

COMMITTENTE:



DIREZIONE LAVORI:



APPALTATORE:

CONSORZIO:



SOCI:



PROGETTAZIONE:

MANDATARIA:



MANDANTI:



PROGETTO ESECUTIVO

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

GN10 - GALLERIA ROCCHETTA – USCITA DI EMERGENZA PEDONALE F7 pk 15+700

ELABORATI GENERALI

Relazione di calcolo uscita di emergenza

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

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

IF28	01	E	ZZ	CL	GN1000	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	22/02/2020	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: IF2801EZZCLGN100001B.docx

n. Elab.: -

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A.	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> 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 GN1000 001	REV. B	FOGLIO 2 di 17

Indice

1	PREMESSA	3
2	SCOPO E CONTENUTI DEL DOCUMENTO.....	3
3	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	4
3.2	LEGGI E NORMATIVE COGENTI	4
3.2	NORMATIVE NON COGENTI E RACCOMANDAZIONI.....	4
3.3	PRESCRIZIONI E SPECIFICHE TECNICHE (RFI, ITF).....	4
4	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	4
4.1	DOCUMENTI REFERENZIATI.....	4
4.2	DOCUMENTI CORRELATI	4
4.3	DOCUMENTI SUPERATI.....	5
5	ALLEGATI	5
6	DOCUMENTI PRODOTTI A SUPPORTO.....	5
7	FASE DI DIAGNOSI.....	6
7.1	CATEGORIE DI COMPORTAMENTO.....	6
7.2	DETERMINAZIONE DELLE CATEGORIE DI COMPORTAMENTO	7
7.2.1	ANALISI CON IL METODO DELLE LINEE CARATTERISTICHE (ALTE COPERTURE C > 4D)	7
7.2.2	ANALISI DELLA STABILITÀ DEL FRONTE (BASSE COPERTURE C < 4D)	9
8	FASE DI TERAPIA.....	12
8.1	VERIFICA DEGLI INTERVENTI PROPOSTI.....	12
8.1.1	ANALISI CON IL METODO DELLE LINEE CARATTERISTICHE (ALTE COPERTURE C > 4D)	14
8.1.2	ANALISI DELLA STABILITÀ DEL FRONTE (BASSE COPERTURE C < 4D)	15

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA																	
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 16.6%;">COMMESSA</td> <td style="width: 16.6%;">LOTTO</td> <td style="width: 16.6%;">CODIFICA</td> <td style="width: 16.6%;">DOCUMENTO</td> <td style="width: 16.6%;">REV.</td> <td style="width: 16.6%;">FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IF28</td> <td>01</td> <td>E ZZ CL</td> <td>GN1000 001</td> <td>B</td> <td>3 di 17</td> </tr> </table>						COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF28	01	E ZZ CL	GN1000 001	B	3 di 17
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO													
IF28	01	E ZZ CL	GN1000 001	B	3 di 17													
PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo uscita di emergenza																		

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" IF2801EZZRGGN1000001, con riferimento all'uscita di emergenza pedonale F7 alla pk 15+700 della Galleria Rocchetta GN10.

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.8). 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 Rif. [20]. 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> HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A.	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> 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 GN1000 001	REV. B	FOGLIO 4 di 17

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

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A.	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> 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 GN1000 001	REV. B	FOGLIO 5 di 17

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. Allegato 1];
- [Risultati delle analisi in fase di terapia. Allegato 2].

6 DOCUMENTI PRODOTTI A SUPPORTO

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

Rif. [19] “Relazione tecnica e linee guida per l'applicazione delle sezioni tipo” IF2801EZZRGGN1000001

Rif. [20] “Relazione di monitoraggio” IF2801EZZRHGN1000001B

Rif. [21] “Profilo geotecnico/geomeccanico - Finestra F7” IF2801EZZF6GN1000011B.

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A.	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> 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 GN1000 001	REV. B	FOGLIO 6 di 17

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 CATEGORIE DI COMPORTAMENTO

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: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A.	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo uscita di emergenza	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ CL	DOCUMENTO GN1000 001	REV. B	FOGLIO 7 di 17

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 λ 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

Analisi	Unità	Z_0	σ_0	γ	c'_k	ϕ'_k	E_k
	Terreno	[m]	[MPa]	[kN/m ³]	[kPa]	[°]	[MPa]
BNA3_50	BNA3	50	1.05	21	30	35	200
BNA3_100	BNA3	100	2.40	24	550	47	2100
BNA3_150	BNA3	150	3.60	24	840	44.5	2100
BNA3_200	BNA3	200	4.80	24	950	44	2100

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A.	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo uscita di emergenza	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ CL	DOCUMENTO GN1000 001	REV. B	FOGLIO 8 di 17

Z_0 = copertura rispetto al piano dei centri della galleria
 σ_0 = tensione totale iniziale al livello del cavo
 γ = peso dell'unità di volume dell'ammasso
 c'_k = valore caratteristico della coesione efficace dell'ammasso
 φ'_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.

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 2 – 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 3 – Risultati delle analisi

Sezione di analisi	u_f	u_f / R_{eq}	R_{pf}	R_{pf} / R_{eq}	u	R_p	Cat.
	[m]	[%]	[m]	[-]	[m]	[m]	
BNA3_50	0.029	1.17%	4.19	1.68	0.086	6.75	C
BNA3_100	0.002	0.08%	2.61	1.04	0.004	2.77	B
BNA3_150	0.003	0.12%	2.62	1.05	0.006	2.81	B
BNA3_200	0.004	0.16%	2.67	1.07	0.008	2.91	B

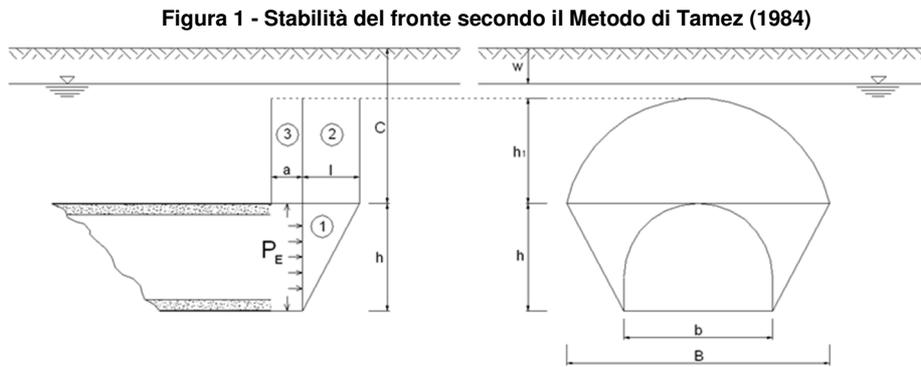
APPALTATORE: Conorzio Soci HIRPINIA AV SALINI IMPREGIO S.P.A. ASTALDI S.P.A.	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandatara Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo uscita di emergenza	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ CL	DOCUMENTO GN1000 001	REV. B	FOGLIO 9 di 17

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 FS₃, per cui ai fini della stabilità del fronte si assume il coefficiente di sicurezza minimo tra i due:

$$FSF = \frac{(A + B + C)}{D}$$

$$A = \left[\frac{2(\tau_{m2} - \tau_{m3})}{(1 + a/l)^2} + 2\tau_{m3} \right] \times \frac{h_1}{b}$$

$$B = \left[\frac{2\tau_{m3}}{(1 + a/l) \times \sqrt{K_A}} \right] \times \frac{h_1}{h}$$

$$C = \left[\frac{3.4C_1}{(1 + a/l)^2 \times \sqrt{K_A}} \right]$$

$$D = \left[1 + \frac{2h}{3Z(1 + a/l)^2} \right] \times (\gamma Z - P_E)$$

$$FS_3 = \frac{2\tau_{m3}}{(\gamma Z - P_E)} \times \frac{h_1}{b} \times \left(1 + \frac{b}{a} \right)$$

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	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: Mandatara 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 GN1000 001	REV. B	FOGLIO 10 di 17

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	ΔH [m]	γ_n [kNm^{-3}]	c'/c_u [kPa]	ϕ' [°]
<i>layers ordering: from tunnel crown to ground surface</i>				
BNA3	15.0	20.0	2.5	28.5

Tunnel Face layers	ΔH [m]	γ_n [kNm^{-3}]	c'/c_u [kPa]	ϕ' [°]
<i>layers ordering: invert-crown</i>				
BNA3	4.6	20.0	2.5	28.5

Excavation cross section and Failure Mechanism geometry

Total Overburden	H [m]	15.0
Surface load	qs [kPa]	0.0
water table level above tunnel invert	H _w [m]	0.00
Tunnel full face area	A _{EXCAV} [m ²]	21.2
Tunnel face height	A [m]	4.6
Tunnel face width	D [m]	4.6

Equivalent tunnel diameter	D _{eq} [m]	5.20
Free span length	a [m]	1.0

Failure Mechanism geometry

Discharge zone height	Z _d [m]	7.83
Length of prisms in advance	L _p [m]	2.74

Failure Mechanism Prisms - Average geotechnical properties

Prisms 1

Average buoyant unit weight	γ_b [kNm^{-3}]	20.0
Average saturated unit weight	γ_n [kNm^{-3}]	20.0
Average cohesion	c _u [kPa]	2.5
Average friction angle	ϕ'_E [°]	28.5
Coefficient of passive earth pressure	K _p [-]	2.83

Prisms 2-3

Average buoyant unit weight	γ_b [kNm^{-3}]	20.0
Average saturated unit weight	γ_n [kNm^{-3}]	20.0
Average cohesion within Discharge Zone	c _u [kPa]	2.5
Average friction angle within Discharge Zone	ϕ'_P [°]	28.5
Friction Coefficient within Discharge Zone	K _f [-]	0.63

Prismatic volumes shear resistance and Safety factors

Failure Mechanism wedges - Effective stresses

Eff. vert. stress at discharge-zone top	σ'_{vd} [kPa]	143
Eff. vertical stress at 1/3 discharge zone	σ'_{vd} [kPa]	96
Eff. vertical stress at 2/3 discharge zone	σ'_{vd} [kPa]	48
Undist. eff. vertical stress at crown	σ'_v [kPa]	300
Undist. eff. vert. stress at tunnel springline	σ'_{v0} [kPa]	346

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 strengths

Face wedge unit strength (prism 1)	q [kPa]	0
Unit shear strength (prisms 2)	s _{m2} [kPa]	26.0
Unit shear strength (prism 3)	s _{m3} [kPa]	26.0

Tunnel-face global stability
(M_{ΣFR}/M_{ΣFA})

FS_g 0.62

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

FS_c 1.66

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> 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 GN1000 001	REV. B	FOGLIO 11 di 17

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 FS₃ 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 4 – Criterio per la definizione della categoria di comportamento

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

Per quanto riguarda il BNA3, dai risultati ottenuti con il metodo di Tamez è stato possibile ottenere per la copertura di 15 m un valore del coefficiente di sicurezza della stabilità del fronte pari a 0.62 che indica una classe di comportamento di tipo C.

APPALTATORE: Conorzio Soci HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandatara Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo uscita di emergenza	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ CL	DOCUMENTO GN1000 001	REV. B	FOGLIO 12 di 17

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 5 – Sintesi caratteristiche sezioni di scavo e consolidamento – Sezioni pedonali

Sezione Tipo	Area di scavo media [m ²]	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 raggiere 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)
C1	24.69	8	11 colonne in jet-grouting Ø600 l=14.00m perforazione a vuoto 1.50m (sovrapp. min. 6.00m) ±20%	27 colonne in jet-grouting Ø600 l=12.00m perforazione a vuoto 1.50m, passo 0.45m (sovrapp. min. 4.00m) ±20%	4(2+2) tubi microfessurati in pvc l=24m (sovrapp. min. 8m)
C1V	25.01	8	11 colonne in jet-grouting Ø600 l=14.00m perforazione a vuoto 1.50m	28 colonne in jet-grouting Ø600 l=12.00m perforazione a vuoto 1.50m, passo 0.45m (sovrapp. min. 4.00m)	4(2+2) tubi microfessurati in pvc l=24m (sovrapp. min. 8m)

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A.	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandatario Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo uscita di emergenza	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ CL	DOCUMENTO GN1000 001	REV. B	FOGLIO 13 di 17

Sezione Tipo	Area di scavo media	Lunghezza campo	Interventi di precontenimento e presostegno		
			interventi al fronte	interventi al contorno	drenaggi
[-]	[m ²]	[m]	[-]	[-]	[-]
			(sovrapp. min. 6.00m) ±20%	±20%	

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 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 (Δc) valutato attraverso il calcolo della pressione equivalente al fronte (σ_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:

$$K_p = \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi}$$

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

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

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

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:

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A.	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandatario Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo uscita di emergenza	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ CL	DOCUMENTO GN1000 001	REV. B	FOGLIO 14 di 17

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

dove:

- $\Delta c'_k$ = coesione del materiale trattato;
 A_{jet} = area delle colonne in jet-grouting;
 c'_k = coesione del terreno non interessato dal trattamento;
 A_{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 ($\sigma_{c,jet}$), ipotizzando di mantenere immutato l'angolo d'attrito del materiale naturale, attraverso la seguente relazione:

$$\sigma_{c,jet} = (2 \cdot \Delta c'_k \cdot \cos \phi'_k) / (1 - \sin \phi'_k)$$

I valori di resistenza a compressione monoassiale ($\sigma_{c,jet}$) 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.

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 6 – Interventi di consolidamento al fronte

Sezione	Tipologia	Numero	Lunghezza	Diametro	Aderenza terreno-malta	Sovrapposizione	Δc_d
	[-]	[-]	[m]	[m]	[kPa]	[m]	[kPa]
B2	VTR	14	14	0.11	100	6	70
C1	Jet-Grouting	11	14	0.6	100	6	256

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A.	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> 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 GN1000 001	REV. B	FOGLIO 15 di 17

Tabella 7 – Risultati delle analisi in presenza di interventi

Sezione di analisi	u_F	u_F/R_{eq}	R_{PF}	R_{PF}/R_{eq}
	[m]	[%]	[m]	[-]
VALORI CARATT. – BNA3 50 – (C1)	0.010	0.35%	2.91	1.05
VALORI CARATT. – BNA3 100 – (B2)	0.002	0.07%	2.56	1.00
VALORI CARATT. – BNA3 150 – (B2)	0.003	0.11%	2.58	1.01
VALORI CARATT. – BNA3 200 – (B2)	0.004	0.15%	2.63	1.03
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 8 – Risultati delle analisi in presenza di interventi – A2M2

Sezione di analisi	u_F	u_F/R_{eq}	R_{PF}	R_{PF}/R_{eq}
	[m]	[%]	[m]	[-]
VALORI CARATT. – BNA3 200 – (B2)	0.004	0.16%	2.78	1.09
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, oltre alla verifica coi parametri caratteristici, 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.	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: Mandatara 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 GN1000 001	REV. B	FOGLIO 16 di 17

FACE STABILITY ANALYSIS

SEZIONE TIPO C1V



Enrique Tamez Gonzàles - Diseño Geotécnico de Túneles (1997)

Stratigraphy and geotechnical properties

Overburden layers	ΔH [m]	γ_n [kNm ⁻³]	c'/c_u [kPa]	ϕ' [°]
<i>layers ordering: from tunnel crown to ground surface</i>				
Coronella Je	1.0	20.0	600.0	28.5
BNA3	14.0	20.0	2.5	28.5

Tunnel Face layers	ΔH [m]	γ_n [kNm ⁻³]	c'/c_u [kPa]	ϕ' [°]
<i>layers ordering: invert-crown</i>				
Coronella Je	4.6	20.0	494.8	28.5

Excavation cross section and Failure Mechanism geometry

Total Overburden	H [m]	15.0
Surface load	qs [kPa]	0.0
water table level above tunnel invert	H _w [m]	0.00
Tunnel full face area	A _{EXCAV} [m ²]	21.2
Tunnel face height	A [m]	4.6
Tunnel face width	D [m]	4.6

Equivalent tunnel diameter	D _{eq} [m]	5.20
Free span length	a [m]	1.0

Failure Mechanism geometry

Discharge zone height	Z _d [m]	7.83
Length of prisms in advance	L _p [m]	2.74

Failure Mechanism Prisms - Average geotechnical properties

Prisms 1

Average buoyant unit weight	γ_b [kNm ⁻³]	20.0
Average saturated unit weight	γ_n [kNm ⁻³]	20.0
Average cohesion	c _u [kPa]	494.8
Average friction angle	ϕ'_E [°]	28.5
Coefficient of passive earth pressure	K _p [-]	2.83

Prisms 2-3

Average buoyant unit weight	γ_b [kNm ⁻³]	20.0
Average saturated unit weight	γ_n [kNm ⁻³]	20.0
Average cohesion within Discharge Zone	c _u [kPa]	78.8
Average friction angle within Discharge Zone	ϕ'_p [°]	28.5
Friction Coefficient within Discharge Zone	K _f [-]	0.63

Prismatic volumes shear resistance and Safety factors

Failure Mechanism wedges - Effective stresses

Eff. vert. stress at discharge-zone top	σ'_{vd} [kPa]	143
Eff. vertical stress at 1/3 discharge zone	σ'_{vd} [kPa]	96
Eff. vertical stress at 2/3 discharge zone	σ'_{vd} [kPa]	48
Undist. eff. vertical stress at crown	σ'_v [kPa]	300
Undist. eff. vert. stress at tunnel springline	σ'_{v0} [kPa]	346

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]	300
Unit shear strength (prisms 2)	s _{m2} [kPa]	91.1
Unit shear strength (prism 3)	s _{m3} [kPa]	74.0

Tunnel-face global stability (MΣ _{F_R} /MS _{F_A})	FS _g	8.29
--	-----------------	------

Crown-wedge stability (vertical sliding) (Shear stresses elastic field)	FS _c	4.71
---	-----------------	------

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A.	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo uscita di emergenza	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ CL	DOCUMENTO GN1000 001	REV. B	FOGLIO 17 di 17

FACE STABILITY ANALYSIS

SEZIONE TIPO C1V



Enrique Tamez Gonzales - Diseño Geotécnico de Túneles (1997)

Stratigraphy and geotechnical properties

Overburden layers	ΔH [m]	γ_n [kNm ⁻³]	c'/c_u [kPa]	ϕ' [°]
<i>layers ordering: from tunnel crown to ground surface</i>				
Coronella Je	1.0	20.0	480.0	23.5
BNA3	14.0	20.0	2	23.5

Tunnel Face layers	ΔH [m]	γ_n [kNm ⁻³]	c'/c_u [kPa]	ϕ' [°]
<i>layers ordering: invert-crown</i>				
Coronella Je	4.6	20.0	448.6	23.5

Excavation cross section and Failure Mechanism geometry

Total Overburden	H [m]	15.0
Surface load	qs [kPa]	0.0
water table level above tunnel invert	H _w [m]	0.00
Tunnel full face area	A _{EXCAV} [m ²]	21.2
Tunnel face height	A [m]	4.6
Tunnel face width	D [m]	4.6

Equivalent tunnel diameter	D _{eq} [m]	5.20
Free span length	a [m]	1.0

Failure Mechanism geometry

Discharge zone height	Z _d [m]	7.83
Length of prisms in advance	L _p [m]	3.02

Failure Mechanism Prisms - Average geotechnical properties

Prisms 1		
Average buoyant unit weight	γ_b [kNm ⁻³]	20.0
Average saturated unit weight	γ_n [kNm ⁻³]	20.0
Average cohesion	c _u [kPa]	448.6
Average friction angle	ϕ'_E [°]	23.5
Coefficient of passive earth pressure	K _p [-]	2.32

Prisms 2-3		
Average buoyant unit weight	γ_b [kNm ⁻³]	20.0
Average saturated unit weight	γ_n [kNm ⁻³]	20.0
Average cohesion within Discharge Zone	c _u [kPa]	63.0
Average friction angle within Discharge Zone	ϕ'_p [°]	23.5
Friction Coefficient within Discharge Zone	K _f [-]	0.73

Prismatic volumes shear resistance and Safety factors

Failure Mechanism wedges - Effective stresses

Eff. vert. stress at discharge-zone top	σ'_{vd} [kPa]	143
Eff. vertical stress at 1/3 discharge zone	σ'_{vd} [kPa]	96
Eff. vertical stress at 2/3 discharge zone	σ'_{vd} [kPa]	48
Undist. eff. vertical stress at crown	σ'_v [kPa]	300
Undist. eff. vert. stress at tunnel springline	σ'_{v0} [kPa]	346

Pore Pressure distribution

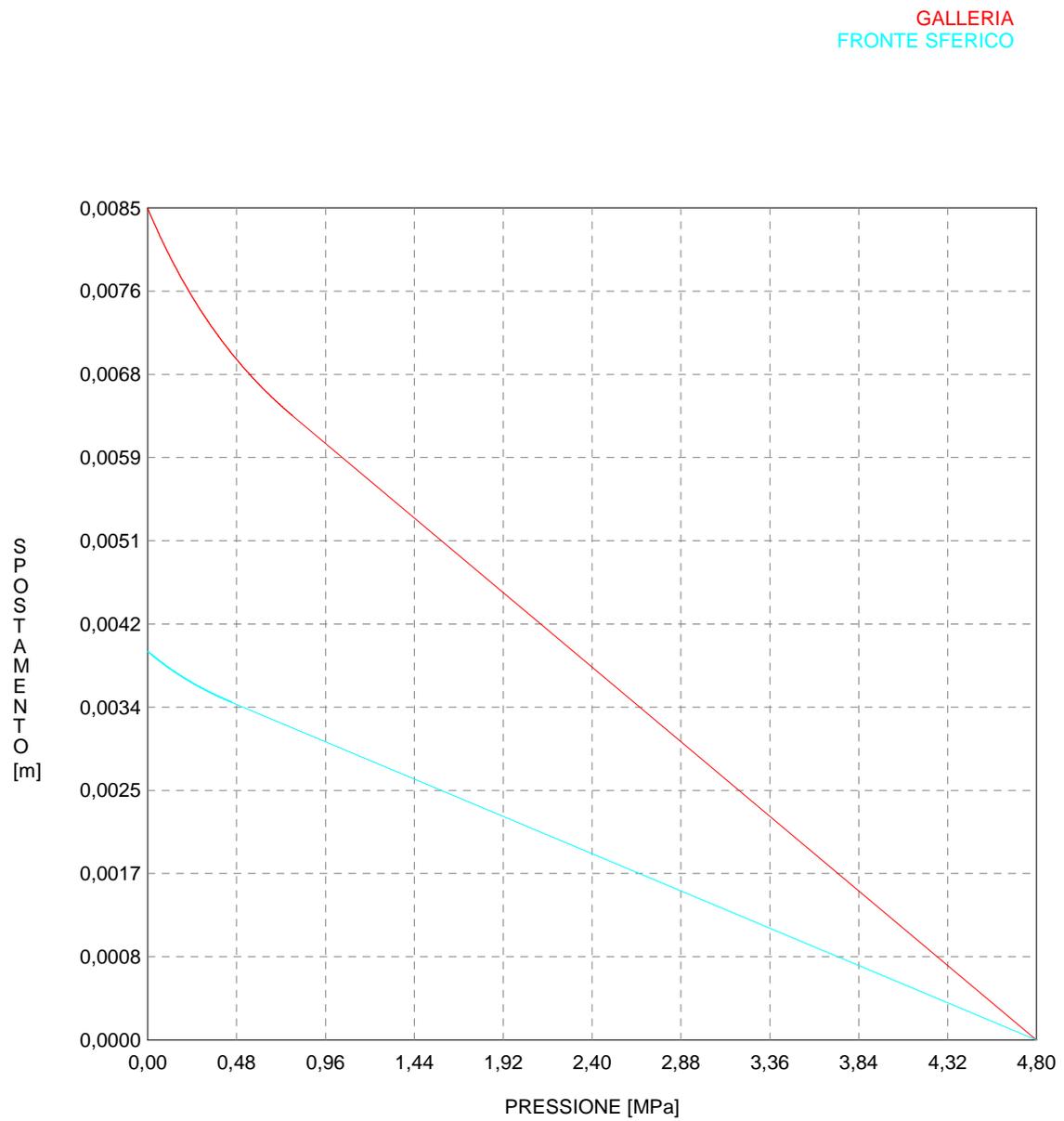
pore pressure at discharge-zone top	u _d [kPa]	0
pore pressure at 1/3 discharge-zone	u _{d1/3} [kPa]	0
pore pressure at 2/3 discharge-zone	u _{d2/3} [kPa]	0
pore pressure at tunnel springline	u _o [kPa]	0
pore pressure at tunnel invert	u _i [kPa]	0

Failure Mechanism wedges - Unit strengths

Face wedge unit strength (prism 1)	q [kPa]	300
Unit shear strength (prism 2)	s _{m2} [kPa]	84.1
Unit shear strength (prism 3)	s _{m3} [kPa]	68.3

Tunnel-face global stability (M _{ΣFR} /M _{ΣFA})	FS _g	7.00
---	-----------------	------

Crown-wedge stability (vertical sliding) (elastic field)	(Shear stresses) FS _c	4.34
---	----------------------------------	------



BNA3200_DIA.OUT

```

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

```

VERSIONE 4 (2003)

BNA3_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

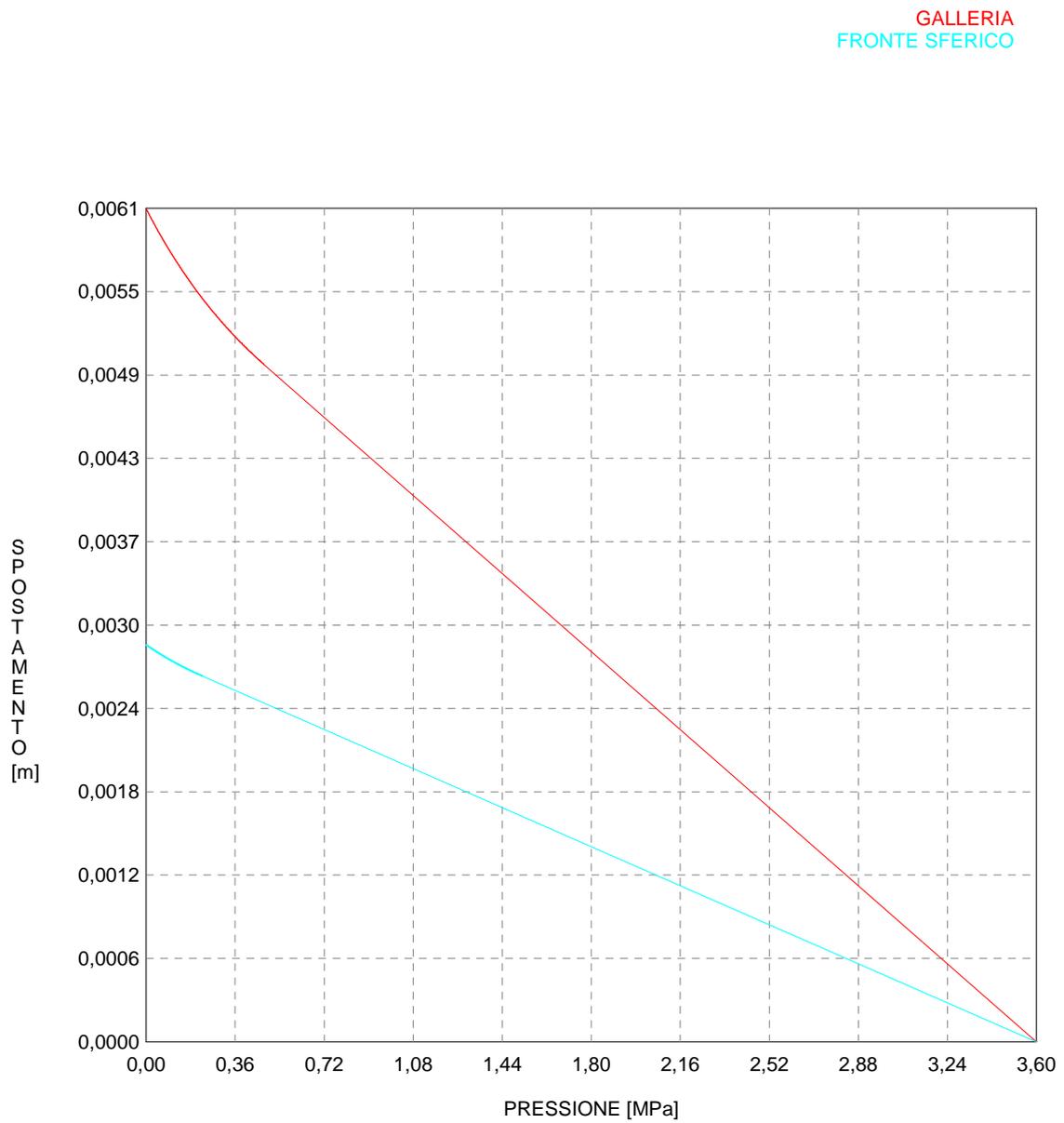
R galleria [m]	2.56000
PARAMETRI GEOTECNICI -----	
Tensione originaria [MPa]	4.80000
Modulo di Young [MPa]	2100.00000
Coefficiente di Poisson .....	.30000
Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] .	.00000
RESISTENZA ROCCIA	
Coesione picco [MPa] .....	.95000
Angolo attrito picco [°]	44.00000
Coesione residua [MPa] .....	.95000
Angolo attrito residuo [MPa]	44.00000
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] ....	.008486
Raggio plastico galleria non sostenuta [m]	2.911305
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] .....	.000000
Spostamento radiale fronte sferico [m] .....	.003964
Spostamento radiale fronte (correl. N_s) [m] .....	.002363
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ...	.002461
Raggio plastico fronte sferico [m]	2.668235

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] .....	.008486
Raggio plastico galleria fine calcolo [m]	2.911305



BNA3150_DIA.OUT

```

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

```

CALCOLO GALLERIE CON METODO
CONVERGENZA-CONFINAMENTO
SOLUTORE ANALITICO

VERSIONE 4 (2003)

BNA3_150_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 Ns)
 5 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da
 trasformazione omotetica)

D A T I A N A L I S I

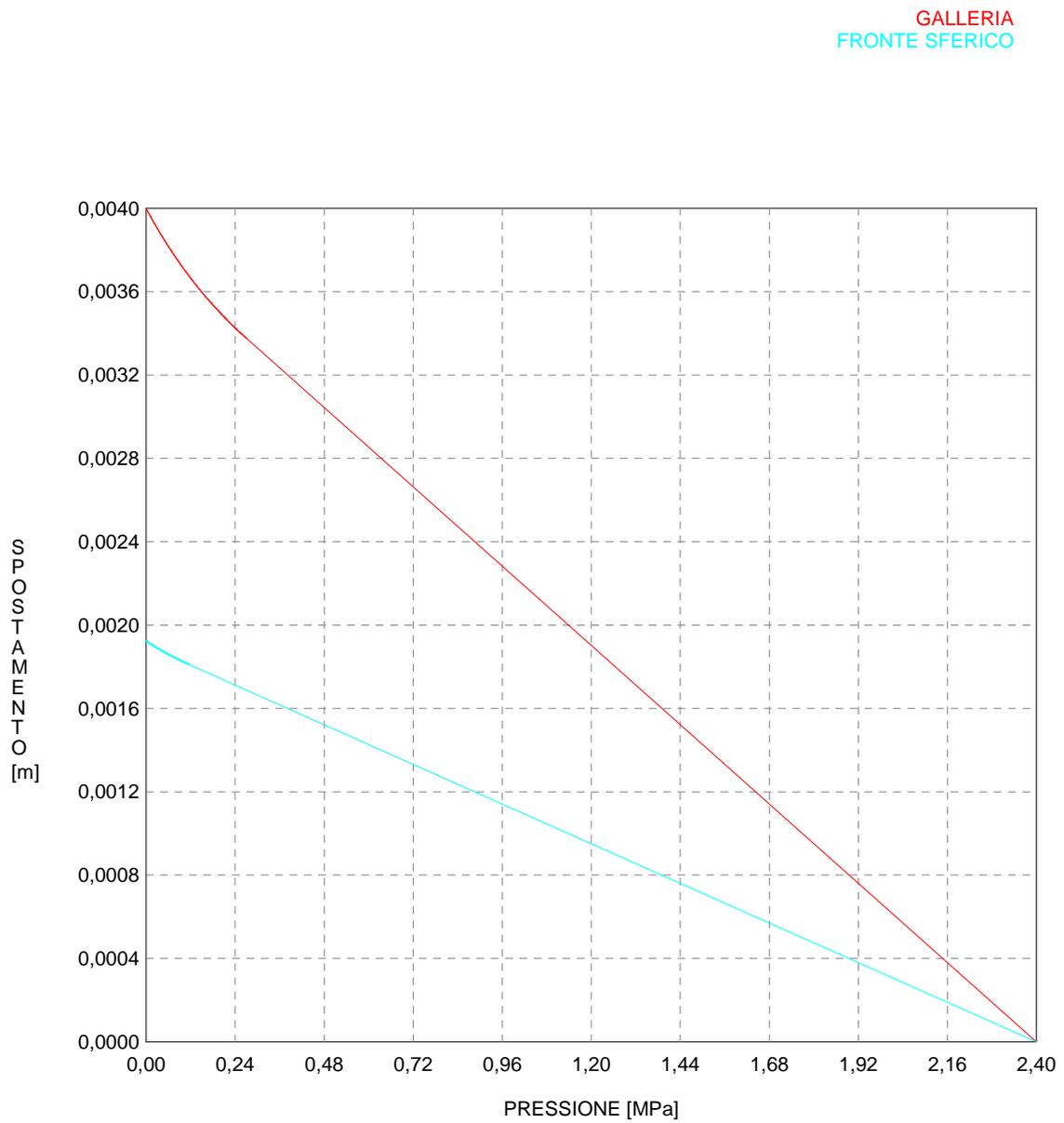
R galleria [m]	2.56000
PARAMETRI GEOTECNICI -----	
Tensione originaria [MPa]	3.60000
Modulo di Young [MPa]	2100.00000
Coefficiente di Poisson .....	.30000
Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] .	.00000
RESISTENZA ROCCIA	
Coesione picco [MPa] .....	.84000
Angolo attrito picco [°]	44.50000
Coesione residua [MPa] .....	.84000
Angolo attrito residuo [MPa]	44.50000
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] ....	.006090
Raggio plastico galleria non sostenuta [m]	2.814293
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] .....	.000000
Spostamento radiale fronte sferico [m] .....	.002900
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] .....	.001829
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ...	.001766
Raggio plastico fronte sferico [m]	2.624683

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] .....	.006090
Raggio plastico galleria fine calcolo [m]	2.814293



BNA3100_DIA.OUT

```

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

```

CALCOLO GALLERIE CON METODO
CONVERGENZA-CONFINAMENTO
SOLUTORE ANALITICO

VERSIONE 4 (2003)

BNA3_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

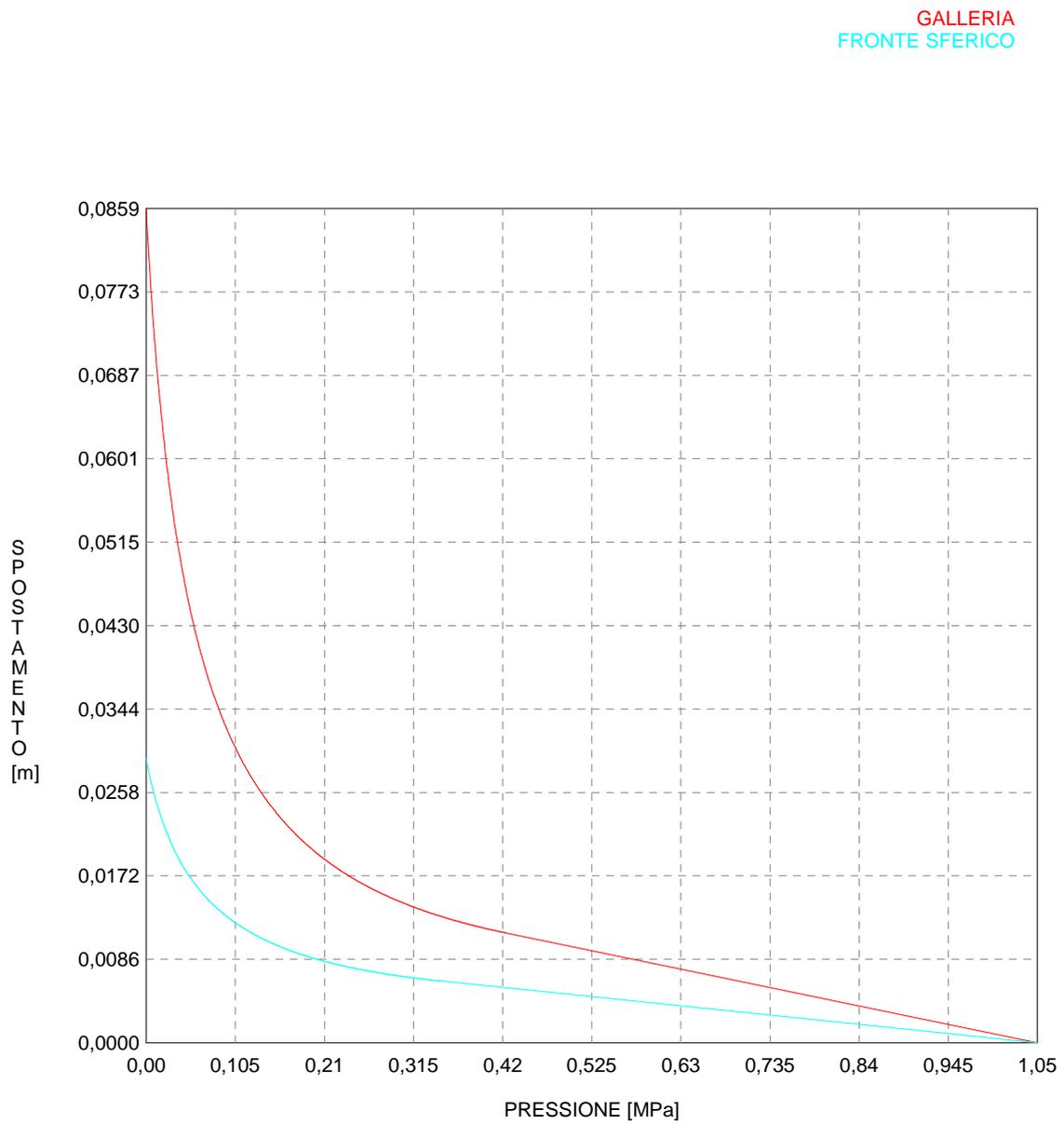
R galleria [m]	2.56000
PARAMETRI GEOTECNICI -----	
Tensione originaria [MPa]	2.40000
Modulo di Young [MPa]	2100.00000
Coefficiente di Poisson .....	.30000
Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] .	.00000
RESISTENZA ROCCIA	
Coesione picco [MPa] .....	.55000
Angolo attrito picco [°]	47.00000
Coesione residua [MPa] .....	.55000
Angolo attrito residuo [MPa]	47.00000
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] ....	.003999
Raggio plastico galleria non sostenuta [m]	2.766557
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] .....	.000000
Spostamento radiale fronte sferico [m] .....	.001922
Spostamento radiale fronte (correl. N_s) [m] .....	.001220
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ...	.001160
Raggio plastico fronte sferico [m]	2.608490

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] .....	.003999
Raggio plastico galleria fine calcolo [m]	2.766557



BNA350_DIA.OUT

```

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

```

CALCOLO GALLERIE CON METODO
CONVERGENZA-CONFINAMENTO
SOLUTORE ANALITICO

VERSIONE 4 (2003)

BNA3_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

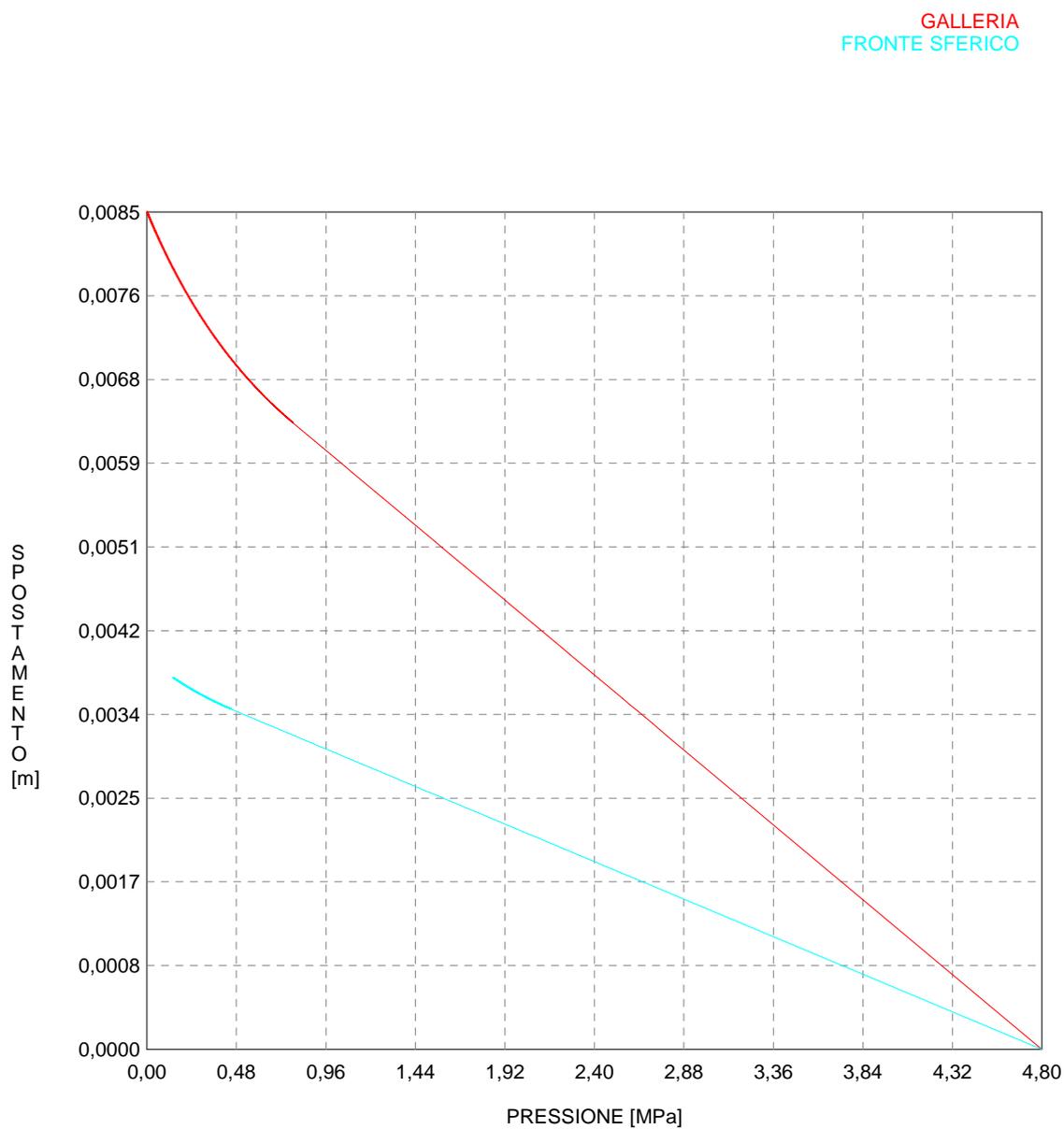
R galleria [m]	2.78000
PARAMETRI GEOTECNICI -----	
Tensione originaria [MPa]	1.05000
Modulo di Young [MPa]	200.00000
Coefficiente di Poisson .....	.30000
Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] .	.00000
RESISTENZA ROCCIA	
Coesione picco [MPa] .....	.03000
Angolo attrito picco [°]	35.00000
Coesione residua [MPa] .....	.03000
Angolo attrito residuo [MPa]	35.00000
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] ....	.085913
Raggio plastico galleria non sostenuta [m]	6.750532
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] .....	.000000
Spostamento radiale fronte sferico [m] .....	.029309
Spostamento radiale fronte (correl. N_s) [m] .....	.008548
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ...	.024915
Raggio plastico fronte sferico [m]	4.193429

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] .....	.085913
Raggio plastico galleria fine calcolo [m]	6.750532

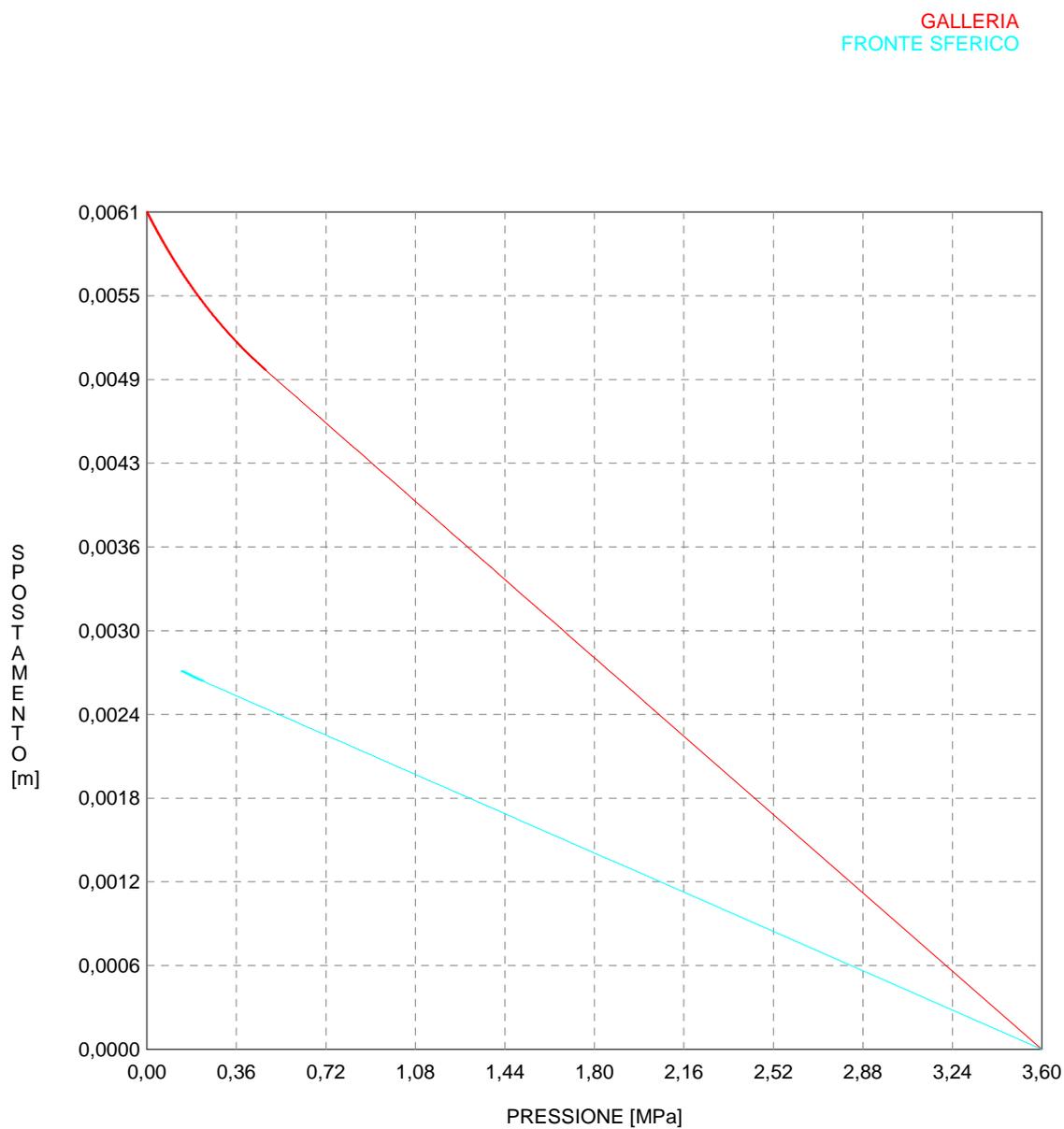


BNA3200_TER.OUT

Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] .....	.141000
Spostamento radiale fronte sferico [m] .....	.003761
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] .....	.002360
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ...	.002457
Raggio plastico fronte sferico [m]	2.631171

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] .....	.008473
Raggio plastico galleria fine calcolo [m]	2.916294

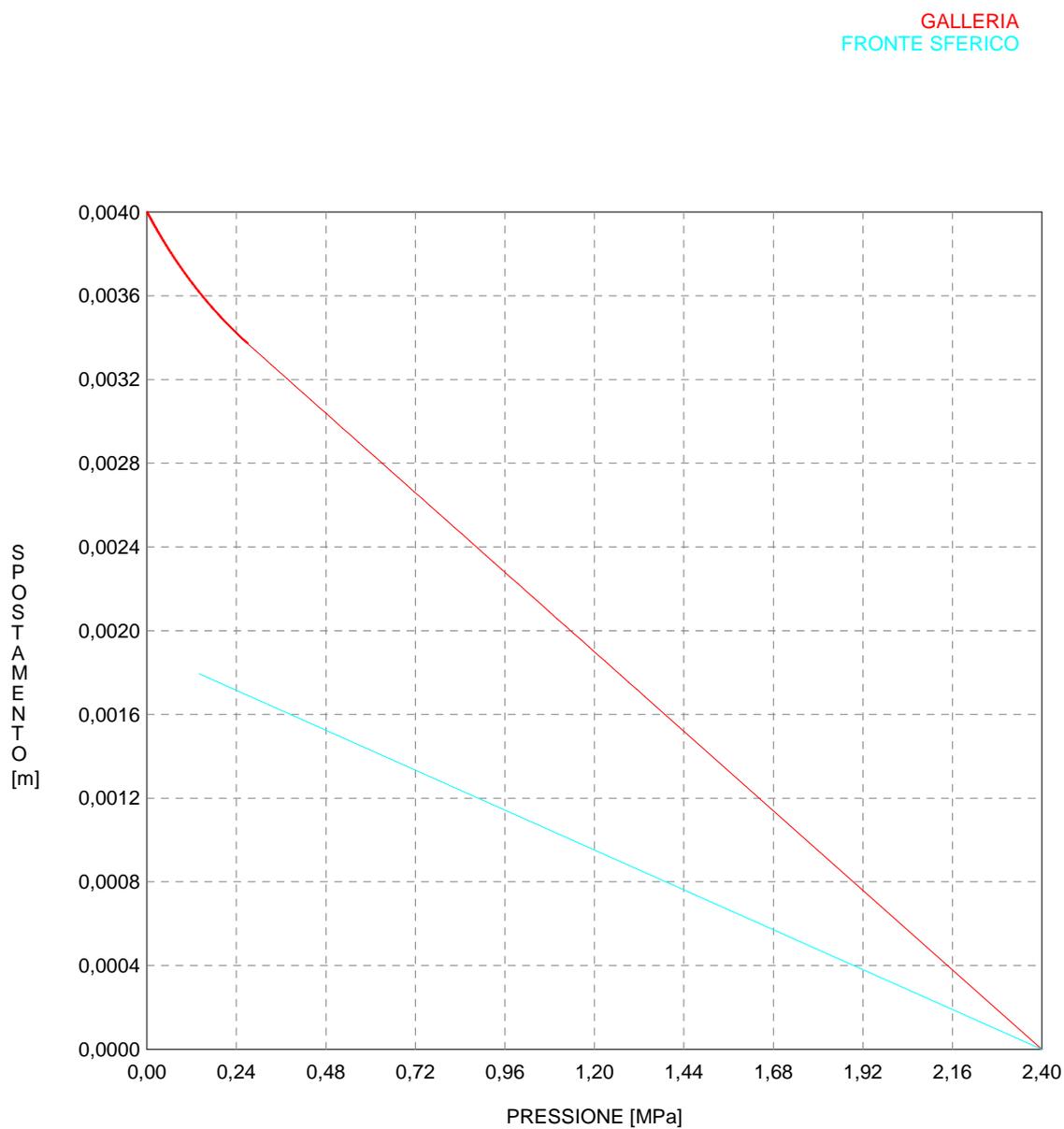


BNA3150_TER.OUT

Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] .....	.141000
Spostamento radiale fronte sferico [m] .....	.002745
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] .....	.001825
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ...	.001762
Raggio plastico fronte sferico [m]	2.584229

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] .....	.006076
Raggio plastico galleria fine calcolo [m]	2.815763

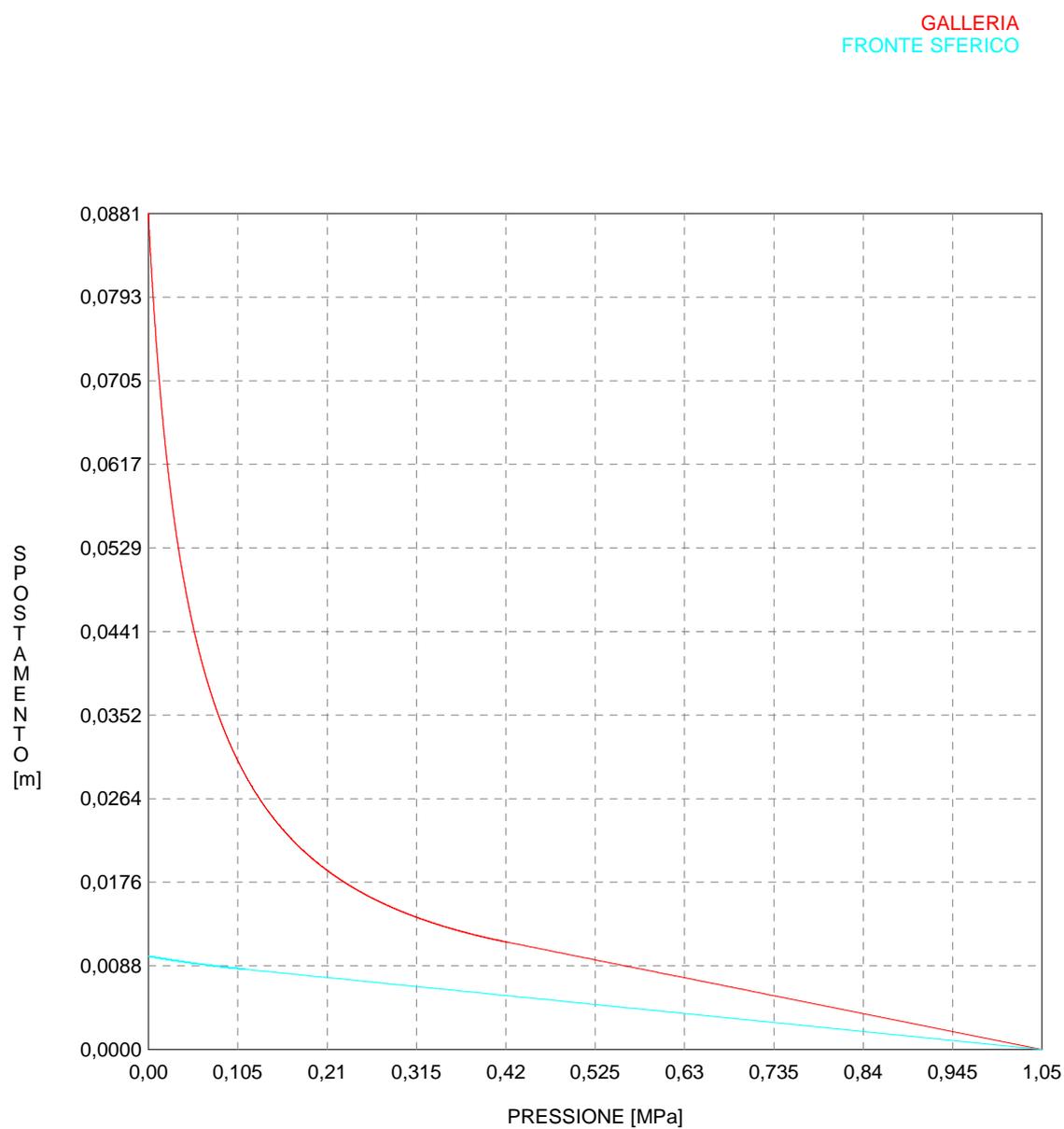


BNA3100_TER.OUT

Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] .....	.141000
Spostamento radiale fronte sferico [m] .....	.001789
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] .....	.001218
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ...	.001157
Raggio plastico fronte sferico [m]	2.560000

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] .....	.003989
Raggio plastico galleria fine calcolo [m]	2.767748



BNA350_TER.OUT

```

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

```

CALCOLO GALLERIE CON METODO
CONVERGENZA-CONFINAMENTO
SOLUTORE TRANSFER-MATRIX

VERSIONE 4 (2003)

BNA3_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]	2.78000
PARAMETRI GEOTECNICI -----	
Tensione originaria [MPa]	1.05000
Modulo di Young [MPa]	200.00000
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]	2.78000
Pressione interstiziale al bordo scavo L.T. [MPa] ..	.00000
Raggio influenza idraulica galleria L.T. [m]	2.78000
RESISTENZA ROCCIA	
Coesione picco [MPa] .....	.03000
Angolo attrito picco [°]	35.00000
Coesione residua [MPa] .....	.03000
Angolo attrito residuo [MPa]	35.00000
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] .....	.25700
Pressione sul fronte di scavo [MPa] .....	.00000
Parametri di resistenza equivalenti del fronte rinforzato	
Coesione picco [MPa] .....	.28700
Coesione residua [MPa] .....	.03000

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] .....	.088123
Raggio plastico galleria [m]	6.875373

BNA350_TER.OUT

Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] .....	.000000
Spostamento radiale fronte sferico [m] .....	.009829
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] .....	.025872
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ...	.025556
Raggio plastico fronte sferico [m]	2.911331

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] .....	.088123
Raggio plastico galleria fine calcolo [m]	6.875373