



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 **PROGETTO DEL TRACCIATO SCELTO**
 Opere in sotterraneo
 Relazione tecnica e calcoli sommari

Progressivo Rev.
 06 03 01 001 A0

Rev.	Data	Descrizione	Redazione	Controllo	Approvazione	SCALA -
00	Agosto 2011	Prima Emissione	TECHNITAL	C. Pesce	A. Renso	NOME FILE 2505_060301001_0101 OPP_A0.doc
A0	Settembre 2011	Verifica art. 112 D.Lgs 163/06	TECHNITAL	C. Pesce	A. Renso	CM 2505 ELAB. 060301001001
						Fg. 0101 LIV. 0PP REV. A0

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

Committente:



Progettazione:

CONSORZIO RAETIA



PROGETTO PRELIMINARE

PROGETTO DEL TRACCIATO SCELTO
OPERE IN SOTTERRANEO
RELAZIONE TECNICA E CALCOLI SOMMARI

INDICE

1	INTRODUZIONE	14
2	OGGETTO E SCOPO	15
3	DESCRIZIONE GALLERIE	16
4	DESCRIZIONE SEZIONI TIPO	19
4.1	Scavo tradizionale	19
4.2	Scavo meccanizzato	19
5	CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA DI RIFERIMENTO	21
5.1	Metodologia di valutazione dei parametri geomeccanici	22
6	SCAVO TRADIZIONALE	25
6.1	Introduzione	25
6.2	Scelta delle sezioni di calcolo	25
6.3	Metodologia di analisi	28
6.4	Analisi di stabilità – Linee caratteristiche e metodo di Tamez	29
6.4.1	<i>Sezione in materiali sciolti – 20 e 40 m</i>	<i>29</i>
6.4.2	<i>Sezione in Dolomia Principale – 50 m</i>	<i>32</i>
6.4.3	<i>Sezione in Dolomia Principale – 350 m</i>	<i>37</i>
6.4.4	<i>Sezione in Dolomia Principale – 500 m</i>	<i>46</i>
6.4.5	<i>Faglia in Dolomia Principale – 250 m</i>	<i>55</i>
6.4.6	<i>Faglia in Dolomia Principale – 350 m</i>	<i>60</i>
6.5	Analisi di stabilità – Dolomia Principale – Analisi agli elementi finiti	65
6.5.1	<i>Dolomia Principale 350 m, RMR = 67</i>	<i>67</i>
6.5.2	<i>Dolomia Principale 350 m, RMR = 55</i>	<i>72</i>
6.5.3	<i>Faglia in Dolomia Principale 250 m</i>	<i>80</i>
6.6	Analisi di stabilità – Detrito – Analisi agli elementi finiti	86
6.6.1	<i>Detrito 40 m</i>	<i>87</i>
6.6.2	<i>Detrito 20 m</i>	<i>90</i>
6.7	Analisi di stabilità – Nota di sintesi	94
7	SCAVO MECCANIZZATO	95
7.1	Introduzione	95
7.2	Analisi Q_{TBM}	95
7.2.1	<i>Fondamenti teorici</i>	<i>95</i>
7.2.2	<i>Risultati dell'analisi</i>	<i>97</i>

7.3	Criticità dello scavo meccanizzato	100
7.4	Interventi migliorativi e di impermeabilizzazione	102
7.5	Detensionamento – Spalling	103
7.6	Scelta delle sezioni di calcolo	105
7.7	Analisi di stabilità – Linee caratteristiche e metodo di Tamez	107
7.7.1	<i>Dolomia Principale - 750 m</i>	107
7.7.2	<i>Dolomia Principale - 500 m</i>	111
7.7.3	<i>Faglia in Dolomia Principale - 350 m</i>	115
7.7.4	<i>Gruppo di Raibl – 800 m</i>	121
7.7.5	<i>Dolomia della Valsugana - 800 m</i>	126
7.7.6	<i>Formazione Gracilis - 1000 m</i>	130
7.7.7	<i>Formazione di Werfen - 450 m</i>	135
7.7.8	<i>Formazione di Werfen - 1400 m</i>	140
7.7.9	<i>Conglomerato di Voltago - 700 m</i>	145
7.7.10	<i>Arenaria di Val Gardena - 1400 m</i>	149
7.8	Verifica del rivestimento in conci	154
8	SCAVO MECCANIZZATO-TRADIZIONALE: CONFRONTO	156
9	ANALISI SISMICA	158
10	STABILITA' DEL RIVESTIMENTO IN RELAZIONE ALLE CONDIZIONI IDRAULICHE	161
11	IMBOCCHI	166
12	PROGRAMMA DI MONITORAGGIO	171
12.1	Rilievo geologico dei fronti di scavo	171
12.2	Rilievo delle fasi esecutive e delle cadenze di avanzamento	172
12.3	Stazioni di misura delle convergenze	173
12.4	Stazioni principali	176
12.5	Rilievo deformativo del fronte: misure di estrusione (eventuale)	179
12.6	Prelievo campioni per prove di laboratorio	180
12.7	Superficie piezometrica	180
13	CONCLUSIONI	181
	ALLEGATO 1	183

Indice delle figure

Figura 1 – Detrito, copertura 40 m - Analisi di stabilità con il metodo di Tamez.....	30
Figura 2 – Detrito, copertura 20 m - Analisi di stabilità con il metodo di Tamez.....	31
Figura 3 – Caratterizzazione della Dolomia Principale di classe I.....	32
Figura 4 – Dolomia Principale, copertura 50m - Curve caratteristiche del fronte e del cavo in assenza di sostegni	33
Figura 5 – Dolomia Principale, copertura 50m – Condizioni dell’ammasso roccioso in assenza di sostegni.....	33
Figura 6 – Dolomia Principale, copertura 50m - Curve caratteristiche in presenza dei sostegni	34
Figura 7 – Dolomia Principale, copertura 50m – Stato di sollecitazione nei sostegni	34
Figura 8 – Dolomia Principale, copertura 50m - Detensionamento dell’ammasso roccioso all’avanzare dello scavo.....	35
Figura 9 – Dolomia Principale, copertura 50m - Analisi di stabilità con il metodo di Tamez...	36
Figura 10 – Caratterizzazione Dolomia Principale RMR = 67	38
Figura 11 – Caratterizzazione Dolomia Principale RMR = 55	39
Figura 12 – Dolomia Principale, copertura 350m - RMR=67, Curve caratteristiche del fronte e del cavo in assenza di sostegni.....	40
Figura 13 – Dolomia Principale, copertura 350m - RMR=67, Condizioni dell’ammasso roccioso in assenza di interventi.....	40
Figura 14 – Dolomia Principale, copertura 350m - RMR=67, Curve caratteristiche in presenza dei sostegni.....	41
Figura 15 – Dolomia Principale, copertura 350m - RMR=67, Stato di sollecitazione nei sostegni.....	41
Figura 16 – Dolomia Principale, copertura 350m - RMR=67, Detensionamento dell’ammasso roccioso all’avanzare dello scavo	42
Figura 17 – Dolomia Principale, copertura 350m - RMR=55, Curve caratteristiche del fronte e del cavo in assenza di sostegni	43
Figura 18 – Dolomia Principale, copertura 350m - RMR=55, Condizioni dell’ammasso roccioso in assenza di interventi.....	43
Figura 19 – Dolomia Principale, copertura 350m - RMR=55, Curve caratteristiche del cavo e del fronte in presenza dei sostegni	44

Figura 20 – Dolomia Principale, copertura 350m - RMR=55, Stato di sollecitazione nei sostegni.....	44
Figura 21 – Dolomia Principale, copertura 350m - RMR=55, Detensionamento dell’ammasso roccioso all’avanzare dello scavo	45
Figura 22 – Caratterizzazione Dolomia Principale RMR = 67	47
Figura 23 – Caratterizzazione Dolomia Principale RMR = 55	48
Figura 24 – Dolomia Principale, copertura 500m - RMR = 67, Curve caratteristiche del fronte e del cavo in assenza di sostegni	49
Figura 25 – Dolomia Principale, copertura 500m – RMR = 67, Condizioni dell’ammasso roccioso in assenza di interventi	49
Figura 26 – Dolomia Principale, copertura 500m – RMR = 67, Curve caratteristiche in presenza dei sostegni	50
Figura 27 – Dolomia Principale, copertura 500m – RMR = 67, Stato di sollecitazione nei sostegni.....	50
Figura 28 – Dolomia Principale, copertura 500m – RMR = 67, Detensionamento dell’ammasso roccioso all’avanzare dello scavo	51
Figura 29 – Dolomia Principale, copertura 500m – RMR = 55, Curve caratteristiche del fronte e del cavo in assenza di sostegni	52
Figura 30 – Dolomia Principale, copertura 500m – RMR = 55, Condizioni dell’ammasso roccioso in assenza di interventi	52
Figura 31 – Dolomia Principale, copertura 500m – RMR = 55, Curve caratteristiche in presenza dei sostegni	53
Figura 32 – Dolomia Principale, copertura 500m – RMR = 55, Stato di sollecitazione nei sostegni.....	53
Figura 33 – Dolomia Principale, copertura 500m – RMR = 55, Detensionamento dell’ammasso roccioso all’avanzare dello scavo	54
Figura 34 – Caratterizzazione della zona di faglia in Dolomia Principale	55
Figura 35 – Faglia in Dolomia Principale, copertura 250 m – Curve caratteristiche del cavo e del fronte in assenza di sostegni	56
Figura 36 – Faglia in Dolomia Principale, copertura 250 m – Condizioni dell’ammasso roccioso in assenza di interventi.....	56
Figura 37 – Faglia in Dolomia Principale, copertura 250 m – Curve caratteristiche in presenza dei sostegni.....	57

Figura 38 – Faglia in Dolomia Principale, copertura 250 m – Stato di sollecitazione nei sostegni.....	57
Figura 39 – Faglia in Dolomia Principale, copertura 250 m – Detensionamento dell’ammasso roccioso all’avanzare dello scavo	58
Figura 40 – Faglia in Dolomia Principale, copertura 250 m – Analisi di stabilità con il metodo di Tamez.....	59
Figura 41 – Caratterizzazione della zona di faglia in Dolomia Principale	60
Figura 42 – Faglia in Dolomia Principale, copertura 350 m – Analisi di stabilità con il metodo di Tamez.....	61
Figura 43 – Faglia in Dolomia Principale, copertura 350 m – Curve caratteristiche del fronte e del cavo in assenza di sostegni	62
Figura 44 – Faglia in Dolomia Principale, copertura 350 m – Condizioni dell’ammasso roccioso in assenza di interventi.....	62
Figura 45 – Faglia in Dolomia Principale, copertura 350 m – Curve caratteristiche in presenza di sostegni.....	63
Figura 46 – Stato di sollecitazione nei sostegni.....	63
Figura 47 – Faglia in Dolomia Principale, copertura 350 m – Detensionamento dell’ammasso roccioso all’avanzare dello scavo	64
Figura 48 - Estensione della zona plastica.....	68
Figura 49 - Spostamenti $ u $ a fine posa del rivestimento preliminare curva di detensionamento di Panet-Guenot.....	68
Figura 50 - Spostamenti $ u $ a fine posa del rivestimento preliminare curva di detensionamento N.M.I.	69
Figura 51 - Spostamenti $ u $ a fine getto del rivestimento definitivo.....	69
Figura 52 - Verifica strutturale dello spritz beton – Detensionamento secondo curva di Panet-Guenot	71
Figura 53 - Verifica strutturale dello spritz beton – Detensionamento secondo curva N.M.I.	72
Figura 54 - Estensione della fascia plastica	73
Figura 55 - Spostamenti $ u $ a fine posa del priverivestimento, curva di detensionamento Panet-Guenot	73
Figura 56 - Spostamenti $ u $ a fine posa del rivestimento preliminare, curva di detensionamento N.M.I.	74
Figura 57 - Spostamenti $ u $ a fine getto del rivestimento definitivo.....	74

Figura 58 - Verifica strutturale di centine e spritz non completamente maturo, curva di detensionamento di Panet-Guenot.....	76
Figura 59 - Verifica strutturale di centine e spritz non completamente maturo, curva di detensionamento N.M.I.	77
Figura 60 - Verifica strutturale di centine e spritz completamente maturo, curva di detensionamento di Panet-Guenot.....	78
Figura 61 - Verifica strutturale di centine e spritz beton maturo, curva di detensionamento N.M.I.	79
Figura 62 – Caratterizzazione della faglia in Dolomia	80
Figura 63 - Estensione della zona plasticizzata.....	81
Figura 64 - Spostamenti $ u $ al contorno di scavo alla fase di fine posa del prerivestimento.	82
Figura 65 - Spostamenti $ u $ al contorno di scavo relativi alla fase di fine posa del prerivestimento definitivo.....	82
Figura 66 - Verifiche strutturali del rivestimento provvisorio, considerando uno spritz beton non completamente maturo	84
Figura 67 - Verifiche strutturali del rivestimento provvisorio, a completa maturazione dello spritz beton.....	85
Figura 68 - Estensione della zona plasticizzata.....	87
Figura 69 - Spostamenti $ u $ al contorno di scavo alla fase di fine posa del prerivestimento.	88
Figura 70 - Verifica strutturale del rivestimento preliminare	89
Figura 71 - Estensione della zona plasticizzata.....	91
Figura 72 - Spostamenti $ u $ al contorno di scavo alla fase di fine posa del prerivestimento.	92
Figura 73 - Verifica strutturale del rivestimento preliminare	93
Figura 74 – Abaco per la valutazione dell'indice m_1 in relazione al parametro Q.....	96
Figura 75 – Velocità di avanzamento teoriche ed effettive, per lo scavo della Galleria di Valico. In linea continua si sono riportate le zone in Dolomia Principale, in linea tratteggiata i tempi che fanno riferimento ai materiali posti al di sotto della sequenza carbonatica.	99
Figura 76 – Variazione della velocità di avanzamento AR al variare della forza applicata ai cutters. In linea continua si sono riportate le zone in Dolomia Principale, in linea tratteggiata i tempi che fanno riferimento ai materiali posti al di sotto della sequenza carbonatica.	99
Figura 77 – Illustrazione del fenomeno di spalling.....	104
Figura 78 – Previsioni dello spalling in corrispondenza della Galleria di Valico.....	105

Figura 79 - Dolomia Principale, 750 m – Curve caratteristiche del fronte e del cavo in assenza di sostegni.....	108
Figura 80 - Dolomia Principale 750 m – Condizione dell’ammasso roccioso in assenza di sostegni.....	108
Figura 81 - Dolomia Principale 750 m – Curve caratteristiche in presenza del rivestimento definitivo.....	109
Figura 82 - Dolomia Principale 750 m – Sollecitazioni litostatiche agenti sul rivestimento definitivo.....	109
Figura 83 - Dolomia Principale 750 m – Curve di detensionamento dell’ammasso roccioso	110
Figura 84 - Dolomia Principale 500 m – Curve caratteristiche del cavo e del fronte in assenza di sostegni.....	111
Figura 85 - Dolomia Principale 500 m – Condizioni dell’ammasso roccioso in assenza di sostegni.....	112
Figura 86 - Dolomia Principale 500 m – Curve caratteristiche del cavo e del fronte in presenza del rivestimento definitivo	112
Figura 87 - Dolomia Principale 500 m – Sollecitazioni litostatiche agenti sul rivestimento definitivo.....	113
Figura 88 - Dolomia Principale 500 m – Curve di detensionamento dell’ammasso roccioso	114
Figura 89 - Caratterizzazione della zona di faglia in Dolomia Principale.....	115
Figura 90 - Faglia in Dolomia Principale 350 m – Analisi di stabilità con il metodo di Tamez	116
Figura 91 - Faglia in Dolomia Principale 350 m – Curva caratteristica in assenza di sostegni	117
Figura 92 - Faglia in Dolomia Principale 350 m – Condizioni dell’ammasso roccioso in assenza di sostegni.....	118
Figura 93 - Faglia in Dolomia Principale 350 m – Curve caratteristiche del cavo e del fronte in presenza del rivestimento definitivo.....	119
Figura 94 - Faglia in Dolomia Principale 350 m – Sollecitazioni litostatiche agenti sul rivestimento definitivo	119
Figura 95 - Faglia in Dolomia Principale 350 m – Curve di detensionamento dell’ammasso roccioso.....	120
Figura 96 – Caratterizzazione del Gruppo di Raibl	121
Figura 97 - Gruppo di Raibl 800 m – Analisi di stabilità con il metodo di Tamez.....	122
Figura 98 - Gruppo di Raibl 800 m – Curva caratteristica in assenza di sostegni.....	123

Figura 99 - Gruppo di Raibl 800 m – Sollecitazioni litostatiche agenti sul rivestimento definitivo.....	123
Figura 100 - Gruppo di Raibl 800 m – Curve caratteristiche del cavo e del fronte in presenza del rivestimento definitivo	124
Figura 101 - Gruppo di Raibl 800 m – Sollecitazioni litostatiche agenti sul rivestimento definitivo.....	124
Figura 102 - Gruppo di Raibl 800 m – Curve di detensionamento dell’ammasso roccioso ...	125
Figura 103 – Caratterizzazione della Dolomia della Valsugana.....	126
Figura 104 - Dolomia della Valsugana 800 m - Curva caratteristica in assenza di sostegni...	127
Figura 105 - Dolomia della Valsugana 800 m – Sollecitazioni litostatiche agenti sul rivestimento definitivo	127
Figura 106 - Dolomia della Valsugana 800 m – Curve caratteristiche del cavo e del fronte in presenza del rivestimento definitivo.....	128
Figura 107 - Dolomia della Valsugana 800 m – Sollecitazioni litostatiche agenti sul rivestimento definitivo	128
Figura 108 - Dolomia della Valsugana 800 m – Curve di detensionamento dell’ammasso roccioso.....	129
Figura 109 – Caratterizzazione della Formazione Gracilis.....	130
Figura 110 – Formazione Gracilis 1000 m – Analisi di stabilità con il metodo di Tamez	131
Figura 111 - Formazione Gracilis 1000 m – Curva caratteristica in assenza di sostegni	132
Figura 112 - Formazione Gracilis 1000 m – Condizioni dell’ammasso roccioso in assenza di interventi	132
Figura 113 - Formazione Gracilis 1000 m – Curve caratteristiche del cavo e del fronte in presenza del rivestimento definitivo.....	133
Figura 114 – Formazione Gracilis 1000 m – Curve di detensionamento dell’ammasso roccioso	134
Figura 115 – Caratterizzazione della formazione di Werfen.....	135
Figura 116 – Formazione di Werfen, 450 m – Curva caratteristica in assenza di sostegni....	136
Figura 117 - Formazione di Werfen, 450 m – Condizione dell’ammasso roccioso in assenza di sostegni.....	136
Figura 118 - Formazione di Werfen, 450 m – Curve caratteristiche in presenza del rivestimento definitivo	137

Figura 119 - Formazione di Werfen, 450 m – Sollecitazioni litostatiche agenti sul rivestimento definitivo.....	137
Figura 120 - Formazione di Werfen, 450 m – Curve di detensionamento dell’ammasso roccioso.....	138
Figura 121 - Formazione di Werfen, 450 m – Analisi di stabilità con il metodo di Tamez.....	139
Figura 122 – Caratterizzazione della formazione di Werfen.....	140
Figura 123 – Formazione di Werfen, 1400 m – Curve caratteristiche del fronte e del cavo in assenza di sostegni	141
Figura 124 - Formazione di Werfen, 1400 m – Condizione dell’ammasso roccioso in assenza di sostegni.....	141
Figura 125 - Formazione di Werfen, 1400 m – Curve caratteristiche in presenza del rivestimento definitivo	142
Figura 126 - Formazione di Werfen, 1400 m – Sollecitazioni litostatiche agenti sul rivestimento definitivo	142
Figura 127 - Formazione di Werfen, 1400 m – Curve di detensionamento dell’ammasso roccioso.....	143
Figura 128 - Formazione di Werfen, 1400 m – Analisi di stabilità con il metodo di Tamez....	144
Figura 129 - Caratterizzazione del Conglomerato di Voltago.....	145
Figura 130 – Conglomerato di Voltago, 700 m - Curve caratteristiche del fronte e del cavo in assenza di sostegni	146
Figura 131 - Conglomerato di Voltago, 700 m - Condizione dell’ammasso roccioso in assenza di sostegni.....	146
Figura 132 – Conglomerato di Voltago, 700 m - Curve caratteristiche in presenza del rivestimento definitivo	147
Figura 133 - Conglomerato di Voltago, 700 m - Sollecitazioni litostatiche agenti sul rivestimento definitivo	147
Figura 134 – Conglomerato di Voltago, 700 m - Curve di detensionamento dell’ammasso roccioso.....	148
Figura 135 – Caratterizzazione Arenaria di Val Gardena.....	149
Figura 136 – Arenaria di Val Gardena, 1400 m - Curve caratteristiche del fronte e del cavo in assenza di sostegni	150
Figura 137 - Arenaria di Val Gardena, 1400 m - Condizione dell’ammasso roccioso in assenza di sostegni.....	150

Figura 138 – Arenaria di Val Gardena, 1400 m - Curve caratteristiche in presenza del rivestimento definitivo	151
Figura 139 - Arenaria di Val Gardena, 1400 m - Sollecitazioni litostatiche agenti sul rivestimento definitivo	151
Figura 140 – Arenaria di Val Gardena, 1400 m - Curve di detensionamento dell’ammasso roccioso.....	152
Figura 141 – Arenaria di Val Gardena, 1400 m – Analisi di stabilità con il metodo di Tamez	153
Figura 142 – Valutazione delle azioni sismiche sui rivestimenti, gallerie scavo tradizionale	159
Figura 143 – Valutazione delle azioni sismiche sui rivestimenti, galleria scavo meccanizzato	160
Figura 144 - Stazioni di convergenza: convergenza diametrica media $C = DE+B0+AE/3$	175

Indice delle tabelle

Tabella 1: Sezioni tipo di avanzamento in modalità di scavo tradizionale.....	19
Tabella 2 – Parametri caratteristici delle formazioni interessate dal tracciato	22
Tabella 3 – Coperture massime presenti nelle gallerie in progetto, per i diversi litotipi interessati dallo scavo	27
Tabella 4 – Sezioni analizzate. Con la sigla L.C. si intende il metodo delle linee caratteristiche, la sigla F.E.M. indica invece l’analisi con il metodo degli elementi finiti	28
Tabella 5 – Percentuali di detensionamento adottate nei calcoli di stabilità.....	66
Tabella 6 – Parametri implementati nel modello di calcolo	66
Tabella 7 – Percentuali di detensionamento dell’analisi in faglia.....	81
Tabella 8 - Percentuali di detensionamento adottate per la verifica in detrito	86
Tabella 9 – Parametri imposti nel modello di calcolo	86
Tabella 10 – Indici necessari per la valutazione del Q_{TBM}	97
Tabella 11 – Tempi di scavo totali per la Galleria di Valico	100
Tabella 12 – Litotipi intercettati dalla Galleria di Valico	106
Tabella 13 – Sezioni di calcolo	107
Tabella 14 – Sollecitazioni agenti nell’anello di rivestimento con carico litostatico totalmente gravante sul cavo.....	154
Tabella 15 – Velocità di avanzamento ipotizzate per lo scavo tradizionale.....	156
Tabella 16 – Confronto scavo meccanizzato-tradizionale: tempi di realizzazione	157
Tabella 17 – Valutazione della necessità di drenaggio per le diverse gallerie	162

Tabella 18 – Portate previste nelle singole gallerie in corrispondenza delle zone di faglia ..	164
Tabella 19 – Interventi previsti in corrispondenza delle faglie	165
Tabella 20 – Imbocchi – Applicazione delle diverse tipologie di imbocco per ciascuna galleria	169

Elenco dei simboli

γ (kN/m ³)	=	peso di volume
σ_{ci}, σ_c (MPa)	=	resistenza a compressione della roccia intatta
m_i	=	parametro di Hoek e Brown della roccia intatta
m_p, m_r	=	parametri di Hoek e Brown dell'ammasso roccioso, di picco e residui
s_p, s_r	=	parametri di Hoek e Brown dell'ammasso roccioso, di picco e residui
RMR ₈₉	=	indice Rock Mass Rating di Bieniawski (1989) per l'ammasso roccioso
GSI	=	indice Geological Strength Index di Hoek et al. (1995-2000)
c_p, c_r (kPa)	=	coesione di picco e residua
ϕ_p, ϕ_r (°)	=	angolo di attrito di picco e residuo
σ_{v0} (MPa)	=	tensione verticale indisturbata (originaria)
D (-)	=	parametro di danneggiamento
E (MPa)	=	modulo di elasticità
σ_{gd} (MPa)	=	resistenza a compressione dell'ammasso roccioso
σ_{td} (MPa)	=	resistenza a trazione dell'ammasso roccioso
β	=	rapporto tra σ_{td} e σ_{gd}
ν (-)	=	coefficiente di Poisson
k_o (-)	=	coefficiente di spinta a riposo
K (m/s)	=	permeabilità
λ (-)	=	percentuale di scarico tensionale (detensionamento)
U_r (m)	=	spostamento radiale al contorno di scavo
EA (kN/m)	=	rigidezza assiale
EI (kNm ² /m)	=	rigidezza flessionale
M (MNm)	=	momento flettente
N (MN)	=	sforzo normale
Q (MN)	=	sforzo di taglio
f_{yk} (MPa)	=	tensione di snervamento caratteristica
f_{yd} (MPa)	=	tensione di snervamento di progetto
f_{ck} (MPa)	=	resistenza cubica a compressione caratteristica
f_{cd} (MPa)	=	resistenza a compressione di progetto
f_{ctk} (MPa)	=	resistenza cubica a trazione caratteristica
f_{ctd} (MPa)	=	resistenza a trazione di progetto
I (m ⁴)	=	momento d'inerzia
s (m)	=	spessore

Q	=	indice Q di Barton (1974)
Q_{TBM}	=	indice Q di Barton per lo scavo meccanizzato (2000)
PR (m/h)	=	Penetration rate, velocità di avanzamento teorica dello scavo meccanizzato
AR (m/h)	=	Advancing rate, velocità di avanzamento effettiva dello scavo meccanizzato
a (m)	=	raggio della cavità
R_f (m)	=	raggio di estensione del fenomeno di detensionamento-spalling al contorno
h (m)	=	carico idrostatico agente sulla calotta della galleria
Q_f (m ³ /s)	=	portata emunta al fronte
V_p (m/s)	=	velocità di propagazione delle onde P nell'ammasso roccioso
V_s (m/s)	=	velocità di propagazione delle onde S nell'ammasso roccioso

1 INTRODUZIONE

Il tracciato in oggetto presenta una lunghezza complessiva di circa 39 km, di cui oltre il 75% si colloca in galleria naturale. Le gallerie previste sono 8, di cui tutte di lunghezza inferiore ai 4 km, a meno della Galleria di Valico (L=15 km).

La presente relazione riporta i risultati delle verifiche realizzate per le diverse gallerie che costituiscono il tracciato in esame.

Le analisi fanno riferimento, per quanto riguarda le prime sette gallerie del tracciato, ad una metodologia di scavo tradizionale mentre, per la sola Galleria di Valico, si prevede di realizzare uno scavo meccanizzato con TBM monoscudata.

Le analisi di stabilità sono state realizzate, nel caso di scavo tradizionale, con i metodi delle linee caratteristiche e di Tamez e con modellazioni bidimensionali agli elementi finiti, mentre nel caso di scavo meccanizzato si è fatto ricorso al solo metodo delle linee caratteristiche, in quanto ritenuto particolarmente affidabile viste le alte coperture dell'opera in progetto, che rendono attendibile l'ipotesi di una distribuzione idrostatica delle tensioni al contorno di scavo.

Ulteriori considerazioni proposte nel presente studio fanno riferimento ad altrettanti aspetti progettuali, quali la definizione preliminare delle tipologie di imbocco e le analisi dei rivestimenti in condizioni sismiche.

2 OGGETTO E SCOPO

Oggetto della presente relazione sono le gallerie naturali che costituiscono il tracciato in progetto.

Lo scopo è quello di analizzare l'adeguatezza delle soluzioni realizzative scelte per le diverse gallerie in progetto.

3 DESCRIZIONE GALLERIE

Il tracciato in esame presenta una lunghezza complessiva di circa 39 km, di cui una porzione considerevole – circa il 75% – si pone in galleria. In totale le gallerie previste 10, di cui 8 naturali e 2 interamente artificiali:

Galleria	Lunghezza media [km]
S.Agata	0.98
Velo - artificiale	0.10
Cogollo	1.38
Costa del Prà	0.79
Forte Corbin	2.17
Pedescala	1.74
S.Pietro	3.55
Molino - artificiale	0.26
Pedemonte	1.83
Valico	15.11

Tutte le gallerie sono a doppia canna affiancata, con un diametro di scavo di circa 15 metri ciascuna.

Il tracciato si snoda tra la Valdastico e gli altopiani trentini di Lavarone e Folgaria, per raggiungere poi l'Adige in corrispondenza di Besenello.

Il percorso interessa un'area caratterizzata da una notevole omogeneità da un punto di vista geologico e geomeccanico, con coperture massime di circa 400-500 m in corrispondenza delle gallerie naturali, a meno della Galleria di Valico, per la quale il panorama geologico diventa ben più variegato e complesso, con coperture che raggiungono anche i 1500 metri.

Nel seguito si riporta una breve descrizione di ciascuna galleria in progetto, focalizzando l'attenzione sulle sole gallerie naturali.

Galleria S.Agata

La galleria presenta una lunghezza complessiva di 990 m per la Canna Nord, di 970 m per la Sud, comprensiva anche dei tratti in artificiale agli imbocchi. L'opera interessa in tutta la sua estensione materiali sciolti di origine glaciale e fluvioglaciale, e si pone in corrispondenza dell'abitato di Cogollo del Cengio, in prossimità del fiume Astico. Le coperture variano tra qualche metro e circa 25 metri. La falda freatica si presenta al di sotto della quota galleria.

Galleria Cogollo

La galleria, posizionata in prossimità dell'abitato di Arsiero, presenta una lunghezza di 1560 m in Canna Nord, 1205 m in Canna Sud, con coperture variabili fra 5 e 120 metri. La galleria si pone in materiali lapidei, ascrivibili alla Formazione della Dolomia Principale, mentre in corrispondenza degli imbocchi, in particolare dal lato Nord, interessa accumuli di detrito di versante costituiti da sabbie e ghiaie con blocchi, con coperture che possono anche raggiungere i 45-50 metri di materiale sciolto. La falda interessa l'ammasso roccioso, con coperture d'acqua di circa 20-30 m rispetto a quota galleria.

Galleria Costa del Prà

La galleria si estende per circa 855 m in Canna Nord, 717 m in Canna Sud, con coperture comprese fra 5 e 50 m. La galleria interessa per circa metà tracciato la Dolomia Principale, mentre nella metà lato Nord si pone interamente entro materiali detritici di versante. La falda si pone in prossimità della calotta della galleria.

Galleria Forte Corbin

La galleria interessa in tutta la sua estensione la Formazione della Dolomia Principale, con coperture variabili fra 5 e 200 metri. L'imbocco Sud presenta un tratto di circa 70 metri in detrito di versante. La lunghezza complessiva dell'opera, considerando anche le tratte in artificiale, è pari a 2210 m in Canna Nord, 2120 m in Canna Sud. La falda presenta un dislivello di circa 20 m rispetto alla quota della calotta.

Galleria Pedescala

La galleria, posizionata in corrispondenza dell'abitato di Pedescala, presenta una lunghezza complessiva di 1750 m in Canna Nord, 1735 m in Canna Sud. Il percorso interessa interamente la Formazione calcarea della Dolomia Principale, con coperture variabili fra 10 e 350 m. Il livello della falda si pone circa 20 m al di sopra della quota galleria. In corrispondenza dell'imbocco Sud la galleria intercetta per un tratto di circa 40-50 m un accumulo detritico di versante, caratterizzato da ghiaie e sabbie, con blocchi.

Galleria S.Pietro

La galleria si colloca in corrispondenza della sponda idrografica opposta a quella in cui si pone il borgo di S.Pietro Valdastico. La lunghezza complessiva è di 3507 m in carreggiata Nord e di 3596 m in carreggiata Sud. Il litotipo interessato dal tracciato è interamente rappresentato dalla Formazione della Dolomia Principale, con coperture variabili fra 5 e 330 m. Il livello di falda presenta una quota di circa 30 m al di sopra della calotta della galleria.

Galleria Pedemonte

La galleria si colloca all'altezza dell'abitato di Pedemonte, e presenta una lunghezza, comprensiva anche dei tratti artificiali agli imbocchi, di 1850 m in Canna Nord, 1815 m in

Canna Sud. La Formazione interessata è quella della Dolomia Principale, con coperture che raggiungono anche i 350 metri. In corrispondenza dell'imbocco Sud il percorso attraversa per circa 50-70 m un accumulo detritico di conoide, con coperture di qualche decina di metri. La falda presenta un'altezza di circa 50 m al di sopra della calotta della galleria.

Galleria di Valico

La Galleria di Valico è di gran lunga l'opera in sotterraneo più estesa e complessa dell'intero tracciato. Il percorso presenta un'estensione planimetrica di circa 15.145 m in Canna Nord, di 15.070 m in Canna Sud, sottopassando interamente l'altopiano di Folgaria per giungere alla valle dell'Adige in corrispondenza dell'abitato di Besenello. Le coperture variano fra pochi metri fino a 1450-1500 m in corrispondenza della porzione centrale. Trattandosi di una galleria ad alte coperture, il tracciato interessa sia la Formazione della Dolomia Principale, sia le formazioni al di sotto di questa. In termini generali le formazioni geologiche interessate dell'opera sono molteplici, sia di origine carbonatica (Dolomia Principale, Dolomia della Valsugana, Dolomia del Serla Inferiore, Dolomia della Valsugana) sia di tipo sedimentario clastico (Formazione di Werfen, Conglomerato di Voltago, Arenaria di Val Gardena, Formazione Gracilis, Gruppo di Raibl).

La falda presenta una posizione ben più elevata della galleria, con coperture di 1100 m rispetto alla calotta della galleria.

4 DESCRIZIONE SEZIONI TIPO

4.1 Scavo tradizionale

Per quanto riguarda lo scavo tradizionale, sono state adottate le seguenti sezioni tipo, vedi Tabella 1:

Tabella 1: Sezioni tipo di avanzamento in modalità di scavo tradizionale						
SEZIONE TIPO DI AVANZAMENTO	SFONDO MAX [m]	INTERVENTI		PRERIVESTIMENTO	RIVESTIMENTO DEFINITIVO	
		AL CONTORNO DI SCAVO	AL FRONTE		SPESSORE CALOTTA	SPESSORE ARCO ROVESCIO
Ab	4.5	Chiodature radiali tipo Swellex L=6 m	-	Spritz beton da 0,20 m	0.6 m	0.7 m
Ac	2.8	-	-	Centine accoppiate IPN160 e spritz beton da 0,20 m	0.6 m	0.7 m
B0	1.2	-	-	Centine accoppiate IPN180 e spritz beton da 0,25 m	0,7 m	0,7 m
B0V	1	Infilaggi metallici valvolati L=14 m		Centine accoppiate IPN180 e spritz beton da 0,25 m	0,60-1,23 m	0,90 m
B2V	1	Infilaggi metallici valvolati L=14 m	VTR L=15 m	Centine accoppiate IPN180 e spritz beton da 0,25 m	0,60-1,23 m	0,90 m
C1	1	Jet grouting, parzialmente armato con tubi metallici L=13 m	Jet grouting con VTR L=15 m	Centine accoppiate IPN220 e spritz beton da 0,25 m	0,60-1,59 m	1,0 m
C1*	1	jet grouting parzialmente armato con tubi metallici L=13 m in corrispondenza del detrito	Jet grouting con VTR L=15 m in corrispondenza del detrito	Centine accoppiate IPN220 e spritz beton da 0,25 m	0,60-1,59 m	1,0 m

4.2 Scavo meccanizzato

La sezione di scavo, perfettamente circolare, presenta un diametro nominale di 14,40 m.

Trattandosi di uno scavo realizzato con macchina TBM monoscudata, il cavo viene rivestito di pari passo con l'avanzamento. Il rivestimento è continuo, costituito da conci prefabbricati in calcestruzzo armato, di spessore 50 cm. L'intasamento a tergo dei conci verrà invece realizzato con malta cementizia o pea-gravel, in relazione alle condizioni idrauliche previste.

5 CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA DI RIFERIMENTO

Le gallerie in progetto interessano generalmente un solo litotipo, rappresentato dalla Dolomia Principale, con coperture variabili fra qualche metro e 400-500 m. Fa eccezione la Galleria di Valico, che, pur interessando la Dolomia nelle due porzioni laterali, nella parte centrale, a maggiore copertura, intercetta materiali più scadenti, sottostanti alla sequenza carbonatica e ascrivibili alla sequenza permo-triassica.

La classificazione geomeccanica dei materiali interessati dallo scavo delle gallerie è stata realizzata sulla base di:

- dati bibliografici;
- dati derivanti da rilievi di superficie;
- dati derivanti da sondaggi realizzati in aree prossime al tracciato;
- prove Point-Load su campioni di roccia.

Si osserva quindi che tendenzialmente tutte le informazioni a disposizione fanno riferimento a dati superficiali, estendibili a coperture pari o inferiori ai 50 metri. Di conseguenza, laddove la copertura supera tale limite, diventa necessario quantificare in termini ingegneristici la variazione dei parametri geomeccanici dei diversi litotipi, alla luce di un progressivo miglioramento della qualità rocciosa al crescere della profondità.

Nella seguente tabella 2 si propone un riepilogo dei parametri RMR_{89} , σ_{ci} ed m_i per le diverse litologie, in relazione a tre diverse classi di copertura:

- 5-50 m
- 50-500 m
- 500-1500 m

Tabella 2 – Parametri caratteristici delle formazioni interessate dal tracciato									
FORMAZIONE GEOLOGICA	PROFONDITA' 5-50 m			PROFONDITA' 50-500 m			PROFONDITA' 500-1500 m		
	m_i	σ_c	RMR	m_i	σ_c	RMR	m_i	σ_c	RMR
Dolomia principale	18	80	59	18	90	67	18	100	74
Dolomia della Valsugana	16	60	52	16	65	60	16	72	67
Dolomia del Serla inferiore	16	60	48	16	65	56	16	72	63
Formazione a Gracilis	12	40	40	12	45	48	12	50	55
Formazione di Werfen	12	30	45	12	33	53	12	36	60
Gruppo di Raibl	12	35	40	12	40	48	12	45	55
Conglomerato di Voltago	14	20	35	14	22	43	14	25	50
Formazione a Bellerophon	11	20	35	11	22	43	11	25	50
Arenarie di Val Gardena	18	25	40	18	28	48	18	30	55
Basamento metamorfico	10	30	41	10	33	49	10	36	56
Vulcaniti indifferenziate	10	30	60	10	33	68	10	36	75
Dolomia del Sindech	16	60	56	16	66	64	16	72	71
Calcari scuri di Margon	10	35	30	10	40	38	10	45	45
Marne della Val di Centa	10	30	30	10	33	38	10	36	45
Calcari della Val di Gola	12	35	35	12	40	43	12	45	50

5.1 Metodologia di valutazione dei parametri geomeccanici

La caratterizzazione geomeccanica dei litotipi attraversati dalle gallerie è stata realizzata mediante l'inviluppo di rottura per gli ammassi rocciosi di Hoek-Brown, considerando il valore di GSI corrispondente all' RMR_{89} di riferimento, il valore di resistenza a compressione uniassiale σ_c ed il parametro m_i della roccia intatta.

L'inviluppo di rottura è espresso dalla seguente equazione:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + (m \sigma_c \sigma_3 + s \sigma_c^2)^a$$

Dove:

- σ_c = 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, che tengono conto del grado di fratturazione che caratterizza la roccia in posto:

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

$$m_r = 0.7m_p$$

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

$$s_r = 0.04s_p$$

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

in cui:

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

D = parametro di danneggiamento dell'ammasso roccioso, considerato in questo caso pari a 0.1 per lo scavo tradizionale e nullo 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 i parametri coesione e angolo di attrito nelle condizioni di picco e residue.

6 SCAVO TRADIZIONALE

6.1 Introduzione

Si prevede lo scavo tradizionale in tutte le gallerie del tracciato di progetto, ad eccezione della galleria di Valico. Tale scelta è principalmente dovuta alla ridotta estensione planimetrica delle gallerie in oggetto, che rende l'ipotesi di scavo meccanizzato non conveniente sia da un punto di vista economico che per quanto riguarda i tempi realizzativi.

Lo scavo verrà realizzato con mezzi meccanici e, in corrispondenza dei materiali di migliore qualità geomeccanica - come la Dolomia Principale - mediante esplosivo con microcariche, per ridurre il disturbo arrecato alla massa rocciosa.

6.2 Scelta delle sezioni di calcolo

Di seguito si elencano tutte le gallerie in cui si prevede di adottare un avanzamento con metodo di scavo tradizionale, con indicazione dei litotipi intercettati, e delle condizioni di copertura che le caratterizzano.

Galleria S.Agata

- Da pk 2+820 a 3+810 km carreggiata Nord
- Da pk 2+820 a 3+790 km carreggiata Sud
- Copertura: da 5 a 25 m
- Litotipi interessati: depositi glaciali e fluvioglaciali

Galleria Cogollo

- Da pk 7+400 a 8+960 km carreggiata Nord
- Da pk 7+420 a 8+625 km carreggiata Sud
- Copertura: da 5 a 130 m
- Litotipi interessati: detrito di versante/Dolomia Principale

Le sezioni in roccia presentano coperture variabili fra 5 e 130 metri, le sezioni in detrito presentano coperture massime di 40-45 m.

Galleria Costa del Prà

- Da pk 9+075 a 9+930 km carreggiata Nord
- Da pk 9+108 a 9+825 km carreggiata Sud
- Copertura: da 5 a 50 m
- Litotipi interessati: detrito di versante/Dolomia Principale

Le sezioni in roccia presentano una copertura massima di 50 metri, le sezioni in detrito presentano coperture variabili fra 5 e 25 m.

Galleria Forte Corbin

- Da pk 10+070 a 12+280 km carreggiata Nord
- Da pk 10+150 a 12+270 km carreggiata Sud
- Copertura: da 5 a 200 m
- Litotipi interessati: detrito di versante/Dolomia Principale

Le sezioni in roccia presentano una copertura massima di 200 metri, le sezioni in detrito presentano coperture ben più ridotte, variabili fra 5 e 30 m.

Galleria Pedescala

- Da pk 12+410 a 14+160 km carreggiata Nord
- Da pk 12+400 a 14+134 km carreggiata Sud
- Copertura: da 5 a 330 m
- Litotipi interessati: detrito di versante/Dolomia Principale

Le sezioni in detrito, localizzate all'imbocco Sud, presentano coperture ridotte, riconducibili alla galleria S.Agata. Per le sezioni in roccia si hanno le seguenti sezioni di massima copertura:

- 50 m, Dolomia in classe di copertura 5-50 m;
- 300 m, Dolomia in classe di copertura 50-500 m.

Galleria San Pietro

- Da pk 14+730 a 18+237 km carreggiata Nord
- Da pk 14+690 a 18+277 km carreggiata Sud
- Copertura: da 5 a 330 m
- Litotipi interessati: Dolomia Principale

Galleria Pedemonte

- Da pk 21+115 a 22+965 km carreggiata Nord
- Da pk 21+140 a 22+955 km carreggiata Sud
- Copertura: da 5 a 350 m
- Litotipi interessati: detrito di conoide/Dolomia Principale

Le sezioni in detrito presentano coperture ridotte, riconducibili alla galleria S.Agata. Per le sezioni in roccia la copertura è variabile fra poche decine di metri e 350 m.

Nella tabella seguente si ripropone l'elenco delle precedenti gallerie, con indicazione delle coperture massime che competono ai diversi litotipi:

Tabella 3 – Coperture massime presenti nelle gallerie in progetto, per i diversi litotipi interessati dallo scavo

Galleria	Litotipo	Copertura massima [m]
S.Agata	Materiali sciolti	25
Cogollo	Materiali sciolti	45
	Dolomia Principale	130
Costa del Prà	Materiali sciolti	25
	Dolomia Principale	50
Forte Corbin	Materiali sciolti	30
	Dolomia Principale	200
Pedescala	Materiali sciolti	30
	Dolomia Principale	330
San Pietro	Dolomia Principale	330
Pedemonte	Materiali sciolti	30
	Dolomia Principale	350

Dall'analisi della tabella precedente è derivata la scelta delle sezioni di calcolo, realizzata facendo riferimento alle condizioni medie e massime di copertura sia per quanto riguarda il materiale sciolto che le sezioni in Dolomia principale.

Nella seguente tabella sono elencate le sezioni analizzate. Si tratta di due sezioni che fanno riferimento alle zone di imbocco, in cui lo scavo può avvenire in materiali sciolti, localmente cementati, generalmente di tipo detritico, mentre le restanti analisi sono state realizzate per la Dolomia Principale. In questo secondo caso si è fatto riferimento alla suddivisione per classi di copertura approfonditamente descritta nella Relazione Geomeccanica, scegliendo di analizzare in termini tenso-deformativi le sezioni medio-massime afferenti alle due classi di profondità 0-50 m e 50-500 m.

Tabella 4 – Sezioni analizzate. Con la sigla L.C. si intende il metodo delle linee caratteristiche, la sigla F.E.M. indica invece l'analisi con il metodo degli elementi finiti		
SEZIONI ANALIZZATE	SEZIONE TIPO	METODOLOGIA DI ANALISI
Materiale sciolto, copertura 20 m	C1	L.C., Tamez, F.E.M.
Materiale sciolto, copertura 40 m		
Dolomia Principale, classe I, copertura 50 m	Ab	L.C., Tamez
Dolomia Principale, classe II, copertura 350 m, RMR medio (RMR89=67)	Ab	L.C., F.E.M.
Dolomia Principale, classe II, copertura 350 m, RMR minimo (RMR89=55)	B0	
Dolomia Principale, classe II, copertura 500 m, RMR medio (RMR89=67)	Ab	L.C.
Dolomia Principale, classe II, copertura 500 m, RMR minimo (RMR89=55)	B0	
Faglia in Dolomia Principale, copertura 250 m	B0	L.C., Tamez, F.E.M.
Faglia in Dolomia Principale, copertura 350 m	B0V	L.C., Tamez

6.3 Metodologia di analisi

La stabilità del cavo all'avanzamento e successivamente in presenza dei rivestimenti è stata analizzata mediante l'utilizzo dei seguenti modelli matematici:

- metodo convergenza-confinamento (metodo delle linee caratteristiche);
- metodo di Tamez;
- modello agli elementi finiti bidimensionale.

Linee caratteristiche

Ciascuna sezione è stata analizzata applicando la teoria delle linee caratteristiche, che consente di verificare la stabilità del cavo e del fronte in assenza di rivestimento, l'estensione della fascia plastica ed il comportamento dell'ammasso in presenza dei rivestimenti previsti. L'impiego di questa metodologia ha inoltre permesso di valutare le percentuali di detensionamento adottate nel calcolo FEM per la simulazione delle diverse fasi esecutive.

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.

La galleria presenta un diametro di scavo equivalente di 15,2 m nel caso di scavo in tradizionale e di 14,40 m per quello meccanizzato.

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

Il metodo di calcolo adottato permette di tener conto delle principali curve di detensionamento proposte in letteratura. Caso per caso, si è scelta quale di queste risulti più idonea a valutare l'interazione roccia-sostegno, in ragione della qualità geomeccanica dell'ammasso roccioso e della tipologia di sostegno adottata.

Metodo di Tamez

La stabilità del fronte è stata valutata anche mediante il metodo proposto da Tamez, che si basa su una verifica all'equilibrio limite delle condizioni di stabilità dell'ammasso roccioso.

Modello agli elementi finiti

L'analisi delle sezioni di calcolo è stata inoltre realizzata adottando il programma di calcolo FEM Plaxis, che simula l'avanzamento della costruzione della galleria riducendo progressivamente le forze equivalenti applicate al contorno del cavo.

Tale analisi, se da un lato consente di ottenere un riscontro ai risultati dell'analisi con le linee caratteristiche, dall'altro ha il vantaggio di fornire le sollecitazioni agenti punto per punto sui rivestimenti, necessarie per realizzare la verifica strutturale degli stessi.

Si sono adottate due diverse sequenze di calcolo, di cui la prima, realizzata simulando la posa dei priverestimenti e poi dei rivestimenti definitivi, consente di avere una visione globale dell'evoluzione delle condizioni tenso-deformative dell'ammasso roccioso con l'avanzamento, mentre la seconda, che si ferma alla fase di posa dei rivestimenti preliminari, ha principalmente lo scopo di fornire le sollecitazioni agenti sui sostegni di prima fase.

Tutte le analisi sono state realizzate associando all'ammasso roccioso un modello di comportamento elastico perfettamente plastico.

6.4 Analisi di stabilità – Linee caratteristiche e metodo di Tamez

6.4.1 Sezione in materiali sciolti – 20 e 40 m

L'analisi viene realizzata con il metodo di Tamez. L'analisi evidenzia l'instabilità del fronte in assenza di interventi di consolidamento, sia nel caso di copertura 20 m, Figura 1, che in presenza di una copertura di materiale detritico pari a 40 m, Figura 2.

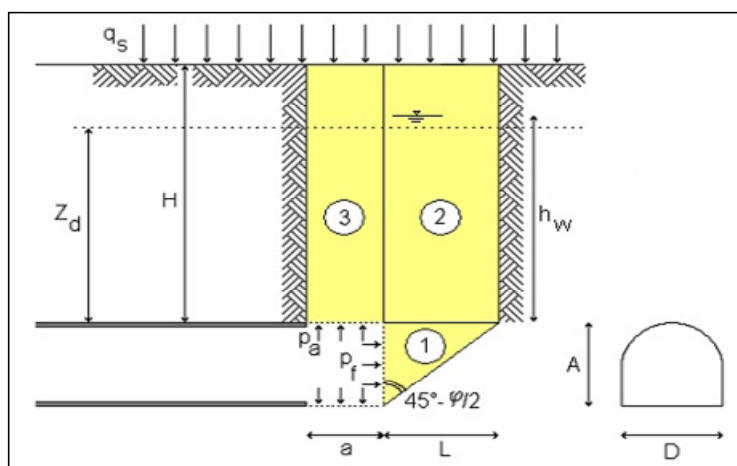
**ANALISI DI STABILITA' DI TAMEZ - TABELLE RIEPILOGATIVE
CASO GENERALE**

RIASSUNTO DATI DI INGRESSO

GEOMETRIA			
a	lunghezza libera	1	m
A	h galleria	11.25	m
D	largh. galleria	15.2	m
L	estens.longitud.cuneo	5.49	m
H	copertura da calotta	40	m
Z _d	tratto di influenza scavo	25.84	m
S	sezione di scavo	146.21	m ²

TERRENO			
γ	peso di volume	19	kNm ³
c	coesione	5	kPa
ϕ	attrito	38	°
q _s	sovraccarico	0	kPa

CONDIZIONI IDRAULICHE			
γ_w	peso di volume	10	kN/m ³
α_1	condizioni di drenaggio	0.4	
β	permeab.ammasso	1	
h _w	copertura acqua	0	m
	presenza di raggiera drenante in chiave?	no	si/no



RIASSUNTO RISULTATI - no interventi

STABILITA' DEL FRONTE			
FS _f	fattore di sicurezza	0.8	
p _f	pressione al fronte	0.00	kPa
p _{f max}	pressione massima applicabile	199.63	kPa

STABILITA' DELLA CHIAVE			
FS _{c pl}	fattore di sicurezza alla plasticizzazione	0.25	
FS _c	fattore di sicurezza in chiave	3.6	
p _a	pressione in chiave	0.00	kPa

STABILITA' GLOBALE			
FS _g	fattore di sicurezza	0.69	

Figura 1 – Detrito, copertura 20 m - Analisi di stabilità con il metodo di Tamez

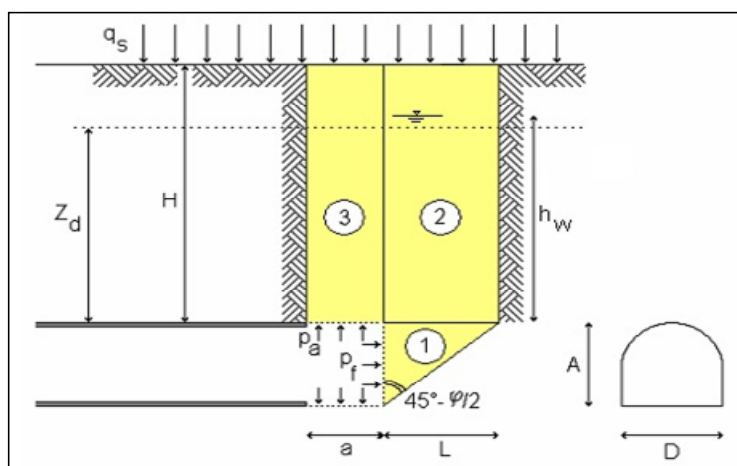
**ANALISI DI STABILITA' DI TAMEZ - TABELLE RIEPILOGATIVE
CASO GENERALE**

RIASSUNTO DATI DI INGRESSO

GEOMETRIA			
a	lunghezza libera	1	m
A	h galleria	11.25	m
D	largh. galleria	15.2	m
L	estens.longitud.cuneo	5.49	m
H	copertura da calotta	40	m
Z _d	tratto di influenza scavo	25.84	m
S	sezione di scavo	146.21	m ²

TERRENO			
γ	peso di volume	19	kNm ³
c	coesione	5	kPa
φ	attrito	38	°
q _s	sovraccarico	0	kPa

CONDIZIONI IDRAULICHE			
γ _w	peso di volume	10	kN/m ³
α ₁	condizioni di drenaggio	0.4	
β	permeab.ammasso	1	
h _w	copertura acqua	0	m
	presenza di raggiera drenante in chiave?	no	si/no



RIASSUNTO RISULTATI - no interventi

STABILITA' DEL FRONTE			
FS _f	fattore di sicurezza	0.8	
p _f	pressione al fronte	0.00	kPa
p _{f max}	pressione massima applicabile	199.63	kPa

STABILITA' DELLA CHIAVE			
FS _{c pl}	fattore di sicurezza alla plasticizzazione	0.25	
FS _c	fattore di sicurezza in chiave	3.6	
p _a	pressione in chiave	0.00	kPa

STABILITA' GLOBALE			
FS _g	fattore di sicurezza	0.69	

Figura 2 – Detrito, copertura 40 m - Analisi di stabilità con il metodo di Tamez

6.4.2 Sezione in Dolomia Principale – 50 m

In Figura 3 si propone la caratterizzazione della Dolomia Principale di classe I, alla copertura di 50 m.

In Figura 4 e Figura 5 sono riportati i risultati dell'analisi con linee caratteristiche in assenza di sostegni. Come si può osservare, il cavo è perfettamente stabile. Cavo e fronte lavorano in campo totalmente elastico, con spostamenti inferiori o prossimi al centimetro.

La sezione è stata comunque verificata applicando una sezione Ab, Figura 6, Figura 7, Figura 8, da cui si osserva come, in virtù dell'assenza di zone plastiche, le sollecitazioni sui rivestimenti siano molto ridotte.

Infine la Figura 9 riporta la verifica di stabilità al fronte realizzata con il metodo di Tamez. L'analisi garantisce la stabilità del fronte di scavo.

copertura		50	m	
peso specifico ammasso		25	kN/m	
indici caratterizz.	RMR ₈₉	59		
	BRMR	-		
	Q'	-		
	m _i	18		
	σ _c	80	MPa	
	σ _{v0}	1,25	MPa	
	GSI	54,00		
Hoek - Brown	m _p (di picco)	3,48		
	s _p (di picco)	6,03E-03		
	m _r (residuo)	2,44		
	s _r (residuo)	2,41E-04		
Mohr - Coulomb	copertura	c _p (di picco)	0,904	MPa
		φ _p (di picco)	61	°
		c _r (residuo)	0,554	MPa
		φ _r (residuo)	59	°
	origine	c _p (di picco)	0,565	MPa
		φ _p (di picco)	69	°
		c _r (residuo)	0,061	MPa
		φ _r (residuo)	69	°
parametri di resistenza	E	11,26	GPa	
	σ _{gd}	6,21	MPa	
	σ _{tg}	-0,14	MPa	
	β	0,022		

Figura 3 – Caratterizzazione della Dolomia Principale di classe I

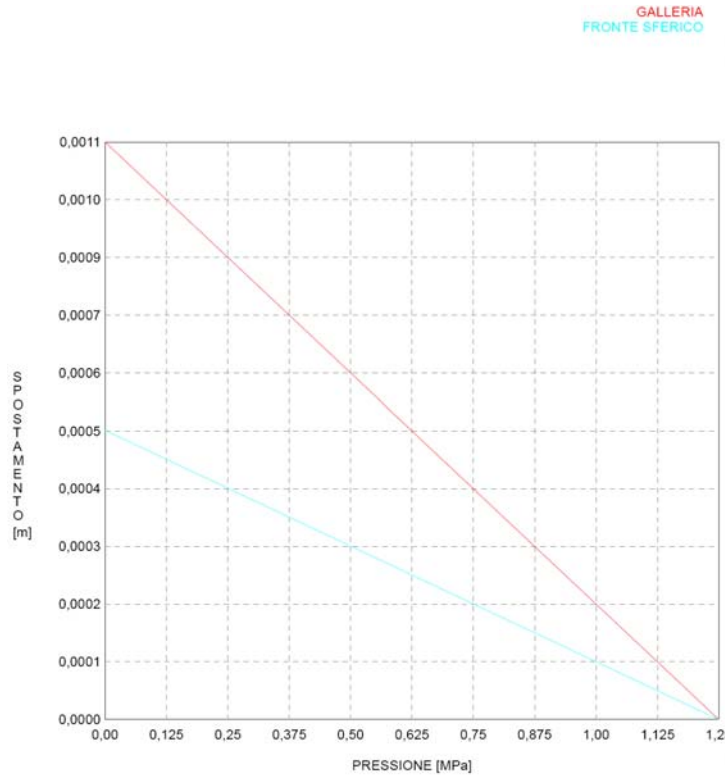


Figura 4 – Dolomia Principale, copertura 50m - Curve caratteristiche del fronte e del cavo in assenza di sostegni

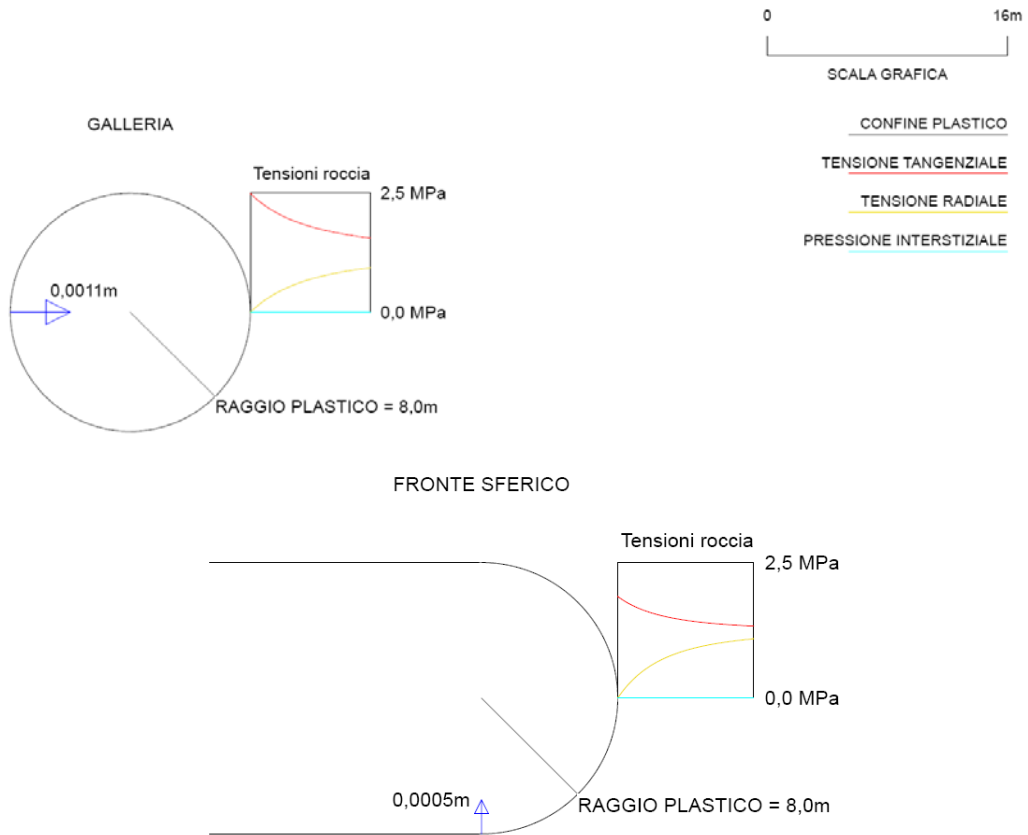


Figura 5 – Dolomia Principale, copertura 50m – Condizioni dell'ammasso roccioso in assenza di sostegni

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

PRERIVESTIMENTO
RIVESTIMENTO
GALLERIA
GALLERIA (LUNGO TERMINE)
GALLERIA (NO CHIODATURA - NO GROUTING)
FRONTE SFERICO

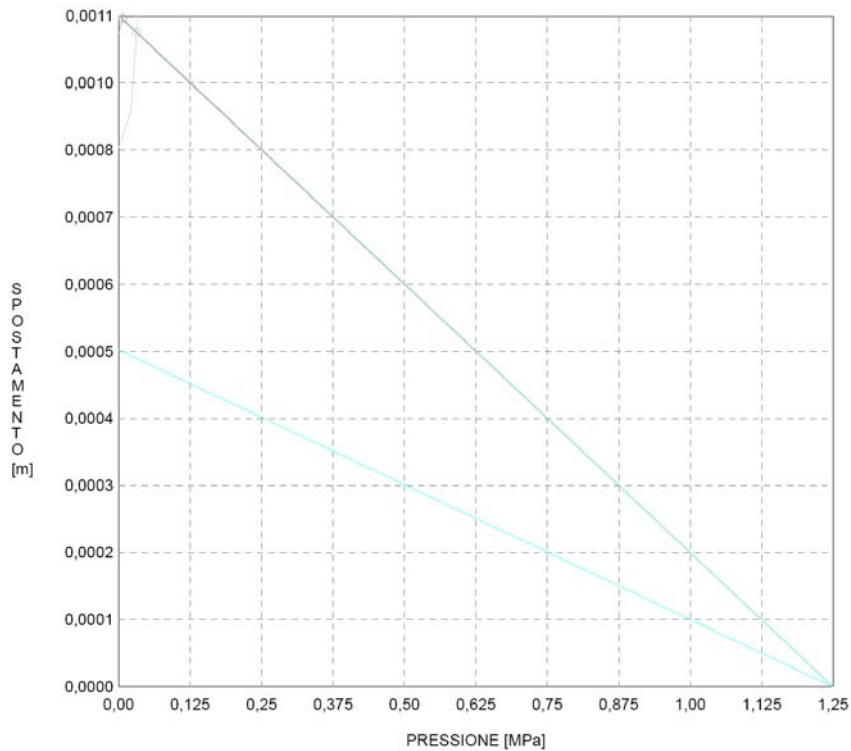


Figura 6 – Dolomia Principale, copertura 50m - Curve caratteristiche in presenza dei sostegni

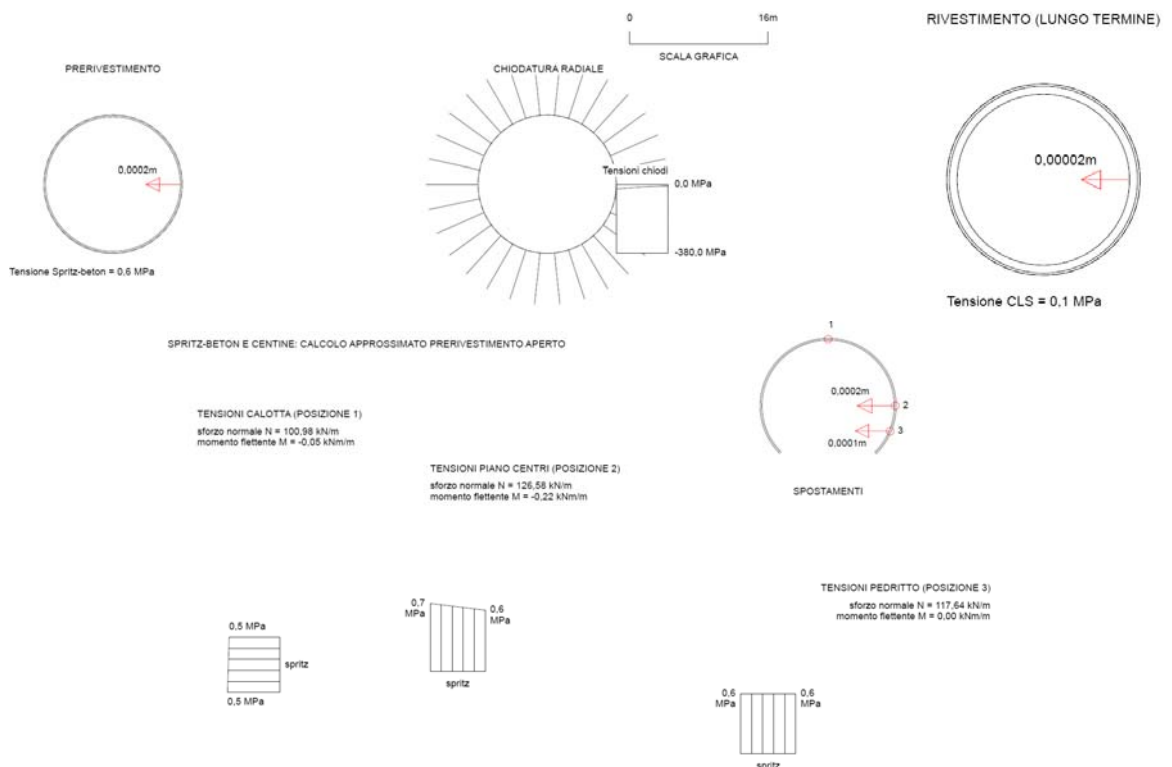


Figura 7 – Dolomia Principale, copertura 50m – Stato di sollecitazione nei sostegni

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

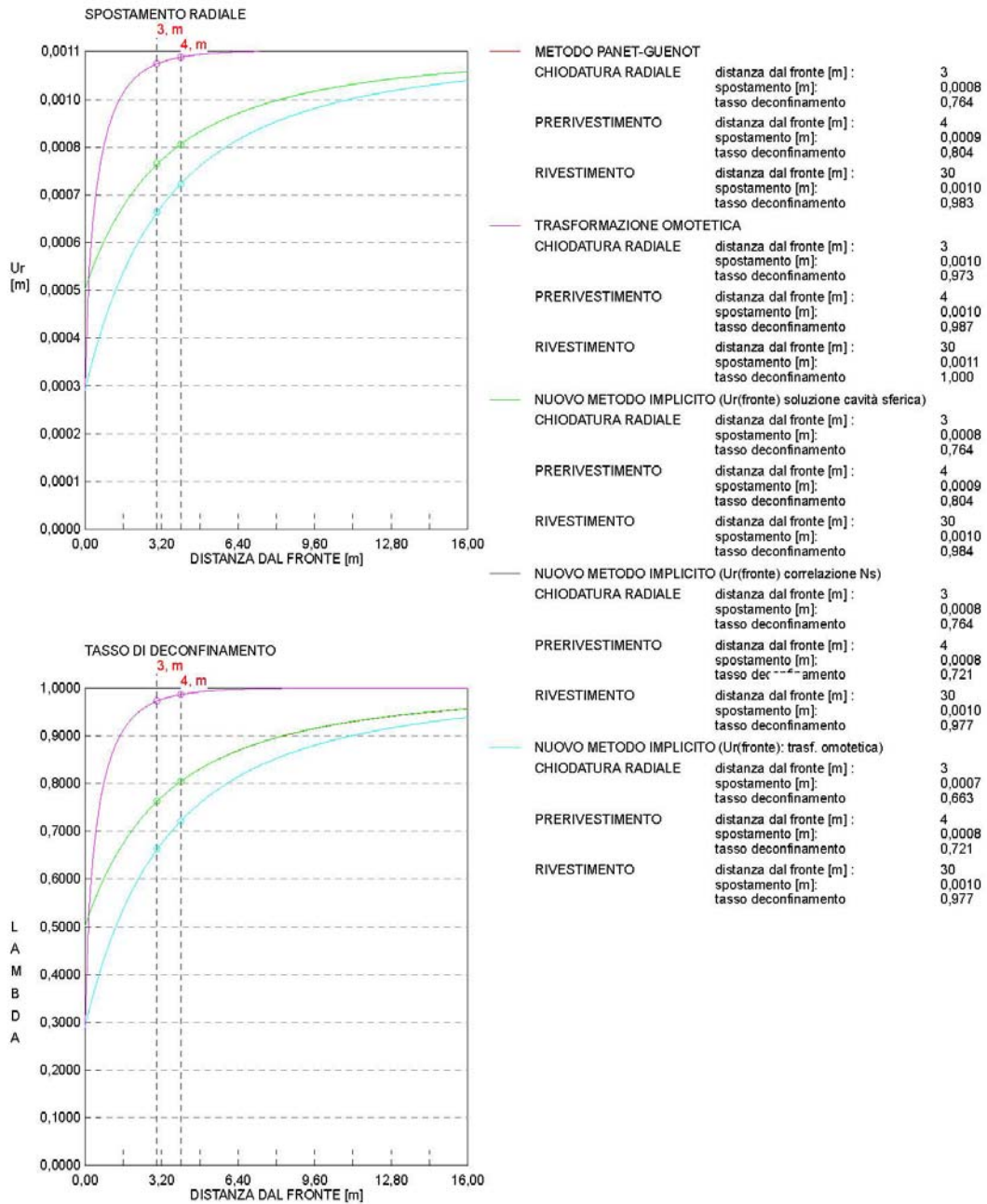


Figura 8 – Dolomia Principale, copertura 50m - Detensionamento dell’ammasso roccioso all’avanzare dello scavo

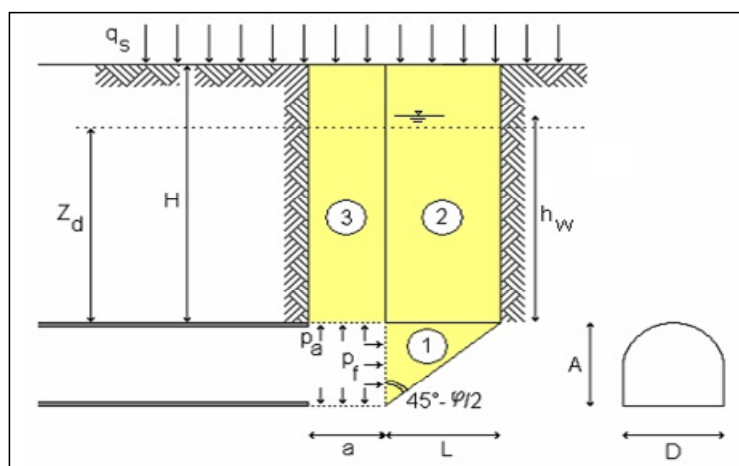
**ANALISI DI STABILITA' DI TAMEZ - TABELLE RIEPILOGATIVE
CASO GENERALE**

RIASSUNTO DATI DI INGRESSO

GEOMETRIA			
a	lunghezza libera	3	m
A	h galleria	11.25	m
D	largh. galleria	15.2	m
L	estens.longitud.cuneo	2.09	m
H	copertura da calotta	50	m
Z _d	tratto di influenza scavo	25.84	m
S	sezione di scavo	146.21	m ²

TERRENO			
γ	peso di volume	25	kNm ³
c	coesione	565	kPa
ϕ	attrito	69	°
q _s	sovraccarico	0	kPa

CONDIZIONI IDRAULICHE			
γ_w	peso di volume	10	kN/m ³
α_1	condizioni di drenaggio	0.4	
β	permeab.ammasso	1	
h _w	copertura acqua	0	m
	presenza di raggiera drenante in chiave?	no	si/no



RIASSUNTO RISULTATI - no interventi

STABILITA' DEL FRONTE			
FS _f	fattore di sicurezza	1.9	
p _f	pressione al fronte	0.00	kPa
p _{f max}	pressione massima applicabile	-234.97	kPa

STABILITA' DELLA CHIAVE			
FS _{c pl}	fattore di sicurezza alla plasticizzazione	1.24	
FS _c	fattore di sicurezza in chiave	1.5	
p _a	pressione in chiave	0.00	kPa

STABILITA' GLOBALE			
FS _g	fattore di sicurezza	0.92	

Figura 9 – Dolomia Principale, copertura 50m - Analisi di stabilità con il metodo di Tamez

6.4.3 Sezione in Dolomia Principale – 350 m

La sezione in Dolomia di classe II, con copertura di 350 m è stata verificata con le sezioni Ab e B0.

In particolare la sezione Ab è stata applicata in roccia caratterizzata da un RMR medio della classe di riferimento (67), mentre per la sezione B0 si è fatto riferimento all'RMR minimo della Dolomia Principale, pari a 55.

Di seguito si propongono le 2 caratterizzazioni:

- RMR = 67 Figura 10
- RMR = 55 Figura 11

I risultati proposti fanno riferimento all'impiego della curva di detensionamento di Panet-Guenot.

RMR = 67

Come si può osservare nelle Figura 12 e Figura 13, la Dolomia di RMR medio in classe II con 350 m di copertura si comporta in modo quasi perfettamente elastico, con una fascia plastica corticale limitata al contorno di scavo. Il fronte è invece totalmente in campo elastico.

La sezione, pur non necessitando di sostegni, prevede l'adozione di una sezione tipo Ab, con spritz beton e chiodi installati ad una distanza di 3 m dal fronte. Le sollecitazioni sui sostegni sono ridotte (Figura 14, Figura 15 e Figura 16). I chiodi, in particolare, hanno lo scopo non tanto di agire sulla stabilità globale, già ottima, ma di stabilizzare singoli blocchi al contorno di scavo.

RMR = 55

Quest'analisi prende in considerazione un locale peggioramento delle condizioni di fratturazione dell'ammasso dolomitico (fino a RMR minimo di 55), in corrispondenza del quale si adotta la sezione B0.

L'analisi con il metodo delle linee caratteristiche in assenza di sostegni (Figura 17 e Figura 18) evidenzia un comportamento plastico, seppur la zona plastica risulti comunque ridotta, dell'ordine di 1 m e spostamenti centimetrici al contorno.

La sezione viene stabilizzata con una sezione tipo B0 (Figura 19, Figura 20 e Figura 21) che prevede centine e spritz beton, con avanzamento di 1-1.5 m. Le sollecitazioni sui sostegni risultano ridotte. La stabilità è garantita.

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

	copertura	350	m	
	peso specifico ammasso	25	kN/m ³	
indici caratterizz.	RMR ₈₉	67		
	BRMR	-		
	Q'	-		
	m _i	18		
	σ _c	90	MPa	
	σ _{v0}	8,75	MPa	
	GSI	62,00		
Hoek - Brown	m _p (di picco)	4,63		
	s _p (di picco)	1,47E-02		
	m _r (residuo)	3,24		
	s _r (residuo)	5,87E-04		
Mohr - Coulomb	copertura	c _p (di picco)	2,993	MPa
		φ _p (di picco)	51	°
		c _r (residuo)	2,358	MPa
		φ _r (residuo)	48	°
	origine	c _p (di picco)	1,064	MPa
		φ _p (di picco)	64	°
		c _r (residuo)	0,115	MPa
		φ _r (residuo)	64	°
parametri di resistenza	E	18,93	GPa	
	σ _{gd}	10,90	MPa	
	σ _{tg}	-0,29	MPa	
	β	0,026		

Figura 10 – Caratterizzazione Dolomia Principale RMR = 67

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

	copertura	350	m
	peso specifico ammasso	25	kN/m

indici caratterizz.	RMR ₈₉	55	
	BRMR	-	
	Q'	-	
	m _i	18	
	σ _c	90	MPa
	σ _{v0}	8,75	MPa
	GSI	50,00	

Hoek - Brown	m _p (di picco)	2,75	
	s _p (di picco)	3,19E-03	
	m _r (residuo)	1,92	
	s _r (residuo)	1,28E-04	

Mohr - Coulomb	copertura	c _p (di picco)	2,393	MPa
		φ _p (di picco)	46	°
		c _r (residuo)	2,081	MPa
		φ _r (residuo)	43	°
	origine	c _p (di picco)	0,440	MPa
		φ _p (di picco)	63	°
		c _r (residuo)	0,048	MPa
		φ _r (residuo)	62	°

parametri di resistenza	E	7,21	GPa
	σ _{gd}	5,08	MPa
	σ _{tg}	-0,10	MPa
	β	0,021	

Figura 11 – Caratterizzazione Dolomia Principale RMR = 55

GALLERIA
FRONTE SFERICO

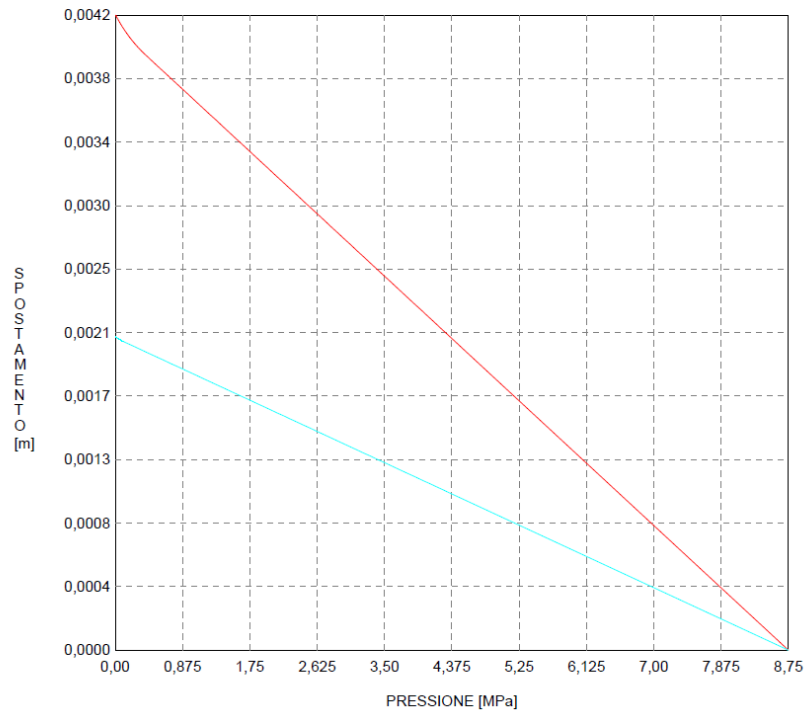


Figura 12 – Dolomia Principale, copertura 350m - RMR=67, Curve caratteristiche del fronte e del cavo in assenza di sostegni

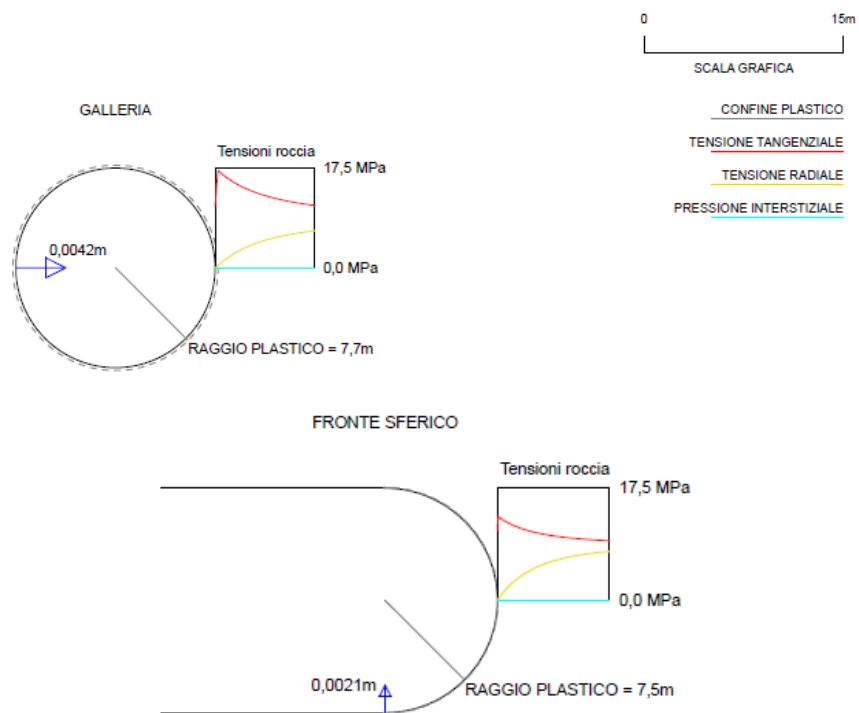


Figura 13 – Dolomia Principale, copertura 350m - RMR=67, Condizioni dell'ammasso roccioso in assenza di interventi

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

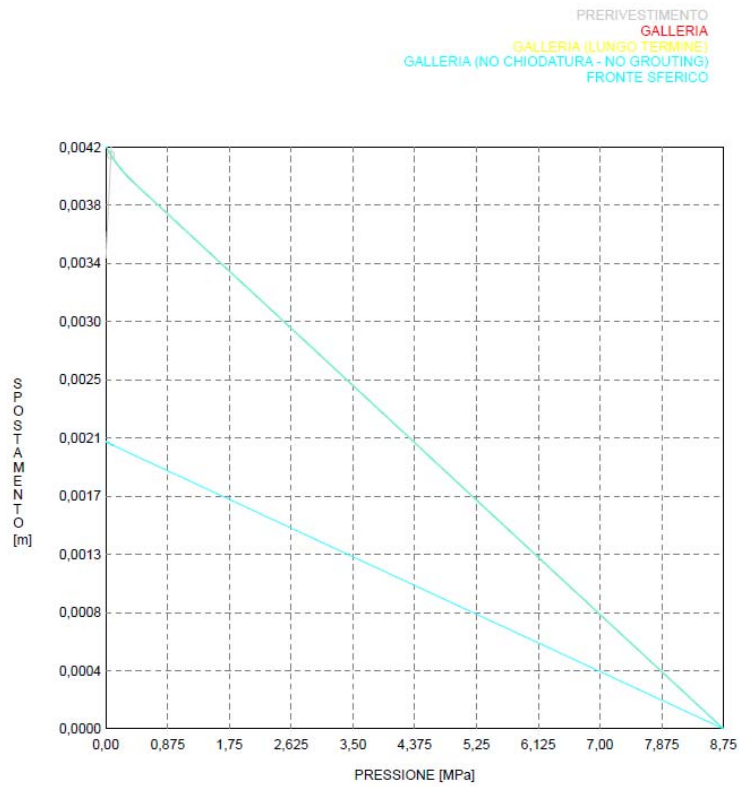


Figura 14 – Dolomia Principale, copertura 350m - RMR=67, Curve caratteristiche in presenza dei sostegni

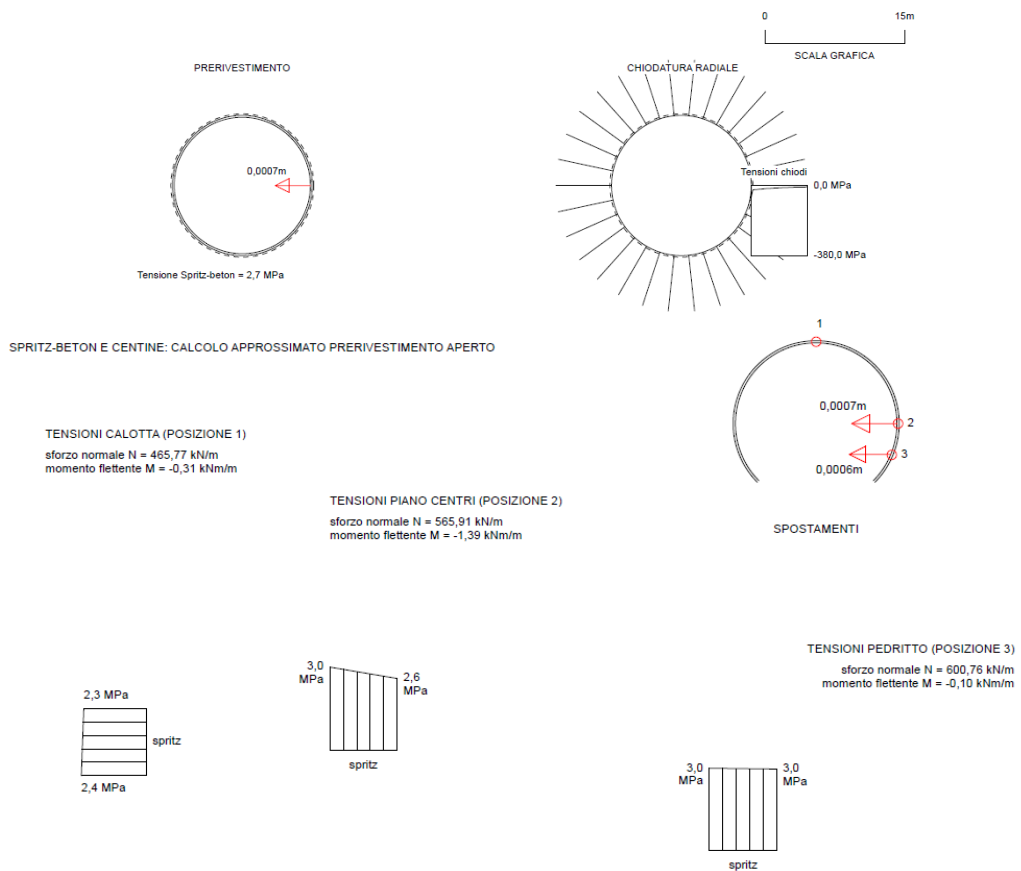


Figura 15 – Dolomia Principale, copertura 350m - RMR=67, Stato di sollecitazione nei sostegni

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

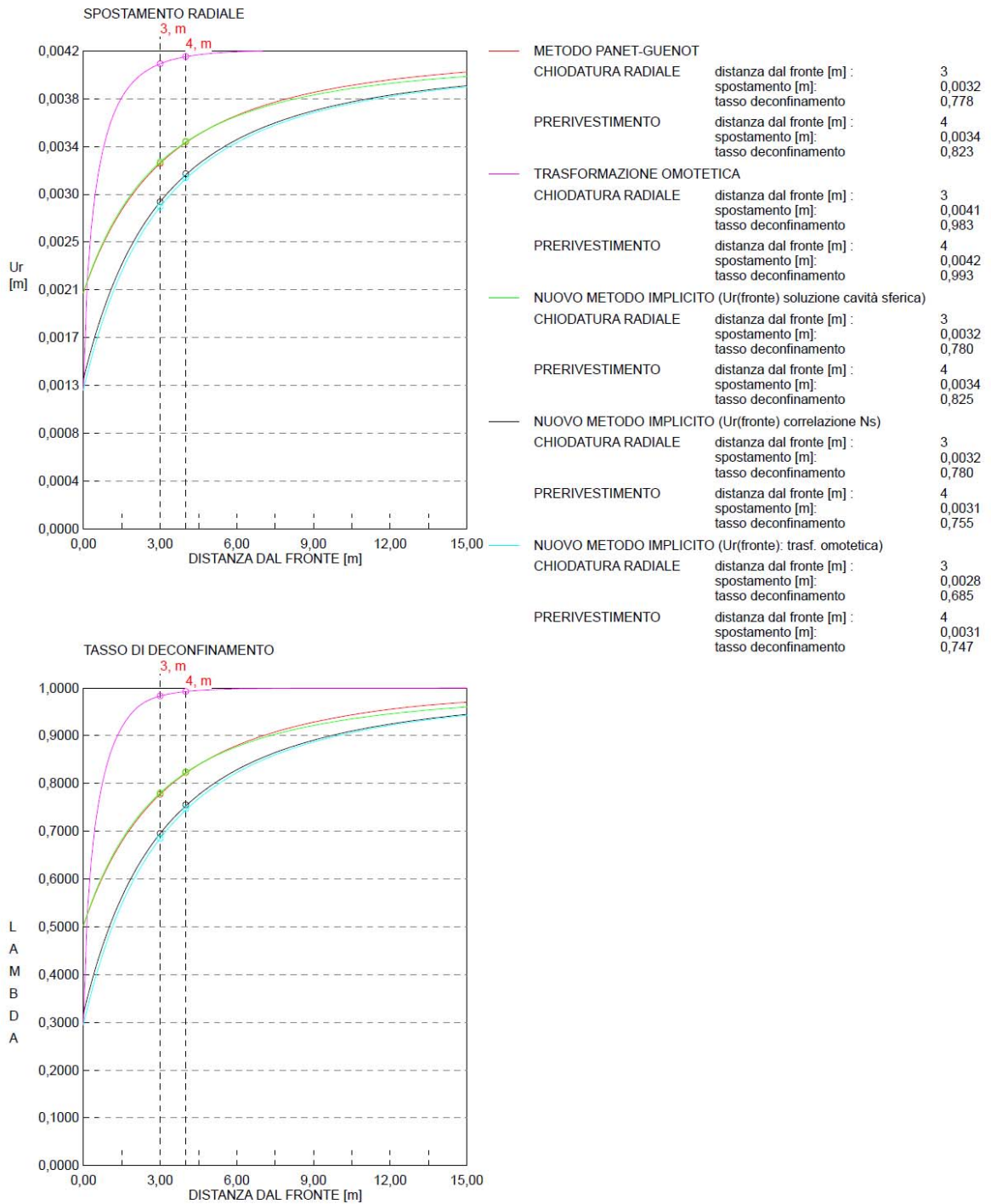


Figura 16 – Dolomia Principale, copertura 350m - RMR=67, Detensionamento dell'ammasso roccioso all'avanzare dello scavo

GALLERIA
FRONTE SFERICO

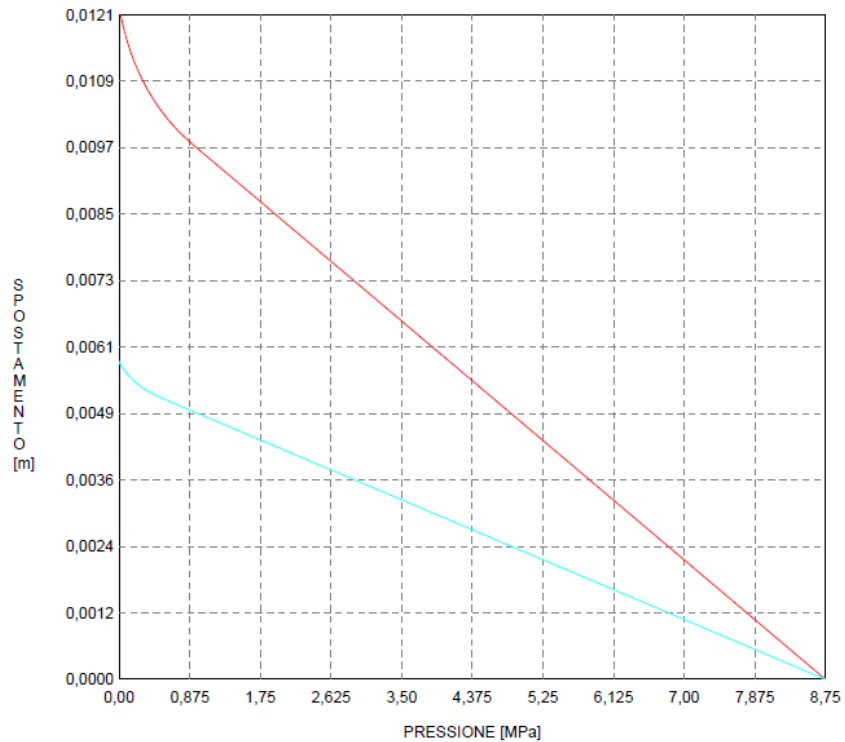


Figura 17 – Dolomia Principale, copertura 350m - RMR=55, Curve caratteristiche del fronte e del cavo in assenza di sostegni

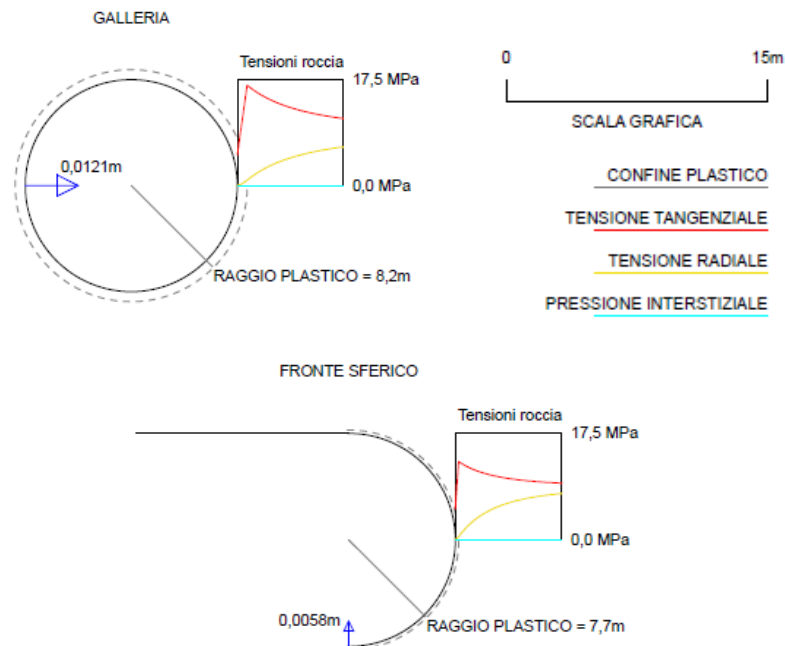


Figura 18 – Dolomia Principale, copertura 350m - RMR=55, Condizioni dell'ammasso roccioso in assenza di interventi

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

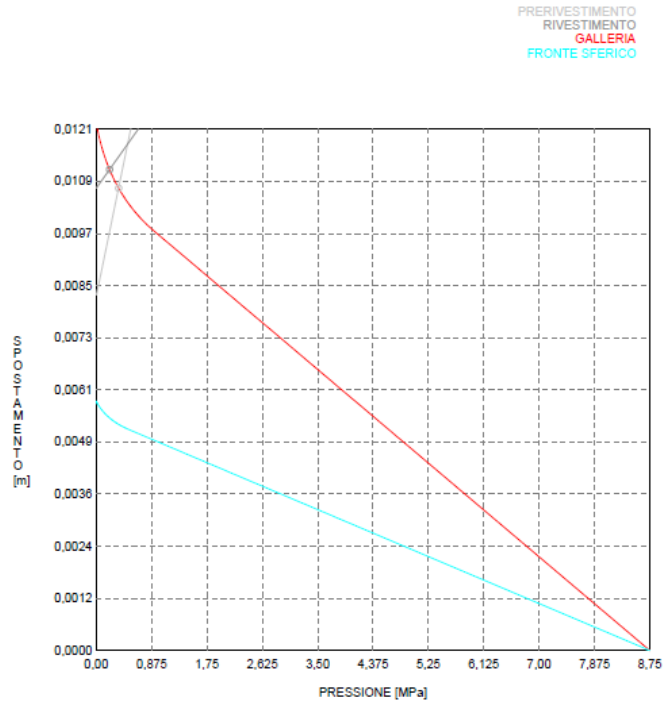


Figura 19 – Dolomia Principale, copertura 350m - RMR=55, Curve caratteristiche del cavo e del fronte in presenza dei sostegni

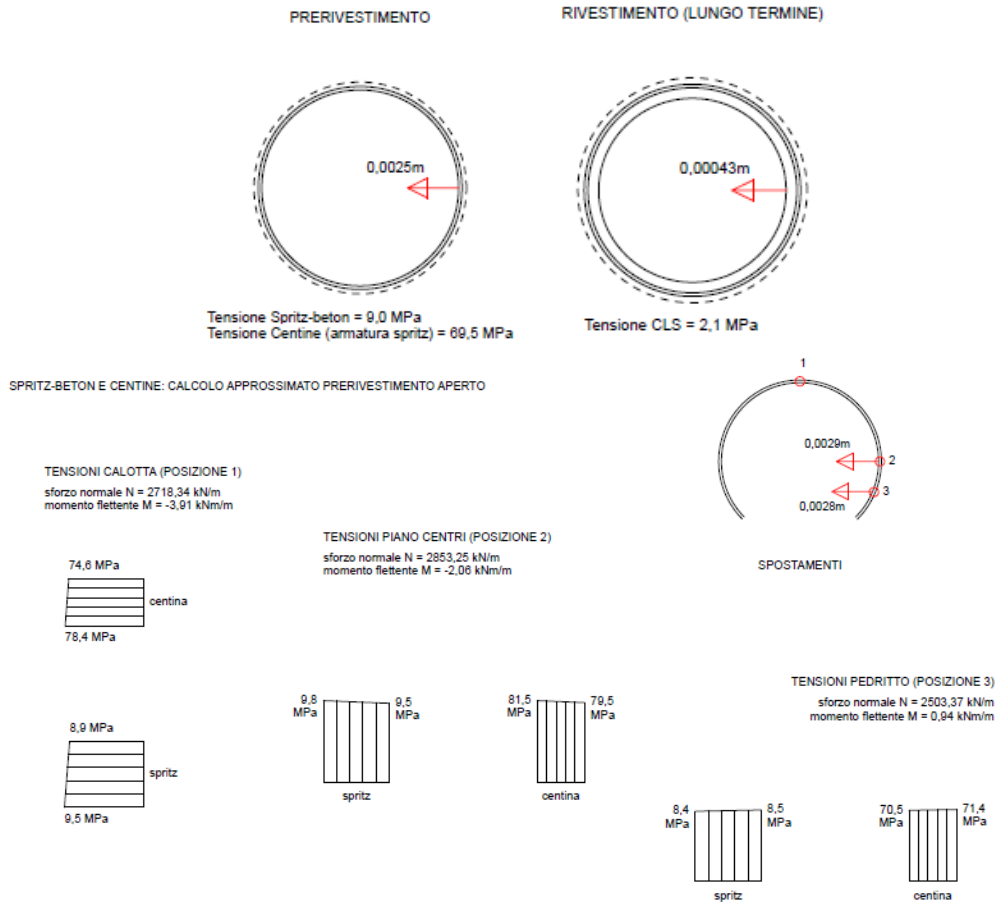


Figura 20 – Dolomia Principale, copertura 350m - RMR=55, Stato di sollecitazione nei sostegni

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

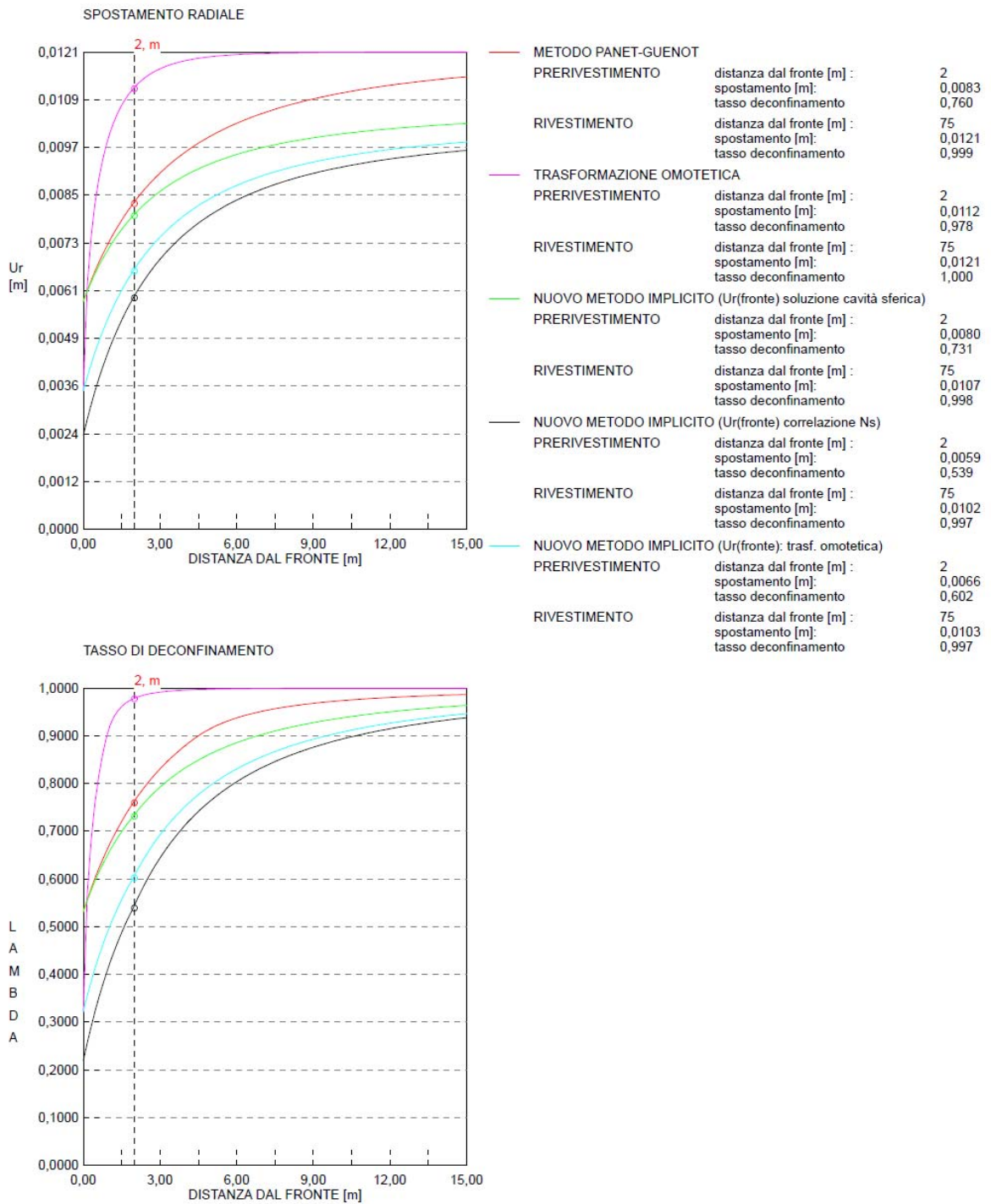


Figura 21 – Dolomia Principale, copertura 350m - RMR=55, Detensionamento dell'ammasso roccioso all'avanzare dello scavo

6.4.4 Sezione in Dolomia Principale – 500 m

Analogamente a quanto fatto per una copertura di 350 m, si procede analizzando una sezione in Dolomia a 500 m di profondità con RMR = 67 (classe II) per la verifica della sezione Ab, con RMR = 55 per la sezione tipo B0.

Questa condizione di copertura non si presenta lungo le gallerie in cui è previsto lo scavo tradizionale, ma si è comunque ritenuto utile analizzarla al fine di sottolineare la buona qualità geomeccanica della Dolomia Principale, anche a profondità maggiori a quelle di progetto.

RMR = 67

In Figura 22 si propone la caratterizzazione della Dolomia Principale In classe II con RMR medio della classe di competenza.

L'analisi con il metodo delle linee caratteristiche in assenza di sostegni, Figura 24 e Figura 25, evidenzia la stabilità della sezione analizzata. L'estensione della fascia plastica varia da 20 cm al fronte al mezzo metro al contorno di scavo, con spostamenti di ordine millimetrico.

Nelle Figura 26, Figura 27 e Figura 28 si verifica l'adeguatezza della sezione Ab quale sezione tipo di avanzamento nelle tratte a minore fratturazione, in condizioni di copertura di classe II.

RMR = 55

In Figura 23 si propone la caratterizzazione della Dolomia di classe II, localmente caratterizzata da un maggiore grado di fratturazione.

L'analisi proposta evidenzia la stabilità del cavo e del fronte, seppur con la formazione di una fascia plastica di spessore metrico al contorno di scavo.

La sezione viene stabilizzata con la sezione tipo B0, Figura 31, Figura 32 e Figura 33, che consente una riduzione delle convergenze. Le sollecitazioni sui rivestimenti risultano del tutto accettabili.

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

copertura		500	m
peso specifico ammasso		25	kN/m ³

indici caratterizz.	RMR ₈₉	67	
	BRMR	-	
	Q'	-	
	m _i	18	
	σ _c	90	MPa
	σ _{v0}	12,50	MPa
	GSI	62,00	

Hoek - Brown	m _p (di picco)	4,63	
	s _p (di picco)	1,47E-02	
	m _r (residuo)	3,24	
	s _r (residuo)	5,87E-04	

Mohr - Coulomb	copertura	c _p (di picco)	4,153	MPa
		φ _p (di picco)	46	°
		c _r (residuo)	3,481	MPa
		φ _r (residuo)	43	°
	origine	c _p (di picco)	1,060	MPa
		φ _p (di picco)	62	°
		c _r (residuo)	0,115	MPa
		φ _r (residuo)	62	°

parametri di resistenza	E	18,93	GPa
	σ _{gd}	10,90	MPa
	σ _{tg}	-0,29	MPa
	β	0,026	

Figura 22 – Caratterizzazione Dolomia Principale RMR = 67

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

		copertura	500	m
		peso specifico ammasso	25	kN/m ³
indici caratterizz.	RMR ₈₉		55	
	BRMR		-	
	Q'		-	
	m _i		18	
	σ _c		90	MPa
	σ _{v0}		12,50	MPa
	GSI		50,00	
Hoek - Brown	m _p (di picco)		2,75	
	s _p (di picco)		3,19E-03	
	m _r (residuo)		1,92	
	s _r (residuo)		1,28E-04	
Mohr - Coulomb	copertura	c _p (di picco)	3,465	MPa
		φ _p (di picco)	42	°
		c _r (residuo)	3,080	MPa
		φ _r (residuo)	38	°
	origine	c _p (di picco)	0,439	MPa
		φ _p (di picco)	60	°
		c _r (residuo)	0,048	MPa
		φ _r (residuo)	59	°
parametri di resistenza	E	7,21	GPa	
	σ _{gd}	5,08	MPa	
	σ _{ig}	-0,10	MPa	
	β	0,021		

Figura 23 – Caratterizzazione Dolomia Principale RMR = 55

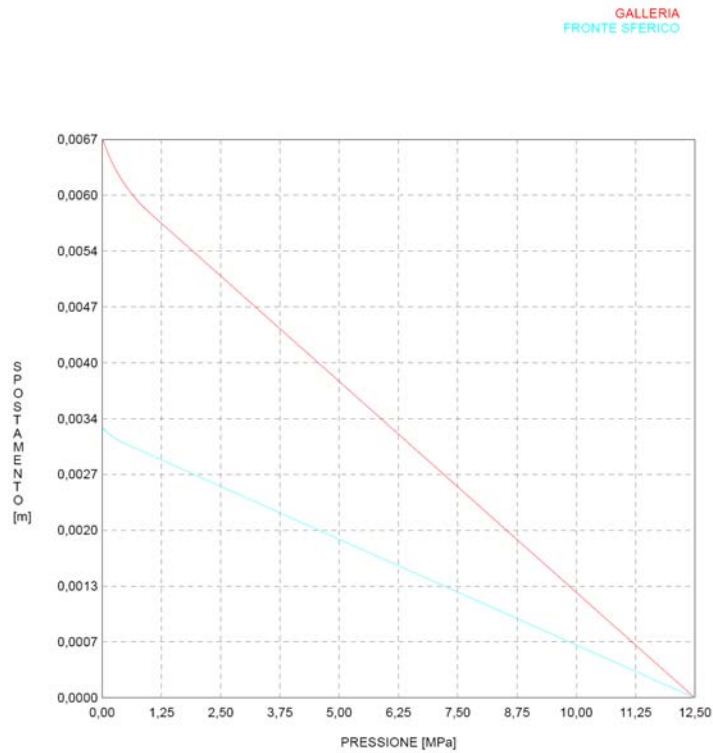


Figura 24 – Dolomia Principale, copertura 500m - RMR = 67, Curve caratteristiche del fronte e del cavo in assenza di sostegni

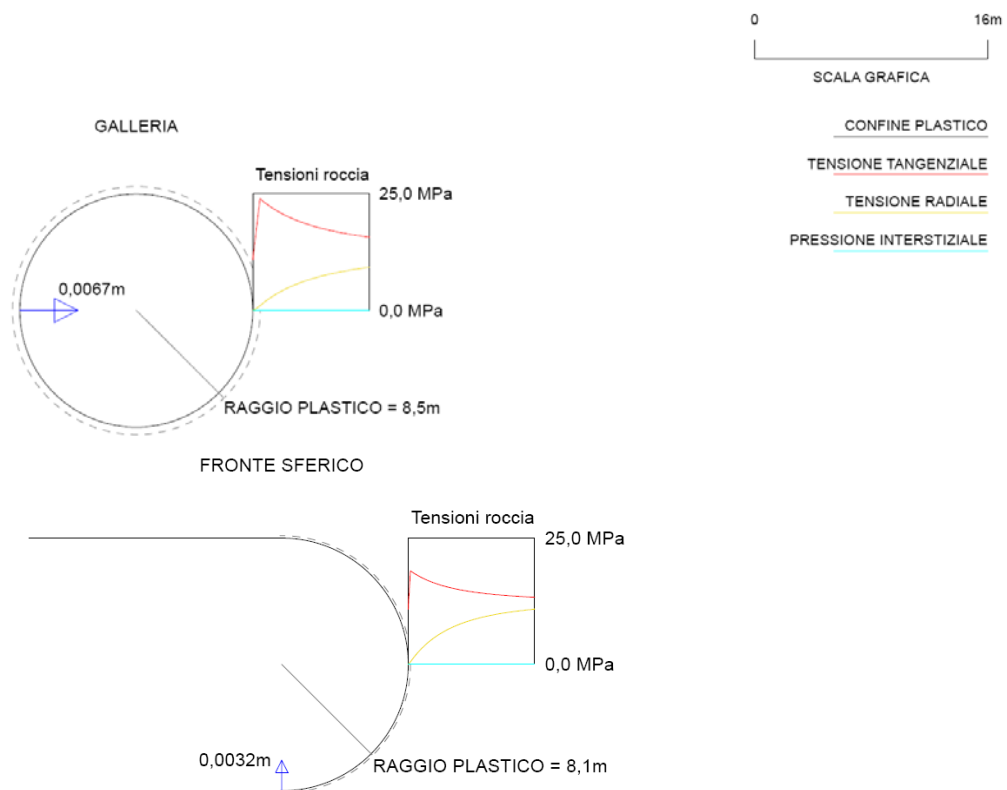


Figura 25 – Dolomia Principale, copertura 500m – RMR = 67, Condizioni dell’ammasso roccioso in assenza di interventi

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

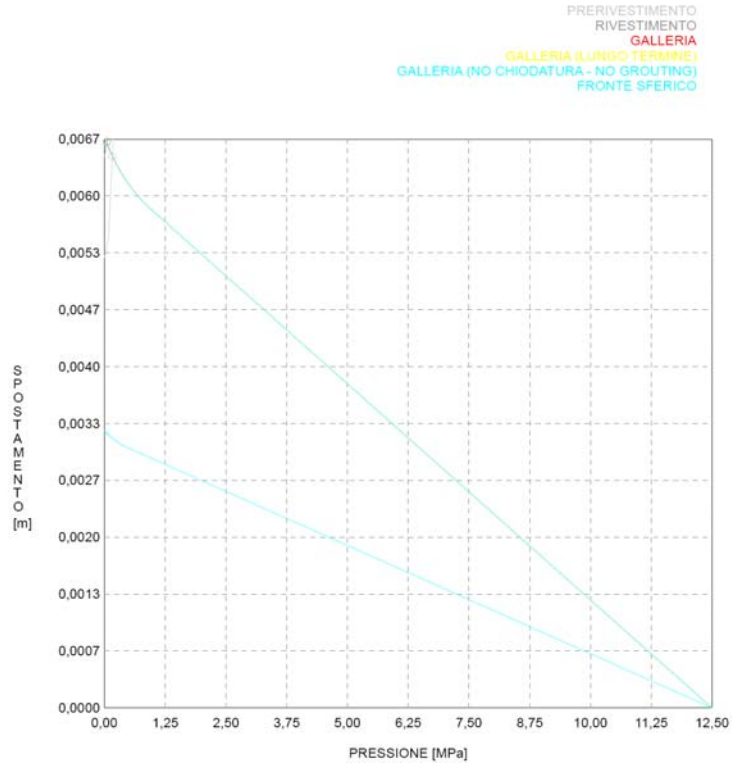


Figura 26 – Dolomia Principale, copertura 500m – RMR = 67, Curve caratteristiche in presenza dei sostegni

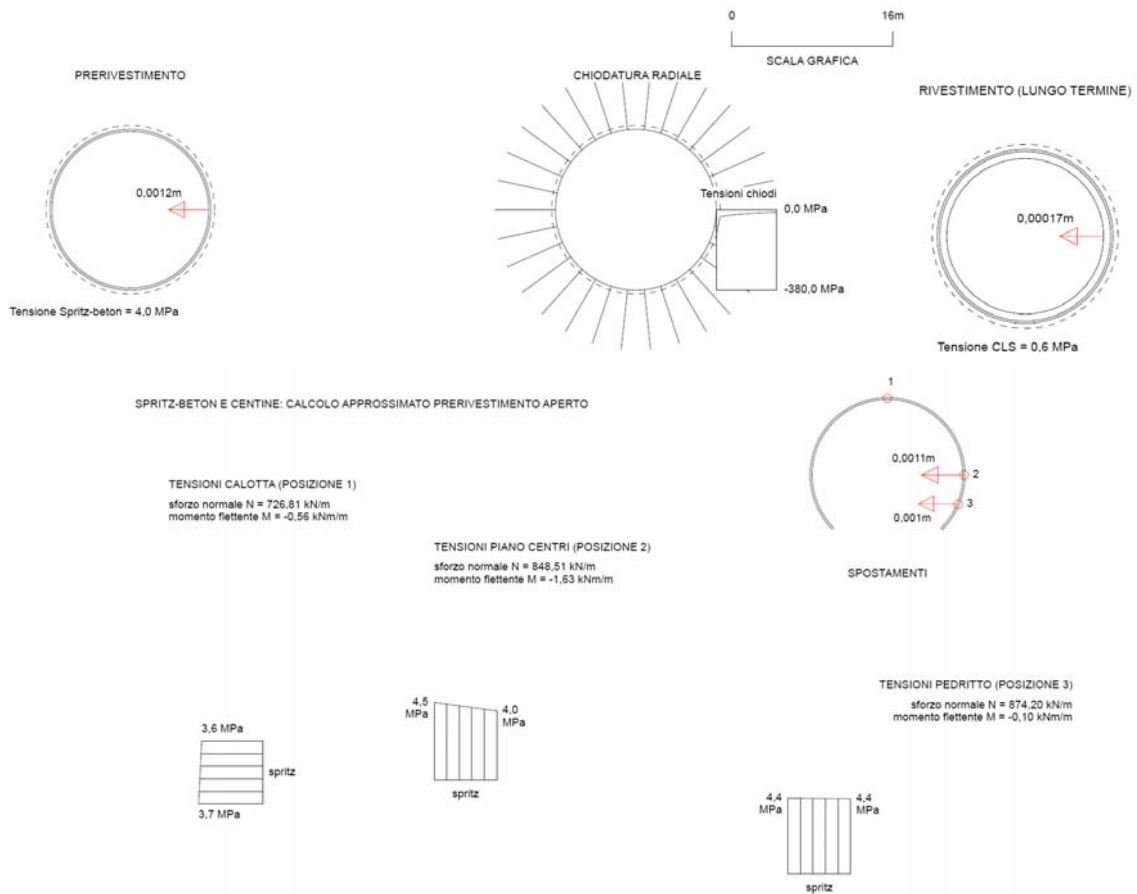


Figura 27 – Dolomia Principale, copertura 500m – RMR = 67, Stato di sollecitazione nei sostegni

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

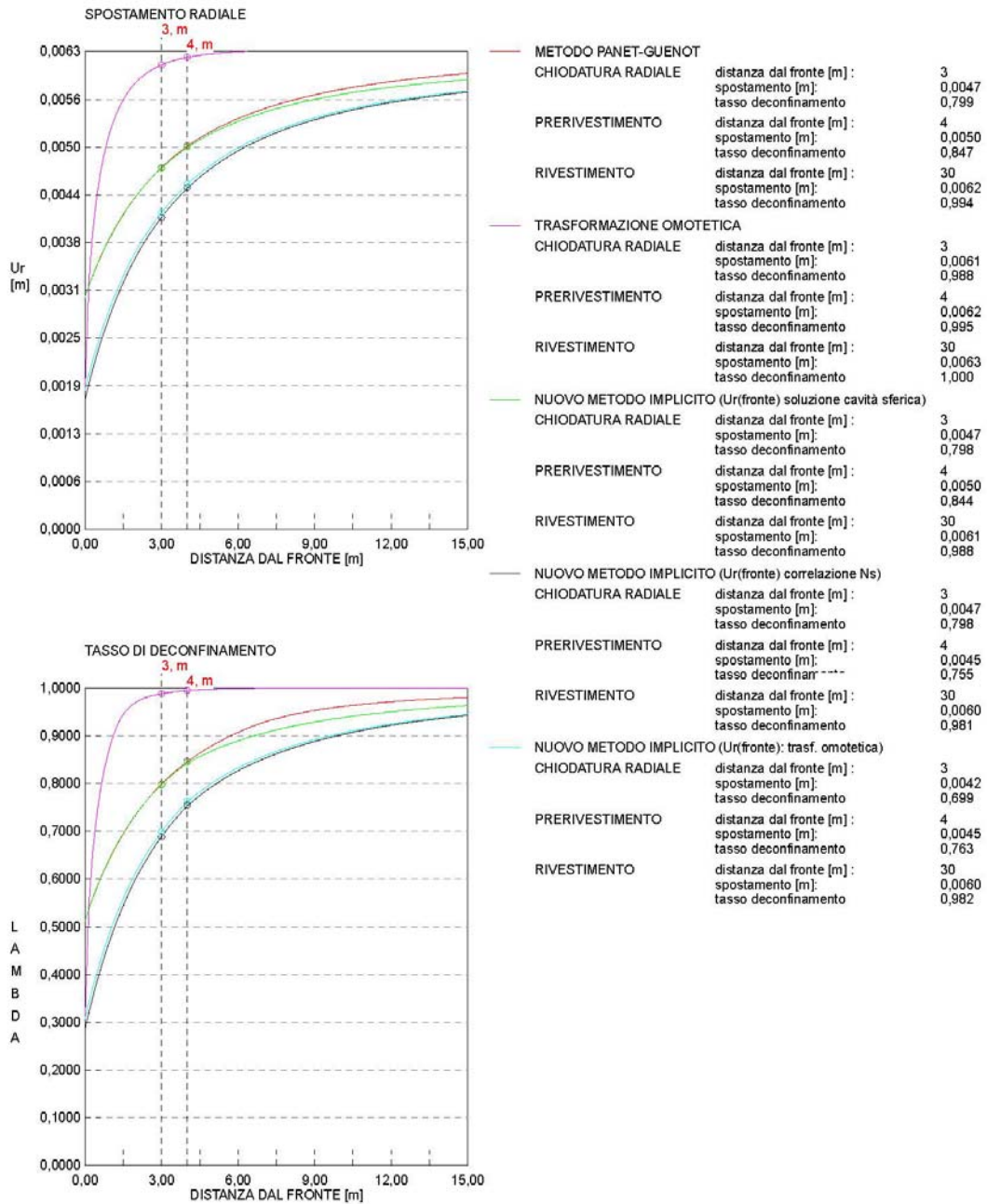


Figura 28 – Dolomia Principale, copertura 500m – RMR = 67, Detensionamento dell’ammasso roccioso all’avanzare dello scavo

GALLERIA
FRONTE SFERICO

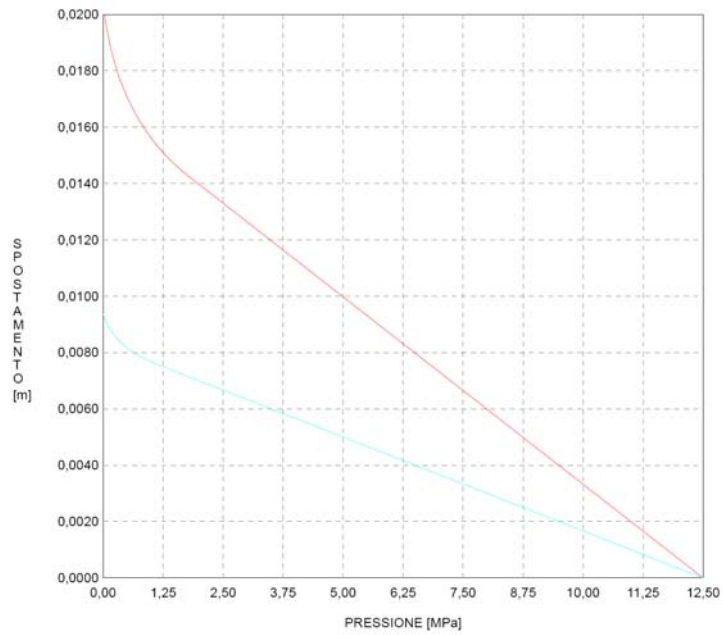


Figura 29 – Dolomia Principale, copertura 500m – RMR = 55, Curve caratteristiche del fronte e del cavo in assenza di sostegni

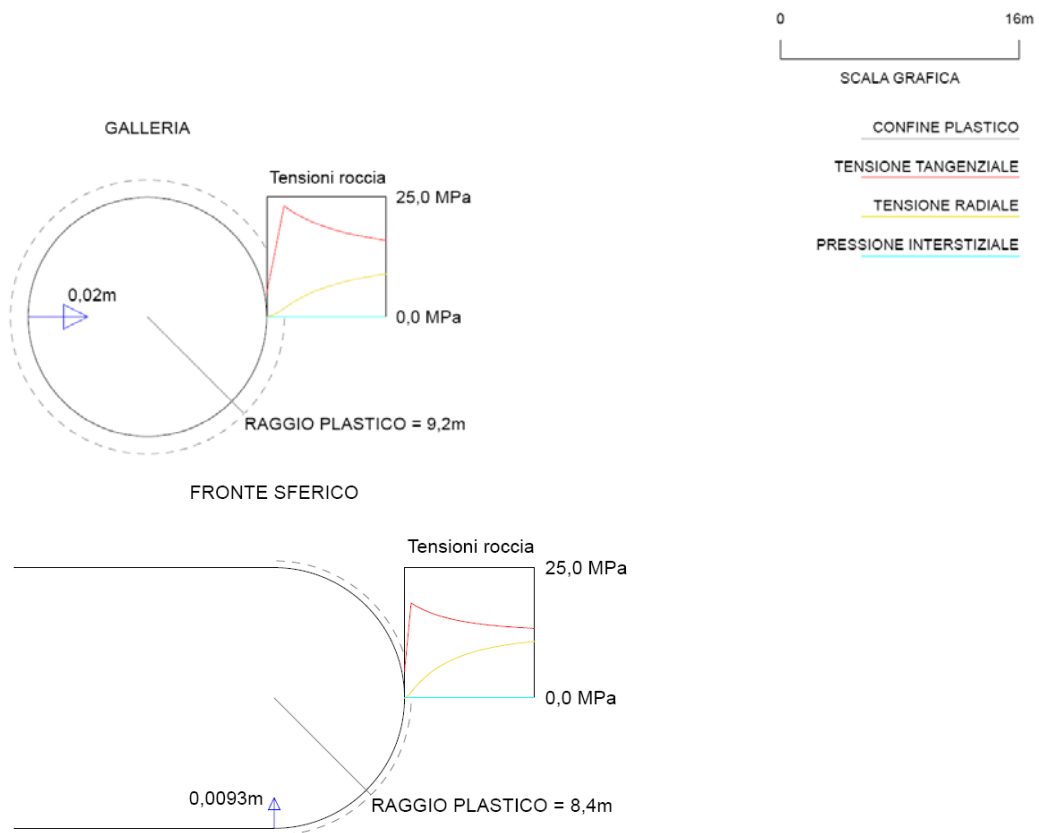


Figura 30 – Dolomia Principale, copertura 500m – RMR = 55, Condizioni dell'ammasso roccioso in assenza di interventi

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

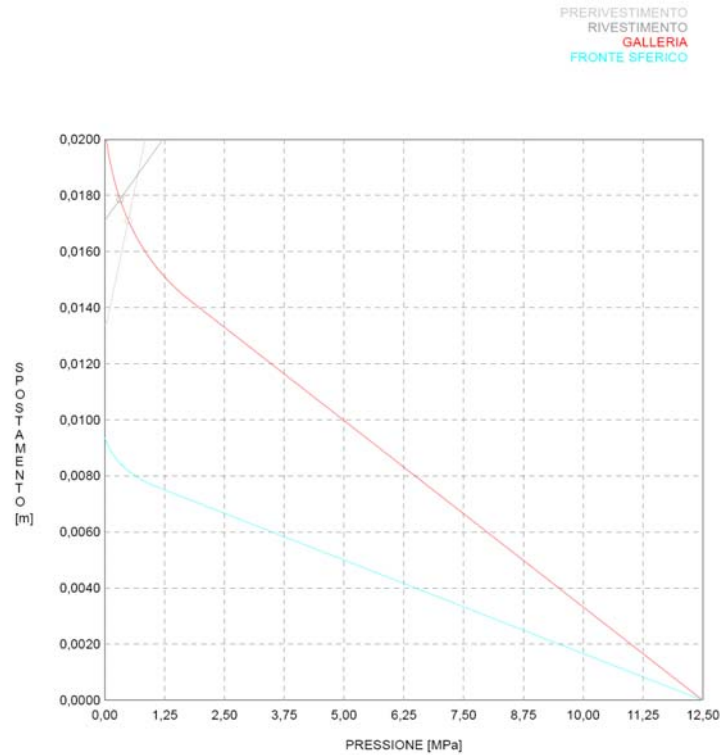


Figura 31 – Dolomia Principale, copertura 500m – RMR = 55, Curve caratteristiche in presenza dei sostegni

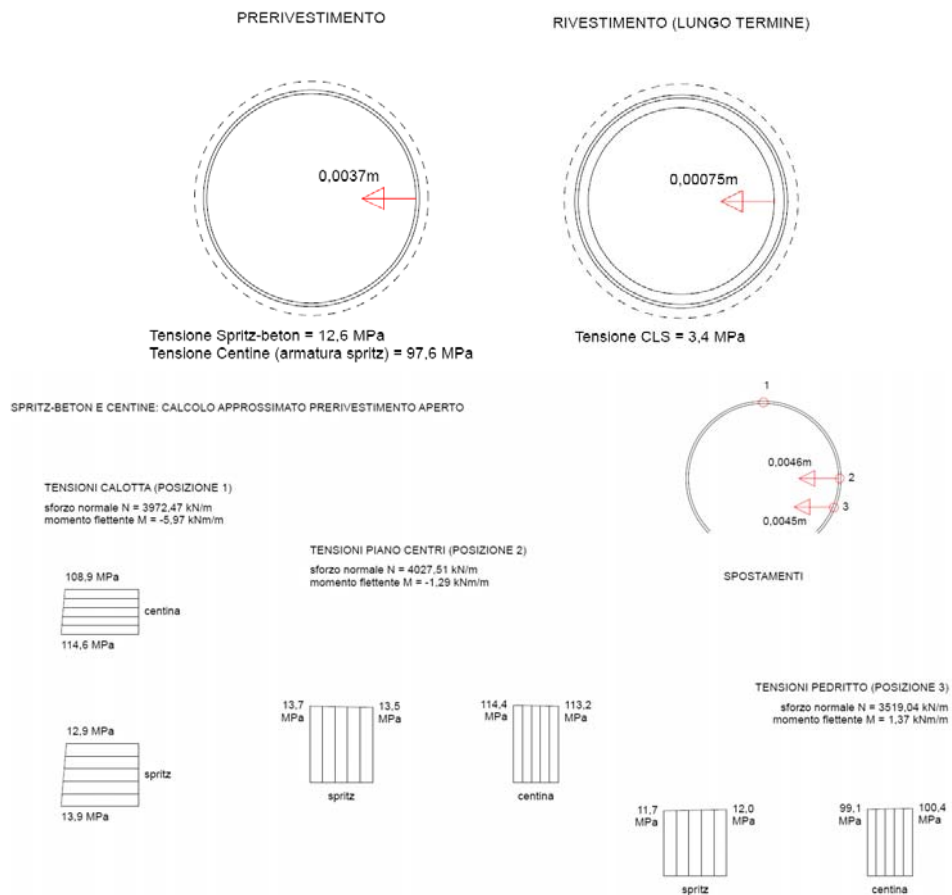


Figura 32 – Dolomia Principale, copertura 500m – RMR = 55, Stato di sollecitazione nei sostegni

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

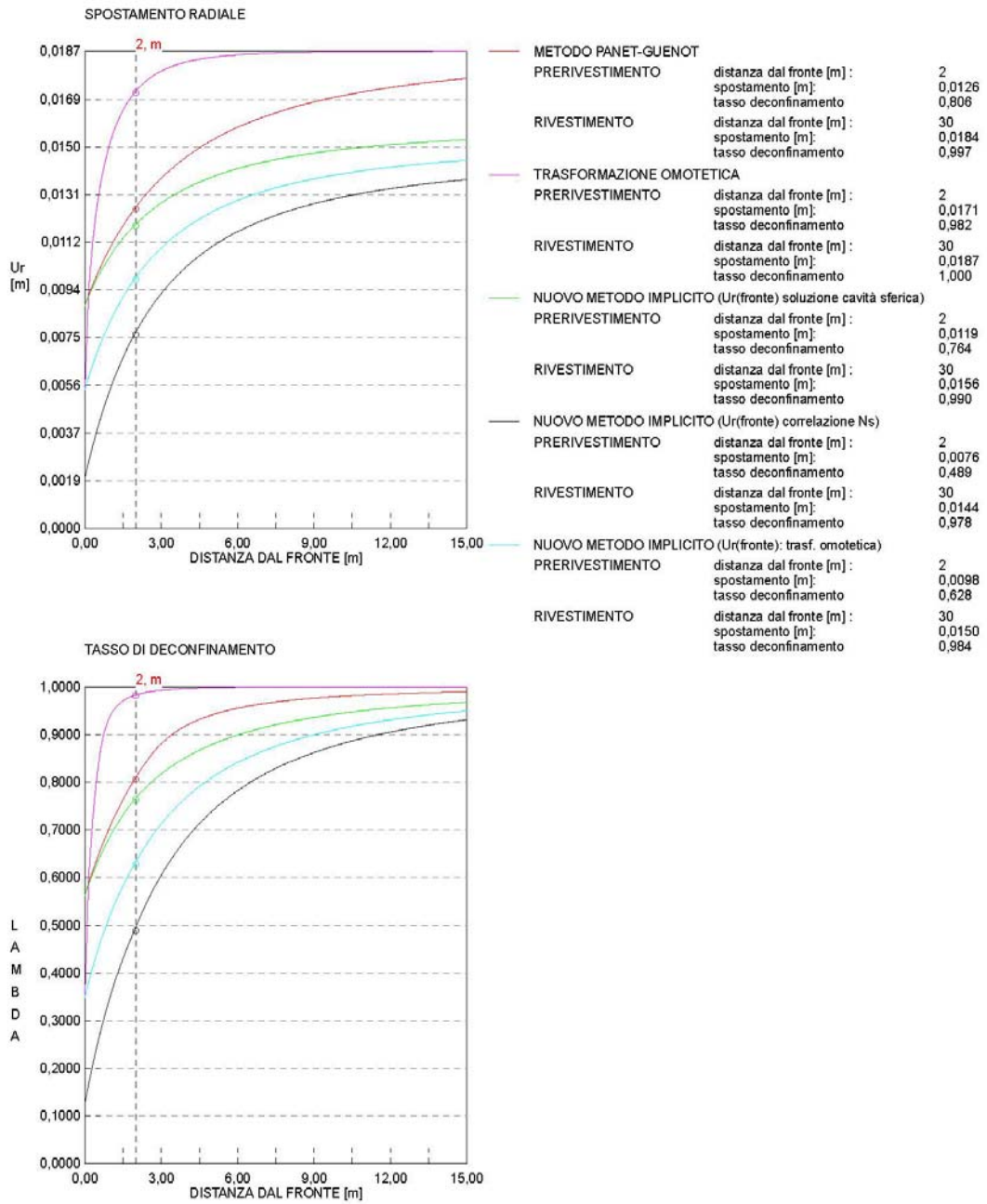


Figura 33 – Dolomia Principale, copertura 500m – RMR = 55, Detensionamento dell’ammasso roccioso all’avanzare dello scavo

6.4.5 Faglia in Dolomia Principale – 250 m

In Figura 34 si presenta la caratterizzazione del materiale di faglia, in Dolomia Principale (RMR = 45, $\sigma_c = 80$ MPa) ad una copertura di 250 m.

L'analisi, svolta con il metodo delle linee caratteristiche, evidenzia una sostanziale stabilità del cavo e del fronte, anche in assenza di sostegni, con spostamenti di 1-2 cm al contorno di scavo. La fascia plasticizzata si estende per circa 1 m al cavo, 30 cm al fronte (Figura 35 e Figura 36).

La sezione tipo applicata è la B0, che garantisce una riduzione delle convergenze al contorno galleria. Le sollecitazioni sui rivestimenti sono medio-basse per i sostegni preliminari, molto ridotte per il definitivo, Figura 37 e Figura 38, in quanto, come si può osservare in Figura 39, già a 10 m dal fronte, indipendentemente dalla curva di detensionamento adottata, il cavo ha subito uno scarico pari a superiore all'80%.

L'adeguatezza della sezione B0, priva di interventi al fronte, è stata verificata anche con il metodo di Tamez, Figura 40, che evidenzia la stabilità del fronte.

		copertura	250	m
		peso specifico ammasso	25	kN/m ³
indici caratterizz.	RMR ₈₉		45	
	BRMR		-	
	Q'		-	
	m _i		18	
	σ_c		80	MPa
	σ_{v0}		6,25	MPa
	GSI		40,00	
Hoek - Brown	m _p (di picco)		1,89	
	s _p (di picco)		1,01E-03	
	m _r (residuo)		1,32	
	s _r (residuo)		4,05E-05	
Mohr - Coulomb	copertura	c _p (di picco)	1,800	MPa
		ϕ_p (di picco)	43	°
		c _r (residuo)	1,612	MPa
		ϕ_r (residuo)	40	°
	origine	c _p (di picco)	0,200	MPa
		ϕ_p (di picco)	62	°
		c _r (residuo)	0,022	MPa
		ϕ_r (residuo)	60	°
parametri di resistenza	E	4,78	GPa	
	σ_{gd}	2,54	MPa	
	σ_{lg}	-0,04	MPa	
	β	0,017		

Figura 34 – Caratterizzazione della zona di faglia in Dolomia Principale

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

PRERIVESTIMENTO
RIVESTIMENTO
GALLERIA
FRONTE SFERICO

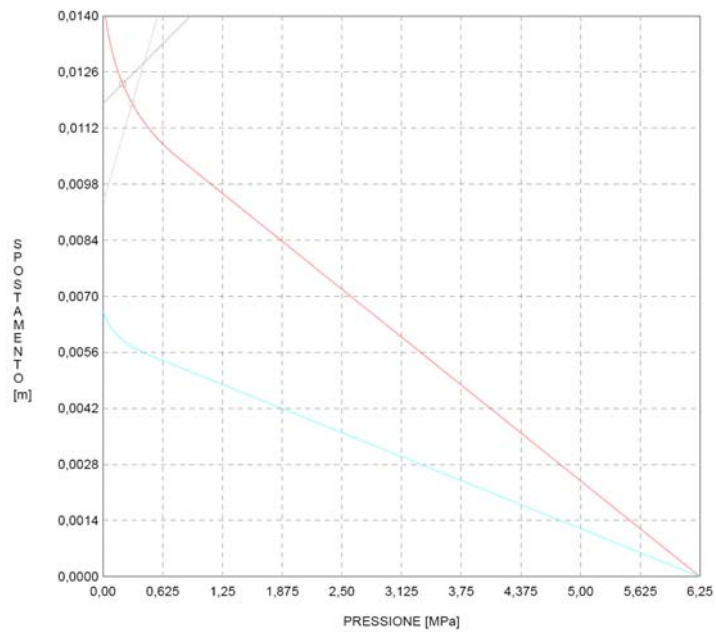


Figura 37 – Faglia in Dolomia Principale, copertura 250 m – Curve caratteristiche in presenza dei sostegni

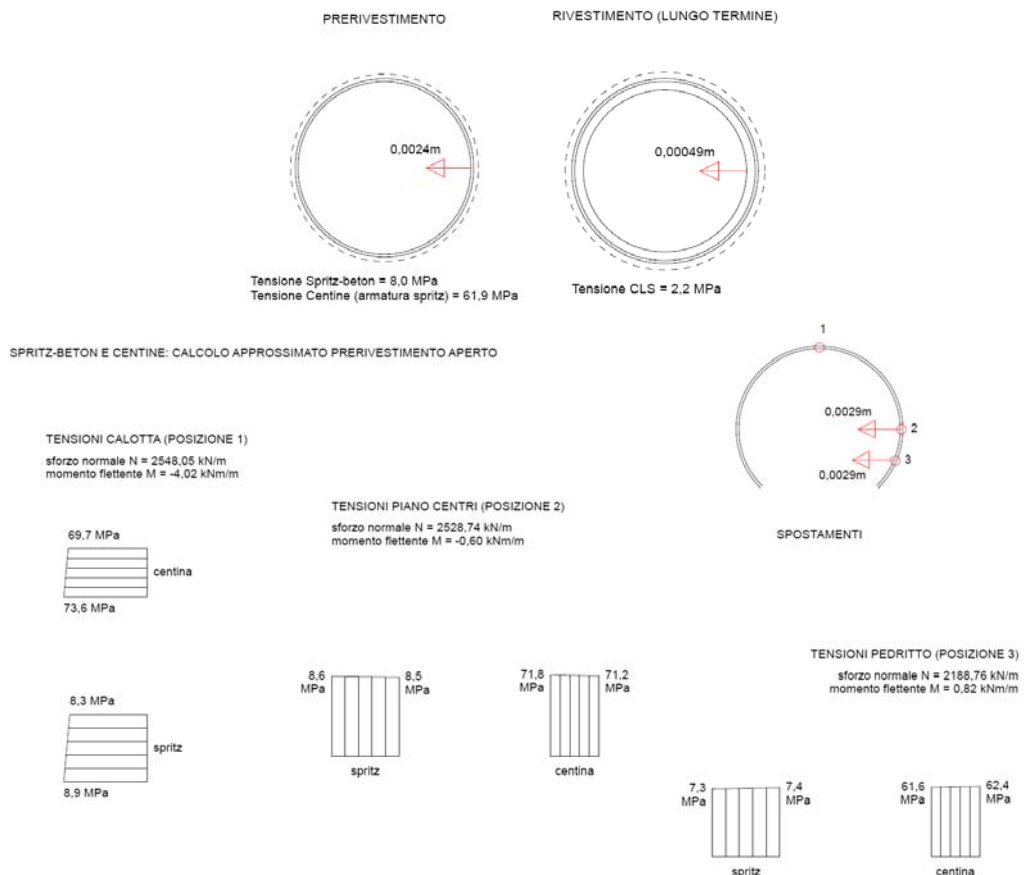


Figura 38 – Faglia in Dolomia Principale, copertura 250 m – Stato di sollecitazione nei sostegni

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

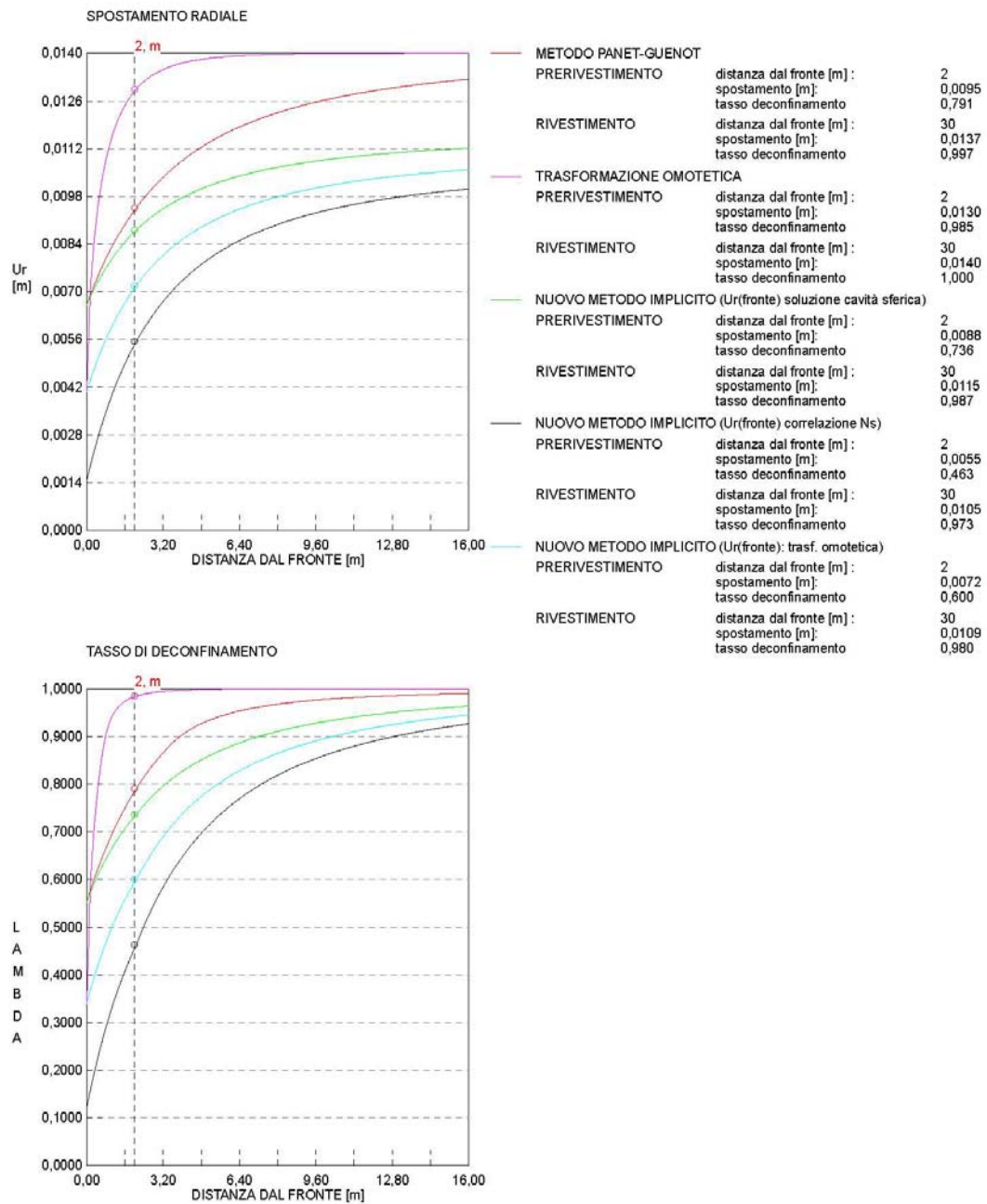


Figura 39 – Faglia in Dolomia Principale, copertura 250 m – Detensionamento dell’ammasso roccioso all’avanzare dello scavo

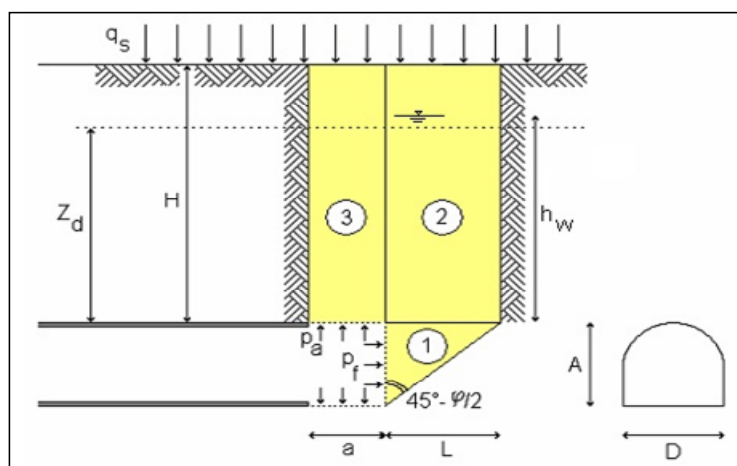
**ANALISI DI STABILITA' DI TAMEZ - TABELLE RIEPILOGATIVE
CASO GENERALE**

RIASSUNTO DATI DI INGRESSO

GEOMETRIA			
a	lunghezza libera	1	m
A	h galleria	11.25	m
D	largh. galleria	15.2	m
L	estens.longitud.cuneo	2.80	m
H	copertura da calotta	250	m
Z _d	tratto di influenza scavo	25.84	m
S	sezione di scavo	146.21	m ²

TERRENO			
γ	peso di volume	25	kNm ³
c	coesione	200	kPa
ϕ	attrito	62	°
q _s	sovraccarico	0	kPa

CONDIZIONI IDRAULICHE			
γ_w	peso di volume	10	kN/m ³
α_1	condizioni di drenaggio	0.4	
β	permeab.ammasso	1	
h _w	copertura acqua	0	m
	presenza di raggiera drenante in chiave?	no	si/no



RIASSUNTO RISULTATI - no interventi

STABILITA' DEL FRONTE			
FS _f	fattore di sicurezza	2.3	
p _f	pressione al fronte	0.00	kPa
p _{f max}	pressione massima applicabile	262.63	kPa

STABILITA' DELLA CHIAVE			
FS _{c pl}	fattore di sicurezza alla plasticizzazione	2.11	
FS _c	fattore di sicurezza in chiave	6.0	
p _a	pressione in chiave	0.00	kPa

STABILITA' GLOBALE			
FS _g	fattore di sicurezza	1.86	

Figura 40 – Faglia in Dolomia Principale, copertura 250 m – Analisi di stabilità con il metodo di Tamez

6.4.6 Faglia in Dolomia Principale – 350 m

La Figura 41 riporta la caratterizzazione dei materiali di faglia in Dolomia ad una copertura di 350 m.

In corrispondenza di questa faglia le analisi realizzate fanno riferimento al metodo di Tamez ed alle linee caratteristiche.

L'analisi con Tamez, Figura 42, evidenzia un fronte stabile, analogamente a quanto ottenuto con il metodo delle linee caratteristiche in assenza di sostegni, Figura 43 e Figura 44. La plasticizzazione risulta pari a 1.4 m di spessore al cavo, 0.5 m al fronte, con spostamenti al contorno di 2-2.5 cm, estrusioni centimetriche al fronte.

Si adotta la sezione B0V, con chiodature radiali, che permette di ridurre le deformazioni al cavo, mantenendo le sollecitazioni sui rivestimenti entro valori medio-bassi.

copertura		350	m	
peso specifico ammasso		25	kN/m ³	
indici caratterizz.	RMR ₈₉	45		
	BRMR	-		
	Q'	-		
	m _i	18		
	σ _c	80	MPa	
	σ _{v0}	8,75	MPa	
	GSI	40,00		
Hoek - Brown	m _p (di picco)	1,89		
	s _p (di picco)	1,01E-03		
	m _r (residuo)	1,32		
	s _r (residuo)	4,05E-05		
Mohr - Coulomb	copertura	c _p (di picco)	2,313	MPa
		φ _p (di picco)	40	°
		c _r (residuo)	2,091	MPa
		φ _r (residuo)	37	°
	origine	c _p (di picco)	0,199	MPa
		φ _p (di picco)	60	°
		c _r (residuo)	0,022	MPa
		φ _r (residuo)	58	°
parametri di resistenza	E	4,78	GPa	
	σ _{gd}	2,54	MPa	
	σ _{tg}	-0,04	MPa	
	β	0,017		

Figura 41 – Caratterizzazione della zona di faglia in Dolomia Principale

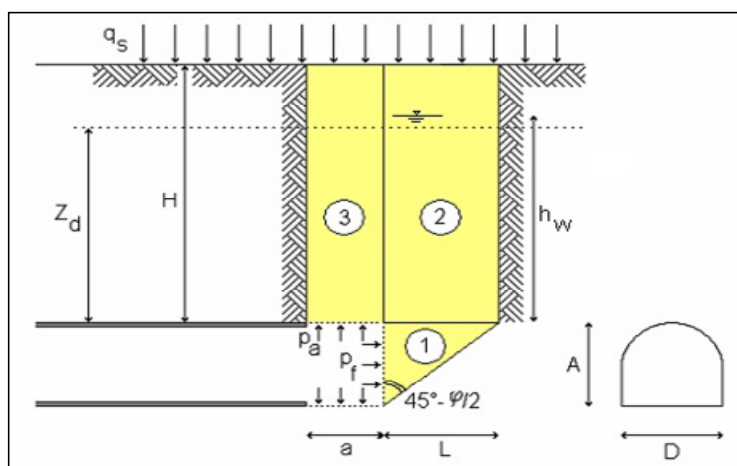
**ANALISI DI STABILITA' DI TAMEZ - TABELLE RIEPILOGATIVE
CASO GENERALE**

RIASSUNTO DATI DI INGRESSO

GEOMETRIA			
a	lunghezza libera	1	m
A	h galleria	11.25	m
D	largh. galleria	15.2	m
L	estens.longitud.cuneo	3.23	m
H	copertura da calotta	350	m
Z _d	tratto di influenza scavo	25.84	m
S	sezione di scavo	146.21	m ²

TERRENO			
γ	peso di volume	25	kNm ³
c	coesione	22	kPa
φ	attrito	58	°
q _s	sovraccarico	0	kPa

CONDIZIONI IDRAULICHE			
γ _w	peso di volume	10	kN/m ³
α ₁	condizioni di drenaggio	0.4	
β	permeab.ammasso	1	
h _w	copertura acqua	0	m
	presenza di raggiera drenante in chiave?	no	si/no



RIASSUNTO RISULTATI - no interventi

STABILITA' DEL FRONTE			
FS _f	fattore di sicurezza	2.3	
p _f	pressione al fronte	0.00	kPa
p _{f max}	pressione massima applicabile	713.98	kPa

STABILITA' DELLA CHIAVE			
FS _{c pl}	fattore di sicurezza alla plasticizzazione	0.31	
FS _c	fattore di sicurezza in chiave	6.7	
p _a	pressione in chiave	0.00	kPa

STABILITA' GLOBALE			
FS _g	fattore di sicurezza	1.93	

Figura 42 – Faglia in Dolomia Principale, copertura 350 m – Analisi di stabilità con il metodo di Tamez

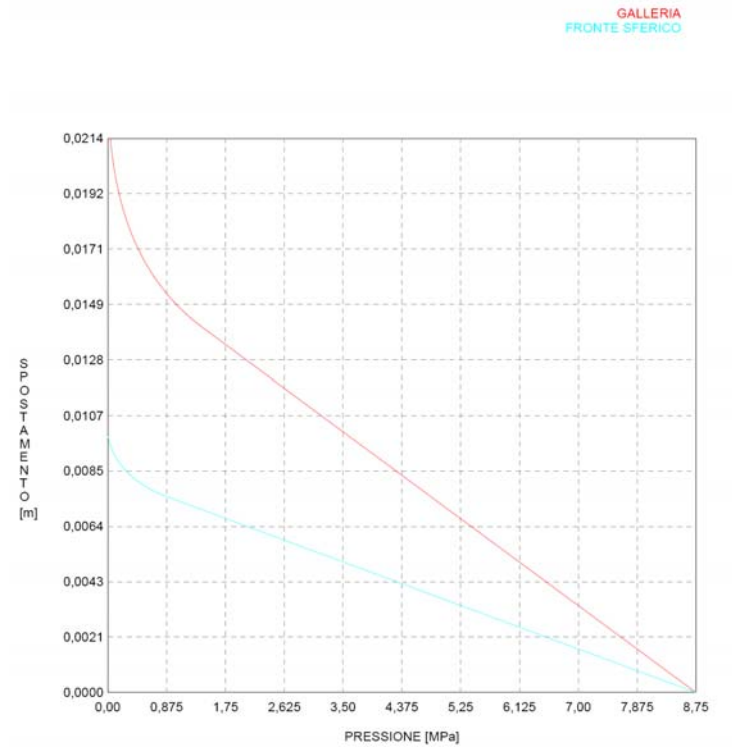


Figura 43 – Faglia in Dolomia Principale, copertura 350 m – Curve caratteristiche del fronte e del cavo in assenza di sostegni

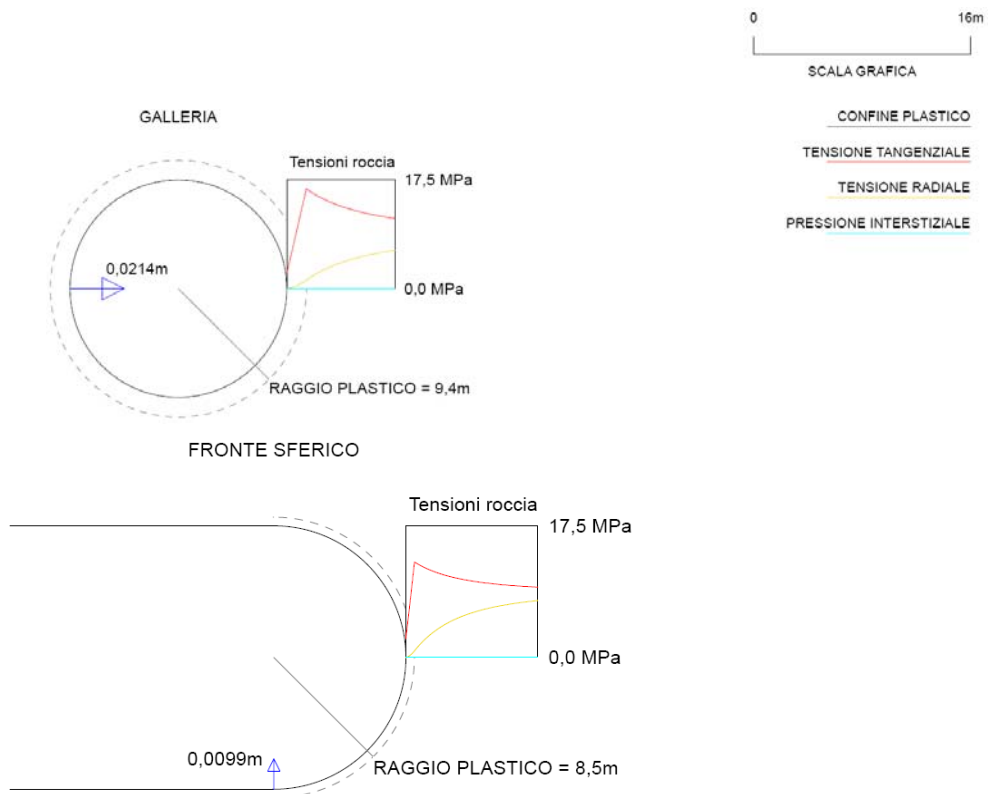


Figura 44 – Faglia in Dolomia Principale, copertura 350 m – Condizioni dell’ammasso roccioso in assenza di interventi

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

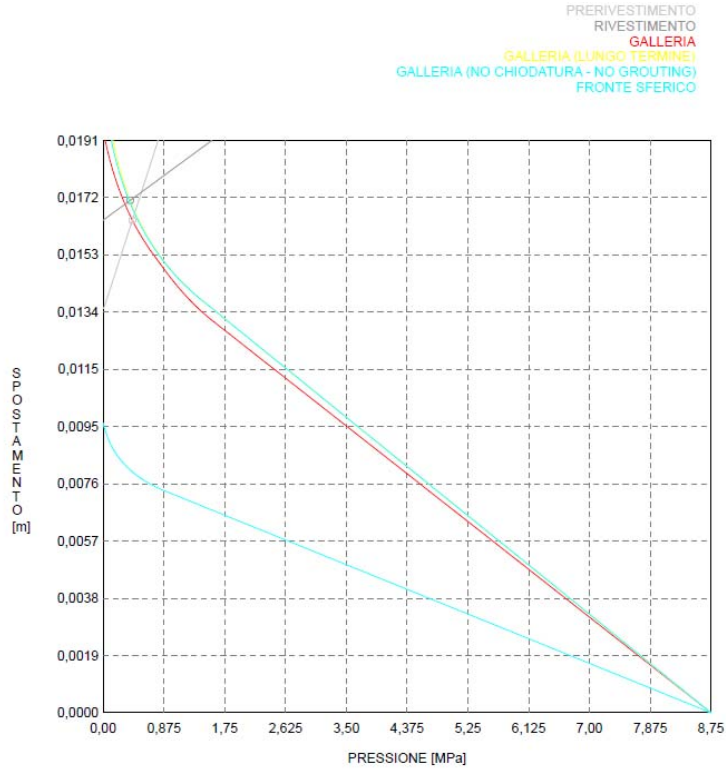


Figura 45 – Faglia in Dolomia Principale, copertura 350 m – Curve caratteristiche in presenza di sostegni

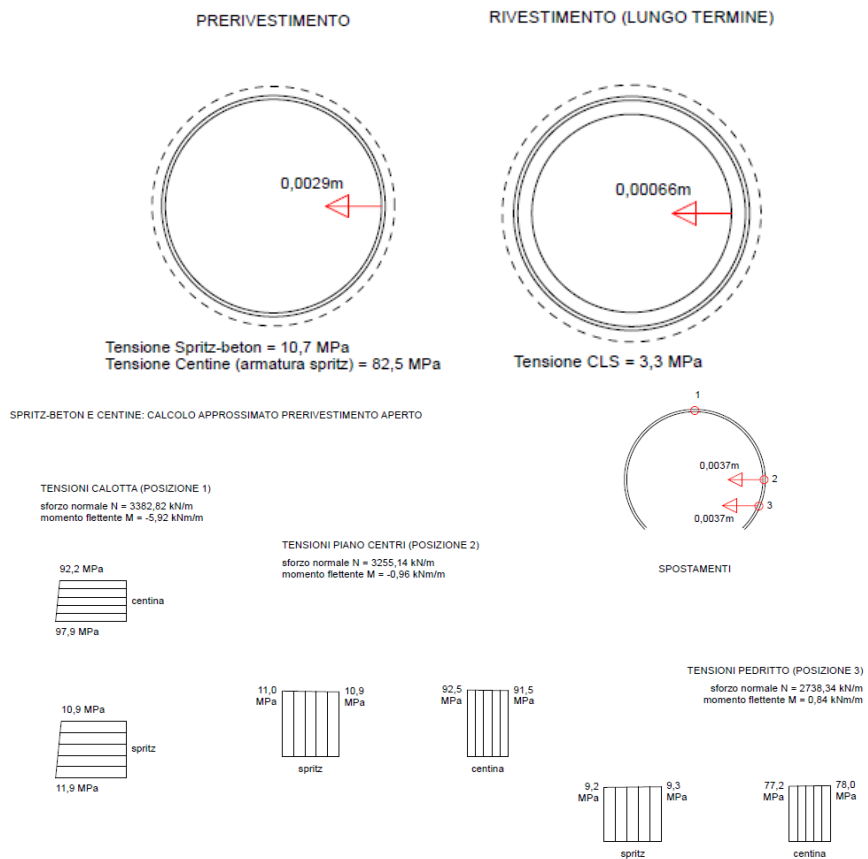


Figura 46 – Stato di sollecitazione nei sostegni

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

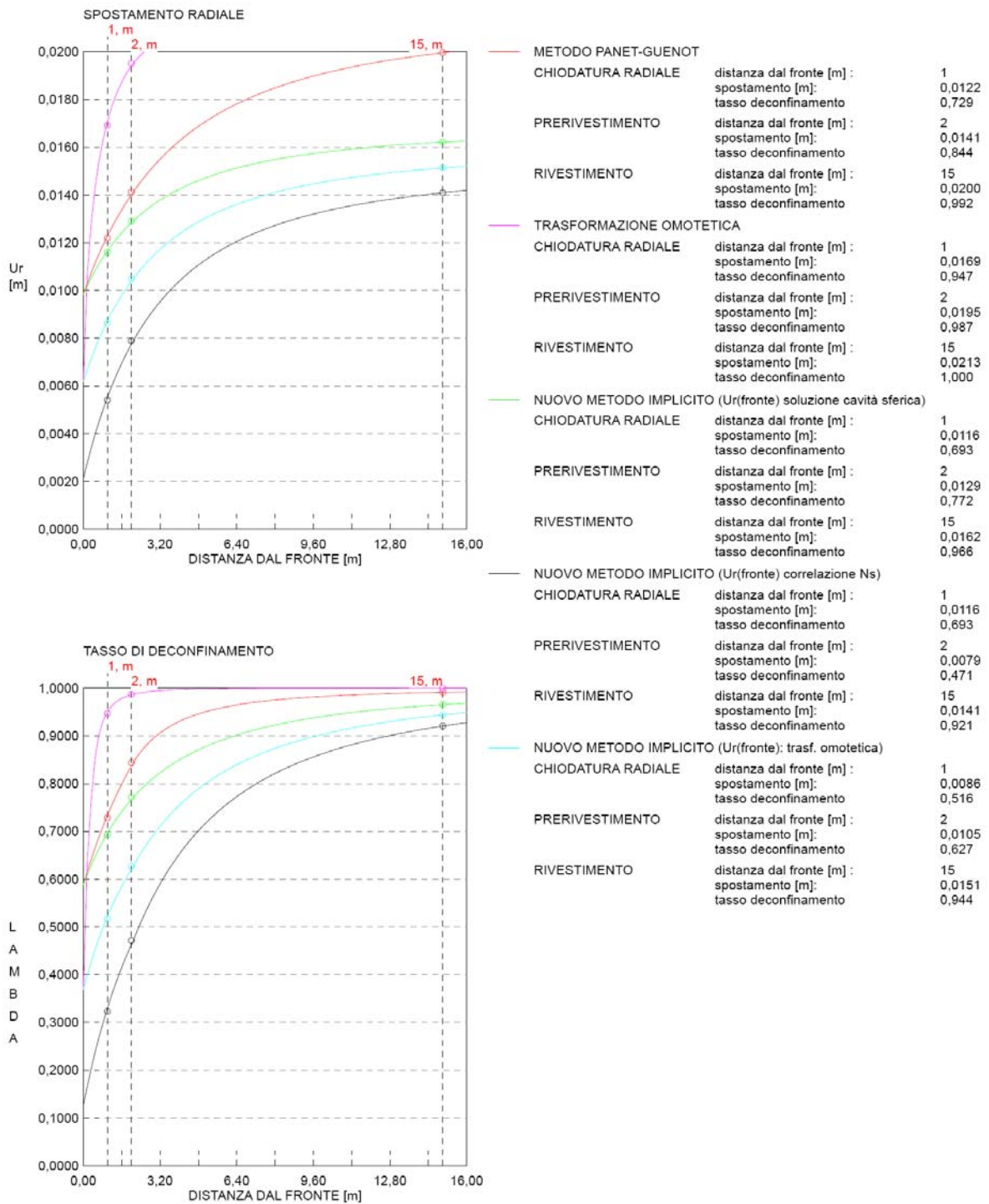
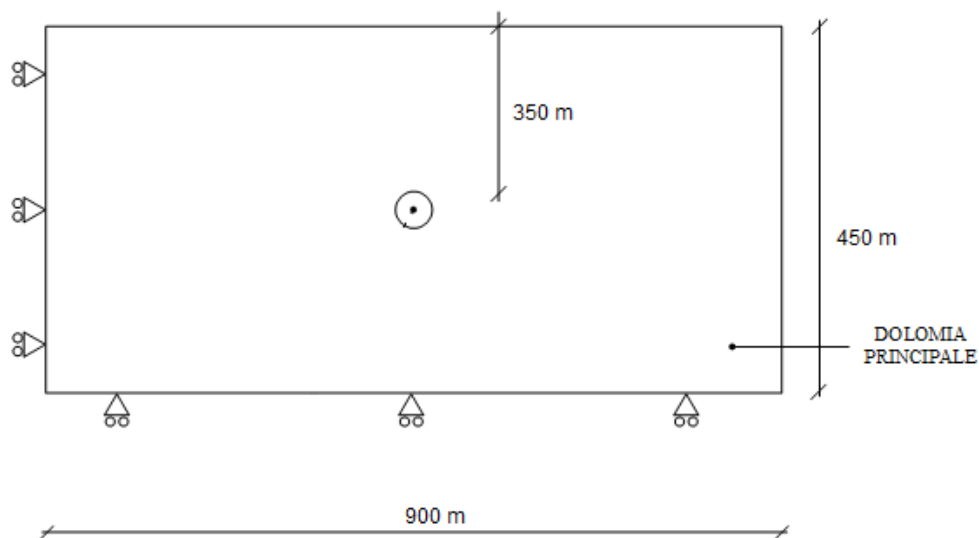


Figura 47 – Faglia in Dolomia Principale, copertura 350 m – Detensionamento dell’ammasso roccioso all’avanzare dello scavo

6.5 Analisi di stabilità – Dolomia Principale – Analisi agli elementi finiti

L'analisi delle gallerie in cui si prevede di adottare lo scavo tradizionale è stata proposta nel paragrafo precedente con il metodo delle linee caratteristiche e la teoria di Tamez. Si propone ora la stessa analisi, in condizioni di copertura pari a 350 m in Dolomia Principale mediante un modello agli elementi finiti.



L'analisi è stata realizzata, a parità di condizioni di copertura, considerando due diverse condizioni strutturali della Dolomia Principale:

- RMR = 67, corrispondente all'RMR medio della classe di copertura 50-500 m. Questa condizione illustra il comportamento della Dolomia di migliore qualità per la quale è presumibile adottare una sezione Ab;
- RMR = 55, corrispondente all'RMR minimo associato al litotipo in esame, a simulazione di quelle zone in cui si assiste ad un locale aumento del grado di fratturazione dell'ammasso roccioso. Si adotta dunque una sezione tipo più cautelativa, quale la sezione B0.

Per ciascuna situazione strutturale, inoltre, si è fatto riferimento a due sequenze di scarico tensionale al contorno di scavo, le cui percentuali di detensionamento fanno riferimento ai risultati dell'applicazione del metodo delle linee caratteristiche al caso in esame.

Le due sequenze di scarico derivano da altrettante curve di detensionamento, quali:

- curva di Panet-Guenot, idonea per una galleria non sostenuta;
- curva relativa al Nuovo Metodo Implicito con trasformazione omotetica, che tiene conto dell'influenza che la rigidità del priverestimento può esercitare sulle condizioni della roccia in prossimità del fronte.

Tabella 5 – Percentuali di detensionamento adottate nei calcoli di stabilità					
Sez. B0	RMR = 55		RMR = 67		Sez. Ab
	Panet	N.M.I.	Panet	N.M.I.	
Fronte	55	35	50	30	Fronte
Centine	80	65	80	70	Chiodi
Maturazione spritz	85	70	85	75	Spritz
Arco rovescio	95	95	95	95	Arco rovescio
Calotta	100	100	100	100	Calotta

Per tutte le analisi si è fatto ricorso allo stesso modello, in cui si sono modificati i parametri geomeccanici della Dolomia Principale in relazione al valore di RMR ad essa associato.

Nella seguente tabella si elencano i parametri implementati nei modelli agli elementi finiti nelle due condizioni di RMR, cui corrispondono altrettante sezioni tipo di avanzamento.

Tabella 6 – Parametri implementati nel modello di calcolo					
			RMR = 67 (Sez. Ab)	RMR = 55 (Sez. B0)	
Parametri geomeccanici della Dolomia Principale		c	4.06 MPa	3.47 MPa	
		ϕ	46°	42°	
		E	19 GPa	9 GPa	
Caratteristiche del rivestimento definitivo		spessore	0.65 m	0.75 m	
		Rigidezza assiale EA	19.5e6 kN/m	26.25e6 kN/m	
		Rigidezza flessionale EI	6.87e5 kNm ² /m	10.55e5 kNm ² /m	
Caratteristiche del preinvestimento	Chiodi	Rigidezza assiale EA	70e3 kN/m		
	Centine	E		210e6 kPa	
		EA		1e6 kN/m	
		EI		5531 kNm ² /m	
	Spritz beton	E		25e6 kPa	25e6 kPa
		EA		5e6 kN/m	
		EI		7e3 kNm ² /m	
		Sp.		20 cm	
	Sostegno equivalente composto da	E _{eq}			33300 MPa
		EA			8.3e6 kN/m
EI				4.34e4 kNm ² /m	

	centine e spritz beton	spessore		25 cm
--	---------------------------	----------	--	-------

6.5.1 Dolomia Principale 350 m, RMR = 67

Nelle figure seguenti si propongono i risultati delle analisi agli elementi finiti realizzate nel caso di uno scavo di sezione policentrica in un ammasso roccioso ascrivibile alla formazione della Dolomia Principale con copertura di 350 m. L'ammasso è caratterizzato di un RMR di 67 punti, valore medio della classe di copertura 5-50 m.

La sezione tipo implementata è la sezione più leggera prevista a base di progetto, la cui applicazione è prevista nei tratti di ammasso roccioso di buona qualità in concomitanza con un avanzamento realizzato con micro cariche esplosive.

La sezione prevede un rivestimento costituito da chiodature radiali ad aderenza continua e spritz beton, con successivo getto del rivestimento definitivo a distanza non vincolata dal fronte.

In Figura 48 si osserva l'estensione della zona plasticizzata al contorno di scavo che, analogamente a quanto risultato dalle linee caratteristiche, è corticale.

Il campo degli spostamenti, proposto sia in relazione alla fase di fine posa del rivestimento sia a quella di fine getto del rivestimento definitivo, evidenzia convergenze ridotte, dell'ordine di 0.5-1.5 cm.

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

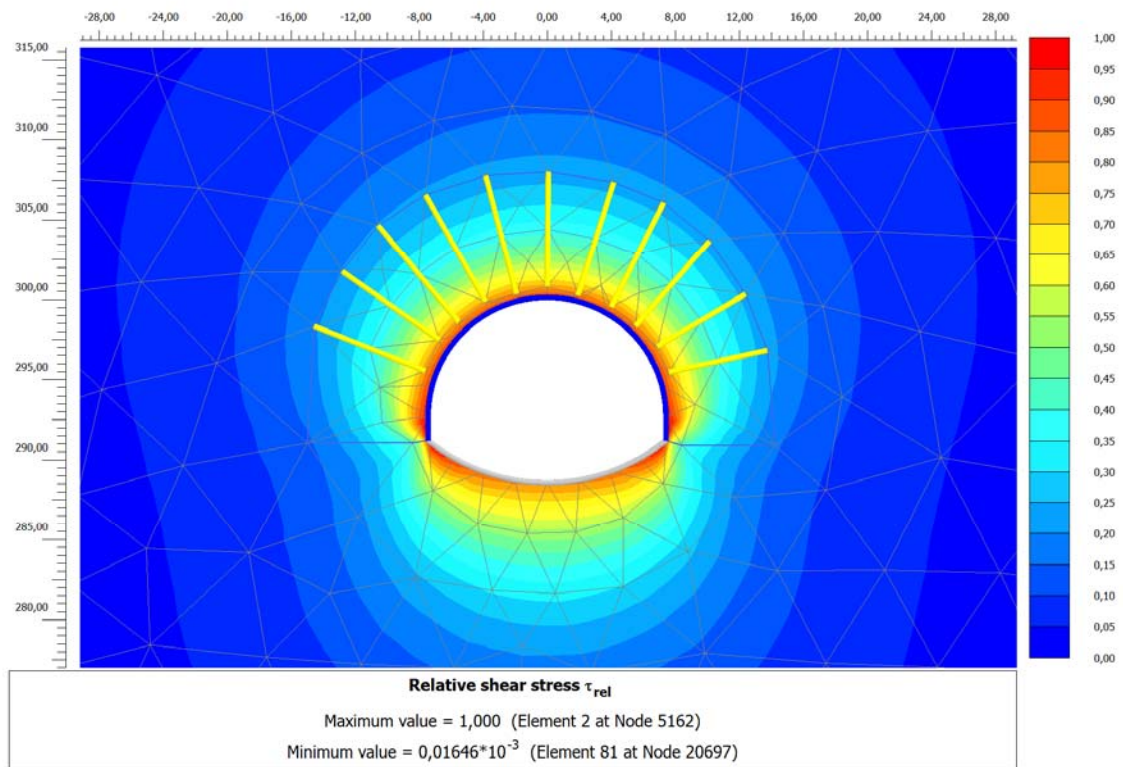


Figura 48 - Estensione della zona plastica

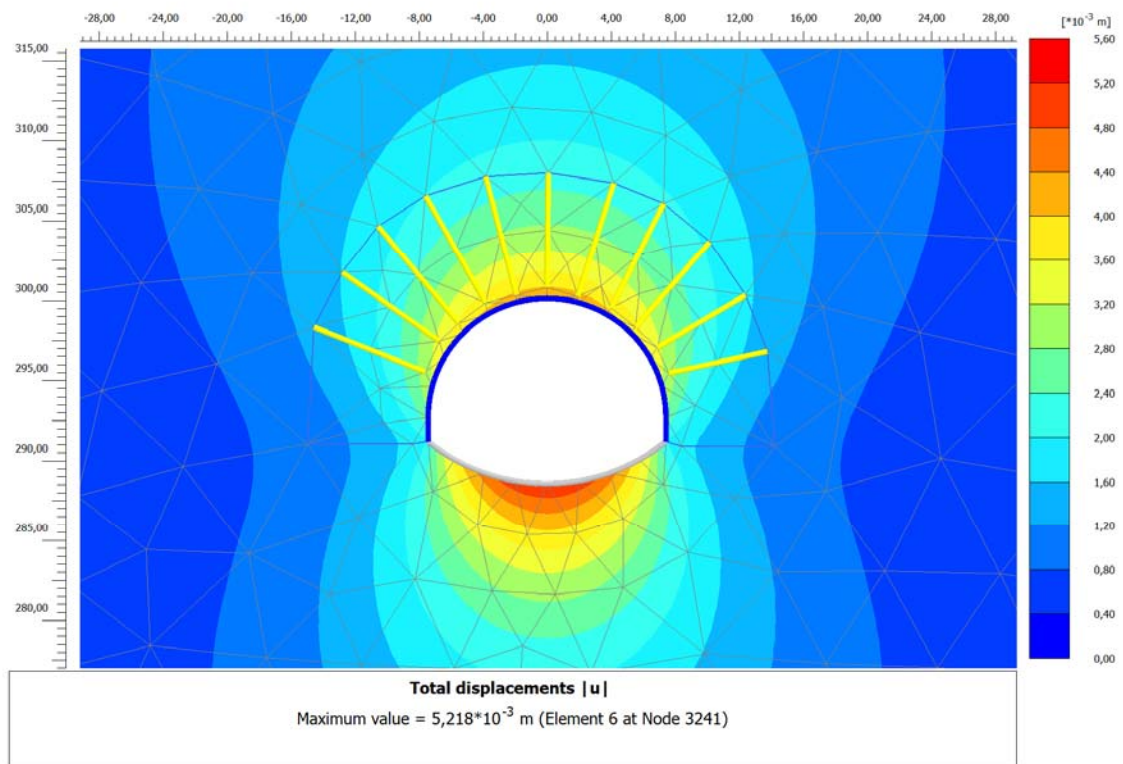


Figura 49 - Spostamenti $|u|$ a fine posa del rivestimento preliminare curva di detensionamento di Panet-Guenot

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

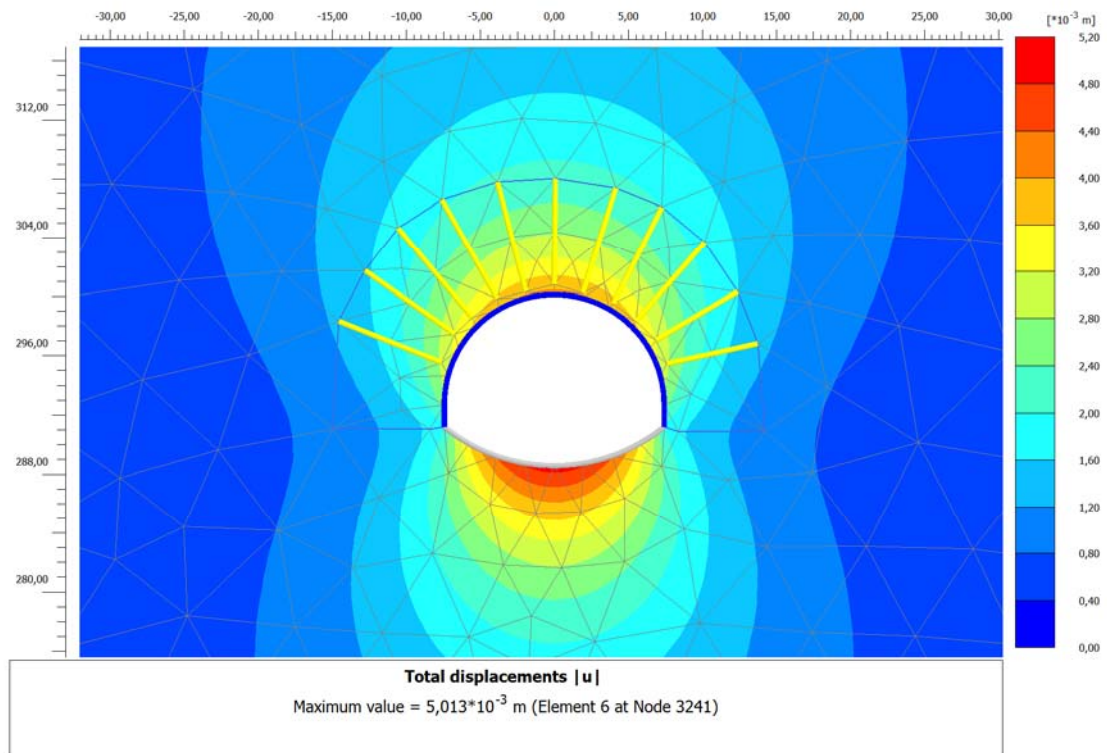


Figura 50 - Spostamenti $|u|$ a fine posa del rivestimento preliminare curva di detensionamento N.M.I.

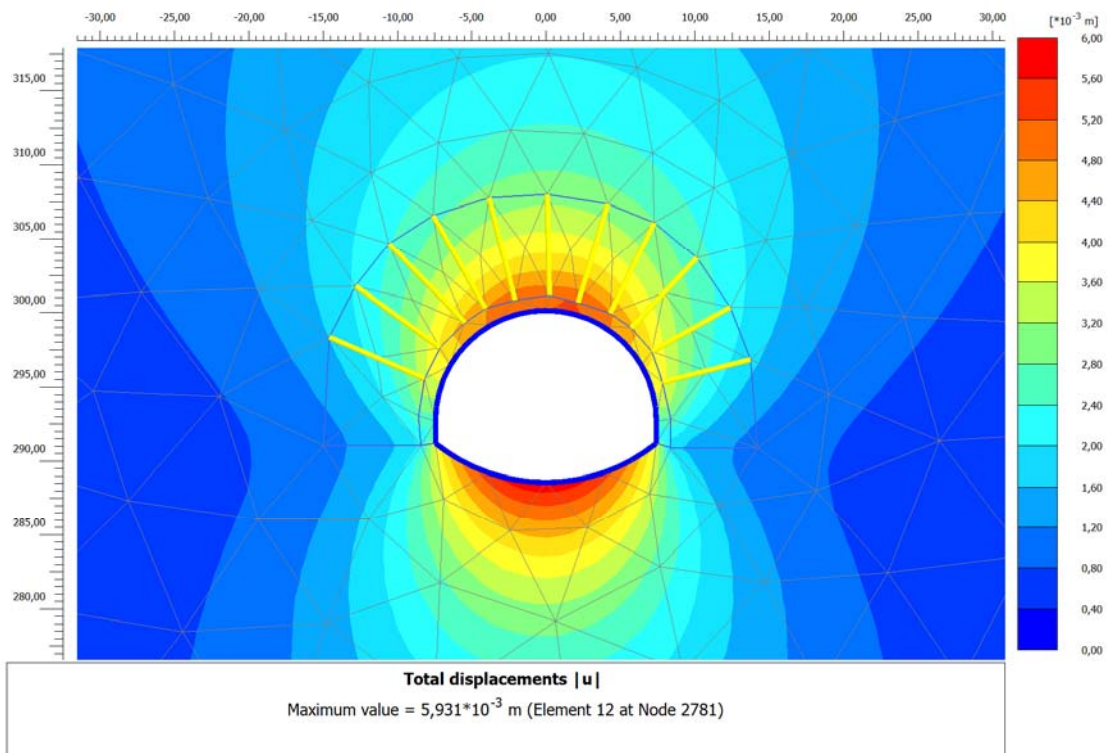


Figura 51 - Spostamenti $|u|$ a fine getto del rivestimento definitivo

Si propongono ora le verifiche strutturali realizzate sui pririvestimenti. Tali verifiche, a meno dei chiodi radiali, per i quali si è semplicemente proceduto ad un confronto tra la massima sollecitazione assiale agente e la resistenza allo snervamento dell'acciaio, vengono presentate in forma di diagrammi di interazione, in cui si confrontano le sollecitazioni agenti sui rivestimenti in relazione al corrispondente dominio di resistenza.

Verifica sullo spritz beton:

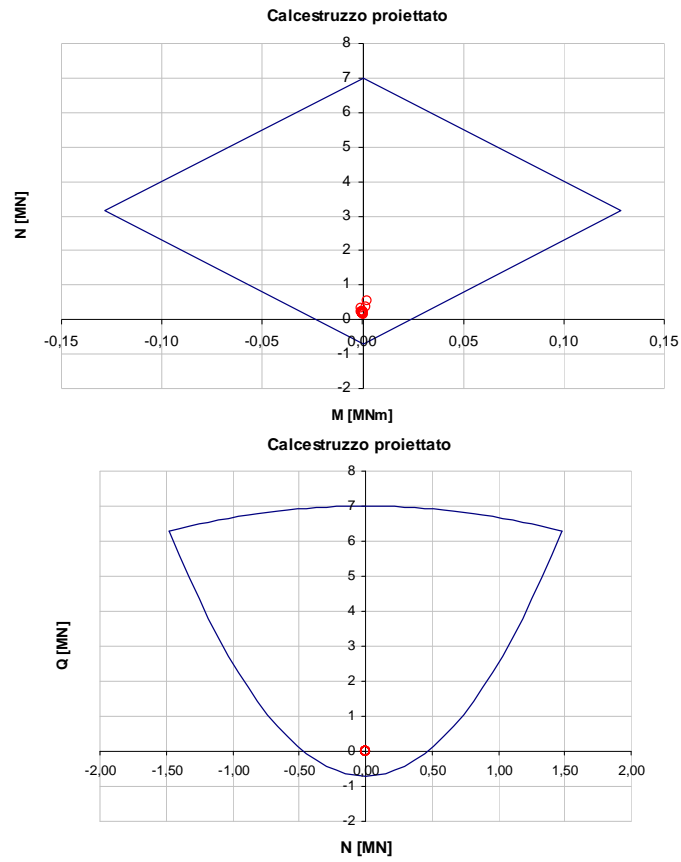


Figura 52 - Verifica strutturale dello spritz beton – Detensionamento secondo curva di Panet-Guenot

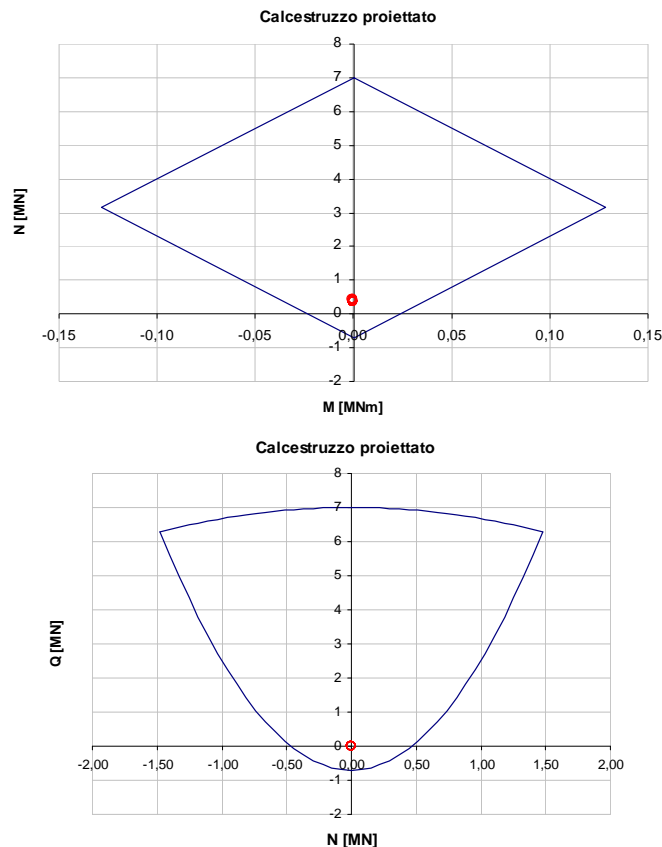


Figura 53 - Verifica strutturale dello spritz beton – Detensionamento secondo curva N.M.I.

Verifica sui bulloni radiali

Ipotizzando una sezione resistente di $5e-4 \text{ m}^2$ si ottengono sollecitazioni sui chiodi radiali variabili fra 9 e 42 MPa nel caso di un detensionamento secondo la curva di Panet-Guenot, e sollecitazioni massime di circa 55 MPa nel caso di detensionamento secondo il Nuovo Metodo Implicito.

6.5.2 Dolomia Principale 350 m, RMR = 55

In questa analisi si considera la stessa condizione geometrica del caso precedente, ipotizzando una locale riduzione delle proprietà geomeccaniche della massa rocciosa in ragione di un aumento del grado di fratturazione.

La sezione applicata è la B0, che prevede un avanzamento di 1 m con sostegno del cavo realizzato mediante centine e spritz beton.

In Figura 54 si evidenzia la ridotta estensione della fascia plastica al contorno di scavo.

Anche gli spostamenti al contorno evidenziano un comportamento autoportante della massa rocciosa; le convergenze risultano contenute, gli spostamenti massimi sono di 1-1.5 cm.

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

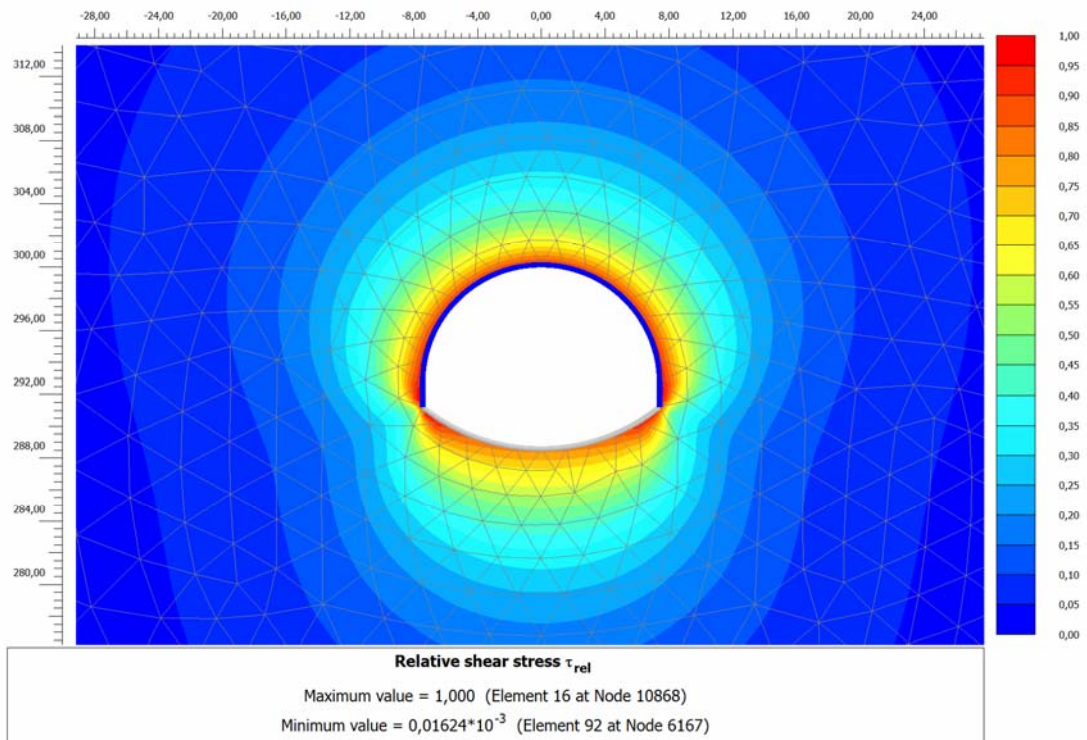


Figura 54 - Estensione della fascia plastica

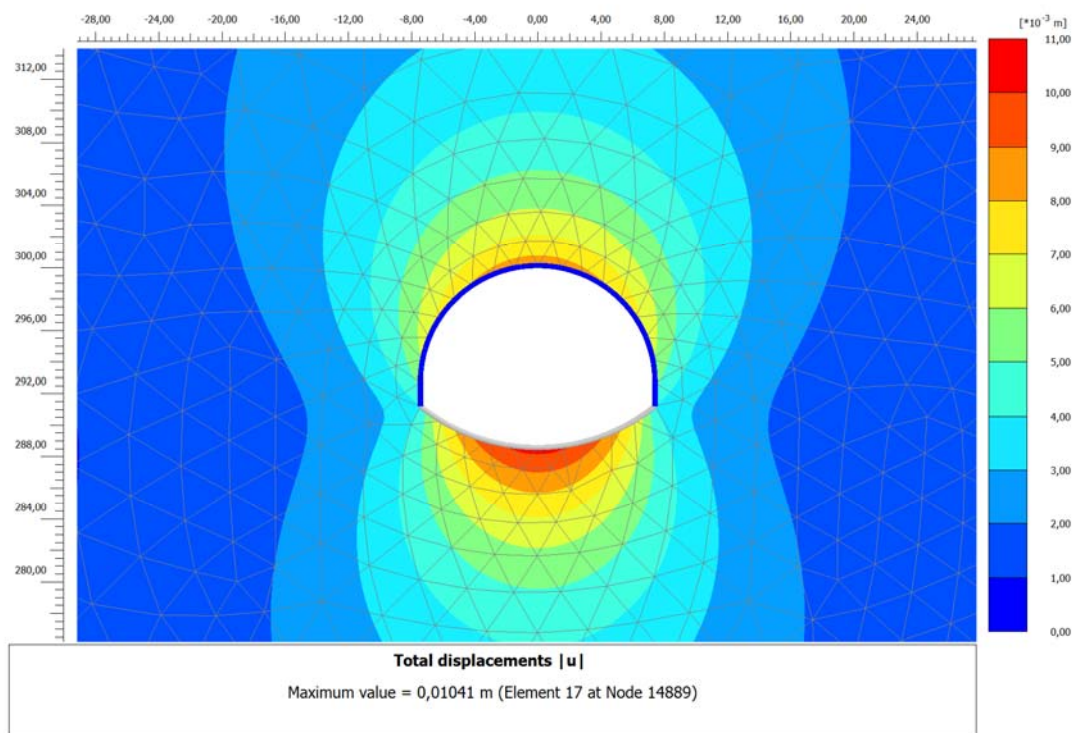


Figura 55 - Spostamenti $|u|$ a fine posa del pririvestimento, curva di detensionamento Panet-Guenot

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

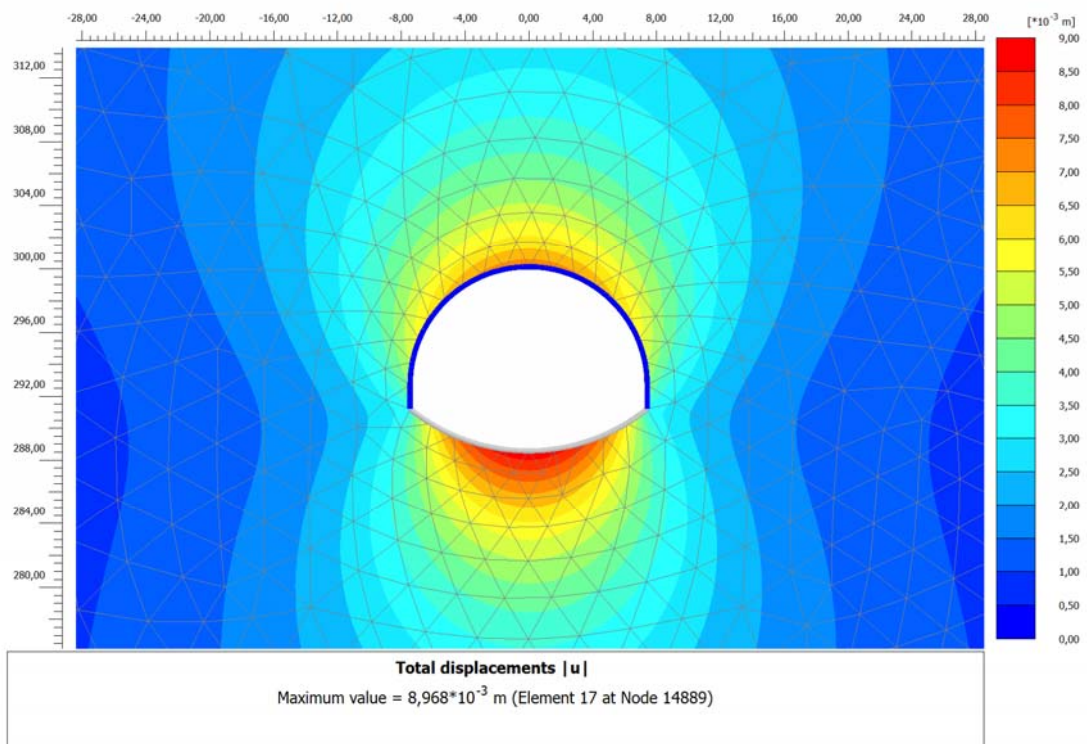


Figura 56 - Spostamenti |u| a fine posa del rivestimento preliminare, curva di detensionamento N.M.I.

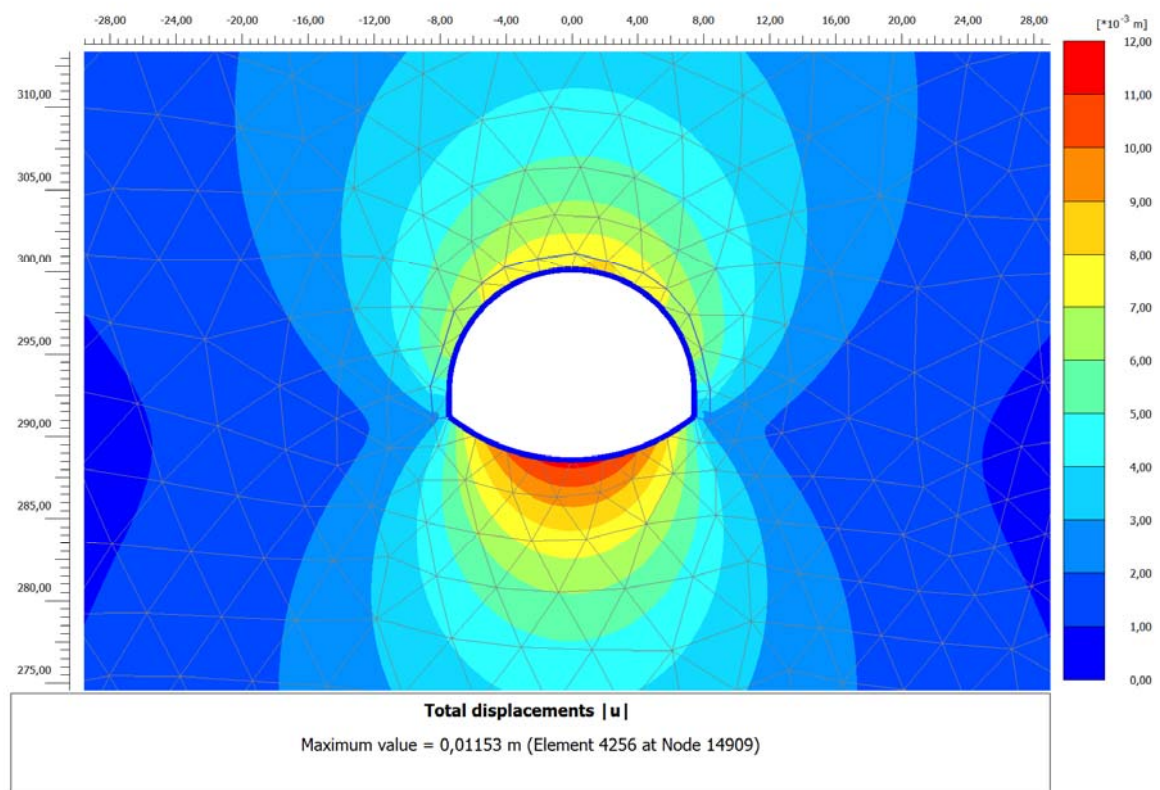


Figura 57 - Spostamenti |u| a fine getto del rivestimento definitivo

Di seguito si riportano le verifiche strutturali realizzate per i pririvestimenti. Le verifiche sono proposte in forma di diagrammi di interazione, in due fasi esecutive:

- entine e spritz beton che non ha raggiunto la maturazione ($\sigma_c = 10$ MPa)
- entine e spritz beton maturo

Le sollecitazioni calcolate sono perfettamente accettabili.

Verifica su centine e spritz non maturo

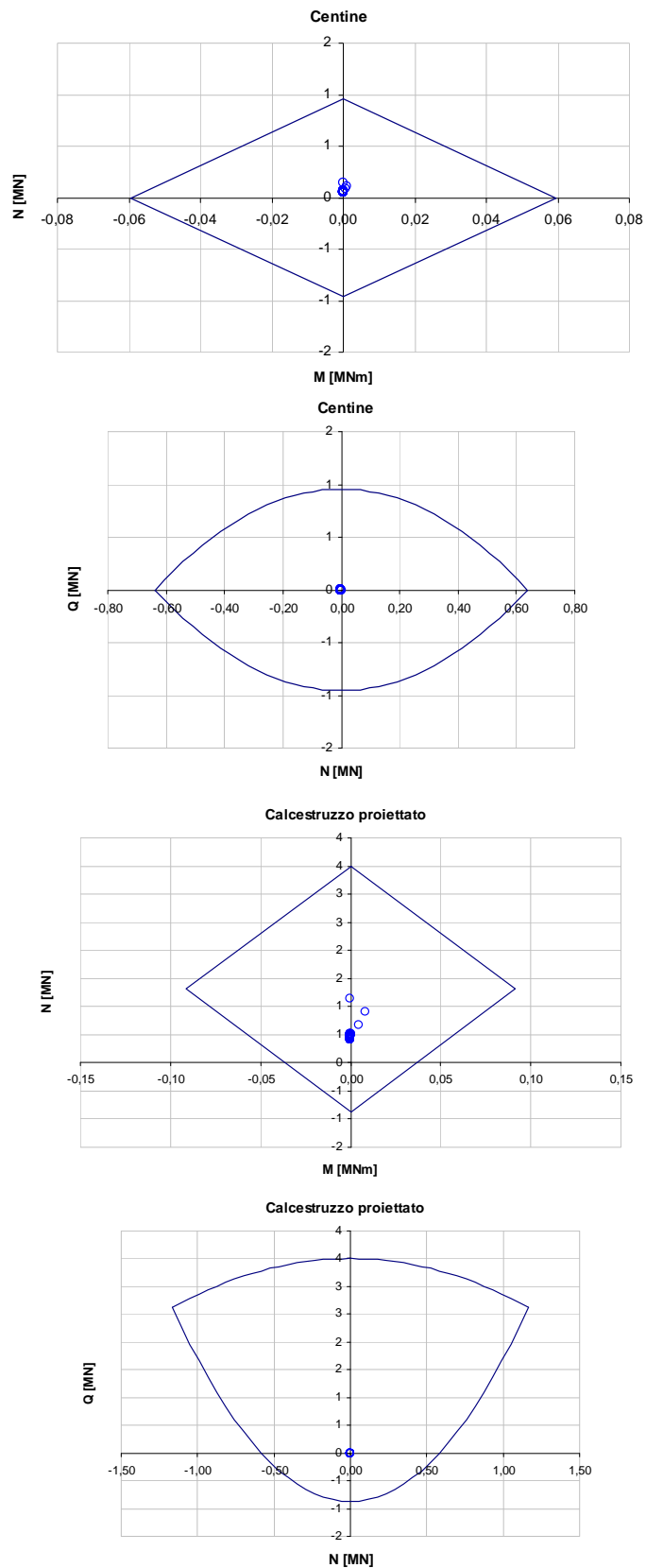


Figura 58 - Verifica strutturale di centine e spritz non completamente maturo, curva di detensionamento di Panet-Guenot

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

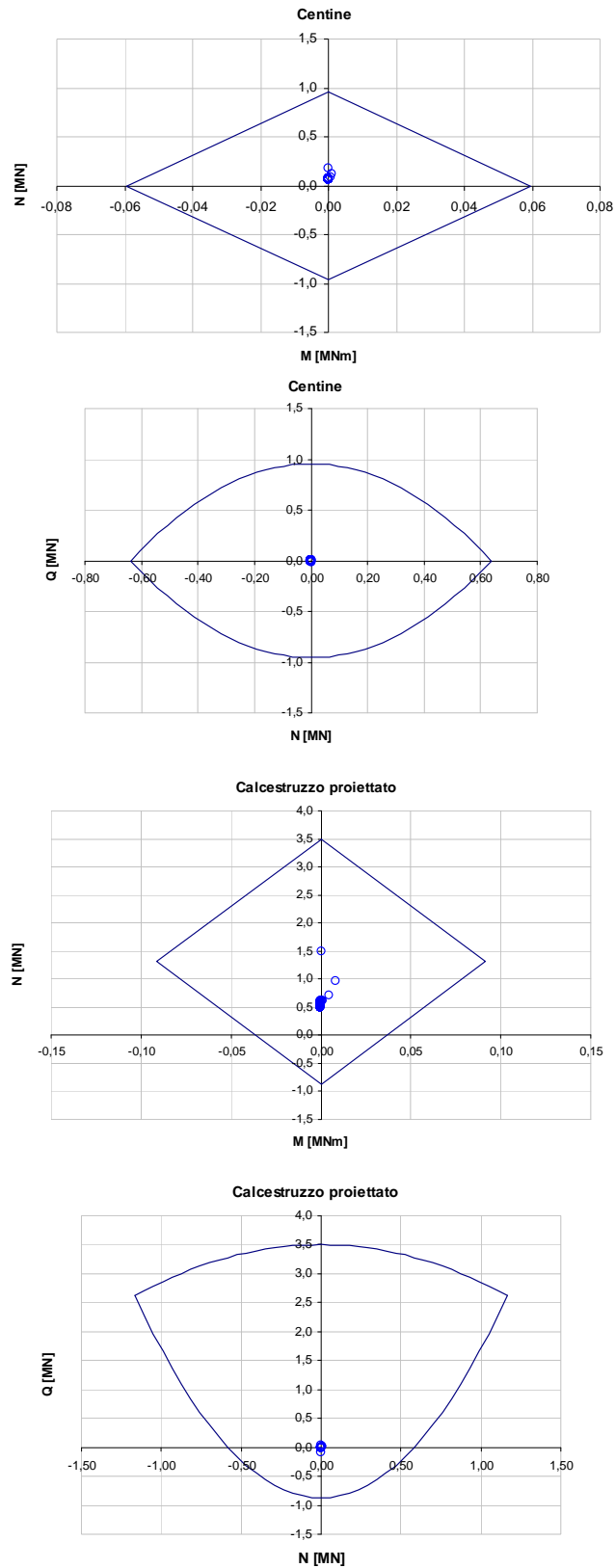


Figura 59 - Verifica strutturale di centine e spritz non completamente maturo, curva di detensionamento N.M.I.

Verifica su centine e spritz maturo

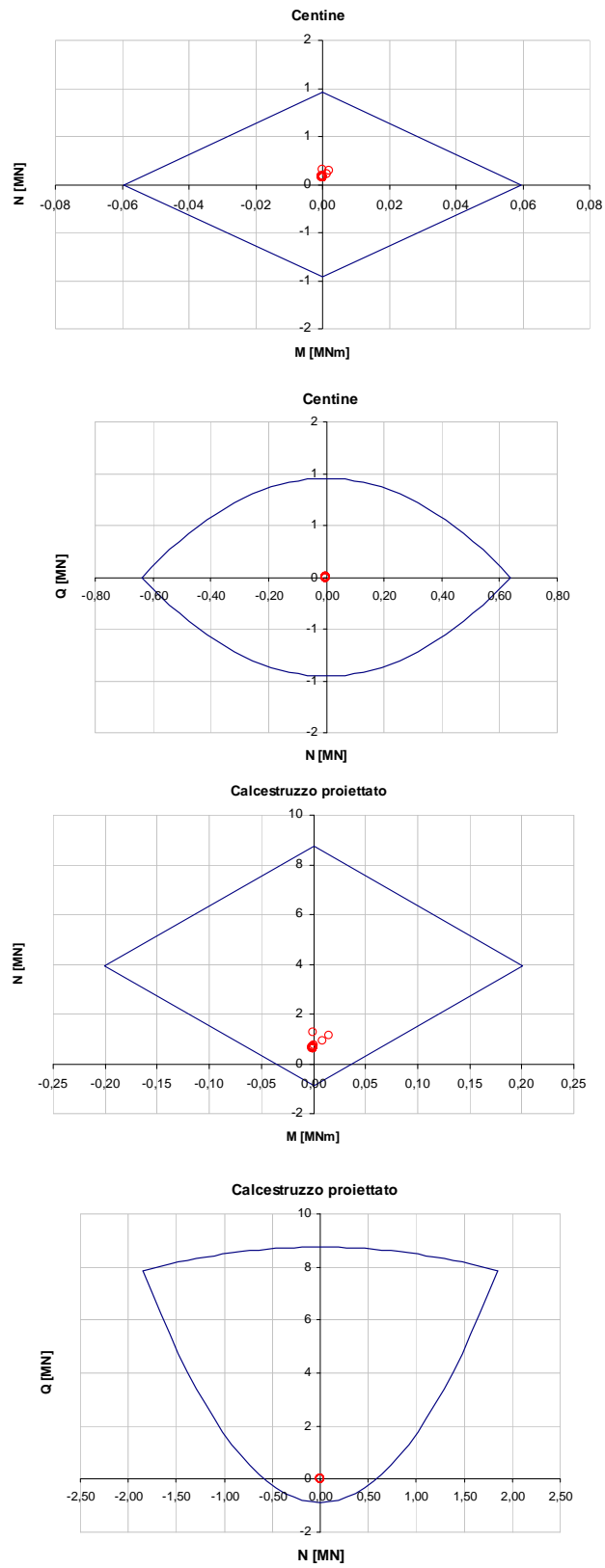


Figura 60 - Verifica strutturale di centine e spritz completamente maturo, curva di detensionamento di Panet-Guenot

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

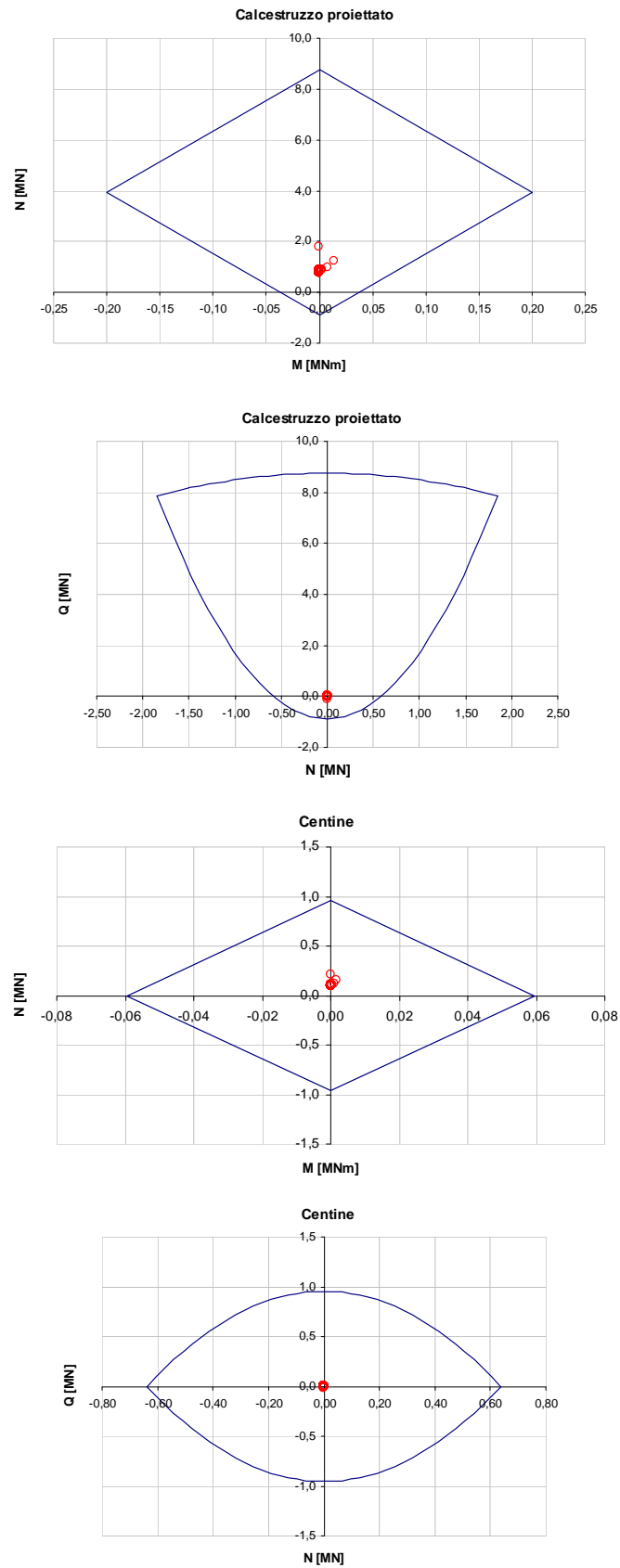


Figura 61 - Verifica strutturale di centine e spritz beton maturo, curva di detensionamento N.M.I.

6.5.3 Faglia in Dolomia Principale 250 m

Anche l'analisi in una zona di faglia in Dolomia Principale, alla copertura di 250 m si ripropone con analisi agli elementi finiti.

		250	m
	copertura		
		25	kN/m ³
	peso specifico ammasso		

indici caratterizz.	RMR _{gg}	45	
	BRMR	-	
	Q'	-	
	m _i	18	
	σ _c	80	MPa
	σ _{v0}	6,25	MPa
	GSI	40,00	

Hoek - Brown	m _p (di picco)	1,89	
	s _p (di picco)	1,01E-03	
	m _r (residuo)	1,32	
	s _r (residuo)	4,05E-05	

Mohr - Coulomb	copertura	c _p (di picco)	1,800	MPa
		φ _p (di picco)	43	°
		c _r (residuo)	1,612	MPa
		φ _r (residuo)	40	°
	origine	c _p (di picco)	0,200	MPa
		φ _p (di picco)	62	°
		c _r (residuo)	0,022	MPa
		φ _r (residuo)	60	°

parametri di resistenza	E	4,78	GPa
	σ _{gd}	2,54	MPa
	σ _{tg}	-0,04	MPa
	β	0,017	

Figura 62 – Caratterizzazione della faglia in Dolomia

Si adotta la curva di detensionamento del Nuovo Metodo Implicito, considerando la scarsa autoportanza del cavo. Le percentuali di detensionamento derivano dall'analisi con linee caratteristiche.

Tabella 7 – Percentuali di detensionamento dell'analisi in faglia	
Fase realizzativa	Detensionamento 250 m
Fronte	35%
Centine	55%
Spritz	60%
Definitivo – Arco rovescio	95%
Definitivo – Calotta	100%

La sezione adottata è la B0.

Nelle figure seguenti si propongono i risultati dell'analisi, in termini di plasticizzazioni e spostamenti al cavo.

Le deformazioni sono leggermente superiori a quelle relative alle zone di ammasso roccioso integro.

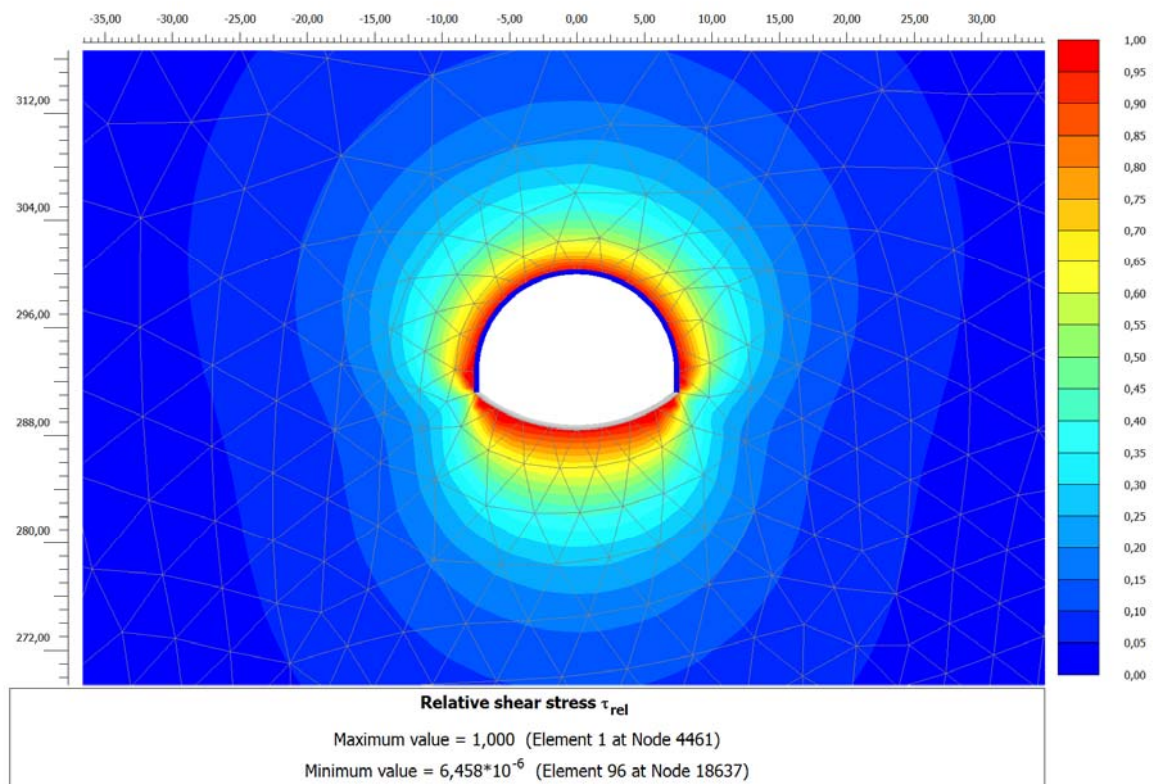


Figura 63 - Estensione della zona plasticizzata

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

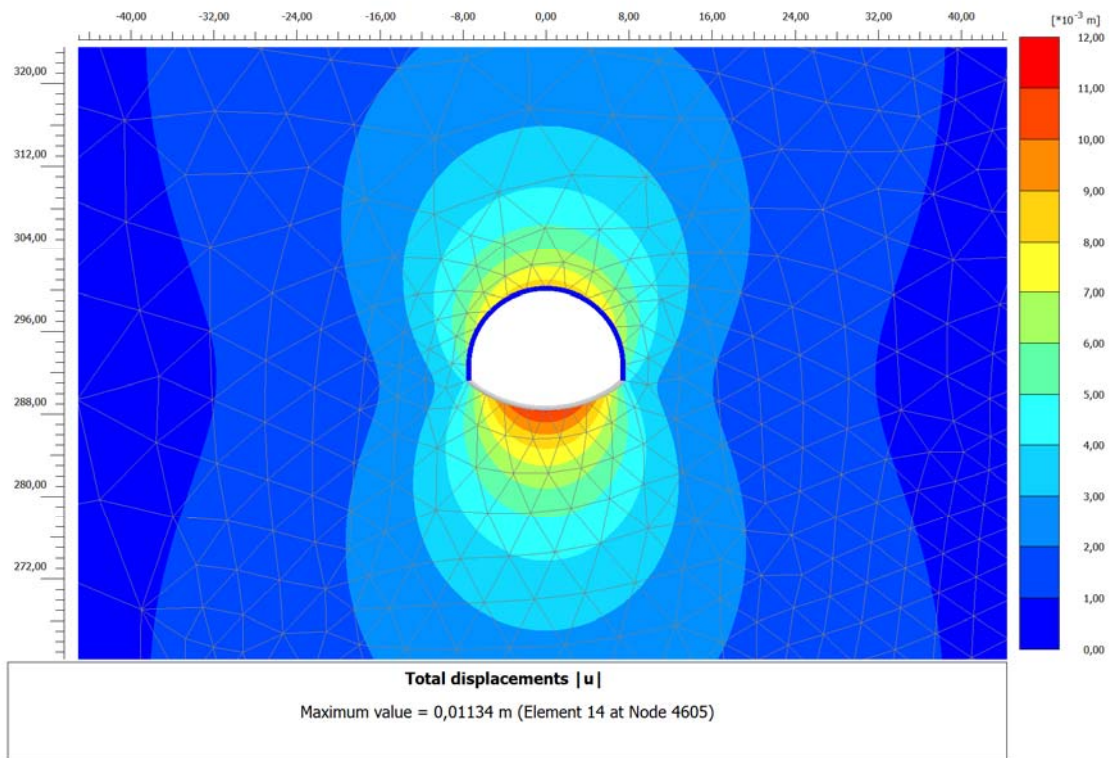


Figura 64 - Spostamenti |u| al contorno di scavo alla fase di fine posa del privervestimento

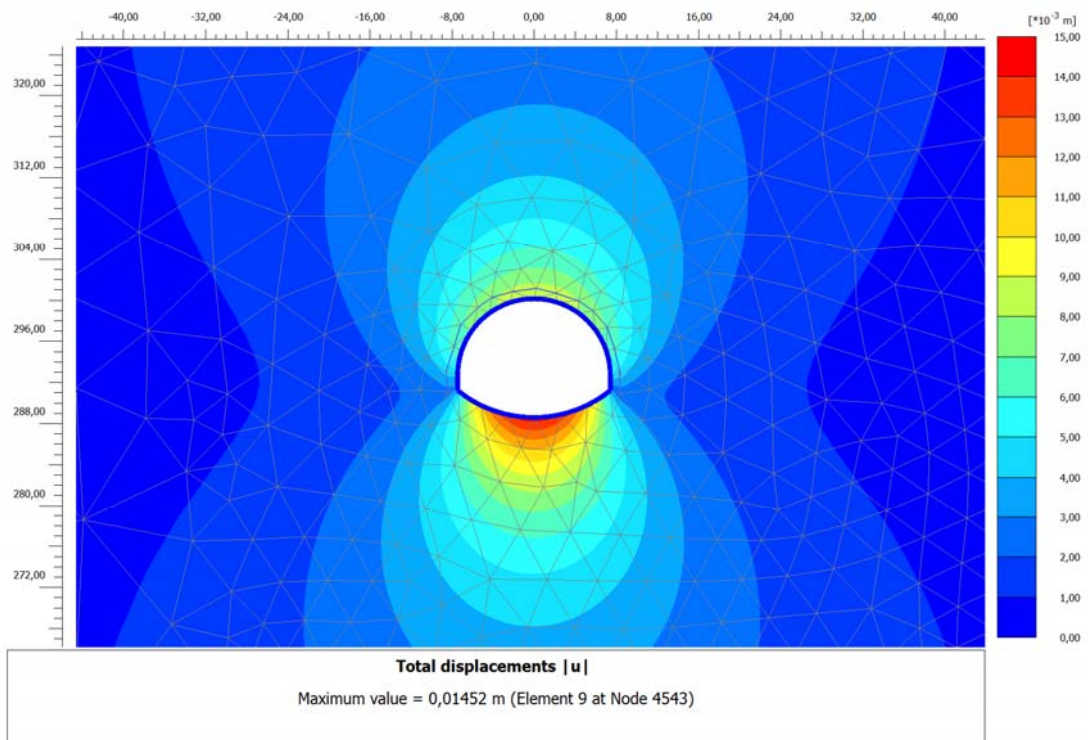


Figura 65 - Spostamenti |u| al contorno di scavo relativi alla fase di fine posa del privervestimento definitivo

Di seguito si riportano le verifiche strutturali sui rivestimenti di prima fase, considerando due fasi di maturazione dello spritz beton.

Le verifiche sono tutte soddisfatte.

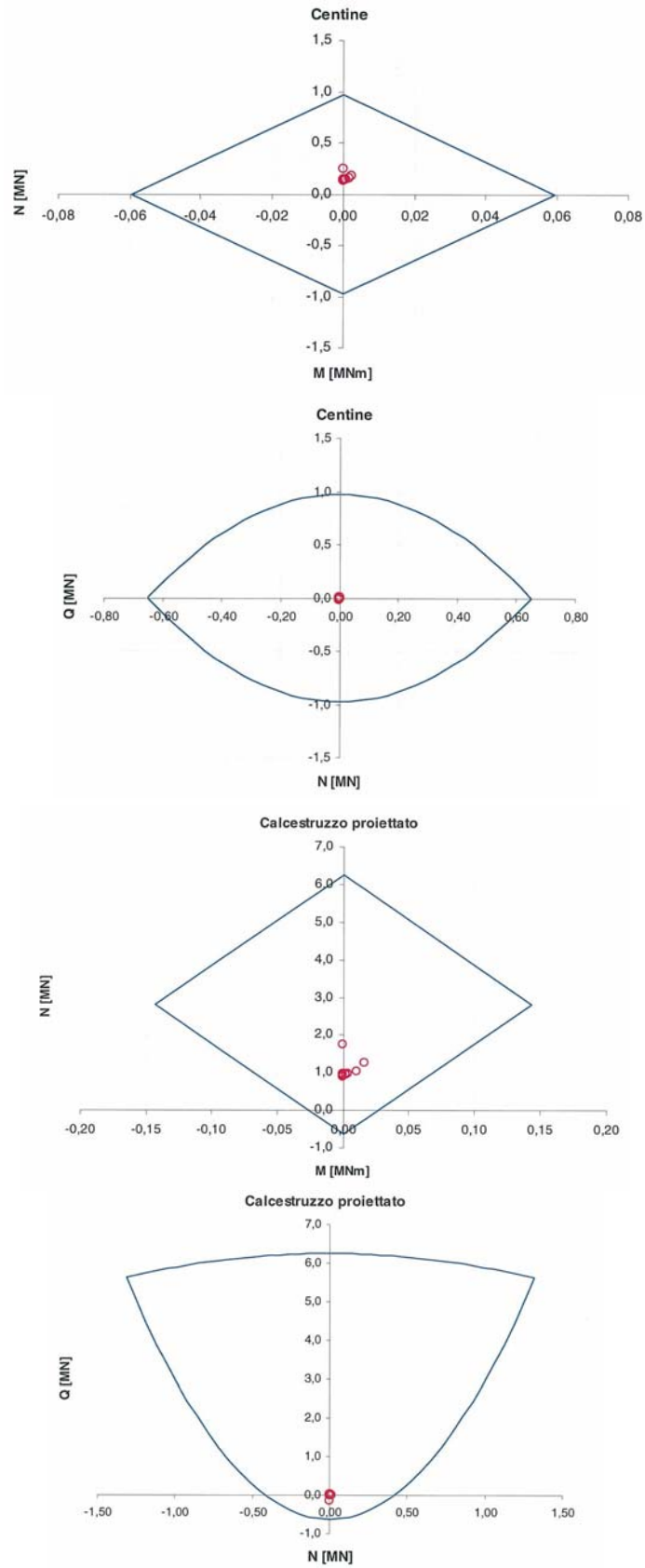


Figura 66 - Verifiche strutturali del rivestimento provvisorio, considerando uno spritz beton non completamente maturo

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

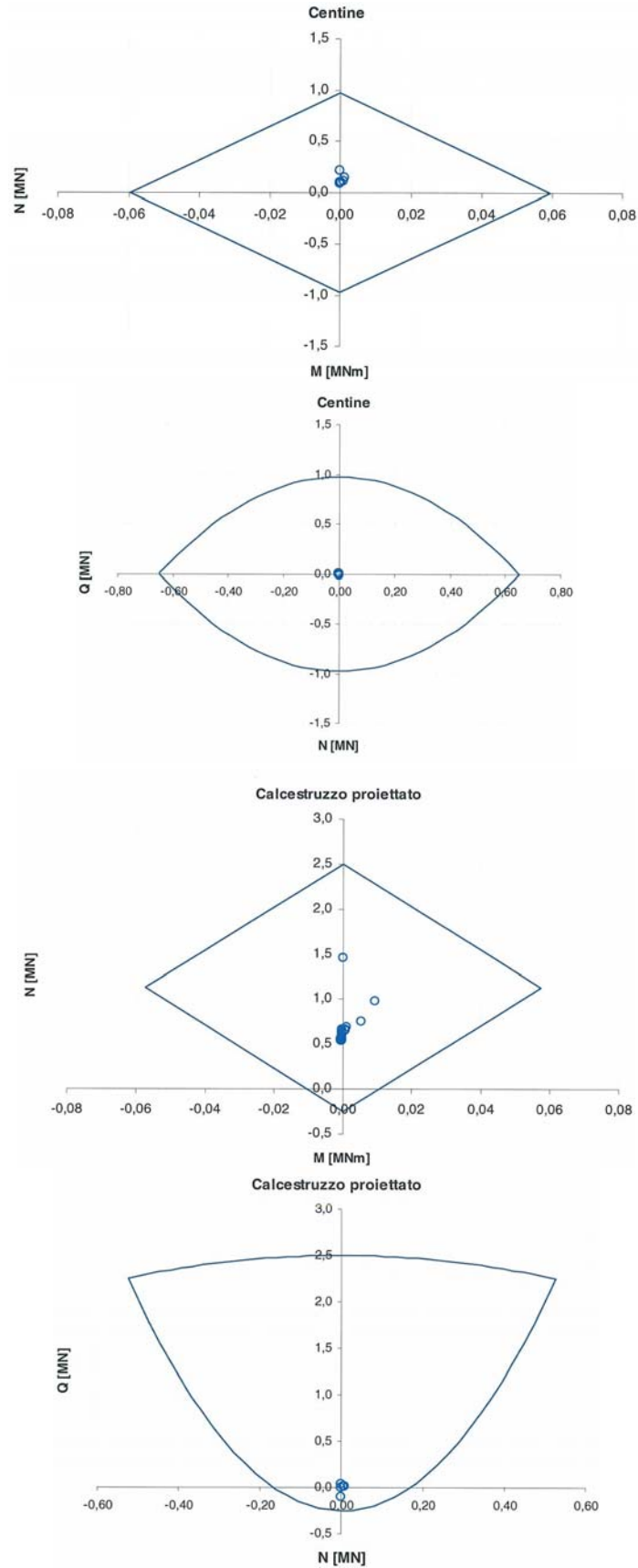


Figura 67 - Verifiche strutturali del rivestimento provvisorio, a completa maturazione dello spritz beton

6.6 Analisi di stabilità – Detrito – Analisi agli elementi finiti

Le sezioni in detrito, viste le ridotte coperture che le caratterizzano, non sono efficacemente analizzabili facendo ricorso al metodo delle linee caratteristiche. Tali analisi sono quindi state realizzate, per quanto riguarda le coperture 20 e 40 m, mediante un modello agli elementi finiti.

Tabella 8 - Percentuali di detensionamento adottate per la verifica in detrito	
Fasi di calcolo	Detensionamenti
Fronte	40
Centine	70
Maturazione spritz	90
Arco rovescio	95
Calotta	100

Tabella 9 – Parametri imposti nel modello di calcolo			
		Sez. C1	
Parametri geomeccanici del detrito agli imbocchi		c	5 kPa
		ϕ	38°
		E	75 MPa
Caratteristiche del rivestimento definitivo		spessore	0.80 m
		Rigidezza assiale EA	26.25e6 kN/m
		Rigidezza flessionale EI	15.35e5 kNm ² /m
Caratteristiche del preinvestimento	Centine	E	210e6 kPa
		EA	1.4e6 kN/m
		EI	11642 kNm ² /m
	Sostegno equivalente centine + spritz beton	E _{eq}	33.5e6 kPa
		EA	8.7e6 kN/m
		EI	4.9e4 kNm ² /m
		spessore	0.26 m

6.6.1 Detrito 40 m

Le analisi sono state realizzate considerando una distribuzione delle tensioni verticali di tipo gravitativo. Il coefficiente k_0 è stato assunto pari a 0.7.

Nelle figure seguenti si propongono i risultati dell'analisi agli elementi finiti alle massime condizioni di copertura. Si osserva una estesa plasticizzazione del cavo, Figura 67, a cui si associano convergenze di ordine decimetrico, Figura 69.

La distribuzione delle zone plastiche, a cui si associa un rifluimento del terreno ai piedi delle murette laterali, può essere meglio controllato mediante un'estensione del trattamento in jet grouting anche al piede delle centine.

Le verifiche strutturali del rivestimento preliminare hanno evidenziato sollecitazioni piuttosto elevate sui sostegni, Figura 70, in particolare sullo strato di spritz-beton, ma comunque all'interno del dominio di resistenza del materiale. Tali vaolri potranno ulteriormente diminuire con la prevista posa del rivestimento definitivo a breve distanza dal fronte, che può consentire di chiudere la sezione, limitando le convergenze al cavo e garantendo una condizione di stabilità a lungo termine.

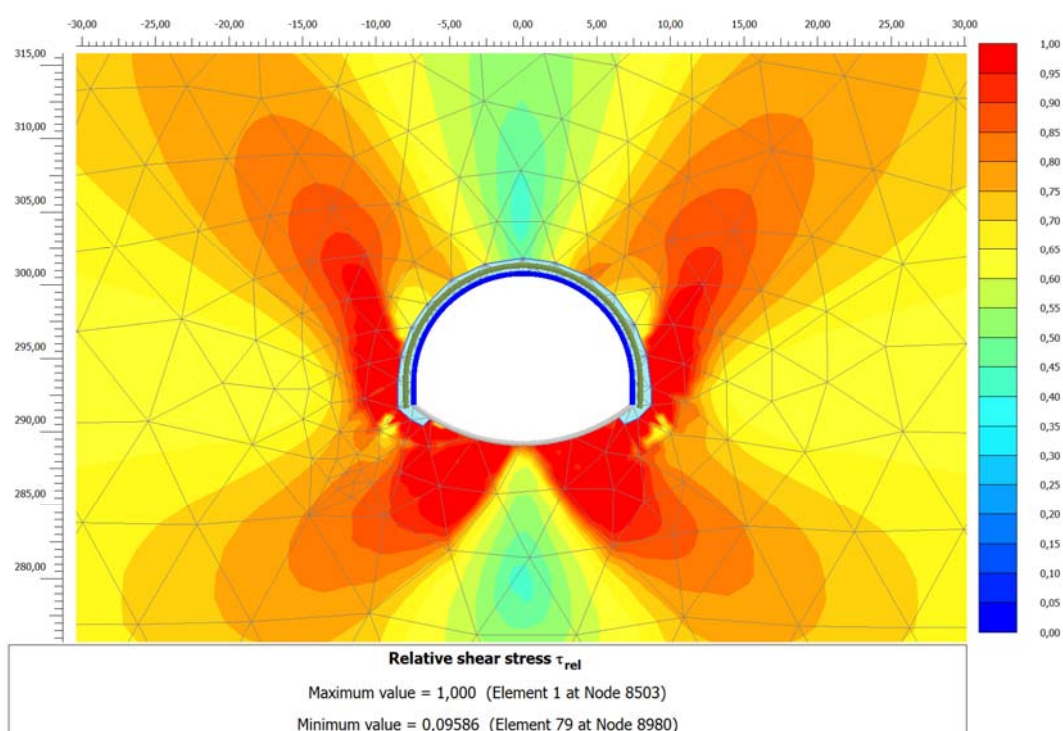


Figura 68 - Estensione della zona plasticizzata

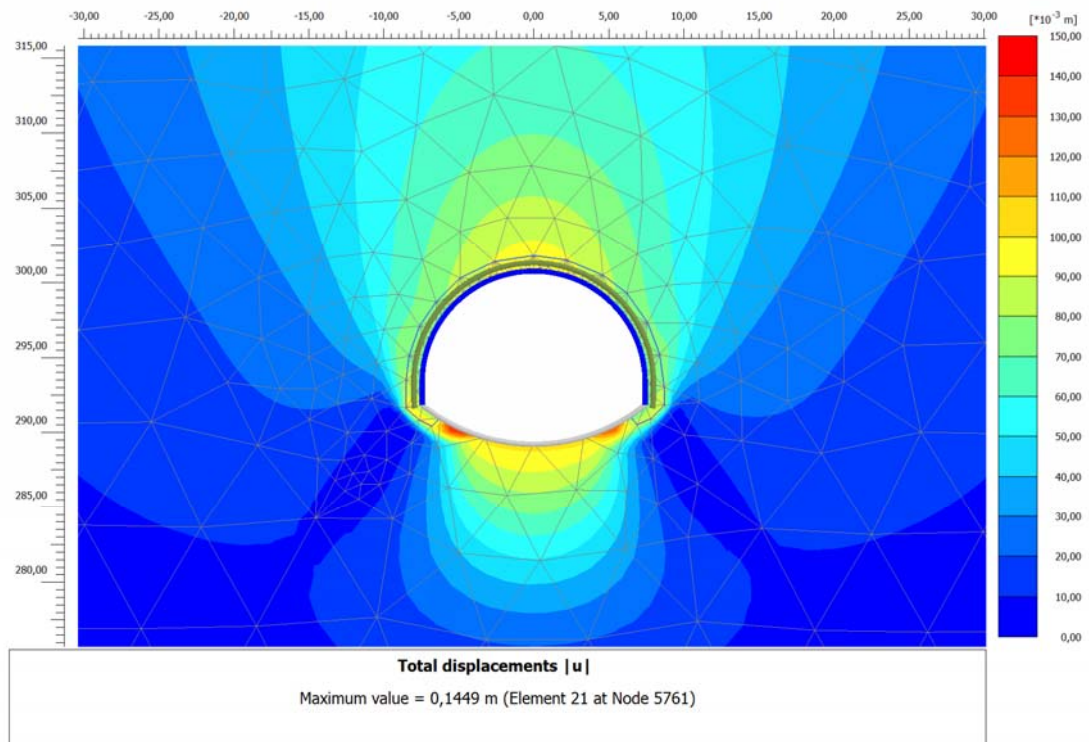


Figura 69 - Spostamenti $|u|$ al contorno di scavo alla fase di fine posa del privervestimento

Di seguito si riportano le verifiche strutturali realizzate per i privervestimenti. Le verifiche sono proposte in forma di diagrammi di interazione.

Verifiche strutturali sul rivestimento preliminare

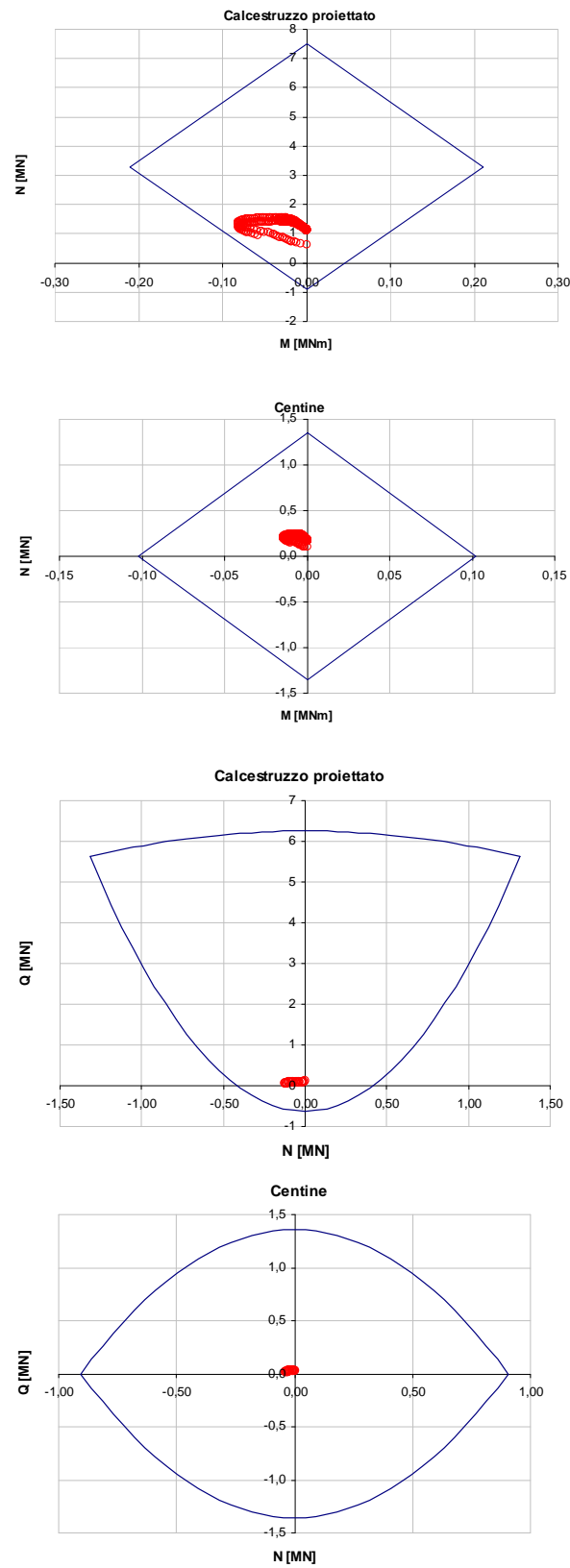


Figura 70 - Verifica strutturale del rivestimento preliminare

6.6.2 Detrito 20 m

Analogamente a quanto fatto per una copertura di 40 m in detrito, viene ora proposta l'analisi per una copertura di 20 m. Le analisi sono state realizzate considerando una distribuzione delle tensioni verticali di tipo gravitativo. Il coefficiente k_0 è stato assunto pari a 0.7.

Nelle figure seguenti si propongono i risultati dell'analisi agli elementi finiti alle massime condizioni di copertura. Si osserva una plasticizzazione del cavo quasi completamente distribuita ai lati del cavo, in ragione di uno stato tensionale non idrostatico, Figura 71, a cui si associano convergenze inferiori ai 10 cm, Figura 72.

La distribuzione delle zone plastiche, a cui si associa un rifluimento del terreno ai piedi delle murette laterali, può essere meglio controllato mediante un'estensione del trattamento in jet grouting anche al piede delle centine.

Le verifiche strutturali del rivestimento preliminare hanno evidenziato sollecitazioni piuttosto elevate sui sostegni, Figura 73, in particolare sullo strato di spritz-beton, ma che comunque non eccedono i relativi domini di resistenza. La posa del rivestimento definitivo a breve distanza dal fronte, inoltre, permettendo la chiusura della sezione, potrà limitare le convergenze al cavo e garantire una condizione di stabilità a lungo termine.

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

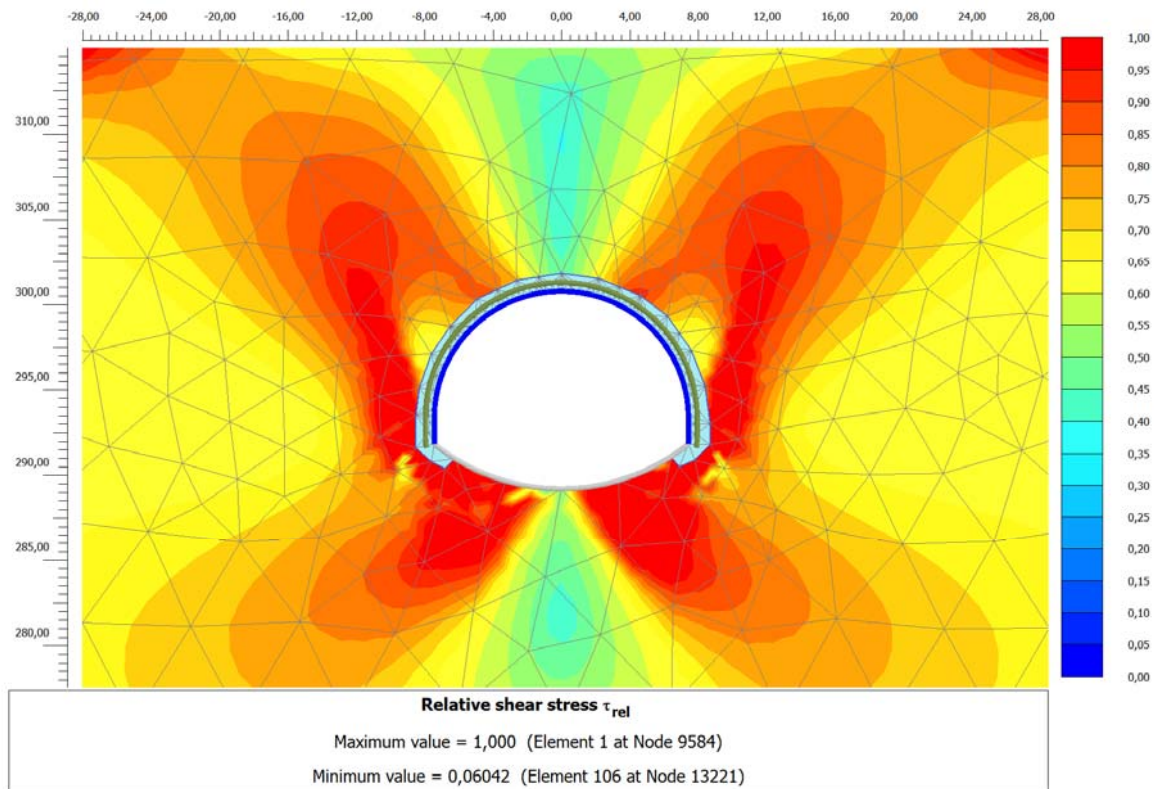


Figura 71 - Estensione della zona plasticizzata

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

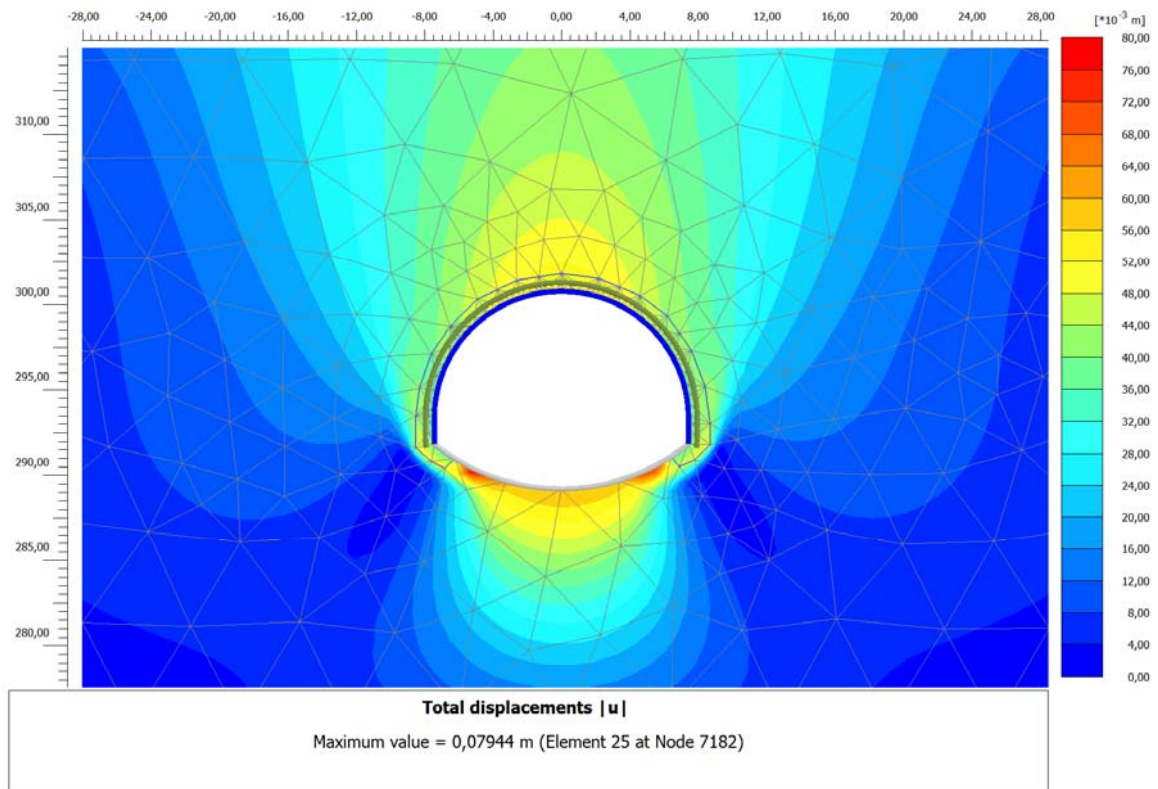


Figura 72 - Spostamenti $|u|$ al contorno di scavo alla fase di fine posa del priverstimento

Verifiche strutturali sul rivestimento preliminare

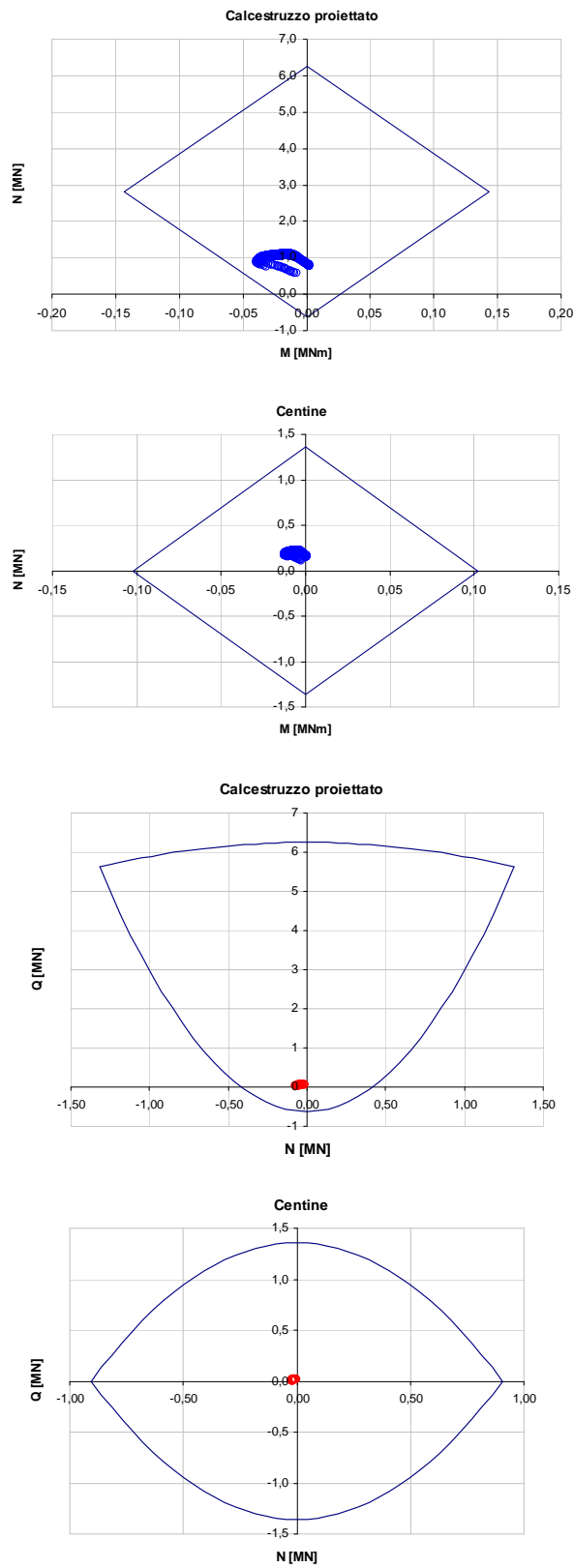


Figura 73 - Verifica strutturale del rivestimento preliminare

6.7 Analisi di stabilità – Nota di sintesi

Le analisi di stabilità relative alle sole gallerie scavate con metodo tradizionale, adottando sia i metodi delle linee caratteristiche e di Tamez, sia il metodo agli elementi finiti bidimensionali, hanno evidenziato in tutti i casi la buona qualità geomeccanica della Dolomia Principale in tutte le condizioni di copertura.

Le verifiche strutturali, infatti, forniscono sollecitazioni molto ridotte sui sostegni, che tendono ad aumentare, pur rimanendo entro i limiti di accettabilità, in corrispondenza di locali aumenti del grado di fratturazione dell'ammasso roccioso, o di zone di faglia.

Le sezioni analizzate fanno riferimento alle condizioni di massima copertura per le due classi di profondità 0-50 m e 50-500 m, tenendo conto che la massima profondità che caratterizza lo scavo in tradizionale si aggira attorno ai 330-350 m, in corrispondenza delle gallerie Pedemonte e San Pietro.

Le sezioni tipo applicate nei modelli di calcolo rappresentano le sezioni più leggere previste a base di progetto, e risultano tutte verificate. Si ritiene dunque che, a maggior ragione, anche le restanti sezioni tipo, più pesanti, che prevedono consolidamenti preventivi al contorno e/o al fronte, risultino verificate allo stesso modo, con fattori di sicurezza alla stabilità ancor più elevati.

In conclusione, si ritiene che le sezioni tipo previste siano del tutto adeguate al sostegno delle gallerie scavate con metodologia tradizionale.

Le analisi in detrito hanno evidenziato plasticizzazioni del cavo quasi completamente distribuite ai lati, in ragione di uno stato tensionale non idrostatico, con convergenze di ordine centimetrico, e decimetrico alle maggiori coperture.

La distribuzione delle zone plastiche, a cui si associa un rifluimento del terreno ai piedi delle murette laterali, può essere meglio controllato mediante un'estensione del trattamento in jet grouting anche al piede delle centine.

Le verifiche strutturali del rivestimento preliminare hanno evidenziato sollecitazioni piuttosto elevate sui sostegni, che possono essere ridotte con la posa del rivestimento definitivo a breve distanza dal fronte.

7 SCAVO MECCANIZZATO

7.1 Introduzione

La metodologia di scavo meccanizzato è prevista in corrispondenza della Galleria di Valico, che rappresenta di gran lunga l'opera in sotterraneo più estesa dell'intero tracciato, con una lunghezza di circa 15 km per ciascuna canna.

L'opzione di scavo meccanizzato prevede l'adozione di una macchina monoscudata, in grado di avanzare e di pari passo rivestire la galleria con conci prefabbricati in calcestruzzo armato. La macchina di scavo dovrà essere adeguatamente progettata in relazione alle condizioni geostrukturali degli ammassi rocciosi intercettati.

Il diametro di perforazione previsto è nominalmente pari a 14,40 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 nelle predette condizioni 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 approssimati per difetto.

7.2 Analisi Q_{TBM}

7.2.1 Fondamenti teorici

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 di 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 = $10^{\frac{RMR89-50}{15}}$;

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.

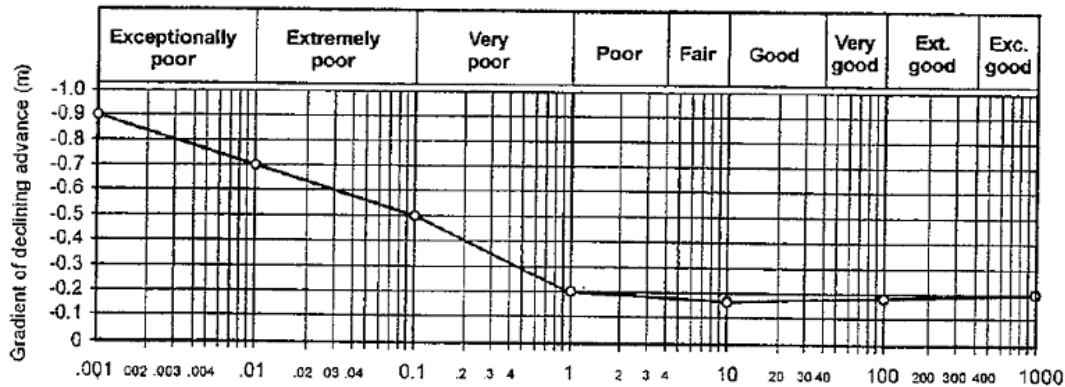
Una volta valutato l'indice Q_{TBM} , si procede alla valutazione delle velocità di avanzamento, teorica *PR* e effettiva *AR*:

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

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

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:

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



INDICE m_1

Rock mass quality $Q = \left(\frac{RQD}{J_n} \right) \times \left(\frac{J_r}{J_a} \right) \times \left(\frac{J_w}{SRF} \right)$

Figura 74 – Abaco per la valutazione dell'indice m_1 in relazione al parametro *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.

7.2.2 Risultati dell'analisi

L'analisi dell'efficienza dello scavo meccanizzato è stata realizzata facendo riferimento allo scenario che prevede l'utilizzo di due macchine, ciascuna delle quali scava una delle due canne.

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 interessati dalla Galleria di Valico, impiegati per la valutazione del Q_{TBM} :

Tabella 10 – Indici necessari per la valutazione del Q_{TBM}

Denominazione	Litotipo	% di quarzo	CLI	Porosità
Dolomia Principale	dolomia/calcarei dolomitici	7	80	4
Gruppo di Raibl	dolomie e peliti/argilliti	5	90	5
Dolomia della Valsugana	dolomie stratificate	7	80	4
Conglomerato di Voltago	conglomerato/arenaria/peliti	12	40	5
Formazione a Gracilis	dolomia stratificata/marne	5	50	4
Dolomia del Serla Inferiore	dolomia stratificata	7	80	4
Formazione di Werfen	calcarei/arenarie/dolomie	7	50	5
Formazione a Bellerophon	dolomie/calcarei/marne	7	50	4
Arenarie di Val Gardena	arenarie quarzose	30	30	15
Basamento cristallino	filladi/micascisti	25	15	2
	paragneiss	25	15	2
	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 25 tonnellate. Questa ipotesi è determinante sulla stima dei tempi. 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	Materiali di buona qualità (Dolomia Princ. e Valsugana)		Materiali posizionati al di sotto della Dolomia	
	Roccia	Faglia	Roccia	Faglia
Galleria da 14,40 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

Nel grafico seguente si riportano i risultati dell'analisi con il metodo QTBM per la Galleria di Valico, nell'ipotesi di scavo di una sola canna, con fresa di diametro 14,4 metri. Il tempo di scavo si riferisce ai soli tempi di perforazione. La forza applicata su ciascun cutter si è ipotizzata pari a 25 t.

Nel grafico si osserva che, facendo riferimento ai soli tempi di perforazione, quando la fresa si trova a dover avanzare in materiali di migliore qualità geomeccanica, la maggiore abrasività e resistenza che li caratterizza determina un aumento di consumo dei cutters ed una conseguente riduzione della velocità di avanzamento. Al contrario, nei materiali posti al di sotto della sequenza carbonatica, risultano velocità di perforazione più elevate, in ragione di una minore resistenza dell'ammasso roccioso alla penetrazione degli utensili.

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

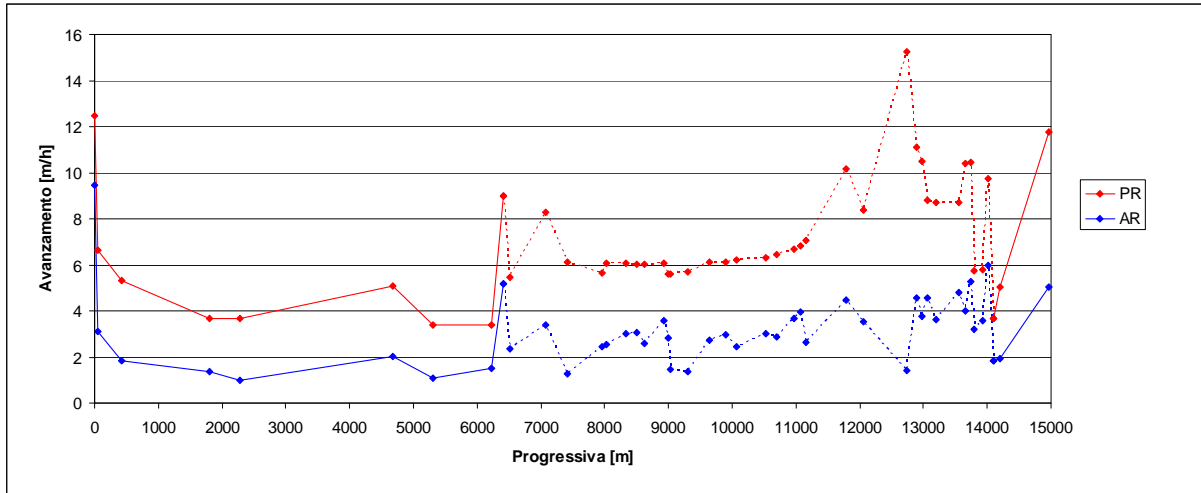


Figura 75 – Velocità di avanzamento teoriche ed effettive, per lo scavo della Galleria di Valico. In linea continua si sono riportate le zone in Dolomia Principale, in linea tratteggiata i tempi che fanno riferimento ai materiali posti al di sotto della sequenza carbonatica.

In conclusione i tempi di scavo previsti per la realizzazione della sola Galleria di Valico con metodologia di scavo meccanizzato ammontano a 1.5 anni. Questo risultato è comunque solo parzialmente corretto, in quanto riguarda i soli tempi di perforazione.

Si sottolinea inoltre come questi tempi siano notevolmente influenzati da F. Se si porta la forza per cutter da 20 a 25 tonnellate, si incrementa notevolmente AR, Figura 76.

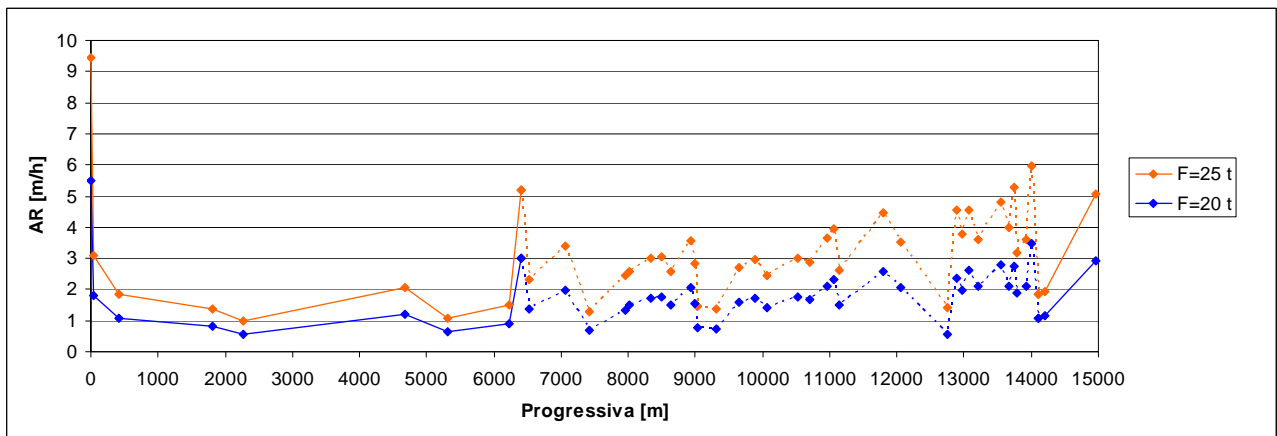


Figura 76 – Variazione della velocità di avanzamento AR al variare della forza applicata ai cutter. In linea continua si sono riportate le zone in Dolomia Principale, in linea tratteggiata i tempi che fanno riferimento ai materiali posti al di sotto della sequenza carbonatica.

La valutazione complessiva dei tempi effettivi di scavo non può però prescindere da valutazioni relative alla stabilità dei materiali intercettati. In corrispondenza delle faglie

posizionate nelle zone centrali della galleria, ed eventualmente anche nei materiali sottostanti la Dolomia Principale, infatti, si prevede di realizzare:

- sondaggi in avanzamento (1 ogni 100 m di avanzamento) per valutare la qualità dell'ammasso davanti al fronte;
- iniezioni di impermeabilizzazione in corrispondenza di quelle faglie per le quali si prevedono ingenti venute di acqua;
- iniezioni di consolidamento in corrispondenza delle faglie posizionate entro i materiali sottostanti alla Dolomia Principale, ed eventualmente anche entro i materiali stessi, laddove si abbia un locale peggioramento delle condizioni geomeccaniche.

Questi interventi richiedono tempi aggiuntivi a quelli di pura perforazione, che vanno tenuti in considerazione nel corso della valutazione dei tempi totali di scavo. Supponendo che si necessiti di 1,5 anni aggiuntivi per la realizzazione dei consolidamenti e delle impermeabilizzazioni, e altri 0.5 anni per le perforazioni in avanzamento – supponendo di realizzare un sondaggio di 50 m in 2 giorni di fermo macchina, si ottiene:

Tabella 11 – Tempi di scavo totali per la Galleria di Valico, F = 25t

TEMPI DI SCAVO COMPLESSIVI							
Scavo meccanizzato							
Galleria	Lunghezza [m]	Tempo di scavo [anni]	Δt			Tempo complessivo [anni]	Velocità media di avanzamento [m/gg]
			Impermeabilizz.	Consolid.	Sondaggi in avanzamento e fermi macchina		
Valico	15000	1.5	0.5	1	0.5	3.5	12.2

7.3 Criticità dello scavo meccanizzato

Lo scavo meccanizzato è previsto, per il tracciato in esame, in corrispondenza della Galleria di Valico.

Dal punto di vista geomeccanico, la galleria interessa due macroformazioni:

- Formazione della Dolomia Principale, generalmente massiva, con alto grado litoide e buona qualità geomeccanica. Il comportamento tenso-deformativo, anche a coperture medio-elevate, risulta spiccatamente elastico con ridotta plasticizzazione;

- Sequenza permo-triassica sottostante alla Dolomia, costituita da un'alternanza di arenarie, calcareniti e dolomie fittamente stratificate. Tali formazioni vengono intercettate dalla Galleria proprio in corrispondenza delle massime coperture, e presentano un comportamento a prevalente componente plastica, con convergenze che raggiungono i 20 cm in corrispondenza dei termini più scadenti.

Le faglie si dispongono in modo omogeneo lungo il tracciato, e presentano livelli d'acqua anche piuttosto elevati rispetto alla calotta della galleria. Secondo il modello idrogeologico proposto nella Relazione Idrogeologica, queste possono rappresentare gli elementi di connessione fra l'acquifero e la galleria, e agire come superfici di drenaggio dell'ammasso roccioso.

Il panorama idrogeologico e geomeccanico descritto è dunque piuttosto variegato in quanto se da un lato, in corrispondenza dei tratti in Dolomia, le convergenze attese non superano il centimetro, dall'altro lo scavo meccanizzato dovrà far fronte, nella zona centrale della galleria, allo scavo in materiali di scadente qualità geomeccanica, caratterizzati da valori di resistenza a compressione σ_c piuttosto ridotti. Ne consegue un'estesa plasticizzazione al contorno del cavo, con conseguenti convergenze di ordine decimetrico in corrispondenza dello scudo.

D'altro canto, nei tratti in roccia competente, la macchina dovrà far fronte a fenomeni di detensionamento, spalling, che si verificano per rottura istantanea della massa rocciosa a comportamento fragile.

In conclusione, le problematiche a cui è necessario far fronte lungo la Galleria di Valico sono:

- per le rocce competenti, fenomeni di spalling al contorno di scavo, dovuti ad un comportamento prevalentemente fragile della massa rocciosa;
- per le zone ad alta copertura, nei materiali ascrivibili alla sequenza permo-triassica, la problematica principale è legata alla bassa qualità della massa rocciosa, a cui si associano convergenze piuttosto elevate, ed alla possibilità che l'intercettazione delle faglie comporti problemi di stabilità;
- per le zone di faglia con elevato carico idraulico vi è la possibilità che, a causa di un locale aumento della permeabilità dell'ammasso roccioso, queste possano convogliare in galleria ingenti quantità d'acqua.

Si ritiene comunque che, a meno di opportuni interventi in fase realizzativa atti a limitare/risolvere le problematiche appena esposte, lo scavo meccanizzato possa risultare adeguato alla realizzazione in progetto.

La Galleria di Valico verrà realizzata mediante una macchina di scavo TBM, preferibilmente monoscudata, in grado di rivestire il cavo di pari passo con l'avanzamento. Il rivestimento definitivo sarà costituito da un anello di conci, chiusi dal concio di chiave, messo in opera all'interno dello scudo.

Viste le problematiche di cui sopra, la macchina dovrà essere opportunamente progettata di modo da consentire:

- l'esecuzione di sondaggi in avanzamento, atti all'individuazione preventiva delle zone di faglia, della presenza di acqua al loro interno, ed eventualmente delle tratte di ammasso roccioso di scadente qualità geomeccanica;
- un adeguato sovrascavo al contorno, che consenta una maggiore manovrabilità della macchina di scavo, e riduca la possibilità di un blocco dello scudo dovuto ad un'eccessiva pressione del terreno al contorno (comportamento squeezing);
- l'esecuzione di iniezioni al contorno di scavo, atte all'impermeabilizzazione delle faglie più critiche da un punto di vista idrogeologico, ed al consolidamento delle zone scadenti.
- La gestione di eventuali distacchi in parete con scudi idonei a contenere il fenomeno, così che non gravi in modo eccessivo sulla posa dei conci.

Ulteriori misure operative per quanto riguarda lo scavo in condizioni di roccia a comportamento spingente sono rappresentate da un'attenta gestione delle operazioni di scavo ed avanzamento. Una volta individuata una zona critica dunque è consigliabile eseguire in anticipo le operazioni di manutenzione al fine di ridurre al minimo il rischio di guasti meccanici. Analogamente, all'interno delle zone critiche, è necessario un attento coordinamento dei fermi macchina, che possono rappresentare le fasi più pericolose dal punto di vista dei fenomeni di squeezing al contorno di scavo.

L'intasamento a tergo dei conci verrà realizzato alternativamente con pea-gravel, nelle zone di massima copertura, laddove un mancato drenaggio, e conseguente un mancato abbattimento delle pressioni idrauliche, potrebbe comportare carichi eccessivi sui rivestimenti, e con malta cementizia nelle tratte in cui la galleria viene impermeabilizzata per ridurre le interazioni con il sistema delle sorgenti.

7.4 Interventi migliorativi e di impermeabilizzazione

A fronte delle problematiche idrogeologiche discusse nell'ambito della Relazione Idrogeologica, per evitare che le faglie possano riversare in galleria ingenti quantitativi di acqua, dannosi per la macchina di scavo e per l'ambiente circostante, si prevede di impermeabilizzare a fini idrogeologici alcune faglie in avanzamento.

Dalla progressiva 30+000 km alla pk 34+000 km inizia il tratto nella sequenza stratigrafica sottostante alla Dolomia Principale, per cui bisognerà prevedere di consolidare le faglie, in quanto caratterizzate da parametri geomeccanici molto scadenti.

Non è comunque escluso che in corrispondenza di questi tratti sia necessario procedere con sondaggi in avanzamento per valutare i litotipi intercettati dal tracciato, e definire con maggiore precisione la condizione strutturale che li caratterizza. Ciò non esclude che si possano rinvenire localmente materiali più scadenti di quelli ipotizzati, in particolare in corrispondenza dell'Arenaria di Val Gardena e del Conglomerato di Voltago, nei quali è possibile che si debba intervenire per garantire i parametri di progetto. In queste zone si procederà eventualmente con un consolidamento meno fitto di quello impiegato per le zone di faglia. Le tratte in questione attualmente si prevedono tra le progressive 30+150 e 30+800 km, 31+700 e 32+500 km, 35+400 e 35+700 km.

7.5 Detensionamento – Spalling

Una delle maggiori criticità che possono influenzare in modo rilevante l'avanzamento ad alte coperture è il detensionamento, o spalling, fenomeno di rottura fragile che si verifica in ammassi rocciosi di buona qualità soggetti a stati tensionali particolarmente gravosi. Tale problematica è particolarmente temibile nell'ambito dello scavo meccanizzato, laddove un'estesa plasticizzazione al contorno di scavo può determinare deformazioni elevate, e conseguente restringimento del cavo in concomitanza con il passaggio dello scudo.

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_0 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	Nullo	
0.4 - 1	Splaccamenti decimetrici	Trascurabile	0 – 0.40 m
1 – 1.5	Splaccamenti da metrici a decametrici	Importante	0.40 m – 10 m
> 1.5	Splaccamenti con dimensione maggiore di 10 m	Intenso	> 10 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:

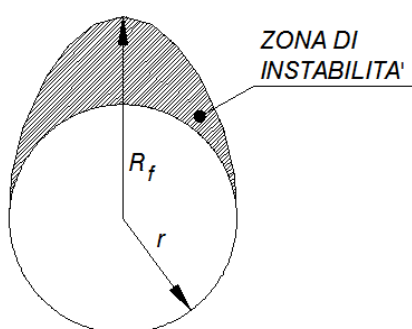


Figura 77 – Illustrazione del fenomeno di spalling

I risultati dei calcoli relativi alla problematica dello spalling sono riportati nella tavola di profilo in scala 1:5000 dedicata alla Galleria di Valico. L'analisi dello spalling ha evidenziato una prevalenza di fenomeni di splaccamenti decimetrici, che tendono a diventare più importanti in corrispondenza delle coperture più elevate, sopra i 1000 metri. In corrispondenza delle tratte entro la Dolomia Principale, a fronte di spalling trascurabile, di estensione pari a circa 10-70 cm, si passa a splaccamenti di maggiore entità, che possono raggiungere spessori anche di 1-2 metri a coperture di 700-750 metri.

In corrispondenza delle tratte a maggiore copertura nella Galleria di Valico, la galleria intercetta invece le formazioni sedimentarie sottostanti la Dolomia Principale, caratterizzate da proprietà geomeccaniche nettamente più scadenti, e quindi più soggette a fenomeni di detensionamento al contorno di scavo. In questi materiali i calcoli prevedono fenomeni severi di splaccamento, con estensione variabile fra 5 m alle coperture più ridotte (900-1000 m) fino a 20-25 m con coperture di 1300-1400 m, fenomeni che tendono però a confondersi con le zone di rottura a taglio.

I risultati di tutte le analisi sono di seguito riassunti in funzione delle progressive e delle formazioni geologiche incontrate.

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

VALUTAZIONE SPALLING

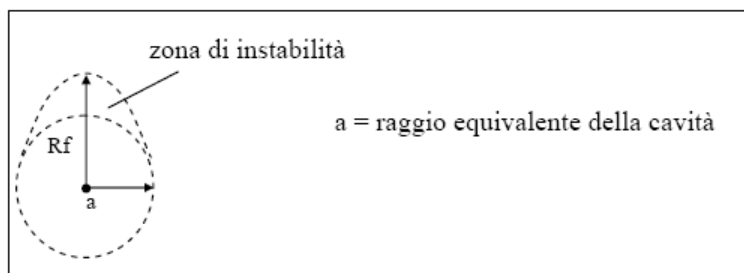
Classe di RMR	Rischio di spalling
< 55	no spalling
55 - 75	rischio moderato
> 75	rischio elevato

Rapporto tra le tensioni verticale e orizzontale in condizione indisturbata	
k	1

k	Sigma max
< 1	2,5 Sigma v
>= 1	3 Sigma v

Gamma	25	kN/m ³
a = raggio galleria	7.2	m

LITOTIPO	PROGRESSIVA	RMR	Rischio di spalling	COPERTURA [m]	H lim [m]	SIGMA MAX [MPa]	SIGMA C [MPa]	Di	Rf [m]	Rf-a [m]	Note
Dolomia Principale	23+380-24+900	67	rischio moderato	500	477	37.5	90	0.417	7.278	0.078	Sp.trascurabile
	24+900-27+430	74	rischio moderato	620	530	46.5	100	0.465	7.713	0.513	Sp.trascurabile
	27+430-28+070	67	rischio moderato	500	477	37.5	90	0.417	7.278	0.078	Sp.trascurabile
	28+070-29+120	74	rischio moderato	750	530	56.25	100	0.563	8.591	1.391	Spalling severo
Gruppo di Raibl	29+120-29+240	55	rischio moderato	830	239	62.25	45	1.383	15.978	8.778	Spalling severo
Dolomia Valsugana	29+240-29+800	67	rischio moderato	920	382	69	72	0.958	12.153	4.953	Spalling severo
Formaz. Gracilis	29+800-30+150	55	rischio moderato	1130	265	84.75	50	1.695	18.783	11.583	Spalling severo
Arenaria V.Gardena	30+150-30+750	55	rischio moderato	1250	159	93.75	30	3.125	31.653	24.453	Spalling severo
Formaz. Werfen	30+750-31+720	60	rischio moderato	1200	191	90	36	2.5	26.028	18.828	Spalling severo
Arenaria V.Gardena	31+720-32+380	55	rischio moderato	1430	159	107.25	30	3.575	35.703	28.503	Spalling severo
Formaz. Werfen	32+380-34+450	60	rischio moderato	1200	191	90	36	2.5	26.028	18.828	Spalling severo
Dolomia Valsugana	34+450-34+750	53	no spalling	500	175	37.5	33				
	34+750-35+400	60	rischio moderato	500	345	37.5	65	0.577	8.720	1.520	Spalling severo
Conglom. Voltago	35+400-35+550	43	no spalling	480	122	36	23				
Conglom. Voltago	35+550-35+720	50	no spalling	640	133	48	25				
	35+720-36+300	55	rischio moderato	700	265	52.5	50	1.05	12.978	5.778	Spalling severo
Conglom. Voltago	36+300-36+430	50	no spalling	700	159	52.5	30				
Dolomia Valsugana	36+430-36+650	67	rischio moderato	650	382	48.75	72	0.677	9.622	2.422	Spalling severo
Gruppo di Raibl	36+650-36+740	55	rischio moderato	560	239	42	45	0.933	11.928	4.728	Spalling severo
Dolomia Principale	36+740-36+850	74	rischio moderato	550	530	41.25	100	0.413	7.241	0.040	Sp.trascurabile
	36+850-37+610	67	rischio moderato	500	477	37.5	90	0.417	7.278	0.078	Comp.to elastico
	37+610-38+200	59	rischio moderato	50	424	3.75	80	0.047			Comp.to elastico



Di	Rischio di spalling	
<= 0.4	comportamento elastico	no danno
0.4 - 0.6	spalling trascurabile	supporti leggeri
0.6 - 0.8	spalling severo	supporti moderati
0.8 - 1.2		supporti pesanti
1.2 - 1.6		stabilità molto difficile

Figura 78 – Previsioni dello spalling in corrispondenza della Galleria di Valico

7.6 Scelta delle sezioni di calcolo

Nella seguente tabella si elencano le formazioni intercettate dalla Galleria di Valico, a partire dall'imbocco sud fino a fine tracciato, in corrispondenza del fiume Adige. Ciascun litotipo è stato definito in relazione alla classe di copertura che lo caratterizza e, eventualmente, indicando numericamente la massima copertura presente.

Tabella 12 – Litotipi intercettati dalla Galleria di Valico

Progressiva km		Litotipo e classe di copertura	Copertura medio/massima
da	a		
23+300	23+400	Dolomia Principale – cl. I	
23+400	24+900	Dolomia Principale – cl. II	
24+900	27+400	Dolomia Principale – cl. III	620 m
27+400	28+100	Dolomia Principale – cl. II	500-400 m
28+100	29+150	Dolomia Principale – cl. III	750 m
29+150	29+250	Raibl – cl. III	830 m
29+250	29+800	Dolomia di Valsugana – cl. III	920 m
29+800	30+150	Gracilis – cl. III	1130 m
30+150	30+750	Arenaria Valgardena – cl. III	1250 m
30+750	31+700	Werfen	1400 m
31+700	32+350	Arenaria Valgardena	1430 m
32+350	34+450	Werfen – cl. III	1200 m
34+450	34+700	Werfen – cl. II	
34+700	35+400	Dolomia Valsugana – cl. II	380-500 m
35+400	35+550	Voltago – cl. II	480 m
35+550	35+700	Voltago – cl. III	640 m
35+700	36+300	Gracilis – cl. III	700 m
36+300	36+450	Voltago – cl. III	700 m
36+450	36+650	Dolomia di Valsugana – cl. III	630 m
36+650	36+750	Raibl – cl. III	560 m
36+750	37+600	Dolomia Principale – cl. II	
37+600	38+200	Dolomia Principale – cl. I	

Osservando la distribuzione dei diversi litotipi lungo il tracciato della galleria, si sono individuate le sezioni di analisi. Le analisi sono state realizzate prevalentemente mediante il metodo delle linee caratteristiche in quanto, in ragione delle alte coperture che caratterizzano la galleria in questione, le ipotesi di base del metodo sono perfettamente verificate, e dunque i risultati ottenuti si possono ritenere attendibili.

Tabella 13 – Sezioni di calcolo	
SEZIONI ANALIZZATE	
Dolomia Principale	500 m
	750 m
Faglia in Dolomia Principale	350 m
Gruppo di Raibl	800m
Dolomia della Valsugana	800 m
Formazione Gracilis	1000 m
Formazione di Werfen	450 m
	1400 m
Conglomerato di Voltago	700 m
Arenarie di Val Gardena	1400 m

7.7 Analisi di stabilità – Linee caratteristiche e metodo di Tamez

Di seguito si riportano i risultati delle analisi realizzate con linee caratteristiche ed il metodo di Tamez per le diverse sezioni di calcolo. Si sottolinea che tutte le analisi proposte fanno riferimento ad un cavo rivestito con un anello continuo di calcestruzzo, senza tener conto di un eventuale sovrascavo al contorno, che permetterebbe un ulteriore detensionamento dell'ammasso roccioso, a cui si associano ancor minori sollecitazioni sul rivestimento.

7.7.1 Dolomia Principale - 750 m

Il comportamento dell'ammasso è quasi totalmente elastico. La plasticizzazione è corticale sia al cavo (spessore 50 cm) sia al fronte (10 cm), con spostamenti di ordine millimetrico.

Una volta terminato il passaggio dello scudo e posati i conci di rivestimento, lo spostamento dell'ammasso risulta di 6 mm al cavo.

GALLERIA
FRONTE SFERICO

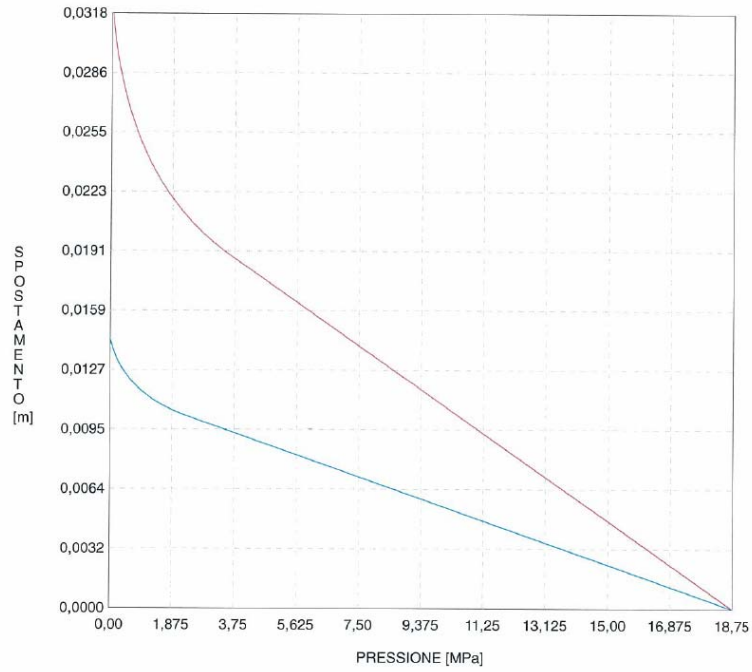


Figura 79 - Dolomia Principale, 750 m – Curve caratteristiche del fronte e del cavo in assenza di sostegni

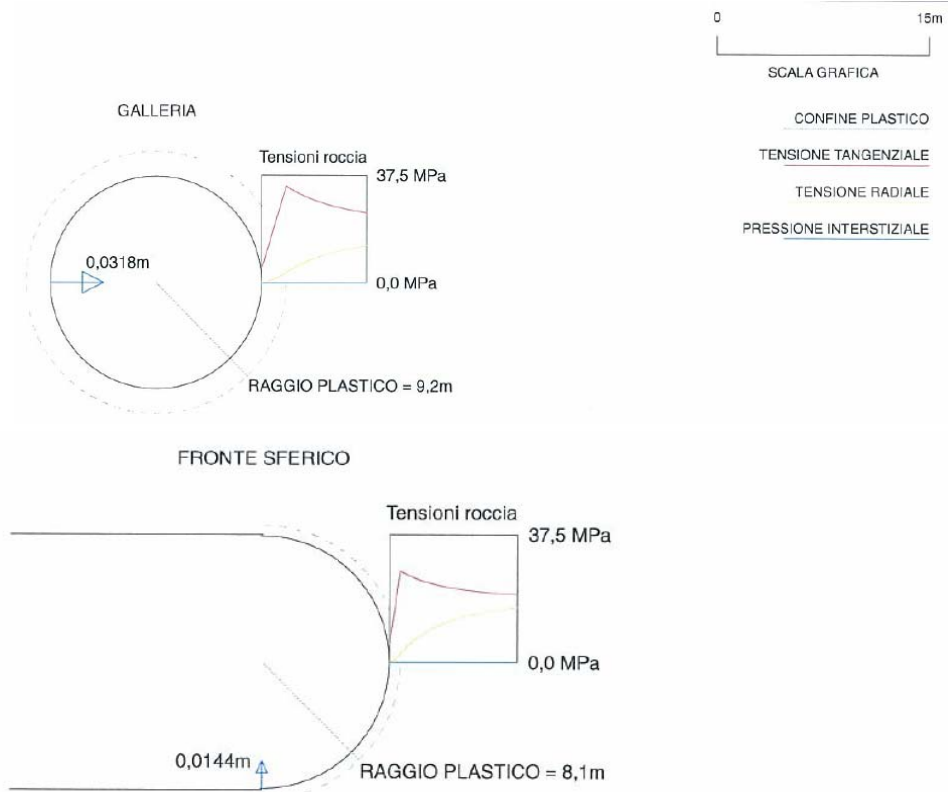


Figura 80 - Dolomia Principale 750 m – Condizione dell'ammasso roccioso in assenza di sostegni

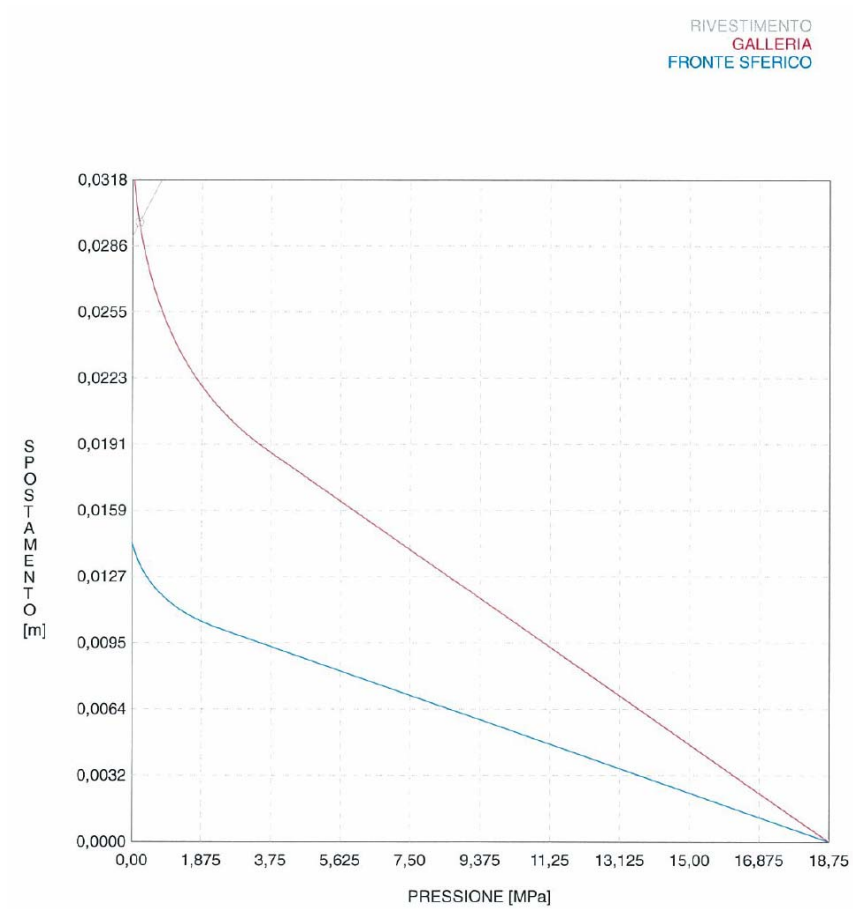


Figura 81 - Dolomia Principale 750 m – Curve caratteristiche in presenza del rivestimento definitivo

RIVESTIMENTO (LUNGO TERMINE)

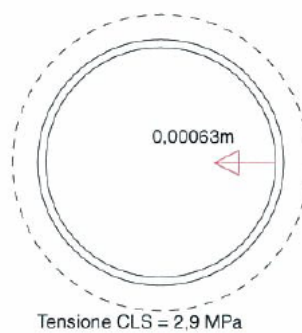


Figura 82 - Dolomia Principale 750 m – Sollecitazioni litostatiche agenti sul rivestimento definitivo

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

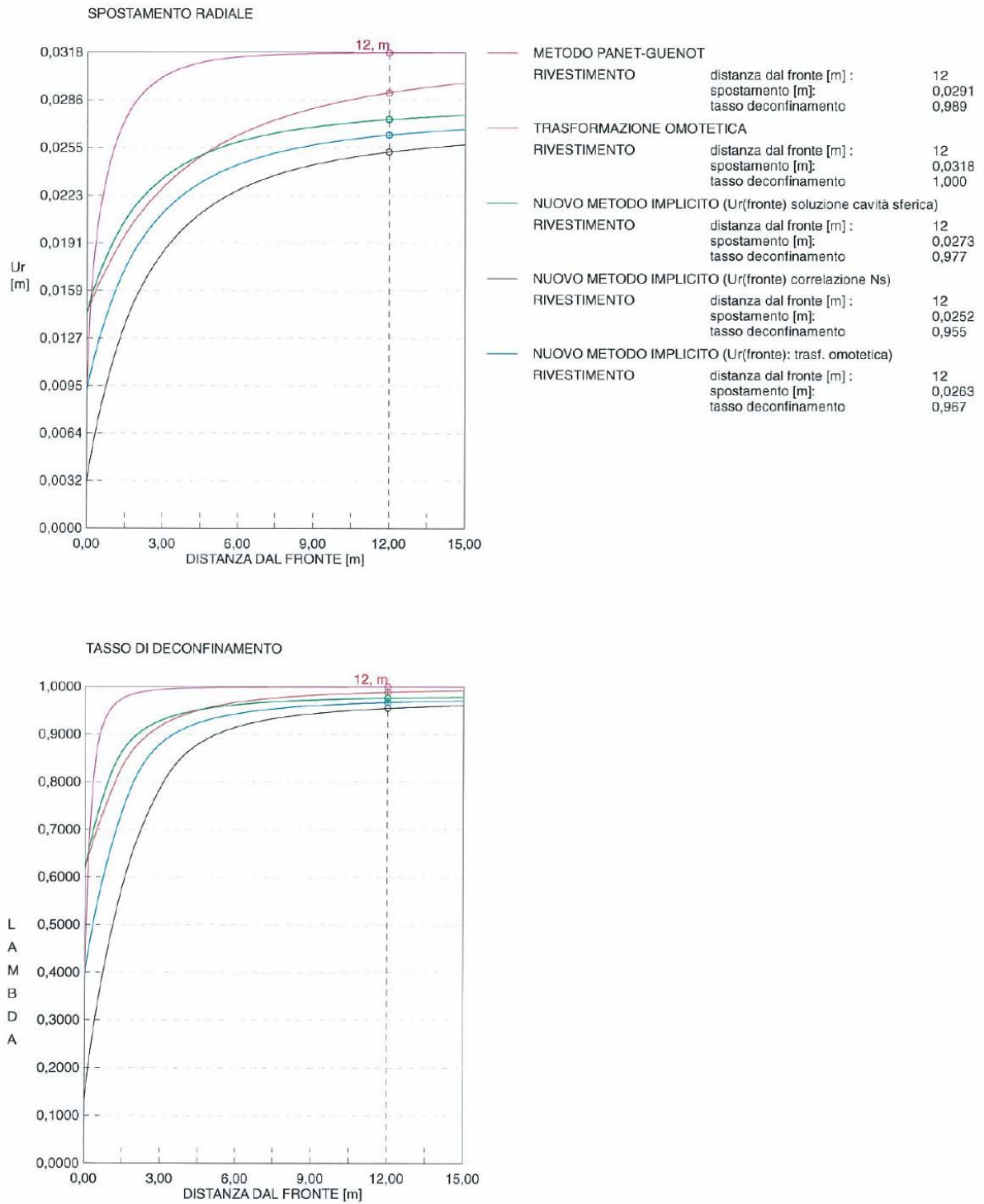


Figura 83 - Dolomia Principale 750 m – Curve di detensionamento dell'ammasso roccioso

7.7.2 Dolomia Principale - 500 m

Analogamente a quanto visto per una copertura di 750 m, l'ammasso presenta un comportamento elasto-plastico, con plasticizzazione nettamente ridotta.

Ad una distanza di 12 m dal fronte l'ammasso ha subito un detensionamento, secondo la curva di Panet-Guenot, del 90-95%, con spostamenti al cavo di 6-6.5 mm.

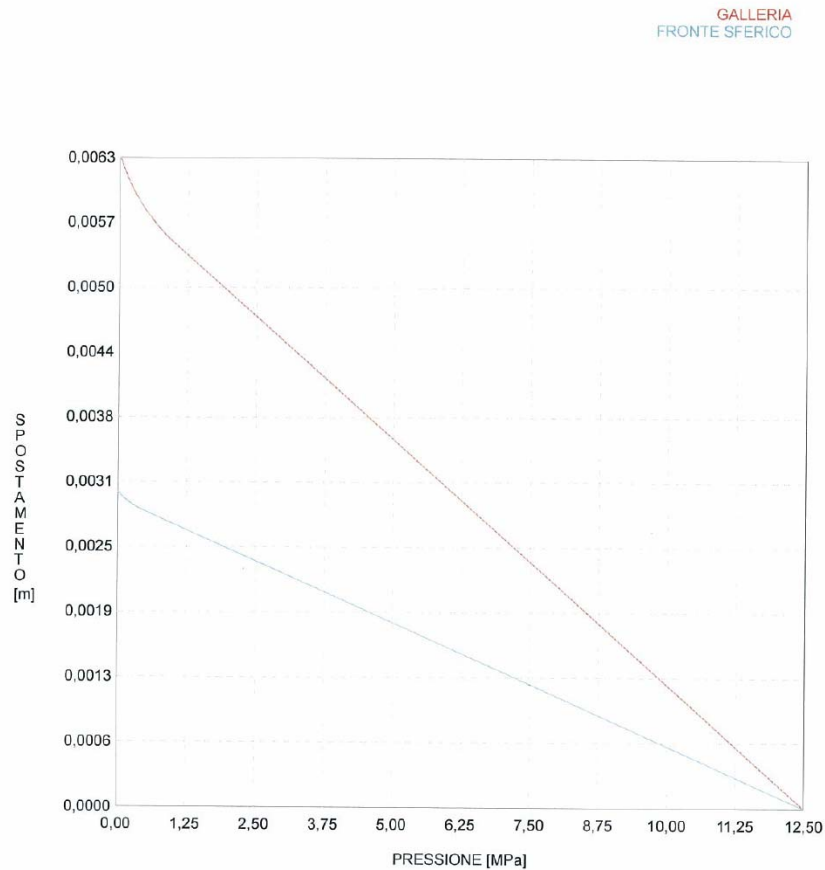


Figura 84 - Dolomia Principale 500 m – Curve caratteristiche del cavo e del fronte in assenza di sostegni

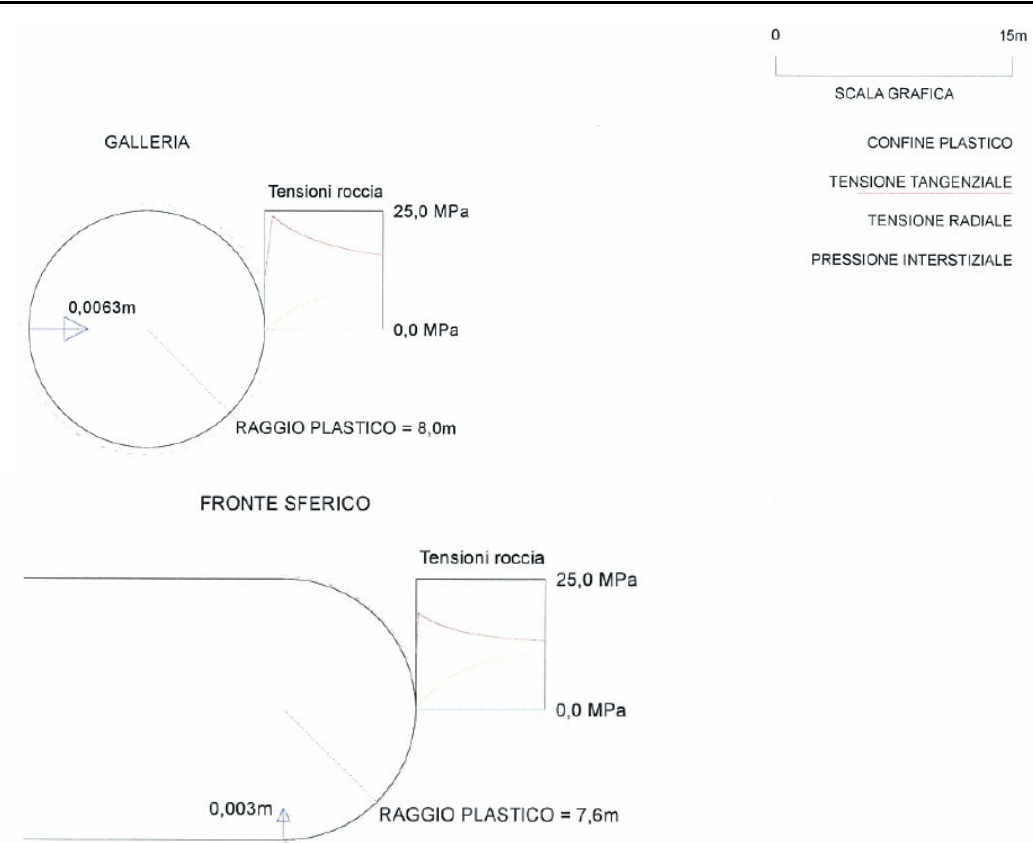


Figura 85 - Dolomia Principale 500 m – Condizioni dell’ammasso roccioso in assenza di sostegni

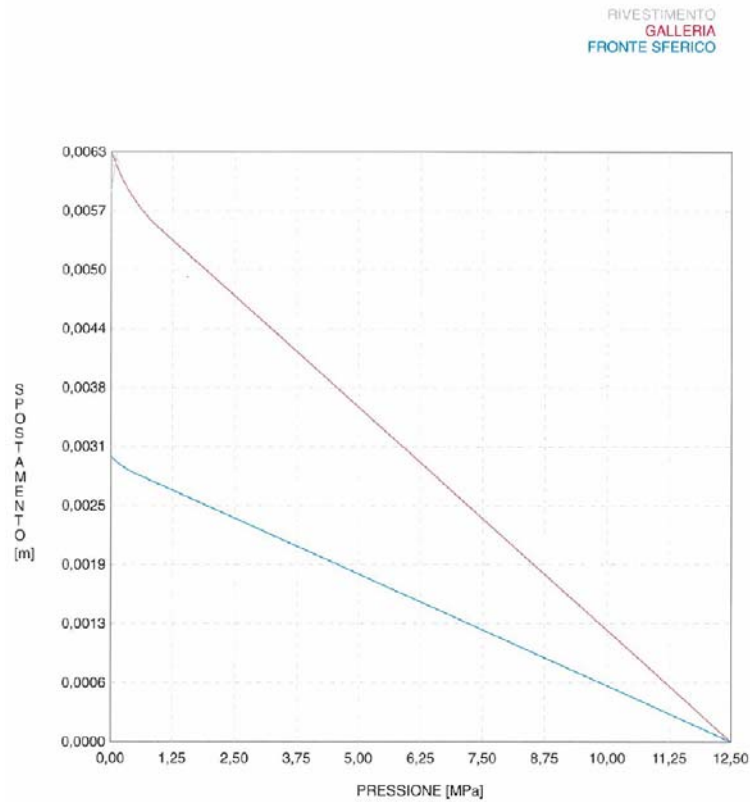
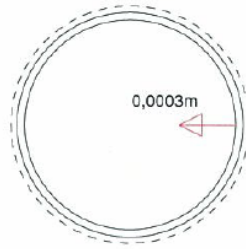


Figura 86 - Dolomia Principale 500 m – Curve caratteristiche del cavo e del fronte in presenza del rivestimento definitivo

RIVESTIMENTO (LUNGO TERMINE)



Tensione CLS = 1,4 MPa

Figura 87 - Dolomia Principale 500 m – Sollecitazioni litostatiche agenti sul rivestimento definitivo

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

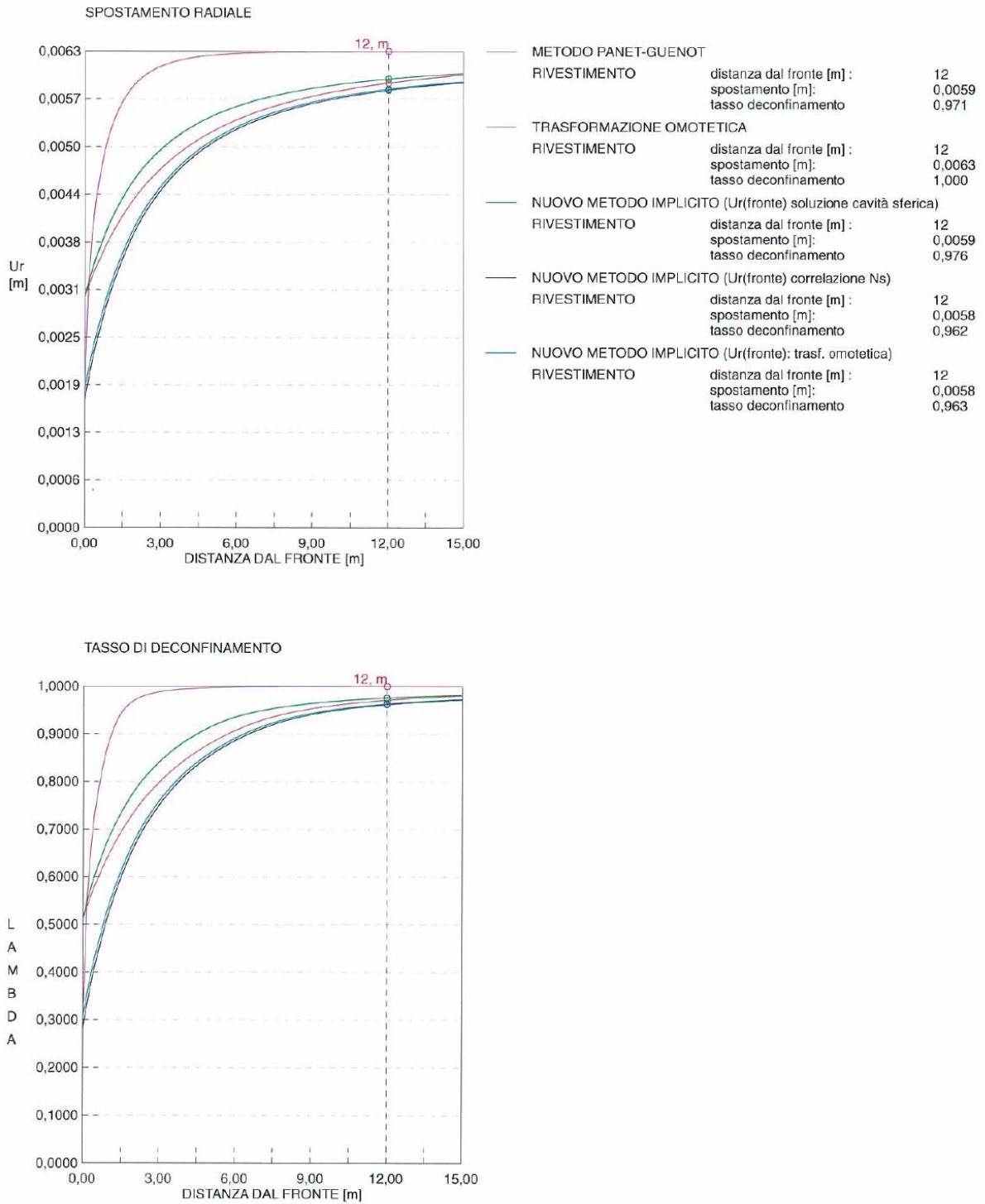


Figura 88 - Dolomia Principale 500 m – Curve di detensionamento dell'ammasso roccioso

7.7.3 Faglia in Dolomia Principale - 350 m

Si analizza una zona di faglia in Dolomia Principale, a cui si associa un RMR di 45 punti ed una σ_c pari a quella del litotipo interessato, in classe I (copertura 5-50 m).

L'analisi con il metodo di Tamez evidenzia una sostanziale stabilità del fronte.

L'analisi con il metodo delle linee caratteristiche evidenzia un ammasso roccioso stabile, con plasticizzazione che si estende per 1.4 m al cavo, 0.5 m al fronte. Gli spostamenti sono di circa 1 cm al fronte, raggiungono i 2 cm al contorno.

L'ammasso roccioso detensiona molto velocemente: a 12 m dal fronte il detensionamento ha superato il 95%.

		copertura	350	m
		peso specifico ammasso	25	kN/m ³
indici caratterizz.	RMR _{gg}	45		
	BRMR	-		
	Q'	-		
	m _i	18		
	σ_c	80	MPa	
	σ_{v0}	8,75	MPa	
	GSI	40,00		
Hoek - Brown	m _p (di picco)	1,89		
	s _p (di picco)	1,01E-03		
	m _r (residuo)	1,32		
	s _r (residuo)	4,05E-05		
Mohr - Coulomb	copertura	c _p (di picco)	2,313	MPa
		ϕ_p (di picco)	40	°
		c _r (residuo)	2,091	MPa
		ϕ_r (residuo)	37	°
	origine	c _p (di picco)	0,199	MPa
		ϕ_p (di picco)	60	°
		c _r (residuo)	0,022	MPa
		ϕ_r (residuo)	58	°
parametri di resistenza	E	4,78	GPa	
	σ_{gd}	2,54	MPa	
	σ_{tg}	-0,04	MPa	
	β	0,017		

Figura 89 - Caratterizzazione della zona di faglia in Dolomia Principale

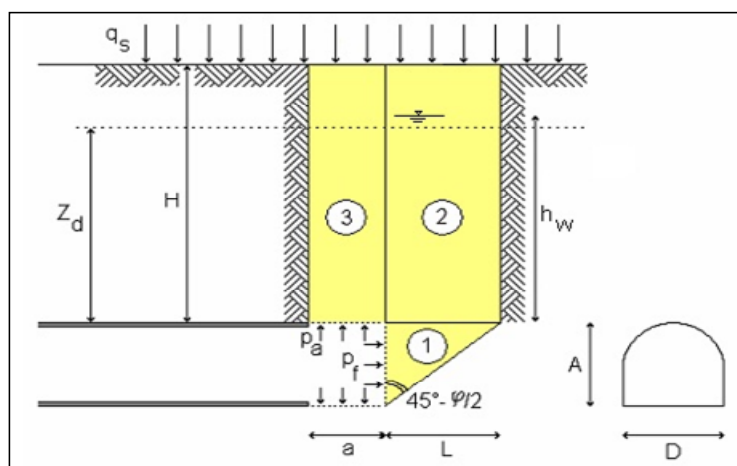
**ANALISI DI STABILITA' DI TAMEZ - TABELLE RIEPILOGATIVE
CASO GENERALE**

RIASSUNTO DATI DI INGRESSO

GEOMETRIA			
a	lunghezza libera	1	m
A	h galleria	14.4	m
D	largh. galleria	14.4	m
L	estens.longitud.cuneo	3.86	m
H	copertura da calotta	350	m
Z _d	tratto di influenza scavo	24.48	m
S	sezione di scavo	185.11	m ²

TERRENO			
γ	peso di volume	25	kNm ³
c	coesione	200	kPa
ϕ	attrito	60	°
q _s	sovraccarico	0	kPa

CONDIZIONI IDRAULICHE			
γ_w	peso di volume	10	kN/m ³
α_1	condizioni di drenaggio	0.4	
β	permeab.ammasso	1	
h _w	copertura acqua	0	m
	presenza di raggiera drenante in chiave?	no	si/no



RIASSUNTO RISULTATI - no interventi

STABILITA' DEL FRONTE			
FS _f	fattore di sicurezza	1.9	
p _f	pressione al fronte	0.00	kPa
p _{f max}	pressione massima applicabile	496.45	kPa

STABILITA' DELLA CHIAVE			
FS _{c pl}	fattore di sicurezza alla plasticizzazione	2.44	
FS _c	fattore di sicurezza in chiave	6.2	
p _a	pressione in chiave	0.00	kPa

STABILITA' GLOBALE			
FS _g	fattore di sicurezza	1.62	

Figura 90 - Faglia in Dolomia Principale 350 m – Analisi di stabilità con il metodo di Tamez

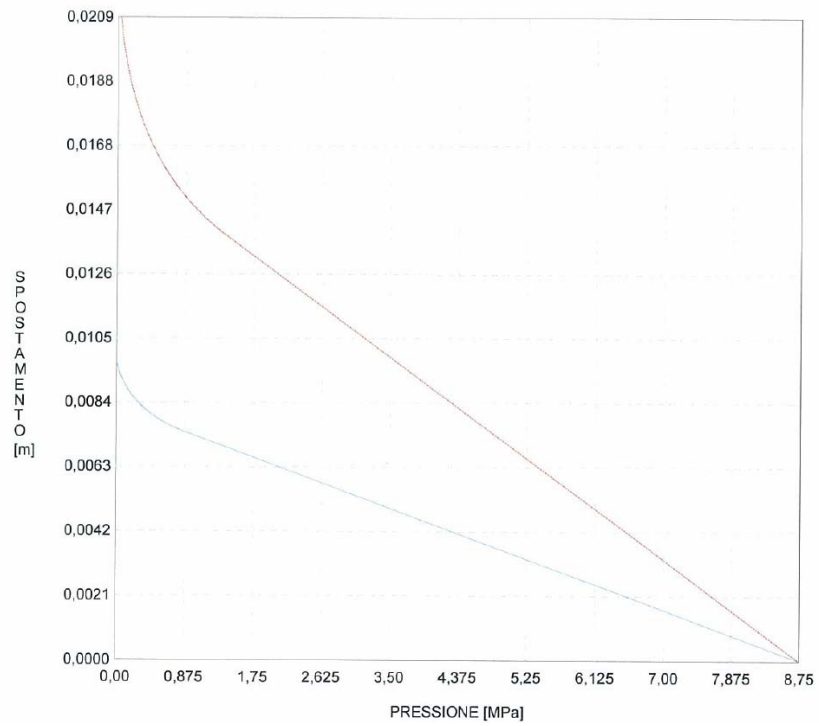


Figura 91 - Faglia in Dolomia Principale 350 m – Curva caratteristica in assenza di sostegni

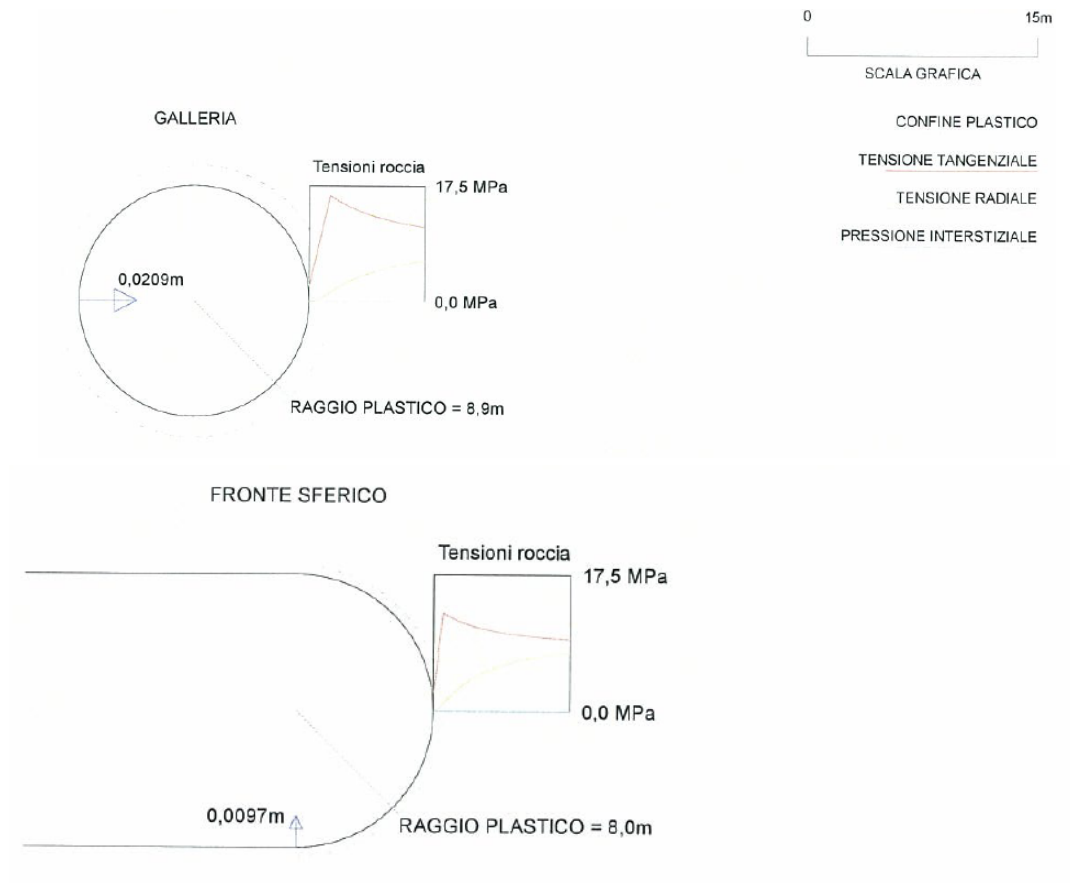


Figura 92 - Faglia in Dolomia Principale 350 m – Condizioni dell'ammasso roccioso in assenza di sostegni

RIVESTIMENTO
GALLERIA
FRONTE SFERICO

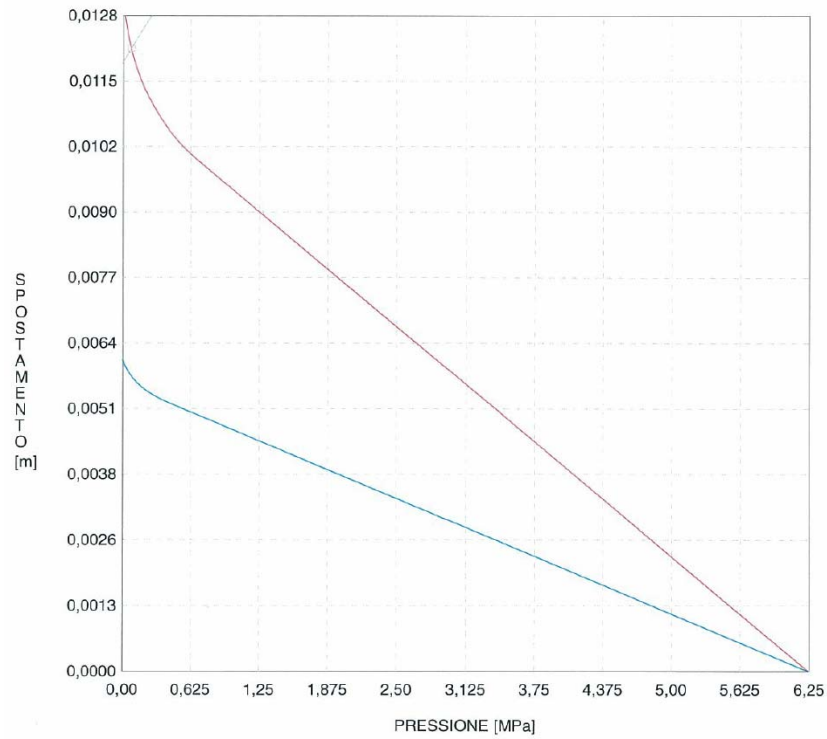
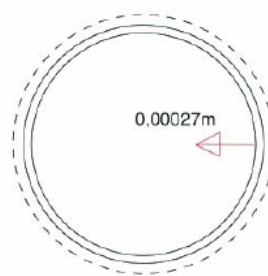


Figura 93 - Faglia in Dolomia Principale 350 m – Curve caratteristiche del cavo e del fronte in presenza del rivestimento definitivo

RIVESTIMENTO (LUNGO TERMINE)



Tensione CLS = 1,2 MPa

Figura 94 - Faglia in Dolomia Principale 350 m – Sollecitazioni litostatiche agenti sul rivestimento definitivo

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

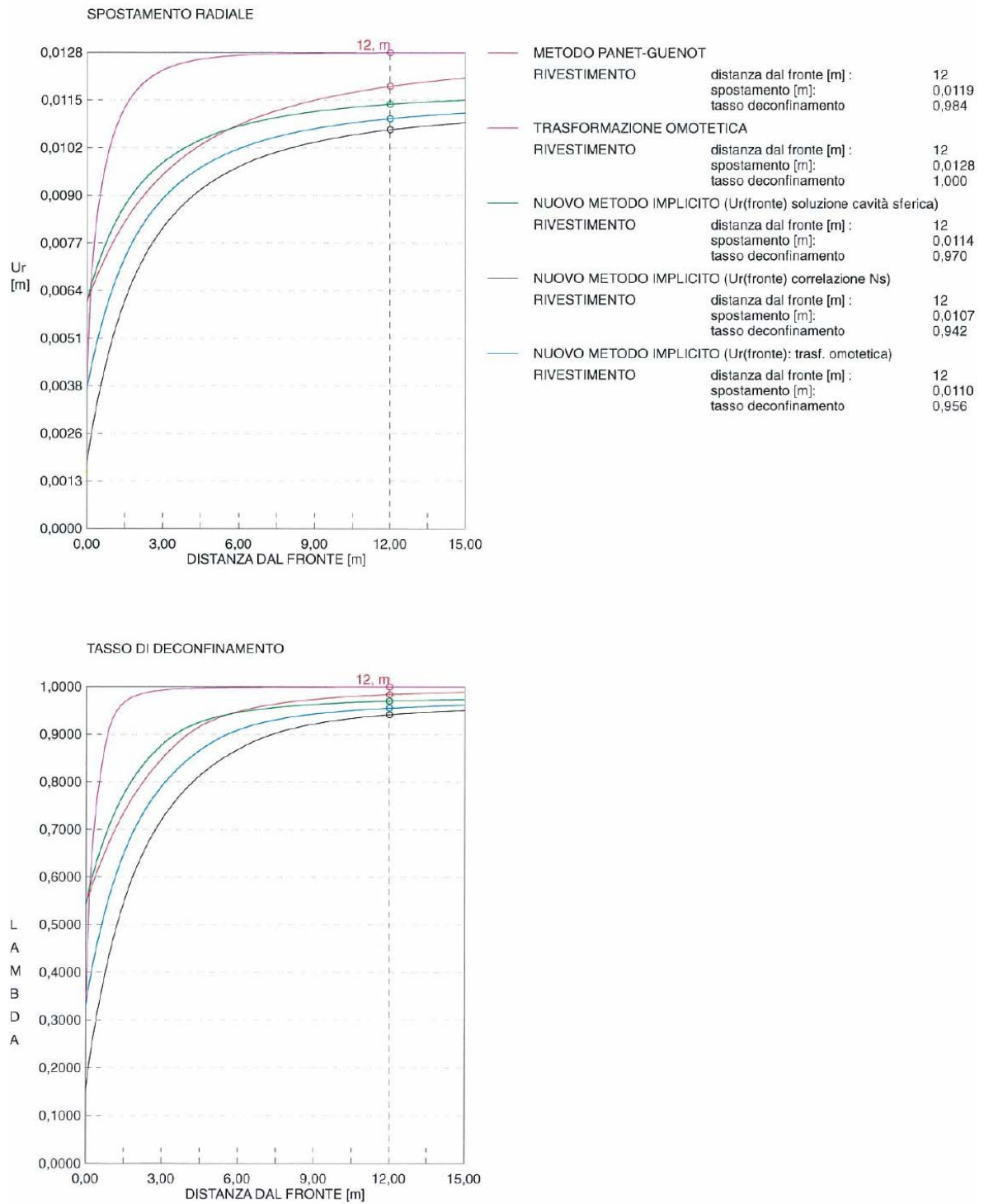


Figura 95 - Faglia in Dolomia Principale 350 m – Curve di detensionamento dell'ammasso roccioso

7.7.4 Gruppo di Raibl – 800 m

Il metodo di Tamez dimostra la stabilità del fronte.

Analogamente, l'analisi con il metodo delle linee caratteristiche evidenzia una sostanziale stabilità di cavo e fronte. La plasticizzazione raggiunge i 5.5 m al cavo, i 2 m al fronte, con spostamenti massimi di 7 cm al contorno galleria, che si riducono a 2-3 cm di estrusione al fronte.

L'ammasso detensiona molto velocemente: all'atto della posa dei conci il detensionamento, secondo la curva di Panet-Guenot, raggiunge il 97-98%.

		copertura	800 m
		peso specifico ammasso	25 kN/m ³
indici caratterizz.	RMR ₈₉	55	
	BRMR	-	
	Q'	-	
	m _i	12	
	σ _c	45	MPa
	σ _{v0}	20,00	MPa
	GSI	50,00	
Hoek - Brown	m _p (di picco)	1,83	
	s _p (di picco)	3,19E-03	
	m _r (residuo)	1,28	
	s _r (residuo)	1,28E-04	
Mohr - Coulomb	copertura	c _p (di picco)	3,764 MPa
		φ _p (di picco)	27 °
		c _r (residuo)	3,393 MPa
		φ _r (residuo)	24 °
	origine	c _p (di picco)	0,264 MPa
		φ _p (di picco)	48 °
		c _r (residuo)	0,028 MPa
		φ _r (residuo)	46 °
parametri di resistenza	E	6,37	GPa
	σ _{gd}	2,54	MPa
	σ _{tg}	-0,08	MPa
	β	0,031	

Figura 96 – Caratterizzazione del Gruppo di Raibl

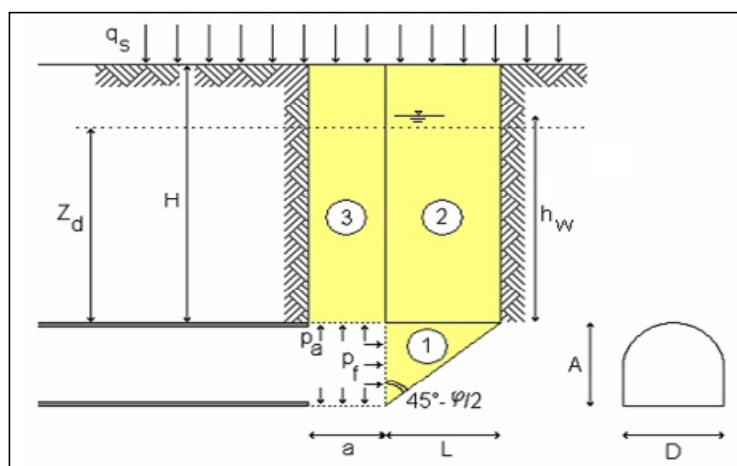
**ANALISI DI STABILITA' DI TAMEZ - TABELLE RIEPILOGATIVE
CASO GENERALE**

RIASSUNTO DATI DI INGRESSO

GEOMETRIA			
a	lunghezza libera	1	m
A	h galleria	14.4	m
D	largh. galleria	14.4	m
L	estens.longitud.cuneo	5.82	m
H	copertura da calotta	800	m
Z _d	tratto di influenza scavo	24.48	m
S	sezione di scavo	185.11	m ²

TERRENO			
γ	peso di volume	25	kNm ³
c	coesione	28	kPa
ϕ	attrito	46	°
q _s	sovraccarico	0	kPa

CONDIZIONI IDRAULICHE			
γ_w	peso di volume	10	kN/m ³
α_1	condizioni di drenaggio	0.4	
β	permeab.ammasso	1	
h _w	copertura acqua	0	m
	presenza di raggiera drenante in chiave?	no	si/no



RIASSUNTO RISULTATI - no interventi

STABILITA' DEL FRONTE			
FS _f	fattore di sicurezza	1.9	
p _f	pressione al fronte	0.00	kPa
p _{f max}	pressione massima applicabile	3263.58	kPa

STABILITA' DELLA CHIAVE			
FS _{c pl}	fattore di sicurezza alla plasticizzazione	0.76	
FS _c	fattore di sicurezza in chiave	8.4	
p _a	pressione in chiave	0.00	kPa

STABILITA' GLOBALE			
FS _g	fattore di sicurezza	1.74	

Figura 97 - Gruppo di Raibl 800 m – Analisi di stabilità con il metodo di Tamez

GALLERIA
FRONTE SFERICO

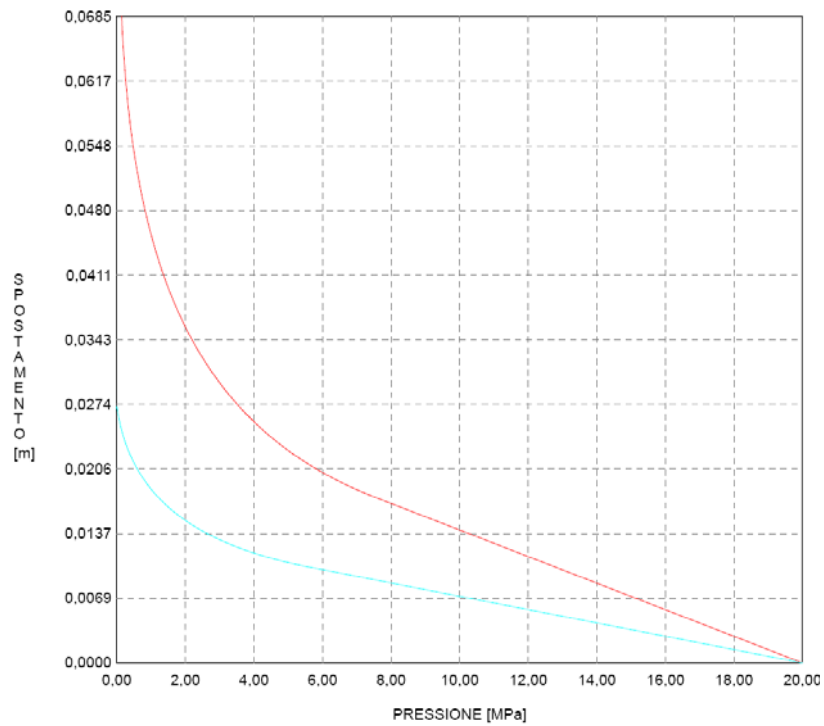


Figura 98 - Gruppo di Raibl 800 m – Curva caratteristica in assenza di sostegni

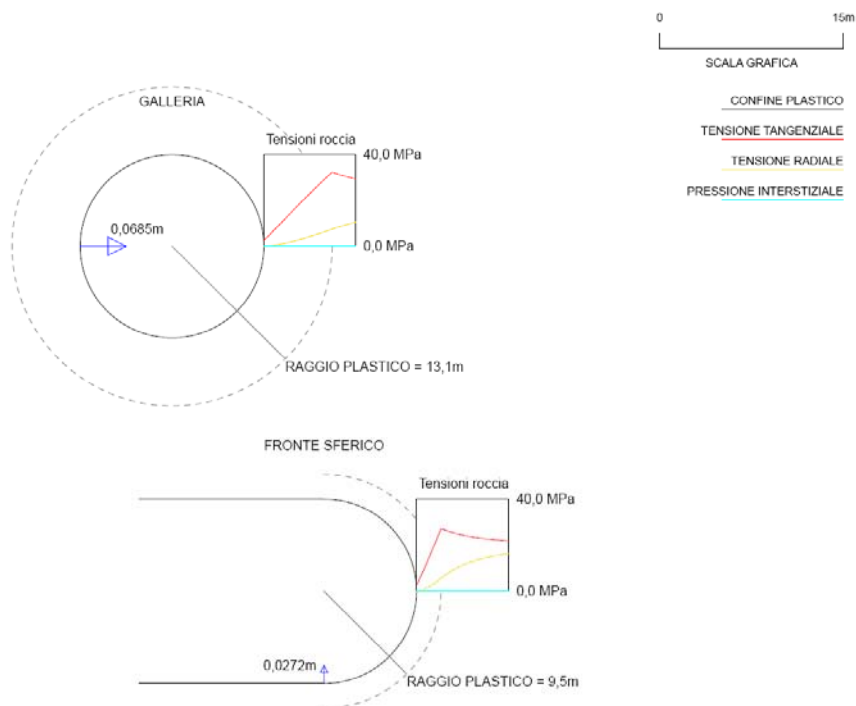


Figura 99 - Gruppo di Raibl 800 m – Sollecitazioni litostatiche agenti sul rivestimento definitivo

RIVESTIMENTO
GALLERIA
FRONTE SFERICO

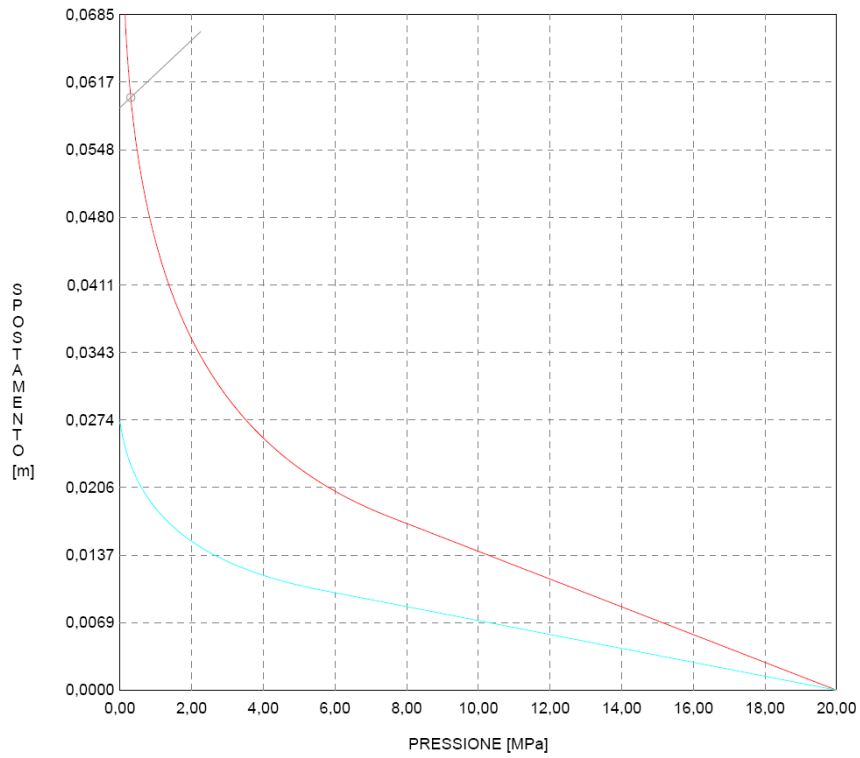


Figura 100 - Gruppo di Raibl 800 m – Curve caratteristiche del cavo e del fronte in presenza del rivestimento definitivo

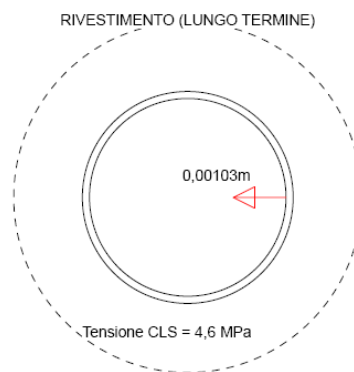


Figura 101 - Gruppo di Raibl 800 m – Sollecitazioni litostatiche agenti sul rivestimento definitivo

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

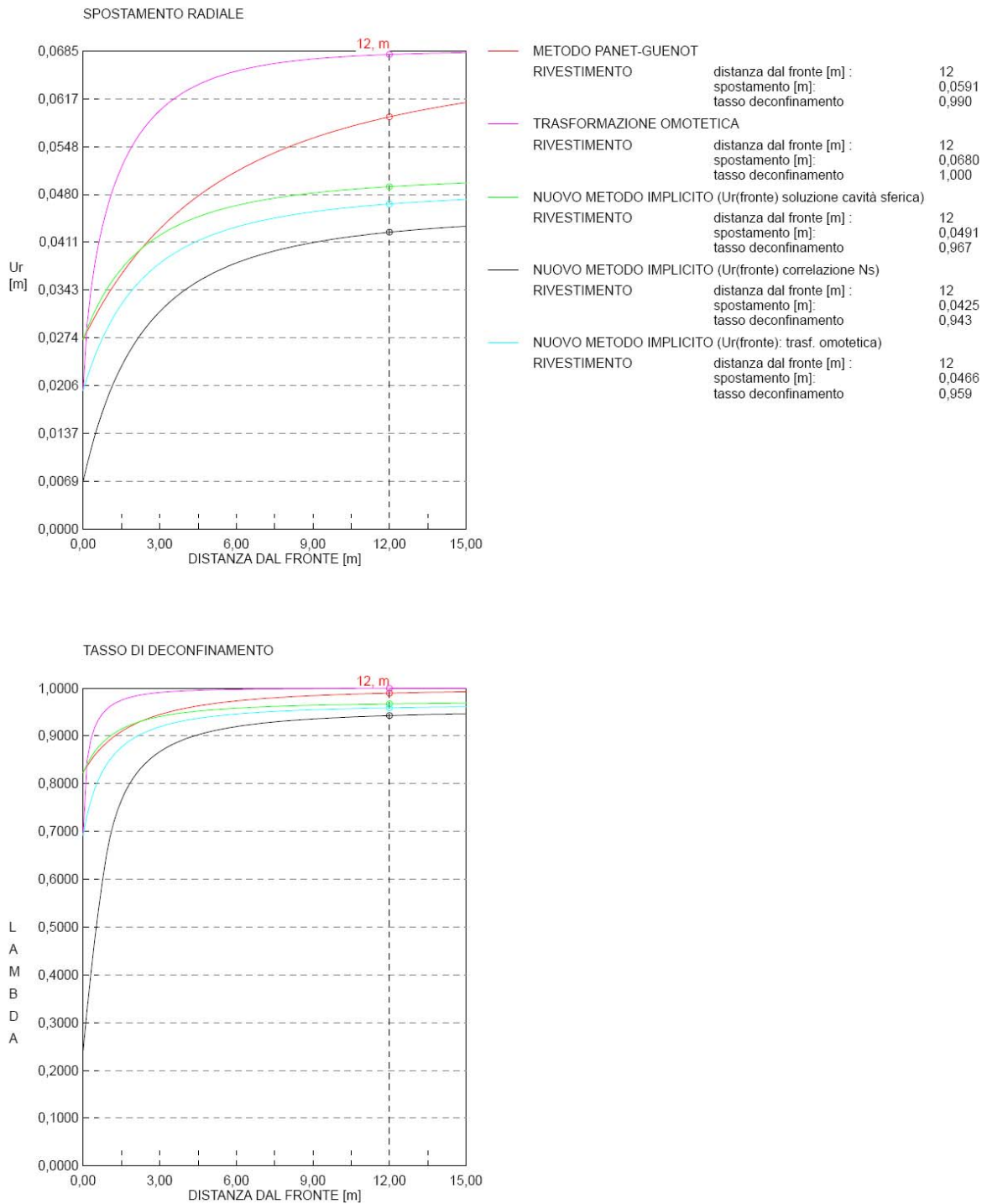


Figura 102 - Gruppo di Raibl 800 m – Curve di detensionamento dell'ammasso roccioso

7.7.5 Dolomia della Valsugana - 800 m

L'ammasso roccioso si configura come stabile e autoportante, sia al cavo che al fronte, con spostamenti di ordine centimetrico.

La fascia plastica presenta uno spessore di 1.5 m al contorno, 50 cm al fronte.

Il detensionamento a 12 m dal fronte è di circa 95%.

	copertura	800	m
	peso specifico ammasso	25	kN/m ³

indici caratterizz.	RMR ₈₉	67	
	BRMR	-	
	Q'	-	
	m _i	16	
	σ _c	72	MPa
	σ _{vo}	20,00	MPa
	GSI	62,00	

Hoek - Brown	m _p (di picco)	3,83	
	s _p (di picco)	1,27E-02	
	m _r (residuo)	2,68	
	s _r (residuo)	5,07E-04	

Mohr - Coulomb	copertura	c _p (di picco)	5,172	MPa
		φ _p (di picco)	38	°
		c _r (residuo)	4,547	MPa
		φ _r (residuo)	35	°
	origine	c _p (di picco)	0,830	MPa
		φ _p (di picco)	57	°
		c _r (residuo)	0,091	MPa
		φ _r (residuo)	56	°

parametri di resistenza	E	16,08	GPa
	σ _{gd}	8,11	MPa
	σ _{tg}	-0,24	MPa
	β	0,029	

Figura 103 – Caratterizzazione della Dolomia della Valsugana

GALLERIA
FRONTE SFERICO

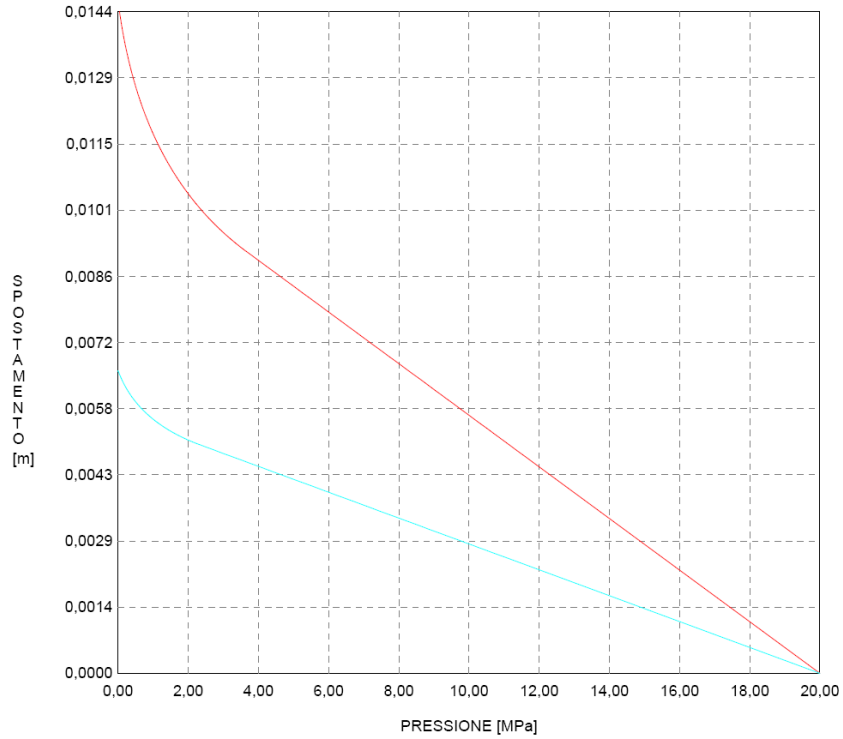


Figura 104 - Dolomia della Valsugana 800 m - Curva caratteristica in assenza di sostegni

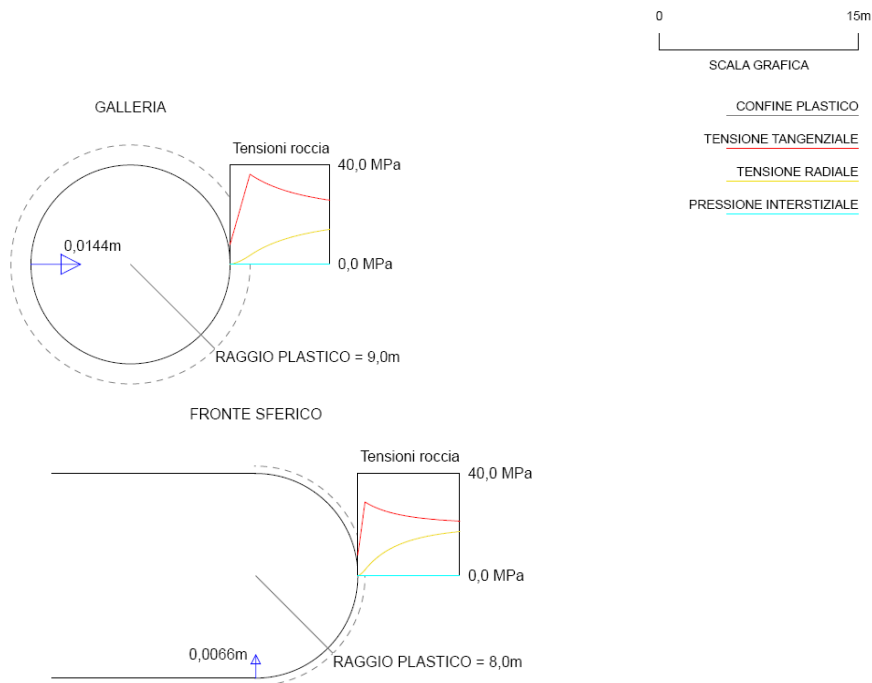


Figura 105 - Dolomia della Valsugana 800 m – Sollecitazioni litostatiche agenti sul rivestimento definitivo

RIVESTIMENTO
GALLERIA
FRONTE SFERICO

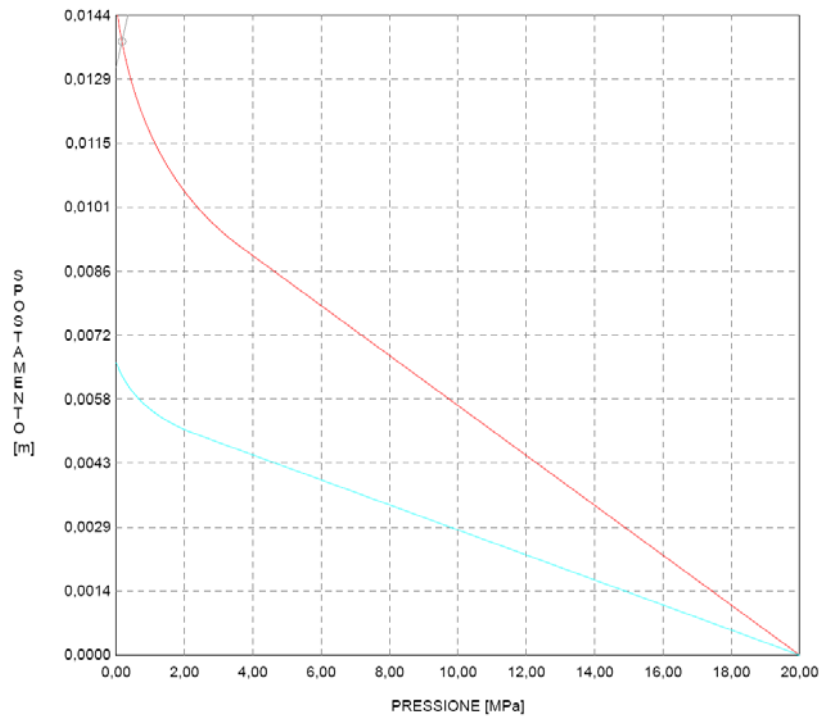


Figura 106 - Dolomia della Valsugana 800 m – Curve caratteristiche del cavo e del fronte in presenza del rivestimento definitivo

RIVESTIMENTO (LUNGO TERMINE)

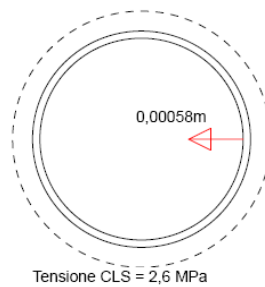


Figura 107 - Dolomia della Valsugana 800 m – Sollecitazioni litostatiche agenti sul rivestimento definitivo

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

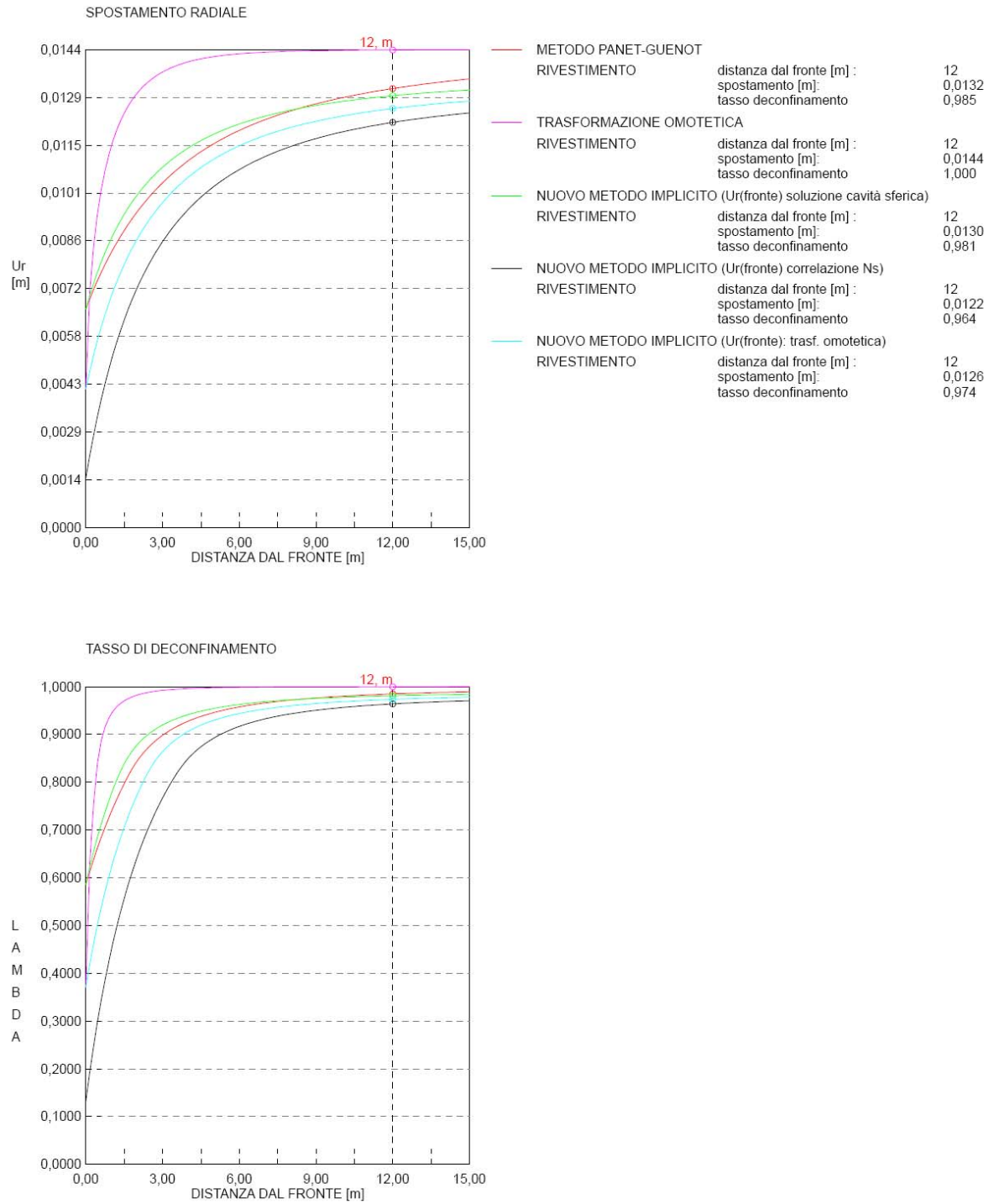


Figura 108 - Dolomia della Valsugana 800 m – Curve di detensionamento dell'ammasso roccioso

7.7.6 Formazione Gracilis - 1000 m

L'analisi con linee caratteristiche evidenzia una sostanziale stabilità della sezione, con plasticizzazione di 6 m al cavo e 2 m al fronte, e spostamenti variabili fra 3-4 cm al fronte e 8-9 cm al contorno.

Il detensionamento raggiunge il 97-98% a 12 m dal fronte.

L'analisi con il metodo di Tamez porta a risultati del tutto concordi con il metodo delle linee caratteristiche.

copertura		1000	m
peso specifico ammasso		25	kN/m ³

indici caratterizz.	RMR ₈₉	55	
	BRMR	-	
	Q'	-	
	m _i	12	
	σ _c	50	MPa
	σ _{vo}	25,00	MPa
	GSI	50,00	

Hoek - Brown	m _p (di picco)	1,83	
	s _p (di picco)	3,19E-03	
	m _r (residuo)	1,28	
	s _r (residuo)	1,28E-04	

Mohr - Coulomb	copertura	c _p (di picco)	4,557	MPa
		φ _p (di picco)	26	°
		c _r (residuo)	4,108	MPa
		φ _r (residuo)	23	°
	origine	c _p (di picco)	0,294	MPa
		φ _p (di picco)	47	°
		c _r (residuo)	0,031	MPa
		φ _r (residuo)	45	°

parametri di resistenza	E	6,72	GPa
	σ _{gd}	2,82	MPa
	σ _{tg}	-0,09	MPa
	β	0,031	

Figura 109 – Caratterizzazione della Formazione Gracilis

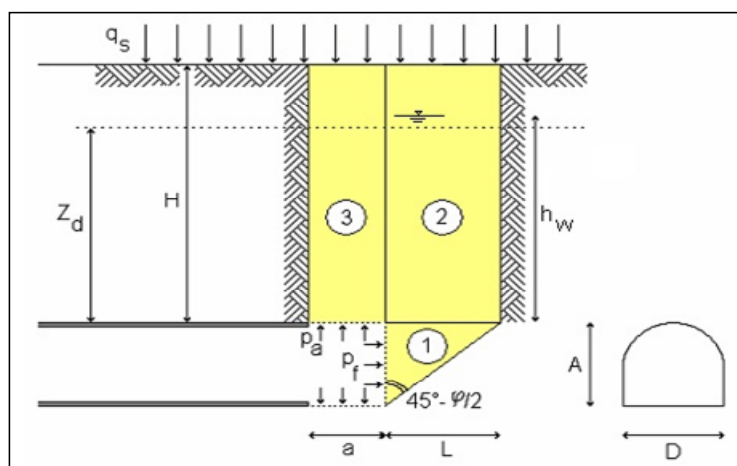
**ANALISI DI STABILITA' DI TAMEZ - TABELLE RIEPILOGATIVE
CASO GENERALE**

RIASSUNTO DATI DI INGRESSO

GEOMETRIA			
a	lunghezza libera	12	m
A	h galleria	14.4	m
D	largh. galleria	14.4	m
L	estens.longitud.cuneo	5.53	m
H	copertura da calotta	450	m
Z _d	tratto di influenza scavo	24.48	m
S	sezione di scavo	185.11	m ²

TERRENO			
γ	peso di volume	25	kNm ³
c	coesione	18	kPa
ϕ	attrito	48	°
q _s	sovraccarico	0	kPa

CONDIZIONI IDRAULICHE			
γ_w	peso di volume	10	kN/m ³
α_1	condizioni di drenaggio	0.4	
β	permeab.ammasso	1	
h _w	copertura acqua	0	m
	presenza di raggiera drenante in chiave?	no	si/no



RIASSUNTO RISULTATI - no interventi

STABILITA' DEL FRONTE			
FS _f	fattore di sicurezza	1.8	
p _f	pressione al fronte	0.00	kPa
p _{f max}	pressione massima applicabile	1665.57	kPa

STABILITA' DELLA CHIAVE			
FS _{c pl}	fattore di sicurezza alla plasticizzazione	0.06	
FS _c	fattore di sicurezza in chiave	1.1	
p _a	pressione in chiave	0.00	kPa

STABILITA' GLOBALE			
FS _g	fattore di sicurezza	0.80	

Figura 110 – Formazione Gracilis 1000 m – Analisi di stabilità con il metodo di Tamez

GALLERIA
FRONTE SFERICO

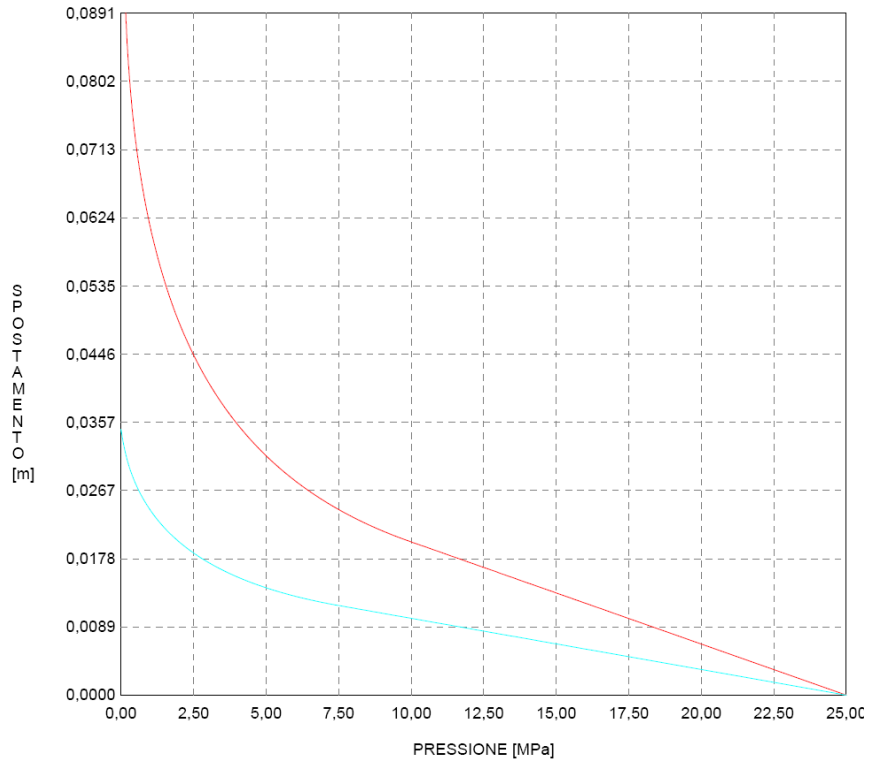


Figura 111 - Formazione Gracilis 1000 m – Curva caratteristica in assenza di sostegni

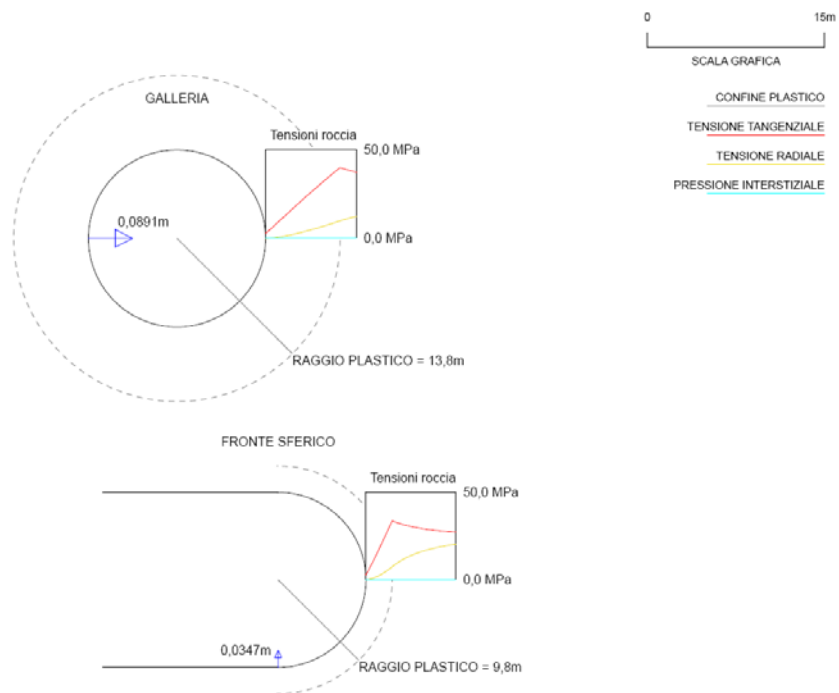


Figura 112 - Formazione Gracilis 1000 m – Condizioni dell'ammasso roccioso in assenza di interventi

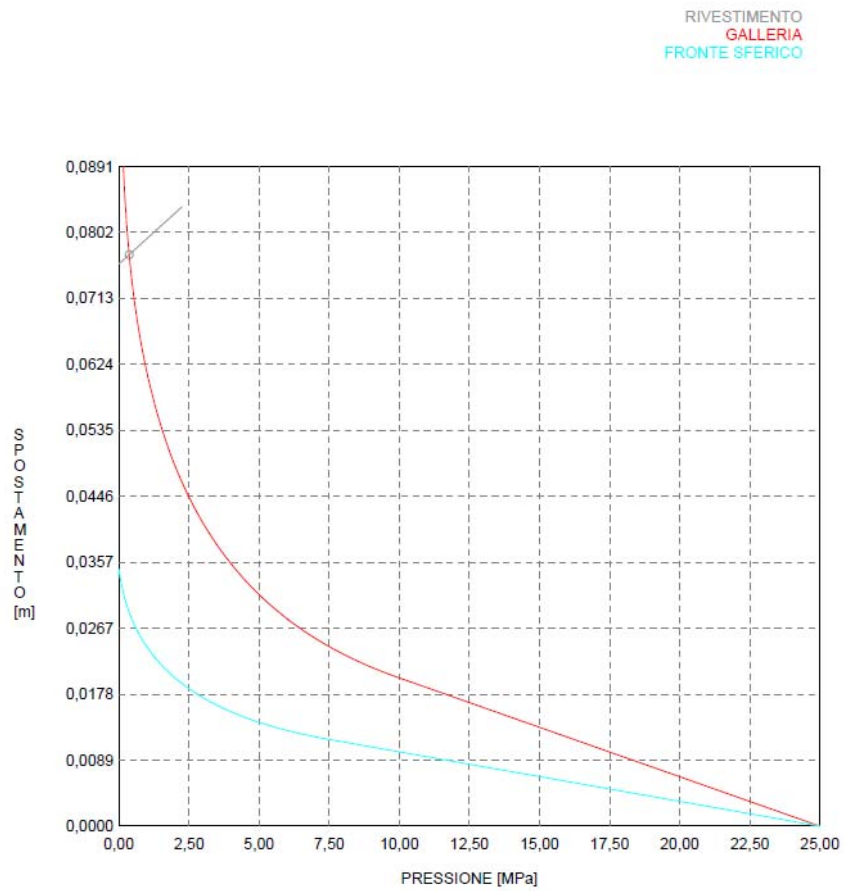
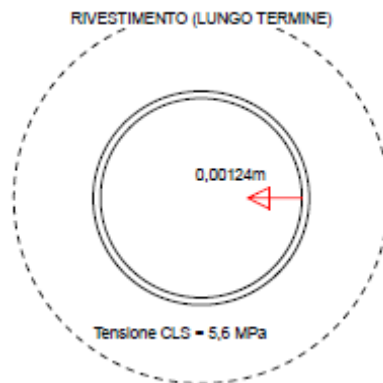


Figura 113 - Formazione Gracilis 1000 m – Curve caratteristiche del cavo e del fronte in presenza del rivestimento definitivo



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

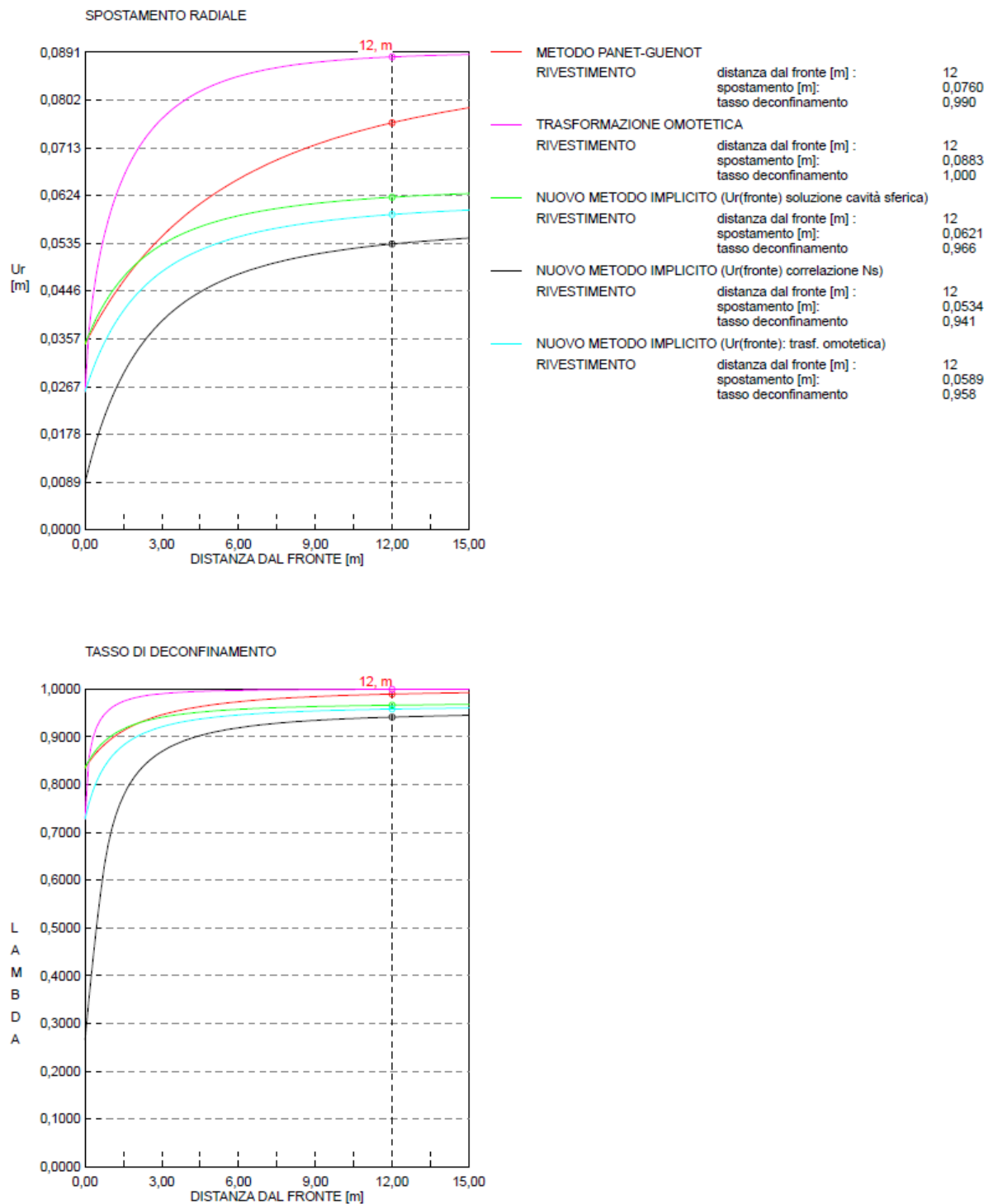


Figura 114 – Formazione Gracilis 1000 m – Curve di detensionamento dell'ammasso roccioso

7.7.7 Formazione di Werfen - 450 m

L'analisi evidenzia un ammasso roccioso sostanzialmente stabile, con spostamenti massimi di circa 5 cm al cavo e 1-2 cm di estrusione al fronte. La plasticizzazione presenta uno spessore di 4.5 m al contorno, 1.5-2 m al fronte.

		copertura	450 m
		peso specifico ammasso	25 kN/m ³
indici caratterizz.	RMR _{gg}	53	
	BRMR	-	
	Q ^t	-	
	m ₁	12	
	σ _c	33	MPa
	σ _{v0}	11,25	MPa
	GSI	48,00	
Hoek - Brown	m _p (di picco)	1,70	
	s _p (di picco)	2,54E-03	
	m _r (residuo)	1,19	
	s _r (residuo)	1,01E-04	
Mohr - Coulomb	copertura	c _p (di picco)	2,221 MPa
		φ _p (di picco)	28 °
		c _r (residuo)	2,001 MPa
		φ _r (residuo)	25 °
	origine	c _p (di picco)	0,170 MPa
		φ _p (di picco)	50 °
		c _r (residuo)	0,018 MPa
		φ _r (residuo)	48 °
parametri di resistenza	E	4,86	GPa
	σ _{gd}	1,66	MPa
	σ _{tg}	-0,05	MPa
	β	0,030	

Figura 115 – Caratterizzazione della formazione di Werfen

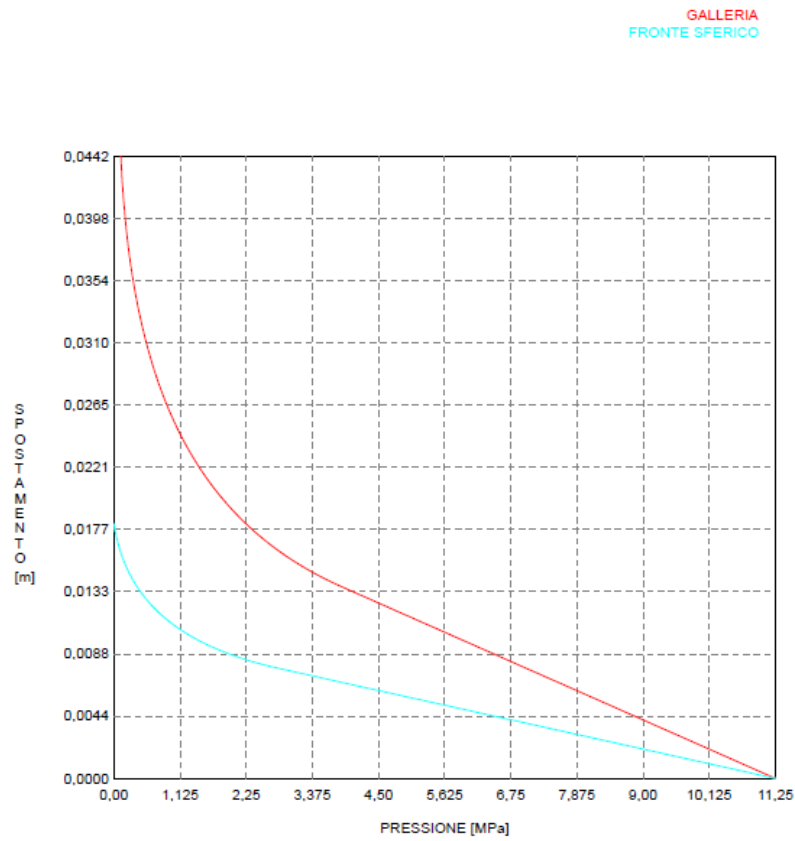


Figura 116 – Formazione di Werfen, 450 m – Curva caratteristica in assenza di sostegni

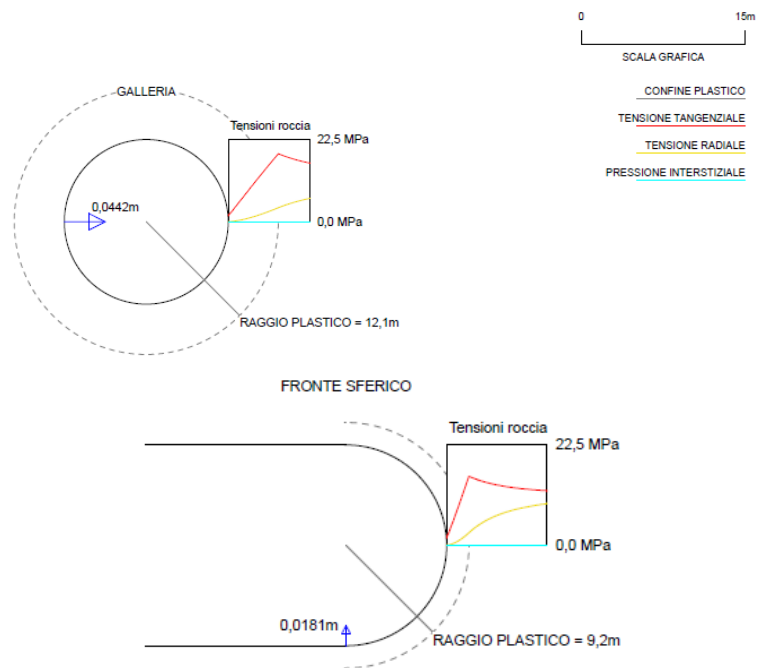


Figura 117 - Formazione di Werfen, 450 m – Condizione dell'ammasso roccioso in assenza di sostegni

RIVESTIMENTO
GALLERIA
FRONTE SFERICO

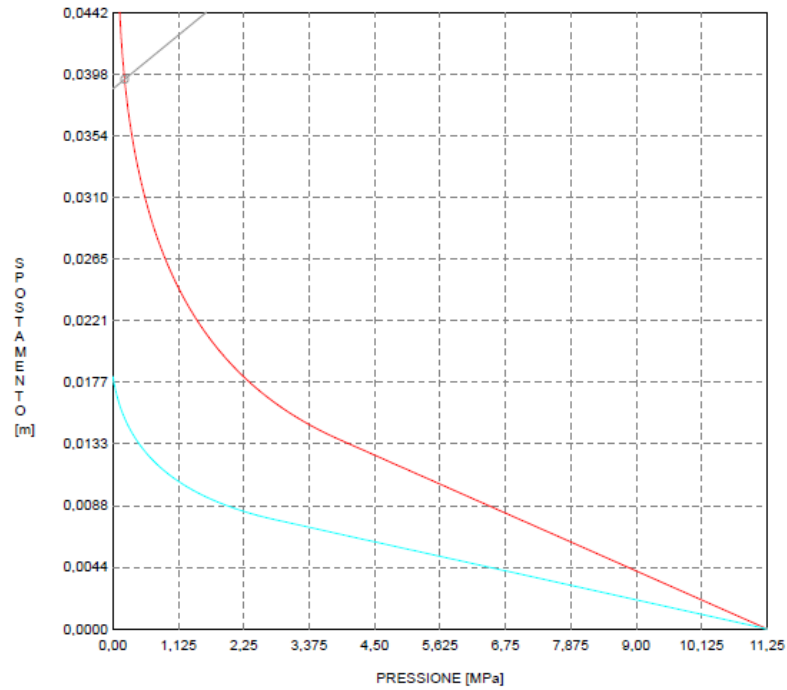


Figura 118 - Formazione di Werfen, 450 m – Curve caratteristiche in presenza del rivestimento definitivo

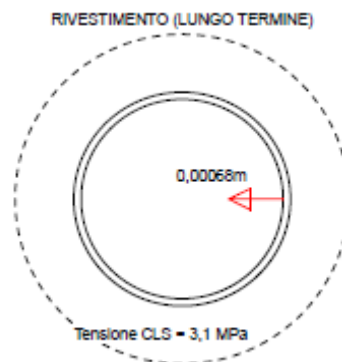


Figura 119 - Formazione di Werfen, 450 m – Sollecitazioni litostatiche agenti sul rivestimento definitivo

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

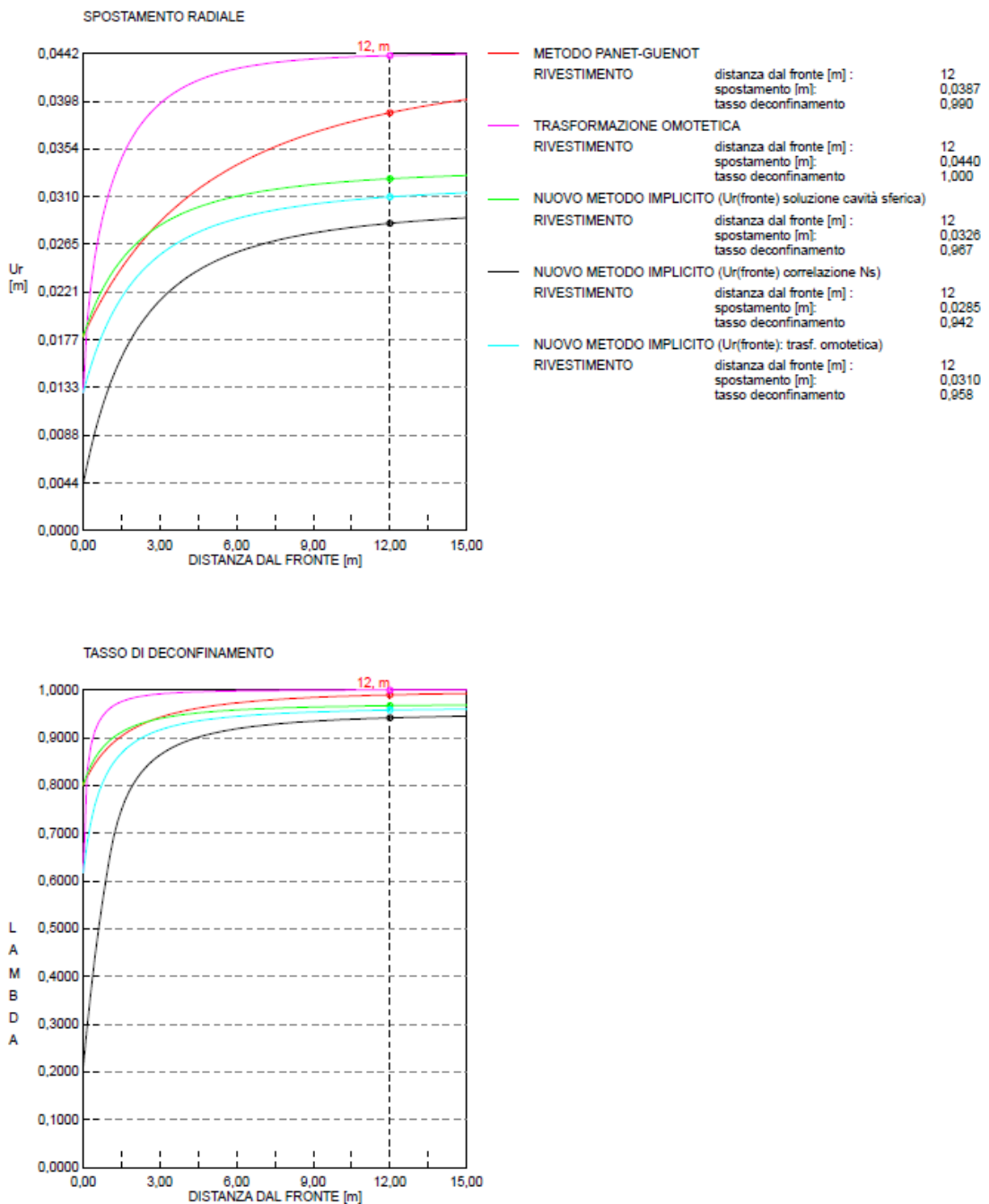


Figura 120 - Formazione di Werfen, 450 m – Curve di detensionamento dell'ammasso roccioso

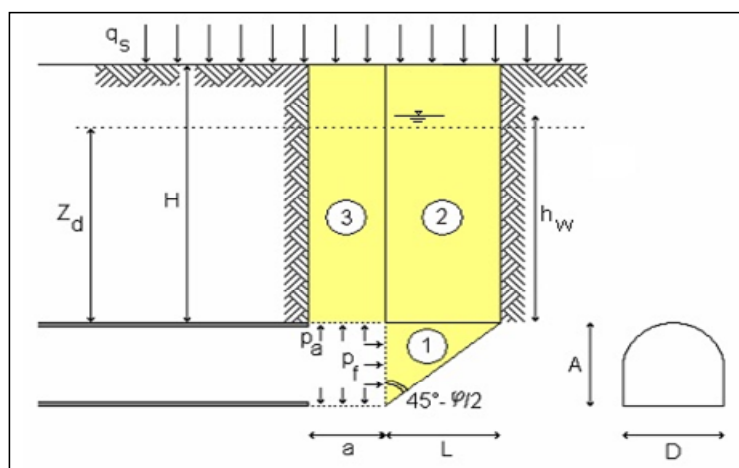
**ANALISI DI STABILITA' DI TAMEZ - TABELLE RIEPILOGATIVE
CASO GENERALE**

RIASSUNTO DATI DI INGRESSO

GEOMETRIA			
a	lunghezza libera	12	m
A	h galleria	14.4	m
D	largh. galleria	14.4	m
L	estens.longitud.cuneo	5.53	m
H	copertura da calotta	450	m
Z _d	tratto di influenza scavo	24.48	m
S	sezione di scavo	185.11	m ²

TERRENO			
γ	peso di volume	25	kNm ³
c	coesione	18	kPa
ϕ	attrito	48	°
q _s	sovraccarico	0	kPa

CONDIZIONI IDRAULICHE			
γ_w	peso di volume	10	kN/m ³
α_1	condizioni di drenaggio	0.4	
β	permeab.ammasso	1	
h _w	copertura acqua	0	m
	presenza di raggiera drenante in chiave?	no	si/no



RIASSUNTO RISULTATI - no interventi

STABILITA' DEL FRONTE			
FS _f	fattore di sicurezza	1.8	
p _f	pressione al fronte	0.00	kPa
p _{f max}	pressione massima applicabile	1665.57	kPa

STABILITA' DELLA CHIAVE			
FS _{c pl}	fattore di sicurezza alla plasticizzazione	0.06	
FS _c	fattore di sicurezza in chiave	1.1	
p _a	pressione in chiave	0.00	kPa

STABILITA' GLOBALE			
FS _g	fattore di sicurezza	0.80	

Figura 121 - Formazione di Werfen, 450 m – Analisi di stabilità con il metodo di Tamez

7.7.8 Formazione di Werfen - 1400 m

L'ammasso presenta una sostanziale stabilità del fronte, sia secondo l'analisi Tamez che secondo le linee caratteristiche, con estrusioni di circa 4-5 cm. Il cavo è pressoché stabile, con spostamenti massimi di 14-15 cm.

Il detensionamento a 12 m dal fronte raggiunge il 97-98%.

copertura		1400	m
peso specifico ammasso		25	kN/m ³
indici caratterizz.	RMP _{gg}	60	
	BRMR	-	
	Q'	-	
	m _i	12	
	σ _c	36	MPa
	σ _{v0}	35,00	MPa
	GSI	55,00	
Hoek - Brown	m _p (di picco)	2,21	
	s _p (di picco)	5,67E-03	
	m _r (residuo)	1,55	
	s _r (residuo)	2,27E-04	
Mohr - Coulomb	copertura	c _p (di picco)	5,623 MPa
		φ _p (di picco)	22 °
		c _r (residuo)	5,058 MPa
		φ _r (residuo)	19 °
	origine	c _p (di picco)	0,304 MPa
		φ _p (di picco)	43 °
		c _r (residuo)	0,033 MPa
		φ _r (residuo)	41 °
parametri di resistenza	E	7,60	GPa
	σ _{gd}	2,71	MPa
	σ _{tg}	-0,09	MPa
	β	0,034	

Figura 122 – Caratterizzazione della formazione di Werfen

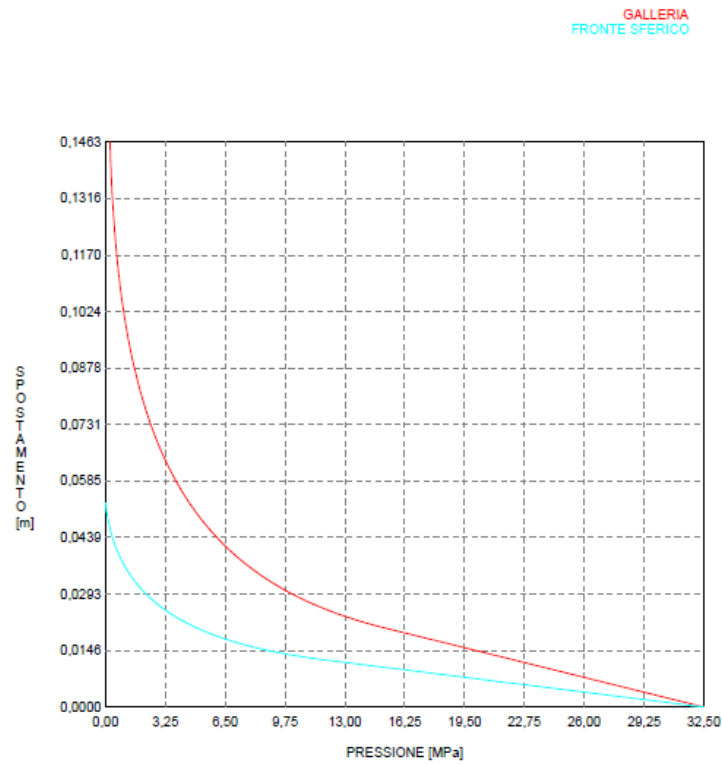


Figura 123 – Formazione di Werfen, 1400 m – Curve caratteristiche del fronte e del cavo in assenza di sostegni

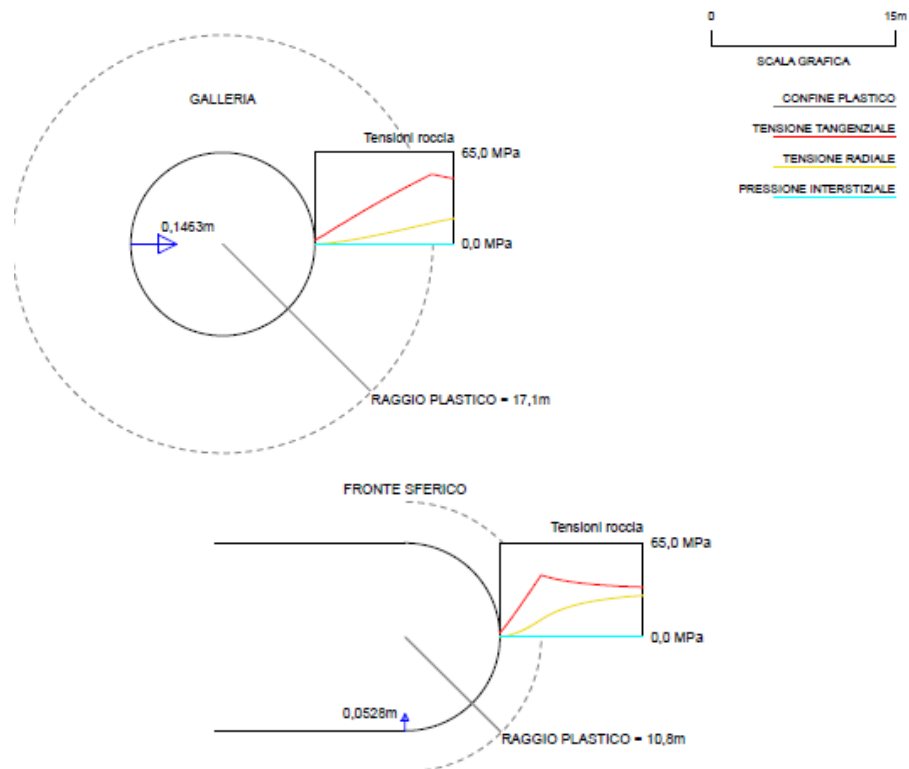


Figura 124 - Formazione di Werfen, 1400 m – Condizione dell'ammasso roccioso in assenza di sostegni

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

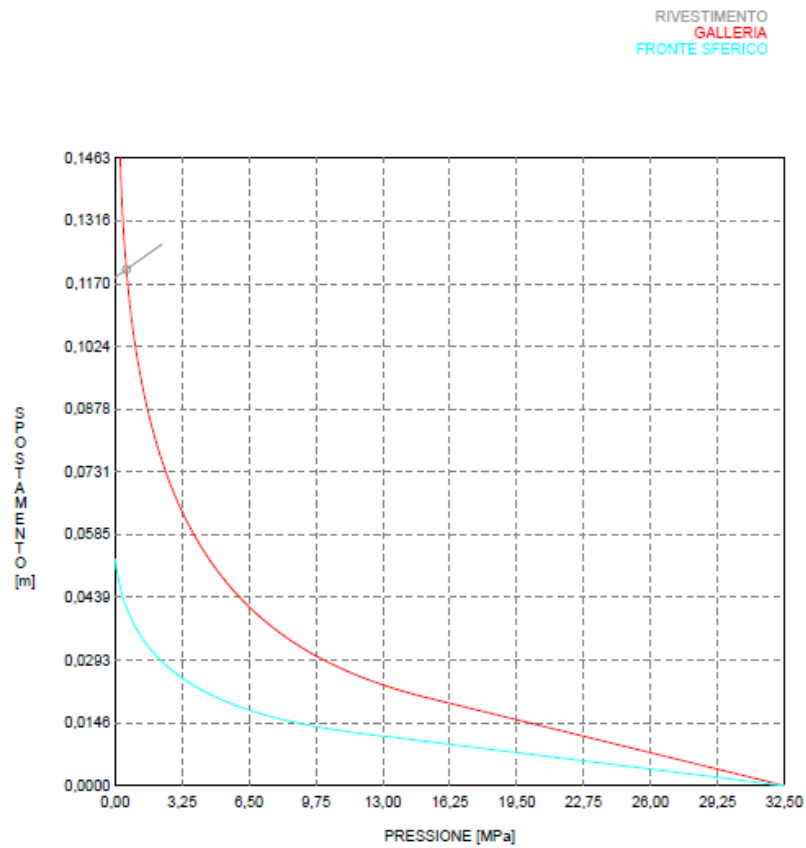


Figura 125 - Formazione di Werfen, 1400 m – Curve caratteristiche in presenza del rivestimento definitivo



Figura 126 - Formazione di Werfen, 1400 m – Sollecitazioni litostatiche agenti sul rivestimento definitivo

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

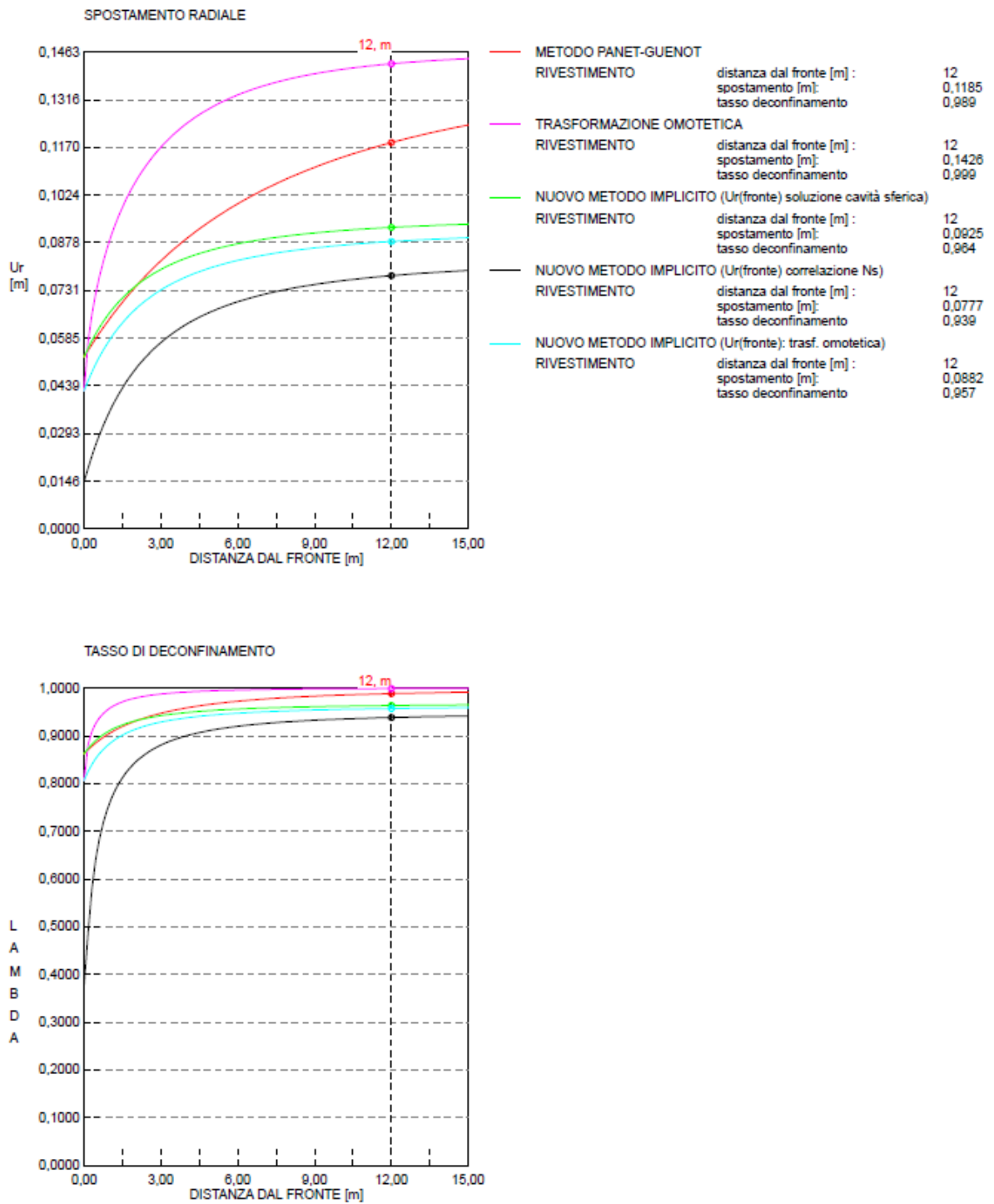


Figura 127 - Formazione di Werfen, 1400 m – Curve di detensionamento dell'ammasso roccioso

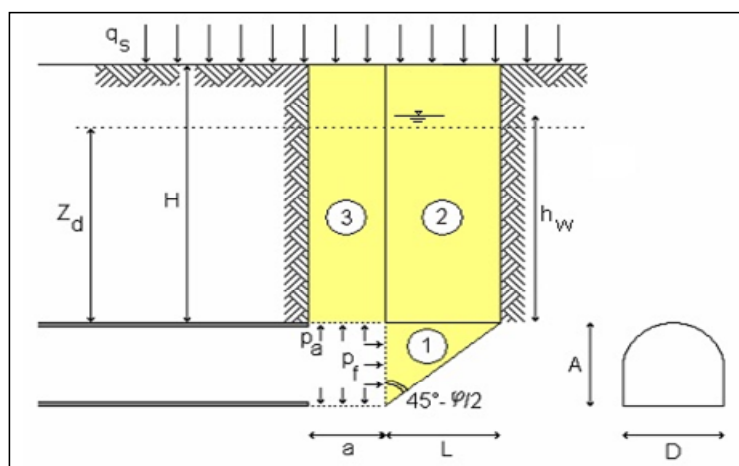
**ANALISI DI STABILITA' DI TAMEZ - TABELLE RIEPILOGATIVE
CASO GENERALE**

RIASSUNTO DATI DI INGRESSO

GEOMETRIA			
a	lunghezza libera	12	m
A	h galleria	14.4	m
D	largh. galleria	14.4	m
L	estens.longitud.cuneo	6.56	m
H	copertura da calotta	1400	m
Z _d	tratto di influenza scavo	24.48	m
S	sezione di scavo	185.11	m ²

TERRENO			
γ	peso di volume	25	kNm ³
c	coesione	33	kPa
ϕ	attrito	41	°
q _s	sovraccarico	0	kPa

CONDIZIONI IDRAULICHE			
γ_w	peso di volume	10	kN/m ³
α_1	condizioni di drenaggio	0.4	
β	permeab.ammasso	1	
h _w	copertura acqua	0	m
	presenza di raggiera drenante in chiave?	no	si/no



RIASSUNTO RISULTATI - no interventi

STABILITA' DEL FRONTE			
FS _f	fattore di sicurezza	1.8	
p _f	pressione al fronte	0.00	kPa
p _{f max}	pressione massima applicabile	7265.80	kPa

STABILITA' DELLA CHIAVE			
FS _{c pl}	fattore di sicurezza alla plasticizzazione	0.16	
FS _c	fattore di sicurezza in chiave	1.3	
p _a	pressione in chiave	0.00	kPa

STABILITA' GLOBALE			
FS _g	fattore di sicurezza	0.92	

Figura 128 - Formazione di Werfen, 1400 m – Analisi di stabilità con il metodo di Tamez

7.7.9 Conglomerato di Voltago - 700 m

L'ammasso presenta una sostanziale stabilità del fronte, con estrusioni di circa 4-5 cm. Il cavo è pressoché stabile, con spostamenti massimi di 14-15 cm. La posa del rivestimento in conci può garantire una completa stabilità del cavo a lungo termine, con sollecitazioni dell'ordine dei 5 MPa.

Il detensionamento a 12 m dal fronte raggiunge il 97-98%.

copertura		700	m	
peso specifico ammasso		25	kN/m ³	
indici caratterizz.	RMR ₈₉	50		
	BRMR	-		
	Q'	-		
	m _i	14		
	σ _c	25	MPa	
	σ _{v0}	17,50	MPa	
	GSI	45,00		
Hoek - Brown	m _p (di picco)	1,96		
	s _p (di picco)	2,22E-03		
	m _r (residuo)	1,37		
	s _r (residuo)	8,87E-05		
Mohr - Coulomb	copertura	c _p (di picco)	2,961	MPa
		φ _p (di picco)	23	°
		c _r (residuo)	2,677	MPa
		φ _r (residuo)	20	°
	origine	c _p (di picco)	0,109	MPa
		φ _p (di picco)	45	°
		c _r (residuo)	0,012	MPa
		φ _r (residuo)	43	°
parametri di resistenza	E	3,75	GPa	
	σ _{gd}	1,18	MPa	
	σ _{tg}	-0,03	MPa	
	β	0,024		

Figura 129 - Caratterizzazione del Conglomerato di Voltago

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

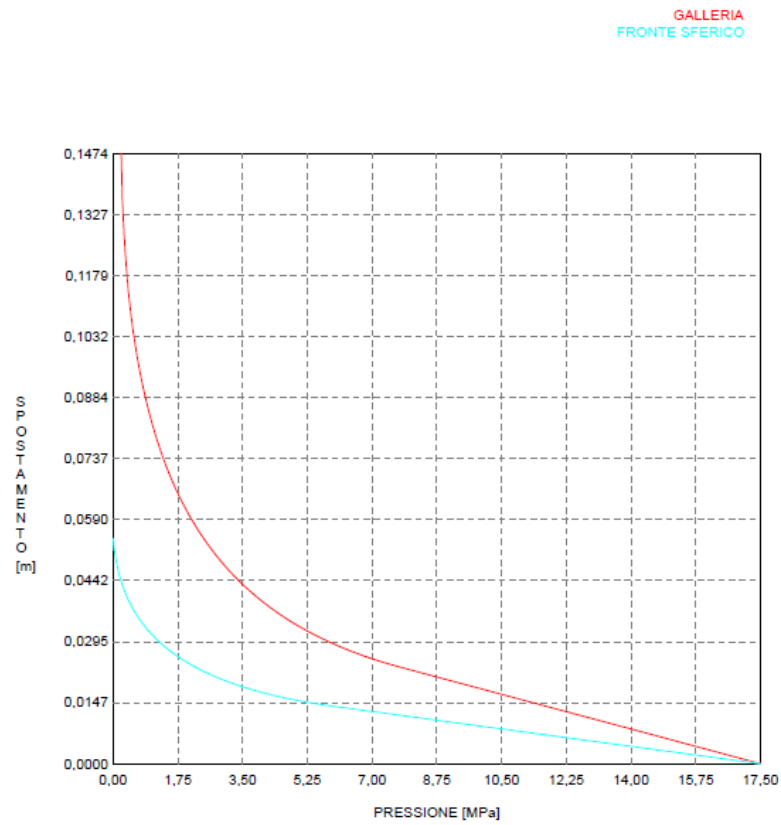


Figura 130 – Conglomerato di Voltago, 700 m - Curve caratteristiche del fronte e del cavo in assenza di sostegni

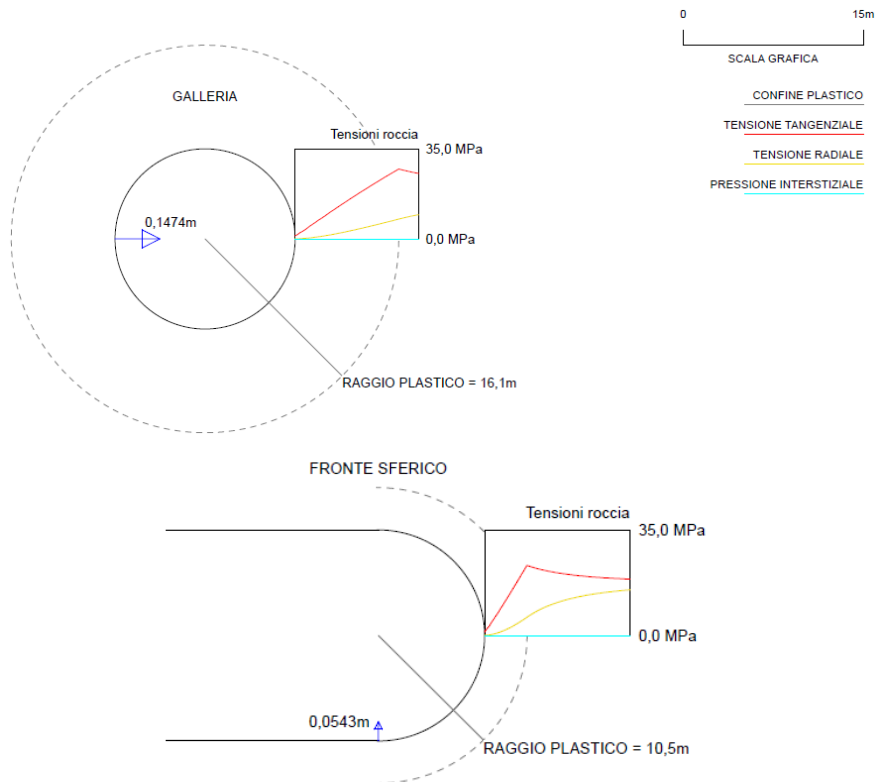


Figura 131 - Conglomerato di Voltago, 700 m - Condizione dell'ammasso roccioso in assenza di sostegni

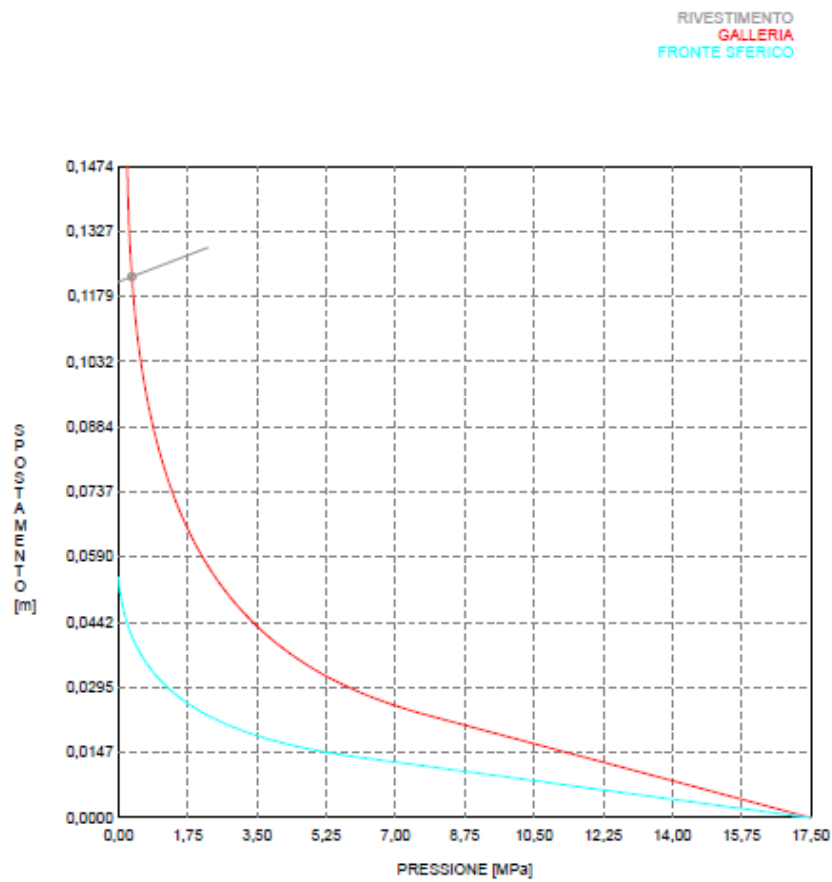


Figura 132 – Conglomerato di Voltgo, 700 m - Curve caratteristiche in presenza del rivestimento definitivo

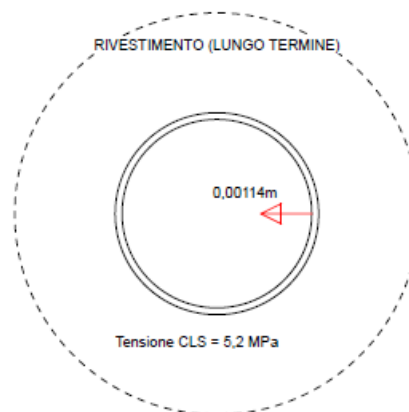


Figura 133 - Conglomerato di Voltgo, 700 m - Sollecitazioni litostatiche agenti sul rivestimento definitivo

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

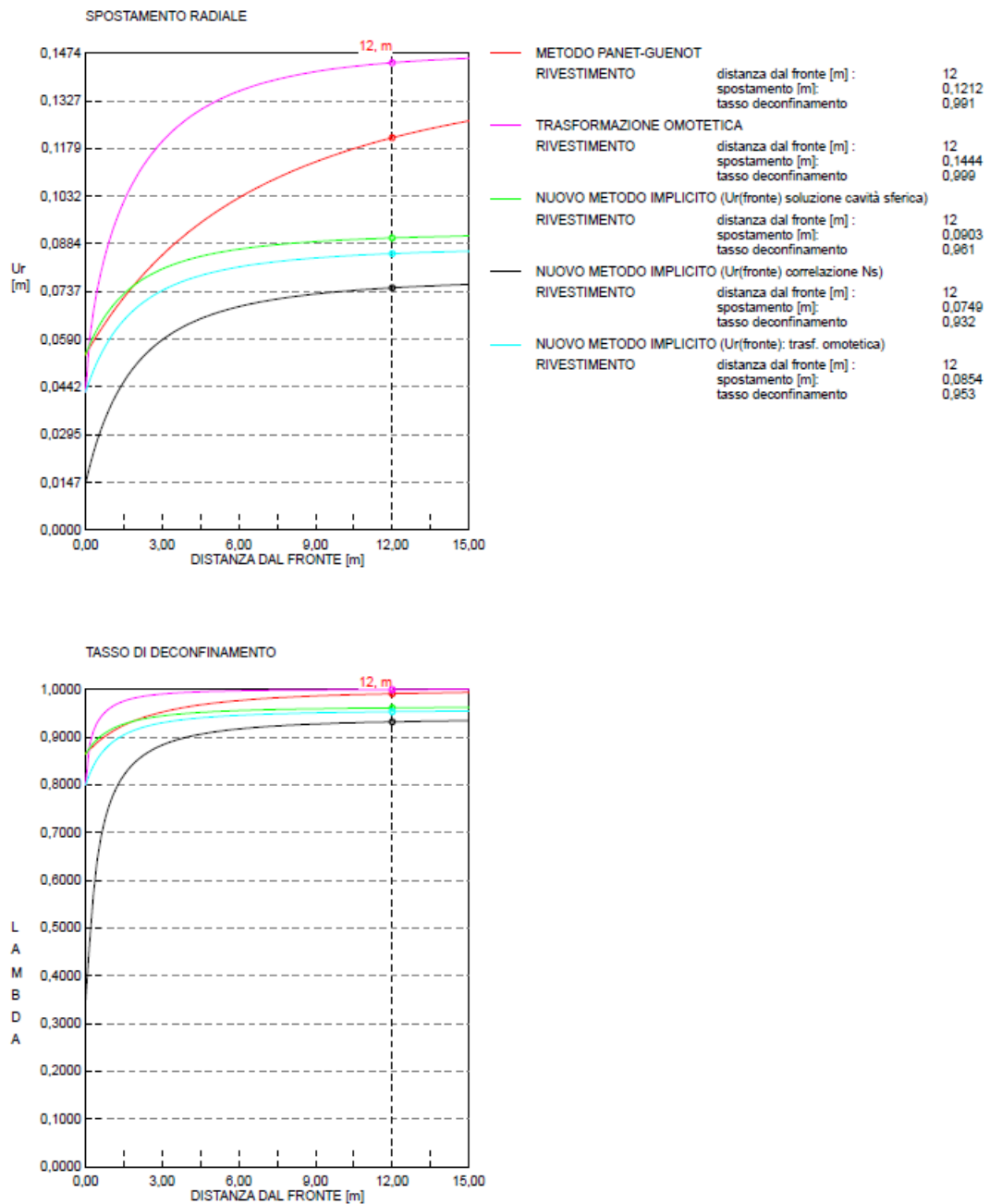


Figura 134 – Conglomerato di Voltago, 700 m - Curve di detensionamento dell'ammasso roccioso

7.7.10 Arenaria di Val Gardena - 1400 m

L'ammasso presenta una sostanziale stabilità del fronte e del cavo, valutata sia con il metodo delle linee caratteristiche che con l'analisi all'equilibrio limite di Tamez, con estrusioni di circa 8 cm e spostamenti al cavo che, in assenza di sostegni, raggiungono i 20-22 cm.

La posa del rivestimento in conci può garantire una completa stabilità del cavo a lungo termine, con sollecitazioni dell'ordine dei 7.5 MPa.

Il detensionamento a 12 m dal fronte raggiunge il 97-98%.

		copertura	1400	m
		peso specifico ammasso	25	kN/m ³
indici caratterizz.		RMR _{gg}	55	
		BRMR	-	
		Q'	-	
		m _i	18	
		σ _c	30	MPa
		σ _{v0}	35,00	MPa
		GSI	50,00	
Hoek - Brown		m _p (di picco)	3,02	
		s _p (di picco)	3,87E-03	
		m _r (residuo)	2,11	
		s _r (residuo)	1,55E-04	
Mohr - Coulomb	copertura	c _p (di picco)	5,790	MPa
		φ _p (di picco)	23	°
		c _r (residuo)	5,240	MPa
		φ _r (residuo)	20	°
	origine	c _p (di picco)	0,160	MPa
		φ _p (di picco)	45	°
		c _r (residuo)	0,018	MPa
		φ _r (residuo)	42	°
parametri di resistenza		E	5,48	GPa
		σ _{gd}	1,87	MPa
		σ _{tg}	-0,04	MPa
		β	0,021	

Figura 135 – Caratterizzazione Arenaria di Val Gardena

GALLERIA
FRONTE SFERICO

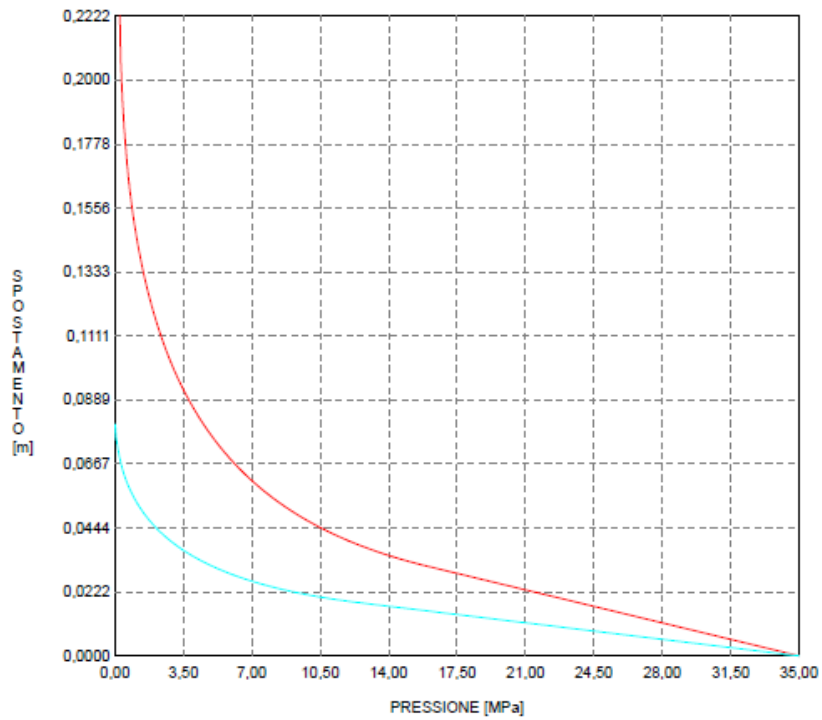


Figura 136 – Arenaria di Val Gardena, 1400 m - Curve caratteristiche del fronte e del cavo in assenza di sostegni

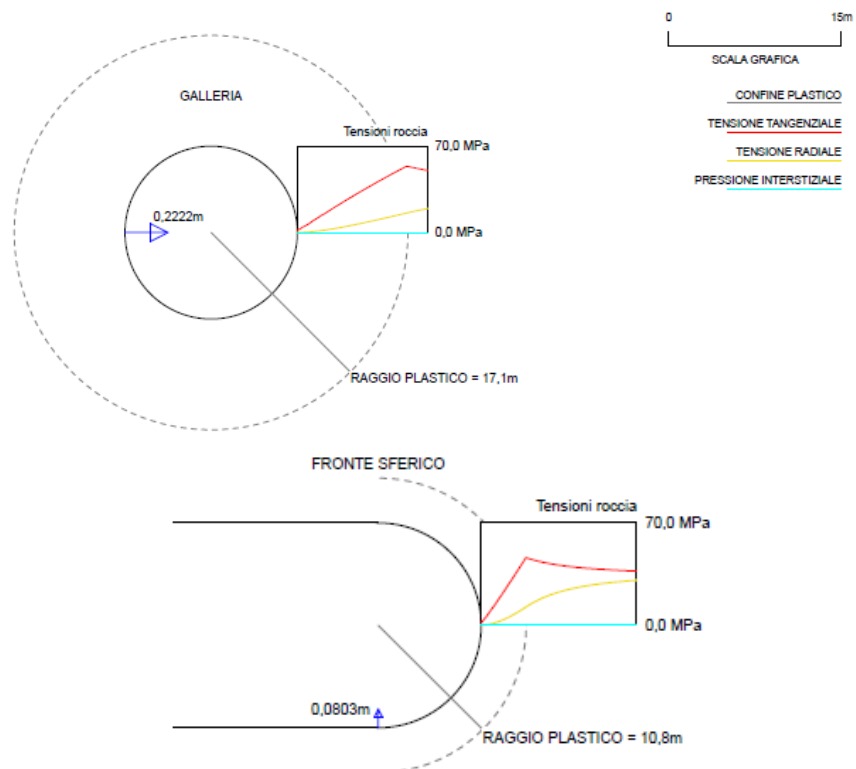


Figura 137 - Arenaria di Val Gardena, 1400 m - Condizione dell'ammasso roccioso in assenza di sostegni

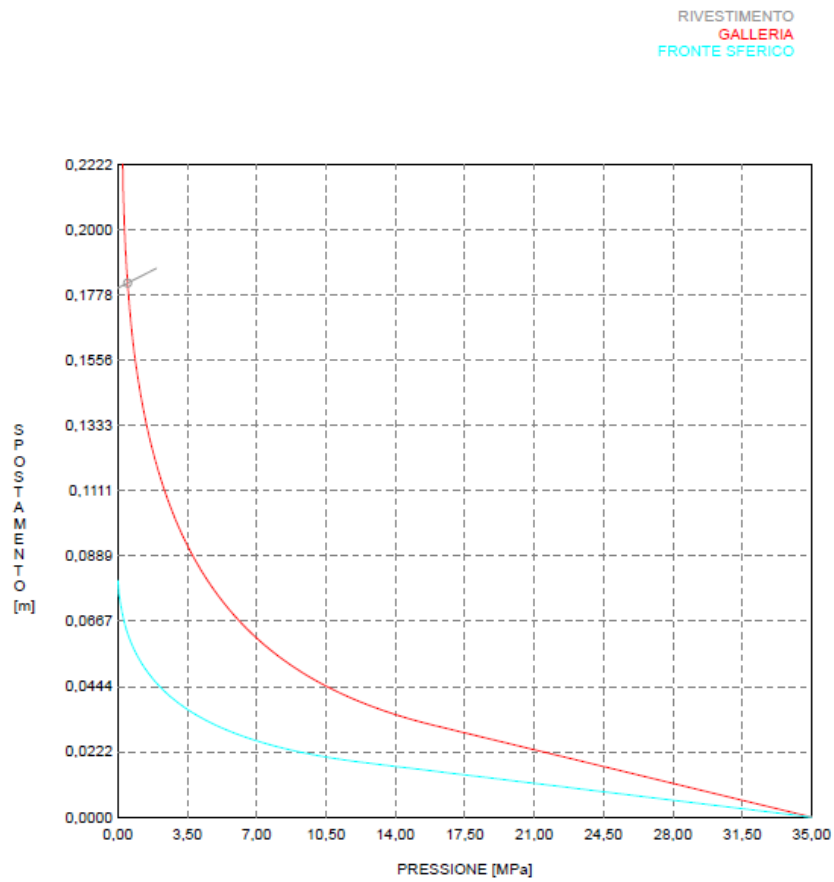


Figura 138 – Arenaria di Val Gardena, 1400 m - Curve caratteristiche in presenza del rivestimento definitivo

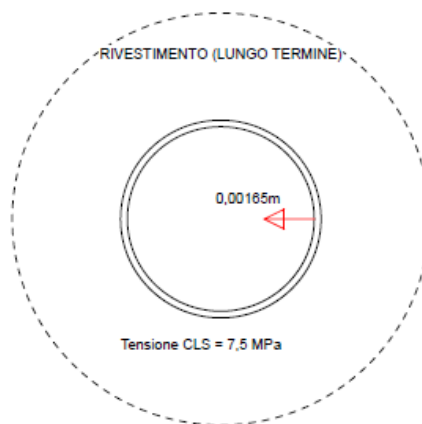


Figura 139 - Arenaria di Val Gardena, 1400 m - Sollecitazioni litostatiche agenti sul rivestimento definitivo

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

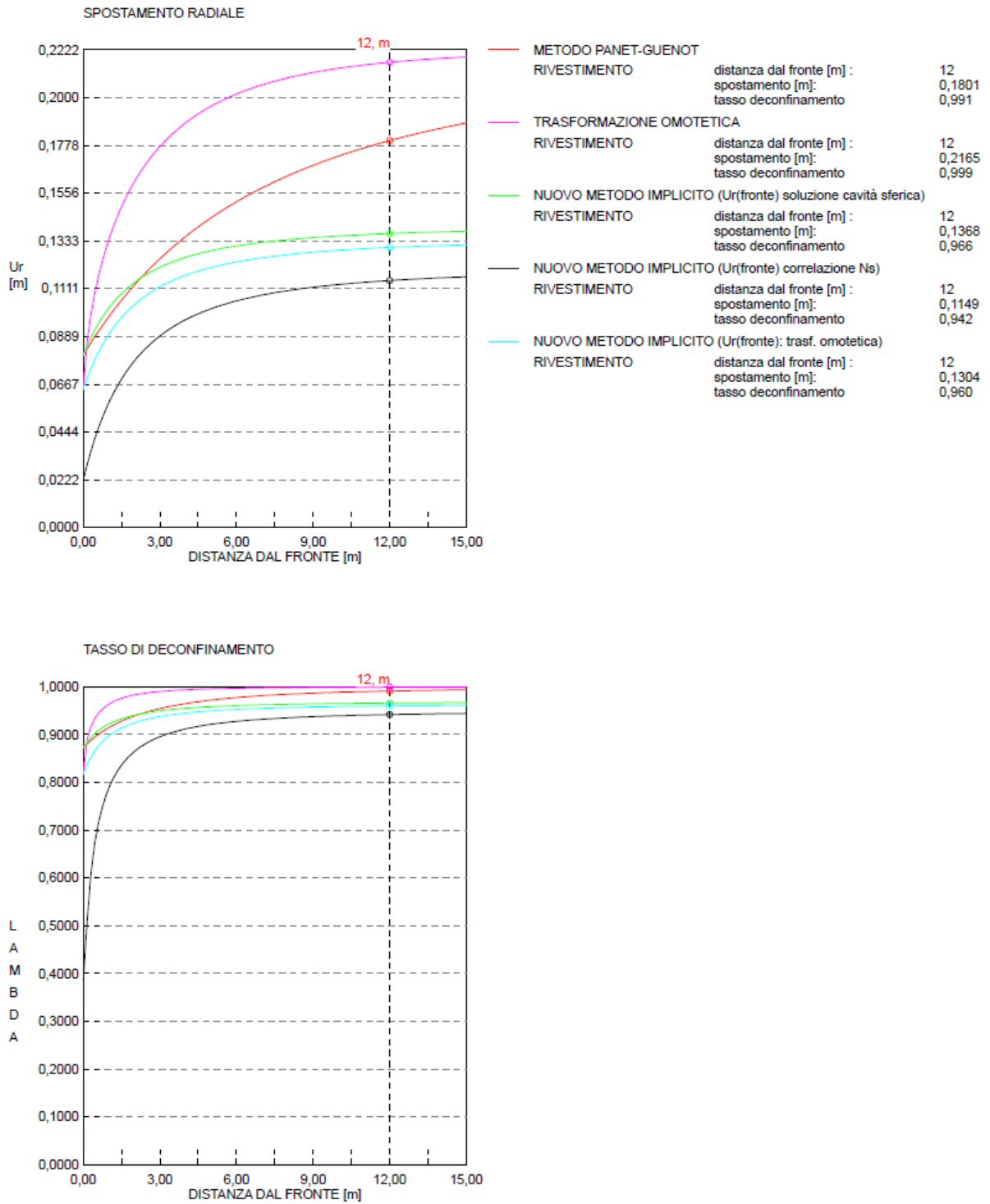


Figura 140 – Arenaria di Val Gardena, 1400 m - Curve di detensionamento dell'ammasso roccioso

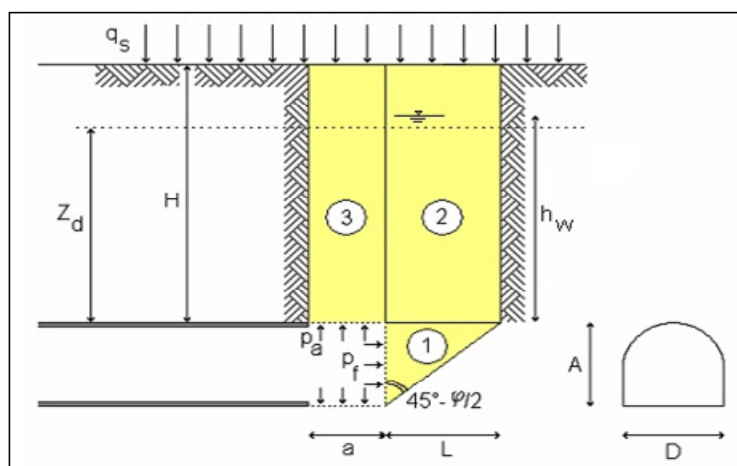
**ANALISI DI STABILITA' DI TAMEZ - TABELLE RIEPILOGATIVE
CASO GENERALE**

RIASSUNTO DATI DI INGRESSO

GEOMETRIA			
a	lunghezza libera	12	m
A	h galleria	14.4	m
D	largh. galleria	14.4	m
L	estens.longitud.cuneo	6.41	m
H	copertura da calotta	1400	m
Z _d	tratto di influenza scavo	24.48	m
S	sezione di scavo	185.11	m ²

TERRENO			
γ	peso di volume	25	kNm ³
c	coesione	18	kPa
ϕ	attrito	42	°
q _s	sovraccarico	0	kPa

CONDIZIONI IDRAULICHE			
γ_w	peso di volume	10	kN/m ³
α_1	condizioni di drenaggio	0.4	
β	permeab.ammasso	1	
h _w	copertura acqua	0	m
	presenza di raggiera drenante in chiave?	no	si/no



RIASSUNTO RISULTATI - no interventi

STABILITA' DEL FRONTE			
FS _f	fattore di sicurezza	1.9	
p _f	pressione al fronte	0.00	kPa
p _{f max}	pressione massima applicabile	6952.04	kPa

STABILITA' DELLA CHIAVE			
FS _{c pl}	fattore di sicurezza alla plasticizzazione	0.08	
FS _c	fattore di sicurezza in chiave	1.3	
p _a	pressione in chiave	0.00	kPa

STABILITA' GLOBALE			
FS _g	fattore di sicurezza	0.91	

Figura 141 – Arenaria di Val Gardena, 1400 m – Analisi di stabilità con il metodo di Tamez

7.8 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 alle tensioni che si vanno a distribuire a lungo termine sull'anello in conci prefabbricati.

Come si può constatare dai risultati ottenuti ipotizzando la posa del rivestimento definitivo a circa 12 m dal fronte, il cavo risulta quasi completamente detensionato ed il rivestimento quasi scarico. Ne consegue che l'analisi di stabilità del rivestimento dovrà essere condotta valutando le deformazioni, e quindi sollecitazioni, a lungo termine dovute al rilassamento dell'ammasso roccioso, ovvero, nella fascia plasticizzata, alla progressiva mobilitazione della resistenza residua.

Il rivestimento definitivo per lo scavo meccanizzato sarà costituito da conci di calcestruzzo armato di spessore 0.5 m.

Imponendo come condizione di sollecitazione massima nel calcestruzzo 30 MPa ed utilizzando la soluzione proposta da Muir Wood (1975), per una pressione esterna pari a quella dovuta alla massima fascia plastica prevista al contorno di scavo in corrispondenza di una copertura di 1400 m nelle Arenarie di Val Gardena, si ottengono i risultati riportati nella tabella seguente.

Tabella 14 – Sollecitazioni agenti nell'anello di rivestimento con carico litostatico totalmente gravante sul cavo			
	$k_0 = 0.9$	$k_0 = 1$	$k_0 = 1.1$
N max [kN/m]	1500	1600	1500
M max [kNm/m]	1.5	0	(-) 1.5
σ_{cls} a pressoflessione [MPa]	3	3.2	3

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 deve essere aggiunta quella dell'acqua, che può portare però, nelle condizioni di elevata copertura, al superamento della resistenza limite del calcestruzzo.

Quindi per coperture maggiori di 120 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.

In questa situazione infatti le portate emunte sono molto basse, dell'ordine di 0.01 l/s/m.

Questa perdita verrà agevolmente equilibrata dalla precipitazione meteorica, in quanto la stessa risulta superiore alla perdita che si ha nella depressione piezometrica conseguente all'emungimento in galleria: infatti la pioggia su una striscia tra 200÷300 m a cavallo della galleria, con un coefficiente di infiltrazione pari a 0.7, compatibile con la permeabilità e morfologia dei terreni di superficie, produce e porta a costituire un accumulo di acqua in grado di bilanciare la perdita in galleria. In questo modo gli effetti che si avranno verso le sorgenti possono essere considerati nulli, anche considerando la posizione della galleria nei riguardi delle sorgenti medesime che si trovano al di fuori della fascia sopra indicata.

8 SCAVO MECCANIZZATO-TRADIZIONALE: CONFRONTO

Per la Galleria di Valico si prevede di adottare una metodologia di scavo meccanizzato con macchina TBM a sezione integrale, di diametro 14,40 m. Questa scelta, come illustrato al capitolo 6 della Relazione Geomeccanica, deriva principalmente da considerazioni di tipo economico e organizzativo, tenendo in considerazione che la galleria in progetto presenta una lunghezza tale da permettere di compensare i notevoli costi e tempi morti iniziali con una velocità di avanzamento ben maggiore di uno scavo di tipo tradizionale.

Questo concetto può essere esplicitato mettendo a confronto i tempi complessivi di scavo relativi alle due metodologie di avanzamento. Le ipotesi di base del confronto sono le seguenti:

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;
- 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:

Tabella 15 – Velocità di avanzamento ipotizzate per lo scavo tradizionale	
Ammasso roccioso	Velocità di avanzamento
Dolomitico	5 m/gg
Sequenza sedimentaria inferiore	2 m/gg

- si attacca contemporaneamente da due fronti di avanzamento per ciascuna canna, per cui le lunghezze di scavo si dimezzano.

Scavo meccanizzato

Le ipotesi di base per la valutazione dei tempi complessivi in modalità meccanizzata sono già state esplicitate al paragrafo 7.2.

Nella tabella seguente si mettono a confronto i previsti tempi di realizzazione della galleria, nell'ipotesi di un avanzamento con metodo tradizionale o meccanizzato:

Tabella 16 – Confronto scavo meccanizzato-tradizionale: tempi di realizzazione							
TEMPI DI SCAVO COMPLESSIVI							
Scavo tradizionale							
Galleria	Lunghezza [m]	Lunghezza di scavo [m]	Ammasso roccioso		Tempo di scavo [anni]	Velocità media di avanzamento [m/gg]	
			Dolomitico	Sedimentario inferiore			
Lavarone	14950	7475	3782	3693	7.4	5.5	
Scavo meccanizzato							
Galleria	Lunghezza [m]	Tempo di scavo [anni]	Δt			Tempo complessivo di scavo [anni]	Velocità media di avanzamento [m/gg]
			Impermeabilizz.	Consolid.	Sondaggi in avanzamento		
Lavarone	15000	1.5	0.5	1	0.5	3.5	12.2

Anche da un punto di vista operativo l'adozione di una metodologia di avanzamento di tipo tradizionale o meccanizzato porta con sé notevoli differenze: la macchina TBM, infatti, permette di garantire notevole sicurezza per le maestranze, e di rivestire il cavo di conserva con l'avanzamento. L'adozione di una sezione circolare, inoltre, se da un lato determina un notevole sovrascavo, da un punto di vista strutturale rappresenta la scelta staticamente più efficiente, in particolare in condizioni di elevata copertura, in cui si può supporre che lo stato di sollecitazione risulti idrostatico.

Al contrario, uno scavo di tipo tradizionale risulta nettamente più flessibile, ma comporta la necessità di prevedere sezioni di sostegno molto pesanti, in particolare nei materiali più scadenti al di sotto della Dolomia Principale, dove sarebbe necessario procedere con sezioni tipo analoghe a quelle previste per le altre gallerie del tracciato, incrementando i profilati adottati e gli spessori dei rivestimenti a lungo termine.

9 ANALISI SISMICA

Per le gallerie in progetto è stata condotta l'analisi di stabilità del rivestimento in condizioni sismiche. Da normativa, è stato individuato il valore dell'accelerazione massima al suolo su terreno rigido, relativamente ad un periodo di ritorno di 2475 anni.

Per la valutazione analitica del problema si rimanda alle formulazioni di St. John & Zahrah (1987), Wang (1993), Power (1996), Panzani (2000) e Hashash (2001). Tali formulazioni sono state sintetizzate in un foglio di calcolo i cui risultati sono forniti nella seguente figura.

L'analisi viene realizzata mediante due diversi approcci:

- Free field, che non considera l'interazione terreno-struttura. In questo caso dunque si suppone che le deformazioni indotte dal sisma nel terreno siano uguali a quelle della struttura;
- Analisi di interazione terreno-struttura, in cui il comportamento del rivestimento viene valutato in relazione all'effetto prodotto dalle onde di taglio che incontrano la galleria.

Il foglio di calcolo fa riferimento alle sollecitazioni agenti sul rivestimento in tre diverse tipologie di deformazione dell'anello di sostegno:

1. compressione/estensione, nel caso in cui l'onda sismica agisca in direzione parallela all'asse longitudinale, determinando un allungamento/accorciamento nella direzione di estensione della galleria;
2. flessione longitudinale, nel caso in cui il moto avvenga in direzione perpendicolare all'asse longitudinale;
3. ovaling racking, quando l'onda di taglio agisce in direzione perpendicolare all'asse del tracciato.

Dai calcoli proposti, relativi al caso della Dolomia Principale in condizioni di copertura medio-bassa, in riferimento alle gallerie scavate con metodo tradizionale, e in condizioni di alta copertura in relazione alla Galleria di Valico, si può concludere che l'opera nel complesso può ritenersi verificata in relazione alle condizioni sismiche prevalenti nella zona di studio. Le sollecitazioni indotte dal sisma sui rivestimenti sono infatti molto ridotte, le trazioni dovute all'ovaling possono essere tranquillamente assorbite dall'armatura del rivestimento.

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

METODO DI PROPAGAZIONE DELLE ONDE			
INPUT			
Eg (modulo elastico terreno)	1.90E+07		kpa
νg (poisson terreno)	0.2		
EI (modulo elastico lining)	3.00E+07		kpa
νI (poisson lining)	0.15		
R (raggio esterno galleria)	7.2		m
t (spessore lining)	0.5		m
V/A table 2	80		
cs (velocità onde di taglio)	1000		m/s
As (peak ground acceleration) normativa	0.28		g
Spost/acc (ampiezza spostamento) con table 3	30		
C (coefficiente di profondità) table 4	0.7		
cp (velocità onde di compressione)	2200		m/s
Ap peak acceleration onde P	0.4		g
H (spessore deposito dal bedrock)	5		m
γ (peso di volume terreno)	25		kN/m ³
Φ inclinazione onda S	0		°
Φ inclinazione onda P	0		°
CALCOLI			
Ic (momento inerzia trasv)	2.062509266		m ⁴
Ag (sezione trasv)	21.83406894		m ²
Vs peak particle velocity	0.00196		m/s
Vp (peak particle velocity)	0.32		m/s
T periodo	0.02		s
L lunghezza d'onda	20		m
Gm modulo di taglio	2548419.98		kPa
Ka Kt (molle)	32373746.93		kN/m
A1 (ampiezza spostamento) caso flessionale	2.78309E-05		m
A2 (ampiezza spostamento) caso assiale	0		m
A (ampiezza spostamento con table 3)	0.084		m
F	3080.95488		flessibile
C (=Rc)	12.38166667		-
K1	0.001556998		
K2	0.319541327		
α full slip	0.001915753		
α no slip	0.002218241		
Rn full slip	3.193881311		
Rn no slip	3.19291734		
Δd full slip	4.50721E-05		
Δd no slip	4.50584E-05		

FREE FIELD senza interazione				
def assiale e flessionale				ovaling
	DEF LONG	DEF NORMALE	DEF FLESS	DEF DI TAGLIO
ONDE P	0.0001454545	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000
ONDE S	0.0000000000	0.0000000000	0.0000190903	0.0000009800
	σ kPa assiale	σ kPa assiale	σ kPa fless	σ kPa assiale
ONDE P	4963.636364	0	0	0
ONDE S	0	0	572.7078	6.126832187
ε max onda S	0.000019	<- ammm		
ε max onda P	0.000145	<- ammm		

INTERAZIONE onde S					
def assiale e flessionale					
DEF LONG (A con tab)	DEF LONG (A con form)	σ kPa	Nmax kN		
0.006602413	0	0	0		
DEF FLESS (A con tab)	DEF FLESS (A con form)	σ kPa	Mmax kNm		
0.056565634	1.87413E-05	562.2402364	166.8526183		
			Vmax kN		
			52.418296		
ε max onda S	0.063168047	<- ammm			
ovaling					
(wang 1993)					
	Nmax kN	Mmax kNm	σ kPa	DEF DI TAGLIO	
full slip	0.06	0.39	9.45	3.13407E-06	
no slip	34.46	0.39	78.25		
penzien (2000)					
	Nmax kN	Mmax kNm	Vmax kN	σ kPa	DEF DI TAGLIO
full slip	-0.06	-0.42	-0.12	-10.12	3.13E-06
no slip	-0.12	-0.42	-0.12	-10.23	3.12906E-06

Figura 142 – Valutazione delle azioni sismiche sui rivestimenti, gallerie scavo tradizionale

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

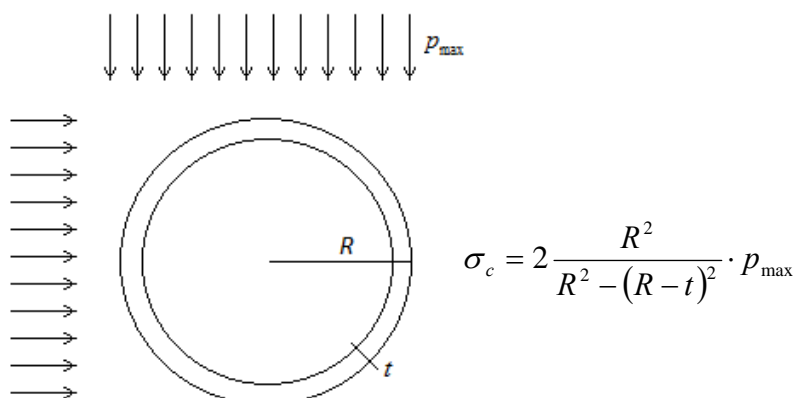
METODO DI PROPAGAZIONE DELLE ONDE					
INPUT					
Eg (modulo elastico terreno)		3.00E+07	kpa		
ν_g (poisson terreno)		0.2			
EI (modulo elastico lining)		3.00E+07	kpa		
ν_l (poisson lining)		0.15			
R (raggio esterno galleria)		7.2	m		
t (spessore lining)		0.5	m		
V/A table 2		80			
cs (velocità onde di taglio)		2000	m/s		
As (peak ground acceleration) normativa		0.28	g		
Spost/acc (ampiezza spostamento) con table 3		30			
C (coefficiente di profondità) table 4		0.7			
cp (velocità onde di compressione)		4000	m/s		
Ap peak acceleration onde P		0.4	g		
H (spessore deposito dal bedrock)		5	m		
γ (peso di volume terreno)		25	kN/m ³		
Φ inclinazione onda S		0	°		
Φ inclinazione onda P		0	°		
CALCOLI					
Ic (momento inerzia trasv)		2.062509266	m4		
Ag (sezione trasv)		21.83406894	m2		
Vs peak particle velocity		0.00196	m/s		
Vp (peak particle velocity)		0.32	m/s		
T periodo		0.01	s		
L lunghezza d'onda		20	m		
Gm modulo di taglio		10193679.92	kPa		
Ka Kt (molle)		129494987.7	kN/m		
A1 (ampiezza spostamento) caso flessionale		6.95773E-06	m		
A2 (ampiezza spostamento) caso assiale		0	m		
A (ampiezza spostamento con table 3)		0.084	m		
F		4864.6656	flessibile		
C (=Rc)		19.55	-		
K1		0.000986322			
K2		0.223631068			
α full slip		0.000478938			
α no slip		0.00055456			
Rn full slip		3.198468131			
Rn no slip		3.198226391			
Δd full slip		2.25684E-05			
Δd no slip		2.25667E-05			
FREE FIELD senza interazione					
def assiale e flessionale					
	DEF LONG	DEF NORMALE	DEF FLESS	DEF DI TAGLIO	
ONDE P	0.0000800000	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000	
ONDE S	0.0000000000	0.0000000000	0.000047726	0.0000004900	
	σ kPa assiale	σ kPa assiale	σ kPa fless	σ kPa assiale	
ONDE P	0	0	0	0	
ONDE S	0	0	143.17695	3.385205862	
ϵ max onda S	0.000005	: mm			
ϵ max onda P	0.000000	: mm			
INTERAZIONE onde S					
def assiale e flessionale					
DEF LONG (A con tab)	DEF LONG (A con form)	σ kPa	Nmax kN		
0.010558994	0	0	0		
DEF FLESS (A con tab)	DEF FLESS (A con form)	σ kPa	Mmax kNm		
0.057351812	4.75045E-06	142.5136346	42.2929053		
			Vmax kN		
			13.28670806		
ϵ max onda S	0.007910804	: mm			
ovaling					
(wang 1993)					
	Nmax kN	Mmax kNm	σ kPa	DEF DI TAGLIO	
full slip	0.03	0.19	4.72	1.56739E-06	
no slip	19.04	0.19	42.75		
penzien (2000)					
	Nmax kN	Mmax kNm	Vmax kN	σ kPa	DEF DI TAGLIO
full slip	-0.03	-0.21	-0.06	-5.07	1.56725E-06
no slip	-0.06	-0.21	-0.06	-5.13	1.56713E-06

Figura 143 – Valutazione delle azioni sismiche sui rivestimenti, galleria scavo meccanizzato

10 STABILITA' DEL RIVESTIMENTO IN RELAZIONE ALLE CONDIZIONI IDRAULICHE

La scelta delle tratte in cui realizzare un drenaggio della falda oppure impermeabilizzare la galleria è stata fatta sia considerando gli aspetti ambientali, ovvero tenendo conto delle ripercussioni che un eventuale drenaggio potrebbe determinare sul regime idrogeologico dell'area in oggetto, sia da un punto di vista strutturale per quanto riguarda i carichi idraulici agenti sui rivestimenti definitivi.

Da un punto di vista strutturale è necessario considerare i carichi idraulici agenti sul rivestimento definitivo a lungo termine, ovvero quando, una volta rivestita l'intera galleria, la piezometrica tornerà al livello preesistente. In questo caso, si può fare riferimento alla formula di Mariotte:


$$\sigma_c = 2 \frac{R^2}{R^2 - (R - t)^2} \cdot p_{\max}$$

Dove:

p_{\max} = massima sollecitazione agente sui conci, dovuta al carico idraulico

σ_c = resistenza a compressione del calcestruzzo

t = spessore del rivestimento definitivo/conci = 0.5 m

R = raggio di scavo = 7.2 m

Trattandosi di uno scavo realizzato con macchina TBM, il rivestimento definitivo viene messo in opera ad una distanza dal fronte pari alla lunghezza dello scudo, che in questo caso si aggira sui 12 metri. Questo significa che, all'istante di posa del rivestimento definitivo, l'ammasso ha già subito un detensionamento quasi totale. Inoltre, considerando che a lungo termine si ristabilisca il preesistente livello piezometrico, l'acqua al contorno del rivestimento andrà ad agire su questo, facendo sì che al contorno si stabilisca un equilibrio in termini di tensioni efficaci. Considerando che le tensioni litostatiche a lungo termine sono piuttosto ridotte, e che alle alte coperture le pressioni idrauliche risultano molto elevate, è possibile supporre che il contributo dell'acqua renda del tutto trascurabile il carico litostatico a lungo termine. Si considererà dunque che l'intera resistenza del calcestruzzo dei conci,

opportunamente ridotta secondo le indicazioni normative, agisca nei confronti dei carichi idraulici.

Applicando la formulazione precedente si ottiene:

$$p_{\max} = \gamma_w \cdot h_{\lim} = \sigma_c \cdot \frac{R^2 - (R-t)^2}{2R^2} \Rightarrow h_{\lim} = 0.007 \cdot \sigma_c$$

Si calcolano ora le altezze piezometriche limite in base alle classi di resistenza del calcestruzzo:

Classe 28/35 $f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \cdot 0,85 = \frac{28}{1,5} \cdot 0,85 = 15,86 \text{ MPa} = 15800 \text{ kPa}$

Classe 35/45 $f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \cdot 0,85 = \frac{35}{1,5} \cdot 0,85 = 20 \text{ MPa} = 20000 \text{ kPa}$

Si ottengono i seguenti valori di h_{\lim} :

Classe 28/35 $h_{\lim} = 0.007 \cdot 15800 = 105.9 \text{ m}$

Classe 35/45 $h_{\lim} = 0.007 \cdot 20000 = 134 \text{ m}$

Si esamina ora ciascuna galleria per stabilire il carico idraulico a cui è sottoposta, e quindi la necessità di prevedere un drenaggio attivo. Si differenzia tra le gallerie scavate con metodo tradizionale e meccanizzato.

Per il tradizionale si hanno spessori del rivestimento più elevati con calcestruzzo di classe 28/35, a fronte di una sezione policentrica che presenta maggiori problematiche dal punto di vista strutturale: si accetta dunque un carico idraulico limite di 90 m.

Per il meccanizzato, con la classe C35/45, si considera una $h_{\lim} = 120 \text{ m}$.

Tabella 17 – Valutazione della necessità di drenaggio per le diverse gallerie			
Galleria	Carico idrostatico massimo h [m]	Drenaggio	
		attivo	non attivo
S.Agata	-		-
Cogollo	30		x
Costa del Prà	20		x
Forte Corbin	30		x
Pedescala	30		x

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

San Pietro	40		x
Pedemonte	50		x
Gall. di Valico da pk 0+000 a 24+000 km			x
da pk 24+000 a 37+500 km		x	
da pk 37+500 a fine galleria			x

Dalla tabella precedente si osserva che per tutte le gallerie in scavo tradizionale il carico idraulico è ben più ridotto di quanto il rivestimento possa sopportare. Si valuterà successivamente se attivare o meno il drenaggio collegando i tubi di collettamento con le guaine di rivestimento, per non determinare un inutile emungimento della falda.

Per la Galleria di Valico si preferisce impermeabilizzare le zone di imbocco, laddove il carico idraulico lo consente, di modo da evitare interferenze alle falde ai piedi dei versanti. Nelle altre zone la galleria sarà drenata, in quanto i carichi idraulici risulterebbero superiori alla resistenza del rivestimento stesso.

Per quanto detto precedentemente, ai piedi dei versanti, per l'acclività degli stessi, il coefficiente di infiltrazione può ridursi fino a 0.3 e quindi la pioggia può avere difficoltà ad equilibrare le perdite in galleria, che possono essere anche più elevate in funzione della maggiore permeabilità della roccia, presentandosi una minore copertura.

Per le alte coperture, cui corrispondono maggiori carichi idraulici e quindi la necessità del drenaggio, vale quanto detto prima, ovvero che l'abbassamento della piezometrica sarà ampiamente compensato dall'apporto delle acque meteoriche.

Per le faglie, che invece intersecano la galleria e continuano fino alla superficie, il discorso è diverso: dotate di permeabilità decisamente più elevate degli ammassi rocciosi incassanti possono drenare acqua da una superficie molto estesa e quindi interferire su ampie distanze.

Il meccanismo così attivato può drenare ampie zone di superficie e quindi interferire seriamente con le emergenze superficiali.

Per questo motivo è necessaria l'impermeabilizzazione intorno al cavo, rimuovendo così la causa.

Si passa ora a esaminare le faglie, che come detto precedentemente possono apportare notevole acqua al fronte con due importanti conseguenze:

- disturbi in fase di lavorazione;
- emungimento della falda.

Nella Tabella 18 si riportano le portate calcolate in corrispondenza di ciascuna faglia. E' stato adottato il criterio di impermeabilizzare in avanzamento tutte le faglie con portata prevista uguale o superiore a 10 l/s.

Sono state però impermeabilizzate anche altre faglie, come si rivela dai profili idrogeologici, in quanto il trattamento è stato necessario per motivi geomeccanici.

In Tabella 19 si riporta in sintesi quanto riportato con maggiore dettaglio nel profilo idrogeologico.

Tabella 18 – Portate previste nelle singole gallerie in corrispondenza delle zone di faglia							
GALLERIA	COPERTURA [m]	PERMEABILITA' [m/s]	LITOTIPO	h ₀ [m]	Qf [m ³ /s]	Qf [l/s]	NOTE
Cogollo	5_50	1,00E-06	Faglia	30	1,36E-03	1,4	
	5_50	1,00E-05	Faglia	20	9,05E-03	9,0	
Forte Corbin	5_50	1,00E-06	Faglia	25	1,13E-03	1,1	
	5_50	1,00E-05	Faglia	18	8,14E-03	8,1	
Pedescala	5_50	1,00E-06	Faglia	20	9,05E-04	0,9	
San Pietro	5_50	1,00E-06	Faglia	35	1,58E-03	1,6	
	5_50	1,00E-06	Faglia	35	1,58E-03	1,6	
Pedemonte	5_50	1,00E-05	Faglia	30	1,36E-02	13,6	
	5_50	1,00E-06	Faglia	40	1,81E-03	1,8	
Di Valico	5_50	1,00E-06	Faglia	40	1,81E-03	1,8	impermeabilizzata impermeabilizzata impermeabilizzata impermeabilizzata impermeabilizzata
	5_50	1,00E-06	Faglia	60	2,71E-03	2,7	
	5_50	1,00E-06	Faglia	80	3,62E-03	3,6	
	5_50	1,00E-06	Faglia	100	4,52E-03	4,5	
	5_50	1,00E-06	Faglia	130	5,88E-03	5,9	
	500_1500	1,00E-07	Faglia	290	1,31E-03	1,3	
	500_1500	1,00E-07	Faglia	370	1,67E-03	1,7	
	500_1500	1,00E-07	Faglia	300	1,36E-03	1,4	
	50_500	1,00E-06	Faglia	380	1,72E-02	17,2	
	50_500	1,00E-06	Faglia	460	2,08E-02	20,8	
	500_1500	1,00E-07	Faglia	540	2,44E-03	2,4	
	500_1500	1,00E-07	Faglia	580	2,62E-03	2,6	
	500_1500	1,00E-07	Faglia	600	2,71E-03	2,7	
	500_1500	1,00E-07	Faglia	640	2,90E-03	2,9	
	500_1500	1,00E-07	Faglia	760	3,44E-03	3,4	
	500_1500	1,00E-07	Faglia	860	3,89E-03	3,9	
	500_1500	1,00E-07	Faglia	1000	4,52E-03	4,5	
	500_1500	1,00E-07	Faglia	1100	4,98E-03	5,0	

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

	500_1500	1,00E-07	Faglia	800	3,62E-03	3,6	impermeabilizzata impermeabilizzata
	500_1500	1,00E-07	Faglia	640	2,90E-03	2,9	
	500_1500	1,00E-07	Faglia	560	2,53E-03	2,5	
	500_1500	1,00E-07	Faglia	420	1,90E-03	1,9	
	50_500	1,00E-06	Faglia	320	1,45E-02	14,5	
	50_500	1,00E-06	Faglia	360	1,63E-02	16,3	
	500_1500	1,00E-07	Faglia	400	1,81E-03	1,8	
	50_500	1,00E-06	Faglia	70	3,17E-03	3,2	

Tabella 19 – Interventi previsti in corrispondenza delle faglie

Galleria	Interventi per le zone di faglia
S.Agata	non presenta problemi di questo tipo.
Cogollo	le faglie non hanno portate ingenti, e quindi non è necessaria un'impermeabilizzazione in avanzamento
Costa del Prà	non si richiede impermeabilizzazione in avanzamento
Forte Corbin	non si richiede impermeabilizzazione in avanzamento
Pedescala	non si richiede impermeabilizzazione in avanzamento
San Pietro	non si richiede impermeabilizzazione in avanzamento
Pedemonte	non si richiede impermeabilizzazione in avanzamento
Gall. di Valico	si impermeabilizzano tutte le faglie in cui si prevedono ingenti venute di acqua, che corrispondono alle zone a maggiore carico litostatico e/o idraulico.

11 IMBOCCHI

Lo sviluppo preponderante in sotterraneo del tracciato di progetto con la presenza di 8 gallerie naturali a doppia canna determina la presenza di 32 imbocchi.

Il numero elevato di imbocchi ed il contesto morfologico degli stessi, che li vede ubicati al piede di potenti coltri detritiche di versante o di conoide, sono elementi che hanno richiesto un approfondimento sul tema.

Si è quindi proceduto a studiare le aree di imbocco, andando a raccogliere informazioni in merito a:

- tipologia del materiale detritico in affioramento;
- spessori del materiale detritico.

Il primo punto è stato assolto attraverso una serie di rilievi di superficie geologico – geomorfologici, che hanno permesso di definire in via preliminare la tipologia del detrito, il suo spessore e la presenza o meno di affioramenti rocciosi.

Il secondo punto è stato risolto attraverso la realizzazione di una serie di stendimenti di sismica a rifrazione con acquisizione delle onde di compressione V_p e di taglio V_s in corrispondenza delle zone d'imbocco.

L'ubicazione di questi stendimenti è stata definita a seguito dei suddetti rilievi, che hanno portato ad escludere per questa fase progettuale la realizzazione degli stessi in corrispondenza di quegli imbocchi in cui le pendenze dei versanti e la presenza di affioramenti rocciosi indicano spessori del detrito dell'ordine di qualche metro. Per questi imbocchi si prevede, in questa fase progettuale, una tipologia di imbocco ad attacco diretto o con micropali in funzione del contesto morfologico.

La definizione della profondità del contatto detrito/ammasso roccioso si è basata sulla profondità alla quale la velocità delle onde di taglio $V_s > 850$ m/s, alla quale corrispondono velocità delle onde di compressione $V_p = 1400 - 1800$ m/s. Questi ultimi valori risultano elevati, ma del tutto giustificati alla luce della natura granulare dei depositi detritici e dell'elevato grado di addensamento che li caratterizza. Velocità analoghe sono infatti state riscontrate in altri progetti in materiali simili a quelli di studio.

In particolare la variazione delle V_p sembrerebbe essere collegata oltre che al grado di addensamento dei depositi anche alla percentuale di trovanti all'interno del detrito di versante, alle loro dimensioni ed al loro grado di mutuo incastro.

Le profondità così individuate sono state confrontate con le informazioni fornite dai rilievi di superficie, trovando sempre un buon accordo.

La successiva fase di progettazione definitiva dovrà inevitabilmente prevedere l'esecuzione di sondaggi di taratura degli stendimenti di sismica a rifrazione realizzati, per accertare la profondità del substrato roccioso, definita in questa fase di progetto.

Si è deciso di realizzare delle schede monografiche per gli imbocchi delle gallerie, che sintetizzano i risultati di questo studio. Si è ritenuto opportuno per questa fase progettuale indicare in modo generico l'imbocco nord e l'imbocco sud, accorpando quindi gli imbocchi delle due canne in un unico imbocco, ovvero in un'unica area di studio.

La fase successiva di progettazione valuterà separatamente gli imbocchi relativi alle due canne.

Unica eccezione è rappresentata dalla galleria S.Agata, interamente in depositi quaternari, per la quale non sono state realizzate traverse sismiche, essendo disponibili numerosi sondaggi.

Le schede, allegate a questo rapporto, contengono le seguenti informazioni:

- stralcio planimetrico dell'imbocco con ubicazione degli stendimenti sismici;
- profilo interpretativo delle Vs di riferimento per la definizione della profondità del contatto detrito/roccia;
- indagini realizzate;
- tipologia di materiale in affioramento;
- spessori del detrito e profondità del substrato roccioso in funzione delle velocità Vs e Vp;
- possibili problematiche legate a contesti morfologici particolari, aree di cava, tipologia del materiale detritico;
- cantieristica intesa come facilità di allestimento del cantiere e di esecuzione dei lavori;
- tipologia di imbocco;
- documentazione fotografica da rilievi di superficie, esplicitativa della tipologia di materiale e del contesto morfologico.

Si individuano tre tipologie principali di imbocco, illustrate nelle tavole degli imbocchi:

1. Imbocco con attacco diretto: questo imbocco prevede la realizzazione di sbancamenti in roccia con pendenze indicativamente di 5 (verticale) su 2 (orizzontale), o 5 su 1 sul fronte di attacco degli scavi in sotterraneo, organizzati in tratti di 6-8 m inframmezzati da berme rompi tratta. A seguito degli scavi di ribasso, dell'ordine dei 2-3m, si prevede la stabilizzazione dei fronti di scavo mediante bulloni metallici. Nei tratti di sbancamento dove si prevede, in fase di sistemazione definitiva, la posa di

materiale di ritombamento, le superfici di scavo sono inoltre protette da uno strato di spritz-beton armato con rete elettrosaldata, mentre laddove non si provvederà, in considerazione dell'altezza dello scavo, ad un successivo ritombamento, occorrerà prevedere la posa di un reticolo di contenimento a doppia orditura in fune agganciato alle chiodature eseguite (questo al fine di garantire un migliore inserimento paesaggistico-ambientale). Gli imbocchi nei quali è previsto l'attacco diretto sono quelli per i quali i rilievi di superficie hanno individuato la presenza di estesi affioramenti rocciosi di discrete caratteristiche geomeccaniche; la morfologia dell'imbocco si presenta piuttosto acclive, a testimoniare la stabilità del versante.

2. Imbocco con opera di sostegno: questo imbocco prevede la realizzazione di una paratia di protezione degli scavi realizzata mediante pali/micropali, contrastata mediante tiranti in trefoli. I pali/micropali vengono realizzati accostati, ad interassi predefiniti, con geometrie tali da garantire un minimo ricoprimento nel punto di attacco degli scavi (3-5 m) ed un confinamento sulle ali laterali. A seguito della esecuzione dei pali/micropali, posti in opera a seguito di perforazione, si provvede alla realizzazione di una trave di collegamento in testa e alla realizzazione di successivi scavi di ribasso alternati alla posa in opera dei tiranti di contrasto e di eventuali drenaggi, in presenza di falda. La scelta se adottare micropali o pali dipende essenzialmente dal contesto geotecnico, ovvero dalle spinte in gioco: in presenza di spinte rilevanti, ovvero qualora siano presenti spessori rilevanti degli accumuli detritici, si privilegerà l'adozione di pali, di maggiore rigidità (diametri 800-1200 mm), mentre qualora sia importante lo spessore di substrato interessante la paratia si adotteranno micropali (diametri 220-300 mm). Quindi gli imbocchi per i quali è stata fornita una indicazione di opera di sostegno in pali sono quelli per i quali i dati attualmente disponibili indicano la presenza del contatto detrito/ammasso roccioso a profondità elevate, pari o superiori all'altezza dell'opera di sostegno e/o laddove i blocchi di roccia presentino volumi inferiori a 1m^3 e la loro presenza non sia così marcata. Ne deriva che il contesto stratigrafico abbinato al contesto morfologico richiede l'applicazione di un'opera di sostegno, come detto, più rigida. Gli imbocchi per i quali è stata fornita una indicazione di opera di sostegno in micropali sono quelli per i quali i dati attualmente disponibili indicano la presenza del contatto detrito/ammasso roccioso a profondità non elevate oppure di detrito con blocchi di volume fino a qualche m^3 oppure di ammasso roccioso allentato e fratturato. Ne deriva una minore rigidità statica richiesta e soprattutto la necessità di prevedere perforazioni di minore diametro data la difficoltà di perforare strati prettamente lapidei. Per alcuni imbocchi la scelta sul palo/micropalo sarà condotta a valle di più specifiche indagini.

3. Imbocco con trattamento in jet-grouting: Gli imbocchi per i quali è stata fornita una indicazione progettuale di opera di sostegno in jet – grouting sono quelli per i quali i dati attualmente disponibili indicano spessori elevati di depositi quaternari con una granulometria ghiaioso – sabbiosa e privi di blocchi. La tipologia del materiale, caratterizzata da elevate permeabilità, ben si presta al trattamento di jettiniezioni, producendo quest’ultimo significativi volumi di materiale trattato, tali da configurare l’opera di sostegno quale un muro a gravità. Il sostegno viene infatti ottenuto affiancando trattamenti colonnari eseguiti dalla superficie, disposti a quinconce ed inclinati leggermente verso il lato scavo, così da favorire la stabilità del guscio in jet-grouting; inoltre esso presenta una configurazione planimetrica ad arco, in modo da facilitare il controllo delle spinte a tergo dell’opera. I trattamenti colonnari sono irrigiditi trasversalmente in testa mediante la formazione di una trave di testata, ed al limite, sostenuti dall’esecuzione di un tirante, ubicato nella trave stessa. Gli imbocchi per i quali è stata fornita una indicazione progettuale in jet – grouting/pali sono quelli per i quali i dati attualmente disponibili indicano condizioni intermedie tra quelle suddette.

La tabella seguente riporta una sintesi dell’applicazione delle diverse tipologie di imbocco per ciascuna galleria. Si deve intendere per imbocco sud e nord l’area nella quale sono state realizzate le indagini, comprensiva quindi degli imbocchi delle due canne.

Tabella 20 – Imbocchi – Applicazione delle diverse tipologie di imbocco per ciascuna galleria

Galleria	Imbocco sud	Imbocco nord
S.Agata	Jet - grouting	Jet - grouting
Cogollo	Jet – grouting/pali	Pali o micropali
Costa del Prà	Micropali	Micropali/pali
Forte Corbin	Micropali/pali	Micropali
Pedescala	Micropali	Attacco diretto
San Pietro	Micropali	Pali/jet - grouting
Pedemonte	Micropali/pali	Micropali
Valico	Micropali	Micropali/pali

Al di là delle soluzioni tecniche adottate per lo scavo dell’imbocco, si prevede inoltre, in fase di sistemazione definitiva, la realizzazione di un tratto di galleria artificiale, con tratto terminale a becco di flauto o a portale (quest’ultimo per le soluzioni di imbocco in attacco

diretto), al fine di eseguire il ritombamento dei volumi di scavo e determinare una ricostituzione del versante post-operam, allo scopo di migliorare l'inserimento paesaggistico-ambientale.

12 PROGRAMMA DI MONITORAGGIO

Il programma di monitoraggio è costituito da una serie di controlli in corso d'opera per verificare il comportamento tenso-deformativo degli ammassi rocciosi che saranno interessati dagli scavi, previsti per la realizzazione delle opere di progetto. In tal modo sarà possibile tarare adeguatamente gli interventi progettuali previsti e rientrare all'interno di intervalli di deformazioni compatibili con la stabilità delle opere.

Per gli avanzamenti in sotterraneo, il programma di monitoraggio previsto si articola in:

- rilievo geologico sistematico dei fronti di scavo;
- classificazione dell'ammasso roccioso con gli indici RMR e GSI;
- rilievo sistematico delle fasi esecutive e delle cadenze di avanzamento;
- stazioni di misura sistematiche delle convergenze (fig. 1);
- rilievo deformativo del fronte mediante misure d'estrusione;
- stazioni principali, prevedenti la misura dello stato tensionale dei rivestimenti, di prima fase e definitivi, dello stato deformativo dell'ammasso al contorno del cavo e delle eventuali pressioni neutre a tergo dei rivestimenti e portate d'acqua in galleria;
- eventuali perforazioni in avanzamento al fine di individuare con anticipo passaggi imprevisti, venute d'acqua, etc..;
- prelievo di campioni da sottoporre a prove di laboratorio;
- misure piezometriche e di portata delle sorgenti.

Nei paragrafi che seguono vengono indicate le caratteristiche e le modalità esecutive del programma predisposto. L'insieme di questi dati concorrerà alla determinazione delle informazioni necessarie per la gestione dell'applicazione delle sezioni tipo e per la definizione dell'intensità degli interventi e delle cadenze lavorative.

12.1 Rilievo geologico dei fronti di scavo

Tali rilievi consistono nel rilevamento e restituzione grafica e numerica delle caratteristiche geologiche-geostrutturali e geomeccaniche del fronte di scavo, durante l'avanzamento, secondo le seguenti distinzioni:

- rilievi di tipo "analitico";

- rilievi di tipo “speditivo”;

Nei rilievi di tipo analitico devono essere descritte in dettaglio le caratteristiche litologiche stratigrafiche e strutturali dell’ammasso, con indicazione della litologia e delle caratteristiche petrografiche, del grado e tipo di compattezza/cementazione, della granulometria, dello stato di alterazione, delle caratteristiche delle discontinuità (tipo, localizzazione, giacitura, geometria, tipo di riempimento, JRC, JRS), nonché osservazioni sulle venute d’acqua e sugli eventuali distacchi. Durante i rilievi di tipo analitico, si potranno prelevare campioni per prove di laboratorio (prove di classificazione, di compressione, triassiali, di taglio su giunto, di estrusione ...) ed eventualmente eseguire prove in situ (pressiometriche, dilatometriche, scissometriche...).

Nei rilievi di tipo speditivo, basterà rilevare qualitativamente le caratteristiche litologico-stratigrafiche e strutturale dell’ammasso.

Si prevede la seguente frequenza di rilievi:

- rilievi analitici, con cadenza ogni 100 m;
- rilievi speditivi, in generale ogni 25 m, per le sezioni tipo A e B ed a ogni campo di avanzamento per le sezioni tipo che prevedono interventi di preconsolidamento e presostegno;

Tali frequenze andranno comunque verificate, ed eventualmente modificate, in corso d’opera, in funzione di eventuali passaggi litologici o stratigrafici di particolare rilevanza.

L’archiviazione dei dati raccolti dovrà essere predisposta su apposite schede e su computer per singole tratte di 100-150 m di galleria naturale.

12.2 Rilievo delle fasi esecutive e delle cadenze di avanzamento

Durante gli avanzamenti, dovranno essere predisposte in continuo schede contenenti il rilievo delle fasi esecutive, con indicazione del ciclo di lavorazioni, della sezione tipo applicata e della tipologia e quantità degli interventi messi in opera.

Per ciascuna data occorrerà riportare la progressiva del fronte di scavo e la distanza da esso dell’arco rovescio, delle murette e del rivestimento definitivo di calotta. Dovranno inoltre essere riportati i tempi di esecuzione di ogni singola fase costruttiva, al fine di valutare i tempi medi per ciascun ciclo lavorativo.

12.3 Stazioni di misura delle convergenze

Il progetto degli avanzamenti della galleria dovrà essere verificato in corso d'opera mediante appropriate misure di tensione e spostamenti, in modo da controllare il comportamento delle strutture di rivestimento nei confronti delle condizioni geomeccaniche effettivamente incontrate nella galleria, consentendo la taratura delle tecnologie esecutive e l'affinamento delle soluzioni progettuali adottate.

Per condurre questo lavoro, che rappresenta una vera e propria appendice della progettazione, è necessario disporre lungo il tracciato della galleria di un congruo numero di sezioni strumentate, per poter raccogliere i dati sul comportamento del sistema statico costituito dai rivestimenti e dall'ammasso roccioso prospiciente la cavità.

I dati così raccolti, permetteranno sia il controllo diretto degli effetti dell'avanzamento della galleria, verificando che i valori di tensione e deformazione instauratisi siano compatibili con gli interventi adottati, sia l'estrapolazione degli stessi, in particolare quelli provenienti dai primi avanzamenti, anche per le tratte di galleria ancora da scavare.

Ciò consentirebbe quindi, qualora ce ne fosse bisogno, di affinare il progetto delle tratte più profonde sulla base di quanto osservato durante lo scavo di quelle più corticali, e cioè sulla base di "una prova a vera grandezza dello scavo della galleria".

Per fare sì che i dati provenienti dai controlli in corso d'opera siano da considerarsi attendibili e comunque facilmente controllabili, è necessario che:

- le strumentazioni impiegate siano affidabili
- le strumentazioni impiegate siano poste in opera correttamente
- l'installazione degli strumenti sia documentata accuratamente
- le strumentazioni impiegate siano tra loro differenziate
- le grandezze misurate siano tra loro facilmente correlabili
- le sezioni strumentate siano poste in opera in numero congruo
- le sezioni strumentate siano accuratamente documentate da un punto di vista geologico-geomeccanico
- le letture siano condotte secondo un programma preciso
- i dati raccolti siano presentati in modo organico e facilmente interpretabile.

Tali misure consistono nel rilevamento e restituzione grafica e numerica degli spostamenti nel piano trasversale alla galleria, in direzione verticale e orizzontale, di 5 punti per ogni stazione di misura, posizionati lungo il profilo della sagoma della galleria (2 sui piedritti e sulle reni, 1 in chiave calotta) e attrezzati con mire ottiche rilevabili mediante strumento topografico di precisione. Le basi di misura sono costituite da 5 chiodi di convergenza $L = 80$

cm posizionati sullo spritz-beton del rivestimento di prima fase, su cui vengono montati altrettanti marcatori costituiti da prismi cardanici riflettenti o catadiottri, posizionati a ridosso del fronte di scavo alla progressiva della stazione di misura. Nel caso in cui si manifestassero comportamenti differenziati in termini deformativi tra spritz-beton e centine, a tali chiodi andranno affiancati dei supporti vincolati alle centine, su cui potranno essere montati i già citati marcatori (prismi cardanici riflettenti o catadiottri). Il sistema di acquisizione dati è costituito da una stazione composta da teodolite e distanziometro elettronico, che misurano le posizioni assolute della base di misura rispetto ad un sistema di riferimento tridimensionale costituito da caposalda siti in galleria.

La convergenza del cavo si intende riferita al valore medio delle tre misure diametrali condotte, con riferimento a quanto riportato in Figura 144.

Fermo restando che l'effettiva distribuzione delle stazioni potrà essere modulata in funzione del reale comportamento dell'ammasso, le stazioni stesse andranno indicativamente installate secondo le seguenti frequenze:

- n. 1 stazione ogni 100 m, per le tratte in cui è prevista le sezioni tipo A;
- n. 1 stazione ogni 50 m, per le tratte in cui è prevista la sezione tipo B;
- n. 1 stazione ogni campo di avanzamento, per le sezioni tipo che prevedono interventi di preconsolidamento e presostegno;

La frequenza dei rilevamenti, da precisare in corso d'opera, è la seguente:

- n. 1 misura alla settimana per le tratte in cui è prevista le sezione tipo A.
- n. 1 misura al giorno fino ad una distanza dal fronte di 15÷20 m, quindi 1 misura alla settimana fino al getto del rivestimento definitivo, per le tratte in cui è prevista la sezione tipo B.

Ciascuna stazione di misura viene posizionata in prossimità del fronte di scavo, in particolare presso l'ultima centina posizionata, a circa 1.0 m dal fronte stesso.

Il sistema di elaborazione dati deve offrire i seguenti diagrammi e tabulati numerici, in funzione del tempo e della distanza dal fronte:

- spostamenti trasversali;
- spostamenti verticali;
- spostamenti nel piano (deformata);
- velocità di convergenza (mm/giorno).

I dati elaborati per ciascuna misura di ciascuna stazione, vanno forniti entro la giornata in cui è stato eseguito il rilievo; è richiesta altresì una copia di tali dati anche su supporto magnetico.

La geometria della stazione di convergenza è illustrata in Figura 144.

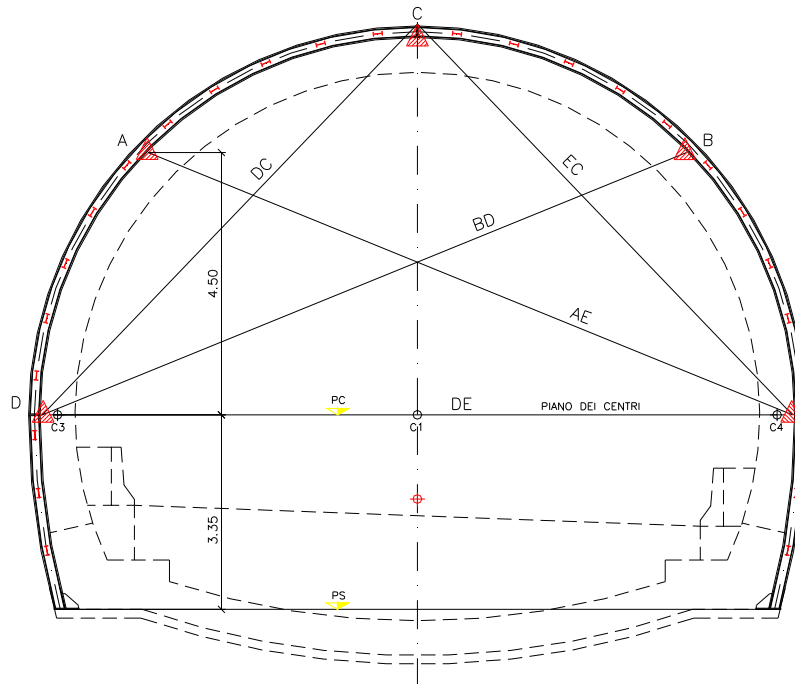


Figura 144 - Stazioni di convergenza: convergenza diametricale media $C = DE+B0+AE/3$

Dovrà essere sempre indicato l'andamento nel tempo del fronte di scavo (avanzamento) e dei getti dell'arco rovescio in modo da poterle mettere immediatamente in relazione con le convergenze misurate.

Il sistema di acquisizione dati deve offrire i seguenti diagrammi e tabulati numerici in funzione del tempo e della distanza dal fronte:

- spostamenti orizzontali e verticali sotto forma di vettori spostamento;
- spostamenti nel piano (deformata);
- diagramma della convergenza media e della velocità di convergenza (mm/giorno);
- diagramma di spostamento dei singoli punti.

12.4 Stazioni principali

Le stazioni principali, da realizzarsi all'immediato ridosso del fronte d'avanzamento, permettono la misurazione dello stato tenso-deformativo dell'ammasso vicino e lontano dallo scavo appena eseguito, dell'estensione dell'eventuale zona di plasticizzazione e della sua evoluzione nel tempo, durante l'esercizio. Permette inoltre di misurare le eventuali pressioni neutre a tergo dei rivestimenti e portate d'acqua in galleria. Parte della strumentazione potrà essere mantenuta anche in esercizio, per il controllo a lungo termine del manufatto. Essa si compone di:

- cinque coppie di barrette estensimetriche posizionate sulle ali delle centine metalliche del prerinvestimento;
- due celle di carico posizionate sotto il piede delle centine;
- cinque punti per la misura delle convergenze posti sul rivestimento di prima fase e quattro punti sul rivestimento definitivo;
- eventuale estrusometro sul fronte di scavo, $L=30\div 35$ m;
- tre estensimetri multibase o estensimetri incrementali, di lunghezza pari a 20 m, posti in opera radialmente in zona di calotta e alle reni della cavità, immediatamente dopo il passaggio del fronte sulla sezione prescelta; ciascun estensimetro multibase deve avere almeno quattro basi di misura poste come indicato nelle figure citate;
- eventuali due coppie di piezometri (di norma due, sub-orizzontali sui fianchi della cavità, di lunghezza pari a 15 m, per esempio di tipo elettrico a corda vibrante o a strain-gauges, posti rispettivamente a +5 e +15 m dal paramento del cavo, in direzione radiale);
- nove barrette estensimetriche che verranno annegate nel getto dell'arco rovescio, delle murette e della calotta, ovviamente in tempi leggermente diversi;
- eventuale misuratore di portata dell'acqua aggottata dalla galleria.

La lettura di zero per gli strumenti di cui ai punti precedenti va effettuata il prima possibile, e comunque prima di prevedere l'avanzamento del fronte. Per le barrette estensimetriche annegate nei getti, la lettura di zero invece viene eseguita all'atto del disarmo.

L'intensità delle letture è la seguente:

- barrette estensimetriche, celle di carico sotto il piede delle centine:
 - 1 misura ogni 3 giorni con il fronte distante fino a 30m;
 - 1 misura alla settimana con il fronte distante da 30 a 60 m;
- punti per la misura delle convergenze posti sul rivestimento di prima fase:
 - 1 misura al giorno fino ad una distanza dal fronte di scavo di 10 m;

- 3 misure la settimana con il fronte fino a 40 m;
- 1 misura la settimana fino al getto del rivestimento definitivo;
- eventuale estrusometro:
 - 1 lettura ogni 1-2 m di avanzamento;
 - punti per la misura delle convergenze posti sul rivestimento definitivo:
 - 1 misura alla settimana per il primo mese
 - 1 misura al mese fino al termine dei lavori
- barrette estensimetriche annegate nel rivestimento definitivo:
 - 1 misura al mese fino al termine dei lavori.
- estensimetri multibase:
 - 1 lettura ogni 2 gg. col fronte distante fino a 20 m;
 - 1 lettura alla settimana col fronte distante più di 20 m, fino a 45 m;
 - letture di controllo a cadenza mensile fino al termine dei lavori.
- eventuali piezometri radiali:
 - 1 lettura la settimana fino ad 1 mese dal getto del rivestimento definitivo;
 - 1 lettura ogni 15 giorni per i seguenti 5 mesi;
 - 1 lettura al mese fino al termine dei lavori.

I quattro punti di misura delle convergenze sul rivestimento definitivo, i tre estensimetri multibase, le eventuali coppie di piezometri e le celle di pressione nel rivestimento definitivo andranno possibilmente letti anche in esercizio.

Per quanto concerne il rilevamento delle tensioni nei rivestimenti di prima fase o definitivi, esso avviene mediante il posizionamento di barrette estensimetriche e celle di carico, in funzione dello stato tensionale che si vuole rilevare, poste in opera con gli accorgimenti necessari per una perfetta installazione e funzionamento. Il sistema di elaborazione dati deve avvenire su software apposito e si richiedono i seguenti diagrammi e tabulati numerici:

- pressioni in funzione del tempo;
- pressioni in funzione della distanza dal fronte di scavo.

I dati elaborati per ciascuna stazione vanno forniti entro la giornata in cui è stato eseguito il rilievo.

Le misure effettuate con estensimetri multibase consistono nel rilevamento e nella restituzione, grafica e numerica, degli spostamenti di punti (basi) in direzione longitudinale rispetto al foro in cui sono collocati. Eseguito il foro di sondaggio fino alla profondità prevista, i punti di misura vengono fissati alle pareti del foro, mediante dispositivi ad

espansione meccanica o tramite ancoraggi in ferro zincato ad aderenza migliorata cementati in profondità. Ad ogni base viene solidarizzata un'asta indeformabile metallica, in invar o vetroresina, la cui testa sporge a bocca foro; tali aste devono essere protette mediante guaina in plastica, entro cui possono liberamente scorrere per evitare di venire solidarizzate con l'ammasso roccioso in più punti.

Si richiede la restituzione grafica e numerica dei seguenti dati:

- spostamenti delle basi in funzione del tempo;
- spostamenti delle basi in funzione della distanza della stazione dal fronte.

Tale restituzione deve avvenire nell'arco della giornata in cui viene eseguito il rilievo.

Quali eventuali piezometri per la misura delle pressioni neutre a tergo dei rivestimenti possono essere impiegati piezometri del tipo Casagrande, del tipo pneumatico, a corda vibrante o piezometri elettrici. In ogni caso il sistema di elaborazione dati deve avvenire su software apposito e si richiedono i diagrammi ed i tabulati relativi alle variazioni della pressione neutra in funzione del tempo.

Per l'eventuale misura delle portate d'acqua in galleria, allorché le acque sono convogliate in un canale a pelo libero, si predispone un misuratore di portata a stramazzo in parete sottile (tipo Bazin): si tratta di uno sbarramento del canale, di norma realizzato con una lastra di acciaio, che permette il transito dell'acqua, sempre a pelo libero, solo attraverso una sezione di forma nota. Misurando l'altezza del getto in corrispondenza della paratia, si risale tramite la relazione caratteristica dello strumento alla portata defluente. Quando si prevedono piccole portate drenate, sarà necessario assumere una luce libera del getto di forma triangolare, viceversa sarà di forma trapezia. Il profilo della sezione da cui si diparte il getto deve essere sagomato a tagliente verso monte. Si richiede la restituzione grafica e numerica dei seguenti dati:

- portate istantanee misurate (lt/sec);
- diagrammi delle portate in funzione del tempo e delle distanze dal fronte di scavo.

Tutti i dati desunti dal sistema di monitoraggio devono essere restituiti anche su supporto magnetico.

In merito alla frequenza di installazione delle stazioni speciali, si riporta di seguito una tabella di sintesi con riportata l'ubicazione indicativa delle sezioni principali per ogni galleria naturale:

Galleria	Progressive (Km)
S. Agata	3+000
Cogollo	8+000
Costa del Prà	9+600
Forte Corbin	11+250
Pedescala	13+300
S. Pietro	15+600 – 16+900
Pedemonte	22+000
Valico	28+600 – 30+950 – 33+750

In corso d'opera, in funzione delle problematiche di scavo rilevate, si potrà rendere necessaria l'installazione singola di alcuni degli strumenti facenti parte della stazione speciale.

12.5 Rilievo deformativo del fronte: misure di estrusione (eventuale)

Nelle tratte in cui il fronte di scavo presenta un comportamento di tipo instabile e/o spingente, conseguente ad una evoluzione dei fenomeni deformativi in campo plastico, che possono manifestarsi oltre il fronte stesso prima ancora che avvenga lo scavo, si procederà a mettere in atto interventi di preconsolidamento del fronte di scavo mediante la messa in opera di elementi strutturali in vetroresina e ad installare un estrusometro in corrispondenza del fronte stesso.

Tale strumento consente di rilevare e restituire, graficamente e numericamente, gli spostamenti longitudinali, lungo basi di misura poste all'interno di una "colonna" estensimetrica posizionata in asse galleria in avanzamento rispetto al fronte, all'interno di un foro di sondaggio sub-orizzontale (leggermente inclinato verso il basso).

Lo strumento necessario è un estensimetro costituito da tubi in PVC, muniti di ancoraggi anulari posti a distanza di 1 metro l'uno dall'altro, resi solidali al foro mediante l'iniezione di miscele cementizie leggermente espansive. Il foro di sondaggio deve risultare di lunghezza $\geq 30 \div 35$ m.

Attesa la maturazione dell'iniezione, si procede alla lettura di riferimento prima della ripresa dell'avanzamento. Le successive letture verranno eseguite con la cadenza di 1 lettura al giorno, che dovrebbe circa corrispondere ad una lettura ogni $1 \div 2$ m di avanzamento, fino a quando restano in opera almeno 5 m di tubo. Successivamente si eseguirà, se necessario, un nuovo tubo e verrà abbandonato il vecchio. Durante le lavorazioni che comportano fermi del

fronte (consolidamento, arco rovescio ecc.), sarà necessario eseguire una lettura appena terminato lo scavo ed una appena prima di riprenderlo.

Si richiede la restituzione grafica e numerica dei seguenti dati:

- spostamenti relativi di ciascuna coppia di ancoraggi adiacenti in funzione della profondità (grafico degli spostamenti differenziali);
- sommatoria degli spostamenti differenziali (spostamenti integrati o cumulativi), rispetto alla base più profonda che viene ipotizzata fissa.

Tale restituzione deve avvenire anche su supporto magnetico e nell'arco della giornata in cui è stata redatta la misura.

12.6 Prelievo campioni per prove di laboratorio

Mediamente è previsto il prelievo di N° 2 campioni indisturbati (uno per ogni canna), ogni 200-300 ml di galleria o in corrispondenza di una variazione litologica. Tale prelievo consentirà di eseguire prove di laboratorio secondo programma specifico. In particolare si prevedono prove mirate alla caratterizzazione geomeccanica dell'ammasso (compressione monoassiale) ed alla caratterizzazione fisica del materiale (peso specifico, granulometria, contenuto di acqua).

12.7 Superficie piezometrica

Il controllo della superficie piezometrica che interessa l'intera galleria verrà realizzato, durante l'esecuzione dei lavori, attraverso la lettura periodica dei piezometri installati all'esterno.

Il monitoraggio sarà completato dalle misure di portata delle sorgenti che scaturiscono in un

13 CONCLUSIONI

Nella presente relazione si è analizzato il tracciato T4, quale prosecuzione dell'autostrada A31 da Piovene-Rocchette fino a Besenello, in val d'Adige.

Il tracciato prevede la realizzazione di otto gallerie naturali, di cui le prime sette interessano totalmente la Dolomia Principale, l'ultima, la Galleria di Valico, intercetta invece, oltre che la formazione della Dolomia, litotipi di qualità geomeccanica più scadente, ascrivibili alla sequenza sedimentaria permo-triassica sottostante.

La metodologia di scavo prevista per le sette gallerie in Dolomia o detrito, vista la ridotta lunghezza che le caratterizza, è quella tradizionale: lo scavo verrà dunque realizzato con martellone e, limitatamente alle tratte di roccia più competente, con micro-cariche esplosive.

La Galleria di Valico verrà invece realizzata con metodo meccanizzato, adottando una TBM monoscudata in grado di gestire operazioni complementari alla perforazione. Tale opera presenta uno sviluppo di circa 15 km, mettendo in comunicazione l'alta Valdastico alla Valle dell'Adige, sottopassando l'altopiano di Folgaria con coperture che raggiungono anche i 1500 m.

Si ritiene che lo scavo tradizionale non presenti rilevanti problematiche dal punto di vista realizzativo. Lo scavo meccanizzato dovrà invece affrontare tre diverse problematiche:

- per le rocce competenti, fenomeni di spalling al contorno di scavo, dovuti ad un comportamento prevalentemente fragile della massa rocciosa;
- per le zone ad alta copertura, nei materiali ascrivibili alla sequenza permo-triassica, la problematica principale è legata alla bassa qualità della massa rocciosa, a cui si associano convergenze piuttosto elevate, ed alla possibilità che l'intercettazione delle faglie comporti problemi di stabilità;
- per le zone di faglia con elevato carico idraulico vi è la possibilità che, a causa di un locale aumento della permeabilità dell'ammasso roccioso, queste possano convogliare in galleria ingenti quantità d'acqua.

Si ritiene comunque che, a meno di opportuni interventi in fase realizzativa atti a limitare/risolvere le problematiche appena esposte, lo scavo meccanizzato possa risultare adeguato alla realizzazione in progetto.

Le convergenze al contorno di scavo, connesse ad un comportamento spingente degli ammassi rocciosi più scadenti, potranno essere gestite con un modesto sovrascavo.

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, relativamente alla sola Galleria di Valico, può essere più vantaggioso, in quanto fornisce tempi inferiori del 20-30% a quelli dello scavo tradizionale.

Questa è un'indicazione preliminare, che potrà essere migliorata in relazione all'organizzazione che si intenderà adottare per l'esecuzione dei lavori.

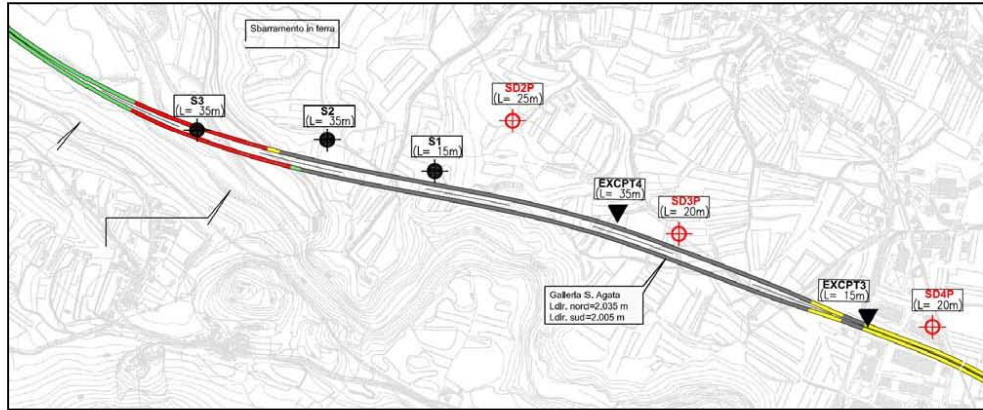
ALLEGATO 1

Definizione delle tipologie di imbocco

Valutazione della profondità del contatto detrito/roccia a partire dai risultati delle indagini sismiche a rifrazione.





VALDASTICO NORD – TRACCIATO T4

Galleria S. Agata – Stralcio planimetrico

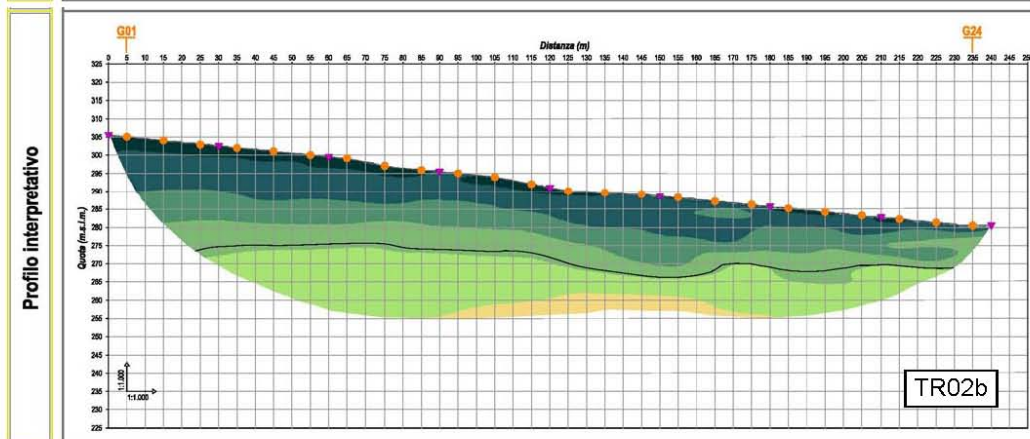
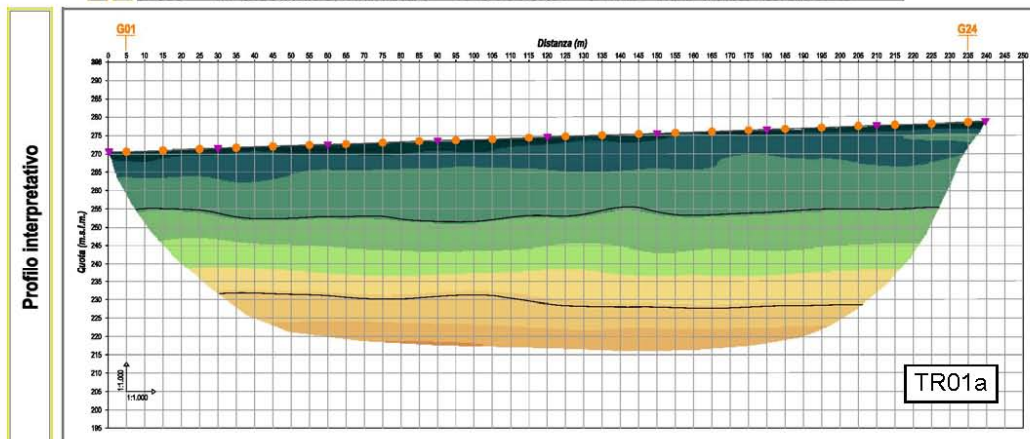
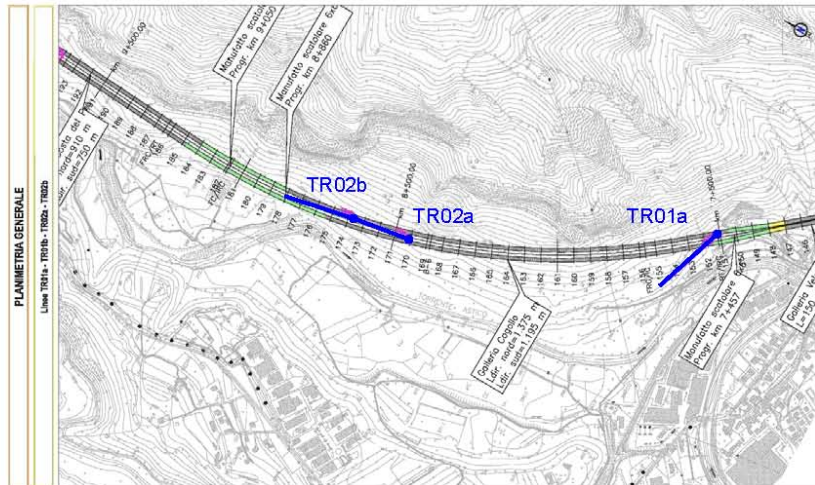


Galleria S. Agata – Valutazione profondità contatto detrito/roccia e tipologia imbocco





ASPETTI APPLICATIVI	IMBOCCO SUD	IMBOCCO NORD																		
Indagine sismica	Nessuna	Nessuna																		
Sondaggi	SD3P, EXCPT3-4	S2																		
Materiale in affioramento	Fluvio-glaciale: ghiaie in matrice sabbioso limosa con possibile cementazione discontinua	Morenico: ghiaie con blocchi dispersi in matrice fine limoso-argilloso-sabbiosa																		
Materiale da indagine sismica	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 33%;">Profondità da p.c. (m)</th> <th style="width: 33%;">V_p (m/s)</th> <th style="width: 33%;">V_s (m/s)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">-</td> <td style="text-align: center;">-</td> <td style="text-align: center;">-</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">-</td> <td style="text-align: center;">-</td> <td style="text-align: center;">-</td> </tr> </tbody> </table>	Profondità da p.c. (m)	V _p (m/s)	V _s (m/s)	-	-	-	-	-	-	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 33%;">Profondità da p.c. (m)</th> <th style="width: 33%;">V_p (m/s)</th> <th style="width: 33%;">V_s (m/s)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">-</td> <td style="text-align: center;">-</td> <td style="text-align: center;">-</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">-</td> <td style="text-align: center;">-</td> <td style="text-align: center;">-</td> </tr> </tbody> </table>	Profondità da p.c. (m)	V _p (m/s)	V _s (m/s)	-	-	-	-	-	-
Profondità da p.c. (m)	V _p (m/s)	V _s (m/s)																		
-	-	-																		
-	-	-																		
Profondità da p.c. (m)	V _p (m/s)	V _s (m/s)																		
-	-	-																		
-	-	-																		
Problematiche	Trascurabili	Trascurabili																		
Cantieristica	Buona	Discreta																		
Tipologia	Jet - grouting	Jet - grouting																		

 <p>Vista panoramica frontale</p>	 <p>Vista panoramica frontale</p>
 <p>Depositi fluvio – glaciali con grado di cementazione variabile</p>	 <p>Depositi misti morenici e fluvio – glaciali con debole grado di cementazione – Presenza di blocchi volume dm³</p>

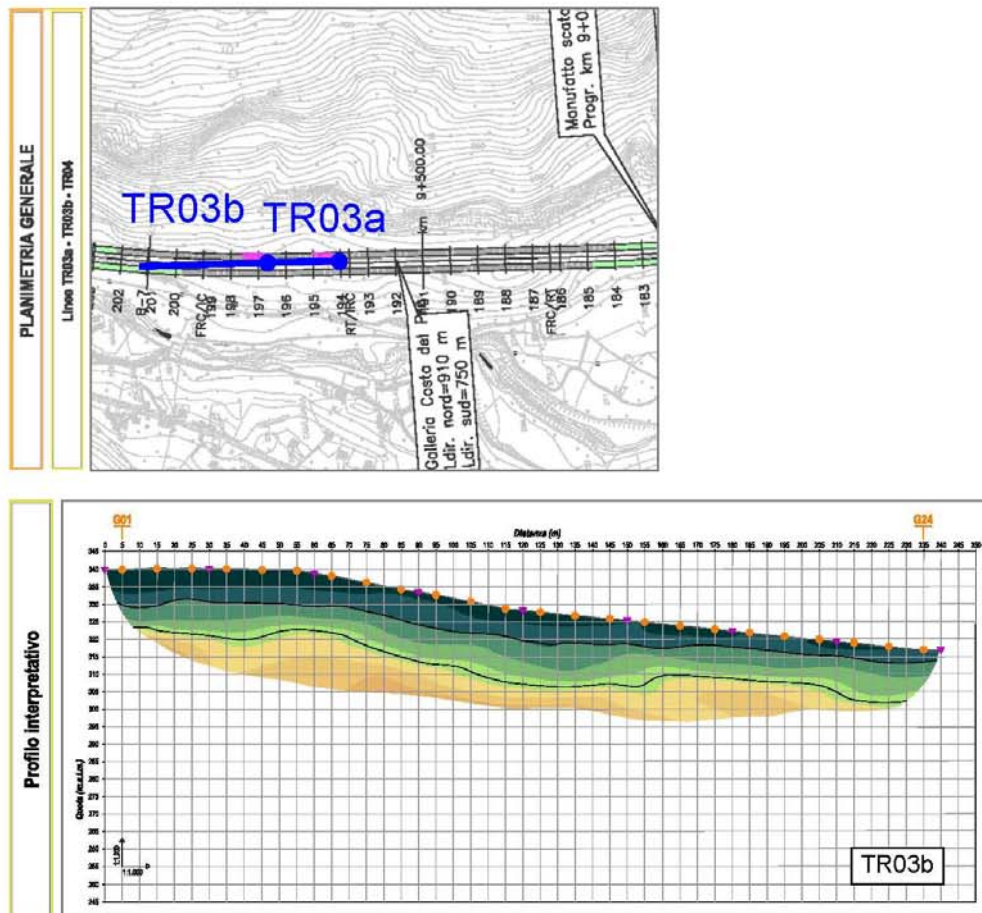
Galleria Cogollo – Stralcio planimetrico e risultati indagine sismica a rifrazione







Galleria Cogollo – Valutazione profondità contatto detrito/roccia e tipologia imbocco

ASPETTI APPLICATIVI	IMBOCCO SUD			IMBOCCO NORD		
Indagine sismica	Tr01			Tr02		
Sondaggi	Nessuno			Nessuno		
Materiale in affioramento	Detrito di versante: ghiaia e ghiaietto in matrice sabbioso-limosa con qualche blocco. Possibile materiale fine morenico al di sotto del detrito			Detrito di versante e cava: ghiaia e ghiaietto in matrice sabbioso-limosa con blocchi		
Materiale da indagine sismica	Profondità da p.c. (m)	V _p (m/s)	V _s (m/s)	Profondità da p.c. (m)	V _p (m/s)	V _s (m/s)
Detrito	0-30	400-1600	50-850	0-30	400-1800	50-850
Ammasso	≥ 30	≥ 1600	≥ 850	≥ 30	≥ 1800	≥ 850
Problematiche	Presenza laterale scarpata in detrito alta 30 – 40 m – difficoltà realizzativa			Distacco di blocchi dalla sovrastante parete rocciosa		
Cantieristica	Buona – possibili vincoli per presenza cava			Buona		
Tipologia	Jet – grouting/Pali			Pali o micropali		
 <p>Vista panoramica frontale</p>		 <p>Vista panoramica frontale – Detrito misto di versante e da attività estrattiva esaurita</p>				
 <p>Scarpata cava – detrito di versante</p>		 <p>Caduta massi volume dm³ – m³</p>				

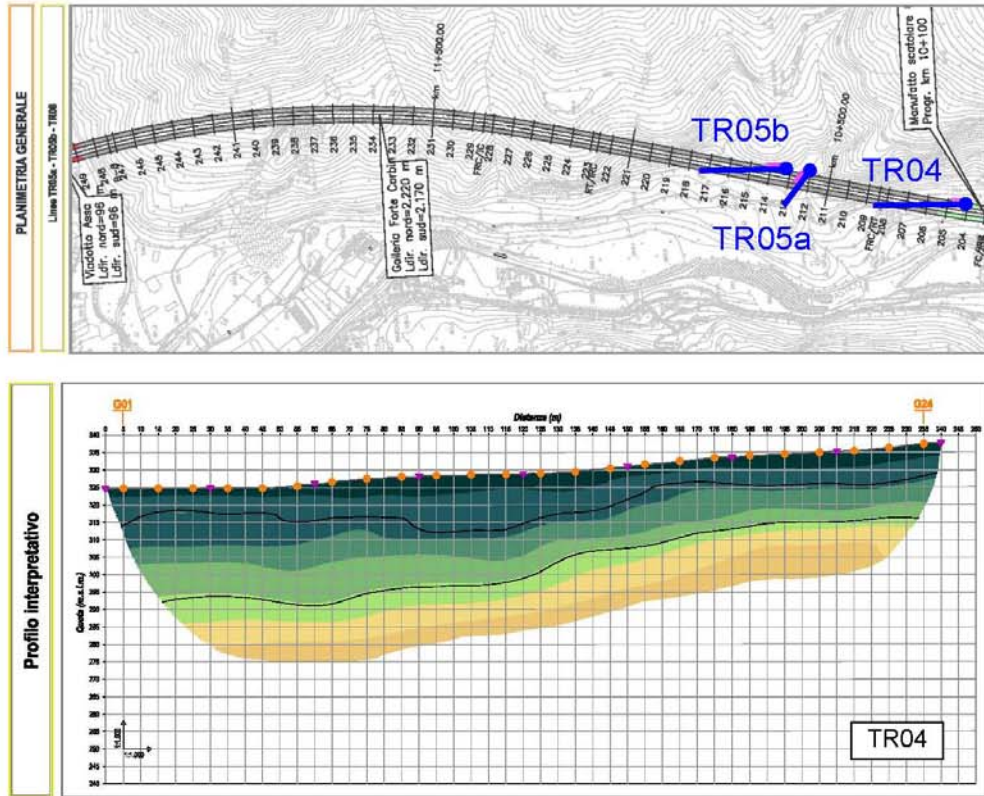
Galleria Costa del Prà – Stralcio planimetrico e risultati indagine sismica a rifrazione






Galleria Costa del Prà – Valutazione profondità contatto detrito/roccia e tipologia imbocco

ASPETTI APPLICATIVI	IMBOCCO SUD			IMBOCCO NORD		
Indagine sismica	Nessuna			Tr03		
Sondaggi	Nessuno			Nessuno		
Materiale in affioramento	Affioramento roccioso. Possibile presenza zona di faglia. Spessore detrito stimato di 10 m circa.			Detrito di versante: ghiaia e ghiaietto in matrice sabbioso-limosa con qualche blocco		
Materiale da indagine sismica	Profondità da p.c. (m)	V _p (m/s)	V _s (m/s)	Profondità da p.c. (m)	V _p (m/s)	V _s (m/s)
Detrito	-	-	-	0-15	400-1800	50-850
Ammasso	-	-	-	≥ 15	≥ 1800	≥ 850
Problematiche	Distacco di blocchi dalla sovrastante parete rocciosa			Distacco di blocchi dalla sovrastante parete rocciosa. Presenza canale Enel base versante.		
Cantieristica	Buona			Difficoltosa per pendenza versante – mezzacosta.		
Tipologia	Micropali			Micropali – pali		
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 48%;">  <p>Vista panoramica laterale</p> </div> <div style="width: 48%;">  <p>Vista panoramica frontale – Affioramento roccioso, elevata pendenza versanti</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-top: 10px;"> <div style="width: 48%;">  <p>Vista panoramica dall'alto</p> </div> <div style="width: 48%;">  <p>Detrito di versante, debole cementazione</p> </div> </div>						

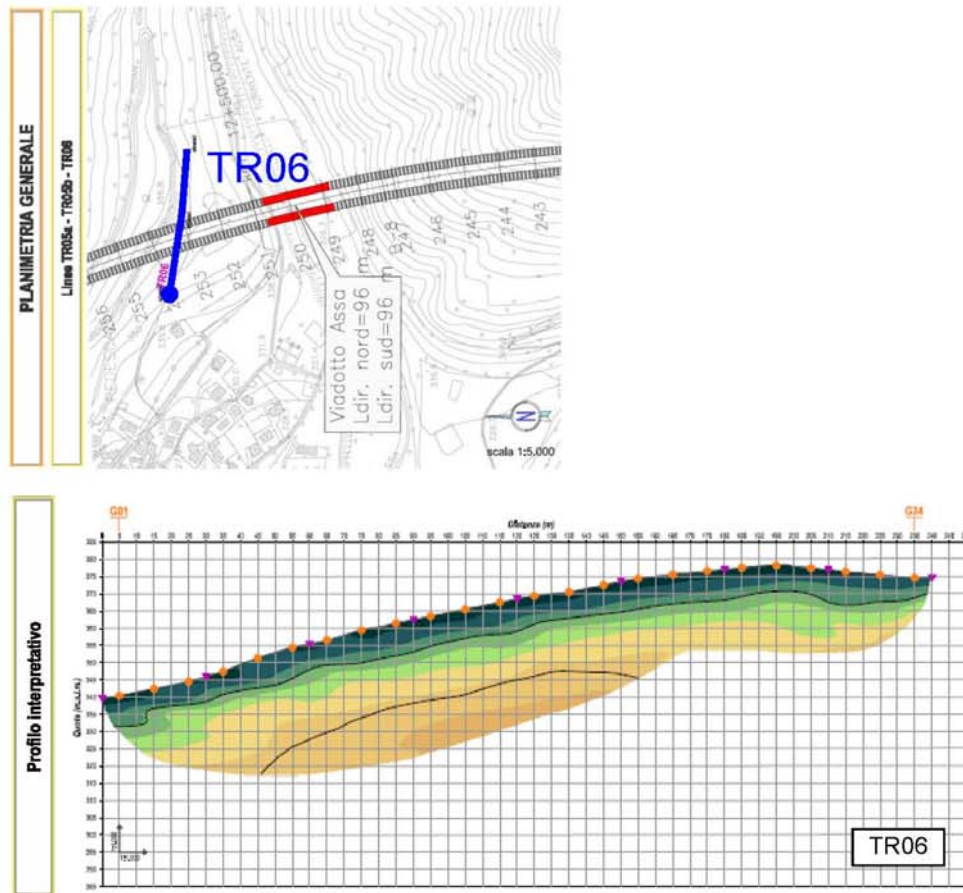
Galleria Forte Corbin – Stralcio planimetrico e risultati indagine sismica a rifrazione





Galleria Forte Corbin – Valutazione profondità contatto detrito/roccia e tipologia imbocco

ASPETTI APPLICATIVI	IMBOCCO SUD			IMBOCCO NORD		
Indagine sismica	Tr04			Nessuna		
Sondaggi	Nessuno			Nessuno		
Materiale in affioramento	Detrito di versante: ghiaia e ghiaietto in matrice sabbioso-limosa con qualche blocco			Affioramento roccioso. Spessore detrito stimato di 5 m circa.		
Materiale da indagine sismica	Profondità da p.c. (m)	V _p (m/s)	V _s (m/s)	Profondità da p.c. (m)	V _p (m/s)	V _s (m/s)
Detrito	0-22	400-1800	50-850	-	-	-
Ammasso	≥ 22	≥ 1800	≥ 850	-	-	-
Problematiche	Distacco di blocchi dalla sovrastante parete rocciosa			Distacco di blocchi dalla sovrastante parete rocciosa		
Cantieristica	Difficoltosa per pendenza versante - mezzacosta			Difficoltosa per accesso lungo torrente		
Tipologia	Micropali/pali			Micropali		
 <p>Vista panoramica frontale – Pendenza elevata versante</p>		 <p>Vista panoramica frontale – Profonda e stretta incisione torrentizia</p>				
 <p>Vista panoramica frontale - Distacco di blocchi</p>						

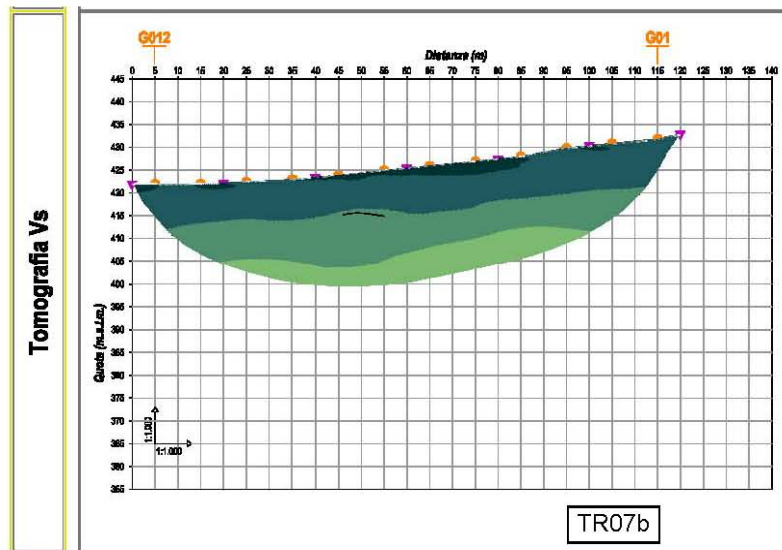
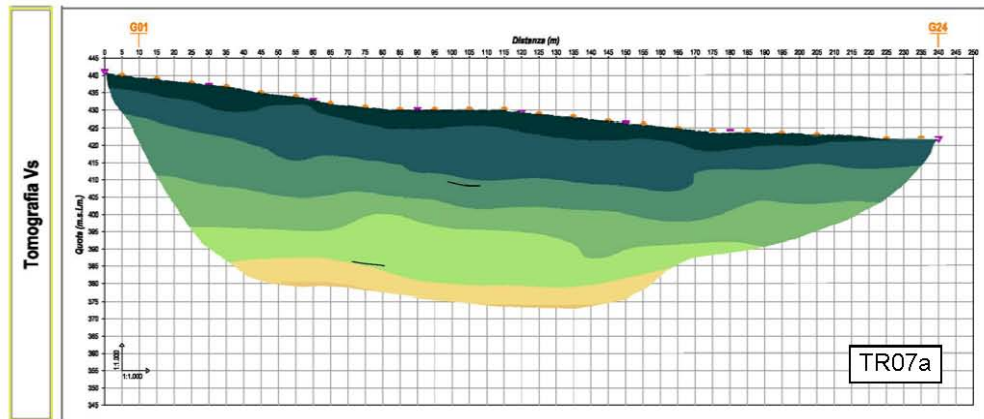
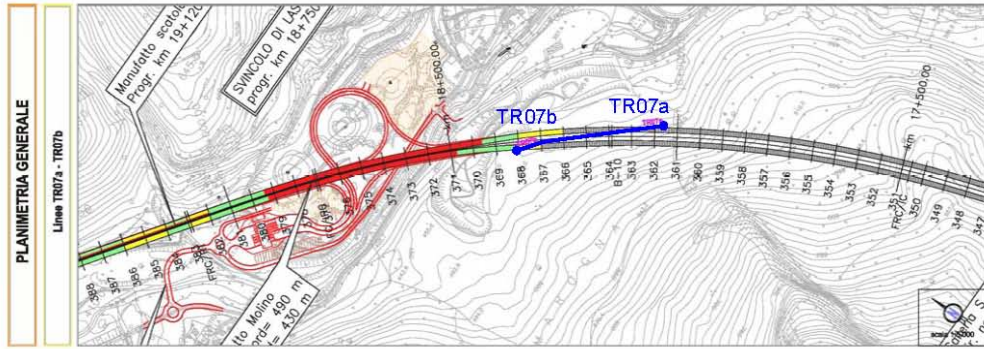
Galleria Pedescala – Stralcio planimetrico e risultati indagine sismica a rifrazione







Galleria Pedesca – Valutazione profondità contatto detrito/roccia e tipologia imbocco

ASPETTI APPLICATIVI	IMBOCCO SUD			IMBOCCO NORD		
Indagine sismica	Tr06			Nessuna		
Sondaggi	Nessuno			Nessuno		
Materiale in affioramento	Detrito di versante: ghiaia e ghiaietto in matrice sabbiosolimoso con qualche blocco. Possibile presenza roccia.			Affioramento roccioso di estensione non definibile. Possibile presenza di detrito di versante.		
Materiale da indagine sismica	Profondità da p.c. (m)	V _p (m/s)	V _s (m/s)	Profondità da p.c. (m)	V _p (m/s)	V _s (m/s)
Detrito	0-12	400-1800	50-850	-	-	-
Ammasso	≥ 12	≥ 1800	≥ 850	-	-	-
Problematiche	Trascurabili			Definizione andamento detrito/roccia		
Cantieristica	Difficoltosa per pendenza versante			Buona		
Tipologia	Micropali			Attacco diretto		
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>Vista panoramica laterale – Pendenza elevata versante</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Vista panoramica frontale – Affioramento roccioso parzialmente disarticolato</p> </div> </div>						

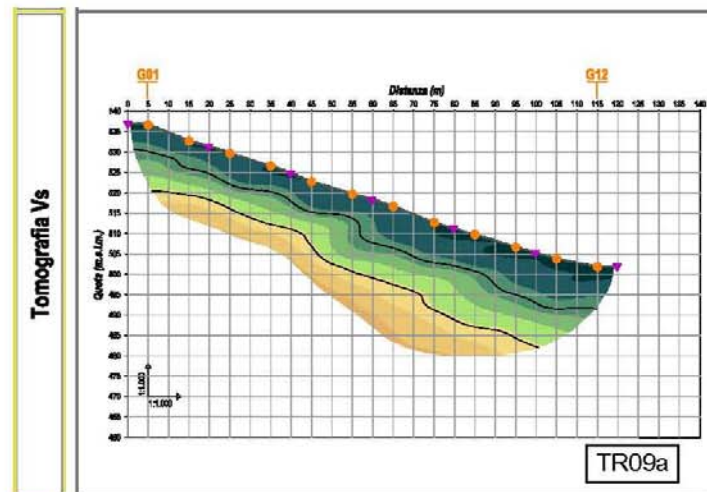
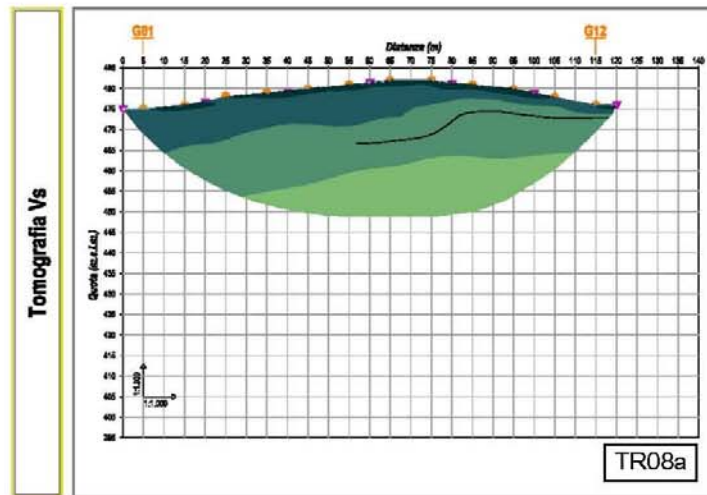
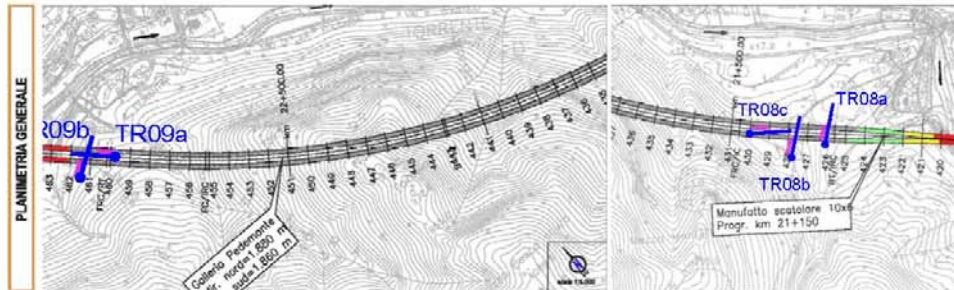
Galleria S. Pietro – Stralcio planimetrico e risultati indagine sismica a rifrazione



Galleria S. Pietro – Valutazione profondità contatto detrito/roccia e tipologia imbocco





ASPETTI APPLICATIVI	IMBOCCO SUD			IMBOCCO NORD		
Indagine sismica	Nessuna			Tr07		
Sondaggi	Nessuno			Nessuno		
Materiale in affioramento	Detrito di versante: ghiaia e ghiaietto in matrice sabbioso-limosa con qualche blocco. Spessore stimato 10 m. Possibile presenza roccia.			Detrito paleo-frana Marogna: ghiaia e blocchi in matrice sabbioso – limosa. Svatiati blocchi.		
Materiale da indagine sismica	Profondità da p.c. (m)	V _p (m/s)	V _s (m/s)	Profondità da p.c. (m)	V _p (m/s)	V _s (m/s)
Detrito	-	-	-	0-35	400-2000	50-850
Ammasso	-	-	-	≥ 35	≥ 2000	≥ 850
Problematiche	Trascurabili			Definizione andamento detrito/roccia		
Cantieristica	Difficoltosa per pendenza versante			Buona – possibili vincoli per attività cava		
Tipologia	Micropali			Pali/jet-grouting		
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>Vista panoramica frontale</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Vista panoramica laterale – Attività cava attiva</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;">  <p>Particolare del detrito di versante – Pendenza elevata versante</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Particolare del detrito paleo-frana della Marogna</p> </div> </div>						

Galleria Pedemonte – Stralcio planimetrico e risultati indagine sismica a rifrazione

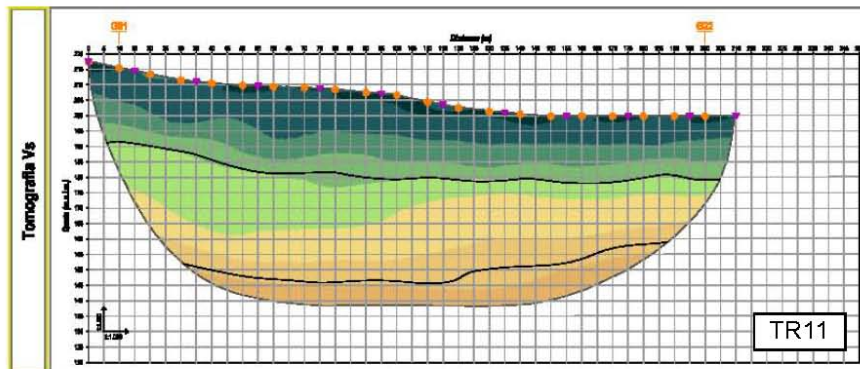
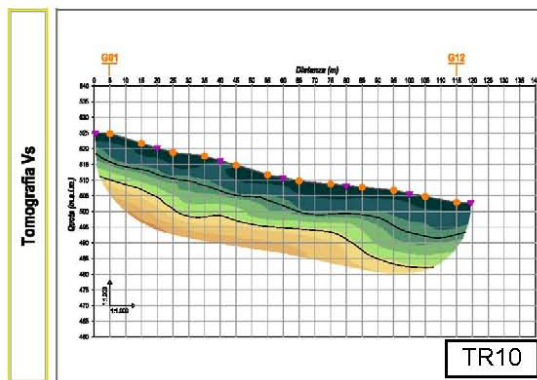
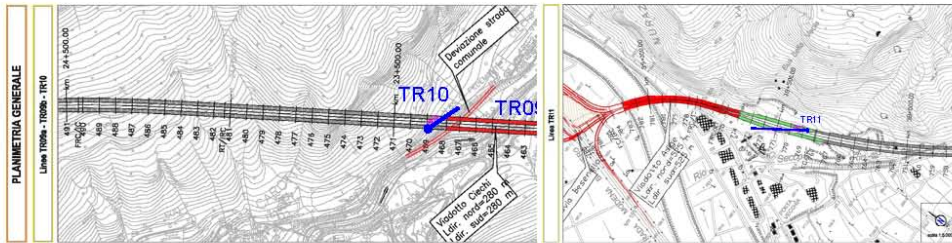


Galleria Pedemonte – Valutazione profondità contatto detrito/roccia e tipologia imbocco




ASPETTI APPLICATIVI	IMBOCCO SUD			IMBOCCO NORD		
Indagine sismica	Tr08			Tr09		
Sondaggi	Nessuno			Nessuno		
Materiale in affioramento	Detrito di versante e di conoide: ghiaia e ghiaietto in matrice sabbioso - limosa con qualche blocco.			Detrito di versante: ghiaia e ghiaietto in matrice sabbioso - limosa con qualche blocco.		
Materiale da indagine sismica	Profondità da p.c. (m)	V _p (m/s)	V _s (m/s)	Profondità da p.c. (m)	V _p (m/s)	V _s (m/s)
Detrito	0-35	400-2000	50-850	0-15	400-1800	50-850
Ammasso	≥ 35	≥ 2000	≥ 850	≥ 15	≥ 1800	≥ 850
Problematiche	Trascurabili			Definizione andamento detrito/roccia		
Cantieristica	Difficoltosa per pendenza versante e presenza abitazione civile			Difficoltosa per pendenza dei versanti		
Tipologia	Micropali/Pali			Micropali		

 <p>Vista panoramica frontale – Elevata pendenza versante</p>	 <p>Vista panoramica frontale</p>
 <p>Abitazione civile vicinanza imbocco</p>	 <p>Vista panoramica dall'alto – Elevata pendenza dei versanti</p>

Galleria Valico – Stralcio planimetrico e risultati indagine sismica a rifrazione



Galleria Valico – Valutazione profondità contatto detrito/roccia e tipologia imbocco

ASPETTI APPLICATIVI	IMBOCCO SUD			IMBOCCO NORD		
Indagine sismica	Tr10			Tr11		
Sondaggi	Nessuno			Nessuno		
Materiale in affioramento	Misto: affioramento roccioso e detrito di versante			Misto: affioramento roccioso e detrito di versante		
Materiale da indagine sismica	Profondità da p.c. (m)	V _p (m/s)	V _s (m/s)	Profondità da p.c. (m)	V _p (m/s)	V _s (m/s)
Detrito	0-12	400-1800	50-850	0-25	400-1600	50-850
Ammasso	≥ 12	≥ 1800	≥ 850	≥ 25	≥ 1600	≥ 850
Problematiche	Distacco di blocchi dalla parete rocciosa sovrastante (presenza reti paramassi)			Trascurabili		
Cantieristica	Difficoltosa per pendenza versante, presenza alveo Astico			Buona – Possibile vincolo per cava		
Tipologia	Micropali			Micropali/pali		
 <p>Vista panoramica frontale – Reti paramassi e condizione mista detrito e roccia</p>		 <p>Vista panoramica frontale – Condizione mista detrito e roccia</p>				
 <p>Vista panoramica laterale – Elevata pendenza versante</p>						