

COMMITTENTE:



DIREZIONE LAVORI:



APPALTATORE:



PROGETTAZIONE:

MANDATARIA:



MANDANTI:



IL DIRETTORE DELLA PROGETTAZIONE:

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

## PROGETTO ESECUTIVO

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

RELAZIONE

08 - GALLERIE

H - FINESTRA FORCH

Imbocco

Relazione tecnica e monitoraggio SS12

APPALTATORE		SCALA:
IL DIRETTORE TECNICO  Ing. Pietro Gianvecchio		-

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
I B O U	1 B	E	Z Z	R H	G A 0 3 0 0	0 0 1	C

Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione	E. Maiello	17/01/2022	C. Iasiello	18/01/2022	D. Buttafoco (Dolomiti)	19/01/2022	IL PROGETTISTA P. Cucino ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROV. DI TRENTO Dot. Paolo Cucino ISCRIZIONE ALBO N° 2216
B	Emissione a seguito di indicazioni Committenza	F. Amadini	18/07/2022	C. Iasiello	19/07/2022	D. Buttafoco (Dolomiti)	20/07/2022	
C	Emissione in seguito a istruttoria IB0U-RV-0257	F. Amadini	06/02/2023	C. Iasiello	07/02/2023	D. Buttafoco (Dolomiti)	08/02/2023	

File: IB0U1BEZZRHGA0300001C.docx

n. Elab.: X

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e monitoraggio SS12	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GA0300001	REV. C	FOGLIO. 2 di 61

## SOMMARIO

<b>1. PREMESSA</b> .....	<b>4</b>
1.1 ELABORATI DI RIFERIMENTO.....	4
<b>2. PIANO DEL MONITORAGGIO</b> .....	<b>5</b>
2.1 METODOLOGIA.....	5
2.2 DEFINIZIONE DEL SISTEMA DI MONITORAGGIO .....	6
2.3 MISURE TOPOGRAFICHE .....	7
2.4 INCLINOMETRO .....	9
ANELLO STRUMENTATO CON BARRETTE ESTENSIMETRICHE .....	10
<b>3. FREQUENZA DI MISURAZIONE</b> .....	<b>11</b>
<b>4. ACQUISIZIONE, TRASMISSIONE, GESTIONE E ARCHIVIAZIONE DATI</b> .....	<b>12</b>
4.1 RUOLI E FLUSSO DELLE INFORMAZIONI .....	12
<b>5. DEFINIZIONE DEI VALORI SOGLIA E RELATIVI INTERVENTI</b> .....	<b>13</b>
5.1 DEFINIZIONE DISTORSIONE ANGOLARE .....	13
5.2 REQUISITI MINIMI DI COMFORT PER RACCORDI VERTICALI .....	14
5.3 DEFINIZIONE DEI VALORI DI SOGLIA .....	16
5.4 INTERVENTI E CONTROMISURE.....	17
<b>6. ANALISI DEI CEDIMENTI</b> .....	<b>18</b>
6.1 CRITERIO DI MODELLAZIONE .....	18
6.2 SEZIONE SS12 – COPERTURA 15 METRI .....	19
6.3 ANALISI DELLE DISTORSIONI ANGOLARI .....	21
6.4 SOGLIE DI DEFORMAZIONE INCLINOMETRICA.....	22
<b>7. ANALISI DELLE PRESSIONI AL FRONTE</b> .....	<b>24</b>
7.1 DEFINIZIONE DELLA PROCEDURA DI AVANZAMENTO .....	29
<b>8. TECNOLOGIA DIGITAL URBAN TUNNEL</b> .....	<b>30</b>
8.1 VALUTAZIONE DELL'EFFETTO DELLE PRESSIONI DI AVANZAMENTO .....	30
8.2 MODELLO AVANZATO DI CALCOLO DEI CEDIMENTI ("DIGITAL PROJECT").....	31
8.2.1 Calcolo del volume perso secondo Loganathan (2011) .....	31
8.2.2 Perdita di volume al fronte $V_f$ .....	33
8.2.3 Perdita di volume allo scudo $V_s$ .....	35

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
<b>08 - GALLERIE</b>		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione tecnica e monitoraggio SS12		IBOU	1BEZZ	RH	GA0300001	C	3 di 61

8.2.4	Perdita di volume di coda per iniezione $V_b$ .....	36
8.2.5	Perdita di volume di coda per ritiro $V_v$ .....	36
8.2.6	Calcolo dei movimenti del terreno e la superficie di subsidenza.....	37
8.2.7	Effetti transitori – profilo longitudinale dei cedimenti .....	39
8.3	<b>CALCOLO DEI LIMITI DI PRESSIONE AL FRONTE .....</b>	<b>40</b>
8.3.1	Limite inferiore di pressione .....	40
8.3.2	Limite superiore di pressione .....	41
8.4	<b>CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI.....</b>	<b>42</b>
8.4.1	Caratteristiche meccaniche dei terreni di copertura .....	42
8.4.2	Caratteristiche meccaniche al fronte .....	42
8.5	<b>PROCESSO DI CALCOLO E VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI INDOTTI .....</b>	<b>43</b>
8.5.1	Processo di analisi .....	43
8.5.2	Calcolo delle distorsioni angolari .....	44
8.5.3	Calcolo delle deformazioni orizzontali .....	45
8.6	<b>RISULTATI ANALISI DIGITAL URBAN TUNNEL .....</b>	<b>46</b>
<b>9.</b>	<b>CONCLUSIONI .....</b>	<b>46</b>
<b>10.</b>	<b>ALLEGATI.....</b>	<b>47</b>
10.1	ALLEGATO 1: OUTPUT PLAXIS 2D .....	47
10.1.1	Galleria naturale Finestra di Forch.....	47
10.2	ALLEGATO 2: RISULTATI DIGITAL PROJECT URBAN TUNNEL.....	49

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e monitoraggio SS12	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GA0300001	REV. C	FOGLIO. 4 di 61

## 1. PREMESSA

Oggetto della presente relazione sono le analisi delle problematiche deformative e delle attività di monitoraggio previste per l'esecuzione della Finestra di Forch nel tratto di imbocco e sottoattraversamento della statale 12, nell'ambito del progetto della linea Fortezza – Ponte Gardena Lotto 1 – Finestra Forch.

Il piano di monitoraggio tiene conto anche dei calcoli dei cedimenti attesi nel corso dell'esecuzione dei lavori in corrispondenza della statale 12. 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 secondo il modello geotecnico e la metodologia illustrata per la sezione 1 – pk 0+279 nell'elaborato di Progetto Esecutivo IB0U1BEZZCLGN0300004B. Nel presente report non vengono eseguite verifiche strutturali sui conci per le quali si rimanda al medesimo report sopra citato che è rappresentativo di tutte le condizioni geotecniche presenti lungo il profilo di Forch.

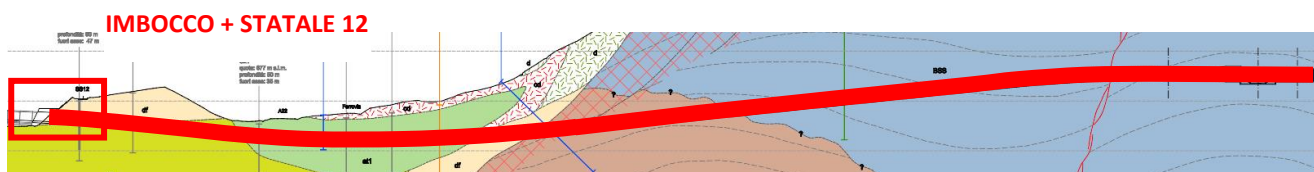



Fig. 1-1 Profilo Geotecnico di Forch

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.

### 1.1 ELABORATI DI RIFERIMENTO

Sono stati utilizzati come input per il presente documento i seguenti elaborati:

- [1] IB0U1AEZZL9GA0300003B "Planimetria e sezione strumentate di monitoraggio imbocco da pk 0+146.50 fino a pk. 0+157.50";
- [2] IB0U1AEZZCLGA0300001B "Fase provvisoria- Relazione di calcolo delle opere di imbocco".
- [3] IB0U1BEZZCLGN0300004B "Relazione di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2"
- [4] DAUB 10/ 2016 Recommendations for Face Support Pressure Calculations for Shield Tunnelling in Soft Ground

APPALTATORE: 	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e monitoraggio SS12	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GA0300001	REV. C	FOGLIO. 5 di 61

## 2. PIANO DEL MONITORAGGIO

### 2.1 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. 2-1 Diagramma di flusso relativo alla metodologia di progettazione osservazionale

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

In particolare, il Piano di Monitoraggio deve consentire:

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

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

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

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

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
Mandatario:	Mandanti:	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
<b>08 - GALLERIE</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione tecnica e monitoraggio SS12	IBOU	1BEZZ	RH	GA0300001	C	6 di 61

## 2.2 DEFINIZIONE DEL SISTEMA DI MONITORAGGIO

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 SS12 le seguenti attività:

- Punti di misura 3D composti da picchetti dotati di target riflettenti.
- Inclinometro automatico da posizionare adiacente alla scarpata
- Anello strumentato con barrette estensimetriche (sezione A- 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 IB0U1BEZZBGA0300001A di cui si riporta uno stralcio nelle figure seguenti.

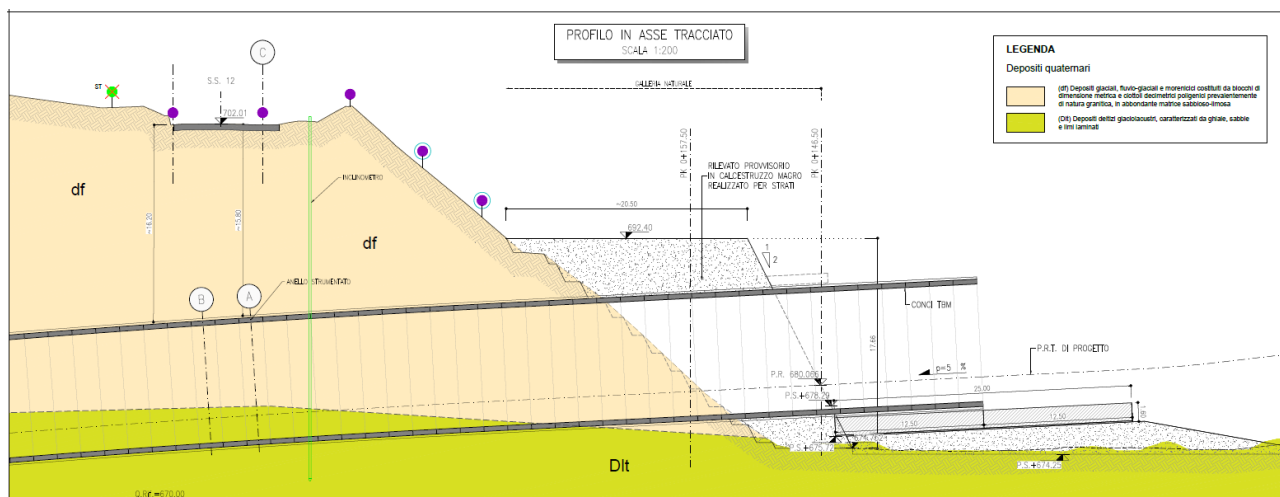


Fig. 2-2 Monitoraggio SS12 Finestra di Forch – stralcio profilo longitudinale

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



APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
Mandatario:	Mandanti:		PROGETTO ESECUTIVO			
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEMIN	SIFEL SIST			
	M Ingegneria					
<b>08 - GALLERIE</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione tecnica e monitoraggio SS12	IBOU	1BEZZ	RH	GA0300001	C	7 di 61

## 2.3 MISURE TOPOGRAFICHE

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

I requisiti delle stazioni totali sono:

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

Il sistema è concepito, per l'intero campo del rilievo per il monitoraggio della strada, 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 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 a bordo strada

L'interasse dei punti è distribuito con una maglia circa 5x5 m, nei settori accessibili e direttamente interferenti con la galleria.

Le mira ottiche dovranno essere costituite o da una piastra in cui è montato almeno n. 1 target, in grado di ruotare di 360°, o da una testa cubica contenente la mira ottica su ciascuna faccia rilevabile.

La dimensione della mira ottica non dovrà essere inferiore a mm 30x30.



Fig. 2-3 Monitoraggio SS12 Finestra di Forch – vista della strada (fonte Google street view)

APPALTATORE:			<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>			
PROGETTAZIONE:	<b>Mandatario:</b> SWS Engineering S.p.A. <b>Mandanti:</b> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e monitoraggio SS12	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
	IBOU	1BEZZ	RH	GA0300001	C	8 di 61

Per la disposizione della strumentazione topografica bisogna tenere in considerazione la presenza del rilevato adiacente la strada 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.

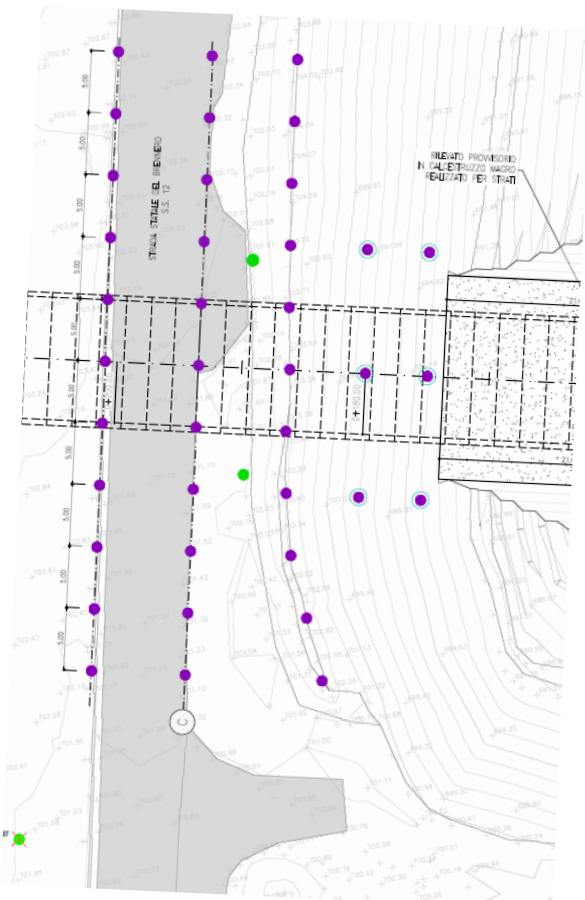


Fig. 2-4 Monitoraggio SS12 Finestra di Forch – stralcio planimetrico tavole del monitoraggio e vista area



APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e monitoraggio SS12	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GA0300001	REV. C	FOGLIO. 9 di 61

## 2.4 INCLINOMETRO

Per la misura delle deformazioni del pendio sono previsti 2 inclinometri di lunghezza 30 metri. Devono essere utilizzati tubi inclinometrici a 4 guide con diametro interno del tubo pari a 76 mm e lunghezza non inferiore a 3 m.

I tubi devono essere realizzati in alluminio; in alternativa potranno essere installati tubi inclinometrici in ABS il cui utilizzo dovrà essere preventivamente autorizzato dalle Ferrovie.

La giunzione tra gli spezzoni di tubo deve avvenire per mezzo di appositi manicotti di giunzione la cui lunghezza non deve essere inferiore a 300 mm. Le tolleranze di accoppiamento con i tubi devono essere tali da garantire una rotazione reciproca dei tubi inferiore a 2°.

Le caratteristiche dei tubi dovranno essere le seguenti:

- Dimensioni:  $\varnothing_{int}$  guide = 82 mm
- Spessore: min. 2 mm (min. 4 mm per tubi in ABS)
- Lunghezza tubi: 3 m
- Materiale: alluminio, ABS
- Eventuali protezione: anodizzazione o verniciatura con vernici epossidiche (per tubi in alluminio)
- Angolo di spiratura max:  $< 0,5^\circ/m$
- Perpendicolarità delle sezioni terminali:  $\pm 1^\circ$

L'utilizzo di tubi in alluminio in ambiente aggressivo dovrà essere subordinato alla realizzazione di opportune protezioni (anodizzazioni o verniciatura con resine epossidiche), da concordare con le Ferrovie.

La cementazione dei tubi in alluminio dovrà comunque sempre essere eseguita mediante l'utilizzo di cemento pozzolanico.

La sonda inclinometrica dovrà avere le seguenti caratteristiche:

- Tipo di sonda: biassiale
- Sensori: servoinclinometri
- Passo tra le ruote: 50 cm
- Campo di misura:  $\pm 14,5^\circ$  ,  $\pm 30^\circ$
- Connettore per giunzione al cavo: stagno (500 m)
- Materiale: acciaio inox
- Carrelli: basculanti a due ruote
- Risoluzione: 1" di grado

Per ulteriori specifiche tecniche fare riferimento al Capitolato Generale di Appalto delle Opere Civili Parte II Sezione 3 foglio 128 di 239.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e monitoraggio SS12	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GA0300001	REV. C	FOGLIO. 10 di 61

## ANELLO STRUMENTATO CON BARRETTE ESTENSIMETRICHE

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

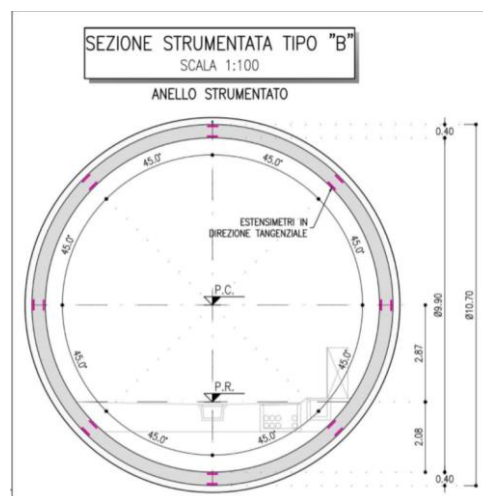
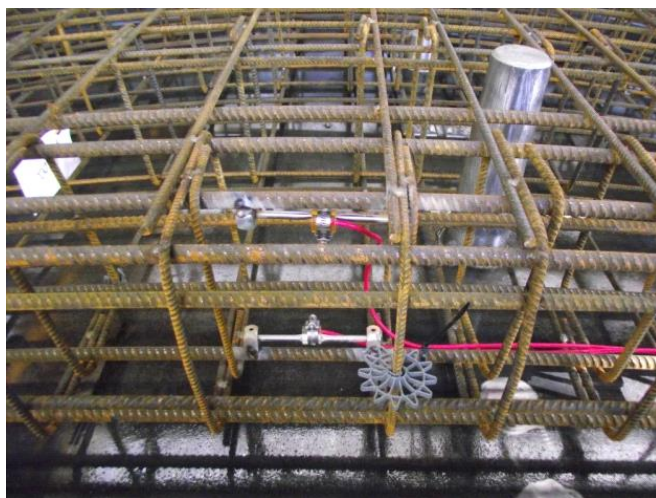


Fig. 2-5 illustrazione dell' anello strumentato con barrette estensimetriche

Per ciascun anello di monitoraggio sono previsto 8 coppie di barrette estensimetriche aventi le seguenti caratteristiche.

L'estensimetro a corda vibrante dovrà presentare le seguenti caratteristiche minime:

- Lunghezza della corda: 150 ÷ 250 mm
- campo di rilievo:  $\pm 3000$  microstrain
- sensibilità: 1,0 microstrain
- frequenza di zero tipica: 800 Hz
- resistenza della bobina: 150 ohm
- temperatura di esercizio:  $-20^{\circ} \pm +80^{\circ}$  C

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e monitoraggio SS12	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GA0300001	REV. C	FOGLIO. 11 di 61

### 3. FREQUENZA DI MISURAZIONE

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

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. 3-1 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.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e monitoraggio SS12	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GA0300001	REV. C	FOGLIO. 12 di 61

## 4. ACQUISIZIONE, TRASMISSIONE, GESTIONE E ARCHIVIAZIONE DATI

In questo capitolo viene illustrato il sistema di gestione dei dati di monitoraggio in corso relativo al sottopassaggio della SS12.

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.

### 4.1 RUOLI E FLUSSO DELLE INFORMAZIONI

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

APPALTATORE: 	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e monitoraggio SS12	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GA0300001	REV. C	FOGLIO. 13 di 61

## 5. DEFINIZIONE DEI VALORI SOGLIA E RELATIVI INTERVENTI

Per il monitoraggio dell'opera stradale, sulla base di progetti simili internazionali, viene individuato come parametro principale per la verifica della qualità geometrica dell' SS12 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.

### 5.1 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  $\beta$  e viene riportata come rapporto 1:x o in per mille.

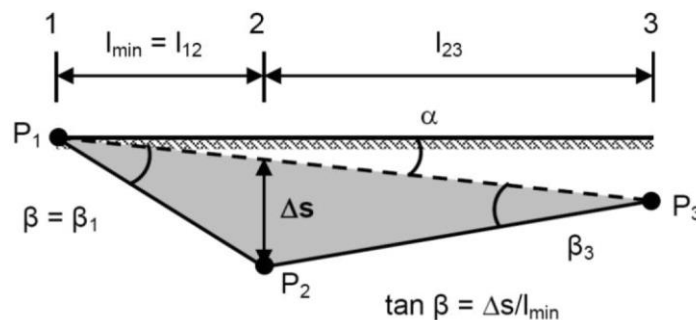


Fig. 5-1 schema di interpretazione distorsione angolare



APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e monitoraggio SS12	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GA0300001	REV. C	FOGLIO. 14 di 61

## 5.2 REQUISITI MINIMI DI COMFORT PER RACCORDI VERTICALI

Per la definizione dei valori di soglia della SS12 è stato calcolato il valore di accelerazione verticale per il comfort dell'utenza contenuto intrinsecamente nei valori di soglia forniti per l'autostrada A22 nel Progetto Definitivo.

In base alle "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade" sono stati verificati i valori minimi per i raccordi verticali in base alla seguente formulazione:

$$a_v = \frac{v_p^2}{R_v} \leq a_{lim}$$

dove:

$v_p$  = velocità di progetto della curva [m/s], desunta puntualmente dal diagramma delle velocità (par. 5.4)

$R_v$  = raggio del raccordo verticale [m]

$a_{lim}$  = 0,6 m/s<sup>2</sup>

Il valore di accelerazione verticale  $a_v$  non deve superare il valore  $a_{lim}$  pari a 0,6m/s<sup>2</sup>.

Il raggio di raccordo verticale minimo richiesto per l'avvallamento concavo per il limite di allarme indicato per A22 è pari a 4000 m.

Considerando una velocità di percorrenza dell'A22 di 110 km/h (pari a 30,6 m/s) ed un raccordo verticale concavo di 4000 m si ottiene una accelerazione pari a:

$$a_v = \frac{30,6^2}{4000} = 0,23 \text{ m/s}^2$$

Considerando il valore minimo pari a 0,6 m/s<sup>2</sup> si ottiene un fattore di sicurezza pari a 2,5 sul valore di accelerazione che descrive il limite di allarme definito per A22.

Per definire il raggio di raccordo verticale equivalente (a parità di comfort) per la SS12 nel tratto in oggetto si considera la velocità di 50 km/h (pari a 13,9 m/s) come da segnaletica stradale esistente.

$$R_v = \frac{v_p^2}{a_v} = \frac{13,9^2}{0,23} = 839 \text{ m}$$

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e monitoraggio SS12	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GA0300001	REV. C	FOGLIO. 15 di 61

Imponendo un valore di distorsione angolare  $\tan\beta$  pari al 2,5‰ si ottiene il seguente raccordo verticale concavo (sacca).

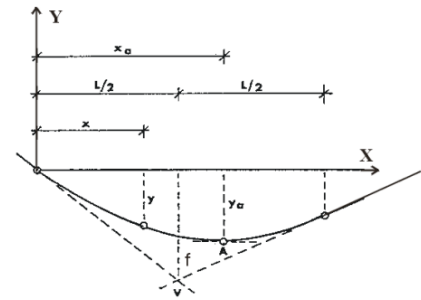
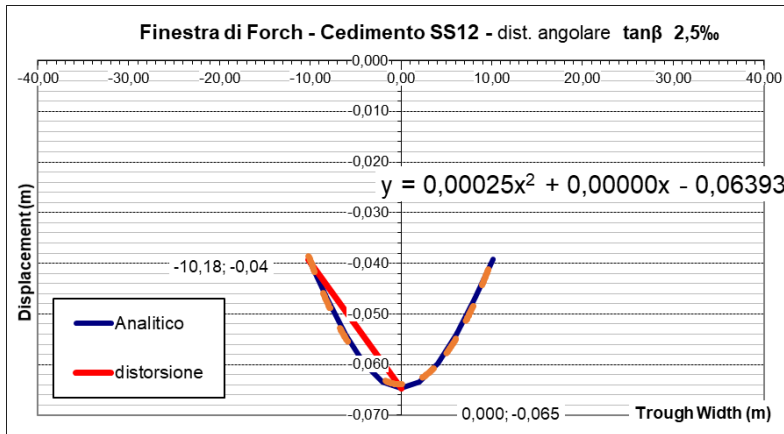


Fig. 5.3.2.b

$R_v$  è il raggio del cerchio osculatore, nel vertice della parabola, determinato come ai paragrafi seguenti. L'arco di parabola da inserire tra due livellette ha, rispetto al riferimento cartesiano indicato nella figura 5.3.2.b, la seguente equazione:

$$y = bx - ax^2$$

dove:

$$a = \text{parametro della parabola} = \frac{\Delta i}{100 \times 2L} = \frac{1}{2R_v} \quad [m^{-1}]$$

$$R_v = \frac{1}{2a} = \text{raggio del cerchio osculatore nel vertice A della parabola} \quad [m]$$

Si ottiene pertanto un valore di Raggio del cerchio osculatore del raccordo verticale concavo pari a:

$$R_v = \frac{1}{2 \cdot 0,00025} = 2000 \text{ m}$$

Considerando che dal calcolo del comfort basterebbe un raggio di raccordo verticale pari a 839 m è stato adottato un raggio, a favore di sicurezza pari, a 2000 m derivato da una distorsione angolare di 1:2,5‰.

Tale valore di distorsione angolare è pertanto rappresentativo del valore di allarme per la strada SS12 adottato nei calcoli seguenti.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e monitoraggio SS12	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GA0300001	REV. C	FOGLIO. 16 di 61

### 5.3 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	1.250‰ 1:800	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Aumento della pressione al fronte</li> <li>▪ Verifica visiva sul posto</li> <li>▪ Segnalazione alla DL</li> <li>▪ Valutazione svolgimento attività eseguite</li> </ul>
Limite di allerta	1.667‰ 1:600	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Riempimento e pressurizzazione del gap tra lo scavo e lo scudo</li> <li>▪ Verifica delle misurazioni</li> <li>▪ Indagine visiva sul posto</li> <li>▪ Segnalazione alla DL</li> <li>▪ Implementazione interventi per evitare di raggiungere il valore di allarme (aumento della pressione al fronte fino al valore di attenzione)</li> </ul>
Limite di allarme	2.500‰ 1:400	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Adozione di misure aggiuntive rispetto al raggiungimento del valore limite (aumento della pressione al fronte fino al valore di allarme)</li> <li>▪ Adozione di eventuali misure di limitazione dell'esercizio ed eventuale ripristino del manto stradale</li> </ul>

Tabella 5—1: Monitoraggio statale SS12, valori di avviso, di allerta e di allarme parametri monitorati.

I valori di soglia sono stati impostati per la SS12, dove in prossimità del sottoattraversamento di Forch si ha una velocità di percorrenza inferiore a 50 km/h essendo in prossimità di una rotatoria. Di conseguenza il livello di allarme è stato impostato su un valore di distorsione angolare pari a 2.50 ‰. Tali valori sono del tutto analoghi a quanto riportato in letteratura tecnica.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e monitoraggio SS12	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GA0300001	REV. C	FOGLIO. 17 di 61

## 5.4 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' SS12.

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

- Pressione al fronte: regolazione della pressione al fronte utilizzando il materiale già scavato attraverso il controllo dell'estrazione dello smarino da parte della coclea.
- Riempimento e pressurizzazione del gap tra lo scavo e lo scudo: il gap presente tra la sezione di scavo e lo scudo risulta essere la causa primaria di assestamenti successivi allo scavo. Per superare questo problema e limitare i cedimenti per il tunnel scavato in EPB 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;
- Apporto di materiale di scavo al piede della scarpata, sopra il rilevato provvisorio, per evitare eventuali movimenti del pendio stesso.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e monitoraggio SS12	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GA0300001	REV. C	FOGLIO. 18 di 61

## 6. ANALISI DEI CEDIMENTI

Nel seguente capitolo vengono riportate le analisi dei cedimenti per la zona di sottoattraversamento della sede stradale della SS12.

La sezione di analisi è posizionata sotto la sede stradale, al fine di esaminare l'effetto indotto dallo scavo della galleria in superficie.



Figura 6-1: sezioni di calcolo per l'analisi dei cedimenti

### 6.1 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 (0,5%) 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: 	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e monitoraggio SS12	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GA0300001	REV. C	FOGLIO. 19 di 61

## 6.2 SEZIONE SS12 – COPERTURA 15 METRI

L'interazione galleria-terreno è stata valutata mediante una apposita analisi numerica FEM, utilizzando il codice di calcolo Plaxis 2D e seguendo gli stessi step di calcolo già descritti nella relazione IIBOU1BEZZCLGN0300003A - Relazione di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci in calcestruzzo armato.

Per questa sezione è stata considerata una copertura di 15 metri rispetto al piano campagna e sono stati analizzati i cedimenti con  $V_L = 0.1\% - 0.5\% - 1.0\%$ .

### Bacino di subsidenza

Le massime convergenze ottenute dopo l'installazione dei conci prefabbricati assumono valori di 9 mm, 20mm e 40 mm, rispettivamente per un volume perso  $V_L$  pari a 0.1% , 0.5% e 1.0% (output riportati negli Allegati §10).

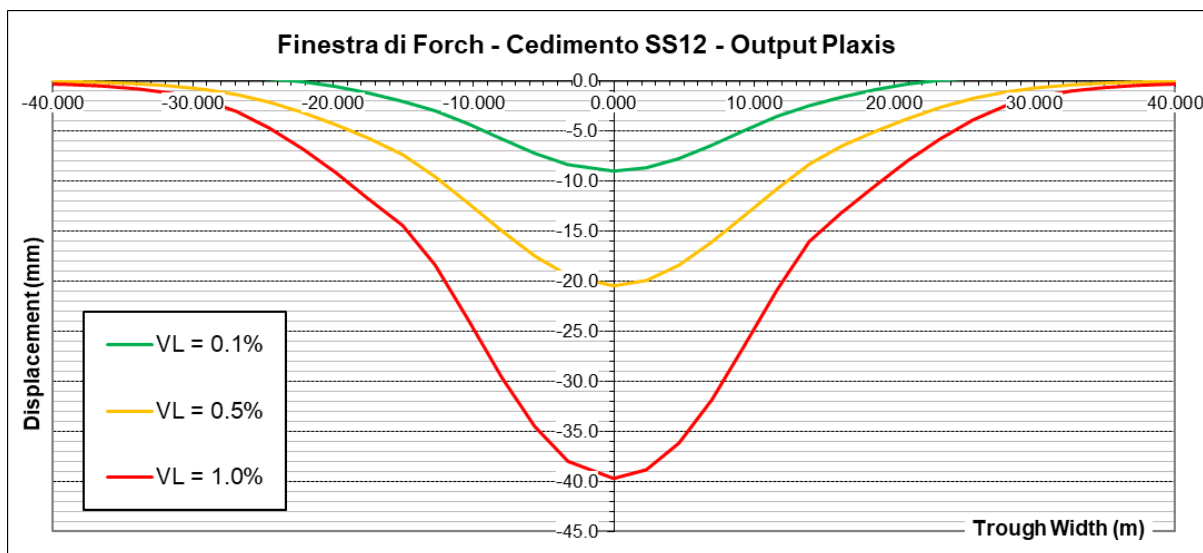
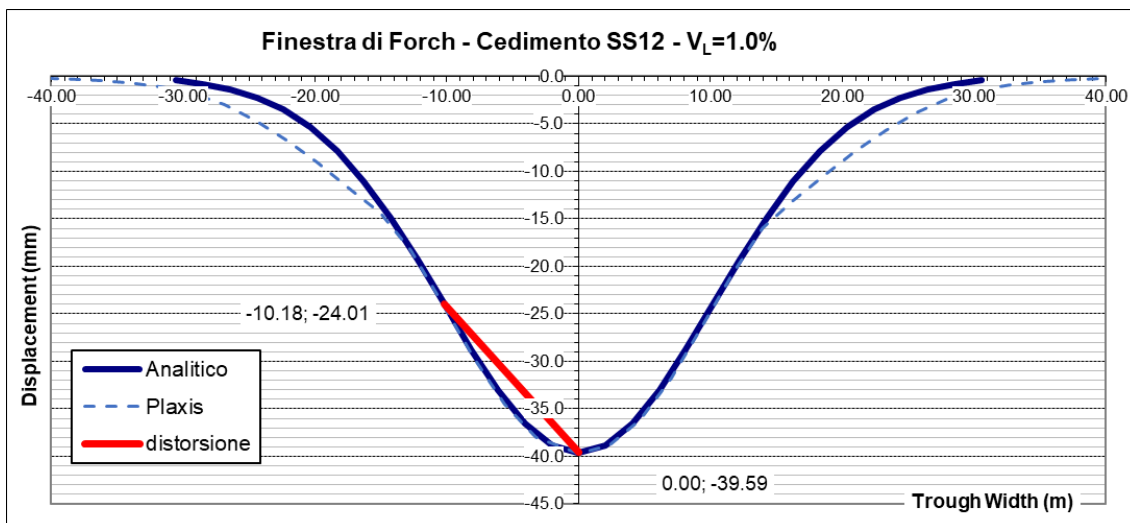
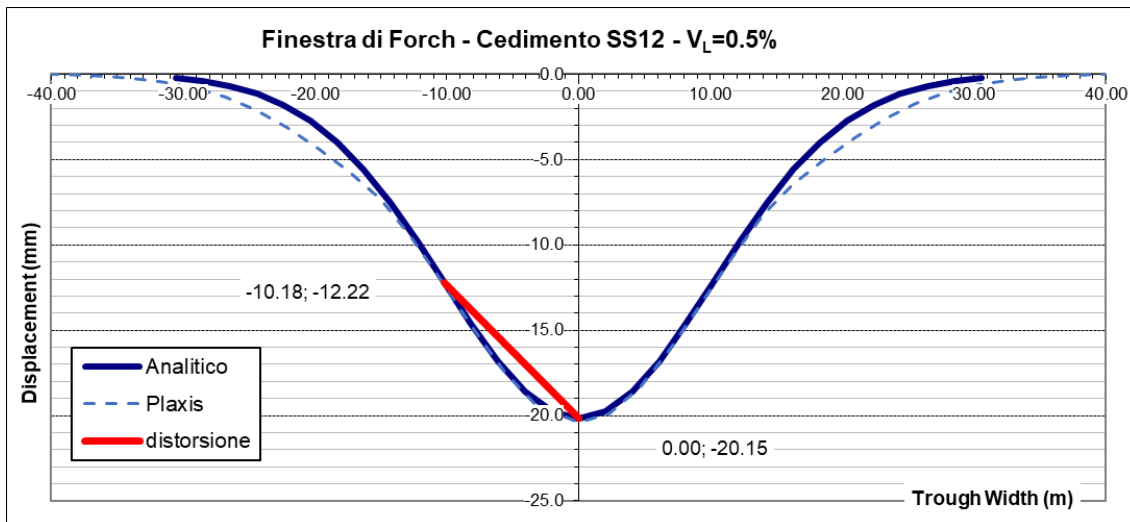
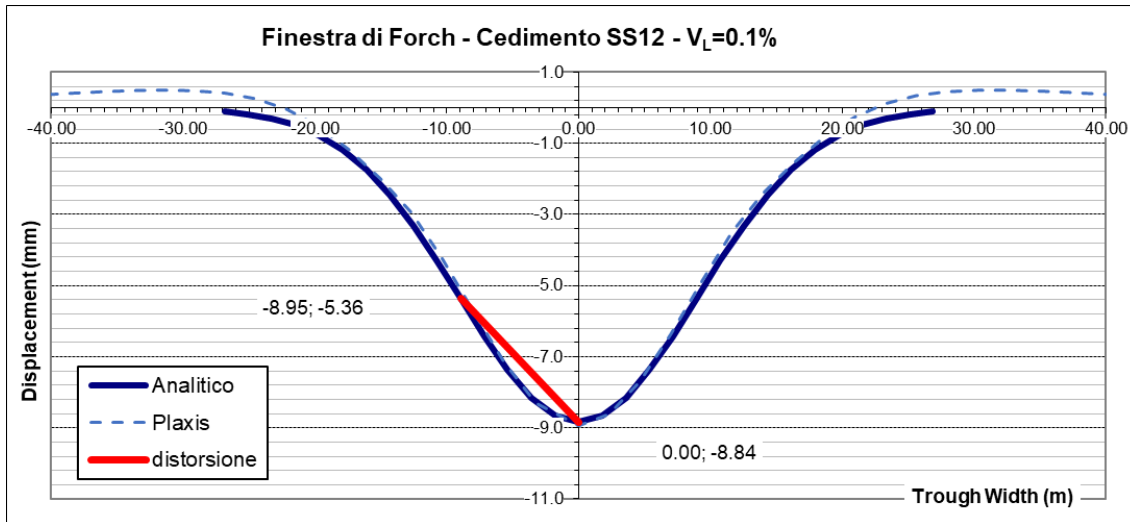


Figura 6-2: cedimenti sezione SS12 -  $V_L$  pari a 0.1% , 0.5%, 1.0%

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 0.44 per  $V_L=0.1\%$  e pari a 0.5 per  $V_L=0.5-1.0\%$  che porta ad una distanza del flesso dall' asse della galleria relativamente pari a 8,95 metri e 10.18. Per ottenere il medesimo cedimento con metodo analitico bisogna imporre un volume perso maggiore del calcolo FEM di circa il 10 %. Questa differenza è imputabile alla migliore interpretazione del cedimento atteso nel modello FEM rispetto al caso analitico. Infatti il modello numerico può efficacemente riprodurre la redistribuzione delle pressioni al contorno dello scavo e, contemporaneamente, catturare il comportamento non lineare del terreno.

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 monitoraggio SS12	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV. FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	RH	GA0300001	C 20 di 61



APPALTATORE: 	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e monitoraggio SS12	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GA0300001	REV. C	FOGLIO. 21 di 61

### 6.3 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 IBL11BD07P8GN000001B, come mostrato nelle tabelle seguenti.

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

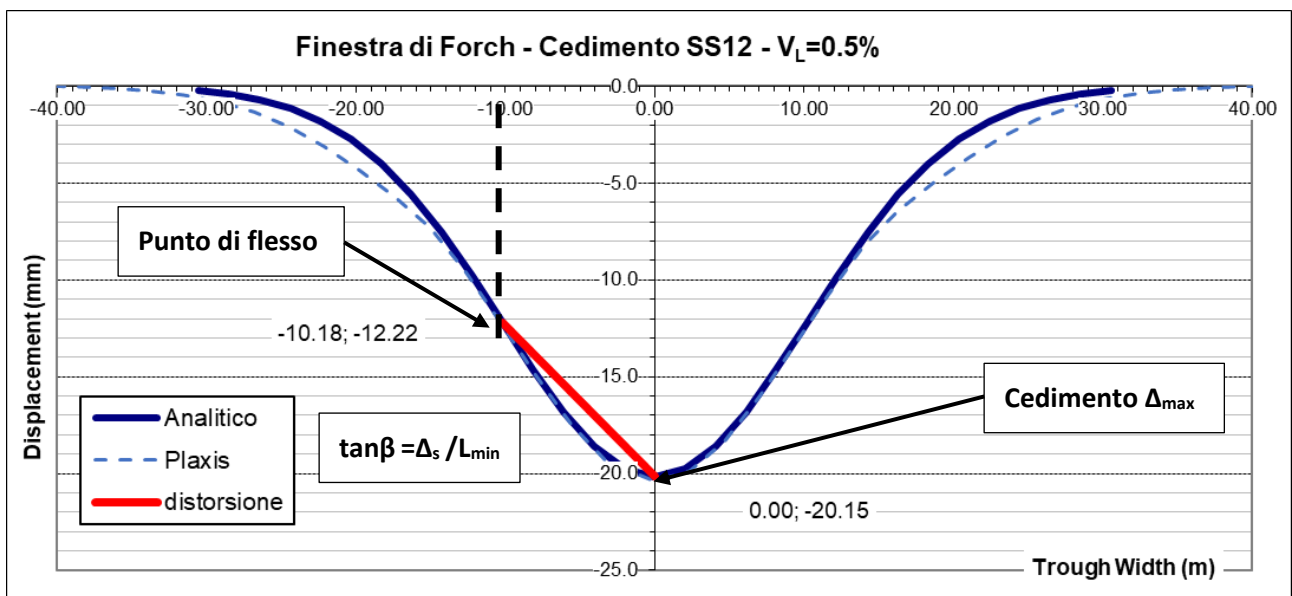


Tabella 6—1: definizione geometrica della distorsione angolare

Utilizzando un valore K pari a 0.44-0.5 si ottengono i seguenti valori di distorsione angolare per la sezione di analisi della SS12 con copertura pari a 15 metri.

	Limite avviso	Limite allerta	Limite di allarme	Output Plaxis $V_L = 0.1\%$	Output Plaxis $V_L = 0.5\%$	Output Plaxis $V_L = 1.0\%$
<b>Distorsione angolare</b> $\Delta_s / L_{\min}$	1.25 ‰ 1:800	1.67 ‰ 1:600	2.50 ‰ 1:400	0.39 ‰	0.78 ‰	1.53 ‰
<b>Cedimento <math>\Delta_{\max}</math></b>	32 mm	43 mm	65 mm	8 mm	20 mm	40 mm
<b>Cedimento <math>\Delta_s</math></b>	13 mm	17 mm	25 mm	3.5 mm	8 mm	16 mm
<b>Larghezza <math>L_{\min}</math></b>	10 m	10 m	10 m	9 m	10 m	10 m

Tabella 6—2: Limiti distorsioni angolari e relativi cedimenti – sezione SS12

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e monitoraggio SS12	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GA0300001	REV. C	FOGLIO. 22 di 61

In tutti i casi analizzati le distorsioni angolari risultano essere compatibili con i limiti definiti in fase di Progetto Esecutivo, non essendo stati riscontrati limiti imposti in Progetto Definitivo per il sottoattraversamento della Strada Statale 12 con la Finestra di Forch .

Le analisi svolte garantiscono una distorsione angolare inferiore ai limiti qui definiti ( $\beta < 2.50\text{‰}$ ) anche per lo scenario pessimistico di scavo con Volume Loss pari a 1.0 % .

Per calibrare al meglio i parametri di avanzamento della macchina, sarà importante procedere ad uno scavo fortemente controllato in questi primi 50 metri di scavo, in modo da riflettere in diretta i primi dati del monitoraggio sulla conduzione dello scavo stesso e contenere di conseguenza i cedimenti.

#### 6.4 SOGLIE DI DEFORMAZIONE INCLINOMETRICA

Nella relazione di calcolo relativa alla fase provvisoria delle opere di imbocco IBOU1AEZZCLGA0300001B il pendio risulta assolutamente stabile, considerando una sezione bidimensionale semplificata e assumendo una coesione nulla.

Inoltre, va considerata la forma geometrica tridimensionale dell'imbocco che aumenta ulteriormente la stabilità della scarpata.

A seguito di queste considerazioni le deformazioni attese dalle letture inclinometriche dovrebbero essere pressoché nulle; pertanto, un qualsiasi movimento oltre la soglia di tolleranza dello strumento dovrebbe essere considerato allarmante.

Limite	Soglie	Azioni al superamento delle soglie
Limite di avviso	5 mm 1 mm/giorno	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Verifica visiva sul posto</li> <li>▪ Segnalazione alla DL</li> <li>▪ Valutazione svolgimento attività eseguite</li> </ul>
Limite di allerta	10 mm 2.5 mm/giorno	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Verifica delle misurazioni</li> <li>▪ Indagine visiva sul posto</li> <li>▪ Segnalazione alla DL</li> <li>▪ Predisposizione delle contromisure</li> </ul>
Limite di allarme	20 mm 5 mm/giorno	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Appesantimento al piede della scarpata con ritombamento parziale del portale di imbocco (vedi figura seguente)</li> </ul>

Tabella 6—3: Monitoraggio statale SS12, valori di avviso, di allerta e di allarme inclinometri.

In caso di superamento del limite di allarme si potrà procedere con un ritombamento parziale della zona di imbocco come indicato nella planimetria seguente. Questa contromisura permette di appesantire il piede della scarpata e ridurre di conseguenza il rischio residuo (rischio basso) legato a fenomeni di instabilità della scarpata. Tale contromisura sarebbe semplicemente un anticipo della fase di sistemazione definitiva già prevista per il progetto.

APPALTATORE: 	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e monitoraggio SS12	COMMESSA <b>IBOU</b>	LOTTO <b>1BEZZ</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>GA0300001</b>	REV. <b>C</b>	FOGLIO. <b>23 di 61</b>

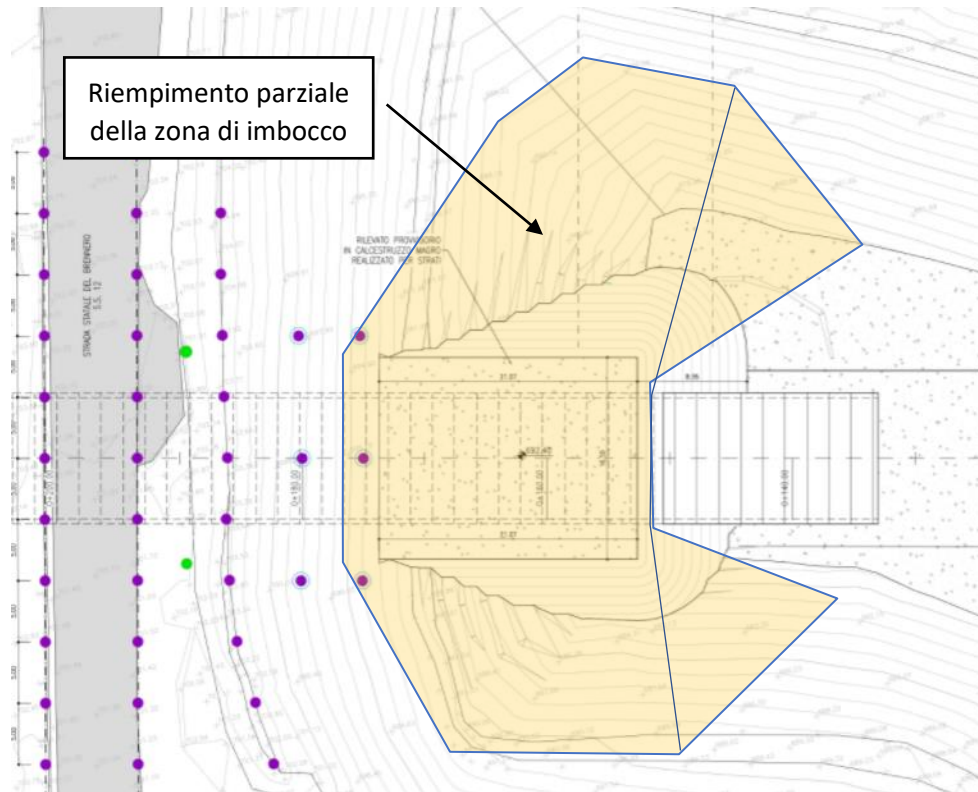


Figura 6-3: ritombamento parziale della zona di imbocco



APPALTATORE: 	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e monitoraggio SS12	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GA0300001	REV. C	FOGLIO. 24 di 61

## 7. 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):

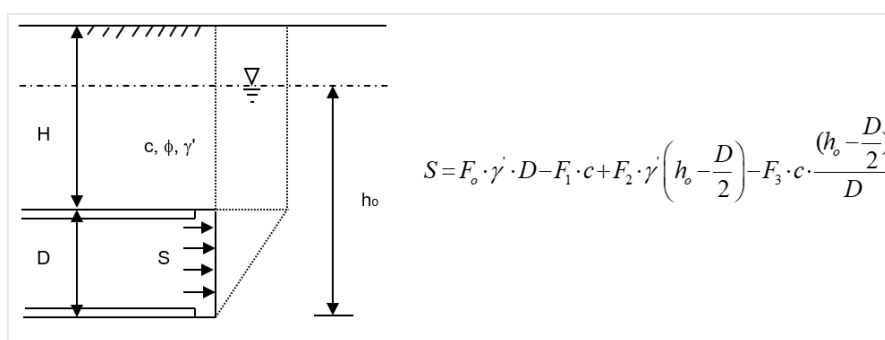


Figura 7-1: Stabilità del fronte secondo il metodo Anagnostou e Kovari

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  $\phi'$ , 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:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e monitoraggio SS12	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GA0300001	REV. C	FOGLIO. 25 di 61

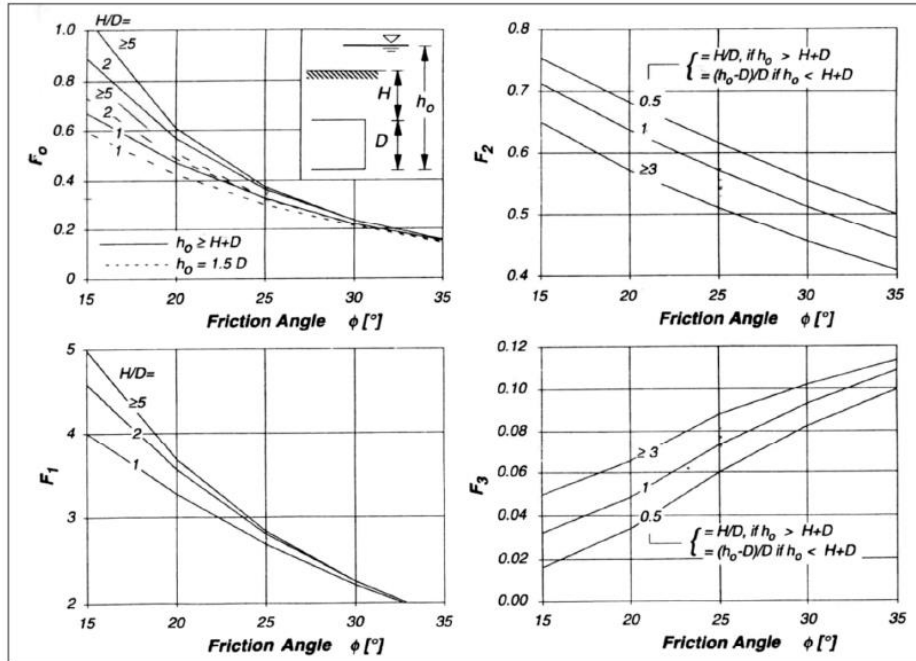


Figura 7-2: Abachi per la definizione dei coefficienti adimensionali

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:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e monitoraggio SS12	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GA0300001	REV. C	FOGLIO. 26 di 61

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 7-3. Questo valore viene impostato come il limite inferiore di pressione.

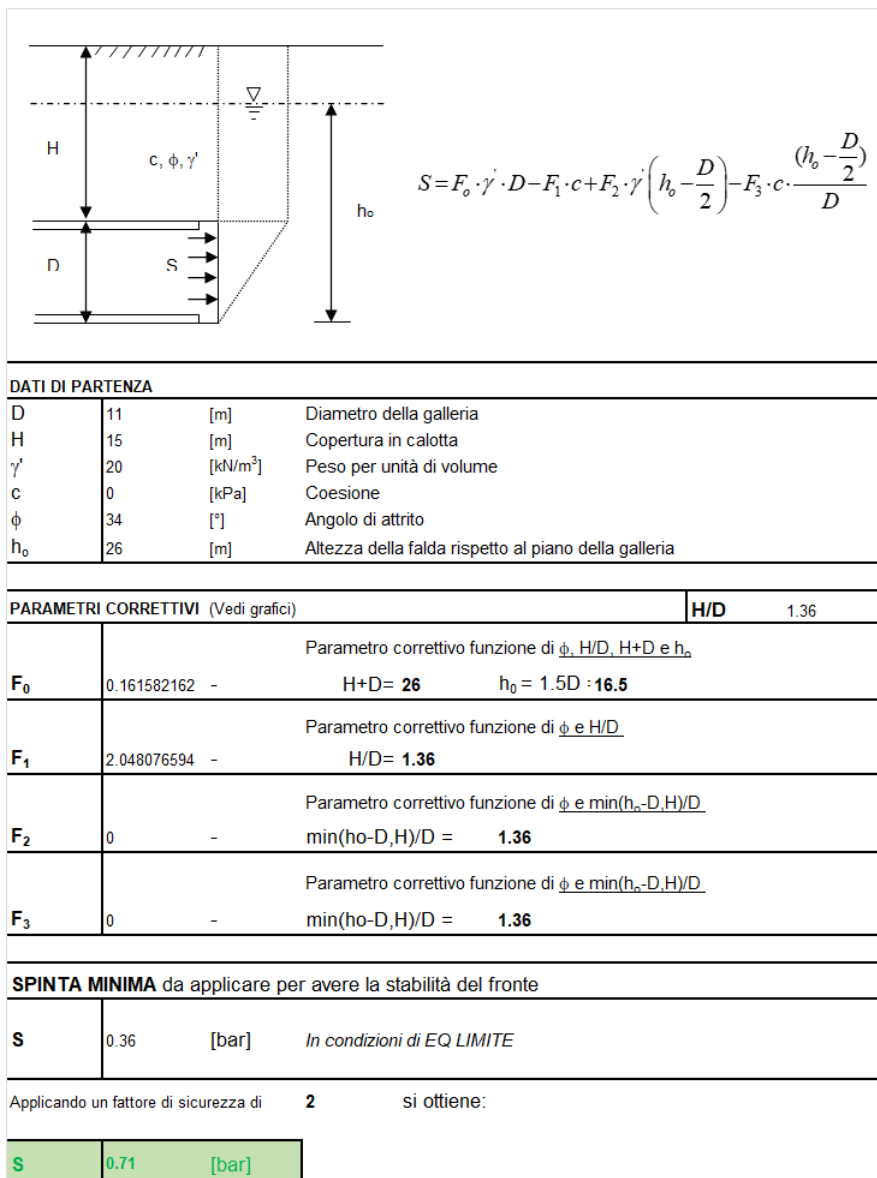


Figura 7-3: Stabilità del fronte

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e monitoraggio SS12	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GA0300001	REV. C	FOGLIO. 27 di 61

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

$\gamma_{\text{min}}$  = è il peso minimo specifico del terreno

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

Rispetto ai valori limite sopra calcolati, le raccomandazioni DAUB [4] 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.

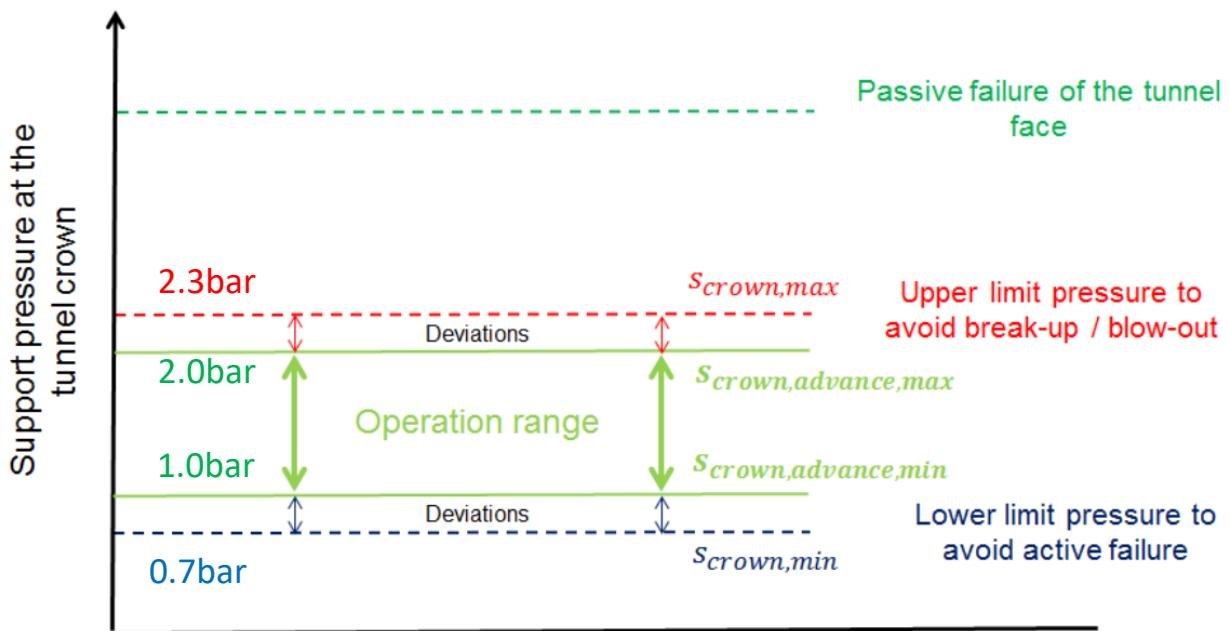
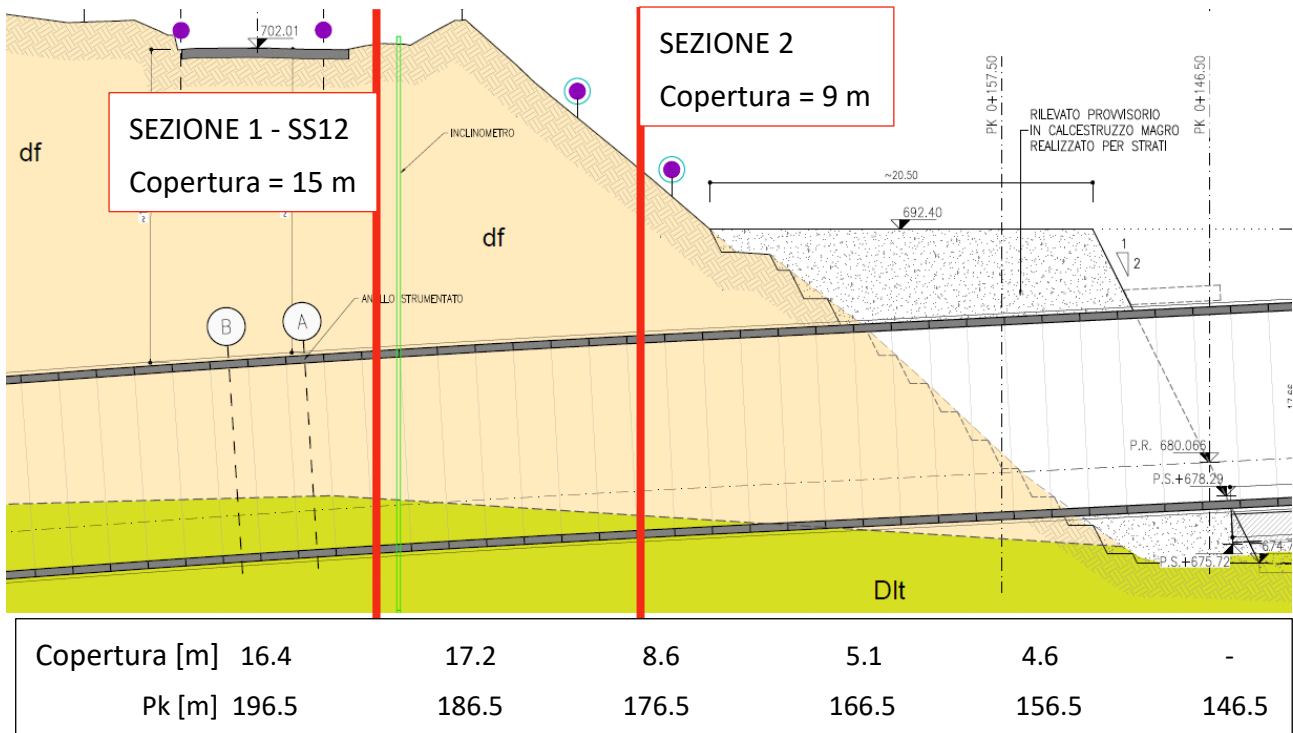


Figura 7-4: sezione 1 - pressioni di lavoro ammissibili in calotta per una macchina EPB (DAUB)

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:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e monitoraggio SS12	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GA0300001	REV. C	FOGLIO. 28 di 61



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-up).

Copertura →	Sezione 1 - 15 m	Sezione 2 - 9.0 m
<b>ALLARME P. MAX</b>	2.3 bar	1.4 bar
<b>ATTENZIONE P. MAX</b>	2.0 bar	1.1 bar
<b>PRESSIONE DI LAVORO EPB</b>	1.5 bar	0.9 bar
<b>ATTENZIONE P. MIN</b>	1.0 bar	0.8 bar
<b>ALLARME P. MIN</b>	0.7 bar	0.5 bar

Tabella 7—1: Limiti distorsioni angolari e relativi cedimenti – sezione A

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.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
<b>08 - GALLERIE</b>		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione tecnica e monitoraggio SS12		IB0U	1BEZZ	RH	GA0300001	C	29 di 61

## 7.1 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+146 : inizio dello scavo del rilevato in calcestruzzo magro a camera vuota
  - o Riempimento manuale della camera di scavo mediante materiale condizionato per garantire immediatamente una pressione al fronte durante la partenza degli scavi
- Pk 0+156 : inizio dello scavo in suolo con fronte misto
  - o Osservazione visiva costante dell'imbocco e del contatto tra il rilevato in calcestruzzo magro e la parete di scavo al fine di rilevare istantaneamente eventuali anomalie
  - o Inizio pressurizzazione del gap scudo-roccia mediante gelatina bentonitica
  - o Inizio pressurizzazione del gap concio-roccia mediante bicomponente
- Pk 0+166 : inizio pressurizzazione della camera di scavo con un valore massimo di 0.5 bar
  - o Osservazione visiva costante dell'imbocco e del contatto tra il rilevato in calcestruzzo magro e la parete di scavo al fine di rilevare istantaneamente eventuali anomalie
  - o Aumento pressurizzazione del gap scudo-roccia mediante gelatina bentonitica
  - o aumento pressurizzazione del gap concio-roccia mediante bicomponente
- Pk 0+176 : mantenimento della pressione del fronte ad un valore minimo di 0.9 bar
  - o Valutazione dei cedimenti indotti e sopralluogo in superficie per valutare eventuali anomalie
  - o Progressivo aumento di pressione per l'avanzamento sotto il rilevato della SS12
- Pk 0+186 : 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+196 : 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

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e monitoraggio SS12	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GA0300001	REV. C	FOGLIO. 30 di 61

## 8. TECNOLOGIA DIGITAL URBAN TUNNEL

Per lo studio della valutazione dei cedimenti in accoppiamento alla variabilità della pressione al fronte si è utilizzato il tool Digital Urban Tunnel sviluppato da Systra-SWS.

### 8.1 VALUTAZIONE DELL'EFFETTO DELLE PRESSIONI DI AVANZAMENTO

L'avanzamento dello scavo con metodo meccanizzato risulta utilizzato in ambito urbano in quanto mostra i seguenti vantaggi:

- Velocità di scavo superiori rispetto ai metodi convenzionali, con vantaggi in merito al minore allentamento dei terreni in scavo;
- Immediato e continuo supporto allo scavo: lo scavo viene supportato nella porzione iniziale dalla presenza dello scudo (limite fisico della convergenza) e dalla contropressione al fronte ed al contorno della macchina di scavo, mentre dietro la macchina avviene l'installazione dell'anello di rivestimento connesso al terreno mediante una malta bicomponente (backfill) iniettata a pressione superiore rispetto a quella del fronte pressione, in modo da creare anche un effetto arco in direzione longitudinale nel caso di riduzione delle pressioni lungo lo scudo;
- Immediata chiusura del sostegno allo scavo: le convergenze ed il conseguente volume perso sono ridotte in quanto il rivestimento è costituito da un anello completo, e nella zona della TBM le pressioni permettono di mantenere contenute le convergenze.

Da un punto di vista teorico, la condizione di assenza di effetti indotti prevederebbe un avanzamento con le seguenti caratteristiche:

- pressioni al fronte uguali allo stato tensionale orizzontale al fronte, in modo tale da permettere un'estrusione nulla al fronte di scavo, in modo da portare la pre-convergenza a valore nullo. Valori inferiori determinano un'estrusione del fronte, con effetti di subsidenza indotti in superficie e valori superiori indurrebbero una spinta che determinerebbe l'innalzamento del terreno in superficie. La pressione al fronte dovrà rimanere entro un limite inferiore che garantisca la stabilità dello scavo ed un limite superiore che non determini la rottura per spinta eccessiva al fronte.
- pressioni al contorno dello scavo che contrastino la condizione tensionale esistente al contorno dello scavo;
- installazione di un rivestimento rigido non deformabile al diretto contatto con il terreno.

Tali condizioni sono di difficile attuazione, in quanto:

- esistono limiti della macchina in termini di pressioni massime raggiungibili, sia meccanici che di gestione dello smarino e stabilità del materiale in camera di scavo;
- è possibile che lungo lo scudo le pressioni non si mantengano omogenee e costanti; inoltre la densità del fluido è diversa da quella del terreno, con conseguente differente gradiente verticale, ed inoltre il coefficiente di spinta riposo non è detto che sia unitario e costante;
- la presenza di sovrascavi dovuti a curve ed altre condizioni non dipendenti dall'operatore



APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
Mandatario:	Mandanti:					<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST	M Ingegneria		
<b>08 - GALLERIE</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione tecnica e monitoraggio SS12	IB0U	1BEZZ	RH	GA0300001	C	31 di 61

- l'installazione del rivestimento avviene all'interno della TBM, con una dimensione inferiore a quella dello scavo e l'appoggio, in confinamento ed il collegamento con il terreno avviene mediante una malta bicomponente a indurimento rapido (setting time dell'ordine di secondi) iniettata a pressioni elevate e superiori a quelle del fronte di scavo.

tuttavia la gestione delle pressioni è (insieme con il rispetto dei protocolli di avanzamento e l'esperienza nell'utilizzo della TBM) fondamentale nell'ambito degli effetti indotti dallo scavo: maggiore sarà la vicinanza dalle condizioni teoriche indisturbate e minore saranno gli effetti indotti.

La letteratura mostra che l'entità dei volumi persi indotta da scavi meccanizzati risulti per lo più definire scenari di volume perso variabili fra 0.2% e 1.0% (Della Valle et Al., 2012), in cui la gestione dell'avanzamento con riferimento alle pressioni di scavo costituisce un aspetto fondamentale.

Le valutazioni tradizionali fanno riferimento a scenari di comportamento allo scavo con valori di volume perso ( $V_p$ ) assegnati, ovvero come dati di ingresso per la valutazione. Il capitolo riporta le valutazioni condotte ricavando il volume perso in funzione delle pressioni di avanzamento della macchina di scavo e delle sue caratteristiche, in associazione con le proprietà dei materiali, profondità di scavo cc

Sulla base dei procedimenti descritti, saranno individuate quindi le modalità di avanzamento per mantenere gli edifici entro le classi di danneggiamento ammissibili (0, 1 e 2)

## 8.2 MODELLO AVANZATO DI CALCOLO DEI CEDIMENTI ("DIGITAL PROJECT")

### 8.2.1 Calcolo del volume perso secondo Loganathan (2011)

Il calcolo del volume perso proposto da Loganathan e Poulos (1998) tiene conto delle condizioni reali di scavo, ossia la tecnologia impiegata e le fasi di scavo. La soluzione è stata verificata utilizzando casi storici, risultati di prove con centrifuga, e confronto con modellazioni EF con FLAC3D.

Il volume perso è definito come il volume di materiale che è stato scavato in eccesso rispetto al volume teorico di scavo.

La perdita di volume stimato suppone un movimento uniforme del terreno (perdita di volume media) ed è indicata con  $V_p[\%]$ . Nella realtà, il movimento del terreno attorno allo scavo (in sezione) non è uniforme a causa del vuoto di forma ovale causato dalla gravità. La figura mostra i profili di movimento uniforme ed a forma ovale.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e monitoraggio SS12	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GA0300001	REV. C	FOGLIO. 32 di 61

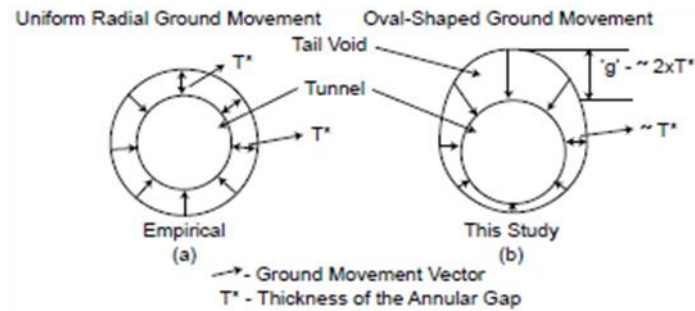


Figura 8-1 gap radiale ideale uniforme e ovale

Il volume perso non drenato medio equivalente ( $V_p$ ), in seguito indicato con  $\varepsilon_0$ , è definito come segue:

$$\varepsilon_0 = V_L = \frac{\pi R^2 - \pi \left(R - \frac{g}{2}\right)^2}{\pi R^2} \times 100\% = \frac{g}{R} - \frac{g^2}{4R^2} \times 100\%$$

dove:

- $R$  è il raggio di scavo;
- $g$  è il gap anulare

Loganathan e Poulos (1998) introducono il vuoto di forma ovale come risultato della somma di tre contributi di perdita di volume:

- Perdita di volume al fronte  $V_f$  (Face Loss);
- Perdita di volume allo scudo  $V_s$  (Shield Loss);
- Perdita di volume di coda  $V_t$  (Tail Loss).

In questa analisi, la perdita di volume di coda è distinta in:

- Perdita di volume dovuta alla pressione di iniezione  $V_b$  (Backfill Loss);
- Perdita di volume dovuta al ritiro della malta iniettata  $V_v$  (Void Loss).

Questa distinzione si è resa necessaria per distinguere i possibili scenari di distribuzione dei cedimenti, come mostrati nella figura seguente. La perdita di volume totale è quindi

$$V_{Lmax} = V_L(g_f) + \max(V_L(g_s), V_L(g_b) + V_L(g_v))$$

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e monitoraggio SS12	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GA0300001	REV. C	FOGLIO. 33 di 61

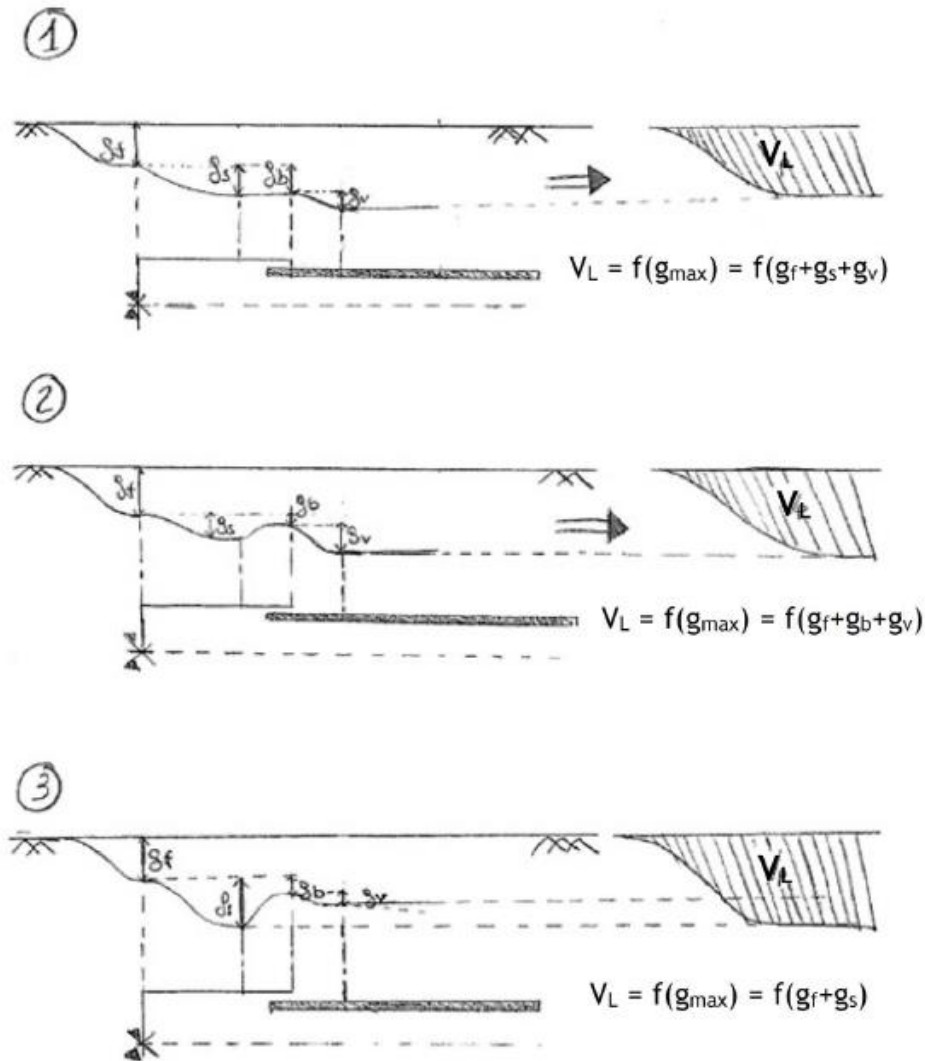


Figura 8-2 Possibili configurazioni di cedimento lungo il profilo della TBM

### 8.2.2 Perdita di volume al fronte $V_f$

La perdita di volume al fronte è influenzata dal sovrascavo causato dalla testa della fresa. Lee et al. (1992) presentano un metodo per valutare il gap radiale equivalente (movimento radiale del terreno verso le pareti) causato dal movimento longitudinale del terreno verso il fronte.

$$g_f = \frac{k \Omega R P_0}{2 E}$$

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e monitoraggio SS12	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GA0300001	REV. C	FOGLIO. 34 di 61

dove:

- R è il raggio di scavo;
- E è il modulo elastico all'asse del tunnel (in genere il modulo non drenato Eu);
- k è il coefficiente di attrito terreno-scudo TBM descritto da Peck (1969);
- $\Omega$  è lo spostamento assiale adimensionale a monte del fronte di scavo;
- $P_0$  è la pressione totale al fronte;

Peck (1969) ha riportato che le forze d'attrito tra lo scudo ed il terreno circostante, causate dall'azione di spinta della TBM, possono sviluppare tensioni di trazione longitudinali che portano a collassi locali e materiale aggiuntivo nel fronte e nel vuoto anulare alla coda. Lee et al. (1992) hanno condotto una serie di modellazioni agli EF stabilire il fattore di attrito:

$$k = \begin{cases} 0.7 & \text{per terreni consistenti } (q_u > 100 \text{ kPa o } N_{SPT} > 10) \\ 0.9 & \text{per terreni soffici } (25 \leq q_u \leq 100 \text{ kPa o } 3 \leq N_{SPT} \leq 10) \\ 1.0 & \text{per terreni molto soffici } (q_u < 25 \text{ kPa o } N_{SPT} < 3) \end{cases}$$

dove:

- $N_{SPT}$  è il numero di colpi prova SPT a raggiungere 300mm di penetrazione;
- $q_u$  è la resistenza a compressione non confinata;

Lo spostamento adimensionale  $\Omega$  è calcolato secondo Lee et al. (1992):

$$\Omega = \begin{cases} 1.12 & \text{per } N_R < 3 \\ 0.63 & \text{per } 3 < N_R < 5 \\ 1.07 & \text{per } N_R > 5 \end{cases}$$

dove:

- $N_R = \frac{\gamma H - P_i}{C_u}$  è il coefficiente di stabilità;
- $P_i$  è la pressione al fronte di scavo (EPB);
- $C_u$  è la resistenza a taglio non drenata all'asse del tunnel.

La pressione totale al fronte  $P_0$  è calcolata come:

$$P_0 = k_0 * P'_v + P_w - P_i$$

dove:

- $k_0$  è il coefficiente di spinta a riposo;

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e monitoraggio SS12	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GA0300001	REV. C	FOGLIO. 35 di 61

- $P'_y$  è la pressione efficace all'asse dello scavo;
- $P_w$  è la pressione dell'acqua

### 8.2.3 Perdita di volume allo scudo $V_s$

Il vuoto creato dal sovrascavo della testa della fresa e dalla forma conica dello scudo è pieno di bentonite o d'acqua quando la TBM è in pressione. Nel terreno stabile invece, la TBM viene azionata senza pressione di confinamento. Per valutare la condizione peggiore dei casi, tuttavia, si presume che il gap allo scudo non è sostenuto finché non viene assemblato il rivestimento e riempito il vuoto a tergo.

Si suppone che la pressione del fluido che equivale alla pressione di confinamento al fronte della TBM ( $P_i$ ) agisce sullo scudo a causa della sua conicità. Per cui si dovrà valutare un valore adeguato di  $P_i$  da utilizzare nello scavo con TBM-EPB.

L'ipotesi è che la perdita di volume si verifica a causa del movimento radiale del terreno per riempire il vuoto creato dal sovra-scavo della testa e dallo scudo troncoconico. Diversamente dagli scavi con l'uso di fanghi bentonitici dove l'interspazio è per metà riempito di fango (Bezuijen & Bakker, 2007), con la fresa EPB l'acqua della camera di scavo riempie tutto il vuoto attorno lo scudo. Tuttavia, nella condizione sfavorevole, si assume che la convergenza si verifichi a metà della lunghezza dello scudo.

Il gap radiale equivalente allo scudo si valuta come segue:

$$g_s = \min\{0.5(t_b + t_t), U_s\}$$

dove:

- $U_i$  è la convergenza del foro dalla testa al punto di riferimento dello scudo;
- $t_b$  è lo spessore del sovra taglio alla testa della fresa;
- $t_t$  è differenza di raggio dello scudo tra testa e coda;

In questa analisi  $U_i$  è valutata sulla base della curva convergenza-confinamento (Panet-Corbetta) applicando una riduzione della pressione al fronte di 50 kPa.

La perdita di volume lungo allo scudo è considerata solo per la zona del foro compresa tra gli angoli  $[-(\pi-\phi / 2); \pi-\phi / 2]$ , ed è quindi calcolata come segue:

$$V_s = \frac{\int_0^{\pi-\phi/2} R^2 d\theta - \int_0^{\pi-\phi/2} [(R - g(\theta)_s/2)^2] d\theta}{\int_0^{\pi-\phi/2} R^2 d\theta} \times 100\%$$

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e monitoraggio SS12	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GA0300001	REV. C	FOGLIO. 36 di 61

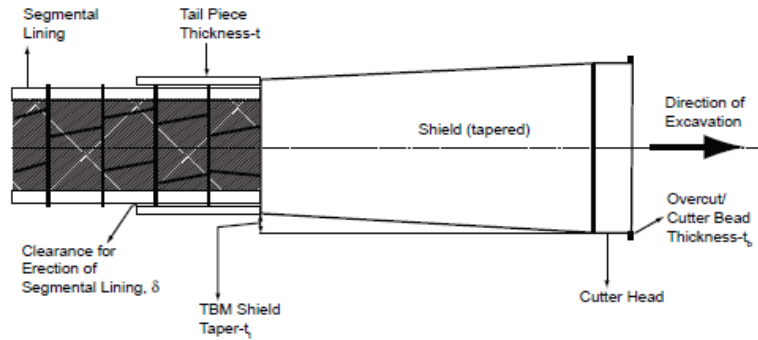


Figura 8-3 Geometria di una TBM EPB

#### 8.2.4 Perdita di volume di coda per iniezione $V_b$

Lo spazio tra il rivestimento a conchi e lo scudo di coda ("tail-skin"), a causa dello spessore dello stesso ( $t$ ) e dello spazio necessario al fissaggio dei conchi ( $\Delta$ ), viene immediatamente riempito con malta sigillante per ridurre al minimo la perdita di volume. L'iniezione della malta avviene a pressioni superiori rispetto a quella applicata al fronte dello scavo.

Il gap radiale equivalente dovuto all'iniezione è

$$g_b = U_b$$

Dove

$U_b$  è la convergenza del foro dalla testa alla coda dello scudo.

In questa analisi  $U_b$  è valutata sulla curva convergenza-confinamento (Panet-Corbetta) applicando una pressione equivalente alla pressione al fronte maggiorata di 50kPa.

#### 8.2.5 Perdita di volume di coda per ritiro $V_v$

Dopo l'installazione dei conchi dell'anello e dell'iniezione, avviene un restringimento temporaneo dovuto all'idratazione del calcestruzzo. Il valore del gap radiale finale è una percentuale del vuoto anulare riempito dall'iniezione; lo spessore di questo vuoto dipende dallo spazio geometrico libero (differenza tra diametro di scavo e diametro estradosso dell'anello) e dalle convergenze sviluppate ( $g_s$  o  $g_b$ ). Si può quindi esprimere il gap radiale dovuto al ritiro dell'iniezione come con la seguente formula:

$$g_v = \delta * (t + \Delta + t_b + t_t - g_s)$$

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e monitoraggio SS12	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GA0300001	REV. C	FOGLIO. 37 di 61

Dove:

- $\delta$  è la percentuale di ritiro della malta.

Lagerblad et al. (2010) hanno riportato che si verifica una perdita di volume (ritiro) di circa 7% - 8% per la malta cementizia con un rapporto acqua / cemento pari a 0,4. Analogamente Ingles (1972) riporta per prove di laboratorio effettuate su miscela "cemento-terra" una riduzione di circa il 7% -10% dello spessore nei campioni di miscela. Pertanto, se la malta è usata per riempire lo spazio vuoto, il valore del gap finale della perdita di volume vuoto anulare si presume essere circa il 7% -10% del gap totale della fessura anulare. Considerando i possibili vuoti nella malta a causa di difetti, si presume che un restringimento di circa il 10% si verifica durante le operazioni di scavo.

Il limite superiore della percentuale è stabilito per compensare eventuali perdite di volume dovute all'incompleto riempimento delle fughe o per presenza di ghiaia.

Nel caso in esame l'iniezione avviene in condizioni confinate a pressioni elevate ( $p_{backfill}=p_{fronte}+50$  kPa), praticamente in continuo durante l'avanzamento della TBM, così che i limiti reali possano essere definiti molto inferiori rispetto a quelli di laboratorio (per le opere connesse a Gran Paris è stato utilizzato un valore pari a 1%, che viene assunto come rappresentativo anche per il caso in esame).

### 8.2.6 Calcolo dei movimenti del terreno e la superficie di subsidenza

Sulla base del vuoto di forma ovale attorno al tunnel, si stima che il 75% del movimento verticale del terreno si verifica in calotta. La figura mostra l'area d'influenza del movimento verticale terreno dove avvengono i maggiori cedimenti.

In terreni sabbiosi, l'angolo limite,  $\beta$ , è definito come  $(45^\circ + \phi'/2)$ , dove  $\phi'$  è l'angolo di resistenza al taglio della sabbia. Per argille  $\beta$  può essere assunto pari a  $45^\circ$  sulla base delle osservazioni fatte da Cording e Hansmire (1975). In altre parole, si assume che il moto del suolo si verifica soprattutto nella zona  $(45^\circ + \phi'/2)$  Angolo tra la superficie del terreno ed il foro. Si stima che l'ampiezza del movimento orizzontale all'asse della galleria è circa la metà del movimento verticale al tetto (che provoca il 75% del movimento del volume nello spazio anulare superiore dello spazio ovale attorno al tunnel).



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 monitoraggio SS12	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	RH	GA0300001	C	38 di 61

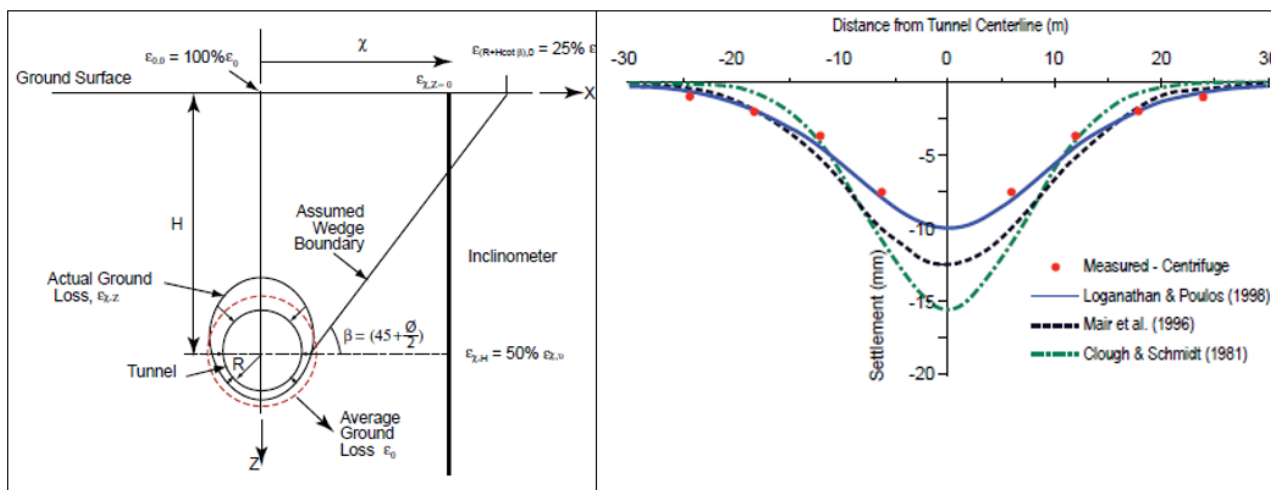


Figura 8-4 Perdite di volume e cedimenti in superficie

La soluzione analitica proposta da Loganathan & Poulos (1998):

$$U_{z=0} = \varepsilon_0 R^2 \cdot \frac{4H(1-\nu)}{H^2 + x^2} \cdot \exp\left\{\frac{-1.38x^2}{(H \cot \beta + R)^2}\right\}$$

$$U_z = \varepsilon_0 R^2 \cdot \left(\frac{-z-H}{x^2 + (z-H)^2} + (3-4\nu) \frac{z+H}{x^2 + (z+H)^2} - \frac{2z[x^2 - (z+H)^2]}{[x^2 + (z+H)^2]^2}\right) \cdot \exp\left\{-\left[\frac{1.38x^2}{(H \cot \beta + R)^2} + \frac{0.69z^2}{H^2}\right]\right\}$$

$$U_x = -\varepsilon_0 R^2 x \cdot \left[\frac{1}{x^2 + (H-z)^2} + \frac{3-4\nu}{x^2 + (H+z)^2} - \frac{4z(z+H)}{(x^2 + (H+z)^2)^2}\right] \cdot \exp\left\{-\left[\frac{1.38x^2}{(H \cot \beta + R)^2} + \frac{0.69z^2}{H^2}\right]\right\}$$

dove:

- $U_{z=0}$  è il cedimento in superficie;
- $U_z$  è il cedimento a profondità  $z$ ;
- $U_x$  è lo spostamento orizzontale del terreno a profondità  $z$ .
- $R$  è il raggio del tunnel;
- $z$  è la profondità dal P.C.
- $H$  è la profondità dell'asse di scavo dal P.C.;
- $\nu$  è il coefficiente di Poisson.
- $\varepsilon_0$  è la perdita media di volume.
- $x$  è la distanza orizzontale dall'asse di scavo.
- $\beta$  è l'angolo limite sopra descritto.

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
Mandatario:	Mandanti:					<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST	M Ingegneria		
<b>08 - GALLERIE</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione tecnica e monitoraggio SS12	IB0U	1BEZZ	RH	GA0300001	C	39 di 61

Il punto di flesso (i) è il parametro che rappresenta superficie di subsidenza, ottenuto da metodi empirici (Loganathan & Poulos, 1998):

$$\frac{i}{R} = \frac{1.15}{(\tan\beta)^{0.35}} \left( \frac{H}{2R} \right)^{\frac{0.9}{(\tan\beta)^{0.23}}}$$

### 8.2.7 Effetti transitori – profilo longitudinale dei cedimenti

Per valutare gli effetti transitori dei cedimenti indotti dallo scavo, specialmente nel caso di infrastrutture lineari lunghe, è stata adottata una soluzione derivata dal modello proposto da Attewell & Goodman (1982).

Gli autori hanno ricavato un'equazione tridimensionale per la valutazione dei cedimenti che permette di calcolare il cedimento di un punto ad una data distanza dal fronte di scavo.

Tale equazione è stata riadattata per ricavare un coefficiente di riduzione longitudinale M che viene applicato al cedimento finale calcolato con Loganathan & Poulos (1998):

$$M = \left\{ G \left[ \frac{y - y_i}{i} \right] - G \left[ \frac{y - y_f}{i} \right] \right\}$$

Dove:

$$G(\alpha) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\alpha} e^{-\frac{\alpha^2}{2}} d\alpha$$

$$\alpha = \frac{y - y_i}{i}$$

- i è la distanza tra il punto di flesso della curva e l'asse della galleria;
- y è la posizione longitudinale del punto calcolato;
- y<sub>i</sub> è la posizione iniziale dello scavo;
- y<sub>f</sub> è la posizione finale dello scavo;
- G(α) è una funzione di distribuzione normale cumulata

Ne deriva che

- G(0) = 0.5 a fronte scavo (y = y<sub>i</sub>)
- G(1) = 1.0 per (y - y<sub>i</sub>) → ∞

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
Mandatario:	Mandanti:	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	IBOU	1BEZZ	RH	GA0300001	C	40 di 61
<b>08 - GALLERIE</b>							
Relazione tecnica e monitoraggio SS12							

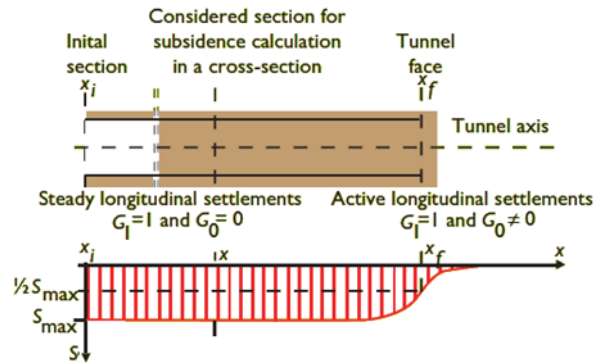


Figura 8-5 Profilo dei cedimenti longitudinali allo scavo; in questo diagramma la  $x$  denota l'asse longitudinale.

### 8.3 CALCOLO DEI LIMITI DI PRESSIONE AL FRONTE

Si calcola il fuso delle pressioni di confinamento entro il quale è garantita la stabilità del fronte sia per il cinematiso di crollo che per quello di sollevamento.

#### 8.3.1 Limite inferiore di pressione

Il limite inferiore della pressione della fresa è dato dal valore massimo tra la pressione necessaria per la stabilizzazione del fronte e la pressione necessaria per contrastare la pressione idraulica.

Il metodo adottato per l'analisi della stabilità del fronte è quello Broere (2001), tale metodo ipotizza uno scavo a sezione circolare ed un terreno stratificato.

Questo metodo permette di valutare la stabilità del fronte attraverso la stima di un fattore di sicurezza calcolato col metodo dell'equilibrio limite sui prismi di terreno mobilitati.

I fattori di sicurezza riduttivi usati su parametri geo meccanici sono:  $\eta_c = 1$ ,  $\eta_{cu} = 1$ ,  $\eta_\phi = 1$ , in accordo alle raccomandazioni DAUB.

Inoltre, per calcolare la forza di sostegno totale, si utilizzano due coefficienti distinti per il contributo dovuto alla spinta dell'acqua  $\eta_w = 1,1$  e la spinta del terreno  $\eta_E = 1.5$

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e monitoraggio SS12	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GA0300001	REV. C	FOGLIO. 41 di 61

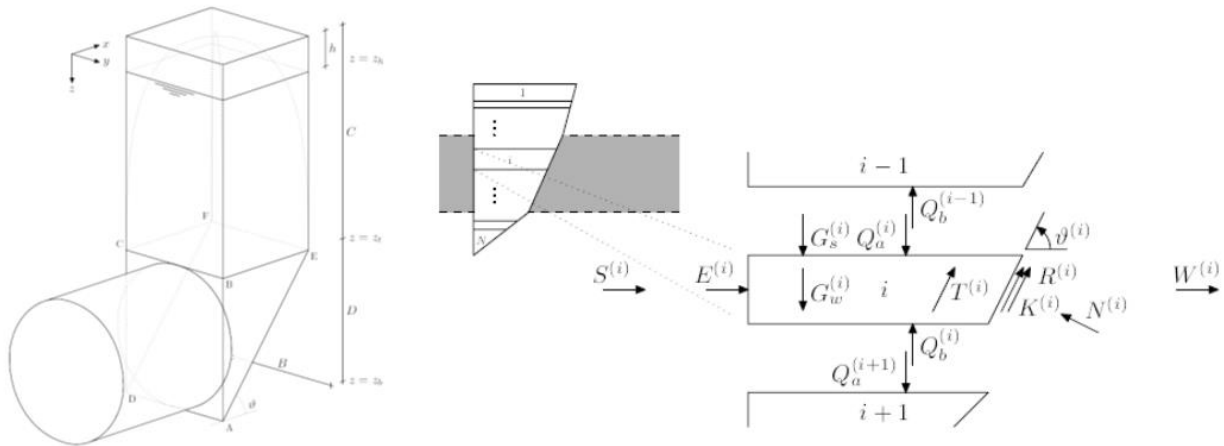


Figura 8-6 modello del cuneo stratificato.

Forza totale di sostegno:

$$S = \eta_E E + \eta_W W$$

Che tradotta in fattore di sicurezza diviene:

$$\eta = \frac{S}{\eta_E E + \eta_W W}$$

Il prisma di terreno mobilitato in corrispondenza del fronte è diviso in strati con caratteristiche omogenee sulla base delle informazioni sulla stratigrafia; questi sono a loro volta suddivisi in strati di spessore predefinito che può variare da 50 centimetri (per ulteriori analisi) alla dimensione del diametro di scavo (per analisi veloci).

Le sollecitazioni verticali che agiscono sul prisma sono state ridotte per l'effetto arco della teoria di Terzaghi, mentre l'angolo del prisma,  $\theta$ , è differenziato per ogni strato geologico per massimizzare la forza di stabilizzazione necessaria.

Il metodo considera la presenza della falda e, in caso di terreno stabile, esso richiede una pressione minima uguale alla pressione idrostatica dell'acqua.

Un fattore di 30 kPa è stato aggiunto in considerazione della tolleranza della TBM.

### 8.3.2 Limite superiore di pressione

Per evitare l'instabilità per sollevamento del terreno, la pressione di confinamento  $p_{max}$  è limitata allo sforzo verticale totale in situ  $\sigma$  (v, c).

Tenendo conto del margine di errore / precisione indicato nella domanda di contenimento, questo valore limite viene quindi ridotto tramite un coefficiente di sicurezza di 0.9 per raggiungere il limite operativo.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
<b>08 - GALLERIE</b>		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione tecnica e monitoraggio SS12		IBOU	1BEZZ	RH	GA0300001	C	42 di 61

Infine, tale valore viene ricalcolato all'asse considerando una densità del fango nella camera di scavo di  $\gamma_{muck} = 14 \text{ kN / m}^3$ .

$$p_{max} = \sigma_{v,c} * 0.9 + \gamma_{muck} * R$$

Un ulteriore fattore di riduzione di 30 kPa è stato applicato per tenere conto della tolleranza della TBM.

## 8.4 CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI

Le formule di stabilità al fronte, la perdita di volume e la stima dei cedimenti si basano sui parametri geotecnici delle formazioni geologiche presenti in sito. In presenza di terreni stratificati sono stati stimati dei parametri medi equivalenti per essere utilizzati nei modelli che ipotizzano l'uniformità dei terreni.

Nei modelli di calcolo sviluppati ci sono due serie di parametri da mediare:

- Una serie rappresentativa delle proprietà meccaniche dei terreni di copertura (ad es. angolo di resistenza a taglio necessario per le equazioni di Lagathan & Paulos);
- Una gamma rappresentativa delle proprietà meccaniche del fronte di scavo (es. Modulo di Young o il coefficiente di spinta a riposo per definire gf).

### 8.4.1 Caratteristiche meccaniche dei terreni di copertura

Le proprietà meccaniche equivalenti della copertura sono calcolate in modo da dare un peso maggiore agli stati vicini allo scavo:

$$Param_{eq} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i \cdot w_i \cdot Param_i}{\sum_{i=1}^n t_i \cdot w_i}$$

dove:

- *Param* è il parametro geo meccanico;

### 8.4.2 Caratteristiche meccaniche al fronte

Le proprietà meccaniche equivalenti al fronte sono calcolate in modo analogo, ma assegnando un peso maggiore agli strati interessati al fronte di scavo:

$$Param_{eq} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i \cdot w_i \cdot Param_i}{\sum_{i=1}^n t_i \cdot w_i}$$

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e monitoraggio SS12	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GA0300001	REV. C	FOGLIO. 43 di 61

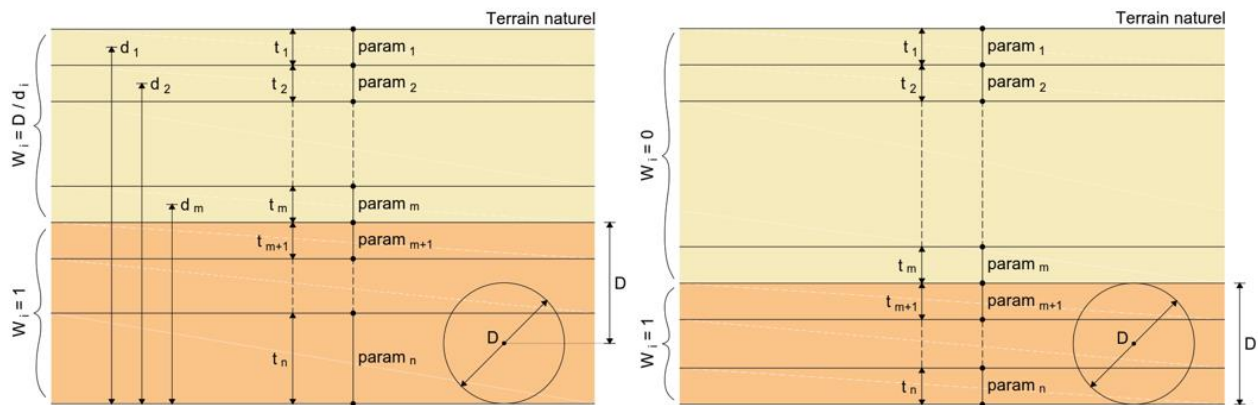


Figura 8-7 Calcolo dei parametri dei terreni di copertura (sinistra) e al fronte (destra).

## 8.5 PROCESSO DI CALCOLO E VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI INDOTTI

### 8.5.1 Processo di analisi

Il processo di calcolo consiste nell'analisi automatica sezione per sezione del tracciato di progetto in ordine di progressiva chilometrica e con un passo imposto di 1 m. Per ogni progressiva si eseguono quindi le seguenti funzioni:

1. Analisi delle caratteristiche meccaniche dei terreni di copertura;
2. Analisi delle caratteristiche equivalenti dei terreni al fronte;
3. Analisi di stabilità al sollevamento del fronte (Blow-up) e determinazione della pressione massima al fronte (EPB);
4. Analisi della stabilità del fronte (metodo di Broere) e determinazione della pressione minima al fronte (EPB);
5. Calcolo dei cedimenti in superficie in condizioni "green-field" e registrazione dei relativi parametri di cedimento, distorsione angolare ed allungamento orizzontale.
6. In caso di superamento dei limiti prestabiliti (in questo caso, volume perso superficiale maggiore di 1%) aumento della pressione al fronte di 10kPa
7. Ripetizione dei punti 5-6 fino al raggiungimento dei limiti prestabiliti o della pressione massima la fronte ammessa.

APPALTATORE: 	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e monitoraggio SS12	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GA0300001	REV. C	FOGLIO. 44 di 61

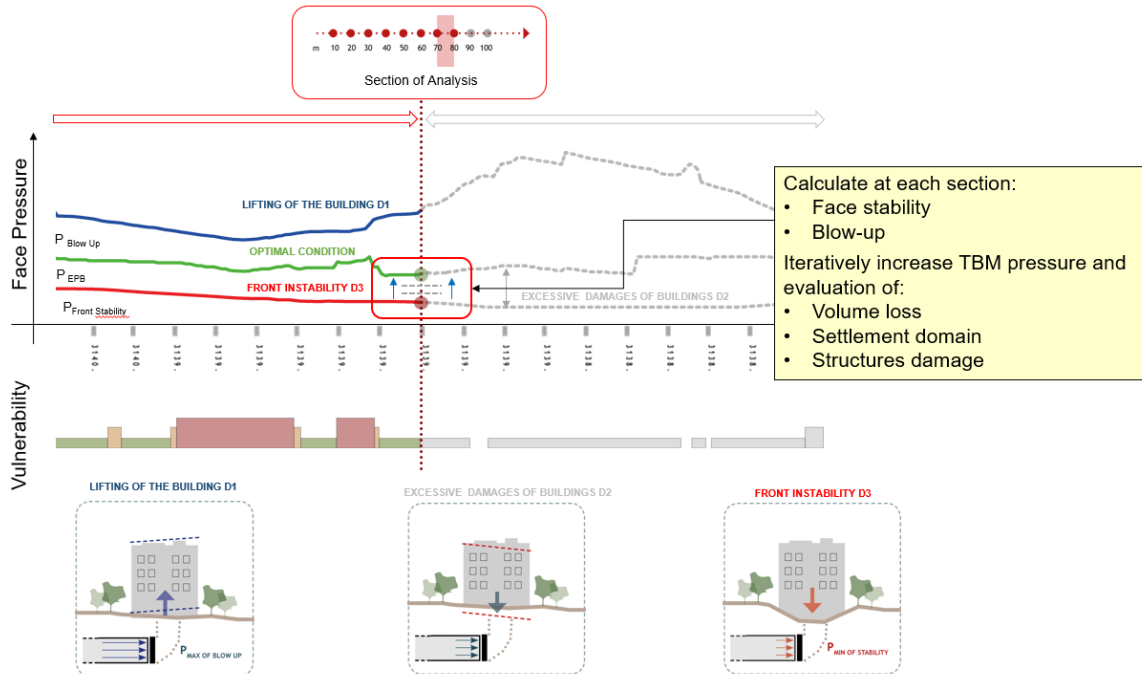


Figura 8-8 Schema ottimizzazione delle pressioni

I riferimenti fissi adottati per il calcolo sono:

- Pressione scudo= pressione fronte – 30kPa;
- Pressione backfill= pressione fronte + 50kPa;
- Ritiro grout = 1%.

### 8.5.2 Calcolo delle distorsioni angolari

La distorsione angolare causata dai cedimenti sul piano z è definita come la derivata spaziale del cedimento:

$$\beta(d) = \frac{\partial s(d)}{\partial d}$$

È massima nei punti di inflessione e nulla all'asse tunnel.



APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e monitoraggio SS12	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GA0300001	REV. C	FOGLIO. 45 di 61

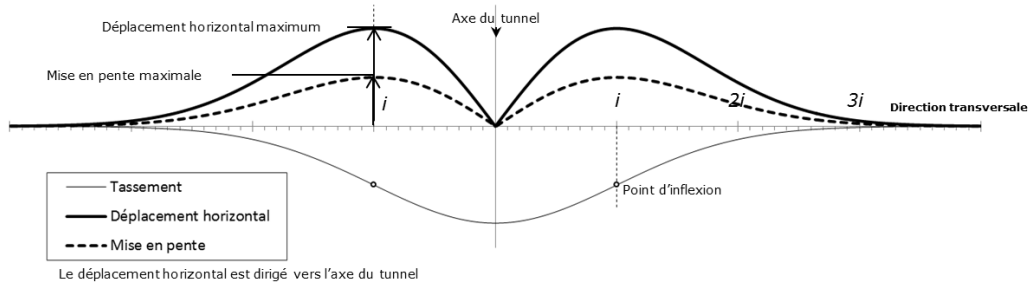


Figura 8-9 Profilo trasversale dei cedimenti e delle distorsioni.

### 8.5.3 Calcolo delle deformazioni orizzontali

La deformazione orizzontale è definita come la derivata spaziale degli spostamenti orizzontali:

$$\varepsilon_h(d) = \frac{\partial s_h(d)}{\partial d}$$

La deformazione orizzontale è massima all'asse della galleria (compressione) e ad una distanza  $d = \sqrt{3}i$  (trazione). È zero nei punti di flesso.

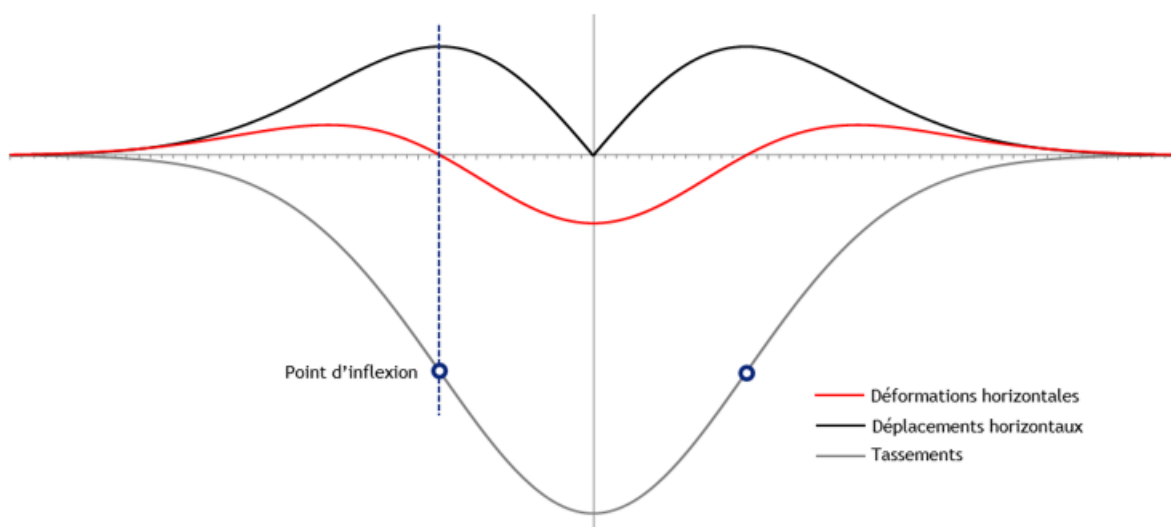


Figura 8-10 Profilo trasversale dei cedimenti verticali, spostamenti e de distorsioni orizzontali.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
<b>08 - GALLERIE</b>		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione tecnica e monitoraggio SS12		IBOU	1BEZZ	RH	GA0300001	C	46 di 61

## 8.6 RISULTATI ANALISI DIGITAL URBAN TUNNEL

Le analisi svolte dal tool Urban sono state effettuate nella zona del sottoattraversamento della SS12 tra le progressive 0+175.5 e 0+225.5 circa.

In allegato 2 sono riportati i risultati delle analisi condotte in termini di

- a) perdita volume lungo il profilo longitudinale. Il valore medio di perdita di volume in superficie sarà di circa dello 0.6% con punte dello 0.7% al di sotto della SS12

## 9. CONCLUSIONI

Nella presente relazione è esposto il programma di monitoraggio previsto per la realizzazione della galleria naturale di Forch, con particolare riferimento al sottoattraversamento della SS12.

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:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e monitoraggio SS12	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GA0300001	REV. C	FOGLIO. 47 di 61

## 10. ALLEGATI

### 10.1 ALLEGATO 1: OUTPUT PLAXIS 2D

#### 10.1.1 Galleria naturale Finestra di Forch

Output Version 21.1.0.479

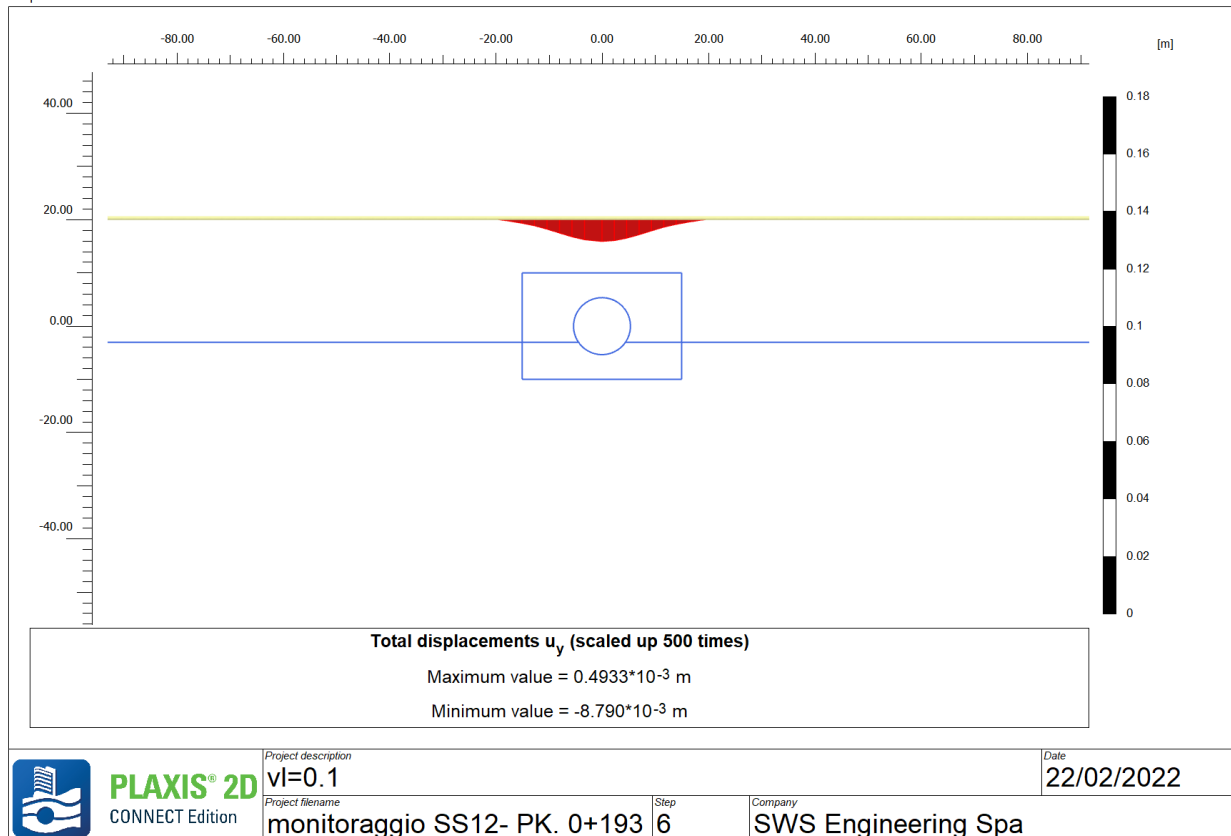


Figura 10-1: Cedimenti  $u_y$  per  $v_I=0.1\%$

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e monitoraggio SS12	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GA0300001	REV. C	FOGLIO. 48 di 61

Output Version 21.1.0.479

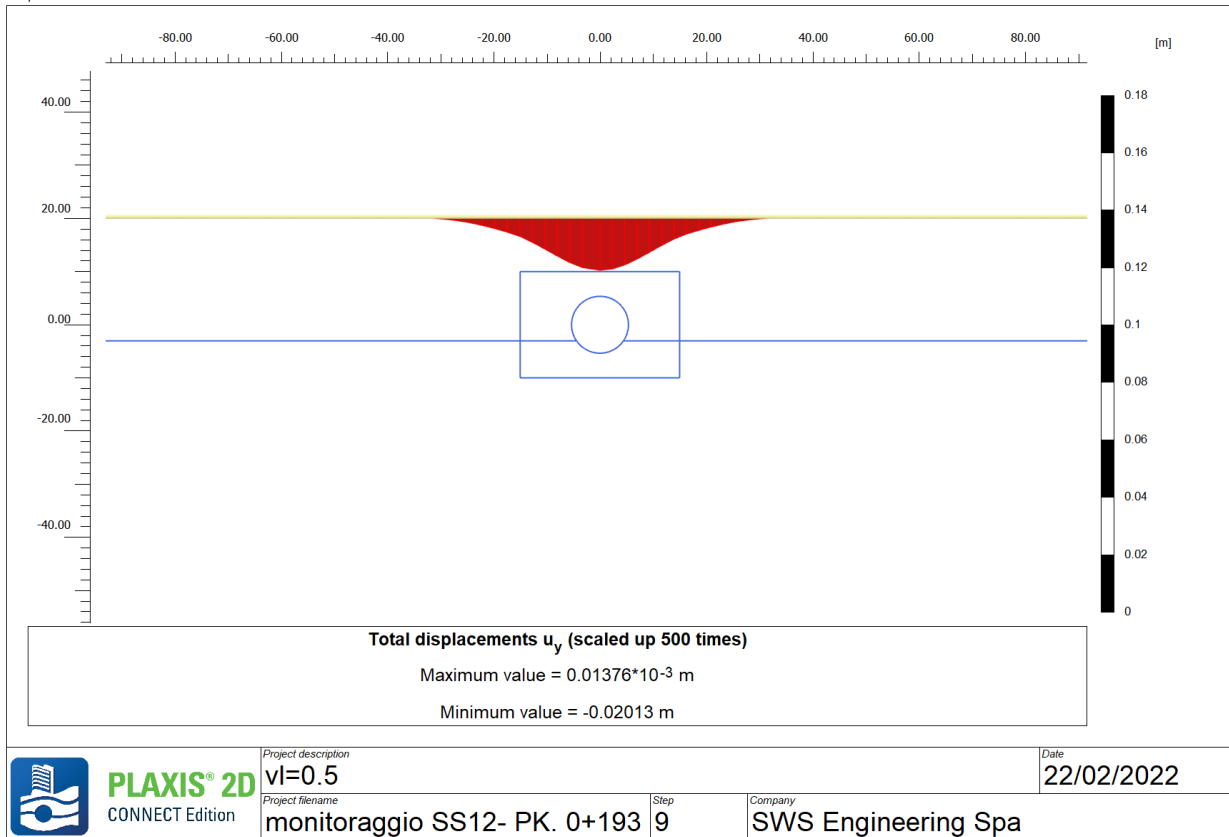


Figura 10-2:

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e monitoraggio SS12	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GA0300001	REV. C	FOGLIO. 49 di 61

Cedimenti  $u_y$  per  $v_l = 0.5\%$

Output Version 21.1.0.479

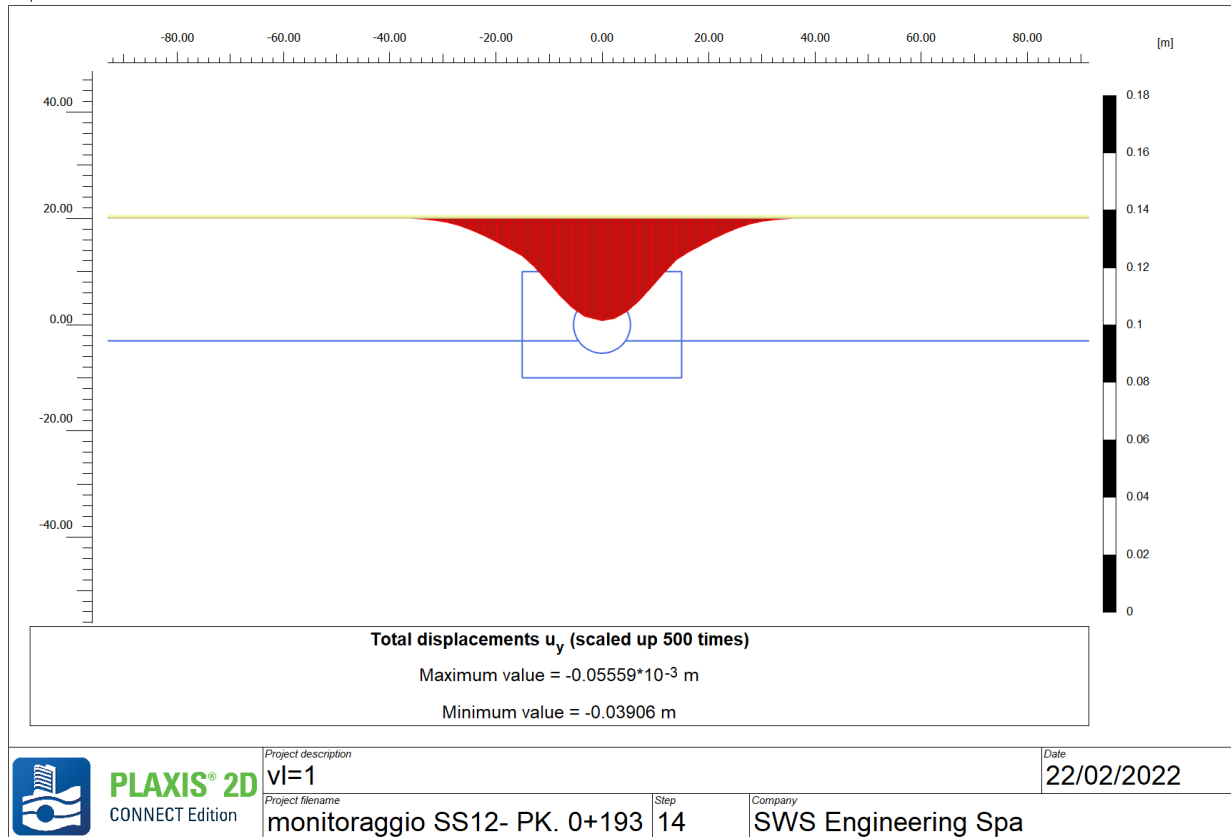
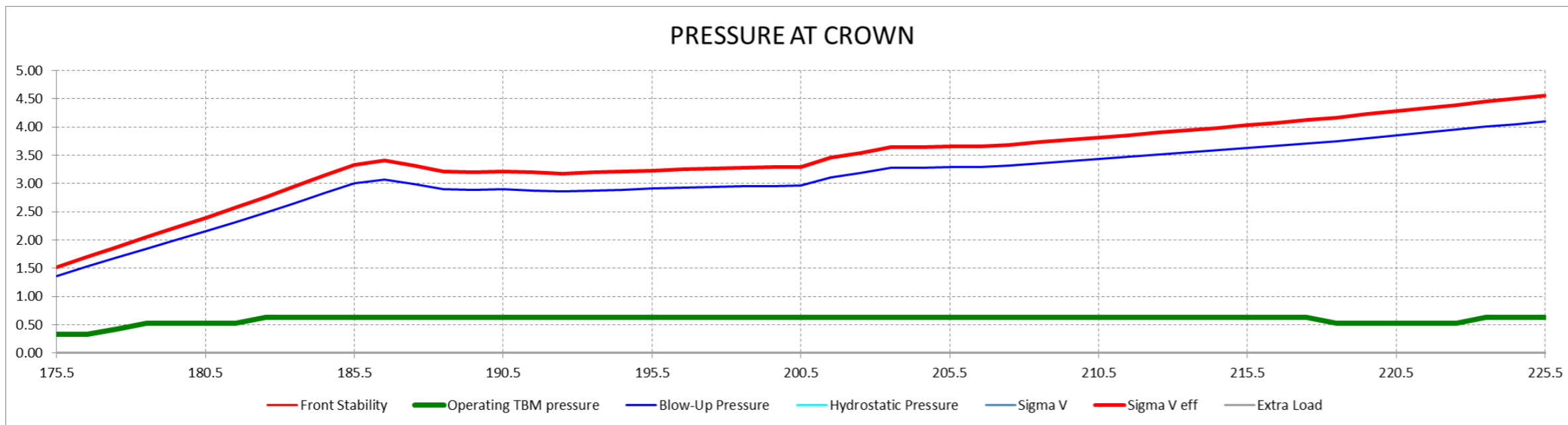
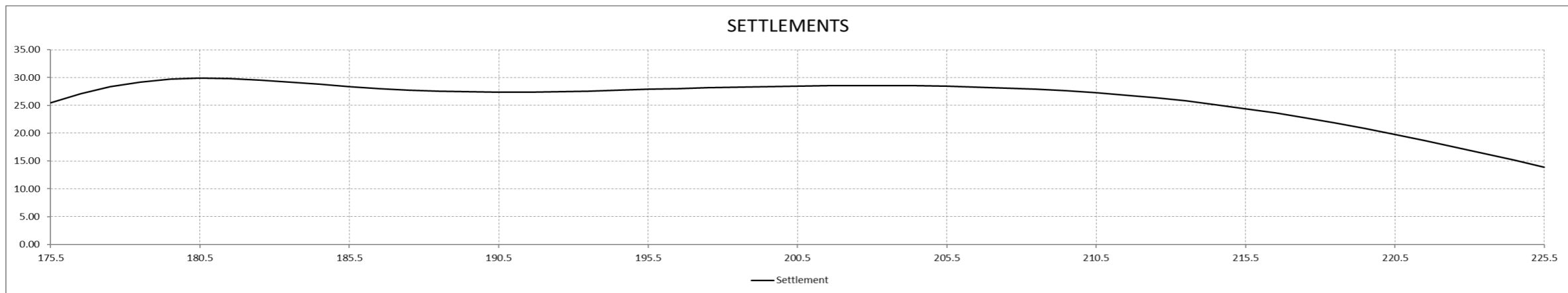
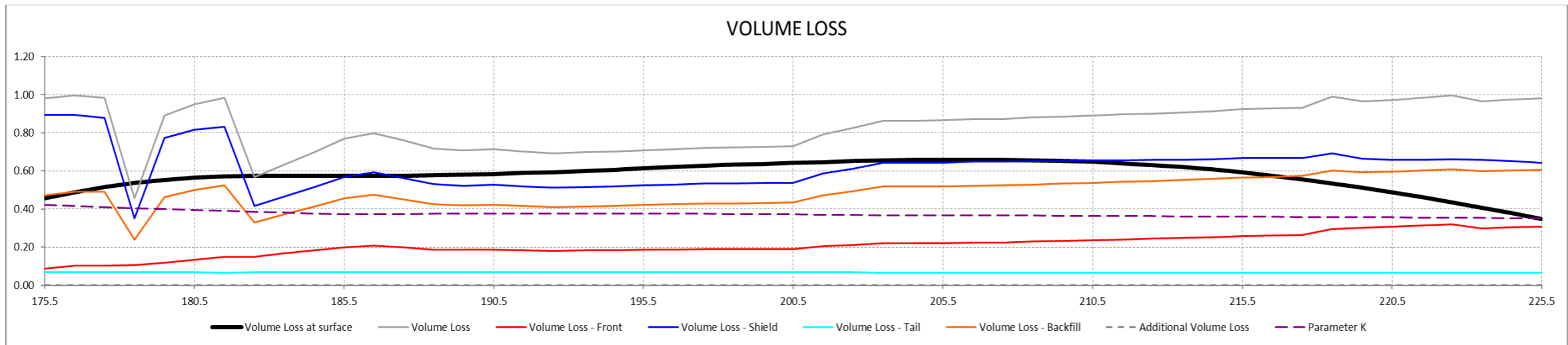


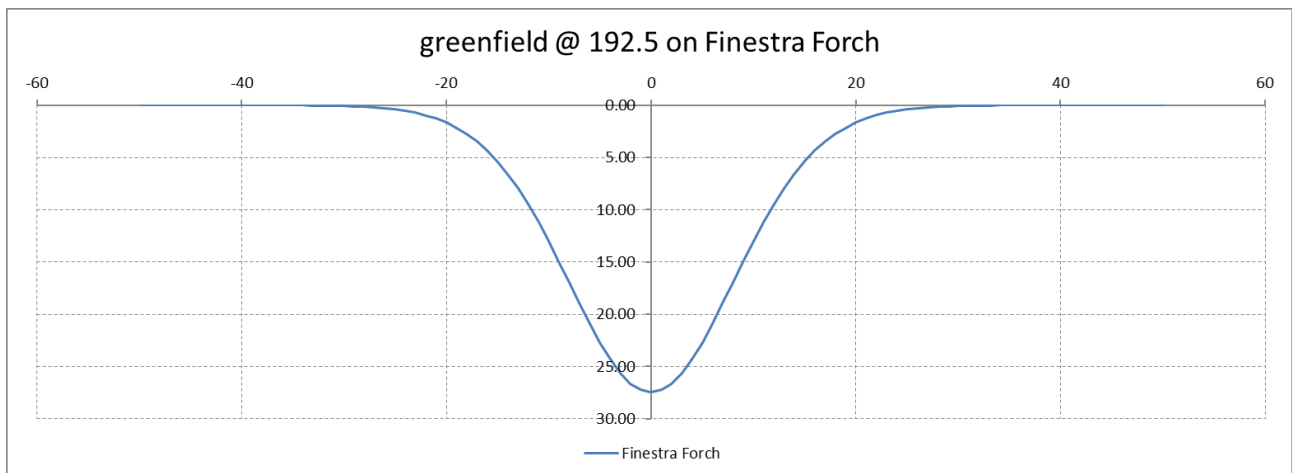
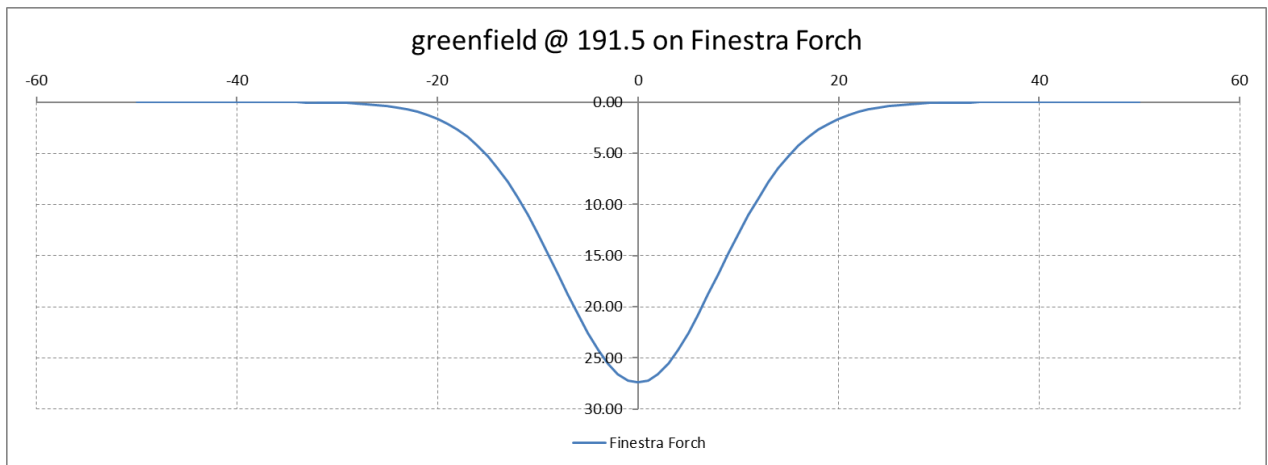
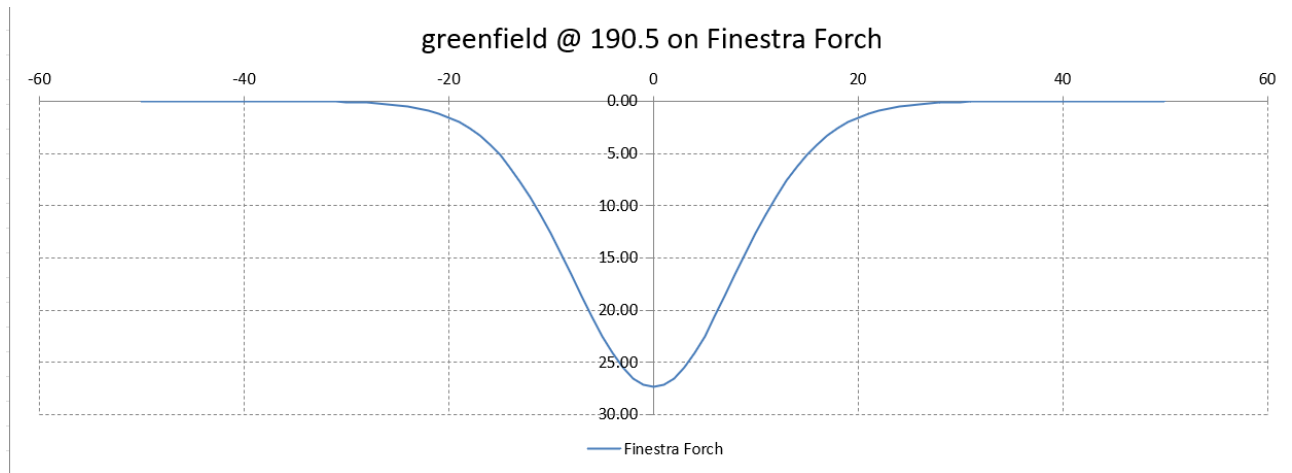
Figura 10-3: Cedimenti  $u_y$  per  $v_l = 1\%$

## 10.2 ALLEGATO 2: RISULTATI DIGITAL PROJECT URBAN TUNNEL

APPALTATORE: 	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA</b> <b>TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b> <b>PROGETTO ESECUTIVO</b>												
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria													
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e monitoraggio SS12	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IBOU</td> <td>1BEZZ</td> <td>RH</td> <td>GA0300001</td> <td>C</td> <td>50 di 61</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IBOU	1BEZZ	RH	GA0300001	C	50 di 61
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.								
IBOU	1BEZZ	RH	GA0300001	C	50 di 61								



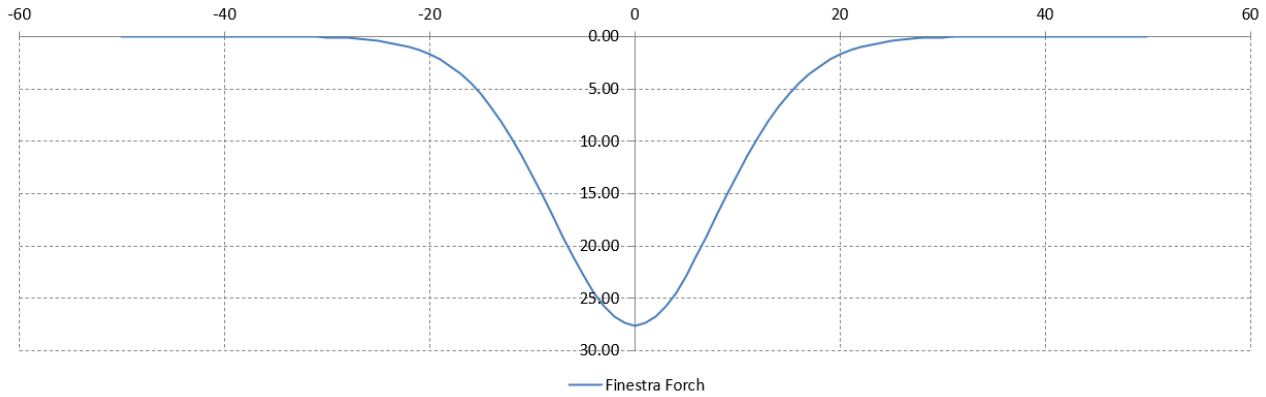
APPALTATORE: 	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e monitoraggio SS12	COMMESSA <b>IBOU</b>	LOTTO <b>1BEZZ</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>GA0300001</b>	REV. <b>C</b>	FOGLIO. <b>51 di 61</b>



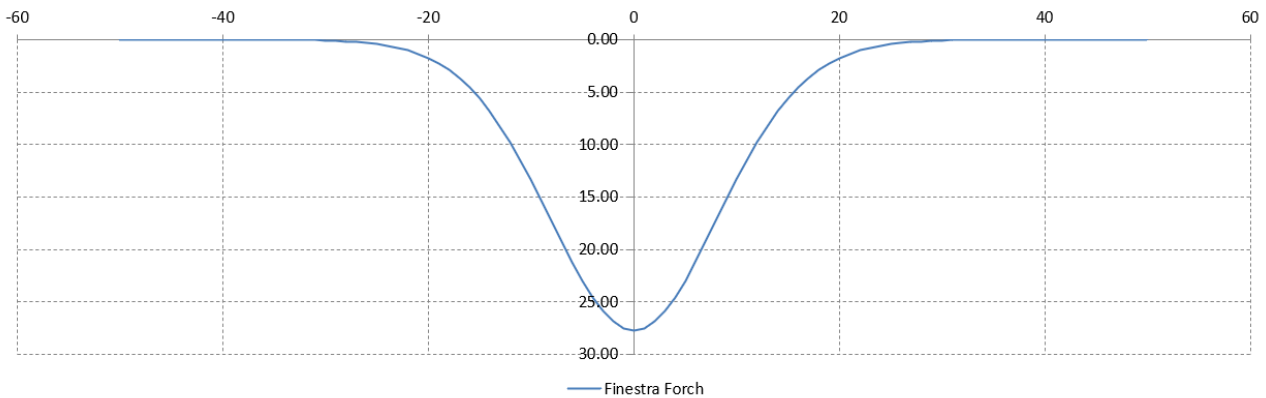


APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e monitoraggio SS12	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GA0300001	REV. C	FOGLIO. 52 di 61

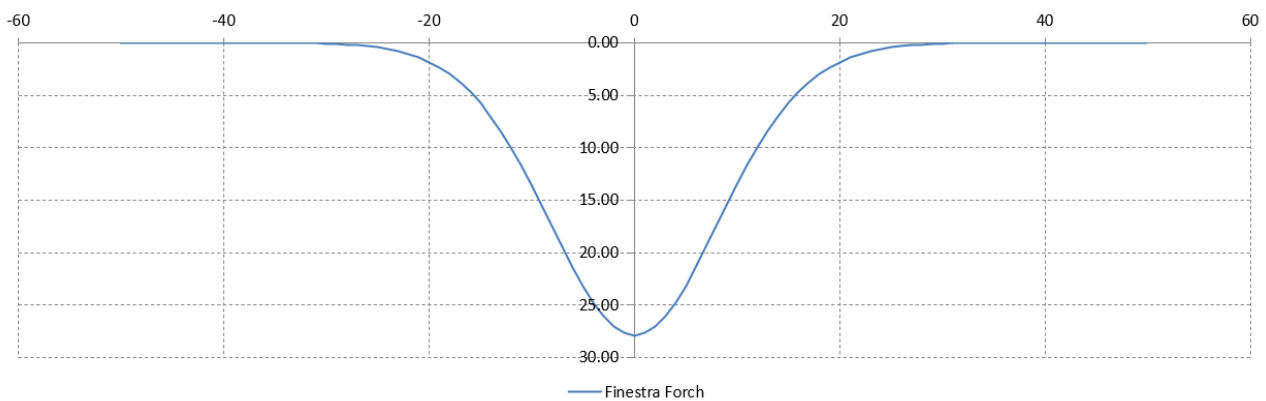
greenfield @ 193.5 on Finestra Forch



greenfield @ 194.5 on Finestra Forch

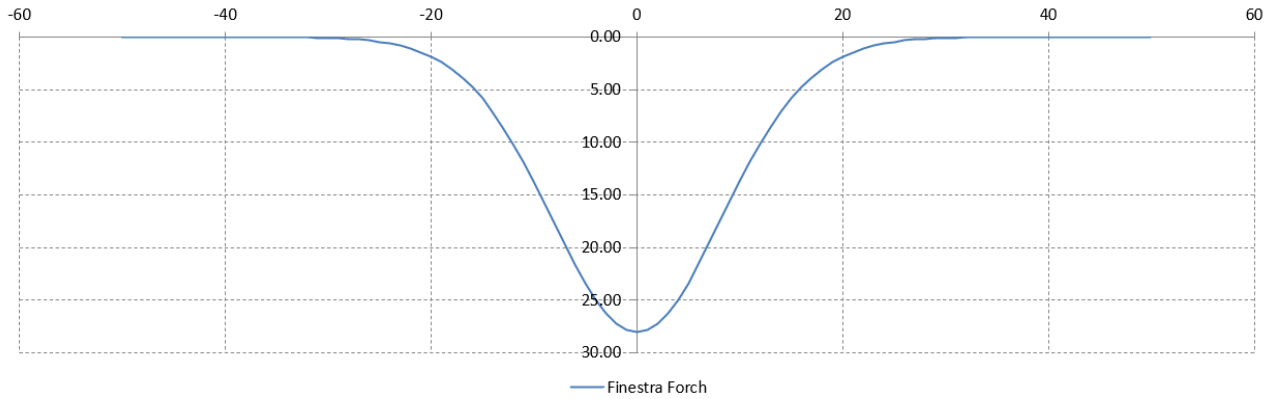


greenfield @ 195.5 on Finestra Forch

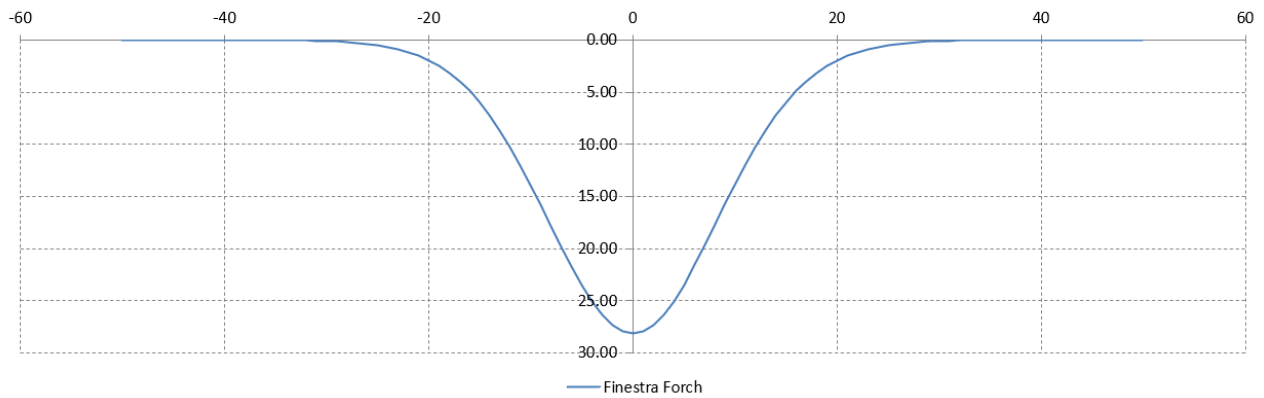


APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e monitoraggio SS12	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GA0300001	REV. C	FOGLIO. 53 di 61

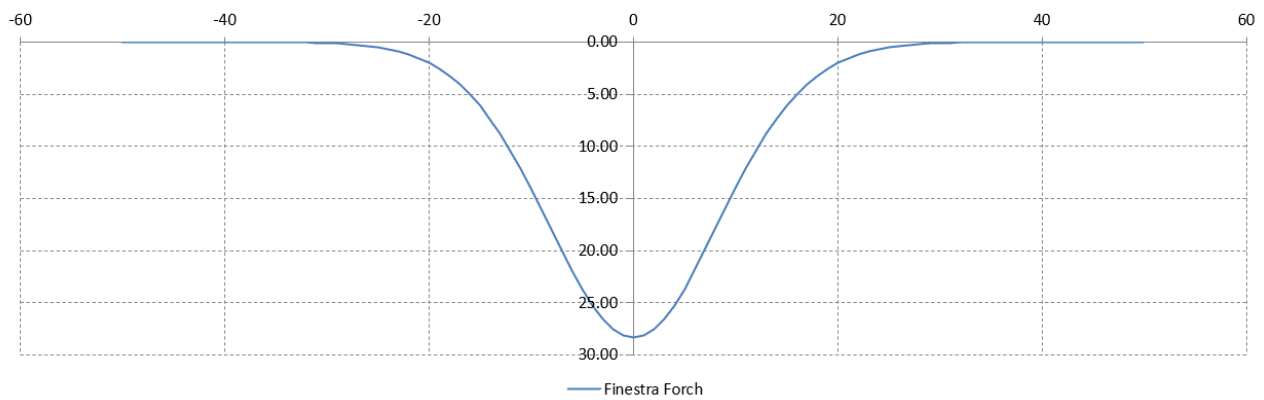
greenfield @ 196.5 on Finestra Forch



greenfield @ 197.5 on Finestra Forch

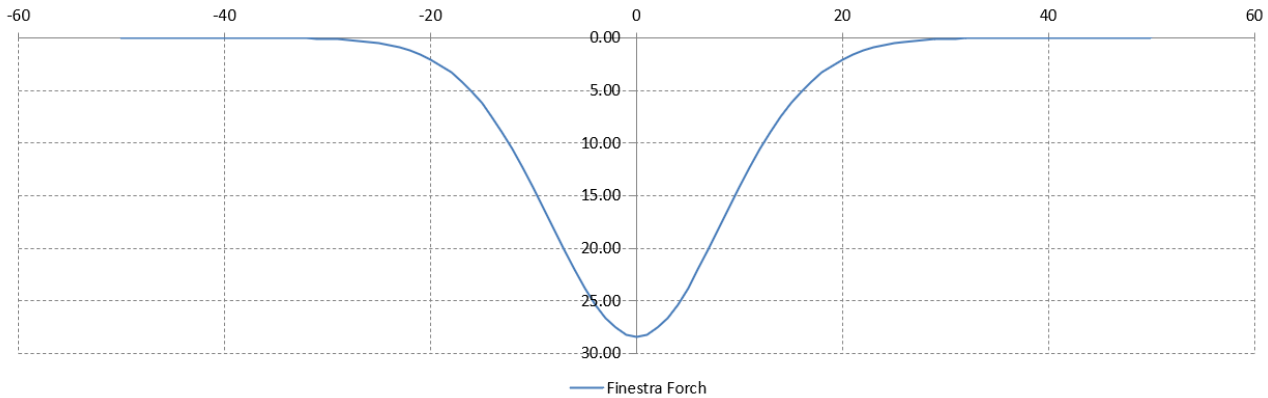


greenfield @ 198.5 on Finestra Forch

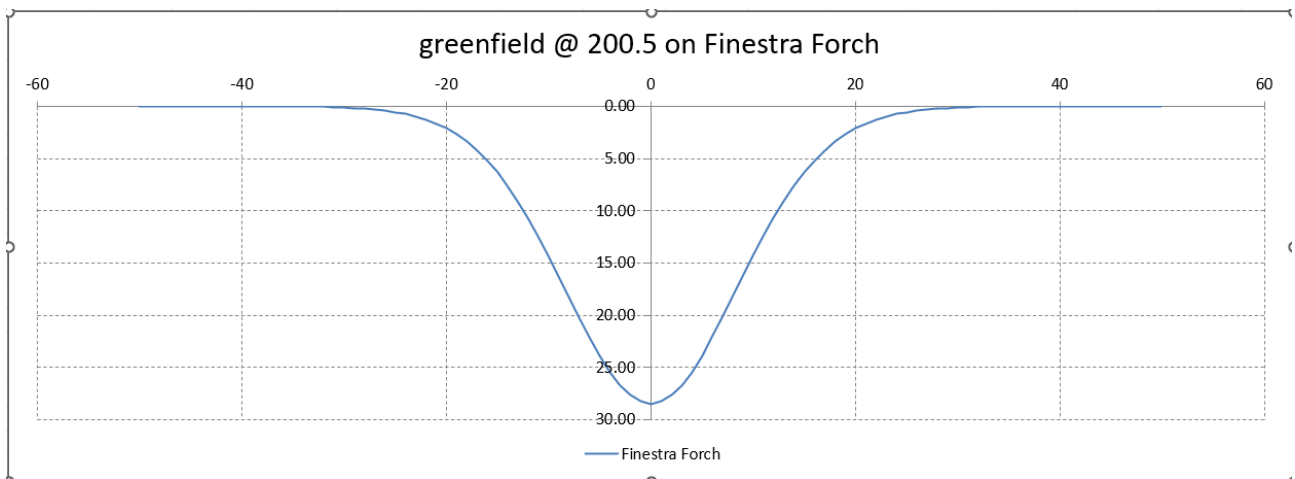


APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e monitoraggio SS12	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GA0300001	REV. C	FOGLIO. 54 di 61

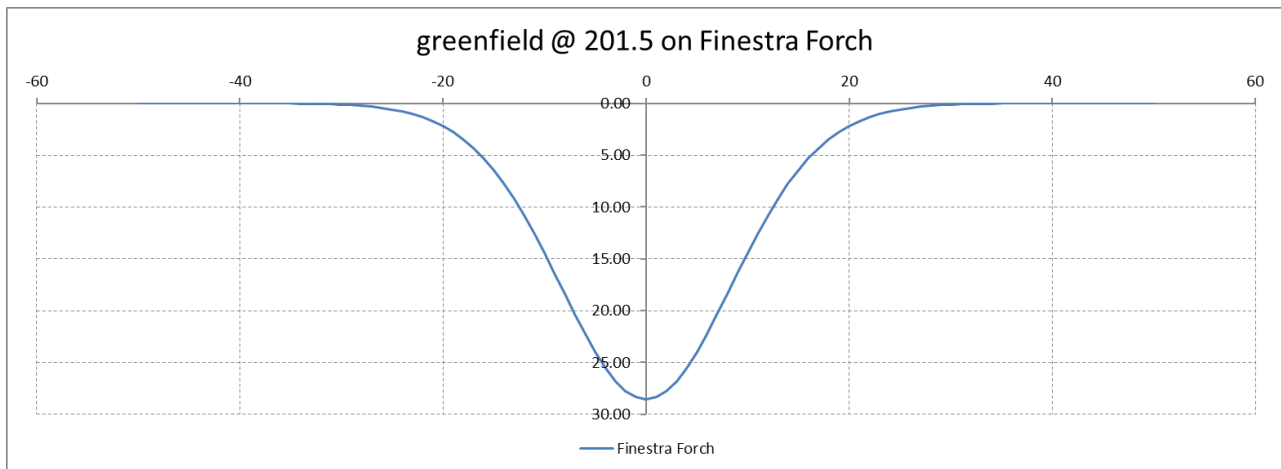
greenfield @ 199.5 on Finestra Forch



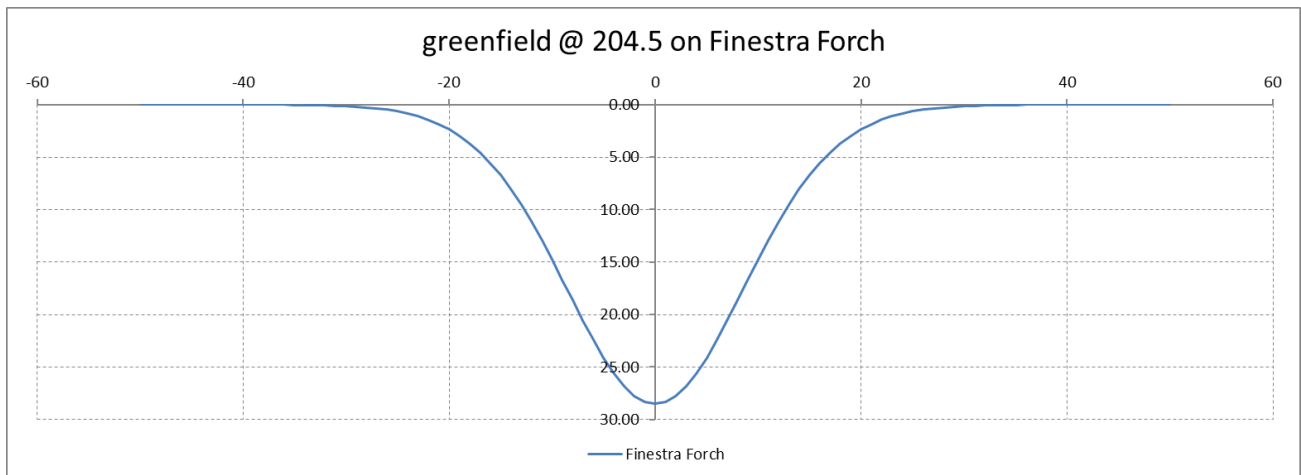
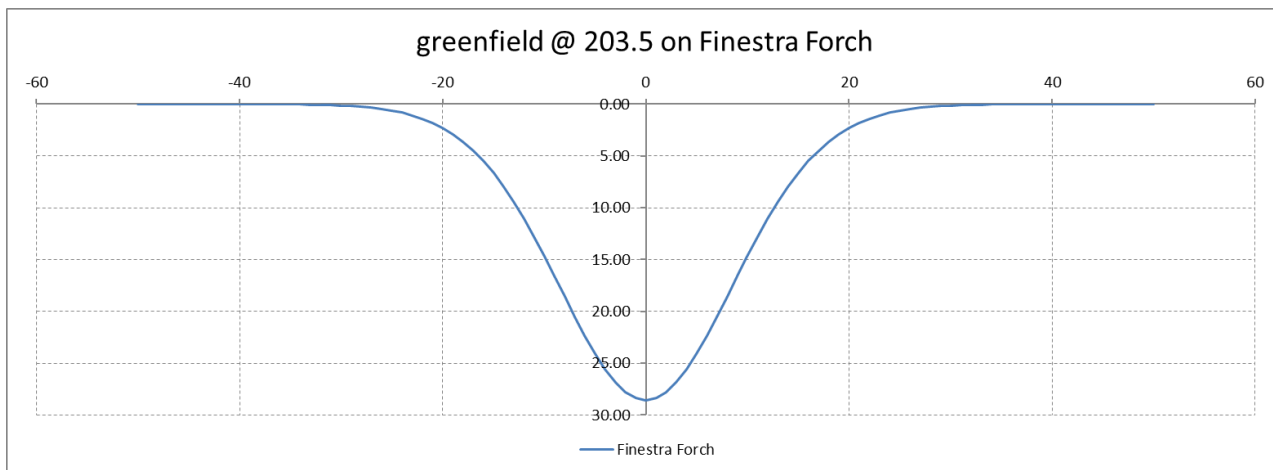
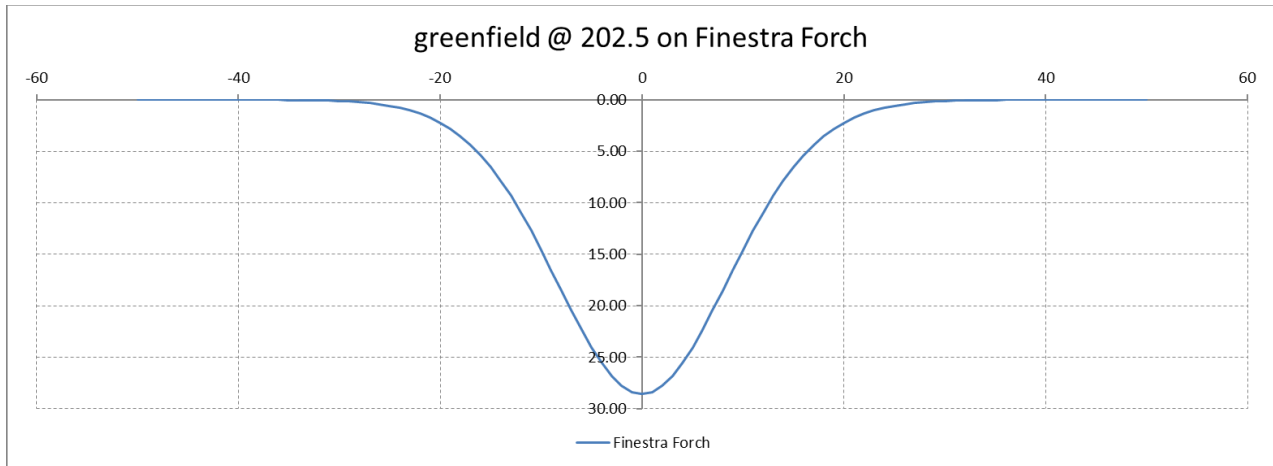
greenfield @ 200.5 on Finestra Forch



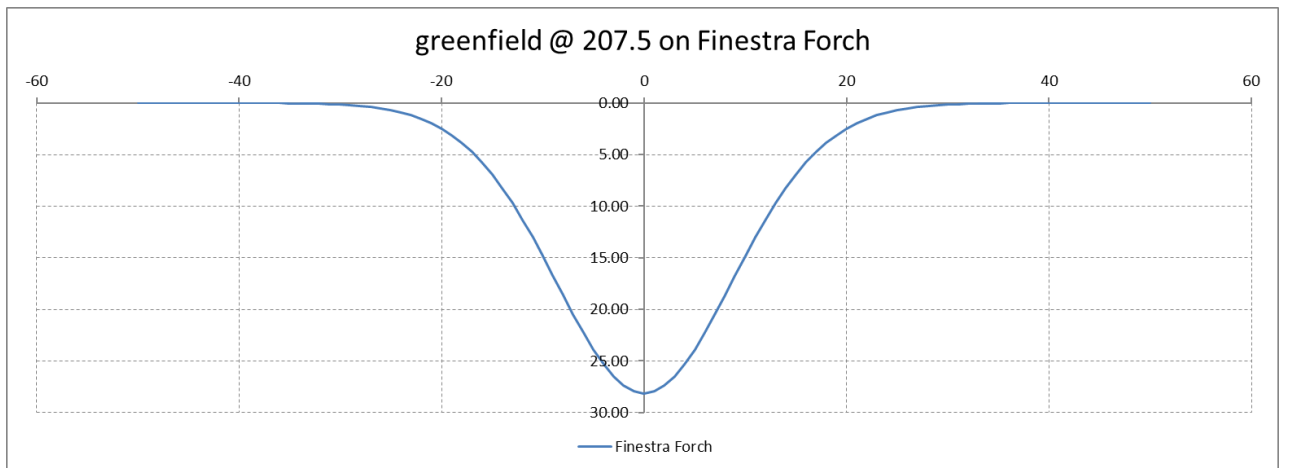
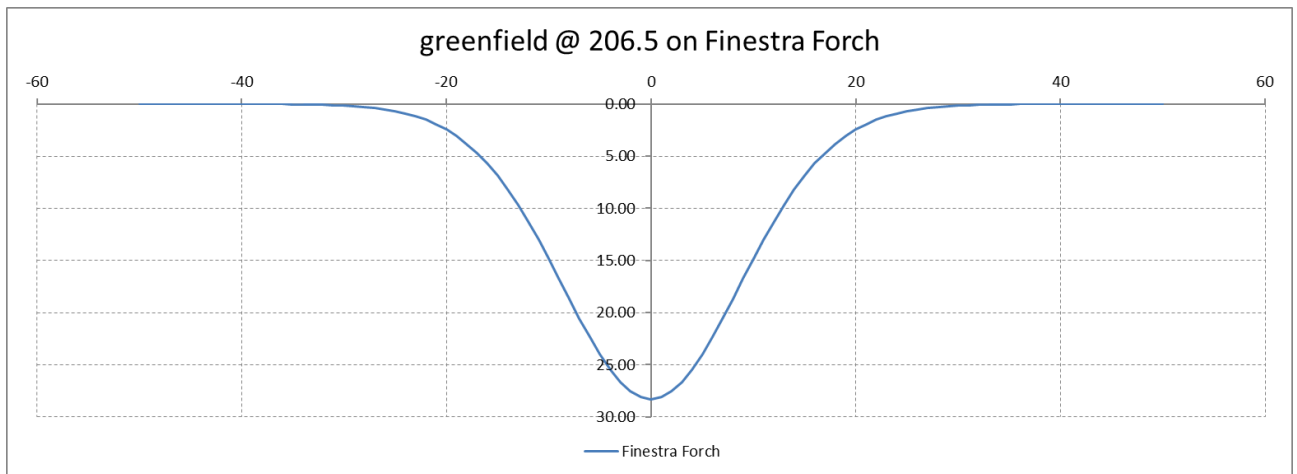
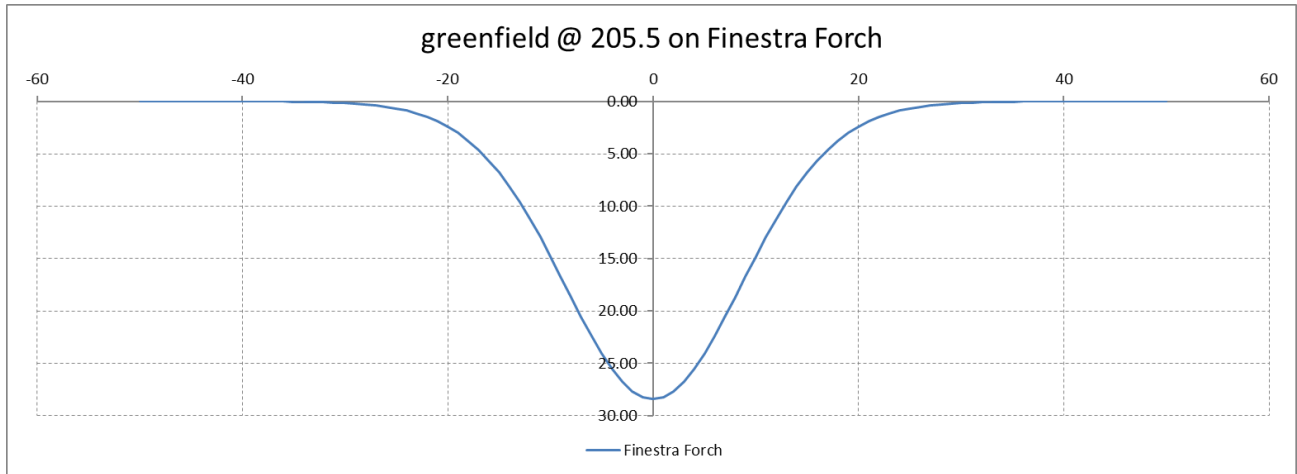
greenfield @ 201.5 on Finestra Forch



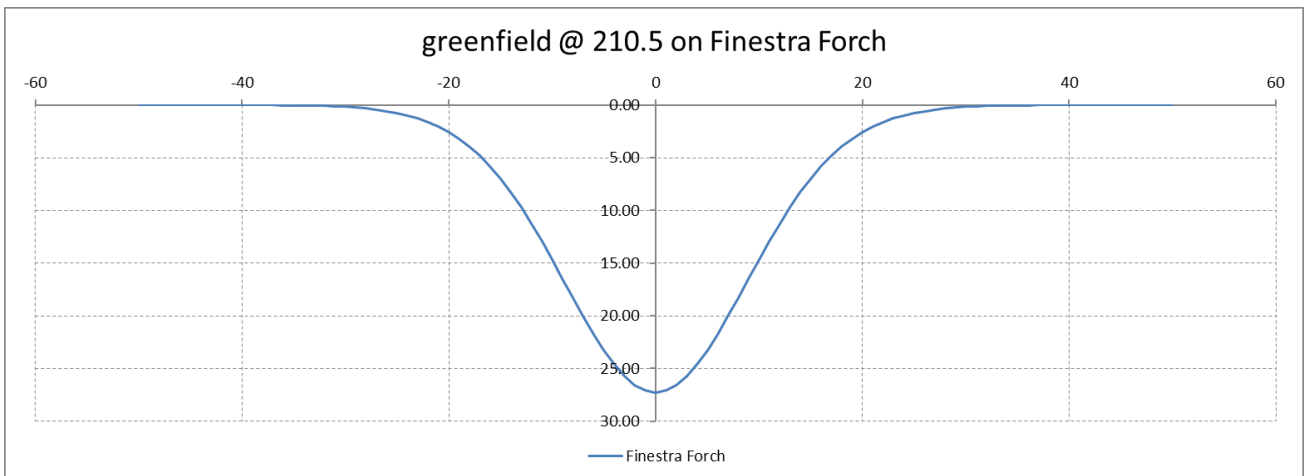
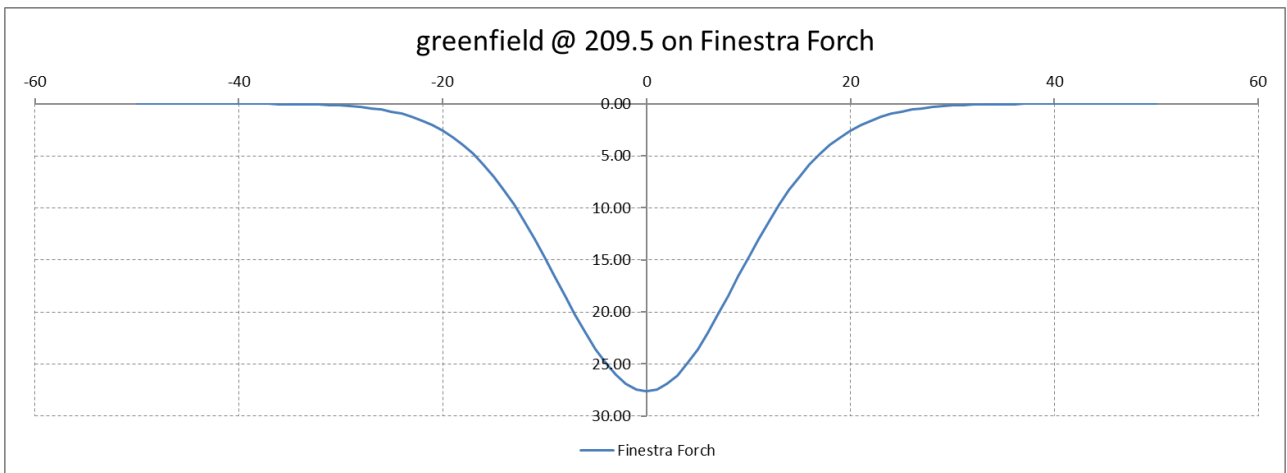
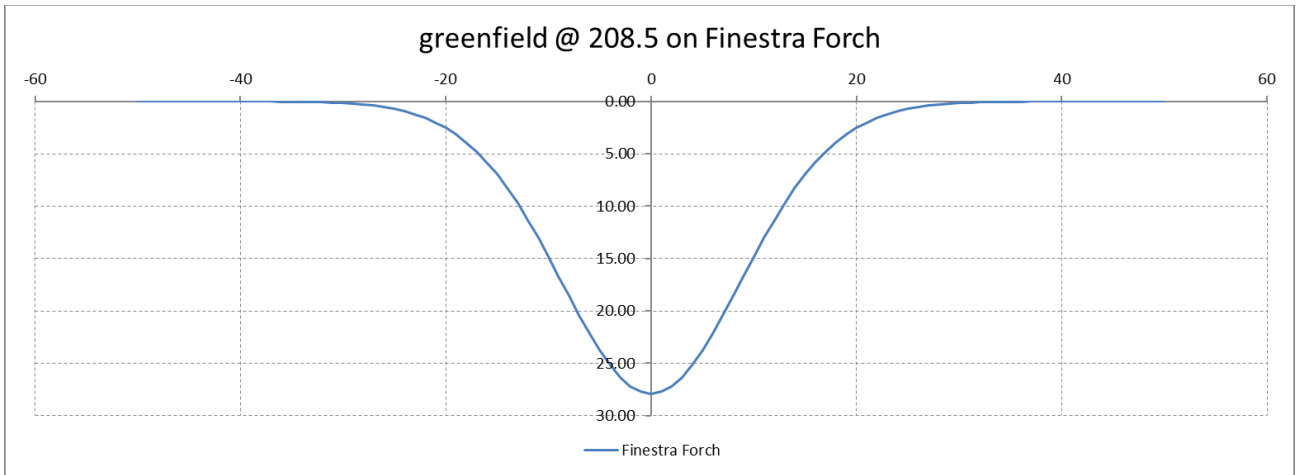
APPALTATORE: 	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI          REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA          LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA          TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>  <b>PROGETTO ESECUTIVO</b>												
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria													
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e monitoraggio SS12	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IBOU</td> <td>1BEZZ</td> <td>RH</td> <td>GA0300001</td> <td>C</td> <td>55 di 61</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IBOU	1BEZZ	RH	GA0300001	C	55 di 61
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.								
IBOU	1BEZZ	RH	GA0300001	C	55 di 61								



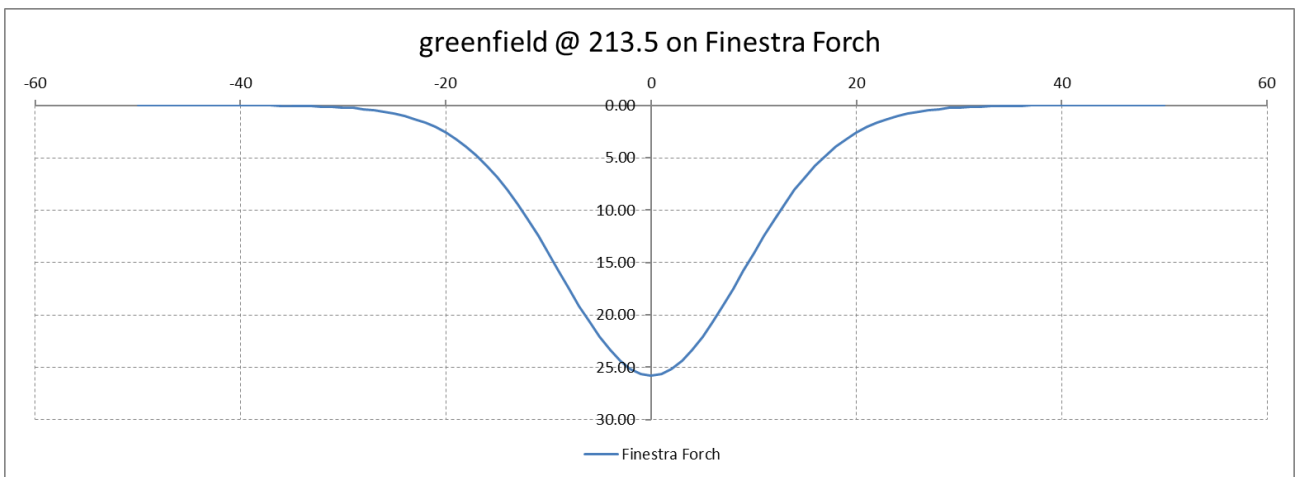
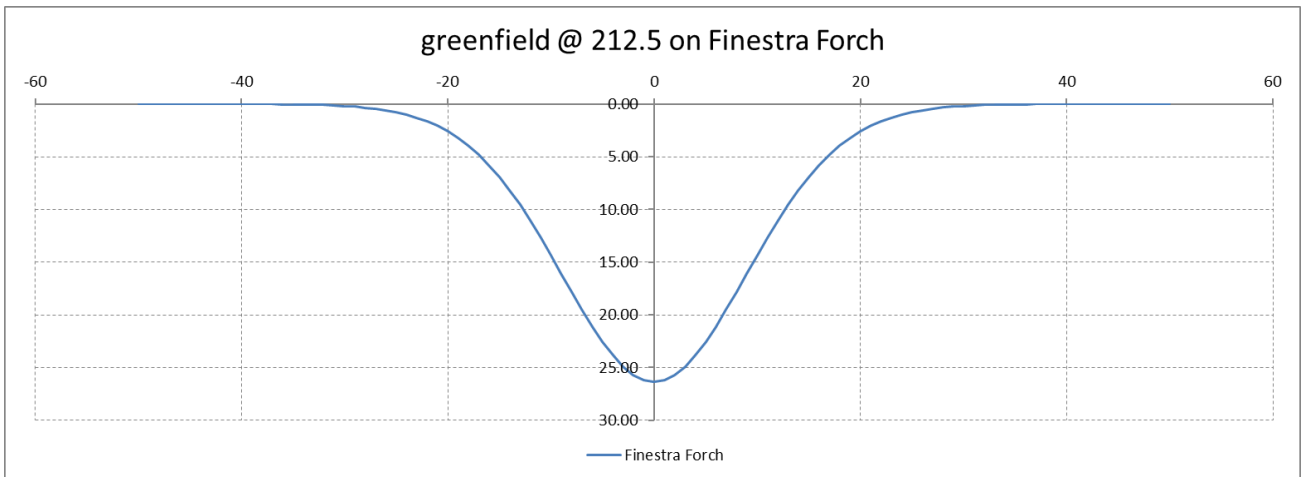
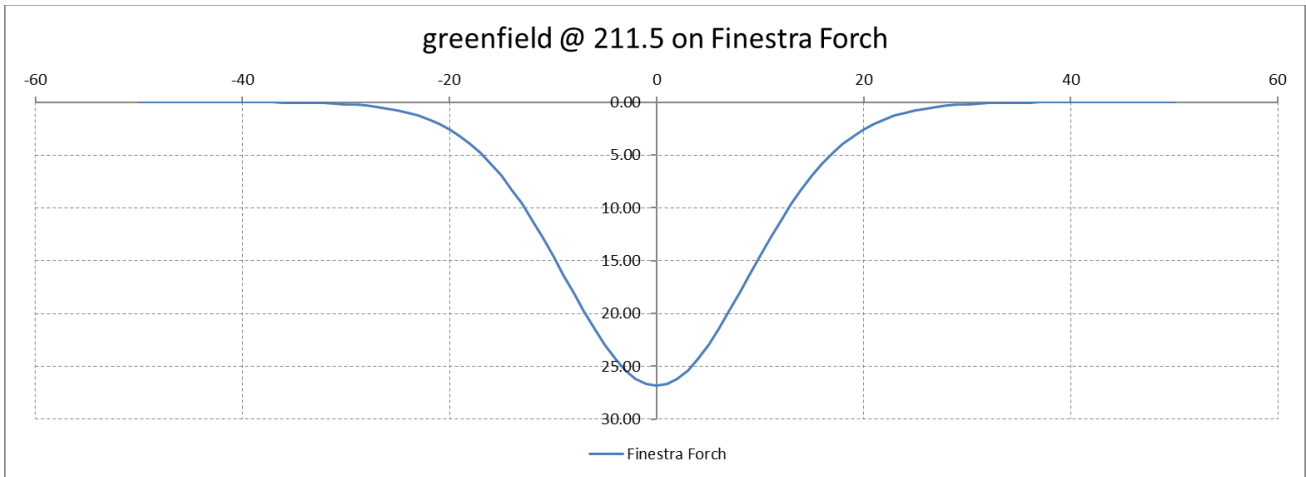
APPALTATORE: 	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI          REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA          LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA          TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>  <b>PROGETTO ESECUTIVO</b>												
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEMIN SIFEL SIST M Ingegneria													
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e monitoraggio SS12	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IBOU</td> <td>1BEZZ</td> <td>RH</td> <td>GA0300001</td> <td>C</td> <td>56 di 61</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IBOU	1BEZZ	RH	GA0300001	C	56 di 61
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.								
IBOU	1BEZZ	RH	GA0300001	C	56 di 61								



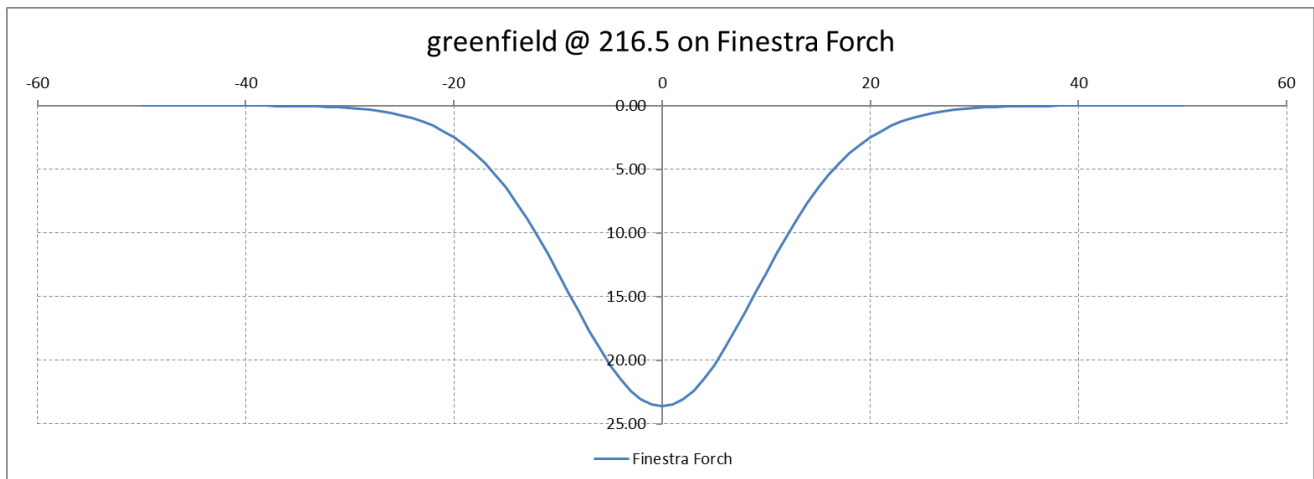
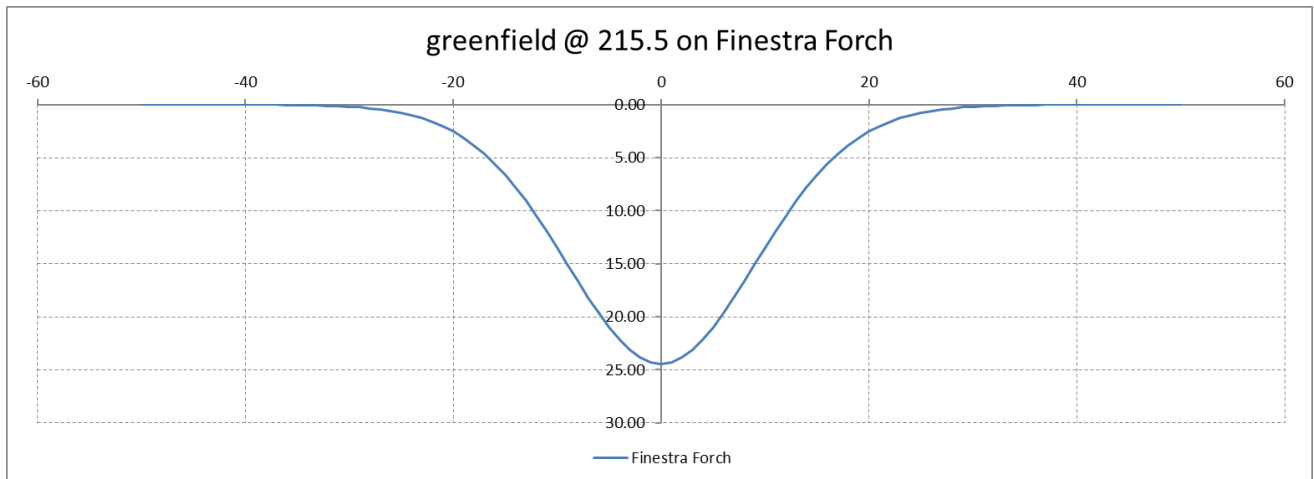
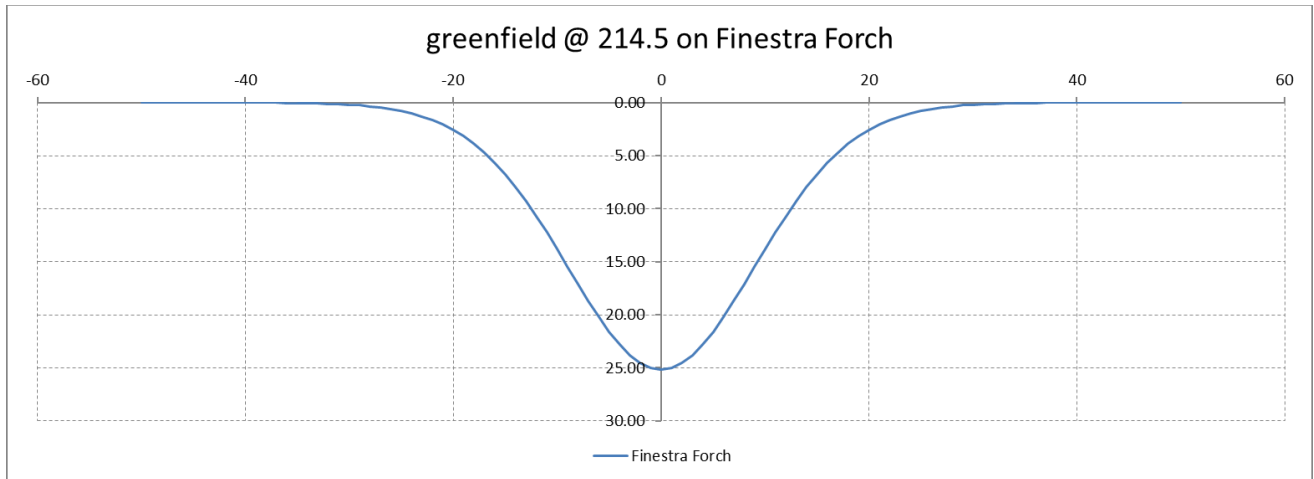
APPALTATORE: 	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI          REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA          LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA          TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>  <b>PROGETTO ESECUTIVO</b>												
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria													
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e monitoraggio SS12	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IBOU</td> <td>1BEZZ</td> <td>RH</td> <td>GA0300001</td> <td>C</td> <td>57 di 61</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IBOU	1BEZZ	RH	GA0300001	C	57 di 61
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.								
IBOU	1BEZZ	RH	GA0300001	C	57 di 61								



APPALTATORE: 	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>  <b>PROGETTO ESECUTIVO</b>												
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEMIN SIFEL SIST M Ingegneria													
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e monitoraggio SS12	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IBOU</td> <td>1BEZZ</td> <td>RH</td> <td>GA0300001</td> <td>C</td> <td>58 di 61</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IBOU	1BEZZ	RH	GA0300001	C	58 di 61
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.								
IBOU	1BEZZ	RH	GA0300001	C	58 di 61								

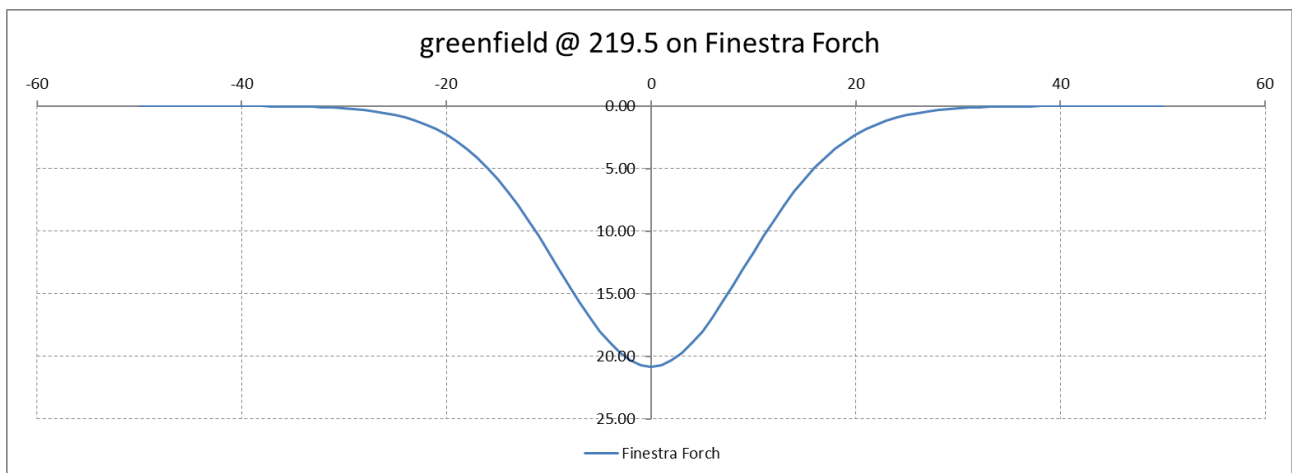
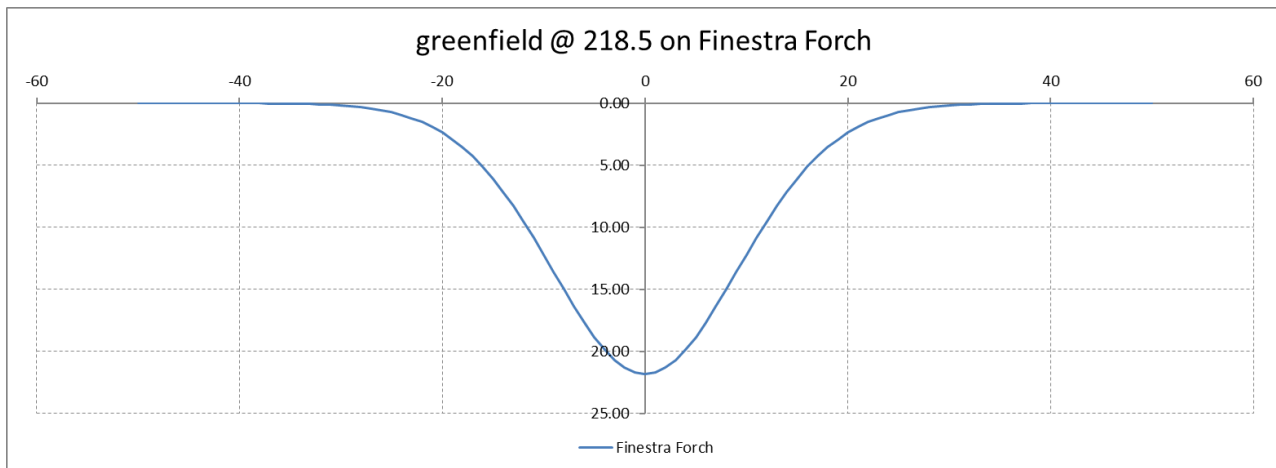
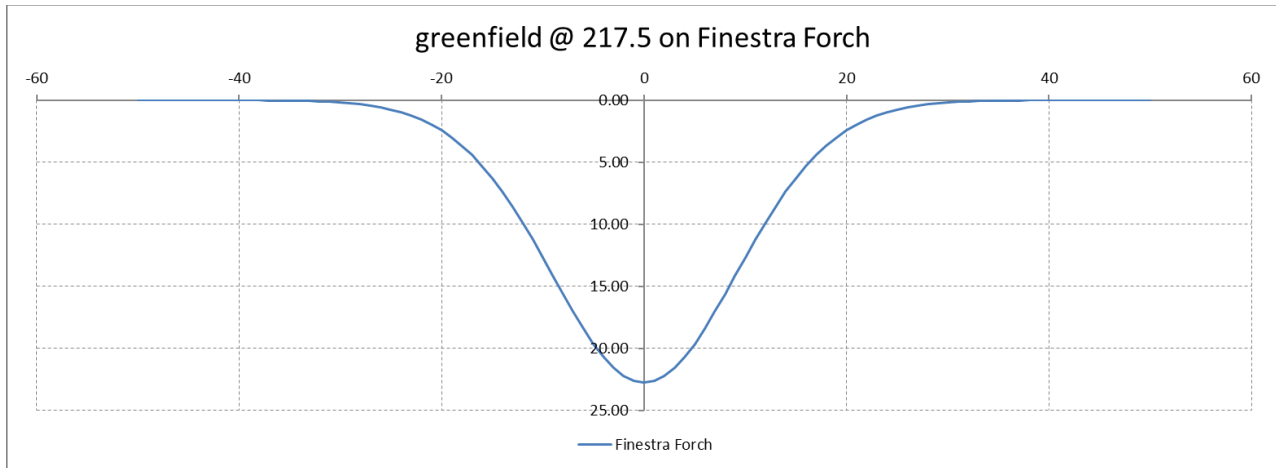


APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e monitoraggio SS12	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GA0300001	REV. C	FOGLIO. 59 di 61





APPALTATORE: 	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI          REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA          LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA          TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>  <b>PROGETTO ESECUTIVO</b>												
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria													
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e monitoraggio SS12	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IBOU</td> <td>1BEZZ</td> <td>RH</td> <td>GA0300001</td> <td>C</td> <td>60 di 61</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IBOU	1BEZZ	RH	GA0300001	C	60 di 61
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.								
IBOU	1BEZZ	RH	GA0300001	C	60 di 61								



APPALTATORE: 	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI          REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA          LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA          TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>  <b>PROGETTO ESECUTIVO</b>												
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria													
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e monitoraggio SS12	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IB0U</td> <td>1BEZZ</td> <td>RH</td> <td>GA0300001</td> <td>C</td> <td>61 di 61</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IB0U	1BEZZ	RH	GA0300001	C	61 di 61
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.								
IB0U	1BEZZ	RH	GA0300001	C	61 di 61								

