

COMMITTENTE:



DIREZIONE LAVORI:



APPALTATORE:



PROGETTAZIONE:

MANDATARIA:



MANDANTI:



IL DIRETTORE DELLA PROGETTAZIONE:

Ing. Paolo Cucino

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 FORCH 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 1	C

Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione	F.De Scrolli	20/12/2021	C. Iasiello	29/12/2021	D. Buttafoco (Dolomiti)	19/01/2022	IL PROGETTISTA P. Cucino 16/03/2023
B	Emissione a seguito commenti Committenza	F.De Scrolli	18/07/2022	C. Iasiello	19/07/2022	D. Buttafoco (Dolomiti)	20/07/2022	
C	Emissione a seguito di interlocuzioni e istruttoria	C. Amoroso	13/03/2023	C. Iasiello	14/03/2023	D. Buttafoco (Dolomiti)	15/03/2023	

File: IB0U1BEZZRHGB0000001C.docx

n. Elab.: X

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 GB0000001	REV. C	FOGLIO. 2 di 100

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 FERROVIARIO.....	9
4.4 RILEVATO AUTOSTRADALE A22.....	9
4.5 METODOLOGIA DI SCAVO MEDIANTE MACCHINA EPB	13
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.....	21
6.1 MODELLO GEOLOGICO-GEOTECNICO DEL PROGETTO DEFINITIVO.....	21
6.2 MODELLO GEOLOGICO-GEOTECNICO DEL PROGETTO ESECUTIVO	28
6.3 CONFRONTO DEI MODELLI GEOLOGICO-GEOTECNICI PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO	36
7. FASE CONOSCITIVA.....	38
7.1 PARAMETRI GEOTECNICI IMPIEGATI NELLE ANALISI	38
8. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI STRUTTURALI	39
8.1 TIPOLOGIA DI ELEMENTI DI RIVESTIMENTO	40
8.2 COPRIFERRO.....	40
9. CARATTERISTICHE TBM EPB.....	41
10. FASE DI DIAGNOSI	42

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 GB0000001	REV. C	FOGLIO. 3 di 100	

10.1.1	Analisi con il metodo dell'equilibrio limite.....	42
10.1.2	Risultati delle analisi di stabilità	44
11.	ANALISI E VERIFICA DELLE SEZIONI CARATTERISTICHE	45
11.1	CRITERIO DI MODELLAZIONE	45
11.2	CARICO SIMMETRICO	45
11.2.1	Interazione galleria - terreno	45
11.2.2	Verifiche	49
11.3	CARICO ASIMMETRICO.....	55
11.3.1	Interazione galleria - terreno	55
11.3.2	Verifiche	58
12.	PIANO DEL MONITORAGGIO	62
12.1	METODOLOGIA.....	62
12.2	DEFINIZIONE DEL SISTEMA DI MONITORAGGIO SOTTOATTRAVERSAMENTO A22	63
12.2.1	Misure topografiche.....	64
12.2.2	Array di sensori mems orizzontali	66
12.2.3	Anello strumentato con barrette estensimetriche	66
12.3	DEFINIZIONE DEL SISTEMA DI MONITORAGGIO SOTTOATTRAVERSAMENTO LINEA FFSS	67
12.4	FREQUENZA DI MISURAZIONE	67
12.5	ACQUISIZIONE, TRASMISSIONE, GESTIONE E ARCHIVIAZIONE DATI	68
13.	DEFINIZIONE DEI VALORI SOGLIA E RELATIVI INTERVENTI	69
13.1	DEFINIZIONE DISTORSIONE ANGOLARE	69
13.2	DEFINIZIONE DEI VALORI DI SOGLIA	69
13.3	INTERVENTI E CONTROMISURE.....	70
14.	ANALISI DEI CEDIMENTI	71
14.1	CRITERIO DI MODELLAZIONE	71
14.2	SEZIONE A – COPERTURA 9 METRI.....	72
14.3	SEZIONE B – COPERTURA 14.6 METRI.....	74
14.4	SEZIONE C – PK 0+470 (SOTTOATTRAVERSAMENTO FFSS).....	76
14.5	ANALISI DELLE DISTORSIONI ANGOLARI	78
15.	ANALISI DELLE PRESSIONI AL FRONTE.....	80
15.1	DEFINIZIONE DELLA PROCEDURA DI AVANZAMENTO	85

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 GB0000001	REV. C	FOGLIO. 4 di 100

16. CONCLUSIONI	86
17. ALLEGATI.....	87
17.1 OUTPUT PLAXIS 2D.....	87
17.1.1Galleria naturale Finestra di Forch – Sezione carichi simmetrici	87
17.1.2Galleria naturale Finestra di Forch – Sezione carichi asimmetrici	92
17.2 ANALISI DEI CEDIMENTI	96
17.2.1Galleria naturale Finestra di Forch – Sezione A	96
17.2.2Galleria naturale Finestra di Forch – Sezione B.....	98
17.2.3Galleria naturale Finestra di Forch – Sezione C.....	99

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 GB0000001	REV. C	FOGLIO. 5 di 100

1. PREMESSA

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

L'opera in oggetto ricade nei limiti comunali di Varna entrambi in provincia di Bolzano.



Fig. 1-1 Profilo Geotecnico di Forch

Inoltre, nel presente elaborato, vengono redatte le analisi delle problematiche deformative e delle attività di monitoraggio previste per l'esecuzione della Finestra di Forch 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 in modo previdente 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 dimensionate 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	IB0U	1BEZZ	RH	GB0000001	C	6 di 100

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 de del sottoattraversamento della linea ferroviaria del Brennero.

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 0;
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 GB0000001	REV. C	FOGLIO. 7 di 100

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

3.2 ELABORATI DI RIFERIMENTO

- [9] IBOU1BEZZPZGB0000001 "Finestra Forch - Planimetria, profilo e sezioni monitoraggio";
- [10] IBOU1BEZZCLGN0300003 "Relazione di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci in calcestruzzo armato"

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 GB0000001	REV. C	FOGLIO. 8 di 100

4. DESCRIZIONE DELL'OPERA

4.1 IL TRACCIATO E LE OPERE IN SOTTERRANEO

La Finestra Forch, da realizzarsi con metodo di scavo meccanizzato, è una galleria costruttiva che si innesta in corrispondenza della canna dispari della Galleria Scaleres al km 3+474.84 ed è propedeutica ai lavori di scavo della galleria di linea. In esercizio, la finestra verrà utilizzata come uscita di emergenza.

Il tracciato planimetrico della Finestra Forch è costituito da un unico tratto rettilineo che dall'innesto con la Galleria Scaleres.

Dal punto di vista altimetrico, la galleria naturale inizia dalla pk 0+146.50 con una pendenza decrescente del 5% studiata per il posizionamento della sella di montaggio e partenza della TBM.

Tra le pk 0+171.28 e 0+238.24 il tracciato presenta un raccordo verticale con raggio altimetrico di 1500 m compatibile con la macchina selezionata e il progetto geometrico dell'anello universale.

Il tracciato prosegue con una pendenza decrescente del 9,5 % fino alla pk 0+347.71 dove inizia un altro raccordo verticale, avente sempre raggio altimetrico di 1500 m fino alla progressiva 0+644.08.

Questo lungo raccordo verticale permette di sottopassare le interferenze presenti lungo il tracciato, quali l'autostrada A22 e la ferrovia del Brennero.

Il tracciato prosegue con una pendenza crescente pari al 10.33 % fino alla pk 1+130.11 dove inizia l'ultimo raccordo altimetrico che conduce alla quota di innesto con le gallerie di linea.

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

- Da pk. 0+25.00 a pk. 0+146.50 (L= 121.50 m) galleria artificiale;
- Da pk. 0+146.50 a pk. 1+440.17 (L=1293.67 m) galleria naturale scavo meccanizzato.
- Da pk 1+336,82 a pk 1+429,37 (L=92,55 m) galleria di innesto.

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	GB0000001	C	9 di 100

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 Forch:

- 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 FERROVIARIO

La finestra di Forch sottoattraversa, in corrispondenza del pk. 0+450 approssimativamente, la ferrovia esistente ed in esercizio del Brennero (linea storica).

Nel paragrafo 14.4 si riportano i valori di cedimento attesi per il sottoattraversamento del rilevato ferroviario.

4.4 RILEVATO AUTOSTRADALE A22

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 GB0000001	REV. C	FOGLIO. 10 di 100

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 4-1: Intensità dei carichi dei ponti

Ovvero:

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

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

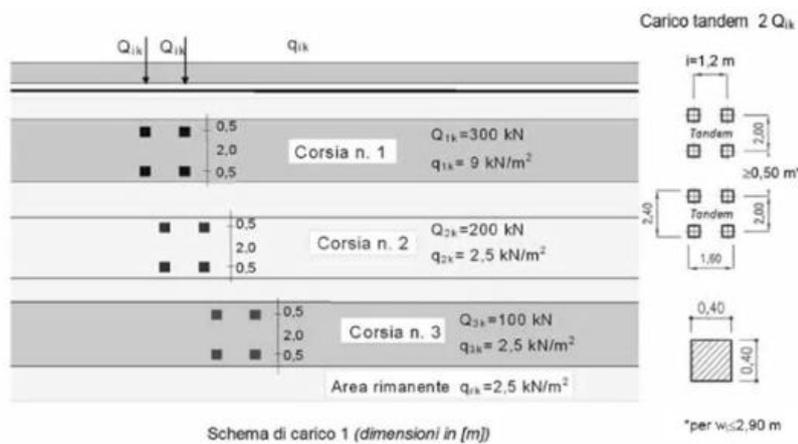


Figura 4-2: Intensità dei carichi dei ponti

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:

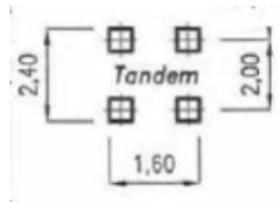


Figura 4-3: Assi tandem

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 GB0000001	REV. C	FOGLIO. 11 di 100

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

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

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

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 Flac 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 $B_{diff}=3.28 \text{ m}$ $Q_{diff}=61 \text{ kPa}$

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 GB0000001	REV. C	FOGLIO. 12 di 100

Schema A:

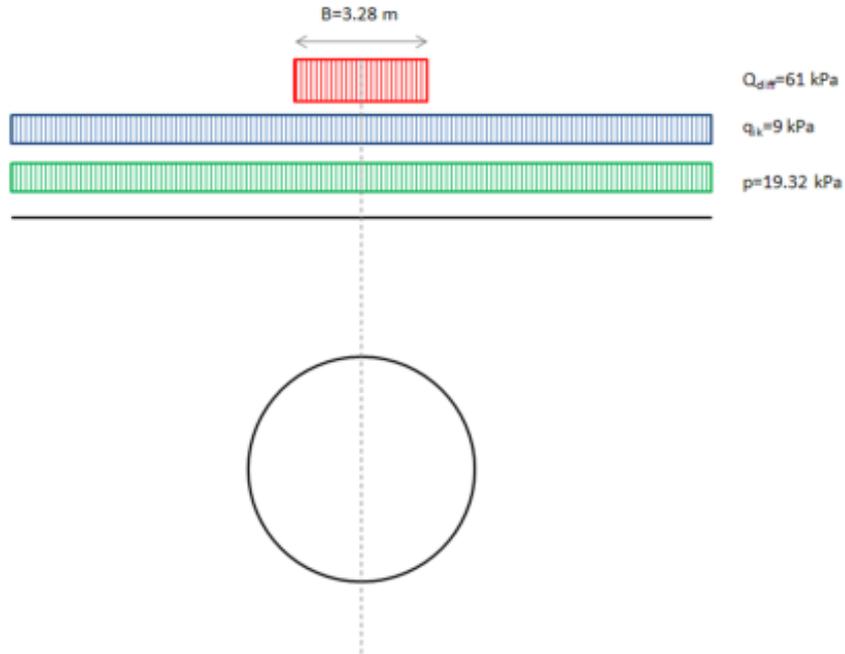


Figura 4-4: Schema di carico A: carichi simmetrici

Schema B:

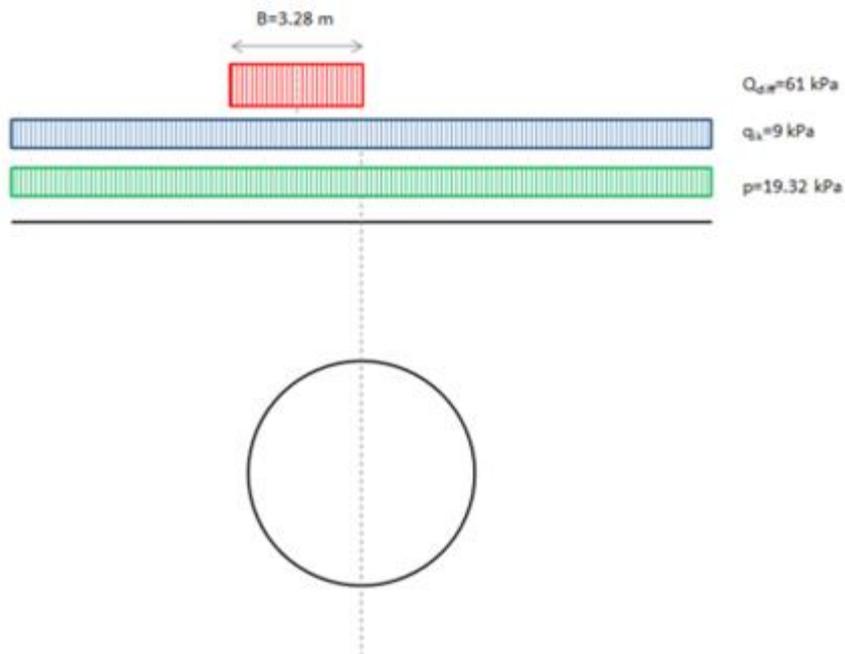


Figura 4-5: Schema di carico A: carichi asimmetrici

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 GB0000001	REV. C	FOGLIO. 13 di 100

4.5 METODOLOGIA DI SCAVO MEDIANTE MACCHINA EPB

La macchina utilizzata per lo scavo della Finestra di Forch è un EPB, la quale è attrezzata per eseguire interventi propedeutici 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 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 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 conci per garantire l'avanzamento della macchina.

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 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'efficienza 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.

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 GB0000001	REV. C	FOGLIO. 14 di 100

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-criteria (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;

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	GB0000001	C	15 di 100

- effetti di disturbo in fase di realizzazione;
- efficacia dell'intervento nei confronti della limitazione delle subsidenze indotte durante lo scavo.

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 similari ai casi in esame. Per ciascuna condizione e' 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 RIDUZIONE DIRETTA DELLA DEFORMAZIONE ALL'INTORNO DEL CAVO	+3
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 2 – definizione dei criteri adottati per l' Analisi Multi-Criterio

Nel seguito vengono illustrate le alternative progettuali analizzate mediante l' Analisi Multi-Criterio illustrando preliminarmente i vantaggi e gli svantaggi di ciascuna soluzione. Sono state poste a confronto 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 GB0000001	REV. C	FOGLIO. 16 di 100	

soluzione di PD prevista a base gara (soluzione 0) con la soluzione offerta in PDO (soluzione 3 e 4) con la soluzione di PE (soluzione 5) che prevede lo scavo mediante EPB.

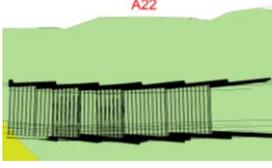
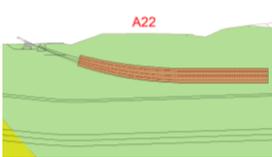
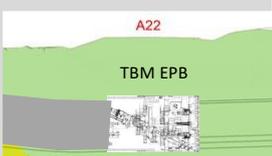
ID	Descrizione	Schema	Vantaggi	Svantaggi
0	Soluzione PD con scavo a foro cieco con consolidamenti al contorno mediante colonne JG (sezione tipo C1bis)		<ul style="list-style-type: none"> - materiale ad alta resistenza al contorno dello scavo C1bis 	<ul style="list-style-type: none"> - limitato volume 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
3	Soluzione PDO intervento massivo di consolidamento al contorno dello scavo (intervento a capanna) mediante iniezioni cementizie con successivo scavo con sezione tipo B2v-PE		<ul style="list-style-type: none"> - 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)
4	Soluzione PDO intervento di consolidamento a solettone alla base del rilevato, mediante iniezioni cementizie e successivo scavo a foro cieco con sezione C1bis		<ul style="list-style-type: none"> - materiale ad alta resistenza al contorno dello scavo C1bis; - solettone di terreno migliorato capacità di ridurre le deformazioni differenziali indotte dallo scavo sotterraneo. - possibilità di esecuzione degli interventi anche da pozzo di limitate dimensioni, in modo da ridurre l'occupazione di aree esterne 	<ul style="list-style-type: none"> - effetti di mitigazione meno marcati rispetto ad un intervento al contorno dello scavo - non si esclude la possibilità di fornelli, ma l'intervento a protezione dovrebbe evitare conseguenze molto gravi
5	Soluzione PE scavo meccanizzato con TBM - EPB con applicazione di pressione al fronte e sugli scudi		<ul style="list-style-type: none"> - 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 3 – 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"					
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 GB0000001	REV. C	FOGLIO. 17 di 100

Finestra di Forch. Analisi Multi Criteria (AMC)

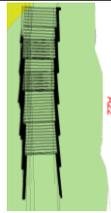
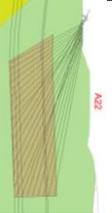
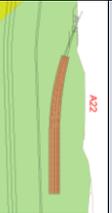
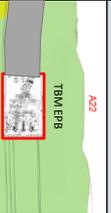
ID	ALTERNATIVA	DESCRIZIONE	SCHEMA	FATTIBILITA' TECNICA	ACCESSIBILITA' ALLE AREE	EFFICACIA INTRINSECA DELL'INTERVENTO	EFFETTI DI DISTURBO IN FASE DI REALIZZAZIONE	EFFICACIA DELL'INTERVENTO
0	PROPOSTA A BASE DI GARA	SCAVO IN SOTTERRANEO A FONO GIECO CON CONSOLIDAMENTO AL CONTORNO E AL PIEDE MEDIANTE COLONNE LET-GROUTING (I.G.)		ESECUZIONE AFFERENTE AD UNA SEZIONE DI TIPO PESANTE, CON IMPEGNO TECNICO E TEMPORALE SIGNIFICATIVO, MA DI COMUNE REALIZZABILITA'	NON RICHIEDE ACCESSO ALLE AREE ESTERNE	INTERVENTO IN AVANZAMENTO DURANTE L'ESECUZIONE DELLO SCAVO	L'INTERVENTO I.G. AL CONTORNO PUO' DETERMINARE UN RASSERBAMENTO GRANULOMETRICO, CON EFFETTI DI SUBSIDENZA, NEI CONFRONTI DI SOLLEVAMENTI LA PROFONDITA' ELEVATA RISULTA MITIGARE PARZIALMENTE TALE COMPORTAMENTO	L'INTERVENTO HA UNA ESTENSIONE LIMITATA AL CONTORNO, E SI HANNO EFFETTI PER PRECONVENIENZA DERIVANTE DALL'ESTRUZIONE E DEFORMAZIONE DEL FRONTE
PUNTEGGIO		TOTALE:6		0	0	0	5	1
3	PROPOSTA PDO: PRE-CONSOLIDAMENTO AL COMPLETO CONTORNO DELLO SCAVO MEDIANTE INIEZIONI CEMENTITIE	PRECONSOLIDAMENTO AL CONTORNO DELLA ZONA DALLA SUPERFICIE MEDIANTE INIEZIONI CEMENTITIE DA CANNE VALVOLATE, CUI SEGUE LO SCAVO IN SOTTERRANEO		TOPOGRAFIA CHE RICHIEDE GEOMETRIE DI TRATTAMENTO IMPIGNATIVE, MA ABBASTANZA USUALI NELL'AMBITO DELLE INIEZIONI CEMENTITIE	ACCESSO DA AREE DISPONIBILI NELLA ZONA LATERALE DELL'AUTOSTRADA A LATO IMBOCCO FINESTRA	CREAZIONE DI UN ARCO CONSOLIDATO AL CONTORNO DELLO SCAVO, A LIMITARE LE DEFORMAZIONI CAUSA DELLA SUBSIDENZA	L'ESECUZIONI DI INIEZIONI A BASSE PRESSIONI GARANTISCE EFFETTI TRASCURABILI AL CONTORNO DELLO SCAVO NELLA FASE DI ESECUZIONE	IL TRATTAMENTO AL PASSAGGIO DELLO SCAVO RISULTA GARANTIRE UN ELEVATO CONTRASTO ALLA GENERAZIONE DI CEDIMENTI
PUNTEGGIO		TOTALE:8		0	0	3	0	5
4	PROPOSTA PDO: INTERVENTO DI CONSOLIDAMENTO A SOLETTONE ALLA BASE DEL RILEVATO, CON POSSIBILITA' DI COMPENSAZIONE DELLE SUBSIDENZE	ESECUZIONE DI PERFORAZIONI DIREZIONATE ATTREZZATE CON TUBI IN PVC VALVOLATI, DA CUI ESEGUIRE TRATTAMENTI DI INIEZIONI A PERMEAZIONE, EVENTUALMENTE RINIENTRABILI (INTERVENTO DI COMPENSAZIONE) NELLE FILE PIU' PROFONDE, CUI SEGUE LO SCAVO IN SOTTERRANEO		TOPOGRAFIA CHE RICHIEDE GEOMETRIE DI TRATTAMENTO IMPIGNATIVE, MA ABBASTANZA USUALI NELL'AMBITO DELL'ESECUZIONE DI PERFORAZIONI HDD	ACCESSO DA AREE DISPONIBILI NELLA ZONA LATERALE DELL'AUTOSTRADA A LATO IMBOCCO FINESTRA	CREAZIONE DI UNA SOLETTA CHE MITIGA GLI EFFETTI GENERATI DALLO SCAVO IN SOTTERRANEO	L'ESECUZIONI DI INIEZIONI A BASSE PRESSIONI GARANTISCE EFFETTI TRASCURABILI AL CONTORNO DELLO SCAVO NELLA FASE DI ESECUZIONE	IL TRATTAMENTO AL PASSAGGIO DELLO SCAVO RISULTA GARANTIRE UN ELEVATO CONTRASTO ALLA GENERAZIONE DI CEDIMENTI
PUNTEGGIO		TOTALE:4		-1	0	2	0	3
5	PROPOSTA DI PE: SCAVO MECCANIZZATO CON TBM -EPB CON APPLICAZIONE DI PRESSIONE AL FRONTE E SUGLI SCUDI	ESECUZIONE DELLA GALLERIA CON SCAVO MECCANIZZATO MEDIANTE MACCHINA EPB CON APPLICAZIONE DI PRESSIONE AL FRONTE E SUGLI SCUDI, SEQUITO DA IMMEDIATA POSA DEL RIVESTIMENTO DEFINITIVO		METODO DI SCAVO ABITUALE PER CONTESTI URBANI CON INTERFERENZE SUPERFICIALI, IMPEGNO TECNICO SIGNIFICATIVO IN FASE CANTIERIZZAZIONE, MINORE IMPEGNO ESECUTIVO DURANTE LA FASE DI SCAVO.	NON RICHIEDE ACCESSO ALLE AREE ESTERNE	STABILIZZAZIONE COMPLETA DEL CAVO E DEL FRONTE CON DIRETTA MITIGAZIONE DELLE DEFORMAZIONI	LO SCAVO MECCANIZZATO CON EPB GARANTISCE EFFETTI TRASCURABILI AL CONTORNO NELLA FASE DI ESECUZIONE E MAGGIORMENTE CONTROLLABILI	LO SCAVO MEDIANTE TBM-EPB RISULTA GARANTIRE UN ELEVATO CONTRASTO ALLA GENERAZIONE DI CEDIMENTI
PUNTEGGIO		TOTALE:9		1	0	3	0	5

Tabella 4 – 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:	<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 GB0000001	REV. C	FOGLIO. 18 di 100

Il confronto fra le soluzioni descritte è stato effettuato attraverso una 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 4, ed il risultato mostra come la soluzione 5 proposta in PE risulti avere un punteggio maggiore delle singole soluzioni proposte in PDO.

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

Lo scavo con TBM-EPB 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.

Lo scavo in tradizionale e il consolidamento previsti in PD e PDO, scontano effetti derivati dall'incertezza dei risultati del trattamento ovvero i disturbi connessi alla reale implementazione degli interventi connessi alle varie proposte durante l'esecuzione degli stessi.

Pertanto, la soluzione proposta in PE di procedere con lo scavo in meccanizzato della Finestra di Forch 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 GB0000001	REV. C	FOGLIO. 19 di 100

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 Calibrazione dei parametri di scavo e di condizionamento nella zona di monitoraggio adiacente l' autostrada a22.
- 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 GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Relazione tecnica e di monitoraggio A22	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GB0000001	REV. C	FOGLIO. 20 di 100

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 Calibrazione dei parametri di scavo e di condizionamento nella zona di monitoraggio adiacente l'autostrada A22.
- 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		0		
	1	Molto bassa	3	2	1	
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 GB0000001	REV. C	FOGLIO. 21 di 100

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 granularcon pressione al fronte ed al contorno: probabilità di subsidenza bassa con conseguenza bassa.
- 1 Calibrazione dei parametri di scavo e di condizionamento nella zona di monitoraggio adiacente l' autostrada A22.
- 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						

6. MODELLO GEOLOGICO-GEOTECNICO

6.1 MODELLO GEOLOGICO-GEOTECNICO DEL PROGETTO DEFINITIVO

La galleria della finestra di Forch sottoattraversa l'A22 con una copertura in calotta di circa 14 m.

Secondo il modello geologico adottato nel PD in questo ambito di profondità viene attraversata la formazione dei depositi alluvionali antichi terrazzati di primo ordine (at1); i depositi terrazzati del secondo ordine (at2) sono indicati a profondità maggiori e non hanno una interferenza diretta con lo scavo. La falda idrica è indicata a quote molto inferiori a quelle dello 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 GB0000001	REV. C	FOGLIO. 22 di 100

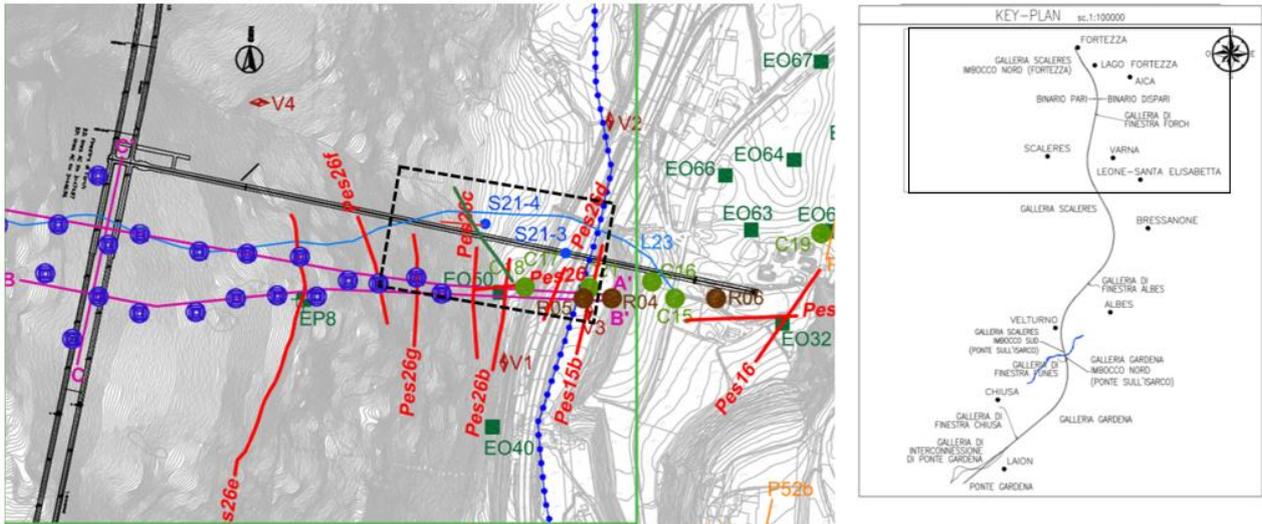


Figura 6-1: Planimetria indagini – Finestra di Forch (in evidenza zona interessata dalla formazione at1)

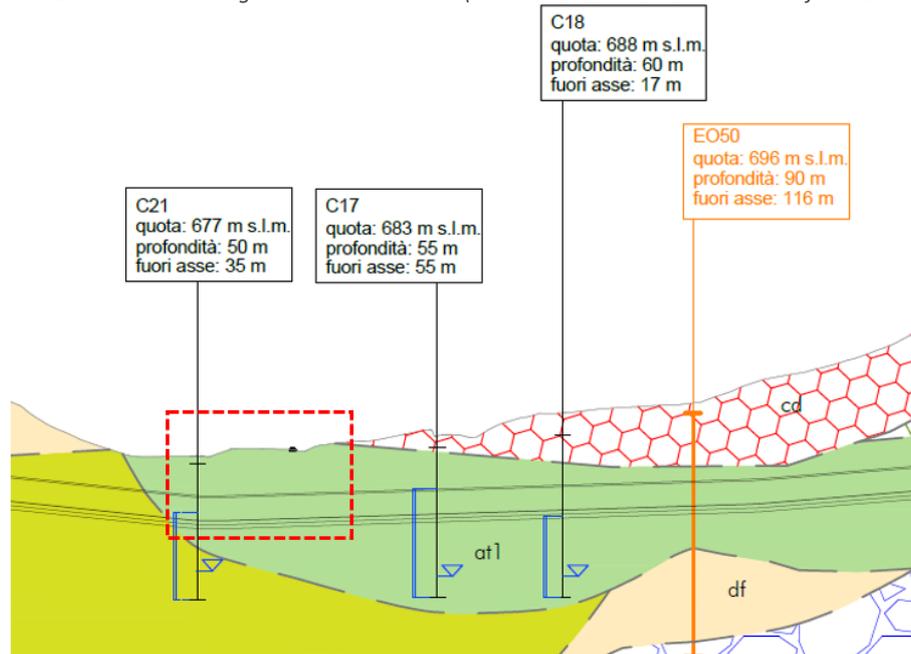


Figura 6-2: Stralcio del profilo geologico di PD della Finestra di Forch – interferenza con A22 in evidenza

Per la caratterizzazione dei depositi at1 sono stati utilizzati i sondaggi C17, C18 e C21 i cui risultati in termini di valori di N_{SPT} sono riportati in Figura 6-3. Dalle elaborazioni delle prove SPT, tramite correlazioni empiriche, sono stati ricavati i valori di densità relativa, angolo di attrito e modulo elastico.

Per la trattazione completa degli aspetti teorici relativi a criteri di caratterizzazione si rimanda alla Relazione Geotecnica generale.

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 GB0000001	REV. C	FOGLIO. 23 di 100

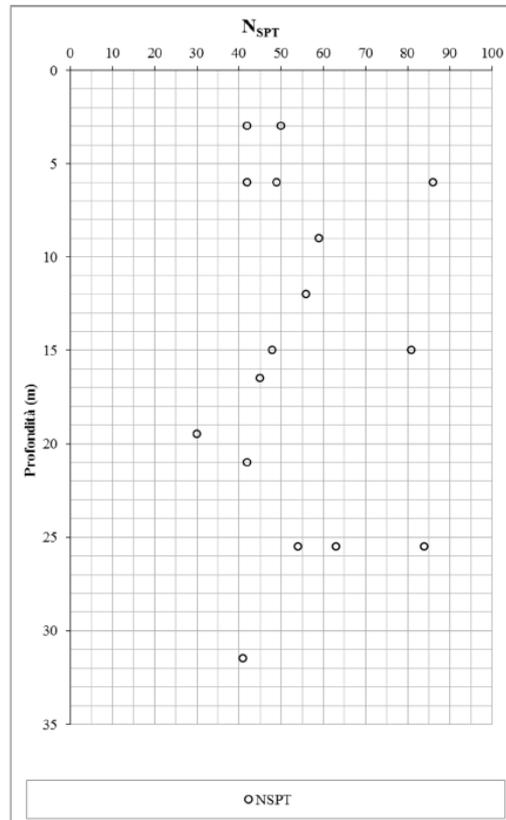


Figura 6-3: at1 – depositi alluvionali di primo ordine - N_{SPT}

Nel Progetto Definitivo è stato considerato rappresentativo il seguente intervallo di valori di angolo di attrito:

$$37^{\circ} \leq \varphi \leq 46^{\circ}$$

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 GB0000001	REV. C	FOGLIO. 24 di 100

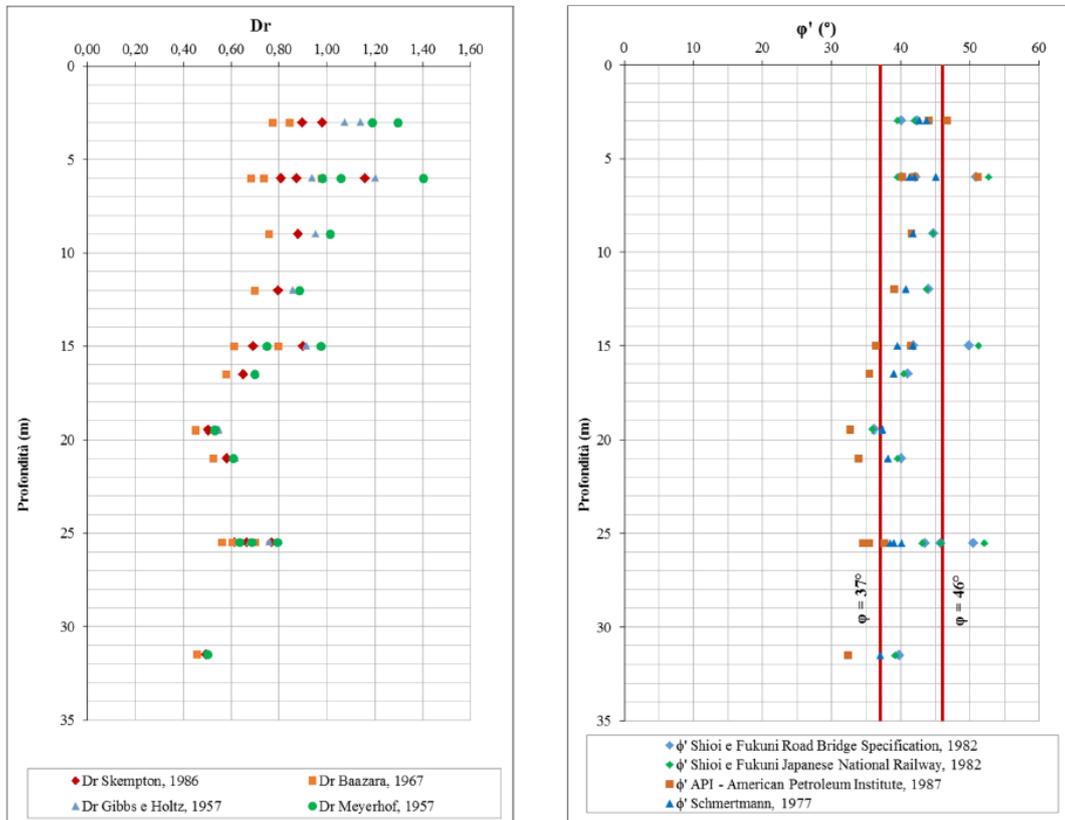


Figura 6-4: at1 – depositi alluvionali di primo ordine – densità relativa (a sinistra) e angolo di attrito (a destra) da elaborazione N_{SPT}

Per la stima del modulo elastico per coperture inferiori ai 30m, sono state considerate sia correlazioni con N_{SPT} sia i risultati ottenuti dalle prove pressiometriche.

Dalle prove SPT si ricavano valori compresi tra 24 MPa e 105 MPa, mentre dalle prove pressiometriche si ottengono valori di modulo compresi tra 31 MPa e 270 MPa. Nel PD è stato considerato il seguente intervallo come rappresentativo di questa formazione:

$$\text{per } H < 30m \quad 50 \text{ MPa} \leq E \leq 100 \text{ MPa}$$

Per coperture superiori ai 30m sono stati considerati i risultati ottenuti dalle prove pressiometriche ed i risultati delle prove sismiche Cross Hole.

Dalle pressiometriche a profondità maggiori di 30 m si ottengono valori del modulo compresi tra 180 MPa e 350 MPa, dalle prove Cross Hole (eseguita nel sondaggio C18) il modulo varia da 300 MPa a 600 MPa con un andamento che denota sicuramente un cambio di granulometria tra 35 e 55 m circa.

Nel PD è stato ritenuto rappresentativo il seguente intervallo di valori:

$$\text{per } H > 30m \quad 350 \text{ MPa} \leq E \leq 450 \text{ MPa}$$

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 GB0000001	REV. C	FOGLIO. 25 di 100

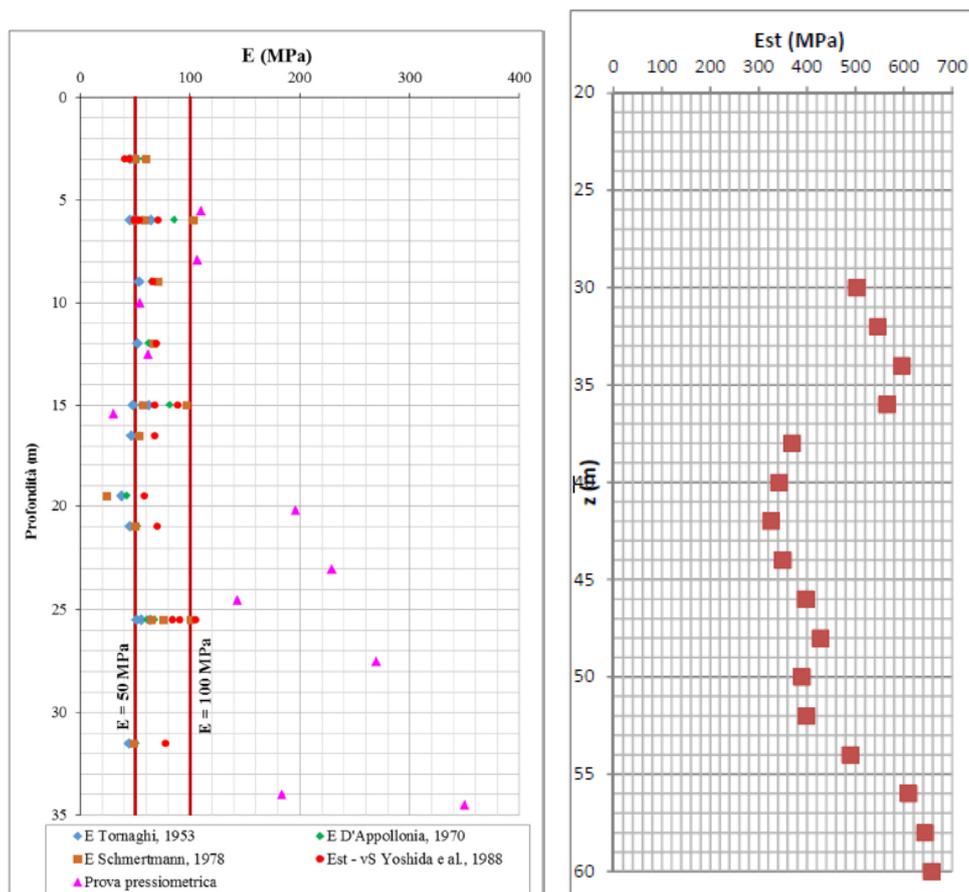


Figura 6-5: at1 – depositi alluvionali di primo ordine – modulo elastico da elaborazione N_{SPT} e prova pressiometrica (sinistra); modulo elastico da prova Cross Hole (destra)

Per i parametri caratteristici effettivamente impiegati nelle analisi si fa riferimento alle due Relazioni di PD della finestra di Forch IBL1 1B D 07 RB GN 0300 001 B e del sottoattraversamento della A22 della finestra di Forch IBL1 1B D 07 CL GN 0000 001 B.

Da queste Relazioni non si ricavano dati univoci.

Nella relazione di calcolo di Forch, per le analisi con il metodo delle linee caratteristiche nella sezione 5 (pk 0+684.4) che interessa il deposito at1 con 40 m di copertura, il terreno viene caratterizzato con i seguenti parametri:

Peso di volume $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
 Coesione $c' = 20 \text{ kPa}$
 Angolo di attrito $\varphi = 40^\circ$
 Modulo elastico $E_k = 400 \text{ MPa}$

Nella sezione di analisi della sezione tipo C1 alla stessa progressiva ma con una copertura di 75 m vengono dichiarati i seguenti parametri per la formazione at1:

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	GB0000001	C	26 di 100

Peso di volume $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
 Coesione $c' = 0$
 Angolo di attrito $\varphi = 37^\circ$
 Modulo elastico $E_m = 70 \text{ MPa}$

Nel modello di calcolo Flac per la sezione C1 si prende però in considerazione una sezione con copertura diversa (45 m nella tabella 26 e 40 m nella tabella 30) e si dichiara che in questa sezione di calcolo sono presenti depositi di frana inattiva. Tuttavia nella tabella si citano i depositi alluvionali ai quali vengono assegnati i seguenti parametri:

per i primi 30 metri

Peso di volume $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
 Coesione $c' = 0$
 Angolo di attrito $\varphi = 37^\circ$
 Modulo elastico $E' = 50 \text{ MPa}$

Sotto i 30 metri (vengono definiti depositi at2 anche se questo non corrisponde al profilo geologico)

Peso di volume $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
 Coesione $c' = 20 \text{ kPa}$
 Angolo di attrito $\varphi = 40^\circ$
 Modulo elastico $E' = 400 \text{ MPa}$

Il modello costitutivo adottato è elasto-plastico con criterio di resistenza di "Mohr-Coulomb".

Nella relazione del sottoattraversamento si analizza il tratto tra pk 0+350.8 e 0+417.0, quindi a meno di 300 m di distanza dalla precedente e nello stesso identico contesto geologico-geotecnico e con gli stessi sondaggi di riferimento utilizzati per la caratterizzazione del deposito at1.

I parametri dichiarati in questa relazione sono i seguenti

FINESTRA DI FORCH							
Unità	Descrizione	γ	ν	c_k	ϕ_k	k_0	E
		[kN/m ³]	[°]	[kPa]	[°]	[-]	[MPa]
r	Rilevato autostradale	20	0.3	0	35	0.426	35
at1	Alluvioni antiche di primo ordine	20	0.3	0	36	0.412	70
at2	Alluvioni antiche di secondo ordine	20	0.3	0	38	0.384	125 (100-150)

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 9-3 Finestra Forch – Parametri geotecnici di calcolo

Il modulo elastico del terreno è stato assunto variabile con la profondità, assumendo per il terreno del rilevato autostradale un valore costante pari a 35 MPa e per il terreno in posto una variazione a gradini crescente da 60 a 180 MPa alla base del modello.

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	GB0000001	C	27 di 100

Il modello costitutivo adottato per il terreno naturale e quello elasto-plastico denominato “Double - Yield, per il quale il modulo di compressibilità volumica in scarico-ricarico è valutato a partire dal modulo di compressibilità volumica in carico attraverso un coefficiente moltiplicatore R caratteristico. Nell’analisi numerica è stato adottato un valore di R crescente con la profondità, in modo da non sovrastimare gli spostamenti verticali indotti dagli scavi.

I valori adottati sono i seguenti.

Strato	Profondità	ϕ'	c'	E_{carico}	R
		[°]	[kPa]	[MPa]	[-]
1	da 0 a -3.0 m	35	0.0	35.0	1.0
2	da -3.0 a -12.0 m	36	0.0	60.0	3.0
3	da -12.0 a -20 m	38	0.0	80.0	3.0
4	da -20 a -30 m	38	0.0	100.0	5.0
5	da -30 a -40 m	38	0.0	120.0	5.0
6	da -40 a -50 m	38	0.0	140.0	5.0
7	da -50 a -60 m	38	0.0	160.0	5.0
8	da -60 a -70 m	38	0.0	180.0	5.0

Tabella 9-4

Si noti che anche per l’angolo di attrito sono stati assunti valori variabili con la profondità da 36° a 38°.

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	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	RH	GB0000001	C	28 di 100

6.2 MODELLO GEOLOGICO-GEOTECNICO DEL PROGETTO ESECUTIVO

Il modello geologico è sostanzialmente uguale a quello del PD. Il sondaggio integrativo S21-3 ha confermato che lo scavo interessa i terreni sabbioso-ghiaiosi della formazione at1. Nel sondaggio non è stata intercettata la falda come già indicato nel modello del PD.

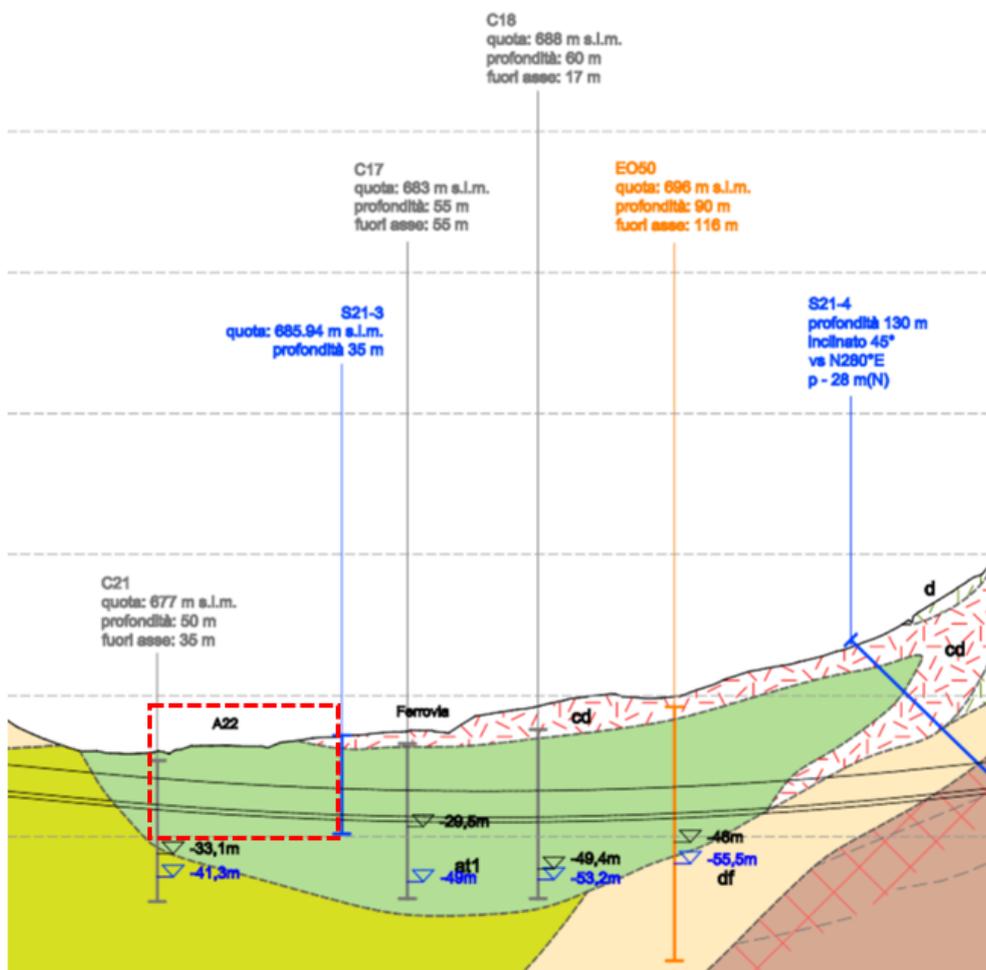


Figura 6-6: Stralcio del profilo geologico di PE della Finestra di Forch – interferenza con A22 in evidenza

Nel grafico seguente si riportano le curve granulometriche del sondaggio S21/3; come si evince dalle curve il materiale si presenta prevalentemente sabbioso con ghiaia. Si deve tuttavia evidenziare che si tratta di campioni rimaneggiati campionabili a secco, quindi si tratta di campioni rappresentativi delle frazioni prevalentemente sabbiose e non di quelle con elevata percentuale ghiaiosa.

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 GB0000001	REV. C	FOGLIO. 29 di 100

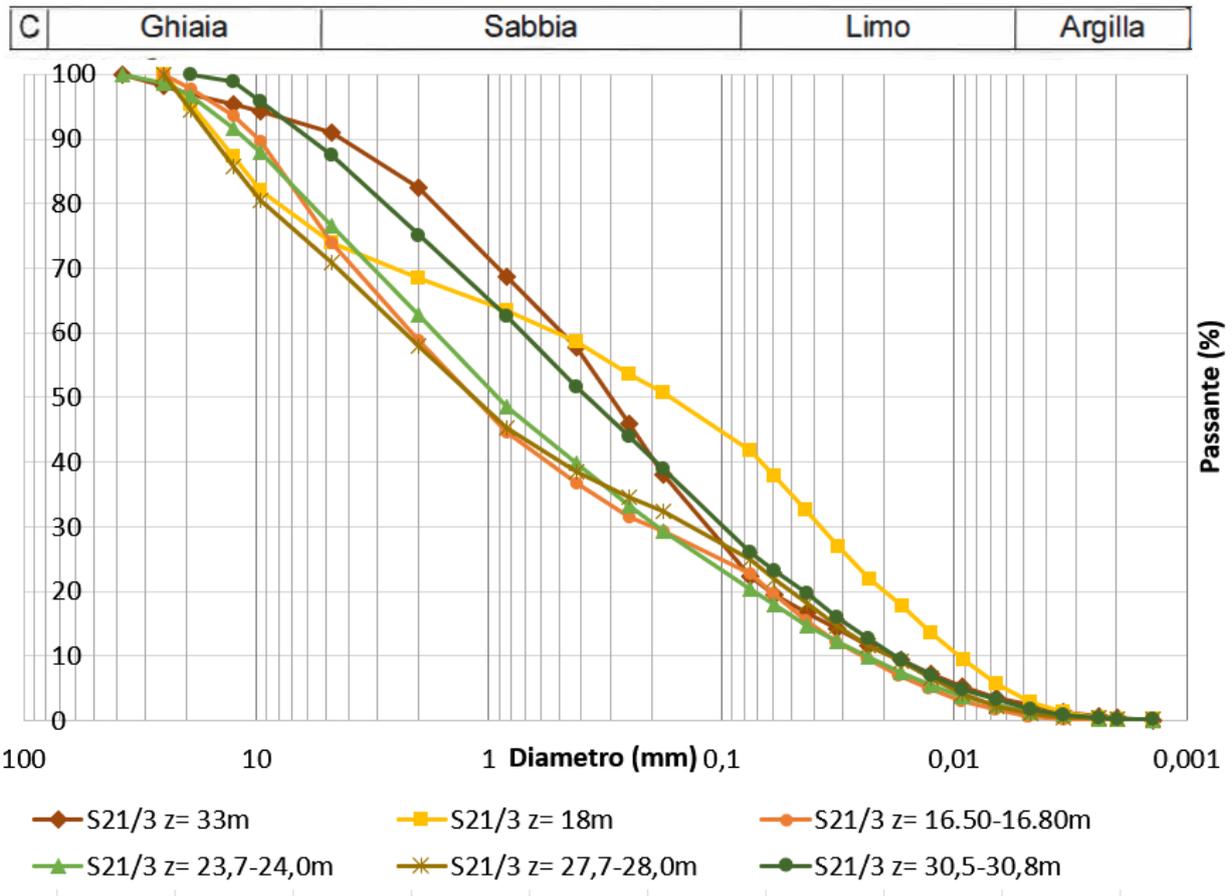


Figura 6-7: Curve granulometriche sondaggio

Di seguito si riportano alcune foto delle carote del sondaggio S21/3 che mostrano la presenza di un materiale eterogeneo con sabbia medio-grossolana con vario contenuto di ghiaia.



Figura 6-8: Carote sondaggio S21/3 – da 0 m a 15 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 GEMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Relazione tecnica e di monitoraggio A22	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GB0000001	REV. C	FOGLIO. 30 di 100



Figura 6-9: Carote sondaggio S21/3 – da 15 m a 30 m

In accordo con quanto già eseguito in progetto definitivo, sono stati esaminati ed elaborati risultati delle prove SPT per la stima di densità relativa, angolo di attrito e modulo elastico. I grafici seguenti mostrano i valori del PD (nei sondaggi C17-C18-21) a confronto con i risultati del PE.

Al riguardo delle prove SPT si deve evidenziare che molte delle prove sono andate a rifiuto (nel S21/3 oltre la metà) e tale circostanza può essere messa in relazione ad uno stato di addensamento molto elevato e/o alla presenza di clasti di grandi dimensioni.

Nel grafico i valori a rifiuto sono riportati convenzionalmente con il valore 100 anche se questo valore è privo di significato numerico e serve solo per evidenziare graficamente la presenza di questi risultati.

Questi numerosi valori a rifiuto, se da un lato non forniscono dati numerici, d'altro lato non possono essere ignorati nelle conclusioni sulla caratterizzazione della formazione.

Come è noto l'applicazione delle correlazioni empiriche per le prove SPT eseguite in terreni a grana molto grossolana e con presenza di clasti può portare ad una forte sottostima dei parametri. I numerosi valori a rifiuto avuti in questi terreni sono stati scartati dalle elaborazioni e questa scelta porta sicuramente ad una sottostima. Sia che il rifiuto sia legato al forte addensamento sia che sia legato alla presenza di clasti, questo si trasforma in una selezione dei dati che porta a scartare quelli relativi a materiali molto addensati o a grana molto grossa.

Nella Figura 6-10 si riportano i valori di N_{SPT} al variare della profondità i valori di densità relativa. Per quanto riguarda l'angolo d'attrito, i cui risultati sono in Figura 6-11, laddove questo dipende dalla densità relativa, per quest'ultima è stato utilizzato il valore medio delle diverse formulazioni usate.

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 GB0000001	REV. C	FOGLIO. 31 di 100

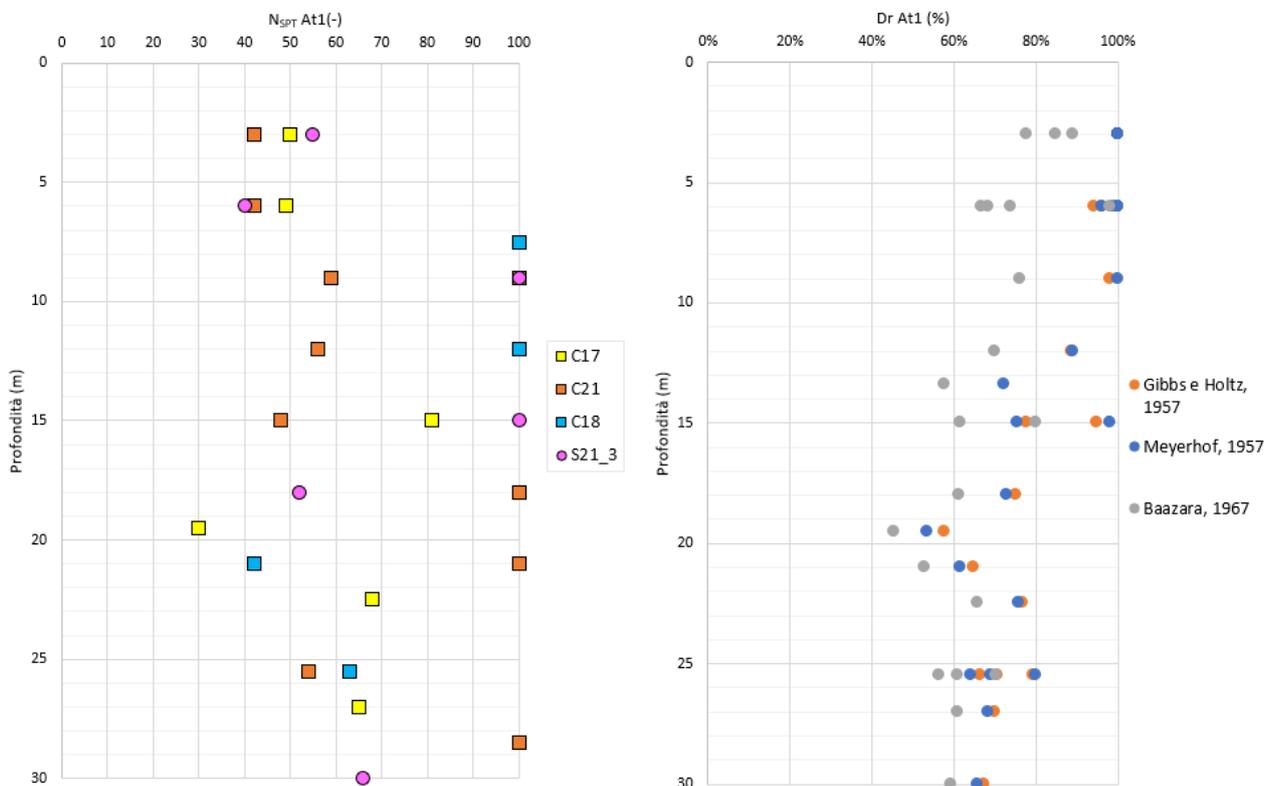


Figura 6-10: at1 – depositi alluvionali di primo ordine valori di N_{SPT} (a sinistra) e densità relativa da elaborazione N_{SPT} (a destra)

Come si evince dalla figura precedente, i valori di N_{SPT} ottenuti dal sondaggio S21/3 non si discostano da quelli della precedente campagna di indagini e mostrano, a partire dai 5m, una leggera tendenza crescente con la profondità. I valori di angolo di attrito ottenuti da elaborazione N_{SPT} dell'insieme dei sondaggi considerati (PD e PE) indicano un valore medio di 39° e un range da 34° a 45°, molto ampio e congruente con la forte variabilità granulometrica dei materiali dalle sabbie alle ghiaie e ciottoli anche a blocchi (Figura 6-11).

Si chiarisce che il range rappresentativo dei valori è stato determinato in questa sede definendo il valore medio con la relativa deviazione standard e utilizzando questi valori come limite superiore e inferiore rispetto alla media. Nel PD non è stato definito il criterio per la determinazione del valore centrale e quelli del limite del range, ma verosimilmente questa valutazione è stata fatto "a stima". Le piccole differenze quindi, oltre all'introduzione dei dati del nuovo sondaggio S21/3, dipendono anche da questo nuovo criterio di interpretazione.

È doverosa inoltre anche un'altra precisazione. Nell'impostazione dei grafici del PD (confermata anche nel PE) è stata considerata una variabilità dei valori non solo sulla base dei diversi risultati ottenuti, ma anche dei diversi valori ottenuti con le correlazioni proposte da vari autori. In alcuni casi si possono ottenere valori molto diversi per lo stesso dato di partenza utilizzando vari autori (ad esempio per l'angolo di attrito, con lo stesso valore di N_{SPT} si possono ottenere da 35° a 45° con le diverse correlazioni). Considerare questo range come una variabilità delle caratteristiche della formazione (come se fosse legata a valori di N_{SPT} diversi) è concettualmente sbagliato. In sede di PE è stato mantenuto questo approccio, ma con l'idea di considerare

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 GB0000001	REV. C	FOGLIO. 32 di 100

questa variabilità come un segnale dell'incertezza del metodo per la stima di alcuni parametri e non come una variabilità intrinseca di questi terreni.

In tale ambito sarebbe quindi più corretto fare affidamento alle correlazioni di più frequente uso e/o specifiche per il tipo di materiale. Con questo approccio sono stati separati i range delle diverse correlazioni che si riportano nella tabella seguente.

<i>Metodo</i>	Limite inferiore	Valore Medio	Limite superiore
Shioi e Fukuni Road Bridge	39	43	47
Shioi e Fukuni Japanese National	39	43	48
API - American Petroleum	34	37	41
Schmertmann 1977 - sabbia media	34	35	36

Tabella 6-1: at1 – depositi alluvionali di primo ordine – valori di angolo di attrito da correlazioni empiriche

Come si evince dalla tabella, per lo stesso metodo, i valori di angolo di attrito possono variare da 34° a 48°.

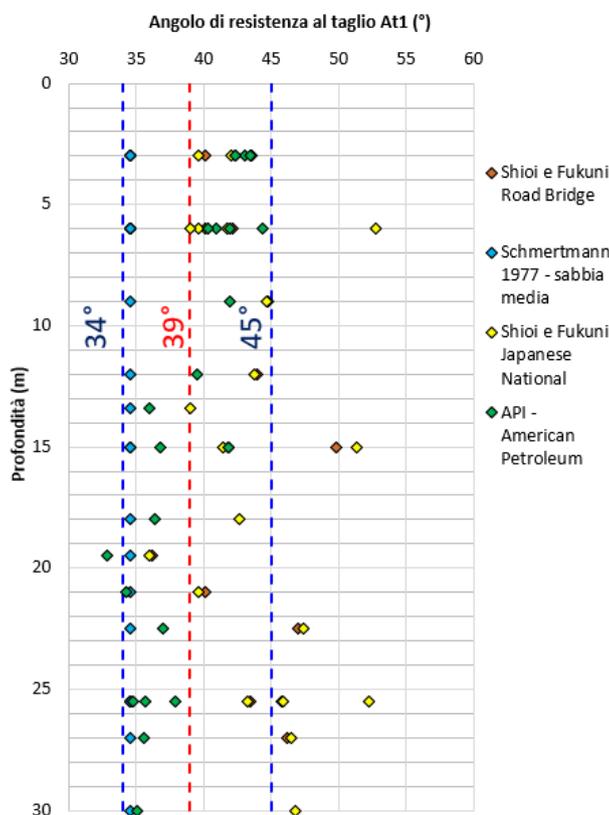


Figura 6-11: at1 – Depositi alluvionali antichi di primo ordine – angolo di attrito da elaborazione N_{SPT}

Oltre ai campioni da SPT, nel sondaggio S21/3 sono stati prelevati 4 campioni rimaneggiati tramite carotaggio a secco. Da questi campioni sono stati ricavati provini per prove di taglio diretto su terreni ricompattati nella

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 GB0000001	REV. C	FOGLIO. 33 di 100

scatola. Poiché la scatola di Casagrande permette di analizzare correttamente terreni con diametro dei grani inferiori a 6mm (in relazione alla dimensione della scatola 6x6x2cm) i terreni sono stati selezionati scartando tutti i clasti di dimensioni maggiori. Dalle granulometrie dei 4 campioni C4-C5-C6-C7 si ricava che per questa selezione è stata scartata una frazione grossolana che rappresenta dal 10 al 25% della totalità.

I risultati di queste prove possono quindi considerarsi rappresentativi delle caratteristiche di resistenza della sola matrice sabbioso-limosa.

Riferendosi a questa selezione granulometrica i risultati hanno in effetti fornito valori tipici di sabbie limose o limi sabbiosi, con valori di coesione variabili da 5 a 8 kPa e angolo di attrito variabili tra 26.5 e 28°. Si specifica che questi valori sono leggermente diversi da quelli dichiarati nei certificati di prova perché derivano da una autonoma elaborazione con interpolazione della retta ai minimi quadrati.

Con analogo criterio di interpolazione sono stati raggruppati i risultati delle 4 prove e dall'analisi complessiva si ricava un valore di coesione di 7 kPa e angolo di attrito di 27°. Tali valori, che possono riferirsi a materiali limosi, possono quindi essere rappresentativi della sola matrice del deposito.

Questi risultati potrebbero dare indicazioni della presenza di una minima frazione di resistenza coesiva, ma nella caratterizzazione d'insieme tale contributo è stato ignorando affidandosi alla sola resistenza attritiva della totalità del materiale, quindi ovviamente anche della componente ghiaiosa che è stata scartata nelle prove di taglio.

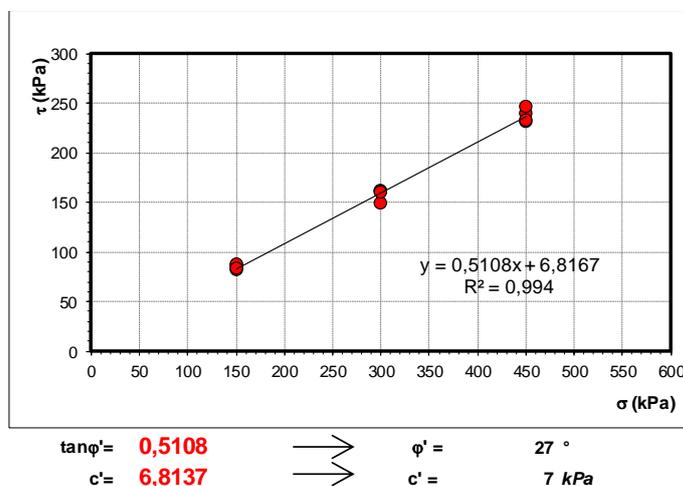


Figura 6-12: at1 – Elaborazione complessiva delle prove di taglio diretto sulla matrice sabbioso-limosa

Una ulteriore considerazione deve essere fatta per la stima del modulo di deformabilità.

Come è noto, le prove SPT sono nate per la stima del grado di addensamento e di conseguenza dell'angolo di attrito in sabbie e poi sono state proposte varie correlazioni per altri tipi di terreno e altri parametri.

Non si deve dimenticare che una applicazione acritica di queste correlazioni può portare a valutazioni anche significativamente errate.

È peraltro noto che la stima del modulo di deformabilità dalle prove SPT su terreni grossolani con blocchi può portare a valutazioni fortemente cautelative (soprattutto se si escludono i valori a rifiuto o molto elevati e se non si considera la scelta dell'operatore di non eseguire la prova se in presenza di clasti molto grossolani).

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 GB0000001	REV. C	FOGLIO. 34 di 100

In questa sede sono comunque state mantenute e riportate in grafico i valori ricavati dalle correlazioni, ma si è preferito dare maggiore affidamento ad altri tipi di prove.

Tra queste le prove pressiometriche sono quelle che possono dare indicazioni di maggiore affidabilità anche se si tratta di prove che interessano comunque porzioni di terreno che possono risultare più o meno disturbate. Le prove pressiometriche vengono eseguite da "tasche" di prova di diametro 50 mm eseguite all'interno del foro di sondaggio. Soprattutto se in presenza di ghiaie e clasti la creazione della tasca di prova può creare disturbi e sgrottamenti tali da rendere a volte impossibile la prova. Questo è quello che effettivamente si è verificato nel sondaggio S21/3 dove erano previste 5 prove e per i problemi descritti è stato possibile realizzare una sola prova.

I risultati di questa unica prova pressiometrica del sondaggio integrativo S21/3 sono in linea con il range identificato in progetto definitivo (Figura 6-13).

Per i motivi descritti, i valori del modulo più bassi di 100 MPa sembrerebbero attribuibili a difetti di prova piuttosto che ad una riduzione locale della deformabilità del materiale.

Dall'insieme di queste considerazioni è da ritenere che le tecniche più affidabili per la stima delle caratteristiche di deformabilità in questi terreni siano le prove geofisiche (sismiche in particolare). Si tratta di prove che interessano terreni effettivamente indisturbati; pur trattandosi di indagini "indirette" la correlazione che lega le velocità delle onde di taglio al modulo di taglio è fondata su valide basi teoriche.

Il passaggio anche dal modulo di taglio al modulo di deformazione a piccole deformazioni è anch'esso affidabile. Si fa riferimento alle seguenti formulazioni:

$$G_0 = \frac{\gamma_t}{9,81} \cdot (V_s)^2 \quad (\text{kPa})$$

$$E_0 = G_0 \cdot 2 \cdot (1 + \nu')$$

essendo:

γ_t = peso di volume naturale del terreno in kN/m³

ν' = rapporto di Poisson del terreno = 0,15 ÷ 0,20

V_s = velocità di propagazione delle onde di taglio in m/s.

L'unica incertezza è legata al passaggio dalle piccole alle grandi deformazioni. Come prassi si "degrada" il modulo elastico E a piccole deformazioni applicando un coefficiente riduttivo funzione anche del tipo di problema da esaminare. Nei grafici che seguono si evidenzia una netta tendenza all'aumento dei valori delle V_p e V_s con la profondità, a partire dai primissimi metri dalla superficie. Applicando il massimo valore di "degrado" al valore stimato di E_0 (pari a 10) si ricava che fin dai primi metri ($H < 10\text{m}$) i valori del modulo aumentano da 100 a 200 MPa; a profondità maggiori che l'incremento del modulo arriva a valori tra 250 e 350 MPa (Figura 6-14).

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:						
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
08 - GALLERIE Relazione tecnica e di monitoraggio A22	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GB0000001	REV. C	FOGLIO. 35 di 100

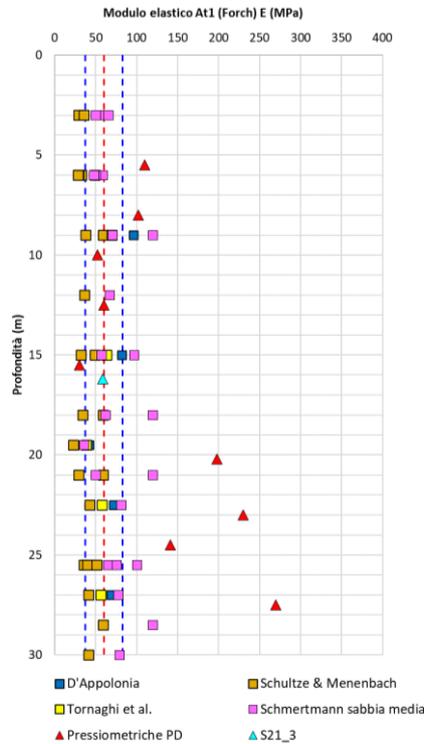


Figura 6-13: at1 – Depositi alluvionali antichi di primo ordine – modulo elastico da elaborazione N_{SPT} e prove pressiometriche

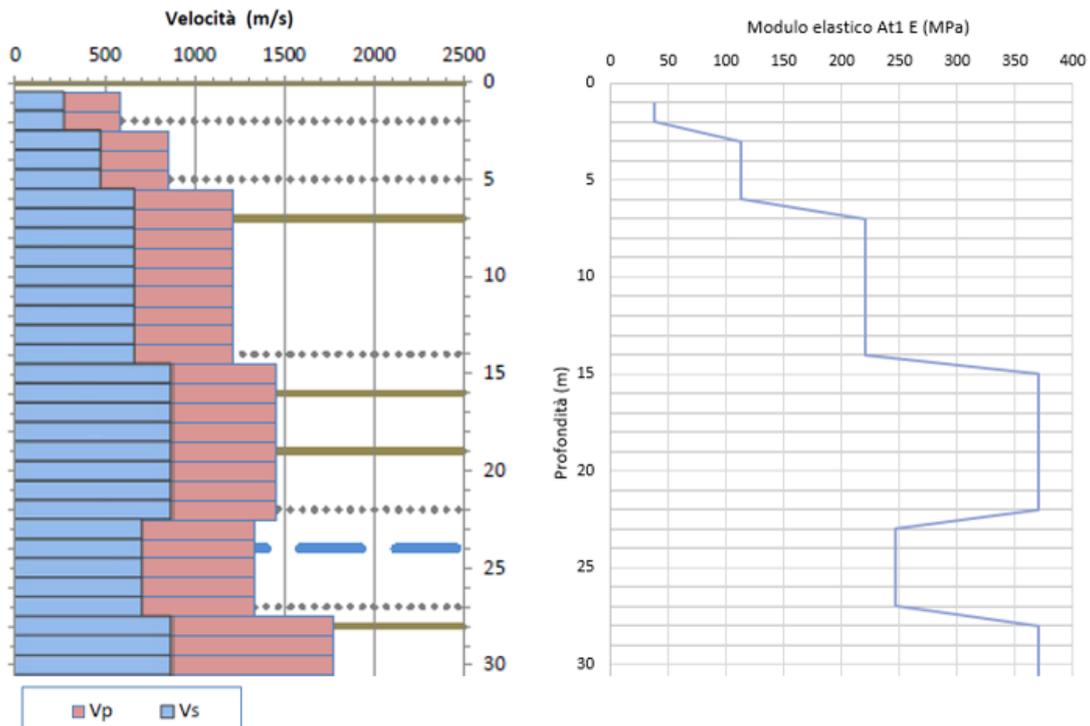


Figura 6-14: at1 – Modulo elastico e onde Vp e Vs – prova Down Hole del sondaggio S21_3

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 GB0000001	REV. C	FOGLIO. 36 di 100

Questi valori sono in linea con i risultati della cross-hole del sondaggio C18 del PD che aveva indicato valori di E superiori a 350 MPa a profondità maggiori di 30 m.

All'insieme di questi dati possono ritenersi rappresentativi i seguenti intervalli di valori:

$$\begin{aligned} \text{per } H < 15 \text{ m} & \quad 50 \text{ MPa} \leq E \leq 150 \text{ MPa} \\ \text{per } H = 15 - 30 \text{ m} & \quad 150 \text{ MPa} \leq E \leq 250 \text{ MPa} \\ \text{per } H = 30 - 60 \text{ m} & \quad 250 \text{ MPa} \leq E \leq 400 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Nelle analisi numeriche del PE, in analogia con quanto sviluppato nel PE, si è adottato un modello costitutivo tipo "hardening soil" (implementato nel software Plaxis) del tutto analogo al "double yield" considerato nel software Flac.

Questo criterio prevede una variazione del modulo con la profondità secondo una legge che verrà descritta nella descrizione del modello di calcolo. Sulla base delle considerazioni svolte si ritiene che un valore di partenza del modulo di 100 MPa sia adeguatamente rappresentativo del materiale.

Dall'insieme di questi dati sono stati ricavati i seguenti parametri caratteristici.

PARAMETRI CARATTERISTICI at1			
γ (kN/m ³)	φ (°)	c (kPa)	E_{iniz} (MPa)
20	37	0	100

Tabella 6-2: at1 – depositi alluvionali di primo ordine – parametri caratteristici Progetto Esecutivo

Nei primi 4 metri dalla superficie si è considerata la presenza del rilevato autostradale con gli stessi parametri del PD.

Rilevato autostradale

Peso di volume	$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
Coesione	$c' = 0$
Angolo di attrito	$\varphi = 35^\circ$
Modulo elastico	$E' = 35 \text{ MPa}$

6.3 CONFRONTO DEI MODELLI GEOLOGICO-GEOTECNICI PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO

Dal confronto tra i modelli geologici di progetto definitivo ed esecutivo non si riscontrano sostanziali differenze: la campagna integrativa eseguita in progetto esecutivo ha confermato che lo scavo interessa i terreni sabbioso-gliaiosi della formazione at1. La falda idrica è posta al di sotto della galleria.

Per la valutazione delle caratteristiche geotecniche dei depositi sono state considerate tutte le prove a disposizione sia del progetto definitivo, sia del progetto esecutivo.

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	GB0000001	C	37 di 100

Per i motivi prima descritti, nella stima dell'angolo di attrito si è ritenuto di dare maggiore affidabilità alle correlazioni che forniscono i valori intermedi tra l'insieme delle correlazioni prese in considerazione, scartando i valori inferiori del range.

Per quanto riguarda il modulo di deformabilità si è ritenuto invece di dare maggiore peso ai risultati delle prove pressiometriche e alle correlazioni che si ricavano dall'elaborazione delle prove geofisiche.

Sulla base di queste assunzioni si è ritenuto di stimare un valore caratteristico iniziale del modulo pari a 100 MPa assumendo il modello costitutivo "hardening soil".

Al fine di rendere più chiare le diverse scelte effettuate in progetto esecutivo, si riportano nella tabella seguente i parametri utilizzati per la modellazione insieme al modello costitutivo adottato.

Si specifica che per alcuni parametri il confronto è difficoltoso perché negli elaborati del PD vengono riportati valori diversi. Le indicazioni che seguono sono una ragionevole sintesi delle assunzioni del PD confrontabili con quelle del PE

PROGETTO DEFINITIVO					PROGETTO ESECUTIVO				
EQ. Cost.	PARAMETRI UTILIZZATI				EQ. Cost.	PARAMETRI UTILIZZATI			
	γ (kN/m ³)	φ (°)	c (kPa)	E_{iniz} (MPa)		γ (kN/m ³)	φ (°)	c (kPa)	E_{iniz} (MPa)
Double yield	20	36-38	0	70	Hardening Soil	20	37	0	100

Tabella 6-3: at1 – depositi alluvionali di primo ordine – parametri caratteristici a confronto

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	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	RH	GB0000001	C	38 di 100

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
at1	Alluvioni antiche	20	0.3	0	37	0.384	100

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 at1 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.

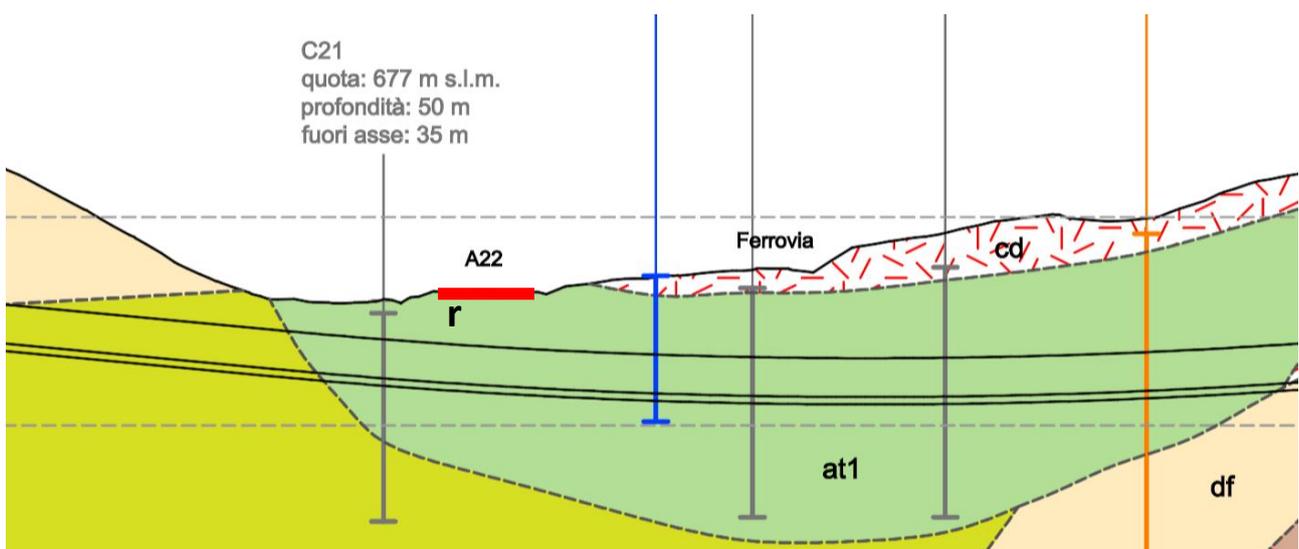


Tabella 7—2: Dettaglio profilo geotecnico

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	GB0000001	C	39 di 100

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	GB0000001	C	40 di 100

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: 12+12 ϕ 14mm;
- staffatura corrente: tot.4 bracci ϕ 10, passo 300mm

8.2 COPRIFERRO

I copriferri netti (sul ferro piu 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.

C_{min}	C_o	ambiente	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	
			$C \geq C_o$	$C_{min} \leq C < C_o$	$C \geq C_o$	$C_{min} \leq C < C_o$	$C \geq C_o$	$C_{min} \leq C < C_o$	$C \geq C_o$	$C_{min} \leq C < C_o$
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 si è scelto di utilizzare 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:						
Mandataria:	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 IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GB0000001	REV. C	FOGLIO. 41 di 100

9. CARATTERISTICHE TBM EPB

La TBM che scaverà la galleria di Forch sarà tipo EPB. La caratteristiche geometriche della macchina e dell'anello sono riportate nelle tabelle seguenti.

Tipo di Anello	Universale
Raggio Interno	4.95 m
Diametro Esterno	10.70 m
Diametro Scavo	11.05 m
Spessore conci	40 cm
Lunghezza media	1.8 m
Geometria conci	Trapezoidali / romboidali
Svasatura	17 mm
Raggio di curvatura minimo	1500 m (1200 m di calcolo)
Numero di conci	8+0
Connessioni anello / anello	n° 3 connettori (n° 24 totali)
Connessioni concio / concio	Facce inclinate con barra guida
Barra guida	Ø 50 L = 800 mm
Guarnizioni	EPDM P≥ 10 bar con cordone idrofilico

Tabella 9-1: Caratteristiche sezione tipo anello universale

Descrizione	u.m.	Valore
<i>Diametro di scavo nominale</i>	mm	11050
<i>Diametro di scavo massimo</i>	mm	11130
<i>Eccentricità cutterhead – scudo frontale</i>	mm	5
<i>Diametro ext scudo frontale</i>	mm	11020
<i>Spessore scudo frontale</i>	mm	70
<i>Diametro ext scudo posteriore</i>	mm	11000
<i>Spessore scudo posteriore</i>	mm	70
<i>Conicità (differenza sul raggio)</i>	mm	10
<i>Lunghezza scudi</i>	mm	11126
<i>Lunghezza macchina</i>	mm	12019
<i>Gap scavo nominale – estradosso tail shield</i>	mm	30
<i>Gap intradosso tail shield – estradosso concio (spazzole)</i>	mm	80 (45)

Tabella 9-2: Caratteristiche geometriche della macchina

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

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 GB0000001	REV. C	FOGLIO. 42 di 100

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 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):

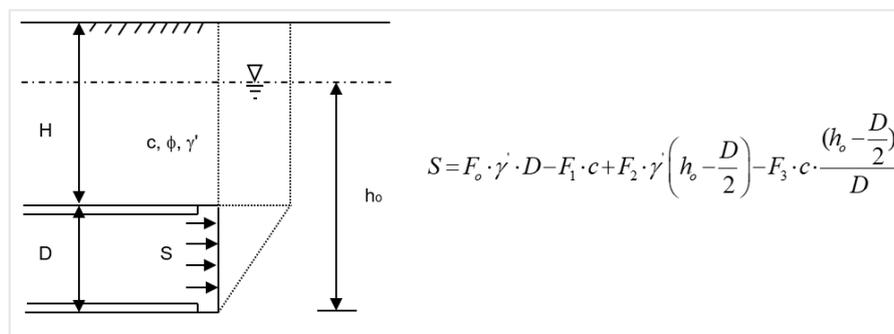


Figura 10–1: Stabilità del fronte secondo il metodo Anagnostou e Kovari

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 GB0000001	REV. C	FOGLIO. 43 di 100

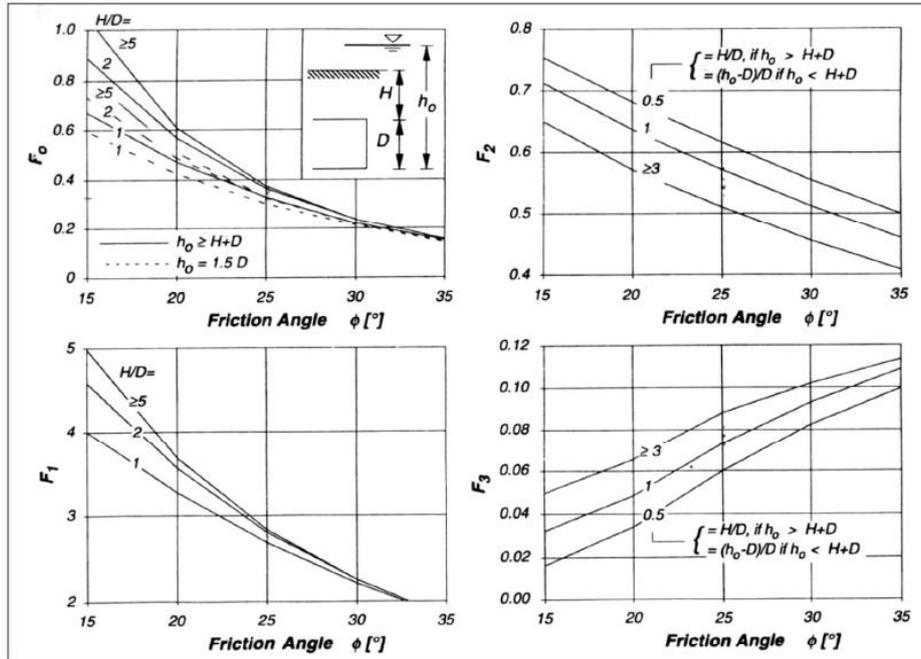


Figura 10–2: Abachi per la definizione dei coefficienti adimensionali

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 GB0000001	REV. C	FOGLIO. 44 di 100

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 0.76 bar, come riportato in Figura 10–3.

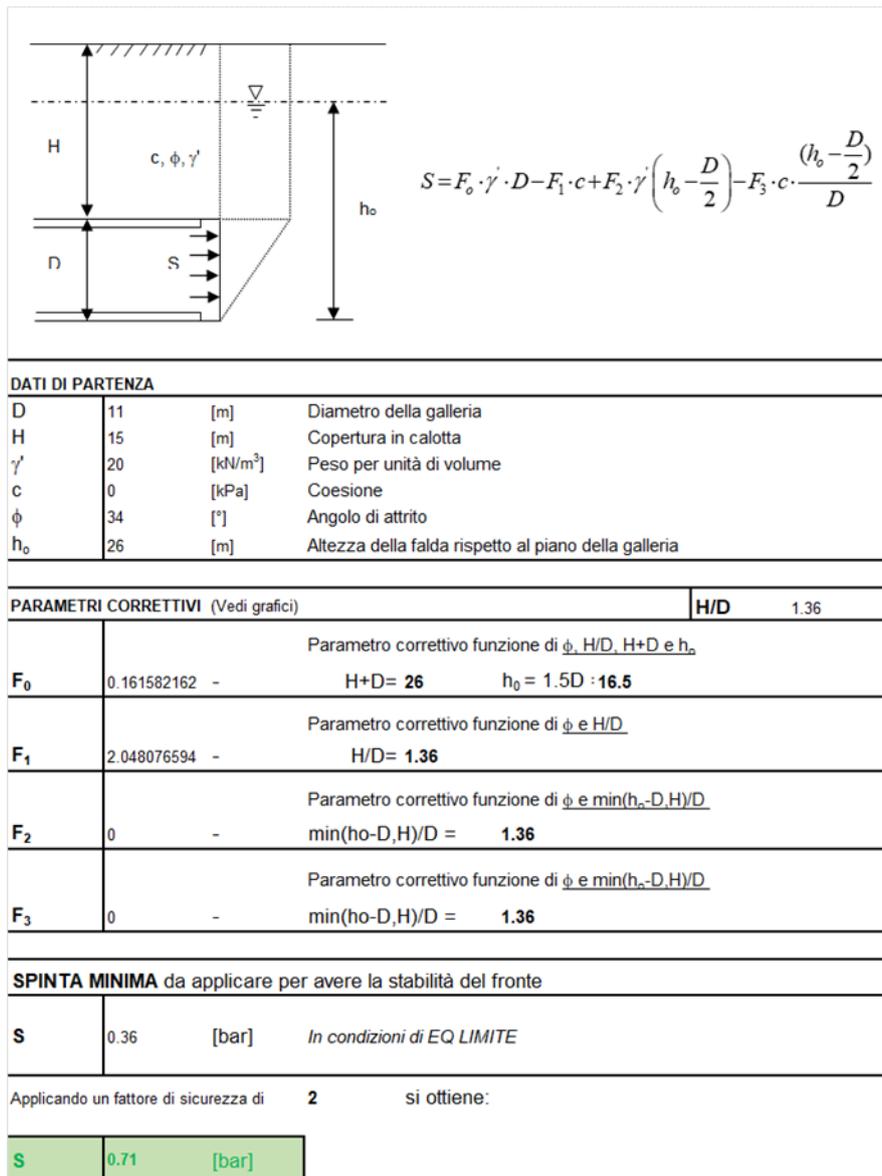


Figura 10–3: Stabilità del fronte

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	IB0U	1BEZZ	RH	GB0000001	C	45 di 100

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 §17.

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;
- Per la valutazione dei cedimenti in superficie e delle distorsioni imponendo un volume perso V_L in uno scenario di scavo atteso (0,1%) ed in uno scenario di scavo imprevisto (0,4%) 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 45768 elementi triangolari a 15 nodi e la dimensione è di circa 200x85 m.

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.

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 GB0000001	REV. C	FOGLIO. 46 di 100

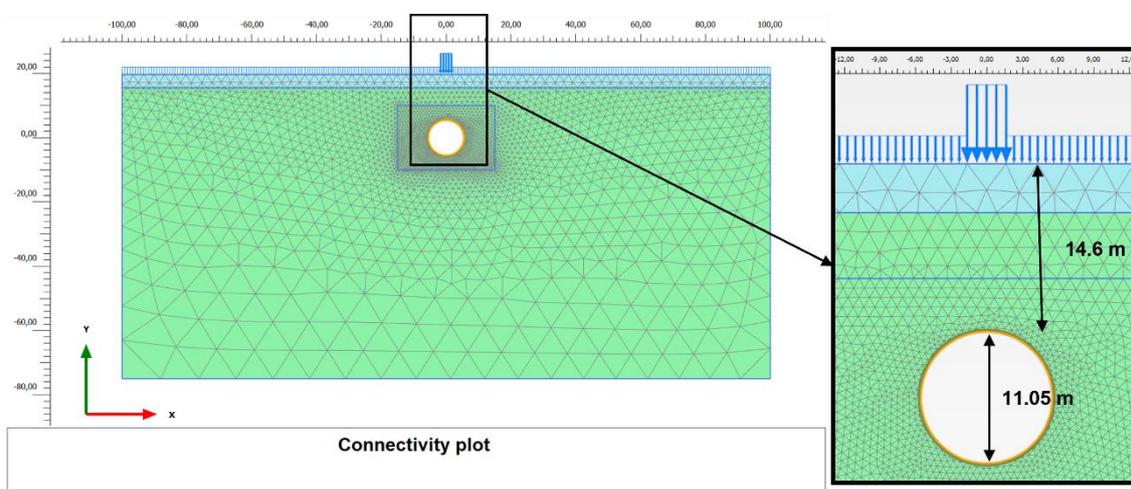


Figura 11-1: Geometria di analisi

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;
 - 3.1) Rilascio completo dello stato tensionale (100%) ed attivazione dei conci prefabbricati;
 - 3.2) Applicazione di una contrazione radiale uniforme al contorno del cavo pari a 0,1%;
 - 3.3) Applicazione di una contrazione radiale uniforme al contorno del cavo pari a 0,4%.

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 cono $b = 1.8\text{m}$ mentre il momento, per considerare la riduzione della rigidità dovuta alla presenza dei giunti tra ciascun cono, viene moltiplicato per un coefficiente aggiuntivo ricavato mediante la formulazione di Wood $(1+\xi) = 1.36$.

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)
N_{max}	-955.66	131.35	-0.01	-2236.24	418.01	-0.03
N_{min}	-1789.08	-71.18	-2.27	-4186.44	-226.53	-5.31
M_{max}	-957.27	131.37	-0.03	-2240.02	418.08	-0.08
M_{min}	-1588.89	-101.46	0.13	-3718.01	-322.88	0.30

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 GB0000001	REV. C	FOGLIO. 47 di 100

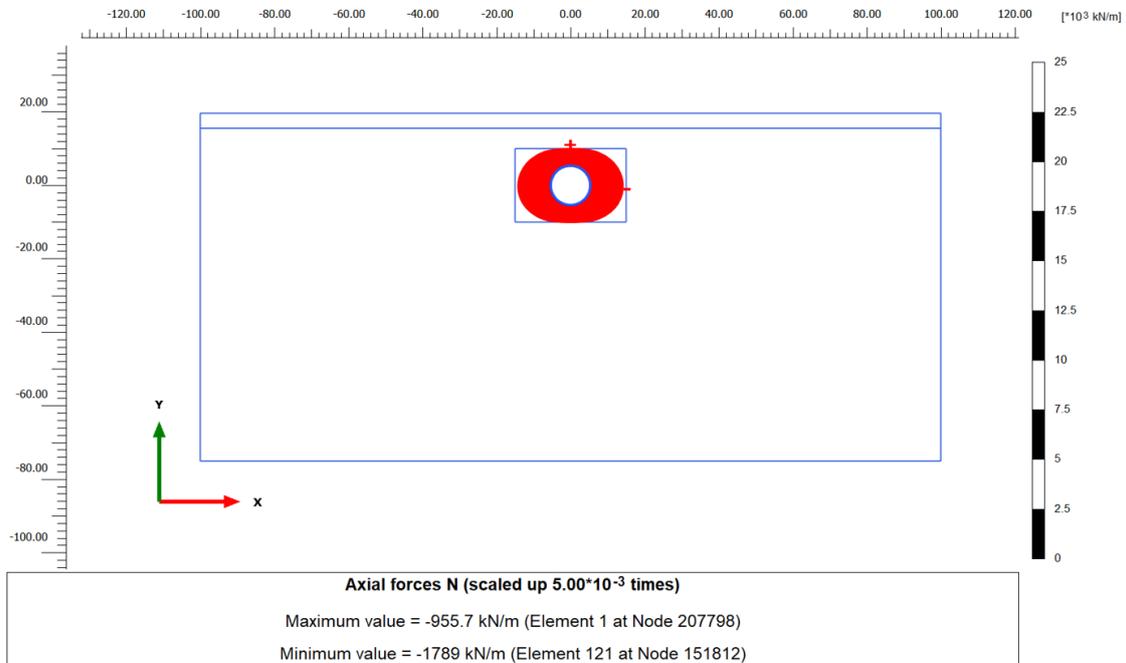
<i>Tmax</i>	-1230.97	14.46	72.50	-2880.47	46.00	169.65
<i>Tmin</i>	-1230.97	14.46	-72.50	-2880.47	46.02	-169.65

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. 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:	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 GB0000001	REV. C	FOGLIO. 48 di 100

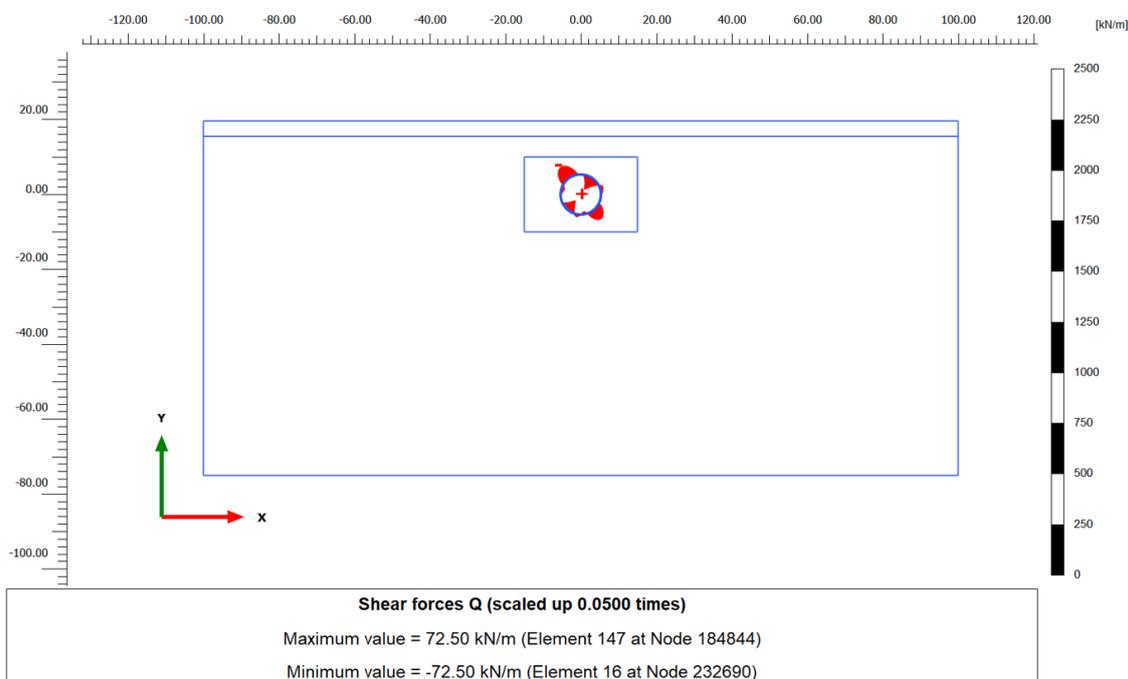
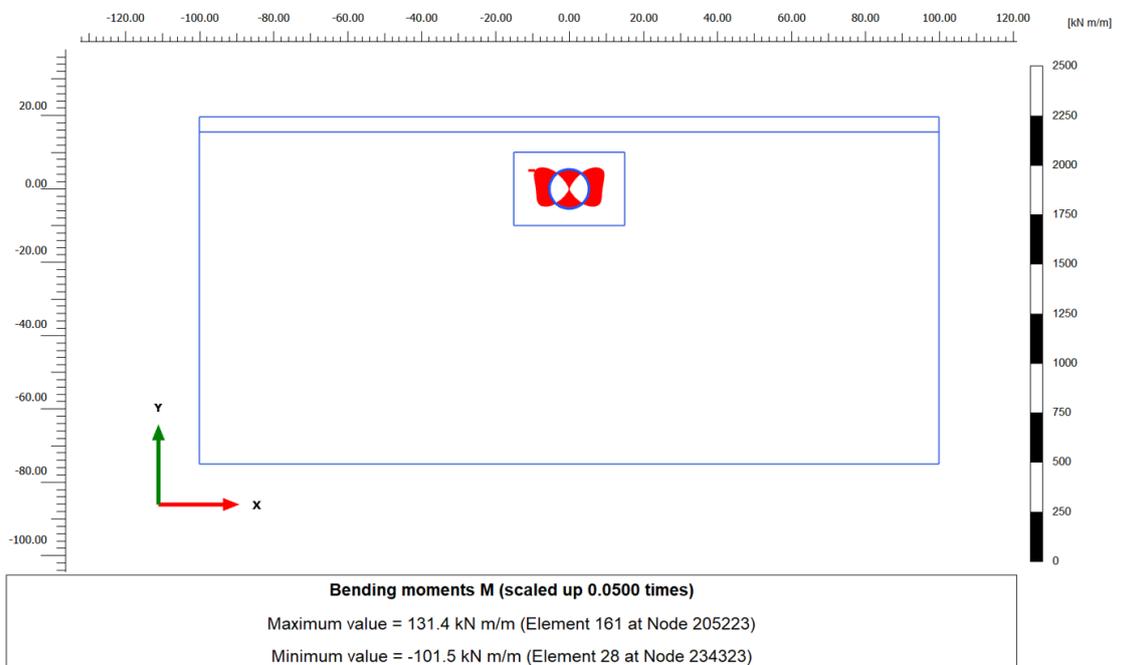


Figura 11-2: Diagrammi delle sollecitazioni sforzo normale, momento flettente e taglio Fase 3.1

Nel seguente paragrafo 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 12+12 ϕ 14mm con staffe ϕ 10 a passo 250mm con 4 bracci.

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 GB0000001	REV. C	FOGLIO. 49 di 100

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.

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 mediante un coefficiente 1.3 le sollecitazioni derivanti dall'analisi numerica.

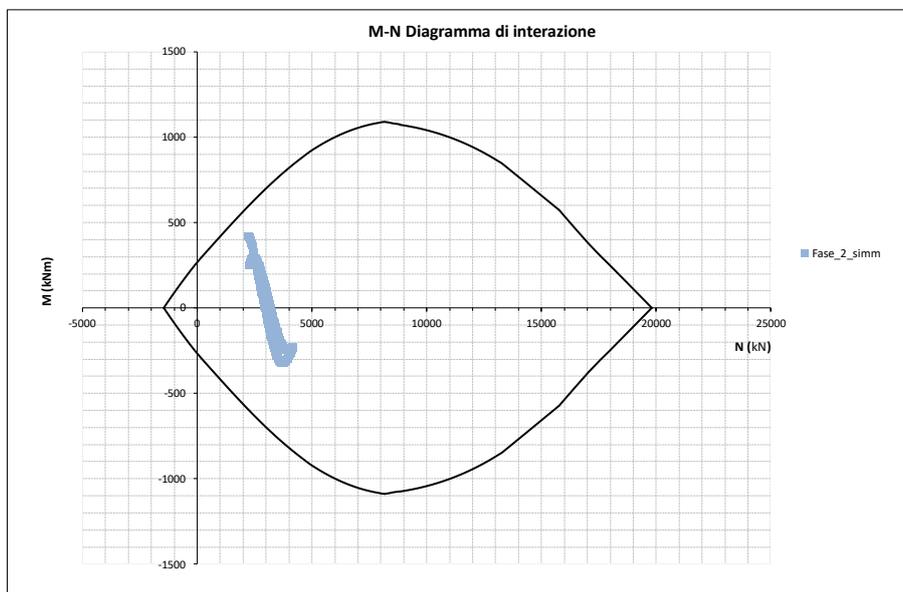


Figura 11-3: Dominio M-N Fase 3.1

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 mediante un coefficiente pari ad 1.3 le sollecitazioni derivanti dall'analisi numerica. È stata verificata la sollecitazione di taglio, al variare dell'angolo θ che descrive l'anello, nella fase più critica.

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 GB0000001	REV. C	FOGLIO. 50 di 100

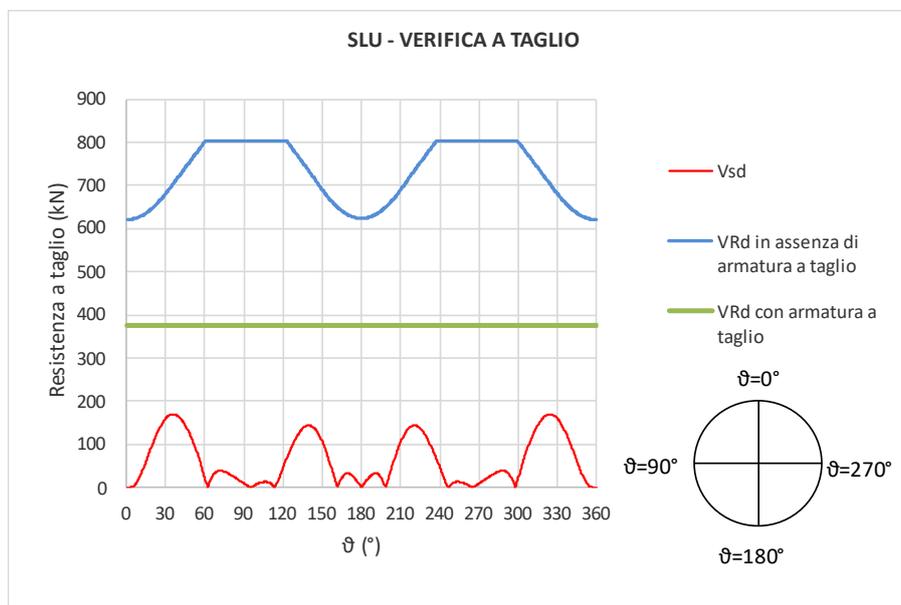


Figura 11-4: Verifica a taglio Fase 3.1

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.

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 GB0000001	REV. C	FOGLIO. 51 di 100

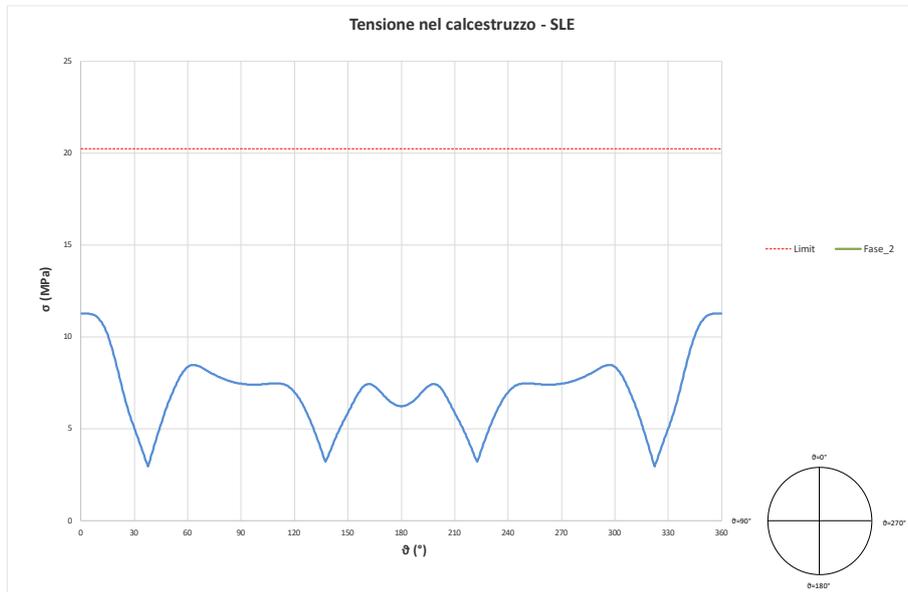


Figura 11-5: Stato tensionale sul calcestruzzo Fase 3.1

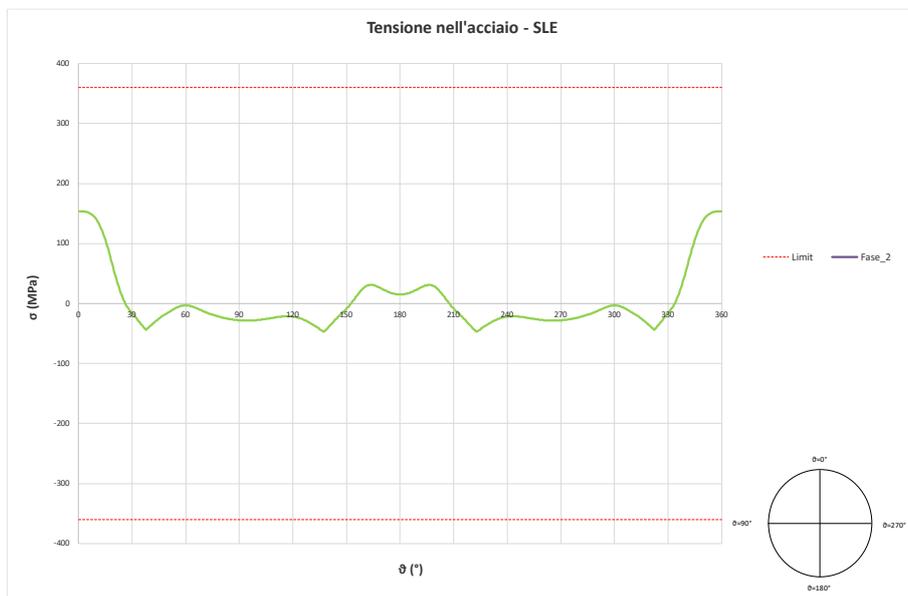


Figura 11-6: Stato tensionale acciaio Fase 3.1

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 GB0000001	REV. C	FOGLIO. 52 di 100

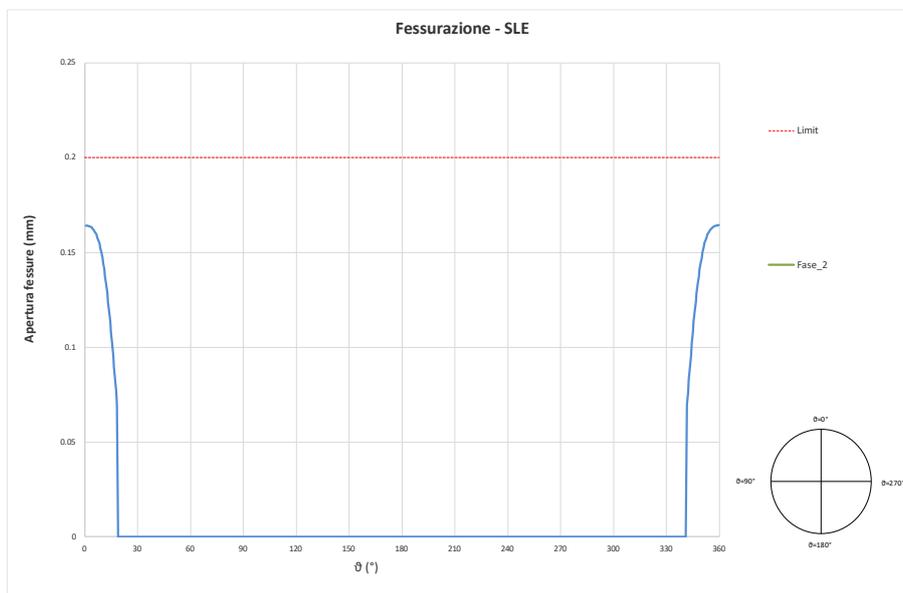


Figura 11-7: Stato di fessurazione Fase 3.1

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

Verifica Sismiche dei concii

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 ($a_{max,s} = S \cdot a_g$).

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).

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 GB0000001	REV. C	FOGLIO. 53 di 100

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

Formazione	at1
Copertura	33
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 Cu 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:

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

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

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

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

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

In cui k_1 e k_2 rappresentano i coefficienti di risposta.

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

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 GB0000001	REV. C	FOGLIO. 54 di 100	

$$C = \frac{E_m(1 - \nu_l^2)R_l}{E_l t(1 + \nu_m)(1 - 2\nu_m)}$$

$$F = \frac{E_m(1 - \nu_l^2)R_l^3}{6E_l I_{l,1}(1 + \nu_m)}$$

in cui :

- E_m rappresenta il modulo elastico dinamico del terreno;
- ν_m rappresenta il coefficiente di Poisson del terreno;
- R_l è il raggio nominale della galleria;
- E_l è il modulo elastico del calcestruzzo costituente il rivestimento;
- ν_l è il coefficiente di Poisson del calcestruzzo;
- $I_{l,1}$ è il momento di inerzia del rivestimento;
- t_l è lo spessore dell'anello.

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

R_l (m)	E_m (kPa)	ν_m (-)	E_l (kPa)	ν_{CLS} (-)	t_l (m)	I_l (m ⁴ /m)	γ_{max} (-)
5.35	625000	0.3	31447000	0.15	0.40	0.0053	8.03E-05

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

C	F	K2	K1	ΔN (kN)	ΔM (kNm)
0.50	71.51	1.085	0.057	± 112.1	± 10.6

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 GB0000001	REV. C	FOGLIO. 55 di 100

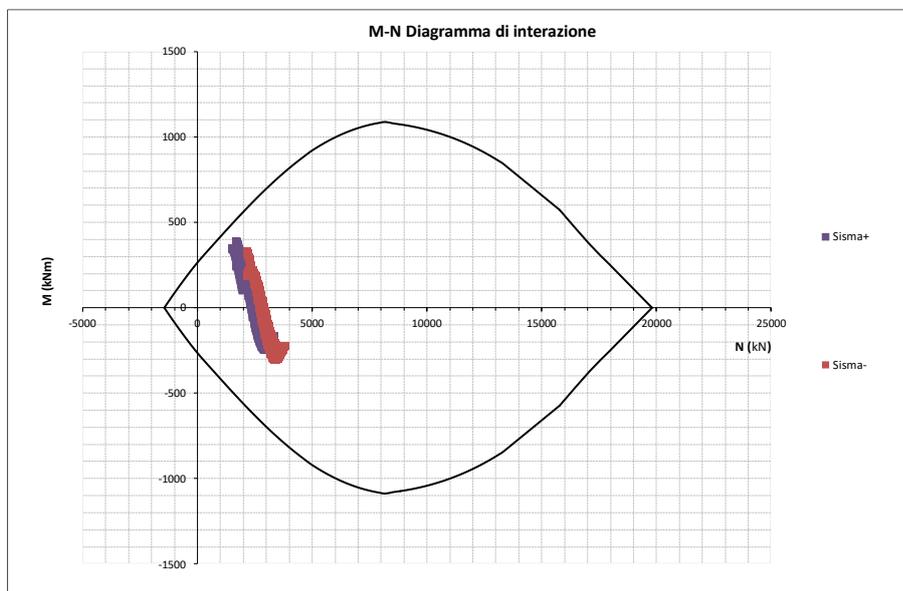


Figura 11-8: Dominio M-N verifiche sismiche Fase 3.1

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.

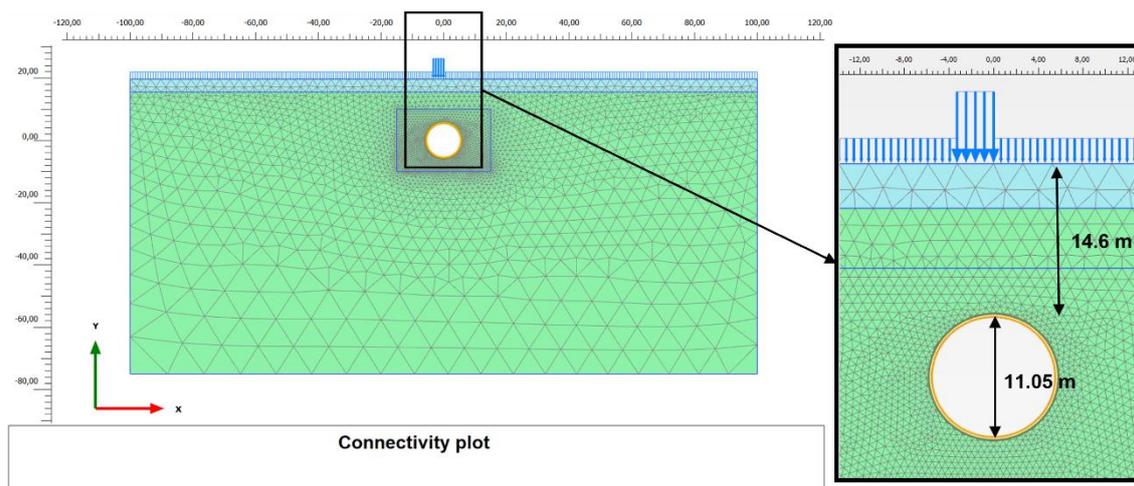


Figura 11-9: Geometria di analisi

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.

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	GB0000001	C	56 di 100

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;
 - 3.1) Rilascio completo dello stato tensionale (100%) ed attivazione dei conci prefabbricati;
 - 3.2) Applicazione di una contrazione radiale uniforme al contorno del cavo pari a 0,1%;
 - 3.3) Applicazione di una contrazione radiale uniforme al contorno del cavo pari a 0,4%.

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, viene moltiplicato per un coefficiente aggiuntivo ricavato mediante la formulazione di Wood $(1+\xi) = 1.36$.

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)
<i>Nmax</i>	-955.85	131.33	0.51	-2236.69	417.94	1.18
<i>Nmin</i>	-1791.01	-71.05	-2.10	-4190.97	-226.10	-4.91
<i>Mmax</i>	-959.47	131.54	0.00	-2245.17	418.62	0.00
<i>Mmin</i>	-1586.06	-101.98	-0.32	-3711.39	-324.54	-0.74
<i>Tmax</i>	-1234.31	13.63	72.09	-2888.29	43.37	168.70
<i>Tmin</i>	-1235.83	11.53	-73.01	-2891.85	36.70	-170.85

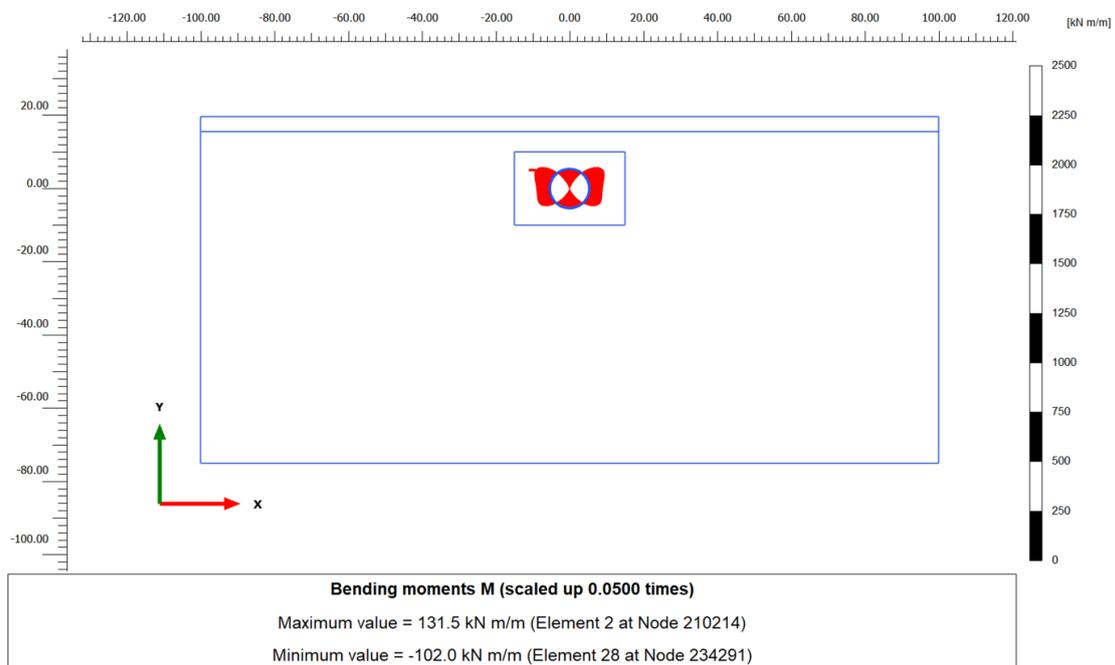
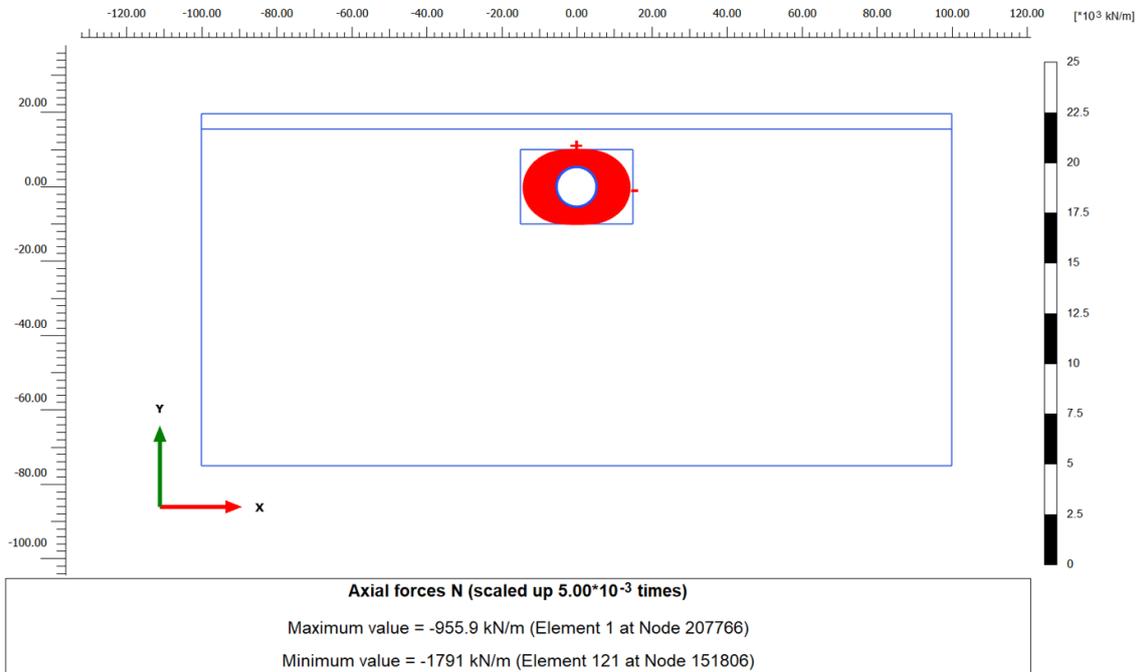
Tabella 11—5: Sollecitazioni sui conci

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. 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:	<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 GB0000001	REV. C	FOGLIO. 57 di 100



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 GB0000001	REV. C	FOGLIO. 58 di 100

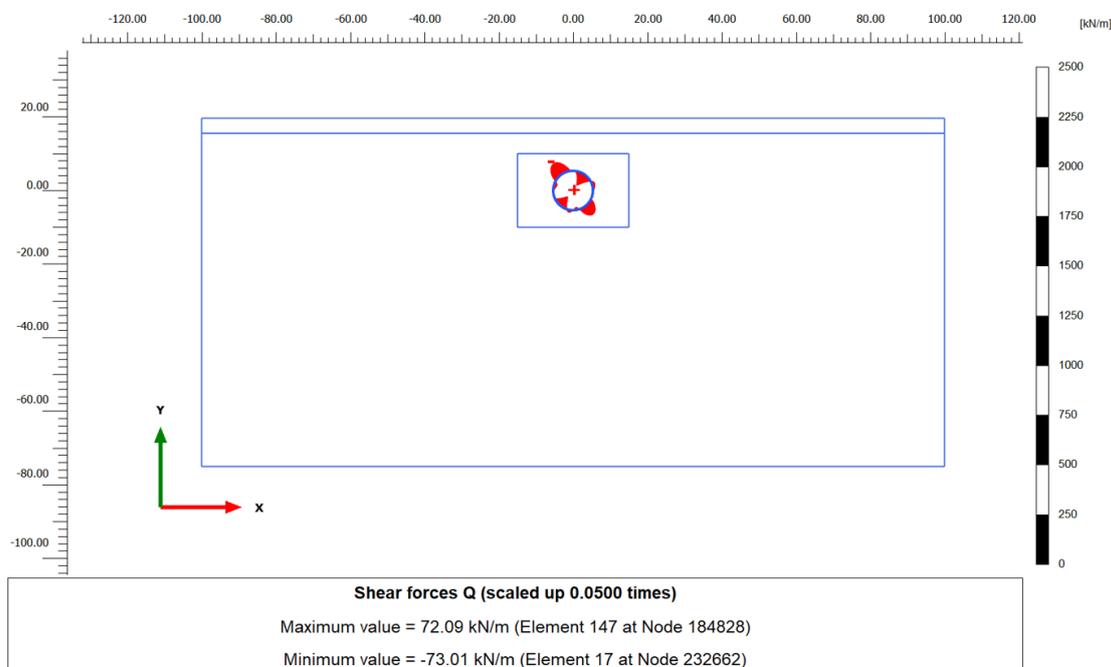


Figura 11-10: Diagrammi delle sollecitazioni sforzo normale, momento flettente e taglio Fase 3.1

Nel seguente paragrafo 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 12+12 ϕ 14mm con staffe ϕ 10 a passo 250mm con 4 bracci.

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 IB0U1BEZZRHGN0000003 "Relazione generale di calcolo di conci in calcestruzzo armato".

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 mediante un coefficiente 1.3 le sollecitazioni derivanti dall'analisi numerica.

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 GB0000001	REV. C	FOGLIO. 59 di 100

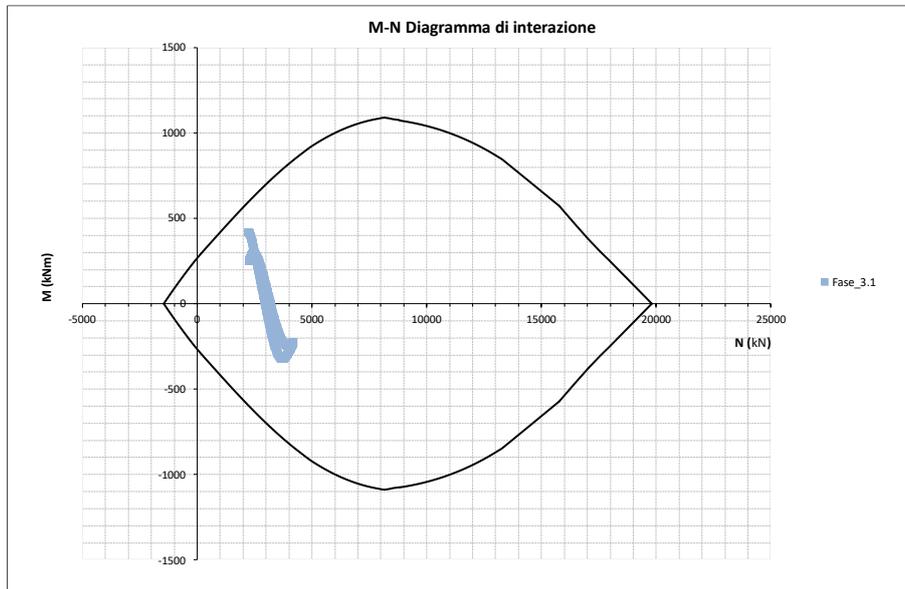


Figura 11-11: Dominio M-N Fase 3.1

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 mediante un coefficiente pari ad 1.3 le sollecitazioni derivanti dall'analisi numerica. È stata verificata la sollecitazione di taglio, al variare dell'angolo ϑ che descrive l'anello, nella fase più critica.

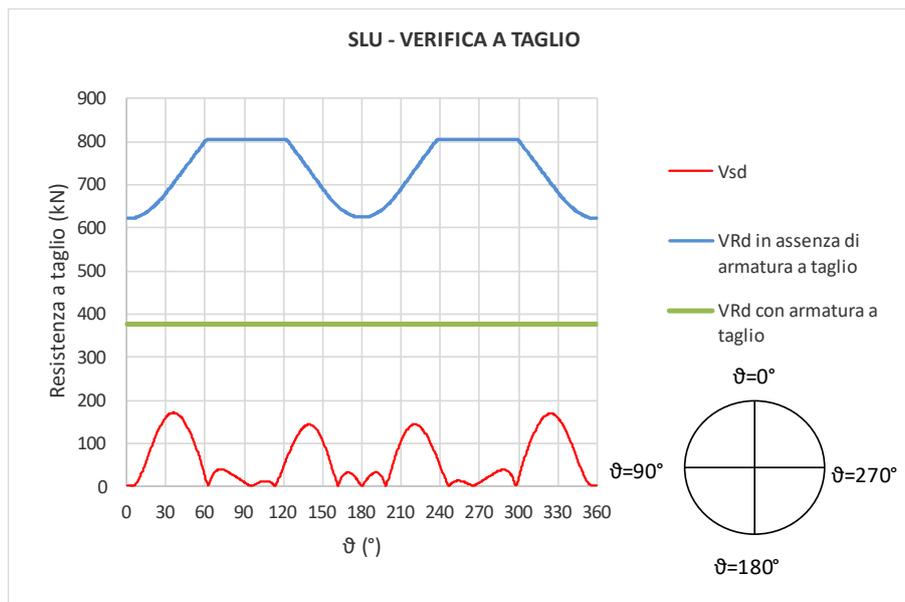


Figura 11-12: Verifica a taglio Fase 3.1

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

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 GB0000001	REV. C	FOGLIO. 60 di 100

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.

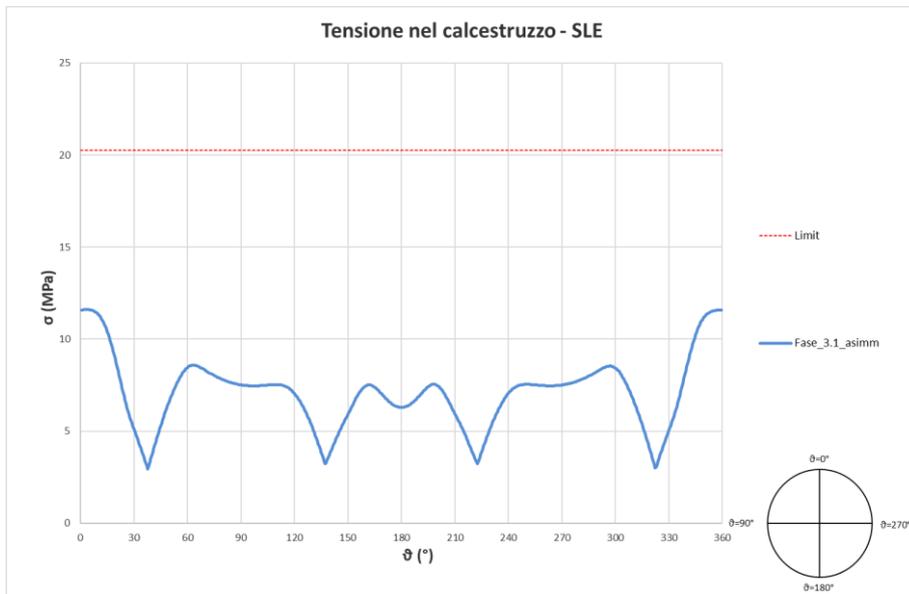


Figura 11-13: Stato tensionale sul calcestruzzo Fase 3.1

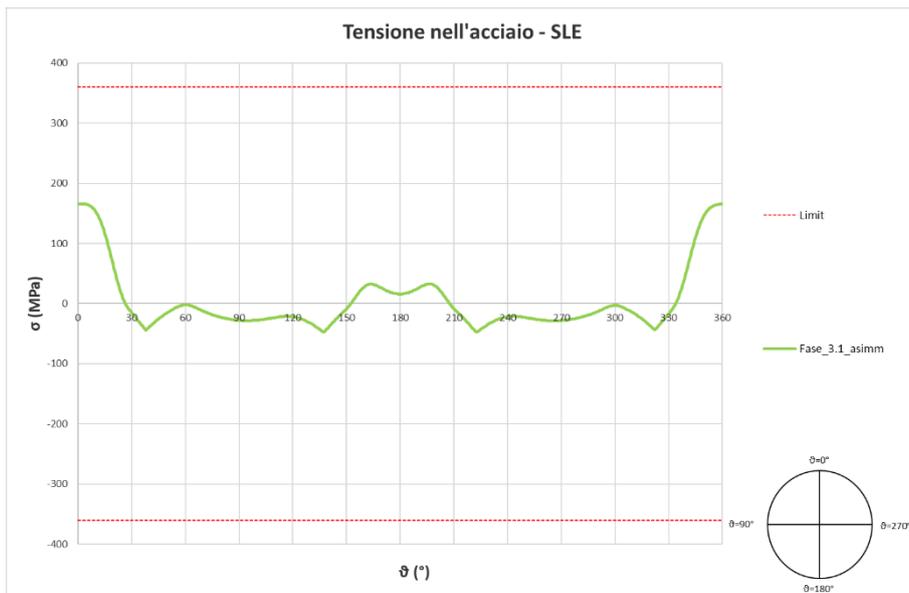


Figura 11-14: Stato tensionale acciaio Fase 3.1

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 GB0000001	REV. C	FOGLIO. 61 di 100

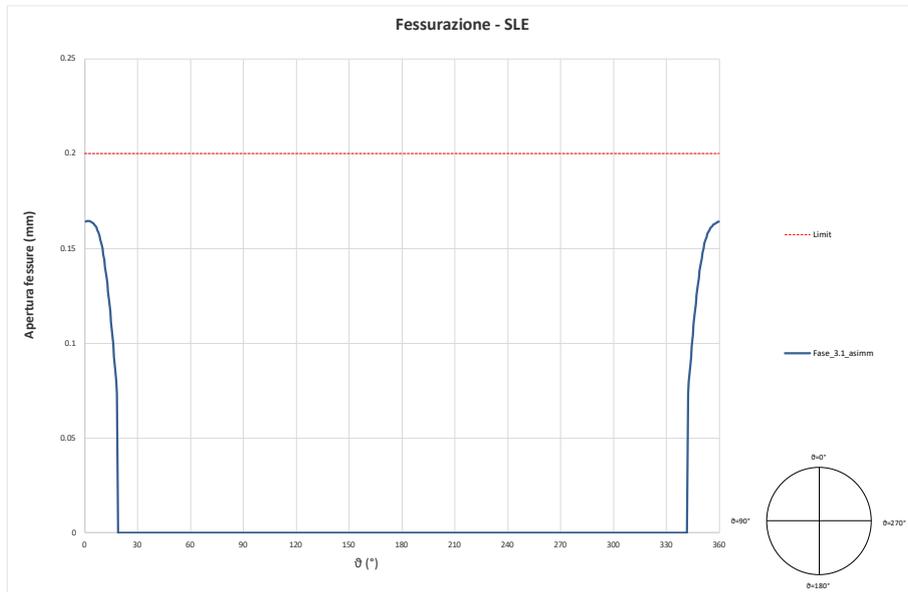


Figura 11-15: Stato di fessurazione Fase 3.1

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

Verifica Sismiche dei conci

Per le verifiche sismiche dei conci è stato applicato il medesimo procedimento descritto al §11.2.2, ottenendo il dominio di resistenza mostrato Figura 11-16.

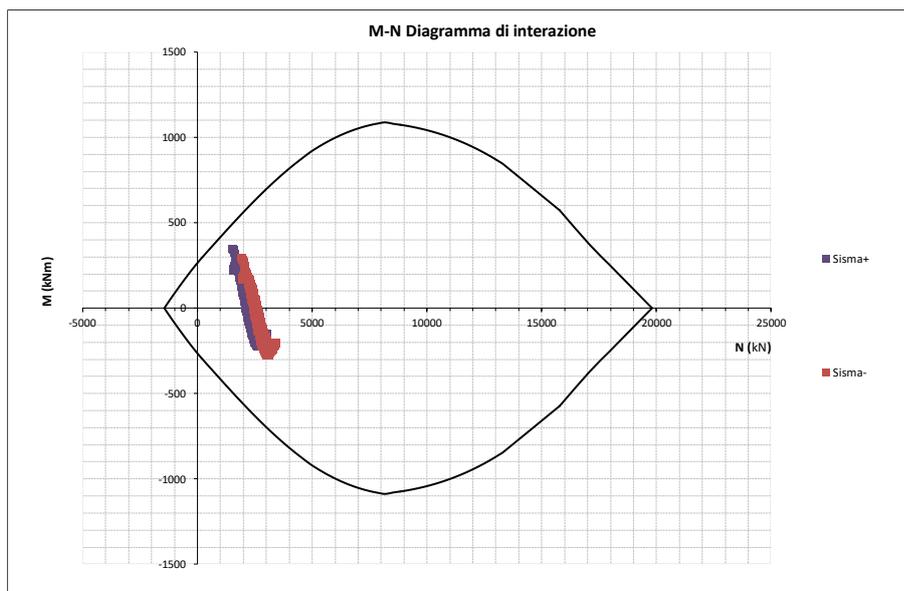


Figura 11-16: Dominio M-N verifiche sismiche

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 GB0000001	REV. C	FOGLIO. 62 di 100

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 sotterraneo 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;

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 GB0000001	REV. C	FOGLIO. 63 di 100

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

12.2 DEFINIZIONE DEL SISTEMA DI MONITORAGGIO SOTTOATTRAVERSAMENTO A22

Rispetto al Progetto definitivo è stata modificata la metodologia di scavo prevista per la finestra di Forch, passando da uno scavo tradizionale ad uno scavo meccanizzato con EPB. 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
- Anello strumentato con barrette estensimetriche (sezione B)

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 IB0U1BEZZPZGB0000001 di cui si riporta uno stralcio nelle figure seguenti.

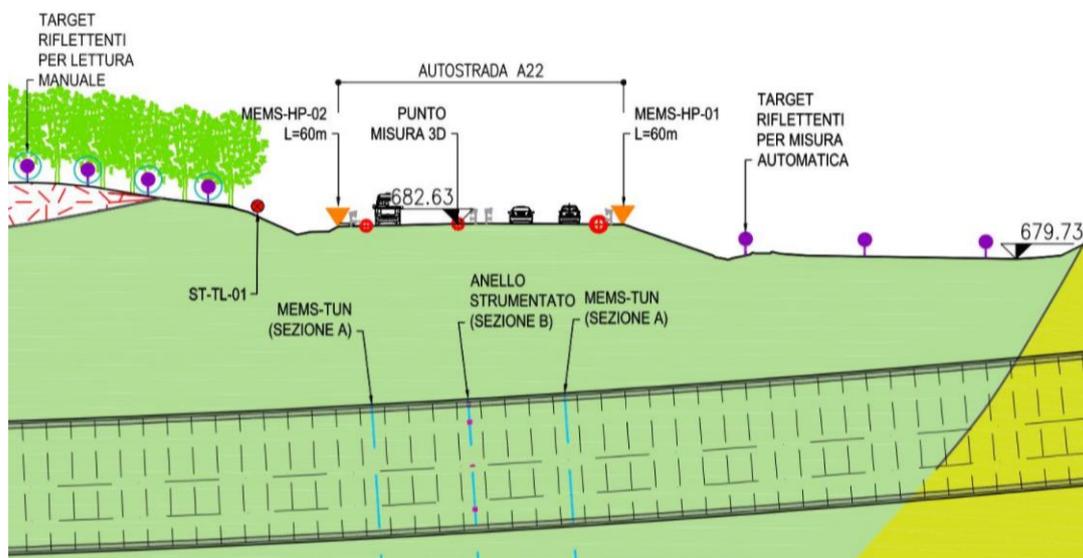


Fig. 12-2 Monitoraggio A22 Finestra di Forch – stralcio profilo longitudinale

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

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 GB0000001	REV. C	FOGLIO. 64 di 100

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 1mm+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. In avvicinamento al rilevato dell' A22 si intende eseguire un monitoraggio preventivo per calibrare i parametri di conduzione della macchina prima di sottopassare l' autostrada.



Fig. 12-3 Monitoraggio A22 Finestra di Forch – vista della zona adiacente l' autostrada (fonte Google street view)

Nel presente report verranno poi fornite le soglie di deformazione per la zona di calibrazione in avvicinamento all' A22.

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	GB0000001	C	65 di 100

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.

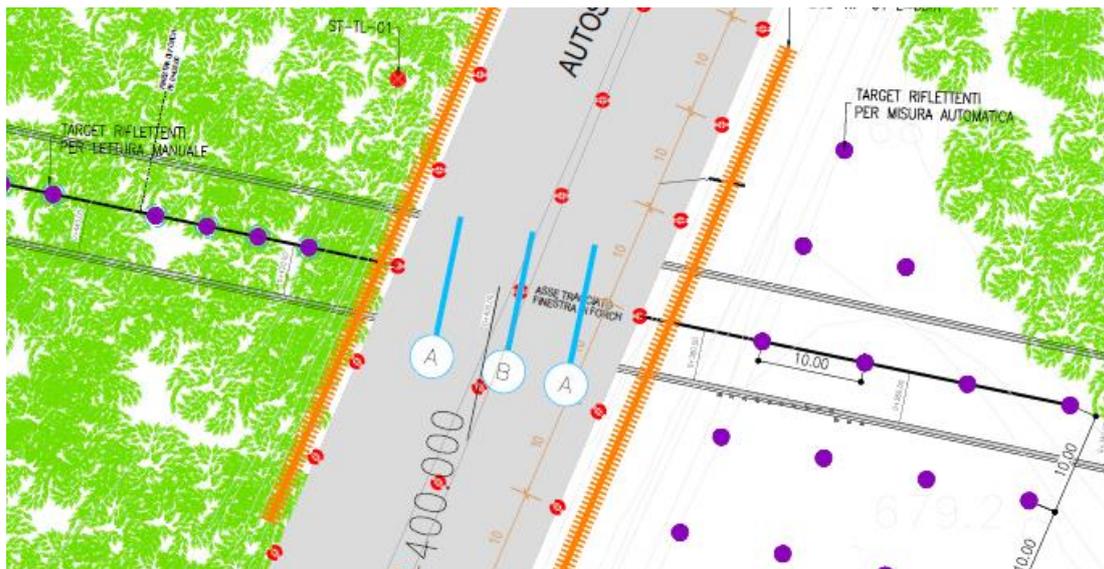


Fig. 12-4 Monitoraggio A22 Finestra di Forch – stralcio planimetrico tavole del monitoraggio)



Fig. 12-5 Monitoraggio A22 Finestra di Forch – ortofoto zona in oggetto (fonte Google Earth)

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	GB0000001	C	66 di 100

12.2.2 Array di sensori mems orizzontali

Per incrementare la sicurezza e l'accuratezza delle misure, sono previsti 2 array orizzontali di sensori MEMS (Micro Electro-Mechanical Systems) per la misura di spostamenti 3D in corrispondenza della pavimentazione stradale con campo $\pm 15^\circ$, precisione 0.01° , risoluzione 0.001° .

Considerando l'estensione del bacino di subsidenza, e la necessità di misurare la distorsione angolare della pavimentazione stradale, sono previsti array di lunghezza 60 metri con un interasse dei sensori pari a 5 metri.

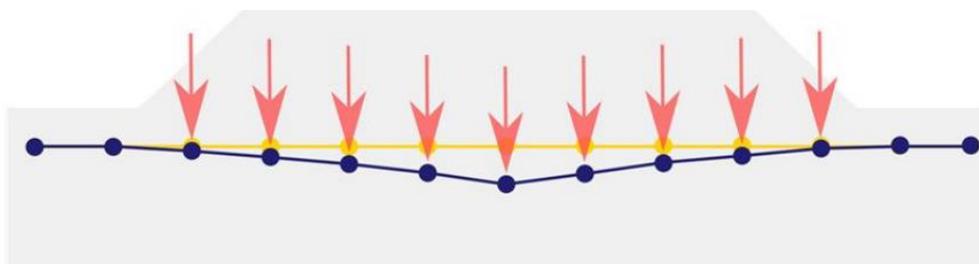


Fig. 12-6 schema rappresentativo del funzionamento dell' array MEMS

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.

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 GB0000001	REV. C	FOGLIO. 67 di 100

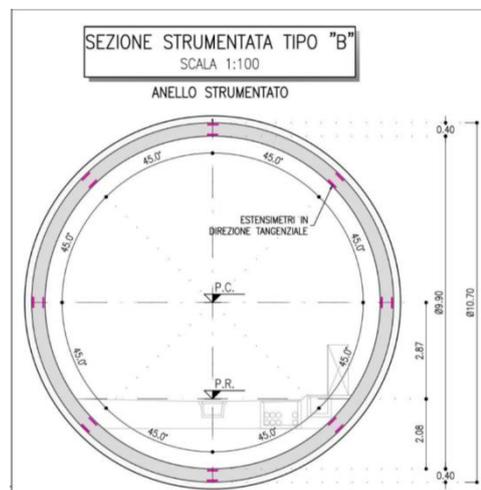
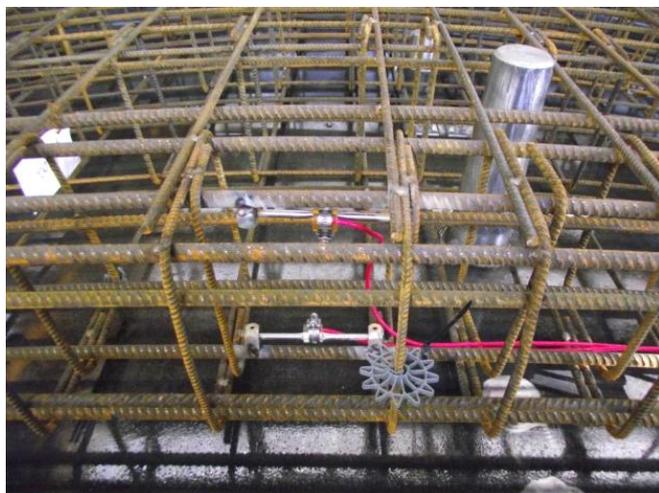


Fig. 12-7 illustrazione dell' anello strumentato con barrette estensimetriche

12.3 DEFINIZIONE DEL SISTEMA DI MONITORAGGIO SOTTOATTRAVERSAMENTO LINEA FFSS

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

- 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 nelle vicinanze della massicciata ferroviaria.
- Anello strumentato con barrette estensimetriche (sezione B)

12.4 FREQUENZA DI MISURAZIONE

Nella tabella seguente si riportano le frequenze dei rilievi delle misure, definite in funzione della distanza con il fronte di 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 GB0000001	REV. C	FOGLIO. 68 di 100

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	1h
		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<t< 3 mesi e fino a stabilizzazione dato	60	Automatica	10g
		Manuale	30g

Fig. 12-8 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.

12.5 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.

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 GB0000001	REV. C	FOGLIO. 69 di 100

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.

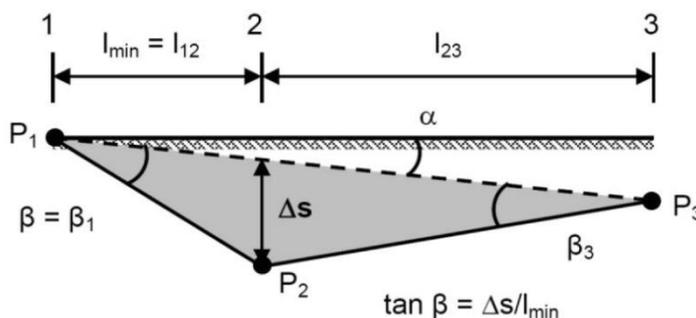


Fig. 13-1 schema di interpretazione distorsione angolare

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

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 GB0000001	REV. C	FOGLIO. 70 di 100

		<ul style="list-style-type: none"> 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, 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 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 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 GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Relazione tecnica e di monitoraggio A22	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GB0000001	REV. C	FOGLIO. 71 di 100

14. ANALISI DEI CEDIMENTI

Nel seguente capitolo vengono riportate le analisi dei cedimenti per la zona di calibrazione (sezione A) e la zona di sottoattraversamento della sede autostradale di A22 (sezione B).

Le due sezioni di analisi sono state definite 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.

La sezione A viene introdotta al fine di valutare le deformazioni attese per la zona di calibrazione dei parametri macchina a monte della sede autostradale di A22.

La sezione B è la medesima presentata nel report di calcolo IBOU1BEZZRHGB0000006A, ma viene riportata nuovamente per approfondire le informazioni relative alle soglie del monitoraggio.

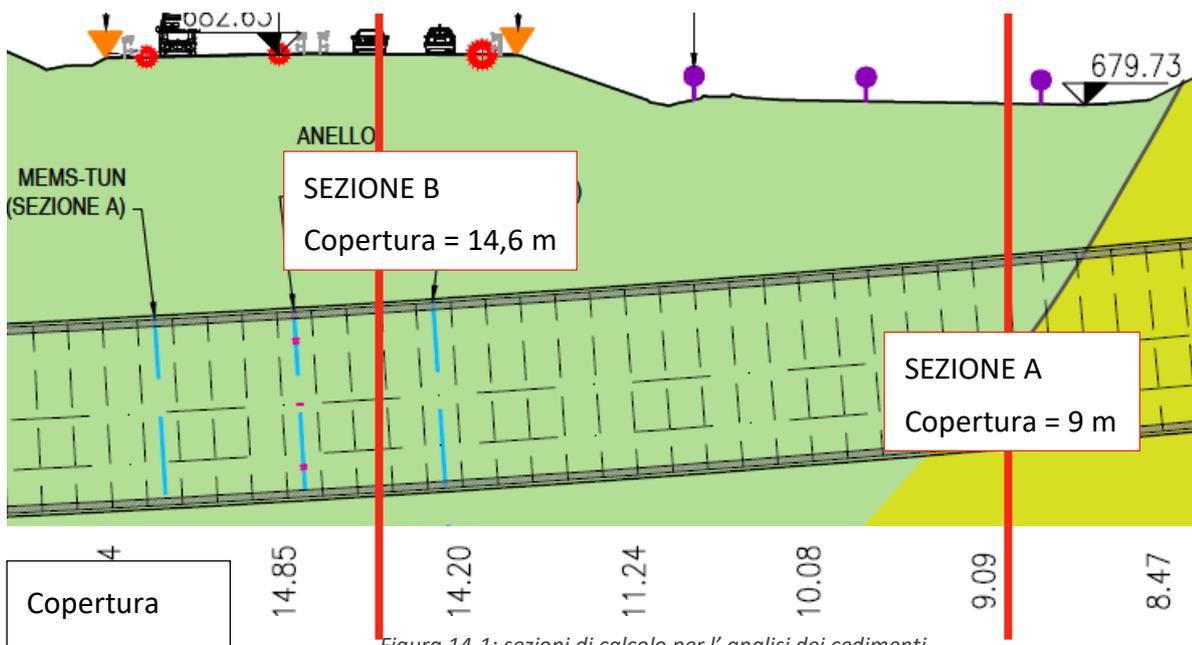


Figura 14-1: sezioni di calcolo per l'analisi dei cedimenti

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 senza considerare quindi i carichi derivati dal carico stradale.

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 GB0000001	REV. C	FOGLIO. 72 di 100

14.2 SEZIONE A – COPERTURA 9 METRI

L'interazione galleria-terreno è stata valutata mediante una apposita analisi numerica FEM, utilizzando il codice di calcolo Plaxis 2D e seguendo gli step di calcolo già descritti nella relazione IB0U1BEZZRHGB0000006A - Finestra Forch - Relazione tecnica scavo meccanizzato - interazione A22 .

Per questa sezione è stata considerata una copertura di 9 metri rispetto al piano campagna e sono stati analizzati i cedimenti con $V_L = 0.1\% - 0.4\% - 1\%$.

Bacino di subsidenza

Le massime convergenze ottenute dopo l'installazione dei conci prefabbricati assumono valori di 5.7mm, 21.7mm e 27.8mm, rispettivamente per un volume perso V_L pari a 0.1% , 0.4% ed 1.0% (output riportati negli Allegati §17). Con la linea tratteggiata sono evidenziati i valori ottenuti da Plaxis mentre con la linea continua i risultati delle curve analitiche.

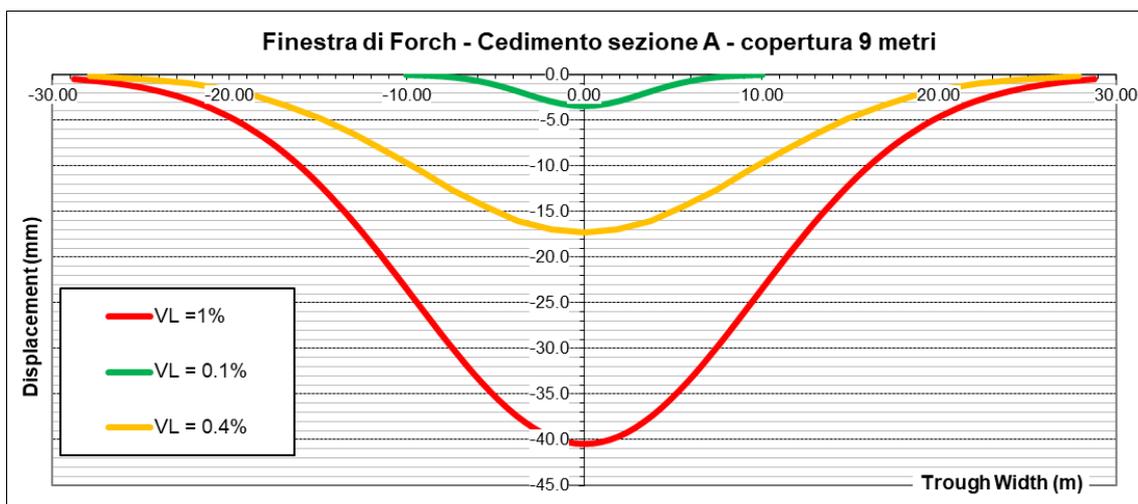
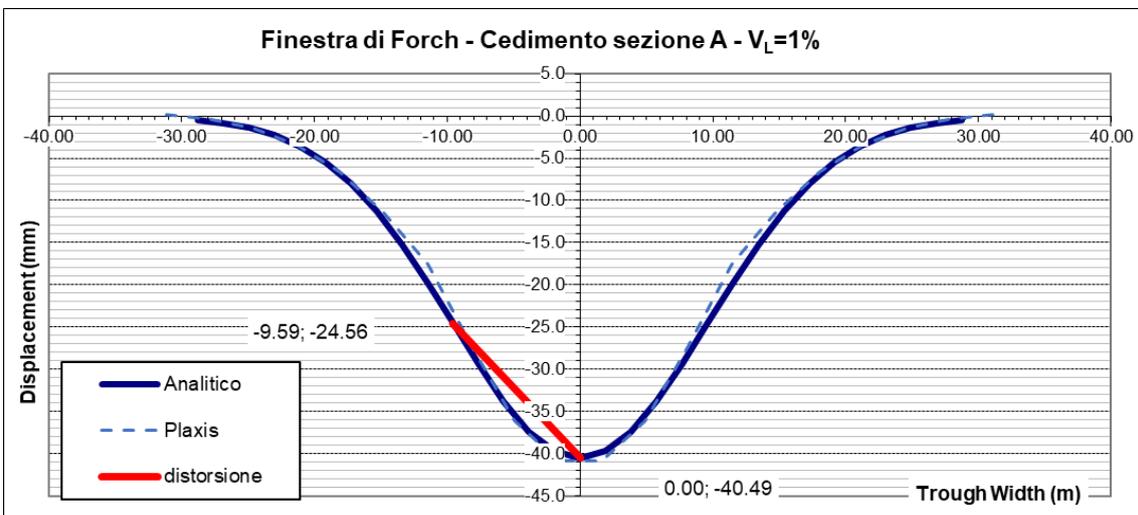
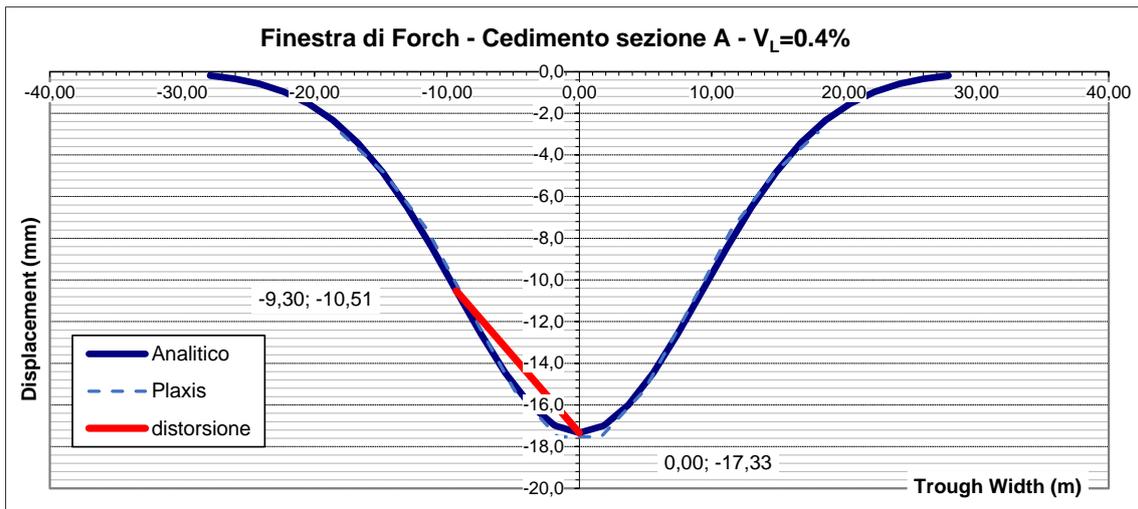
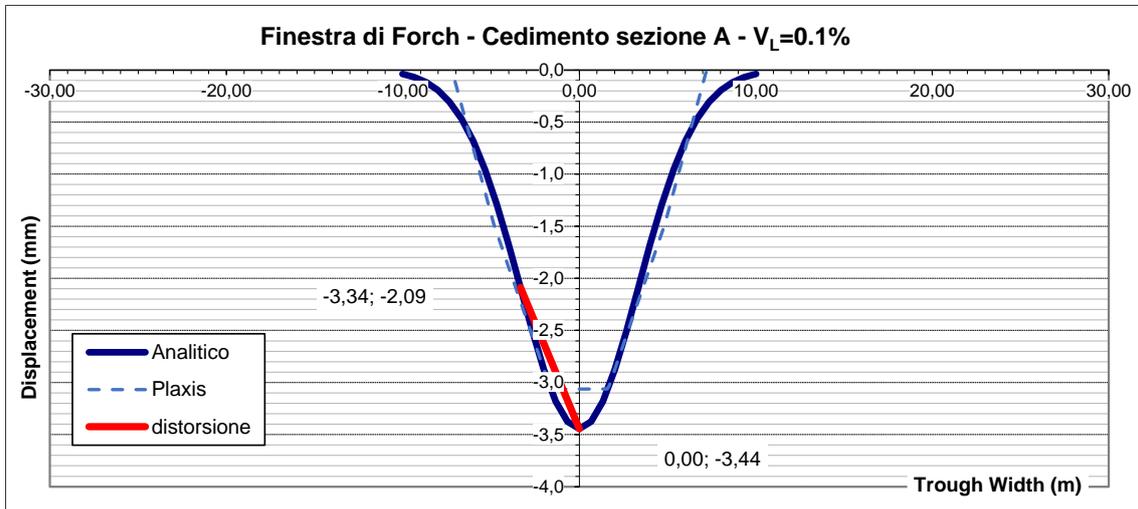


Figura 14-2: cedimenti sezione A - V_L pari a 0.1% , 0.4% , 1.0%

Nella pagina seguente sono riportati i grafici che mostrano la sovrapposizione tra i cedimenti ottenuti mediante il software Plaxis e una ricostruzione analitica della gaussiana del cedimento.

Il valore di K che meglio interpola la curva di cedimento ottenuta mediante software agli elementi finiti è pari a 0.5 per $V_L = 1\%$ che porta ad una distanza del flesso dall'asse della galleria pari a 6.9 metri.

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	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV. FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	RH	GB0000001	C 73 di 100



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 GB0000001	REV. C	FOGLIO. 74 di 100

14.3 SEZIONE B – COPERTURA 14.6 METRI

L'interazione galleria-terreno è stata valutata mediante una apposita analisi numerica FEM, utilizzando il codice di calcolo Plaxis 2D e seguendo gli step di calcolo già descritti nella relazione IB0U1BEZZRHGB0000006A - Finestra Forch - Relazione tecnica scavo meccanizzato - interazione A22.

Per questa sezione è stata considerata una copertura di 14.6 metri rispetto al piano campagna e sono stati analizzati i cedimenti con $V_L = 0.1\% - 0.4\% - 1.0\%$.

Bacino di subsidenza

Le massime convergenze ottenute dopo l'installazione dei conci prefabbricati assumono valori di 5.5mm, 16mm e 42.3mm, rispettivamente per un volume perso V_L pari a 0.1% , 0.4% e 1.0% (output riportati negli Allegati §17). Con la linea tratteggiata sono evidenziati i valori ottenuti da Plaxis mentre con la linea continua i risultati delle curve analitiche.

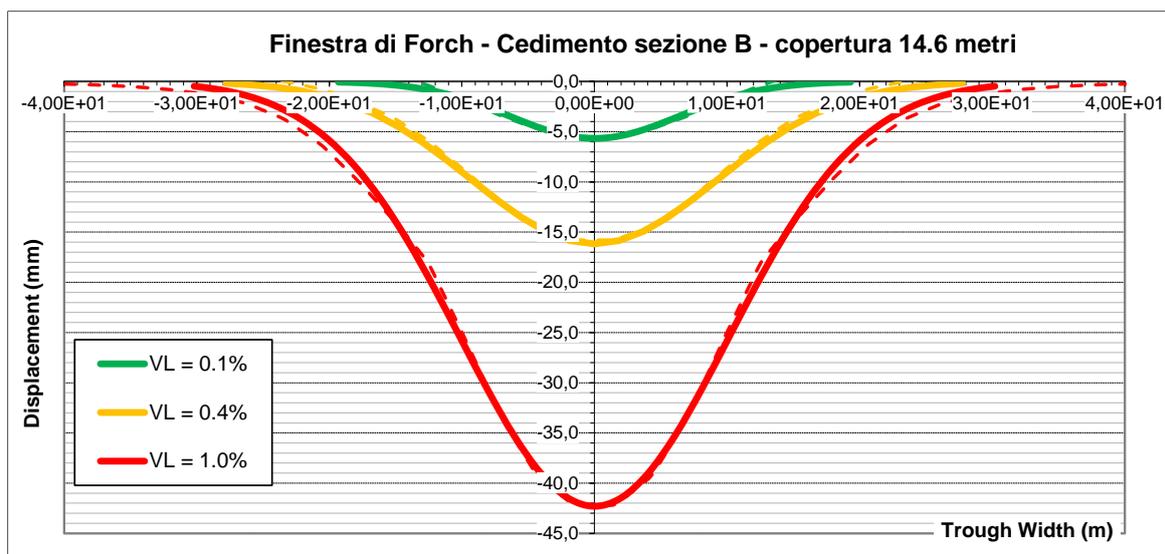
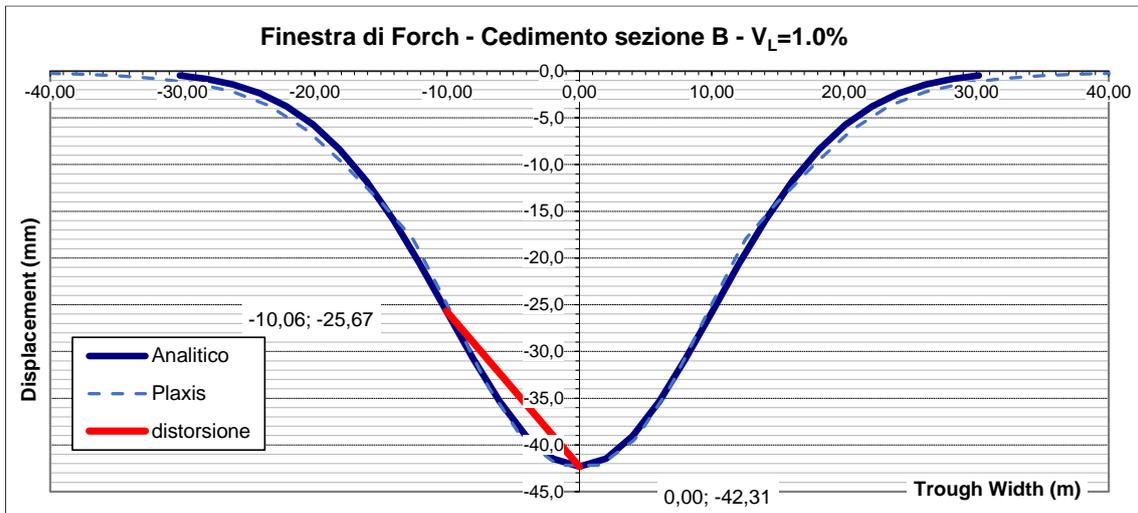
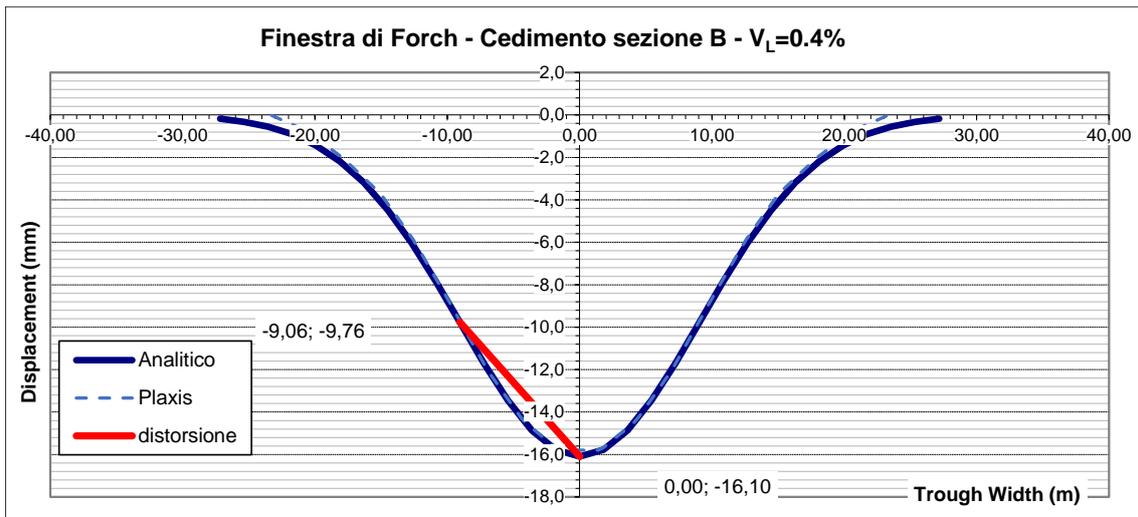
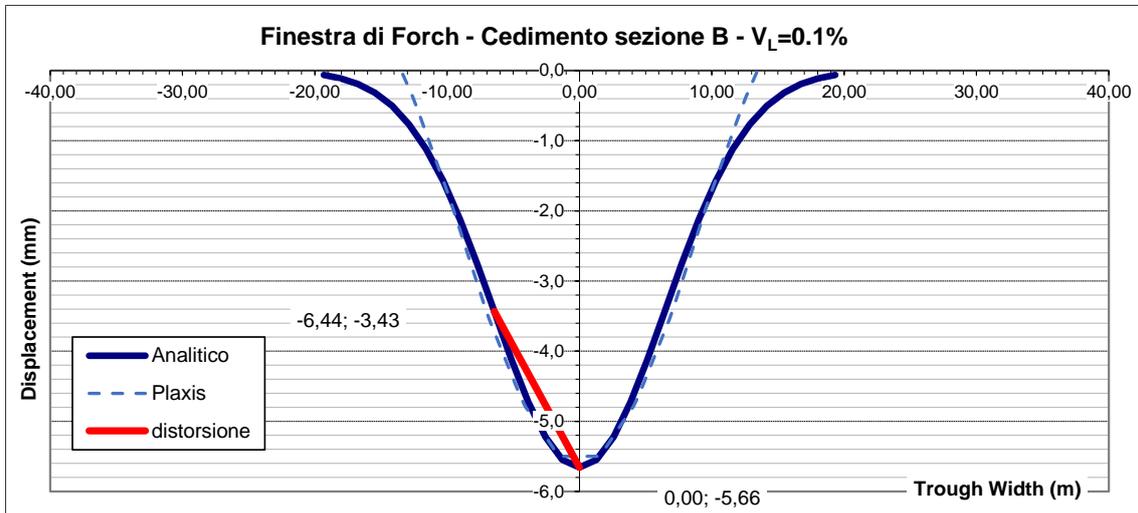


Figura 14-3: cedimenti superficiali sezione B - V_L pari a 0.1% , 0.4% , 1%

Nella pagina seguente sono riportati i grafici che mostrano la sovrapposizione tra i cedimenti ottenuti mediante il software Plaxis e una ricostruzione analitica della gaussiana del cedimento.

Il valore di K che meglio interpola la curva di cedimento ottenuta mediante software agli elementi finiti è pari a 0.45 per $V_L = 0.4\%$ che porta ad una distanza del flesso dall'asse della galleria pari a 9.26 metri.

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 GB0000001	REV. C	FOGLIO. 75 di 100



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	GB0000001	C	76 di 100

14.4 SEZIONE C – PK 0+470 (SOTTOATTRAVERSAMENTO FFSS)

In questo paragrafo si riportano i calcoli dei cedimenti relativi al sottoattraversamento della ferrovia del Brennero.

Per questa sezione è stata considerata una copertura di 23 metri al di sopra della calotta rispetto al piano campagna e sono stati analizzati i cedimenti con $V_L = 0.1\% - 0.4\% - 1.0\%$.

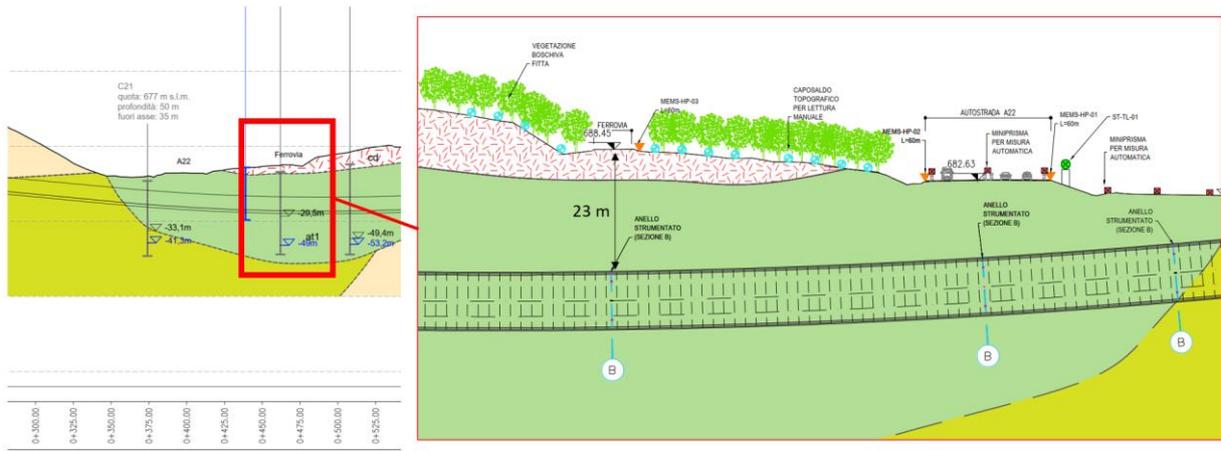


Figura 14-4: Stralci del profilo geotecnico della zona di interesse (a sinistra) e sezione dettagliata (a destra) per la pk 0+470

Bacino di subsidenza

Le massime convergenze ottenute rispettivamente per un volume perso V_L pari a 0.1% , 0.4% e 1.0% sono inferiori ai 25 mm (output riportati negli Allegati §17).

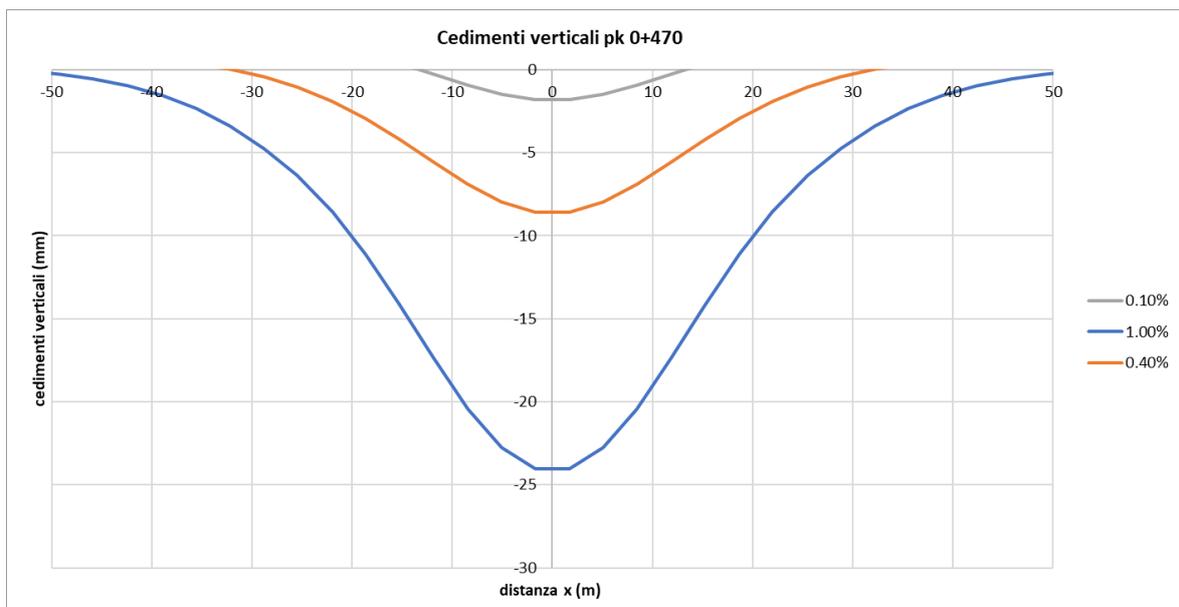


Figura 14-5: cedimenti superficiali sezione C - V_L pari a 0.1%, 0.4%, 1%

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	GB0000001	C	77 di 100

Si riporta estratto dell’Istruzione RFI per la definizione dello sghembo:

“Abbreviazione γ : è l’inclinazione espressa in % relativa di una fila di rotaia rispetto all’altra, calcolata come rapporto tra la differenza di livello trasversale XL fra due sezioni di binario poste a una distanza data, che è la base di misura dello sghembo, e la base stessa. [...]”

Nella figura seguente è riportato lo schema utilizzato per il calcolo dello sghembo; in particolare si è ipotizzato che lungo la sezione 0 non vi siano spostamenti verticali, mentre lungo la sezione 1 sono stati considerati i cedimenti ottenuti dalla curva riportata precedentemente.

La distanza di riferimento è stata considerata pari a 3 m.

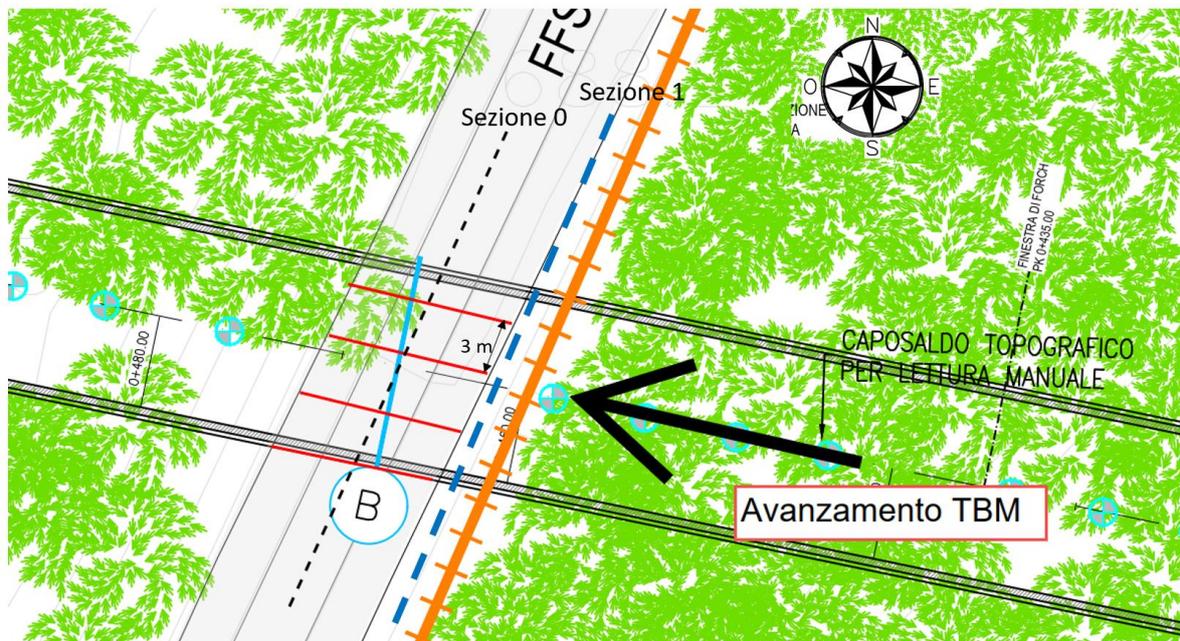


Figura 14-6: Schema rappresentativo delle ipotesi di calcolo per lo sghembo

Di seguito il calcolo del valore γ su base 3 metri effettuati nel caso peggiore con volume perso pari a 1.0%:

$$\gamma = \frac{(23.99 - 0) - (23.73 - 0)}{3000} = 0.087\text{‰}$$

L’Istruzione RFI prevede rallentamenti per valori γ su base 3 m superiori a 5‰.

Durante il passaggio della TBM, il binario sarà comunque sottoposto a controllo h24 al fine di monitorare e correggere qualsiasi tipo di imperfezione geometrica.

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 GB0000001	REV. C	FOGLIO. 78 di 100

14.5 ANALISI DELLE DISTORSIONI ANGOLARI

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 nelle tabelle seguenti.

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.

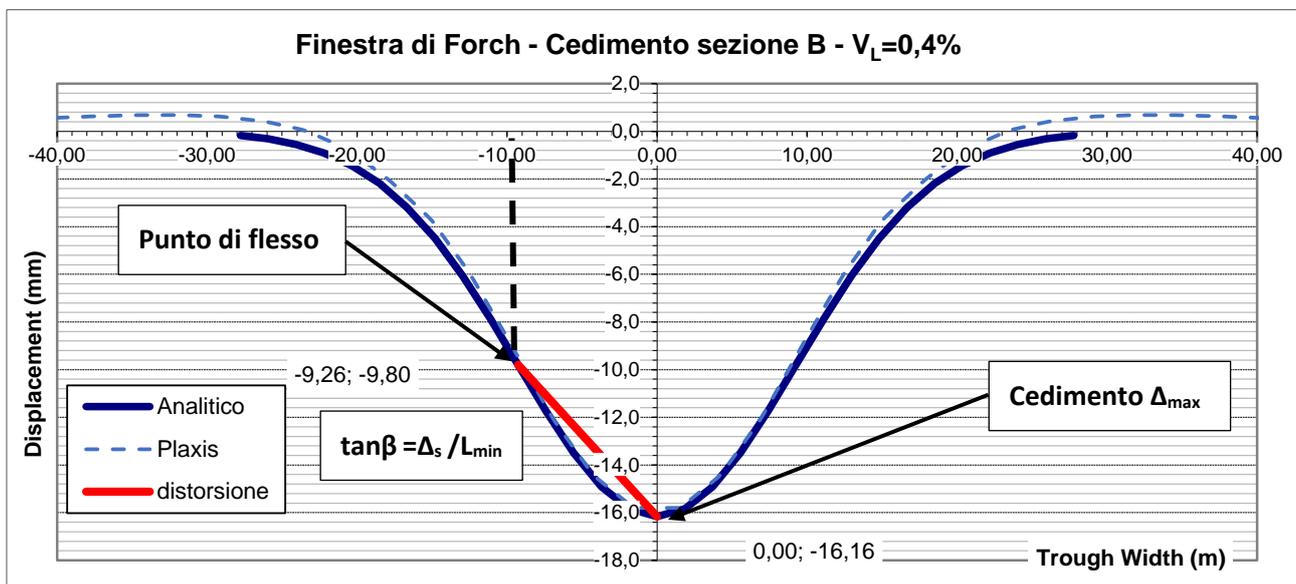


Tabella 14—1: definizione geometrica della distorsione angolare

Utilizzando un valore K pari circa a 0,6 si ottengono i seguenti valori di distorsione angolare per la sezione di analisi A con copertura pari a 9 metri.

	Limite avviso	Limite allerta	Limite di allarme	Output Plaxis $V_L = 0.1\%$	Output Plaxis $V_L = 0.4\%$	Output Plaxis $V_L = 1.0\%$
Distorsione angolare Δ_s / L_{\min}	0.833 ‰ 1:1200	1.25 ‰ 1:800	1.67 ‰ 1:600	0.41 ‰	0.73 ‰	1.66 ‰
Cedimento Δ_{\max}	18 mm	27 mm	37 mm	3.44 mm	17.33 mm	40.5 mm
Cedimento Δ_s	7 mm	11 mm	14 mm	2.1 mm	10.5 mm	24.6 mm
Larghezza L_{\min}	8.6 m	8.6 m	8.6 m	3.34 m	9.3 m	9.6 m

Tabella 14—2: Limiti distorsioni angolari e relativi cedimenti – sezione A

Utilizzando un valore K pari a 0,5 si ottengono i seguenti valori di distorsione angolare per la sezione di analisi B con copertura pari a 14.6 metri rappresentativa del rilevato stradale.

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 GB0000001	REV. C	FOGLIO. 79 di 100

	Limite avviso	Limite allerta	Limite di allarme	Output Plaxis $V_L = 0.1\%$	Output Plaxis $V_L = 0.4\%$	Output Plaxis $V_L = 1.0\%$
Distorsione angolare Δ_s / L_{min}	0.833 ‰ 1:1200	1.25 ‰ 1:800	1.67 ‰ 1:600	0.35 ‰	0.69 ‰	1.66 ‰
Cedimento Δ_{max}	21 mm	32 mm	42 mm	6 mm	16.1 mm	42 mm
Cedimento Δ_s	8 mm	12 mm	17 mm	3.4 mm	9 mm	26 mm
Larghezza L_{min}	10 m	10 m	10 m	6.4 m	9.8 m	10.1 m

Tabella 14—3: Limiti distorsioni angolari e relativi cedimenti – sezione B

In tutti i casi analizzati le distorsioni angolari risultano essere compatibili con i limiti imposti in fase di Progetto Definitivo (elaborato IBL11BD07P8GN0000001B).

Le analisi svolte nella sezione B in corrispondenza del sottoattraversamento del rilevato A22 garantiscono una distorsione angolare inferiore ai limiti prescritti in fase di progettazione definitiva ($\beta < 1.67\text{‰}$) per gli scenari di scavo con Volume Loss pari a 0.1 %, 0.4% e 1% .

Viene, tuttavia, prevista una fase di calibrazione dei parametri in avvicinamento alla sede autostradale, oltre all' esperienza che sarà già stata maturata nel sottoattraversamento della statale 12 alla pk 0+190, quindi 200 metri prima. In tale sezione, con un ricoprimento pari a 9 m, un volume perso registrato pari al 51% corrisponde ad una distorsione al limite dell'1.66‰.

Per calibrare al meglio i parametri di avanzamento della macchina, è stato esteso il monitoraggio nella zona precedente all'autostrada A22 per circa 40m, in modo da riflettere i primi dati del monitoraggio sulla conduzione dello scavo stesso e contenere di conseguenza i cedimenti.

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 GB0000001	REV. C	FOGLIO. 80 di 100

15. ANALISI DELLE PRESSIONI AL FRONTE

Nel caso di scavo mediante il sistema EPB 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):

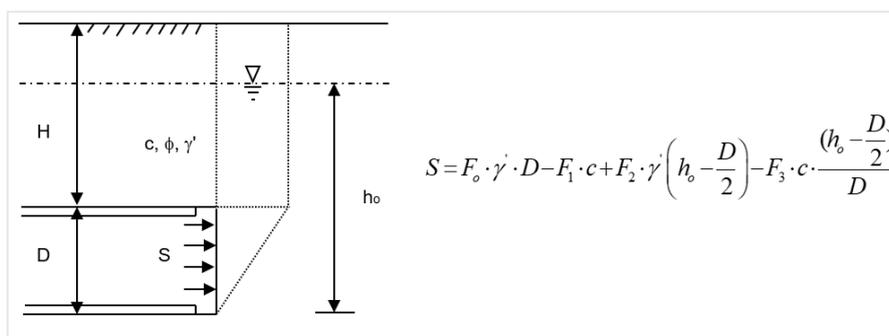


Figura 15–1: Stabilità del fronte secondo il metodo Anagnostou e Kovari

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 GB0000001	REV. C	FOGLIO. 81 di 100

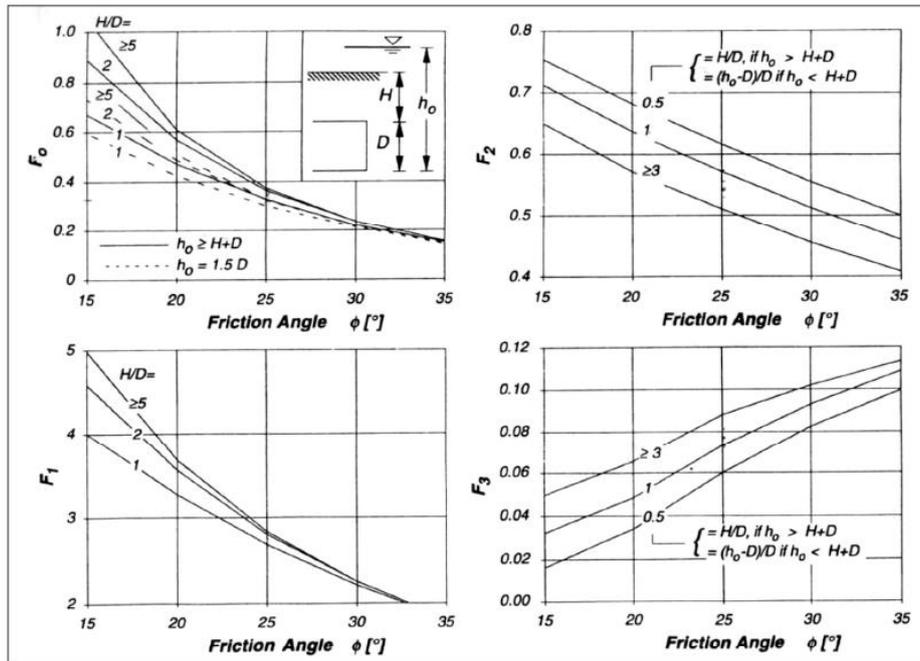


Figura 15-2: Abachi per la definizione dei coefficienti adimensionali

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 Anagnostu & Kovari) per garantire la stabilità del fronte e come limite superiore il valore di blow-up per evitare problemi di sollevamento in superficie.

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 GB0000001	REV. C	FOGLIO. 82 di 100

Impiegando il metodo di Anagnostou e Kovari (1996) è stata ottenuta una pressione per garantire la stabilità del fronte pari a 0.71 bar per una copertura di 15 metri, come riportato in Figura 10–3. Questo valore viene impostato come il limite inferiore di pressione.

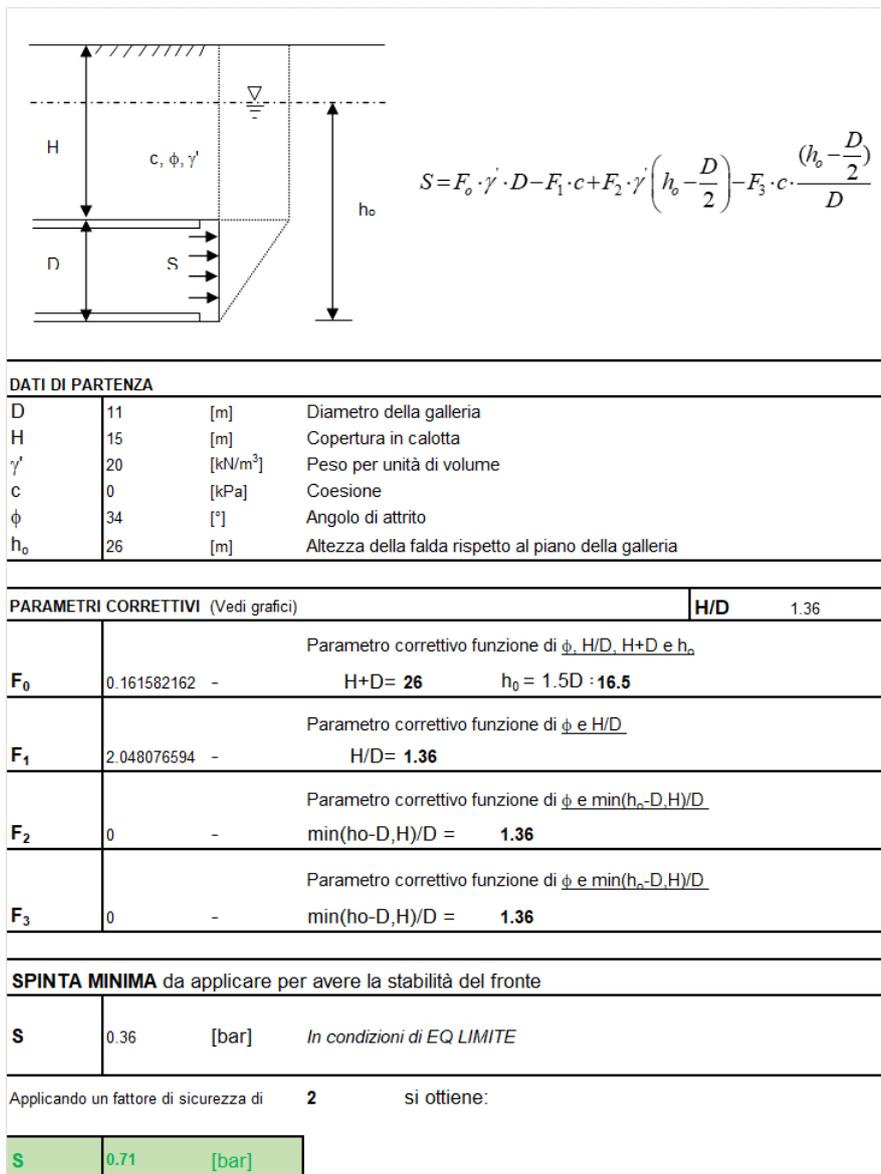


Figura 15–3: Stabilità del fronte in prossimità del sottoattraversamento A22

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 GB0000001	REV. C	FOGLIO. 83 di 100

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

$$P_{\text{blow-out}} = 0.9 \times \gamma_{\text{min}} \times H_{\text{calotta}} = 0.9 \times 17\text{kN/m}^3 \times 15 \text{ m} = 230 \text{ kPa} = 2.3 \text{ bar}$$

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.

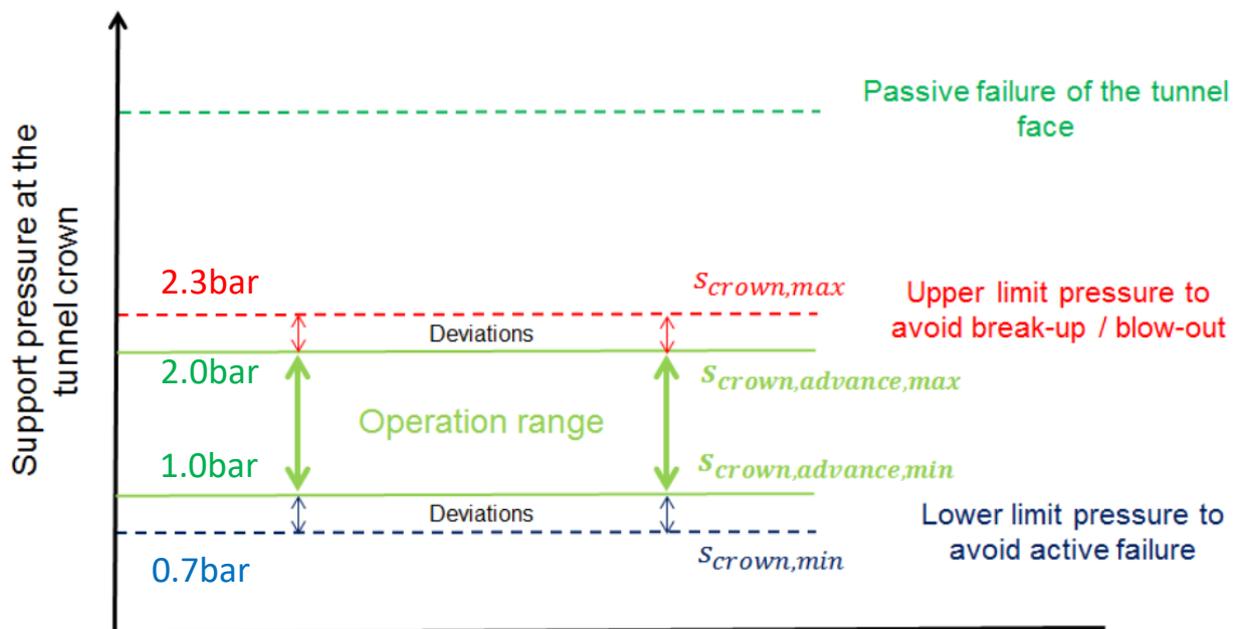
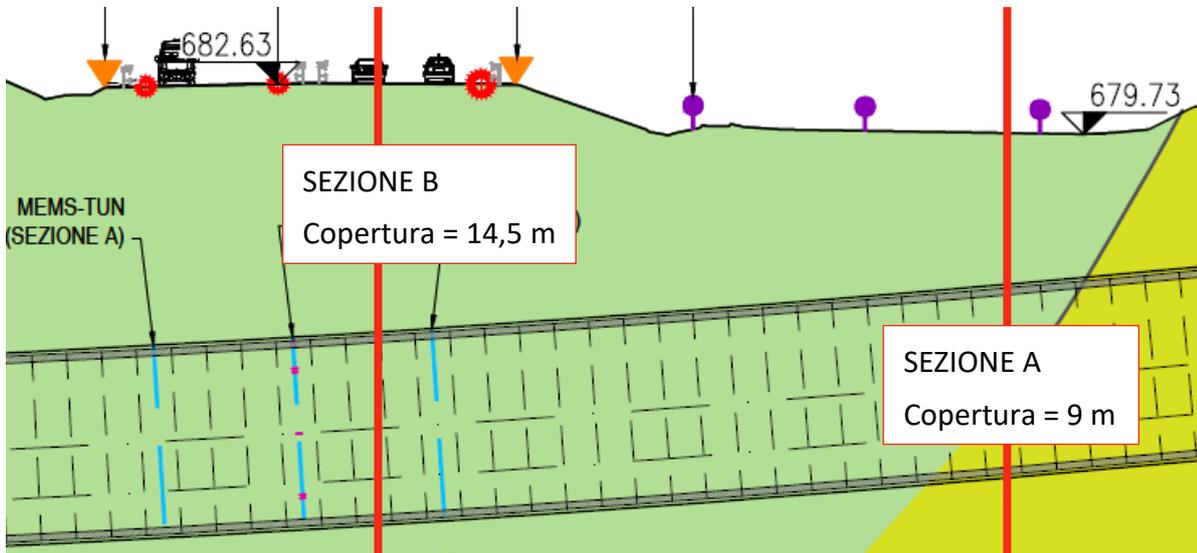


Figura 15-4: sezione 1 - pressioni di lavoro ammissibili in calotta per una macchina EPB (DAUB)

Di seguito vengono fornite delle indicazioni relative alla pressione al fronte da mantenere durante il passaggio sotto il rilevato stradale alla zona antecedente di calibrazione dei parametri macchina.

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 GB0000001	REV. C	FOGLIO. 84 di 100



Copertura [m]	14.8	14.2	11.2	10.1	9.1
Pk [m]	400	390	380	370	360

Viene fornita la pressione teorica di avanzamento a quota calotta, il valore minimo previsto per la stabilità del fronte (Anagnostu & Kovari) ed il valore massimo per evitare fenomeni di sollevamento (blow-out).

Copertura →	Sezione B - 14.5 m	Sezione A - 9.0 m
ALLARME P. MAX	2.3 bar	1.4 bar
ATTENZIONE P. MAX	2.0 bar	1.1 bar
PRESSIONE DI LAVORO EPB	1.5 bar	0.9 bar
ATTENZIONE P. MIN	1.0 bar	0.8 bar
ALLARME P. MIN	0.7 bar	0.5 bar

Tabella 15—1: Limiti distorsioni angolari e relativi cedimenti – sezione A e B

La pressione di lavoro della EPB è da considerarsi riferita alla cella di pressione ubicata in calotta nella camera di scavo. Alla pressione di lavoro indicata, dovrebbero corrispondere i cedimenti di calcolo compresi tra V_L di 0,1% e 0.5%. Qualora i cedimenti misurati fossero maggiori, aumentare la pressione al fronte fino al limite superiore. Per quanto riguarda il sottoattraversamento della linea ferroviaria del Brennero, essendo la copertura pari a 23 m, la pressione di blow-out risulta essere:

$$P_{\text{blow-out}} = 0.9 \times \gamma_{\text{min}} \times H_{\text{calotta}} = 0.9 \times 19 \text{ kN/m}^3 \times 23 \text{ m} = 393.3 \text{ kPa} = 3.9 \text{ bar}$$

Essendo i valori di cedimento inferiori a quanto riscontrato per il sottoattraversamento della autostrada A22, la pressione di avanzamento può essere definita pari a 1 bar.

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 GB0000001	REV. C	FOGLIO. 85 di 100

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:

- Pk 0+350 : mantenimento della pressione del fronte ad un valore minimo di 0.9 bar
 - o Arresto preventivo per manutenzione (allungamento nastro, ventilazione, ispezione cutters)
 - o Valutazione del condizionamento smarino finora eseguito
 - o Valutazione del peso specifico del terreno per verificare pressione limite di blow-up
 - o Valutazione dei circuiti di iniezione del gap scudo-scavo e della bicomponente
 - o Valutazione dei cedimenti indotti superficiali
 - o Valutazione del mantenimento delle pressioni nella camera di scavo
- Pk 0+360 : mantenimento della pressione del fronte ad un valore minimo di 0.9 bar
 - o Valutazione dei cedimenti indotti
 - o Variazione della pressione al fronte in base alle letture del monitoraggio e dei cedimenti indotti al passaggio della macchina
 - o Pressurizzazione del gap scudo-roccia mediante gelatina bentonitica
 - o Aumento della pressione di coda del gap-anulare
- Pk 0+370 : mantenimento della pressione del fronte ad un valore minimo di 1.0 bar
 - o Valutazione dei cedimenti indotti e sopralluogo in superficie per valutare eventuali anomalie
 - o Identificazione dei parametri ideali per l' avanzamento
- Pk 0+380 : mantenimento della pressione del fronte ad un valore minimo di 1.5 bar
 - o Valutazione dei cedimenti indotti e sopralluogo in superficie per valutare eventuali anomalie
 - o Progressivo aumento di 0,2 bar per l' avanzamento sotto il rilevato dell' A22
- Pk 0+390 : mantenimento della pressione del fronte ad un valore minimo di 1.5 bar
 - o Controllo costante dei parametri macchina, pressioni e monitoraggio superficiale
 - o Mantenimento della pressione al fronte, sullo scudo e in coda secondo i parametri identificati
- Pk 0+470 : mantenimento della pressione del fronte ad un valore minimo di 1.0 bar
 - o Controllo costante dei parametri macchina, pressioni e monitoraggio superficiale
 - o Mantenimento della pressione al fronte, sullo scudo e in coda secondo i parametri identificati

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	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">COMMESSA</th> <th style="text-align: left;">LOTTO</th> <th style="text-align: left;">CODIFICA</th> <th style="text-align: left;">DOCUMENTO</th> <th style="text-align: left;">REV.</th> <th style="text-align: left;">FOGLIO.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">IB0U</td> <td style="text-align: center;">1BEZZ</td> <td style="text-align: center;">RH</td> <td style="text-align: center;">GB0000001</td> <td style="text-align: center;">C</td> <td style="text-align: center;">86 di 100</td> </tr> </tbody> </table>						COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IB0U	1BEZZ	RH	GB0000001	C	86 di 100
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.													
IB0U	1BEZZ	RH	GB0000001	C	86 di 100													
08 - GALLERIE Relazione tecnica e di monitoraggio A22																		

16. CONCLUSIONI

Nella presente relazione sono state affrontate le problematiche progettuali connesse con la realizzazione della Finestra di Forch 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 alle differenze finite; 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 valutate le previsioni dei cedimenti della A22 mediante un procedimento di revisione dei cedimenti misurati lungo due allineamenti posti in adiacenza al rilevato autostradale stesso e la calibrazione dei parametri macchina.

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 GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione tecnica e di monitoraggio A22	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GB0000001	REV. C	FOGLIO. 87 di 100

17. ALLEGATI

17.1 OUTPUT PLAXIS 2D

17.1.1 Galleria naturale Finestra di Forch – Sezione carichi simmetrici

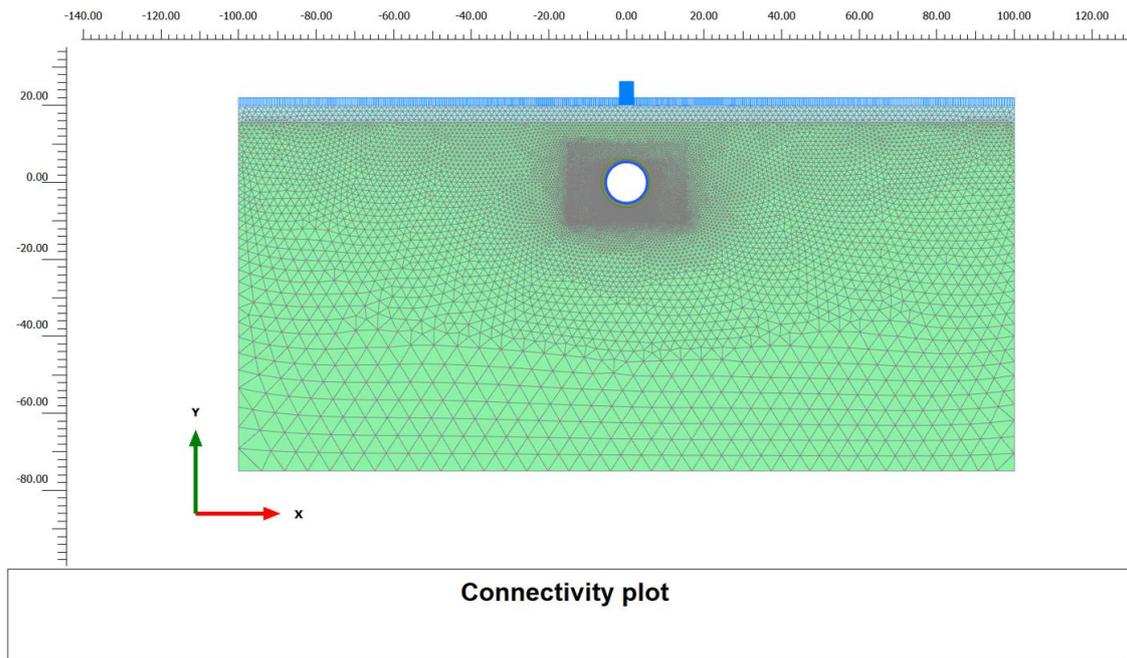


Figura 17-1: Mesh

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 GB0000001	REV. C	FOGLIO. 88 di 100

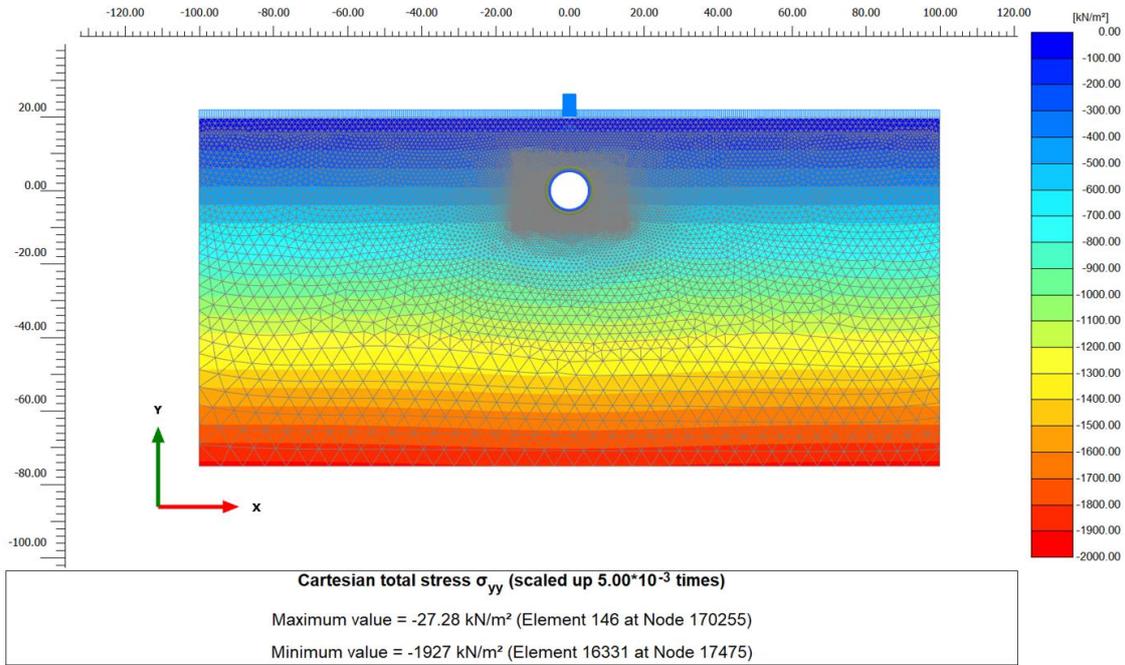


Figura 17-2: Stress σ_{yy} Fase 3.1 – Carichi simmetrici

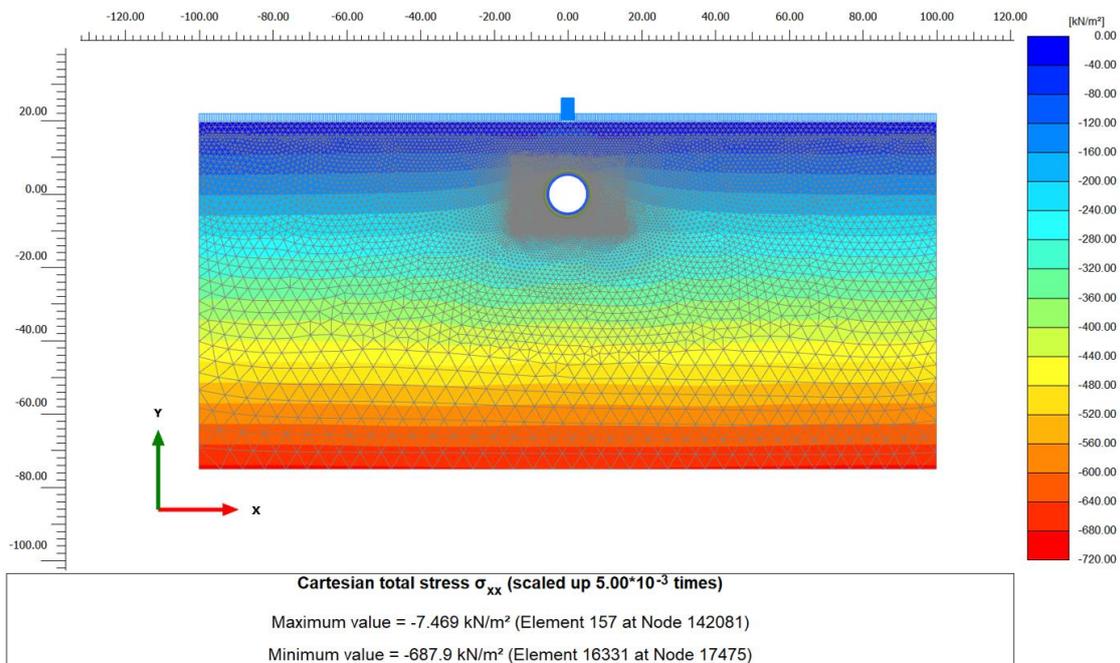


Figura 17-3: Stress σ_{xx} Fase 3.1 – Carichi simmetrici

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 GB0000001	REV. C	FOGLIO. 89 di 100

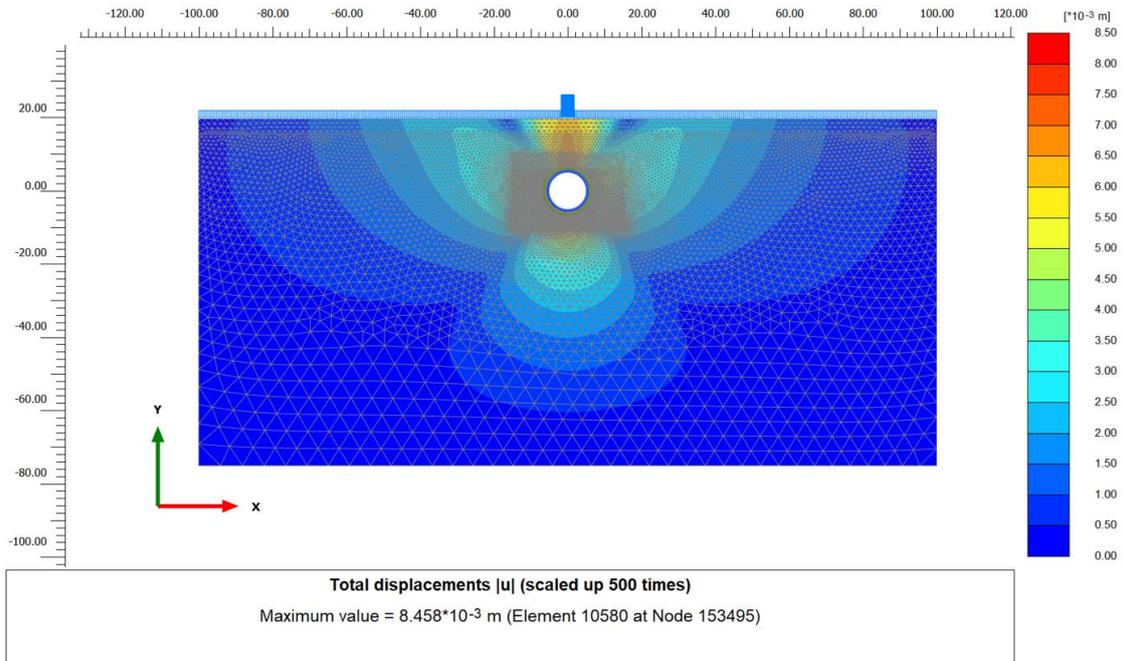


Figura 17-4: Spostamenti |u| Fase 3.1 – Carichi simmetrici

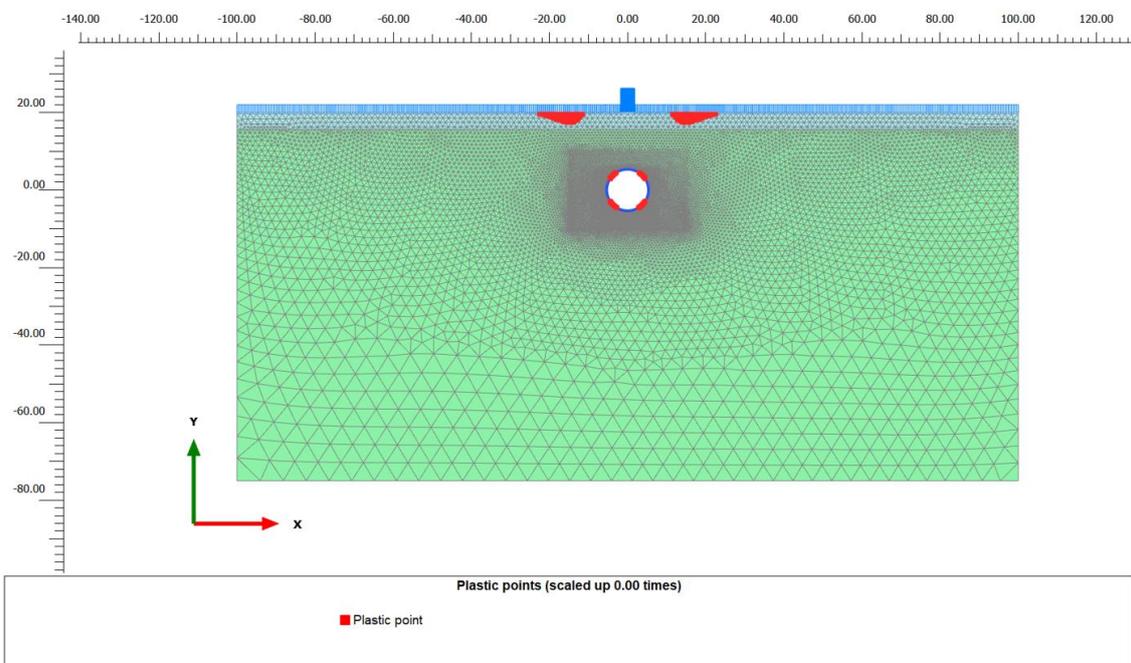


Figura 17-5: Zone di plasticizzazione Fase 3.1 – Carichi simmetrici

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 GB0000001	REV. C	FOGLIO. 90 di 100

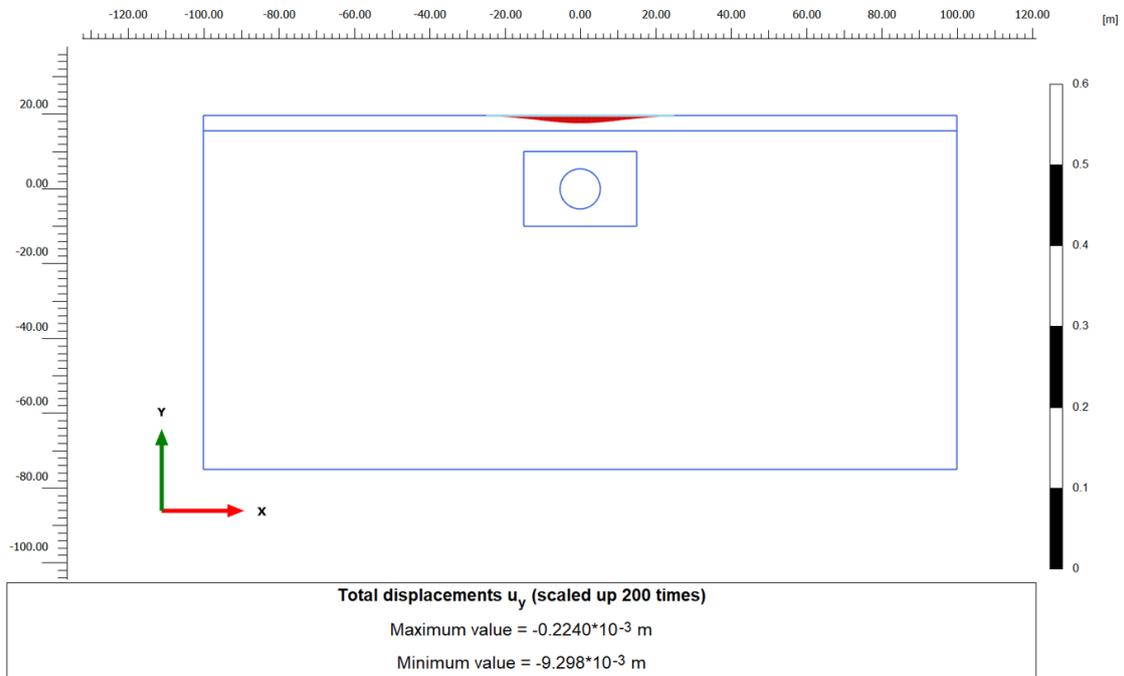


Figura 17-6: Cedimenti Fase 3.2 – Carichi simmetrici

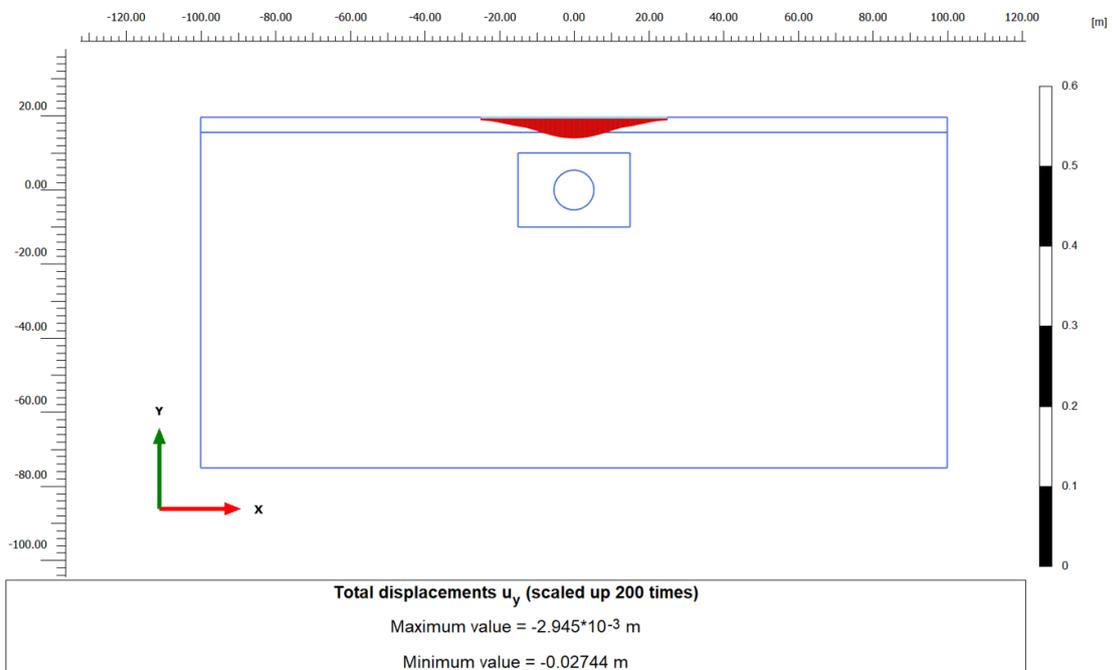


Figura 17-7: Cedimenti Fase 3.3 – Carichi simmetrici

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 GEMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione tecnica e di monitoraggio A22	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GB0000001	REV. C	FOGLIO. 91 di 100

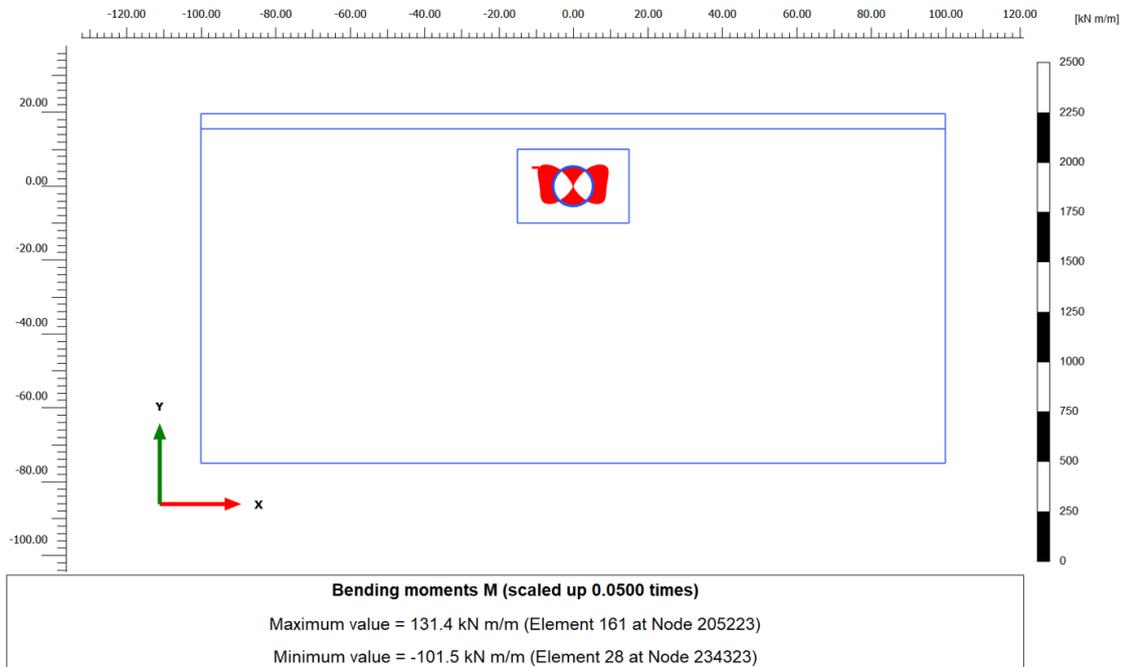


Figura 17-8: Sollecitazione momento flettente Fase 3.1 – Carichi simmetrici

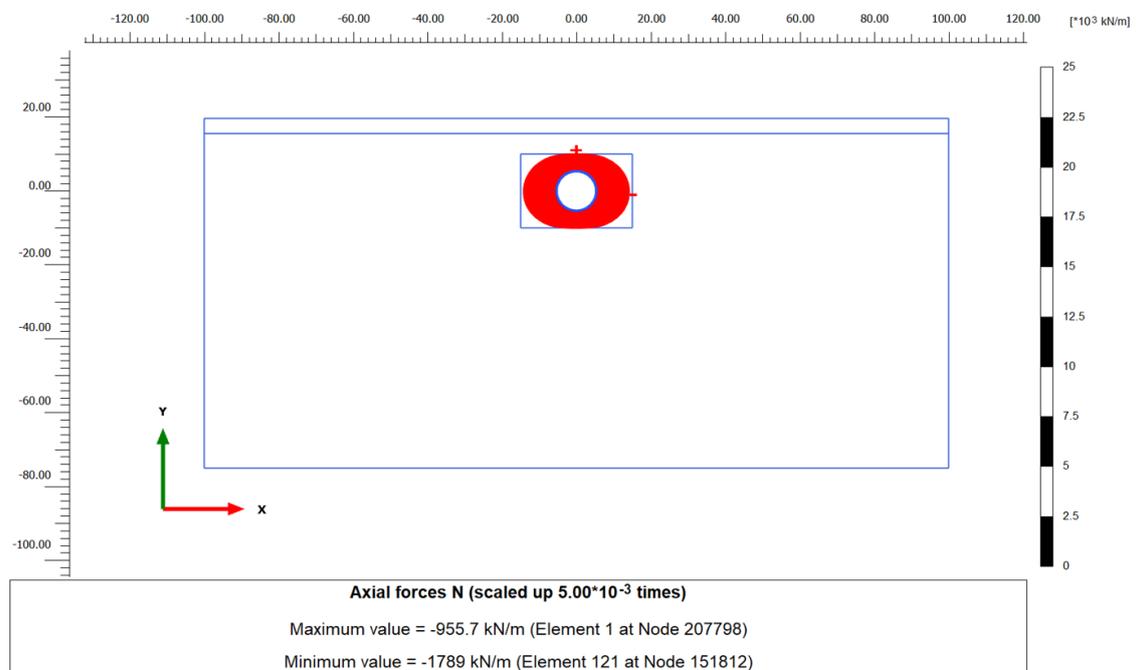


Figura 17-9: Sollecitazione sforzo assiale Fase 3.1 – Carichi simmetrici

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 GEMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione tecnica e di monitoraggio A22	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GB0000001	REV. C	FOGLIO. 92 di 100

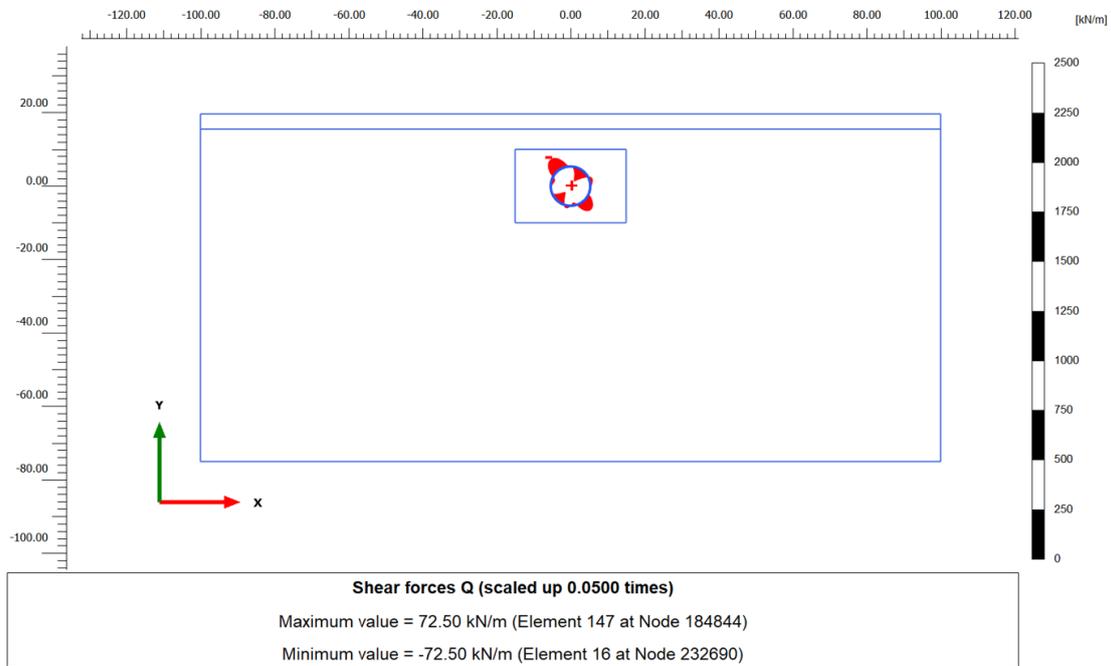


Figura 17-10: Sollecitazione sforzo di taglio Fase 3.1 – Carichi simmetrici

17.1.2 Galleria naturale Finestra di Forch – Sezione carichi asimmetrici

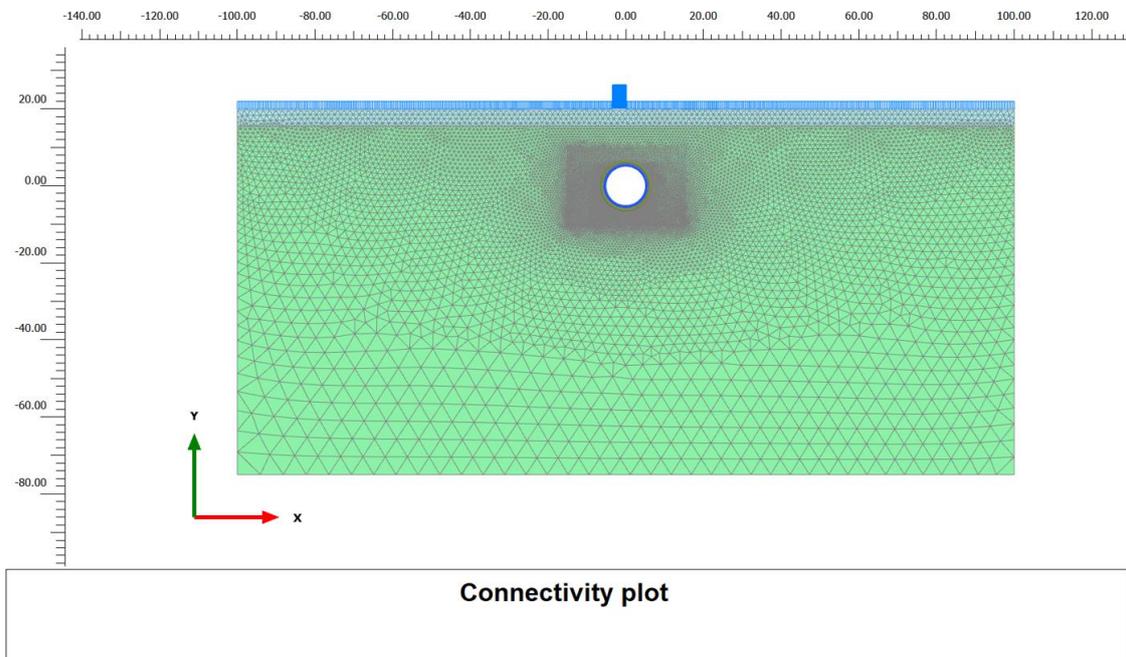


Figura 17-11: Mesh

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 GB0000001	REV. C	FOGLIO. 93 di 100

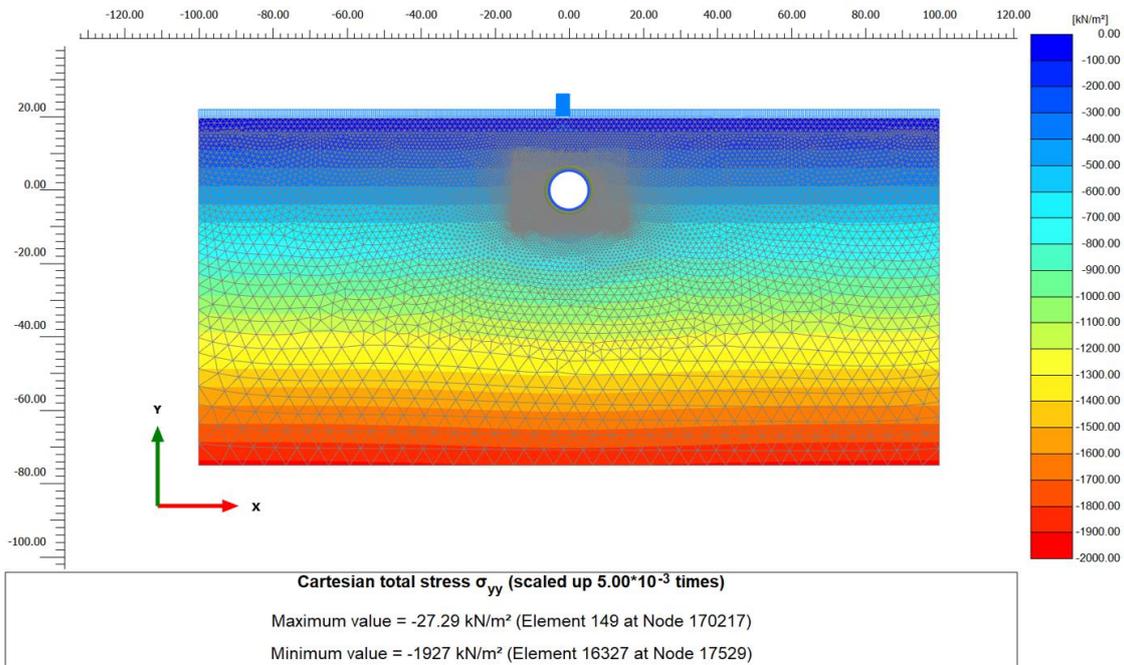


Figura 17-12: Stress σ_{yy} Fase 3.1 – Carichi asimmetrici

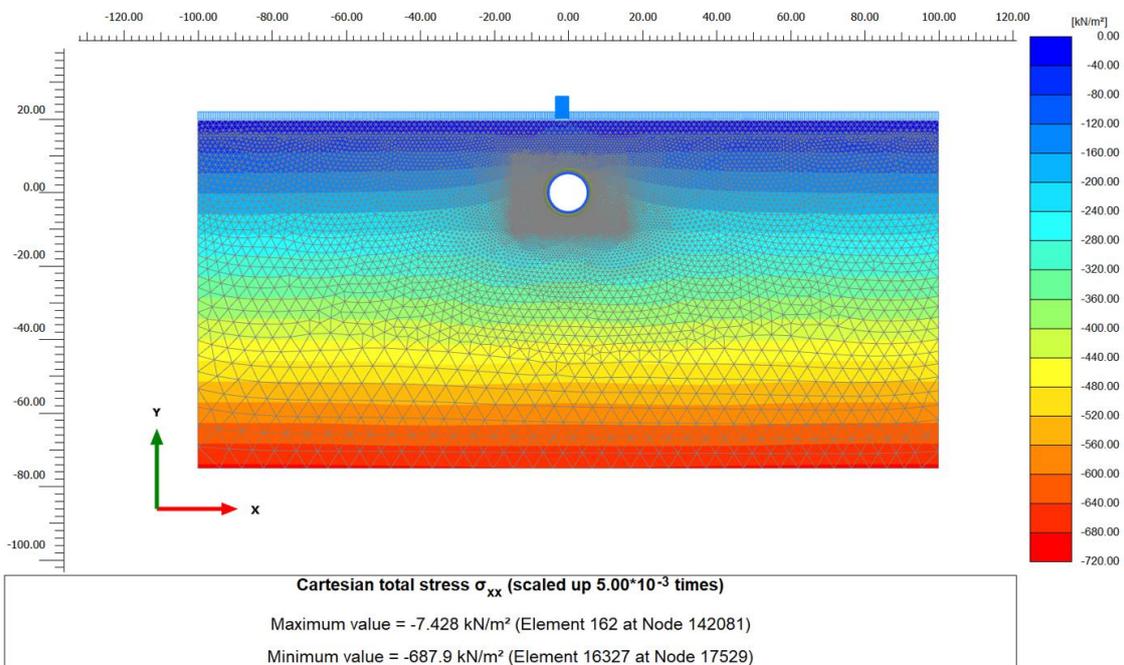


Figura 17-13: Stress σ_{xx} Fase 3.1 – Carichi asimmetrici

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	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 GB0000001	REV. C	FOGLIO. 94 di 100

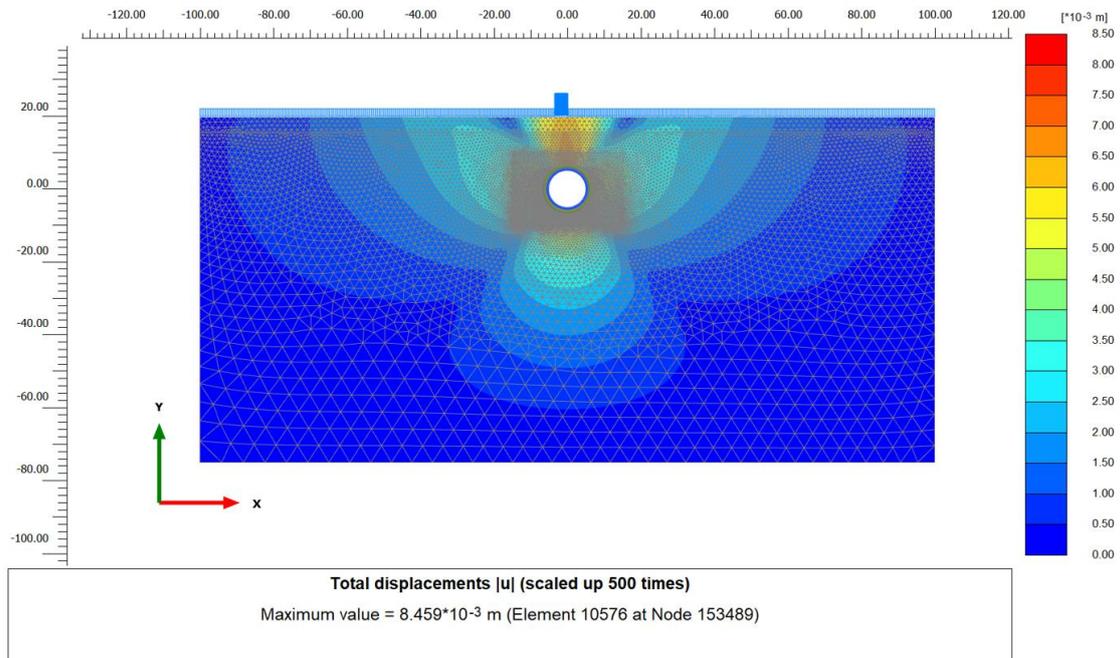


Figura 17-14: Spostamenti $|u|$ Fase 3.1 – Carichi asimmetrici

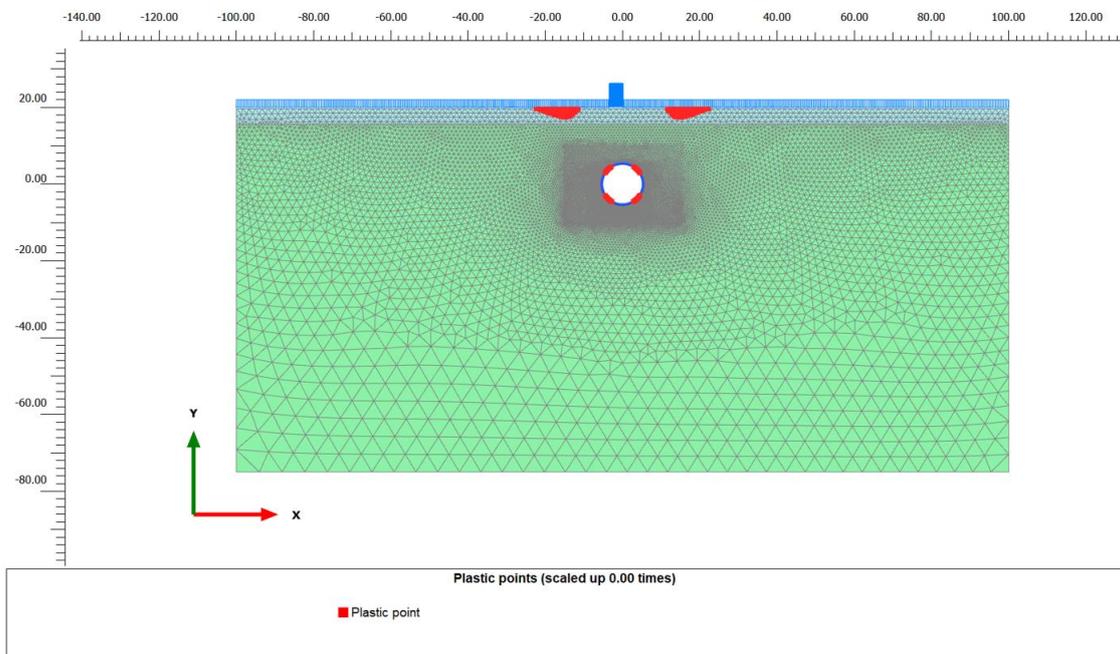


Figura 17-15: Zone di plasticizzazione Fase 3.1 – Carichi asimmetrici

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	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 GB0000001	REV. C	FOGLIO. 95 di 100

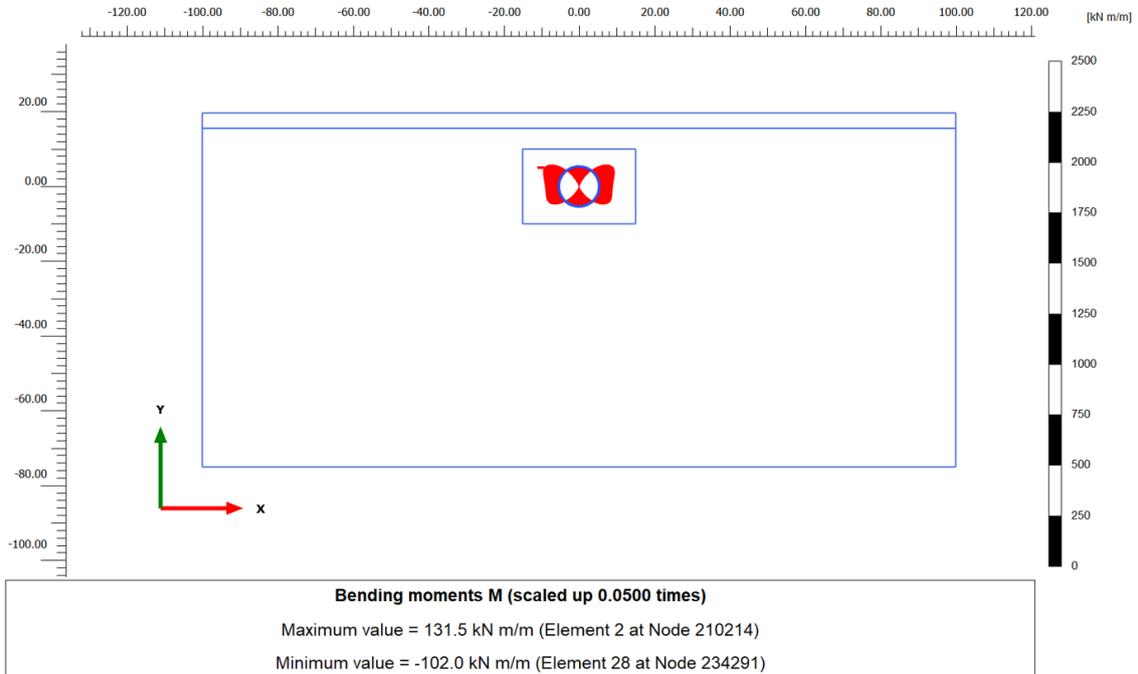


Figura 17-16: Sollecitazione momento flettente Fase 3.1 – Carichi asimmetrici

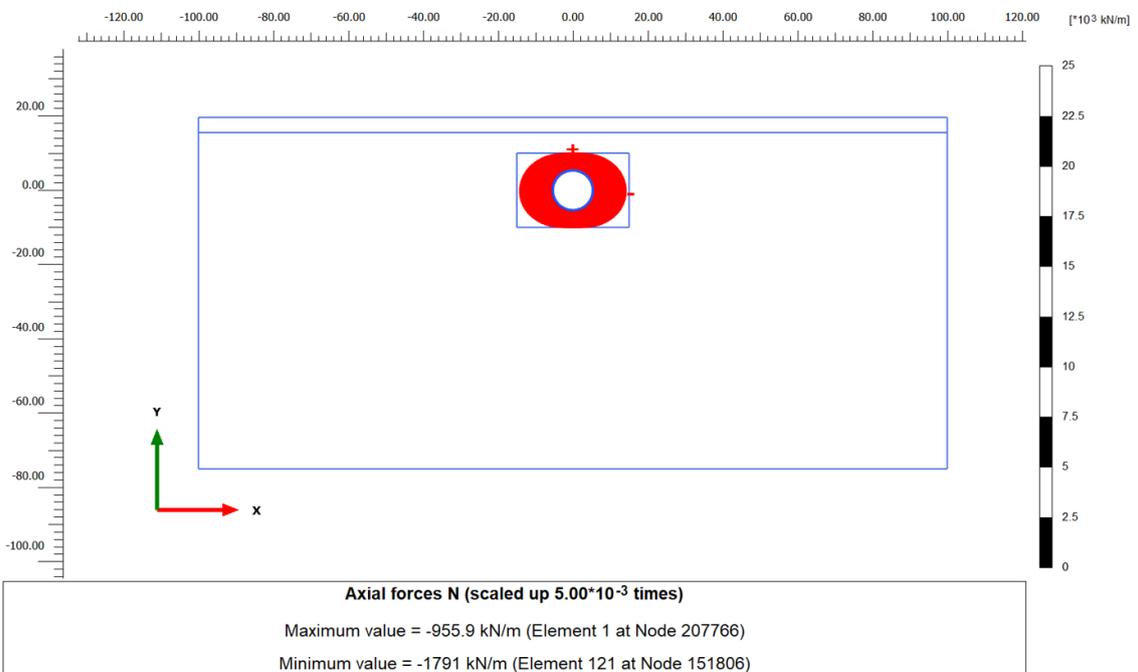


Figura 17-17: Sollecitazione sforzo assiale Fase 3.1 – Carichi asimmetrici

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	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 GB0000001	REV. C	FOGLIO. 96 di 100

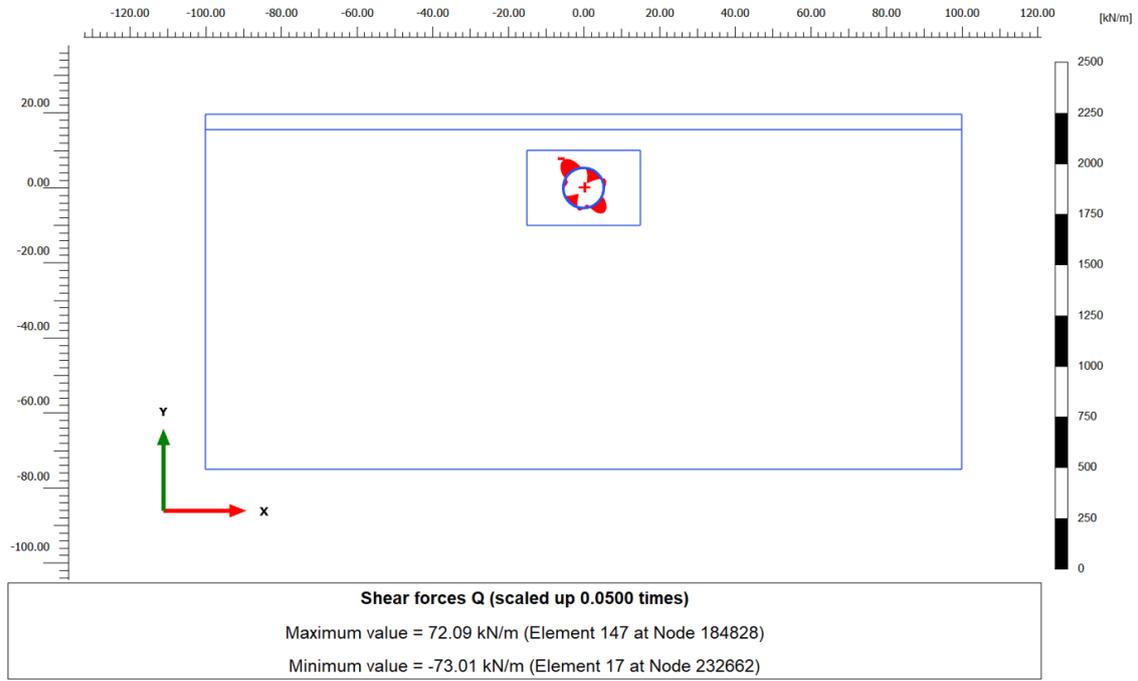


Figura 17-18: Sollecitazione sforzo di taglio Fase 3.1 – Carichi asimmetrici

17.2 ANALISI DEI CEDIMENTI

17.2.1 Galleria naturale Finestra di Forch – Sezione A

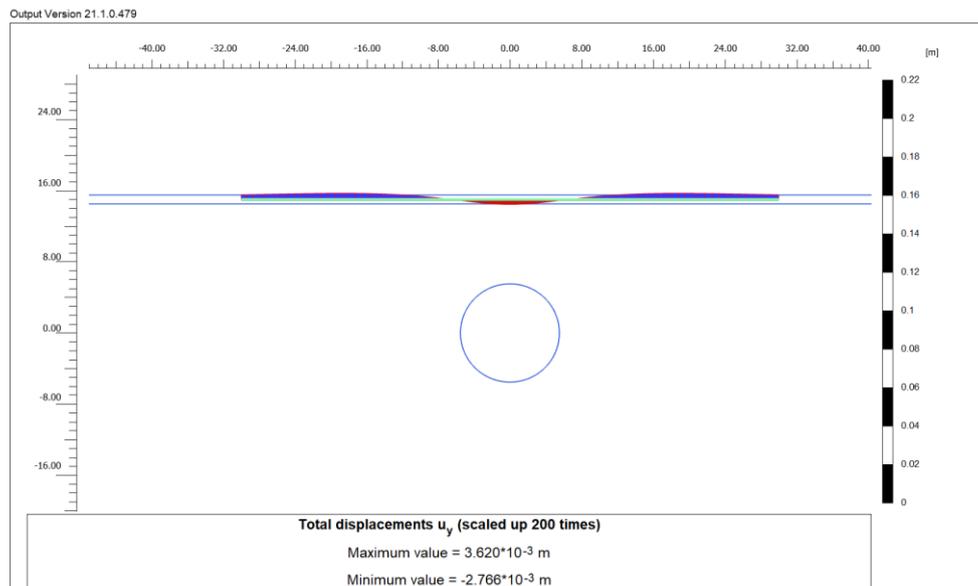


Figura 17-19: cedimenti superficiali - Sezione A – V_L 0.1%

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 GB0000001	REV. C	FOGLIO. 97 di 100

Output Version 21.1.0.479

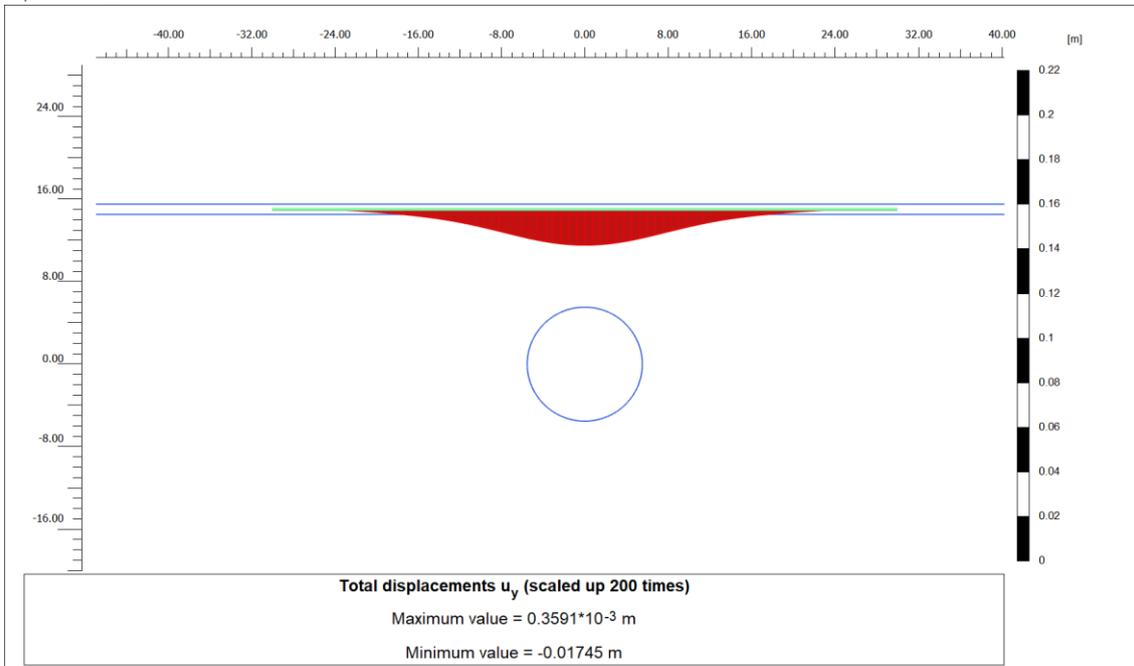


Figura 17-20: cedimenti superficiali - Sezione A – V_L 0.5%

Output Version 21.1.0.479

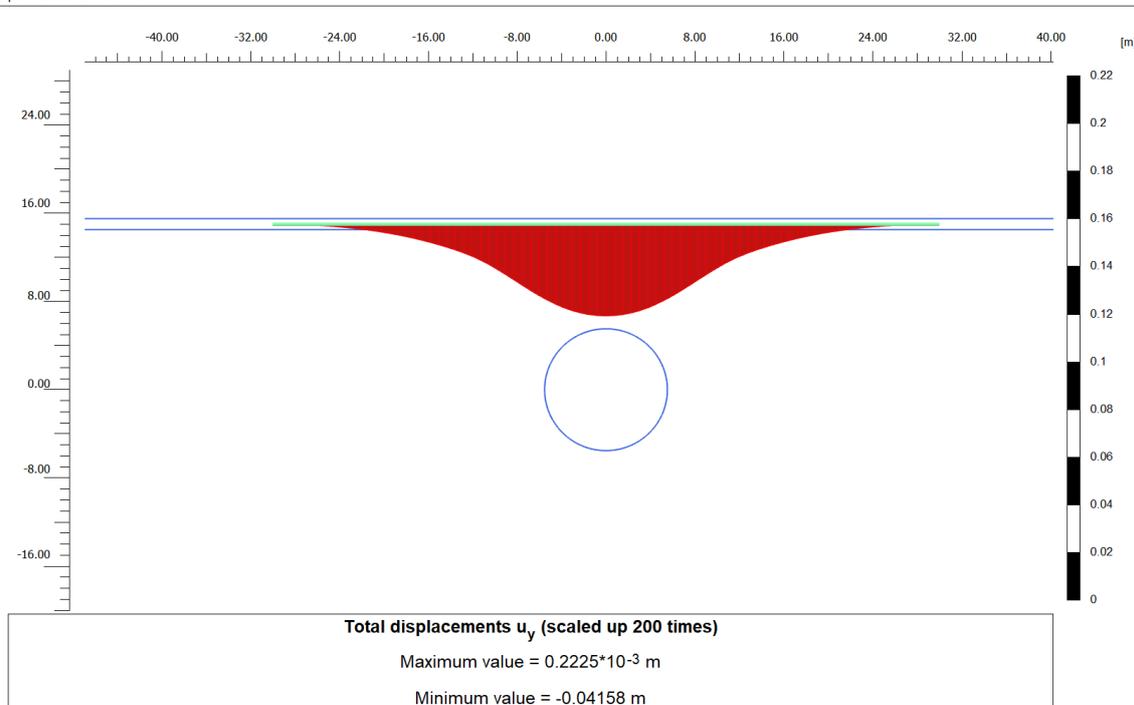


Figura 17-21: cedimenti superficiali - Sezione A – V_L 1.0%

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 GB0000001	REV. C	FOGLIO. 98 di 100

17.2.2 Galleria naturale Finestra di Forch – Sezione B

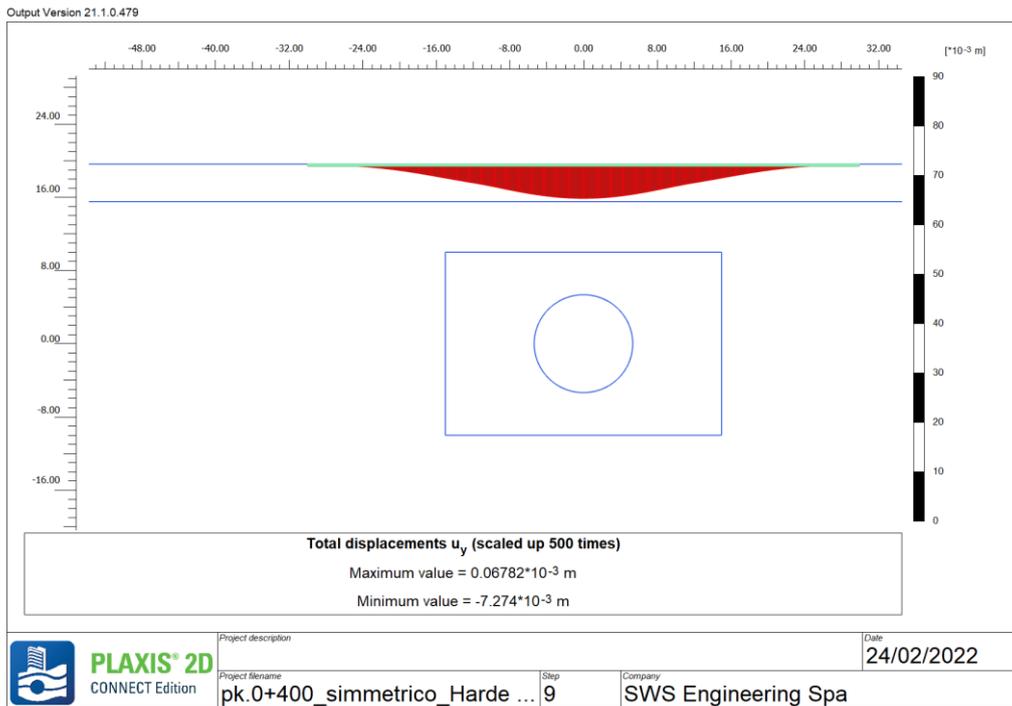
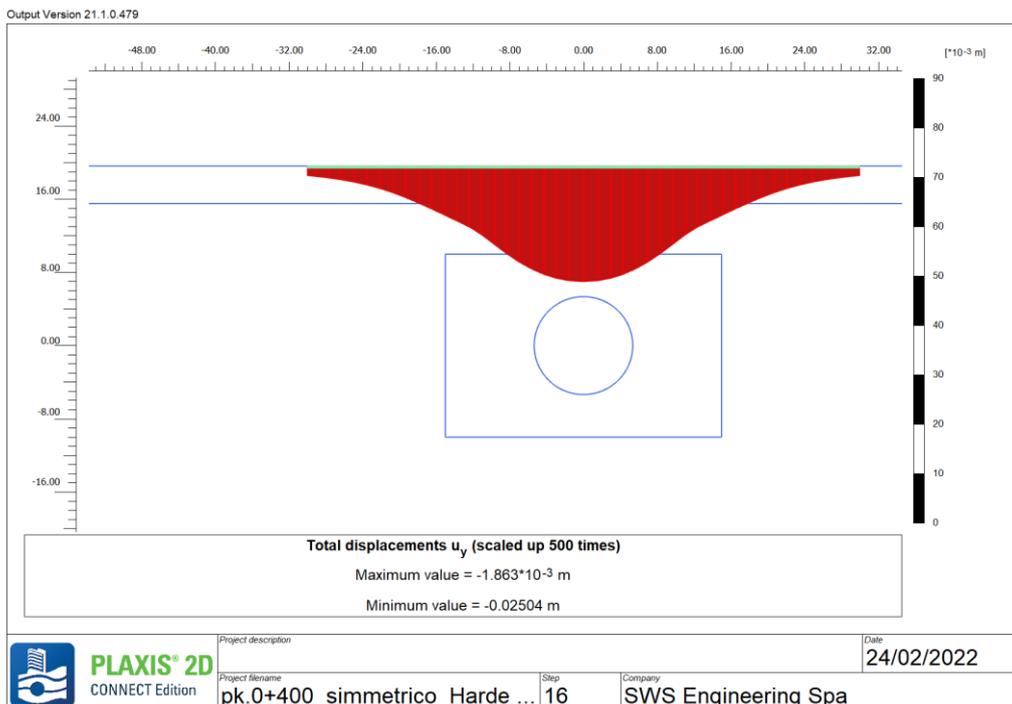


Figura 17-22: cedimenti superficiali - Sezione B – V_L 0.1%



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 GEMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione tecnica e di monitoraggio A22	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GB0000001	REV. C	FOGLIO. 99 di 100

Figura 17-23: cedimenti superficiali - Sezione B – V_L 0.5%

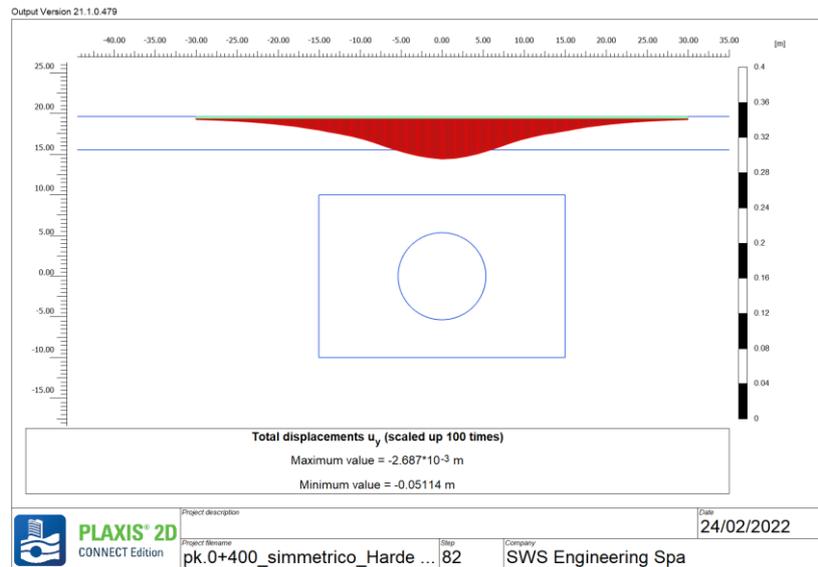


Figura 17-24: cedimenti superficiali - Sezione B – V_L 1.0%

17.2.3 Galleria naturale Finestra di Forch – Sezione C

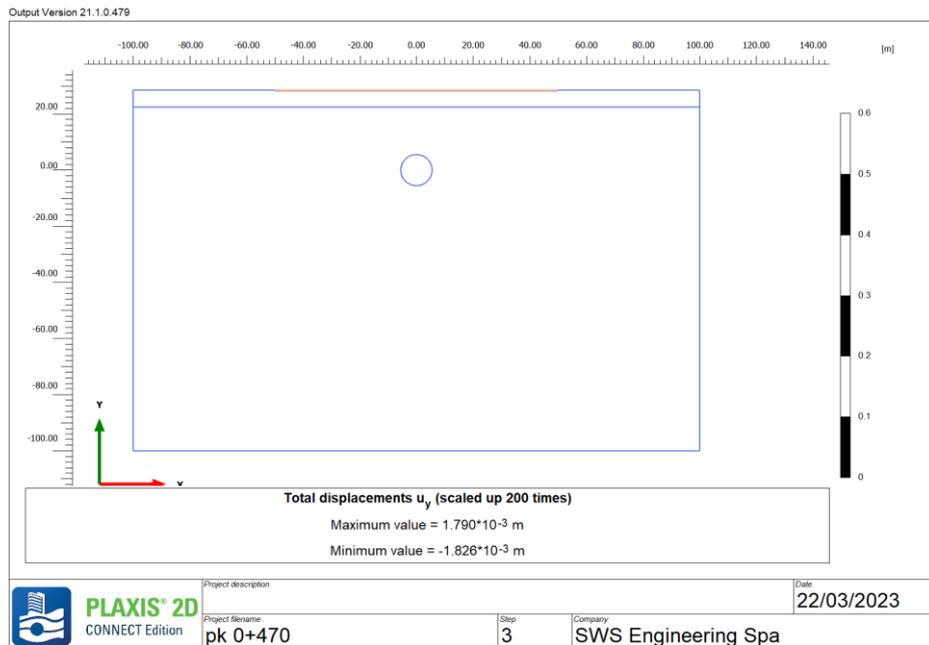


Figura 17-25: cedimenti superficiali - Sezione C – V_L 0.1%

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 GOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione tecnica e di monitoraggio A22	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GB0000001	REV. C	FOGLIO. 100 di 100

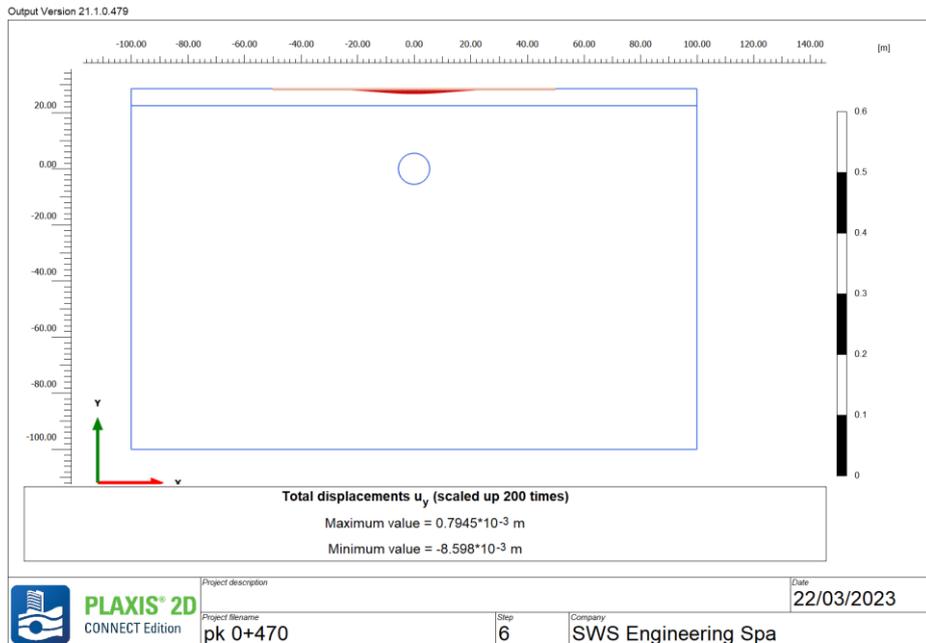


Figura 17-26: cedimenti superficiali - Sezione C – VL 0.4%



Figura 17-27: cedimenti superficiali - Sezione C – VL 1%