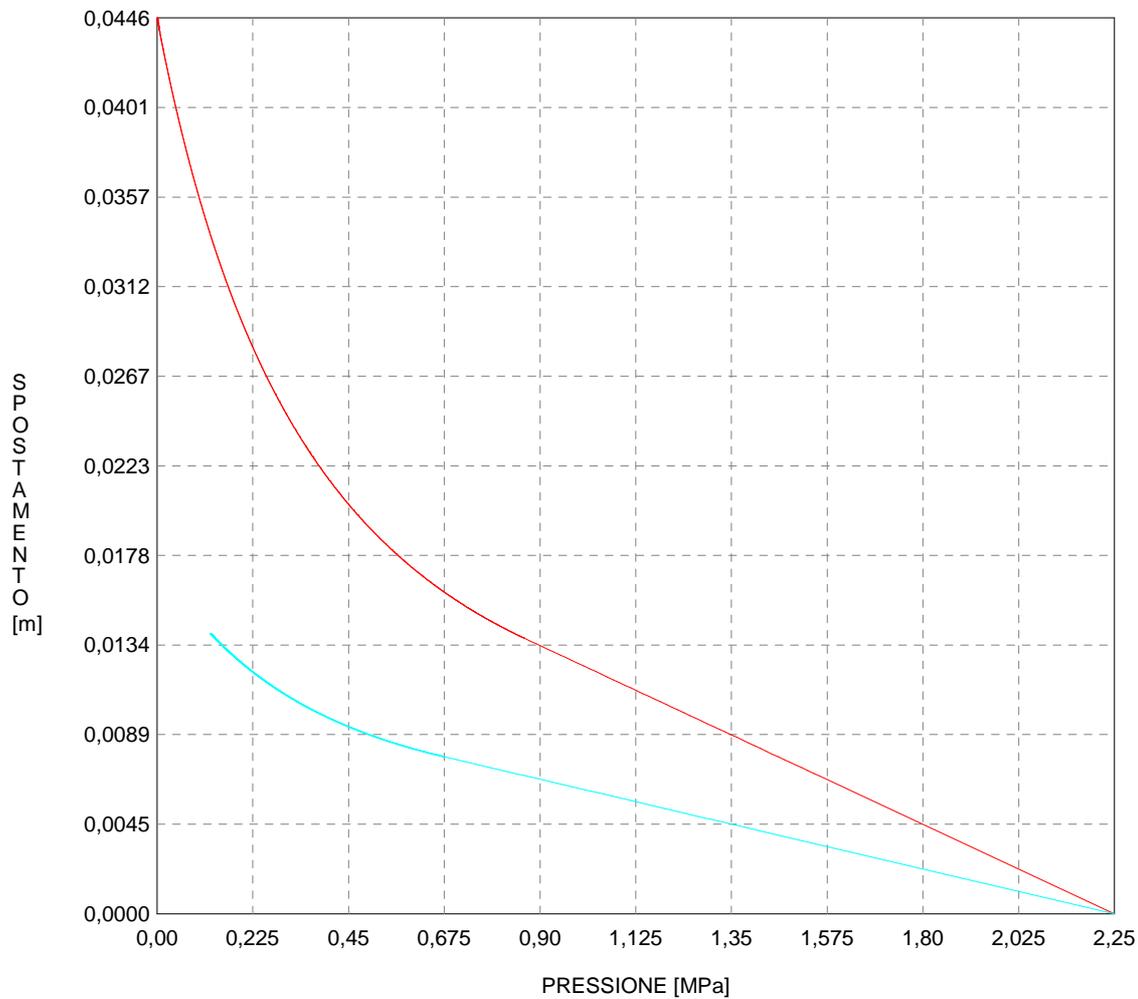
BNA2150\_TER.OUT

Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] .....	.118000
Spostamento radiale fronte sferico [m] .....	.028572
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] .....	.009352
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ...	.027257
Raggio plastico fronte sferico [m] .....	6.118713

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] .....	.093991
Raggio plastico galleria fine calcolo [m] .....	9.489058

GALLERIA  
FRONTE SFERICO



BNA2100\_TER.OUT

```

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

```

CALCOLO GALLERIE CON METODO  
 CONVERGENZA-CONFINAMENTO  
 SOLUTORE TRANSFER-MATRIX

VERSIONE 4 (2003)

BNA2\_100\_TER

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] ..... 4.58000

PARAMETRI GEOTECNICI -----

Tensione originaria [MPa] ..... 2.25000

Modulo di Young [MPa] ..... 600.00000

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] ..... 4.58000

Pressione interstiziale al bordo scavo L.T. [MPa].. .00000

Raggio influenza idraulica galleria L.T. [m] ..... 4.58000

RESISTENZA ROCCIA

Coesione picco [MPa] ..... .26500

Angolo attrito picco [°] ..... 31.00000

Coesione residua [MPa] ..... .26500

Angolo attrito residuo [MPa] ..... 31.00000

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] ..... .00000

Pressione sul fronte di scavo [MPa] ..... .12600

Parametri di resistenza equivalenti del fronte rinforzato

Coesione picco [MPa] ..... .26500

Coesione residua [MPa] ..... .26500

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] ..... .044569

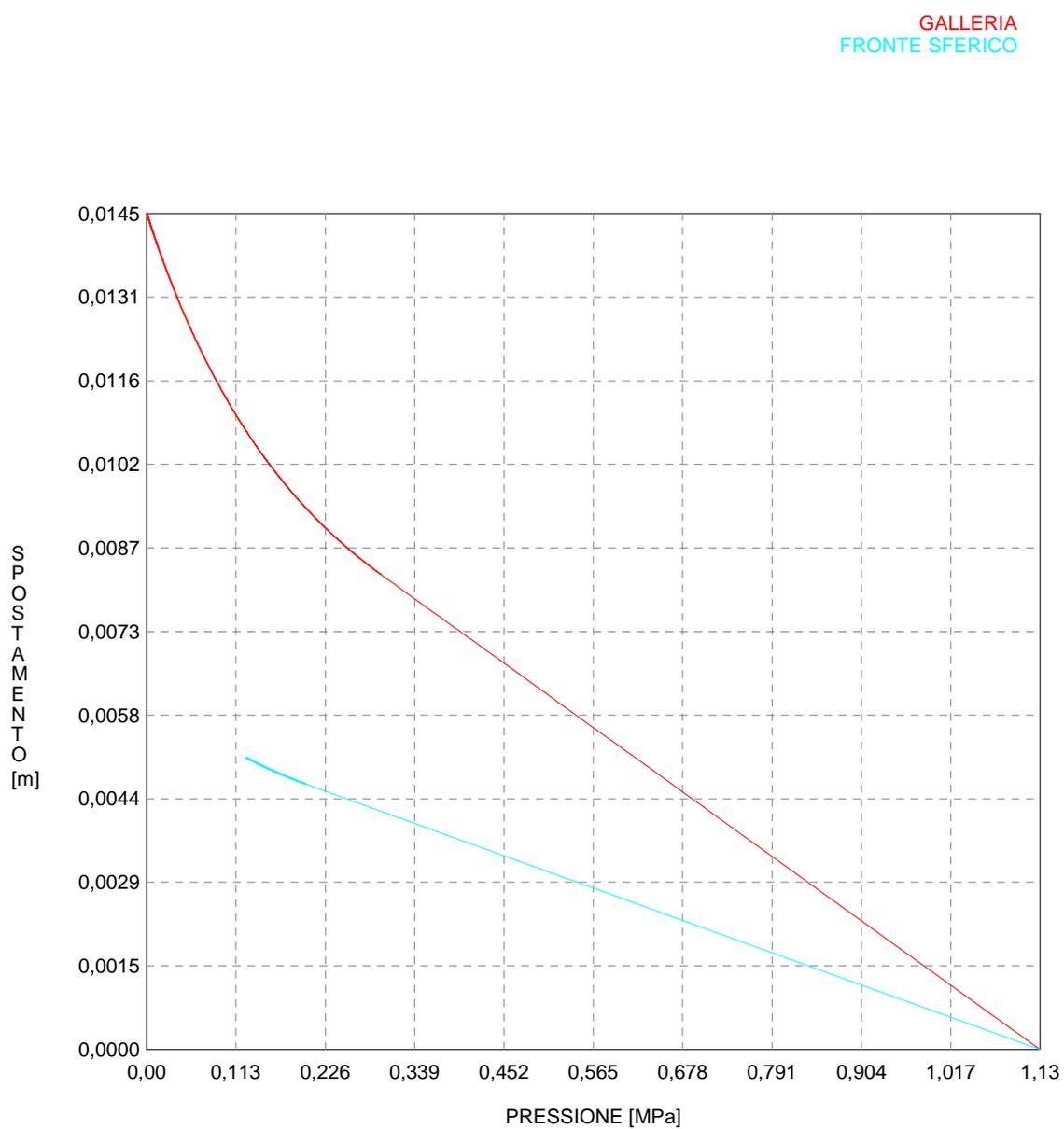
Raggio plastico galleria [m] ..... 7.650762

BNA2100\_TER.OUT

Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] .....	.126000
Spostamento radiale fronte sferico [m] .....	.013925
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] .....	.004983
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ...	.012925
Raggio plastico fronte sferico [m] .....	5.380907

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] .....	.044569
Raggio plastico galleria fine calcolo [m] .....	7.650762



BNA250\_TER.OUT

```

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

```

CALCOLO GALLERIE CON METODO  
 CONVERGENZA-CONFINAMENTO  
 SOLUTORE TRANSFER-MATRIX

VERSIONE 4 (2003)

BNA2\_50\_TER

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] .....	4.58000
PARAMETRI GEOTECNICI -----	
Tensione originaria [MPa] .....	1.13000
Modulo di Young [MPa] .....	600.00000
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] .....	4.58000
Pressione interstiziale al bordo scavo L.T. [MPa] ..	.00000
Raggio influenza idraulica galleria L.T. [m] .....	4.58000
RESISTENZA ROCCIA	
Coesione picco [MPa] .....	.21000
Angolo attrito picco [°] .....	36.00000
Coesione residua [MPa] .....	.21000
Angolo attrito residuo [MPa] .....	36.00000
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] .....	.00000
Pressione sul fronte di scavo [MPa] .....	.12600
Parametri di resistenza equivalenti del fronte rinforzato	
Coesione picco [MPa] .....	.21000
Coesione residua [MPa] .....	.21000

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

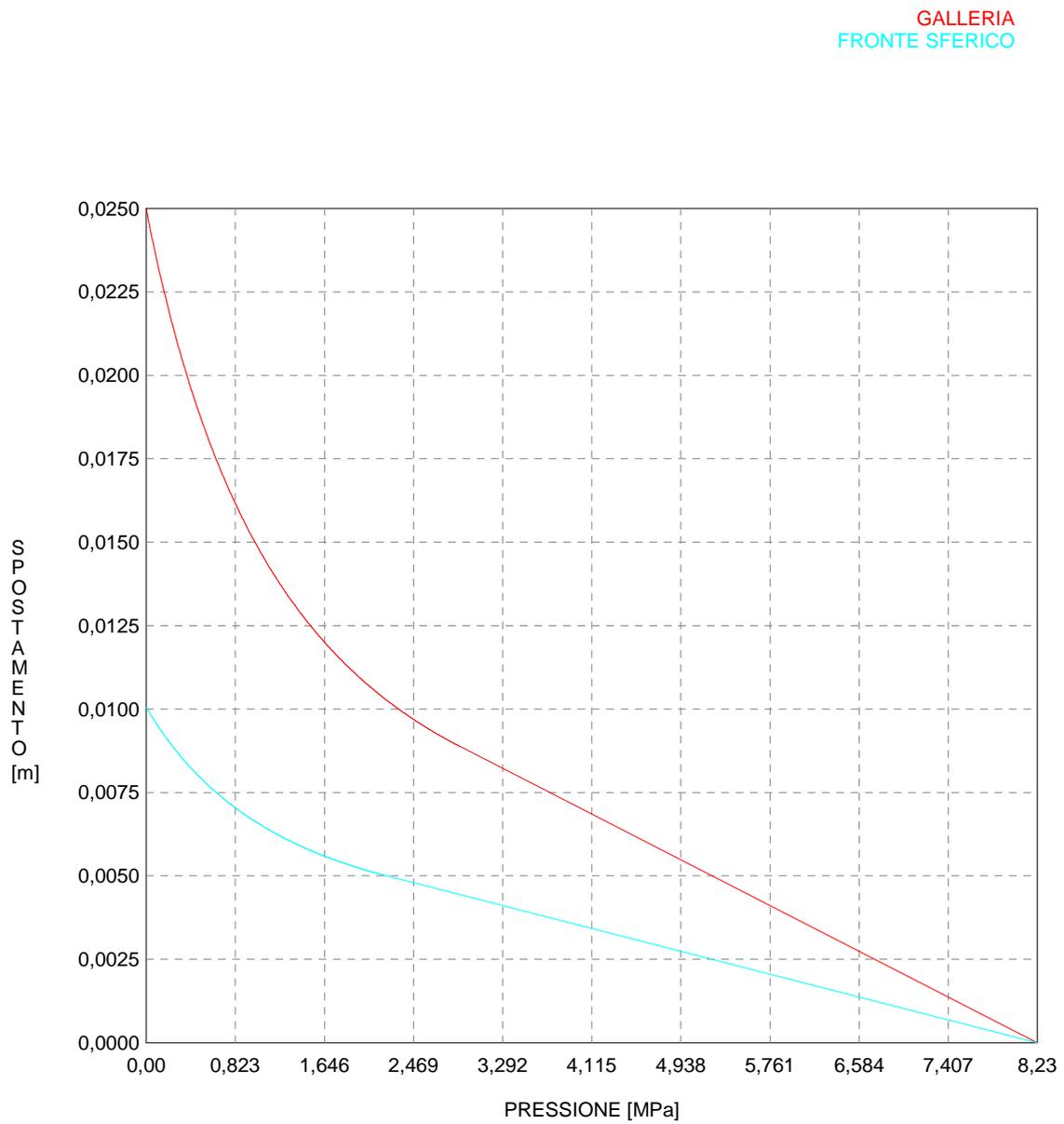
Press. fine calcolo curva galleria [MPa] .....	.000000
Spostamento radiale galleria [m] .....	.014500
Raggio plastico galleria [m] .....	5.879413

BNA250\_TER.OUT

Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] .....	.126000
Spostamento radiale fronte sferico [m] .....	.005060
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] .....	.003496
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ...	.004205
Raggio plastico fronte sferico [m] .....	4.718729

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] .....	.014500
Raggio plastico galleria fine calcolo [m] .....	5.879413



BNA2350\_DIA.OUT

```

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

```

CALCOLO GALLERIE CON METODO  
CONVERGENZA-CONFINAMENTO  
SOLUTORE ANALITICO

VERSIONE 4 (2003)

BNA2\_350\_DIA

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  $N_s$ )  
 5 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da  
 trasformazione omotetica)

D A T I   A N A L I S I

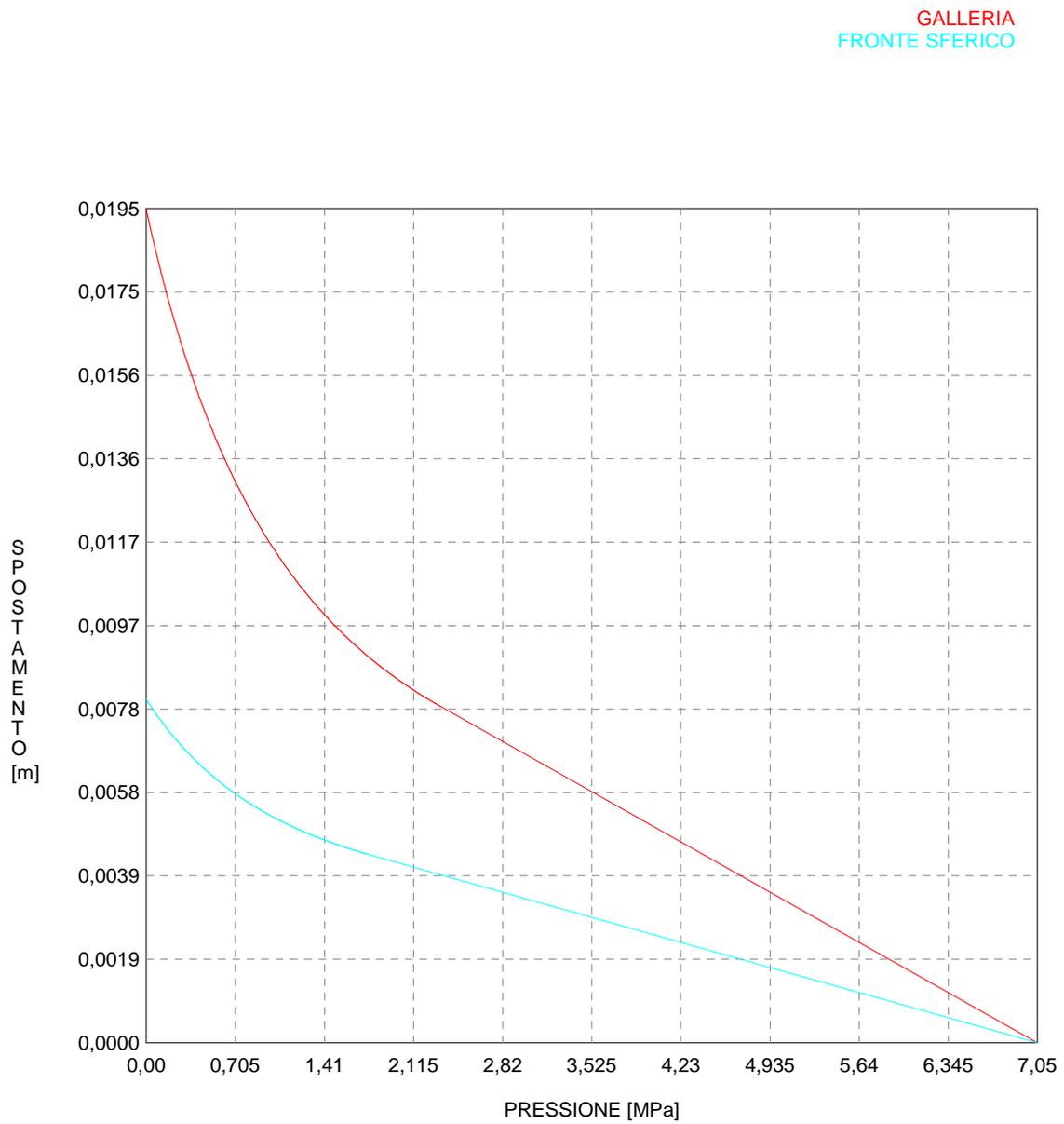
R galleria [m] .....	2.56000
PARAMETRI GEOTECNICI -----	
Tensione originaria [MPa] .....	8.23000
Modulo di Young [MPa] .....	2000.00000
Coefficiente di Poisson .....	.30000
Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] .	.00000
RESISTENZA ROCCIA	
Coesione picco [MPa] .....	.95000
Angolo attrito picco [°] .....	33.50000
Coesione residua [MPa] .....	.95000
Angolo attrito residuo [MPa] .....	33.50000
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] ....	.024983
Raggio plastico galleria non sostenuta [m] .....	4.007886
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] .....	.000000
Spostamento radiale fronte sferico [m] .....	.010057
Spostamento radiale fronte (correl. $N_s$ ) [m] .....	.003026
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ...	.007245
Raggio plastico fronte sferico [m] .....	3.095227

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] .....	.024983
Raggio plastico galleria fine calcolo [m] .....	4.007886



BNA2300\_DIA.OUT

```

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

```

CALCOLO GALLERIE CON METODO  
CONVERGENZA-CONFINAMENTO  
SOLUTORE ANALITICO

VERSIONE 4 (2003)

BNA2\_300\_DIA

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  $N_s$ )  
 5 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da  
 trasformazione omotetica)

D A T I   A N A L I S I

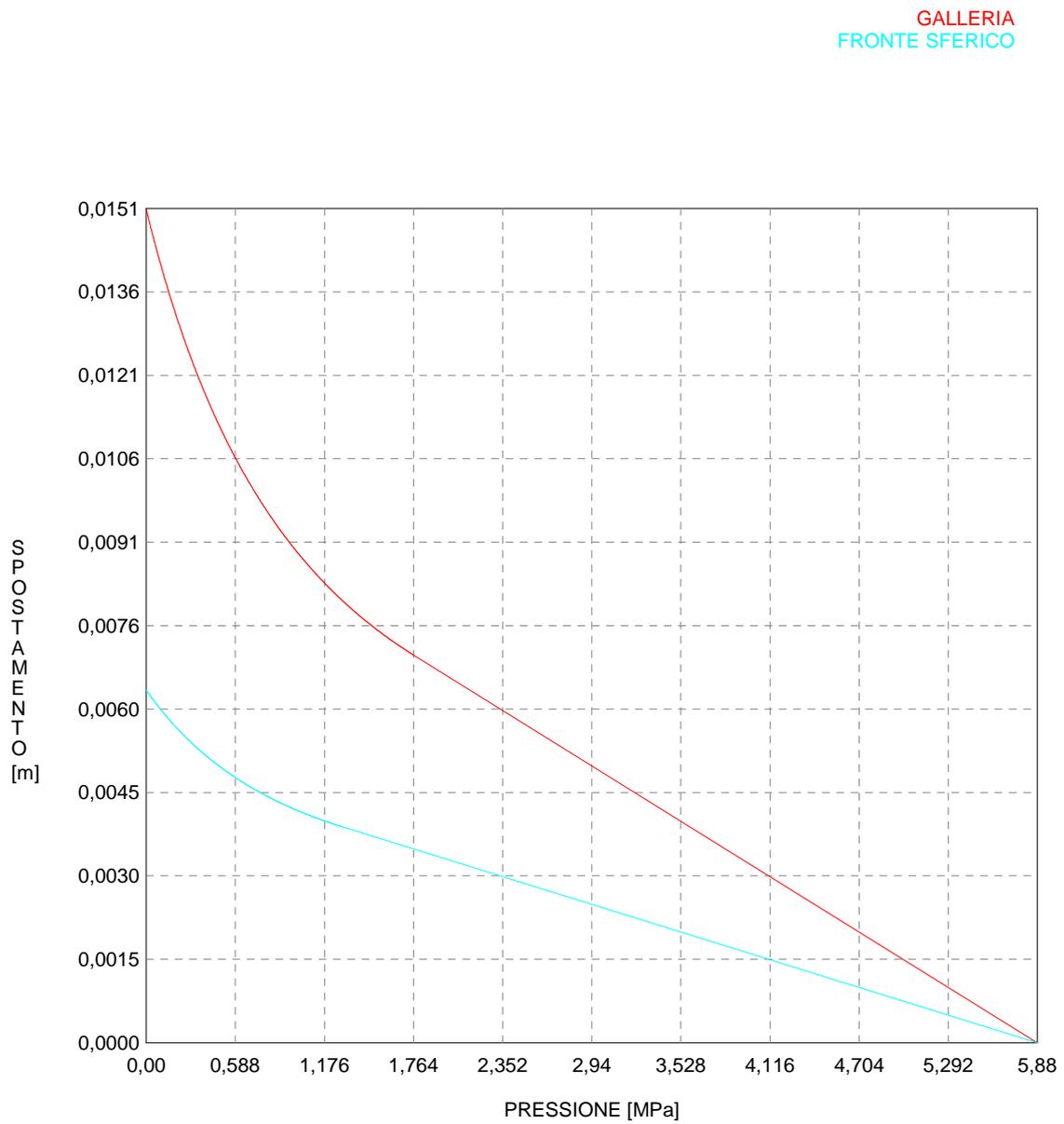
R galleria [m] .....	2.56000
PARAMETRI GEOTECNICI -----	
Tensione originaria [MPa] .....	7.05000
Modulo di Young [MPa] .....	2000.00000
Coefficiente di Poisson .....	.30000
Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] .	.00000
RESISTENZA ROCCIA	
Coesione picco [MPa] .....	.89000
Angolo attrito picco [°] .....	34.50000
Coesione residua [MPa] .....	.89000
Angolo attrito residuo [MPa] .....	34.50000
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] ....	.019487
Raggio plastico galleria non sostenuta [m] .....	3.793557
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] .....	.000000
Spostamento radiale fronte sferico [m] .....	.008028
Spostamento radiale fronte (correl. $N_s$ ) [m] .....	.002956
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ...	.005651
Raggio plastico fronte sferico [m] .....	3.014872

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] .....	.019487
Raggio plastico galleria fine calcolo [m] .....	3.793557



BNA2250\_DIA.OUT

```

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

```

CALCOLO GALLERIE CON METODO  
 CONVERGENZA-CONFINAMENTO  
 SOLUTORE ANALITICO

VERSIONE 4 (2003)

BNA2\_250\_DIA

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  $N_s$ )

5 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da

trasformazione omotetica)

D A T I A N A L I S I

R galleria [m] ..... 2.56000

PARAMETRI GEOTECNICI -----

Tensione originaria [MPa] ..... 5.88000

Modulo di Young [MPa] ..... 1950.00000

Coefficiente di Poisson ..... .30000

Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] . . . . .0.00000

RESISTENZA ROCCIA

Coesione picco [MPa] ..... .81000

Angolo attrito picco [°] ..... 36.00000

Coesione residua [MPa] ..... .81000

Angolo attrito residuo [MPa] ..... 36.00000

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] .... .015115

Raggio plastico galleria non sostenuta [m] ..... 3.572286

Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] ..... .000000

Spostamento radiale fronte sferico [m] ..... .006392

Spostamento radiale fronte (correl.  $N_s$ ) [m] ..... .002737

Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ... .004383

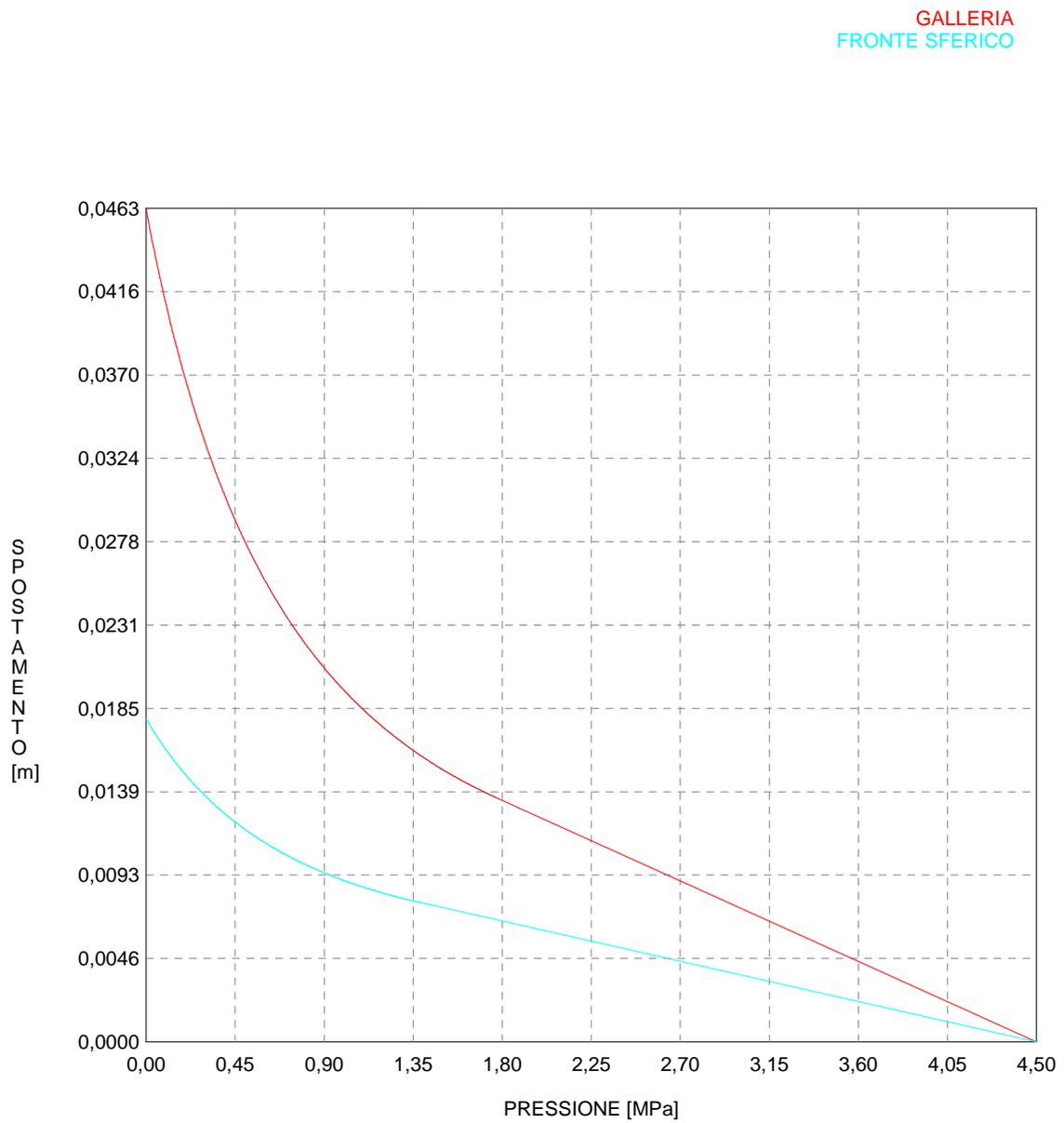
Raggio plastico fronte sferico [m] ..... 2.930687

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] ..... .015115

Raggio plastico galleria fine calcolo [m] ..... 3.572286



BNA2200\_DIA.OUT

```

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

```

CALCOLO GALLERIE CON METODO  
CONVERGENZA-CONFINAMENTO  
SOLUTORE ANALITICO

VERSIONE 4 (2003)

BNA2\_200\_DIA

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  $N_s$ )  
 5 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da  
 trasformazione omotetica)

D A T I   A N A L I S I

R galleria [m] .....	2.56000
PARAMETRI GEOTECNICI -----	
Tensione originaria [MPa] .....	4.50000
Modulo di Young [MPa] .....	670.00000
Coefficiente di Poisson .....	.30000
Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] .	.00000
RESISTENZA ROCCIA	
Coesione picco [MPa] .....	.52000
Angolo attrito picco [°] .....	30.50000
Coesione residua [MPa] .....	.52000
Angolo attrito residuo [MPa] .....	30.50000
Angolo dilatanza [°] .....	.00000

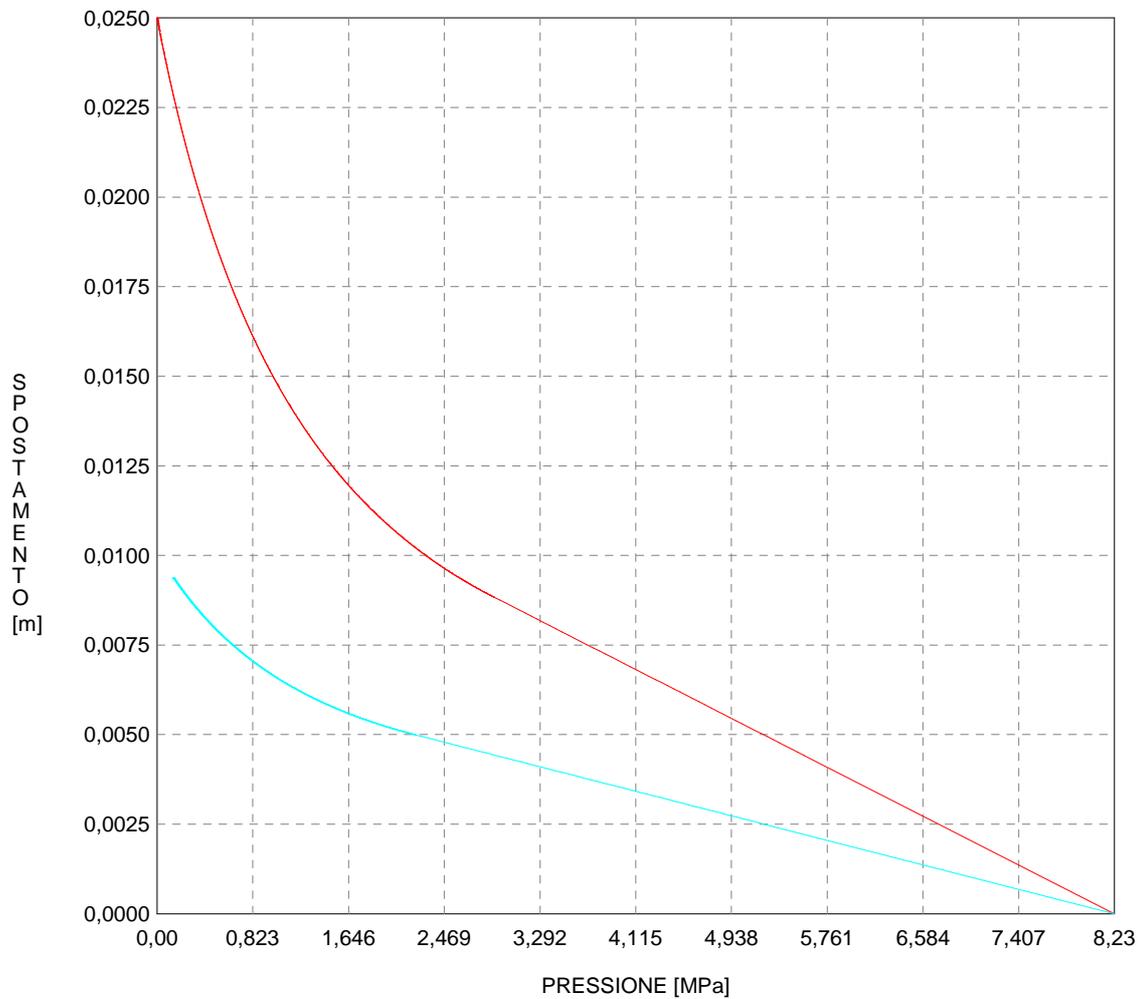
R I S U L T A T O   A N A L I S I   F R O N T E   D I   S C A V O

Press. fine calcolo galleria non sostenuta [MPa] ..	.000000
Spostamento radiale galleria non sostenuta [m] ....	.046273
Raggio plastico galleria non sostenuta [m] .....	4.364251
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] .....	.000000
Spostamento radiale fronte sferico [m] .....	.017953
Spostamento radiale fronte (correl. $N_s$ ) [m] .....	.004761
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ...	.013419
Raggio plastico fronte sferico [m] .....	3.218167

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] .....	.046273
Raggio plastico galleria fine calcolo [m] .....	4.364251

GALLERIA  
FRONTE SFERICO





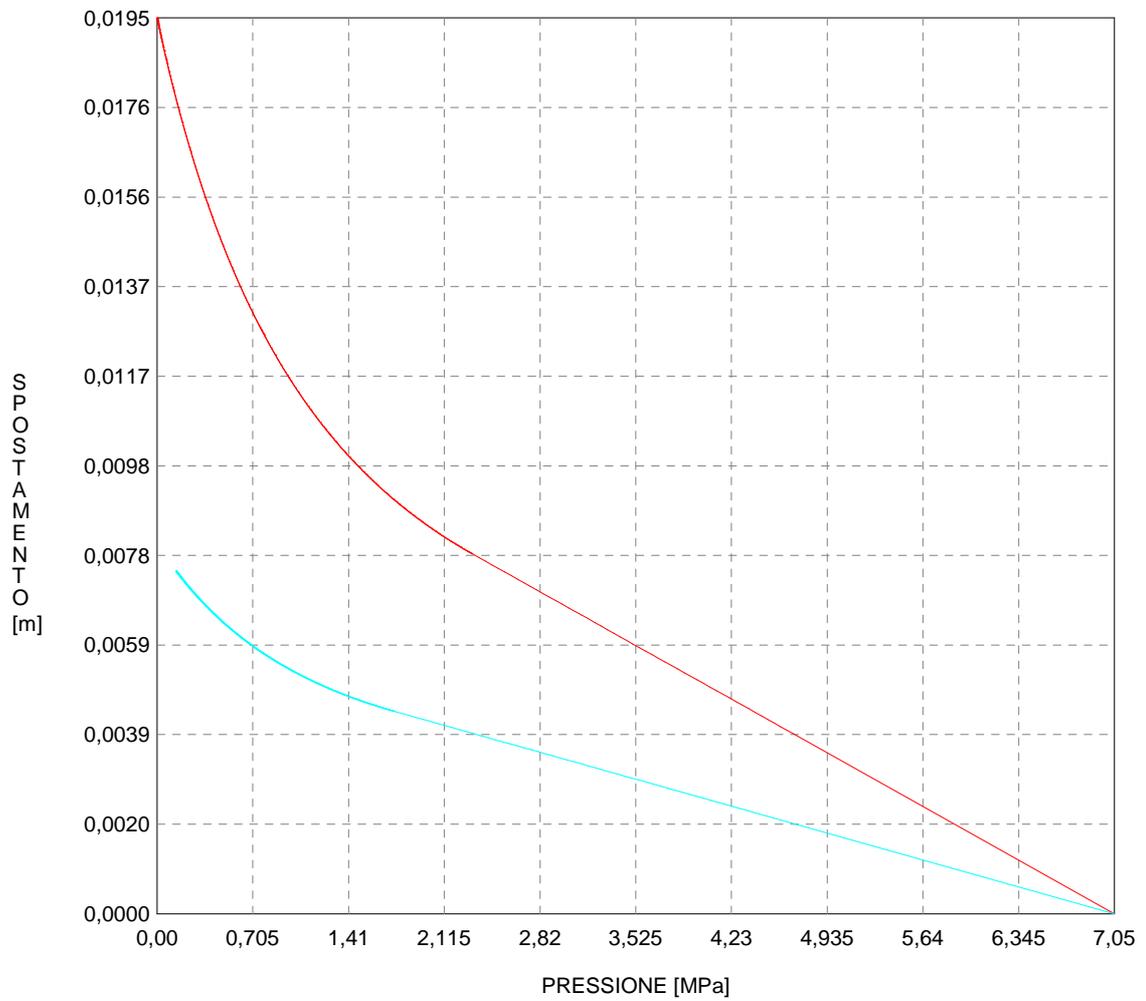
BNA2350\_TER.OUT

Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] .....	.141000
Spostamento radiale fronte sferico [m] .....	.009380
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] .....	.003030
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ...	.007254
Raggio plastico fronte sferico [m] .....	3.042266

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] .....	.025016
Raggio plastico galleria fine calcolo [m] .....	4.021113

GALLERIA  
FRONTE SFERICO



BNA2300\_TER.OUT

```

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

```

CALCOLO GALLERIE CON METODO  
CONVERGENZA-CONFINAMENTO  
SOLUTORE TRANSFER-MATRIX

VERSIONE 4 (2003)

BNA2\_300\_TER

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  $N_s$ )  
 5 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da  
 trasformazione omotetica)

D A T I   A N A L I S I

R galleria [m] .....	2.56000
PARAMETRI GEOTECNICI -----	
Tensione originaria [MPa] .....	7.05000
Modulo di Young [MPa] .....	2000.00000
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] .....	2.56000
Pressione interstiziale al bordo scavo L.T. [MPa] ..	.00000
Raggio influenza idraulica galleria L.T. [m] .....	2.56000
RESISTENZA ROCCIA	
Coesione picco [MPa] .....	.89000
Angolo attrito picco [°] .....	34.50000
Coesione residua [MPa] .....	.89000
Angolo attrito residuo [MPa] .....	34.50000
Angolo dilatanza [°] .....	.00000
Modulo di softening apparente $H_a$ [MPa] .....	.00000
Modulo di softening $H$ [MPa] .....	.00000
FRONTE DI SCAVO RINFORZATO	
Consolidamento generico del fronte	
Incremento coesione picco [MPa] .....	.00000
Pressione sul fronte di scavo [MPa] .....	.14100
Parametri di resistenza equivalenti del fronte rinforzato	
Coesione picco [MPa] .....	.89000
Coesione residua [MPa] .....	.89000

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] .....	.019508
Raggio plastico galleria [m] .....	3.809324

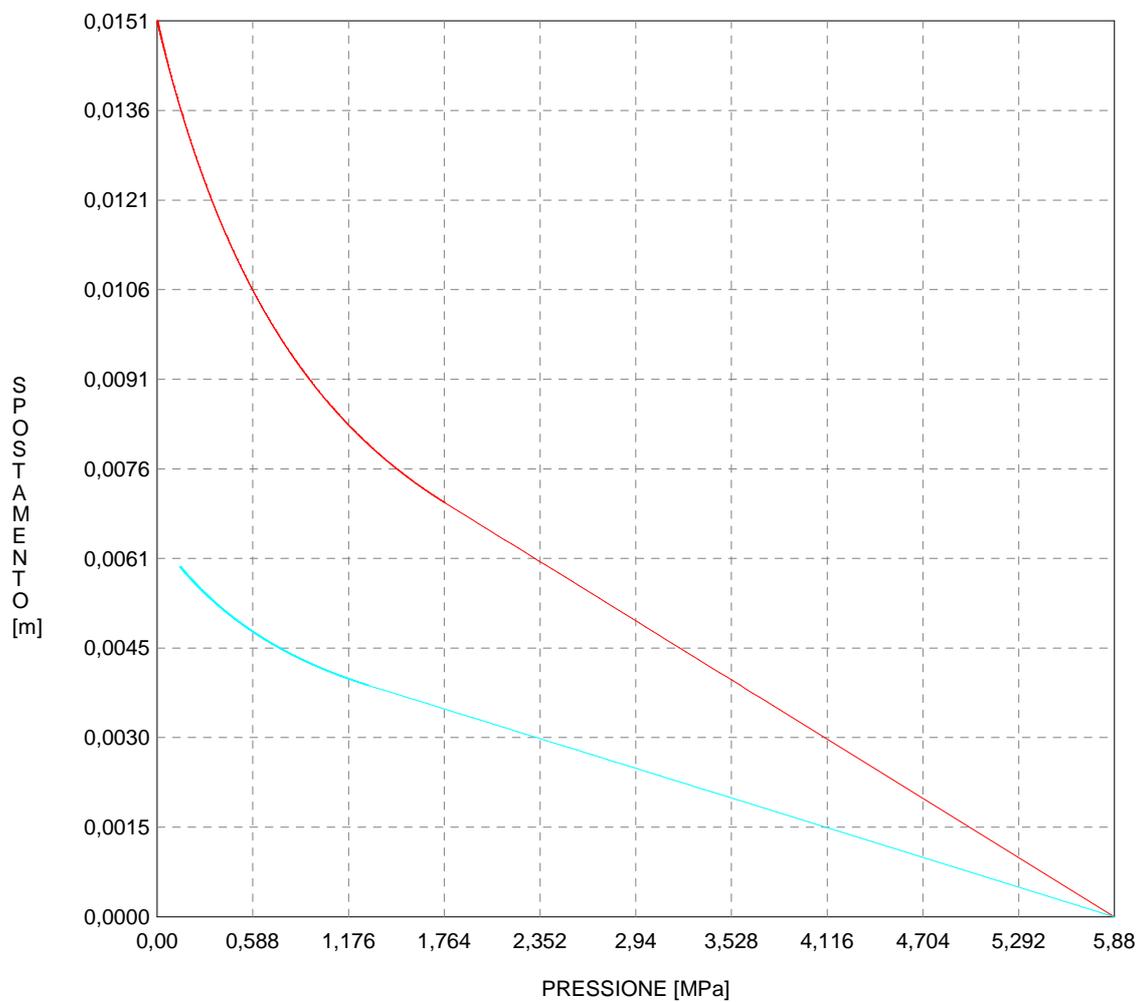
BNA2300\_TER.OUT

Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] .....	.141000
Spostamento radiale fronte sferico [m] .....	.007457
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] .....	.002959
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ...	.005657
Raggio plastico fronte sferico [m] .....	2.960821

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] .....	.019508
Raggio plastico galleria fine calcolo [m] .....	3.809324

GALLERIA  
FRONTE SFERICO



BNA2250\_TER.OUT

```

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

```

CALCOLO GALLERIE CON METODO  
CONVERGENZA-CONFINAMENTO  
SOLUTORE TRANSFER-MATRIX

VERSIONE 4 (2003)

BNA2\_250\_TER

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] .....	2.56000
PARAMETRI GEOTECNICI -----	
Tensione originaria [MPa] .....	5.88000
Modulo di Young [MPa] .....	1950.00000
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] .....	2.56000
Pressione interstiziale al bordo scavo L.T. [MPa] ..	.00000
Raggio influenza idraulica galleria L.T. [m] .....	2.56000
RESISTENZA ROCCIA	
Coesione picco [MPa] .....	.81000
Angolo attrito picco [°] .....	36.00000
Coesione residua [MPa] .....	.81000
Angolo attrito residuo [MPa] .....	36.00000
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] .....	.00000
Pressione sul fronte di scavo [MPa] .....	.14100
Parametri di resistenza equivalenti del fronte rinforzato	
Coesione picco [MPa] .....	.81000
Coesione residua [MPa] .....	.81000

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] .....	.015126
Raggio plastico galleria [m] .....	3.585765

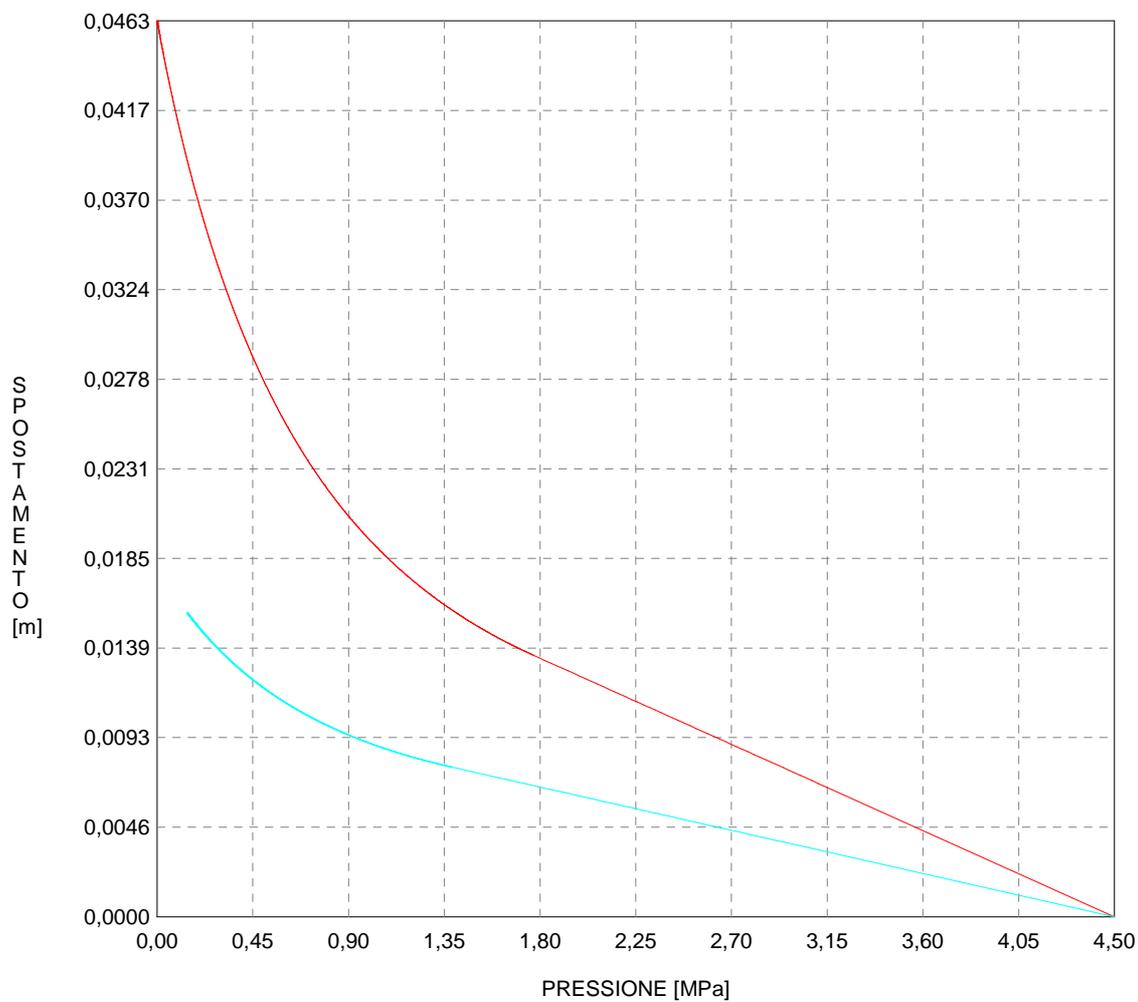
BNA2250\_TER.OUT

Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] .....	.141000
Spostamento radiale fronte sferico [m] .....	.005908
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] .....	.002739
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ...	.004386
Raggio plastico fronte sferico [m] .....	2.873938

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] .....	.015126
Raggio plastico galleria fine calcolo [m] .....	3.585765

GALLERIA  
FRONTE SFERICO



BNA2200\_TER.OUT

```

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

```

CALCOLO GALLERIE CON METODO  
 CONVERGENZA-CONFINAMENTO  
 SOLUTORE TRANSFER-MATRIX

VERSIONE 4 (2003)

BNA2\_200\_TER

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] ..... 2.56000

PARAMETRI GEOTECNICI -----

Tensione originaria [MPa] ..... 4.50000

Modulo di Young [MPa] ..... 670.00000

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] ..... 2.56000

Pressione interstiziale al bordo scavo L.T. [MPa].. .00000

Raggio influenza idraulica galleria L.T. [m] ..... 2.56000

RESISTENZA ROCCIA

Coesione picco [MPa] ..... .52000

Angolo attrito picco [°] ..... 30.50000

Coesione residua [MPa] ..... .52000

Angolo attrito residuo [MPa] ..... 30.50000

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] ..... .00000

Pressione sul fronte di scavo [MPa] ..... .14100

Parametri di resistenza equivalenti del fronte rinforzato

Coesione picco [MPa] ..... .52000

Coesione residua [MPa] ..... .52000

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] ..... .046281

Raggio plastico galleria [m] ..... 4.382320

BNA2200\_TER.OUT

Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] .....	.141000
Spostamento radiale fronte sferico [m] .....	.015698
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] .....	.004761
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ...	.013422
Raggio plastico fronte sferico [m] .....	3.108250

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] .....	.046281
Raggio plastico galleria fine calcolo [m] .....	4.382320