

**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 2: Bologna - Politecnico**

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 PROFONDE – STAZIONE NOVARA RELAZIONE DI CALCOLO OPERE DI SOSTEGNO STAZIONE												
		ELABORATO								REV.		SCALA	DATA	
											Int.	Est.		
BIM MANAGER Geom. L. D'Accardi		MT	L2	T1	A2	D	STR	SNO	R	001	0	1	-	30/09/2022

AGGIORNAMENTI

Fg. 1 di 1

REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	CONTROLLATO	APPROVATO	VISTO
0	EMMISSIONE	18/01/22	VFI	ECA	FRI	RCR
1	EMMISSIONE FINALE A SEGUITO DI VERIFICA PREVENTIVA	30/09/22	VFI	ECA	FRI	RCR
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-

<table border="1"> <tr> <td>LOTTO 2</td> <td>CARTELLA</td> <td>9.2.1</td> <td>1</td> <td>MTL2T1A2D</td> <td>STRSNOR001</td> </tr> </table>						LOTTO 2	CARTELLA	9.2.1	1	MTL2T1A2D	STRSNOR001	STAZIONE APPALTANTE DIRETTORE DI DIVISIONE INFRASTRUTTURE E MOBILITÀ Ing. R. Bertasio RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO Ing. A. Strozziro						
LOTTO 2	CARTELLA	9.2.1	1	MTL2T1A2D	STRSNOR001													

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Novara - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR001-0-1

INDICE

1.	PREMESSA	6
1.1	SCOPO E CAMPO DI APPLICAZIONE	7
1.2	DESCRIZIONE DELLE OPERE	7
2.	NORMATIVE DI RIFERIMENTO	9
3.	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	12
3.1	CALCESTRUZZI	12
4.1.1	CALCESTRUZZO UTILIZZATO PER I SOLAI DI STAZIONE E STRUTTURE INTERNE	12
4.1.2	CALCESTRUZZO UTILIZZATO PER DIAFRAMMI	12
3.2	ACCIAI PER ARMATURE IN C.A.	12
3.3	ACCIAIO PER CARPENTERIA METALLICA	13
4.	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	14
5.	PRINCIPALI ASSUNZIONI DELLA PROGETTAZIONE	17
5.1	CARATTERIZZAZIONE SISMICA	17
5.2	COMBINAZIONI DI CARICO	18
5.3	CRITERI DELLA MODELLAZIONE NUMERICA	20
5.3.1	GEOMETRIA DEL MODELLO NUMERICO	20
5.3.2	ELEMENTI STRUTTURALI	21
5.3.3	CARICHI	24
5.3.3.1	Carichi superficiali	24
5.3.3.2	Azione sismica	24
6.	ANALISI NUMERICHE	28
6.1	FASI DI CALCOLO DELLA MODELLAZIONE GEOTECNICA	29
6.2	OUTPUT	43
6.2.1	SEZIONE AA – CERNIERA - SOLLECITAZIONI PARATIA	43
6.2.2	SEZIONE AA - CERNIERA - SPOSTAMENTI PARATIA	45
6.2.3	SEZIONE AA - INCASTRO - SOLLECITAZIONI PARATIA	46
6.2.4	SEZIONE AA - INCASTRO - SPOSTAMENTI PARATIA	48
6.2.5	SEZIONE BB – CERNIERA - SOLLECITAZIONI PARATIA	49

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione NOVARA - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR001-0-1

6.2.6	SEZIONE BB - CERNIERA - SPOSTAMENTI PARATIA	51
6.2.7	SEZIONE BB - INCASTRO - SOLLECITAZIONI PARATIA	52
6.2.8	SEZIONE BB - INCASTRO - SPOSTAMENTI PARATIA	54
7.	VERIFICHE STRUTTURALI	55
7.1	VERIFICHE DELLE SOLLECITAZIONI FLETTENTI SLU	55
7.1.1	SEZIONE AA	57
7.1.2	SEZIONE BB	60
7.2	VERIFICA DELLE SOLLECITAZIONI TAGLIANTI SLU	63
7.2.1	SEZIONE AA	64
7.2.2	SEZIONE BB	66
7.3	VERIFICHE A FESSURAZIONE SLE	68
7.3.1	SEZIONE AA	69
7.3.2	SEZIONE BB	71
7.4	VERIFICA DI DEFORMABILITÀ A LUNGO TERMINE	73
7.4.1	SEZIONE AA	73
7.4.2	SEZIONE BB	74
8.	VERIFICHE GEOTECNICHE	75
8.1	VERIFICA DEL TAMPONE DI FONDO	75
8.2	VERIFICA CAPACITÀ PORTANTE DELLA PARATIA	78
8.1	VERIFICA CAPACITÀ PORTANTE DELLA SOLETTA DI FONDO	79
8.2	STABILITÀ GLOBALE	80
8.3	VERIFICA GALLEGGIAMENTO STAZIONE	86
9.	VALIDAZIONE DEI MODELLI ESEGUITI	88
ALLEGATO N.1		91
ALLEGATO N.2		96

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1.	Key-plan della linea 2 – tratta funzionale Politecnico-Rebaudengo	6
Figura 2.	Modello 3d – Stazione NOVARA	7

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione NOVARA - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR001-0-1

Figura 3.	Stralcio stratigrafico della stazione NOVARA	14
Figura 4.	Sezione di calcolo - Stazione Novara	21
Figura 5.	Sezione di calcolo BB - Puntonatura	23
Figura 6.	Modello strutturale sistema di puntonatura	23
Figura 7.	Schematizzazione metodo di Wood	25
Figura 8.	Stralcio planimetria stazione NOVARA con indicazione delle sezioni di calcolo AA e BB	28
Figura 9.	Fasi di calcolo modello geotecnico – Sezione AA	35
Figura 10.	Fasi di calcolo modello geotecnico – Sezione BB	42
Figura 11.	Sezione AA Diaframma - Cerniera - SLE Momento flettente - Inviluppo	43
Figura 12.	Sezione AA Diaframma - Cerniera - SLE Diagramma taglio - Inviluppo	44
Figura 13.	Sezione AA Diaframma - Cerniera - SLE Diagramma degli spostamenti orizzontali	45
Figura 14.	Sezione AA Diaframma - Incastro - SLE Momento flettente - Inviluppo	46
Figura 15.	Sezione AA Diaframma - Incastro - SLE Diagramma taglio – Inviluppo	47
Figura 16.	Sezione AA Diaframma – Incastro - SLE Diagramma degli spostamenti orizzontali	48
Figura 17.	Sezione BB Diaframma – Cerniera - SLE Diagramma momento – Inviluppo	49
Figura 18.	Sezione BB Diaframma - Cerniera - SLE Diagramma taglio – Inviluppo	50
Figura 19.	Sezione BB Diaframma - Cerniera - SLE Diagramma degli spostamenti orizzontali	51
Figura 20.	Sezione BB Diaframma - Incastro - SLE Diagramma momento – Inviluppo	52
Figura 21.	Sezione BB Diaframma - Incastro - SLE Diagramma Taglio – Inviluppo	53
Figura 22.	Sezione BB Diaframma - Incastro - SLE Diagramma degli spostamenti orizzontali	54
Figura 23.	Diaframmi – SLU Diagramma delle sollecitazioni flettenti – Sezione AA	57
Figura 24.	Diaframmi - SLU Diagramma delle sollecitazioni flettenti – Sezione BB	60
Figura 25.	Diaframma - SLU Diagramma delle sollecitazioni taglianti – Sezione AA	64
Figura 26.	Diaframma - SLU Diagramma delle sollecitazioni taglianti – Sezione BB	66
Figura 27.	Spostamenti orizzontali a lungo termine – Sezione AA	73
Figura 28.	Spostamenti orizzontali a lungo termine – Sezione BB	74
Figura 29.	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	75
Figura 30.	Zone di plasticizzazione	79
Figura 31.	Fattore di sicurezza a breve termine	80
Figura 32.	Rapporto tra tensione tangenziale massima e tensione tangenziale mobilizzata	81
Figura 33.	Fattore di sicurezza a lungo termine	82
Figura 34.	Rapporto tra tensione tangenziale massima e tensione tangenziale mobilizzata	83
Figura 35.	Tensioni orizzontali efficaci paratia	84

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione NOVARA - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR001-0-1

Figura 36. Confronto tensione limite attive e passive con tensioni orizzontali Plaxis	85
Figura 37. Modello numerico ParatiePlus	88
Figura 38. Modello numerico Plaxis	89
Figura 39. Inviluppo momenti flettenti ParatiePlus	89
Figura 40. Inviluppo momenti flettenti Plaxis	90
Figura 41. Modellazione dell'eccentricità tra soletta e diaframma	98
Figura 42. Valore di reazione vincolare di riferimento per il calcolo del momento flettente aggiuntivo	98
Figura 43. Diaframmi – SLU Diagramma delle sollecitazioni flettenti – Sezione AA ridotta	101
Figura 44. Diaframmi – SLU Diagramma delle sollecitazioni taglianti – Sezione AA ridotta	103
Figura 45. Diaframmi – SLU Diagramma delle sollecitazioni flettenti – Sezione BB ridotta	105
Figura 46. Diaframmi – SLU Diagramma delle sollecitazioni taglianti – Sezione BB ridotta	107

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 Parametri geotecnici	15
Tabella 2 Parametri colonne Jet grouting	15
Tabella 3 Livelli di falda	16
Tabella 4 Probabilità di superamento PVR con SLV	17
Tabella 5 Parametri sismici del sito	18
Tabella 6 Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni (Tab. 6.2.I)	19
Tabella 7 Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno (Tab. 6.2.II)	19
Tabella 8 Coefficienti parziali per le verifiche agli stati limite ultimi STR e GEO di muri di sostegno (Tab. 6.5.I)	19
Tabella 9 Parametri input elementi strutturali	22
Tabella 10 Carichi superficiali	24
Tabella 11 Parametri input azione sismica	26
Tabella 12 Parametri input azione sismica	27
Tabella 13 Fasi di calcolo – Sezione AA	29
Tabella 14 Fasi di calcolo – Sezione BB	36
Tabella 15 Sollecitazioni paratia – Sezione AA - Cerniera	45
Tabella 16 Sollecitazioni paratia – Sezione AA - Incastro	48
Tabella 17 Sollecitazioni paratia – Sezione BB - Cerniera	51
Tabella 18 Sollecitazioni paratia - Sezione BB - Incastro	54
Tabella 19 Armature longitudinali paratia sezione AA	55
Tabella 20 Armature longitudinali paratia sezione BB	56
Tabella 21 Diaframmi – Verifica SLU flessione Sezione A-1	58
Tabella 22 Diaframmi – Verifica SLU flessione Sezione A-2	58
Tabella 23 Diaframmi - Verifica SLU flessione Sezione B-1	61

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione NOVARA - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR001-0-1

Tabella 24 Diaframmi - Verifica SLU flessione Sezione B-2	62
Tabella 25 Diaframma - Verifica SLU – Taglio – Sezione A	65
Tabella 26 Diaframma - Verifica SLU – Taglio – Sezione B	67
Tabella 27 Diaframmi - Verifica SLE –Sezione A-1	69
Tabella 28 Diaframmi - Verifica SLE –Sezione A-2	70
Tabella 29 Diaframmi - Verifica SLE –Sezione B-1	71
Tabella 30 Diaframmi - Verifica SLE –Sezione B-2	72
Tabella 31 Verifica tampone di fondo	75
Tabella 32 Verifica capacità portante paratia	78
Tabella 33 Diaframmi – Verifica SLU flessione - Sezione AA ridotta -Piano Mezzanino	102
Tabella 34 Diaframmi – Verifica SLU Sollecitazioni taglianti – Sezione AA ridotta	104
Tabella 35 Diaframmi – Verifica SLU flessione - Sezione BB ridotta -Piano Mezzanino	106
Tabella 36 Diaframmi – Verifica SLU Sollecitazioni taglianti - Sezione BB ridotta -Piano Mezzanino	108



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 NOVARA.

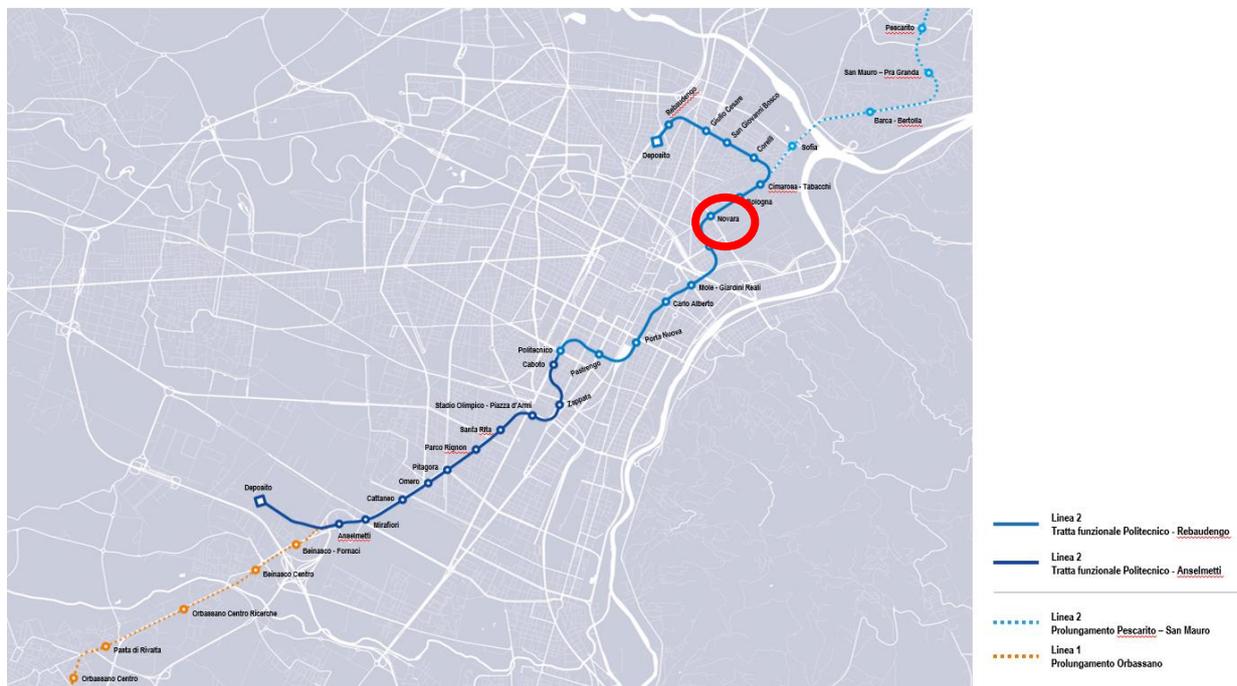


Figura 1. Key-plan della linea 2 – tratta funzionale Politecnico-Rebaudengo

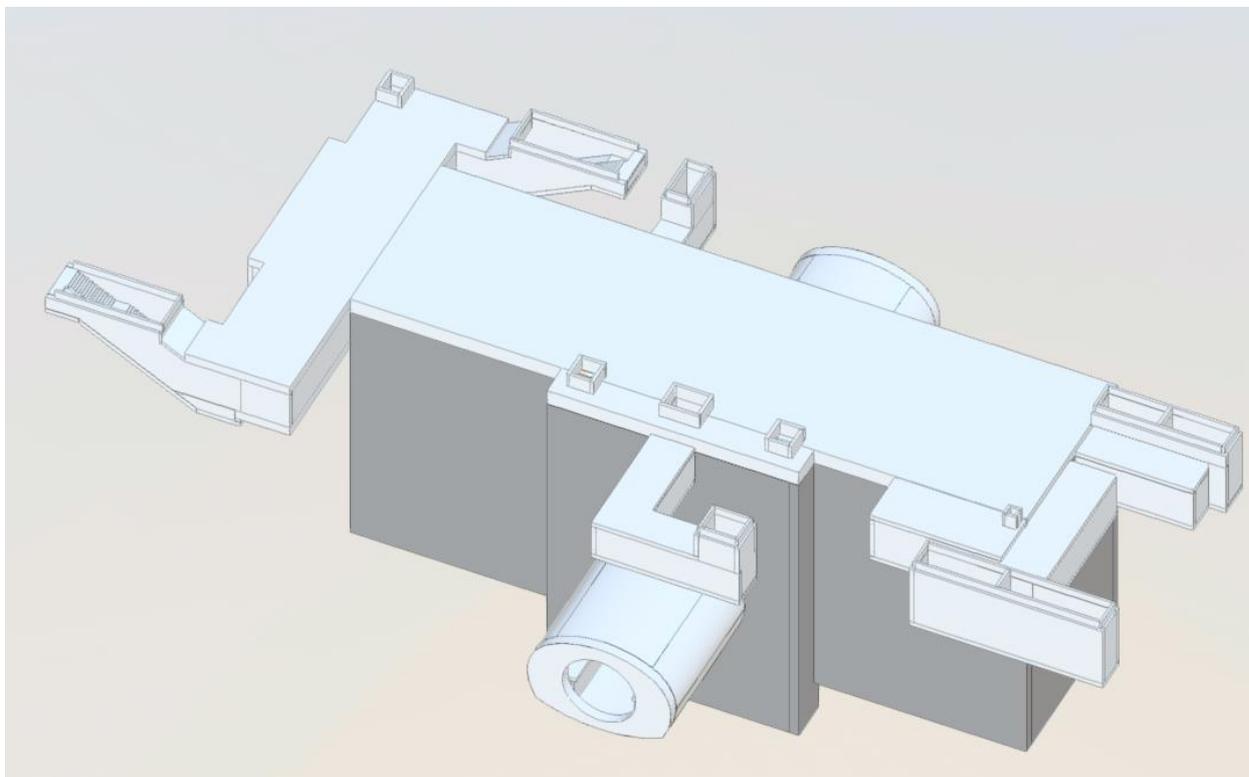


Figura 2. Modello 3d – Stazione NOVARA

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 vengono riportate nella relazione relativa alle strutture interne (MTL2T1A0DSTRSNOR002) in quanto i carichi dimensionanti per tali strutture sono quelli a lungo termine.

1.2 Descrizione delle opere

La stazione NOVARA è un manufatto interrato a quattro livelli, con fondo scavo posto alla profondità di circa -27 m rispetto al piano campagna.

La stazione è realizzata con la tecnica del top-down e sarà caratterizzata da uno scavo sostenuto da diaframmi contrastati da solai permanenti. I diaframmi presentano spessore di 1.2 m ed un immorsamento al di sotto del fondo scavo di 10.0 m. al fine di garantire l'impermeabilità del fondo scavo viene realizzato un tampone di fondo in jet-grouting.

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

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione NOVARA - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR001-0-1

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.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione NOVARA - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR001-0-1

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: "Preso d'atto e approvazione dell'aggiornamento della classificazione sismica del territorio della Regione Piemonte"
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".

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione NOVARA - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR001-0-1

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
- 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

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione NOVARA - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR001-0-1

- 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 2: Bologna-Politecnico
Stazione NOVARA - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR001-0-1

3. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

3.1 Calcestruzzi

4.1.1 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: $\gamma=25$ KN/m³

Classe di Esposizione *XC3 (Calcestruzzo all'interno di edifici con umidità dell'aria moderata oppure elevata / Calcestruzzo esposto all'esterno protetto dalla pioggia)*

4.1.2 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: $\gamma=25$ KN/m³

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

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%

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione NOVARA - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR001-0-1

$$f_{tk} \geq f_{tnom} \text{ frattile } 5\%$$

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

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

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

Reti e tralici elettrosaldati:

$$f_{yk} \geq 450 \text{ MPa}$$

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

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

3.3 Acciaio per carpenteria metallica

Tipo: S355 J0

$$t \leq 40 \text{ mm}$$

Modulo di deformazione: $E_c = 210 \text{ GPa}$

Resistenza a snervamento caratteristica: $f_{yk} = 355 \text{ MPa}$

Resistenza a snervamento di progetto: $f_{yd} = 338 \text{ MPa}$

Resistenza a rottura caratteristica: $f_{yk} = 510 \text{ MPa}$

Peso per unità di volume: $\gamma = 78 \text{ KN/m}^3$

4. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Lo scavo della stazione denominata NOVARA, come si evince dalla sezione stratigrafica riportata nel seguito, è interessato da una coltre superiore di circa 1,5 m di terreno superficiale denominato Unità 1. Mentre a livelli più profondi fino ad una estensione di interesse per le opere di scavo è presente un materiale ghiaioso sabbioso (Unità 2/2B).

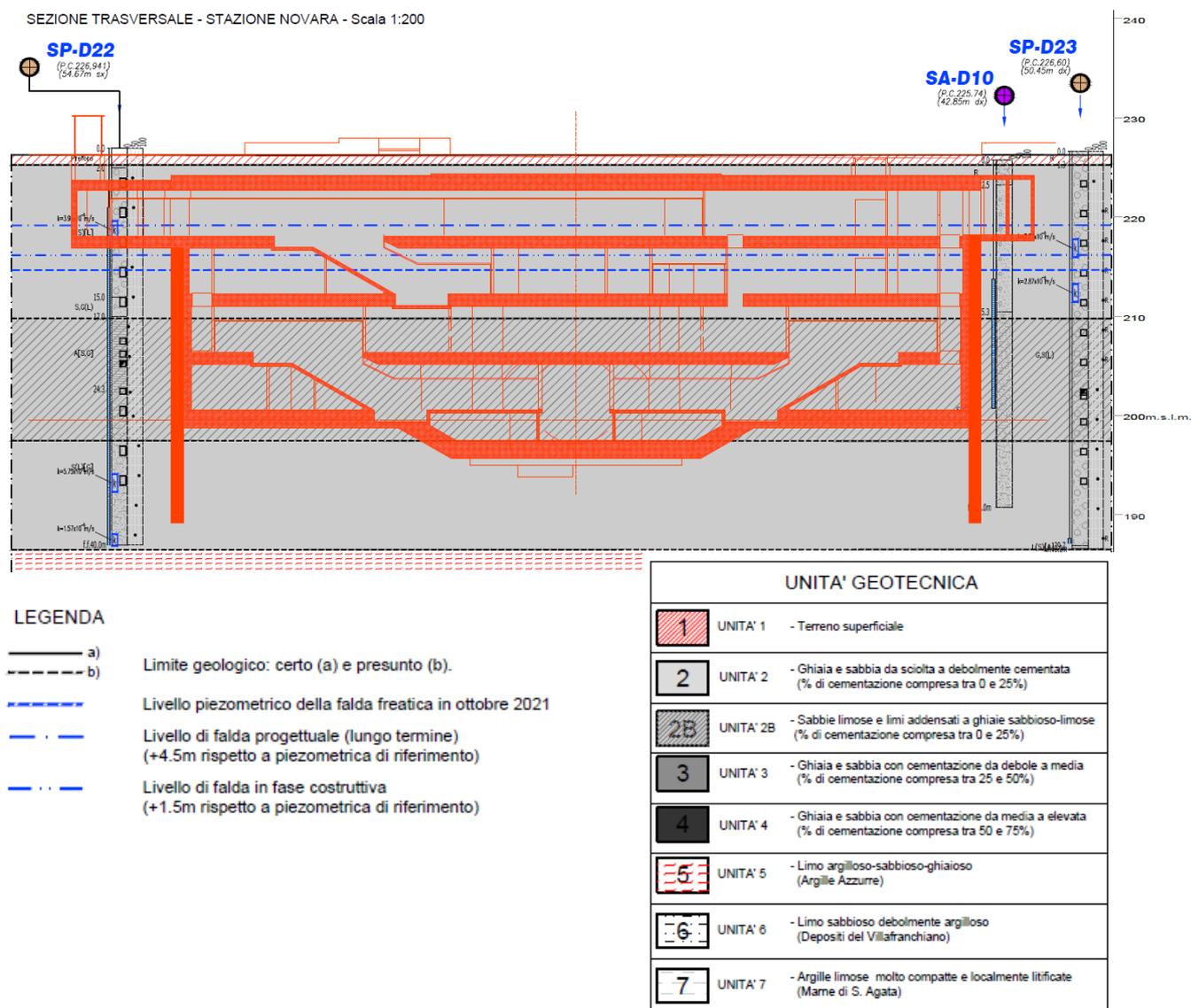


Figura 3. Stralcio stratigrafico della stazione NOVARA

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione NOVARA - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR001-0-1

I parametri geotecnici del presente progetto sono stati definiti in accordo alla relazione geotecnica MTL2T1A0DGEOGENR002-0-0 dove gli strati riconducibili all'unità 2B sono stati debitamente esaminati e come riportato nella suddetta relazione: "non si ritiene che questa sottounità sia rilevante dal punto di vista meccanico e deformativo e pertanto non è stata differenziata dall'Unità 2 ai fini della caratterizzazione geotecnica". I parametri utilizzati per il calcolo 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 -1,7	19	29	0	10	0,3
U2 (Ghiaie e sabbie)	-1,7 a -35,6	19	36	10	150	0,3
U5 (Argille azzurre)	>-35,6	20,5	25	40	60	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 secondo quanto descritto nella relazione geotecnica MTL2T1A0DGEOGENR002-0-0 e nel profilo geotecnico MTL2T1A0DGEOSNOT001-0-0. Il livello di falda considerato nelle analisi è quello specificato di seguito:

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione NOVARA - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR001-0-1

Tabella 3 Livelli di falda

	m da p.c.	m.s.l.m
Livello piezometrico di riferimento (da MTL2T1A0DGEOSNOT001)	11.5	+215.0
B T (+1.5 da livello piezometrico di riferimento) - Fase costruttiva	10.0	+216.5
L T (+3 da breve termine) – Fase di lungo termine	7.0	+219.5

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione NOVARA - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR001-0-1

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 2: Bologna-Politecnico
Stazione NOVARA - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR001-0-1

Tabella 5 Parametri sismici del sito

Stazione	ag	F0	T*c
	[g]	-	[sec]
NOVARA	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.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione NOVARA - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR001-0-1

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

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

Tab. 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni

	Effetto	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E)	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti G_1	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	γ_{Qi}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

⁽¹⁾ Per i carichi permanenti G_2 si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti γ_{G1}

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

Tab. 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ_γ	γ_γ	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)

Tab. 6.5.I - Coefficienti parziali γ_R per le verifiche agli stati limite ultimi di muri di sostegno

Verifica	Coefficiente parziale (R3)
Capacità portante della fondazione	$\gamma_R = 1,4$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,1$
Ribaltamento	$\gamma_R = 1,15$
Resistenza del terreno a valle	$\gamma_R = 1,4$

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione NOVARA - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR001-0-1

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 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 è mostrato nella figura seguente e deriva definizione della geometria della sezione considerata in termini di configurazione delle strutture della stazione e delle condizioni geologiche considerate.

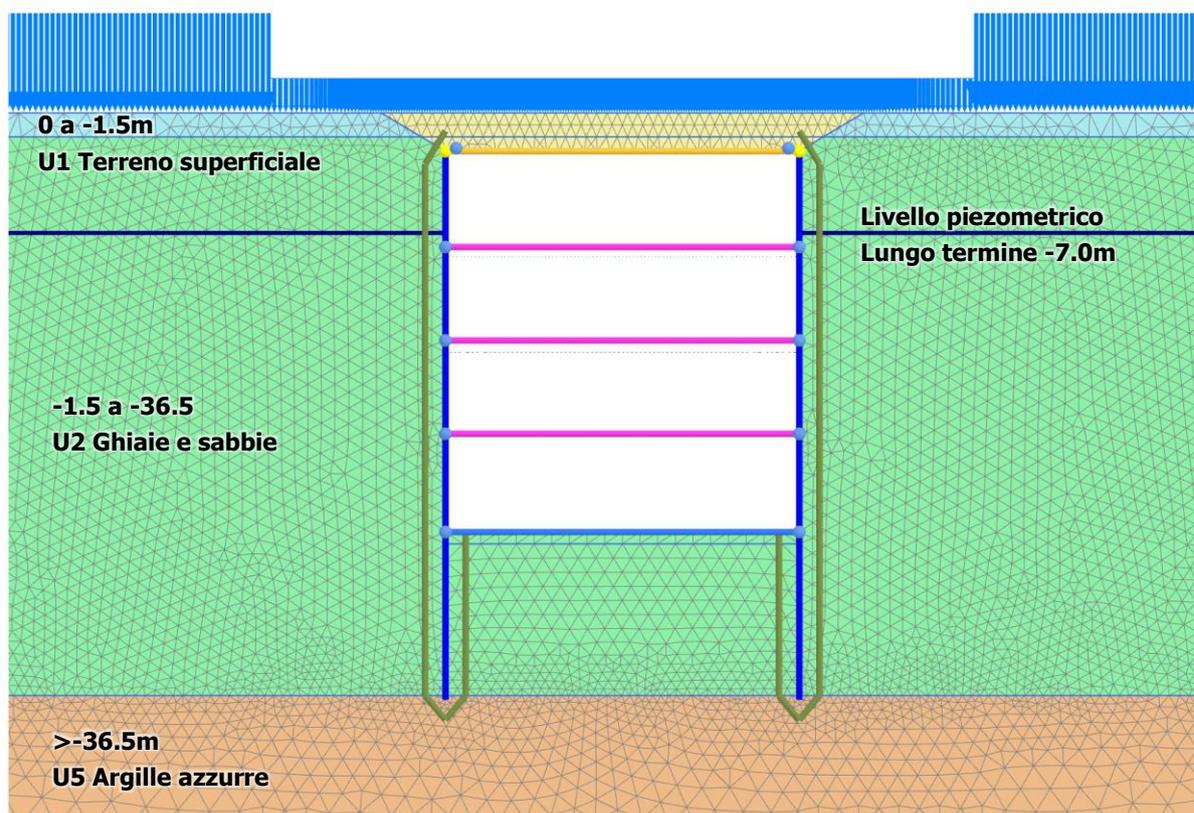


Figura 4. Sezione di calcolo - Stazione Novara

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	-2,40
Soletta intermedia 1	-8,55
Soletta intermedia 2	-14,4
Soletta intermedia 3	-19,8
Soletta di base	-26,35
Piede paratia	-36,75

5.3.2 Elementi strutturali

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

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione NOVARA - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR001-0-1

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

Tabella 9 Parametri input elementi strutturali

<i>Paratia H=120 cm</i>		
EA	37,20E+6	kN/m
EI	4,46E+6	kNm ² /m

<i>Soletta di copertura H=150 cm</i>		
EA	4,93E+07	kN/m
EI	9,24E+06	kNm ² /m

<i>Soletta intermedia H=120 cm</i>		
EA	37,20E+6	kN/m
EI	4,46E+6	kNm ² /m

<i>Soletta di base H=180 cm</i>		
EA	5,91E+07	kN/m
EI	1,60E+07	kNm ² /m

La modellazione della sezione in interferenza con la galleria di stazione (Sezione BB) prevede l'installazione di una puntonatura temporanea composta da due HEB800 affiancati lateralmente e due tubolari (559mm x sp.20mm), come mostrato in Figura 5.

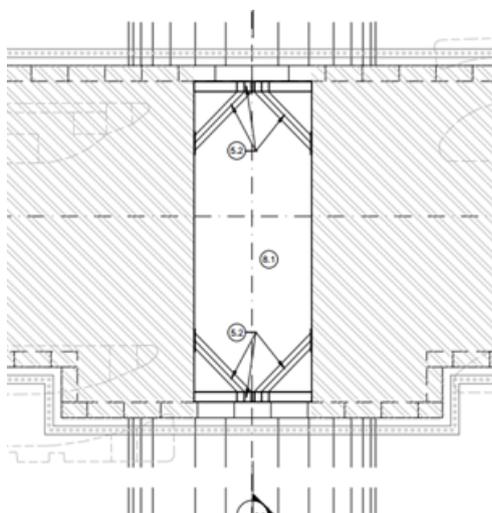


Figura 5. Sezione di calcolo BB - Puntonatura

Mediante un modello strutturale *ad hoc* (si veda Figura 6) è stata ricavata la rigidezza del sistema provvisorio pari a $K = 186000 \text{ kN/m}$.

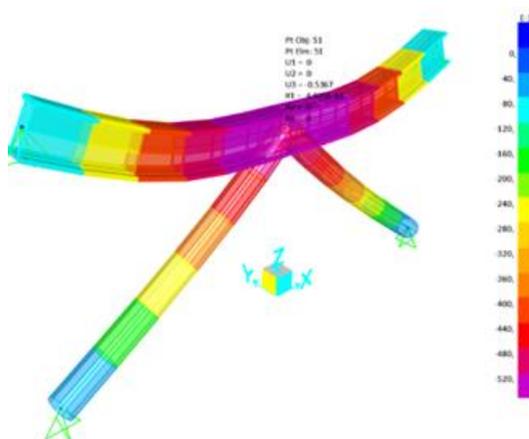


Figura 6. Modello strutturale sistema di puntonatura

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione NOVARA - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR001-0-1

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

<i>Posizione nel modello</i>	<i>Entità del carico</i>	<i>Estensione</i>
Destra	120 kPa	45 m
Sinistra	80 kPa	45 m
Destra/Sinistra (ad esclusione della zona maggiorata)	20 kPa	Tutta la superficie
Soletta superficiale	20 kPa	Zona soletta

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.

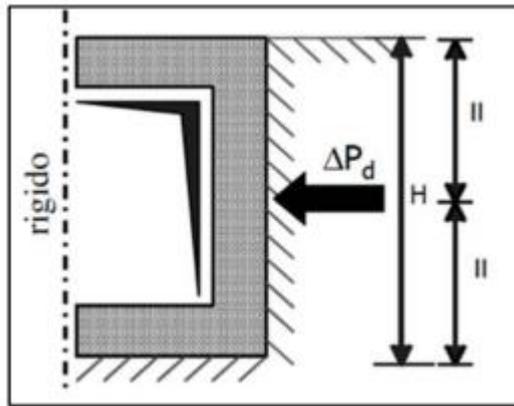


Figura 7. Schematizzazione metodo di Wood

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 risultate 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	=	26,5	m
a_g	=	0,0724	
S_s	=	1,2	
S_T	=	1	
a_{max}	=	0,08688	
α	=	1,0	
β	=	1,0	
k_h	=	0,08688	
P_{ground}	=	44,90	kPa
$P_{ground\ su\ paratia}$	=	34,63	kPa
Paratia			
Profondita' sopra fondo scavo	=	26,5	m
B	=	1000	mm
H	=	1200	mm
I_1	=	1,E+11	mm ⁴
Fodera			
B	=	1000	mm
H	=	800	mm
I_2	=	4,E+10	mm ⁴
I_{tot}	=	2,E+11	mm ⁴
W paratia	=	795	kN
P paratia	=	2,6064	kPa
P tot	=	37,24	kPa

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione NOVARA - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR001-0-1

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	37.24	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. Le analisi svolte considerano sia il vincolo di incastro sia quello di cerniera nel nodo di collegamento tra diaframma e soletta di copertura.

La sezione BB è considerata nella sezione di passaggio della TBM in cui la profondità di scavo è incrementata di circa 4m ed è presente una puntonatura temporanea in sostituzione della soletta del secondo mezzanino interferente con .

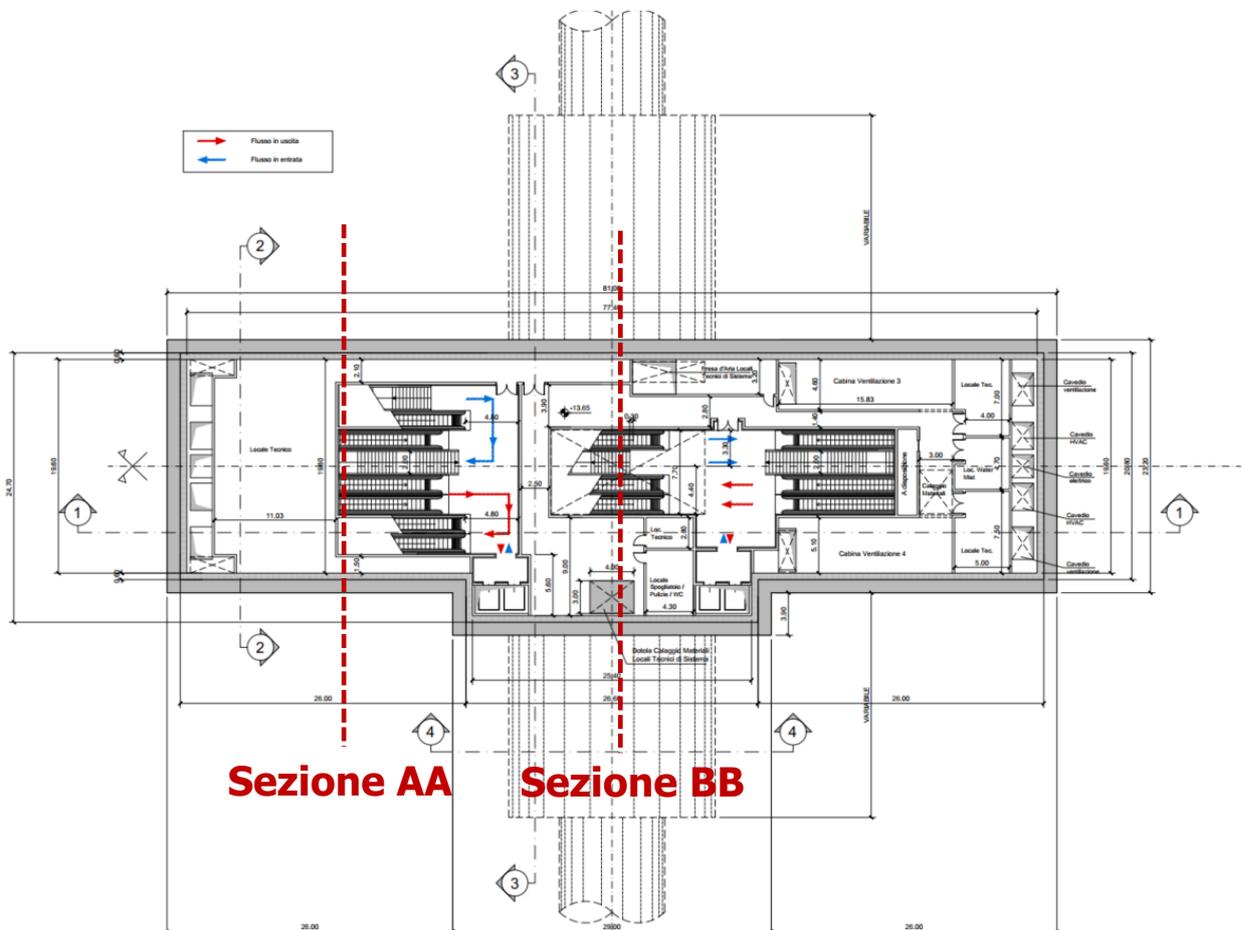


Figura 8. Stralcio planimetria stazione NOVARA con indicazione delle sezioni di calcolo AA e BB

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione NOVARA - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR001-0-1

6.1 Fasi di calcolo della modellazione geotecnica

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 per le sue sezioni di calcolo sono riportate nella seguente tabella e nelle successive figure.

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	Scavo fino a quota intradosso solaio di copertura
Fase 4	Realizzazione tampone di fondo e diaframmi
Fase 5	Realizzazione del solaio di copertura
Fase 6	Prima fase di scavo e ripristino condizioni superficiali
Fase 7	Scavo fino a quota della prima soletta intermedia ed abbassamento del livello piezometrico all'interno dello scavo
Fase 8	Installazione prima soletta intermedia
Fase 9	Scavo fino a quota della seconda soletta intermedia ed abbassamento del livello piezometrico all'interno dello scavo
Fase 10	Installazione seconda soletta intermedia
Fase 11	Scavo fino a quota della terza soletta intermedia ed abbassamento del livello piezometrico all'interno dello scavo
Fase 12	Installazione terza soletta intermedia
Fase 13	Scavo fino a quota scavo finale
Fase 14	Installazione soletta di base
Fase 15	Ripristino delle condizioni idrauliche



CITTA' DI TORINO

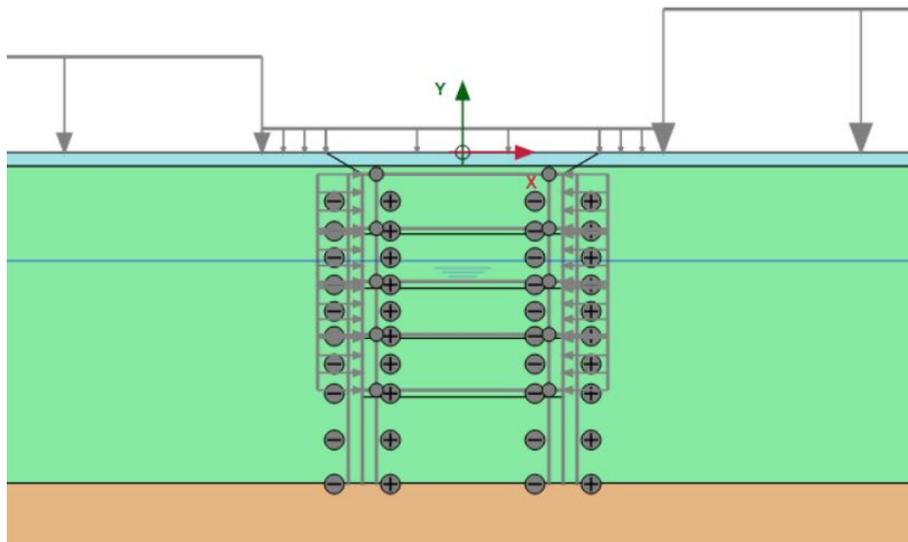
Metropolitana di Torino - Linea 2
Tratta: Politecnico-Rebaudengo
Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico

Stazione NOVARA - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione

MTL2T1A2DSTRSNOR001-0-1

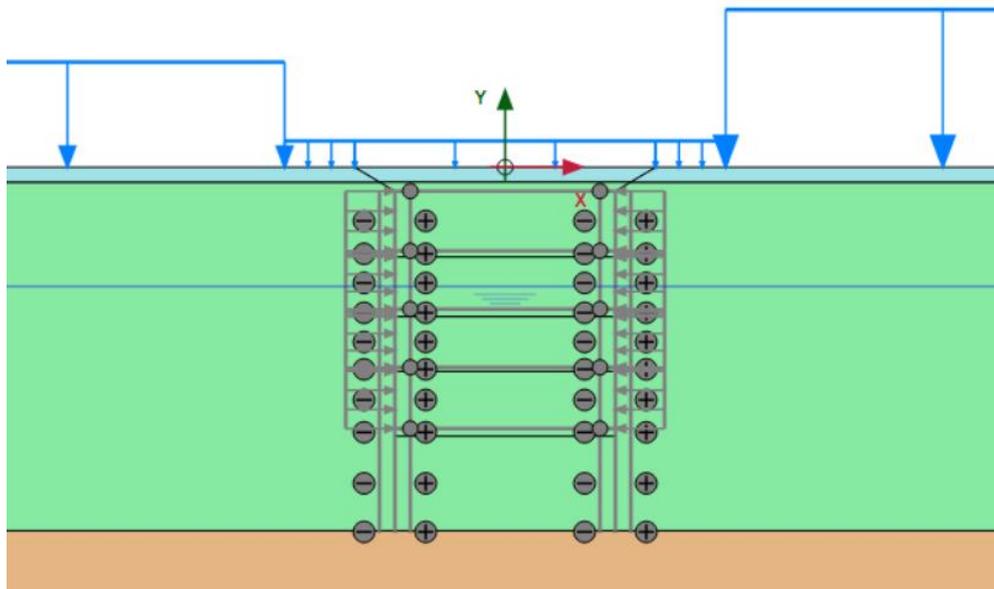
Fase 16	Applicazione dell'azione sismica
Fase 17	Ricerca del fattore di sicurezza di lungo periodo
Fase 18	Valutazione della deformabilità a lungo termine a SLE

Fase 1 – Condizioni iniziali

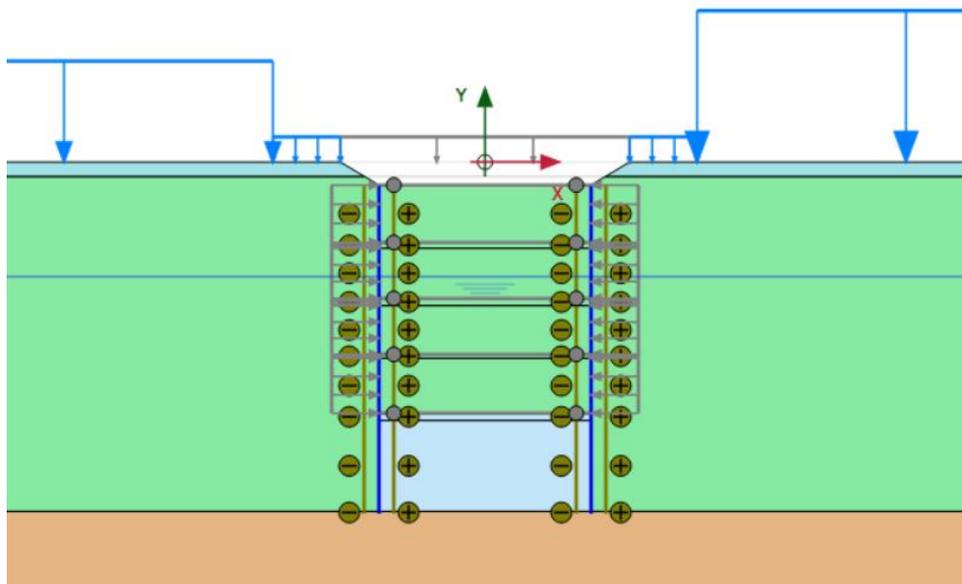




Fase 2 – Applicazione dei carichi superficiali

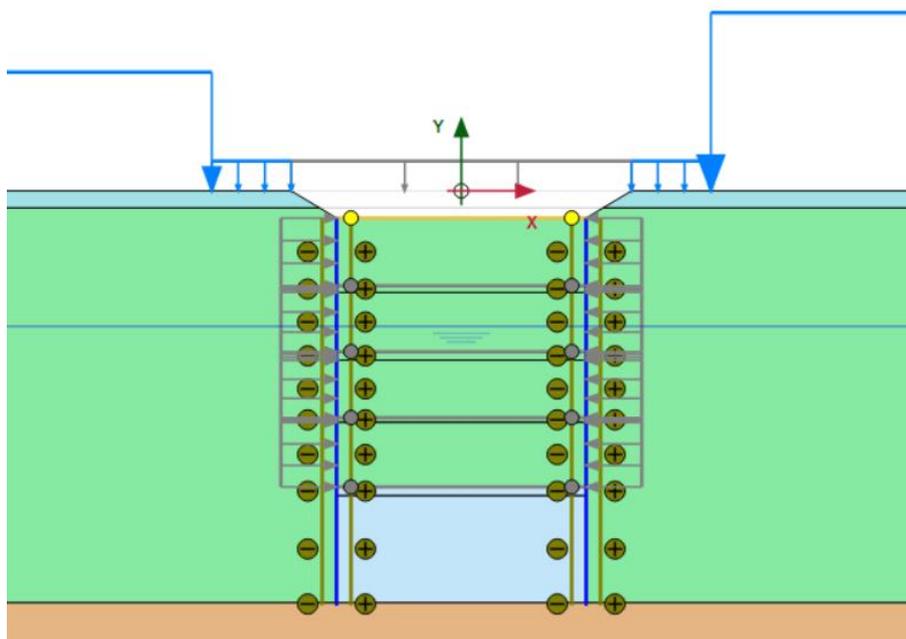


Fase 3 – Installazione diaframmi e tamponi di fondo

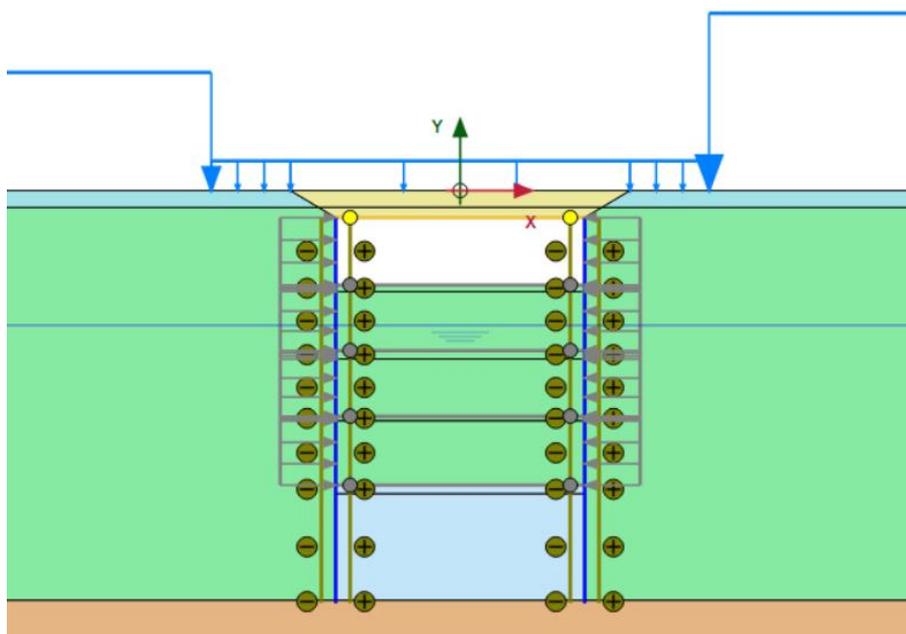




Fase 5 – Installazione soletta di copertura

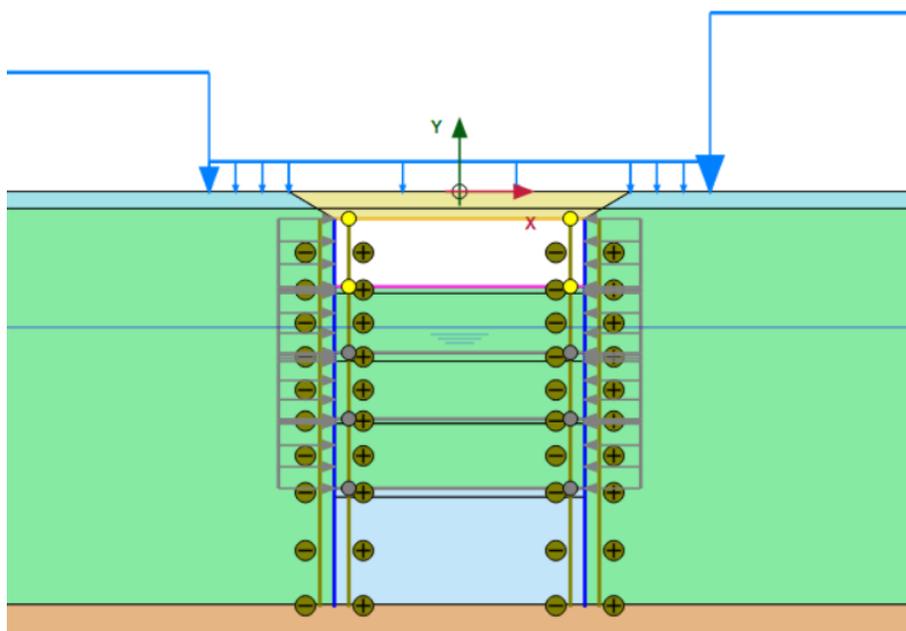


Fase 6 – Prima fase di scavo e ripristino delle condizioni in superficie

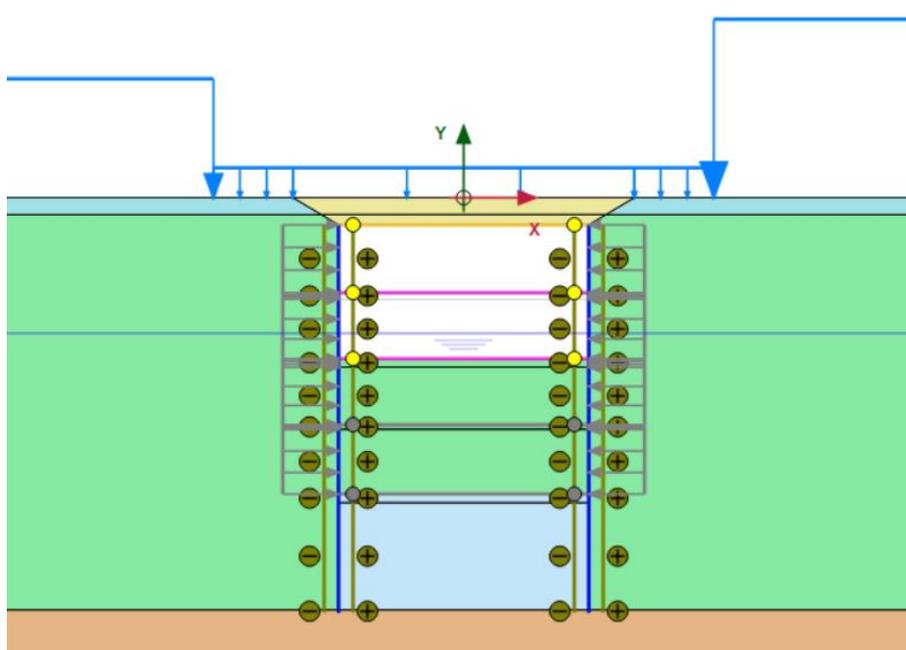




Fase 7-8 – Primo scavo e installazione prima soletta intermedia

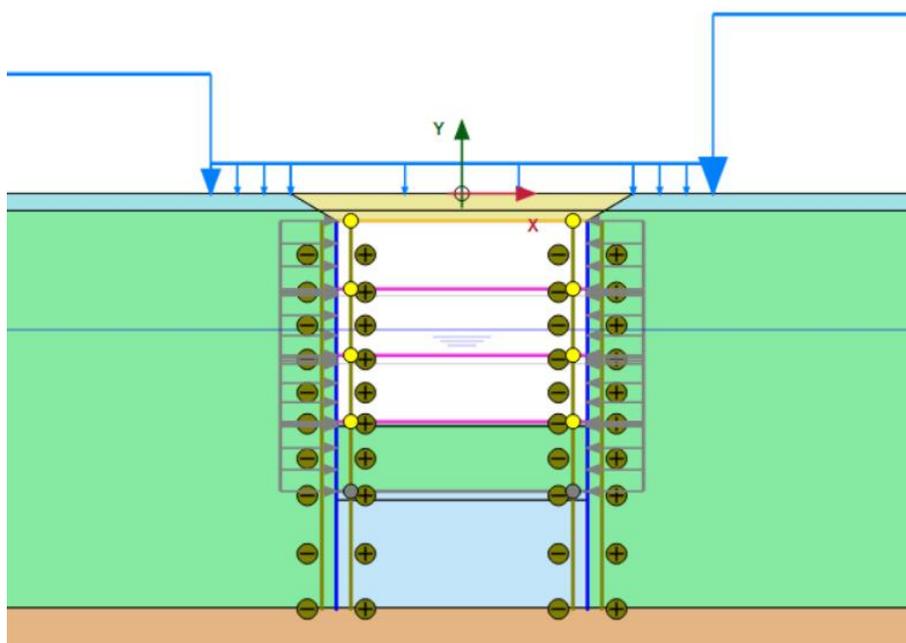


Fase 9-10 – Secondo scavo e installazione seconda soletta intermedia

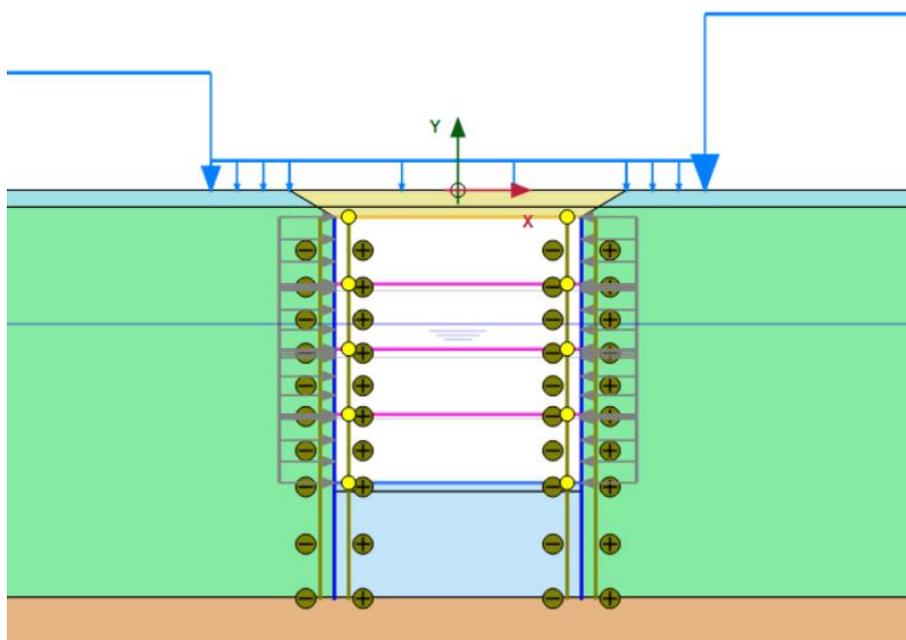




Fase 11-12 – Terzo scavo e installazione terza soletta intermedia



Fase 13-14 – Scavo fino a quota finale e installazione soletta di fondo





Fase 16 – Applicazione azione sismica

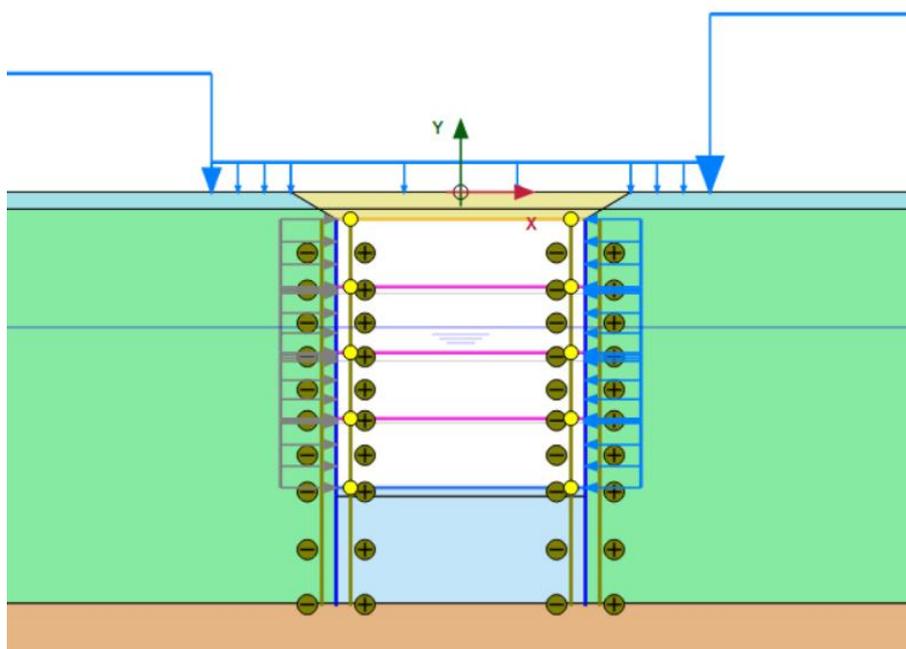


Figura 9. Fasi di calcolo modello geotecnico – Sezione AA

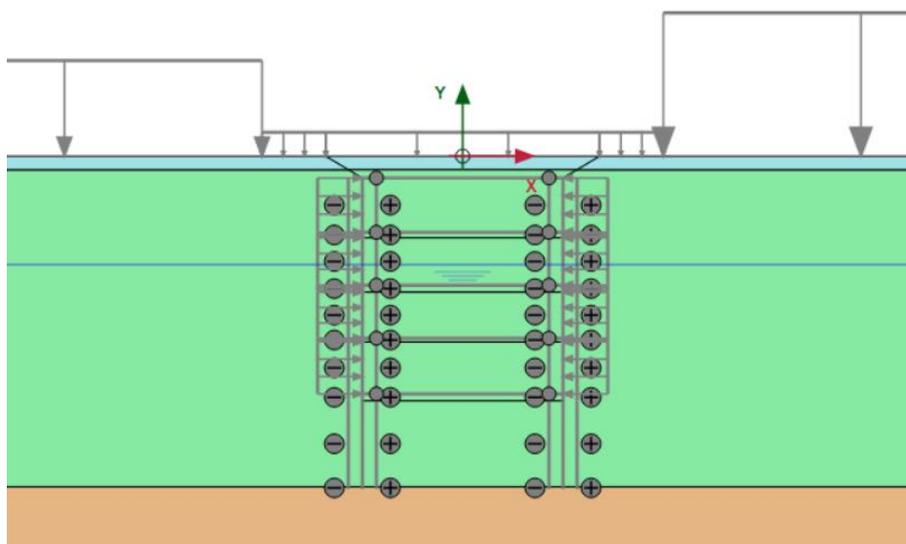
 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione NOVARA - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR001-0-1

Tabella 14 Fasi di calcolo – Sezione BB

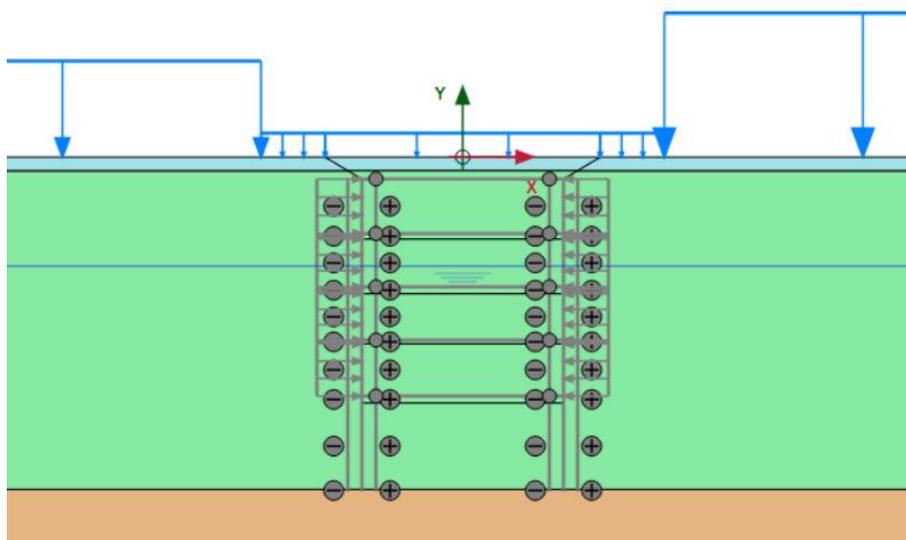
Fase di calcolo	Descrizione
Fase 1	Definizione delle condizioni geostatiche ed idrostatiche
Fase 2	Definizione dei carichi superficiali accidentali e permanenti
Fase 3	Scavo fino a quota intradosso solaio di copertura
Fase 4	Realizzazione tampone di fondo e diaframmi
Fase 5	Realizzazione del solaio di copertura
Fase 6	Prima fase di scavo e ripristino condizioni superficiali
Fase 7	Scavo fino a quota della prima soletta intermedia ed abbassamento del livello piezometrico all'interno dello scavo
Fase 8	Installazione prima soletta intermedia
Fase 9	Scavo fino a quota della seconda soletta intermedia ed abbassamento del livello piezometrico all'interno dello scavo
Fase 10	Installazione seconda soletta intermedia
Fase 11	Scavo fino a quota della terza soletta intermedia ed abbassamento del livello piezometrico all'interno dello scavo
Fase 12	Installazione puntonatura temporanea
Fase 13	Scavo fino a quota scavo finale
Fase 14	Installazione soletta di base
Fase 15	Rimozione della puntonatura per passaggio della TBM
Fase 16	Installazione terza soletta
Fase 17	Ripristino delle condizioni idrauliche
Fase 18	Applicazione dell'azione sismica
Fase 19	Ricerca del fattore di sicurezza di lungo periodo
Fase 20	Valutazione della deformabilità a lungo termine a SLE



Fase 1 – Condizioni iniziali

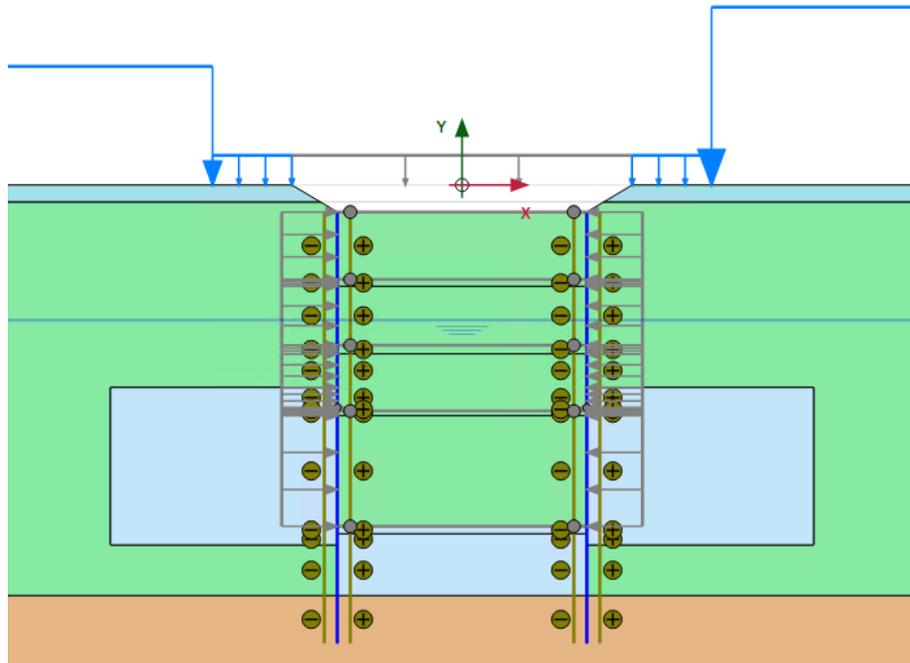


Fase 2 – Applicazione dei carichi superficiali

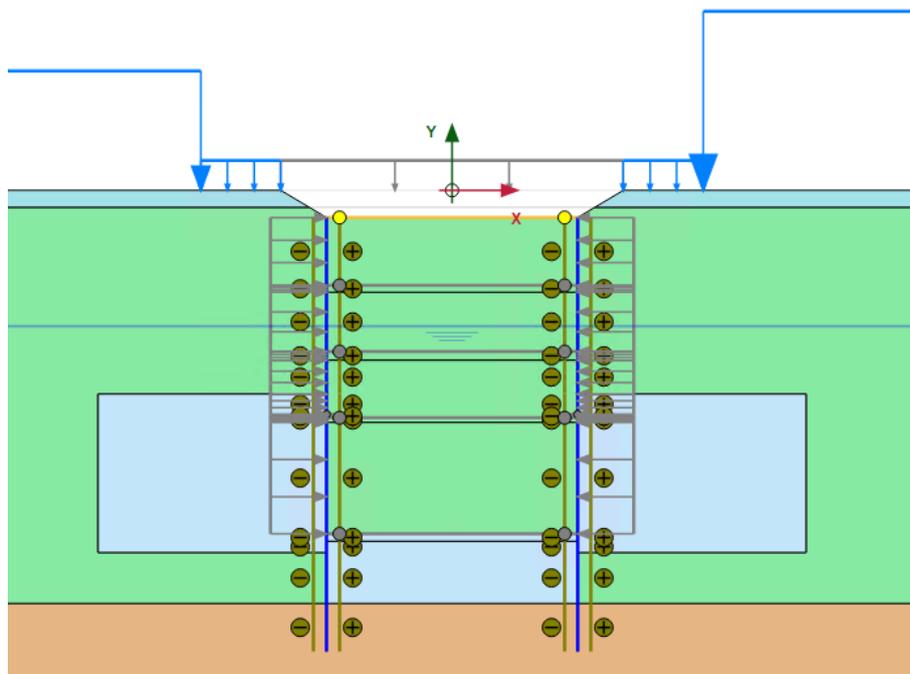




Fase 3 – Installazione diaframmi e tamponi di fondo

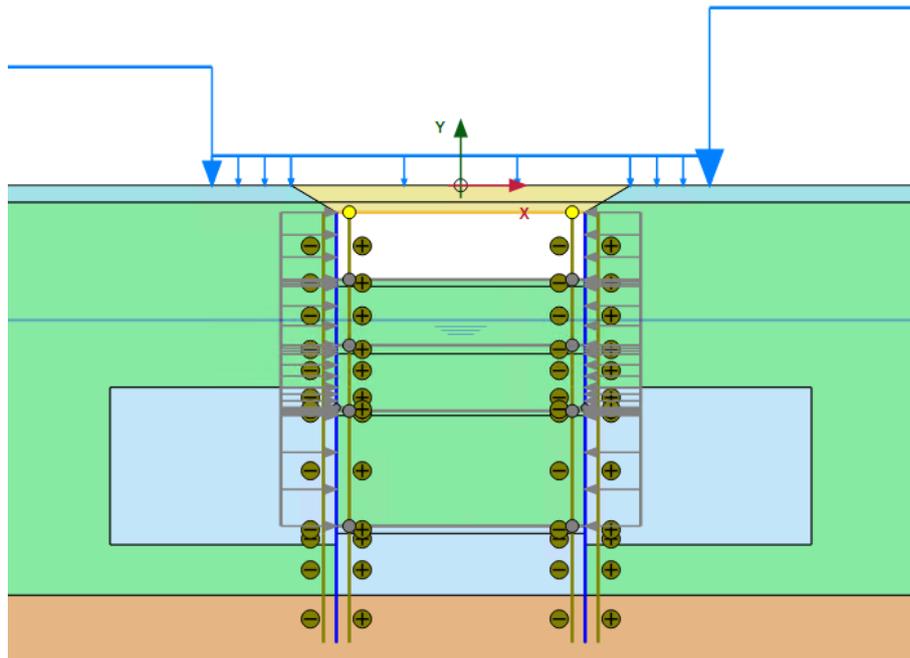


Fase 5 – Installazione soletta di copertura

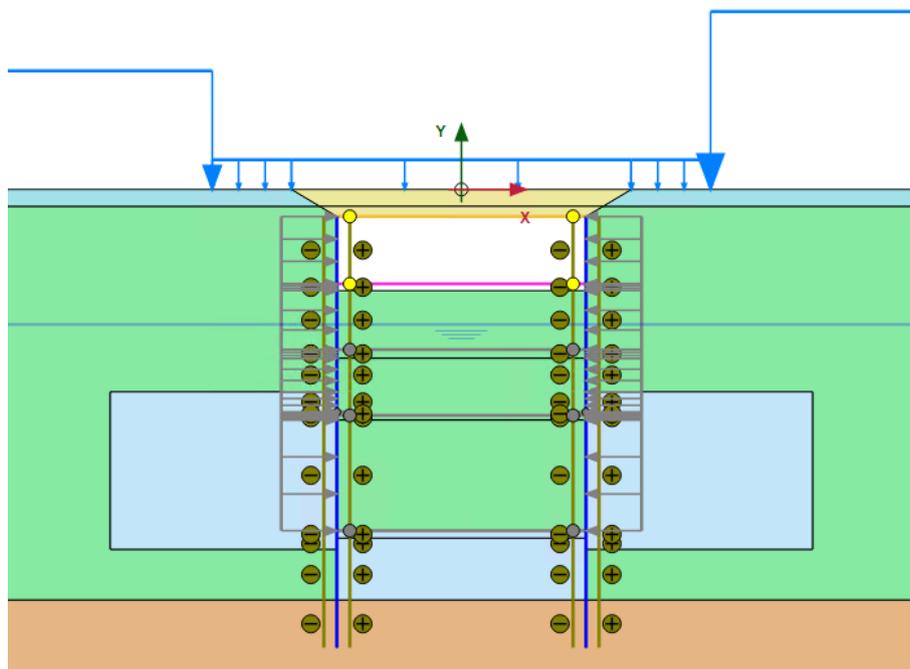




Fase 6 – Prima fase di scavo e ripristino delle condizioni in superficie

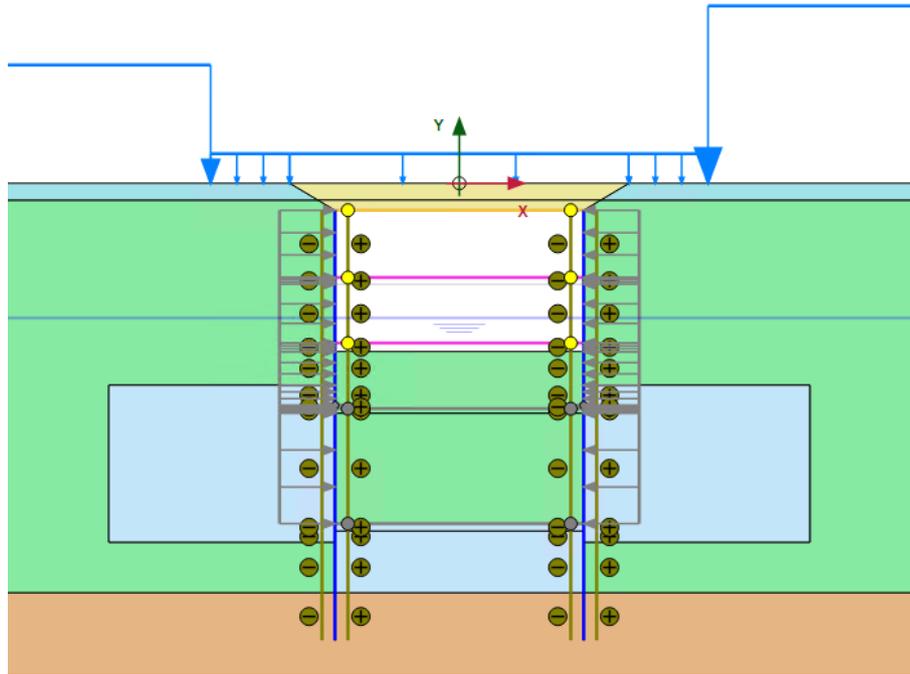


Fase 7-8 – Primo scavo e installazione prima soletta intermedia

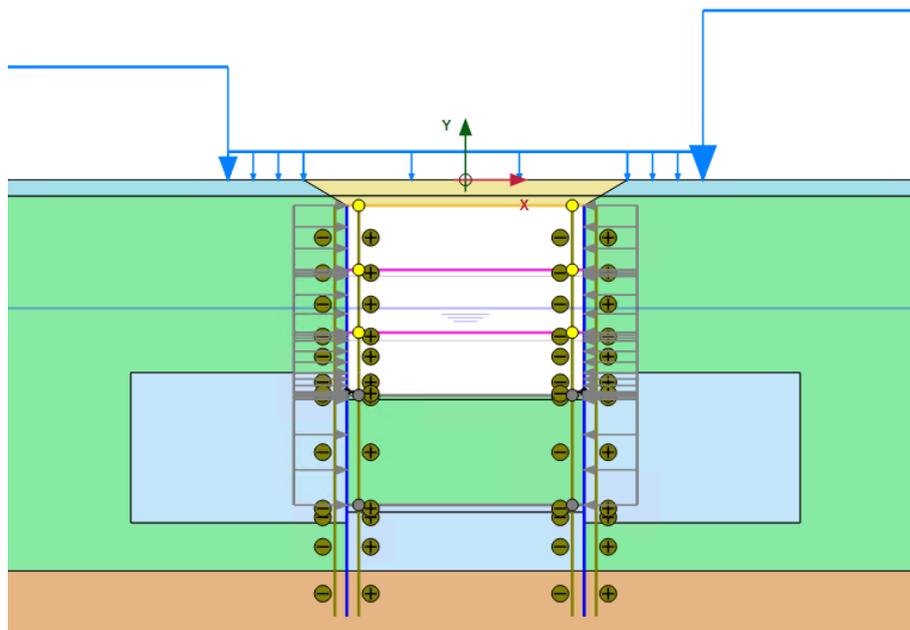




Fase 9-10 – Secondo scavo e installazione seconda soletta intermedia

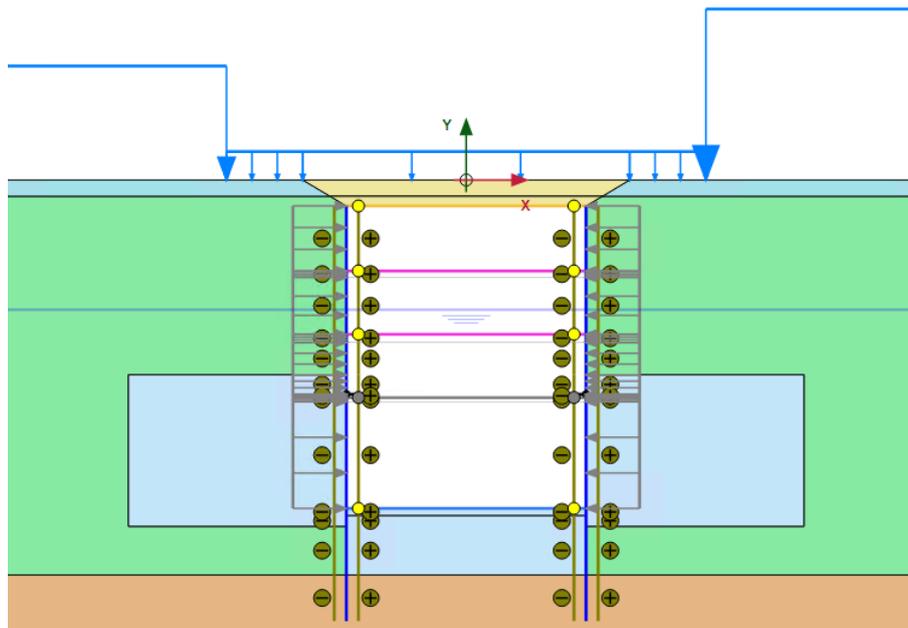


Fase 11-12 – Terzo scavo e installazione puntonatura

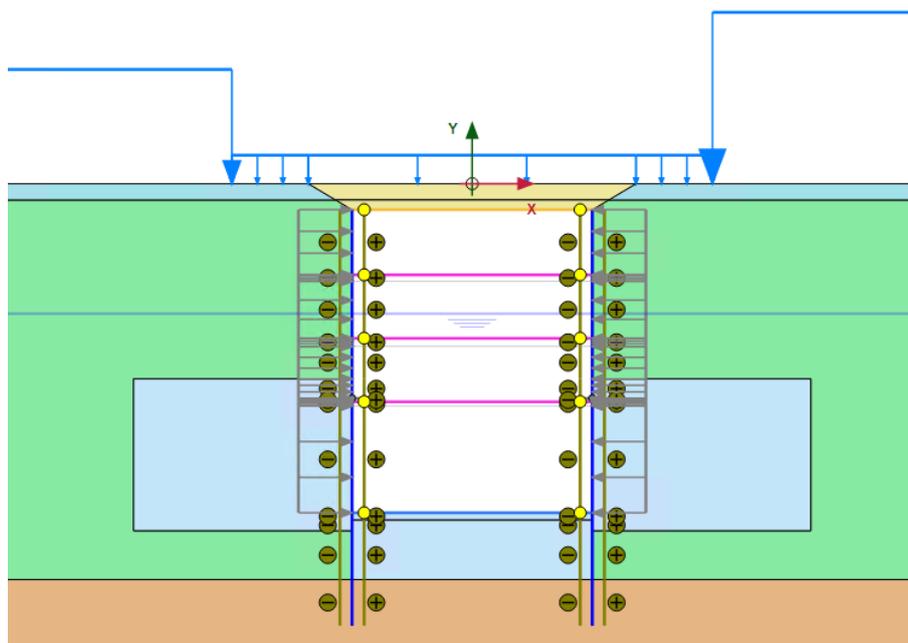




Fase 13-14 – Scavo fino a quota finale e installazione soletta di fondo



Fase 15-16 Rimozione puntonatura, passaggio TBM e installazione terza soletta





Fase 18 – Applicazione azione sismica

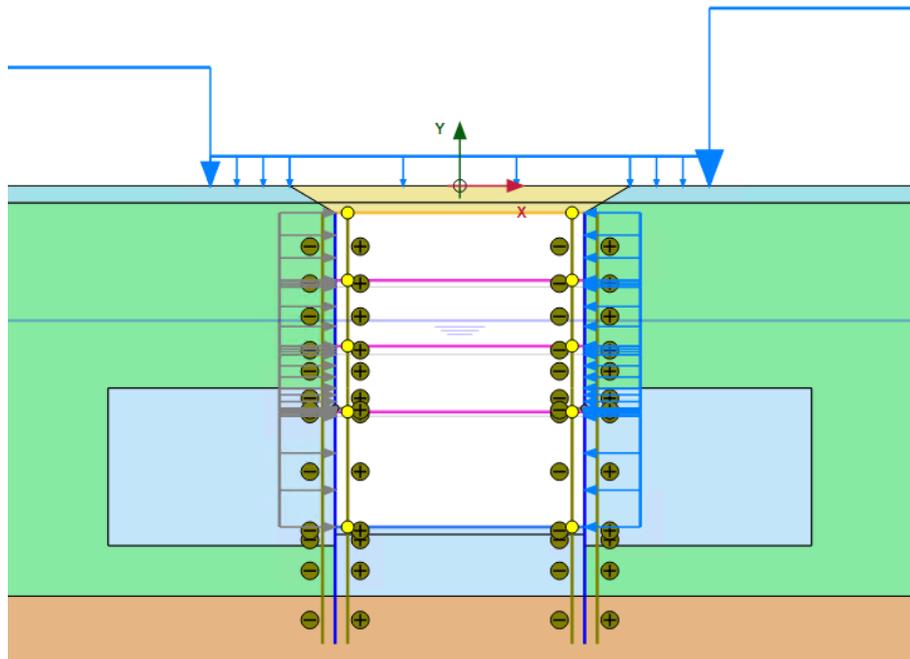


Figura 10. Fasi di calcolo modello geotecnico – Sezione BB



6.2 Output

6.2.1 Sezione AA – Cerniera - Sollecitazioni paratia

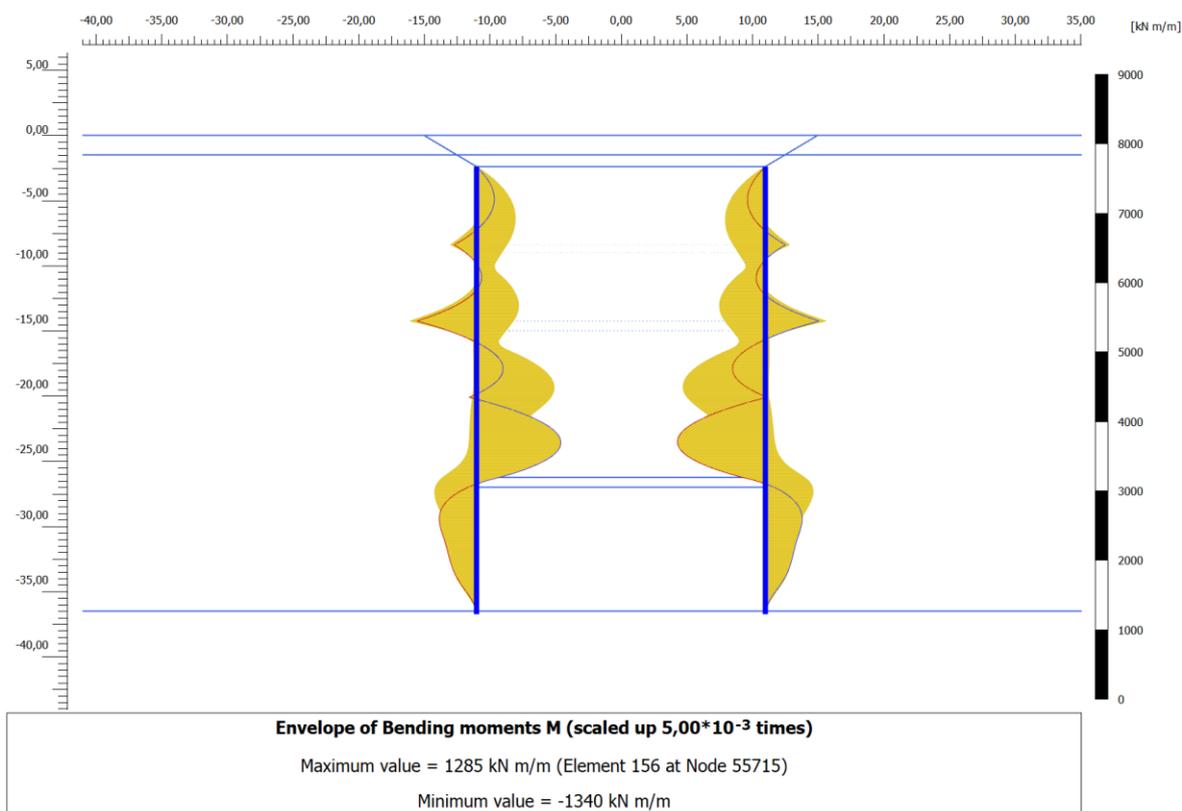


Figura 11. Sezione AA Diaframma - Cerniera - SLE Momento flettente - Involuppo



CITTA' DI TORINO

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

Stazione NOVARA - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione

MTL2T1A2DSTRSNOR001-0-1

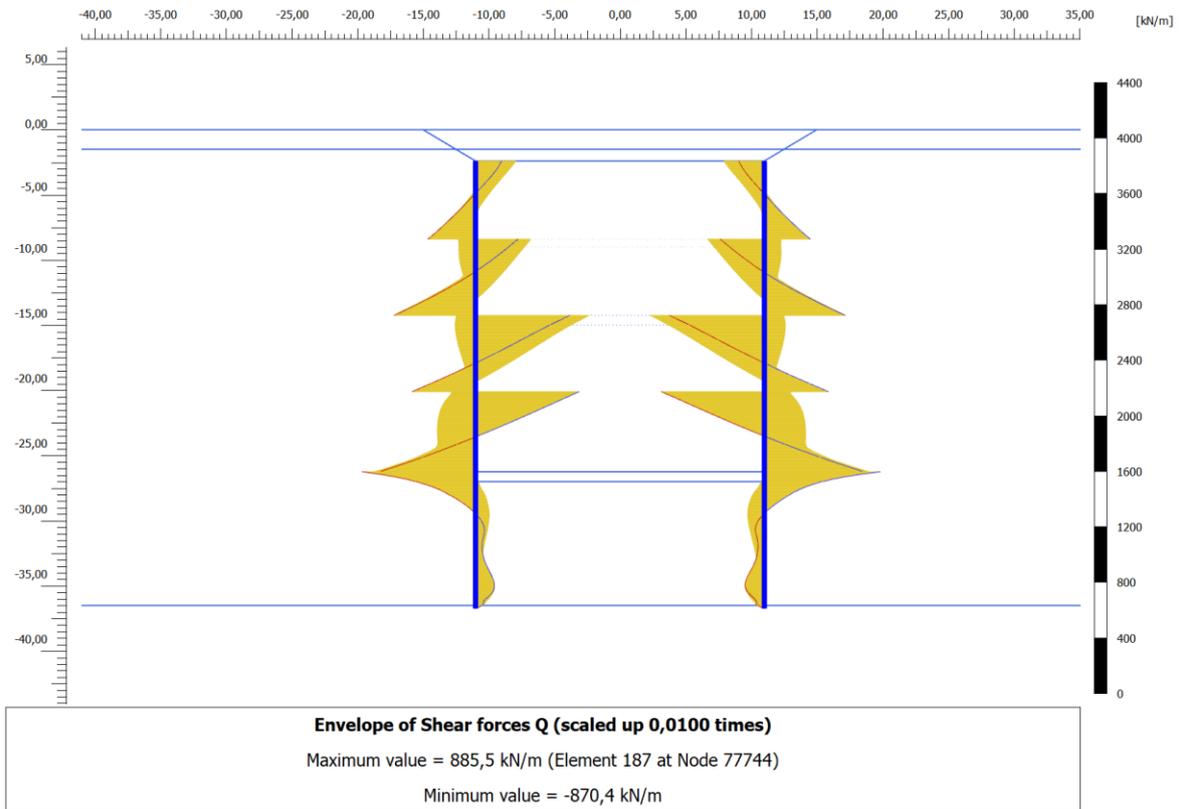


Figura 12. Sezione AA Diaframma - Cerniera - SLE Diagramma taglio - Involuppo



6.2.2 Sezione AA - Cerniera - Spostamenti paratia

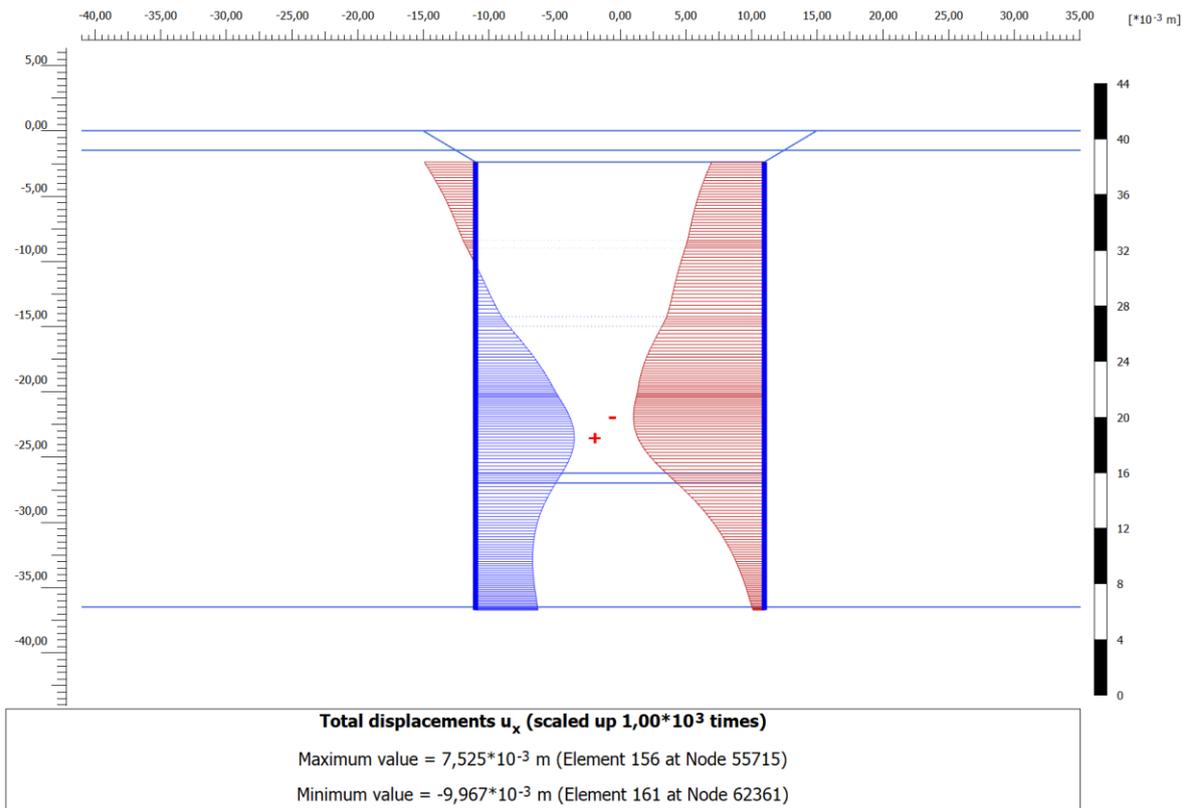


Figura 13. Sezione AA Diaframma - Cerniera - SLE Diagramma degli spostamenti orizzontali

Tabella 15 Sollecitazioni paratia – Sezione AA - Cerniera

	Paratia SLE	Paratia SLU
M_{max} [kNm/m]	925	1295
M_{min} [kNm/m]	-1340	-1876
T_{max} [kN/m]	885.5	1239.7
T_{min} [kN/m]	-870.4	-1218.6
Spostamento max [mm]	10	-



6.2.3 Sezione AA - Incastro - Sollecitazioni paratia

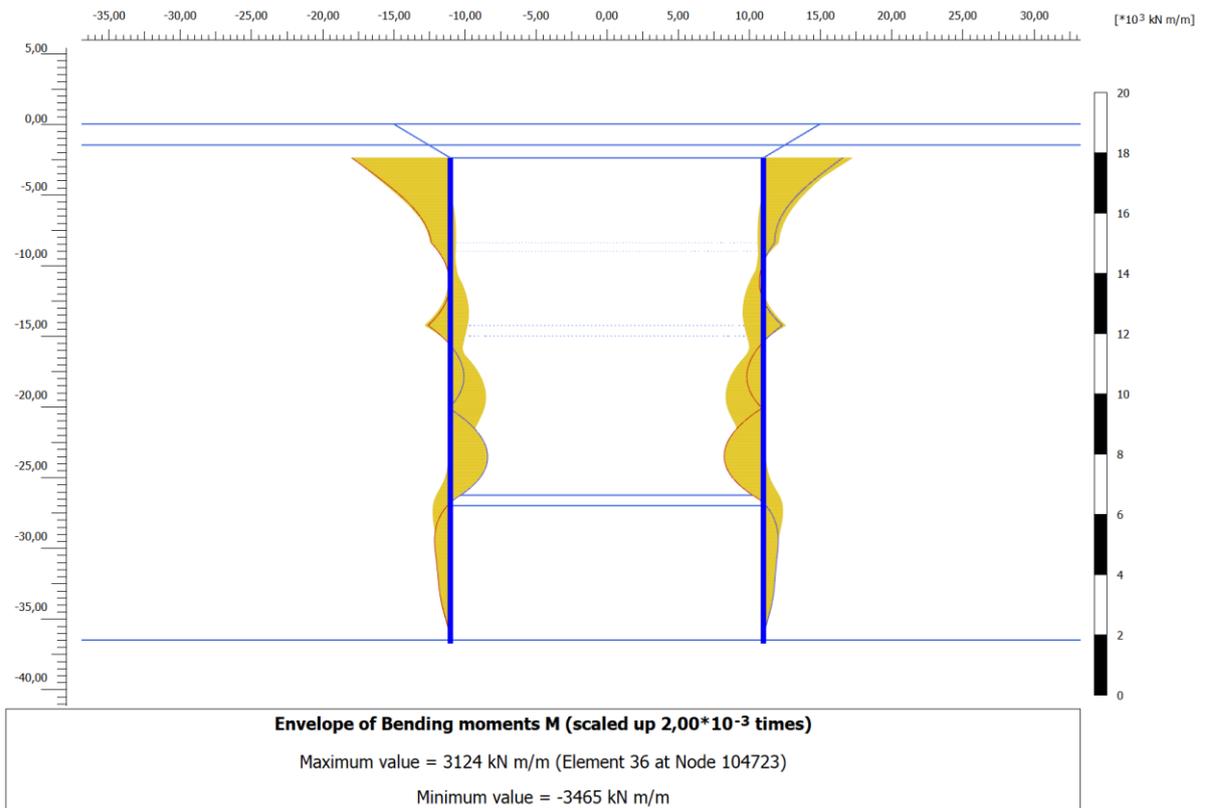


Figura 14. Sezione AA Diaframma - Incastro - SLE Momento flettente - Inviluppo



CITTA' DI TORINO

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

Stazione NOVARA - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione

MTL2T1A2DSTRSNOR001-0-1

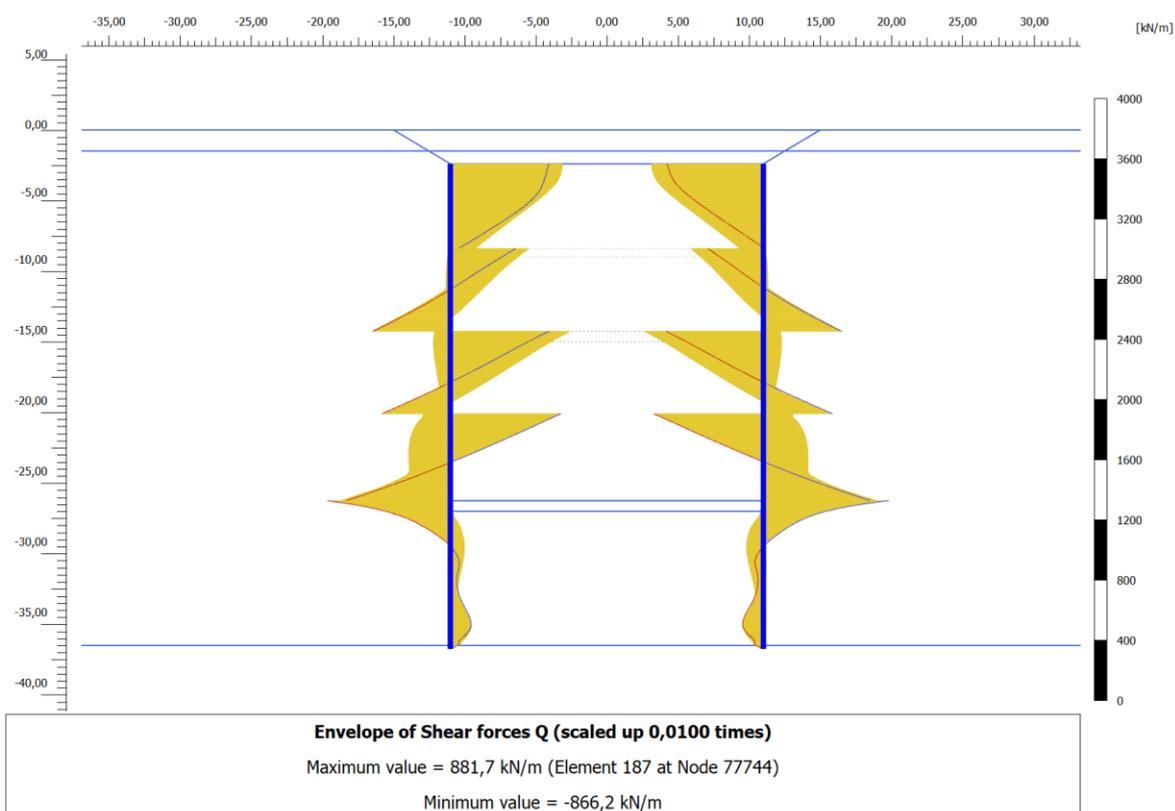


Figura 15. Sezione AA Diaframma - Incastro - SLE Diagramma taglio – Inviluppo



6.2.4 Sezione AA - Incastro - Spostamenti paratia

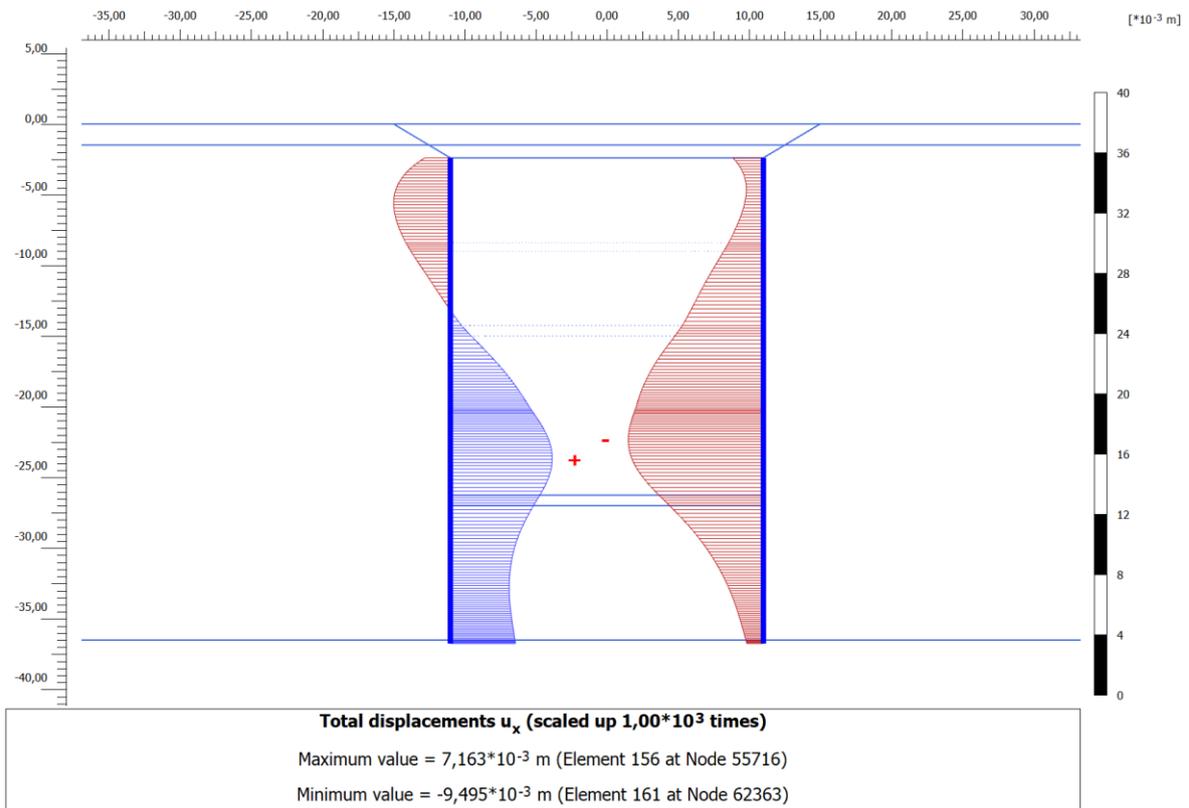


Figura 16. Sezione AA Diaframma – Incastro - SLE Diagramma degli spostamenti orizzontali

Tabella 16 Sollecitazioni paratia – Sezione AA - Incastro

	Paratia SLE	Paratia SLU
M_{max} [kNm/m]	1317	1844
M_{min} [kNm/m]	-3465	-4851
T_{max} [kN/m]	842	1179
T_{min} [kN/m]	-866	-1212
Spostamento max [mm]	9.5	-



6.2.5 Sezione BB – Cerniera - Sollecitazioni paratia

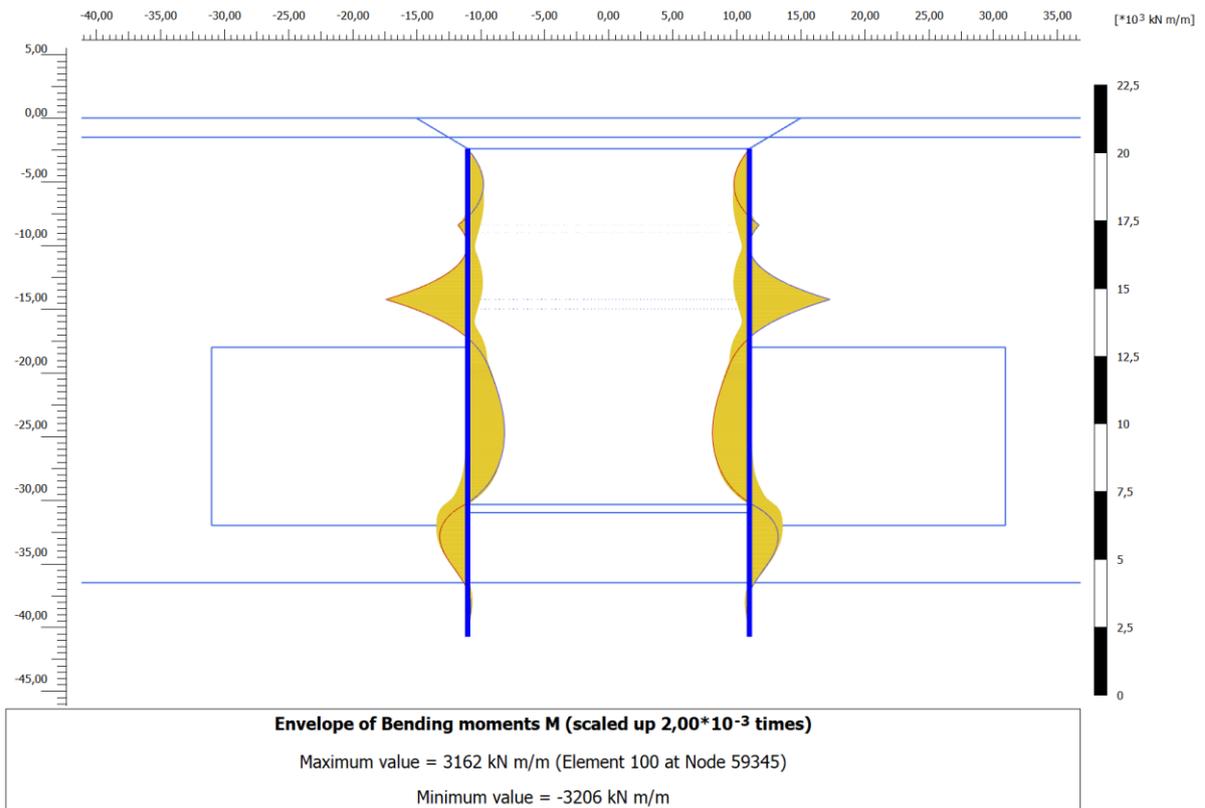


Figura 17. Sezione BB Diaframma – Cerniera - SLE Diagramma momento – Involuppo

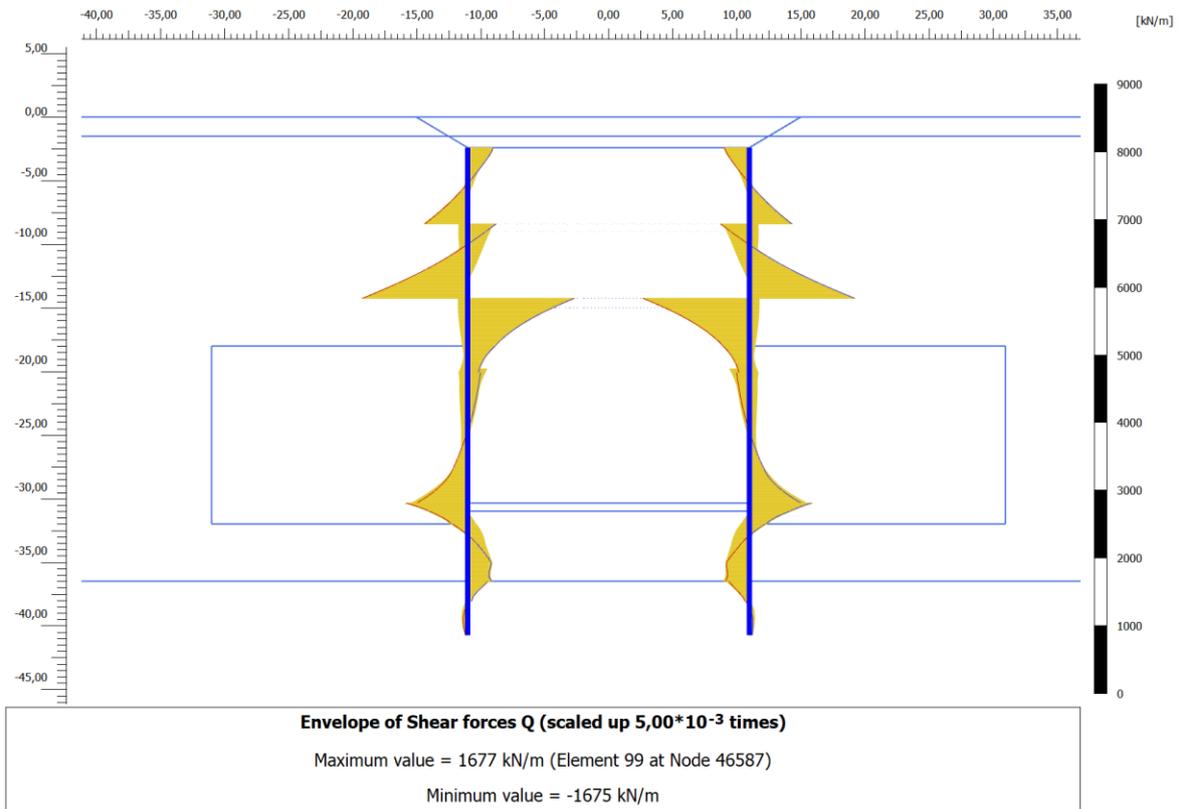


Figura 18. Sezione BB Diaframma - Cerniera - SLE Diagramma taglio – Inviluppo



6.2.6 Sezione BB - Cerniera - Spostamenti paratia

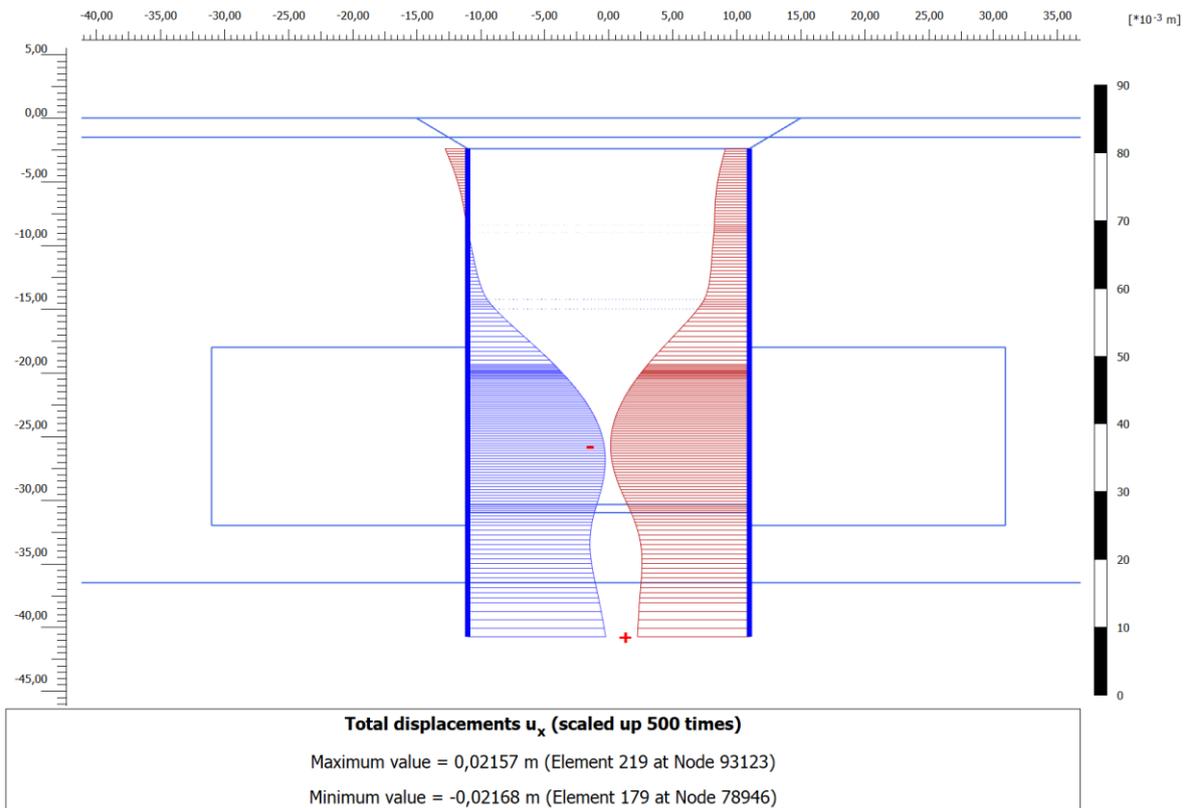


Figura 19. Sezione BB Diaframma - Cerniera - SLE Diagramma degli spostamenti orizzontali

Tabella 17 Sollecitazioni paratia – Sezione BB - Cerniera

	Paratia SLE	Paratia SLU
M_{max} [kNm/m]	1442	2019
M_{min} [kNm/m]	-3206	-4488
T_{max} [kN/m]	1677	2348
T_{min} [kN/m]	-1652	-2313
Spostamento max [mm]	21.6	-



6.2.7 Sezione BB - Incastro - Sollecitazioni paratia

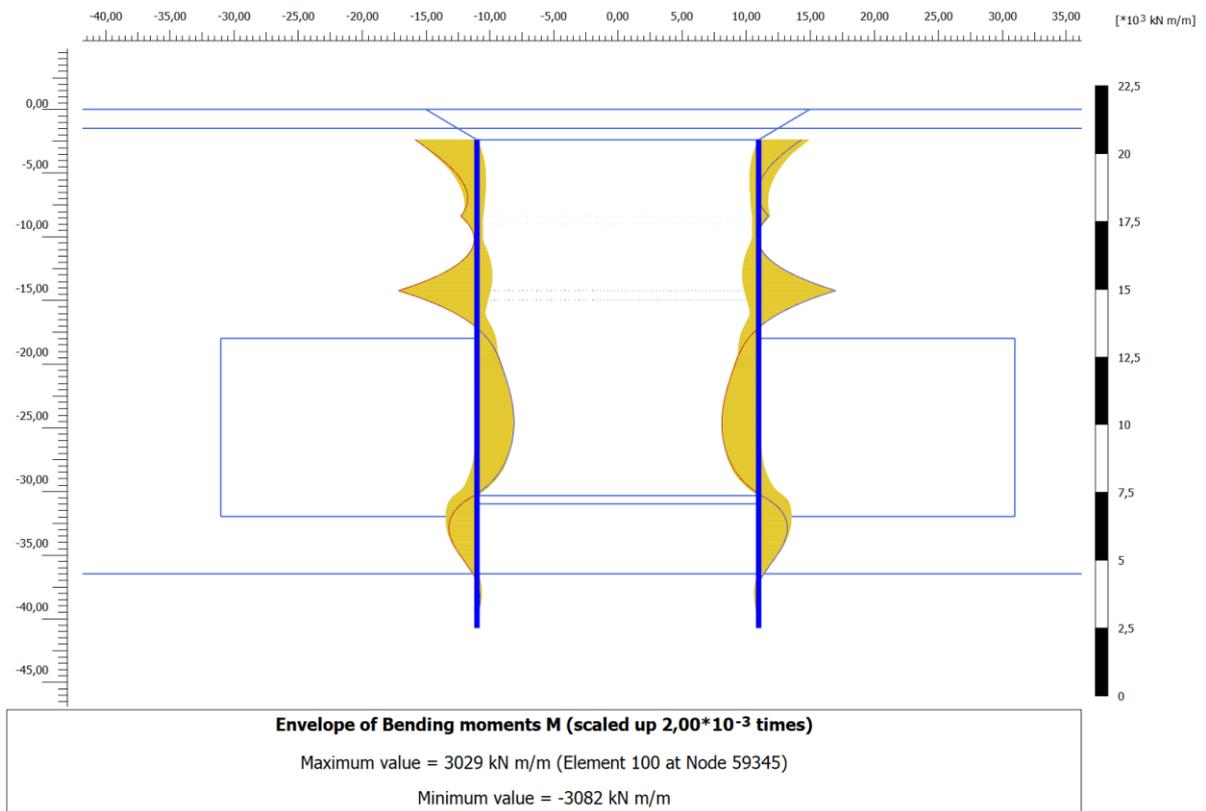


Figura 20. Sezione BB Diaframma - Incastro - SLE Diagramma momento – Inviluppo

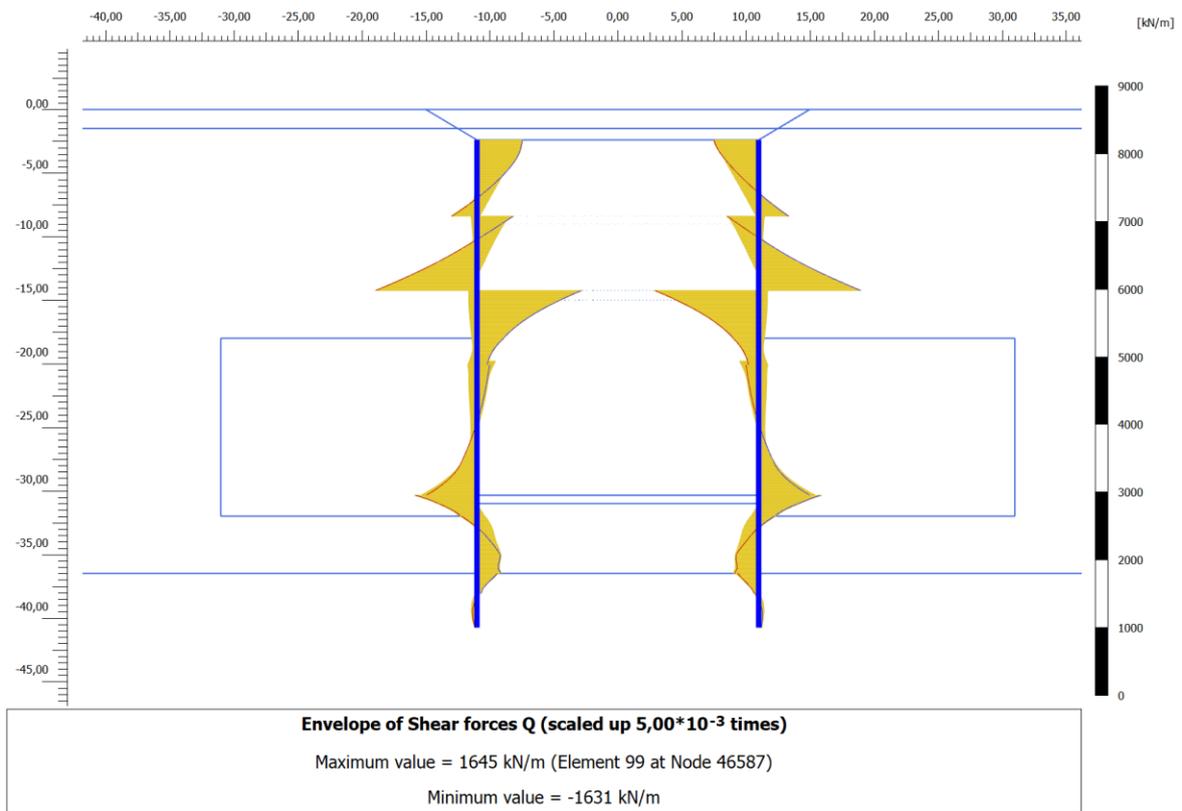


Figura 21. Sezione BB Diaframma - Incastro - SLE Diagramma Taglio – Inviluppo



6.2.8 Sezione BB - Incastro - Spostamenti paratia

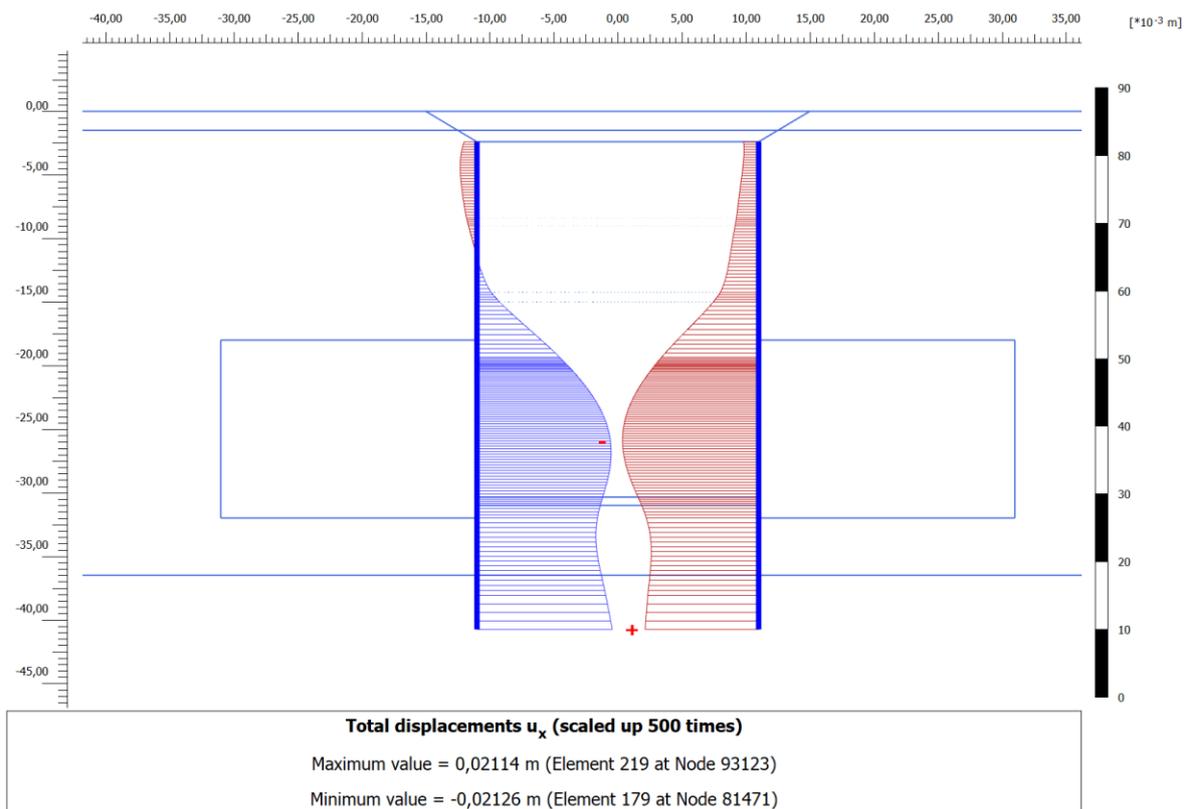


Figura 22. Sezione BB Diaframma - Incastro - SLE Diagramma degli spostamenti orizzontali

Tabella 18 Sollecitazioni paratia - Sezione BB - Incastro

	Paratia SLE	Paratia SLU
M_{max} [kNm/m]	1450	2030
M_{min} [kNm/m]	-3082	-4315
T_{max} [kN/m]	1645	2303
T_{min} [kN/m]	-1595	-2233
Spostamento max [mm]	21.3	-

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione NOVARA - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR001-0-1

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.

Le verifiche di seguito riportate sono riferite al diaframma 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 nella condizione di cerniera ed incastro in testa al diaframma e momenti resistenti della sezione e la tabella di determinazione della massima capacità della sezione a SLU.

La verifica è condotta sul diaframma nelle sezioni A-A e B-B.

In riferimento alla paratia considerata verranno adottate 4 gabbie di armatura al fine di coprire i momenti sollecitanti aventi le seguenti caratteristiche:

Tabella 19 Armature longitudinali paratia sezione AA

	Lunghezza [m]	Lato interno	Lato esterno
Gabbia 1	12	2Φ 20/125	3 Φ 26/125
Gabbia 2	12	2Φ 26/125	2 Φ 26/125
Gabbia 3	12	2Φ 26/125	Φ 26/125
Gabbia 4	3	Φ 20/125	Φ 20/125

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione NOVARA - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR001-0-1

Tabella 20 Armature longitudinali paratia sezione BB

	Lunghezza [m]	Lato interno	Lato esterno
Gabbia 1	12	2Φ 20/125	3 Φ 26/125
Gabbia 2	12	2Φ 26/125	3 Φ 26/125
Gabbia 3	12	2Φ 26/125	2 Φ 26/125
Gabbia 4	7	Φ 26/125	Φ 26/125

Le lunghezze indicate includono la lunghezza di sovrapposizione.

La particolare condizione in corrispondenza delle tasche per la connessione tra la paratia e la soletta intermedia e di base in cui l'altezza della sezione è temporaneamente ridotta a 90 cm è stata studiata ed è presentata nel relativo allegato.



7.1.1 Sezione AA

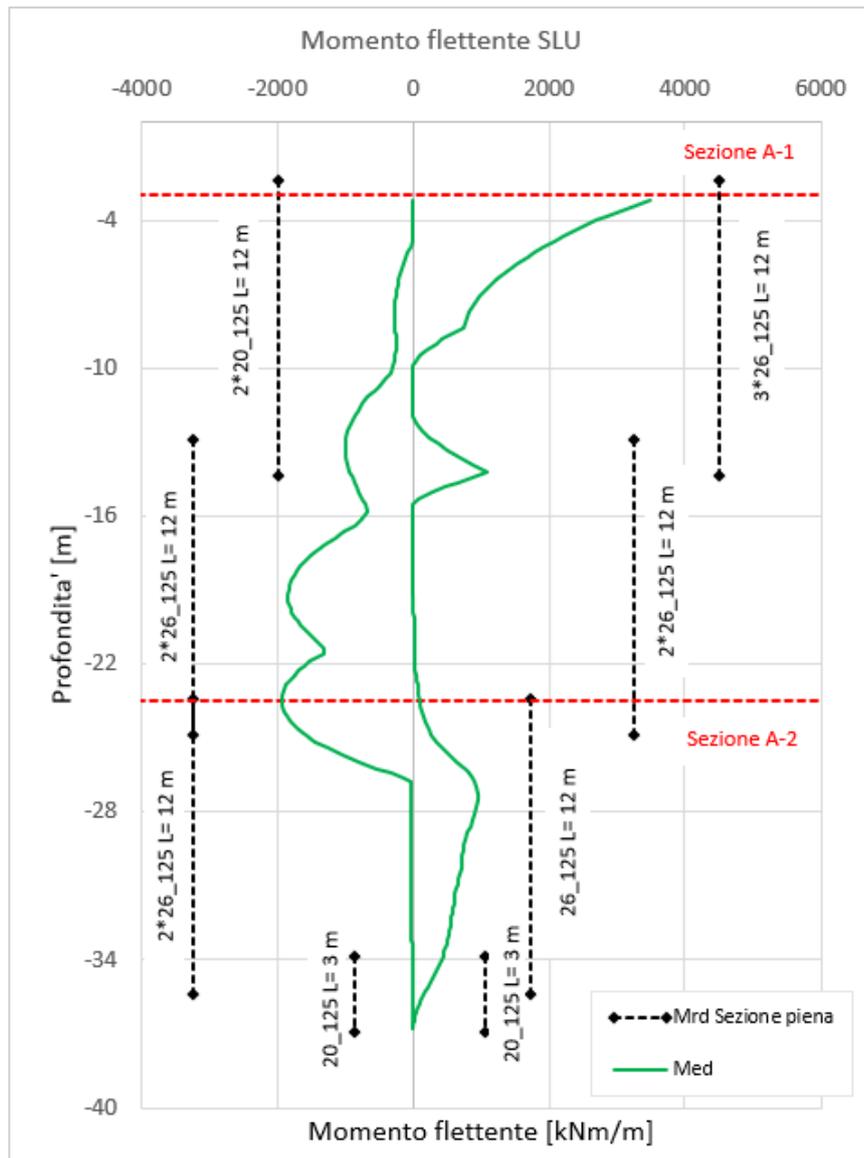


Figura 23. Diaframmi – SLU Diagramma delle sollecitazioni flettenti – Sezione AA

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione NOVARA - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR001-0-1

Tabella 21 Diaframmi – Verifica SLU flessione Sezione A-1

Sezione di verifica SLU: Sezione A-1		
Geometria sezione:		
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	1200	[mm]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	1000	[mm]
Copriferro	75	[mm]
Altezza utile della sezione	1075	[mm]
Armature		
Armatura tesa		
Diametro dei ferri correnti	26	[mm]
Numero dei ferri correnti	8	[-]
Diametro dei ferri correnti secondo strato	26	[mm]
Numero dei ferri correnti secondo strato	8	[-]
Diametro dei ferri correnti terzo strato	26	[-]
Numero dei ferri correnti terzo strato	8	[-]
Area dell'armatura tesa	12742	[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	4462,46	[kNm]
Momento sollecitante a SLU assunto in valore assoluto	3495,00	[kNm]
		Verificato



Tabella 22 Diaframmi – Verifica SLU flessione Sezione A-2

Sezione di verifica SLU: Sezione A-2		
Geometria sezione:		
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	1200	[mm]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	1000	[mm]
Copriferro	75	[mm]
Altezza utile della sezione	1075	[mm]
Armature		
Armatura tesa		
Diametro dei ferri correnti	26	[mm]
Numero dei ferri correnti	8	[-]
Diametro dei ferri correnti secondo strato	26	[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	8528	[mm ²]
Armatura compressa		
Diametro dei ferri correnti	26	[mm]
Numero dei ferri correnti	8	[-]
Diametro dei ferri correnti secondo strato	26	[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	8495	[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	3375,21	[kNm]
Momento sollecitante a SLU assunto in valore assoluto	1897,00	[kNm]
		Verificato



7.1.2 Sezione BB

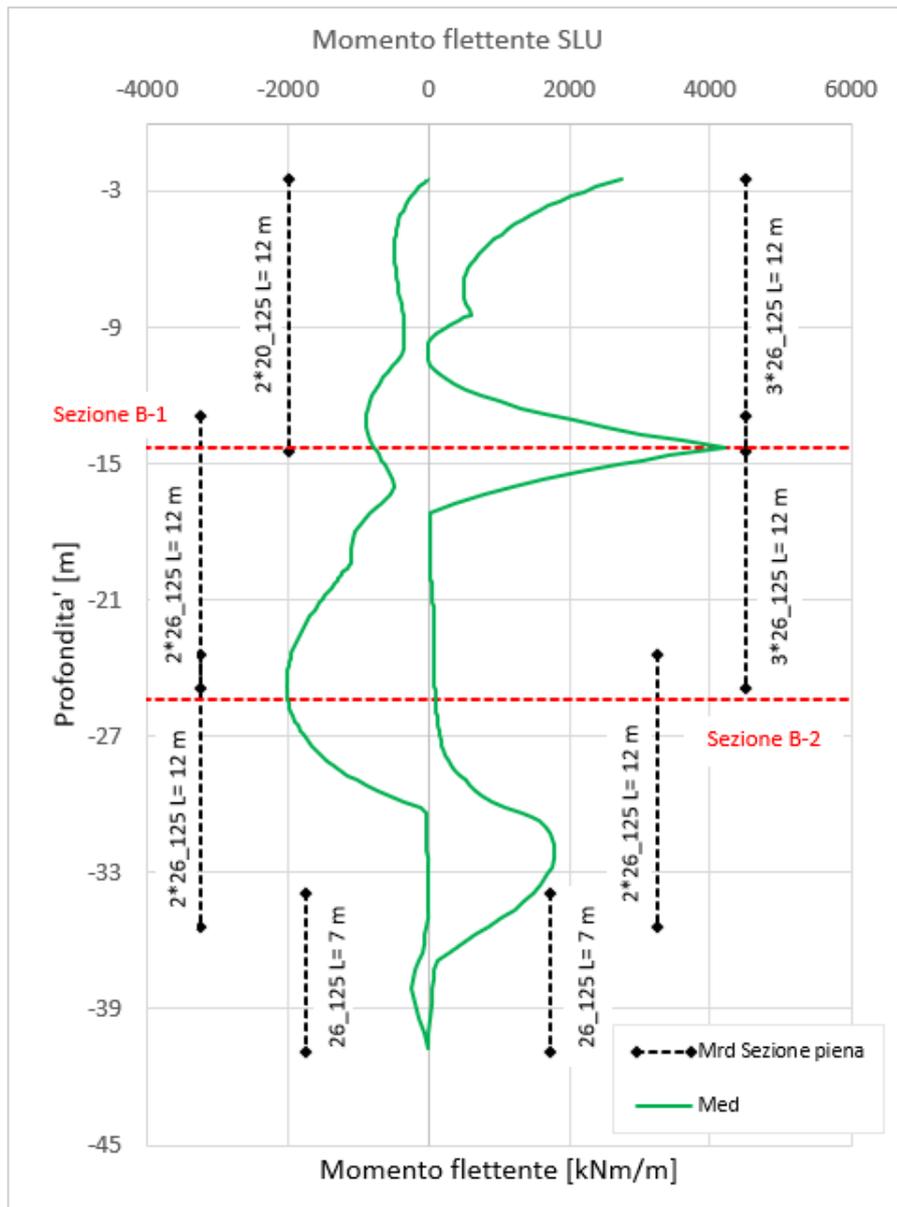


Figura 24. Diaframmi - SLU Diagramma delle sollecitazioni flettenti – Sezione BB



CITTA' DI TORINO

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

Stazione NOVARA - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione

MTL2T1A2DSTRSNOR001-0-1

Tabella 23 Diaframmi - Verifica SLU flessione Sezione B-1

Sezione di verifica SLU: Sezione B-1		
Geometria sezione:		
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	1200	[mm]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	1000	[mm]
Copriferro	75	[mm]
Altezza utile della sezione	1075	[mm]
Armature		
Armatura tesa		
Diametro dei ferri correnti	26	[mm]
Numero dei ferri correnti	8	[-]
Diametro dei ferri correnti secondo strato	26	[mm]
Numero dei ferri correnti secondo strato	8	[-]
Diametro dei ferri correnti terzo strato	26	[-]
Numero dei ferri correnti terzo strato	8	[-]
Area dell'armatura tesa	12742	[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		
	4462,46	[kNm]
Momento sollecitante a SLU assunto in valore assoluto		
	4220,00	[kNm]
		Verificato



CITTA' DI TORINO

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

Stazione NOVARA - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione

MTL2T1A2DSTRSNOR001-0-1

Tabella 24 Diaframmi - Verifica SLU flessione Sezione B-2

Sezione di verifica SLU: Sezione B-2		
Geometria sezione:		
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	1200	[mm]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	1000	[mm]
Copriferro	75	[mm]
Altezza utile della sezione	1075	[mm]
Armature		
Armatura tesa		
Diametro dei ferri correnti	26	[mm]
Numero dei ferri correnti	8	[-]
Diametro dei ferri correnti secondo strato	26	[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	8528	[mm ²]
Armatura compressa		
Diametro dei ferri correnti	26	[mm]
Numero dei ferri correnti	8	[-]
Diametro dei ferri correnti secondo strato	26	[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	8495	[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	3375,21	[kNm]
Momento sollecitante a SLU assunto in valore assoluto	1984,00	[kNm]
		Verificato

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione NOVARA - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR001-0-1

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.

L'immagine di seguito mostra l'involuppo delle azioni taglianti e la resistenza offerta dalla sezione.



7.2.1 Sezione AA

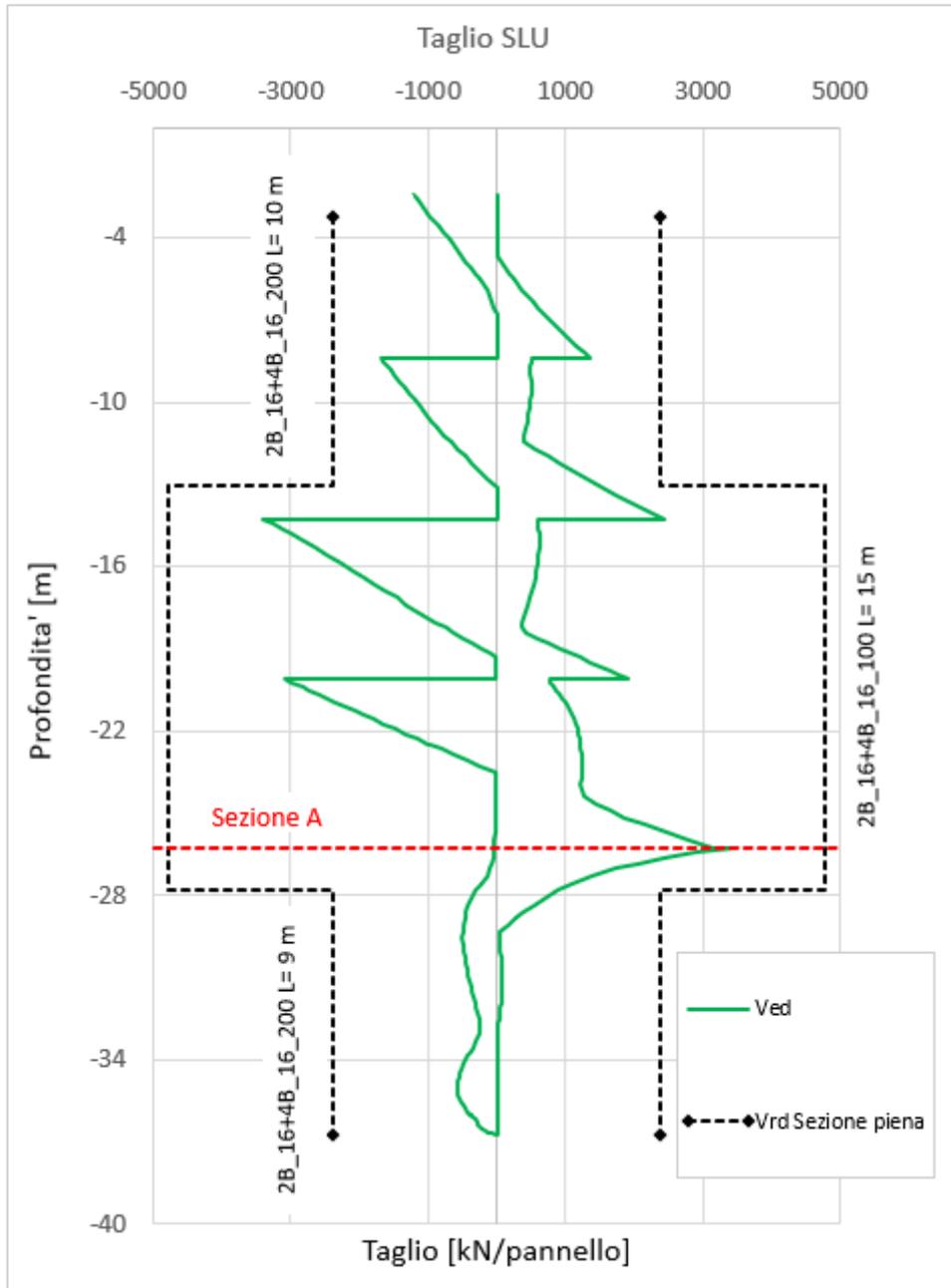


Figura 25. Diaframma - SLU Diagramma delle sollecitazioni taglianti – Sezione AA



CITTA' DI TORINO

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

Stazione NOVARA - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione

MTL2T1A2DSTRSNOR001-0-1

Tabella 25 Diaframma - Verifica SLU – Taglio – Sezione A

Verifica elementi a taglio			
Pannello diaframma 2800 x 1200 mm - $\phi 16$ 2 braccia + $\phi 16$ 4 braccia passo 100 mm			
Geometria			
Altezza sezione	H	1200	mm
Base sezione	B	2800	mm
Barre longitudinali tese	ϕ_{sl}	26	mm
Diametro staffe	ϕ_{sw}	16	mm
Copriferro	c	75	mm
Altezza utile	d	1096	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	100	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	986,4	mm
Resistenza offerta dall'armatura a taglio	V_{Rsd}	4654	kN
Resistenza offerta dai puntoni	V_{Rcd}	9782	kN
Resistenza a taglio della sezione armata trasversalmente	V_{Rd}	4654	kN
Taglio sollecitante SLU	V_{ed}	3471	kN
			Verificato



7.2.2 Sezione BB

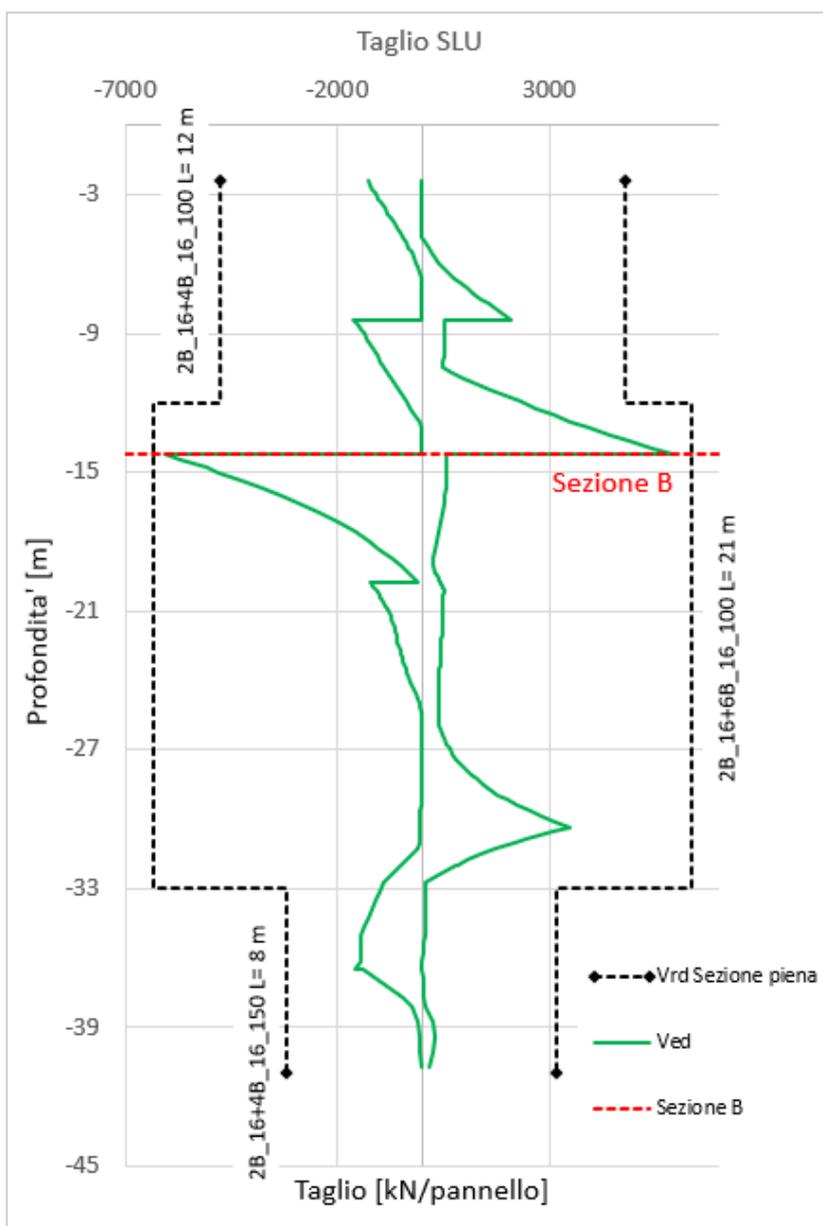


Figura 26. Diaframma - SLU Diagramma delle sollecitazioni taglianti – Sezione BB



Tabella 26 Diaframma - Verifica SLU – Taglio – Sezione B

Verifica elementi a taglio			
<i>Pannello diaframma 2800 x 1200 mm - ϕ16 2 braccia + ϕ16 6 braccia passo 100 mm</i>			
Geometria			
Altezza sezione	H	1200	mm
Base sezione	B	2800	mm
Barre longitudinali tese	ϕ_{sl}	26	mm
Diametro staffe	ϕ_{sw}	16	mm
Copriferro	c	75	mm
Altezza utile	d	1096	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}	6	
Passo staffe	s	100	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}	1607,68	mm ²
Braccio coppia interna	z	986,4	mm
Resistenza offerta dall'armatura a taglio	V_{Rsd}	6205	kN
Resistenza offerta dai puntoni	V_{Rcd}	9782	kN
Resistenza a taglio della sezione armata trasversalmente	V_{Rd}	6205	kN
Taglio sollecitante SLU	V_{ed}	6041	kN
			Verificato

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione NOVARA - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR001-0-1

7.3 Verifiche a fessurazione 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)	$\sigma_a \leq 0.80 f_{yk} = 360 \text{ MPa}$



CITTA' DI TORINO

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

Stazione NOVARA - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione

MTL2T1A2DSTRSNOR001-0-1

7.3.1 Sezione AA

Tabella 27 Diaframmi - Verifica SLE –Sezione A-1

<u>Sezione di verifica SLE: Sezione A-1</u>		
Geometria sezione:		
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	1200	[mm]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	1000	[mm]
Copriferro	75	[mm]
Altezza utile della sezione	1075	[mm]
Limitazione delle tensioni		
Area dell'armatura tesa	12742	[mm ²]
Area dell'armatura compressa	5027	[mm ²]
Momento sollecitante	2512	[kNm]
Posizione dell'asse neutro	463,14	[mm]
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	1,34532E+11	[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	8,6	[MPa]
Tensione calcestruzzo < 15 Mpa		Verificato
Tensione nell'armatura tesa	209,6	[MPa]
Tensione acciaio < 360 Mpa		Verificato
Apertura delle fessure		
Tensione indotta nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata	209,61	[MPa]
Valore medio della resistenza a trazione efficace del calcestruzzo	2,56	[MPa]
Fattore dipendente dalla durata del carico	0,40	[-]
Altezza efficace	245,62	[mm]
Area efficace del calcestruzzo teso attorno all'armatura	245620	[mm ²]
Rapporto geometrico sull'area efficace	0,0519	[-]
Rapporto tra Es/Ecm	6,67	[-]
Differenza tra la deformazione nell'acciaio e quella nel calcestruzzo	0,000871	[-]
Determinazione del diametro equivalente delle barre tese	26,00	[mm]
Distanza massima tra le fessure	340,20	[mm]
Ampiezza delle fessure	0,296	[mm]
Ampiezza massima delle fessure	0,3	[mm]
		Verificato



CITTA' DI TORINO

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

Stazione NOVARA - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione

MTL2T1A2DSTRSNOR001-0-1

Tabella 28 Diaframmi - Verifica SLE –Sezione A-2

Sezione di verifica SLE: Sezione A-2		
Geometria sezione:		
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	1200	[mm]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	1000	[mm]
Copriferro	75	[mm]
Altezza utile della sezione	1075	[mm]
Limitazione delle tensioni		
Area dell'armatura tesa	8528	[mm ²]
Area dell'armatura compressa	8495	[mm ²]
Momento sollecitante	885,7	[kNm]
Posizione dell'asse neutro	363,93	[mm]
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	1,08187E+11	[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	3,0	[MPa]
Tensione calcestruzzo < 15 Mpa		Verificato
Tensione nell'armatura tesa	106,8	[MPa]
Tensione acciaio < 360 Mpa		Verificato
Apertura delle fessure		
Tensione indotta nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata	106,81	[MPa]
Valore medio della resistenza a trazione efficace del calcestruzzo	2,56	[MPa]
Fattore dipendente dalla durata del carico	0,40	[-]
Altezza efficace	278,69	[mm]
Area efficace del calcestruzzo teso attorno all'armatura	278691	[mm ²]
Rapporto geometrico sull'area efficace	0,0306	[-]
Rapporto tra Es/Ecm	6,67	[-]
Differenza tra la deformazione nell'acciaio e quella nel calcestruzzo	0,000316	[-]
Determinazione del diametro equivalente delle barre tese	26,05	[mm]
Distanza massima tra le fessure	399,73	[mm]
Ampiezza delle fessure	0,126	[mm]
Ampiezza massima delle fessure	0,3	[mm]
		Verificato

**7.3.2 Sezione BB**

Tabella 29 Diaframmi - Verifica SLE –Sezione B-1

Sezione di verifica SLE: Sezione B-1		
Geometria sezione:		
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	1200	[mm]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	1000	[mm]
Copriferro	75	[mm]
Altezza utile della sezione	1075	[mm]
Limitazione delle tensioni		
Area dell'armatura tesa	5027	[mm ²]
Area dell'armatura compressa	8495	[mm ²]
Momento sollecitante	629,3	[kNm]
Posizione dell'asse neutro	284,09	[mm]
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	72146452413	[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	2,5	[MPa]
Tensione calcestruzzo < 15 Mpa		Verificato
Tensione nell'armatura tesa	126,6	[MPa]
Tensione acciaio < 360 Mpa		Verificato
Apertura delle fessure		
Tensione indotta nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata	126,57	[MPa]
Valore medio della resistenza a trazione efficace del calcestruzzo	2,56	[MPa]
Fattore dipendente dalla durata del carico	0,40	[-]
Altezza efficace	305,30	[mm]
Area efficace del calcestruzzo teso attorno all'armatura	305304	[mm ²]
Rapporto geometrico sull'area efficace	0,0165	[-]
Rapporto tra Es/Ecm	6,67	[-]
Differenza tra la deformazione nell'acciaio e quella nel calcestruzzo	0,000273	[-]
Determinazione del diametro equivalente delle barre tese	20,00	[mm]
Distanza massima tra le fessure	461,51	[mm]
Ampiezza delle fessure	0,167	[mm]
Ampiezza massima delle fessure	0,3	[mm]
		Verificato


Tabella 30 Diaframmi - Verifica SLE –Sezione B-2

Sezione di verifica SLE: Sezione B-2		
Geometria sezione:		
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	1200	[mm]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	1000	[mm]
Copriferro	75	[mm]
Altezza utile della sezione	1075	[mm]
Limitazione delle tensioni		
Area dell'armatura tesa	8528	[mm ²]
Area dell'armatura compressa	8495	[mm ²]
Momento sollecitante	1417	[kNm]
Posizione dell'asse neutro	363,93	[mm]
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	1,08187E+11	[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	4,8	[MPa]
Tensione calcestruzzo < 15 Mpa		Verificato
Tensione nell'armatura tesa	170,9	[MPa]
Tensione acciaio < 360 Mpa		Verificato
Apertura delle fessure		
Tensione indotta nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata	170,88	[MPa]
Valore medio della resistenza a trazione efficace del calcestruzzo	2,56	[MPa]
Fattore dipendente dalla durata del carico	0,40	[-]
Altezza efficace	278,69	[mm]
Area efficace del calcestruzzo teso attorno all'armatura	278691	[mm ²]
Rapporto geometrico sull'area efficace	0,0306	[-]
Rapporto tra Es/Ecm	6,67	[-]
Differenza tra la deformazione nell'acciaio e quella nel calcestruzzo	0,000621	[-]
Determinazione del diametro equivalente delle barre tese	26,05	[mm]
Distanza massima tra le fessure	399,73	[mm]
Ampiezza delle fessure	0,248	[mm]
Ampiezza massima delle fessure	0,3	[mm]
		Verificato



7.4 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.

Lo spostamento massimo ammissibile stabilito dalle NTC218 paragrafo 7.11.6.3 è pari a $u_s=0.005H$ dove H è l'altezza complessiva della paratia.

7.4.1 Sezione AA

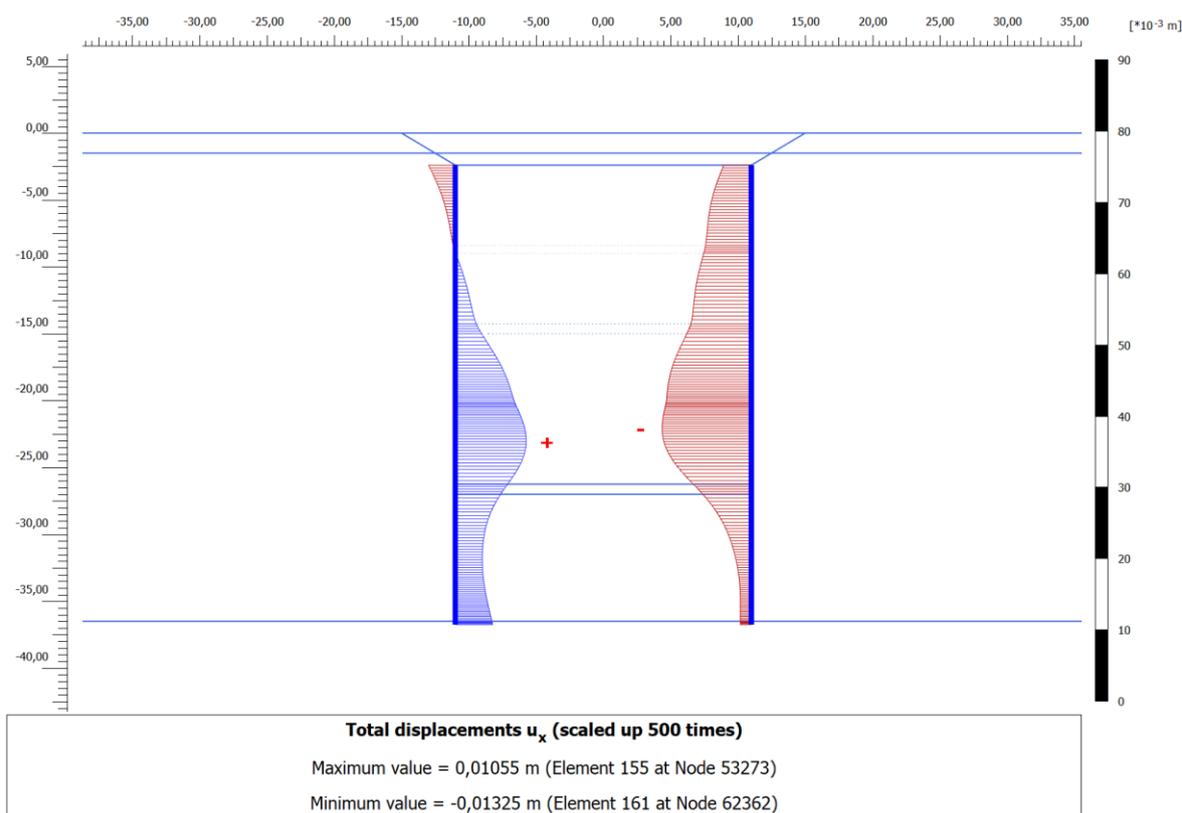


Figura 27. Spostamenti orizzontali a lungo termine – Sezione AA

Per la sezione in oggetto lo spostamento massimo risulta essere di 13.25 mm risulta compatibile con il limite stabilito pari a 12.5 cm, considerando l'altezza della paratia pari a 25m.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione NOVARA - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR001-0-1

7.4.2 Sezione BB

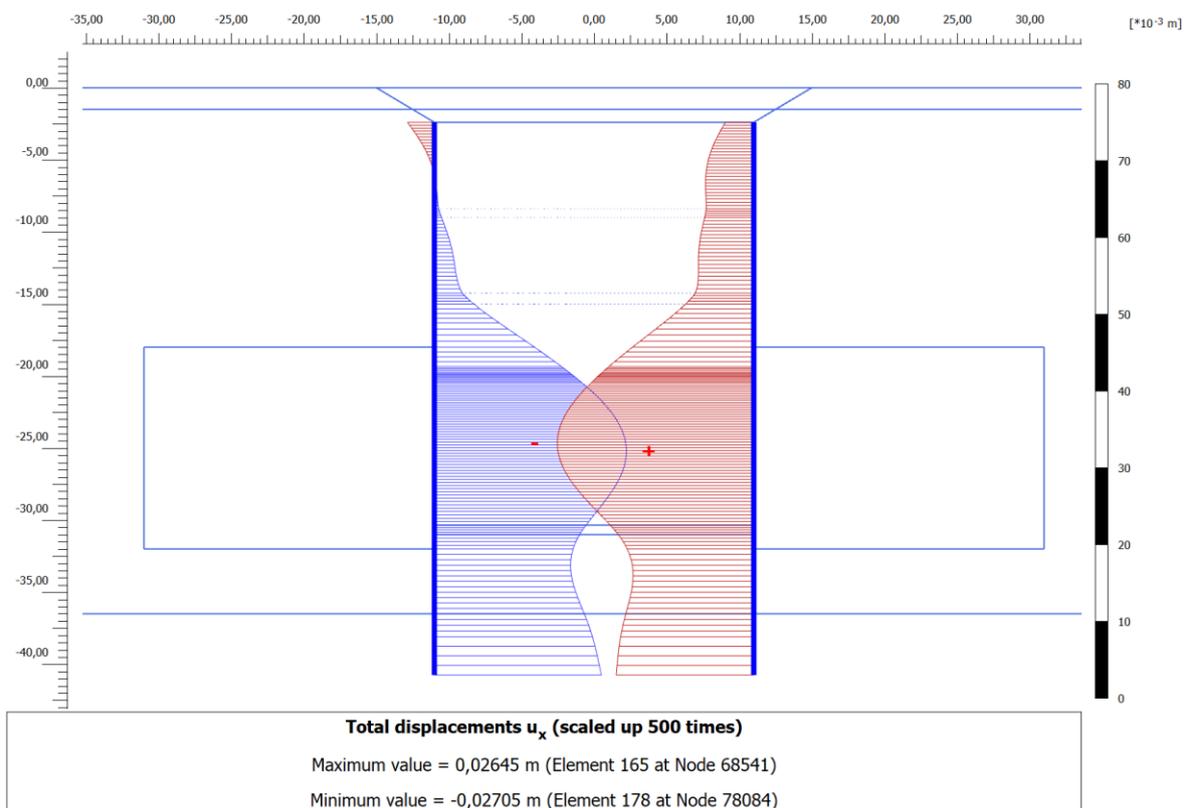


Figura 28. Spostamenti orizzontali a lungo termine – Sezione BB

Per la sezione in oggetto lo spostamento massimo risulta essere di 27.05 mm risulta compatibile con il limite stabilito, pari a 15 cm, considerando l'altezza della paratia pari a 30m.



8. VERIFICHE GEOTECNICHE

8.1 Verifica del tampone di fondo

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

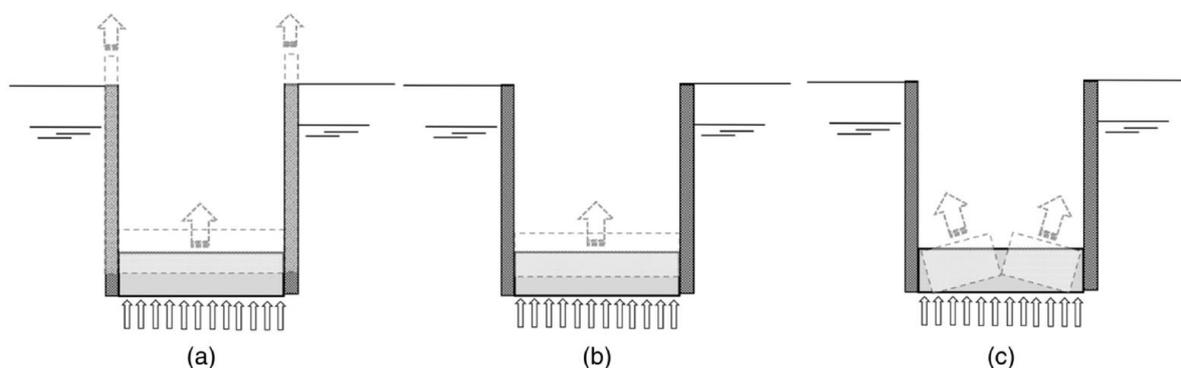


Figura 29. Possibili meccanismi di collasso: a) sollevamento del tampone di fondo e dei diaframmi b) sollevamento del tampone di fondo c) rottura del tampone di fondo

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

Tabella 31 Verifica tampone di fondo

Parametri geometrici e geotecnici		
Larghezza diaframmi	=	1,2 m
Altezza soletta di copertura	=	1,2 m
Altezza solette intermedie	=	1,2 m
Altezza riempimento	=	1,8 m
Larghezza interna scavo	=	20,8 m
Fondo scavo	=	-27,25 m
Hw	=	-10 m
Profondita' paratia	=	-37,25 m
Altezza terreno saturo al di sopra del tampone	=	0,00 m
Battente idraulico	=	27,25 m
Altezza tampone di fondo	=	10,00 m
Profondita' infissione paratia	=	10,00 m



Coefficients parziali			
γ_G fav	=	0,9	
γ_G unfav	=	1,1	
$\gamma \phi$	=	1,25	
γc	=	1,25	

Parametri geotecnici			
V_{jg}	=	22	kN/mc
V_s	=	19	kN/mc
δ	=	1	
$\phi_{s,k}$	=	36,0	°
$c_{s,k}$	=	10,00	kPa
$\phi_{s-int,d}$	=	30,2	°
$c_{s-int,d}$	=	0	kPa
$\phi_{jg,k}$	=	36	°
$c_{jg,k}$	=	150,00	kPa
$c_{jg-int,d}$	=	120	kPa
$\phi_{jg-int,d}$	=	30,2	°
$QU_{jg-int,k}$	=	589	kPa
$QU_{jg-int,d}$	=	471	kPa

Verifica galleggiamento della struttura a breve termine			
Forze agenti			
Azioni instabilizzanti			
Pressione U alla base della paratia	=	272,5	kPa
Pressione U alla base del tampone	=	272,5	kPa
Forza instabilizzante	=	6322,0	kN/m
Azioni stabilizzanti			
Peso tampone	=	4576,0	kN/m
Peso terreno saturo sopra tampone	=	0,0	kN/m
Peso diaframmi	=	2127,0	kN/m
Peso riempimento	=	793,4	kN/m
Peso soletta copertura	=	624,0	kN/m
Peso di 2 solette intermedie	=	1248,0	kN/m
Forze stabilizzanti totali	=	9368,4	kN/m
Resistenze			
K_a	=	0,33	
Tensione normale media agente sulla paratia	=	55,5	kPa
Contributo angolo di attrito	=	1144,3	kN/m
Contributo coesione	=	0	kN/m
Forza stabilizzante dovuta all'attrito	=	2288,6	kN/m
Forza instabilizzante progetto	=	6954,2	kN/m
Forza stabilizzante + resistenze di progetto	=	10720,2	kN/m
FS	=	1,54	OK



CITTA' DI TORINO

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

Stazione NOVARA - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione

MTL2T1A2DSTRSNOR001-0-1

Verifica a galleggiamento del tampone di fondo a breve termine			
Forze agenti			
Azioni instabilizzanti			
Pressione U alla base del tampone	=	272,50	kPa
Forza instabilizzante	=	5668,00	kN/m
Azioni stabilizzanti			
Peso tampone	=	4576,00	kN/m
Peso terreno saturo sopra tampone	=	0,00	kN/m
Forze stabilizzanti totali	=	4576,00	kN/m
Resistenze			
K_0	=	0,50	
Soil			
Tensione normale media	=	0,0	kPa
Contributo angolo di attrito	=	0,0	kN/m
Contributo coesione	=	0,0	kN/m
Forza stabilizzante dovuta all'attrito	=	0,0	kN/m
Grout			
Tensione normale media	=	54,7	kPa
Contributo angolo di attrito	=	318,2	kN/m
Contributo coesione	=	1200,0	kN/m
Forza stabilizzante dovuta all'attrito	=	3036,4	kN/m
Forza instabilizzante progetto	=	6234,80	kN/m
Forza stabilizzante + resistenze di progetto	=	7154,84	kN/m
FS	=	1,15	OK

Verifica resistenza interna tampone di fondo			
Forze agenti			
Azioni instabilizzanti			
M instabilizzante	=	16210	kNm/m
Azioni stabilizzanti			
M stabilizzante	=	10708	kNm/m
Resistenze			
Resistenza interna del tampone di fondo	=	7065	kNm/m
Forza instabilizzante progetto	=	16210,48	kNm/m
Forza stabilizzante + resistenze di progetto	=	17773,24	kNm/m
FS	=	1,10	OK



8.2 Verifica capacità portante della paratia

Come descritto nel paragrafo precedente i diaframmi risultano sostanzialmente poco caricati durante le differenti fasi costruttive dell'opera. 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 32 Verifica capacità portante paratia

Parametri geotecnici		
c_k	10	kPa
ϕ_k	36	°
γ_k	19	kN/mc
Dimensione del palo		
B	1,2	m
L	1	m
Lunghezza del palo		
Lunghezza	10,5	m
Capacità portante di base		
S_c	1,92	
$S_q S_\gamma$	1,46	
d_c	1,58	
$d_q d_\gamma$	1,36	
$i_c i_q$	1,00	
i_γ	1,00	
N_c	50,53	
N_q	37,71	
N_γ	40,01	
q_c	1539	kPa
q_q	39890	kPa
q_γ	667	kPa
q_{ult}	42096	kPa
Fattore sicurezza parziale	1,35	
R di base di progetto	37419	kN
Forza agente		
Carico caratteristico	2748	kN
Carico di progetto	3847	kN
Capacità portante laterale		
σ'_v	532	kPa
σ'_v average	367	kPa
K_0	0,41	
σ'_h average	241	kPa
Delta	0,5	
Resistenza palo terreno	18	°
K_a	0,260	
Attrito palo terreno	83,31	kPa
Resistenza laterale	3849	kN
Fattore di sicurezza parziale	1,15	
R laterale di progetto	3347	kN
R totale di progetto	40766	kN
Carico di progetto	3847	kN
	Verificato	



8.1 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. Pertanto non sono necessarie ulteriori verifiche della relativa capacità portante.

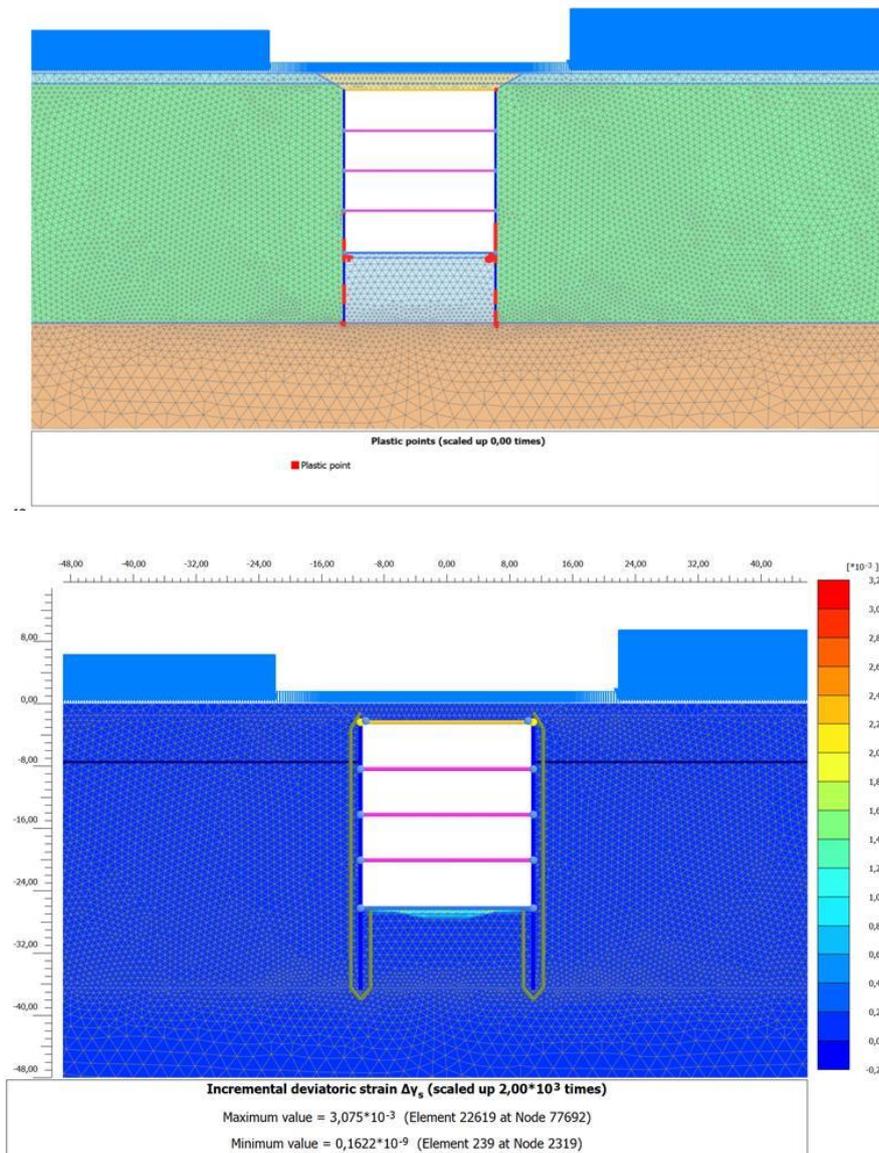


Figura 30. Zone di plasticizzazione



8.2 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 ciascuna paratia viene monitorato, uno in testa, uno al fondo scavo ed uno al piede.

- **Breve termine**

Il fattore di sicurezza ottenuto è pari a circa 1,18 confermando i risultati delle verifiche geotecniche analitiche eseguite.

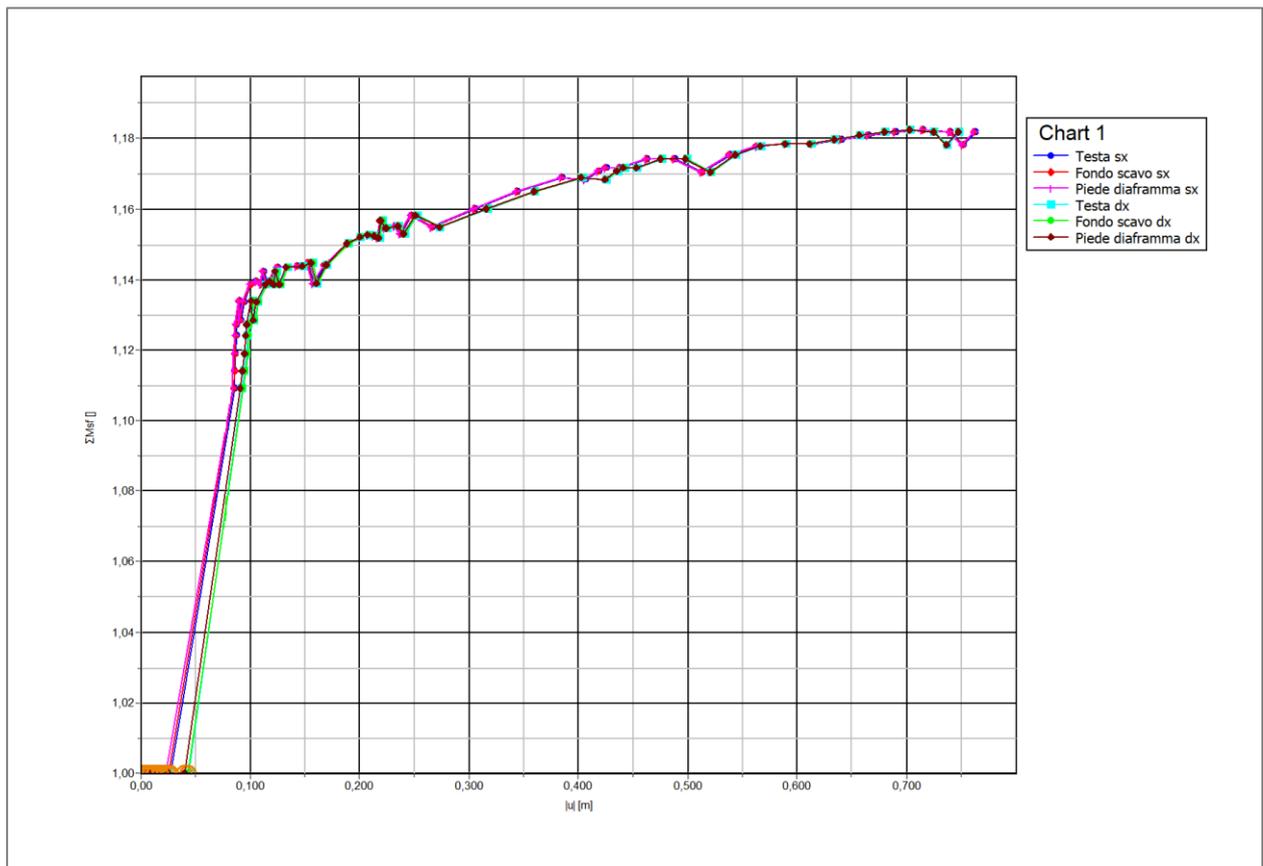


Figura 31. Fattore di sicurezza a breve termine

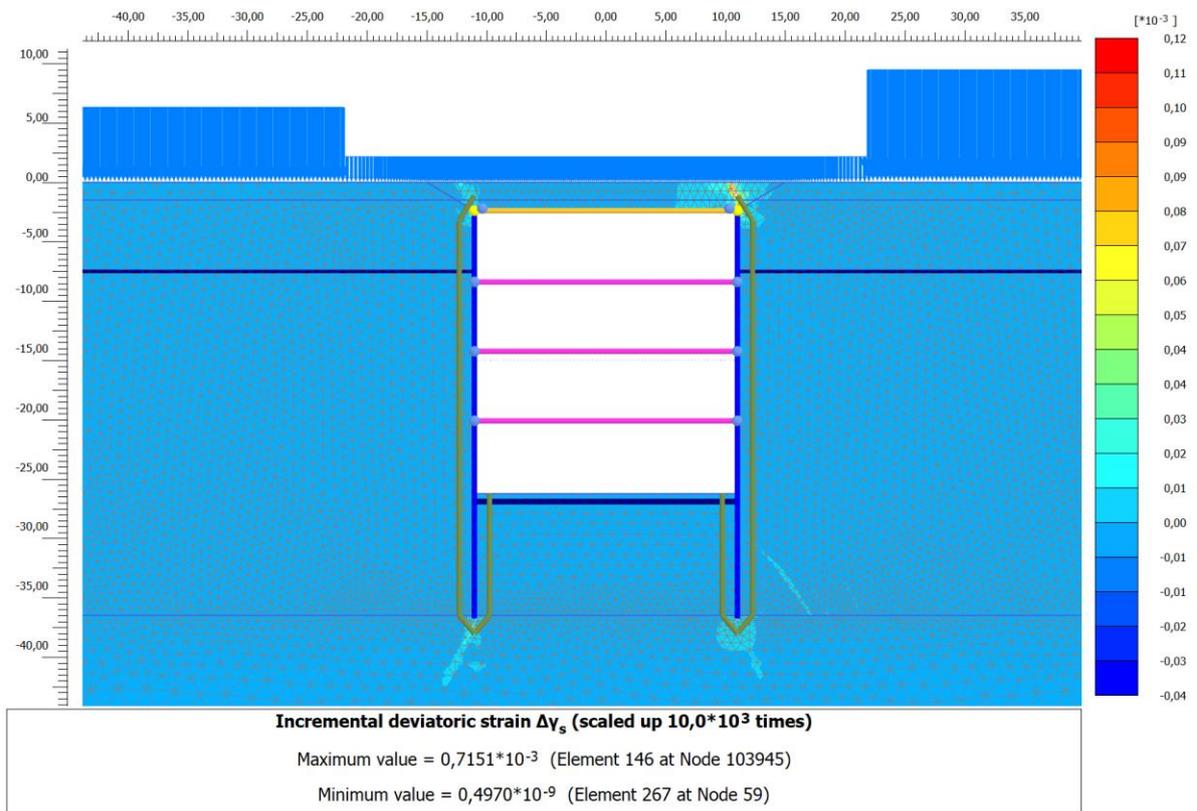


Figura 32. Rapporto tra tensione tangenziale massima e tensione tangenziale mobilitata

La Figura 32 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 ottenuto è maggiore 1,76.

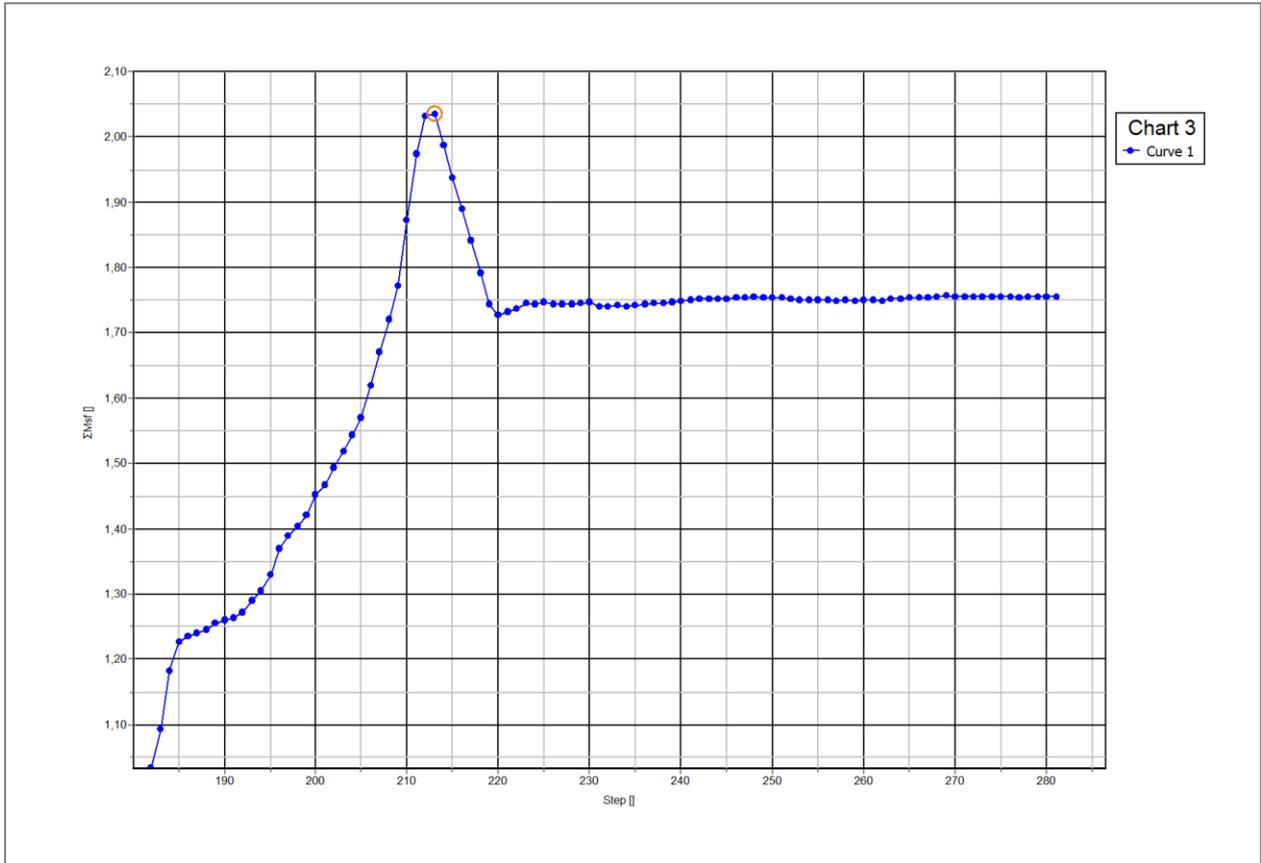


Figura 33. Fattore di sicurezza a lungo termine

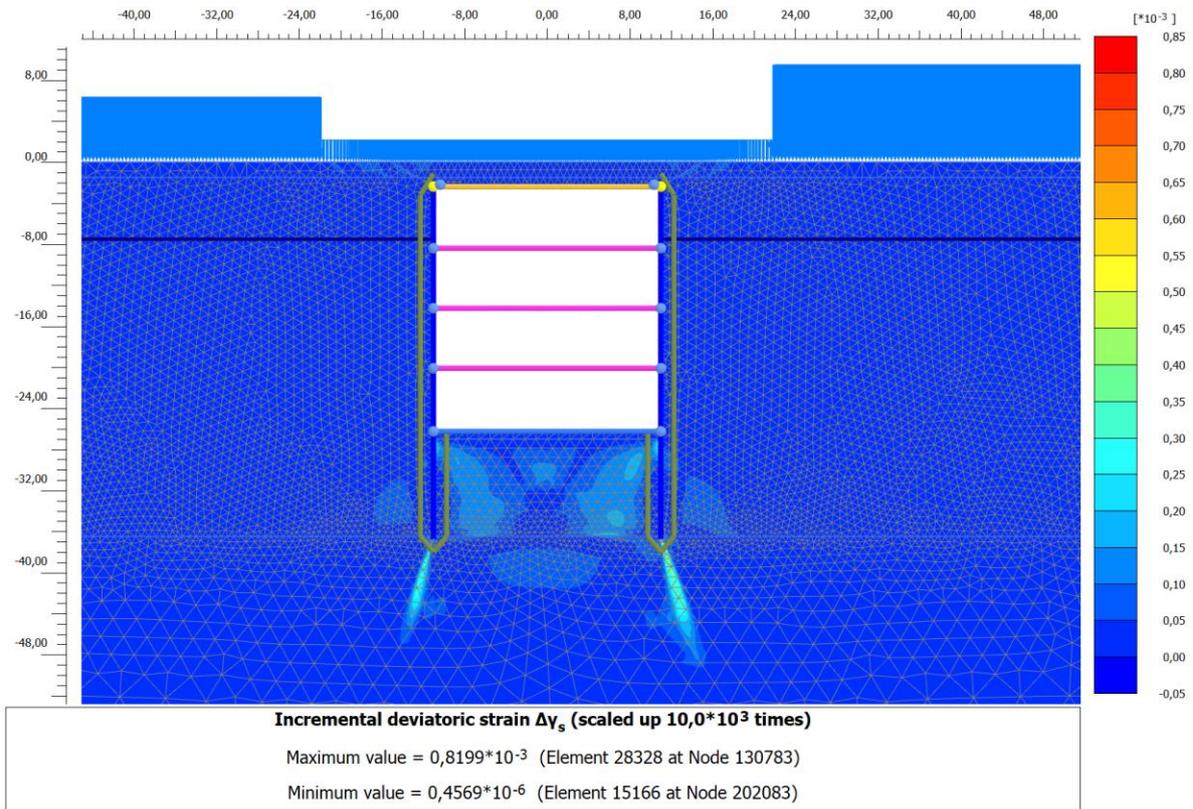


Figura 34. Rapporto tra tensione tangenziale massima e tensione tangenziale mobilitata

La Figura 34 mostra il rapporto tra tensione tangenziale limite e tensione tangenziale agente in corrispondenza dell'ultimo step di calcolo (più critico ai fini di questa analisi). L'output fornisce indicazioni riguardo la mobilitazione delle spinte limite sulla parete.

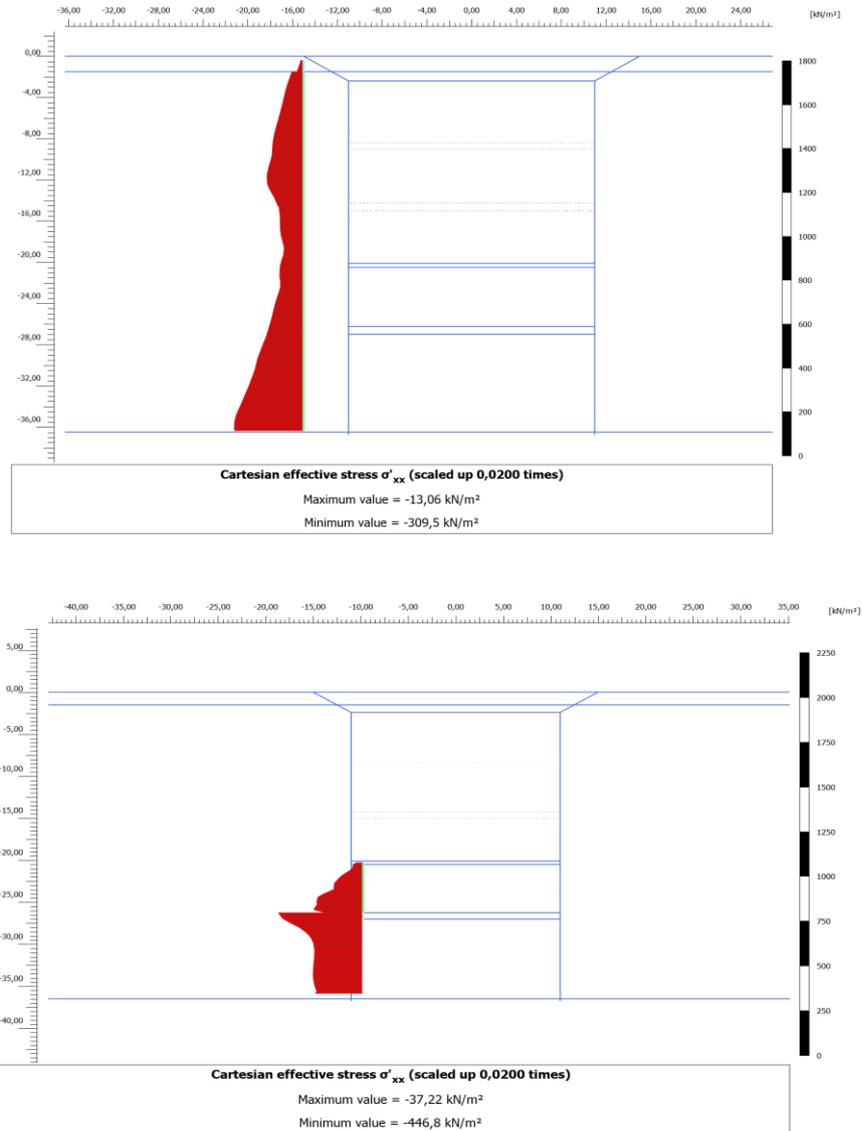


Figura 35. Tensioni orizzontali efficaci paratia

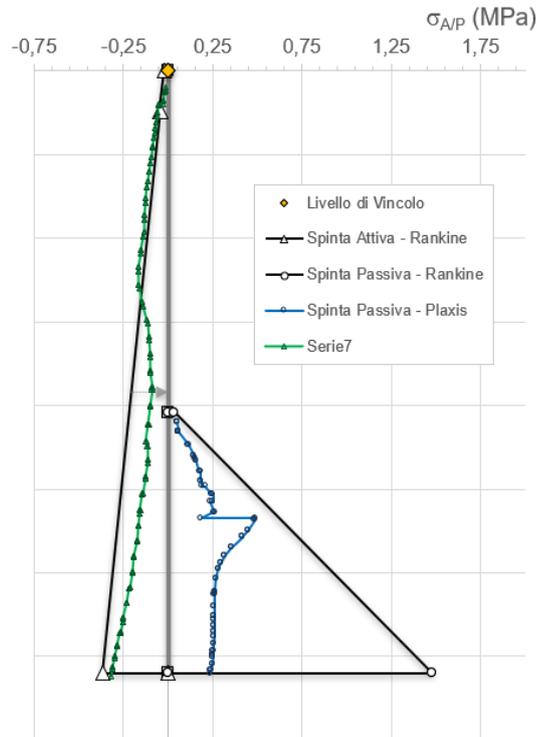


Figura 36. Confronto tensione limite attive e passive con tensioni orizzontali Plaxis

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.



CITTA' DI TORINO

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

Stazione NOVARA - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione

MTL2T1A2DSTRSNOR001-0-1

8.3 Verifica galleggiamento stazione

		Forze stabilizzanti - Peso							
Ritombamento									
Altezza	H	=	1,8 m						
Altezza di calcolo	H _{calc}	=	0 m						
Area	A	=	2849 m ²						
Peso per unita' di volume	γ	=	18 kN/m ³						
Peso ritombamento	W_{rit}	=	0 kN						
Solette intermedie									
Numero	n	=	2						
Altezza	H	=	1,2 m						
Area	A	=	1737 m ²						
Percentuale vuoti	%V	=	30 %						
Area di calcolo	A _{calc}	=	2431,8 m						
Peso per unita' di volume	γ	=	25 kN/m ³						
Peso ritombamento	W_{rit, str}	=	72954 kN						
Peso non strutturale (10%)	W_{str, non str}	=	7295 kN						
Soletta di base									
Altezza	H	=	1,8 m						
Area	A	=	1880 m ²						
Peso per unita' di volume	γ	=	25 kN/m ³						
Peso strutturale	W_{op, str}	=	84600 kN						
Peso non strutturale (10%)	W_{op, non str}	=	8460 kN						
Forze stabilizzanti - Peso									
Diapframmi									
Spessore	S	=	1,2 m						
Profondita'	H	=	35 m						
Lunghezza	L	=	280 m						
Peso per unita' di volume	γ	=	25 kN/m ³						
Peso diaframmi	W_{dar}	=	294000 kN						
Banchine									
Area soletta banchina x 2	A	=	952 m ²						
Spessore soletta banchina	s	=	1,2 m						
Peso per unita' di volume	γ	=	25 kN/m ³						
Peso strutturale	W_{sd, b, str}	=	28560 kN						
Peso non strutturale (10%)	W_{sd, b, non str}	=	2856 kN						
Muri banchina	L	=	113,4 m						
Spessore muri banchina	s	=	0,4 m						
Peso strutturale	W_{mur, b, str}	=	1134 kN						
Foderi piano banchina									
Altezza	H	=	4,7 m						
Spessore	s	=	0,4 m						
Lunghezza	L	=	171,4 m						
Peso per unita' di volume	γ	=	25 kN/m ³						
Peso strutturale	W_{Fed, b, str}	=	8056 kN						
Soletta copertura									
Altezza	H	=	1,2 m						
Area	A	=	1880 m ²						
Peso per unita' di volume	γ	=	25 kN/m ³						
Peso strutturale	W_{op, str}	=	56400 kN						
Peso non strutturale (10%)	W_{op, non str}	=	5640 kN						
Pilastrri									
Area pilastri tipo 1	A ₁	=	1,96 m ²						
Numero pilastri tipo 1	n ₁	=	0						
Area pilastri tipo 2	A ₂	=	2,8 m ²						
Numero pilastri tipo 2	n ₂	=	0						
Altezza	H	=	19,15 m						
Peso per unita' di volume	γ	=	25 kN/m ³						
Peso strutturale	W_{pl, str}	=	0 kN						
Fodere									
Altezza	H	=	14 m						
Spessore	s	=	0,4 m						
Lunghezza	L	=	209 m						
Peso per unita' di volume	γ	=	25 kN/m ³						
Peso strutturale	W_{Fed, str}	=	29260 kN						



CITTA' DI TORINO

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

Stazione NOVARA - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione

MTL2T1A2DSTRSNOR001-0-1

Forze stabilizzanti - Attrito

Angolo di attrito terreno	ϕ	=	30 °
Angolo attrito muro-terreno	δ	=	15,08331 °
Peso per unita' di volume	γ	=	19,5 kN/m ³
Coefficiente di spinta a riposo	K_A	=	0,33
Tensione normale media	σ_N	=	58,62 kPa
Resistenza attrito per unita' lungh		=	560,06 kN/m
Lunghezza diaframmi	L	=	280 m
Forza stabilizzante attrito	F_{attr}	=	156817 kN

Forze instabilizzanti

Fondo scavo	FEL	=	27,25 m da p.c.
Profondita' paratie	H_{par}	=	37,3 m da p.c.
H falda breve termine	$H_{w,Breve}$	=	10,5 m da p.c.
H falda lungo termine	$H_{w,Lungo}$	=	7,5 m da p.c.
Area soletta di fondo	A_{sol}	=	1880 m ²
Area piede paratie	A_{par}	=	336 m ²
Spinta idraulica breve termine U breve		=	404780 kN
Incremento spinta a lungo teri ΔU lungo		=	66480 kN

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}	=	680429 kN
Forze instabilizzanti di progetto	V_{inst}	=	544978 kN
Fattore di sicurezza	FS	=	1,25 Verificato



9. Validazione dei modelli eseguiti

In accordo al "giudizio motivato di accettabilità dei risultati" al § 10.2.1 delle NTC 2018, 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:

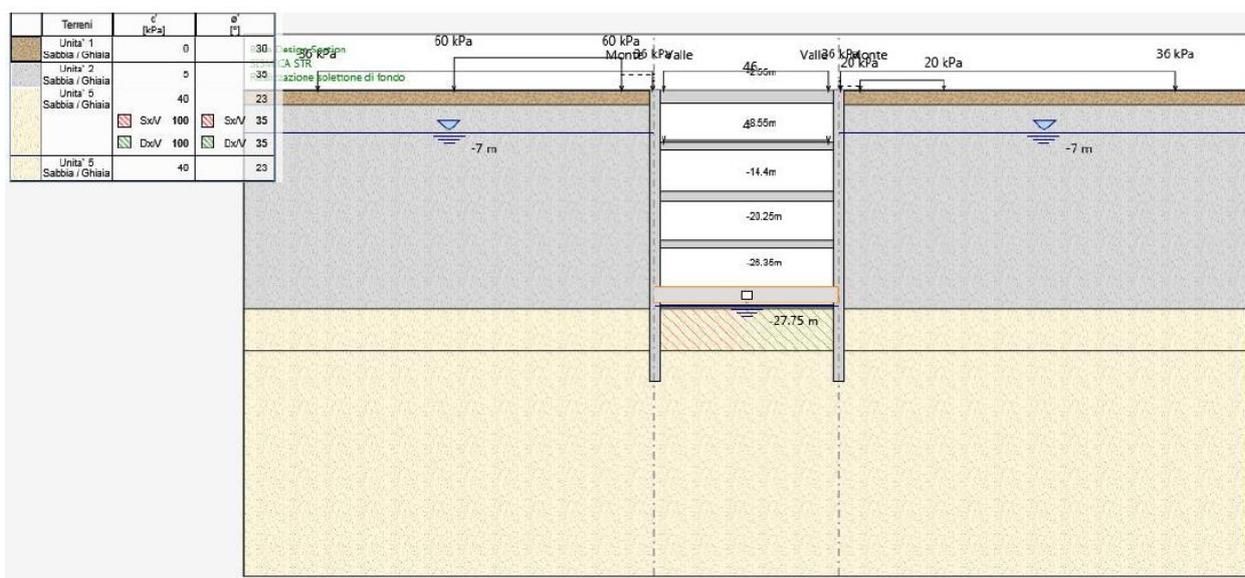


Figura 37. Modello numerico ParatiePlus

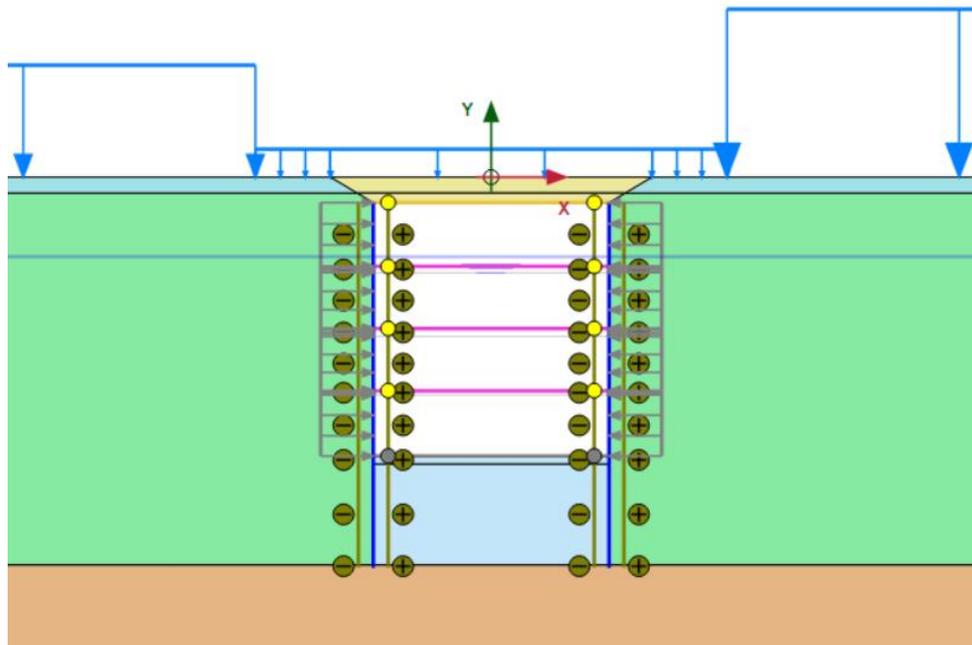


Figura 38. Modello numerico Plaxis

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

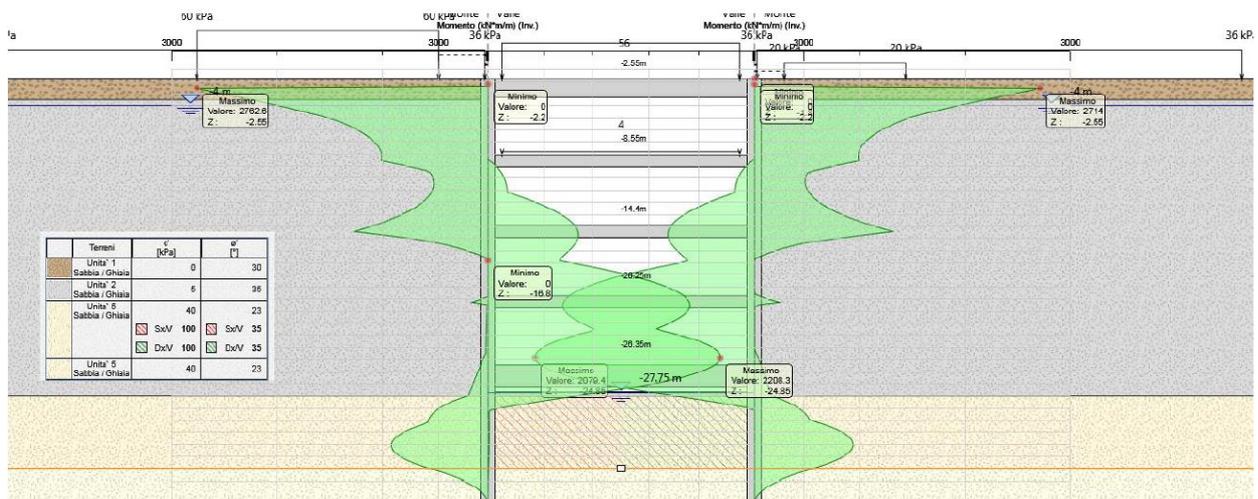


Figura 39. Involuppo momenti flettenti ParatiePlus

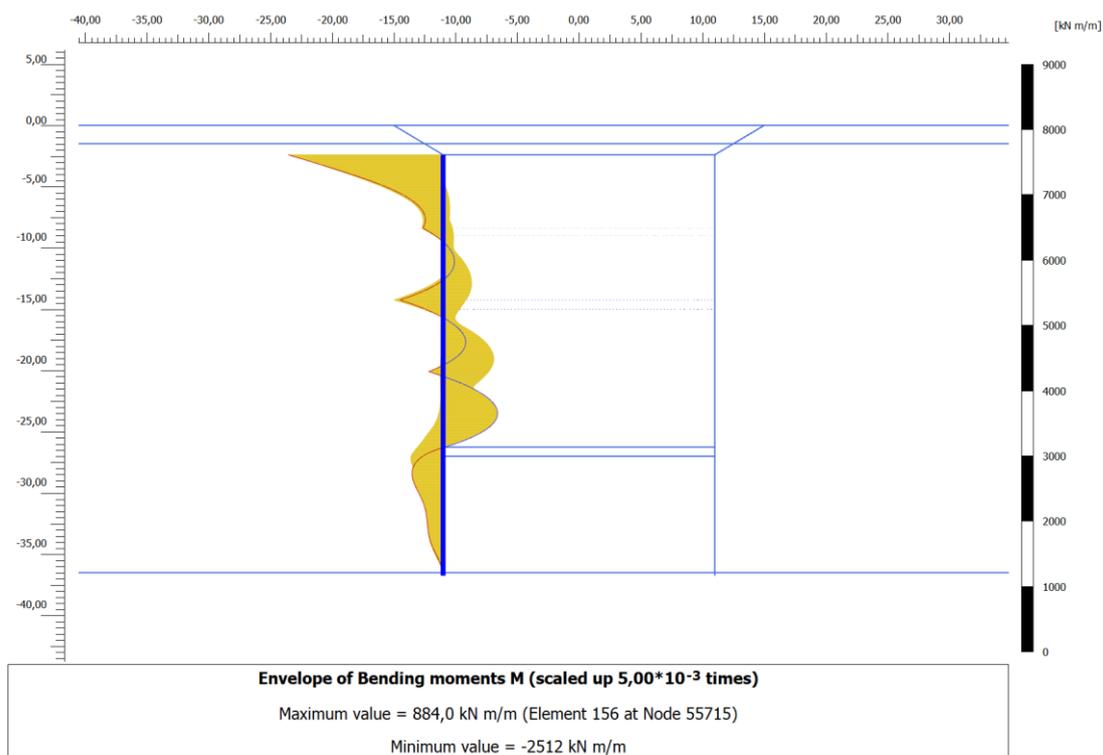


Figura 40. Inviluppo momenti flettenti Plaxis

Si riscontra come gli andamenti del momento flettente risultino molto simili, con le principali differenze localizzate in mezzeria al diaframma, 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.

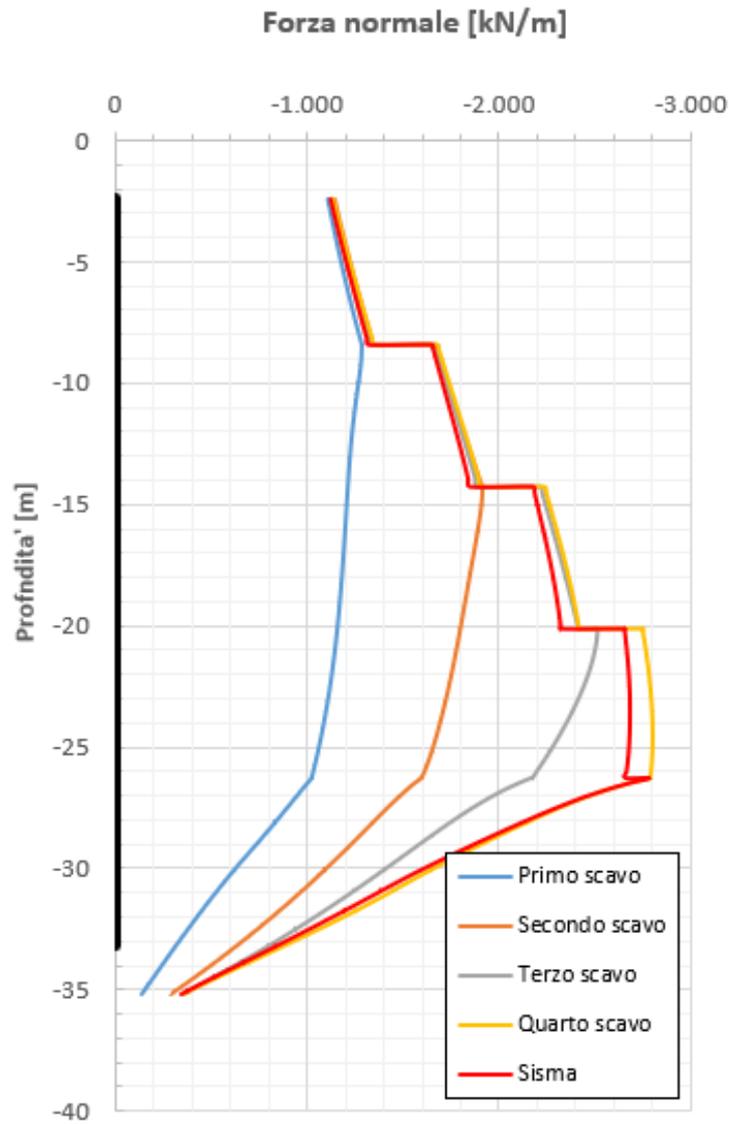
 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione NOVARA - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR001-0-1

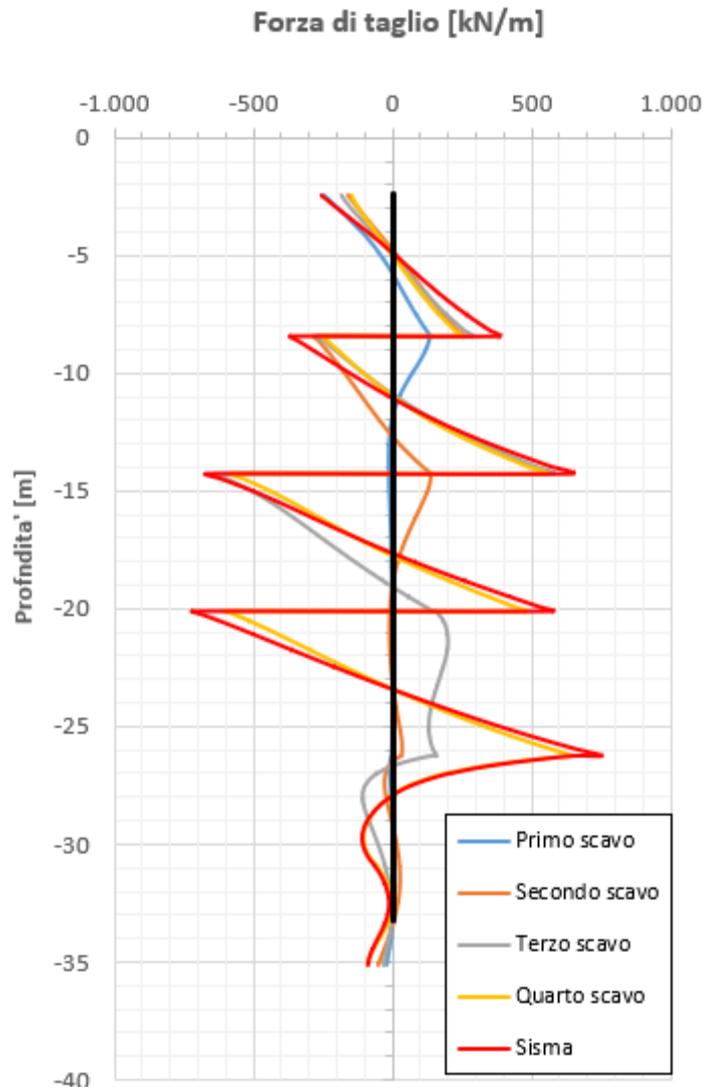
ALLEGATO N.1

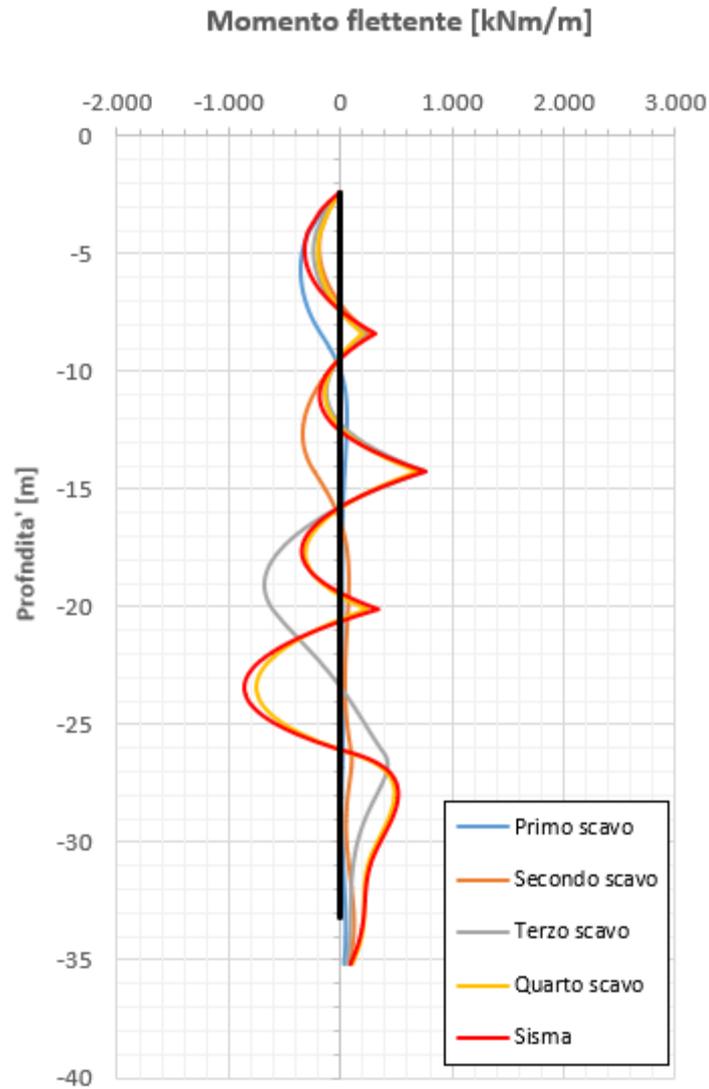
Sintesi dei risultati delle analisi numeriche

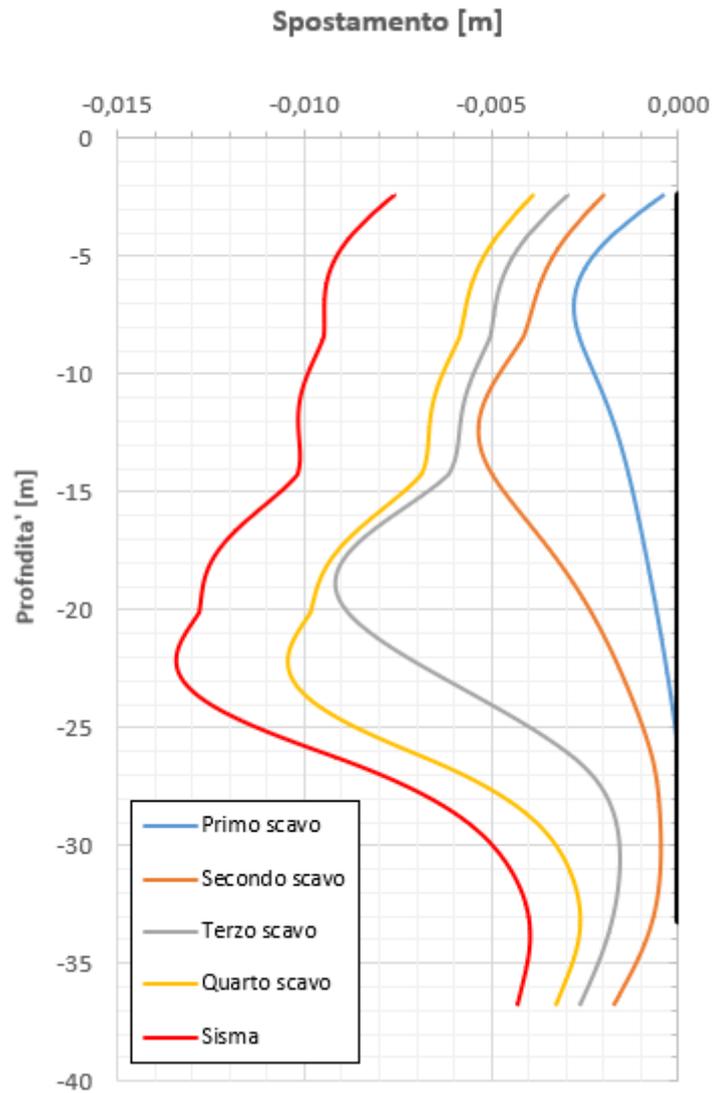


Sollecitazioni sezione A-A - Diaframma









 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione NOVARA - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR001-0-1

ALLEGATO N.2

Verifiche integrative del nodo di connessione soletta /diaframma



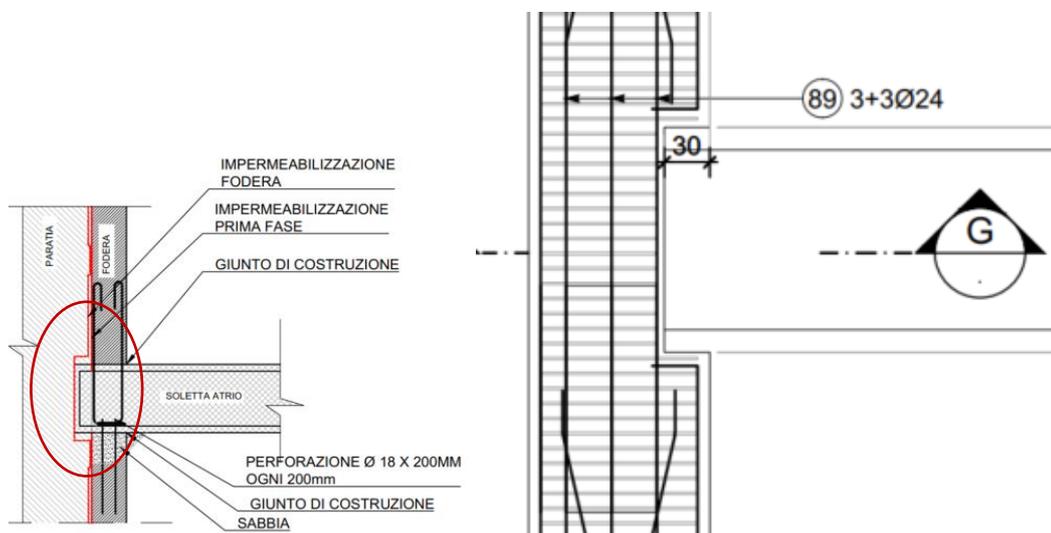
1. Verifica della connessione soletta-diaframma

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 120 cm a 90cm. 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 della 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.

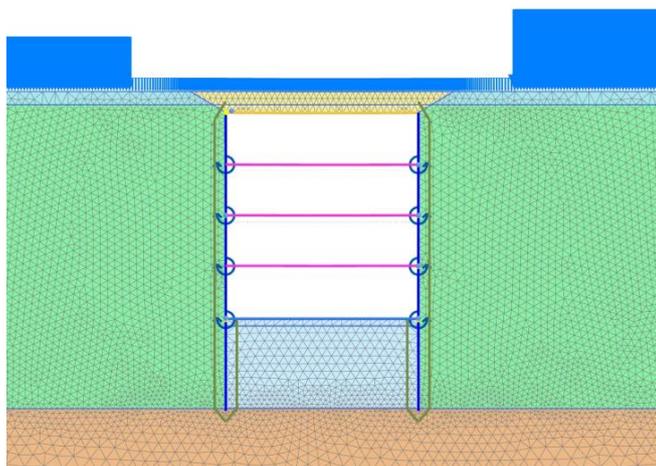


Figura 41. Modellazione dell'eccentricità tra soletta e diaframma

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.

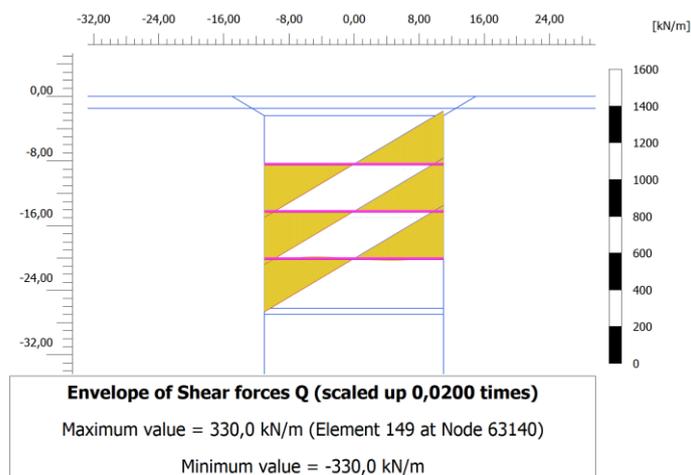


Figura 42. Valore di reazione vincolare di riferimento per il calcolo del momento flettente aggiuntivo

L'analisi è stata eseguita con riferimento alla fase più sfavorevole ovvero durante lo scavo delle stazioni in assenza delle fodere. Si è riscontrato che le variazioni in termini di sollecitazioni flettenti sono inferiori al 5% del valore dimensionante e pertanto trascurabili ai fini del progetto delle strutture.

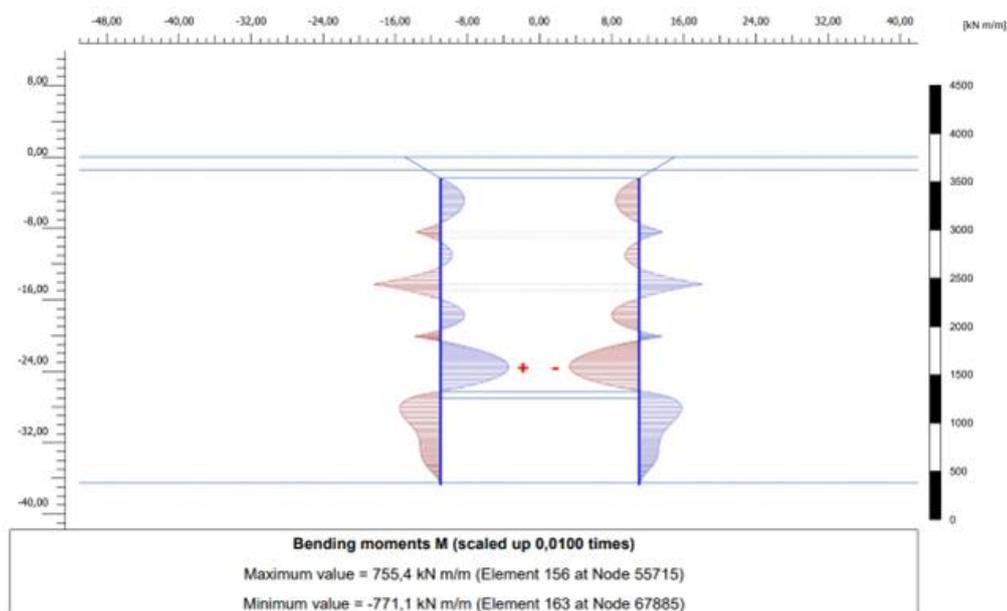


CITTA' DI TORINO

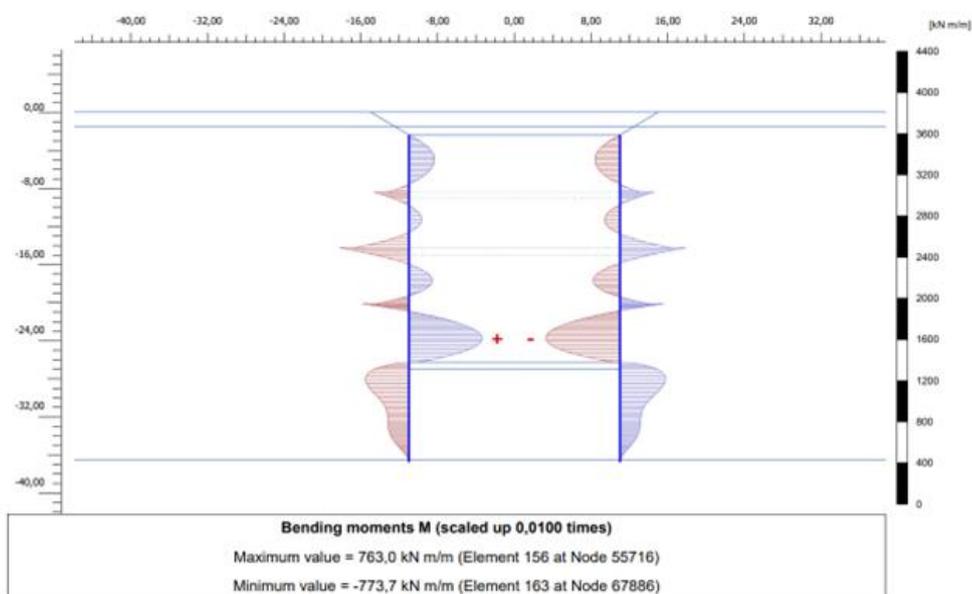
Metropolitana di Torino - Linea 2
Tratta: Politecnico-Rebaudengo
Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico

Stazione NOVARA - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione

MTL2T1A2DSTRSNOR001-0-1



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



Distribuzione dei momenti flettenti considerando l'eccentricità (fase finale di scavo – assenza di fodere)

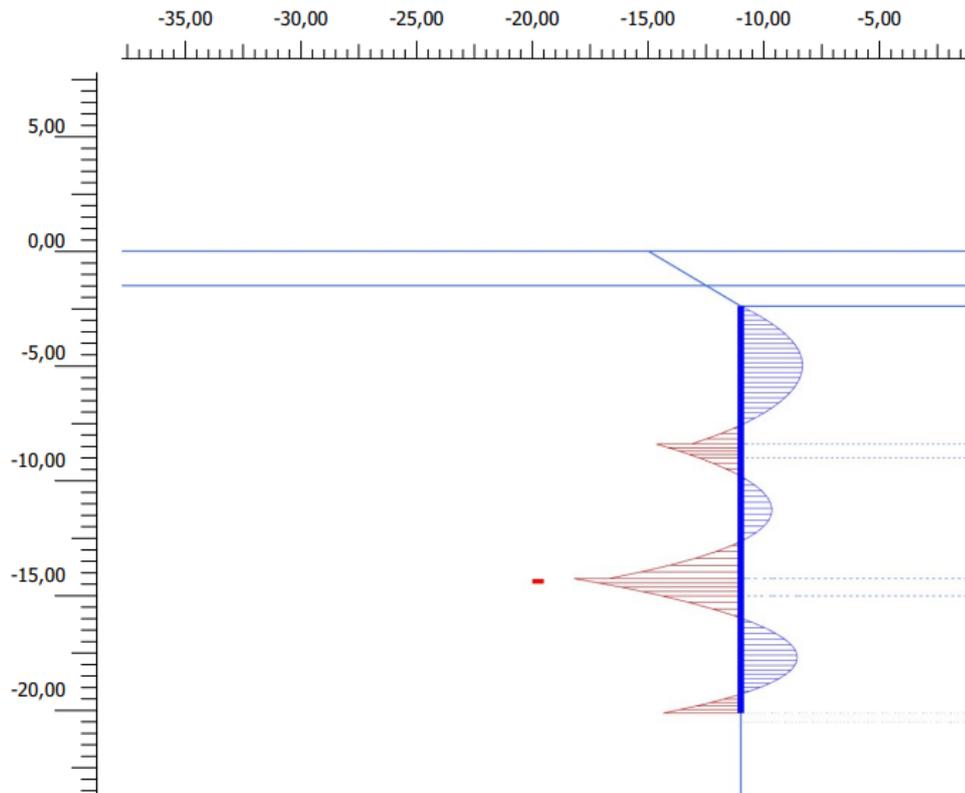


CITTA' DI TORINO

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

Stazione NOVARA - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione

MTL2T1A2DSTRSNOR001-0-1



Distribuzione dei momenti flettenti considerando l'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.

1.3.1 Sezione AA

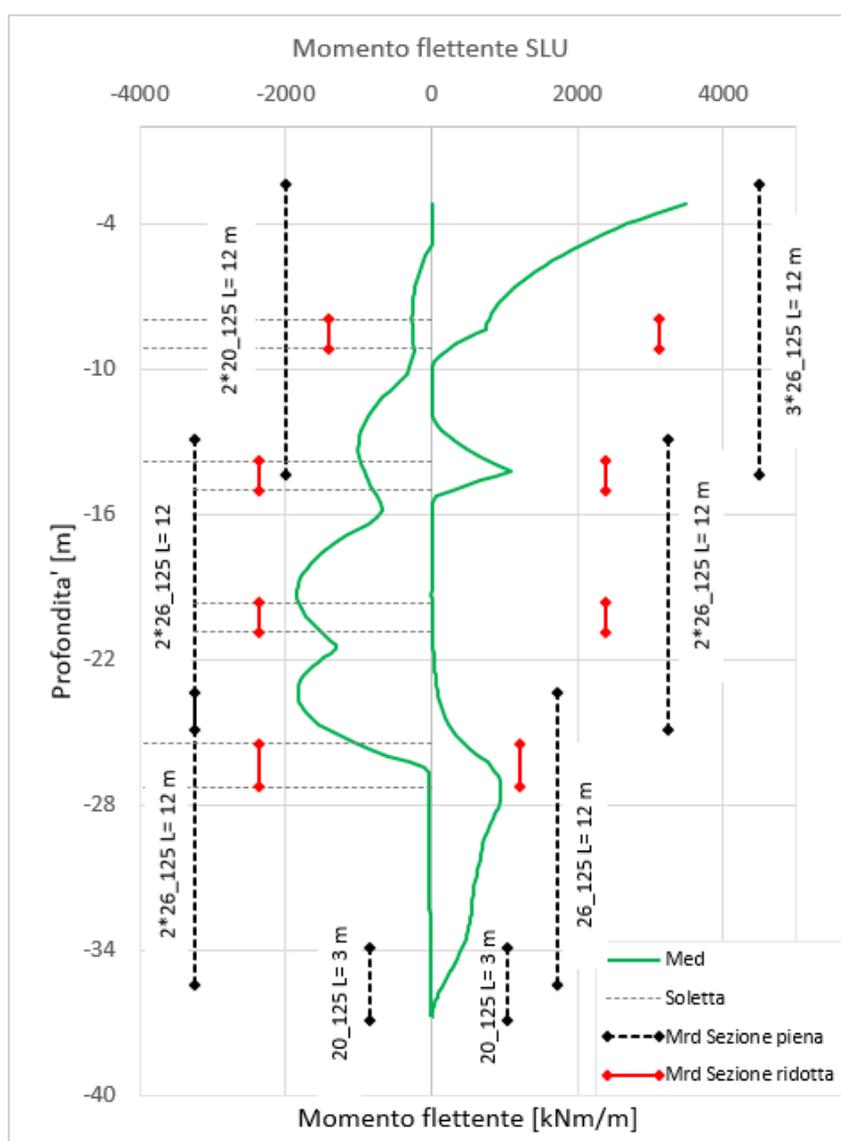


Figura 43. Diaframmi – SLU Diagramma delle sollecitazioni flettenti – Sezione AA ridotta

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

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione NOVARA - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR001-0-1

Tabella 33 Diaframmi – Verifica SLU flessione - Sezione AA ridotta -Piano Mezzanino

<i>Sezione di verifica SLU: Piani Mezzanino</i>	
Geometria sezione:	
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	900 [mm]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	1000 [mm]
Copriferro	75 [mm]
Altezza utile della sezione	775 [mm]
Armature	
Armatura tesa	
Diametro dei ferri correnti	26 [mm]
Numero dei ferri correnti	8 [-]
Diametro dei ferri correnti secondo strato	26 [mm]
Numero dei ferri correnti secondo strato	8 [-]
Diametro dei ferri correnti terzo strato	20 [-]
Numero dei ferri correnti terzo strato	8 [-]
Area dell'armatura tesa	11041 [mm ²]
Armatura compressa	
Diametro dei ferri correnti	26 [mm]
Numero dei ferri correnti	8 [-]
Diametro dei ferri correnti secondo strato	26 [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	8495 [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	
Momento sollecitante a SLU assunto in valore assoluto	3056,21 [kNm]
	1831,00 [kNm]
	Verificato

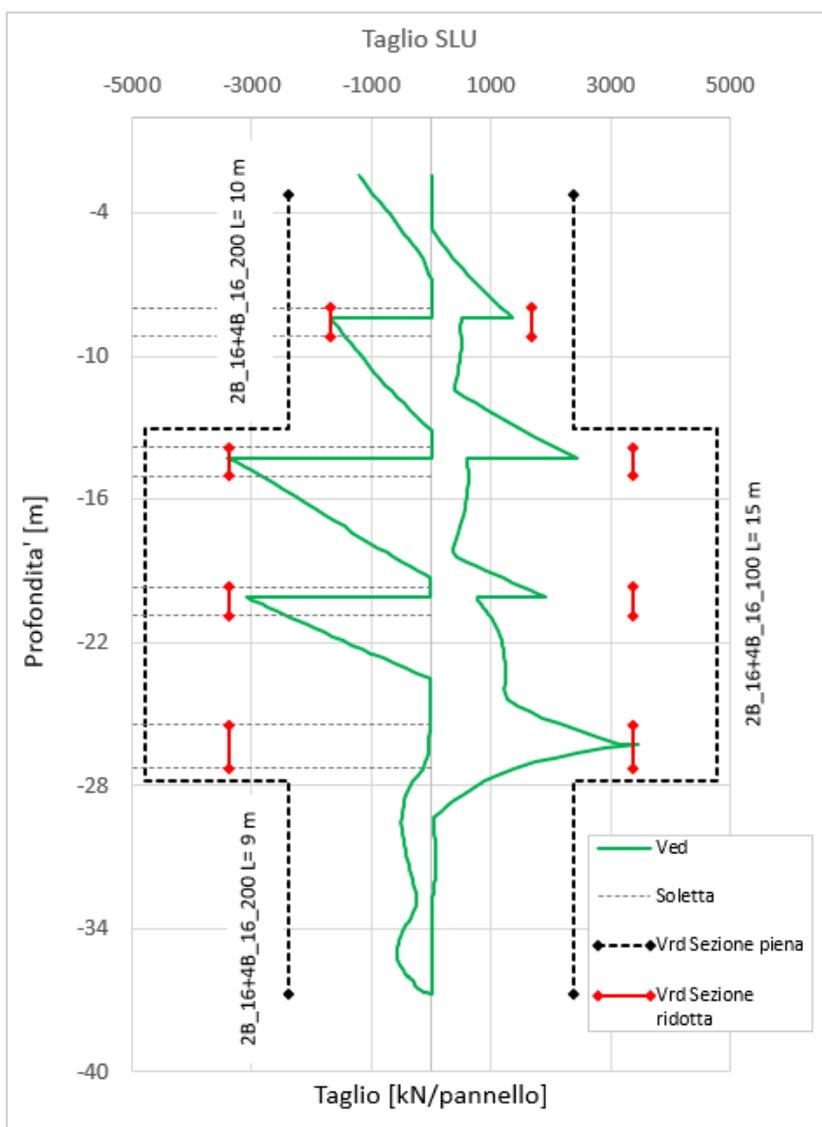


Figura 44. Diaframmi – SLU Diagramma delle sollecitazioni taglienti – Sezione AA ridotta

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.



CITTA' DI TORINO

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

Stazione NOVARA - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione

MTL2T1A2DSTRSNOR001-0-1

Tabella 34 Diaframmi – Verifica SLU Sollecitazioni taglianti – Sezione AA 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	900	mm
Base sezione	B	2800	mm
Barre longitudinali tese	ϕ_{sl}	26	mm
Diametro staffe	ϕ_{sw}	16	mm
Copriferro	c	75	mm
Altezza utile	d	796	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	100	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	716,4	mm
Resistenza offerta dall'armatura a taglio	V_{Rsd}	3380	kN
Resistenza offerta dai puntoni	V_{Rcd}	7104	kN
Resistenza a taglio della sezione armata trasversalmente	V_{Rd}	3380	kN
Taglio sollecitante SLU	V_{ed}	2135	kN
			Verificato



1.3.2 Sezione BB

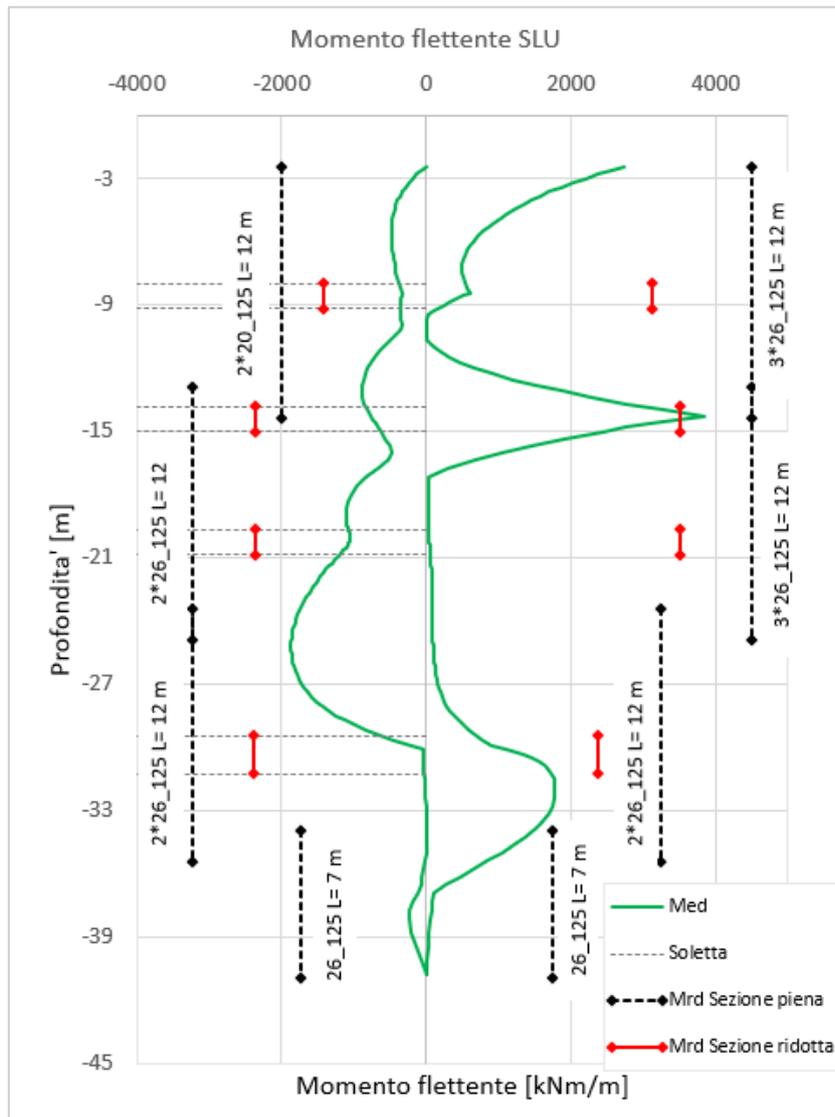


Figura 45. Diaframmi – SLU Diagramma delle sollecitazioni flettenti – Sezione BB ridotta

Considerando che dovuto alla modellazione si presentano dei picchi in corrispondenza dei nodi tra gli elementi strutturali, le sollecitazioni di momento possono essere prese in considerazione in corrispondenza della faccia dell'elemento strutturale; così facendo tutte le tasche del diaframma risultano verificate. Si riporta di seguito la verifica della zona più critica, che nel caso in esame è quella relativa al piano Mezzanino come si evince dal diagramma.

**Tabella 35 Diaframmi – Verifica SLU flessione - Sezione BB ridotta -Piano Mezzanino**

Sezione di verifica SLU: Piani Mezzanino		
Geometria sezione:		
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	900	[mm]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	1000	[mm]
Copriferro	75	[mm]
Altezza utile della sezione	775	[mm]
Armature		
Armatura tesa		
Diametro dei ferri correnti	26	[mm]
Numero dei ferri correnti	8	[-]
Diametro dei ferri correnti secondo strato	26	[mm]
Numero dei ferri correnti secondo strato	8	[-]
Diametro dei ferri correnti terzo strato	26	[-]
Numero dei ferri correnti terzo strato	8	[-]
Area dell'armatura tesa	12742	[mm ²]
Armatura compressa		
Diametro dei ferri correnti	26	[mm]
Numero dei ferri correnti	8	[-]
Diametro dei ferri correnti secondo strato	26	[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	8495	[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	3512,99	[kNm]
Momento sollecitante a SLU assunto in valore assoluto	2754,00	[kNm]
		Verificato

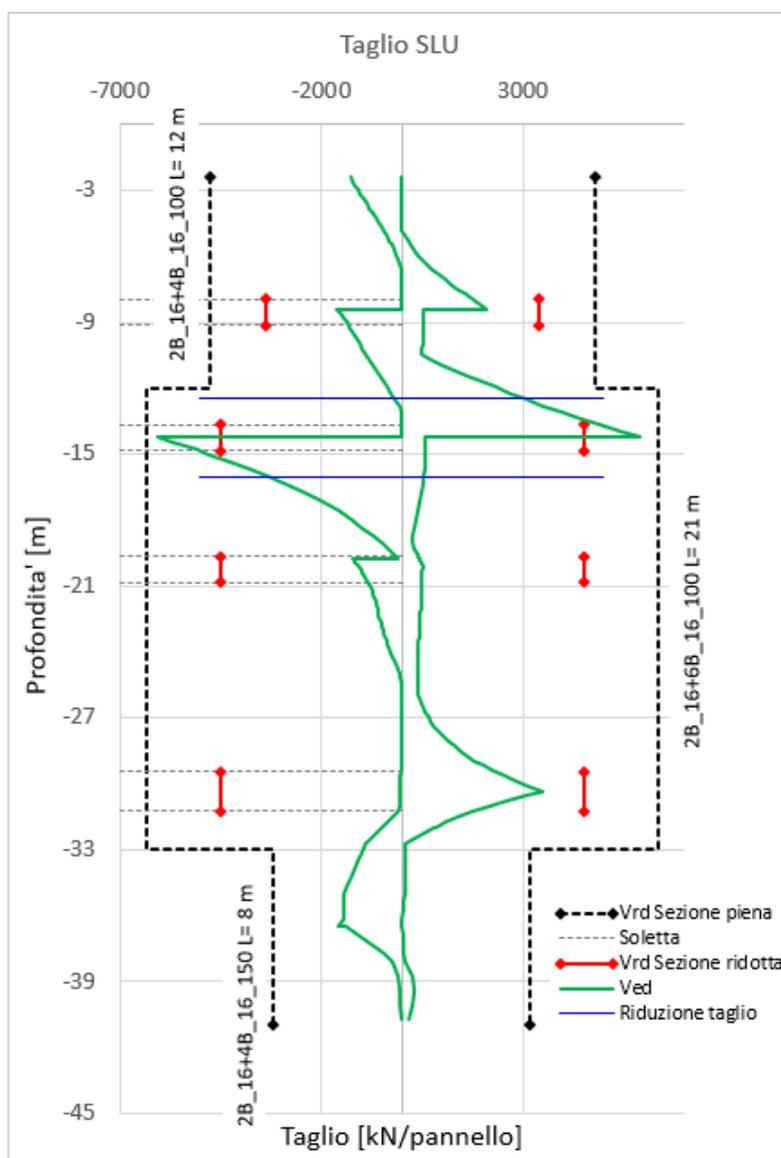


Figura 46. Diaframmi – SLU Diagramma delle sollecitazioni taglianti – Sezione BB ridotta

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



CITTA' DI TORINO

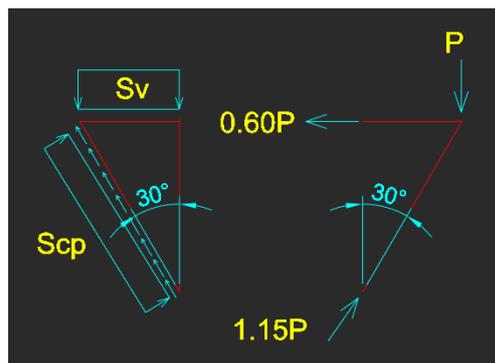
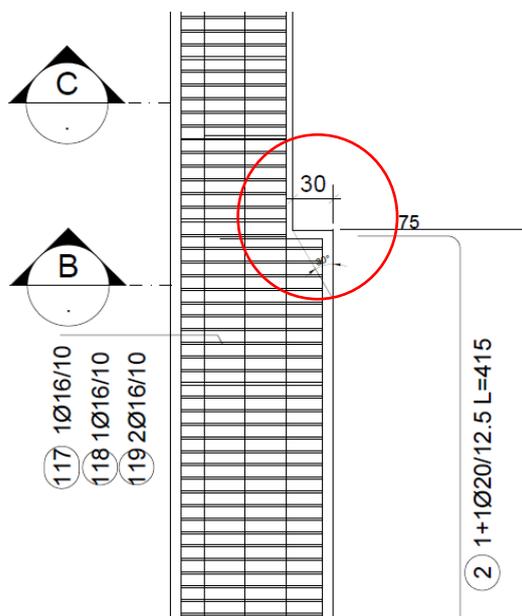
Metropolitana di Torino - Linea 2
Tratta: Politecnico-Rebaudengo
Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico

Stazione NOVARA - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione

MTL2T1A2DSTRSNOR001-0-1

Tabella 36 Diaframmi – Verifica SLU Sollecitazioni taglianti - Sezione BB ridotta -Piano Mezzanino

Verifica elementi a taglio			
<i>Pannello diaframma 2800 x 1200 mm - ϕ16 2 braccia + ϕ16 6 braccia passo 100 mm</i>			
Geometria			
Altezza sezione	H	900	mm
Base sezione	B	2800	mm
Barre longitudinali tese	ϕ_{sl}	26	mm
Diametro staffe	ϕ_{sw}	16	mm
Copriferro	c	75	mm
Altezza utile	d	796	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}	6	
Passo staffe	s	100	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}	1607,68	mm ²
Braccio coppia interna	z	716,4	mm
Resistenza offerta dall'armatura a taglio	V_{Rsd}	4507	kN
Resistenza offerta dai puntoni	V_{Rcd}	7104	kN
Resistenza a taglio della sezione armata trasversalmente	V_{Rd}	4507	kN
Taglio sollecitante SLU	V_{ed}	3329	kN
			Verificato



- 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 $V_{Rd} = \max \left[\left[0,18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \cdot \sigma_{cp} \right] b_w \cdot d; (v_{\min} + 0,15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d \right]$ [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}				

V_{Rd,c} = 383 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)

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione NOVARA - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR001-0-1

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

numero di barre = 21 numero di strati = 2 Totale barre = 2x21 = 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.

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

$$V_{Rd,s} = N_{ef} A_s f_{yd} = 21 \times 314 \times 390 / 1000 = 2570 \text{ kN}$$

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

Numero di barre = 6 Numero di strati = 3 Totale barre = 3x6 = 18

Diametro barra = 16mm

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

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

$$V_{Rd,s} = N_{ef} A_s f_{yd} = 12 \times 201 \times 390 / 1000 = 940 \text{ kN}$$

iii) Contributo dei rinforzi (per unità di larghezza)

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

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

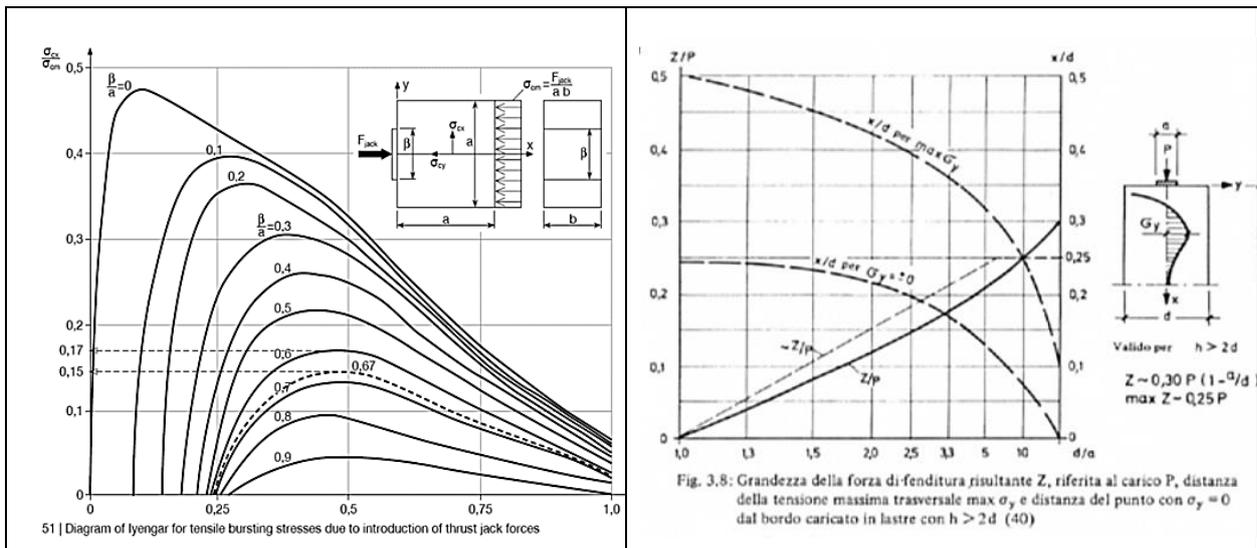
$$A_s = 8\phi 20 = 8 \times 3.14 \text{ cm}^2 = 25.12 \text{ cm}^2$$

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

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 è pertanto soddisfatta

1.5 Verifica delle pressioni di contatto sulle impermeabilizzazioni

Pressione di contatto media:

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

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



CITTA' DI TORINO

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

Stazione NOVARA - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione

MTL2T1A2DSTRSNOR001-0-1

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)