



Società per Azioni Autostrada Brescia Verona Vicenza Padova
 Via Flavio Gioia 71 37135 Verona
 tel. 0458272222 Fax 0458200051 Casella Postale 460M www.autobspd.it
 AREA COSTRUZIONI AUTOSTRADALI



AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD

PROGETTO PRELIMINARE

CUP G19J1 00001 40005

COMMESSA 25 2005

COMMITTENTE



S.p.A. AUTOSTRADA BRESCIA VERONA VICENZA PADOVA
 Area Costruzioni Autostradali

CAPO COMMESSA
 PER LA PROGETTAZIONE
 Dott. Ing. Sergio Mutti

PROGETTISTA



CONSORZIO RAETIA

CAPO PROGETTO:
 Dott. Ing. Massimo Raccosta

RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE TRA LE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:
 Dott. Ing. Massimo Raccosta

RESPONSABILE DEL COORDINAMENTO:
 Dott. Ing. Andrea Renso

ELABORATO Studi per la conoscenza del contesto
 Geotecnica e geomeccanica

Relazione geomeccanica

Progressivo Rev.

02 07 01 002 00

Rev.	Data	Descrizione	Redazione	Controllo	Approvazione	SCALA -
00	Agosto 2011	Prima Emissione	TECHNITAL	E. Fresia	A. Renso	NOME FILE 2505_020701002_0101_OPP_00.dwg
						CM 2505 ELAB. 020701002
						Fg. 0101 LIV. 0PP REV. 00

**AUTOSTRADA A31 TRENTO - ROVIGO
TRONCO TRENTO - VALDASTICO - PIOVENE ROCCHETTE**

Committente:



Progettazione:

CONSORZIO RAETIA



PROGETTO PRELIMINARE
SCELTA DEL TRACCIATO

RELAZIONE GEOMECCANICA

INDICE

1	INTRODUZIONE	9
2	OGGETTO E SCOPO	10
3	PROFILI GEOMECCANICI	11
4	CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA DEGLI AMMASSI ROCCIOSI	12
	4.1 Criteri per l'estrapolazione dei parametri con la profondità	14
	4.2 Parametri geomeccanici utilizzati per le tre classi di copertura	15
	4.3 Caratterizzazione geomeccanica	17
	4.4 Condizioni idrauliche	18
5	SCAVO TRADIZIONALE	20
	5.1 Tipologia delle sezioni tipo utilizzate	20
	5.2 Verifica geomeccanica delle sezioni tipo	20
	5.2.1 Scelta delle sezioni da analizzare	21
	5.2.2 Analisi di stabilità	22
	5.3 Nota di sintesi	95
6	SCAVO MECCANIZZATO	96
	6.1 Introduzione	96
	6.2 Analisi di stabilità	97
	6.3 Verifica del rivestimento in conci	98
	6.4 Analisi dell'efficacia dello scavo meccanizzato	100
	6.5 Detensionamento - Spalling	101
7	ANALISI CON Q_{TBM}	103
8	INFLUENZA DELLA FALDA FREATICA	107
9	SCAVO MECCANIZZATO-TRADIZIONALE: CONFRONTO	108
	9.1 Ipotesi di base	108
	9.2 Analisi dei singoli tracciati	109
	9.3 Nota di sintesi	113
10	SMARINO	114
11	CONCLUSIONI	115

Indice delle tabelle

Tabella 1: Lunghezze dei tracciati in esame	9
Tabella 2: Legenda geologica.....	13
Tabella 3: Criterio per la valutazione dei parametri σ_{ci} ed RMR al variare della copertura	15
Tabella 4: Parametri geomeccanici caratteristici dei litotipi intercettati.....	16
Tabella 5: Sezioni tipo di avanzamento in modalità di scavo tradizionale.....	20
Tabella 6: Sezioni di calcolo nell'ammasso roccioso	21
Tabella 7: Sezioni di calcolo in corrispondenza dei tratti in faglia	21
Tabella 8: Incidenza indicativa delle sezioni tipo di avanzamento.....	95
Tabella 9 – Scavo meccanizzato e tradizionale - Incidenza delle sezioni tipo per i tratti scavati in tradizionale	96
Tabella 10 – Tratti di avanzamento con scavo meccanizzato e indicazione degli interventi previsti	97
Tabella 11 – Sollecitazioni agenti nell'anello di rivestimento con carico citostatico totalmente gravante sul cavo.....	100
Tabella 12 – Indici necessari per la valutazione del Q_{TBM}	103
Tabella 13 – Tempi di scavo complessivi per i sei tracciati esaminati.....	105
Tabella 14 – Tempi di scavo meccanizzato – tradizionale – sintesi dei tempi per i sei tracciati	113

Indice delle figure

Figura 1. Variazione della permeabilità dell'unità di base e di quella superiore con la profondità.....	19
Figura 2: Sezione A1 – Dolomia Principale – Copertura 100 m – Linea caratteristica del fronte e del cavo senza sostegni	24
Figura 3: Sezione A1 – Dolomia Principale – Copertura 100 m – Fascia di plasticizzazione al fronte ed al cavo senza sostegni.....	24
Figura 4: Sezione A1 – Dolomia Principale – Copertura 100 m – Linee caratteristiche del fronte e del cavo con il prerivestimento	25

Figura 5: Sezione A1 – Dolomia Principale – Copertura 100 m – Sollecitazioni nel priverivestimento e rivestimento definitivo	25
Figura 6: Sezione A1 – Dolomia Principale – Copertura 1000 m – Linea caratteristica del fronte e del cavo senza sostegni	27
Figura 7: Sezione A1 – Dolomia Principale – Copertura 1000 m – Fascia di plasticizzazione al fronte ed al cavo senza sostegni.....	27
Figura 8: Sezione A1 – Dolomia Principale – Copertura 1000 m – Linee caratteristiche del fronte e del cavo con il priverivestimento	28
Figura 9: Sezione A1 – Dolomia Principale – Copertura 1000 m – Sollecitazioni nel priverivestimento e rivestimento definitivo	28
Figura 10: Sezione A1 – Basamento Cristallino – Copertura 300 m – Linea caratteristica del fronte e del cavo senza sostegni	30
Figura 11: Sezione A1 – Basamento Cristallino – Copertura 300 m – Fascia di plasticizzazione al fronte ed al cavo senza sostegni.....	30
Figura 12: Sezione A1 – Basamento Cristallino – Copertura 300 m – Linee caratteristiche del fronte e del cavo con il priverivestimento.....	31
Figura 13: Sezione A1 – Basamento Cristallino – Copertura 300 m – Sollecitazioni nel priverivestimento e rivestimento definitivo	31
Figura 14: Sezione B0 – Formazione di Giovo/Contrin – Copertura 140 m – Linea caratteristica del fronte e del cavo senza sostegni	33
Figura 15: Sezione B0 – Formazione di Giovo/Contrin – Copertura 140 m – Fascia di plasticizzazione al fronte ed al cavo senza sostegni.....	33
Figura 16: Sezione B0 – Formazione di Giovo/Contrin – Copertura 140 m – Linee caratteristiche del fronte e del cavo con il priverivestimento.....	34
Figura 17: Sezione B0 – Formazione di Giovo/Contrin – Copertura 140 m – Sollecitazioni nel priverivestimento e rivestimento definitivo	34
Figura 18: Sezione B0 – Formazione di Werfen – Copertura 400 m – Linea caratteristica del fronte e del cavo senza sostegni	36
Figura 19: Sezione B0 – Formazione di Werfen – Copertura 400 m – Fascia di plasticizzazione al fronte ed al cavo senza sostegni.....	36
Figura 20: Sezione B0 – Formazione di Werfen – Copertura 400 m – Linee caratteristiche del fronte e del cavo con il priverivestimento.....	37
Figura 21: Sezione B0 – Formazione di Werfen – Copertura 400 m – Sollecitazioni nel priverivestimento e rivestimento definitivo	37

Figura 22: Sezione B1 – Basamento Cristallino – Copertura 550 m – Linea caratteristica del fronte e del cavo senza sostegni	39
Figura 23: Sezione B1 – Basamento Cristallino – Copertura 550 m – Fascia di plasticizzazione al fronte ed al cavo senza sostegni.....	39
Figura 24: Sezione B1 – Basamento Cristallino – Copertura 550 m – Linee caratteristiche del fronte e del cavo con il pririvestimento.....	40
Figura 25: Sezione B1 – Basamento Cristallino – Copertura 550 m – Sollecitazioni nel pririvestimento e rivestimento definitivo	40
Figura 26: Sezione B1 – Basamento Cristallino – Copertura 1300 m – Linea caratteristica del fronte e del cavo senza sostegni	42
Figura 27: Sezione B1 – Basamento Cristallino – Copertura 1300 m – Fascia di plasticizzazione al fronte ed al cavo senza sostegni.....	42
Figura 28: Sezione B1 – Basamento Cristallino – Copertura 1300 m – Linee caratteristiche del fronte e del cavo con il pririvestimento.....	43
Figura 29: Sezione B1 – Basamento Cristallino – Copertura 1300 m – Sollecitazioni nel pririvestimento e rivestimento definitivo	43
Figura 30: Sezione B1 – Calcare di M.te Spitz – Copertura 1100 m – Linea caratteristica del fronte e del cavo senza sostegni	45
Figura 31: Sezione B1 – Calcare di M.te Spitz – Copertura 1100 m – Fascia di plasticizzazione al fronte ed al cavo senza sostegni.....	45
Figura 32: Sezione B1 – Calcare di M.te Spitz – Copertura 1100 m – Linee caratteristiche del fronte e del cavo con il pririvestimento.....	46
Figura 33: Sezione B1 – Calcare di M.te Spitz – Copertura 1100 m – Sollecitazioni nel pririvestimento e rivestimento definitivo	46
Figura 34: Sezione B0V – Basamento Cristallino – Copertura 350 m – Linea caratteristica del fronte e del cavo senza sostegni	48
Figura 35: Sezione B0V – Basamento Cristallino – Copertura 350 m – Fascia di plasticizzazione al fronte ed al cavo senza sostegni.....	48
Figura 36: Sezione B0V – Basamento Cristallino – Copertura 350 m – Linee caratteristiche del fronte e del cavo con il pririvestimento.....	49
Figura 37: Sezione B0V – Basamento Cristallino – Copertura 350 m – Sollecitazioni nel pririvestimento e rivestimento definitivo	49
Figura 38: Sezione B0V – Gruppo di Raibl – Copertura 1300 m – Linea caratteristica del fronte e del cavo senza sostegni	51

Figura 39: Sezione B0V – Gruppo di Raibl – Copertura 1300 m – Fascia di plasticizzazione al fronte ed al cavo senza sostegni.....	51
Figura 40: Sezione B0V – Gruppo di Raibl – Copertura 1300 m – Linee caratteristiche del fronte e del cavo con il pririvestimento	52
Figura 41: Sezione B0V – Gruppo di Raibl – Copertura 1300 m – Sollecitazioni nel pririvestimento e rivestimento definitivo	52
Figura 42: Sezione B2V – Formazione a Nodosus – Copertura 800 m – Linea caratteristica del fronte e del cavo senza sostegni	54
Figura 43: Sezione B2V – Formazione a Nodosus – Copertura 800 m – Fascia di plasticizzazione al fronte ed al cavo senza sostegni.....	54
Figura 44: Sezione B2V – Formazione a Nodosus – Copertura 800 m – Linee caratteristiche del fronte e del cavo con il pririvestimento.....	55
Figura 45: Sezione B2V – Formazione a Nodosus – Copertura 800 m – Sollecitazioni nel pririvestimento e rivestimento definitivo	55
Figura 46: Sezione B2V – Calcari di V. Gola/Marne della Val di Centa – Copertura 1350 m – Linea caratteristica del fronte e del cavo senza sostegni.....	57
Figura 47: Sezione B2V – Calcari di V. Gola/Marne della Val di Centa – Copertura 1350 m – Fascia di plasticizzazione al fronte ed al cavo senza sostegni.....	57
Figura 48: Sezione B2V – Calcari di V. Gola/Marne della Val di Centa – Copertura 1350 m – Linee caratteristiche del fronte e del cavo con il pririvestimento	58
Figura 49: Sezione B2V – Calcari di V. Gola/Marne della Val di Centa – Copertura 1350 m – Sollecitazioni nel pririvestimento e rivestimento definitivo	58
Figura 50: Sezione C1 – Detrito – Copertura 40 m – Linea caratteristica del fronte e del cavo senza sostegni	60
Figura 51: Sezione C1 – Detrito – Copertura 40 m – Fascia di plasticizzazione al fronte ed al cavo senza sostegni	60
Figura 52: Sezione C1 – Detrito – Copertura 40 m – Linee caratteristiche del fronte e del cavo con il pririvestimento	61
Figura 53: Sezione C1 – Detrito – Copertura 40 m – Sollecitazioni nel pririvestimento e rivestimento definitivo	61
Figura 54: Sezione C2 – Formazione di Werfen – Copertura 400 m – Linea caratteristica del fronte e del cavo senza sostegni	63
Figura 55: Sezione C2 – Formazione di Werfen – Copertura 400 m – Fascia di plasticizzazione al fronte ed al cavo senza sostegni.....	63

Figura 56: Sezione C2 – Formazione di Werfen – Copertura 400 m – Linee caratteristiche del fronte e del cavo con il priverivestimento.....	64
Figura 57: Sezione C2 – Formazione di Werfen – Copertura 400 m – Sollecitazioni nel priverivestimento e rivestimento definitivo	64
Figura 58: Sezione C2 – Formazione a Nodosus – Copertura 850 m – Linea caratteristica del fronte e del cavo senza sostegni	66
Figura 59: Sezione C2 – Formazione a Nodosus – Copertura 850 m – Fascia di plasticizzazione al fronte ed al cavo senza sostegni.....	66
Figura 60: Sezione C2 – Formazione a Nodosus – Copertura 850 m – Linee caratteristiche del fronte e del cavo con il priverivestimento.....	67
Figura 61: Sezione C2 – Formazione a Nodosus – Copertura 850 m – Sollecitazioni nel priverivestimento e rivestimento definitivo	67
Figura 62: Sezione B0-faglia – Formazione di Giovo/Contrin – Copertura 130 m – Linea caratteristica del fronte e del cavo senza sostegni	69
Figura 63: Sezione B0-faglia – Formazione di Giovo/Contrin – Copertura 130 m – Fascia di plasticizzazione al fronte ed al cavo senza sostegni.....	69
Figura 64: Sezione B0-faglia – Formazione di Giovo/Contrin – Copertura 130 m – Linee caratteristiche del fronte e del cavo con il priverivestimento.....	70
Figura 65: Sezione B0-faglia – Formazione di Giovo/Contrin – Copertura 130 m – Sollecitazioni nel priverivestimento e rivestimento definitivo	70
Figura 66: Sezione B0-faglia – Dolomia principale – Copertura 280 m – Linea caratteristica del fronte e del cavo senza sostegni	72
Figura 67: Sezione B0-faglia – Dolomia principale – Copertura 280 m – Fascia di plasticizzazione al fronte ed al cavo senza sostegni.....	72
Figura 68: Sezione B0-faglia – Dolomia principale – Copertura 280 m – Linee caratteristiche del fronte e del cavo con il priverivestimento.....	73
Figura 69: Sezione B0-faglia – Dolomia principale – Copertura 280 m – Sollecitazioni nel priverivestimento e rivestimento definitivo	73
Figura 70: Sezione B1-Faglia – Calcare Grigio – Copertura 220 m – Linea caratteristica del fronte e del cavo senza sostegni	75
Figura 71: Sezione B1-Faglia – Calcare Grigio – Copertura 220 m – Fascia di plasticizzazione al fronte ed al cavo senza sostegni.....	75
Figura 72: Sezione B1-Faglia – Calcare Grigio – Copertura 220 m – Linee caratteristiche del fronte e del cavo con il priverivestimento	76

Figura 73: Sezione B1-Faglia – Calcare Grigio – Copertura 220 m – Sollecitazioni nel priverivestimento e rivestimento definitivo	76
Figura 74: Sezione B1-faglia – Dolomia Principale – Copertura 380 m – Linea caratteristica del fronte e del cavo senza sostegni	78
Figura 75: Sezione B1-faglia – Dolomia Principale – Copertura 380 m – Fascia di plasticizzazione al fronte ed al cavo senza sostegni.....	78
Figura 76: Sezione B1-faglia – Dolomia Principale – Copertura 380 m – Linee caratteristiche del fronte e del cavo con il priverivestimento.....	79
Figura 77: Sezione B1-faglia – Dolomia Principale – Copertura 380 m – Sollecitazioni nel priverivestimento e rivestimento definitivo	79
Figura 78: Sezione B0V-Faglia – Formazione di Giovo/Contrin – Copertura 300 m – Linea caratteristica del fronte e del cavo senza sostegni.....	81
Figura 79: Sezione B0V-Faglia – Formazione di Giovo/Contrin – Copertura 300 m – Fascia di plasticizzazione al fronte ed al cavo senza sostegni.....	81
Figura 80: Sezione B0V-Faglia – Formazione di Giovo/Contrin – Copertura 300 m – Linee caratteristiche del fronte e del cavo con il priverivestimento	82
Figura 81: Sezione B0V-Faglia – Formazione di Giovo/Contrin – Copertura 300 m – Sollecitazioni nel priverivestimento e rivestimento definitivo	82
Figura 82: Sezione B0V-Faglia – Calcare di M.te Spitz – Copertura 850 m – Linea caratteristica del fronte e del cavo senza sostegni	84
Figura 83: Sezione B0V-Faglia – Calcare di M.te Spitz – Copertura 850 m – Fascia di plasticizzazione al fronte ed al cavo senza sostegni.....	84
Figura 84: Sezione B0V-Faglia – Calcare di M.te Spitz – Copertura 850 m – Linee caratteristiche del fronte e del cavo con il priverivestimento.....	85
Figura 85: Sezione B0V-Faglia – Calcare di M.te Spitz – Copertura 850 m – Sollecitazioni nel priverivestimento e rivestimento definitivo	85
Figura 86: Sezione B2V-Faglia – Formazione a Nodosus – Copertura 760 m – Linea caratteristica del fronte e del cavo senza sostegni	87
Figura 87: Sezione B2V-Faglia – Formazione a Nodosus – Copertura 760 m – Fascia di plasticizzazione al fronte ed al cavo senza sostegni.....	87
Figura 88 Sezione B2V-Faglia – Formazione a Nodosus – Copertura 760 m – Linee caratteristiche del fronte e del cavo con il priverivestimento.....	88
Figura 89: Sezione B2V-Faglia – Formazione a Nodosus – Copertura 760 m – Sollecitazioni nel priverivestimento e rivestimento definitivo	88

Figura 90: Sezione B2V-Faglia – Calcari scuri di Margon – Copertura 1400 m – Linea caratteristica del fronte e del cavo senza sostegni	90
Figura 91: Sezione B2V-Faglia – Calcari scuri di Margon – Copertura 1400 m – Fascia di plasticizzazione al fronte ed al cavo senza sostegni.....	90
Figura 92: Sezione B2V-Faglia – Calcari scuri di Margon – Copertura 1400 m –Linee caratteristiche del fronte e del cavo con il priverivestimento.....	91
Figura 93: Sezione B2V-Faglia – Calcari scuri di Margon – Copertura 1400 m – Sollecitazioni nel priverivestimento e rivestimento definitivo	91
Figura 94: Sezione C2-Faglia – Formazione di Werfen – Copertura 630 m – Linea caratteristica del fronte e del cavo senza sostegni	93
Figura 95: Sezione C2-Faglia – Formazione di Werfen – Copertura 630 m – Fascia di plasticizzazione al fronte ed al cavo senza sostegni.....	93
Figura 96: Sezione C2-Faglia – Formazione di Werfen – Copertura 630 m – Linee caratteristiche del fronte e del cavo con il priverivestimento.....	94
Figura 97: Sezione C2-Faglia – Formazione di Werfen – Copertura 630 m – Sollecitazioni nel priverivestimento e rivestimento definitivo	94
Figura 98: Dolomia Principale – Copertura 1000 m – Linea caratteristica del cavo circolare in assenza di sostegni	98
Figura 99: Dolomia Principale – Copertura 1000 m – Curva caratteristica in presenza del rivestimento definitivo	99
Figura 100 – Illustrazione del fenomeno di spalling.....	102
Figura 101 – Correlazione tra la lunghezza di scavo meccanizzato e i tempi di realizzazione previsti per i singoli tracciati.....	106

1 INTRODUZIONE

Nel presente rapporto vengono analizzate le gallerie naturali presenti nei 6 tracciati esaminati.

La lunghezza di ciascun tracciato è compresa tra 40 e 60 km complessivi, di cui una percentuale variabile fra il 75 e l'80% si colloca in galleria naturale, vedi Tabella 1.

Tabella 1: Lunghezze dei tracciati in esame		
Tracciato	Lunghezza totale [km]	Lunghezza complessiva dei tratti in sottterraneo [km]
T1	57.30	44.63
T2	43.10	31.55
T3	44.38	33.15
T4	39.19	28.70
T5	41.43	32.08
T6	44.38	41.25

I sei percorsi interessano un'area caratterizzata da una notevole variabilità dal punto di vista geologico e geomeccanico, con coperture che raggiungono anche i 1500 metri.

Per ciascun tracciato, per le gallerie più lunghe, è stata esaminata anche l'opzione dello scavo meccanizzato.

Lo studio si è basato su dati bibliografici integrati, per le formazioni più presenti nelle gallerie, dai risultati dei rilievi eseguiti in campagna. Sono stati prodotti i profili geomeccanici di ciascun tracciato, sui quali sono riportate informazioni geologiche e idrogeologiche, caratterizzazioni geomeccaniche dei litotipi intercettati dalle gallerie, descrizione delle modalità di scavo e sostegno.

2 OGGETTO E SCOPO

Oggetto della presente relazione sono le opere in sotterraneo comprese nei sei tracciati autostradali esaminati.

Scopo è quello di definire le modalità di esecuzione delle gallerie naturali sia con scavo tradizionale che meccanizzato.

3 PROFILI GEOMECCANICI

Per ciascun percorso autostradale è stato elaborato il profilo geomeccanico, che riprende il profilo geologico e lo descrive in dettaglio con riferimento alla geomeccanica. I profili sono stati realizzati in scala 1:10000.

La parte superiore dell'elaborato grafico coincide con il profilo geologico, riporta le faglie e le superfici di contatto tettonico.

Sui profili è stato riportato l'andamento della superficie piezometrica, ripreso dai profili idrogeologici.

Nella parte inferiore dell'elaborato grafico è riportata la caratterizzazione geomeccanica degli ammassi rocciosi e delle faglie attraversati dalle gallerie, comprendente i parametri di deformazione, resistenza e permeabilità valutati in relazione alle condizioni di copertura.

Infine sono indicate, per quanto riguarda lo scavo tradizionale le sezioni tipo da adottare durante l'avanzamento, nel caso di scavo meccanizzato i parametri necessari alla valutazione dei tempi di perforazione mediante il metodo Q_{TBM} ed il possibile grado di detensionamento, spalling, che può interessare il fronte ed il contorno di scavo.

4 CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA DEGLI AMMASSI ROCCIOSI

Il profilo geologico che interessa le gallerie attraversa diversi e differenti ammassi rocciosi, principalmente di origine sedimentaria, appartenenti alle famiglie dei calcari e delle dolomie. Si propone nella seguente Tabella 2 la legenda geologica riportata sui profili e le planimetrie geologiche allegati al progetto.

AUTOSTRADA A31 TRENTO - ROVIGO
TRONCO TRENTO - VALDASTICO - PIOVENE ROCCHETTE

Tabella 2: Legenda geologica

GEOLOGIA	
DEPOSITI CONTINENTALI QUATERNARI	
	<p>1 <u>DETRITO DI VERSANTE</u> Ghiaie eterometriche, localmente con massi e piccoli blocchi, angolose, formate prevalentemente da litotipi calcareo-dolomitici</p>
	<p>3 <u>ALLUVIONI ATTUALI E RECENTI</u> Ghiaie e ciottoli con scarsi livelli o lenti sabbiose.</p>
	<p>5 <u>DEPOSITI GLACIALI</u> Ghiaie eterometriche fino a massi di 1 mc circa, immerse in abbondante matrice limoso-sabbioso-argillosa.</p>
SUBSTRATO ROCCIOSO PRE-QUATERNARIO	
	<p>7 <u>FORMAZIONI ERUTTIVE TERZIARIE</u> Basalti sotto forma di camini vulcanici e di filoni, generalmente a giacitura discordante (Paleocene sup. - Miocene inf.)</p>
	<p>8b <u>CALCARENITI EOCENICHE</u> <u>MARNA DI PRIABONA</u> Marna e marna argillose compatte grigiastre con noduli carbonatici. La sequenza termina con una intercalazione di calcareniti, calcari marnosi e marna giallastre (Lutanziano-Priaboniano)</p>
	<p>8d <u>CALCARE DI MALCESINE</u> Calcareniti grigio-nocciola mal stratificate e calcareniti nodulari ben cementate in matrice più marnosa. (Eocene medio p.p.)</p>
	<p>10 <u>SCAGLIA ROSSA</u> Calcari e calcari marnosi fittamente stratificati, rosati e rossastri, talora con noduli e lenti di selce (Maastrichtiano-Turoniano)</p>
	<p>12 <u>ROSSO AMMONITICO</u> Calcari nodulari rosati o rossastri, localmente siltosi, con lenti o noduli di selce. (Cenomaniano p.p.-Bajociano)</p>
	<p>13b <u>CALCARI GRIGI</u> Calcari micritici grigi e nocciola stratificati con intercalazioni argillose e marnose nella parte superiore. Al tetto calcari dolomitizzati e ricristallizzati. (Lias medio e inferiore)</p>
	<p>14b <u>GRUPPO DI RAIBL</u> Pelti e argilliti, rossastre associate a calcari dolomitici ben stratificati (Val d'Astico); dolomie e calcari dolomitici ben stratificati con screezature rossastre e grigie, associati a pelti, localmente con livelli di breccie dolomitiche basali (Val di Centa); conglomerato a ciottoli carbonatici completamente dolomitizzato (localmente nella Vigolana p.p.) (Carnico)</p>
	<p>16 <u>VULCANITI INDIFFERENZIATE</u> Andesiti rioliti e daciti degli ammassi subvulcanici e delle colate (area tra Ansiero e Meda) (Ladinico)</p>
	<p>17bis <u>FORMAZIONE DELLO SCILIAR</u> Fm. Sciliar: dolomie con livelli stromatolitici, alla base stratificate. (Anisico sup.-Ladinico)</p>
	<p>19 <u>CALCARI DELLA VAL GOLA</u> Calcari e calcareniti dolomitiche grigie e nocciola generalmente nodulari, con pelti e argilla verde-azzurra ("pietra verde") (Longobardico-Fassanico)</p>
	<p>21 <u>CALCARI SCURI DI MARGON</u> Laminili carbonatico-bituminose bruno-nerastre passanti a calcari siltosi e marna grigio-nocciola. Stratificazione fitta. (Illirico superiore - Illirico inferiore)</p>
	<p>22 <u>DOLOMIA DELLA VALSUGANA</u> Dolomie biancastre grigie o nocciola, fittamente stratificate con rare intercalazioni peltiche. La sequenza termina con dolomie siltose. (Pelsonico-Illirico inf.)</p>
	<p>24 <u>FORMAZIONE GRACILIS</u> <u>DOLOMIA DEL SERLA INFERIORE</u> Dolomirite bianco-grigiastre fittamente stratificate con interstrati peltici laminati a spessore millimetrico e centimetrico. Localmente la colorazione è rossastra per la presenza di argilliti rossastre. (Pelsonico-Scitico)</p>
	<p>26 <u>FORMAZIONE A BELLEROPHON</u> <u>ARENARIE DI VALGARDENA</u> Arenarie quarzoso-feldspatiche, siltite e pelti passanti superiormente a dolomie con intercalazioni peltiche. Stratificazione fitta colore da grigio a giallastro. Presenza di livelli di gesso a spessore metrico al passaggio tra le due formazioni. (Fermiano sup.-inf.)</p>
	<p>28 <u>BASAMENTO CRISTALLINO</u> Sequenza di litotipi metamorfici: 28a - Micasisti e Filitati 28b - Paragneise 28c - Porfiroidi (Carbonifero)</p>
	<p>2 <u>DETRITO DI CONOIDE ALLUVIONALE E DA DEBRIS-FLOW</u></p>
	<p>4 <u>DEPOSITI FLUVIOGLACIALI ED ALLUVIONALI TERRAZZATI</u> Ghiaie sabbiose e sabbie anche con piccoli massi, generalmente stratificate, localmente cementate.</p>
	<p>6 <u>PALEOFRANE</u> Blocchi eterometrici dolomitici, talora con massi di varie decine di mc.</p>
	<p>8a <u>CALCARE DI LONEDO</u> Intercalazione di calcareniti e calcari giallastri a tratti marnosi (Aquitano).</p>
	<p>8c <u>CALCARE DI NAGO</u> Calcareniti micritiche grigie stratificate e calcari a rodoliti e briozoi in spesse bancate (3-10 m). spess. 100 m (Eocene medio-sup)</p>
	<p>9 <u>FORMAZIONE DI BESAGNO</u> <u>FORMAZIONE DI CHIUSOLE</u> Calcareniti grigio-biancastre passanti a calcari bianchi e calcari marnosi grigi con intercalazioni marnose. Stratificazione da media a fitta (Eocene inf. e Paleocene)</p>
	<p>11 <u>BIANCONE</u> Calcari, calcari marnosi, grigi o biancastri, ben stratificati, con selce in lenti o noduli. (Cenomaniano-Turoniano p.p.)</p>
	<p>13a <u>GRUPPO DI S.VIGILIO</u> Calcari compatti e calcareniti oolitiche di tonalità variabili fra il bianco e il giallastro. (Bajociano-Aleniano)</p>
	<p>14a <u>DOLOMIA PRINCIPALE</u> Dolomie e calcari dolomitici nocciola, grigi o rosati, talora saccaroidi, generalmente ben stratificati, ma localmente massivi. Al tetto facies dolomitizzate e ricristallizzate. (Retico-Carnico superiore)</p>
	<p>15 <u>DOLOMIA SINDECH</u> Dolomia cristallina biancastra, da massiccia a grossolanamente stratificata (parte basale), localmente al tetto, piccoli filoni sedimentari di dolomia cristallina bruna. (Carnico inf.-Ladinico)</p>
	<p>17 <u>FORMAZIONE A NODOSUS</u> <u>CALCARE DI MONTE SPITZ</u> Dolomie cristalline grigio-biancastre da massive a sottilmente stratificate. La sequenza passa al tetto ad arenarie calcari intercalati ed arenarie, tuffi, marna. (Ladinico inf.)</p>
	<p>18 <u>FORMAZIONE A TRINODOSUS</u> <u>CALCARE DI RECOARO</u> Intercalazione di calcari, calcari marnose, marna ed argilliti fittamente stratificate. La sequenza passa al tetto ad arenarie conglomerati, marna. (Anisico)</p>
	<p>20 <u>MARNE DELLA VAL DI CENTA</u> Intercalazione di calcareniti fini, marna, pelti ed arenarie fini grigie. Stratificazione fitta. Rapporto marna calcareo>1 (Illirico superiore)</p>
	<p>21a <u>FORMAZIONE DI GIOVO E FM. DEL CONTRIN</u> Fm. Giovo Contrin: calcari e dolomie grigiastre sottilmente stratificate, talora stromatolitiche, passanti superiormente a dolomie subtidali. (Anisico med. Illirico p.p.)</p>
	<p>23 <u>CONGLOMERATO DI VOLTAGO</u> Intercalazione di conglomerati, arenarie e pelti suddivisa in pacchi a spessore metrico con stratificazione decimetrica. I ciottoli del conglomerato sono dolomitici. Il colore è giallo-rossastro. (Pelsonico-Anisico inf.)</p>
	<p>25 <u>FORMAZIONE DI WERFEN</u> Alternanze ben stratificate di calcari oolitici, pelti, arenarie e dolomie laminare con colorazioni rossastra. livelli di gessi nella parte alta della sequenza. (Scitico)</p>
	<p>27 <u>COMPLESSO VULCANICO ARTESINO</u> Sequenza di colate vulcaniche: 27a - Rioliti 27b - Daciti e Riodaciti 27c - Andesiti (Fermiano)</p>

La caratterizzazione geomeccanica dei litotipi interessati dalle gallerie naturali ha utilizzato i dati dei rilievi di superficie, integrati con informazioni bibliografiche. Per ciascun litotipo sono stati definiti:

- RMR_{89} , Rock Mass Rating, indice di qualità dell'ammasso roccioso;
- σ_{ci} , resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta;
- m_i , costante empirica nel criterio di rottura di Hoek-Brown relativa alla roccia intatta.

Per maggiori dettagli sulla scelta di questi parametri si rimanda al Rapporto Geologico.

4.1 Criteri per l'estrapolazione dei parametri con la profondità

La copertura lungo i tracciati è compresa tra poche decine di metri fino a 1400 m.

E' stato necessario definire un opportuno criterio per l'estrapolazione in profondità dei parametri caratteristici di ciascun litotipo. Si considera che i valori noti, poiché derivanti quasi esclusivamente da rilievi di campagna e indicazioni bibliografiche, si riferiscano all'intervallo di profondità 0-50 m.

Il criterio impiegato si basa sulla definizione di tre diverse classi di copertura, che presuppongono un progressivo miglioramento delle condizioni dell'ammasso roccioso ed un minor grado di fratturazione all'aumentare della profondità:

- classe 0-50 m, per la quale si adottano i parametri così come definiti nel Rapporto Geologico;
- classe 50-500 m;
- classe di copertura > 500m.

Per le ultime due classi elencate si adottano valori di RMR_{89} e σ_{ci} opportunamente corretti, per tener conto del miglioramento della qualità rocciosa con la profondità. Il parametro m_i di Hoek-Brown non risente invece dell'incremento di profondità, in quanto il suo valore può essere considerato indipendente dalla copertura.

Per quanto riguarda la resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta, è plausibile supporre che, all'aumentare della copertura, la roccia sia più sana, abbia subito un minor detensionamento e presenti quindi un valore di σ_{ci} più elevato. Per le due classi di copertura 50-500 e > 500 m si adottano valori maggiorati rispettivamente del 10 e 20%.

Discorso analogo può essere fatto per quanto riguarda il Rock Mass Rating. Tale indice, variabile nell'intervallo 0-100, è stabilito in relazione ad alcuni aspetti fondamentali dell'ammasso roccioso, come di seguito elencati, a ciascuno dei quali viene assegnato un coefficiente numerico in relazione a classi di variabilità del parametro stesso:

- σ_{ci} , la cui variabilità in funzione della copertura è stata precedentemente descritta. Tali variazioni non risultano però significative nell'ambito della valutazione dell'indice RMR89;
- *RQD* (Rock Quality Designation), il cui valore presumibilmente tenderà ad aumentare con la copertura in relazione ad una minore diffusione di fratture secondarie;
- Spaziatura delle discontinuità, la cui variabilità con la copertura è analoga a quanto detto per *RQD*;
- Condizioni delle discontinuità;
- Idrogeologia.

Nel caso dell'indice RMR le correzioni consisteranno dunque nel sommare al suo valore originario un certo numero di punti a testimonianza del complessivo miglioramento delle condizioni della massa rocciosa.

In definitiva, per le tre diverse classi di copertura si sono adottati i seguenti criteri per l'estrapolazione in profondità dei parametri geomeccanici, vedi Tabella 3.

Tabella 3: Criterio per la valutazione dei parametri σ_{ci} ed RMR al variare della copertura			
PARAMETRO	CLASSI DI PROFONDITA'		
	0-50 m	50-500 m	500-1500 m
σ_{ci}	σ_{ci}	$1.1\sigma_{ci}$	$1.2\sigma_{ci}$
RMR ₈₉	RMR'	RMR' + 8	RMR' + 15

Per quanto riguarda le zone di faglia, si è adottato un criterio di base unico. L'indice *RMR* minimo della roccia più scadente che forma il contatto tettonico, viene scalato di 10 punti, determinando così il valore di *RMR* associato alla zona di faglia, mentre si mantengono le caratteristiche di resistenza σ_{ci} ed m_i della roccia di cui si è considerato RMR.

4.2 Parametri geomeccanici utilizzati per le tre classi di copertura

In funzione delle tre classi di copertura precedentemente definite, si elencano nella seguente Tabella 4 i parametri *RMR*₈₉, σ_{ci} ed m_i impiegati per le caratterizzazioni geomeccaniche nelle diverse condizioni di copertura.

Tabella 4: Parametri geomeccanici caratteristici dei litotipi in terzcattati

GRUPPO LITOLOGICO	FORMAZIONE GEOLOGICA	Numero identificativo del litotipo come riportato nella legenda dei profili geomeccanici	PROFONDITA' 5-50 m			PROFONDITA' 50-500 m			PROFONDITA' 500-1500 m		
			m _i	σ _{ci}	RMR	m _i	σ _{ci}	RMR	m _i	σ _{ci}	RMR
DOLOMIA	Dolomia principale	14a	18	80	59	18	90	67	18	100	74
	Dolomia del Sindedh	15	18	80	55	18	90	63	18	100	70
	Dolomia della Valsugana	22	18	80	45	18	90	53	18	100	60
	Dolomia del Serla inferiore	24	18	80	45	18	90	53	18	100	60
	Formazione a Gracilis	24	14	55	35	14	62	43	14	66	50
CALCARI MICRITICI	Calcari grigi	13b	12	45	45	12	50	53	12	54	60
	Biancone	11	12	45	40	12	50	48	12	54	55
CALCARENITI	Calcare di M.te Spitz	17	12	45	50	12	50	58	12	54	65
	Gruppo di S. Vigilio	13a	15	30	44	15	33	52	15	36	59
CALCARI MARINOSI E MARNE	Scaglia rossa	10	10	25	35	10	28	43	10	30	50
	Rosso ammonitico	12	10	30	40	10	33	48	10	36	55
	Formazione di Werfen	25	12	25	30	12	28	38	12	30	45
	Formazione di Besagno/Chiusole	9	12	30	35	12	33	43	12	36	50
	Calcare di Lonedo	8a	12	30	35	12	33	43	12	36	50
CALCARENITI PREVALENTI CON INTERCALAZIONI DI CALCARI MARINOSI, MARNE, ARGILLITI, CONGLOMERATI	Gruppo di Raibl	14b	18	60	35	18	66	43	18	72	50
	Calcare di Recoaro	18	12	30	30	12	33	38	12	36	45
	Calcari di Val di Gola	19	12	30	35	12	33	43	12	36	50
	Marne della Val di Centa	20	12	15	30	12	18	38	12	20	45
	Calcari di Margon	21	12	30	30	12	33	38	12	36	45
MARNE PREVALENTI CON INTERCALAZIONI DI CALCARI MARINOSI, ARENARIE TERRIGENE, TUFI, CONGLOMERATI	Form. di Giove e del Contin	21a	12	40	35	12	44	43	12	48	50
	Conglomerato di Voltago	23	12	15	30	12	18	38	12	20	45
	Formazione a Bellerophon	26	12	30	30	12	33	38	12	36	45
	Marna di Pfiabona	8b	10	15	28	10	18	36	10	20	43
	Formazione a Nodosus	17	12	15	28	12	18	36	12	30	43
ARENARIE TERRIGENE	Formazione a Trinodosus	18	10	15	25	10	18	33	10	20	40
	Arenarie di Val Gardena	26	15	40	35	15	44	43	15	48	50
BASALTI	Camini vulcanici	7	25	100	45	25	110	53	25	120	60
PORFIDI	Piattaforma Atesina	27	20	70	50	20	78	58	20	85	65
ANDESITI, RIOLITI	Vulcaniti indifferenziate	16	20	100	45	20	110	53	20	120	60
FILLADI QUARZIFERE	Basamento metamorfico	28	12	30	39	12	34	47	12	38	54

4.3 Caratterizzazione geomeccanica

La caratterizzazione geomeccanica dei litotipi attraversati dalle gallerie è stata realizzata mediante l'involuppo di rottura per gli ammassi rocciosi di Hoek-Brown, considerando il valore di GSI corrispondente a RMR_{gg} , il valore di resistenza a compressione uniassiale σ_{ci} ed il parametro m_i della roccia intatta.

L'involuppo di rottura è espresso dalla seguente equazione:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + (m \sigma_{ci} \sigma_3 + s \sigma_{ci}^2)^a$$

Dove:

- σ_{ci} = resistenza a compressione uniassiale della roccia intatta (MPa);
- m = parametro sperimentale che definisce l'incremento di resistenza della roccia all'aumentare della tensione di confinamento. Si indica con m_i nel caso in cui il criterio di rottura faccia riferimento alla roccia intatta, con m se questo si riferisce all'ammasso roccioso. In questo secondo caso il coefficiente può assumere valori di picco m_p e residui m_r ;
- s = parametro sperimentale che definisce la posizione dell'involuppo di Hoek - Brown. Il suo valore è unitario nel caso in cui il criterio faccia riferimento alla roccia intatta. Se il criterio si riferisce all'ammasso roccioso, s assume valori di picco s_p e residui s_r ;
- a = esponente dell'involuppo di rottura, pari a 0.5 per la roccia intatta.

Il passaggio dai parametri di Hoek-Brown per la roccia intatta a quelli relativi all'ammasso roccioso viene realizzato mediante le seguenti formulazioni:

$$m_p = m_i * \exp((GSI-100)/(28-14D))$$

$$m_r = 0.7m_p$$

$$s_p = \exp((GSI-100)/(9-3D))$$

$$s_r = 0.04s_p$$

$$a = 0.5 + 1/6 * (\exp(-GSI/15) - \exp(-20/3))$$

in cui:

$$GSI = RMR_{gg} - 5$$

D = parametro di danneggiamento dell'ammasso roccioso, considerato in questo caso pari a 0.1 sia per lo scavo tradizionale che per quello meccanizzato.

Anche il modulo elastico dell'ammasso roccioso è stato valutato a partire dall'indice GSI , adottando le seguenti formulazioni empiriche:

$$E = \left(1 - \frac{D}{2}\right) \sqrt{\frac{\sigma_c}{100}} \cdot 10^{(GSI-10)/40} \text{ [GPa]} \quad \text{nel caso in cui la resistenza } \sigma_c < 100 \text{ MPa}$$
$$E = \left(1 - \frac{D}{2}\right) 10^{(GSI-10)/40} \text{ [GPa]} \quad \text{nel caso in cui la resistenza } \sigma_c > 100 \text{ MPa}$$

Una volta valutati i parametri di Hoek-Brown per l'ammasso roccioso per la classe di copertura adeguata alla condizione in esame, si procede alla linearizzazione dell'involuppo curvilineo. La procedura viene realizzata sulla base delle equazioni proposte da Balmer in "A general analytical solution for Mohr's envelope" - Am.Soc.Test.Mat. (1952). In questo modo i litotipi vengono caratterizzati anche secondo l'involuppo di resistenza di Mohr-Coulomb, definendo in particolare i parametri di resistenza di picco e residui in due particolari condizioni tensionali:

- 0 - 0.2 γh , condizione all'origine - analisi di stabilità del fronte di scavo;
- 0.5 γh – γh , condizione alla copertura definita - analisi di stabilità del cavo.

Nelle precedenti espressioni γ è il peso di volume dell'ammasso roccioso e h il valore della copertura.

4.4 Condizioni idrauliche

Per quanto riguarda la permeabilità, è stato adottato un criterio analogo a quello utilizzato per le caratteristiche geomeccaniche dei litotipi. Fatta salda l'ipotesi secondo cui all'aumentare della profondità corrisponda un progressivo miglioramento delle condizioni dell'ammasso ed un minor grado di fratturazione, è accettabile supporre che la permeabilità dell'ammasso si riduca con la copertura.

Le formazioni litologiche intercettate dalle gallerie possono essere in prima approssimazione suddivise in due macrounità idrogeologiche, unità di base, Dolomia e formazioni affini, e unità superiore, Calcari e calcareniti, analogamente a quanto descritto nel Rapporto Idrogeologico. Le due unità presentano differenti valori di permeabilità, come presentato in Figura 1.

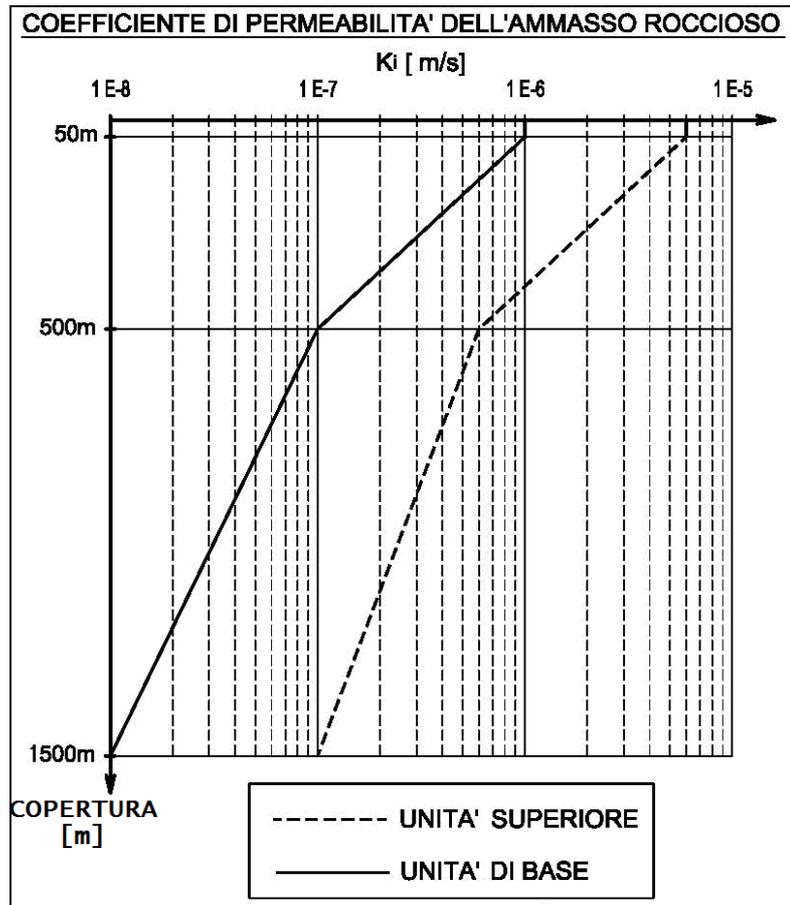


Figura 1. Variazione della permeabilità dell'unità di base e di quella superiore con la profondità

5 SCAVO TRADIZIONALE

5.1 Tipologia delle sezioni tipo utilizzate

Per quanto riguarda lo scavo tradizionale, sono state adottate le seguenti sezioni tipo, vedi Tabella 5:

Tabella 5: Sezioni tipo di avanzamento in modalità di scavo tradizionale						
SEZIONE TIPO DI AVANZAMENTO	SFONDO (m)	INTERVENTI CONTORNO DI SCAVO	INTERVENTI FRONTE	PRERIVESTIMENTO	SPESSORE CALOTTA (m)	SPESSORE ARCOROVESCIO (m)
A1	3	chiodature radiali tipo swellex L=6 m in serie da 14-15 chiodi sfalsati con passo longitudinale di 1 m	-	spritz sp. 0,20 m	0,60	0,70
B0	1	-	-	spritz sp. 0,25 m +2 IPN180/m	0,70	0,80
B1	1	chiodature radiali tipo swellex L=6 m in serie da 12-13 chiodi sfalsati con passo longitudinale di 1 m	-	spritz sp. 0,25 m +2 IPN180/m	0,70	0,80
B0V	1	coronella di rinforzo mediante 55 tubi metallici ϕ 88,9 mm, sp. 10 mm, iniettati con 2 vlv/m, L=13 m con 4 m di sovrapposizione	-	spritz sp. 0,25 m +2 IPN180/m	0,60-1,23	0,90
C1	1	37 colonne in jet grouting armate con tubo ϕ 88,9 sp. 10 mm e 9+9 colonne non armate L=13 m e sovrapposizione di 4 m	46 colonne in jet grouting armate con tubo in VTR L=15 m con 6 m di sovrapposizione, di cui 1 m di perforazione a vuoto	spritz sp. 0,25 m +2 IPN200/m	0,60-1,59	1,00
B2V	1	coronella di rinforzo mediante 55 tubi metallici ϕ 88,9 mm, sp. 10 mm, iniettati con 2 vlv/m, L=13 m con 4 m di sovrapposizione	consolidamento mediante 64 tubi in VTR cementati L=18 m e sovrapposizione di 9 m	spritz sp. 0,25 m +2 IPN180/m	0,60-1,23	0,90
C2	1	consolidamento mediante 64 tubi in VTR valvolati (2 vlv/m) L=15 m con sovrapposizione di 6 m	consolidamento mediante 80 tubi in VTR cementati L=18 m e sovrapposizione di 9 m	spritz sp. 0,30 m +2 IPN220/m	0,90	0,90

5.2 Verifica geomeccanica delle sezioni tipo

Le verifiche di stabilità delle sezioni tipo ha utilizzato il metodo delle linee caratteristiche, che consente di valutare la stabilità del fronte e del cavo, convergenze e sollecitazioni sui rivestimenti.

Le analisi esaminano sia la condizione naturale, in cui la galleria è priva di sostegni, allo scopo di valutare la stabilità a breve termine della sezione in esame, sia le fasi di posa dei sostegni provvisori e definitivi.

Per tutte le sezioni tipo si è ipotizzato che il rivestimento provvisorio sia posto in opera a due metri dal fronte. La galleria presenta un diametro di scavo equivalente di 16 metri, sia nel caso di scavo meccanizzato che tradizionale.

Il rivestimento definitivo viene schematizzato nel modello di calcolo come un anello di calcestruzzo chiuso.

5.2.1 Scelta delle sezioni da analizzare

La scelta delle sezioni oggetto di analisi mediante il metodo delle linee caratteristiche è stata realizzata sulla base dei 6 profili geomeccanici. Per ciascuna sezione tipo sono state scelte le condizioni rappresentative in termini di copertura e litotipo, sia entro l'ammasso roccioso che nelle zone di faglia.

Tabella 6: Sezioni di calcolo nell'ammasso roccioso				
Sezione tipo	Condizione media-minima		Condizione massima	
	Litotipo	Copertura	Litotipo	Copertura
A1	Dolomia Pr.	100 m	Basamento cristallino	300 m
			Dolomia Pr.	1000 m
B0	Form. Giovo/Contrin	140 m	Werfen	400 m
B1	Basamento cristallino	550 m	Basamento cristallino	1300 m
			Calcere di Mte Spitz	1100 m
B0V	Basamento cristallino	350 m	F. di Raibl	1000 m
B2V	Form. a Nodosus	800 m	Marna V. Centa/Calc. V. Gola	1350 m
C1	-	-	Detrito	40 m
C2	F. di Werfen	400 m	Form. a Nodosus	850 m

Tabella 7: Sezioni di calcolo in corrispondenza dei tratti in faglia				
Sezione tipo	Condizione media-minima		Condizione massima	
	Litotipo	Copertura	Litotipo	Copertura
B0	Form. Giovo/Contrin	130 m	Dolomia Principale	280 m
B1	Calcere Grigio	220 m	Dolomia Principale	380 m
B0V	Form. Giovo/Contrin	300 m	Calcere di Mte Spitz	850 m
B2V	Form. a Nodosus	760 m	Calcari Scuri di Margon	1400 m
C1	-	-	-	-
C2	-	-	F. di Werfen	630 m

Le sezioni di calcolo sono state scelte sulla base della loro incidenza percentuale lungo i tracciati, come nel caso delle sezioni in Dolomia, o della loro criticità da un punto di vista geomeccanico, come nel caso del Basamento Cristallino e delle formazioni sottostanti la Dolomia Principale in condizioni di elevata copertura.

5.2.2 Analisi di stabilità

Di seguito vengono presentate le analisi di stabilità eseguite per ciascuna sezione tipo di cui al precedente paragrafo. Si presenta una scheda con la sintesi delle caratteristiche strutturali e di avanzamento di ciascuna sezione considerate, seguite da quattro figure che riportano:

- le curve caratteristiche del fronte e del cavo nella condizione naturale, in assenza di sostegni;
- estensione delle zone di plasticizzazione al fronte ed al cavo nelle condizioni naturali, a scavo completato, in assenza di sostegni;
- sollecitazioni nel pririvestimento;
- sollecitazioni nel rivestimento definitivo.

Il pririvestimento è stato messo in opera a 2 m dal fronte.

Il rivestimento definitivo è stato messo in opera a 30 m dal fronte.

In alcune sezioni critiche per ottenere la stabilità, il rivestimento definitivo è stato messo a ridosso del fronte, come indicato nelle schede.

SEZIONE A1		
Litotipo:	DOLOMIA PRINCIPALE	
Copertura.	100 m	
Caratteristiche roccia:	$\sigma_c = 90 \text{ MPa}$	
	$\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$	
	$m_i = 18$	
	$m_p = 4.3$	
	$m_r = 3$	
	$s_p = 1.3E-2$	
	$s_r = 5E-4$	
	$E = 19 \text{ GPa}$	
	$\nu = 0.2$	
$\sigma_v = \gamma h = 25 \cdot 100 = 2500 \text{ kPa} = 2.5 \text{ MPa}$		
Sostegno provvisorio:	14/15 chiodi Swellex	L = 6 m
		Spaz. circonfer. = 12°
		Spaz. longitud. = 1 m
		E = 200,000 MPa
		$\varnothing_{\text{ext}} = 54 \text{ mm}$
		Spessore = 3 mm
	0.2 m spritz beton	
Sostegno definitivo:	anello di calcestruzzo di sp. Medio 0.65 m dist. di posa = 30 m = 2 · $\varnothing_{\text{galleria}}$	

La sezione in assenza di sostegni risulta stabile sia al fronte che al cavo, con comportamento elastico.

I sostegni installati non risultano pressoché caricati, in quanto il cavo è autoportante.

Le sollecitazioni sul rivestimento definitivo sono dell'ordine di 0.1 MPa.

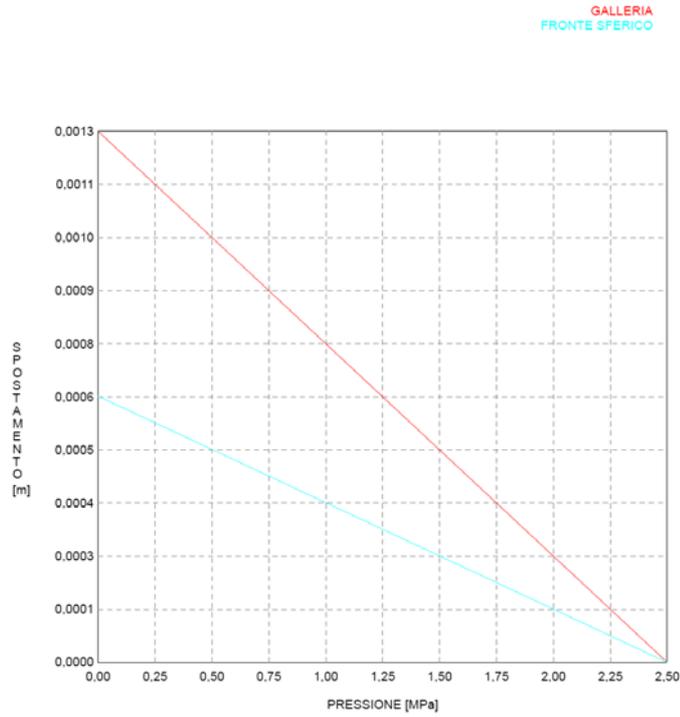


Figura 2: Sezione A1 – Dolomia Principale – Copertura 100 m – Linea caratteristica del fronte e del cavo senza sostegni

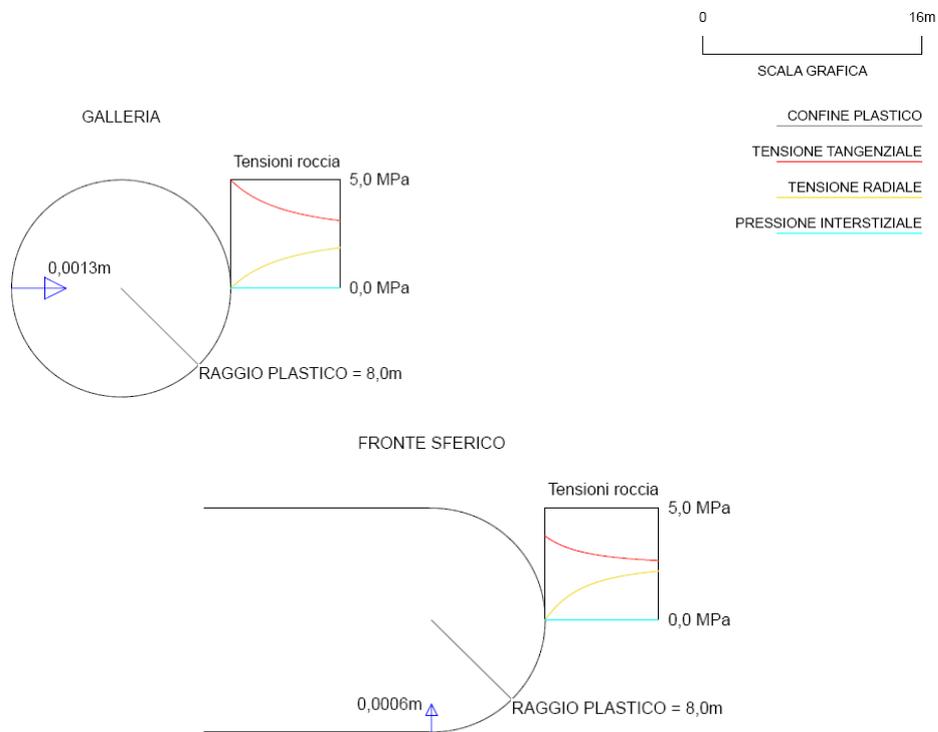


Figura 3: Sezione A1 – Dolomia Principale – Copertura 100 m – Fascia di plasticizzazione al fronte ed al cavo senza sostegni

AUTOSTRADA A31 TRENTO - ROVIGO
TRONCO TRENTO - VALDASTICO - PIOVENE ROCCHETTE

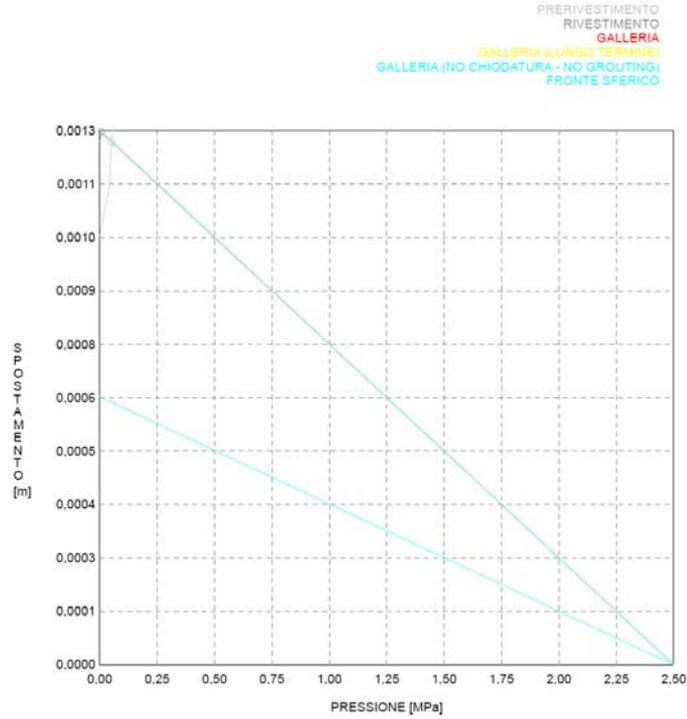


Figura 4: Sezione A1 – Dolomia Principale – Copertura 100 m – Linee caratteristiche del fronte e del cavo con il prerivestimento

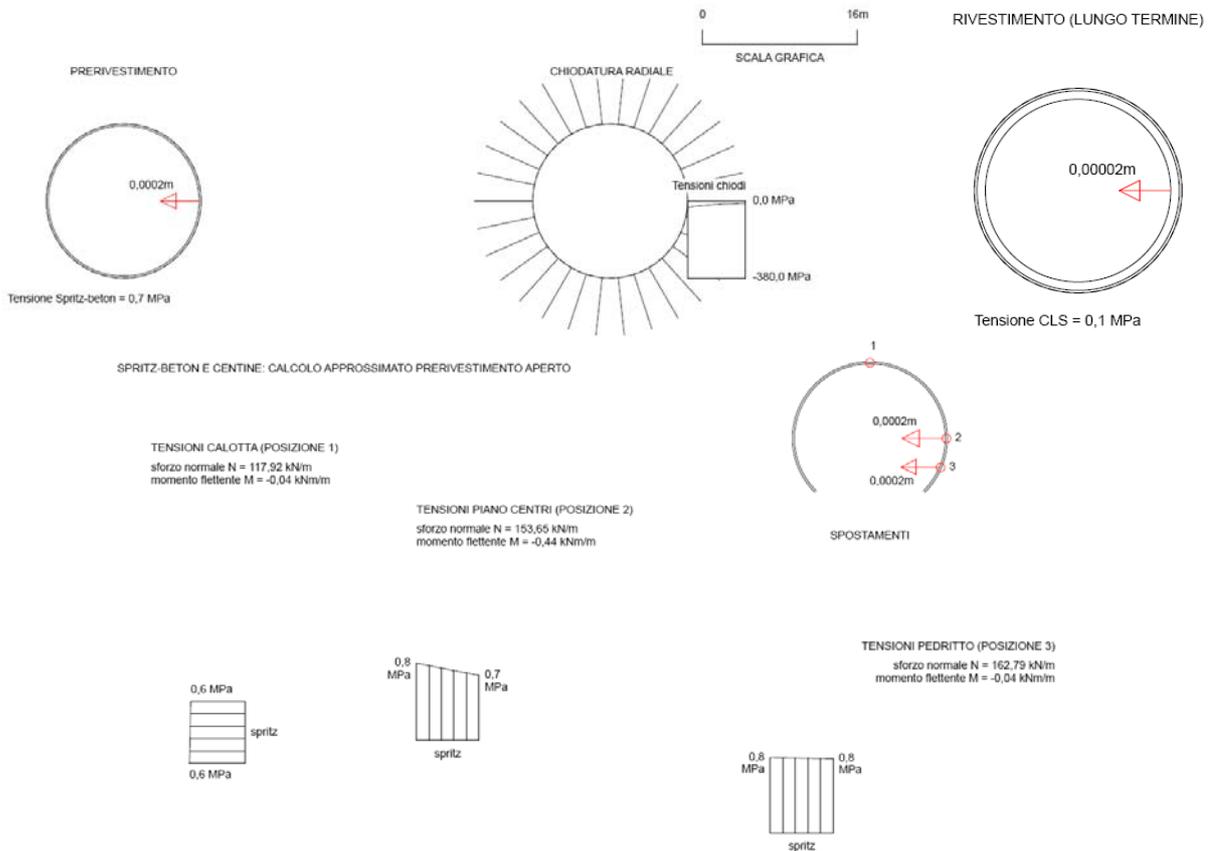


Figura 5: Sezione A1 – Dolomia Principale – Copertura 100 m – Sollecitazioni nel prerivestimento e rivestimento definitivo

AUTOSTRADA A31 TRENTO - ROVIGO
TRONCO TRENTO - VALDASTICO - PIOVENE ROCCHETTE

SEZIONE A1		
Litotipo:	DOLOMIA PRINCIPALE	
Copertura.	1000 m	
Caratteristiche roccia:	$\sigma_c = 100 \text{ MPa}$	
	$\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$	
	$m_i = 18$	
	$m_p = 5.6$	
	$m_r = 3.9$	
	$s_p = 2.8E-2$	
	$s_r = 1.1E-3$	
	$E = 29.9 \text{ GPa}$	
	$\nu = 0.2$	
$\sigma_v = \gamma h = 25 \cdot 1000 = 25000 \text{ kPa} = 25 \text{ MPa}$		
Sostegno provvisorio:	14/15 chiodi Swellex	L = 6 m
		Spaz. circonf. = 12°
		Spaz. longitud. = 1 m
		E = 200,000 MPa
		$\varnothing_{\text{ext}} = 54 \text{ mm}$
	Spessore = 3 mm	
	0.2 m spritz beton	
Sostegno definitivo:	anello di calcestruzzo di sp. Medio 0.65 m dist. di posa = 30 m = 2 · $\varnothing_{\text{galleria}}$	

Cavo e fronte in assenza di sostegni risultano stabili, con comportamento pressoché elastico: la zona plastica è infatti corticale.

I sostegni lavorano in campo elastico.

Le sollecitazioni agenti sul definitivo a lungo termine sono pari a circa 1.1 MPa.

AUTOSTRADA A31 TRENTO - ROVIGO
TRONCO TRENTO - VALDASTICO - PIOVENE ROCCHETTE

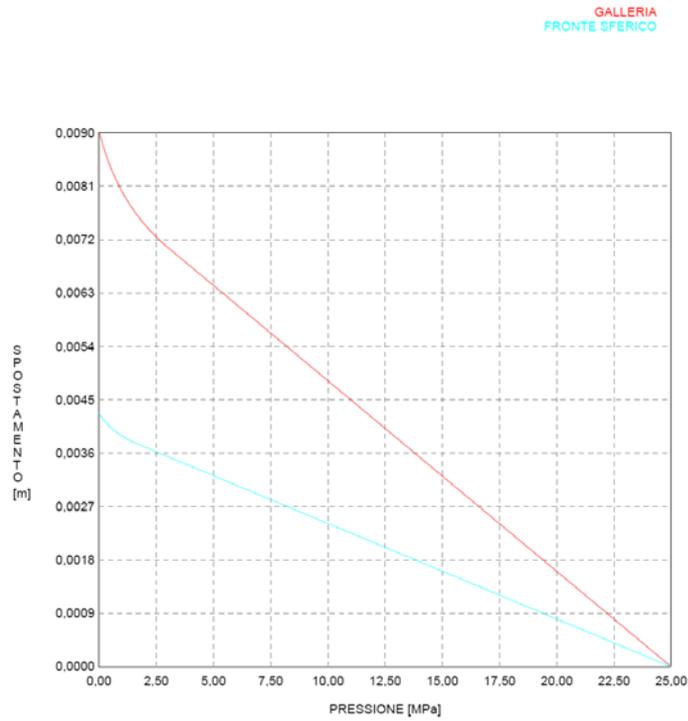


Figura 6: Sezione A1 – Dolomia Principale – Copertura 1000 m – Linea caratteristica del fronte e del cavo senza sostegni

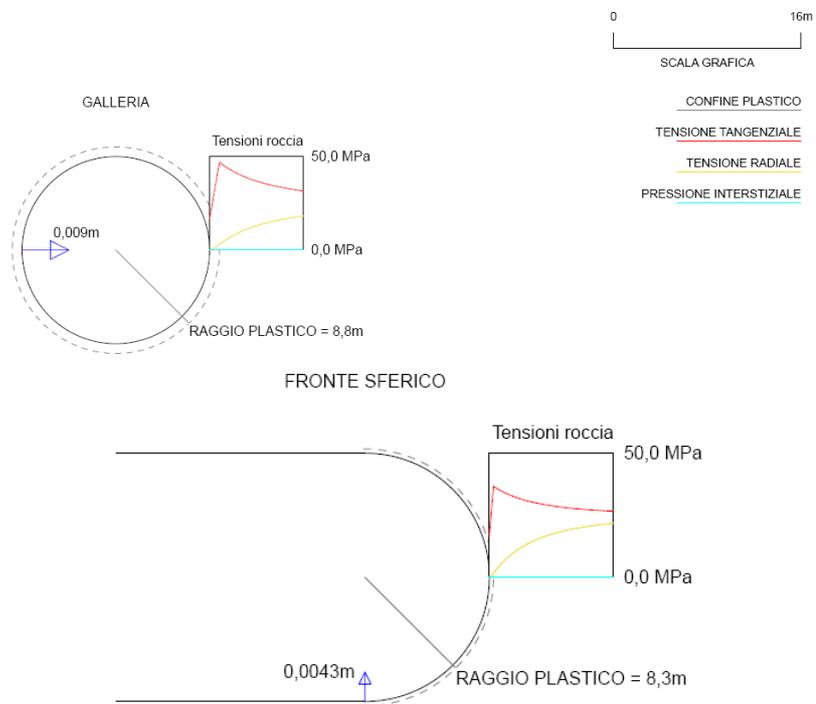


Figura 7: Sezione A1 – Dolomia Principale – Copertura 1000 m – Fascia di plasticizzazione al fronte ed al cavo senza sostegni

AUTOSTRADA A31 TRENTO - ROVIGO
TRONCO TRENTO - VALDASTICO - PIOVENE ROCCHETTE

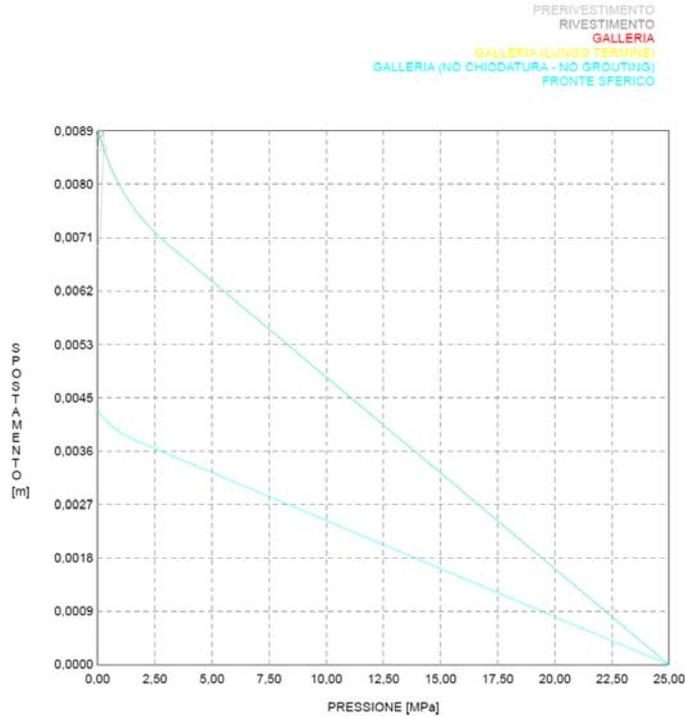


Figura 8: Sezione A1 – Dolomia Principale – Copertura 1000 m – Linee caratteristiche del fronte e del cavo con il prerivestimento

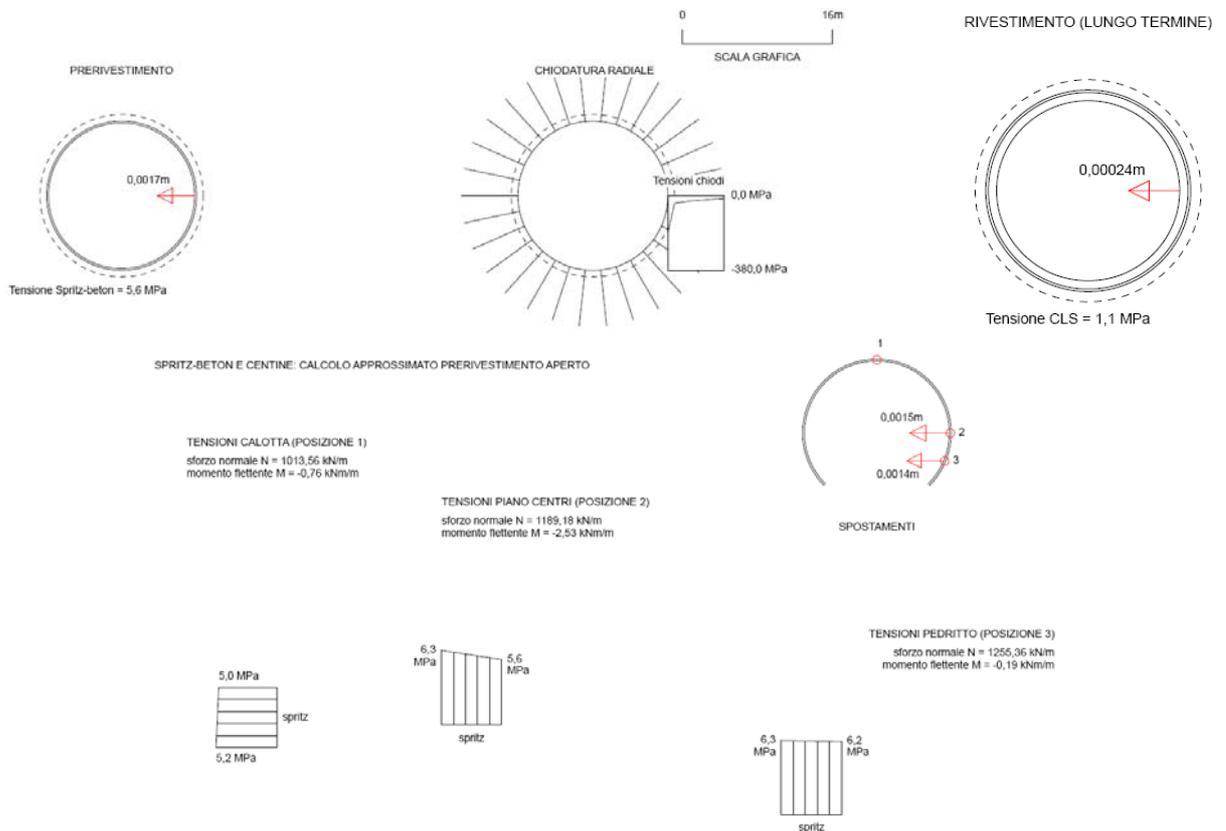


Figura 9: Sezione A1 – Dolomia Principale – Copertura 1000 m – Sollecitazioni nel prerivestimento e rivestimento definitivo

AUTOSTRADA A31 TRENTO - ROVIGO
TRONCO TRENTO - VALDASTICO - PIOVENE ROCCHETTE

SEZIONE A1		
Litotipo:	BASAMENTO CRISTALLINO	
Copertura.	300 m	
Caratteristiche roccia:	$\sigma_c = 34 \text{ MPa}$	
	$\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$	
	$m_i = 12$	
	$m_p = 1.36$	
	$m_r = 0.95$	
	$s_p = 1.3E-3$	
	$s_r = 5.1E-5$	
	$E = 3.7 \text{ GPa}$	
$\nu = 0.2$		
$\sigma_v = \gamma h = 25 \cdot 300 = 7500 \text{ kPa} = 7.5 \text{ MPa}$		
Sostegno provvisorio:	14/15 chiodi Swellex	L = 6 m
		Spaz. circonf. = 12°
		Spaz. longitud. = 1 m
		E = 200,000 MPa
		$\varnothing_{\text{ext}} = 54 \text{ mm}$
	Spessore = 3 mm	
0.2 m spritz beton		
Sostegno definitivo:	anello di calcestruzzo di sp. Medio 0.65 m dist. di posa = 30 m = 2 · $\varnothing_{\text{galleria}}$	

Cavo e fronte risultano pressoché stabili, con spostamenti di ordine centimetrico.

La posa dei rivestimenti preliminari limita gli spostamenti ai 2-3 cm. I sostegni lavorano abbondantemente al di sotto delle condizioni limite.

Il carico residuo che va a distribuirsi sul rivestimento definitivo è di circa 3.6 MPa.

GALLERIA
FRONTE SFERICO

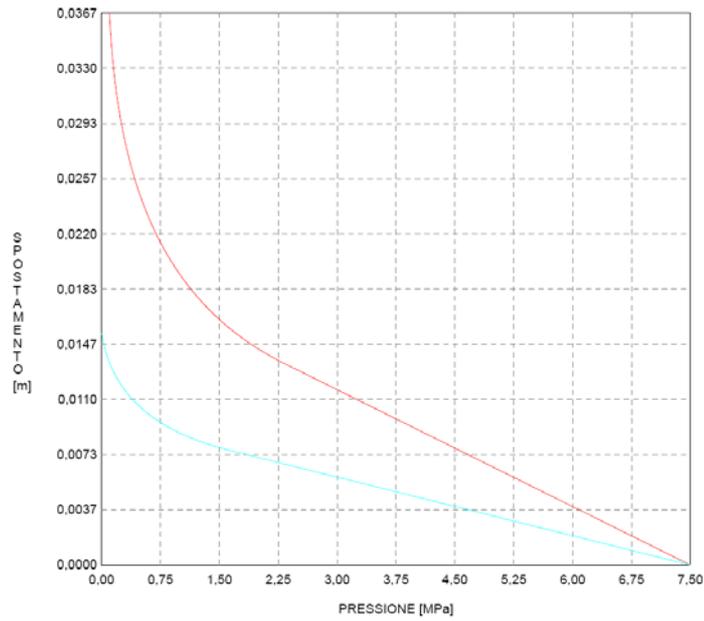


Figura 10: Sezione A1 – Basamento Cristallino – Copertura 300 m – Linea caratteristica del fronte e del cavo senza sostegni

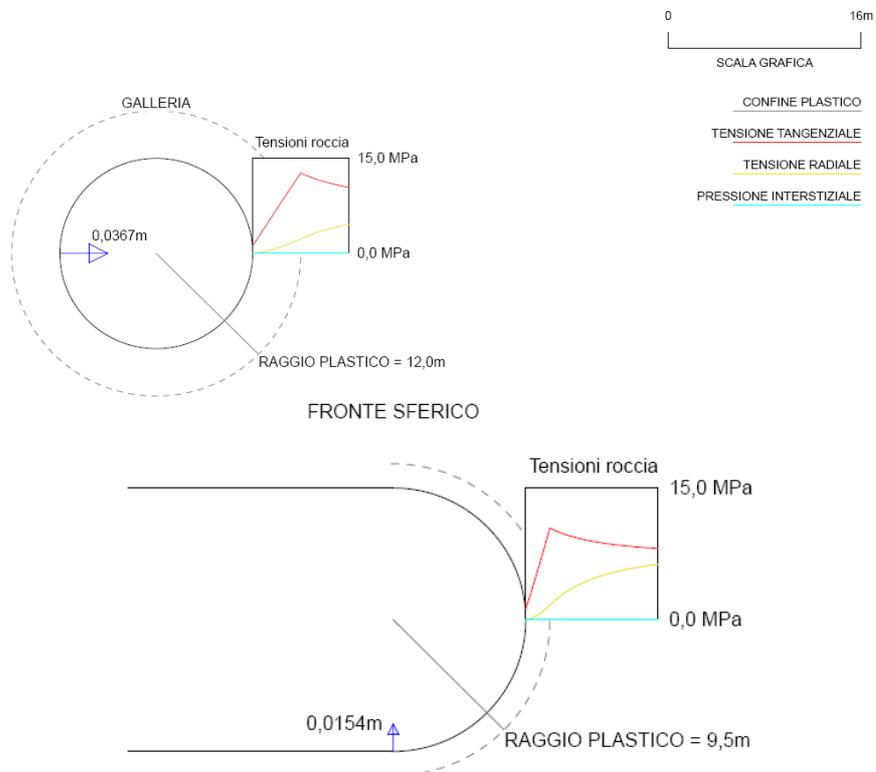


Figura 11: Sezione A1 – Basamento Cristallino – Copertura 300 m – Fascia di plasticizzazione al fronte ed al cavo senza sostegni

AUTOSTRADA A31 TRENTO - ROVIGO
TRONCO TRENTO - VALDASTICO - PIOVENE ROCCHETTE

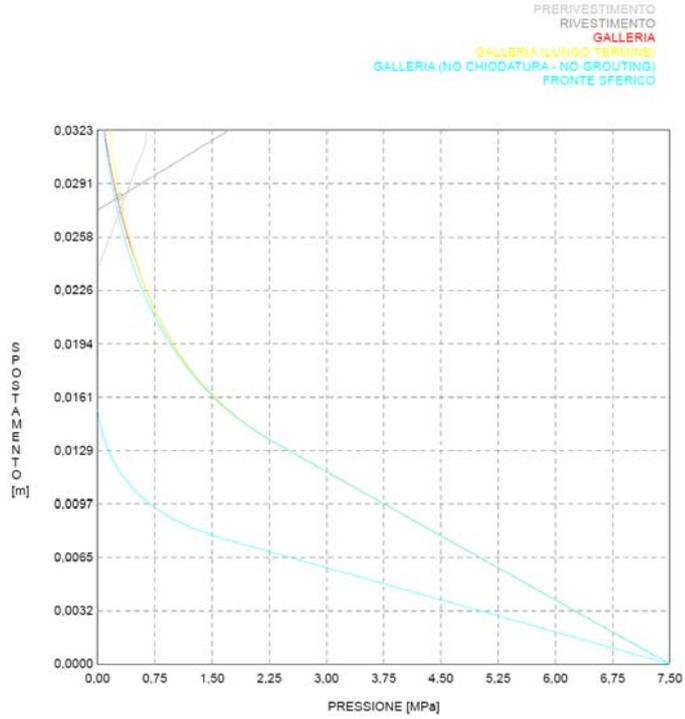


Figura 12: Sezione A1 – Basamento Cristallino – Copertura 300 m – Linee caratteristiche del fronte e del cavo con il prerivestimento

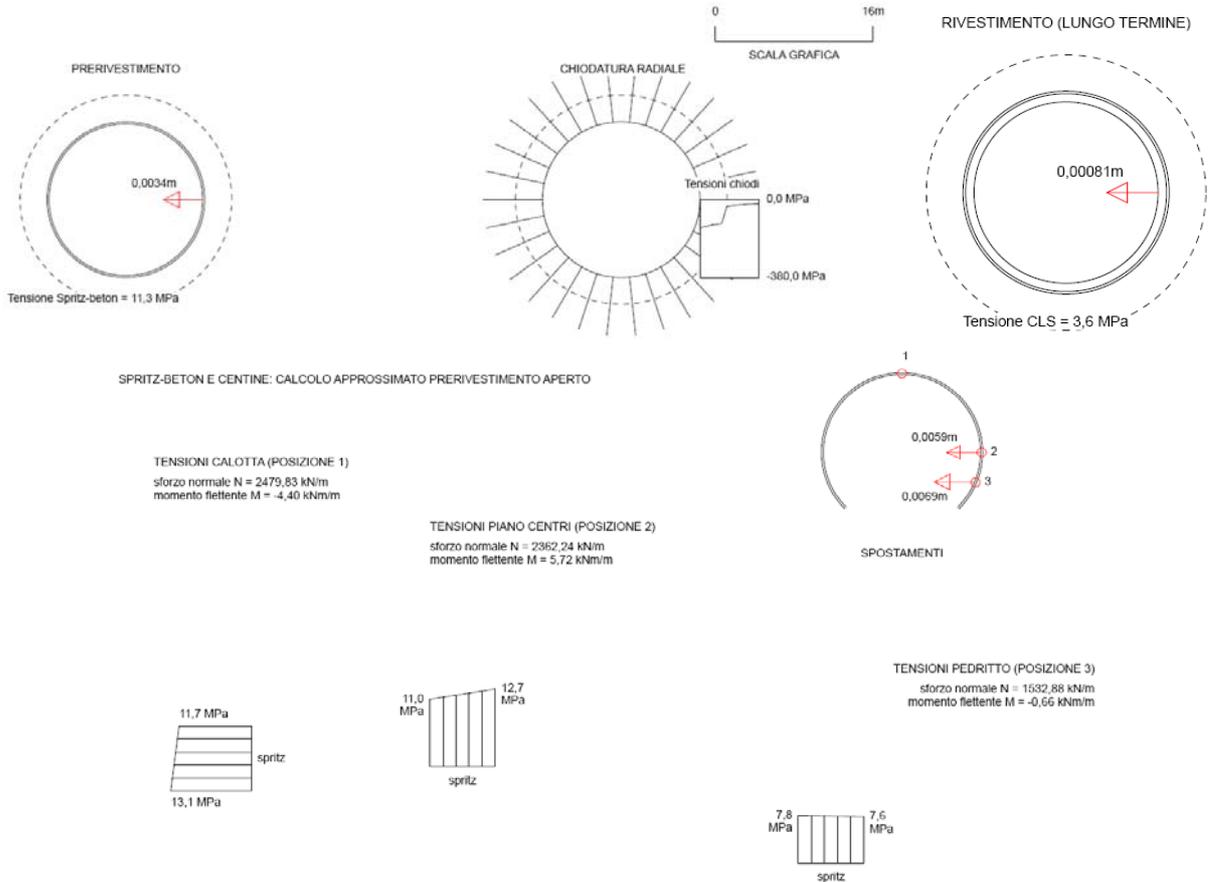


Figura 13: Sezione A1 – Basamento Cristallino – Copertura 300 m – Sollecitazioni nel prerivestimento e rivestimento definitivo

AUTOSTRADA A31 TRENTO - ROVIGO
TRONCO TRENTO - VALDASTICO - PIOVENE ROCCHETTE

SEZIONE B0	
Litotipo:	FORMAZIONE DI GIOVO/CONTRIN
Copertura:	140 m
Caratteristiche roccia:	$\sigma_c = 44 \text{ MPa}$
	$\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$
	$m_i = 12$
	$m_p = 1.17$
	$m_r = 0.82$
	$s_p = 8E-4$
	$s_r = 3.2E-5$
	$E = 3300 \text{ MPa}$
	$\nu = 0.2$
$\sigma_v = \gamma h = 25 \cdot 140 = 3500 \text{ kPa} = 3.5 \text{ MPa}$	
Sostegno provvisorio:	2 centine IPN 180 accoppiate, con interasse 1 m
	0.25 m spritz beton
Sostegno definitivo:	anello di calcestruzzo di sp. medio 0.75 m dist. di posa = 30 m dal fronte

Cavo e fronte risultano stabili, la fascia plastica ha uno spessore di circa 1.5 m al cavo, 60 cm in corrispondenza del fronte.

Le sollecitazioni agenti sui rivestimenti di prima fase sono molto ridotte.

La tensione agente nel rivestimento definitivi osi aggira intorno ai 2 MPa.

GALLERIA
FRONTE SFERICO

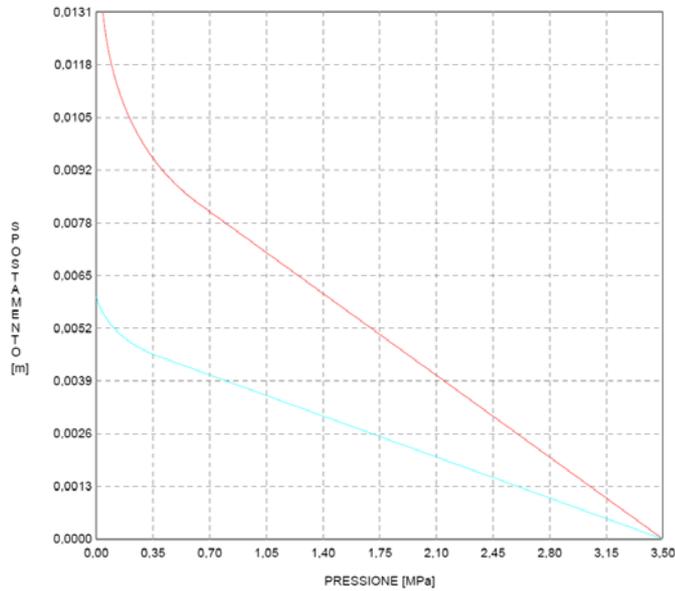


Figura 14: Sezione B0 – Formazione di Giovo/Contrin – Copertura 140 m – Linea caratteristica del fronte e del cavo senza sostegni

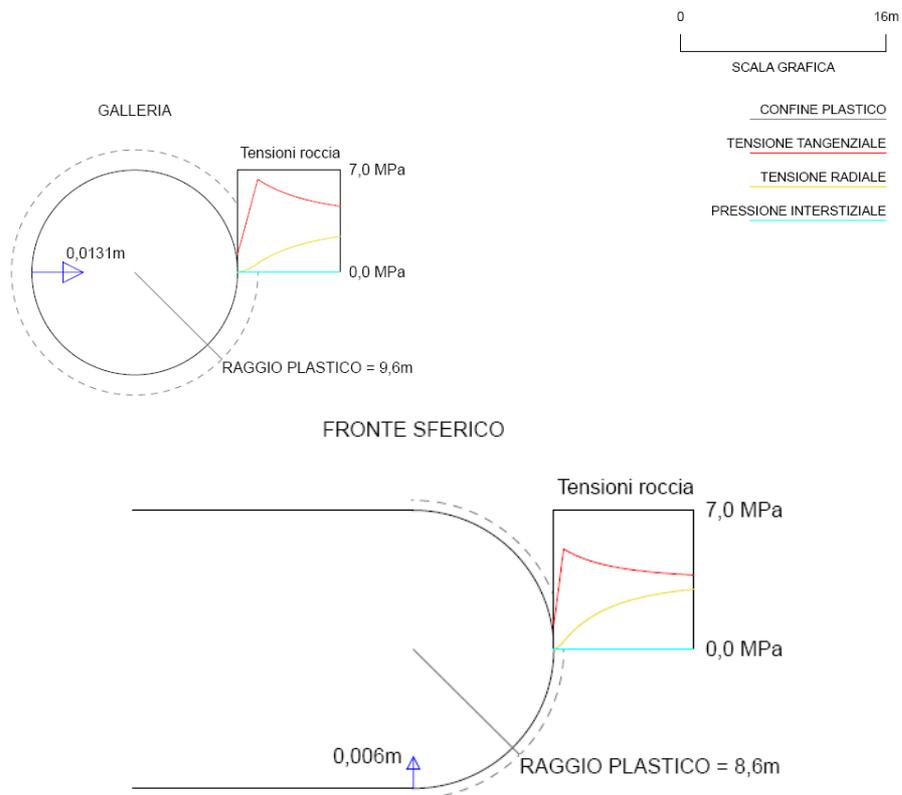


Figura 15: Sezione B0 – Formazione di Giovo/Contrin – Copertura 140 m – Fascia di plasticizzazione al fronte ed al cavo senza sostegni

AUTOSTRADA A31 TRENTO - ROVIGO
TRONCO TRENTO - VALDASTICO - PIOVENE ROCCHETTE

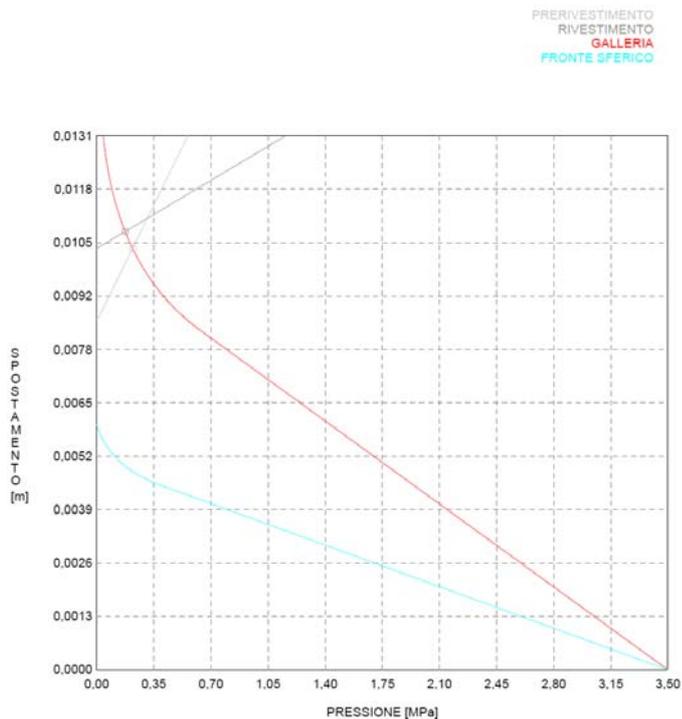


Figura 16: Sezione B0 – Formazione di Giovo/Contrin – Copertura 140 m – Linee caratteristiche del fronte e del cavo con il prerivestimento

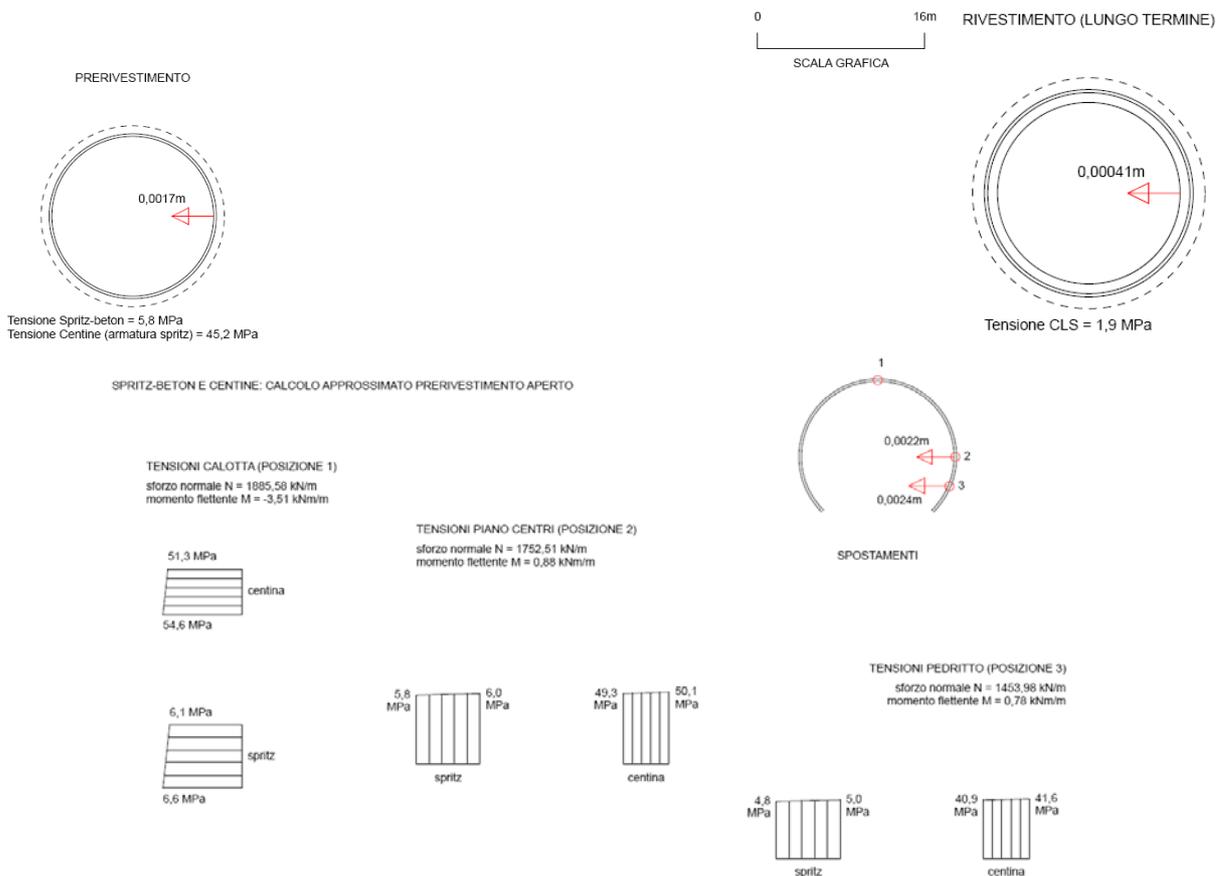


Figura 17: Sezione B0 – Formazione di Giovo/Contrin – Copertura 140 m – Sollecitazioni nel prerivestimento e rivestimento definitivo

AUTOSTRADA A31 TRENTO - ROVIGO
TRONCO TRENTO - VALDASTICO - PIOVENE ROCCHETTE

SEZIONE B0	
Litotipo:	FORMAZIONE DI WERFEN
Copertura:	400 m
Caratteristiche roccia:	$\sigma_c = 28 \text{ MPa}$
	$\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$
	$m_i = 12$
	$m_p = 0.97$
	$m_r = 0.7$
	$s_p = 4.5E-4$
	$s_r = 1.8E-5$
	$E = 2000 \text{ MPa}$
	$\nu = 0.2$
$\sigma_v = \gamma h = 25 \cdot 400 = 10000 \text{ kPa} = 10 \text{ MPa}$	
Sostegno provvisorio:	2 centine IPN 180 accoppiate, con interasse 1 m
	0.25 m spritz beton
Sostegno definitivo:	anello di calcestruzzo di sp. medio 0.75 m dist. di posa = 30 m dal fronte

Il fronte, in assenza di sostegni è stabile, con estrusione di circa 5 cm. Il cavo presenta invece una spiccata instabilità.

La posa dei sostegni di prima fase rende stabile la sezione in esame, con spostamenti di circa 9 cm al cavo.

Le sollecitazioni sui rivestimenti sono molto elevate, ma comunque accettabili.

La tensione agente sul rivestimento definitivo è di circa 7 MPa.

GALLERIA
FRONTE SFERICO

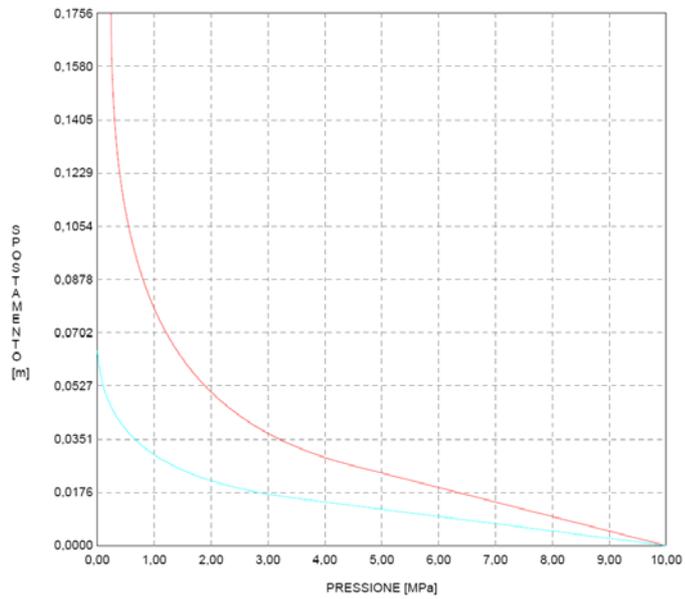


Figura 18: Sezione B0 – Formazione di Werfen – Copertura 400 m – Linea caratteristica del fronte e del cavo senza sostegni

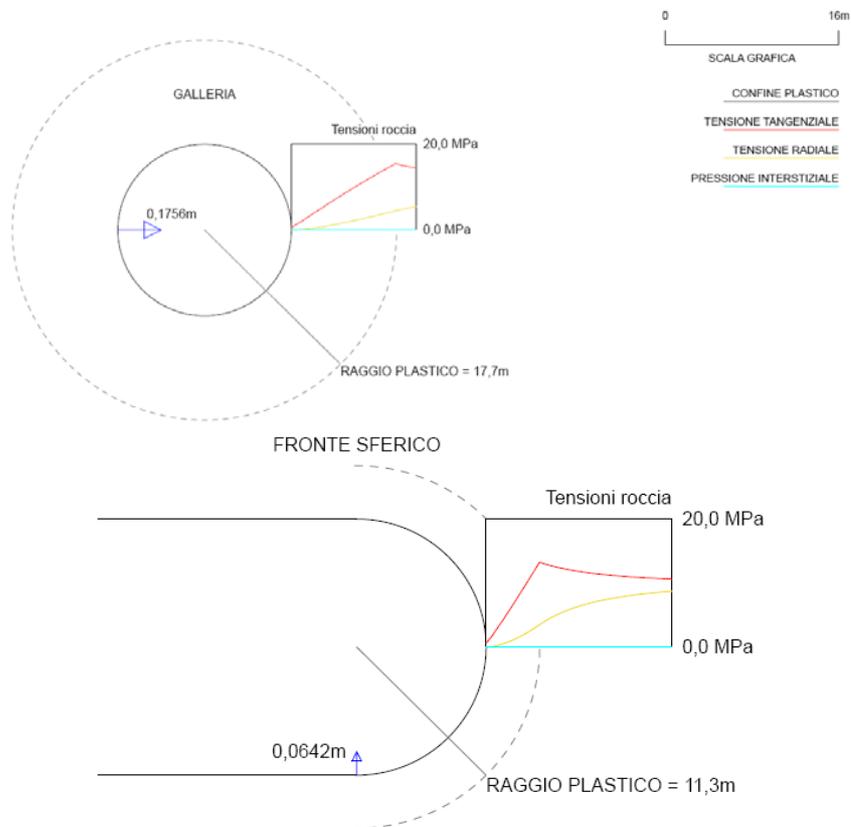


Figura 19: Sezione B0 – Formazione di Werfen – Copertura 400 m – Fascia di plasticizzazione al fronte ed al cavo senza sostegni

AUTOSTRADA A31 TRENTO - ROVIGO
TRONCO TRENTO - VALDASTICO - PIOVENE ROCCHETTE

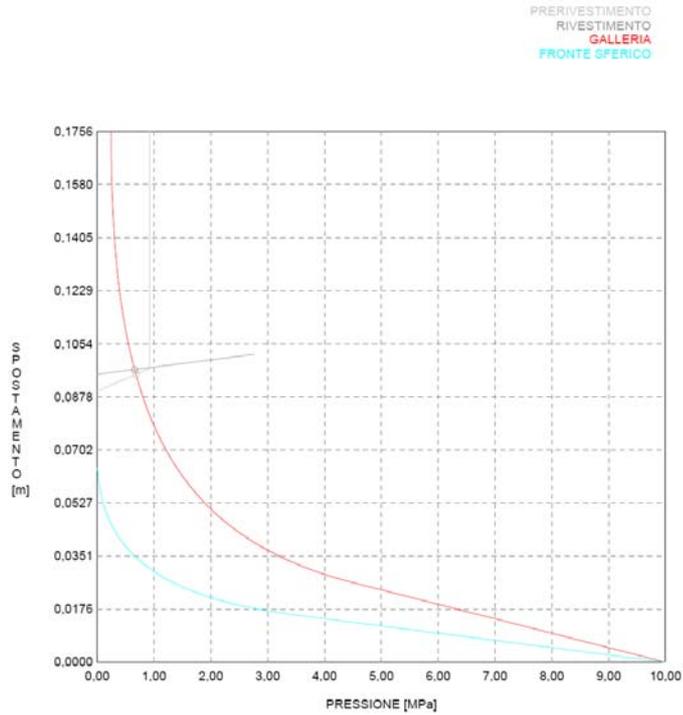


Figura 20: Sezione B0 – Formazione di Werfen – Copertura 400 m – Linee caratteristiche del fronte e del cavo con il prerivestimento

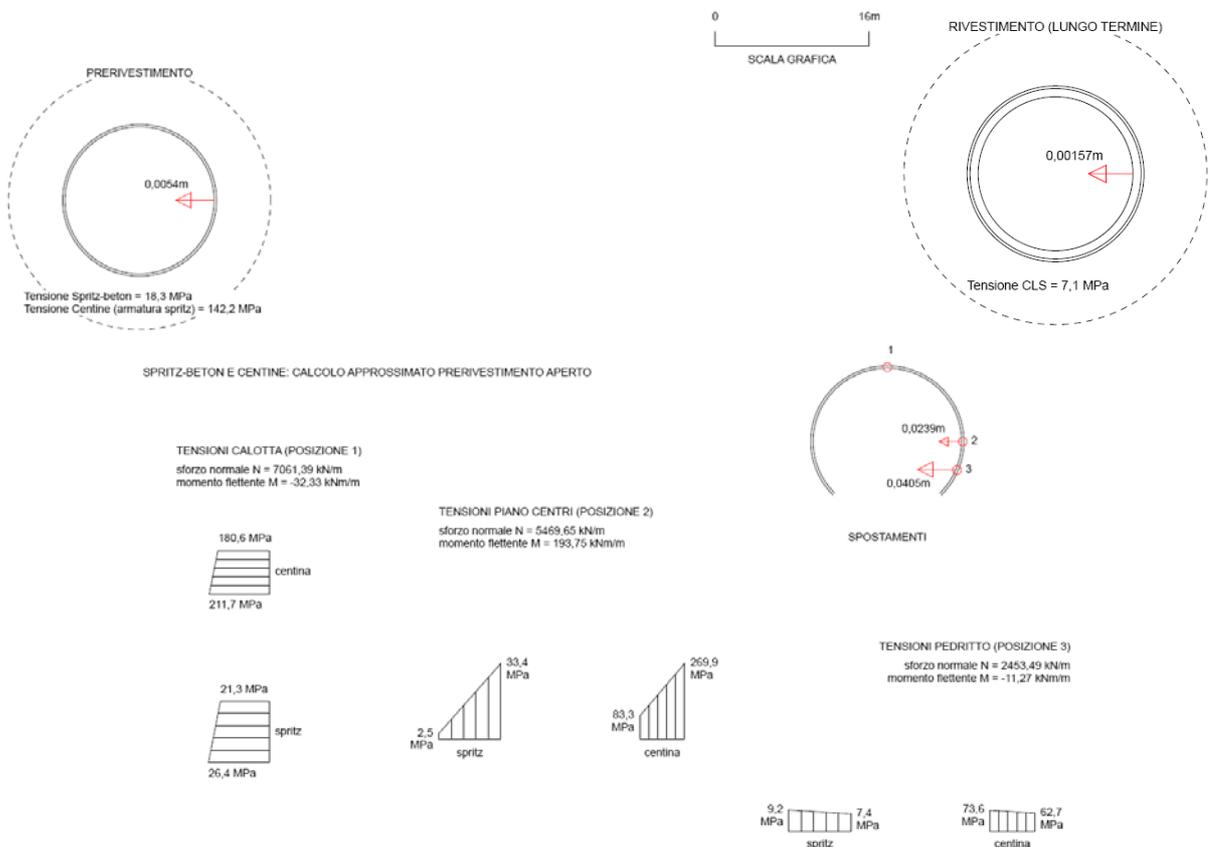


Figura 21: Sezione B0 – Formazione di Werfen – Copertura 400 m – Sollecitazioni nel prerivestimento e rivestimento definitivo

AUTOSTRADA A31 TRENTO - ROVIGO
TRONCO TRENTO - VALDASTICO - PIOVENE ROCCHETTE

SEZIONE B1		
Litotipo:	BASAMENTO CRISTALLINO	
Copertura:	550 m	
Caratteristiche roccia:	$\sigma_c = 38 \text{ MPa}$	
	$\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$	
	$m_i = 12$	
	$m_p = 1.76$	
	$m_r = 1.23$	
	$s_p = 2.85E-3$	
	$s_r = 1.14E-4$	
	$E = 5820 \text{ MPa}$	
$\nu = 0.2$		
$\sigma_v = \gamma h = 25 \cdot 550 = 13750 \text{ kPa} = 13.75 \text{ MPa}$		
Sostegno provvisorio:	12/13 chiodi Swellex	L = 6 m
		Spaz. circonfer. = 15°
		Spaz. longitud. = 1 m
		E = 200,000 MPa
		$\varnothing_{\text{ext}} = 54 \text{ mm}$
		Spessore = 3 mm
0.25 m spritz beton		
2 centine IPN 180 accoppiate, con interasse 1 m		
Sostegno definitivo:	anello di calcestruzzo di sp. medio 0.75 m dist. di posa dal fronte = 15 m = $1 \cdot \varnothing_{\text{galleria}}$	

Cavo e fronte risultano stabili in assenza di sostegni, seppur con plasticizzazione piuttosto estesa, in particolare al cavo.

Il posizionamento dei rivestimenti preliminari migliora le condizioni di stabilità globale, e limita le convergenze. Le sollecitazioni sui rivestimenti sono pienamente entro i limiti di rottura.

Il rivestimento definitivo presenta una tensione di circa 7 MPa.

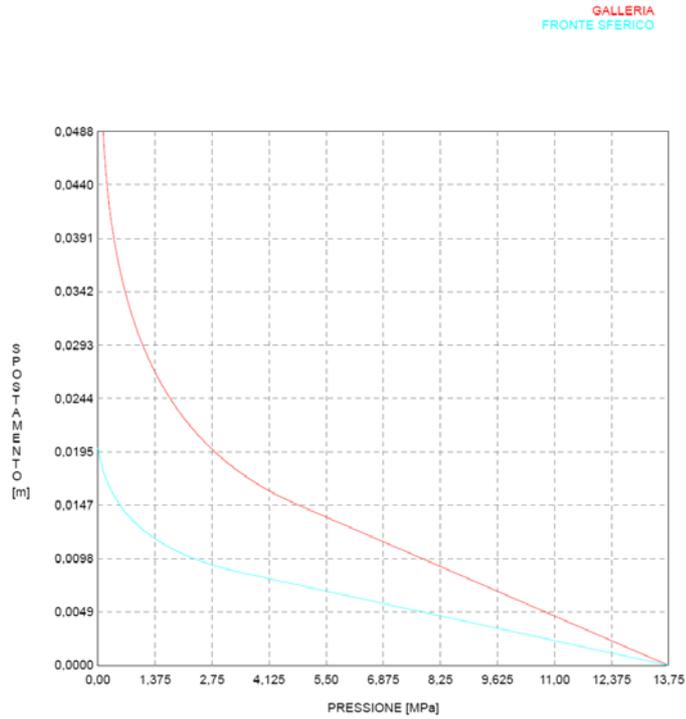


Figura 22: Sezione B1 – Basamento Cristallino – Copertura 550 m – Linea caratteristica del fronte e del cavo senza sostegni

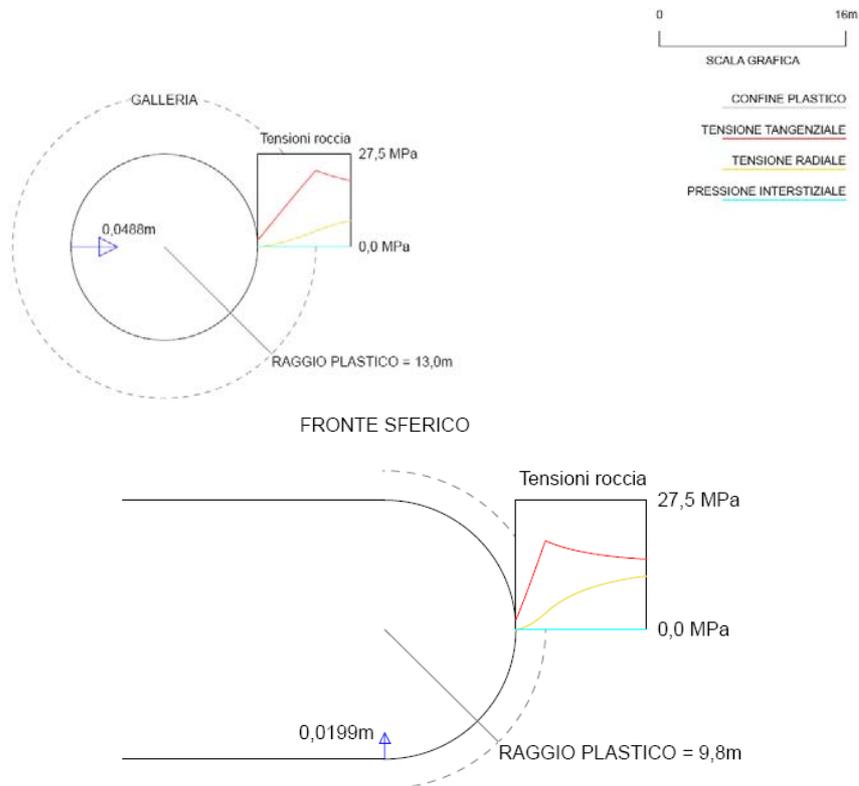


Figura 23: Sezione B1 – Basamento Cristallino – Copertura 550 m – Fascia di plasticizzazione al fronte ed al cavo senza sostegni

AUTOSTRADA A31 TRENTO - ROVIGO
TRONCO TRENTO - VALDASTICO - PIOVENE ROCCHETTE

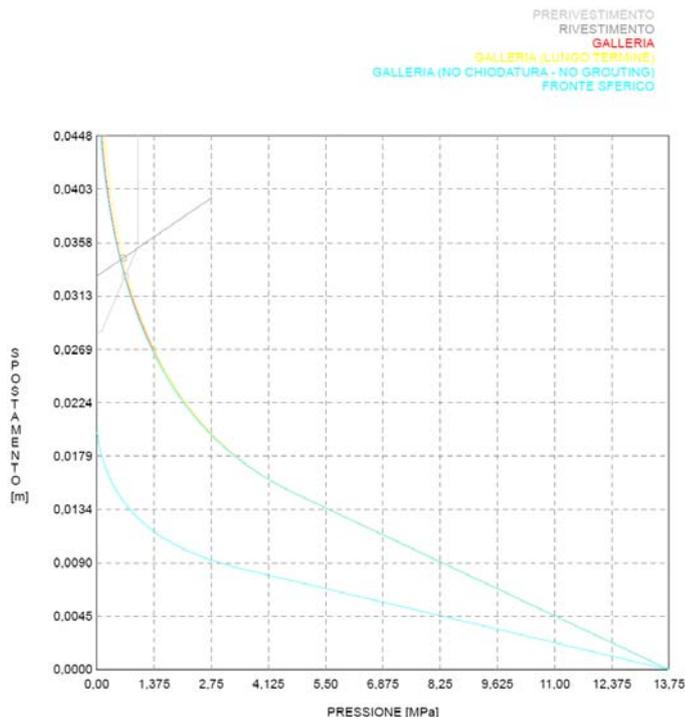


Figura 24: Sezione B1 – Basamento Cristallino – Copertura 550 m – Linee caratteristiche del fronte e del cavo con il prerivestimento

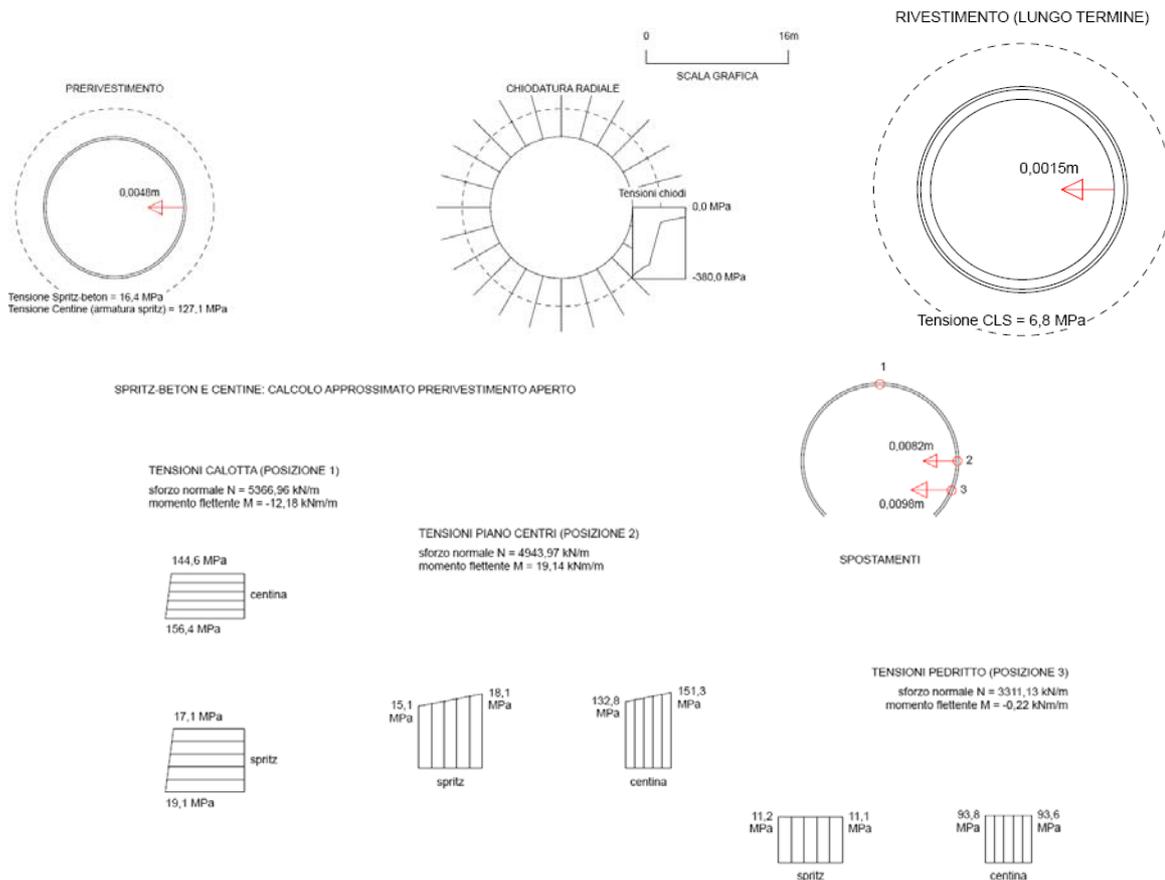


Figura 25: Sezione B1 – Basamento Cristallino – Copertura 550 m – Sollecitazioni nel prerivestimento e rivestimento definitivo

AUTOSTRADA A31 TRENTO - ROVIGO
TRONCO TRENTO - VALDASTICO - PIOVENE ROCCHETTE

SEZIONE B1		
Litotipo:	BASAMENTO CRISTALLINO	
Copertura:	1300 m	
Caratteristiche roccia:	$\sigma_c = 38 \text{ MPa}$	
	$\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$	
	$m_i = 12$	
	$m_p = 1.76$	
	$m_r = 1.23$	
	$s_p = 2.85E-3$	
	$s_r = 1.14E-4$	
	$E = 5820 \text{ MPa}$	
	$\nu = 0.2$	
$\sigma_v = \gamma h = 25 \cdot 1300 = 32500 \text{ kPa} = 32.5 \text{ MPa}$		
Sostegno provvisorio:	12/13 chiodi Swellex	L = 6 m
		Spaz. circonfer. = 15°
		Spaz. longitud. = 1 m
		E = 200,000 MPa
		$\varnothing_{\text{ext}} = 54 \text{ mm}$
		Spessore = 3 mm
	0.25 m spritz beton	
2 centine IPN 180 accoppiate, con interasse 1 m		
Sostegno definitivo:	anello di calcestruzzo di sp. medio 0.75 m dist. di posa dal fronte = 15 m = $1 \cdot \varnothing_{\text{galleria}}$	

Il fronte risulta stabile mentre il cavo, in assenza di sostegni, presenta una plasticizzazione molto accentuata.

La posa dei rivestimenti ristabilisce la stabilità della sezione, pur con convergenze piuttosto elevate.

Le sollecitazioni sui rivestimenti sono elevate, ma comunque inferiori ai limiti di resistenza.

La tensione agente nell'anello di calcestruzzo del rivestimento definitivo è pari a 9 MPa.

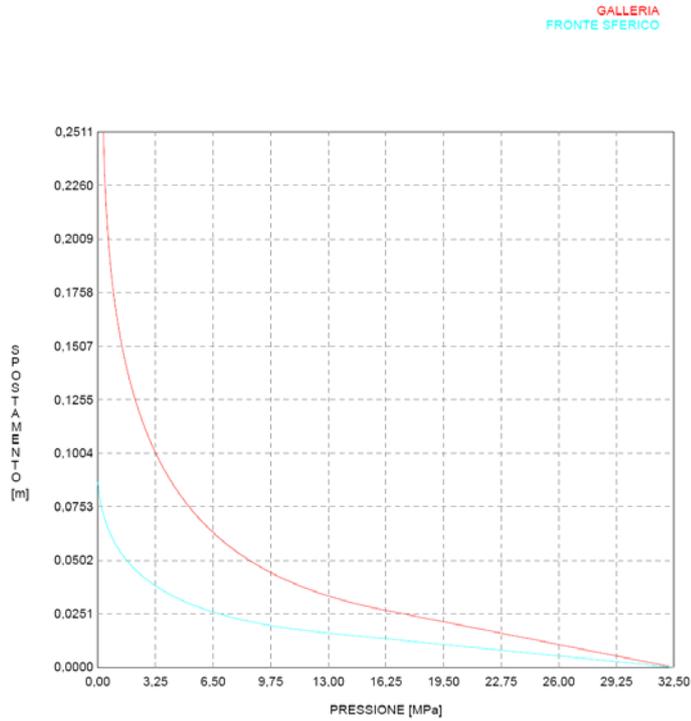


Figura 26: Sezione B1 – Basamento Cristallino – Copertura 1300 m – Linea caratteristica del fronte e del cavo senza sostegni

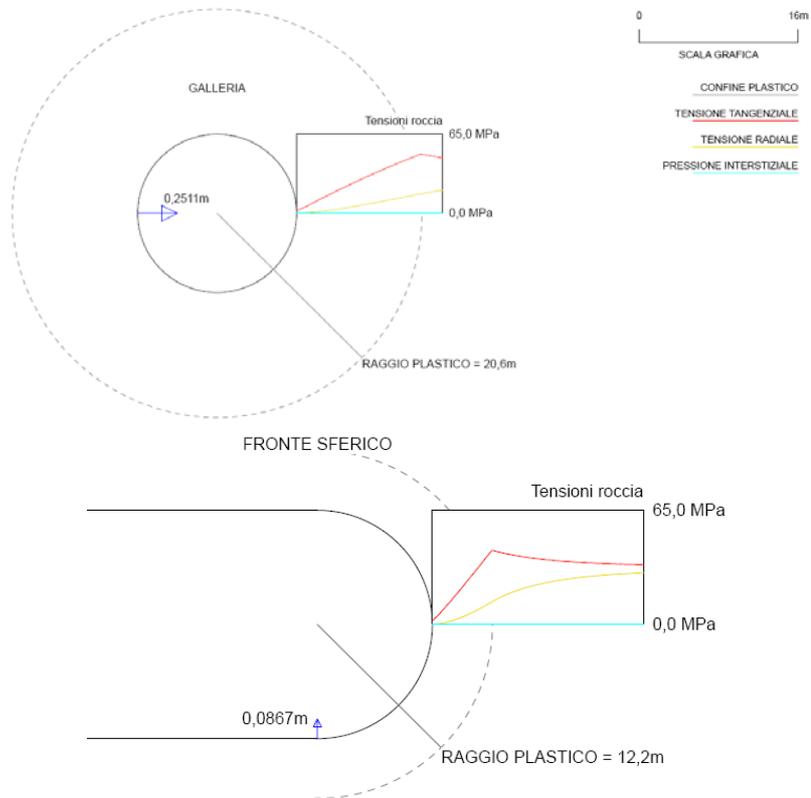


Figura 27: Sezione B1 – Basamento Cristallino – Copertura 1300 m – Fascia di plasticizzazione al fronte ed al cavo senza sostegni

AUTOSTRADA A31 TRENTO - ROVIGO
TRONCO TRENTO - VALDASTICO - PIOVENE ROCCHETTE

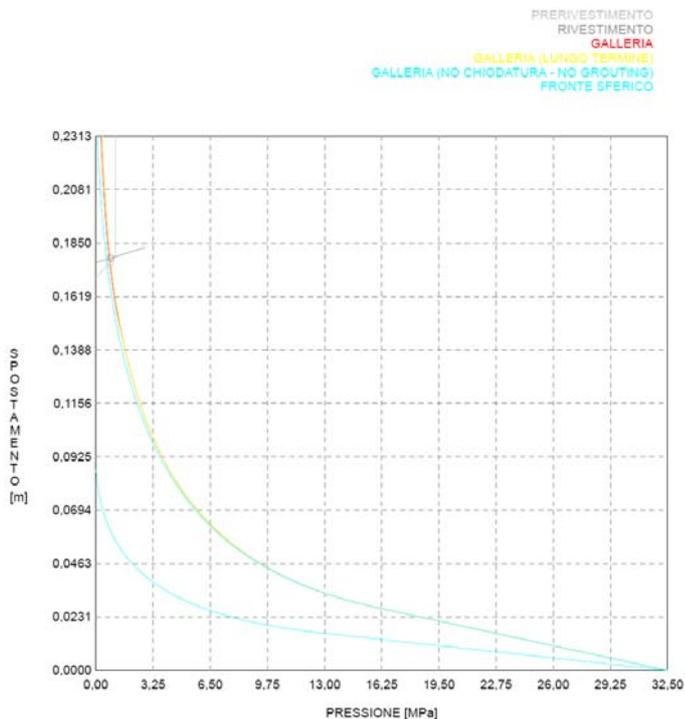


Figura 28: Sezione B1 – Basamento Cristallino – Copertura 1300 m – Linee caratteristiche del fronte e del cavo con il prerivestimento

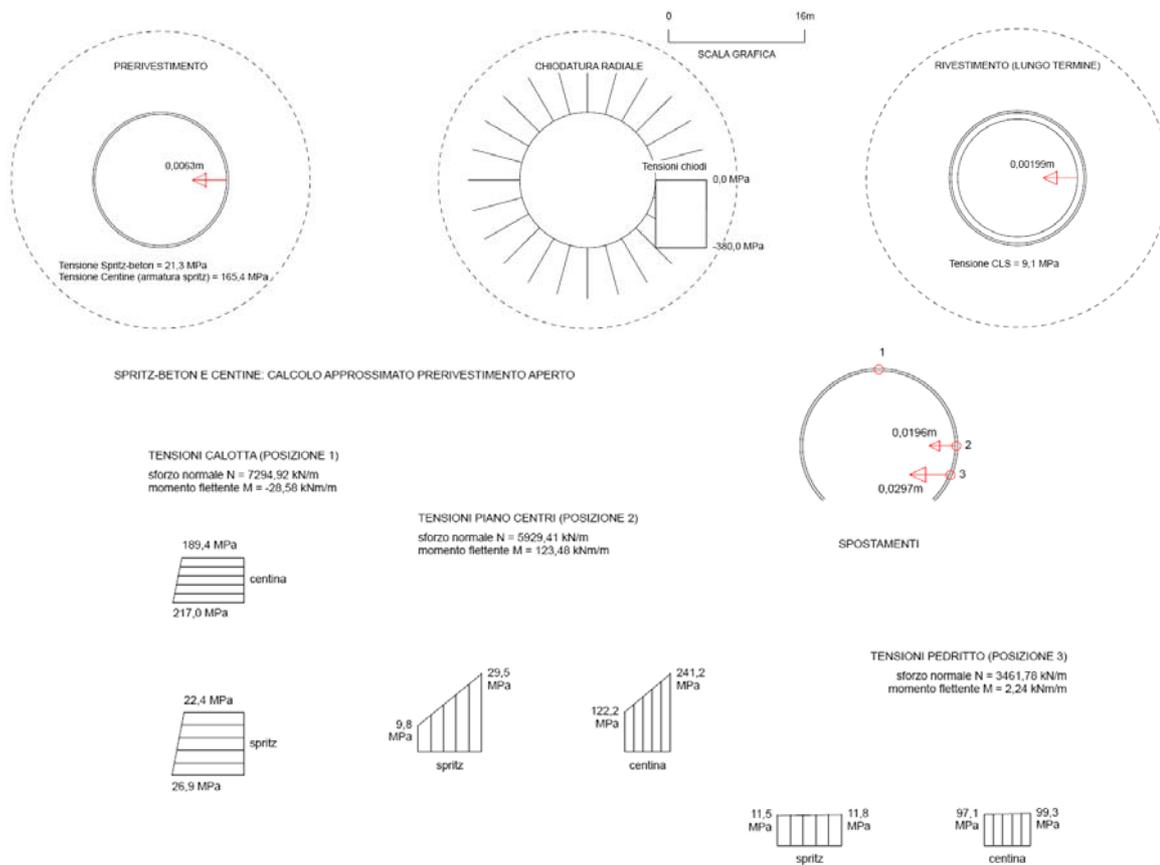


Figura 29: Sezione B1 – Basamento Cristallino – Copertura 1300 m – Sollecitazioni nel prerivestimento e rivestimento definitivo

AUTOSTRADA A31 TRENTO - ROVIGO
TRONCO TRENTO - VALDASTICO - PIOVENE ROCCHETTE

SEZIONE B1		
Litotipo:	CALCARE DI M.TE SPITZ	
Copertura:	1100 m	
Caratteristiche roccia:	$\sigma_c = 54 \text{ MPa}$	
	$\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$	
	$m_i = 12$	
	$m_p = 2.67$	
	$m_r = 1.87$	
	$s_p = 1E-2$	
	$s_r = 4E-4$	
	$E = 13000 \text{ MPa}$	
$\nu = 0.2$		
$\sigma_v = \gamma h = 25 \cdot 1100 = 27500 \text{ kPa} = 27.5 \text{ MPa}$		
Sostegno provvisorio:	12/13 chiodi Swellex	L = 6 m
		Spaz. circonfer. = 15°
		Spaz. longitud. = 1 m
		E = 200,000 MPa
		$\varnothing_{\text{ext}} = 54 \text{ mm}$
		Spessore = 3 mm
0.25 m spritz beton		
2 centine IPN 180 accoppiate, con interasse 1 m		
Sostegno definitivo:	anello di calcestruzzo di sp. medio 0.75 m dist. di posa dal fronte = 15 m = $1 \cdot \varnothing_{\text{galleria}}$	

L'analisi evidenzia una sostanziale stabilità del cavo e del fronte, anche in assenza di sostegni, con un raggio plastico di circa 12 m al cavo.

I sostegni lavorano in campo elastico.

Il rivestimento definitivo presenta una tensione di circa 9 MPa.

GALLERIA
FRONTE SFERICO

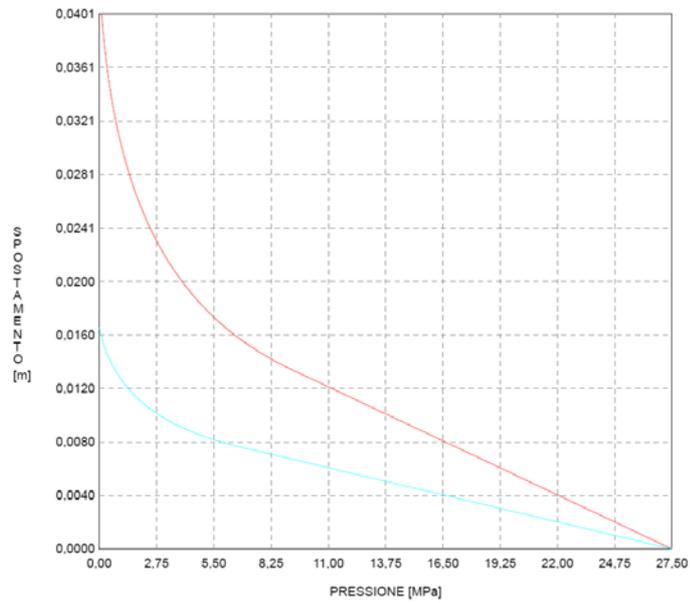


Figura 30: Sezione B1 – Calcare di M.te Spitz – Copertura 1100 m – Linea caratteristica del fronte e del cavo senza sostegni

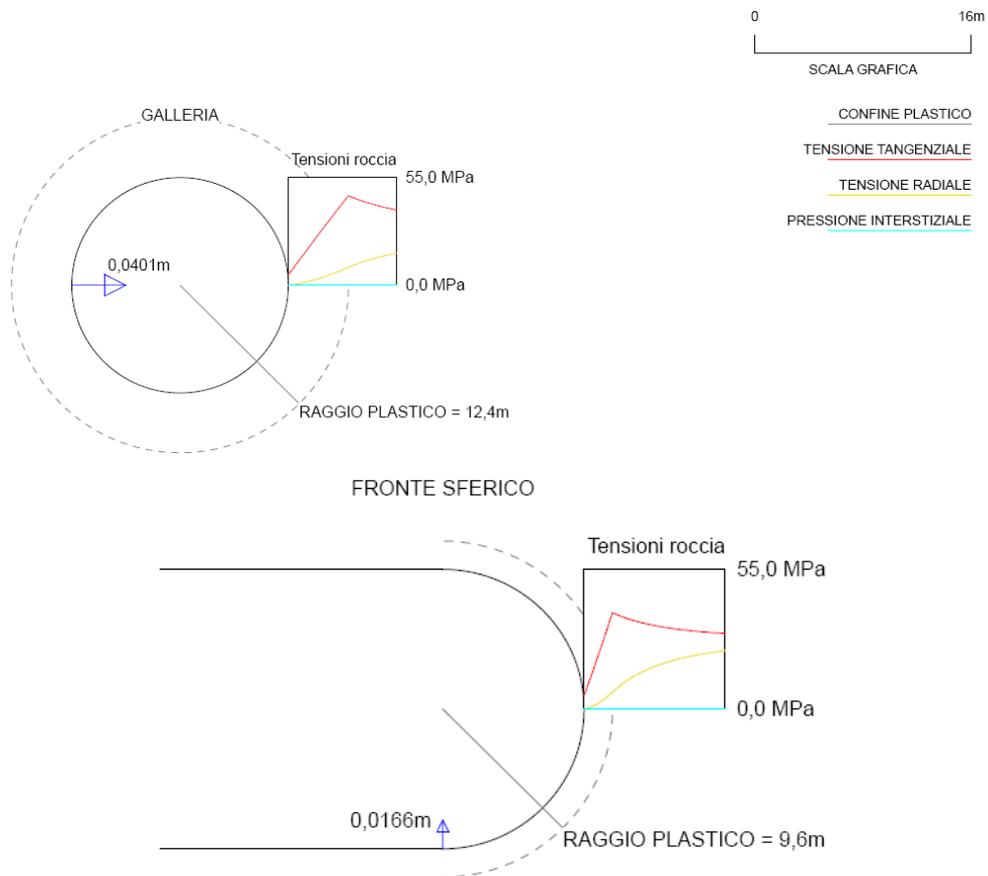


Figura 31: Sezione B1 – Calcare di M.te Spitz – Copertura 1100 m – Fascia di plasticizzazione al fronte ed al cavo senza sostegni

AUTOSTRADA A31 TRENTO - ROVIGO
TRONCO TRENTO - VALDASTICO - PIOVENE ROCCHETTE

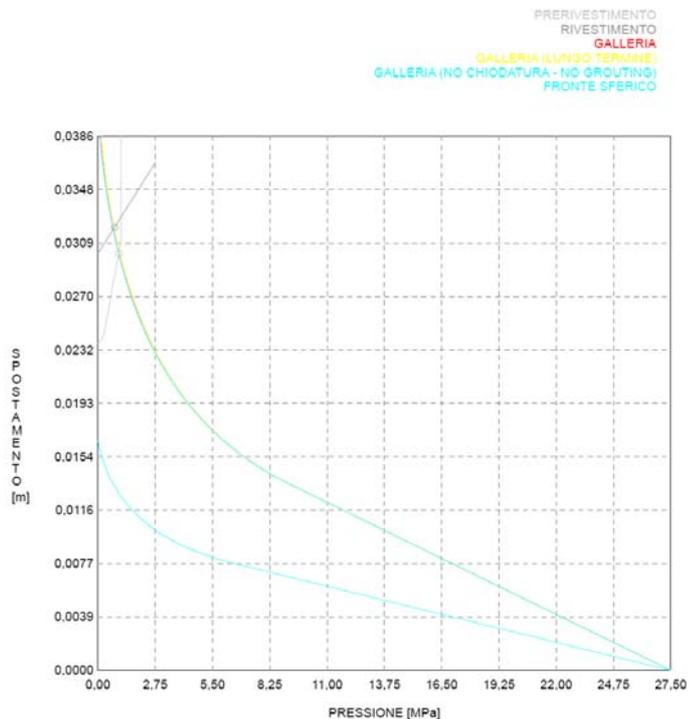


Figura 32: Sezione B1 – Calcare di M.te Spitz – Copertura 1100 m – Linee caratteristiche del fronte e del cavo con il prerivestimento

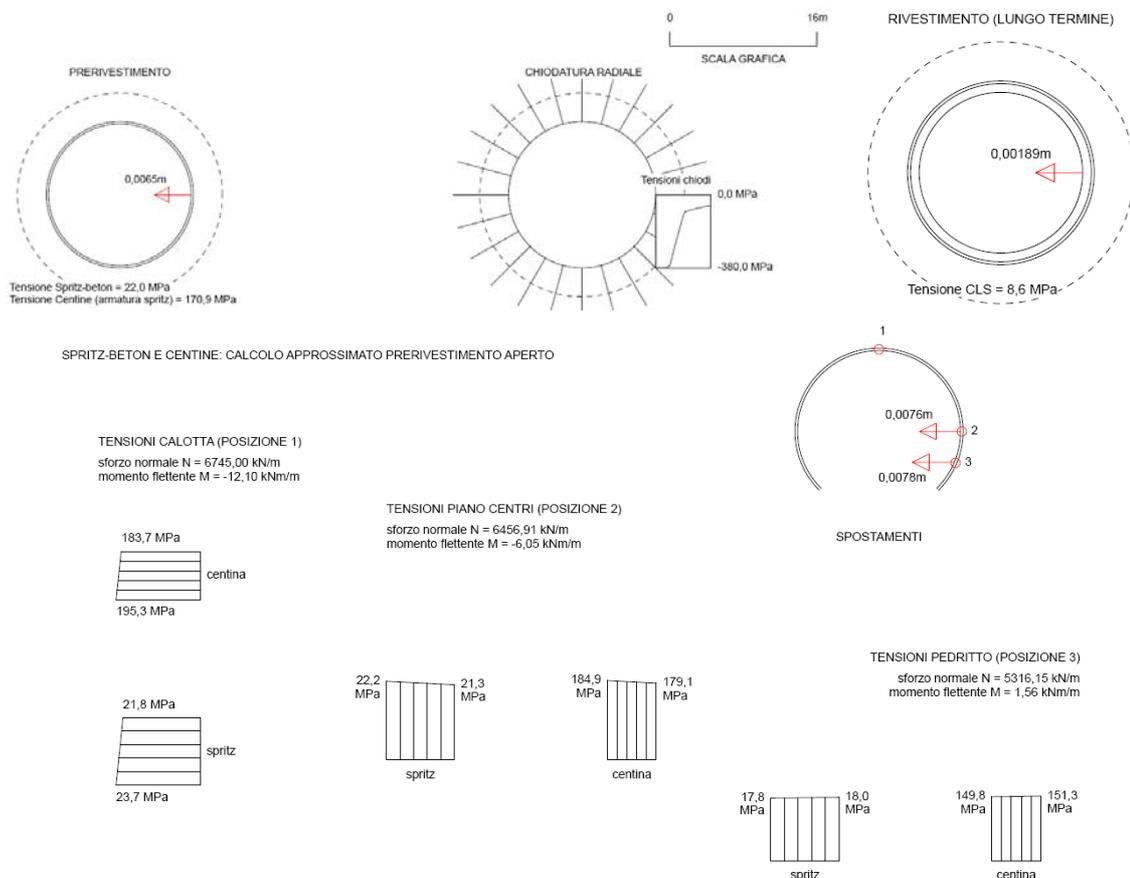


Figura 33: Sezione B1 – Calcare di M.te Spitz – Copertura 1100 m – Sollecitazioni nel prerivestimento e rivestimento definitivo

AUTOSTRADA A31 TRENTO - ROVIGO
TRONCO TRENTO - VALDASTICO - PIOVENE ROCCHETTE

SEZIONE B0V		
Litotipo:	BASAMENTO CRISTALLINO	
Copertura:	350 m	
Caratteristiche roccia:	$\sigma_c = 34 \text{ MPa}$	
	$\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$	
	$m_i = 12$	
	$m_p = 1.36$	
	$m_r = 0.95$	
	$s_p = 1.3E-3$	
	$s_r = 5.1E-5$	
	$E = 3700 \text{ MPa}$	
$\nu = 0.2$		
$\sigma_v = \gamma h = 25 \cdot 350 = 8750 \text{ kPa} = 8.75 \text{ MPa}$		
Sostegno provvisorio:	Coronella di tubi metallici	n° 55
		L = 13 m/4 m di sovrapposizione
		$\varnothing_{\text{ext}} = 88.9 \text{ mm}$
		Spessore = 10 mm
	0.25 m spritz beton	
2 centine IPN 180 accoppiate, con interasse 1 m		
Sostegno definitivo:	anello di calcestruzzo di sp. medio 0.9 m dist. di posa dal fronte = 5 m	

Cavo e fronte sono pressoché stabili, seppur con elevata plasticizzazione.

La posa dei rivestimenti riduce le convergenze; le sollecitazioni agenti sui sostegni preliminari sono ridotte.

Il rivestimento definitivo presenta una tensione di circa 5 MPa nel calcestruzzo.

GALLERIA
FRONTE SFERICO

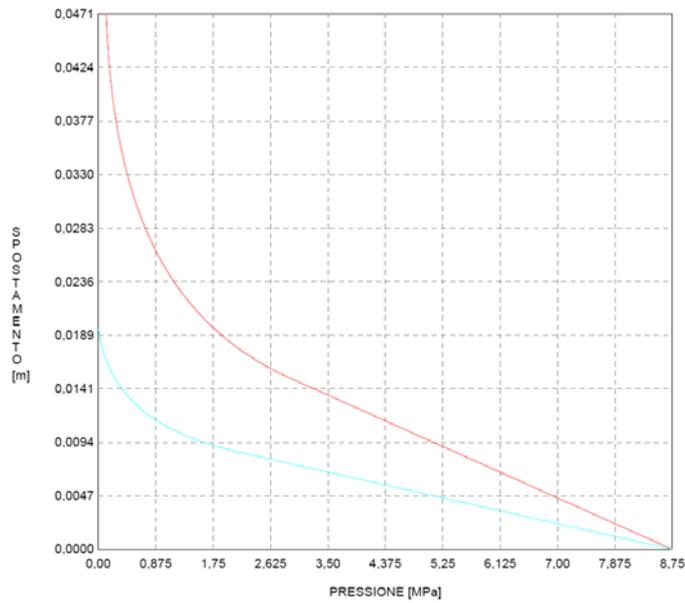


Figura 34: Sezione B0V – Basamento Cristallino – Copertura 350 m – Linea caratteristica del fronte e del cavo senza sostegni

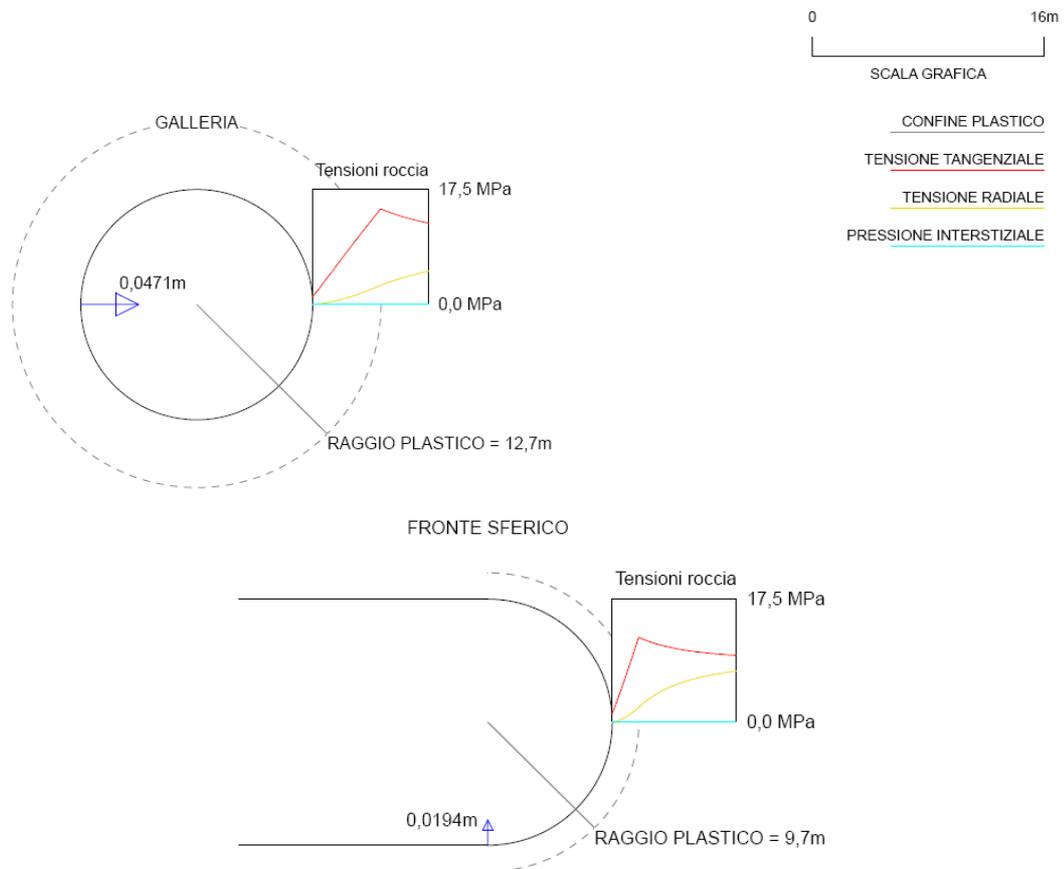


Figura 35: Sezione B0V – Basamento Cristallino – Copertura 350 m – Fascia di plasticizzazione al fronte ed al cavo senza sostegni

AUTOSTRADA A31 TRENTO - ROVIGO
TRONCO TRENTO - VALDASTICO - PIOVENE ROCCHETTE

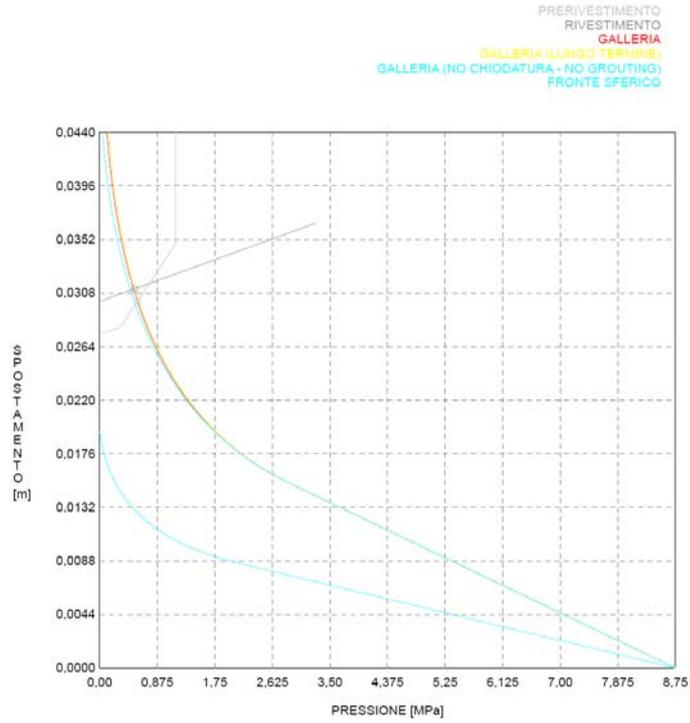


Figura 36: Sezione BOV – Basamento Cristallino – Copertura 350 m – Linee caratteristiche del fronte e del cavo con il prerivestimento

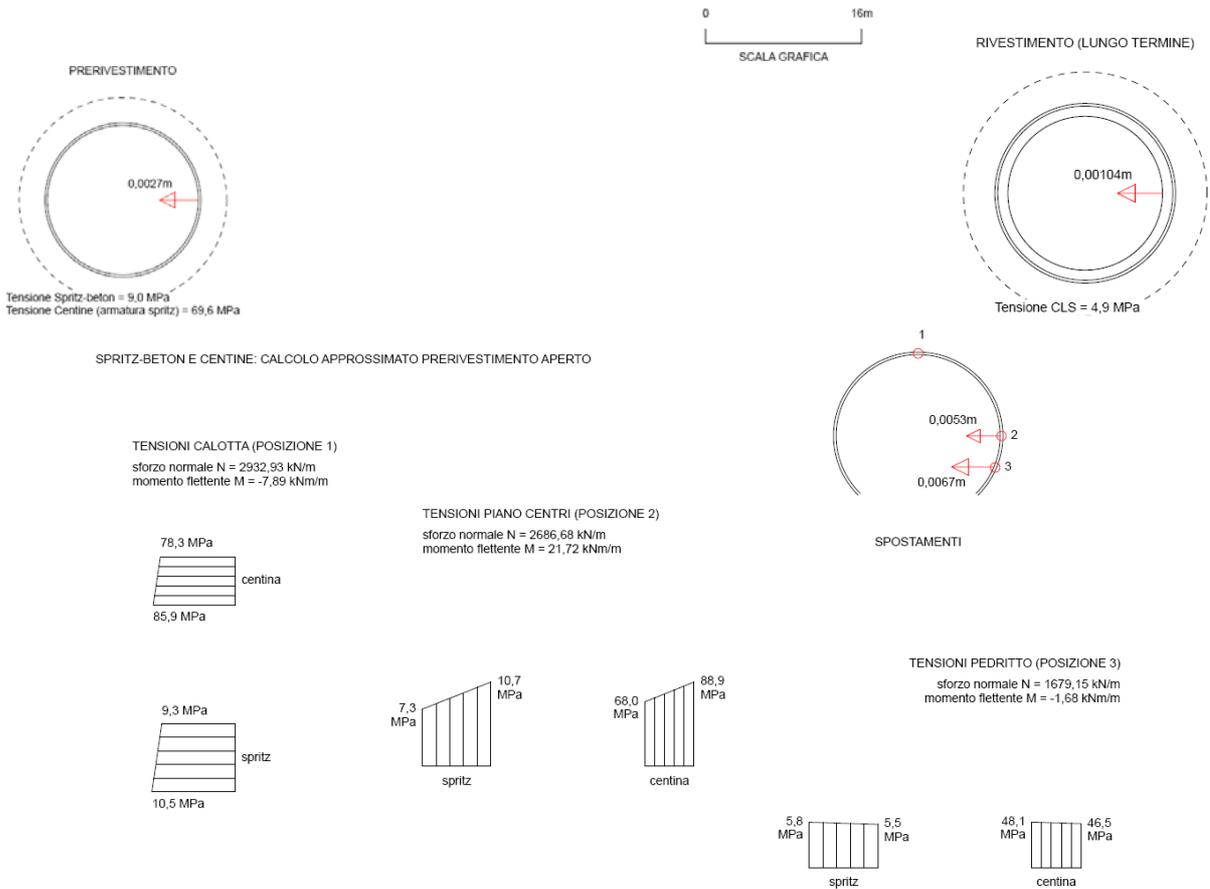


Figura 37: Sezione BOV – Basamento Cristallino – Copertura 350 m – Sollecitazioni nel prerivestimento e rivestimento definitivo

AUTOSTRADA A31 TRENTO - ROVIGO
TRONCO TRENTO - VALDASTICO - PIOVENE ROCCHETTE

SEZIONE B0V		
Litotipo:	GRUPPO DI RAIBL	
Copertura:	1300 m	
Caratteristiche roccia:	$\sigma_c = 72 \text{ MPa}$	
	$\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$	
	$m_i = 18$	
	$m_p = 2.3$	
	$m_r = 1.6$	
	$s_p = 1.8E-3$	
	$s_r = 7.5E-5$	
	$E = 6400 \text{ MPa}$	
$\nu = 0.2$		
$\sigma_v = \gamma h = 25 \cdot 1300 = 32500 \text{ kPa} = 32.5 \text{ MPa}$		
Sostegno provvisorio:	Coronella di tubi metallici	n° 55
		L = 13 m/4 m di sovrapposizione
		$\varnothing_{\text{ext}} = 88.9 \text{ mm}$
		Spessore = 10 mm
		0.25 m spritz beton
	2 centine IPN 180 accoppiate, con interasse 1 m	
Sostegno definitivo:	anello di calcestruzzo di sp. medio 0.9 m dist. di posa dal fronte = 5 m	

L'analisi evidenzia che cavo e fronte sono stabili, con spostamenti che raggiungono i 10 cm al cavo in assenza di sostegni.

La posa dei rivestimenti riduce le convergenze; le sollecitazioni sui rivestimenti sono elevate, ma comunque accettabili.

Il rivestimento definitivo presenta una sollecitazione di compressione di circa 13 MPa.

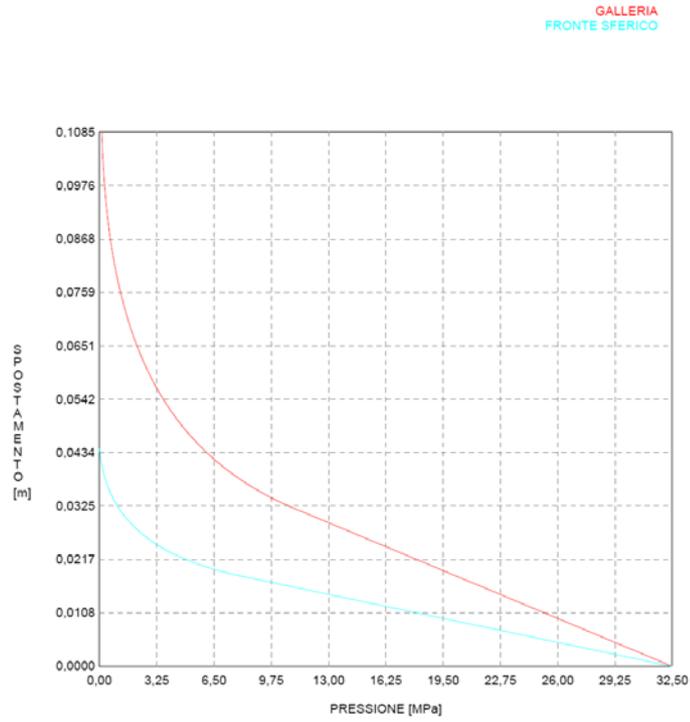


Figura 38: Sezione B0V – Gruppo di Raibl – Copertura 1300 m – Linea caratteristica del fronte e del cavo senza sostegni

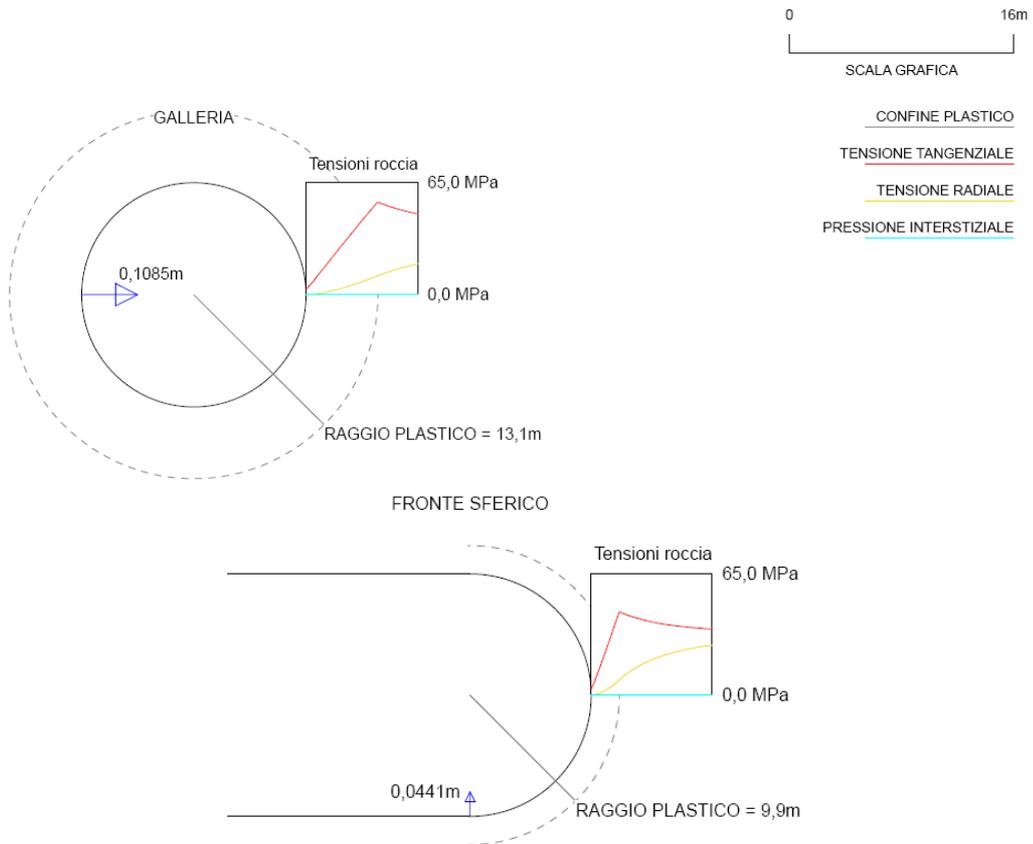


Figura 39: Sezione B0V – Gruppo di Raibl – Copertura 1300 m – Fascia di plasticizzazione al fronte ed al cavo senza sostegni

AUTOSTRADA A31 TRENTO - ROVIGO
TRONCO TRENTO - VALDASTICO - PIOVENE ROCCHETTE

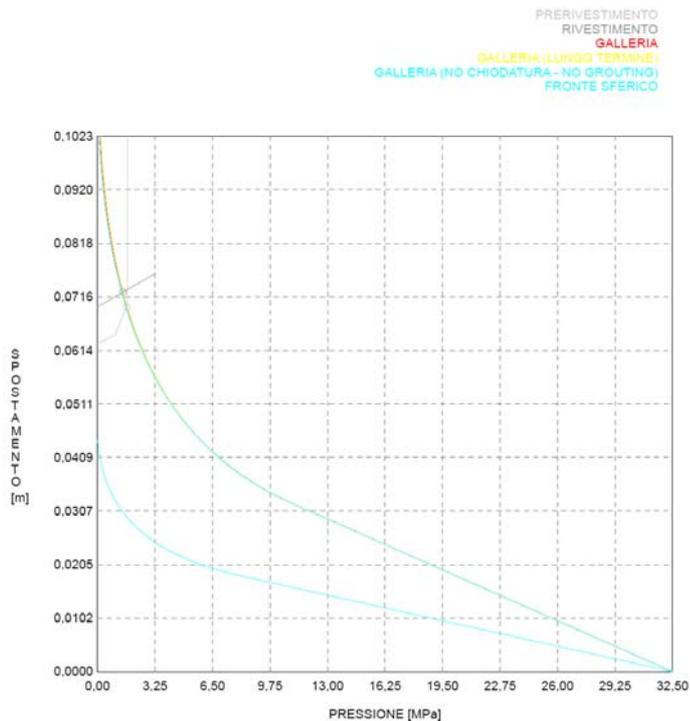


Figura 40: Sezione B0V – Gruppo di Raibl – Copertura 1300 m – Linee caratteristiche del fronte e del cavo con il prerivestimento

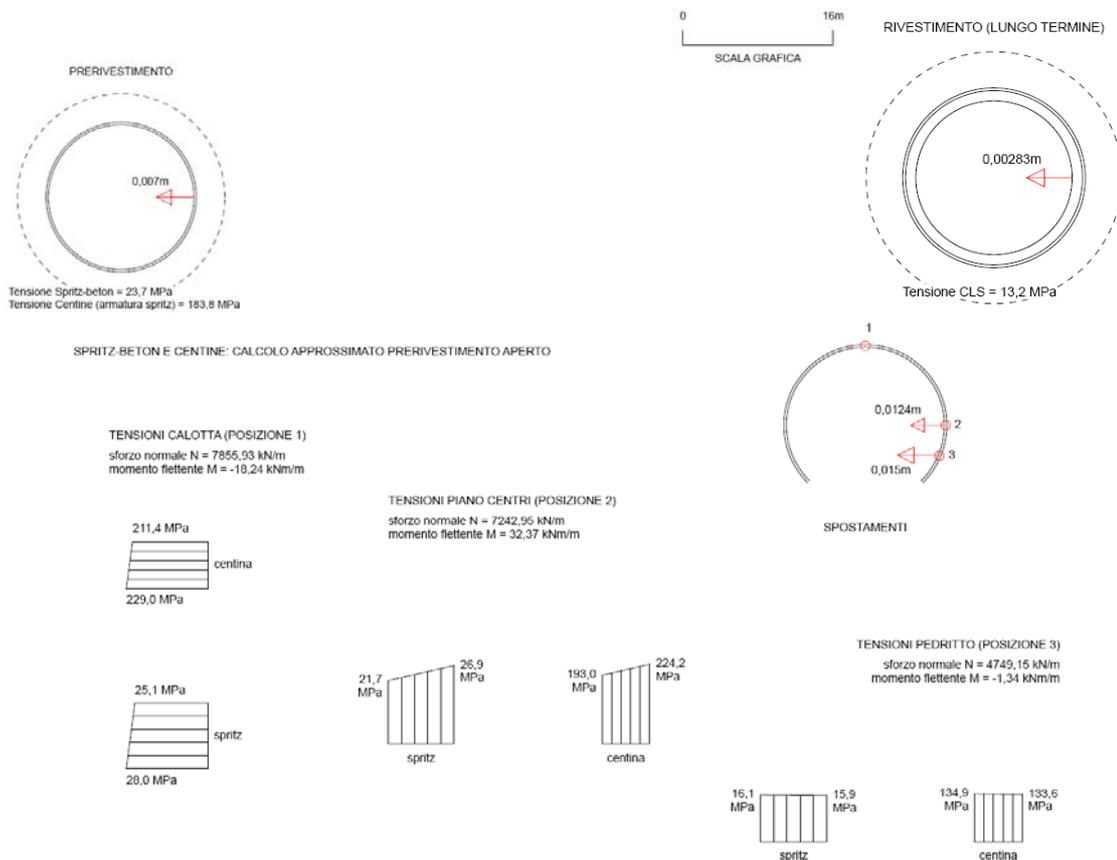


Figura 41: Sezione B0V – Gruppo di Raibl – Copertura 1300 m – Sollecitazioni nel prerivestimento e rivestimento definitivo

AUTOSTRADA A31 TRENTO - ROVIGO
TRONCO TRENTO - VALDASTICO - PIOVENE ROCCHETTE

SEZIONE B2V		
Litotipo:	FORMAZIONE A NODOSUS	
Copertura:	800 m	
Caratteristiche roccia:	$\sigma_c = 30 \text{ MPa}$	
	$\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$	
	$m_i = 12$	
	$m_p = 1.17$	
	$m_r = 0.82$	
	$s_p = 8E-4$	
	$s_r = 3.2E-5$	
	$E = 2750 \text{ MPa}$	
$\nu = 0.2$		
$\sigma_v = \gamma h = 25 \cdot 800 = 20000 \text{ kPa} = 20 \text{ MPa}$		
Sostegno provvisorio:	Consolidamento al fronte con tubi VTR	n° 64
		L = 18 m/9 m di sovrapposizione
		$A_{\text{influenza}} = 3 \text{ m}^2$
	Coronella di tubi metallici	n° 55
		L = 13 m/4 m di sovrapposizione
		$\varnothing_{\text{ext}} = 88.9 \text{ mm}$
		Spessore = 10 mm
	0.25 m spritz beton	
2 centine IPN 180 accoppiate, con interasse 1 m		
Sostegno definitivo:	anello di calcestruzzo di sp. medio 0.9 m dist. di posa dal fronte = 5 m	

L'analisi evidenzia un fronte stabile, mentre il cavo richiede interventi di stabilizzazione.

La stabilità è raggiunta con la posa dei sostegni, seppur conservando elevate convergenze. Le sollecitazioni sono molto elevate, ma si ritiene che la situazione possa migliorare affinando i calcoli.

La sezione beneficia, in termini di sollecitazioni, di una chiusura del contorno di scavo con la posa dell'arco rovescio a breve distanza dal fronte.

Il rivestimento definitivo presenta sollecitazioni dell'ordine dei 6 MPa.

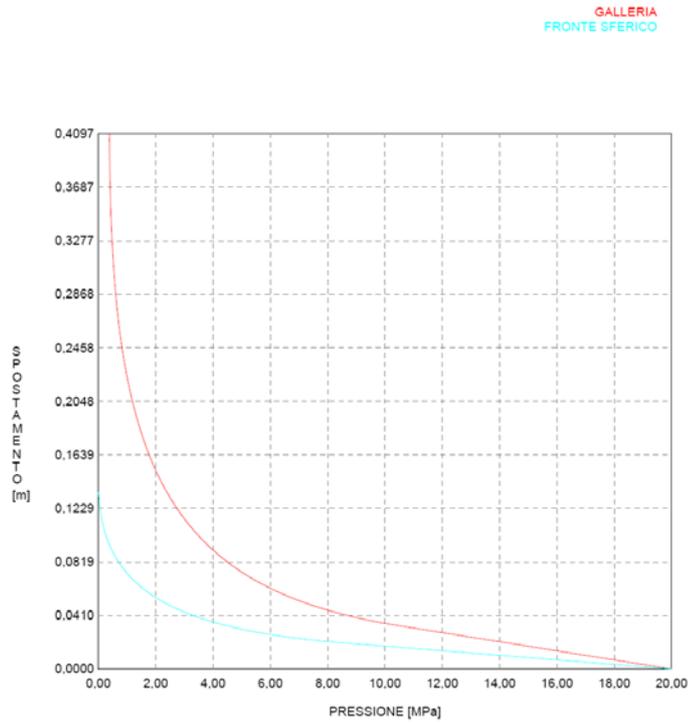


Figura 42: Sezione B2V – Formazione a Nodosus – Copertura 800 m – Linea caratteristica del fronte e del cavo senza sostegni

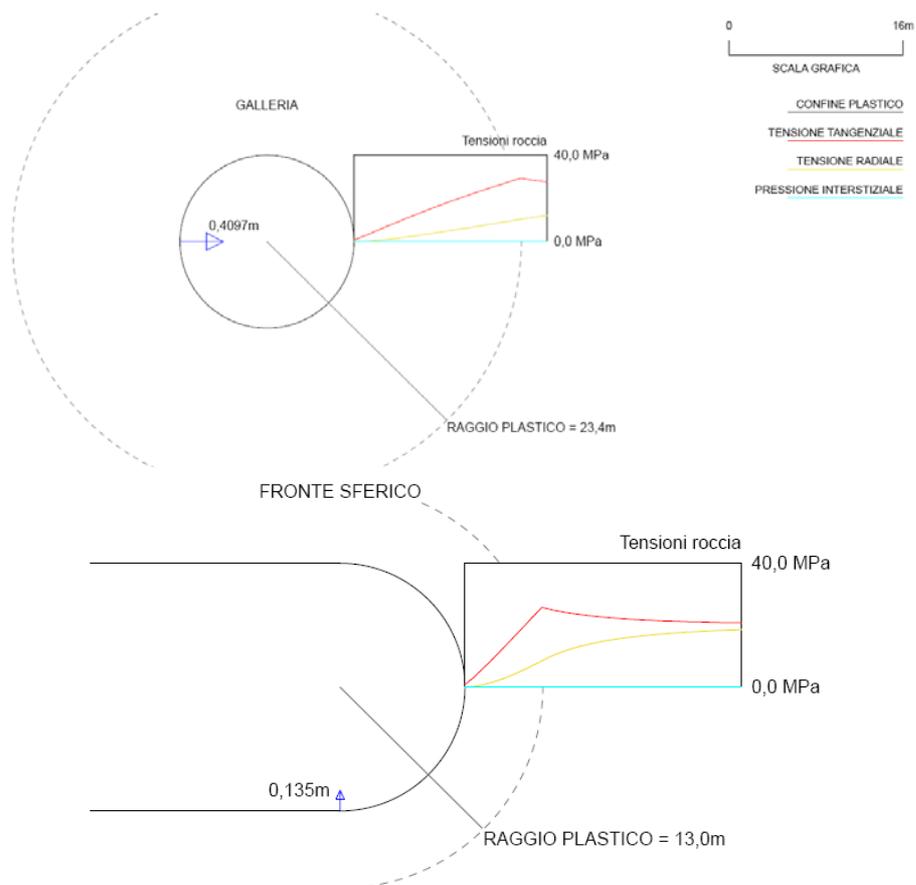


Figura 43: Sezione B2V – Formazione a Nodosus – Copertura 800 m – Fascia di plasticizzazione al fronte ed al cavo senza sostegni

AUTOSTRADA A31 TRENTO - ROVIGO
TRONCO TRENTO - VALDASTICO - PIOVENE ROCCHETTE

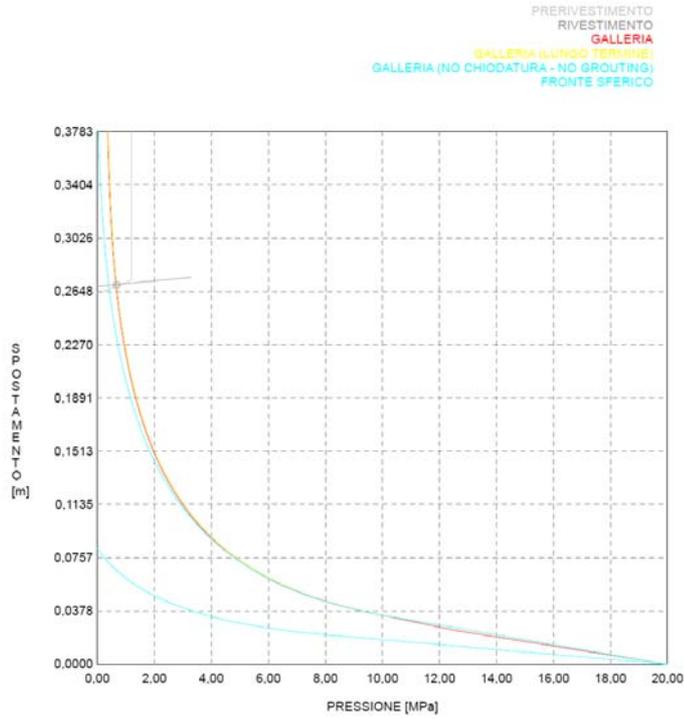


Figura 44: Sezione B2V – Formazione a Nodosus – Copertura 800 m – Linee caratteristiche del fronte e del cavo con il prerivestimento

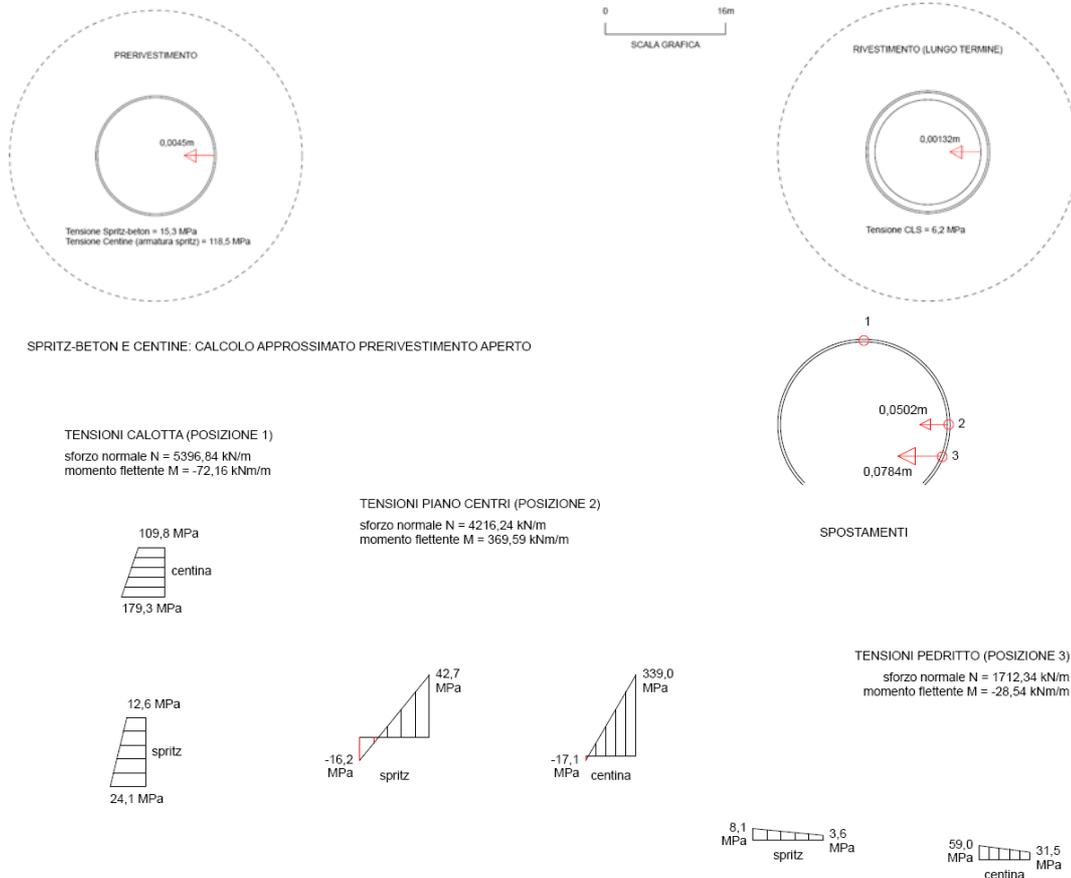


Figura 45: Sezione B2V – Formazione a Nodosus – Copertura 800 m – Sollecitazioni nel prerivestimento e rivestimento definitivo

AUTOSTRADA A31 TRENTO - ROVIGO
TRONCO TRENTO - VALDASTICO - PIOVENE ROCCHETTE

SEZIONE B2V		
Litotipo:	CALCARI V. GOLA/MARNE DELLA VAL DI CENTA	
Copertura:	1350 m	
Caratteristiche roccia:	$\sigma_c = 25 \text{ MPa}$	
	$\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$	
	$m_i = 12$	
	$m_p = 1$	
	$m_r = 0.7$	
	$s_p = 5.7E-4$	
	$s_r = 2.3E-5$	
	$E = 2110 \text{ MPa}$	
$\nu = 0.2$		
$\sigma_v = \gamma h = 25 \cdot 1350 = 33750 \text{ kPa} = 33.75 \text{ MPa}$		
Sostegno provvisorio:	Consolidamento al fronte con tubi VTR	n° 64
		L = 18 m/9 m di sovrapposizione
		$A_{\text{influenza}} = 3 \text{ m}^2$
	Coronella di tubi metallici	n° 55
		L = 13 m/4 m di sovrapposizione
		$\varnothing_{\text{ext}} = 88.9 \text{ mm}$
		Spessore = 10 mm
0.25 m spritz beton		
2 centine IPN 180 accoppiate, con interasse 1 m		
Sostegno definitivo:	anello di calcestruzzo di sp. medio 0.9 m dist. di posa dal fronte = 5 m	

Cavo e fronte presentano problemi di stabilità in assenza di sostegni.

La posa dei rivestimenti garantisce la stabilità della sezione, seppur con sollecitazioni molto elevate. La sezione richiede quindi il getto del rivestimento definitivo a breve distanza dal fronte, per permettere la chiusura del contorno di scavo e la redistribuzione delle sollecitazioni.

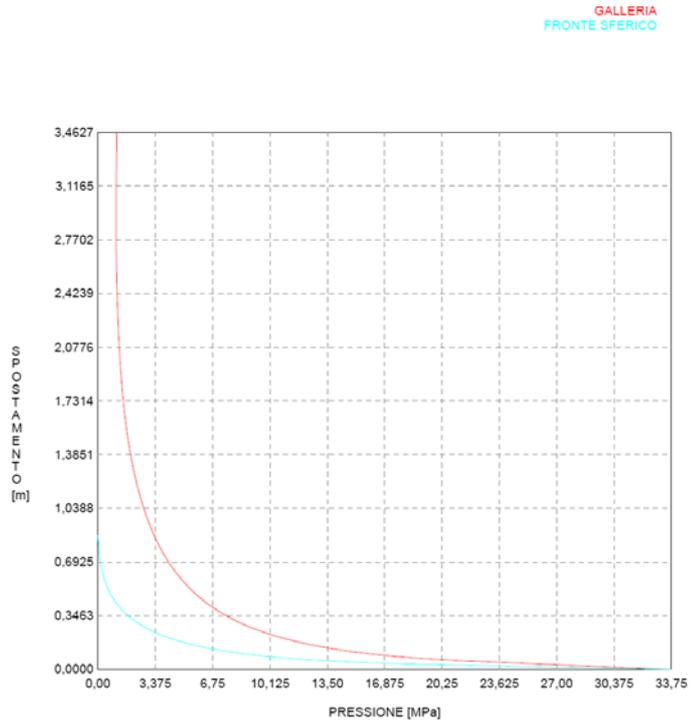


Figura 46: Sezione B2V – Calcarì di V. Gola/Marne della Val di Centa – Copertura 1350 m – Linea caratteristica del fronte e del cavo senza sostegni

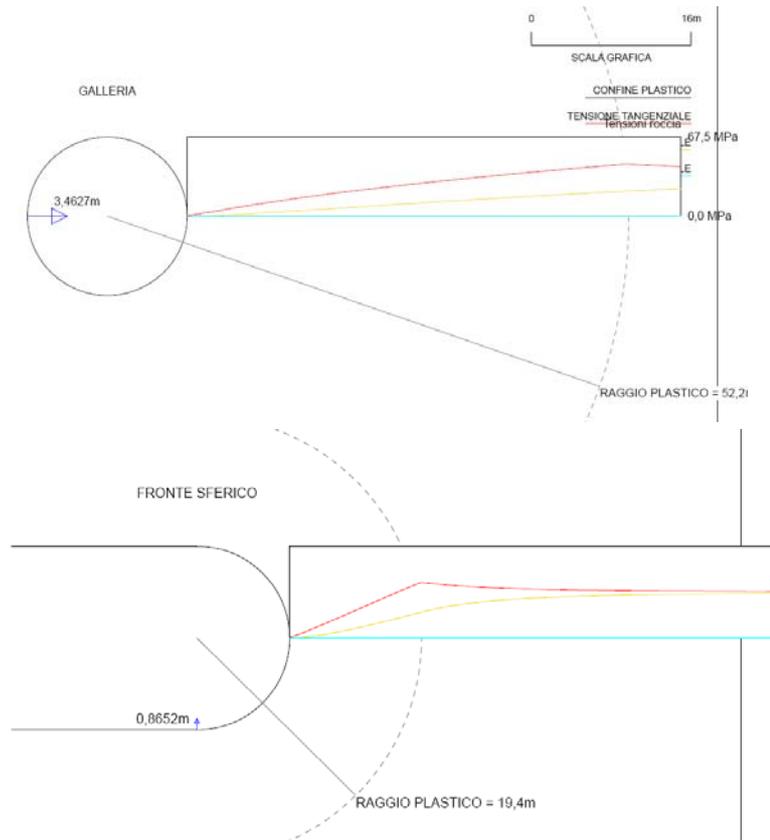


Figura 47: Sezione B2V – Calcarì di V. Gola/Marne della Val di Centa – Copertura 1350 m – Fascia di plasticizzazione al fronte ed al cavo senza sostegni

AUTOSTRADA A31 TRENTO - ROVIGO
TRONCO TRENTO - VALDASTICO - PIOVENE ROCCHETTE

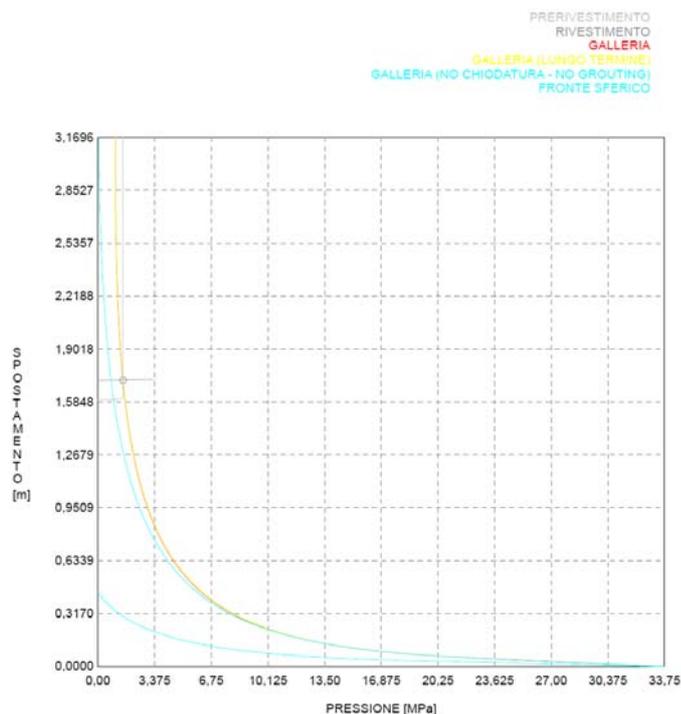


Figura 48: Sezione B2V – Calcarì di V. Gola/Marne della Val di Centa – Copertura 1350 m – Linee caratteristiche del fronte e del cavo con il prerivestimento

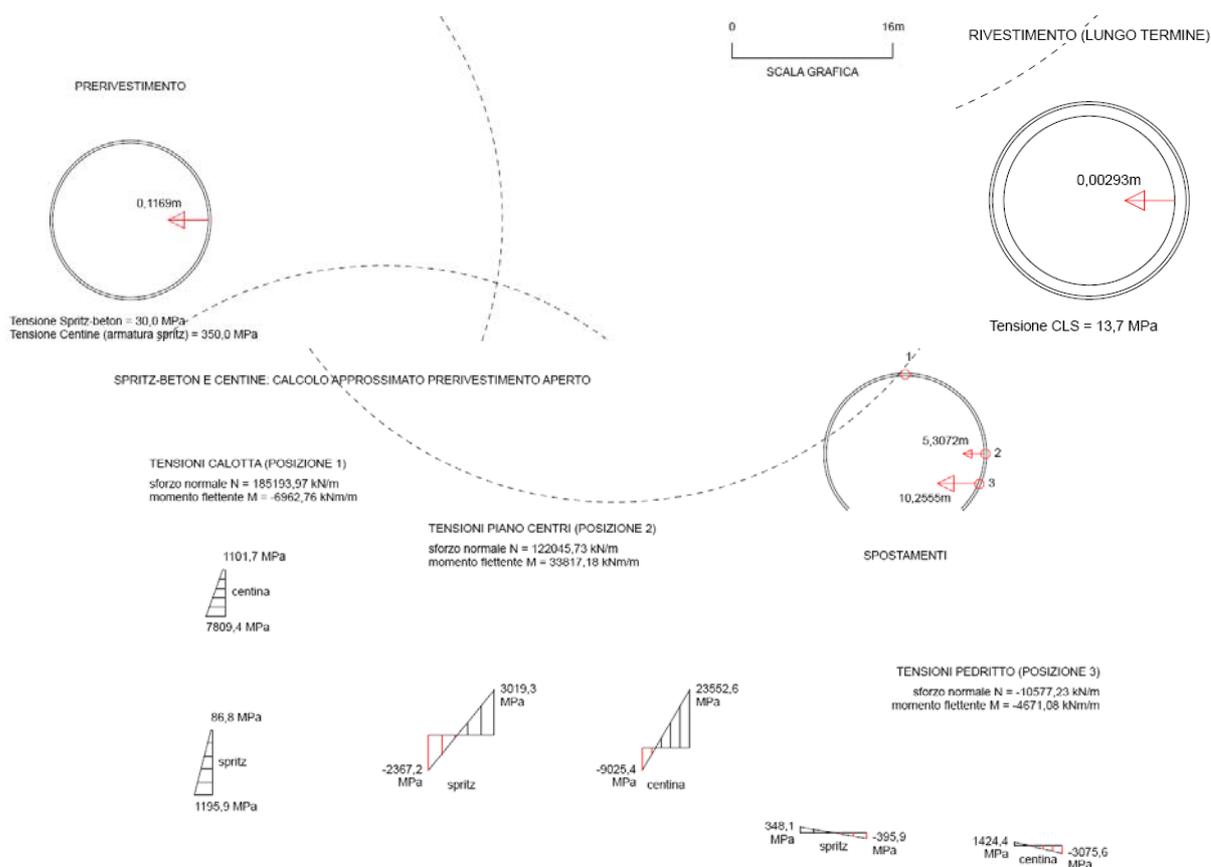


Figura 49: Sezione B2V – Calcarì di V. Gola/Marne della Val di Centa – Copertura 1350 m – Sollecitazioni nel prerivestimento e rivestimento definitivo

AUTOSTRADA A31 TRENTO - ROVIGO
TRONCO TRENTO - VALDASTICO - PIOVENE ROCCHETTE

SEZIONE C1		
Litotipo:	DETRITO	
Copertura:	40 m	
Caratteristiche terreno:	$\phi = 38^\circ$	
	$\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$	
	$c = 0.005 \text{ MPa} = 5 \text{ kPa}$	
	$E = 0.075 \text{ GPa} = 75 \text{ MPa}$	
	$\nu = 0.3$	
$\sigma_v = \gamma h = 19 \cdot 40 = 760 \text{ kPa} = 0.76 \text{ MPa}$		
Sostegno provvisorio:	colonne in jet grouting al contorno (18 non armate, 37 armate con tubi d'acciaio)	n° 55 L = 13 m/4 m di sovrapposizione
	colonne in jet grouting al fronte (armate con tubo in VTR)	n° 55 L = 15 m/6 m di sovrapposizione
	0.25 m spritz beton	
	2 centine IPN 200 accoppiate, con interasse 1 m	
	Sostegno definitivo: anello di calcestruzzo di sp. medio 1.10 m	

L'analisi evidenzia che la sezione è completamente instabile in assenza di sostegni.

I rivestimenti ristabiliscono la stabilità, con spostamento al cavo di ordine decimetrico. Il fronte consolidato si deforma in campo elastico.

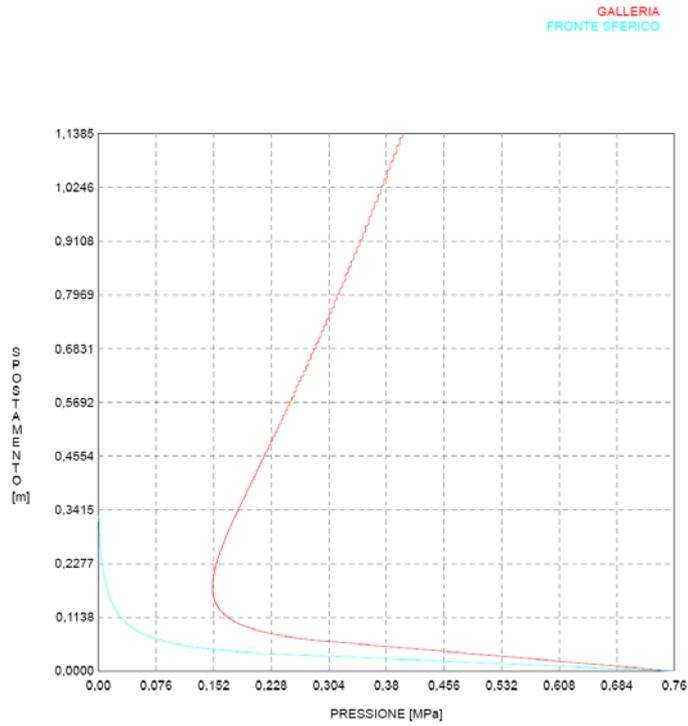


Figura 50: Sezione C1 – Detrito – Copertura 40 m – Linea caratteristica del fronte e del cavo senza sostegni

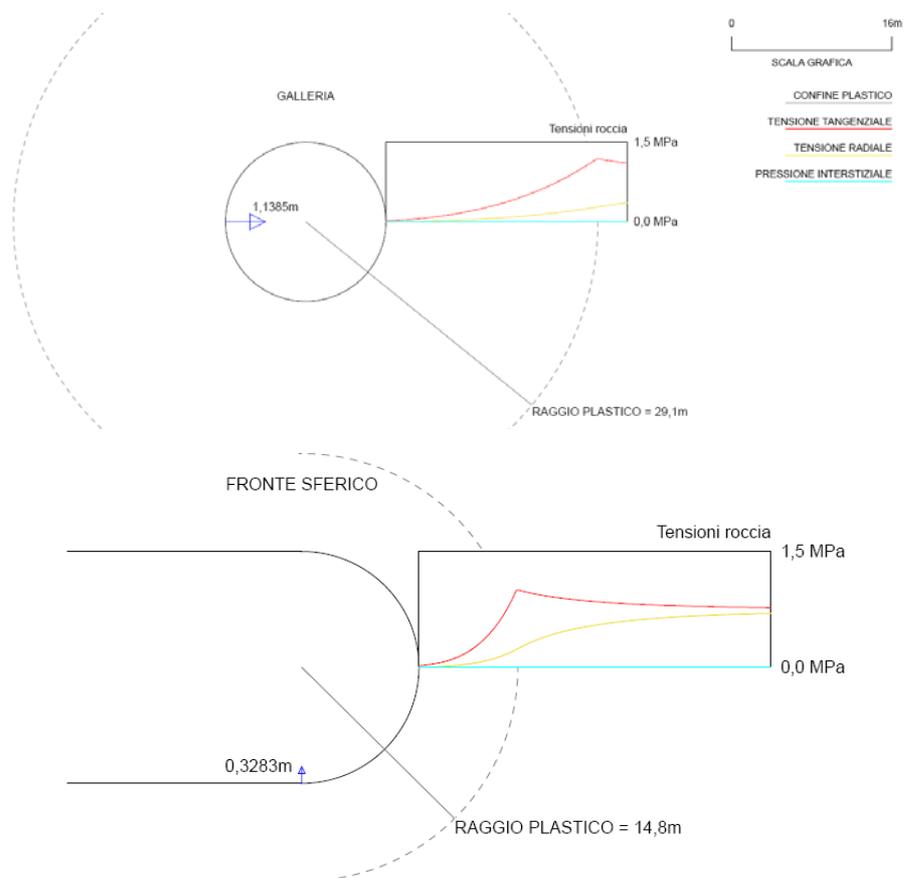


Figura 51: Sezione C1 – Detrito – Copertura 40 m – Fascia di plasticizzazione al fronte ed al cavo senza sostegni

AUTOSTRADA A31 TRENTO - ROVIGO
TRONCO TRENTO - VALDASTICO - PIOVENE ROCCHETTE

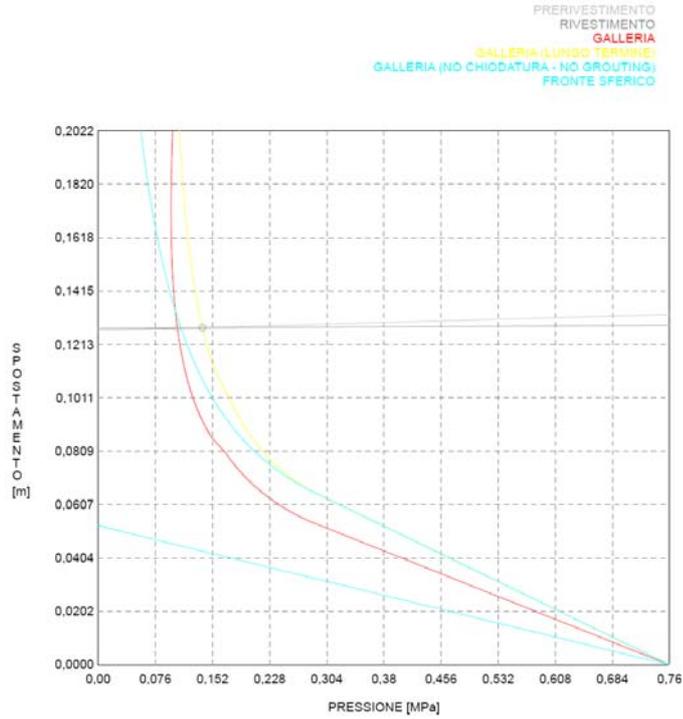


Figura 52: Sezione C1 – Detrito – Copertura 40 m – Linee caratteristiche del fronte e del cavo con il prerivestimento

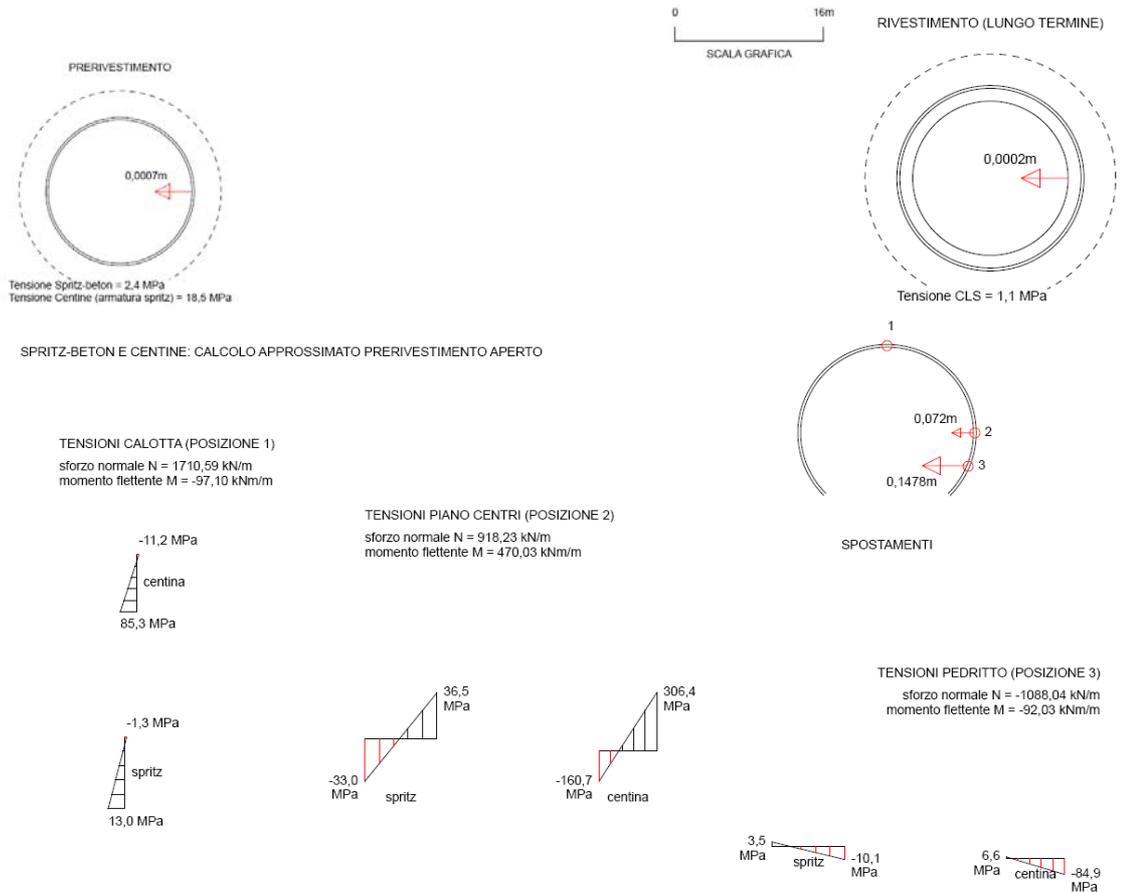


Figura 53: Sezione C1 – Detrito – Copertura 40 m – Sollecitazioni nel prerivestimento e rivestimento definitivo

AUTOSTRADA A31 TRENTO - ROVIGO
TRONCO TRENTO - VALDASTICO - PIOVENE ROCCHETTE

SEZIONE C2		
Litotipo:	FORMAZIONE DI WERFEN	
Copertura:	400 m	
Caratteristiche roccia:	$\sigma_c = 28 \text{ MPa}$	
	$\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$	
	$m_i = 12$	
	$m_p = 0.97$	
	$m_r = 0.68$	
	$s_p = 4.5E-4$	
	$s_r = 1.8E-5$	
	$E = 2000 \text{ MPa}$	
	$\nu = 0.2$	
$\sigma_v = \gamma h = 25 \cdot 400 = 10000 \text{ kPa} = 10 \text{ MPa}$		
Sostegno provvisorio:	Consolidamento al contorno con tubi VTR	n° 64 L = 15 m/6 m di sovrapposizione
	Consolidamento al fronte con VTR	n° 80 L = 18 m/9 m di sovrapposizione
		$A_{\text{influenza}} = 2.5 \text{ m}^2$
	0.30 m spritz beton	
	2 centine IPN 220 accoppiate, con interasse 1 m	
Sostegno definitivo:	anello di calcestruzzo di sp. medio 0.9 m dist. di posa dal fronte = 5 m	

Il fronte risulta stabile, mentre il cavo richiede interventi di stabilizzazione.

La posa dei sostegni garantisce la stabilità dell'intero sistema, con sollecitazioni del tutto inferiori ai limiti di resistenza.

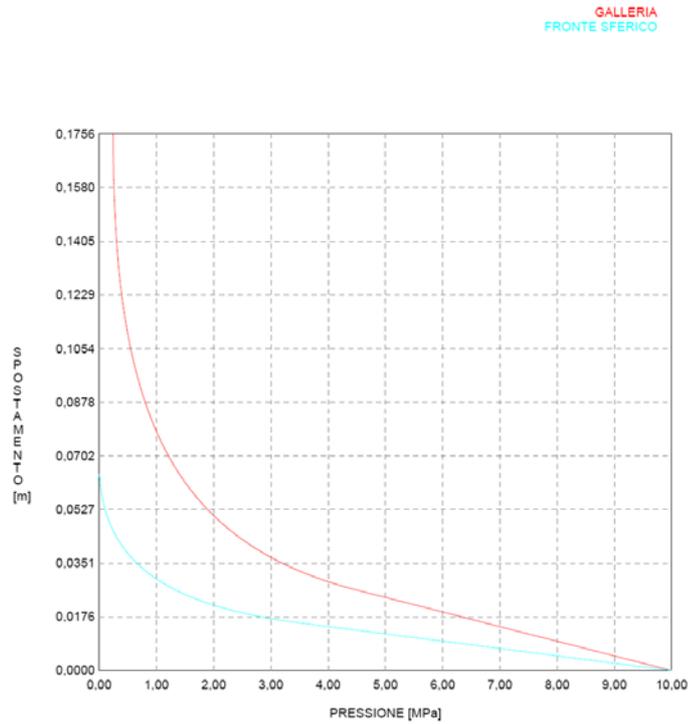


Figura 54: Sezione C2 – Formazione di Werfen – Copertura 400 m – Linea caratteristica del fronte e del cavo senza sostegni

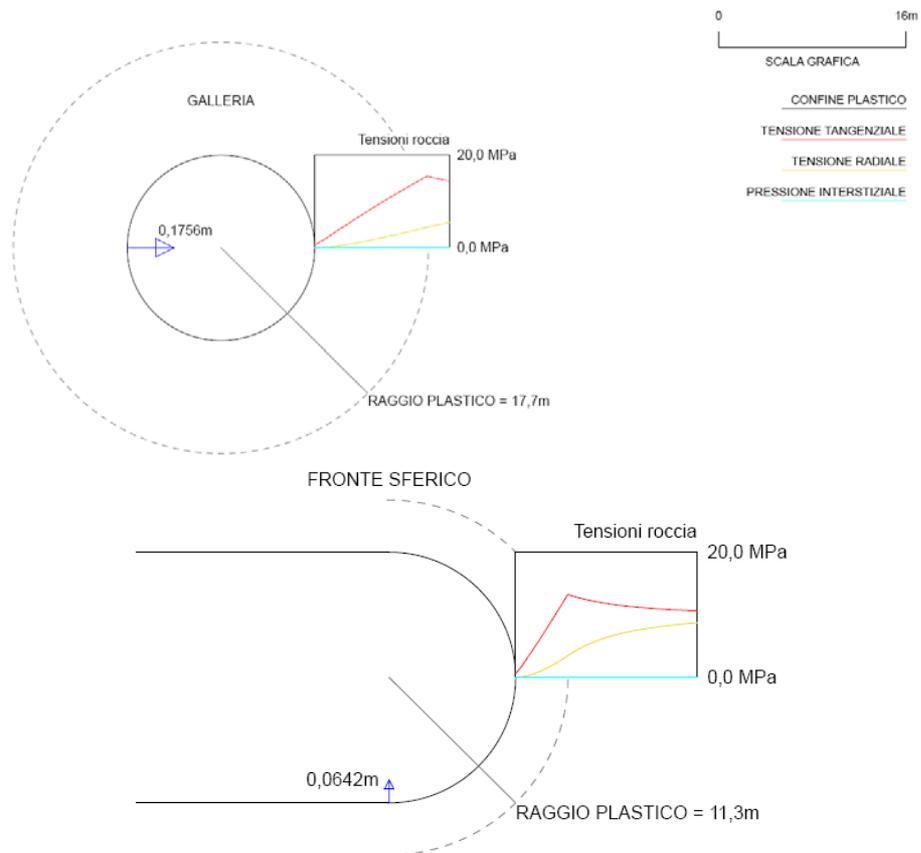


Figura 55: Sezione C2 – Formazione di Werfen – Copertura 400 m – Fascia di plasticizzazione al fronte ed al cavo senza sostegni

AUTOSTRADA A31 TRENTO - ROVIGO
TRONCO TRENTO - VALDASTICO - PIOVENE ROCCHETTE

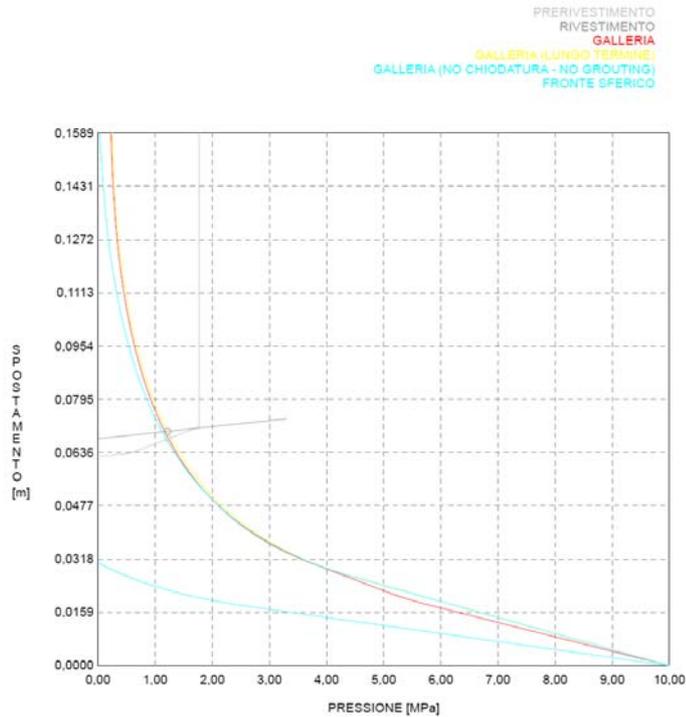


Figura 56: Sezione C2 – Formazione di Werfen – Copertura 400 m – Linee caratteristiche del fronte e del cavo con il prerivestimento

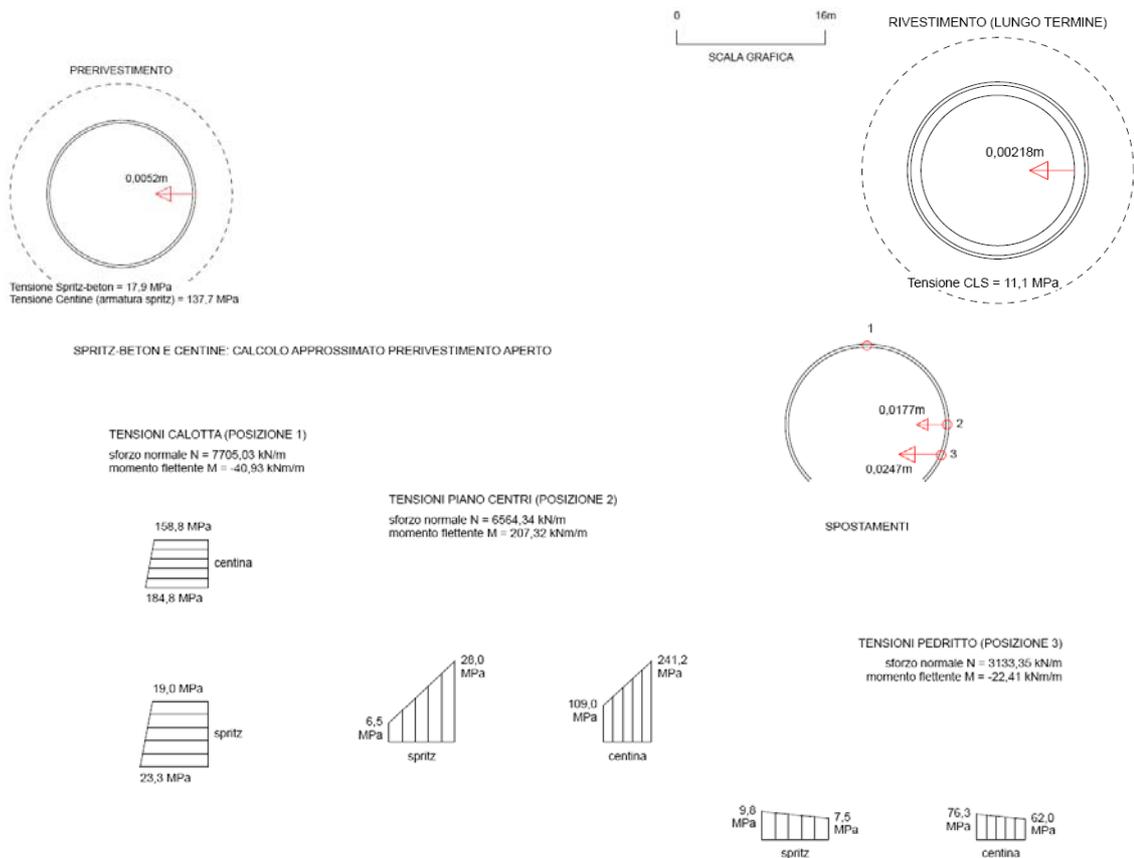


Figura 57: Sezione C2 – Formazione di Werfen – Copertura 400 m – Sollecitazioni nel prerivestimento e rivestimento definitivo

AUTOSTRADA A31 TRENTO - ROVIGO
TRONCO TRENTO - VALDASTICO - PIOVENE ROCCHETTE

SEZIONE C2		
Litotipo:	FORMAZIONE A NODOSUS	
Copertura:	850 m	
Caratteristiche roccia:	$\sigma_c = 30 \text{ MPa}$	
	$\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$	
	$m_i = 12$	
	$m_p = 1.17$	
	$m_r = 0.82$	
	$s_p = 8E-4$	
	$s_r = 3.2E-5$	
	$E = 2750 \text{ MPa}$	
$\nu = 0.2$		
$\sigma_v = \gamma h = 25 \cdot 850 = 21250 \text{ kPa} = 21.25 \text{ MPa}$		
Sostegno provvisorio:	Consolidamento al contorno con tubi VTR	n° 64 L = 15 m/6 m di sovrapposizione
	Consolidamento al fronte con VTR	n° 80 L = 18 m/9 m di sovrapposizione
		$A_{\text{influenza}} = 2.5 \text{ m}^2$
	0.30 m spritz beton	
	2 centine IPN 220 accoppiate, con interasse 1 m	
Sostegno definitivo:	anello di calcestruzzo di sp. medio 0.9 m dist. di posa dal fronte = 5 m	

L'analisi evidenzia una sostanziale stabilità del fronte.

Il cavo richiede invece interventi.

La posa dei sostegni limita le convergenze. Le sollecitazioni sui rivestimenti sono piuttosto elevate, tendono a ridursi in seguito alla chiusura della sezione.

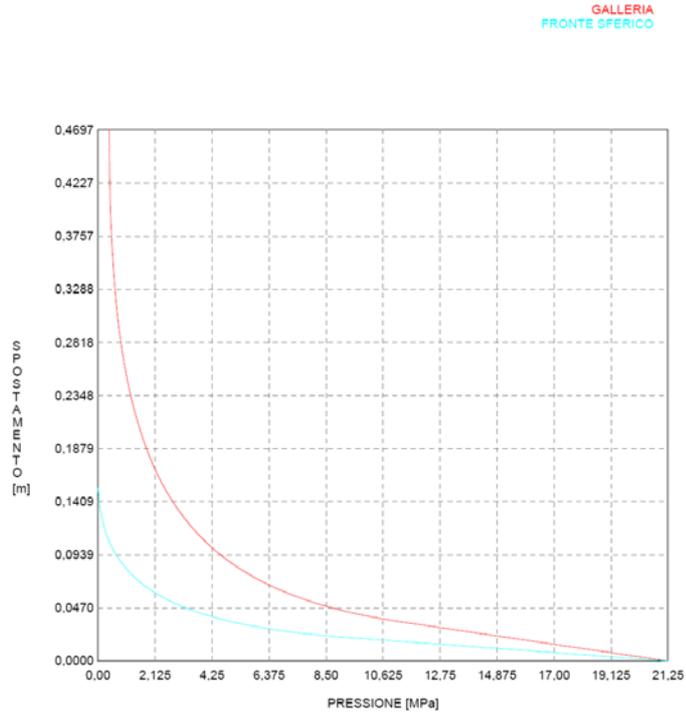


Figura 58: Sezione C2 – Formazione a Nodosus – Copertura 850 m – Linea caratteristica del fronte e del cavo senza sostegni

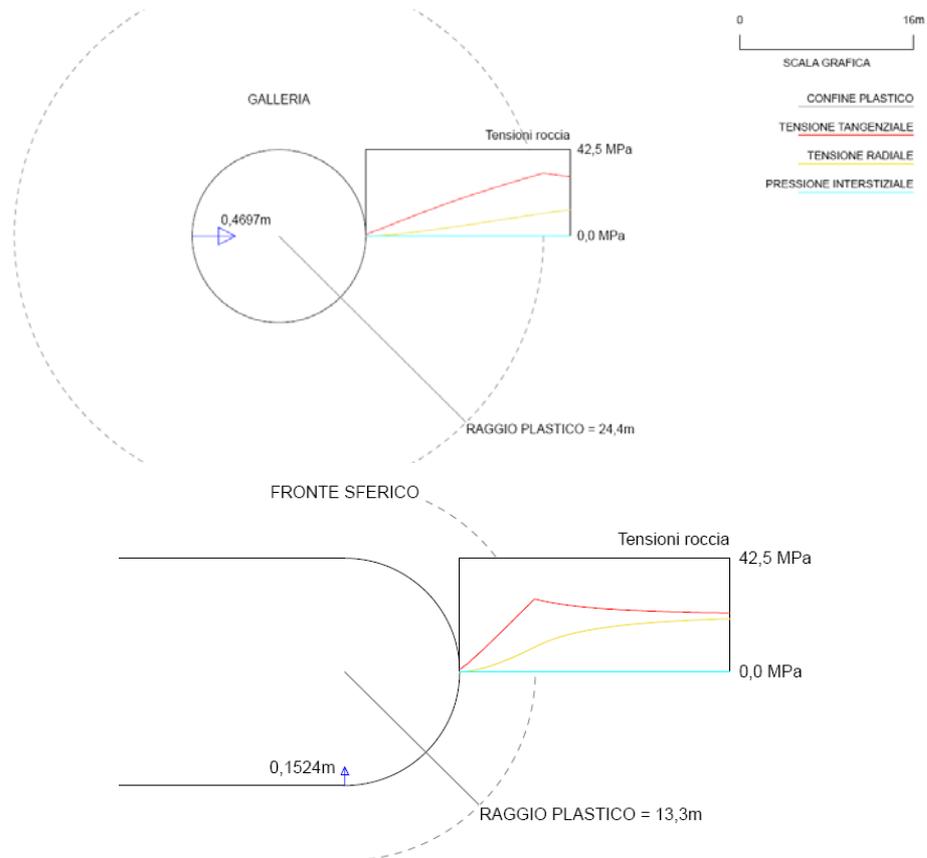


Figura 59: Sezione C2 – Formazione a Nodosus – Copertura 850 m – Fascia di plasticizzazione al fronte ed al cavo senza sostegni

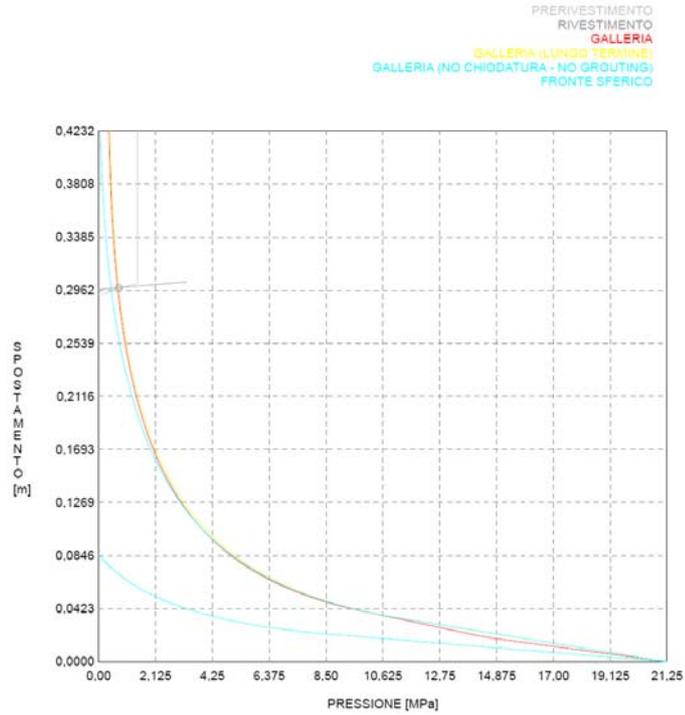


Figura 60: Sezione C2 – Formazione a Nodosus – Copertura 850 m – Linee caratteristiche del fronte e del cavo con il prerivestimento

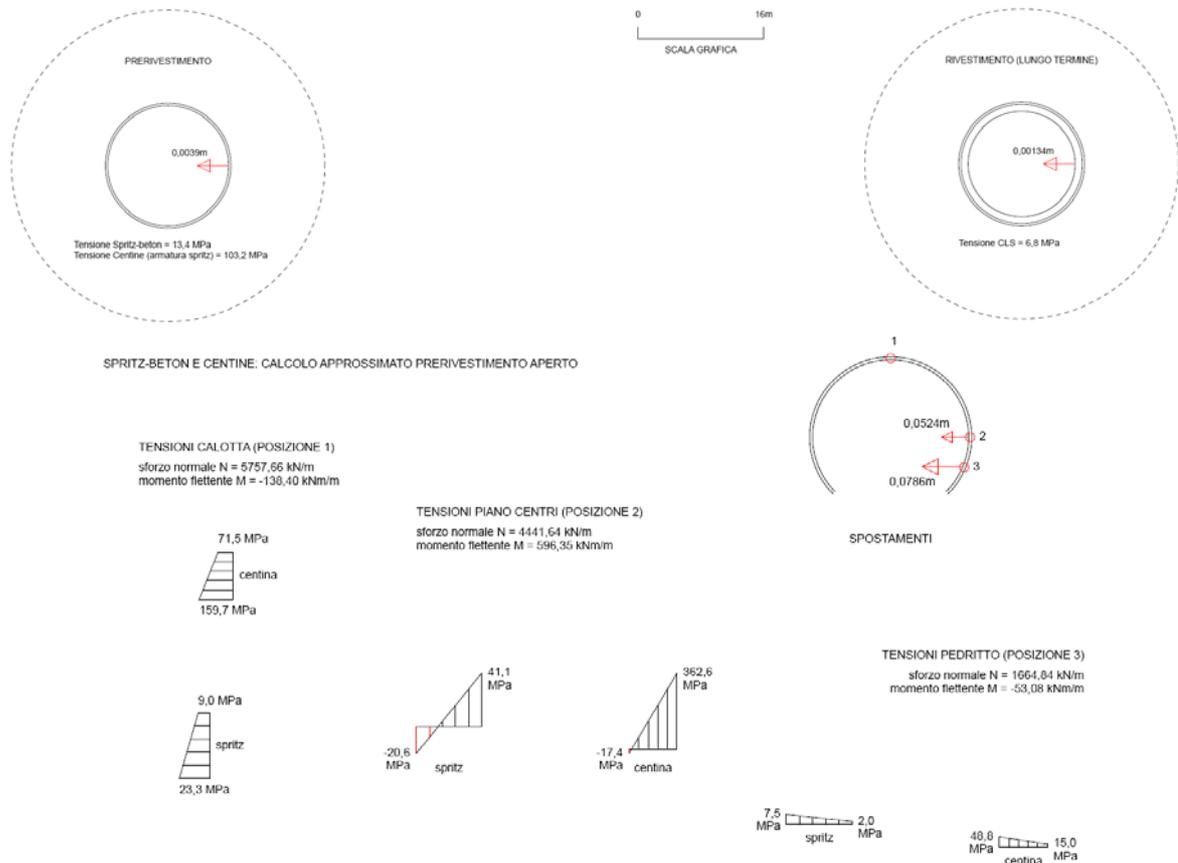


Figura 61: Sezione C2 – Formazione a Nodosus – Copertura 850 m – Sollecitazioni nel prerivestimento e rivestimento definitivo

AUTOSTRADA A31 TRENTO - ROVIGO
TRONCO TRENTO - VALDASTICO - PIOVENE ROCCHETTE

SEZIONE B0 - Faglia	
Litotipo:	FORMAZIONE DI GIOVO/CONTRIN
Copertura:	130 m
Caratteristiche roccia:	$\sigma_c = 40 \text{ MPa}$
	$\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$
	RMR = 35
	$m_i = 12$
	$m_p = 0.86$
	$m_r = 0.60$
	$s_p = 3.2E-4$
	$s_r = 1.28E-5$
	$E = 2000 \text{ MPa}$
	$\nu = 0.2$
$\sigma_v = \gamma h = 25 \cdot 130 = 3250 \text{ kPa} = 3.25 \text{ MPa}$	
Sostegno provvisorio:	0.25 m spritz beton
	0.25 m spritz beton
	2 centine IPN 180 accoppiate, con interasse 1 m
Sostegno definitivo:	anello di calcestruzzo di sp. medio 0.75 m dist. di posa dal fronte = 30 m

Cavo e fronte risultano stabili, con plasticizzazione non molto estesa.

I rivestimenti lavorano in campo elastico, con sollecitazioni molto ridotte.

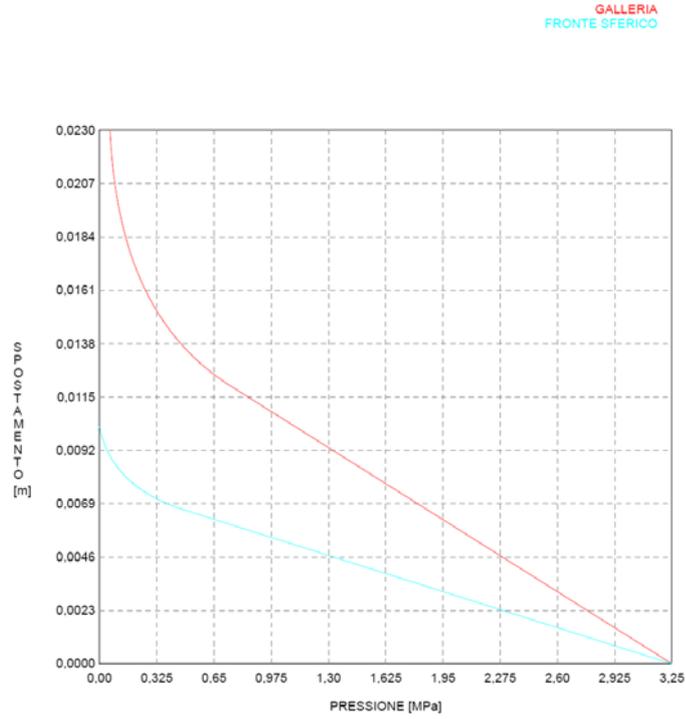


Figura 62: Sezione B0-faglia – Formazione di Giovo/Contrin – Copertura 130 m – Linea caratteristica del fronte e del cavo senza sostegni

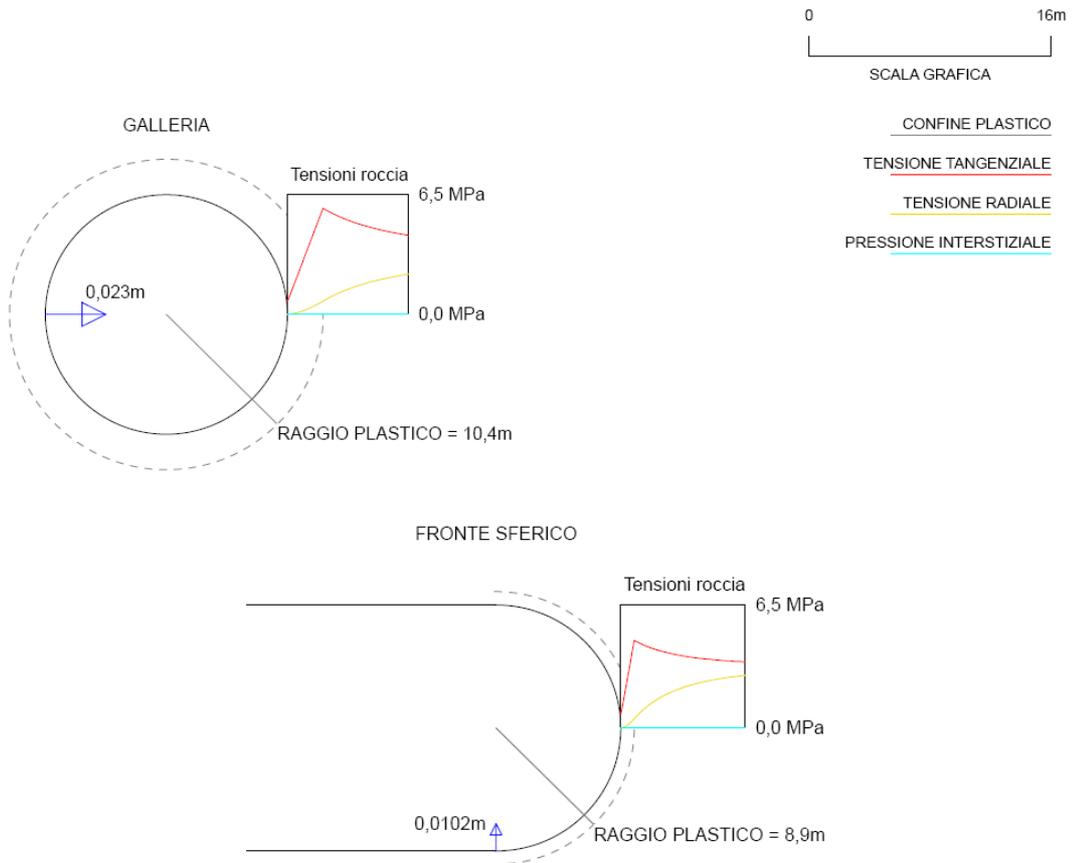


Figura 63: Sezione B0-faglia – Formazione di Giovo/Contrin – Copertura 130 m – Fascia di plasticizzazione al fronte ed al cavo senza sostegni

AUTOSTRADA A31 TRENTO - ROVIGO
TRONCO TRENTO - VALDASTICO - PIOVENE ROCCHETTE

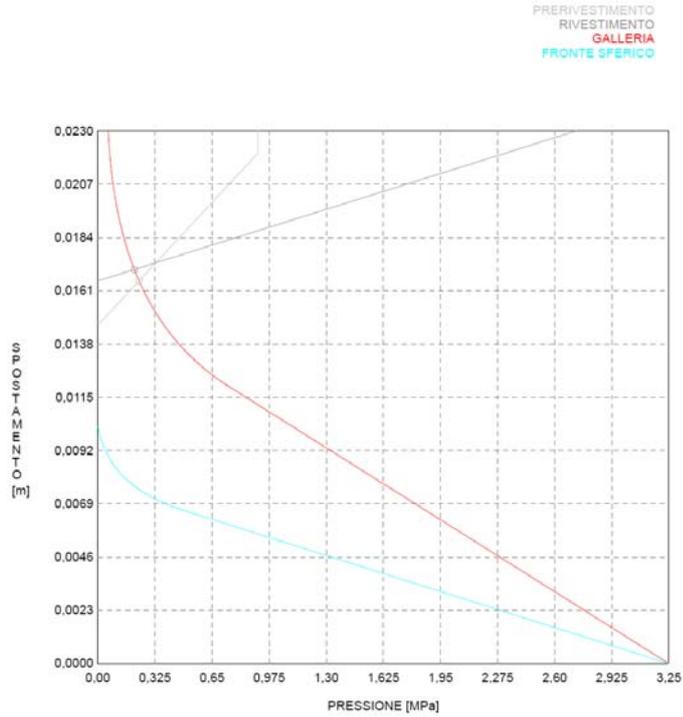


Figura 64: Sezione B0-faglia – Formazione di Giovo/Contrin – Copertura 130 m – Linee caratteristiche del fronte e del cavo con il prerivestimento

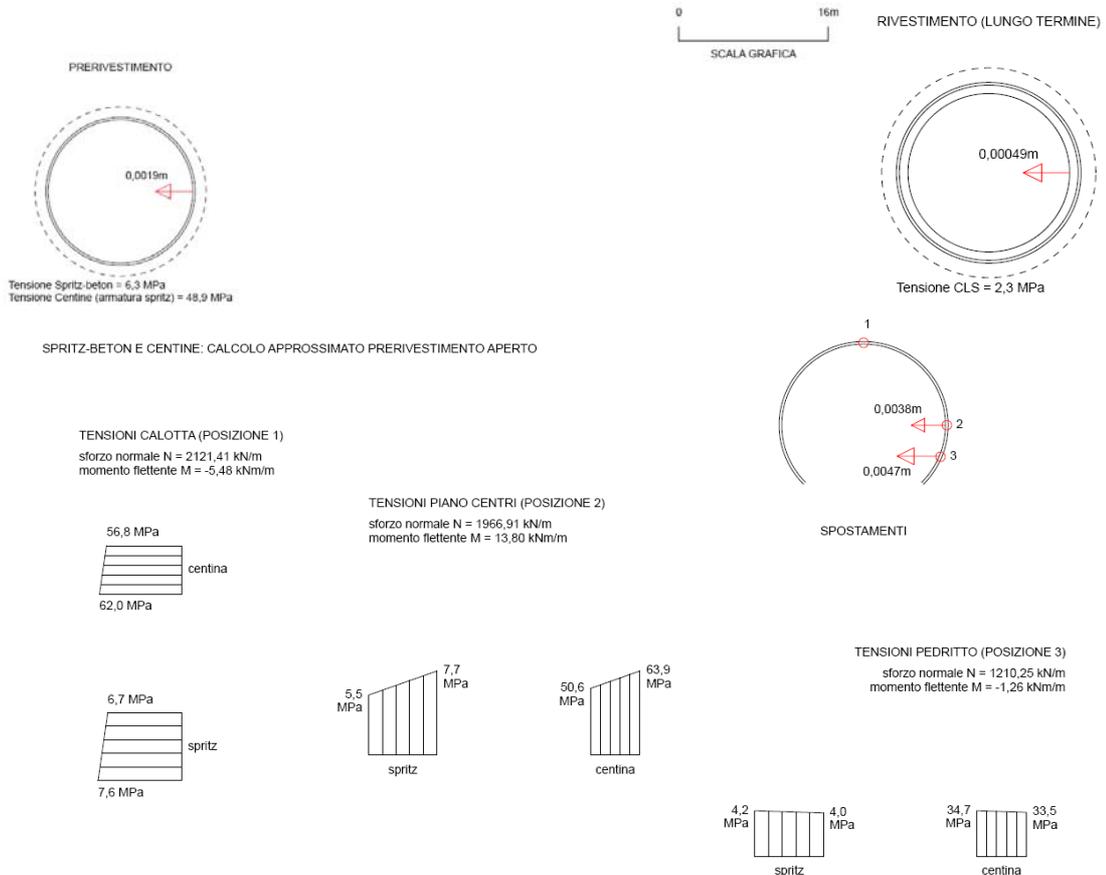


Figura 65: Sezione B0-faglia – Formazione di Giovo/Contrin – Copertura 130 m – Sollecitazioni nel prerivestimento e rivestimento definitivo

AUTOSTRADA A31 TRENTO - ROVIGO
TRONCO TRENTO - VALDASTICO - PIOVENE ROCCHETTE

SEZIONE B0 - Faglia	
Litotipo:	DOLOMIA PRINCIPALE
Copertura:	280 m
Caratteristiche roccia:	$\sigma_c = 80 \text{ MPa}$
	$\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$
	RMR = 45
	$m_i = 18$
	$m_p = 1.89$
	$m_r = 1.32$
	$s_p = 1E-3$
	$s_r = 4E-5$
	$E = 5000 \text{ MPa}$
	$\nu = 0.2$
$\sigma_v = \gamma h = 25 \cdot 280 = 7000 \text{ kPa} = 7 \text{ MPa}$	
Sostegno provvisorio:	0.25 m spritz beton
	0.25 m spritz beton
	2 centine IPN 180 accoppiate, con interasse 1 m
Sostegno definitivo:	anello di calcestruzzo di sp. medio 0.75 m dist. di posa dal fronte = 30 m

L'analisi evidenzia una sostanziale stabilità della sezione, con plasticizzazione corticale. Tali spostamenti sono trascurabili.

Le sollecitazioni sui rivestimenti, analogamente a quanto detto sopra, risultano molto ridotte.

Il rivestimento definitivo presenta una sollecitazione nel calcestruzzo dell'ordine dei 2 MPa.

GALLERIA
FRONTE SFERICO

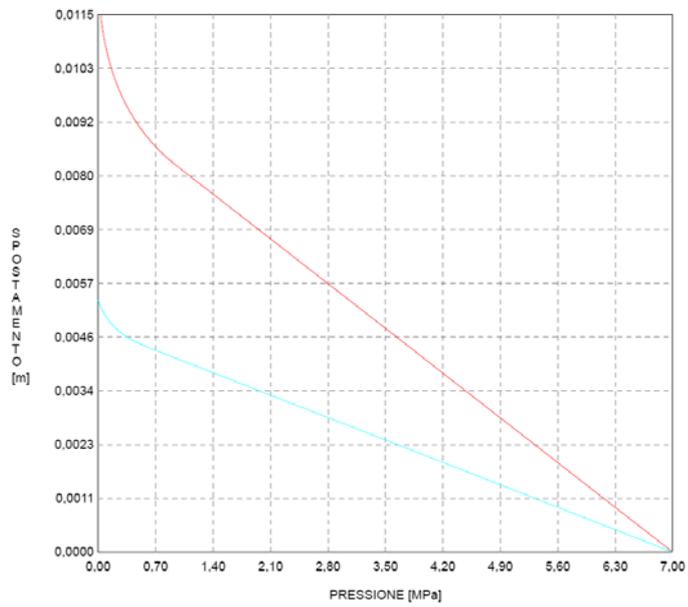


Figura 66: Sezione B0-faglia – Dolomia principale – Copertura 280 m – Linea caratteristica del fronte e del cavo senza sostegni

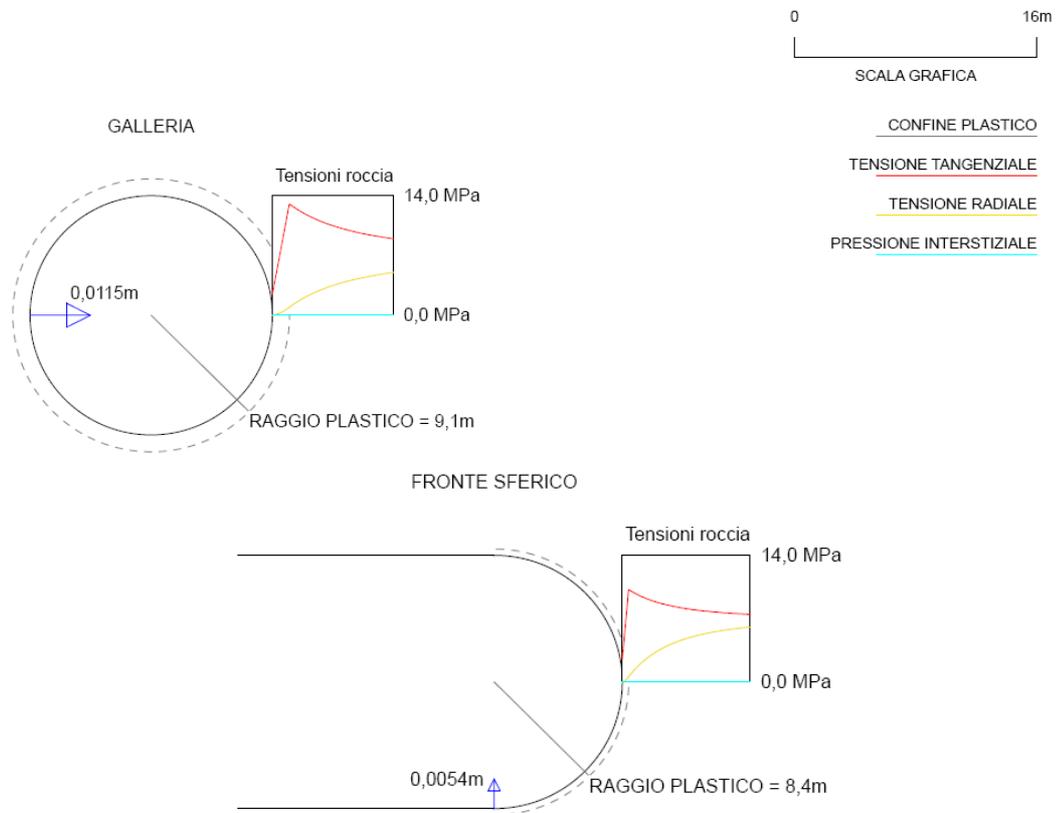


Figura 67: Sezione B0-faglia – Dolomia principale – Copertura 280 m – Fascia di plasticizzazione al fronte ed al cavo senza sostegni

AUTOSTRADA A31 TRENTO - ROVIGO
TRONCO TRENTO - VALDASTICO - PIOVENE ROCCHETTE

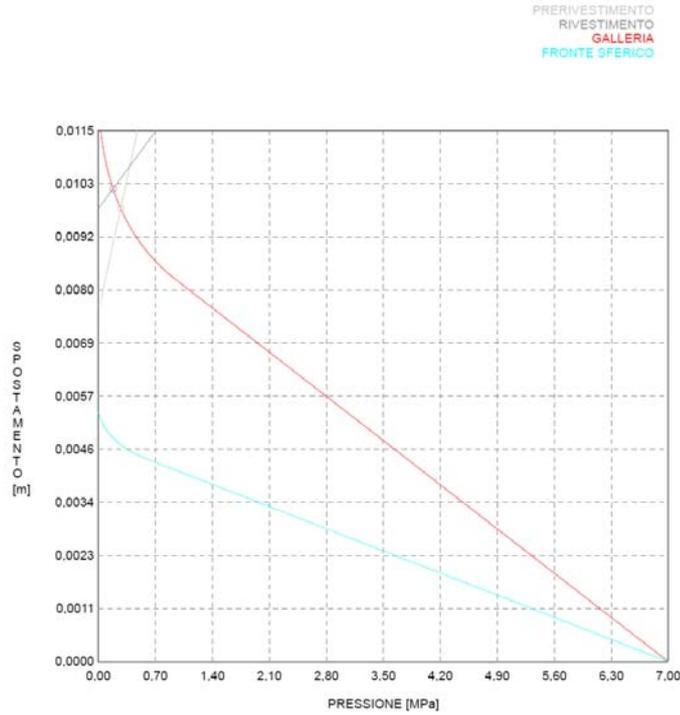


Figura 68: Sezione B0-faglia – Dolomia principale – Copertura 280 m – Linee caratteristiche del fronte e del cavo con il prerivestimento

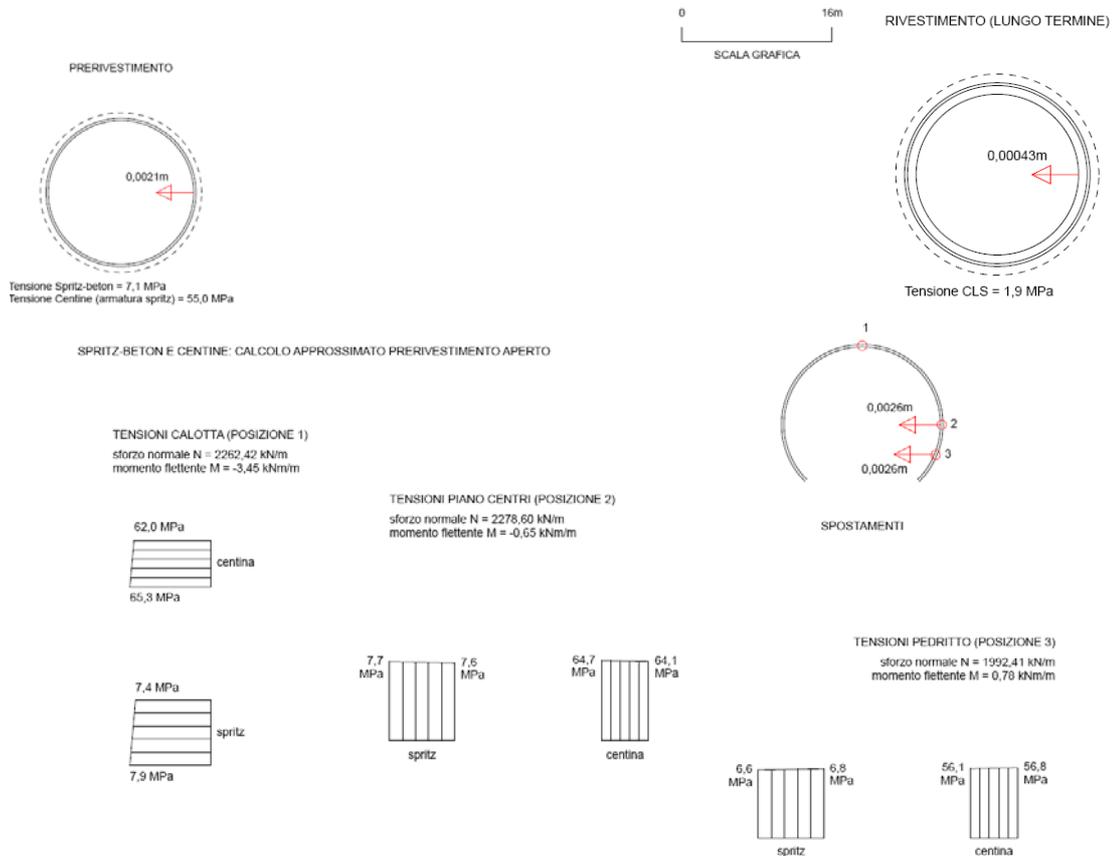


Figura 69: Sezione B0-faglia – Dolomia principale – Copertura 280 m – Sollecitazioni nel prerivestimento e rivestimento definitivo

AUTOSTRADA A31 TRENTO - ROVIGO
TRONCO TRENTO - VALDASTICO - PIOVENE ROCCHETTE

SEZIONE B1-Faglia		
Litotipo:	CALCARE GRIGIO	
Copertura:	220 m	
Caratteristiche roccia:	$\sigma_c = 50 \text{ MPa}$	
	$\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$	
	RMR = 45	
	$m_i = 12$	
	$m_p = 1.26$	
	$m_r = 0.88$	
	$s_p = 1E-3$	
	$s_r = 4E-5$	
	$E = 4000 \text{ MPa}$	
	$\nu = 0.2$	
$\sigma_v = \gamma h = 25 \cdot 220 = 5500 \text{ kPa} = 5.5 \text{ MPa}$		
Sostegno provvisorio:	12/13 chiodi Swellex	L = 6 m
		Spaz. circonfer. = 15°
		Spaz. longitud. = 1 m
		E = 200,000 MPa
		$\varnothing_{\text{ext}} = 54 \text{ mm}$
		Spessore = 3 mm
	0.25 m spritz beton	
2 centine IPN 180 accoppiate, con interasse 1 m		
Sostegno definitivo:	anello di calcestruzzo di sp. medio 0.75 m	
	dist. di posa dal fronte = 15 m = $1 \cdot \varnothing_{\text{galleria}}$	

Cavo e fronte risultano stabili, con plasticizzazione ridotta. Gli spostamenti sono trascurabili. I rivestimenti lavorano ben al di sotto del limite di rottura.

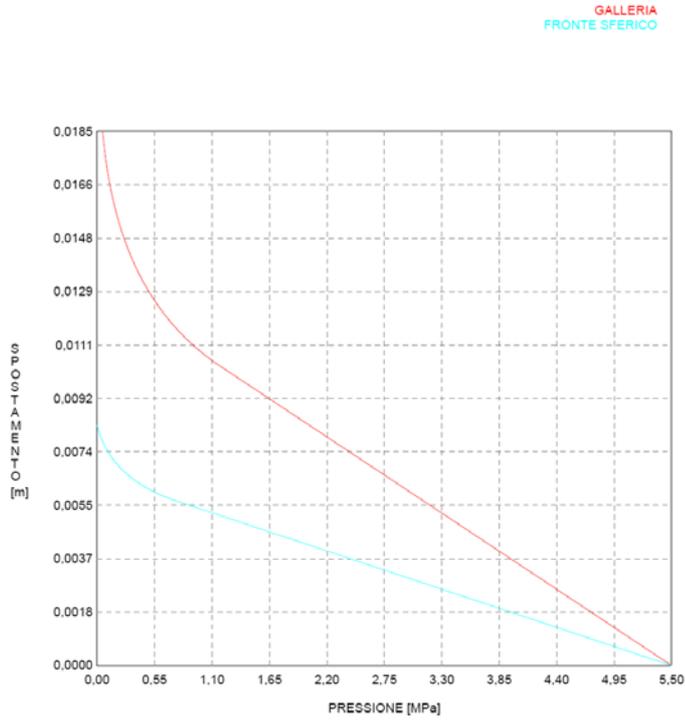


Figura 70: Sezione B1-Faglia – Calcare Grigio – Copertura 220 m – Linea caratteristica del fronte e del cavo senza sostegni

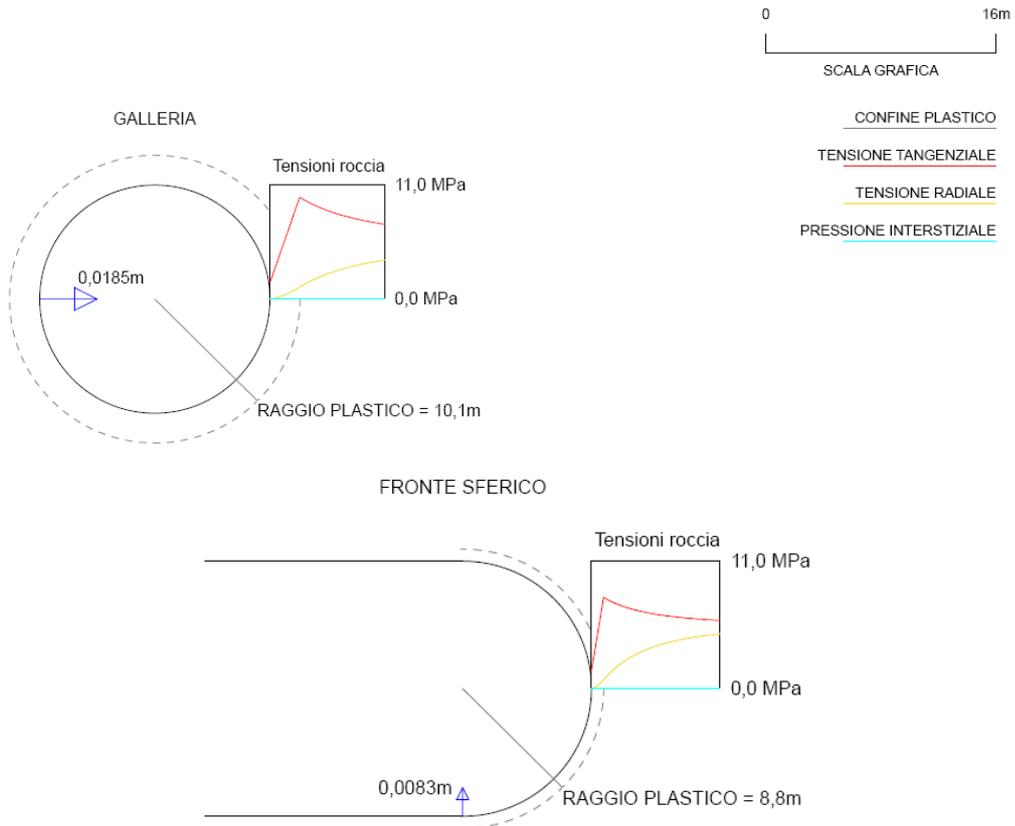


Figura 71: Sezione B1-Faglia – Calcare Grigio – Copertura 220 m – Fascia di plasticizzazione al fronte ed al cavo senza sostegni

AUTOSTRADA A31 TRENTO - ROVIGO
TRONCO TRENTO - VALDASTICO - PIOVENE ROCCHETTE

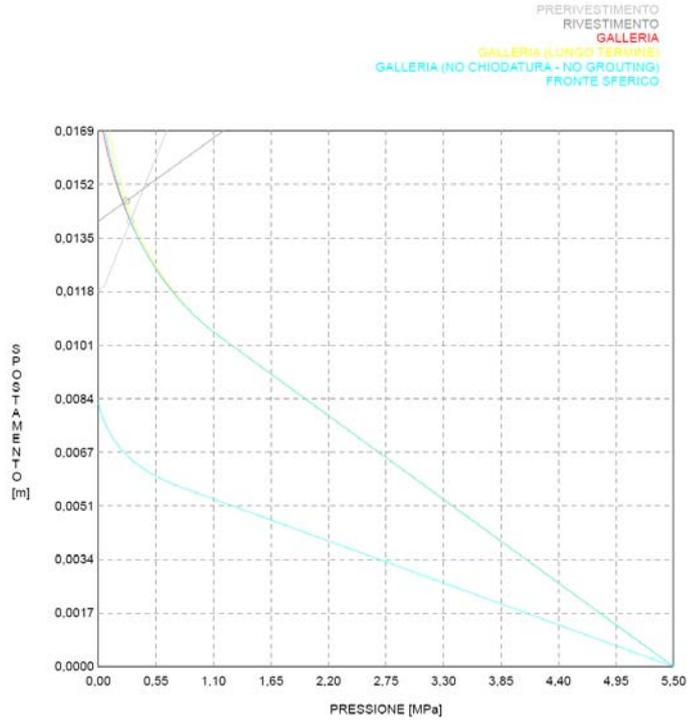


Figura 72: Sezione B1-Faglia – Calcare Grigio – Copertura 220 m – Linee caratteristiche del fronte e del cavo con il prerivestimento

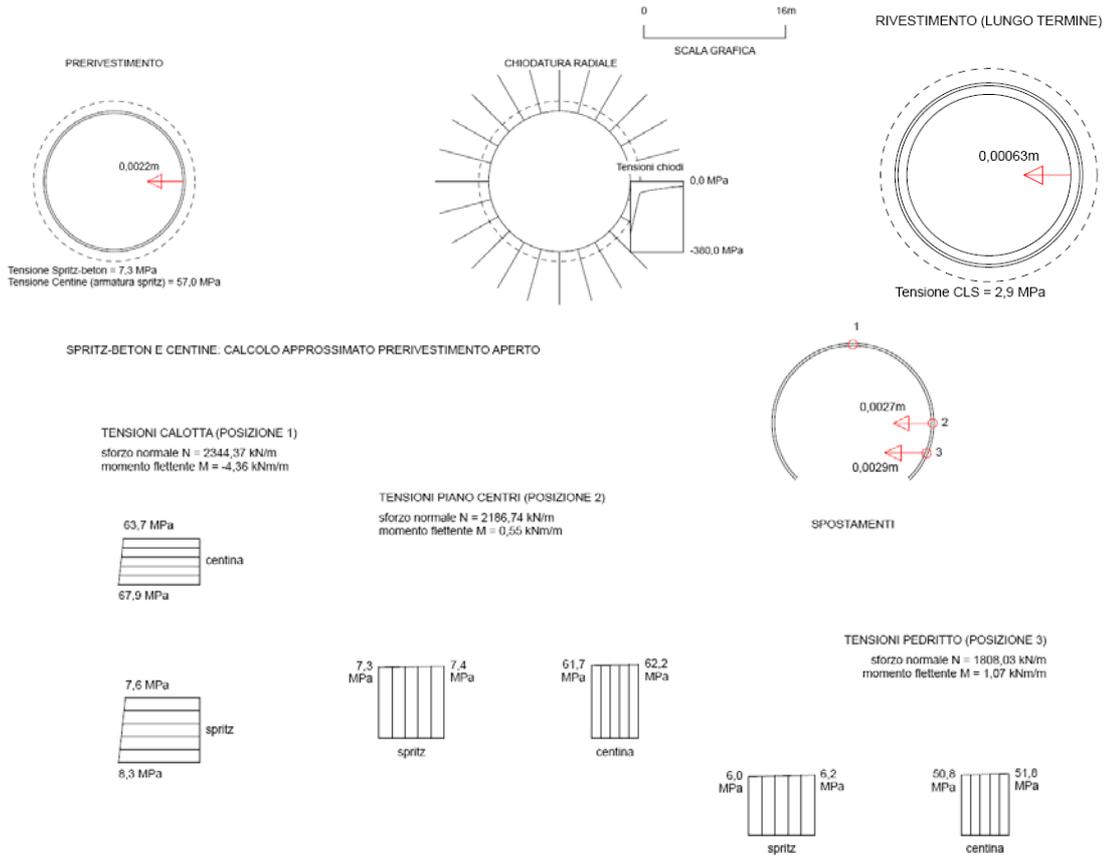


Figura 73: Sezione B1-Faglia – Calcare Grigio – Copertura 220 m – Sollecitazioni nel prerivestimento e rivestimento definitivo

AUTOSTRADA A31 TRENTO - ROVIGO
TRONCO TRENTO - VALDASTICO - PIOVENE ROCCHETTE

SEZIONE B1-Faglia		
Litotipo:	DOLOMIA PRINCIPALE	
Copertura:	380 m	
Caratteristiche roccia:	$\sigma_c = 80 \text{ MPa}$	
	$\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$	
	RMR = 45	
	$m_i = 18$	
	$m_p = 1.89$	
	$m_r = 1.32$	
	$s_p = 1E-3$	
	$s_r = 4E-5$	
	$E = 5000 \text{ MPa}$	
	$\nu = 0.2$	
$\sigma_v = \gamma h = 25 \cdot 380 = 9500 \text{ kPa} = 9.5 \text{ MPa}$		
Sostegno provvisorio:	12/13 chiodi Swellex	L = 6 m
		Spaz. circonfer. = 15°
		Spaz. longitud. = 1 m
		E = 200,000 MPa
		$\varnothing_{\text{ext}} = 54 \text{ mm}$
		Spessore = 3 mm
	0.25 m spritz beton	
2 centine IPN 180 accoppiate, con interasse 1 m		
Sostegno definitivo:	anello di calcestruzzo di sp. medio 0.75 m	
	dist. di posa dal fronte = 15 m = $1 \cdot \varnothing_{\text{galleria}}$	

Cavo e fronte presentano una sostanziale stabilità, con fascia plastica corticale.

I sostegni lavorano in campo elastico. Il rivestimento definitivo presenta una sollecitazione a lungo termine di circa 4 MPa.

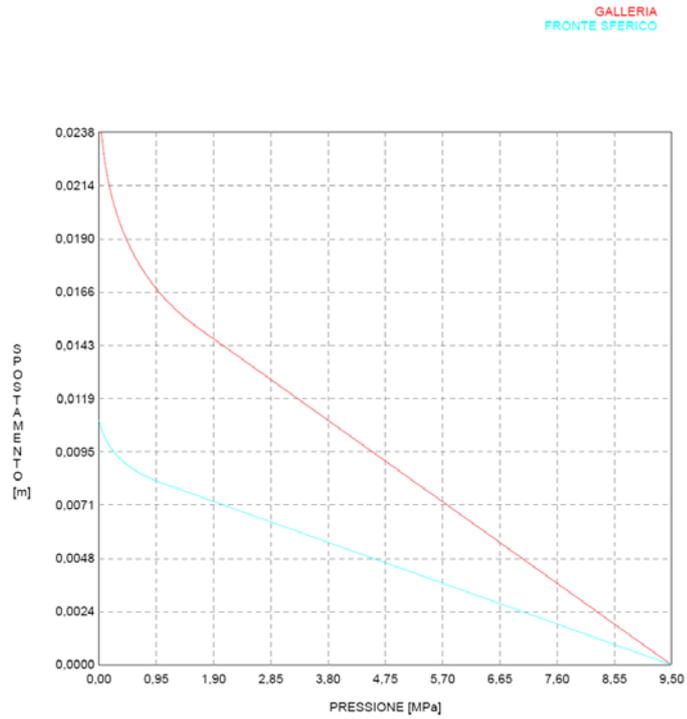


Figura 74: Sezione B1-faglia – Dolomia Principale – Copertura 380 m – Linea caratteristica del fronte e del cavo senza sostegni

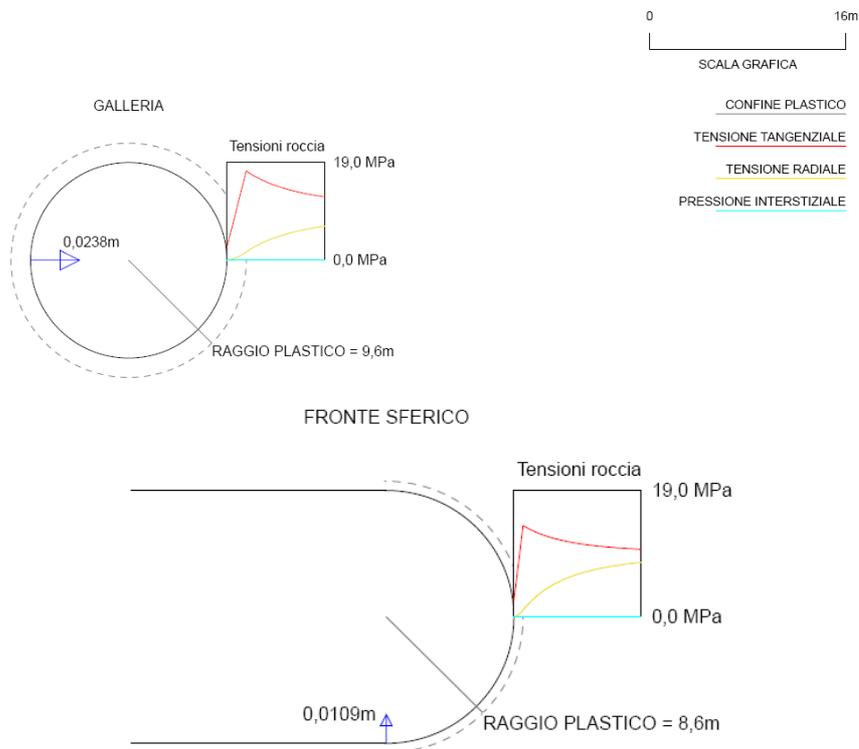


Figura 75: Sezione B1-faglia – Dolomia Principale – Copertura 380 m – Fascia di plasticizzazione al fronte ed al cavo senza sostegni

AUTOSTRADA A31 TRENTO - ROVIGO
TRONCO TRENTO - VALDASTICO - PIOVENE ROCCHETTE

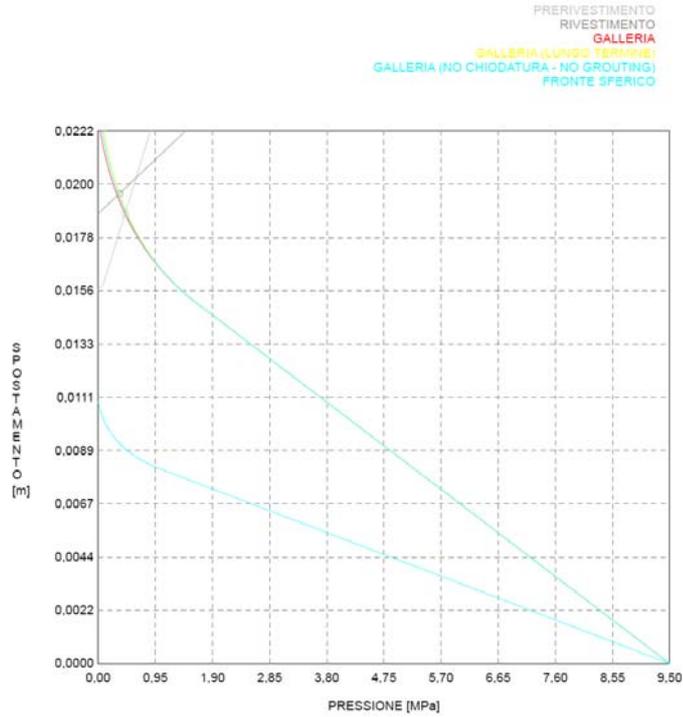


Figura 76: Sezione B1-faglia – Dolomia Principale – Copertura 380 m – Linee caratteristiche del fronte e del cavo con il prerivestimento

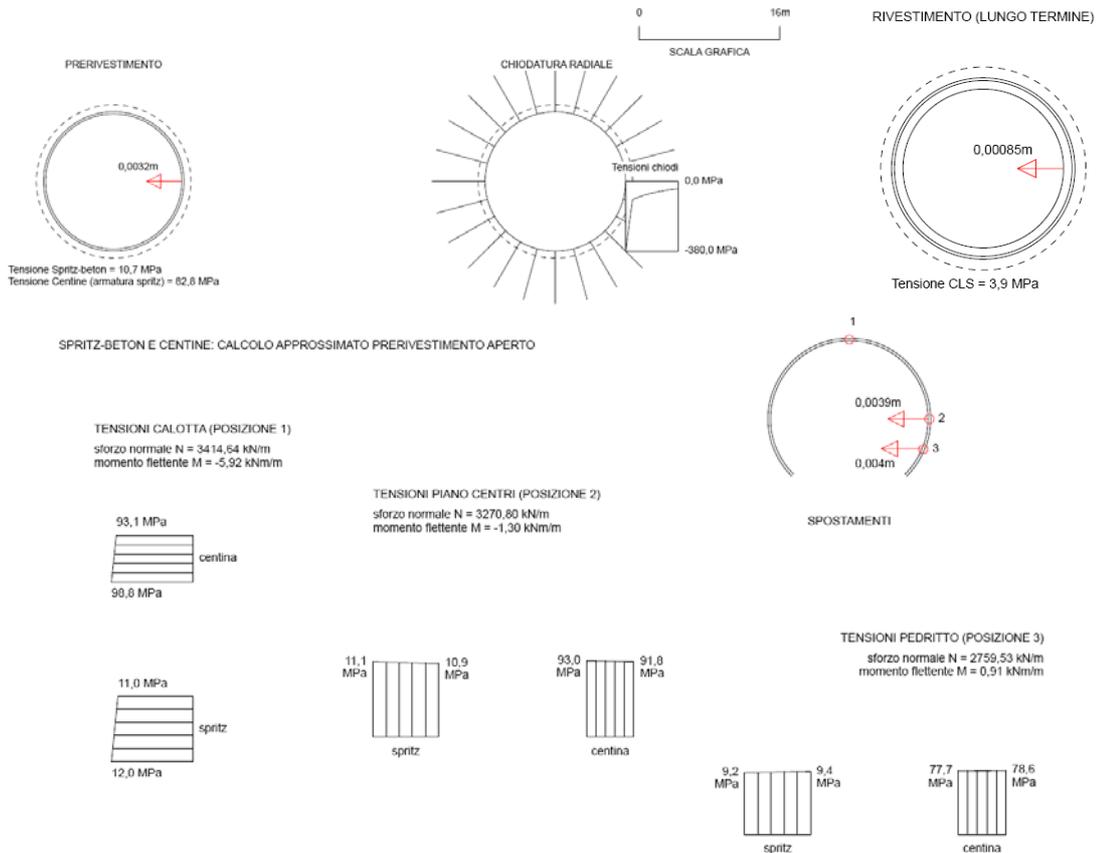


Figura 77: Sezione B1-faglia – Dolomia Principale – Copertura 380 m – Sollecitazioni nel prerivestimento e rivestimento definitivo

AUTOSTRADA A31 TRENTO - ROVIGO
TRONCO TRENTO - VALDASTICO - PIOVENE ROCCHETTE

SEZIONE B0V-Faglia		
Litotipo:	FORMAZIONE DI GIOVO/CONTRIN	
Copertura:	300 m	
Caratteristiche roccia:	$\sigma_c = 40 \text{ MPa}$	
	$\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$	
	Rmr = 35	
	$m_i = 12$	
	$m_p = 0.86$	
	$m_r = 0.60$	
	$s_p = 3.2E-4$	
	$s_r = 1.28E-5$	
	$E = 2000 \text{ MPa}$	
	$\nu = 0.2$	
$\sigma_v = \gamma h = 25 \cdot 300 = 7500 \text{ kPa} = 7.5 \text{ MPa}$		
Sostegno provvisorio:	Coronella di tubi metallici	n° 55
		L = 13 m/4 m di sovrapposizione
		$\varnothing_{\text{ext}} = 88.9 \text{ mm}$
		Spessore = 10 mm
	0.25 m spritz beton	
2 centine IPN 180 accoppiate, con interasse 1 m		
Sostegno definitivo:	anello di calcestruzzo di sp. medio 0.9 m dist. di posa dal fronte = 5 m	

L'analisi evidenzia la presenza di un fronte stabile, mentre il cavo tende a deformarsi in modo molto accentuato.

I sostegni lavorano in campo elastico, limitando le convergenze al contorno a circa 10 cm.

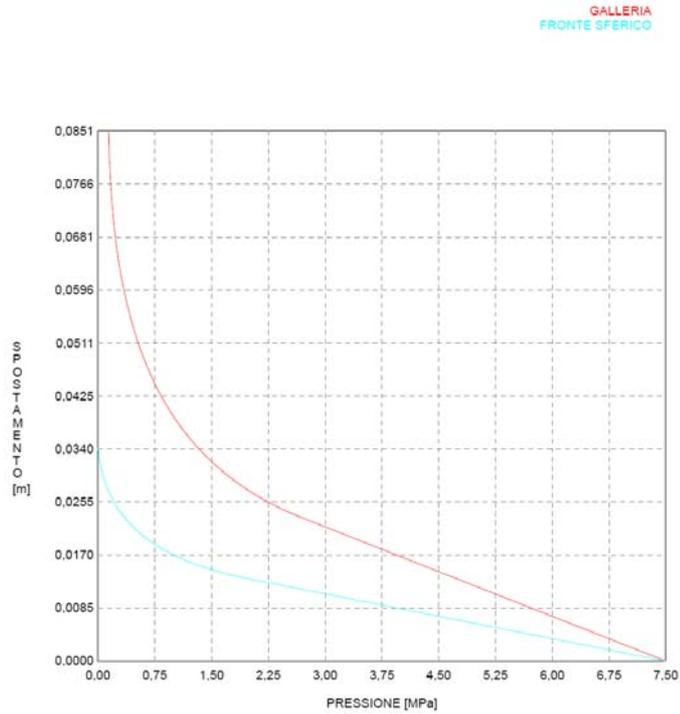


Figura 78: Sezione B0V-Faglia – Formazione di Giovo/Contrin – Copertura 300 m – Linea caratteristica del fronte e del cavo senza sostegni

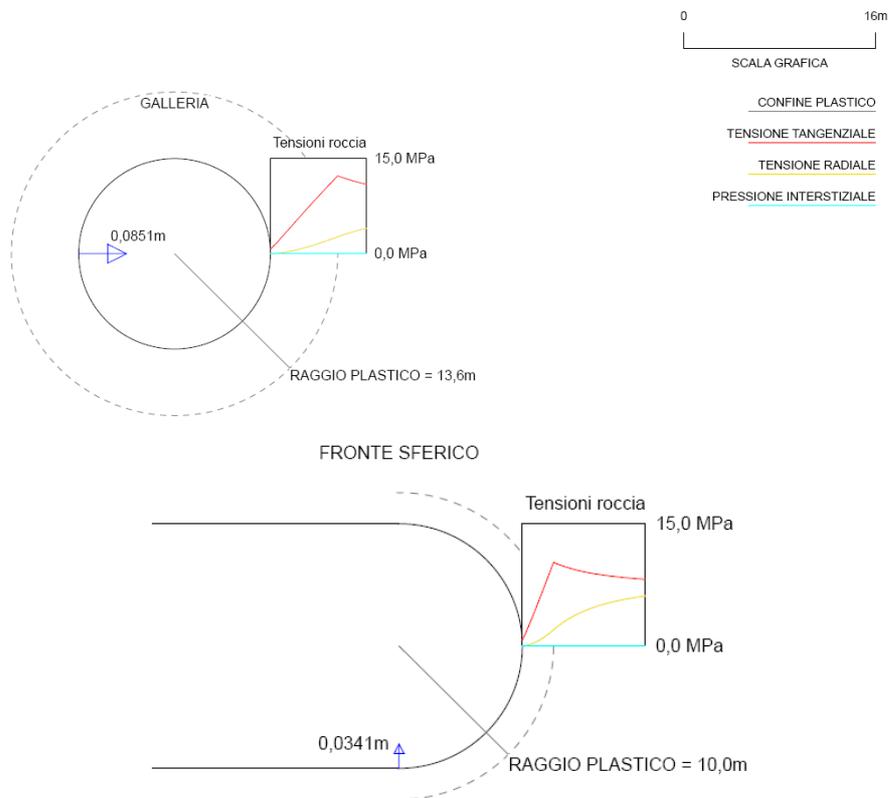


Figura 79: Sezione B0V-Faglia – Formazione di Giovo/Contrin – Copertura 300 m – Fascia di plasticizzazione al fronte ed al cavo senza sostegni

AUTOSTRADA A31 TRENTO - ROVIGO
TRONCO TRENTO - VALDASTICO - PIOVENE ROCCHETTE

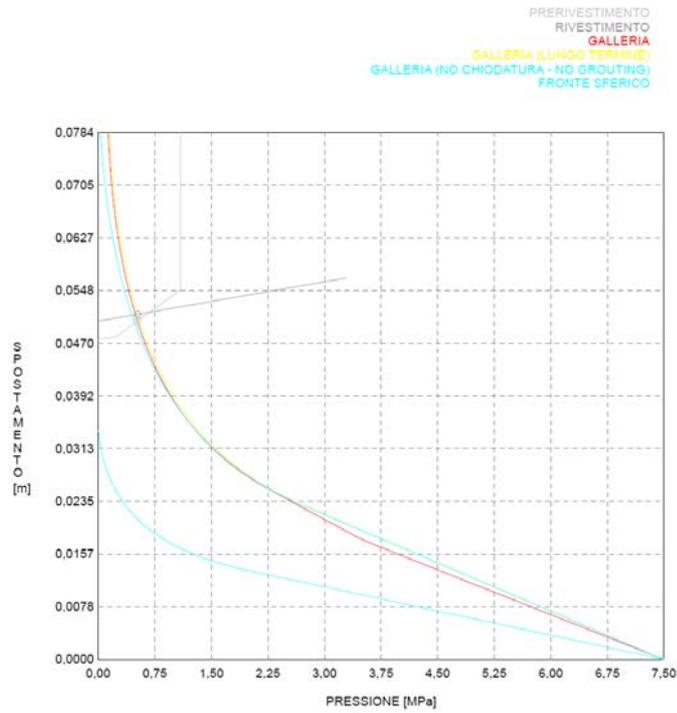


Figura 80: Sezione B0V-Faglia – Formazione di Giovo/Contrin – Copertura 300 m – Linee caratteristiche del fronte e del cavo con il prerivestimento

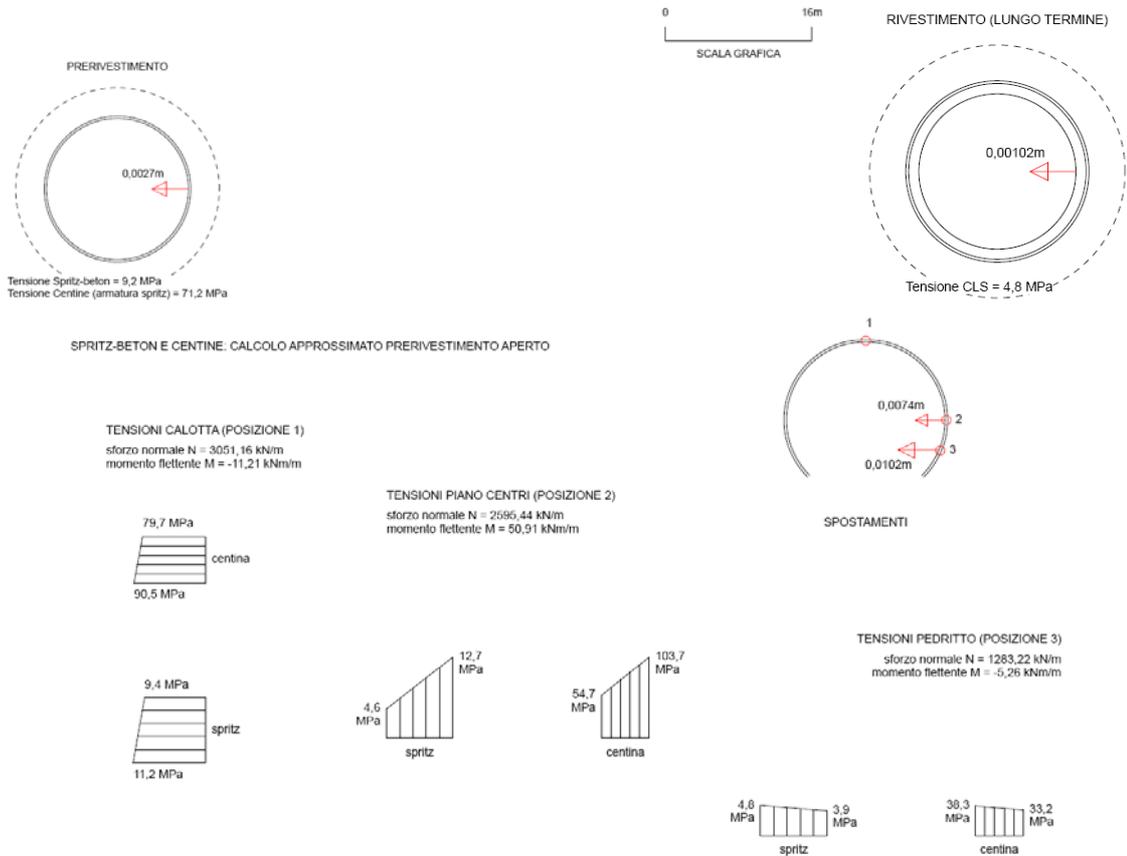


Figura 81: Sezione B0V-Faglia – Formazione di Giovo/Contrin – Copertura 300 m – Sollecitazioni nel prerivestimento e rivestimento definitivo

AUTOSTRADA A31 TRENTO - ROVIGO
TRONCO TRENTO - VALDASTICO - PIOVENE ROCCHETTE

SEZIONE B0V-Faglia	
Litotipo:	CALCARE DI M.TE SPITZ
Copertura:	850 m
Caratteristiche roccia:	$\sigma_c = 54 \text{ MPa}$
	$\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$
	Rmr = 55
	$m_i = 12$
	$m_p = 1.83$
	$m_r = 1.28$
	$s_p = 3.2E-3$
	$s_r = 1.28E-4$
	$E = 7350 \text{ MPa}$
	$\nu = 0.2$
$\sigma_v = \gamma h = 25 \cdot 850 = 21250 \text{ kPa} = 21.250 \text{ MPa}$	
Sostegno provvisorio:	Coronella di tubi metallici
	n° 55
	L = 13 m/4 m di sovrapposizione
	$\varnothing_{\text{ext}} = 88.9 \text{ mm}$
	Spessore = 10 mm
	0.25 m spritz beton
	2 centine IPN 180 accoppiate, con interasse 1 m
Sostegno definitivo:	anello di calcestruzzo di sp. medio 0.9 m dist. di posa dal fronte = 5 m

Cavo e fronte risultano stabili, seppur con elevato grado di plasticizzazione. La posa dei sostegni consente di ridurre gli spostamenti al cavo, con sollecitazioni sui rivestimenti del tutto accettabili.

GALLERIA
FRONTE SFERICO

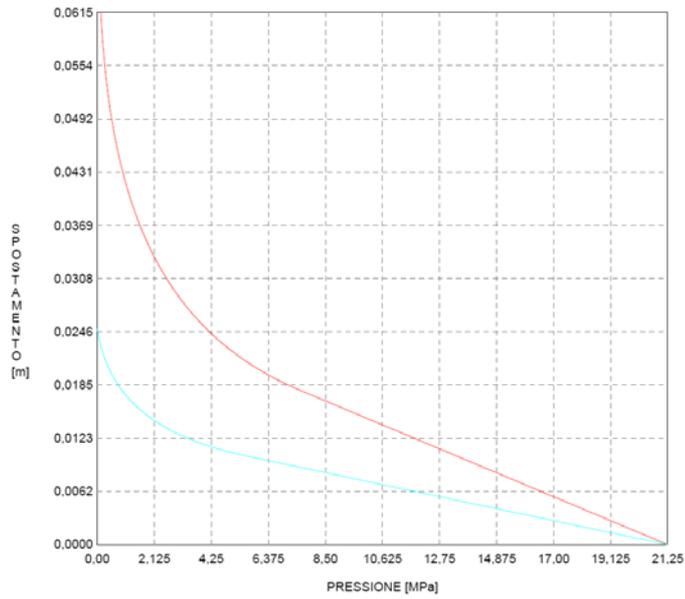


Figura 82: Sezione B0V-Faglia – Calcare di M.te Spitz – Copertura 850 m – Linea caratteristica del fronte e del cavo senza sostegni

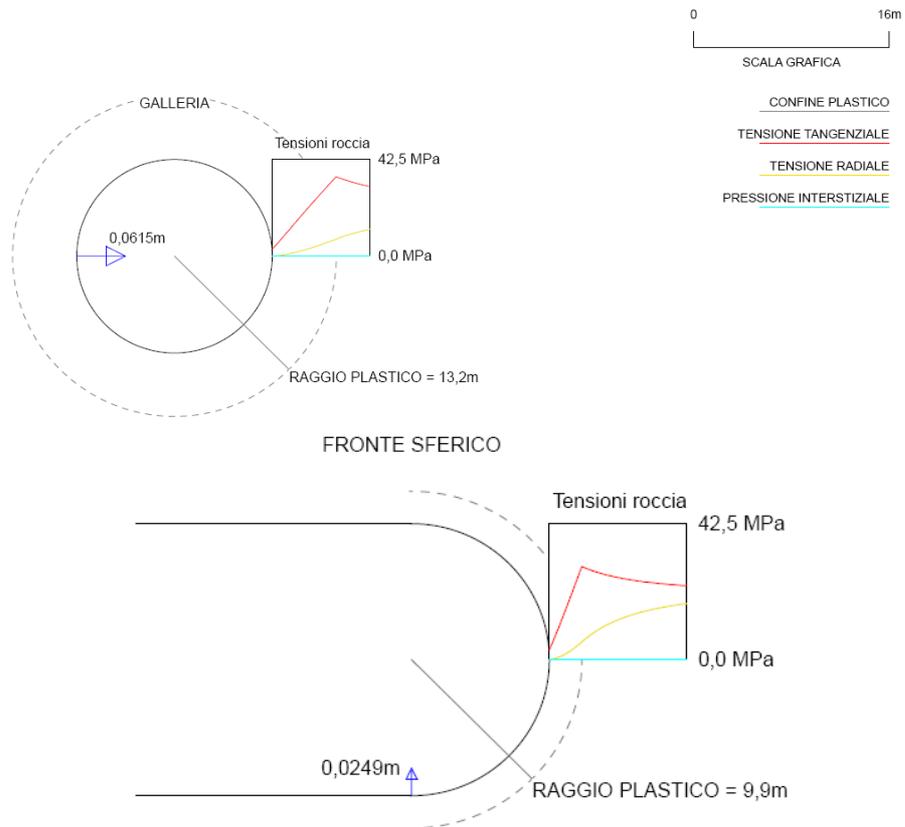


Figura 83: Sezione B0V-Faglia – Calcare di M.te Spitz – Copertura 850 m – Fascia di plasticizzazione al fronte ed al cavo senza sostegni

AUTOSTRADA A31 TRENTO - ROVIGO
TRONCO TRENTO - VALDASTICO - PIOVENE ROCCHETTE

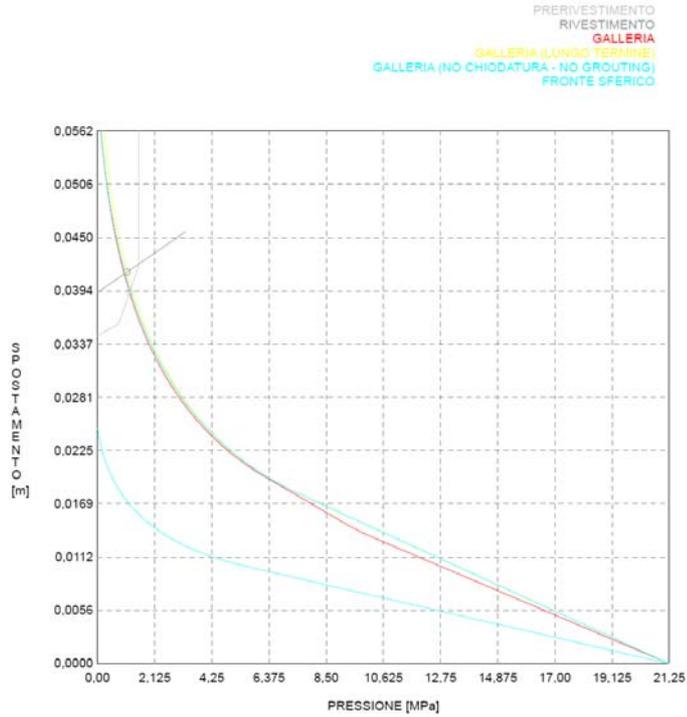


Figura 84: Sezione B0V-Faglia – Calcare di M.te Spitz – Copertura 850 m – Linee caratteristiche del fronte e del cavo con il prerivestimento

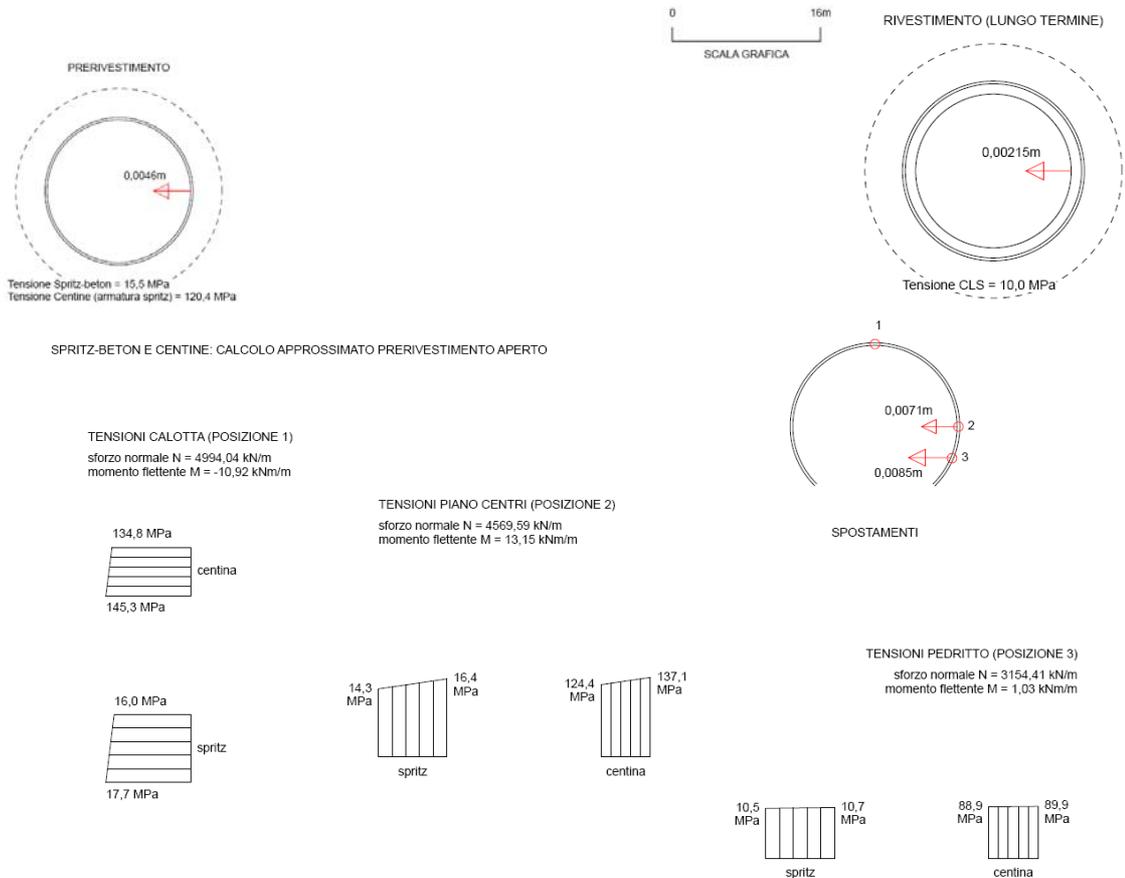


Figura 85: Sezione B0V-Faglia – Calcare di M.te Spitz – Copertura 850 m – Sollecitazioni nel prerivestimento e rivestimento definitivo

AUTOSTRADA A31 TRENTO - ROVIGO
TRONCO TRENTO - VALDASTICO - PIOVENE ROCCHETTE

SEZIONE B2V-Faglia		
Litotipo:	FORMAZIONE A NODOSUS	
Copertura:	760 m	
Caratteristiche roccia:	$\sigma_c = 30 \text{ MPa}$	
	$\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$	
	RMR = 35	
	$m_i = 12$	
	$m_p = 0.86$	
	$m_r = 0.60$	
	$s_p = 3.2E-4$	
	$s_r = 1.28E-5$	
	$E = 1730 \text{ MPa}$	
	$\nu = 0.2$	
$\sigma_v = \gamma h = 25 \cdot 760 = 19000 \text{ kPa} = 19 \text{ MPa}$		
Sostegno provvisorio:	Consolidamento al fronte con tubi VTR	n° 64
		L = 18 m/9 m di sovrapposizione
		$A_{\text{influenza}} = 3 \text{ m}^2$
	Coronella di tubi metallici	n° 55
		L = 13 m/4 m di sovrapposizione
		$\varnothing_{\text{ext}} = 88.9 \text{ mm}$
		Spessore = 10 mm
	0.25 m spritz beton	
2 centine IPN 180 accoppiate, con interasse 1 m		
Sostegno definitivo:	anello di calcestruzzo di sp. medio 0.9 m dist. di posa dal fronte = 5 m	

Cavo e fronte non sono stabili in assenza di sostegni.

La posa dei rivestimenti garantisce la stabilità della sezione seppur con convergenze molto elevate.

La sezione richiede il getto del rivestimento definitivo a breve distanza dal fronte, al fine di ridurre le sollecitazioni sui sostegni e gli spostamenti al contorno.

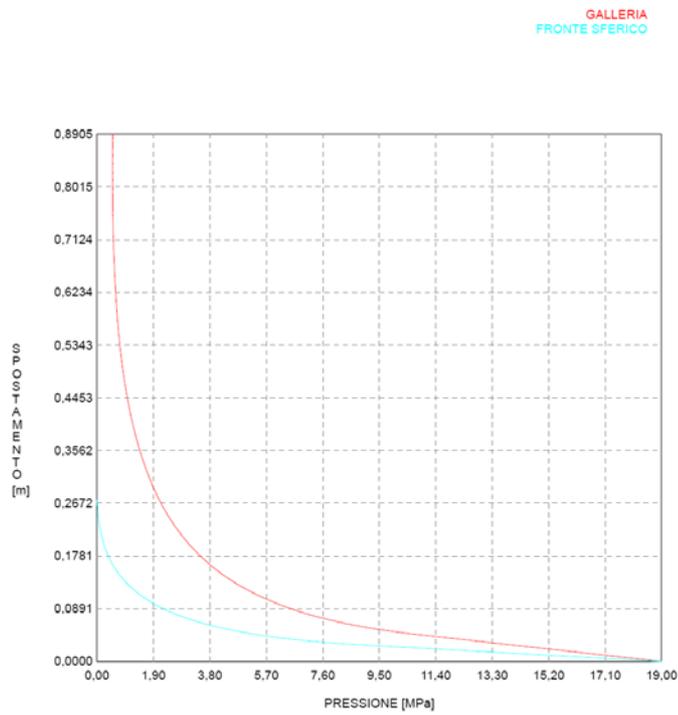


Figura 86: Sezione B2V-Faglia – Formazione a Nodosus – Copertura 760 m – Linea caratteristica del fronte e del cavo senza sostegni

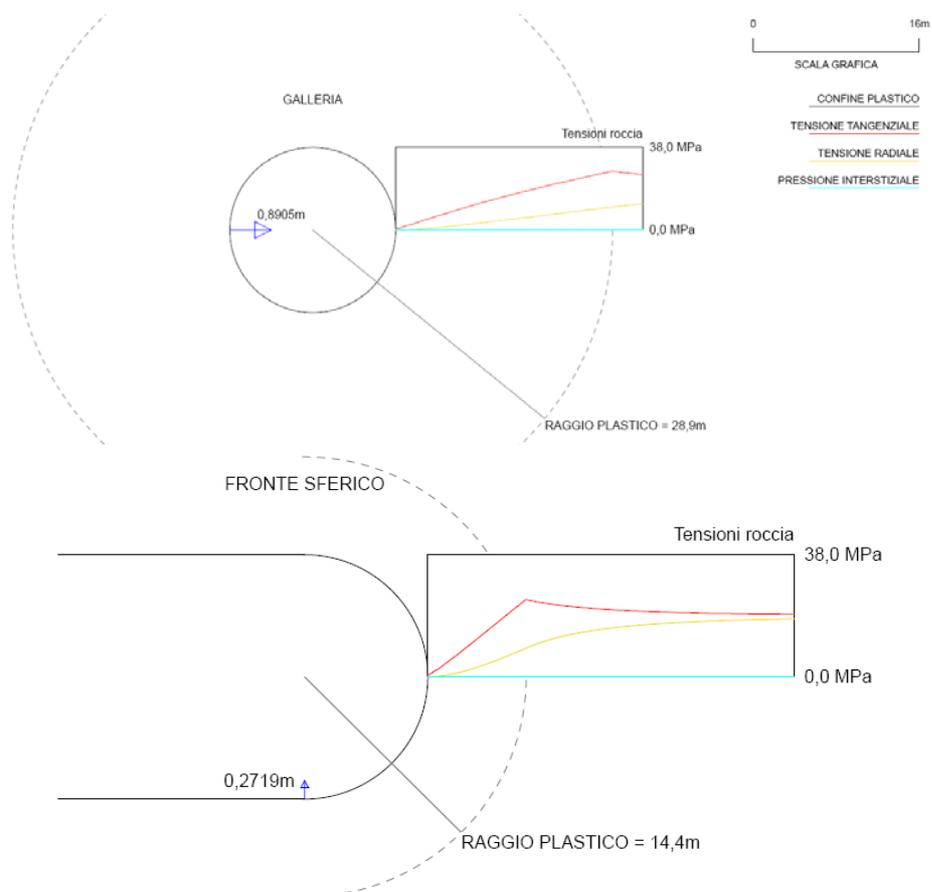


Figura 87: Sezione B2V-Faglia – Formazione a Nodosus – Copertura 760 m – Fascia di plasticizzazione al fronte ed al cavo senza sostegni

AUTOSTRADA A31 TRENTO - ROVIGO
TRONCO TRENTO - VALDASTICO - PIOVENE ROCCHETTE

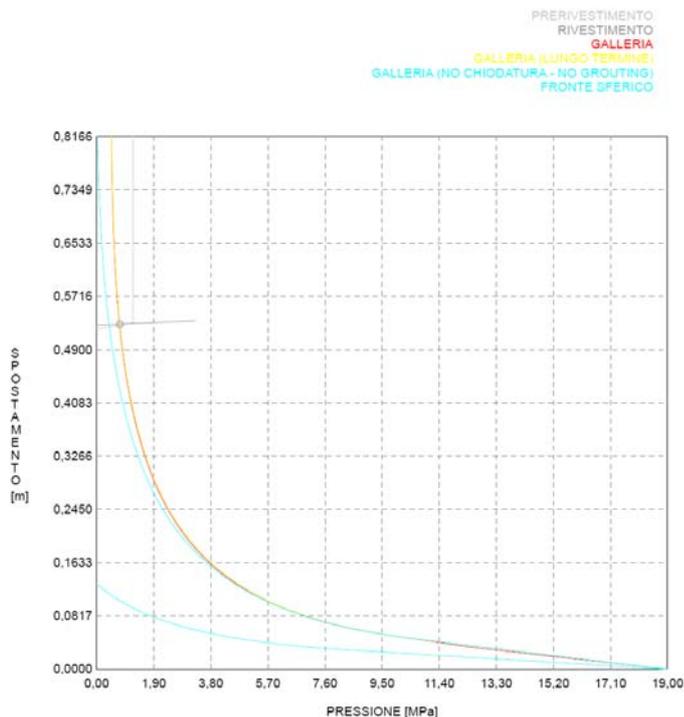


Figura 88 Sezione B2V-Faglia – Formazione a Nodosus – Copertura 760 m – Linee caratteristiche del fronte e del cavo con il prerivestimento

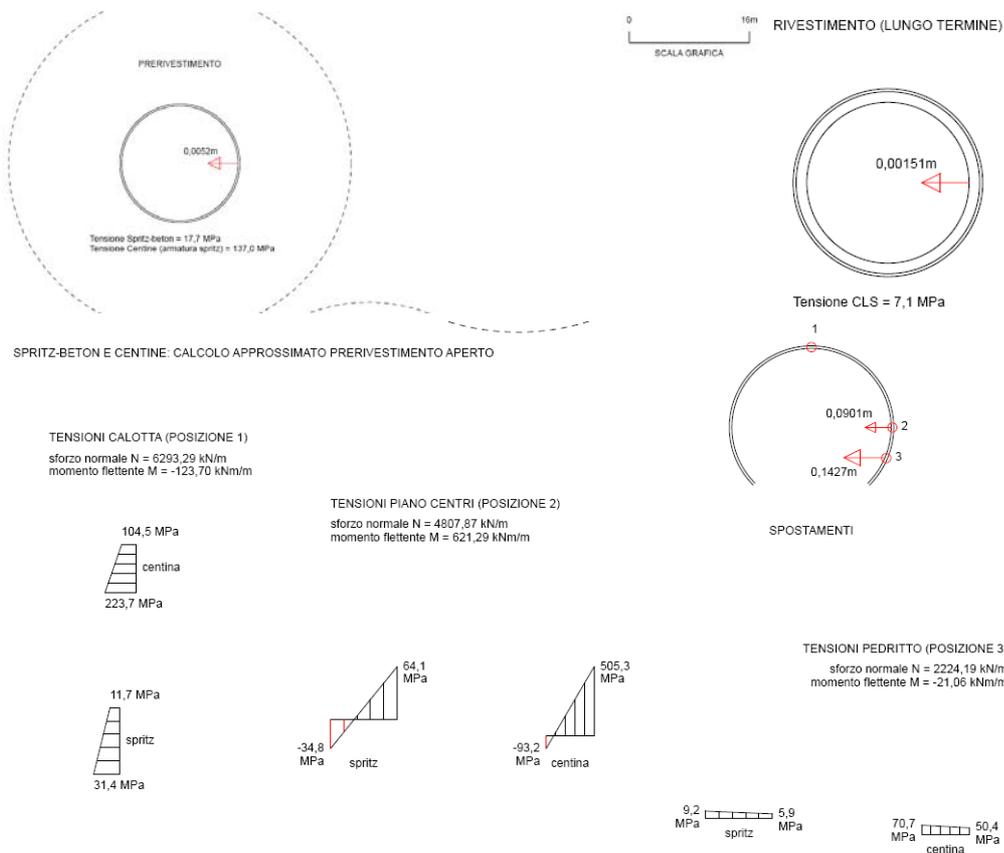


Figura 89: Sezione B2V-Faglia – Formazione a Nodosus – Copertura 760 m – Sollecitazioni nel prerivestimento e rivestimento definitivo

AUTOSTRADA A31 TRENTO - ROVIGO
TRONCO TRENTO - VALDASTICO - PIOVENE ROCCHETTE

SEZIONE B2V-Faglia		
Litotipo:	CALCARI SCURI DI MARGON	
Copertura:	1400 m	
Caratteristiche roccia:	$\sigma_c = 36 \text{ MPa}$	
	$\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$	
	RMR = 30	
	$m_i = 12$	
	$m_p = 0.72$	
	$m_r = 0.50$	
	$s_p = 1.8E-4$	
	$s_r = 7.2E-6$	
	E = 1000 MPa	
	v = 0.2	
$\sigma_v = \gamma h = 25 \cdot 1400 = 35000 \text{ kPa} = 35 \text{ MPa}$		
Sostegno provvisorio:	Consolidamento al fronte con tubi VTR	n° 64
		L = 18 m/9 m di sovrapposizione
		$A_{\text{influenza}} = 3 \text{ m}^2$
	Coronella di tubi metallici	n° 55
		L = 13 m/4 m di sovrapposizione
		$\varnothing_{\text{ext}} = 88.9 \text{ mm}$
		Spessore = 10 mm
	0.25 m spritz beton	
2 centine IPN 180 accoppiate, con interasse 1 m		
Sostegno definitivo:	anello di calcestruzzo di sp. medio 0.9 m dist. di posa dal fronte = 5 m	

Cavo e fronte non sono stabili in assenza di sostegni.

La posa del rivestimento garantisce la stabilità della sezione, seppur con convergenze molto elevate.

La sezione richiede il getto del rivestimento definitivo a breve distanza dal fronte, al fine di ridurre le sollecitazioni sui sostegni e gli spostamenti al contorno.

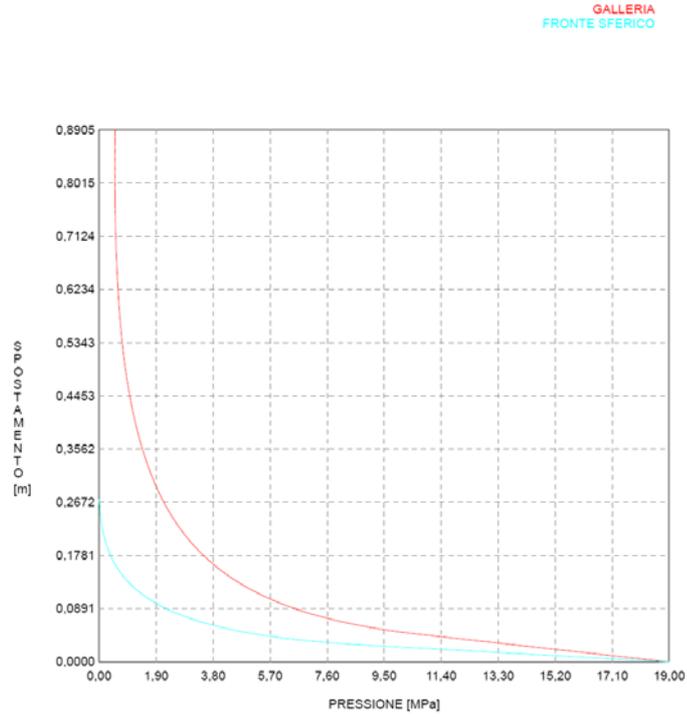


Figura 90: Sezione B2V-Faglia – Calcari scuri di Margon – Copertura 1400 m – Linea caratteristica del fronte e del cavo senza sostegni

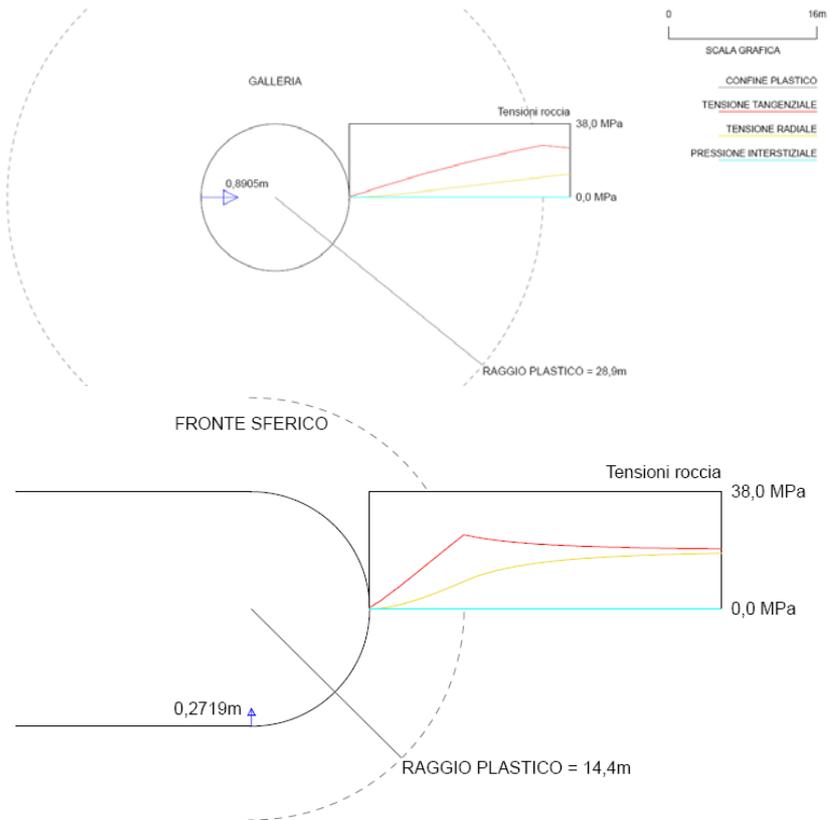


Figura 91: Sezione B2V-Faglia – Calcari scuri di Margon – Copertura 1400 m – Fascia di plasticizzazione al fronte ed al cavo senza sostegni

AUTOSTRADA A31 TRENTO - ROVIGO
TRONCO TRENTO - VALDASTICO - PIOVENE ROCCHETTE

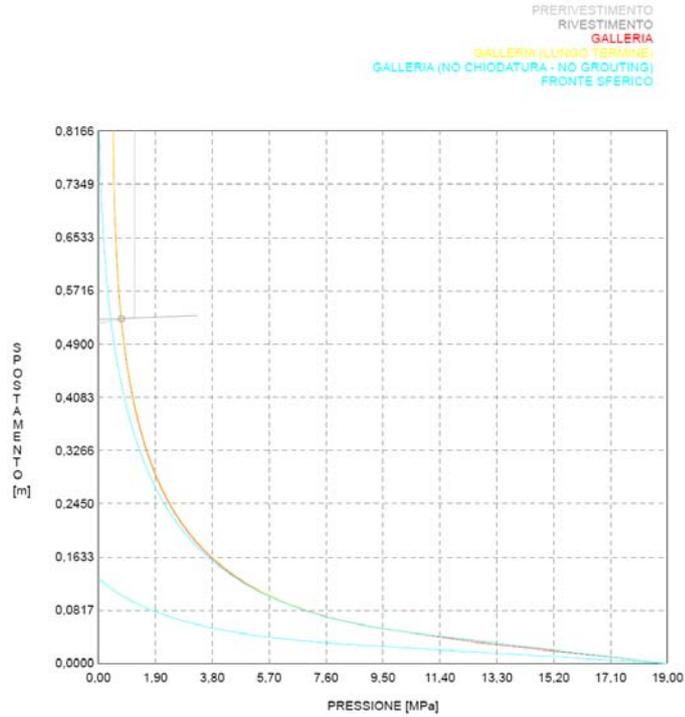


Figura 92: Sezione B2V-Faglia – Calcarì scuri di Margon – Copertura 1400 m –Linee caratteristiche del fronte e del cavo con il prerivestimento

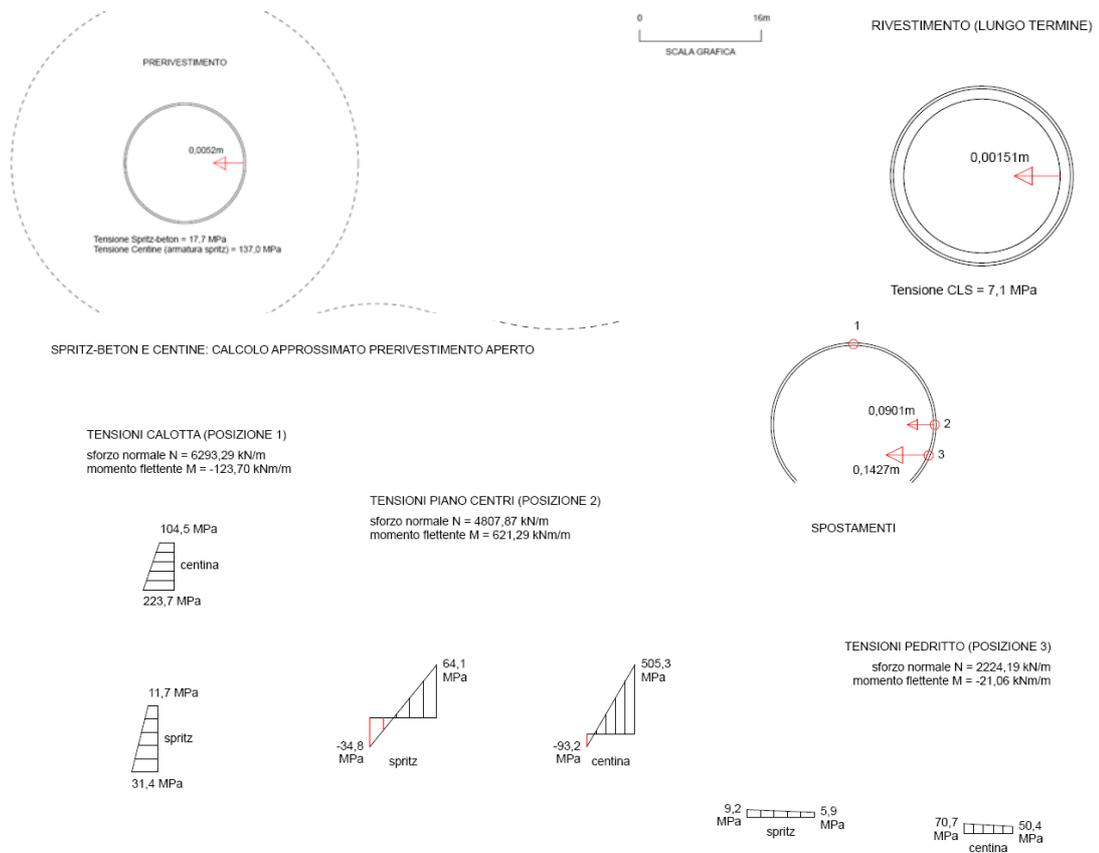


Figura 93: Sezione B2V-Faglia – Calcarì scuri di Margon – Copertura 1400 m – Sollecitazioni nel prerivestimento e rivestimento definitivo

AUTOSTRADA A31 TRENTO - ROVIGO
TRONCO TRENTO - VALDASTICO - PIOVENE ROCCHETTE

SEZIONE C2 - Faglia		
Litotipo:	FORMAZIONE DI WERFEN	
Copertura:	630 m	
Caratteristiche roccia:	$\sigma_c = 30 \text{ MPa}$	
	$\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$	
	RMR = 30	
	$m_i = 12$	
	$m_p = 0.72$	
	$m_r = 0.5$	
	$s_p = 1.8E-4$	
	$s_r = 7.2E-6$	
	$E = 1000 \text{ MPa}$	
	$\nu = 0.2$	
$\sigma_v = \gamma h = 25 \cdot 630 = 1575 \text{ kPa} = 15.75 \text{ MPa}$		
Sostegno provvisorio:	Consolidamento al contorno con tubi VTR	n° 64 L = 15 m/6 m di sovrapposizione
	Consolidamento al fronte con VTR	n° 80 L = 18 m/9 m di sovrapposizione
		$A_{\text{influenza}} = 2.5 \text{ m}^2$
	0.30 m spritz beton	
	2 centine IPN 220 accoppiate, con interasse 1 m	
Sostegno definitivo:	anello di calcestruzzo di sp. medio 0.9 m dist. di posa dal fronte = 5 m	

In assenza di sostegni cavo e fronte non sono stabili.

La posa del rivestimento garantisce la stabilità della sezione.

Gli spostamenti al cavo sono molto elevati e richiedono quindi il getto del rivestimento definitivo a breve distanza dal fronte. Questo consentirà inoltre di chiudere la sezione e ridistribuire quindi le sollecitazioni al contorno.

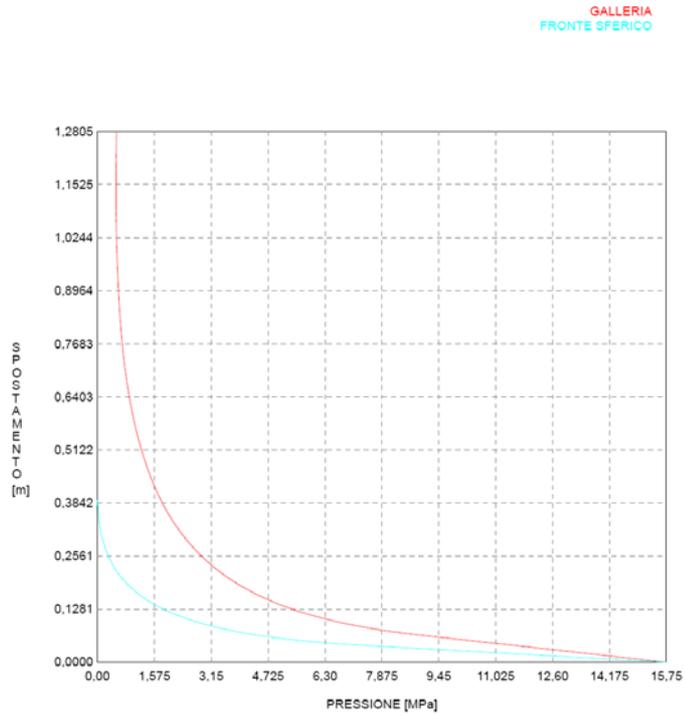


Figura 94: Sezione C2-Faglia – Formazione di Werfen – Copertura 630 m – Linea caratteristica del fronte e del cavo senza sostegni

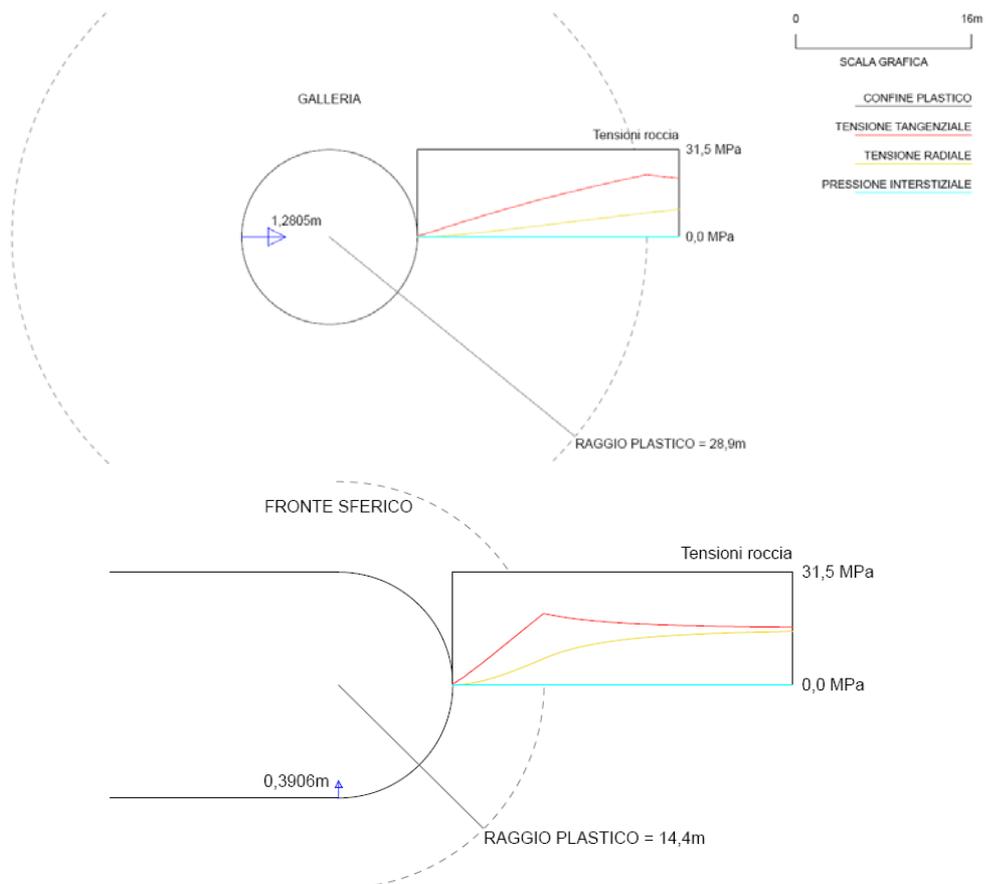


Figura 95: Sezione C2-Faglia – Formazione di Werfen – Copertura 630 m – Fascia di plasticizzazione al fronte ed al cavo senza sostegni

AUTOSTRADA A31 TRENTO - ROVIGO
TRONCO TRENTO - VALDASTICO - PIOVENE ROCCHETTE

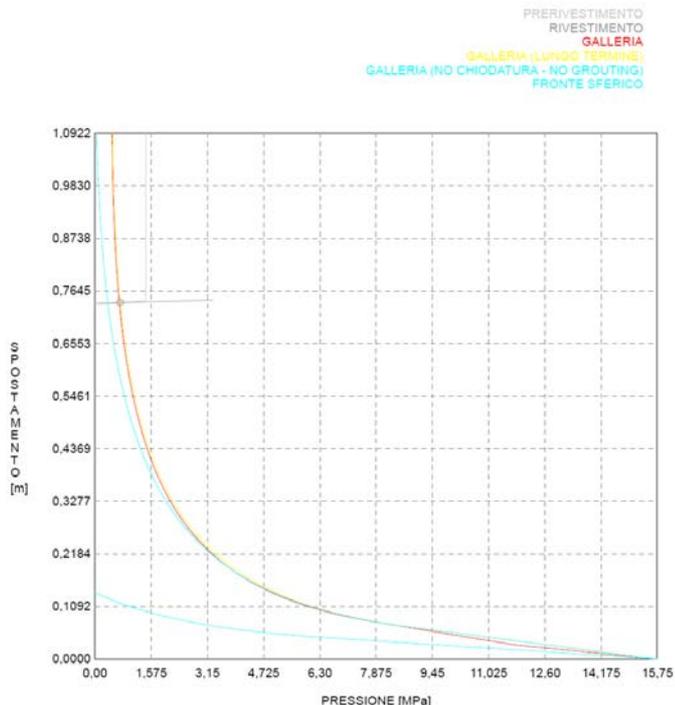


Figura 96: Sezione C2-Faglia – Formazione di Werfen – Copertura 630 m – Linee caratteristiche del fronte e del cavo con il prerivestimento

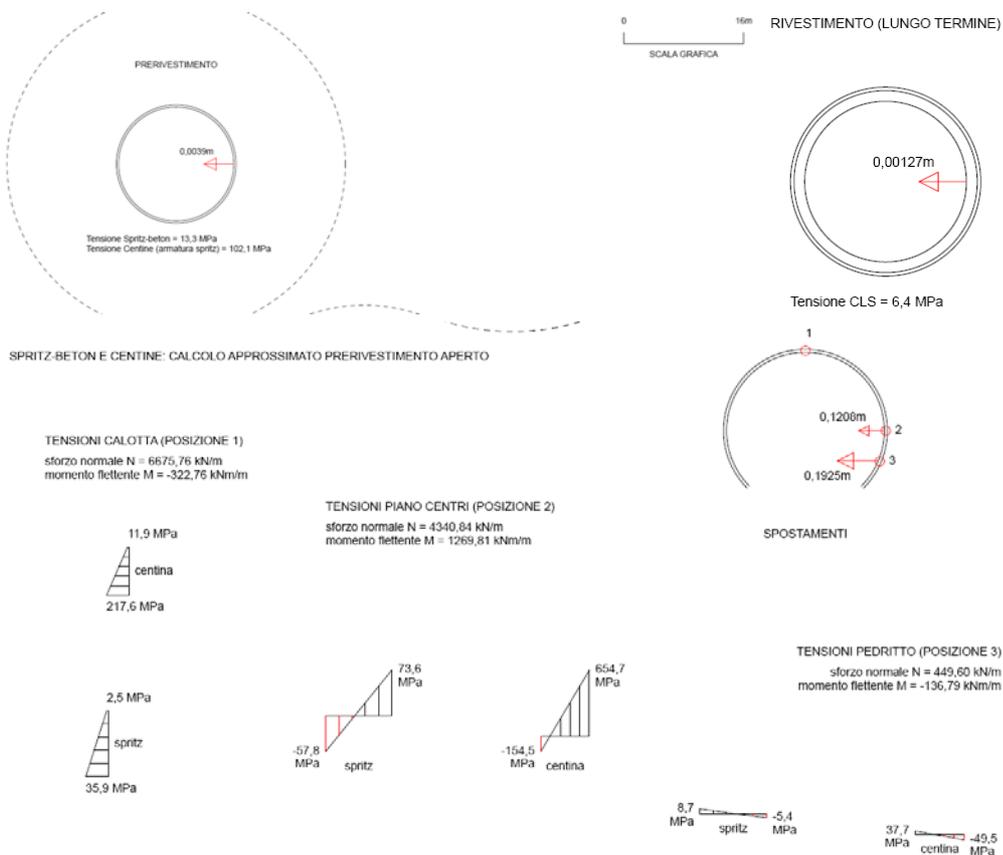


Figura 97: Sezione C2-Faglia – Formazione di Werfen – Copertura 630 m – Sollecitazioni nel prerivestimento e rivestimento definitivo

5.3 Nota di sintesi

Le sezioni analizzate sono tutte verificate. Osservando i profili nel complesso si rileva la presenza di due diverse tipologie litologiche, tipo *a*, caratterizzato da materiali di qualità medio-alta, che richiedono sezioni di sostegno leggere, e materiali di tipo *b*, più scadenti, la cui stabilità richiede l'adozione di sezioni pesanti, con eventuali interventi migliorativi della massa rocciosa.

Generalmente i materiali di tipo *b* tendono ad interessare la galleria per tratti limitati, in corrispondenza di anticlinali, ma in presenza di coperture molto elevate, dell'ordine dei 1000-1500 metri.

In termini generali, comunque, la quasi totalità delle sezioni analizzate, anche in materiali di tipo *b*, presenta un fronte stabile, ed eventualmente problemi di stabilità limitati al cavo.

Nella seguente Tabella 8 si sintetizzano le percentuali di applicazione delle diverse sezioni tipo di avanzamento, per i sei tracciati esaminati:

Tabella 8: Incidenza indicativa delle sezioni tipo di avanzamento								
Tracciato	Lunghezza complessiva gallerie naturali [km]	Incidenza percentuale sezioni tipo di avanzamento [%]						
		A1	B0	B1	B0V	B2V	C1	C2
T1	44.63	61	16	16.5	0.5	-	6	-
T2	31.55	62	16	13.5	0.5	-	8	-
T3	33.15	54	12	23	-	-	7	4
T4	28.70	58	15	10	5	3	9	-
T5	32.08	66	17	1	-	-	9	7
T6	41.25	53	22.5	11	3	-	6	4.5

Come è possibile osservare nella Tabella 8, tutti i tracciati presentano una distribuzione simile delle diverse sezioni di avanzamento, con una prevalenza della sezione A1, utilizzata nei materiali competenti appartenenti alla tipologia *a*.

6 SCAVO MECCANIZZATO

6.1 Introduzione

Lo scavo con macchina TBM è previsto, in alternativa allo scavo tradizionale, nelle gallerie a maggiore estensione planimetrica nei diversi tracciati, mentre per le restanti gallerie naturali si procederà in modalità tradizionale. Nella seguente tabella si riassumono per ciascun tracciato i tratti con avanzamento di tipo tradizionale nelle gallerie di rilevanza secondaria e l'incidenza delle sezioni tipo:

Tabella 9 – Scavo meccanizzato e tradizionale - Incidenza delle sezioni tipo per i tratti scavati in tradizionale								
Tracciato	Lunghezza scavo tradizionale [km]	Incidenza percentuale sezioni tipo di avanzamento						
		A1	B0	B1	B0V	B2V	C1	C2
T1	15.83	66	17	-	-	-	7	-
T2	13.70	66	17	-	-	-	7	-
T3	16.10	70	16	-	-	-	15	-
T4	13.70	66	17	-	-	-	17	-
T5	12.30	60	15	-	-	-	25	-
T6	13.70	66	17	-	-	-	7	-

Lo scavo meccanizzato verrà realizzato facendo ricorso ad una macchina di scavo TBM, che dovrà essere adeguatamente progettata in relazione alle condizioni geostrukturali degli ammassi rocciosi intercettati. Il diametro di perforazione previsto è nominalmente pari a 16 metri. Si prevede dunque di adottare una macchina con dimensione ad oggi non ancora realizzata. A questo si aggiungono tratte a copertura molto elevata, dell'ordine dei 1000-1500 metri, che rendono l'avanzamento con scavo meccanizzato con D = 16 m un'esperienza senza precedenti.

Per questi motivi bisogna considerare che i criteri di progetto sono estrapolazioni dei risultati relativi a diametri di scavo più ridotti e pertanto possono essere approssimate per difetto. L'avanzamento della fresa è subordinato alla garanzia della stabilità dell'ammasso roccioso attraversato. Di conseguenza in quelle tratte in cui, in corrispondenza di ammassi rocciosi di tipo b, la stabilità del cavo può essere a rischio, in particolare in corrispondenza di coperture elevate, l'ammasso roccioso dovrà essere migliorato con interventi di consolidamento in avanzamento.

Nella tabella seguente si elenca per ciascun tracciato l'incidenza delle tratte di scavo in roccia di tipologia *b*, e i previsti interventi migliorativi:

Tabella 10 – Tratti di avanzamento con scavo meccanizzato e indicazione degli interventi previsti				
Tracciato	Lunghezza scavo meccanizzato [km]	Incidenza ammasso roccioso tipo <i>a</i> [%]	Incidenza ammasso roccioso tipo <i>b</i> [%]	Necessità degli interventi
T1	28.80	96	4	No, zona di tipo <i>b</i> ubicata all'imbocco della galleria, a profondità ridotte
T2	17.85	100	-	No, gallerie totalmente in ammasso di tipo <i>a</i>
T3	17.05	80	20	Consolidamenti nelle porzioni centrali delle gallerie scavate con TBM
T4	15.00	75	25	Consolidamenti nella porzione centrale dell'unica galleria prevista con TBM
T5	19.78	89	11	Localizzati in corrispondenza della galleria La Colombara, il cui tratto centrale è in materiali di tipo <i>b</i>
T6	27.55	84	16	No, le zone di tipo <i>b</i> sono corticali ed a media profondità

6.2 Analisi di stabilità

La stabilità delle sezioni di avanzamento è già stata valutata nel capitolo 5. Le linee caratteristiche presentate nelle figure del paragrafo 5.2.2 fanno infatti riferimento ad un cavo circolare, analogamente a quanto accade nel caso di scavo meccanizzato. Le sezioni in cui la stabilità del cavo non sia stata dimostrata in assenza di sostegni, sono quelle per le quali sarà necessario prevedere interventi preventivi di miglioramento della qualità geomeccanica dell'ammasso roccioso.

In termini generali possiamo affermare che, mentre in materiali come la Dolomia o le Vulcaniti il cavo si deforma in campo pressoché elastico, anche a elevate coperture, nel caso di materiali di tipo *b*, formazioni sottostanti la Dolomia Principale, il Basamento Cristallino ad alte coperture, etc..., si rendono necessari interventi di consolidamento del cavo per permettere il passaggio della fresa. Il fronte invece presenta una sostanziale stabilità in tutte le sezioni esaminate.

A titolo di esempio si riporta la linea caratteristica relativa alla sezione con copertura 1000 metri in Dolomia Principale, già analizzata nel paragrafo 5.2.2. Si fa l'ipotesi di adottare una macchina con scudo lungo 10 metri.

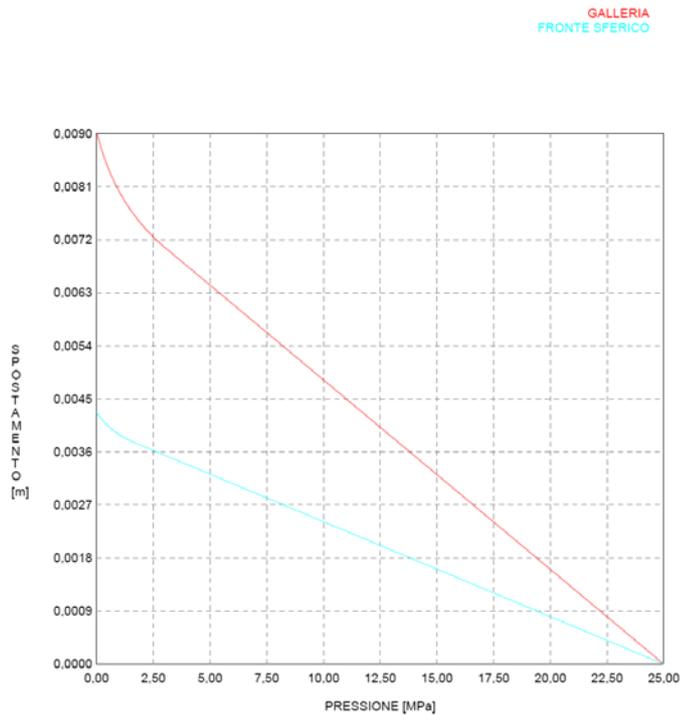


Figura 98: Dolomia Principale – Copertura 1000 m – Linea caratteristica del cavo circolare in assenza di sostegni

Ne deriva che per gli ammassi rocciosi con elevate convergenze si dovranno adottare opportuni metodi di stabilizzazione.

6.3 Verifica del rivestimento in conci

Lo scavo meccanizzato prevede la stabilizzazione a lungo termine del cavo mediante conci prefabbricati, sui quali la macchina si appoggia in fase di avanzamento. Il rivestimento preliminare di conseguenza non è più analogo a quello del caso tradizionale, ma in casi particolari potrà essere rappresentato dallo scudo della macchina.

Le analisi strutturali, dunque, dovranno fare riferimento da un lato alle sollecitazioni agenti sullo scudo metallico della fresa, dall'altro alle tensioni che si vanno a distribuire a lungo termine sull'anello in conci prefabbricati.

Facendo nuovamente riferimento alla sezione di cui sono state presentate le linee caratteristiche nel paragrafo 6.2, si propone ora il risultato della medesima analisi in termini di sollecitazioni agenti sui rivestimenti.

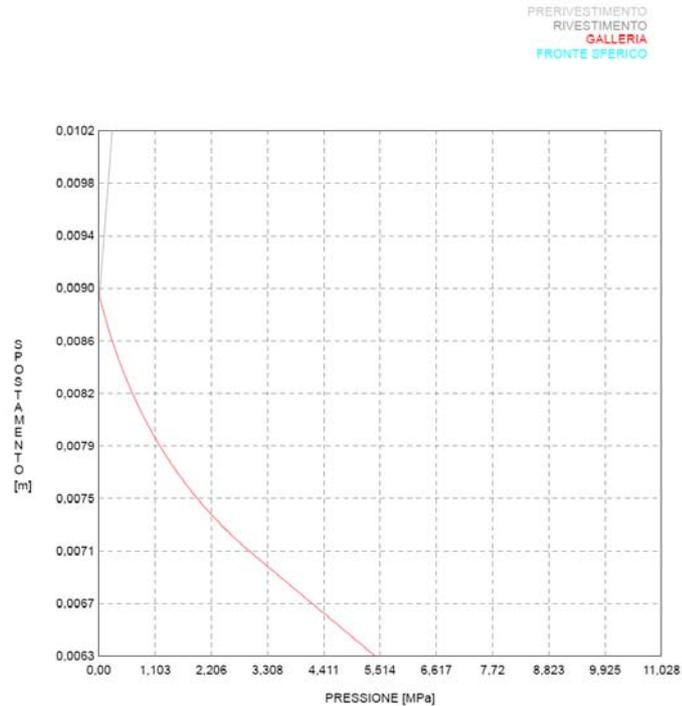


Figura 99: Dolomia Principale – Copertura 1000 m – Curva caratteristica in presenza del rivestimento definitivo

Come si può constatare dai risultati ottenuti la distanza di posa del rivestimento, circa 15 m dal fronte, è tale che il cavo è completamente detensionato ed il rivestimento risulta essere praticamente scarico.

Ne consegue che l'analisi di stabilità del rivestimento dovrà essere condotta valutando le deformazioni, e quindi sollecitazioni, a lungo termine dovuto al ribassamento dell'ammasso roccioso, ovvero nella fascia plasticizzata la progressiva mobilitazione delle resistenza residua.

Il rivestimento definitivo per lo scavo meccanizzato sarà costituito da conci armati di spessore 0.4 m.

Imponendo come condizione di sollecitazione massima nel calcestruzzo 30 MPa ed utilizzando la soluzione proposta da Nuir Wood (1975), si ottengono per una pressione esterna pari a 25 MPa i risultati riportati nella tabella seguente.

Tabella 11 – Sollecitazioni agenti nell’anello di rivestimento con carico citostatico totalmente gravante sul cavo			
	$k_0 = 0.9$	$k_0 = 1$	$k_0 = 1.1$
N max [kN/m]	11000	11600	12200
M max [kNm/m]	4	0	(-) 4
σ_{cls} a pressoflessione [MPa]	27.7	29	27.7

Anche considerando un fattore di anisotropia variabile fra 0.9 e 1.1 le sollecitazioni che si ottengono non sono tali da superare le condizioni di resistenza.

Le sollecitazioni che agiranno sul rivestimento saranno la somma di quelle dovute al rilassamento della roccia a lungo termine e di quelle dovute alla pressione dell’acqua.

L’interazione tra roccia e rivestimento nel metodo proposto dimostra che l’anello di calcestruzzo è in grado di resistere all’azione della roccia fino a coperture di 1400 m.

A questa sollecitazione può essere aggiunta quella dell’acqua.

Quindi per coperture maggiori di 800 m il rivestimento dovrà essere in grado di abbattere la spinta dell’acqua, il che significa che l’intercapedine tra rivestimento e roccia dovrà essere permeabile. In questo modo si assicura la stabilità del rivestimento senza turbare le condizioni idrogeologiche ambientali in relazione alla bassa permeabilità che caratterizza l’ammasso roccioso a quelle profondità.

6.4 Analisi dell’efficacia dello scavo meccanizzato

La valutazione dell’efficacia dello scavo meccanizzato è stata analizzata con il metodo Q_{TBM} proposto da Barton (2000), che consente di valutare la velocità di avanzamento della macchina *PR*, *Penetration Rate*, in funzione della qualità e resistenza opposta all’avanzamento dall’ammasso roccioso, da questa definire l’*AR*, *Advance Rate*, che dipende dai fermi macchina per manutenzione, sostituzione dei dischi, potenziali instabilità, sempre in relazione alla qualità della roccia.

L’indice Q_{TBM} , che esprime la difficoltà della fresa ad avanzare in un determinato ammasso roccioso, è definita dalla seguente formulazione:

$$Q_{TBM} = Q \cdot \left[\frac{SIGMA}{F^{10} / 20^9} \times \frac{20}{CLI} \times \frac{q}{20} \right] \times \frac{\sigma_{\theta}}{5}$$

In cui:

Q = indice di qualità dell'ammasso roccioso proposto da Barton;

$SIGMA$ = grandezza derivante dalla resistenza a compressione/trazione dell'ammasso roccioso;

CLI = Cutting Life Index, definisce la durata prevista per gli utensili alla testa di scavo;

F = forza di avanzamento applicata su ciascun utensile;

q = percentuale di quarzo presente nell'ammasso roccioso;

σ_θ = sforzo di compressione agente al fronte di scavo.

Una volta valutato l'indice Q_{TBM} , si procede alla valutazione delle velocità di avanzamento, teorica PR e effettiva AR :

$$PR \cong 5 [Q_{TBM}]^{-0,2}$$

$$AR = PR \cdot T^m$$

Il parametro m permette di tener conto di rallentamenti e fermi macchina dovuti a sostituzione utensili, imprevisti o problemi nello smarino del materiale scavato etc... Viene calcolato nel seguente modo:

$$m \cong m_1 \left[\frac{D}{5} \right]^{0,20} \left[\frac{20}{CLI} \right]^{0,15} \left[\frac{q}{20} \right]^{0,10} \left[\frac{n}{2} \right]^{0,05} \quad \text{con } m_1 \text{ costante, funzione di } Q$$

L'esponente m rappresenta un fattore di utilizzo, che permette il passaggio da un possibile avanzamento teorico all'effettivo avanzamento previsto in una formazione rocciosa e in ben determinate condizioni di copertura.

6.5 Detensionamento - Spalling

Un secondo problema che lo scavo meccanizzato deve fronteggiare è il detensionamento, o spalling, fenomeno di rottura fragile che si verifica in ammassi rocciosi di buona qualità soggetti a stati tensionali particolarmente gravosi, nel presente caso in relazione alle elevate coperture.

La valutazione dell'estensione delle zone soggette a rottura dovuta a detensionamento è stata realizzata ricorrendo ad una metodologia semplificata, così articolata:

1. valutazione del coefficiente $D_i = \sigma_{c \max} / \sigma_{ci}$. Si assume che $\sigma_{c \max} = 3\sigma_v$, trattandosi di gallerie profonde in cui il coefficiente k risulta prossimo all'unità.

Il valore D_i così ottenuto permette di valutare la gravità dello spalling previsto:

D_i	DESCRIZIONE	EFFETTO	DIMENSIONE MEDIA DELL'INSTABILITA'
< 0.4	Comportamento elastico della roccia	Nulla	
$0.4 \div 1$	Splaccamenti decimetrici	Trascurabile	$0 \div 0.40 \text{ m}$
$1 \div 1.5$	Splaccamenti fino a dimensione metrica	Importante	$0.40 \div 1 \text{ m}$
> 1.5	Splaccamenti con dimensione maggiore di 1 m	Intenso	$> 1 \text{ m}$

2. Calcolo dell'estensione del fenomeno di detensionamento al contorno di scavo, mediante la seguente formulazione:

$$\frac{R_f}{a} = 0.49(\pm 0.1) + 1.25 \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_{ci}} \quad \text{per } \sigma_{c \max} / \sigma_{ci} \geq 0.4$$

Le grandezze sopra elencate sono illustrate nello schema sottostante:

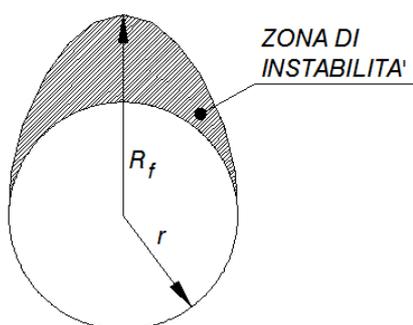


Figura 100 – Illustrazione del fenomeno di spalling

L'analisi dello spalling nei diversi tracciati ha evidenziato una prevalenza di fenomeni di splaccamenti decimetrici, che tendono a diventare più importanti in corrispondenza delle coperture più elevate, sopra 1000 metri. Per coperture inferiori a 500 metri, nei materiali di tipo a , generalmente il fenomeno di spalling presenta effetti nulli o trascurabili, mentre conserva ancora una certa rilevanza negli ammassi rocciosi di tipo b , nei quali però tende a confondersi con le zone di rottura a taglio.

7 ANALISI CON Q_{TBM}

L'analisi dell'efficienza dello scavo meccanizzato è stata realizzata facendo riferimento al seguente scenario:

scavo delle due canne della galleria di linea con 1 sola TBM, diametro 16 m.

Il confronto tra i sei tracciati autostradali è stato effettuato in relazione ai tempi di scavo, mediante il metodo Q_{TBM} .

Per ciascun tratto omogeneo del percorso di scavo sono stati definiti i parametri necessari al calcolo. Nella seguente tabella si elencano i parametri fondamentali CLI , n e q relativi ai diversi litotipi elencati in legenda, impiegati per la valutazione del Q_{TBM} :

Tabella 12 – Indici necessari per la valutazione del Q_{TBM}

N° litotipo	Denominazione	Litotipo	q - % di quarzo	CLI	n - Porosità
7	<i>Eruttive terziarie</i>	basalti	2	60	2
8a	<i>Calcere di Lonedo</i>	calcareniti/calcarei	5	50	4
8b	<i>Marna di Priabona</i>	marne argillose	5	90	6
9	<i>Formazione di Besagno e Chiusole</i>	calcareniti/calcarei	5	50	4
10	<i>Scaglia Rossa</i>	calcari marnosi	5	90	5
11	<i>Biancone</i>	calcari marnosi	7	70	4
12	<i>Rosso Ammonitico</i>	calc./noduli di selce	7	70	4
13a	<i>Gruppo di S. Vigilio</i>	calcareniti/calcarei	5	50	2
13b	<i>Calcari grigi</i>	calcari argillosi	5	80	5
14a	<i>Dolomia Principale</i>	dolomia/calcarei dolomitici	10	80	4
14b	<i>Gruppo di Raibl</i>	peliti/argilliti	8	90	5
15	<i>Dolomia del Sindech</i>	dolomie	10	80	3
16	<i>Vulcaniti indifferenziate</i>	andesiti/rioliti/daciti	18	40	2
17	<i>Formazione a Nodosus/Calc.di Mte Spitz</i>	dolomie/calcarei	10	80	4
18	<i>Formazione a Trinodosus/Calc.di Recoaro</i>	calcari/marne/argilliti	9	90	5
19	<i>Calcari della Val di Gola</i>	calcareniti/calcarei	5	50	4
20	<i>Marne della Val di Centa</i>	calcareniti/marne/arenarie	12	50	5
21	<i>Calcari scuri di Margon</i>	calcari/marne	5	50	4
21a	<i>Formaz. di Giove e del Contrin</i>	calcari/dolomie	9	90	5
22	<i>Dolomia della Valsugana</i>	dolomie	10	80	3
23	<i>Conglomerato di Voltago</i>	conglomerato/arenaria/peliti	12	40	5
24	<i>Formazione a Gracilis/Dolomia del Serla Inf.</i>	dolomia stratificata	10	80	3
25	<i>Formazione di Werfen</i>	calcari/arenarie/dolomie	12	50	5
26	<i>Formazione a Bellerophon</i>	arenarie quarzose	40	10	4
27a	<i>Complesso vulcanico atesino</i>	rioliti	30	15	2
27b		riodaciti/daciti	25	15	2
27c		andesiti	6	60	2
28a	<i>Basamento cristallino</i>	filladi/micascisti	25	15	2
28b		paragneiss	25	15	2
28c		porfiroidi	25	15	2

Per il parametro $SIGMA$, in mancanza di dati specifici, si è fatto ricorso alla resistenza a compressione della roccia intatta, nella seguente formulazione:

$$SIGMA = 5\gamma \left(\frac{Q\sigma_c}{100} \right)^{\frac{1}{3}}$$

L'analisi è stata condotta avendo assunto che la forza F agente sui cutter sia pari a 20 tonnellate.

Questa ipotesi è determinante sulla stima dei tempi. Il valore scelto è quello che Barton usa per la parametrizzazione. Incrementando F , diminuisce il tempo di scavo, e viceversa diminuendolo. Le macchine attualmente possono sviluppare valori F fino a 30 t sui cutters, in particolare quelle di grosso diametro.

Il solo parametro che dipende dalla risposta tenso-deformativa del fronte è lo stato di sforzo σ_θ agente al fronte sul quale agisce la fresa al momento dello scavo. Per valutare questa grandezza sono state fatte le seguenti ipotesi di base, cautelative rispetto allo stato reale:

$$\gamma = \text{peso di volume dell'ammasso roccioso} = 25 \text{ kN/m}^3$$

h = copertura alla sezione considerata

$$\sigma_\theta = \alpha \gamma h$$

I valori utilizzati per α sono i seguenti:

Condizione di scavo	Tipologia a		Tipologia b	
	Roccia	Faglia	Roccia	Faglia
Galleria da 16 metri	$\sigma_\theta = 2 \gamma h$	$\sigma_\theta = 1.5 \gamma h$	$\sigma_\theta = 1.5 \gamma h$	$\sigma_\theta = 1.2 \gamma h$

L'analisi è stata condotta considerando l'ammasso roccioso nelle sue condizioni naturali, escludendo eventuali venute di acqua concentrate in corrispondenza delle faglie.

La produzione annua è stata valutata come segue:

7 giorni di lavoro/settimana, 16 ore giornaliere, 50 settimane/anno

Nelle tabelle seguenti si riportano i risultati delle elaborazioni per i sei tracciati autostradali, nell'ipotesi di scavo di una sola canna, con fresa di diametro 16 metri. Il tempo di perforazione si riferisce ai soli tempi di scavo.

Si prevede che il tempo addizionale necessario per l'esecuzione degli interventi di impermeabilizzazione nelle zone di faglia sia pari a 6 mesi, per tutti i tracciati. Per quanto riguarda gli interventi di consolidamento dell'ammasso roccioso, è richiesto un anno addizionale per i soli tracciati che ne necessitano. I tempi totali di realizzazione dei diversi tracciati sono quindi stati calcolati a partire dai tempi di perforazione, sommando i tempi addizionali relativi alla posa in opera delle impermeabilizzazioni in corrispondenza delle discontinuità tettoniche e dei consolidamenti per i tratti di roccia di tipo b :

AUTOSTRADA A31 TRENTO - ROVIGO
TRONCO TRENTO - VALDASTICO - PIOVENE ROCCHETTE

Tabella 13 – Tempi di scavo complessivi per i sei tracciati esaminati					
Tracciato	Lunghezza totale gallerie naturali [km]	Tempo di perforazione [anni]	Tempi di impermeabilizzazione [anni]	Tempi di consolidamento [anni]	Tempo di scavo totale [anni]
T1	44.63	12.3	0.5	-	12.8
T2	31.55	7.9	0.5	-	8.4
T3	33.15	5.9	0.5	1	7.4
T4	28.70	3.1	0.5	1	4.6
T5	32.08	3.5	0.5	1	5
T6	41.25	9.6	0.5	-	10.1

Dalla precedente tabella si osserva che i tracciati che presentano le maggiori tempistiche di scavo in relazione alla lunghezza sono il T1, T2, T3 e moderatamente T6. Questa differenza è dovuta principalmente alle formazioni intercettate dalle gallerie: si tratta infatti per buona parte del percorso di materiali di origine metamorfica ricchi di quarzo. Quando la fresa si trova a dover avanzare in questi tipi di materiali, la forte abrasività che li caratterizza determina un notevole consumo dei cutters, espressa da un basso valore del parametro CLI.

La seguente figura riporta le lunghezze di scavo in funzione del tempo complessivo di realizzazione. Come si può osservare c'è una discreta proporzionalità tra i differenti tracciati, nel senso che ad un tracciato più lungo corrisponde un tempo più lungo.

Nel grafico proposto si osserva un tipico andamento a forbice, dovuto al fatto che alcuni tracciati intercettano rocce ricche in quarzo per buona parte del loro sviluppo, come precedentemente descritto. Nel complesso tutti i tracciati presentano velocità di avanzamento paragonabili fra loro.

AUTOSTRADA A31 TRENTO - ROVIGO
TRONCO TRENTO - VALDASTICO - PIOVENE ROCCHETTE

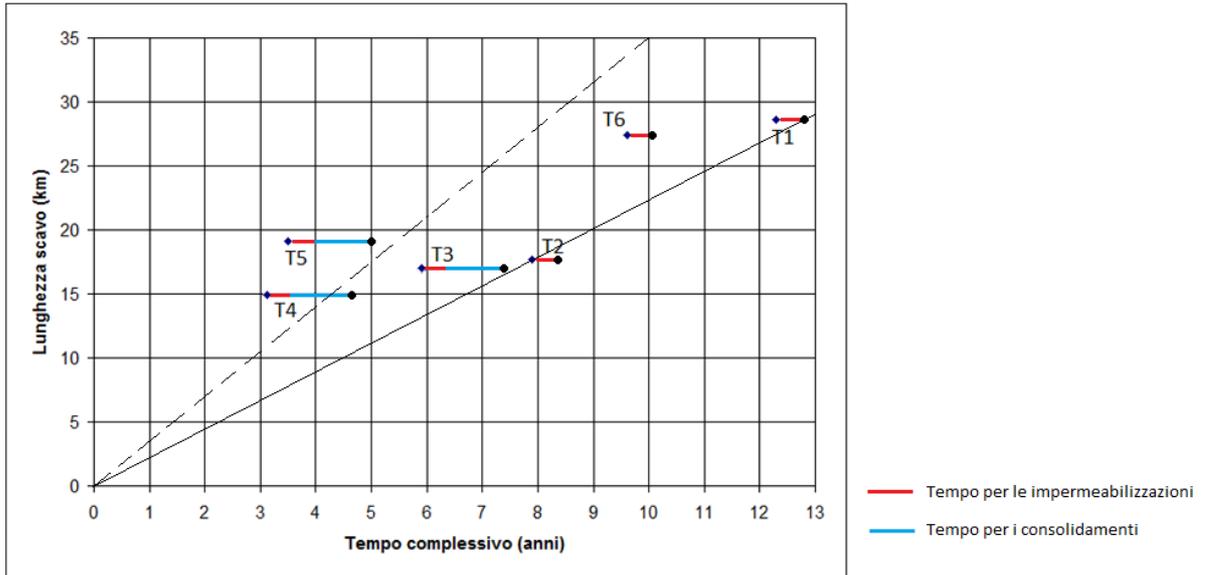


Figura 101 – Correlazione tra la lunghezza di scavo meccanizzato e i tempi di realizzazione previsti per i singoli tracciati

8 INFLUENZA DELLA FALDA FREATICA

Come descritto approfonditamente nella relazione idrogeologica, l'assetto idrogeologico della zona è dominato dal reticolo fessurativo in quanto la matrice rocciosa presenta una permeabilità ben più ridotta. In questo panorama, macrofratture e faglie rappresentano le vie preferenziali per la raccolta e dissipazione dell'acqua.

In relazione alle opere in sotterraneo, che si trovano a grande profondità, vi è la possibilità che queste possano venire interessate dalle acque raccolte dalle macrodiscontinuità tettoniche e convogliate in profondità verso il drenaggio offerto dalle gallerie in esecuzione.

La galleria avanza nell'ammasso roccioso e di conseguenza lo drena in corrispondenza del fronte e del cavo non rivestito. La successiva posa in opera del rivestimento definitivo ristabilisce in parte la superficie piezometrica, in quanto essendo questo caratterizzato da una permeabilità minore, riduce le portate emunte.

Alla luce di queste considerazioni, per evitare la possibile interferenza sarà necessario impermeabilizzare queste discontinuità dal fronte di avanzamento in modo preventivo. In questo modo, distribuiti gli interventi lungo i tracciati in relazione ai vincoli idrogeologici esistenti, sarà possibile controllare completamente gli effetti delle gallerie a breve e lungo termine sull'assetto idrogeologico del territorio attraversato.

9 SCAVO MECCANIZZATO-TRADIZIONALE: CONFRONTO

In questo capitolo si presenta il confronto tra lo scavo tradizionale e quello meccanizzato, condotto su alcune assunzioni iniziali, che potranno subire variazioni nelle fasi successive di progetto al fine di giungere a scenari differenti. Il confronto è fatto per lo scavo di una sola canna

9.1 Ipotesi di base

Scavo tradizionale

Le ipotesi di base relative allo scavo tradizionale sono:

- si ipotizza di lavorare 7 gg/settimana, con 2 turni giornalieri di 8 h ciascuno, per un totale di 350 giorni lavorativi all'anno;
- per quanto riguarda le velocità di avanzamento, si è supposto che il fronte avanzi in maniera differente in funzione della qualità geomeccanica dell'ammasso roccioso:

Ammasso roccioso	Velocità di avanzamento
Tipologia <i>a</i>	5 m/gg
Tipologia <i>b</i>	1.5 m/gg

- si lavora su 2 fronti di avanzamento in contemporanea per ciascuna canna.

Scavo meccanizzato

Si elencano ora le assunzioni relative allo scavo meccanizzato:

- i tempi di impermeabilizzazione in corrispondenza delle faglie vengono definiti in funzione del numero di discontinuità tettoniche per tracciato. Trattandosi di un numero pressoché uniforme per tutti i tracciati, si impone che il tempo necessario sia sempre pari a 6 mesi;
- il tempo necessario per i consolidamenti in corrispondenza dei tratti di ammasso roccioso di tipologia *b* è approssimabile ad un anno addizionale per quei tracciati che lo richiedano.
- analogamente allo scavo tradizionale, si ipotizza di lavorare 7 gg/settimana, con 2 turni giornalieri di 8 h ciascuno, per un totale di 350 giorni lavorativi all'anno.

Ipotesi di base del confronto

I tracciati sono fra loro differenti, in quanto caratterizzati dalla presenza di una o più gallerie, a lunghezza variabile.

Nell'ipotesi di scavo tradizionale, lo scenario più ottimistico prevedrebbe che ogni galleria fosse attaccata da due lati, di conseguenza il tempo totale di scavo di ciascun tracciato coinciderebbe con quello relativo alla galleria più lunga del tracciato stesso. Questo comporterebbe l'apertura simultanea di un gran numero di cantieri, con notevoli problematiche relative alla gestione del cantiere, delle interferenze con l'esterno, oltre che dell'ingente quantitativo di smarino prodotto in tempi molto ridotti.

Nel caso dello scavo meccanizzato, un'ipotesi di questo tipo è del tutto impraticabile, visti i notevoli investimenti necessari per ogni singola fresa, per non contare la notevole complessità gestionale di un cantiere di questo tipo. Di conseguenza, in quest'ipotesi è necessario tener conto del tempo necessario per permettere alla fresa di passare da una galleria all'altra, o da una canna a quella affiancata.

Tutti questi aspetti, che in questa sede vengono solo accennati, riguardano l'organizzazione programmatica del cantiere, e non è dunque possibile tenerne conto in una fase preliminare. Per tale motivo, si è fatta la scelta di realizzare il confronto tra le due alternative di scavo facendo riferimento ad una lunghezza pari alla somma di tutte le lunghezze parziali delle singole gallerie appartenenti allo stesso tracciato, pur fornendo indicazioni relative ai tempi di scavo connessi alla realizzazione di ogni singola galleria.

9.2 Analisi dei singoli tracciati

In questa sezione si propongono le tabelle di sintesi relative allo scavo tradizionale e all'ipotesi di scavo tradizionale e meccanizzato, per ciascun tracciato in esame.

AUTOSTRADA A31 TRENTO - ROVIGO
TRONCO TRENTO - VALDASTICO - PIOVENE ROCCHETTE

TRACCIATO 1 TEMPI DI SCAVO							
Scavo tradizionale							
Galleria	Lunghezza [m]	Lunghezza di scavo [m]	Ammasso roccioso		Tempo di scavo [anni]		
			Tipo a	Tipo b			
Lavarone	6800	14675	14120	555	9.1		
Monte Rovere	4150						
S.Vito	6900						
S.Agnese	10950						
Scavo meccanizzato							
Galleria	Lunghezza [m]	Tempo di scavo [anni]	Note	Tempo di scavo totale [anni]	Δt		Tempo complessivo [anni]
					Impermeabilizz.	Consolid.	
Lavarone	6800	2.1	Totalmente in dolomia	12.3	0.5	-	12.8
Monte Rovere	4150	2.2	Totalmente in materiali ricchi di quarzo				
S.Vito	6900	3.6					
S.Agnese	10950	4.4	Circa 5 km in quarzo				

TRACCIATO 2 TEMPI DI SCAVO							
Scavo tradizionale							
Galleria	Lunghezza [m]	Lunghezza di scavo [m]	Ammasso roccioso		Tempo di scavo [anni]		
			Tipo a	Tipo b			
Lavarone	6800	8865	8865	-	5.1		
Monte Rovere	4150						
S.Vito	6900						
Scavo meccanizzato							
Galleria	Lunghezza [m]	Tempo di scavo [anni]	Note	Tempo di scavo totale [anni]	Δt		Tempo complessivo [anni]
					Impermeabilizz.	Consolid.	
Lavarone	6800	2.1	Totalmente in dolomia	7.9	0.5	-	8.4
Monte Rovere	4150	2.2	Totalmente in materiali ricchi di quarzo				
S.Vito	6900	3.6					

AUTOSTRADA A31 TRENTO - ROVIGO
TRONCO TRENTO - VALDASTICO - PIOVENE ROCCHETTE

TRACCIATO 3 TEMPI DI SCAVO							
Scavo tradizionale							
Galleria	Lunghezza [m]	Lunghezza di scavo [m]	Ammasso roccioso		Tempo di scavo [anni]		
			Tipo a	Tipo b			
Lavarone	8000	8470	6790	1680	7.1		
Marzola	9050						
Scavo meccanizzato							
Galleria	Lunghezza [m]	Tempo di scavo [anni]	Note	Tempo di scavo totale [anni]	Δt		Tempo complessivo [anni]
					Impermeabilizz.	Consolid.	
Lavarone	8000	1.8	2 km in roccia <i>b</i>	5.9	0.5	1	7.4
Marzola	9050	4.1	Oltre 7 km in materiali ricchi di quarzo				

TRACCIATO 4 TEMPI DI SCAVO							
Scavo tradizionale							
Galleria	Lunghezza [m]	Lunghezza di scavo [m]	Ammasso roccioso		Tempo di scavo [anni]		
			Tipo a	Tipo b			
Lavarone	14920	7460	5605	1855	6.7		
Scavo meccanizzato							
Galleria	Lunghezza [m]	Tempo di scavo [anni]	Note	Tempo di scavo totale [anni]	Δt		Tempo complessivo [anni]
					Impermeabilizz.	Consolid.	
Lavarone	14920	3.1	3.5 km in roccia di tipo <i>b</i> , resto in dolomia	3.1	0.5	1	4.6

AUTOSTRADA A31 TRENTO - ROVIGO
TRONCO TRENTO - VALDASTICO - PIOVENE ROCCHETTE

TRACCIATO 5 – TEMPI DI SCAVO							
Scavo tradizionale							
Galleria	Lunghezza [m]	Lunghezza di scavo [m]	Ammasso roccioso		Tempo di scavo [anni]		
			Tipo a	Tipo b			
Laghi	2400	9568	8550	1020	6.8		
La colombara	7200						
Boccaldo	5380						
Marco	4800						
Scavo meccanizzato							
Galleria	Lunghezza [m]	Tempo di scavo [anni]	Note	Tempo di scavo totale [anni]	Δt		Tempo complessivo [anni]
					Impermeabilizz.	Consolid.	
Laghi	2400	0.3	Totalmente in roccia di tipo <i>a</i>	3.5	0.5	1	5
La colombara	7200	1.3	2 km in tipologia <i>b</i>				
Boccaldo	5380	0.9	Totalmente in dolomia				
Marco	4800	1					

TRACCIATO 6 – TEMPI DI SCAVO							
Scavo tradizionale							
Galleria	Lunghezza [m]	Lunghezza di scavo [m]	Ammasso roccioso		Tempo di scavo [anni]		
			Tipo a	Tipo b			
Lavarone	8050	13695	11475	2220	10.8		
Sasso dell'Aquila	10350						
Bondone	9150						
Scavo meccanizzato							
Galleria	Lunghezza [m]	Tempo di scavo [anni]	Note	Tempo di scavo totale [anni]	Δt		Tempo complessivo [anni]
					Impermeabilizz.	Consolid.	
Lavarone	8050	1.8	Prevalentemente dolomia, 1 km in tipo <i>b</i>	9.6	0.5	-	10.1
Sasso dell'Aquila	10350	5.4	8 km in materiali ricchi di quarzo				
Bondone	9150	2.4	Prevalentemente dolomia, 1.5 km in roccia di tipo <i>b</i>				

9.3 Nota di sintesi

Dalle considerazioni precedentemente fatte con riferimento alla seguente tabella, si può concludere che lo scavo meccanizzato risulta l'alternativa preferibile.

Tabella 14 – Tempi di scavo meccanizzato – tradizionale – sintesi dei tempi per i sei tracciati			
TRACCIATO		TEMPI - ANNI	
Numero	Lunghezza - km	Tradizionale	Meccanizzato
1	29.35	9.1	12.8
2	17.73	5.1	8.4
3	16.94	7.1	7.4
4	14.92	6.7	4.6
5	19.135	6.8	5.0
6	27.39	10.8	10.2

Nel caso di scavo tradizionale sarebbe auspicabile, ma difficilmente realizzabile da un punto di vista gestionale, agire contemporaneamente su tutti i fronti di attacco, al fine di ridurre i tempi di scavo complessivi, che risultano in caso contrario più elevati dei corrispondenti tempi di scavo meccanizzato.

10 SMARINO

Previsione del materiale di smarino

Il materiale scavato nel corso dell'avanzamento presenterà una pezzatura ed una qualità differente in relazione alla metodologia di scavo.

Nelle gallerie in cui è previsto lo scavo tradizionale, è prevista l'estrazione di materiale di qualità buona, la cui pezzatura è riferibile alle proprietà geomeccaniche della formazione oggetto di scavo: in generale gli ammassi rocciosi di tipologia a tenderanno a produrre uno smarino con pezzatura più elevata, con scarso contenuto di fini; viceversa, materiali più scadenti quali quelli catalogati come tipo b, produrranno un materiale di granulometria più ridotta, con elevata presenza di polveri e frammenti di piccole dimensioni.

La qualità dello smarino, da un punto di vista ambientale, dipende invece dalla sezione tipo adottata: in corrispondenza di ammassi rocciosi stabili si adotteranno generalmente sezioni di tipo A1 e B0, localmente B1, con conseguente produzione di materiali di scavo privi di impurità. Al contrario, in ammassi rocciosi caratterizzati da scarsa o nulla autoportanza, l'avanzamento necessiterà di sezioni di scavo di tipo B0V, B2V, C1 o C2, che prevedono preconsolidamenti al contorno e al fronte. In questa eventualità lo smarino presenterà una certa percentuale di frammenti di vetroresina e materiale cementato.

Scavo meccanizzato

Nel caso di scavo meccanizzato, il materiale di smarino si presenta privo di inquinanti, salvo la presenza di malta cementizia eventualmente iniettata per migliorare le condizioni di stabilità in corrispondenza dei tratti di roccia di tipo *b*.

La pezzatura del materiale, vista la particolare modalità con cui i diversi cutters presenti sulla testa di scavo, collaborando fra loro, generano le scaglie di roccia, varia in funzione della resistenza a trazione che caratterizza il materiale scavato.

In generale, è presumibile pensare di ottenere un materiale di proprietà accettabili, sia in ammassi di tipo *a* che *b*, costituito da ghiaia con sabbia e frazione fine.

Riutilizzo dei materiali

I materiali di smarino potranno trovare impiego in applicazioni diverse in relazione alla granulometria, qualità degli inerti e presenza di sostanze inquinanti. Può essere riutilizzato per la realizzazione di rilevati e riempimenti, calcestruzzi, sottofondi stradali.

11 CONCLUSIONI

Sono stati analizzati i sei tracciati autostradali previsti, per ciascuno dei quali è stato prodotto un profilo geomeccanico.

In termini generali si incontra un ammasso roccioso di tipologia *a*, con buone/ottime caratteristiche, e un ammasso roccioso di tipo *b*, di caratteristiche mediocri. Quest'ultimo richiede interventi di consolidamento per l'avanzamento, tanto più quanto maggiore è la copertura a cui si incontrano.

Per le gallerie più lunghe si è analizzata l'opzione dello scavo meccanizzato nei sei tracciati.

Terminate le verifiche di stabilità per i diversi litotipi intercettati, si può concludere che lo scavo tradizionale presenterà nel complesso minori problematiche di avanzamento, in quanto nei tratti di tipologia *b* sarà sufficiente mettere in opera sezioni tipo più pesanti per contrastare eventuali instabilità.

L'analisi dello scavo meccanizzato ha invece descritto un panorama più ampio, in quanto se da un lato la fresa dovrà fronteggiare le instabilità al contorno entro gli ammassi rocciosi di tipo *b*, anche in corrispondenza degli ammassi rocciosi di qualità elevata (tipo *a*) si potranno verificare fenomeni di detensionamento, spalling. La macchina dovrà quindi essere progettata in relazione a questi due fenomeni, consentendo di eseguire opere di stabilizzazione al fronte ed al cavo e di gestire gli eventuali distacchi in parete con scudi idonei a contenere il fenomeno, così che non gravi in modo eccessivo sulla posa dei conci prefabbricati.

Il confronto tra le due metodologie sulla base dei tempi di scavo condotto per una sola canna e senza tener conto dei tempi necessari all'organizzazione dei cantieri nei due casi, porta ad evidenziare che lo scavo meccanizzato può essere più vantaggioso, in quanto fornisce tempi inferiori del 20-30% a quelli dello scavo tradizionale a meno di quei tracciati in cui, in relazione all'elevata componente quarzifera dei litotipi intercettati, l'elevato consumo dei cutters alla testa di scavo penalizza l'avanzamento della fresa.

Questa indicazione preliminare verrà maggiormente investigata nella successiva fase di progetto preliminare del tracciato scelto, verificando esattamente per quali gallerie applicare un metodo rispetto all'altro, in relazione anche all'organizzazione che si intenderà adottare per l'esecuzione dei lavori ed al numero di macchine che verrà ipotizzato in accordo con il Concessionario.