

COMMITTENTE:



DIREZIONE LAVORI:



APPALTATORE:

CONSORZIO:



SOCI:



PROGETTAZIONE:

MANDATARIA:



MANDANTI:



PROGETTO ESECUTIVO

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

GN08 - GALLERIA GROTTAMINARDA – USCITA DI EMERGENZA PEDONALE F5 pk 11+075
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	GN0800	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: IF2801EZZCLGN0800001B.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>Mandataria</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 GN0800 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)	15
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					
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 GN0800 001	REV. B	FOGLIO 3 di 17

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" IF2801EZZRGGN0800001, con riferimento all'uscita di emergenza pedonale F5 alla pk 11+075 della Galleria Rocchetta GN08.

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 GN0800 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°17 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 GN0800 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” IF2801EZZRGGN0800001B

Rif. [20] “Relazione di monitoraggio” IF2801EZZRHGA08000050B

Rif. [21] “Profilo geotecnico/geomeccanico - Finestra F1” IF2801EZZF6GN08000090B.

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 GN0800 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 GN0800 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]
BNA2_50	BNA2	50	1,13	22,5	210	36	600
BNA2_100	BNA2	100	2,25	22,5	265	31	600
BNA2med100	BNA2	150	3,38	22,5	330	30	600
BNA2max100	BNA2	200	4,50	22,5	520	32	670

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 GN0800 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]	
BNA2_50	0.004	0.14%	2.81	1.12	0.008	3.28	B
BNA2_100	0.010	0.39%	3.18	1.27	0.025	4.27	B
BNA2_150	0.019	0.74%	3.48	1.39	0.051	5.13	B
BNA2_200	0.018	0.72%	3.22	1.29	0.046	4.36	B

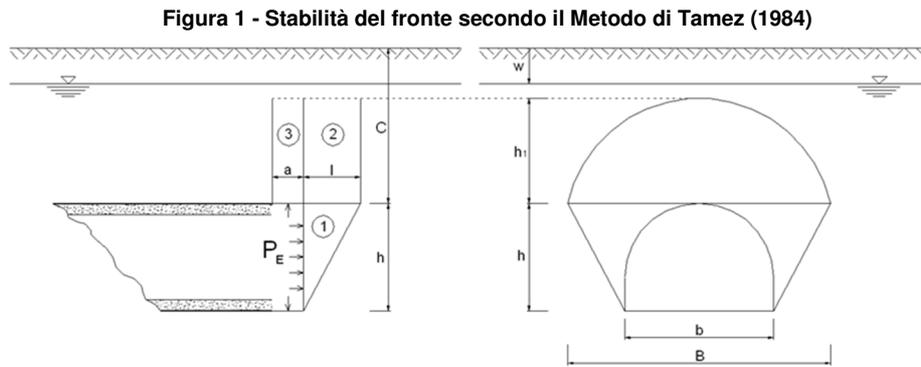
APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA AV SALINI IMPREGIO S.P.A. ASTALDI S.P.A	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.						
PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo uscita di emergenza	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ CL	DOCUMENTO GN0800 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:

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

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: 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 GN0800 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>				
BNA2	15.0	21.0	27.5	27.0

Tunnel Face layers	ΔH [m]	γ_n [kNm^{-3}]	c'/c_u [kPa]	ϕ' [°]
<i>layers ordering: invert-crown</i>				
BNA2	4.6	21.0	27.5	27.0

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]	2.82

Failure Mechanism Prisms - Average geotechnical properties

Prisms 1

Average buoyant unit weight	γ_b [kNm^{-3}]	21.0
Average saturated unit weight	γ_n [kNm^{-3}]	21.0
Average cohesion	c _u [kPa]	27.5
Average friction angle	ϕ'_E [°]	27.0
Coefficient of passive earth pressure	K _p [-]	2.66

Prisms 2-3

Average buoyant unit weight	γ_b [kNm^{-3}]	21.0
Average saturated unit weight	γ_n [kNm^{-3}]	21.0
Average cohesion within Discharge Zone	c _u [kPa]	27.5
Average friction angle within Discharge Zone	ϕ'_P [°]	27.0
Friction Coefficient within Discharge Zone	K _f [-]	0.66

Prismatic volumes shear resistance and Safety factors

Failure Mechanism wedges - Effective stresses

Eff. vert. stress at discharge-zone top	σ'_{vd} [kPa]	150
Eff. vertical stress at 1/3 discharge zone	σ'_{vd} [kPa]	100
Eff. vertical stress at 2/3 discharge zone	σ'_{vd} [kPa]	50
Undist. eff. vertical stress at crown	σ'_v [kPa]	315
Undist. eff. vert. stress at tunnel springline	σ'_{v0} [kPa]	363

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]	73
Unit shear strength (prisms 2)	s _{m2} [kPa]	47.4
Unit shear strength (prism 3)	s _{m3} [kPa]	43.3

Tunnel-face global stability (M _{ΣFR} /M _{ΣFA})	FS _g	1.33
--	-----------------	------

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

FS_c 2.62

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 GN0800 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>
$< 2 \text{ e } \geq 1,5$	<u>B</u>
$< 1,5$	<u>C</u>

Per quanto riguarda il BNA2, 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 1.33 che indica una classe di comportamento di tipo b.

Si prevede comunque l'utilizzo della sezione B1V la quale prevede un intervento di consolidamento al contorno del cavo atto alla formazione dell'effetto arco di scarico.

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 GN0800 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	Lunghezza campo	Interventi di precontenimento e presostegno		
			interventi al fronte	interventi al contorno	drenaggi
[-]	[m ²]	[m]	[-]	[-]	[-]
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)
B1V	24.64	8	13 elementi in vtr cementati con miscele cementizie l=12.00m (sovrapp. min. 4m) ±20%	28 elementi in vtr cementati con miscele cementizie espansive l=12m (sovrapp. min. 4m) passo 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)

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 GN0800 001	REV. B	FOGLIO 13 di 17

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:

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

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

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

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

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_{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;

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 GN0800 001	REV. B	FOGLIO 14 di 17

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.

APPALTATORE: Consortio 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 GN0800 001	REV. B	FOGLIO 15 di 17

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

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. – BNA2 50 – (B2)	0.003	0.11%	2.62	1.02
VALORI CARATT. – BNA2 100 – (B2)	0.008	0.30%	2.99	1.17
VALORI CARATT. – BNA2 150 – (B2)	0.015	0.59%	3.29	1.29
VALORI CARATT. – BNA2 200 – (B2)	0.016	0.61%	3.11	1.21

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. – BNA2 200 – (B2)	0.02	0.87%	3.56	1.39

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 ($A_2+M_2+R_2$), con $R_2 = 1$.

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: Consorzio 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: 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 GN0800 001	REV. B	FOGLIO 16 di 17

FACE STABILITY ANALYSIS		SEZIONE TIPO B1V			
Enrique Tamez Gonzàles - Diseño Geotécnic de Túneles (1997)					
Stratigraphy and geotechnical properties					
Overburden layers	ΔH [m]	γ_n [kNm ⁻³]	c'/Cu [kPa]	ϕ' [°]	
<i>layers ordering: from tunnel crown to ground surface</i>					
Consolidation	1.0	21.0	55.0	27.0	
BNA2	14.0	21.0	27.5	27.0	
Tunnel Face layers	ΔH [m]	γ_n [kNm ⁻³]	c'/Cu [kPa]	ϕ' [°]	
<i>layers ordering: invert-crown</i>					
Consolidation	4.8	21.0	27.5	27.0	
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]	24.6			
Tunnel face height	A [m]	4.8			
Tunnel face width	D [m]	5.6			
Equivalent tunnel diameter	D _{eq} [m]	5.60			
Free span length	a [m]	1.0			
Failure Mechanism geometry					
Discharge zone height	Z _d [m]	9.52			
Length of prisms in advance	L _p [m]	2.94			
Failure Mechanism Prisms - Average geotechnical properties					
Prisms 1			Prisms 2-3		
Average buoyant unit weight	γ_b [kNm ⁻³]	21.0	Average buoyant unit weight	γ_b [kNm ⁻³]	21.0
Average saturated unit weight	γ_n [kNm ⁻³]	21.0	Average saturated unit weight	γ_n [kNm ⁻³]	21.0
Average cohesion	c _u [kPa]	27.5	Average cohesion within Discharge Zone	c _u [kPa]	30.4
Average friction angle	ϕ'_e [°]	27.0	Average friction angle within Discharge Zone	ϕ'_p [°]	27.0
Coefficient of passive earth pressure	K _p [-]	2.66	Friction Coefficient within Discharge Zone	K _f [-]	0.66
Therapy phase					
Conventional Excavation					
Injection grout properties			Face VTR Bars/Bolts properties		
Cubic compression resistance	R _{ck} [MPa]	15.0	Unit Tensile strength	α_b [MPa]	600.0
Injection influence ratio	i _i [-]	1.0	Unit Tensile strength at joint	α_j [MPa]	600.0
Curing factor	γ_c [-]	1.0	Unit Shear strength	α_s [MPa]	100.0
Material partial safety factor	γ_f [-]	1.0	Drilling diameter	ϕ_{drill} [mm]	110.0
Possion ratio	ν_c [-]	0.2	External diameter	ϕ_{ext} [mm]	60.0
Elastic module	E _c [GPa]	20.0	Thickness	th _b [mm]	10.0
Grout-soil bond	τ_a [kPa]	100	Single bar Cross sectional area	A _b [mm ²]	1571
Injection penetrability coeff.	α_i [-]	1.1	Overlapping length	L _{LAP} [m]	4
Design strenght (ULS)	α_c [-]	1.0	Joint step	i _{joint} [m]	4
Single bar Shear strenght	T _t [kN]	157	Number of bars installed at tunnel face	N _b [-]	13
Single bar Tensile strenght	T _T [kN]	942	N° of bars for unit of area	n _b [m ⁻²]	0.53
Single bar Pull-out strenght	T _F [kN]	152	Applied pressure at tunnel boundary	pa [kPa]	0
Max. resistance offered by bars	T _{max} [kN]	152	Equivalent pressure acting at face	pf [kPa]	80
Prismatic volumes shear resistance and Safety factors					
Failure Mechanism wedges - Effective stresses			Pore Pressure distribution		
Eff. vert. stress at discharge-zone top	σ'_{vd} [kPa]	115	pore pressure at discharge-zone top	u _d [kPa]	0
Eff. vertical stress at 1/3 discharge-zone	σ'_{vd} [kPa]	77	pore pressure at 1/3 discharge-zone	u _{d1/3} [kPa]	0
Eff. vertical stress at 2/3 discharge-zone	σ'_{vd} [kPa]	38	pore pressure at 2/3 discharge-zone	u _{d2/3} [kPa]	0
Undist. eff. vertical stress at crown	σ'_v [kPa]	315	pore pressure at tunnel springline	u _o [kPa]	0
Undist. eff. vert. stress at tunnel springline	σ'_{v0} [kPa]	365	pore pressure at tunnel invert	u _r [kPa]	0
Failure Mechanism wedges - Unit strenghts			Tunnel-face global stability (M_{Στ}/M_{Σs_x})		
Face wedge unit strength (prism 1)	q [kPa]	284	FS _g		2.41
Unit shear strength (prisms 2)	τ_{m2} [kPa]	55.2			
Unit shear strength (prism 3)	τ_{m3} [kPa]	39.3			
Crown-wedge stability (vertical sliding) <small>(Shear stresses elastic field)</small>			FS _c		2.80

APPALTATORE: Consorzio 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: 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 GN0800 001	REV. B	FOGLIO 17 di 17

FACE STABILITY ANALYSIS SEZIONE TIPO B1V 

Enrique Tamez Gonzàles - Diseño Geotécnic de Túneles (1997)

Stratigraphy and geotechnical properties

Overburden layers	ΔH [m]	γ_n [kNm^{-3}]	c'/Cu [kPa]	ϕ' [°]
<i>layers ordering: from tunnel crown to ground surface</i>				
Consolidamer	1.0	21.0	44.0	22.2
BNA2	14.0	21.0	22	22.2

Tunnel Face layers	ΔH [m]	γ_n [kNm^{-3}]	c'/Cu [kPa]	ϕ' [°]
<i>layers ordering: invert-crown</i>				
Consolidamer	4.8	21.0	22.0	22.2

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]	24.6
Tunnel face height	A [m]	4.8
Tunnel face width	D [m]	5.6

Equivalent tunnel diameter	D _{eq} [m]	5.60
Free span length	a [m]	1.0

Failure Mechanism geometry		
Discharge zone height	Z _d [m]	9.52
Length of prisms in advance	L _p [m]	3.23

Failure Mechanism Prisms - Average geotechnical properties

Prisms 1		
Average buoyant unit weight	γ_b [kNm^{-3}]	21.0
Average saturated unit weight	γ_n [kNm^{-3}]	21.0
Average cohesion	cu [kPa]	22.0
Average friction angle	ϕ'_f [°]	22.2
Coefficient of passive earth pressure	K _p [-]	2.21

Prisms 2-3		
Average buoyant unit weight	γ_b [kNm^{-3}]	21.0
Average saturated unit weight	γ_n [kNm^{-3}]	21.0
Average cohesion within Discharge Zone	cu [kPa]	24.3
Average friction angle within Discharge Zone	ϕ'_p [°]	22.2
Friction Coefficient within Discharge Zone	K _f [-]	0.75

Therapy phase
Conventional Excavation

Injection grout properties		
Cubic compression resistance	R _{ck} [MPa]	15.0
Injection influence ratio	i _i [-]	1.0
Curing factor	γ_c [-]	1.0
Material partial safety factor	γ_f [-]	1.0
Possion ratio	ν_c [-]	0.2
Elastic module	E _c [GPa]	20.0
Grout-soil bond	τ_a [kPa]	100
Injection penetrability coeff.	α_i [-]	1.1
Design strenght (ULS)	α_c [-]	1.0

Face VTR Bars/Bolts properties		
Unit Tensile strength	α_b [MPa]	600.0
Unit Tensile strength at joint	α_j [MPa]	600.0
Unit Shear strength	α_s [MPa]	100.0
Drilling diameter	ϕ_{dril} [mm]	110.0
External diameter	ϕ_{ext} [mm]	60.0
Thickness	th _b [mm]	10.0
Single bar Cross sectional area	A _b [mm ²]	1571
Overlapping length	L _{LAP} [m]	4
Joint step	i _{joint} [m]	4

Single bar Shear strenght	T _t [kN]	157
Single bar Tensile strenght	T _T [kN]	942
Single bar Pull-out strenght	T _F [kN]	152
Max. resistance offered by bars	T _{max} [kN]	152

Number of bars installed at tunnel face	N _b [-]	13
N° of bars for unit of area	n _b [m ⁻²]	0.53
Applied pressure at tunnel boundary	pa [kPa]	0
Equivalent pressure acting at face	pf [kPa]	80

Prismatic volumes shear resistance and Safety factors

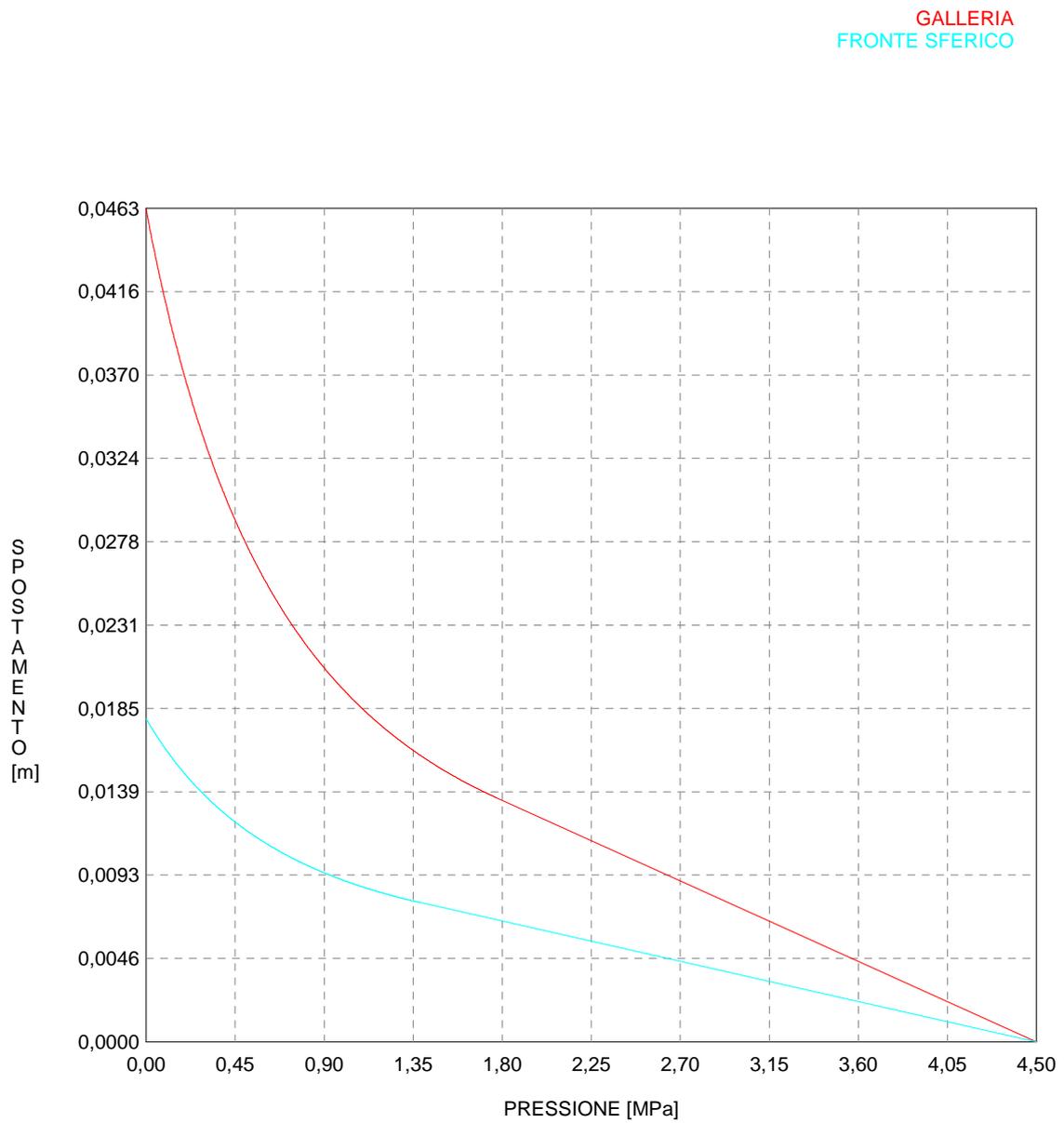
Failure Mechanism wedges - Effective stresses		
Eff. vert. stress at discharge-zone top	σ'_{vd} [kPa]	115
Eff. vertical stress at 1/3 discharge-zone	σ'_{vd} [kPa]	77
Eff. vertical stress at 2/3 discharge-zone	σ'_{vd} [kPa]	38
Undist. eff. vertical stress at crown	σ'_v [kPa]	315
Undist. eff. vert. stress at tunnel springline	σ'_{v0} [kPa]	365

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 _r [kPa]	0

Failure Mechanism wedges - Unit strenghts		
Face wedge unit strength (prism 1)	q [kPa]	216
Unit shear strength (prisms 2)	τ_{m2} [kPa]	46.8
Unit shear strength (prism 3)	τ_{m3} [kPa]	35.9

Tunnel-face global stability (M _{Σ_z} /M _{Σ_x})	FS _g	1.81
--	-----------------	------

Crown-wedge stability (vertical sliding) (Shear stresses elastic field)	FS _c	2.55
---	-----------------	------



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

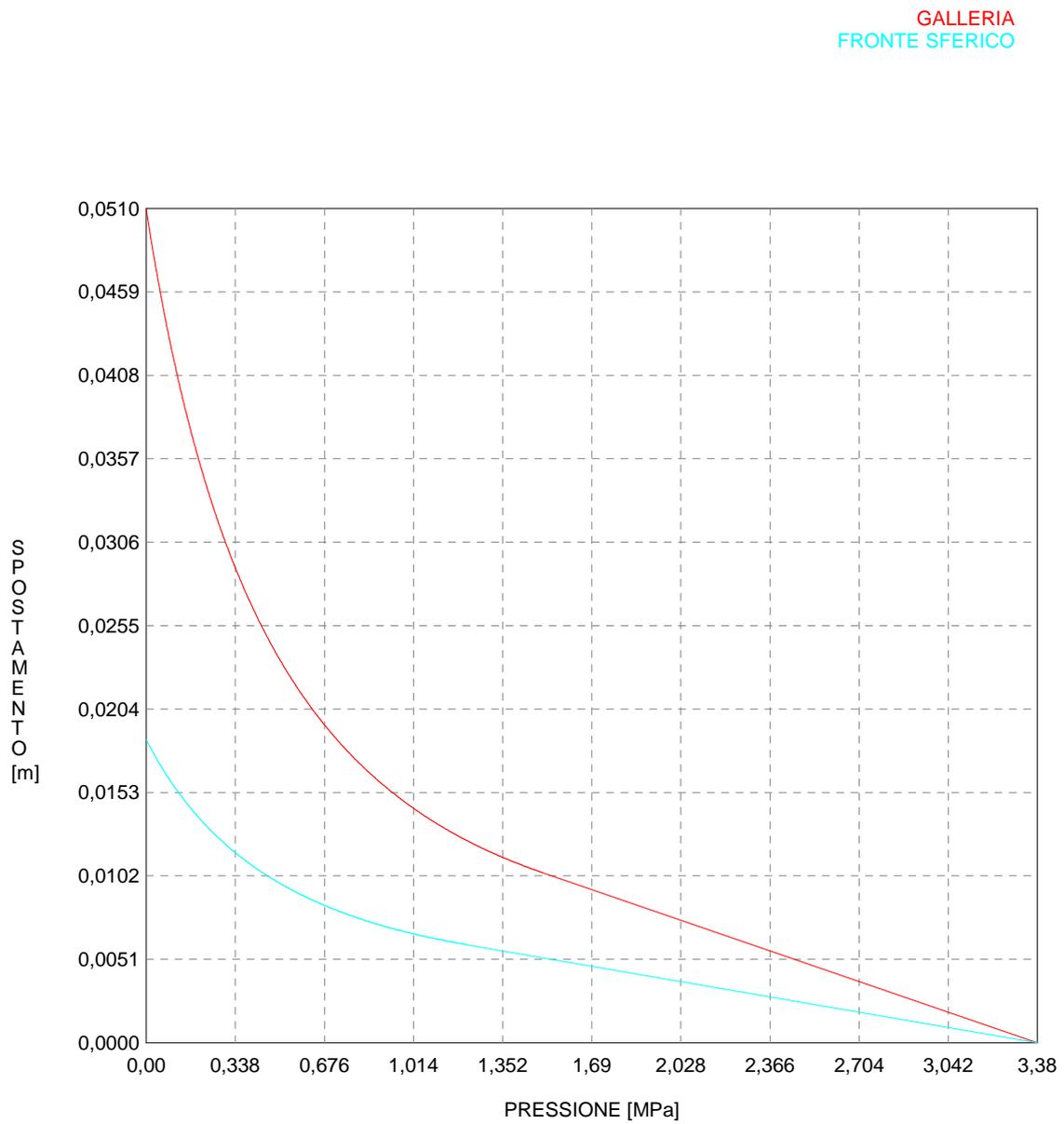
R galleria [m]	2.56000
PARAMETRI GEOTECNICI -----	
Tensione originaria [MPa]	4.50000
Modulo di Young [MPa]	670.00000
Coefficiente di Poisson .....	.30000
Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] .	.00000
RESISTENZA ROCCIA	
Coesione picco [MPa] .....	.52000
Angolo attrito picco [°]	30.50000
Coesione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



BNA2150_DIA.OUT

```

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

```

CALCOLO GALLERIE CON METODO
CONVERGENZA-CONFINAMENTO
SOLUTORE ANALITICO

VERSIONE 4 (2003)

BNA2_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 N_s)
 5 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da
 trasformazione omotetica)

D A T I A N A L I S I

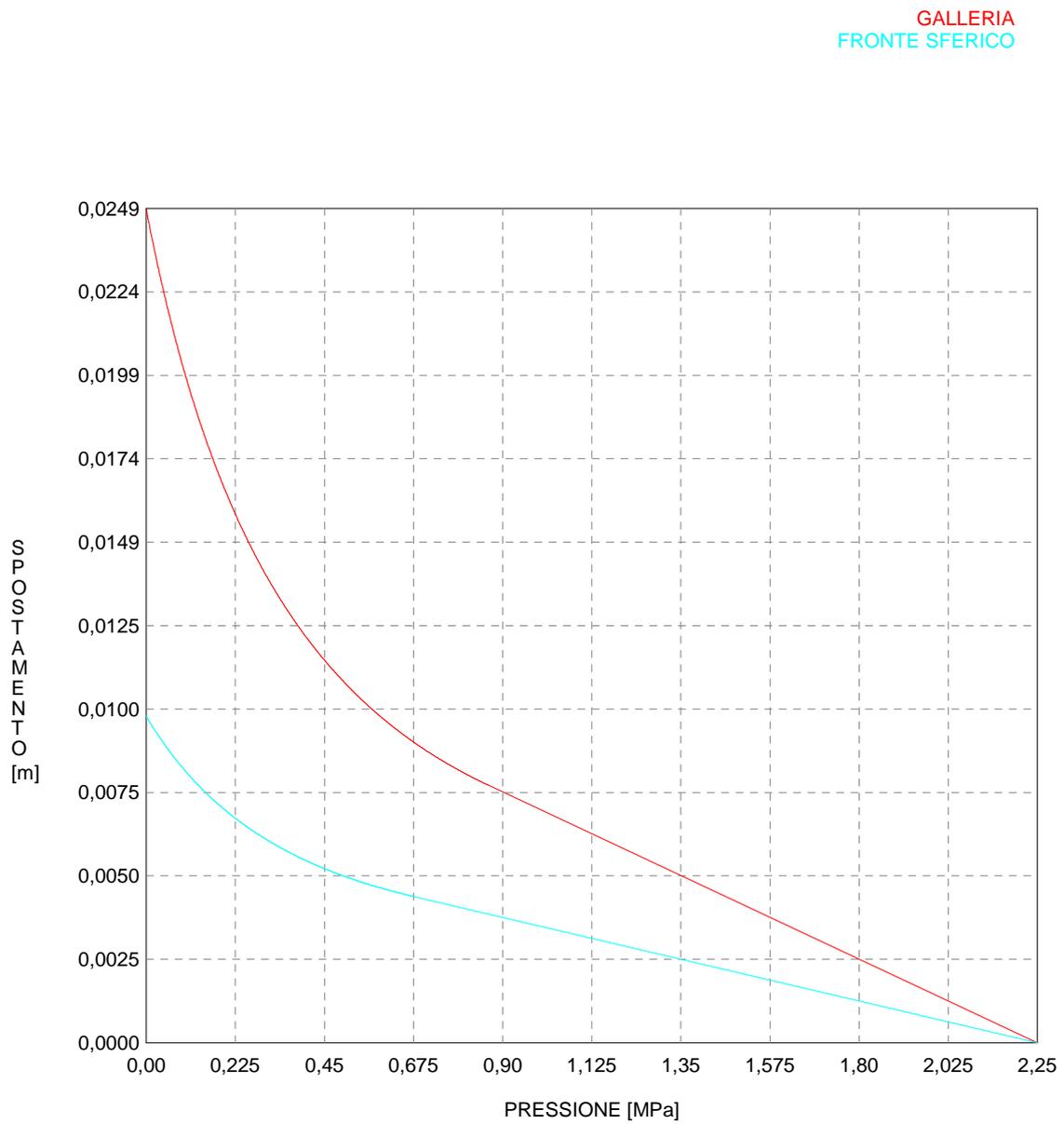
R galleria [m]	2.56000
PARAMETRI GEOTECNICI -----	
Tensione originaria [MPa]	3.38000
Modulo di Young [MPa]	600.00000
Coefficiente di Poisson .....	.30000
Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] .	.00000
RESISTENZA ROCCIA	
Coesione picco [MPa] .....	.33000
Angolo attrito picco [°]	28.00000
Coesione residua [MPa] .....	.33000
Angolo attrito residuo [MPa]	28.00000
Angolo dilatanza [°] .....	.00000

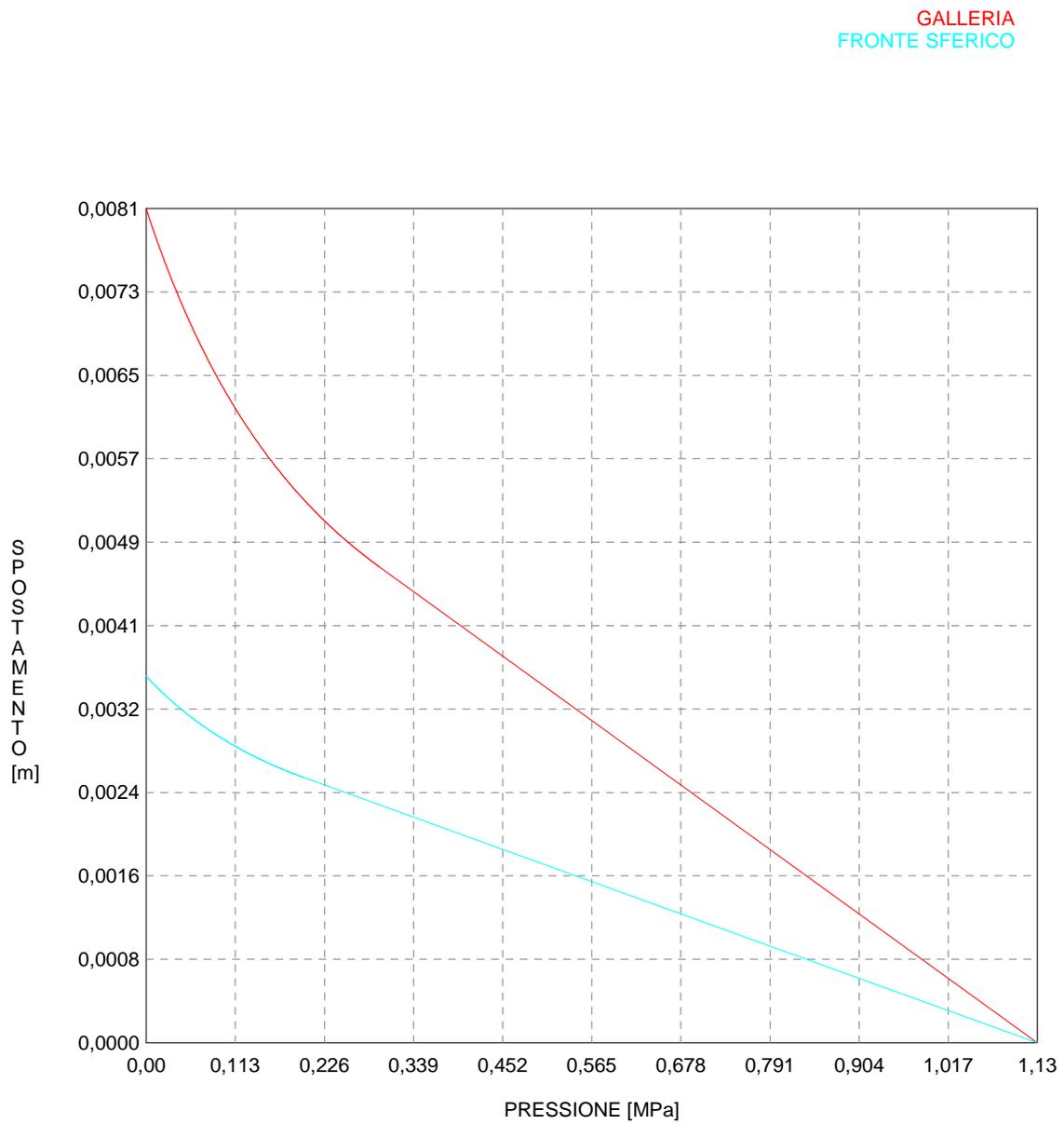
R I S U L T A T O A N A L I S I F R O N T E D I S C A V O

Press. fine calcolo galleria non sostenuta [MPa] ..	.000000
Spostamento radiale galleria non sostenuta [m] ....	.051027
Raggio plastico galleria non sostenuta [m]	5.128185
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] .....	.000000
Spostamento radiale fronte sferico [m] .....	.018547
Spostamento radiale fronte (correl. N_s) [m] .....	.005077
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ...	.014798
Raggio plastico fronte sferico [m]	3.477469

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] .....	.051027
Raggio plastico galleria fine calcolo [m]	5.128185





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]	2.56000
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

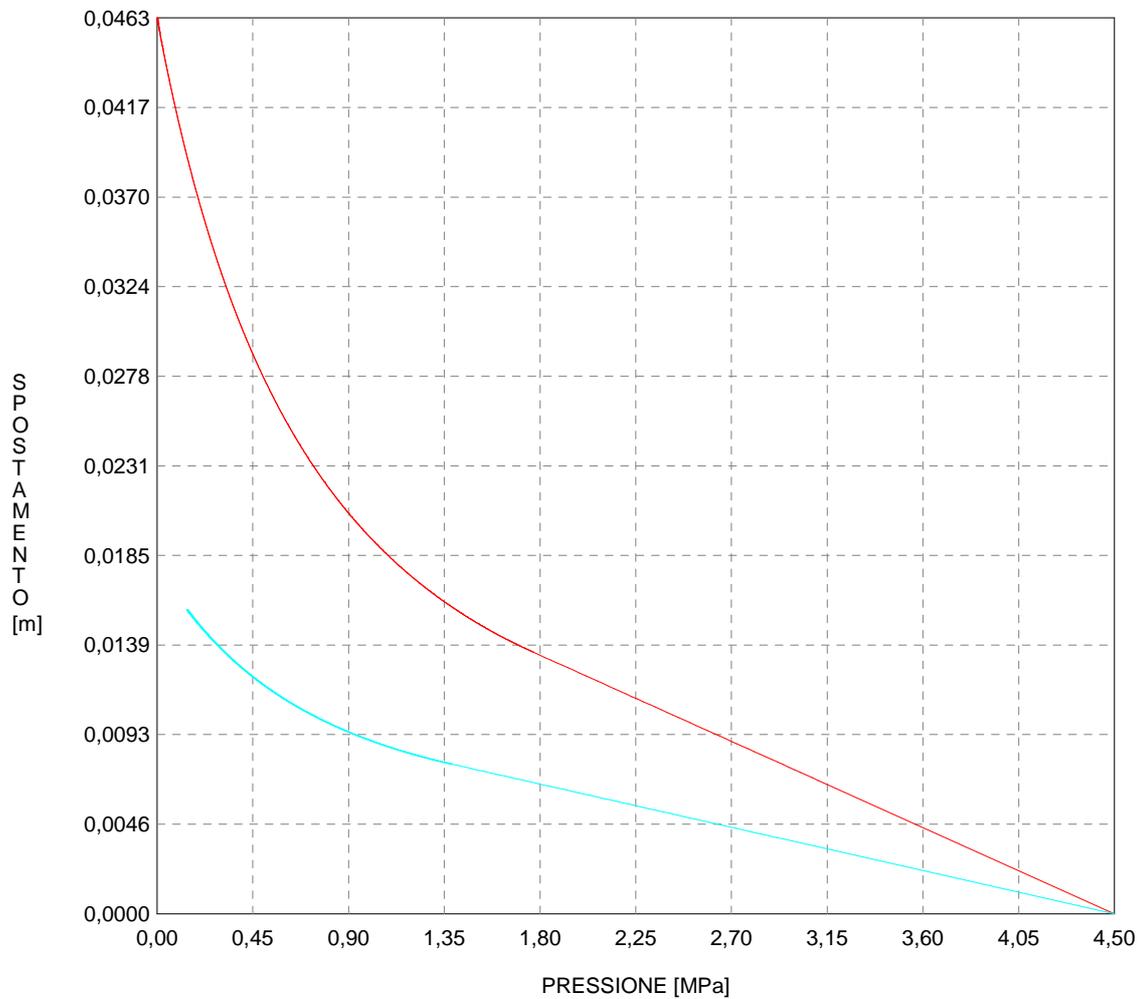
R I S U L T A T O A N A L I S I F R O N T E D I S C A V O

Press. fine calcolo galleria non sostenuta [MPa] ..	.000000
Spostamento radiale galleria non sostenuta [m] ....	.008112
Raggio plastico galleria non sostenuta [m]	3.277896
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] .....	.000000
Spostamento radiale fronte sferico [m] .....	.003565
Spostamento radiale fronte (correl. N_s) [m] .....	.001956
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ...	.002352
Raggio plastico fronte sferico [m]	2.807333

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] .....	.008112
Raggio plastico galleria fine calcolo [m]	3.277896

GALLERIA
FRONTE SFERICO

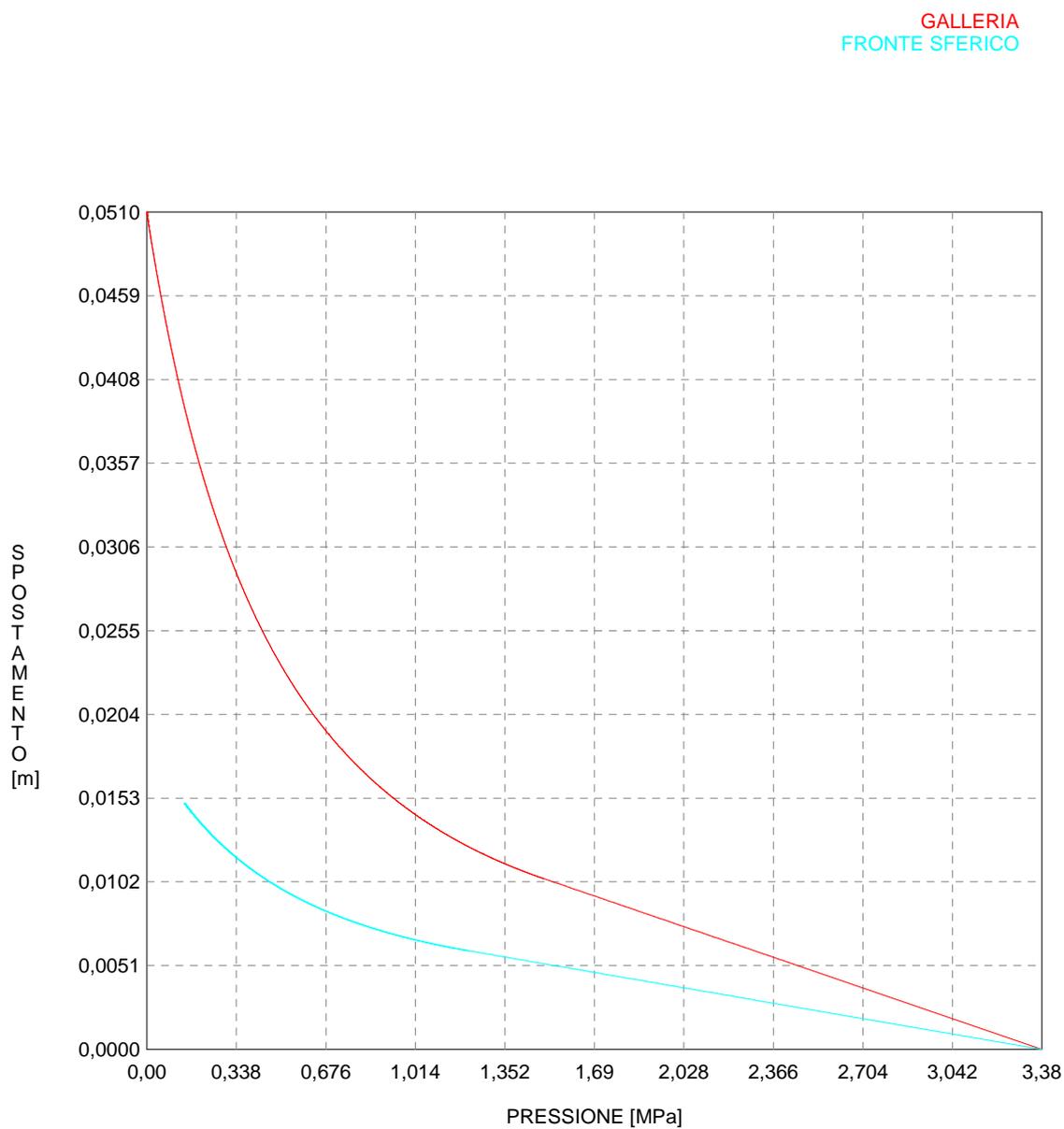


BNA2200_TER.OUT

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



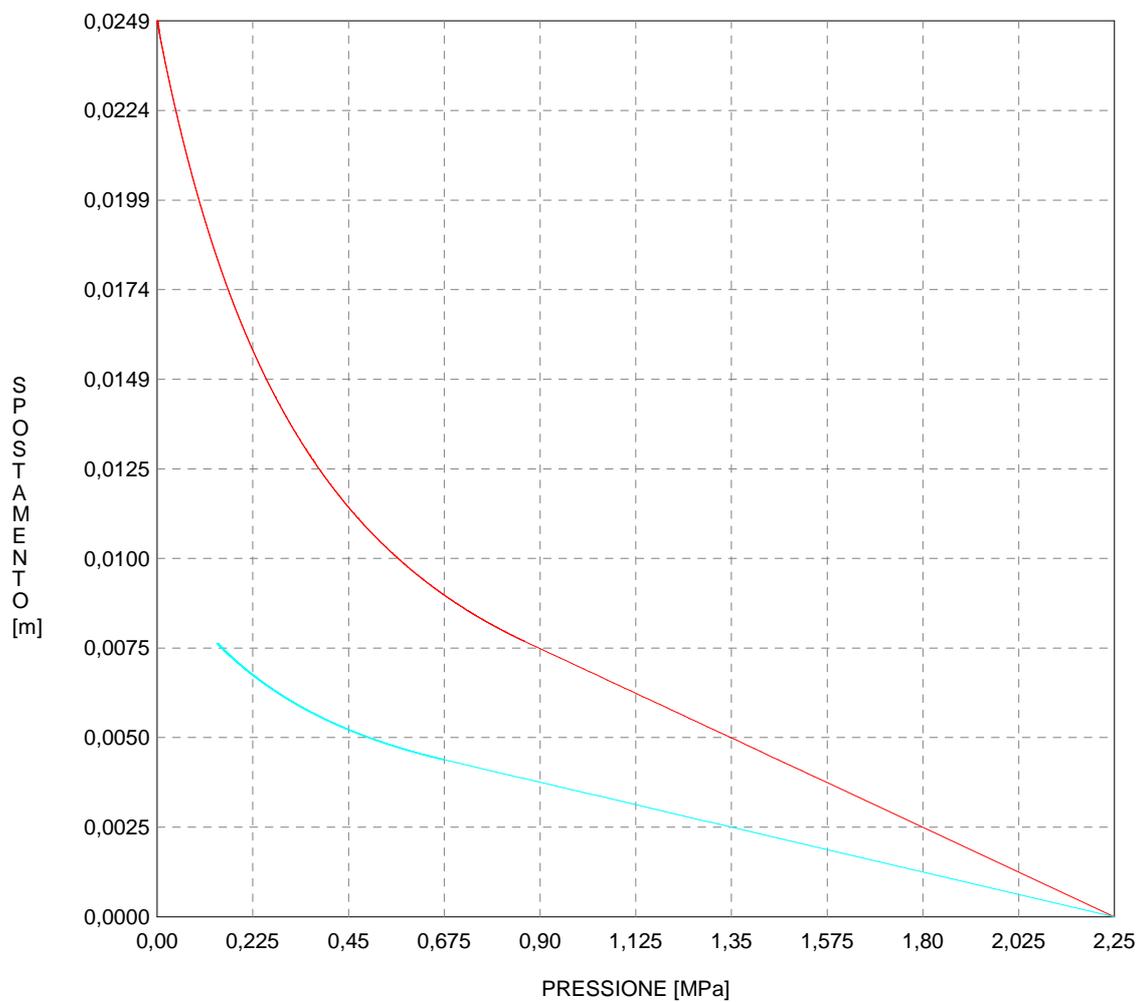
BNA2150_TER.OUT

Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] .....	.141000
Spostamento radiale fronte sferico [m] .....	.014991
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] .....	.005072
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ...	.014784
Raggio plastico fronte sferico [m]	3.290557

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] .....	.050978
Raggio plastico galleria fine calcolo [m]	5.146608

GALLERIA
FRONTE SFERICO

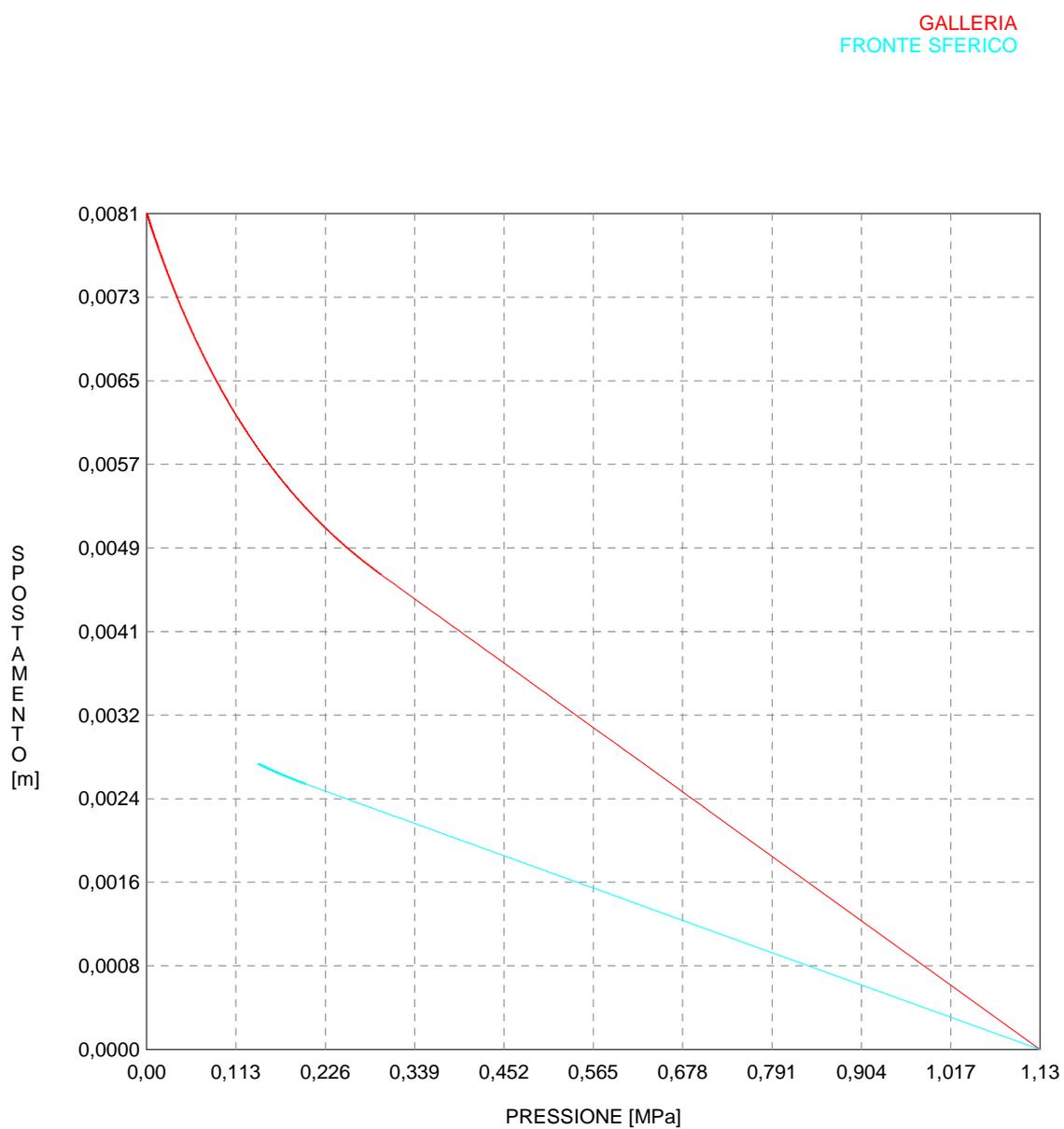


BNA2100_TER.OUT

Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] .....	.141000
Spostamento radiale fronte sferico [m] .....	.007599
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] .....	.002785
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ...	.007224
Raggio plastico fronte sferico [m]	2.986267

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] .....	.024912
Raggio plastico galleria fine calcolo [m]	4.276408



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] ..... 2.56000

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] ..... 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] ..... .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] ..... .14100
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] ..... .008105
Raggio plastico galleria [m] ..... 3.286309

```

BNA250_TER.OUT	
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] .....	.141000
Spostamento radiale fronte sferico [m] .....	.002769
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] .....	.001954
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ...	.002350
Raggio plastico fronte sferico [m]	2.618713

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] .....	.008105
Raggio plastico galleria fine calcolo [m]	3.286309