

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

OPERE CIVILI

STRUTTURE, TRINCEE E GALLERIE ARTIFICIALI

G.A. CRISPI (GA01) E G.A. CRISPI/AMARI (GA02) A SINGOLO BINARIO

Relazione di calcolo paratie di primo salto e interazione con le strutture definitive

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
R S 7 2	0 1	E	Z Z	CL	GA 0 0 0 X	0 0 1	A

PROGETTAZIONE: ATI (Associazione Temporanea d'Imprese)

PROGETTAZIONE

GRANDI

INFRASTRUTTURE

PROGIN S.p.A.

PROGIN SPA (Capogruppo Mandataria)



Sab (Mandante)

Revis.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato/Data
A	Emissione	Cantone	09/11/11	Piccirillo	09/11/11	S. Esposito

Nole del file:

RS7201EZZCLGA000X001_A

n: Elab.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandataria) 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										
GA01 E GA02 Relazione di calcolo paratie di primo salto	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GA 00 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 2 di 89	

1. PREMESSA.....	3
2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	5
2.1 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	5
2.2 NORMATIVA TECNICA	5
2.3 LINEE GUIDA	5
3. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI.....	5
3.1 CALCESTRUZZI.....	5
3.2 ACCIAIO	5
4. CONDIZIONI GEOTECNICHE.....	5
4.1 INDAGINI ESEGUITE	5
4.2 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	5
5. ANALISI FEM PIANA.....	5
5.1 GENERALITÀ	5
5.2 PARAMETRI DI CALCOLO DELLE STRUTTURE	5
5.2.1 Elementi bidimensionali.....	5
5.2.2 Elementi di interfaccia	5
5.3 PARAMETRI DI CALCOLO DEL TERRENO	5
5.4 SEZIONE 24 ALLA PROGRESSIVA 4+125	5
5.4.1 Geometria e stratigrafia di calcolo	5
5.4.2 Fasi di calcolo	5
5.4.1 Sollecitazioni negli elementi strutturali.....	5
5.4.1.1 Paratie di primo salto – pali secanti Ø914/750.....	5
5.4.1.2 Paratie definitive – pali secanti Ø914/750.....	5
5.4.1.3 Solettone di copertura – s = 1.30 m.....	5
5.4.1.4 Solettone di base – s = 0.70 m.....	5
5.4.1.5 Fodere interne – s = 0.50 m.....	5
5.4.2 Verifica di stabilità globale.....	5
5.5 SEZIONE 41 ALLA PROGRESSIVE 4+500.....	5
5.5.1 Geometria e stratigrafia di calcolo	5
5.5.2 Fasi di calcolo	5
5.5.3 Sollecitazioni negli elementi strutturali.....	5
5.5.3.1 Paratie di primo salto – pali secanti Ø914/750.....	5
5.5.3.2 Paratie definitive – pali secanti Ø914/750.....	5
5.5.3.3 Solettone di copertura – s = 1.30 m.....	5
5.5.3.4 Solettone di base – s = 0.70 m.....	5
5.5.3.5 Fodere interne – s = 0.50 m.....	5
5.5.4 Verifica di stabilità globale.....	5
5.5.5 Spostamenti indotti dallo scavo	5
6. VERIFICHE DI RESISTENZA.....	5

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) 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									
GA01 E GA02 Relazione di calcolo paratie di primo salto	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GA 00 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 3 di 89

1. PREMESSA

Nel presente documento sono riportate le considerazioni di carattere geotecnico relative alla progettazione esecutiva per l'esecuzione dei lavori "Chiusura dell'anello ferroviario in sotterraneo, nel tratto di linea tra le stazioni di Palermo Notarbartolo e Giachery e proseguimento fino a Politeama".

In particolare, il ramo di nuova realizzazione compreso nella prima fase funzionale, in prosecuzione alla fermata Giachery, è costituito per il primo tratto da una trincea di lunghezza pari a circa 200 m, per poi proseguire tutto in sotterraneo, comprendendo in successione la Fermata Porto e la Fermata Politeama. È inoltre prevista la realizzazione di una fermata interrata sul ramo esistente Notarbartolo-Giachery (Fermata Libertà), ubicata in corrispondenza dell'incrocio tra via Sicilia e via Lazio.

Nel presente documento si affronteranno le problematiche progettuali relative delle opere di sostegno provvisori di primo salto necessarie al raggiungimento della quota di intradosso del solettone di copertura della GA e l'interazione tra l'opera provvisoria e le opere definitive della GA. In tale relazione saranno studiati anche gli effetti degli scavi sull'edificio 25, il più prossimo alle paratie di primo salto.

Tali opere sono realizzate per mezzo di diaframmi continui di pali con tecnologia CSP (Cased Secant Piles), utilizzati sia per le paratie a sbalzo provvisori di primo salto, di lunghezza 10.0 m, che per le paratie definitive, di lunghezza 15.0 m. Sia i pali CSP che costituiscono la GA, che quelli provvisori, hanno diametro di perforazione di 920 mm (di cui 914 mm netti escludendo lo spessore del tubo forma) e sono posti ad interasse di 0.75 m. Le paratie di primo salto sono posizionate immediatamente all'esterno delle paratie definitive. Entrambe le paratie sono realizzate a partire dal piano di lavoro posto a circa -0.5 m da p.c. (dopo la rimozione della superficie stradale), per cui i pali costituenti l'opera di sostegno definitiva della GA prevedono un opportuno tratto a vuoto. Dalla stessa quota sarà realizzato anche il tampone di fondo in jet grouting, di spessore pari a 6.5 m, il cui contributo di resistenza statica, insieme a quello delle paratie definitive, inizia quindi dalla fase di primo scavo.

L'opera di sostegno definitiva è contrastata dai solettoni in c.a. di copertura e di base. Lo scavo sarà eseguito con il metodo "cut and cover". Dopo il primo scavo, sostenuto dalle paratie provvisorie esterne, si procede alla realizzazione del solettone di copertura, di spessore pari a 1.30 m, e alla sistemazione superficiale definitiva, prima di proseguire con lo scavo interno. Successivamente al raggiungimento della quota di fondo scavo si procede alla realizzazione del solettone di fondo, di spessore 0.70 m, e delle fodere interne, di spessore 0.50 m.

Nel seguito si riportano le analisi FEM bidimensionali (codice Plaxis 2D, versione 2010), effettuate su due sezioni di calcolo, scelte come le più critiche in base alle condizioni geotecniche e alle condizioni al contorno, per le porzioni di GA01 e GA02 in cui sono presenti le paratie di primo salto:

1. Sezione 24 alla progressiva 4+125
2. Sezione 41 alla progressive 4+500

La sezione 24 è scelta poiché presenta la paratia di primo salto completamente immersa nell'unità argilloso-limosa identificata come ALF e circa la massima altezza per il primo scavo, lungo tutto lo sviluppo della GA01. La sezione 41 è scelta poiché è sia rappresentativa della situazione stratigrafica

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandataria) 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										
GA01 E GA02 Relazione di calcolo paratie di primo salto	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GA 00 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 4 di 89	

caratterizzata dalle sabbie calcarenitiche (unità SC), sia rappresentativa circa della massima altezza per il primo scavo, sia rappresentativa delle condizioni al contorno più sfavorevoli, in quanto lo scavo è molto prossimo all'edificio 25, rappresentato in Figura 1.

I modelli FEM 2D, nell'ipotesi di stato piano di deformazione, certamente valida per le due sezioni analizzate, consentono di modellare il terreno come mezzo continuo deformabile, di implementare legami costitutivi complessi (cfr. 5.3) del tipo elasto-plastico-incrudente con modulo tangenziale dipendente dallo stato deformativo (*Hardening Soil* con *small-strain stiffness*), permettendo di indagare il campo di spostamenti indotto dallo scavo, oltre che di ricavare le sollecitazioni strutturali, e di accertare il grado di sicurezza nel raggiungimento del fondo scavo nei confronti della stabilità globale e locale dell'opera.

Grazie a tali modelli è possibile valutare opportunamente l'interazione tra l'opera provvisoria esterna e l'opera provvisoria interna, cui viene trasferita parte della spinta data dallo scavo di primo salto e che quindi subisce una pre-sollecitazione. La comparazione in termini di sollecitazioni dei risultati delle analisi 1D e 2D, possibile per la sezione 24, per cui si rimanda alla relazione di calcolo della GA01, dimostra, a tal proposito, la validità del dimensionamento effettuato con il codice monodimensionale, da cui si ricavano azioni interne più cautelative, ma comunque in linea con quelle ricavate dall'analisi bidimensionale.

Infine, con le analisi di stabilità globale effettuate con la progressiva riduzione dei parametri di resistenza del terreno, si è verificata sia la lunghezza di infissione delle paratie di primo salto, opportunamente ottimizzata per tener conto del trasferimento del carico alle paratie definitive, che la sicurezza al sollevamento del tampone di fondo all'atto del raggiungimento del fondo scavo.

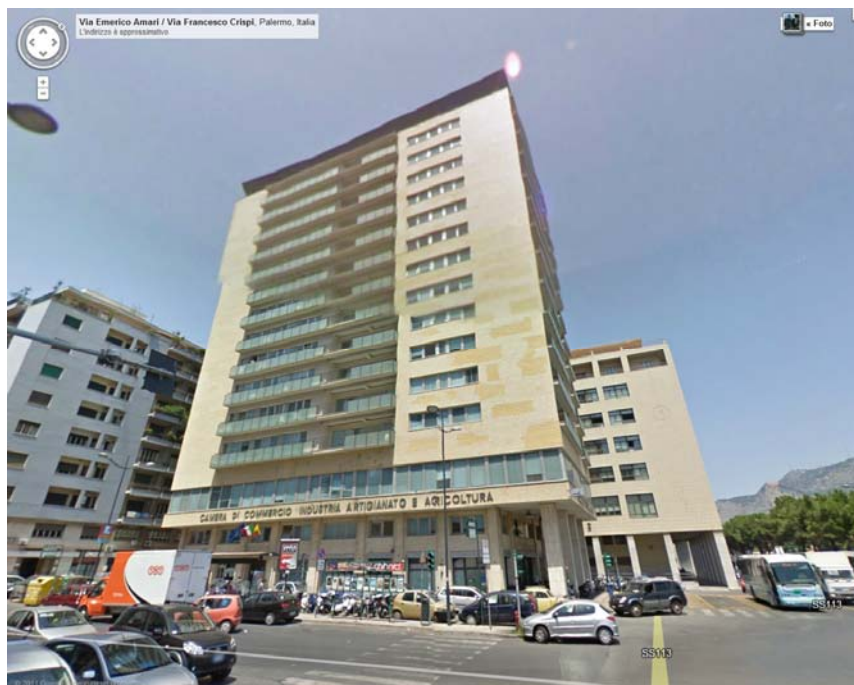


Figura 1 – Edificio 25

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandataria) 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										
GA01 E GA02 Relazione di calcolo paratie di primo salto	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GA 00 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 5 di 89	

2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

2.1 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

- [DR 1] RS1L 01 D 79 RH GE0001 00A A – “Relazione Geologica” - Progetto Definitivo; 2004.
- [DR 2] RS1L 01 D 79 F5 GE0005 00A 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 CL GA010X 001 A– “G.A. Crispi a singolo binario (GA01) – Relazione di calcolo” - Progetto Definitivo; 2004.
- [DR 5] Relazione geotecnica di Progetto Esecutivo

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”.
- [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.

2.3 LINEE GUIDA

- [LG 1] AGI Associazione Geotecnica Italiana, "Linee Guida sugli aspetti geotecnici della progettazione antisismica" Edizione Provvisoria, 2005.
- [LG 2] AGI Associazione Geotecnica Italiana "Raccomandazioni sui pali di fondazione", 1984.
- [LG 3] AICAP, "Ancoraggi nei terreni e nelle rocce-Raccomandazioni", Maggio 1993.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) 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									
GA01 E GA02 Relazione di calcolo paratie di primo salto	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GA 00 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 6 di 89

3. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Per gli elementi strutturali oggetto della presente relazione si prescrive l'impiego dei materiali seguenti.

3.1 CALCESTRUZZI

Calcestruzzo per pali in c.a. secanti C32/40

- Resistenza caratteristica cubica: $R_{ck} \geq 40 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza caratteristica cilindrica: $f_{ck} \geq 32 \text{ N/mm}^2$
- Tensioni Ammissibili:
- compressione: $\sigma_{c,amm} = 6 + [(R_{ck} - 15) / 4] = 12.25 \text{ N/mm}^2$
- taglio senza armatura specifica: $\tau_{co,amm} = 0.4 + [(R_{ck} - 15) / 75] = 0.73 \text{ N/mm}^2$
- taglio con armatura specifica: $\tau_{c1,amm} = 1.4 + [(R_{ck} - 15) / 35] = 2.11 \text{ N/mm}^2$

Calcestruzzo per pali in c.a. accostati e paratie di primo salto C28/35

- Resistenza caratteristica cubica: $R_{ck} \geq 35 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza caratteristica cilindrica: $f_{ck} \geq 28 \text{ N/mm}^2$
- Tensioni Ammissibili:
- compressione: $\sigma_{c,amm} = 6 + [(R_{ck} - 15) / 4] = 11.0 \text{ N/mm}^2$
- taglio senza armatura specifica: $\tau_{co,amm} = 0.4 + [(R_{ck} - 15) / 75] = 0.67 \text{ N/mm}^2$
- taglio con armatura specifica: $\tau_{c1,amm} = 1.4 + [(R_{ck} - 15) / 35] = 1.97 \text{ N/mm}^2$

Calcestruzzo solettoni e fodere in c.a. C28/35

- Resistenza caratteristica cubica: $R_{ck} \geq 35 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza caratteristica cilindrica: $f_{ck} \geq 28 \text{ N/mm}^2$
- Tensioni Ammissibili:
- compressione: $\sigma_{c,amm} = 6 + [(R_{ck} - 15) / 4] = 11.0 \text{ N/mm}^2$
- taglio senza armatura specifica: $\tau_{co,amm} = 0.4 + [(R_{ck} - 15) / 75] = 0.67 \text{ N/mm}^2$
- taglio con armatura specifica: $\tau_{c1,amm} = 1.4 + [(R_{ck} - 15) / 35] = 1.97 \text{ N/mm}^2$

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandataria) 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										
GA01 E GA02 Relazione di calcolo paratie di primo salto	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GA 00 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 7 di 89	

3.2 ACCIAIO

Acciaio per armature:

B450C (ex FeB44K)

- Tensione normale caratteristica di rottura $f_{tk} \geq 540 \text{ N/mm}^2$
- Tensione normale caratteristica di snervamento $f_{yk} \geq 450 \text{ N/mm}^2$
- Tensione normale ammissibile $\sigma_s = 255 \text{ N/mm}^2$

Acciaio per laminati (e.g. strutture di contrasto provvisorie):

S355 (ex Fe510)

- Tensione normale caratteristica di rottura $f_{tk} \geq 510 \text{ N/mm}^2$
- Tensione normale caratteristica di snervamento $f_{yk} \geq 355 \text{ N/mm}^2$
- Tensione normale ammissibile $\sigma_s = 240 \text{ N/mm}^2$

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandatario) 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									
GA01 E GA02 Relazione di calcolo paratie di primo salto	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GA 00 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 8 di 89

4. CONDIZIONI GEOTECNICHE

4.1 INDAGINI ESEGUITE

Lungo il tracciato in esame sono state eseguite diverse campagne geognostiche consistite da indagini in sito e di laboratorio al fine di caratterizzare le formazioni stratigrafiche presenti in sito.

In particolare le campagne geognostiche eseguite sono le seguenti:

- Campagna geognostica “Metrotram” del 2000:
 - o N.3 sondaggi a carotaggio continuo (denominati “S”) di lunghezza variabile da 10 a 22 m
- Campagna geognostica “Metroferrovia” del 2003:
 - o N.11 sondaggi a carotaggio continuo (denominati “SM”) di lunghezza variabile da 20 a 40 m;
 - o Installazione di n.7 piezometri a tubo aperto;
 - o N. 4 prove sismiche tipo Down-Hole;
 - o Indagini geofisiche georadar.
- Campagna geognostica del 2010, finalizzata alla redazione del Progetto Esecutivo:
 - o N. 14 sondaggi a carotaggio continuo (denominati “SE”) di lunghezza variabile da 15 a 35.5 m;
 - o Installazione piezometri a tubo aperto;
 - o Esecuzione di prove sismiche;
 - o Esecuzione di prove penetrometriche statiche.

Per i dettagli sulle indagini e sulle elaborazioni si rimanda alla relazione geotecnica generale (cfr. [DR 5]).

4.2 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Per quanto sopra esposto, e per quanto mostrato dai risultati delle indagini geognostiche effettuate, 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.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandataria) 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										
GA01 E GA02 Relazione di calcolo paratie di primo salto	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GA 00 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 9 di 89	

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 Paleovalle.

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 scagliata, 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				
					(Mandataria) 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									
GA01 E GA02 Relazione di calcolo paratie di primo salto	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GA 00 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 10 di 89

Nelle seguenti immagini si riportano i dati geotecnici disponibili di maggiore rilevanza progettuale.

Per ulteriori dettagli sulla caratterizzazione geotecnica e sulle indagini si rimanda alla Relazione geotecnica generale (cfr. [DR 5])

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandataria) 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										
GA01 E GA02 Relazione di calcolo paratie di primo salto	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GA 00 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 11 di 89	

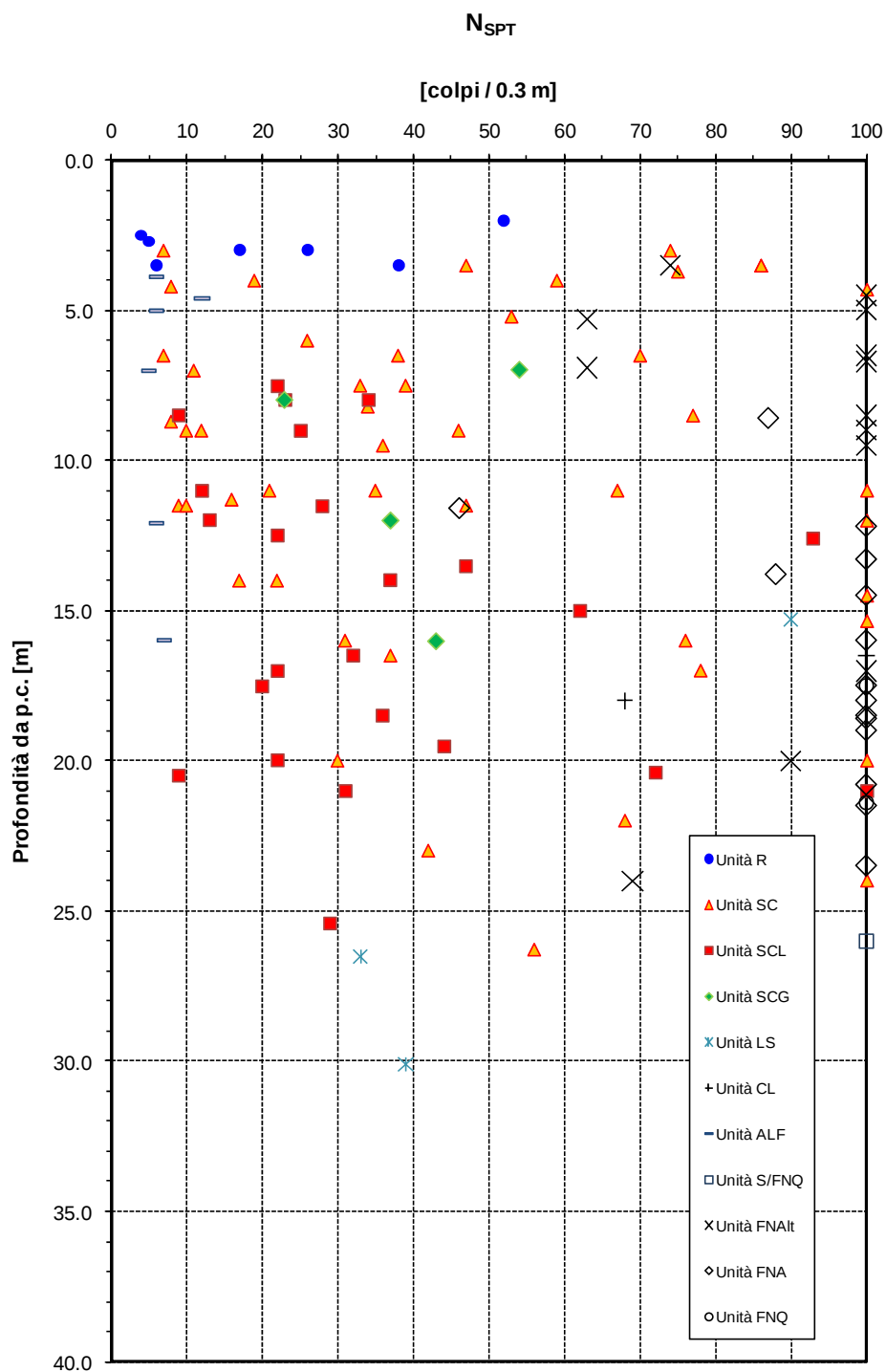


Figura 2 - Nspt

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) 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									
GA01 E GA02 Relazione di calcolo paratie di primo salto	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GA 00 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 12 di 89

Angolo di resistenza al taglio da prove SPT (Schmertmann, 1977)

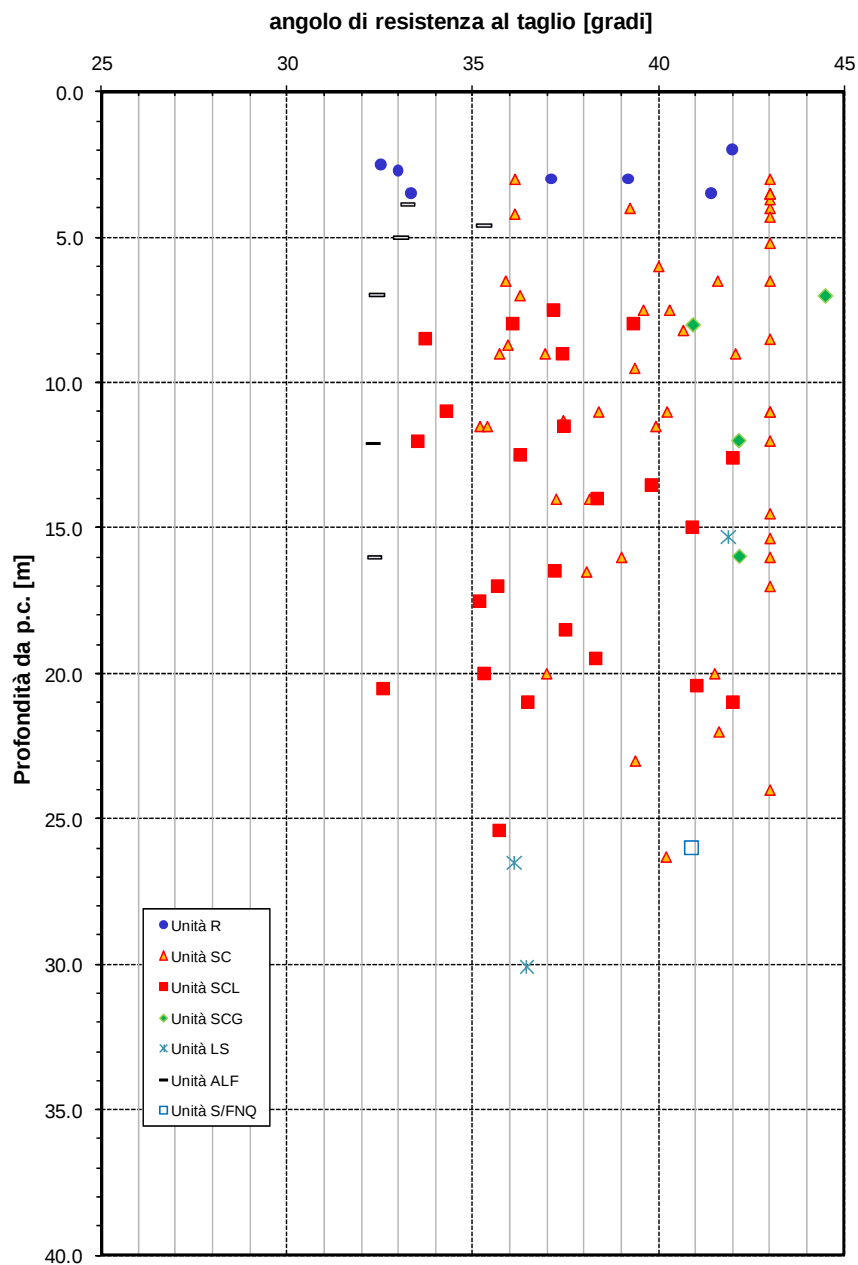


Figura 3 – angolo di resistenza al taglio da prove SPT (Schmertmann, 1977)

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) 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									
GA01 E GA02 Relazione di calcolo paratie di primo salto	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GA 00 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 13 di 89

Correlazione $N_{SPT}-\phi'$, De Mello (1971)

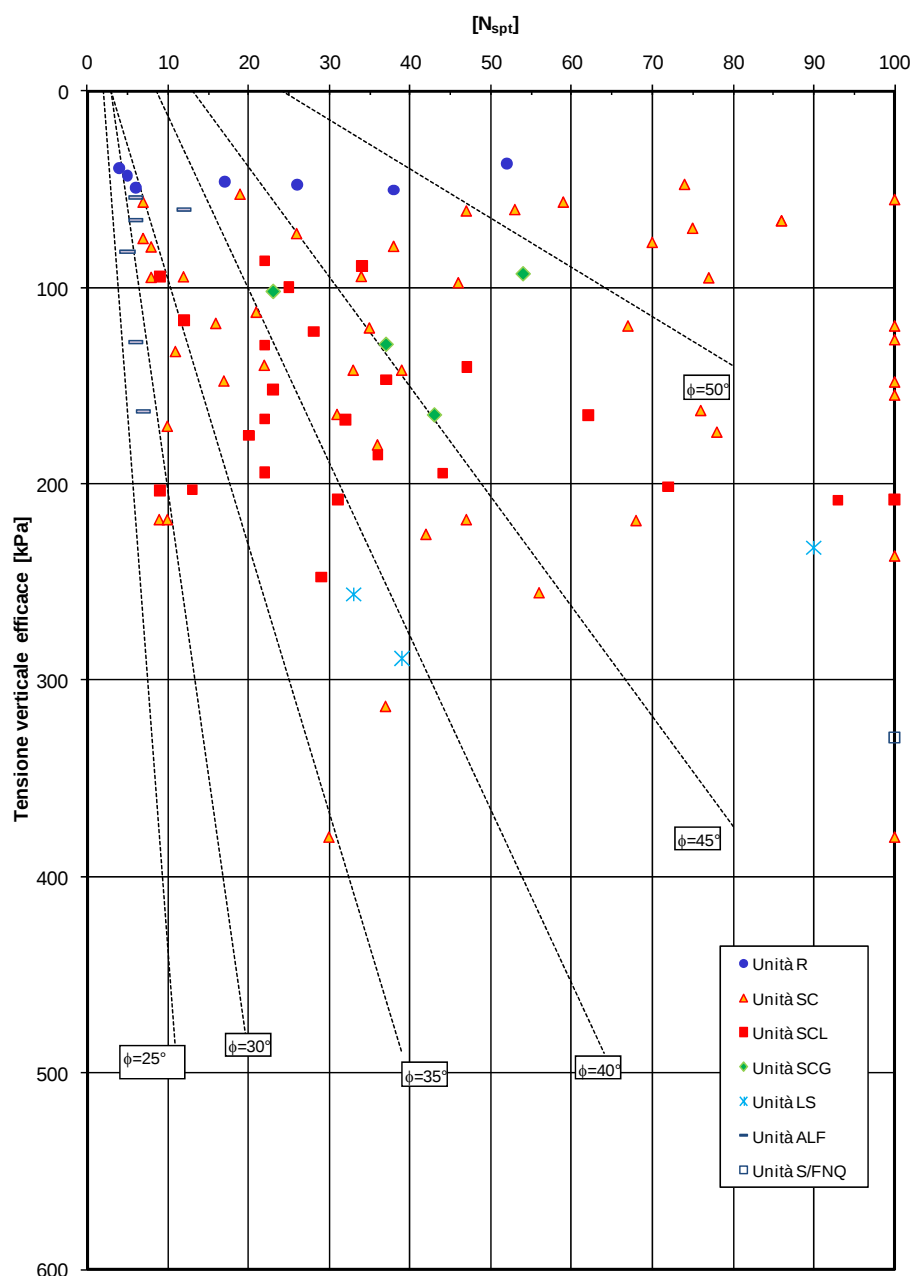


Figura 4 – Andolo di resistenza al taglio da correlazione di De Mello (1971)

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandataria) 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										
GA01 E GA02 Relazione di calcolo paratie di primo salto	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GA 00 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 14 di 89	

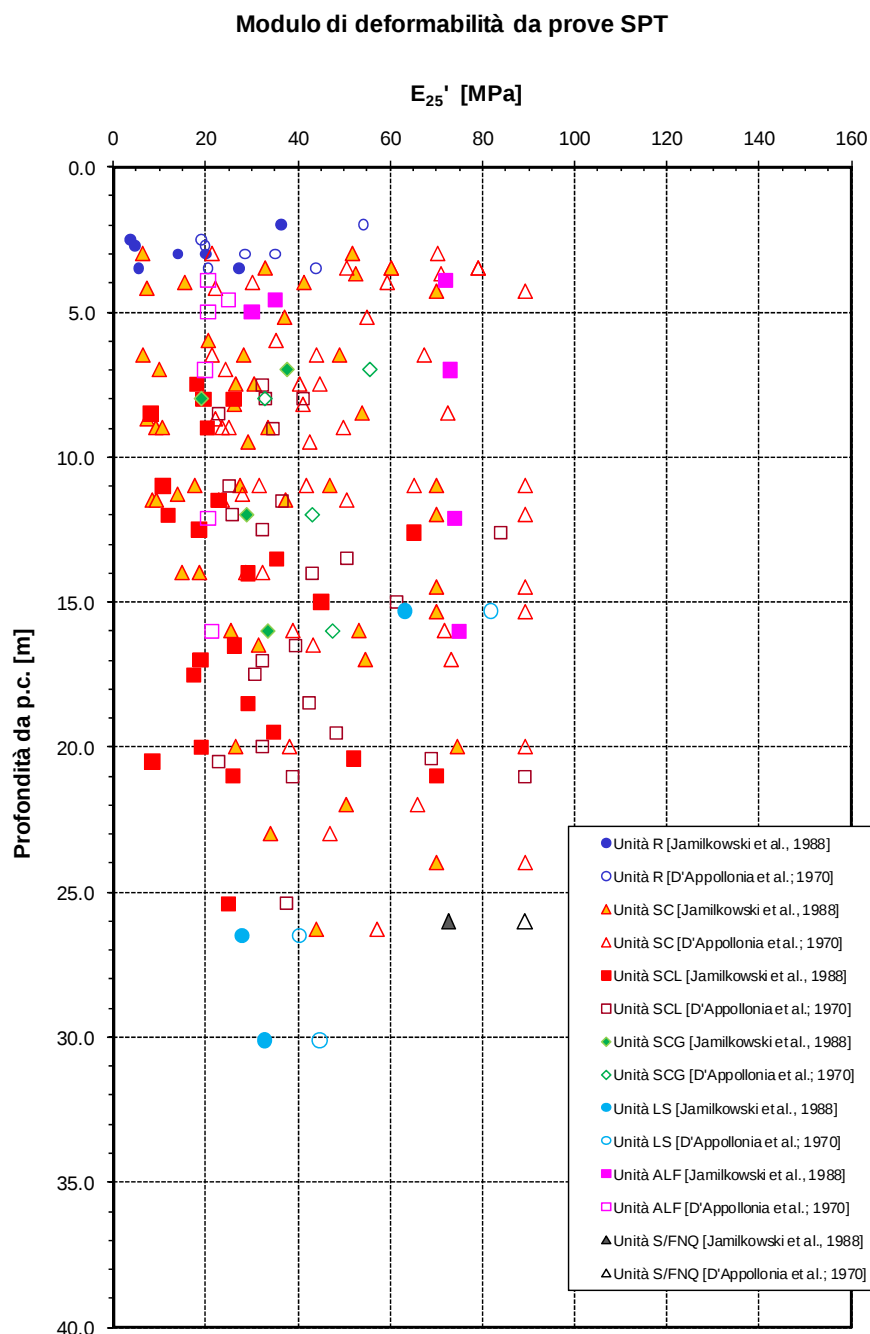


Figura 5 – Modulo di deformazione E_{25}' da prove SPT

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandataria) 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										
GA01 E GA02 Relazione di calcolo paratie di primo salto	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GA 00 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 15 di 89	

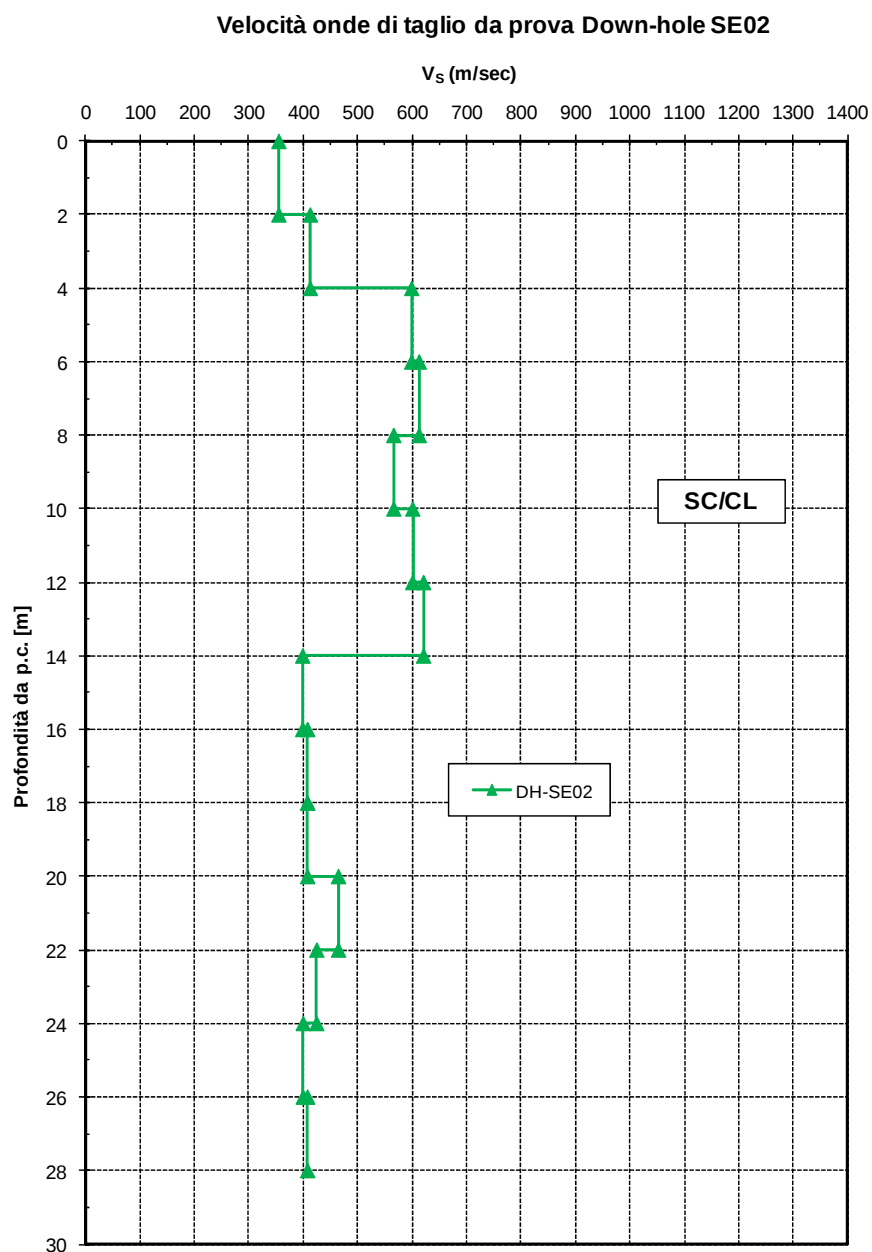


Figura 6– Velocità delle onde di taglio VS da prova Down – Hole SE02

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandataria) 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										
GA01 E GA02 Relazione di calcolo paratie di primo salto	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GA 00 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 16 di 89	

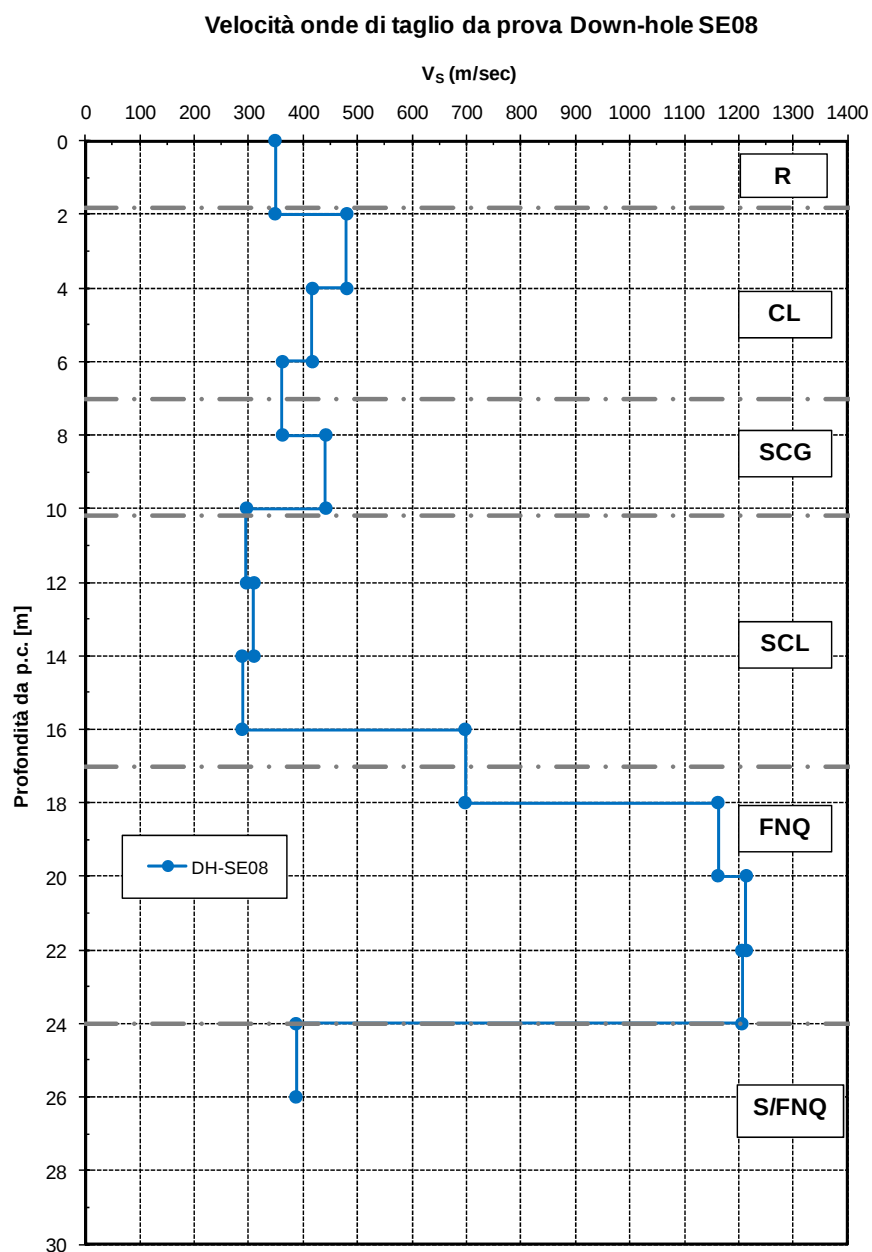


Figura 7– Velocità delle onde di taglio VS da prova Down – Hole SE08

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandataria) 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										
GA01 E GA02 Relazione di calcolo paratie di primo salto	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GA 00 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 17 di 89	

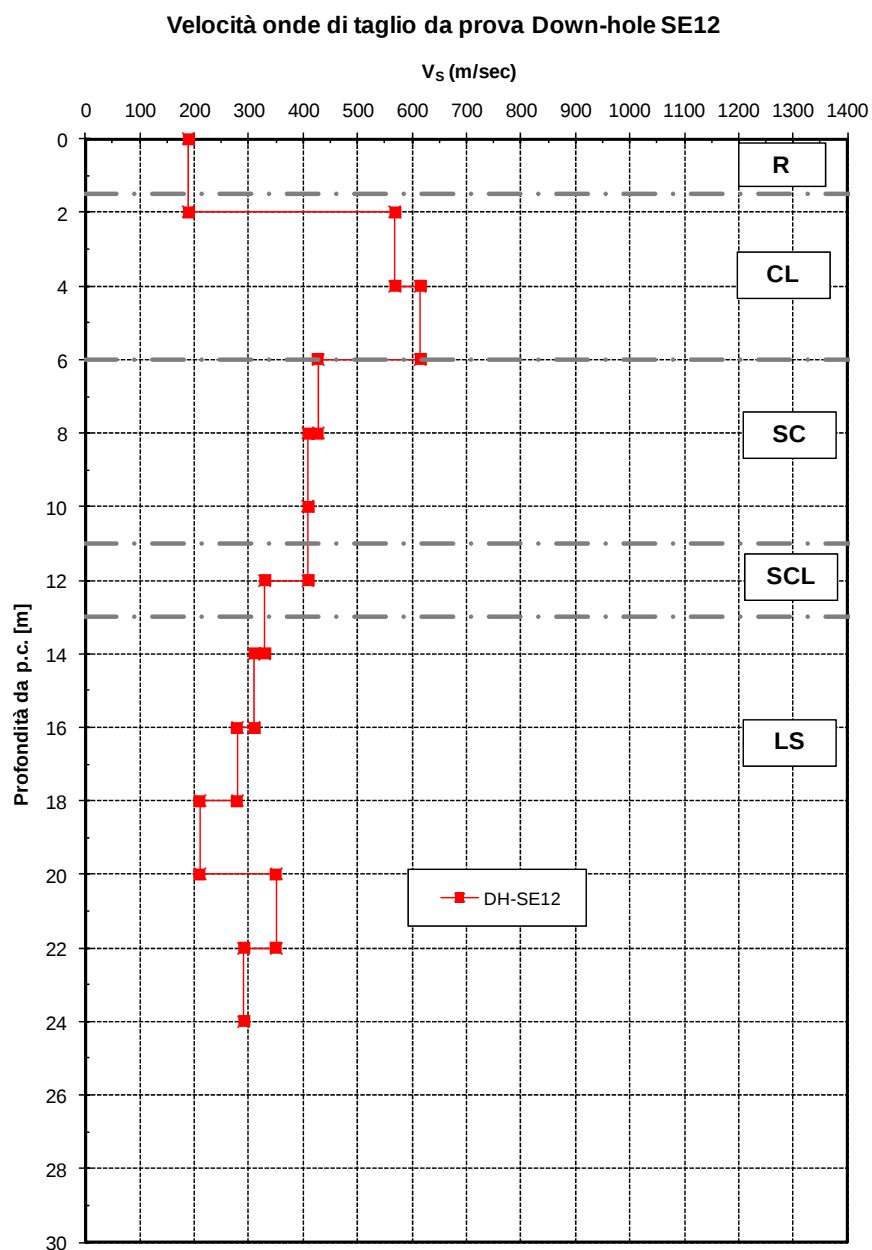


Figura 8– Velocità delle onde di taglio VS da prova Down – Hole SE12

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) 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									
GA01 E GA02 Relazione di calcolo paratie di primo salto	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GA 00 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 18 di 89

5. ANALISI FEM PIANA

5.1 GENERALITÀ

Le analisi numeriche FEM sono state condotte con il codice di calcolo PLAXIS 2D v 2010.01, nell'ipotesi di stato piano di deformazione, adottando appropriati legami costitutivi per la modellazione del comportamento tenso-deformativo dei terreni e delle strutture.

In maniera conforme a quanto rappresentato negli elaborati progettuali, è possibile simulare l'esecuzione delle paratie e dello scavo in fasi successive. Infatti, l'esistenza di deformazioni anelastiche nel terreno implica la necessità di considerare, nelle analisi, l'andamento dei carichi con il proseguire dell'esecuzione delle opere: la soluzione del problema, a differenza del caso elastico, dipende anche dal percorso tensionale seguito.

Per quanto riguarda la scelta della stratigrafia e dei valori dei parametri geotecnici di calcolo, si fa riferimento alla relazione geotecnica generale ed al profilo geotecnico.

5.2 PARAMETRI DI CALCOLO DELLE STRUTTURE

5.2.1 Elementi bidimensionali

Tutti gli elementi strutturali (paratie di pali, impalcati e fodere) sono stati modellati nell'analisi con elementi finiti bidimensionali, caratterizzati da un legame costitutivo lineare elastico isotropo ovvero da un modulo di Young E e da un coefficiente di Poisson ν .

Al fine di rendere più agevole la lettura dei risultati (spostamenti e sollecitazioni), in corrispondenza degli assi degli elementi strutturali modellati sono stati inseriti elementi piastra, con legame costitutivo lineare elastico isotropo, le cui proprietà meccaniche (rigidezza assiale EA e rigidezza flessionale EJ) sono state opportunamente fattorizzate (moltiplicandole per un coefficiente $c = 10^{-9}$) per non creare una sovrapposizione di rigidezza che avrebbe falsato la risposta meccanica dell'elemento strutturale. In questo modo, essendo l'elemento a comportamento lineare, per ottenerne le sollecitazioni in termini di momento flettente, taglio e sforzo normale, è sufficiente moltiplicare i valori ottenuti dalle analisi per il coefficiente $1/c$.

Gli elementi costituiti da pali secanti CSP Ø920 (con diametro di perforazione effettivo di 914 mm), posti ad interasse 0.75 m, sono stati modellati considerando l'effettiva area A e momento d'inerzia J dell'elemento ripetitivo di interasse 1.5 m, rappresentato in Figura 9. Agli elementi bidimensionali che modellano le paratie di pali CSP si applicano quindi un modulo elastico E^* , un coefficiente di Poisson ν^* e un peso di volume γ^* fattorizzati per opportuni fattori di forma che tengono conto dei rapporti tra i momenti d'inerzia e tra le aree della effettiva sezione della paratia di Figura 9 e della sezione rettangolare corrispondente (di dimensioni 0.914 m x 1.5 m).

L'edificio è stato caratterizzato con elementi finiti bidimensionali (*cluster*) con legame costitutivo elastico-lineare, caratterizzati da un peso di volume pari a 3.5 kN/m³ e modulo di Young pari a 500 MPa.

Nella seguente tabella sono riportati i valori dei parametri di calcolo della copertura (elementi bidimensionali ed asse).

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) 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									
GA01 E GA02 Relazione di calcolo paratie di primo salto	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GA 00 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 19 di 89

Tabella 1 – parametri di calcolo degli elementi bidimensionali

Elemento strutturale	ELEMENTI CLUSTER							
	fattore forma E	fattore forma γ	ν [-]	E [kN/m ²]	γ [kN/m ³]	ν^* [-]	E* [kN/m ²]	γ^* [kN/m ³]
Ø914/750	0.718	8.80E-01	0.18	3.15E+07	25	0.13	2.260E+07	2.200E+01
impalcati	1	1	0.18	3.15E+07	25	0.18	3.148E+07	2.500E+01
fodere	1	1	0.18	3.15E+07	25	0.18	3.148E+07	2.500E+01

Tabella 2 – parametri di calcolo degli elementi piastra sugli assi degli elementi bidimensionali a sezione rettangolare

Elemento strutturale	ELEMENTI BEAM SEZIONE RETTANGOLARE						
	H [m]	A [m ²]	J [m ⁴]	ν [-]	fatt. di scala	EA [kN/m]	EJ [kNm ² /m]
solettone s=130cm	1.30	1.30E+00	1.83E-01	0.18	1.00E-09	4.092E-02	5.763E-03
solettone s=70cm	0.70	7.00E-01	2.86E-02	0.18	1.00E-09	2.203E-02	8.997E-04
fodere s=50cm	0.50	5.00E-01	1.04E-02	0.18	1.00E-09	1.574E-02	3.279E-04

Tabella 3 – parametri di calcolo degli elementi piastra sugli assi degli elementi bidimensionali a sezione circolare

Elemento strutturale	ELEMENTI BEAM SEZIONE CIRCOLARE							
	i [m]	D [m]	A [m ²]	J [m ⁴]	E [kN/m ²]	fatt. di scala	EA [kN/m]	EJ [kNm ² /m]
Ø914/750	1.50	0.914	1.21E+00	6.85E-02	3.15E+07	1.00E-09	2.531E-02	1.438E-03

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) 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									
GA01 E GA02 Relazione di calcolo paratie di primo salto	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GA 00 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 20 di 89

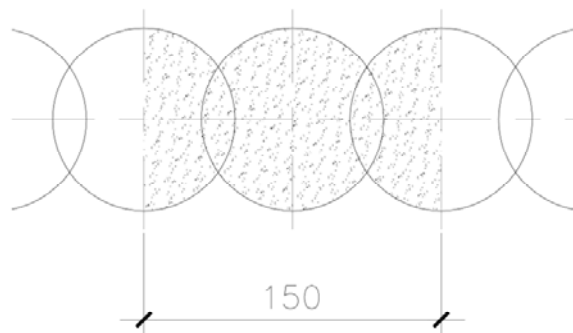


Figura 9 – elemento strutturale ripetitivo di paratia, di interasse 1.5 m

5.2.2 Elementi di interfaccia

Nelle analisi, le superfici di contatto struttura-terreno sono state modellate con elementi finiti tipo interfaccia ovvero elementi finiti che consentono lo scorrimento relativo fra superfici in contatto fra loro. Tali elementi finiti sono caratterizzati da un legame costitutivo elastico lineare e da una funzione di snervamento alla Mohr-Coulomb. E' quindi possibile assegnare una coesione efficace c'_{int} ed un angolo di attrito φ'_{int} all'interfaccia sia direttamente sia indirettamente, moltiplicando per un coefficiente R_{int} variabile nell'intervallo $(0,1]$ la coesione efficace e la tangente dell'angolo di attrito degli elementi in contatto reciproco.

Nelle analisi, si è adottata la seguente caratterizzazione per le interfacce:

$$c'_{int} = 0 \text{ kPa}$$

$$\varphi'_{int} = 0.7 \varphi'$$

5.3 PARAMETRI DI CALCOLO DEL TERRENO

Tutte le unità geotecniche sono state modellate come un mezzo poroso continuo, caratterizzato da un legame costitutivo elasto-plastico con superficie di snervamento chiusa e incrudimento isotropo, regolato dalle deformazioni volumetriche plastiche (con legge flusso associato) e distorsionali plastiche (con legge di flusso non associato).

Le principali caratteristiche del modello costitutivo sono le seguenti:

- una differente rigidezza per percorsi tensionali di primo carico e di scarico-ricarico;
- sviluppo di deformazioni plastiche per stati tensionali deviatorici (con legge di flusso non associata) e sferici (con legge di flusso associata);
- criterio di rottura di tipo Mohr-Coulomb, caratterizzato dalla coesione efficace c' e dall'angolo di attrito efficace φ' ;

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) 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									
GA01 E GA02 Relazione di calcolo paratie di primo salto	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GA 00 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 21 di 89

- il modulo di rigidità secante E_{50} per percorsi tensionali di primo carico è funzione della tensione di confinamento applicata:

$$E_{50} = E_{50ref} \left[\frac{(c' \cos \varphi' - \sigma'_{min} \sin \varphi')}{(c' \cos \varphi' + p_{ref} \sin \varphi')} \right]^m$$

dove:

$p_{ref} = 100kPa$ è la pressione di riferimento

σ'_{min} è la tensione efficace principale minore

E_{50ref} è il modulo di rigidità secante alla pressione di riferimento ($\sigma'_{min} = p_{ref}$)

m è un coefficiente esponenziale che regola la dipendenza della rigidità dallo stato tensionale

E_{50} è il modulo di rigidità secante riferito alla tensione σ'_{min}

- il modulo di rigidità E_{ur} per percorsi tensionali di scarico-ricarico funzione della tensione di confinamento applicata:

$$E_{ur} = E_{urref} \left[\frac{(c' \cos \varphi' - \sigma'_{min} \sin \varphi')}{(c' \cos \varphi' + p_{ref} \sin \varphi')} \right]^m$$

dove:

$p_{ref} = 100kPa$ è la pressione di riferimento

σ'_{min} è la tensione efficace principale minore

E_{urref} è il modulo di rigidità secante alla pressione di riferimento ($\sigma'_{min} = p_{ref}$)

m è un coefficiente esponenziale che regola la dipendenza della rigidità dallo stato tensionale

E_{ur} è il modulo di rigidità secante alla tensione σ'_{min}

- la rigidità secante a taglio G funzione dell'ampiezza della deformazione a taglio γ e della tensione di confinamento applicata:

$$G = \frac{G_0}{\left(1 + a \frac{|\gamma|}{|\gamma_{0.7}|} \right)}$$

dove:

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) 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									
GA01 E GA02 Relazione di calcolo paratie di primo salto	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GA 00 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 22 di 89

G_0 è la rigidezza a taglio in campo dinamico, $a = 3/7$

$\gamma_{0.7}$ è la deformazione a taglio in corrispondenza della quale G_0 si riduce al 70% del suo valore iniziale

Il legame funzionale fra G_0 e lo stato tensionale è espresso dalla seguente relazione:

$$G_0 = G_{0ref} \left[\frac{(c' \cos \varphi' - \sigma'_{min} \sin \varphi')}{(c' \cos \varphi' + p_{ref} \sin \varphi')} \right]^m$$

$$\gamma_{07} = 1/(9 \cdot G_{0ref}) \cdot [(2c'(1 + \cos(2 \varphi')) - \sigma'_1 (1 + K_0) \sin(2 \varphi'))]$$

dove

K_0 è il coefficiente di spinta a riposo

σ'_1 è la tensione verticale efficace

I parametri che definiscono il comportamento meccanico dei terreni sono stati determinati in accordo a quanto riportato nella relazione geotecnica. In particolare, la Figura 10 mostra il confronto fra le curve ottenute dalle prove down-hole e la curva adottata nelle analisi FEM qui esposte.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandataria) 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										
GA01 E GA02 Relazione di calcolo paratie di primo salto	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GA 00 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 23 di 89	

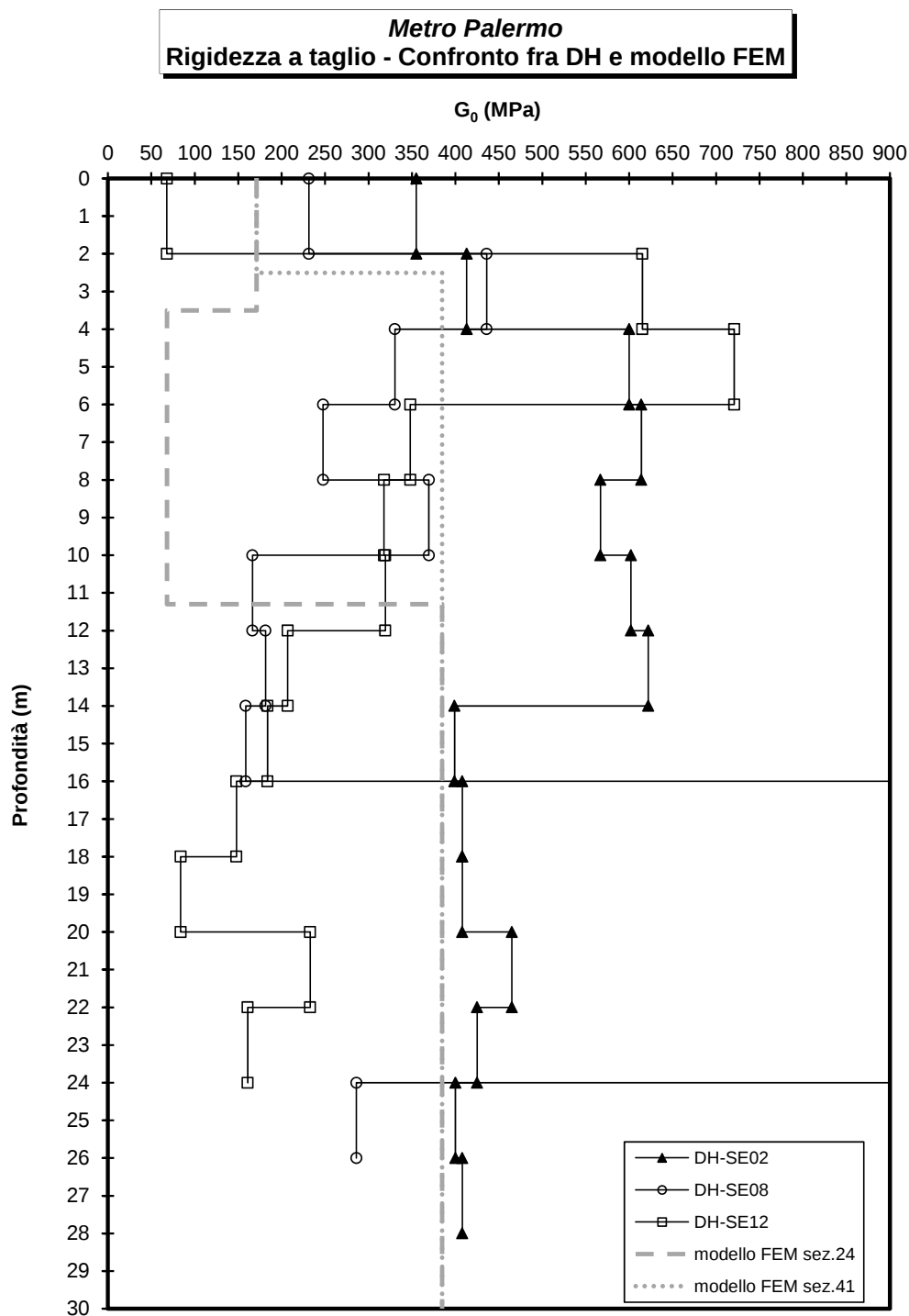


Figura 10 – Confronto fra la rigidezza a taglio dalle DH e quella delle analisi FEM

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandataria) 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										
GA01 E GA02 Relazione di calcolo paratie di primo salto	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GA 00 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 24 di 89	

Per percorsi tensionali di carico, a partire da condizioni isotrope, il modello prevede un legame tensione-deformazione elasto-plastico, di forma iperbolica con tangente iniziale controllata dal modulo di rigidezza in campo dinamico:

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

con $\nu = 0.25$.

Da E_0 è possibile ricavare il modulo secante:

$$E_{50} = E_0 / K$$

In particolare si è adottato $K=12.5$, in accordo con i valori indicati in bibliografia ($K = 10 \div 15$). Infine, si è considerato:

$$E_{ur} / E_{50} = 2.5$$

dove E_{ur} è il modulo di rigidezza per percorsi tensionali di scarico-ricarico.

La seguente tabella riassume i valori dei parametri attribuiti alle varie unità geotecniche modellate e la stratigrafia di riferimento modellata nelle analisi.

Tabella 4 – Valori dei parametri di calcolo delle unità geotecniche

Unità [--]	γ [kN/m ³]	k_0 [--]	c' [kPa]	ϕ' [°]	p_{ref} [kPa]	m [--]	$G_{0\ ref}$ [kPa]	γ_{07} [--]	$E_{50\ ref}$ [kPa]	$E_{ur\ ref}$ [kPa]	K_x [m/s]	K_y [m/s]
Riporto	20.0	0.43	0	28	100	0.00	171000	1.793E-0.5	35568	88920	5.0E-05	1.0E-05
ALF	17.0	0.59	0	24	100	0.00	68000	1.563E-0.4	14144	35360	5.0E-05	1.0E-05
SC/SCL	20.0	0.47	0	32	100	0.00	384750	6.382E-05	80028	200070	5.0E-05	1.0E-05

Il terreno consolidato con super-jet è stato caratterizzato con i seguenti valori dei parametri fisico-meccanici di calcolo:

$$\gamma_{jet} = \gamma$$

$$c'_{jet} = 100\ kPa$$

$$\phi'_{jet} = \phi'$$

$$E_{jet} = 15E$$

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandataria) 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										
GA01 E GA02 Relazione di calcolo paratie di primo salto	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GA 00 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 25 di 89	

dove le grandezze senza pedice sono riferite al terreno naturale.

Il terreno di ritombamento è stato caratterizzato con i valori dei parametri di calcolo del terreno pre-esistente.

5.4 SEZIONE 24 ALLA PROGRESSIVA 4+125

5.4.1 Geometria e stratigrafia di calcolo

La Figura 11 riporta la geometria della mesh adottata nella analisi. Il dominio discretizzato ha una larghezza $L = 110$ m ed una profondità $H = 30$ m dal p.c. ed è costituito da n. 1211 elementi triangolari a 15 nodi.

Le dimensioni della mesh, in relazione alla dimensione degli scavi, sono sufficienti a garantire che i risultati delle analisi siano indipendenti dalla particolare discretizzazione adottata e sono tali da permettere di vincolare il lato inferiore della mesh bloccando gli spostamenti verticali ed orizzontali ed i lati sinistro e destro bloccando gli spostamenti orizzontali.

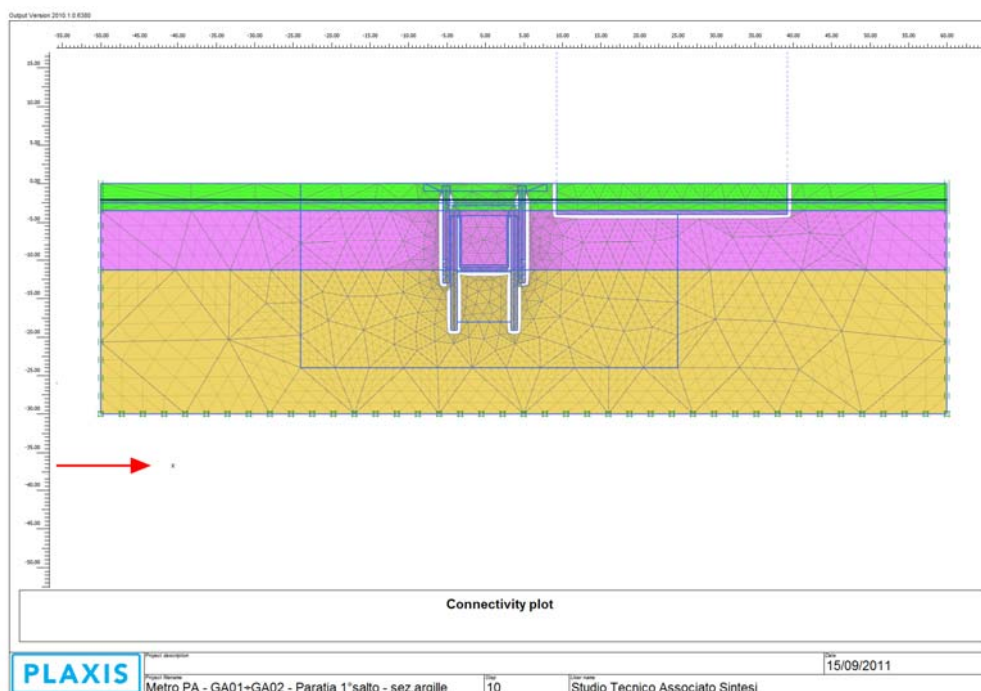


Figura 11 – Discretizzazione adottata nella analisi della sezione 24

5.4.2 Fasi di calcolo

Nel seguito si descrivono le principali fasi esecutive analizzate:

FASE 1. Inizializzazione del modello tramite applicazione delle condizioni geostatiche iniziali, generando lo stato tensionale iniziale, con falda a quota -2.1 m da p.c..

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) 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									
GA01 E GA02 Relazione di calcolo paratie di primo salto	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GA 00 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 26 di 89

- FASE 2. Simulazione del traffico stradale, tramite attivazione di un sovraccarico distribuito di 20 kPa su tutto il p.c..
- FASE 3. Prescavo alla quota di lavoro per la realizzazione delle paratie provvisionali; in questa fase, si applica un carico distribuito di 10 kPa a p.c., per simulare la presenza di mezzi di cantiere.
- FASE 4. Realizzazione delle paratie provvisionali, delle paratie definitive e del tampone di fondo in jet-grouting, aventi le caratteristiche sopraesposte (i pali provvisionali hanno lunghezza 10.0 m, quelli definitivi 15.0 m, mentre lo spessore del tampone di fondo è di 6.5 m).
- FASE 5. Approfondimento dello scavo fino a quota di intradosso del solettone di copertura, per la realizzazione dello stesso.
- FASE 6. Realizzazione del solettone di copertura e sistemazione superficiale, tramite attivazione di un sovraccarico distribuito di 20 kPa su tutto il p.c. che rappresenta il traffico stradale.
- FASE 7. Raggiungimento della quota di scavo massimo all'interno della GA.
- FASE 8. Realizzazione del solettone di base e delle fodere interne; in questa fase si disattivano completamente le paratie di primo salto.
- FASE 9. Applicazione delle condizioni idrostatiche a lungo termine, tramite applicazione della spinta idrostatica direttamente sulle fodere.
- FASE 10. Stabilità globale al raggiungimento dello scavo a quota intradosso solettone di copertura, a partire dalla FASE 5 di calcolo.
- FASE 11. Stabilità globale al raggiungimento del fondo scavo massimo interno alla GA, a partire dalla FASE 7 di calcolo.

Nelle seguenti immagini si riportano le principali fasi di calcolo

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandataria) 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										
GA01 E GA02 Relazione di calcolo paratie di primo salto	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GA 00 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 27 di 89	

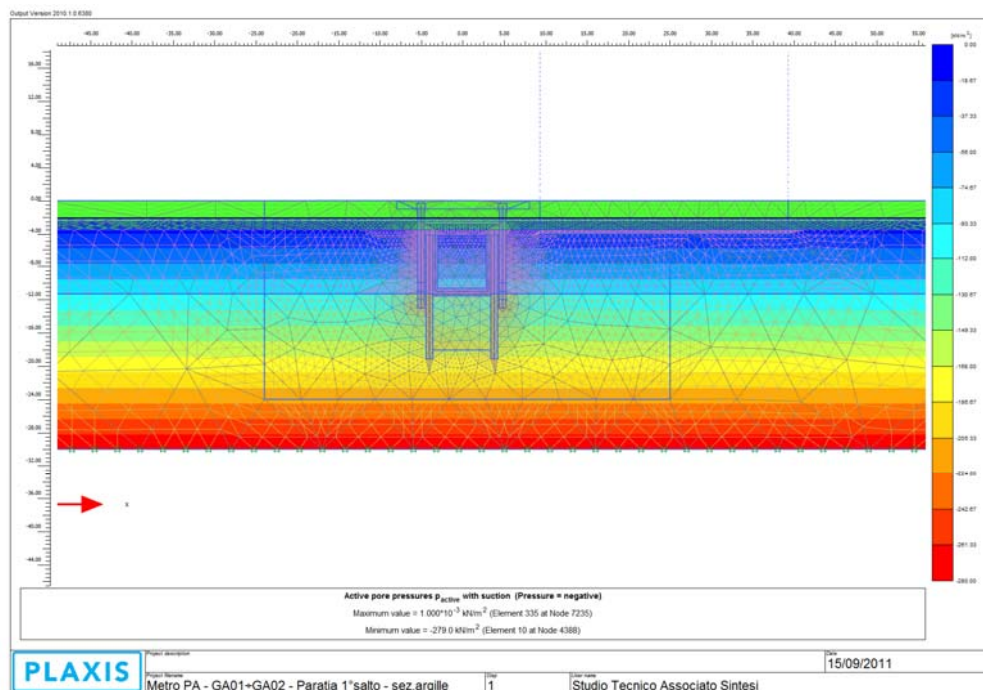


Figura 12 – Pressioni neutre iniziali e livello di falda (in grassetto)

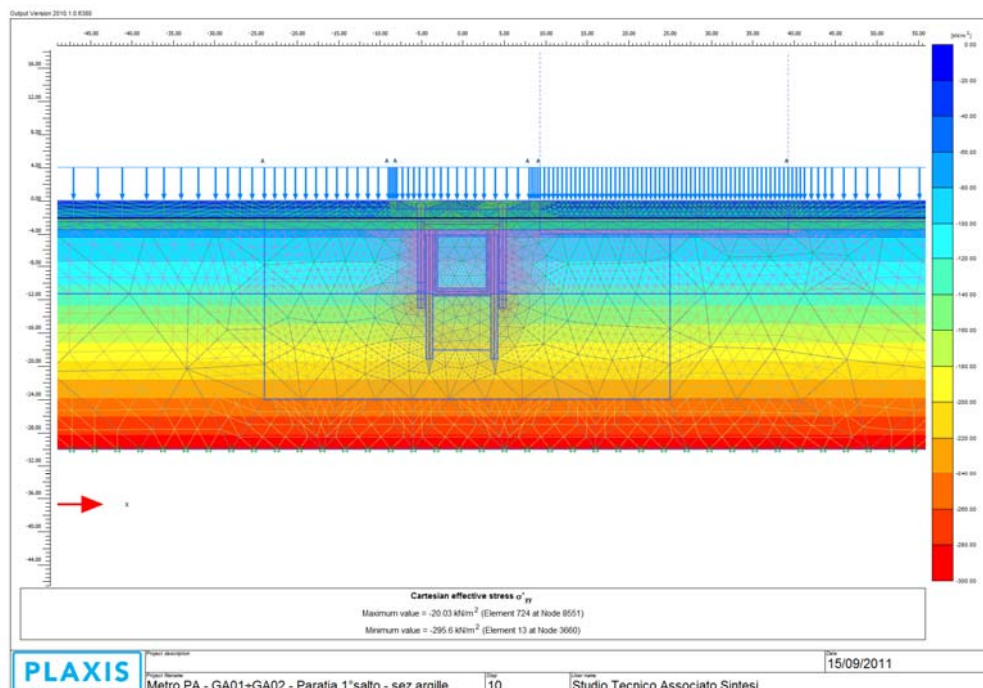


Figura 13 – Traffico stradale e pressioni verticali efficaci

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandataria) 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										
GA01 E GA02 Relazione di calcolo paratie di primo salto	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GA 00 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 28 di 89	

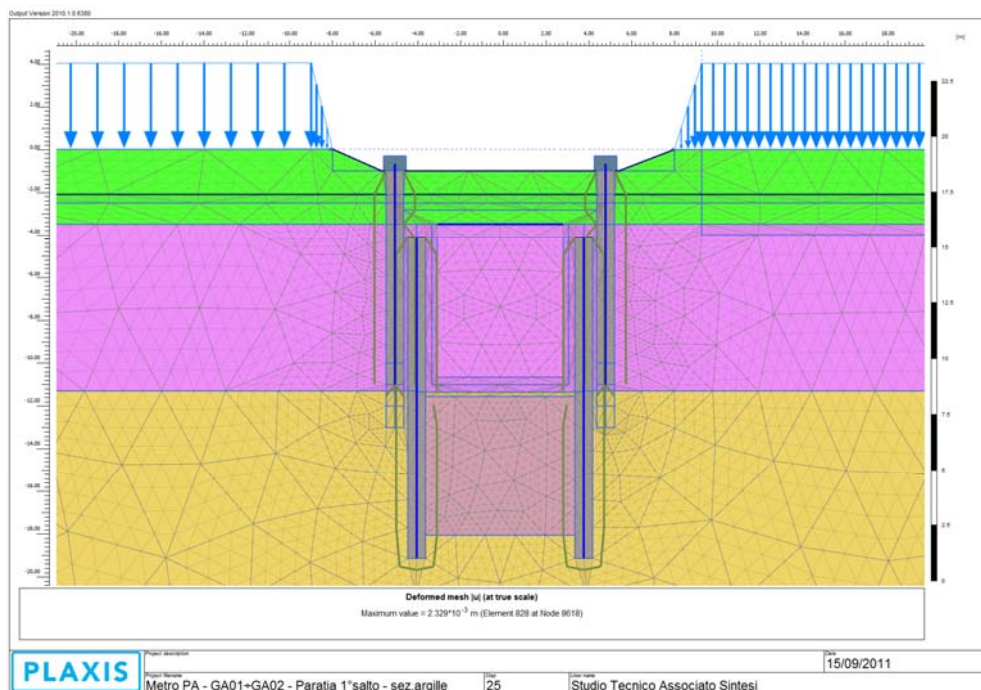


Figura 14 – Esecuzione delle paratie e del tampone di fondo in jet-grouting

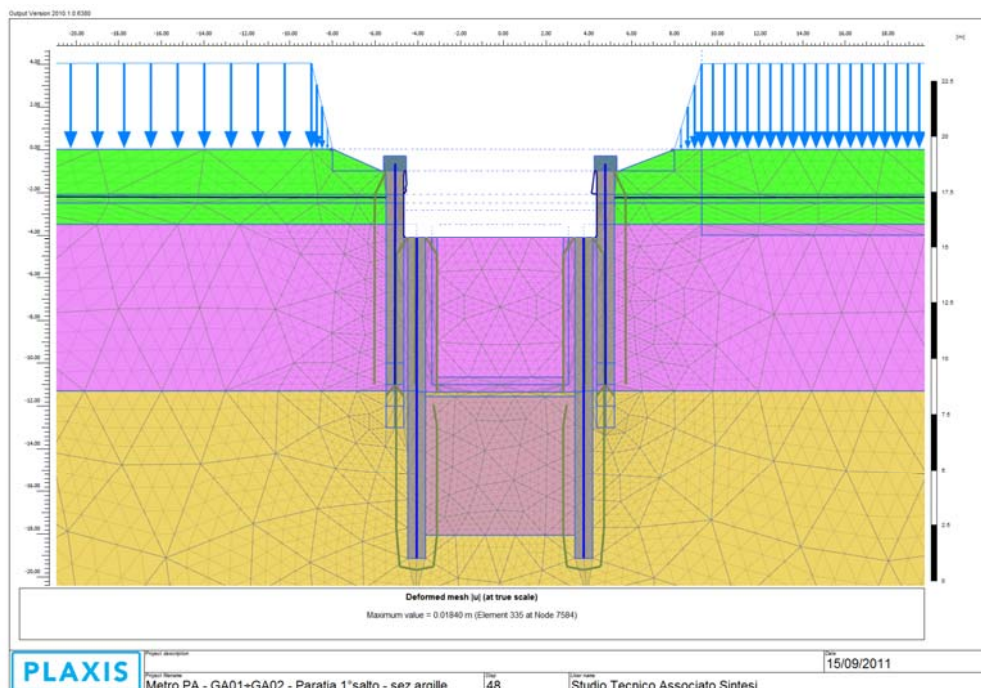


Figura 15 – Scavo a quota intradosso solettone di copertura

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandataria) 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										
GA01 E GA02 Relazione di calcolo paratie di primo salto	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GA 00 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 29 di 89	

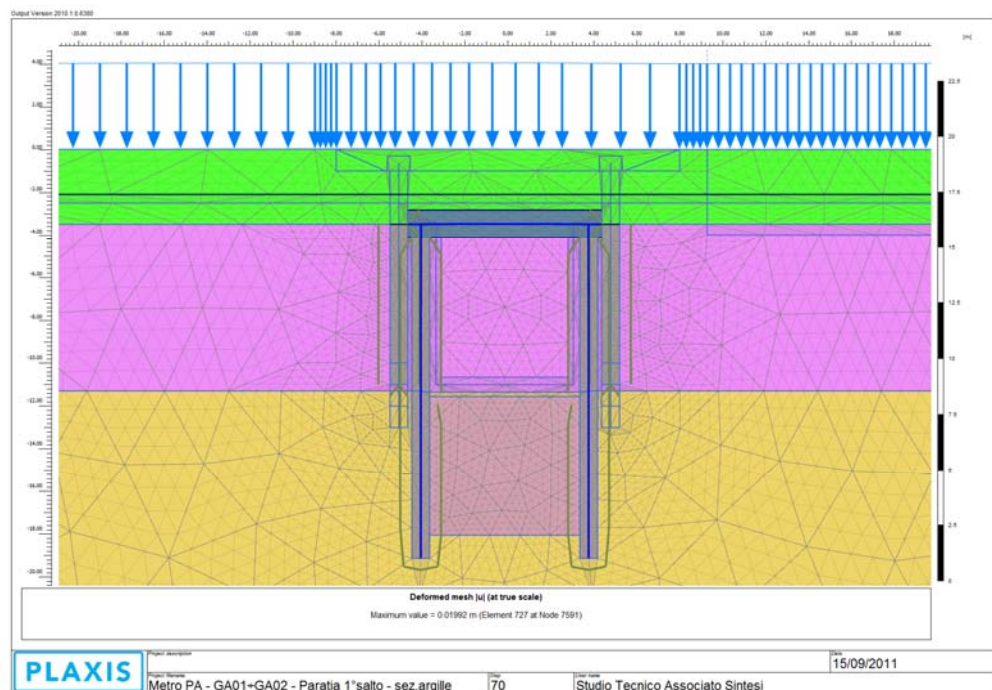


Figura 16 – Sistemazione superficiale e applicazione del sovraccarico stradale

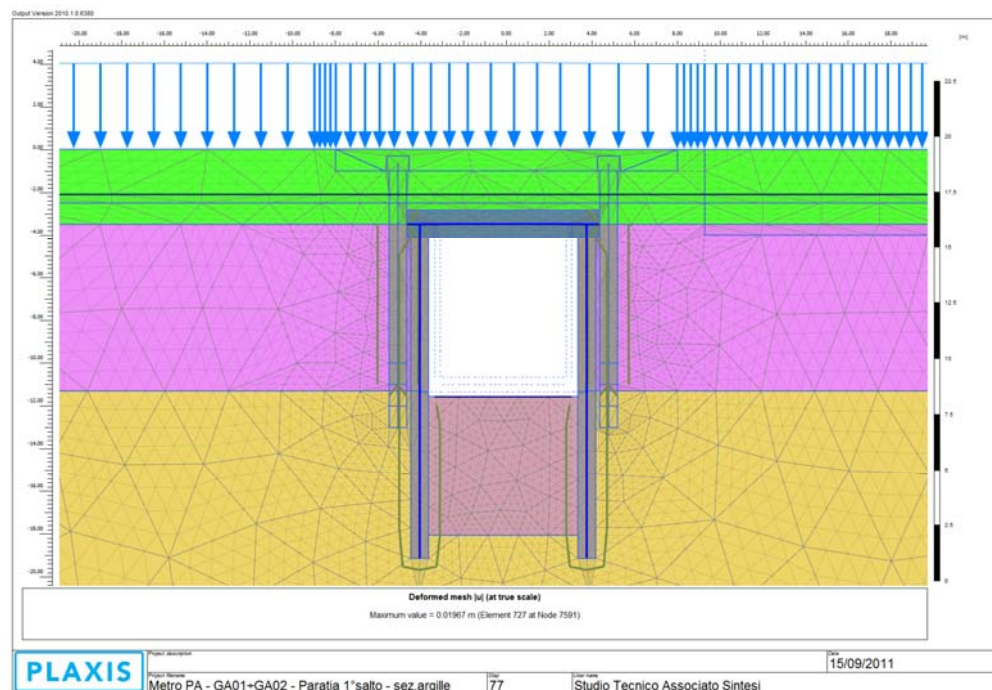


Figura 17 – Raggiungimento dello scavo massimo interno

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) 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									
GA01 E GA02 Relazione di calcolo paratie di primo salto	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GA 00 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 30 di 89

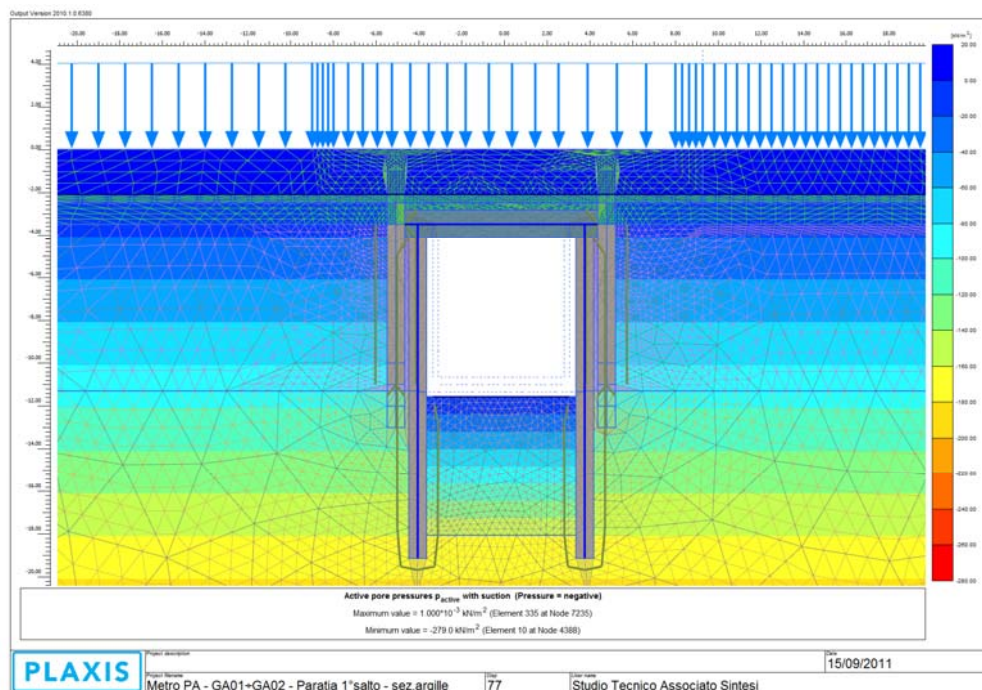


Figura 18 – Distribuzione delle pressioni neutre dopo lo scavo

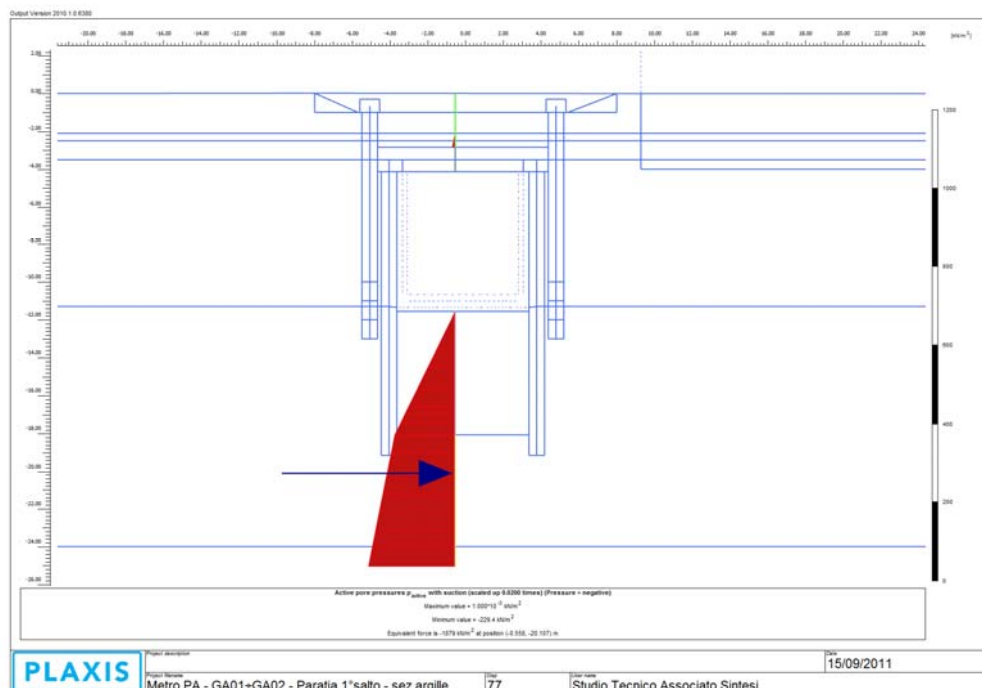


Figura 19 – Distribuzione delle pressioni neutre su una sezione dopo lo scavo

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandataria) 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										
GA01 E GA02 Relazione di calcolo paratie di primo salto	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GA 00 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 31 di 89	



Figura 20 – Realizzazione del solettone di base e delle fodere interne

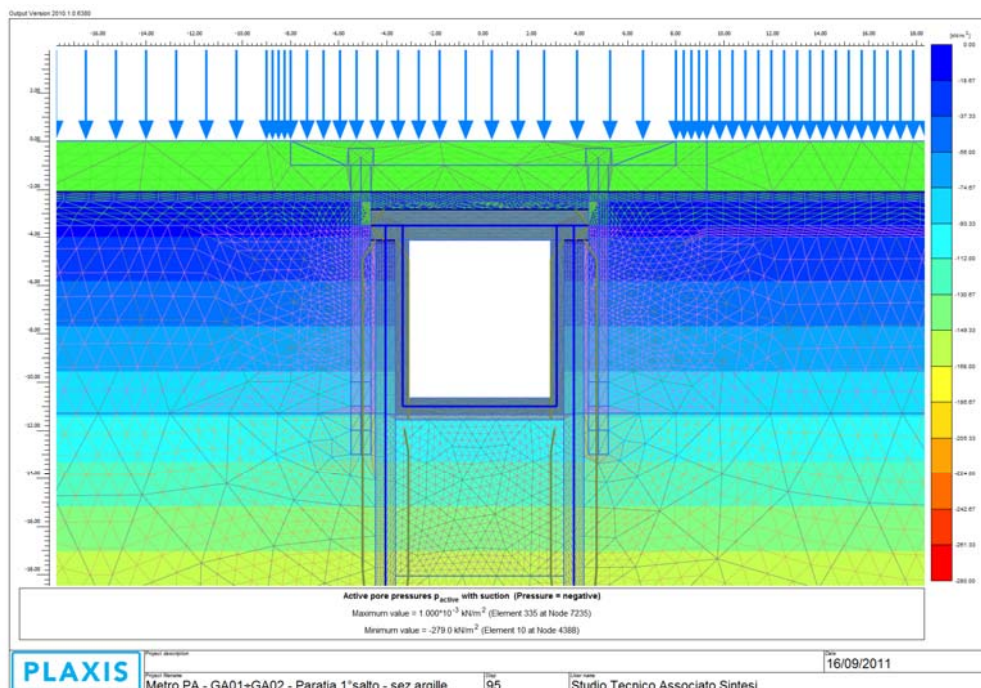


Figura 21 – Applicazione delle condizioni idrostatiche a lungo termine – pressioni neutre

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) 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									
GA01 E GA02 Relazione di calcolo paratie di primo salto	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GA 00 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 32 di 89

5.4.1 Sollecitazioni negli elementi strutturali

Di seguito, per ciascun elemento strutturale, sono riportate in forma grafica le sollecitazioni ottenute dall'analisi. Nel seguito si utilizzeranno le seguenti convenzioni:

N = azione assiale (positiva di trazione)

Q = taglio

M = momento flettente

Si ricorda che le sollecitazioni riportate nei diagrammi vanno amplificate per un coefficiente $c = 10^9$ (cfr. Paragrafo 5.2.1).

5.4.1.1 Paratie di primo salto – pali secanti Ø914/750

Nel seguito si riportano in forma numerica, nella seguente tabella, e in forma grafica, nelle successive figure, le principali azioni interne ottenute dall'analisi. Le azioni interne riportate in tabella sono amplificate per l'interasse $i = 1.5$ m e sono quindi valide per l'elemento ripetitivo di **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**

Tabella 5 – involuppo fasi esecutive

Nmax	Q	M
[kN]	[kN]	[kNm]
-12.657	0.176	0.000

Nmin	Q	M
[kN]	[kN]	[kNm]
-200.014	37.803	0.000

N	Q	Mmax
[kN]	[kN]	[kNm]
-108.344	3.209	180.870

N	Q	Mmin
[kN]	[kN]	[kNm]
-107.582	-3.259	-190.688

N	Qmax	M
[kN]	[kN]	[kNm]
-89.581	79.506	77.418

N	Qmin	M
[kN]	[kN]	[kNm]
-90.246	-83.671	-82.546

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) 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									
GA01 E GA02 Relazione di calcolo paratie di primo salto	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GA 00 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 33 di 89

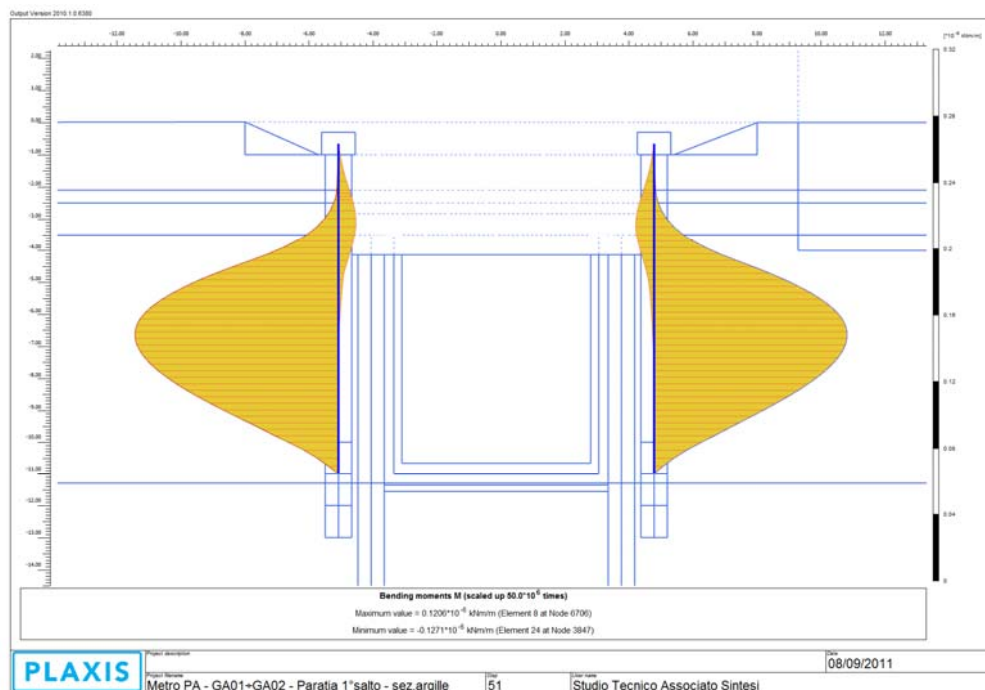


Figura 22 – Momento flettente – inviluppo fasi esecutive

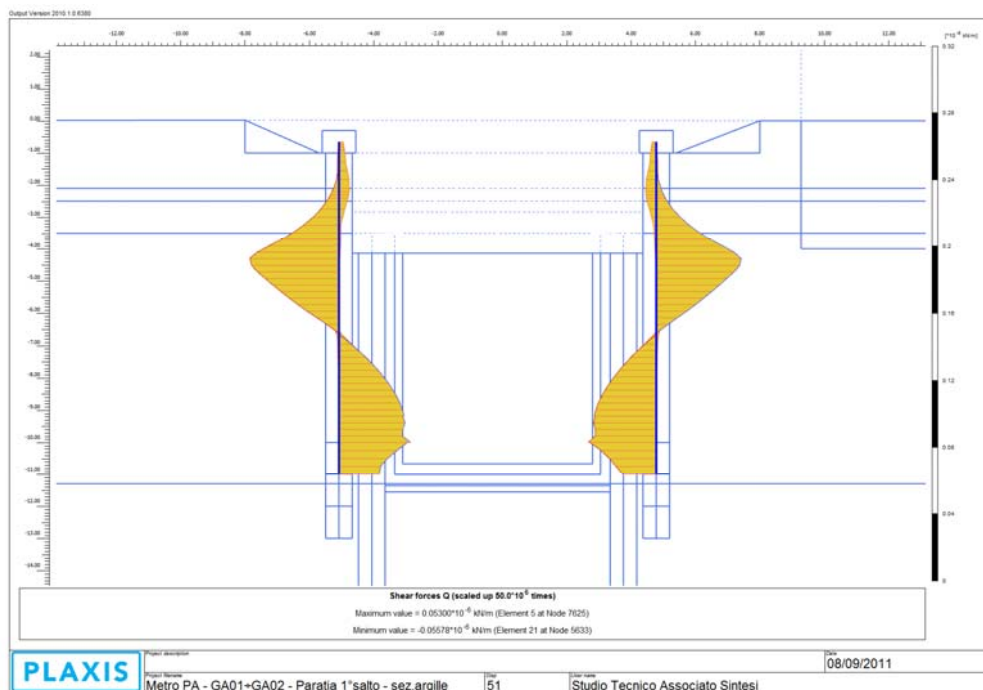


Figura 23 – Taglio – inviluppo fasi esecutive

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandataria) 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										
GA01 E GA02 Relazione di calcolo paratie di primo salto	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GA 00 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 34 di 89	



Figura 24 – Azione assiale – involucro fasi esecutive

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) 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									
GA01 E GA02 Relazione di calcolo paratie di primo salto	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GA 00 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 35 di 89

5.4.1.2 Paratie definitive – pali secanti Ø914/750

Nel seguito si riportano in forma numerica, nelle seguenti tabelle, e in forma grafica, nelle successive figure, le principali azioni interne ottenute dall'analisi. Le azioni interne riportate in tabella sono amplificate per l'interasse $i = 1.5$ m e sono quindi valide per l'elemento ripetitivo di **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** Le azioni interne sono riportate sia per le fasi esecutive (come inviluppo) che per la condizione definitiva (prima dell'applicazione delle condizioni idrostatiche di lungo termine).

I momenti massimo e minimo riportati nella seguente tabella sono relativi alle paratie di destra e di sinistra costituenti la GA (per un'interasse di 1.5 m), e si originano entrambi nella sezione di attacco al solettone di copertura. Tali valori sono in linea con quanto già ottenuto dalle analisi monodimensionali per la medesima sezione di calcolo, per cui tale momento vale 987 kNm (vedasi relazione di calcolo della GA01). Il risultato ottenuto conferma l'adeguatezza del modello monodimensionale, che risulta quindi "ben tarato" per la determinazione delle azioni interne.

Per i dimensionamenti degli elementi strutturali, quindi, si utilizzano le sezioni di calcolo 1D, che, come dimostrato, sono state opportunamente validate dalla presente analisi 2D.

Tabella 6 – inviluppo fasi esecutive

Nmax	Q	M
[kN]	[kN]	[kNm]
-43.675	-381.515	890.909

Nmin	Q	M
[kN]	[kN]	[kNm]
-1008.129	-521.722	-609.971

N	Q	Mmax
[kN]	[kN]	[kNm]
-43.675	-381.515	890.909

N	Q	Mmin
[kN]	[kN]	[kNm]
-115.485	401.053	-900.170

N	Qmax	M
[kN]	[kN]	[kNm]
-554.407	654.414	-787.935

N	Qmin	M
[kN]	[kN]	[kNm]
-764.912	-647.588	653.691

Tabella 7 – condizione definitiva

Nmax	Q	M
[kN]	[kN]	[kNm]
-40.262	-318.276	732.624

Nmin	Q	M
[kN]	[kN]	[kNm]
-681.509	-348.130	-398.132

N	Q	Mmax
[kN]	[kN]	[kNm]
-40.262	-318.276	732.624

N	Q	Mmin
[kN]	[kN]	[kNm]
-103.979	332.289	-738.361

N	Qmax	M
[kN]	[kN]	[kNm]
-418.723	543.315	-645.135

N	Qmin	M
[kN]	[kN]	[kNm]
-414.804	-536.088	641.677

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) 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									
GA01 E GA02 Relazione di calcolo paratie di primo salto	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GA 00 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 36 di 89

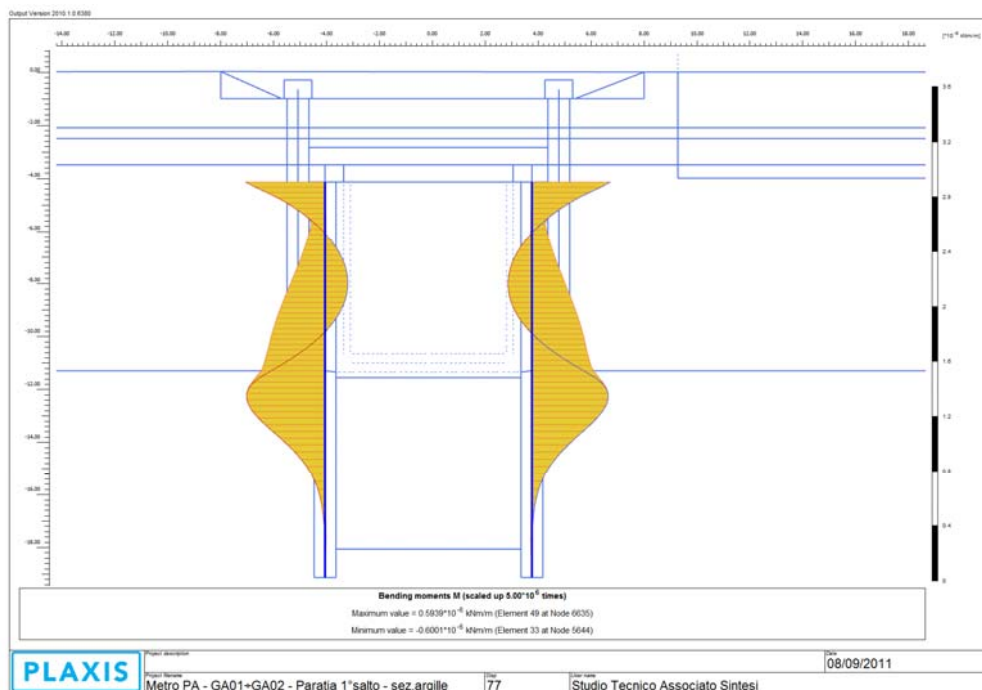


Figura 25 – Momento flettente – inviluppo fasi esecutive

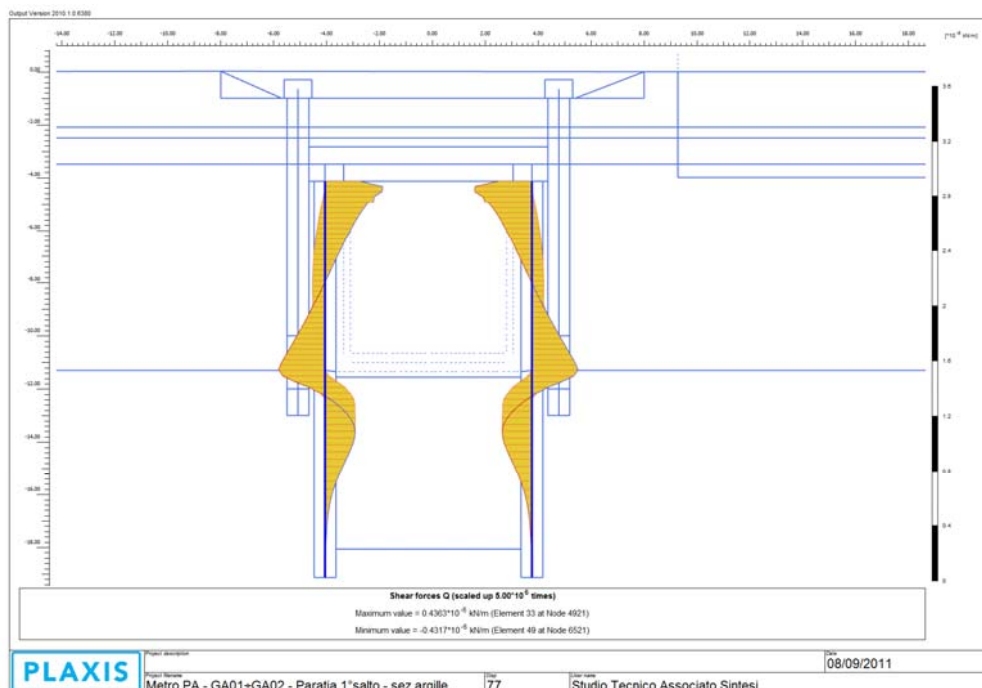


Figura 26 – Taglio – inviluppo fasi esecutive

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) 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									
GA01 E GA02 Relazione di calcolo paratie di primo salto	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GA 00 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 37 di 89

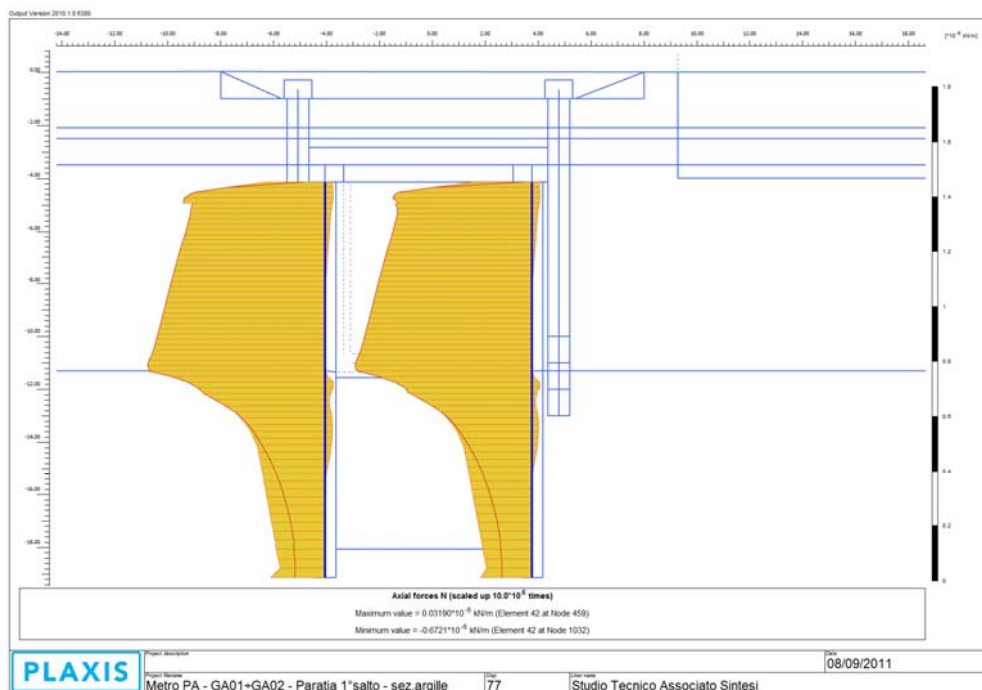


Figura 27 – Azione assiale – involucro fasi esecutive

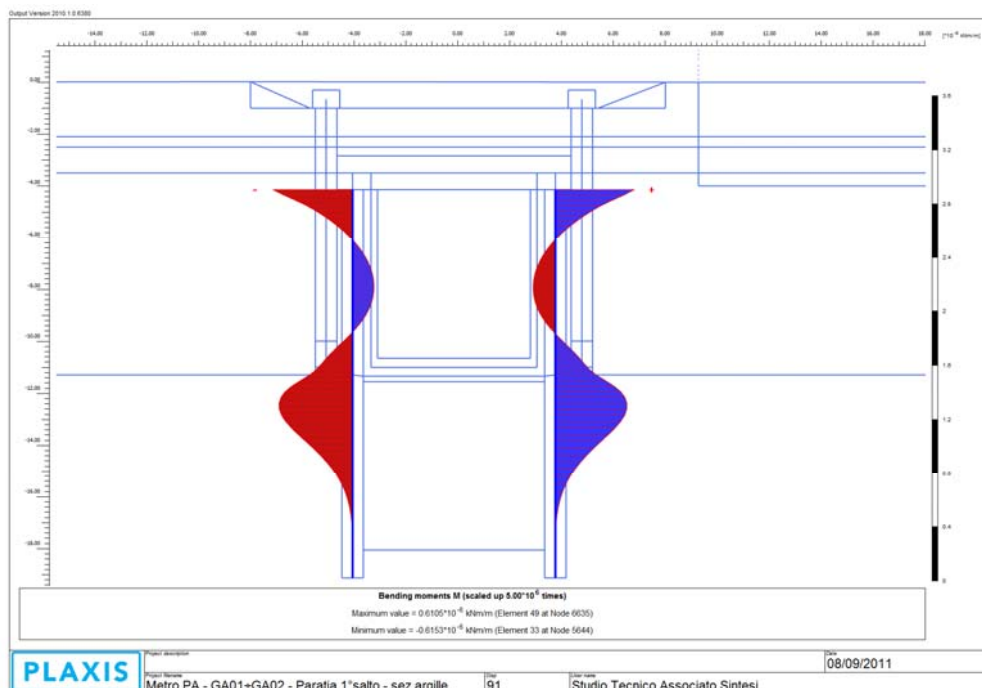


Figura 28 – Momento flettente – condizione definitiva

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) 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									
GA01 E GA02 Relazione di calcolo paratie di primo salto	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GA 00 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 38 di 89

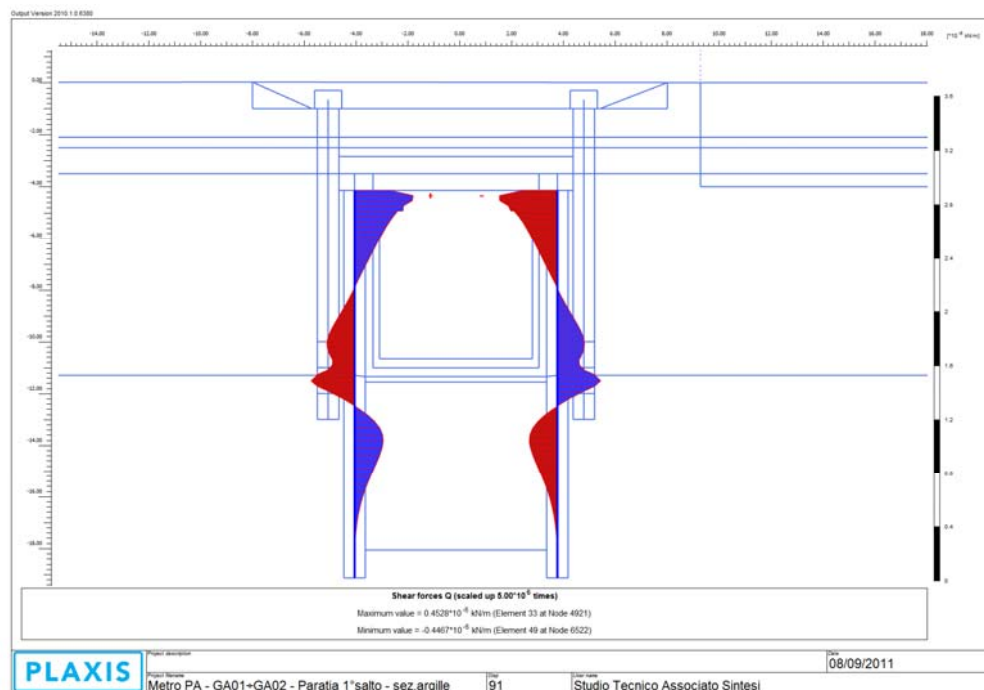


Figura 29 – Taglio – condizione definitiva

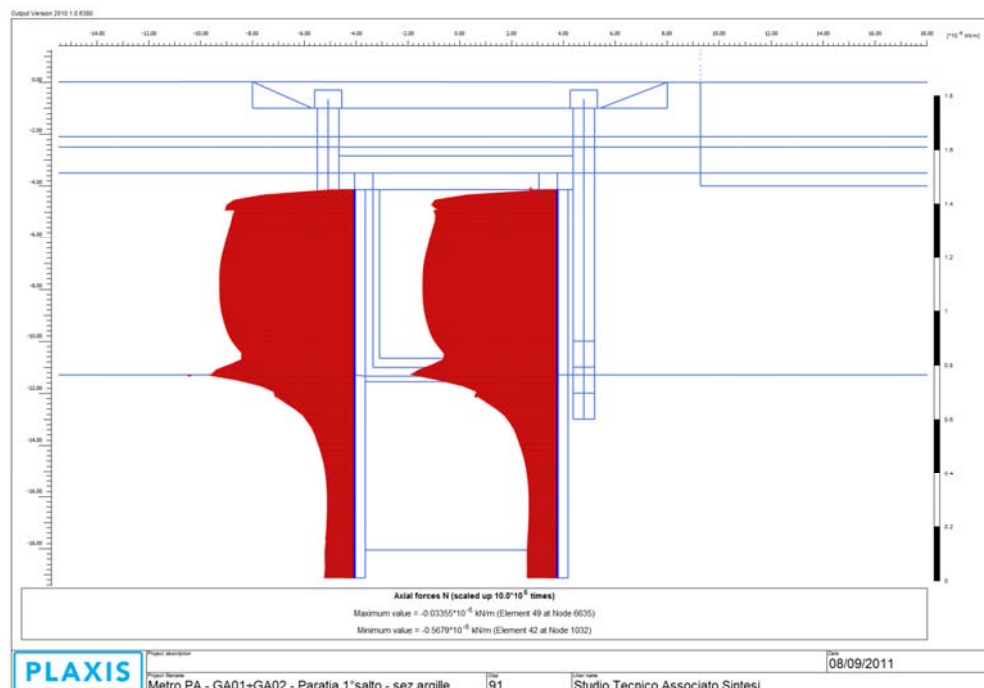


Figura 30 – Azione assiale – condizione definitiva

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) 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									
GA01 E GA02 Relazione di calcolo paratie di primo salto	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GA 00 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 39 di 89

5.4.1.3 Solettone di copertura – $s = 1.30 \text{ m}$

Nel seguito si riportano in forma numerica, nelle seguenti tabelle, e in forma grafica, nelle successive figure, le principali azioni interne ottenute dall'analisi. Le azioni interne riportate in tabella si riferiscono ad una porzione di impalcato di sviluppo longitudinale pari ad 1.0 m. Le azioni interne sono riportate sia per le fasi esecutive (come inviluppo) che per la condizione definitiva.

Tabella 8 – inviluppo fasi esecutive

Nmax	Q	M
[kN]	[kN]	[kNm]
349.943	-42.549	-610.549

Nmin	Q	M
[kN]	[kN]	[kNm]
-489.602	312.963	487.410

N	Q	Mmax
[kN]	[kN]	[kNm]
-488.333	-315.387	494.875

N	Q	Mmin
[kN]	[kN]	[kNm]
349.943	-42.549	-610.549

N	Qmax	M
[kN]	[kN]	[kNm]
-489.602	312.963	487.410

N	Qmin	M
[kN]	[kN]	[kNm]
-488.333	-315.387	494.875

Tabella 9 – condizione definitiva

Nmax	Q	M
[kN]	[kN]	[kNm]
-414.708	11.733	-25.851

Nmin	Q	M
[kN]	[kN]	[kNm]
-533.001	-321.414	460.767

N	Q	Mmax
[kN]	[kN]	[kNm]
-533.001	-321.414	460.767

N	Q	Mmin
[kN]	[kN]	[kNm]
-414.708	11.733	-25.851

N	Qmax	M
[kN]	[kN]	[kNm]
-531.192	318.803	457.319

N	Qmin	M
[kN]	[kN]	[kNm]
-533.001	-321.414	460.767

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandataria) 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										
FERMATA PORTO: Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GA 12 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 40 di 89	

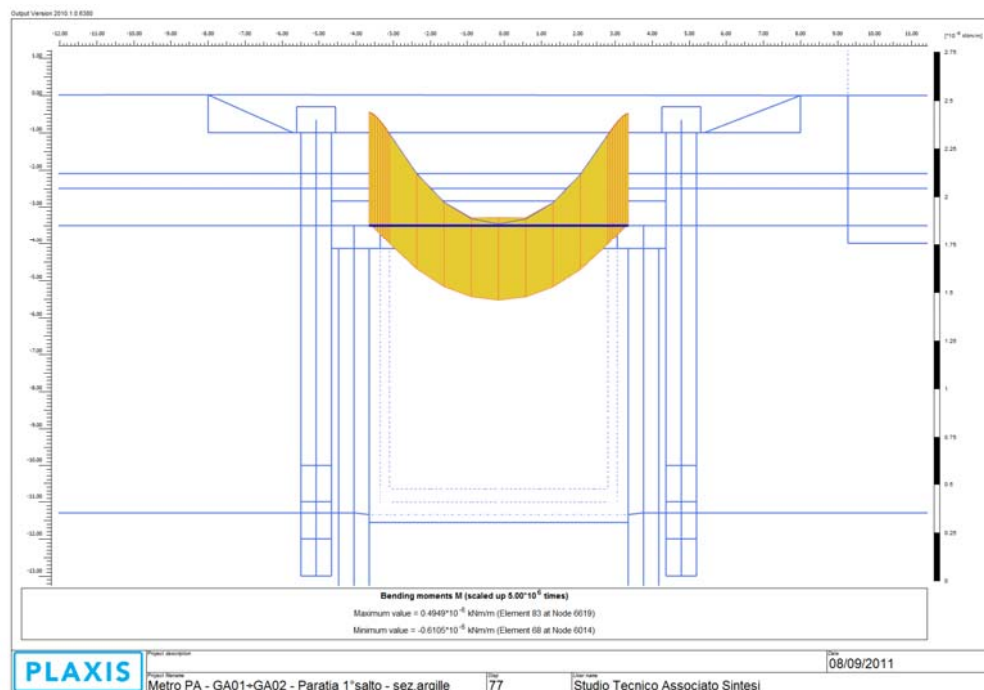


Figura 31 – Momento flettente – involucro fasi esecutive

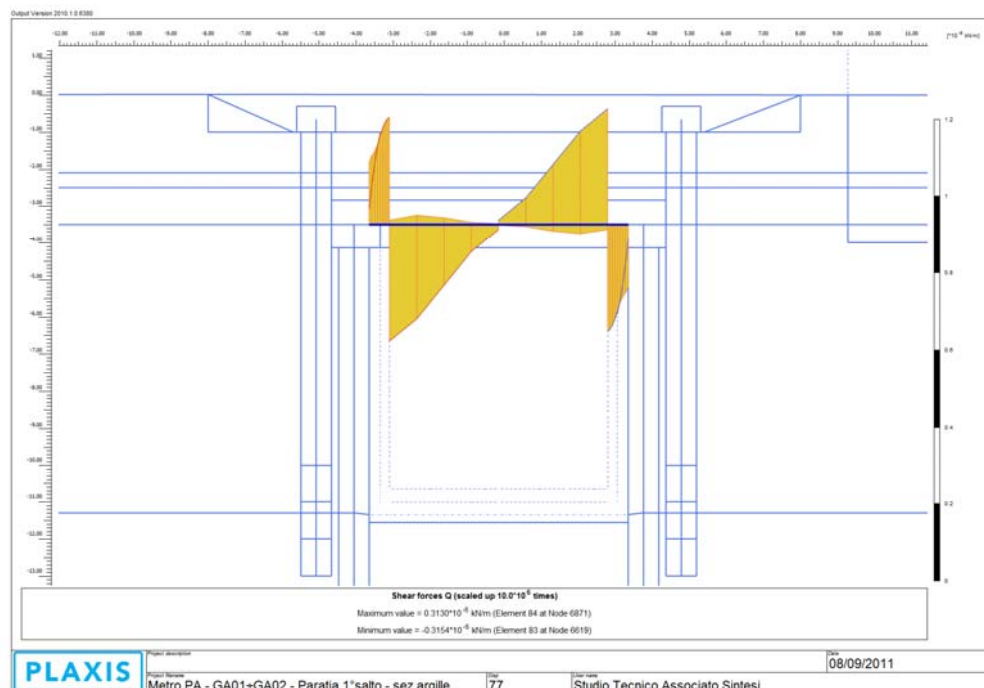


Figura 32 – Taglio – involucro fasi esecutive

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandataria) 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										
FERMATA PORTO: Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GA 12 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 41 di 89	

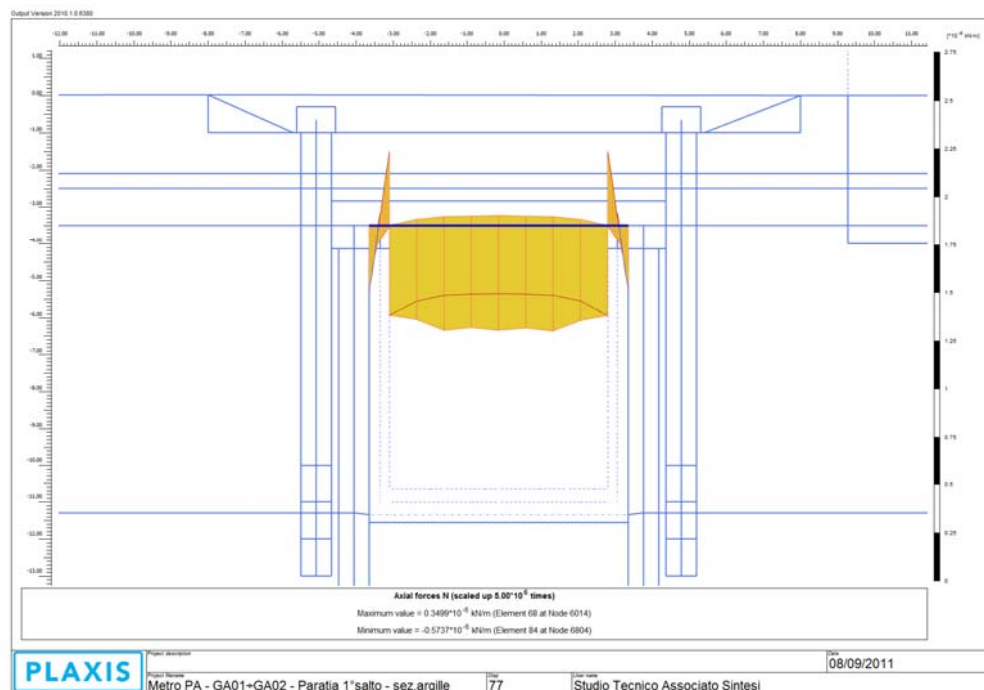


Figura 33 – Azione assiale – involucro fasi esecutive

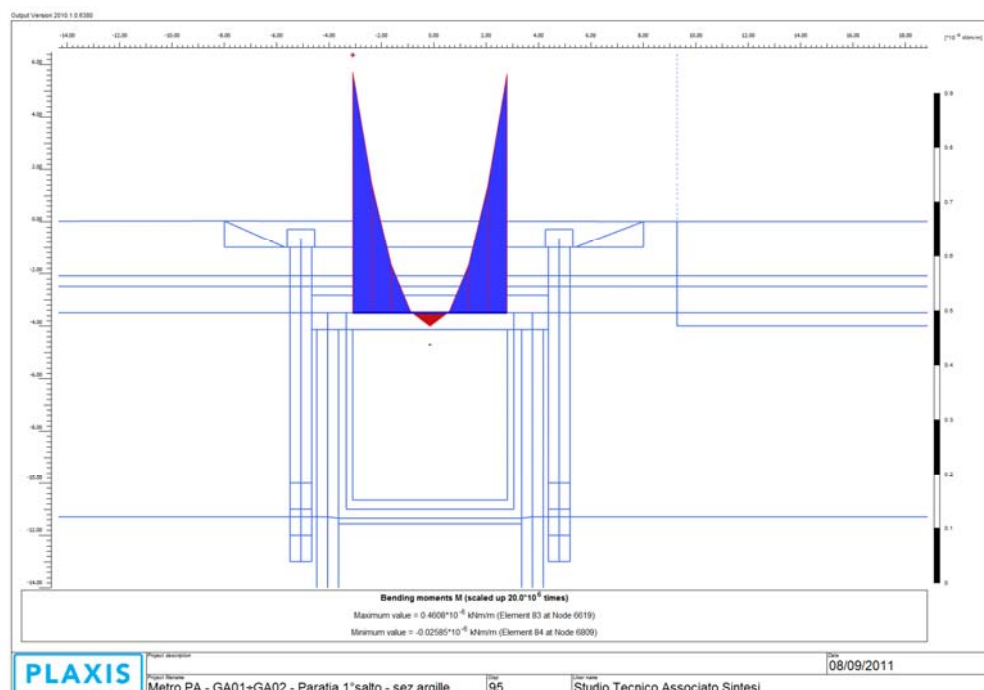


Figura 34 – Momento flettente – condizione definitiva

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandataria) 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										
FERMATA PORTO: Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GA 12 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 42 di 89	

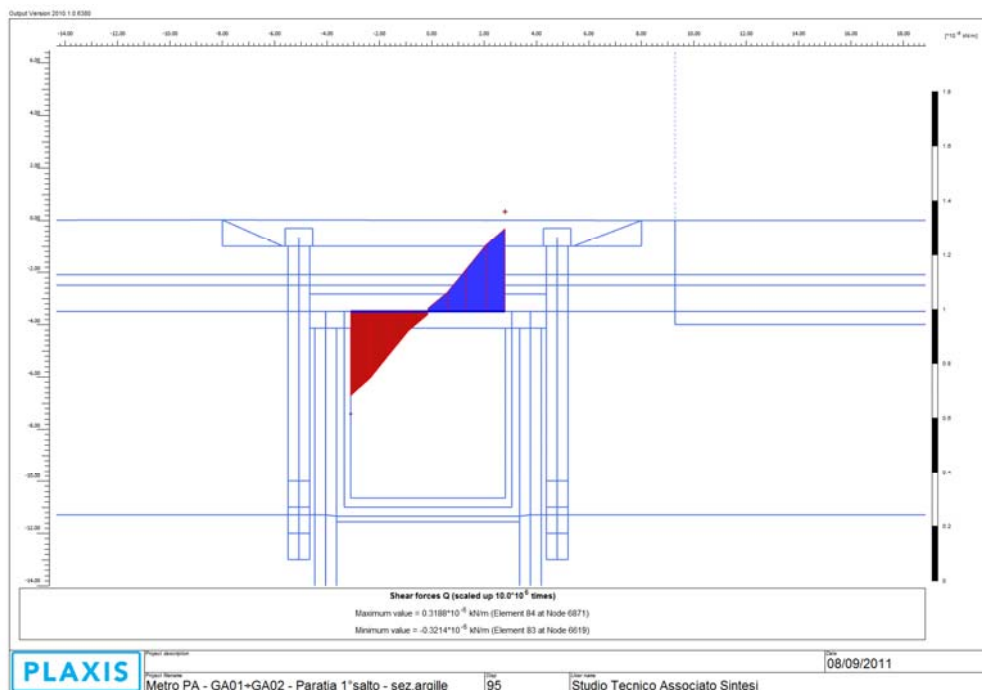


Figura 35 – Taglio – condizione definitiva

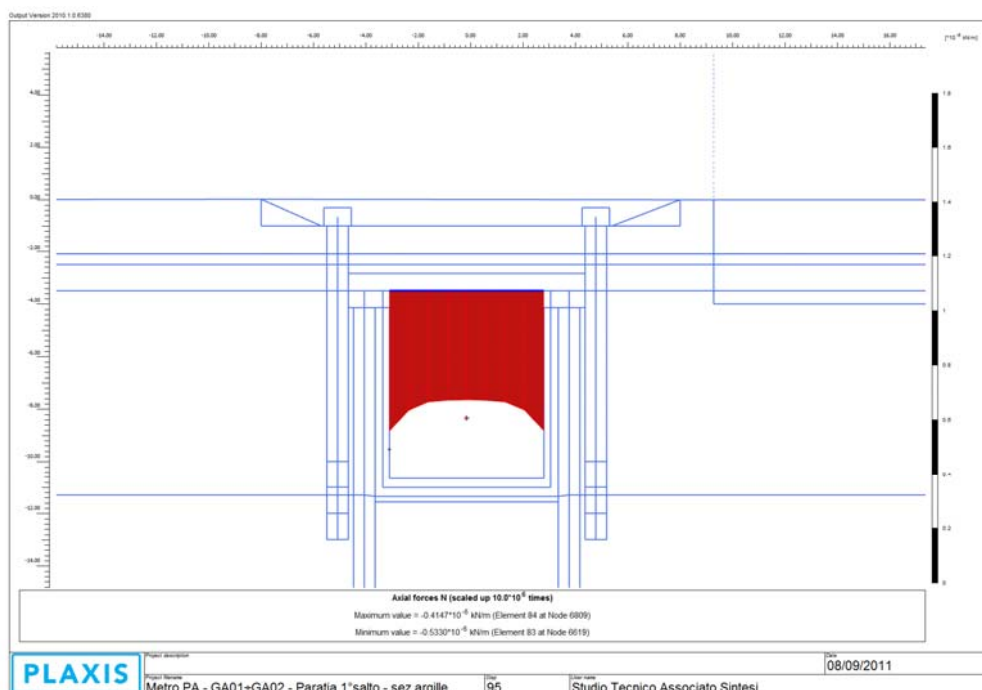


Figura 36 – Azione assiale – condizione definitiva

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandataria) 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										
FERMATA PORTO: Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GA 12 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 43 di 89	

5.4.1.4 Solettone di base – $s = 0.70 \text{ m}$

Nel seguito si riportano in forma numerica, nelle seguenti tabelle, e in forma grafica, nelle successive figure, le principali azioni interne ottenute dall'analisi. Le azioni interne riportate in tabella si riferiscono ad una porzione di impalcato di sviluppo longitudinale pari ad 1.0 m. Le azioni interne sono riportate come inviluppo delle fasi esecutive e della condizione definitiva (dopo l'applicazione delle condizioni idrostatiche di lungo termine).

Tabella 10 – inviluppo fasi esecutive e condizione definitiva

Nmax	Q	M
[kN]	[kN]	[kNm]
77.023	-46.297	-88.226

Nmin	Q	M
[kN]	[kN]	[kNm]
-2.932	116.650	-18.902

N	Q	Mmax
[kN]	[kN]	[kNm]
26.069	-27.778	113.961

N	Q	Mmin
[kN]	[kN]	[kNm]
76.123	45.449	-89.929

N	Qmax	M
[kN]	[kN]	[kNm]
-2.932	116.650	-18.902

N	Qmin	M
[kN]	[kN]	[kNm]
-0.941	-115.786	-17.379

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandataria) 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										
FERMATA PORTO: Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GA 12 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 44 di 89	

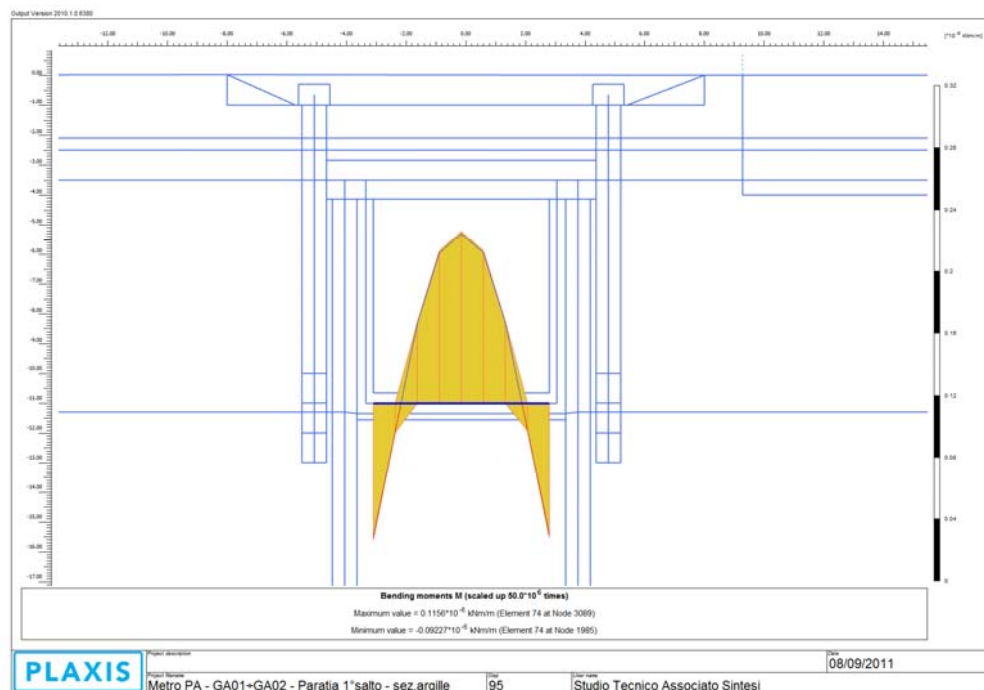


Figura 37 – Momento flettente – inviluppo fasi esecutive e condizione definitiva

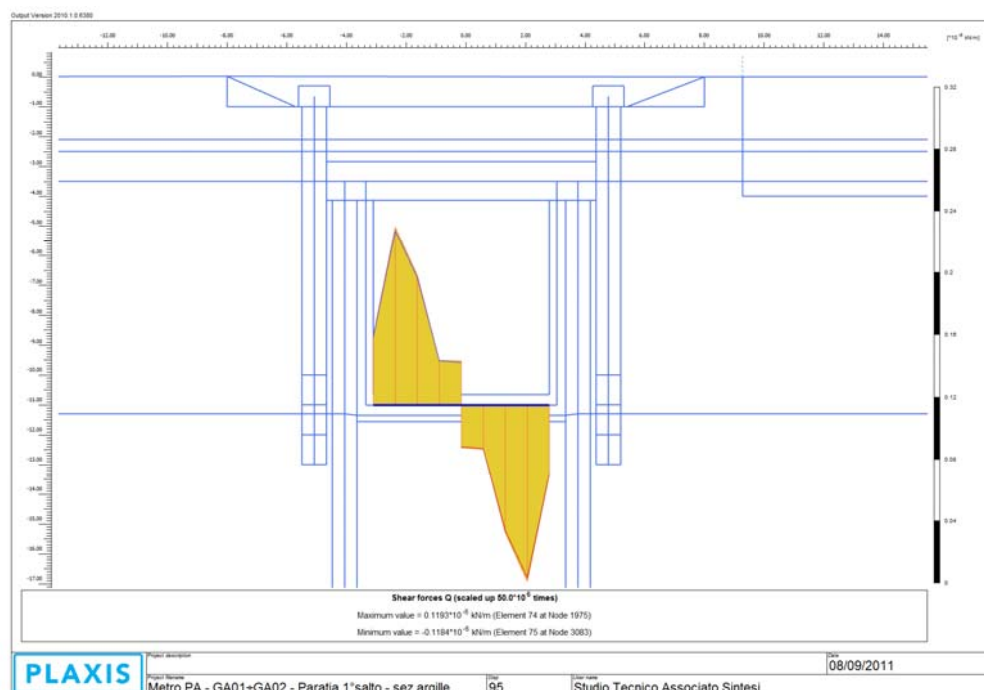


Figura 38 – Taglio – inviluppo fasi esecutive e condizione definitiva

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandataria) 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										
FERMATA PORTO: Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GA 12 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 45 di 89	

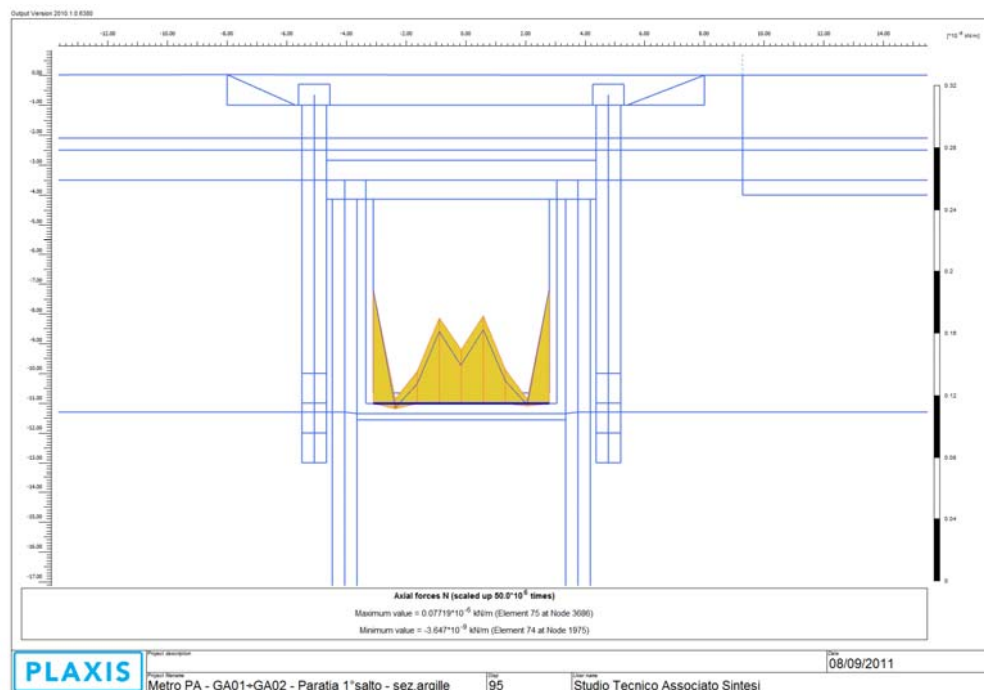


Figura 39 – Azione assiale – involucro fasi esecutive e condizione definitiva

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandataria) 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										
FERMATA PORTO: Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GA 12 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 46 di 89	

5.4.1.5 Fodere interne – $s = 0.50 \text{ m}$

Nel seguito si riportano in forma numerica, nelle seguenti tabelle, e in forma grafica, nelle successive figure, le principali azioni interne ottenute dall'analisi. Le azioni interne riportate in tabella si riferiscono ad una porzione di fodere di sviluppo longitudinale pari ad 1.0 m. Le azioni interne sono riportate come involuppo delle fasi esecutive e della condizione definitiva (dopo l'applicazione delle condizioni idrostatiche di lungo termine).

Tabella 11 – involuppo fasi esecutive e condizione definitiva

Nmax	Q	M
[kN]	[kN]	[kNm]
-5.241	-5.920	0.088

Nmin	Q	M
[kN]	[kN]	[kNm]
-149.546	-12.633	-7.858

N	Q	Mmax
[kN]	[kN]	[kNm]
-5.241	-5.920	0.088

N	Q	Mmin
[kN]	[kN]	[kNm]
-132.528	-152.483	-60.361

N	Qmax	M
[kN]	[kN]	[kNm]
-131.033	150.107	-59.365

N	Qmin	M
[kN]	[kN]	[kNm]
-132.528	-152.483	-60.361

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandataria) 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										
FERMATA PORTO: Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GA 12 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 47 di 89	

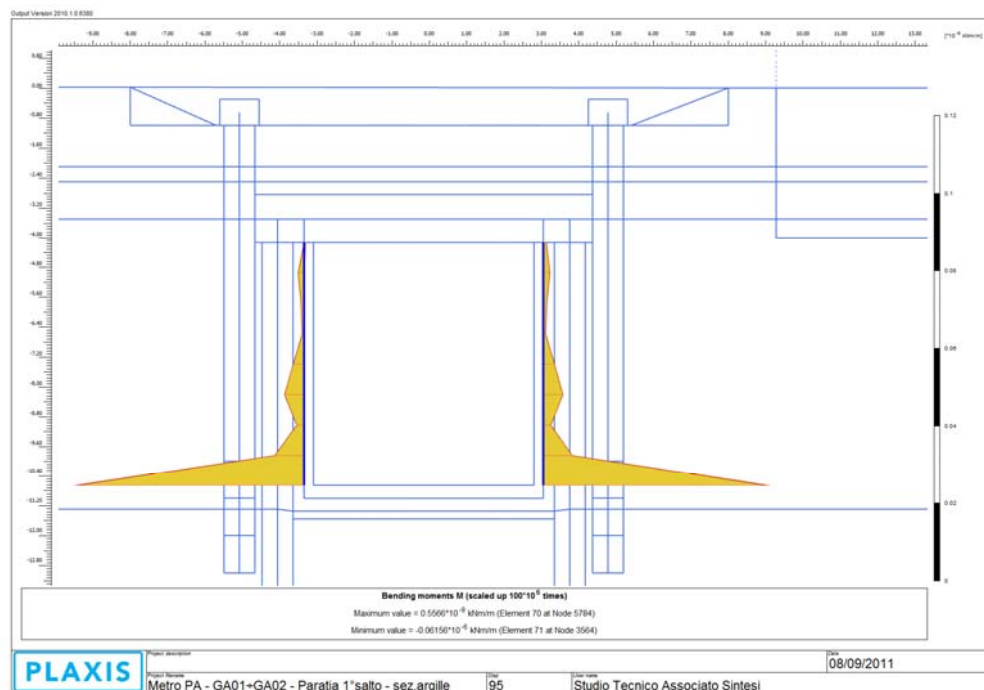


Figura 40 – Momento flettente – inviluppo fasi esecutive e condizione definitiva



Figura 41 – Taglio – inviluppo fasi esecutive e condizione definitiva

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandataria) 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										
FERMATA PORTO: Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GA 12 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 48 di 89	

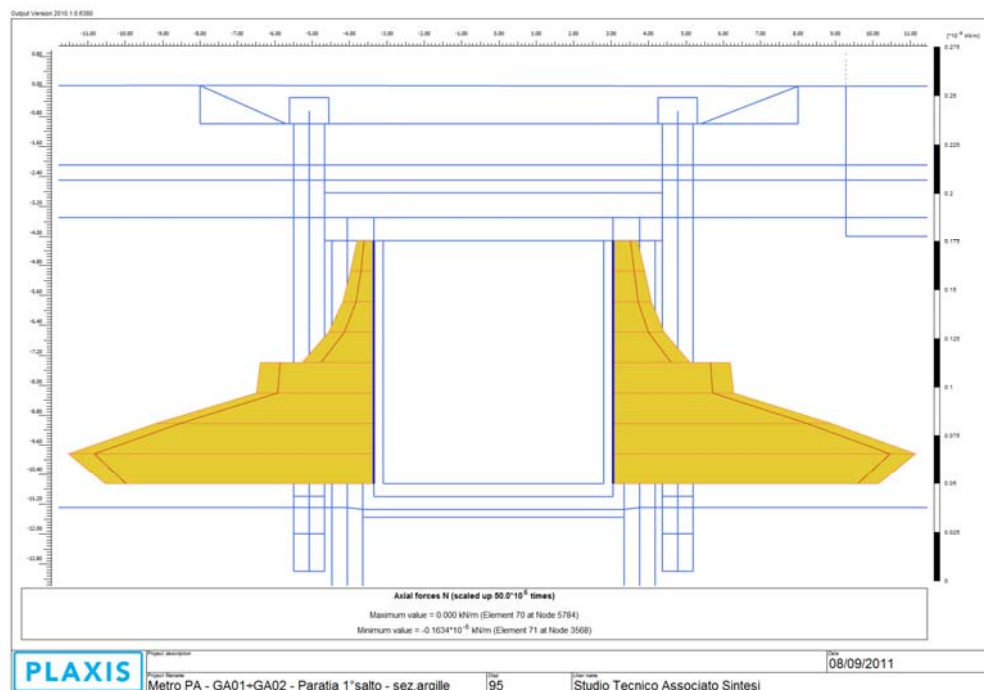


Figura 42 – Azione assiale – involucro fasi esecutive e condizione definitiva

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) 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									
FERMATA PORTO: Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GA 12 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 49 di 89

5.4.2 Verifica di stabilità globale

La valutazione del fattore di sicurezza alla stabilità globale è stata condotta fattorizzando per un coefficiente $FS > 1.00$, sino al verificarsi del collasso, la coesione efficace c' e l'angolo di attrito del terreno φ' (cfr. Figura 43). Il coefficiente di sicurezza FS_f lungo la superficie di scorrimento risulta pertanto essere pari al rapporto fra i parametri di resistenza del terreno in sito (c', φ') ed i parametri di resistenza del terreno al verificarsi del cinematismo di collasso (c'_f, φ'_f):

$$FS_f = \frac{c'}{c'_f} = \frac{\tan \varphi'}{\tan \varphi'_f}$$

Quindi FS_f coincide con il rapporto fra la resistenza a taglio disponibile τ e quella mobilitata τ_f al collasso lungo la superficie di scorrimento del cinematismo:

$$\tau = c' + \sigma' \tan \varphi' = FS_f c'_f + FS_f \sigma' \tan \varphi'_f = FS_f (c'_f + \sigma' \tan \varphi'_f) = FS_f \tau_f$$

Rispetto ai classici metodi dell'equilibrio limite, il metodo qui adottato presenta numerosi vantaggi (cfr. [Dawson and Roth, 1999], [Cala and Flisiak, 2001]):

- le superfici di rottura si propagano in maniera “naturale”; quindi non occorre specificare preventivamente i cinatismi e le potenziali superfici di rottura su cui ricercare il coefficiente di sicurezza minimo
- non si richiede l'assunzione di ipotesi di calcolo “artificiali” (ipotesi sulle forze di interfaccia fra i conci)
- non vi sono limitazioni sulla forma e la modalità di propagazione delle potenziali superfici di rottura (anche multiple e/o con propagazioni complesse delle zone di snervamento)
- l'interazione con eventuali elementi strutturali è modellata in maniera realistica con una mobilitazione delle resistenze in funzione della deformazione relativa rispetto al terreno circostante e non semplicemente mediante forze equivalenti
- la soluzione converge in un meccanismo che è cinematicamente ammissibile (si noti che i metodi classici dell'equilibrio limite prescindono dalla valutazione degli spostamenti e non richiedono pertanto la conoscenza dei legami tensioni-deformazioni ma del solo criterio di resistenza dei terreni interessati).

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) 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									
FERMATA PORTO: Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GA 12 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 50 di 89

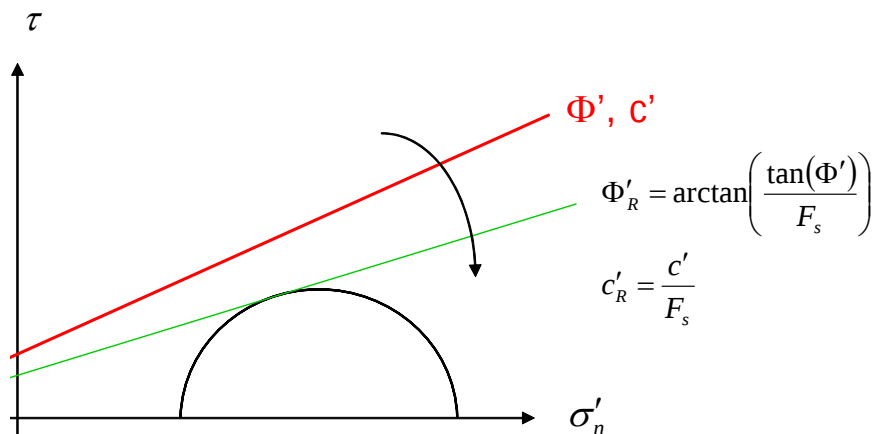


Figura 43: *c – ϕ reduction method*

La verifica a stabilità globale è stata condotta sia in seguito allo scavo fino a quota di intradosso del solettone di copertura, al fine di indagare l'adeguatezza dell'immorsamento delle paratie di primo salto (cfr. 5.4.2, FASE 10), che al raggiungimento della massima profondità di scavo, prima dell'esecuzione del solettone di fondo, al fine di valutare l'adeguatezza del tampone di fondo e la tenuta del sistema geotecnico nei confronti della sottospinta idraulica (cfr. 5.4.2, FASE 11).

In accordo con la normativa vigente il fattore di sicurezza minimo da verificare è $FS = 1.30$.

Nelle seguenti Figura 44÷Figura 46 è riportato il cinematismo di collasso ottenuto dalle analisi. Come si può osservare il coefficiente di sicurezza massimo è $FS_f = 1.64$ per le paratie provvisionali di primo salto e $FS_f = 2.41$ per la fase in cui si raggiunge il fondo scavo massimo interno alla stazione, pertanto, la verifica di stabilità globale è soddisfatta.

In Figura 47 e Figura 48 è riportato l'andamento del coefficiente di sicurezza FS in funzione dello spostamento totale di un punto di controllo, rispettivamente per l'analisi effettuata dopo lo scavo a quota di intradosso del solettone di copertura, e per l'analisi effettuata dopo il raggiungimento della massima profondità di scavo interna alla GA.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) 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									
FERMATA PORTO: Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GA 12 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 51 di 89

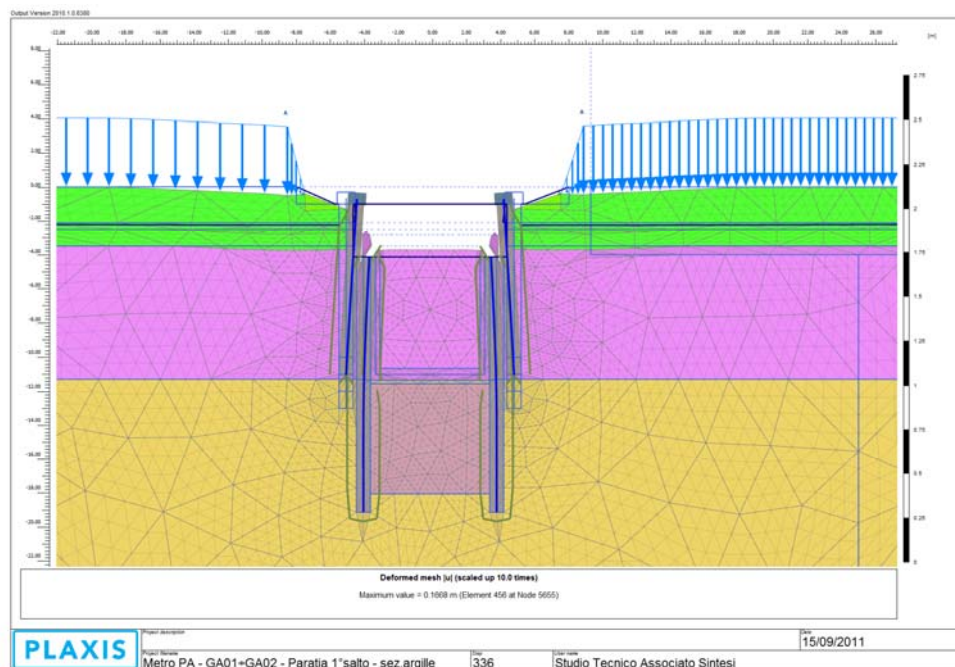


Figura 44 – Cinematismo di collasso per le paratie di primo salto (spostamenti amplificati 10 volte) per $FS_f = 1.64$

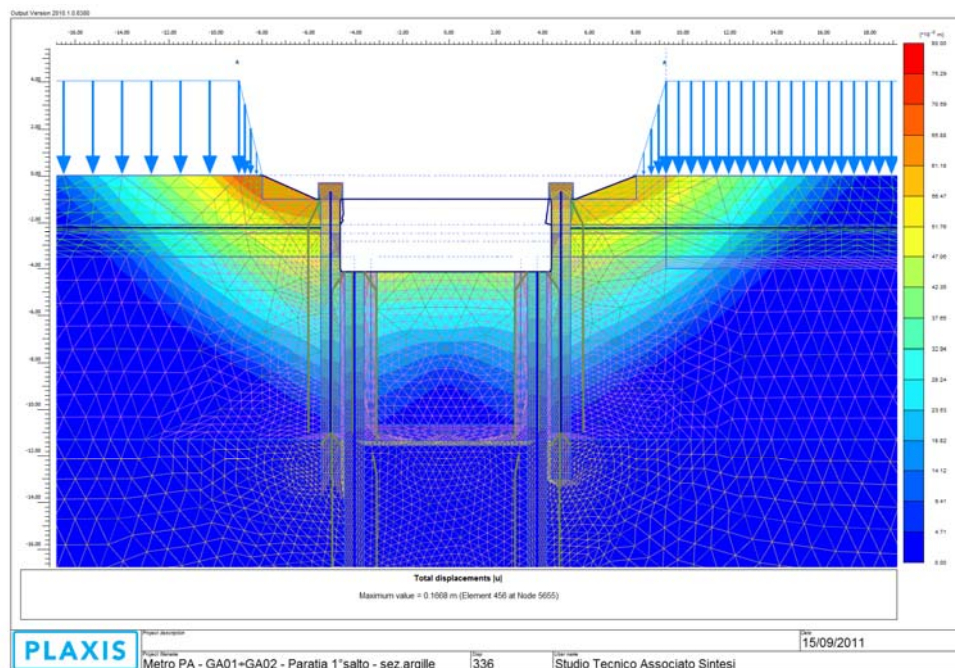


Figura 45 – Cinematismo di collasso per le paratie provvisionali esterne (per $FS_f = 1.64$)

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandataria) 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										
FERMATA PORTO: Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GA 12 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 52 di 89	

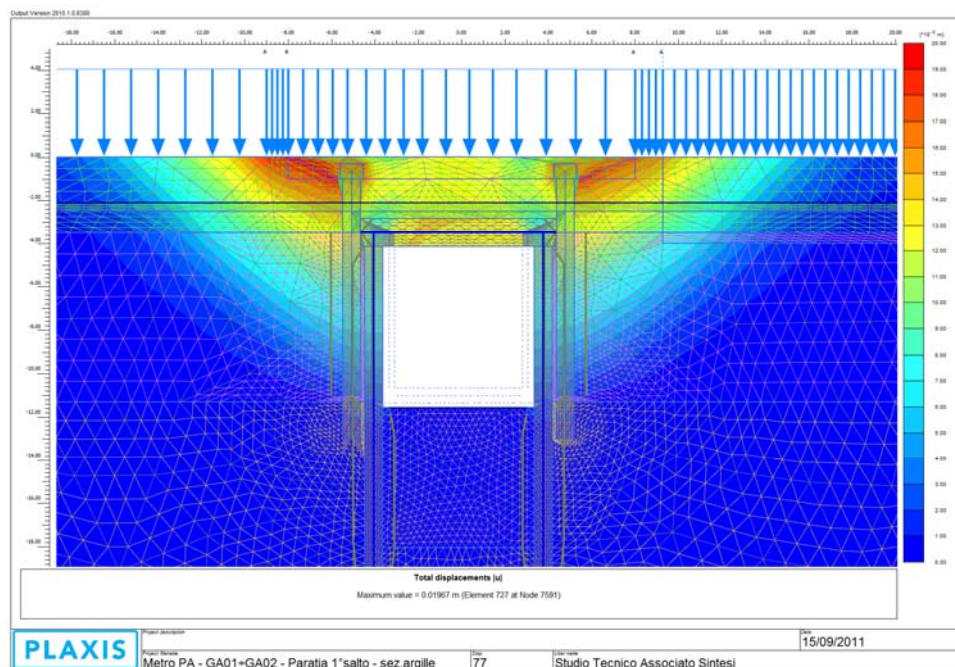


Figura 46 – Cinematismo di collasso per lo scavo massimo interno alla GA (per $FS_r = 2.41$)

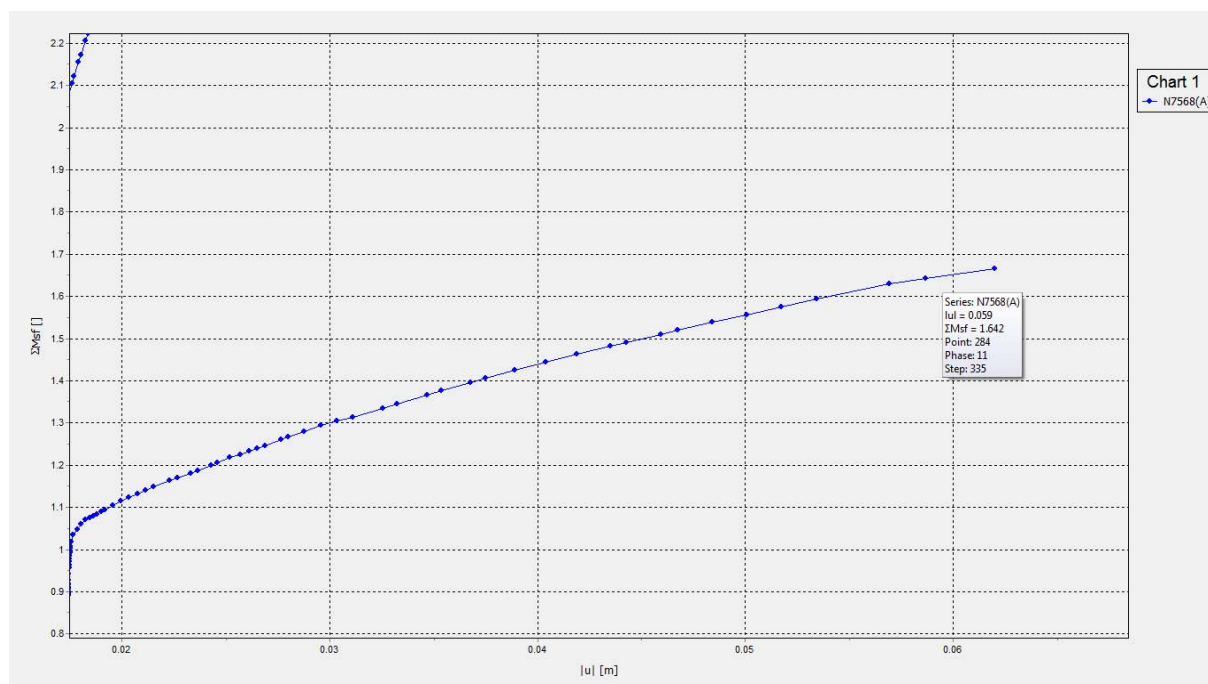


Figura 47 – Andamento di FS in funzione dello spostamento totale di un punto di controllo – stabilità globale primo scavo

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandataria) 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										
FERMATA PORTO: Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GA 12 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 53 di 89	

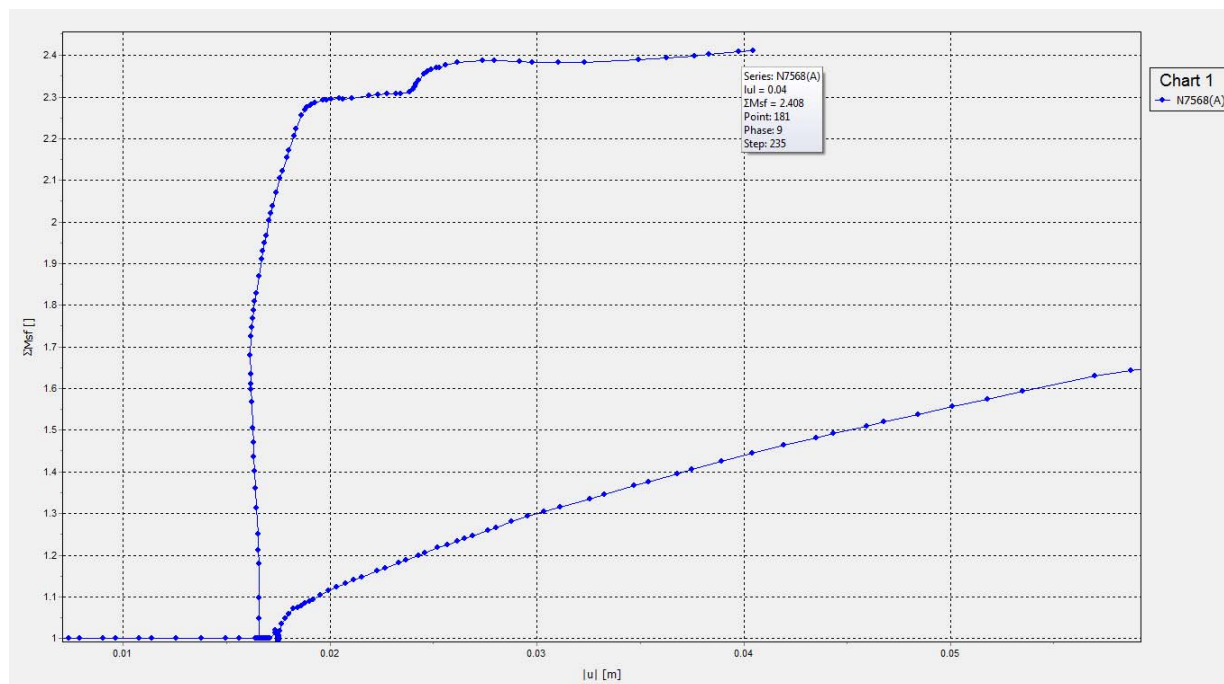


Figura 48 – Andamento di FS in funzione dello spostamento totale di un punto di controllo – stabilità globale a fondo scavo

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) 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									
FERMATA PORTO: Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GA 12 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 54 di 89

5.5 SEZIONE 41 ALLA PROGRESSIVE 4+500

5.5.1 Geometria e stratigrafia di calcolo

La Figura 49 riporta la geometria della mesh adottata nella analisi. Il dominio discretizzato ha una larghezza di 100 m ed una profondità di 30 m dal p.c. ed è costituito da n. 1275 elementi triangolari a 15 nodi.

Le dimensioni della mesh, in relazione alla dimensione degli scavi, sono sufficienti a garantire che i risultati delle analisi siano indipendenti dalla particolare discretizzazione adottata e sono tali da permettere di vincolare il lato inferiore della mesh bloccando gli spostamenti verticali ed orizzontali ed i lati sinistro e destro bloccando gli spostamenti orizzontali.



Figura 49 – Discretizzazione adottata nella analisi della sezione 41

5.5.2 Fasi di calcolo

Nel seguito si descrivono le principali fasi esecutive analizzate:

- FASE 1. Inizializzazione del modello tramite applicazione delle condizioni geostatiche iniziali, generando lo stato tensionale iniziale, con falda a quota -2.1 m da p.c..
- FASE 2. Realizzazione dell'edificio preesistente, tramite attivazione degli elementi finiti che lo costituiscono, e attivazione di un sovraccarico distribuito di 20 kPa su tutto il p.c. (ad eccezione dell'area occupata dall'edificio) che rappresenta il traffico stradale.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandataria) 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										
FERMATA PORTO: Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GA 12 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 55 di 89	

- FASE 3. Prescavo alla quota di lavoro per la realizzazione delle paratie provvisionali; in questa fase, il carico distribuito applicato a p.c. in prossimità del prescavo è ridotto a 10 kPa, per simulare la presenza di mezzi di cantiere.
- FASE 4. Realizzazione delle paratie provvisionali, delle paratie definitive e del tampone di fondo in jet-grouting, aventi le caratteristiche sopraesposte (i pali provvisionali hanno lunghezza 10.0 m, quelli definitivi 15.0 m, mentre lo spessore del tampone di fondo è di 6.5 m).
- FASE 5. Approfondimento dello scavo fino a quota di intradosso del solettone di copertura, per la realizzazione dello stesso.
- FASE 6. Realizzazione del solettone di copertura e sistemazione superficiale, tramite attivazione di un sovraccarico distribuito di 20 kPa su tutto il p.c. (ad eccezione dell'area occupata dall'edificio) che rappresenta il traffico stradale.
- FASE 7. Raggiungimento della quota di scavo massimo all'interno della GA.
- FASE 8. Realizzazione del solettone di base e delle fodere interne; in questa fase si disattivano completamente le paratie di primo salto.
- FASE 9. Applicazione delle condizioni idrostatiche a lungo termine, tramite applicazione della spinta idrostatica direttamente sulle fodere.
- FASE 10. Stabilità globale al raggiungimento dello scavo a quota intradosso solettone di copertura, a partire dalla FASE 5 di calcolo.
- FASE 11. Stabilità globale al raggiungimento del fondo scavo massimo interno alla GA, a partire dalla FASE 7 di calcolo.

Nelle seguenti immagini si riportano le principali fasi di calcolo implementate nel modello e gli stati tensionali più significativi derivanti dall'inizializzazione delle singole fasi.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandataria) 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										
FERMATA PORTO: Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GA 12 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 56 di 89	

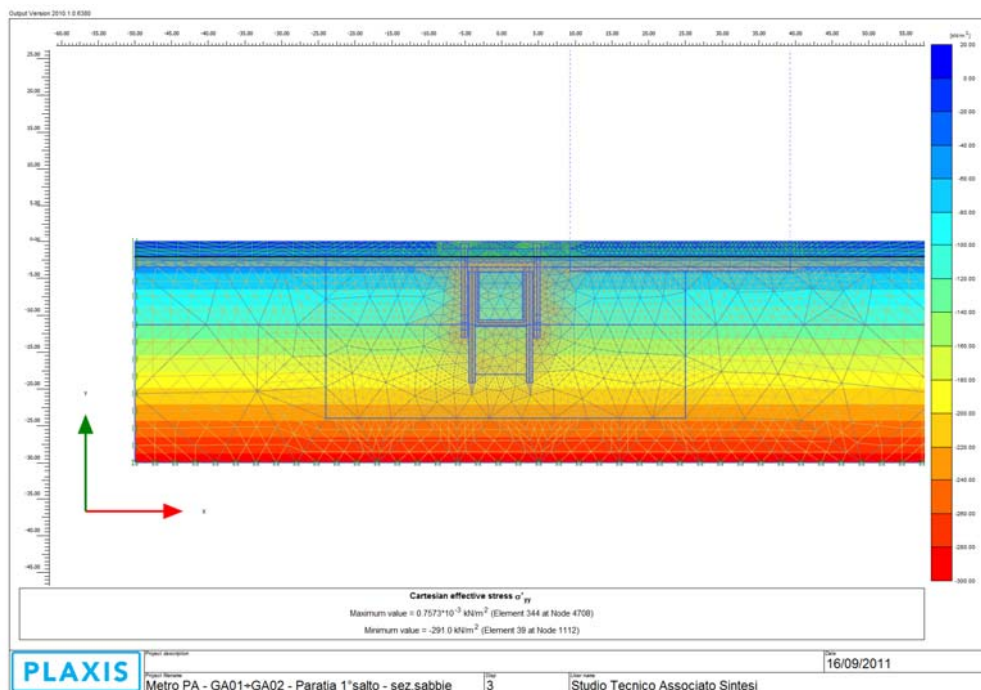


Figura 50 – Tensioni totali iniziali e livello di falda (in grassetto)

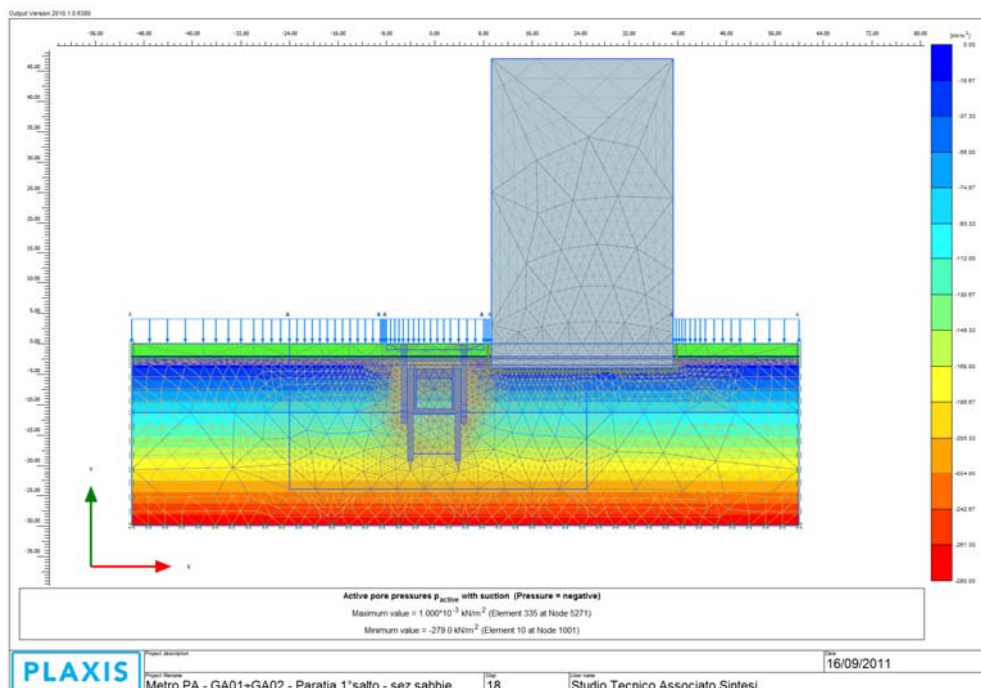


Figura 51 – Realizzazione dell'edificio e pressioni neutre

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) 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									
FERMATA PORTO: Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GA 12 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 57 di 89

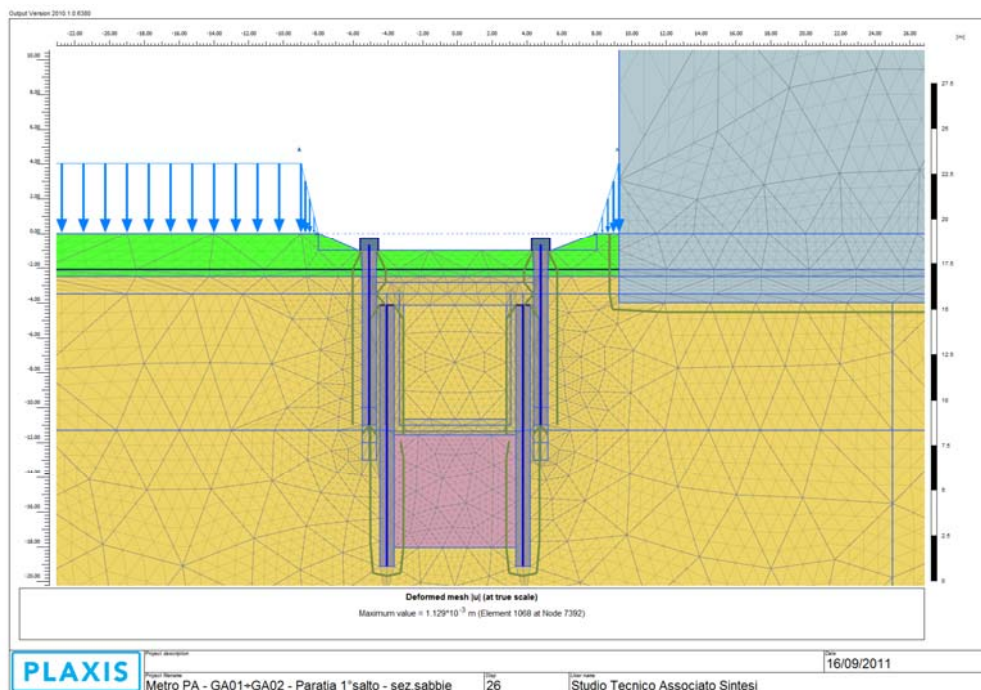


Figura 52 – Esecuzione delle paratie e del tampone di fondo in jet-grouting

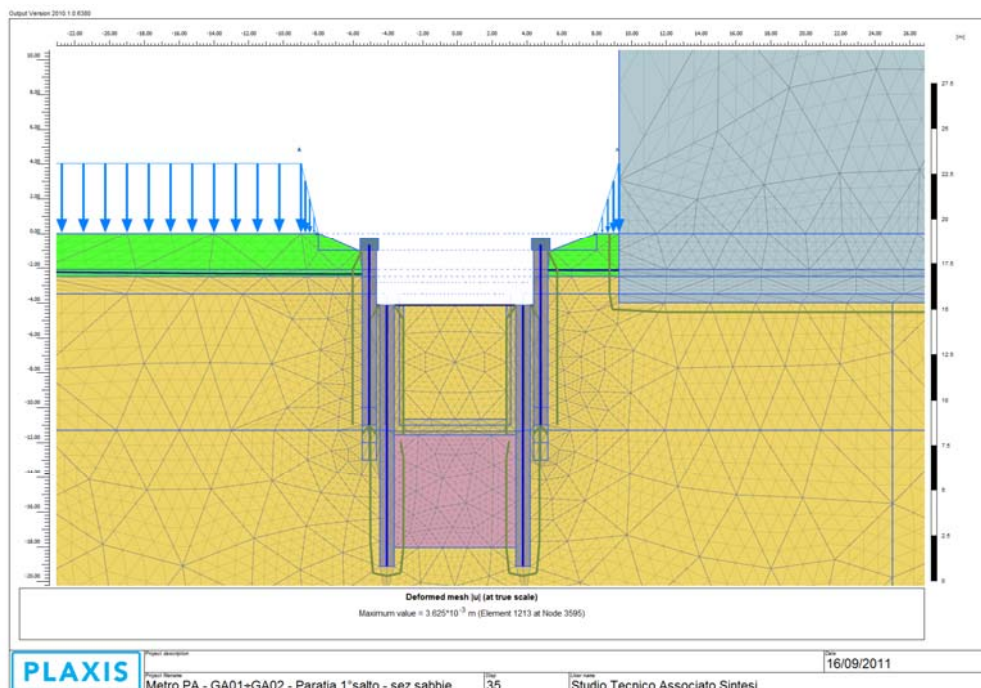


Figura 53 – Scavo a quota intradosso solettone di copertura

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) 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									
FERMATA PORTO: Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GA 12 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 58 di 89

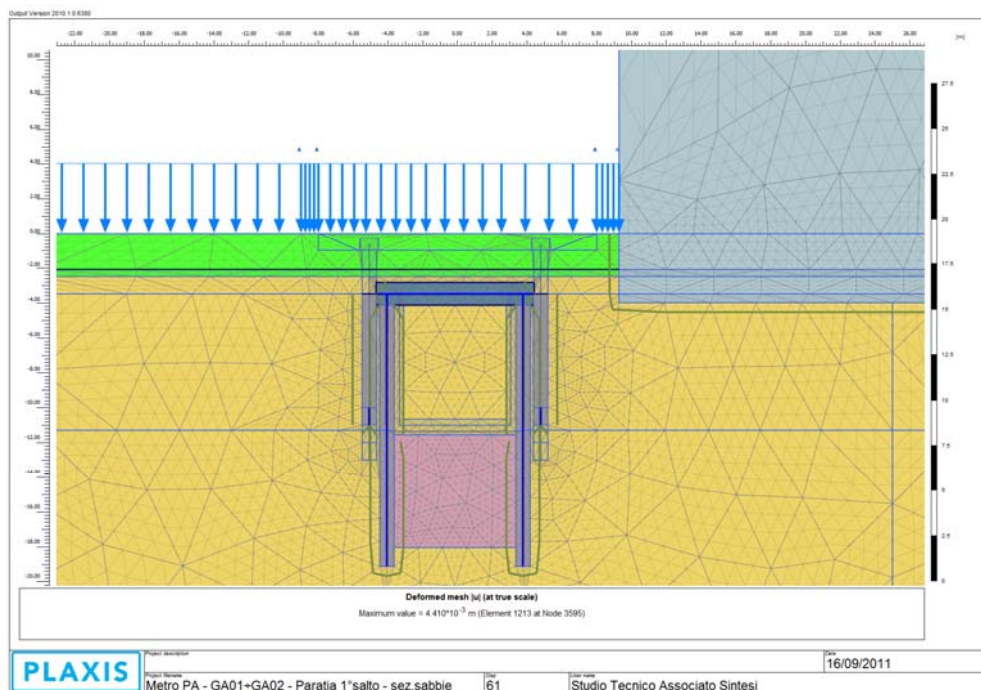


Figura 54 – Sistemazione superficiale e applicazione del sovraccarico stradale

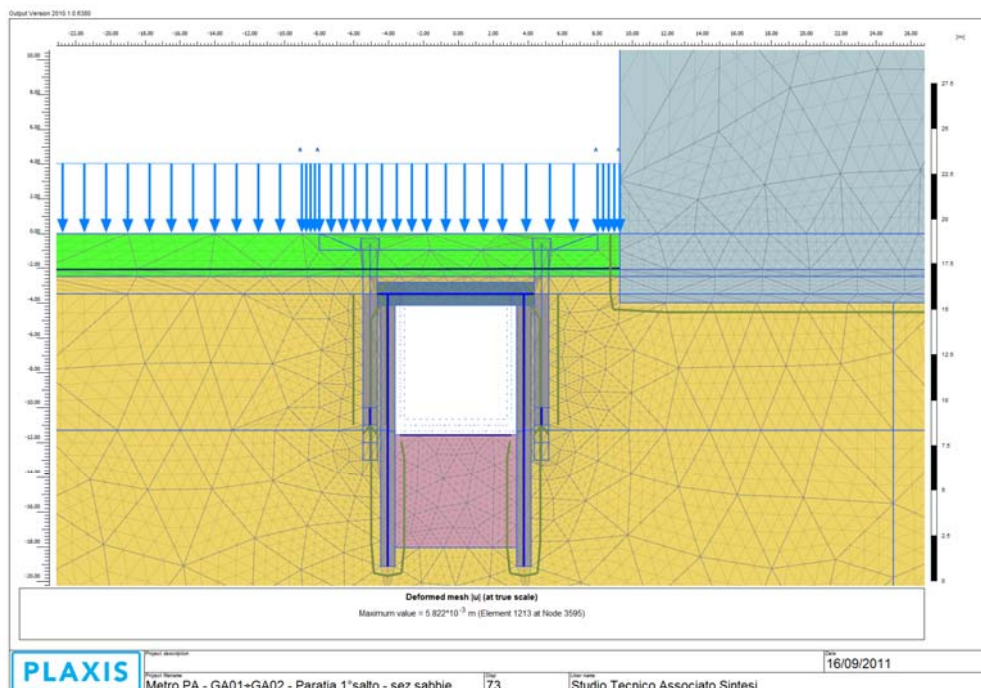


Figura 55 – Raggiungimento dello scavo massimo interno

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandataria) 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										
FERMATA PORTO: Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GA 12 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 59 di 89	

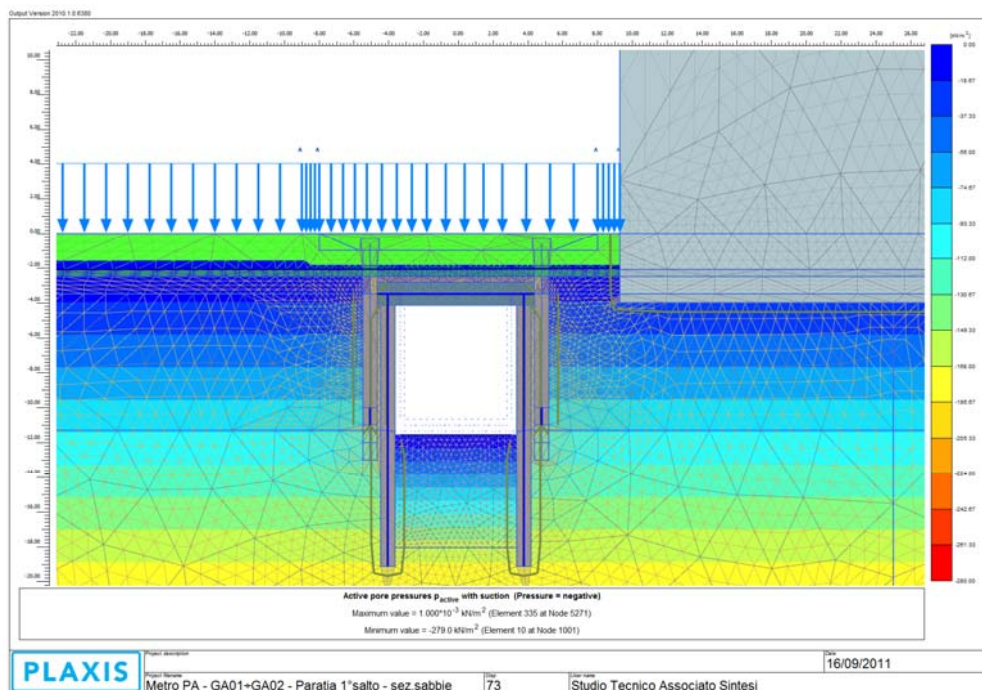


Figura 56 – Distribuzione delle pressioni neutre dopo lo scavo

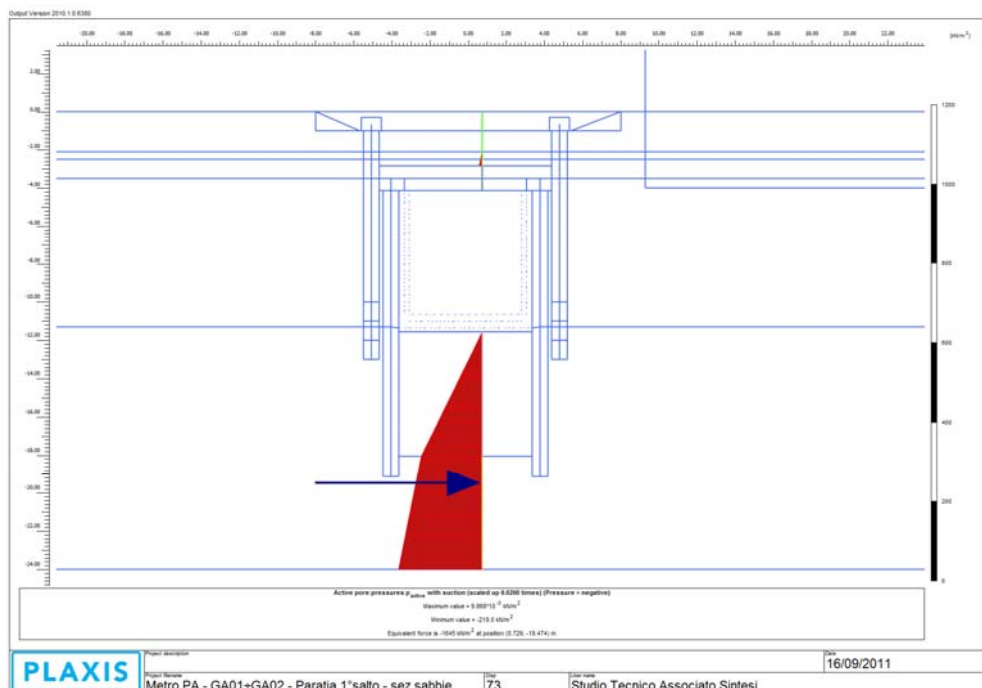


Figura 57 – Distribuzione delle pressioni neutre su una sezione dopo lo scavo

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandataria) 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										
FERMATA PORTO: Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GA 12 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 60 di 89	

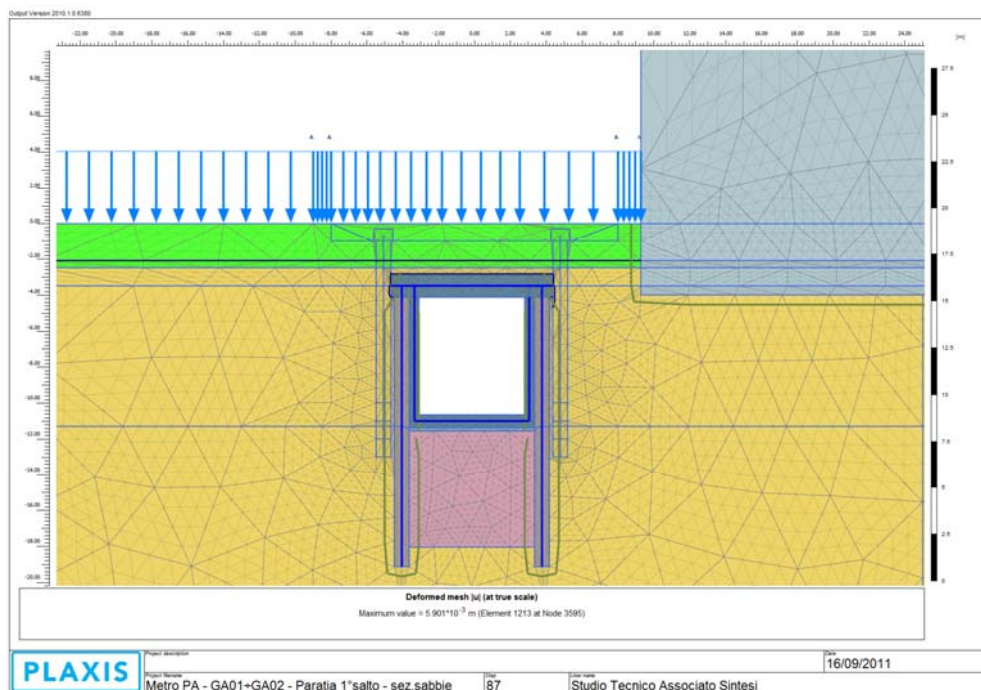


Figura 58 – Realizzazione del solettone di base e delle fodere interne

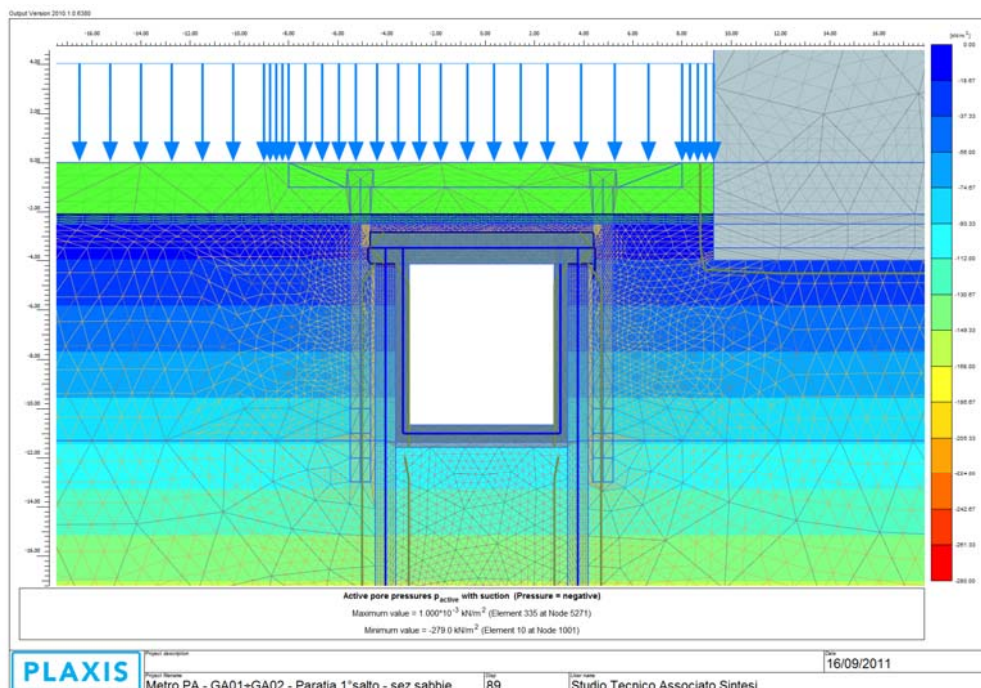


Figura 59 – Applicazione delle condizioni idrostatiche a lungo termine – pressioni neutre

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandataria) 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										
FERMATA PORTO: Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GA 12 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 61 di 89	

5.5.3 Sollecitazioni negli elementi strutturali

Di seguito, per ciascun elemento strutturale, sono riportate in forma grafica le sollecitazioni ottenute dall'analisi. Nel seguito si utilizzeranno le seguenti convenzioni:

N = azione assiale (positiva di trazione)

Q = taglio

M = momento flettente

Si ricorda che le sollecitazioni riportate nei diagrammi vanno amplificate per un coefficiente $c = 10^9$ (cfr. Paragrafo 5.2.1).

5.5.3.1 Paratie di primo salto – pali secanti Ø914/750

Nel seguito si riportano in forma numerica, nella seguente tabella, e in forma grafica, nelle successive figure, le principali azioni interne ottenute dall'analisi. Le azioni interne riportate in tabella sono amplificate per l'interasse $i = 1.5$ m e sono quindi valide per l'elemento ripetitivo di **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**

Tabella 12 – inviluppo fasi esecutive

Nmax	Q	M
[kN]	[kN]	[kNm]
-12.162	0.659	0.000

Nmin	Q	M
[kN]	[kN]	[kNm]
-206.175	26.864	0.000

N	Q	Mmax
[kN]	[kN]	[kNm]
-62.745	-0.661	136.673

N	Q	Mmin
[kN]	[kN]	[kNm]
-98.928	-1.178	-132.384

N	Qmax	M
[kN]	[kN]	[kNm]
-87.873	66.428	77.265

N	Qmin	M
[kN]	[kN]	[kNm]
-84.350	-65.667	-77.102

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandataria) 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										
FERMATA PORTO: Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GA 12 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 62 di 89	

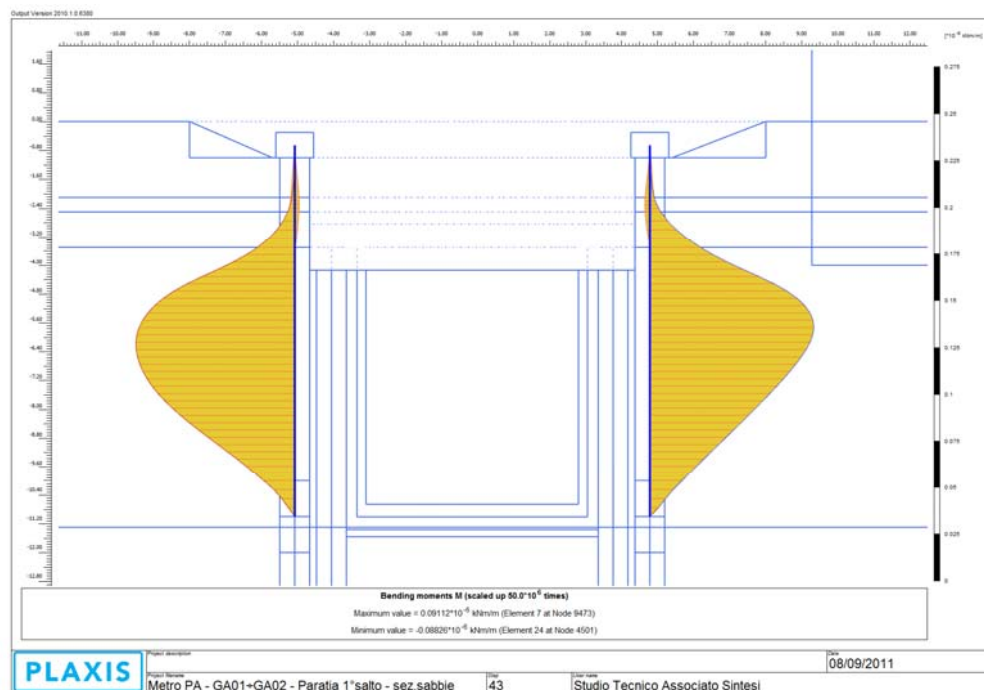


Figura 60 – Momento flettente – involucro fasi esecutive

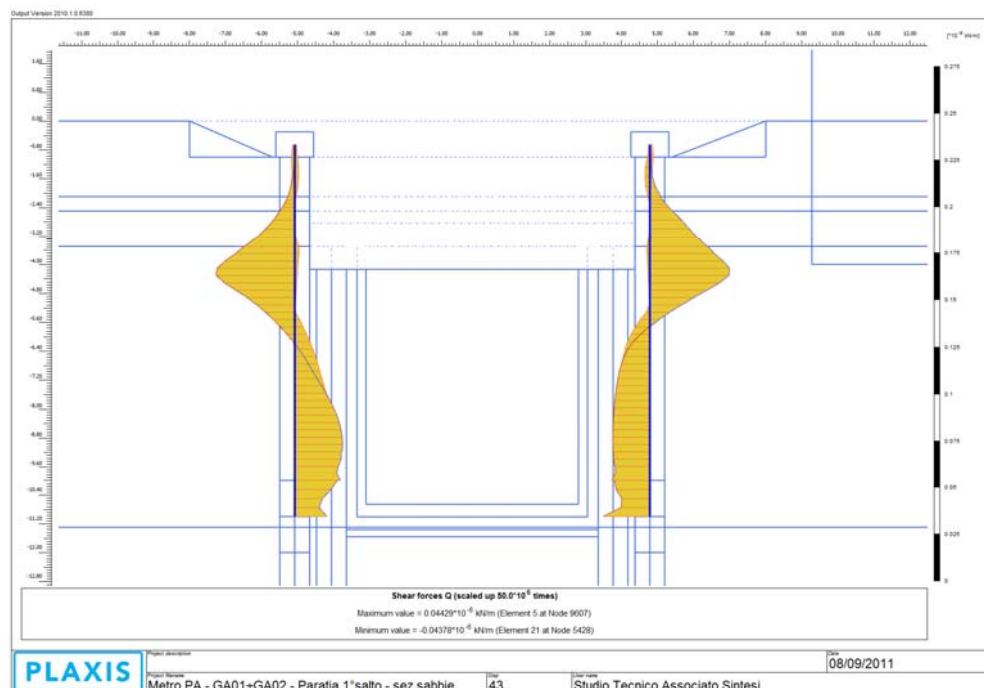


Figura 61 – Taglio – involucro fasi esecutive

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandataria) 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										
FERMATA PORTO: Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GA 12 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 63 di 89	



Figura 62 – Azione assiale – involucro fasi esecutive

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandataria) 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										
FERMATA PORTO: Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GA 12 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 64 di 89	

5.5.3.2 Paratie definitive – pali secanti Ø914/750

Nel seguito si riportano in forma numerica, nelle seguenti tabelle, e in forma grafica, nelle successive figure, le principali azioni interne ottenute dall'analisi. Le azioni interne riportate in tabella sono amplificate per l'interasse $i = 1.5$ m e sono quindi valide per l'elemento ripetitivo di **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** Le azioni interne sono riportate sia per le fasi esecutive (come inviluppo) che per la condizione definitiva (prima dell'applicazione delle condizioni idrostatiche di lungo termine).

Tabella 13 – inviluppo fasi esecutive

Nmax	Q	M
[kN]	[kN]	[kNm]
-9.983	-378.494	760.230

Nmin	Q	M
[kN]	[kN]	[kNm]
-1001.394	491.320	97.994

N	Q	Mmax
[kN]	[kN]	[kNm]
-9.983	-378.494	760.230

N	Q	Mmin
[kN]	[kN]	[kNm]
-70.176	354.793	-719.747

N	Qmax	M
[kN]	[kN]	[kNm]
-505.826	556.794	-623.097

N	Qmin	M
[kN]	[kN]	[kNm]
-754.190	-622.130	531.701

Tabella 14 – condizione definitiva

Nmax	Q	M
[kN]	[kN]	[kNm]
-25.810	-319.014	637.828

Nmin	Q	M
[kN]	[kN]	[kNm]
-697.498	335.006	0.809

N	Q	Mmax
[kN]	[kN]	[kNm]
-25.810	-319.014	637.828

N	Q	Mmin
[kN]	[kN]	[kNm]
-97.778	300.554	-605.559

N	Qmax	M
[kN]	[kN]	[kNm]
-389.923	474.011	-523.253

N	Qmin	M
[kN]	[kN]	[kNm]
-391.161	-520.232	548.794

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) 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									
FERMATA PORTO: Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GA 12 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 65 di 89

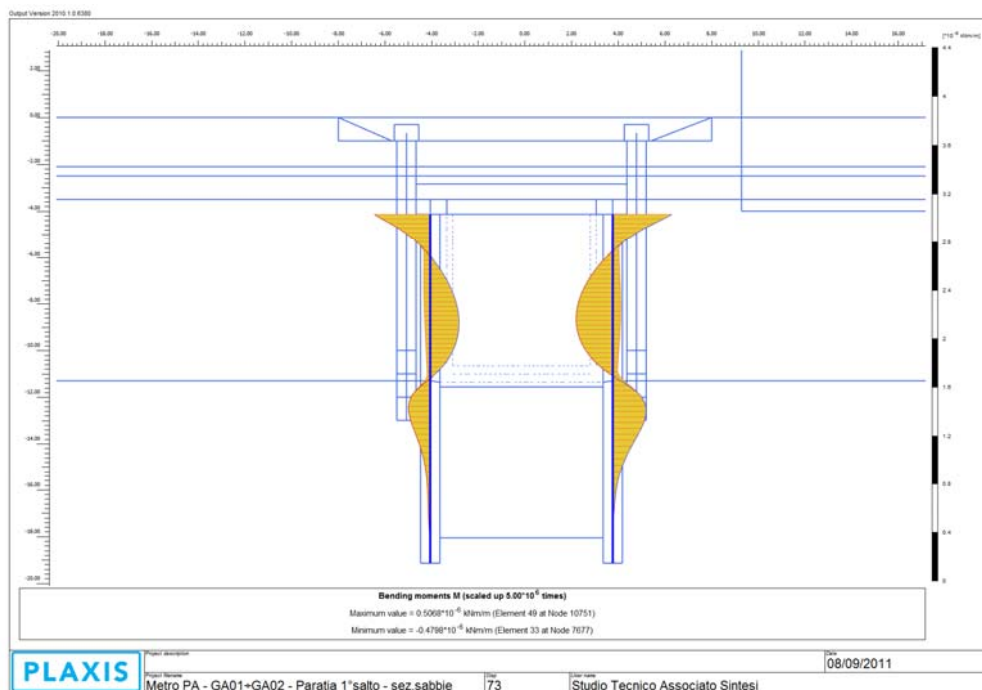


Figura 63 – Momento flettente – inviluppo fasi esecutive e condizione definitiva

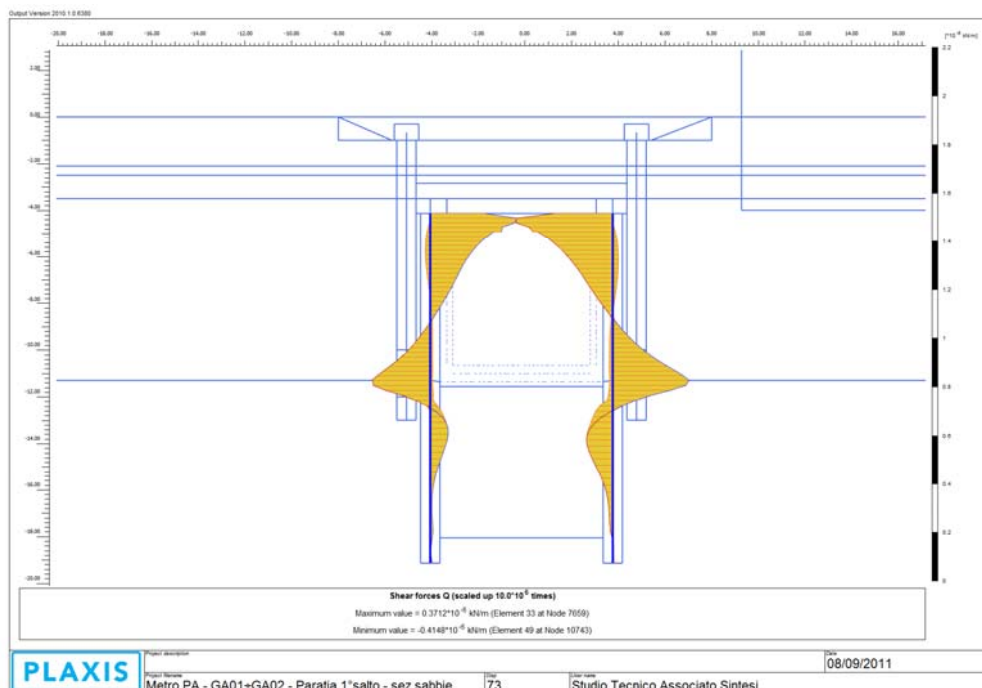


Figura 64 – Taglio – inviluppo fasi esecutive e condizione definitiva

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandataria) 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										
FERMATA PORTO: Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GA 12 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 66 di 89	

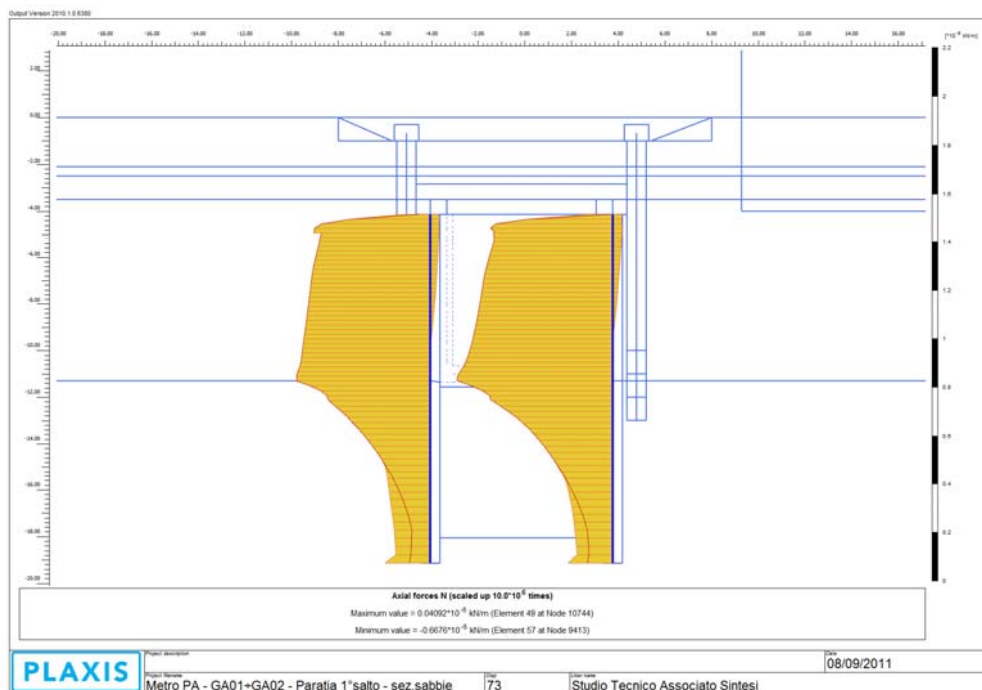


Figura 65 – Azione assiale – involucro fasi esecutive e condizione definitiva

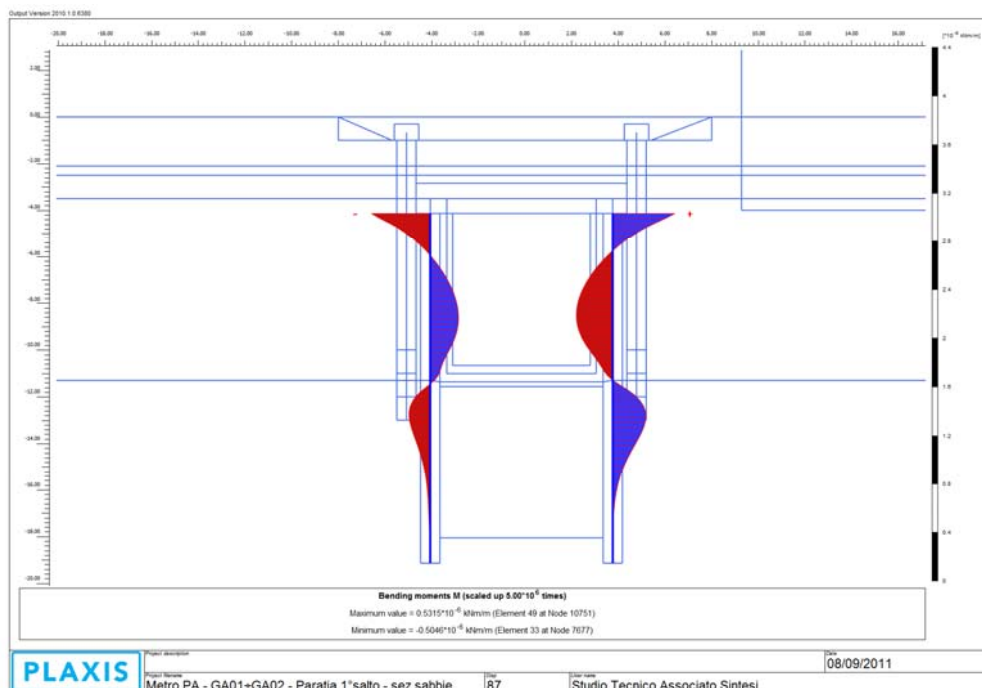


Figura 66 – Momento flettente – condizione definitiva

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandataria) 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										
FERMATA PORTO: Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GA 12 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 67 di 89	

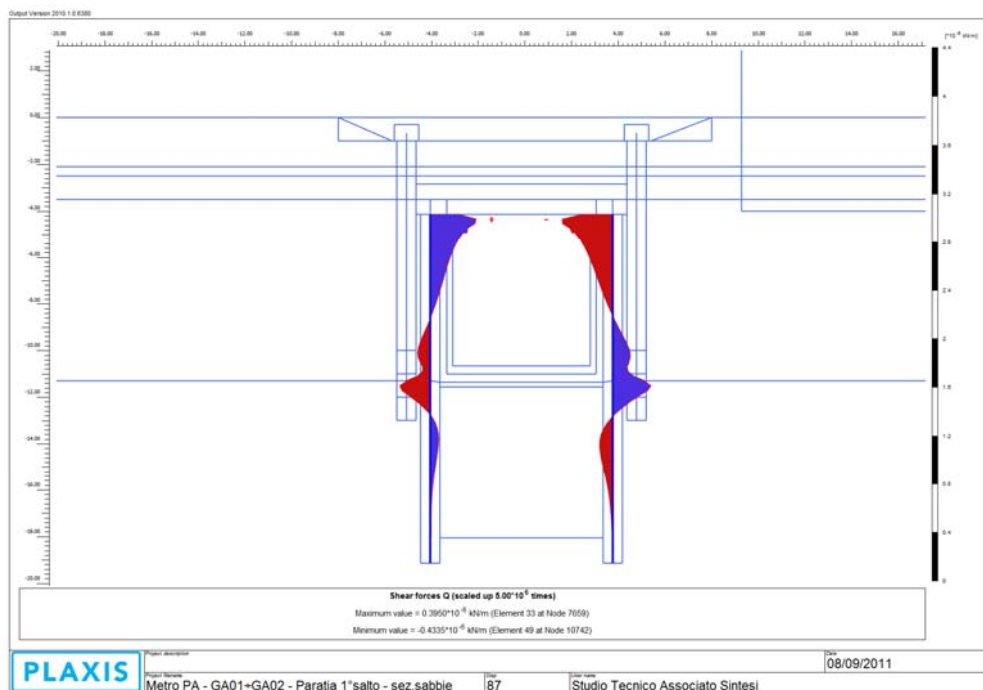


Figura 67 – Taglio – condizione definitiva

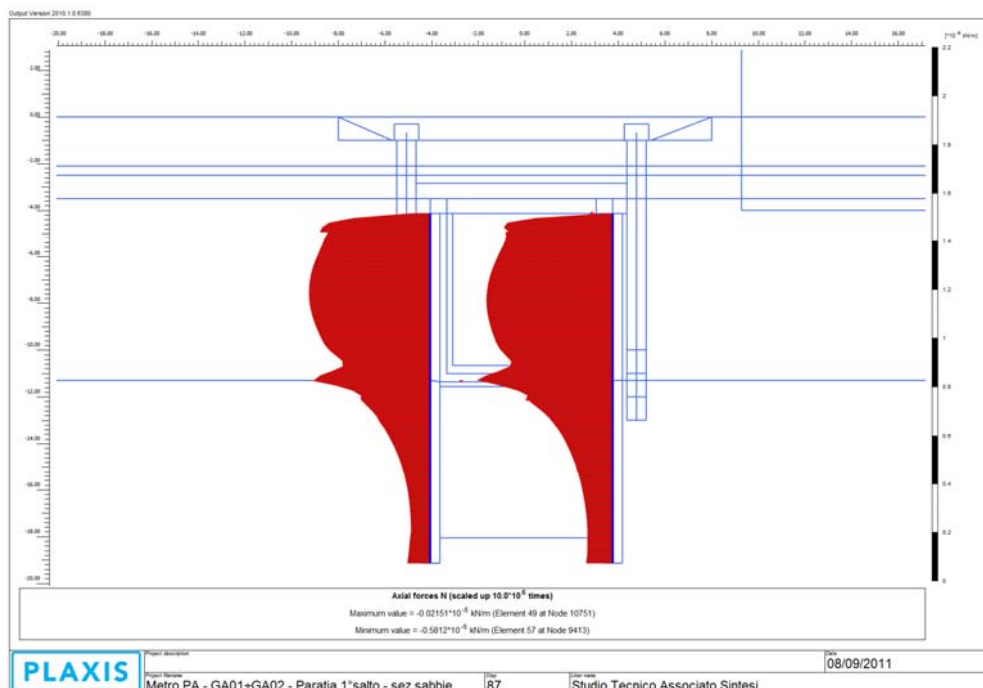


Figura 68 – Azione assiale – condizione definitiva

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandataria) 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										
FERMATA PORTO: Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GA 12 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 68 di 89	

5.5.3.3 Solettone di copertura – $s = 1.30 \text{ m}$

Nel seguito si riportano in forma numerica, nelle seguenti tabelle, e in forma grafica, nelle successive figure, le principali azioni interne ottenute dall'analisi. Le azioni interne riportate in tabella si riferiscono ad una porzione di impalcato di sviluppo longitudinale pari ad 1.0 m. Le azioni interne sono riportate sia per le fasi esecutive (come inviluppo) che per la condizione definitiva.

Tabella 15 – inviluppo fasi esecutive

Nmax	Q	M
[kN]	[kN]	[kNm]
83.321	67.863	-564.319

Nmin	Q	M
[kN]	[kN]	[kNm]
-507.305	282.497	305.975

N	Q	Mmax
[kN]	[kN]	[kNm]
-437.736	322.978	434.270

N	Q	Mmin
[kN]	[kN]	[kNm]
83.321	67.863	-564.319

N	Qmax	M
[kN]	[kN]	[kNm]
-437.736	322.978	434.270

N	Qmin	M
[kN]	[kN]	[kNm]
-430.653	-313.181	403.153

Tabella 16 – condizione definitiva

Nmax	Q	M
[kN]	[kN]	[kNm]
-428.118	-315.228	378.821

Nmin	Q	M
[kN]	[kN]	[kNm]
-507.470	285.273	272.119

N	Q	Mmax
[kN]	[kN]	[kNm]
-438.764	328.257	402.250

N	Q	Mmin
[kN]	[kN]	[kNm]
-437.365	3.670	-83.830

N	Qmax	M
[kN]	[kN]	[kNm]
-438.764	328.257	402.250

N	Qmin	M
[kN]	[kN]	[kNm]
-428.118	-315.228	378.821

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) 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									
FERMATA PORTO: Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GA 12 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 69 di 89

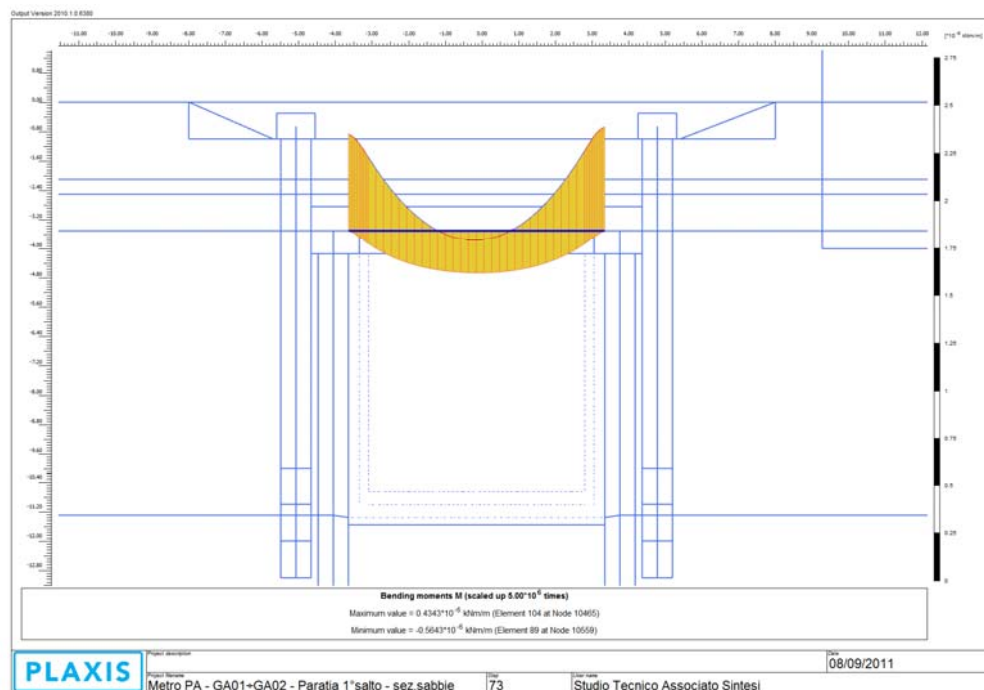


Figura 69 – Momento flettente – inviluppo fasi esecutive

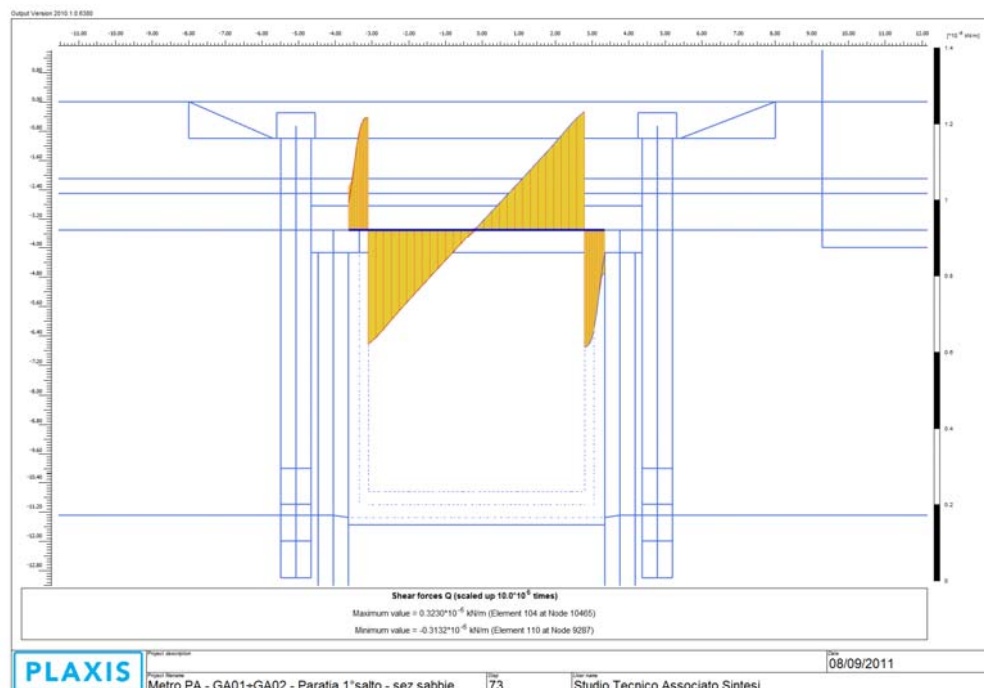


Figura 70 – Taglio – inviluppo fasi esecutive

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandataria) 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										
FERMATA PORTO: Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GA 12 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 70 di 89	

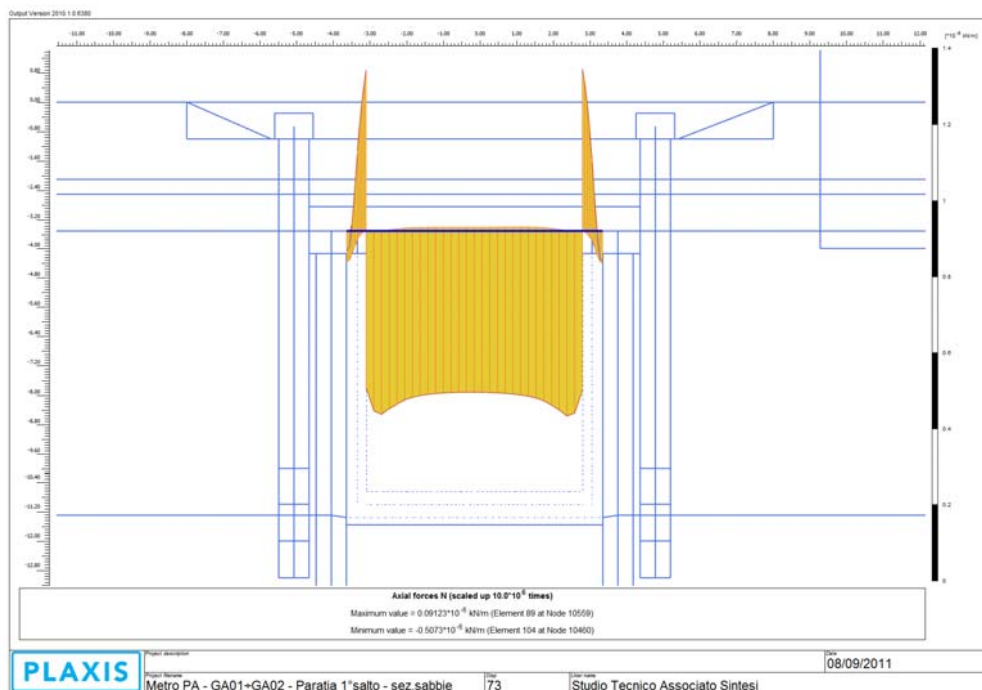


Figura 71 – Azione assiale – involucro fasi esecutive

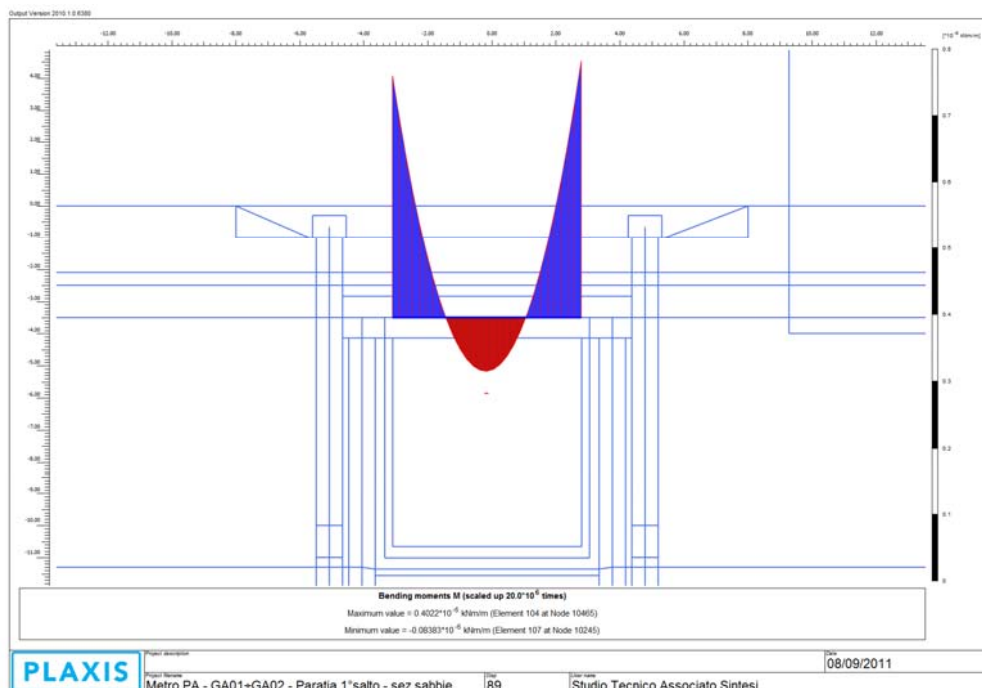


Figura 72 – Momento flettente – condizione definitiva

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandataria) 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										
FERMATA PORTO: Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GA 12 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 71 di 89	

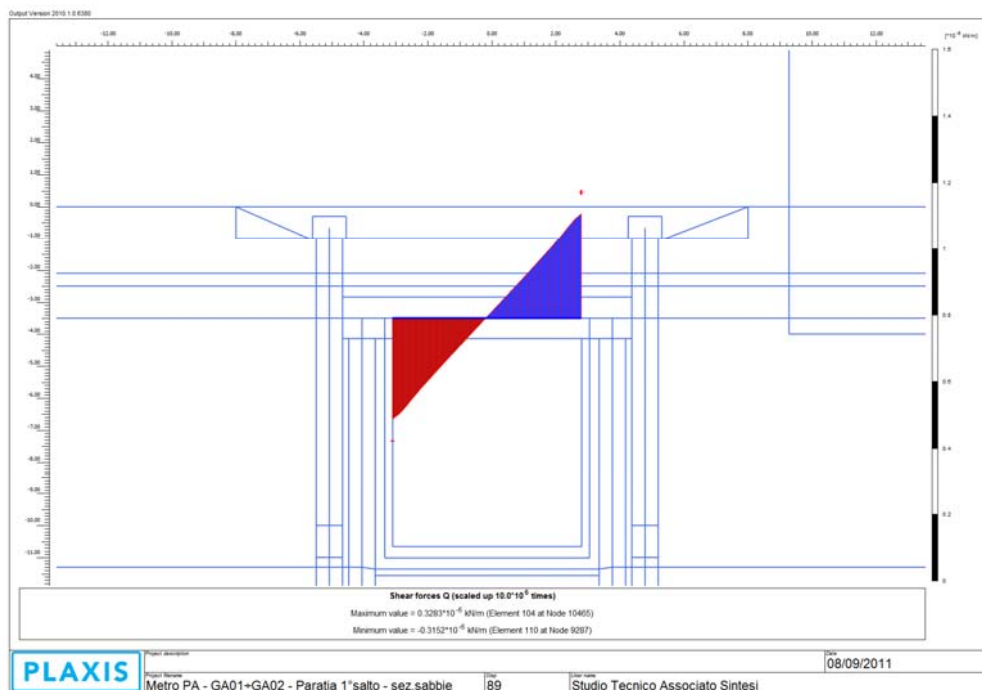


Figura 73 – Taglio – condizione definitiva

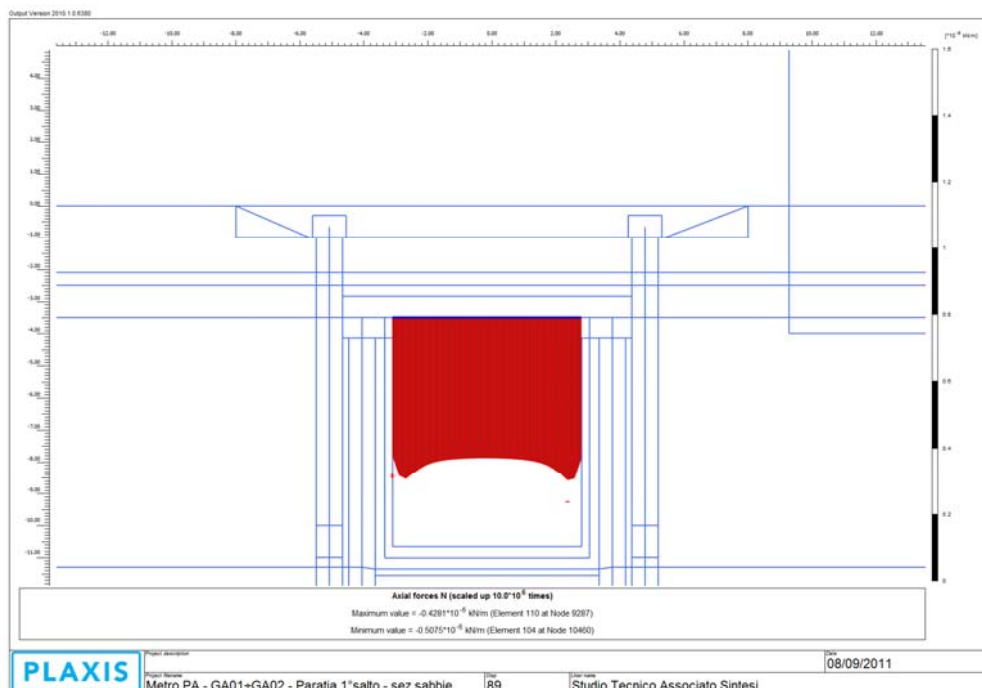


Figura 74 – Azione assiale – condizione definitiva

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandataria) 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										
FERMATA PORTO: Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GA 12 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 72 di 89	

5.5.3.4 Solettone di base – $s = 0.70 \text{ m}$

Nel seguito si riportano in forma numerica, nelle seguenti tabelle, e in forma grafica, nelle successive figure, le principali azioni interne ottenute dall'analisi. Le azioni interne riportate in tabella si riferiscono ad una porzione di impalcato di sviluppo longitudinale pari ad 1.0 m. Le azioni interne sono riportate come inviluppo delle fasi esecutive e della condizione definitiva (dopo l'applicazione delle condizioni idrostatiche di lungo termine).

Tabella 17 – inviluppo fasi esecutive e condizione definitiva

Nmax	Q	M
[kN]	[kN]	[kNm]
159.064	-14.304	-93.770

Nmin	Q	M
[kN]	[kN]	[kNm]
-36.572	110.428	-28.690

N	Q	Mmax
[kN]	[kN]	[kNm]
45.572	-1.225	109.597

N	Q	Mmin
[kN]	[kN]	[kNm]
159.064	-14.304	-93.770

N	Qmax	M
[kN]	[kN]	[kNm]
-34.093	130.419	-55.570

N	Qmin	M
[kN]	[kN]	[kNm]
-31.310	-129.048	-54.153

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandataria) 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										
FERMATA PORTO: Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GA 12 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 73 di 89	



Figura 75 – Momento flettente – inviluppo fasi esecutive e condizione definitiva

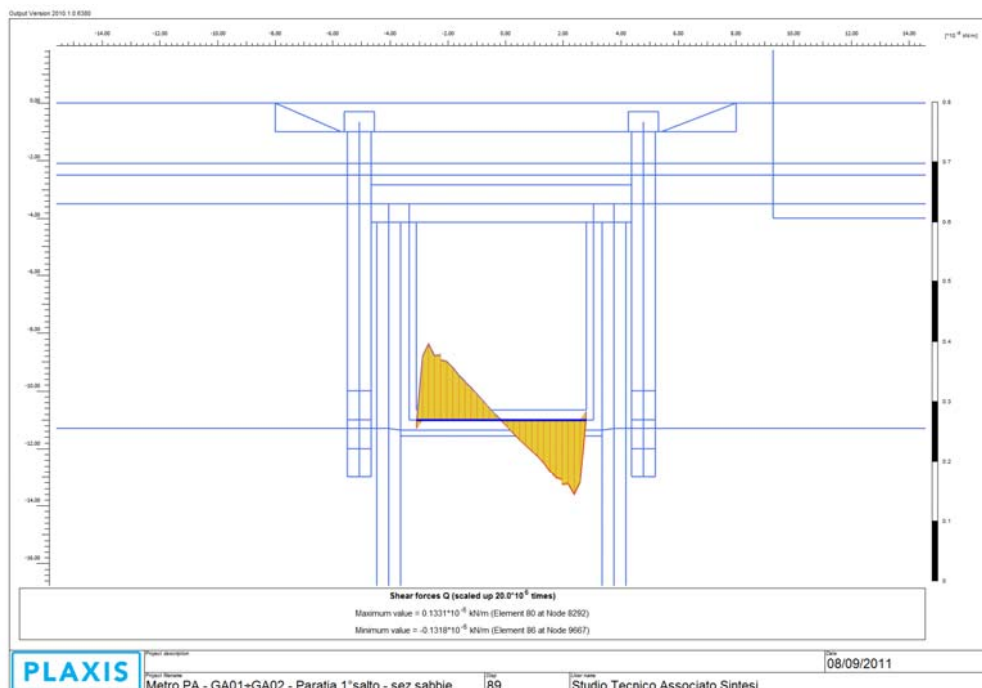


Figura 76 – Taglio – inviluppo fasi esecutive e condizione definitiva

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) 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									
FERMATA PORTO: Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GA 12 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 74 di 89

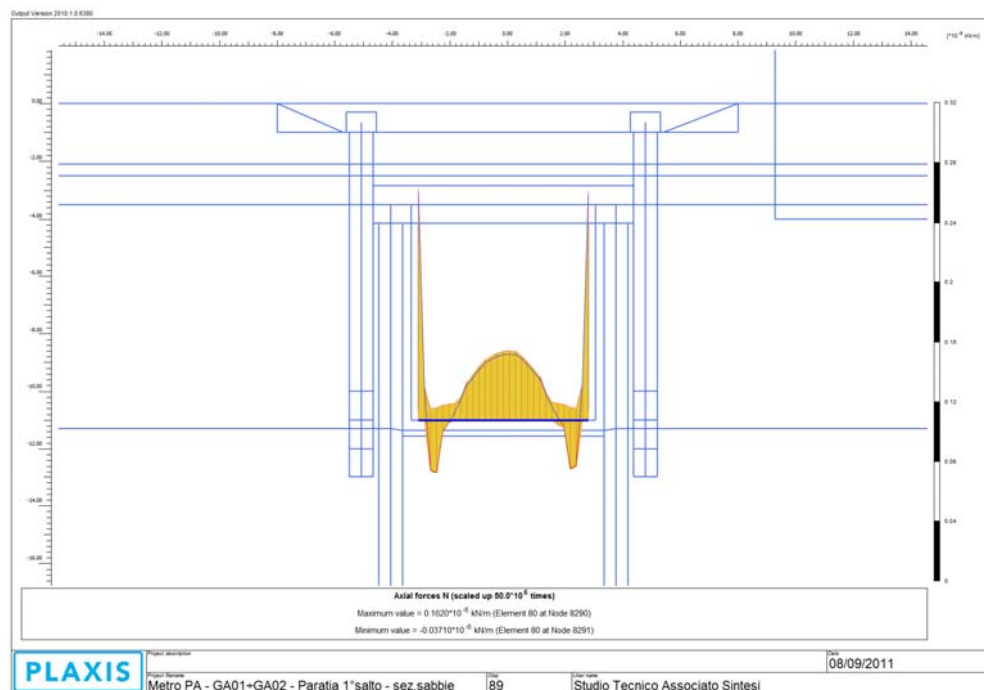


Figura 77 – Azione assiale – involucro fasi esecutive e condizione definitiva

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) 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									
FERMATA PORTO: Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GA 12 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 75 di 89

5.5.3.5 Fodere interne – $s = 0.50 \text{ m}$

Nel seguito si riportano in forma numerica, nelle seguenti tabelle, e in forma grafica, nelle successive figure, le principali azioni interne ottenute dall'analisi. Le azioni interne riportate in tabella si riferiscono ad una porzione di fodere di sviluppo longitudinale pari ad 1.0 m. Le azioni interne sono riportate come involuppo delle fasi esecutive e della condizione definitiva (dopo l'applicazione delle condizioni idrostatiche di lungo termine).

Tabella 18 – involuppo fasi esecutive e condizione definitiva

Nmax	Q	M
[kN]	[kN]	[kNm]
-8.799	110.298	-60.080

Nmin	Q	M
[kN]	[kN]	[kNm]
-189.133	-70.949	-17.880

N	Q	Mmax
[kN]	[kN]	[kNm]
-13.423	0.147	0.907

N	Q	Mmin
[kN]	[kN]	[kNm]
-11.842	-113.080	-61.237

N	Qmax	M
[kN]	[kN]	[kNm]
-152.854	112.662	-35.856

N	Qmin	M
[kN]	[kN]	[kNm]
-160.125	-115.459	-36.406

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandataria) 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										
FERMATA PORTO: Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GA 12 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 76 di 89	

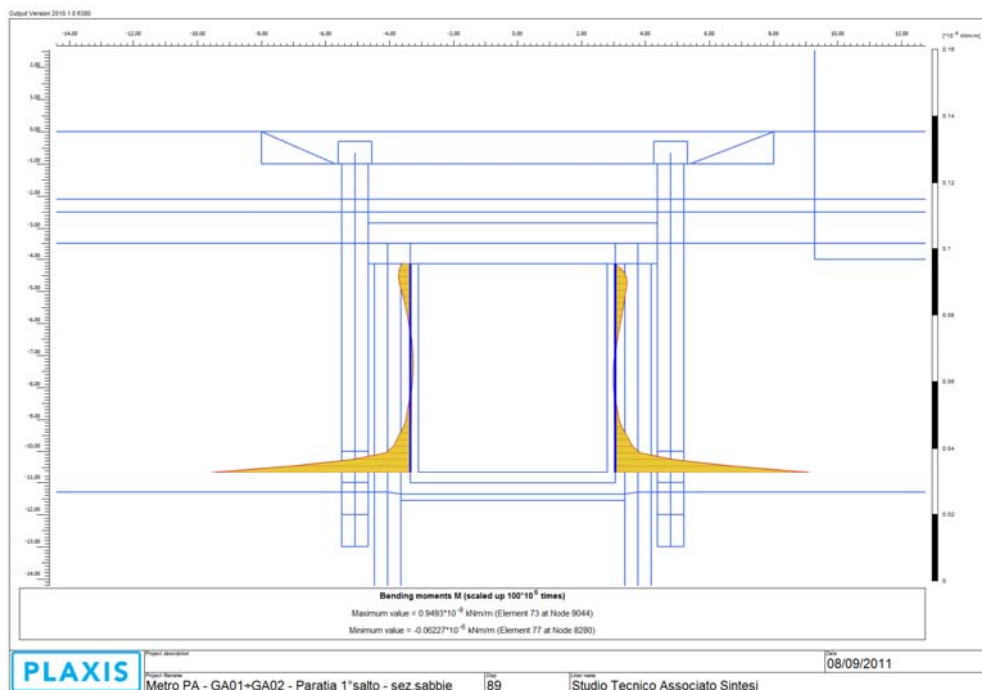


Figura 78 – Momento flettente – inviluppo fasi esecutive e condizione definitiva

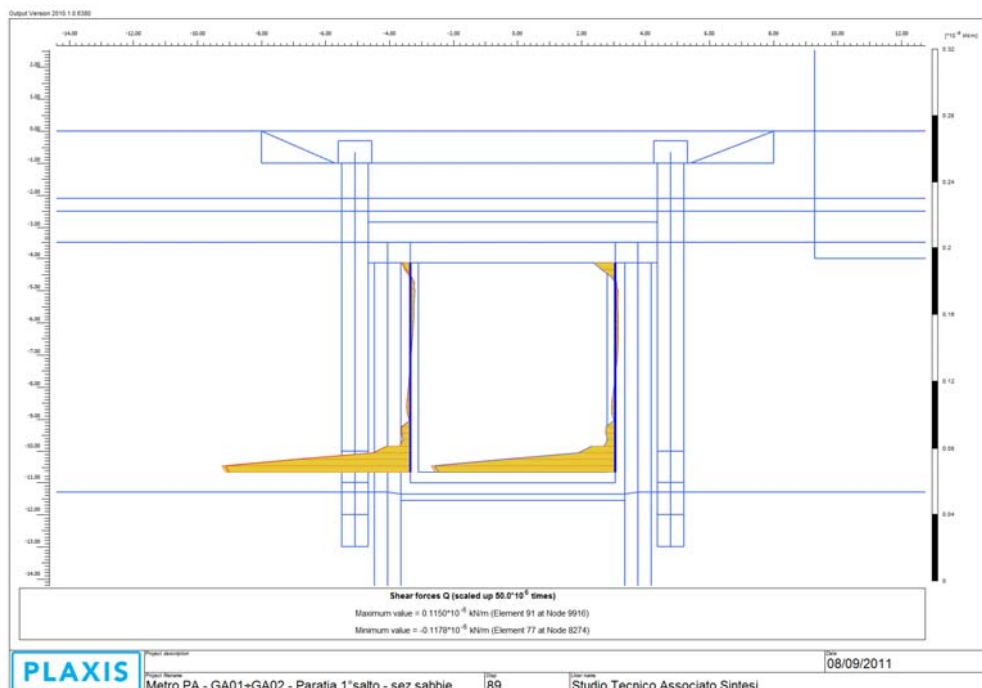


Figura 79 – Taglio – inviluppo fasi esecutive e condizione definitiva

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandataria) 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										
FERMATA PORTO: Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GA 12 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 77 di 89	

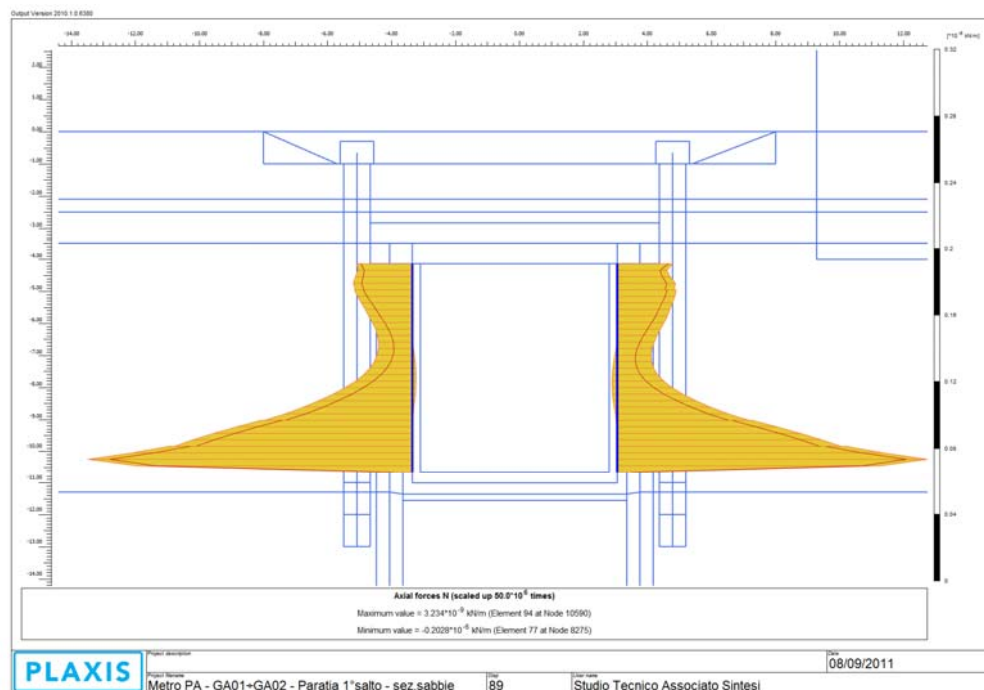


Figura 80 – Azione assiale – involucro fasi esecutive e condizione definitiva

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandataria) 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										
FERMATA PORTO: Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GA 12 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 78 di 89	

5.5.4 Verifica di stabilità globale

La valutazione del fattore di sicurezza alla stabilità globale è stata condotta fattorizzando per un coefficiente $FS > 1.00$, sino al verificarsi del collasso, la coesione efficace c' e l'angolo di attrito del terreno φ' (cfr. Figura 81). Il coefficiente di sicurezza FS_f lungo la superficie di scorrimento risulta pertanto essere pari al rapporto fra i parametri di resistenza del terreno in sito (c', φ') ed i parametri di resistenza del terreno al verificarsi del cinematisimo di collasso (c'_f, φ'_f):

$$FS_f = \frac{c'}{c'_f} = \frac{\tan \varphi'}{\tan \varphi'_f}$$

Quindi FS_f coincide con il rapporto fra la resistenza a taglio disponibile τ e quella mobilitata τ_f al collasso lungo la superficie di scorrimento del cinematisimo:

$$\tau = c' + \sigma' \tan \varphi' = FS_f c'_f + FS_f \sigma' \tan \varphi'_f = FS_f (c'_f + \sigma' \tan \varphi'_f) = FS_f \tau_f$$

Rispetto ai classici metodi dell'equilibrio limite, il metodo qui adottato presenta numerosi vantaggi (cfr. [Dawson and Roth, 1999], [Cala and Flisiak, 2001]):

- le superfici di rottura si propagano in maniera “naturale”; quindi non occorre specificare preventivamente i cinematismi e le potenziali superfici di rottura su cui ricercare il coefficiente di sicurezza minimo
- non si richiede l'assunzione di ipotesi di calcolo “artificiali” (ipotesi sulle forze di interfaccia fra i conci)
- non vi sono limitazioni sulla forma e la modalità di propagazione delle potenziali superfici di rottura (anche multiple e/o con propagazioni complesse delle zone di snervamento)
- l'interazione con eventuali elementi strutturali è modellata in maniera realistica con una mobilitazione delle resistenze in funzione della deformazione relativa rispetto al terreno circostante e non semplicemente mediante forze equivalenti
- la soluzione converge in un meccanismo che è cinematicamente ammissibile (si noti che i metodi classici dell'equilibrio limite prescindono dalla valutazione degli spostamenti e non richiedono pertanto la conoscenza dei legami tensioni-deformazioni ma del solo criterio di resistenza dei terreni interessati).

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) 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									
FERMATA PORTO: Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GA 12 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 79 di 89

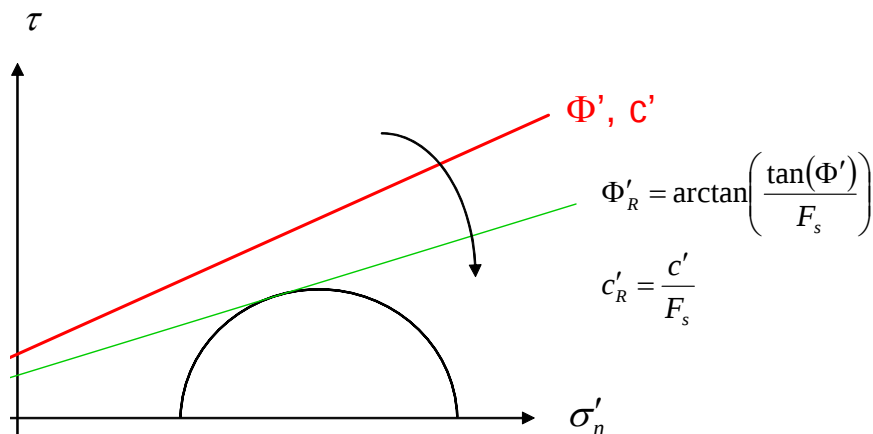


Figura 81: *c – ϕ reduction method*

La verifica a stabilità globale è stata condotta sia in seguito allo scavo fino a quota di intradosso del solettone di copertura, al fine di indagare l'adeguatezza dell'immorsamento delle paratie di primo salto (cfr. 5.5.2, FASE 10), che al raggiungimento della massima profondità di scavo, prima dell'esecuzione del solettone di fondo, al fine di valutare l'adeguatezza del tampone di fondo e la tenuta del sistema geotecnico nei confronti della sottospinta idraulica (cfr. 5.5.2, FASE 11).

In accordo con la normativa vigente il fattore di sicurezza minimo da verificare è $FS = 1.30$.

Nelle seguenti Figura 82÷Figura 87 è riportato il cinematismo di collasso ottenuto dalle analisi. Come si può osservare il coefficiente di sicurezza massimo è $FS_f = 1.44$ per le paratie provvisorie di primo salto e $FS_f = 2.18$ per la fase in cui si raggiunge il fondo scavo massimo interno alla stazione, pertanto, la verifica di stabilità globale è soddisfatta.

In Figura 88 e Figura 89 è riportato l'andamento del coefficiente di sicurezza FS , rispettivamente in funzione dello spostamento totale di un punto di controllo in testa alla paratia provvisoria, per l'analisi effettuata dopo lo scavo a quota di intradosso del solettone di copertura, e di un punto di controllo posto a fondo scavo, per l'analisi effettuata dopo il raggiungimento della massima profondità di scavo interna alla GA.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandataria) 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										
FERMATA PORTO: Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GA 12 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 80 di 89	

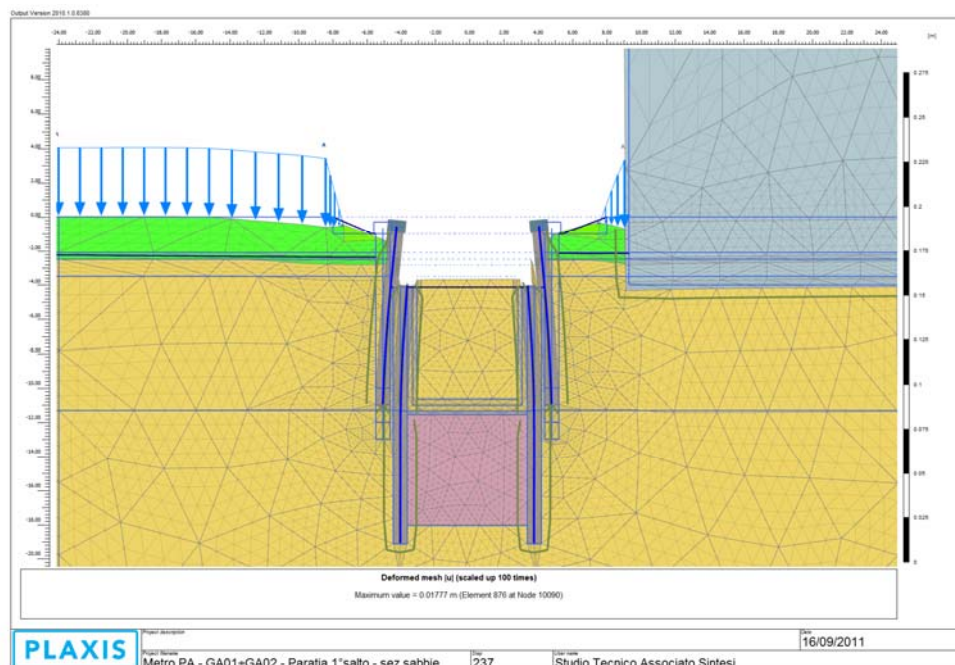


Figura 82 – Cinematismo di collasso per le paratie di primo salto (spostamenti amplificati 100 volte) per $FS_f = 1.44$

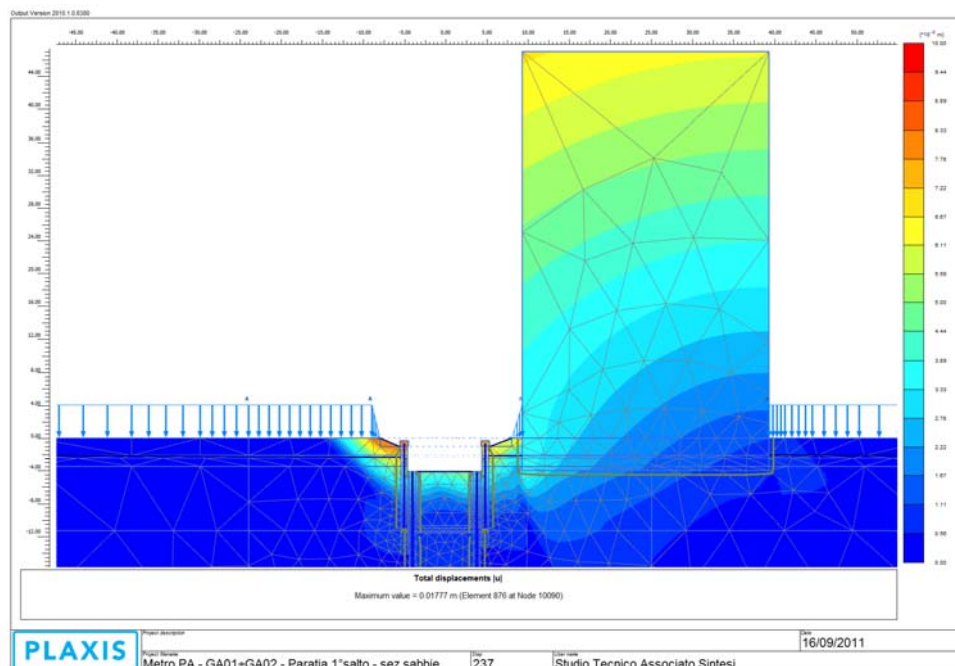


Figura 83 – Cinematismo di collasso per le paratie provvisionali esterne (per $FS_f = 1.44$)

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandatara) 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									
FERMATA PORTO: Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GA 12 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 81 di 89

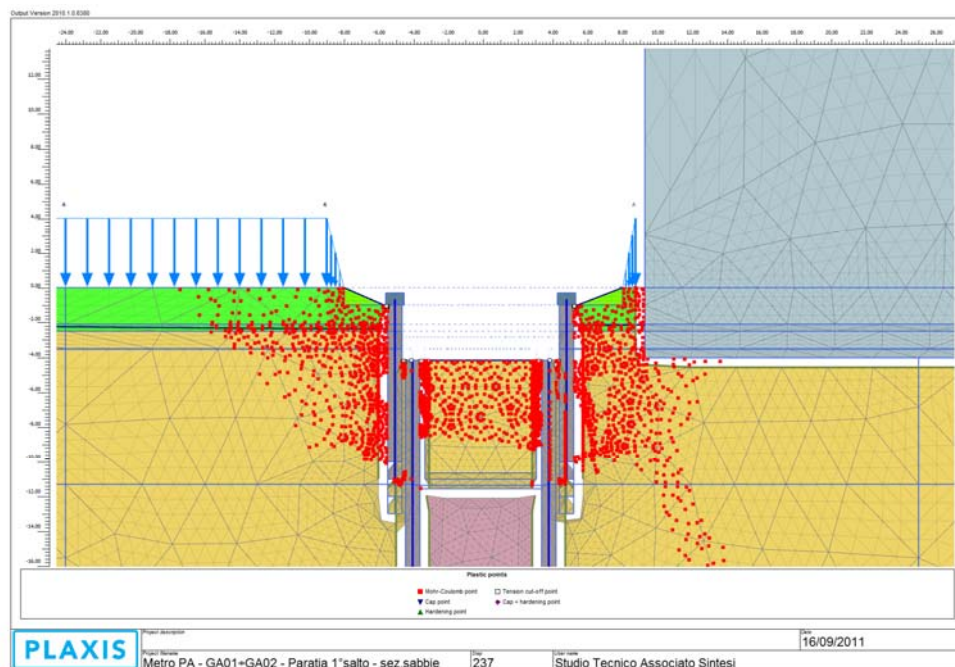


Figura 84 – Punti di plasticizzazione per le paratie provvisorie esterne (per $FS_f = 1.44$)



Figura 85 – Cinematismo di collasso per lo scavo massimo interno alla GA (spostamenti amplificati 50 volte, per $FS_f = 2.18$)

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) 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									
FERMATA PORTO: Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GA 12 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 82 di 89

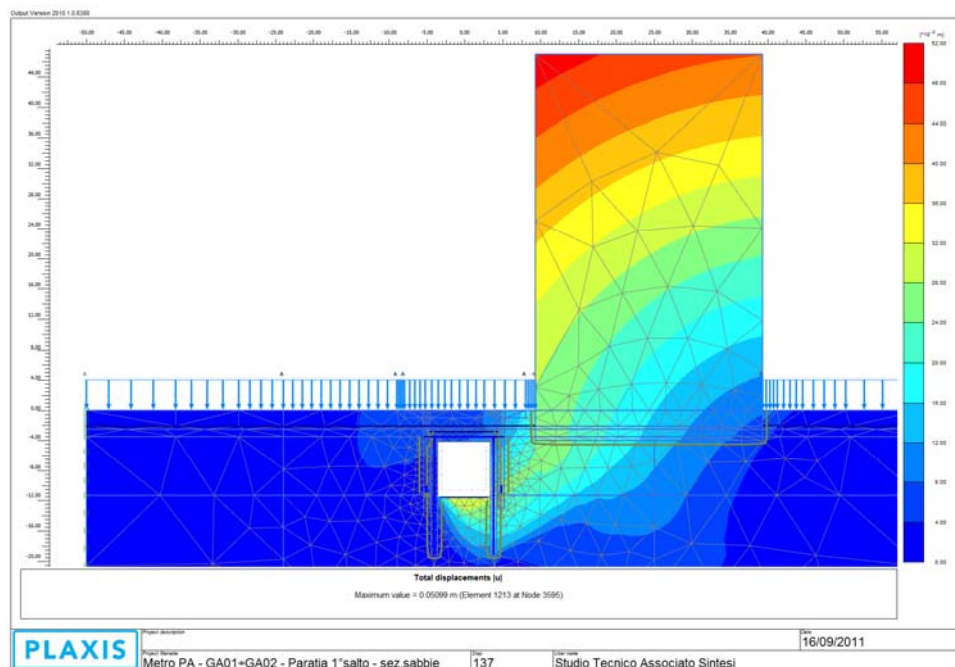


Figura 86 – Cinematismo di collasso per lo scavo massimo interno alla GA (per $FS_f = 2.18$)

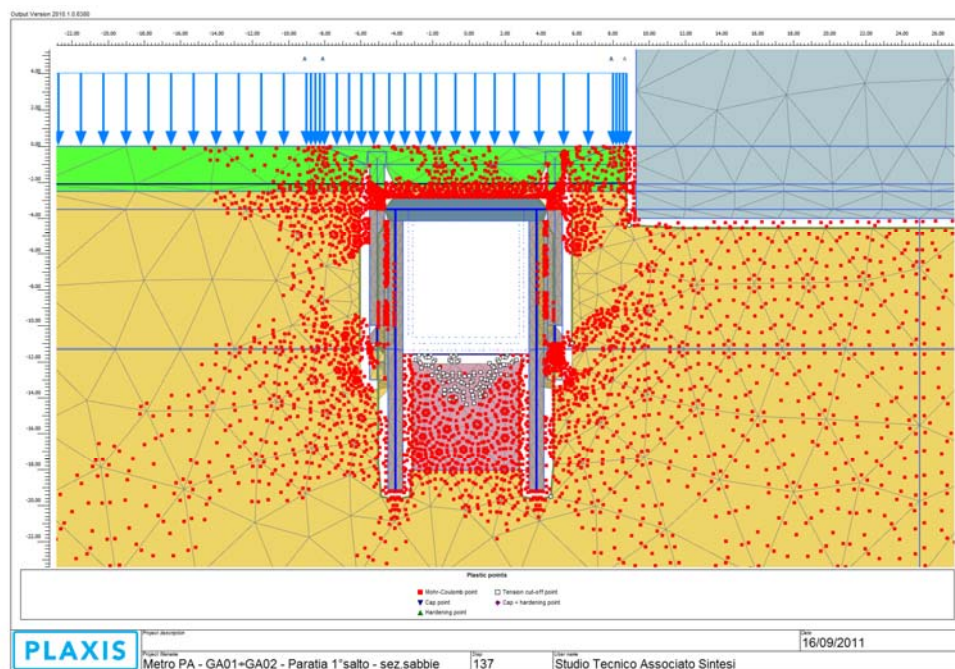


Figura 87 – Punti di plasticizzazione per lo scavo massimo interno alla GA (per $FS_f = 2.18$)

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandataria) 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										
FERMATA PORTO: Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GA 12 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 83 di 89	

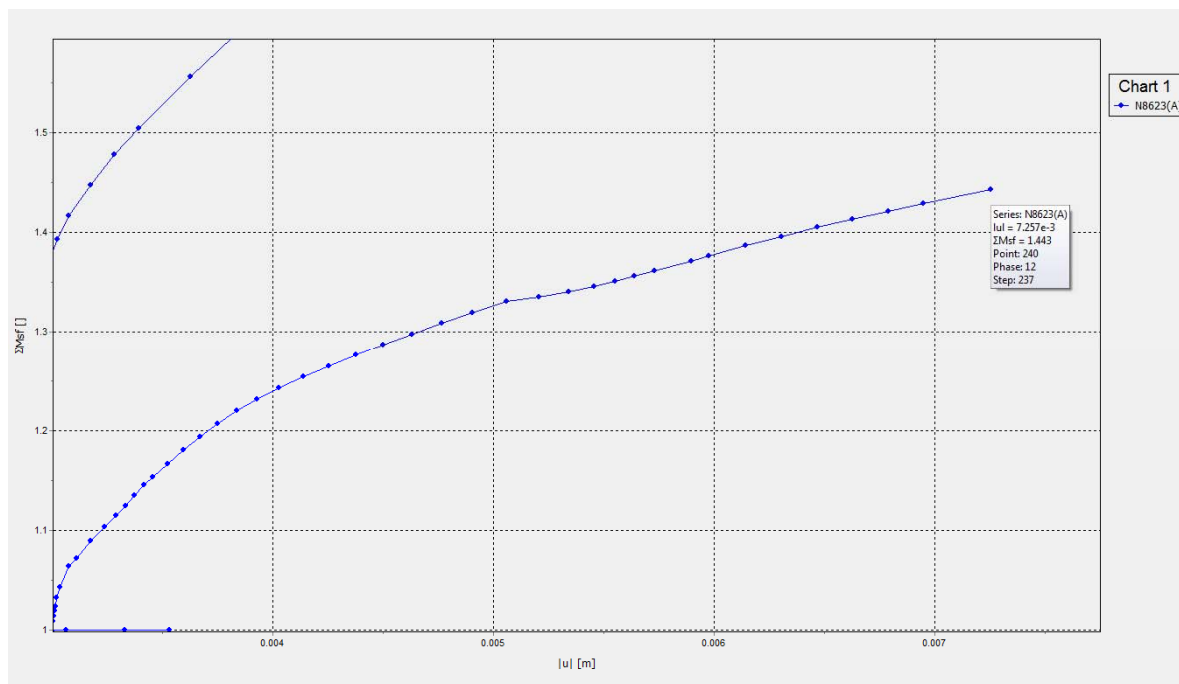


Figura 88 – Andamento di FS in funzione dello spostamento totale in testa alla paratia di primo salto – stabilità globale primo scavo

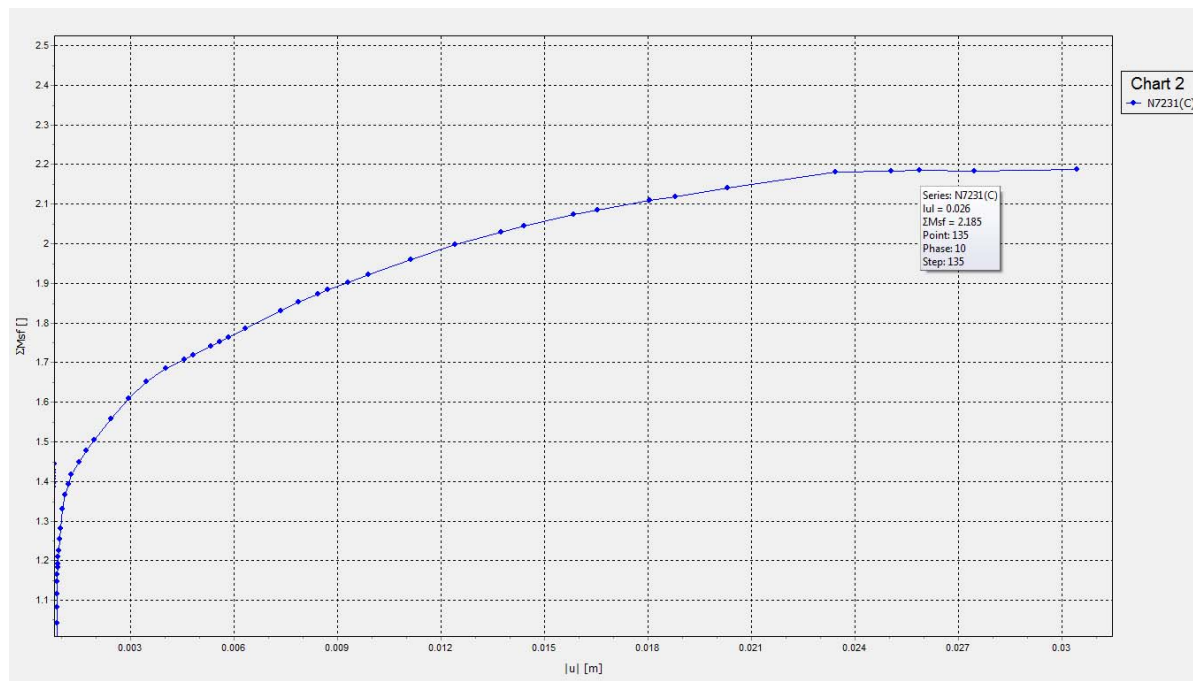


Figura 89 – Andamento di FS in funzione dello spostamento totale a fondo scavo – stabilità globale a fondo scavo

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) 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									
FERMATA PORTO: Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GA 12 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 84 di 89

5.5.5 Spostamenti indotti dallo scavo

Nelle seguenti immagini si riportano il campo di spostamenti del sistema geotecnico e gli spostamenti totali ottenuti sul piano di fondazione dell'edificio esistente, in seguito alle principali fasi di scavo. Come mostrato, l'edificio è parzialmente interessato dal campo deformativo indotto dallo scavo, ma gli spostamenti totali massimi indotti sono inferiori al millimetro.

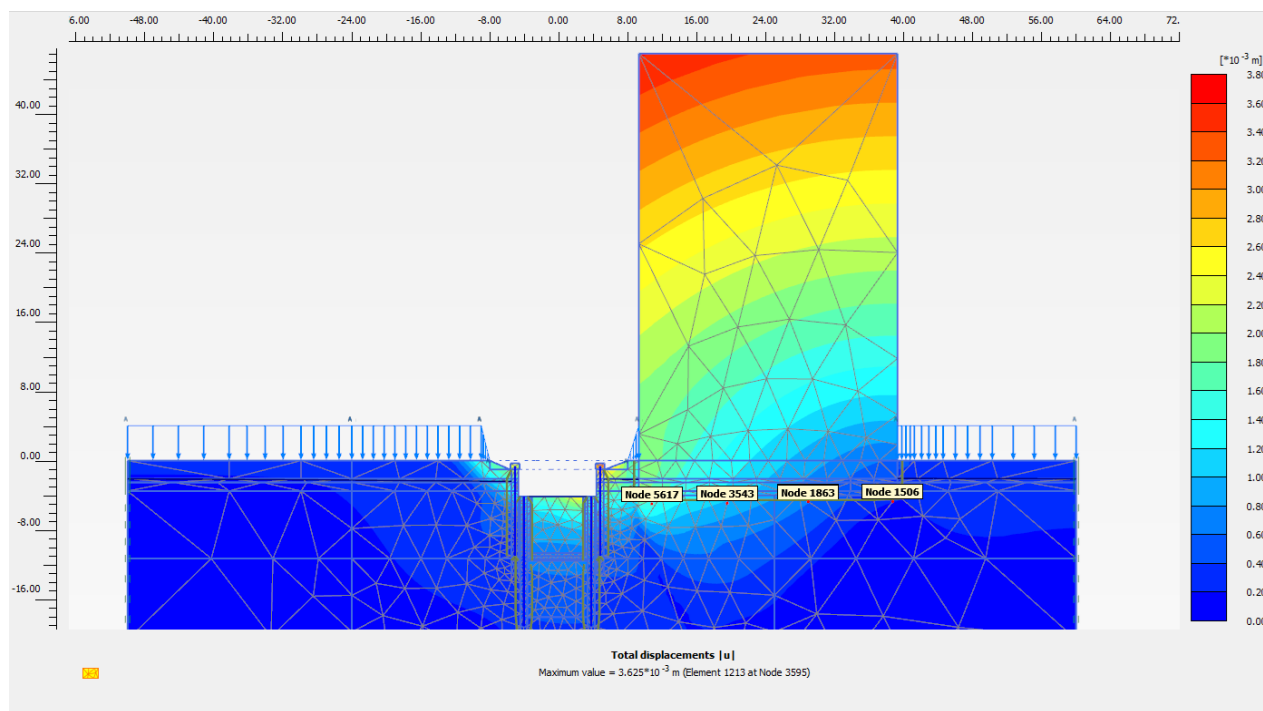


Figura 90 – spostamenti totali dopo la prima fase di scavo

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandataria) 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										
FERMATA PORTO: Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GA 12 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 85 di 89	

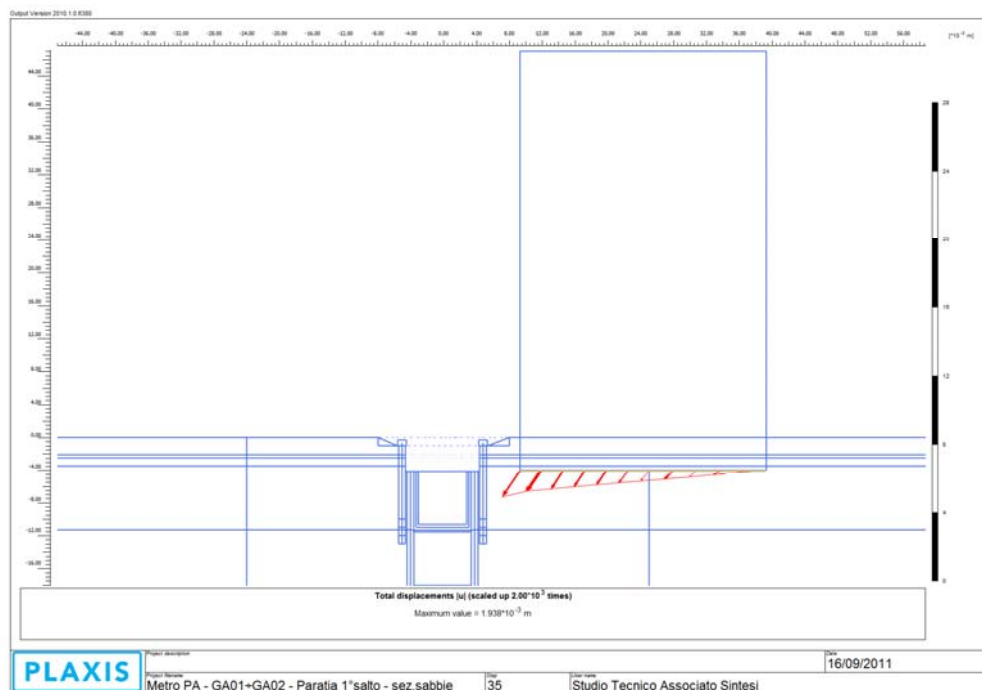


Figura 91 – spostamenti dell'edificio dopo la prima fase di scavo – $|u|_{\max} = 1.9 \text{ mm}$

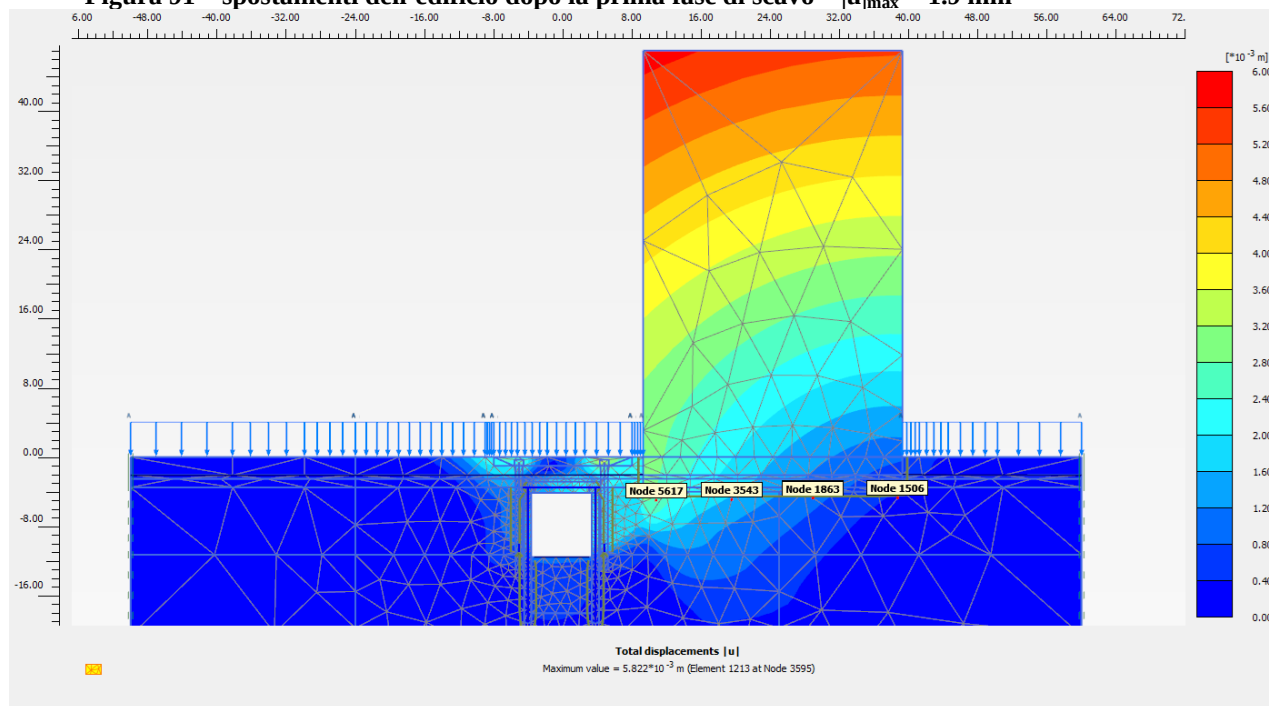


Figura 92 – spostamenti totali al raggiungimento dello scavo massimo

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandataria) 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										
FERMATA PORTO: Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GA 12 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 86 di 89	

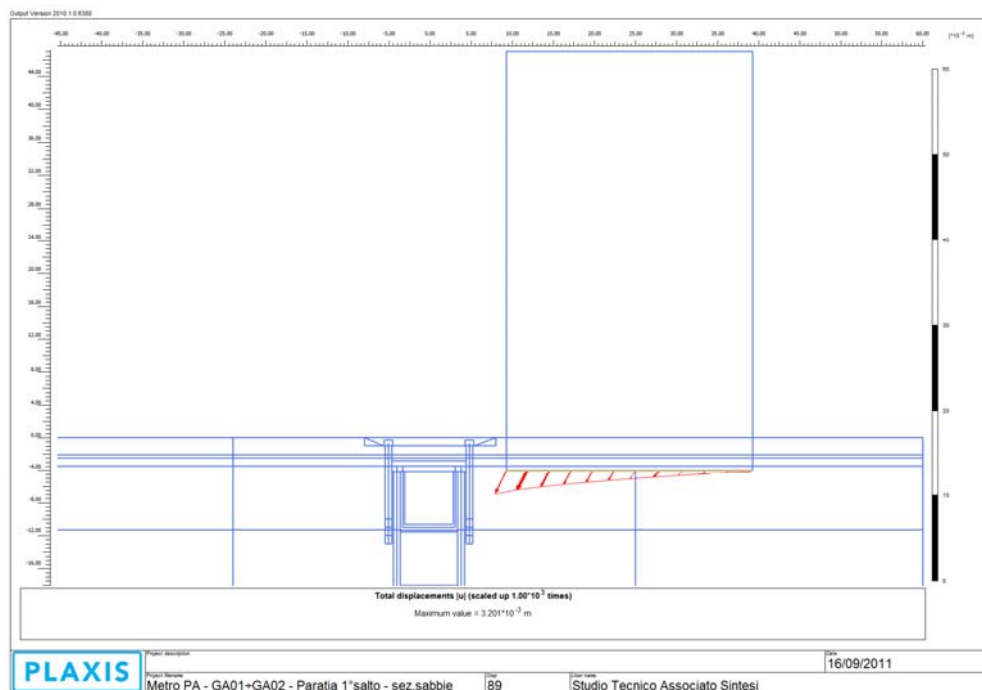


Figura 93 – spostamenti dell’edificio nell’ultima fase di calcolo (lungo termine) – $|u|_{\max} = 3.2 \text{ mm}$

In Figura 94 è riportata la valutazione del rischio di danno secondo [Boscardin e Cording, 1989] per l’edificio che ricade nel bacino di subsidenza prodotto dallo scavo. Noto lo spostamento orizzontale S_h e quello verticale S_v in corrispondenza di alcuni punti di monitoraggio numerico, si calcola la distorsione β e la deformazione assiale ε_h come:

$$\beta = \frac{\Delta S_v}{\Delta x}$$

$$\varepsilon_h = \frac{\Delta S_h}{\Delta x}$$

dove Δx è la differenza fra le ascisse dei punti considerati.

I nodi del modello FEM monitorati numericamente sono quelli evidenziati nelle precedenti immagini che riportano il campo di spostamenti indotto dagli scavi. Come si può osservare il rischio di danno per l’edificio è trascurabile.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) 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									
FERMATA PORTO: Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GA 12 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 87 di 89

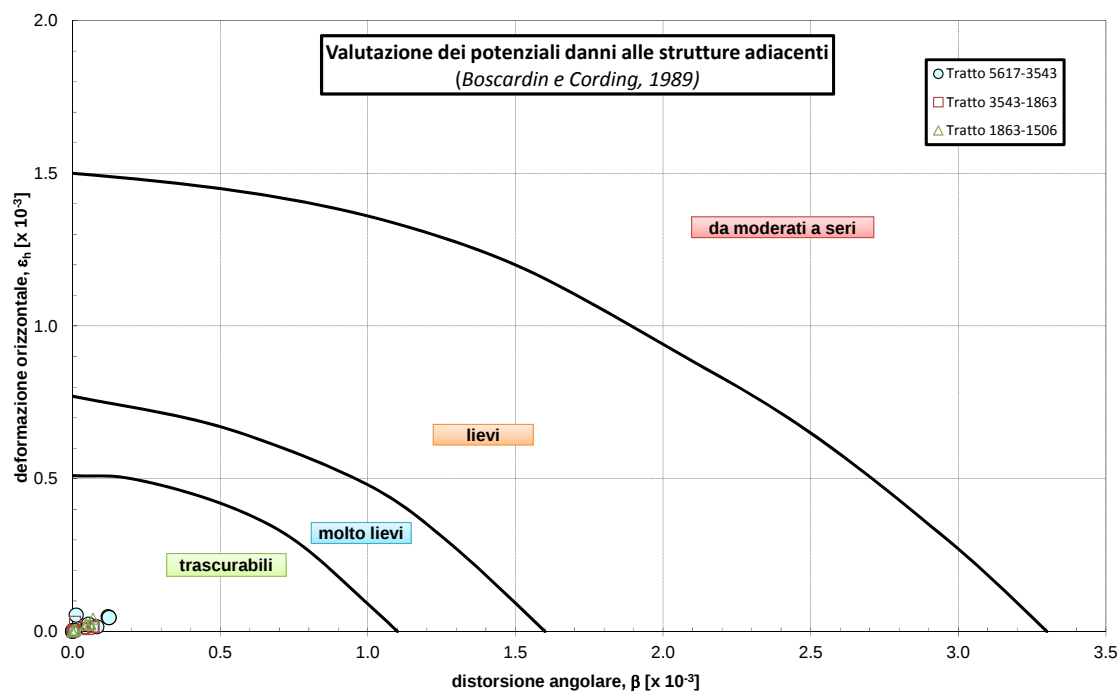


Figura 94 – Valutazione del rischio di danno per gli edifici [Boscardin e Cording, 1989]

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) 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									
FERMATA PORTO: Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GA 12 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 88 di 89

6. VERIFICHE DI RESISTENZA

Dai risultati delle analisi effettuate per la sezione 24 e 41, le sollecitazioni massime in valore assoluto, sui pali che costituiscono la paratia di primo salto, per un tratto di 1.50m che contiene un palo armato, sono le seguenti:

$$N_{\max}=206 \text{ kN}$$

$$M_{\max}=191 \text{ kNm}$$

$$T_{\max}=84 \text{ kN}$$

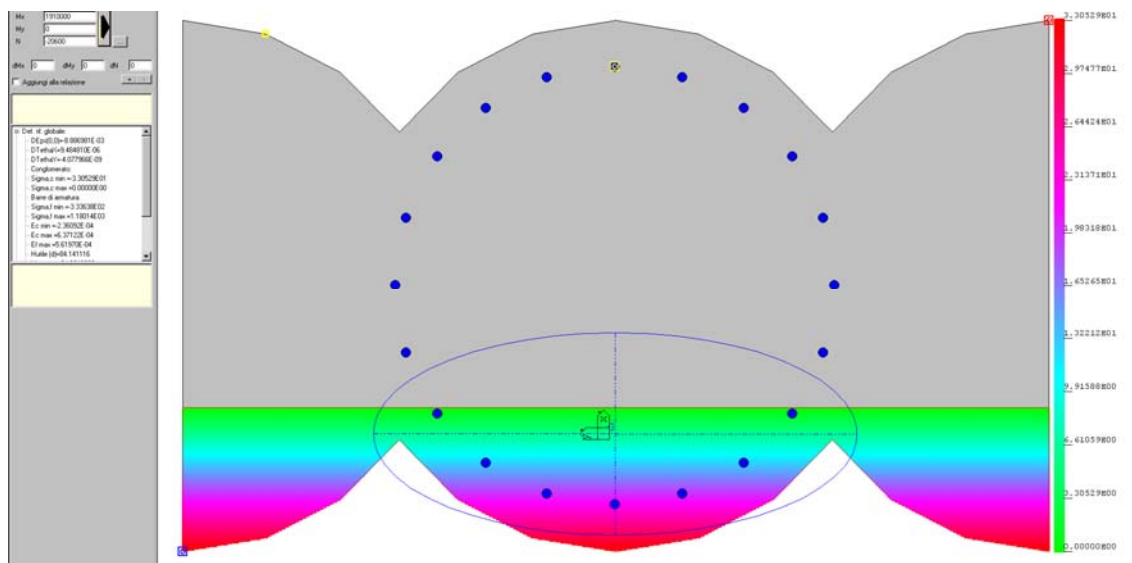
La sezione di verifica presenta le seguenti caratteristiche geometriche:

$$B=1.50\text{m}, H_{\max}=0.92\text{m}$$

armatura per l'intera altezza dei pali secondari $16\Phi 20$ con copriferri netti di 7.7 cm.

Verifica nella sezione con momento massimo

$$M=191 \text{ kNm}; \quad N=206 \text{ kN}; \quad T=293 \text{ kN}$$



Le tensioni massime si raggiungono trascurando lo sforzo normale:

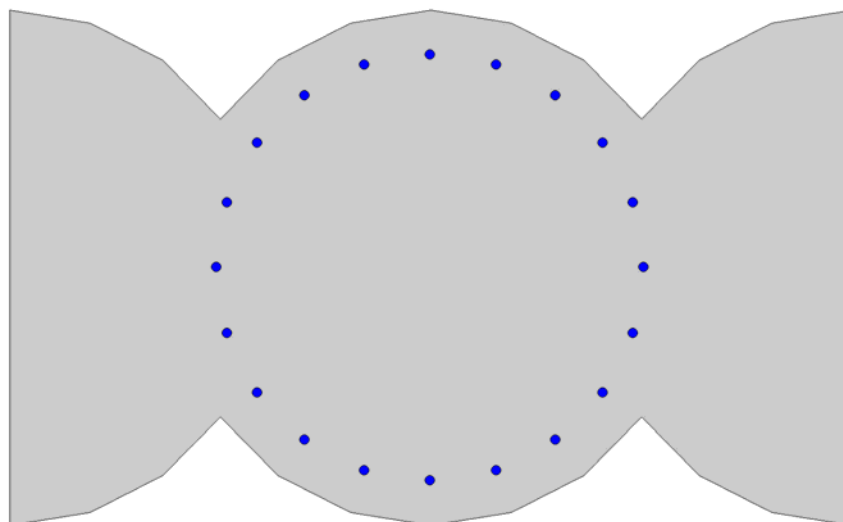
$$\sigma_c=3.3 \text{ MPa}$$

$$\sigma_f=118 \text{ MPa}$$

A vantaggio di sicurezza per la verifica a fessurazione si utilizza la stessa combinazione di carico che genera le sollecitazioni massime:

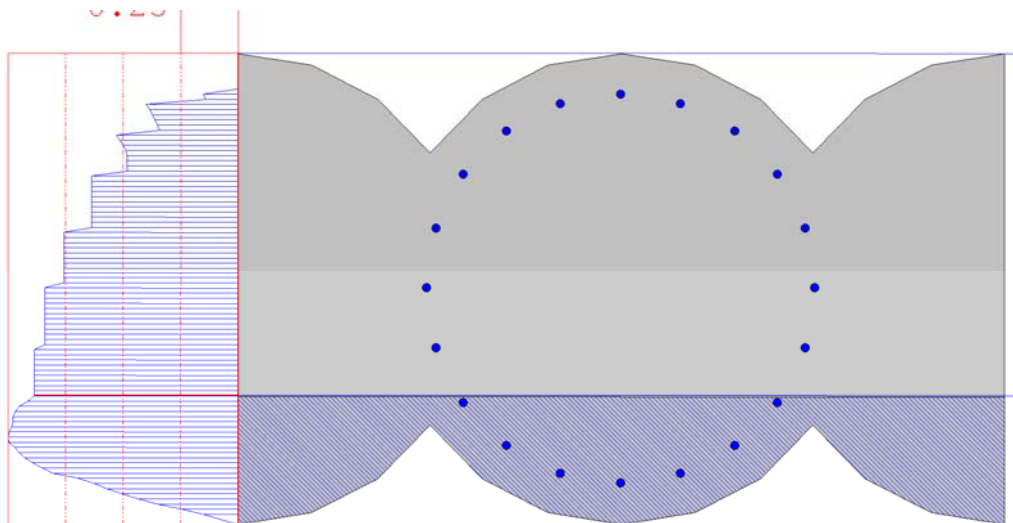
APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) Sab (Mandante)  				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
FERMATA PORTO: Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. GA 12 0X	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 89 di 89

Mx 10000
 My 0
 N 20000
 Es/Ea 0.5
 Mod. elastico 1.5
 Piano (cm) 1
 Rel. zona terra 0.5
 Beta 1 0.8
 Beta 2 0.4
 K 1 0.125
 K 2 0.2
 Int. ar 0.2
 Capileno 0.7
 Intorno 0.7
 di 04 96 0.02
 Aggiorna alla relazione
 Controllo non verificato
 Criterio = non 1.00
 Indicazione di formazione
 Mx = 2001573.3 da/cm
 My = 0.0 da/cm
 N = 42000.0 da/cm
 Esercizio acciaio = 0.007000



$W_k=0$ mm

Mx 100000
 My 0
 N 20000
 Es/Ea 0.5
 Mod. elastico 1.5
 Piano (cm) 1
 Rel. zona terra 0.5
 Beta 1 0.8
 Beta 2 0.4
 K 1 0.125
 K 2 0.2
 Int. ar 0.2
 Capileno 0.7
 Intorno 0.7
 di 04 96 0.02
 Aggiorna alla relazione
 Controllo non verificato
 Criterio = non 1.00
 Indicazione di formazione
 Mx = 2001573.3 da/cm
 My = 0.0 da/cm
 N = 42000.0 da/cm
 Esercizio acciaio = 0.007000



$\tau_{max}=0.10$ MPa $< \tau_{c0}=0.67$ MPa, e quindi si prevede un'armatura minima composta da spirale $\Phi 12/20$, saldata in ogni punto di contatto con i ferri longitudinali.

Pertanto l'incidenza di acciaio nei pali è pari a 85 kg/mc.