

COMMITTENTE



PROGETTAZIONE:



DIREZIONE TECNICA

U.O. GALLERIE

PROGETTO DEFINITIVO

VELOCIZZAZIONE LINEA SAN GAVINO – SASSARI – OLBIA

Variante di Bonorva - Torralba

Galleria Giave - Relazione geotecnica e di calcolo

SCALA:

-

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

RR0H 04 D 07 CL GN0200 001 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	A. Amato <i>A. Amato</i>	Marzo 2018	H. Mohamed Dahir <i>HMD</i>	Marzo 2018	T. Paoletti <i>T. Paoletti</i>	Marzo 2018	A. Sciotti Marzo 2018 ITALFERR S.p.A. U.O. GALLERIE Cott. Ing. Alessandra Sciotti Ordine degli Ingegneri di Roma n° 19848 <i>A. Sciotti</i>

File RR0H04D07CLGN0200001A

n. Elab:432

INDICE

1	PREMESSA	6
2	SCOPO E CONTENUTI DEL DOCUMENTO	6
3	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	7
3.1	LEGGI E NORMATIVE COGENTI	7
3.2	NORMATIVE NON COGENTI E RACCOMANDAZIONI	7
3.3	PRESCRIZIONI E SPECIFICHE TECNICHE (RFI, ITF)	7
4	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	7
4.1	DOCUMENTI REFERENZIATI	7
7	DESCRIZIONE DELL'OPERA	11
7.1	IL TRACCIATO E LE OPERE IN SOTTERRANEO	11
7.2	INTERFERENZE LUNGO IL TRACCIATO	12
8	FASE CONOSCITIVA	13
8.3	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DELLA FORMAZIONE DELLE PIROCLASTITI RIOLITICHE (PRR)	26
	8.3.1 <i>Riepilogo dei parametri geotecnici di progetto</i>	29
8.4	IL REGIME IDRAULICO	30
8.5	LO STATO TENSIONALE IN SITO.	31
9	FASE DI DIAGNOSI	32
9.1	CLASSI DI COMPORTAMENTO DEL FRONTE DI SCAVO	32
9.2	DETERMINAZIONE DELLE CATEGORIE DI COMPORTAMENTO	33
	9.2.1 <i>Analisi con il metodo delle linee caratteristiche</i>	33
	<i>Metodo di analisi</i>	33
	<i>Sezioni analizzate</i>	34
	<i>Risultati delle analisi</i>	34
	9.2.2 <i>Definizione delle tratte a comportamento tensio-deformativo omogeneo</i>	36
10	FASE DI TERAPIA	37
10.1	DEFINIZIONE DELLE SEZIONI TIPO	37
	10.1.1 <i>Sezione tipo A1</i>	37

10.1.2	Sezione A2	38
10.1.3	Sezione tipo B1	39
10.2	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI STRUTTURALI	40
10.3	ANALISI E VERIFICA DELLE SEZIONI TIPO	42
10.3.1	Criteri di verifica.....	42
10.3.1.1	Interazione opera-terreno	43
10.3.1.2	Verifiche di resistenza dei rivestimenti di prima fase.....	44
10.3.2	Sezione A1	46
10.3.2.1	Curve caratteristiche e tassi di rilascio.....	46
10.3.2.2	Modello numerico e fasi dell'analisi.....	47
10.3.2.3	Risultati dell'analisi.....	48
10.3.2.4	Verifiche dei rivestimenti di prima fase.....	49
10.3.2.5	Verifiche di resistenza dei rivestimenti definitivi.....	54
10.3.3	Sezione B1	57
10.3.3.1	Curve caratteristiche e tassi di rilascio.....	57
10.3.3.2	Modello numerico e fasi dell'analisi.....	58
10.3.3.3	Risultati dell'analisi.....	59
10.3.3.4	Verifiche dei rivestimenti di prima fase.....	60
10.3.3.5	Verifiche di resistenza dei rivestimenti definitivi.....	65
11	FASE DI VERIFICA E MESSA A PUNTO DEL PROGETTO.....	69
11.1	MONITORAGGIO IN CORSO D'OPERA.....	69
11.2	CRITERI GENERALI PER L'APPLICAZIONE DELLE SEZIONI TIPO.....	70
12	CONCLUSIONI.....	72
13	ALLEGATI	73
13.1	CURVE CARATTERISTICHE.....	73
13.1.1	Curve caratteristiche in condizioni intrinseche.....	73
13.1.1.2	Galleria di linea – Sezione tipo A1 – Diagramma delle curve caratteristiche	73
13.1.1.4	Galleria di linea – Sezione tipo A2 – Diagramma delle curve caratteristiche	73
13.1.1.6	Galleria di linea – Sezione tipo B1 – Diagramma delle curve caratteristiche	73
13.1.1.8	Uscita di emergenza N°1 – Sezione tipo A1 – Diagramma delle curve caratteristiche.....	73
13.1.1.10	Uscita di emergenza N°1 – Sezione tipo A2 – Diagramma delle curve caratteristiche.....	73
13.1.1.12	Uscita di emergenza N°1 – Sezione tipo B1 – Diagramma delle curve caratteristiche.....	73
13.1.2	Curve caratteristiche in presenza dei sostegni.....	86
13.1.2.2	Galleria di linea – Sezione tipo A1 – Diagramma delle curve caratteristiche	86
13.1.2.4	Galleria di linea – Sezione tipo A2 – Diagramma delle curve caratteristiche	86
13.1.2.6	Galleria di linea – Sezione tipo B1 – Diagramma delle curve caratteristiche	86
13.1.2.8	Uscita di emergenza N°1 – Sezione tipo A1 – Diagramma delle curve caratteristiche.....	86
13.1.2.10	Uscita di emergenza N°1 – Sezione tipo A2 – Diagramma delle curve caratteristiche.....	86

13.2	SEZIONE A1: RISULTATI DELL'ANALISI NUMERICA	123
13.2.1	Modello generale.....	123
13.2.1.1	Sezione tipo A1 – Geometria del modello	123
13.2.1.2	Sezione tipo A1 – Dettaglio della suddivisione in zone	123
13.2.2	Scavo e costruzione graduale per fasi	124
13.2.2.1	Sezione tipo A1 – Fase_02	124
13.2.2.2	Sezione tipo A1 – Fase_03	124
13.2.2.3	Sezione tipo A1 – Fase_04	124
13.2.2.4	Sezione tipo A1 – Fase_05	124
13.2.2.5	Sezione tipo A1 – Fase_06	124
13.2.2.6	Sezione tipo A1 – Fase_07	124
13.2.3	Condizioni precedenti alla realizzazione della galleria (Fase_02).....	127
13.2.3.1	Sezione tipo A1 – Diagramma della tensione principale massima.....	127
13.2.3.2	Sezione tipo A1 – Diagramma della tensione principale minima.....	127
13.2.4	Rivestimento di prima fase (Fase_05).....	129
13.2.4.1	Sezione tipo A1 – Diagramma della tensione principale massima.....	129
13.2.4.2	Sezione tipo A1 – Diagramma della tensione principale minima.....	129
13.2.4.3	Sezione tipo A1 – Diagramma degli spostamenti verticali e deformata del modello	129
13.2.4.4	Sezione tipo A1 – Diagramma del rapporto di mobilitazione	129
13.2.5	Rivestimento di prima fase – Diagrammi delle sollecitazioni (Fase_04 e Fase_05).....	134
13.2.5.1	Sezione tipo A1 – Diagramma dello sforzo normale nel rivestimento di prima fase	134
13.2.5.2	Sezione tipo A1 – Diagramma del momento flettente nel rivestimento di prima fase.....	134
13.2.5.3	Sezione tipo A1 – Diagramma dello sforzo di taglio nel rivestimento di prima fase.....	134
13.2.6	Rivestimento definitivo (Fase_07).....	138
13.2.6.1	Sezione tipo A1 – Diagramma della tensione principale massima – lungo termine.....	138
13.2.6.2	Sezione tipo A1 – Diagramma della tensione principale minima – lungo termine.....	138
13.2.6.3	Sezione tipo A1 – Diagramma degli spostamenti verticali e deformata del modello – lungo termine	138
13.2.6.4	Sezione tipo A1 – Diagramma del rapporto di mobilitazione – lungo termine	138
13.2.7	Rivestimento definitivo – Diagrammi delle sollecitazioni (Fase_07).....	140
13.2.7.1	Sezione tipo A1 – Diagramma dello sforzo normale nel rivestimento definitivo.....	140
13.2.7.2	Sezione tipo A1 – Diagramma del momento flettente nel rivestimento definitivo.....	140
13.2.7.3	Sezione tipo A1 – Diagramma dello sforzo di taglio nel rivestimento definitivo.....	140
13.2.7.4	Sezione tipo A1 – Diagramma dello sforzo normale nel rivestimento definitivo.....	140
13.3	SEZIONE B1: RISULTATI DELL'ANALISI NUMERICA.....	144
13.3.1	Modello generale.....	144
13.3.1.1	Sezione tipo B1 – Geometria del modello	144
13.3.1.2	Sezione tipo B1 – Dettaglio della suddivisione in zone	144
13.3.2	Scavo e costruzione graduale per fasi	145
13.3.2.1	Sezione tipo B1 – Fase_02	145
13.3.2.2	Sezione tipo B1 – Fase_03	145

13.3.2.3	Sezione tipo B1 – Fase_04	145
13.3.2.4	Sezione tipo B1 – Fase_05	145
13.3.2.5	Sezione tipo B1 – Fase_06	145
13.3.2.6	Sezione tipo B1 – Fase_07	145
13.3.3	Condizioni precedenti alla realizzazione della galleria (Fase_02).....	149
13.3.3.1	Sezione tipo B1 – Diagramma della tensione principale massima.....	149
13.3.3.2	Sezione tipo B1 – Diagramma della tensione principale minima.....	149
13.3.4	Rivestimento di prima fase (Fase_04).....	151
13.3.4.1	Sezione tipo B1 – Diagramma della tensione principale massima.....	151
13.3.4.2	Sezione tipo B1 – Diagramma della tensione principale minima.....	151
13.3.4.3	Sezione tipo B1 – Diagramma degli spostamenti verticali e deformata del modello	151
13.3.4.4	Sezione tipo B1 – Diagramma del rapporto di mobilitazione	151
13.3.5	Rivestimento di prima fase – Diagrammi delle sollecitazioni (Fase_04 e Fase_05).....	155
13.3.5.1	Sezione tipo B1 – Diagramma dello sforzo normale nel rivestimento di prima fase.....	155
13.3.5.2	Sezione tipo B1 – Diagramma del momento flettente nel rivestimento di prima fase.....	155
13.3.5.3	Sezione tipo B1 – Diagramma dello sforzo di taglio nel rivestimento di prima fase.....	155
13.3.6	Rivestimento definitivo (Fase_06).....	159
13.3.6.1	Sezione tipo B1 – Diagramma della tensione principale massima – lungo termine.....	159
13.3.6.2	Sezione tipo B1 – Diagramma della tensione principale minima – lungo termine.....	159
13.3.6.3	Sezione tipo B1 – Diagramma degli spostamenti verticali e deformata del modello – lungo termine	159
13.3.6.4	Sezione tipo B1 – Diagramma del rapporto di mobilitazione – lungo termine	159
13.3.7	Rivestimento definitivo – Diagrammi delle sollecitazioni (Fase_06).....	161
13.3.7.1	Sezione tipo B1 – Diagramma dello sforzo normale nel rivestimento definitivo.....	161
13.3.7.2	Sezione tipo B1 – Diagramma del momento flettente nel rivestimento definitivo.....	161
13.3.7.3	Sezione tipo B1 – Diagramma dello sforzo di taglio nel rivestimento definitivo.....	161
13.3.7.4	Sezione tipo B1 – Diagramma dello sforzo normale nel rivestimento definitivo.....	161

1 PREMESSA

Oggetto della presente relazione di calcolo è lo studio delle problematiche progettuali, il dimensionamento e la verifica degli interventi necessari alla realizzazione della galleria Gieve nell'ambito del progetto definitivo per la velocizzazione della linea San Gavino Sassari Olbia – Variante Bonorva - Torralba.

La variante di tracciato Bonorva - Torralba si sviluppa per circa 6,7 Km a partire dalla linea storica in prossimità della stazione di Bonorva per ricongiungersi con la stessa in prossimità della stazione di Torralba. La parte in sotterraneo è lunga circa 2,5 km e consta di 2 gallerie naturali a singolo binario denominate rispettivamente Monte Martis e Gieve.

Per una corretta stima delle sollecitazioni nei rivestimenti, le analisi numeriche sono state sviluppate seguendo una procedura di scavo e costruzione graduale per fasi.

Nel seguito, dopo una breve descrizione delle opere e dei criteri di analisi, si riportano i calcoli di dimensionamento della galleria naturale a foro cieco sviluppati per verificare l'adeguatezza delle soluzioni progettuali indicate, con particolare riferimento all'analisi statica dei rivestimenti provvisori e definitivi delle gallerie.

2 SCOPO E CONTENUTI DEL DOCUMENTO

Nella presente relazione si affrontano le problematiche progettuali connesse alla realizzazione della galleria Bauladu. Per l'inquadramento generale su caratteristiche e requisiti funzionali delle opere in sotterraneo si rimanda alla Relazione tecnica (Rif. [13]).

La progettazione delle opere in sotterraneo, condotta secondo il metodo ADECO-RS (Rif. [33]), 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 nella specifica Relazione Geologica e Idrogeologica (Rif. [13]) a cui si rimanda per l'illustrazione del modello geologico; la sintesi dello studio geotecnico con la definizione del modello geotecnico di sottosuolo e dei parametri di progetto è illustrata nel capitolo 7;

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.8);

3. fase di terapia: sulla base dei risultati delle precedenti fasi progettuali, si individuano le modalità di scavo e gli interventi di stabilizzazione idonei (sezioni tipo) per realizzare l'opera in condizioni di sicurezza (cap.9). Le soluzioni progettuali sono state analizzate per verificarne l'adeguatezza: nel capitolo 9 sono illustrati metodi e risultati delle analisi condotte per la verifica della stabilità globale della cavità, per il dimensionamento/verifica degli interventi di stabilizzazione e dei rivestimenti, nelle diverse fasi costruttive e in condizioni di esercizio, e per la valutazione dei risentimenti attesi in superficie.

4. fase di verifica e messa a punto: il progetto è completato dal piano di monitoraggio da predisporre ed attuare nella fase realizzativa (cap.10). Nel piano di monitoraggio sono individuati i valori delle 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. Nel capitolo 10 sono, inoltre, descritti i criteri generali per l'applicazione delle sezioni tipo e la gestione delle variabilità in funzione dei risultati del monitoraggio in corso d'opera. La progettazione è stata sviluppata nel rispetto della normativa vigente.

	VELOCIZZAZIONE LINEA SAN GAVINO - SASSARI – OLBIA VARIANTE DI BONORVA - TORRALBA					
GALLERIA GIAVE – Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA RR0H	LOTTO 04	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GN 02 00 001	REV. A	FOGLIO 7 di 164

3 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

3.1 Leggi e normative cogenti

- Rif. [1] Decreto Ministero delle Infrastrutture e Trasporti 14/01/2008, “Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni”;
- Rif. [2] 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”;
- Rif. [3] Decreto Ministeriale 28/10/2005. “Sicurezza nelle gallerie ferroviarie”;
- Rif. [4] Regolamento del 18/11/2014 della Commissione dell’Unione Europea – 1303/2014 - relativa alla Specifica Tecnica di Interoperabilità concernente “la sicurezza nelle gallerie ferroviarie” nel sistema ferroviario transeuropeo convenzionale e ad alta velocità;
- Rif. [5] Regolamento del 18/11/2014 della Commissione dell’Unione Europea – 1300/2014 - relativa ad una Specifica Tecnica di Interoperabilità concernente le “persone a mobilità ridotta” nel sistema ferroviario transeuropeo convenzionale e ad alta velocità;
- Rif. [6] Regolamento del 18/11/2014 della Commissione dell’Unione Europea – 1299/2014 - relativa ad una Specifica Tecnica di Interoperabilità per il sottosistema “infrastruttura” del sistema ferroviario transeuropeo ad alta velocità.

3.2 Normative non cogenti e raccomandazioni

- Rif. [7] SIG, “Linee guida per la progettazione, l’appalto e la costruzione di opere in sotterraneo”, 1997;
- Rif. [8] ITA, “Guidelines for the design of tunnels”, 1988;
- Rif. [9] AGI, “Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche”, 1977;

3.3 Prescrizioni e specifiche tecniche (RFI, ITF)

- Rif. [10] RFI, doc RFI DTC SI MA IFS 001 A “Manuale di Progettazione delle opere civili ” datato Dic 2016;
- Rif. [11] RFI, doc RFI DTC SI SP IFS 001 A “Capitolato generale tecnico di Appalto delle opere civili” datato Dic 2016;
- Rif. [12] ITALFERR, Specifica Tecnica PPA.0002403 “Linee guida per la progettazione geotecnica delle gallerie naturali” datato Dicembre 2015.

4 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

4.1 Documenti Referenziati

- Rif. [13] U.O. Gallerie, documento RR0H04D07RGGN0000001A “Relazione tecnica delle opere in sotterraneo” datato Marzo 2018;
- Rif. [14] U.O. Geologia, Gestione Terre e Bonifiche, documento RR0H04D69RGGE0001001A “Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica” datato Marzo 2018;

GALLERIA GIAVE – Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR0H	04	D 07 CL	GN 02 00 001	A	8 di 164

- Rif. [15] U.O. Geologia, Gestione Terre e Bonifiche, documento RR0H04D69SGGE0005001A-indagini geognostiche, sondaggi, stratigrafie e prove in sito-datato Marzo 2018
- Rif. [16] U.O. Geologia, Gestione Terre e Bonifiche, documento RR0H04D69PRGE0005001A-Prove geotecniche di laboratorio-datato Marzo 2018
- Rif. [17] U.O. Geologia, Gestione Terre e Bonifiche, documento RR0H04D69IGGE0005001A-Indagini Geofisiche-datato Marzo 2018
- Rif. [18] U.O. Geologia, Gestione Terre e Bonifiche, documento RR1H04D69IGGE0005002A-Indagini Geofisiche integrazione-datato Marzo 2018
- Rif. [19] U.O. Geologia, Gestione Terre e Bonifiche, documento RR0H04D69RGGE0001001A-Relazione Geologica Geomorfologica ed Idrogeologica-datato Marzo 2018
- Rif. [20] U.O. Geologia, Gestione Terre e Bonifiche, documento RR0H04D69RHGE0001001A-Rapporto di campagna - stop geologici-datato Marzo 2018
- Rif. [21] U.O. Geologia, Gestione Terre e Bonifiche, documento RR0H04D69RHGE0001002A-Rilievo Geomeccanico-datato Marzo 2018
- Rif. [22] U.O. Geologia, Gestione Terre e Bonifiche, documento RR0H04D69N5GE0001001A-carta geologica con elementi di geomorfologia-datato Marzo 2018
- Rif. [23] U.O. Geologia, Gestione Terre e Bonifiche, documento RR0H04D69F5GE0001001A-profilo geologico-datato Marzo 2018
- Rif. [24] U.O. Geologia, Gestione Terre e Bonifiche, documento RR0H04D69F5GE0001002A-profilo geologico-datato Marzo 2018
- Rif. [25] U.O. Geologia, Gestione Terre e Bonifiche, documento RR0H04D69N5GE0002001A-carta idrogeologica e profilo idrogeologico -datato Marzo 2018
- Rif. [26] U.O. Geologia, Gestione Terre e Bonifiche, documento RR0H04D69F5GE0002001A-profilo idrogeologico-datato Marzo 2018
- Rif. [27] U.O. Geologia, Gestione Terre e Bonifiche, documento RR0H04D69F5GE0002002A-profilo idrogeologico-datato Marzo 2018
- Rif. [28] U.O. Geologia, Gestione Terre e Bonifiche, documento RR0H04D69N6GE0001001A-Carta geologica con elementi di geomorfologia e profilo geologico Galleria Monte Martis Imbocco lato sud -datato Marzo 2018
- Rif. [29] U.O. Geologia, Gestione Terre e Bonifiche, documento RR0H04D69N6GE0001002A-Carta geologica con elementi di geomorfologia e profilo geologico Galleria Monte Martis Imbocco lato nord-datato Marzo 2018
- Rif. [30] U.O. Geologia, Gestione Terre e Bonifiche, documento RR0H04D69N6GE0001003A-Carta geologica con elementi di geomorfologia e profilo geologico Galleria Giave Imbocco lato sud -datato Marzo 2018
- Rif. [31] U.O. Geologia, Gestione Terre e Bonifiche, documento RR0H04D69N6GE0001004A-Carta geologica con elementi di geomorfologia e profilo geologico Galleria Giave Imbocco lato nord-datato Marzo 2018
- Rif. [32] U.O. Geologia, Gestione Terre e Bonifiche, documento RR0H04D69N6GE0001005A-Carta geologica con elementi di geomorfologia e profilo geologico Finestra 1-datato Marzo 2018

GALLERIA GIAVE – Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR0H	04	D 07 CL	GN 02 00 001	A	9 di 164

4.2 Documenti Correlati

- Rif. [33] Lunardi P. (2006). Progetto e Costruzione di Gallerie: Analisi delle deformazioni controllate nelle rocce e nei suoli - ADECO-RS – (Hoepli Ed.);
- Rif. [34] 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. [35] Bernaud D., Rousset G. (1992). La « nouvelle méthode implicite » pour l’étude du dimensionnement des tunnels – Revue Francaise de Géotechnique, N° 60.
- Rif. [36] Hoek E., Brown E.T. (1997), “Practical estimates of rock mass strength”, Intl. J. Rock Mech. & Geomechanics Abstracts, 1165-1186.
- Rif. [37] Hoek E., Carranza-Torres C., Cortkum B. (2002), “Hoek-Brown Failure Criterion – 2002 Edition”.
- Rif. [38] Tamez E. (1984) “Estabilidad de tuneles excavados en suelos” - Mexican Engineering Academy.
- Rif. [39] Hoek E., Diederichs M. S. (2006), “Empirical Estimation of rock mass Modulus”, Intl. J. Rock Mech. & Mining Sciences 43 (2006), 203-215.
- Rif. [40] Broms B.B., Bennermark H. (1967), “Stability of clay at vertical openings”, J. Soil Mechanics and Foundations, Div. Am. Soc. Civ. Eng., 93: 71-94.
- Rif. [41] Terzaghi, K. & Peck, R.B. 1948. Soil Mechanics in Engineering Practice, 1st Edition, John Wiley and Sons, New York.
- Rif. [42] Marinos P. & Hoek E. 2001. Estimating the geotechnical properties of heterogeneous rock masses such as Flysch, Bull. Engg. Geol. 60, 85-92.

4.3 Documenti Superati

Non sono presenti documenti superati.

5 ALLEGATI

Il documento è corredato dai seguenti allegati:

- All. [1] “Curve caratteristiche”;
- All. [2] “Sezione tipo A1: risultati dell’analisi numerica”.
- All. [3] “Sezione tipo B1: risultati dell’analisi numerica”.

6 DOCUMENTI PRODOTTI A SUPPORTO

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

- Rif. [43] U.O. Gallerie, documento RR0H04D07SPGN0000001A “Caratteristiche dei materiali – Note generali” datato Marzo 2018;
- Rif. [44] U.O. Gallerie, documento RR0H04D07F5GN0000001A “Profilo geotecnico – Galleria Monte Martis e Galleria Giave” datato Marzo 2018;
- Rif. [45] U.O. Gallerie, documento RR0H04D07F7GN0300001A “Profilo geotecnico – Uscita d’emergenza” datato Marzo 2018;

GALLERIA GIAVE – Relazione geotecnica e di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D 07 CL	GN 02 00 001	A	10 di 164

- Rif. [46] UO Gallerie, documento RR0H04D07BBGN0000001A 'Gallerie di linea singolo binario - Sezione tipo A1 - Scavo, consolidamenti e carpenteria' redatto Marzo 2018
- Rif. [47] UO Gallerie, documento RR0H04D07BBGN0000002A 'Gallerie di linea singolo binario - Sezione tipo A2 - Scavo, consolidamenti e carpenteria' redatto Marzo 2018
- Rif. [48] UO Gallerie, documento RR0H04D07BBGN0000003A 'Gallerie di linea singolo binario - Sezione tipo B1 - Scavo, consolidamenti e carpenteria' redatto Marzo 2018
- Rif. [49] UO Gallerie, documento RR0H04D07BBGN0000004A 'Uscita di emergenza pedonale - Sezione tipo A1 - Scavo, consolidamenti e carpenteria' redatto Marzo 2018
- Rif. [50] UO Gallerie, documento. RR0H04D07BBGN0000005A 'Uscita di emergenza pedonale - Sezione tipo A2 - Scavo, consolidamenti e carpenteria' redatto Marzo 2018
- Rif. [51] UO Gallerie, documento RR0H04D07BBGN0000006A 'Uscita di emergenza pedonale - Sezione tipo B1 - Scavo, consolidamenti e carpenteria' redatto Marzo 2018

7 DESCRIZIONE DELL'OPERA

7.1 Il tracciato e le opere in sotterraneo

La galleria Giave si sviluppa per circa 1.6 Km, da progr. 2+378.5 fino a progr. 3+970.0, di cui 1591.5 m in naturale, 15.5 m in artificiale lato Bonorva e 125 m in galleria artificiale policentrica lato Chilivani.

Le sezioni di intradosso utilizzate per la galleria di linea hanno un raggio di calotta pari a 3.0 metri, un raggio alle reni pari a 5.0 metri e un raggio di piedritto pari a 6.7 metri sviluppando complessivamente un'area libera di 32.3 m² ed un perimetro di 21.7 metri.

La quota di imbocco lato Bonorva è pari a circa 415 m s.l.m. mentre quella lato Chilivani è pari a circa 400 m s.l.m. La galleria è monopendente con pendenza del 16‰ in discesa verso Chilivani. Procedendo dall'imbocco lato Bonorva le coperture crescono rapidamente fino a raggiungere i valori max. di 200 m. Dalla copertura massima a pk 3+100 km, le coperture degradano fino all'imbocco lato Chilivani.

Considerata la lunghezza della galleria di linea e l'esigenza di prevedere delle uscite di emergenza ogni 1000 m, è stato progettato un accesso di emergenza pedonale intermedio. La sezione delle uscite ha un raggio di calotta di 1.80 m ed una larghezza utile sul piano di calpestio pari a 3.0 m. All'innesto con le gallerie di linea le uscite di emergenza sono dotate di una sezione allargata avente un raggio di 2,35 m in calotta e larghezza utile al piano di calpestio pari a 3,80 m.

Le figure seguenti illustrano le sezioni di intradosso della galleria di linea e delle uscite di emergenza pedonali

In funzione della lunghezza totale della galleria e del contesto geotecnico attraversato, si prevede di realizzare la galleria naturale in scavo tradizionale.

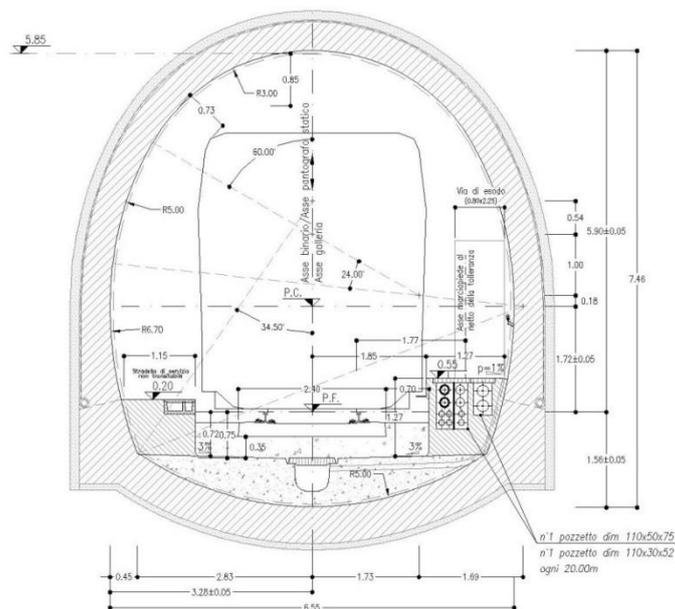


Figura 1 - Sezione di intradosso galleria di linea e gallerie artificiali policentriche (sezione corrente)

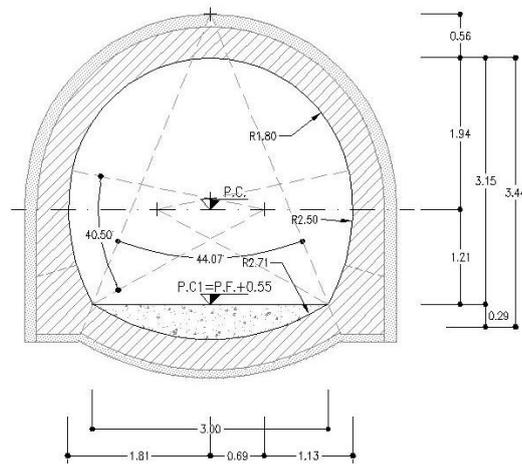


Figura 2 - Sezione tipo di intradosso uscita di emergenza pedonale (sezione corrente)

Per ulteriori dettagli sulla descrizione del tracciato e delle opere si rimanda alla “Relazione tecnica delle opere in sotterraneo” (Rif. [13]).

7.2 Interferenze lungo il tracciato

Non sono presenti interferenze lungo il tracciato della galleria di linea.

8 FASE CONOSCITIVA

Nella fase conoscitiva si acquisiscono gli elementi necessari alla caratterizzazione e modellazione geologica del sito e alla caratterizzazione e modellazione geotecnica del volume significativo interessato dall'opera in sotterraneo.

Nel seguito si riporta un breve inquadramento geologico e la sintesi della caratterizzazione e modellazione geotecnica.

8.1 Inquadramento geologico

L'area di studio si colloca nella porzione nord-occidentale della Sardegna e interessa il territorio dei comuni di Bonorva e Giave, in provincia di Sassari (SS).

Le formazioni interessate dalle opere in progetto sono:

8.1.1 Unità vulcanico oligo-miocenico

Ignimbriti riolitiche

Si tratta di tufi di colore azzurro e grigio-verdastro, giallastro e grigio chiaro per alterazione (IGR), a granulometria da fine a grossolana, da mediamente a ben cementati, massivi o in strati da spessi a molto spessi, immersi nella massa di fondo si rinvergono diffuse pomici grigie e litici lavici nerastri con dimensioni da centimetriche a decimetriche, da scarsi a molto abbondanti.

8.1.2 Successione continentale quaternaria

Le unità sono prevalentemente composte da sedimenti clastici di modesto spessore, di genesi alluvionale, detritica ed eluvio-colluviale.

Depositi di versante a grossi blocchi

Sono composti da ghiaie poligeniche ed eterometriche, da angolose a sub-angolose (a1), in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa di colore grigio, marrone e rossastro, da scarsa ad abbondante, con diffusi blocchi poligenici di dimensioni da decimetriche a metriche; a luoghi si rinvergono passaggi di sabbie e sabbie limose di colore grigio e giallastro, a struttura indistinta, con abbondanti ghiaie poligeniche da angolose a sub-angolose.

Depositi di versante

Si tratta di ghiaie poligeniche ed eterometriche, da angolose a sub-angolose (a), in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa di colore grigio, marrone e rossastro, generalmente abbondante; a luoghi si rinvergono passaggi di sabbie e sabbie limose di colore grigio e giallastro, a struttura indistinta, con abbondanti ghiaie poligeniche da angolose a sub-angolose.

Coltri eluvio-colluviali

Questi depositi si rinvergono diffusamente in tutta l'area di studio, soprattutto corrispondenza delle depressioni impluviali o alla base dei rilievi più acclivi ed estesi. Si tratta di sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi di colore grigio, marrone e rossastro (b2), a struttura indistinta, con diffusi resti vegetali e locali ghiaie poligeniche da angolose a sub-arrotondate; a luoghi si rinvergono passaggi di argille limose e limi argilloso-sabbiosi di marrone e

rossastro, a struttura indistinta, con diffusi resti vegetali e sporadiche ghiaie poligeniche da angolose a sub-arrotondate.

Per la descrizione del modello geologico si rimanda agli elaborati di progetto specialistici (Rif. [13]).

9.2 Indagini geotecniche

Ai fini della modellazione e della caratterizzazione geotecnica delle unità che interessano le opere in sotterraneo in progetto, sono stati utilizzati i dati relativi alle campagne geotecniche di seguito elencate:

sono state realizzate le seguenti indagini:

- Campagna indagini 2006 (“*Progettazione definitiva Velocizzazione linea San Gavino - Sassari – Olbia Variante di Bonorva Terralba*”).
- Campagna indagini 2017 (“*Progettazione definitiva Velocizzazione linea San Gavino - Sassari – Olbia Variante di Bonorva Terralba*”).

sono state realizzate le seguenti indagini:

- n. 9 sondaggi a rotazione e carotaggio continuo strumentati con piezometro;
- n. 1 sondaggio a distruzione non attrezzato;
- n. 7 stendimenti sismici a rifrazione. In onde P ed S
- n. 8 Rilievi geostrutturali
- Prove di laboratorio

Nelle tabelle seguenti si riportano i principali dati tecnici relativi ai soli sondaggi presi in considerazione per la caratterizzazione geotecnica.

Sigla	pk	Longitudine	Latitudine	Quota m s.l.m.	Strumentazione	Profondità m	Campioni	SPT	Lefranc/ Lugeon	Dilatometriche	Pressiometriche
S1_BO	1+134	1480370	4475935	417.0	Piezometro	40.0	5	0	2	2	0
S6_BO	2+340	1480173	4476507	488.0	Piezometro	70.0	5	0	2	2	0
S5_BO	1+730	1480003	4477095	435.0	Piezometro	40.0	6	0	2	2	0
S7_BO	3+816	1479846	4478568	411.0	Piezometro	40.0	5	1	1	2	0
S7bis_BO	3+816	1479844	4478568	411.0	Non attrezzato	10.0	0	0	1	0	0
S8_BO	3+881	1479844	4478634	405.0	Piezometro	30.0	6	0	2	2	0
S9_BO	5+011	1479994	4479735	377.0	Piezometro	40.0	5	0	2	2	0

8.1.3 Prove di laboratorio

Sono state eseguite le seguenti analisi::

- Peso di volume;
- Peso specifico;
- Determinazione del contenuto naturale d'acqua;

Sono state inoltre eseguite le seguenti prove:

- Prove compressione monoassiale anche con registrazione delle deformazioni
- Prova di compressione triassiale;
- Determinazione velocità onde V_p e V_s sui campioni
- Prove di trazione indiretta “brasiliana”

I certificati di prova sono consultabili nel Rif. [16].

8.1.4 Indagini geofisiche

Le prove sismiche di superficie considerate, con indicazione dei principali dati relativi ad ogni singola prova (sigla, tipologia di indagine, lunghezza e progressiva), sono di seguito riportate:

Sigla	pk	Longitudine	Latitudine	Tipologia indagine	Lunghezza m
1	1+125	1480359	4475927	Rifrazione	117.5
2a	2+266	1480165	4477052	Rifrazione	117.5
2b	2+381	1480165	4477169	Rifrazione	94.0
3a	3+622	1480097	4478420	Rifrazione	94.0
3b	3+676	1480062	4478468	Rifrazione	190.0
9bis	4+564	1479869	4479304	Rifrazione	141.0
9	4+993	1479816	4479776	Rifrazione	141.0

Tabella 1 Sintesi delle indagini sismiche di tipo lineare, realizzate nell'ambito della campagna indagini 2017

8.2 Caratterizzazione e modellazione geotecnica

Caratterizzazione geotecnica della formazione delle Ignimbriti (IGR)

L'Unità delle Ignimbriti è costituita da Ignimbriti a grana fine, a struttura massiva ed omogenea, con rari vacuoli (vedi **Figura 3. Formazione IGR – Sondaggio S7 da 15 m a 20 m.**).



Figura 3. Formazione IGR – Sondaggio S7 da 15 m a 20 m.

Il peso dell'unità di volume è variabile tra $18 \div 21 \text{ KN/m}^3$ (Figura 4. IGR – Peso dell'unità di volume Figura 4), mentre il peso specifico è compreso tra $23 \div 24,5 \text{ KN/m}^3$.

Per la caratterizzazione meccanica della formazione si è fatto riferimento ai risultati delle prove di compressione monoassiale e triassiale eseguite sui campioni prelevati dai fori di sondaggio, ed ai risultati delle prove dilatometriche e sismiche realizzate in sito.

Nel grafico della **Figura 6** sono riportati i valori delle resistenze a compressione monoassiale al variare della profondità di prelievo, ricavati dalle diverse prove eseguite. Essi risultano prevalentemente compresi nell'intervallo tra 13 e 22 MPa; solo alcune prove a rottura hanno fornito valori compresi tra 6 e 8 MPa.

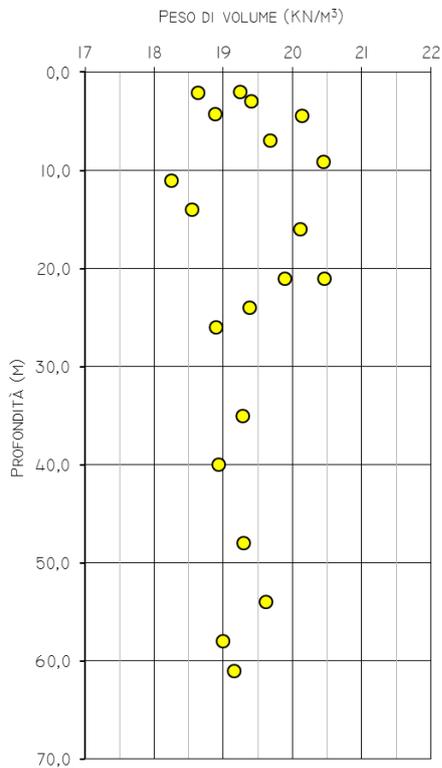


Figura 4. IGR – Peso dell'unità di volume

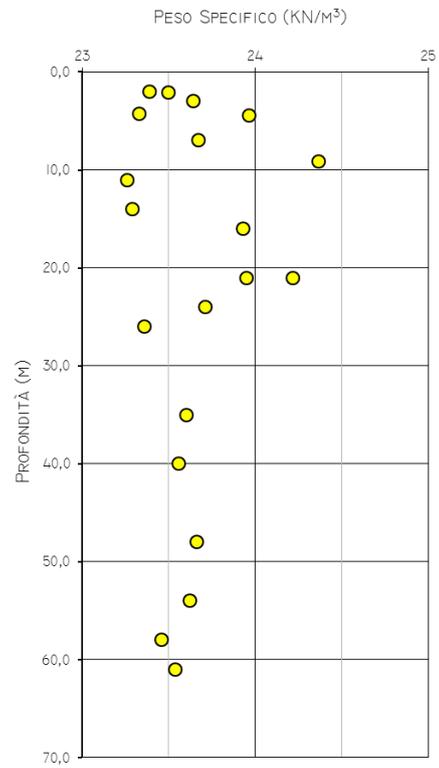


Figura 5. IGR – Peso specifico

Nella **Figura 7** sono mostrati, nel piano $s = \frac{(\sigma_1 + \sigma_3)}{2}$, $t = \frac{(\sigma_1 - \sigma_3)}{2}$ i dati relativi alle prove triassiali eseguite su campioni prelevati nei sondaggi, mentre nella **Tabella 2** sono riportati i risultati delle prove e la valutazione dei parametri σ_{ci} e m_i valutati considerando un legame costitutivo del materiale secondo il criterio di Hoek & Brown.

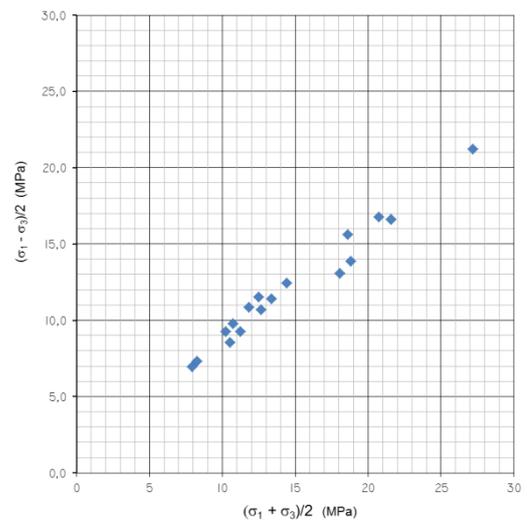
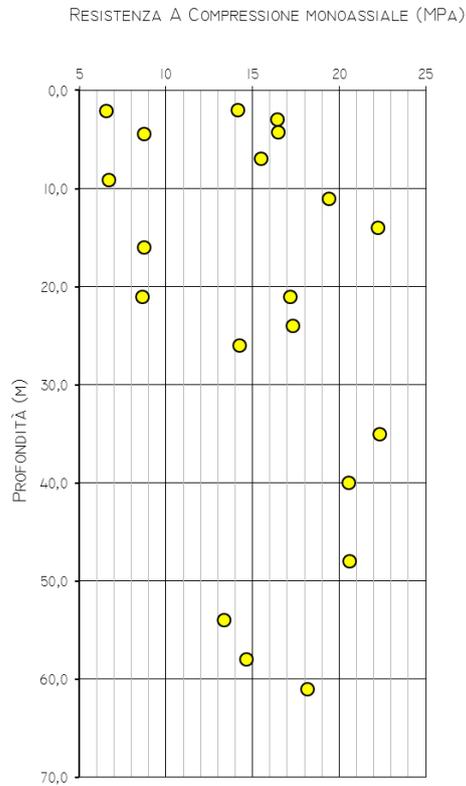


Figura 7. IGR – Prove di compressione triassiale

Figura 6 –IGR – Prove di compressione monoassiale

 Tabella 2 – Valori di σ_{ci} e m_i da prove di compressione triassiale.

	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 - \sigma_3)/2$	$(\sigma_1 + \sigma_3)/2$	σ_{ci}	m_i
	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(-)
S7 SP2	1,00	14,85	6,93	7,93		
	2,00	19,10	8,55	10,55		
	5,00	31,12	13,06	18,06	7,57	16,41
S7 SP4	1,00	19,52	9,26	10,26		
	2,00	23,34	10,67	12,67		
	5,00	38,20	16,60	21,60	10,56	18,54
S5SP2	1,00	20,51	9,76	10,76		
	2,00	24,76	11,38	13,38		

	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 - \sigma_3)/2$	$(\sigma_1 + \sigma_3)/2$	σ_{ci}	m_i
	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(-)
	5,00	38,20	16,60	21,60	13,31	13,81
S5 SP3	1,00	15,56	7,28	8,28		
	2,00	20,51	9,255	11,255		
	5,00	32,68	13,84	18,84	8,32	16,73
S6 SP3	1,00	24,05	11,525	12,525		
	3,00	34,24	15,62	18,62		
	6,00	48,38	21,19	27,19	15,89	16,02
S8 SP1	1,00	22,64	10,82	11,82		
	2,00	26,88	12,44	14,44		
	4,00	37,49	16,745	20,745	14,73	15,11

Nella **Figura 8** e nella **Figura 9** sono riportati i valori della velocità delle onde P ed S misurate su campioni di laboratorio; la V_p è compresa tra 2000 e 3000 m/s, mentre la V_s è compresa tra 1200 e 1700 m/s.

I valori dei moduli di deformabilità G_o ed E_o che si ricavano dalla velocità delle onde V_s e V_p suddette, sono riportati nelle **Figura 10** e **Figura 11** e sono compresi nei range di seguito indicati:

$$1,5 \leq G_o \leq 6,0 \text{ GPa}$$

$$3,0 \leq E_o \leq 14,0 \text{ GPa}$$

Tali valori sono riferibili ai moduli della roccia intatta.

Nella **Figura 12** è riportato per confronto il valore dei moduli tangenti ricavati nel corso delle prove di compressione monoassiali ed il valore dei moduli E_o ricavati da misura delle onde V_p e V_s misurate su campioni di laboratorio.

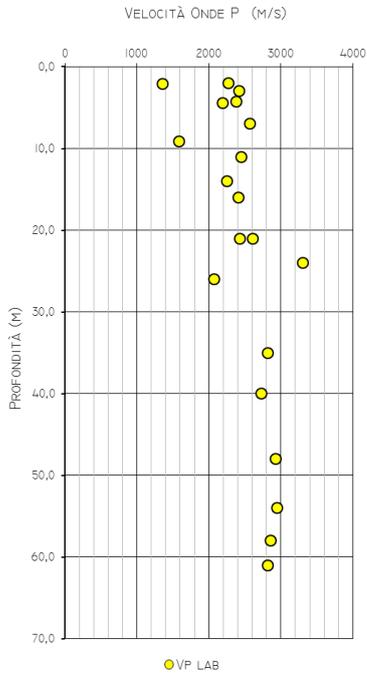


Figura 8 IGR – Velocità onde P da laboratorio

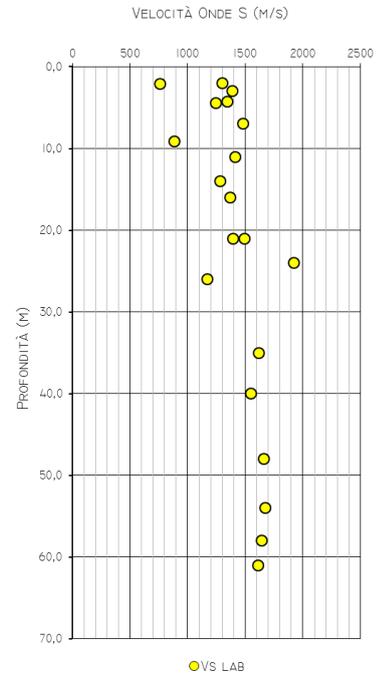
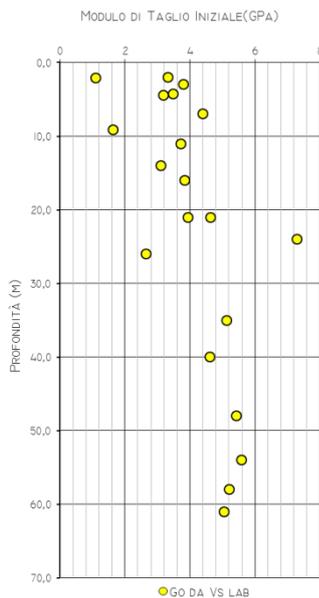
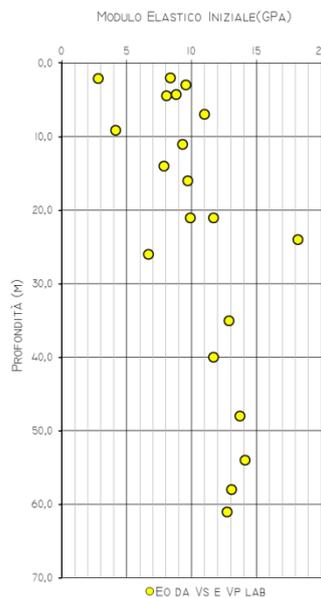


Figura 9. IGR – Velocità onde S da laboratorio



**Figura 10 IGR – Modulo di taglio
Go**



**Figura 11. IGR – Modulo elastico
Eo**

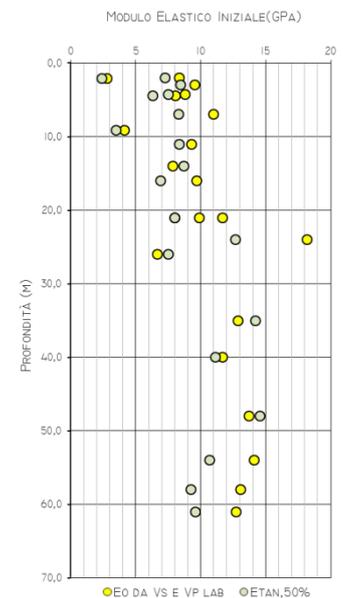


Figura 12. IGR – Modulo elastico tangente e modulo elastico iniziale da Vs, Vp

Nella **Figura 13** è riportata la variazione dei valori dei moduli elastici ricavati dalle prove dilatometriche con la profondità. Tali valori risultano compresi nel range seguente:

$$2 \leq E \leq 8 \text{ GPa}$$

Nella stessa figura sono riportati, per confronto, i valori dei moduli elastici ricavati a partire dalle velocità delle onde Vp e Vs ricavate in laboratorio; i valori di tali moduli sono paragonabili a quelli ricavati da prove dilatometriche.

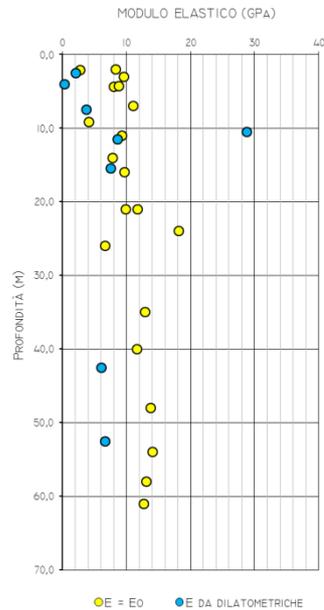


Figura 13. IGR Modulo Elastico

Per la determinazione dei parametri di resistenza meccanica della formazione IGR, si adotta il criterio di resistenza di Hoek e Brown.

Considerando i seguenti valori dei parametri:

$GSI = 60 \div 70$ (ricavato da Analisi Geostrutturali su affioramenti)

$\sigma_{c,i} = 15 \div 20$ MPa

$E_i = 7000$ MPa

$m_i = 18$

$D = 0.5$ in considerazione del disturbo provocato dalle modalità di scavo.

Per una copertura media di riferimento della Galleria pari a 70 metri, si valutano i seguenti parametri meccanici.

$c = 300 \div 480$ KPa;

$\phi = 45 \div 50$ °

$E_{rm} = 0.6 \div 1.1$ GPa

Per la determinazione dei parametri di resistenza meccanica della formazione IGR, si adotta il criterio di resistenza di Hoek e Brown.

Considerando i seguenti valori dei parametri:

$GSI = 60 \div 70$ (ricavato da Analisi Geostrutturali su affioramenti)

$\sigma_{c,i} = 15 \div 20$ MPa

$E_i = 7000$ MPa

$m_i = 18$

$D = 0.5$ in considerazione del disturbo provocato dalle modalità di scavo.

Per una copertura media di riferimento della Galleria pari a 200 metri, si valutano i seguenti parametri meccanici.

$c = 550 \div 790$ KPa;

$\phi = 40 \div 46^\circ$

$E_{rm} = 1.9 \div 3$ GPa

Nella zona di faglia considerando i seguenti valori dei parametri:

$GSI = 35 \div 45$

$\sigma_{c,i} = 10$ MPa

$E_i = 5000$ MPa

$m_i = 18$

$D = 0$

Per una copertura media di riferimento della Galleria pari a 50 metri, si valutano i seguenti parametri meccanici

$c = 175 \div 210$ KPa;

$\sigma_{c,rm} = 43 \div 46^\circ$

$E_{rm} = 600-1100$ MPa

Sono state inoltre eseguite 10 prove a trazione indiretta su campioni lapidei di ignimbrite, che hanno fornito i valori di resistenza riportati nella tabella seguente:

Tabella 3 – Valori di resistenza a trazione indiretta.

N° Provino	Spessore (mm)	Diametro (mm)	Carico di rottura (N)	Resistenza a trazione indiretta (MPa)
1	38	78	8200	1,76
2	34	78	7100	1,71
3	35	78	7700	1,80
4	39	78	10500	2,20
5	35	78	7300	1,70
6	33	78	8900	2,20
7	31	78	8400	2,21
8	33	78	7300	1,81
9	38	78	10400	2,23
10	35	78	7500	1,75

Il valore medio della resistenza a trazione è pari a 1,93 MPa.

Nel corso della perforazione dei sondaggi S7 ed S8 sono state intercettate lenti argillose limose, con sabbia, dello spessore di circa un metro, rappresentative dello strato di alterazione della Ignimbirite. Il terreno si presenta plastico con Indice di plasticità compreso tra 48 e 60.

Le prove eseguite in laboratorio su due campioni prelevati all'interno dello strato alterato, hanno fornito i seguenti valori dei parametri geotecnici:

$$\gamma = 18 \div 19 \text{ KN/m}^3$$

$$c' = 40 \div 55 \text{ KPa}$$

$$\phi' = 29 \div 30 \text{ (}^\circ\text{)}$$

$C_u = 280 \div 300 \text{ KPa}$ In base alle indicazioni fornite dalle prove Lugeon eseguite in sito, la formazione IGR è caratterizzata da permeabilità medie $k = 10^{-7} \div 10^{-8} \text{ m/s}$ nei primi 10 metri di profondità da piano campagna, mentre assume valori compresi tra $k = 10^{-8} \div 10^{-9} \text{ m/s}$ per profondità maggiori (**Figura 14**).

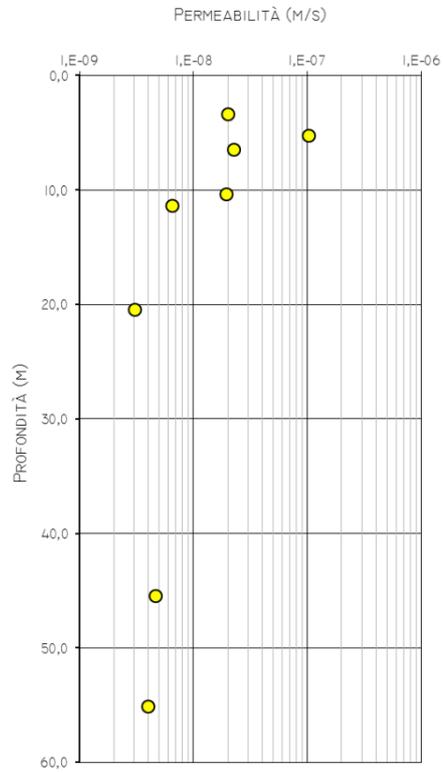


Figura 14. IGR – Permeabilità

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE LINEA SAN GAVINO - SASSARI – OLBIA VARIANTE DI BONORVA - TORRALBA					
	GALLERIA GIAVE – Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA RR0H	LOTTO 04	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GN 02 00 001	REV. A	FOGLIO 26 di 164

8.2.1 Riepilogo dei parametri geotecnici di progetto

8.3 Caratterizzazione geotecnica della formazione delle piroclastiti riolitiche (PRR)

La formazione delle piroclastiti riolitiche (PRR) interessa l'area di imbocco ed il primo tratto di galleria dell'uscita di emergenza ubicata alla progressiva km 3+075; le piroclastiti riolitiche sono state rinvenute nel corso della perforazione del sondaggio DHRR41G03 realizzato per la campagna indagine del 2006 (Figura 15).



Figura 15. PRR – Carote estratte da sondaggio

La formazione è descritta, nella stratigrafia di sondaggio, come ‘breccia vulcanica a matrice cineritica e grana media’.

La formazione è stata individuata, in affioramento, anche nell'area limitrofa all'imbocco della suddetta finestra (vedi Figura 16); il relativo stop geostrutturale denominato Bo 38 descrive l'affioramento come segue:

“Ceneri di colore grigio chiaro e biancastro, a granulometria medio-fine, prevalentemente incoerenti, massive o debolmente laminate, con frequenti e sottili intercalazioni di ceneri grigie da poco a mediamente cementate.”

Per la caratterizzazione geotecnica della formazione si è fatto riferimento ai risultati delle prove in situ e delle prove di laboratorio eseguite sui campioni prelevati dal sondaggio DHRR41G03.

Il peso dell'unità di volume è variabile tra $17 \div 18 \text{ KN/m}^3$.

I valori dell'indice I_s (50) ricavati dalle diverse prove Point Load eseguite sono compresi nell'intervallo tra 0.7 e 1 MPa; le “Raccomandazioni ISRM per la misura della resistenza al punzonamento” indicano che una stima della resistenza a compressione monoassiale della roccia può essere ottenuta moltiplicando il valore di I_s (50) per un fattore compreso tra 20 e 25.



Figura 16. PRR – Affiormento rilevato nello stop geostrutturale Bo38.

La resistenza a compressione della formazione può essere quindi stimata tra $15 \div 20$ MPa; tali valori sono caratteristici di una roccia con resistenza molto bassa, secondo la classifica di Deere - Miller.

Le stese sismiche del tipo MASW eseguite nell'area di imbocco evidenziano la presenza di uno strato superficiale, dello spessore medio di circa 4 metri, che presenta velocità delle onde Vs inferiori a 400 m/s; al di sotto di questo strato la velocità delle onde Vs aumenta fino a valori compresi tra 600 e 1200 m/s (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**).

La velocità delle onde P risulta inferiore a 1500 m/s nel primo strato di spessore pari a circa 4 metri; i valori di velocità crescono con la profondità, a partire da 4 metri dal piano campagna fino a circa 30 metri di profondità, e sono compresi tra 1500 e 2650 m/s.

I valori dei moduli di deformabilità G_0 ed E_0 che si ricavano dalla velocità delle onde Vs e Vp suddette, assumono i valori di seguito indicati:

Per profondità comprese tra il piano campagna e 4 metri dal p.c.:

$$0,15 \leq G_0 \leq 0,3 \text{ GPa}$$

$$0,5 \leq E_0 \leq 0,9 \text{ GPa}$$

Per profondità comprese tra 4 e 30 metri dal p.c.:

$$1,2 \leq G_0 \leq 2,6 \text{ GPa}$$

$$3,3 \leq E_0 \leq 7,2 \text{ GPa}$$

Tali valori sono riferibili ai moduli della roccia intatta.

Il valore del modulo elastico operativo è valutato in funzione del modulo elastico iniziale E_0 , secondo il seguente rapporto:

$E/E_0 = 0,2$

Per profondità comprese tra il piano campagna e 4 metri dal p.c.:

$$0,1 \leq E \leq 0,2 \text{ GPa}$$

Per profondità comprese tra 4 e 30 metri dal p.c.:

$$0,6 \leq E \leq 1,5 \text{ GPa}$$

Ai fini della caratterizzazione geotecnica dell'ammasso roccioso, si considera per la formazione in oggetto il criterio di resistenza di Hoek & Brown, per il quale, considerando i seguenti parametri delle grandezze caratteristiche:

$$GSI = 30 \div 40$$

$$\sigma_{c,i} = 15 \text{ MPa}$$

$$E_i = 7000 \text{ MPa}$$

$$m_i = 13$$

$D = 0.5$ in considerazione del disturbo provocato dalle modalità di scavo.

si ottengono, per una copertura della galleria pari a 50 metri, i parametri meccanici seguenti:

$$c = 100 \div 130 \text{ KPa};$$

$$\phi = 36 \div 41^\circ$$

ricavati dalle curve di resistenza riportate nei grafici di **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** e **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**

Per una copertura di riferimento della galleria pari a 100 metri, i parametri meccanici assumono i seguenti valori:

$$c = 150 \div 200 \text{ KPa};$$

$$\phi = 32 \div 36^\circ$$

Le curve di resistenza sono riportate nei grafici di **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** e **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**

Per la sola area di imbocco della finestra, in corrispondenza dell'opera di sostegno degli scavi, che presenta altezza totale di scavo pari a circa 15 metri, si considerano i seguenti valori dei parametri:

$$GSI = 20 \div 30$$

$$\sigma_{c,i} = 15 \text{ MPa}$$

$$E_i = 7000 \text{ MPa}$$

$$m_i = 13$$

$D = 0.8$ in considerazione del disturbo provocato dalle modalità di scavo.

I parametri geotecnici che si ricavano sono di seguito riportati

$$c = 30 \div 50 \text{ KPa};$$

$$\phi = 28 \div 34^\circ$$

8.3.1 Riepilogo dei parametri geotecnici di progetto

I parametri geotecnici di progetto adottati per la verifica delle sezioni della galleria, interessate dallo scavo nella formazione delle ignimbriti IGR, sono riportati nella tabella seguente:

Unità	Copertura (m)	γ (kN/m ³)	Ei (GPa)	σ_{ci} (MPa)	GSI	c (kPa)	ϕ (°)	Erm (GPa)
IGR	5 ÷ 20	18 ÷ 20	7000	5 ÷ 20	10 ÷ 15	130 ÷ 180	45 ÷ 50	1.9 ÷ 3
	20 ÷ 100	19 ÷ 20	7000	15 ÷ 20	60 ÷ 70	300 ÷ 480	48 ÷ 55	1.9 ÷ 3
	100 ÷ 200	19 ÷ 20	7000	15 ÷ 20	60 ÷ 70	550 ÷ 790	40 ÷ 46	1.9 ÷ 3
IGR fratt	60	19 ÷ 20	5	10	35 ÷ 45	175 ÷ 210	43 ÷ 46	0.6 ÷ 1.1

Tabella 4: Formazione IGR– Riepilogo parametri geotecnici

I parametri geotecnici di progetto adottati per la verifica delle sezioni della galleria, interessate dallo scavo nella formazione delle piroclastiti riolitiche PRR, sono riportati nella tabella seguente:

Tabella 5: Formazione PRR– Riepilogo parametri geotecnici per il calcolo delle opere in sotterraneo

Unità	Copertura (m)	γ (kN/m ³)	σ_{ci} (MPa)	Ei (GPa)	GSI	c (kPa)	ϕ (°)	Erm (GPa)
PRR	20 ÷ 50	17 ÷ 18	15 ÷ 20	7	30 ÷ 40	100 ÷ 130	36 ÷ 41	0.2 ÷ 0.3
PRR	50 ÷ 100	17 ÷ 18	15 ÷ 20	7	30 ÷ 40	150 ÷ 200	32 ÷ 36	0.3 ÷ 0.5

Tabella 6: Formazione PRR– Riepilogo parametri geotecnici per il calcolo delle opere di imbocco

Unità	H _{scavo} (m)	γ (kN/m ³)	σ_{ci} (MPa)	Ei (GPa)	GSI	c (kPa)	ϕ (°)	Erm (GPa)
PRR	15	17 ÷ 18	15 ÷ 20	7	20 ÷ 30	30 ÷ 50	28 ÷ 34	170-230

Nell'intervallo di valori dei parametri geotecnici sopra definiti, in accordo con le indicazioni del DM 14/01/2008, sono stati individuati i parametri caratteristici appropriati per gli stati limite considerati nella verifica delle opere in sotterraneo.

La seguente tabella riassume i parametri geotecnici adottati per i calcoli di dimensionamento, in funzione della sezione tipologica di scavo adottata.

Sezione di calcolo	Unità	Pk [km]	copertura [m]	γ [kN/m ³]	GSI _{min} [-]	σ_{ci} [MPa]	E _i [MPa]	c [MPa]	φ [°]	σ_{cm} [kPa]	E _m [MPa]
Sezione 1 km 1+900	IGR	3+150	206	20	65	20	7000	0,706	44,35	5,075	2468
Sezione 2 km 1+900	IGR	3+150	206	20	60	15	7000	0,563	40,2	3,324	1903
Sezione 3 km 1+800	IGR in faglia	3+725	30	20	45	10	5000	0,137	51,27	2,085	1118
Sezione 4 uscita N°1	IGR	3+075	198	20	65	20	7000	0,690	44,65	5,075	2468
Sezione 5 uscita N°1	IGR	3+075	198	20	60	15	7000	0,549	40,51	3,324	1903
Sezione 6 uscita N°1	IGR in faglia	3+075	30	20	45	10	5000	0,137	51,27	2,085	1118

γ = peso dell'unità di volume dell'ammasso
 GSI = Geological Strength Index
 σ_{ci} = resistenza compressione monoassiale della roccia intatta
 E_i = modulo elastico della roccia intatta
 c = coesione dell'ammasso roccioso
 φ = angolo di attrito dell'ammasso roccioso
 σ_{cm} = resistenza globale dell'ammasso roccioso
 E_m = modulo elastico dell'ammasso roccioso

Tabella 0-1 Parametri geotecnici di calcolo

8.4 Il regime idraulico

Nei settori relativi all'opera è stato individuati i seguenti complessi idrogeologici, distinti sulla base delle differenti caratteristiche di permeabilità e del tipo di circolazione idrica che li caratterizza.

Complesso tufaceo ignimbrítico

Al presente complesso sono associati i termini tufacei e ignimbríticos delle unità IGR e IPD. È quindi formato da tufi a granulometria da fine a grossolana (CTI),.

Costituiscono acquiferi misti di modesta trasmissività, moderatamente eterogenei ed anisotropi; sono sede di falde idriche sotterranee di modesta rilevanza, localmente frazionate dagli orizzonti litoidi più compatti e meno fratturati. La permeabilità, per porosità e fessurazione, è variabile da molto bassa a bassa. A questo complesso è quindi possibile attribuire un coefficiente di permeabilità k variabile tra 1·10⁻⁸ e 1·10⁻⁶ m/s.

Complesso detritico-colluviale

A questo complesso è costituito dai terreni di copertura delle unità b2, a e a1. Si tratta di sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi a struttura indistinta (CDC), Costituiscono acquiferi porosi di scarsa trasmissività, moderatamente eterogenei ed anisotropi; sono privi di corpi idrici sotterranei di importanza significativa, a meno di piccole falde a carattere stagionale. La permeabilità, esclusivamente per porosità, è variabile da bassa a media. Al complesso in questione è quindi possibile attribuire un coefficiente di permeabilità k variabile tra 1·10⁻⁶ e 1·10⁻³ m/s.

In considerazione delle caratteristiche del complesso idrogeologico tufaceo - ignimbrico non sono stati considerati carichi idraulici nelle verifiche strutturali delle gallerie.

Per maggiori dettagli si rimanda alla “Relazione geologica ed idrogeologica” (Rif. [14]).

8.5 Lo stato tensionale in situ.

Lo stato tensionale in situ è definito in termini di tensione verticale efficace e tensione orizzontale efficace, definite rispettivamente come:

$$\sigma'_v = \gamma \cdot z - u$$

$$\sigma'_h = k_0 \cdot \sigma'_v$$

In cui k_0 è stato assunto pari 1.0 alle alte coperture e pari ad $1 - \sin\phi$ alle basse coperture.

9 FASE DI DIAGNOSI

Nella fase di diagnosi, sulla base del modello geotecnico scaturito dagli studi e dalle indagini effettuati nella fase conoscitiva, 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. [33]), di seguito brevemente richiamate, sulla base delle quali il tracciato sotterraneo è suddiviso in tratte a comportamento deformativo omogeneo.

I risultati dell'analisi del comportamento deformativo consentono di individuare gli interventi di precontenimento e/o di contenimento più idonei a garantire condizioni di stabilità della galleria in fase di scavo e a lungo termine.

9.1 Classi di comportamento del fronte di scavo

Secondo l'approccio ADECO-RS (Rif. [33]) 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.

	VELOCIZZAZIONE LINEA SAN GAVINO - SASSARI – OLBIA VARIANTE DI BONORVA - TORRALBA					
GALLERIA GIAVE – Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA RR0H	LOTTO 04	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GN 02 00 001	REV. A	FOGLIO 33 di 164

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.

9.2 Determinazione delle categorie di comportamento

La valutazione del comportamento deformativo del fronte è stata condotta utilizzando il metodo delle curve caratteristiche.

Le analisi nella fase di diagnosi sono state condotte con riferimento ai valori caratteristici dei parametri geotecnici e delle azioni.

9.2.1 Analisi con il metodo delle linee caratteristiche

Metodo di analisi

Il metodo delle linee caratteristiche (o convergenza-confinamento) è un metodo di calcolo che consente l'analisi 3D semplificata dello scavo di gallerie in relazione alle proprietà meccaniche dell'ammasso attraversato, alle caratteristiche geometriche dell'opera, agli interventi previsti di precontenimento e contenimento, e all'installazione dei rivestimenti provvisori e definitivi.

Il comportamento delle strutture di rivestimento e dell'ammasso vengono 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 viene 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 sono le seguenti:

- simmetria cilindrica e stato piano di deformazione;
- ammasso omogeneo ed isotropo;
- stato tensionale iniziale isotropo.

L'ideale campo di applicazione è pertanto costituito da gallerie profonde a sezione circolare.

Le analisi contenute in questo documento sono state svolte col codice di calcolo GV4 (versione 4H del 2003).

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 utilizza il Nuovo Metodo Implicito (NMI) (Rif. [34], Rif. [35]), che consente di ottenere risultati affidabili sia in termini di convergenze, sia in termini di carichi di lavoro sui sostegni.

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

Per le analisi di seguito riportate, relative alla fase di diagnosi, e 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.

Sezioni analizzate

Sulla base dei risultati della caratterizzazione geotecnica di cui al precedente paragrafo, in funzione delle condizioni idrauliche previste e della distribuzione delle diverse classi di copertura lungo il tracciato, sono state definite le sezioni di analisi, riassunte nella Tabella 9-1 e caratterizzate con tutti i dati di input necessari per il calcolo.

Tabella 9-1 – Sezioni analizzate con il metodo delle linee caratteristiche: dati di input.

Sezione di calcolo	Unità	H [m]	A _{scavo} [m ²]	R _{eq} [m]	σ ₀ [MPa]	γ [kN/m ³]	c' _{k p} [MPa]	φ' _{k p} [°]	E _k [MPa]
Sezione 1 Linea km 1+900	IGR	206	57,34	4,27	4,12	20	0,706	44,35	2468
Sezione 2 Linea km 1+900	IGR	206	58,15	4,30	4,12	20	0,563	40,20	1903
Sezione 3 Linea km 1+800	IGR in faglia	30	64,76	4,54	0,60	20	0,137	51,27	1118
Sezione 4 Uscita N°1	IGR	198	18,87	2,45	3,96	20	0,690	44,65	2468
Sezione 5 Uscita N°1	IGR	198	18,87	2,45	3,96	20	0,549	40,51	1903
Sezione 6 Uscita N°1	IGR in faglia	30	24,04	2,77	0,60	20	0,137	51,27	1118

H = copertura rispetto alla calotta della galleria

σ₀ = tensione totale iniziale al livello del cavo

A_{scavo} = area di scavo (nel caso di sezioni con infilaggi si riporta l'area media)

R_{eq} = raggio di scavo equivalente (riferito all'area di scavo media in presenza di sezione tronco-conica)

γ = peso dell'unità di volume dell'ammasso

c'_{k p} = valore caratteristico della coesione efficace di picco dell'ammasso

φ'_{k p} = valore caratteristico dell'angolo di attrito di picco dell'ammasso

E_k = valore caratteristico del modulo elastico dell'ammasso

Risultati delle analisi

I risultati delle analisi sono stati esaminati alla luce di due aspetti:

- confronto tra la resistenza a compressione monoassiale dell'ammasso σ_c e la pressione critica al fronte $p_c = (3\sigma_o - 2\sigma_c) / (1 + 2K_p)$, che individua il passaggio dal comportamento elastico a quello plastico,
- 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 i seguenti due criteri:

Tabella 9-2 – Criterio 1

σ_c / p_c	Classe di comportamento
$\geq 1,2$	A
$< 1,2$ e $\geq 0,8$	A/B
$< 0,8$ e $\geq 0,2$	B/C
$< 0,2$	C

Tabella 9-3 – Criterio 2

u_F/R_{eq}	$R_{pl F}/R_{eq}$	Classe di comportamento
$\leq 0,2 \%$	$\leq 1,1$	A
$\leq 0,5 \%$	$\leq 1,5$	B
$> 0,5 \%$	$> 1,5$	C
u_F = convergenza al fronte $R_{pl F}$ = 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 da cui deriva l'individuazione degli eventuali necessari interventi di precontenimento e contenimento.

I risultati delle analisi sono riassunti nella tabella seguente; i tabulati di calcolo con la rappresentazione delle curve caratteristiche sono invece riportati integralmente in Allegato.

Tabella 9-4 – Sezioni analizzate con il metodo delle linee caratteristiche: risultati delle analisi

Sezione di calcolo	σ_c [MPa]	p_c [MPa]	σ_c/p_c [-]	u_F [m]	u_F/R_{eq} [%]	R_{PF} [m]	R_{PF}/R_{eq} [-]	Categoria Criterio 1	Categoria Criterio 2
Sezione 1	2,32	0,104	22,34	0,00157	0,04	4,27	1,00	A	A
Sezione 2	1,58	0,176	8,97	0,00208	0,05	4,39	1,02	A	A/B
Sezione 3	1,05	0,202	5,22	0,00245	0,05	4,75	1,05	A	A
Sezione 4	3,35	0,733	4,58	0,00495	0,12	4,50	1,05	A	A
Sezione 5	2,43	0,966	2,51	0,00719	0,17	4,76	1,11	A	A/B
Sezione 6	0,78	0,059	13,13	0,00137	0,03	4,54	1,00	A	A

$\sigma_c = (2c \cos \varphi) / (1 - \sin \varphi)$ = resistenza a compressione monoassiale dell'ammasso (parametri di picco)
 $p_c = (3\sigma_o - 2\sigma_c) / (1 + 2K_p)$ = pressione critica al fronte (con K_p coefficiente di spinta passiva)
 u_F = convergenza al fronte (soluzione cavità sferica)
 R_{PF} = raggio plastico al fronte
 R_{eq} = raggio di scavo equivalente della galleria

Come si può osservare dalla tabella precedente, tutte le sezioni di analisi presentano una condizione di stabilità che del nucleo-fronte che giustifica l'utilizzo di una sezione di scavo di tipo A; tuttavia, per la sezione 3 e 6 si considera cautelativamente una condizione di stabilità a breve termine del nucleo-fronte che giustifica l'utilizzo di una sezione di scavo di tipo B viste le incertezze sui parametri in zona di faglia.

9.2.2 Definizione delle tratte a comportamento tensio-deformativo omogeneo

Sulla base dei risultati delle analisi sopra descritte, il tracciato è stato suddiviso in tratte a comportamento tensio-deformativo omogeneo.

Le previsioni di comportamento lungo il tracciato della galleria sono illustrate in forma sintetica nel Profilo Geotecnico (Rif. [43]).

	VELOCIZZAZIONE LINEA SAN GAVINO - SASSARI – OLBIA VARIANTE DI BONORVA - TORRALBA					
	GALLERIA GIAVE – Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA RR0H	LOTTO 04	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GN 02 00 001	REV. A	FOGLIO 37 di 164

10 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 (fase di diagnosi - § 9). Sono descritte le caratteristiche principali delle sezioni tipo di avanzamento, il loro campo di applicazione e la successione delle fasi esecutive.

10.1 Definizione delle sezioni tipo

10.1.1 Sezione tipo A1

La sezione tipo A1, utilizzata per lo scavo della galleria di linea è caratterizzata da una larghezza interna al piano dei centri di 6.55 m. La galleria sarà scavata a foro cieco ed a piena sezione e sarà utilizzata prevalentemente in corrispondenza dell'unità geologica IGR. La sezione tipologica in esame presenta le seguenti caratteristiche:

Interventi di prima fase

- Lo sfondo è pari a 2.80 m;
- Prerivestimento composto da uno strato di 15 cm di spritz-beton fibrorinforzato dosato 35 kg/m³ di fibre metalliche e doppie centine IPN 140 con passo 1.4 m;
- Impermeabilizzazione costituita da tessuto non tessuto e manto in PVC;
- Eventuali 2+2 drenaggi in avanzamento, in caso di presenza d'acqua, L=30 m, sovrapposizione minima = 10 m, diametro esterno $\Phi > 60$ mm, spessore 5 mm, rivestiti con calza in TNT.

Rivestimento definitivo

- Arco rovescio di spessore 50 cm e murette gettate alla distanza massima di 5D dal fronte di scavo;
- Rivestimento definitivo di calotta dello spessore di 50 cm ad una distanza variabile dal fronte di scavo in funzione del comportamento deformativo del cavo.

Le macrofasi costruttive sono le seguenti:

- Fase 1: esecuzione dei drenaggi in avanzamento (eventuale);
- Fase 2: esecuzione dello scavo per singoli sfondi aventi lunghezza massima di 3 m, a piena sezione, mediante sagomatura del fronte a forma concava;
- Fase 3: messa in opera dello spritz beton fibrorinforzato al fine di ottenere gli spessori di progetto e delle centine metalliche secondo le geometrie indicate;
- Fase 4: scavo dell'arco rovescio e successivo getto (contemporaneo a quello delle murette) ad una distanza massima dal fronte di scavo di 5D;
- Fase 5: posa in opera dell'impermeabilizzazione da eseguirsi immediatamente prima del getto del rivestimento definitivo. Precedentemente al getto del rivestimento definitivo di calotta, contestualmente alla messa in opera dell'impermeabilizzazione, dovranno essere posizionati i tubi microfessurati in PVC e i cordolini idroespansivi conformemente alle indicazioni di progetto;

- Fase 6: getto del rivestimento definitivo di calotta e piedritti entro una distanza variabile in funzione del comportamento deformativo del cavo.

10.1.2 Sezione A2

La sezione tipo A2, utilizzata per lo scavo della galleria di linea, è caratterizzata da una larghezza interna al piano dei centri di 6.55 m. La galleria sarà scavata a foro cieco, a piena sezione e sarà utilizzata prevalentemente in corrispondenza dell'unità geologica IGR. La sezione tipologica in esame presenta le seguenti caratteristiche:

Interventi di prima fase

- Lo sfondo è pari a 2.40 m;
- Sostegno al contorno mediante n. 8/9 bulloni radiali ad ancoraggio continuo barra $\phi 24$ lunghezza $L=4.5$ m, passo longitudinale 1.2 m e passo trasversale 1.2 m.
- Prerivestimento composto da uno strato di 15 cm di spritz-beton fibrorinforzato dosato 35 kg/m^3 di fibre metalliche e doppie centine IPN 140 con passo 1.2 m;
- Impermeabilizzazione costituita da tessuto non tessuto e manto in PVC;
- Eventuali 2+2 drenaggi in avanzamento, in caso di presenza d'acqua, $L=30$ m, sovrapposizione minima = 10 m, diametro esterno $\Phi > 60$ mm, spessore 5 mm, rivestiti con calza in TNT.

Rivestimento definitivo

- Arco rovescio di spessore 60 cm e murette gettate alla distanza massima di 3D dal fronte di scavo;
- Rivestimento definitivo di calotta dello spessore di 50 cm gettata alla distanza massima di 3D dal fronte di scavo.

Le macrofasi costruttive sono le seguenti:

- Fase 1: esecuzione dei drenaggi in avanzamento (eventuale);
- Fase 2: esecuzione dello scavo per singoli sfondi aventi lunghezza massima di 2.40 m, a piena sezione, mediante sagomatura del fronte a forma concava;
- Fase 3: messa in opera dello spritz beton fibro-rinforzato al fine di ottenere gli spessori di progetto e delle centine metalliche secondo la geometria di progetto; messa in opera dei bulloni radiali secondo le geometrie indicate
- Fase 4: scavo dell'arco rovescio e successivo getto (contemporaneo a quello delle murette) ad una distanza massima dal fronte di scavo di 3D;
- Fase 5: posa in opera dell'impermeabilizzazione da eseguirsi immediatamente prima del getto del rivestimento definitivo. Precedentemente al getto del rivestimento definitivo di calotta, contestualmente alla messa in opera dell'impermeabilizzazione, dovranno essere posizionati i tubi microfessurati in PVC e i cordolini idroespansivi conformemente alle indicazioni di progetto;

- Fase 6: getto del rivestimento definitivo di calotta e piedritti ad una distanza massima dal fronte di scavo di 3D.

10.1.3 Sezione tipo B1

La sezione tipo B1, utilizzata per lo scavo della galleria naturale è caratterizzata da una larghezza interna al piano dei centri di 6.55 m. La galleria sarà scavata a foro cieco, a piena sezione e sarà utilizzata prevalentemente in corrispondenza dell'unità IGR in faglia. La sezione tipologica in esame è tronco-conica e presenta le seguenti caratteristiche:

Interventi di prima fase

- Il campo di avanzamento massimo è pari a 8.5 m;
- Spritz beton fibro-rinforzato al fronte $sp.=0.10$ m sul 50% dei singoli sfondi e $sp.=0.15$ m a fine campo;
- Precontenimento del fronte realizzato mediante 15 elementi strutturali in VTR, $L=13.5$ m, sovrapposizione minima = 5.0 m, cementati in foro con miscele cementizie. L'incidenza del preconsolidamento (numero o lunghezza degli elementi) potrà avere una variabilità del $\pm 20\%$;
- Presostegno al contorno mediante $19\pm 10\%$ tubi in acciaio $\Phi 127$ mm $sp.=10$ mm $L=12.0$ m, sovrapposizione minima 3.5 m, valvolati (1V/m), $p=0.4$ m, compresi tra un angolo di 120° ;
- Eventuali 2+2 drenaggi in avanzamento, in caso di presenza d'acqua, $L=30$ m, sovrapposizione minima = 13.0 m, diametro esterno $\Phi > 60$ mm, spessore 5 mm, rivestiti con calza in TNT;
- Prerivestimento composto da uno strato di 20 cm di spritz-beton fibrorinforzato dosato 35 kg/m^3 di fibre metalliche e doppie centine IPN 160 con passo 1.0 m;
- Impermeabilizzazione costituita da tessuto non tessuto e manto in PVC;

Rivestimento definitivo

- Arco rovescio (spessore 70 cm) e murette gettate alla distanza massima di 1.5D dal fronte di scavo;
- Rivestimento definitivo di calotta dello spessore di $40\div 105$ cm ad una distanza massima dal fronte di scavo di 4D.

Le macrofasi costruttive sono le seguenti:

- Fase 1: sagomatura del fronte a forma concava, esecuzione dello strato di spritz beton fibro-rinforzato ed esecuzione del preconsolidamento del fronte secondo la geometria di progetto;
- Fase 2: esecuzione del presostegno al contorno secondo la geometria di progetto, con sovrapposizione minima di 3.5 m;
- Fase 3: esecuzione dei drenaggi in avanzamento (eventuale);
- Fase 4: esecuzione dello scavo a piena sezione per una lunghezza massima del campo di scavo pari a 8.5 m e per singoli sfondi di 1.0 m, sagomando il fronte a forma concava;

- Fase 5: posa in opera del rivestimento di prima fase, contestualmente allo scavo, costituito da centine metalliche e da uno strato di spritz beton fibro-rinforzato. Le centine devono essere collegate tra loro attraverso apposite catene. La massima distanza del priverestimento dal fronte di scavo è pari a 1.5 m;
- Fase 6: scavo dell'arco rovescio, armatura e getto di arco rovescio e murette con la formazione della tasca per l'alloggiamento della tubazione di drenaggio; la massima distanza del getto dell'arco rovescio dal fronte di scavo è pari a 1.5D;
- Fase 7: posa in opera dell'impermeabilizzazione, composta da uno strato protettivo di tessuto non tessuto e da un telo impermeabile in PVC;
- Fase 8: getto del rivestimento definitivo, eseguito ad una distanza massima dal fronte di scavo pari a 5D (tale distanza dovrà essere ridefinita in corso d'opera in funzione del comportamento deformativo del cavo).

10.2 Caratteristiche dei materiali strutturali

Si riportano di seguito le principali caratteristiche dei diversi materiali impiegati nelle opere in progetto, con l'indicazione dei valori di resistenza e deformabilità adottati nelle verifiche, nel rispetto delle indicazioni del DM 14/01/2008 e della Circolare n.617/2009.

Con riferimento ai rivestimenti provvisori e definitivi, si sottolinea che la classe di resistenza dei calcestruzzi riportata nelle tabelle che seguono è quella utilizzata ai fini della sola modellazione numerica e delle verifiche strutturali (per i rivestimenti definitivi si rimanda alle indicazioni del Capitolato Rif. [11]).

Per le caratteristiche dei materiali da adottare per la realizzazione delle opere si rimanda all'elaborato "Caratteristiche dei materiali – Note generali" (Rif. [43]).

Interventi di presostegno

Acciaio per infilaggi al contorno	
Tipo	S 355
Tensione caratteristica di rottura	$f_{tk} \geq 510 \text{ MPa}$
Tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk} \geq 355 \text{ MPa}$
Modulo elastico	$E_s = 210000 \text{ MPa}$

Interventi di precontenimento

Elementi in vetroresina strutturali (tubi cavi 60/40 mm)	
Resistenza a trazione caratteristica	$f_{tk} \geq 450 \text{ MPa}$
Resistenza a taglio	$t \geq 85 \text{ MPa}$

Rivestimento provvisorio

Calcestruzzo proiettato (fibrorinforzato)	
Classe di resistenza	C 25/30
Resistenza di progetto a compressione a 28 giorni	$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot 0.85 \cdot f_{ck} / 1.5 = 14.11 \text{ MPa}$
Modulo elastico a 28 giorni	$E_{cm} = 22000 \cdot (f_{cm} / 10)^{0.3} = 31447 \text{ MPa}$
Classe minima di sviluppo della resistenza minima a compressione a breve termine	J2
Curva granulometrica degli aggregati di tipo continuo con diametro massimo di:	10 mm
Classe di consistenza	S5
Dosaggio in fibre	35 kg/m ³
Classe di assorbimento energetica minima	E700

Acciaio per centine	
Tipo	S 275
Tensione caratteristica di rottura	$f_{tk} \geq 430 \text{ MPa}$
Tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk} \geq 275 \text{ MPa}$
Modulo elastico	$E_s = 210000 \text{ MPa}$

Rivestimenti definitivi

Calcestruzzo armato	
Classe di resistenza di calcolo	C 25/30
Resistenza di progetto a compressione a 28 giorni	$f_{cd} = 0.85 f_{ck} / 1.5 = 14.11 \text{ MPa}$
Modulo elastico a 28 giorni	$E_{cm} = 22000 (f_{cm} / 10)^{0.3} = 31447 \text{ MPa}$
Classe di esposizione	XC2
Classe di consistenza	S4
Classe di contenuto in cloruri	CL 0.2
Diametro massimo aggregato	32 mm
Copriferro	4.0 cm

Calcestruzzo non armato	
Classe di resistenza di calcolo	C 25/30
Tensione massima di compressione	$\sigma_{c,max}=6.225 \text{ MPa}$
Modulo elastico a 28 giorni	$E_{cm} = 22000(f_{cm}/10)^{0.3} = 31447 \text{ MPa}$

Acciaio per barre di armatura	
Tipo	B 450 C
Tensione caratteristica di rottura	$f_{tk} \geq 540 \text{ MPa}$
Tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk} \geq 450 \text{ MPa}$
Resistenza di progetto	$f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s = 450/1.15 = 391.3 \text{ MPa}$
Tensione massima in condizioni di esercizio	$\sigma_{lim} = 0.80 f_{yk} = 360 \text{ MPa}$

10.3 Analisi e verifica delle sezioni tipo

Le soluzioni progettuali descritte nel capitolo precedente sono state analizzate per verificarne adeguatezza ed efficacia, con riferimento al modello geotecnico illustrato nel capitolo 8 e nel rispetto delle indicazioni della normativa vigente (Rif. [1] Rif. [2]).

10.3.1 Criteri di verifica

Al fine di dimensionare i rivestimenti di prima fase e i rivestimenti definitivi delle sezioni tipologiche di scavo della galleria Giave, sono state condotte delle analisi numeriche bidimensionali. Le sezioni di analisi sono state scelte in corrispondenza delle massime coperture per ciascuna sezione tipologica prevista e ciascuna unità geomeccanica attraversata dall'opera, in modo da ottenere le sollecitazioni massime agenti sugli elementi strutturali e dunque procedere con il dimensionamento degli stessi in modo sufficientemente cautelativo.

La seguente tabella riassume le principali informazioni delle sezioni tipologiche della galleria naturale considerate nelle analisi numeriche:

	VELOCIZZAZIONE LINEA SAN GAVINO - SASSARI – OLBIA VARIANTE DI BONORVA - TORRALBA					
	GALLERIA GIAVE – Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA RR0H	LOTTO 04	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GN 02 00 001	REV. A	FOGLIO 43 di 164

Tabella 10-1 – Principali caratteristiche delle sezioni di calcolo analizzate

Sezione di calcolo	Unità	Pk sez. analisi [km]	copertura [m]
A1	IGR	3+150	206
B1	IGR - faglia	3+725	30

I tassi di rilascio da utilizzare nelle analisi numeriche per ciascuna fase di calcolo sono stati ottenuti dalle curve caratteristiche in presenza di sostegni riportate brevemente nel seguito. Per gli output completi del programma di calcolo utilizzato per la definizione delle curve caratteristiche – GV4 – si rimanda invece agli Allegati.

Le restanti sezioni di analisi sono state verificate con il metodo delle curve caratteristiche. Per i risultati si manda all’Allegato specifico. I risultati delle curve caratteristiche evidenziano valori dei coefficienti di sicurezza adeguati sia per i pre-rivestimenti che per i rivestimenti definitivi.

10.3.1.1 Interazione opera-terreno

L’interazione opera-terreno è stata valutata mediante apposite analisi numeriche alle differenze finite (FDM), utilizzando il codice di calcolo Flac 2D (Versione 5.0-6.0-8.0) (Fast Lagrangian Analysis of Continua), sviluppato da Itasca Consulting Group di Minneapolis USA. Tale codice permette di analizzare problemi di meccanica del continuo, determinando gli stati tensionali e deformativi, in campo bidimensionale o assialsimmetrico, in equilibrio con le azioni esterne e gravitative applicate e compatibilmente con le leggi costitutive adottate per i materiali, ricorrendo al metodo delle differenze finite, sia in campo statico che dinamico. Le analisi possono essere inoltre condotte in condizioni di flusso idraulico, in modalità accoppiata o con pressioni neutre preventivamente fissate.

Nell’ambito delle analisi condotte per le gallerie in esame, sono state adottate leggi costitutive di tipo elastico lineare per le strutture e leggi elasto-plastiche con il criterio di resistenza “Mohr – Coulomb” per le zone di terreno naturale.

Il comportamento del sistema opera-terreno è stato analizzato nelle diverse fasi costruttive fino alla configurazione finale e in condizioni di esercizio. Le analisi sono mirate alla previsione del comportamento deformativo al contorno dello scavo e dei carichi attesi sui sostegni provvisori e sui rivestimenti definitivi. Le analisi consentono, pertanto, di verificare:

- stati limite ultimi per raggiungimento della resistenza del terreno/ammasso roccioso interessato dallo scavo (stato limite ultimo di tipo GEO), con lo sviluppo di fenomeni di instabilità del fronte o di deformazioni e spostamenti elevati al contorno;
- stati limite ultimi relativi al raggiungimento delle resistenze degli elementi strutturali che costituiscono gli interventi di stabilizzazione, del rivestimento di prima fase e del rivestimento definitivo (stato limite ultimo di tipo STR);
- stati limite di esercizio per il rivestimento definitivo.

GALLERIA GIAVE – Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR0H	04	D 07 CL	GN 02 00 001	A	44 di 164

Per le verifiche di stati limite ultimi STR, le analisi di interazione opera – terreno sono state condotte con i valori caratteristici delle azioni e dei parametri geotecnici, applicando i coefficienti parziali all'effetto delle azioni, adottando l'Approccio 1- Combinazione 1, con $R1 = 1$. Pertanto, con la combinazione dei carichi fondamentale si è proceduto secondo questo schema:

- verifiche SLU interventi di stabilizzazione: $\gamma_E = 1,3$ applicato alle caratteristiche delle sollecitazioni N, M, T;
- verifiche SLU rivestimento di prima fase: $\gamma_E = 1,3$ applicato alle caratteristiche delle sollecitazioni N, M, T;
- verifiche SLU rivestimento definitivo: $\gamma_E = 1,3$ applicato alle caratteristiche delle sollecitazioni N, M, T.

Per la verifica degli stati limite di esercizio (SLE) del rivestimento definitivo in calcestruzzo armato, le analisi numeriche sono state condotte con i valori caratteristici delle azioni e dei parametri geotecnici, adottando le pertinenti combinazioni dei carichi per la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio, secondo quanto previsto dal DM 14/01/2008 e Circolare n.617 (Rif. [1] Rif. [2]).

10.3.1.2 Verifiche di resistenza dei rivestimenti di prima fase

L'analisi numerica è stata condotta con elementi atti a simulare lo spessore equivalente della sezione spritz e centine, utilizzando il valore di modulo elastico della sezione omogeneizzata.

Le massime sollecitazioni ottenute dalle analisi numeriche sono state ripartite tra le due tipologie di sostegni secondo i seguenti criteri:

- lo sforzo normale N_{tot} è stato ripartito in funzione del rapporto tra le rigidetzzze assiali (EA) dei due sostegni;
- il momento flettente M_{tot} è stato attribuito interamente alle centine;
- lo sforzo di taglio T_{tot} è stato attribuito interamente alle centine.

Le azioni di calcolo per le verifiche SLU sono state definite a partire dai valori delle caratteristiche della sollecitazione derivanti dall'analisi numerica svolta con $\gamma=1$, moltiplicando queste ultime per il coefficiente amplificativo $\gamma_E=1.3$ (Combinazione A1+M1 della Normativa).

In ogni sezione di verifica sono state calcolate:

per l'acciaio da carpenteria:

- le tensioni normali ai lembi delle centine ($\sigma_{max,cent}$ e $\sigma_{min,cent}$);
- la tensione tangenziale agente sulla sola anima del profilato ($\tau_{max,cent}$);
- la tensione ideale massima agente nel profilato ($\sigma_{id,cent}$).

per il calcestruzzo proiettato:

- le tensioni normali ai lembi del calcestruzzo ($\sigma_{max,sb}$ e $\sigma_{min,sb}$)

Per ciascuna sezione si è verificato che la tensione in corrispondenza dei lembi maggiormente sollecitati risulti sempre al di sotto del rispettivo limite di resistenza per entrambi i materiali.

Nella seguente tabella sono sintetizzate le ipotesi assunte alla base del calcolo e le formule utilizzate per la ripartizione delle sollecitazioni e la determinazione delle tensioni nei due materiali.

Tabella 10-2 - Formule per la ripartizione delle sollecitazioni tra spritz e centine

Sollecitazioni		Ripartizione		Calcolo	
		centine	spritz	Centine	Spritz
Sforzo normale	N_{tot}	X	X	$N_{cen} = \frac{E_{acc} \cdot A_{cen}}{E_{eq} \cdot s_{eq}} \cdot N_{tot} \cdot d$	$N_{sb} = N_{tot} - \frac{N_{cen}}{d}$
Momento flettente	M_{tot}	X		$M_{cen} = M_{tot} \cdot d$	
Sforzo di taglio	T_{tot}	X		$T_{cen} = T_{tot} \cdot d$	
Tensioni				$\sigma_{max,cen} = + \frac{N_{cen}}{A_{cen}} + \frac{M_{cen}}{W_{cent}}$ $\sigma_{min,cen} = + \frac{N_{cen}}{A_{cen}} - \frac{M_{cen}}{W_{cent}}$ $\tau_{min,cen} = \frac{T_{cen}}{h \cdot a}$ $\sigma_{id,cent} = \sqrt{\sigma_{max,cent}^2 + 3\tau_{max,cent}^2}$	$\sigma_{max,sb} = \frac{N_{sb}}{s}$
E_{cls}	modulo elastico del calcestruzzo proiettato				
s	spessore del calcestruzzo proiettato				
E_{acc}	modulo elastico dell'acciaio				
A_{cen}	area delle centine				
d	interasse tra le centine				
a	spessore dell'anima del profilato				
E_{eq}	modulo elastico del rivestimento equivalente costituito da spritz e centine				
s_{eq}	spessore del rivestimento equivalente costituito da spritz e centine				
N_{tot}	sforzo normale agente sul rivestimento equivalente				
N_{cent}	sforzo normale agente sulle centine				
N_{sb}	sforzo normale agente sullo spritz beton				
M_{tot}	momento flettente agente sul rivestimento equivalente				
M_{cent}	momento flettente agente sulle centine				
T_{tot}	sforzo di taglio agente sul rivestimento equivalente				
T_{cent}	sforzo di taglio agente sulle centine				
$\sigma_{max,cent}$	tensione massima nelle centine				
$\sigma_{min,cent}$	tensione minima nelle centine				
$\tau_{max,cent}$	tensione tangenziale massima nelle centine				
$\sigma_{id,cent}$	tensione ideale nelle centine				
$\sigma_{max,sb}$	tensione massima nello spritz beton				
$\sigma_{min,sb}$	tensione minima nello spritz beton				

10.3.2 Sezione A1

10.3.2.1 Curve caratteristiche e tassi di rilascio

Dall'analisi delle curve caratteristiche in presenza dei sostegni è stato possibile determinare i tassi di rilascio da utilizzare nelle differenti fasi realizzative della sezione tipo in oggetto. Tali curve sono state calcolate con riferimento ai parametri meccanici dell'ammasso e alla copertura riportati in Tabella 9-1. La figura seguente illustra le curve caratteristiche del cavo, del prerinvestimento e del rivestimento definitivo, nonché la variazione del tasso di rilascio in funzione della distanza dal fronte della galleria.

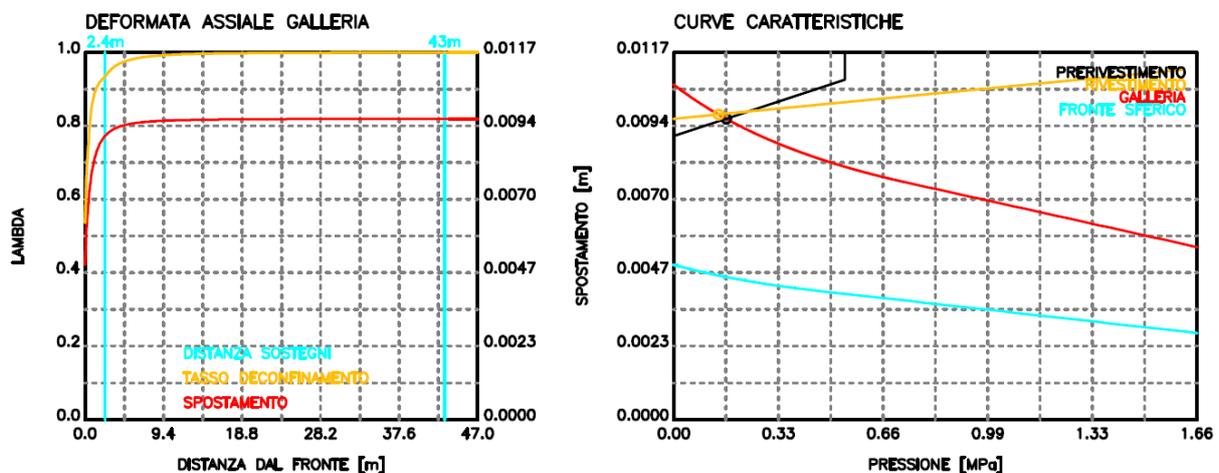


Figura 17 – Deformata assiale, tasso di rilascio e curve caratteristiche – Sezione tipologica A1

La seguente tabella riassume i tassi di rilascio ottenuti dalle curve caratteristiche e adottati nelle analisi numeriche per la sezione tipologica in esame nelle varie fasi di analisi:

Tabella 10-3 – Output di calcolo delle curve caratteristiche per la sezione tipo A1

Fase di analisi	Distanza dal fronte [m]	Tasso di rilascio [-]
Preconvergenza del fronte	0	0.536
Sfondo elementare di 2.40 m prima fase	2.40	0.933
Attivazione del rivestimento di prima fase alla distanza di getto dell'arco rovescio (=5D)	43.0	0.997
Installazione arco rovescio e murette	-	0.999
Installazione rivestimento di calotta (svincolata)	-	1.0

10.3.2.2 Modello numerico e fasi dell'analisi

L'interazione opera-terreno è stata valutata mediante una apposita analisi numerica FDM, utilizzando il codice di calcolo Flac 6.0. Le dimensioni del modello numerico adottato prevedono una mesh 100x80 m, in cui è stata adottata una discretizzazione tramite maglia di elementi rettangolari, opportunamente intensificata nelle zone di maggiore interesse in corrispondenza della galleria, in modo da seguire il più fedelmente possibile le geometrie locali delle strutture (cfr. Allegato). Per ridurre il numero di zone, e quindi i tempi di calcolo, il contorno superiore del modello è stato posto ad una distanza di circa 40 m dal piano dei centri della galleria. Tenuto conto della copertura C=206 m, il peso dell'ammasso non considerato nel modello è stato applicato come pressione verticale sul bordo superiore. Lateralmente ed inferiormente il modello è vincolato con carrelli. I bordi del modello numerico sono stati collocati sufficientemente lontani dalla galleria, in modo tale che le condizioni di vincolo ivi definite non interferiscano con i processi di scavo e costruzione in esame.

I rivestimenti di prima fase e definitivi, sono stati simulati utilizzando gli elementi stessi della griglia, consentendo così di riprodurre le loro reali dimensioni.

Il modello costitutivo dell'ammasso è di tipo elasto-plastico "Mohr-Coulomb" (secondo quanto riportato in Tabella 9-1). La stratigrafia è stata simulata come uno strato uniforme nell'intero modello di calcolo; il rivestimento di prima fase è stato simulato come rivestimento omogeneizzato spritz e centina dello spessore di 15 cm. Il rivestimento definitivo, invece, è stato simulato con le sue reali dimensioni, in coerenza con quanto riportato nelle tavole di carpenteria.

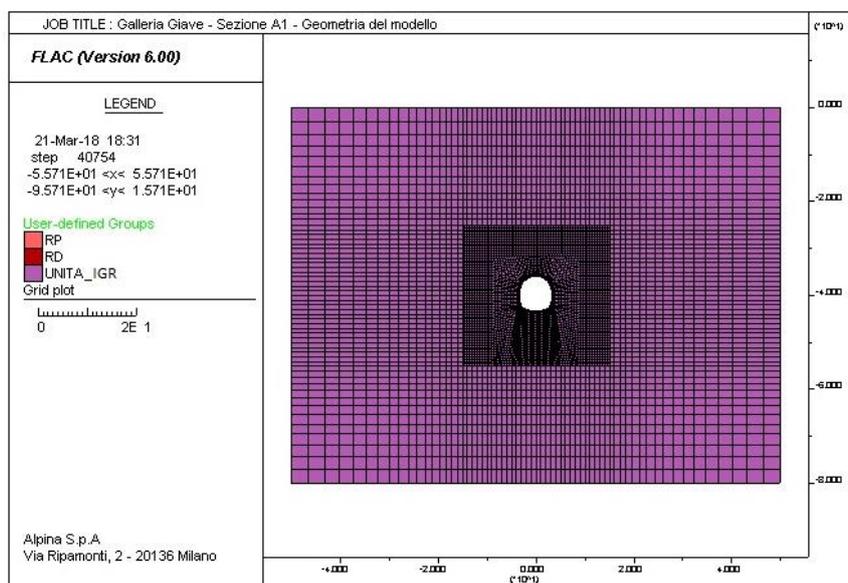


Figura 18 – Modello di calcolo della sezione A1

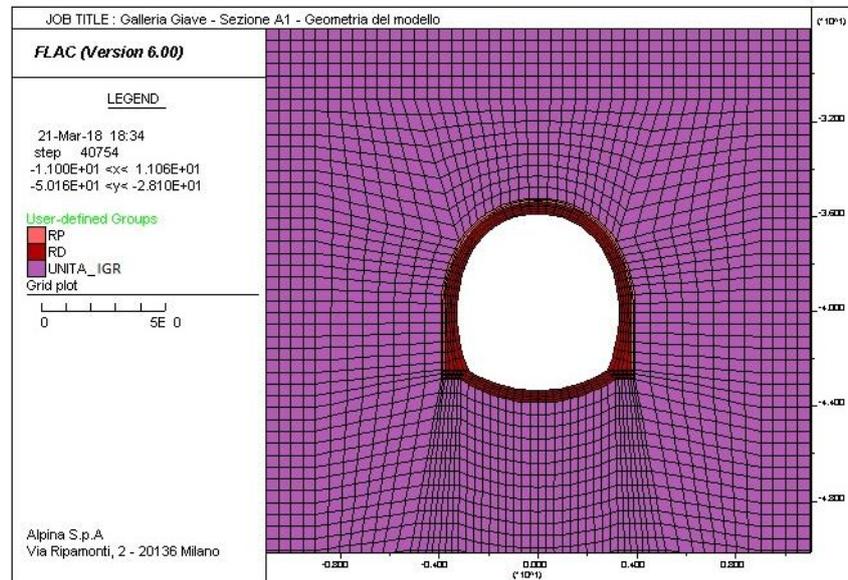


Figura 19 - Dettaglio della suddivisione in zone

Le fasi di analisi sono perciò le seguenti:

- Fase_01** Costruzione della geometria del modello.
- Fase_02** Inizializzazione dello stato tensionale iniziale gravitativo – condizioni k_0 – modello costitutivo elasto-plastico “Mohr-Coulomb; livello di falda alla quota di progetto.
- Fase_03** Preconvergenza al fronte con rilascio parziale dello stato tensionale sul contorno di scavo pari al 53.6% ($\lambda=0.536$).
- Fase_04** Simulazione dello sfondo pari a 2.40 m con rilascio parziale dello stato tensionale sul contorno di scavo pari al 93.3% ($\lambda=0.919$).
- Fase_05** Attivazione del rivestimento di prima fase con rilascio parziale dello stato tensionale sul contorno di scavo pari al 99.7% ($\lambda=0.997$).
- Fase_06** Installazione arco rovescio e murette e rilascio parziale dello stato tensionale sul contorno di scavo pari a 99.9% ($\lambda=0.999$);
- Fase_07** Installazione del rivestimento definitivo in calotta e piedritti, rilascio completo (100%) dello stato tensionale al contorno di scavo e degrado del rivestimento di prima fase;

10.3.2.3 Risultati dell'analisi

I principali risultati delle analisi condotte con la simulazione progressiva delle fasi di scavo sono riportati in Allegato, utilizzando le seguenti unità di misura:

- tensioni in kPa;
- dimensioni geometriche in metri;
- spostamenti in metri;
- sforzo normale in kN/m;
- momento flettente in kNm/m;
- sforzo di taglio in kN/m;

I risultati indicati nei suddetti Allegati si riferiscono alle seguenti fasi principali della simulazione numerica:

- riproduzione della situazione antecedente lo scavo della galleria (Fase_02);
- attivazione del rivestimento di prima fase (Fase_05 e Fase_06);
- attivazione rivestimento definitivo (Fase_07)

Per ciascuna delle suddette fasi, i risultati sono restituiti sotto forma di:

- diagrammi a bande cromatiche delle tensioni principali totali;
- plasticizzazione dell'ammasso roccioso intorno al profilo di scavo;

Con riferimento alla Fase_05, Fase_06 e Fase_07, si riportano inoltre:

- deformata del modello e spostamenti verticali;
- diagrammi delle caratteristiche della sollecitazione (sforzo normale, momento flettente e taglio) nei priverestimenti e rivestimenti della galleria.

10.3.2.4 Verifiche dei rivestimenti di prima fase

Il rivestimento di prima fase della sezione tipo A1 è costituito da centine metalliche 2 IPN140 a passo 1.4 m e da uno strato di spritz-beton avente spessore di 15 cm.

Le verifiche sono state eseguite con riferimento alle fasi di calcolo Fase_05 e Fase_06, che corrispondono all'installazione del rivestimento di prima fase e dell'arco rovescio.

Nella tabella seguente sono sintetizzati i valori delle caratteristiche della sollecitazione nelle sezioni di M_{max} , N_{max} , e T_{max} con riferimento ai risultati delle analisi numeriche eseguite per le due fasi di analisi precedentemente dichiarate, moltiplicando le sollecitazioni derivanti dalle analisi numeriche per il coefficiente amplificativo $\gamma_E=1.3$.

Tabella 10-4 – Rivestimenti di prima fase: sollecitazioni – Sezione A1

Fase	Sezione	Sollecitazioni da analisi numerica			Sollecitazioni di calcolo		
		N [kN/m]	M [kNm/m]	T [kN/m]	$N_d = \gamma_E \cdot N$ [kN/m]	$M_d = \gamma_E \cdot M$ [kNm/m]	$T_d = \gamma_E \cdot T$ [kN/m]
Fase_05	M_{max}	270.7	4.2	24.7	351.9	5.5	32.1
	N_{max}	818.0	0.5	0.9	1063.4	0.6	1.2
	T_{max}	525.0	1.0	27.6	682.5	1.3	35.9
Fase_06	M_{max}	266.4	4.2	26.0	346.4	5.4	33.8
	N_{max}	832.8	0.5	0.9	1082.7	0.6	1.2
	T_{max}	539.7	1.0	28.7	701.6	1.3	37.3

Nelle seguenti tabelle sono sintetizzati i risultati delle verifiche con riferimento ai risultati delle analisi numeriche. Come si può osservare, i rivestimenti di prima fase risultano verificati poiché sono rispettate le seguenti condizioni:

$$\sigma_{max, sb} \leq f_{cd}$$

$$\sigma_{id, cent} \leq f_{yd}$$

VERIFICA DEL RIVESTIMENTO DI PRIMA FASE

 NORMATIVA DI RIFERIMENTO: **DM 2008**

LAVORO:	Gallerie Linea S.Gavino-Sassari-Olbia
Galleria:	Galleria Giave - Sezione A1
FASE:	Fase_05: Prerivestimento

MATERIALI

<i>Spritz Beton</i>		
Classe	C25/30	
R_{ck}	30	[MPa]
γ_c	1.5	[-]
f_{ck}	24.90	[MPa]
f_{cd}	14.11	[MPa]
f_{ctm}	-1.19	[MPa]
B	100	[cm]
s	15	[cm]
A_{sb}	1500	[cm ²]
I_{sb}	28125	[cm ⁴]
W_{sb}	3750	[cm ³]
E_{sb}	31447	[MPa]

Classe dello spritz beton
Resistenza a compressione cubica caratteristica dello spritz beton
Coefficiente parziale resistenza
Resistenza a compressione cilindrica caratteristica dello spritz beton
Resistenza di calcolo a compressione dello spritz beton
Resistenza di calcolo a trazione dello spritz beton
Base della sezione di spritz beton
Altezza della sezione di spritz beton
Area della sezione di spritz beton
Momento di inerzia della sezione di spritz beton
Momento resistente della sezione di spritz beton
Modulo di elasticità dello spritz beton

<i>Centine</i>		
Tipo	S275	
Profilato	IPN140	
γ_s	1.05	[-]
N.	2	[-]
f_y	275	[MPa]
f_{yd}	261.9	[MPa]
A_{cent}	18.2	[cm ²]
I_{cent}	572	[cm ⁴]
W_{cent}	81.8	[cm ³]
h_{cent}	140	[mm]
a	5.7	[mm]
d	1.4	[m]
E_{cent}	210000	[MPa]

Tipologia acciaio
Tipologia centine
Coefficiente parziale resistenza
Numero centine
Tensione di snervamento dell'acciaio
Massima tensione nell'acciaio
Area del profilato
Momento di inerzia del profilato
Momento resistente del profilato
Altezza profilato
Spessore dell'anima del profilato
Interasse longitudinale tra le centine
Modulo di elasticità dell'acciaio

<i>Rivestimento equivalente</i>		
s_{eq}	15	[cm]
E_{eq}	33541	[MPa]

Spessore equivalente
Modulo di elasticità equivalente

VERIFICA DEL RIVESTIMENTO DI PRIMA FASE

 NORMATIVA DI RIFERIMENTO: **DM 2008**

LAVORO:	Gallerie Linea S.Gavino-Sassari-Olbia
Galleria:	Galleria Giave - Sezione A1
FASE:	Fase_05: Prerivestimento

SOLLECITAZIONI

<i>Sollecitazioni da calcolo numerico</i>					
Sezione	N	T	M	e	e<H/6
	[kN/m]	[kN/m]	[kNm/m]	[cm]	
M _{max}	351.9	32.1	5.48	1.56	compr
N _{max}	1063.4	1.2	0.60	0.06	compr
T _{max}	682.5	35.9	1.26	0.19	compr

VERIFICHE

<i>Verifica centine</i>							Verifica
N _{cent}	T _{cent}	M _{cent}	σ _{max,cent}	σ _{min,cent}	τ _{cent}	σ _{id}	
[kN]	[kN]	[kNm]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	
51.9	44.97	7.67	61.2	-32.7	28.2	78.3	OK
156.9	1.62	0.84	48.3	37.9	1.0	48.3	OK
100.7	50.25	1.77	38.5	16.8	31.5	66.7	OK

<i>Verifica spritz beton</i>		
N _{spritz}	σ _{max,sb}	Verifica
[kN]	[MPa]	
315	2.10	OK
951	6.34	OK
611	4.07	OK

VERIFICA DEL RIVESTIMENTO DI PRIMA FASE

NORMATIVA DI RIFERIMENTO: DM 2008

LAVORO:	Gallerie Linea S.Gavino-Sassari-Olbi-
Galleria:	Galleria Monte Martis - Sezione A1
FASE:	Fase_06: Prerivestimento

MATERIALI

<i>Spritz Beton</i>		
Classe	C25/30	
R _{ck}	30	[MPa]
γ _c	1.5	[-]
f _{ck}	24.90	[MPa]
f _{cd}	14.11	[MPa]
f _{ctm}	-1.19	[MPa]
B	100	[cm]
s	15	[cm]
A _{sb}	1500	[cm ²]
I _{sb}	28125	[cm ⁴]
W _{sb}	3750	[cm ³]
E _{sb}	31447	[MPa]

Classe dello spritz beton
Resistenza a compressione cubica caratteristica dello spritz beton
Coefficiente parziale resistenza
Resistenza a compressione cilindrica caratteristica dello spritz beton
Resistenza di calcolo a compressione dello spritz beton
Resistenza di calcolo a trazione dello spritz beton
Base della sezione di spritz beton
Altezza della sezione di spritz beton
Area della sezione di spritz beton
Momento di inerzia della sezione di spritz beton
Momento resistente della sezione di spritz beton
Modulo di elasticità dello spritz beton

<i>Centine</i>		
Tipo	S275	
Profilato	IPN140	
γ _s	1.05	[-]
N.	2	[-]
f _y	275	[MPa]
f _{yd}	261.9	[MPa]
A _{cent}	18.2	[cm ²]
I _{cent}	572	[cm ⁴]
W _{cent}	81.8	[cm ³]
h _{cent}	140	[mm]
a	5.7	[mm]
d	1.4	[m]
E _{cent}	210000	[MPa]

Tipologia acciaio
Tipologia centine
Coefficiente parziale resistenza
Numero centine
Tensione di snervamento dell'acciaio
Massima tensione nell'acciaio
Area del profilato
Momento di inerzia del profilato
Momento resistente del profilato
Altezza profilato
Spessore dell'anima del profilato
Interasse longitudinale tra le centine
Modulo di elasticità dell'acciaio

<i>Rivestimento equivalente</i>		
s _{eq}	15	[cm]
E _{eq}	33541	[MPa]

Spessore equivalente
Modulo di elasticità equivalente

VERIFICA DEL RIVESTIMENTO DI PRIMA FASE

 NORMATIVA DI RIFERIMENTO: **DM 2008**

LAVORO:	Gallerie Linea S. Gavino-Sassari-Olbi-
Galleria:	Galleria Monte Martis - Sezione A1
FASE:	Fase_06: Prerivestimento

SOLLECITAZIONI

<i>Sollecitazioni da calcolo numerico</i>					
Sezione	N	T	M	e	e<H/6
	[kN/m]	[kN/m]	[kNm/m]	[cm]	
M _{max}	346.4	33.8	5.43	1.57	compr
N _{max}	1082.7	1.2	0.65	0.06	compr
T _{max}	701.6	-37.3	1.30	0.19	compr

VERIFICHE

<i>Verifica centine</i>							Verifica
N _{cent}	T _{cent}	M _{cent}	σ _{max,cent}	σ _{min,cent}	τ _{cent}	σ _{id}	
[kN]	[kN]	[kNm]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	
51.1	47.29	7.60	60.5	-32.4	29.6	79.3	OK
159.7	1.65	0.91	49.4	38.3	1.0	49.4	OK
103.5	52.19	1.82	39.6	17.3	32.7	69.1	OK

<i>Verifica spritz beton</i>		
N _{spritz}	σ _{max,sb}	Verifica
[kN]	[MPa]	
310	2.07	OK
969	6.46	OK
628	4.18	OK

10.3.2.5 Verifiche di resistenza dei rivestimenti definitivi

La verifica delle sezioni degli elementi strutturali è condotta, in accordo con la vigente normativa, secondo il metodo degli stati limite, verificando la corrispondenza delle sezioni allo stato limite ultimo S.L.U. ed agli stati limite di esercizio S.L.E.

Le azioni di calcolo per le verifiche S.L.U. sono definite, a partire dai valori delle caratteristiche della sollecitazione derivanti dalle analisi svolte con $\gamma=1$, moltiplicando queste ultime per il coefficiente amplificativo $\gamma_E=1.3$ (Combinazione A1+M1 della vigente normativa). Le resistenze di calcolo per i vari materiali sono quelle

riportate al paragrafo § 10.2. Le verifiche strutturali sono eseguite secondo il Metodo agli Stati Limite di Esercizio per la verifica a fessurazione e secondo il Metodo agli Stati Limite Ultimi per le verifiche a pressoflessione e taglio.

In Allegato sono riportate le sollecitazioni dei rivestimenti per ciascuna fase di calcolo. Lo sforzo normale è considerato positivo se di compressione, il momento flettente è considerato positivo se tende le fibre di intradosso del rivestimento.

Le tabelle seguenti riportano le verifiche strutturali condotte nelle varie sezioni del modello, evidenziando la posizione delle sezioni individuate in Figura 20, per consentire una maggiore leggibilità dei dati. Le tabelle di verifica si riferiscono alla Fase_07.

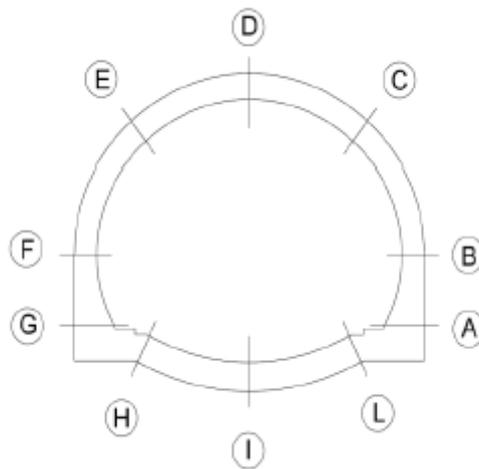


Figura 20 - Sezioni di verifica del rivestimento definitivo

Le verifiche sono state condotte ipotizzando il calcestruzzo non armato.

Le verifiche sono soddisfatte in ciascun sezione.

Tabella 10-5 - Verifica rivestimento definitivo - Fase_07

Sollecitazioni di calotta SLU				Verifiche calcestruzzo non armato				
N	T	M	H sez	σ_{cls}		Verifiche		
(kN)	(kN)	(kNm)	(cm)	[MPa]		e < H/3	$\sigma_{cls,max}$	τ_{cls}
300	-26	8	79.400	0.35	0.23	SI	SI	SI
281	-31	12	69.300	0.42	0.20	SI	SI	SI
276	-30	11	60.800	0.48	0.22	SI	SI	SI
268	-29	7	54.700	0.49	0.27	SI	SI	SI
264	-23	3	51.900	0.44	0.34	SI	SI	SI
254	-13	-1	50.000	0.51	0.42	SI	SI	SI
248	-4	-4	50.000	0.48	0.46	SI	SI	SI
242	-1	-5	50.000	0.46	0.46	SI	SI	SI
237	1	-5	50.000	0.45	0.46	SI	SI	SI
232	1	-5	50.000	0.44	0.44	SI	SI	SI
227	2	-4	50.000	0.44	0.42	SI	SI	SI
222	1	-3	50.000	0.43	0.40	SI	SI	SI
216	1	-3	50.000	0.42	0.38	SI	SI	SI
212	6	-1	50.000	0.42	0.35	SI	SI	SI
208	-5	-1	50.000	0.42	0.33	SI	SI	SI
206	-10	-2	50.000	0.41	0.35	SI	SI	SI
201	1	-3	50.000	0.39	0.37	SI	SI	SI
198	3	-3	50.000	0.39	0.35	SI	SI	SI
195	3	-1	50.000	0.39	0.33	SI	SI	SI
192	2	0	50.000	0.39	0.30	SI	SI	SI
190	1	1	50.000	0.30	0.28	SI	SI	SI
188	0	1	50.000	0.31	0.27	SI	SI	SI
188	-1	1	50.000	0.31	0.27	SI	SI	SI
188	-2	1	50.000	0.31	0.27	SI	SI	SI
188	-1	1	50.000	0.30	0.28	SI	SI	SI
188	1	1	50.000	0.30	0.28	SI	SI	SI
188	1	1	50.000	0.30	0.27	SI	SI	SI
189	0	1	50.000	0.31	0.28	SI	SI	SI
190	-1	0	50.000	0.30	0.28	SI	SI	SI
192	-2	0	50.000	0.39	0.30	SI	SI	SI
195	-3	-1	50.000	0.39	0.32	SI	SI	SI
198	-3	-3	50.000	0.39	0.35	SI	SI	SI
201	-1	-3	50.000	0.39	0.37	SI	SI	SI
207	10	-2	50.000	0.41	0.35	SI	SI	SI
209	5	-1	50.000	0.42	0.33	SI	SI	SI
212	-6	-1	50.000	0.42	0.35	SI	SI	SI
217	-1	-3	50.000	0.43	0.38	SI	SI	SI
223	-1	-3	50.000	0.43	0.40	SI	SI	SI
227	-2	-4	50.000	0.44	0.42	SI	SI	SI
232	-2	-5	50.000	0.44	0.44	SI	SI	SI
237	-2	-5	50.000	0.45	0.46	SI	SI	SI
243	0	-5	50.000	0.46	0.47	SI	SI	SI
249	5	-4	50.000	0.48	0.46	SI	SI	SI
255	13	-1	50.000	0.51	0.42	SI	SI	SI
265	24	3	51.900	0.44	0.34	SI	SI	SI
269	30	8	54.700	0.49	0.26	SI	SI	SI
277	31	11	60.800	0.49	0.21	SI	SI	SI
281	31	12	69.300	0.43	0.19	SI	SI	SI
300	26	8	79.400	0.35	0.23	SI	SI	SI
Sollecitazioni di arco rovescio SLU				Verifiche calcestruzzo non armato				
N	T	M	H sez	σ_{cls}		Verifiche		
(kN)	(kN)	(kNm)	(cm)	[MPa]		e < H/3	$\sigma_{cls,max}$	$\sigma_{cls,media}$
204	13.3	-12	50.0	0.34	0.53	SI	SI	SI
202	11.0	-9	50.0	0.35	0.47	SI	SI	SI
203	8.6	-5	50.0	0.38	0.41	SI	SI	SI
204	6.4	-3	50.0	0.39	0.37	SI	SI	SI
204	4.6	-1	50.0	0.41	0.34	SI	SI	SI
205	3.1	0	50.0	0.42	0.32	SI	SI	SI
205	2.0	0	50.0	0.32	0.31	SI	SI	SI
205	1.2	1	50.0	0.33	0.30	SI	SI	SI
206	0.6	1	50.0	0.34	0.30	SI	SI	SI
206	0.0	1	50.0	0.34	0.30	SI	SI	SI
206	-0.6	1	50.0	0.34	0.30	SI	SI	SI
205	-1.2	1	50.0	0.33	0.30	SI	SI	SI
205	-1.9	0	50.0	0.32	0.31	SI	SI	SI
205	-3.0	0	50.0	0.42	0.32	SI	SI	SI
204	-4.5	-1	50.0	0.41	0.34	SI	SI	SI
204	-6.4	-3	50.0	0.39	0.37	SI	SI	SI
203	-8.5	-5	50.0	0.38	0.41	SI	SI	SI
202	-10.9	-8	50.0	0.35	0.47	SI	SI	SI
204	-13.1	-11	50.0	0.34	0.53	SI	SI	SI

10.3.3 Sezione B1

10.3.3.1 Curve caratteristiche e tassi di rilascio

Dall'analisi delle curve caratteristiche in presenza dei sostegni è stato possibile determinare i tassi di rilascio da utilizzare nelle differenti fasi realizzative della sezione tipo in oggetto. Tali curve sono state calcolate con riferimento ai parametri meccanici dell'ammasso e alla copertura riportati in Tabella 9-1. La figura seguente illustra le curve caratteristiche del cavo, del prerinvestimento e del rivestimento definitivo, nonché la variazione del tasso di rilascio in funzione della distanza dal fronte della galleria.

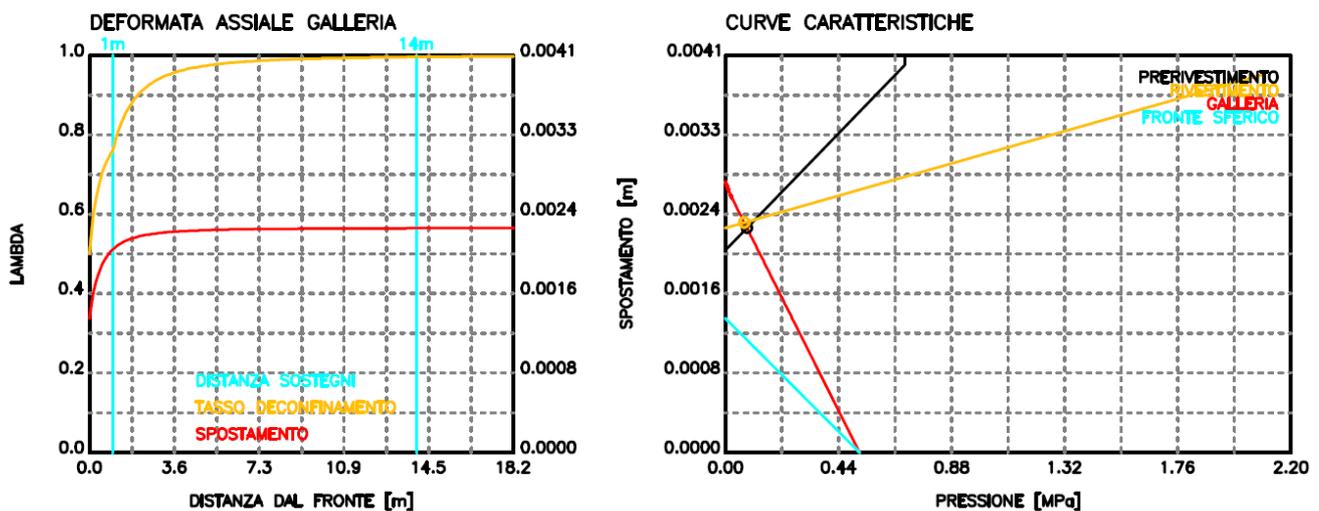


Figura 21 – Deformata assiale, tasso di rilascio e curve caratteristiche – Sezione tipologica B1

La seguente tabella riassume i tassi di rilascio ottenuti dalle curve caratteristiche e adottati nelle analisi numeriche per la sezione tipologica in esame nelle varie fasi di analisi:

Tabella 10-6 – Output di calcolo delle curve caratteristiche per la sezione tipo B1

Fase di analisi	Distanza dal fronte [m]	Tasso di rilascio [-]
Preconvergenza del fronte	0	0.502
Sfondo elementare di 1.0 m e attivazione del rivestimento di prima fase	1.0	0.760
Installazione arco rovescio e murette a distanza 1.5D dal fronte	14.0	0.996
Installazione rivestimento di calotta a distanza 4D dal fronte	36.0	1.0

10.3.3.2 Modello numerico e fasi dell'analisi

L'interazione opera-terreno è stata valutata mediante una apposita analisi numerica FDM, utilizzando il codice di calcolo Flac 6.0. Le dimensioni del modello numerico adottato prevedono una mesh 100x80 m, in cui è stata adottata una discretizzazione tramite maglia di elementi rettangolari, opportunamente intensificata nelle zone di maggiore interesse in corrispondenza della galleria, in modo da seguire il più fedelmente possibile le geometrie locali delle strutture (cfr. Allegato). Per ridurre il numero di zone, e quindi i tempi di calcolo, il contorno superiore del modello è stato posto ad una distanza di circa 40 m dal piano dei centri della galleria. Tenuto conto della copertura C=30 m, il peso dell'ammasso non considerato nel modello è stato applicato come pressione verticale sul bordo superiore. Lateralmente ed inferiormente il modello è vincolato con carrelli. I bordi del modello numerico sono stati collocati sufficientemente lontani dalla galleria, in modo tale che le condizioni di vincolo ivi definite non interferiscano con i processi di scavo e costruzione in esame.

I rivestimenti di prima fase e definitivi, sono stati simulati utilizzando gli elementi stessi della griglia, consentendo così di riprodurre le loro reali dimensioni.

Il modello costitutivo dell'ammasso è di tipo elasto-plastico "Mohr-Coulomb" (secondo quanto riportato in Tabella 9-1). La stratigrafia è stata simulata come uno strato uniforme nell'intero modello di calcolo; il rivestimento di prima fase è stato simulato come rivestimento omogeneizzato spritz e centina dello spessore di 20 cm. Il rivestimento definitivo, invece, è stato simulato con le sue reali dimensioni, in coerenza con quanto riportato nelle tavole di carpenteria.

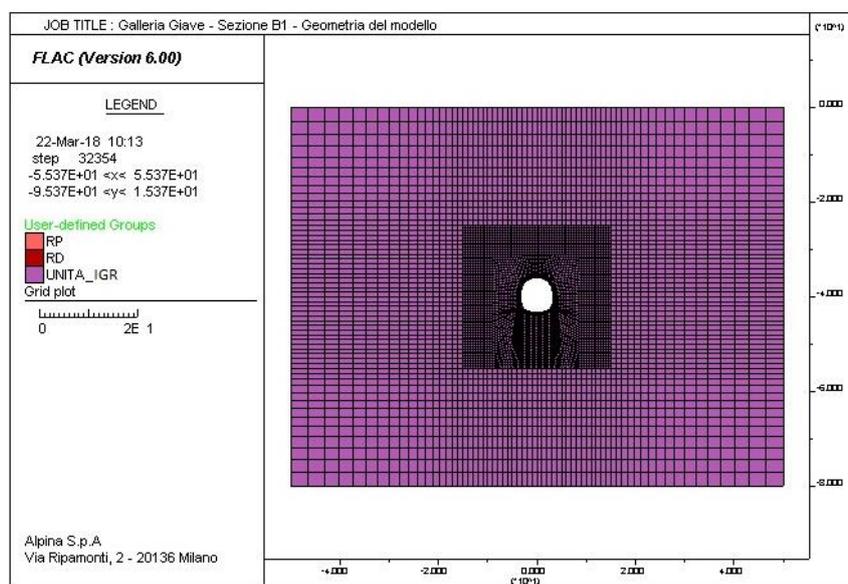


Figura 22 – Modello di calcolo della sezione B1

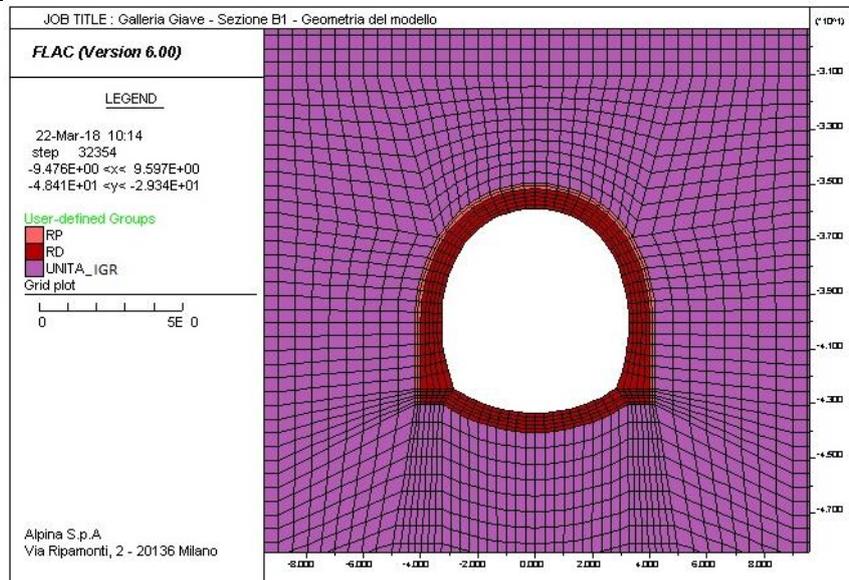


Figura 23 - Dettaglio della suddivisione in zone

Le fasi di analisi sono perciò le seguenti:

- Fase_01** Costruzione della geometria del modello.
- Fase_02** Inizializzazione dello stato tensionale iniziale gravitativo – condizioni k_0 – modello costitutivo elasto-plastico “Mohr-Coulomb; livello di falda alla quota di progetto.
- Fase_03** Preconvergenza al fronte con rilascio parziale dello stato tensionale sul contorno di scavo pari al 50.2% ($\lambda=0.502$).
- Fase_04** Simulazione dello sfondo pari a 1.0 m e attivazione del rivestimento di prima fase con rilascio parziale dello stato tensionale sul contorno di scavo pari al 76.0% ($\lambda=0.760$).
- Fase_05** Installazione arco rovescio e murette a distanza 1.5D e rilascio parziale dello stato tensionale sul contorno di scavo pari a 99.6% ($\lambda=0.996$);
- Fase_06** Installazione del rivestimento definitivo in calotta e piedritti, rilascio completo (100%) dello stato tensionale al contorno di scavo e degrado del rivestimento di prima fase;

10.3.3.3 Risultati dell'analisi

I principali risultati delle analisi condotte con la simulazione progressiva delle fasi di scavo sono riportati in Allegato, utilizzando le seguenti unità di misura:

- tensioni in kPa;

- dimensioni geometriche in metri;
- spostamenti in metri;
- sforzo normale in kN/m;
- momento flettente in kNm/m;
- sforzo di taglio in kN/m;

I risultati indicati nei suddetti Allegati si riferiscono alle seguenti fasi principali della simulazione numerica:

- riproduzione della situazione antecedente lo scavo della galleria (Fase_02);
- attivazione del rivestimento di prima fase (Fase_04 e Fase_05);
- condizioni di lungo termine (Fase_06)

Per ciascuna delle suddette fasi, i risultati sono restituiti sotto forma di:

- diagrammi a bande cromatiche delle tensioni principali totali;
- plasticizzazione dell'ammasso roccioso intorno al profilo di scavo;

Con riferimento alla Fase_04, Fase_05 e Fase_06, si riportano inoltre:

- deformata del modello e spostamenti verticali;
- diagrammi delle caratteristiche della sollecitazione (sforzo normale, momento flettente e taglio) nei priverestimenti e rivestimenti della galleria.

10.3.3.4 Verifiche dei rivestimenti di prima fase

Il rivestimento di prima fase della sezione tipo B1 è costituito da centine metalliche 2 IPN160 a passo 1.0 m e da uno strato di spritz-beton avente spessore di 20 cm.

Le verifiche sono state eseguite con riferimento alle fasi di calcolo Fase_04 e Fase_05, che corrispondono all'installazione del rivestimento di prima fase e dell'arco rovescio.

Nella tabella seguente sono sintetizzati i valori delle caratteristiche della sollecitazione nelle sezioni di M_{max} , N_{max} , e T_{max} con riferimento ai risultati delle analisi numeriche eseguite per le due fasi di analisi precedentemente dichiarate, moltiplicando le sollecitazioni derivanti dalle analisi numeriche per il coefficiente amplificativo $\gamma_E=1.3$.

Tabella 10-7 – Rivestimenti di prima fase: sollecitazioni - Sezione B1

Fase	Sezione	Sollecitazioni da analisi numerica			Sollecitazioni di calcolo		
		N [kN/m]	M [kNm/m]	T [kN/m]	$N_d = \gamma_E \cdot N$ [kN/m]	$M_d = \gamma_E \cdot M$ [kNm/m]	$T_d = \gamma_E \cdot T$ [kN/m]
Fase_04	M_{max}	400.3	3.1	34.0	520.4	4.1	44.3
	N_{max}	458.4	0.5	0.9	595.9	0.6	1.2
	T_{max}	403.9	1.2	44.3	525.1	1.5	57.6
Fase_05	M_{max}	682.3	4.9	34.5	887.0	6.4	44.9
	N_{max}	839.8	0.8	0.8	1091.7	1.1	1.1
	T_{max}	775.6	0.2	67.0	1008.2	0.3	87.1

Nelle seguenti tabelle sono sintetizzati i risultati delle verifiche con riferimento ai risultati delle analisi numeriche. Come si può osservare, i rivestimenti di prima fase risultano verificati poiché sono rispettate le seguenti condizioni:

$$\sigma_{max, sb} \leq f_{cd}$$

$$\sigma_{id, cent} \leq f_{yd}$$

LAVORO:	Gallerie Linea S. Gavino-Sassari-Olbia
Galleria:	Galleria Giave - Sezione B1
FASE:	Fase_04: Prerivestimento

MATERIALI

<i>Spritz Beton</i>		
Classe	C25/30	
R _{ck}	30	[MPa]
γ _c	1.5	[-]
f _{ck}	24.90	[MPa]
f _{cd}	14.11	[MPa]
f _{ctm}	-1.19	[MPa]
B	100	[cm]
s	20	[cm]
A _{sb}	2000	[cm ²]
I _{sb}	66667	[cm ⁴]
W _{sb}	6667	[cm ³]
E _{sb}	31447	[MPa]

Classe dello spritz beton

Resistenza a compressione cubica caratteristica dello spritz beton

Coefficiente parziale resistenza

Resistenza a compressione cilindrica caratteristica dello spritz beton

Resistenza di calcolo a compressione dello spritz beton

Resistenza di calcolo a trazione dello spritz beton

Base della sezione di spritz beton

Altezza della sezione di spritz beton

Area della sezione di spritz beton

Momento di inerzia della sezione di spritz beton

Momento resistente della sezione di spritz beton

Modulo di elasticità dello spritz beton

<i>Centine</i>		
Tipo	S275	
Profilato	IPN160	
γ _s	1.05	[-]
N.	2	[-]
f _y	275	[MPa]
f _{yd}	261.9	[MPa]
A _{cent}	22.8	[cm ²]
I _{cent}	934	[cm ⁴]
W _{cent}	117	[cm ³]
h _{cent}	160	[mm]
a	6.3	[mm]
d	1.0	[m]
E _{cent}	210000	[MPa]

Tipologia acciaio

Tipologia centine

Coefficiente parziale resistenza

Numero centine

Tensione di snervamento dell'acciaio

Massima tensione nell'acciaio

Area del profilato

Momento di inerzia del profilato

Momento resistente del profilato

Altezza profilato

Spessore dell'anima del profilato

Interasse longitudinale tra le centine

Modulo di elasticità dell'acciaio

<i>Rivestimento equivalente</i>		
s _{eq}	20	[cm]
E _{eq}	35061	[MPa]

Spessore equivalente

Modulo di elasticità equivalente

VERIFICA DEL RIVESTIMENTO DI PRIMA FASE

NORMATIVA DI RIFERIMENTO: DM 2008

LAVORO:	Gallerie Linea S.Gavino-Sassari-Olbia
Galleria:	Galleria Giave - Sezione B1
FASE:	Fase_04: Prerivestimento

SOLLECITAZIONI

<i>Sollecitazioni da calcolo numerico</i>					
Sezione	N	T	M	e	e<H/6
	[kN/m]	[kN/m]	[kNm/m]	[cm]	
M _{max}	520.4	44.3	4.1	0.78	compr
N _{max}	595.9	1.2	0.6	0.11	compr
T _{max}	525.1	57.6	1.5	0.29	compr

VERIFICHE

<i>Verifica centine</i>							Verifica
N _{cent}	T _{cent}	M _{cent}	σ _{max,cent}	σ _{min,cent}	τ _{cent}	σ _{id}	
[kN]	[kN]	[kNm]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	
70.1	44.26	4.06	32.7	-1.9	22.0	50.2	OK
80.3	1.21	0.64	20.3	14.9	0.6	20.4	OK
70.8	57.59	1.52	22.0	9.0	28.6	54.2	OK

<i>Verifica spritz beton</i>		
N _{spritz}	σ _{max,sb}	Verifica
[kN]	[MPa]	
450	2.25	OK
516	2.58	OK
454	2.27	OK

GALLERIA GIAVE – Relazione geotecnica e di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D 07 CL	GN 02 00 001	A	64 di 164

LAVORO:	Gallerie Linea S. Gavino-Sassari-Olbia
Galleria:	Galleria Giae - Sezione B1
FASE:	Fase_05: Prerivestimento

MATERIALI

<i>Spritz Beton</i>		
Classe	C25/30	
R _{ck}	30	[MPa]
γ _c	1.5	[-]
f _{ck}	24.90	[MPa]
f _{cd}	14.11	[MPa]
f _{ctm}	-1.19	[MPa]
B	100	[cm]
s	20	[cm]
A _{sb}	2000	[cm ²]
I _{sb}	66667	[cm ⁴]
W _{sb}	6667	[cm ³]
E _{sb}	31447	[MPa]

Classe dello spritz beton
Resistenza a compressione cubica caratteristica dello spritz beton
Coefficiente parziale resistenza
Resistenza a compressione cilindrica caratteristica dello spritz beton
Resistenza di calcolo a compressione dello spritz beton
Resistenza di calcolo a trazione dello spritz beton
Base della sezione di spritz beton
Altezza della sezione di spritz beton
Area della sezione di spritz beton
Momento di inerzia della sezione di spritz beton
Momento resistente della sezione di spritz beton
Modulo di elasticità dello spritz beton

<i>Centine</i>		
Tipo	S275	
Profilato	IPN160	
γ _s	1.05	[-]
N.	2	[-]
f _y	275	[MPa]
f _{yd}	261.9	[MPa]
A _{cent}	22.8	[cm ²]
I _{cent}	934	[cm ⁴]
W _{cent}	117	[cm ³]
h _{cent}	160	[mm]
a	6.3	[mm]
d	1.0	[m]
E _{cent}	210000	[MPa]

Tipologia acciaio
Tipologia centine
Coefficiente parziale resistenza
Numero centine
Tensione di snervamento dell'acciaio
Massima tensione nell'acciaio
Area del profilato
Momento di inerzia del profilato
Momento resistente del profilato
Altezza profilato
Spessore dell'anima del profilato
Interasse longitudinale tra le centine
Modulo di elasticità dell'acciaio

<i>Rivestimento equivalente</i>		
s _{eq}	20	[cm]
E _{eq}	35061	[MPa]

Spessore equivalente
Modulo di elasticità equivalente

VERIFICA DEL RIVESTIMENTO DI PRIMA FASE

NORMATIVA DI RIFERIMENTO: DM 2008

LAVORO:	Gallerie Linea S. Gavino-Sassari-Olbia
Galleria:	Galleria Gave - Sezione B1
FASE:	Fase_05: Prerivestimento

SOLLECITAZIONI

<i>Sollecitazioni da calcolo numerico</i>					
Sezione	N	T	M	e	e<H/6
	[kN/m]	[kN/m]	[kNm/m]	[cm]	
M _{max}	887.0	44.9	6.4	0.72	compr
N _{max}	1091.7	1.1	1.1	0.10	compr
T _{max}	1008.2	87.1	0.3	0.03	compr

VERIFICHE

<i>Verifica centine</i>							Verifica
N _{cent}	T _{cent}	M _{cent}	σ _{max,cent}	σ _{min,cent}	τ _{cent}	σ _{id}	
[kN]	[kN]	[kNm]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	
119.6	44.85	6.43	53.7	-1.2	22.2	66.1	OK
147.2	1.09	1.10	37.0	27.6	0.5	37.0	OK
135.9	87.10	0.27	31.0	28.7	43.2	81.0	OK

<i>Verifica spritz beton</i>		
N _{spritz}	σ _{max,sb}	Verifica
[kN]	[MPa]	
767	3.84	OK
945	4.72	OK
872	4.36	OK

10.3.3.5 Verifiche di resistenza dei rivestimenti definitivi

In Allegato sono riportate le sollecitazioni dei rivestimenti definitivi per ciascuna fase di calcolo. Lo sforzo normale è considerato positivo se di compressione, il momento flettente è considerato positivo se tende le fibre di intradosso del rivestimento.

Le tabelle seguenti riportano le verifiche strutturali condotte nelle varie sezioni del modello, evidenziando la posizione delle sezioni individuate in Figura 20, per consentire una maggiore leggibilità dei dati. Le tabelle di verifica si riferiscono alla Fase_06.

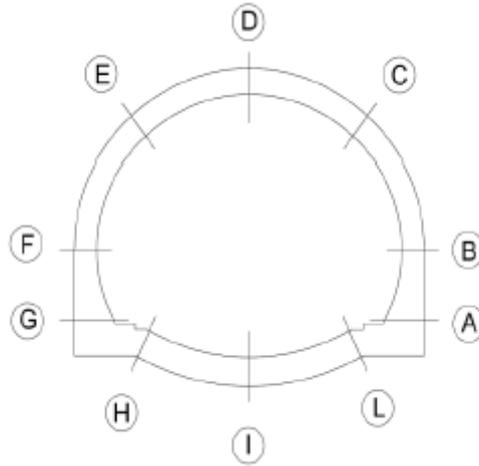


Figura 24 - Sezioni di verifica del rivestimento definitivo

Per la sezione B1, le verifiche sono state condotte ipotizzando il calcestruzzo non armato in calotta e piedritti e armato in arco rovescio e murette. Nelle verifiche delle sezioni armate è stato considerato un copriferro netto pari a 4 cm. I risultati delle verifiche effettuate confermano l'esigenza di armare arco rovescio e murette.

Le verifiche sono soddisfatte in ciascun sezione.

TITOLO ELABORATO

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO
IBE1 00 D XXXX XX XX XX XXX X 67 di 164

Tabella 10-8 - Verifica rivestimento definitivo di calotta - Fase_06

Sollecitazioni di calotta SLE			Sollecitazioni di calotta SLU			H sez (cm)	Verifiche calcestruzzo non armato					
N (kN)	T (kN)	M (kNm)	N (kN)	T (kN)	M (kNm)		σ_{cls} [MPa]		Verifiche			
								e < H/3	$\sigma_{cls,max}$	τ_{cls}		
575	-45.1	36.9	747	-59	48	99.000	0.81	0.35	SI	SI	SI	A
517	-75.1	41.5	672	-98	54	89.000	0.90	0.27	SI	SI	SI	
517	-63.0	34.7	672	-82	45	82.000	0.94	0.32	SI	SI	SI	
514	-47.6	27.3	669	-62	35	77.000	0.94	0.39	SI	SI	SI	
509	-31.4	19.9	661	-41	26	74.000	0.91	0.47	SI	SI	SI	
499	-18.9	13.0	649	-25	17	72.500	0.84	0.54	SI	SI	SI	B
494	-11.8	7.2	642	-15	9	72.500	0.76	0.60	SI	SI	SI	
487	-9.6	3.0	633	-13	4	72.500	0.71	0.64	SI	SI	SI	
481	-3.7	0.6	625	-5	1	72.500	0.67	0.66	SI	SI	SI	
474	-0.9	-0.4	616	-1	-1	72.500	0.87	0.66	SI	SI	SI	
467	-0.2	-0.7	607	0	-1	72.500	0.85	0.65	SI	SI	SI	
460	-1.3	-1.2	598	-2	-2	72.500	0.84	0.65	SI	SI	SI	
453	-4.3	-2.6	589	-6	-3	72.500	0.82	0.65	SI	SI	SI	
447	-9.9	-5.1	581	-13	-7	72.500	0.80	0.67	SI	SI	SI	C
442	-3.8	-7.5	575	-5	-10	72.500	0.78	0.70	SI	SI	SI	
437	-0.7	-8.8	568	-1	-11	72.500	0.76	0.70	SI	SI	SI	
431	0.5	-9.2	560	1	-12	72.500	0.75	0.70	SI	SI	SI	
426	0.9	-9.4	553	1	-12	72.500	0.74	0.69	SI	SI	SI	
421	0.8	-9.4	547	1	-12	72.500	0.73	0.69	SI	SI	SI	
417	0.7	-9.2	542	1	-12	72.500	0.72	0.68	SI	SI	SI	
414	0.5	-9.1	538	1	-12	72.500	0.72	0.68	SI	SI	SI	
412	0.5	-9.1	535	1	-12	72.500	0.71	0.67	SI	SI	SI	
410	0.3	-9.1	533	0	-12	72.500	0.71	0.67	SI	SI	SI	
410	0.0	-9.0	533	0	-12	72.500	0.71	0.67	SI	SI	SI	D
410	-0.3	-9.0	533	0	-12	72.500	0.71	0.67	SI	SI	SI	
412	-0.5	-9.0	535	-1	-12	72.500	0.71	0.67	SI	SI	SI	
414	-0.5	-9.1	538	-1	-12	72.500	0.72	0.67	SI	SI	SI	
417	-0.7	-9.2	542	-1	-12	72.500	0.72	0.68	SI	SI	SI	
421	-0.8	-9.3	547	-1	-12	72.500	0.73	0.69	SI	SI	SI	
426	-0.9	-9.3	553	-1	-12	72.500	0.74	0.69	SI	SI	SI	
431	-0.5	-9.2	560	-1	-12	72.500	0.75	0.70	SI	SI	SI	
437	0.6	-8.7	568	1	-11	72.500	0.76	0.70	SI	SI	SI	
442	3.8	-7.5	575	5	-10	72.500	0.78	0.70	SI	SI	SI	
447	9.9	-5.1	581	13	-7	72.500	0.80	0.67	SI	SI	SI	E
453	4.3	-2.6	589	6	-3	72.500	0.82	0.65	SI	SI	SI	
460	1.3	-1.1	598	2	-1	72.500	0.84	0.65	SI	SI	SI	
467	0.2	-0.7	607	0	-1	72.500	0.85	0.65	SI	SI	SI	
473	16.4	-0.4	615	21	0	72.500	0.87	0.66	SI	SI	SI	
478	35.4	0.6	622	46	1	72.500	0.67	0.65	SI	SI	SI	
485	33.9	3.0	630	44	4	72.500	0.70	0.63	SI	SI	SI	
491	36.5	7.2	638	48	9	72.500	0.76	0.60	SI	SI	SI	
496	44.1	12.9	645	57	17	72.500	0.83	0.54	SI	SI	SI	F
504	57.1	19.6	655	74	26	74.000	0.90	0.47	SI	SI	SI	
508	73.3	26.7	660	95	35	77.000	0.93	0.39	SI	SI	SI	
509	88.4	33.9	661	115	44	82.000	0.92	0.32	SI	SI	SI	
508	99.8	40.4	660	130	53	89.000	0.88	0.26	SI	SI	SI	
568	68.6	34.0	739	89	44	99.000	0.78	0.37	SI	SI	SI	G

Tabella 10-9 - Verifica rivestimento definitivo arco rovescio e murette - Fase_06

Sollecitazioni di arco rovescio SLE										Sollecitazioni di arco rovescio SLU										Verifiche calcestruzzo armato									
N	T	M	N	T	M	H sez	ϕ (As res)	N ^{barre}	ϕ (As comp)	N ^{barre}	ϕ (stafie)	N ^{bracci}	Passo	σ cis	σ s	Fessure	M _{acc}	M _{cr}	ϵ_{sm}	S _m	Verifica								
(kN)	(kN)	(kNm)	(kN)	(kN)	(kNm)	(cm)	(mm)	(m)	(mm)	(m)	(mm)	(c)	(cm)	(MPa)	(MPa)	(mm)	(kNm)	(kNm)	(c)	(mm)	(c)								
281	42	-83	365	54.4	-108	70.0	12	10	12	10	12	2.5	40	-1.7	17.3	-	34.3	224.9	-	-	Verificato H								
274	25	-74	356	32.1	-97	70.0	12	10	12	10	12	2.5	40	-1.5	24.5	-	33.5	224.0	-	-	Verificato								
272	24	-65	354	30.6	-84	70.0	12	10	12	10	12	2.5	40	-1.3	10.3	-	33.2	223.8	-	-	Verificato								
271	24	-55	352	31.6	-72	70.0	12	10	12	10	12	2.5	40	-1.1	5.0	-	33.1	223.6	-	-	Verificato								
269	25	-45	349	32.6	-58	70.0	12	10	12	10	12	2.5	40	-0.9	1.5	-	32.8	223.4	-	-	Verificato								
266	26	-37	346	34.4	-48	70.0	12	10	12	10	12	2.5	40	-0.8	-0.3	-	32.5	223.0	-	-	Verificato								
264	26.2	-25	343	34.1	-33	70.0	20	10	20	10	12	2.5	40	-0.6	-2.0	-	34.3	252.8	-	-	Verificato								
262	20	-16	341	26.3	-20	70.0	20	10	20	10	12	2.5	40	-0.5	-3.1	-	34.1	252.6	-	-	Verificato								
261	10	-9	339	13.6	-12	70.0	20	10	20	10	12	2.5	40	-0.4	-3.9	-	33.9	252.4	-	-	Verificato								
260	0	-7	338	0.1	-9	70.0	20	10	20	10	12	2.5	40	-0.4	-4.1	-	33.8	252.3	-	-	Verificato I								
261	-10	-9	339	-13.3	-12	70.0	20	10	20	10	12	2.5	40	-0.4	-3.9	-	33.9	252.4	-	-	Verificato								
262	-20	-15	341	-26.0	-20	70.0	20	10	20	10	12	2.5	40	-0.5	-3.1	-	34.1	252.6	-	-	Verificato								
264	-26	-25	343	-33.6	-32	70.0	20	10	20	10	12	2.5	40	-0.6	-2.0	-	34.3	252.8	-	-	Verificato								
266	-26	-36	346	-33.6	-47	70.0	12	10	12	10	12	2.5	40	-0.8	-0.4	-	32.5	223.0	-	-	Verificato								
268	-25	-44	349	-32.2	-57	70.0	12	10	12	10	12	2.5	40	-0.9	1.3	-	32.8	223.3	-	-	Verificato								
270	-24	-54	351	-31.7	-70	70.0	12	10	12	10	12	2.5	40	-1.0	4.7	-	33.0	223.6	-	-	Verificato								
272	-24	-64	353	-31.0	-83	70.0	12	10	12	10	12	2.5	40	-1.3	9.9	-	33.2	223.7	-	-	Verificato								
274	-25	-74	356	-32.8	-96	70.0	12	10	12	10	12	2.5	40	-1.5	16.8	-	33.5	224.0	-	-	Verificato								
281	-43	-83	365	-55.3	-108	70.0	12	10	12	10	12	2.5	40	-1.7	24.2	-	34.3	224.9	-	-	Verificato L								

Sollecitazioni di arco rovescio SLE										Sollecitazioni di arco rovescio SLU										Verifiche calcestruzzo armato - SLU									
N	T	M	N	T	M	H sez	ϕ (As res)	N ^{barre}	ϕ (As comp)	N ^{barre}	ϕ (stafie)	N ^{bracci}	Passo	M _{rd}	Fs	VRdC	VRdS	V _{rdmax}	Duttilità	Armatura a taglio									
(kN)	(kN)	(kNm)	(kN)	(kN)	(kNm)	(cm)	(mm)	(m)	(mm)	(m)	(mm)	(c)	(cm)	(kNm)	(c)	(kN)	(kN)	(kN)	(c)	(c)									
281	42	-83	365	54.4	-108	70.0	12	10	12	10	12	2.5	40	386.6	3.6	268	277	1907	ductile	NO									
274	25	-74	356	32.1	-97	70.0	12	10	12	10	12	2.5	40	384.0	4.0	267	277	1907	ductile	NO									
272	24	-65	354	30.6	-84	70.0	12	10	12	10	12	2.5	40	383.2	4.5	267	277	1907	ductile	NO									
271	24	-55	352	31.6	-72	70.0	12	10	12	10	12	2.5	40	382.6	5.3	266	277	1907	ductile	NO									
269	25	-45	349	32.6	-58	70.0	12	10	12	10	12	2.5	40	381.9	6.5	266	277	1907	ductile	NO									
266	26	-37	346	34.4	-48	70.0	12	10	12	10	12	2.5	40	380.9	8.0	266	277	1907	ductile	NO									
264	26.2	-25	343	34.1	-33	70.0	20	10	20	10	12	2.5	40	831.5	25.2	264	275	1895	ductile	NO									
262	20	-16	341	26.3	-20	70.0	20	10	20	10	12	2.5	40	830.9	41.1	264	275	1895	ductile	NO									
261	10	-9	339	13.6	-12	70.0	20	10	20	10	12	2.5	40	830.4	70.2	263	275	1895	ductile	NO									
260	0	-7	338	0.1	-9	70.0	20	10	20	10	12	2.5	40	830.1	92.9	263	275	1895	ductile	NO I									
261	-10	-9	339	-13.3	-12	70.0	20	10	20	10	12	2.5	40	830.4	71.1	263	275	1895	ductile	NO									
262	-20	-15	341	-26.0	-20	70.0	20	10	20	10	12	2.5	40	830.9	41.7	264	275	1895	ductile	NO									
264	-26	-25	343	-33.6	-32	70.0	20	10	20	10	12	2.5	40	831.4	25.6	264	275	1895	ductile	NO									
266	-26	-36	346	-33.6	-47	70.0	12	10	12	10	12	2.5	40	380.9	8.1	266	277	1907	ductile	NO									
268	-25	-44	349	-32.2	-57	70.0	12	10	12	10	12	2.5	40	381.8	6.6	266	277	1907	ductile	NO									
270	-24	-54	351	-31.7	-70	70.0	12	10	12	10	12	2.5	40	382.5	5.4	266	277	1907	ductile	NO									
272	-24	-64	353	-31.0	-83	70.0	12	10	12	10	12	2.5	40	384.0	4.0	267	277	1907	ductile	NO									
274	-25	-74	356	-32.8	-96	70.0	12	10	12	10	12	2.5	40	386.6	3.6	268	277	1907	ductile	NO									
281	-43	-83	365	-55.3	-108	70.0	12	10	12	10	12	2.5	40	386.6	3.6	268	277	1907	ductile	NO L									

	<p>VELOCIZZAZIONE LINEA SAN GAVINO - SASSARI – OLBIA VARIANTE DI BONORVA - TORRALBA</p>					
<p>GALLERIA GIAVE – Relazione geotecnica e di calcolo</p>	<p>COMMESSA RR0H</p>	<p>LOTTO 04</p>	<p>CODIFICA D 07 CL</p>	<p>DOCUMENTO GN 02 00 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 69 di 164</p>

11 FASE DI VERIFICA E MESSA A PUNTO DEL PROGETTO

11.1 Monitoraggio in corso d'opera

Nella fase realizzativa dovrà essere posto in opera un adeguato programma di monitoraggio che consenta di:

- confermare le sezioni tipo previste per le tratte omogenee, come da profilo geotecnico, secondo i criteri di applicazione definiti in progetto;
- definire le variazioni degli interventi da effettuarsi nell'ambito delle variabilità previste in progetto sulla base di quanto riscontrato in fase di scavo;
- definire il passaggio tra una sezione tipo ed un'altra presente nel progetto all'interno delle tratte omogenee.

Il piano di monitoraggio deve prevedere:

- il rilievo analitico e speditivo del fronte di scavo;
- il controllo della convergenza del cavo, mediante installazione di stazioni di convergenza con 5 mire. Il numero delle sezioni di misura è specificato in Tabella 11-1 per le diverse sezioni tipo. Le sezioni devono essere ubicate in prossimità del fronte scavo, la lettura di zero deve essere eseguita prima della ripresa dell'avanzamento per lo scavo del campo successivo, e le letture successive dovranno essere eseguite con frequenza almeno giornaliera fino alla completa stabilizzazione delle misure.
- il monitoraggio dello sforzo assiale nelle centine del rivestimento di prima fase mediante celle di carico, come definito negli elaborati di progetto pertinenti;
- il monitoraggio delle deformazioni del rivestimento definitivo mediante barrette estensimetriche, come definito negli elaborati di progetto pertinenti;

I dati di monitoraggio dovranno essere inseriti in una piattaforma Web-GIS, in modo tale da garantire l'esame tempestivo e continuativo dei dati rilevati e la trasmissione sistematica dei dati e delle elaborazioni, avendo precedentemente definito ed assegnato le responsabilità per la lettura, l'elaborazione e l'interpretazione dei dati di monitoraggio, nonché per la loro distribuzione.

Le grandezze individuate come rappresentative dovranno essere rilevate e controllate con un sistema di misura che abbia un grado di precisione compatibile con i valori attesi per le grandezze sopra dette.

Gli strumenti di misura utilizzati dovranno permettere di garantire la precisione e l'affidabilità delle letture in modo da non essere influenzati in modo significativo da cambiamenti di temperatura, umidità, corrente elettrica e vibrazioni indotte.

La strumentazione di monitoraggio dovrà essere installata e predisposta all'uso con sufficiente anticipo rispetto all'arrivo degli scavi e dei consolidamenti in modo da poter effettuare le necessarie misure di zero.

Sezione tipo	Misure di convergenza		Rilievi del fronte	Estrusometro
	Frequenza sezioni	Frequenza misure	Frequenza (*)	
A2	1 ogni 20 m	1 al giorno	1 ogni 20 m	-
A1	1 ogni 20 m	1 al giorno	1 ogni 20 m	-
B1	1 ogni campo	1 al giorno	1 ogni campo	-
(*) sempre al cambio di litologia				

Tabella 11-1 – Programma di monitoraggio

11.2 Criteri generali per l'applicazione delle sezioni tipo

Sono di seguito illustrati i criteri che dovranno essere adottati in corso d'opera per l'applicazione delle sezioni tipo e la gestione delle variabilità, nell'ambito delle previsioni del progetto, che sono sintetizzate nei valori attesi delle grandezze caratteristiche. I valori attesi dei fenomeni deformativi al fronte, al cavo e al piano campagna (ove pertinente) sono individuati in funzione dei risultati delle analisi numeriche, di esperienze in contesti analoghi e di dati di letteratura (Tabella 11-2).

In corso d'opera, i rilievi del fronte e i dati di monitoraggio della risposta deformativa del fronte e del cavo, correlati alle fasi di avanzamento, sono confrontati con le previsioni progettuali (i valori attesi) per consentire la verifica e la messa a punto del progetto con i criteri di seguito descritti:

1. Le condizioni geologiche e geotecniche rilevabili al fronte corrispondono con quanto previsto in progetto e la risposta deformativa rientra nel campo dei valori attesi: la previsione progettuale è confermata, si procede con la sezione tipo media prevista per la tratta.
2. La risposta deformativa non rientra nel campo di accettabilità definito in progetto: la sezione tipo prevista per la tratta è ottimizzata secondo le definite variabilità, che consistono in: aumento/diminuzione ($\pm 20\%$) degli interventi di preconsolidamento, diminuzione/aumento dell'interasse delle centine ($\pm 20\%$ del passo medio), diminuzione/aumento delle distanze del rivestimento definitivo dal fronte di scavo.
3. Le condizioni geologiche e geotecniche osservate sono sensibilmente differenti da quelle ipotizzate e la risposta deformativa non rientra nel campo di accettabilità definito in progetto: si passa ad una diversa sezione tipo, tra quelle definite in progetto come "sezioni eventuali" per quella tratta.

		VALORI ATTESI		
Sezione tipo	Formazione	Convergenza radiale ^(*) (mm)	Estrusione cumulativa totale (mm)	Cedimenti piano campagna (mm)
A1	Ignimbrite	Trascurabile	-	-
A2	Ignimbrite	Trascurabile	-	-
B1	Ignimbrite	<10	-	-
(*) convergenza radiale depurata della preconvergenza				

Tabella 11-2 – Previsioni progettuali

12 CONCLUSIONI

La progettazione delle opere in sotterraneo, è stata condotta secondo il metodo ADECO-RS (Rif. [33]), articolandosi nelle seguenti fasi:

1. Fase conoscitiva (cap. 7): questa fase è stata dedicata allo studio e all'analisi del contesto geologico e geotecnico di inserimento in cui sarà realizzata la galleria, considerati anche i dati relativi alle precedenti fasi progettuali, ed ha portato alla definizione del modello geotecnico di sottosuolo utilizzato per le successive fasi del progetto.

2. Fase di diagnosi (cap. 8): in questa fase è stata eseguita la valutazione della risposta deformativa dell'ammasso allo scavo in assenza di interventi di stabilizzazione, per la determinazione delle categorie di comportamento; sulla base delle analisi condotte l'intero tracciato della galleria è caratterizzato prevalentemente da tratte con comportamento del nucleo-fronte di scavo di categoria A (stabile).

3. Fase di terapia (cap. 9): sulla base dei risultati delle precedenti fasi progettuali, per realizzare l'opera in condizioni di sicurezza sono state individuate 3 sezioni tipo di intervento denominate A1,A2,B1 Tali soluzioni progettuali sono state analizzate verificandone adeguatezza ed efficacia in tutte le fasi costruttive previste ed in condizioni di esercizio.

Il progetto è completato dal piano di monitoraggio (cap. 11) da predisporre ed attuare nella fase realizzativa, nel quale sono individuati i valori delle grandezze fisiche a cui riferirsi in corso d'opera per controllare la risposta deformativa dell'ammasso e della galleria al procedere dello scavo, verificarne la rispondenza con le previsioni progettuali e mettere a punto le sezioni tipo individuate nell'ambito delle variabilità previste.

13 ALLEGATI

13.1 Curve caratteristiche

13.1.1 Curve caratteristiche in condizioni intrinseche

13.1.1.1 Galleria di linea – Sezione tipo A1 – Listato dell’analisi

13.1.1.2 Galleria di linea – Sezione tipo A1 – Diagramma delle curve caratteristiche

13.1.1.3 Galleria di linea – Sezione tipo A2 – Listato dell’analisi

13.1.1.4 Galleria di linea – Sezione tipo A2 – Diagramma delle curve caratteristiche

13.1.1.5 Galleria di linea – Sezione tipo B1 – Listato dell’analisi

13.1.1.6 Galleria di linea – Sezione tipo B1 – Diagramma delle curve caratteristiche

13.1.1.7 Uscita di emergenza N°1 – Sezione tipo A1 – Listato dell’analisi

13.1.1.8 Uscita di emergenza N°1 – Sezione tipo A1 – Diagramma delle curve caratteristiche

13.1.1.9 Uscita di emergenza N°1 – Sezione tipo A2 – Listato dell’analisi

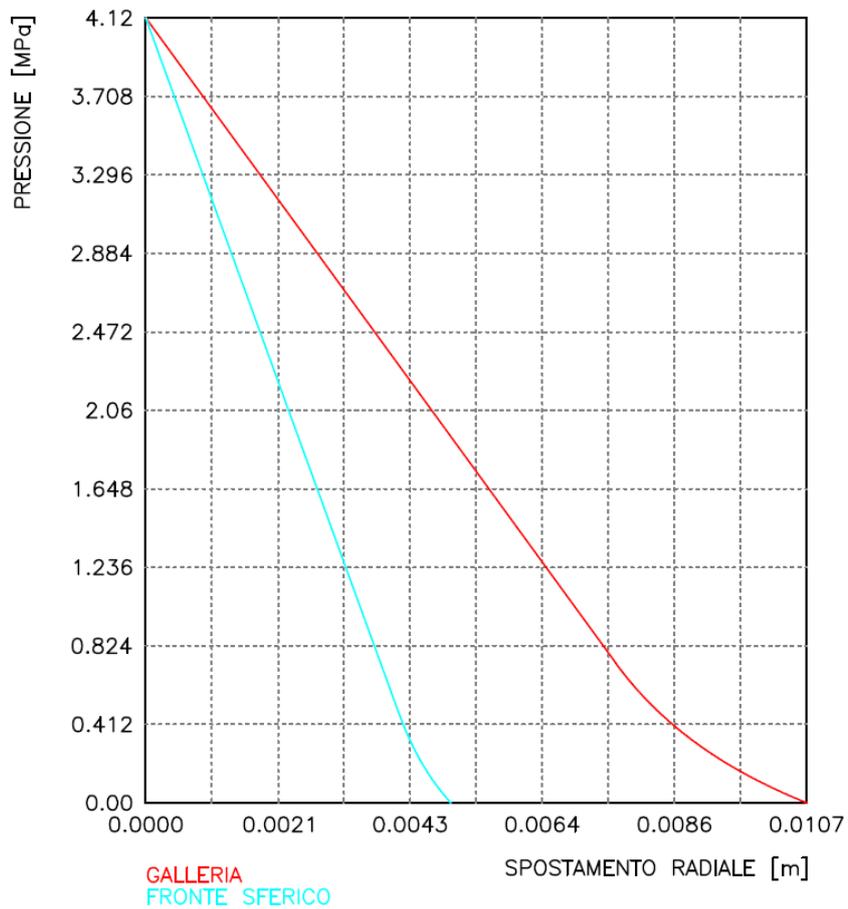
13.1.1.10 Uscita di emergenza N°1 – Sezione tipo A2 – Diagramma delle curve caratteristiche

13.1.1.11 Uscita di emergenza N°1 – Sezione tipo B1 – Listato dell’analisi

13.1.1.12 Uscita di emergenza N°1 – Sezione tipo B1 – Diagramma delle curve caratteristiche

Velocizzazione linea San Gavino – Sassari – Olbia
Galleria Gave
Sezione A1 – intrinseca

CURVE CARATTERISTICHE





VELOCIZZAZIONE LINEA SAN GAVINO - SASSARI – OLBIA
VARIANTE DI BONORVA - TORRALBA

GALLERIA GIAVE – Relazione geotecnica e di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D 07 CL	GN 02 00 001	A	76 di 164

```

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

```

CALCOLO GALLERIE CON METODO
CONVERGENZA-CONFINAMENTO
SOLUTORE ANALITICO

VERSIONE 4 (2003)

Velocizzazione linea San Gavino - Sassari - Olbia
Galleria Gieve
Sezione A2 - intrinseca

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

D A T I A N A L I S I

R galleria [m]	4.30000
PARAMETRI GEOTECNICI -----	
Tensione originaria [MPa]	4.12000
Modulo di Young [MPa]	1903.00000
Coefficiente di Poisson .....	.30000
Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] .	.00000
RESISTENZA ROCCIA	
Coesione picco [MPa] .....	.56300
Angolo attrito picco [°]	40.20000
Coesione residua [MPa] .....	.56300
Angolo attrito residuo [MPa]	40.20000
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

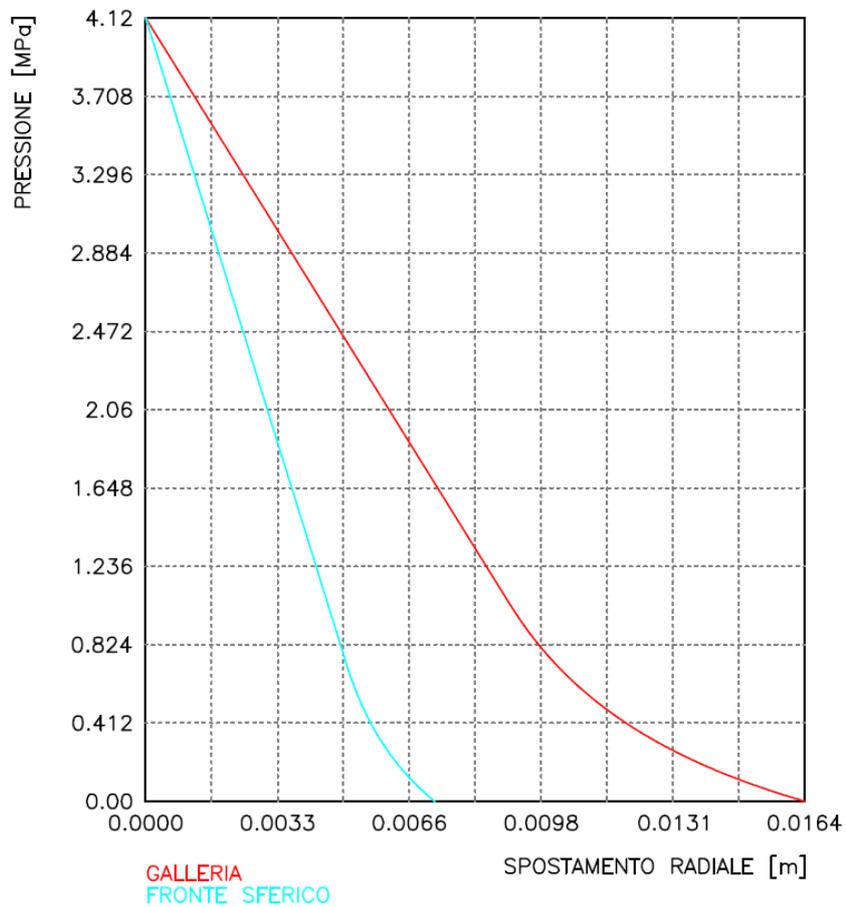
Press. fine calcolo galleria non sostenuta [MPa] ..	.000000
Spostamento radiale galleria non sostenuta [m] ....	.016391
Raggio plastico galleria non sostenuta [m]	5.558860
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] .....	.000000
Spostamento radiale fronte sferico [m] .....	.007186
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] .....	.003279
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ...	.004753
Raggio plastico fronte sferico [m]	4.759983

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] .....	.016391
Raggio plastico galleria fine calcolo [m]	5.558860

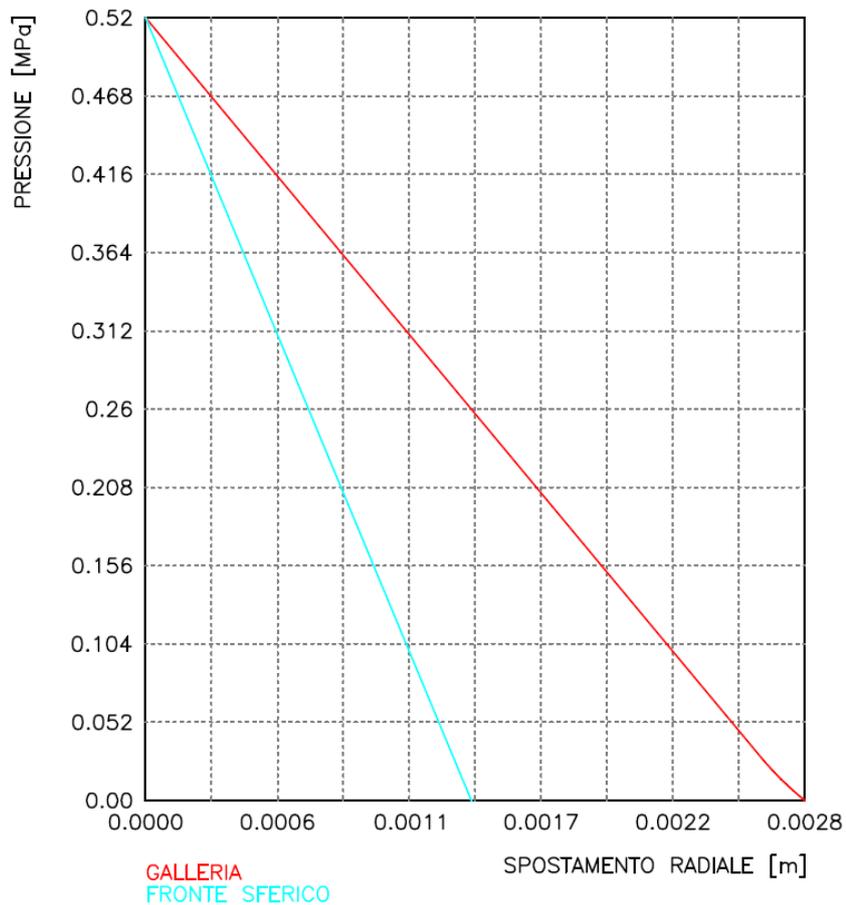
Velocizzazione linea San Gavino – Sassari – Olbia
Galleria Gave
Sezione A2 – intrinseca

CURVE CARATTERISTICHE



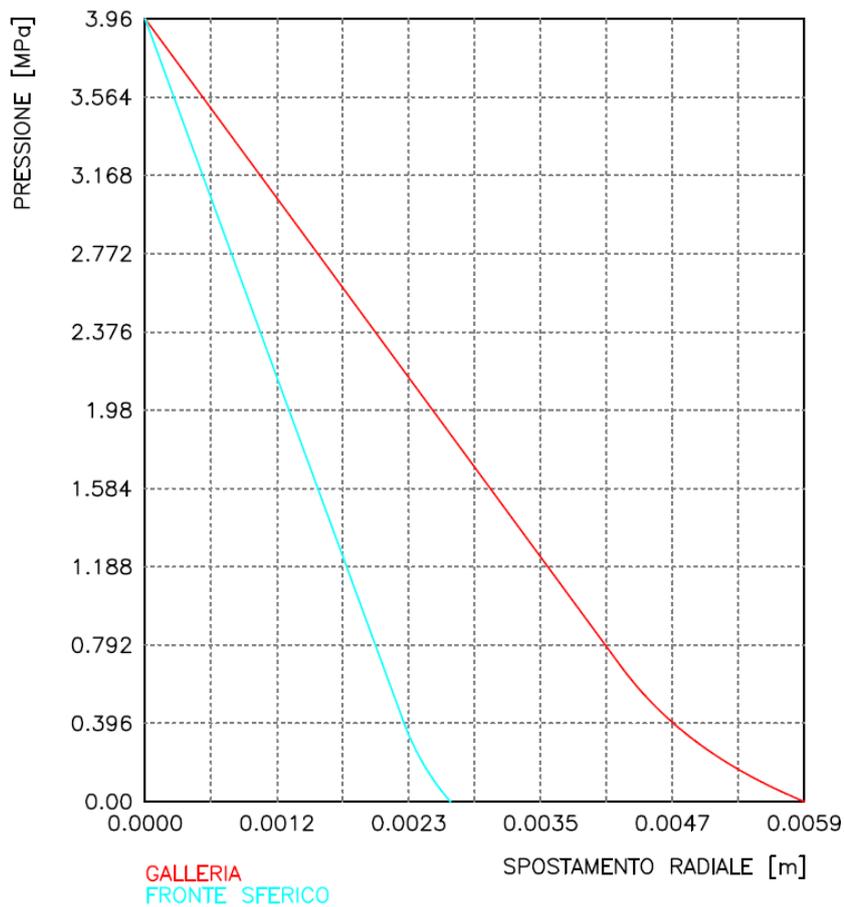
Velocizzazione linea San Gavino – Sassari – Olbia
Galleria Giave
Sezione B1

CURVE CARATTERISTICHE



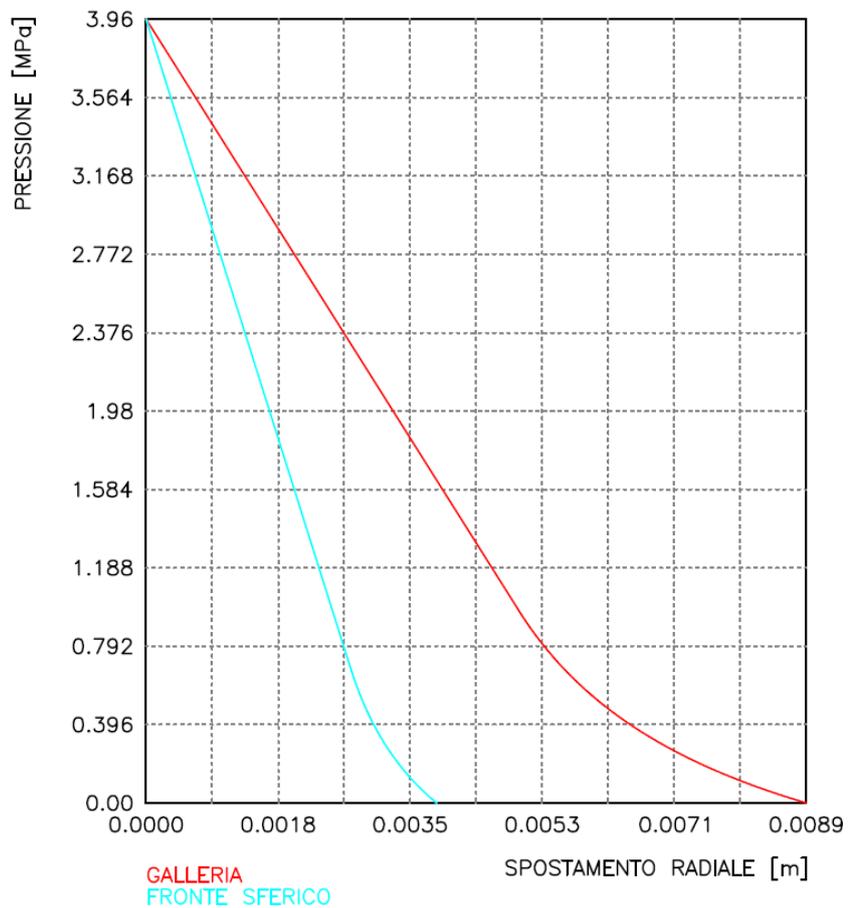
Velocizzazione linea San Gavino – Sassari – Olbia
Galleria Gave – Uscita di emergenza
Sezione A1 – intrinseca

CURVE CARATTERISTICHE



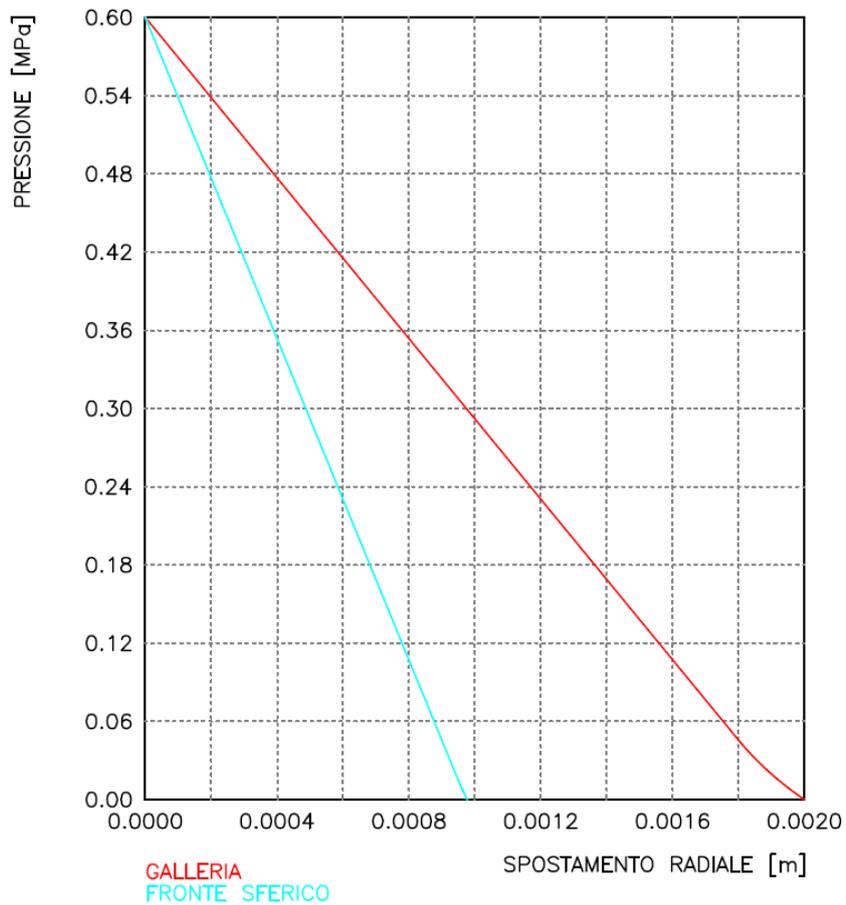
Velocizzazione linea San Gavino – Sassari – Olbia
Galleria Gave – Uscita di emergenza
Sezione A2 – intrinseca

CURVE CARATTERISTICHE



Velocizzazione linea San Gavino – Sassari – Olbia
Galleria Gave – Uscita di emergenza
Sezione B1 – intrinseca

CURVE CARATTERISTICHE



13.1.2 Curve caratteristiche in presenza dei sostegni

13.1.2.1 Galleria di linea – Sezione tipo A1 – Listato dell’analisi

13.1.2.2 Galleria di linea – Sezione tipo A1 – Diagramma delle curve caratteristiche

13.1.2.3 Galleria di linea – Sezione tipo A2 – Listato dell’analisi

13.1.2.4 Galleria di linea – Sezione tipo A2 – Diagramma delle curve caratteristiche

13.1.2.5 Galleria di linea – Sezione tipo B1 – Listato dell’analisi

13.1.2.6 Galleria di linea – Sezione tipo B1 – Diagramma delle curve caratteristiche

13.1.2.7 Uscita di emergenza N°1 – Sezione tipo A1 – Listato dell’analisi

13.1.2.8 Uscita di emergenza N°1 – Sezione tipo A1 – Diagramma delle curve caratteristiche

13.1.2.9 Uscita di emergenza N°1 – Sezione tipo A2 – Listato dell’analisi

13.1.2.10 Uscita di emergenza N°1 – Sezione tipo A2 – Diagramma delle curve caratteristiche

13.1.2.11 Uscita di emergenza N°1 – Sezione tipo B1 – Listato dell’analisi

13.1.2.12 Uscita di emergenza N°1 – Sezione tipo B1 – Diagramma delle curve caratteristiche

```
#####
#####
###
###
### ##### ## ## ##
### ##### ## ## ##
### ##### ## ## ##
##### ## ## ## ##
##### #####
#####
#####
```

CALCOLO GALLERIE CON METODO
CONVERGENZA-CONFINAMENTO
SOLUTORE TRANSFER-MATRIX

VERSIONE 4 (2003)

Velocizzazione linea San Gavino - Sassari - Olbia
Galleria Glave
Sezione A1

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

D A T I A N A L I S I

R galleria [m]	4.27000
PARAMETRI GEOTECNICI -----	
Tensione originaria [MPa]	4.12000
Modulo di Young [MPa]	2468.00000
Coefficiente di Poisson .....	.30000
Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] ..	.00000
Pressione interstiziale falda indisturbata [MPa] ..	.00000
Pressione interstiziale al bordo scavo B.T. [MPa]..	.00000
Raggio influenza idraulica galleria B.T. [m]	4.27000
Pressione interstiziale al bordo scavo L.T. [MPa]..	.00000
Raggio influenza idraulica galleria L.T. [m]	4.27000
RESISTENZA ROCCIA -----	
Coesione picco [MPa] .....	.70600
Angolo attrito picco [°]	44.35000
Coesione residua [MPa] .....	.70600
Angolo attrito residuo [MPa]	44.35000
Angolo dilatanza [°] .....	.00000
Modulo di softening apparente Ha [MPa] .....	.00000
Modulo di softening H [MPa] .....	.00000
PRERIVESTIMENTO -----	
Distanza dal fronte alla messa in opera [m]	2.40000
Coefficiente riduzione rigidezza	1.00000
Forma del presivestimento	U ROVESCIA APERTA
SPRITZ-BETON E CENTINE -----	
Spessore spritz [m] .....	.15000
Modulo Young spritz [MPa]	31447.00000
Coefficiente di Poisson spritz .....	.15000
Sezione centina [m2] .....	.00364
Altezza sezione centina [m2] .....	.14000
Posizione baricentro sezione centina [m] .....	.07000
Momento inerzia baricentrico sezione centina [m4] ..	.00001144
Passo centine [m]	1.40000
Modulo Young ferro centine [MPa]	210000.00000
Resistenza compressione spritz [MPa]	14.11000
Resistenza ferro centine [MPa]	261.90000

GALLERIA GIAVE – Relazione geotecnica e di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D 07 CL	GN 02 00 001	A	88 di 164

RIVESTIMENTO DEFINITIVO -----

Distanza dal fronte alla messa in opera [m]	43.00000
Spessore CLS [m] .....	.50000
Modulo Young CLS [MPa]	31447.00000
Coefficiente di Poisson CLS .....	.15000
Resistenza compressione CLS [MPa]	14.11000
Opzione calcolo rivestimento	0
[0 prerivestimenti non collaboranti a lungo termine]	
[1 prerivestimenti collaboranti a lungo termine]	
Gioco radiale posa in opera rivestimento [m] .....	.00000

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

Press. fine calcolo curva galleria [MPa] .....	.000000
Spostamento radiale galleria [m] .....	.010706
Raggio plastico galleria [m]	4.976598
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] .....	.000000
Spostamento radiale fronte sferico [m] .....	.004952
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] .....	.002773
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ..	.003105
Raggio plastico fronte sferico [m]	4.506778

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

Metodo Panet-Guenot

U [m] :	.00838
LAMBDA :	.89084

Trasformazione Omotetica

U [m] :	.01008
LAMBDA :	.97857

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione cavità sferica

U [m] :	.00907
LAMBDA :	.93334

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns

U [m] :	.00851
LAMBDA :	.90014

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica

U [m] :	.00859
LAMBDA :	.90557

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

Metodo Panet-Guenot

U [m] :	.01066
LAMBDA :	.99859

Trasformazione Omotetica

U [m] :	.01071
LAMBDA :	1.00000

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione cavità sferica

U [m] :	.00962
LAMBDA :	.99967

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns

U [m] :	.00928
LAMBDA :	.99950

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica

U [m] :	.00932
LAMBDA :	.99953

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] .....	.010706
Raggio plastico galleria fine calcolo [m]	4.976598
PRERIVESTIMENTO -----	
Raggio plastico punto di equilibrio [m]	4.75542
Pressione punto di equilibrio [MPa] .....	.16576
Spostamento punto di equilibrio [m] .....	.00962
Spostamento galleria alla messa in opera [m] .....	.00907
Convergenza radiale prerivestimento [m] .....	.00055
Tasso di deconfinamento alla messa in opera .....	.933341
MODULI APPARENTI GALLERIA (PER COEFFICIENTI DI FORMA)	
E1 [MPa]	1104.06045
E2 [MPa]	843.79133
COEFFICIENTI DI FORMA SPOSTAMENTI ORIZZONTALI	
Piano dei centri	1.93711
Piedritto	2.67502
COEFFICIENTI DI FORMA TENSIONI	
Calotta intradosso	1.27884
Calotta estradosso	1.11677
Rene intradosso .....	.77983
Rene estradosso .....	.71053
Piedritto intradosso .....	.39948
Piedritto estradosso .....	.59148
CODICE INTERPOLAZIONE COEFFICIENTI DI FORMA	
(0 estrapolazione 1 interpolazione)	1
SPRITZ-BETON E CENTINE (ANELLO CHIUSO)	
Tensione spritz [MPa]	4.29747
Tensione centine [MPa]	26.91337
Coefficiente di sicurezza spritz	3.28333
Coefficiente di sicurezza centine	9.73122
Pressione rottura spritz [MPa] .....	.54077
Pressione rottura centine [MPa]	1.60274
Rigidezza spritz [MPa]	1157.26060
Rigidezza centinatura [MPa]	127.86885
SPRITZ-BETON E CENTINE (PRERIVESTIMENTO APERTO)	
Spostamento orizzontale piano centri [m] .....	.0010601
Spostamento orizzontale piedritto [m] .....	.0014639
Sollecitazione Normale Calotta [MN]	1.20042
Momento Flettente Calotta [MN*m]	-.00145
Tensione spriz intradosso Calotta [MPa]	5.35594
Tensione spriz estradosso Calotta [MPa]	4.89379
Tensione centine intradosso Calotta [MPa]	35.56068
Tensione centine estradosso Calotta [MPa]	32.68027
Sollecitazione Normale Piano Centri [MN] .....	.74681
Momento Flettente Piano Centri [MN*m]	-.00062
Tensione spriz intradosso Piano Centri [MPa]	3.28677
Tensione spriz estradosso Piano Centri [MPa]	3.08918
Tensione centine intradosso Piano Centri [MPa]	21.86079
Tensione centine estradosso Piano Centri [MPa]	20.62927
Sollecitazione Normale Piedritto [MN] .....	.49656
Momento Flettente Piedritto [MN*m] .....	.00172
Tensione spriz intradosso Piedritto [MPa]	1.84362
Tensione spriz estradosso Piedritto [MPa]	2.39113
Tensione centine intradosso Piedritto [MPa]	12.55526
Tensione centine estradosso Piedritto [MPa]	15.96771
RIVESTIMENTO DEFINITIVO (ANELLO CLS) -----	
Raggio plastico punto di equilibrio [m]	4.79130
Pressione punto di equilibrio [MPa] .....	.14150
Spostamento punto di equilibrio [MPa] .....	.00975
Spostamento galleria alla messa in opera [m] .....	.00962
Convergenza radiale rivestimento [m] .....	.00014
Tensione CLS [MPa]	1.24131



VELOCIZZAZIONE LINEA SAN GAVINO - SASSARI – OLBIA
VARIANTE DI BONORVA - TORRALBA

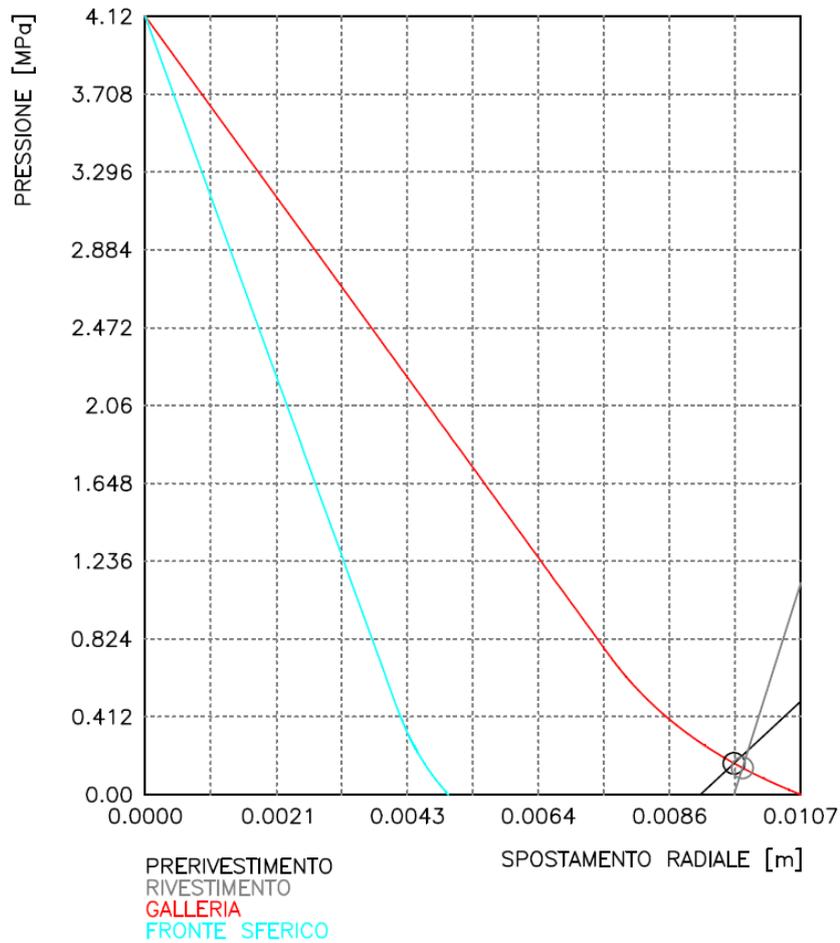
GALLERIA GIAVE – Relazione geotecnica e di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D 07 CL	GN 02 00 001	A	90 di 164

Coefficiente di sicurezza CLS	11.36705
Pressione rottura CLS [MPa]	1.60847
Rigidezza anello CLS [MPa]	4235.33012
Tasso di deconfinamento alla messa in opera .....	.999666

Velocizzazione linea San Gavino – Sassari – Olbia
Galleria Giave
Sezione A1

CURVE CARATTERISTICHE





VELOCIZZAZIONE LINEA SAN GAVINO - SASSARI – OLBIA
VARIANTE DI BONORVA - TORRALBA

GALLERIA GIAVE – Relazione geotecnica e di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D 07 CL	GN 02 00 001	A	92 di 164

Velocizzazione linea San Gavino – Sassari – Olbia
Galleria Gave
Sezione A1

ELABORATO RIASSUNTIVO DELL'ANALISI

Tipo di analisi: calcolo accoppiato fronte-galleria – Nuovo Metodo Implicito (spostamento fronte soluzione cavità sferica)
Calcolo curve caratteristiche: SOLUZIONI TRANSFER-MATRIX

DIAMETRO DELLA GALLERIA: 8.54 m

PARAMETRI ROCCIA

E: 2468 MPa ν : .3 GAMMA: 0 kN/m³ SIGMA0: 4.12 MPa
Tipo di criterio di resistenza: MOHR-COULOMB

RESISTENZA	RESISTENZA A LUNGO TERMINE
PHi pieno: 44.35 °	PHi pieno: .001 °
C pieno: .708 MPa	C pieno: .000001 MPa
PHi residuo: 44.35 °	PHi residuo: .001 °
C residuo: .708 MPa	C residuo: .000001 MPa
PSi: 0 °	PSi: 0 °
H apparente: 0 MPa	H apparente: 0 MPa

PRERIVESTIMENTO

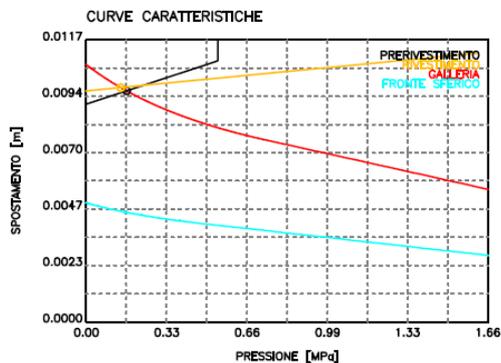
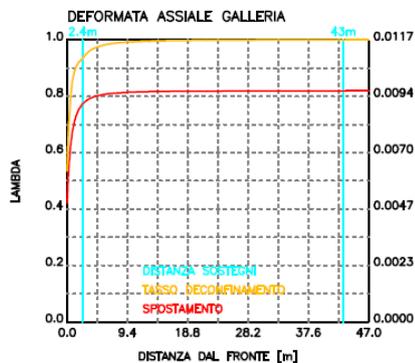
Spritz-Beton spessore .15 m resistenza 14.11 MPa cernite sezione .00364 m² passo 1.4 m resistenza 261.9 MPa
Spostamento radiale prerivestimento circolare chiuso .0005 m

TENSIONI PRERIVESTIMENTO CIRCOLARE CHIUSO

Spritz-beton 4.3 MPa Cernite 26.9 MPa
SPRITZ BETON E CERNITE – RISULTATO CALCOLO SEZIONE A U ROVESCIA
Spostamento orizz. piano centri 0.0011 m
Spostamento orizz. piedritto 0.0015 m
Tensioni spritz calotta (intradosso e estradosso) 5.4 4.9 MPa
Tensioni spritz piano centri (intradosso e estradosso) 3.3 3.1 MPa
Tensioni spritz piedritto (intradosso e estradosso) 1.8 2.4 MPa
Tensioni cernite calotta (intradosso e estradosso) 35.6 32.7 MPa
Tensioni cernite piano centri (intradosso e estradosso) 21.9 20.6 MPa
Tensioni cernite piedritto (intradosso e estradosso) 12.6 16.0 MPa

RIVESTIMENTO DEFINITIVO

Calcestruzzo spessore .5 m resistenza 14.11 MPa gioco radiale 0 m
Spostamento radiale 0.0001 m
Tensione CLS 1.24 MPa





VELOCIZZAZIONE LINEA SAN GAVINO - SASSARI – OLBIA
VARIANTE DI BONORVA - TORRALBA

GALLERIA GIAVE – Relazione geotecnica e di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D 07 CL	GN 02 00 001	A	93 di 164

```
#####
#####
###
###
### ##### ## ## ##
### ##### ## ## ##
### ##### ## ## ##
##### ## ## ## ##
##### ##### #####
#####
##
```

CALCOLO GALLERIE CON METODO
 CONVERGENZA-CONFINAMENTO
 SOLUTORE TRANSFER-MATRIX

VERSIONE 4 (2003)

Velocizzazione linea San Gavino - Sassari - Olbia
 Galleria Gieve
 Sezione A2

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

D A T I A N A L I S I

R galleria [m]	4.30000
PARAMETRI GEOTECNICI -----	
Tensione originaria [MPa]	4.12000
Modulo di Young [MPa]	1903.00000
Coefficiente di Poisson .....	.30000
Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] ..	.00000
Pressione interstiziale falda indisturbata [MPa] ..	.00000
Pressione interstiziale al bordo scavo B.T. [MPa]..	.00000
Raggio influenza idraulica galleria B.T. [m]	4.30000
Pressione interstiziale al bordo scavo L.T. [MPa]..	.00000
Raggio influenza idraulica galleria L.T. [m]	4.30000
RESISTENZA ROCCIA -----	
Coesione picco [MPa] .....	.56300
Angolo attrito picco [°]	40.20000
Coesione residua [MPa] .....	.56300
Angolo attrito residuo [MPa]	40.20000
Angolo dilatanza [°] .....	.00000
Modulo di softening apparente Ha [MPa] .....	.00000
Modulo di softening H [MPa] .....	.00000
PRERIVESTIMENTO -----	
Distanza dal fronte alla messa in opera [m]	2.40000
Coefficiente riduzione rigidità	1.00000
Forma del presivestimento	U ROVESCIA APERTA
BARRE AD ADERENZA CONTINUA -----	
Modulo di Young [MPa]	210000.00000
Resistenza a trazione [MPa]	391.30000
Tensione tesatura iniziale [MPa] .....	.00000
Lunghezza [m]	4.50000
Sezione reagente [m2] .....	.00045
Spaziatura circonferenziale [°]	19.00000
Spaziatura longitudinale [MPa]	1.20000
Coesione interfaccia barra-roccia [MPa] .....	.35000
Angolo attrito interfaccia barra-roccia [°] .....	.00000
Perimetro sezione sfilamento [m] .....	.15700
Opzione dispositivo di ripartizione	0

GALLERIA GIAVE – Relazione geotecnica e di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D 07 CL	GN 02 00 001	A	94 di 164

[0 dispositivo di ripartizione assente]
Distanza dal fronte attivazione barre [m] 3.50000
SPRITZ-BETON E CENTINE
Spessore spritz [m]15000
Modulo Young spritz [MPa] 31447.00000
Coefficiente di Poisson spritz15000
Sezione centina [m²]00000
Altezza sezione centina [m²]00000
Posizione baricentro sezione centina [m]00000
Momento inerzia baricentrico sezione centina [m⁴] . .00000000
Passo centine [m]00000
Modulo Young ferro centine [MPa]00000
Resistenza compressione spritz [MPa] 14.11000
Resistenza ferro centine [MPa]00000

RIVESTIMENTO DEFINITIVO -----
Distanza dal fronte alla messa in opera [m] 26.00000
Spessore CLS [m]50000
Modulo Young CLS [MPa] 31447.00000
Coefficiente di Poisson CLS15000
Resistenza compressione CLS [MPa] 14.11000
Opzione calcolo rivestimento 0
[0 prerivestimenti non collaboranti a lungo termine]
[1 prerivestimenti collaboranti a lungo termine]
Gioco radiale posa in opera rivestimento [m]00000

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

Press. fine calcolo curva galleria [MPa]000000
Spostamento radiale galleria [m]016217
Raggio plastico galleria [m] 5.547911
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa]000000
Spostamento radiale fronte sferico [m]007209
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m]003282
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m]004758
Raggio plastico fronte sferico [m] 4.766690

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

Metodo Panet-Guenot
U [m] : .01239
LAMBDA : .91540

Trasformazione Omotetica
U [m] : .01517
LAMBDA : .97998

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione cavità sferica
U [m] : .01289
LAMBDA : .92970

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns
U [m] : .01160
LAMBDA : .88913

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica
U [m] : .01208
LAMBDA : .90538

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

Metodo Panet-Guenot
U [m] : .01619
LAMBDA : .99680

Trasformazione Omotetica

GALLERIA GIAVE – Relazione geotecnica e di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D 07 CL	GN 02 00 001	A	95 di 164

U [m] : .01641
LAMBDA : 1.00000

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione cavità sferica

U [m] : .01366
LAMBDA : .99884

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns

U [m] : .01272
LAMBDA : .99816

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica

U [m] : .01306
LAMBDA : .99843

STATO GALLERIA ALLA MESSA IN OPERA DELLE BARRE PASSIVE -----

Metodo Panet-Guenot

U [m] : .01341
LAMBDA : .94319

Trasformazione Omotetica

U [m] : .01578
LAMBDA : .99042

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione cavità sferica

U [m] : .01321
LAMBDA : .95865

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns

U [m] : .01207
LAMBDA : .93479

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica

U [m] : .01249
LAMBDA : .94435

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] .....	.016217
Raggio plastico galleria fine calcolo [m]	5.547911
Pressione fine calcolo (L.T.) [MPa] .....	.000000
Spost. radiale galleria fine calcolo (L.T.) [m] .....	.016407
Raggio plastico galleria fine calcolo (L.T.) [m] ..	5.575953

PRERIVESTIMENTO -----

Raggio plastico punto di equilibrio [m]	5.16711
Pressione punto di equilibrio [MPa] .....	.20950
Spostamento punto di equilibrio [m] .....	.01366
Spostamento galleria alla messa in opera [m] .....	.01289
Convergenza radiale prerivestimento [m] .....	.00077
Tasso di deconfinamento alla messa in opera .....	.929702

BARRE AD ADERENZA CONTINUA -----

Fattore di sicurezza rottura a trazione	999.00000
Fattore di sicurezza sfilamento	1000.00000
Spostamento galleria alla messa in opera [m] .....	.01408
Convergenza radiale barre [m] .....	.00213
Tasso di deconfinamento alla messa in opera .....	.958654

MODULI APPARENTI GALLERIA (PER COEFFICIENTI DI FORMA)

E1 [MPa]	581.17899
E2 [MPa]	426.20877

COEFFICIENTI DI FORMA SPOSTAMENTI ORIZZONTALI

Piano dei centri	3.12156
Piedritto	4.59005

GALLERIA GIAVE – Relazione geotecnica e di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D 07 CL	GN 02 00 001	A	96 di 164

COEFFICIENTI DI FORMA TENSIONI

Calotta intradosso	1.33134
Calotta estradosso	1.11451
Rene intradosso .....	.80592
Rene estradosso .....	.69864
Piedritto intradosso .....	.29489
Piedritto estradosso .....	.72143

CODICE INTERPOLAZIONE COEFFICIENTI DI FORMA 1

(0 estrapolazione 1 interpolazione)

SPRITZ-BETON E CENTINE (ANELLO CHIUSO)

Tensione spritz [MPa]	6.00244
Tensione centine [MPa] .....	.00000
Coefficiente di sicurezza spritz	2.35071
Coefficiente di sicurezza centine	1000.00000
Pressione rottura spritz [MPa] .....	.48362
Pressione rottura centine [MPa] .....	.00000
Rigidezza spritz [MPa]	1148.99680
Rigidezza centinatura [MPa] .....	.00000

SPRITZ-BETON E CENTINE (PRERIVESTIMENTO APERTO)

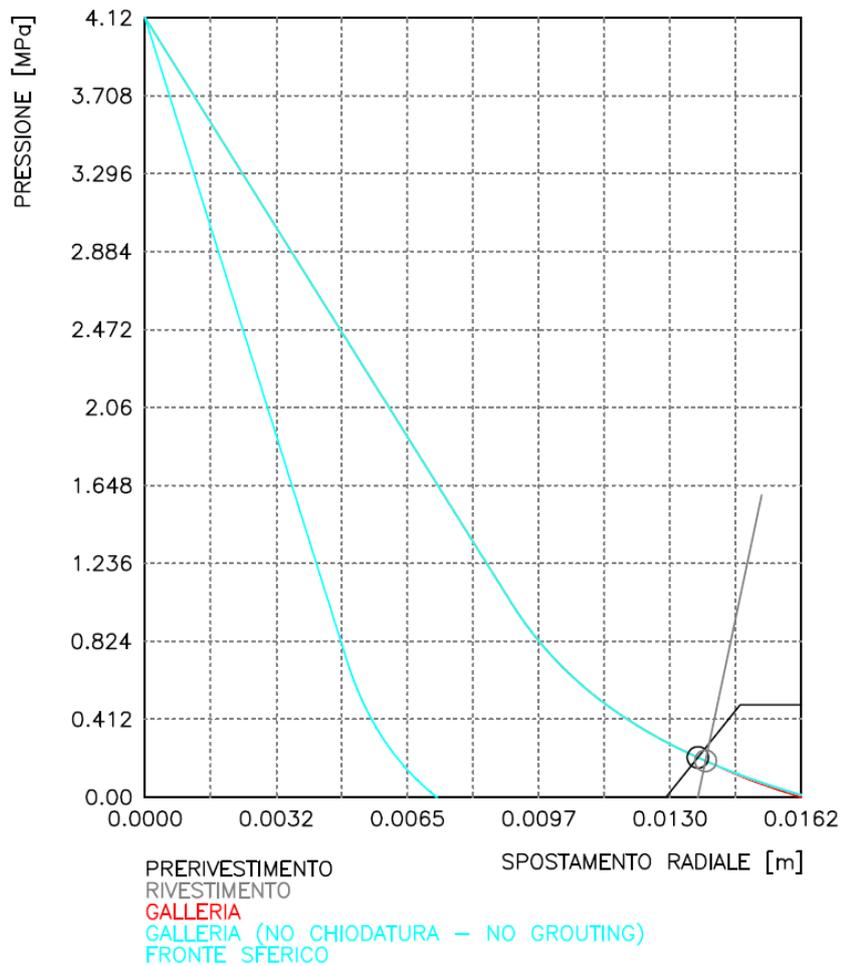
Spostamento orizzontale piano centri [m] .....	.0024034
Spostamento orizzontale piedritto [m] .....	.0035341
Sollecitazione Normale Calotta [MN]	1.10108
Momento Flettente Calotta [MN*m]	-.00244
Tensione spriz intradosso Calotta [MPa]	7.99126
Tensione spriz estradosso Calotta [MPa]	6.68975
Tensione centine intradosso Calotta [MPa] .....	.00000
Tensione centine estradosso Calotta [MPa] .....	.00000
Sollecitazione Normale Piano Centri [MN] .....	.67733
Momento Flettente Piano Centri [MN*m]	-.00121
Tensione spriz intradosso Piano Centri [MPa]	4.83749
Tensione spriz estradosso Piano Centri [MPa]	4.19353
Tensione centine intradosso Piano Centri [MPa] .....	.00000
Tensione centine estradosso Piano Centri [MPa] .....	.00000
Sollecitazione Normale Piedritto [MN] .....	.45753
Momento Flettente Piedritto [MN*m] .....	.00480
Tensione spriz intradosso Piedritto [MPa]	1.77006
Tensione spriz estradosso Piedritto [MPa]	4.33031
Tensione centine intradosso Piedritto [MPa] .....	.00000
Tensione centine estradosso Piedritto [MPa] .....	.00000

RIVESTIMENTO DEFINITIVO (ANELLO CLS) -----

Raggio plastico punto di equilibrio [m]	5.19352
Pressione punto di equilibrio [MPa] .....	.19159
Spostamento punto di equilibrio [MPa] .....	.01385
Spostamento galleria alla messa in opera [m] .....	.01366
Convergenza radiale rivestimento [m] .....	.00019
Tensione CLS [MPa]	1.69209
Coefficiente di sicurezza CLS	8.33878
Pressione rottura CLS [MPa]	1.59759
Rigidezza anello CLS [MPa]	4202.27351
Tasso di deconfinamento alla messa in opera .....	.998836

Velocizzazione linea San Gavino – Sassari – Olbia
Galleria Gave
Sezione A2

CURVE CARATTERISTICHE



Tipo di analisi: calcolo accoppiato fronte-galleria – Nuovo Metodo Implicito (spostamento fronte soluzione cavità sferica)
Calcolo curve caratteristiche: SOLUZIONI TRANSFER-MATRIX

DIAMETRO DELLA GALLERIA: 8.6 m

PARAMETRI ROCCIA

E: 1903 MPa Nt: .3 GAMMA: 0 kN/m³ SIGMA: 4.12 MPa
Tipo di criterio di resistenza: MOHR-COULOMB

RESISTENZA	RESISTENZA A LUNGO TERMINE
PH piccolo: 40.2 °	PH piccolo: .001 °
C piccolo: .563 MPa	C piccolo: .000001 MPa
PH residuo: 40.2 °	PH residuo: .001 °
C residuo: .563 MPa	C residuo: .000001 MPa
PSi: 0 °	PSi: 0 °
H apparente: 0 MPa	H apparente: 0 MPa

PRERIVESTIMENTO

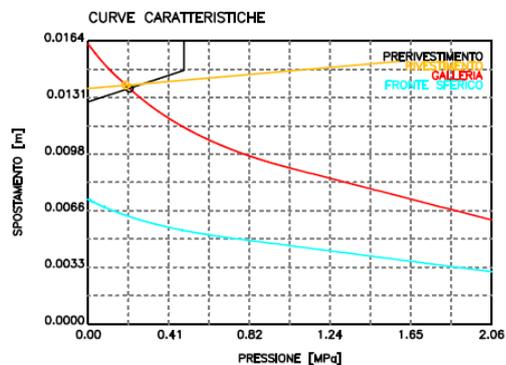
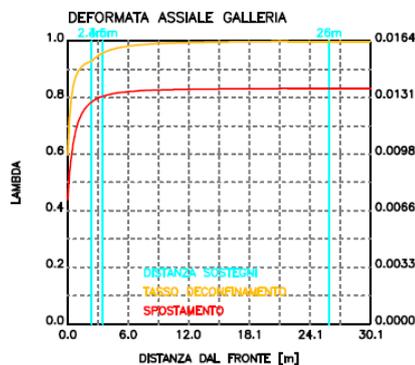
Spritz-Beton spessore .15 m resistenza 14.11 MPa
Chiodi ad aderenza continua sezione .000452 m² lunghezza 4.5 m Incidenza 0.58 chiodi/m²
Spostamento radiale prerivestimento circolare chiuso .0008 m

TENSIONI PRERIVESTIMENTO CIRCOLARE CHIUSO

Spritz-beton 6.0 MPa
Fattore sicurezza sfilamento chiodatura 1000.0
Fattore sicurezza a trazione chiodatura 999.0
SPRITZ BETON E CENTINE – RISULTATO CALCOLO SEZIONE A U ROVESCIA
Spostamento orizz. piano centri 0.0024 m
Spostamento orizz. piedritto 0.0035 m
Tensioni spritz calotta (intradosso e estradosso) 8.0 6.7 MPa
Tensioni spritz piano centri (intradosso e estradosso) 4.8 4.2 MPa
Tensioni spritz piedritto (intradosso e estradosso) 1.8 4.3 MPa

RIVESTIMENTO DEFINITIVO

Calcestruzzo spessore .5 m resistenza 14.11 MPa gioco radiale 0 m
Spostamento radiale 0.0002 m
Tensione CLS 1.89 MPa



GALLERIA GIAVE – Relazione geotecnica e di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D 07 CL	GN 02 00 001	A	100 di 164

Modulo Young spritz [MPa]	31447.00000
Coefficiente di Poisson spritz .....	.15000
Sezione centina [m ²] .....	.00456
Altezza sezione centina [m ²] .....	.16000
Posizione baricentro sezione centina [m] .....	.09000
Momento inerzia baricentrico sezione centina [m ⁴] .	.00001868
Passo centine [m]	1.00000
Modulo Young ferro centine [MPa]	210000.00000
Resistenza compressione spritz [MPa]	14.11000
Resistenza ferro centine [MPa]	261.90000

RIVESTIMENTO DEFINITIVO -----

Distanza dal fronte alla messa in opera [m]	14.00000
Spessore CLS [m] .....	.70000
Modulo Young CLS [MPa]	31447.00000
Coefficiente di Poisson CLS .....	.15000
Resistenza compressione CLS [MPa]	14.11000
Opzione calcolo rivestimento	0
[0 prerivestimenti non collaboranti a lungo termine]	
[1 prerivestimenti collaboranti a lungo termine]	
Gioco radiale posa in opera rivestimento [m] .....	.00000

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

Press. fine calcolo curva galleria [MPa] .....	.000000
Spostamento radiale galleria [m] .....	.002769
Raggio plastico galleria [m]	4.695181
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] .....	.000000
Spostamento radiale fronte sferico [m] .....	.001372
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] .....	.000803
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ...	.000803
Raggio plastico fronte sferico [m]	4.540000

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

Metodo Panet-Guenot

U [m] :	.00188
LAMBDA :	.68732

Trasformazione Omotetica

U [m] :	.00233
LAMBDA :	.85065

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione cavità sferica

U [m] :	.00208
LAMBDA :	.76045

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns

U [m] :	.00181
LAMBDA :	.66066

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica

U [m] :	.00181
LAMBDA :	.66066

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

Metodo Panet-Guenot

U [m] :	.00270
LAMBDA :	.98240

Trasformazione Omotetica

U [m] :	.00277
LAMBDA :	.99996

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione cavità sferica

GALLERIA GIAVE – Relazione geotecnica e di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D 07 CL	GN 02 00 001	A	101 di 164

U [m] : .00230
LAMBDA : .99603

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns

U [m] : .00211
LAMBDA : .99438

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica

U [m] : .00211
LAMBDA : .99438

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] .....	.002769
Raggio plastico galleria fine calcolo [m]	4.695181

PRERIVESTIMENTO -----	
Raggio plastico punto di equilibrio [m]	4.54000
Pressione punto di equilibrio [MPa] .....	.08268
Spostamento punto di equilibrio [m] .....	.00230
Spostamento galleria alla messa in opera [m] .....	.00208
Convergenza radiale prerivestimento [m] .....	.00022
Tasso di deconfinamento alla messa in opera .....	.760446

MODULI APPARENTI GALLERIA (PER COEFFICIENTI DI FORMA)	
E1 [MPa]	1122.35261
E2 [MPa]	1038.24362

COEFFICIENTI DI FORMA SPOSTAMENTI ORIZZONTALI	
Piano dei centri	1.35818
Piedritto	2.33233

COEFFICIENTI DI FORMA TENSIONI	
Calotta intradosso	1.22099
Calotta estradosso	1.10957
Rene intradosso .....	.91349
Rene estradosso .....	.73993
Piedritto intradosso .....	.39136
Piedritto estradosso .....	.75574

CODICE INTERPOLAZIONE COEFFICIENTI DI FORMA	0
(0 estrapolazione 1 interpolazione)	

SPRITZ-BETON E CENTINE (ANELLO CHIUSO)	
Tensione spritz [MPa]	1.64432
Tensione centine [MPa]	10.18953
Coefficiente di sicurezza spritz	8.58104
Coefficiente di sicurezza centine	25.70286
Pressione rottura spritz [MPa] .....	.69572
Pressione rottura centine [MPa]	2.08389
Rigidezza spritz [MPa]	1460.00225
Rigidezza centinatura [MPa]	210.92511

SPRITZ-BETON E CENTINE (PRERIVESTIMENTO APERTO)	
Spostamento orizzontale piano centri [m] .....	.0002992
Spostamento orizzontale piedritto [m] .....	.0005138
Sollecitazione Normale Calotta [MN] .....	.43858
Momento Flettente Calotta [MN*m]	-.00070
Tensione spriz intradosso Calotta [MPa]	1.99233
Tensione spriz estradosso Calotta [MPa]	1.81628
Tensione centine intradosso Calotta [MPa]	13.12823
Tensione centine estradosso Calotta [MPa]	12.18775
Sollecitazione Normale Piano Centri [MN] .....	.31115
Momento Flettente Piano Centri [MN*m]	-.00109
Tensione spriz intradosso Piano Centri [MPa]	1.48911
Tensione spriz estradosso Piano Centri [MPa]	1.21488
Tensione centine intradosso Piano Centri [MPa]	9.66943
Tensione centine estradosso Piano Centri [MPa]	8.20444
Sollecitazione Normale Piedritto [MN] .....	.21587
Momento Flettente Piedritto [MN*m] .....	.00229
Tensione spriz intradosso Piedritto [MPa] .....	.64507

GALLERIA GIAVE – Relazione geotecnica e di calcolo

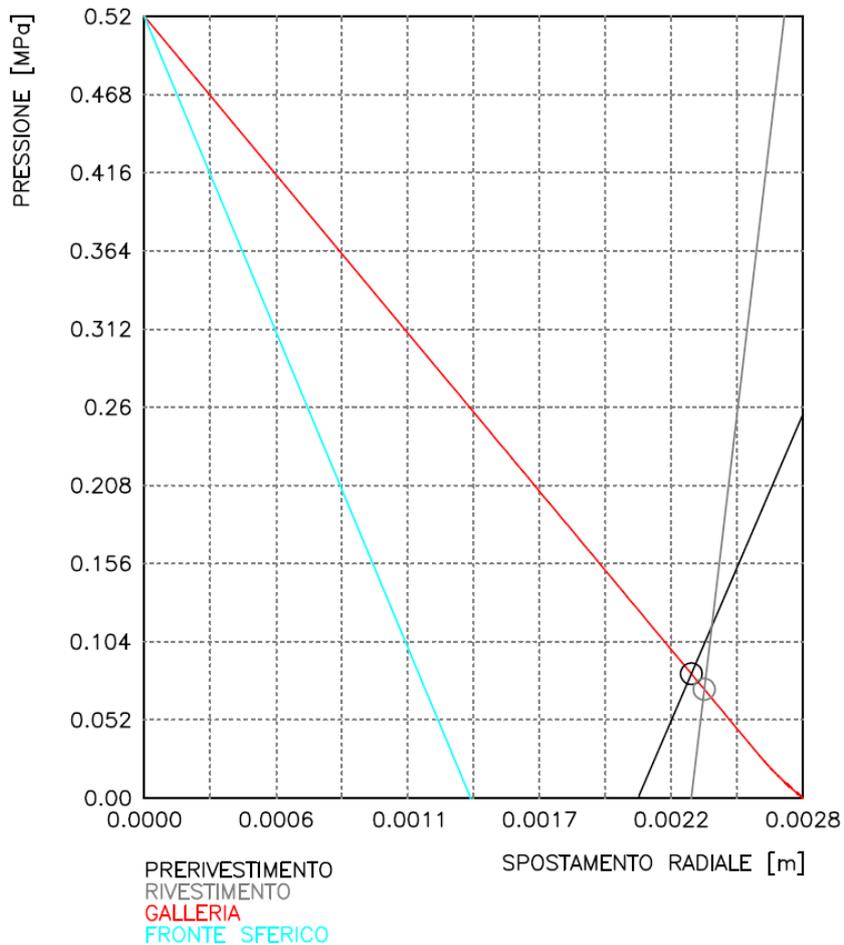
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D 07 CL	GN 02 00 001	A	102 di 164

Tensione spriz estradosso Piedritto [MPa]	1.22078
Tensione centine intradosso Piedritto [MPa]	4.88441
Tensione centine estradosso Piedritto [MPa]	7.96004

RIVESTIMENTO DEFINITIVO (ANELLO CLS) -----	
Raggio plastico punto di equilibrio [m]	4.54000
Pressione punto di equilibrio [MPa] .....	.07234
Spostamento punto di equilibrio [MPa] .....	.00235
Spostamento galleria alla messa in opera [m] .....	.00230
Convergenza radiale rivestimento [m] .....	.00005
Tensione CLS [MPa] .....	.48788
Coefficiente di sicurezza CLS	28.92105
Pressione rottura CLS [MPa]	2.09227
Rigidità anello CLS [MPa]	5778.44365
Tasso di deconfinamento alla messa in opera .....	.996031

Velocizzazione linea San Gavino – Sassari – Olbia
Galleria Gave
Sezione B1

CURVE CARATTERISTICHE





VELOCIZZAZIONE LINEA SAN GAVINO - SASSARI – OLBIA
 VARIANTE DI BONORVA - TORRALBA

GALLERIA GIAVE – Relazione geotecnica e di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D 07 CL	GN 02 00 001	A	104 di 164

Velocizzazione linea San Gavino – Sassari – Olbia
 Galleria Gave
 Sezione B1

ELABORATO RIASSUNTIVO DELL'ANALISI

Tipo di analisi: calcolo accoppiato fronte-galleria – Nuovo Metodo Implicito (spostamento fronte soluzione cavità sferica)
 Calcolo curve caratteristiche: SOLUZIONI TRANSFER-MATRIX

DIAMETRO DELLA GALLERIA: 9.08 m

PARAMETRI ROCCIA

E: 1118 MPa Nt: .3 GAMMA: 0 kN/m3 SIGMA0: .52 MPa
 Tipo di criterio di resistenza: MOHR-COULOMB

RESISTENZA	RESISTENZA A LUNGO TERMINE
PH piccolo: 51.27 °	PH piccolo: .001 °
C piccolo: .137 MPa	C piccolo: .000001 MPa
PH residuo: 51.27 °	PH residuo: .001 °
C residuo: .137 MPa	C residuo: .000001 MPa
PSi: 0 °	PSi: 0 °
H apparente: 0 MPa	H apparente: 0 MPa

PRECONSOLIDAMENTO FRONTE DI SCAVO

Chiodatura assiale con barre sezione .00157 m2 incidenza .23148141
 Ulteriore miglioramento fronte – incremento Cp 0 MPa – pressione sul

PRERIVESTIMENTO

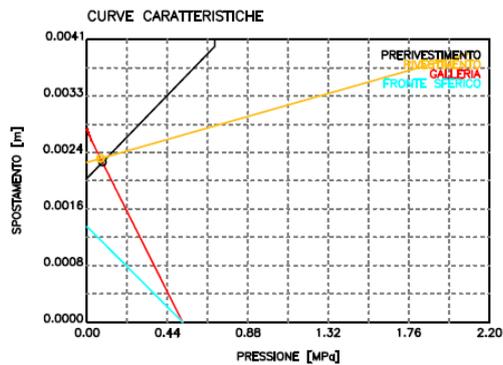
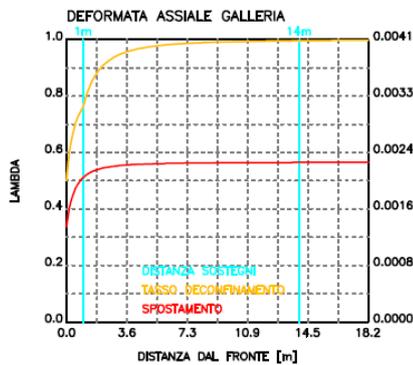
Spritz-Beton spessore .2 m resistenza 14.11 MPa centine sezione .00456 m2 passo 1 m resistenza 261.9 MPa
 Spostamento radiale prerivestimento circolare chiuso .0002 m

TENSIONI PRERIVESTIMENTO CIRCOLARE CHIUSO

Spritz-beton 1.6 MPa Centine 10.2 MPa
 SPRITZ BETON E CENTINE – RISULTATO CALCOLO SEZIONE A U ROVESCIA
 Spostamento orizz. piano centri 0.0003 m
 Spostamento orizz. piedritto 0.0005 m
 Tensioni spritz calotta (intradosso e estradosso) 2.0 1.8 MPa
 Tensioni spritz piano centri (intradosso e estradosso) 1.5 1.2 MPa
 Tensioni spritz piedritto (intradosso e estradosso) 0.6 1.2 MPa
 Tensioni centine calotta (intradosso e estradosso) 13.1 12.2 MPa
 Tensioni centine piano centri (intradosso e estradosso) 9.7 8.2 MPa
 Tensioni centine piedritto (intradosso e estradosso) 4.9 8.0 MPa

RIVESTIMENTO DEFINITIVO

Calcestruzzo spessore .7 m resistenza 14.11 MPa gioco radiale 0 m
 Spostamento radiale 0.0001 m
 Tensione CLS 0.49 MPa



GALLERIA GIAVE – Relazione geotecnica e di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D 07 CL	GN 02 00 001	A	106 di 164

RIVESTIMENTO DEFINITIVO -----

Distanza dal fronte alla messa in opera [m]	15.00000
Spessore CLS [m] .....	.40000
Modulo Young CLS [MPa]	31447.00000
Coefficiente di Poisson CLS .....	.15000
Resistenza compressione CLS [MPa]	14.11000
Opzione calcolo rivestimento	0
[0 prerivestimenti non collaboranti a lungo termine]	
[1 prerivestimenti collaboranti a lungo termine]	
Gioco radiale posa in opera rivestimento [m] .....	.00000

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

Press. fine calcolo curva galleria [MPa] .....	.000000
Spostamento radiale galleria [m] .....	.005851
Raggio plastico galleria [m]	2.840946
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] .....	.000000
Spostamento radiale fronte sferico [m] .....	.002715
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] .....	.001537
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ..	.001697
Raggio plastico fronte sferico [m]	2.579092

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

Metodo Panet-Guenot

U [m] :	.00519
LAMBDA :	.95267

Trasformazione Omotetica

U [m] :	.00560
LAMBDA :	.98417

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione cavità sferica

U [m] :	.00542
LAMBDA :	.97163

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns

U [m] :	.00527
LAMBDA :	.96004

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica

U [m] :	.00529
LAMBDA :	.96163

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

Metodo Panet-Guenot

U [m] :	.00579
LAMBDA :	.99649

Trasformazione Omotetica

U [m] :	.00585
LAMBDA :	.99997

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione cavità sferica

U [m] :	.00551
LAMBDA :	.99877

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns

U [m] :	.00539
LAMBDA :	.99827

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica

U [m] :	.00541
LAMBDA :	.99834

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] .....	.005851
Raggio plastico galleria fine calcolo [m]	2.840946
PRERIVESTIMENTO -----	
Raggio plastico punto di equilibrio [m]	2.76993
Pressione punto di equilibrio [MPa] .....	.08663
Spostamento punto di equilibrio [m] .....	.00551
Spostamento galleria alla messa in opera [m] .....	.00542
Convergenza radiale prerivestimento [m] .....	.00009
Tasso di deconfinamento alla messa in opera .....	.971625
MODULI APPARENTI GALLERIA (PER COEFFICIENTI DI FORMA)	
E1 [MPa]	915.59234
E2 [MPa]	810.25140
COEFFICIENTI DI FORMA SPOSTAMENTI ORIZZONTALI	
Piano dei centri	2.51214
Piedritto	3.92529
COEFFICIENTI DI FORMA TENSIONI	
Calotta intradosso	1.29001
Calotta estradosso	1.08372
Rene intradosso .....	.92226
Rene estradosso .....	.71944
Piedritto intradosso .....	.14281
Piedritto estradosso	1.02760
CODICE INTERPOLAZIONE COEFFICIENTI DI FORMA	
(0 estrapolazione 1 interpolazione)	0
SPRITZ-BETON E CENTINE (ANELLO CHIUSO)	
Tensione spritz [MPa]	1.26241
Tensione centine [MPa]	7.66520
Coefficiente di sicurezza spritz	11.17701
Coefficiente di sicurezza centine	34.16742
Pressione rottura spritz [MPa] .....	.92835
Pressione rottura centine [MPa]	2.83791
Rigidezza spritz [MPa]	2052.67389
Rigidezza centinatura [MPa]	222.85714
SPRITZ-BETON E CENTINE (PRERIVESTIMENTO APERTO)	
Spostamento orizzontale piano centri [m] .....	.0002247
Spostamento orizzontale piedritto [m] .....	.0003510
Sollecitazione Normale Calotta [MN] .....	.34881
Momento Flettente Calotta [MN*m]	-.00054
Tensione spriz intradosso Calotta [MPa]	1.57552
Tensione spriz estradosso Calotta [MPa]	1.40301
Tensione centine intradosso Calotta [MPa]	10.44438
Tensione centine estradosso Calotta [MPa]	9.36919
Sollecitazione Normale Piano Centri [MN] .....	.24124
Momento Flettente Piano Centri [MN*m]	-.00053
Tensione spriz intradosso Piano Centri [MPa]	1.11497
Tensione spriz estradosso Piano Centri [MPa] .....	.94537
Tensione centine intradosso Piano Centri [MPa]	7.37016
Tensione centine estradosso Piano Centri [MPa]	6.31307
Sollecitazione Normale Piedritto [MN] .....	.17198
Momento Flettente Piedritto [MN*m] .....	.00232
Tensione spriz intradosso Piedritto [MPa] .....	.36151
Tensione spriz estradosso Piedritto [MPa]	1.10139
Tensione centine intradosso Piedritto [MPa]	2.74353
Tensione centine estradosso Piedritto [MPa]	7.35501
RIVESTIMENTO DEFINITIVO (ANELLO CLS) -----	
Raggio plastico punto di equilibrio [m]	2.77129
Pressione punto di equilibrio [MPa] .....	.07862
Spostamento punto di equilibrio [MPa] .....	.00554
Spostamento galleria alla messa in opera [m] .....	.00551
Convergenza radiale rivestimento [m] .....	.00003
Tensione CLS [MPa] .....	.49515



VELOCIZZAZIONE LINEA SAN GAVINO - SASSARI – OLBIA
VARIANTE DI BONORVA - TORRALBA

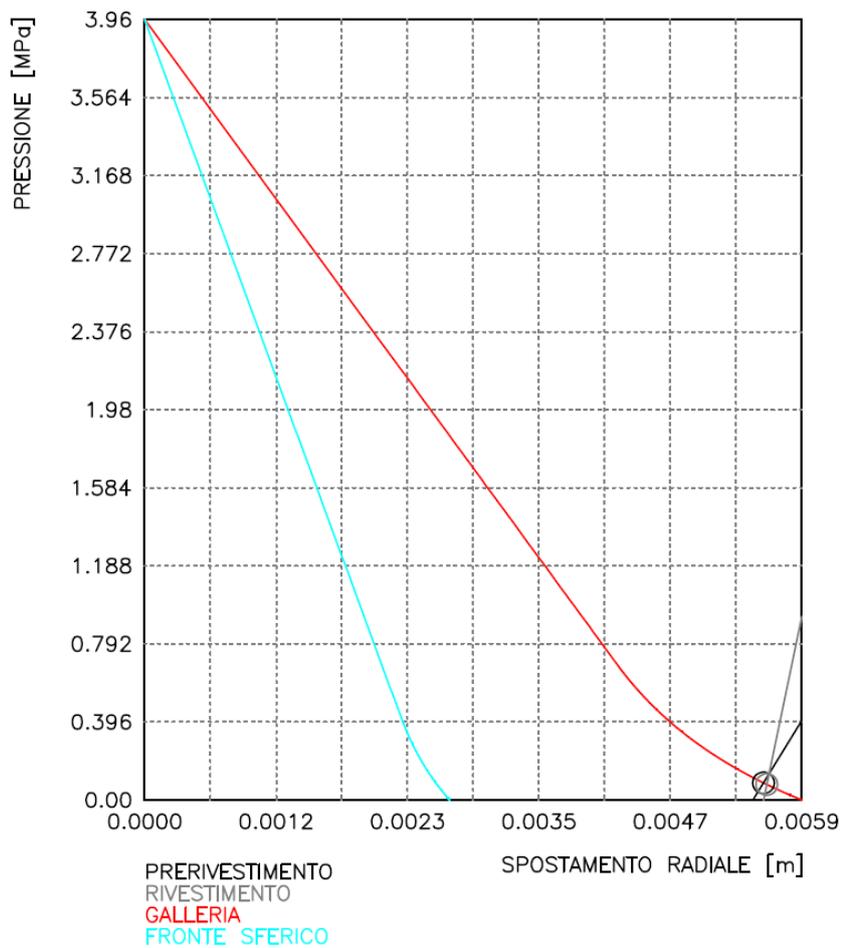
GALLERIA GIAVE – Relazione geotecnica e di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D 07 CL	GN 02 00 001	A	108 di 164

Coefficiente di sicurezza CLS	28.49668
Pressione rottura CLS [MPa]	2.24053
Rigidezza anello CLS [MPa]	6281.95887
Tasso di deconfinamento alla messa in opera .....	.998772

Velocizzazione linea San Gavino – Sassari – Olbia
Galleria Giave – Uscita di emergenza
Sezione A1

CURVE CARATTERISTICHE



Tipo di analisi: calcolo accoppiato fronte-galleria – Nuovo Metodo Implicito (spostamento fronte soluzione cavità sferica)
Calcolo curve caratteristiche: SOLUZIONI TRANSFER-MATRIX

DIAMETRO DELLA GALLERIA: 4.9 m

PARAMETRI ROCCIA

E: 2468 MPa ν : .3 GAMMA: 0 kN/m³ SIGMA: 3.96 MPa
Tipo di criterio di resistenza: MOHR-COULOMB

RESISTENZA	RESISTENZA A LUNGO TERMINE
PHI picco: 44,65 °	PHI picco: .001 °
C picco: .69 MPa	C picco: .000001 MPa
PHI residuo: 44,65 °	PHI residuo: .001 °
C residuo: .69 MPa	C residuo: .000001 MPa
PSi: 0 °	PSi: 0 °
H apparente: 0 MPa	H apparente: 0 MPa

PRERIVESTIMENTO

Spritz-Beton spessore .15 m resistenza 14.11 MPa centine sezione .00364 m² passo 1.4 m resistenza 251.9 MPa

Spostamento radiale prerivestimento circolare chiuso .0001 m

TENSIONI PRERIVESTIMENTO CIRCOLARE CHIUSO

Spritz-beton 1.3 MPa Centine 7.7 MPa

SPRITZ BETON E CENTINE – RISULTATO CALCOLO SEZIONE A U ROVESCIA

Spostamento orizz. piano centri 0.0002 m

Spostamento orizz. piedritto 0.0004 m

Tensioni spritz calotta (intradosso e estradosso) 1.6 1.4 MPa

Tensioni spritz piano centri (intradosso e estradosso) 1.1 0.9 MPa

Tensioni spritz piedritto (intradosso e estradosso) 0.4 1.1 MPa

Tensioni centine calotta (intradosso e estradosso) 10.4 9.4 MPa

Tensioni centine piano centri (intradosso e estradosso) 7.4 6.3 MPa

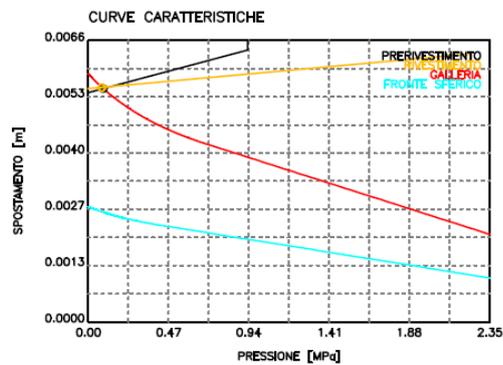
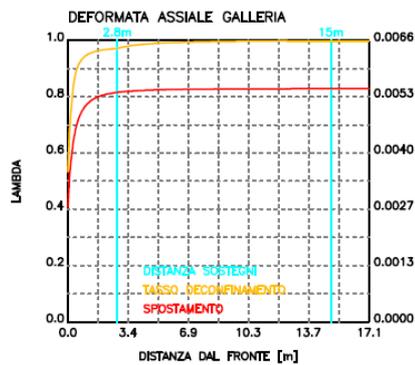
Tensioni centine piedritto (intradosso e estradosso) 2.7 7.4 MPa

RIVESTIMENTO DEFINITIVO

Calcestruzzo spessore .4 m resistenza 14.11 MPa gioco radiale 0 m

Spostamento radiale 0.0000 m

Tensione CLS 0.50 MPa



GALLERIA GIAVE – Relazione geotecnica e di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D 07 CL	GN 02 00 001	A	112 di 164

[0 dispositivo di ripartizione assente]	
Distanza dal fronte attivazione barre [m]	3.50000
SPRITZ-BETON E CENTINE	
Spessore spritz [m] .....	.15000
Modulo Young spritz [MPa]	31447.00000
Coefficiente di Poisson spritz .....	.15000
Sezione centina [m ²] .....	.00000
Altezza sezione centina [m ²] .....	.00000
Posizione baricentro sezione centina [m] .....	.00000
Momento inerzia baricentrico sezione centina [m ⁴] .	.00000000
Passo centine [m] .....	.00000
Modulo Young ferro centine [MPa] .....	.00000
Resistenza compressione spritz [MPa]	14.11000
Resistenza ferro centine [MPa] .....	.00000

RIVESTIMENTO DEFINITIVO -----	
Distanza dal fronte alla messa in opera [m]	15.00000
Spessore CLS [m] .....	.40000
Modulo Young CLS [MPa]	31447.00000
Coefficiente di Poisson CLS .....	.15000
Resistenza compressione CLS [MPa]	14.11000
Opzione calcolo rivestimento	0
[0 prerivestimenti non collaboranti a lungo termine]	
[1 prerivestimenti collaboranti a lungo termine]	
Gioco radiale posa in opera rivestimento [m] .....	.00000

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

Press. fine calcolo curva galleria [MPa] .....	.000000
Spostamento radiale galleria [m] .....	.008798
Raggio plastico galleria [m]	3.137164
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] .....	.000000
Spostamento radiale fronte sferico [m] .....	.003911
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] .....	.001813
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ...	.002571
Raggio plastico fronte sferico [m]	2.704550

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

Metodo Panet-Guenot	
U [m] :	.00750
LAMBDA :	.95314
Trasformazione Omotetica	
U [m] :	.00821
LAMBDA :	.97990
Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione cavità sferica	
U [m] :	.00763
LAMBDA :	.95863
Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns	
U [m] :	.00719
LAMBDA :	.93884
Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica	
U [m] :	.00734
LAMBDA :	.94611

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

Metodo Panet-Guenot	
U [m] :	.00875
LAMBDA :	.99686
Trasformazione Omotetica	

GALLERIA GIAVE – Relazione geotecnica e di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D 07 CL	GN 02 00 001	A	113 di 164

U [m] : .00886
LAMBDA : .99995

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione cavità sferica

U [m] : .00779
LAMBDA : .99860

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns

U [m] : .00741
LAMBDA : .99793

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica

U [m] : .00755
LAMBDA : .99817

STATO GALLERIA ALLA MESSA IN OPERA DELLE BARRE PASSIVE -----

Metodo Panet-Guenot

U [m] : .00794
LAMBDA : .97046

Trasformazione Omotetica

U [m] : .00853
LAMBDA : .99021

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione cavità sferica

U [m] : .00771
LAMBDA : .97759

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns

U [m] : .00729
LAMBDA : .96687

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica

U [m] : .00744
LAMBDA : .97081

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] .....	.008798
Raggio plastico galleria fine calcolo [m]	3.137164
Pressione fine calcolo (L.T.) [MPa] .....	.000000
Spost. radiale galleria fine calcolo (L.T.) [m] .....	.008865
Raggio plastico galleria fine calcolo (L.T.) [m] ..	3.153052

PRERIVESTIMENTO -----

Raggio plastico punto di equilibrio [m]	2.98462
Pressione punto di equilibrio [MPa] .....	.13861
Spostamento punto di equilibrio [m] .....	.00779
Spostamento galleria alla messa in opera [m] .....	.00763
Convergenza radiale prerivestimento [m] .....	.00016
Tasso di deconfinamento alla messa in opera .....	.958633

BARRE AD ADERENZA CONTINUA -----

Fattore di sicurezza rottura a trazione	999.00000
Fattore di sicurezza sfilamento	1000.00000
Spostamento galleria alla messa in opera [m] .....	.00814
Convergenza radiale barre [m] .....	.00066
Tasso di deconfinamento alla messa in opera .....	.977592

MODULI APPARENTI GALLERIA (PER COEFFICIENTI DI FORMA)

E1 [MPa]	499.76551
E2 [MPa]	412.02599

COEFFICIENTI DI FORMA SPOSTAMENTI ORIZZONTALI

Piano dei centri	4.43989
Piedritto	6.70519

GALLERIA GIAVE – Relazione geotecnica e di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D 07 CL	GN 02 00 001	A	114 di 164

COEFFICIENTI DI FORMA TENSIONI

Calotta intradosso	1.38393
Calotta estradosso	1.04442
Rene intradosso .....	.87793
Rene estradosso .....	.74757
Piedritto intradosso	-.09511
Piedritto estradosso	1.26295

CODICE INTERPOLAZIONE COEFFICIENTI DI FORMA 0

(0 estrapolazione 1 interpolazione)

SPRITZ-BETON E CENTINE (ANELLO CHIUSO)

Tensione spritz [MPa]	2.26503
Tensione centine [MPa] .....	.00000
Coefficiente di sicurezza spritz	6.22951
Coefficiente di sicurezza centine	1000.00000
Pressione rottura spritz [MPa] .....	.83743
Pressione rottura centine [MPa] .....	.00000
Rigidezza spritz [MPa]	2052.67389
Rigidezza centinatura [MPa] .....	.00000

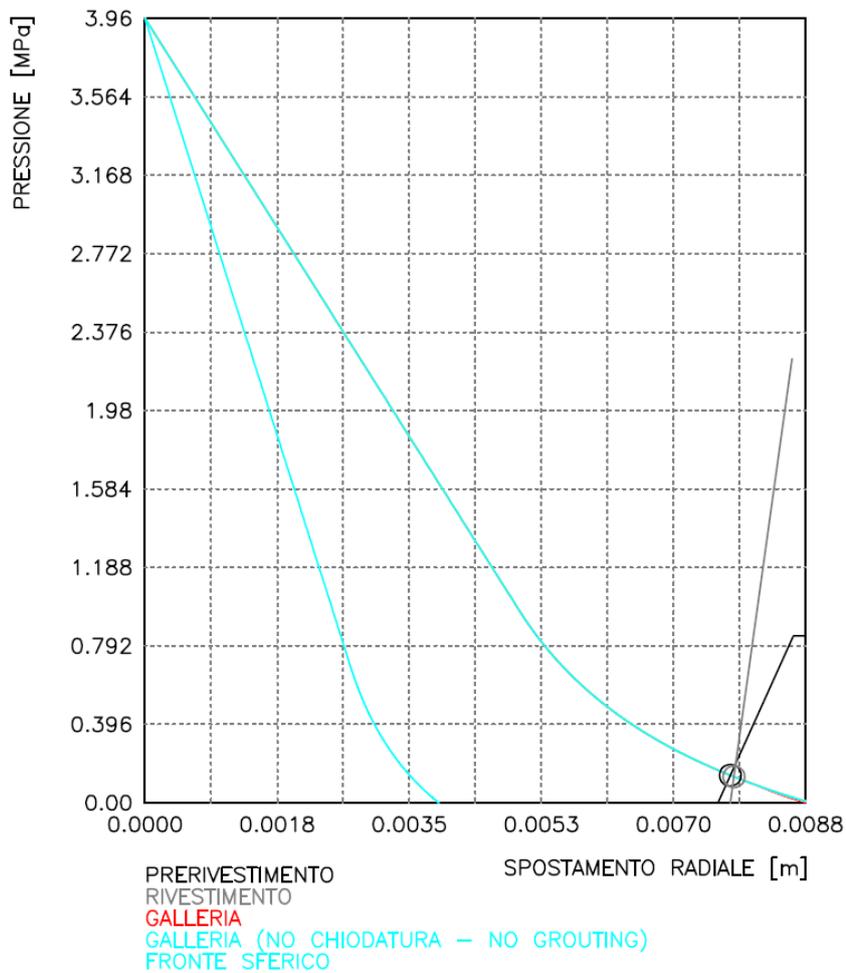
SPRITZ-BETON E CENTINE (PRERIVESTIMENTO APERTO)

Spostamento orizzontale piano centri [m] .....	.0007124
Spostamento orizzontale piedritto [m] .....	.0010759
Sollecitazione Normale Calotta [MN] .....	.41252
Momento Flettente Calotta [MN*m]	-.00144
Tensione spriz intradosso Calotta [MPa]	3.13464
Tensione spriz estradosso Calotta [MPa]	2.36563
Tensione centine intradosso Calotta [MPa] .....	.00000
Tensione centine estradosso Calotta [MPa] .....	.00000
Sollecitazione Normale Piano Centri [MN] .....	.27613
Momento Flettente Piano Centri [MN*m]	-.00055
Tensione spriz intradosso Piano Centri [MPa]	1.98853
Tensione spriz estradosso Piano Centri [MPa]	1.69326
Tensione centine intradosso Piano Centri [MPa] .....	.00000
Tensione centine estradosso Piano Centri [MPa] .....	.00000
Sollecitazione Normale Piedritto [MN] .....	.19839
Momento Flettente Piedritto [MN*m] .....	.00577
Tensione spriz intradosso Piedritto [MPa]	-.21543
Tensione spriz estradosso Piedritto [MPa]	2.86062
Tensione centine intradosso Piedritto [MPa] .....	.00000
Tensione centine estradosso Piedritto [MPa] .....	.00000

RIVESTIMENTO DEFINITIVO (ANELLO CLS) -----	
Raggio plastico punto di equilibrio [m]	2.99704
Pressione punto di equilibrio [MPa] .....	.13133
Spostamento punto di equilibrio [MPa] .....	.00784
Spostamento galleria alla messa in opera [m] .....	.00779
Convergenza radiale rivestimento [m] .....	.00005
Tensione CLS [MPa] .....	.82708
Coefficiente di sicurezza CLS	17.06009
Pressione rottura CLS [MPa]	2.24053
Rigidezza anello CLS [MPa]	6281.95887
Tasso di deconfinamento alla messa in opera .....	.998598

Velocizzazione linea San Gavino – Sassari – Olbia
Galleria Gave – Uscita di emergenza
Sezione A2

CURVE CARATTERISTICHE



Tipo di analisi: calcolo accoppiato fronte-galleria – Nuovo Metodo Implicito (spostamento fronte soluzione cavità sferica)
Calcolo curve caratteristiche: SOLUZIONI TRANSFER-MATRIX

DIAMETRO DELLA GALLERIA: 4.9 m

PARAMETRI ROCCIA

E: 1903 MPa Ni: .3 GAMMA: 0 kN/m³ SIGMA0: 3.96 MPa
Tipo di criterio di resistenza: MOHR-COULOMB

RESISTENZA	RESISTENZA A LUNGO TERMINE
Phi piccolo: 40.51 °	Phi piccolo: .001 °
C piccolo: .549 MPa	C piccolo: .000001 MPa
Phi residuo: 40.51 °	Phi residuo: .001 °
C residuo: .549 MPa	C residuo: .000001 MPa
PSI: 0 °	PSI: 0 °
H apparente: 0 MPa	H apparente: 0 MPa

PRERIVESTIMENTO

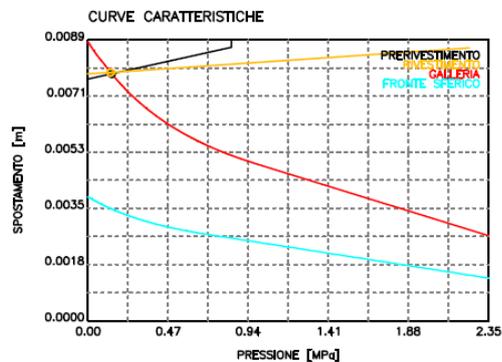
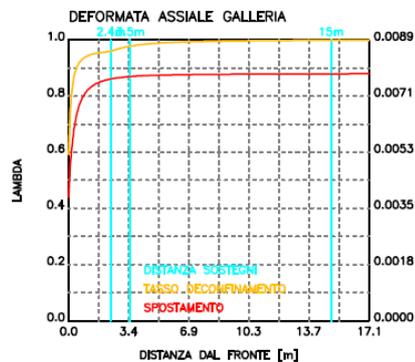
Spritz-Beton spessore .15 m resistenza 14.11 MPa
Chiodi ad aderenza continua sezione .000452 m² lunghezza 4.5 m Incidenza 0.65 chiodi/m²
Spostamento radiale prerivestimento circolare chiuso .0002 m

TENSIONI PRERIVESTIMENTO CIRCOLARE CHIUSO

Spritz-beton 2.3 MPa
Fattore sicurezza sfilamento chiodatura 1000.0
Fattore sicurezza a trazione chiodatura 999.0
SPRITZ BETON E CENTINE – RISULTATO CALCOLO SEZIONE A U ROVESCIA
Spostamento orizz. piano centri 0.0007 m
Spostamento orizz. piedritto 0.0011 m
Tensioni spritz calotta (intradosso e estradosso) 3.1 2.4 MPa
Tensioni spritz piano centri (intradosso e estradosso) 2.0 1.7 MPa
Tensioni spritz piedritto (intradosso e estradosso) -0.2 2.9 MPa

RIVESTIMENTO DEFINITIVO

Calcestruzzo spessore .4 m resistenza 14.11 MPa gioco radiale 0 m
Spostamento radiale 0.0000 m
Tensione CLS 0.83 MPa





VELOCIZZAZIONE LINEA SAN GAVINO - SASSARI – OLBIA
VARIANTE DI BONORVA - TORRALBA

GALLERIA GIAVE – Relazione geotecnica e di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D 07 CL	GN 02 00 001	A	117 di 164

```
#####
#####
###
###
### ##### ## ## ##
### ##### ## ## ##
### ##### ## ## ##
##### ## ## ## ##
##### ##### #####
#####
###
```

CALCOLO GALLERIE CON METODO
 CONVERGENZA-CONFINAMENTO
 SOLUTORE TRANSFER-MATRIX

VERSIONE 4 (2003)

Velocizzazione linea San Gavino - Sassari - Olbia
 Galleria Gieve - Uscita di emergenza
 Sezione B1

- 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]	2.77000
PARAMETRI GEOTECNICI -----	
Tensione originaria [MPa] .....	.60000
Modulo di Young [MPa]	1118.00000
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]	2.77000
Pressione interstiziale al bordo scavo L.T. [MPa]..	.00000
Raggio influenza idraulica galleria L.T. [m]	2.77000
RESISTENZA ROCCIA	
Coesione picco [MPa] .....	.13700
Angolo attrito picco [°]	51.27000
Coesione residua [MPa] .....	.13700
Angolo attrito residuo [MPa]	51.27000
Angolo dilatanza [°] .....	.00000
Modulo di softening apparente Ha [MPa] .....	.00000
Modulo di softening H [MPa] .....	.00000
FRONTE DI SCAVO RINFORZATO	
Chiodatura assiale del fronte	
Area influenza chiodo [m2]	2.19000
Resistenza a trazione chiodo [MPa]	450.00000
Sezione reagente a trazione chiodo [m2] .....	.00157
Lunghezza chiodo [m]	6.75000
Tensione aderenza chiodo-terreno [m] .....	.35000
Perimetro sezione sfilamento chiodo [m] .....	.31400
Parametri di resistenza equivalenti del fronte rinforzato	
Coesione picco [MPa] .....	.37794
Coesione residua [MPa] .....	.37794
PRERIVESTIMENTO -----	
Distanza dal fronte alla messa in opera [m]	1.00000
Coefficiente riduzione rigidezza	1.00000
Forma del presivestimento	U ROVESCIA APERTA
SPRITZ-BETON E CENTINE	
Spessore spritz [m] .....	.20000

GALLERIA GIAVE – Relazione geotecnica e di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D 07 CL	GN 02 00 001	A	118 di 164

Modulo Young spritz [MPa]	31447.00000
Coefficiente di Poisson spritz .....	.15000
Sezione centina [m ²] .....	.00456
Altezza sezione centina [m ²] .....	.16000
Posizione baricentro sezione centina [m] .....	.09000
Momento inerzia baricentrico sezione centina [m ⁴] ..	.00001868
Passo centine [m]	1.00000
Modulo Young ferro centine [MPa]	210000.00000
Resistenza compressione spritz [MPa]	14.11000
Resistenza ferro centine [MPa]	261.90000

RIVESTIMENTO DEFINITIVO -----	
Distanza dal fronte alla messa in opera [m]	8.00000
Spessore CLS [m] .....	.60000
Modulo Young CLS [MPa]	31447.00000
Coefficiente di Poisson CLS .....	.15000
Resistenza compressione CLS [MPa]	14.11000
Opzione calcolo rivestimento	0
[0 prerivestimenti non collaboranti a lungo termine]	
[1 prerivestimenti collaboranti a lungo termine]	
Gioco radiale posa in opera rivestimento [m] .....	.00000

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

Press. fine calcolo curva galleria [MPa] .....	.000000
Spostamento radiale galleria [m] .....	.001978
Raggio plastico galleria [m]	2.917198
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] .....	.000000
Spostamento radiale fronte sferico [m] .....	.000966
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] .....	.000574
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ...	.000574
Raggio plastico fronte sferico [m]	2.770000

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

Metodo Panet-Guenot	
U [m] :	.00147
LAMBDA :	.76194
Trasformazione Omotetica	
U [m] :	.00166
LAMBDA :	.86040
Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione cavità sferica	
U [m] :	.00159
LAMBDA :	.82692
Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns	
U [m] :	.00145
LAMBDA :	.75507
Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica	
U [m] :	.00145
LAMBDA :	.75507

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

Metodo Panet-Guenot	
U [m] :	.00192
LAMBDA :	.98287
Trasformazione Omotetica	
U [m] :	.00198
LAMBDA :	.99927
Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione cavità sferica	

GALLERIA GIAVE – Relazione geotecnica e di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D 07 CL	GN 02 00 001	A	119 di 164

U [m] : .00167
LAMBDA : .99473

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns

U [m] : .00156
LAMBDA : .99254

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica

U [m] : .00156
LAMBDA : .99254

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] .....	.001978
Raggio plastico galleria fine calcolo [m]	2.917198

PRERIVESTIMENTO -----	
Raggio plastico punto di equilibrio [m]	2.77000
Pressione punto di equilibrio [MPa] .....	.07984
Spostamento punto di equilibrio [m] .....	.00167
Spostamento galleria alla messa in opera [m] .....	.00159
Convergenza radiale prerivestimento [m] .....	.00008
Tasso di deconfinamento alla messa in opera .....	.826916

MODULI APPARENTI GALLERIA (PER COEFFICIENTI DI FORMA)	
E1 [MPa]	1122.35261
E2 [MPa]	927.66844

COEFFICIENTI DI FORMA SPOSTAMENTI ORIZZONTALI	
Piano dei centri	2.54481
Piedritto	3.75068

COEFFICIENTI DI FORMA TENSIONI	
Calotta intradosso	1.30791
Calotta estradosso	1.07366
Rene intradosso .....	.89002
Rene estradosso .....	.71396
Piedritto intradosso .....	.12033
Piedritto estradosso	1.03163

CODICE INTERPOLAZIONE COEFFICIENTI DI FORMA	0
(0 estrapolazione 1 interpolazione)	

SPRITZ-BETON E CENTINE (ANELLO CHIUSO)	
Tensione spritz [MPa] .....	.97455
Tensione centine [MPa]	5.84063
Coefficiente di sicurezza spritz	14.47854
Coefficiente di sicurezza centine	44.84103
Pressione rottura spritz [MPa]	1.12120
Pressione rottura centine [MPa]	3.47244
Rigidezza spritz [MPa]	2438.61580
Rigidezza centinatura [MPa]	345.70397

SPRITZ-BETON E CENTINE (PRERIVESTIMENTO APERTO)	
Spostamento orizzontale piano centri [m] .....	.0001961
Spostamento orizzontale piedritto [m] .....	.0002890
Sollecitazione Normale Calotta [MN] .....	.26500
Momento Flettente Calotta [MN*m]	-.00087
Tensione spriz intradosso Calotta [MPa]	1.26077
Tensione spriz estradosso Calotta [MPa]	1.04193
Tensione centine intradosso Calotta [MPa]	8.20008
Tensione centine estradosso Calotta [MPa]	7.03098
Sollecitazione Normale Piano Centri [MN] .....	.17847
Momento Flettente Piano Centri [MN*m]	-.00065
Tensione spriz intradosso Piano Centri [MPa] .....	.85778
Tensione spriz estradosso Piano Centri [MPa] .....	.69330
Tensione centine intradosso Piano Centri [MPa]	5.56344
Tensione centine estradosso Piano Centri [MPa]	4.68473
Sollecitazione Normale Piedritto [MN] .....	.12818
Momento Flettente Piedritto [MN*m] .....	.00338
Tensione spriz intradosso Piedritto [MPa] .....	.12491

GALLERIA GIAVE – Relazione geotecnica e di calcolo

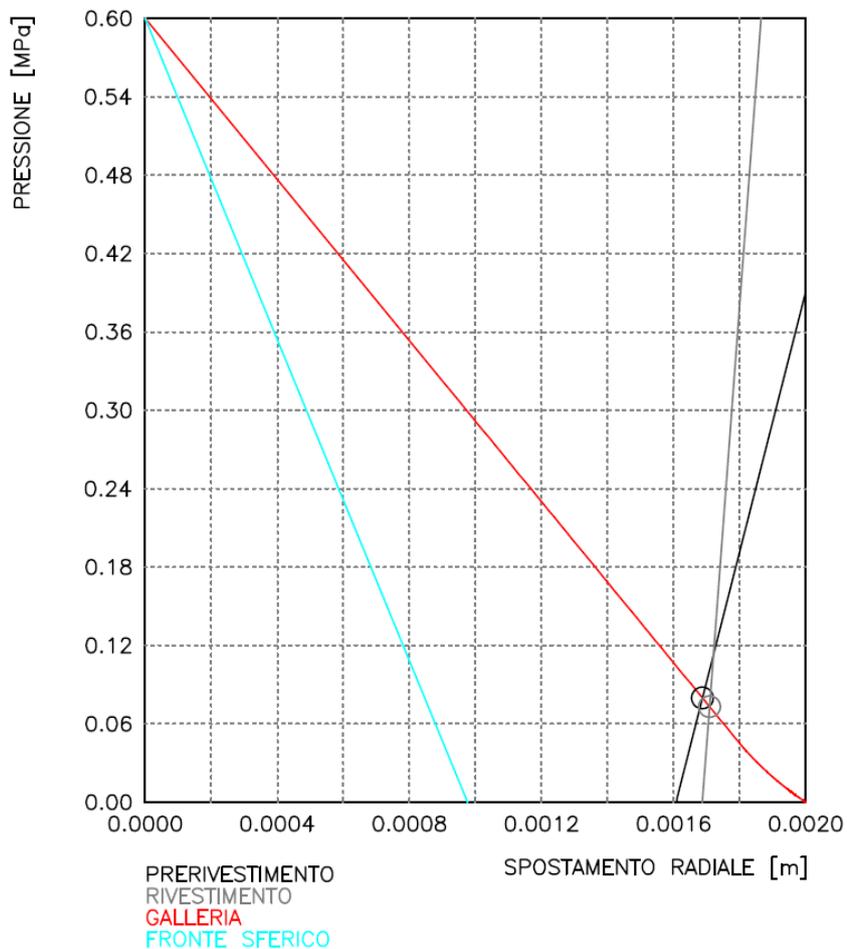
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D 07 CL	GN 02 00 001	A	120 di 164

Tensione spriz estradosso Piedritto [MPa] .....	.97624
Tensione centine intradosso Piedritto [MPa]	1.68692
Tensione centine estradosso Piedritto [MPa]	6.23501

RIVESTIMENTO DEFINITIVO (ANELLO CLS) -----	
Raggio plastico punto di equilibrio [m]	2.77000
Pressione punto di equilibrio [MPa] .....	.07315
Spostamento punto di equilibrio [MPa] .....	.00169
Spostamento galleria alla messa in opera [m] .....	.00167
Convergenza radiale rivestimento [m] .....	.00002
Tensione CLS [MPa] .....	.35473
Coefficiente di sicurezza CLS	39.77691
Pressione rottura CLS [MPa]	2.90963
Rigidità anello CLS [MPa]	8758.87603
Tasso di deconfinamento alla messa in opera .....	.994730

Velocizzazione linea San Gavino – Sassari – Olbia
Galleria Gave – Uscita di emergenza
Sezione B1

CURVE CARATTERISTICHE





VELOCIZZAZIONE LINEA SAN GAVINO - SASSARI – OLBIA
 VARIANTE DI BONORVA - TORRALBA

GALLERIA GIAVE – Relazione geotecnica e di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D 07 CL	GN 02 00 001	A	122 di 164

Velocizzazione linea San Gavino – Sassari – Olbia
 Galleria Gave – Uscita di emergenza
 Sezione B1

ELABORATO RIASSUNTIVO DELL'ANALISI

Tipo di analisi: calcolo accoppiato fronte-galleria – Nuovo Metodo Implicito (spostamento fronte soluzione cavità sferica)
 Calcolo curve caratteristiche: SOLUZIONI TRANSFER–MATRIX

DIAMETRO DELLA GALLERIA: 5.54 m

PARAMETRI ROCCIA

E: 1118 MPa ν : .3 γ : 0 kN/m³ σ_{max} : .8 MPa
 Tipo di criterio di resistenza: MOHR–COULOMB

RESISTENZA	RESISTENZA A LUNGO TERMINE
PH piccolo: 51.27 °	PH piccolo: .001 °
C piccolo: .137 MPa	C piccolo: .000001 MPa
PH residuo: 51.27 °	PH residuo: .001 °
C residuo: .137 MPa	C residuo: .000001 MPa
PSI: 0 °	PSI: 0 °
H apparente: 0 MPa	H apparente: 0 MPa

PRECONSOLIDAMENTO FRONTE DI SCAVO

Chiodatura assiale con barre sezione .00157 m² incidenza .45662075
 Ulteriore miglioramento fronte – incremento Cp 0 MPa – pressione sul

PRERIVESTIMENTO

Spritz–Beton spessore .2 m resistenza 14.11 MPa centine sezione .00456 m² passo 1 m resistenza 261.9 MPa

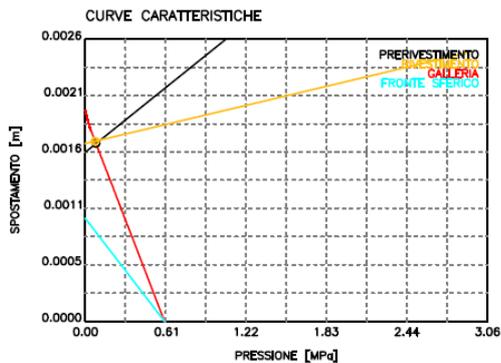
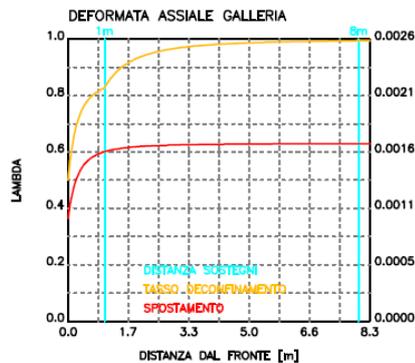
Spostamento radiale prerivestimento circolare chiuso .0001 m

TENSIONI PRERIVESTIMENTO CIRCOLARE CHIUSO

Spritz–beton 1.0 MPa Centine 5.8 MPa
 SPRITZ BETON E CENTINE – RISULTATO CALCOLO SEZIONE A U ROVESCIA
 Spostamento orizz. piano centri 0.0002 m
 Spostamento orizz. piedritto 0.0003 m
 Tensioni spritz calotta (intradosso e estradosso) 1.3 1.0 MPa
 Tensioni spritz piano centri (intradosso e estradosso) 0.9 0.7 MPa
 Tensioni spritz piedritto (intradosso e estradosso) 0.1 1.0 MPa
 Tensioni centine calotta (intradosso e estradosso) 8.2 7.0 MPa
 Tensioni centine piano centri (intradosso e estradosso) 5.6 4.7 MPa
 Tensioni centine piedritto (intradosso e estradosso) 1.7 6.2 MPa

RIVESTIMENTO DEFINITIVO

Calcestruzzo spessore .6 m resistenza 14.11 MPa gioco radiale 0 m
 Spostamento radiale 0.0000 m
 Tensione CLS 0.35 MPa

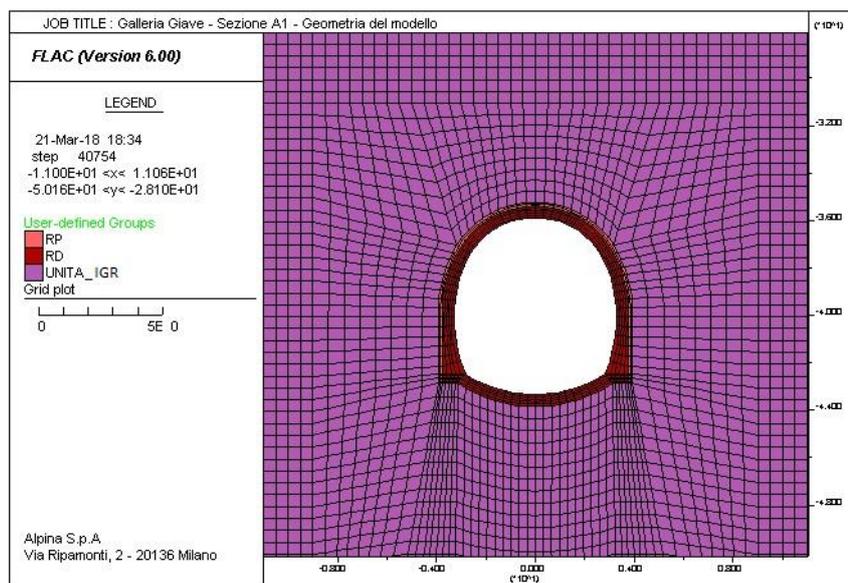
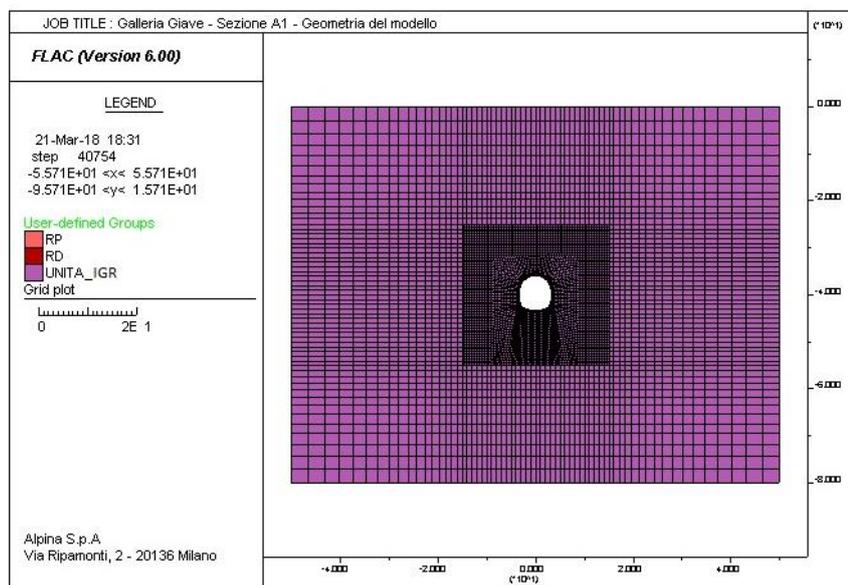


13.2 Sezione A1: risultati dell'analisi numerica

13.2.1 Modello generale

13.2.1.1 Sezione tipo A1 – Geometria del modello

13.2.1.2 Sezione tipo A1 – Dettaglio della suddivisione in zone



13.2.2 Scavo e costruzione graduale per fasi

13.2.2.1 Sezione tipo A1 – Fase 02

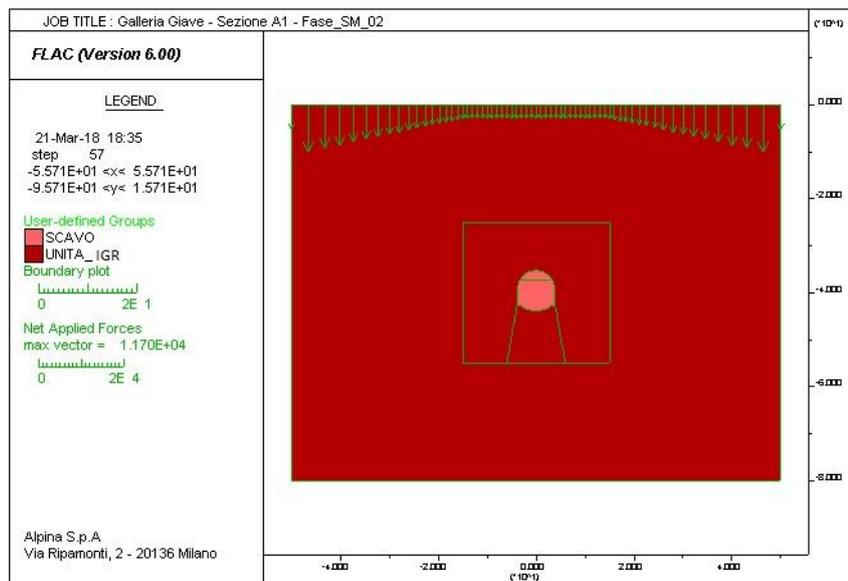
13.2.2.2 Sezione tipo A1 – Fase 03

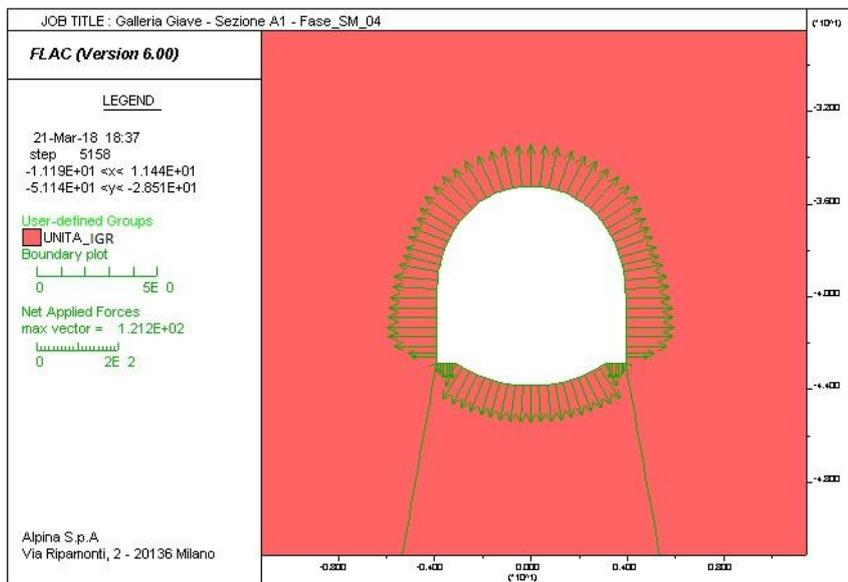
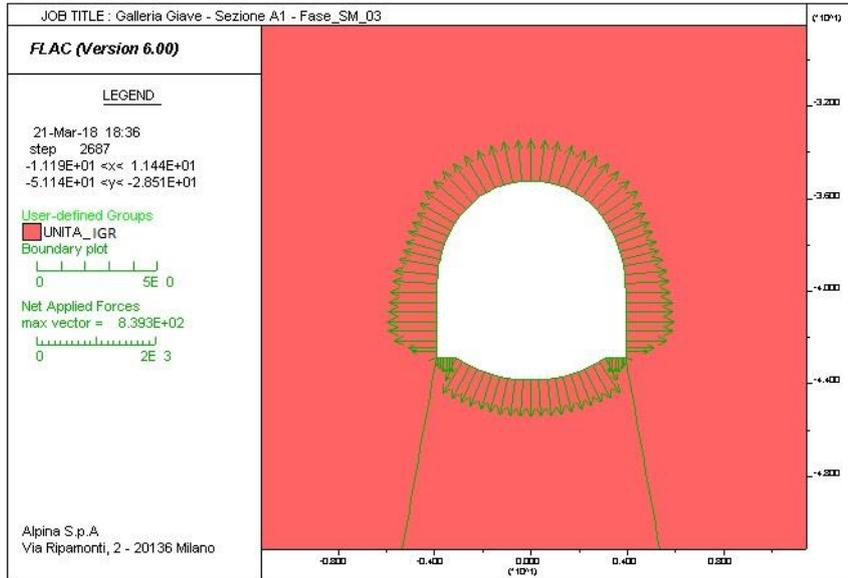
13.2.2.3 Sezione tipo A1 – Fase 04

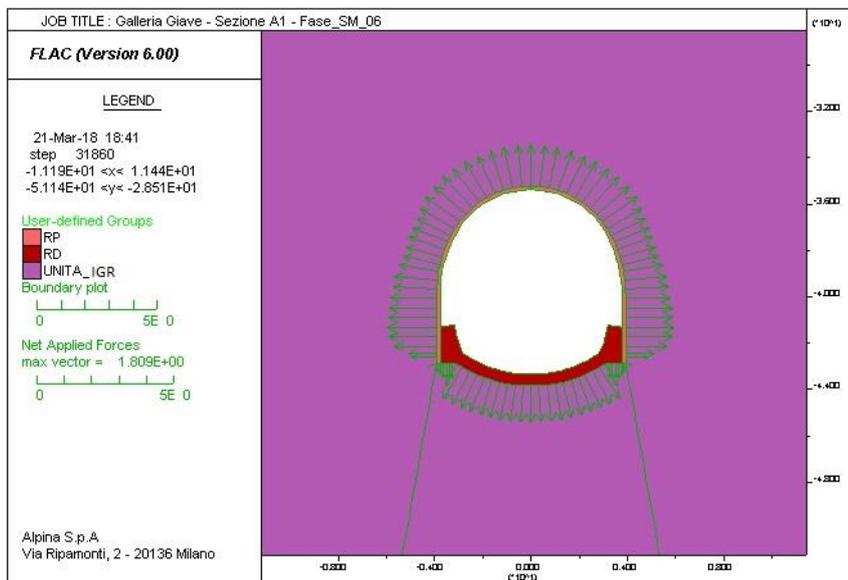
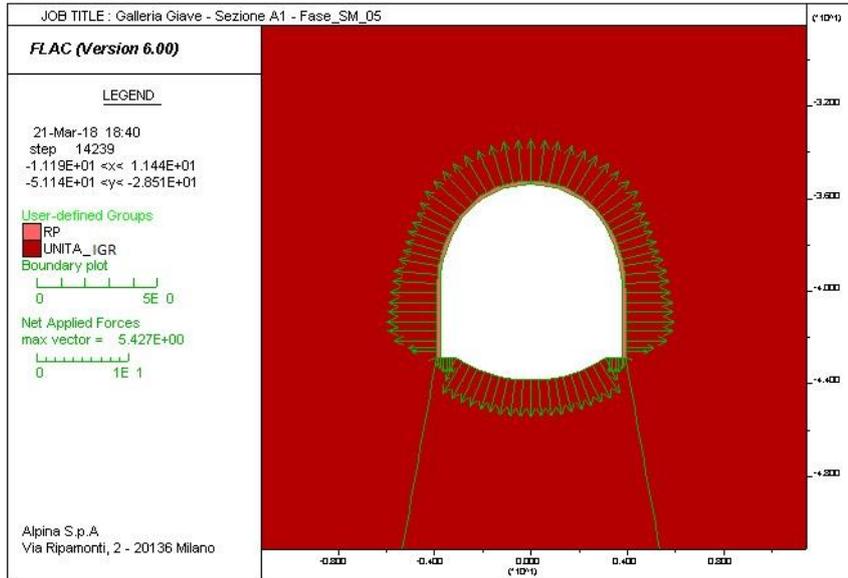
13.2.2.4 Sezione tipo A1 – Fase 05

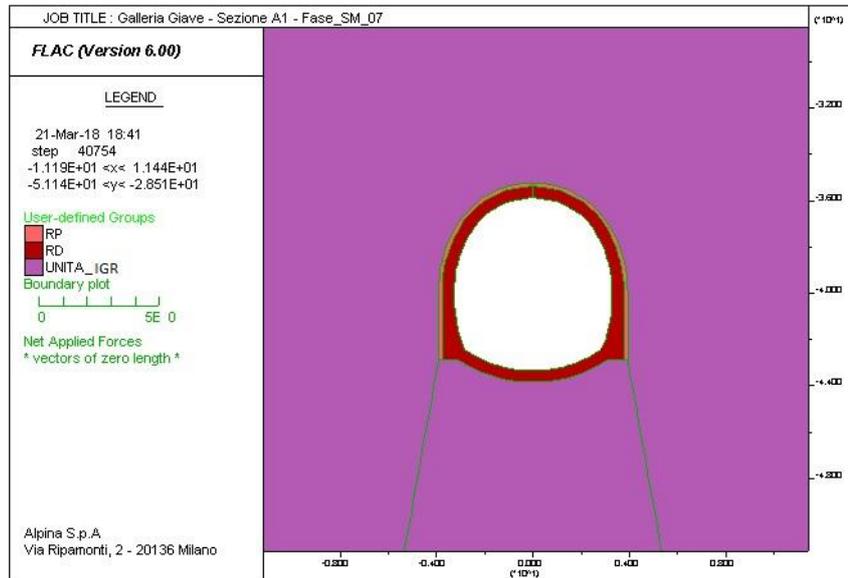
13.2.2.5 Sezione tipo A1 – Fase 06

13.2.2.6 Sezione tipo A1 – Fase 07









13.2.3 Condizioni precedenti alla realizzazione della galleria (Fase_02)

13.2.3.1 Sezione tipo A1 – Diagramma della tensione principale massima

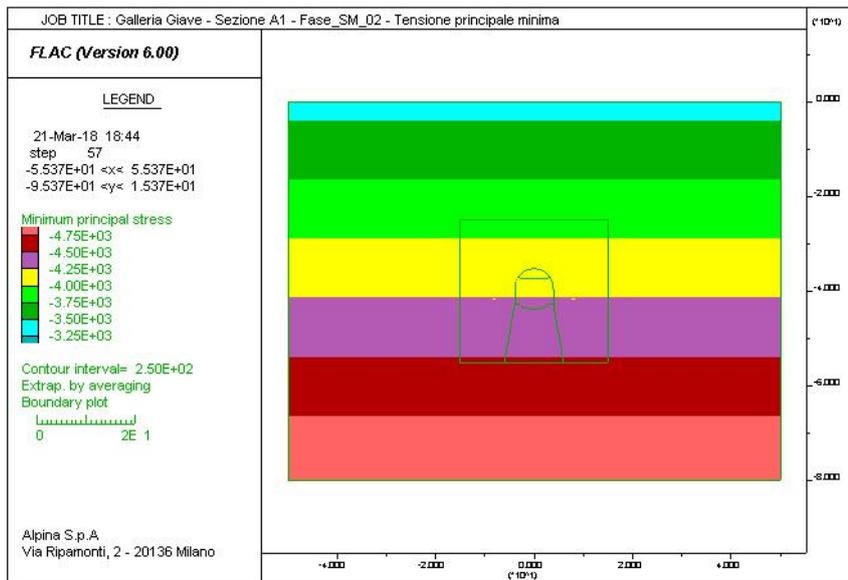
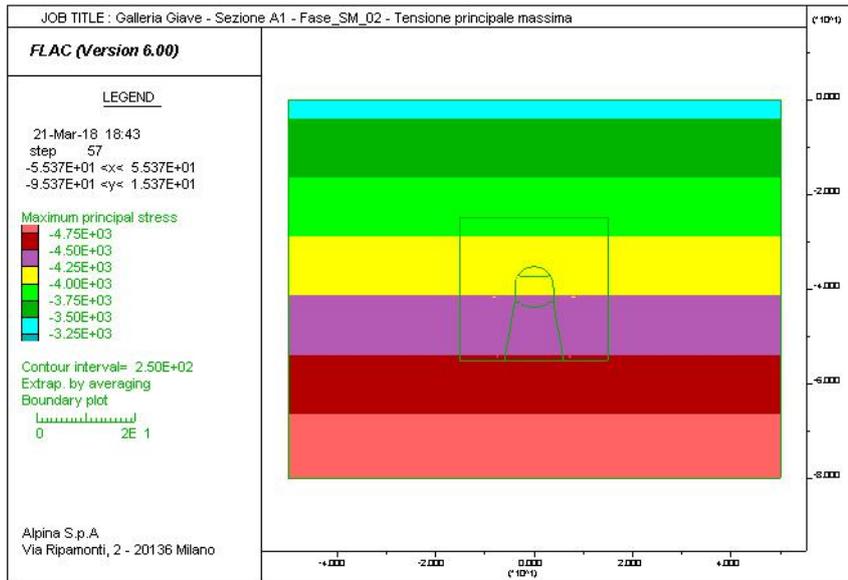
13.2.3.2 Sezione tipo A1 – Diagramma della tensione principale minima



VELOCIZZAZIONE LINEA SAN GAVINO - SASSARI – OLBIA
 VARIANTE DI BONORVA - TORRALBA

GALLERIA GIAVE – Relazione geotecnica e di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D 07 CL	GN 02 00 001	A	128 di 164



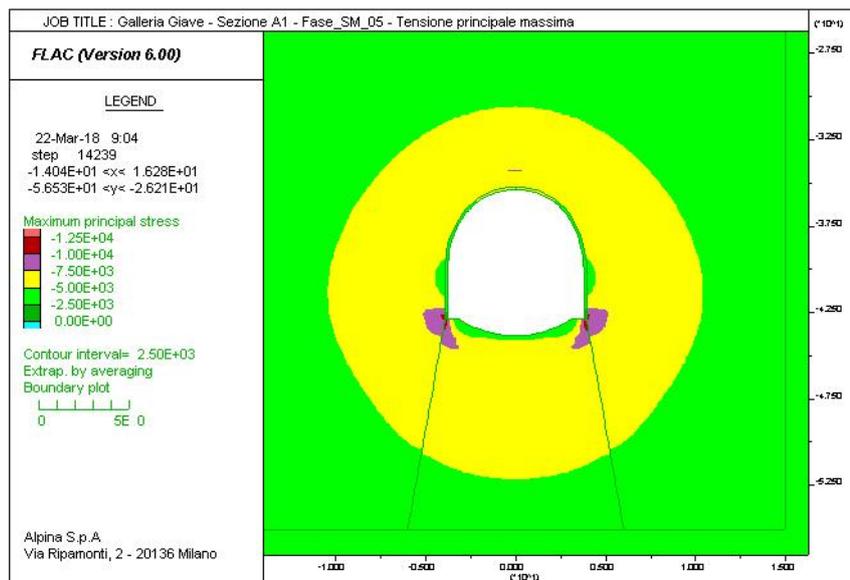
13.2.4 Rivestimento di prima fase (Fase_05)

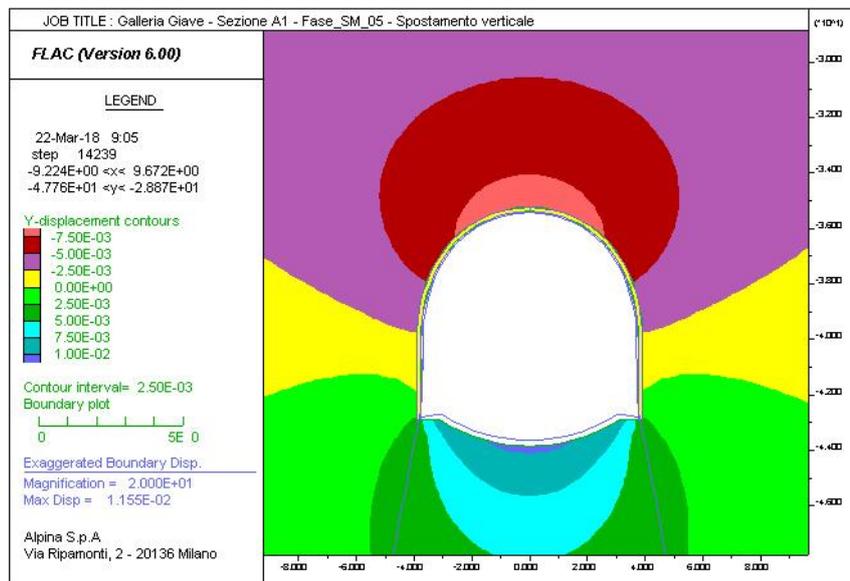
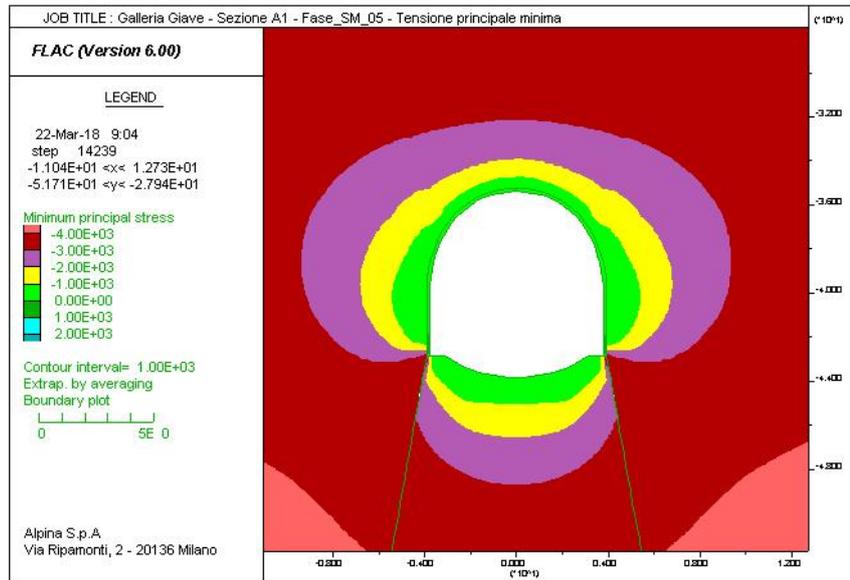
13.2.4.1 Sezione tipo A1 – Diagramma della tensione principale massima

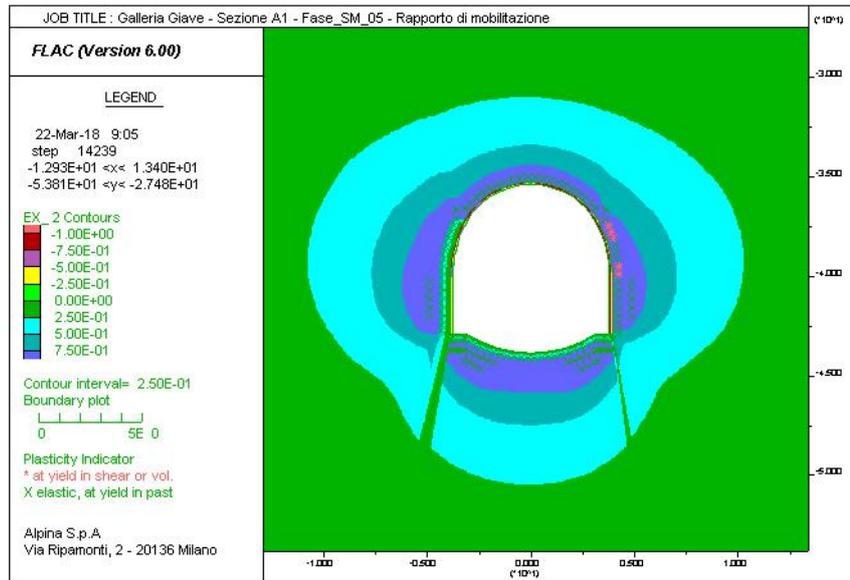
13.2.4.2 Sezione tipo A1 – Diagramma della tensione principale minima

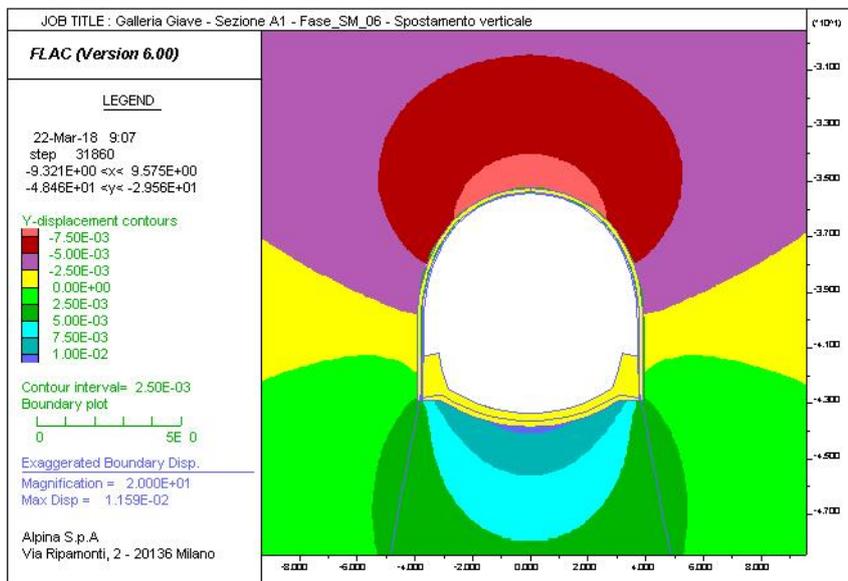
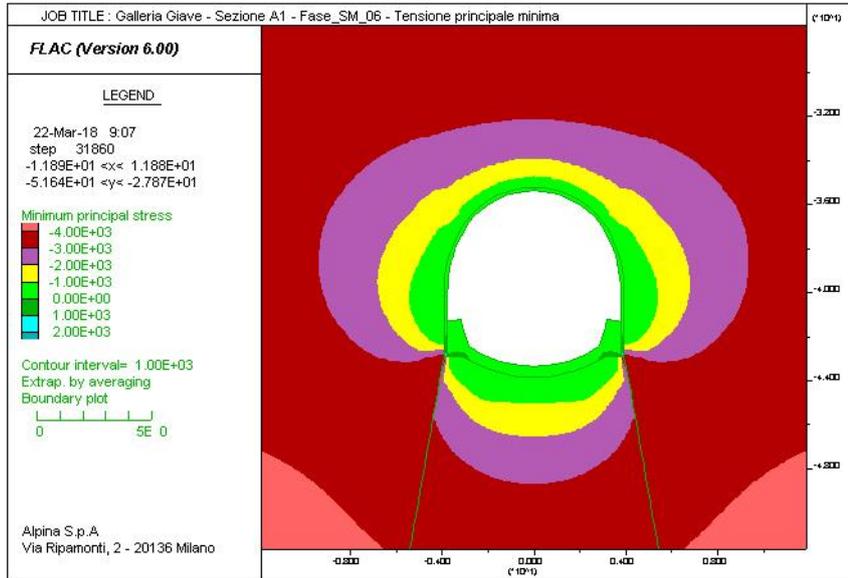
13.2.4.3 Sezione tipo A1 – Diagramma degli spostamenti verticali e deformata del modello

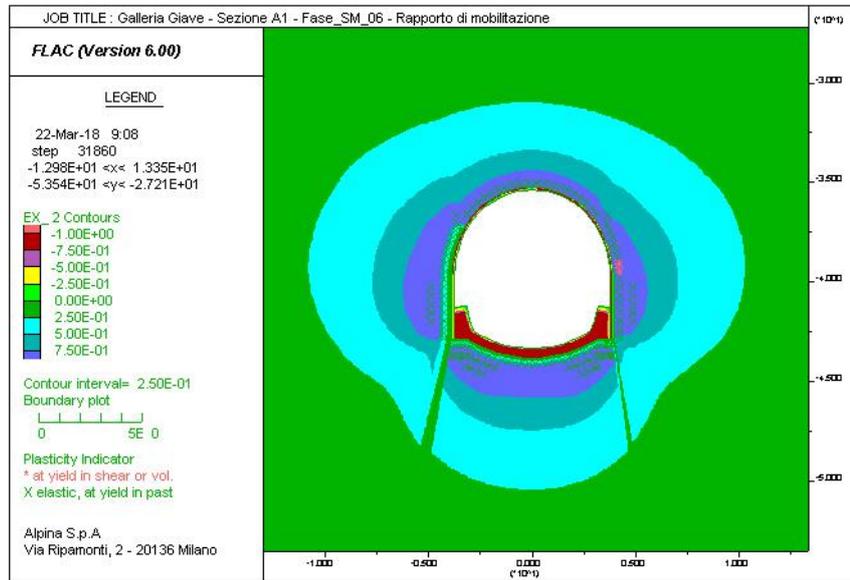
13.2.4.4 Sezione tipo A1 – Diagramma del rapporto di mobilitazione











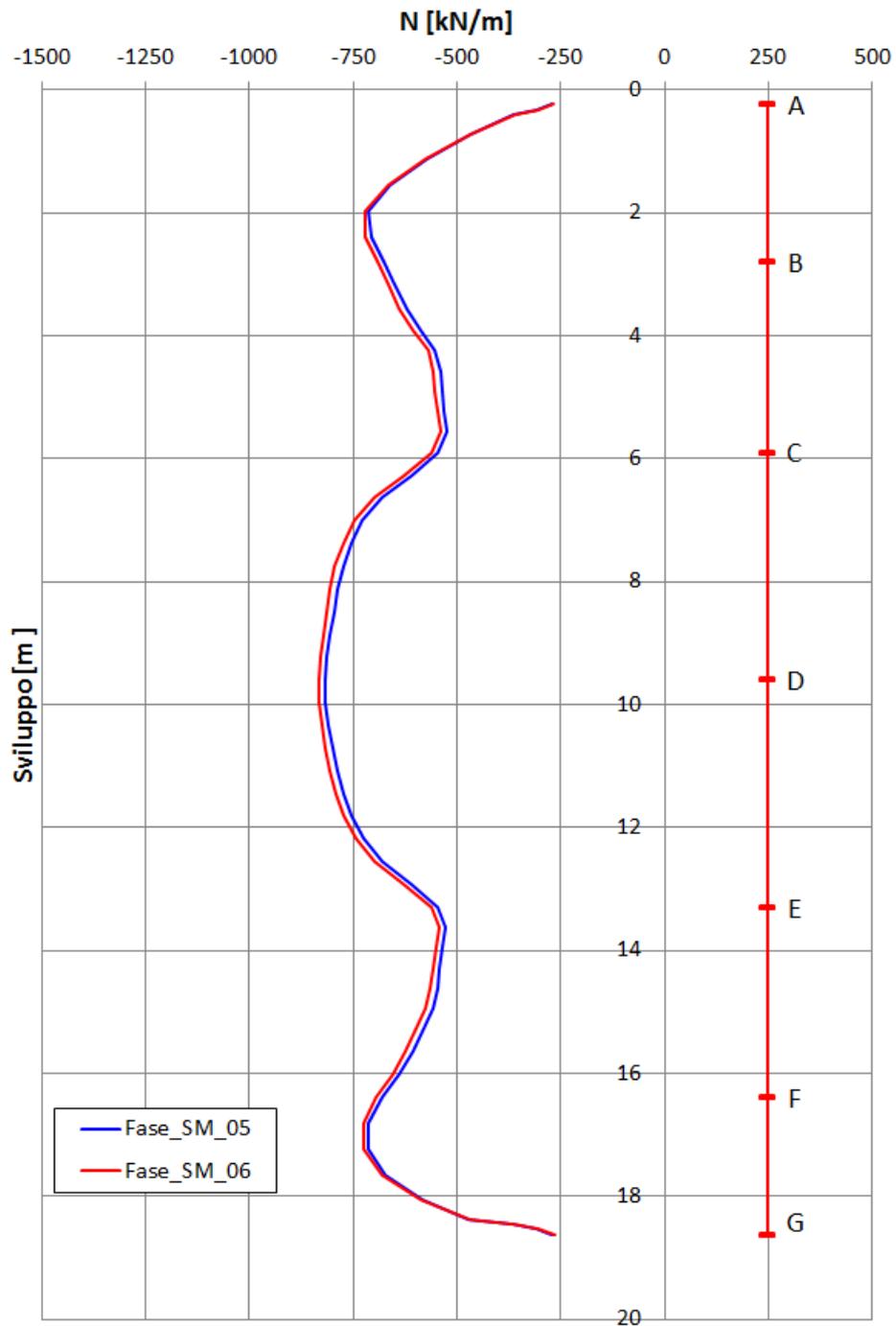
13.2.5 Rivestimento di prima fase – Diagrammi delle sollecitazioni (Fase_04 e Fase_05)

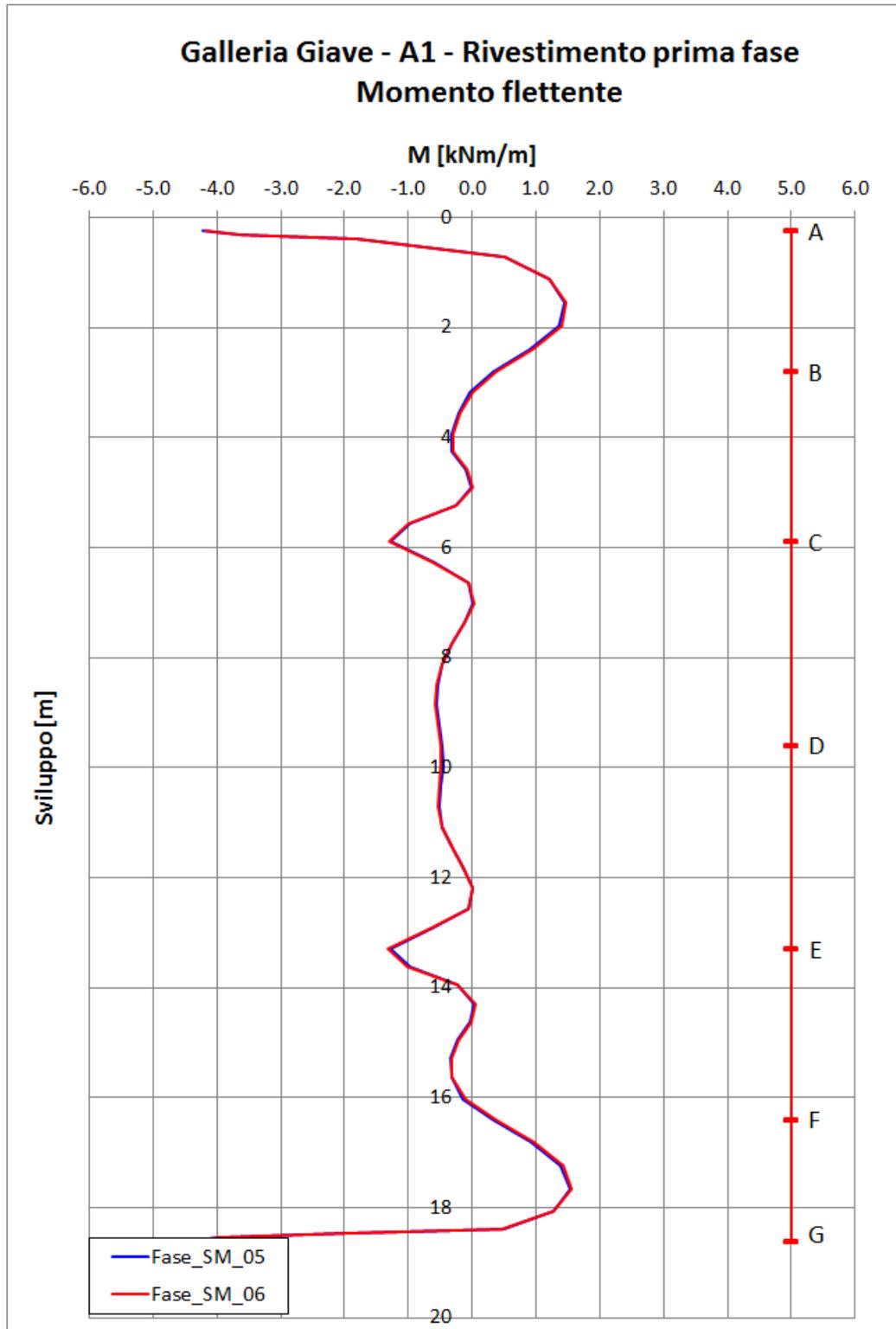
13.2.5.1 Sezione tipo A1 – Diagramma dello sforzo normale nel rivestimento di prima fase

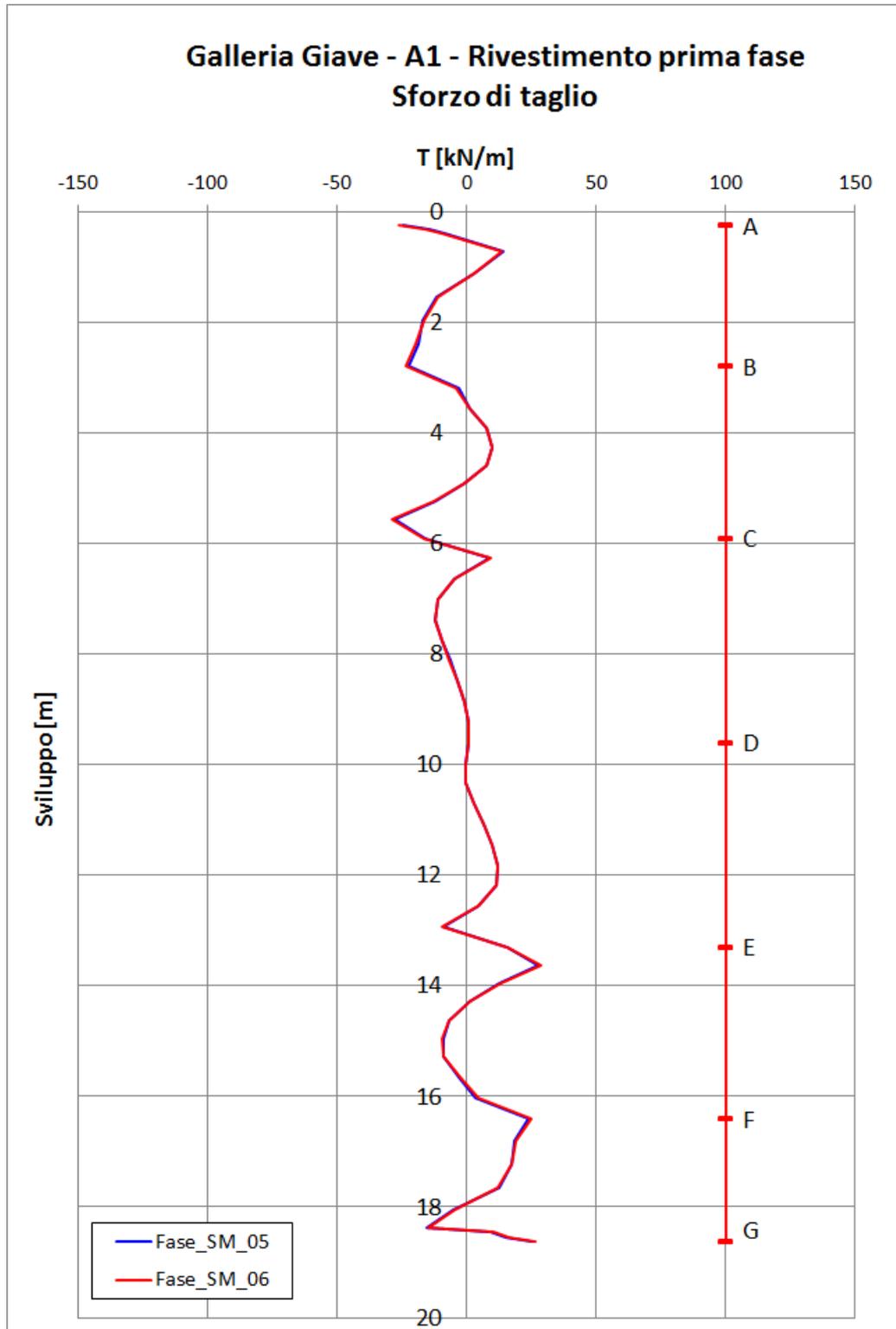
13.2.5.2 Sezione tipo A1 – Diagramma del momento flettente nel rivestimento di prima fase

13.2.5.3 Sezione tipo A1 – Diagramma dello sforzo di taglio nel rivestimento di prima fase

Galleria Giave - A1 - Rivestimento prima fase Sforzo normale







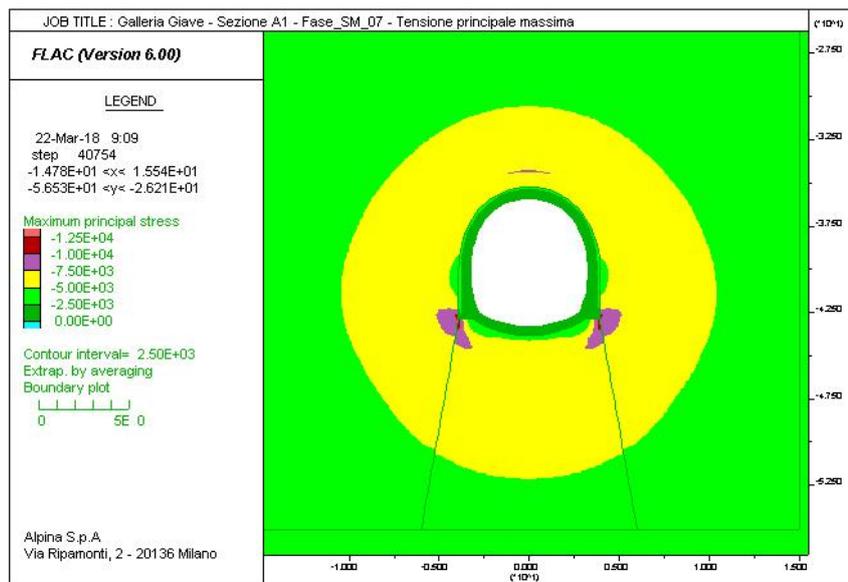
13.2.6 Rivestimento definitivo (Fase_07)

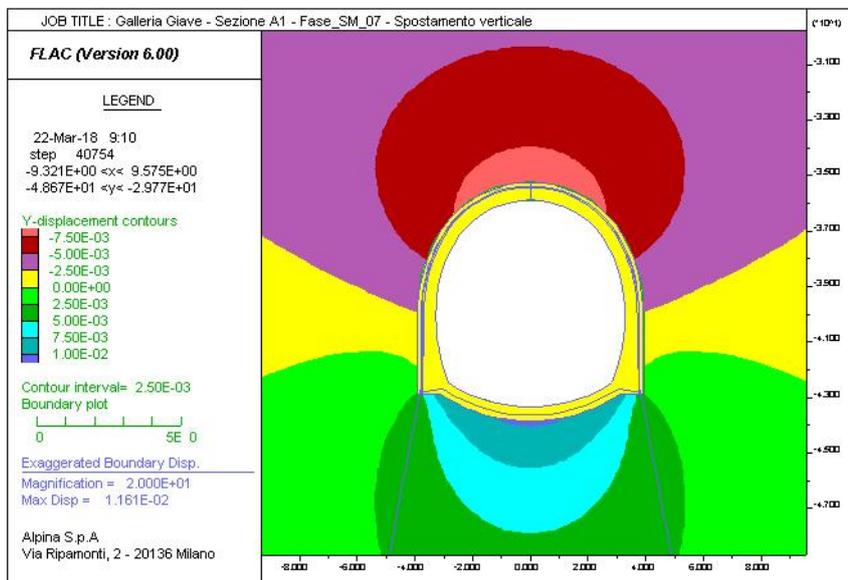
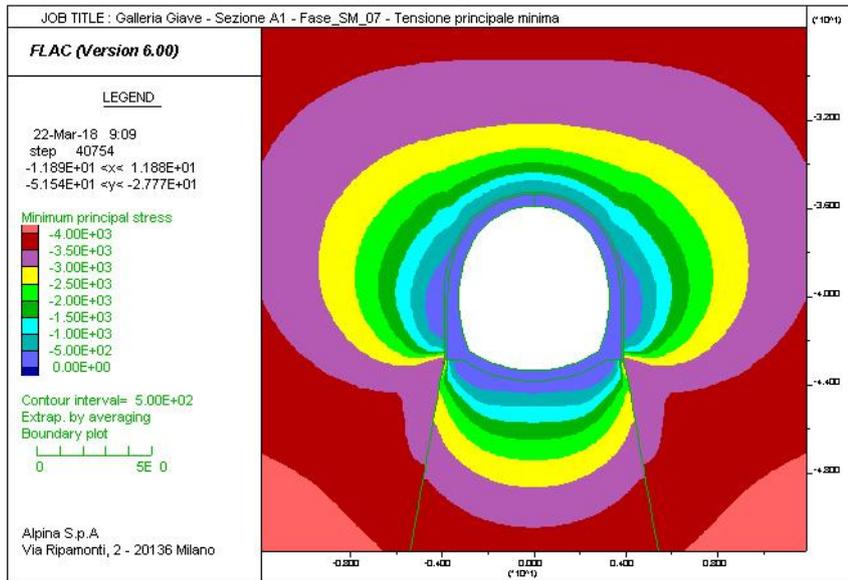
13.2.6.1 Sezione tipo A1 – Diagramma della tensione principale massima – lungo termine

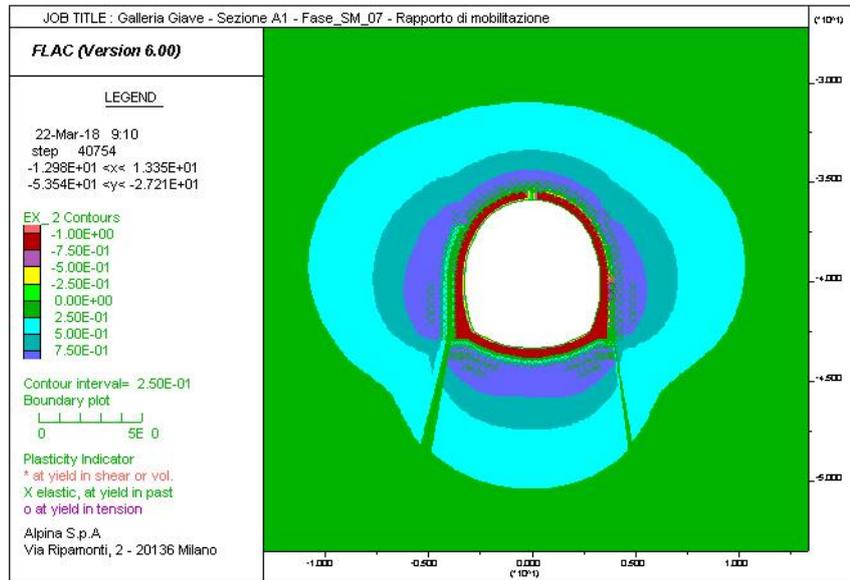
13.2.6.2 Sezione tipo A1 – Diagramma della tensione principale minima – lungo termine

13.2.6.3 Sezione tipo A1 – Diagramma degli spostamenti verticali e deformata del modello – lungo termine

13.2.6.4 Sezione tipo A1 – Diagramma del rapporto di mobilitazione – lungo termine







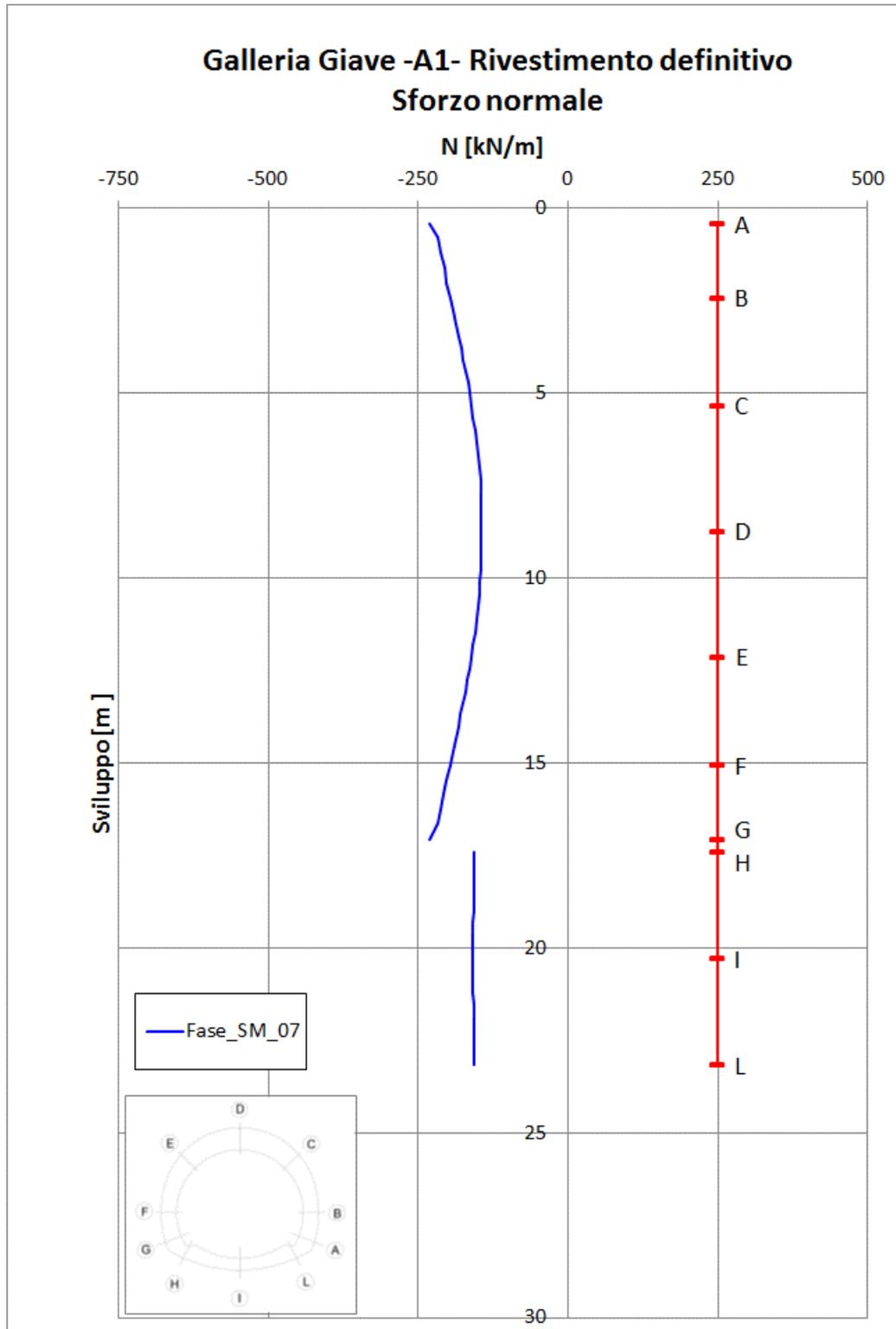
13.2.7 Rivestimento definitivo – Diagrammi delle sollecitazioni (Fase_07)

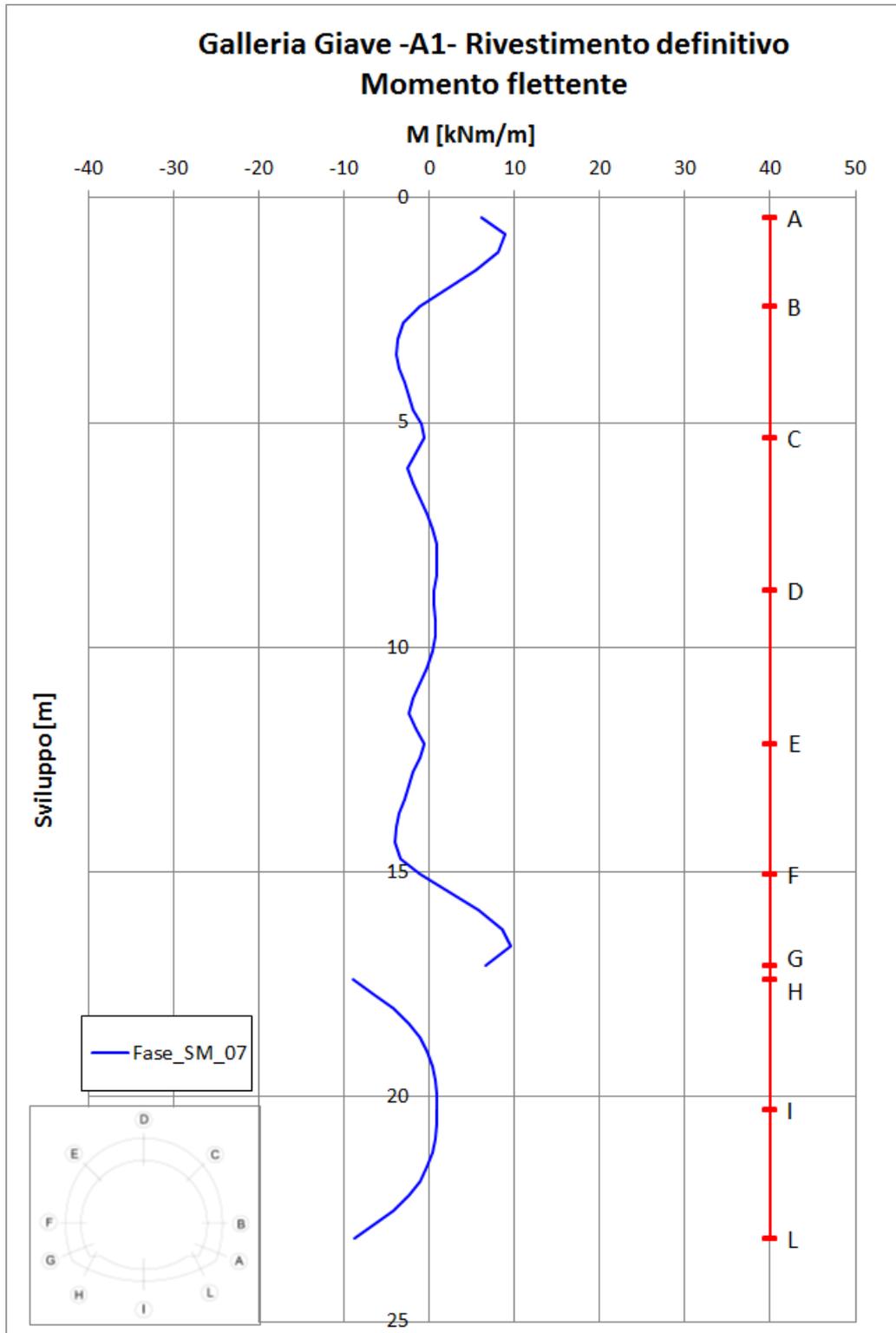
13.2.7.1 Sezione tipo A1 – Diagramma dello sforzo normale nel rivestimento definitivo

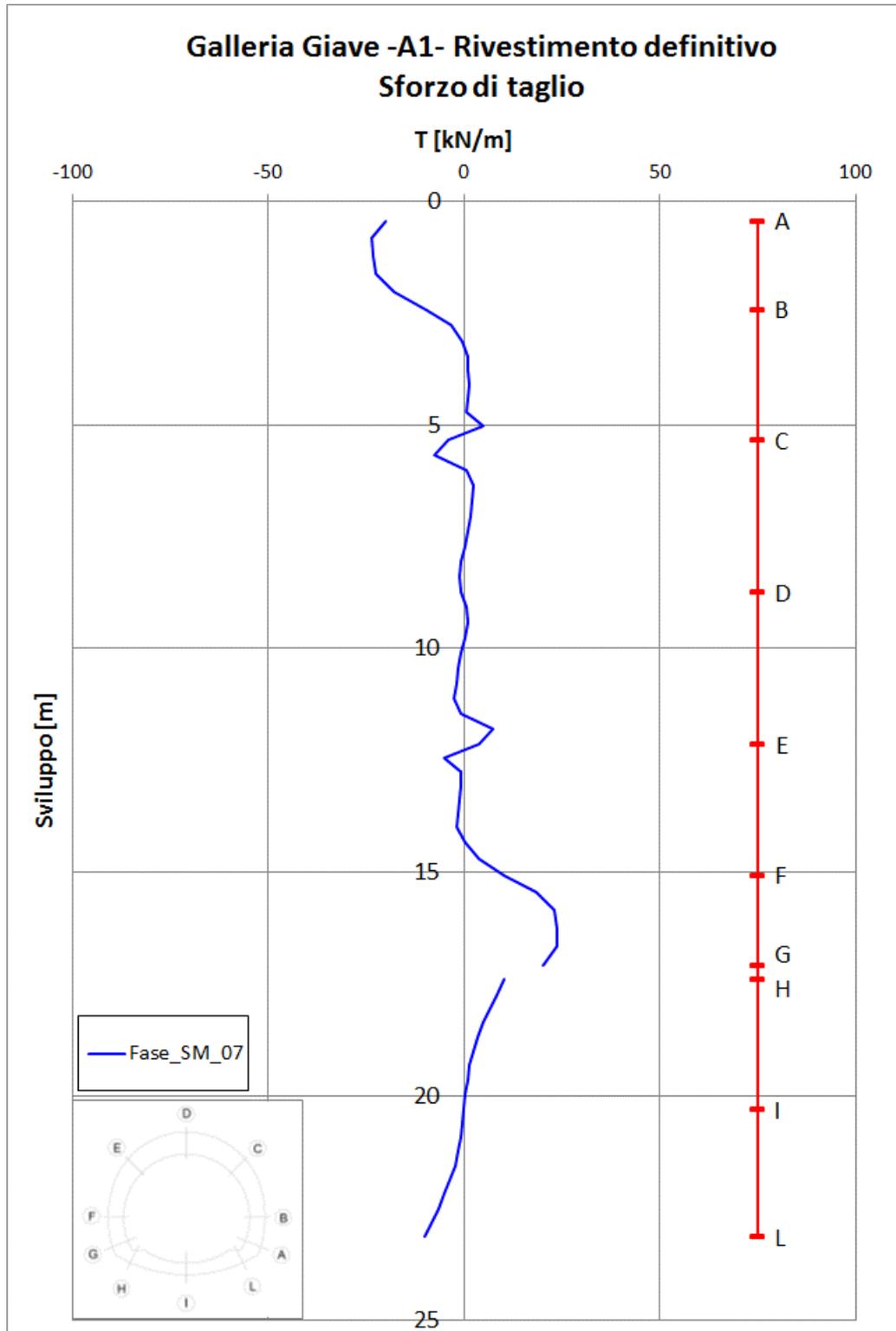
13.2.7.2 Sezione tipo A1 – Diagramma del momento flettente nel rivestimento definitivo

13.2.7.3 Sezione tipo A1 – Diagramma dello sforzo di taglio nel rivestimento definitivo

13.2.7.4 Sezione tipo A1 – Diagramma dello sforzo normale nel rivestimento definitivo





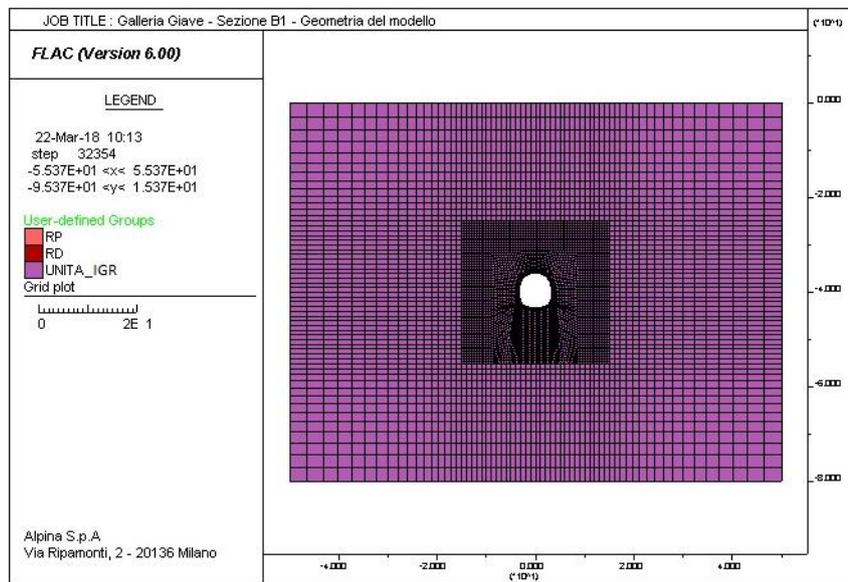


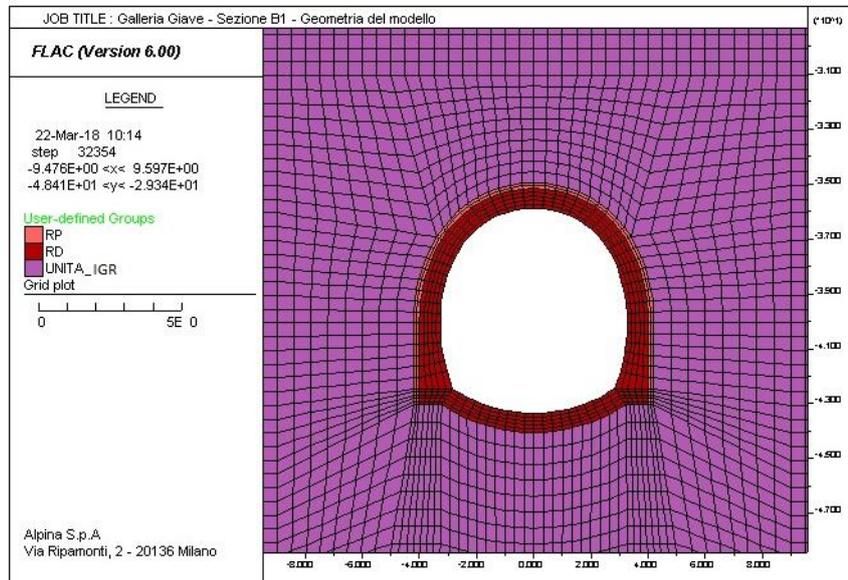
13.3 Sezione B1: risultati dell'analisi numerica

13.3.1 Modello generale

13.3.1.1 Sezione tipo B1 – Geometria del modello

13.3.1.2 Sezione tipo B1 – Dettaglio della suddivisione in zone





13.3.2 Scavo e costruzione graduale per fasi

13.3.2.1 Sezione tipo B1 – Fase 02

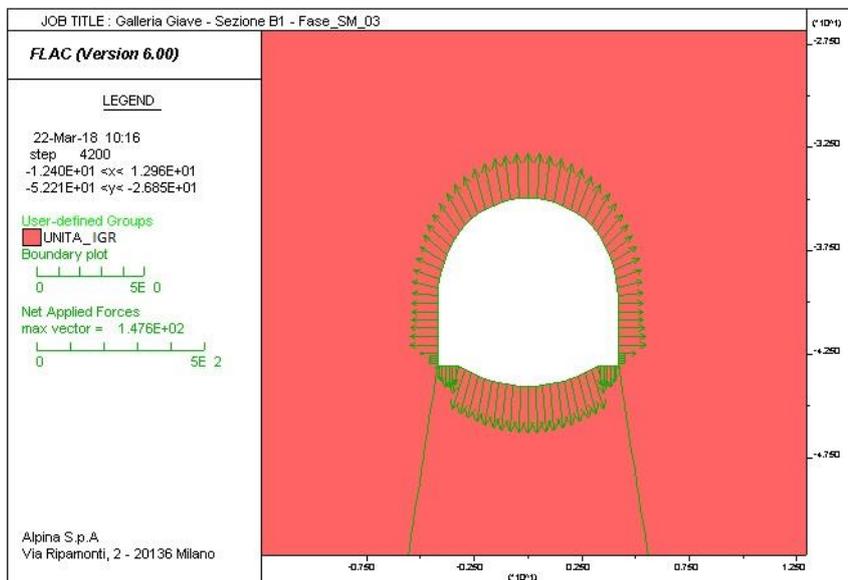
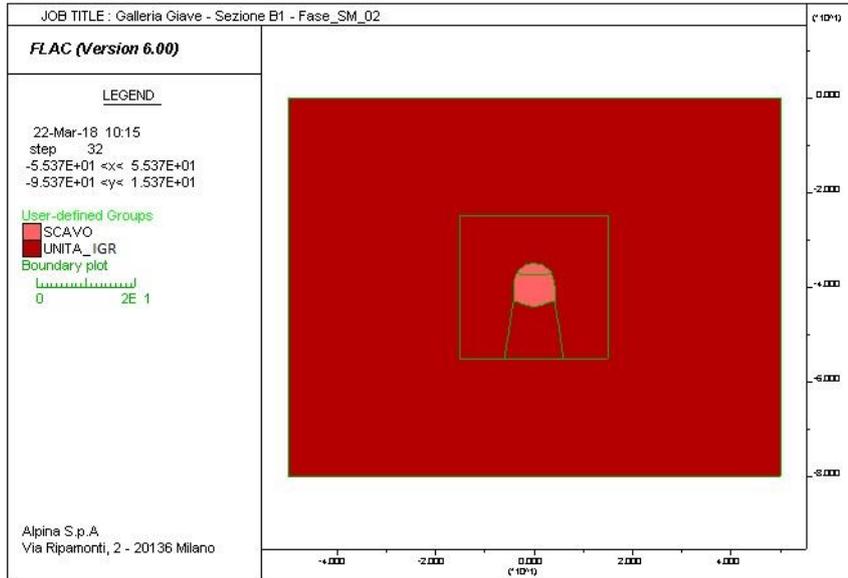
13.3.2.2 Sezione tipo B1 – Fase 03

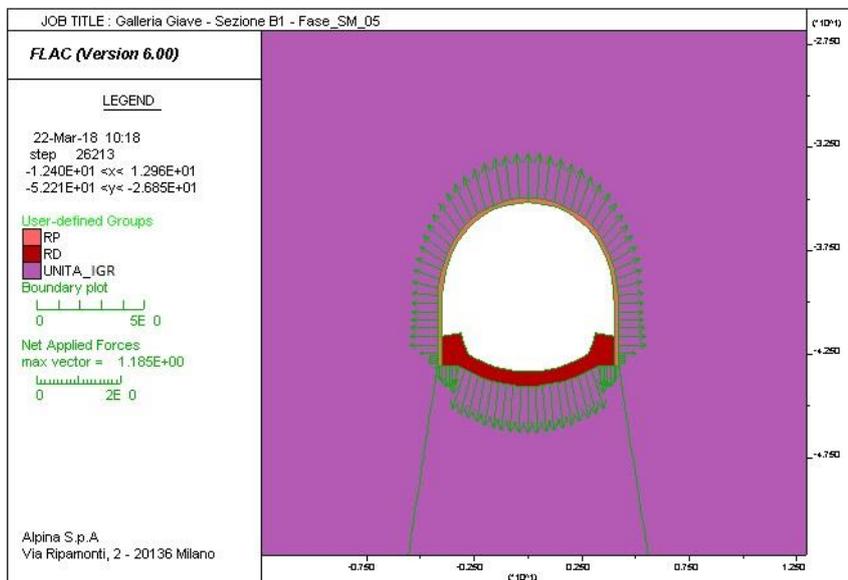
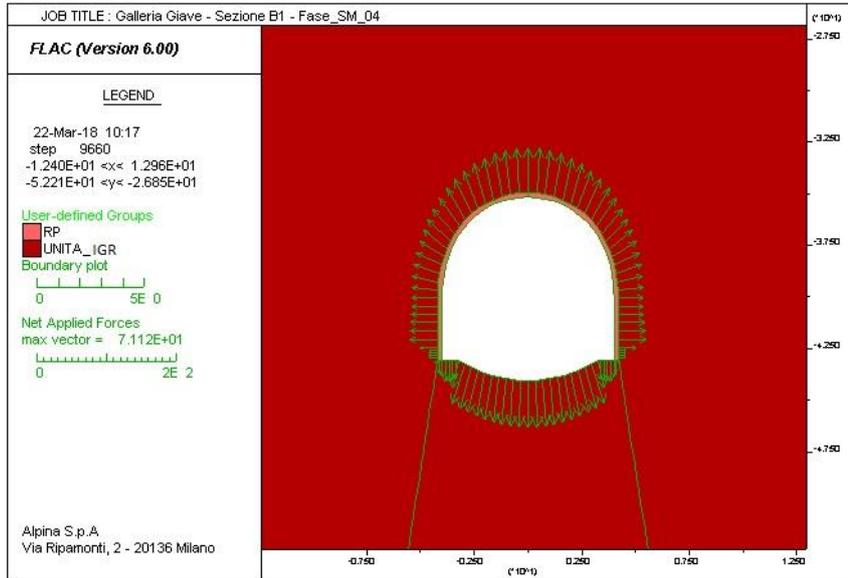
13.3.2.3 Sezione tipo B1 – Fase 04

13.3.2.4 Sezione tipo B1 – Fase 05

13.3.2.5 Sezione tipo B1 – Fase 06

13.3.2.6 Sezione tipo B1 – Fase 07



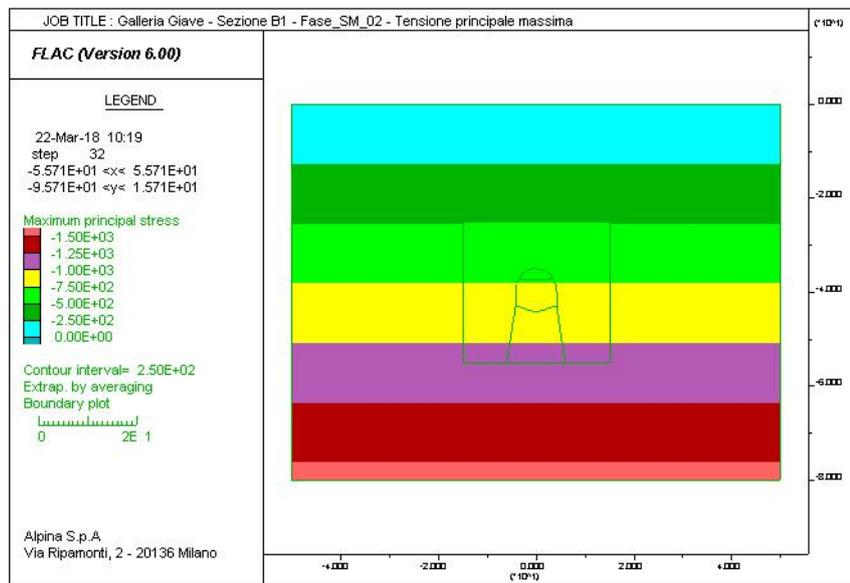


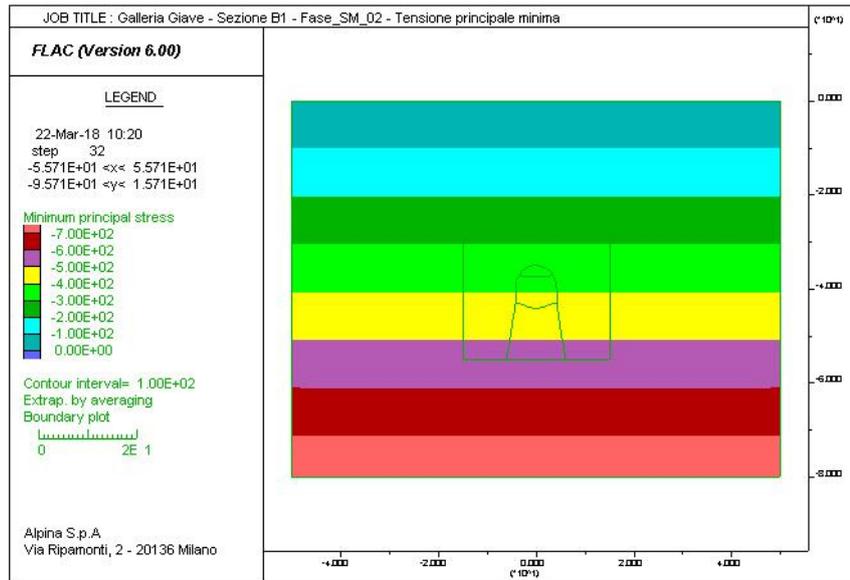


13.3.3 Condizioni precedenti alla realizzazione della galleria (Fase_02)

13.3.3.1 Sezione tipo B1 – Diagramma della tensione principale massima

13.3.3.2 Sezione tipo B1 – Diagramma della tensione principale minima





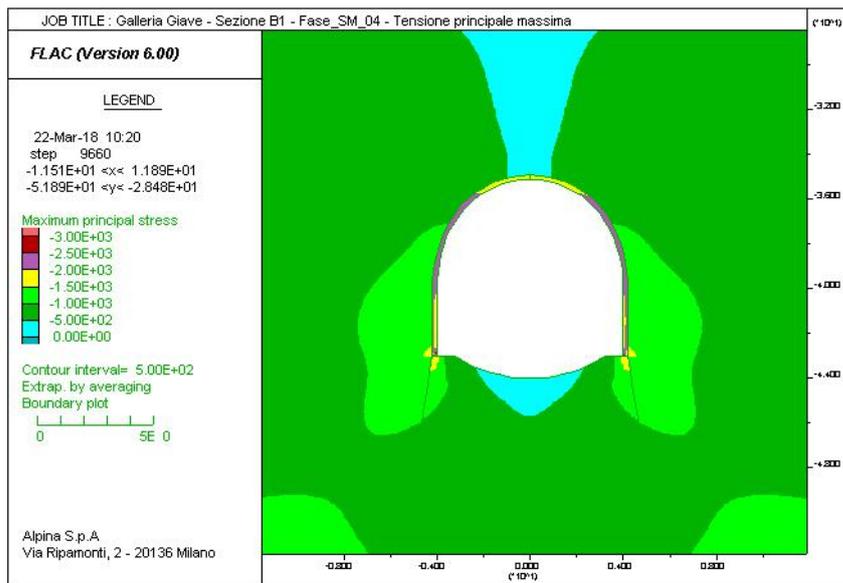
13.3.4 Rivestimento di prima fase (Fase_04)

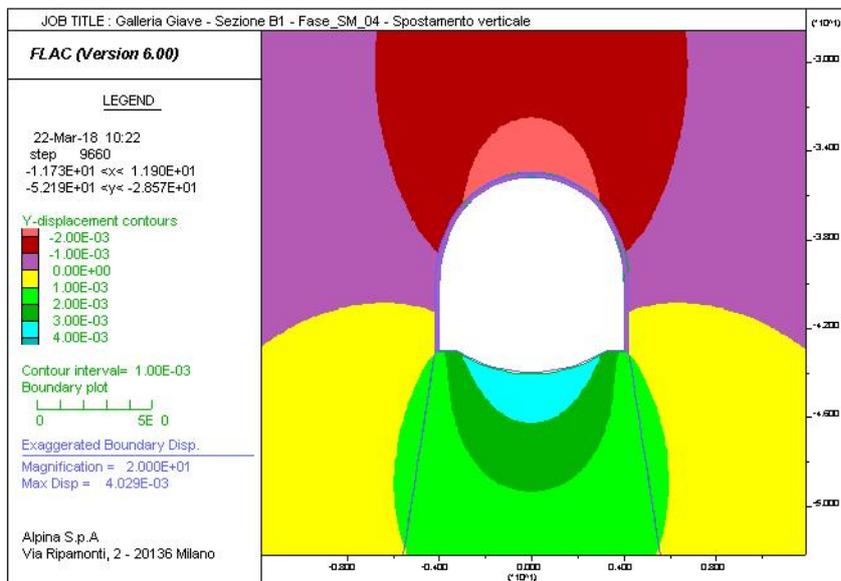
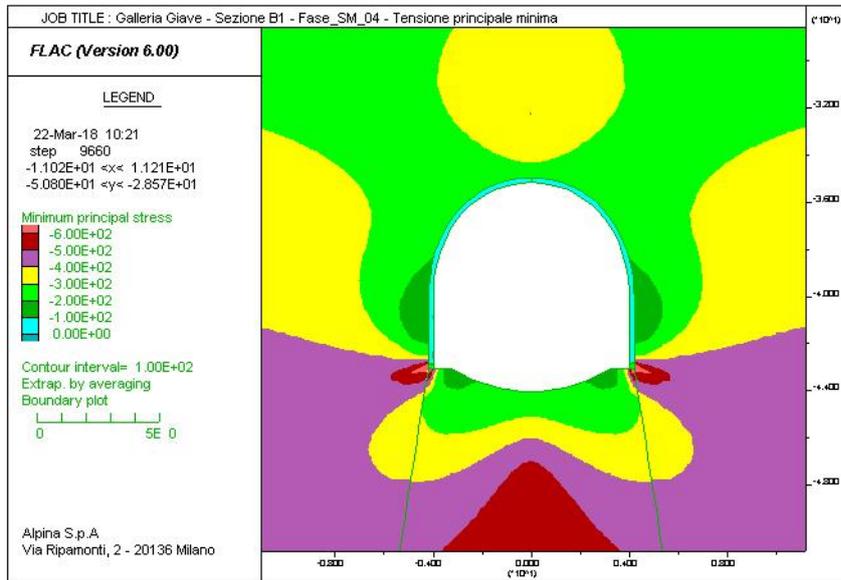
13.3.4.1 Sezione tipo B1 – Diagramma della tensione principale massima

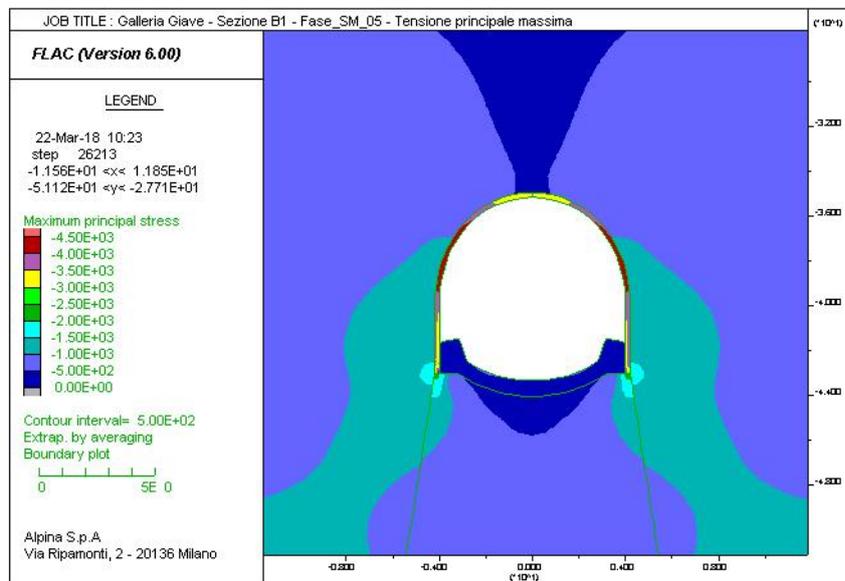
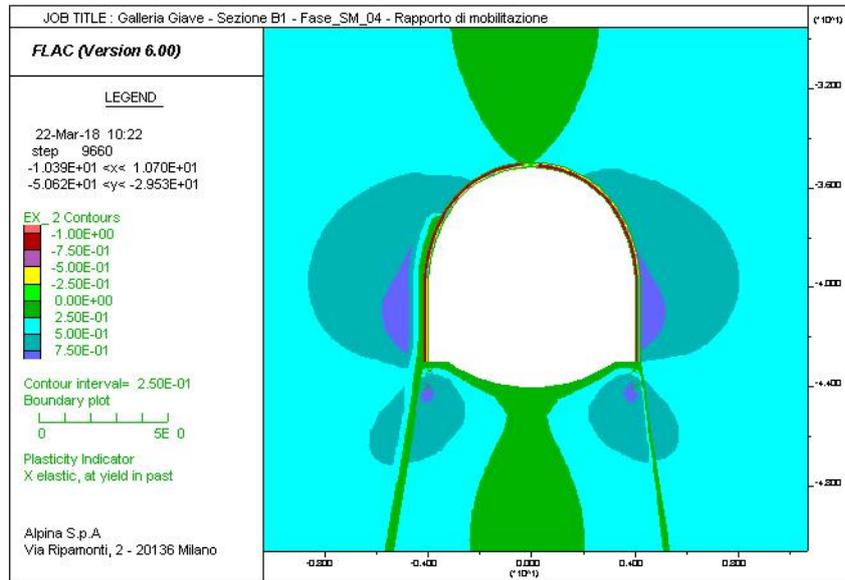
13.3.4.2 Sezione tipo B1 – Diagramma della tensione principale minima

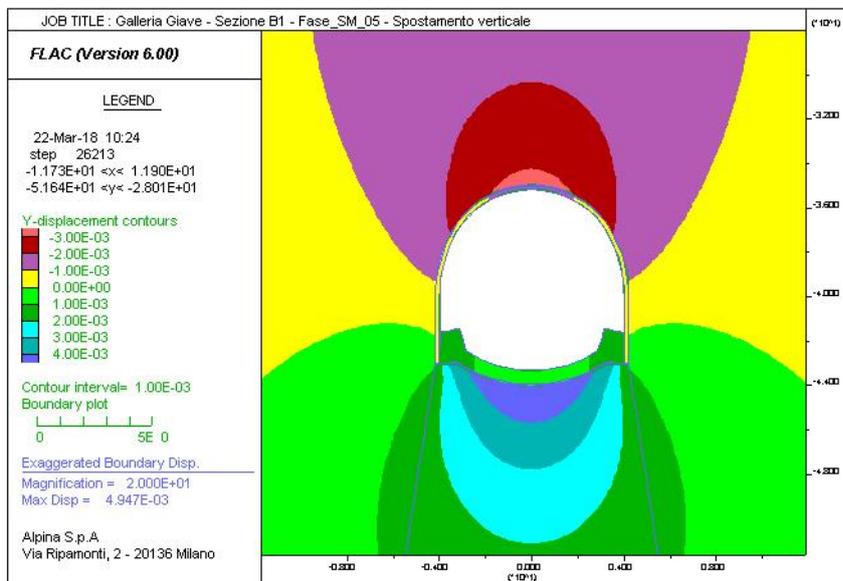
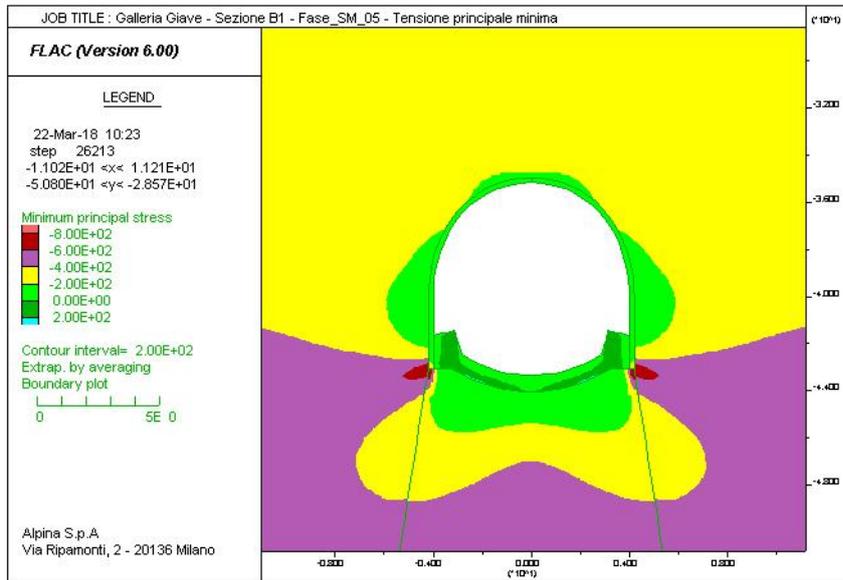
13.3.4.3 Sezione tipo B1 – Diagramma degli spostamenti verticali e deformata del modello

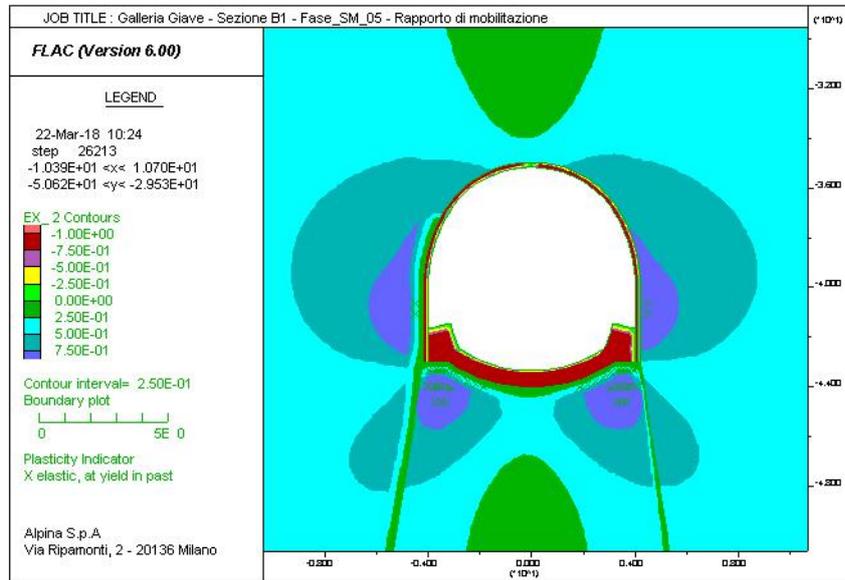
13.3.4.4 Sezione tipo B1 – Diagramma del rapporto di mobilitazione









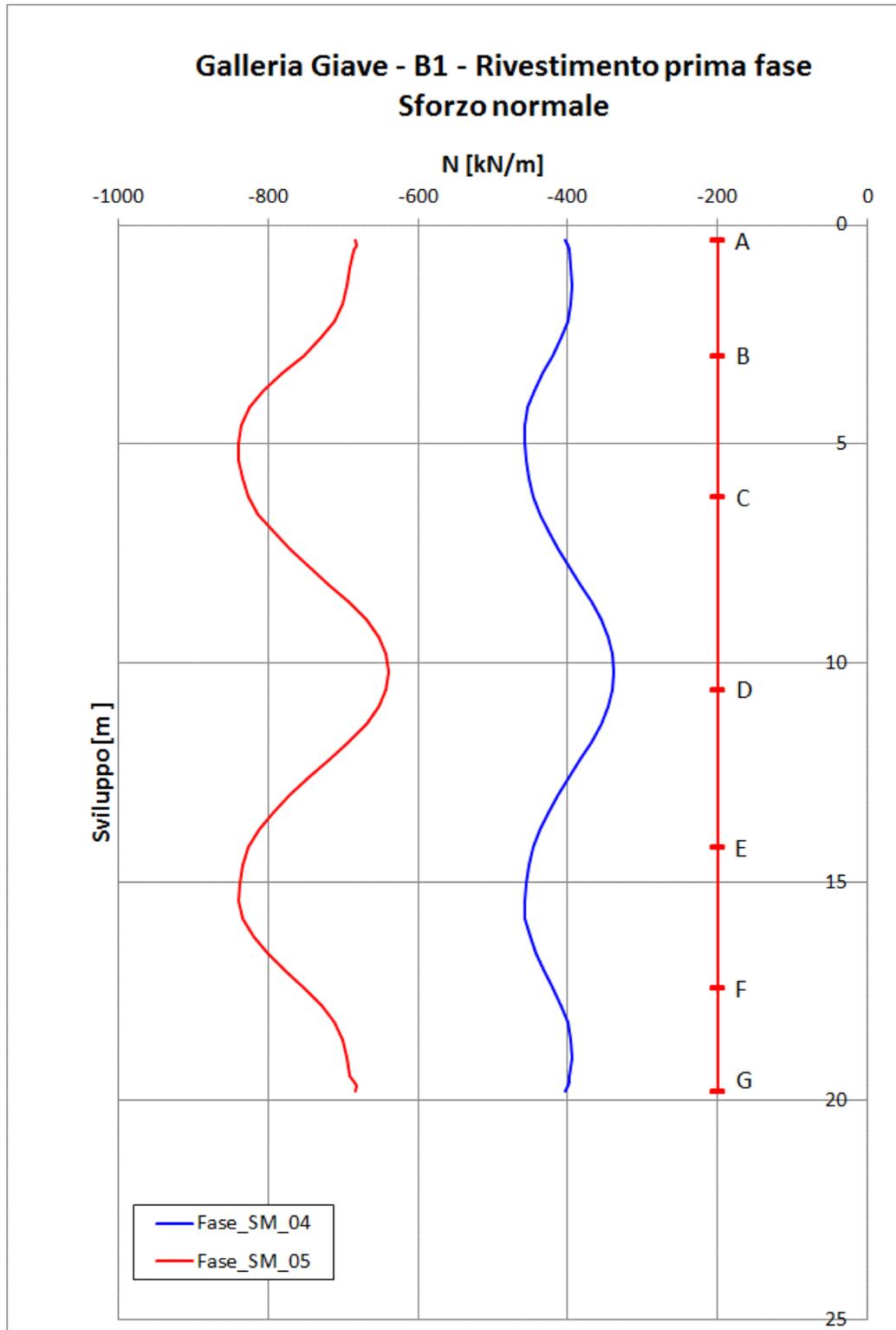


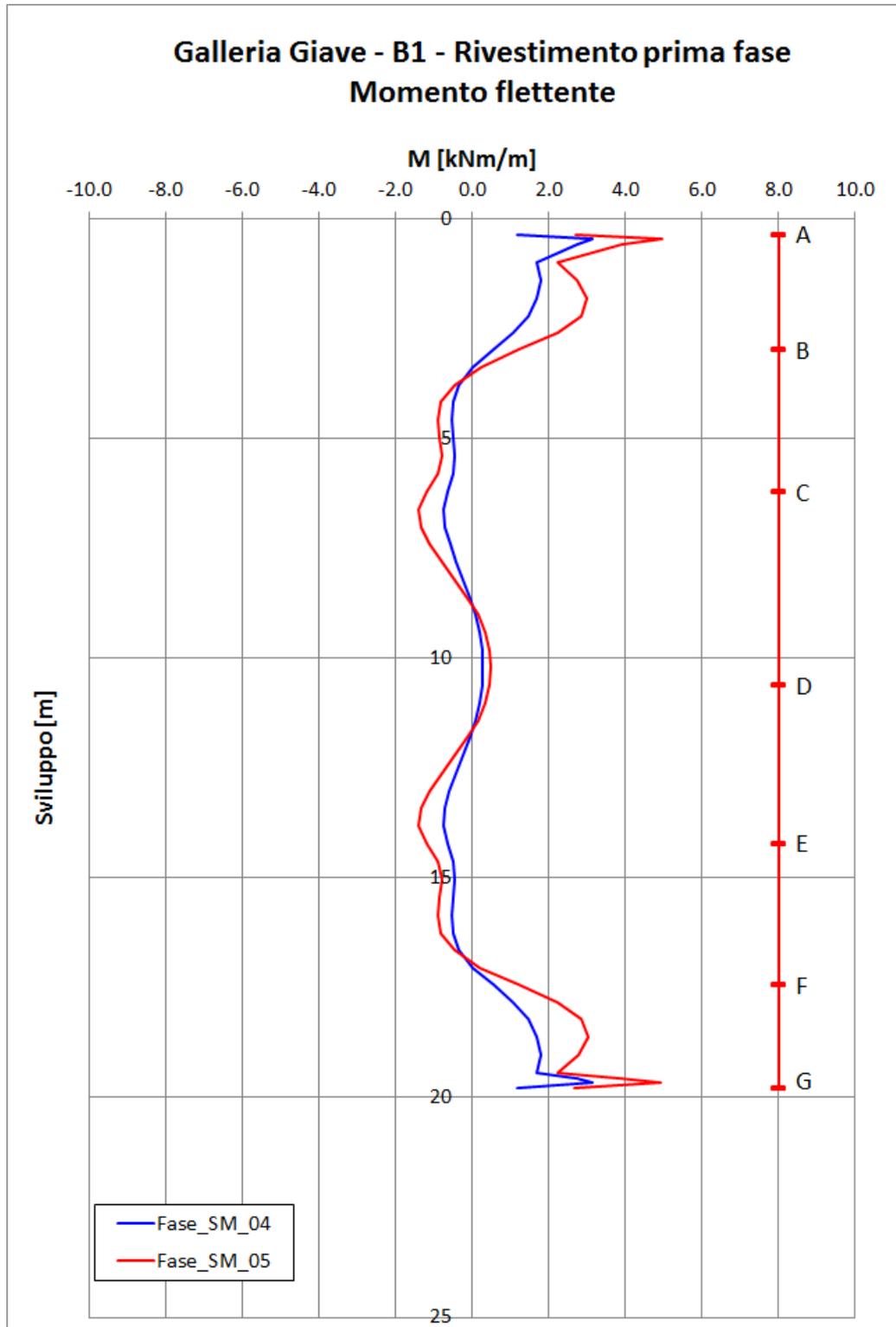
13.3.5 Rivestimento di prima fase – Diagrammi delle sollecitazioni (Fase_04 e Fase_05)

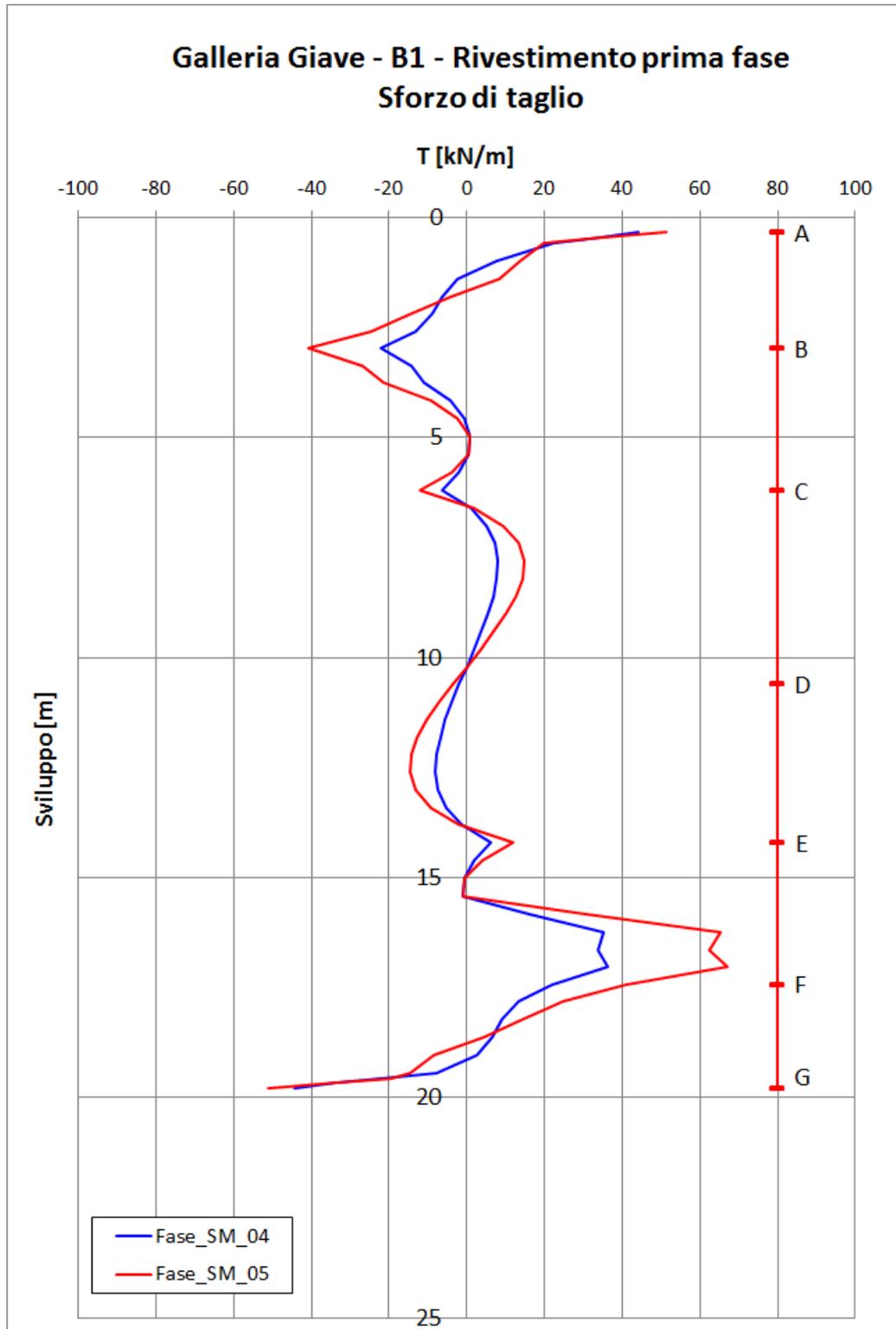
13.3.5.1 Sezione tipo B1 – Diagramma dello sforzo normale nel rivestimento di prima fase

13.3.5.2 Sezione tipo B1 – Diagramma del momento flettente nel rivestimento di prima fase

13.3.5.3 Sezione tipo B1 – Diagramma dello sforzo di taglio nel rivestimento di prima fase







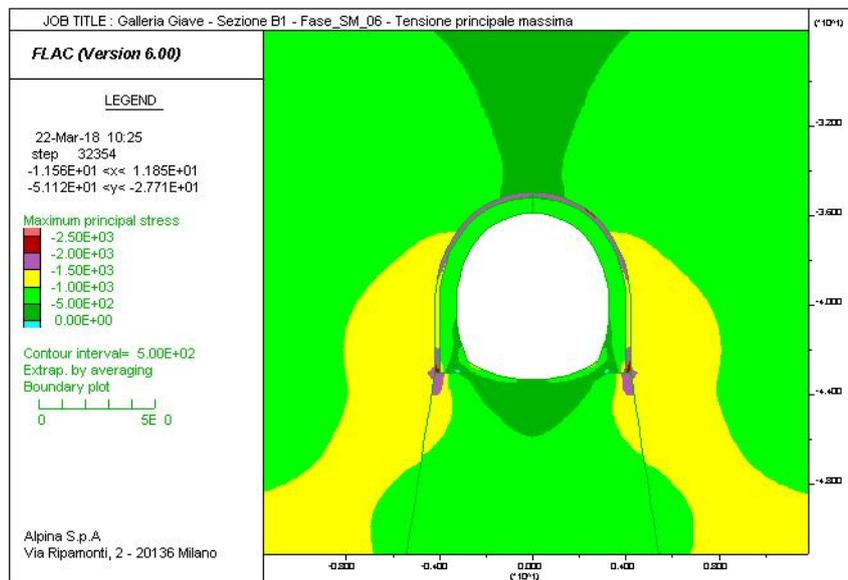
13.3.6 Rivestimento definitivo (Fase_06)

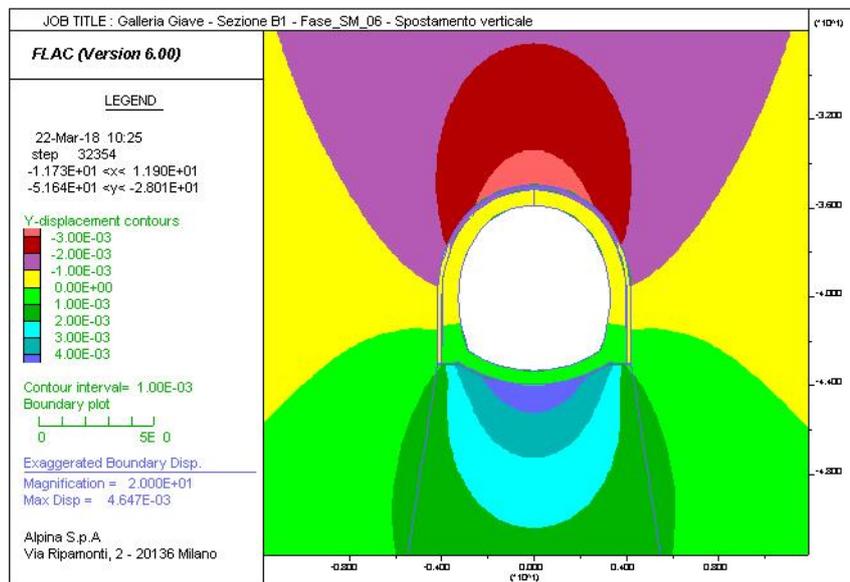
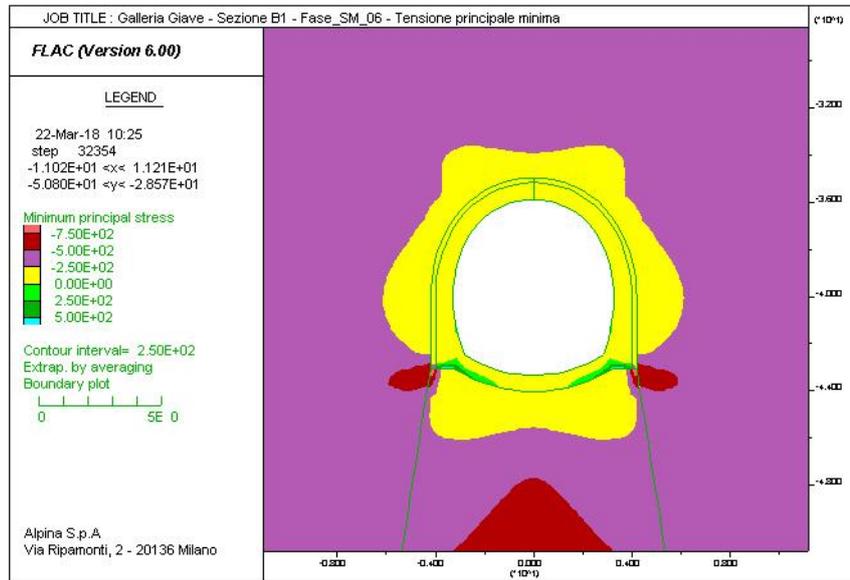
13.3.6.1 Sezione tipo B1 – Diagramma della tensione principale massima – lungo termine

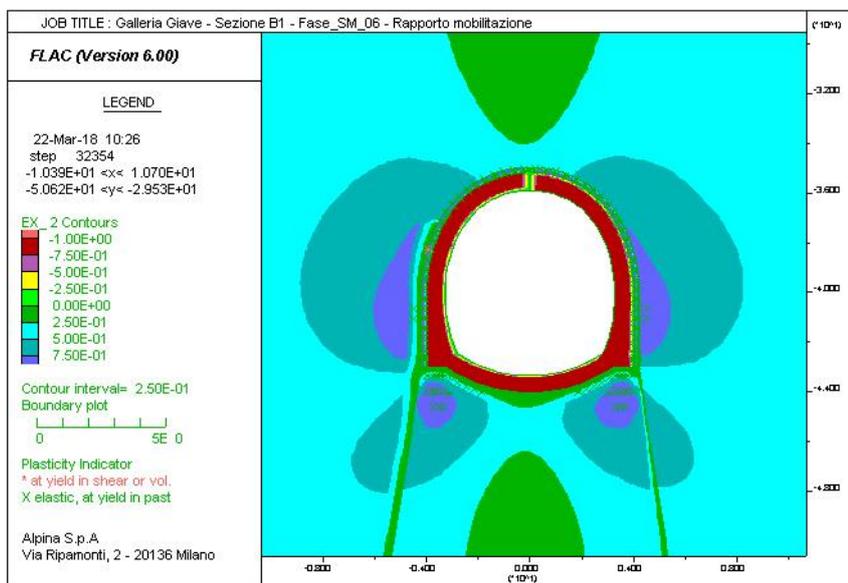
13.3.6.2 Sezione tipo B1 – Diagramma della tensione principale minima – lungo termine

13.3.6.3 Sezione tipo B1 – Diagramma degli spostamenti verticali e deformata del modello – lungo termine

13.3.6.4 Sezione tipo B1 – Diagramma del rapporto di mobilitazione – lungo termine







13.3.7 Rivestimento definitivo – Diagrammi delle sollecitazioni (Fase_06)

13.3.7.1 Sezione tipo B1 – Diagramma dello sforzo normale nel rivestimento definitivo

13.3.7.2 Sezione tipo B1 – Diagramma del momento flettente nel rivestimento definitivo

13.3.7.3 Sezione tipo B1 – Diagramma dello sforzo di taglio nel rivestimento definitivo

13.3.7.4 Sezione tipo B1 – Diagramma dello sforzo normale nel rivestimento definitivo

