

COMMITTENTE:



DIREZIONE LAVORI:



APPALTATORE:



PROGETTAZIONE:

MANDATARIA:



MANDANTI:



IL DIRETTORE DELLA PROGETTAZIONE:

Ing. Paolo Cucino

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROV. DI TRENTO
Responsabile integrazione fra le varie prestazioni specialistiche
Dot. Paolo Cucino
ISCRIZIONE ALBO N° 2216

PROGETTO ESECUTIVO

PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"

RELAZIONE

08 - GALLERIE

G-INTERFERENZA CON A 22

INTERFERENZA TRA LA FINESTRA DI FUNES E A22

Relazione tecnica e di monitoraggio A22

APPALTATORE		SCALA:
IL DIRETTORE TECNICO 		-

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
I B O U	1 B	E	Z Z	R H	G B 0 0 0 0	0 0 5	B

Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione	M. Aganetti	18/07/2022	C. Iasiello	19/07/2022	D. Buttafoco (Dolomiti)	20/07/2022	IL PROGETTISTA P. Cucino
B	Emissione a seguito di istruttorie e interlocuzioni	S. Caponi	13/03/2023	C. Iasiello	14/03/2023	D. Buttafoco (Dolomiti)	15/03/2023	16/03/2023

File: IB0U1BEZZRHGB0000005B.docx

n. Elab.: X

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
08 - GALLERIE		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione tecnica e di monitoraggio A22		IBOU	1BEZZ	RH	GB0000005	A	2 di 88

SOMMARIO

1. PREMESSA.....	5
2. SCOPO E CONTENUTI DEL DOCUMENTO	6
3. NORMATIVA, ELABORATI DI RIFERIMENTO E SOFTWARE UTILIZZATI.....	7
3.1 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	7
3.2 ELABORATI DI RIFERIMENTO.....	7
3.3 SOFTWARE IMPIEGATI	7
4. DESCRIZIONE DELL’OPERA	8
4.1 IL TRACCIATO E LE OPERE IN SOTTERRANEO	8
4.2 LIMITI DI DEFORMAZIONE.....	9
4.3 RILEVATO AUTOSTRADALE A22.....	9
4.4 METODOLOGIA DI SCAVO MEDIANTE MACCHINA DUAL-MODE.....	12
5. ANALISI MULTI-CRITERIO DELLA SOLUZIONE DI PROGETTO ESECUTIVO.....	14
5.1 ANALISI MULTI-CRITERIA (AMC).....	14
5.2 VALUTAZIONE E MITIGAZIONE DEI RISCHI.....	19
5.2.1 Criterio R1: Stabilità del fronte	19
5.2.2 Criterio R2 : Sviluppo deformazioni dello scavo.....	20
5.2.3 Criterio R3 : Sviluppo deformazioni sulla sede autostradale	21
6. MODELLO GEOLOGICO-GEOTECNICO.....	22
6.1 MODELLO GEOLOGICO-GEOTECNICO DEL PROGETTO DEFINITIVO.....	22
6.2 INDAGINI ESEGUITE.....	22
6.3 SCHEMI GEOTECNICI DI CALCOLO.....	23
6.4 CARATTERISTICHE GEOTECNICHE	23
6.5 MODELLO GEOTECNICO	27
7. FASE CONOSCITIVA.....	29
7.1 PARAMETRI GEOTECNICI IMPIEGATI NELLE ANALISI	29
8. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI STRUTTURALI	30
8.1 TIPOLOGIA DI ELEMENTI DI RIVESTIMENTO	31
8.2 COPRIFERRO.....	31
9. CARATTERISTICHE TBM EPB DUAL-MODE.....	32

APPALTAZIONE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Relazione tecnica e di monitoraggio A22	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GB0000005	REV. A	FOGLIO. 3 di 88

10. FASE DI DIAGNOSI	33
10.1.1Analisi con il metodo dell'equilibrio limite.....	33
10.1.2Risultati delle analisi di stabilità	35
11. ANALISI E VERIFICA DELLE SEZIONI CARATTERISTICHE	36
11.1 CRITERIO DI MODELLAZIONE	36
11.2 CARICO SIMMETRICO	38
11.2.1Interazione galleria - terreno	38
11.2.2Verifiche	41
11.3 CARICO ASIMMETRICO.....	49
11.3.1Interazione galleria - terreno	49
11.3.2Verifiche	52
12. PIANO DEL MONITORAGGIO	59
12.1 METODOLOGIA.....	59
12.2 DEFINIZIONE DEL SISTEMA DI MONITORAGGIO	60
12.2.1Misure topografiche.....	61
12.2.2Array di sensori mems orizzontali	63
12.2.3Anello strumentato con barrette estensimetriche	63
12.3 FREQUENZA DI MISURAZIONE	64
12.4 ACQUISIZIONE, TRASMISSIONE, GESTIONE E ARCHIVIAZIONE DATI	64
12.5 RUOLI E FLUSSO DELLE INFORMAZIONI	64
13. DEFINIZIONE DEI VALORI SOGLIA E RELATIVI INTERVENTI	66
13.1 DEFINIZIONE DISTORSIONE ANGOLARE.....	66
13.2 DEFINIZIONE DEI VALORI DI SOGLIA	67
13.3 INTERVENTI E CONTROMISURE.....	67
14. ANALISI DEI CEDIMENTI	68
14.1 CRITERIO DI MODELLAZIONE	68
14.2 SEZIONE DI ANALISI	68
14.3 ANALISI DELLE DISTORSIONI ANGOLARI	69
15. ANALISI DELLE PRESSIONI AL FRONTE.....	72
15.1 DEFINIZIONE DELLA PROCEDURA DI AVANZAMENTO	76
16. INTERVENTO DI CONSOLIDAMENTO.....	76

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
08 - GALLERIE		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione tecnica e di monitoraggio A22		IBOU	1BEZZ	RH	GB0000005	A	4 di 88

17. CONCLUSIONI	78
18. ALLEGATI.....	79
18.1 OUTPUT PLAXIS 2D.....	79
18.1.1Galleria naturale Finestra di Funes – Sezione carichi simmetrici.....	79
18.1.2Galleria naturale Finestra di Funes – Sezione carichi asimmetrici.....	83
18.2 ANALISI DEI CEDIMENTI	87
18.2.1Galleria naturale Finestra di Funes	87

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione tecnica e di monitoraggio A22	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GB0000005	REV. A	FOGLIO. 5 di 88

1. PREMESSA

Oggetto della presente relazione sono le analisi delle problematiche progettuali e la verifica degli interventi previsti per l'esecuzione della Finestra di Funes nel tratto di sottoattraversamento dell'Autostrada A22, nell'ambito del progetto della linea Fortezza – Ponte Gardena Lotto 1 – Finestra Funes.

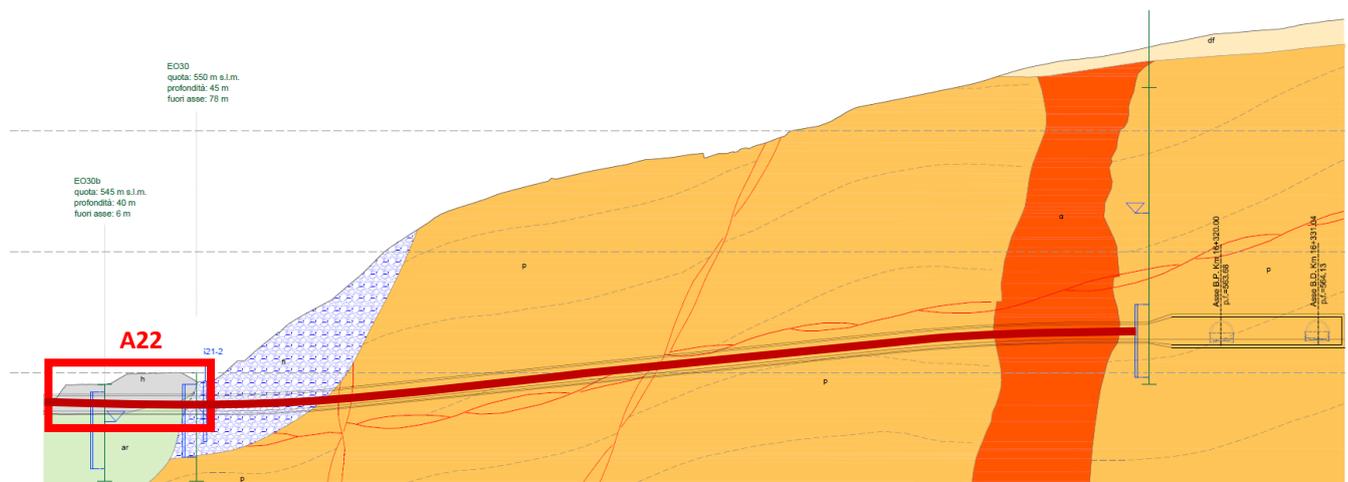


Fig. 1-1 Profilo Geotecnico di Funes

Inoltre, nel presente elaborato, vengono redatte le analisi delle problematiche deformative e delle attività di monitoraggio previste per l'esecuzione della Finestra di Funes nel tratto di sottoattraversamento dell'Autostrada A22.

Il piano di monitoraggio tiene conto anche dei calcoli dei cedimenti attesi nel corso dell'esecuzione dei lavori in corrispondenza della infrastruttura A22. La problematica è stata valutata con particolare attenzione ed i calcoli sono stati effettuati in base alle effettive condizioni e parametri del terreno. I cedimenti attesi sono stati determinati attraverso calcoli ad elementi finiti bidimensionali.

Saranno inoltre proposte le soglie limite e le contromisure da attivare al loro raggiungimento definite in Progetto.

Nella presente relazione vengono definite nel dettaglio le tipologie strumentali e dimensionato opportunamente il sistema di monitoraggio geotecnico – strutturale. Tale sistema consentirà di tenere sotto continuo controllo gli effetti tenso – deformativi causati dalle lavorazioni sul terreno e sulle strutture, in modo da poter garantire l'assenza di danni nelle preesistenze, ovvero assicurare la tempestiva messa in opera delle contromisure che si dovessero rendere necessarie entro i limiti previsti.

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	PROGETTO ESECUTIVO					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST			
	M Ingegneria					
08 - GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione tecnica e di monitoraggio A22	IBOU	1BEZZ	RH	GB0000005	A	6 di 88

2. SCOPO E CONTENUTI DEL DOCUMENTO

Nella presente relazione si affrontano le problematiche progettuali connesse alla realizzazione delle gallerie della linea ferroviaria Fortezza – Ponte Gardena – Lotto 1 con scavo meccanizzato nel tratto di sottoattraversamento dell’Autostrada A22.

La progettazione delle opere in sotterraneo, condotta secondo il metodo ADECO-RS Rif. [3] si è articolata nelle seguenti fasi:

1. Fase conoscitiva: è finalizzata allo studio e all’analisi del contesto geologico e geotecnico in cui sarà realizzata la galleria; i risultati dello studio geologico sono descritti nella specifica Relazione Geologica e Idrogeologica a cui si rimanda per l’illustrazione del modello geologico; la sintesi dello studio geotecnico con la definizione del modello geotecnico di sottosuolo e dei parametri di progetto è illustrata nel Capitolo 6;
2. Fase di diagnosi: si esegue la valutazione della risposta deformativa dell’ammasso allo scavo in assenza di interventi di stabilizzazione per la determinazione delle categorie di comportamento;
3. Fase di terapia: sulla base dei risultati delle precedenti fasi progettuali, si individuano le modalità di scavo e la tipologia di macchinario da utilizzarsi per realizzare l’opera in condizioni di sicurezza. Le soluzioni progettuali sono state analizzate per verificarne l’adeguatezza: nel Capitolo 11 sono illustrati metodi e risultati delle analisi condotte per la verifica della stabilità globale della cavità, per il dimensionamento/verifica dei rivestimenti, nelle diverse fasi costruttive e in condizioni di esercizio.
4. Fase di verifica e messa a punto: il progetto è completato dal piano di monitoraggio da predisporre ed attuare nella fase realizzativa. Nel piano di monitoraggio sono individuati i valori delle grandezze fisiche a cui riferirsi in corso d’opera per controllare la risposta deformativa dell’ammasso al procedere dello scavo, verificare la rispondenza con le previsioni progettuali e mettere a punto le soluzioni progettuali nell’ambito delle variabilità previste in progetto.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione tecnica e di monitoraggio A22	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GB0000005	REV. A	FOGLIO. 7 di 88

3. NORMATIVA, ELABORATI DI RIFERIMENTO E SOFTWARE UTILIZZATI

3.1 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

- [1] "Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni (NTC 2008)" - DM Infrastrutture 14.01.2008.
- [2] Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008 costruzioni e dei carichi e sovraccarichi – C.S.LL.PP. 02.02.2009.
- [3] Lunardi P. (2006). Progetto e Costruzione di Gallerie: Analisi delle deformazioni controllate nelle rocce e nei suoli - ADECO-RS – (Hoepli Ed.);
- [4] Bernaud D., Benamar I., Rousset G. (1994). La "nouvelle methode implicite" pour le calcul des tunnel dans les milieux elastoplastiques et viscoplastiques – Revue Francaise de Geotechnique, N° 68;
- [5] Rousset G. (1992). La « nouvelle methode implicite » pour l'étude du dimensionnement des tunnels – Revue Francaise de Geotechnique, N° 60;
- [6] G. Anagnostou e K. Kovari (1996). Face stability conditions with Earth – Pressure – Balanced Shileds;
- [7] Tamez E. (1984) "Estabilidad de tuneles excavados en suelos" - Mexican Engineering Academy;
- [8] Wang J.N., (1993) - Seismic design of tunnel – A simple state of the art design approach. Parson Brinckerhoff Quade & Douglas, Inc., New York, Monograph 7
- [9] Gallerie e grandi opere sotterranee – Anno XXIX - n. 1 -gennaio-marzo 2007
- [10] Perforare – n. 23 febbraio 2022

3.2 ELABORATI DI RIFERIMENTO

- [11] IBOU1BEZZRHGN0000003 "Relazione di calcolo - Scavo Meccanizzato - Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo B e C";
- [12] IBOU1BEZZPZGB0000012 "08-GALLERIE – G-INTERFERENZA CON A22 – INTERFERENZA TRA LA FINESTRA DI FUNES E A22 – Planimetria e sezioni monitoraggio";
- [13] Prove di laboratorio sondaggi (TERRE: EO14-EO29-EO30-EO30b-EO32-EO36-EO41-EO50-EO60. ROCCE: EO3-EO7-EO13-EO14-EO19-EO30-EO36-EO41-EP2-EP3-EP6-EP8-EP9) VOLUME 1 IBL11BD69PRGE0105;
- [14] Prove di laboratorio sondaggi (TERRE: EO14-EO29-EO30-EO30b-EO32-EO36-EO41-EO50-EO60. ROCCE: EO3-EO7-EO13-EO14-EO19-EO30-EO36-EO41-EP2-EP3-EP6-EP8-EP9) VOLUME2 IBL11BD69PRGE0105;
- [15] INDAGINI GEOFISICHE – ZONA FUNES Relazione generale: prove sismiche HVSR; MASW/Re.Mi: Res5, Res6, Res18, Res19, Res20; Down-hole HO41, IBL11BD69IGGE0105010A.

3.3 SOFTWARE IMPIEGATI

I software utilizzati per la progettazione sono:

- Plaxis 2D versione 21.01.00.479 Bentley Systems Incorporated.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione tecnica e di monitoraggio A22	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GB0000005	REV. A	FOGLIO. 8 di 88

4. DESCRIZIONE DELL'OPERA

4.1 IL TRACCIATO E LE OPERE IN SOTTERRANEO

La Finestra Funes, da realizzarsi con metodo di scavo meccanizzato, è una galleria costruttiva che si innesta in corrispondenza della canna dispari della Galleria Gardena al km 16+166 ed è propedeutica ai lavori di scavo della galleria di linea. In esercizio, la finestra verrà utilizzata come uscita di emergenza.

La Finestra di Funes ha una lunghezza complessiva di 545.40 m con una pendenza media pari circa al 10%.

Di seguito sono elencate le progressive di riferimento dell'opera:

- Da pk. 0+00.00 a pk. 0+73.45 (L= 73.45 m) galleria naturale scavo meccanizzato sottoattraversamento rilevato A22;
- Da pk. 0+73.45 a pk. 0+465.00 (L= 391.55 m) galleria naturale scavo meccanizzato.
- Da pk 0+465.00 a pk 0+545.40 (L= 80.40 m) galleria di innesto.



Figura 4-1: Key - Plan

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
08 - GALLERIE		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione tecnica e di monitoraggio A22		IBOU	1BEZZ	RH	GB0000005	A	9 di 88

4.2 LIMITI DI DEFORMAZIONE

Per il monitoraggio dell'opera autostradale, sulla base di progetti simili internazionali, viene individuato il seguente parametro geometrico per la verifica della qualità geometrica dell'Autostrada del Brennero A22 nel tratto di sottoattraversamento da parte della galleria naturale Finestra di Funes:

- Cambiamento della pendenza longitudinale/distorsione angolare

Per i valori di soglia delle distorsioni angolari, si faccia riferimento ai valori di avviso, di attenzione e di allarme dei parametri monitorati riportati nella tabella seguente:

Parametri monitorati	Cambiamento livello longitudinale/distorsione angolare
Limite di avviso	0.833‰ 1:1200
Limite di allerta	1.250‰ 1:800
Limite di allarme	1.667‰ 1:600

Tabella 4-1: Monitoraggio rilevato A22, valori di avviso, di allerta e di allarme parametri monitorati.

Tali valori verranno registrati mediante un apposito sistema di monitoraggio, composto da punti di misura tridimensionale sul rilevato autostradale con metodologia "targetless" e picchetti topografici in campo aperto.

4.3 RILEVATO AUTOSTRADALE A22

La finestra di Funes sottoattraversa, in corrispondenza dell'imbocco della TBM il rilevato autostradale A22 con una copertura media di circa 9 m.

Carico permanente

peso del pacchetto autostradale	$\gamma=23 \text{ kN/m}^3$
spessore	$s=0.84 \text{ m}$
pressione uniformemente distribuita	$G=19.32 \text{ kPa}$

Carico variabile da traffico stradale

Secondo quanto previsto dalle NTC §5.1.3.3.3 è stato considerato lo schema di carico 1, costituito da carichi concentrati su due assi in tandem, applicati su impronte di pneumatico di forma quadrata e lato 0,40 m, e da carichi uniformemente distribuiti.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione tecnica e di monitoraggio A22	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GB0000005	REV. A	FOGLIO. 10 di 88

Tabella 5.1.II - Intensità dei carichi Q_{ik} e q_{ik} per le diverse corsie

Posizione	Carico asse Q_{ik} [kN]	q_{ik} [kN/m ²]
Corsia Numero 1	300	9,00
Corsia Numero 2	200	2,50
Corsia Numero 3	100	2,50
Altre corsie	0,00	2,50

Figura 4-2: Intensità dei carichi dei ponti

Ovvero:

carico uniformemente distribuito: $q_{ik} = 9 \text{ kN/m}^2$

carico concentrato su due assi tandem: $Q_{ik} = 300 \times 2 = 600 \text{ kN}$

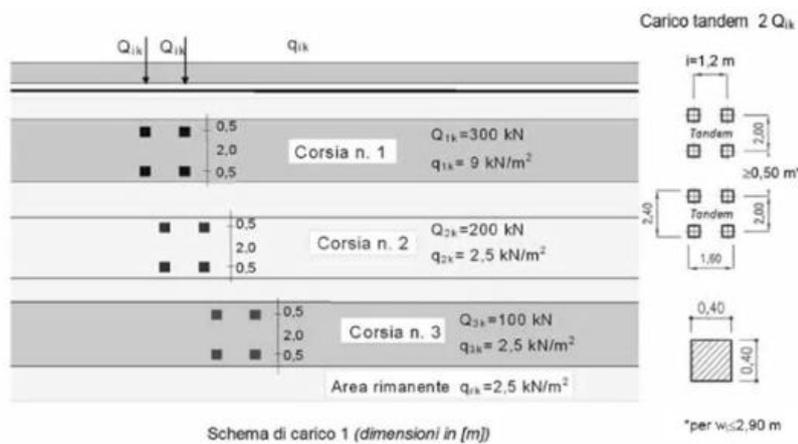


Figura 4-3: Intensità dei carichi dei ponti

La larghezza di diffusione dei carichi all'interno del pacchetto autostradale e fino al piano di regolamento del rilevato autostradale è stata valutata assumendo una diffusione pari a 45°, avendo cura di limitarne l'estensione in direzione ortogonale all'asse stradale a 3.0 m che corrispondono alla larghezza della carreggiata:

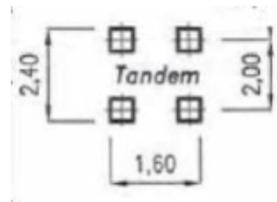


Figura 4-4: Assi tandem

B=1.60 m

L=2.40 m

Diffusione a 45° nel pacchetto autostradale:

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione tecnica e di monitoraggio A22	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GB0000005	REV. A	FOGLIO. 11 di 88

$$B_{diff}=1.6+0.84+0.84= 3.28 \text{ m}$$

$$L_{diff}=2.4+0.84+0.84= 4.08 \text{ m da limitare a 3.0}$$

$$L'_{diff}=3.0 \text{ m}$$

Conseguentemente l'area d'impronta su cui applicare il carico è:

$$A=3.28 \times 3.0 =9.84 \text{ m}$$

La pressione da carico variabile è:

$$q_f=600/9.84=61 \text{ kPa}$$

applicata su una larghezza di 3.28 m

I due schemi di carico applicati al modello Plaxis sono dunque i seguenti:

Schema A: carico variabile da traffico applicato in asse galleria (carico simmetrico)

carico uniformemente distribuito permanente: $p=19.32 \text{ kPa}$

carico uniformemente distribuito variabile da traffico: $q=9.0 \text{ kPa}$

carico variabile da traffico applicato su $B_{diff}=3.28 \text{ m}$ $Q_{diff}=61 \text{ kPa}$

Schema B: carico variabile da traffico applicato a lato dell'asse galleria (carico asimmetrico)

carico uniformemente distribuito permanente: $p=19.32 \text{ kPa}$

carico uniformemente distribuito variabile da traffico: $q=9.0 \text{ kPa}$

carico variabile da traffico applicato su $B_{diff}=3.28 \text{ m}$ $Q_{diff}=61 \text{ kPa}$

Schema A:

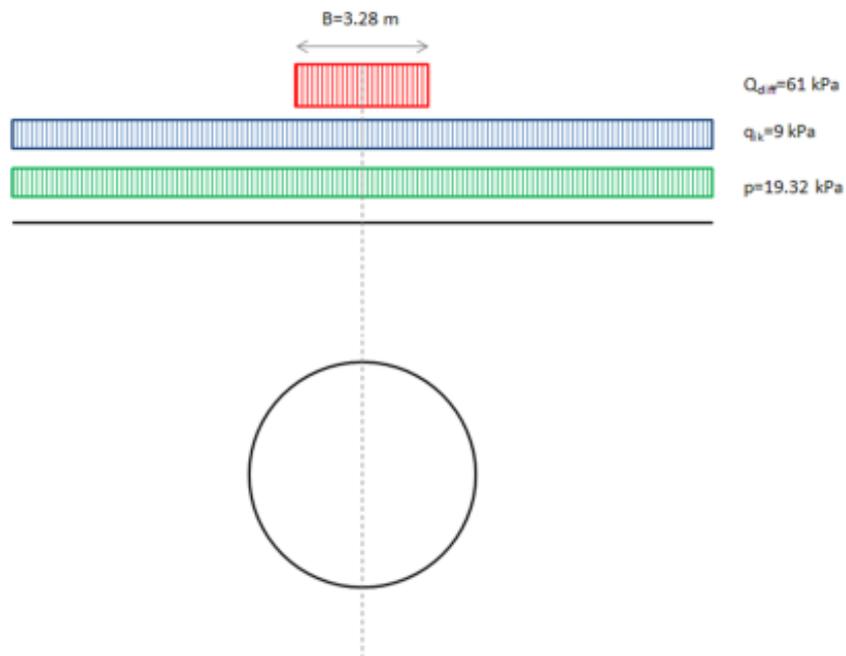


Figura 4-5: Schema di carico A: carichi simmetrici

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione tecnica e di monitoraggio A22	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GB0000005	REV. A	FOGLIO. 12 di 88

Schema B:

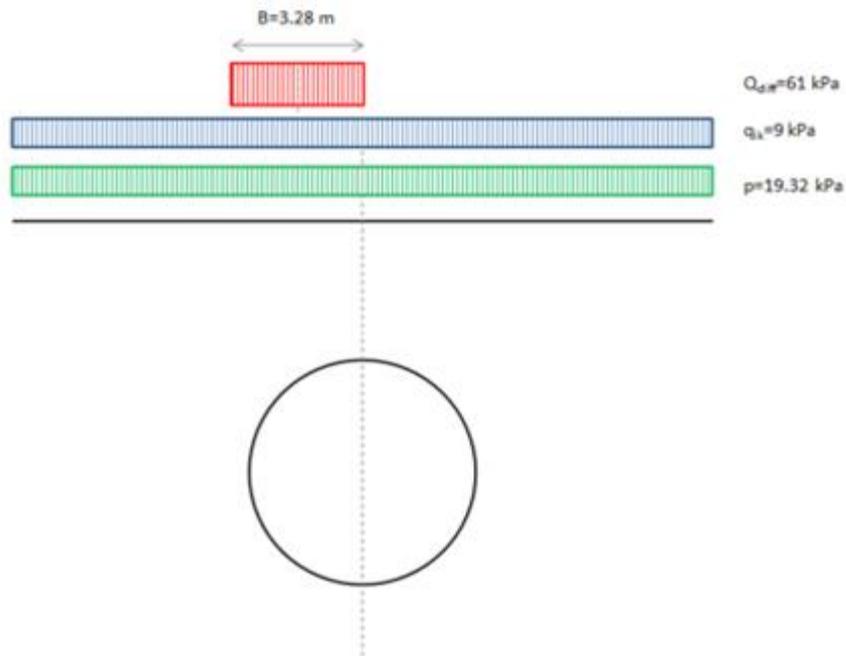


Figura 4-6: Schema di carico A: carichi asimmetrici

4.4 METODOLOGIA DI SCAVO MEDIANTE MACCHINA DUAL-MODE

La macchina utilizzata per lo scavo della Finestra di Funes è un EPB Dual-mode, la quale è attrezzata per eseguire interventi propeedeutici per garantire la stabilità del fronte.

In mezzi in cui i fronti di scavo risultano instabili, infatti, vengono sostenuti durante l'avanzamento della macchina EPB Dual-mode attraverso il materiale scavato stesso, opportunamente condizionato, che è mantenuto in pressione all'interno della camera di scavo attraverso i martinetti di spinta dello scudo.

Nella macchina EPB Dual-mode una parete stagna separa la galleria dalla parte anteriore dello scudo dove agisce la testa di scavo, creando la cosiddetta "camera di scavo". Si tratta in sostanza di provocare un "accumulo" di materiale nella camera di scavo controllandone l'evacuazione, e la "pressione di terra" che ne consegue.

Il materiale di risulta viene estratto dalla camera di scavo mediante una vite senza fine o coclea, che rappresenta anche il mezzo di regolazione e controllo della quantità di materiale estratto. Le terre e rocce scavate vengono, nella fase di scavo, condizionate con degli additivi che rendono omogeneo il materiale al fine di migliorare la sua pastosità e omogeneità per gestire la pressione all'interno della camera e per utilizzare correttamente la coclea durante l'evacuazione.

In sede di progetto sono stati valutati i parametri operativi della TBM in funzione degli ammassi attraversati, definendo in particolare il valore delle pressioni da mantenere al fronte, in camera di scavo, ed i valori di spinta da esercitare sui concetti per garantire l'avanzamento della macchina.

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" PROGETTO ESECUTIVO					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
08 - GALLERIE Relazione tecnica e di monitoraggio A22	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GB0000005	REV. A	FOGLIO. 13 di 88

Nella parte posteriore dello scudo si procede al montaggio del rivestimento in conci prefabbricati e all'intasamento del "vuoto anulare" tra l'estradosso dei conci e la superficie scavata.

Si evidenzia che il progetto prevede la posa in opera di un sistema di monitoraggio e verifica dei principali parametri operativi della macchina, nonché strumentazione di controllo per la verifica del comportamento tenso-deformativo dell'anello di rivestimento.

In alcune condizioni particolari, per garantire la stabilità del cavo e limitare i cedimenti durante l'avanzamento, è necessario introdurre una serie di contromisure come quelle di seguito elencate:

- Pressione al fronte: regolazione della pressione al fronte utilizzando il materiale già scavato attraverso il controllo dell'estrazione dello smarino da parte della coclea.
- Riempimento e pressurizzazione del gap tra lo scavo e lo scudo: il gap presente tra la sezione di scavo ed lo scudo risulta essere la causa primaria di assestamenti successivi allo scavo. Per superare questo problema e limitare i cedimenti per il tunnel scavato in EPB Dual-mode a bassa profondità in terreni non coesivi è possibile procedere attraverso l'iniezione di una miscela bentonitica attraverso fori radiali attraverso lo scudo. Le celle di pressione sullo scudo permettono di monitorare l'efficacia dell'intervento stesso;
- Aumento pressione di coda: un ulteriore causa di cedimenti che seguono il passaggio dello scudo della TBM e dovuto al gap-anulare tra l'anello prefabbricato posto in opera e il terreno. Aumentando la pressione di coda è possibile minimizzare ulteriormente gli effetti indotti;

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione tecnica e di monitoraggio A22	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GB0000005	REV. A	FOGLIO. 14 di 88

5. ANALISI MULTI-CRITERIO DELLA SOLUZIONE DI PROGETTO ESECUTIVO

La scelta della soluzione di Progetto Esecutivo è stata condotta dopo l'attenta analisi e rivalutazione del Progetto Definitivo Offerto (PDO) e delle locali condizioni geometriche, di cantiere, geologiche, geotecniche e dei vincoli al contorno che intervengono nella definizione delle soluzioni migliorative.

L'approccio adottato per la valutazione delle scelte progettuali al fine del *superamento in sicurezza* delle interferenze e per il contenimento degli eventuali effetti indotti ha previsto:

- la definizione delle possibili soluzioni alternative al fine di mitigare gli effetti indotti dallo scavo, che sono state confrontate tra di loro con un'**analisi multi-criterio (AMC)** mediante un approccio qualitativo. Sono stati presi in considerazione gli effetti globali delle scelte progettuali nei confronti di più aspetti afferenti a differenti problematiche e determinando una scala di priorità fra gli aspetti analizzati; in conclusione si è giunti alla definizione della migliore soluzione progettuale.
- la **valutazione di dettaglio dei rischi** associati, che potrà portare anche all'applicazione di accoppiamenti fra le varie soluzioni al fine della riduzione del rischio residuo.

Quanto sopra ha condotto alla selezione di una soluzione migliorativa per il *superamento in sicurezza* delle interferenze, in modo da ridurre i rischi che accompagnano sempre scavi in sotterraneo in condizioni complesse come quelle in esame, caratterizzate da scavi in materiali incoerenti o mezzi fratturati, nei confronti di una delle principali vie di comunicazione con il nord Europa in un contesto che non riuscirebbe ad assorbire il traffico sulla viabilità ordinaria.

5.1 ANALISI MULTI-CRITERIA (AMC)

Per la redazione dell'analisi multi-criterio sopra menzionata si prevedono le seguenti fasi:

- individuazione dell'oggetto di valutazione (soluzione progettuali di intervento, fasizzazioni, ecc.);
- definizione degli obiettivi da raggiungere (riduzione interferenze, limitazione disturbo in fase costruttiva, minimizzazione effetti indotti in fase di scavo sulle preesistenze);
- individuazione di un set di criteri di valutazione;
- valorizzazione di ogni proposta con dei punteggi assegnati in maniera oggettiva sulla base delle esperienze pregresse;
- definizione del sistema di pesi, ponderazioni;
- analisi dell'impatto delle azioni rispetto ai singoli criteri;
- aggregazione dei punteggi per avere un valore complessivo di confronto.

Per le problematiche in esame la valutazione sintetica della soluzione progettuale preferibile per le zone di sottopasso dell'A22 è stata condotta sulla base dei seguenti macro-parametri:

- fattibilità tecnica e pratica dell'esecuzione della soluzione;
- disponibilità ed accessibilità alle aree;
- efficacia intrinseca dell'intervento, in modo da valutare se l'intervento ha lo scopo di ridurre la generazione intrinseca di deformazioni alla sorgente oppure agisca per la mitigazione degli effetti indotti;
- effetti di disturbo in fase di realizzazione;
- efficacia dell'intervento nei confronti della limitazione delle subsidenze indotte durante lo scavo.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione tecnica e di monitoraggio A22	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GB0000005	REV. A	FOGLIO. 15 di 88

Nella tabella seguente vengono definiti i criteri adottati per la AMC per il confronto tra la soluzione di PE e PDO. I punteggi per ciascuna condizione vengono assegnati sulla base dell'esperienza dell'impresa e per condizioni simili ai casi in esame. Per ciascuna condizione è associato un punteggio pari a zero per uno scenario di base e sulla base di questo vengono definiti i punteggi delle altre condizioni (positivo se migliorativo, negativo se peggiorativo).

CRITERIO	CONDIZIONE ASSOCIATA	PUNTEGGIO
FATTIBILITA' TECNICA DELL'ESECUZIONE DELLA SOLUZIONE	ESECUZIONE CHE RICHIEDE EQUIPAGGIAMENTI ESTREMAMENTE COMPLESSI, CHE NON RISULTA USUALE NELLA PRATICA REALIZZATIVA.	+1
	ESECUZIONE COMPLESSA, CHE NON RISULTA USUALE NELLA PRATICA REALIZZATIVA, MA NON RICHIEDE PARTICOLARI EQUIPAGGIAMENTI	+5
	ESECUZIONE COMPLESSA, MA CHE RISULTA USUALE NELLA PRATICA REALIZZATIVA	+5
	ESECUZIONE STANDARD / DI COMUNE REALIZZABILITÀ	0
	MINORE IMPEGNO RICHIESTO RISPETTO ALL'USUALE	+1
DISPONIBILITA' ED ACCESSIBILITA' ALLE AREE	INTERFERENZA CON STRUTTURE DI TERZI	0
	ACCESSO IN UN'AREA NON PREVISTA FRA QUELLE A DISPOSIZIONE O DOVE SONO PREVISTE LAVORAZIONI	0
	IMPEGNO AREE DISPONIBILI	0
EFFICACIA INTRINSECA DELL'INTERVENTO	INTERVENTO DI MITIGAZIONE CONTESTUALE ALLA REALIZZAZIONE DELLO SCAVO (IN AVANZAMENTO)	0
	INTERVENTO PRELIMINARE ALLA REALIZZAZIONE DELLO SCAVO, CON MITIGAZIONE DEGLI EFFETTI INDOTTI DALLA DEFORMAZIONE AL CONTORNO DELLO SCAVO	+1
	INTERVENTO PRELIMINARE ALLA REALIZZAZIONE DELLO SCAVO, CON MITIGAZIONE DEGLI EFFETTI INDOTTI DALLA DEFORMAZIONE AL CONTORNO DELLO SCAVO E CON POSSIBILITÀ DI CORREZIONI (ES. POSSIBILITÀ DI RE-INIEZIONE)	+2
	INTERVENTO PRELIMINARE ALLA REALIZZAZIONE DELLO SCAVO, AL COMPLETO CONTORNO DELLO SCAVO, CON MITIGAZIONE DIRETTA DELLA DEFORMAZIONE	+3
	INTERVENTO PRELIMINARE COMBINATO AD UN INTERVENTO DI MITIGAZIONE CONTESTUALE ALLA REALIZZAZIONE DELLO SCAVO MEDIANTE APPLICAZIONE DI ELEMENTI AD ELEVATA RESISTENZA CHE GARANTISCONO UNA COMPROVATA STABILITÀ DEL CAVO MITIGANDO GLIE EFFETTI GENERATI DALLO SCAVO IN SOTTERRANEO	+10
EFFETTI DI DISTURBO IN FASE DI REALIZZAZIONE	ELEVATO DISTURBO, CON POSSIBILITA' DI EFFETTI INCONTROLLABILI	0
	LIMITATO DISTURBO, ENTRO LIVELLI ACCETTABILI	+1
	DISTURBO TRASCURABILE	0
EFFICACIA DELL'INTERVENTO NEI CONFRONTI DELLA LIMITAZIONE DELLE SUBSIDENZE INDOTTE DURANTE LO SCAVO	SCARSA EFFICACIA	0
	LIMITATA EFFICACIA	+1
	COMPROVATA EFFICACIA DEL CONSOLIDAMENTO	+3
	APPLICAZIONE INTERVENTI CHE GARANTISCONO UNA COMPROVATA EFFICACIA DELL'INTERVENTO ED UNA ELEVATA AFFIDABILITÀ	+5

Tabella 5-1 – definizione dei criteri adottati per l'Analisi Multi-Criterio

Nel seguito vengono illustrate le alternative progettuali analizzate mediante l'Analisi Multi-Criteria illustrando preliminarmente i vantaggi e gli svantaggi di ciascuna soluzione. Sono state poste a confronto la soluzione di PD prevista a base gara (soluzione 0) con la soluzione offerta in PDO (soluzione 7 e 8) con la

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO				
08 - GALLERIE Relazione tecnica e di monitoraggio A22	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GB0000005	REV. A	FOGLIO. 16 di 88

soluzione di PE (soluzione 9 e 10) che prevedono interventi di consolidamento del terreno e lo scavo mediante EPB Dual-mode.

2.4 - Finestra di Funes. Analisi Multi Criteria (AMC)

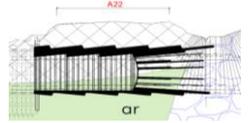
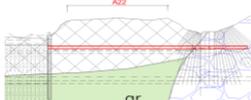
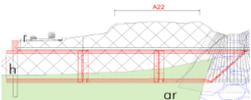
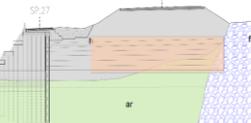
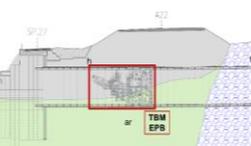
ID	DESCRIZIONE	SCHEMA	VANTAGGI	SVANTAGGI
0	Soluzione PD con scavo a foro cieco con consolidamenti al contorno mediante colonne JG (sezione tipo C1bis)		- materiale ad alta resistenza al contorno dello scavo	- limitato volume di terreno migliorato; - l'intervento JG genera azioni dinamiche che tendono a riassetare i granuli sabbiosi, con nascita di subsidenze; - generazione di preconvergenze al fronte; - non si esclude la possibilità di fornelli.
7	Soluzione POD intervento di irrigidimento del rilevato autostradale mediante elementi strutturali tubolari rigidi, mediante il sistema Symmetrix, cui segue lo scavo in sotterraneo della galleria		- gli elementi strutturali tubolari forniscono rigidità all'area sottostante il rilevato con riduzione degli effetti deformativi per un'area limitata di terreno	- limitato volume di terreno migliorato; - l'intervento genera azioni dinamiche che tendono a riassetare i granuli sabbiosi, con nascita di subsidenze; - non si esclude la possibilità di fornelli.
8	Soluzione POD scavo mediante tunnel jacking a spinta al di sotto della sede autostradale. I conci prefabbricati in C.A. del rivestimento inale del tunnel vengono spinti al di sotto del rilevato contemporaneamente all'esecuzione dello scavo		- industrializzazione del processo di scavo - installazione del rivestimento definitivo a distanza ravvicinata dallo scavo - rapidità di esecuzione e riduzione dei tempi di interferenza	- l'intervento genera azioni dinamiche che tendono a riassetare i granuli sabbiosi, con nascita di subsidenze
9	Soluzione PE intervento di consolidamento al contorno dello scavo (intervento a capannad arco) mediante iniezioni cementizie teleguidate con successivo scavo TBM		- spessa zona con materiale migliorato al contorno dello scavo, con importante riduzione convergenze ed effetti deformativi indotti in superficie; - limitazione volume perso al fronte e quindi di preconvergenza	(nessuna controindicazione particolare)
10	Soluzione PE scavo meccanizzato con TBM - EPB con applicazione di pressione al fronte e sugli scudi		- industrializzazione del processo di scavo - controllo in tempo reale dei parametri di scavo che governano i cedimenti - applicazione costante di pressione al fronte e al contorno - installazione del rivestimento definitivo a distanza ravvicinata dallo scavo - rapidità di esecuzione e riduzione dei tempi di interferenza	- fase di cantierizzazione iniziale (fattore non significativo per l'interferenza con A22)

Tabella 5-2: definizione dei criteri adottati per l'Analisi Multi-Criterio

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" PROGETTO ESECUTIVO
PROGETTAZIONE:		
Mandataria:	Mandanti:	
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	
08 - GALLERIE Relazione tecnica e di monitoraggio A22		COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO. IBOU 1BEZZ RH GB0000005 A 17 di 88

2.4 - Finestra di Funes. Analisi Multi Criteria (AMC)

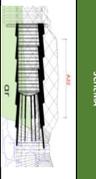
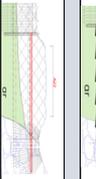
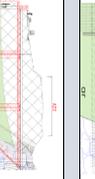
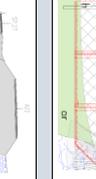
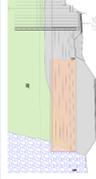
ID	ATTIVITÀ	DESCRIZIONE	SCHEMA	PATRIBILTÀ - TECNICA	ACCESSIBILITÀ ALLE ARTE	EFFICACIA VERIFICATA DEL VOTO (V)	EFFETTI DI DISTURBO IN FASE DI REALIZZAZIONE	EFFICACIA DELL'INTERVENTO
0	PROPOSTA A MARCE DI GARA	SCAVO IN SOTTERRANEO A FONTO CIECO CON CONSOLIDAMENTO AL CONTORNO AL PERIMETRO DI SOSTEGNO (SOSTEGNO 1/2/3)		ESECUZIONI AFFERENTI AD UNA SEZIONE DI TIPO RESISTENTE CON IMPERNO TECNICO E TRONCATE SUPERFICIALI MA CON COMPLETA REALIZZAZIONE	NON RICHIEDE ACCESSO ALLE ARTE ESTERNE	INTERVENTO IN AMPIAMENTO DURANTE L'ESecuzione DELLO SCAVO	L'INTERVENTO LE AL CONTORNO PER IL RINFORZO E IL TRONCAMENTO CON EFFETTI DI SOSTENENZA ANCHE IN SUPERFICIE. NEI CONTORNI DI SOSTEGNO LA MOTIVAZIONE DI RIBOTTA AMPLIFICA IL PROBLEMA	L'INTERVENTO HA UNA ESTERNOE LUNTA AL CONTORNO E HANNO EFFETTI PER LA PREVENZIONE DI RIBOTTI DAL ESTERNOE E DEFORMAZIONE DEL FRONTE
7	ESECUZIONI DI UNO SCAVO SOTTO LA PROTEZIONE DI ELEMENTI STRUTTURALI IN CEMENTO ARMATO CON SISTEMI STAMMERX	INSTALLAZIONE DI ELEMENTI STRUTTURALI TIPO DUBBI AL PERIMETRO DELLO SCAVO ATTRAVERSO SOSTEGNI AL PERIMETRO DELLO SCAVO SOTTERRANEO DELLA SEZIONE A FONTO CIECO		TECNOLOGIA ASSIMILABILE A QUELLA DEI MICROALI MA CON CARATTERISTICHE PARTICOLARI BREVETTATE	ACCESSO DA ARTE DISPONIBILI	CREAZIONE DI UNA SOLLETTA CHE MITIGA GLI EFFETTI GENERATI DALLO SCAVO IN SOTTERRANEO	IL CASING VIENE TRASPORTATO IN MOTOPIEDALE A TERZO DEL VENTILE DI SCAVO CON GAP ESTREMAMENTE RIDOTTO	IL TRATTAMENTO AL PASSAGGIO DELLO SCAVO RISULTA GARANTIRE UN'ELEVATA CAPACITÀ DI MITIGAZIONE SULLA STRUTTURA SOTTOSOSTANTE
8	FINITEGGIO	PREVENZIONE DI CONCRETI IN C.A. DEL PAVIMENTO FINALE DEL TUNNEL, CHE VERGONO SPINTI AL DI SOTTO DEL RILEVATO AUTOSTRADALE E CONTINGENTEMENTE ALL'ESecuzione DELLO SCAVO		INTERVENTO USUALE NELL'AMBITO DELLO SCAVO IN BASE A BASE COBERTIVA E CON CONTENIMENTO EFFETTI INDOTTI	ACCESSO DA ARTE DISPONIBILI	PER UN'OPERA DEL SISTEMA FINALE STRUTTURALE AD ELEVATA RESISTENZA	DISTRURBO TRACCINABILE	INSTALLAZIONE LAMINATA DELLA STRUTTURA FINALE A ELEVATA RIGIDITÀ E RESISTENZA
9	PROPOSTA DI PER PRECONSOLIDAMENTO AD ARCE CILINDRICO CONTORNO DELLO SCAVO MEDIANTE INIEZIONI DI MALTA IN PVC CON INIEZIONI	PRECONSOLIDAMENTO AL CONTORNO DELLA ZONA DALL'IMBOCOCA MEDIANTE INIEZIONI CEMENTIZIE DA CANNE MALTA VUOTE. CUI RISERVE LO SCAVO IN SOTTERRANEO		INTERVENO USUALE NELL'AMBITO DELL'ESecuzione DI PERFORAZIONI DA CANNE MALTA VUOTE. CUI RISERVE LO SCAVO IN SOTTERRANEO	ACCESSO DA ARTE DISPONIBILI NELLA ZONA LATERALE ENTRO L'IMBOCOCA INIEZIONI	CREAZIONE DI UN ARCO CONSOLIDATO AL CONTORNO DELLO SCAVO. ALL'INTERNO AL CONTORNO CAUSA DELLA SOSTENIBILITÀ	ESECUZIONI IN INIEZIONI A BASSE PRESSIONI EFFETTI TRACCINABILI AL CONTORNO DELLA FASE DELLO SCAVO NELLA FASE DI ESecuzione	L'INTERVENTO AL PASSAGGIO DELLO SCAVO RISULTA ADEGUATO ALLO STATO ALLA GENESIZIONE DI CRACKS
10	FINITEGGIO	ESECUZIONI DELLA GALLERIA CON SCAVO MECCANIZZATO MEDIANTE MACCHINA PER SCAVO CON APPLICAZIONE DI PRESSIONI AL RIVESTIMENTO DEFINITIVO		METODO DI SCAVO ABITUALE PER CONTESTI URBANI CON INTERFERENZE SUPERFICIALI E ZONIFICAZIONE SOSTANZIATIVA PER ESCLUSIONE DURANTE LA FASE DI SCAVO	NON RICHIEDE ACCESSO ALLE ARTE ESTERNE	STABILIZZAZIONE COMPLETA DEL COVOLE DALLI EFFETTI SOSTANZI	LO SCAVO MECCANIZZATO CON PRESSIONI E EFFETTI TRACCINABILI AL CONTORNO DELLA FASE DELLO SCAVO	LO SCAVO MEDIANTE TBM EPB RISULTA GARANTIRE UN ELEVATO COMFORT ALLA GARRAZIONE DI CRACKS
		TOTALE 13		3	0	10	0	3
		TOTALE 18		3	0	10	0	3

Tabella 5-3 – Risultato dell'Analisi Multi-Criterio

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
08 - GALLERIE		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione tecnica e di monitoraggio A22		IB0U	1BEZZ	RH	GB0000005	A	18 di 88

Il confronto fra le soluzioni descritte è stato effettuato attraverso un'analisi multicriteria, con punteggi finalizzati alla valutazione della realizzabilità e dell'efficacia e efficienza della soluzione proposta al fine di migliorare il comportamento deformativo indotto dall'esecuzione dello scavo attraverso la riduzione delle potenziali deformazioni indotte sulla sede stradale e ridurre il rischio connesso allo sviluppo di tali effetti indotti.

Il dettaglio dell'analisi effettuata è riportato in Tabella 5-3, ed il risultato mostra come le soluzioni 9 e 10 proposte in PE risultino avere un punteggio complessivo maggiore di quello dato dalle soluzioni proposte in PDO.

Gli interventi di consolidamento ad arco al contorno dello scavo mediante iniezioni valvolate in PVC eseguendo perforazioni HDD (Horizontal Directional Drilling) consentono di mitigare le deformazioni differenziali indotte dallo scavo sotterraneo.

Lo scavo meccanizzato con TBM tipo EPB Dual-mode (Earth Balance Pressure) è tipicamente utilizzato in contesti urbani con presenza di numerose interferenze superficiali.

Lo scavo con TBM-EPB Dual-mode permette una industrializzazione dello scavo, migliorando la qualità dello stesso e aumentando la capacità di controllare e contrastare i cedimenti, mediante la pressurizzazione meccanica del fronte di scavo, del gap scudo-terreno e del gap anulare concio-terreno.

La mitigazione delle deformazioni in galleria e la conseguente riduzione dei cedimenti superficiali indotti, risulta notevolmente maggiore mediante la soluzione proposta in PE rispetto alla soluzione offerta in PDO.

Pertanto, la soluzione proposta in PE di procedere con lo scavo in meccanizzato della Finestra di Funes risulta nettamente più efficace ed affidabile nel garantire la riduzione delle potenziali deformazioni indotte sulla sede stradale e ridurre il rischio connesso allo sviluppo di tali effetti indotti.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione tecnica e di monitoraggio A22	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GB0000005	REV. A	FOGLIO. 19 di 88

5.2 VALUTAZIONE E MITIGAZIONE DEI RISCHI

Nell'ambito della riduzione dei rischi, per la mitigazione e gestione del rischio residuo si analizzano i 3 criteri seguenti :

- R1 : stabilità del fronte
- R2: sviluppo delle deformazioni dello scavo
- R3: sviluppo delle deformazioni sulla sede autostradale

Per ciascun criterio è stata redatta una scheda del rischio in cui vengono analizzate le azioni per la mitigazione del rischio ed il relativo impatto migliorativo.

Dalle seguenti schede del rischio si evince come la condizione di partenza prevista dall' introduzione dello scavo meccanizzato conduca intrinsecamente ad un minor rischio iniziale. Tutte le successive azioni di mitigazione riducono ulteriormente il già basso rischio residuo.

5.2.1 Criterio R1: Stabilità del fronte

La stabilità del fronte risulta importante nell'ambito degli scavi superficiali in quanto fenomeni di instabilità possono propagarsi in superficie anche in modo repentino.

- 0 Condizione di partenza: scavo meccanizzato a bassa copertura con pressione al fronte ed al contorno: probabilità instabilità fronte bassa, conseguenze severe.
- 1 Interventi di consolidamento al contorno della corona dello scavo mediante iniezioni valvolate in PVC eseguendo perforazioni HDD (Horizontal Directional Drilling).
- 2 Implementazione procedura di gestione del rischio con pressurizzazione della camera di scavo mediante bentonite.
- 3 Monitoraggio costante della pressione nella camera di scavo e del condizionamento dello smarino con supervisione ridondante su tutti i turni.
- 4 Monitoraggio alla base del rilevato lungo il suo sviluppo trasversale in tempo reale e connessi a sistemi di comunicazione della situazione di allarme.

R1: STABILITA' DEL FRONTE							
Probabilità/frequenza prevista	5	Molto alta					
	4	Alta					
	3	Media					
	2	Bassa					
	1	Molto bassa					
Probabilità	Impatti	Insignificante	Basso	Moderato	Severo	Molto severo	
		1	2	3	4	5	
Impatti/Conseguenze							

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione tecnica e di monitoraggio A22	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GB0000005	REV. A	FOGLIO. 20 di 88

5.2.2 Criterio R2 : Sviluppo deformazioni dello scavo

Le deformazioni al fronte ed al contorno dello scavo sono la causa degli effetti indotti in superficie e determinano l'allentamento del materiale, con peggioramento della resistenza e rigidità.

- 0 Condizione di partenza: scavo meccanizzato a bassa copertura con pressione al fronte ed al contorno: probabilità di convergenza bassa con conseguenza bassa.
- 1 Interventi di consolidamento al contorno della corona dello scavo mediante iniezioni valvolate in PVC eseguendo perforazioni HDD (Horizontal Directional Drilling).
- 2 Pressurizzazione del gap terreno-scudo per contenere ulteriormente la convergenza del cavo
- 3 Monitoraggio delle deformazioni alla base del rilevato, in modo da evidenziare e calibrare i parametri di scavo durante il sottoattraversamento

R2: SVILUPPO DEFORMAZIONI DELLO SCAVO						
Probabilità/frequenza prevista	5	Molto alta				
	4	Alta				
	3	Media				
	2	Bassa				
	1	Molto bassa				
Probabilità	Impatti	Insignificante	Basso	Moderato	Severo	Molto severo
		1	2	3	4	5
Impatti/Conseguenze						

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione tecnica e di monitoraggio A22	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GB0000005	REV. A	FOGLIO. 21 di 88

5.2.3 Criterio R3 : Sviluppo deformazioni sulla sede autostradale

L'evoluzione delle deformazioni al cavo ed al fronte si sviluppa sino in superficie, con effetti potenziali effetti che vanno dal decadimento della qualità della pavimentazione e del confort degli utenti (abbassamenti della sede stradale, nascita di pendenze, fratture nella pavimentazione stradale, con effetti sulla riduzione della velocità di percorrenza e necessità di ripristino pavimentazione), sino alla formazione di camini con interruzione del traffico.

- 0 Condizione di partenza: scavo a bassa copertura (1.5D) in materiali granulari con pressione al fronte ed al contorno: probabilità di subsidenza bassa con conseguenza bassa.
- 1 Interventi di consolidamento al contorno della corona dello scavo mediante iniezioni valvolate in PVC eseguendo perforazioni HDD (Horizontal Directional Drilling).
- 2 Pressurizzazione del gap terreno-scudo per contenere ulteriormente la convergenza del cavo.
- 3 Monitoraggio delle deformazioni alla base del rilevato, in modo da evidenziare e calibrare i parametri di scavo durante il sottoattraversamento.

R3: SVILUPPO DEFORMAZIONI SULLA SEDE AUTOSTRADALE						
Probabilità/frequenza prevista	5	Molto alta				
	4	Alta				
	3	Media				
	2	Bassa				
	1	Molto bassa				
Probabilità	Impatti	Insignificante	Basso	Moderato	Severo	Molto severo
		1	2	3	4	5
Impatti/Conseguenze						

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione tecnica e di monitoraggio A22	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GB0000005	REV. A	FOGLIO. 22 di 88

6. MODELLO GEOLOGICO-GEOTECNICO

6.1 MODELLO GEOLOGICO-GEOTECNICO DEL PROGETTO DEFINITIVO

L'imbocco della Finestra Funes interessa direttamente depositi antropici costituenti il rilevato della Strada Provinciale della Val di Funes SP27 e i sottostanti depositi alluvionali di riempimento del fondovalle Isarco.

Procedendo verso l'interno del versante la finestra di Funes interessa anche il rilevato autostradale sovrapposto a depositi di frana inattiva (fi) e poi il substrato.

Tuttavia, poiché la presente Relazione si riferisce esclusivamente alla zona di imbocco fino alla A22, si farà riferimento alla caratterizzazione geotecnica dei soli terreni del rilevato stradale e dei sottostanti depositi alluvionali.

Nella documentazione geologica i terreni del rilevato stradale sono indicati come Depositi antropici (h) e sono costituiti da materiale di natura sabbioso-ghiaiosa.

I Depositi alluvionali recenti (ar) costituiscono tutto il tratto di fondovalle al piede del versante di interesse, costituendo la base di appoggio dei rilevati stradali della provinciale e dell'autostrada. Essi sono costituiti da sabbie fini o medie di colore grigio con ghiaie e ciottoli di natura poligenica con elementi eterometrici, contenenti localmente anche blocchi decimetrici. Il loro spessore è variabile e tende ovviamente ad aumentare significativamente spostandosi dal piede del versante verso il centro della valle.

Lo schema geologico del sito è rappresentato graficamente nella sezione geologica della figura seguente.

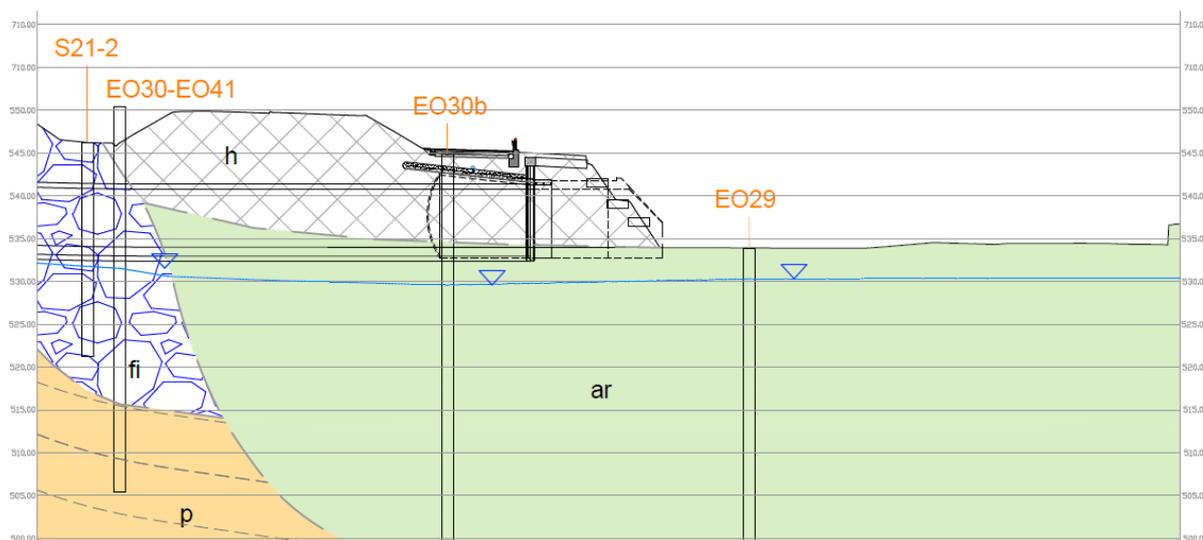


Figura 6-1: Sezione geologica dell'imbocco della Finestra di Funes

6.2 INDAGINI ESEGUITE

Per l'imbocco della finestra di Funes si può fare riferimento in gran parte alle indagini eseguite in fase di PD.

Riferendosi all'area più ampia dell'imbocco e del tratto di galleria iniziale si può fare riferimento a quattro sondaggi ordinari a carotaggio continuo realizzati durante la campagna 2017-2018, denominati "EO29", "EO30", "EO30b", "EO41" e diverse prove geofisiche, di cui due prove sismiche di tipo MASW/Re.Mi. denominate "Res6" e "Res19" e tre stazioni di misura HVSR denominate "TR35", "TR36", "TR38bis" e "TR60".

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
08 - GALLERIE		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione tecnica e di monitoraggio A22		IBOU	1BEZZ	RH	GB0000005	A	23 di 88

Inoltre, nell'ambito del Progetto Esecutivo è stato realizzato un sondaggio a carotaggio continuo denominato "S21-2" con prove SPT e prova down-hole. Tale sondaggio è ubicato a monte dell'autostrada al piede del versante e riguarda quindi il tratto di galleria in naturale, ma è stato comunque utilizzato per la conferma della geologia del tratto di imbocco rappresentata nella sezione geologica precedente.

Con riferimento ai sondaggi più specifici per l'imbocco **EO29** e **EO30b [13] e [14]** si può fare affidamento alle seguenti prove geotecniche.

- Per il Sondaggio "EO29": prelievo di 5 campioni rimaneggiati, 5 prove SPT e 3 prove di permeabilità di tipo Lefranc. Il foro è stato attrezzato con piezometro a tubo aperto di tipo Norton, con tratto filtrante dai 6 ai 30 m di profondità. Essendo ubicato nella piana alluvionale la stratigrafia mostra per l'intera lunghezza del sondaggio depositi alluvionali quaternari (ar) prevalentemente sabbiosi.
- Per il Sondaggio "EO30b", sul corpo del rilevato stradale: prelievo di 4 campioni rimaneggiati, 10 prove SPT e 3 prove di permeabilità di tipo Lefranc. Il foro è stato attrezzato con piezometro a tubo aperto di tipo Norton, con tratto filtrante dai 3 ai 35 m di profondità.

Il sondaggio ha attraversato per circa 13 m il rilevato della SP27 e per la rimanente lunghezza del sondaggio i depositi alluvionali quaternari sabbiosi.

È stata eseguita nel sito in esame una prova MASW/Re.Mi., denominata "Res 6".

6.3 SCHEMI GEOTECNICI DI CALCOLO

Gli schemi geotecnici da prendere come base per le modellazioni di calcolo derivano direttamente dagli schemi geologici rappresentati nella sezione geologica della figura precedente.

Lo schema prevede quindi due unità geotecniche corrispondenti al materiale del rilevato stradale (h) e alle alluvioni (ar).

6.4 CARATTERISTICHE GEOTECNICHE

Nelle due verticali di indagine di più diretto interesse sono state eseguite numerose prove SPT.

I valori di N_{SPT} riscontrati nei due sondaggi sono i seguenti:

SONDAGGIO EO29			SONDAGGIO EO30b		
Prof (m)	N_{SPT}	Litologia	Prof (m)	N_{SPT}	Litologia
3.0	13	Sabbie alluvionali (ar)	3.0	74	Rilevato stradale
7.0	38	Sabbie alluvionali (ar)	6.0	20	Rilevato stradale
11.0	35	Sabbie alluvionali (ar)	9.0	R	Rilevato stradale
14.0	65	Sabbie alluvionali (ar)	12.0	R	Rilevato stradale
19.0	55	Sabbie alluvionali (ar)	16.0	62	Sabbie alluvionali (ar)
			19.0	R	Sabbie alluvionali (ar)
			22.0	37	Sabbie alluvionali (ar)
			26.0	35	Sabbie alluvionali (ar)
			30.0	51	Sabbie alluvionali (ar)
			33.0	48	Sabbie alluvionali (ar)

Tabella 6-1: Valori di N_{SPT} misurati nei sondaggi EO29 e EO30b

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione tecnica e di monitoraggio A22	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GB0000005	REV. A	FOGLIO. 24 di 88

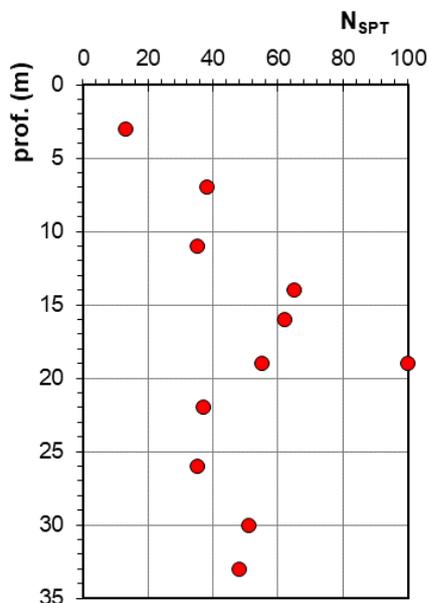


Figura 6-2: Grafico risultati SPT nelle sabbie alluvionali

Per le sabbie alluvionali, escludendo la prima prova molto superficiale, le altre forniscono valori di N_{SPT} mai inferiori a 35 senza apprezzabili variazioni con la profondità.

Per il rilevato stradale si hanno valori elevati o a rifiuto (tranne un solo valore di $N_{SPT} = 20$).

Per il rilevato stradale, con il valore $N_{SPT} = 20$ si ricaverebbe un angolo di attrito di 34° che però è da considerare puntuale e non rappresentativo del complesso.

In accordo con la formulazione di Skempton (1986), è stata calcolata la densità relativa delle sabbie alluvionali ottenuta dalla prova SPT precedentemente descritta per le sabbie alluvionali.

I valori utilizzati per i coefficienti A e B fanno riferimento a sabbie fini normalmente consolidate.

I risultati sono riportati in Tabella 6-2 e graficati in Figura 6-3.

Materiale	Z (m)	N _{SPT}	σ_{vo} (kg/cm ²)	A	B	D _r (%)
sabbia	7	38	1.4	27.5	27.5	76%
sabbia	11	35	2.2	27.5	27.5	63%
sabbia	14	65	2.8	27.5	27.5	79%
sabbia	19	55	3.8	27.5	27.5	65%
sabbia	16	62	3.2	27.5	27.5	73%
sabbia	22	37	4.4	27.5	27.5	50%
sabbia	26	35	5.2	27.5	27.5	45%
sabbia	30	51	6	27.5	27.5	51%
sabbia	33	48	6.6	27.5	27.5	48%

Tabella 6-2: Valutazione della densità relativa secondo Skempton (1986)

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO					
Mandatario:	Mandanti:	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	IBOU	1BEZZ	RH	GB0000005	A	25 di 88
08 - GALLERIE Relazione tecnica e di monitoraggio A22							

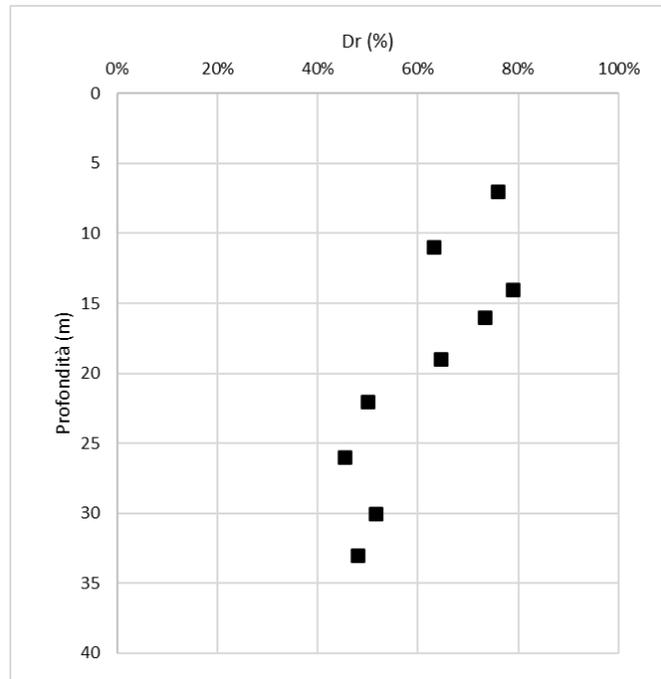


Figura 6-3: Densità relativa Skempton (1986)

Applicando la relazione per sabbie medie e sabbie fini $\phi' (^{\circ}) = 34.5 + 0.1 D_r$ anche al più basso dei valori N_{SPT} per le sabbie si ricaverebbero valori di angolo di attrito all'incirca pari o superiori a 40° :

		Sabbia media uniforme - Sabbie fini ben gradata
z (m)	Dr (-)	$\phi' (^{\circ})$
7	0.76	42
11	0.63	41
14	0.79	42
19	0.65	41
16	0.73	42
22	0.50	39
26	0.45	39
30	0.51	40
33	0.48	39

Tabella 6-3: Valutazione dell'angolo di attrito secondo Schmertmann

Applicando invece le due relazioni dirette

$$\phi' = \sqrt{15 N_{SPT}} + 15$$

$$\phi = 27 + 0.3 N_{SPT}$$

Si ottengono valori di angolo di attrito tra 38 e 46°

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO					
Mandatario:	Mandanti:	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	IBOU	1BEZZ	RH	GB0000005	A	26 di 88
08 - GALLERIE Relazione tecnica e di monitoraggio A22							

Per il modulo elastico, dalle relazioni sotto elencate si ricaverebbe un valore del modulo E che varia nell'ambito 40-50 MPa senza particolari tendenze con la profondità, come riportato nella tabella seguente:

z (m)	Nspt	D'Appolonia	Schultze & Menenbach	Tornaghi et al.
		E (MPa)	E (MPa)	E (MPa)
7	38	48	27	43
11	35	46	26	41
14	65	69	41	56
19	55	62	36	52
16	62	67	40	55
22	37	48	27	43
26	35	46	26	41
30	51	58	34	50
33	48	56	32	48

Tabella 6-4: Valutazione del modulo Elastico da prove SPT

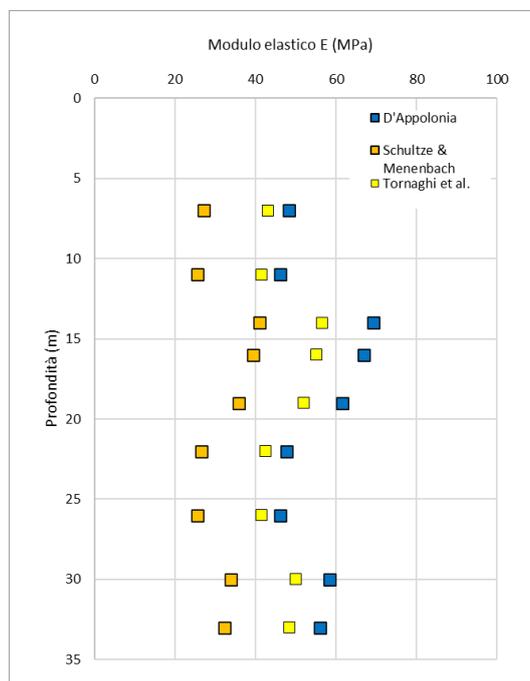


Figura 6-4: Modulo Elastico ricavato da prove SPT

A valori sostanzialmente analoghi si arriverebbe applicando le relazioni con Vs (velocità delle onde di taglio) che partendo dalla stima di G_0 si arriva, tramite E_0 , alla valutazione del modulo operativo.

Dalla prova MASW/Re.Mi. "Res 6" [15] è stata misurata una velocità delle onde s nei primi 30 m di profondità (V_{s30}) pari a 295 m/s (valida per le sabbie alluvionali).

Dalle relazioni prima descritte si ottiene un valore di $E_0 = 500$ MPa. Per l'imbocco della finestra di Funes gli aspetti deformativi legati alle sabbie alluvionali interessano esclusivamente le "code" dei pali delle paratie di

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
08 - GALLERIE		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione tecnica e di monitoraggio A22		IBOU	1BEZZ	RH	GB0000005	A	27 di 88

imbocco. Considerando i criteri con i quali si scelgono i rapporti di riduzione tra moduli iniziali e moduli operativi, si può definire un rapporto compreso tra 1/5 e 1/10.

Si ricaverebbero quindi, per le sabbie, valori tra 50 e 100 MPa.

Per il rilevato stradale la forte variabilità dei valori non permette una stima affidabile dalle prove SPT. Per questo materiale si può fare riferimento ai valori tipici del modulo di deformabilità ottenuti nei rilevati stradali, anche considerando che si tratta di un rilevato esistente da molto tempo e quindi assestato naturalmente anche attraverso i carichi stradali. Un valore tipico del modulo può essere indicato in 35 MPa.

6.5 MODELLO GEOTECNICO

Per i motivi esposti in precedenza si può confermare nella sostanza il range di parametri assunti nel PD per le due unità geotecniche interessate dalle opere di imbocco.

Rilevato stradale

peso di volume	$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
coesione efficace	$c' = 0$
angolo di attrito	$\varphi = 35^\circ$
modulo di deformabilità	$E = 35 \text{ MPa}$
coefficiente di permeabilità	$k=1 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$

Depositi alluvionali ("ar"). Sabbie prevalenti

peso di volume	$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
coesione efficace	$c' = 0$
angolo di attrito	$\varphi = 37^\circ$
modulo di deformabilità	$E = 70 \text{ (60-90) MPa}$
coefficiente di permeabilità	$k=1 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$

I contatti tra i due terreni possono essere letti direttamente nella sezione geologica.

Il valore del coefficiente di spinta a riposo k_0 è calcolato come segue:

$$k_0 = 1 - \tan\varphi$$

I valori caratteristici di angolo di attrito e modulo elastico per le due formazioni in esame, in accordo con quanto già definito nel Progetto Definitivo, sono i seguenti:

Unità	$\gamma \text{ (kN/m}^3\text{)}$	$c \text{ (kPa)}$	$\varphi \text{ (}^\circ\text{)}$	$E \text{ (MPa)}$
Rilevato autostradale	20	0	35	35
ar	20	0	37	70

Tabella 6-5: Definizione valori caratteristici

Il livello di falda, rilevato nei piezometri dei due sondaggi EO30b ed EO29 si posiziona circa 2 m al di sotto della base del rilevato e 3-4 m sotto il piano campagna dell'area pianeggiante antistante l'imbocco, ossia ad una quota di circa 531 m slm. In tale contesto le opere di imbocco e la galleria si posizionano al di sopra del livello di falda, mentre i pali delle paratie saranno infissi in parte in terreno saturo sottofalda.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
08 - GALLERIE		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione tecnica e di monitoraggio A22		IB0U	1BEZZ	RH	GB0000005	A	28 di 88

Per la definizione della categoria sismica di sottosuolo si può fare riferimento ai risultati delle indagini geognostiche eseguite nel rilevato stradale ove è previsto l'imbocco, all'indagine sismica MASW "Res 6" [15] eseguita nella zona antistante l'imbocco occupata dai depositi alluvionali dell'Isarco e alle altre prove sismiche eseguite in contesto litostratigrafico simile (depositi alluvionali di spessore superiore a 30 m) nella zona delle pile del Ponte Isarco (Cross Hole D7 e MASW "Res 5"):

- I valori di N_{SPT} delle prove eseguite nel sondaggio EO30b sono prevalentemente maggiori di 50 e in alcuni casi le prove sono andate a rifiuto, configurando quindi una possibile categoria di sottosuolo B per l'insieme del rilevato antropico della SP27 e dei sottostanti depositi.
- La prova MASW "Res 6" restituisce un valore di V_{S30} pari a 295 m/s, corrispondente a una categoria C, caratterizzante localmente la verticale d'indagine sui depositi alluvionali dell'Isarco.
- La prova Cross Hole D7, eseguita nei depositi alluvionali dell'Isarco nei pressi della posizione prevista per le pile del nuovo ponte ferroviario, in un settore dove il modello geologico prevede uno spessore di depositi alluvionali superiore a 30 m, restituisce un valore di V_{S30} pari a 469 m/s, corrispondente alla categoria di sottosuolo B.
- La prova MASW "Res 5" eseguita anch'esse in prossimità dell'ubicazione delle pile del futuro ponte sull'Isarco, quindi in contesto litostratigrafico comparabile con quelli di cui sopra, restituisce un valore di V_{S30} pari a 469 m/s, corrispondente alla categoria di sottosuolo B.
- La prova down-hole sul sondaggio della fase di PE S21/2 (anche se ubicato a monte dell'autostrada), indica valori di V_s riconducibili ad una categoria B

Su queste basi si può stimare per il sito specifico dell'opera di imbocco una categoria di suolo B.

La categoria topografica ricade nella T1.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:						
Mandatario:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
08 - GALLERIE Relazione tecnica e di monitoraggio A22	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
	IBOU	1BEZZ	RH	GB0000005	A	29 di 88

7. FASE CONOSCITIVA

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

7.1 PARAMETRI GEOTECNICI IMPIEGATI NELLE ANALISI

Unità	Descrizione	γ [kN/m ³]	ν [-]	c_k [kPa]	φ [°]	k_0 [-]	E [MPa]
r	Rilevato	20	0.3	0	35	0.426	35
ar	Depositi alluvionali	20	0.3	0	37	0.384	60

γ : peso di volume
 ν : coefficiente di Poisson
 c_k : valore caratteristico della coesione
 φ_k : valore caratteristico dell'angolo di resistenza a taglio
 k_0 : coefficiente di spinta a riposo
E: modulo elastico del terreno

Tabella 7-1: Stratigrafia di calcolo

Il modulo elastico del terreno è stato assunto variabile con la profondità, infatti, per il terreno ar è stato imposto una variazione con la profondità utilizzando un modello costitutivo del tipo Hardening Soil, mentre per il terreno del rilevato autostradale è stato assunto un valore costante pari a 35MPa.

Il trattamento del terreno viene simulato a partire dai parametri geotecnici del materiale del rilevato stradale tramite un modello costitutivo elastico lineare con criterio di rottura alla Mohr-coulomb. In particolare, il modulo elastico è stato incrementato di 3 volte, cioè $E_{TRATTAMENTI} = 105$ MPa, la coesione invece è stata assunta pari a 260 kPa, considerando una resistenza a compressione uniaassiale minima per il terreno trattato di 1.0 MPa. Tale requisito progettuale della miscela di iniezione si ritiene compatibile con i terreni in oggetto.

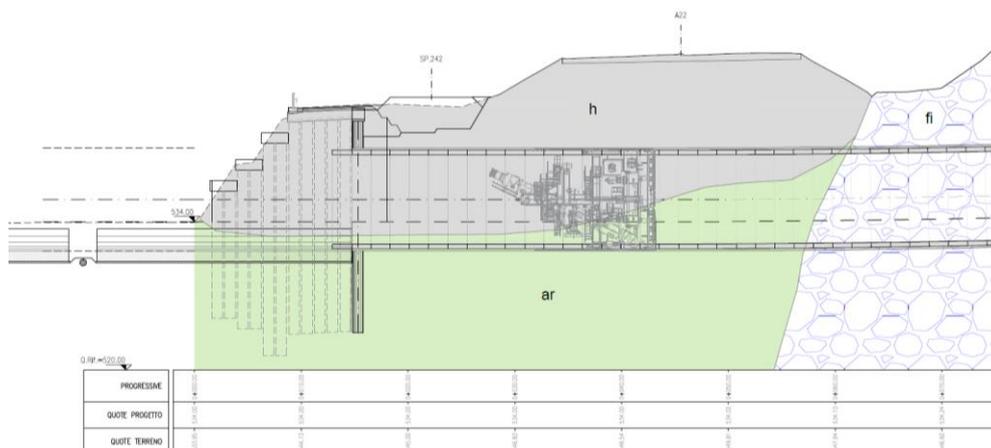


Tabella 7-2: Dettaglio profilo geotecnico

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
08 - GALLERIE		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione tecnica e di monitoraggio A22		IBOU	1BEZZ	RH	GB0000005	A	30 di 88

8. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI STRUTTURALI

Si riportano di seguito le principali caratteristiche dei materiali impiegati per le opere in progetto, con l'indicazione dei valori di resistenza e deformabilità adottati nelle verifiche, nel rispetto delle indicazioni del DM 14/01/2008 e della Circolare n.617/2009 (Rif. [1] e Rif. [2]).

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

I conci prefabbricati saranno realizzati calcestruzzo di classe C45/55 le cui caratteristiche si riportano nella tabella seguente:

Calcestruzzo armato (conci spessore 40 cm)	
Classe di resistenza di calcolo	C45/55
Resistenza di progetto a compressione a 28 giorni	$f_{cd} = 0.85 f_{ck} / 1.5 = 25.87 \text{ MPa}$
Modulo elastico a 28 giorni	$E_{cm} = 22000 (f_{cm}/10)^{0.3} = 36416 \text{ MPa}$
Tensione massima di compressione in esercizio (RFI DTC SI MA IFS 001 A)	$\sigma_c = 0,55 f_{ck} = 25.11 \text{ MPa}$ combinazione caratteristica (rara) $\sigma_c = 0,40 f_{ck} = 18.26 \text{ MPa}$ combinazione quasi permanente
Tensione massima in condizioni di esercizio (NTC 2008)	$\sigma_c = 0,6 f_{ck} = 27.39 \text{ MPa}$ combinazione caratteristica (rara) $\sigma_c = 0,45 f_{ck} = 20.54 \text{ MPa}$ combinazione quasi permanente

Tabella 8-1: Caratteristiche calcestruzzo

I conci in armatura lenta sono costituiti da acciaio di classe B450C.

Acciaio per barre di armatura	
Tipo	B450C
Tensione caratteristica di rottura	$f_{tk} \geq 540 \text{ MPa}$
Tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk} \geq 450 \text{ MPa}$
Resistenza di progetto	$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 391,3 \text{ MPa}$
Tensione massima di compressione in esercizio (RFI DTC SI MA IFS 001 A)	$\sigma_{lim} = 0,75 f_{yk} = 337,5 \text{ MPa}$

Tabella 8-2: Caratteristiche acciaio per barre di armatura

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
08 - GALLERIE		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione tecnica e di monitoraggio A22		IBOU	1BEZZ	RH	GB0000005	A	31 di 88

8.1 TIPOLOGIA DI ELEMENTI DI RIVESTIMENTO

Viene proposto l'utilizzo di conci prefabbricati in calcestruzzo armato (full reinforcement) per le opere a carattere definitivo.

Come citato, gli elementi saranno caratterizzati da una classe di resistenza C45/55, armati con barre in direzione circonferenziale (intradosso ed estradosso).

Le armature di rinforzo per i conci prefabbricati:

- ferri circonferenziali: 18+18 ϕ 22mm;
- staffatura corrente: tot.4 bracci ϕ 10, passo 250mm

8.2 COPRIFERRO

I copriferri netti (sul ferro più esterno), da realizzare al fine di garantire i limiti di apertura delle fessure per l'estradosso (condizioni ambientali aggressive, classe di esposizione XA2) e per l'intradosso (condizioni ambientali ordinarie, classe di esposizione XC3) sono i minimi previsti dalla Circolare n.617/2009 Rif. [1] al §C4.1.6.1.3.

			barre da c.a. elementi a piastra		barre da c.a. altri elementi		cavi da c.a.p. elementi a piastra		cavi da c.a.p. altri elementi	
C_{min}	C_o	ambiente	$C \geq C_o$	$C_{min} \leq C < C_o$	$C \geq C_o$	$C_{min} \leq C < C_o$	$C \geq C_o$	$C_{min} \leq C < C_o$	$C \geq C_o$	$C_{min} \leq C < C_o$
C25/30	C35/45	ordinario	15	20	20	25	25	30	30	35
C30/37	C40/50	aggressivo	25	30	30	35	35	40	40	45
C35/45	C45/55	molto ag.	35	40	40	45	45	50	50	50

Tabella 8-3: Copriferri minimi in mm, Circolare n.617/2009

Per limitare fenomeni di sbeccatura degli spigoli e di fessurazione dei conci si prescrive una tolleranza di posa di 5 mm così da ottenere un copriferro pari a 40 mm all'estradosso (classe XA2) e 40 mm all'intradosso (classe XC3).

In maniera cautelativa è stato utilizzato un copriferro pari a 50mm.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:						
Mandatario:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
08 - GALLERIE Relazione tecnica e di monitoraggio A22	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
	IBOU	1BEZZ	RH	GB0000005	A	32 di 88

9. CARATTERISTICHE TBM EPB DUAL-MODE

La TBM che scaverà la galleria di Funes sarà tipo dual mode. Le caratteristiche geometriche della macchina e dell'anello sono riportate nelle tabelle seguenti.

Tipo di Anello	Universale
Raggio Interno	4.20 m
Diametro Esterno	9.30 m
Diametro Scavo	9.68 m
Spessore conci	45 cm
Lunghezza media	1,8 m
Geometria conci	Trapezoidali / romboidali
Svasatura	94 mm
Raggio di curvatura minimo	280 m (217 m di calcolo)
Numero di conci	7+0
Connessioni anello / anello	n° 3 connettori (n° 21 totali)
Connessioni concio / concio	Facce inclinate con barra guida
Barra guida	Ø 50 L = 500 mm
Guarnizioni	EPDM P≥ 10 bar con cordone idrofilico
Bulloni filettati	Classe 8.8 Diametro ø 22 Lunghezza 500 mm

Tabella 9-1: Caratteristiche sezione tipo anello universale

Descrizione	u.m.	Valore
<i>Diametro di scavo nominale</i>	mm	9680
<i>Diametro di scavo massimo</i>	mm	9780
<i>Eccentricità cutterhead – scudo frontale</i>	mm	15
<i>Diametro ext scudo frontale</i>	mm	9620
<i>Spessore scudo frontale</i>	mm	45
<i>Diametro ext scudo posteriore</i>	mm	9560
<i>Spessore scudo posteriore</i>	mm	60
<i>Conicità (differenza sul raggio)</i>	mm	50
<i>Lunghezza scudi</i>	mm	11115
<i>Lunghezza macchina</i>	mm	12500
<i>Gap scavo nominale – estradosso scudo posteriore</i>	mm	120
<i>Gap intradosso scudo posteriore – estradosso concio</i>	mm	140

Tabella 9-2: Caratteristiche geometriche della macchina

Per una descrizione approfondite delle caratteristiche si rimanda alla Relazione generale dei conci in calcestruzzo armato (IBOU1BEZZRHGN0000003).

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione tecnica e di monitoraggio A22	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GB0000005	REV. A	FOGLIO. 33 di 88

10. FASE DI DIAGNOSI

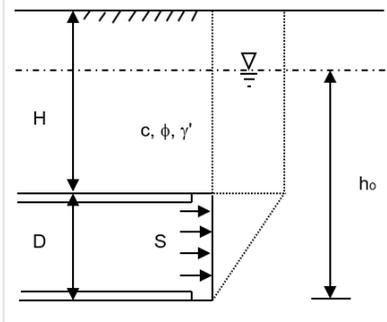
Nella fase di diagnosi, sulla base del modello geotecnico scaturito dagli studi e dalle indagini effettuati nella fase conoscitiva, si procede alla previsione della risposta tensio-deformativa dell'ammasso allo scavo, in assenza di interventi di stabilizzazione. La valutazione della risposta deformativa dell'ammasso allo scavo è condotta con riferimento alle tre categorie di comportamento fondamentali individuate nel metodo ADECO-RS (Rif. [3]), di seguito brevemente richiamate, sulla base delle quali il tracciato sotterraneo è suddiviso in tratte a comportamento deformativo omogeneo.

10.1.1 Analisi con il metodo dell'equilibrio limite

10.1.1.1. Anagnostou e Kovari (1996)

Nel caso di scavo mediante il sistema EPB Dual-mode il mantenimento della pressione avviene meccanicamente attraverso la compensazione dei volumi di terra scavati e dei volumi passanti attraverso la coclea in corrispondenza della testa della fresa.

Il valore della pressione di sostegno da applicare in presenza di moti di filtrazione, con riferimento al meccanismo di scivolamento tridimensionale di Horn [1961], si ottiene dalla seguente espressione (Anagnostou e Kovari, 1996):



$$S = F_0 \cdot \gamma' \cdot D - F_1 \cdot c + F_2 \cdot \gamma' \left(h_0 - \frac{D}{2} \right) - F_3 \cdot c \cdot \frac{(h_0 - \frac{D}{2})}{D}$$

Figura 10-1: Stabilità del fronte secondo il metodo Anagnostou e Kovari

In cui:

- S' = valore della pressione efficace stabilizzante da applicare al fronte;
- $\Delta h = h_0 - h_f$ (differenza di carico idraulico al fronte);
- h_0 = altezza della falda libera (a partire dalla quota arco rovescio);
- h_f = carico idraulico all'interno della camera di scavo (fino alla quota arco rovescio);
- F_0, F_1, F_2, F_3 = coefficienti adimensionali dipendenti dall'angolo di attrito del terreno ϕ' , dai rapporti H/D (copertura/diametro della galleria) e $(h_0 - D)/D$.

La forza efficace di stabilizzazione viene determinata integrando le forze di massa associate al cuneo di spinta finale. Nel caso specifico il calcolo è stato condotto ipotizzando l'assenza di moti di filtrazione verso il fronte, assumendo cioè $h_0 = h_f$.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione tecnica e di monitoraggio A22	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GB0000005	REV. A	FOGLIO. 34 di 88

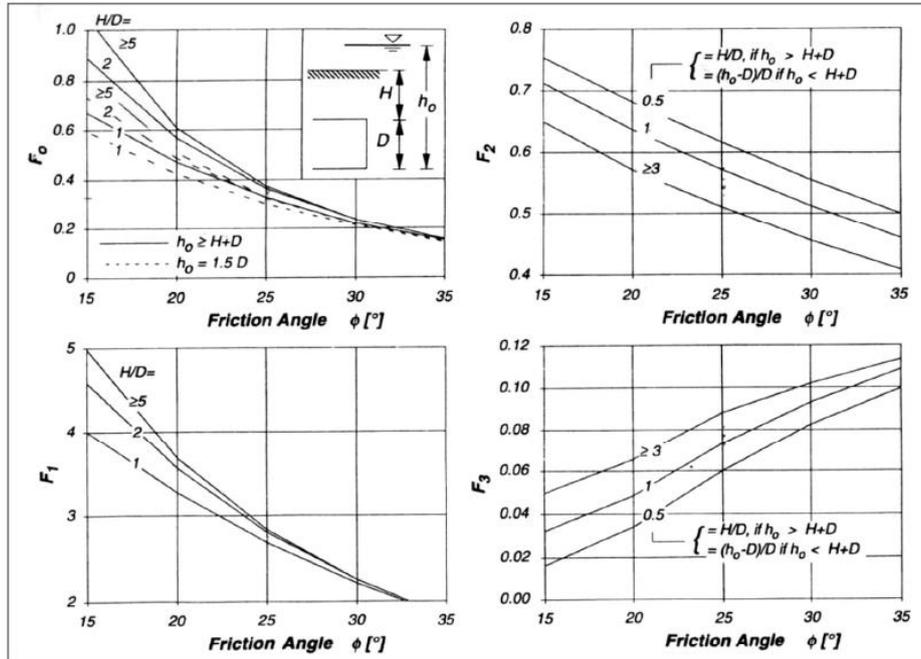
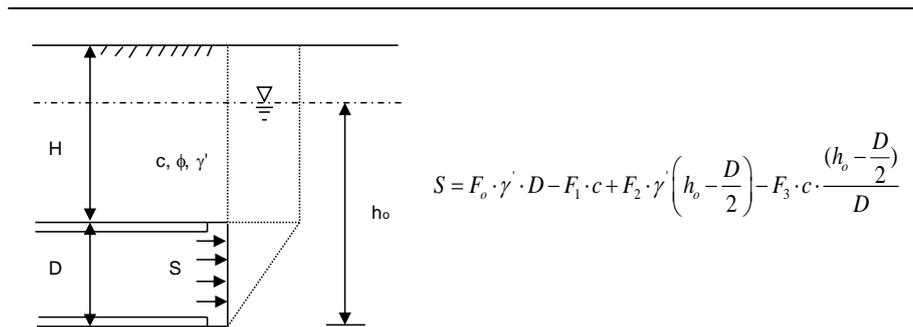


Figura 10-2: Abachi per la definizione dei coefficienti adimensionali

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione tecnica e di monitoraggio A22	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GB0000005	REV. A	FOGLIO. 35 di 88

10.1.2 Risultati delle analisi di stabilità

Impiegando il metodo di Anagnostou e Kovari (1996) (Rif. [6]) è stata ottenuta una pressione per garantire la stabilità del fronte pari a 0.70 bar, come riportato in Figura 10-3.



DATI DI PARTENZA			
D	9.3	[m]	Diametro della galleria
H	8.6	[m]	Copertura in calotta
γ'	20	[kN/m ³]	Peso per unità di volume
c	0	[kPa]	Coesione
ϕ	35	[°]	Angolo di attrito
h_0	0	[m]	Altezza della falda rispetto al piano della galleria

PARAMETRI CORRETTIVI (Vedi grafici)		H/D	0.92
F_0	0.15	-	Parametro correttivo funzione di $\phi, H/D, H+D$ e h_0 H+D= 17.9 $h_0 = 1.5D = 13.95$
F_1	2	-	Parametro correttivo funzione di ϕ e H/D H/D= 0.92
F_2	0	-	Parametro correttivo funzione di ϕ e $\min(h_0-D, H)/D$ $\min(h_0-D, H)/D = -1.00$
F_3	0	-	Parametro correttivo funzione di ϕ e $\min(h_0-D, H)/D$ $\min(h_0-D, H)/D = -1.00$

SPINTA MINIMA da applicare per avere la stabilità del fronte			
S	0.28	[bar]	In condizioni di EQ LIMITE

Applicando un fattore di sicurezza di 2.5 si ottiene:

S	0.70	[bar]
---	------	-------

Figura 10-3: Stabilità del fronte

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
08 - GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione tecnica e di monitoraggio A22	IBOU	1BEZZ	RH	GB0000005	A	36 di 88

11. ANALISI E VERIFICA DELLE SEZIONI CARATTERISTICHE

Nel seguente capitolo vengono effettuate le verifiche agli Stati Limite Ultimi e Stati Limite di Esercizio.

La sezione di analisi è stata definita in modo da esaminare la condizione più gravosa in termini di coperture e di interazione con il rilevato autostradale, sia al fine di dimensionare i conci prefabbricati sia di esaminare l'effetto indotto dallo scavo della galleria in superficie.

A tal fine, per la sezione di calcolo, sono state condotte due diverse analisi numeriche parità di geometria del modello facendo variare la posizione dei carichi dell'autostrada come specificato nel §4.2 per massimizzare le sollecitazioni in calotta e alle reni della galleria.

Per la sezione descritta è stato predisposto un modello numerico bidimensionale di simulazione analitica delle operazioni costruttive, come illustrato negli Allegati §18.

11.1 CRITERIO DI MODELLAZIONE

Il presente studio è stato sviluppato seguendo due distinte procedure di analisi per il dimensionamento dei rivestimenti:

- Per il calcolo dei conci prefabbricati si è adottata una costruzione in una unica fase, applicando la totalità del carico geostatico e dei sovraccarichi sui conci, mediante uno scarico del 100% ed attivazione del rivestimento volto a massimizzare le sollecitazioni sullo stesso;
- Per la valutazione dei cedimenti in superficie e delle distorsioni imponendo un volume perso V_L in uno scenario di scavo atteso (0,1%), in uno scenario di scavo imprevisto (0,4%) ed in uno scenario imprevisto di guasto macchina (1%) attraverso l'applicazione di una contrazione radiale uniforme al contorno del cavo. Tali valori sono stati definiti in funzione del materiale attraversato e della metodologia di scavo.

Nelle analisi eseguite, la prima fase della modellazione consiste nel riprodurre lo stato tensionale iniziale nelle condizioni geostatiche, applicando un campo di sforzo di tipo gravitativo con un coefficiente di spinta a riposo tra pressioni orizzontali e verticali pari a k_0 .

A partire dallo stato tensionale iniziale, si riproducono le condizioni immediatamente precedenti alla costruzione della galleria applicando i carichi dell'autostrada.

La modellazione numerica è stata effettuata con circa 75458 elementi triangolari a 15 nodi e la dimensione è di circa 200x116 m.

Al fine di contenere i cedimenti sul rilevato, si prevede un intervento di consolidamento mediante iniezioni di miscele cementizie.

Si effettua un pre-intervento di iniezioni ad arco in adiacenza alla calotta della galleria, mediante aste valvolate in PVC di tipo HDD (Horizontal Directional Drilling).

Viene riportato di seguito il dettaglio dei trattamenti previsti (per dettagli si rimanda all'elaborato IB0U1BEZZPZGB0000013).

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandataria:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
08 - GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione tecnica e di monitoraggio A22	IBOU	1BEZZ	RH	GB0000005	A	37 di 88

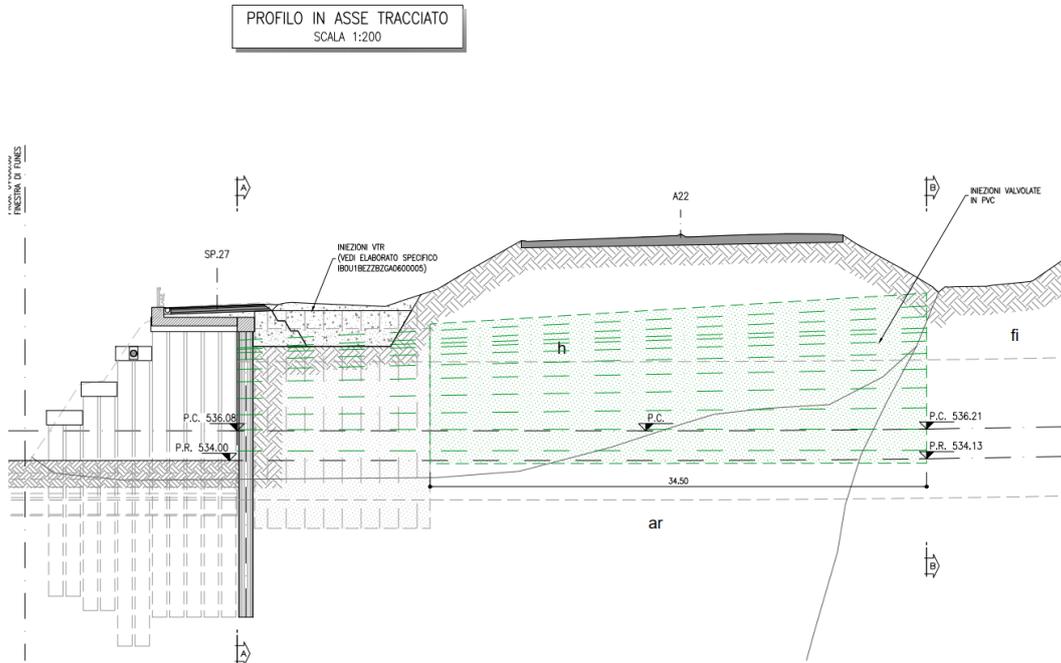


Figura 11-1: dettaglio trattamento - sezione longitudinale

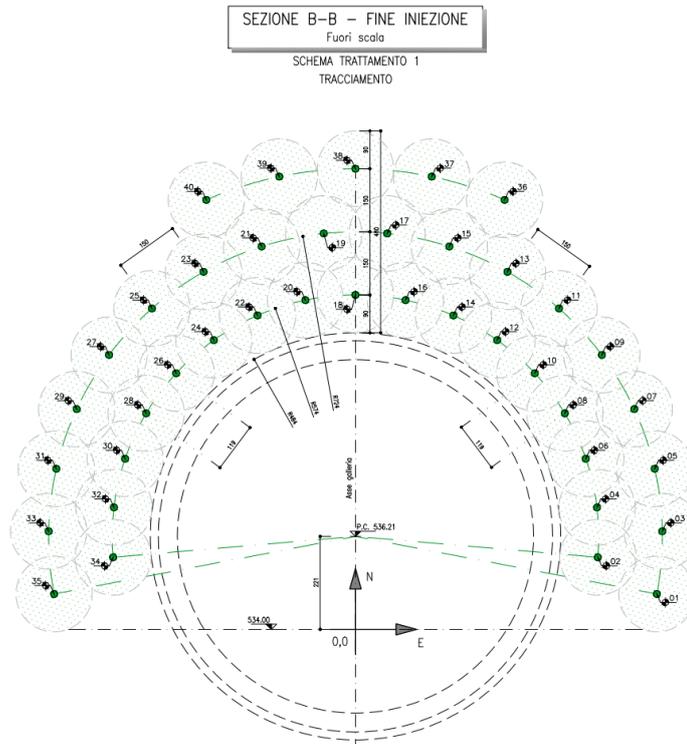


Figura 11-2: Dettaglio trattamento - sezione trasversale

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione tecnica e di monitoraggio A22	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GB0000005	REV. A	FOGLIO. 38 di 88

11.2 CARICO SIMMETRICO

11.2.1 Interazione galleria - terreno

Per l'analisi di interazione galleria – terreno si è utilizzata la stratigrafia riportata in Tabella 7-1.

L'interazione galleria-terreno è stata valutata mediante una apposita analisi numerica FEM, utilizzando il codice di calcolo Plaxis 2D.

In azzurro è indicato il rilevato, in verde i depositi ar, in giallo il terreno consolidato.

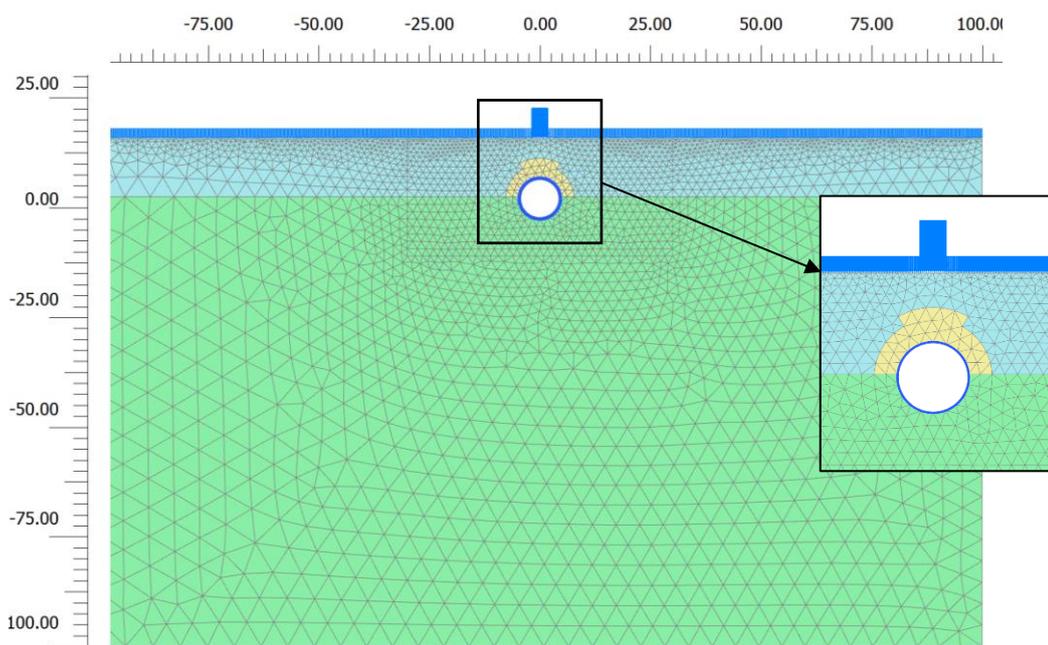


Figura 11-3: Geometria di analisi

I bordi del modello numerico sono stati collocati sufficientemente lontani dalla galleria, in modo tale che le condizioni di vincolo ivi definite non interferiscano con i processi di scavo e costruzione in esame.

Il dimensionamento dei conci prefabbricati è stato valutato nella condizione più sfavorevole e cioè andando ad applicare l'intero carico prodotto dal ricoprimento sugli elementi strutturali.

Le fasi di analisi sono le seguenti:

- 1) Inizializzazione dello stato tensionale;
- 2) Applicazioni dei carichi stradali;
- 3) Rilascio completo dello stato tensionale (100%) con attivazione dei conci prefabbricati.

Nelle tabelle seguenti si riportano le sollecitazioni derivanti dall'analisi numerica a metro di galleria, prive di fattori amplificativi, e le sollecitazioni adottate nelle verifiche strutturali; queste ultime risultano moltiplicate per il coefficiente $\gamma_G = 1.3$ e per la lunghezza del concio $b = 1.8\text{m}$ mentre il momento, per considerare la riduzione della rigidità dovuta alla presenza dei giunti tra ciascun concio, il momento flettente viene moltiplicato per un coefficiente aggiuntivo ricavato mediante la formulazione di Muir-Wood $(1+\xi) = 1.31$.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
08 - GALLERIE		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione tecnica e di monitoraggio A22		IBOU	1BEZZ	RH	GB0000005	A	39 di 88

Per quanto riguarda la modellazione del rivestimento, questo è stato modellato come elemento plate. Per considerare l'effetto dei giunti radiali sull'anello è stata considerata un'inerzia equivalente tramite la formulazione di Muir-Wood:

$$I = I_j + I_s \cdot \left(\frac{4}{n}\right)^2 = 0.0058 \text{ m}^4$$

La rotazione dei giunti comporta una sostanziale diminuzione dei momenti flettenti in quanto il rivestimento adatta la sua forma al terreno. La formula di Muir-Wood consente di considerare solo parzialmente questo effetto e quindi conduce ad un'analisi conservativa con momenti flettenti calcolati più elevati nel rivestimento tramite un coefficiente amplificativo delle sollecitazioni flessionali ξ , calcolato come segue:

$$\xi = 1 - \eta = \frac{EI - EI_{eq}}{EI}$$

$$\eta = \frac{EI_{eq}}{EI}$$

Fase 3.1	Sollecitazioni da analisi numerica			Sollecitazioni di verifica SLU		
	N (kN/m)	M (kNm/m)	T (kN/m)	N (kN)	M (kNm)	T (kN)
Nmax	-1260.5	-147.5	-11.6	-2949.5	-452.1	-27.2
Nmin	-441.2	121.1	0.8	-1032.3	371.3	1.8
Mmax	-704.0	137.6	1.8	-1647.5	421.9	4.2
Mmin	-1258.3	-148.8	-3.4	-2944.3	-456.1	-8.0
Tmax	-988.4	-4.2	74.6	-2312.9	-12.8	174.5
Tmin	-988.4	-4.1	-74.6	-2312.8	-12.7	-174.5

Tabella 11-1: Sollecitazioni sui conci

La verifica delle sezioni degli elementi strutturali è condotta, in accordo con la vigente normativa, secondo il metodo degli stati limite, verificando la corrispondenza delle sezioni allo stato limite ultimo S.L.U. (combinazione A1+M1+R1 con A1=1.3.) ed agli stati limite di esercizio S.L.E.

Lo sforzo normale è considerato negativo se di compressione, il momento flettente è considerato positivo se tende le fibre di intradosso del rivestimento.

Si riportano di seguito i grafici relativi agli andamenti degli sforzi ottenuti dalla simulazione in Plaxis 2D:

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandataria: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione tecnica e di monitoraggio A22	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GB0000005	REV. A	FOGLIO. 40 di 88

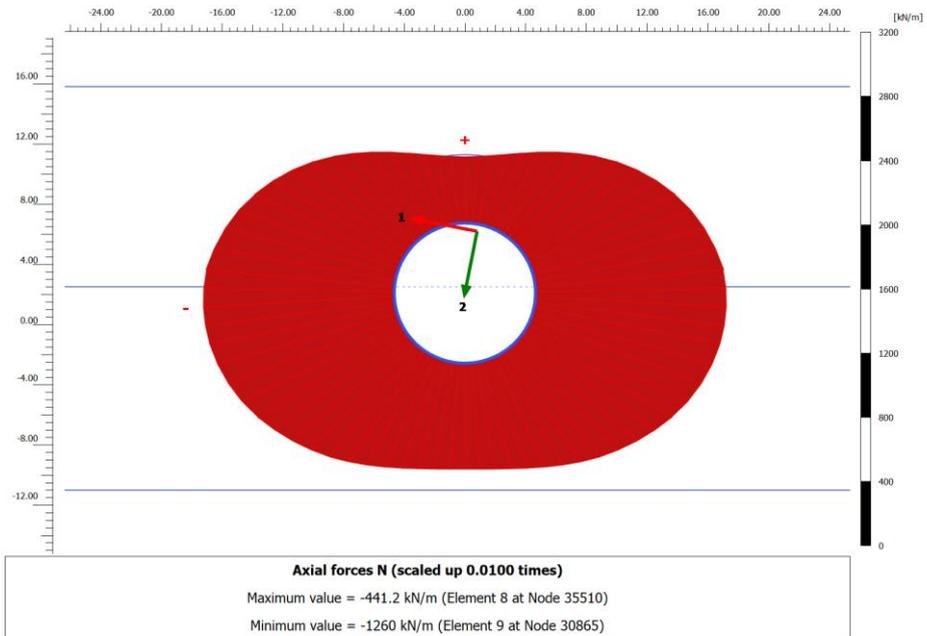


Figura 11-4: Diagramma dello sforzo normale. Fase 3

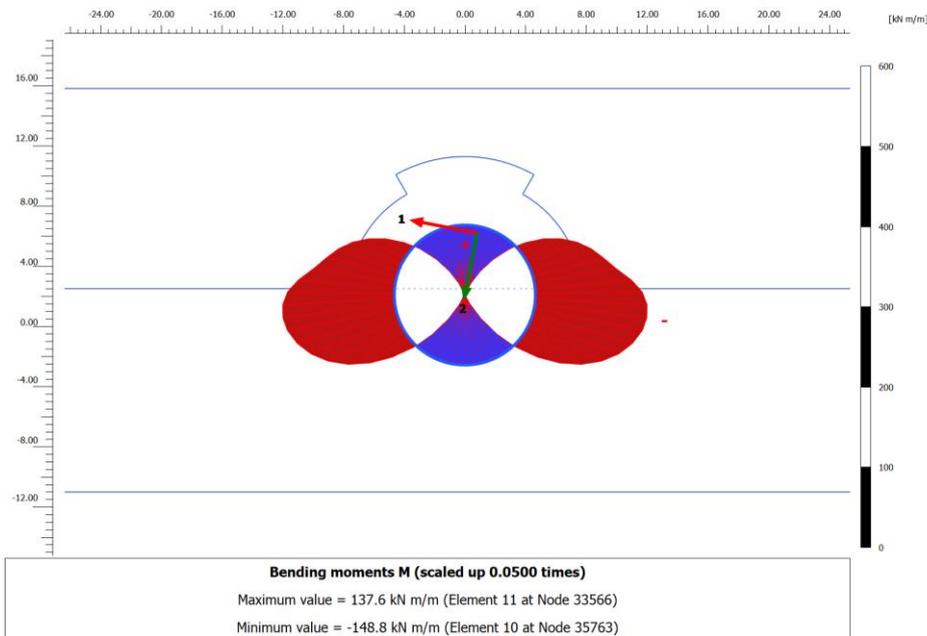


Figura 11-5: Diagramma del momento flettente. Fase 3

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione tecnica e di monitoraggio A22	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GB0000005	REV. A	FOGLIO. 41 di 88

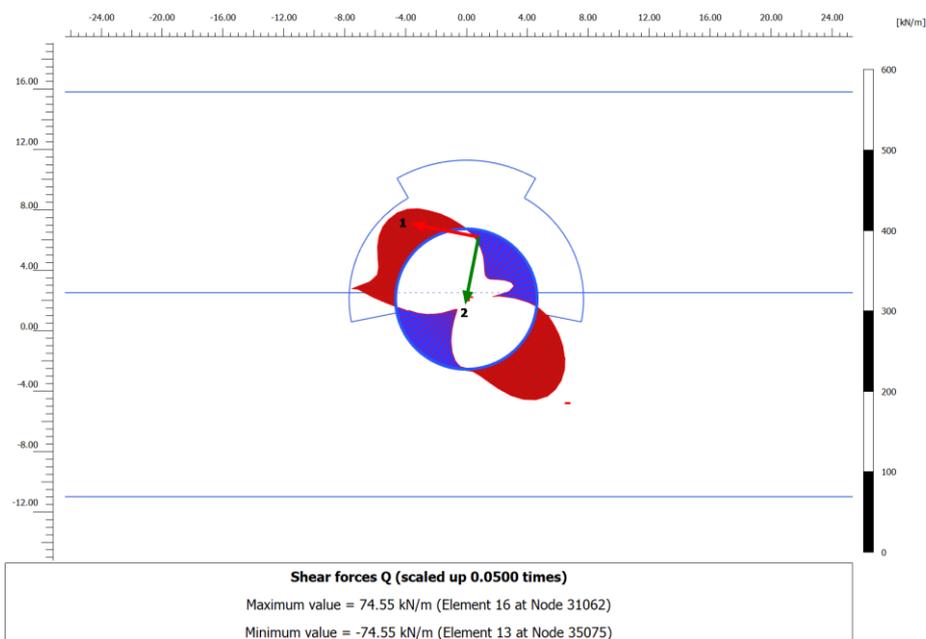


Figura 11-6: Diagramma del taglio. Fase 3

11.2.2 Verifiche

Nel seguente paragrafo si riportano le verifiche agli Stati Limite Ultimi (SLU), agli Stati Limite di Esercizio (SLE) e nei riguardi dell'esposizione al fuoco durante la fase operativa secondo quanto descritto all'interno del dell'elaborato IB0U1BEZZRHGN0000003 "Relazione generale e di calcolo di conci in calcestruzzo armato – Tipo B e C".

Di seguito si riportano i domini di rottura e lo stato tensionale l'ipotesi costruttiva menzionata al §8.1 considerando in questa sezione l'applicazione della tipologia di armatura costituita da 18+18Ø22mm con staffe Ø10 a passo 250mm con 4 bracci.

Verifiche a presso-flessione allo Stato Limite Ultimo (S.L.U.)

Nella tabella seguente si riportano le verifiche allo Stato Limite Ultimo delle sezioni più rappresentative dello stato tensionale agente sul rivestimento. I valori delle sollecitazioni di calcolo sono ottenuti amplificando le sollecitazioni derivanti dall'analisi numerica come precedentemente descritto.

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Relazione tecnica e di monitoraggio A22	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GB0000005	REV. A	FOGLIO. 42 di 88

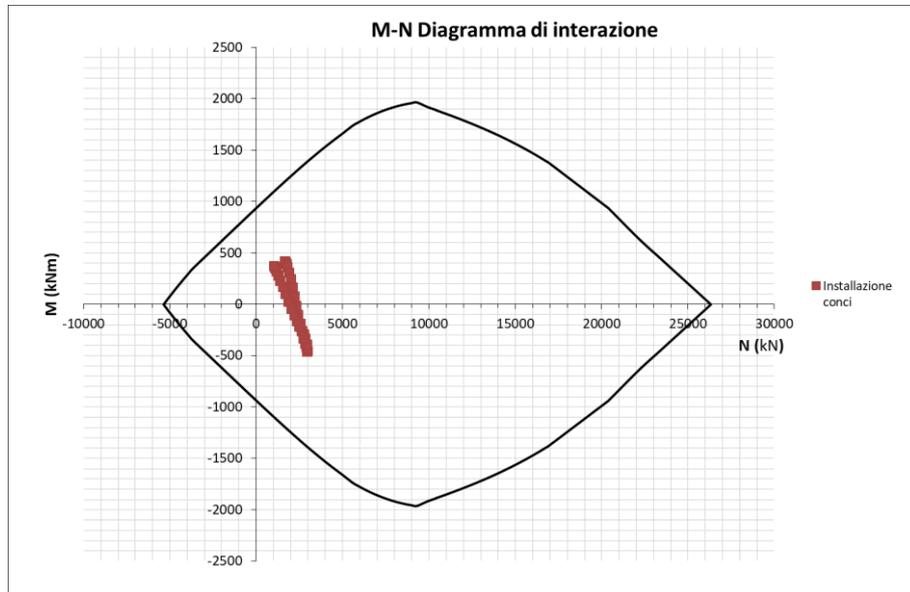


Figura 11-7: Dominio M-N. Fase 3

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione tecnica e di monitoraggio A22	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GB0000005	REV. A	FOGLIO. 43 di 88

Verifica a taglio allo SLU

Nella figura seguente si riportano le verifiche allo SLU delle sezioni più significative. I valori delle sollecitazioni di calcolo sono ottenute amplificando le sollecitazioni derivanti dall'analisi numerica come precedentemente descritto. È stata verificata la sollecitazione di taglio, al variare dell'angolo ϑ che descrive l'anello, nella fase più critica.

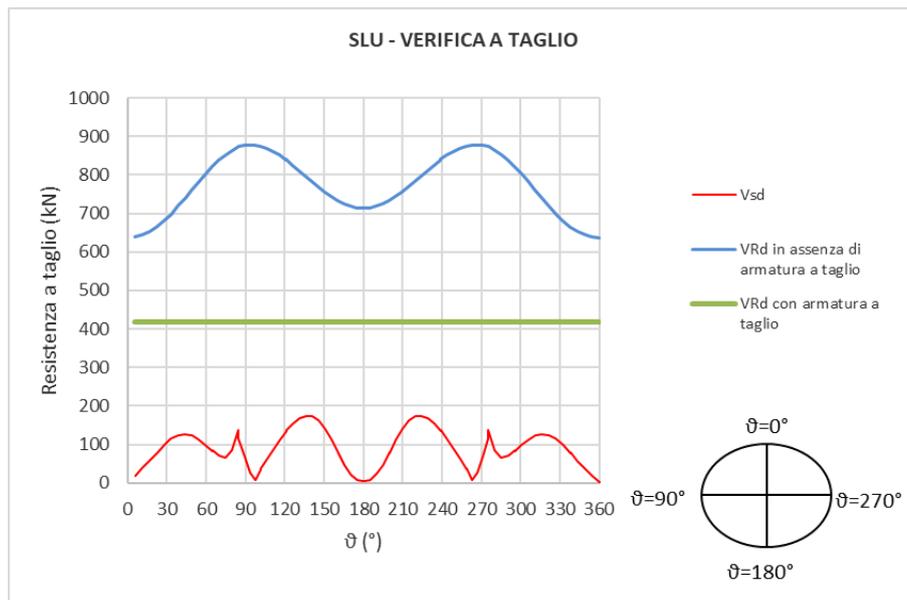


Figura 11-8: Verifica a taglio. Fase 3

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione tecnica e di monitoraggio A22	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GB0000005	REV. A	FOGLIO. 44 di 88

Verifiche allo Stato Limite di Esercizio (S.L.E.)

Per le verifiche di fessurazione (SLE) si è assunto un valore limite di apertura delle fessure pari a $w_k=0.20$ mm in estradosso (condizioni ambientali aggressive, classe di esposizione XA2) e pari a $w_k=0.30$ mm in intradosso (condizioni ambientali ordinarie, classe di esposizione XC3), in accordo con quanto prescritto dalla Norma vigente ed una tensione massima nel calcestruzzo e nell'acciaio in accordo con quanto previsto dal DM 14/01/2008 (cfr. 10.2) Rif. [1].

Il copriferro netto (sul ferro più esterno) considerato nelle verifiche che seguono è assunto pari a 5 cm.

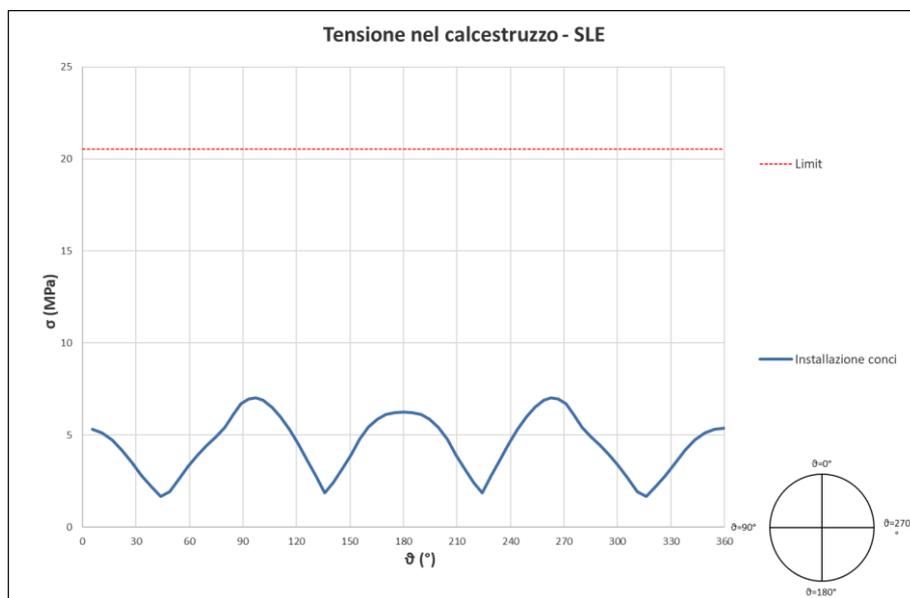


Figura 11-9: Stato tensionale sul calcestruzzo. Fase 3

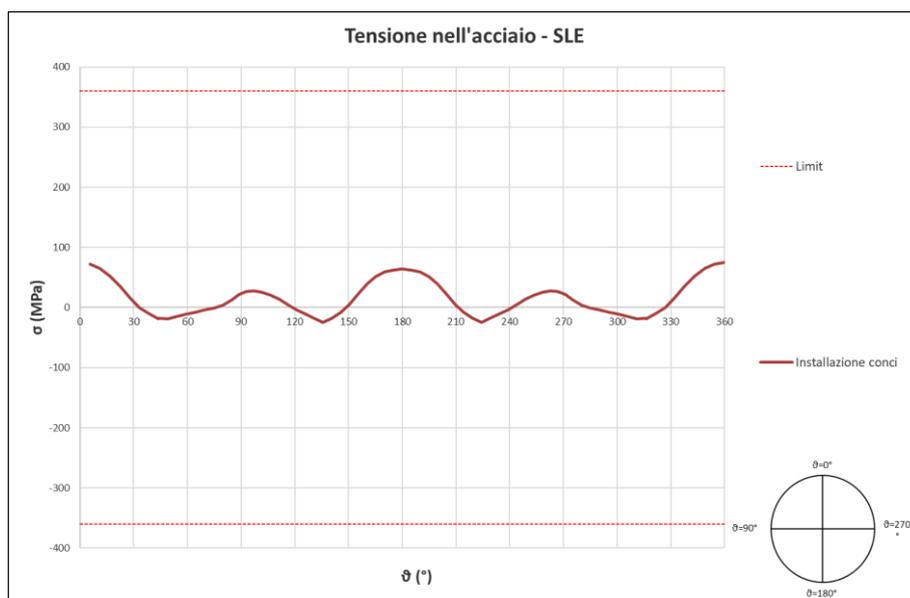


Figura 11-10: Stato tensionale acciaio. Fase 3

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione tecnica e di monitoraggio A22	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GB0000005	REV. A	FOGLIO. 45 di 88

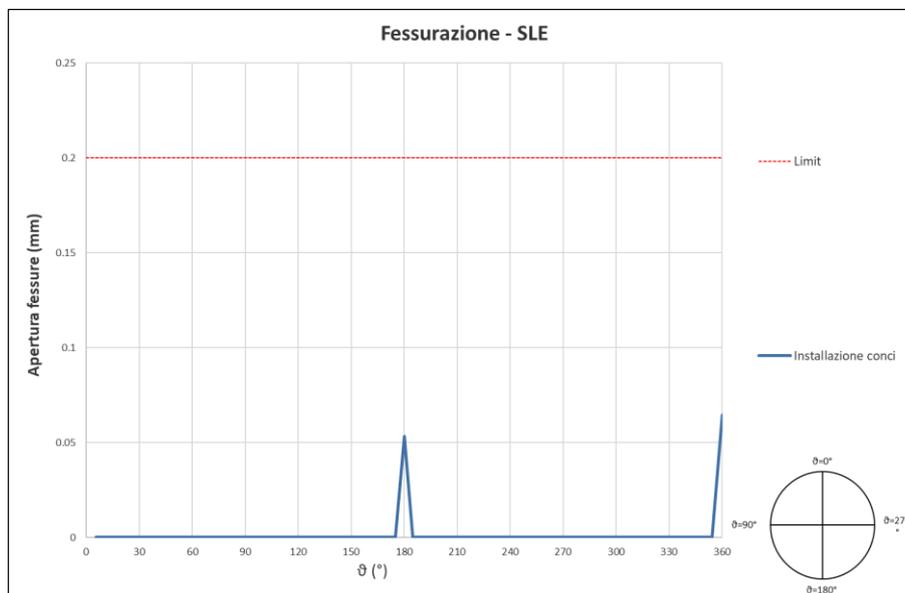


Figura 11-11: Stato di fessurazione. Fase 3

Dai grafici riportati si evince che le verifiche agli Stati Limite di Esercizio risultano tutte soddisfatte.

Verifiche nei riguardi dell'esposizione al fuoco

Per le specifiche sulle verifiche al fuoco si rimanda all'elaborato IBOU1BEZZRHGN0000003.

Le verifiche sono soddisfatte.

Verifica Sismiche dei conci

L'analisi di interazione opera-terreno è stata condotta anche nei confronti dell'azione sismica, mediante approccio semplificato pseudo-statico. L'analisi è stata eseguita in riferimento alla sezione trasversale della galleria considerando la deformazione tangenziale γ prodotta dall'azione sismica e trascurando l'interazione cinematica tra il rivestimento ed il terreno. La deformazione è quindi utilizzata per stimare gli incrementi di sollecitazione sul rivestimento della galleria, tramite soluzioni analitiche in forma chiusa. La tensione tangenziale massima agente alla quota della galleria è stimata mediante la seguente espressione, ottenuta dall'equilibrio dinamico di una colonna di terreno:

$$\tau_{max} = \sigma_v(z) \cdot r_d(z) \cdot \frac{a_{max,s}}{g}$$

dove:

- $\sigma_v(z)$: tensione verticale totale alla profondità z ;
- $r_d(z)$: fattore di attenuazione con la profondità che tiene conto del sincronismo del moto sismico assunto pari a: $r_d(z) = 1 - 0.015z$ (Iwasaki et al., 1978); nell'equazione la profondità z è espressa in metri;
- $a_{max,s}$: accelerazione massima in superficie ($a_{max,s} = S \cdot a_g$).

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione tecnica e di monitoraggio A22	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GB0000005	REV. A	FOGLIO. 46 di 88

La deformazione tangenziale massima del terreno alla quota della galleria è calcolata come:

$$\gamma_{max} = \frac{\tau_{max}}{G}$$

Il modulo di rigidità G, nell'ipotesi di analisi lineare, coincide con quello iniziale G_0 (ricavato a partire dalle indagini geofisiche a disposizione).

Si riportano nel seguito i valori delle grandezze necessarie per la definizione dell'azione sismica:

Formazione	at1
Copertura	8.6
T_R	1898
a_g/g	0.07
Categoria di sottosuolo	B
S_s	1.2
Categoria topografica	T1
S_T	1.0
a_{max}/g	0.085

Tabella 11-2: Parametri per la definizione dell'azione sismica

Per la galleria naturale è stata considerata una vita nominale VN pari a 100 anni e una classe d'uso IV, a cui corrisponde il coefficiente C_u pari a 2.0 (§ 2.4.2, DM 17/01/2008).

Gli incrementi di sollecitazione sono stati stimati con le soluzioni analitiche proposte da Wang (Rif. [8]), riferite al caso di galleria circolare in semispazio omogeneo ed isotropo nell'ipotesi, a favore di sicurezza, di perfetta aderenza ("no-slip") all'interfaccia tra rivestimento e terreno.

La soluzione di Wang presenta le seguenti ipotesi:

- suolo definito come mezzo infinito, elastico, omogeneo e isotropo;
- rivestimento della galleria assimilato ad un tubo a pareti sottili;
- condizioni di aderenza e slittamento tra la galleria e il terreno.

Secondo la formulazione di Wang l'incremento delle sollecitazioni massime sul rivestimento della galleria è calcolato come segue:

$$N_{max} = \pm K_2 \frac{E_m}{2(1 + \nu_m)} R_l \gamma_{max}$$

$$M_{max} = \pm \frac{1}{6} K_1 \frac{E_m}{(1 + \nu_m)} R_l^2 \gamma_{max}$$

$$\frac{\Delta D_{max}}{D} = \pm \frac{1}{3} K_1 F \gamma_{max}$$

$$K_1 = \frac{12(1 - \nu_m)}{2F + 5 - 6\nu_m}$$

$$K_2 = 1 + \frac{F[(1 - 2\nu_m) - (1 - 2\nu_m)C] - \frac{1}{2}(1 - 2\nu_m)^2 + 2}{F[(3 - 2\nu_m) + (1 - 2\nu_m)C] + C[\frac{5}{2} - 8\nu_m + 6\nu_m^2] + 6 - 8\nu_m}$$

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO				
08 - GALLERIE Relazione tecnica e di monitoraggio A22	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GB0000005	REV. A	FOGLIO. 47 di 88	

In cui k_1 e k_2 rappresentano i coefficienti di risposta.

I fattori di rigidezza a compressione e flessione che compaiono nelle espressioni di Wang sono i seguenti:

$$C = \frac{E_m(1 - \nu_i^2)R_i}{E_i t(1 + \nu_m)(1 - 2\nu_m)}$$

$$F = \frac{E_m(1 - \nu_i^2)R_i^3}{6E_i I_{i,1}(1 + \nu_m)}$$

in cui :

- E_m rappresenta il modulo elastico dinamico del terreno;
- ν_m rappresenta il coefficiente di Poisson del terreno;
- R_i è il raggio nominale della galleria;
- E_i è il modulo elastico del calcestruzzo costituente il rivestimento;
- ν_i è il coefficiente di Poisson del calcestruzzo;
- $I_{i,1}$ è il momento di inerzia del rivestimento;
- t_i è lo spessore dell'anello.

Nella tabella seguente si riportano i parametri utilizzati per il calcolo dell'incremento delle sollecitazioni:

R_i (m)	E_m (kPa)	ν_m (-)	E_i (kPa)	ν_{CLS} (-)	t_i (m)	I_i (m ⁴ /m)	γ_{max} (-)
4.65	500000	0.3	31447000	0.15	0.45	0.0076	6.37E-05

Tabella 11-3: Parametri per la definizione dell'incremento delle sollecitazioni

C	F	K2	K1	ΔN (kN)	ΔM (kNm)
0.309	26.38	1.131	0.15	± 64.4	± 13.2

Tabella 11-4: Valori dei coefficienti adimensionali ed incremento delle sollecitazioni dovute al sisma

Si riportano di seguito allo SLV, i valori delle sollecitazioni di calcolo in condizioni sismiche sono stati ottenuti aggiungendo alle sollecitazioni della combinazione SLE il massimo valore dell'incremento dovuto all'effetto sismico (scorrimento impedito) secondo le combinazioni seguenti:

- 1) $N + \Delta N_{sisma}$ e $M + \Delta M_{sisma}$;
- 2) $N - \Delta N_{sisma}$ e $M + \Delta M_{sisma}$.

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Relazione tecnica e di monitoraggio A22	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GB0000005	REV. A	FOGLIO. 48 di 88

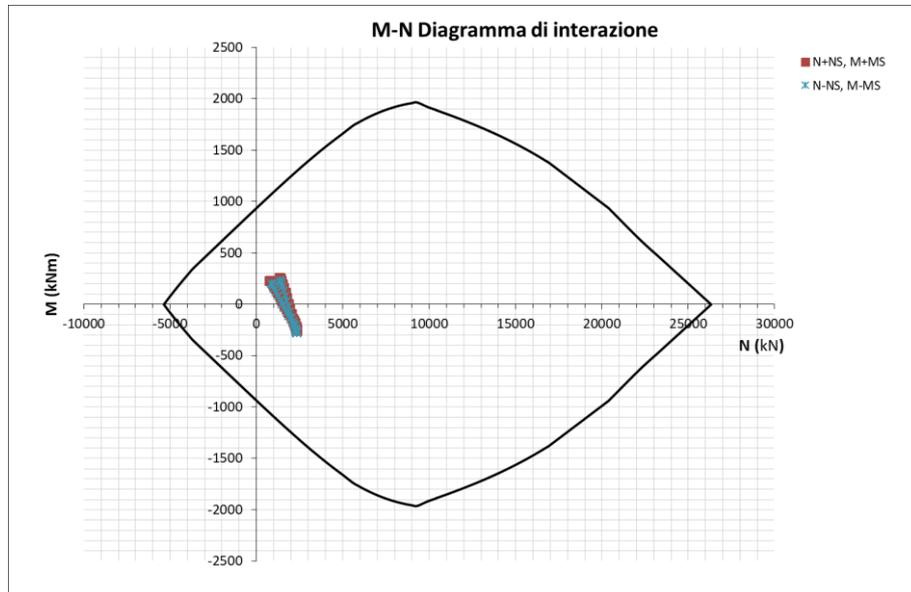


Figura 11-12: Dominio M-N verifiche sismiche Fase 3

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione tecnica e di monitoraggio A22	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GB0000005	REV. A	FOGLIO. 49 di 88

11.3 CARICO ASIMMETRICO

11.3.1 Interazione galleria - terreno

Per l'analisi di interazione galleria – terreno si è utilizzata la stratigrafia riportata in Tabella 7-1.

L'interazione galleria-terreno è stata valutata mediante una apposita analisi numerica FEM, utilizzando il codice di calcolo Plaxis 2D.

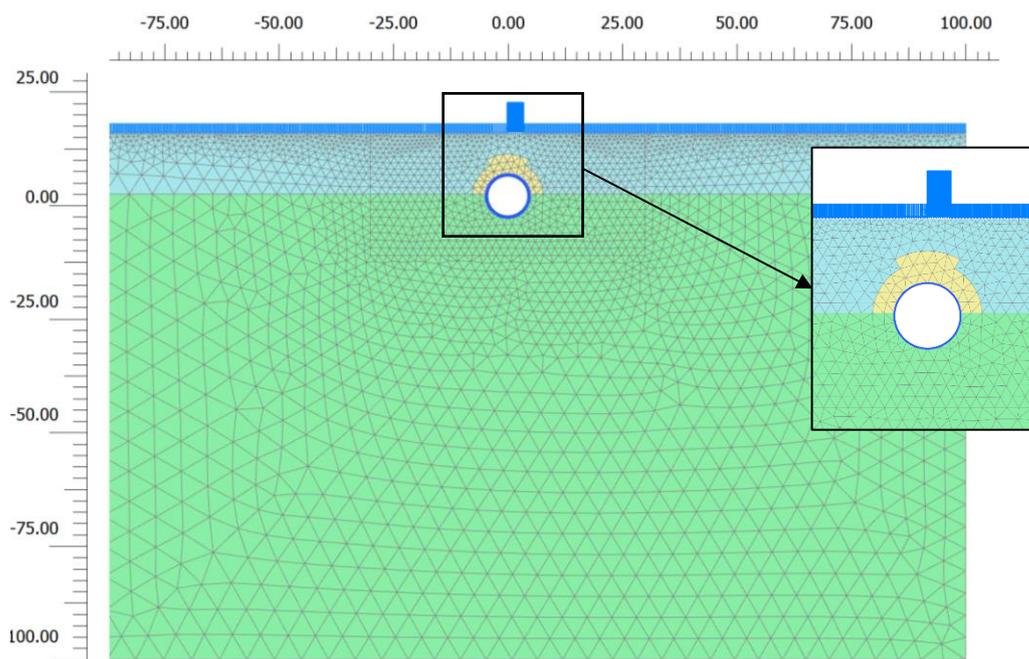


Figura 11-13: Geometria di analisi

I bordi del modello numerico sono stati collocati sufficientemente lontani dalla galleria, in modo tale che le condizioni di vincolo ivi definite non interferiscano con i processi di scavo e costruzione in esame.

Nelle sezioni in corrispondenza dei depositi alluvionali o glaciali, il dimensionamento dei conci prefabbricati è stato valutato nella condizione più sfavorevole e cioè andando ad applicare l'intero carico prodotto dal ricoprimento sugli elementi strutturali.

Le fasi di analisi sono le seguenti:

- 1) Inizializzazione dello stato tensionale;
- 2) Applicazioni dei carichi stradali;
- 3) Rilascio completo dello stato tensionale (100%) con attivazione dei conci prefabbricati.

Nelle tabelle seguenti si riportano le sollecitazioni derivanti dall'analisi numerica a metro di galleria, prive di fattori amplificativi, e le sollecitazioni adottate nelle verifiche strutturali; queste ultime risultano moltiplicate per il coefficiente $\gamma_G = 1.3$ e per la lunghezza del concio $b = 1.8\text{m}$ mentre il momento, per considerare la riduzione della rigidità dovuta alla presenza dei giunti tra ciascun concio, il momento flettente viene moltiplicato per un coefficiente aggiuntivo ricavato mediante la formulazione di Muir-Wood $(1+\xi) = 1.31$.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione tecnica e di monitoraggio A22	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GB0000005	REV. A	FOGLIO. 50 di 88

Fase 3.1	Sollecitazioni da analisi numerica			Sollecitazioni di verifica SLU		
	N (kN/m)	M (kNm/m)	T (kN/m)	N (kN)	M (kNm)	T (kN)
Nmax	-1262.1	-148.1	12.3	-2953.4	-454.0	28.8
Nmin	-442.0	120.5	-2.9	-1034.3	369.3	-6.7
Mmax	-703.9	137.6	1.8	-1647.2	421.7	4.3
Mmin	-1260.3	-149.7	-2.7	-2949.2	-458.7	-6.4
Tmax	-985.0	-2.7	74.2	-2304.9	-8.3	173.7
Tmin	-991.4	-5.8	-74.8	-2319.9	-17.9	-175.1

Tabella 11-5: Sollecitazioni sui conci

La verifica delle sezioni degli elementi strutturali è condotta, in accordo con la vigente normativa, secondo il metodo degli stati limite, verificando la corrispondenza delle sezioni allo stato limite ultimo S.L.U. (SLU combinazione A1+M1+R1 con A1=1.3) ed agli stati limite di esercizio S.L.E.

Lo sforzo normale è considerato negativo se di compressione, il momento flettente è considerato positivo se tende le fibre di intradosso del rivestimento.

Si riportano di seguito i grafici relativi agli andamenti degli sforzi ottenuti dalla simulazione in Plaxis 2D:

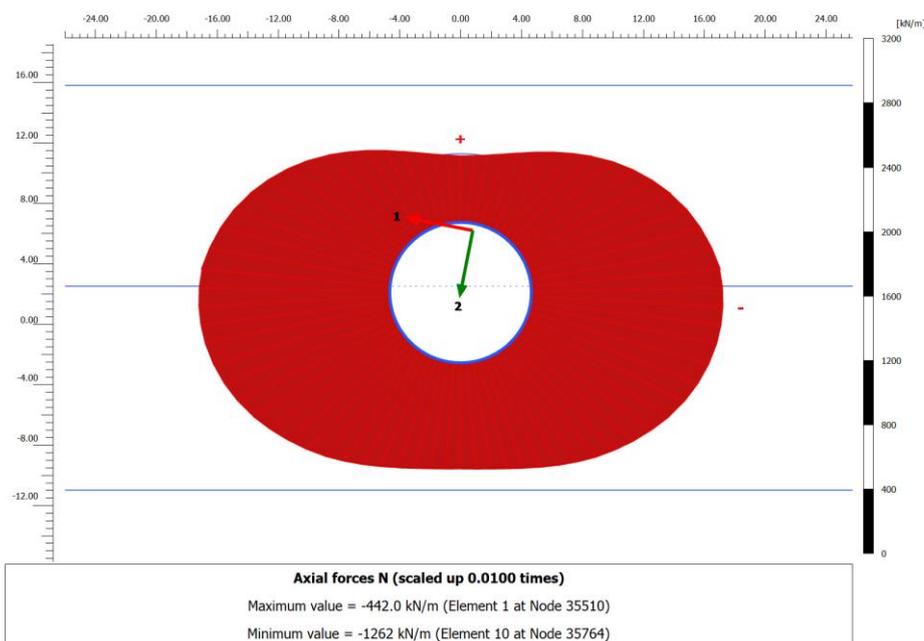


Figura 11-14: Diagramma dello sforzo normale. Fase 3

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione tecnica e di monitoraggio A22	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GB0000005	REV. A	FOGLIO. 51 di 88

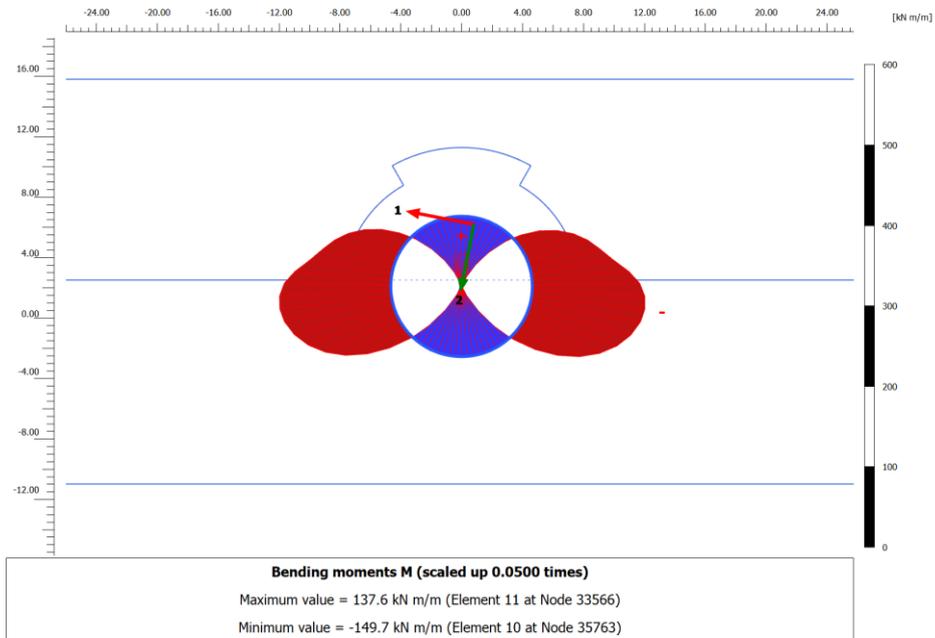


Figura 11-15: Diagramma del momento flettente. Fase 3

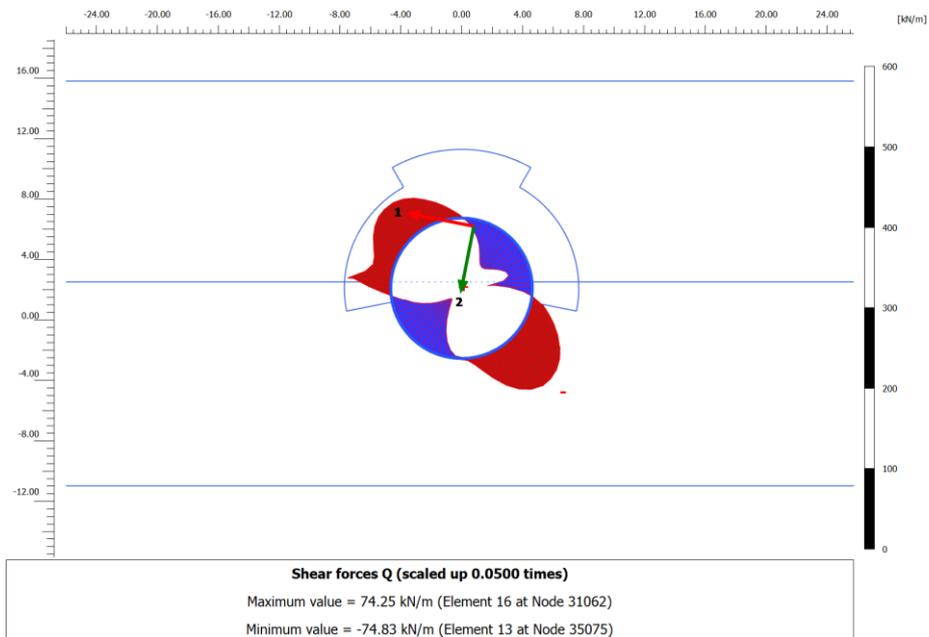


Figura 11-16: Diagramma del taglio. Fase 3

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
08 - GALLERIE		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione tecnica e di monitoraggio A22		IBOU	1BEZZ	RH	GB0000005	A	52 di 88

11.3.2 Verifiche

Nel seguente paragrafo si riportano le verifiche agli Stati Limite Ultimi (SLU), agli Stati Limite di Esercizio (SLE) e nei riguardi dell'esposizione al fuoco durante la fase operativa secondo quanto descritto all'interno del dell'elaborato IBOU1BEZZRHGN0000003 "Relazione generale e di calcolo di conci in calcestruzzo armato – Tipo B e C".

Di seguito si riportano i domini di rottura e lo stato tensionale l'ipotesi costruttiva menzionata al §8.1 considerando in questa sezione l'applicazione della tipologia di armatura costituita da 18+18Ø22mm con staffe Ø10 a passo 250mm con 4 bracci.

Verifiche a presso-flessione allo Stato Limite Ultimo (S.L.U.)

Nella tabella seguente si riportano le verifiche allo Stato Limite Ultimo delle sezioni più rappresentative dello stato tensionale agente sul rivestimento. I valori delle sollecitazioni di calcolo sono ottenuti amplificando le sollecitazioni derivanti dall'analisi numerica come precedentemente descritto.

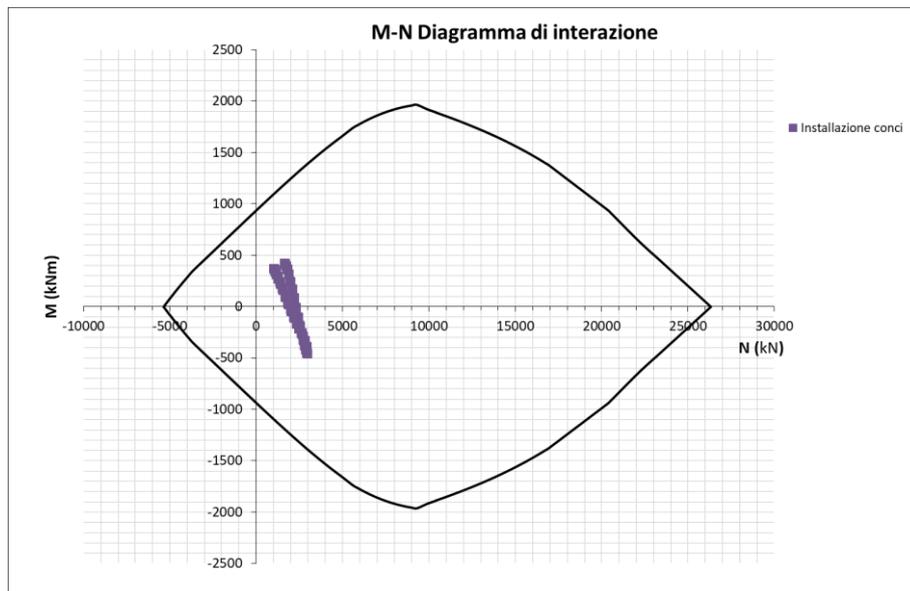


Figura 11-17: Dominio M-N. Fase 3

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione tecnica e di monitoraggio A22	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GB0000005	REV. A	FOGLIO. 53 di 88

Verifica a taglio allo SLU

Nella figura seguente si riportano le verifiche allo SLU delle sezioni più significative. I valori delle sollecitazioni di calcolo sono ottenuti amplificando le sollecitazioni derivanti dall'analisi numerica come precedentemente descritto. È stata verificata la sollecitazione di taglio, al variare dell'angolo ϑ che descrive l'anello, nella fase più critica.

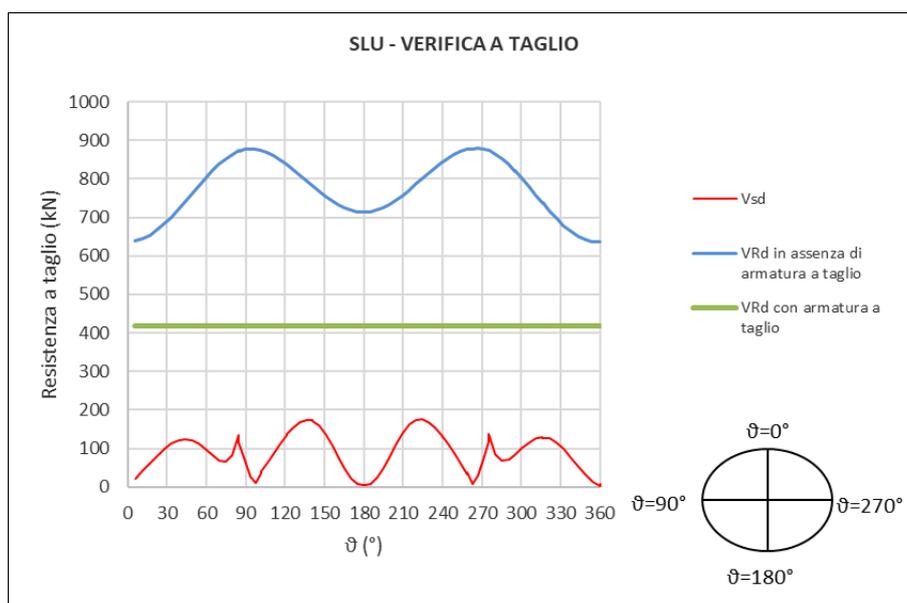


Figura 11-18: Verifica a taglio. Fase 3

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione tecnica e di monitoraggio A22	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GB0000005	REV. A	FOGLIO. 54 di 88

Verifiche allo Stato Limite di Esercizio (S.L.E.)

Per le verifiche di fessurazione (SLE) si è assunto un valore limite di apertura delle fessure pari a $w_k=0.20$ mm in estradosso (condizioni ambientali aggressive, classe di esposizione XA2) e pari a $w_k=0.30$ mm in intradosso (condizioni ambientali ordinarie, classe di esposizione XC3), in accordo con quanto prescritto dalla Norma vigente ed una tensione massima nel calcestruzzo e nell'acciaio in accordo con quanto previsto dal DM 14/01/2008 (cfr. 10.2) Rif. [1].

Il copriferro netto (sul ferro più esterno) considerato nelle verifiche che seguono è assunto pari a 5 cm.

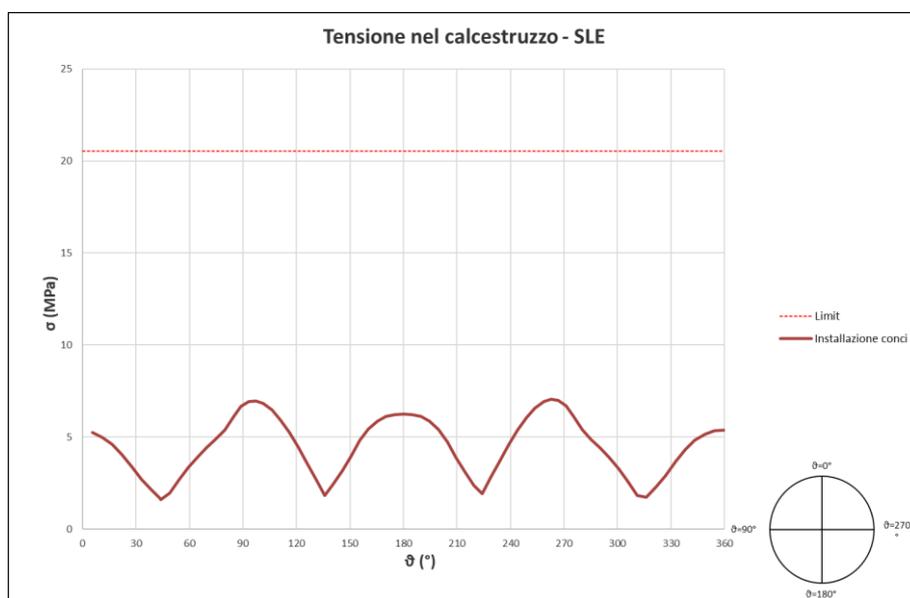


Figura 11-19: Stato tensionale sul calcestruzzo. Fase 3

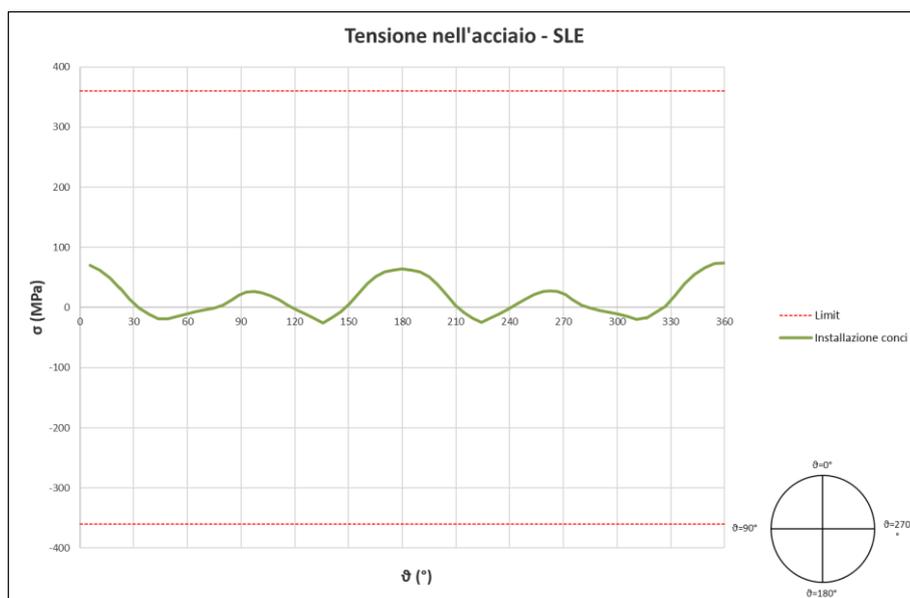


Figura 11-20: Stato tensionale acciaio. Fase 3

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione tecnica e di monitoraggio A22	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GB0000005	REV. A	FOGLIO. 55 di 88

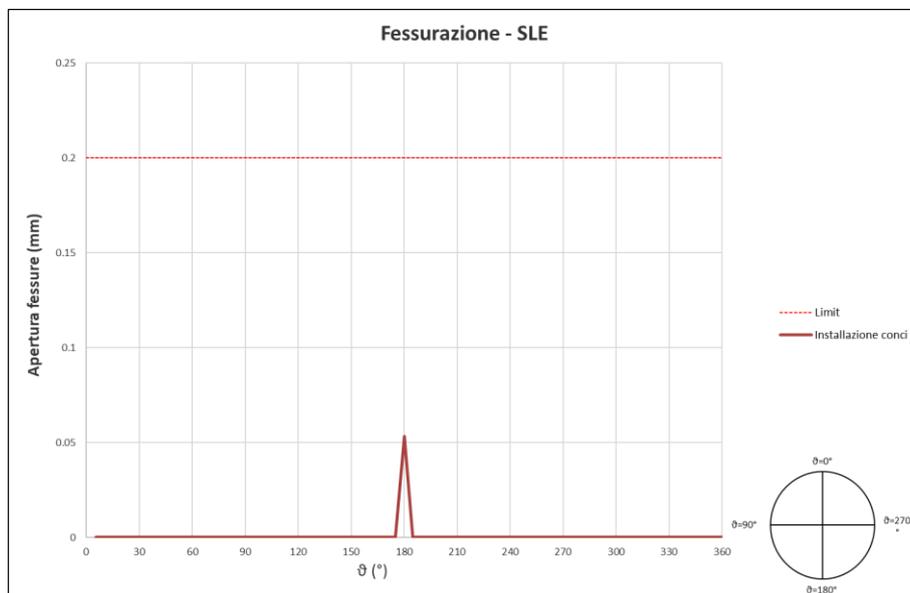


Figura 11-21: Stato di fessurazione. Fase 3

Dai grafici riportati si evince che le verifiche agli Stati Limite di Esercizio risultano tutte soddisfatte.

Verifiche nei riguardi dell'esposizione al fuoco

Per le specifiche sulle verifiche al fuoco si rimanda all'elaborato IBOU1BEZZRHGN0000003.

Le verifiche sono soddisfatte.

Verifica Sismiche dei conci

L'analisi di interazione opera-terreno è stata condotta anche nei confronti dell'azione sismica, mediante approccio semplificato pseudo-statico. L'analisi è stata eseguita in riferimento alla sezione trasversale della galleria considerando la deformazione tangenziale γ prodotta dall'azione sismica e trascurando l'interazione cinematica tra il rivestimento ed il terreno. La deformazione è quindi utilizzata per stimare gli incrementi di sollecitazione sul rivestimento della galleria, tramite soluzioni analitiche in forma chiusa. La tensione tangenziale massima agente alla quota della galleria è stimata mediante la seguente espressione, ottenuta dall'equilibrio dinamico di una colonna di terreno:

$$\tau_{max} = \sigma_v(z) \cdot r_d(z) \cdot \frac{a_{max,s}}{g}$$

dove:

- $\sigma_v(z)$: tensione verticale totale alla profondità z ;
- $r_d(z)$: fattore di attenuazione con la profondità che tiene conto del sincronismo del moto sismico assunto pari a: $r_d(z) = 1 - 0.015z$ (Iwasaki et al., 1978); nell'equazione la profondità z è espressa in metri;
- $a_{max,s}$: accelerazione massima in superficie ($a_{max,s} = S \cdot a_g$).

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	Mandanti:					PROGETTO ESECUTIVO
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST	M Ingegneria		
08 - GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione tecnica e di monitoraggio A22	IBOU	1BEZZ	RH	GB0000005	A	56 di 88

La deformazione tangenziale massima del terreno alla quota della galleria è calcolata come:

$$\gamma_{max} = \frac{\tau_{max}}{G}$$

Il modulo di rigidità G, nell'ipotesi di analisi lineare, coincide con quello iniziale G₀ (ricavato a partire dalle indagini geofisiche a disposizione).

Si riportano nel seguito i valori delle grandezze necessarie per la definizione dell'azione sismica:

Formazione	at1
Copertura	8.6
T _R	1898
a _g /g	0.07
Categoria di sottosuolo	B
S _s	1.2
Categoria topografica	T1
S _T	1.0
a _{max} /g	0.085

Tabella 11-6: Parametri per la definizione dell'azione sismica

Per la galleria naturale è stata considerata una vita nominale VN pari a 100 anni e una classe d'uso IV, a cui corrisponde il coefficiente C_u pari a 2.0 (§ 2.4.2, DM 17/01/2008).

Gli incrementi di sollecitazione sono stati stimati con le soluzioni analitiche proposte da Wang (Rif. [8]), riferite al caso di galleria circolare in semispazio omogeneo ed isotropo nell'ipotesi, a favore di sicurezza, di perfetta aderenza ("no-slip") all'interfaccia tra rivestimento e terreno.

La soluzione di Wang presenta le seguenti ipotesi:

- suolo definito come mezzo infinito, elastico, omogeneo e isotropo;
- rivestimento della galleria assimilato ad un tubo a pareti sottili;
- condizioni di aderenza e slittamento tra la galleria e il terreno.

Secondo la formulazione di Wang l'incremento delle sollecitazioni massime sul rivestimento della galleria è calcolato come segue:

$$N_{max} = \pm K_2 \frac{E_m}{2(1 + \nu_m)} R_l \gamma_{max}$$

$$M_{max} = \pm \frac{1}{6} K_1 \frac{E_m}{(1 + \nu_m)} R_l^2 \gamma_{max}$$

$$\frac{\Delta D_{max}}{D} = \pm \frac{1}{3} K_1 F \gamma_{max}$$

$$K_1 = \frac{12(1 - \nu_m)}{2F + 5 - 6\nu_m}$$

$$K_2 = 1 + \frac{F[(1 - 2\nu_m) - (1 - 2\nu_m)C] - \frac{1}{2}(1 - 2\nu_m)^2 + 2}{F[(3 - 2\nu_m) + (1 - 2\nu_m)C] + C[\frac{5}{2} - 8\nu_m + 6\nu_m^2] + 6 - 8\nu_m}$$

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione tecnica e di monitoraggio A22	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GB0000005	REV. A	FOGLIO. 57 di 88

In cui k_1 e k_2 rappresentano i coefficienti di risposta.

I fattori di rigidezza a compressione e flessione che compaiono nelle espressioni di Wang sono i seguenti:

$$C = \frac{E_m(1 - \nu_i^2)R_i}{E_i t(1 + \nu_m)(1 - 2\nu_m)}$$

$$F = \frac{E_m(1 - \nu_i^2)R_i^3}{6E_i I_{i,1}(1 + \nu_m)}$$

in cui :

- E_m rappresenta il modulo elastico dinamico del terreno;
- ν_m rappresenta il coefficiente di Poisson del terreno;
- R_i è il raggio nominale della galleria;
- E_i è il modulo elastico del calcestruzzo costituente il rivestimento;
- ν_i è il coefficiente di Poisson del calcestruzzo;
- $I_{i,1}$ è il momento di inerzia del rivestimento;
- t_i è lo spessore dell'anello.

Nella tabella seguente si riportano i parametri utilizzati per il calcolo dell'incremento delle sollecitazioni:

R_i (m)	E_m (kPa)	ν_m (-)	E_i (kPa)	ν_{CLS} (-)	t_i (m)	I_i (m ⁴ /m)	γ_{max} (-)
4.65	500000	0.3	31447000	0.15	0.45	0.0076	6.37E-05

Tabella 11-7: Parametri per la definizione dell'incremento delle sollecitazioni

C	F	K2	K1	ΔN (kN)	ΔM (kNm)
0.309	26.38	1.131	0.15	± 64.4	± 13.2

Tabella 11-8: Valori dei coefficienti adimensionali ed incremento delle sollecitazioni dovute al sisma

Si riportano di seguito allo SLV, i valori delle sollecitazioni di calcolo in condizioni sismiche sono stati ottenuti aggiungendo alle sollecitazioni della combinazione SLE il massimo valore dell'incremento dovuto all'effetto sismico (scorrimento impedito) secondo le combinazioni seguenti:

- 3) $N + \Delta N_{sisma}$ e $M + \Delta M_{sisma}$;
- 4) $N - \Delta N_{sisma}$ e $M + \Delta M_{sisma}$.

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Relazione tecnica e di monitoraggio A22	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GB0000005	REV. A	FOGLIO. 58 di 88

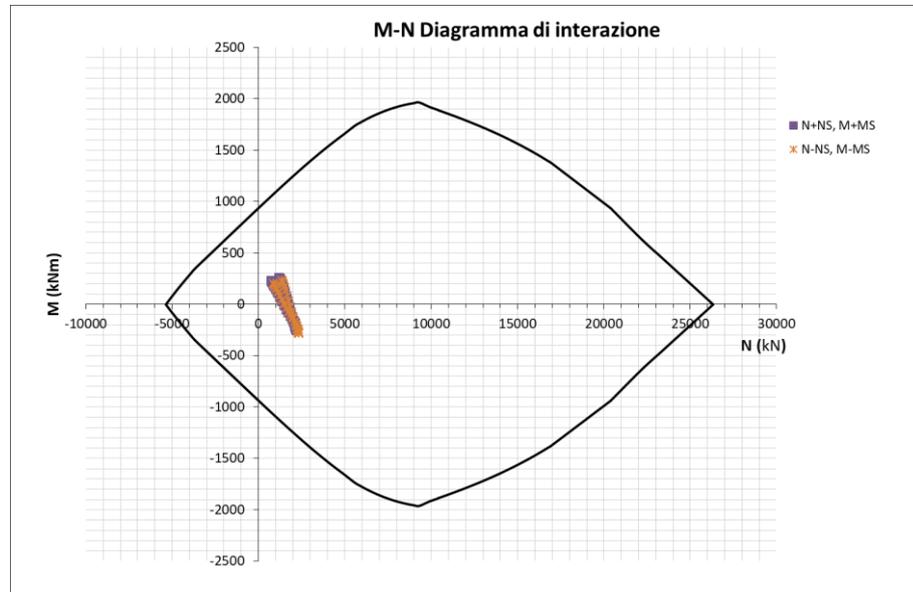


Figura 11-22: Dominio M-N verifiche sismiche Fase 3

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
08 - GALLERIE		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione tecnica e di monitoraggio A22		IBOU	1BEZZ	RH	GB0000005	A	59 di 88

12. PIANO DEL MONITORAGGIO

12.1 METODOLOGIA

La metodologia adottata segue il principio di progettazione "osservazionale", correttamente applicata nel campo dell'ingegneria geotecnica e per le opere in sottterraneo come indicato nella figura seguente.



Fig. 12-1 Diagramma di flusso relativo alla metodologia di progettazione osservazionale

Il sistema di monitoraggio descritto nella presente relazione ha dunque lo scopo di definire gli strumenti ed i parametri significativi per operare il continuo confronto tra il comportamento reale del terreno e delle strutture (nuove e preesistenti) e le ipotesi progettuali.

In particolare, il Piano di Monitoraggio deve consentire:

- la verifica dell'efficacia delle soluzioni progettuali prescelte in ragione della variabilità locale dell'assetto geologico-strutturale, attraverso misure dello stato deformativo e tensionale delle strutture;
 - la misura della situazione deformativa del terreno nella zona d'influenza circostante gli scavi;
 - la verifica della situazione deformativa sui manufatti e strutture presenti nell'area di influenza degli scavi.
- Tutto ciò al fine di avallare le scelte operate e, se necessario, prevenire con sufficiente anticipo le possibili situazioni sfavorevoli effettuando le necessarie modifiche. Per consentire questo è necessario individuare alcuni parametri chiave e definire dei valori di soglia per gli stessi. Al superamento di limiti stabiliti in base alle condizioni previste, vengono quindi associate azioni e contromisure atte a garantire la sicurezza dei lavoratori e delle strutture (presenti o in fase di realizzazione).

Il progetto del sistema di monitoraggio comprende, dunque, i seguenti elementi:

- definizione dei parametri chiave del monitoraggio;
- definizione delle sezioni tipo di monitoraggio e della tipologia di strumentazione da mettere in opera, sia per le strutture che per i manufatti preesistenti;
- localizzazione delle sezioni tipo e dei manufatti cui applicare le strumentazioni;
- definizione della frequenza delle letture;

I controlli ed i monitoraggi saranno eseguiti durante tutta la fase di costruzione dell'opera e sino alla messa in servizio della stessa.

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
08 - GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione tecnica e di monitoraggio A22	IBOU	1BEZZ	RH	GB0000005	A	60 di 88

12.2 DEFINIZIONE DEL SISTEMA DI MONITORAGGIO

Rispetto al Progetto definitivo è stata modificata la metodologia di scavo prevista per la finestra di Funes, passando da uno scavo tradizionale ad uno scavo meccanizzato con EPB Dual-mode. La tecnologia di scavo proposta offre un avanzamento di circa 10-15 metri al giorno, riducendo a 2/3 giorni il tempo di attraversamento della zona interessata da questo report. Pertanto, anche il sistema di monitoraggio deve adeguarsi alla nuova metodologia proposta, aumentando la velocità di restituzione dei dati e permettendo l'elaborazione degli stessi in tempo reale per calibrare le contromisure da attuare (es. modifica della pressione al fronte)

Il Progetto Esecutivo prevede per il monitoraggio del sottoattraversamento della A22 le seguenti attività:

- Punti di misura 3D direttamente sulla superficie dell'asfalto con metodologia reflectorless (A22);
- Punti di misura 3D composti da picchetti dotati di target riflettenti (campo aperto adiacente).
- Array orizzontale di sensori mems per la misura spostamenti 3d ad elevata accuratezza posizionato in corrispondenza della pavimentazione stradale (interasse sensori 2.00m)
- Array verticale di sensori mems per la misura spostamenti 3d ad elevata accuratezza posizionato subverticale (interasse sensori 2.00m)
- Anello strumentato con barrette estensimetriche

Tutta la strumentazione elencata è da intendersi automatizzata con la possibilità di lettura in remoto in tempo reale in base alla frequenza richiesta.

Per maggiori dettagli si rimanda agli elaborati di Progetto, in particolare all' elaborato IB0U1BEZZPZGB0000012 di cui si riporta uno stralcio nelle figure seguenti.

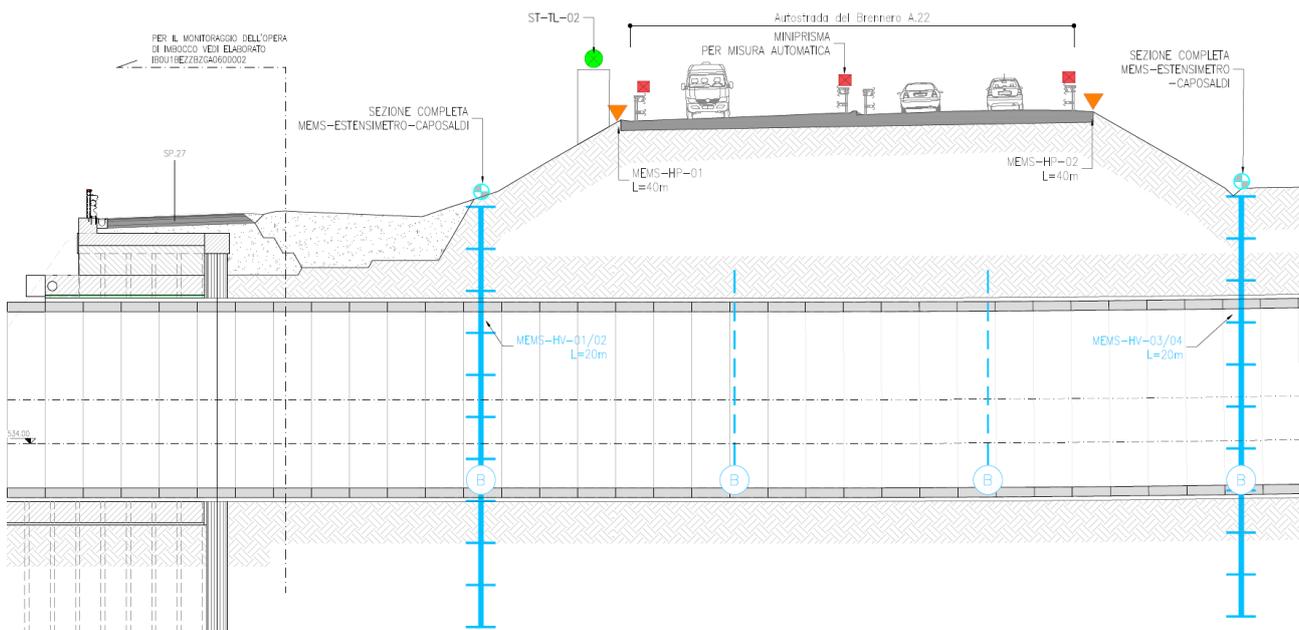


Fig. 12-2 Monitoraggio A22 Finestra di Funes – stralcio profilo longitudinale

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
08 - GALLERIE		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione tecnica e di monitoraggio A22		IBOU	1BEZZ	RH	GB0000005	A	61 di 88

Nei paragrafi seguenti si riportano le caratteristiche della strumentazione prevista in Progetto Esecutivo.

12.2.1 Misure topografiche

Le misure saranno eseguite in continuo mediante stazioni totali robotizzate comandate da remoto.

I requisiti delle stazioni totali sono:

- Precisione nella misura degli angoli di 0,5"
- Precisione misura della distanza 0,6mm+1ppm
- Velocità di rotazione di 200 gon/sec
- Velocità di misurazione (incluso la trasmissione dei dati) almeno 5 punti/min per la misurazione in un cerchio

Il sistema è concepito, per l'intero campo del rilievo per il monitoraggio dell'autostrada, per un intervallo di misurazione fino a 30 minuti ciascuna; inoltre, in caso di necessità sarà possibile stabilire fino a 20 punti con una priorità più alta, per i quali sarà possibile prevedere un intervallo di misurazione fino a 5 minuti.

Si prevede l'utilizzo di due tipologie di misura topografiche:

- Sistema reflectorless che misura i cedimenti dell'asfalto senza impiegare alcun riflettore, garantendo in questo modo una migliore continuità delle misure grazie all'assenza di elementi soggetti a danneggiamento.
- Prismi/target riflettenti installati su bulloni di misurazione speciali in modo da garantire che la visuale non venga ostacolata né dalle barriere di sicurezza né dalla vegetazione nello spartitraffico dell'autostrada

L'interasse dei punti è distribuito con una maglia circa 10x10 m, nei settori accessibili e direttamente interferenti con la galleria.

Per la disposizione della strumentazione topografica bisogna tenere in considerazione la presenza di vegetazione boschiva interferente con le traiettorie di misura. La posizione delle stazioni totali sarà pertanto definita in seguito ad un sopralluogo congiunto con il responsabile della topografia, per identificare l'ubicazione ideale.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione tecnica e di monitoraggio A22	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GB0000005	REV. A	FOGLIO. 63 di 88

12.2.2 Array di sensori mems orizzontali e verticali

Per incrementare la sicurezza e l'accuratezza delle misure, sono previsti 2 array orizzontali e 4 verticali di sensori MEMS (Micro Electro-Mechanical Systems) per la misura di spostamenti 3D in corrispondenza della pavimentazione stradale.

Considerando l'estensione del bacino di subsidenza, e la necessità di misurare la distorsione angolare della pavimentazione stradale, sono previsti array orizzontali di lunghezza 60 metri con un interasse dei sensori pari a 2 metri; sono previsti array verticali di lunghezza 20 m con interasse dei sensori pari a 2m.

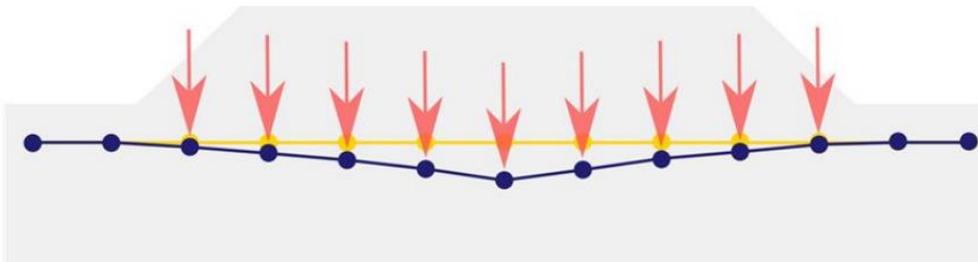


Fig. 12-5 schema rappresentativo del funzionamento dell'array MEMS

Lo scavo meccanizzato prevede una velocità di avanzamento molto più elevata rispetto allo scavo in tradizionale e pertanto si rende necessario un sistema di monitoraggio altrettanto rapido, che permetta di intervenire tempestivamente nel mettere in campo le contromisure previste.

In fase di dettaglio verrà eseguito un sopralluogo per identificare la posizionale ideale degli array di sensori in modo tale che non interferiscano con travi armate di irrigidimento presenti per i guardrail che potrebbero minimizzare la lettura dei cedimenti.

12.2.3 Anello strumentato con barrette estensimetriche

Per la misura delle tensioni nel rivestimento definitivo è previsto il posizionamento di un anello strumentato sotto l'asse autostradale. Questa tipologia di misura non può fornire informazioni utili sulle contromisure da intraprendere nel breve termine, ma fornisce una informazione utile per monitorare lo stato del rivestimento sul lungo termine.

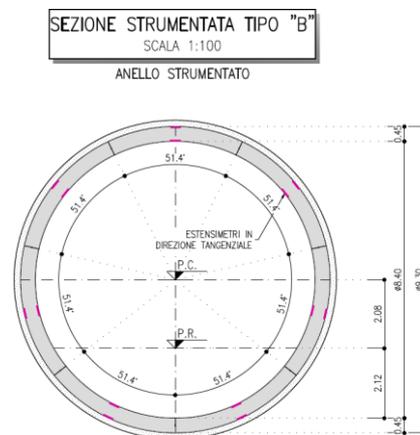


Fig. 12-6 illustrazione dell'anello strumentato con barrette estensimetriche

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione tecnica e di monitoraggio A22	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GB0000005	REV. A	FOGLIO. 64 di 88

12.3 FREQUENZA DI MISURAZIONE

Nella tabella seguente si riportano le frequenze dei rilievi delle misure, definite in funzione della distanza con il fronte di scavo.

FINESTRA DI FUNES – MONITORAGGIO RILEVATO A22			
DISTANZA DAL FRONTE/TEMPO	INTERVALLO T (giorni)	STRUMENTAZIONE	FREQUENZA
lettura di zero D<-30m e non prima di un mese dall'arrivo della tbm	15	Automatica	1g
		Manuale	2g
-30m<d<30m	4-15 (stima)	Automatica	1h
		Manuale	12h
30m<d<60m	2-7 (stima)	Automatica	19h
		Manuale	1g
d>60m / fino a 1 mese dopo	30	Automatica	12h
		Manuale	7g
d>60m1 mese<= 3 mesi e fino a stabilizzazione dato	60	Automatica	10g
		Manuale	30g

Le misure potranno essere intensificate e diratate in funzione della tendenza del dato.

Fig. 12-7 Frequenza delle misurazioni

Le misurazioni si concluderanno quando, terminati i lavori, non si manifestano variazioni delle misure maggiori della precisione di rilevamento nell'arco di un mese.

12.4 ACQUISIZIONE, TRASMISSIONE, GESTIONE E ARCHIVIAZIONE DATI

In questo capitolo viene illustrato il sistema di gestione dei dati di monitoraggio in corso relativo al sottopassaggio della A22.

Considerata la natura, la mole e la ripetitività in continuo delle misurazioni di monitoraggio previste, il sistema di monitoraggio è impostato sulla massima automazione possibile.

Per questo i valori di misurazione rilevati elettronicamente nei punti di misura di tutte le sezioni di misurazione saranno trasmessi automaticamente alla gestione dati centrale.

12.5 RUOLI E FLUSSO DELLE INFORMAZIONI

Il Responsabile del Monitoraggio (RM), identificato nell'organigramma dell'appaltatore, in caso di superamento delle soglie di avviso, allerta, valore limite (allarme) predefinite dovrà diramare l'opportuna comunicazione alla Direzione di Cantiere, alla Direzione dei Lavori, al CSE ed a RFI.

RFI a sua volta valuterà l'opportunità di diramare la comunicazione, a seconda della criticità venutasi a determinare, ad A22, Provincia, Comune, Protezione Civile.

Il RM avrà anche il compito di validare, sotto gli aspetti strumentali, i dati acquisiti dal Sistema.

Inoltre, sulla base di considerazioni tecniche, della propria esperienza e delle eventuali segnalazioni dei rilevatori dovrà identificare e depurare tutti i dati ritenuti anomali, qualora presenti, dandone sempre evidenza e motivandone la classificazione.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
08 - GALLERIE		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione tecnica e di monitoraggio A22		IBOU	1BEZZ	RH	GB0000005	A	65 di 88

I dati grezzi (non elaborati, filtrati e/o processati) dovranno comunque essere sempre archiviati e restare disponibili per possibili verifiche da parte di tutti i soggetti coinvolti ed autorizzati.

Tutti i dati dovranno comunque essere trasmessi giornalmente alla Direzione Lavori, o dovrà essere data comunicazione dell'avvenuto aggiornamento del database.

La consultazione degli stessi potrà avvenire tramite piattaforma informatica da parte dei soggetti interessati (DL-RFI e CSE). DL-RFI aggiornerà, secondo modalità da loro definite, le Amministrazioni e gli Enti Gestori interessati.

L'appaltatore (APP) aggiornerà i progettisti incaricati dell'assistenza tecnica in cantiere che, in caso di necessità, potranno coinvolgere la propria sede per eventuali approfondimenti di natura progettuale.

Il RM dovrà inoltre segnalare ai soggetti interessati eventuali guasti della strumentazione e situazioni che a suo giudizio richiedano attenzione (esempio misure non stabilizzate, incremento delle velocità deformative, valori disomogenei tra strumenti adiacenti, etc.) anche se con valori ancora inferiori alle soglie di avviso, allerta, valore limite (allarme) definiti in Progetto.

Infine, eventuali valori di monitoraggio che richiedano attenzioni particolari vengono illustrati e commentati in sede delle riunioni geotecniche che si svolgono regolarmente tra Appaltatore, DL, Committente e Progettista.

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Relazione tecnica e di monitoraggio A22	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GB0000005	REV. A	FOGLIO. 66 di 88

13. DEFINIZIONE DEI VALORI SOGLIA E RELATIVI INTERVENTI

Per il monitoraggio dell'opera autostradale, sulla base di progetti simili internazionali, viene individuato come parametro principale per la verifica della qualità geometrica dell'A22 il cambiamento della pendenza longitudinale/distorsione angolare.

Nel presente capitolo viene fornita la definizione di tale parametro geometrico, la definizione delle soglie di avviso, allerta e di allarme.

Per ogni soglia vengono poi definiti gli interventi e le contromisure da attuare al superamento di determinate soglie.

13.1 DEFINIZIONE DISTORSIONE ANGOLARE

La distorsione angolare è quel valore che permette di valutare il cedimento differenziale in base all'avvallamento.

La distorsione angolare risulta dal rapporto della differenza di cedimento dei punti adiacenti e della loro distanza $\Delta s/L_{\min}$. Questo corrisponde alla tangente dell'angolo β e viene riportata come rapporto 1:x o in per mille.

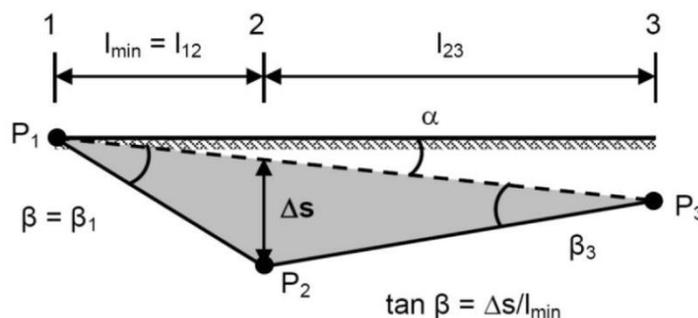


Fig. 13-1 schema di interpretazione distorsione angolare.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
08 - GALLERIE		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione tecnica e di monitoraggio A22		IBOU	1BEZZ	RH	GB0000005	A	67 di 88

13.2 DEFINIZIONE DEI VALORI DI SOGLIA

Per i valori di soglia delle distorsioni angolari, si faccia riferimento ai valori di avviso, di attenzione e di allarme dei parametri monitorati riportati nella tabella seguente:

Limite	Soglie	Azioni al superamento delle soglie
Limite di avviso	0.833‰ 1:1200	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aumento della pressione al fronte ▪ Verifica visiva sul posto ▪ Segnalazione alla DL ▪ Valutazione svolgimento attività eseguite
Limite di allerta	1.250‰ 1:800	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Riempimento e pressurizzazione del gap tra lo scavo e lo scudo ▪ Verifica delle misurazioni ▪ Indagine visiva sul posto ▪ Segnalazione alla DL ed A22 ▪ Implementazione interventi per evitare di raggiungere il valore di allarme (aumento della pressione al fronte fino al valore di attenzione)
Limite di allarme	1.667‰ 1:600	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Adozione di misure aggiuntive rispetto al raggiungimento del valore limite (aumento della pressione al fronte fino al valore di allarme) ▪ Adozione di eventuali misure di limitazione dell'esercizio

Tabella 13-1: Monitoraggio rilevato A22, valori di avviso, di allerta e di allarme parametri monitorati.

13.3 INTERVENTI E CONTROMISURE

Il vantaggio di utilizzare una macchina EPB Dual-mode, adeguatamente equipaggiata, è quello di poter agire in modo diretto sui parametri che controllano i cedimenti e quindi le distorsioni angolari durante il sottoattraversamento dell'A22.

In alcune condizioni particolari, per garantire la stabilità del cavo e limitare i cedimenti durante l'avanzamento, è necessario introdurre una serie di contromisure come quelle di seguito elencate in ordine di importanza e attuazione:

- Pressione al fronte: regolazione della pressione al fronte utilizzando il materiale già scavato attraverso il controllo dell'estrazione dello smarino da parte della coclea.
- Riempimento e pressurizzazione del gap tra lo scavo e lo scudo: il gap presente tra la sezione di scavo e lo scudo risulta essere la causa primaria di assestamenti successivi allo scavo. Per superare questo problema e limitare i cedimenti per il tunnel scavato in EPB Dual-mode a bassa profondità in terreni non coesivi è possibile procedere attraverso l'iniezione di una miscela bentonitica attraverso fori radiali attraverso lo scudo. Le celle di pressione sullo scudo permettono di monitorare l'efficacia dell'intervento stesso;
- Aumento pressione di coda: un ulteriore causa di cedimenti che seguono il passaggio dello scudo della TBM e dovuto al gap-anulare tra l'anello prefabbricato posto in opera e il terreno. Aumentando la pressione di coda è possibile minimizzare ulteriormente gli effetti indotti;

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
08 - GALLERIE		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione tecnica e di monitoraggio A22		IBOU	1BEZZ	RH	GB0000005	A	68 di 88

14. ANALISI DEI CEDIMENTI

Nel seguente capitolo vengono riportate le analisi dei cedimenti per la zona di sottoattraversamento della sede autostradale di A22.

La sezione di analisi è stata definita in modo da esaminare le condizioni più gravose in termini di coperture e di interazione con il rilevato autostradale, al fine di esaminare l'effetto indotto dallo scavo della galleria in superficie.

14.1 CRITERIO DI MODELLAZIONE

Per la valutazione dei cedimenti in superficie e delle distorsioni si è proceduto imponendo un volume perso V_L in uno scenario di scavo atteso (0,1%), in uno scenario di scavo in cui vi siano dei problemi operativi (0,4%) e di uno scavo corrispondente ad uno svuotamento della camera di pressione (1,0%) attraverso l'applicazione di una contrazione radiale uniforme al contorno del cavo. Tali valori sono stati definiti in funzione del materiale attraversato e della metodologia di scavo.

Nelle analisi eseguite, la prima fase della modellazione consiste nel riprodurre lo stato tensionale iniziale nelle condizioni geostatiche, applicando un campo di sforzo di tipo gravitativo con un coefficiente di spinta a riposo tra pressioni orizzontali e verticali pari a k_0 .

Il calcolo è stato condotto in modalità green-field considerando il solo carico permanente derivante dal carico stradale.

14.2 SEZIONE DI ANALISI

L'interazione galleria-terreno è stata valutata mediante una apposita analisi numerica FEM, utilizzando il codice di calcolo Plaxis 2D.

Per la sezione di studio è stata considerata una copertura di 8.6 metri rispetto al piano campagna e sono stati analizzati i cedimenti con un volume perso di: $V_L = 0.1\% - 0.4\% - 1.0\%$.

La seguente immagine mostra i bacini di subsidenza al variare del volume perso.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione tecnica e di monitoraggio A22	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GB0000005	REV. A	FOGLIO. 69 di 88

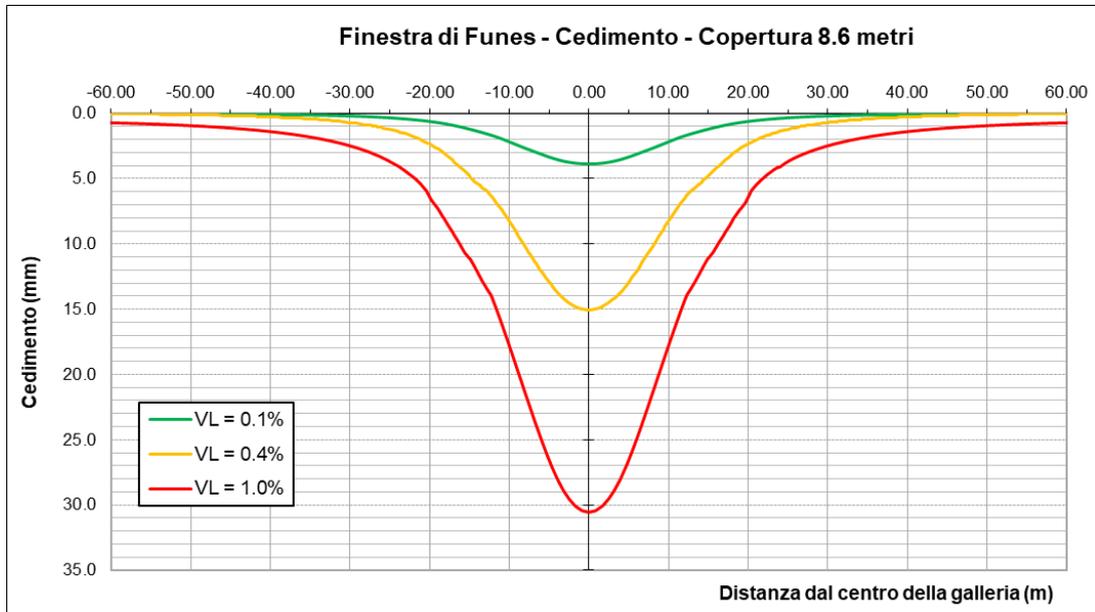


Figura 14-1: Cedimenti sezione A - V_L pari a 0.1%, 0.4%, 1.0%

14.3 ANALISI DELLE DISTORSIONI ANGOLARI

Le immagini che seguono mostrano la sovrapposizione tra i cedimenti ottenuti mediante il software Plaxis e una ricostruzione analitica della gaussiana del cedimento. Viene inoltre riportato il segmento di massima pendenza (massima distorsione angolare) calcolato sulla curva analitica (linea rossa).

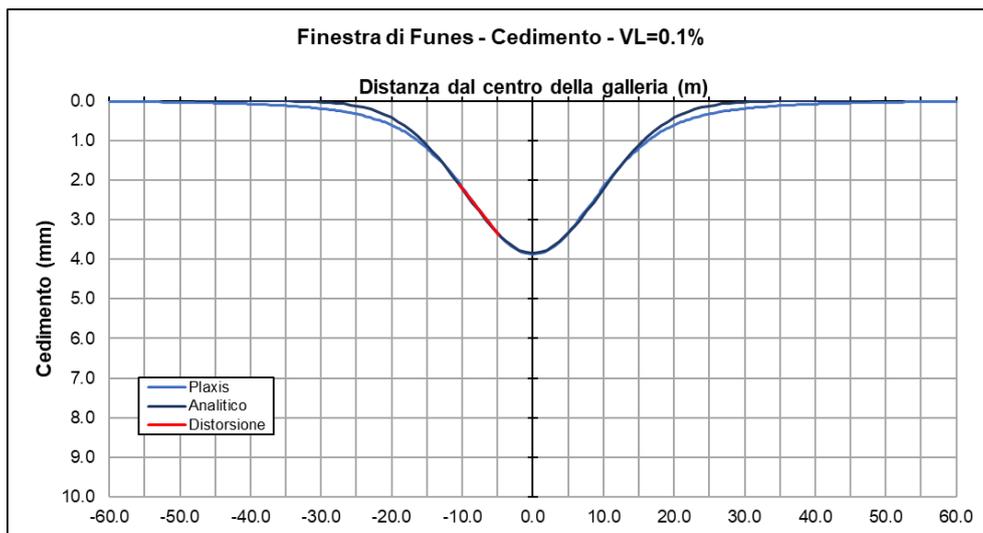


Figura 14-2: Subsidenza e distorsione massima per un volume perso $V_L = 0.1\%$.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione tecnica e di monitoraggio A22	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GB0000005	REV. A	FOGLIO. 70 di 88

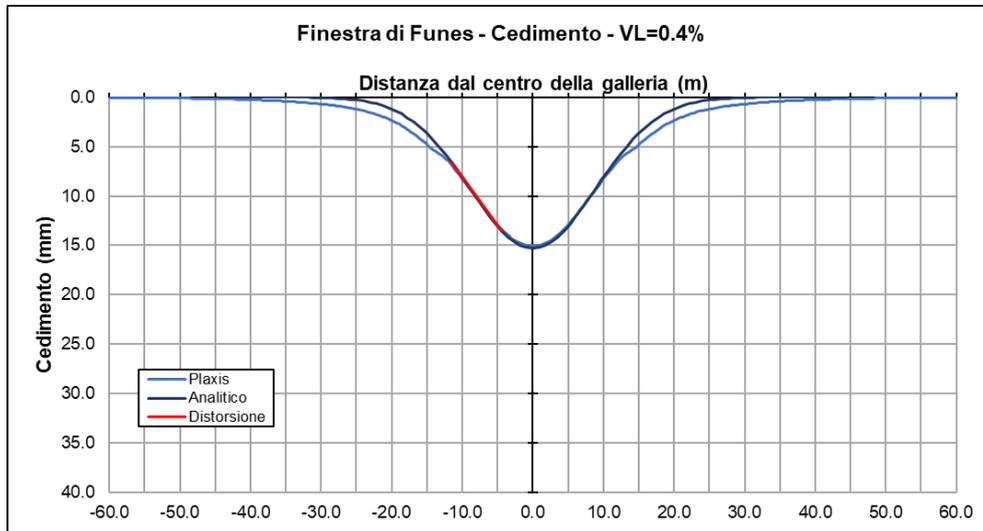


Figura 14-3: Subsidenza e distorsione massima per un volume perso $V_L = 0.4\%$.

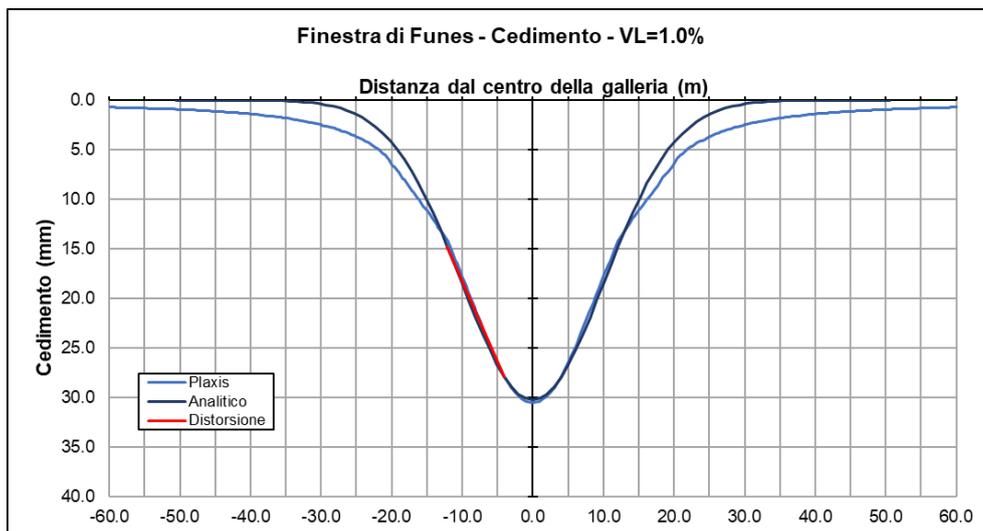


Figura 14-4: Subsidenza e distorsione massima per un volume perso $V_L = 1.0\%$.

Le distorsioni indotte dallo scavo della galleria rispetto al piano campagna risultano compatibili con i limiti imposti in fase di Progetto Definitivo riportati nell'Elaborato IBL1BD07P8GN0000001B, come mostrato nella tabella seguente.

Limite avviso	Limite allerta	Limite di allarme	Output Plaxis $V_L = 0.1\%$	Output Plaxis $V_L = 0.4\%$	Output Plaxis $V_L = 1.0\%$

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione tecnica e di monitoraggio A22	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GB0000005	REV. A	FOGLIO. 71 di 88

Distorsione angolare Δ_s / L_{min}	0.833 ‰ 1:1200	1.25 ‰ 1:800	1.67 ‰ 1:600	0.23 ‰	0.98 ‰	1.63 ‰
Cedimento Δ_{max}	18 mm	27 mm	37 mm	3.86 mm	15.03 mm	30.55 mm
Cedimento Δ_s	7 mm	11 mm	14 mm	1.29 mm	6.94 mm	13.21 mm
Larghezza L_{min}	8.6 m	8.6 m	8.6 m	5.73 m	7.1 m	8.08 m

Tabella 14-1: Limiti distorsioni angolari e relativi cedimenti

Per la comprensione delle tabelle viene riportato un grafico con la definizione delle grandezze geometriche analizzate. La distorsione angolare $\tan\beta$ viene espressa come rapporto tra il cedimento Δ_s e la larghezza L_{min} che nel nostro caso coincide con la distanza del flesso dall' asse.

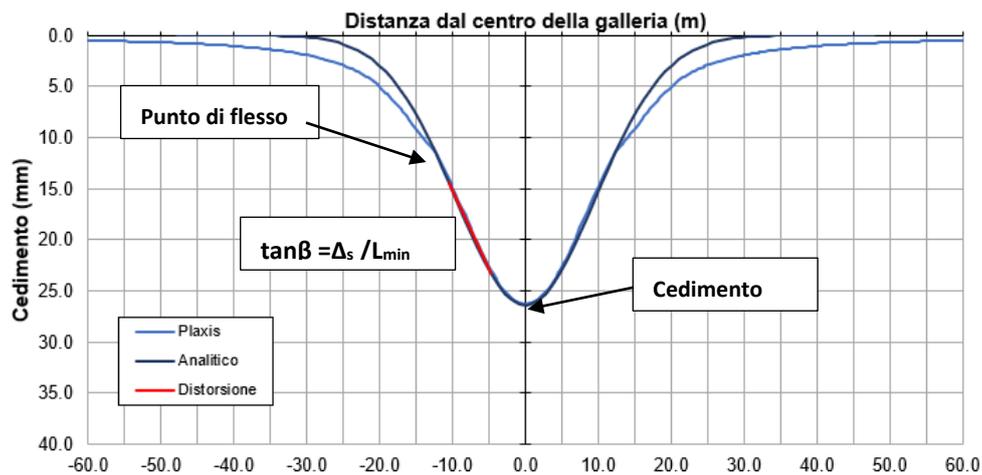


Figura 14-5: Definizione geometrica della distorsione angolare.

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Relazione tecnica e di monitoraggio A22	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GB0000005	REV. A	FOGLIO. 72 di 88

15. ANALISI DELLE PRESSIONI AL FRONTE

Nel caso di scavo mediante il sistema EPB Dual-mode il mantenimento della pressione avviene meccanicamente attraverso la compensazione dei volumi di terra scavati e dei volumi passanti attraverso la coclea in corrispondenza della testa della fresa.

Il valore della pressione di sostegno da applicare in presenza di moti di filtrazione, con riferimento al meccanismo di scivolamento tridimensionale di Horn [1961], si ottiene dalla seguente espressione (Anagnostou e Kovari, 1996):

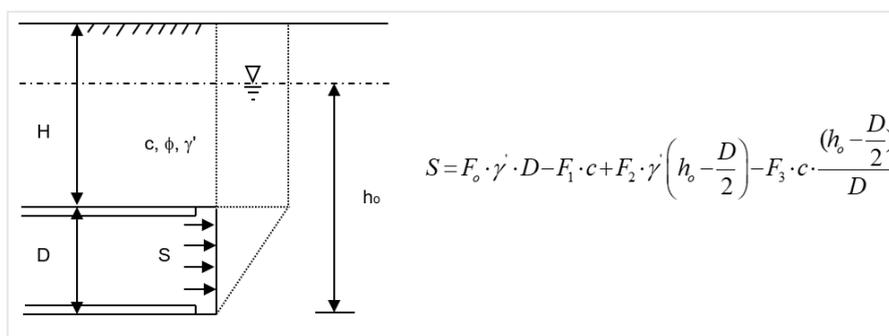


Figura 15-1: Stabilità del fronte secondo il metodo Anagnostou e Kovari

In cui:

- S' = valore della pressione efficace stabilizzante da applicare al fronte;
- $\Delta h = h_0 - h_f$ (differenza di carico idraulico al fronte);
- h_0 = altezza della falda libera (a partire dalla quota arco rovescio);
- h_f = carico idraulico all'interno della camera di scavo (fino alla quota arco rovescio);
- F_0, F_1, F_2, F_3 = coefficienti adimensionali dipendenti dall'angolo di attrito del terreno ϕ' , dai rapporti H/D (copertura/diametro della galleria) e $(h_0 - D)/D$.

La forza efficace di stabilizzazione viene determinata integrando le forze di massa associate al cuneo di spinta finale. Nel caso specifico il calcolo è stato condotto ipotizzando l'assenza di moti di filtrazione verso il fronte, assumendo cioè $h_0 = h_f$.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione tecnica e di monitoraggio A22	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GB0000005	REV. A	FOGLIO. 73 di 88

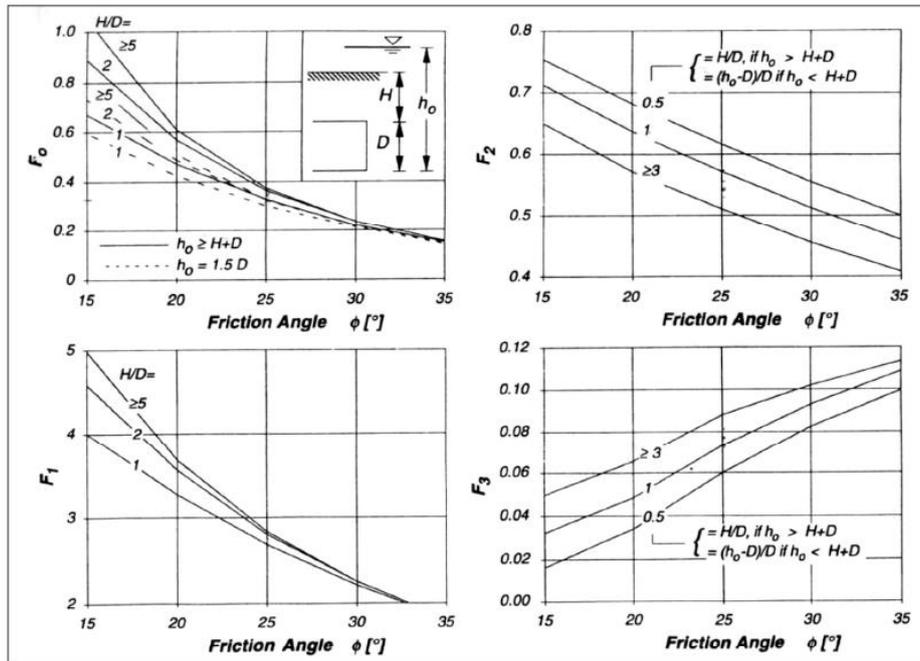
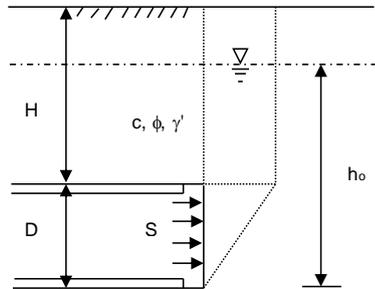


Figura 15-2: Abachi per la definizione dei coefficienti adimensionali

Il valore di pressione applicato al fronte non deve superare come limite inferiore il valore di spinta attiva (calcolato ad esempio secondo la formulazione di Anagnostou & Kovari) per garantire la stabilità del fronte e come limite superiore il valore di blow-out per evitare problemi di sollevamento in superficie.

Impiegando il metodo di Anagnostou e Kovari (1996) è stata ottenuta una pressione per garantire la stabilità del fronte pari a 0.70 bar per una copertura di 8.6 metri, come riportato in Figura 10-3. Questo valore viene impostato come il limite inferiore di pressione.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione tecnica e di monitoraggio A22	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GB0000005	REV. A	FOGLIO. 74 di 88



$$S = F_0 \cdot \gamma' \cdot D - F_1 \cdot c + F_2 \cdot \gamma' \left(h_0 - \frac{D}{2} \right) - F_3 \cdot c \cdot \frac{(h_0 - \frac{D}{2})}{D}$$

DATI DI PARTENZA			
D	9.3	[m]	Diametro della galleria
H	8.6	[m]	Copertura in calotta
γ'	20	[kN/m ³]	Peso per unità di volume
c	0	[kPa]	Coesione
ϕ	35	[°]	Angolo di attrito
h ₀	0	[m]	Altezza della falda rispetto al piano della galleria

PARAMETRI CORRETTIVI (Vedi grafici)		H/D	0.92
F ₀	0.15	Parametro correttivo funzione di $\phi, H/D, H+D$ e h_0 H+D= 17.9 h ₀ = 1.5D = 13.95	
F ₁	2	Parametro correttivo funzione di ϕ e H/D H/D= 0.92	
F ₂	0	Parametro correttivo funzione di ϕ e $\min(h_0-D, H)/D$ $\min(h_0-D, H)/D = -1.00$	
F ₃	0	Parametro correttivo funzione di ϕ e $\min(h_0-D, H)/D$ $\min(h_0-D, H)/D = -1.00$	

SPINTA MINIMA da applicare per avere la stabilità del fronte			
S	0.28	[bar]	In condizioni di EQ LIMITE

Applicando un fattore di sicurezza di 2.5 si ottiene:

S	0.70	[bar]
---	------	-------

Figura 15-3: Stabilità del fronte

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione tecnica e di monitoraggio A22	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GB0000005	REV. A	FOGLIO. 75 di 88

Il valore di pressione applicato al fronte non deve superare come limite superiore il valore di blow-out per evitare problemi di sollevamento in superficie calcolato come segue:

$$P_{\text{blow-out}} = 0.9 \times \gamma_{\text{min}} \times H_{\text{calotta}} = 0.9 \times 20\text{kN/m}^3 \times 8.6 \text{ m} = 155 \text{ kPa} = 1.5 \text{ bar}$$

Dove :

$P_{\text{blow-out}}$ = è la pressione massima di sollevamento

γ_{min} = è il peso minimo specifico del terreno

H_{calotta} = è la copertura di terreno riferita alla calotta

Rispetto ai valori limite sopra calcolati, le raccomandazioni DAUB 2013 suggeriscono di introdurre una deviazione $\pm 30 \text{ kPa}$ rispetto ai valori massimi e minimi calcolati. Si riportano quindi di seguito in forma grafica le considerazioni eseguiti fino ad ora.

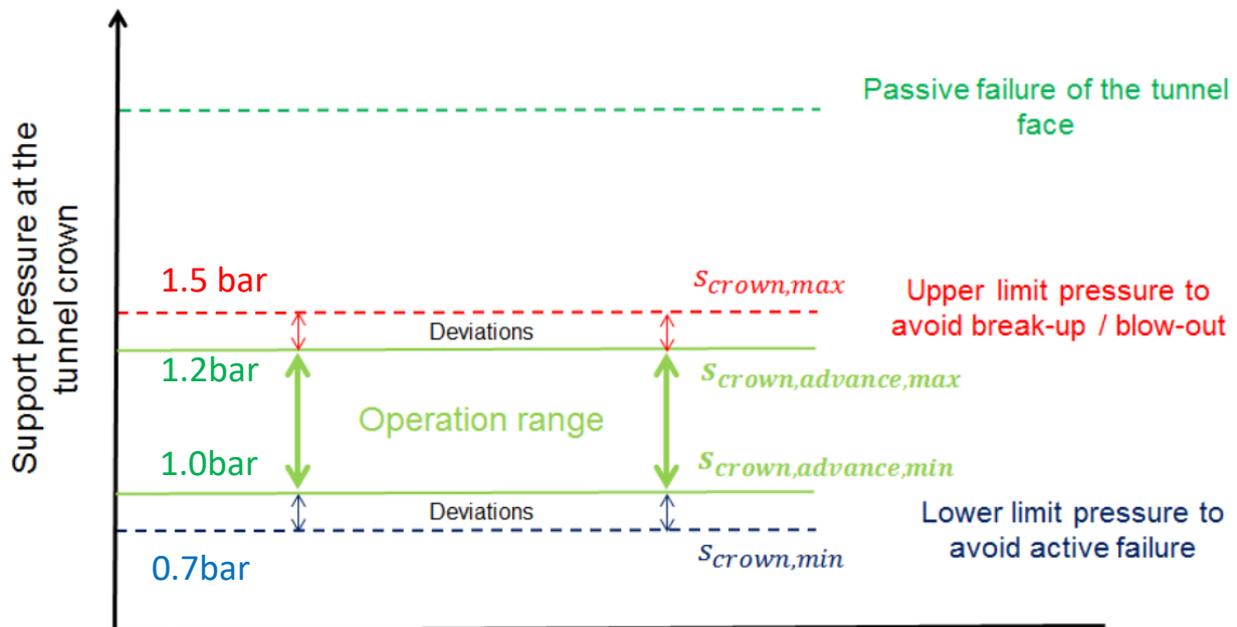


Figura 15-4: sezione 1 - pressioni di lavoro ammissibili in calotta per una macchina EPB Dual-mode (DAUB)

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione tecnica e di monitoraggio A22	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GB0000005	REV. A	FOGLIO. 76 di 88

15.1 DEFINIZIONE DELLA PROCEDURA DI AVANZAMENTO

Di seguito viene identificata la procedura di avanzamento controllato per determinare le combinazioni di parametri macchina che mantengono il cedimento e quindi la distorsione angolare entro i limiti previsti:

- Applicazione della pressione del fronte ad un valore minimo di 1.0 bar con un massimo di 1.2 bar;
- Valutazione del condizionamento dello smarino;
- Valutazione del peso specifico del terreno per verificare pressione limite di blow-out;
- Valutazione dei circuiti di iniezione del gap scudo-scavo e della bicomponente;
- Valutazione dei cedimenti indotti e sopralluogo in superficie per valutare eventuali anomalie;
- Valutazione del mantenimento delle pressioni nella camera di scavo.

Pressurizzazione del gap scudo-roccia mediante gelatina bentonitica

Aumento della pressione di coda del gap-anulare.

Controllo costante dei parametri macchina, pressioni e monitoraggio superficiale.

Mantenimento della pressione al fronte, sullo scudo e in coda secondo i parametri identificati.

16. INTERVENTO DI CONSOLIDAMENTO

Per il sottoattraversamento del rilevato autostradale A22 è stato previsto, a salvaguardia dell'opera, il consolidamento del contorno del cavo per un'estensione longitudinale di circa 34.50 m (Figura 16-1). Tale intervento di consolidamento sarà realizzato mediante iniezioni cementizie effettuate attraverso perforazioni teleguidate eseguite con metodo HDD (High Directional Drilling) prima dell'arrivo della TBM-Dual Mode, con lo scopo di minimizzare i fenomeni di subsidenza indotti dallo scavo meccanizzato.

Le iniezioni saranno realizzate prima dell'arrivo della TBM-EPB attraverso tubi valvolati in PVC del diametro di 1" e ½ con valvole a passo di 0.5m, alloggiati all'interno delle perforazioni Ø 4" (se necessario, con rivestimento provvisorio) disposte a corona della calotta per ottenere una maglia finale di 1.5x1.5m.

Le iniezioni di miscela cementizia per il trattamento del terreno vengono realizzate con packer doppio posizionato, entro il tubo di iniezione, in corrispondenza di ogni valvola. Il requisito progettuale/prestazione attesa della miscela di iniezione è il seguente:

- UCS28gg ≥ 1.0 MPa.

L'intervento ha la finalità di migliorare le caratteristiche meccaniche dei terreni al contorno dello scavo della galleria, conferendo un grado di cementazione ai materiali sciolti in sito, incrementandone resistenza e rigidità e mitigando così gli effetti deformativi indotti dallo scavo.

In fase realizzativa dovrà essere seguito un campo prove preliminare, per la definizione dei parametri tecnologici- esecutivi atti al raggiungimento delle prestazioni attese.

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
08 - GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione tecnica e di monitoraggio A22	IBOU	1BEZZ	RH	GB0000005	A	77 di 88

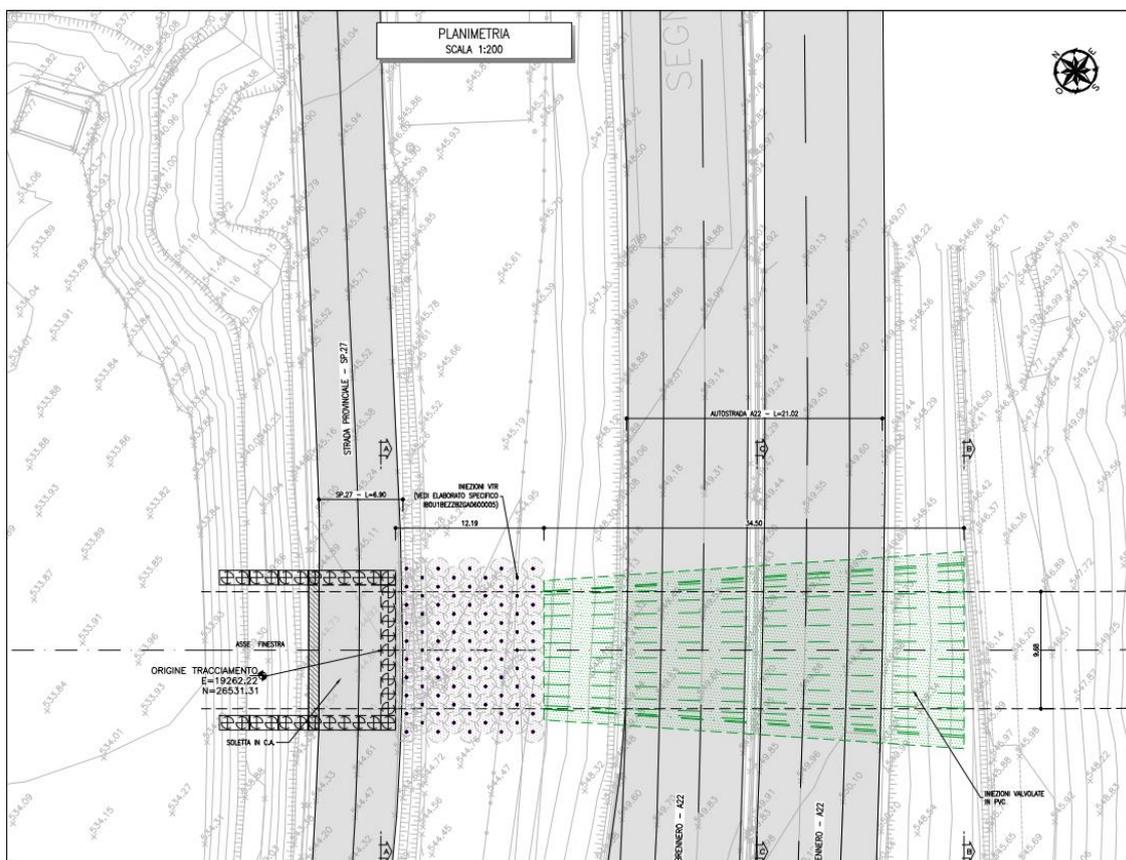


Figura 16-1: Planimetria intervento di consolidamento

Tale metodologia è risultata essere efficiente nei casi in cui si attraversano interferenze per le quali vi è la possibilità di manifestazione di cedimenti e rotazioni differenziali prodotte a causa del passaggio della TBM, come riportato in [9] e [10].

Nello specifico i due progetti dei riferimenti sono relativi ai sottopassaggi di strutture esistenti sensibili (edifici, autostrada, sottopassi, etc.) eseguiti con la tecnica di iniezioni teleguidate per opere di AV/AC quali il Nodo di Bologna e la Galleria Lonato, quest'ultima facente parte del progetto della linea Brescia-Verona.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione tecnica e di monitoraggio A22	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GB0000005	REV. A	FOGLIO. 78 di 88

17. CONCLUSIONI

Nella presente relazione sono state affrontate le problematiche progettuali connesse con la realizzazione della Finestra di Funes nel tratto di sottoattraversamento dell'Autostrada A22.

Sono state condotte le verifiche statiche e sismiche per le situazioni ritenute più critiche e rappresentative mediante analisi elementi finiti; le valutazioni condotte hanno confermato la validità delle soluzioni progettuali proposte, con riferimento sia allo stato tensionale nei rivestimenti e nel terreno al contorno del cavo sia al livello delle deformazioni raggiunte. Le verifiche statiche condotte hanno evidenziato tensioni nei materiali adottati inferiori ai valori di Normativa.

Sono state condotte le analisi dei cedimenti per la sezione adiacente il rilevato mediante analisi alle differenze finite. Le valutazioni condotte permetteranno di valutare, unitamente al monitoraggio, i parametri macchina da adottare per un corretto sottoattraversamento del corpo autostradale mantenendo i cedimenti entro i valori attesi.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione tecnica e di monitoraggio A22	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GB0000005	REV. A	FOGLIO. 79 di 88

18. ALLEGATI

18.1 OUTPUT PLAXIS 2D

18.1.1 Galleria naturale Finestra di Funes – Sezione carichi simmetrici

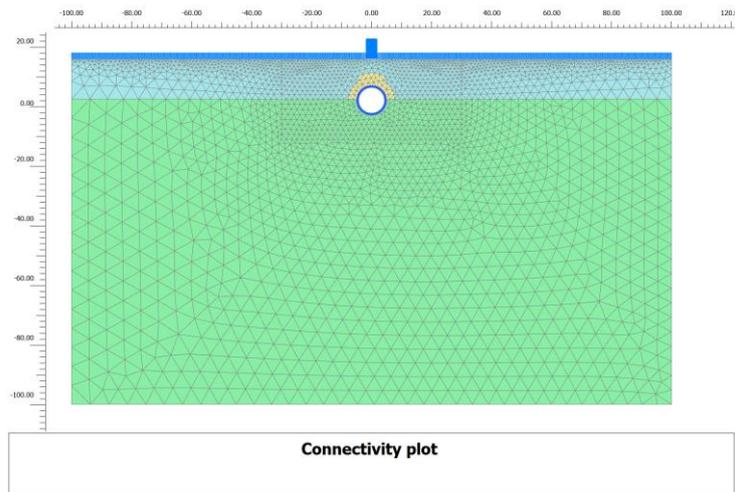


Figura 18-1: Mesh

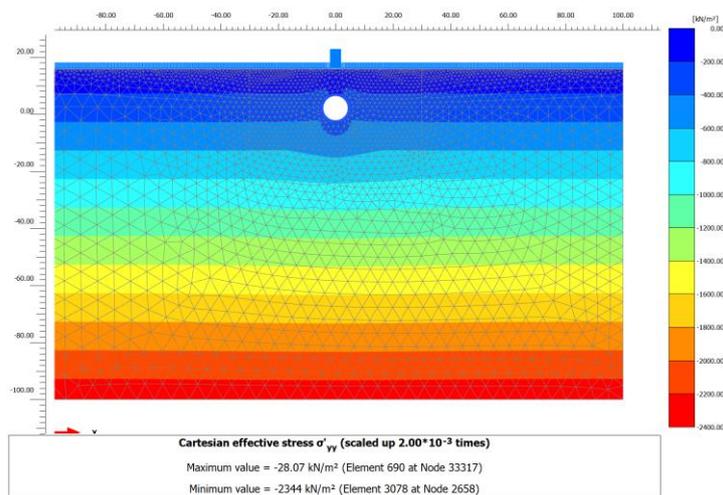


Figura 18-2: Tensioni Efficaci σ'_{yy} Fase 3 – Carichi simmetrici

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione tecnica e di monitoraggio A22	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GB0000005	REV. A	FOGLIO. 80 di 88

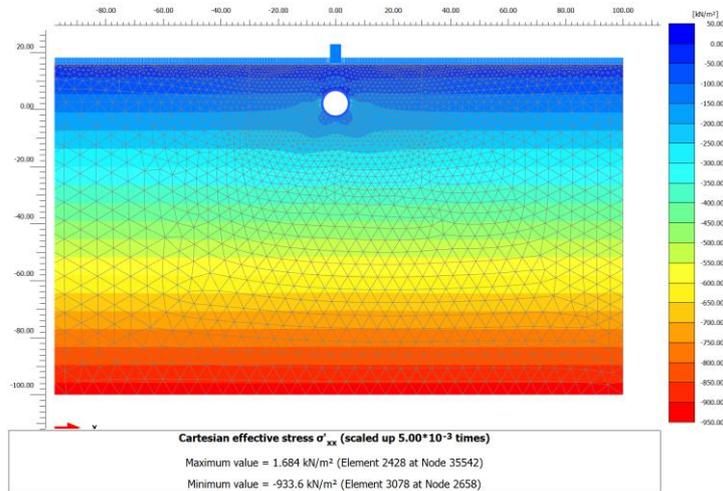


Figura 18-3: Tensioni efficaci σ'_{xx} Fase 3 – Carichi simmetrici

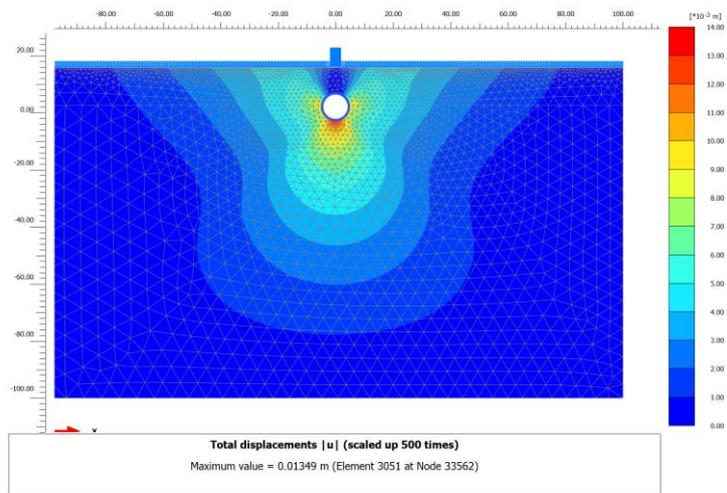


Figura 18-4: Spostamenti $|u|$ Fase 3 – Carichi simmetrici

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione tecnica e di monitoraggio A22	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GB0000005	REV. A	FOGLIO. 81 di 88

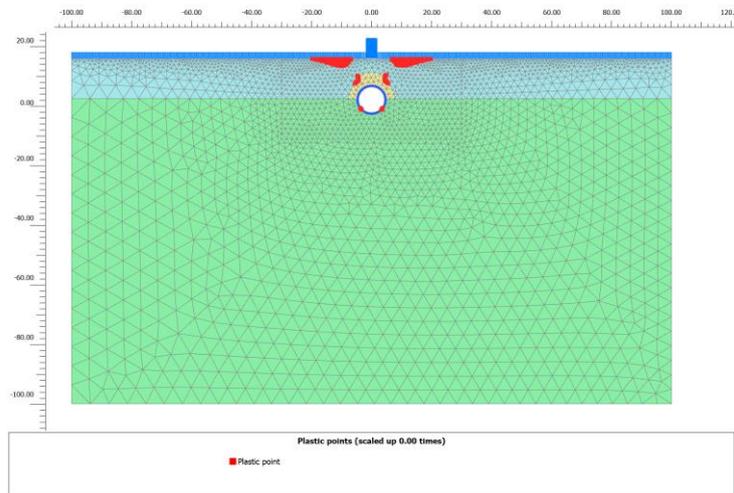


Figura 18-5: Zone di plasticizzazione Fase 3 – Carichi simmetrici

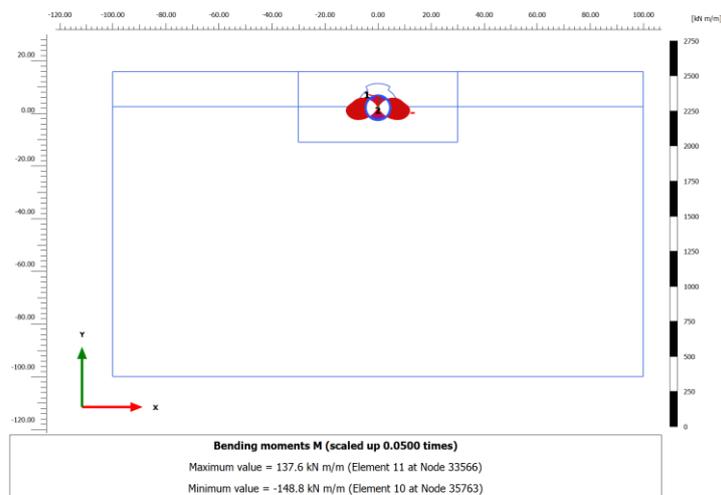


Figura 18-6: Sollecitazione momento flettente Fase 3 – Carichi simmetrici

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione tecnica e di monitoraggio A22	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GB0000005	REV. A	FOGLIO. 82 di 88

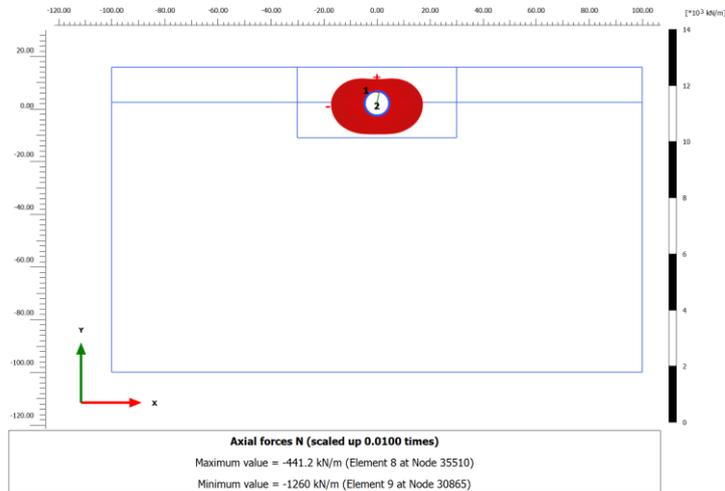


Figura 18-7: Sollecitazione sforzo assiale Fase 3 – Carichi simmetrici

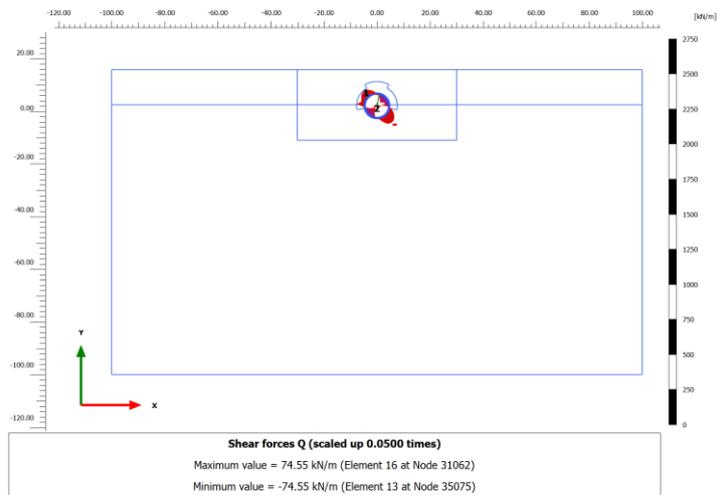


Figura 18-8: Sollecitazione sforzo di taglio Fase 3 – Carichi simmetrici

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione tecnica e di monitoraggio A22	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GB0000005	REV. A	FOGLIO. 83 di 88

18.1.2 Galleria naturale Finestra di Funes – Sezione carichi asimmetrici

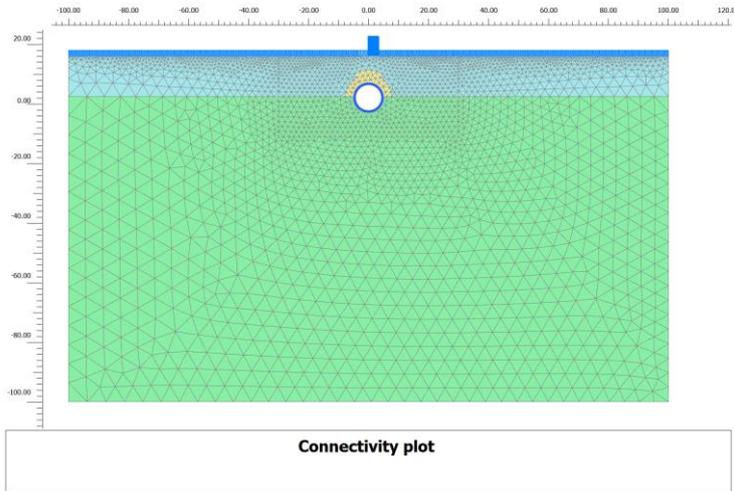


Figura 18-9: Mesh

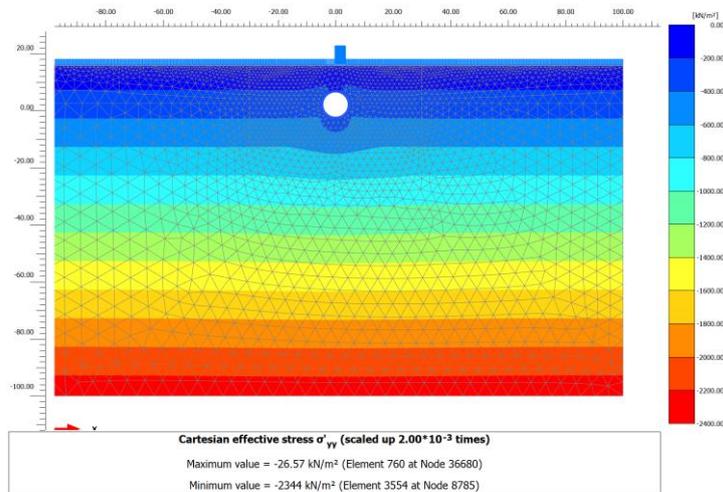


Figura 18-10: Tensioni Efficaci σ'_{yy} Fase 3 – Carichi asimmetrici

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione tecnica e di monitoraggio A22	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GB000005	REV. A	FOGLIO. 84 di 88

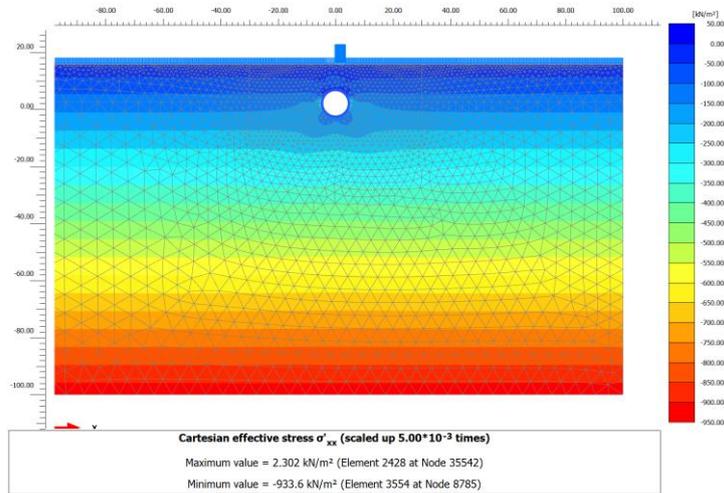


Figura 18-11: Tensioni Efficaci σ'_{xx} Fase 3 – Carichi asimmetrici

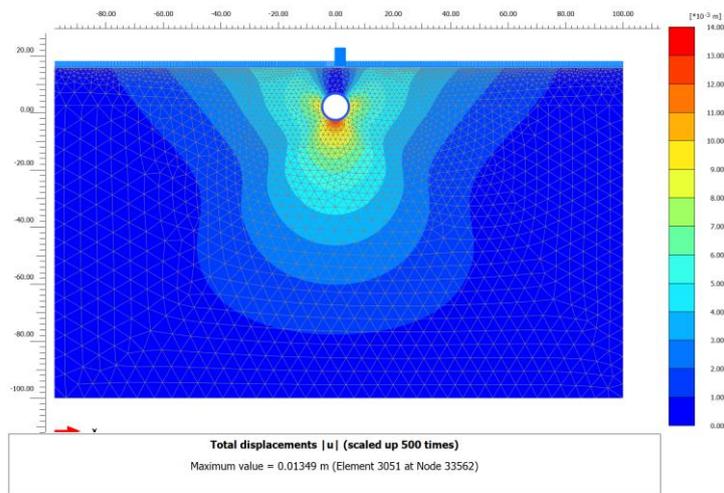


Figura 18-12: Spostamenti $|u|$ Fase 3 – Carichi asimmetrici

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione tecnica e di monitoraggio A22	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GB0000005	REV. A	FOGLIO. 85 di 88

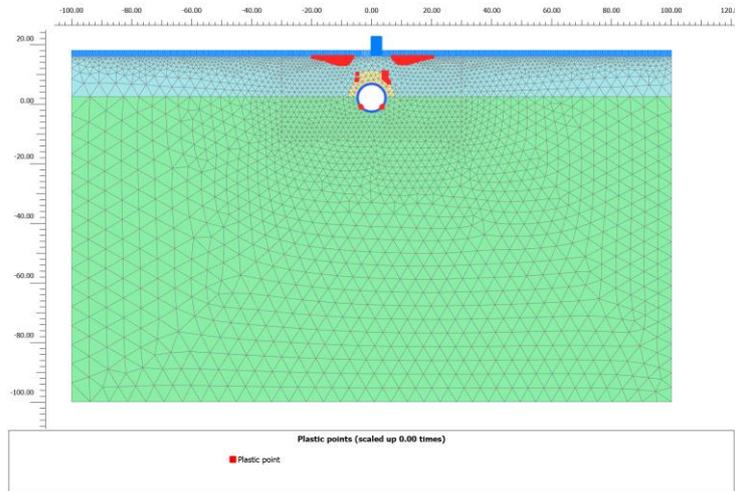


Figura 18-13: Zone di plasticizzazione Fase 3 – Carichi asimmetrici

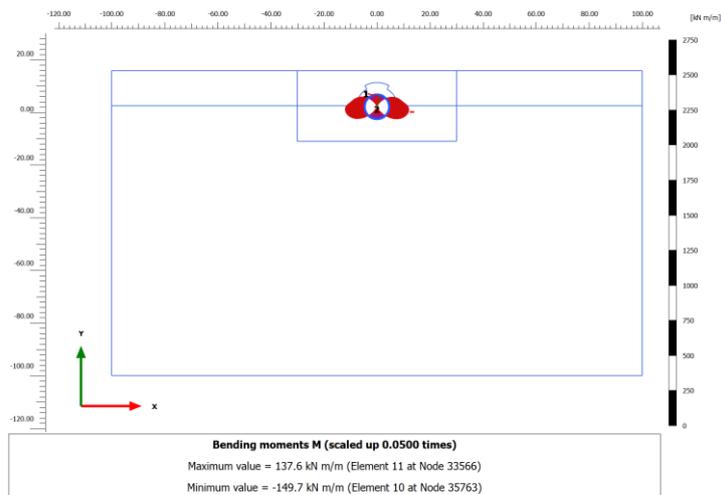


Figura 18-14: Sollecitazione momento flettente Fase 3 – Carichi asimmetrici

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione tecnica e di monitoraggio A22	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GB0000005	REV. A	FOGLIO. 86 di 88

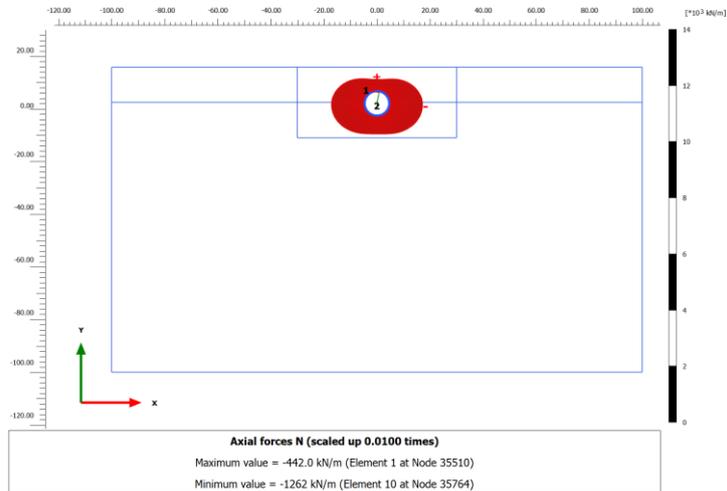


Figura 18-15: Sollecitazione sforzo assiale Fase 3 – Carichi asimmetrici

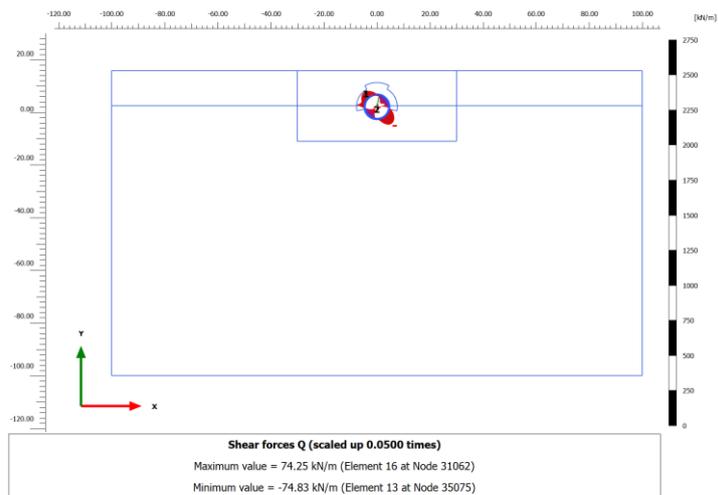


Figura 18-16: Sollecitazione sforzo di taglio Fase 3 – Carichi asimmetrici

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione tecnica e di monitoraggio A22	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GB0000005	REV. A	FOGLIO. 87 di 88

18.2 ANALISI DEI CEDIMENTI

18.2.1 Galleria naturale Finestra di Funes

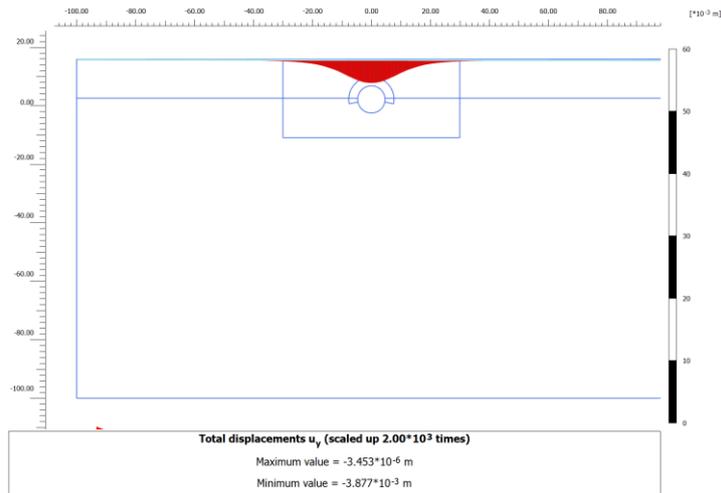


Figura 18-17: cedimenti superficiali – V_L 0.1%

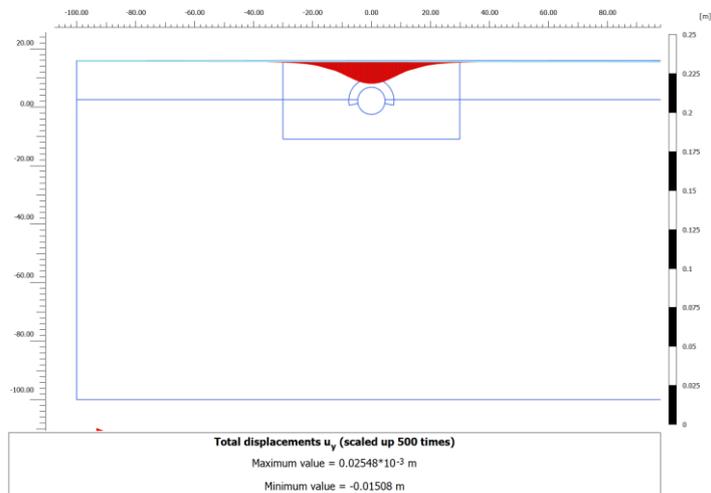


Figura 18-18: cedimenti superficiali – V_L 0.4%

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione tecnica e di monitoraggio A22	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GB0000005	REV. A	FOGLIO. 88 di 88

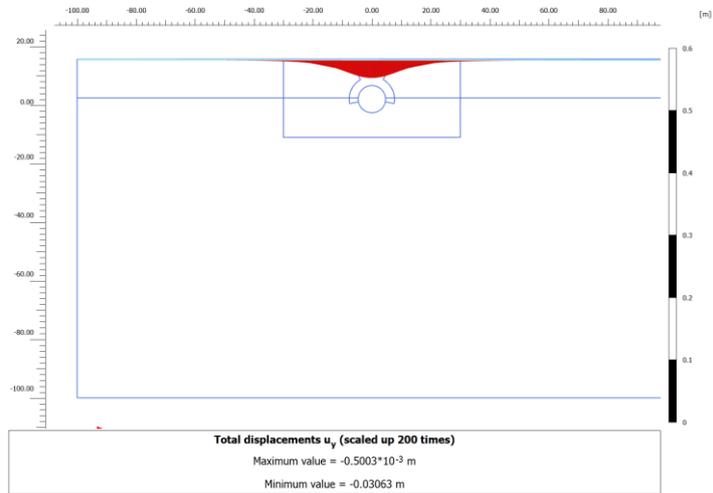


Figura 18-19: cedimenti superficiali – V_L 1.0%