

**MINISTERO
DELLE INFRASTRUTTURE E DELLA MOBILITÀ SOSTENIBILI
STRUTTURA TECNICA DI MISSIONE**




COMUNE DI TORINO



**METROPOLITANA AUTOMATICA DI TORINO
LINEA 2 – TRATTA POLITECNICO – REBAUDENGO**

**PROGETTAZIONE DEFINITIVA
Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna**


PROGETTO DEFINITIVO		 INFRA.TO <i>infrastrutture per la mobilità</i>										INFRATRASPORTI.TO S.r.l.		
DIRETTORE PROGETTAZIONE Responsabile integrazione discipline specialistiche	IL PROGETTISTA													
Ing. R. Crova Ordine degli Ingegneri della Provincia di Torino n. 6038S	Ing. F. Rizzo Ordine degli Ingegneri della Provincia di Torino n. 9337K	STRUTTURE E METODI COSTRUTTIVI STAZIONI SUPERFICIALI – STAZIONE REBAUDENGO RELAZIONE DI CALCOLO OPERE DI SOSTEGNO STAZIONE												
		ELABORATO							REV.		SCALA	DATA		
		MT	L2	T1	A1	D	STR	SRB	R	001	Int.	Est.	-	07/10/2022
BIM MANAGER Geom. L. D'Accardi											0	1		

AGGIORNAMENTI

Fg. 1 di 1


REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	CONTROLLATO	APPROVATO	VISTO
0	EMISSIONE	22/12/21	VFI	ECa	FRi	RCr
1	EMISSIONE FINALE A SEGUITO DI VERIFICA PREVENTIVA	07/10/22	VFI	ECa	FRi	RCr
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-

<table border="1"> <tr> <td>LOTTO 1</td> <td>CARTELLA</td> <td>9.1.1</td> <td>1</td> <td>MTL2T1A1D</td> <td>STRSRBR001</td> </tr> </table>	LOTTO 1	CARTELLA	9.1.1	1	MTL2T1A1D	STRSRBR001	<p align="center">STAZIONE APPALTANTE</p> <p align="center">DIRETTORE DI DIVISIONE INFRASTRUTTURE E MOBILITÀ Ing. R. Bertasio</p> <p align="center">RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO Ing. A. Strozziro</p>
LOTTO 1	CARTELLA	9.1.1	1	MTL2T1A1D	STRSRBR001		


 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico - Rebaudengo Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A1DSTRSRBR001-0-1

INDICE

1.	PREMESSA	6
1.1	SCOPO E CAMPO DI APPLICAZIONE	9
1.2	DESCRIZIONE DELLE OPERE	9
2.	NORMATIVE DI RIFERIMENTO	10
3.	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	13
3.1	CALCESTRUZZI	13
3.1.1	CALCESTRUZZO UTILIZZATO PER I SOLAI DI STAZIONE E STRUTTURE INTERNE	13
3.1.2	CALCESTRUZZO UTILIZZATO PER DIAFRAMMI	13
3.1.3	CALCESTRUZZO UTILIZZATO PER PALI	14
3.2	ACCIAI PER ARMATURE IN C.A.	14
3.3	ACCIAIO PER CARPENTERIA METALLICA	15
4.	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	16
5.	PRINCIPALI ASSUNZIONI DELLA PROGETTAZIONE	19
5.1	CARATTERIZZAZIONE SISMICA	19
5.2	COMBINAZIONI DI CARICO	20
5.3	CRITERI DELLA MODELLAZIONE NUMERICA	22
5.3.1	GEOMETRIA DEL MODELLO NUMERICO	22
5.3.2	ELEMENTI STRUTTURALI	24
5.3.3	CARICHI	25
5.3.3.1	Carichi superficiali	25
5.3.3.2	Azione sismica	25
6.	ANALISI NUMERICHE	29
6.1	FASI DI CALCOLO MODELLO GEOTECNICO	29
6.1	OUTPUT	44
6.1.1	SEZIONE AA - SOLLECITAZIONI PARATIA	44
6.1.2	SEZIONE BB - SOLLECITAZIONI PARATIA	50
6.1.3	SEZIONE AA- SPOSTAMENTI PARATIA	52
6.1.4	SEZIONE BB - SPOSTAMENTI PARATIA	53

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico - Rebaudengo Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A1DSTRSRBR001-0-1

7.	VERIFICHE STRUTTURALI	54
7.1	VERIFICHE DELLE SOLLECITAZIONI FLETTENTI SLU	54
7.1.1	SEZIONE AA - VERIFICA FLESSIONE	56
7.1.2	SEZIONE BB - VERIFICA FLESSIONE	58
7.2	VERIFICA DELLE SOLLECITAZIONI TAGLIANTI SLU	62
7.2.1	VERIFICA A TAGLIO SEZIONE A-A	63
7.2.2	VERIFICA A TAGLIO SEZIONE BB	66
7.3	VERIFICHE SLE	70
7.3.1	VERIFICA A SLE SEZIONE PALI A-1	71
7.3.2	VERIFICA A SLE SEZIONE B-B	72
7.3.3	VERIFICA DI DEFORMABILITÀ A LUNGO TERMINE	75
7.4	INCIDENZA ARMATURA	75
8.	VERIFICHE GEOTECNICHE	76
8.1	VERIFICA TAMPONE DI FONDO	76
8.2	VERIFICA GALLEGGIAMENTO A LUNGO TERMINE	80
8.3	VERIFICA CAPACITÀ PORTANTE BARRETTE (KINGPOST)	84
8.4	VERIFICA CAPACITÀ PORTANTE PARATIA	86
8.5	VERIFICA CAPACITÀ PORTANTE DELLA SOLETTA DI FONDO	87
8.6	STABILITÀ GLOBALE	88
9.	VALIDAZIONE DEI MODELLI ESEGUITI	95
ALLEGATO N.1		98
ALLEGATO N.2		120
ALLEGATO N.3		124
ALLEGATO N.4		143

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico - Rebaudengo Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A1DSTRSRBR001-0-1

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1.	Key-plan della linea 2 – tratta funzionale Politecnico-Rebaudengo	6
Figura 2.	Modello 3d – Stazione Rebaudengo	7
Figura 3.	Layout generale della stazione FS esistente e della connessione con la stazione metro	8
Figura 4.	Stralcio stratigrafia stazione Rebaudengo	16
Figura 5.	Sezione di calcolo- Stazione Rebaudengo	23
Figura 6.	Schematizzazione metodo di Wood	26
Figura 7.	Stralcio planimetria stazione Rebaudengo con indicazione delle sezioni di calcolo	29
Figura 8.	Fasi di calcolo modello geotecnico sezione AA	36
Figura 9.	Fasi di calcolo modello geotecnico BB	43
Figura 10.	Sezione AA SLE Momento flettente - Inviluppo	44
Figura 11.	Sezione AA SLE Momento – (Fase 11: installazione soletta di base)	45
Figura 12.	Sezione AA SLE Momento – (Fase finale: Sisma)	45
Figura 13.	Sezione AA SLE Taglio – Inviluppo	46
Figura 14.	Sezione AA SLE Taglio – (Fase 11: installazione soletta di base)	47
Figura 15.	Sezione AA SLE Taglio – (Fase finale: Sisma)	47
Figura 16.	Sezione AA -Spostamento Totale u_x – (Fase 11: installazione soletta di base)	48
Figura 17.	Sezione AA -Spostamento Totale u_x – (Fase finale: Sisma)	48
Figura 18.	Sezione BB SLE Momento flettente - Inviluppo	50
Figura 19.	Sezione BB SLE Diagramma taglio – Inviluppo	51
Figura 20.	SLE Diagramma degli spostamenti orizzontali fase 10	52
Figura 21.	SLE Diagramma degli spostamenti orizzontali fase 10	53
Figura 22.	Sezione AA SLU Diagramma delle sollecitazioni flettenti	56
Figura 23.	Sezione BB SLU Diagramma delle sollecitazioni flettenti	58
Figura 24.	SLU Diagramma delle sollecitazioni taglianti	67
Figura 25.	Spostamenti orizzontali a lungo termine	75
Figura 26.	Possibili meccanismi di collasso: a) sollevamento del tampone di fondo e dei diaframmi b) sollevamento del tampone di fondo c) rottura del tampone di fondo	76
Figura 27.	Zone di plasticizzazione	88
Figura 28.	Fattore di sicurezza nella fase costruttiva	89
Figura 29.	Rapporto tra tensione tangenziale massima e tensione tangenziale mobilitata	90
Figura 30.	Fattore di sicurezza a lungo termine	91
Figura 31.	Rapporto tra tensione tangenziale massima e tensione tangenziale mobilitata	92
Figura 32.	Tensioni orizzontali efficaci paratia	93
Figura 33.	Confronto tensione limite attive e passive con tensioni orizzontali Plaxis	94
Figura 34.	Modello numerico ParatiePlus	95
Figura 35.	Modello numerico Plaxis	95


 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico - Rebaudengo Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A1DSTRSRBR001-0-1

Figura 36. Involuppo momenti flettenti ParatiePlus	96
Figura 37. Involuppo momenti flettenti Plaxis	96
Figura 38. Figura 1. Modello base	121
Figura 39. Esempio di risultati per carico unitario ($q=1$ kN/m), $K_t=106$ kNm/rad	121
Figura 40. Caso di riferimento (cerniera)	122
Figura 41. Sintesi dell'effetto di variazione del vincolo (da cerniera a incastro perfetto)	122
Figura 42. Modellazione dell'eccentricità tra soletta e diaframma – Stazioni S4G	126
Figura 43. Valore di reazione vincolare di riferimento per il calcolo del momento flettente aggiuntivo – Stazioni S4G	127
Figura 44. Valore di reazione vincolare di riferimento per il calcolo del momento flettente aggiuntivo – Stazione Rebaudengo	127
Figura 45. Distribuzione dei momenti flettenti in assenza di eccentricità (fase finale di scavo – assenza di fodere)	128
Figura 46. Distribuzione dei momenti flettenti in presenza di eccentricità (fase finale di scavo – assenza di fodere)	129
Figura 47. Distribuzione dei momenti flettenti in presenza di eccentricità (fase finale di scavo – assenza di fodere)	130
Figura 48. Diaframmi – SLU Diagramma delle sollecitazioni flettenti – Sezione ridotta	131
Figura 49. Diaframmi – SLU Diagramma delle sollecitazioni taglianti – Sezione ridotta	133
Figura 50. Inghisaggi tra palo e soletta	135
Figura 51. Valore di reazione vincolare di riferimento – Livello atrio	135
Figura 52. Valore di reazione vincolare di riferimento – Livello banchina	136

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 Parametri geotecnici	17
Tabella 2 Parametri colonne Jet grouting	17
Tabella 3 Livelli di falda	17
Tabella 4 Probabilità di superamento PVR con SLV	19
Tabella 5 Parametri sismici del sito	20
Tabella 6 Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni (Tab. 6.2.I)	21
Tabella 7 Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno (Tab. 6.2.II)	21
Tabella 8 Coefficienti parziali per le verifiche agli stati limite ultimi STR e GEO di muri di sostegno (Tab. 6.5.I)	21
Tabella 9 Parametri input elementi strutturali	24
Tabella 10 Carichi superficiali	25
Tabella 11 Parametri input azione sismica	27
Tabella 12 Parametri input azione sismica	28


 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico - Rebaudengo Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A1DSTRSRBR001-0-1

Tabella 13 Fasi di calcolo Sezione AA	30
Tabella 14 Fasi di calcolo Sezione BB	37
Tabella 15 Sollecitazioni pali sezione AA (Inviluppo senza effetti sismici)	49
Tabella 16 Sollecitazioni pali sezione AA (Inviluppo con effetti sismici)	49
Tabella 17 Sollecitazioni paratia sezione BB	51
Tabella 18 Armatura longitudinale palo	55
Tabella 19 Armature longitudinali paratia	55
Tabella 20 Verifica SLU flessione Sezione Pali A-1	57
Tabella 21 Verifica SLU flessione Sezione B-1- Prima Gabbia	59
Tabella 22 Verifica SLU flessione Sezione B-2- Seconda Gabbia	60
Tabella 23 Verifica SLU flessione Sezione B-3- Terza Gabbia	61
Tabella 24 Sezione A-A Verifica SLU – Taglio Pali – Sezione A-1	64
Tabella 25 Sezione A-A Verifica SLU – Taglio – Sezione A-2	65
Tabella 26 Verifica SLU – Taglio – Sezione B-1	67
Tabella 27 Verifica SLU – Taglio – Sezione B-2	69
Tabella 28 Verifica SLE –Sezione B-1-Prima Gabbia	72
Tabella 29 Verifica SLE –Sezione B-2-Seconda Gabbia	73
Tabella 30 Verifica SLE –Sezione B-3 -Terza Gabbia	74
Tabella 31 Verifica tampone di fondo	76
Tabella 32 Verifica capacità portante barrette	85
Tabella 33 Verifica capacità portante paratia	86
Tabella 34 Diaframmi – Verifica SLU flessione - Sezione ridotta -Piano Atrio	132
Tabella 35 Diaframmi – Verifica SLU Sollecitazioni taglianti – Sezione ridotta	134
Tabella 36 Resistenza di progetto HIT-HY 200 con rottura fragile per barre corrugate in calcestruzzo	136



1. PREMESSA

La presente relazione si inserisce nell'ambito dell'affidamento dei servizi di ingegneria relativi alla Progettazione Definitiva della Tratta Politecnico-Rebaudengo della Linea 2 della Metropolitana, disciplinato dal Contratto tra la Città di Torino e la società Infratrasporti.TO s.r.l., ed ha per oggetto le fasi realizzative, le analisi strutturali, geotecniche e le verifiche relative alle opere di sostegno della Stazione Rebaudengo.

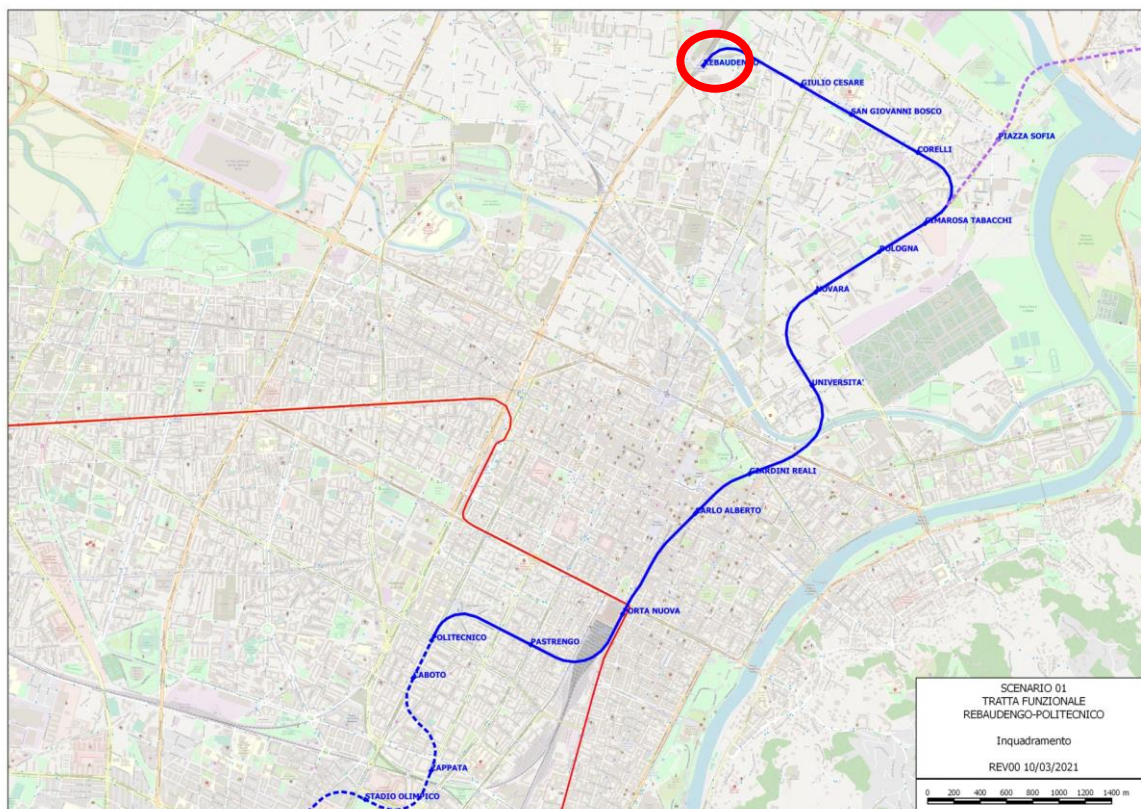


Figura 1. Key-plan della linea 2 – tratta funzionale Politecnico-Rebaudengo



CITTA' DI TORINO

Metropolitana di Torino - Linea 2
Tratta: Politecnico - Rebaudengo
Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna

Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere
di sostegno stazione

MTL2T1A1DSTRSRBR001-0-1

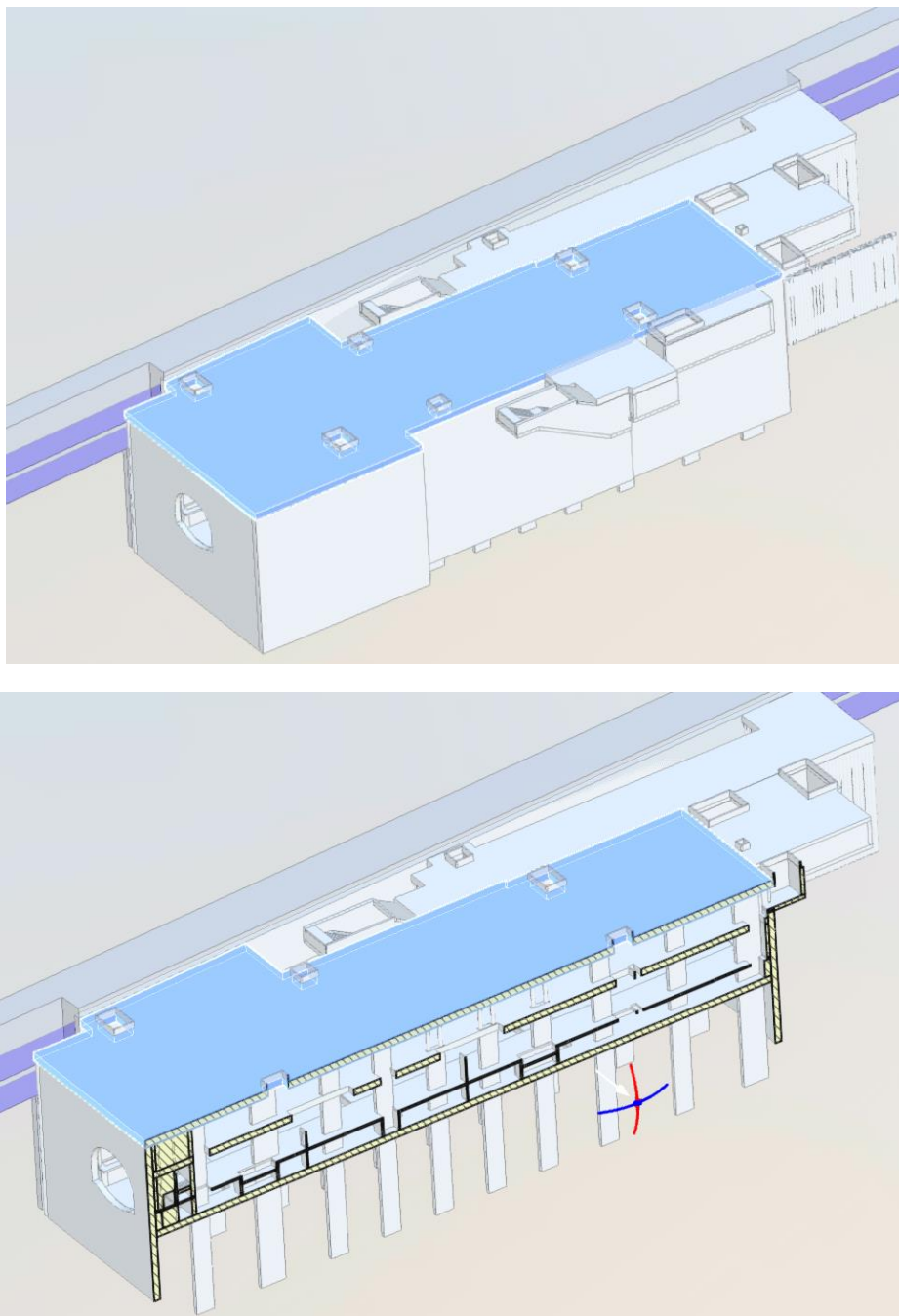



Figura 2. Modello 3d – Stazione Rebaudengo

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico - Rebaudengo Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A1DSTRSRBR001-0-1

La nuova stazione Rebaudengo della Linea 2 della Metropolitana di Torino si prevede in adiacenza alla esistente stazione ferroviaria, senza interferire con la stessa e realizzando una corrispondenza diretta fra le due strutture mediante un tronchino di accesso.

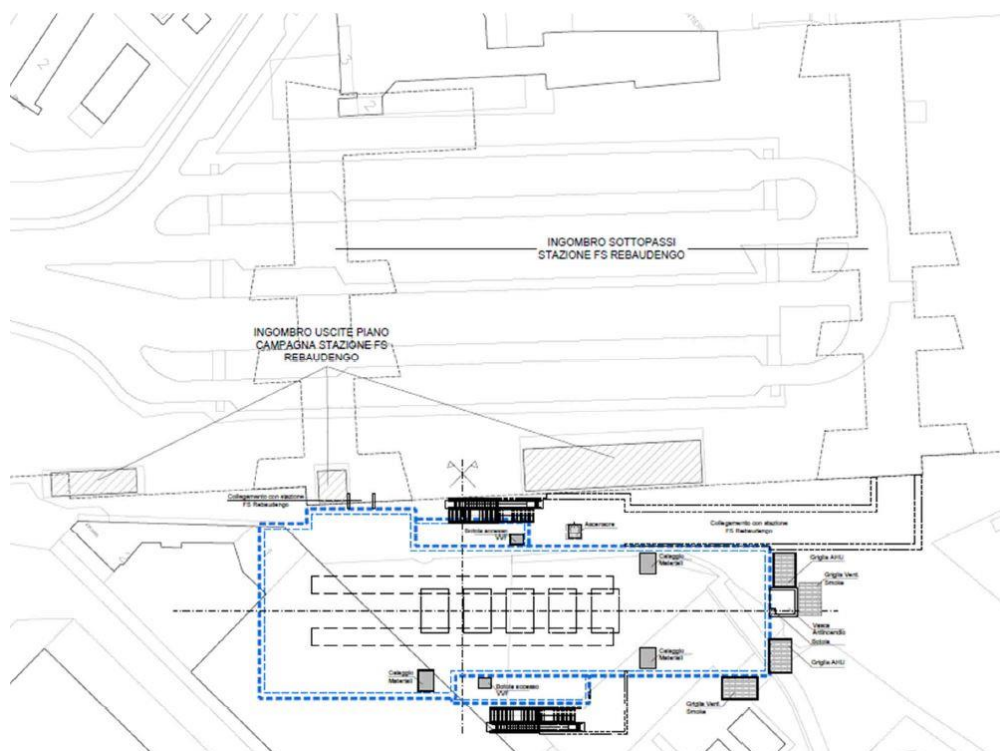



Figura 3. Layout generale della stazione FS esistente e della connessione con la stazione metro

Nella relazione di calcolo MTL2T1A1DSTRSRBR003 sono riportati i calcoli geotecnici e strutturali relativi alla connessione tra le due stazioni e nella tavola MTL2T1A1DSTRSRBT001.3 sono indicate le fasi costruttive del collegamento.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico - Rebaudengo Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A1DSTRSRBR001-0-1

1.1 Scopo e campo di applicazione

In questa relazione vengono dimensionati soltanto i diaframmi, infatti sebbene inserite nei modelli di calcolo, le verifiche relative alle solette di copertura, intermedia e di base nonché dei setti permanenti (kingpost) vengono riportate nella relazione relativa alle strutture interne (MTL2T1A1DSTRSRBR002) in quanto i carichi dimensionanti per tali strutture sono quelli a lungo termine.

1.2 Descrizione delle opere


La stazione Rebaudengo è un manufatto interrato a due livelli, con fondo scavo posto alla profondità di circa -17 m rispetto al piano campagna. Al suo interno troviamo un solettone di fondo di spessore pari a 1.0 m, un livello quota banchina, un solaio a quota atrio e una copertura il cui estradosso è pari a -1.00 m rispetto al piano campagna.

La stazione verrà realizzata attraverso la tecnologia esecutiva di tipo top-down caratterizzata da uno scavo sostenuto da diaframmi contrastati da solai permanenti. I diaframmi presentano spessore di 1.0 m ed un immorsamento al di sotto del fondo scavo di 10.0 m. La stabilità del fondo scavo è garantita da un tampone di fondo realizzato mediante colonne in Jet Grouting. Data la luce della stazione verranno anticipati in concomitanza alla realizzazione dei diaframmi anche i setti permanenti interni che fungeranno, fin dalle fasi costruttive, da sostegno alle solette di copertura ed intermedia.

Il sistema di costruzione dei diaframmi in calcestruzzo armato consiste nel realizzare prima i primari e poi i secondari con una sovrapposizione compresa tra i 10 e i 30cm. In relazione a tale tecnica esecutiva, anche le gabbie di armatura saranno calibrate per prevedere la sovrapposizione dei diaframmi secondari sui primari. L'esecuzione delle paratie è preceduta dalla costruzione di coree guida che seguono il tracciato.

Il collegamento tra il solaio e le paratie è realizzato per mezzo di tasche d'appoggio rettangolari, realizzate grazie all'inserimento di scatole metalliche, già assemblate nelle gabbie d'armatura dei diaframmi.


Il corpo stazione è posto, per alcuni tratti, in adiacenza al manufatto interrato che costituisce l'accesso ed il collegamento tra l'attuale stazione FS e la stazione in progetto. In tale area vista la vicinanza delle due strutture le opere di sostegno saranno realizzate, anziché con diaframmi, mediante pali secanti aventi diametro 1000 mm e spaziatura 600 mm. La stessa tecnica sarà utilizzata per le opere di sostegno dell'accesso e del corridoio di collegamento posto sul lato nord.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico - Rebaudengo Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A1DSTRSRBR001-0-1

2. NORMATIVE DI RIFERIMENTO

La progettazione è stata realizzata facendo riferimento alle Normative Nazionali sottoelencate:

1. Legge n°1086 del 05/11/1971: "Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica"
2. DM 17 gennaio 2018: Aggiornamento delle "Norme Tecniche per le costruzioni" (GU n.42 del 20/02/2018);
3. Circolare 21 gennaio 2019 n.7: Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"»
4. D.M. 21/10/2015: "Approvazione della regola tecnica di prevenzione incendi per la progettazione, costruzione ed esercizio delle metropolitane";
5. D.M. 16/02/2007 – Classificazione di resistenza al fuoco di prodotti ed elementi costruttivi di opere da costruzione.
6. UNI 9502-2001: "Procedimento analitico per valutare la resistenza al fuoco degli elementi costruttivi di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso".
7. UNI 9503-2007: "Procedimento analitico per valutare la resistenza al fuoco degli elementi costruttivi in acciaio".
8. UNI EN 206-1:2016, "Calcestruzzo – Parte 1: specificazione, prestazione, produzione e conformità".
9. UNI 11104-2016, "Calcestruzzo – Parte 1: specificazione, prestazione, produzione e conformità - Istruzioni complementari per l'applicazione della EN 206-1".
10. Legge 2 febbraio 1974, n. 64: "Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche"
11. D.G.R. 30 Dicembre 2019, n. 6-887: "Presa d'atto e approvazione dell'aggiornamento della classificazione sismica del territorio della Regione Piemonte"

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico - Rebaudengo Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A1DSTRSRBR001-0-1

12. D.G.R. 26 Novembre 2021, n. 10-4161: "Approvazione delle nuove procedure di semplificazione attuative di gestione e controllo delle attività urbanistico-edilizie ai fini della prevenzione del rischio sismico".

Quando necessario, saranno altresì assunti a riferimento i Codici Normativi Europei elencati di seguito:

Eurocode 0 - Basis of structural design

- EN 1990 Basis of structural design.

Eurocode 1 - Actions on structures


- EN 1991-1-1 Part 1-1: General actions - Densities, self-weight, imposed loads for buildings
- EN 1991-1-2 Part 1-2: General actions - Actions on structures exposed to fire.
- EN 1991-1-3 Part 1-3: General actions - Snow loads.
- EN 1991-1-4 Part 1-4: General actions - Wind actions.
- EN 1991-1-5 Part 1-5: General actions – Thermal actions.
- EN 1991-1-6 Part 1-6: General actions - Actions during execution.
- EN 1991-1-7 Part 1-7: General actions – Accidental Actions.
- EN 1991-2 Part 2: Traffic loads on bridges.
- EN 1991-3 Part 3: Actions induced by cranes and Machinery.
- EN 1991-4 Part 4: Silos and tanks.

Eurocode 2 - Design of concrete structures

- EN 1992-1-1 Part 1-1: General rules and rules for Buildings.
- EN 1992-1-2 Part 1-2: General rules - Structural fire Design.
- EN 1992-3 Part 3: Liquid retaining and containment Structures.

Eurocode 3 - Design of steel structures

- EN 1993-1-1 Part 1-1: General rules and rules for Buildings
- EN 1993-1-2 Part 1-2: General rules Structural fire design
- EN 1993-1-3 Part 1-3: General rules – Supplementary rules for cold-formed members and sheeting
- EN 1993-1-4 Part 1-4: General rules – Supplementary rules for stainless steels
- EN 1993-1-5 Part 1-5: Plated structural elements
- EN 1993-1-6 Part 1-6: Strength and Stability of Shell Structures
- EN 1993-1-7 Part 1-7: Plated structures subject to out of plane loading
- EN 1993-1-8 Part 1-8: Design of joints

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico - Rebaudengo Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A1DSTRSRBR001-0-1

- EN 1993-1-9 Part 1-9: Fatigue
- EN 1993-1-10 Part 1-10: Material Toughness and through-thickness properties
- EN 1993-1-11 Part 1-11: Design of structures with tension components
- EN 1993-1-12 Part 1-12: Additional rules for the extension of EN 1993 up to steel grades S 700
- EN 1993-2 Part 2: Steel Bridges
- EN 1993-3-1 Part 3-1: Towers, masts and chimneys -Towers and masts
- EN 1993-3-2 Part 3-2: Towers, masts and chimneys – Chimneys
- EN 1993-4-1 Part 4-1: Silos
- EN 1993-4-2 Part 4-2: Tanks
- EN 1993-4-3 Part 4-3: Pipelines
- EN 1993-5 Part 5: Piling
- EN 1993-6 Part 6: Crane supporting structures

Eurocode 4 - Design of composite steel and concrete structures


- EN 1994-1-1 Part 1-1: General rules and rules for Buildings
- EN 1994-1-2 Part 1-2: General rules - Structural Fire Design
- EN 1994-2 Part 2: General rules and rules for bridges

Eurocode 7 - Geotechnical design

- EN 1997-1 Part 1: General rules
- EN 1997-2 Part 2: Ground investigation and testing
- EN 1997-3 Part 3: Design assisted by field testing

Eurocode 8 – Design of structures for earthquake resistance

- EN 1998-1 Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings
- EN 1998-2 Part 2: Bridges
- EN 1998-3 Part 3: Assessment of retrofitting of buildings
- EN 1998-4 Part 4: Silos, tanks and pipelines
- EN 1998-5 Part 5: Foundations, retaining structures and geotechnical aspects
- EN 1998-6 Part 6: Towers, masts and chimneys

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico - Rebaudengo Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A1DSTRSRBR001-0-1

3. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI


3.1 Calcestruzzi

3.1.1 Calcestruzzo utilizzato per i solai di stazione e strutture interne

Tipo:	C30/37
Modulo di deformazione:	$E_c=32000$ MPa
Resistenza caratteristica cubica:	$R_{ck}=37$ MPa
Resistenza caratteristica cilindrica:	$f_{ck}=30$ MPa
Peso per unità di volume:	$Y=25$ KN/m ³
Classe di Esposizione	<i>XC3 (Calcestruzzo all'interno di edifici con umidità dell'aria moderata oppure elevata / Calcestruzzo esposto all'esterno protetto dalla pioggia)</i>

3.1.2 Calcestruzzo utilizzato per diaframmi

Tipo:	C25/30
Modulo di deformazione:	$E_c=30000$ MPa
Resistenza caratteristica cubica:	$R_{ck}=30$ MPa
Resistenza caratteristica cilindrica:	$f_{ck}=25$ MPa
Peso per unità di volume:	$Y=25$ KN/m ³
Classe di Esposizione	<i>XC2 (Superfici di calcestruzzo a contatto con acqua per lungo tempo / Molte fondazioni)</i>
Classe di consistenza	S3
Diametro massimo aggregati	25mm

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico - Rebaudengo Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A1DSTRSRBR001-0-1

3.1.3 Calcestruzzo utilizzato per pali

Tipo: C25/30

Modulo di deformazione: $E_c=30000$ MPa

Resistenza caratteristica cubica: $R_{ck}=30$ MPa

Resistenza caratteristica cilindrica: $f_{ck}=25$ MPa

Peso per unità di volume: $Y=25$ KN/m³

Classe di Esposizione *XC2 (Superfici di calcestruzzo a contatto con acqua per lungo tempo / Molte fondazioni)*

Classe di consistenza *S5/SCC*

Diametro massimo aggregati 16mm

3.2 Acciai per armature in c.a.

Tipo B450C saldabile (ex FeB44K saldabile), per diametri compresi tra 6 e 40 mm:

$f_{y\text{nom}}=450$ MPa

$f_{t\text{nom}} = 540$ MPa

$f_{yk} \geq f_{y\text{nom}}$ frattile 5%

$f_{tk} \geq f_{t\text{nom}}$ frattile 5%


$1.15 \leq (f_t/f_y)_k \leq 1.35$ frattile 10%

$(f_y/f_{y\text{nom}})_k \leq 1.25$ frattile 10%

Allungamento $(A_{gt})_k \geq 7.5\%$ frattile 10%

Reti e tralicci elettrosaldati:

$f_{yk} \geq 450$ MPa

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico - Rebaudengo Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A1DSTRSRBR001-0-1

$$f_{tk} \geq 540 \text{ MPa}$$

$$(f_{tk}/f_{yk}) \geq 1.10$$

3.3 Acciaio per carpenteria metallica

Tipo:	S355 J0	
	$t \leq 40 \text{ mm}$	$40 \text{ mm} < t \leq 80 \text{ mm}$
Modulo di deformazione:	$E_c = 210 \text{ GPa}$	$E_c = 210 \text{ GPa}$
Resistenza a snervamento caratteristica:	$f_{yk} = 355 \text{ MPa}$	$f_{yk} = 335 \text{ MPa}$
Resistenza a snervamento di progetto:	$f_{yd} = 338 \text{ MPa}$	$f_{yd} = 319 \text{ MPa}$
Resistenza a rottura caratteristica:	$f_{yk} = 510 \text{ MPa}$	$f_{yk} = 470 \text{ MPa}$
Peso per unità di volume:	$\gamma = 78 \text{ KN/m}^3$	$\gamma = 78 \text{ KN/m}^3$

4. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Con riferimento alla nomenclatura utilizzata nella relazione geologica MTL2T1A0DGEOGENTO002, alla quale si rimanda per approfondimenti, la successione stratigrafica della stazione in oggetto può essere rappresentata dalle seguenti unità geologiche caratteristiche, dall'alto verso il basso (si veda Figura 4):

- Unità 1 (Unità geologica UID), costituito da terreno di riporto o materiale rimaneggiato, con inclusi elementi di laterizio;
- Unità 2, 3 e 4 (Unità geologiche AFR e INS), costituita da ghiaie eterometriche da fini a grosse, contenenti clasti poligenici, con intercalazioni centimetriche di sabbie fini, e ghiaie eterometriche da fini a grosse, con alterazione diffusa, di colore rossastro;

SEZIONE TRASVERSALE - STAZIONE REBAUDENGO - Scala 1:200

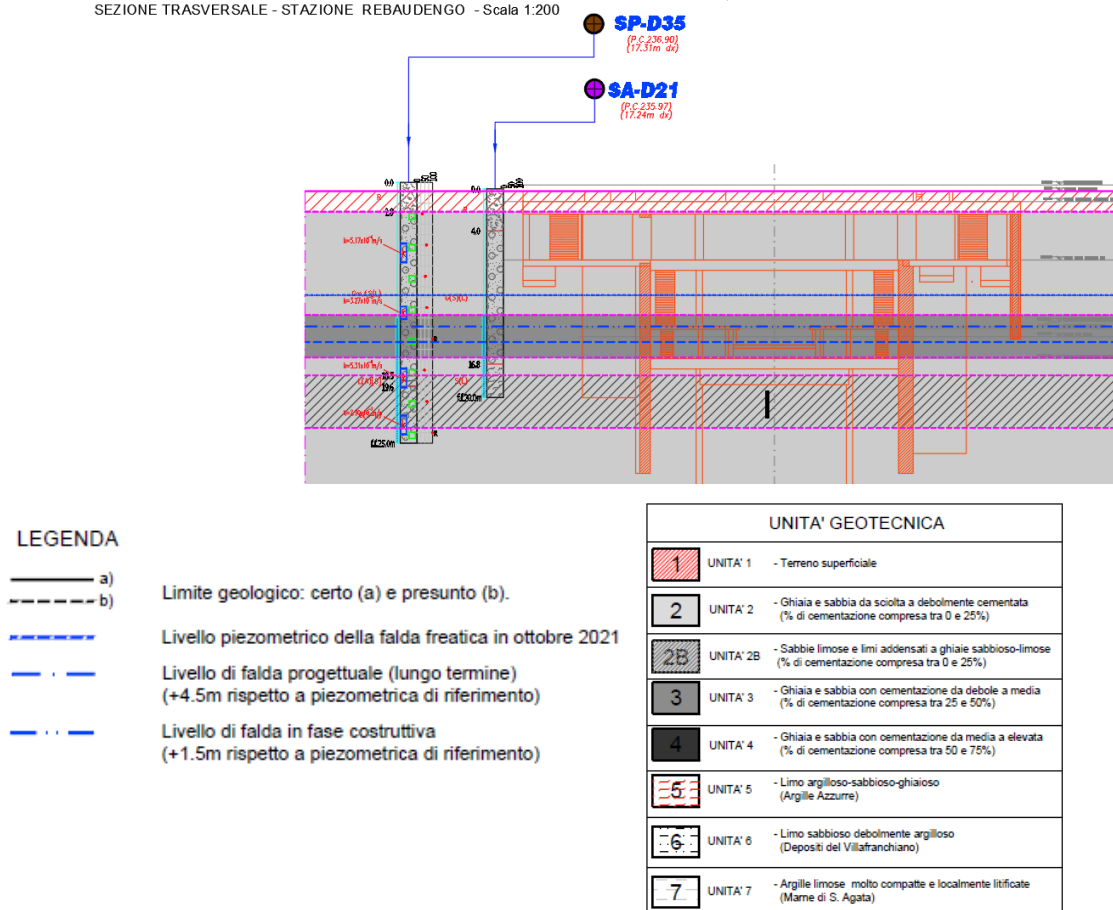



Figura 4. Stralcio stratigrafia stazione Rebaudengo

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico - Rebaudengo Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A1DSTRSRBR001-0-1

In via conservativa le Unità' AFR/INS sono state caratterizzate in accordo alle indicazioni relative alla unità' geologica denominata Unità' 2. I parametri geotecnici utilizzati sono riportati nella seguente tabella:

Tabella 1 Parametri geotecnici

Stratigrafia e Parametri geotecnici						
Unità geotecnica	Z da p.c	γ	φ	c	Ev	v
	[m]	[kN/m ³]	[°]	[kPa]	[Mpa]	[-]
U1 (Terreno superficiale)	0 a -2.5	19	29	0	10	0,3
U2 (Ghiaie e sabbie)	>-2.5	19	36	10	150	0,3

I parametri utilizzati per la modellazione delle colonne di Jet grouting costituenti il tampone di fondo sono riassunti nella seguente tabella:

Tabella 2 Parametri colonne Jet grouting


Parametri JG					
γ	φ	c	UCS	E	v
[kN/m ³]	[°]	[kPa]	[kPa]	[MPa]	[-]
22	36	150	590	450	0,3


Il livello della falda considerato è distinto per condizioni di breve periodo e lungo periodo:

Tabella 3 Livelli di falda

	m da p.c	m.s.l.m
Livello piezometrico (MTL2T1A0DGEOSRBT001)	-14.5	+221
Livello piezometrico 2018 da p.c.	-13.5	+222
B T (+1.5 da livello piezometrico di riferimento) - Fase costruttiva	-12.0	+223.5
L T (+3 da breve termine) – Fase di lungo termine	-9.0	+226.5

Il livello di falda utilizzato per le analisi corrisponde ai dati del 2018, che rispetto alle letture estratte nel 2021 e relative indicazioni MTL2T1A0DGEOSRBT001, presentano condizioni più sfavorevoli.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico - Rebaudengo Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A1DSTRSRBR001-0-1

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico - Rebaudengo Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A1DSTRSRBR001-0-1

5. PRINCIPALI ASSUNZIONI DELLA PROGETTAZIONE

5.1 Caratterizzazione sismica

Secondo quanto prescritto dal D.M. 17 Gennaio 2018, ai fini delle verifiche di sicurezza delle strutture devono essere definiti i seguenti parametri:

- Vita nominale dell'opera: intesa come il numero di anni nei quali la struttura deve poter essere utilizzata per lo scopo al quale è stata destinata senza necessita di manutenzioni. Per l'opera oggetto di questo elaborato si considera una vita nominale $V_N=100$ anni;
- Classe d'uso: in presenza di azioni sismiche, in relazione alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi $z < d'uso$. Nel caso in esame si fa riferimento alla classe d'uso III (coefficiente pari a 1.5);
- Periodo di riferimento per l'azione sismica: viene definito come il prodotto tra la vita nominale ed il coefficiente d'uso. Per il caso in esame il periodo di riferimento è di 150 anni.

A partire dalla posizione sul territorio nazionale dell'opera, e in dipendenza dei parametri su descritti, vengono definiti i parametri sismici necessari per le verifiche:

- *Vita nominale dell'opera (V_N):* nel caso delle stazioni è di **100 anni**;
- *Classe d'uso (C_U):* In caso di costruzioni che prevedono affollamenti significativi **la classe è III**, a cui è associato un coefficiente di 1.5;
- *Periodo di riferimento (V_R):* prodotto tra la vita nominale e la classe d'uso ed è pari a **150 anni**.
- *Periodo di ritorno (T_R):* $T_R = V_R / \ln(1-P_{VR})$, considerando P_{VR} la probabilità di superamento nel periodo di riferimento e considerando la condizione SLV, ovvero lo stato limite di salvaguardia della vita.
-

Tabella 4 Probabilità di superamento PVR con SLV

VN	Cu	VR	PVR	TR
[anni]	-	[anni]	-	[anni]
100	1.5	150	10%	1424

In relazione al tempo di ritorno e alla probabilità di superamento dello stato limite considerato è possibile dedurre i parametri di accelerazione massima (a_g) e i parametri spettrali (F_0, T^*c).


 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico - Rebaudengo Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A1DSTRSRBR001-0-1

Tabella 5 Parametri sismici del sito

Stazione	ag	F0	T*c
	[g]	-	[sec]
REBAUDENGO	0.067	2.890	0.292

Vi saranno effetti amplificativi dovuti alla stratigrafia ed alla topografia del suolo, tenuti in conto con i seguenti coefficienti:

- *Coefficiente topografico (S_T):* per superfici pianeggianti è considerato pari a **1**.
- *Coefficiente stratigrafico (S_S):* Per sottosuolo di categoria B è considerato pari a **1.2**.

Di conseguenza il valore dell'accelerazione orizzontale massima in superficie è:

$$a_{max} / g = S_S \cdot S_T \cdot a_g / g = 1.2 \cdot 1 \cdot 0.067 = 0.0804$$

5.2 Combinazioni di carico

In accordo con le NTC2018 le combinazioni di carico considerate e verificate nel seguito sono:

- | | |
|---------------------------------------------------------|-----------|
| • Stato limite di servizio | SLE |
| • Stato limite ultimo verifiche STR: Combinazione A1+M1 | SLU1 |
| • Stato limite ultimo verifiche GEO: Combinazione A2+M2 | SLU2 |
| • Sisma verifiche STR: Combinazione A1 (unitari)+M1 | SISMA STR |
| • Sisma verifiche GEO: Combinazione A2 (unitari)+M2 | SISMA GEO |

A seconda della verifica che si intende effettuare, verranno utilizzati coefficienti che riducono i parametri meccanici di resistenza del terreno o coefficienti che amplificano gli effetti delle azioni.

In particolare, sono stati considerati i seguenti coefficienti per le verifiche:


 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico - Rebaudengo Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A1DSTRSRBR001-0-1

Tabella 6 Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni (Tab. 6.2.I)

		Coefficiente γ_F	EQU	A1 STR	A2 GEO
Carichi permanenti	favorevoli	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali ⁽¹⁾	favorevoli	γ_{G2}	0,0	0,0	0,0
	sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Carichi variabili	favorevoli	γ_{Qi}	0,0	0,0	0,0
	sfavorevoli		1,5	1,5	1,3


⁽¹⁾Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare per essi gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

Tabella 7 Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno (Tab. 6.2.II)

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE γ_M	(M1)	(M2)
<i>Tangente dell'angolo di resistenza al taglio</i>	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
<i>Coesione efficace</i>	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
<i>Resistenza non drenata</i>	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
<i>Peso dell'unità di volume</i>	γ	γ_Y	1,0	1,0

Tabella 8 Coefficienti parziali per le verifiche agli stati limite ultimi STR e GEO di muri di sostegno (Tab. 6.5.I)

VERIFICA	COEFFICIENTE PARZIALE (R1)	COEFFICIENTE PARZIALE (R2)	COEFFICIENTE PARZIALE (R3)
Capacità portante della fondazione	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,4$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,1$
Resistenza del terreno a valle	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,4$

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico - Rebaudengo Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A1DSTRSRBR001-0-1

5.3 Criteri della modellazione numerica

La modellazione numerica viene effettuata con il software bidimensionale agli elementi finiti Plaxis 2D, che permette la simulazione dell'interazione terreno-struttura, delle fasi costruttive e del comportamento non lineare del terreno durante le sequenze di scavo.

I modelli di calcolo sono stati generati con una maglia di elementi triangolari a 15 nodi impostando la posizione dei bordi in maniera tale che nessun disturbo venga indotto alla soluzione numerica.

Tutte le strutture sono state modellate mediante elementi già implementati nella libreria del software. Si è utilizzato:

- per i diaframmi: elementi "plate"
- per i pali: elementi "plate"
- per le solette: elementi "plate" (vincolate con cerniera ai diaframmi)
- per le barrette: elementi "plate";

Attraverso l'analisi numerica si intende simulare il percorso delle tensioni e delle deformazioni nel terreno conseguente allo scavo. La condizione geostatica è stata inizializzata ipotizzando un coefficiente di spinta a riposo K_0 ottenuto attraverso la relazione di Jaky:

$$k_0 = 1 - \text{sen}\varphi'$$

Per il terreno è stato considerato il modello costitutivo elasto-plastico tipo "Mohr Coulomb".

5.3.1 Geometria del modello numerico

Il modello geometrico e' mostrato nella figura seguente e deriva dalla definizione della geometria della sezione considerata in termini di configurazione delle strutture della stazione e delle condizioni geologiche considerate.

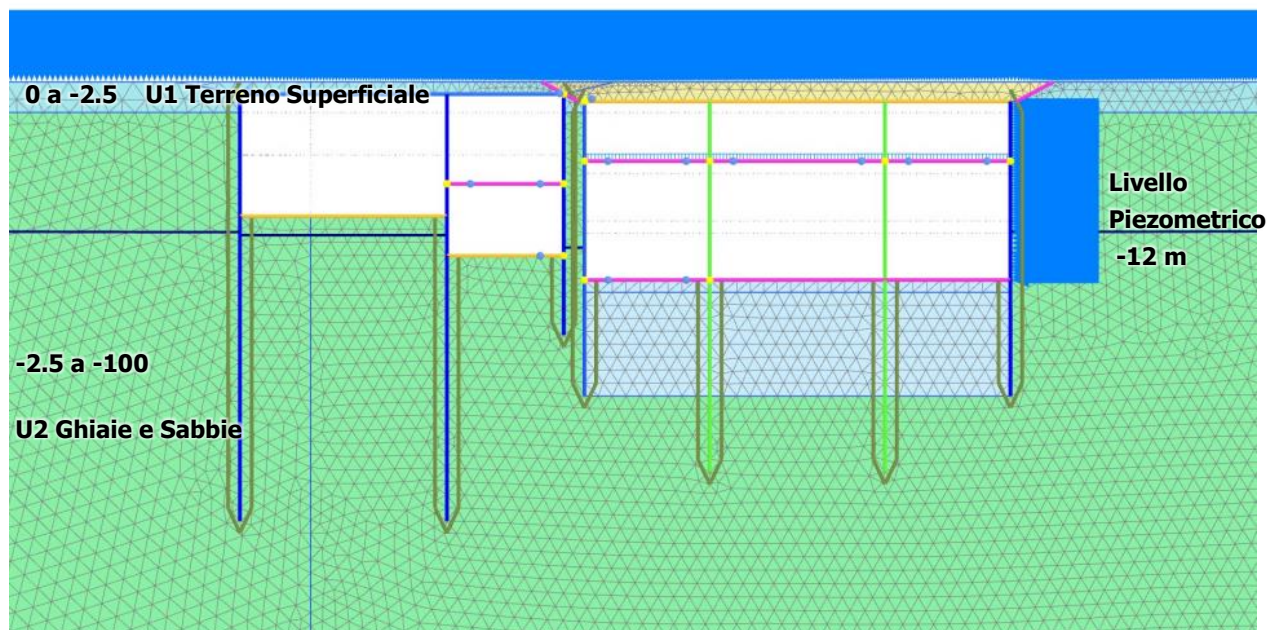



Figura 5. Sezione di calcolo- Stazione Rebaudengo

La geometria delle sezioni considerate è generata a partire dalle distanze asse-asse ed è la seguente:

Elemento	Z [m]
Quota piano campagna	0,00
Soletta di copertura	-1,60
Soletta intermedia	-7,10
Soletta di base	-16,55
Piede paratia	-27,05
Piede king post	-33,05

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico - Rebaudengo Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A1DSTRSRBR001-0-1

5.3.2 Elementi strutturali

La modellazione degli elementi strutturali è stata effettuata tramite l'utilizzo di elementi plate la cui rigidezza è stata valutata per metro di sviluppo del modello.

Per gli elementi quali i king post caratterizzati da una spaziatura nel piano ortogonale alla sezione di analisi le rigidezze assiali e flessionali sono state valutate come segue:

$$(EA)_{Eq} [kN/m] = (EA)/i$$

$$(EI)_{Eq} [kNm^2/m] = (EI)/i$$

I parametri utilizzati nel modello FEM per gli elementi strutturali sono riportati nelle tabelle di seguito.


Tabella 9 Parametri input elementi strutturali

Paratia H=100 cm		
EA	31,00E+6	kN/m
EI	2,580E+6	kNm ² /m

Pali secanti D=100 cm s=60 cm		
EA	31,8E+6	kN/m
EI	1,61E+6	kNm ² /m

King post 280 x 60 cm		
EA	6,130E+6	kN/m
EI	184,0E+3	kNm ² /m

Soletta di copertura H=120 cm		
EA	38,40E+6	kN/m
EI	4,610E+6	kNm ² /m

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico - Rebaudengo Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A1DSTRSRBR001-0-1

Soletta intermedia H=100 cm		
EA	32,00E+6	kN/m
EI	2,670E+6	kNm ² /m

Soletta di base H=100 cm		
EA	32,00E+6	kN/m
EI	2,670E+6	kNm ² /m

5.3.3 Carichi

5.3.3.1 Carichi superficiali

La definizione dei carichi distribuiti e puntuali inseriti nel modello è avvenuta in considerazione delle particolari condizioni di carico peculiari della sezione considerata, come la presenza di edifici in adiacenza al manufatto di stazione.

Tabella 10 Carichi superficiali

Posizione nel modello	Entità del carico	Estensione
Destra/Sinistra	20 kPa	Tutta la superficie

A tale riguardo non essendo nota la quota di imposta del piano di fondazione di tali strutture, a favore di sicurezza si è ritenuto di trascurare la presenza dei piani interrati essendo il peso di volume del terreno maggiore del carico relativo al solaio interrato.

Riguardo l'entità del riempimento della soletta di copertura si è tenuto in conto lo spessore del ricoprimento di progetto incrementato di ulteriori 0,50 m.

5.3.3.2 Azione sismica

L'azione sismica valutata secondo il metodo di Wood (1973), che fornisce la sovrappinta sismica del terreno su una parete interrata.

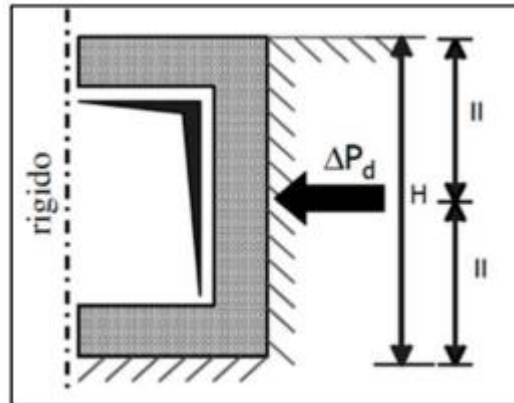


Figura 6. Schematizzazione metodo di Wood

Il metodo di Wood è utilizzato nel caso di manufatti scatolari e l'incremento di spinta legato al sisma può essere stimato secondo la relazione:

$$\Delta P_d = \frac{a_g}{g} \cdot S \cdot \gamma \cdot H^2$$

In cui γ è il peso specifico del terreno supposto uniforme, dove $\frac{a_g}{g}$ è l'accelerazione orizzontale massima in superficie ($\frac{a_{max}}{g}$). Poiché tale risultante ha il punto di applicazione a metà dell'altezza H del muro, è possibile assumere considerare una pressione uniforme di entità pari a:

$$\Delta p_d = \frac{a_g}{g} \cdot S \cdot \gamma \cdot H$$

L'impatto dell'azione sismica viene valutata per una condizione di carico di lungo periodo in cui sono presenti le fodere interne della struttura alle quali è affidata la spinta idrostatica della falda. Pertanto, la paratia è scaricata della spinta dell'acqua e l'azione sismica è ripartita tra la paratia e le fodere interne secondo la relazione:

$$p_{paratia} = P_{Tot} \frac{I_{paratia}}{I_{paratia} + I_{fodera}}$$


$$p_{Fodera} = P_{Tot} \frac{I_{Fodera}}{I_{paratia} + I_{fodera}}$$

L'entità dell'azione sismica applicata al modello numerico è riportata nel seguito.



Tabella 11 Parametri input azione sismica

Calcolo spinta sismica da applicare al modello numerico			
γ_t	=	19,5	kN/mc
H	=	16,25	m
a_g	=	0,067	
S_s	=	1,2	
S_T	=	1	
a_{max}	=	0,0804	
α	=	1,0	
β	=	1,0	
k_h	=	0,0804	
P_{ground}	=	25,48	kPa
$P_{ground\ su\ paratia}$	=	22,65	kPa
Paratia			
Profondità sopra fondo scavo	=	16,25	m
B	=	1000	mm
H	=	1000	mm
I_1	=	8,E+10	mm ⁴
Fodera			
B	=	1000	mm
H	=	500	mm
I_2	=	1,E+10	mm ⁴
I_{tot}	=	9,E+10	mm ⁴
W paratia	=	406,25	kN
P paratia	=	2,01	kPa
P tot	=	24,66	kPa

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico - Rebaudengo Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A1DSTRSRBR001-0-1

Nella tabella seguente vengono riassunti i carichi applicati al modello.

Tabella 12 Parametri input azione sismica

Tipologia carico	Valore	
Peso strutture in calcestruzzo	25	kN/m ³
Sovraccarico superficiale	20	kPa
Carico edifici	10	kPa/piano
Spinta sismica sulla paratia	24.66	kPa



6. ANALISI NUMERICHE

Le analisi numeriche sono condotte seguendo le assunzioni indicate nel capitolo precedente.

Le sezioni ritenute rappresentative delle condizioni geotecniche e strutturali del manufatto sono indicate nella figura di seguito.

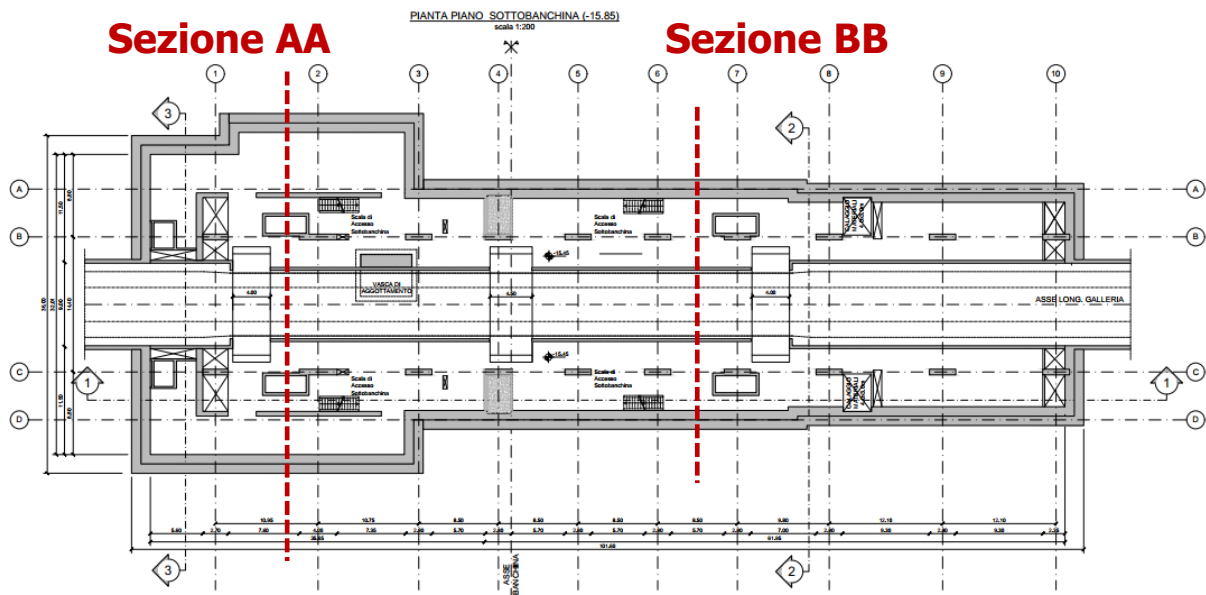


Figura 7. Stralcio planimetria stazione Rebaudengo con indicazione delle sezioni di calcolo

6.1 Fasi di calcolo modello geotecnico

La modellazione numerica dello scavo con paratie puntonate viene effettuata seguendo differenti fasi di calcolo, ciascuna rappresentativa delle fasi costruttive dell'opera. Tale procedimento si rende necessario in quanto in un'analisi FEM in cui il comportamento del terreno è assunto essere di tipo elastoplastico, la risposta del mezzo in termini tensionali e deformativi è influenzata dalla storia tensionale che subisce e pertanto è importante tenere in considerazione le configurazioni precedenti.

Le fasi di calcolo considerate sono riportate nella seguente tabella e nelle successive figure.



CITTA' DI TORINO

Metropolitana di Torino - Linea 2
Tratta: Politecnico - Rebaudengo
Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna

Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione

MTL2T1A1DSTRSRBR001-0-1

Tabella 13 Fasi di calcolo Sezione AA

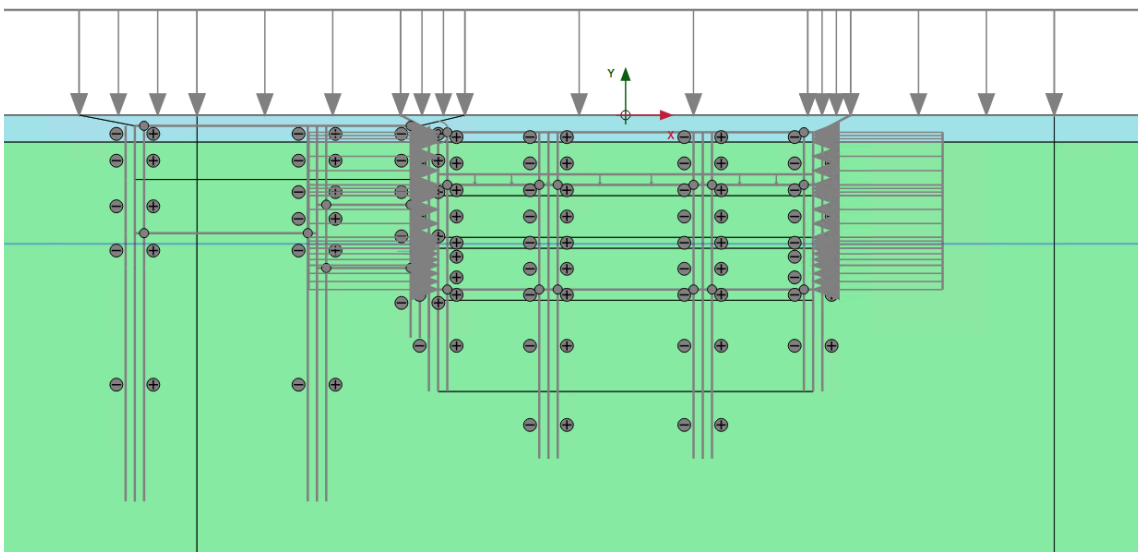
Fase di calcolo	Descrizione
Fase 1	Definizione delle condizioni geostatiche ed idrostatiche
Fase 2	Definizione dei carichi superficiali accidentali e permanenti
Fase 3-5	Simulazione delle fasi di scavo del manufatto interrato FS esistente
Fase 6	Scavo fino a quota intradosso solaio di copertura
Fase 7	Realizzazione tampone di fondo ed installazione diaframmi e king post
Fase 8	Realizzazione del solaio di copertura
Fase 9	Prima fase di scavo
Fase 10	Ripristino delle condizioni al di sopra della soletta di copertura
Fase 11	Scavo fino a quota della soletta intermedia ed abbassamento del livello piezometrico all'interno dello scavo
Fase 12	Installazione soletta intermedia
Fase 13	Scavo fino a fondo scavo ed abbassamento del livello piezometrico all'interno dello scavo
Fase 14	Ricerca del fattore di sicurezza in fase temporanea
Fase 15	Installazione soletta di base
Fase 16	Ripristino delle condizioni idrauliche
Fase 17	Ricerca del fattore di sicurezza di breve periodo
Fase 18	Condizioni di carico di lungo termine – riduzione delle pressioni idrostatiche agenti sulla paratia, e rimozione proprietà meccaniche tampone di fondo e ripristino condizioni iniziali
Fase 19	Applicazione dell'azione sismica
Fase 20	Ricerca del fattore di sicurezza di lungo periodo



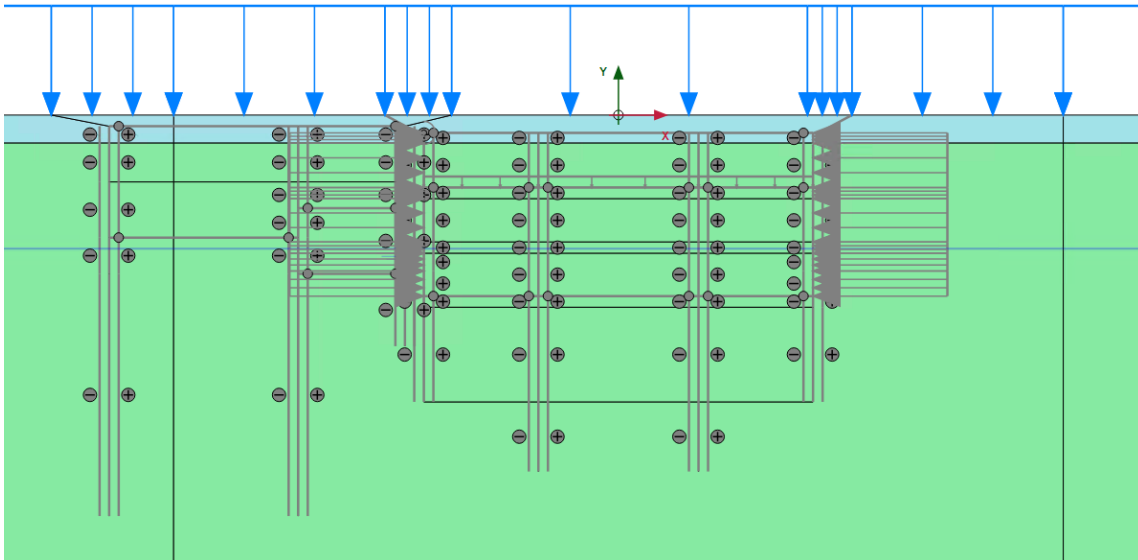
Fase 21

Valutazione della deformabilità a lungo termine a SLE

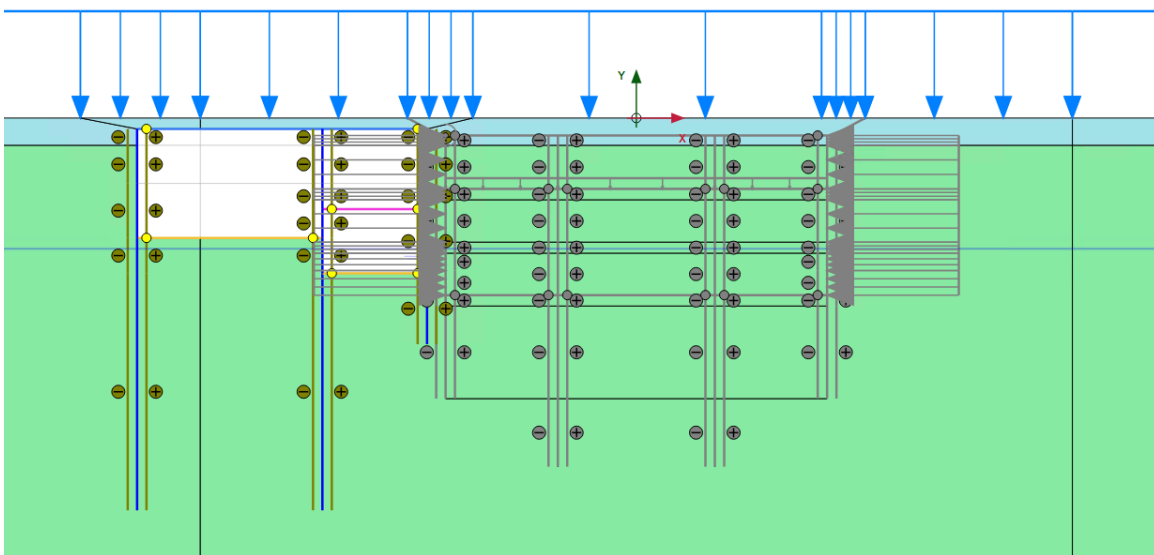
Fase 1 – Condizioni iniziali



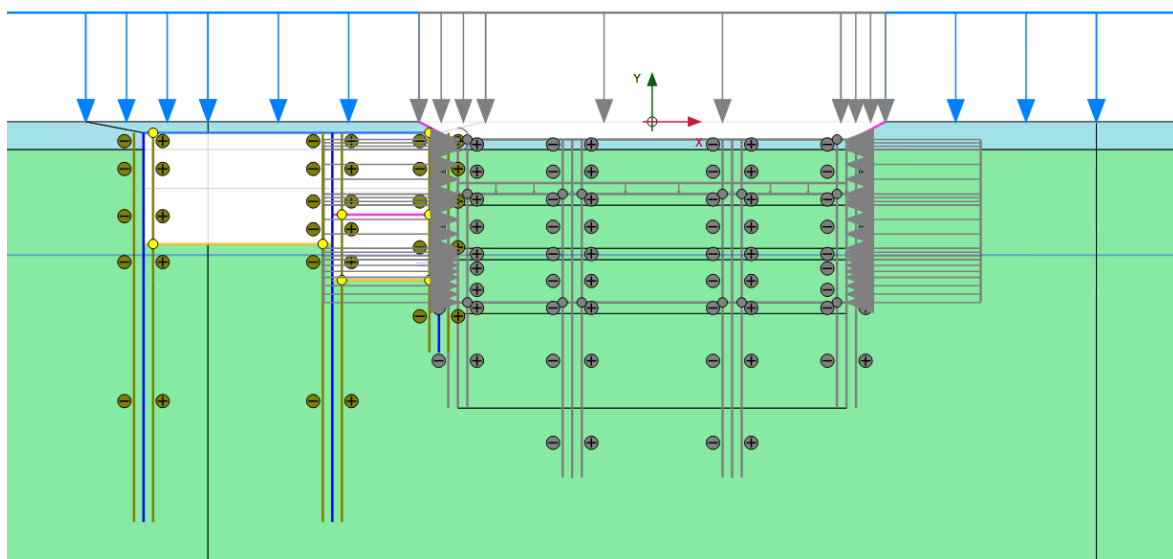
Fase 2 – Applicazione dei carichi superficiali



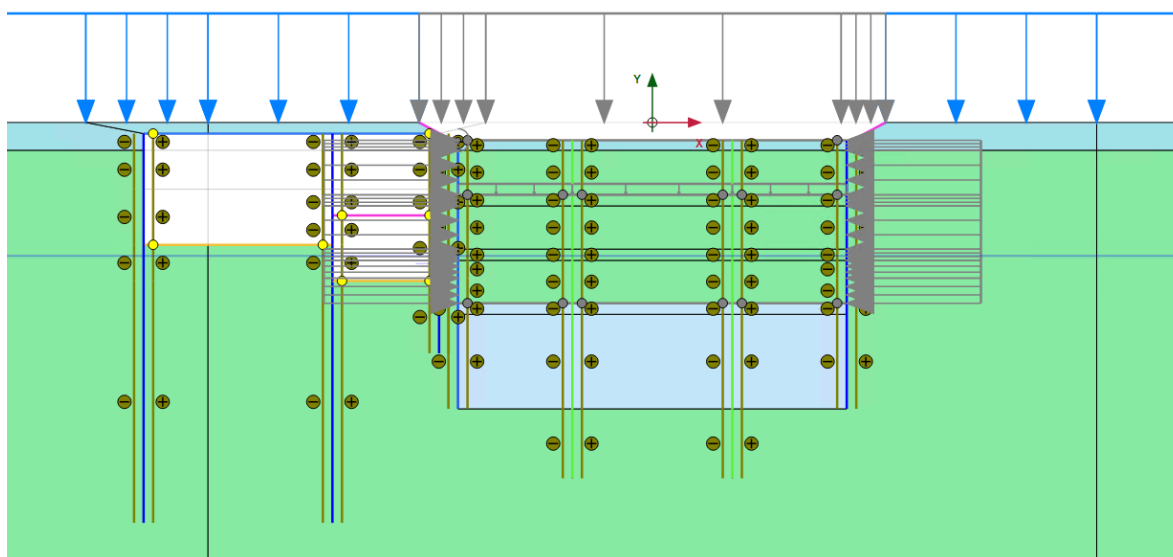
Fase 3-5 – Simulazione delle fasi di scavo del manufatto interrato FS esistente



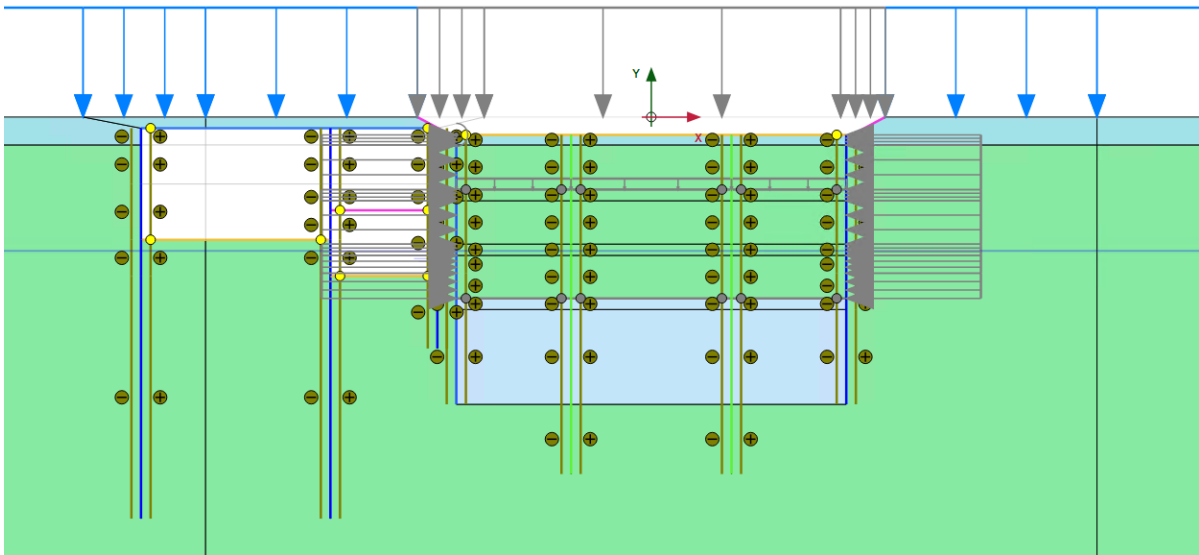
Fase 6 – Scavo fino a quota intradosso copertura



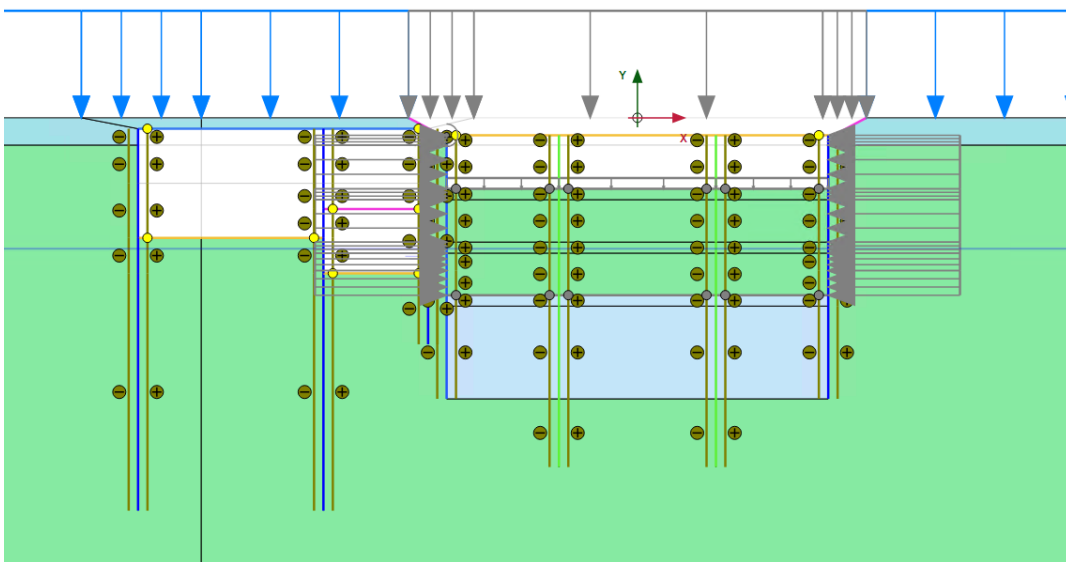
Fase 7 – Installazione diaframmi, king post e tampone di fondo



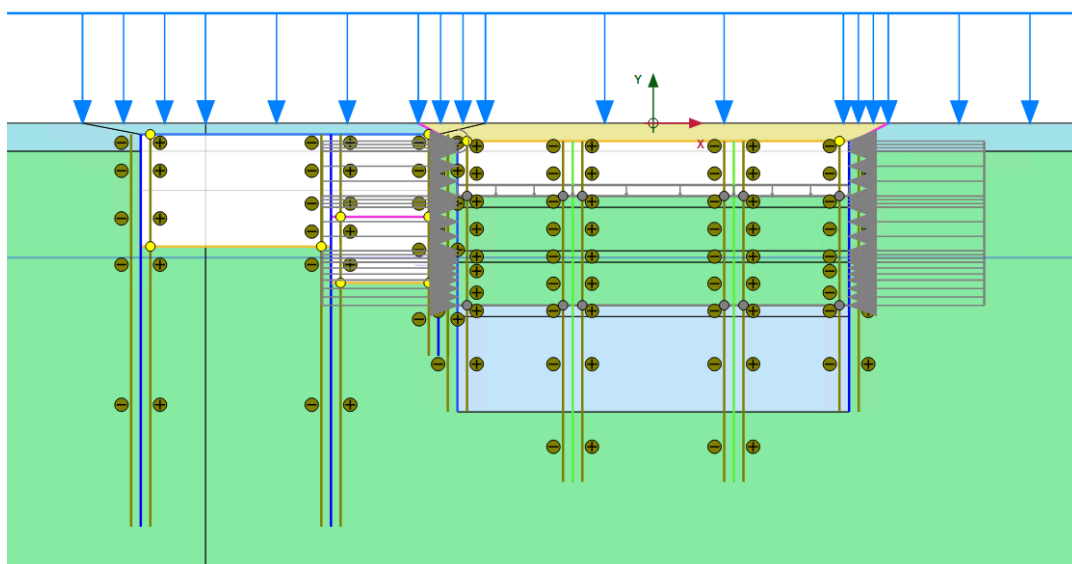
Fase 8 – Installazione soletta di copertura



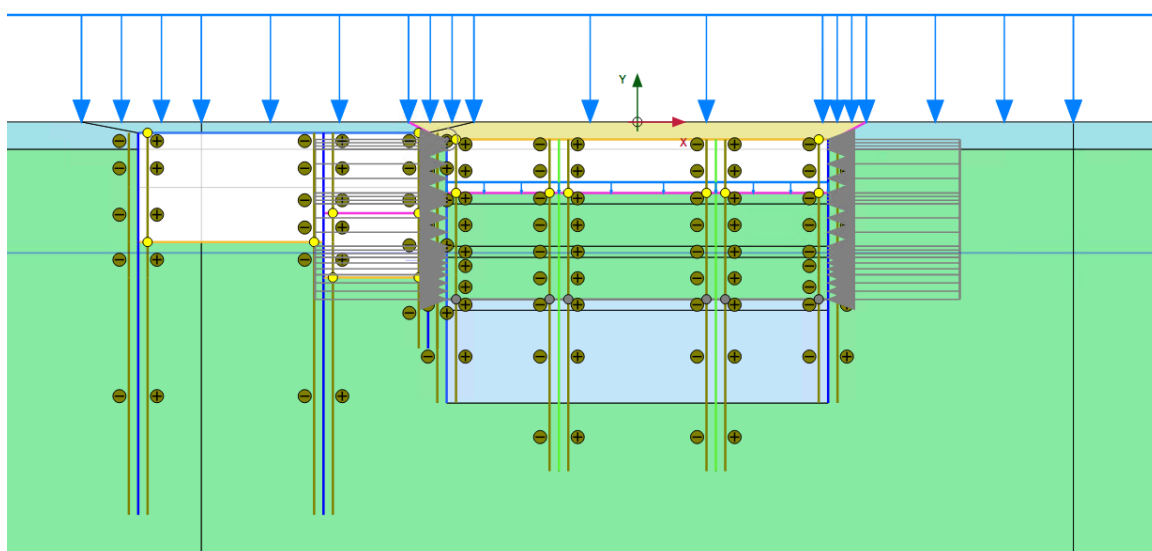
Fase 9 – Prima fase di scavo



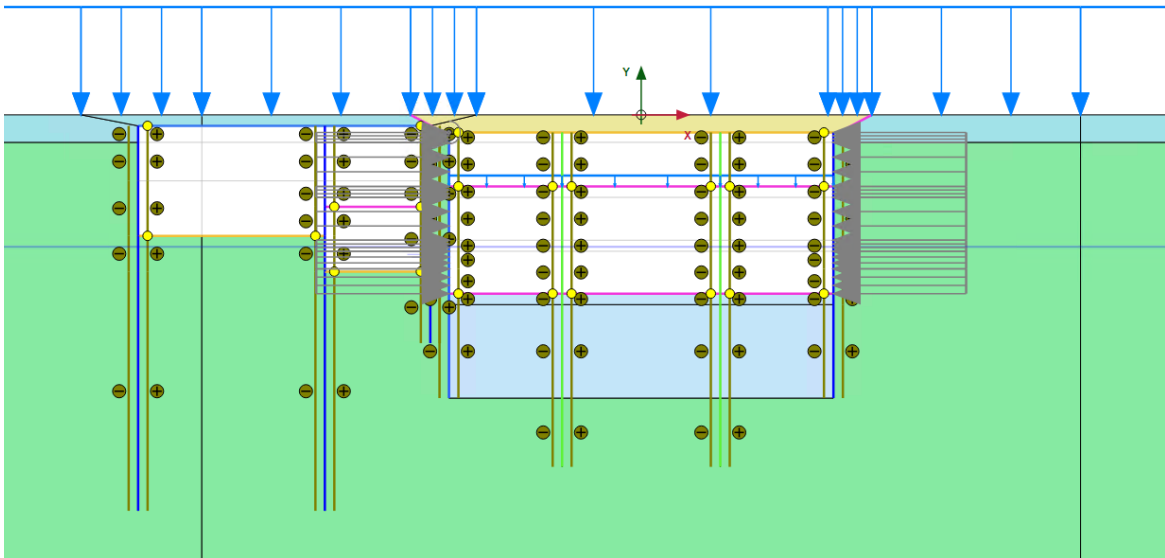
Fase 10 – Ripristino delle condizioni in superficie



Fase 11 – Seconda fase di scavo ed installazione prima soletta



Fase 12-13-14 – Completamento scavo ed installazione soletta di base



Fase 15 – Applicazione spinta sismica

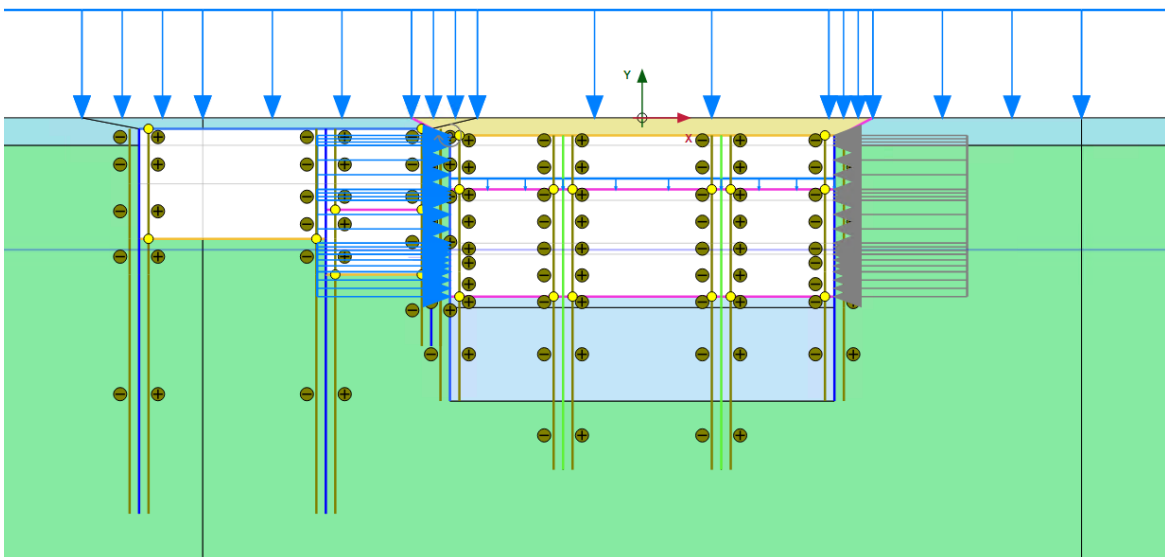


Figura 8. Fasi di calcolo modello geotecnico sezione AA


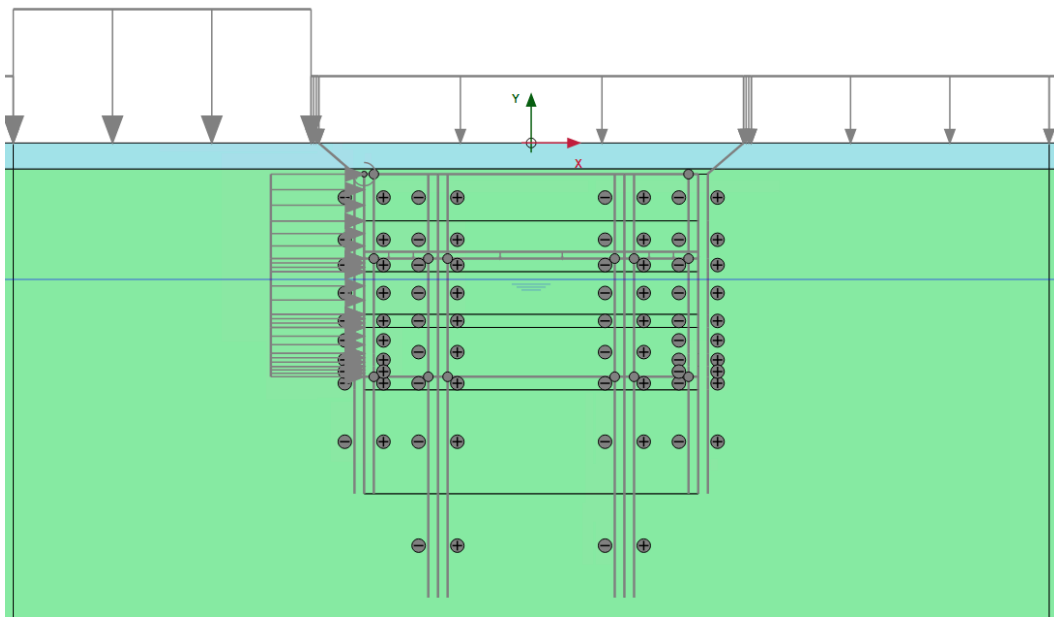
 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico - Rebaudengo Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A1DSTRSRBR001-0-1

Tabella 14 Fasi di calcolo Sezione BB

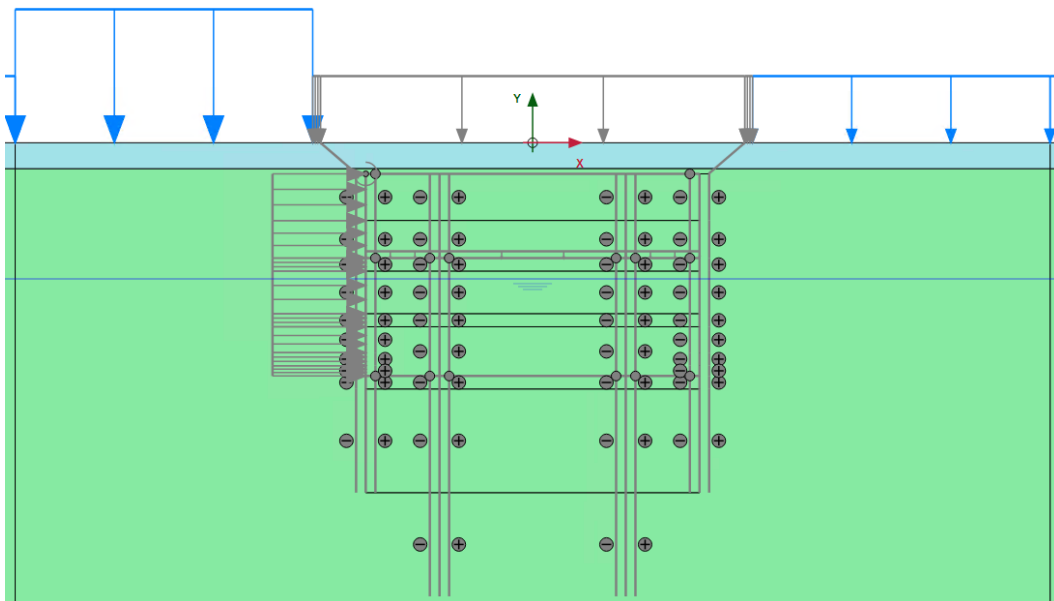
Fase di calcolo	Descrizione
Fase 1	Definizione delle condizioni geostatiche ed idrostatiche
Fase 2	Definizione dei carichi superficiali accidentali e permanenti
Fase 3	Scavo fino a quota intradosso solaio di copertura
Fase 4	Realizzazione tampone di fondo ed installazione diaframmi e king post
Fase 5	Realizzazione del solaio di copertura
Fase 6	Prima fase di scavo
Fase 7	Ripristino delle condizioni al di sopra della soletta di copertura
Fase 8	Scavo fino a quota della soletta intermedia ed abbassamento del livello piezometrico all'interno dello scavo
Fase 9	Installazione soletta intermedia
Fase 10	Scavo fino a fondo scavo ed abbassamento del livello piezometrico all'interno dello scavo
Fase 11	Ricerca del fattore di sicurezza in fase temporanea
Fase 12	Installazione soletta di base
Fase 13	Ripristino delle condizioni idrauliche
Fase 14	Ricerca del fattore di sicurezza di breve periodo
Fase 15	Condizioni di carico di lungo termine – riduzione delle pressioni idrostatiche agenti sulla paratia, e rimozione proprietà meccaniche tampone di fondo e ripristino condizioni iniziali
Fase 16	Applicazione dell'azione sismica
Fase 17	Ricerca del fattore di sicurezza di lungo periodo
Fase 18	Valutazione della deformabilità a lungo termine a SLE



Fase 1 – Condizioni iniziali

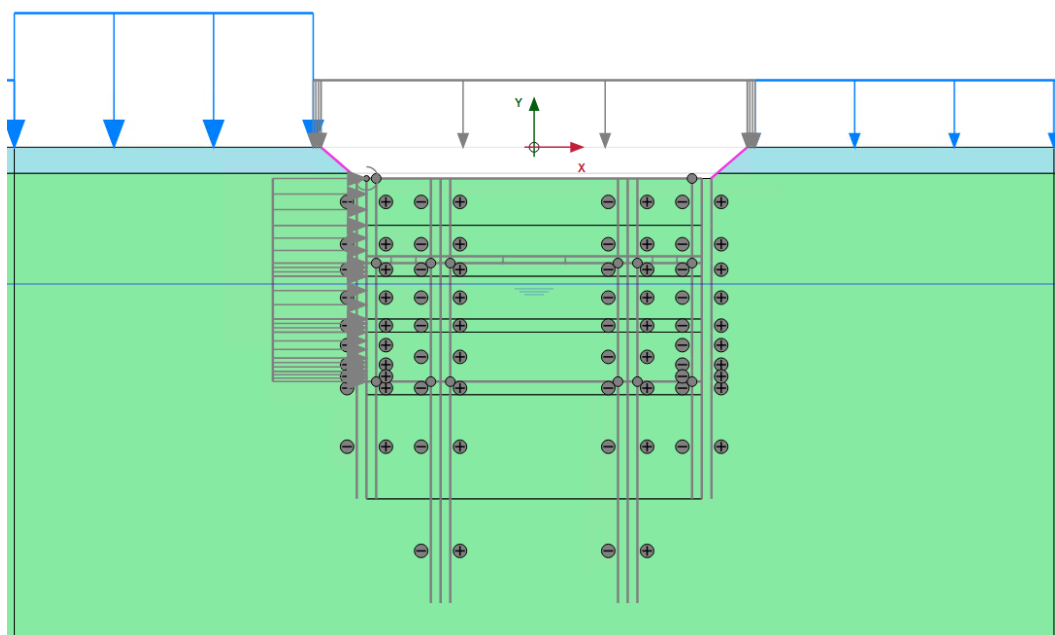


Fase 2 – Applicazione dei carichi superficiali

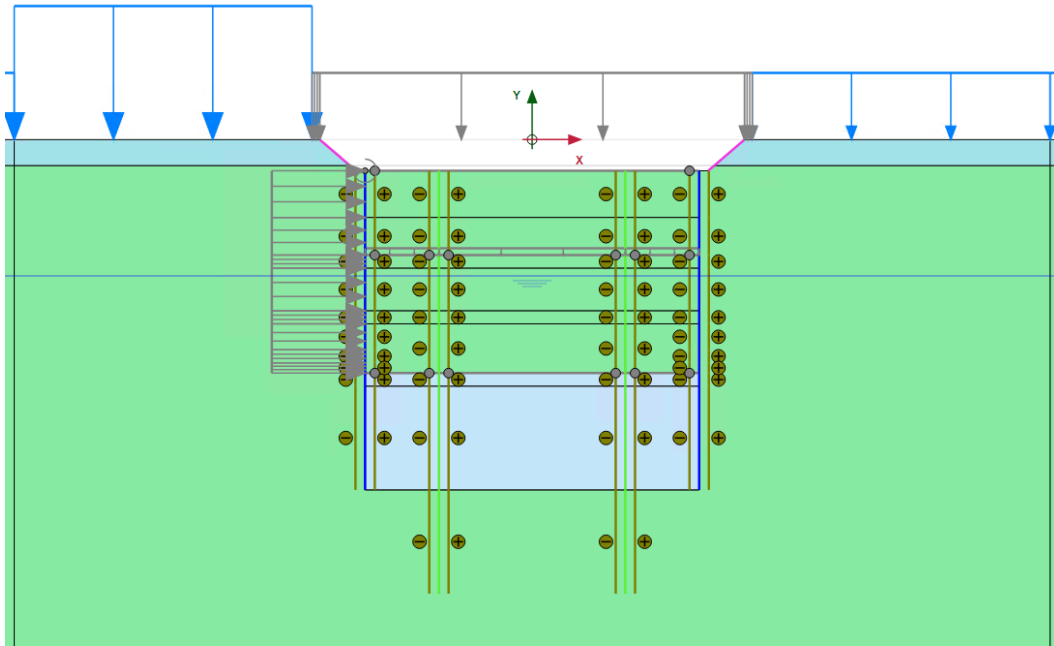




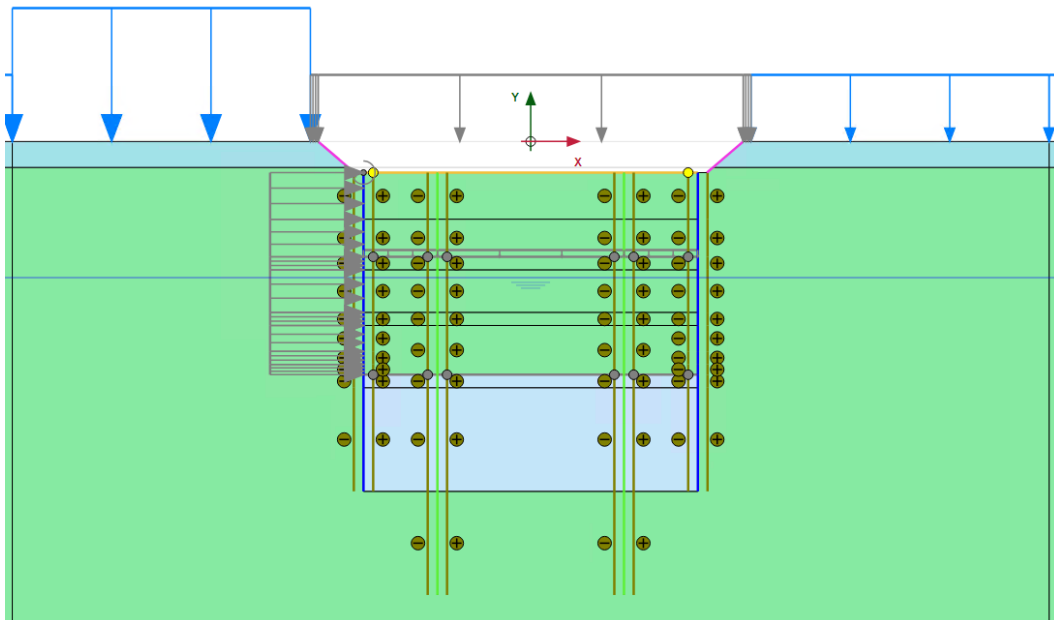
Fase 3 – Scavo fino a quota intradosso copertura

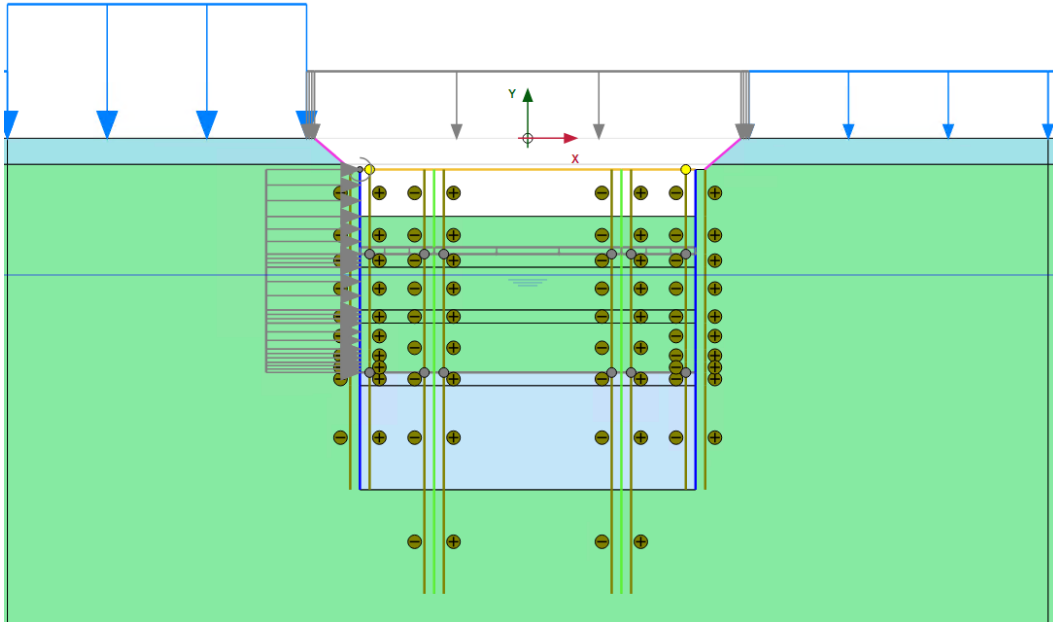


Fase 4 – Installazione diaframmi, king post e tampone di fondo

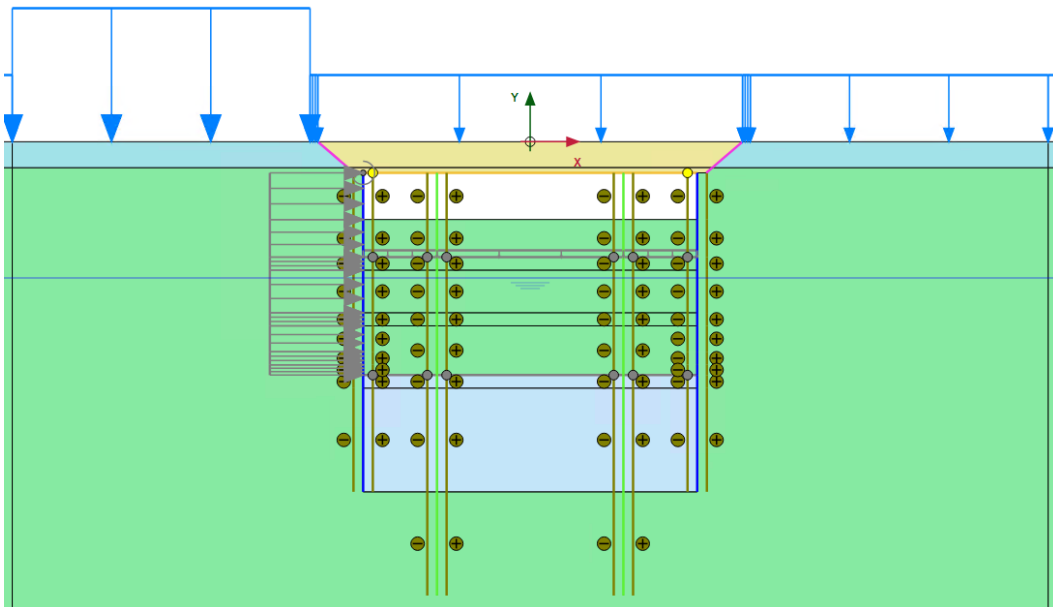


Fase 5 – Installazione soletta di copertura

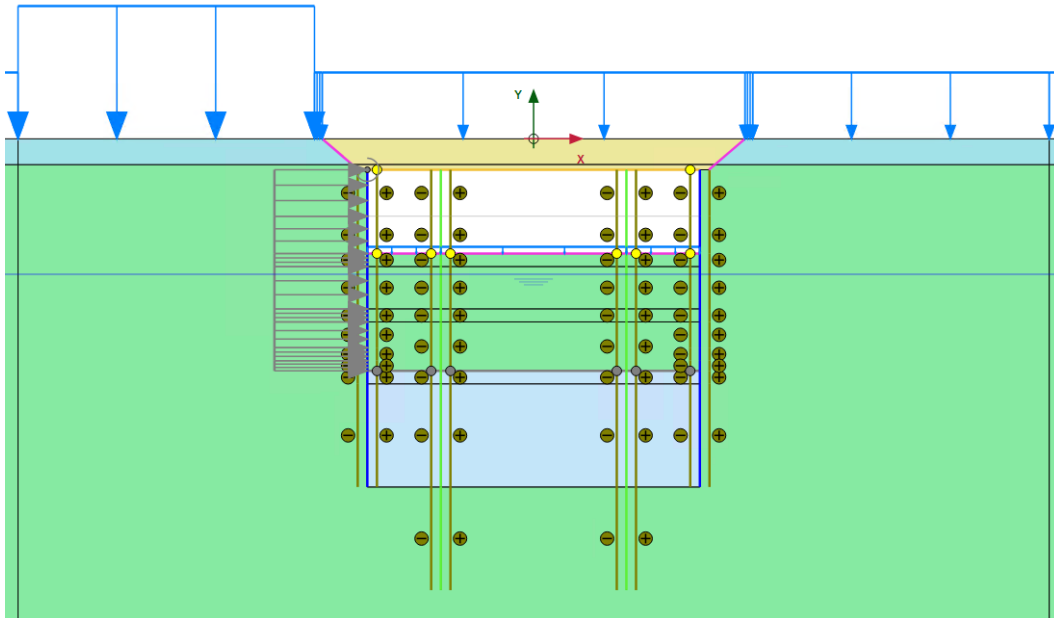




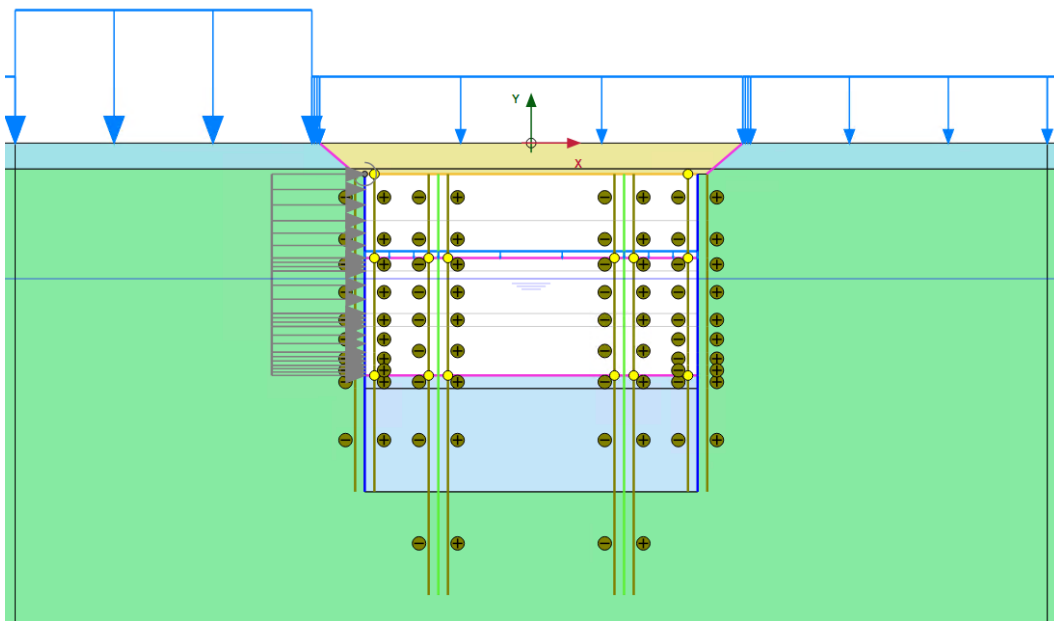
Fase 7 – ripristino delle condizioni in superficie



Fase 8-9 – Seconda fase di scavo ed installazione prima soletta



Fase 10-11 – Completamento scavo ed installazione soletta di base



Fase 15 – Applicazione spinta sismica

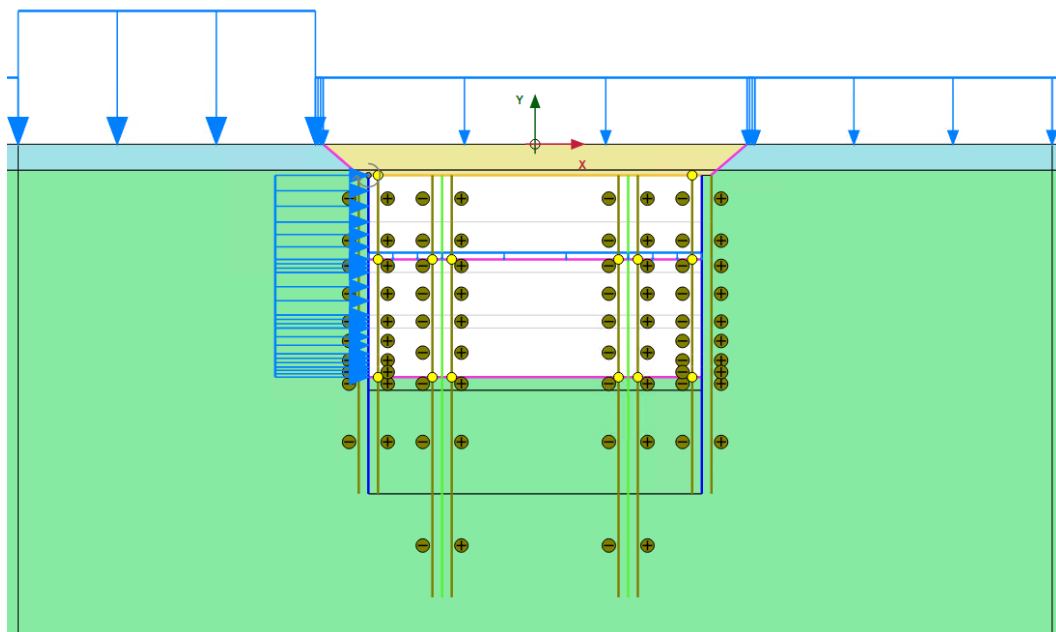
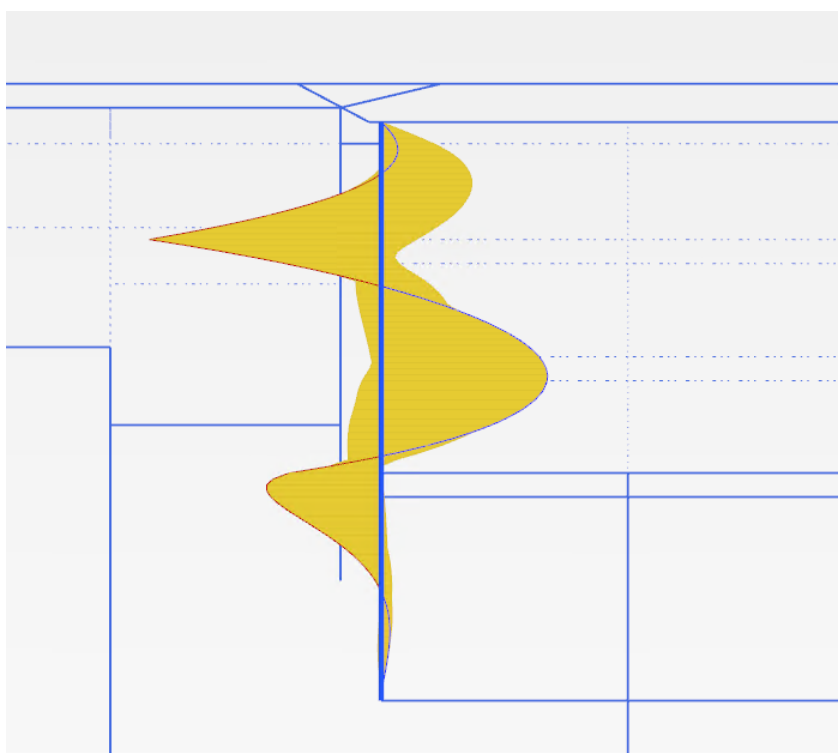


Figura 9. Fasi di calcolo modello geotecnico BB



6.1 Output

6.1.1 Sezione AA - Sollecitazioni paratia



Envelope of Bending moments M (scaled up 0,0200 times)

Maximum value = 347,3 kN m/m (Element 204 at Node 15785)

Minimum value = -484,5 kN m/m

Figura 10. Sezione AA SLE Momento flettente - Inviluppo

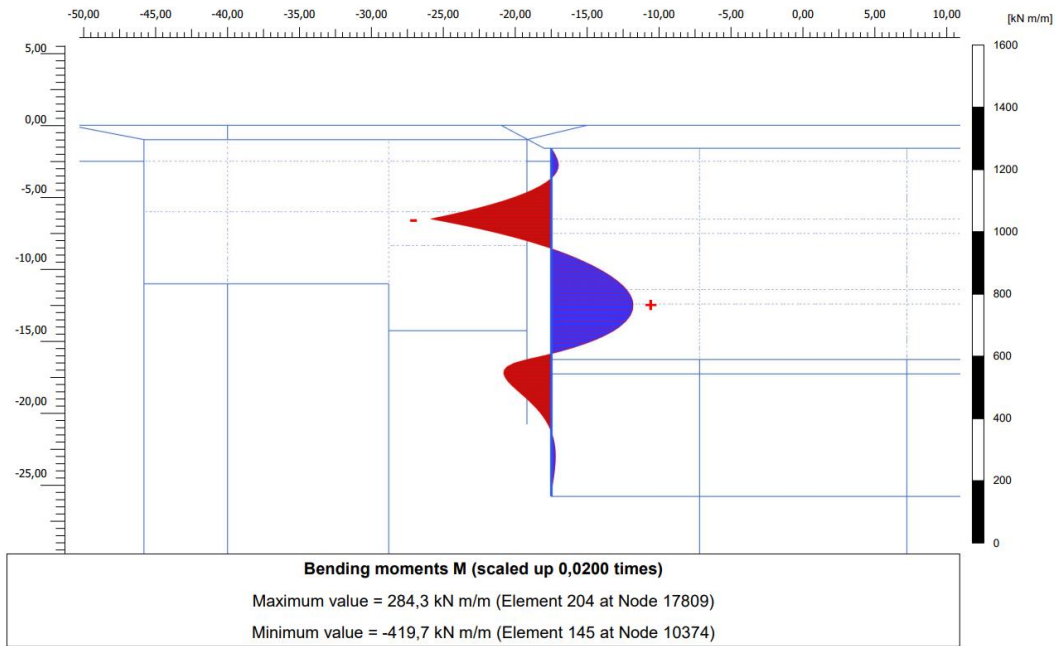


Figura 11. Sezione AA SLE Momento – (Fase 11: installazione soletta di base)

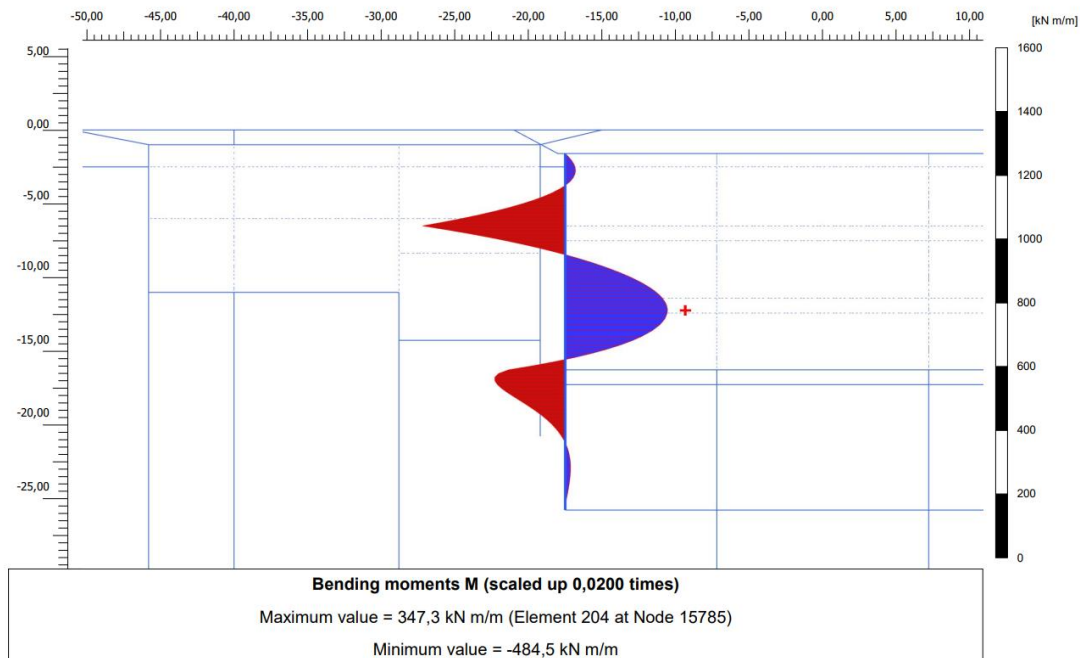
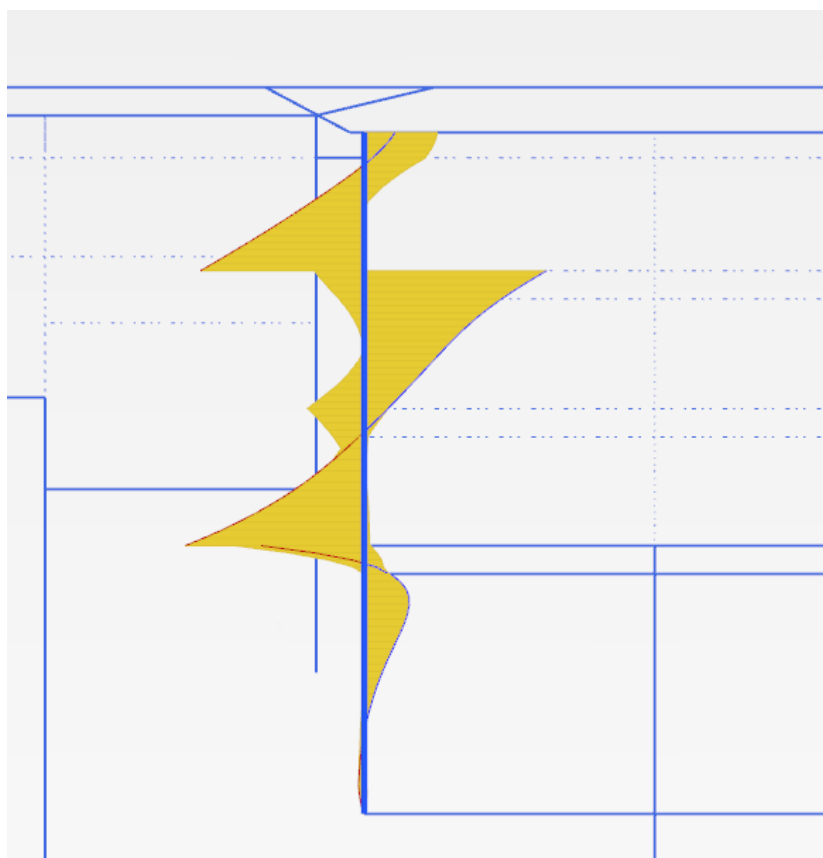


Figura 12. Sezione AA SLE Momento – (Fase finale: Sisma)



Envelope of Shear forces Q (scaled up 0,0200 times)

Maximum value = 323,7 kN/m (Element 145 at Node 10374)

Minimum value = -317,3 kN/m

Figura 13. Sezione AA SLE Taglio – Inviluppo

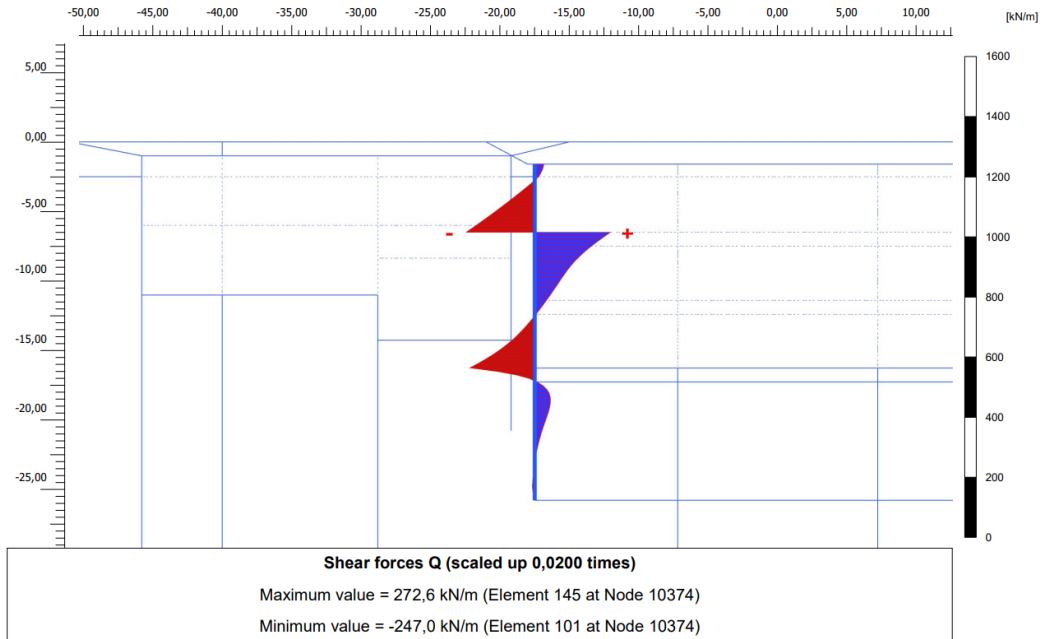


Figura 14. Sezione AA SLE Taglio – (Fase 11: installazione soletta di base)

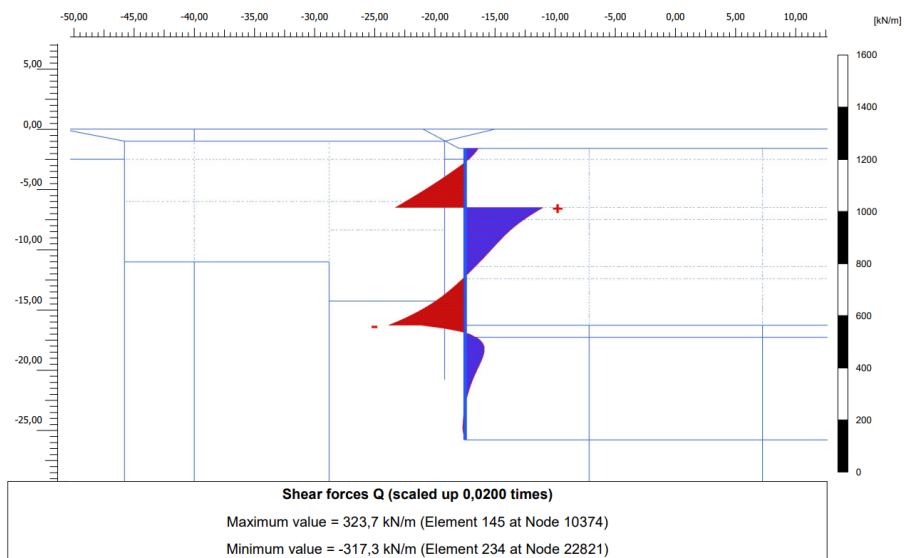


Figura 15. Sezione AA SLE Taglio – (Fase finale: Sisma)

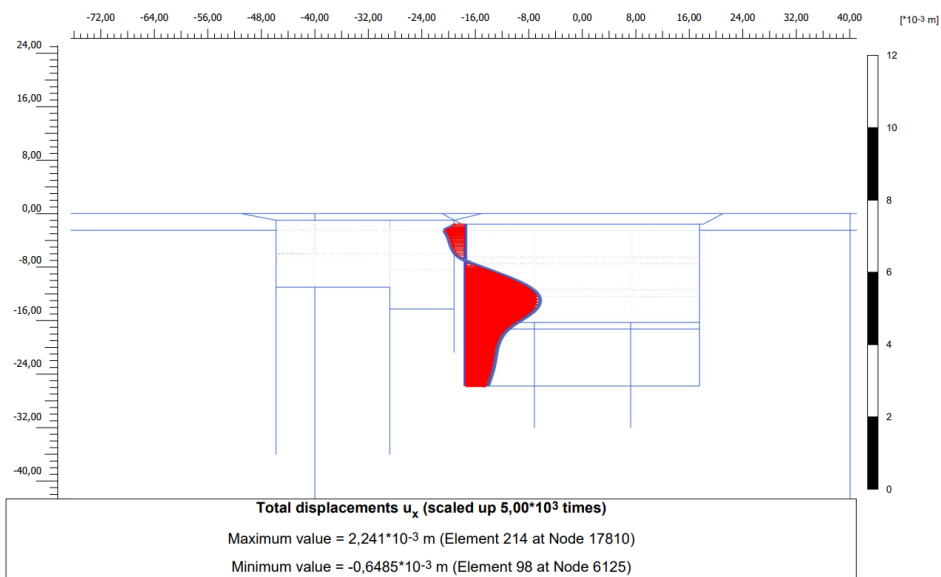


Figura 16. Sezione AA -Spostamento Totale u_x – (Fase 11: installazione soletta di base)

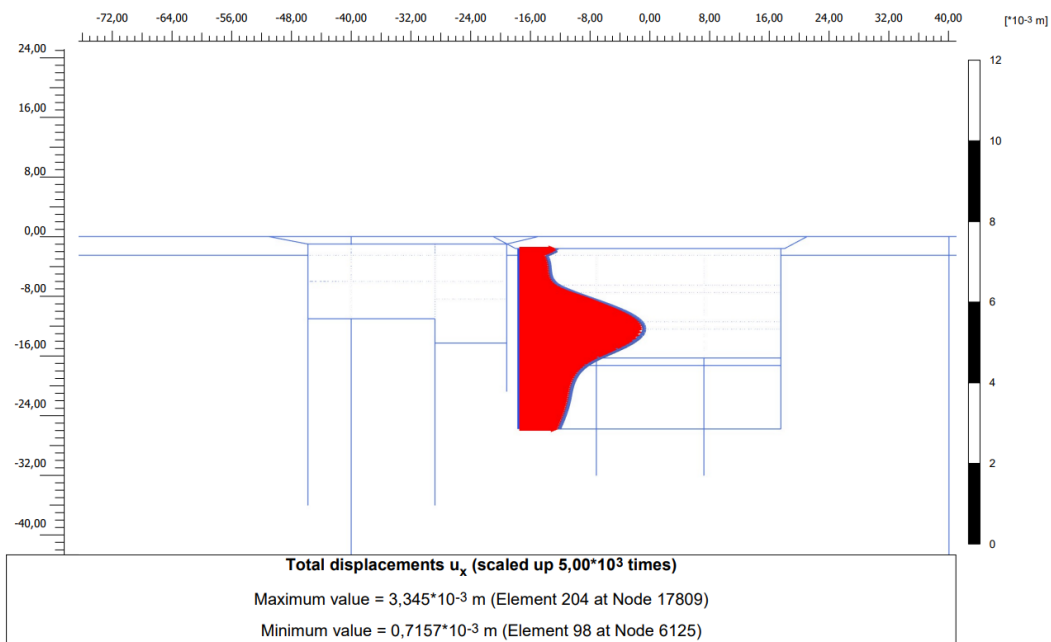


Figura 17. Sezione AA -Spostamento Totale u_x – (Fase finale: Sisma)



CITTA' DI TORINO

Metropolitana di Torino - Linea 2
Tratta: Politecnico - Rebaudengo
Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna

Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere
di sostegno stazione


MTL2T1A1DSTRSRBR001-0-1

Tabella 15 Sollecitazioni pali sezione AA (Inviluppo senza effetti sismici)

	Valori al ml	Valori per palo (SLE)
M_{max} [kNm/m]	285	342
M_{min} [kNm/m]	-420	-504
T_{max} [kN/m]	273	328
T_{min} [kN/m]	-247	-297
Spostamento max [mm]	2.24	-

Tabella 16 Sollecitazioni pali sezione AA (Inviluppo con effetti sismici)

	Valori al ml	Valori per palo (SLE)	Valori per palo (SLU)
M_{max} [kNm/m]	348	418	586
M_{min} [kNm/m]	-485	-582	-815
T_{max} [kN/m]	323	388	544
T_{min} [kN/m]	-318	-382	-535
Spostamento max [mm]	3.45	-	-

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico - Rebaudengo Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A1DSTRSRBR001-0-1

6.1.2 Sezione BB - Sollecitazioni paratia

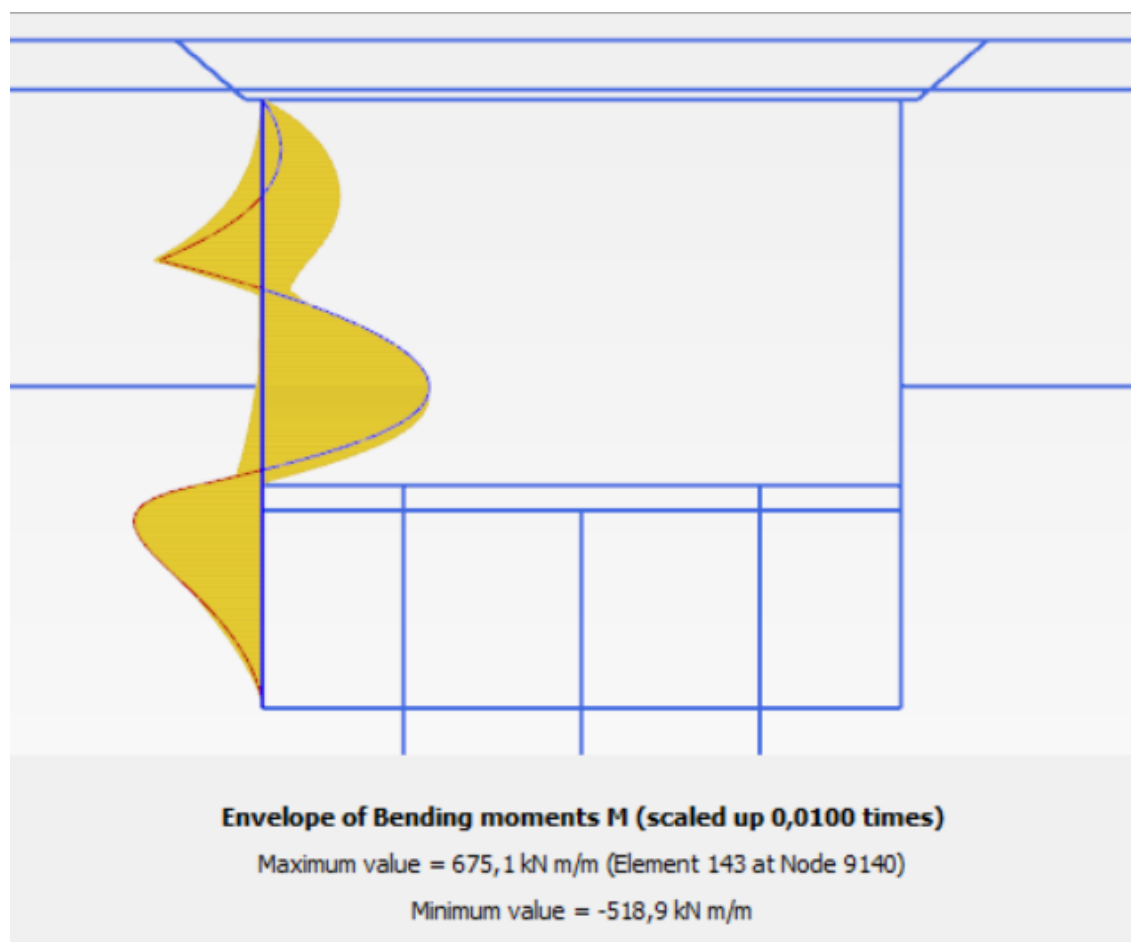


Figura 18. Sezione BB SLE Momento flettente - Involuppo

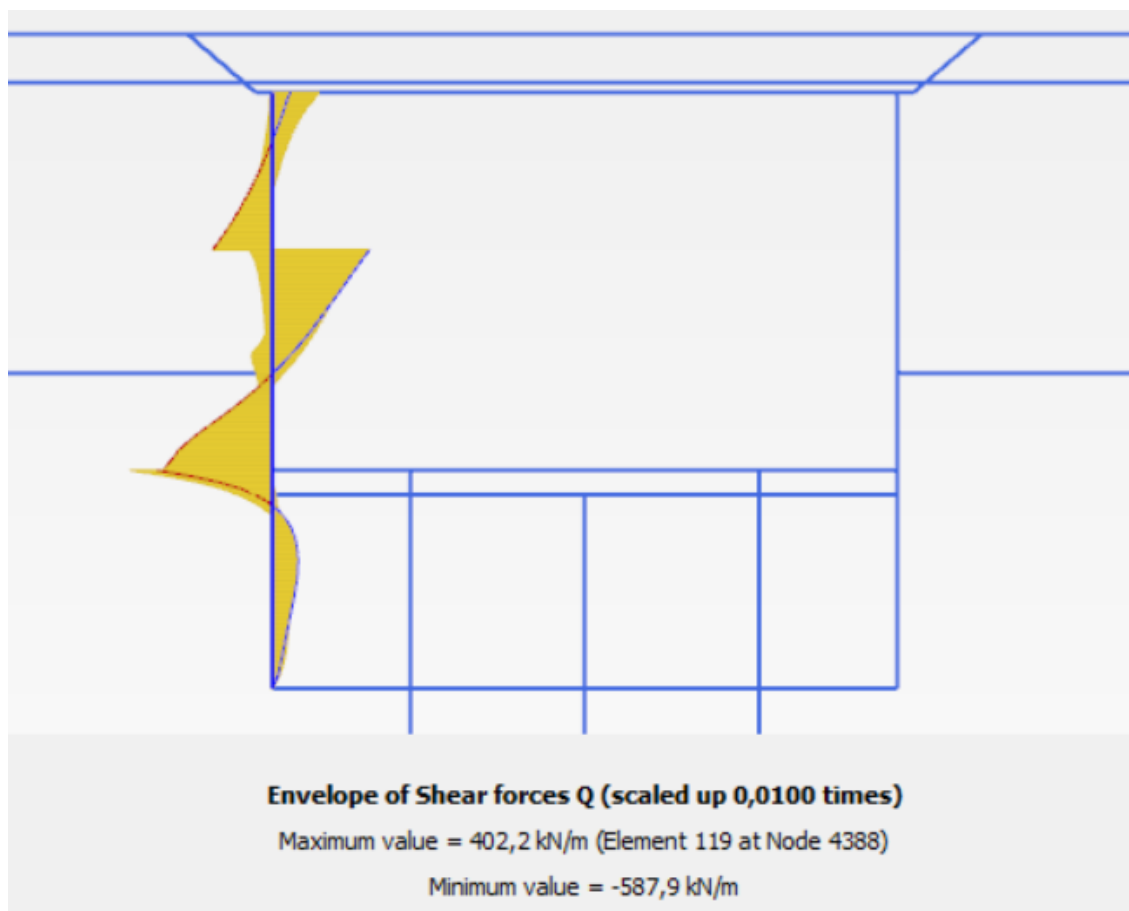


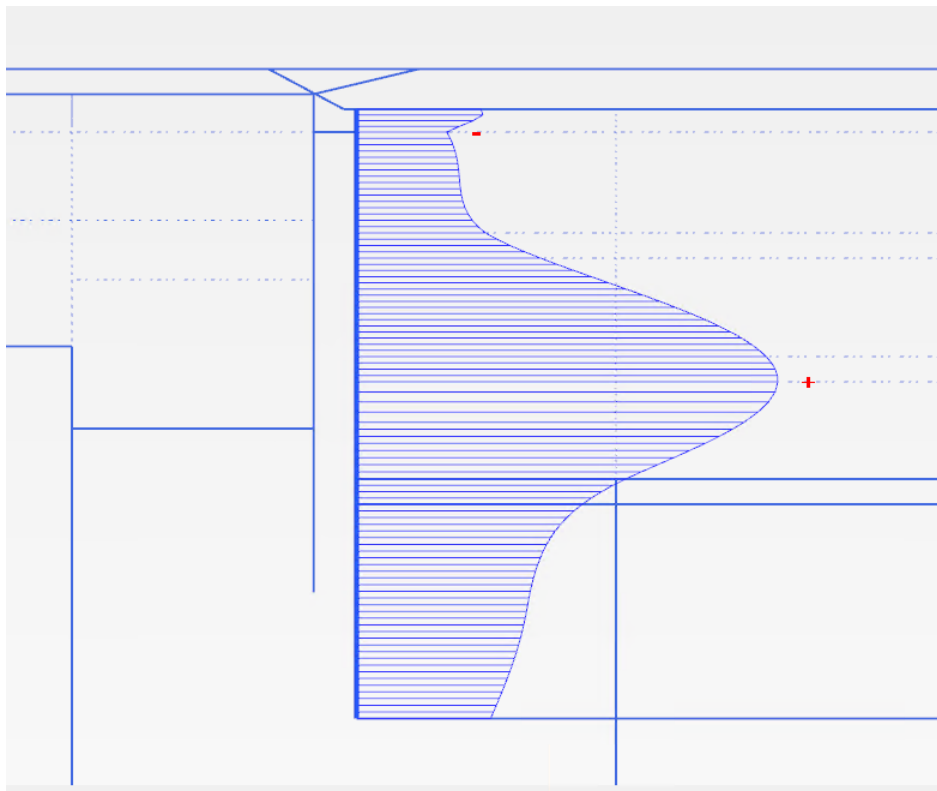
Figura 19. Sezione BB SLE Diagramma taglio – Involuppo

Tabella 17 Sollecitazioni paratia sezione BB

	Paratia SLE	Paratia SLU
M _{max} [kNm/m]	675	945
M _{min} [kNm/m]	-518	-725
T _{max} [kN/m]	402	563
T _{min} [kN/m]	-588	-823
Spostamento max [mm]	6,02	-



6.1.3 Sezione AA- Spostamenti paratia



Total displacements u_x (scaled up $5,00 \cdot 10^3$ times)

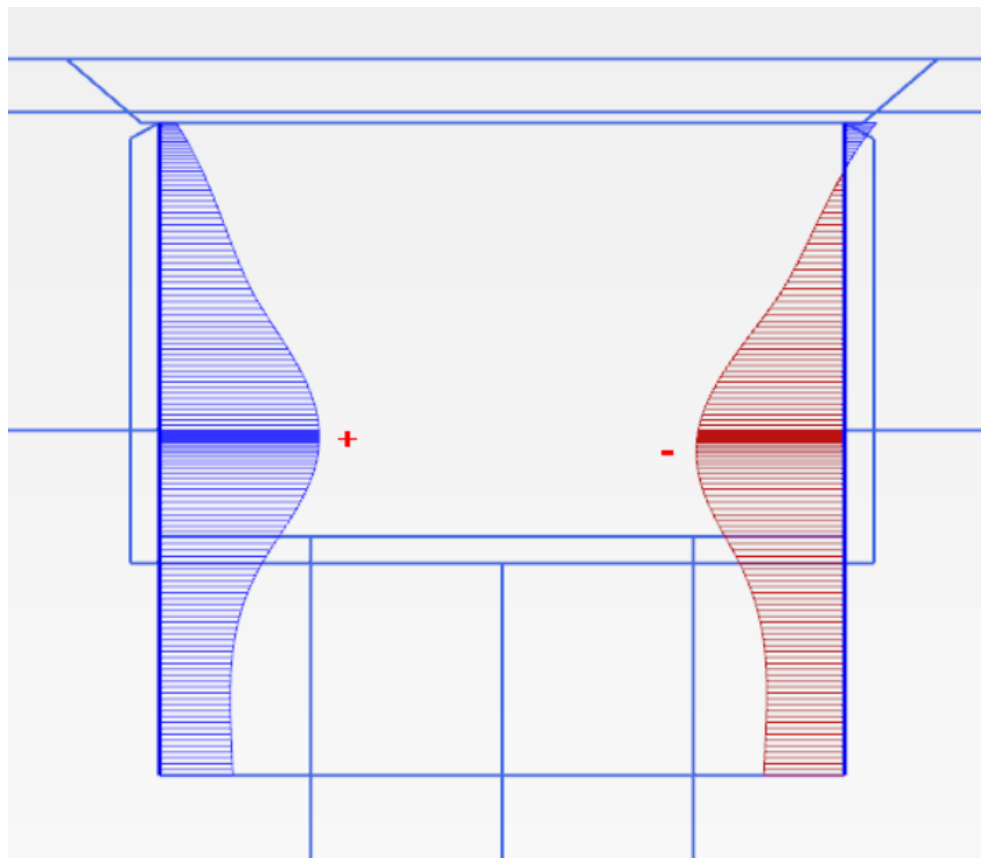
Maximum value = $3,345 \cdot 10^{-3}$ m (Element 204 at Node 17809)

Minimum value = $0,7157 \cdot 10^{-3}$ m (Element 98 at Node 6125)

Figura 20. SLE Diagramma degli spostamenti orizzontali fase 10



6.1.4 Sezione BB - Spostamenti paratia




Total displacements u_x (scaled up $1,00 \cdot 10^3$ times)

Maximum value = $6,023 \cdot 10^{-3}$ m (Element 151 at Node 8610)

Minimum value = $-5,591 \cdot 10^{-3}$ m (Element 156 at Node 50308)

Figura 21. SLE Diagramma degli spostamenti orizzontali fase 10

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico - Rebaudengo Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A1DSTRSRBR001-0-1

7. VERIFICHE STRUTTURALI

Le fasi costruttive prevederanno la realizzazione di diaframmi primari e secondari. Le cui rispettive dimensioni, ipotizzate per le seguenti verifiche, sono: 260 cm per il primario e 280 cm per il secondario. Analogamente per i pali secanti vengono considerati pali primari (non armati) e pali secondari (armati)

Le verifiche di seguito riportate sono riferite al diaframma ed al palo secondario.

7.1 Verifiche delle sollecitazioni flettenti SLU

La verifica agli SLU è stata realizzata attraverso il calcolo dei domini di interazione N-M, ovvero il luogo dei punti rappresentativi di sollecitazioni che portano in crisi la sezione di verifica secondo i criteri di resistenza da normativa.

Nel calcolo dei domini sono state mantenute le consuete ipotesi, tra cui:

- conservazione delle sezioni piane;
- legame costitutivo del calcestruzzo parabola-rettangolo non reagente a trazione, con plateau ad una deformazione pari a 0.002 e a rottura pari a 0.0035 ($\sigma_{\max} = 0.85 \times 0.83 \times R_{ck}/1.5$);
- legame costitutivo dell'armatura d'acciaio elastico-perfettamente plastico ($f_{yd} = f_{yk}/1.15$)

Di seguito sono riportati il diagramma di involuppo dei momenti flettenti e momenti resistenti per la sezione AA caratterizzata da pali secanti e per la sezione BB caratterizzata da diaframmi.

In riferimento ai pali secanti verrà considerata la seguente armatura:


 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico - Rebaudengo Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A1DSTRSRBR001-0-1

Tabella 18 Armatura longitudinale palo

	Armatura longitudinale
Palo secante	20 Φ 24

In riferimento alla paratia considerata verranno adottate 3 gabbie di armatura al fine di coprire i momenti sollecitanti aventi le seguenti caratteristiche:

Tabella 19 Armature longitudinali paratia

	Lunghezza [m]	Lato interno	Lato esterno
Gabbia 1	12	2 Φ 20/125	Φ 24/125
Gabbia 2	12	2 Φ 20/125	Φ 24/125
Gabbia 3	4.5	Φ 20/250	Φ 20/125

Le lunghezze indicate includono la lunghezza di sovrapposizione.



7.1.1 Sezione AA - Verifica flessione

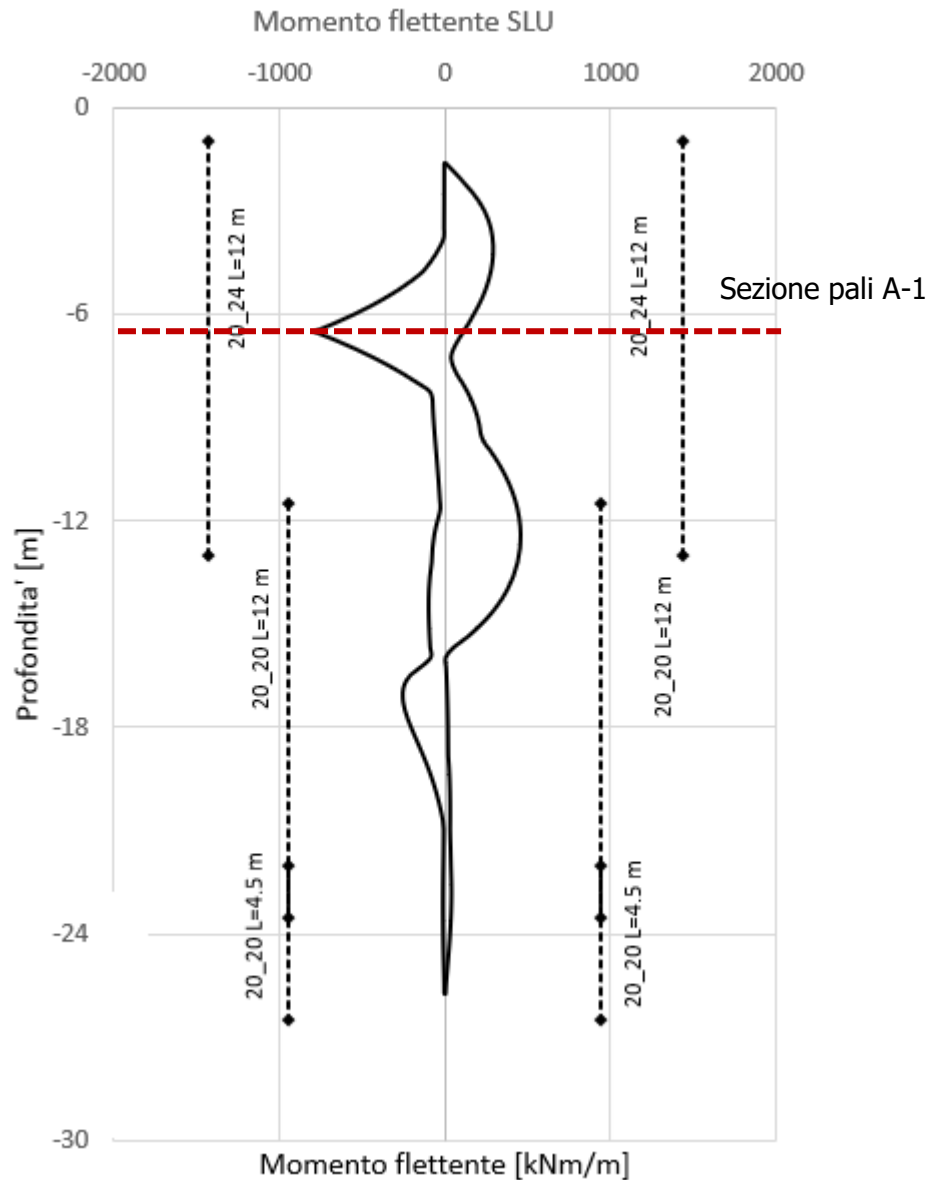


Figura 22. Sezione AA SLU Diagramma delle sollecitazioni flettenti

**Tabella 20 Verifica SLU flessione Sezione Pali A-1**

Sezione di verifica: Sezione A-1		
Geometria sezione:		
Diametro della sezione trasversale di calcestruzzo	1000	[mm]
Copriferro	75	[mm]
Altezza utile della sezione	925	[mm]
Armature		
Armatura longitudinale		
Diametro dei ferri correnti	24	[mm]
Numero dei ferri correnti	20	[-]
Diametro dei ferri di eventuale infittimento	0	[mm]
Numero dei ferri di eventuale infittimento	0	[-]
Area dell'armatura tesa	9043	[mm ²]
Materiali		
Calcestruzzo		
Resistenza caratteristica cubica	30	[MPa]
Coefficiente di sicurezza parziale per il calcestruzzo	1,5	[-]
Coefficiente che tiene conto degli effetti di lungo termine	0,85	[-]
Resistenza di progetto a compressione del calcestruzzo	14,17	[MPa]
Resistenza di progetto a trazione del calcestruzzo	1,20	[MPa]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione caratteristica	15,00	[MPa]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione quasi permanente	11,25	[MPa]
Acciaio		
Resistenza a snervamento dell'acciaio	450	[MPa]
Coefficiente di sicurezza parziale per l'acciaio	1,15	[-]
Resistenza di progetto a trazione dell'acciaio	391	[MPa]
Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS	360	[MPa]
Momento resistente della sezione		
	1432,54	[kNm]
Momento sollecitante a SLU assunto in valore assoluto		
	815	[kNm]



7.1.2 Sezione BB - Verifica flessione

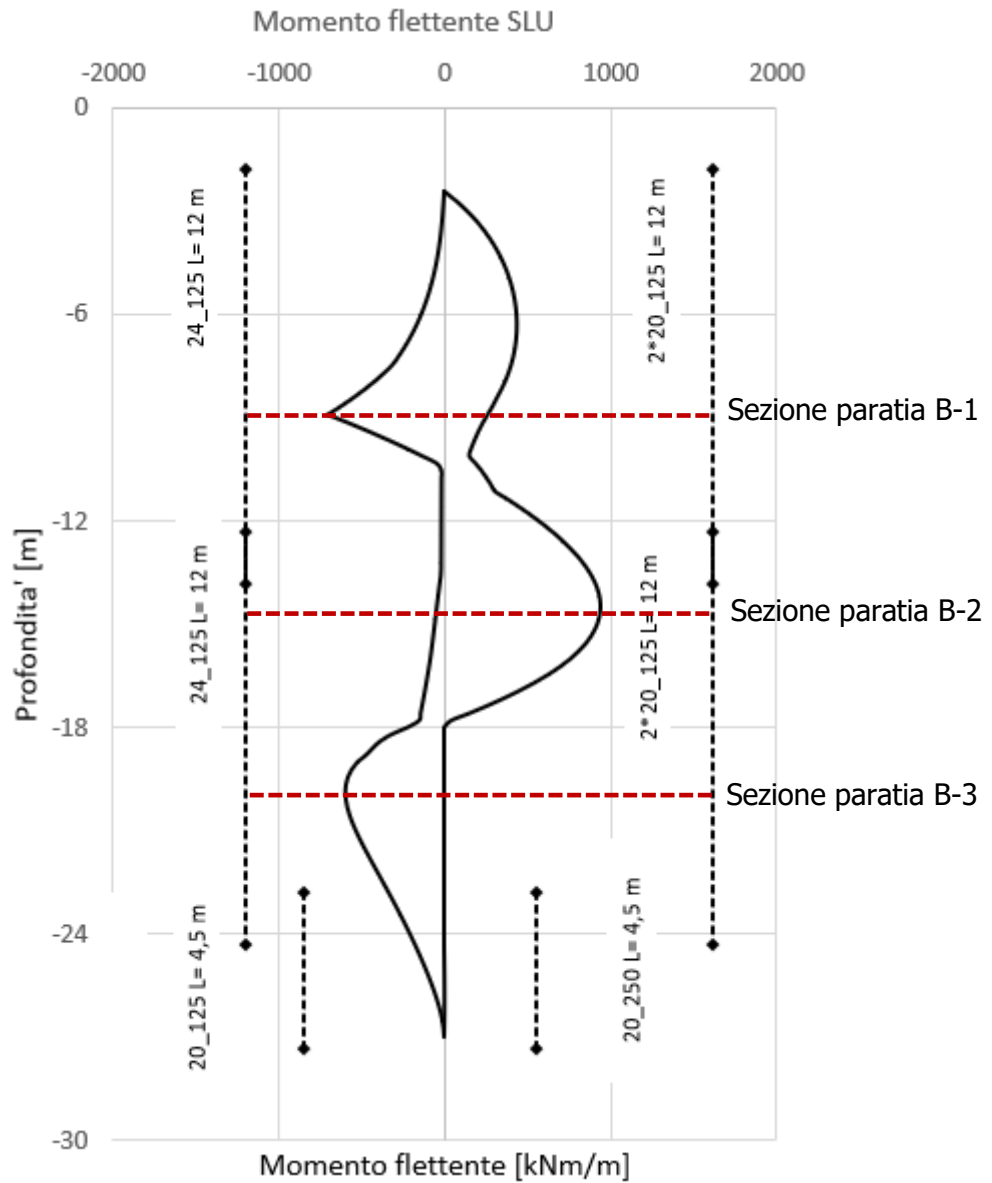


Figura 23. Sezione BB SLU Diagramma delle sollecitazioni flettenti



CITTA' DI TORINO

Metropolitana di Torino - Linea 2
Tratta: Politecnico - Rebaudengo
Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna

Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere
di sostegno stazione

MTL2T1A1DSTRSRBR001-0-1

Tabella 21 Verifica SLU flessione Sezione B-1- Prima Gabbia


<i>Sezione di verifica: Sezione B-1-Prima Gabbia</i>		
Geometria sezione:		
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	1000	[mm]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	1000	[mm]
Copriferro	75	[mm]
Altezza utile della sezione	925	[mm]
Armature		
Armatura tesa		
Diametro dei ferri correnti	24	[mm]
Numero dei ferri correnti	8	[-]
Diametro dei ferri di eventuale infittimento	0	[mm]
Numero dei ferri di eventuale infittimento	0	[-]
Area dell'armatura tesa	3619	[mm ²]
Armatura compressa		
Diametro dei ferri correnti	20	[mm]
Numero dei ferri correnti	8	[-]
Diametro dei ferri di eventuale infittimento	20	[mm]
Numero dei ferri di eventuale infittimento	8	[-]
Area dell'armatura compressa	5027	[mm ²]
Materiali		
Calcestruzzo		
Resistenza caratteristica cubica	30	[MPa]
Coefficiente di sicurezza parziale per il calcestruzzo	1,5	[-]
Coefficiente che tiene conto degli effetti di lungo termine	0,85	[-]
Resistenza di progetto a compressione del calcestruzzo	14,17	[MPa]
Resistenza di progetto a trazione del calcestruzzo	1,20	[MPa]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione caratteristica	15,00	[MPa]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione quasi permanente	11,25	[MPa]
Acciaio		
Resistenza a snervamento dell'acciaio	450	[MPa]
Coefficiente di sicurezza parziale per l'acciaio	1,15	[-]
Resistenza di progetto a trazione dell'acciaio	391	[MPa]
Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS	360	[MPa]
Momento resistente della sezione		
	1243,31	[kNm]
Momento sollecitante a SLU assunto in valore assoluto		
	725,00	[kNm]


Tabella 22 Verifica SLU flessione Sezione B-2- Seconda Gabbia

Sezione di verifica: Sezione B-2- Secenda gabbia		
Geometria sezione:		
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	1000	[mm]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	1000	[mm]
Copiferro	75	[mm]
Altezza utile della sezione	925	[mm]
Armature		
Armatura tesa		
Diametro dei ferri correnti	20	[mm]
Numero dei ferri correnti	8	[-]
Diametro dei ferri di eventuale infittimento	20	[mm]
Numero dei ferri di eventuale infittimento	8	[-]
Area dell'armatura tesa	5027	[mm ²]
Armatura compressa		
Diametro dei ferri correnti	24	[mm]
Numero dei ferri correnti	8	[-]
Diametro dei ferri di eventuale infittimento	0	[mm]
Numero dei ferri di eventuale infittimento	0	[-]
Area dell'armatura compressa	3619	[mm ²]
Materiali		
Calcestruzzo		
Resistenza caratteristica cubica	30	[MPa]
Coefficiente di sicurezza parziale per il calcestruzzo	1,5	[-]
Coefficiente che tiene conto degli effetti di lungo termine	0,85	[-]
Resistenza di progetto a compressione del calcestruzzo	14,17	[MPa]
Resistenza di progetto a trazione del calcestruzzo	1,20	[MPa]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione caratteristica	15,00	[MPa]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione quasi permanente	11,25	[MPa]
Acciaio		
Resistenza a snervamento dell'acciaio	450	[MPa]
Coefficiente di sicurezza parziale per l'acciaio	1,15	[-]
Resistenza di progetto a trazione dell'acciaio	391	[MPa]
Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS	360	[MPa]
Momento resistente della sezione	1710,94	[kNm]
Momento sollecitante a SLU assunto in valore assoluto	945,00	[kNm]


Tabella 23 Verifica SLU flessione Sezione B-3- Terza Gabbia

Sezione di verifica SLU: Sezione B-3 - Terza gabbia		
Geometria sezione:		
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	1000	[mm]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	1000	[mm]
Copriferro	70	[mm]
Altezza utile della sezione	930	[mm]
Armature		
Armatura tesa		
Diametro dei ferri correnti	20	[mm]
Numero dei ferri correnti	8	[-]
Diametro dei ferri di eventuale infittimento	0	[mm]
Numero dei ferri di eventuale infittimento	17	[-]
Area dell'armatura tesa	2513	[mm ²]
Armatura compressa		
Diametro dei ferri correnti	20	[mm]
Numero dei ferri correnti	4	[-]
Diametro dei ferri di eventuale infittimento	0	[mm]
Numero dei ferri di eventuale infittimento	0	[-]
Area dell'armatura compressa	1257	[mm ²]
Materiali		
Calcestruzzo		
Resistenza caratteristica cubica	30	[MPa]
Coefficiente di sicurezza parziale per il calcestruzzo	1,5	[-]
Coefficiente che tiene conto degli effetti di lungo termine	0,85	[-]
Resistenza di progetto a compressione del calcestruzzo	14,17	[MPa]
Resistenza di progetto a trazione del calcestruzzo	1,20	[MPa]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione caratteristica	15,00	[MPa]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione quasi permanente	11,25	[MPa]
Acciaio		
Resistenza a snervamento dell'acciaio	450	[MPa]
Coefficiente di sicurezza parziale per l'acciaio	1,15	[-]
Resistenza di progetto a trazione dell'acciaio	391	[MPa]
Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS	360	[MPa]
Momento resistente della sezione		
	880,11	[kNm]
Momento sollecitante a SLU assunto in valore assoluto		
	601,50	[kNm]

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico - Rebaudengo Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A1DSTRSRBR001-0-1

7.2 Verifica delle sollecitazioni taglianti SLU

La resistenza a taglio V_{Rd} di elementi strutturali dotati di specifica armatura a taglio deve essere valutata sulla base di una adeguata schematizzazione a traliccio. Gli elementi resistenti dell'ideale traliccio sono: le armature trasversali, le armature longitudinali, il corrente compresso di calcestruzzo e i puntoni d'anima inclinati. L'inclinazione θ dei puntoni di calcestruzzo rispetto all'asse della trave deve rispettare i limiti seguenti:

$$1 < ctg\theta < 2.5$$

La verifica di resistenza (SLU) è soddisfatta se è verificata la seguente relazione:

$$V_{Rd} \geq V_{Ed} \text{ dove } V_{Ed}$$

è il valore di calcolo dello sforzo di taglio agente.

La resistenza di calcolo a "taglio trazione" dell'armatura trasversale è stata calcolata con la seguente relazione:

$$V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (ctg\alpha + ctg\theta) \cdot \sin\alpha$$

La resistenza di calcolo a "taglio compressione" del calcestruzzo d'anima è stata calcolata con la seguente relazione:

$$V_{Rcd} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot (ctg\alpha + ctg\theta) / (1 + ctg^2\theta)$$

La resistenza al taglio della sezione è la minore delle due relazioni sopra definite:

$$V_{Rd} = \min (V_{Rsd}, V_{Rcd})$$

La verifica delle azioni taglianti è condotta per pannello di paratia pari a 2,80 m.



7.2.1 Verifica a taglio sezione A-A

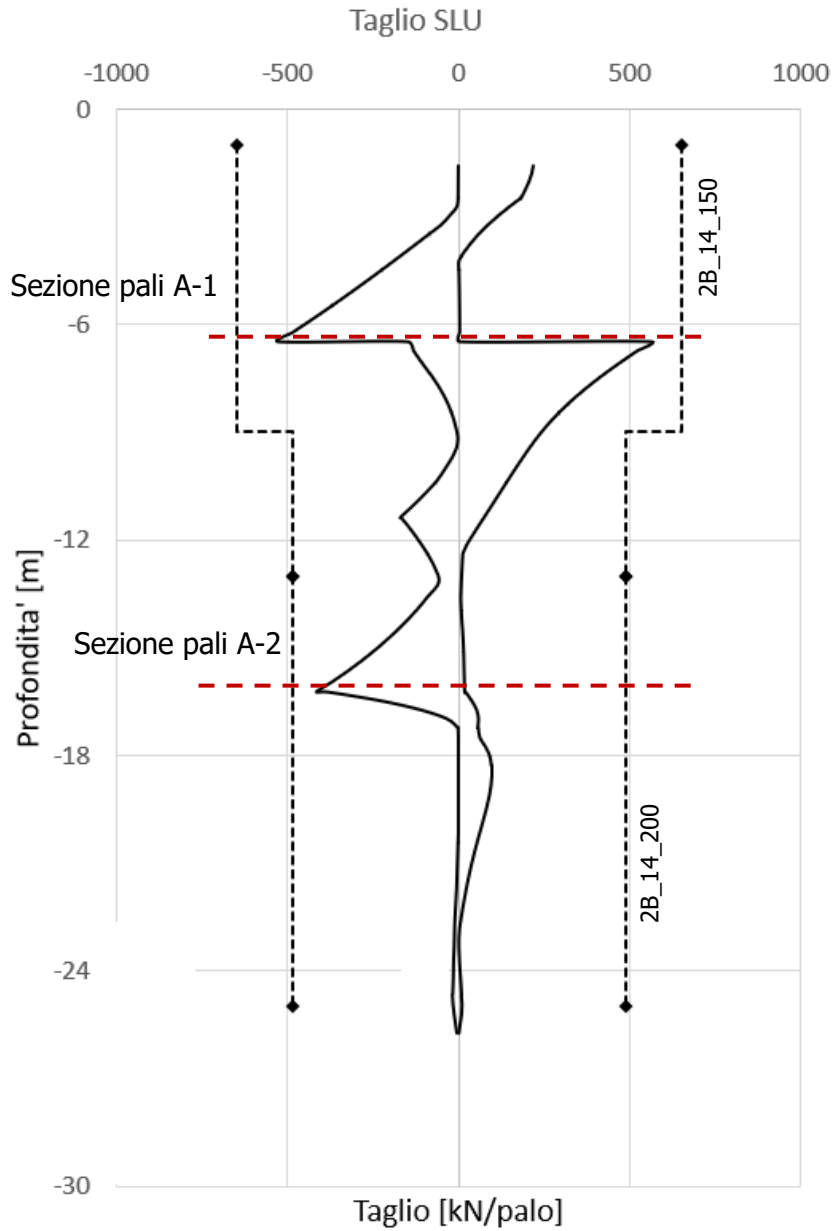




Tabella 24 Sezione A-A Verifica SLU – Taglio Pali – Sezione A-1

Verifica elementi a taglio			
Palo D 1000 mm - ϕ14 2 braccia passo 150 mm			
Geometria			
Diametro sezione	H	1000	mm
Barre longitudinali tese	ϕ_{sl}	24	mm
Diametro staffe	ϕ_{sw}	14	mm
Copriferro	c	75	mm
Altezza utile	d	899	mm
Materiali			
Calcestruzzo			
Resistenza caratteristica cubica	R_{ck}	30	MPa
Resistenza caratteristica cilindrica	f_{ck}	25	MPa
Coefficiente parziale calcestruzzo	γ_c	1,5	
Coefficiente che tiene conto degli effetti a lungo termine	α_{cc}	0,85	
Resistenza di progetto a compressione calcestruzzo	f_{cd}	14,17	MPa
Resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo d'anima	f'_{cd}	7,08	MPa
Acciaio			
Resistenza a snervamento dell'acciaio	f_{yk}	450	MPa
Coefficiente di sicurezza parziale acciaio	γ_s	1,15	
Resistenza di progetto a trazione dell'acciaio	f_{yd}	391,30	MPa
Elementi con armatura a taglio			
Diametro staffe esterne	ϕ_{sw1}	14	mm
Numero braccia	n_{b1}	2	
Diametro staffe esterne	ϕ_{sw2}	16	mm
Numero braccia	n_{b2}	0	
Passo staffe	s	150	mm
Inclinazione tra puntone compresso e asse elemento	θ	45,00	°
Inclinazione armatura trasversale rispetto asse elemento	α	90	°
Area sezione trasversale armatura a taglio	A_{sw}	307,72	mm ²
Braccio coppia interna	z	809,1	mm
Resistenza offerta dall'armatura a taglio	V_{Rsd}	650	kN
Resistenza offerta dai puntoni	V_{Rcd}	1820	kN
Resistenza a taglio della sezione armata trasversalmente	V_{Rd}	650	kN
Taglio sollecitante SLU	VE_d	544	kN


Tabella 25 Sezione A-A Verifica SLU – Taglio – Sezione A-2

Verifica elementi a taglio			
Palo D 1000 mm - φ14 2 braccia passo 200 mm			
Geometria			
Diametro sezione	H	1000	mm
Barre longitudinali tese	ϕ_{sl}	24	mm
Diametro staffe	ϕ_{sw}	14	mm
Copriferro	c	75	mm
Altezza utile	d	899	mm
Materiali			
Calcestruzzo			
Resistenza caratteristica cubica	R_{ck}	30	MPa
Resistenza caratteristica cilindrica	f_{ck}	25	MPa
Coefficiente parziale calcestruzzo	γ_c	1,5	
Coefficiente che tiene conto degli effetti a lungo termine	α_{cc}	0,85	
Resistenza di progetto a compressione calcestruzzo	f_{cd}	14,17	MPa
Resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo d'anima	f'_{cd}	7,08	MPa
Acciaio			
Resistenza a snervamento dell'acciaio	f_{yk}	450	MPa
Coefficiente di sicurezza parziale acciaio	γ_s	1,15	
Resistenza di progetto a trazione dell'acciaio	f_{yd}	391,30	MPa
Elementi con armatura a taglio			
Diametro staffe esterne	ϕ_{sw1}	14	mm
Numero braccia	n_{b1}	2	
Diametro staffe esterne	ϕ_{sw2}	16	mm
Numero braccia	n_{b2}	0	
Passo staffe	s	200	mm
Inclinazione tra puntone compresso e asse elemento	θ	45,00	°
Inclinazione armatura trasversale rispetto asse elemento	α	90	°
Area sezione trasversale armatura a taglio	A_{sw}	307,72	mm ²
Braccio coppia interna	z	809,1	mm
Resistenza offerta dall'armatura a taglio	V_{Rsd}	487	kN
Resistenza offerta dai puntoni	V_{Rcd}	1820	kN

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico - Rebaudengo Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A1DSTRSRBR001-0-1

Resistenza a taglio della sezione armata trasversalmente	V_{Rd}	487	kN
Taglio sollecitante SLU	V_{Ed}	459	kN

7.2.2 Verifica a taglio Sezione BB

Per verifica vengono adottate una staffa esterna a 2 braccia ed una interna a 4 del diametro da 14 a 16 mm con passo variabile da 150 a 300 mm. L'immagine di seguito mostra l'involuppo delle azioni taglianti e la resistenza offerta dalla sezione.

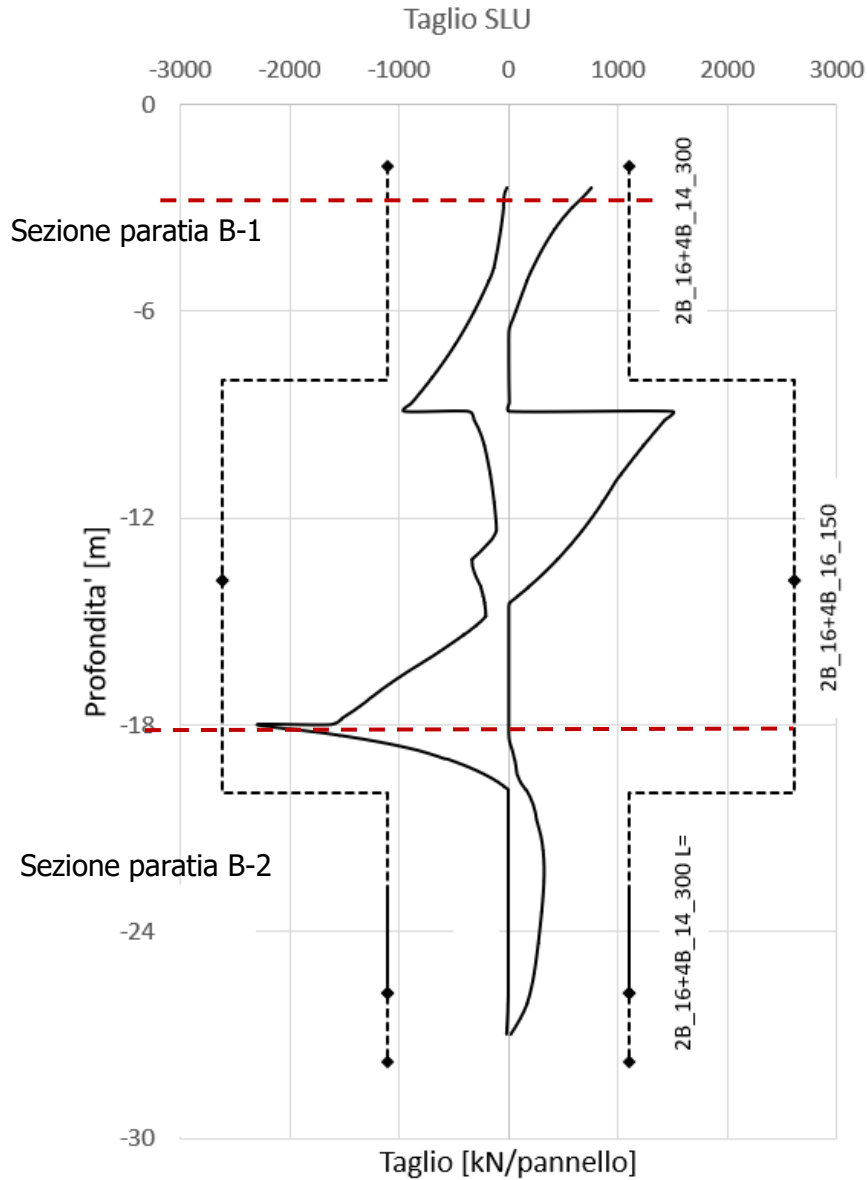


Figura 24. SLU Diagramma delle sollecitazioni taglienti

Tabella 26 Verifica SLU – Taglio – Sezione B-1


Verifica elementi a taglio
Pannello diaframma 2800 x 1000 mm - $\phi 16$ 2 braccia + $\phi 14$ 4 braccia passo 300 mm

Geometria			
Altezza sezione	H	1000	mm
Base sezione	B	2800	mm
Barre longitudinali tese	ϕ_{sl}	24	mm
Diametro staffe	ϕ_{sw}	16	mm
Copriferro	c	75	mm
Altezza utile	d	897	mm
Materiali			
Calcestruzzo			
Resistenza caratteristica cubica	R_{ck}	30	MPa
Resistenza caratteristica cilindrica	f_{ck}	25	MPa
Coefficiente parziale calcestruzzo	γ_c	1,5	
Coefficiente che tiene conto degli effetti a lungo termine	α_{cc}	0,85	
Resistenza di progetto a compressione calcestruzzo	f_{cd}	14,17	MPa
Resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo d'anima	f'_{cd}	7,08	MPa
Acciaio			
Resistenza a snervamento dell'acciaio	f_{yk}	450	MPa
Coefficiente di sicurezza parziale acciaio	γ_s	1,15	
Resistenza di progetto a trazione dell'acciaio	f_{yd}	391,30	MPa
Elementi con armatura a taglio			
Diametro staffe esterne	ϕ_{sw1}	16	mm
Numero braccia	n_{b1}	2	
Diametro staffe esterne	ϕ_{sw2}	14	mm
Numero braccia	n_{b2}	4	
Passo staffe	s	300	mm
Inclinazione tra puntone compresso e asse elemento	θ	45,00	°
Inclinazione armatura trasversale rispetto asse elemento	α	90	°
Area sezione trasversale armatura a taglio	A_{sw}	1017,36	mm ²
Braccio coppia interna	z	807,3	mm
Resistenza offerta dall'armatura a taglio	V_{Rsd}	1071	kN
Resistenza offerta dai puntoni	V_{Rcd}	8006	kN
Resistenza a taglio della sezione armata trasversalmente	V_{Rd}	1071	kN
Taglio sollecitante SLU	V_{Ed}	757	kN
Verificato			



Tabella 27 Verifica SLU – Taglio – Sezione B-2

Verifica elementi a taglio			
<i>Pannello diaframma 2800 x 1000 mm - ϕ16 2 braccia + ϕ16 4 braccia passo 150 mm</i>			
Geometria			
Altezza sezione	H	1000	mm
Base sezione	B	2800	mm
Barre longitudinali tese	ϕ_{sl}	24	mm
Diametro staffe	ϕ_{sw}	16	mm
Copriferro	c	75	mm
Altezza utile	d	897	mm
Materiali			
Calcestruzzo			
Resistenza caratteristica cubica	R_{ck}	30	MPa
Resistenza caratteristica cilindrica	f_{ck}	25	MPa
Coefficiente parziale calcestruzzo	γ_c	1,5	
Coefficiente che tiene conto degli effetti a lungo termine	α_{cc}	0,85	
Resistenza di progetto a compressione calcestruzzo	f_{cd}	14,17	MPa
Resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo d'anima	f'_{cd}	7,08	MPa
Acciaio			
Resistenza a snervamento dell'acciaio	f_{yk}	450	MPa
Coefficiente di sicurezza parziale acciaio	γ_s	1,15	
Resistenza di progetto a trazione dell'acciaio	f_{yd}	391,30	MPa
Elementi con armatura a taglio			
Diametro staffe esterne	ϕ_{sw1}	16	mm
Numero braccia	n_{b1}	2	
Diametro staffe esterne	ϕ_{sw2}	16	mm
Numero braccia	n_{b2}	4	
Passo staffe	s	150	mm
Inclinazione tra puntone compresso e asse elemento	θ	45,00	°
Inclinazione armatura trasversale rispetto asse elemento	α	90	°
Area sezione trasversale armatura a taglio	A_{sw}	1205,76	mm ²
Braccio coppia interna	z	807,3	mm
Resistenza offerta dall'armatura a taglio	V_{Rsd}	2539	kN
Resistenza offerta dai puntoni	V_{Rcd}	8006	kN
Resistenza a taglio della sezione armata trasversalmente	V_{Rd}	2539	kN
Taglio sollecitante SLU	V_{Ed}	2304	kN
		Verificato	

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico - Rebaudengo Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A1DSTRSRBR001-0-1

7.3 Verifiche SLE

Nelle verifiche agli SLE si è tenuto in conto che per tutte le strutture sono state previste condizioni ambientali "ordinarie" con classi di esposizione XC2.

In funzione del tipo di armatura (poco sensibili) i limiti fessurativi risultano:

- Combinazione di azioni caratteristica: $w_k \leq w = 0.3 \text{ mm}$

I limiti tensionali considerati per i diaframmi (C 25/30) sono relativi alla combinazione di carico caratteristica.

Calcestruzzo:

Combinazione di azioni	Limite tensionale
Caratteristica (rara)	$\sigma_c \leq 0.60 f_{ck} = 14.94 \text{ MPa (C25/30)}$


Acciaio:

Combinazione di azioni	Limite tensionale
Caratteristica (rara)	$\sigma_a \leq 0.80 f_{yk} = 360 \text{ MPa}$



7.3.1 Verifica a SLE Sezione Pali A-1

<i>Sezione di verifica SLE: Sezione pali A-1</i>	
<i>Geometria sezione:</i>	
Diametro della sezione trasversale di calcestruzzo	1000 [mm]
Copriferro	75 [mm]
Altezza utile della sezione	925 [mm]
Limitazione delle tensioni	
Momento sollecitante	504 [kNm]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione caratteristica	15,0 [MPa]
Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS	360,0 [MPa]
Tensione nel calcestruzzo	8,15 [MPa]
Tensione nel calcestruzzo < di 15 MPa	Verificato
Tensione nell'armatura tesa	190.5 [MPa]
Tensione nell'armatura tesa < di 360 MPa	Verificato
Apertura delle fessure	
Tensione indotta nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata	190.5 [MPa]
Valore medio della resistenza a trazione efficace del calcestruzzo	2,56 [MPa]
Fattore dipendente dalla durata del carico	0,40 [-]
Differenza tra la deformazione nell'acciaio e quella nel calcestruzzo	0,00063 [-]
Determinazione del diametro equivalente delle barre tese	24,00 [mm]
Distanza massima tra le fessure	438 [mm]
Ampiezza delle fessure	0.278 [mm]
Ampiezza massima delle fessure	0,3 [mm]
	Verificato

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico - Rebaudengo Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A1DSTRSRBR001-0-1

7.3.2 Verifica a SLE Sezione B-B

Tabella 28 Verifica SLE –Sezione B-1-Prima Gabbia

Sezione di verifica SLE: Sezione B-1 -Prima gabbia		
Geometria sezione:		
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	1000	[mm]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	1000	[mm]
Copriferro	75	[mm]
Altezza utile della sezione	925	[mm]
Limitazione delle tensioni		
Area dell'armatura tesa	3619	[mm ²]
Area dell'armatura compressa	5027	[mm ²]
Momento sollecitante	518	[kNm]
Posizione dell'asse neutro	228,87	[mm]
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	32088493474	[mm ⁴]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione caratteristica	15,0	[MPa]
Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS	360,0	[MPa]
Tensione nel calcestruzzo	3,5	[MPa]
Tensione nel calcestruzzo < di 15 MPa		Verificato
Tensione nell'armatura tesa	157,8	[MPa]
Tensione nell'armatura tesa < di 360 MPa		Verificato
Apertura delle fessure		
Tensione indotta nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata	157,83	[MPa]
Valore medio della resistenza a trazione efficace del calcestruzzo	2,56	[MPa]
Fattore dipendente dalla durata del carico	0,40	[-]
Altezza efficace	187,50	[mm]
Area efficace del calcestruzzo teso attorno all'armatura	187500	[mm ²]
Rapporto geometrico sull'area efficace	0,0193	[-]
Rapporto tra Es/Ecm	6,35	[-]
Differenza tra la deformazione nell'acciaio e quella nel calcestruzzo	0,000491	[-]
Determinazione del diametro equivalente delle barre tese	24,00	[mm]
Distanza massima tra le fessure	466,38	[mm]
Ampiezza delle fessure	0,229	[mm]
Ampiezza massima delle fessure	0,3	[mm]
		Verificato



Tabella 29 Verifica SLE –Sezione B-2-Seconda Gabbia

Sezione di verifica SLE: Sezione B-2– Seconda gabbia		
Geometria sezione:		
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	1000	[mm]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	1000	[mm]
Copriferro	75	[mm]
Altezza utile della sezione	925	[mm]
Limitazione delle tensioni		
Area dell'armatura tesa	5027	[mm ²]
Area dell'armatura compressa	3619	[mm ²]
Momento sollecitante	675	[kNm]
Posizione dell'asse neutro	275,84	[mm]
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	40959229978	[mm ⁴]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione caratteristica	15,0	[MPa]
Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS	360,0	[MPa]
Tensione nel calcestruzzo	4,7	[MPa]
Tensione nel calcestruzzo < di 15 MPa		Verificato
Tensione nell'armatura tesa	167,6	[MPa]
Tensione nell'armatura tesa < di 360 MPa		Verificato
Apertura delle fessure		
Tensione indotta nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata	167,60	[MPa]
Valore medio della resistenza a trazione efficace del calcestruzzo	2,56	[MPa]
Fattore dipendente dalla durata del carico	0,40	[-]
Altezza efficace	187,50	[mm]
Area efficace del calcestruzzo teso attorno all'armatura	187500	[mm ²]
Rapporto geometrico sull'area efficace	0,0268	[-]
Rapporto tra Es/Ecm	6,35	[-]
Differenza tra la deformazione nell'acciaio e quella nel calcestruzzo	0,000614	[-]
Determinazione del diametro equivalente delle barre tese	20,00	[mm]
Distanza massima tra le fessure	381,83	[mm]
Ampiezza delle fessure	0,234	[mm]
Ampiezza massima delle fessure	0,3	[mm]
		Verificato



Tabella 30 Verifica SLE –Sezione B-3 -Terza Gabbia

Sezione di verifica SLE: Sezione B-3		
Geometria sezione:		
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	1000	[mm]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	1000	[mm]
Copriferro	70	[mm]
Altezza utile della sezione	930	[mm]
Limitazione delle tensioni		
Area dell'armatura tesa	2513	[mm ²]
Area dell'armatura compressa	1257	[mm ²]
Momento sollecitante	429,6	[kNm]
Posizione dell'asse neutro	219,05	[mm]
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	22977326041	[mm ⁴]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione caratteristica	15,0	[MPa]
Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS	360,0	[MPa]
Tensione nel calcestruzzo	4,1	[MPa]
Tensione nel calcestruzzo < di 15 MPa		Verificato
Tensione nell'armatura tesa	199,4	[MPa]
Tensione nell'armatura tesa < di 360 MPa		Verificato
Apertura delle fessure		
Tensione indotta nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata	199,38	[MPa]
Valore medio della resistenza a trazione efficace del calcestruzzo	2,56	[MPa]
Fattore dipendente dalla durata del carico	0,40	[-]
Altezza efficace	175,00	[mm]
Area efficace del calcestruzzo teso attorno all'armatura	175000	[mm ²]
Rapporto geometrico sull'area efficace	0,0144	[-]
Rapporto tra Es/Ecm	6,35	[-]
Differenza tra la deformazione nell'acciaio e quella nel calcestruzzo	0,000607	[-]
Determinazione del diametro equivalente delle barre tese	20,00	[mm]
Distanza massima tra le fessure	491,74	[mm]
Ampiezza delle fessure	0,299	[mm]
Ampiezza massima delle fessure	0,3	[mm]
		Verificato



7.3.3 Verifica di deformabilità a lungo termine

La verifica di deformabilità a lungo termine è condotta tenendo in considerazione gli effetti del fluage del calcestruzzo. Per simulare il fluage delle strutture in calcestruzzo sotto carico costante è stato applicato al modulo elastico del calcestruzzo un coefficiente di riduzione pari a 2.75.

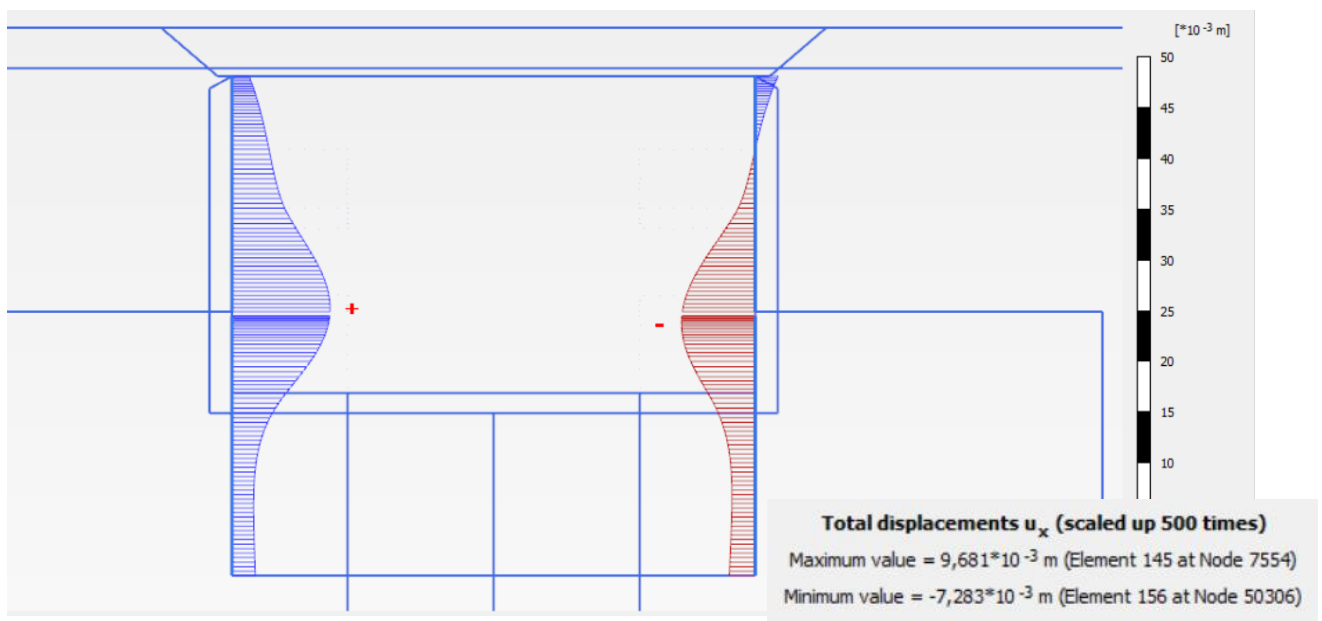


Figura 25. Spostamenti orizzontali a lungo termine

Lo spostamento massimo risulta essere inferiore al centimetro e compatibile con il limite di 1/250 della massima luce libera di 9.10 m risultante in uno spostamento ammissibile di 3,6 cm.

7.4 Incidenza armatura

Dalle analisi condotte e dagli schemi di armatura adottati, come riscontrabile dagli elaborati grafici e dall'allegato 4, l'incidenza di armatura risulta in:

Paratia	Incidenza armatura
Diaframmi h= 100 cm	136 kg/m ³
Pali secanti (primario)	141 kg/m ³



8. VERIFICHE GEOTECNICHE

8.1 Verifica tampone di fondo

La verifica della stabilità del tampone di fondo è condotta considerando tutti i possibili meccanismi di collasso evidenziati nella figura sottostante.

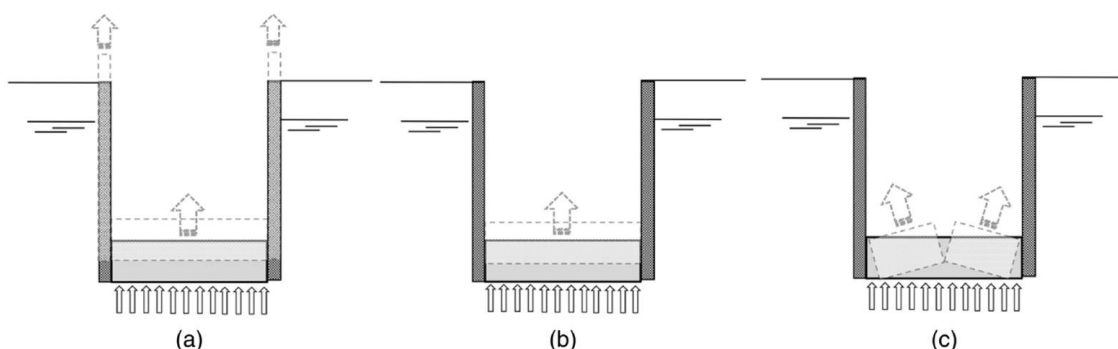


Figura 26. Possibili meccanismi di collasso: a) sollevamento del tampone di fondo e dei diaframmi b) sollevamento del tampone di fondo c) rottura del tampone di fondo

Di seguito sono riportati i parametri utilizzati per le verifiche del tampone e le relative verifiche.

Tabella 31 Verifica tampone di fondo

Verifica galleggiamento tampone di fondo fase costruttiva - Intera struttura			
Forze agenti			
Azioni instabilizzanti			
Pressione U alla base della paratia	=	144,55	kPa
Pressione U alla base del tampone	=	144,55	kPa
Forza instabilizzante	=	3845,03	kN/m
Azioni stabilizzanti			
Peso tampone	=	4329,60	kN/m
Peso terreno saturo sopra tampone	=	959,40	kN/m
Peso diaframmi	=	1337,50	kN/m
Peso riempimento	=	885,60	kN/m
Peso soletta copertura	=	799,50	kN/m
Peso soletta intermedia	=	615,00	kN/m
Forze stabilizzanti totali	=	8926,60	kN/m
Resistenze			



CITTA' DI TORINO

Metropolitana di Torino - Linea 2
Tratta: Politecnico - Rebaudengo
Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna

Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere
di sostegno stazione

MTL2T1A1DSTRSRBR001-0-1

ka	=	0,26	
Resistenza attrito media	=	8,75	kPa
Forza stabilizzante dovuta all'attrito	=	468,29	kN/m
Forza instabilizzante progetto	=	4229,53	kN/m
Forza stabilizzante + resistenze di progetto	=	8502,23	kN/m
FS	=	2,01	OK
Parametri geometrici e geotecnici			
Larghezza diaframmi	=	1	m
Altezza soletta di copertura	=	1	m
Altezza soletta intermedia	=	1,0	m
Altezza riempimento	=	1,8	m
Larghezza interna scavo	=	24,6	m
FEL	=	-16,75	m
Hw	=	-12	m
Profondita' paratia	=	-26,75	m
Altezza terreno saturo al di sopra del tampone	=	1,0	m
Battente idraulico	=	14,75	m
Altezza tampone di fondo	=	9,00	m
Profondita' infissione paratia	=	10,00	m
Coefficienti parziali			
γ_G fav	=	0,9	
γ_G unfav	=	1,1	
$\gamma \phi$	=	1,25	
γc	=	1,25	
Parametri geotecnici			
γ_{JG}	=	22	kN/mc
γ_s	=	19,5	kN/mc
ϕ	=	36	°
δ	=	18,00	°
c_s	=	10,00	kPa
c_{JG}	=	150,00	kPa
$q_{u,JG}$	=	589	kPa
d	=	0,20	



CITTA' DI TORINO

Metropolitana di Torino - Linea 2
Tratta: Politecnico - Rebaudengo
Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna

Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione

MTL2T1A1DSTRSRBR001-0-1

Verifica galleggiamento tampone di fondo fase costruttiva - Intera struttura			
Forze agenti			
Azioni instabilizzanti			
Pressione U alla base della paratia	=	144,55	kPa
Pressione U alla base del tampone	=	144,55	kPa
Forza instabilizzante	=	3845,03	kN/m
Azioni stabilizzanti			
Peso tampone	=	4870,80	kN/m
Peso terreno saturo sopra tampone	=	479,70	kN/m
Peso diaframmi	=	1337,50	kN/m
Peso riempimento	=	885,60	kN/m
Peso soletta copertura	=	799,50	kN/m
Peso soletta intermedia	=	615,00	kN/m
Forze stabilizzanti totali	=	8988,10	kN/m
Resistenze			
ka	=	0,26	
Resistenza attrito media	=	8,75	kPa
Forza stabilizzante dovuta all'attrito	=	468,29	kN/m
Forza instabilizzante progetto	=	4229,53	kN/m
Forza stabilizzante + resistenze di progetto	=	8557,58	kN/m
FS	=	2,02	OK

Verifica galleggiamento tampone di fondo fase costruttiva - Solo tampone			
Forze agenti			
Azioni instabilizzanti			
Pressione U alla base del tampone	=	144,55	kPa
Forza instabilizzante	=	3555,93	kN/m
Azioni stabilizzanti			
Peso tampone	=	4870,80	kN/m
Peso terreno saturo sopra tampone	=	479,70	kN/m
Forze stabilizzanti totali	=	5350,50	kN/m
Resistenze			
Resistenza attrito media	=	94,17	kPa



CITTA' DI TORINO

Metropolitana di Torino - Linea 2
Tratta: Politecnico - Rebaudengo
Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna


Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione

MTL2T1A1DSTRSRBR001-0-1

Forza stabilizzante dovuta all'attrito	=	1695,03	kN/m
Forza instabilizzante progetto	=	3911,52	kN/m
Forza stabilizzante + resistenze di progetto	=	6510,48	kN/m
FS	=	1,66	OK

Verifica resistenza interna tampone di fondo			
Forze agenti			
Azioni instabilizzanti			
M instabilizzante	=	12028	kNm/m
Azioni stabilizzanti			
M stabilizzante	=	14808	kNm/m
Resistenze			
Resistenza interna tampone di fondo	=	7151	kNm/m
Forze instabilizzanti	=	12028	kNm/m
Forze stabilizzanti + resistenze di progetto	=	21958	kNm/m
FS	=	1,83	OK

Verifica resistenza interna tampone di fondo			
Forze agenti			
Azioni instabilizzanti			
M instabilizzante	=	12028	kNm/m
Azioni stabilizzanti			
M stabilizzante	=	14637	kNm/m
Resistenze			
Resistenza interna tampone di fondo	=	5650	kNm/m
Forze instabilizzanti	=	12028	kNm/m
Forze stabilizzanti + resistenze di progetto	=	20287	kNm/m
FS	=	1,69	OK

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico - Rebaudengo Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A1DSTRSRBR001-0-1

8.2 Verifica galleggiamento a lungo termine

Le verifiche a galleggiamento a lungo termine delle opere in sotterraneo da realizzare in presenza di falda sono state sviluppate sulla base delle seguenti ipotesi:

- i carichi permanenti strutturali saranno considerati interamente.
- Il peso delle solette intermedie sarà calcolato considerando una percentuale di vuoti pari al 30%.
- I carichi permanenti portati saranno stati stimati nel 10% dei carichi permanenti strutturali.
- Il rinterro sarà stato considerato tenendo in conto di una possibile riduzione dello stesso, anche temporanea, di 1.0m considerando cautelativamente un peso dell'unità di volume pari a 18kPa.
- Il livello di falda in fase di costruzione sarà considerato come un carico permanente e quindi amplificato del fattore $\gamma_{G1} = 1.1$ La differenza (=3m) fra il livello di falda a lungo termine e quello a breve termine è stato considerato come un carico variabile e quindi amplificato del fattore $\gamma_{Q1} = 1.5$.

Forze instabilizzanti			
Fondo scavo	FEL	=	16,75 m da p.c.
Profondita' paratie	H _{Par}	=	27 m da p.c.
H falda breve termine	H _{w, Breve}	=	12 m da p.c.
H falda lungo termine	H _{w, Lungo}	=	9 m da p.c.
Area soletta di fondo	A _{Sol}	=	3023 m ²
Area piede paratie	A _{Par}	=	280 m ²
Spinta idraulica breve termine	U breve	=	185593 kN
Incremento spinta a lungo termine	ΔU lungo	=	99090 kN

Forze stabilizzanti - Attrito			
Angolo di attrito terreno	ϕ	=	30 °
Angolo attrito muro-terreno	δ	=	15 °
Peso per unita' di volume	γ	=	19,5 kN/m ³
Coefficiente di spinta a riposo	K ₀	=	0,33
Tensione normale media	σ_N	=	42,49 kPa
Resistenza attrito per unita' lungh		=	297,74 kN/m
Lunghezza diaframmi	L	=	280 m
Forza stabilizzante attrito	F_{Attr}	=	83366 kN
Forze stabilizzanti - Attrito			



CITTA' DI TORINO

Metropolitana di Torino - Linea 2
Tratta: Politecnico - Rebaudengo
Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna

Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione

MTL2T1A1DSTRSRBR001-0-1

Angolo di attrito terreno	ϕ	=	30 °
Angolo attrito muro-terreno	δ	=	15 °
Peso per unita' di volume	γ	=	19,5 kN/m ³
Coefficiente di spinta a riposo	K_0	=	0,33
Tensione normale media	σ_N	=	42,49 kPa
Resistenza attrito per unita' lung		=	297,74 kN/m
Lunghezza diaframmi	L	=	280 m
Forza stabilizzante attrito	F_{attr}	=	83366 kN



CITTA' DI TORINO

Metropolitana di Torino - Linea 2
Tratta: Politecnico - Rebaudengo
Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna

Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione

MTL2T1A1DSTRSRBR001-0-1

		Forze stabilizzanti - Peso			
Ritombamento		Diaframmi		Soletta copertura	
Altezza	H = 1 m	Spessore	S = 1 m	Altezza	H = 1,2 m
Altezza di calcolo	H _{calc} = 0 m	Profondità	L = 26 m	Area	A = 2747 m ²
Area	A = 3023 m ²	Lunghezza	L = 280 m	Peso per unità' di volume	γ = 25 kN/m ³
Peso per unità' di volume	γ = 18 kN/m ³	Peso per unità' di volume	γ = 25 kN/m ³	Peso strutturale	W_{cop,str} = 82410 kN
Peso ritombamento	W_{rit} = 0 kN	Peso diaframmi	W_{diaf} = 182000 kN	Peso non strutturale (10%)	W_{cop,non,10%} = 8241 kN
Atrio		Banchina		Pilastri	
Altezza	H = 1,0 m	Area soletta banchina	A = 2076 m ²	Area pilastro tipo 1	A ₁ = 1,68 m ²
Area	A = 2747 m ²	Spessore soletta banchina	s = 0,3 m	Numero pilastri tipo 1	n ₁ = 18
Percentuale vuoti	%v = 30 %	Peso per unità' di volume	γ = 25 kN/m ³	Area pilastro tipo 2	A ₂ = 2,4 m ²
Area di calcolo	A _{calc} = 192,9 m	Peso strutturale	W_{Sol,Str} = 15570 kN	Numero pilastri tipo 2	n ₂ = 2
Peso per unità' di volume	γ = 25 kN/m ³	Peso non strutturale (10%)	W_{Sol,non,10%} = 1557 kN	Altezza	H = 13,5 m
Peso ritombamento	W_{Atr,Str} = 48075 kN	Muri banchina	L = 200 m	Peso per unità' di volume	γ = 25 kN/m ³
Peso non strutturale (10%)	W_{Atr,non,10%} = 4807 kN	Spessore muri banchina	s = 0,3 m	Peso strutturale	W_{pil,Str} = 11826 kN
Soletta di base		Peso strutturale		Federe	
Altezza	H = 1,0 m	W_{Mur,Str} = 1500 kN	W_{Mur,B,Str} = 1500 kN	Altezza	H = 10,7 m
Area	A = 2747 m ²	Federe piano banchina		Spessore	s = 0,5 m
Peso per unità' di volume	γ = 25 kN/m ³	Altezza	H = 2,5 m	Lunghezza	L = 280 m
Peso strutturale	W_{cop,Str} = 68675 kN	Spessore	s = 1 m	Peso per unità' di volume	γ = 25 kN/m ³
Peso non strutturale (10%)	W_{cop,non,10%} = 6868 kN	Lunghezza	L = 220 m	Peso strutturale	W_{Fed,Str} = 37450 kN
		Peso per unità' di volume	γ = 25 kN/m³	Peso non strutturale (10%)	W_{Fed,non,10%} = 3745 kN



CITTA' DI TORINO

Metropolitana di Torino - Linea 2
Tratta: Politecnico - Rebaudengo
Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna

Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione


MTL2T1A1DSTRSRBR001-0-1

Verifica a galleggiamento a lungo termine

Coefficiente parziale carichi permanenti favorevoli	$\gamma_{G,fav}$	=	0,9
Coefficiente parziale carichi permanenti sfavorevoli	$\gamma_{G,sfav}$	=	1,1
Coefficiente parziale carichi variabili sfavorevoli	$\gamma_{Q,sfav}$	=	1,5
Forze stabilizzanti di progetto (Peso+Attrito)	V_{stab}	=	509483 kN
Forze instabilizzanti di progetto	V_{inst}	=	352787 kN
Fattore di sicurezza	FS	=	1,44 Verificato

Verifica a galleggiamento a lungo termine

Coefficiente parziale carichi permanenti favorevoli	$\gamma_{G,fav}$	=	0,9
-----------------------------------------------------	------------------	---	-----

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico - Rebaudengo Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A1DSTRSRBR001-0-1

Coefficiente parziale carichi permanenti sfavorevoli	$V_{G,sfav}$	=	1,1
Coefficiente parziale carichi variabili sfavorevoli	$V_{Q,sfav}$	=	1,5
Forze stabilizzanti di progetto (Peso+Attrito)	V_{stab}	=	509483 kN
Forze instabilizzanti di progetto	V_{inst}	=	352787 kN
Fattore di sicurezza	FS	=	1,44 Verif

8.3 Verifica capacità portante barrette (kingpost)

Le barrette realizzate all'interno del corpo stazione sostengono quasi tutto il carico assiale trasmesso dalla copertura e dalle solette intermedie nella fase costruttiva, per cui i diaframmi laterali risultano quasi scarichi in tutte le fasi di realizzazione della stazione. A lungo termine il carico della stazione verrà trasmesso al terreno tramite la soletta di base. Le verifiche di capacità portante delle barrette sono riportate nel seguito, mentre le verifiche strutturali vengono riportate nella relazione di calcolo delle strutture interne essendo i carichi a lungo termine maggiori di quelli transitori. Il valore delle tensioni efficaci adottato per la verifica è desunto dalle analisi numeriche.

La capacità portante valutata della barretta può essere assimilata a quella di un palo di fondazione isolato e pertanto la verifica è condotta con il seguente procedimento.

La capacità portante alla base del palo è valutata secondo la formulazione classica di Brinch-Hansen per le fondazioni dirette riportata nel seguito:

$$P_{lim} = A_p (c N_c d_c s_c + \eta q N_q d_q s_q + \frac{1}{2} \gamma B_p N_\gamma s_\gamma)$$

Con:

P_{lim} è la capacità portante di base

A_p è l'area della base del palo

N_c, N_q, N_γ sono i fattori di capacità; portante relativi a coesione, sovraccarico e peso proprio del terreno

d_c, d_q, d_γ sono fattori correttivi relativi profondità del piano di posa

s_c, s_q, s_γ sono fattori correttivi relativi alla dimensione della base del palo

q è la tensione verticale efficace al livello della base del palo

Secondo quanto prescritto dalle norme tecniche per le costruzioni al par. 6.4.3.1.1 il coefficiente parziale (R3) applicato all'aliquota di resistenza della capacità portante di base è pari a 1,35.



La capacità portante laterale è valutata secondo la formulazione proposta da Burland in cui la tensione tangenziale resistente è pari a:

$$f_s = Kq \tan \delta$$

In cui:

K e' il coefficiente di spinta a riposo valutato con la formulazione di Jacky

q e' la tensione verticale efficace media agente lungo la profondità di infissione del palo

δ e' l'angolo d'attrito palo terreno valutato come $0,5 \varphi$

Secondo quanto prescritto dalle norme tecniche per le costruzioni al par. 6.4.3.1.1 il coefficiente parziale (R3) applicato all'aliquota di resistenza della capacità portante laterale in compressione è pari a 1,15.

Tabella 32 Verifica capacità portante barrette

Parametri geotecnici		
C _k	10	kPa
φ _k	36	°
γ _k	19	kN/mc
Dimensione delle barrette		
B	0,6	m
L	2,8	m
θ	0	°
Lunghezza delle barrette		
Lunghezza	16	m
Capacità portante di base		
s _c	1,17	
s _q s _y	1,08	
d _c	1,80	
d _q d _y	1,49	
i _c i _q	1,00	
i _y	1,00	
N _c	50,53	
N _q	37,71	
N _y	40,01	
q _c	1058	kPa
q _q	9466	kPa

Forza agente		
Carico caratteristico	12290	kN
Carico di progetto	17206	kN

Capacità portante laterale		
σ' _v (da analisi numerica)	278	kPa
σ' _v average	195	kPa
K ₀	0,41	
σ' _h average (da analisi numerica)	157	kPa
Delta	0,5	
Resistenza palo terreno	18	°
K _a	0,260	
Attrito palo terreno	51,01	kPa
Resistenza laterale	5550	kN
Fattore di sicurezza parziale	1,15	
R laterale di progetto	4826	kN



q_v	247	kPa
q_{ult}	10771	kPa
Fattore sicurezza parziale	1,35	
R di base di progetto	13404	kN

R totale di progetto	18230	kN
Carico di progetto	17206	kN
	Verificato	

8.4 Verifica capacità portante paratia

Come descritto nel paragrafo precedente i diaframmi risultano sostanzialmente poco caricati durante le differenti fasi costruttive dell'opera. Nella fase costruttiva la maggior parte del carico verticale è portato dalle barrette mentre a lungo termine i carichi sono portati dalla soletta di base. Di seguito si riporta la verifica a capacità portante della paratia nella fase temporanea.

Il valore delle tensioni efficaci adottato per la verifica è desunto dalle analisi numeriche.

Tabella 33 Verifica capacità portante paratia

Parametri geotecnici			Forza agente		
c_k	10	kPa	Carico caratteristico	879	kN
ϕ_k	36	°	Carico di progetto	1231	kN
γ_k	19	kN/mc			
Dimensione diaframma					
B	1	m			
L	1	m			
θ	0	°			
Lunghezza diaframma					
Lunghezza	9	m			
Capacità portante di base			Capacità portante laterale		
s_c	1,77		σ'_v	103	kPa
s_q, s_γ	1,39		σ'_v average	51,5	kPa
d_c	3,53		K_0	0,41	
d_q, d_γ	2,56		σ'_h average	42,5	kPa
i_c, i_q	1,00		Delta	0,5	
i_γ	1,00		Resistenza diaframma terreno	18	°
N_c	50,53		K_a	0,260	
N_q	37,71		Attrito diaframma terreno	13,80	kPa
N_γ	40,01		Resistenza laterale	497	kN
			Fattore di sicurezza parziale	1,15	
q_c	3154	kPa	R laterale di progetto	432	kN



CITTA' DI TORINO

Metropolitana di Torino - Linea 2
Tratta: Politecnico - Rebaudengo
Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna

Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione

MTL2T1A1DSTRSRBR001-0-1

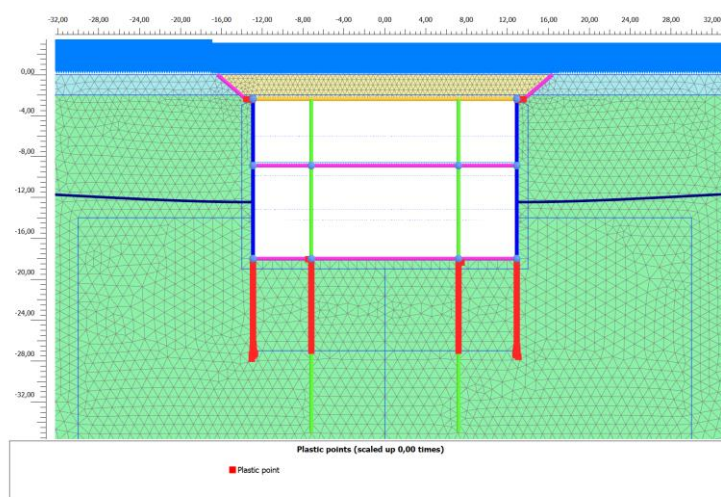
q_q	3850	kPa
q_v	526	kPa

R totale di progetto	6010	kN
Carico di progetto	1231	kN
	Verificato	

q_{ult}	7530	kPa
Fattore sicurezza parziale	1,35	
R di base di progetto	5578	kN

8.5 Verifica capacità portante della soletta di fondo

Le modellazioni numeriche eseguite non evidenziano criticità in termini deformativi e di sviluppo di fasce plastiche al di sotto della soletta di base anche nella fase finale di disattivazione dei trattamenti del fondo scavo. Per tanto, non sono necessarie ulteriori verifiche della relativa capacità portante.



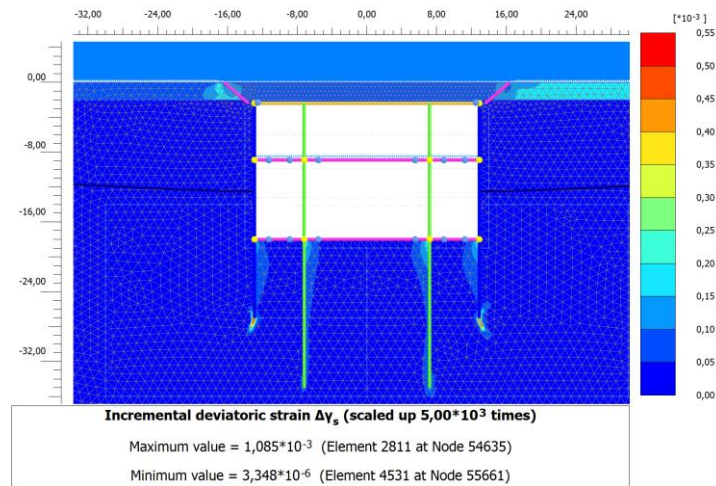


Figura 27. Zone di plasticizzazione

8.6 Stabilità globale

Il fattore di sicurezza relativo alla stabilità globale è valutato sia nella fase di breve termine che di lungo termine. L'analisi è stata condotta con la combinazione A2-M2 applicando i fattori di riduzione dei parametri in accordo al punto 6.5.3.1.2 delle NTC.

Lo spostamento di tre punti lungo la paratia viene monitorato: uno in testa, uno al fondo scavo ed uno al piede.

- **Breve termine**

Il fattore di sicurezza ottenuto è pari a 2.57.

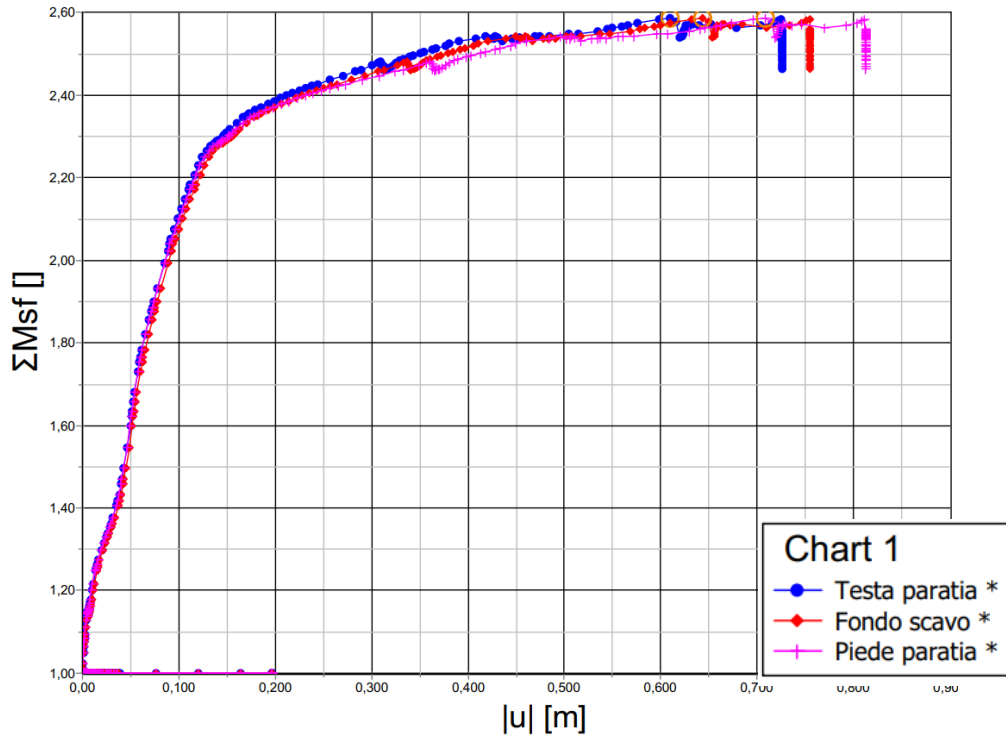


Figura 28. Fattore di sicurezza nella fase costruttiva

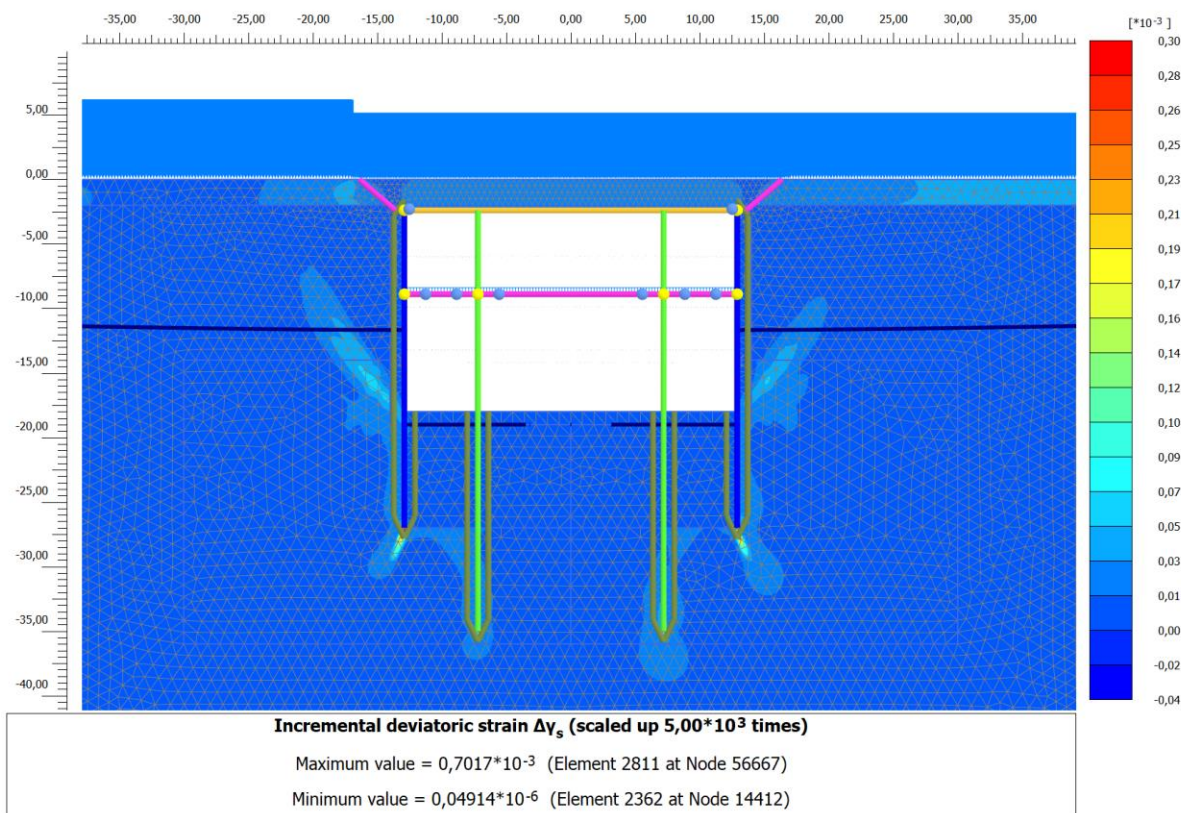


Figura 29. Rapporto tra tensione tangenziale massima e tensione tangenziale mobilitata

La Figura 29 mostra il rapporto tra tensione tangenziale limite e tensione tangenziale agente in corrispondenza dello step di calcolo a fondo scavo (più critico ai fini di questa analisi). L'output fornisce indicazioni riguardo la mobilitazione delle spinte limite sulla parete.



- **Lungo termine**

Il fattore di sicurezza relativo alla stabilità globale nella fase di lungo termine ottenuto è maggiore di 10.0.

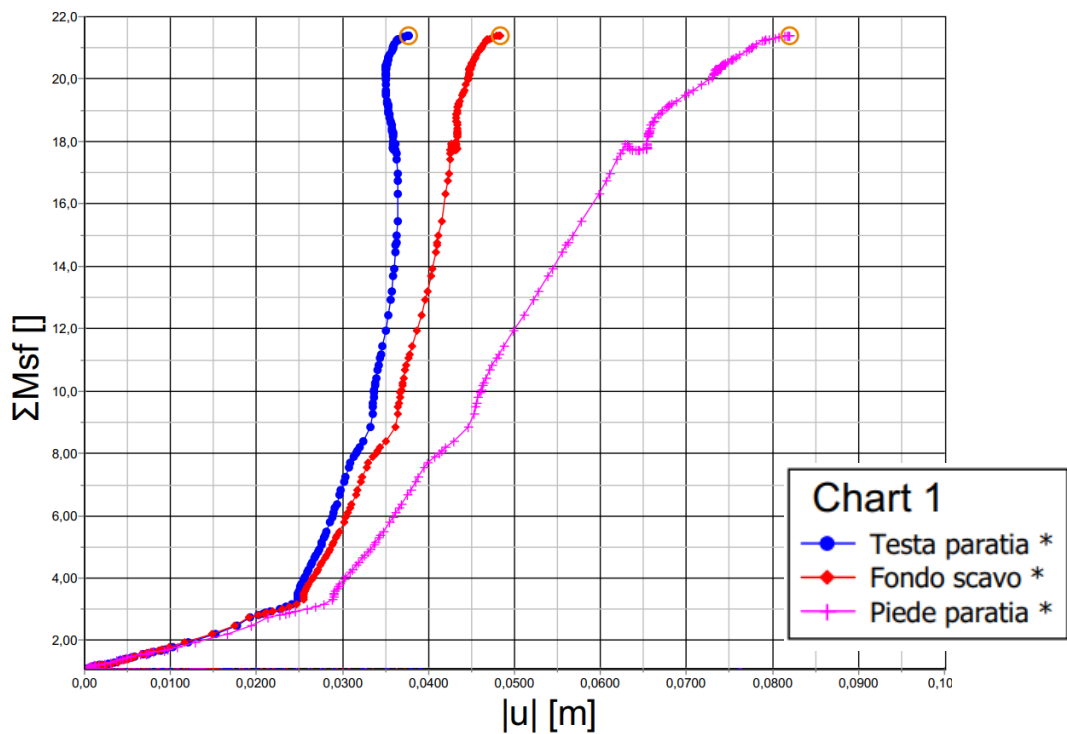


Figura 30. Fattore di sicurezza a lungo termine

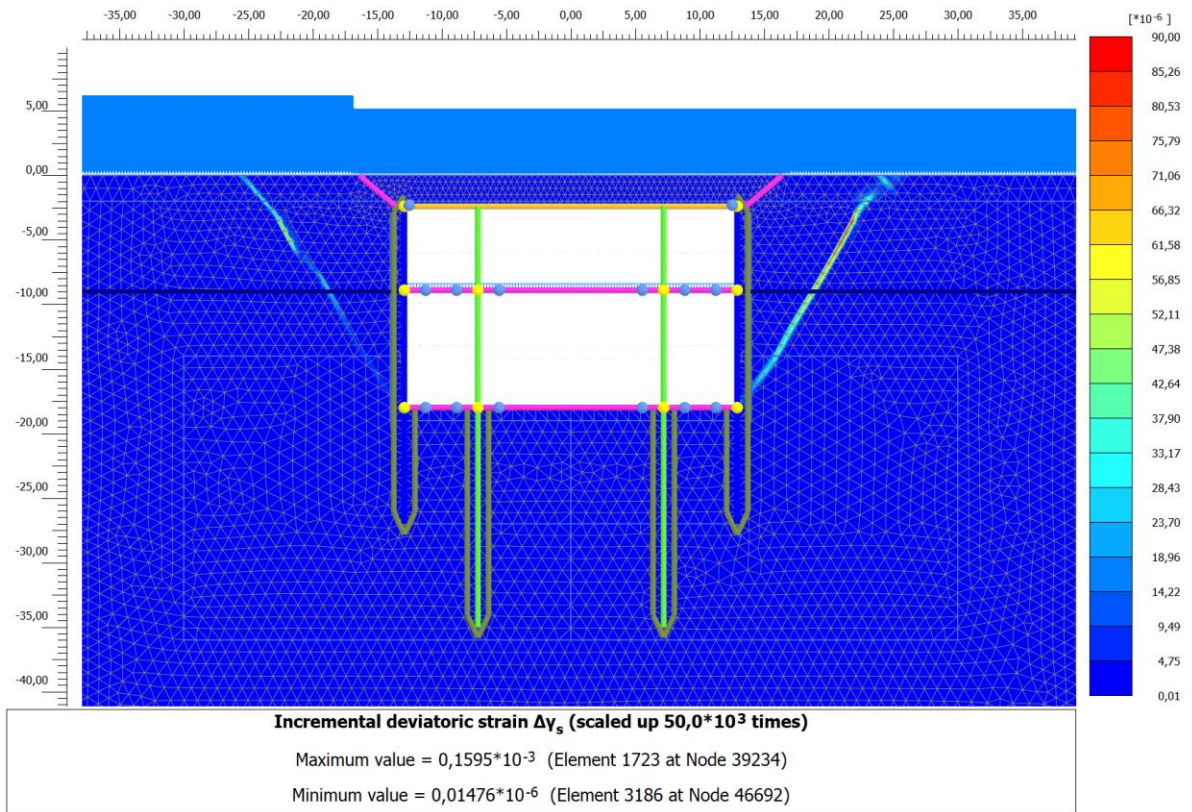


Figura 31. Rapporto tra tensione tangenziale massima e tensione tangenziale mobilitata

La Figura 31 mostra il rapporto tra tensione tangenziale limite e tensione tangenziale agente in corrispondenza dell'ultimo step di calcolo. L'output fornisce indicazioni riguardo la mobilitazione delle spinte limite sulla parete.

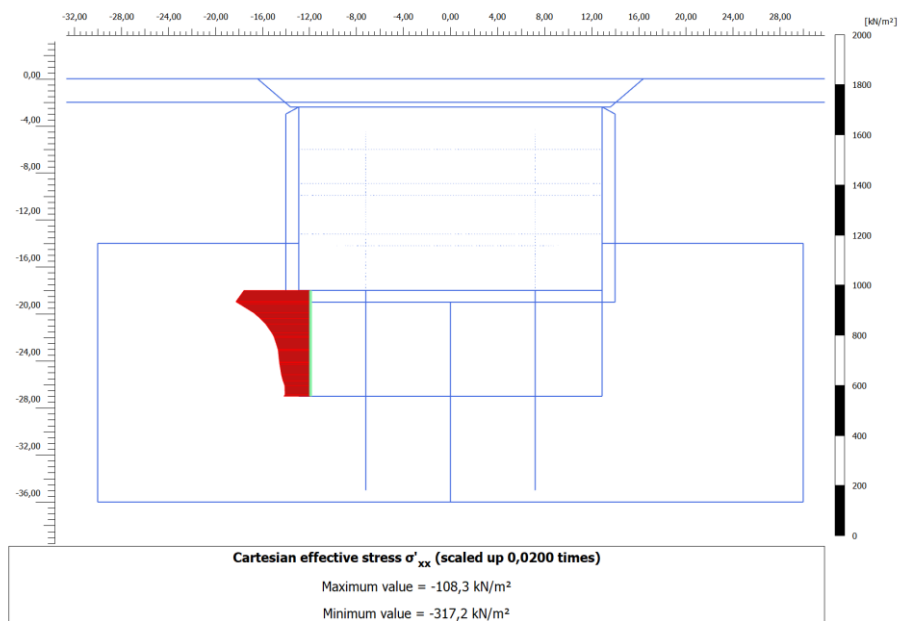
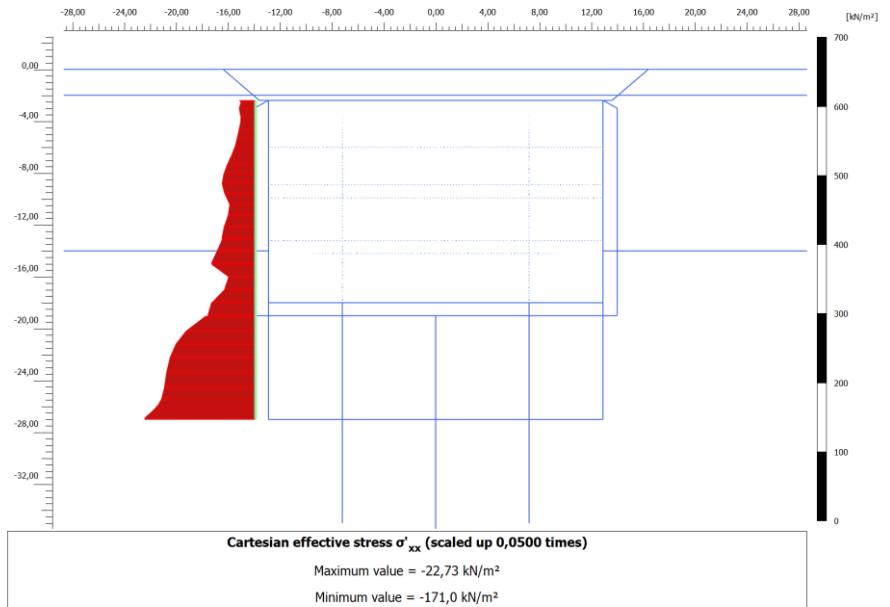


Figura 32. Tensioni orizzontali efficaci paratia

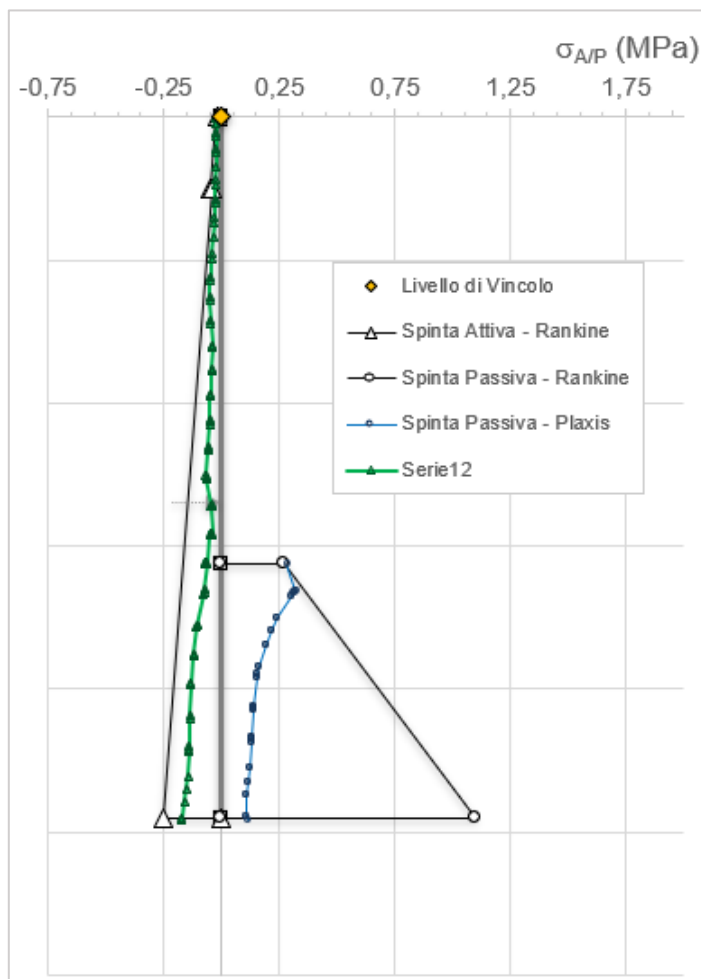


Figura 33. Confronto tensione limite attive e passive con tensioni orizzontali Plaxis

Eseguendo la verifica della mobilitazione della spinta passiva in accordo alla NTC, è possibile osservare come, oltre al margine di sicurezza garantito dall'aver eseguito una analisi con i parametri di resistenza ridotti del fattore 1.25, la resistenza passiva a monte risulta attivata in una percentuale largamente inferiore al 50% rispetto alla spinta calcolabile con Rankine. Ciò garantisce un ulteriore margine di sicurezza nei riguardi del meccanismo.

9. VALIDAZIONE DEI MODELLI ESEGUITI

I risultati numerici, ottenuti utilizzando il codice di calcolo agli elementi finiti Plaxis 2D, sono stati confrontati con quelli ottenuti attraverso il software di calcolo ParatiePlus utilizzato durante il progetto preliminare. In entrambi i modelli la realizzazione dello scavo, sostenuto da paratie puntonate, viene seguita simulando le diverse fasi realizzative. Nelle immagini successive sono riportati i due modelli numerici una volta raggiunto il fondo scavo:

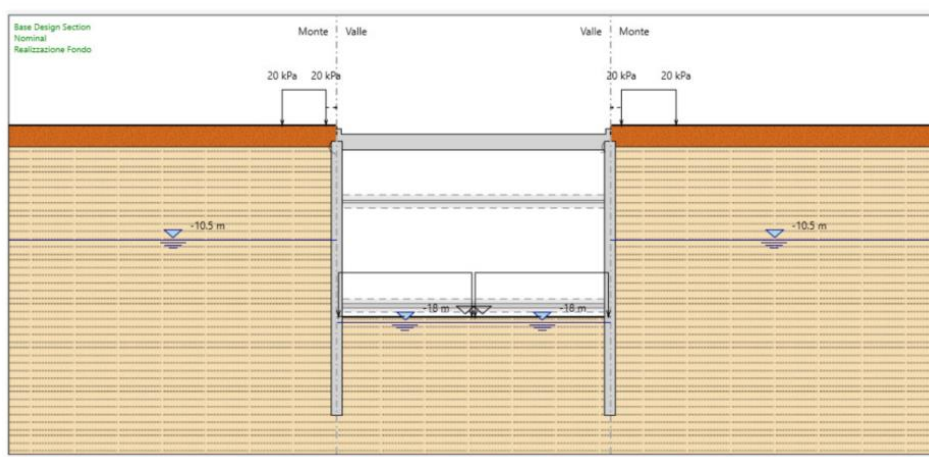


Figura 34. Modello numerico ParatiePlus

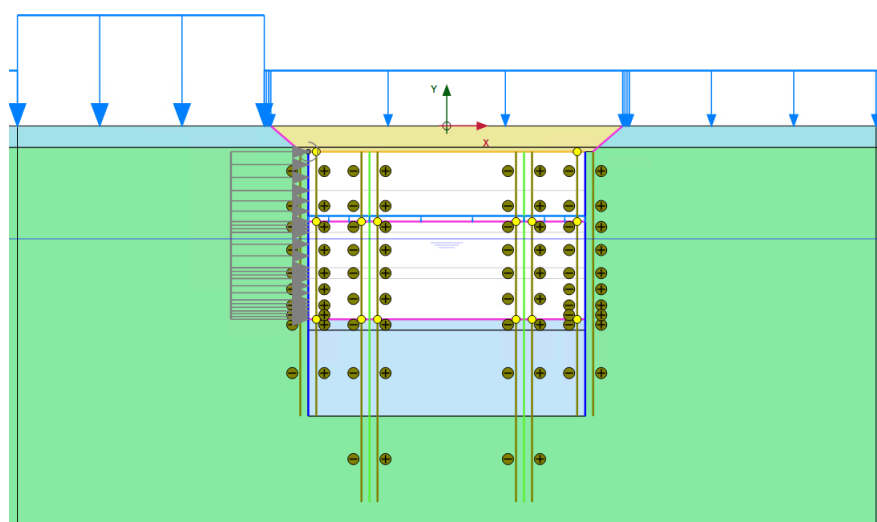


Figura 35. Modello numerico Plaxis

Di seguito sono rappresentati gli involupei dei momenti flettenti ottenuti attraverso entrambi i codici di calcolo:

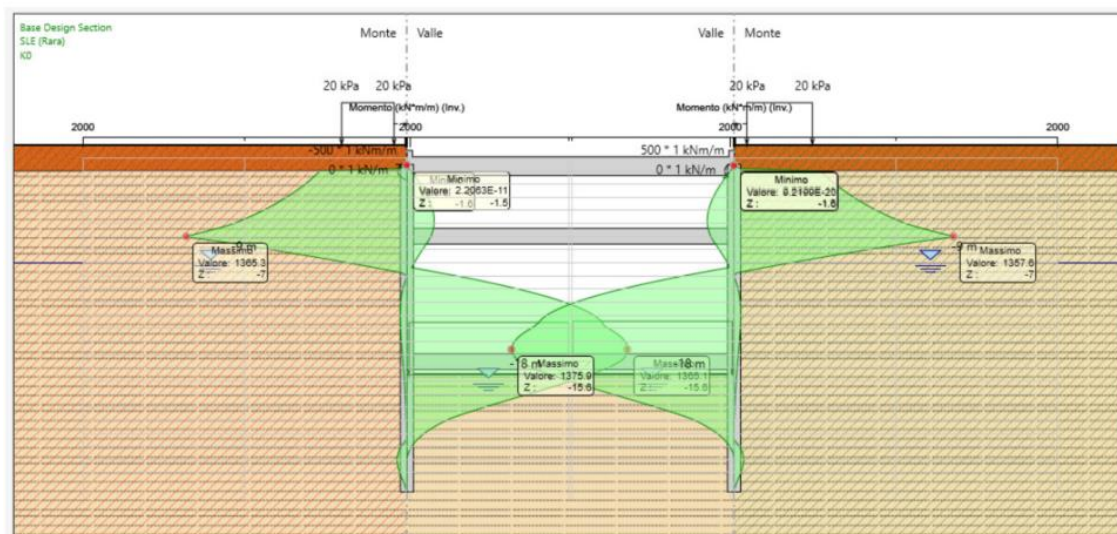


Figura 36. Involuppo momenti flettenti ParatiePlus

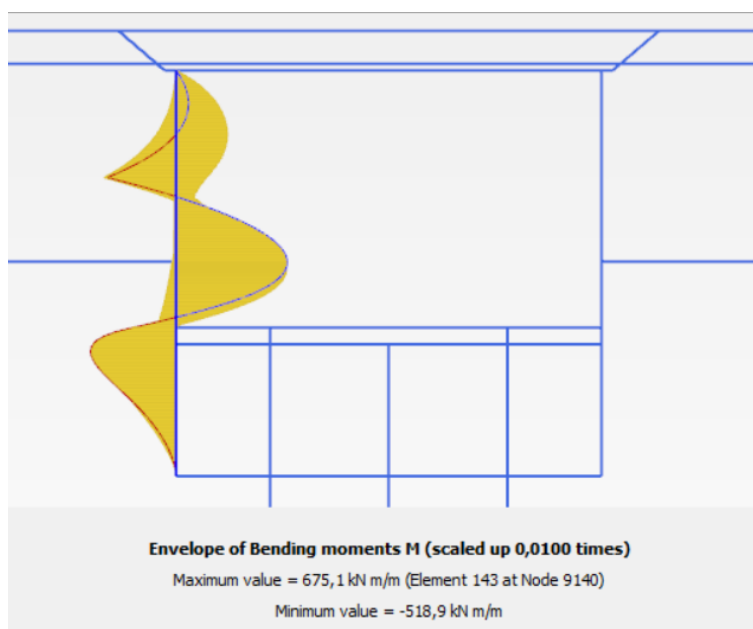




Figura 37. Involuppo momenti flettenti Plaxis

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico - Rebaudengo Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A1DSTRSRBR001-0-1

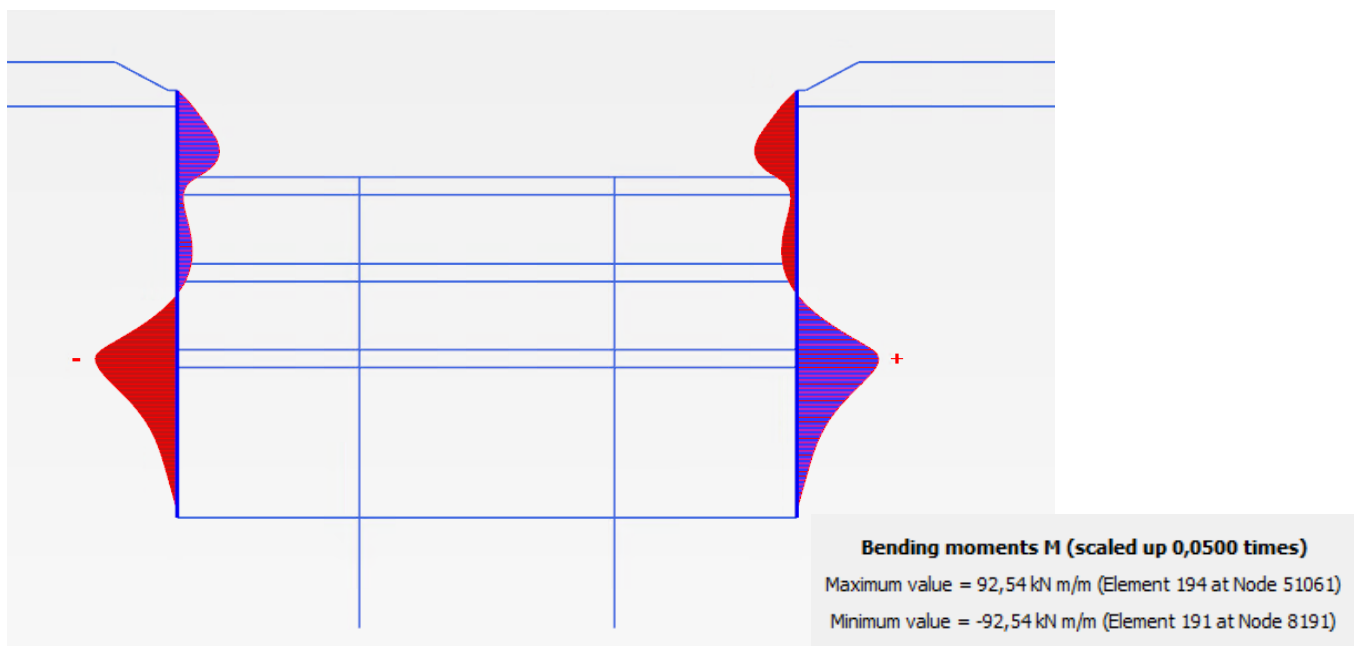
Si riscontra come gli andamenti del momento flettente risultino molto simili, con le principali differenze localizzate in testa al diaframma e dovuti alla differente condizione di vincolo imposta. Le differenze in valore assoluto riportate sono riconducibili principalmente ad alcune differenze nella modellazione relativa al tampone di fondo (assente nel modello di ParatiePlus) e ad una modellazione più completa ottenuta con Plaxis 2D. Si ritiene pertanto che tale confronto dimostri la robustezza e validità delle analisi effettuate.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico - Rebaudengo Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A1DSTRSRBR001-0-1

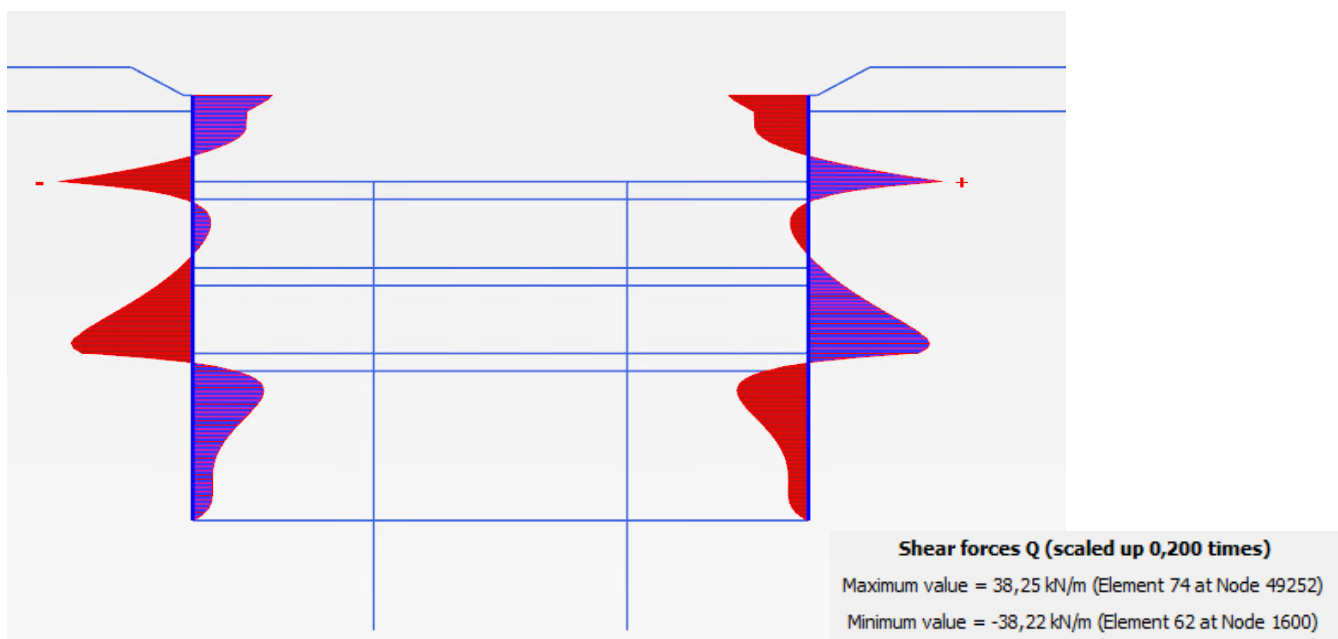
ALLEGATO N.1

Risultati delle analisi numeriche

Sezione A-A Scavo 1 – Momento flettente

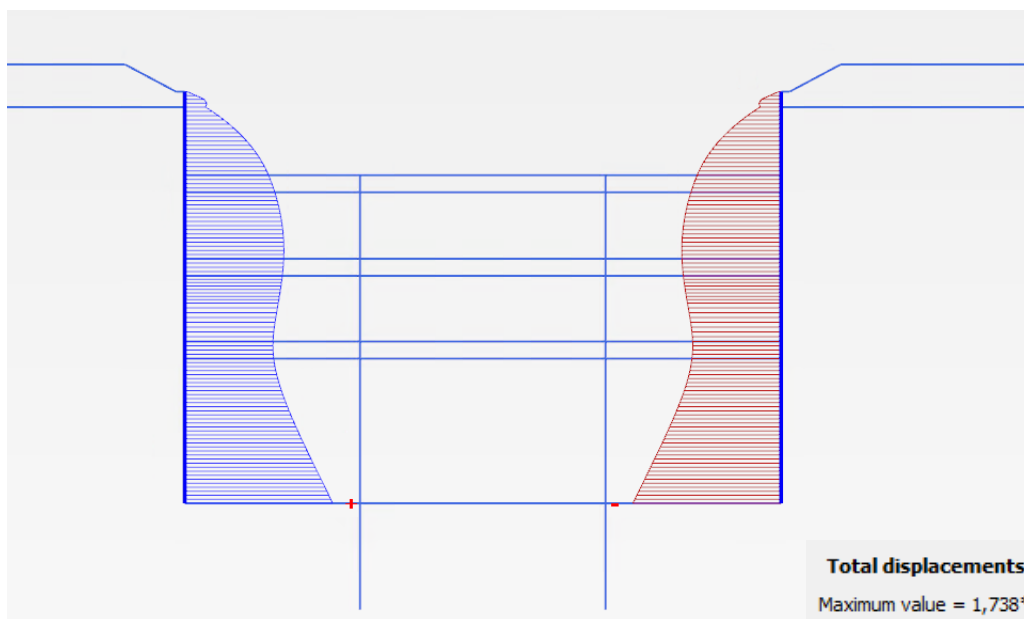


Sezione A-A Scavo 1 – Taglio



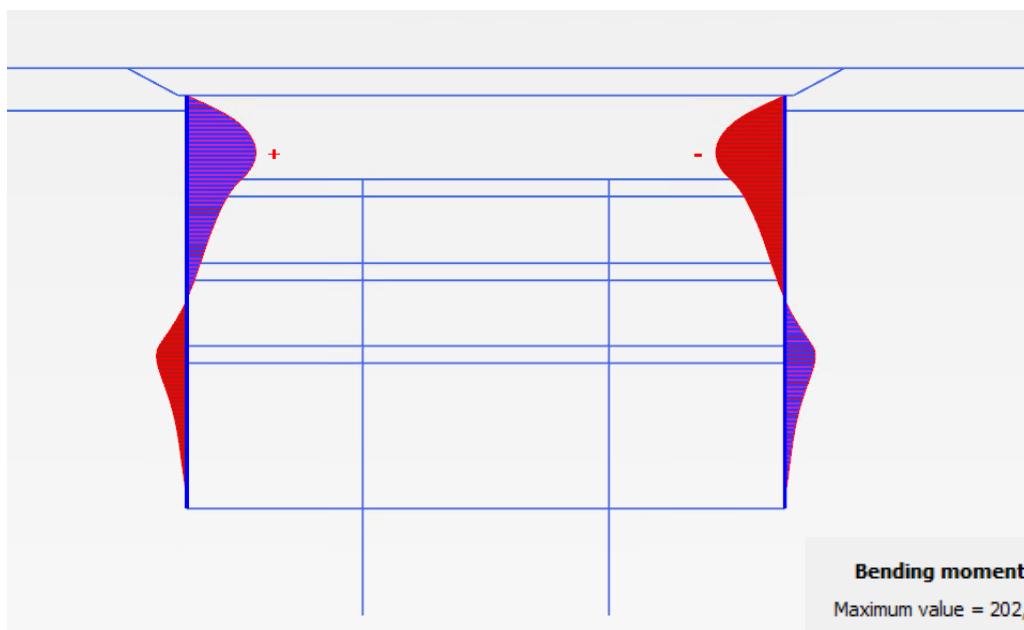


Sezione A-A Scavo 1 – Spostamenti orizzontali



Total displacements u_x (scaled up $5,00 \cdot 10^3$ times)
Maximum value = $1,738 \cdot 10^{-3}$ m (Element 203 at Node 18414)
Minimum value = $-1,738 \cdot 10^{-3}$ m (Element 230 at Node 53362)

Sezione A-A Top filling – Momento flettente



Bending moments M (scaled up 0,0200 times)
Maximum value = 202,6 kN m/m (Element 61 at Node 876)
Minimum value = -202,5 kN m/m (Element 73 at Node 48471)



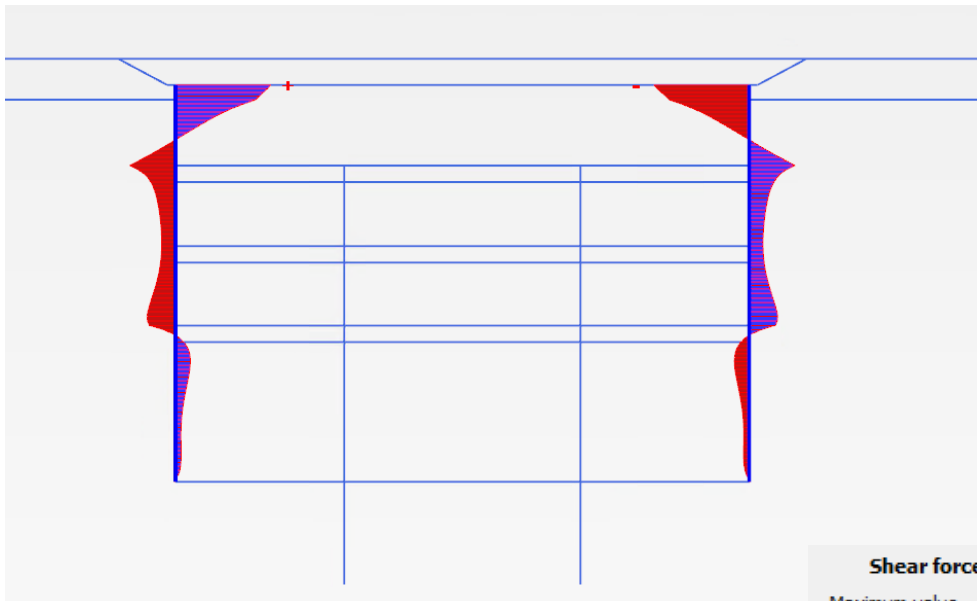
CITTA' DI TORINO

Metropolitana di Torino - Linea 2
Tratta: Politecnico - Rebaudengo
Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna

Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere
di sostegno stazione

MTL2T1A1DSTRSRBR001-0-1

Sezione A-A Top filling – Taglio

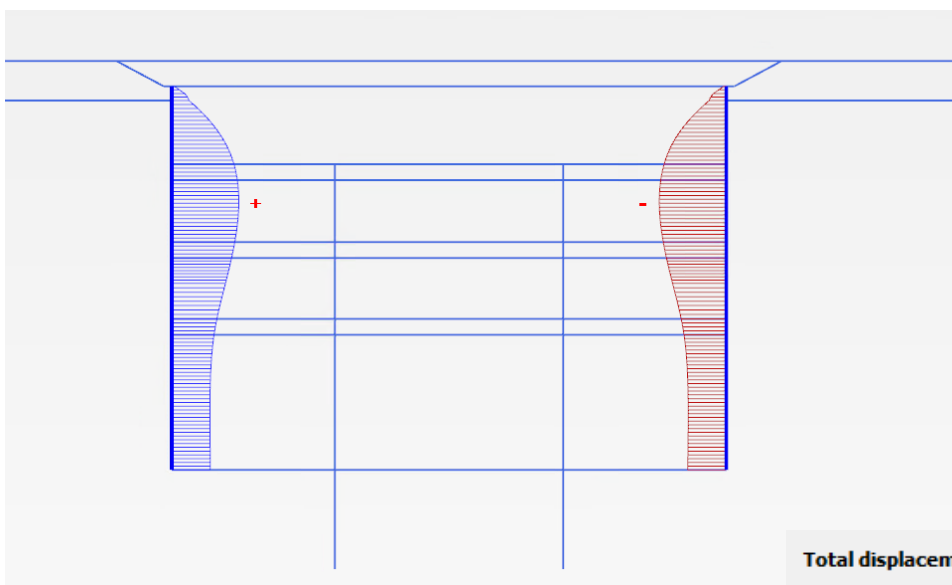


Shear forces Q (scaled up 0,0500 times)

Maximum value = 116,5 kN/m (Element 55 at Node 578)

Minimum value = -116,2 kN/m (Element 58 at Node 49048)

Sezione A-A Top filling – Spostamenti orizzontali



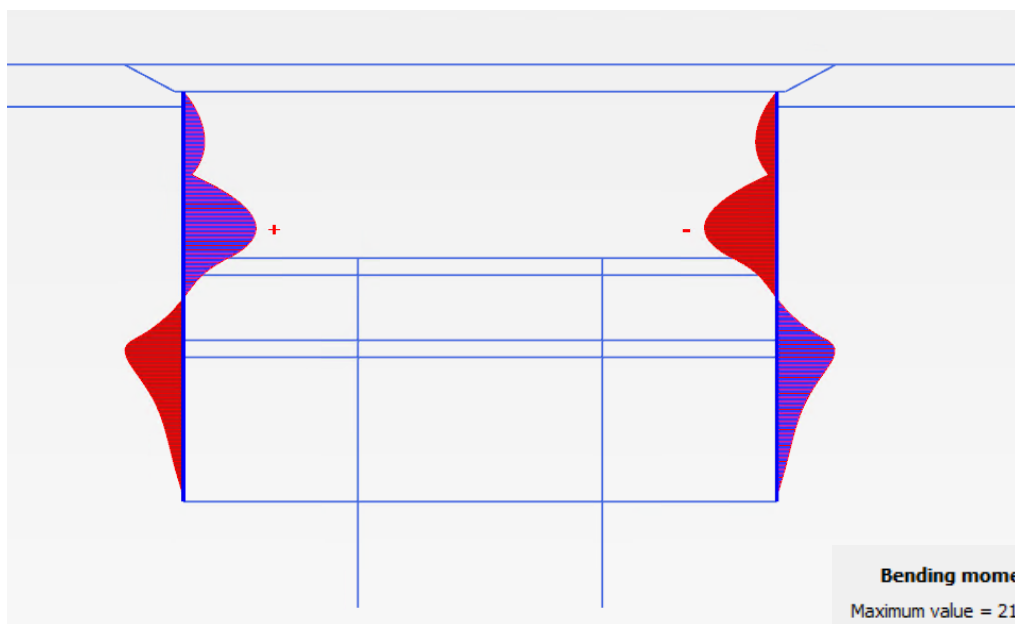
Total displacements u_x (scaled up $2,00 \cdot 10^{-3}$ times)

Maximum value = $2,116 \cdot 10^{-3}$ m (Element 118 at Node 2564)

Minimum value = $-2,116 \cdot 10^{-3}$ m (Element 130 at Node 49505)

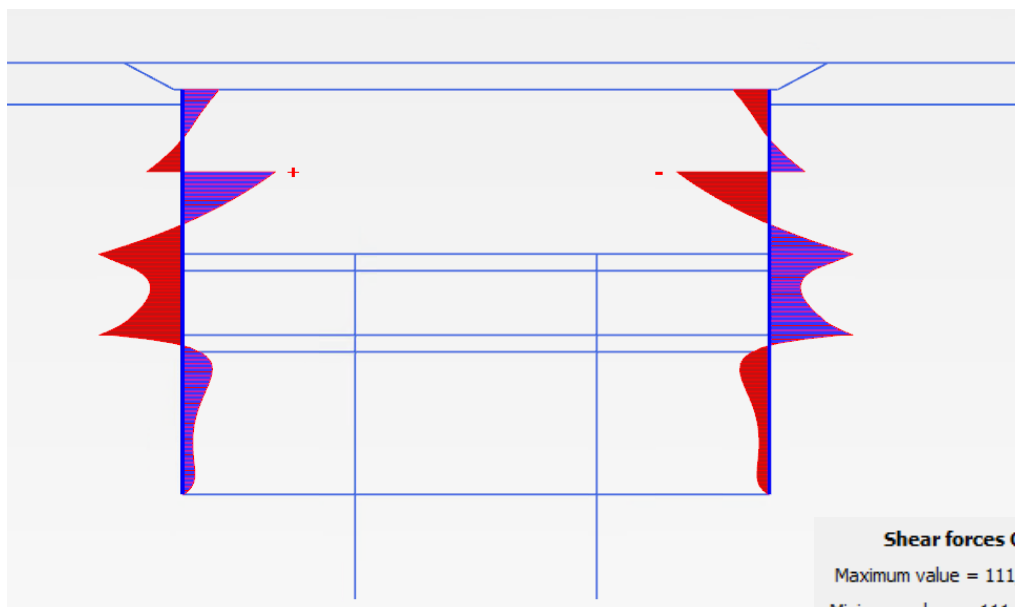


Sezione A-A Scavo 2 – Momento flettente



Bending moments M (scaled up 0,0200 times)
Maximum value = 214,8 kN m/m (Element 119 at Node 3179)
Minimum value = -213,7 kN m/m (Element 131 at Node 49475)

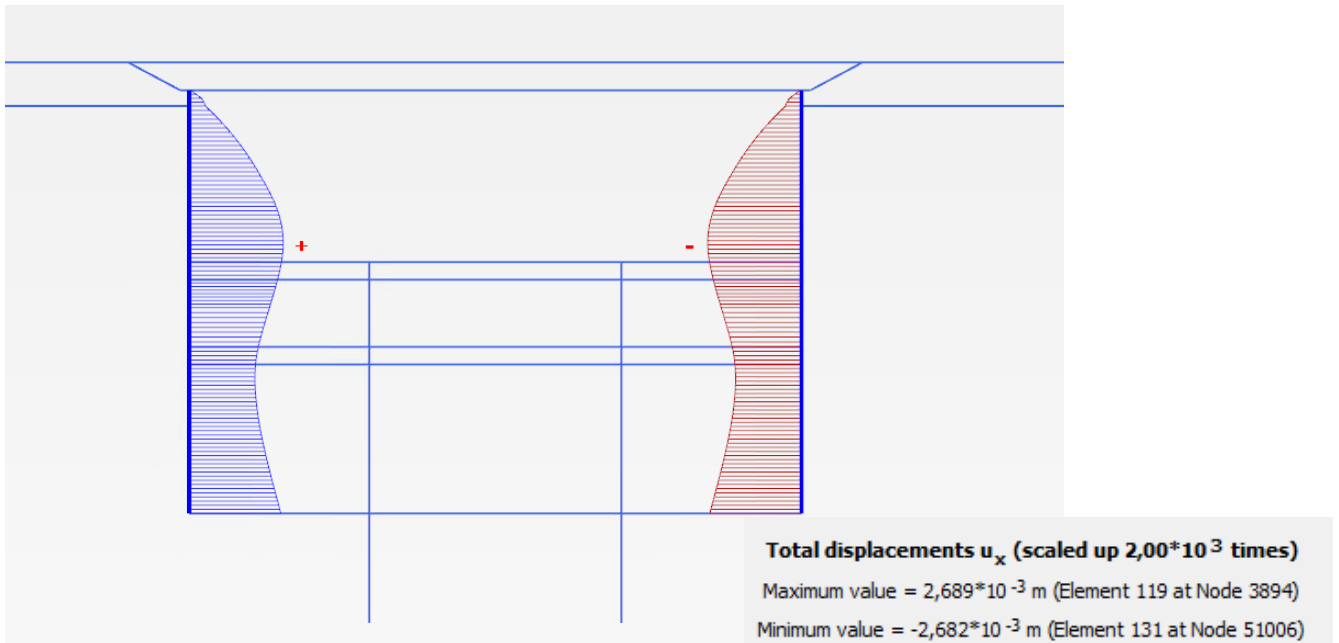
Sezione A-A Scavo 2 – Taglio



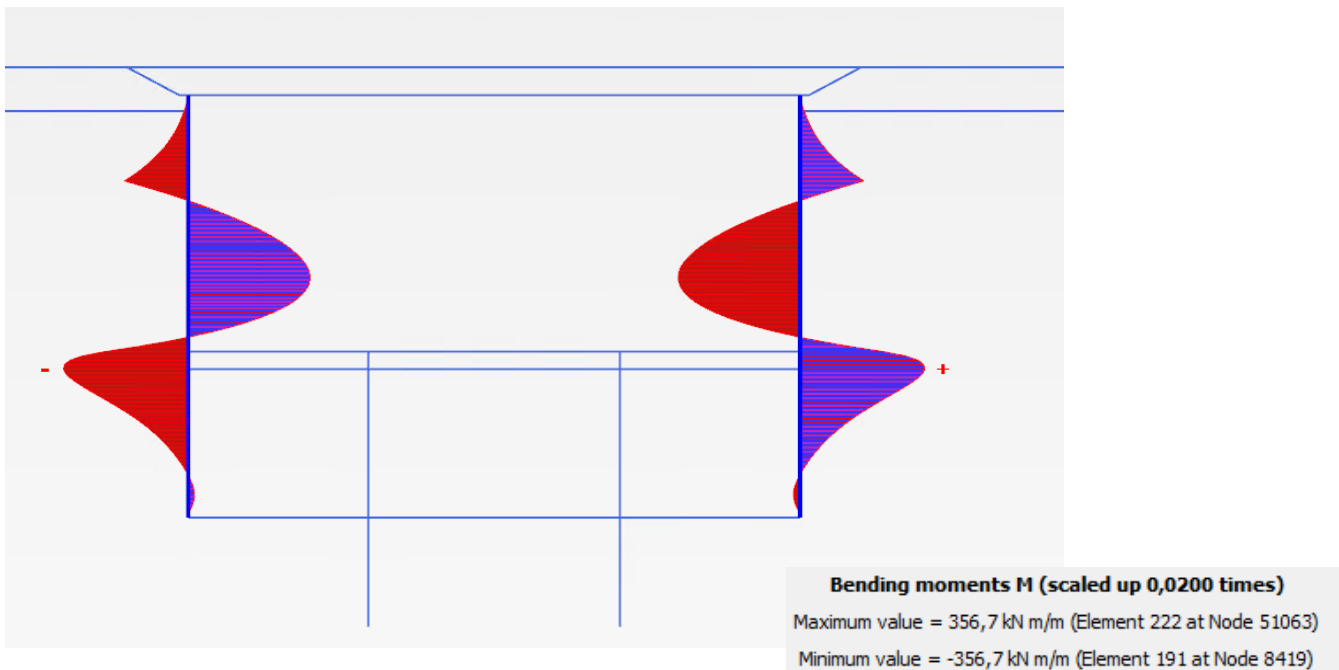
Shear forces Q (scaled up 0,0500 times)
Maximum value = 111,1 kN/m (Element 113 at Node 1600)
Minimum value = -111,0 kN/m (Element 116 at Node 49252)



Sezione A-A Scavo 2 – Spostamenti orizzontali



Sezione A-A Scavo 3 – Momento flettente





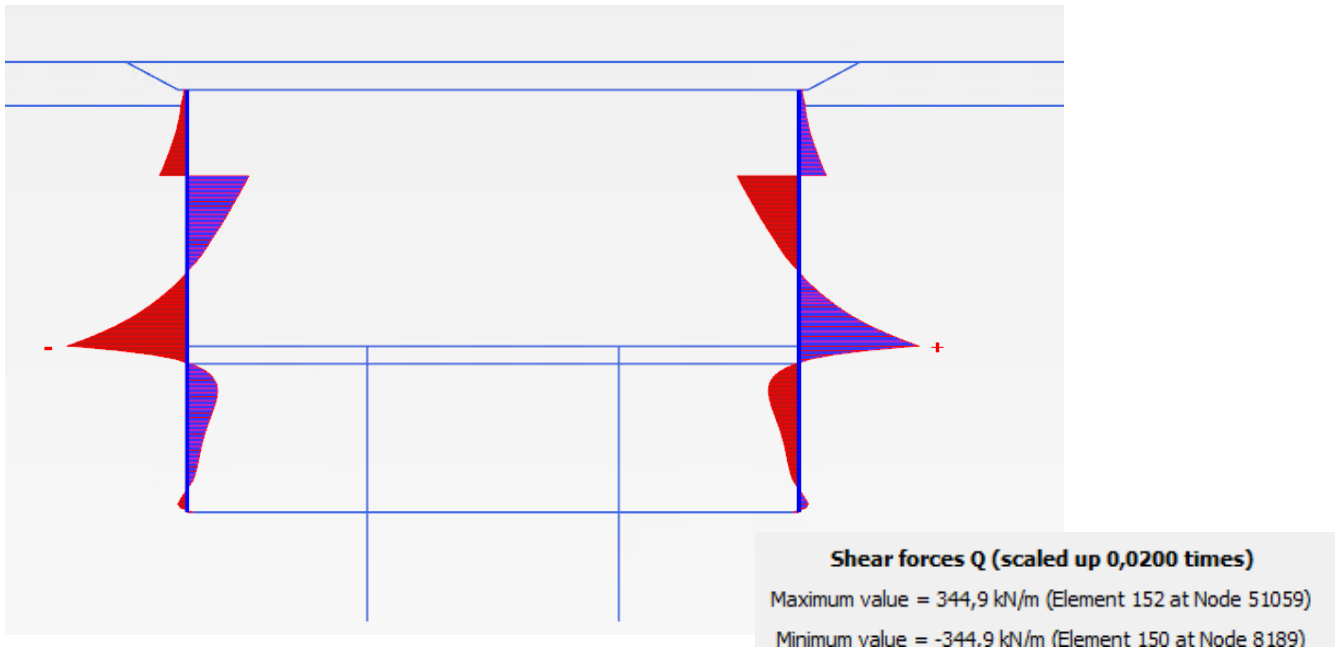
CITTA' DI TORINO

Metropolitana di Torino - Linea 2
Tratta: Politecnico - Rebaudengo
Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna

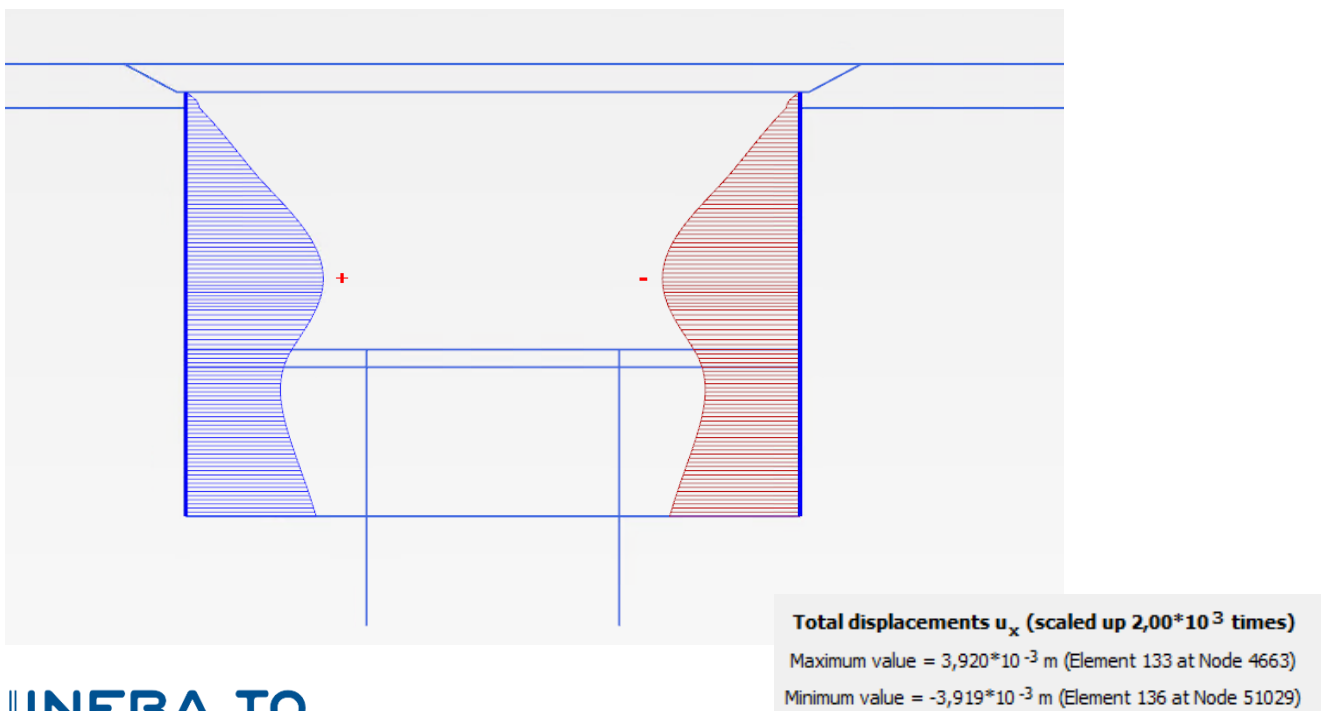
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere
di sostegno stazione

MTL2T1A1DSTRSRBR001-0-1

Sezione A-A Scavo 3 – Taglio

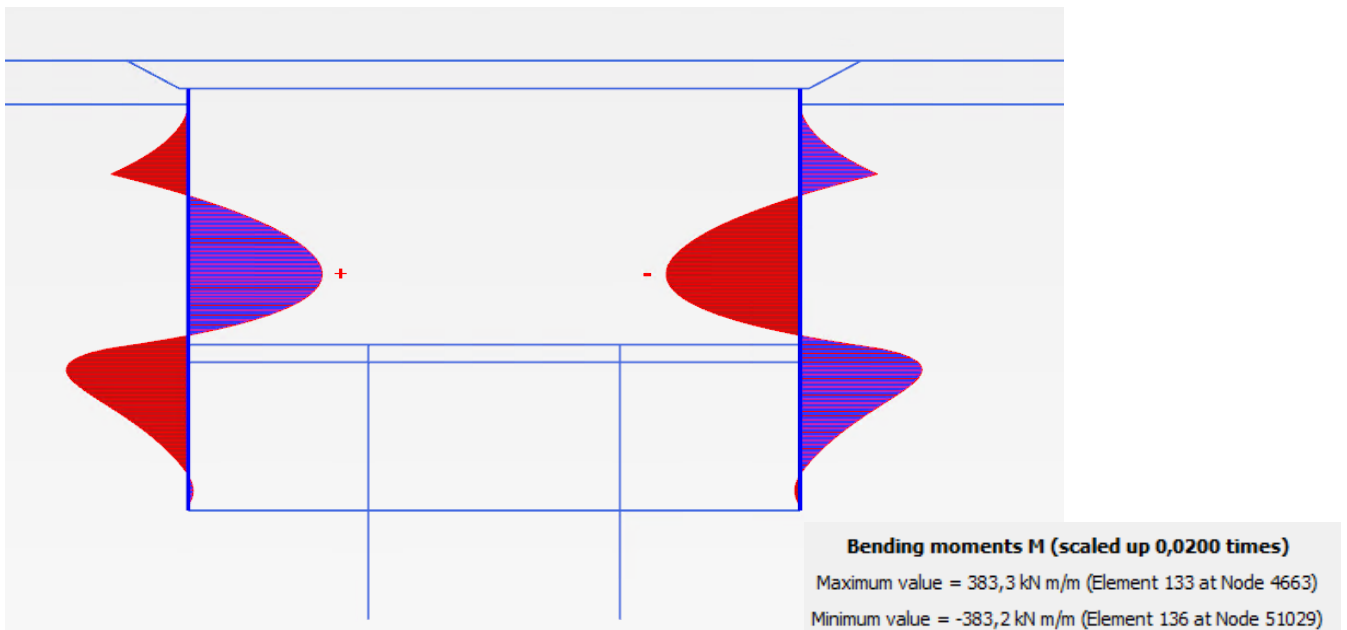


Sezione A-A Scavo 3 – Spostamenti orizzontali

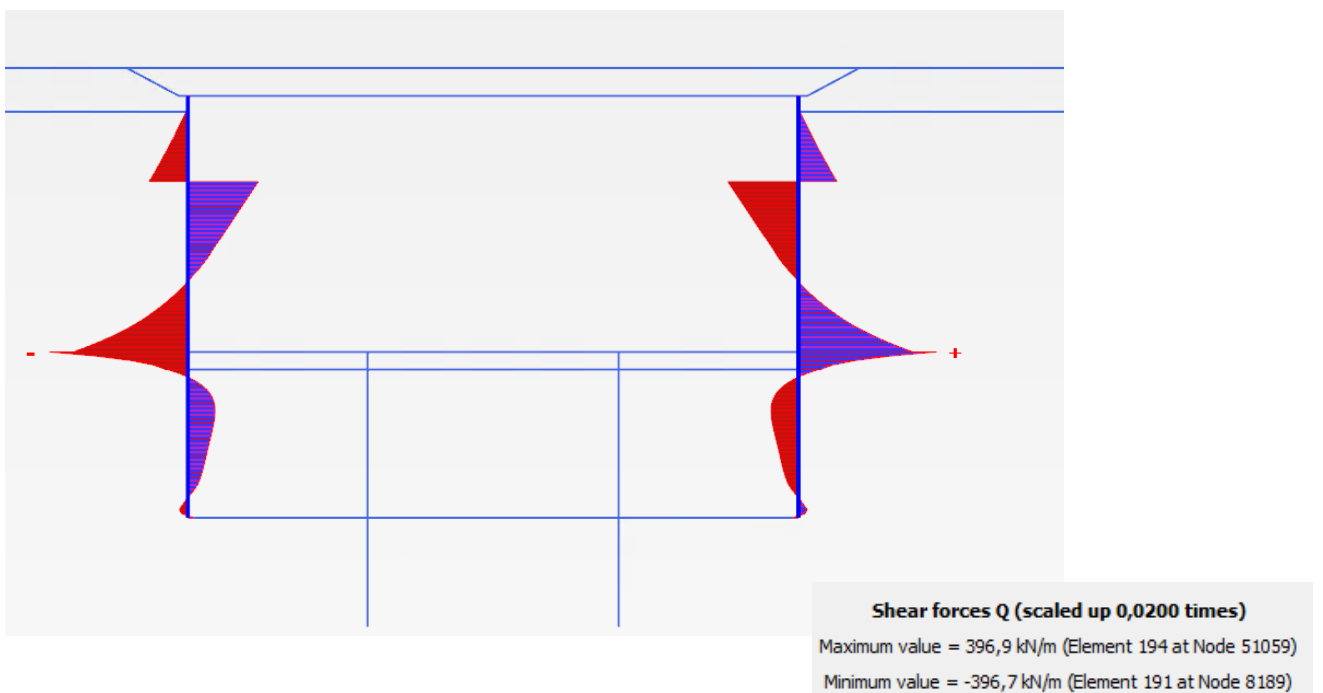




Sezione A-A Stop dewatering – Momento flettente

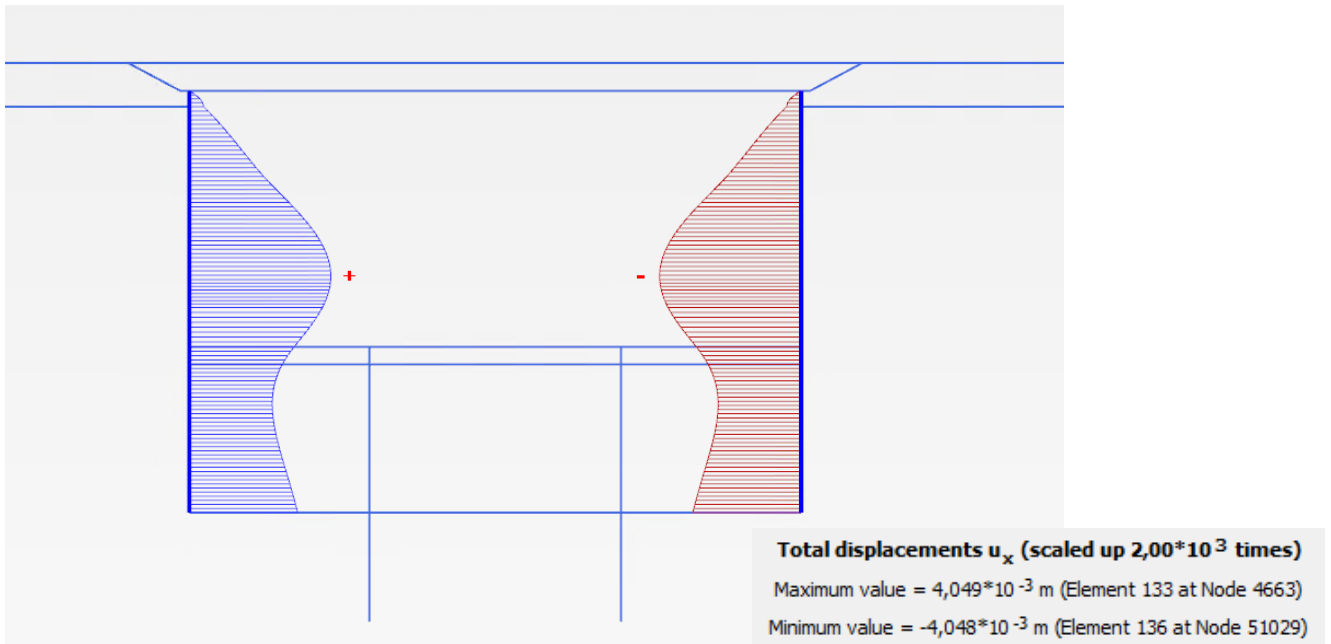


Sezione A-A Stop dewatering – Taglio

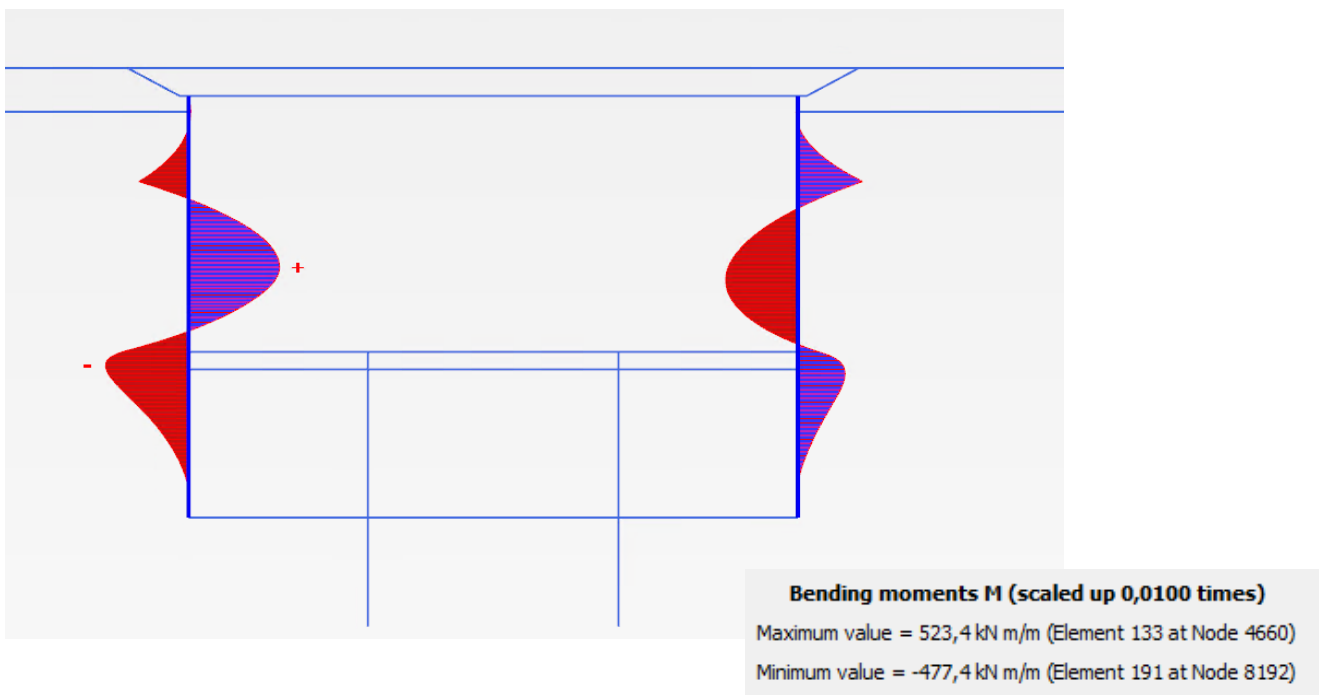





Sezione A-A Stop dewatering – Spostamenti orizzontali

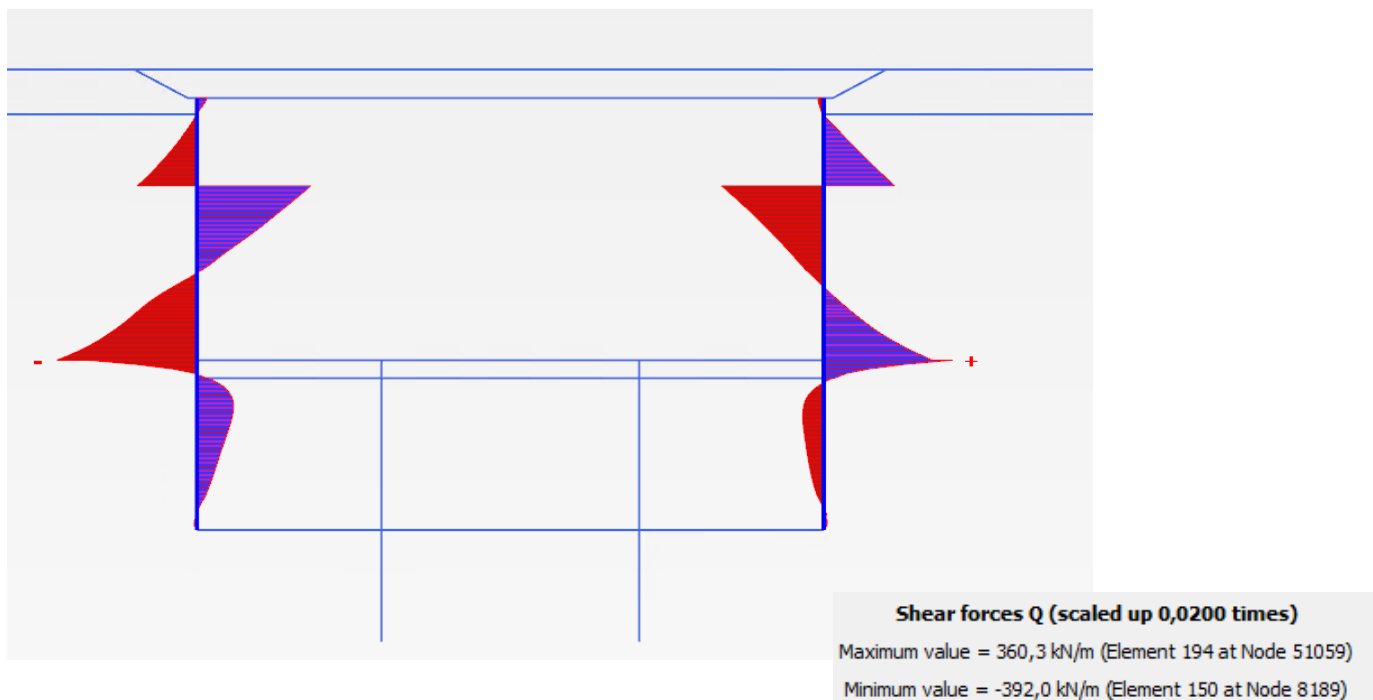


Sezione A-A Sisma - Momento flettente

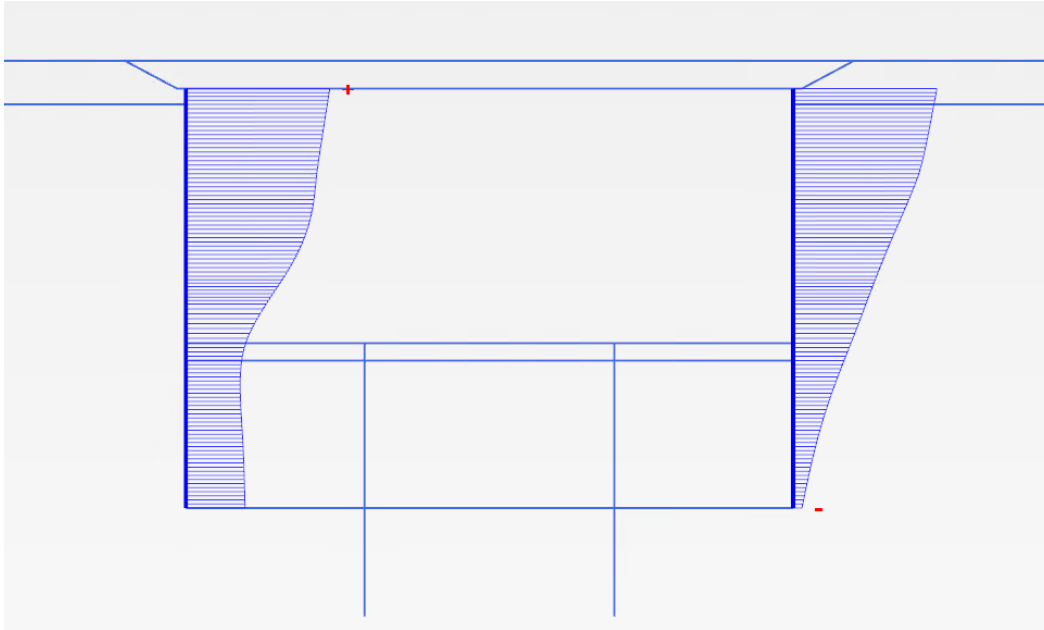


 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico - Rebaudengo Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A1DSTRSRBR001-0-1

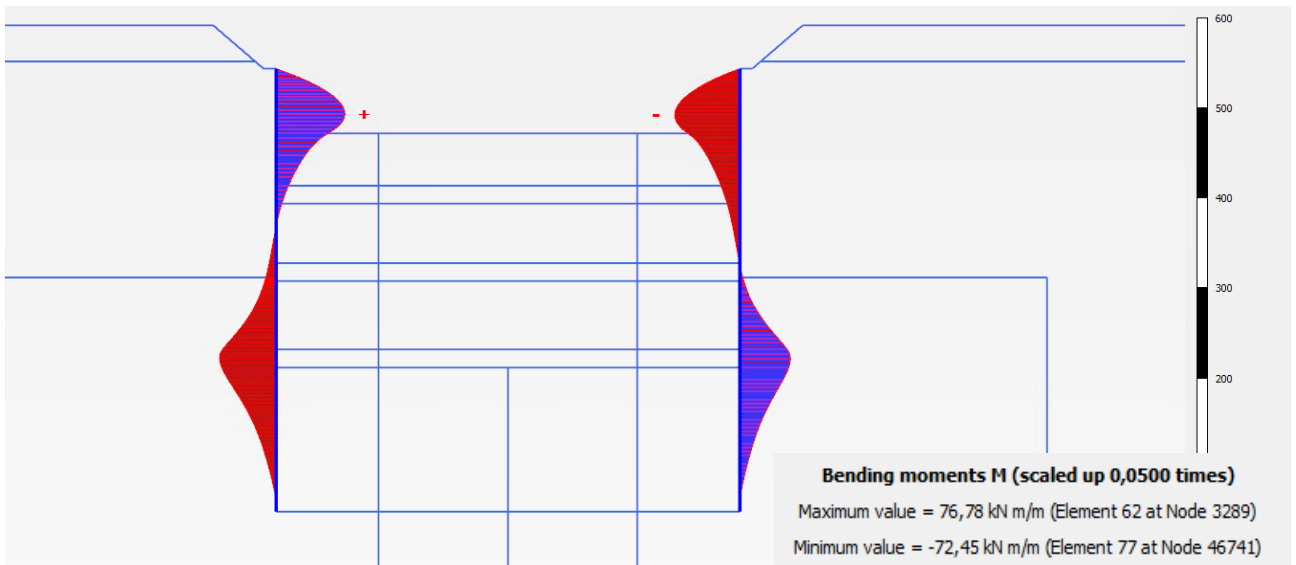
Sezione A-A Sisma - Taglio



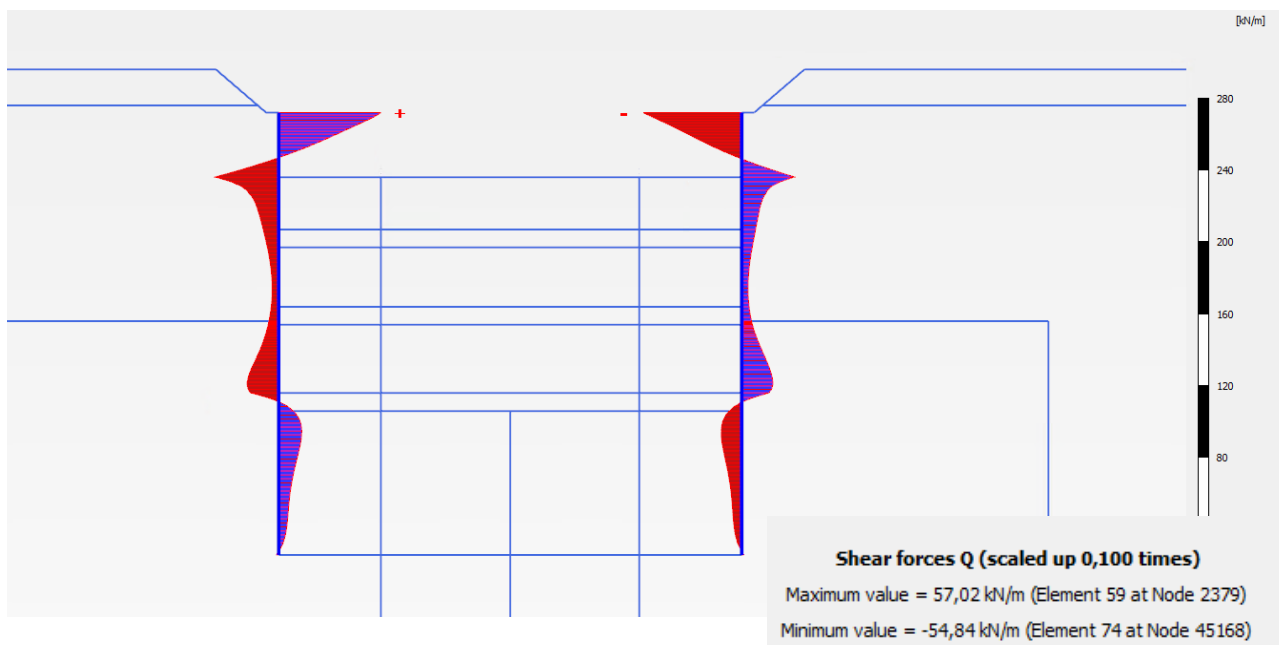
Sezione A-A Sisma – Spostamenti orizzontali



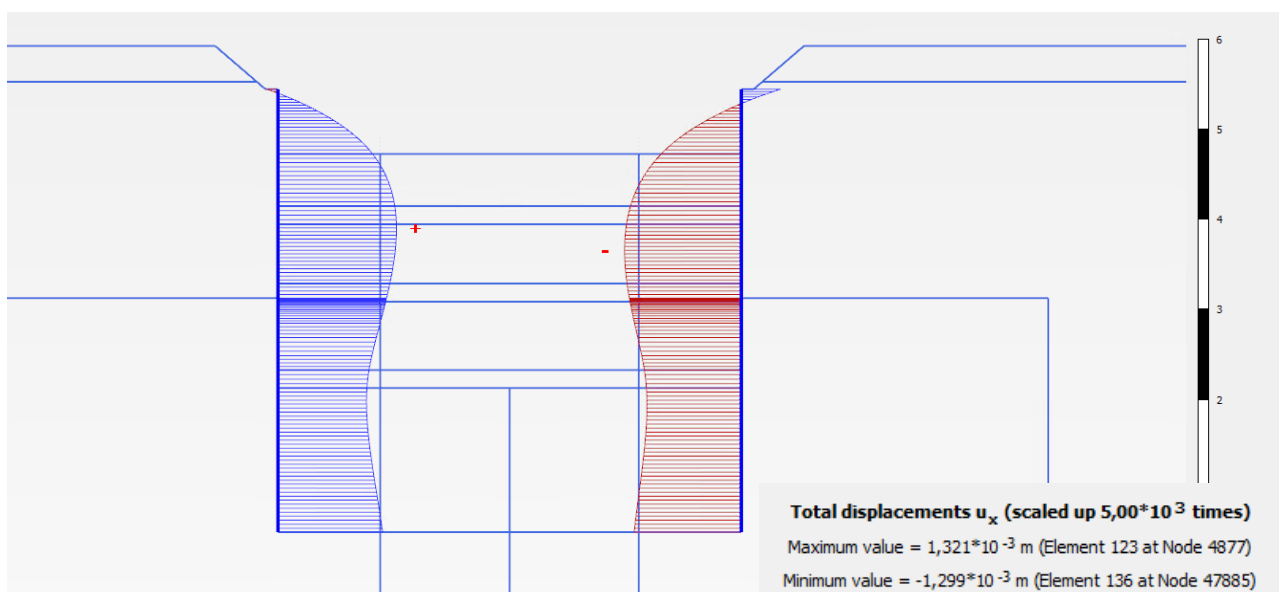
Sezione B-B Scavo 1 – Momento flettente



Sezione B-B Scavo 1 – Taglio



Sezione B-B Scavo 1 – Spostamenti orizzontali





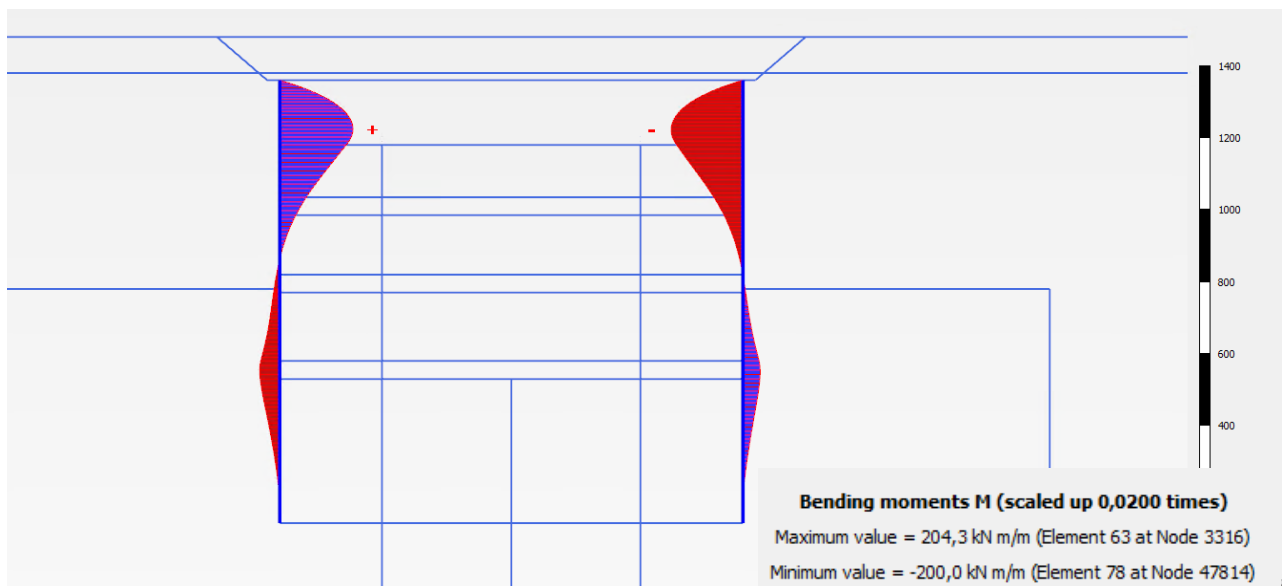
CITTA' DI TORINO

Metropolitana di Torino - Linea 2
Tratta: Politecnico - Rebaudengo
Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna

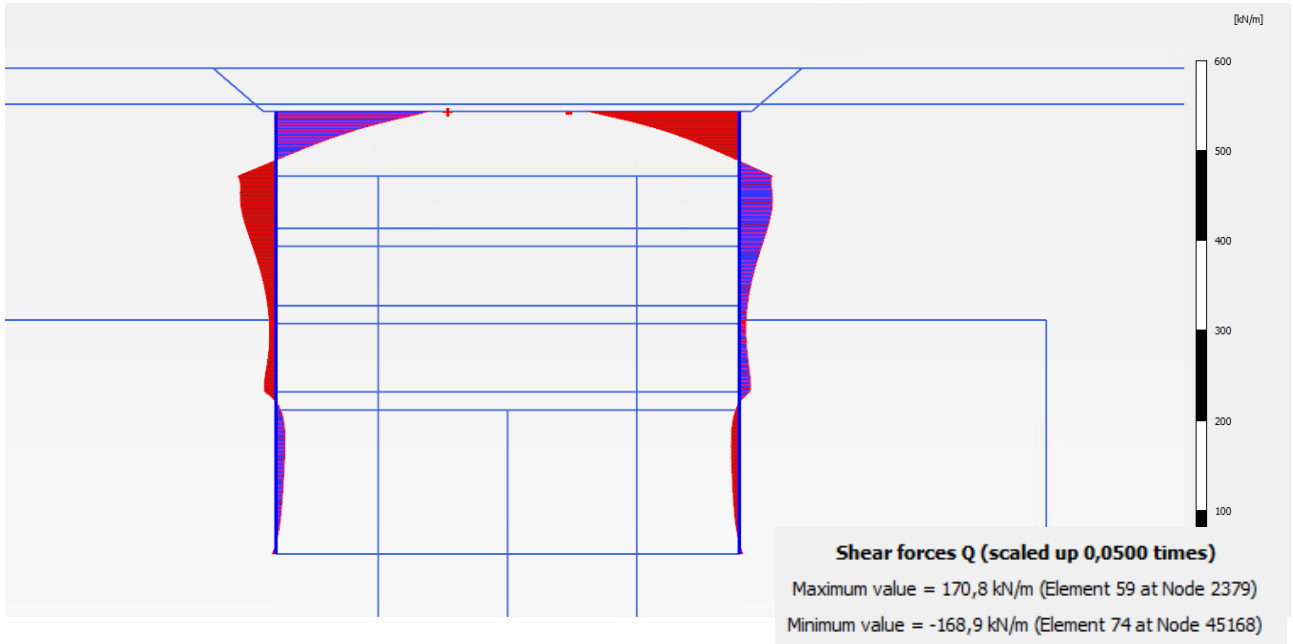
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere
di sostegno stazione

MTL2T1A1DSTRSRBR001-0-1

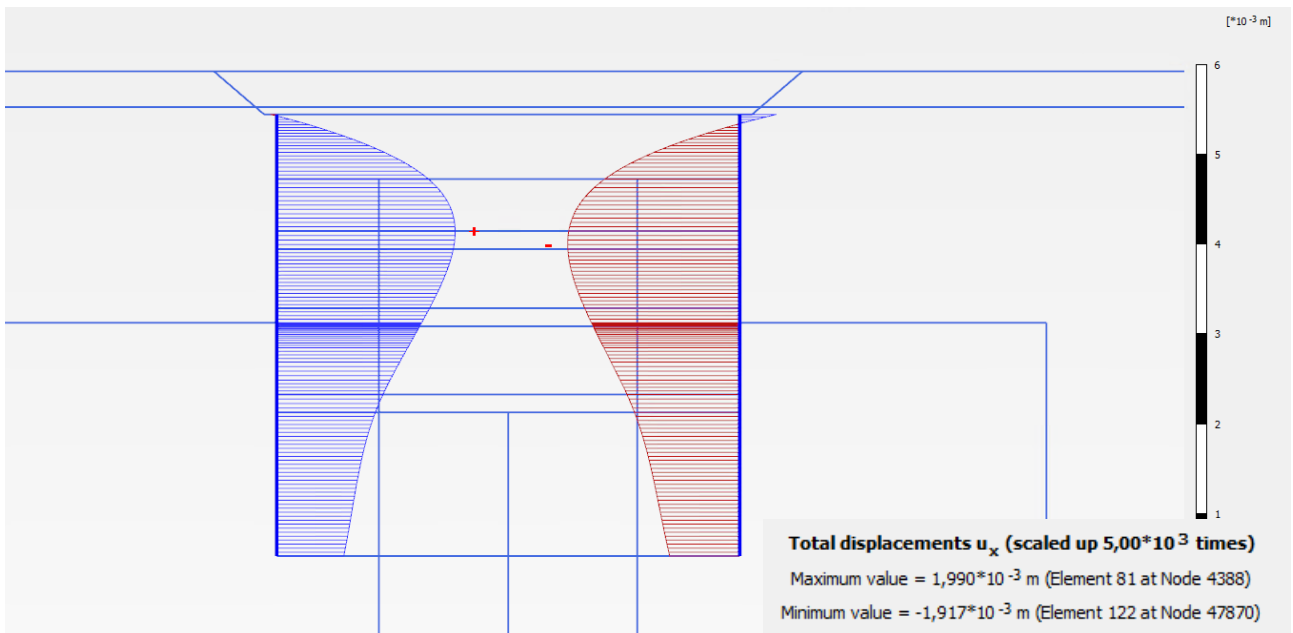
Sezione B-B Top filling – Momento flettente



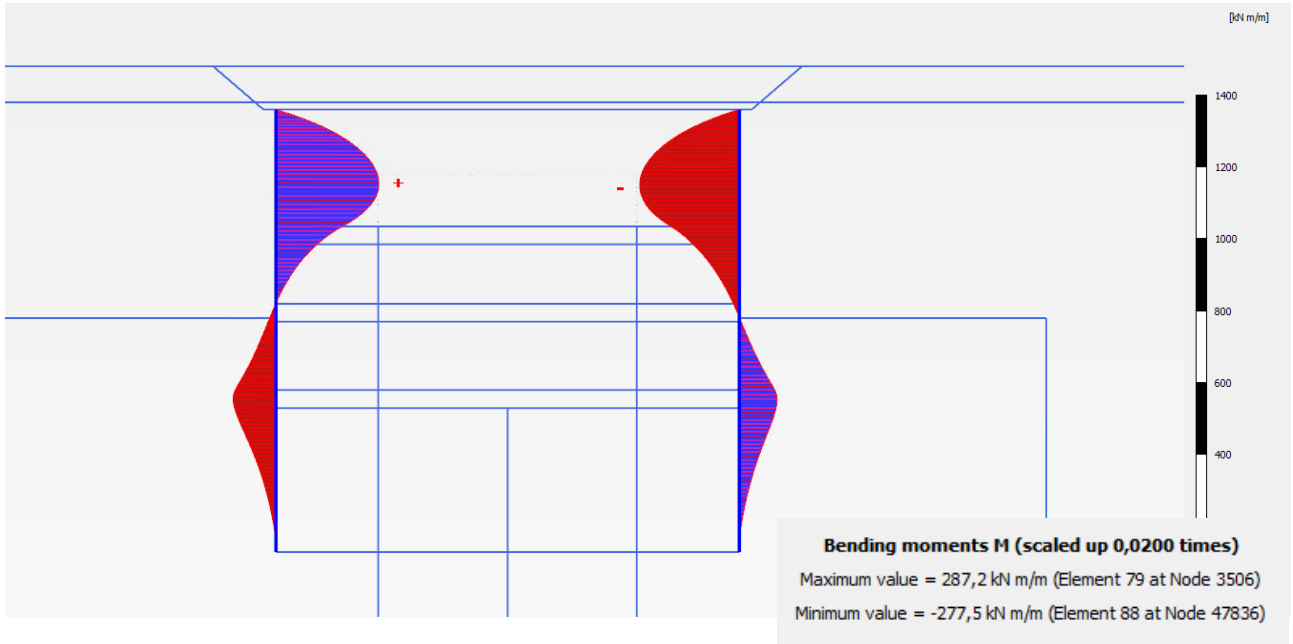
Sezione B-B Top filling – Taglio



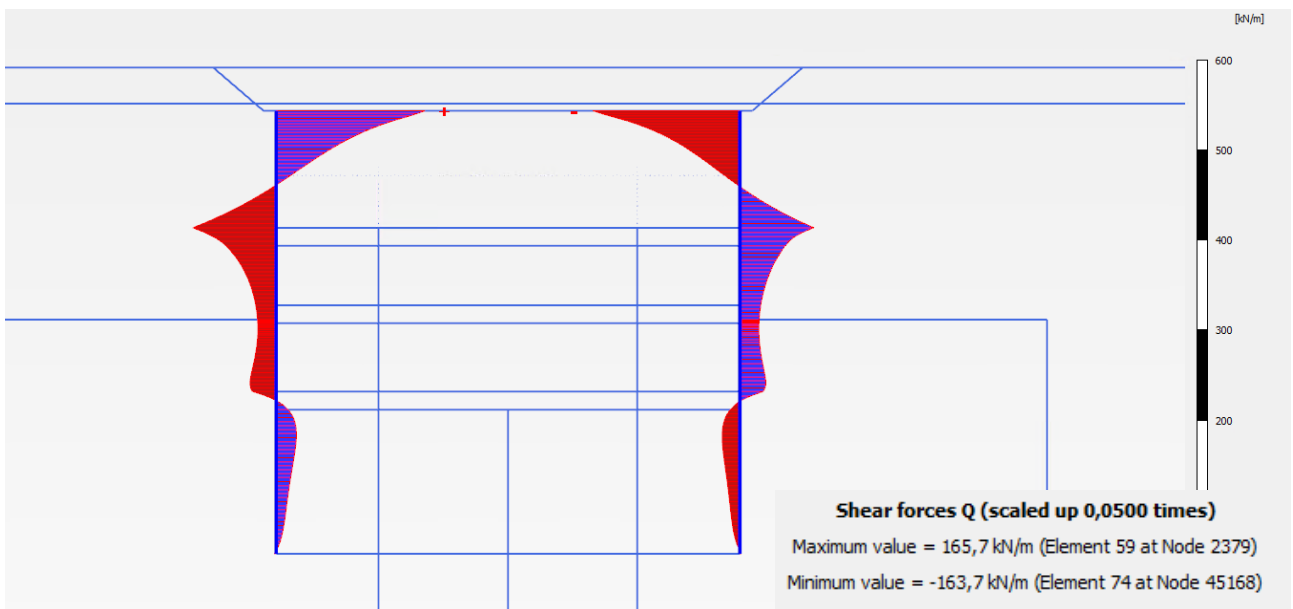
Sezione B-B Top filling – Spostamenti orizzontali



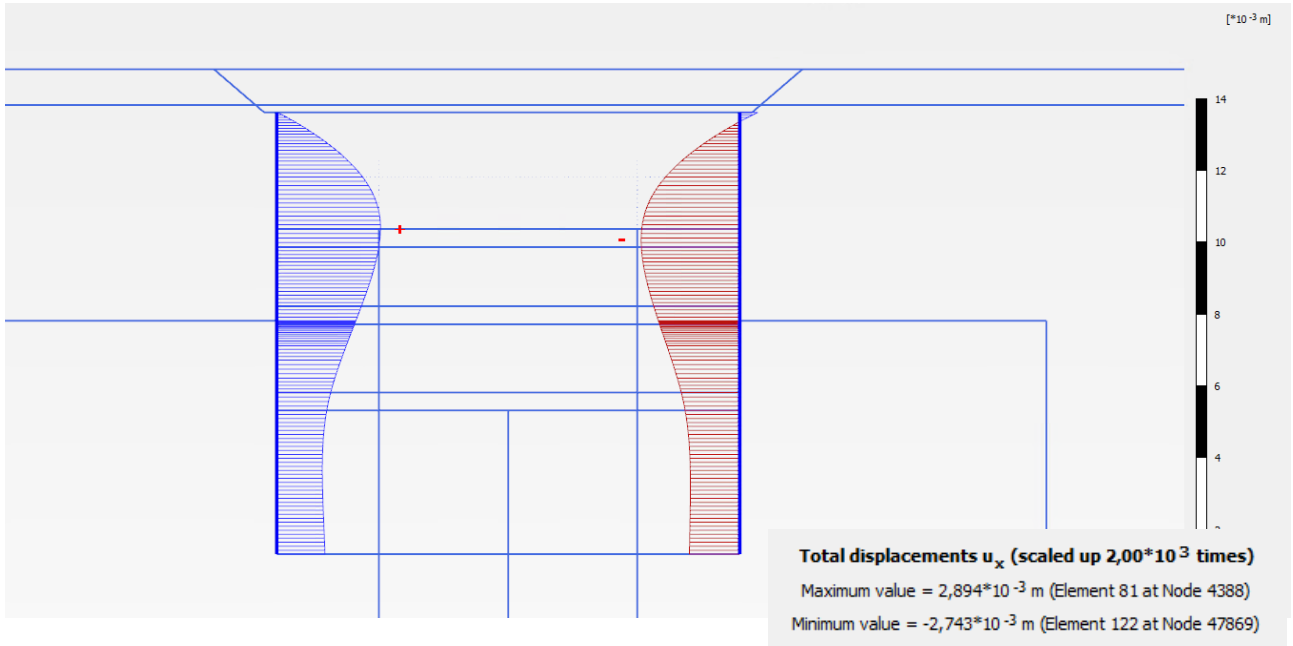
Sezione B-B Scavo 2 – Momento flettente



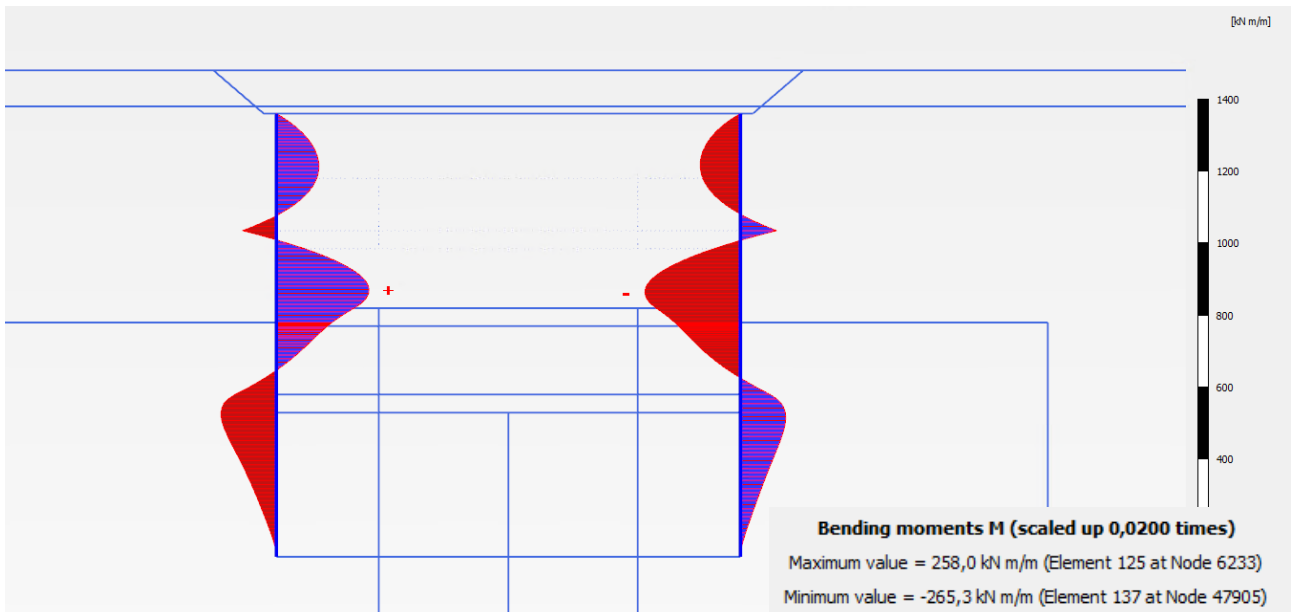
Sezione B-B Scavo 2 – Taglio



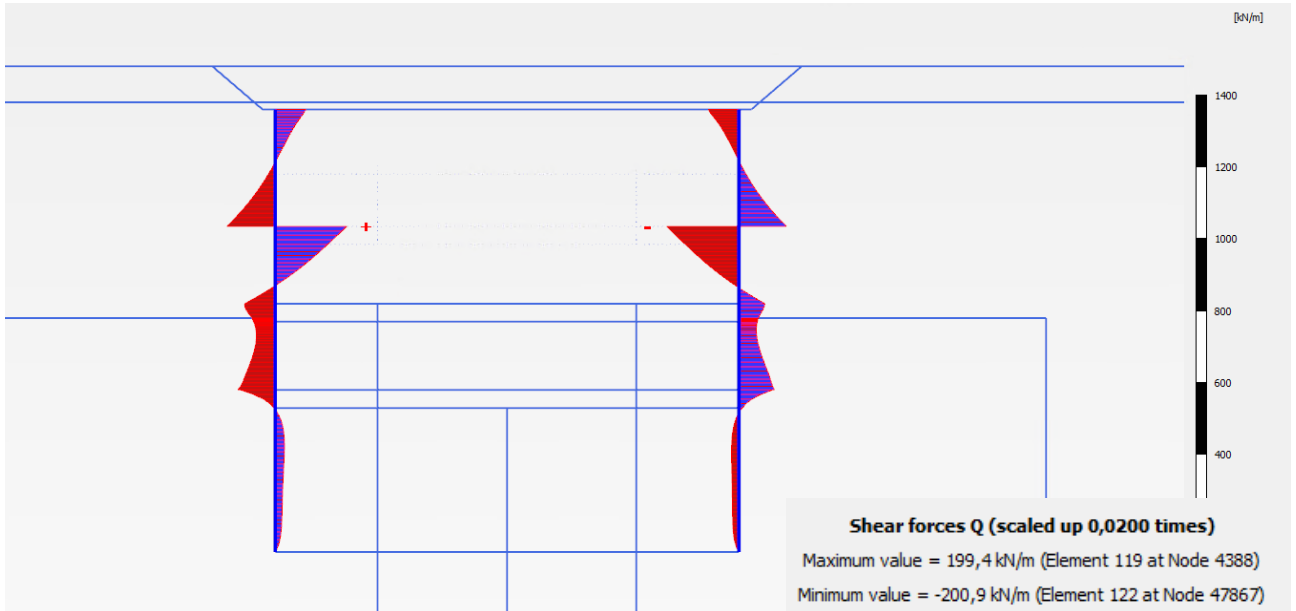
Sezione B-B Scavo 2 – Spostamenti orizzontali



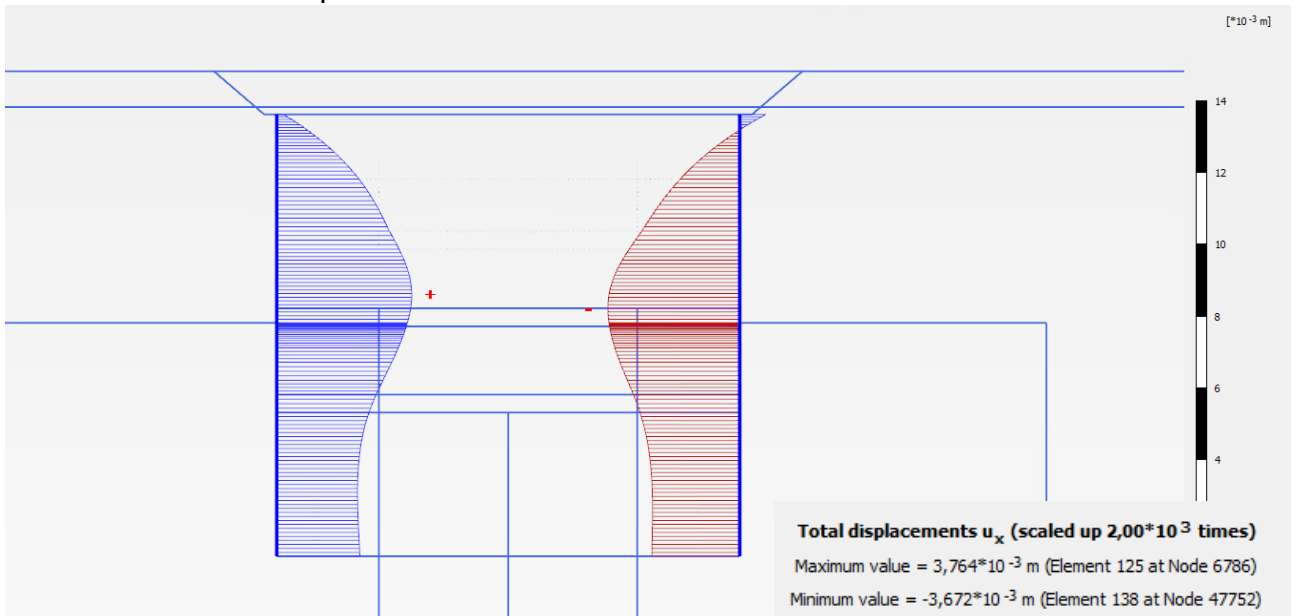
Sezione B-B Scavo 3 – Momento flettente



Sezione B-B Scavo 3 – Taglio



Sezione B-B Scavo 3 – Spostamenti orizzontali



Sezione B-B Scavo 4 – Momento flettente

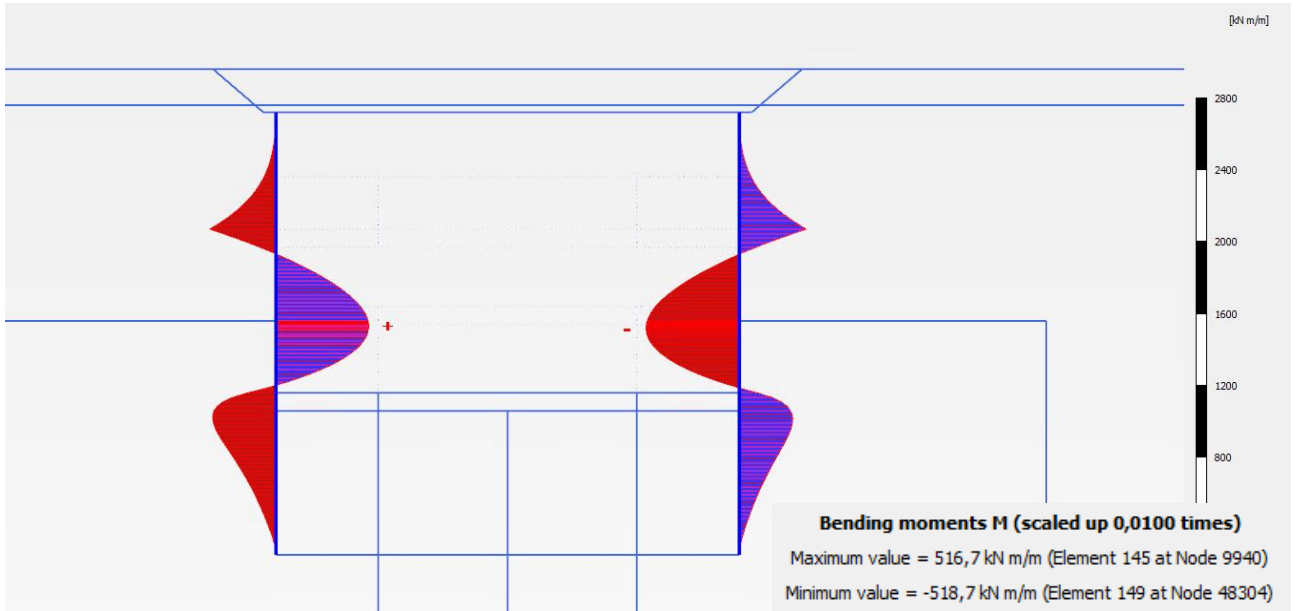


CITTA' DI TORINO

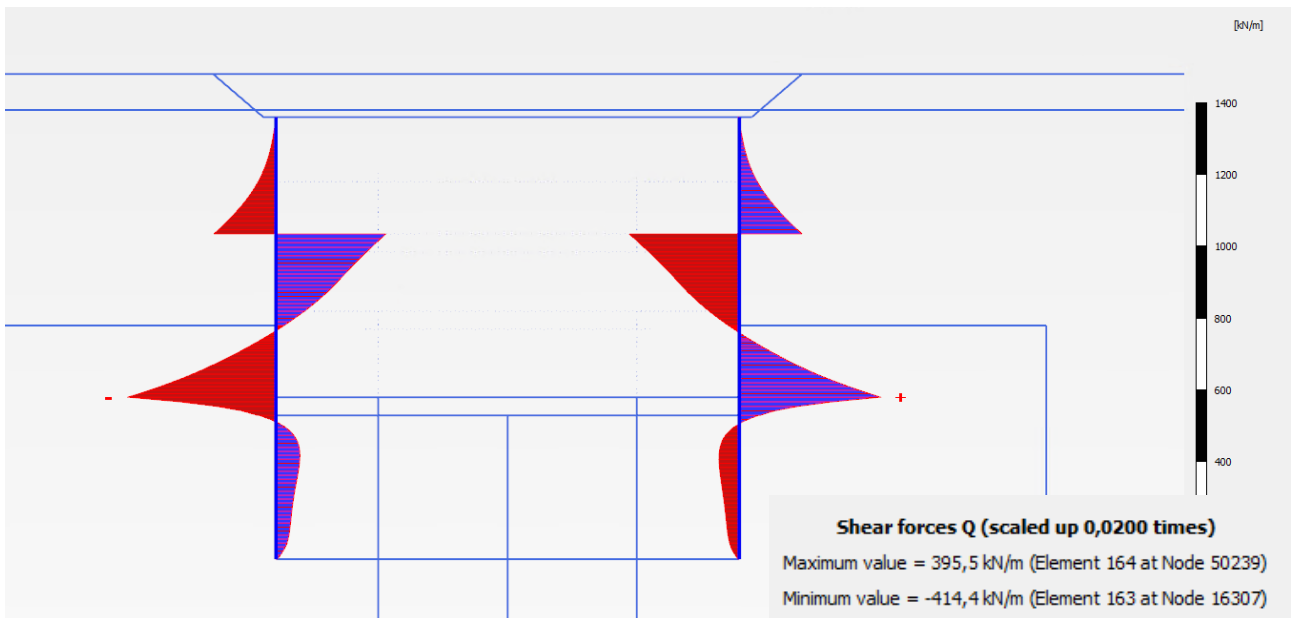
Metropolitana di Torino - Linea 2
Tratta: Politecnico - Rebaudengo
Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna

Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione

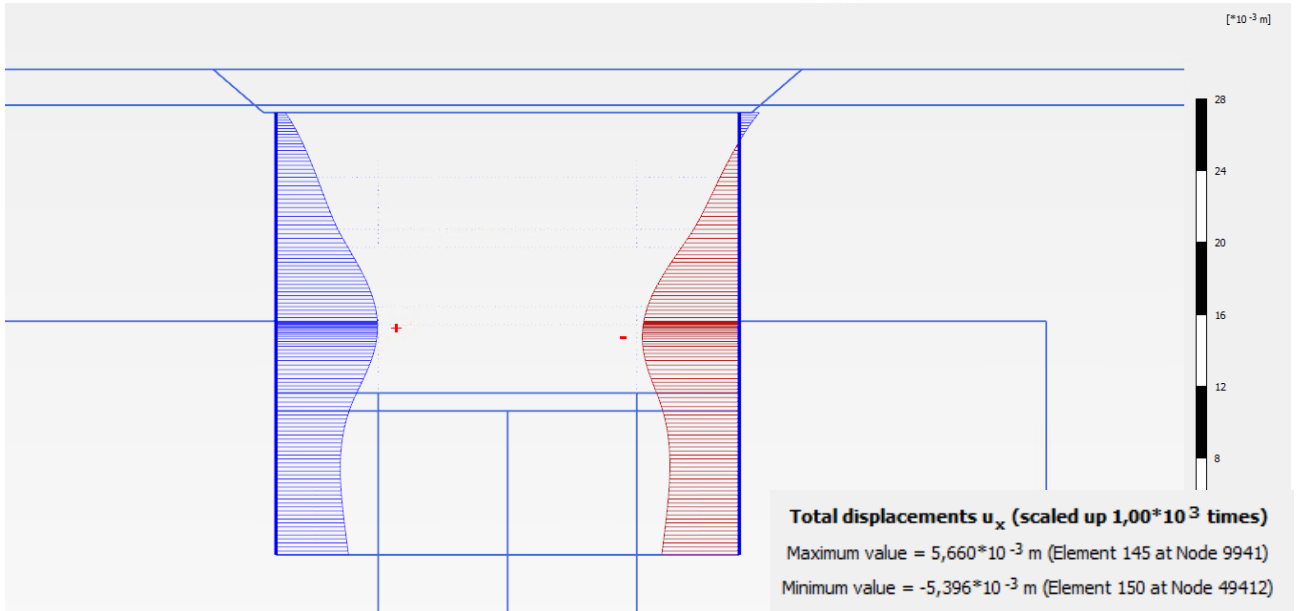
MTL2T1A1DSTRSRBR001-0-1



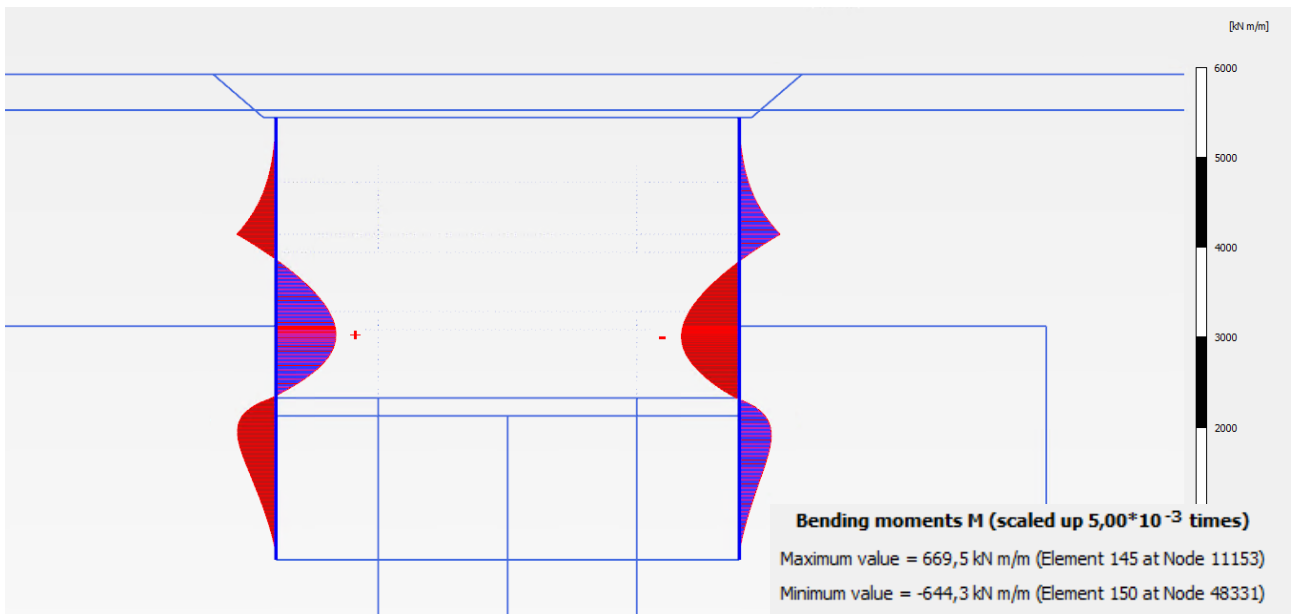
Sezione B-B Scavo 4 – Taglio



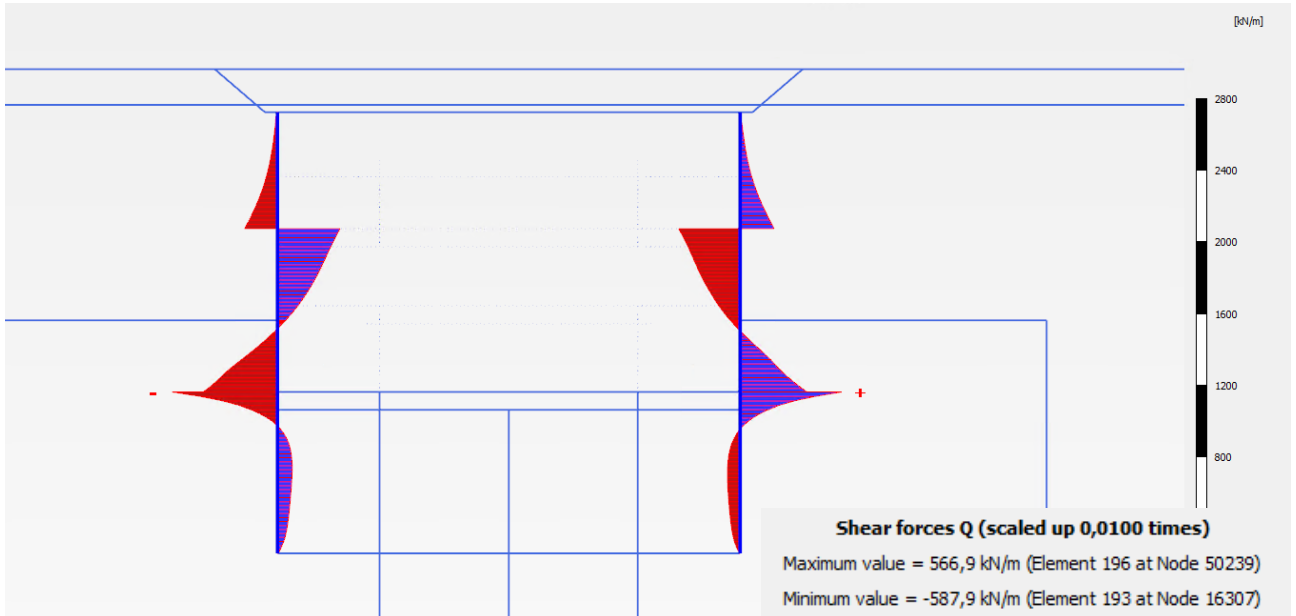
Sezione B-B Scavo 4 – Spostamenti orizzontali



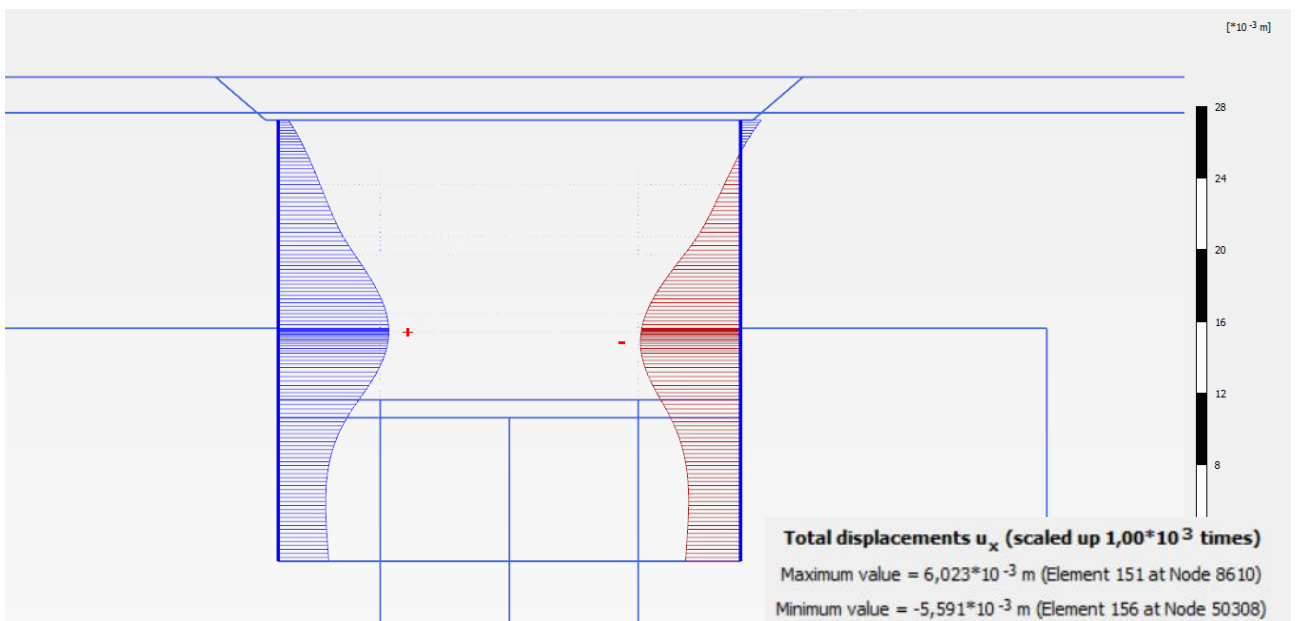
Sezione B-B Stop dewatering – Momento flettente



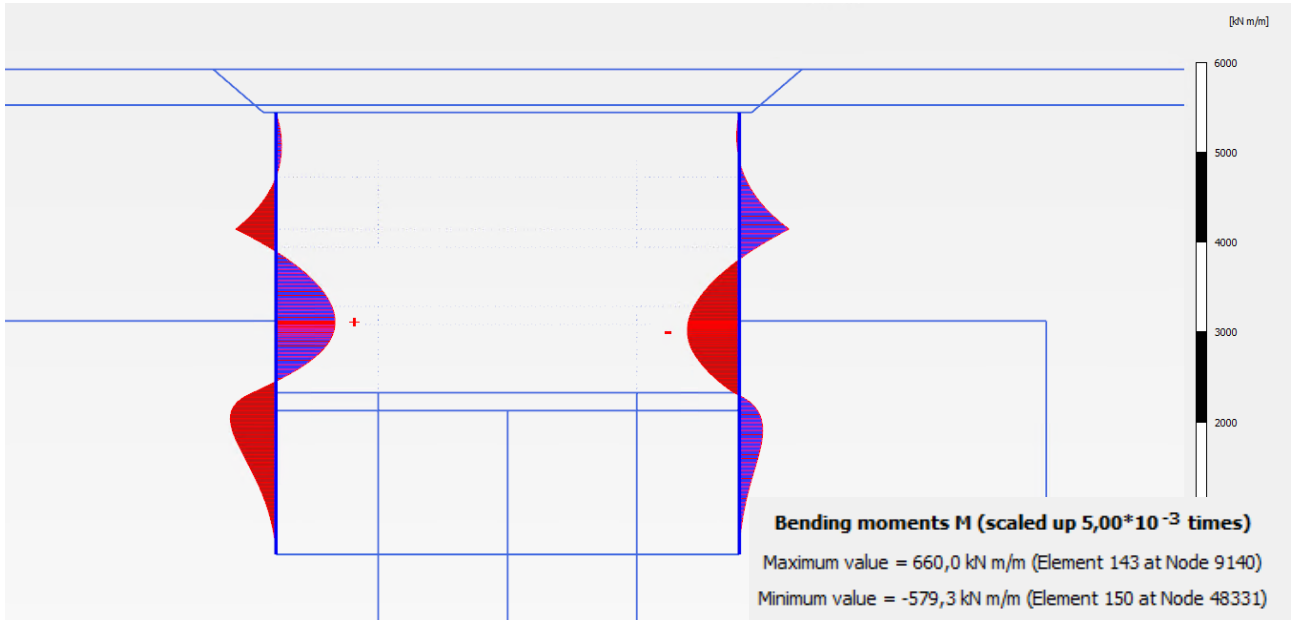
Sezione B-B Stop dewatering – Taglio



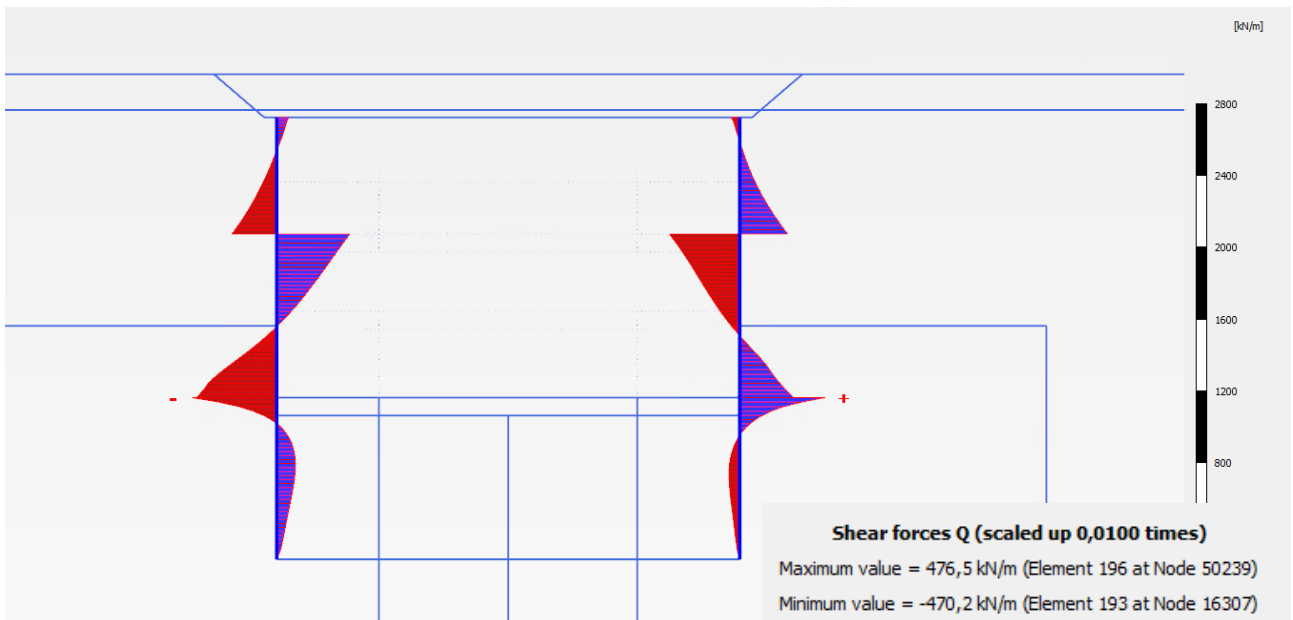
Sezione B-B Stop dewatering – Spostamenti orizzontali



Sezione B-B Sisma - Momento flettente



Sezione B-B Sisma - Taglio



Sezione B-B Sisma – Spostamenti orizzontali

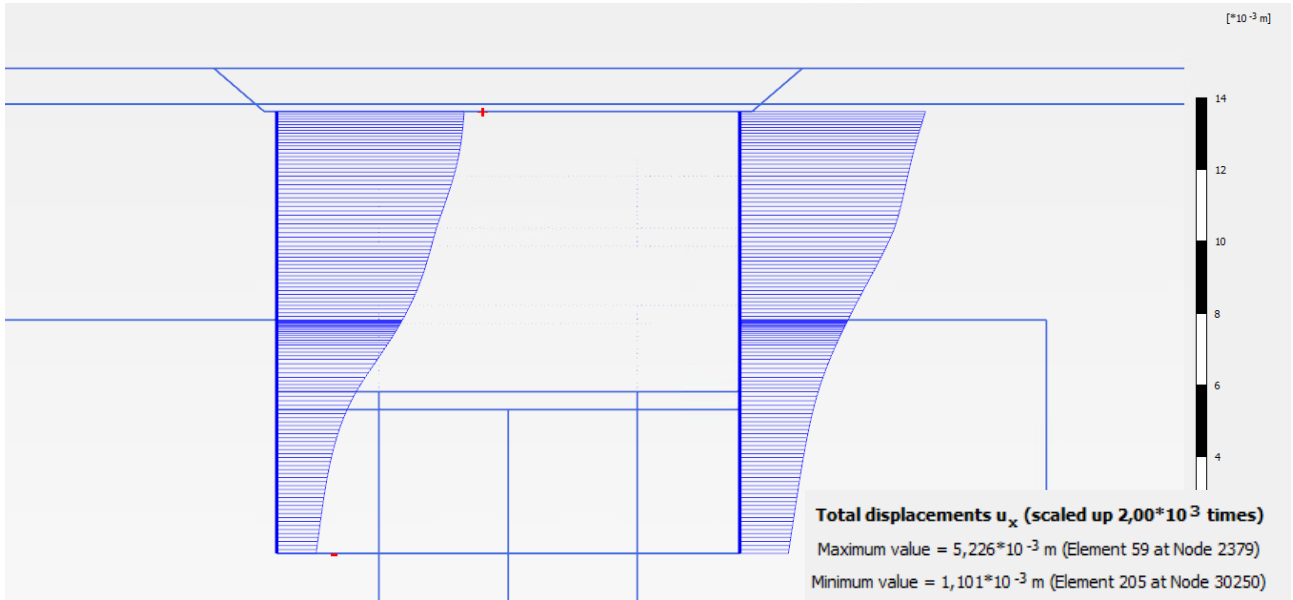



CITTA' DI TORINO

Metropolitana di Torino - Linea 2
Tratta: Politecnico - Rebaudengo
Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna

Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere
di sostegno stazione

MTL2T1A1DSTRSRBR001-0-1



 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico - Rebaudengo Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A1DSTRSRBR001-0-1

ALLEGATO N.2

Effetto della condizione di vincolo soletta di copertura/diaframma



Utilizzando come base il modello semplificato indicato, viene eseguita un'analisi di sensitività variando la rigidezza della molla torsionale K_t posta agli appoggi esterni (assi A e D) da zero (cerniera) – caso de riferimento - a infinito (incastro perfetto), per valutare la variazione o rapporto dei momenti flettenti delle sezioni critiche rispetto ai valori ottenuti nel caso di riferimento (cerniera) al fine di valutare l'impatto di detta ipotesi sul progetto sviluppato.

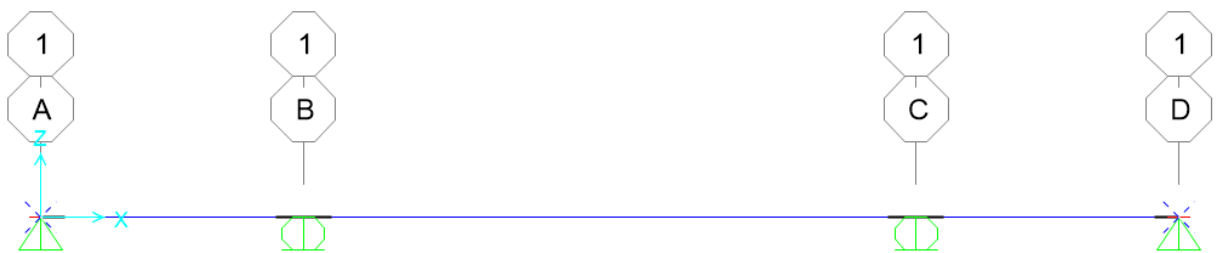


Figura 38. Modello base

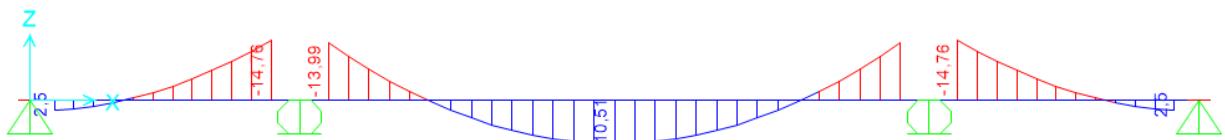
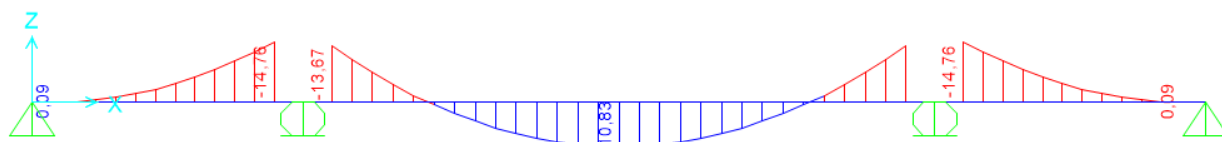


Figura 39. Esempio di risultati per carico unitario ($q=1 \text{ kN/m}$), $K_t=106 \text{ kNm/rad}$

M_b : Momento flettente máximo negativo sul assi B (14,76 kNm)

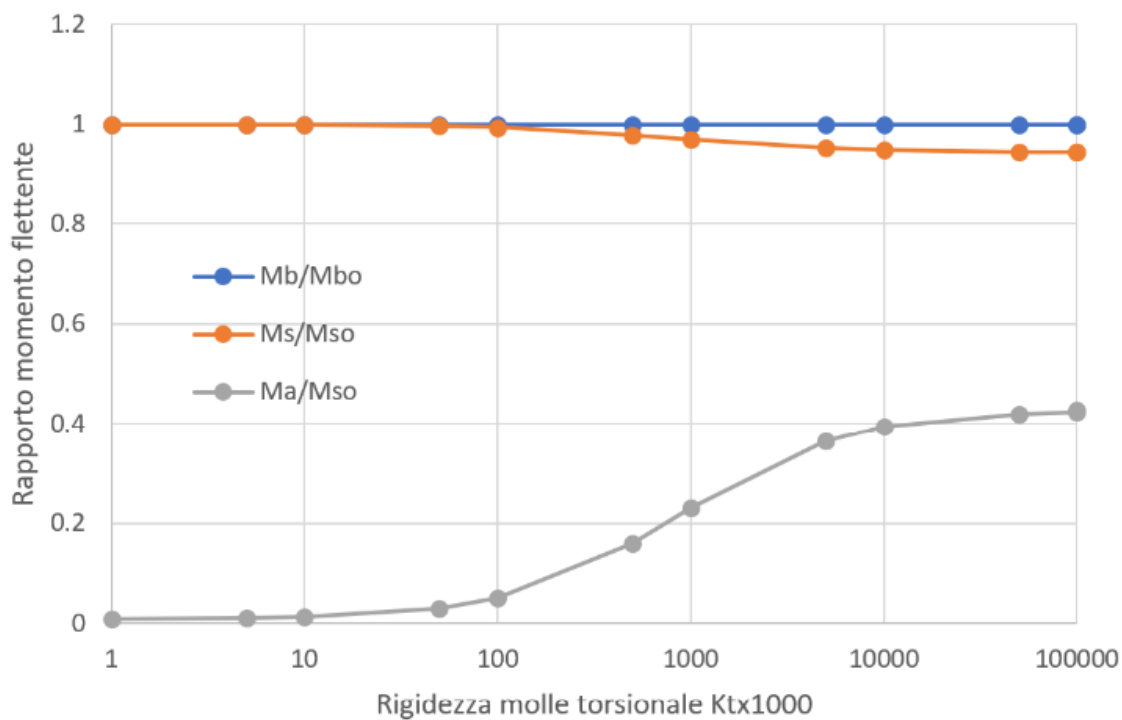
M_s : Momento flettente máximo positivo campata centrale (+10,51 kNm)


M_a : Momento flettente máximo sul assi A (+2,50 kNm)


Figura 40. Caso di riferimento (cerniera)

Mbo: Momento flettente máximo negativo sul assi B (-14,76 kNm)


Mso: Momento flettente máximo positivo campata centrale (+10,83 kNm)


Figura 41. Sintesi dell'effetto di variazione del vincolo (da cerniera a incastro perfetto)

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico - Rebaudengo Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A1DSTRSRBR001-0-1

Conclusioni:

1. La variazione massima del momento flettente positivo della campata centrale è inferiore al 6% e sempre inferiore al valore di riferimento adottato.
2. I momenti flettenti negativi sui supporti interni (assi B e C) praticamente non subiscono variazioni.
3. I momenti nelle appoggi esterni (assi A e D) in caso di un certo grado di incastramento, saranno sempre positivi per la notevole differenza di lunghezza tra la campata centrale e le campate laterali. La sua variazione rappresenta un massimo del 42% del momento massimo della campata centrale. Basterebbe quindi posizionare un'armatura equivalente alla metà di quella posta nella campata centrale per coprire eventuali incertezze sul grado di incastro.
4. l'ipotesi di articolazione tra soletta di copertura e diaframmi adottata è soddisfacente per portare a una progettazione razionale con sufficiente robustezza di fronte all'incertezza del reale vincolo che può svilupparsi nella connessione.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico - Rebaudengo Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A1DSTRSRBR001-0-1

ALLEGATO N.3

Verifiche integrative del nodo di connessione soletta /diaframma



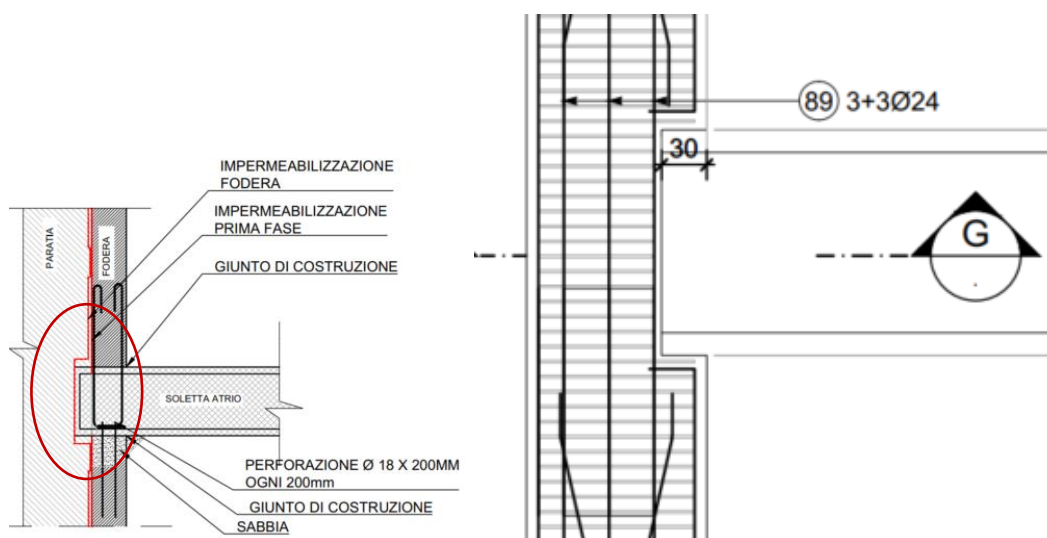
1. VERIFICA DELLA CONNESSIONE SOLETTA-DIAFRAMMA

1.1 Introduzione

Il collegamento tra le solette di stazione e le paratie è realizzato per mezzo di tasche d'appoggio rettangolari, realizzate grazie all'inserimento di scatole metalliche, già assemblate nelle gabbie d'armatura dei diaframmi.

Le tasche di appoggio hanno larghezza pari a 30 cm e la sezione corrente del diaframma presenta una zona localizzata di spessore ridotto da 100 cm a 70cm. Con lo scopo di dimostrare il corretto funzionamento del nodo di connessione si presentano di seguito le seguenti analisi/verifiche integrative:

1. valutazione degli effetti della eccentricità dei carichi dovuti alla connessione diaframma/solette
2. verifiche a flessione e taglio della sezione ridotta del diaframma
3. verifiche delle massime pressioni di contatto localizzate sugli appoggi
4. verifiche delle massime pressioni di contatto sulle impermeabilizzazioni





1.2 Analisi Plaxis aggiuntive per tener conto dell'eccentricità

La verifica strutturale include la valutazione degli effetti della eccentricità dei carichi dovuti alla connessione diaframma/solette. Tale contributo è stato verificato mediante modello *ad hoc* come rappresentato nella figura seguente, considerando le stazioni S4G in quanto presentano le condizioni più sfavorevoli in termini di reazioni vincolari sull'appoggio (assenza di king-post).

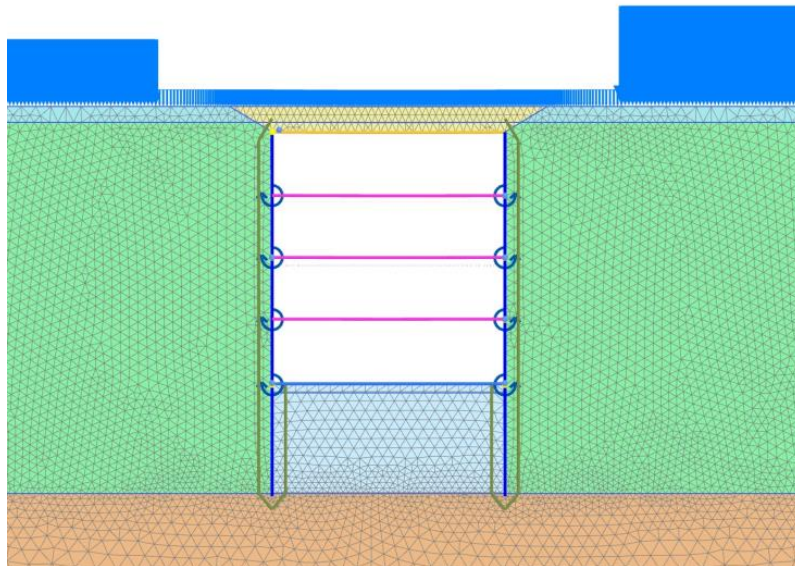


Figura 42. Modellazione dell'eccentricità tra soletta e diaframma – Stazioni S4G

Il modello è stato modificato introducendo sul nodo generico di collegamento soletta/diaframma un momento calcolato come il valore della reazione massima, pari a 330KN/m moltiplicata per l'eccentricità massima pari a 0.45m.

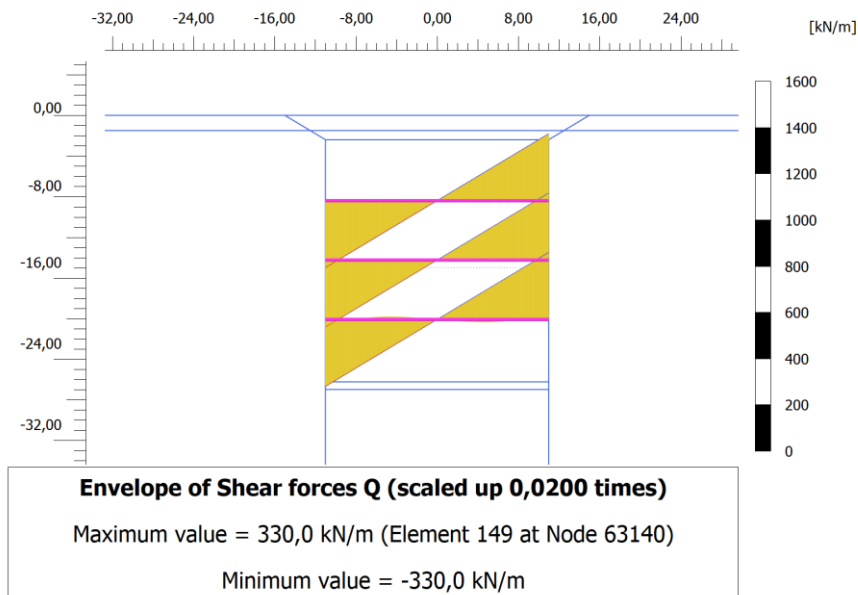


Figura 43. Valore di reazione vincolare di riferimento per il calcolo del momento flettente aggiuntivo – Stazioni S4G

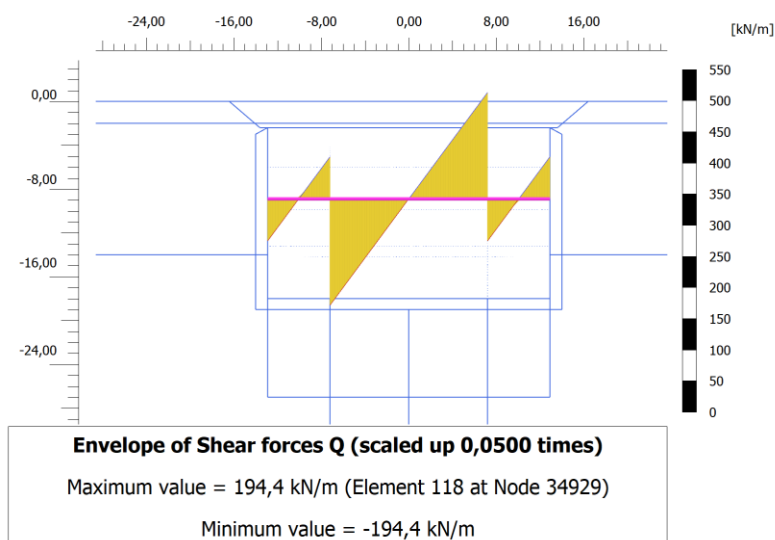



Figura 44. Valore di reazione vincolare di riferimento per il calcolo del momento flettente aggiuntivo – Stazione Rebaudengo

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico - Rebaudengo Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A1DSTRSRBR001-0-1

L'analisi è stata eseguita con riferimento alla fase più sfavorevole ovvero durante lo scavo delle stazioni in assenza delle fodere e considerando la reazione vincolare più gravosa (stazioni S4G 330KN/m). Si è riscontrato come le variazioni in termini di sollecitazioni flettenti siano inferiori al 5% del valore dimensionante e pertanto trascurabili ai fini del progetto delle strutture. Nel caso della stazione in oggetto si ritengono valide le valutazioni eseguite per le stazioni S4G in quanto, come mostrato nella Figura 44, i valori di reazione vincolare sono notevolmente più bassi (194KN/m).

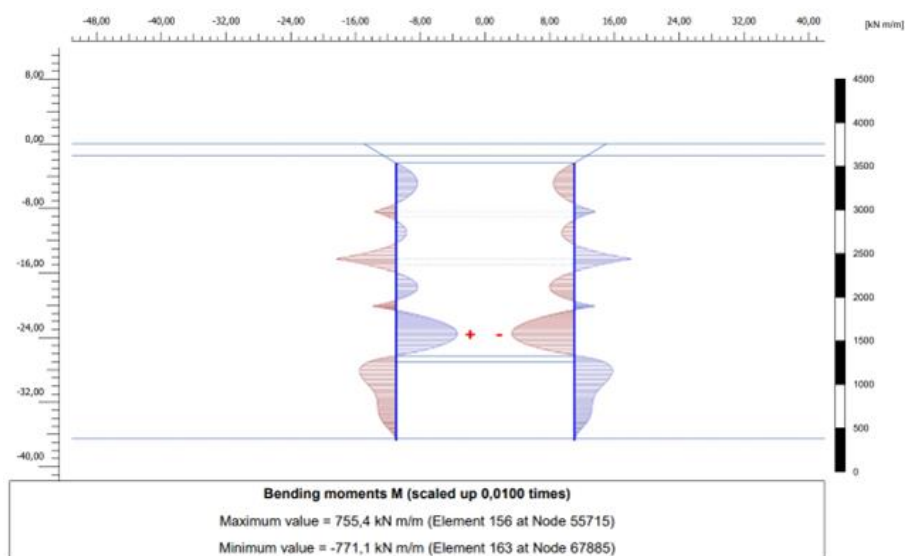


Figura 45. Distribuzione dei momenti flettenti in assenza di eccentricità (fase finale di scavo – assenza di fodere)

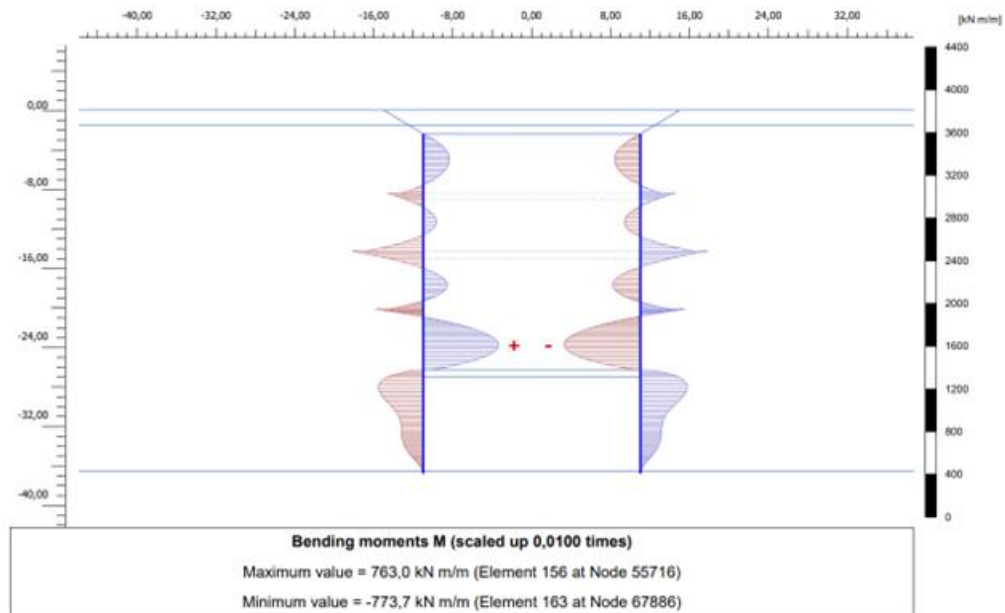


Figura 46. Distribuzione dei momenti flettenti in presenza di eccentricità (fase finale di scavo – assenza di fodere)

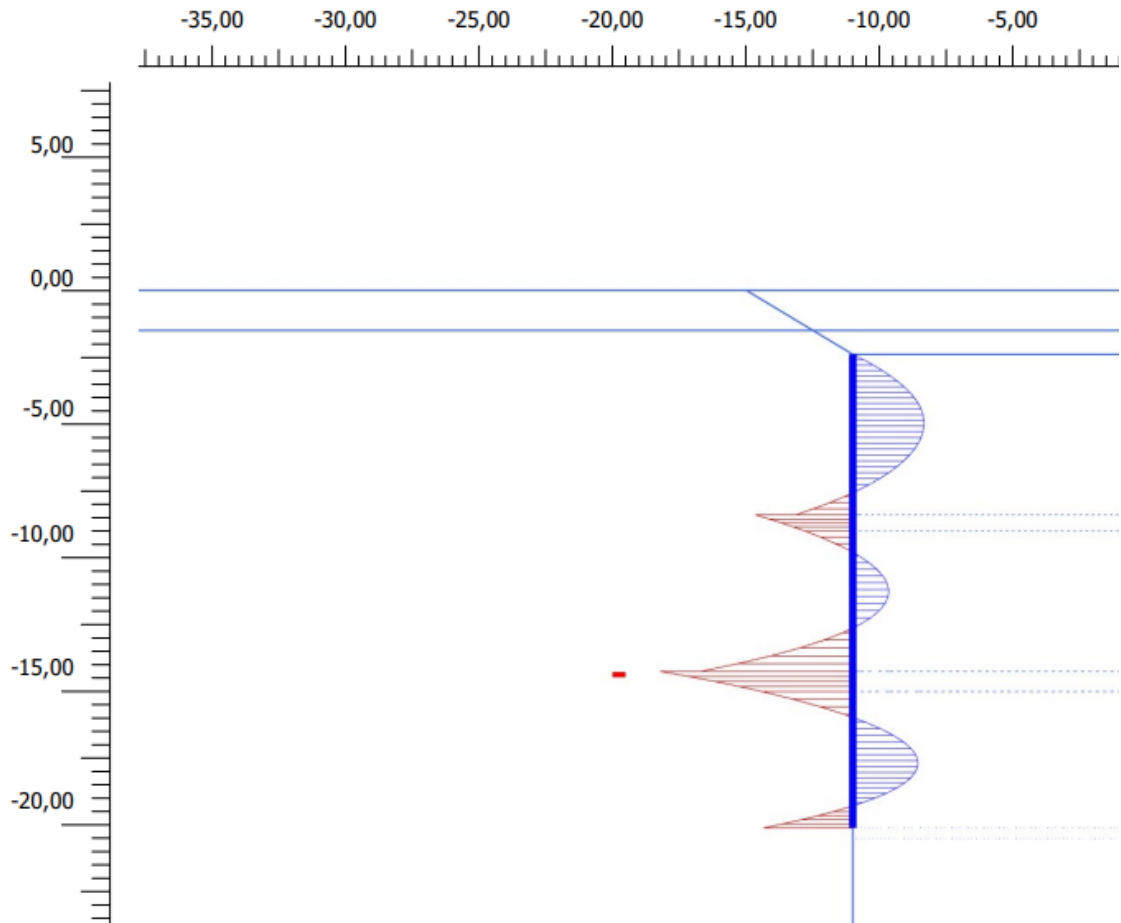


Figura 47. Distribuzione dei momenti flettenti in presenza di eccentricità (fase finale di scavo – assenza di fodere)



1.3 Verifica a flessione e taglio della sezione ridotta

Si presentano di seguito le verifiche a flessione e taglio considerando l'involuppo delle sollecitazioni a breve termine. A lungo termine la verifica non è più necessaria in quanto le solette sono completate e per tanto si garantisce la continuità della sezione.

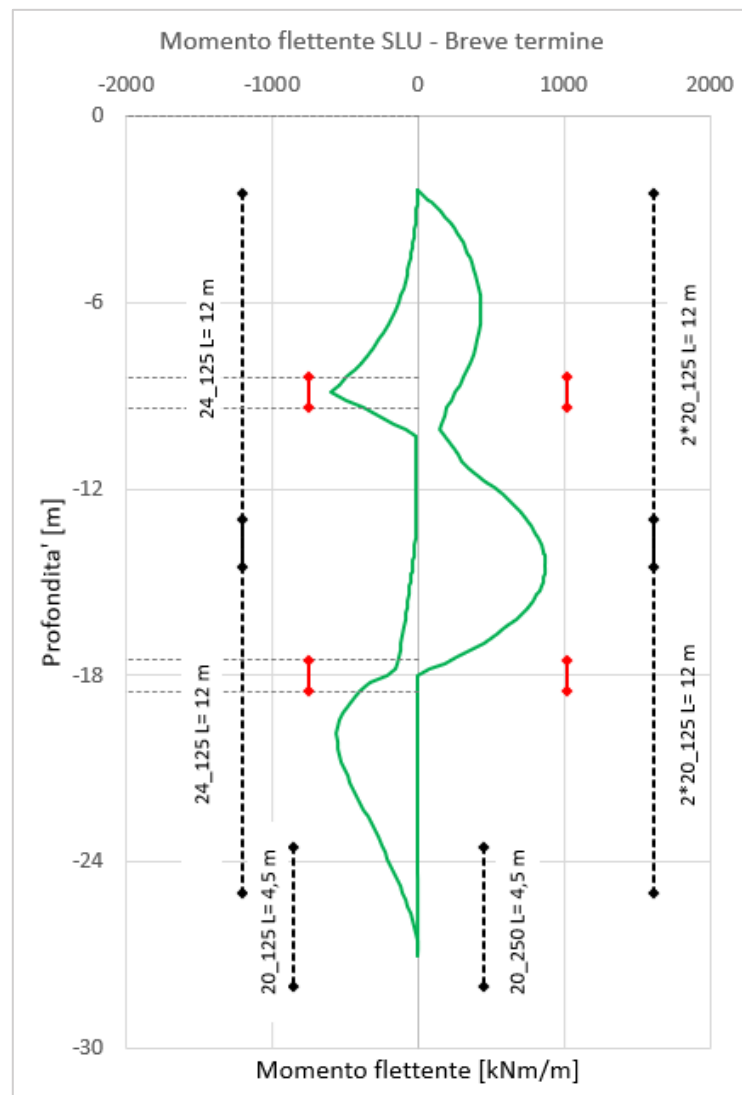


Figura 48. Diaframmi – SLU Diagramma delle sollecitazioni flettenti – Sezione ridotta

Si riporta la verifica della zona più critica, che nel caso in esame è quella relativa al piano atrio.


Tabella 34 Diaframmi – Verifica SLU flessione - Sezione ridotta -Piano Atrio

Sezione di verifica SLU: Tasca Atrio	
Geometria sezione:	
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	700 [mm]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	1000 [mm]
Copriferro	75 [mm]
Altezza utile della sezione	575 [mm]
Armature	
Armatura tesa	
Diametro dei ferri correnti	24 [mm]
Numero dei ferri correnti	8 [-]
Diametro dei ferri correnti secondo strato	0 [mm]
Numero dei ferri correnti secondo strato	8 [-]
Diametro dei ferri correnti terzo strato	0 [-]
Numero dei ferri correnti terzo strato	8 [-]
Area dell'armatura tesa	3619 [mm ²]
Armatura compressa	
Diametro dei ferri correnti	20 [mm]
Numero dei ferri correnti	8 [-]
Diametro dei ferri correnti secondo strato	20 [mm]
Numero dei ferri correnti secondo strato	8 [-]
Diametro dei ferri correnti terzo strato	0 [-]
Numero dei ferri correnti terzo strato	8 [-]
Area dell'armatura compressa	5027 [mm ²]
Materiali	
Calcestruzzo	
Resistenza caratteristica cubica	30 [MPa]
Coefficiente di sicurezza parziale per il calcestruzzo	1,5 [-]
Coefficiente che tiene conto degli effetti di lungo termine	0,85 [-]
Resistenza di progetto a compressione del calcestruzzo	14,17 [MPa]
Resistenza di progetto a trazione del calcestruzzo	1,20 [MPa]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione caratteristica	15,00 [MPa]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione quasi permanente	11,25 [MPa]
Acciaio	
Resistenza a snervamento dell'acciaio	450 [MPa]
Coefficiente di sicurezza parziale per l'acciaio	1,15 [-]
Resistenza di progetto a trazione dell'acciaio	391 [MPa]
Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS	360 [MPa]
Momento resistente della sezione	747,61 [kNm]
Momento sollecitante a SLU assunto in valore assoluto	601,00 [kNm]
	Verificato

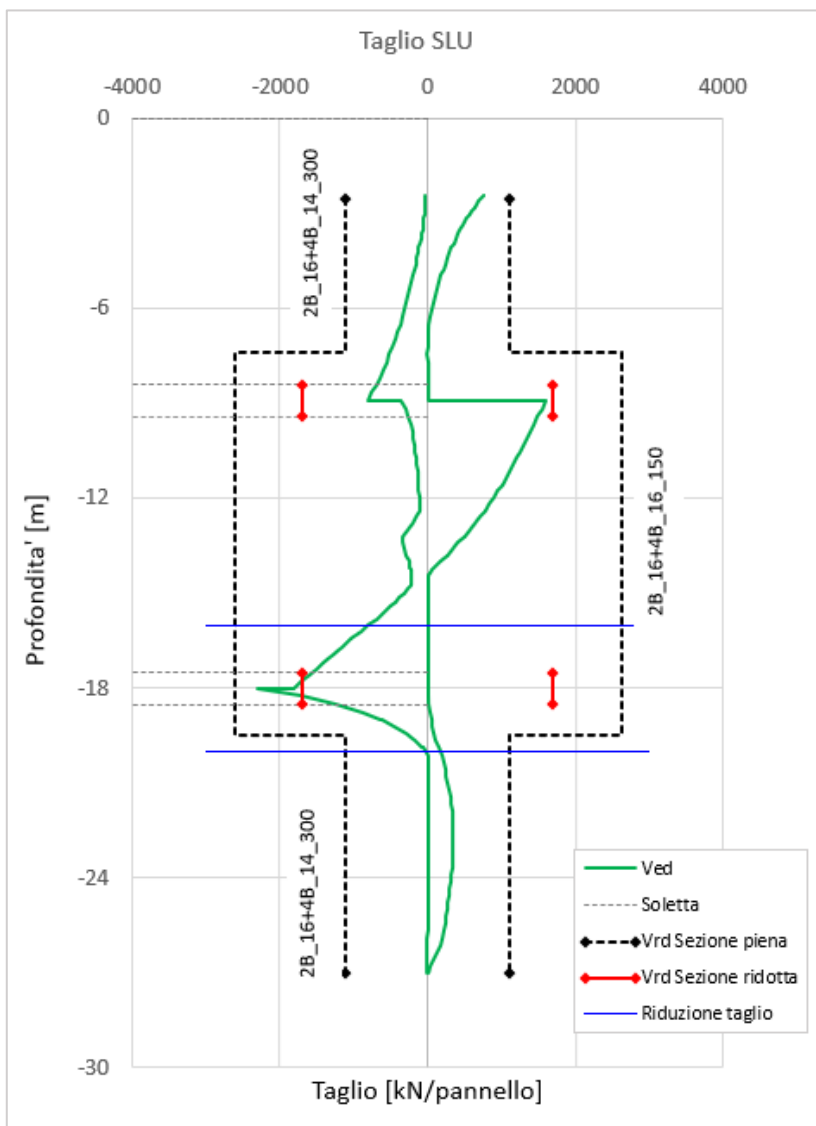


Figura 49. Diaframmi – SLU Diagramma delle sollecitazioni taglianti – Sezione ridotta

Considerando che dovuto alla modellazione si presentano dei picchi in corrispondenza dei nodi tra gli elementi strutturali, le sollecitazioni di taglio possono essere ridotte e sarà sempre cautelativo assumere nel tratto terminale il valore di taglio agente calcolato alla distanza d dall'appoggio. Per cui i diaframmi risultano verificati a taglio pur considerando la sezione ridotta in corrispondenza delle tasche di appoggio delle solette.

**Tabella 35 Diaframmi – Verifica SLU Sollecitazioni taglianti – Sezione ridotta**

Verifica elementi a taglio			
<i>Pannello diaframma 2800 x 1200 mm - ϕ16 2 braccia + ϕ16 4 braccia passo 100 mm</i>			
Geometria			
Altezza sezione	H	700	mm
Base sezione	B	2800	mm
Barre longitudinali tese	ϕ_{sl}	24	mm
Diametro staffe	ϕ_{sw}	16	mm
Copriferro	c	75	mm
Altezza utile	d	597	mm
Materiali			
Calcestruzzo			
Resistenza caratteristica cubica	R_{ck}	30	MPa
Resistenza caratteristica cilindrica	f_{ck}	25	MPa
Coefficiente parziale calcestruzzo	γ_c	1,5	
Coefficiente che tiene conto degli effetti a lungo termine	α_{cc}	0,85	
Resistenza di progetto a compressione calcestruzzo	f_{cd}	14,17	MPa
Resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo d'anima	f'_{cd}	7,08	MPa
Acciaio			
Resistenza a snervamento dell'acciaio	f_{yk}	450	MPa
Coefficiente di sicurezza parziale acciaio	γ_s	1,15	
Resistenza di progetto a trazione dell'acciaio	f_{yd}	391,30	MPa
Elementi con armatura a taglio			
Diametro staffe esterne	ϕ_{sw1}	16	mm
Numero braccia	n_{b1}	2	
Diametro staffe esterne	ϕ_{sw2}	16	mm
Numero braccia	n_{b2}	4	
Passo staffe	s	150	mm
Inclinazione tra puntone compresso e asse elemento	θ	45,00	°
Inclinazione armatura trasversale rispetto asse elemento	α	90	°
Area sezione trasversale armatura a taglio	A_{sw}	1205,76	mm ²
Braccio coppia interna	z	537,3	mm
Resistenza offerta dall'armatura a taglio	V_{Rsd}	1690	kN
Resistenza offerta dai puntoni	V_{Rcd}	5328	kN
Resistenza a taglio della sezione armata trasversalmente	V_{Rd}	1690	kN
Taglio sollecitante SLU	V_{ed}	1414	kN
			Verificato

1.4 Verifica degli inghisaggi soletta-pali

La connessione tra le solette della stazione e i pali predisposti nella zona in adiacenza alla stazione ferroviaria esistente, viene realizzata mediante ancoraggi tra i due elementi come illustrato schematicamente in Figura 50 (inghisaggi).

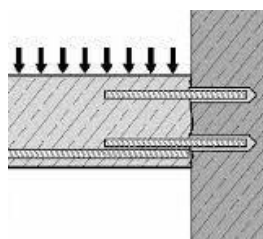


Figura 50. Inghisaggi tra palo e soletta

Per verificare tale tipologia di collegamenti si fa riferimento alla reazione tagliante ottenuta dai modelli di calcolo e individuando l'azione sul singolo palo.

- **Livello intermedio**

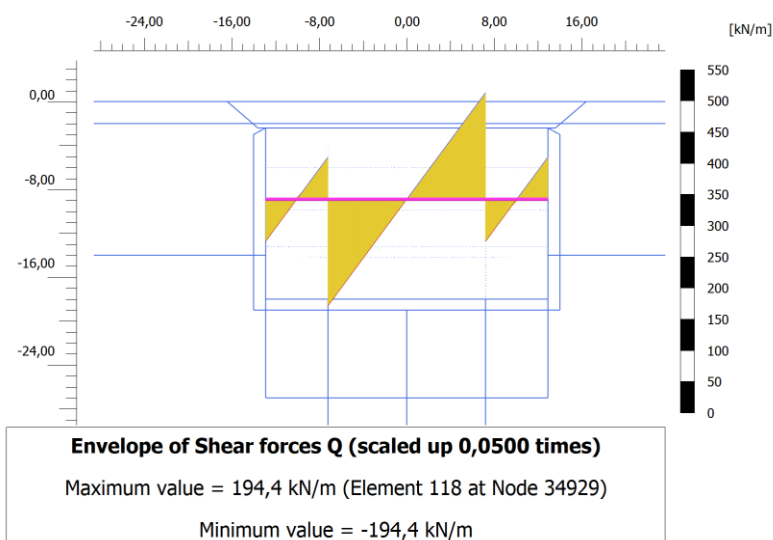



Figura 51. Valore di reazione vincolare di riferimento – Livello atrio

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico - Rebaudengo Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A1DSTRSRBR001-0-1

$$V_{Ed} = 1.4 \times R$$

$$V_{Ed} = 194.4 \text{ kN/m} \times 1.4 \times 0.6\text{m} = 163.3 \text{ kN}$$

- **Livello Banchina**

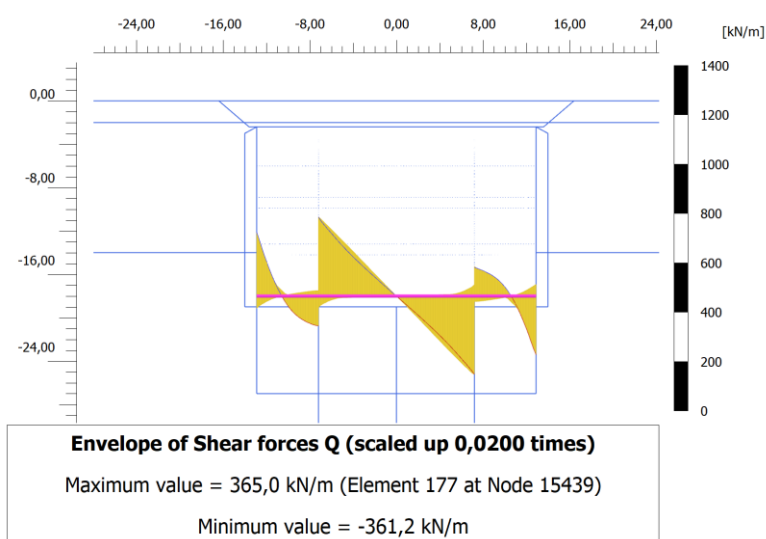


Figura 52. Valore di reazione vincolare di riferimento – Livello banchina

$$V_{Ed} = 1.4 \times R$$

$$V_{Ed} = 365 \text{ kN/m} \times 1.4 \times 0.6\text{m} = 306.6 \text{ kN}$$

Come si evince, la condizione peggiore è quella relativa alla soletta di fondo, la quale sarà presa in considerazione per dimensionare le barre di ancoraggio da predisporre per il collegamento con i pali. A questo scopo quindi, si ipotizza che la reazione sarà assorbita per due ferri, posizionati come in Figura 50 e per tanto dovranno sostenere una reazione pari a 153 kN ognuno.

Così facendo e utilizzando il capitolato tecnico per ancoraggi chimici HILTI HIT HY 200 per barre corrugate di rinforzo strutturale, riportato di seguito si individua che sono sufficienti 2 barre Ø22 con lunghezza di ancoraggio 200 mm.

Tabella 36 Resistenza di progetto HIT-HY 200 con rottura fragile per barre corrugate in calcestruzzo

Tamaño de la barra corrugada	Empotramiento efectivo pulg. (mm)	Tensión — ϕN_s				Corte — ϕV_s			
		$f'_c = 2,500$ psi (17.2 MPa) lb (kN)	$f'_c = 3,000$ psi (20.7 MPa) lb (kN)	$f'_c = 4,000$ psi (27.6 MPa) lb (kN)	$f'_c = 6,000$ psi (41.4 MPa) lb (kN)	$f'_c = 2,500$ psi (17.2 MPa) lb (kN)	$f'_c = 3,000$ psi (20.7 MPa) lb (kN)	$f'_c = 4,000$ psi (27.6 MPa) lb (kN)	$f'_c = 6,000$ psi (41.4 MPa) lb (kN)
#3	3-3/8 (86)	4,030 (17.9)	4,105 (18.3)	4,225 (18.8)	4,400 (19.6)	8,685 (38.6)	8,845 (39.3)	9,100 (40.5)	9,480 (42.2)
	4-1/2 (114)	5,375 (23.9)	5,475 (24.4)	5,635 (25.1)	5,865 (26.1)	11,580 (51.5)	11,790 (52.4)	12,135 (54.0)	12,640 (56.2)
	7-1/2 (191)	8,960 (39.9)	9,125 (40.6)	9,390 (41.8)	9,780 (43.5)	19,295 (85.8)	19,650 (87.4)	20,225 (90.0)	21,065 (93.7)
#4	4-1/2 (114)	7,170 (31.9)	7,300 (32.5)	7,510 (33.4)	7,825 (34.8)	15,440 (68.7)	15,720 (69.9)	16,180 (72.0)	16,850 (75.0)
	6 (152)	9,555 (42.5)	9,735 (43.3)	10,015 (44.5)	10,430 (46.4)	20,585 (91.6)	20,960 (93.2)	21,575 (96.0)	22,465 (99.9)
	10 (254)	15,930 (70.9)	16,220 (72.1)	16,695 (74.3)	17,385 (77.3)	34,305 (152.6)	34,935 (155.4)	35,955 (159.9)	37,445 (166.6)
#5	5-5/8 (143)	10,405 (46.3)	11,400 (50.7)	11,740 (52.2)	12,225 (54.4)	22,415 (99.7)	24,550 (109.2)	25,280 (112.5)	26,330 (117.1)
	7-1/2 (191)	14,930 (66.4)	15,205 (67.6)	15,650 (69.6)	16,300 (72.5)	32,160 (143.1)	32,755 (145.7)	33,710 (149.9)	35,105 (156.2)
	12-1/2 (318)	24,885 (110.7)	25,345 (112.7)	26,085 (116.0)	27,165 (120.8)	53,605 (238.4)	54,590 (242.8)	56,185 (249.9)	58,510 (260.3)
#6	6-3/4 (171)	13,680 (60.9)	14,985 (66.7)	16,905 (75.2)	17,600 (78.3)	29,460 (131.0)	32,275 (143.6)	36,405 (161.9)	37,915 (168.7)
	9 (229)	21,060 (93.7)	21,900 (97.4)	22,535 (100.2)	23,470 (104.4)	45,360 (201.8)	47,165 (209.8)	48,540 (215.9)	50,550 (224.9)
	15 (381)	35,840 (159.4)	36,495 (162.3)	37,560 (167.1)	39,115 (174.0)	77,190 (343.4)	78,610 (349.7)	80,905 (359.9)	84,250 (374.8)
#7	7-7/8 (200)	17,235 (76.7)	18,885 (84.0)	21,805 (97.0)	23,960 (106.6)	37,125 (165.1)	40,670 (180.9)	46,960 (208.9)	51,605 (229.5)
	10-1/2 (267)	26,540 (118.1)	29,070 (129.3)	30,675 (136.4)	31,945 (142.1)	57,160 (254.3)	62,615 (278.5)	66,070 (293.9)	68,805 (306.1)
	17-1/2 (445)	48,780 (217.0)	49,675 (221.0)	51,125 (227.4)	53,240 (236.8)	105,065 (467.4)	106,995 (475.9)	110,120 (489.8)	114,675 (510.1)
#8	9 (229)	21,060 (93.7)	23,070 (102.6)	26,640 (118.5)	31,295 (139.2)	45,360 (201.8)	49,690 (221.0)	57,375 (255.2)	67,400 (299.8)
	12 (305)	32,425 (144.2)	35,520 (158.0)	40,065 (178.2)	41,725 (185.6)	69,835 (310.6)	76,500 (340.3)	86,295 (383.9)	89,870 (399.8)
	20 (508)	63,710 (283.4)	64,885 (288.6)	66,775 (297.0)	69,540 (309.3)	137,225 (610.4)	139,750 (621.6)	143,830 (639.8)	149,780 (666.3)
#9	10-1/8 (257)	25,130 (111.8)	27,530 (122.5)	31,785 (141.4)	38,930 (173.2)	54,125 (240.8)	59,290 (263.7)	68,465 (304.5)	83,850 (373.0)
	13-1/2 (343)	38,690 (172.1)	42,380 (188.5)	48,940 (217.7)	52,805 (234.9)	83,330 (370.7)	91,285 (406.1)	105,405 (468.9)	113,740 (505.9)
	22-1/2 (572)	80,635 (358.7)	82,120 (365.3)	84,515 (375.9)	88,010 (391.5)	173,675 (772.5)	176,870 (786.8)	182,035 (809.7)	189,565 (843.2)
#10	11-1/4 (286)	29,430 (130.9)	32,240 (143.4)	37,230 (165.6)	45,595 (202.8)	63,395 (282.0)	69,445 (308.9)	80,185 (356.7)	98,205 (436.8)
	15 (381)	45,315 (201.6)	49,640 (220.8)	57,320 (255.0)	65,195 (290.0)	97,600 (434.1)	106,915 (475.6)	123,455 (549.2)	140,420 (624.6)
	25 (635)	97,500 (433.7)	101,380 (451.0)	104,340 (464.1)	108,655 (483.3)	210,000 (934.1)	218,360 (971.3)	224,730 (999.6)	234,030 (1041.0)



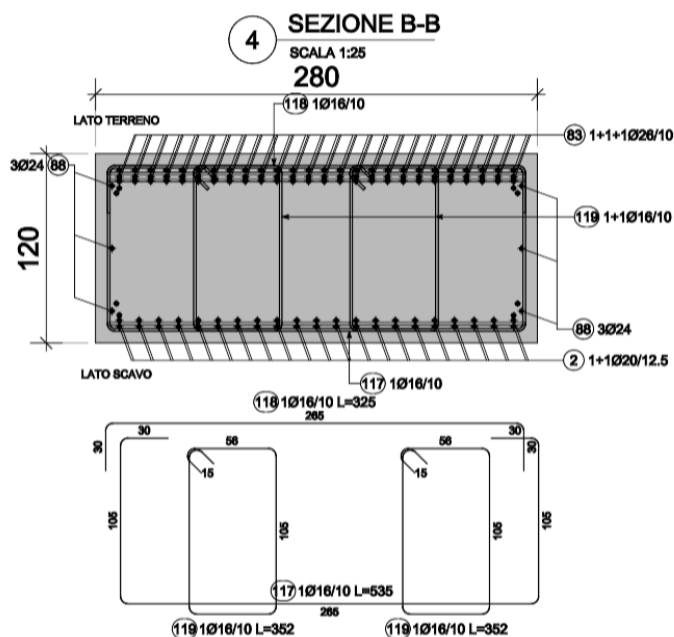
1.5 Verifica dell'appoggio soletta-paratia

La massima reazione applicata $R=330\text{kN/m}$ (Stazioni S4G – per le altre stazioni tale reazione e' minore di 180kN/m)

$$V_{Ed} = 1.4 \times R = 462 \text{ kN/m}$$

Per la valutazione della resistenza del cuneo si ipotizza una modalit  di rottura a taglio su un piano inclinato a 30 gradi (da normativa tale valore risulta in un range 22.5-45 gradi)

I meccanismi resistenti sono rappresentati dal contributo del calcestruzzo al taglio nel piano di rottura, dal contributo dell'armatura principale (barra n.2 - $2\phi 20/125$) intercettata in due sezioni e dal contributo delle staffe (barre n. 117,118 e 119 - $6\phi 16/100$).



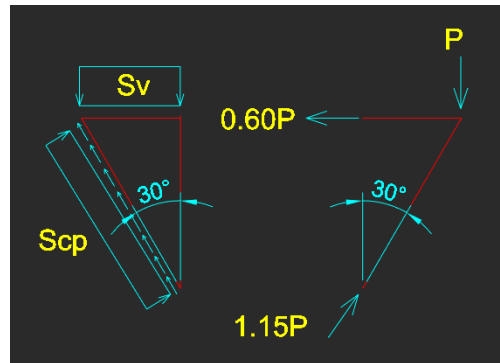
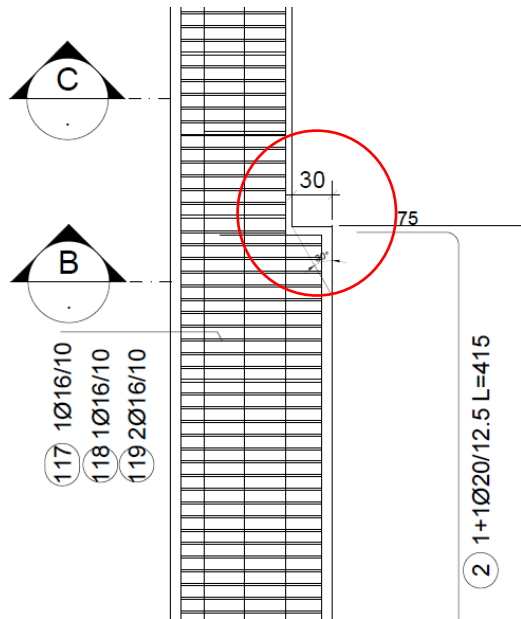


CITTA' DI TORINO

Metropolitana di Torino - Linea 2
Tratta: Politecnico - Rebaudengo
Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna


Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione

MTL2T1A1DSTRSRBR001-0-1



- Resistenza al taglio del calcestruzzo:

Caratteristiche della sezione				
GEOMETRIA				
H	=	60	cm	altezza sezione
b _w	=	100	cm	larghezza sezione
h'	=	10	cm	copriferro
d	=	50	cm	altezza utile
ARMATURA TESA				
∅	=	0	mm	diametro armatura
n°	=	0		numero barre
A _s	=	0.0	cm ²	area dell'armatura tesa
ρ _l	=	0.0000		rapporto geometrico d'armatura longitudinale (≤0,02) min[As/bd;0,02]
AZIONI DI COMPRESSIONE				
N _{Ed}	=	380	kN	valore di calcolo della compressione assiale (se presente)
σ _{cp}	=	0.63	Mpa	tensione media di compressione min[Ned/bh;0,2fcd]
Resistenza senza armatura a taglio				
RESISTENZA SENZA ARMATURA A TAGLIO				
V _{Rd}	=	383	kN	max[Vrd1;Vrd2]
Resistencia concreto	V _{Rd,C}	Con riferimento all'elemento fessurato da momento flettente, la resistenza di progetto a taglio si valuta con		
$V_{Rd} = \max \left[\left[0,18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \cdot \sigma_{cp} \right] b_w \cdot d; (v_{\min} + 0,15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d \right] \quad [4.1.23]$				
con				
f _{ck} espresso in MPa				
k = 1 + (200/d) ^{1/2} ≤ 2				
v _{min} = 0,035k ^{3/2} f _{ck} ^{1/2}				

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico - Rebaudengo Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A1DSTRSRBR001-0-1

$VR_{d,c} = 383 \text{ kN/m} < V_{Ed}$ è necessario considerare il contributo delle barre di armatura
 - Contributo delle barre di armatura (contributo valutato su pannelli larghi 2,80 m)

i) Contributo dell'armatura principale (barra n.2 - $2\phi 20/125$)

numero di barre = 21 numero di strati = 2 Totale barre = $2 \times 21 = 42$

Diametro barra = 20mm

Nota: il piano di rottura interseca i due strati dell'armatura principale in due sezioni, tuttavia viene considerata in modo conservativo solo un strato e una sezione.

$$N_{ef} = 21 \quad A_s = 3.14 \text{ cm}^2 \quad f_{yd} = 390 \text{ MPa}$$

$$VR_{d,s} = N_{ef} A_s f_{yd} = 21 \times 3.14 \times 390 / 1000 = 2570 \text{ kN}$$

ii) Contributo delle staffe (barre n. 117,118 e 119 - $6\phi 16/100$)

Numero di barre = 6 Numero di strati = 3 Totale barre = $3 \times 6 = 18$

Diametro barra = 16mm

Nota: il piano di rottura interseca tre strati delle staffe, in modo conservativo se ne considerano due.

$$N_{ef} = 2 \times 6 = 12 \quad A_s = 2.01 \text{ cm}^2 \quad f_{yd} = 390 \text{ MPa}$$

$$VR_{d,s} = N_{ef} A_s f_{yd} = 12 \times 2.01 \times 390 / 1000 = 940 \text{ kN}$$

iii) Contributo dei rinforzi (per unità di larghezza)

$$VR_{d,s} = (2570 + 940) / 2.80 = 1250 \text{ kN/m} > V_{Ed} \quad \dots FS = 1250 / 462 = 2.70$$

iv) Verifica della tensione nell'armatura orizzontale

$$N_{Ed} = 0.60 \times V_{Ed} = 0.60 \times 462 \text{ kN/m} = 278 \text{ kN/m}$$

Considerando conservativamente solo uno strato di armatura orizzontale

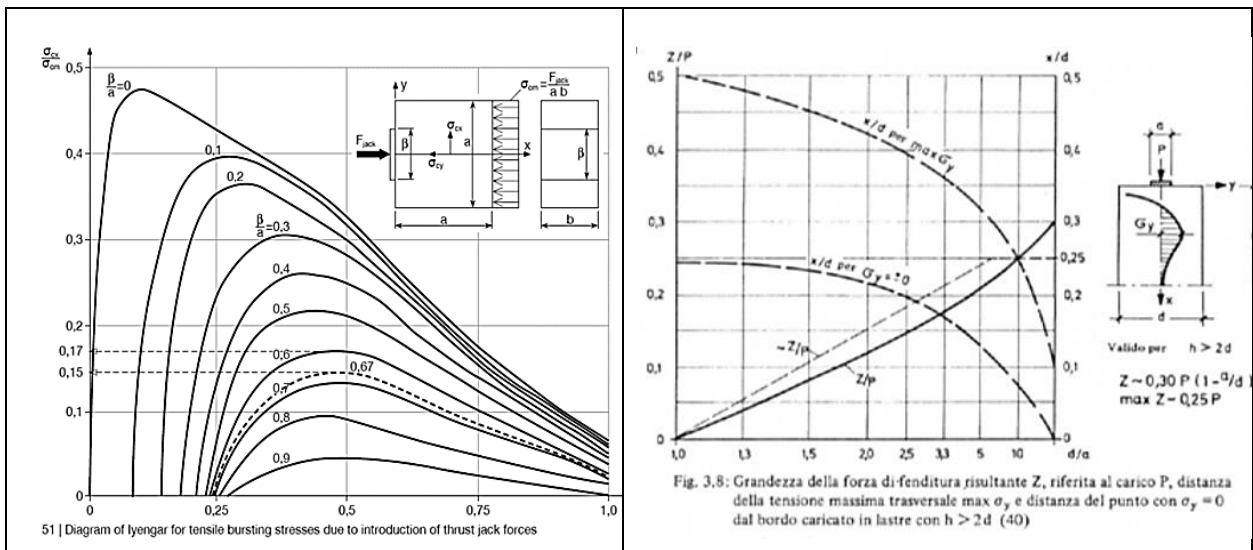


$$A_s = 8\phi 20 = 8 \times 3.14 \text{ cm}^2 = 25.12 \text{ cm}^2$$

$$NR_{d,s} = A_s f_{yd} = 2512 \times 390 / 1000 = 980 \text{ kN/m} > N_{ed} \dots FS = 980 / 278 = 3.50$$

v) Verifica delle trazioni indotte localmente

La compressione alla base della tasca induce tensioni di trazioni orizzontali locali immediatamente al di sotto della base di appoggio. Utilizzando i consueti metodi di analisi delle pressioni indotte (Leonardth and Iyengar), nelle condizioni più estreme, le trazioni indotte sono limitate al 50% delle massime sollecitazioni di compressione.



$$\sigma_{t_max} = 0.50 \times \sigma_{cm} = 0.50 \times 1.54 \text{ MPa} = 0.77 \text{ MPa} < f_{ctm} = 2.60 \text{ MPa}$$

La verifica e' pertanto soddisfatta

1.6 Verifica delle pressioni di contatto sulle impermeabilizzazioni


Pressione di contatto media:

$$\sigma_{cm} = VEd / A_c \quad \text{dove} \quad A_c = 30\text{cm} \times 100\text{cm} = 3000 \text{ cm}^2$$



$$\sigma_{cm} = 462 / 300 = 1.54 \text{ MPa} < 7.0 \text{ MPa}$$
 Resistenza a compressione a lungo termine

Spessore effettivo	2.00 (-5 / +10 %) mm incl. strato segnaletico	(EN 1849-2)
Massa areica	2.56 (-5 / +10 %) kg/m ²	(EN 1849-2)
INFORMAZIONI TECNICHE		
Resistenza a trazione	17.0 (± 2.0) N/mm ² (longitudinale) 16.0 (± 2.0) N/mm ² (trasversale)	(ISO 527)(EN 12311-2)
Allungamento a rottura	≥ 300 % (longitudinale/trasversale)	(ISO 527)
Modulo di elasticità a trazione	≤ 20 N/mm ² (longitudinale/trasversale) (tra 1 % e 2 % di allungamento, v = 5mm/min)	(ISO 527)
Resistenza allo scoppio	≥ 80 % (D=1.0 m)	(EN 14151)
Resistenza al punzonamento statico	2.35 (± 0.25) kN	(EN ISO 12236)
Resistenza all'urto	Impermeabile con altezza di caduta di 750 mm (peso 500 g, Metodo A)	(EN 12691)
Resistenza a compressione a lungo termine	Impermeabile con carico di 7.0 N/mm ² (50 h)	(simile a SIA V280/14)
Flessibilità a freddo	Nessuna rottura a - 20 °C	(EN 495-5)
Variazione dimensionale dopo riscaldamento	<2.0% (longitudinale/trasversale)	(EN 1107-2) (+80 °C / 6 h)
Resistenza all'ossidazione	Variazione dell'allungamento a rottura ≤ 10 % Variazione della resistenza a trazione ≤ 10 %	(EN 14575) (120 gg / 80 °C)
Comportamento dopo stoccaggio in acqua calda	Variazione della resistenza a trazione < 20 % (longitudinale/trasversale) Variazione dell'allungamento a rottura < 20 % (longitudinale/trasversale) Variazione di massa < 4 % Variazione di massa < 10 %	(SIA V280/13 e OEBV) (+50 °C / 8 mesi) (EN 14415) (+70 °C / 360 gg)

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico - Rebaudengo Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A1DSTRSRBR001-0-1

ALLEGATO N.4
Calcolo incidenza armature opere di sostegno



CITTA' DI TORINO

Metropolitana di Torino - Linea 2
Tratta: Politecnico - Rebaudengo
Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna

Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione

MTL2T1A1DSTRSRBR001-0-1

Elemento: **Diaframmi**

Volume = 71,4 mc

Incidenza = 136 kg/mc

(+10%)

Ferro	Pos.	diametro [mm]	passo [cm]	numero	L. unitaria [m]	L. totale [m]	peso unitario [kg/m]	Peso totale [kg]
est	1	24	12,5	21	3	63	3,551	223,71
int	2	20	12,5	21	10,2	214,2	2,466	528,22
est	3	24	12,5	21	12	252	3,551	894,85
int	4	20	12,5	21	5	105	2,466	258,93
est	5	24	12,5	21	12	252	3,551	894,85
int	6	20	12,5	42	8,7	365,4	2,466	901,08
est	7	24	12,5	21	6,3	132,3	3,551	469,80
int	8	20	12,5	42	5	210	2,466	517,86
int	9	20	12,5	21	6,7	140,7	2,466	346,97
lat	10	24	30	6	3	18	3,551	63,92
lat	11	24	30	6	12	72	3,551	255,67
lat	12	24	30	6	12	72	3,551	255,67
lat	13	24	30	6	6,3	37,8	3,551	134,23
staffe	14	16	30	50	4,95	247,5	1,578	390,56
staffe	15	16	30	50	3,25	162,5	1,578	256,43
staffe	16	14	30	100	3	300	1,208	362,40
staffe	17	16	15	16	3,25	52	1,578	82,06
staffe	18	16	15	16	4,55	72,8	1,578	114,88
staffe	19	14	15	32	2,6	83,2	1,208	100,51
staffe	14a	16	15	52	3,25	169	1,578	266,68
staffe	15a	16	15	52	4,95	257,4	1,578	406,18
staffe	16a	16	15	104	3	312	1,578	492,34
dia	20	24		20	4,76	95,2	3,551	338,06
dia	21	24		20	4	80	3,551	284,08
staffe	10	20	20	0	3,1	0	2,466	0,00

8839,90 kg



CITTA' DI TORINO

Metropolitana di Torino - Linea 2
Tratta: Politecnico - Rebaudengo
Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna

Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione

MTL2T1A1DSTRSRBR001-0-1

Elemento: **Palo**

Volume = 0,785 mc/m

Incidenza = 141 kg/mc

(+10%)

Ferro	Pos.	diametro [mm]	passo [cm]	numero	L. unitaria [m]	L. totale [m]	peso unitario [kg/m]	Peso totale [kg]	
forza esterni	1	24	25	20	1,00	20	3,551	71,02	
forza interni	12	16	125	8	2,36	18,850	1,578	29,75	
								100,77	kg