

COMMITTENTE



PROGETTAZIONE:



DIREZIONE TECNICA

U.O. GALLERIE

PROGETTO DEFINITIVO

VELOCIZZAZIONE LINEA SAN GAVINO – SASSARI – OLBIA

Variante di Bonorva Terralba

Galleria Monte Martis - Relazione geotecnica e di calcolo

SCALA:

-

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

RR0H 04 D 07 CL GN0100 001 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	A. Amato <i>[Signature]</i>	Marzo 2018	H. Mohamed Dahir <i>[Signature]</i>	Marzo 2018	T. Paoletti <i>[Signature]</i>	Marzo 2018	A. Sciotti Marzo 2018 <i>[Signature]</i>

ITALFERR S.p.A.  
U.O. GALLERIE  
Cont. Ing. Alessandra Sciotti  
Oggetto: cavigli Impiegati di Roma  
n° 198/18

File RR0H01D07CLGN000001A

n. Elab 414

**INDICE**

1	PREMESSA .....	4
2	SCOPO E CONTENUTI DEL DOCUMENTO .....	4
3	NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	5
3.1	LEGGI E NORMATIVE COGENTI .....	5
3.2	NORMATIVE NON COGENTI E RACCOMANDAZIONI .....	5
3.3	PRESCRIZIONI E SPECIFICHE TECNICHE (RFI, ITF) .....	5
4	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....	5
4.1	DOCUMENTI REFERENZIATI .....	5
4.2	DOCUMENTI CORRELATI.....	7
4.3	DOCUMENTI SUPERATI.....	7
5	ALLEGATI .....	7
6	DOCUMENTI PRODOTTI A SUPPORTO .....	7
7	DESCRIZIONE DELL'OPERA .....	9
7.1	IL TRACCIATO E LE OPERE IN SOTTERRANEO .....	9
7.2	INTERFERENZE LUNGO IL TRACCIATO .....	9
8	FASE CONOSCITIVA .....	10
8.1	INQUADRAMENTO GEOLOGICO.....	10
	8.1.1 Unità vulcanico oligo-miocenico.....	10
	8.1.2 Successione continentale quaternaria .....	10
	8.1.3 Prove di laboratorio.....	12
	8.1.4 Indagini geofisiche .....	12
8.2	CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA .....	12
	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DELLA FORMAZIONE DELLE IGNIMBRITI (IGR).....	12
	8.2.1 Riepilogo dei parametri geotecnici di progetto.....	22
8.3	IL REGIME IDRAULICO .....	23
14	FASE DI VERIFICA E MESSA A PUNTO DEL PROGETTO.....	61

GALLERIA MONTE MARTIS – Relazione geotecnica e di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D 07 CL	GN 01 00 001	A	3 di 132

14.1	MONITORAGGIO IN CORSO D'OPERA.....	61
14.2	CRITERI GENERALI PER L'APPLICAZIONE DELLE SEZIONI TIPO.....	63

## 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 Monte Martis 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 Giave.

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 Monte Martis. 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.

	<b>VELOCIZZAZIONE LINEA SAN GAVINO - SASSARI – OLBIA VARIANTE DI BONORVA - TORRALBA</b>					
<b>GALLERIA MONTE MARTIS – Relazione geotecnica e di calcolo</b>	<b>COMMESSA</b> RR0H	<b>LOTTO</b> 04	<b>CODIFICA</b> D 07 CL	<b>DOCUMENTO</b> GN 01 00 001	<b>REV.</b> A	<b>FOGLIO</b> 5 di 132

### 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 sottterraneo”, 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 sottterraneo” datato Marzo 2018;
- Rif. [14] U.O. Geologia, Gestione Terre e Bonifiche, documento RR0H04D69RGGE0001001A “Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica” datato Marzo 2018;



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

GALLERIA MONTE MARTIS – Relazione geotecnica e di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D 07 CL	GN 01 00 001	A	6 di 132

- 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

## 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;

- 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

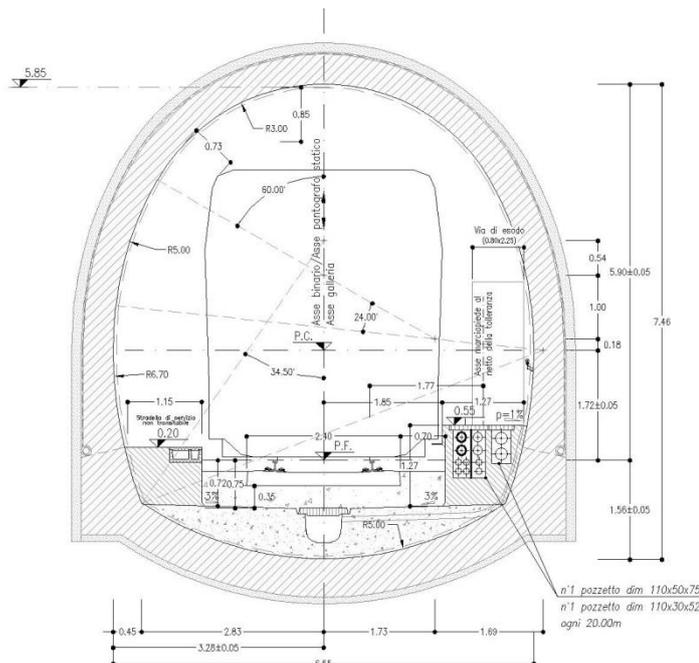
### 7.1 Il tracciato e le opere in sotterraneo

La lunghezza totale dalla variante è di circa 6.7 km e si sviluppa in sotterraneo per una lunghezza complessiva di circa 2,5 km, mediante due gallerie naturali a singolo binario denominata Monte Martis e Giave.

La galleria di linea Monte Martis ha una lunghezza complessiva di circa 935 m, di cui circa 30 m in artificiale e 905 m in naturale

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

La galleria ha sezione policentrica con raggio di calotta e piedritti pari a 5,40 metri (con semi-apertura angolare pari a 120,50°). Tale sezione sviluppa un'area libera di poco superiore ai 66 m<sup>2</sup> e un perimetro pari a quasi 32 metri come previsto dal Manuale di Progettazione RFI (Rif. [10]).



**Figura 1 - Sezione di intradosso galleria di linea e gallerie artificiali policentriche (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.

	<b>VELOCIZZAZIONE LINEA SAN GAVINO - SASSARI – OLBIA</b> <b>VARIANTE DI BONORVA - TORRALBA</b>					
<b>GALLERIA MONTE MARTIS – Relazione geotecnica e di calcolo</b>	<b>COMMESSA</b> <b>RR0H</b>	<b>LOTTO</b> <b>04</b>	<b>CODIFICA</b> <b>D 07 CL</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>GN 01 00 001</b>	<b>REV.</b> <b>A</b>	<b>FOGLIO</b> <b>10 di 132</b>

## 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 sottoterraneo.

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 rinvencono diffuse pomice 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 rinvencono 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 rinvencono 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 rinvencono 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 rinvencono 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 2017 (“*Progettazione definitiva Velocizzazione linea San Gavino - Sassari – Olbia Variante di Bauladu*”).

sono state realizzate le seguenti indagini:

- n. 8 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 <i>m</i> <i>s.l.m.</i>	Strumentazione	Profondità <i>m</i>	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'Unita delle Ignimbriti è costituita da Ignimbriti a grana fine, a struttura massiva ed omogenea, con rari vacuoli (vedi Figura 2. Formazione IGR – Sondaggio S7 da 15 m a 20 m.).



**Figura 2. 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 3. IGR – Peso dell'unità di volume Figura 3), 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 5 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.

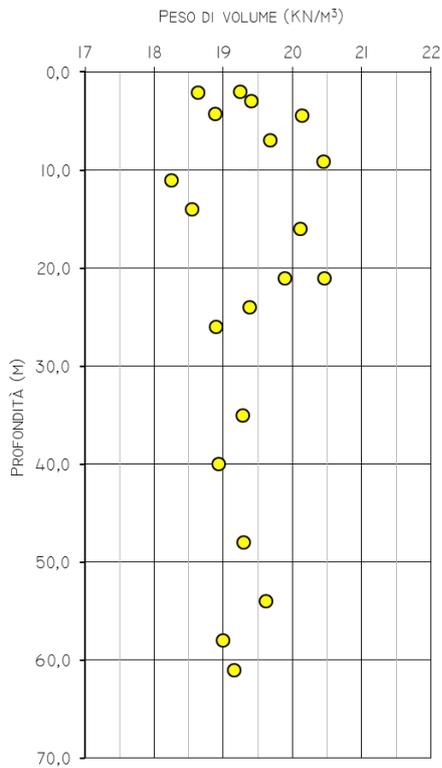


Figura 3. IGR – Peso dell'unità di volume

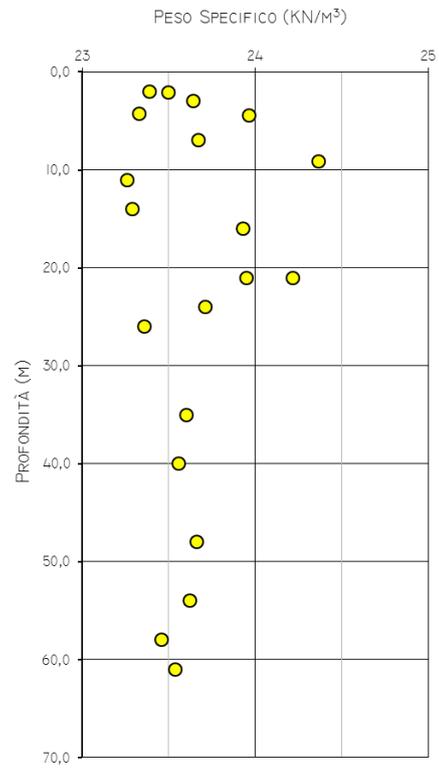


Figura 4. IGR – Peso specifico

Nella Figura 6 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  $\sigma_{ci}$  e  $m_i$  valutati considerando un legame costitutivo del materiale secondo il criterio di Hoek & Brown.

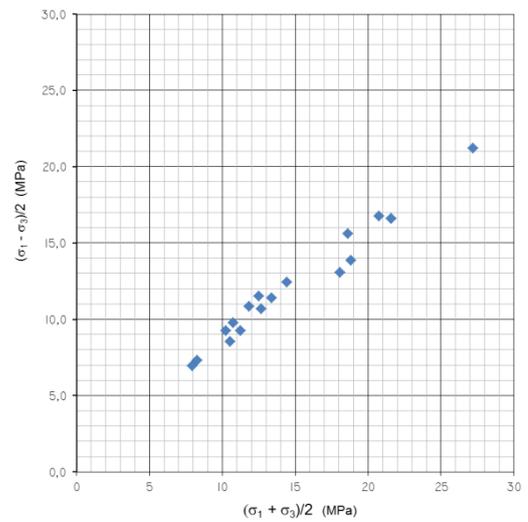
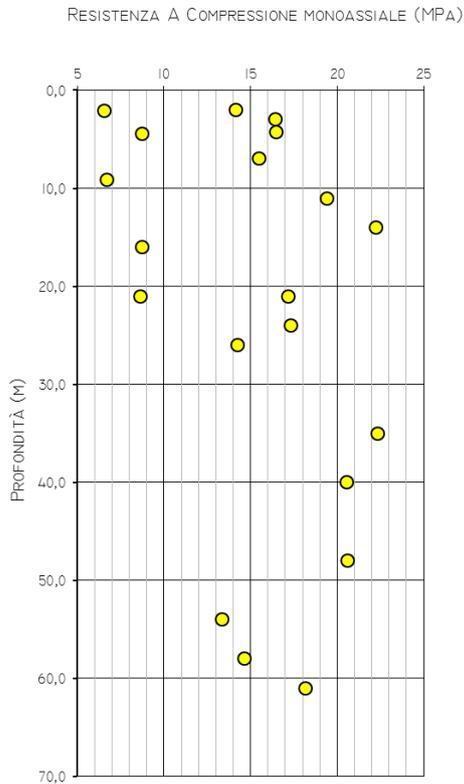


Figura 6. IGR – Prove di compressione triassiale

Figura 5 –IGR – Prove di compressione monoassiale

Tabella 2 – Valori di  $\sigma_{ci}$  e  $m_i$  da prove di compressione triassiale.

	$\sigma_3$	$\sigma_1$	$(\sigma_1 - \sigma_3)/2$	$(\sigma_1 + \sigma_3)/2$	$\sigma_{ci}$	$m_i$
	(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	<b>7,57</b>	<b>16,41</b>
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	<b>10,56</b>	<b>18,54</b>
S5SP2	1,00	20,51	9,76	10,76		

	$\sigma_3$	$\sigma_1$	$(\sigma_1 - \sigma_3)/2$	$(\sigma_1 + \sigma_3)/2$	$\sigma_{ci}$	$m_i$
	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(-)
	2,00	24,76	11,38	13,38		
	5,00	38,20	16,60	21,60	<b>13,31</b>	<b>13,81</b>
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	<b>8,32</b>	<b>16,73</b>
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	<b>15,89</b>	<b>16,02</b>
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	<b>14,73</b>	<b>15,11</b>

Nella Figura 7 e nella Figura 8 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 9 e Figura 10 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 11 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.

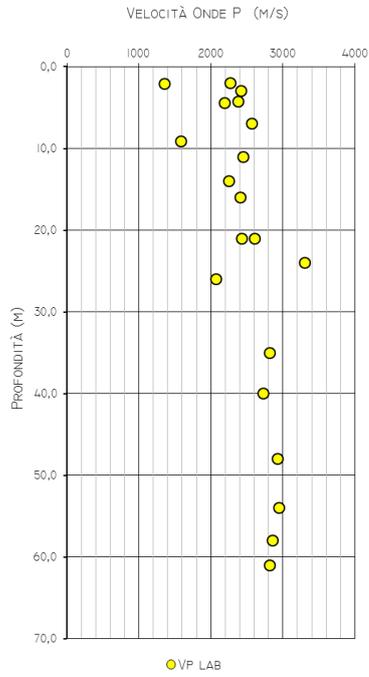


Figura 7 IGR – Velocità onde P da laboratorio

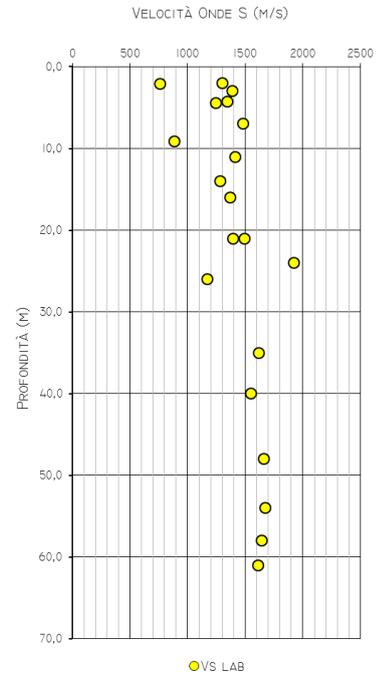
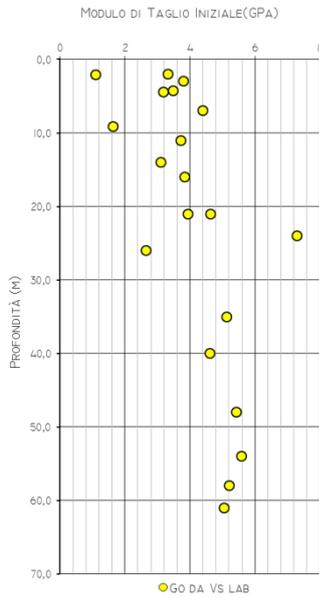
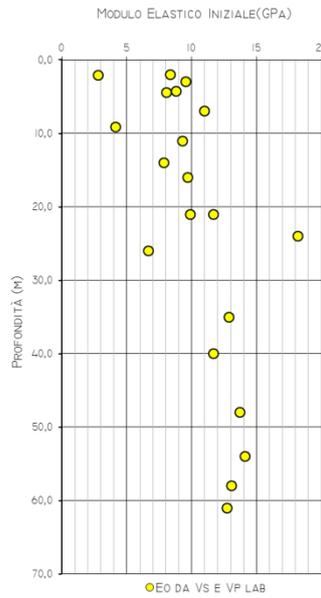


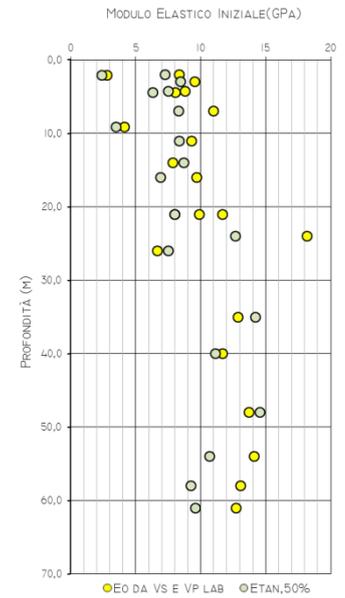
Figura 8. IGR – Velocità onde S da laboratorio



**Figura 9 IGR – Modulo di taglio  
Go**



**Figura 10. IGR – Modulo elastico  
Eo**



**Figura 11. IGR – Modulo elastico tangente e modulo elastico iniziale da Vs, Vp**

Nella Figura 12 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.

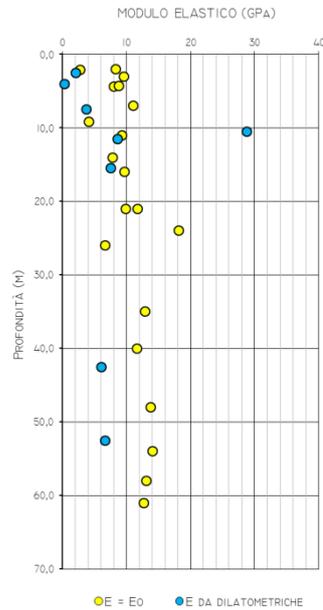


Figura 12. IGR Modulo Elastico

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 ÷ 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 (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** e **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**).

$c = 300 \div 480$  KPa;

$\phi = 45 \div 50$  °

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

Nella zona di faglia considerando i seguenti valori dei parametri:

$$GSI = 35 \div 45$$

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

$$E_i = 5000 \text{ MPa}$$

$$m_i = 18$$

$$D = 0$$

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

$$c = 175 \div 210 \text{ KPa};$$

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

$$E_{rm} = 600\text{-}1100 \text{ MPa}$$

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.

GALLERIA MONTE MARTIS – Relazione geotecnica e di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D 07 CL	GN 01 00 001	A	21 di 132

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:

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

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

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

$C_u = 280 \div 300 \text{ KPa}$  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 13).

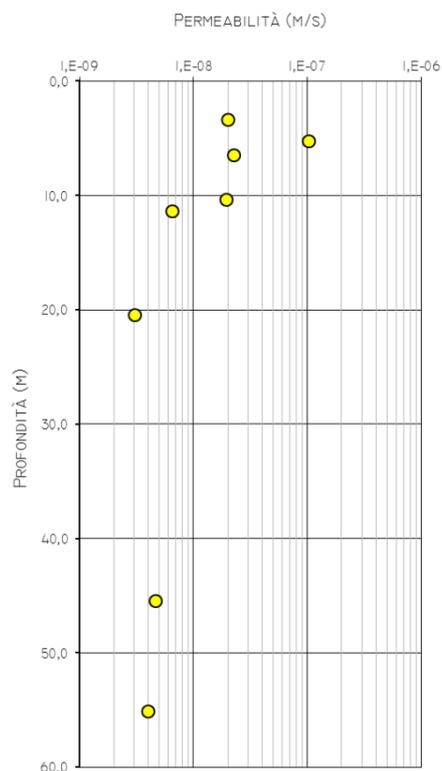


Figura 13. IGR – Permeabilità

### 8.2.1 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)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	E <sub>i</sub> (GPa)	$\sigma_{ci}$ (MPa)	GSI	c (kPa)	$\varphi$ (°)	E <sub>i</sub> (GPa)
IGR	5 ÷ 20	18 ÷ 20	5 ÷ 10	5 ÷ 15	60 ÷ 70	130 ÷ 180	45 ÷ 50	1.9 ÷ 3
	20 ÷ 70	19 ÷ 20	10 ÷ 15	15 ÷ 20	60 ÷ 70	300 ÷ 480	48 ÷ 55	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**

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]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	GSI <sub>min</sub> [-]	$\sigma_{ci}$ [MPa]	E <sub>i</sub> [MPa]	c [MPa]	$\varphi$ [°]	$\sigma_{cm}$ [kPa]	E <sub>m</sub> [MPa]
Sezione 1 km 1+900	IGR	1+900	70	20	65	20	7000	0,398	52,18	5,075	2468
Sezione 2 km 1+900	IGR	1+900	70	20	60	15	7000	0,299	48,48	3,324	1903
Sezione 3 km 1+800	IGR in faglia	1+800	62	20	45	10	5000	0,213	45,94	2,085	1118

$\gamma$  = peso dell'unità di volume dell'ammasso  
 GSI = Geological Strength Index  
 $\sigma_{ci}$  = resistenza compressione monoassiale della roccia intatta  
 E<sub>i</sub> = modulo elastico della roccia intatta  
 c = coesione dell'ammasso roccioso  
 $\varphi$  = angolo di attrito dell'ammasso roccioso  
 $\sigma_{cm}$  = resistenza globale dell'ammasso roccioso  
 E<sub>m</sub> = modulo elastico dell'ammasso roccioso

**Tabella 8-5 Parametri geotecnici di calcolo**

I risultati delle indagini geotecniche, in situ e di laboratorio, hanno permesso di definire il modello geotecnico rappresentativo delle condizioni stratigrafiche e delle caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni interessati dall'opera in sotterraneo lungo il suo tracciato.

Lo scavo della galleria naturale Monte Martis intercetta le ignimbriti per tutto il suo sviluppo. La galleria intercetta una faglia diretta subverticale, ad andamento NW-SE all'altezza del km 1+803.

Il modello geotecnico è rappresentato nell'elaborato "Profilo geotecnico – Galleria Monte Martis e Galleria Giave" (Rif. [44])

### 8.3 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  $1 \cdot 10^{-8}$  e  $1 \cdot 10^{-6}$  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  $1 \cdot 10^{-6}$  e  $1 \cdot 10^{-3}$  m/s.

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

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

### 8.4 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.

## 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.

#### 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 ed 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

#### 10 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  $\lambda$  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.

### 11 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 8-6** e caratterizzate con tutti i dati di input necessari per il calcolo.

**Tabella 8-6 – Sezioni analizzate con il metodo delle linee caratteristiche: dati di input.**

Sezione di calcolo	Unità	H [m]	A <sub>scavo</sub> [m <sup>2</sup> ]	R <sub>eq</sub> [m]	σ <sub>o</sub> [MPa]	γ [kN/m <sup>3</sup> ]	c' <sub>k p</sub> [MPa]	φ' <sub>k p</sub> [°]	E <sub>k</sub> [MPa]
Sezione 1 Linea km 1+900	IGR	70	57,34	4,27	1,40	20	0,398	52,18	2468
Sezione 2 Linea km 1+900	IGR	70	58,15	4,30	1,40	20	0,299	48,48	1903
Sezione 3 Linea km 1+800	IGR in faglia	62	64,76	4,54	1,24	20	0,213	45,94	1118

H = copertura rispetto alla calotta della galleria

σ<sub>o</sub> = tensione totale iniziale al livello del cavo

A<sub>scavo</sub> = area di scavo (nel caso di sezioni con infilaggi si riporta l'area media)

R<sub>eq</sub> = 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'<sub>k p</sub> = valore caratteristico della coesione efficace di picco dell'ammasso

φ'<sub>k p</sub> = valore caratteristico dell'angolo di attrito di picco dell'ammasso

E<sub>k</sub> = valore caratteristico del modulo elastico dell'ammasso

### 12 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<sub>c</sub> 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 8-7 – Criterio 1**

$\sigma_c / p_c$	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 8-8 – Criterio 2**

$u_F / R_{eq}$	$R_{plF} / R_{eq}$	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  
 $R_{plF}$  = 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 imprevedibili, 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 8-9 – Sezioni analizzate con il metodo delle linee caratteristiche: risultati delle analisi**

Sezione di calcolo	$\sigma_c$ [MPa]	$p_c$ [MPa]	$\sigma_c / p_c$ [-]	$u_F$ [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
Sezione 3	1,05	0,202	5,22	0,00245	0,05	4,75	1,05	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 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.

### 12.1.1 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 <b>VARIANTE DI BONORVA - TORRALBA</b>					
GALLERIA MONTE MARTIS – Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA <b>RR0H</b>	LOTTO 04	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GN 01 00 001	REV. A	FOGLIO <b>29 di 132</b>

## 13 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 - § **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**). Sono descritte le caratteristiche principali delle sezioni tipo di avanzamento, il loro campo di applicazione e la successione delle fasi esecutive.

### 13.1 Definizione delle sezioni tipo

#### 13.1.1 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/m<sup>3</sup> 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.

### 13.1.2 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  $35 \text{ kg/m}^3$  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.

### 13.1.3 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  $120^\circ$ ;
- 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  $35 \text{ kg/m}^3$  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).

### 13.2 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	$f_{tk} \geq 510$ MPa
Tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk} \geq 355$ MPa
Modulo elastico	$E_s = 210000$ MPa

#### Interventi di precontenimento

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

### Rivestimento provvisorio

<b>Calcestruzzo proiettato (fibrorinforzato)</b>	
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 <sup>3</sup>
Classe di assorbimento energetica minima	E700

<b>Acciaio per centine</b>	
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

<b>Calcestruzzo armato</b>	
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	$\sigma_{lim} = 0.80 f_{yk} = 360 \text{ MPa}$

### 13.3 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]).

#### 13.3.1 Criteri di verifica

Al fine di dimensionare i rivestimenti di prima fase e i rivestimenti definitivi delle sezioni tipologiche di scavo della galleria Monte Martis, 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:

	<b>VELOCIZZAZIONE LINEA SAN GAVINO - SASSARI – OLBIA</b> <b>VARIANTE DI BONORVA - TORRALBA</b>					
	GALLERIA MONTE MARTIS – Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA <b>RR0H</b>	LOTTO 04	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GN 01 00 001	REV. A

**Tabella 8-10 – Principali caratteristiche delle sezioni di calcolo analizzate**

Sezione di calcolo	Unità	Pk sez. analisi [km]	copertura [m]
A1	IGR	1+900	70
B1	IGR - faglia	1+800	62

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.

### 13.3.1.1 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.

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]).

### 13.3.1.2 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 rigidetzze 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 8-11 - Formule per la ripartizione delle sollecitazioni tra spritz e centine**

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

### 13.3.2 Sezione A1

#### 13.3.2.1 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 8-6. La figura seguente illustra le curve caratteristiche del cavo, del prerivestimento e del rivestimento definitivo, nonché la variazione del tasso di rilascio in funzione della distanza dal fronte della galleria.

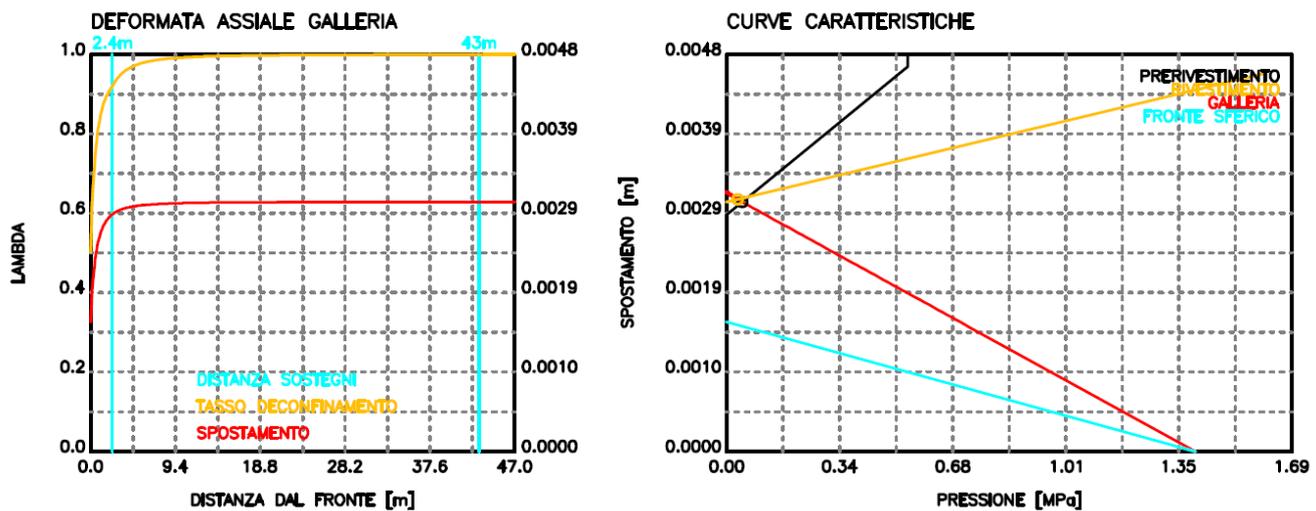


Figura 14 – Deformata assiale, tasso di rilascio e curve caratteristiche – Sezione tipologica A1

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 8-12 – Output di calcolo delle curve caratteristiche per la sezione tipo A1

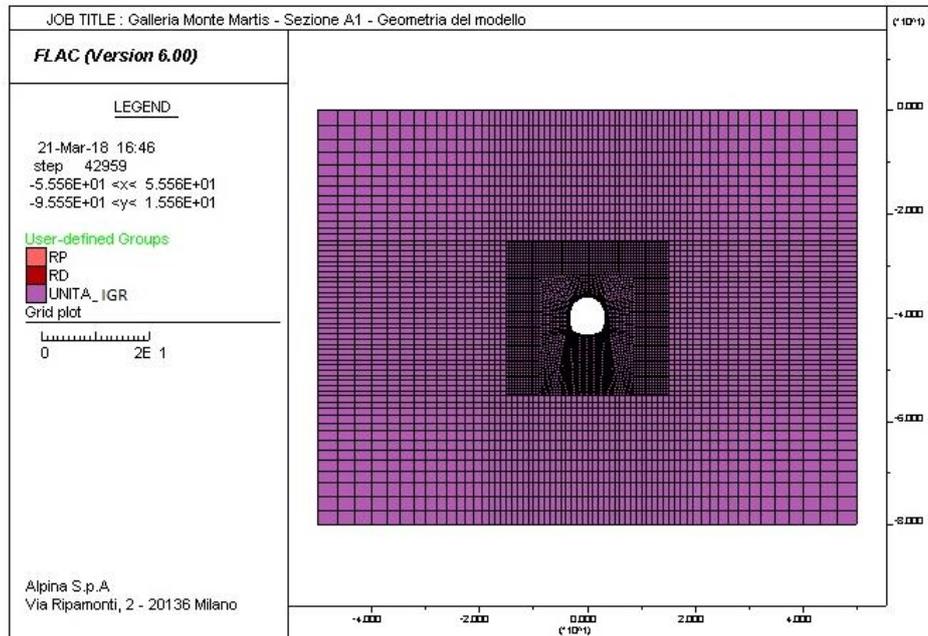
Fase di analisi	Distanza dal fronte [m]	Tasso di rilascio [-]
Preconvergenza del fronte	0	0.501
Sfondo elementare di 2.40 m e attivazione del rivestimento di prima fase	2.40	0.919
Installazione arco rovescio e murette a distanza 5D dal fronte	43.0	0.999
Installazione rivestimento di calotta (svincolata)	-	1.0

### 13.3.2.2 *Modello numerico e fasi dell'analisi*

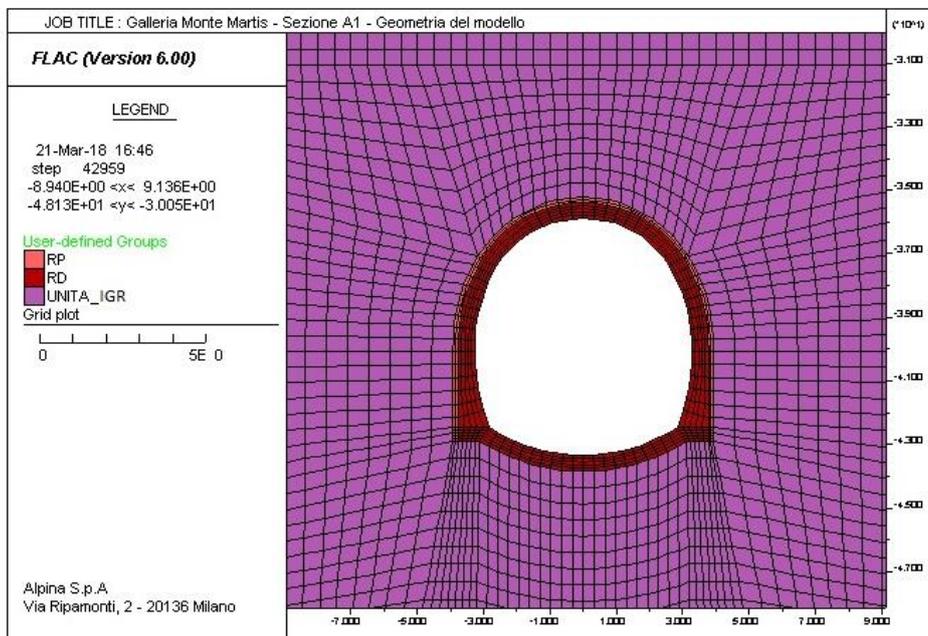
L'interazione opera-terreno è stata valutata mediante una apposita analisi numerica FDM, utilizzando il codice di calcolo Flac 6.0. Le dimensioni del modello numerico adottato prevedono una mesh 100x80 m, in cui è stata adottata una discretizzazione tramite maglia di elementi rettangolari, opportunamente 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=70 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 8-6**). 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 15 – Modello di calcolo della sezione A1**



**Figura 16 - 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 50.1% ( $\lambda=0.501$ ).
- Fase\_04** Simulazione dello sfondo pari a 2.40 m e attivazione del rivestimento di prima fase con rilascio parziale dello stato tensionale sul contorno di scavo pari al 91.9% ( $\lambda=0.919$ ).
- Fase\_05** Installazione arco rovescio e murette a distanza 5D e rilascio parziale dello stato tensionale sul contorno di scavo pari a 99.9% ( $\lambda=0.999$ );
- 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;

### 13.3.2.3 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\_04 e Fase\_05);
- attivazione rivestimento definitivo (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 priverivestimenti e rivestimenti della galleria.

#### 13.3.2.4 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\_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 8-13 – 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_04	$M_{max}$	777.1	3.2	99.7	1010.3	4.2	129.6
	$N_{max}$	1186.3	0.7	0.0	1542.3	0.9	0.0
	$T_{max}$	777.1	3.2	99.7	1010.3	4.2	129.6
Fase_05	$M_{max}$	874.4	3.0	90.5	1136.7	3.9	11.7
	$N_{max}$	1403.3	0.9	0.0	1824.3	1.1	0.0
	$T_{max}$	914.2	2.9	108.2	1188.4	3.7	140.7

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 Monte Martis - Sezione A1
FASE:	Fase_04: Prerivestimento

**MATERIALI**

<i>Spritz Beton</i>		
Classe	<b>C25/30</b>	
R <sub>ck</sub>	<b>30</b>	[MPa]
γ <sub>c</sub>	<b>1.5</b>	[-]
f <sub>ck</sub>	24.90	[MPa]
f <sub>cd</sub>	14.11	[MPa]
f <sub>ctm</sub>	-1.19	[MPa]
B	<b>100</b>	[cm]
s	<b>15</b>	[cm]
A <sub>sb</sub>	1500	[cm <sup>2</sup> ]
I <sub>sb</sub>	28125	[cm <sup>4</sup> ]
W <sub>sb</sub>	3750	[cm <sup>3</sup> ]
E <sub>sb</sub>	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	<b>S275</b>	
Profilato	<b>IPN140</b>	
γ <sub>s</sub>	<b>1.05</b>	[-]
N.	<b>2</b>	[-]
f <sub>y</sub>	<b>275</b>	[MPa]
f <sub>yd</sub>	261.9	[MPa]
A <sub>cent</sub>	<b>18.2</b>	[cm <sup>2</sup> ]
I <sub>cent</sub>	572	[cm <sup>4</sup> ]
W <sub>cent</sub>	81.8	[cm <sup>3</sup> ]
h <sub>cent</sub>	140	[mm]
a	5.7	[mm]
d	<b>1.4</b>	[m]
E <sub>cent</sub>	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 <sub>eq</sub>	15	[cm]
E <sub>eq</sub>	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 Monte Martis - Sezione A1
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 <sub>max</sub>	1010.3	129.6	4.2	0.41	compr
N <sub>max</sub>	1542.3	0.0	0.9	0.06	compr
T <sub>max</sub>	1010.3	129.6	4.2	0.41	compr

**VERIFICHE**

<i>Verifica centine</i>							Verifiche
N <sub>cent</sub>	T <sub>cent</sub>	M <sub>cent</sub>	σ <sub>max,cent</sub>	σ <sub>min,cent</sub>	τ <sub>cent</sub>	σ <sub>id</sub>	
[kN]	[kN]	[kNm]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	
149.0	181.43	5.86	76.7	5.2	113.7	211.3	OK
227.5	0.00	1.27	70.3	54.8	0.0	70.3	OK
149.0	181.43	5.86	76.7	5.2	113.7	211.3	OK

<i>Verifica spritz beton</i>		
N <sub>spritz</sub>	σ <sub>max,sb</sub>	Verifiche
[kN]	[MPa]	
904	6.03	OK
1380	9.20	OK
904	6.03	OK

**VERIFICA DEL RIVESTIMENTO DI PRIMA FASE**

NORMATIVA DI RIFERIMENTO: DM 2008

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

**MATERIALI**

<i>Spritz Beton</i>		
Classe	<b>C25/30</b>	
R <sub>ck</sub>	<b>30</b>	[MPa]
γ <sub>c</sub>	<b>1.5</b>	[-]
f <sub>ck</sub>	<b>24.90</b>	[MPa]
f <sub>cd</sub>	<b>14.11</b>	[MPa]
f <sub>ctm</sub>	<b>-1.19</b>	[MPa]
B	<b>100</b>	[cm]
s	<b>15</b>	[cm]
A <sub>sb</sub>	<b>1500</b>	[cm <sup>2</sup> ]
I <sub>sb</sub>	<b>28125</b>	[cm <sup>4</sup> ]
W <sub>sb</sub>	<b>3750</b>	[cm <sup>3</sup> ]
E <sub>sb</sub>	<b>31447</b>	[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	<b>S275</b>	
Profilato	<b>IPN140</b>	
γ <sub>s</sub>	<b>1.05</b>	[-]
N.	<b>2</b>	[-]
f <sub>y</sub>	<b>275</b>	[MPa]
f <sub>yd</sub>	<b>261.9</b>	[MPa]
A <sub>cent</sub>	<b>18.2</b>	[cm <sup>2</sup> ]
I <sub>cent</sub>	<b>572</b>	[cm <sup>4</sup> ]
W <sub>cent</sub>	<b>81.8</b>	[cm <sup>3</sup> ]
h <sub>cent</sub>	<b>140</b>	[mm]
a	<b>5.7</b>	[mm]
d	<b>1.4</b>	[m]
E <sub>cent</sub>	<b>210000</b>	[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 <sub>eq</sub>	<b>15</b>	[cm]
E <sub>eq</sub>	<b>33541</b>	[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 Monte Martis - 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 <sub>max</sub>	1136.7	117.7	3.90	0.34	compr
N <sub>max</sub>	1824.3	0.0	1.10	0.06	compr
T <sub>max</sub>	1188.4	140.7	3.74	0.31	compr

**VERIFICHE**

<i>Verifica centine</i>							Verifiche
N <sub>cent</sub>	T <sub>cent</sub>	M <sub>cent</sub>	σ <sub>max,cent</sub>	σ <sub>min,cent</sub>	τ <sub>cent</sub>	σ <sub>id</sub>	
[kN]	[kN]	[kNm]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	
167.7	164.79	5.47	79.5	12.7	103.3	195.7	OK
269.1	0.00	1.54	83.3	64.5	0.0	83.3	OK
175.3	196.97	5.23	80.2	16.2	123.4	228.3	OK

<i>Verifica spritz beton</i>		
N <sub>spritz</sub>	σ <sub>max,sb</sub>	Verifiche
[kN]	[MPa]	
1017	6.78	OK
1632	10.88	OK
1063	7.09	OK

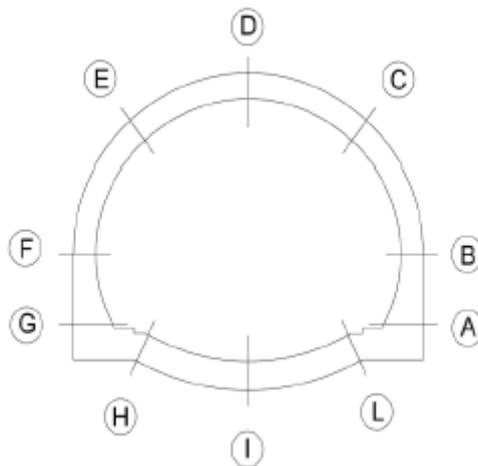
**13.3.2.5 Verifiche di resistenza dei rivestimenti definitivi**

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 § 13.2. 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 17, per consentire una maggiore leggibilità dei dati. Le tabelle di verifica si riferiscono alla Fase\_06.



**Figura 17 - Sezioni di verifica del rivestimento definitivo**

Le verifiche sono state condotte ipotizzando il calcestruzzo non armato.

Le verifiche sono soddisfatte in ciascuna sezione.

**Tabella 8-14 - Verifica del rivestimento definitivo - Fase SM\_06**

Sollecitazioni di calotta SLE			Sollecitazioni di calotta SLU			Verifiche calcestruzzo non armato												
N	T	M	N	T	M	H sez	φ(A <sub>s</sub> tesa)	N°barre	φ(A <sub>s</sub> compr)	N°barre	φ(staffe)	N°bracci	Passo	σ <sub>cls</sub>		Verifiche		
(kN)	(kN)	(kNm)	(kN)	(kN)	(kNm)	(cm)	(mm)	(-)	(mm)	(-)	(mm)	(-)	(cm)	[MPa]	e < H/3	σ <sub>cls,max</sub>	σ <sub>cls</sub>	
543.1	-47.8	24.8	706	-62	32	79.400	16	10	16	5	12	2.5	40	0.92	0.45	SI	SI	SI
501.0	-81.2	24.1	651	-106	31	69.300	16	10	16	5	12	2.5	40	1.02	0.42	SI	SI	SI
501.0	-68.2	15.4	651	-89	20	60.800	16	10	16	5	12	2.5	40	1.07	0.57	SI	SI	SI
496.2	-48.5	8.5	645	-63	11	54.700	16	10	16	5	12	2.5	40	1.08	0.74	SI	SI	SI
497.1	-28.9	3.5	646	-38	5	51.900	16	10	16	5	12	2.5	40	1.04	0.88	SI	SI	SI
487.2	-12.1	0.0	633	-16	0	50.000	12	10	12	5	14	2.5	40	1.30	0.98	SI	SI	SI
485.3	-4.7	-2.1	631	-6	-3	50.000	12	10	12	5	14	2.5	40	1.27	1.02	SI	SI	SI
482.0	-3.5	-3.0	627	-5	-4	50.000	12	10	12	5	14	2.5	40	1.25	1.04	SI	SI	SI
479.2	0.6	-3.2	623	1	-4	50.000	12	10	12	5	14	2.5	40	1.25	1.03	SI	SI	SI
476.7	1.2	-2.5	620	2	-3	50.000	12	10	12	5	14	2.5	40	1.24	1.01	SI	SI	SI
474.6	1.7	-1.5	617	2	-2	50.000	12	10	12	5	14	2.5	40	1.25	0.99	SI	SI	SI
472.3	1.4	-0.4	614	2	-1	50.000	12	10	12	5	14	2.5	40	1.25	0.96	SI	SI	SI
470.2	-0.3	0.3	611	0	0	50.000	12	10	12	5	14	2.5	40	0.95	0.93	SI	SI	SI
468.9	-4.7	0.1	610	-6	0	50.000	12	10	12	5	14	2.5	40	0.94	0.94	SI	SI	SI
468.3	-13.6	-1.2	609	-18	-2	50.000	12	10	12	5	14	2.5	40	1.24	0.96	SI	SI	SI
468.7	-6.8	-2.7	609	-9	-3	50.000	12	10	12	5	14	2.5	40	1.22	1.00	SI	SI	SI
469.0	-3.5	-3.5	610	-5	-5	50.000	12	10	12	5	12	2.5	40	1.21	1.02	SI	SI	SI
469.9	-2.4	-3.6	611	-3	-5	50.000	12	10	12	5	12	2.5	40	1.22	1.03	SI	SI	SI
471.3	-1.9	-3.5	613	-2	-5	50.000	12	10	12	5	12	2.5	40	1.22	1.03	SI	SI	SI
472.2	-1.7	-3.3	614	-2	-4	50.000	12	10	12	5	12	2.5	40	1.22	1.02	SI	SI	SI
472.7	-1.5	-3.1	615	-2	-4	50.000	12	10	12	5	12	2.5	40	1.23	1.02	SI	SI	SI
473.7	-1.1	-3.0	616	-1	-4	50.000	12	10	12	5	12	2.5	40	1.23	1.02	SI	SI	SI
474.2	-0.7	-2.9	616	-1	-4	50.000	12	10	12	5	12	2.5	40	1.23	1.02	SI	SI	SI
474.2	-0.4	-2.9	616	-1	-4	50.000	12	10	12	5	12	2.5	40	1.23	1.02	SI	SI	SI
474.2	-0.1	-3.0	616	0	-4	50.000	12	10	12	5	12	2.5	40	1.23	1.02	SI	SI	SI
473.9	0.3	-3.0	616	0	-4	50.000	12	10	12	5	12	2.5	40	1.23	1.02	SI	SI	SI
474.1	0.8	-3.0	616	1	-4	50.000	12	10	12	5	12	2.5	40	1.23	1.02	SI	SI	SI
473.8	1.1	-3.0	616	1	-4	50.000	12	10	12	5	12	2.5	40	1.23	1.02	SI	SI	SI
472.8	1.5	-3.1	615	2	-4	50.000	12	10	12	5	12	2.5	40	1.23	1.02	SI	SI	SI
472.2	1.7	-3.3	614	2	-4	50.000	12	10	12	5	12	2.5	40	1.22	1.02	SI	SI	SI
471.4	2.0	-3.5	613	3	-5	50.000	12	10	12	5	12	2.5	40	1.22	1.03	SI	SI	SI
470.1	2.4	-3.6	611	3	-5	50.000	12	10	12	5	12	2.5	40	1.22	1.03	SI	SI	SI
469.1	3.5	-3.5	610	5	-5	50.000	12	10	12	5	12	2.5	40	1.21	1.02	SI	SI	SI
468.9	6.8	-2.7	610	9	-3	50.000	12	10	12	5	12	2.5	40	1.22	1.00	SI	SI	SI
468.5	13.6	-1.1	609	18	-1	50.000	12	10	12	5	12	2.5	40	1.24	0.96	SI	SI	SI
469.1	4.8	0.1	610	6	0	50.000	12	10	12	5	12	2.5	40	0.94	0.94	SI	SI	SI
470.4	0.3	0.3	612	0	0	50.000	12	10	12	5	12	2.5	40	0.95	0.93	SI	SI	SI
472.4	-1.3	-0.4	614	-2	-1	50.000	12	10	12	5	12	2.5	40	1.26	0.96	SI	SI	SI
474.7	-1.7	-1.5	617	-2	-2	50.000	12	10	12	5	12	2.5	40	1.25	0.98	SI	SI	SI
476.9	-1.1	-2.5	620	-1	-3	50.000	12	10	12	5	12	2.5	40	1.25	1.01	SI	SI	SI
479.2	-0.5	-3.2	623	-1	-4	50.000	12	10	12	5	12	2.5	40	1.25	1.03	SI	SI	SI
482.0	3.5	-3.0	627	5	-4	50.000	12	10	12	5	12	2.5	40	1.25	1.04	SI	SI	SI
485.3	4.7	-2.1	631	6	-3	50.000	12	10	12	5	12	2.5	40	1.27	1.02	SI	SI	SI
487.2	12.1	0.0	633	16	0	50.000	12	10	12	5	12	2.5	40	0.97	0.97	SI	SI	SI
497.3	28.8	3.5	646	37	5	51.900	12	10	12	5	12	2.5	40	1.04	0.88	SI	SI	SI
496.3	48.5	8.4	645	63	11	54.700	12	10	12	5	12	2.5	40	1.08	0.74	SI	SI	SI
500.9	68.1	15.4	651	89	20	60.800	12	10	12	5	12	2.5	40	1.07	0.57	SI	SI	SI
500.6	81.9	24.0	651	106	31	69.300	12	10	12	5	12	2.5	40	1.02	0.42	SI	SI	SI
542.9	48.0	24.8	706	62	32	79.400	12	10	12	5	12	2.5	40	0.92	0.45	SI	SI	SI
Sollecitazioni di arco rovescio SLE			Sollecitazioni di arco rovescio SLU			Verifiche calcestruzzo non armato												
N	T	M	N	T	M	H sez	φ(A <sub>s</sub> tesa)	N°barre	φ(A <sub>s</sub> compr)	N°barre	φ(staffe)	N°bracci	Passo	σ <sub>cls</sub>		Verifiche		
(kN)	(kN)	(kNm)	(kN)	(kN)	(kNm)	(cm)	(mm)	(m)	(mm)	(m)	(mm)	(-)	(cm)	[MPa]	e < H/3	σ <sub>cls,max</sub>	σ <sub>cls,media</sub>	
340.9	15.7	-32.1	443	20.4	-42	50.0	12	10	12	5	12	2.5	40	0.66	0.00	SI	SI	SI
334.4	9.8	-29.5	435	12.7	-38	50.0	12	10	12	5	12	2.5	40	0.66	0.00	SI	SI	SI
334.3	11.4	-26.1	435	14.8	-34	50.0	12	10	12	5	12	2.5	40	0.68	1.30	SI	SI	SI
333.9	16.2	-21.6	434	21.1	-28	50.0	12	10	12	5	12	2.5	40	0.71	1.19	SI	SI	SI
333.3	18.7	-16.0	433	24.3	-21	50.0	12	10	12	5	12	2.5	40	0.75	1.05	SI	SI	SI
332.3	15.6	-10.3	432	20.3	-13	50.0	12	10	12	5	12	2.5	40	0.79	0.91	SI	SI	SI
331.3	11.2	-5.8	431	14.5	-8	50.0	12	10	12	5	12	2.5	40	0.83	0.80	SI	SI	SI
330.8	7.1	-2.8	430	9.3	-4	50.0	12	10	12	5	12	2.5	40	0.85	0.73	SI	SI	SI
330.8	3.4	-1.1	430	4.4	-1	50.0	12	10	12	5	12	2.5	40	0.87	0.69	SI	SI	SI
330.9	0.0	-0.6	430	0.0	-1	50.0	12	10	12	5	12	2.5	40	0.88	0.68	SI	SI	SI
330.6	-3.5	-1.1	430	-4.6	-1	50.0	12	10	12	5	12	2.5	40	0.87	0.69	SI	SI	SI
330.9	-7.2	-2.8	430	-9.4	-4	50.0	12	10	12	5	12	2.5	40	0.85	0.73	SI	SI	SI
331.4	-11.2	-5.9	431	-14.6	-8	50.0	12	10	12	5	12	2.5	40	0.82	0.80	SI	SI	SI
332.4	-15.7	-10.4	432	-20.4	-14	50.0	12	10	12	5	12	2.5	40	0.79	0.91	SI	SI	SI
333.3	-18.7	-16.1	433	-24.3	-21	50.0	12	10	12	5	12	2.5	40	0.74	1.05	SI	SI	SI
333.8	-16.2	-21.7	434	-21.0	-28	50.0	12	10	12	5	12	2.5	40	0.71	1.19	SI	SI	SI
334.3	-11.4	-26.2	435	-14.8	-34	50.0	12	10	12	5	12	2.5	40	0.68	1.30	SI	SI	SI
334.6	-9.7	-29.5	435	-12.6	-38	50.0	12	10	12	5	12	2.5	40	0.66	0.00	SI	SI	SI
340.9	-15.7	-32.1	443	-20.4	-42	50.0	12	10	12	5	12	2.5	40	0.66	0.00	SI	SI	SI

### 13.3.3 Sezione B1

#### 13.3.3.1 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 8-6. La figura seguente illustra le curve caratteristiche del cavo, del priverivestimento e del rivestimento definitivo, nonché la variazione del tasso di rilascio in funzione della distanza dal fronte della galleria.

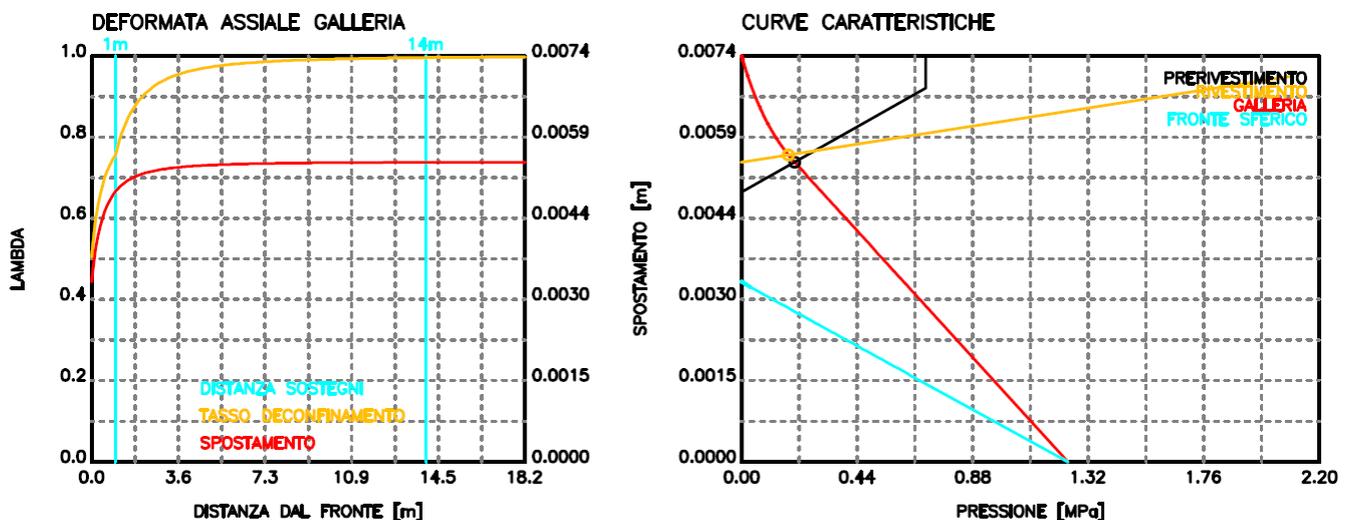


Figura 18 – Deformata assiale, tasso di rilascio e curve caratteristiche – Sezione tipologica B1

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 8-15 – Output di calcolo delle curve caratteristiche per la sezione tipo B1

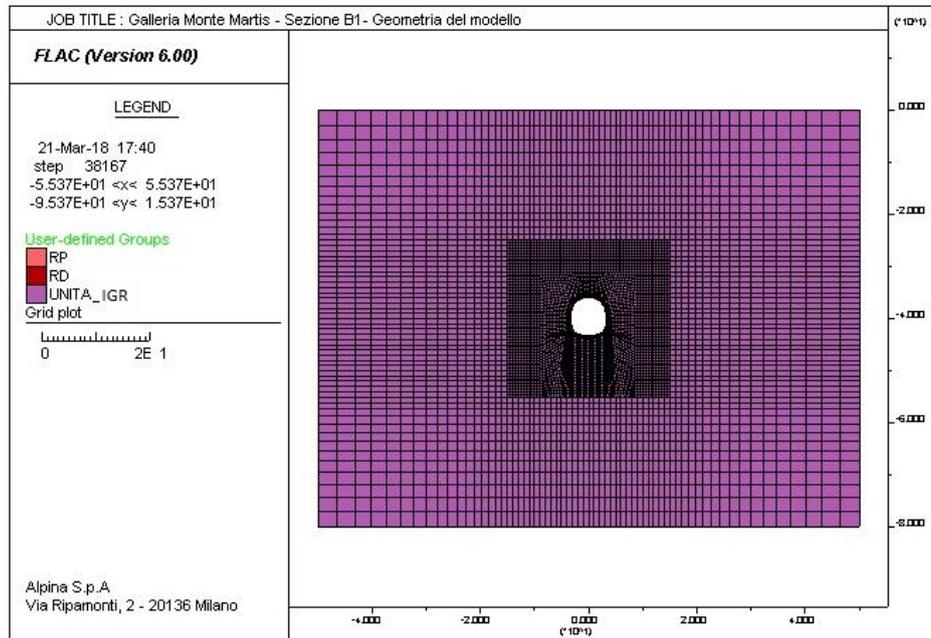
Fase di analisi	Distanza dal fronte [m]	Tasso di rilascio [-]
Preconvergenza del fronte	0	0.504
Sfondo elementare di 1.0 m e attivazione del rivestimento di prima fase	1.0	0.756
Installazione arco rovescio e murette a distanza 1.5D dal fronte	14.0	0.996
Installazione rivestimento di calotta a distanza 4D dal fronte	36.0	1.0

### 13.3.3.2 *Modello numerico e fasi dell'analisi*

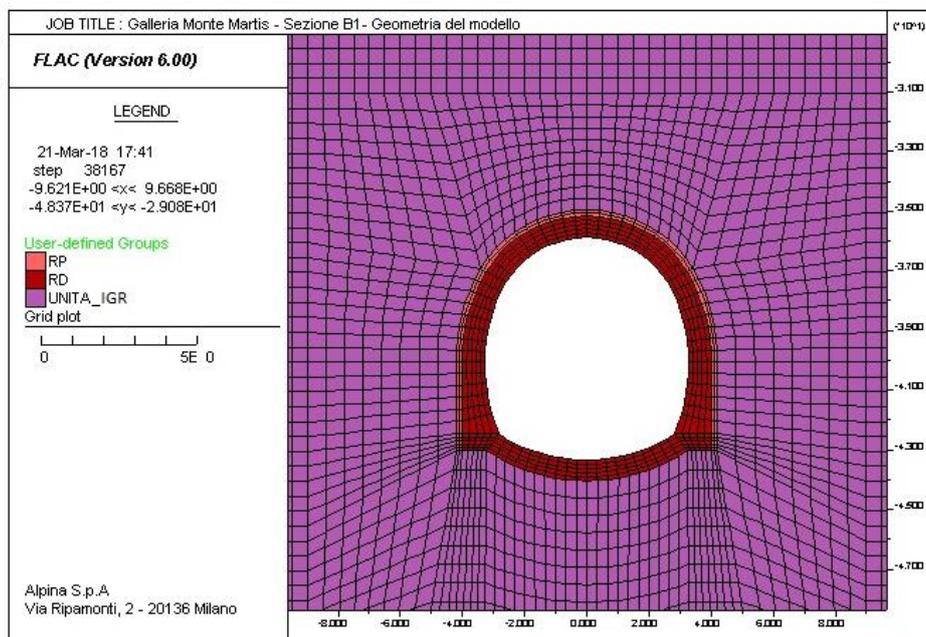
L'interazione opera-terreno è stata valutata mediante una apposita analisi numerica FDM, utilizzando il codice di calcolo Flac 6.0. Le dimensioni del modello numerico adottato prevedono una mesh 100x80 m, in cui è stata adottata una discretizzazione tramite maglia di elementi rettangolari, opportunamente 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=62 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 8-6**). 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 19 – Modello di calcolo della sezione B1**



**Figura 20 - 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 50.4% ( $\lambda=0.504$ ).
- 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 75.6% ( $\lambda=0.756$ ).
- 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;

### 13.3.3.3 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 prerivestimenti e rivestimenti della galleria.

### 13.3.3.4 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 8-16 – 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	$M_{max}$	607.4	8.4	77.3	789.6	10.9	100.4
	$N_{max}$	1076.9	1.7	0.0	1400.0	2.2	0.0
	$T_{max}$	619.4	4.2	97.7	805.2	5.4	127.0
Fase_05	$M_{max}$	1050.8	8.7	10.3	1366.0	11.3	13.4
	$N_{max}$	2046.7	3.3	0.0	2660.6	4.3	0.0
	$T_{max}$	1121.9	0.8	135.6	1458.5	1.1	176.2

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 Monte Martis - Sezione B1
FASE:	Fase_SM_04: Prerivestimento

**MATERIALI**

<i>Spritz Beton</i>		
Classe	<b>C25/30</b>	
R <sub>ck</sub>	<b>30</b>	[MPa]
γ <sub>c</sub>	<b>1.5</b>	[-]
f <sub>ck</sub>	24.90	[MPa]
f <sub>cd</sub>	14.11	[MPa]
f <sub>ctm</sub>	-1.19	[MPa]
B	<b>100</b>	[cm]
s	<b>20</b>	[cm]
A <sub>sb</sub>	2000	[cm <sup>2</sup> ]
I <sub>sb</sub>	66667	[cm <sup>4</sup> ]
W <sub>sb</sub>	6667	[cm <sup>3</sup> ]
E <sub>sb</sub>	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	<b>S275</b>	
Profilato	<b>IPN160</b>	
γ <sub>s</sub>	<b>1.05</b>	[-]
N.	<b>2</b>	[-]
f <sub>y</sub>	<b>275</b>	[MPa]
f <sub>yd</sub>	261.9	[MPa]
A <sub>cent</sub>	<b>22.8</b>	[cm <sup>2</sup> ]
I <sub>cent</sub>	934	[cm <sup>4</sup> ]
W <sub>cent</sub>	117	[cm <sup>3</sup> ]
h <sub>cent</sub>	160	[mm]
a	6.3	[mm]
d	<b>1.0</b>	[m]
E <sub>cent</sub>	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 <sub>eq</sub>	20	[cm]
E <sub>eq</sub>	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 Monte Martis - Sezione B1
FASE:	Fase_SM_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 <sub>max</sub>	789.6	100.4	10.86	1.37	compr
N <sub>max</sub>	1400.0	0.0	2.24	0.16	compr
T <sub>max</sub>	805.2	127.0	5.45	0.68	compr

**VERIFICHE**

<i>Verifica centine</i>							Verifiche
N <sub>cent</sub>	T <sub>cent</sub>	M <sub>cent</sub>	σ <sub>max,cent</sub>	σ <sub>min,cent</sub>	τ <sub>cent</sub>	σ <sub>id</sub>	
[kN]	[kN]	[kNm]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	
106.4	100.43	10.86	69.7	-23.0	49.8	110.9	OK
188.7	0.00	2.24	50.9	31.8	0.0	50.9	OK
108.5	127.04	5.45	47.1	0.5	63.0	118.9	OK

<i>Verifica spritz beton</i>		
N <sub>spritz</sub>	σ <sub>max,sb</sub>	Verifiche
[kN]	[MPa]	
683	3.42	OK
1211	6.06	OK
697	3.48	OK

**VERIFICA DEL RIVESTIMENTO DI PRIMA FASE**  
 NORMATIVA DI RIFERIMENTO: DM 2008

LAVORO:	Gallerie Linea S.Gavino-Sassari-Olbia
Galleria:	Galleria Monte Martis - Sezione B1
FASE:	Fase_SM_05: Prerivestimento

**MATERIALI**

<i>Spritz Beton</i>		
Classe	<b>C25/30</b>	
R <sub>ck</sub>	<b>30</b>	[MPa]
γ <sub>c</sub>	<b>1.5</b>	[-]
f <sub>ck</sub>	24.90	[MPa]
f <sub>cd</sub>	14.11	[MPa]
f <sub>ctm</sub>	-1.19	[MPa]
B	<b>100</b>	[cm]
s	<b>20</b>	[cm]
A <sub>sb</sub>	2000	[cm <sup>2</sup> ]
I <sub>sb</sub>	66667	[cm <sup>4</sup> ]
W <sub>sb</sub>	6667	[cm <sup>3</sup> ]
E <sub>sb</sub>	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	<b>S275</b>	
Profilato	<b>IPN160</b>	
γ <sub>s</sub>	<b>1.05</b>	[-]
N.	<b>2</b>	[-]
f <sub>y</sub>	<b>275</b>	[MPa]
f <sub>yd</sub>	261.9	[MPa]
A <sub>cent</sub>	<b>22.8</b>	[cm <sup>2</sup> ]
I <sub>cent</sub>	934	[cm <sup>4</sup> ]
W <sub>cent</sub>	117	[cm <sup>3</sup> ]
h <sub>cent</sub>	160	[mm]
a	6.3	[mm]
d	<b>1.0</b>	[m]
E <sub>cent</sub>	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 <sub>eq</sub>	20	[cm]
E <sub>eq</sub>	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 Monte Martis - Sezione B1
FASE:	Fase_SM_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 <sub>max</sub>	1366.0	13.4	11.32	0.83	compr
N <sub>max</sub>	2660.6	0.0	4.25	0.16	compr
T <sub>max</sub>	1458.5	176.2	1.05	0.07	compr

**VERIFICHE**

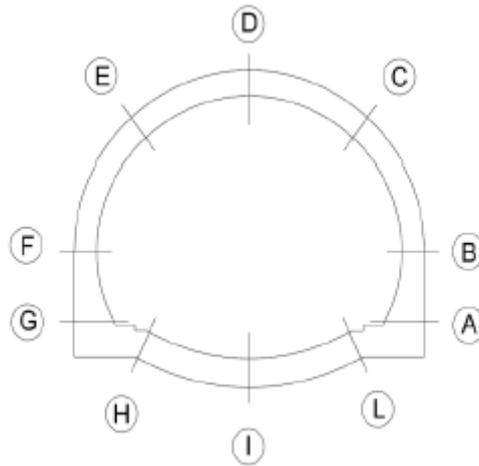
<i>Verifica centine</i>							Verifiche
N <sub>cent</sub>	T <sub>cent</sub>	M <sub>cent</sub>	σ <sub>max,cent</sub>	σ <sub>min,cent</sub>	τ <sub>cent</sub>	σ <sub>id</sub>	
[kN]	[kN]	[kNm]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	
184.1	13.42	11.32	88.8	-8.0	6.7	89.5	OK
358.7	0.00	4.25	96.8	60.5	0.0	96.8	OK
196.6	176.24	1.05	47.6	38.6	87.4	158.7	OK

<i>Verifica spritz beton</i>		
N <sub>spritz</sub>	σ <sub>max,sb</sub>	Verifiche
[kN]	[MPa]	
1182	5.91	OK
2302	11.51	OK
1262	6.31	OK

**13.3.3.5 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 17, per consentire una maggiore leggibilità dei dati. Le tabelle di verifica si riferiscono alla Fase\_06.



**Figura 21 - 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.

**Tabella 8-17 - Verifiche rivestimento definitivo di calotta - Fase\_SM\_06**

Sollecitazioni di calotta SLE			Sollecitazioni di calotta SLU			Verifiche calcestruzzo non armato													
N	T	M	N	T	M	H sez	φ (As tesa)	N°barre	φ (As compr)	N°barre	φ (staffe)	N°bracci	Passo	σ <sub>clis</sub>	Verifiche				
(kN)	(kN)	(kNm)	(kN)	(kN)	(kNm)	(cm)	(mm)	(-)	(mm)	(-)	(mm)	(-)	(cm)	[MPa]	e < H/3	σ <sub>clis,max</sub>	τ <sub>clis</sub>		
1172	-53.3	66.0	1523	-69	86	99.000	12	10	12	5	12	2.5	40	1.59	0.78	SI	SI	SI	A
1082	-141.8	84.1	1407	-184	109	89.000	12	10	12	5	12	2.5	40	1.85	0.58	SI	SI	SI	
1093	-126.5	75.2	1421	-164	98	82.000	12	10	12	5	12	2.5	40	2.00	0.66	SI	SI	SI	
1098	-96.1	62.8	1428	-125	82	77.000	12	10	12	5	12	2.5	40	2.06	0.79	SI	SI	SI	
1097	-63.8	49.4	1425	-83	64	74.000	12	10	12	5	12	2.5	40	2.02	0.94	SI	SI	SI	
1086	-40.2	35.8	1412	-52	47	72.500	12	10	12	5	14	2.5	40	1.91	1.09	SI	SI	SI	B
1084	-27.9	23.7	1409	-36	31	72.500	12	10	12	5	14	2.5	40	1.77	1.22	SI	SI	SI	
1081	-25.0	14.0	1405	-33	18	72.500	12	10	12	5	14	2.5	40	1.65	1.33	SI	SI	SI	
1079	-12.5	8.1	1403	-16	10	72.500	12	10	12	5	14	2.5	40	1.58	1.40	SI	SI	SI	
1076	-6.1	5.4	1399	-8	7	72.500	12	10	12	5	14	2.5	40	1.55	1.42	SI	SI	SI	
1073	-3.7	4.5	1395	-5	6	72.500	12	10	12	5	14	2.5	40	1.53	1.43	SI	SI	SI	
1071	-5.7	3.5	1392	-7	5	72.500	12	10	12	5	14	2.5	40	1.52	1.44	SI	SI	SI	
1069	-14.4	0.3	1390	-19	0	72.500	12	10	12	5	14	2.5	40	1.48	1.47	SI	SI	SI	
1069	-31.2	-6.4	1389	-41	-8	72.500	12	10	12	5	14	2.5	40	1.93	1.55	SI	SI	SI	C
1071	-19.5	-14.1	1392	-25	-18	72.500	12	10	12	5	14	2.5	40	1.90	1.64	SI	SI	SI	
1072	-12.3	-19.6	1393	-16	-26	72.500	12	10	12	5	14	2.5	40	1.88	1.70	SI	SI	SI	
1072	-8.1	-23.1	1393	-11	-30	72.500	12	10	12	5	12	2.5	40	1.86	1.74	SI	SI	SI	
1072	-5.4	-25.3	1393	-7	-33	72.500	12	10	12	5	12	2.5	40	1.85	1.77	SI	SI	SI	
1071	-3.7	-26.4	1392	-5	-34	72.500	12	10	12	5	12	2.5	40	1.84	1.78	SI	SI	SI	
1070	-2.7	-26.9	1391	-4	-35	72.500	12	10	12	5	12	2.5	40	1.84	1.78	SI	SI	SI	
1070	-2.2	-27.2	1391	-3	-35	72.500	12	10	12	5	12	2.5	40	1.84	1.79	SI	SI	SI	
1070	-1.3	-27.4	1391	-2	-36	72.500	12	10	12	5	12	2.5	40	1.84	1.79	SI	SI	SI	
1069	-0.5	-27.7	1390	-1	-36	72.500	12	10	12	5	12	2.5	40	1.84	1.79	SI	SI	SI	
1069	-0.2	-27.8	1390	0	-36	72.500	12	10	12	5	12	2.5	40	1.83	1.79	SI	SI	SI	D
1069	0.6	-27.7	1390	1	-36	72.500	12	10	12	5	12	2.5	40	1.84	1.79	SI	SI	SI	
1070	1.3	-27.5	1391	2	-36	72.500	12	10	12	5	12	2.5	40	1.84	1.79	SI	SI	SI	
1070	2.2	-27.3	1391	3	-35	72.500	12	10	12	5	12	2.5	40	1.84	1.79	SI	SI	SI	
1070	3.1	-26.9	1391	4	-35	72.500	12	10	12	5	12	2.5	40	1.84	1.78	SI	SI	SI	
1071	4.0	-26.3	1392	5	-34	72.500	12	10	12	5	12	2.5	40	1.84	1.78	SI	SI	SI	
1072	5.4	-25.1	1393	7	-33	72.500	12	10	12	5	12	2.5	40	1.85	1.76	SI	SI	SI	
1072	7.9	-23.0	1393	10	-30	72.500	12	10	12	5	12	2.5	40	1.86	1.74	SI	SI	SI	
1072	12.2	-19.6	1393	16	-25	72.500	12	10	12	5	12	2.5	40	1.88	1.70	SI	SI	SI	
1071	19.6	-14.0	1392	25	-18	72.500	12	10	12	5	12	2.5	40	1.90	1.64	SI	SI	SI	
1069	31.3	-6.4	1389	41	-8	72.500	12	10	12	5	12	2.5	40	1.93	1.55	SI	SI	SI	E
1069	14.6	0.4	1390	19	0	72.500	12	10	12	5	12	2.5	40	1.48	1.47	SI	SI	SI	
1071	5.8	3.6	1392	8	5	72.500	12	10	12	5	12	2.5	40	1.52	1.44	SI	SI	SI	
1073	3.8	4.6	1395	5	6	72.500	12	10	12	5	12	2.5	40	1.53	1.43	SI	SI	SI	
1075	41.5	5.5	1397	54	7	72.500	12	10	12	5	12	2.5	40	1.54	1.42	SI	SI	SI	
1073	83.7	8.2	1394	109	11	72.500	12	10	12	5	12	2.5	40	1.57	1.39	SI	SI	SI	
1076	78.6	14.2	1398	102	18	72.500	12	10	12	5	12	2.5	40	1.65	1.32	SI	SI	SI	
1078	81.9	23.8	1402	106	31	72.500	12	10	12	5	12	2.5	40	1.76	1.22	SI	SI	SI	
1079	94.5	35.6	1403	123	46	72.500	12	10	12	5	12	2.5	40	1.89	1.08	SI	SI	SI	F
1087	118.5	48.6	1413	154	63	74.000	12	10	12	5	12	2.5	40	2.00	0.94	SI	SI	SI	
1085	150.3	61.2	1411	195	80	77.000	12	10	12	5	12	2.5	40	2.03	0.79	SI	SI	SI	
1077	178.9	72.8	1401	233	95	82.000	12	10	12	5	12	2.5	40	1.96	0.66	SI	SI	SI	
1065	191.9	81.2	1384	249	106	89.000	12	10	12	5	12	2.5	40	1.81	0.58	SI	SI	SI	
1164	99.6	60.3	1513	129	78	99.000	12	10	12	5	12	2.5	40	1.54	0.81	SI	SI	SI	G

Tabella 8-18 – Verifiche rivestimento definitivo murette e arco rovescio – Fase\_SM\_06

Sollecitazioni di arco rovescio SLE											Sollecitazioni di arco rovescio SLU											Verifiche calcestruzzo armato										
N	T	M	N	T	M	H sez	φ <sub>(As res)</sub>	N <sup>barre</sup>	φ <sub>(As comp)</sub>	N <sup>barre</sup>	φ (staffe)	N <sup>bracci</sup>	Passo	σ <sub>dis</sub>	σ <sub>s</sub>	Fe saare	M <sub>dec</sub>	M <sub>cr</sub>	ε <sub>m</sub>	ε <sub>m</sub>	Verifica											
(kN)	(kN)	(kNm)	(kN)	(kN)	(kNm)	(cm)	(mm)	(m)	(mm)	(m)	(mm)	(c)	(cm)	(MPa)	(MPa)	(mm)	(kNm)	(kNm)	(mm)	(-)	(-)	(-)										
930	-17	-155	1235	-21.6	-201	70.0	12	10	12	10	12	2.5	40	-3.1	4.2	-	116.0	306.5	-	-	Verificato H											
931	-35	-172	1211	-45.2	-223	70.0	12	10	12	10	12	2.5	40	-3.6	15.2	-	114.3	304.8	-	-	Verificato											
932	-28	-185	1216	-36.4	-241	70.0	12	10	12	10	12	2.5	40	-3.8	18.8	-	115.0	305.5	-	-	Verificato											
941	-16	-194	1224	-20.2	-253	70.0	12	10	12	10	12	2.5	40	-3.8	20.3	-	115.4	305.9	-	-	Verificato											
943	15	-195	1226	-2.7	-257	70.0	12	10	12	10	12	2.5	40	-3.8	19.0	-	115.2	305.8	-	-	Verificato											
942	29.2	-186	1224	37.9	-242	70.0	20	10	20	10	12	2.5	40	-3.1	8.2	-	122.5	341.0	-	-	Verificato											
941	29	-176	1223	37.2	-228	70.0	20	10	20	10	12	2.5	40	-3.0	5.7	-	122.4	340.9	-	-	Verificato											
940	16	-166	1222	20.8	-218	70.0	20	10	20	10	12	2.5	40	-2.9	4.0	-	122.3	340.8	-	-	Verificato											
940	0	-166	1221	0.0	-214	70.0	20	10	20	10	12	2.5	40	-2.8	3.4	-	122.2	340.8	-	-	Verificato I											
940	-16	-168	1222	-20.9	-218	70.0	20	10	20	10	12	2.5	40	-2.9	4.0	-	122.3	340.8	-	-	Verificato											
941	-29	-176	1223	-37.4	-229	70.0	20	10	20	10	12	2.5	40	-3.0	5.7	-	122.4	340.9	-	-	Verificato											
942	-29	-187	1224	-37.8	-243	70.0	20	10	20	10	12	2.5	40	-3.1	8.2	-	122.5	341.0	-	-	Verificato											
943	-15	-195	1226	-19.2	-254	70.0	12	10	12	10	12	2.5	40	-3.8	19.1	-	115.3	305.9	-	-	Verificato											
944	2	-198	1227	2.9	-257	70.0	12	10	12	10	12	2.5	40	-3.8	20.3	-	115.0	305.5	-	-	Verificato											
941	16	-194	1224	20.4	-253	70.0	12	10	12	10	12	2.5	40	-3.8	18.8	-	115.0	305.5	-	-	Verificato											
935	28	-185	1216	36.5	-241	70.0	12	10	12	10	12	2.5	40	-3.6	16.2	-	114.2	304.8	-	-	Verificato											
931	35	-172	1211	45.3	-223	70.0	12	10	12	10	12	2.5	40	-3.3	10.2	-	113.8	304.3	-	-	Verificato											
949	17	-155	1234	22.0	-201	70.0	12	10	12	10	12	2.5	40	-3.1	4.2	-	116.0	306.5	-	-	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 <sub>(As res)</sub>	N <sup>barre</sup>	φ <sub>(As comp)</sub>	N <sup>barre</sup>	φ (staffe)	N <sup>bracci</sup>	Passo	M <sub>dec</sub>	F <sub>s</sub>	V <sub>Rdc</sub>	V <sub>Rds</sub>	V <sub>req</sub>	Duttilità	Armatura a taglio												
(kN)	(kN)	(kNm)	(kN)	(kN)	(kNm)	(cm)	(mm)	(m)	(mm)	(m)	(mm)	(c)	(cm)	(kNm)	(c)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(c)	(c)											
950	-17	-155	1235	-21.6	-201	70.0	12	10	12	10	12	2.5	40	628.8	3.1	388	277	1907	autile	NO	48											
931	-35	-172	1211	-45.2	-223	70.0	12	10	12	10	12	2.5	40	622.4	2.8	385	277	1907	autile	NO	49											
932	-28	-185	1216	-36.4	-241	70.0	12	10	12	10	12	2.5	40	623.8	2.6	385	277	1907	autile	NO	50											
941	-16	-194	1224	-20.2	-253	70.0	12	10	12	10	12	2.5	40	626.9	2.5	386	277	1907	autile	NO	51											
944	-2	-198	1228	-2.7	-257	70.0	12	10	12	10	12	2.5	40	626.5	2.4	387	277	1907	autile	NO	52											
943	15	-195	1226	19.5	-254	70.0	12	10	12	10	12	2.5	40	626.5	2.5	387	277	1907	autile	NO	53											
942	29.2	-186	1224	37.9	-242	70.0	20	10	20	10	12	2.5	40	1073.0	4.4	384	275	1895	autile	NO	54											
941	29	-176	1223	37.2	-228	70.0	20	10	20	10	12	2.5	40	1072.8	4.7	384	275	1895	autile	NO	55											
940	16	-168	1222	20.8	-218	70.0	20	10	20	10	12	2.5	40	1072.4	4.9	384	275	1895	autile	NO	56											
940	0	-166	1221	0.0	-214	70.0	20	10	20	10	12	2.5	40	1072.4	5.0	384	275	1895	autile	NO	57											
940	-16	-168	1222	-20.9	-218	70.0	20	10	20	10	12	2.5	40	1072.5	4.9	384	275	1895	autile	NO	58											
941	-29	-176	1223	-37.4	-229	70.0	20	10	20	10	12	2.5	40	1073.1	4.4	384	275	1895	autile	NO	59											
942	-29	-187	1224	-37.8	-243	70.0	12	10	12	10	12	2.5	40	626.5	2.5	387	277	1907	autile	NO	60											
943	-15	-195	1226	-19.2	-254	70.0	12	10	12	10	12	2.5	40	626.5	2.4	387	277	1907	autile	NO	61											
944	2	-198	1227	2.9	-257	70.0	12	10	12	10	12	2.5	40	626.8	2.4	387	277	1907	autile	NO	62											
941	16	-194	1224	20.4	-253	70.0	12	10	12	10	12	2.5	40	625.8	2.5	386	277	1907	autile	NO	63											
935	28	-185	1216	36.5	-241	70.0	12	10	12	10	12	2.5	40	623.7	2.6	385	277	1907	autile	NO	64											
931	35	-172	1211	45.3	-223	70.0	12	10	12	10	12	2.5	40	622.3	2.8	385	277	1907	autile	NO	65											
949	17	-155	1234	22.0	-201	70.0	12	10	12	10	12	2.5	40	628.7	3.1	388	277	1907	autile	NO	66											

## 14 FASE DI VERIFICA E MESSA A PUNTO DEL PROGETTO

### 14.1 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 19 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.

GALLERIA MONTE MARTIS – Relazione geotecnica e di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D 07 CL	GN 01 00 001	A	62 di 132

Sezione tipo	Misure di convergenza		Rilievi del fronte	Estrusometro
	Frequenza sezioni	Frequenza misure	Frequenza (*)	
A1	1 ogni 20 m	1 al giorno	1 ogni 20 m	-
A2	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 19 – Programma di monitoraggio**

## 14.2 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 20).

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 <sup>(*)</sup> (mm)	Estrusione cumulativa totale (mm)	Cedimenti piano campagna (mm)
A1	IGR	Trascurabile	-	-
A2	IGR	Trascurabile	-	-
B1	IGR zone di faglia	<10	-	-
(*) convergenza radiale depurata della preconvergenza				

**Tabella 20 – Previsioni progettuali**

## 15 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.

## 16 ALLEGATI

### 16.1 Curve caratteristiche

#### 16.1.1 Curve caratteristiche in condizioni intrinseche

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

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

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

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

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

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

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

CALCOLO GALLERIE CON METODO  
CONVERGENZA-CONFINAMENTO  
SOLUTORE ANALITICO

VERSIONE 4 (2003)

Velocizzazione linea San Gavino - Sassari - Olbia  
Galleria Monte Martis  
Sezione A1 - 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] .....	4.27000
PARAMETRI GEOTECNICI -----	
Tensione originaria [MPa] .....	1.40000
Modulo di Young [MPa] .....	2468.00000
Coefficiente di Poisson .....	.30000
Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] .	.00000
RESISTENZA ROCCIA	
Coesione picco [MPa] .....	.39800
Angolo attrito picco [°] .....	52.18000
Coesione residua [MPa] .....	.39800
Angolo attrito residuo [MPa] .....	52.18000
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

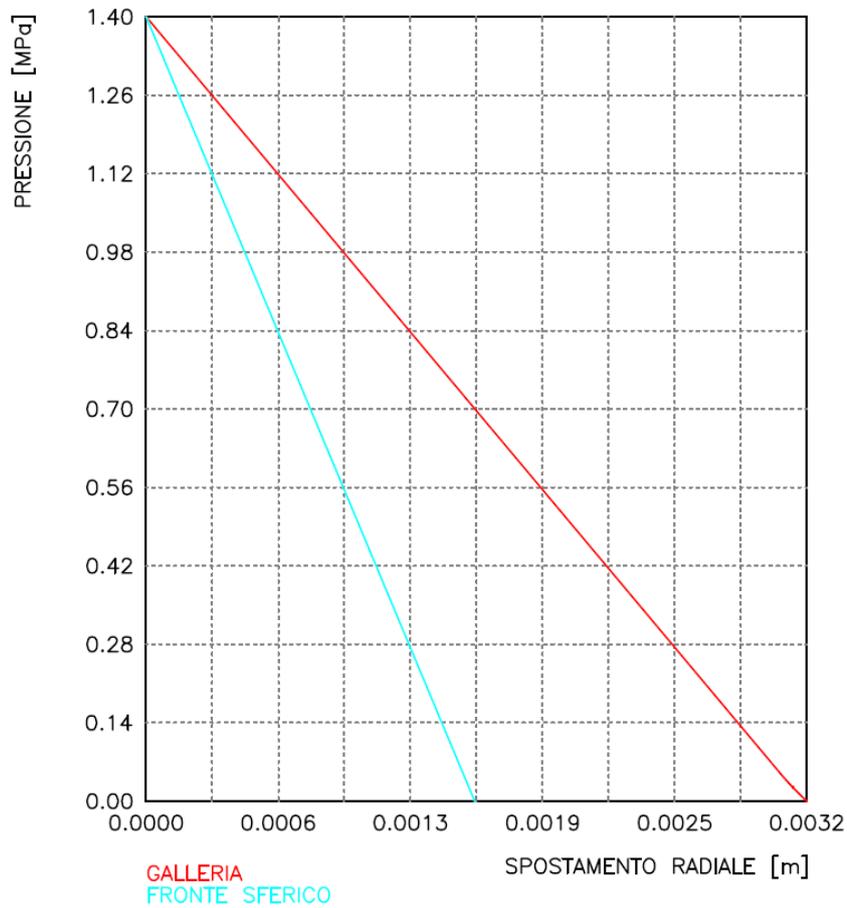
Press. fine calcolo galleria non sostenuta [MPa] ..	.000000
Spostamento radiale galleria non sostenuta [m] ....	.003164
Raggio plastico galleria non sostenuta [m] .....	4.356077
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] .....	.000000
Spostamento radiale fronte sferico [m] .....	.001574
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] .....	.001068
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ...	.000918
Raggio plastico fronte sferico [m] .....	4.270000

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] .....	.003164
Raggio plastico galleria fine calcolo [m] .....	4.356077

Velocizzazione linea San Gavino – Sassari – Olbia  
Galleria Monte Martis  
Sezione A1 – intrinseca

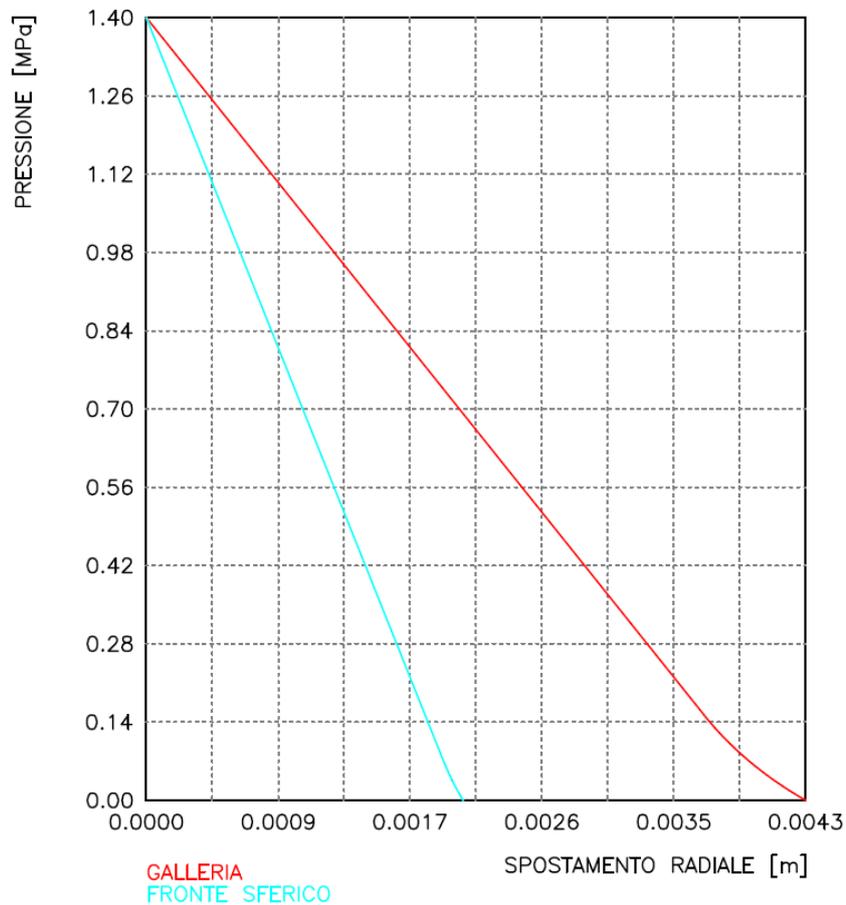
CURVE CARATTERISTICHE





Velocizzazione linea San Gavino – Sassari – Olbia  
Galleria Monte martis  
Sezione A2 – intrinseca

CURVE CARATTERISTICHE



```

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

VERSIONE 4 (2003)

Velocizzazione linea San Gavino - Sassari - Olbia  
 Galleria Monte Martis  
 Sezione B1 - 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] .....	4.54000
PARAMETRI GEOTECNICI -----	
Tensione originaria [MPa] .....	1.24000
Modulo di Young [MPa] .....	1118.00000
Coefficiente di Poisson .....	.30000
Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m <sup>3</sup> ] ..	.00000
RESISTENZA ROCCIA	
Coesione picco [MPa] .....	.21300
Angolo attrito picco [°] .....	45.94000
Coesione residua [MPa] .....	.21300
Angolo attrito residuo [MPa] .....	45.94000
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

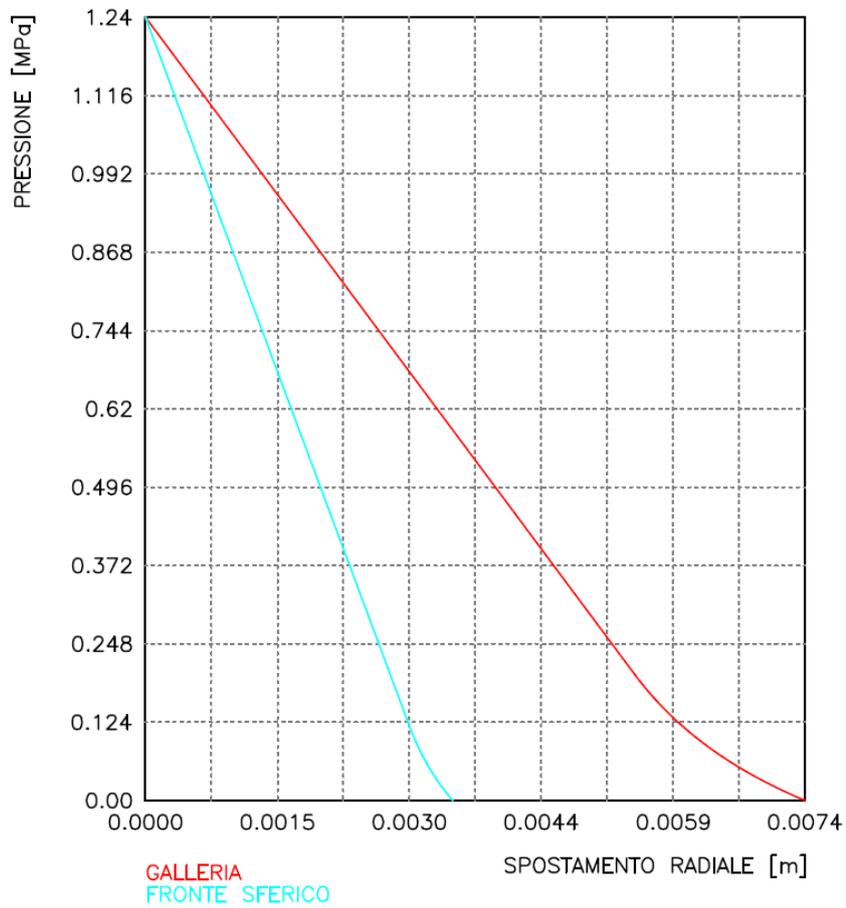
Press. fine calcolo galleria non sostenuta [MPa] ..	.000000
Spostamento radiale galleria non sostenuta [m] ....	.007406
Raggio plastico galleria non sostenuta [m] .....	5.186661
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] .....	.000000
Spostamento radiale fronte sferico [m] .....	.003450
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] .....	.001965
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ...	.002148
Raggio plastico fronte sferico [m] .....	4.751628

#### 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] .....	.007406
Raggio plastico galleria fine calcolo [m] .....	5.186661

Velocizzazione linea San Gavino – Sassari – Olbia  
Galleria Monte Martis  
Sezione B1 – intrinseca

CURVE CARATTERISTICHE





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

GALLERIA MONTE MARTIS – Relazione geotecnica e di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D 07 CL	GN 01 00 001	A	72 di 132

**16.1.2 Curve caratteristiche in presenza dei sostegni**

*16.1.2.1 Galleria di linea – Sezione tipo A1 – Listato dell’analisi*

*16.1.2.2 Galleria di linea – Sezione tipo A1 – Diagramma delle curve caratteristiche*

*16.1.2.3 Galleria di linea – Sezione tipo A2 – Listato dell’analisi*

*16.1.2.4 Galleria di linea – Sezione tipo A2 – Diagramma delle curve caratteristiche*

*16.1.2.5 Galleria di linea – Sezione tipo B1 – Listato dell’analisi*

*16.1.2.6 Galleria di linea – Sezione tipo B1 – Diagramma delle curve caratteristiche*



GALLERIA MONTE MARTIS – Relazione geotecnica e di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D 07 CL	GN 01 00 001	A	74 di 132

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] .....	.003153
Raggio plastico galleria [m] .....	4.359722
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] .....	.000000
Spostamento radiale fronte sferico [m] .....	.001573
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] .....	.001064
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ..	.000914
Raggio plastico fronte sferico [m] .....	4.270000

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

Metodo Panet-Guenot

U [m] :	.00258
LAMBDA :	.82094

Trasformazione Omotetica

U [m] :	.00301
LAMBDA :	.96006

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione cavità sferica

U [m] :	.00288
LAMBDA :	.91868

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns

U [m] :	.00279
LAMBDA :	.89029

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica

U [m] :	.00278
LAMBDA :	.88531

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

Metodo Panet-Guenot

U [m] :	.00314
LAMBDA :	.99761

Trasformazione Omotetica

U [m] :	.00315
LAMBDA :	1.00000

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione cavità sferica

U [m] :	.00303
LAMBDA :	.99961

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns

U [m] :	.00299
LAMBDA :	.99948

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica

U [m] :	.00299
LAMBDA :	.99946

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] .....	.003153
Raggio plastico galleria fine calcolo [m] .....	4.359722
PRERIVESTIMENTO -----	
Raggio plastico punto di equilibrio [m] .....	4.28045
Pressione punto di equilibrio [MPa] .....	.04612
Spostamento punto di equilibrio [m] .....	.00303
Spostamento galleria alla messa in opera [m] .....	.00288
Convergenza radiale prerivestimento [m] .....	.00015
Tasso di deconfinamento alla messa in opera .....	.918682
MODULI APPARENTI GALLERIA (PER COEFFICIENTI DI FORMA)	
E1 [MPa] .....	2475.51495
E2 [MPa] .....	2135.10532
COEFFICIENTI DI FORMA SPOSTAMENTI ORIZZONTALI	
Piano dei centri .....	1.26557
Piedritto .....	1.69010
COEFFICIENTI DI FORMA TENSIONI	
Calotta intradosso .....	1.19439
Calotta estradosso .....	1.08971
Rene intradosso .....	.76752
Rene estradosso .....	.70778
Piedritto intradosso .....	.35387
Piedritto estradosso .....	.46486
CODICE INTERPOLAZIONE COEFFICIENTI DI FORMA .....	0
(0 estrapolazione 1 interpolazione)	
SPRITZ-BETON E CENTINE (ANELLO CHIUSO)	
Tensione spritz [MPa] .....	1.19251
Tensione centine [MPa] .....	7.46821
Coefficiente di sicurezza spritz .....	11.83221
Coefficiente di sicurezza centine .....	35.06864
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] .....	.0001922
Spostamento orizzontale piedritto [m] .....	.0002566
Sollecitazione Normale Calotta [MN] .....	.31760
Momento Flettente Calotta [MN*m] .....	-.00026
Tensione spriz intradosso Calotta [MPa] .....	1.39719
Tensione spriz estradosso Calotta [MPa] .....	1.31435
Tensione centine intradosso Calotta [MPa] .....	9.29340
Tensione centine estradosso Calotta [MPa] .....	8.77713
Sollecitazione Normale Piano Centri [MN] .....	.20514
Momento Flettente Piano Centri [MN*m] .....	-.00015
Tensione spriz intradosso Piano Centri [MPa] .....	.89930
Tensione spriz estradosso Piano Centri [MPa] .....	.85204
Tensione centine intradosso Piano Centri [MPa] .....	5.98441
Tensione centine estradosso Piano Centri [MPa] .....	5.68981
Sollecitazione Normale Piedritto [MN] .....	.11384
Momento Flettente Piedritto [MN*m] .....	.00028
Tensione spriz intradosso Piedritto [MPa] .....	.44166
Tensione spriz estradosso Piedritto [MPa] .....	.52948
Tensione centine intradosso Piedritto [MPa] .....	2.98845
Tensione centine estradosso Piedritto [MPa] .....	3.53581
RIVESTIMENTO DEFINITIVO (ANELLO CLS) -----	
Raggio plastico punto di equilibrio [m] .....	4.30138
Pressione punto di equilibrio [MPa] .....	.03274
Spostamento punto di equilibrio [MPa] .....	.00307
Spostamento galleria alla messa in opera [m] .....	.00303
Convergenza radiale rivestimento [m] .....	.00003
Tensione CLS [MPa] .....	.28717



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

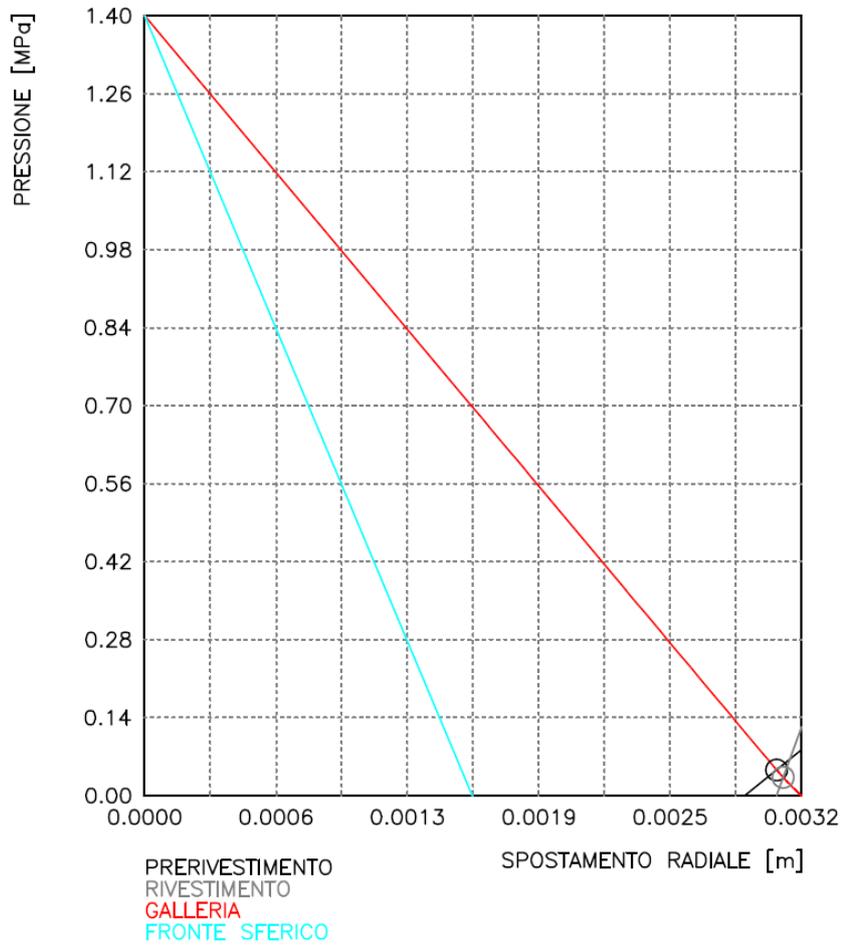
GALLERIA MONTE MARTIS – Relazione geotecnica e di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D 07 CL	GN 01 00 001	A	76 di 132

Coefficiente di sicurezza CLS .....	49.13441
Pressione rottura CLS [MPa] .....	1.60847
Rigidezza anello CLS [MPa] .....	4235.33012
Tasso di deconfinamento alla messa in opera .....	.999615

Velocizzazione linea San Gavino – Sassari – Olbia  
Galleria Monte Martis  
Sezione A1

CURVE CARATTERISTICHE





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

GALLERIA MONTE MARTIS – Relazione geotecnica e di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D 07 CL	GN 01 00 001	A	78 di 132

Velocizzazione linea San Gavino – Sassari – Olbia  
 Galleria Monte Martis  
 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     $\nu$ : .3     $\gamma$ : 0 kN/m<sup>3</sup>     $\sigma_{max}$ : 1.4 MPa  
 Tipo di criterio di resistenza: MOHR-COULOMB

RESISTENZA	RESISTENZA A LUNGO TERMINE
PHI piccolo: 52.18 °	PHI piccolo: .001 °
C piccolo: .398 MPa	C piccolo: .000001 MPa
PHI residuo: 52.18 °	PHI residuo: .001 °
C residuo: .398 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 m<sup>2</sup> passo 1.4 m resistenza 261.9 MPa

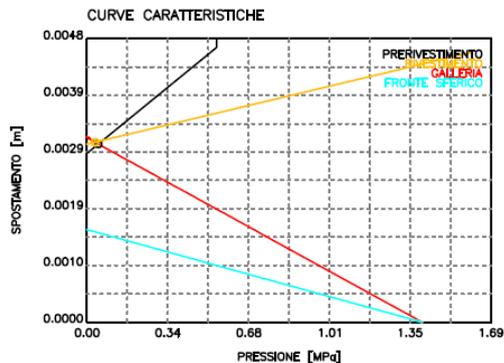
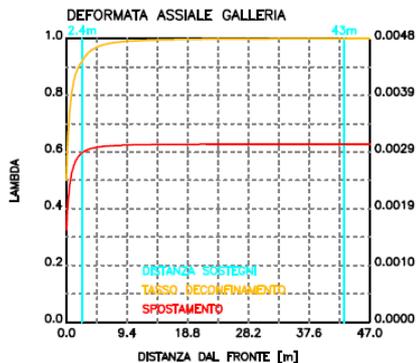
Spostamento radiale prerivestimento circolare chiuso .0002 m

TENSIONI PRERIVESTIMENTO CIRCOLARE CHIUSO

Spritz-beton 1.2 MPa Centine 7.5 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) 1.4 1.3 MPa  
 Tensioni spritz piano centri (intradosso e estradosso) 0.9 0.9 MPa  
 Tensioni spritz piedritto (intradosso e estradosso) 0.4 0.5 MPa  
 Tensioni centine calotta (intradosso e estradosso) 9.3 8.8 MPa  
 Tensioni centine piano centri (intradosso e estradosso) 6.0 5.7 MPa  
 Tensioni centine piedritto (intradosso e estradosso) 3.0 3.5 MPa

RIVESTIMENTO DEFINITIVO

Calcestruzzo spessore .15 m resistenza 14.11 MPa gioco radiale 0 m  
 Spostamento radiale 0.0000 m  
 Tensione CLS 0.29 MPa



GALLERIA MONTE MARTIS – Relazione geotecnica e di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D 07 CL	GN 01 00 001	A	79 di 132

```

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

```

CALCOLO GALLERIE CON METODO  
CONVERGENZA-CONFINAMENTO  
SOLUTORE TRANSFER-MATRIX

VERSIONE 4 (2003)

Velocizzazione linea San Gavino - Sassari - Olbia  
Galleria Monte martis  
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] .....	1.40000
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] .....	.29900
Angolo attrito picco [°] .....	48.48000
Coesione residua [MPa] .....	.29900
Angolo attrito residuo [MPa] .....	48.48000
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 MONTE MARTIS – Relazione geotecnica e di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D 07 CL	GN 01 00 001	A	80 di 132

[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 <sup>2</sup> ] .....	.00000
Altezza sezione centina [m <sup>2</sup> ] .....	.00000
Posizione baricentro sezione centina [m] .....	.00000
Momento inerzia baricentrico sezione centina [m <sup>4</sup> ] .	.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 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] .....	.004306
Raggio plastico galleria [m] .....	4.637665
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] .....	.000000
Spostamento radiale fronte sferico [m] .....	.002082
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] .....	.001304
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ...	.001253
Raggio plastico fronte sferico [m] .....	4.388421

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

Metodo Panet-Guenot	
U [m] :	.00346
LAMBDA :	.84583
Trasformazione Omotetica	
U [m] :	.00411
LAMBDA :	.97425
Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione cavità sferica	
U [m] :	.00381
LAMBDA :	.92598
Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns	
U [m] :	.00365
LAMBDA :	.89117
Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica	
U [m] :	.00364
LAMBDA :	.88865

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

Metodo Panet-Guenot	
U [m] :	.00428
LAMBDA :	.99571
Trasformazione Omotetica	

GALLERIA MONTE MARTIS – Relazione geotecnica e di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D 07 CL	GN 01 00 001	A	81 di 132

U [m] : .00432  
LAMBDA : 1.00000

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione cavità sferica

U [m] : .00401  
LAMBDA : .99884

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns

U [m] : .00392  
LAMBDA : .99830

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica

U [m] : .00392  
LAMBDA : .99826

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

Metodo Panet-Guenot

U [m] : .00370  
LAMBDA : .90342

Trasformazione Omotetica

U [m] : .00423  
LAMBDA : .98932

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione cavità sferica

U [m] : .00390  
LAMBDA : .95713

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns

U [m] : .00377  
LAMBDA : .93697

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica

U [m] : .00376  
LAMBDA : .93551

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] .....	.004306
Raggio plastico galleria fine calcolo [m] .....	4.637665
Pressione fine calcolo (L.T.) [MPa] .....	.000000
Spost. radiale galleria fine calcolo (L.T.) [m] ...	.004322
Raggio plastico galleria fine calcolo (L.T.) [m] ..	4.648951

PRERIVESTIMENTO -----

Raggio plastico punto di equilibrio [m] .....	4.49724
Pressione punto di equilibrio [MPa] .....	.05522
Spostamento punto di equilibrio [m] .....	.00401
Spostamento galleria alla messa in opera [m] .....	.00381
Convergenza radiale prerivestimento [m] .....	.00020
Tasso di deconfinamento alla messa in opera .....	.925978

BARRE AD ADERENZA CONTINUA -----

Fattore di sicurezza rottura a trazione .....	114.09871
Fattore di sicurezza sfilamento .....	.99898
Spostamento galleria alla messa in opera [m] .....	.00399
Convergenza radiale barre [m] .....	.00031
Tasso di deconfinamento alla messa in opera .....	.957132

MODULI APPARENTI GALLERIA (PER COEFFICIENTI DI FORMA)

E1 [MPa] .....	1339.03251
E2 [MPa] .....	1007.07254

COEFFICIENTI DI FORMA SPOSTAMENTI ORIZZONTALI

Piano dei centri .....	1.49995
Piedritto .....	1.97114

GALLERIA MONTE MARTIS – Relazione geotecnica e di calcolo

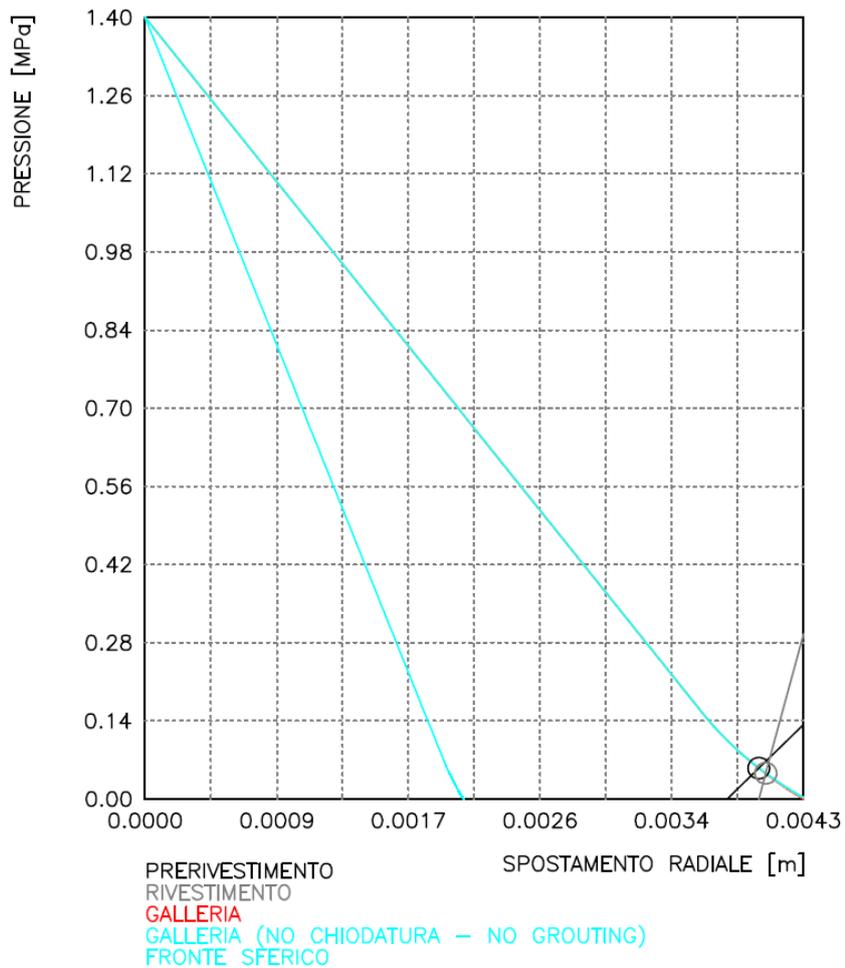
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D 07 CL	GN 01 00 001	A	82 di 132

**COEFFICIENTI DI FORMA TENSIONI**

Calotta intradosso .....	1.26944
Calotta estradosso .....	1.12807
Rene intradosso .....	.75334
Rene estradosso .....	.69954
Piedritto intradosso .....	.42893
Piedritto estradosso .....	.52959
CODICE INTERPOLAZIONE COEFFICIENTI DI FORMA .....	1
(0 estrapolazione 1 interpolazione)	
SPRITZ-BETON E CENTINE (ANELLO CHIUSO)	
Tensione spritz [MPa] .....	1.57404
Tensione centine [MPa] .....	.00000
Coefficiente di sicurezza spritz .....	8.96419
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] .....	.0003028
Spostamento orizzontale piedritto [m] .....	.0003980
Sollecitazione Normale Calotta [MN] .....	.28303
Momento Flettente Calotta [MN*m] .....	-.00042
Tensione spriz intradosso Calotta [MPa] .....	1.99816
Tensione spriz estradosso Calotta [MPa] .....	1.77563
Tensione centine intradosso Calotta [MPa] .....	.00000
Tensione centine estradosso Calotta [MPa] .....	.00000
Sollecitazione Normale Piano Centri [MN] .....	.17152
Momento Flettente Piano Centri [MN*m] .....	-.00016
Tensione spriz intradosso Piano Centri [MPa] .....	1.18579
Tensione spriz estradosso Piano Centri [MPa] .....	1.10111
Tensione centine intradosso Piano Centri [MPa] .....	.00000
Tensione centine estradosso Piano Centri [MPa] .....	.00000
Sollecitazione Normale Piedritto [MN] .....	.11316
Momento Flettente Piedritto [MN*m] .....	.00030
Tensione spriz intradosso Piedritto [MPa] .....	.67515
Tensione spriz estradosso Piedritto [MPa] .....	.83359
Tensione centine intradosso Piedritto [MPa] .....	.00000
Tensione centine estradosso Piedritto [MPa] .....	.00000
<b>RIVESTIMENTO DEFINITIVO (ANELLO CLS) -----</b>	
Raggio plastico punto di equilibrio [m] .....	4.52850
Pressione punto di equilibrio [MPa] .....	.04615
Spostamento punto di equilibrio [MPa] .....	.00406
Spostamento galleria alla messa in opera [m] .....	.00401
Convergenza radiale rivestimento [m] .....	.00005
Tensione CLS [MPa] .....	.40757
Coefficiente di sicurezza CLS .....	34.61968
Pressione rottura CLS [MPa] .....	1.59759
Rigidezza anello CLS [MPa] .....	4202.27351
Tasso di deconfinamento alla messa in opera .....	.998841

Velocizzazione linea San Gavino – Sassari – Olbia  
Galleria Monte martis  
Sezione A2

CURVE CARATTERISTICHE





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

GALLERIA MONTE MARTIS – Relazione geotecnica e di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D 07 CL	GN 01 00 001	A	84 di 132

Velocizzazione linea San Gavino – Sassari – Olbia  
 Galleria Monte martis  
 Sezione A2

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: 8.6 m

PARAMETRI ROCCIA

E: 1903 MPa Ni: .3 GAMMA: 0 kN/m<sup>3</sup> SIGMA: 1.4 MPa  
 Tipo di criterio di resistenza: MOHR-COULOMB

RESISTENZA	RESISTENZA A LUNGO TERMINE
PH piccolo: 48.48 *	PH piccolo: .001 *
C piccolo: .299 MPa	C piccolo: .000001 MPa
PH residuo: 48.48 *	PH residuo: .001 *
C residuo: .299 MPa	C residuo: .000001 MPa
PSi: 0 *	PSi: 0 *
H apparente: 0 MPa	H apparente: 0 MPa

PRERIVESTIMENTO

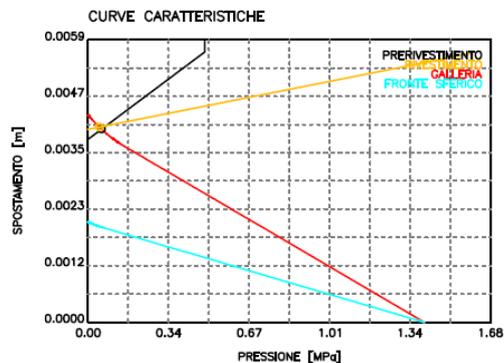
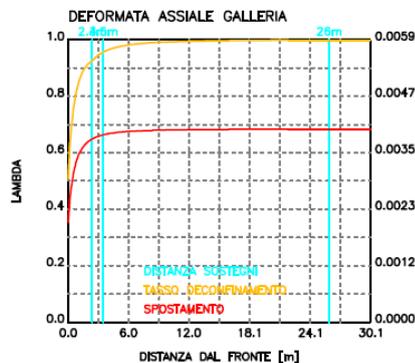
Spritz-Beton spessore .15 m resistenza 14.11 MPa  
 Chiodi ad aderenza continua sezione .000452 m<sup>2</sup> lunghezza 4.5 m incidenza 0.58 chiodi/m<sup>2</sup>  
 Spostamento radiale prerivestimento circolare chiuso .0002 m

TENSIONI PRERIVESTIMENTO CIRCOLARE CHIUSO

Spritz-beton 1.6 MPa  
 Fattore sicurezza sfilamento chiodatura 1.0  
 Fattore sicurezza a trazione chiodatura 114.1  
 SPRITZ BETON E CENTINE – RISULTATO CALCOLO SEZIONE A U ROVESCIA  
 Spostamento orizz. piano centri 0.0003 m  
 Spostamento orizz. piedritto 0.0004 m  
 Tensioni spritz calotta (intradosso e estradosso) 2.0 1.8 MPa  
 Tensioni spritz piano centri (intradosso e estradosso) 1.2 1.1 MPa  
 Tensioni spritz piedritto (intradosso e estradosso) 0.7 0.8 MPa

RIVESTIMENTO DEFINITIVO

Calcestruzzo spessore .5 m resistenza 14.11 MPa gioco radiale 0 m  
 Spostamento radiale 0.0000 m  
 Tensione CLS 0.41 MPa





GALLERIA MONTE MARTIS – Relazione geotecnica e di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D 07 CL	GN 01 00 001	A	86 di 132

Modulo Young spritz [MPa] .....	31447.00000
Coefficiente di Poisson spritz .....	.15000
Sezione centina [m <sup>2</sup> ] .....	.00456
Altezza sezione centina [m <sup>2</sup> ] .....	.16000
Posizione baricentro sezione centina [m] .....	.09000
Momento inerzia baricentrico sezione centina [m <sup>4</sup> ] .	.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] .....	.007399
Raggio plastico galleria [m] .....	5.198100
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] .....	.000000
Spostamento radiale fronte sferico [m] .....	.003288
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] .....	.002326
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ...	.002146
Raggio plastico fronte sferico [m] .....	4.602343

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

Metodo Panet-Guenot	
U [m] :	.00468
LAMBDA :	.71713
Trasformazione Omotetica	
U [m] :	.00607
LAMBDA :	.91117
Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione cavità sferica	
U [m] :	.00493
LAMBDA :	.75558
Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns	
U [m] :	.00444
LAMBDA :	.68044
Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica	
U [m] :	.00435
LAMBDA :	.66725

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

Metodo Panet-Guenot	
U [m] :	.00717
LAMBDA :	.98846
Trasformazione Omotetica	
U [m] :	.00740
LAMBDA :	.99996
Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione cavità sferica	

GALLERIA MONTE MARTIS – Relazione geotecnica e di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D 07 CL	GN 01 00 001	A	87 di 132

U [m] : .00546  
LAMBDA : .99578

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns

U [m] : .00512  
LAMBDA : .99449

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica

U [m] : .00507  
LAMBDA : .99426

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] .....	.007399
Raggio plastico galleria fine calcolo [m] .....	5.198100
PRERIVESTIMENTO -----	
Raggio plastico punto di equilibrio [m] .....	4.54000
Pressione punto di equilibrio [MPa] .....	.20121
Spostamento punto di equilibrio [m] .....	.00546
Spostamento galleria alla messa in opera [m] .....	.00493
Convergenza radiale prerivestimento [m] .....	.00054
Tasso di deconfinamento alla messa in opera .....	.755579
MODULI APPARENTI GALLERIA (PER COEFFICIENTI DI FORMA)	
E1 [MPa] .....	1122.34800
E2 [MPa] .....	611.24693
COEFFICIENTI DI FORMA SPOSTAMENTI ORIZZONTALI	
Piano dei centri .....	3.56733
Piedritto .....	5.62388
COEFFICIENTI DI FORMA TENSIONI	
Calotta intradosso .....	1.21085
Calotta estradosso .....	1.05258
Rene intradosso .....	1.01322
Rene estradosso .....	.76008
Piedritto intradosso .....	.27956
Piedritto estradosso .....	1.05323
CODICE INTERPOLAZIONE COEFFICIENTI DI FORMA .....	1
(0 estrapolazione 1 interpolazione)	
SPRITZ-BETON E CENTINE (ANELLO CHIUSO)	
Tensione spritz [MPa] .....	3.99859
Tensione centine [MPa] .....	24.77846
Coefficiente di sicurezza spritz .....	3.52874
Coefficiente di sicurezza centine .....	10.56966
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] .....	.0019110
Spostamento orizzontale piedritto [m] .....	.0030126
Sollecitazione Normale Calotta [MN] .....	1.03581
Momento Flettente Calotta [MN*m] .....	-.00241
Tensione spriz intradosso Calotta [MPa] .....	4.80275
Tensione spriz estradosso Calotta [MPa] .....	4.19468
Tensione centine intradosso Calotta [MPa] .....	31.46320
Tensione centine estradosso Calotta [MPa] .....	28.21468
Sollecitazione Normale Piano Centri [MN] .....	.81151
Momento Flettente Piano Centri [MN*m] .....	-.00386
Tensione spriz intradosso Piano Centri [MPa] .....	4.01413
Tensione spriz estradosso Piano Centri [MPa] .....	3.04153
Tensione centine intradosso Piano Centri [MPa] .....	25.83172
Tensione centine estradosso Piano Centri [MPa] .....	20.63577
Sollecitazione Normale Piedritto [MN] .....	.60992
Momento Flettente Piedritto [MN*m] .....	.01180
Tensione spriz intradosso Piedritto [MPa] .....	1.14072

GALLERIA MONTE MARTIS – Relazione geotecnica e di calcolo

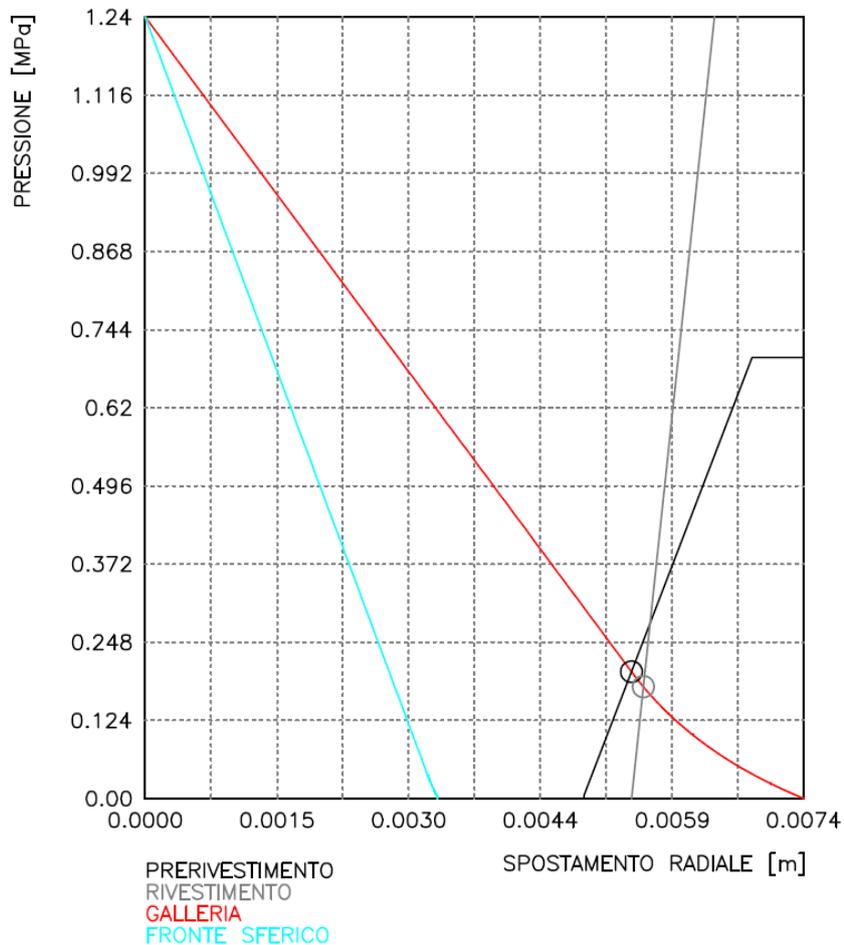
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D 07 CL	GN 01 00 001	A	88 di 132

Tensione spriz estradosso Piedritto [MPa] .....	4.11326
Tensione centine intradosso Piedritto [MPa] .....	10.59516
Tensione centine estradosso Piedritto [MPa] .....	26.47544

RIVESTIMENTO DEFINITIVO (ANELLO CLS) -----	
Raggio plastico punto di equilibrio [m] .....	4.59864
Pressione punto di equilibrio [MPa] .....	.17736
Spostamento punto di equilibrio [MPa] .....	.00560
Spostamento galleria alla messa in opera [m] .....	.00546
Convergenza radiale rivestimento [m] .....	.00013
Tensione CLS [MPa] .....	1.19609
Coefficiente di sicurezza CLS .....	11.79680
Pressione rottura CLS [MPa] .....	2.09227
Rigidità anello CLS [MPa] .....	5778.44365
Tasso di deconfinamento alla messa in opera .....	.995782

Velocizzazione linea San Gavino – Sassari – Olbia  
Galleria Monte Martis  
Sezione B1

CURVE CARATTERISTICHE





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

GALLERIA MONTE MARTIS – Relazione geotecnica e di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D 07 CL	GN 01 00 001	A	90 di 132

Velocizzazione linea San Gavino – Sassari – Olbia  
 Galleria Monte Martis  
 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     $\nu$ : .3     $\gamma$ : 0 kN/m<sup>3</sup>     $\sigma_{max}$ : 1.24 MPa  
 Tipo di criterio di resistenza: MOHR-COULOMB

RESISTENZA	RESISTENZA A LUNGO TERMINE
PHI picco: 45.94 °	PHI picco: .001 °
C picco: .213 MPa	C picco: .000001 MPa
PHI residuo: 45.94 °	PHI residuo: .001 °
C residuo: .213 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 m<sup>2</sup> incidenza .23148141  
 Ulteriore miglioramento fronte – incremento Cp 0 MPa – pressione sul

PRERIVESTIMENTO

Spritz-Beton spessore .2 m resistenza 14.11 MPa centine sezione .00456 m<sup>2</sup> passo 1 m resistenza 261.9 MPa

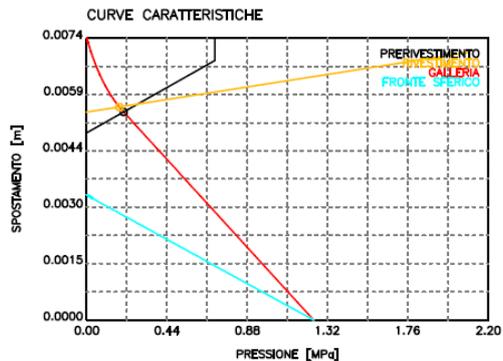
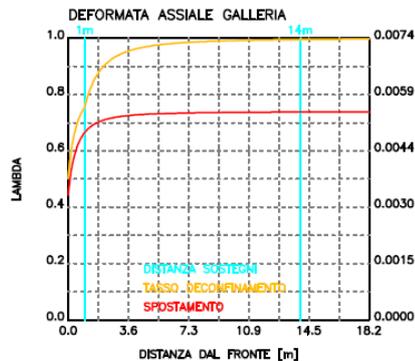
Spostamento radiale prerivestimento circolare chiuso .0005 m

TENSIONI PRERIVESTIMENTO CIRCOLARE CHIUSO

Spritz-beton 4.0 MPa Centine 24.8 MPa  
 SPRITZ BETON E CENTINE – RISULTATO CALCOLO SEZIONE A U ROVESCIA  
 Spostamento orizz. piano centri 0.0019 m  
 Spostamento orizz. piedritto 0.003 m  
 Tensioni spritz calotta (intradosso e estradosso) 4.8 4.2 MPa  
 Tensioni spritz piano centri (intradosso e estradosso) 4.0 3.0 MPa  
 Tensioni spritz piedritto (intradosso e estradosso) 1.1 4.1 MPa  
 Tensioni centine calotta (intradosso e estradosso) 31.5 28.2 MPa  
 Tensioni centine piano centri (intradosso e estradosso) 25.8 20.6 MPa  
 Tensioni centine piedritto (intradosso e estradosso) 10.6 28.5 MPa

RIVESTIMENTO DEFINITIVO

Calcestruzzo spessore .7 m resistenza 14.11 MPa gioco radiale 0 m  
 Spostamento radiale 0.0001 m  
 Tensione CLS 1.20 MPa

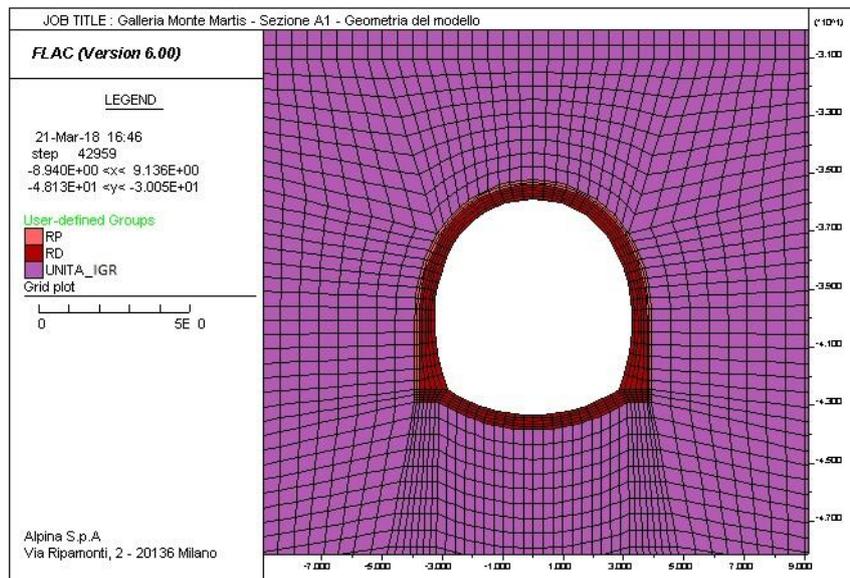
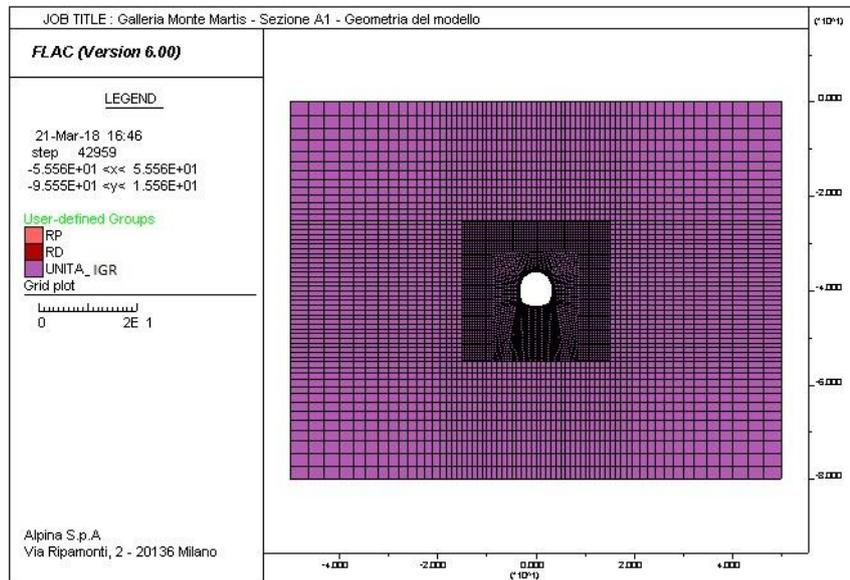


## 16.2 Sezione A1: risultati dell'analisi numerica

### 16.2.1 Modello generale

#### 16.2.1.1 Sezione tipo A1 – Geometria del modello

#### 16.2.1.2 Sezione tipo A1 – Dettaglio della suddivisione in zone



## 16.2.2 Scavo e costruzione graduale per fasi

16.2.2.1 Sezione tipo A1 – Fase 02

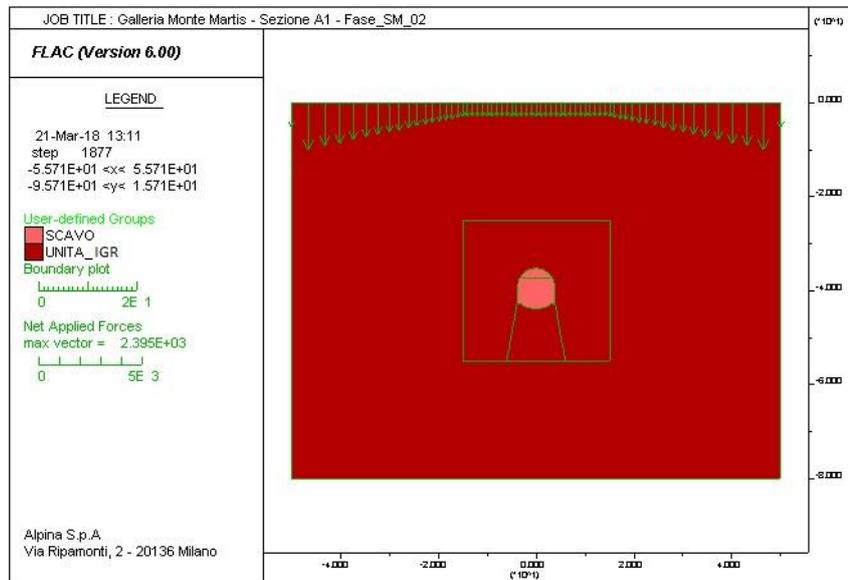
16.2.2.2 Sezione tipo A1 – Fase 03

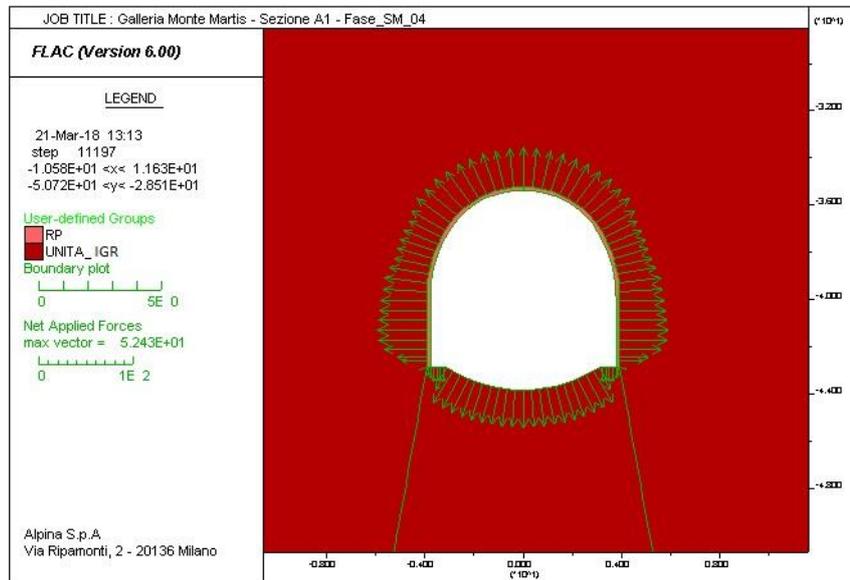
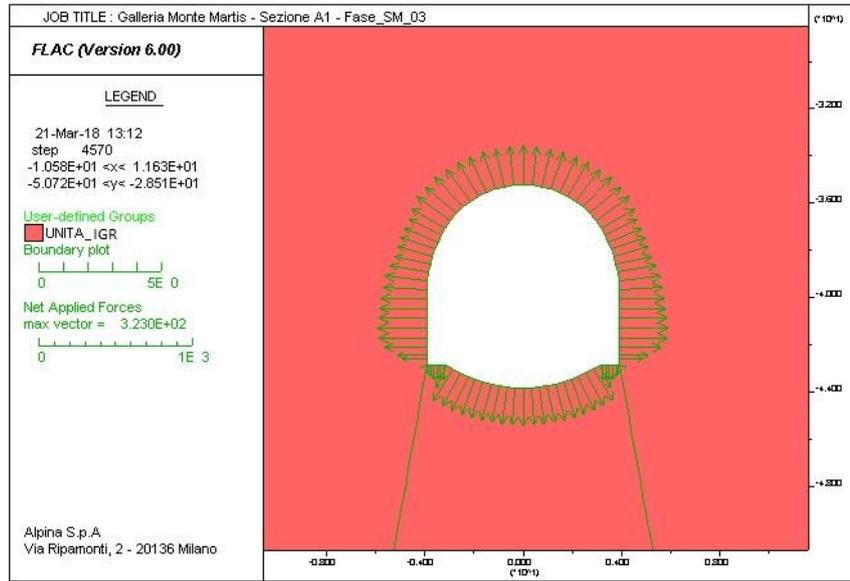
16.2.2.3 Sezione tipo A1 – Fase 04

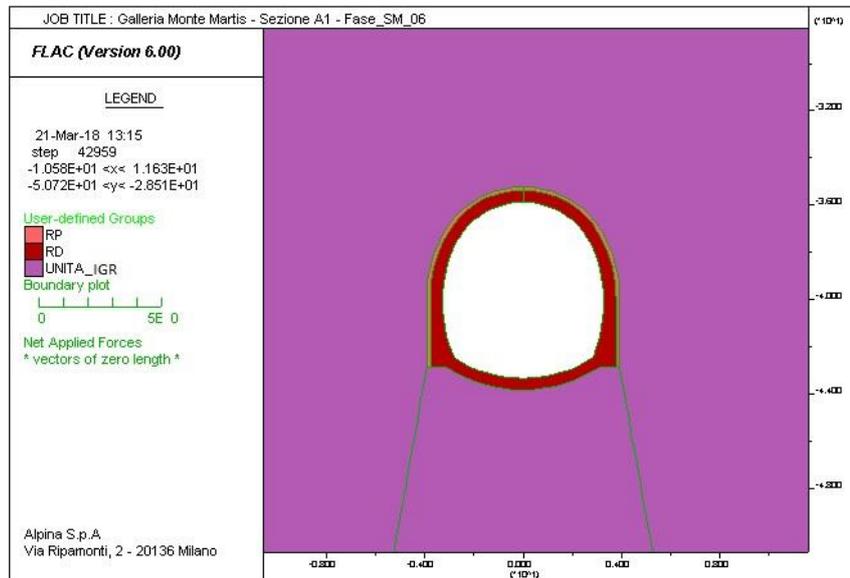
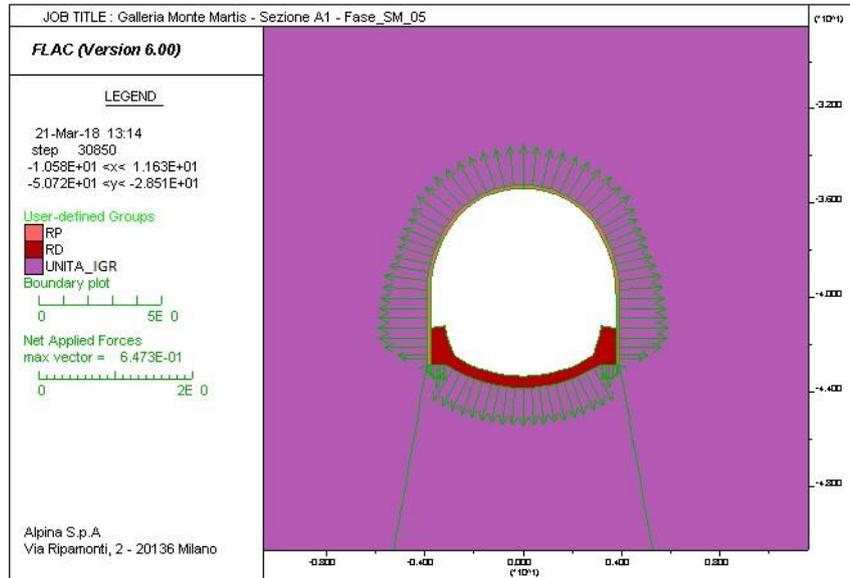
16.2.2.4 Sezione tipo A1 – Fase 05

16.2.2.5 Sezione tipo A1 – Fase 06

16.2.2.6 Sezione tipo A1 – Fase 07



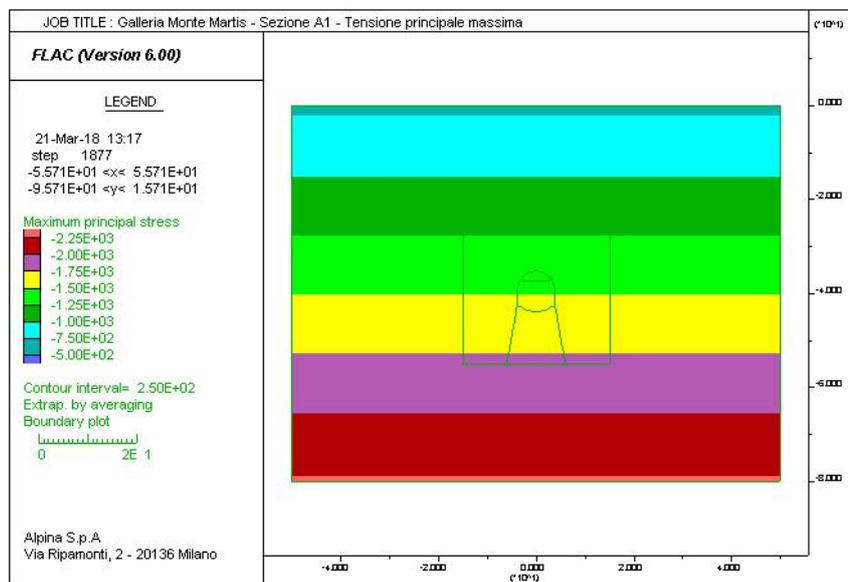


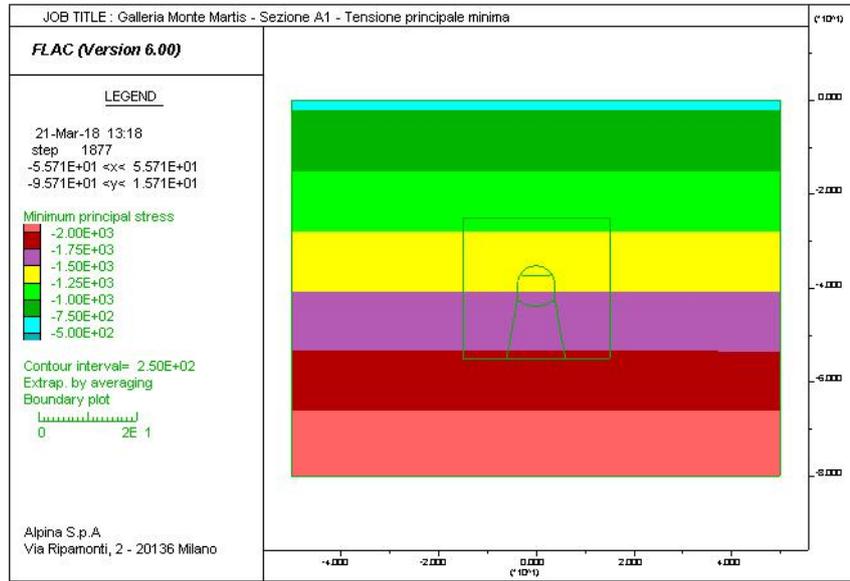


### 16.2.3 Condizioni precedenti alla realizzazione della galleria (Fase\_02)

#### 16.2.3.1 Sezione tipo A1 – Diagramma della tensione principale massima

#### 16.2.3.2 Sezione tipo A1 – Diagramma della tensione principale minima





## 16.2.4 Rivestimento di prima fase (Fase\_04 e Fase\_05)

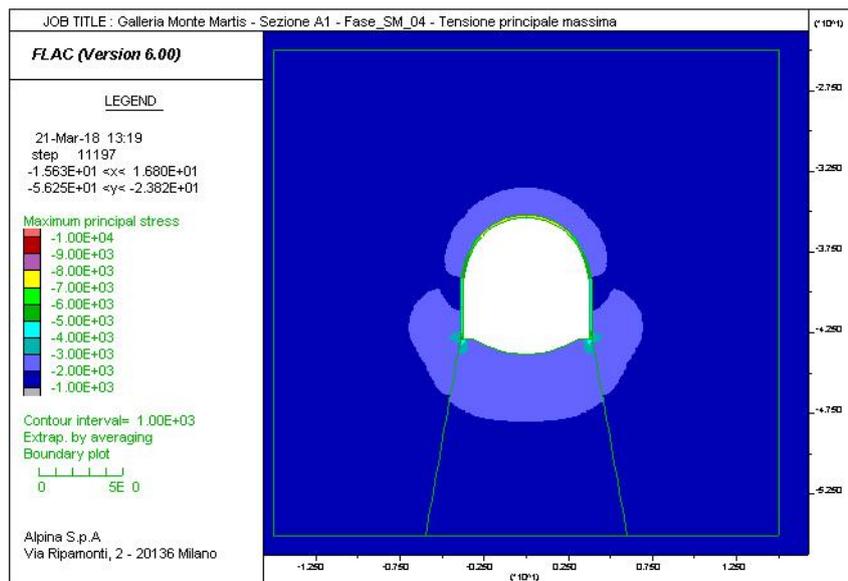
### 16.2.4.1 Sezione tipo A1 – Diagramma della tensione principale massima

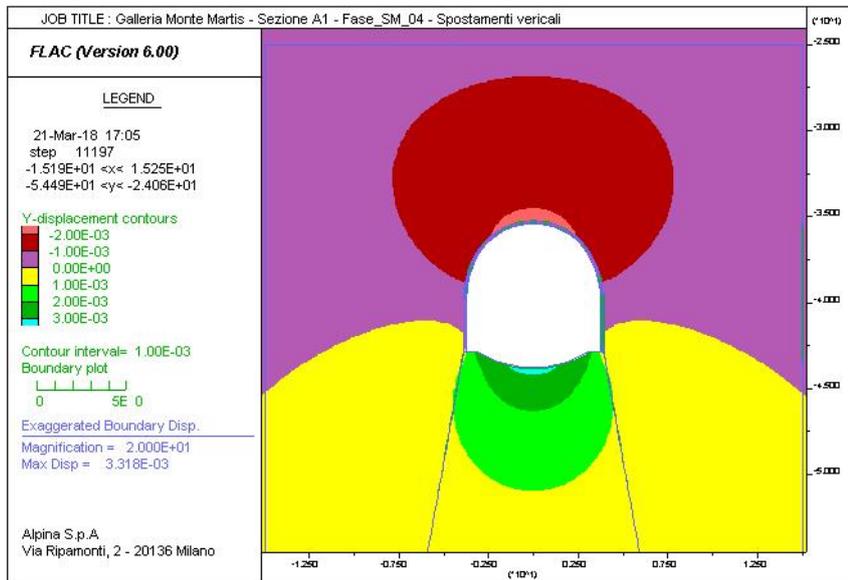
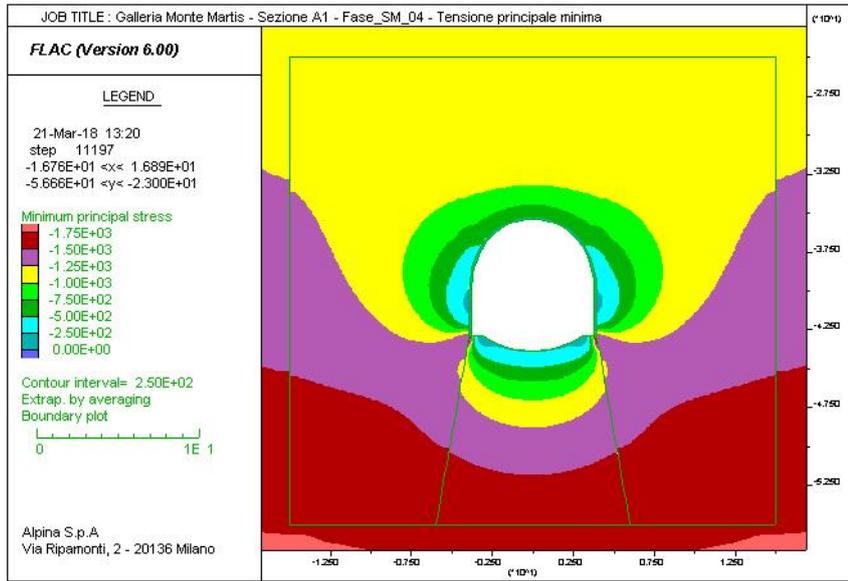
### 16.2.4.2 Sezione tipo A1 – Diagramma della tensione principale minima

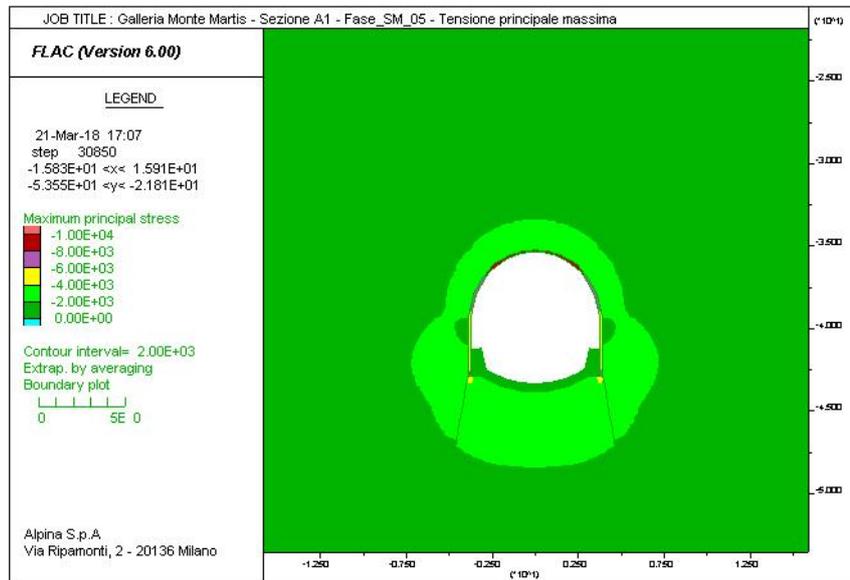
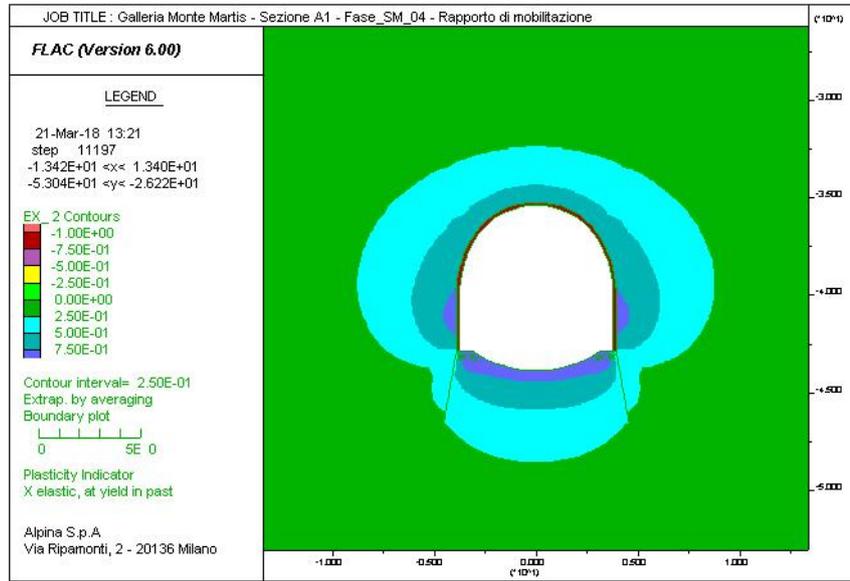
### 16.2.4.3 Sezione tipo A1 – Diagramma degli spostamenti verticali e deformata del modello

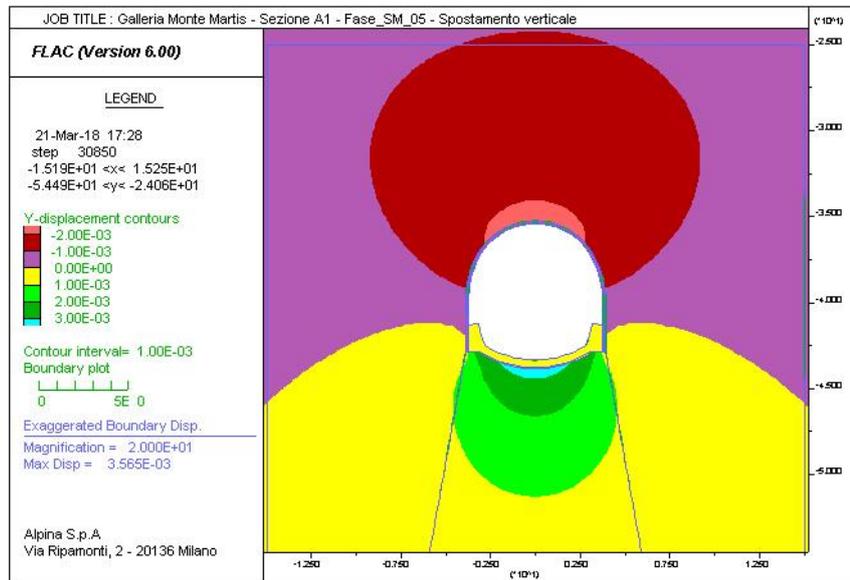
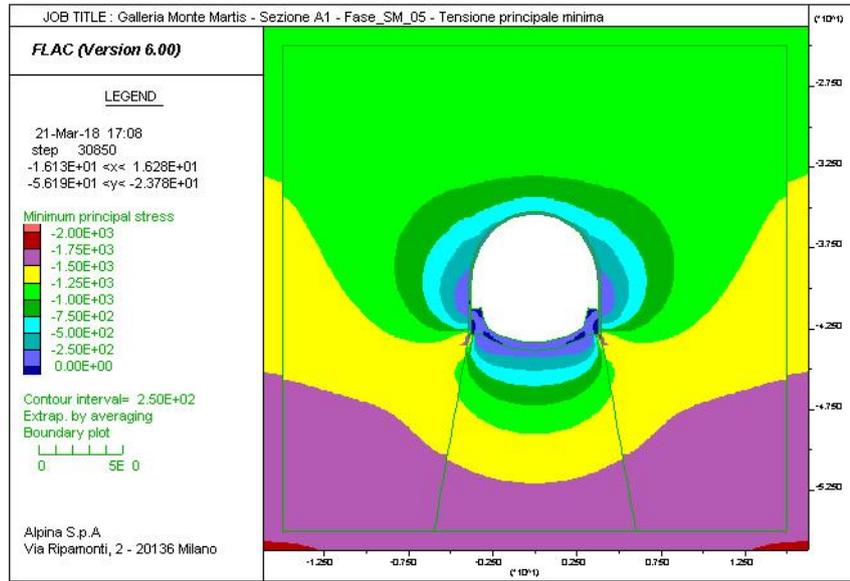
### 16.2.4.4 Sezione tipo A1 – Diagramma del rapporto di mobilitazione

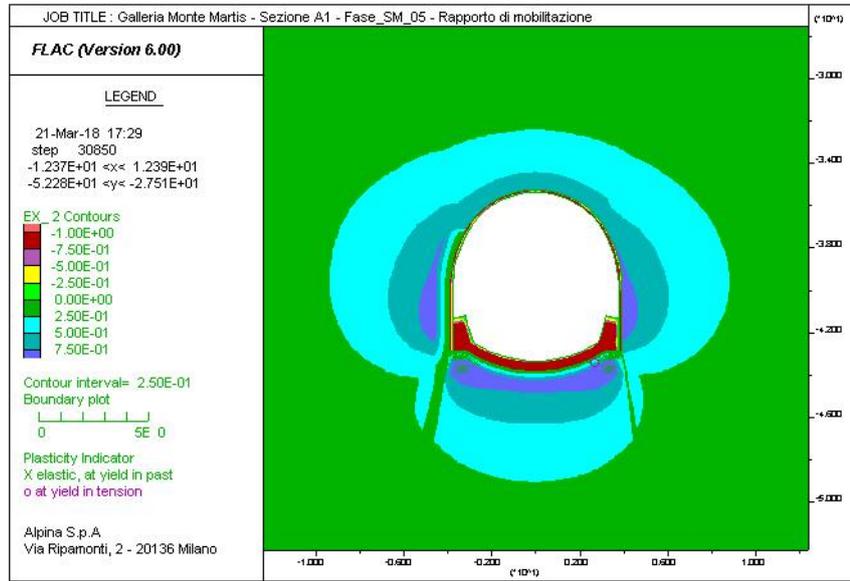
### 16.2.4.5









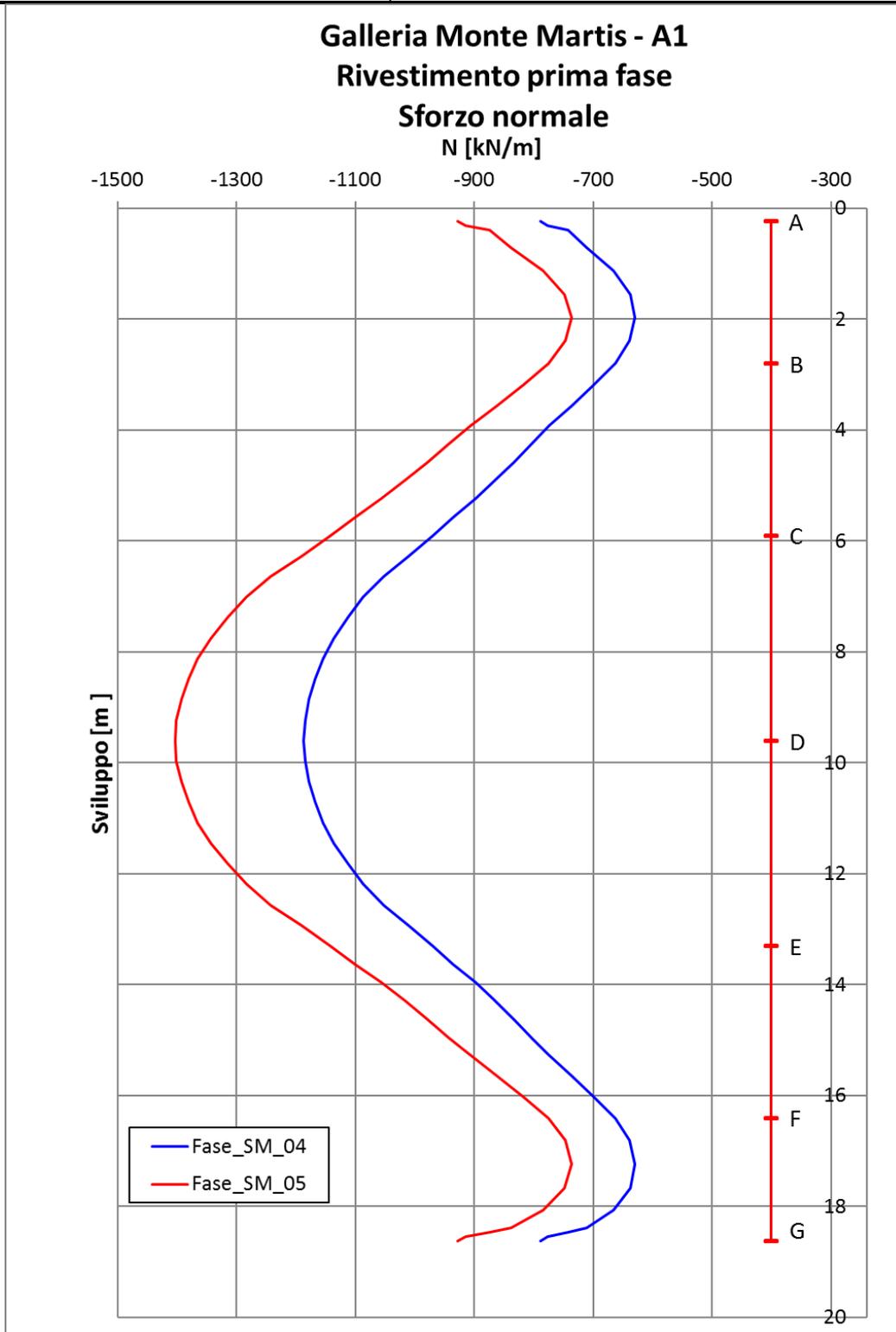


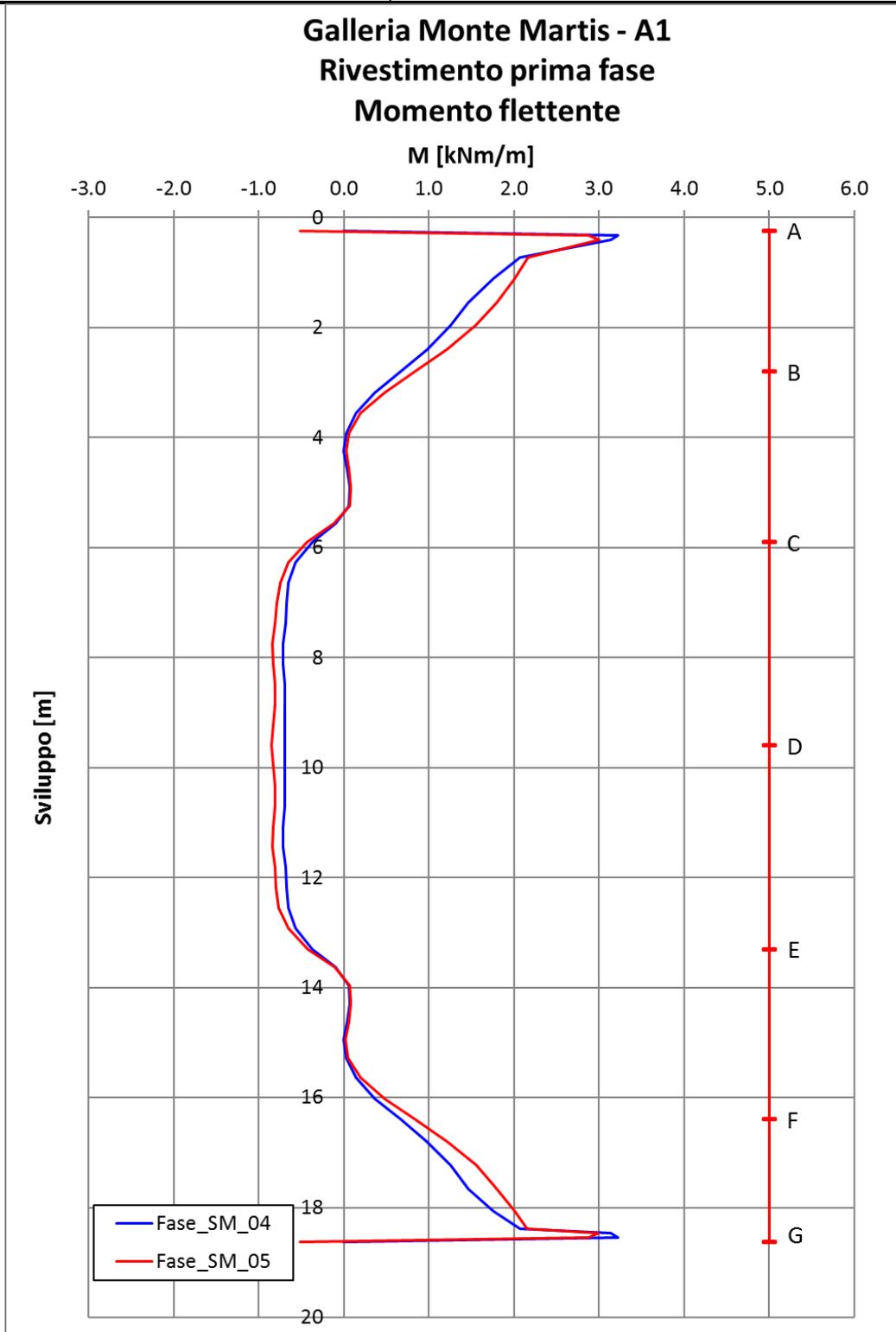
**16.2.5 Rivestimento di prima fase – Diagrammi delle sollecitazioni (Fase\_04 e Fase\_05)**

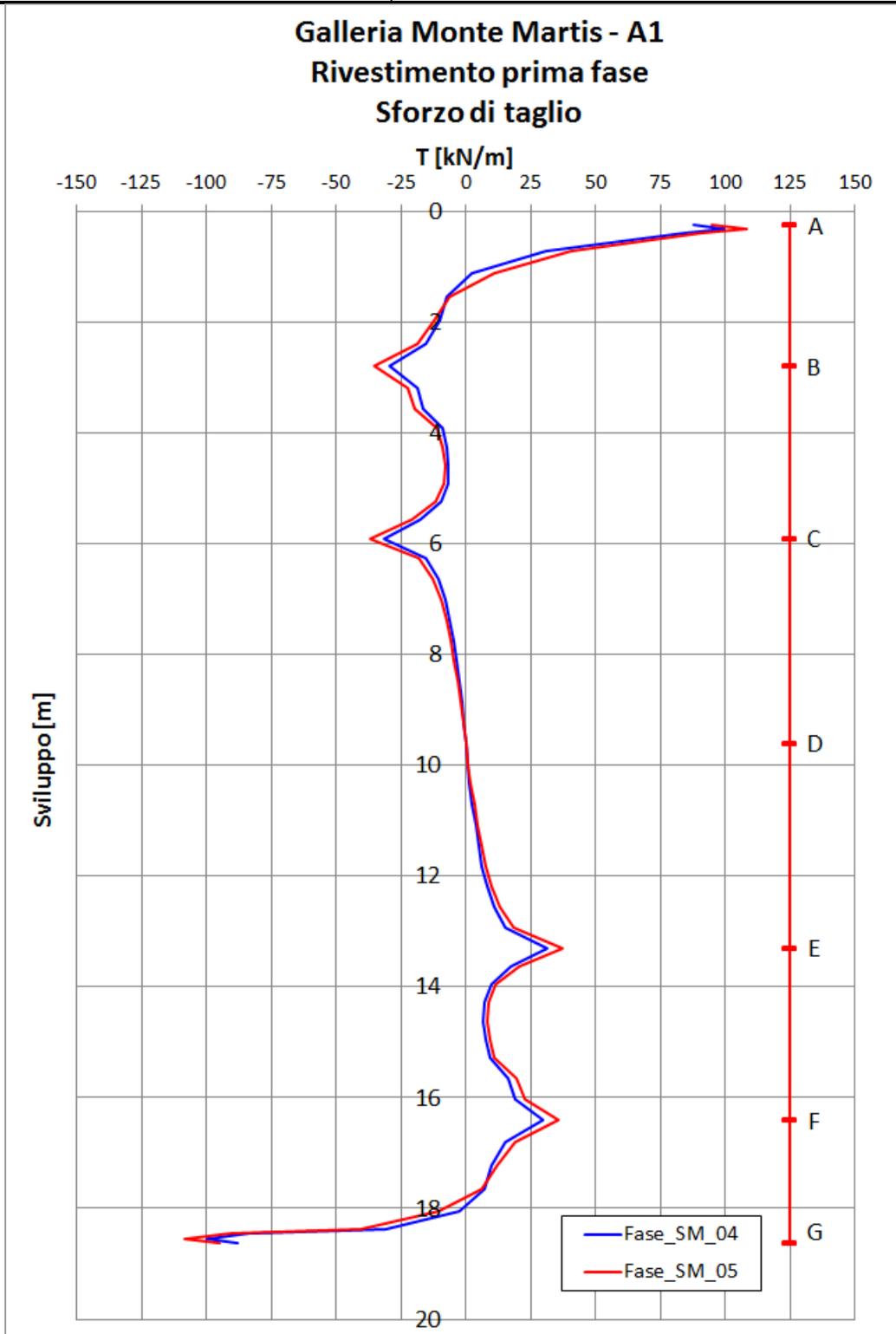
*16.2.5.1 Sezione tipo A1 – Diagramma dello sforzo normale nel rivestimento di prima fase*

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

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







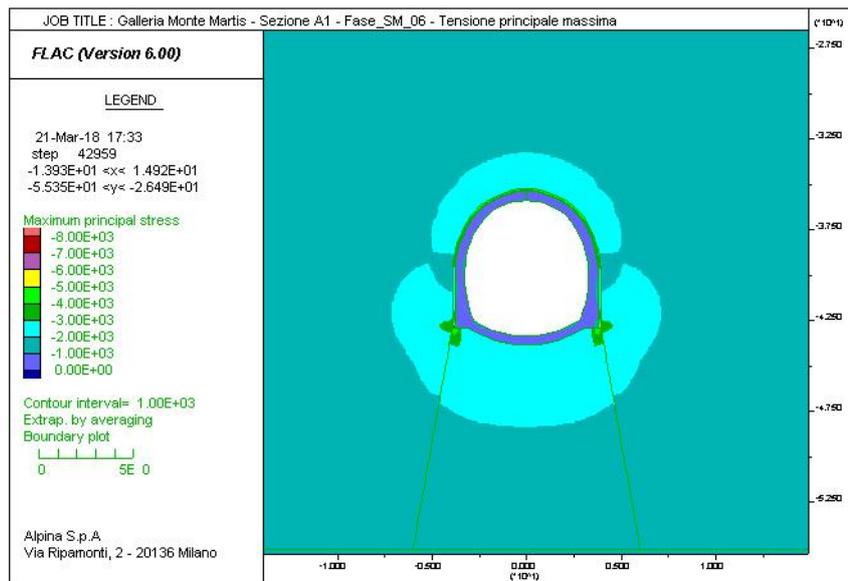
## 16.2.6 Rivestimento definitivo (Fase\_06)

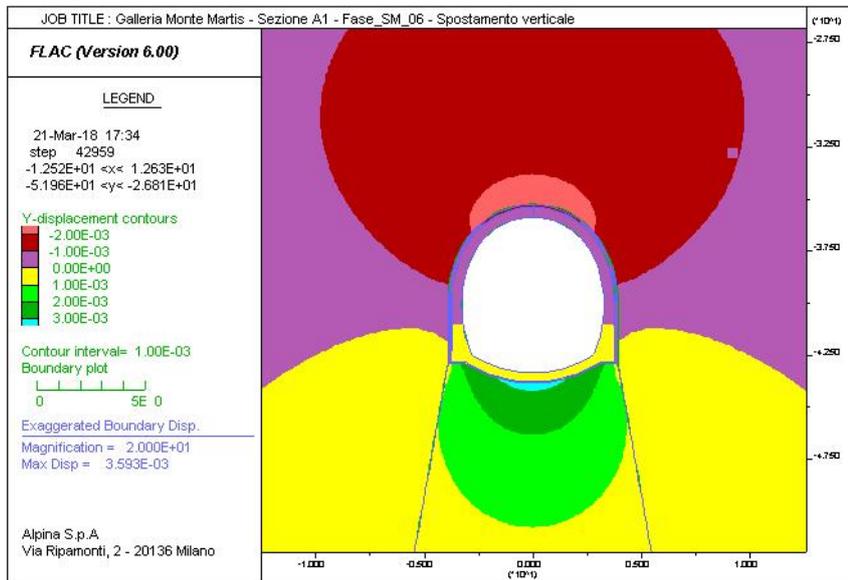
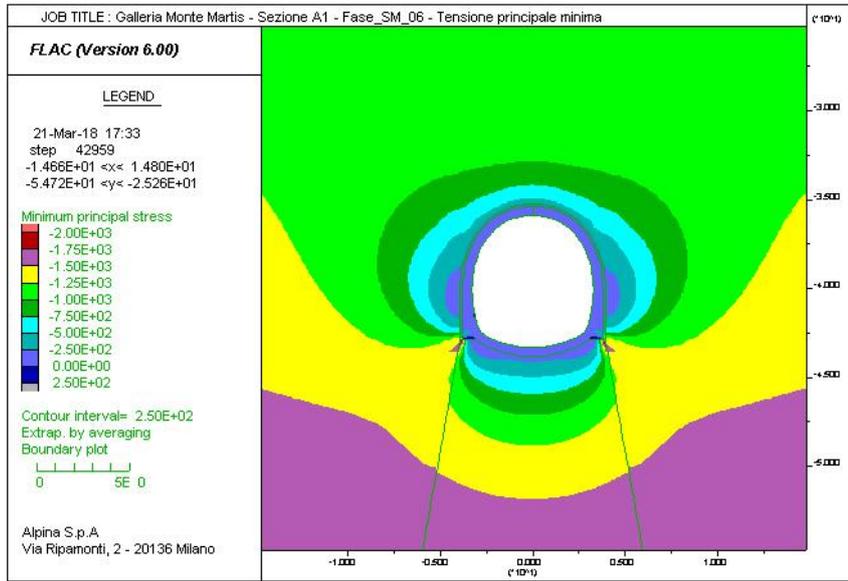
16.2.6.1 Sezione tipo A1 – Diagramma della tensione principale massima – lungo termine

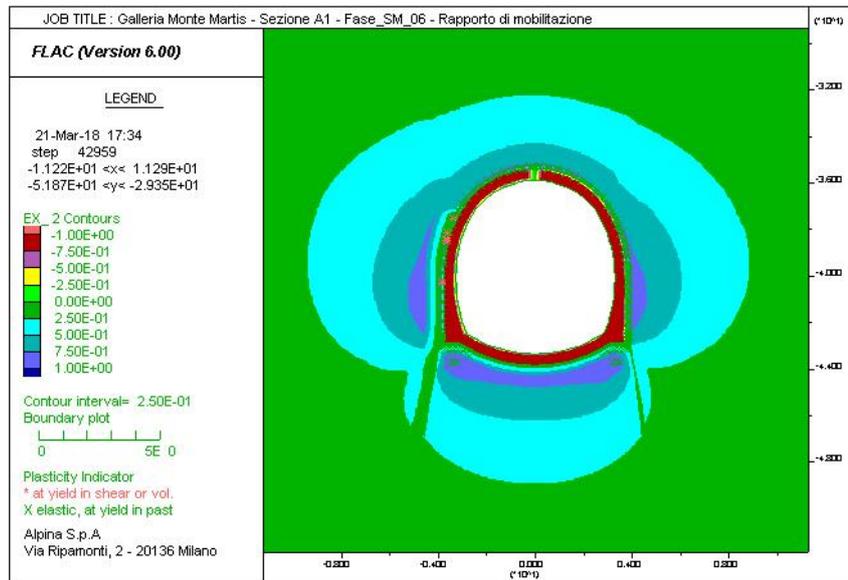
16.2.6.2 Sezione tipo A1 – Diagramma della tensione principale minima – lungo termine

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

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







## 16.2.7 Rivestimento definitivo – Diagrammi delle sollecitazioni (Fase\_06)

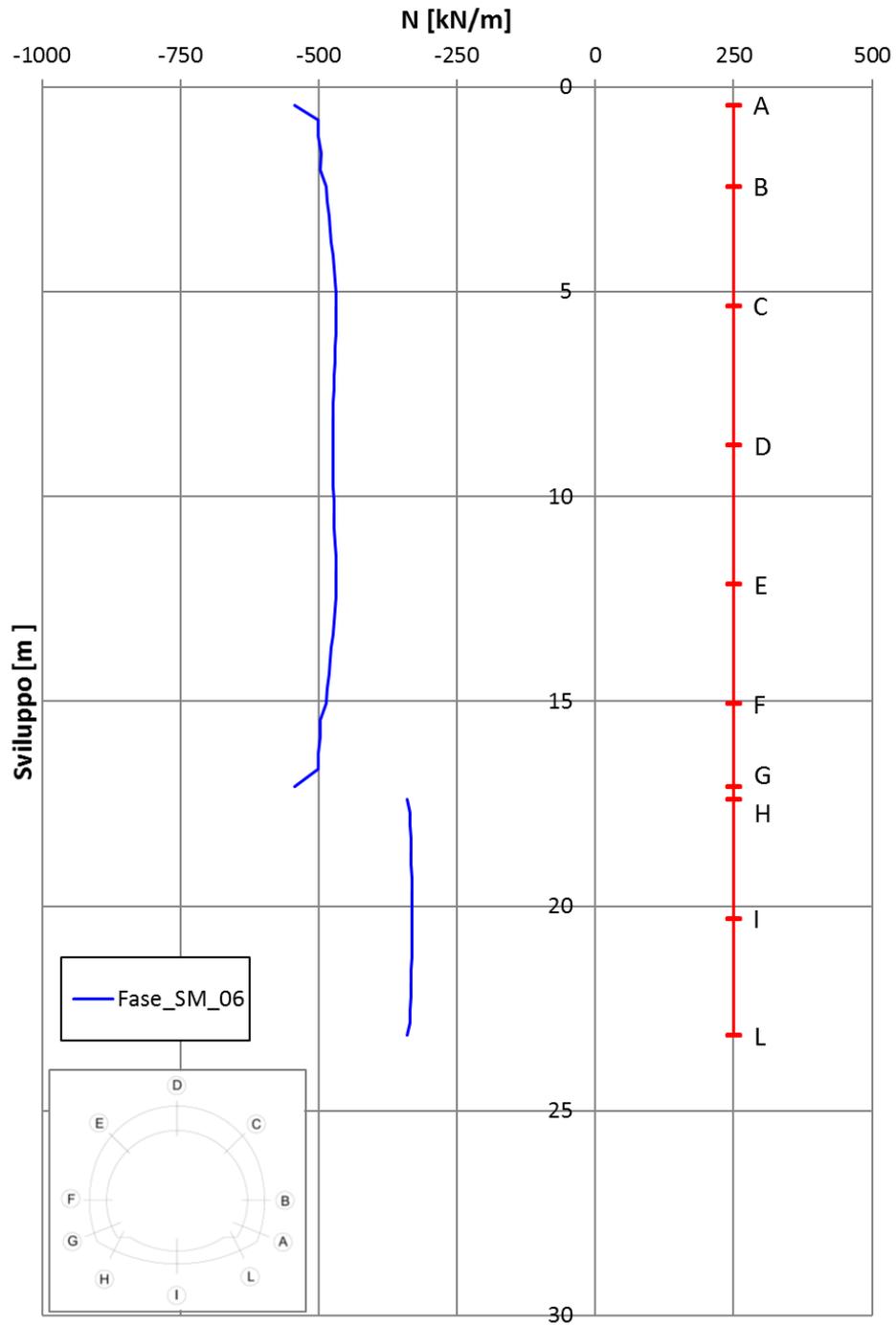
16.2.7.1 Sezione tipo A1 – Diagramma dello sforzo normale nel rivestimento definitivo

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

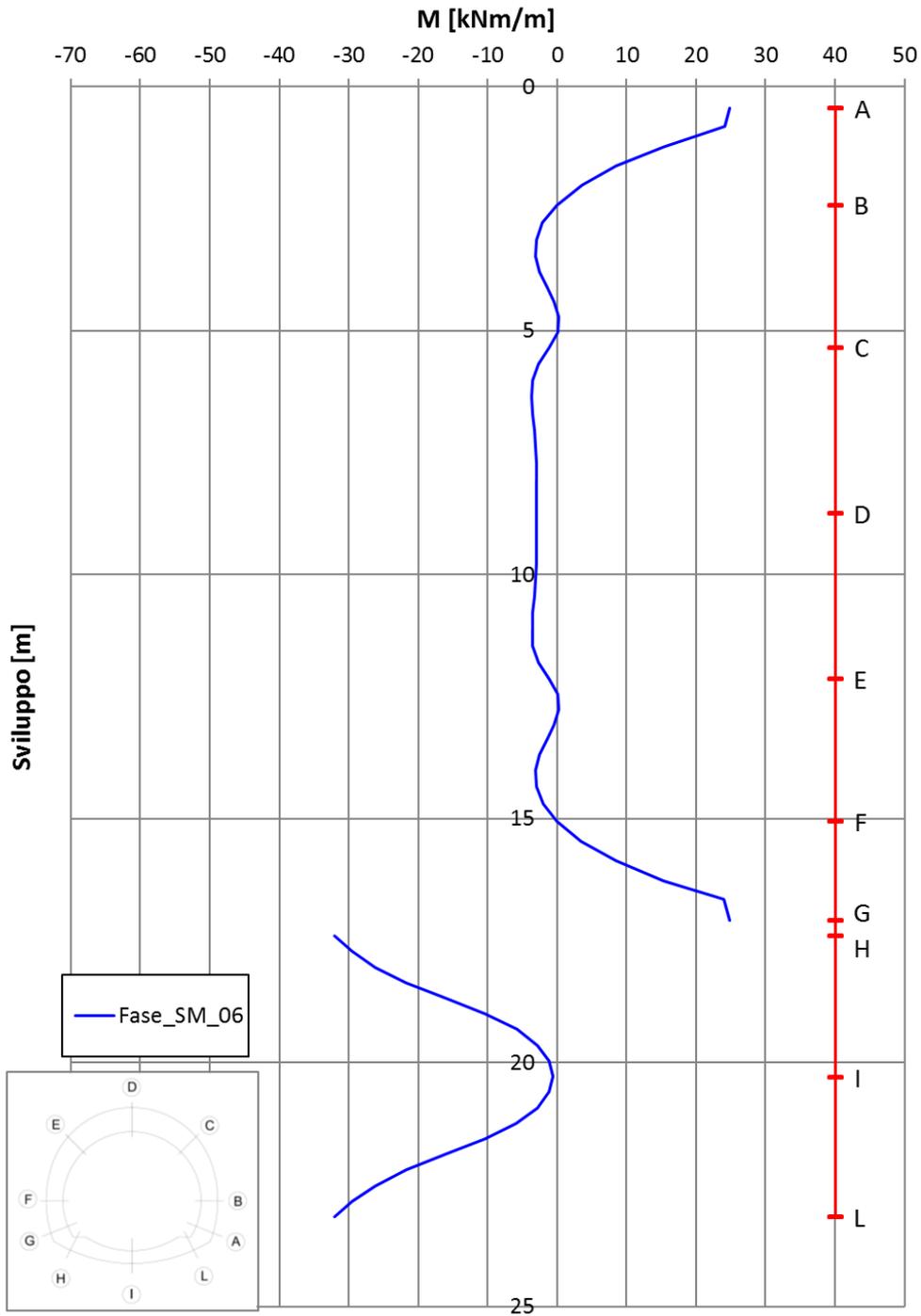
16.2.7.3 Sezione tipo A1 – Diagramma dello sforzo di taglio nel rivestimento definitivo

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

### Galleria Monte Martis -A1- Rivestimento definitivo Sforzo normale

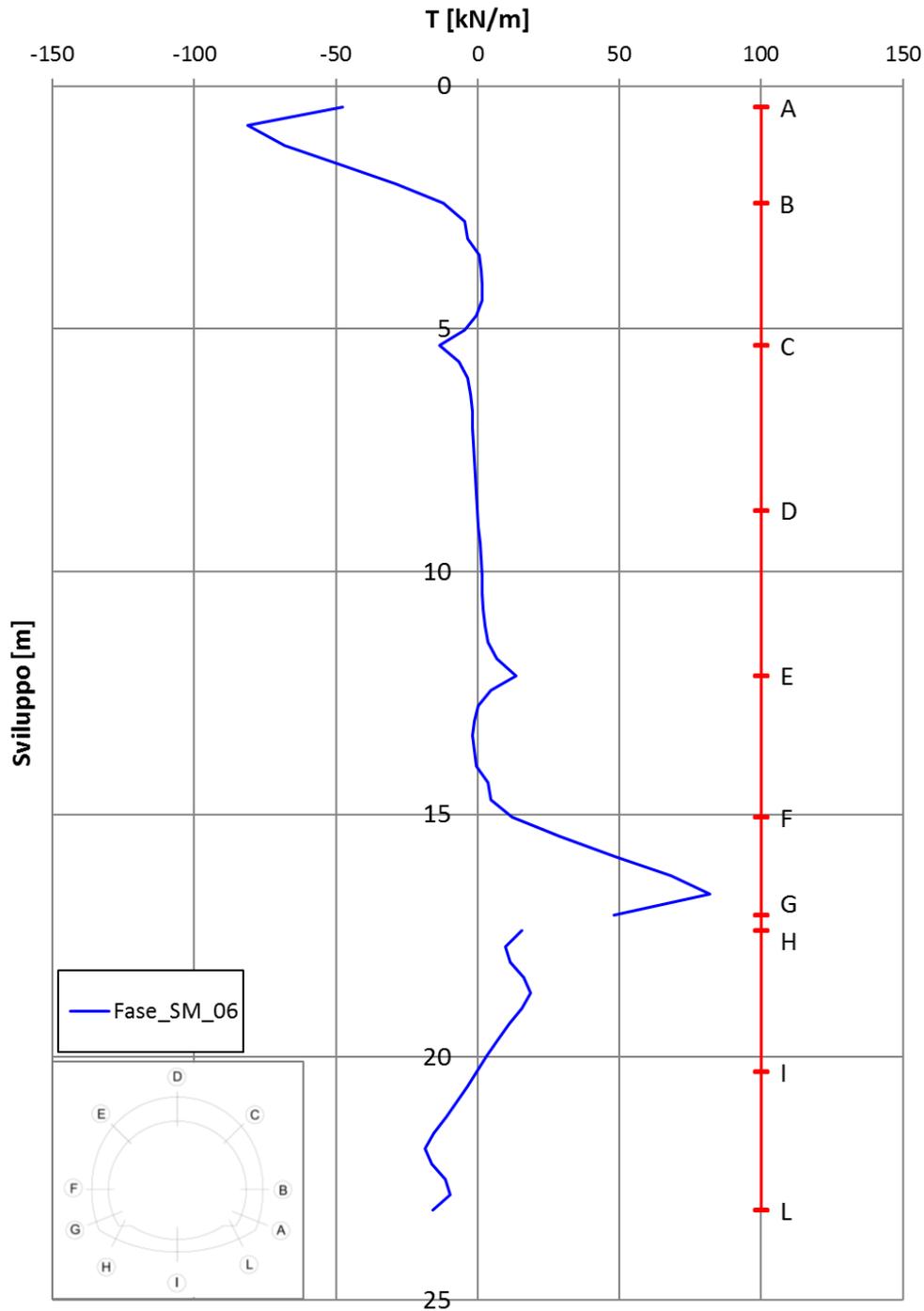


### Galleria Monte Martis -A1- Rivestimento definitivo Momento flettente



### Galleria Monte Martis -A1- Rivestimento definitivo

#### Sforzo di taglio

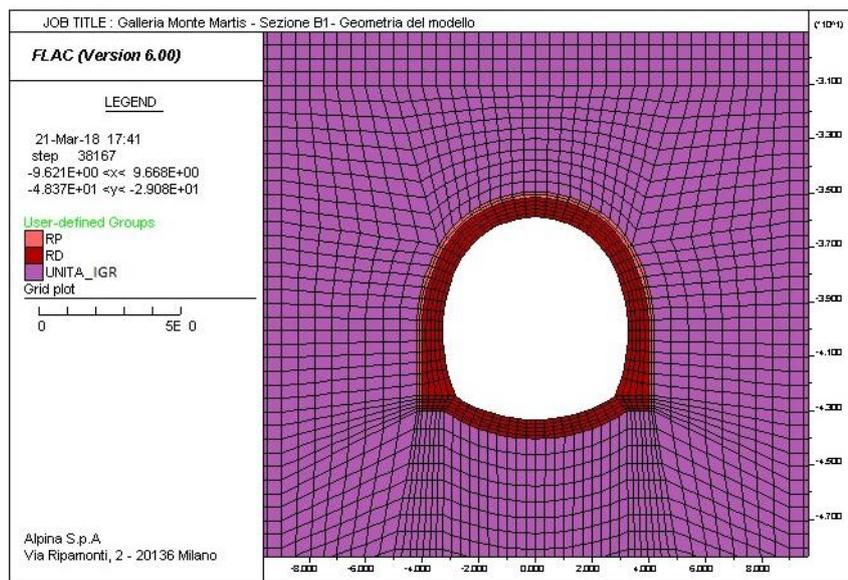
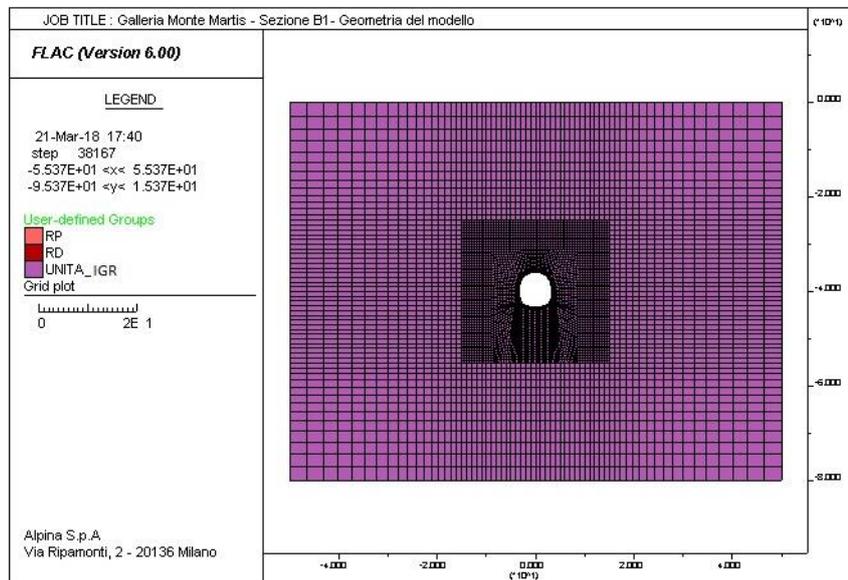


## 16.3 Sezione B1: risultati dell'analisi numerica

### 16.3.1 Modello generale

#### 16.3.1.1 Sezione tipo B1 – Geometria del modello

#### 16.3.1.2 Sezione tipo B1 – Dettaglio della suddivisione in zone



### 16.3.2 Scavo e costruzione graduale per fasi

#### 16.3.2.1 Sezione tipo B1 – Fase 02

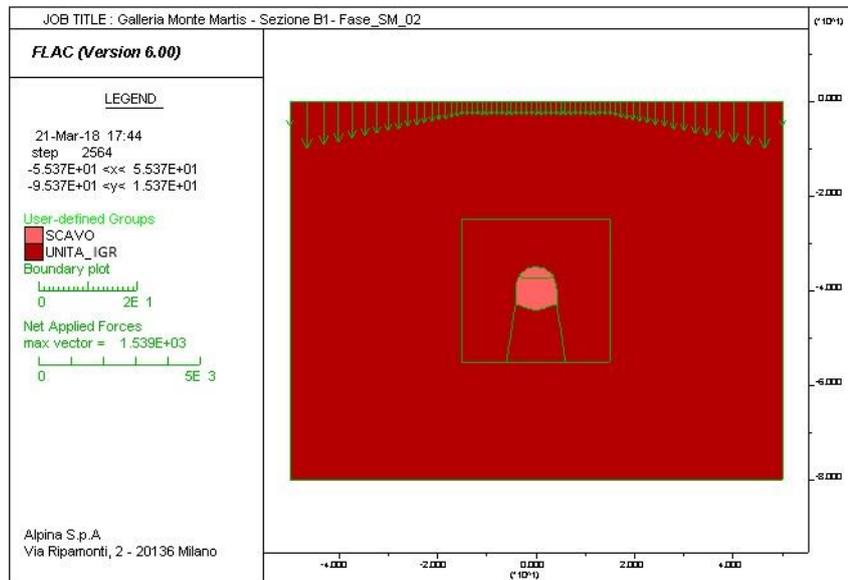
#### 16.3.2.2 Sezione tipo B1 – Fase 03

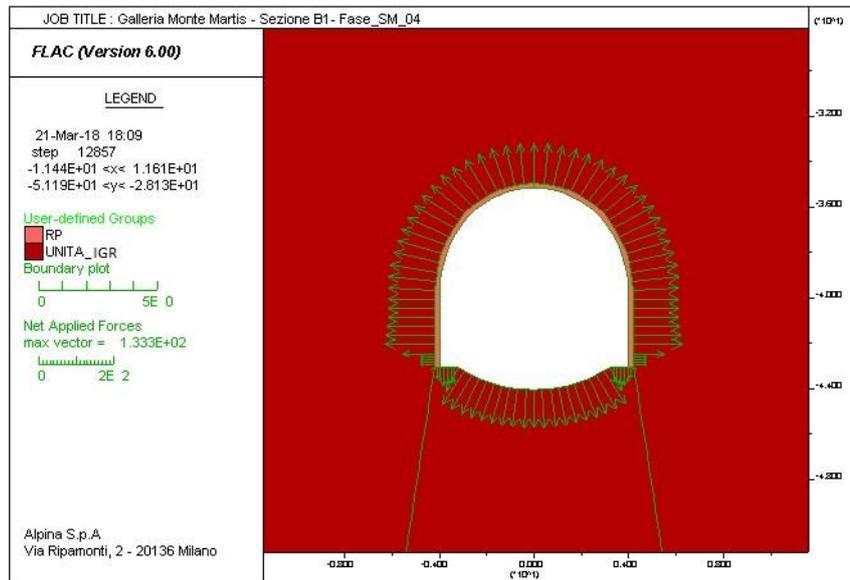
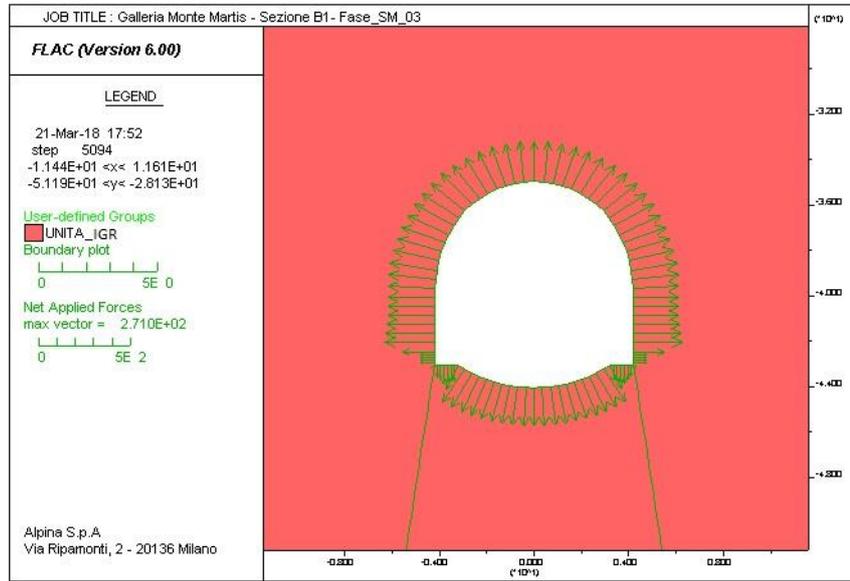
#### 16.3.2.3 Sezione tipo B1 – Fase 04

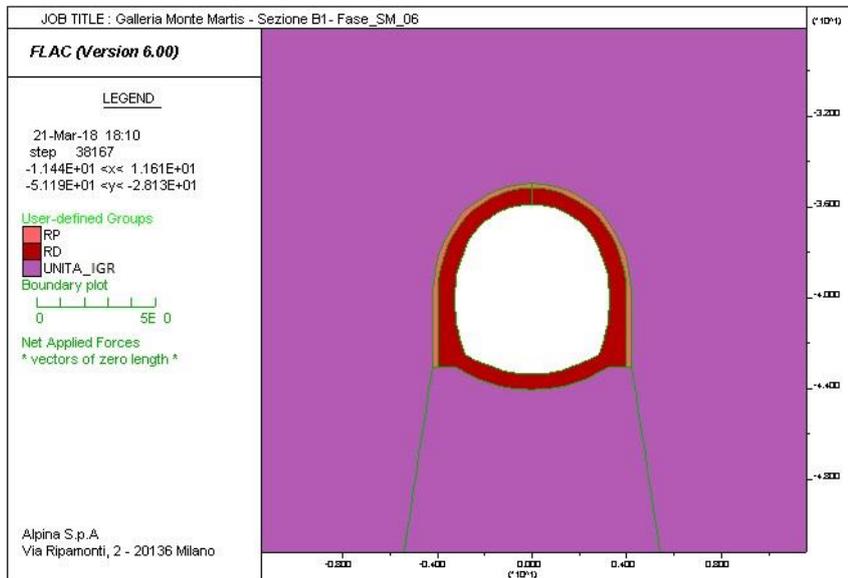
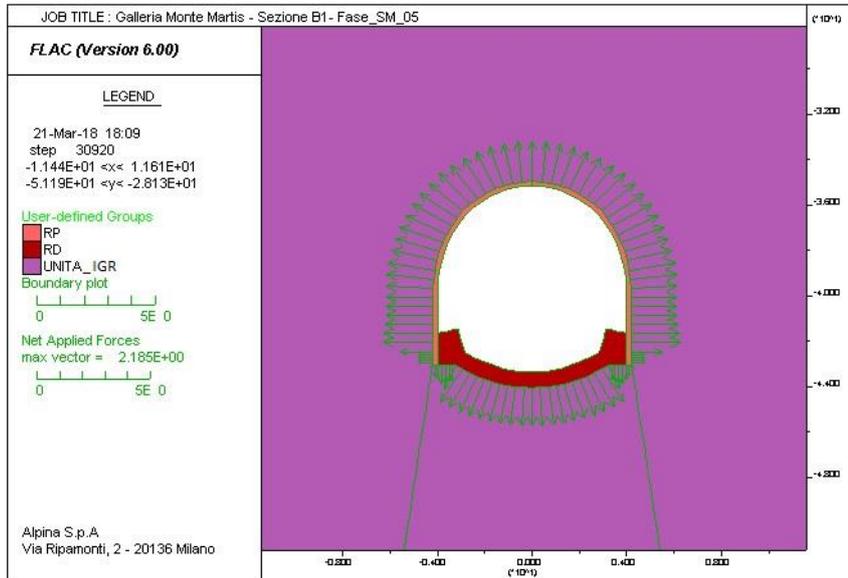
#### 16.3.2.4 Sezione tipo B1 – Fase 05

#### 16.3.2.5 Sezione tipo B1 – Fase 06

#### 16.3.2.6 Sezione tipo B1 – Fase 07



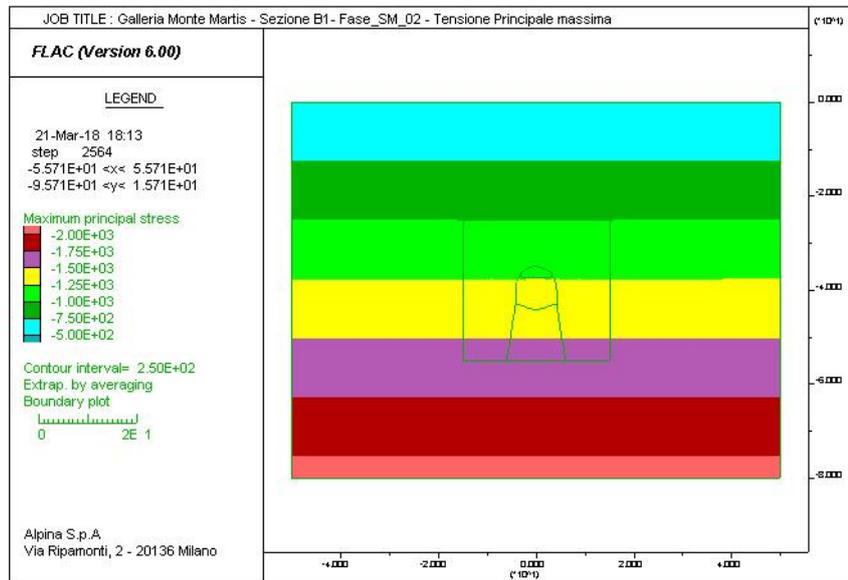


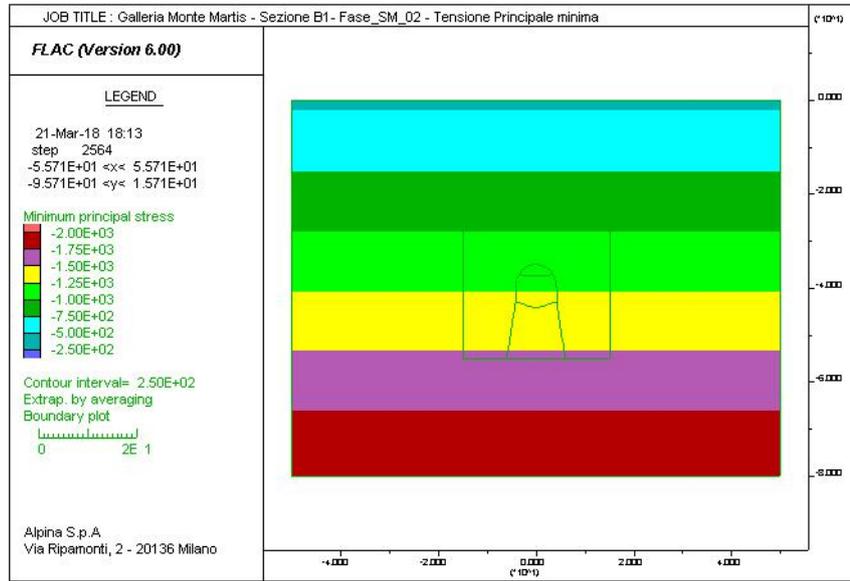


### 16.3.3 Condizioni precedenti alla realizzazione della galleria (Fase\_02)

#### 16.3.3.1 Sezione tipo B1 – Diagramma della tensione principale massima

#### 16.3.3.2 Sezione tipo B1 – Diagramma della tensione principale minima





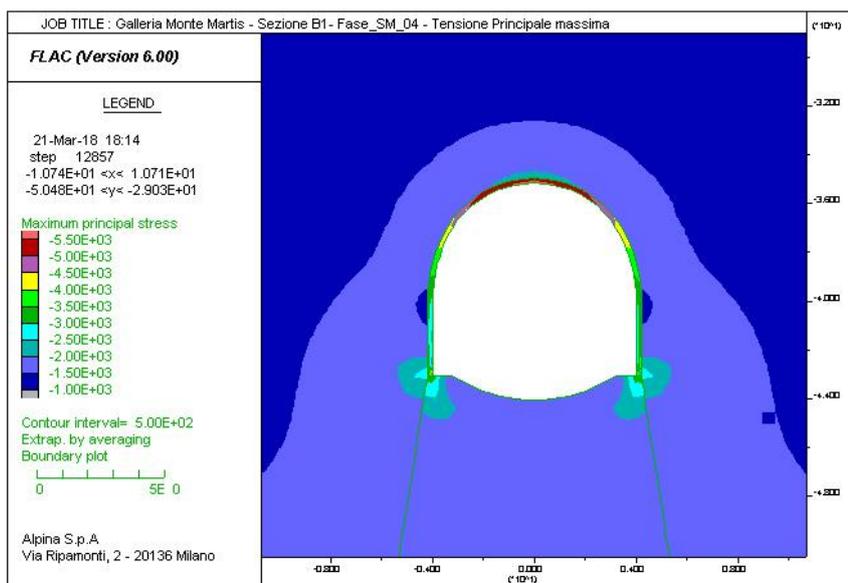
### 16.3.4 Rivestimento di prima fase (Fase\_04 e Fase\_05)

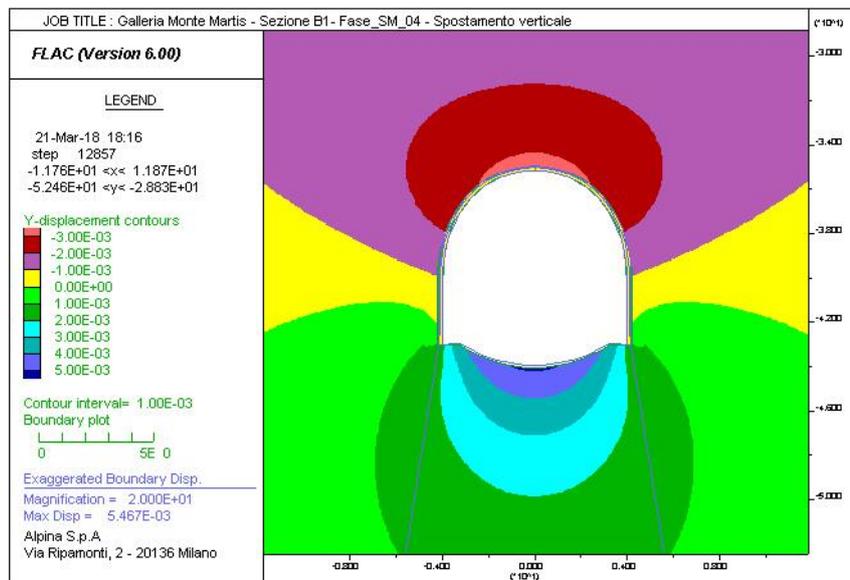
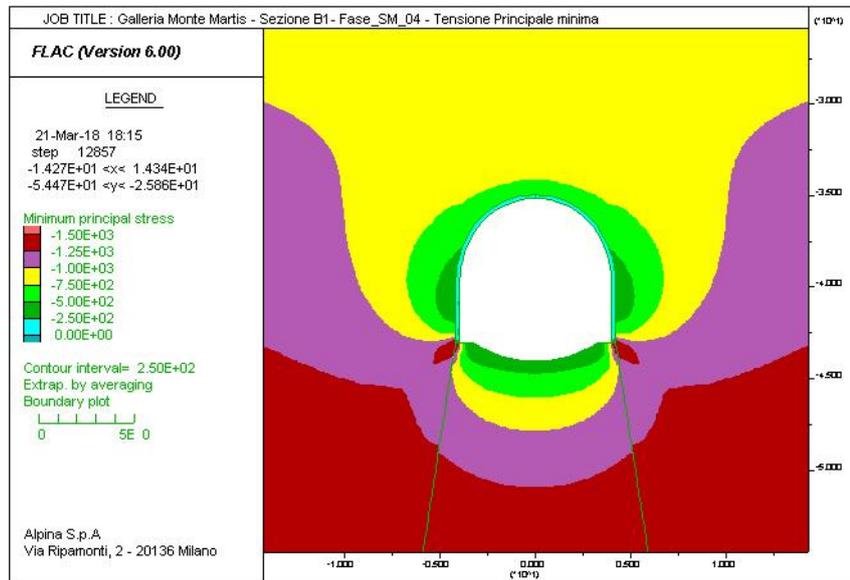
#### 16.3.4.1 Sezione tipo B1 – Diagramma della tensione principale massima

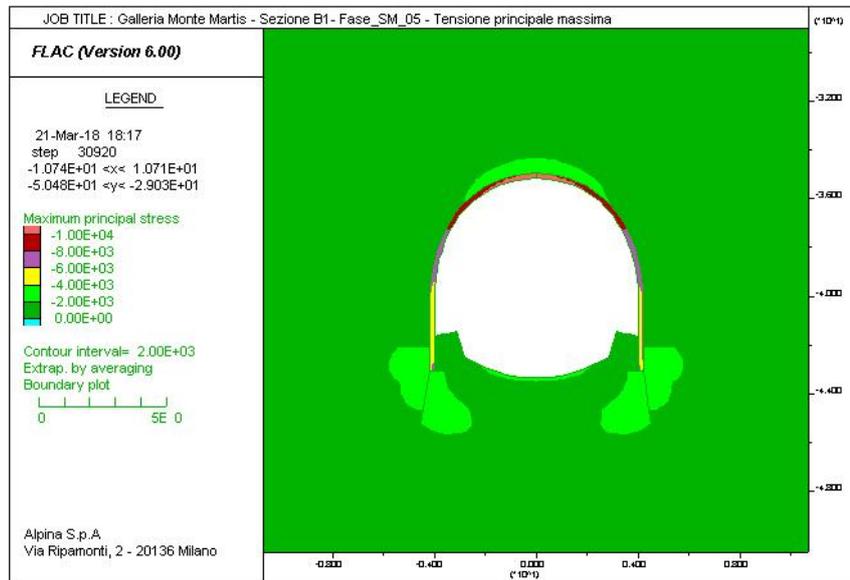
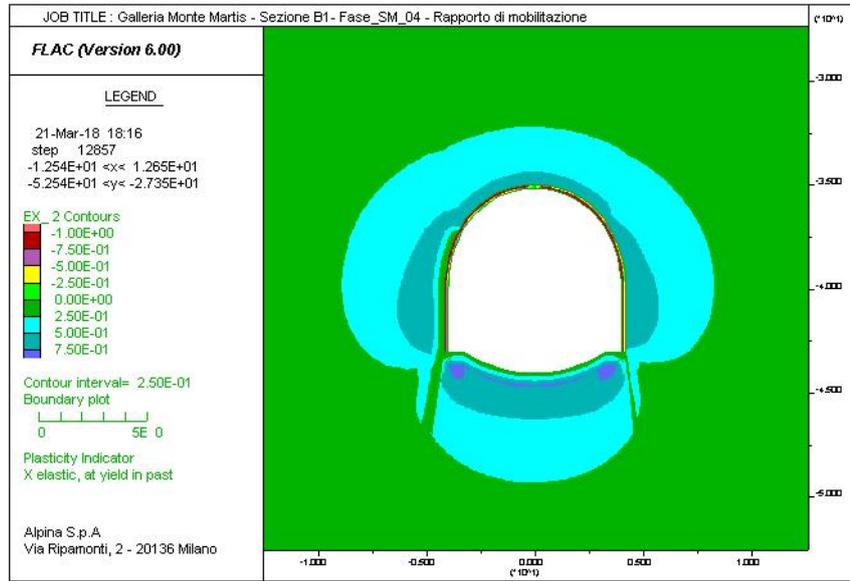
#### 16.3.4.2 Sezione tipo B1 – Diagramma della tensione principale minima

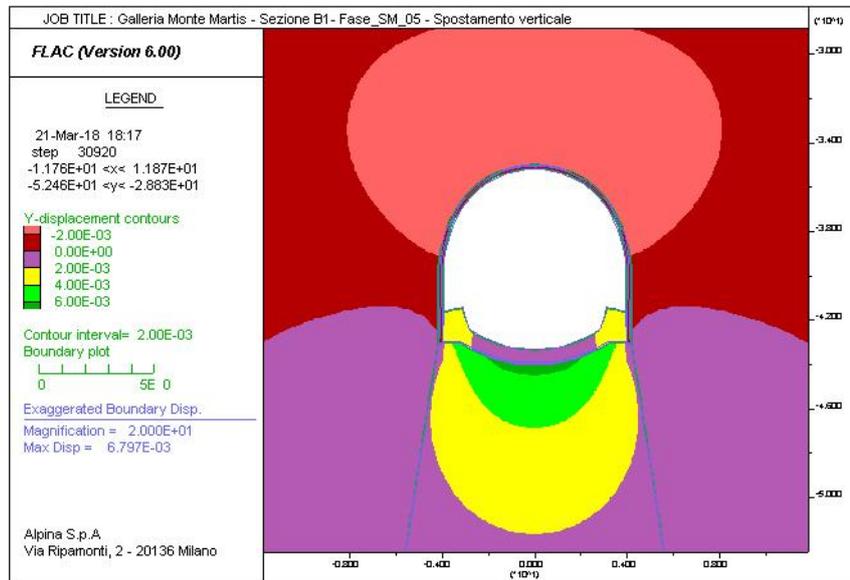
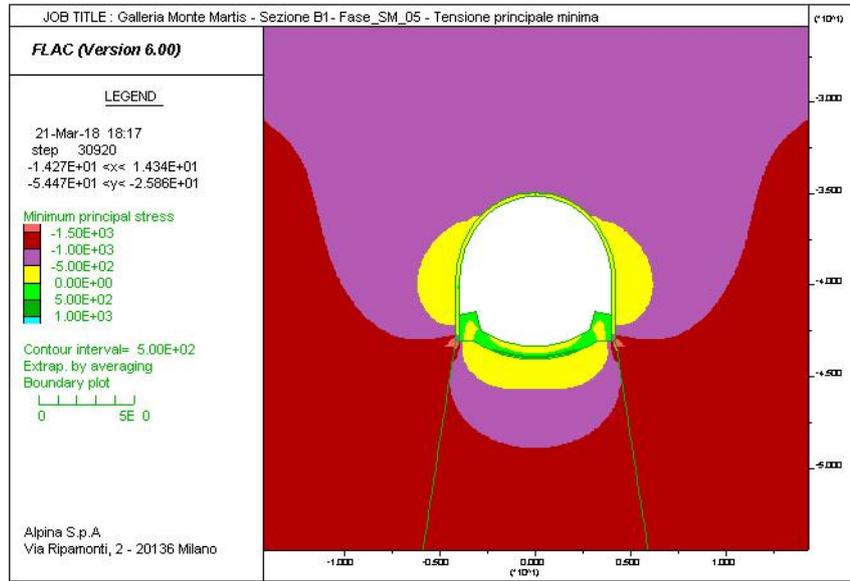
#### 16.3.4.3 Sezione tipo B1 – Diagramma degli spostamenti verticali e deformata del modello

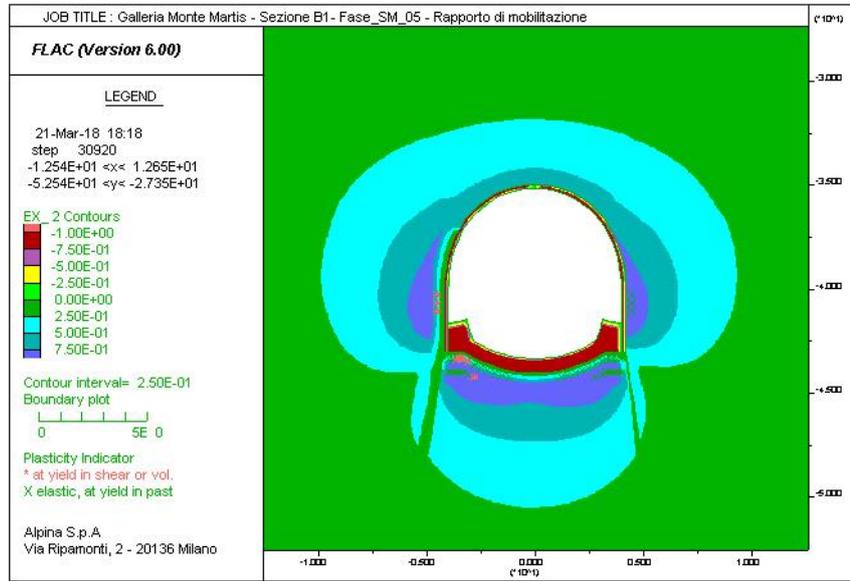
#### 16.3.4.4 Sezione tipo B1 – Diagramma del rapporto di mobilitazione











GALLERIA MONTE MARTIS – Relazione geotecnica e di calcolo

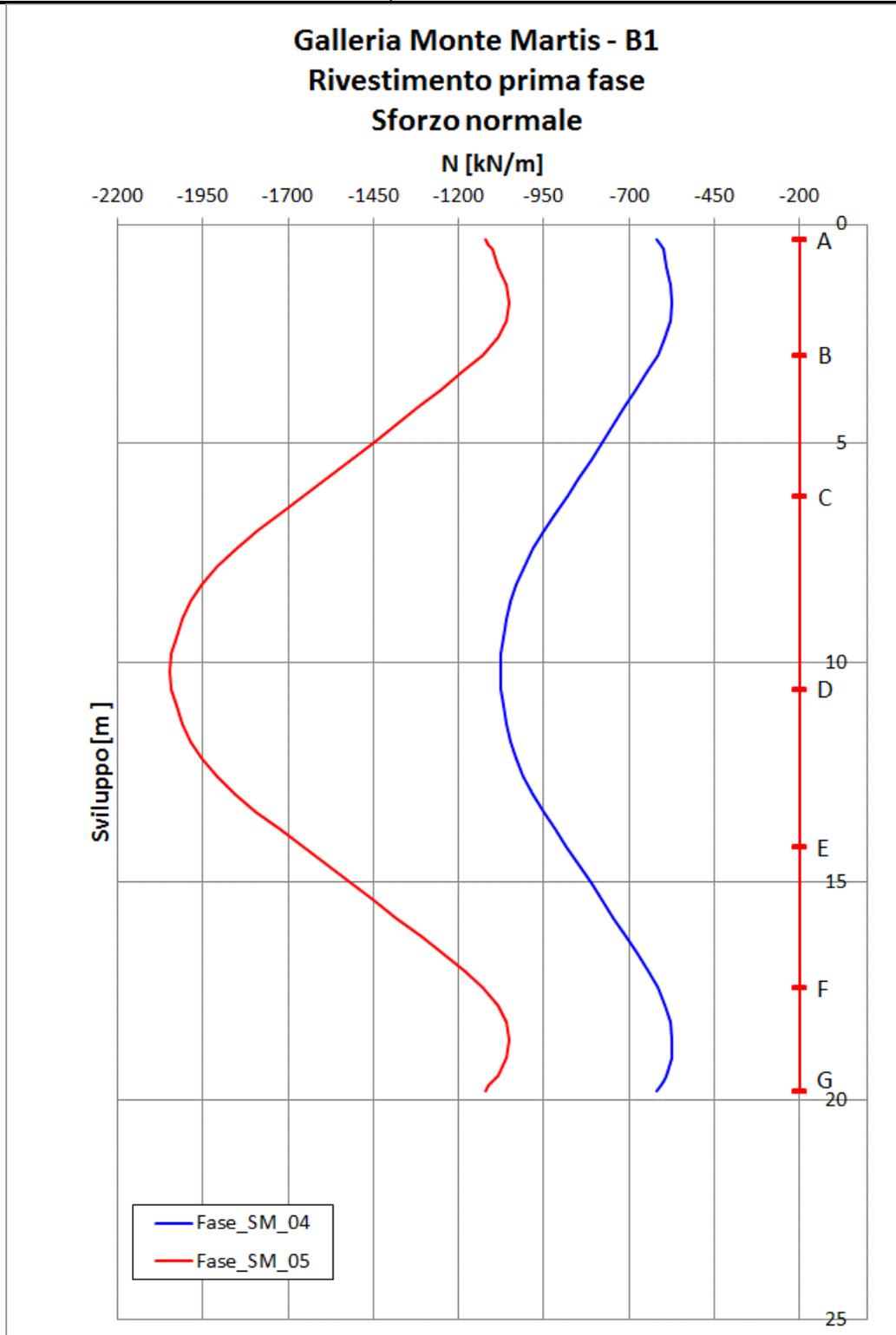
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D 07 CL	GN 01 00 001	A	123 di 132

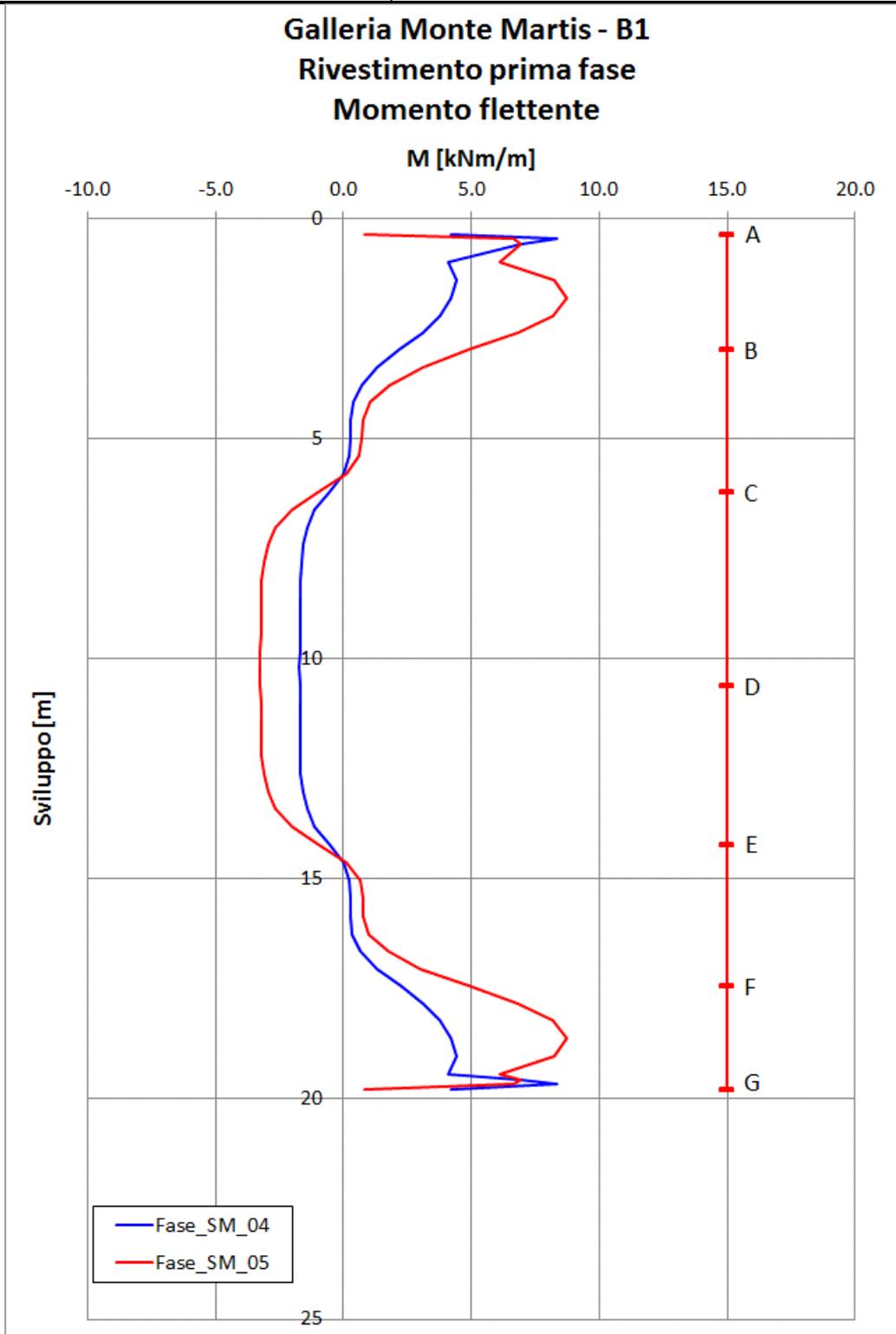
### **16.3.5 Rivestimento di prima fase – Diagrammi delle sollecitazioni (Fase\_04 e Fase\_05)**

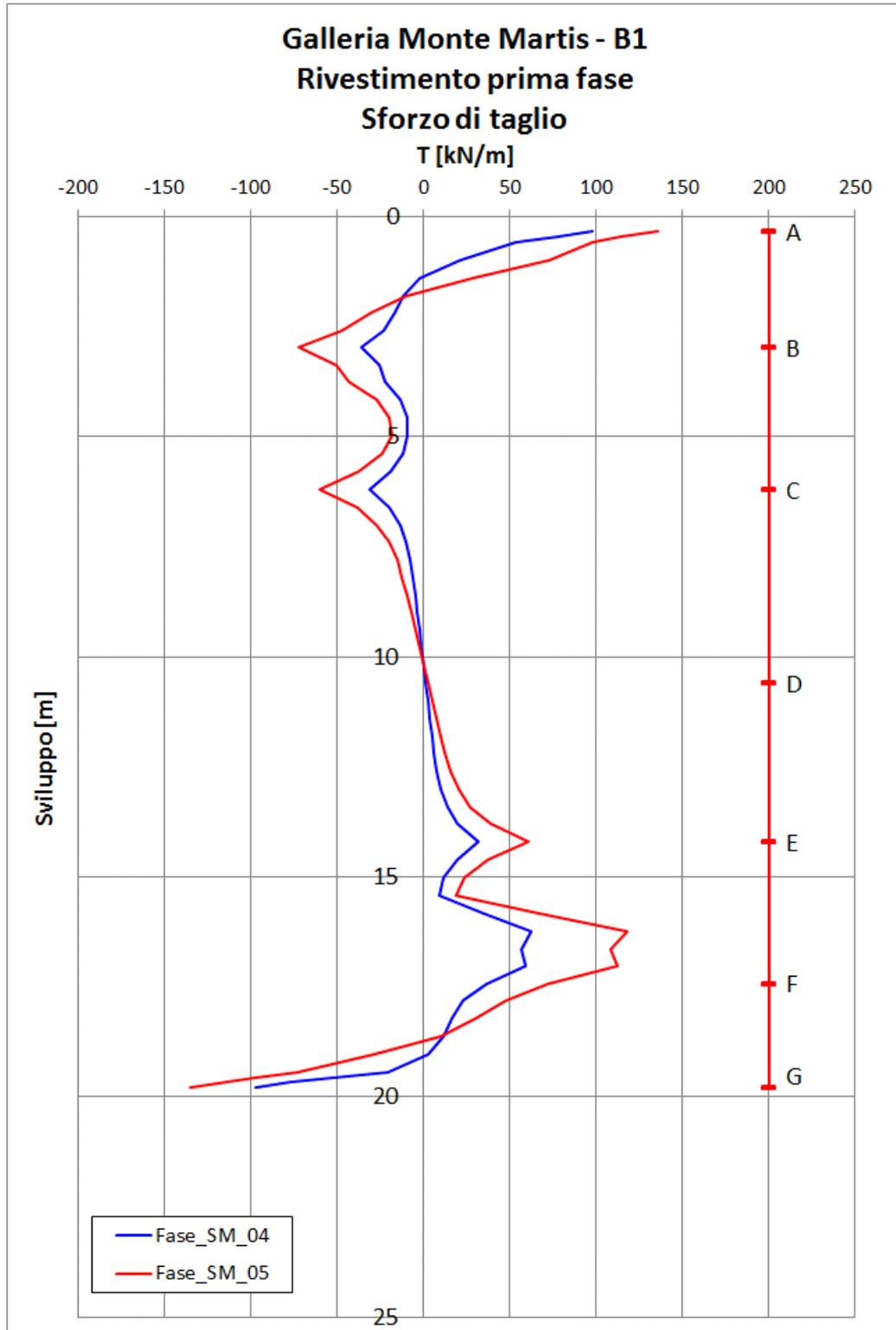
*16.3.5.1 Sezione tipo B1 – Diagramma dello sforzo normale nel rivestimento di prima fase*

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

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







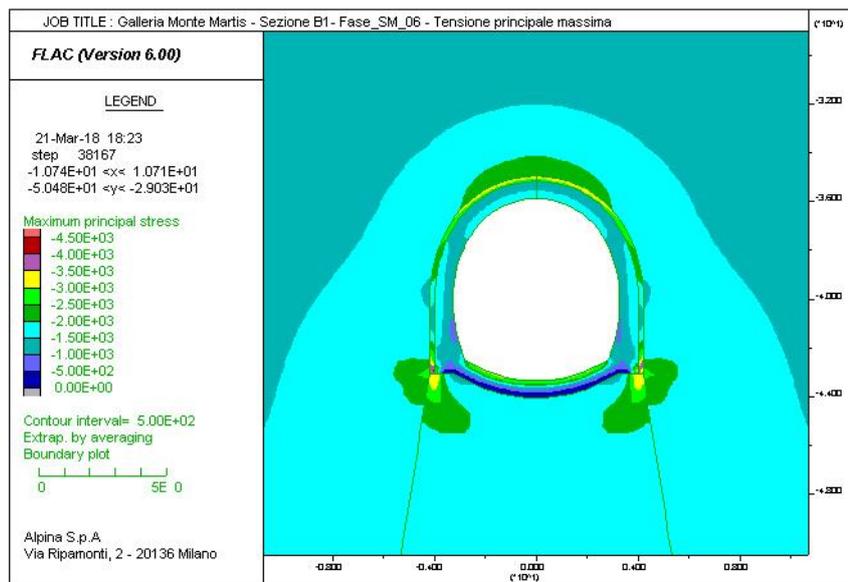
### 16.3.6 Rivestimento definitivo (Fase\_06)

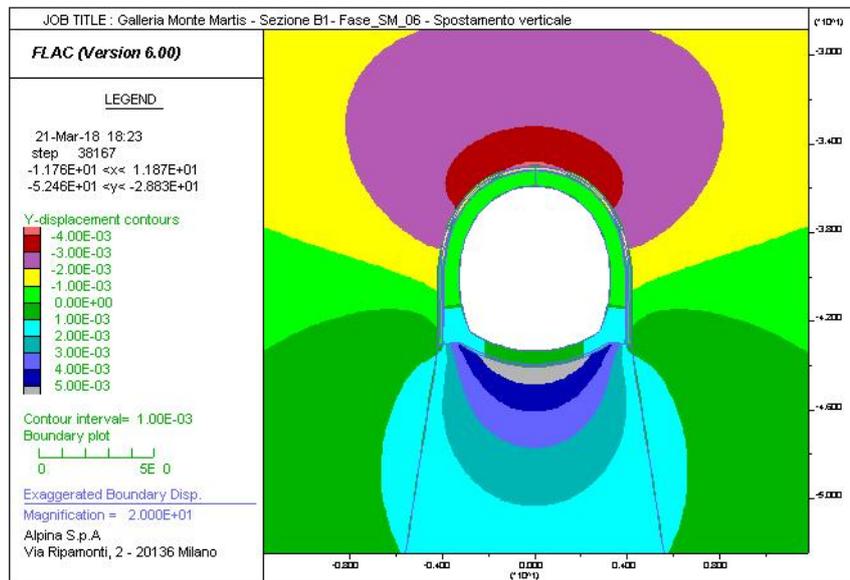
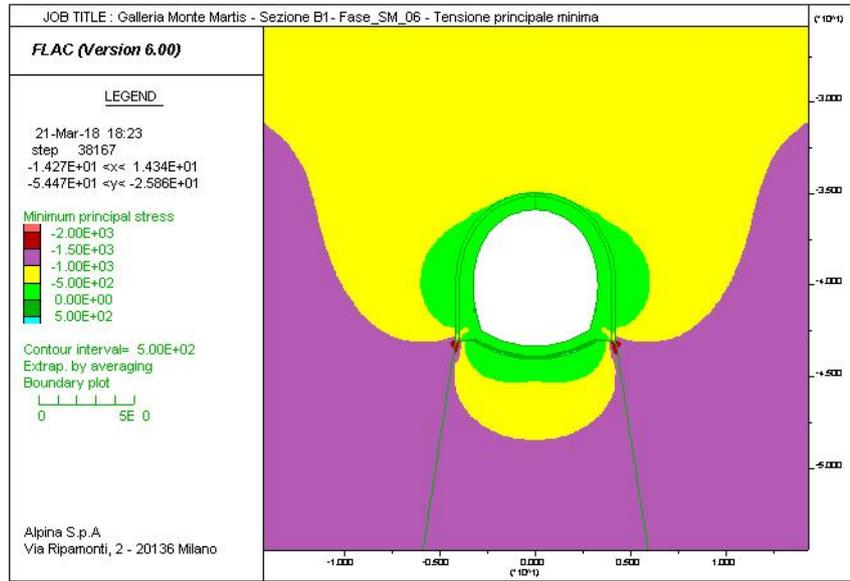
16.3.6.1 Sezione tipo B1 – Diagramma della tensione principale massima – lungo termine

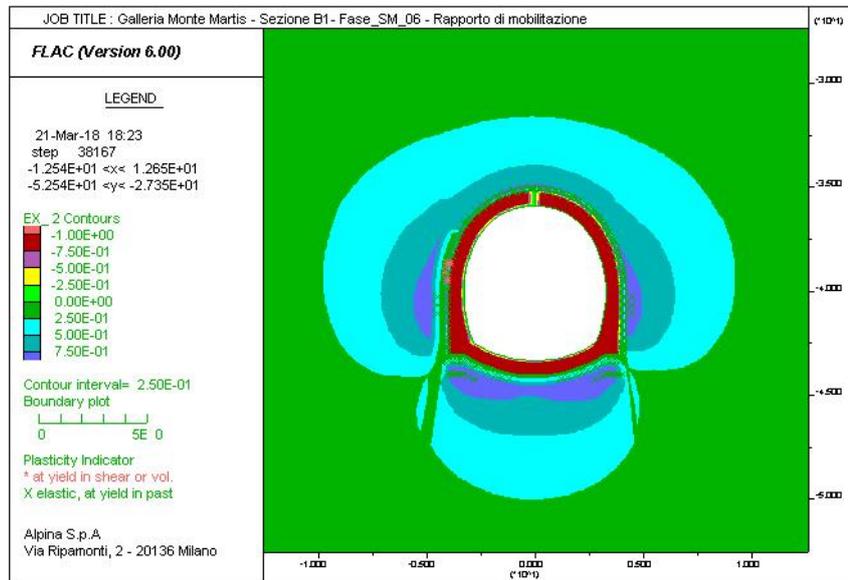
16.3.6.2 Sezione tipo B1 – Diagramma della tensione principale minima – lungo termine

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

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







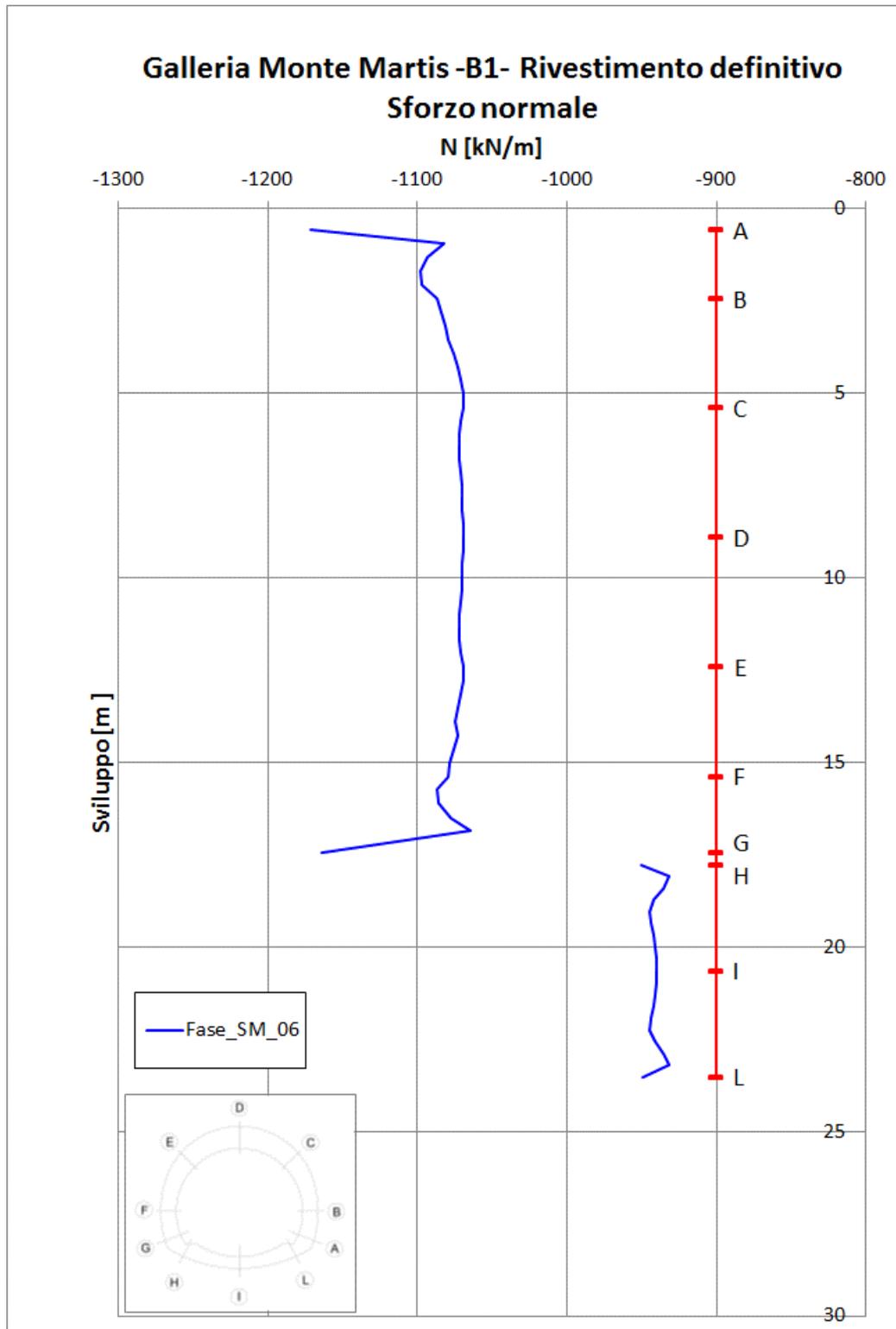
### 16.3.7 Rivestimento definitivo – Diagrammi delle sollecitazioni (Fase\_06)

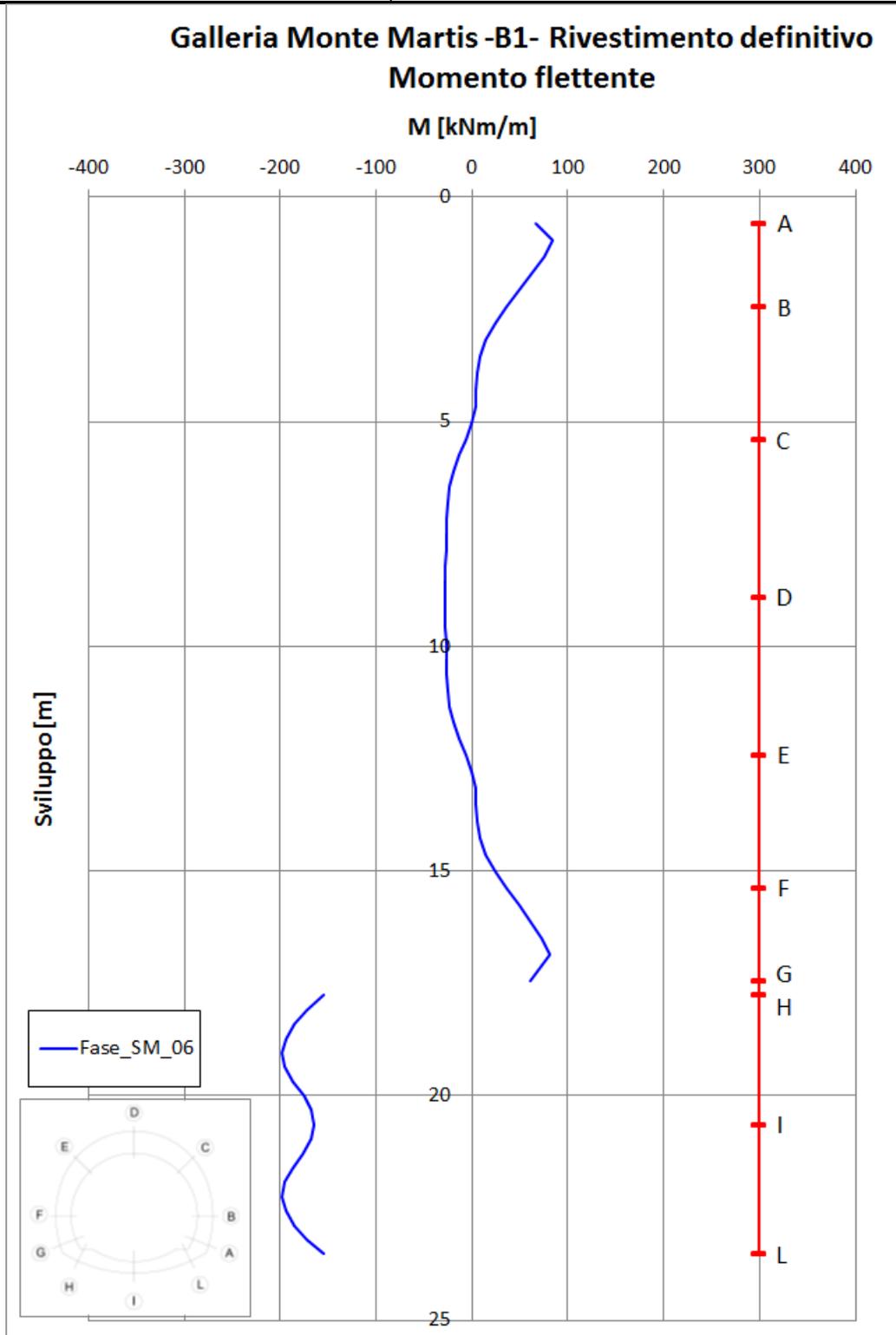
16.3.7.1 Sezione tipo B1 – Diagramma dello sforzo normale nel rivestimento definitivo

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

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

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





### Galleria Monte Martis -B1- Rivestimento definitivo Sforzo di taglio

