

COMUNE DI PALERMO



COMMITTENTE:



DIREZIONE LAVORI:



IMPRESA ESECUTRICE:



PROGETTO ESECUTIVO

**PRIMO LOTTO FUNZIONALE CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN
SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO
NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA**

GALLERIA RANCHIBILE (GN01)

Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
R S 7 2	0 1	E	ZZ	CL	GN 0 1 0 X	0 0 1	B

PROGETTAZIONE: ATI (Associazione Temporanea d'Imprese)



PROGIN SPA (Capogruppo Mandataria)



Sab (Mandante)

Revis.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato/Data
A	Emissione per consegna	M. Perrino	11/10/10	R. Piccirillo	11/10/10	S. Esposito 11/10/10
B	Revisione a seguito istruttoria RS72-RV-063	M. Perrino	15/09/11	R. Piccirillo	15/09/11	S. Esposito 15/09/11

Nome del file: RS7201EZZCLGN010X001_B

n: Elab.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandatari Sab (Mandante) a)  				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
GALLERIA RANCHIBILE (GN01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GN 01 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 2 di 45

I N D I C E

1. PREMESSA.....	3
2. DOCUMENTI E NORMATIVA DI RIFERIMENTO	4
2.1 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	4
2.2 NORMATIVA TECNICA.....	5
3. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI.....	7
3.1 CALCESTRUZZO.....	7
3.2 ACCIAIO PER C.A.....	7
3.3 ACCIAIO DA CARPENTERIA.....	8
4. GEOLOGIA E GEOTECNICA	9
4.1 INDAGINI ESEGUITE	9
4.2 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	15
4.3 PARAMETRI GEOTECNICI E STRATIGRAFIE DI CALCOLO	16
5. GALLERIA RANCHIBILE	17
6. INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO.....	20
7. ANALISI DEI CARICHI.....	23
7.1 PESO PROPRIO DELLE STRUTTURE (G1).....	23
7.2 SOVRACCARICHI VARIABILI (Q1)	23
7.3 AZIONE SISMICA (Q6_T)	24
8. ANALISI NUMERICHE.....	26
8.1 MODELLO DI CALCOLO	26
8.2 FASI DI CALCOLO.....	29
9. ANALISI DEI RISULTATI.....	33
10. VERIFICA DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI	40
10.1 VERIFICA DEI MICROPALI.....	40
10.2 VERIFICA DEI RIVESTIMENTI	41

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
GALLERIA RANCHIBILE (GN01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GN 01 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 3 di 45

1. PREMESSA

Il presente elaborato è parte della progettazione esecutiva della Fermata Libertà, nell'ambito dei lavori di "Chiusura dell'anello ferroviario in sotterraneo, nel tratto di linea tra le stazioni di Palermo Notarbartolo e Giachery e proseguimento fino a Politeama".

La fermata Libertà è ubicata in prossimità dell'incrocio tra viale Lazio e via Sicilia, tra le progressive chilometriche 1+387.55 e 1+478.05 del tracciato dell'anello ferroviario, per uno sviluppo complessivo di 90.50 m. La Fermata verrà quindi ad inserirsi in corrispondenza dell'esistente galleria Ranchibile, che, in questo tratto, verrà demolita.

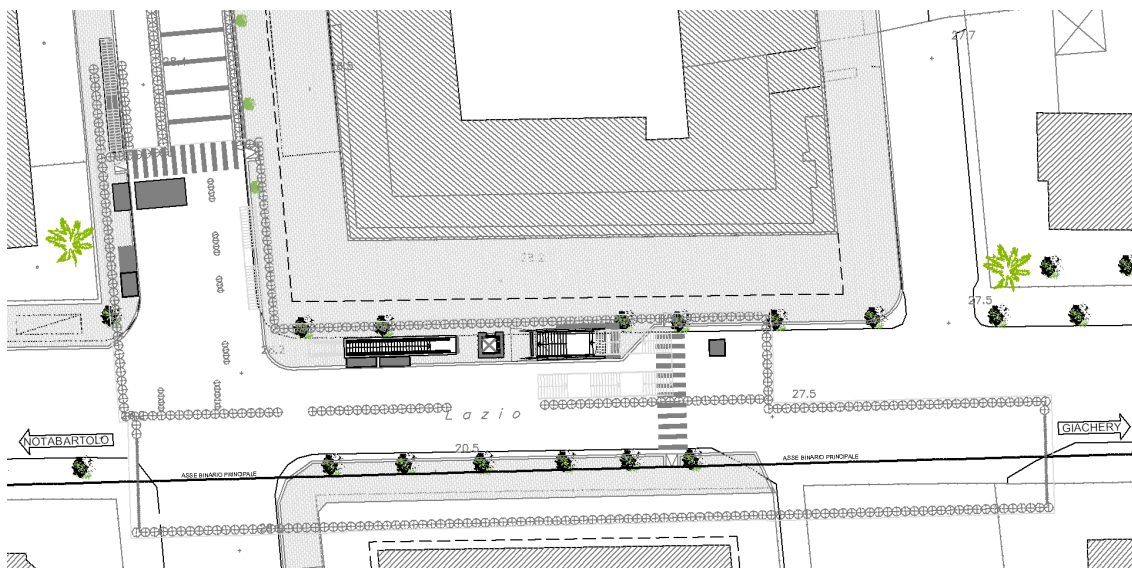


Figura 1 – Vista di insieme della Fermata Libertà.

La presente relazione ha per oggetto la valutazione degli effetti delle fasi di lavorazione della Fermata Libertà sui rivestimenti esistenti della galleria Ranchibile, in maniera particolare sui tratti di galleria, in prossimità delle sezioni di estremità, che resteranno in opera.

Verranno inoltre dimensionati gli interventi di consolidamento dei tratti terminali della Fermata Libertà, la paratia di micropali di lunghezza variabile a protezione dell'intero fronte ed i rivestimenti definitivi degli stessi tratti terminali (tampone in c.a.).

Gli interventi di consolidamento in corrispondenza dei tratti terminali sono costituiti da iniezioni cementizie eseguite dal piano stradale e si estendono per circa 4 m a partire dai tratti terminali della Fermata Libertà. Tali interventi sono finalizzati a minimizzare i detensionamenti indotti dallo scavo sull'ammasso circostante. È necessario pertanto vengano messi in opera prima di qualsiasi altra fase, come descritto nelle fasi costruttive.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
GALLERIA RANCHIBILE (GN01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GN 01 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 4 di 45

2. DOCUMENTI E NORMATIVA DI RIFERIMENTO

2.1 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

- [DR 1] RS1L 01 D 79 RH GE0001 001 A - Relazione geologica - Progetto Definitivo 2004.
- [DR 2] RS1L 01 D 79 F5 GE0001 005 A - Profilo geologico - Progetto Definitivo 2004.
- [DR 3] RS1L 01 D 11 RB OC0001 001 B - Relazione geotecnica generale - Progetto Definitivo 2004.
- [DR 4] RS1L 01 D 11 RO FV010X 001 B - Relazione descrittiva di Fermata Libertà - Progetto Definitivo 2004.
- [DR 5] RS1L 01 D 11 CL FV010X 001 A - Relazione di calcolo di Fermata Libertà - Progetto Definitivo 2004.
- [DR 6] RS72 01 E ZZ RB GE0005 001 B - Relazione geotecnica generale.
- [DR 7] RS72 01 E ZZ F6 GE0005 001 B - Profilo geotecnico longitudinale lungo la linea.
- [DR 8] RS72 01 E ZZ F6 GE0005 002 B - Profilo geotecnico longitudinale Fermata Libertà.
- [DR 9] RS72 01 E ZZ RG GA110X 001 A - Relazione tecnico descrittiva.
- [DR 10] RS72 01 E ZZ CL GA110X 001 A - Relazione di calcolo.
- [DR 11] RS72 01 E ZZ PZ GA110X 001 A - Fasi costruttive 1/3.
- [DR 12] RS72 01 E ZZ PZ GA110X 002 A - Fasi costruttive 2/3.
- [DR 13] RS72 01 E ZZ PZ GA110X 003 A - Fasi costruttive 3/3.
- [DR 14] RS72 01 E ZZ P9 GA1102 001 A - Pianta scavi
- [DR 15] RS72 01 E ZZ P9 GA110X 001 A - Planimetria di progetto
- [DR 16] RS72 01 E ZZ P9 GA110X 002 A - Planimetria di progetto con sviluppata- corpo di fermata
- [DR 17] RS72 01 E ZZ P9 GA110X 003 A - Planimetria di progetto con sviluppata - corpo locali tecnici
- [DR 18] RS72 01 E ZZ P9 GA110X 004 A - Planimetria di progetto con sviluppata - rampa di cantiere e corpo scala
- [DR 19] RS72 01 E ZZ P9 GA1104 001 A - Planimetria tracciamento pali
- [DR 20] RS72 01 E ZZ W9 GA110X 001 A - Sezioni trasversali 1/2
- [DR 21] RS72 01 E ZZ W9 GA110X 002 A - Sezioni trasversali 2/2
- [DR 22] RS72 01 E ZZ W9 GA110X 003 A - Sezioni trasversali - rampa di cantiere
- [DR 23] RS72 01 E ZZ BA GA110X 001 A - Carpenterie - Sezioni 1/4
- [DR 24] RS72 01 E ZZ BA GA110X 002 A - Carpenterie - Sezioni 2/4

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandatari Sab (Mandante) a)  				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
GALLERIA RANCHIBILE (GN01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GN 01 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 5 di 45

- [DR 25] RS72 01 E ZZ BA GA110X 003 A - Carpenterie - Sezioni 3/4
- [DR 26] RS72 01 E ZZ BA GA110X 004 A - Carpenterie - Sezioni 4/4
- [DR 27] RS72 01 E ZZ RG FV0100 001 A - Relazione generale tecnica e descrittiva.
- [DR 28] RS72 01 E ZZ P7 FV0100 001 A - Planimetria di inquadramento territoriale.
- [DR 29] RS72 01 E ZZ P9 FV0100 001 A - Stato di fatto - Planimetria.
- [DR 30] RS72 01 E ZZ B9 FV0100 001 A - Stato di fatto - Sezioni longitudinali e trasversali.
- [DR 31] RS72 01 E ZZ P8 FV0102 001 A - Planimetria e sezioni di assetto generale delle sistemazioni esterne.
- [DR 32] RS72 01 E ZZ PA FV0100 001 A - Pianta livello accessi.
- [DR 33] RS72 01 E ZZ PA FV0100 002 A - Pianta livello mezzanino.
- [DR 34] RS72 01 E ZZ PA FV0100 003 A - Pianta livello banchine.
- [DR 35] RS72 01 E ZZ WA FV0100 001 A - Sezioni Tav. 1 di 2.
- [DR 36] RS72 01 E ZZ WA FV0100 002 A - Sezioni Tav. 2 di 2.
- [DR 37] RS72 01 E ZZ CL FV0100 001 A - Relazione di calcolo.

2.2 NORMATIVA TECNICA

- [NT 1] D.M. LL.PP. del 2 agosto 1980 "Criteri Generali e Prescrizioni Tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo di ponti stradali"
- [NT 2] D.M. 11.03.1988 "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione"
- [NT 3] D.M. LL.PP. del 4 maggio 1990 "Aggiornamento delle Norme Tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo di ponti stradali"
- [NT 4] D.M. 09.01.1996 "Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle opere in cemento normale e precompresso e per le strutture metalliche"
- [NT 5] D.M. 16.01.1996 "Norme Tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi"
- [NT 6] D.M. 16.01.1996 "Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche".
- [NT 7] Circolare 156 del 04.07.1996 "Istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi".

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
GALLERIA RANCHIBILE (GN01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GN 01 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 6 di 45

[NT 8] Circ. Min. LL.PP. del 15 ottobre 1996 n. 252 "Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per la disciplina ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche" di cui al decreto ministeriale del 9 gennaio 1996.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
GALLERIA RANCHIBILE (GN01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GN 01 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 7 di 45	

3. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

I materiali impiegati nella progettazione strutturale sono:

3.1 CALCESTRUZZO

Magrone di pulizia e livellamento (non strutturale).

- Classe di resistenza: C 12/15

Timpano e rivestimenti definitivi.

- Classe di resistenza: C30/35
- Resistenza caratteristica cubica a compressione: $R_{ck} = 35.00 \text{ N/mm}^2$
- Tensione ammissibile a pressoflessione: $\sigma_c = 11.00 \text{ N/mm}^2$
- Tensione tangenziale ammissibile: $\tau_{c0} = 0.667 \text{ N/mm}^2$
- Tensione tangenziale ammissibile per solo taglio: $\tau_{c0} = 1.971 \text{ N/mm}^2$
- Modulo elastico: $E = 33722 \text{ N/mm}^2$

Copriferri minimi.

- Strutture in elevazione 4.0 cm

3.2 ACCIAIO PER C.A.

- Tipo: FeB44k
- Tensione ammissibile: $\sigma_s = 255 \text{ N/mm}^2$
- Modulo elastico: $E_s = 210000 \text{ N/mm}^2$

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandatari a) Sab (Mandante) 					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
GALLERIA RANCHIBILE (GN01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GN 01 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 8 di 45	

3.3 ACCIAIO DA CARPENTERIA

- Tipo: Fe 430
- Tensione ammissibile a trazione e a compressione: $\sigma_s = 190 \text{ N/mm}^2$
- Tensione tangenziale pura: $\tau_s = 109.70 \text{ N/mm}^2$
- Modulo elastico: $E_s = 206000 \text{ N/mm}^2$

Le analisi e le verifiche sono state condotte con il metodo delle tensioni ammissibili.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
GALLERIA RANCHIBILE (GN01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GN 01 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 9 di 45

4. GEOLOGIA E GEOTECNICA

4.1 INDAGINI ESEGUITE

Lungo il tracciato dell'anello ferroviario sono state eseguite diverse campagne geognostiche, per mezzo di indagini in sito e di laboratorio:

- Campagna geognostica "Metrotram" del 1999-2000:
 - N.3 sondaggi a carotaggio continuo (denominati "S") di lunghezza variabile da 10 a 22 m
- Campagna geognostica "Metroferrovia" del 2003:
 - N.11 sondaggi a carotaggio continuo (denominati "SM") di lunghezza variabile da 20 a 40 m;
 - Installazione di n.7 piezometri a tubo aperto;
 - N. 4 prove sismiche tipo Down-Hole;
 - Indagini geofisiche georadar.
- Campagna geognostica del 2010, finalizzata alla redazione del Progetto Esecutivo:
 - N. 14 sondaggi a carotaggio continuo (denominati "SE") di lunghezza variabile da 15 a 35.5 m;
 - n. 2 sondaggi meccanici sub-orizzontali a carotaggio continuo di lunghezza pari a 5 m denominati SR1 e SR3 e n. 1 sondaggio verticale di lunghezza pari a 5 m denominato SR2 all'interno della galleria esistente Ranchibile dove il progetto prevede la realizzazione della Fermata Libertà.
All'interno dei sondaggi SR1 e SR2 sono state eseguite n. 2 prove pressiometriche Menard;
 - Installazione piezometri a tubo aperto;
 - Esecuzione di prove sismiche;
 - Esecuzione di prove penetrometriche statiche.
 - Indagini di sismica passiva a stazione singola tromografica;
 - Indagini georadar.

Nelle seguenti tabelle si riassumono i sondaggi eseguiti, le profondità raggiunte, le indagini in sito eseguite e la strumentazione installata nell'area della Fermata Libertà.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
GALLERIA RANCHIBILE (GN01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GN 01 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 10 di 45	

Tabella 1 – indagini in sito campagna 1999

Sondaggio	Profondità	N. Prove SPT	Strumentazione installata	N. Prove Permeabilità
-	m	-	m	-
S02BIS	20.0	4	-	-
S01				

Tabella 2 – indagini in sito campagna 2010

Sondaggio	Profondità	N. Prove SPT	Strumentazione installata	N. Prove Laboratorio
-	m	-	m	-
SE01	20.5	5	TA (0÷20.5)	2 (Le)
SE02	30.5	5	Downhole (0÷35.5)	3

La posizione dei sondaggi eseguiti nelle due campagne di indagini è illustrata in figura.

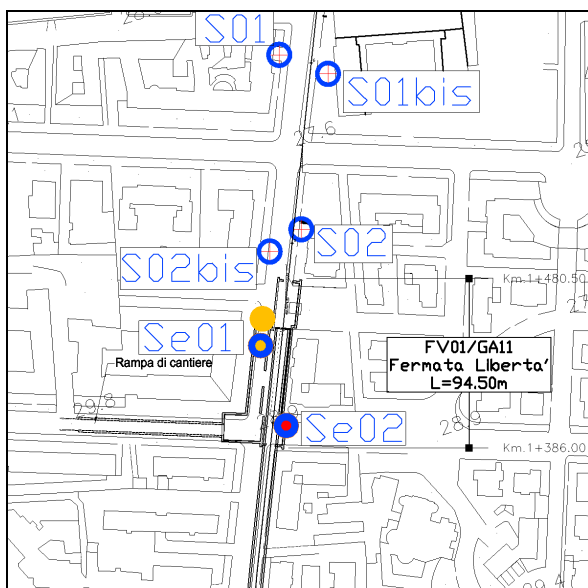


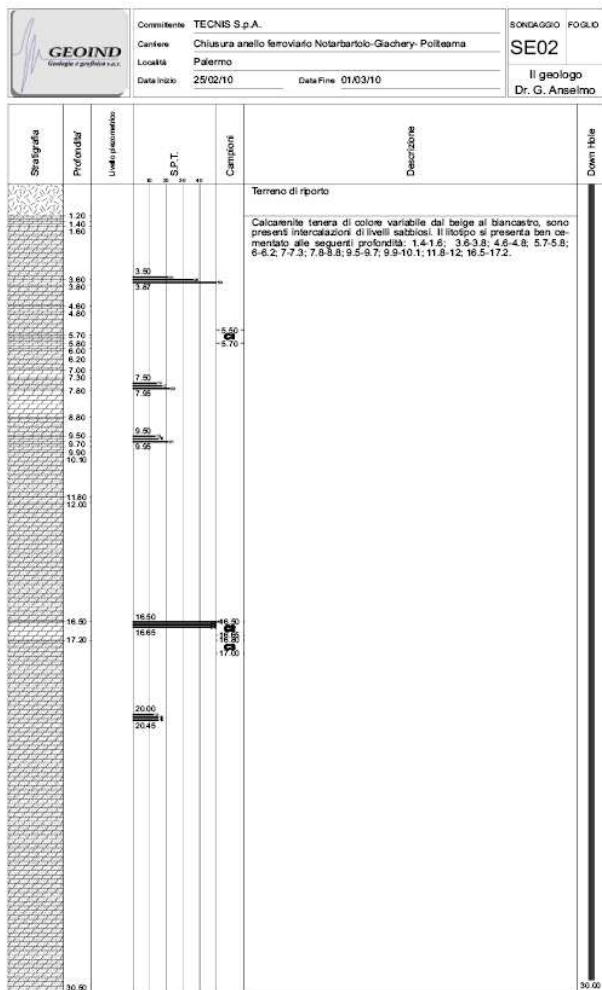
Figura 2 – Fermata Libertà – Ubicazione indagini eseguite

Di seguito vengono riportate le stratigrafie dei sondaggi eseguiti nella zona in esame nel corso delle due

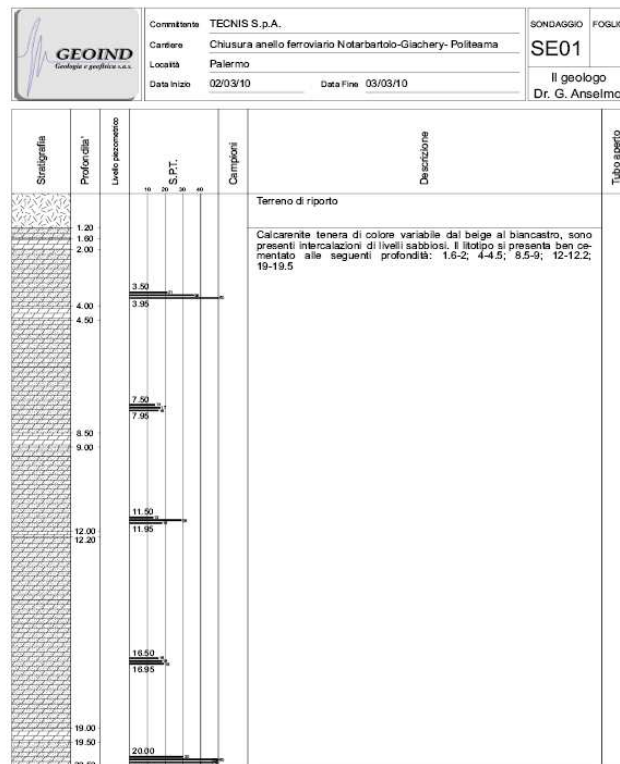
APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
GALLERIA RANCHIBILE (GN01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GN 01 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 11 di 45

campagne di indagini.

Sondaggio SE02 (campagna 2010)

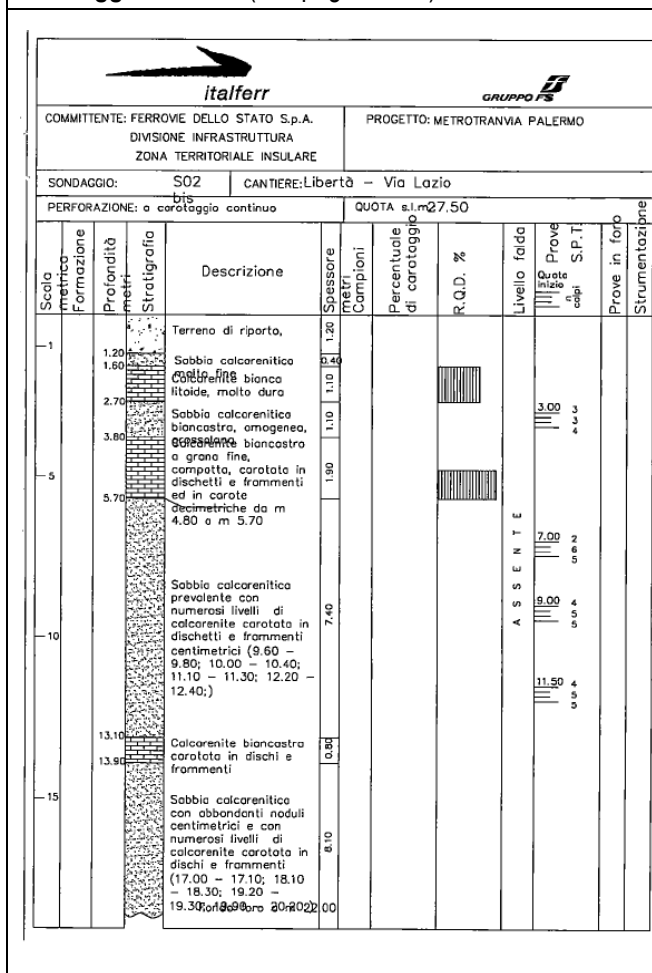


Sondaggio SE01 (campagna 2010)

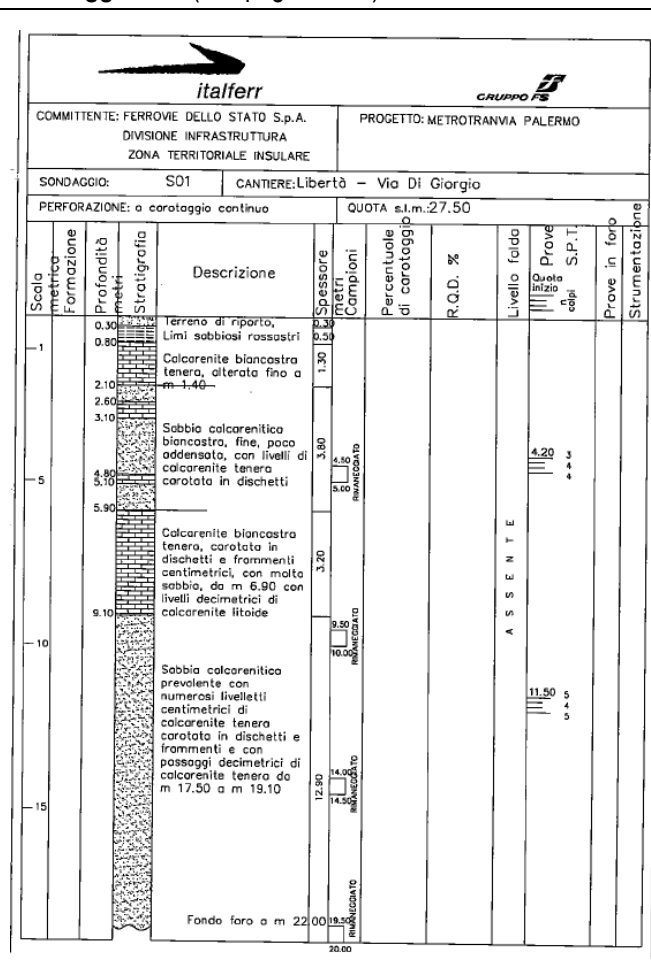


APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
GALLERIA RANCHIBILE (GN01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GN 01 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 12 di 45

Sondaggio S02 BIS (campagna 1999)



Sondaggio S01 (campagna 1999)



Tutti i sondaggi eseguiti hanno restituito la presenza di calcareniti tenere appartenenti al *Complesso calcarenitico - sabbioso Pleistocenico* (unità SC). Lo spessore del terreno di riporto superficiale è di circa 1.20 m. Le calcareniti interessano la lunghezza restante dei sondaggi, e presentano intercalazioni di livelli sabbiosi, e alcuni livelli ben cementati (unità CL), di spessore variabile, di solito inferiore al metro.

I valori di N_{SPT} emersi dai sondaggi del PE sono risultati più elevati rispetto a quelli delle precedenti campagne di indagini, con valori medi di 35-45 colpi/30cm, che aumentano fino al rifiuto negli strati maggiormente cementati, evidenziando materiali comunque sempre abbastanza addensati.

Le prove downhole eseguite nel sondaggio SE02 hanno evidenziato valori di Vs compresi tra 400 e 600 m/s, mediamente più alte che nei sondaggi eseguiti in zona Porto, confermando che il *Complesso calcarenitico - sabbioso Pleistocenico* in corrispondenza della fermata Libertà possiede caratteristiche geomeccaniche decisamente migliori rispetto ai medesimi materiali nelle altre zone del tracciato.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
GALLERIA RANCHIBILE (GN01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GN 01 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 13 di 45	

Le letture del piezometro installato nel foro di sondaggio SE01 hanno confermato l'assenza d'acqua. Nella seguente Tabella 3 si riassumono i risultati delle prove di permeabilità Lefranc eseguite durante la campagna geognostica del 2010.

Tabella 3 – Prove di permeabilità Lefranc campagna 2010

Sondaggio	Campagna d'indagine	N. prova	Profondità prova [m]	Coefficiente di permeabilità media [m/s]	Unità
SE01	2010	LE	5.0	2.09E-04	SC
		LE	11.0	3.45E-05	SC

All'interno del sondaggio SE02 sono stati prelevati n.3 campioni, rispettivamente alle profondità 5.50, 16.50 e 16.80 m, corrispondenti a livelli di calcareniti cementati (unità CL). Sui campioni sono state eseguite prove di compressione monoassiale, che hanno restituito valori di σ_c compresi tra 4.7 e 10 MPa.

Nel mese di aprile 2010 sono stati inoltre eseguiti n.3 sondaggi a distruzione dalla galleria Ranchibile, in corrispondenza della progressiva 1+425. Tali sondaggi hanno permesso di definire con maggiore precisione lo stato dei terreni in prossimità della galleria Ranchibile già realizzata. Su n.2 sondaggi sono state eseguite prove pressiometriche finalizzate alla determinazione del modulo elastico dei terreni.

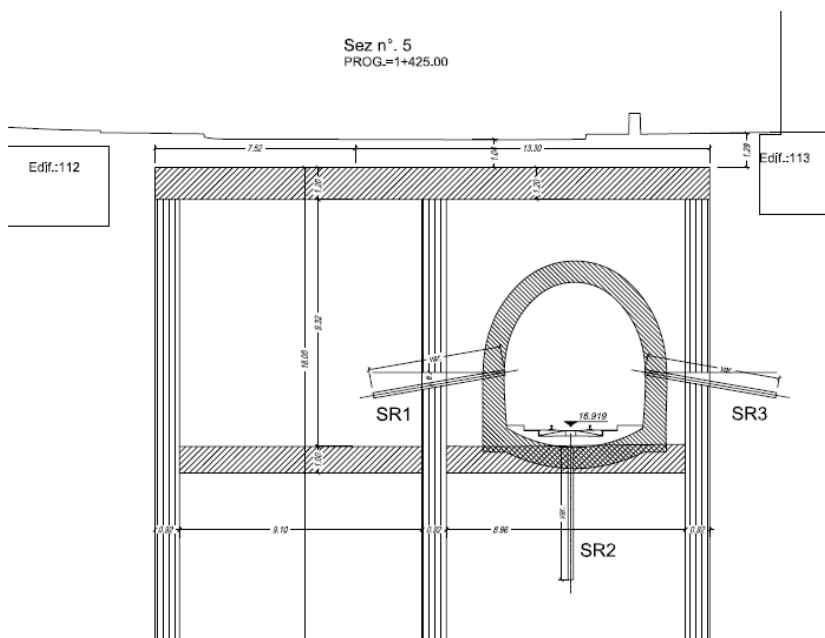


Figura 3 – Fermata Libertà – Ubicazione indagini dalla galleria Ranchibile

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
GALLERIA RANCHIBILE (GN01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GN 01 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 14 di 45

Tabella 4 – Indagini dalla galleria Ranchibile

Sondaggio	Profondità	N. Prove SPT	Strumentazione installata	N. Prove Pressiometriche
-	m	-	m	-
SR1	5.0	-	-	1
SR2	5.0	-	-	1
SR3	5.0	-	-	-

Tutti i sondaggi eseguiti dalla galleria Ranchibile hanno interessato calcareniti tenere stratificate appartenenti al *Complesso calcarenitico – sabbioso Pleistocenico* (unità SC). Le prove pressiometriche sono state eseguite su livelli di sabbie grossolane molto addensate e hanno restituito valori di modulo elastico compresi tra 124 e 130 MPa.

I risultati delle indagini effettuate hanno permesso di ricostruire il quadro geologico-geotecnico rappresentato nelle figure seguenti.

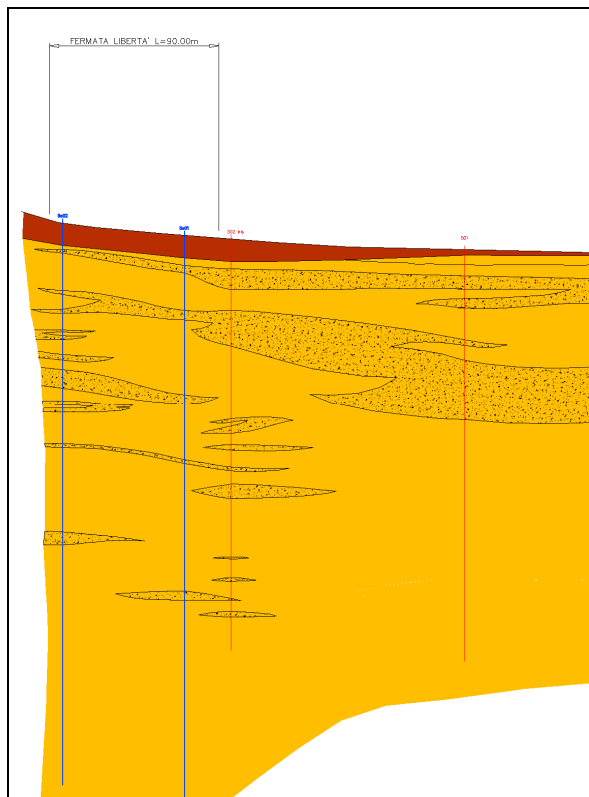


Figura 4 – Fermata Libertà – Profilo geologico

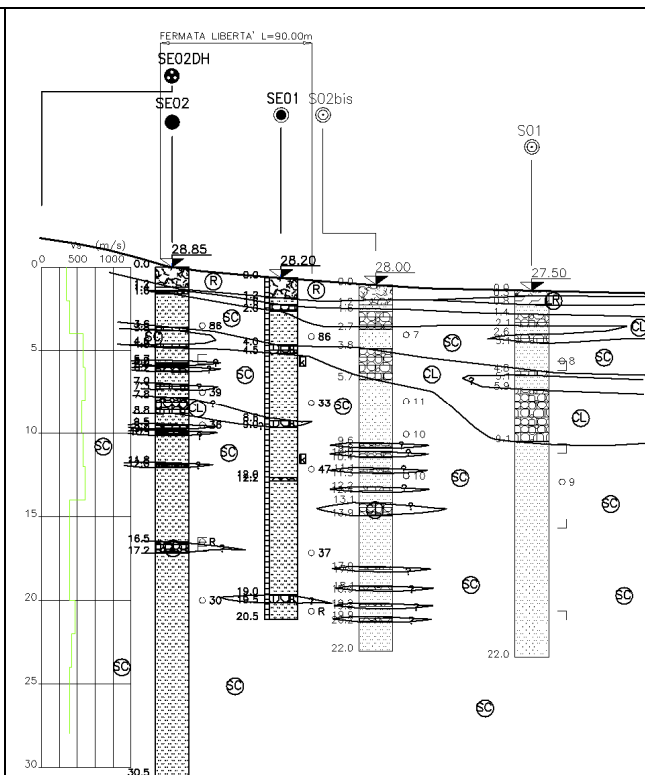


Figura 5 – Fermata Libertà – Profilo geotecnico

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
GALLERIA RANCHIBILE (GN01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GN 01 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 15 di 45

4.2 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Lungo il tracciato le unità geotecniche che interagiscono con le opere sono le seguenti:

Terreno di riporto

- **Unità R:** terreno di riporto, suolo vegetale; si tratta di depositi molto eterogenei prevalentemente sabbiosi e sabbiosi-limosi con inclusi elementi lapidei di natura calcarenitica da centimetrici a decimetrici.

Depositi eluviali (terre rosse)

- **Unità LR:** si tratta di depositi eluviali costituiti prevalentemente da argille e limi con inclusi elementi più grossolani a spigoli vivi; sono stati intercettati solo localmente lungo il tracciato e presentano spessore modesto.

Depositi alluvionali recenti

- **Unità ALF:** si tratta di depositi molto recenti costituiti prevalentemente da limi sabbiosi e sabbie limose con presenza di sostanza organica in decomposizione; costituiscono le alluvioni del Paleoalveo.

Complesso calcarenitico – sabbioso Pleistocenico

- **Unità CL:** calcareniti prevalentemente cementate;
- **Unità SC:** sabbie calcarenitiche fini e grossolane di colore biancastro e ocra con inclusi elementi lapidei calcarenitici e calcareniti tenere; questo deposito è quello che predomina lungo il tracciato in esame;
- **Unità SCL:** sabbie fini limose e limi sabbiosi;
- **Unità SCG:** sabbie medio grossolane con ghiaia e ciottoli arrotondati di dimensioni centimetriche.

Complesso limo-sabbioso Pliocenico

- **Unità LS:** limi, limi sabbiosi e sabbie Plioceniche con elevato contenuto in fossili.

Flysch Numidico

- **Unità FNAIt:** rappresentano l'alterazione delle sottostanti argille integre; sono costituite da argille e argille sabbiose in genere abbastanza consistenti;
- **Unità FNA:** argilla grigia a tessitura brecciata o scagliettata, spesso a consistenza marnosa, con intercalati subordinati livelli quarzarenitici. Sono frequenti livelli argillitici a consistenza litoide;
- **Unità FNQ:** si tratta di quarzareniti durissime, estremamente fratturate fino a minutamente frammentate;
- **Unità S/FNQ:** si tratta di sabbie fini debolmente limose con trovanti quarzarenitici.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandatari Sab (Mandante) a)  				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
GALLERIA RANCHIBILE (GN01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GN 01 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 16 di 45

Per ulteriori dettagli sulla caratterizzazione geotecnica e sulle indagini si rimanda alla Relazione geotecnica generale.

4.3 PARAMETRI GEOTECNICI E STRATIGRAFIE DI CALCOLO

Nella seguente tabella sono riportati i parametri geotecnici meccanici di calcolo ottenuti dalla caratterizzazione delle unità geotecniche.

Tabella 5 – Parametri geotecnici meccanici di calcolo.

Unità		R	SC	CL
Peso di volume	γ [kN/m ³] =	19	19	21
Coesione drenata	c' [kPa] =	0	0	20
Angolo di resistenza al taglio	ϕ' [deg] =	28	35	35
Modulo elastico di primo carico	E_{vc} [kPa] =	20000	80000	100000
Modulo elastico in scarico-ricarico	E_{ur} [kPa] =	32000	128000	160000

Nell' analisi si considera la seguente stratigrafia:

- R da quota 0.0 a quota -1.50 m da p.c.
- SC da quota -1.50 m da p.c. fino alle profondità massima
- Si trascura a vantaggio di sicurezza la presenza di lenti cementate (CL)
- Quota testa pali a -1.40 m dal p.c.
- Falda assente

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
GALLERIA RANCHIBILE (GN01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GN 01 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 17 di 45

5. GALLERIA RANCHIBILE

La galleria Ranchibile è una galleria a singolo binario costruita nei primi decenni del '900 e collega l'attuale stazione Notarbartolo con la fermata Imperatore Federico per un complessivo sviluppo di circa 1535 m e con copertura variabile compresa fra 5.5 e 7.5 metri.

Lungo un tratto di lunghezza pari a 92.5 metri circa (dal km 1+386.55 al km 1+479.05) in cui sarà realizzata la fermata Libertà, la galleria esistente verrà demolita, mentre le zone terminali di attacco della galleria esistente con la nuova fermata saranno oggetto di interventi di consolidamento e di procedure esecutive che verranno di seguito descritte.

Già in sede di Progetto Definitivo sono state effettuate delle indagini finalizzate a individuare gli spessori del rivestimento della galleria e i materiali da costruzione. Si è verificato che i piedritti della galleria, dalla muretta fino alle reni, sono costituiti da muratura in conci di roccia calcarea compatta mentre la calotta, anch'essa di muratura, è in mattoni pieni. Lo spessore dei rivestimenti della galleria è stato investigato tramite carotaggi. Lo spessore sia della calotta che dell'arco rovescio è risultato pari a 80 cm. La struttura della galleria è di seguito schematizzata.

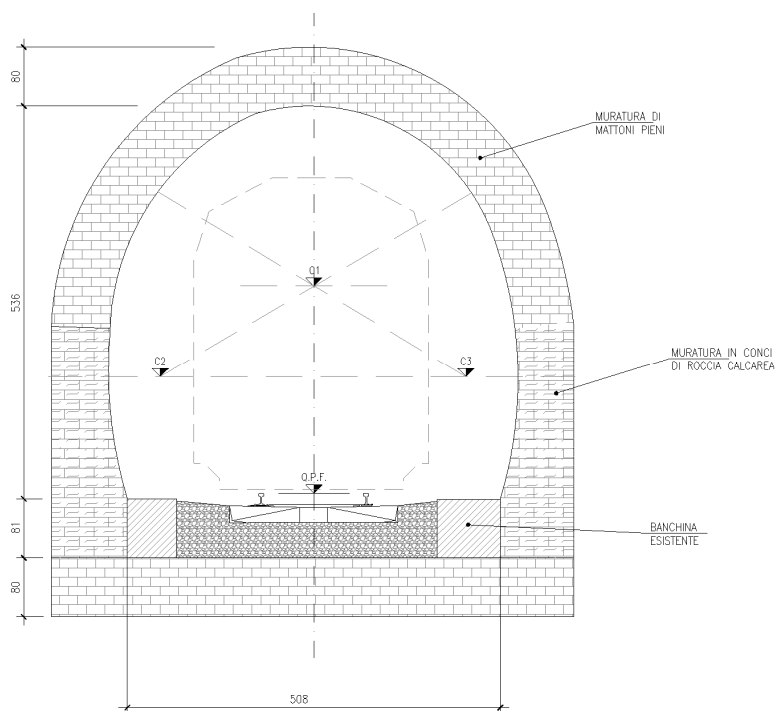


Figura 6 – Galleria Ranchibile – Schema strutturale

Durante i sopralluoghi effettuati nel 2010, sono state effettuate ulteriori indagini, comprendenti l'ispezione visiva del manufatto, il rilievo geometrico della sagoma interna e l'esecuzione dei sondaggi già descritti nel paragrafo 4.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandatari Sab (Mandante) a)  				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
GALLERIA RANCHIBILE (GN01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GN 01 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 18 di 45

Alla vista, nonostante i diversi anni di esercizio, la galleria si presenta in buono stato di conservazione e in condizioni strutturali discrete, priva di fessure o altre forme importanti di dissesto.



Figura 7 – Galleria Ranchibile – Ispezione visiva

Ai piedritti, la muratura di conci naturali è costituita da blocchi delle dimensioni medie 20x20x30 cm e da giunti di malta costituita da calce idraulica, cemento e sabbia (malta bastarda). Lo spessore medio dei giunti è di circa 1.0 cm e nella parte superficiale la malta ha subito alterazioni dovute all'azione aggressiva soprattutto dei fumi di combustione che ne hanno modificato le caratteristiche di coesione al punto che la malta è facilmente asportabile con la sola azione meccanica delle dita. La muratura che costituisce la calotta è realizzata con mattoni pieni delle dimensioni 5x10x25 cm e da giunti della medesima malta prima descritta e dello spessore medio di 0.5 cm. Sono presenti efflorescenze saline dovute ad umidità derivante dalla permeazione di acque superficiali.

I rilievi geometrici eseguiti hanno restituito una sagoma piuttosto irregolare, con luci interne pari a circa 5.56 m. La profondità del ballast è pari a circa 60 cm. L'arco rovescio è di fatto costituito da una soletta orizzontale, ai lati della quale sono state eseguite le banchine. La sagoma che meglio si approssima alle misure effettuate è riportata in figura 19.

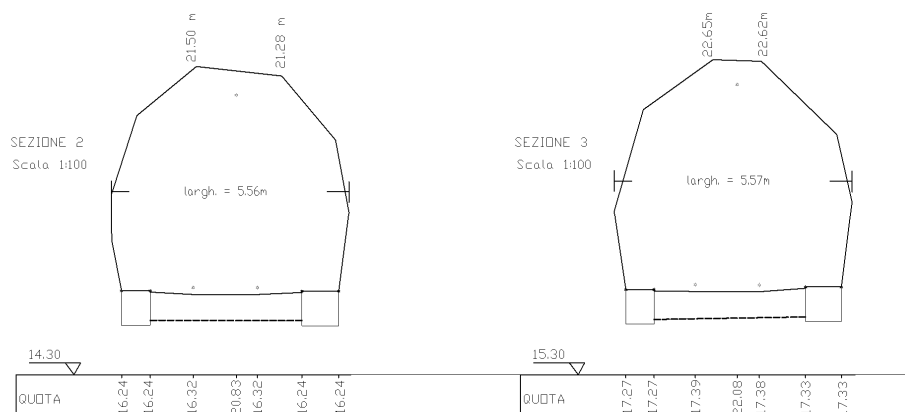


Figura 8 – Galleria Ranchibile – Rilievi geometrici

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
GALLERIA RANCHIBILE (GN01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GN 01 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 19 di 45

Le fasi costruttive per la realizzazione della fermata prevedono la messa in opera di interventi di blindatura nella galleria Ranchibile nelle fasi precedenti alla realizzazione alle attività di scavo.

Il dettaglio di tali interventi, che costituiscono una protezione all'esercizio ferroviario, è riportato nell'elaborato "RS72-01-E-ZZ-BA-GN010X-001-A – Interventi di blindatura".

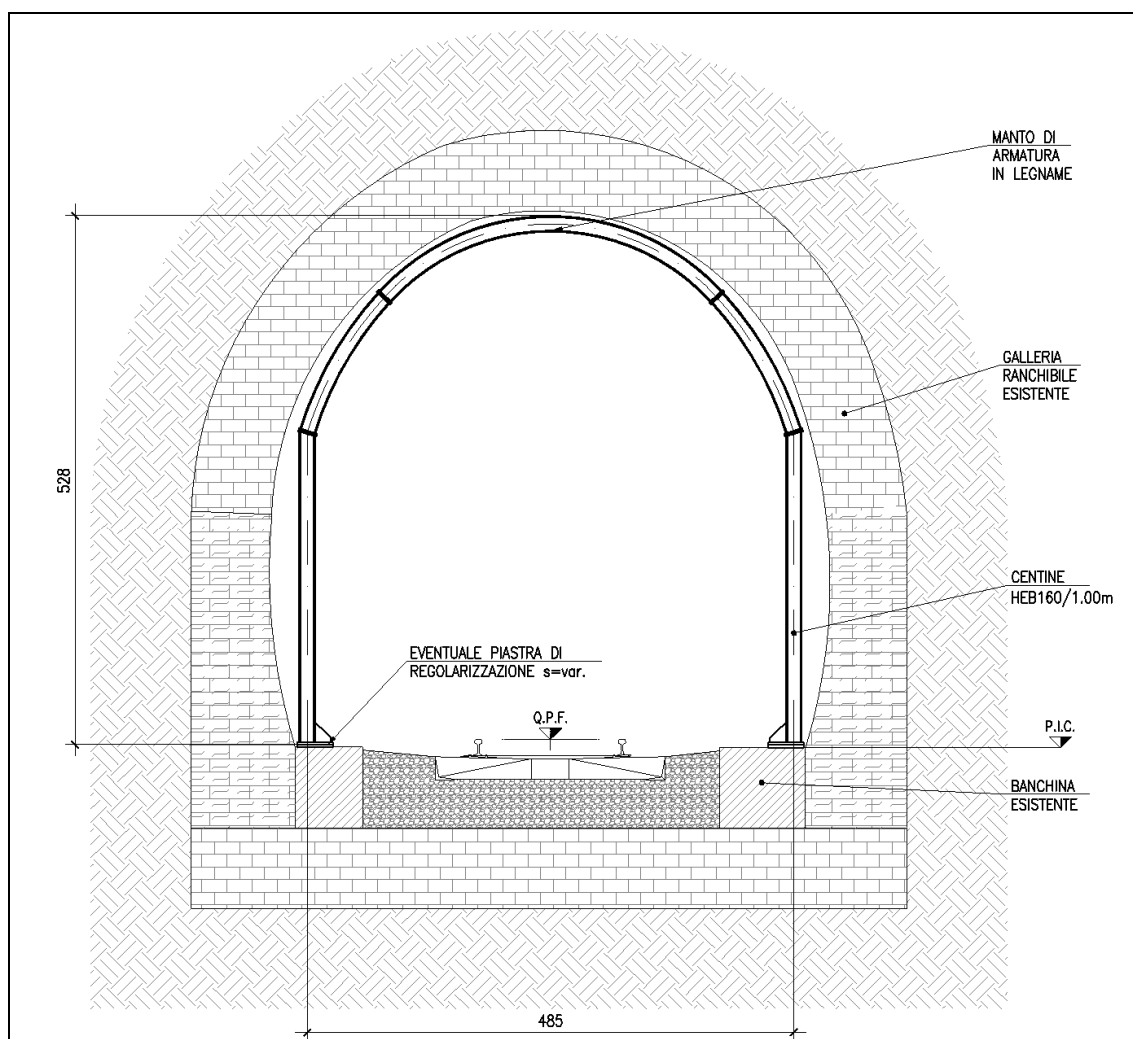


Figura 9 – Galleria Ranchibile – Interventi di blindatura

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
GALLERIA RANCHIBILE (GN01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GN 01 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 22 di 45

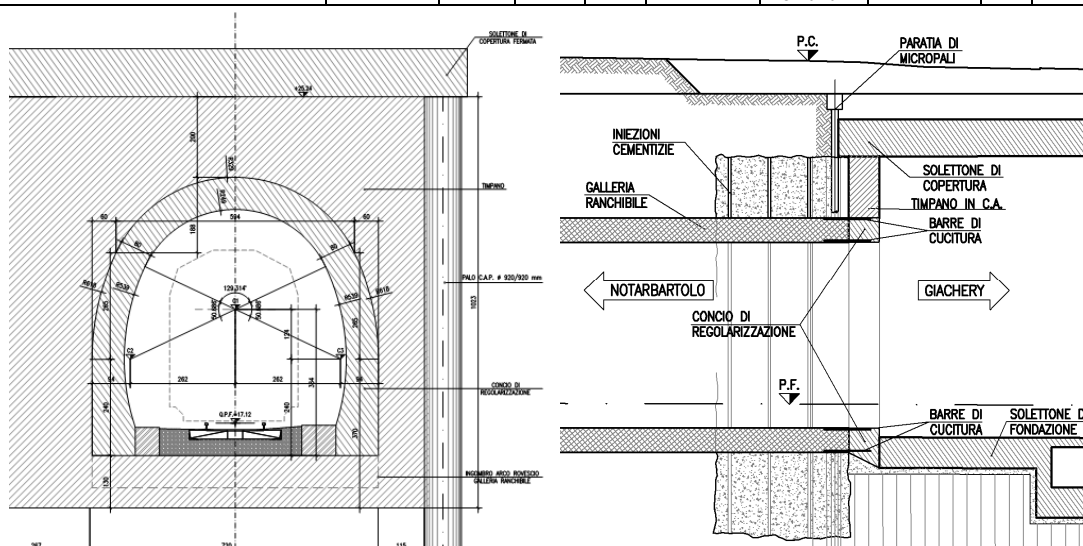


Figura 12 – Strutture definitive nei tratti terminali della Fermata Libertà.

Le sequenze operative per la realizzazione dei tratti di estremità sono di seguito descritte:

- messa in opera degli interventi di blindatura;
- scavo di sbancamento fino alla quota di intradosso del solettone di copertura della nuova galleria di progetto;
- realizzazione delle paratie di pali CAP $\phi 920$ della Fermata;
- consolidamento del terreno intorno alla testata tramite iniezioni cementizie;
- esecuzione della paratia di micropali a contenimento del terreno già consolidato nella parte che non verrà scavata e che costituirà inoltre la superficie contro la quale sarà gettato il timpano.
- getto del solettone di copertura;
- ritombamento dello scavo ed eventuale ripristino della viabilità stradale;
- esecuzione dello scavo della nuova galleria di fermata a foro cieco;
- demolizione dell'ultimo concio della galleria esistente;
- successivo getto in opera del concio di regolarizzazione, vincolato alla galleria esistente tramite perforazioni armate e contenente o ferri di attesa per il timpano;
- getto del timpano e dell'ultimo concio del solettone di fondo.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
GALLERIA RANCHIBILE (GN01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GN 01 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 23 di 45

7. ANALISI DEI CARICHI

I carichi utilizzati per il calcolo delle membrature strutturali sono specificati nel seguito.

7.1 PESO PROPRIO DELLE STRUTTURE (G1)

Il peso proprio delle membrature strutturali viene valutato assumendo per il calcestruzzo armato un peso specifico pari a 25 kN/m³ e per l'acciaio 78.5 kN/m³.

Il peso di ciascuna membratura strutturale viene determinato direttamente dal programma di calcolo come prodotto tra il peso specifico e la dimensione dell'elemento stesso.

7.2 SOVRACCARICHI VARIABILI (Q1)

Si adottano i carichi stabiliti convenzionalmente dalla normativa specifica per il calcolo dei ponti stradali di prima categoria:

q_{1,a} = mezzo convenzionale da 600 kN a tre assi, con le caratteristiche indicate nello schema del D.M. 04/05/1990;

Il numero delle colonne di carico mobile considerato nel calcolo è quello massimo compatibile con la larghezza della carreggiata, tenuto conto che la larghezza di ingombro convenzionale è stabilita per ciascuna colonna in 3.50 m.

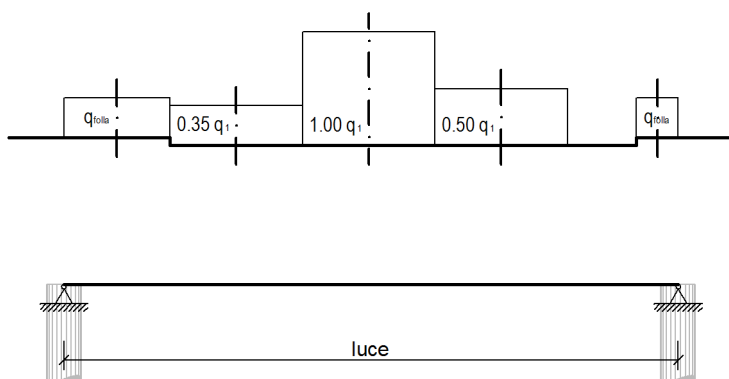


Figura 13 – Schema di carico della copertura, azione indotta da carico mobile.

Il carico tandem della prima corsia è costituito per un totale di 600 kN. Il carico viene distribuito su una superficie di influenza individuata in corrispondenza del baricentro della soletta: detta superficie,

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandatari Sab (Mandante) a)  				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
GALLERIA RANCHIBILE (GN01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GN 01 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 24 di 45

considerando un ricoprimento di 1.20 m (in favore di sicurezza) e una diffusione interna del carico con pendenza 1:2, ha una lunghezza nel senso longitudinale di:

$$1.20/2 + 0.15 + 1.50 + 1.50 + 0.15 + 1.20/2 = 4.50 \text{ m.}$$

A questa striscia occorre sommare l'altezza della soletta (1.20 m, angolo di diffusione interno pari a 45°):

$$4.50 + 1.20 = 5.70 \text{ m.}$$

Nel senso trasversale risulta:

$$1.20/2 + 0.15 + 2.00 + 0.15 + 1.20/2 = 3.50 \text{ m,}$$

a cui va sommata l'altezza della soletta:

$$3.50 + 1.20 = 4.70 \text{ m.}$$

Poiché la diffusione nel senso trasversale così ottenuta è superiore alla dimensione della singola corsia, si considera a favore di sicurezza il valore pari a 3.50 m. il carico per unità di superficie risulta pertanto:

$$600/(5.70 \times 3.50) = 600/19.95 = 30.08 \text{ kN/m}^2.$$

Il valore così ottenuto è valido per la prima corsia di carico; le successive andrebbero caricate con valori ridotti del 50% e 35%, come da normativa vigente. A favore di sicurezza si assume un carico uniforme pari a 30.00 kN/m².

7.3 AZIONE SISMICA (Q6_T)

Viene determinato l'effetto dell'azione sismica nella direzione ortogonale al timpano, poiché questa risulta più significativa per l'elemento in esame.

L'analisi della struttura soggetta ad azione sismica è valutata mediante metodo pseudo statico.

In tale analisi, l'azione sismica è rappresentata da una forza statica equivalente pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico.

L'area in cui ricadono le opere di progetto è di seconda categoria; per tale zona risulta:

- S, grado di sismicità, pari a 9;
- C, coefficiente di intensità sismica, pari a $(9 - 2)/100 = 0.07$.

Gli effetti dell'azione sismica saranno valutati tenendo conto delle masse delle membrature strutturali, secondo la seguente relazione:

$$F_h = C \times R \times I \times W$$

nella quale:

- R, coefficiente di risposta relativo alla direzione considerata, assunto pari a 1.0;

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandatari Sab (Mandante) a)  				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
GALLERIA RANCHIBILE (GN01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GN 01 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 25 di 45

- I, coefficiente di protezione sismica, assunto pari a 1.2;
- W è il peso delle membrature strutturali.

Risulta pertanto:

$$F_h = 0.07 \times 1.0 \times 1.2 \times W = 0.84 \times W.$$

Per tenere in considerazione l'influenza dell'azione sismica sulla spinta dei terreni deve considerarsi un incremento di spinta ΔF pari alla differenza fra la spinta F_s esercitata dal terreno retrostante in condizioni sismiche e quella statica F :

$$\Delta F = F_s - F,$$

$$F_s = A \times F'$$

nelle quali:

- A è un coefficiente pari a $A = \frac{\sin^2(\beta - \theta)}{\cos^2 \beta \cdot \cos \theta}$;
- F' è la spinta calcolata per $\epsilon' = \epsilon + \theta$ e $\beta' = \beta + \theta$;
- ϵ è l'angolo di inclinazione del piano campagna rispetto al piano orizzontale;
- β è l'angolo di inclinazione della parete interna rispetto al piano orizzontale passante per il piede;
- $\theta = \arctan(C)$.

Tale incremento di spinta deve essere applicato ad una distanza dalla base del timpano pari a 2/3 dell'altezza del timpano stesso. Nel modello di calcolo verrà inserita una distribuzione di carico ripartito, con variazione lineare e valore massimo in testa e nullo al piede.

In particolare risulta un valore di spinta in testa timpano pari a 23.15 kN/m².

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
GALLERIA RANCHIBILE (GN01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GN 01 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 26 di 45

8. ANALISI NUMERICHE

In questo capitolo verranno effettuate le analisi numeriche volte alla valutazione dello stato tenso-deformativo nell'ammasso e le analisi degli spostamenti in corrispondenza del timpano e delle zone critiche limitrofe, indotti dalle varie lavorazioni di realizzazione dell'opera.

8.1 MODELLO DI CALCOLO

L'analisi è stata eseguita con il software ad elementi finiti FEM Midas/GTS, versione 3.0.0, della MIDAS Information Technology Co., Ltd, specifico per applicazioni geotecniche; tramite la corretta modellazione del terreno e della struttura e l'applicazione progressiva delle azioni sull'opera è possibile verificare l'adeguatezza delle soluzioni progettuali previste, in termini di sollecitazioni agenti sulle membrature strutturali e di stato tenso-deformativo indotto nel terreno a seguito delle operazioni di realizzazione dell'opera e successivo carico della stessa.

Il volume di terreno geotecnicamente significativo e gli elementi strutturali costituenti l'intervento di consolidamento e la struttura della Fermata sono stati modellati nel software ad elementi finiti, adottando un modello tridimensionale.

La modellazione di elementi tridimensionali definiti come elementi "solid" è stata eseguita tramite elementi "Tetra – 4 Node", ossia elementi tetraedrici definiti tramite le coordinate dei quattro vertici, ed elementi "Hexahedral – 8 Node", ossia elementi prismatici definiti tramite le coordinate degli otto vertici. Il calcolo delle deformazioni degli elementi è eseguito dal programma considerando i vertici uniti da segmenti lineari.

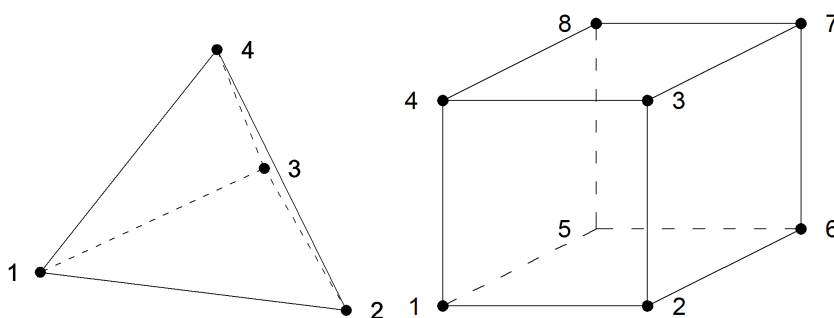


Figura 14 – Elementi Tetra – 4 Node ed Elementi Hexahedral – 8 Node.

Gli elementi sopra descritti sono stati utilizzati per la modellazione del terreno. Il legame costitutivo adottato per il terreno è rappresentato dalla legge Mohr-Coulomb; secondo questo criterio la rottura avviene quando la tensione di taglio τ' e la tensione normale σ' agente su ogni elemento del materiale soddisfano l'equazione lineare:

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
GALLERIA RANCHIBILE (GN01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GN 01 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 27 di 45

$$|\tau| + \sigma' \cdot \tan \varphi' - c' = 0 ,$$

dove c' e φ' indicano, rispettivamente la coesione e l'angolo di resistenza a taglio del terreno. Nello spazio delle tensioni principali il criterio di Coulomb è rappresentato da una piramide avente per base un esagono irregolare.

Per l'intervento di consolidamento tramite iniezioni di malta cementizia è stato utilizzato un materiale con caratteristiche analoghe a quelle del terreno circostante, con un modulo E pari a 500 MPa.

Per la modellazione dei rivestimenti della galleria esistente, delle paratie di pali e delle solette di copertura e di fondazione sono stati utilizzati elementi di tipo "shell", di opportune caratteristiche inerziali. Il modello costitutivo adottato per la modellazione del rivestimento della galleria, delle paratie, e delle solette è del tipo elastico lineare, rappresentato dalla legge di Hooke:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon ,$$

nella quale E è il modulo di elasticità longitudinale del materiale ed ε è la deformazione a cui è soggetto l'elemento. I moduli elastici adottati sono riportati in tabella:

Tabella 6 – Moduli elastici degli elementi strutturali.

	E [MPa]
Rivestimento della galleria	300
Paratia di pali CAP Ø920	31220
Soletta di copertura	33722
Soletta di fondazione	33722
Timpano in c.a.	33722

Per quanto riguarda i micropali della paratia di estremità, è stato scelto di adottare elementi di tipo beam. In tal modo è stato possibile tener conto della differenza di rigidezza nelle due direzioni. Infatti i micropali agiscono in maniera indipendente e sono connessi tra di loro solamente attraverso il cordolo di collegamento. Nel modello di calcolo, ad fine di limitare il numero di elementi beam, e conseguentemente le dimensioni della mesh di calcolo, sono stati utilizzati n. 16 beam, ai quali sono state attribuite caratteristiche inerziali equivalenti, in funzione dell'interasse degli elementi (in funzione cioè del numero di micropali che ogni elemento rappresenta). Gli elementi beam non sono connessi con gli elementi shell che rappresentano il rivestimento della galleria.

Il timpano in c.a. è stato schematizzato attraverso elementi "solid" aventi spessore pari a 1 m, e modello costitutivo elastico lineare.

Le dimensioni della frontiera del modello per le analisi numeriche sono pari a 80.00 m in lunghezza e 80.00 m in larghezza, e 40.00 m in profondità; le dimensioni sono state calibrate in modo da evitare gli effetti di bordo tipici della discretizzazione numerica.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandatari Sab (Mandante) a)  					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
GALLERIA RANCHIBILE (GN01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GN 01 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 28 di 45	

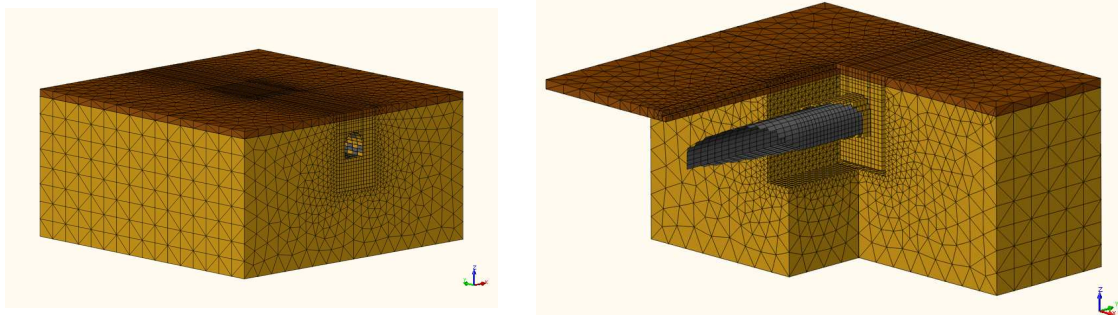


Figura 15 – Modello di calcolo 3D.

I vincoli utilizzati nel modello ripropongono le condizioni al contorno del volume preso in esame:

- lungo il piano di base orizzontale XY è impedito lo spostamento verticale;
- lungo i due lati verticali XZ sono impediti gli spostamenti orizzontali lungo Y;
- lungo i due lati verticali YZ sono impediti gli spostamenti orizzontali lungo X;
- lungo la parte superiore, corrispondente al piano campagna, sono consentiti gli spostamenti.

Il grado di infittimento della mesh è particolarmente elevato nella zona in corrispondenza degli interventi di consolidamento, ossia laddove si concentrano le variazioni dello stato tenso-deformativo del terreno in seguito alle fasi di lavorazione previste.

La determinazione dello stato deformativo e tensionale nel modello generato è stata condotta attraverso l'analisi di diverse fasi di calcolo, che simulano le varie fasi di intervento nella realizzazione della Fermata.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
GALLERIA RANCHIBILE (GN01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GN 01 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 29 di 45

8.2 FASI DI CALCOLO

Le analisi numeriche sono state condotte in modo da rappresentare di volta in volta le singole fasi lavorative di realizzazione dell'opera, per descrivere con precisione la variazione tenso-deformativa del terreno e il comportamento delle varie membrature strutturali. In Tabella 7 è riportata in dettaglio l'elenco delle fasi analizzate nel modello FEM.

Tabella 7 – Principali fasi esecutive modellate nell'analisi.

n.ro fase	Descrizione
1	Simulazione delle condizioni geostatiche.
2	Realizzazione dello scavo della galleria esistente.
3	Esecuzione del rivestimento della galleria esistente.
4	Esecuzione dello scavo di ribasso per la realizzazione dei pali $\Phi 900$.
5	Realizzazione delle paratie laterali, esecuzione dell'intervento di consolidamento e messa in opera dei micropali del tratto terminale.
6	Realizzazione della soletta di copertura e del cordolo di coronamento dei micropali.
7	Ritombamento.
8	Ripristino della viabilità stradale.
9	Scavo a foro cieco della Fermata, fase 1 di 3.
10	Scavo a foro cieco della Fermata, fase 2 di 3.
11	Scavo a foro cieco della Fermata, fase 3 di 3.
12	Realizzazione del timpano in c.a..
13	Realizzazione della soletta di fondazione.
14	Fase a vuoto per l'annullamento degli spostamenti presenti nel modello.
15	Applicazione dell'azione sismica.

Introdotta il volume geotecnicamente significativo e le membrature strutturali, con le opportune geometrie degli elementi, le caratteristiche meccaniche dei materiali e i legami costitutivi rappresentativi, il programma di calcolo determina in automatico la distribuzione di rigidità.

Di seguito viene fornita una descrizione sintetica delle fasi di calcolo utilizzate nelle analisi.

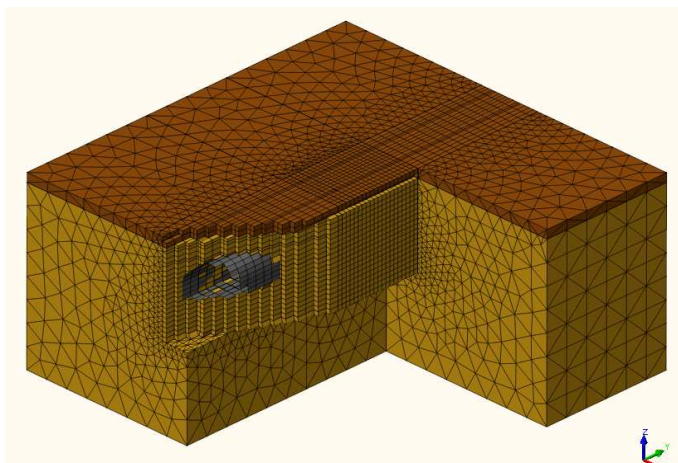
APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
GALLERIA RANCHIBILE (GN01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GN 01 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 30 di 45

Fase 1 – Simulazione delle condizioni geostatiche

La prima fase di calcolo è quella geostatica, nella quale viene determinato lo stato tensionale iniziale effettivamente agente nell'ammasso. Lo stato tensionale iniziale è stato determinato attraverso la procedura "gravity loading", ossia applicando il peso proprio del terreno nella prima fase di calcolo, quando ancora il modello ripropone nella geometria, nei materiali e nei vincoli le caratteristiche del volume in sito.

Fasi 2-3 – Realizzazione dello scavo della galleria esistente (stato di fatto)

Lo scavo della galleria esistente è stato simulato introducendo un coefficiente di rilassamento pari a 0.30. Successivamente, è stato introdotto il rivestimento definitivo della galleria esistente, schematizzato mediante un modello costitutivo elastico lineare, assumendo un valore di E per la muratura pari a 300 MPa. Nella figura seguente è riportata una visualizzazione della fase costruttiva.



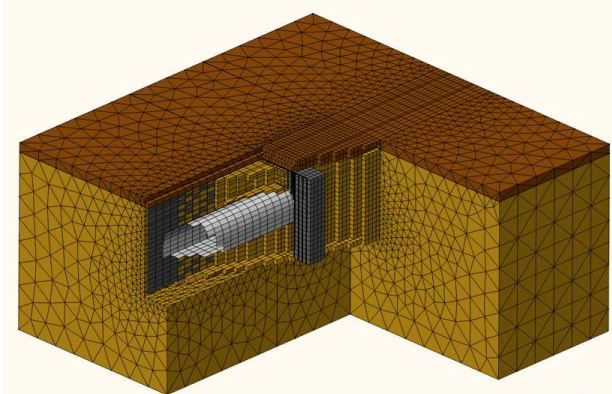
Fase 4 - Esecuzione dello scavo di ribasso per la realizzazione dei pali Ø900

La fase successiva prevede lo scavo di ribasso della parte superiore della Fermata, fino a quota del getto della soletta di copertura.

Fase 5 - Realizzazione delle paratie laterali, esecuzione dell'intervento di consolidamento e messa in opera dei micropali del tratto terminale

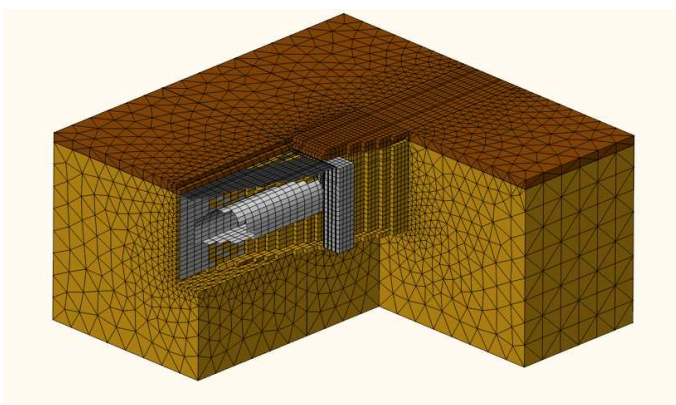
In seguito avviene la realizzazione della paratia a protezione dell'intera Fermata, su entrambi i lati. Nella parte frontale viene realizzato l'intervento di consolidamento, consistente nelle iniezioni di malta cementizia, eseguita dal piano campagna nella zona a ridosso del timpano. Successivamente viene simulata la realizzazione della paratia di micropali del tratto terminale, mediante elementi beam. Nella figura seguente è riportata una visualizzazione della fase costruttiva. A favore di sicurezza non si è tenuto conto degli interventi di blindatura.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
GALLERIA RANCHIBILE (GN01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GN 01 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 31 di 45	



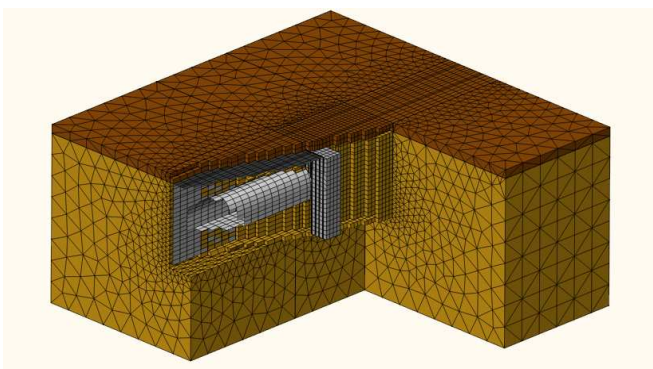
Fase 6 - Realizzazione della soletta di copertura e del cordolo di coronamento dei micropali.

Dopo lo scavo di ribasso viene gettata in opera la soletta di copertura, vincolandola alla paratia di pali.



Fasi 7-8 – Ritombamento dello scavo e ripristino della viabilità stradale.

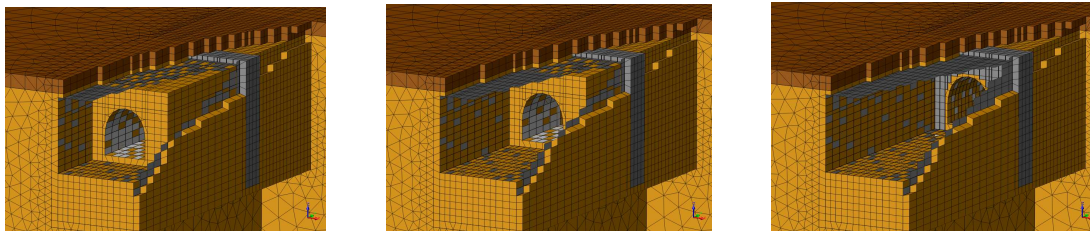
Successivamente viene eseguito il ritombamento della struttura, con materiale di riporto. In questa fase la Fermata viene aperta al traffico veicolare.



APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
GALLERIA RANCHIBILE (GN01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GN 01 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 32 di 45	

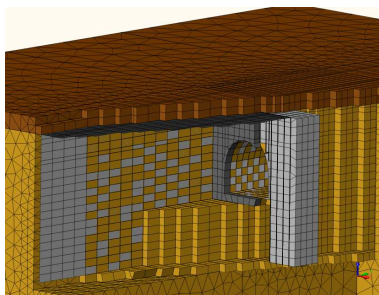
Fasi 9-10-11 – Scavo della Fermata Libertà.

In seguito ha inizio lo scavo a foro cieco della Fermata Libertà, con la progressiva demolizione del rivestimento della galleria esistente.



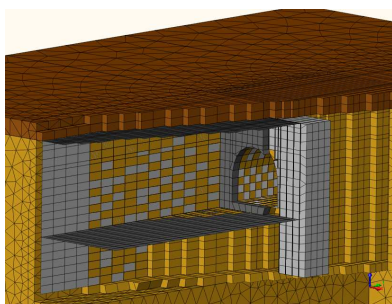
Fase 12 – Esecuzione del timpano di rivestimento.

Successivamente viene eseguito il timpano in calcestruzzo, come rivestimento definitivo in corrispondenza dell'attacco alla galleria esistente.



Fase 13 – Getto della soletta di fondazione.

Dopo la costruzione del timpano in calcestruzzo, viene eseguita la soletta di fondazione, con un getto di calcestruzzo armato.



Fasi 14-15 – Applicazioni delle azioni sismiche.

In queste fasi vengono applicate le azioni sismiche definite nel par. 7.3.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
GALLERIA RANCHIBILE (GN01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GN 01 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 33 di 45

9. ANALISI DEI RISULTATI

Vengono esposti nel seguito i risultati relativi alle analisi numeriche. Per ciascuna fase di calcolo sono stati valutati gli spostamenti del terreno in corrispondenza della paratia di imbocco e le variazioni tensionali nei rivestimenti della galleria. I risultati più significativi sono riportati nel seguito sotto forma di allegati grafici.

Fasi 1-3 – Simulazione delle condizioni attuali

Come riportato nel paragrafo 8.2, la prima fase di calcolo è quella geostatica, nella quale viene determinato lo stato tensionale effettivamente agente nell'ammasso. In fase 3, eseguendo prima lo scavo della galleria con un rilassamento parziale dell'ammasso e poi inserendo il rivestimento della cavità, in quest'ultimo viene a generarsi un sistema di sollecitazioni e dunque di tensioni in equilibrio con il terreno e le condizioni al contorno. In Figura 16 è riportata la distribuzione delle tensioni verticali nell'ammasso, subito dopo l'inserimento della galleria, a riproporre le condizioni iniziali di lavoro.

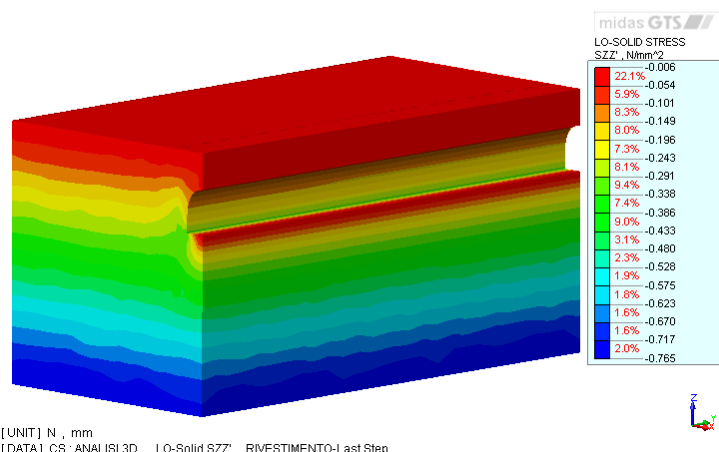


Figura 16 – Tensioni verticali nell'ammasso – Fase 3: Inserimento del rivestimento della galleria.

Fasi 4-8 – Esecuzione degli interventi di consolidamento, realizzazione della paratia, getto della soletta di copertura e ritombamento

Dalla fase 4 alla fase 8 vengono simulate l'esecuzione delle iniezioni cementizie, la realizzazione della paratia di micropali a protezione dell'imbocco e delle paratie dei pali sui lati della Fermata, il getto la soletta di copertura, il ritombamento e l'apertura al traffico veicolare.

In Figura 17 è riportata la distribuzione delle tensioni principali nel modello: si evince come in corrispondenza del punto in cui verrà eseguito il timpano in calcestruzzo si ha una variazione tensionale importante rispetto alle condizioni iniziali, per effetto degli interventi praticati. Le direzioni delle tensioni principali subiscono una sostanziale modifica in corrispondenza della zona in cui sono state eseguite le iniezioni di malta cementizia ed in seguito all'applicazione dei carichi, rispetto alla condizione iniziale (è possibile eseguire il confronto con la Figura 16).

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandatari Sab (Mandante) a)  				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
GALLERIA RANCHIBILE (GN01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GN 01 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 34 di 45

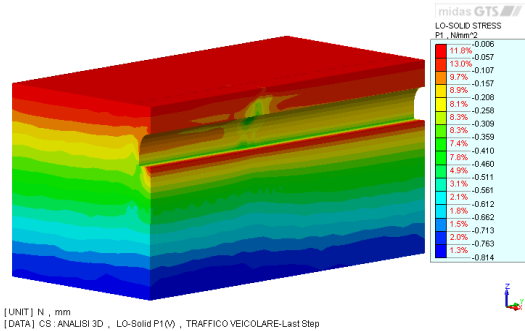


Figura 17 – Tensioni principali nell'ammasso – Fase 8: Apertura al traffico veicolare.

Fasi 9-11 – Scavo della Fermata Libertà

Nella fase 9 viene eseguito lo scavo a foro cieco per un tratto pari a 10 m e distante dal timpano di 30 m; in Figura 18 viene raffigurata la distribuzione delle tensioni principali: si evidenzia come nella zona del fronte di scavo si induce il detensionamento dell'ammasso. Tale detensionamento è presente anche nelle fasi di scavo successiva, nelle quali con lo scavo ci si avvicina progressivamente al tratto terminale.

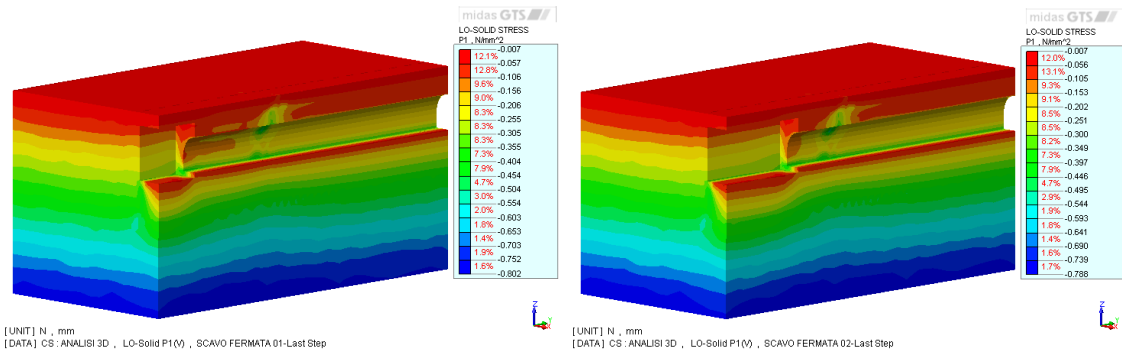


Figura 18 – Tensioni principali nell'ammasso: scavo del primo tratto e del secondo tratto.

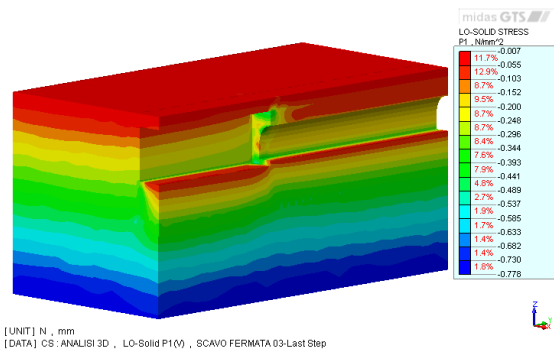


Figura 19 – Tensioni principali nell'ammasso – Fase 11: Esecuzione del terzo (ultimo) scavo a foro cieco.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandatari Sab (Mandante) a)  				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
GALLERIA RANCHIBILE (GN01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GN 01 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 35 di 45

Durante le fasi di scavo della fermata si evidenziano spostamenti contenuti, con valori massimi pari a circa 7mm. In Figura 20 vengono mostrati gli spostamenti *longitudinali* (direzione y) al termine dello scavo della Fermata Libertà. Gli spostamenti maggiori nella zona prossima al fronte sono in corrispondenza della parte destra, laddove l'effetto di confinamento tridimensionale offerto dalla paratia di pali della Fermata è inferiore. In questa fase si registrano spostamenti di circa 11 mm, che vengono subito smorzati all'interno della zona consolidata.

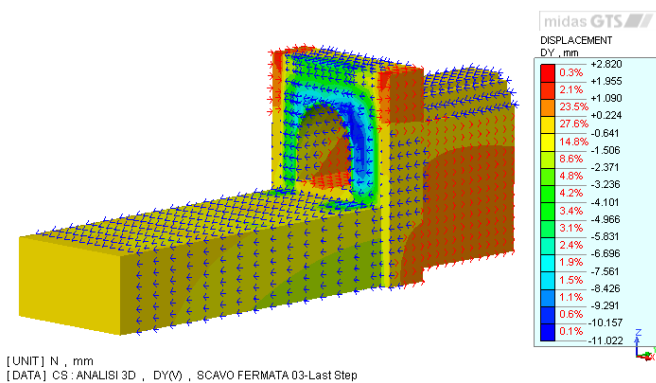


Figura 20 – Distribuzione degli spostamenti nell'interno della galleria – Fase 11: Esecuzione del terzo (ultimo) scavo a foro cieco.

La Figura 21 permette di valutare la variazione dello stato di sollecitazione nei rivestimenti definitivi della galleria esistente. Si evince come nel rivestimento della galleria si hanno valori di tensione di compressione massimi pari a 1.00 MPa, compatibili con le caratteristiche meccaniche del materiale.

Si nota che la parte maggiormente sollecitata si trova in corrispondenza della parte terminale, per effetto della variazione di rigidità determinata dagli consolidamento. La zona di attacco tra piedritti ed arco rovescio risulta soggetta a tensioni di trazione, per la presenza di punti angolosi in cui si ha una concentrazione di sollecitazione: i valori in queste zone sono pertanto non significativi, poiché riferiti ad elementi definibili D-region.

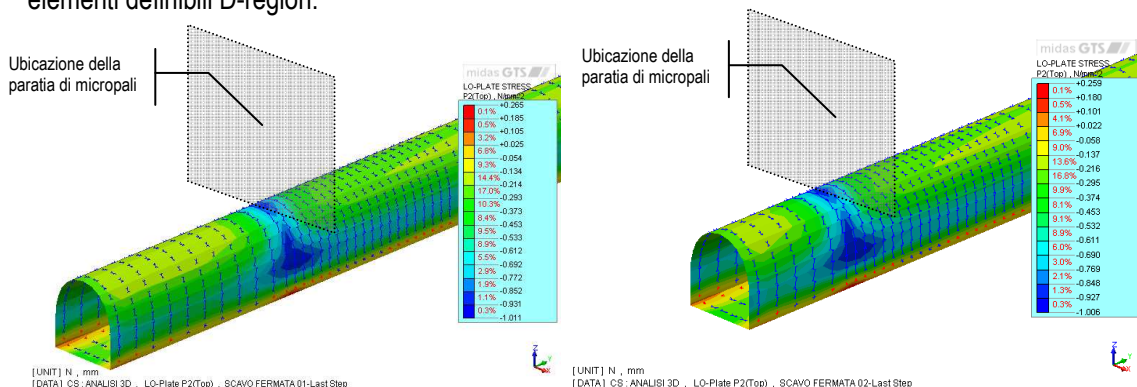


Figura 21 – Tensioni principali nel rivestimento della galleria – Fasi 9 e 10.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
GALLERIA RANCHIBILE (GN01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GN 01 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 36 di 45	

In Figura 22 sono riportate le tensioni nel rivestimento della galleria al termine della fase di scavo della fermata. I valori massimi di tensione nei rivestimenti definitivi della galleria, localizzati in corrispondenza della sezione terminale sono pari a circa 1.20 MPa.

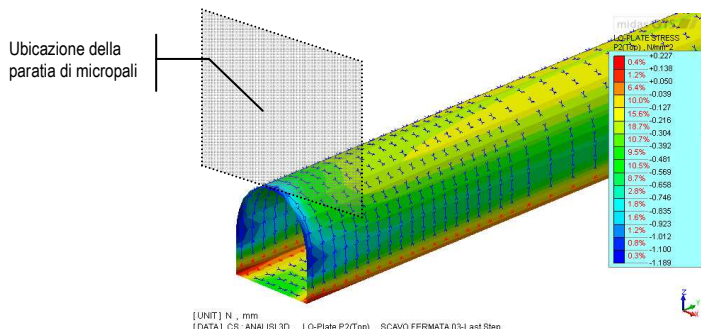


Figura 22 – Tensioni principali nel rivestimento della galleria – Fase 11

La fase 11, corrispondente al completamento dello scavo della Fermata è la fase in cui la paratia di micropali è maggiormente sollecitata, poiché la rimozione del terreno determina l'eliminazione del contrasto e della rigidità offerto dall'ammasso. In Figura 23 è riportata la distribuzione dei momenti flettenti nei micropali: i valori di momento sono riferiti agli elementi di tipo beam; sono quindi da ripartire per determinare i valori di momento agenti sui singoli micropali.

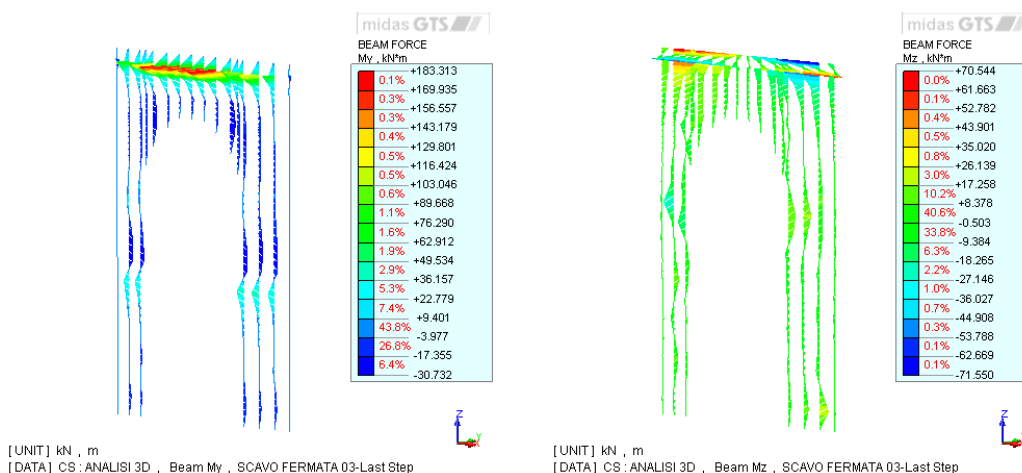


Figura 23 – Momenti flettenti nei micropali – Fase 11 – Completamento dello scavo della Fermata.

La deformata della paratia di micropali è riportata nella figura seguente. Gli spostamenti massimi risultano pari a 1 cm circa, e si verificano in corrispondenza dei pali non vincolati di maggiore lunghezza, sul lato destro del modello. I micropali laterali, infissi, risultano soggetti a spostamenti massimi pari a circa 6 mm.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandatari Sab (Mandante) a)  				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
GALLERIA RANCHIBILE (GN01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GN 01 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 37 di 45

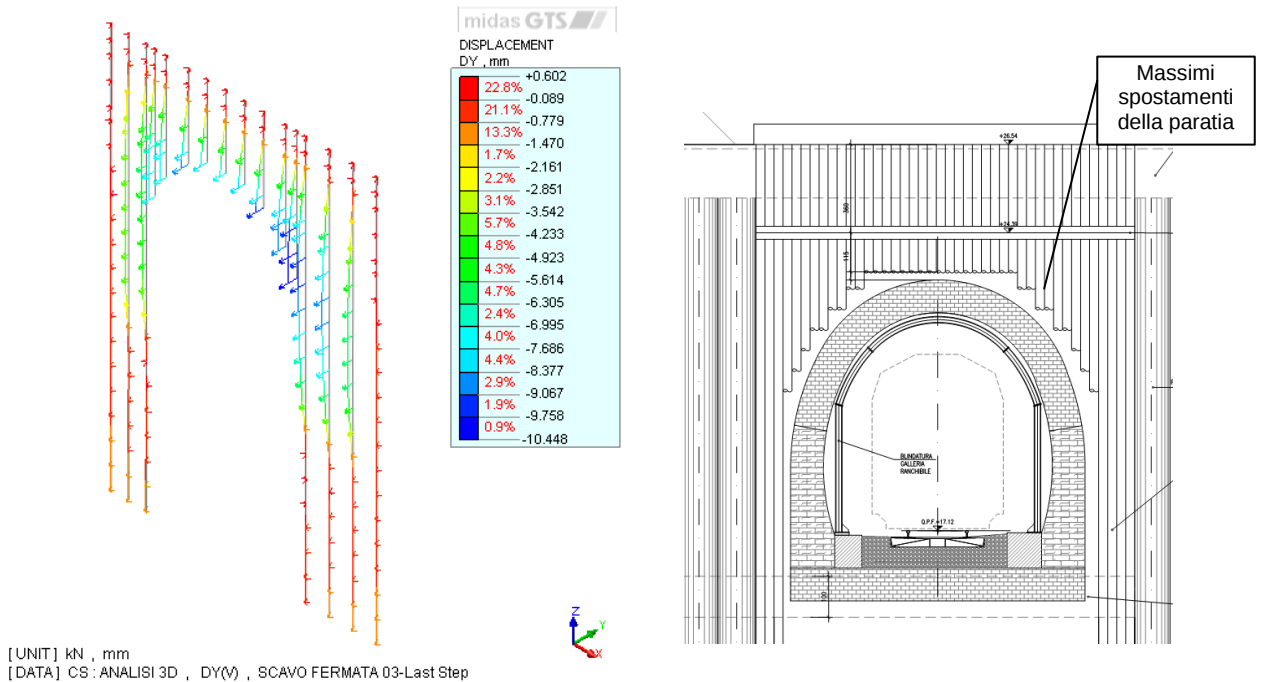


Figura 24 – Spostamenti della paratia di micropali – Fase 11

Fase 12 – Esecuzione del timpano in c.a.

La realizzazione del timpano in calcestruzzo armato non provoca grosse variazioni della distribuzione tensionale nel terreno, come mostrato in Figura 25.

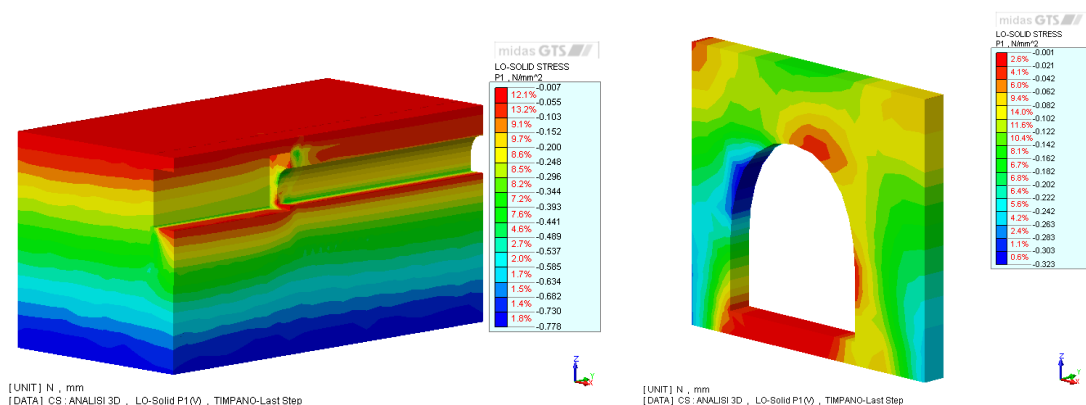


Figura 25 – Tensioni principali nell'ammasso e nel timpano in c.a. – Fase 12: Realizzazione del timpano c.a.

Nella figura di destra è rappresentata la distribuzione delle tensioni nel calcestruzzo: i valori massimi sono pari a circa 0.32 MPa, pertanto poco elevati.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandatari Sab (Mandante) a)  				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
GALLERIA RANCHIBILE (GN01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GN 01 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 38 di 45

Fase 13 – Esecuzione soletta di fondazione

Nella fase corrispondente getto della soletta di fondazione non si evidenziano particolari variazioni tensionali nel terreno, come mostrato in figura.

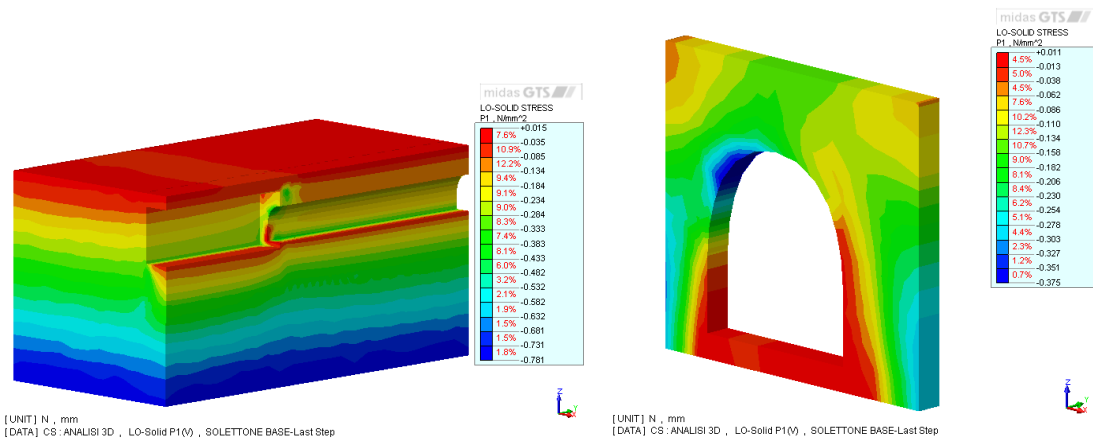


Figura 26 – Tensioni principali nell'ammasso e nel timpano in c.a. – Fase 13: Esecuzione della soletta di fondazione

Il timpano, dopo il getto della soletta di base, risulta sollecitato da tensioni sempre abbastanza contenute: anche i valori di trazione registrati sono bassi (0.01 MPa) e compatibili con la resistenza a trazione del conglomerato.

Il rivestimento nella porzione di galleria non demolita galleria risulta compresso in calotta, con valori di tensione massima pari a circa 1.19 MPa (Figura 27). I valori massimi si registrano in corrispondenza della zona di attacco e tendono a diminuire rapidamente allontanandosi dal timpano. La zona di galleria maggiormente sollecitata si estende per circa 4 m dalla sezione d'attacco.

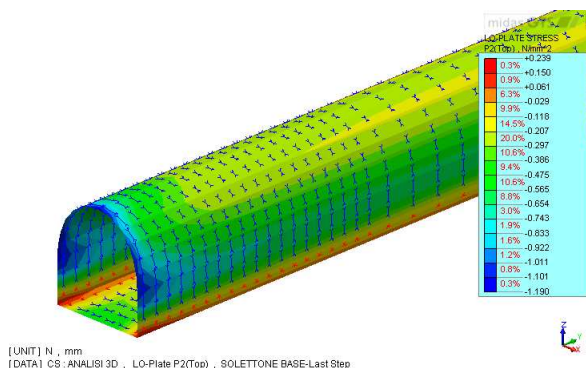


Figura 27 – Tensioni principali nel rivestimento della galleria – Fase 13: Esecuzione della soletta di fondazione.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
GALLERIA RANCHIBILE (GN01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GN 01 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 39 di 45

Fasi 14-15 – Azioni sismiche

Nell'ultima fase di calcolo si è provveduto alla simulazione dell'azione del sisma, per determinare l'effetto sul timpano.

Le tensioni sia nel timpano sia nella muratura di rivestimento della galleria non differiscono in maniera significativa rispetto a quelli della fase statica. Il timpano rimane sollecitato da tensioni modeste, con valori massimi di compressione pari a 0.39 MPa e valori massimi di trazione pari a 0.01 MPa.

Il rivestimento della porzione di galleria non demolita presentano dei valori massimi pari a circa 1.19 m, e tendono a diminuire rapidamente allontanandosi dal timpano. La zona di galleria maggiormente sollecitata si estende per circa 4 m dalla sezione d'attacco.

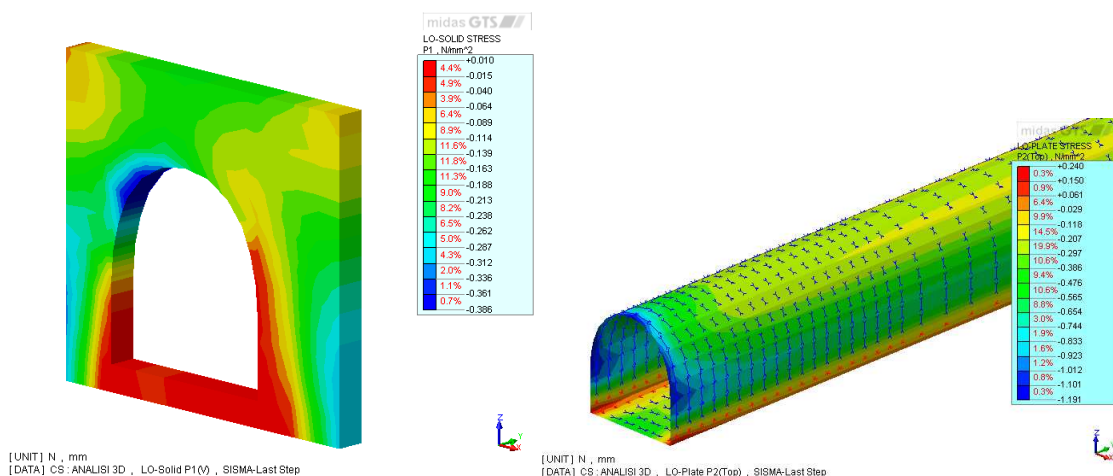


Figura 28 – Tensioni principali nel timpano e nella galleria – Fase 15: Applicazione dell'azione sismica.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
GALLERIA RANCHIBILE (GN01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GN 01 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 40 di 45

10. VERIFICA DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI

10.1 VERIFICA DEI MICROPALI

La verifica a presso-flessione delle sezioni dei micropali è stata eseguita assumendo le seguenti ipotesi:

- conservazione delle sezioni piane con assenza di scorrimento relativo tra acciaio e calcestruzzo;
- comportamento elastico lineare della sezione.

Le tensioni ammissibili dei singoli materiali sono state dichiarate nel paragrafo 3.

Le tensioni nelle membrature strutturali vengono determinate utilizzando la formulazione classica della verifica a pressoflessione, ossia con la nota relazione:

$$\sigma = \frac{N}{A} \pm \frac{M}{W}$$

La verifica a taglio viene condotta considerando la trattazione di Jourawski che suppone la tensione tangenziale τ_{zy} costante lungo la generica corda, uguale al valore medio e calcolabile con l'espressione:

$$\tau_{xz} = \frac{T_z \cdot S_x}{I_x \cdot b}$$

Si riporta nel seguito un tabulato delle sezioni più significative dei micropali: i valori di sollecitazione riportati tengono conto della ripartizione in funzione del numero di micropali che ciascun elemento beam rappresenta. Sono riportati nell'ordine il numero della sezione, la combinazione in esame, il valore di sforzo normale, momento flettente e taglio (polari) sollecitanti, diametro esterno e diametro interno del micropalo, tensione normale massima e minima, tensione tangenziale massima e tensione ideale massima.

Il valore della tensione ideale è stato determinato con la relazione $\sigma_{id} = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau_{xz}^2}$.

sez.	cmb	N	M	T	D	d	sig+	sig-	tau	sig.id
		[kN]	[kN m]	[kN]	[mm]	[mm]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]
69765	SCAVO FERMATA 03-385	46.5	52.4	139	11849.41	-16.60	4.46	50.01		
69723	SCAVO FERMATA 03 86	19.9	66.1	139	11817.74	-10.53	5.63	20.24		
69783	SCAVO FERMATA 03-947	13.9	22.6	139	118-30.48	-50.16	1.93	50.27		
69703	SCAVO FERMATA 03 -2	19.7	66.2	139	11813.93	-14.07	5.64	17.13		
69754	SCAVO FERMATA 03 152	45.9	54.5	139	11839.05	-26.09	4.65	39.87		
69791	SCAVO FERMATA 03 57	13.6	17.3	139	118-10.99	4.90	16.04	0.00		

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
GALLERIA RANCHIBILE (GN01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GN 01 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 41 di 45	

10.2 VERIFICA DEI RIVESTIMENTI

I risultati ottenuti dall'analisi FEM nei rivestimenti ed illustrati nel paragrafo 9 sono stati riportati in forma di grafico, per evidenziare più opportunamente la variazione del livello tensionale in relazione alla fase di lavorazione.

Nel seguito si riporta l'andamento delle tensioni principali e delle tensioni tangenziali dei rivestimenti della galleria sezioni di analisi poste rispettivamente ad una distanza di 1.00, 2.00, e 3.00 m dal timpano.

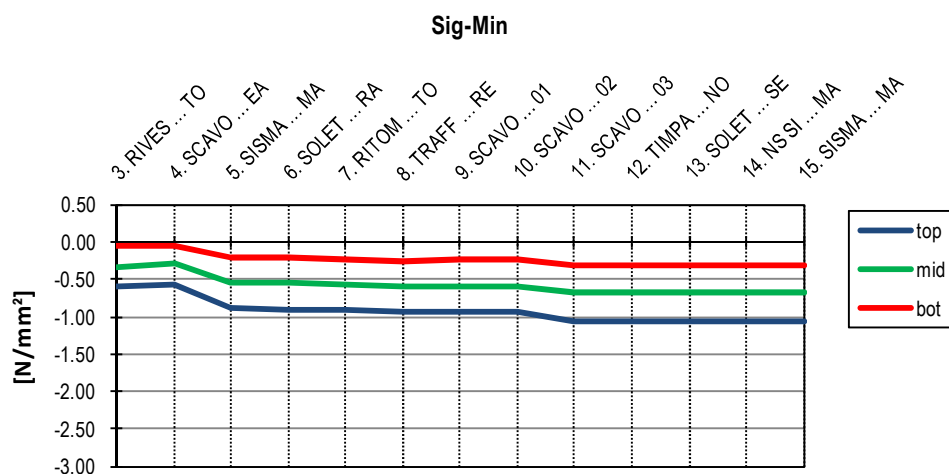


Figura 29 – Tensioni principali nel rivestimento della galleria, valori massimi a una distanza di 1.00 m dal timpano.

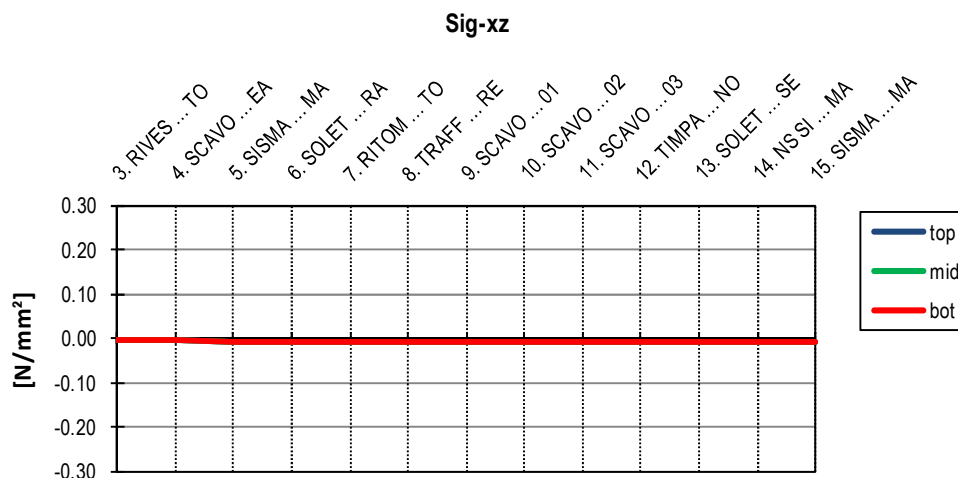


Figura 30 – Tensioni tangenziali nel rivestimento della galleria, valori massimi a una distanza di 1.00 m dal timpano.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
GALLERIA RANCHIBILE (GN01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GN 01 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 42 di 45

Sig-Min

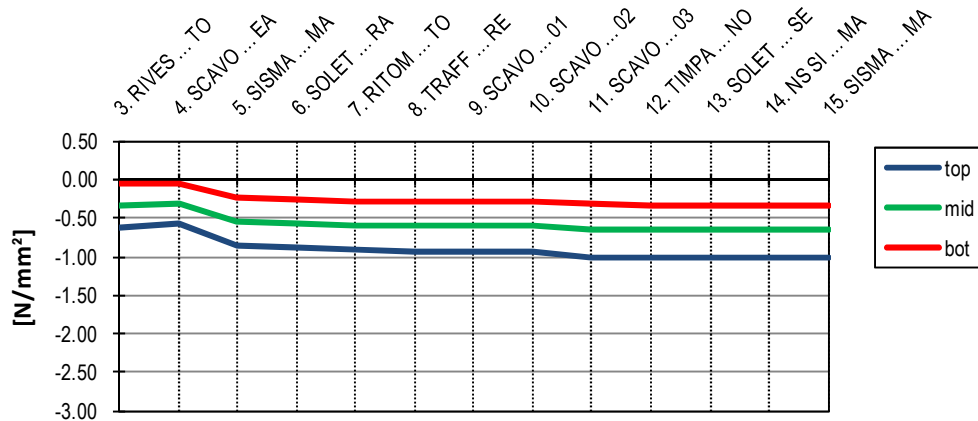


Figura 31 – Tensioni principali nel rivestimento della galleria, valori massimi a una distanza di 2.00 m dal timpano.

Sig-xz

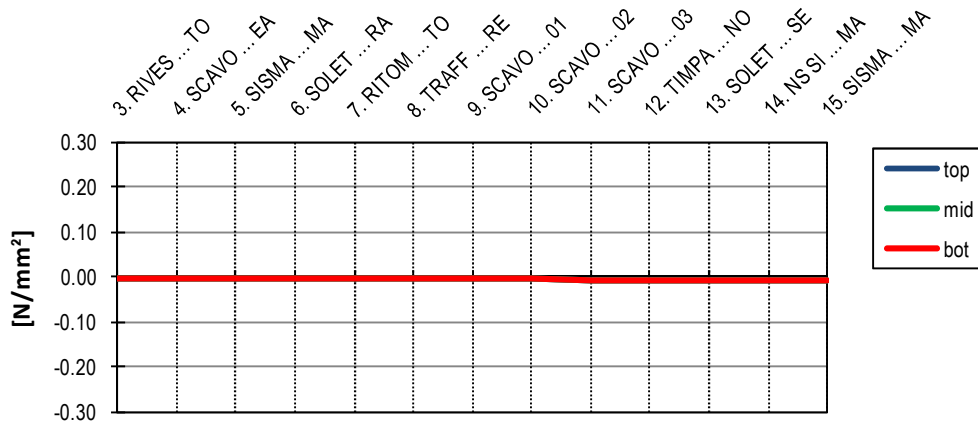


Figura 32 – Tensioni tangenziali nel rivestimento della galleria, valori massimi a una distanza di 2.00 m dal timpano.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
GALLERIA RANCHIBILE (GN01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GN 01 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 43 di 45	

Sig-Min

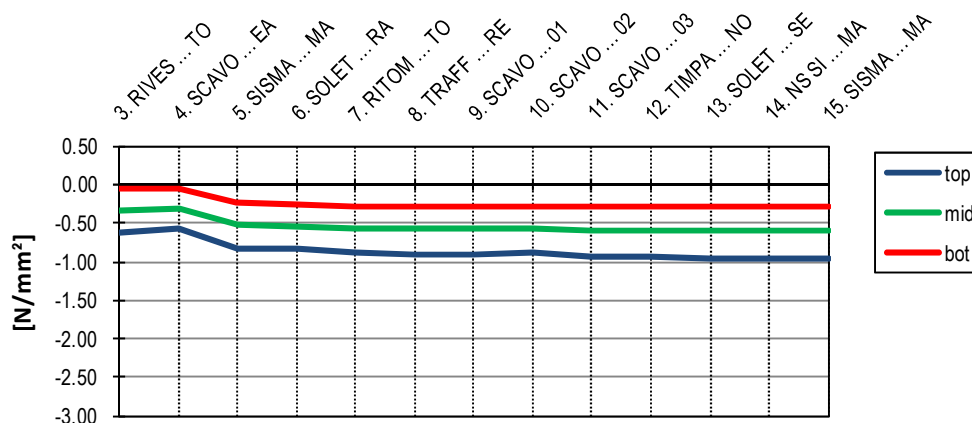


Figura 33 – Tensioni principali nel rivestimento della galleria, valori massimi a una distanza di 3.00 m dal timpano.

Sig-xz

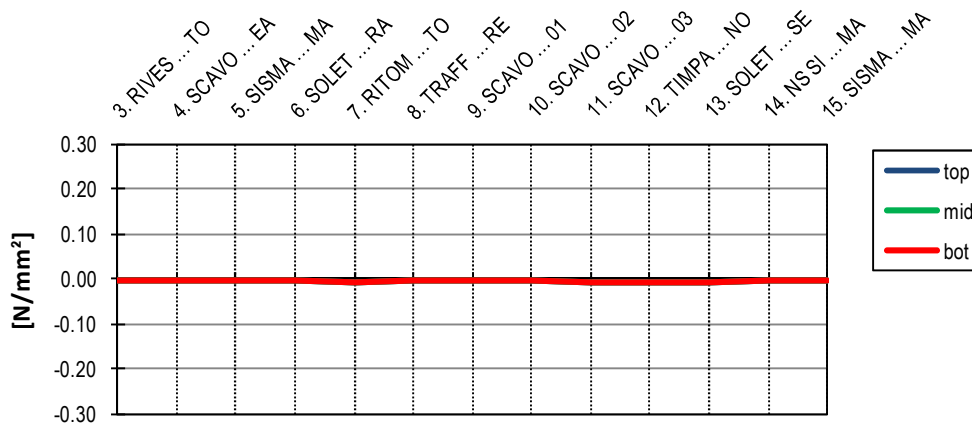


Figura 34 – Tensioni tangenziali nel rivestimento della galleria, valori massimi a una distanza di 3.00 m dal timpano.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
GALLERIA RANCHIBILE (GN01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GN 01 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 44 di 45	

Sig-Min

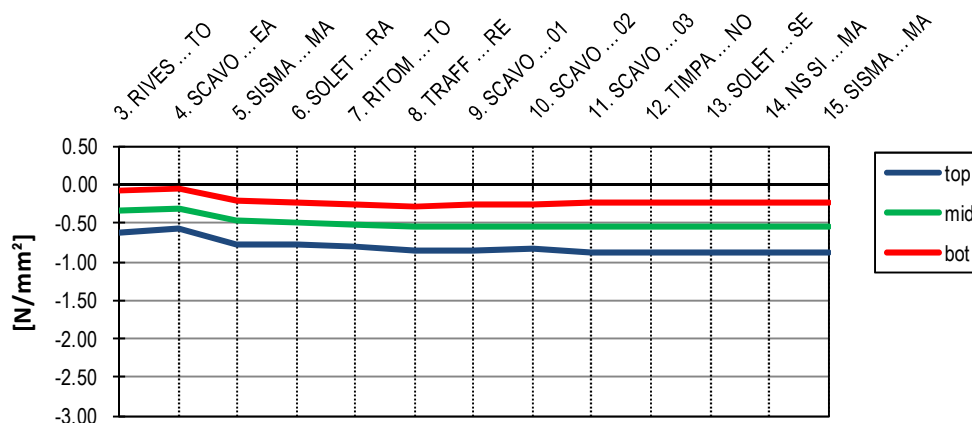


Figura 35 – Tensioni principali nel rivestimento della galleria, valori massimi a una distanza di 4.00 m dal timpano.

Sig-xz

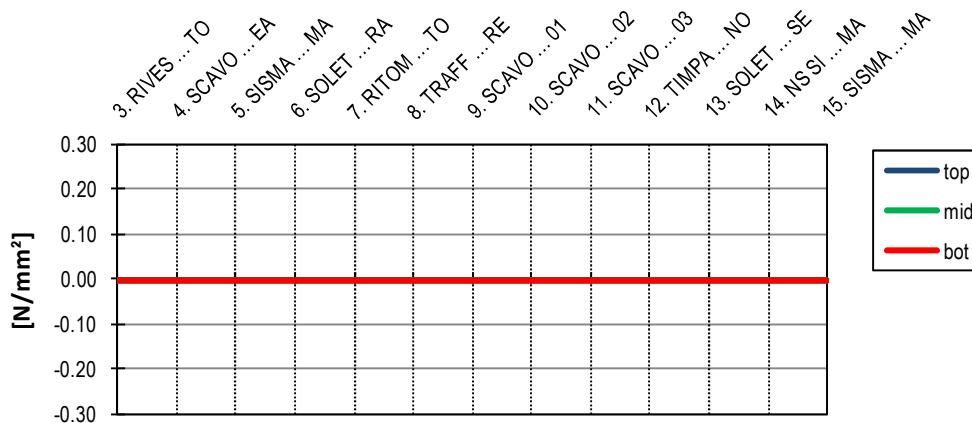


Figura 36 – Tensioni tangenziali nel rivestimento della galleria, valori massimi a una distanza di 4.00 m dal timpano.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
GALLERIA RANCHIBILE (GN01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GN 01 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 45 di 45	

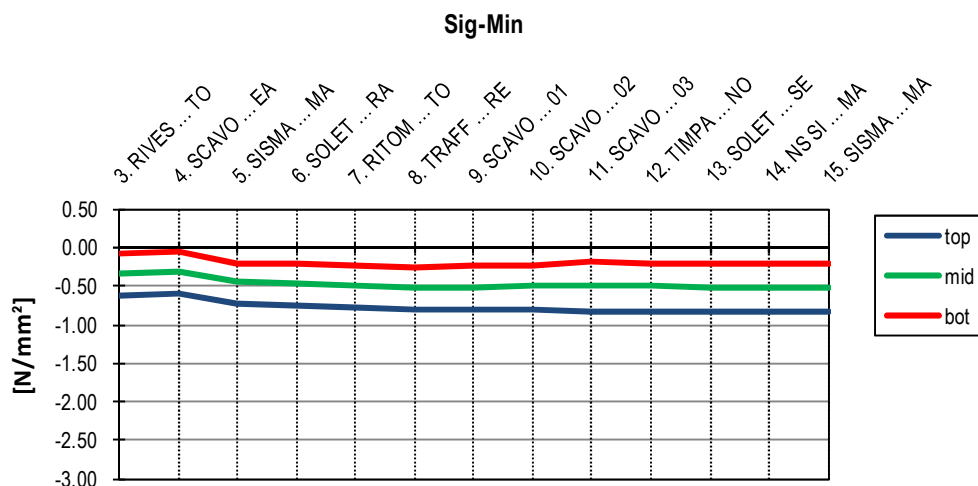


Figura 37 – Tensioni principali nel rivestimento della galleria, valori massimi a una distanza di 5.00 m dal timpano.

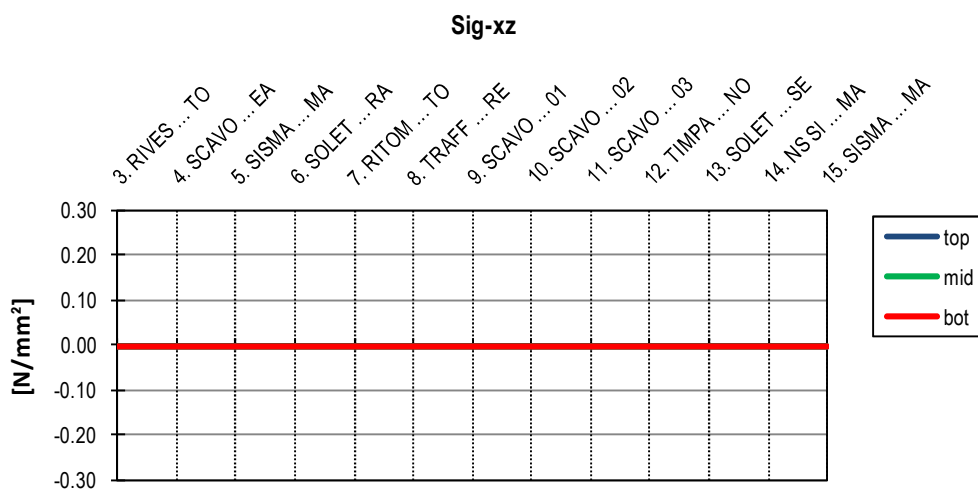


Figura 38 – Tensioni tangenziali nel rivestimento della galleria, valori massimi a una distanza di 5.00 m dal timpano.

Da quanto riportato nei grafici precedenti si evince che il valore massimo della tensione normale si attesta nella zona di attacco ad un valore di 1.19 MPa; a distanza di 3.00 m dal timpano il valore decresce a 0.95 MPa riducendosi progressivamente via via che ci si allontana.

Si evidenzia inoltre che il valore delle tensioni tangenziali risulta comunque limitato (sempre inferiore a 0.10 MPa), raggiungendo il valore massimo in corrispondenza della zona d'attacco, ossia laddove la direzione delle tensioni principali ha una maggiore deviazione rispetto alle condizioni iniziali.