

**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 MOLE/GIARDINI REALI RELAZIONE DI CALCOLO OPERE DI SOSTEGNO STAZIONE													
BIM MANAGER Geom. L. D'Accardi		ELABORATO								REV.		SCALA	DATA		
		MT	L2	T1	A2	D	STR	SMO	R	001	Int.	Est.	-	30/09/2022	

AGGIORNAMENTI

Fg. 1 di 1

REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	CONTROLLATO	APPROVATO	VISTO
0	EMISSIONE	18/01/22	VFI	ECA	FRI	RCR
1	EMISSIONE 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>9.2.3</td> <td>1</td> <td>MTL2T1A2D</td> <td>STRSMOR001</td> </tr> </table>	LOTTO 2	CARTELLA	9.2.3	1	MTL2T1A2D	STRSMOR001	<p align="center">STAZIONE APPALTANTE</p> <p align="center">DIRETTORE DI DIVISIONE INFRASTRUTTURE E MOBILITÀ Ing. R. Bertasio</p> <p align="center">RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO Ing. A. Strozziro</p>
LOTTO 2	CARTELLA	9.2.3	1	MTL2T1A2D	STRSMOR001		

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Mole/Giardini Reali - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSMOR001-0-1

INDICE

1.	PREMESSA	5
1.1	SCOPO E CAMPO DI APPLICAZIONE	6
1.2	DESCRIZIONE DELLE OPERE	6
2.	NORMATIVE DI RIFERIMENTO	8
3.	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	11
3.1	CALCESTRUZZI	11
3.1.1	CALCESTRUZZO UTILIZZATO PER I SOLAI DI STAZIONE E STRUTTURE INTERNE	11
3.1.2	CALCESTRUZZO UTILIZZATO PER DIAFRAMMI	11
3.2	ACCIAI PER ARMATURE IN C.A.	11
3.3	ACCIAIO PER CARPENTERIA METALLICA	12
4.	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	13
5.	PRINCIPALI ASSUNZIONI DELLA PROGETTAZIONE	15
5.1	CARATTERIZZAZIONE SISMICA	15
5.2	COMBINAZIONI DI CARICO	16
5.3	CRITERI DELLA MODELLAZIONE NUMERICA	18
5.3.1	GEOMETRIA DEL MODELLO NUMERICO	18
5.3.2	ELEMENTI STRUTTURALI	19
5.3.3	CARICHI	21
5.3.3.1	Carichi superficiali	21
5.3.3.2	Azione sismica	22
6.	ANALISI NUMERICHE	26
6.1	FASI DI CALCOLO MODELLO GEOTECNICO	27
6.2	OUTPUT	40
6.2.1	SEZIONE AA - CERNIERA - SOLLECITAZIONI PARATIA	40
6.2.2	SEZIONE AA - CERNIERA - SPOSTAMENTI PARATIA	42
6.2.3	SEZIONE AA - INCASTRO - SOLLECITAZIONI PARATIA	43
6.2.4	SEZIONE AA - INCASTRO - SPOSTAMENTI PARATIA	45
6.2.5	SEZIONE BB – CERNIERA - SOLLECITAZIONI PARATIA	46
6.2.6	SEZIONE BB – CERNIERA – SPOSTAMENTI PARATIA	48
6.2.7	SEZIONE BB – INCASTRO - SOLLECITAZIONI PARATIA	49
6.2.8	SEZIONE BB – INCASTRO – SPOSTAMENTI PARATIA	51

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Mole/Giardini Reali - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSMOR001-0-1

7.	VERIFICHE STRUTTURALI	52
7.1	VERIFICHE DELLE SOLLECITAZIONI FLETTENTI SLU	52
7.1.1	SEZIONE AA	54
7.1.2	SEZIONE BB	57
7.2	VERIFICA DELLE SOLLECITAZIONI TAGLIANTI SLU	60
7.2.1	SEZIONE AA	61
7.2.2	SEZIONE BB	63
7.3	VERIFICHE A FESSURAZIONE SLE	65
7.3.1	SEZIONE AA	66
7.3.2	SEZIONE BB	68
7.4	VERIFICA DI DEFORMABILITÀ A LUNGO TERMINE	70
8.	VERIFICHE GEOTECNICHE	71
8.1	VERIFICA CAPACITÀ PORTANTE PARATIA	71
8.2	VERIFICA DEL FONDO SCAVO	72
8.3	VERIFICA CAPACITÀ PORTANTE DELLA SOLETTA DI FONDO	74
8.4	VERIFICHE DI STABILITÀ A BREVE E LUNGO TERMINE	75
8.5	VERIFICA A GALLEGGIAMENTO A LUNGO TERMINE	81
9.	VALIDAZIONE DEI MODELLI ESEGUITI	83
ALLEGATO N.1		86
ALLEGATO N.2		103

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1.	Key-plan della linea 2 – tratta funzionale Politecnico-Rebaudengo	5
Figura 2.	Modello 3d – Stazione Mole/Giardini Reali	6
Figura 3.	Stralcio stratigrafia stazione Mole/Giardini Reali	13
Figura 4.	Sezione di calcolo	19
Figura 5.	Sezione di calcolo BB - Puntonatura	21
Figura 6.	Modello strutturale sistema di puntonatura	21
Figura 7.	Schematizzazione metodo di Wood	22
Figura 8.	Stralcio planimetria stazione Mole/Giardini Reali con indicazione della sezione di calcolo AA e BB	26

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Mole/Giardini Reali - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSMOR001-0-1

Figura 9.	Fasi di calcolo modello geotecnico – Sezione AA	32
Figura 10.	Fasi di calcolo modello geotecnico – Sezione BB	39
Figura 11.	Sezione AA Diaframma – Cerniera - SLE Momento flettente – Inviluppo	40
Figura 12.	Sezione AA Diaframma – Cerniera - SLE Diagramma taglio – Inviluppo	41
Figura 13.	Sezione AA Diaframma – Cerniera - SLE Diagramma degli spostamenti orizzontali	42
Figura 14.	Sezione AA Diaframma – Incastro - SLE Momento flettente – Inviluppo	43
Figura 15.	Sezione AA Diaframma – Incastro - SLE Diagramma taglio – Inviluppo	44
Figura 16.	Sezione AA Diaframma – Incastro - SLE Diagramma degli spostamenti orizzontali	45
Figura 17.	Sezione BB Diaframma – Cerniera - SLE Momento flettente – Inviluppo	46
Figura 18.	Sezione BB Diaframma – Cerniera - SLE Taglio – Inviluppo	47
Figura 19.	Sezione BB Diaframma – Cerniera - SLE Diagramma degli spostamenti orizzontali	48
Figura 20.	Sezione BB Diaframma – Incastro - SLE Momento flettente – Inviluppo	49
Figura 21.	Sezione BB Diaframma – Incastro - SLE Taglio – Inviluppo	50
Figura 22.	Sezione BB Diaframma – Incastro – Spostamenti orizzontali	51
Figura 23.	Diaframmi - SLU Diagramma delle sollecitazioni flettenti – Sezione AA	54
Figura 24.	Diaframmi - SLU Diagramma delle sollecitazioni flettenti – Sezione BB	57
Figura 25.	Diaframma - SLU Diagramma delle sollecitazioni taglianti – Sezione AA	61
Figura 26.	Diaframma - SLU Diagramma delle sollecitazioni taglianti – Sezione BB	63
Figura 27.	Spostamenti orizzontali a lungo termine	70
Figura 28.	Meccanismo deformativo a fondo scavo in assenza di cross walls	72
Figura 29.	Fattore di sicurezza a breve termine in assenza di cross walls	73
Figura 30.	Zone di plasticizzazione	74
Figura 31.	Fattore di sicurezza – Breve termine	75
Figura 32.	Rapporto tra tensione tangenziale massima e tensione tangenziale mobilitata	76
Figura 33.	Fattore di sicurezza a lungo termine	77
Figura 34.	Rapporto tra tensione tangenziale massima e tensione tangenziale mobilitata	78
Figura 35.	Confronto tensione limite attive e passive con tensioni orizzontali Plaxis	80
Figura 36.	Modello numerico ParatiePlus	83
Figura 37.	Modello numerico Plaxis	84
Figura 38.	Inviluppo momenti flettenti ParatiePlus	84
Figura 39.	Inviluppo momenti flettenti Plaxis	85
Figura 40.	Andamento delle sollecitazioni e degli spostamenti orizzontali – Cerniera	90
Figura 41.	Andamento delle sollecitazioni e degli spostamenti orizzontali – Incastro	94
Figura 42.	Modellazione dell'eccentricità tra soletta e diaframma	105
Figura 43.	Valore di reazione vincolare di riferimento per il calcolo del momento flettente aggiuntivo	105
Figura 44.	Diaframmi – SLU Diagramma delle sollecitazioni flettenti – Sezione AA ridotta	108
Figura 45.	Diaframmi – SLU Diagramma delle sollecitazioni taglianti – Sezione AA ridotta	110
Figura 46.	Diaframmi – SLU Diagramma delle sollecitazioni flettenti – Sezione BB ridotta	112
Figura 47.	Diaframmi – SLU Diagramma delle sollecitazioni taglianti – Sezione BB ridotta	114

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Mole/Giardini Reali - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSMOR001-0-1

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 Parametri geotecnici	14
Tabella 2 Livelli di falda	14
Tabella 3 Probabilità di superamento PVR con SLV	15
Tabella 4 Parametri sismici del sito	16
Tabella 5 Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni (Tab. 6.2.I)	17
Tabella 6 Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno (Tab. 6.2.II)	17
Tabella 7 Coefficienti parziali per le verifiche agli stati limite ultimi STR e GEO di muri di sostegno (Tab. 6.5.I)	17
Tabella 8 Parametri input elementi strutturali	20
Tabella 9 Carichi superficiali	22
Tabella 10 Parametri input azione sismica	24
Tabella 11 Parametri input azione sismica	25
Tabella 12 Fasi di calcolo – Sezione AA	27
Tabella 13 Fasi di calcolo – Sezione BB	33
Tabella 14 Sollecitazioni paratia Sezione AA - Cerniera	42
Tabella 15 Sollecitazioni paratia Sezione A-A - Incastro	45
Tabella 16 Sollecitazioni paratia Sezione BB - Cerniera	48
Tabella 17 Sollecitazioni paratia Sezione B-B - Incastro	51
Tabella 18 Armature longitudinali paratia sezione AA	52
Tabella 19 Armature longitudinali paratia sezione BB	53
Tabella 20 Diaframmi - Verifica SLU flessione Sezione A1	55
Tabella 21 Diaframmi - Verifica SLU flessione Sezione A2	56
Tabella 22 Diaframmi - Verifica SLU flessione Sezione B1	58
Tabella 23 Diaframmi - Verifica SLU flessione Sezione B2	59
Tabella 24 Diaframma - Verifica SLU – Taglio – Sezione A	62
Tabella 25 Diaframma - Verifica SLU – Taglio – Sezione B	64
Tabella 26 Diaframmi - Verifica SLE –Sezione A1	66
Tabella 27 Diaframmi - Verifica SLE –Sezione A2	67
Tabella 28 Diaframmi - Verifica SLE –Sezione B1	68
Tabella 29 Diaframmi - Verifica SLE –Sezione B2	69
Tabella 30 Verifica capacità portante paratia	71
Tabella 31 Diaframmi – Verifica SLU flessione - Sezione AA ridotta -Piano Banchina	109
Tabella 32 Diaframmi – Verifica SLU Sollecitazioni taglianti – Sezione AA ridotta	111
Tabella 33 Diaframmi – Verifica SLU flessione - Sezione BB ridotta -Piano Banchina	113
Tabella 34 Diaframmi – Verifica SLU Sollecitazioni taglianti - Sezione BB ridotta -Piano sottobanchina	115

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Mole/Giardini Reali - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSMOR001-0-1

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 Mole/Giardini Reali.

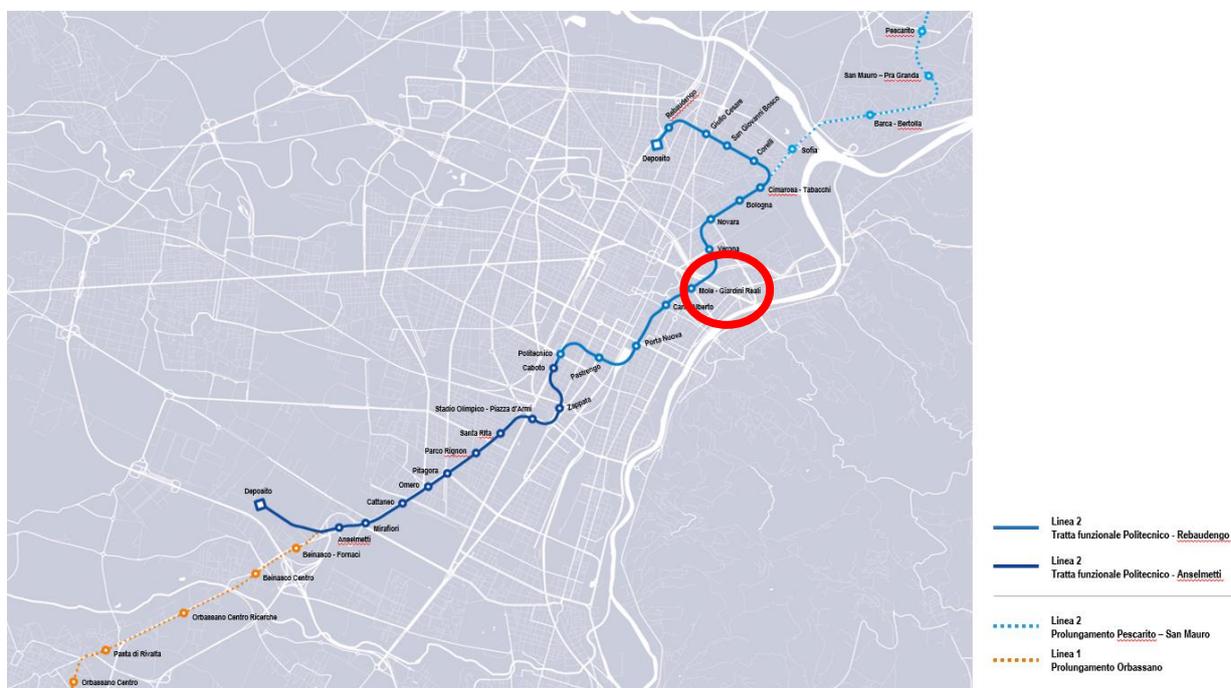


Figura 1. Key-plan della linea 2 – tratta funzionale Politecnico-Rebaudengo

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Mole/Giardini Reali - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSMOR001-0-1

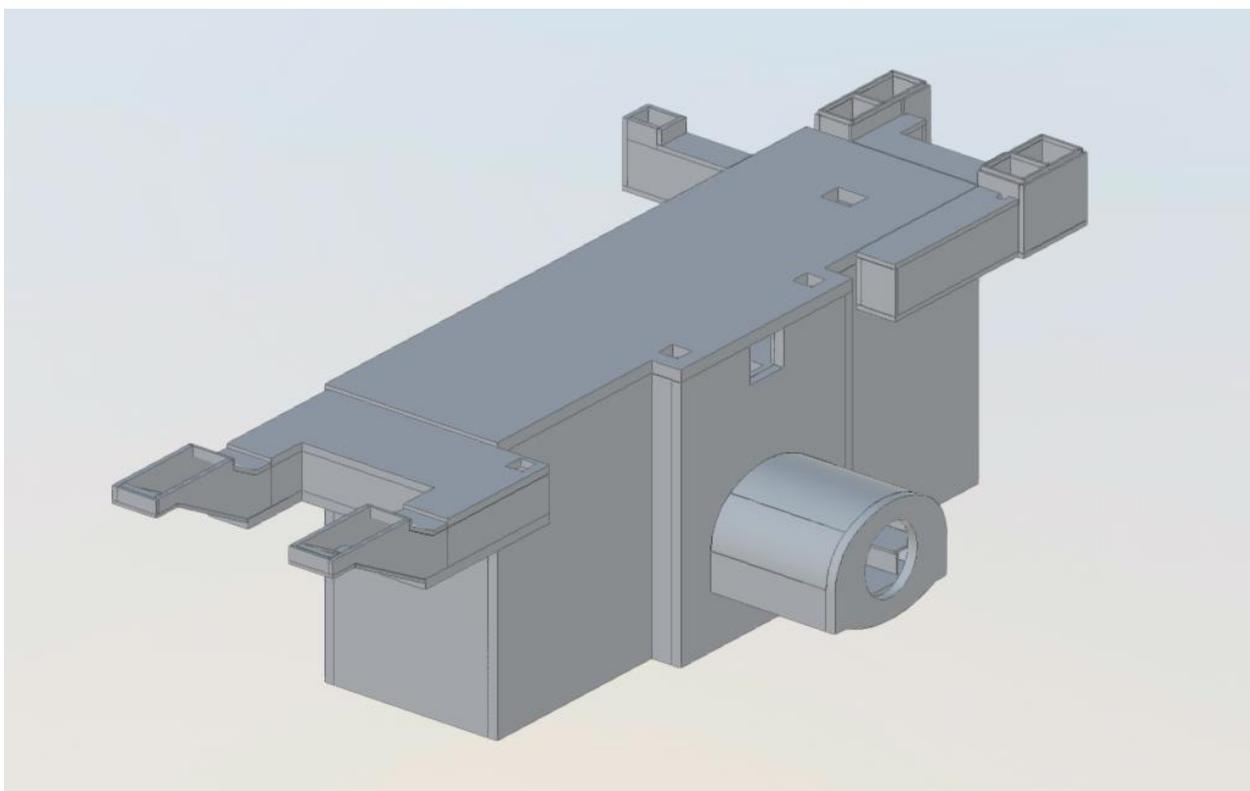


Figura 2. Modello 3d – Stazione Mole/Giardini Reali

1.1 Scopo e campo di applicazione

In questa relazione vengono dimensionati soltanto i diaframmi e le strutture di sostegno temporanee; infatti, sebbene inserite nei modelli di calcolo, le verifiche relative alle solette di copertura, intermedia vengono riportate nella relazione relativa alle strutture interne (MTL2T1A2DSTRSMOR002) in quanto i carichi dimensionanti per tali strutture sono quelli a lungo termine.

1.2 Descrizione delle opere

La stazione Mole/Giardini Reali 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 9.0 m. I diaframmi perimetrali laterali sono collegati mediante dei setti trasversali in calcetruzzo non armato (cross-walls) posti con la finalità di aumentare la stabilità in fase costruttiva e limitare le deformazioni indotte dagli scavi.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Mole/Giardini Reali - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSMOR001-0-1

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

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

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Mole/Giardini Reali - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSMOR001-0-1

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"

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Mole/Giardini Reali - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSMOR001-0-1

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

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

Eurocode 0 - Basis of structural design

- EN 1990 Basis of structural design.

Eurocode 1 - Actions on structures

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

Eurocode 2 - Design of concrete structures

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

Eurocode 3 - Design of steel structures

- EN 1993-1-1 Part 1-1: General rules and rules for Buildings
- EN 1993-1-2 Part 1-2: General rules Structural fire design
- EN 1993-1-3 Part 1-3: General rules – Supplementary rules for cold-formed members and sheeting
- EN 1993-1-4 Part 1-4: General rules – Supplementary rules for stainless steels
- EN 1993-1-5 Part 1-5: Plated structural elements
- EN 1993-1-6 Part 1-6: Strength and Stability of Shell Structures
- EN 1993-1-7 Part 1-7: Plated structures subject to out of plane loading
- EN 1993-1-8 Part 1-8: Design of joints
- EN 1993-1-9 Part 1-9: Fatigue
- EN 1993-1-10 Part 1-10: Material Toughness and through-thickness

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Mole/Giardini Reali - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSMOR001-0-1

properties

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

Eurocode 4 - Design of composite steel and concrete structures

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

Eurocode 7 - Geotechnical design

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

Eurocode 8 – Design of structures for earthquake resistance

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

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Mole/Giardini Reali - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSMOR001-0-1

3. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

3.1 Calcestruzzi

3.1.1 Calcestruzzo utilizzato per i solai di stazione e strutture interne

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

3.1.2 Calcestruzzo utilizzato per diaframmi

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

3.2 Acciai per armature in c.a.

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

$$f_{ynom}=450 \text{ MPa}$$

$$f_{tnom} = 540 \text{ MPa}$$

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Mole/Giardini Reali - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSMOR001-0-1

$$f_{yk} \geq f_{ynom} \text{ frattile } 5\%$$

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

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

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

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

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 Mole Giardini Reali, come si evince dalla sezione stratigrafica riportata nel seguito, è interessato da una coltre di circa 3.5 m di terreno superficiale, denominato Unità 1, seguito da uno strato di materiale ghiaioso sabbioso, denominato Unità 2, fino ad una profondità di 25.0 m dal p.c. I diaframmi verranno immorsati nelle marne di S. Agata, argille limose molto compatte denominate Unità 7. Di conseguenza non sono previsti interventi di impermeabilizzazione a fondo scavo.

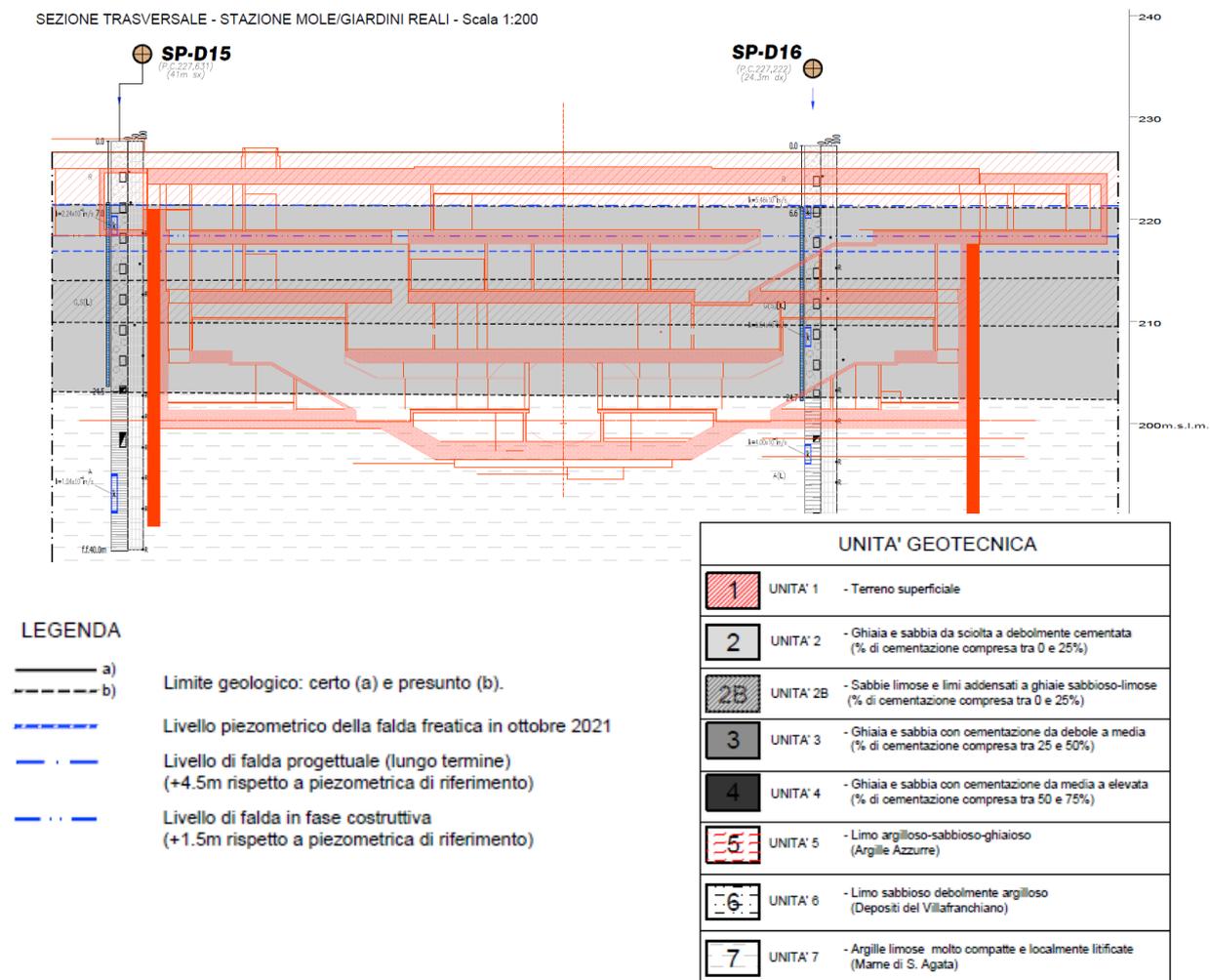


Figura 3. Stralcio stratigrafia stazione Mole/Giardini Reali

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Mole/Giardini Reali - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSMOR001-0-1

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 -3,5	19	29	0	15	0,3
U2 (Ghiaie e sabbie)	-3,5 a -28	19	36	10	150	0,3
U7 (Argille limose)	>-28	20	28	25	150	0,35

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 MTL2T1A0DGEOSMOT001-0-0. Il livello di falda considerato nelle analisi è quello specificato di seguito:

Tabella 2 Livelli di falda

	m da p.c.	m.s.l.m
Livello piezometrico da MTL2T1A0DGEOSMOT001	-10	+216.58
Livello piezometrico di riferimento indagini 2018	-8.5	+218.08
B T (+1.5 da livello piezometrico di riferimento) - Fase costruttiva	-7.0	+219.58
L T (+3 da breve termine) - Ultimo stage	-4.0	+222.58

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

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Mole/Giardini Reali - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSMOR001-0-1

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 3 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 Mole/Giardini Reali - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSMOR001-0-1

Tabella 4 Parametri sismici del sito

Stazione	ag	F0	T*c
	[g]	-	[sec]
MOLE/GIARDINI REALI	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 piane è considerato pari a **1**.
- *Coefficiente stratigrafico* (S_S): Per sottosuolo di categoria C è considerato pari a **1.3**.

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

$$a_{max} / g = S_S \cdot S_T \cdot a_g / g = 1.3 \cdot 1 \cdot 0.067 = 0.0871$$

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 Mole/Giardini Reali - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSMOR001-0-1

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

Tabella 5 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_{Q1}	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 6 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
Coazione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{c_u}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ_γ	γ_γ	1,0	1,0

Tabella 7 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 Mole/Giardini Reali - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSMOR001-0-1

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";
- per puntoni temporanei: elementi "Fixed End Anchor"

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 definisce la geometria della sezione considerata sia delle strutture che delle unità geotecniche considerate.

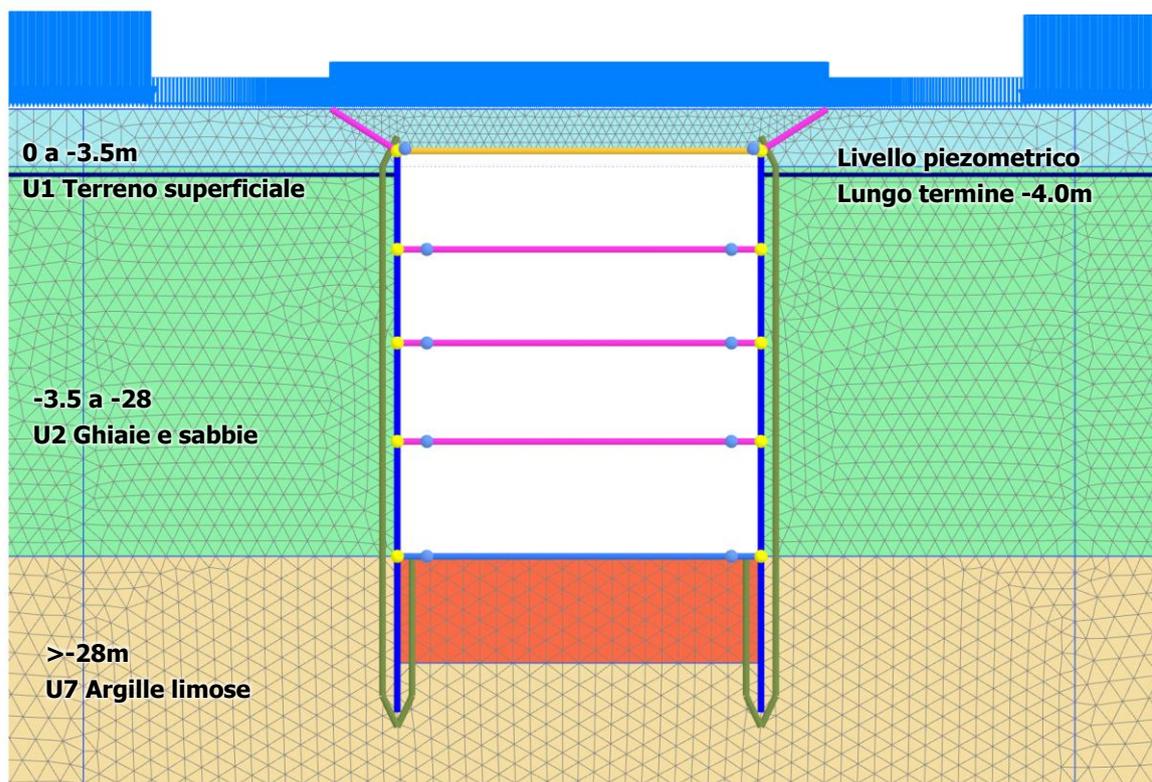


Figura 4. Sezione di calcolo

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 plate 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 Mole/Giardini Reali - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSMOR001-0-1

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

Tabella 8 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

<i>Puntoni temporanei d=813 mm t=25 mm</i>		
EA	9.9E+5	kN/m
i	5.6	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.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Mole/Giardini Reali - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSMOR001-0-1

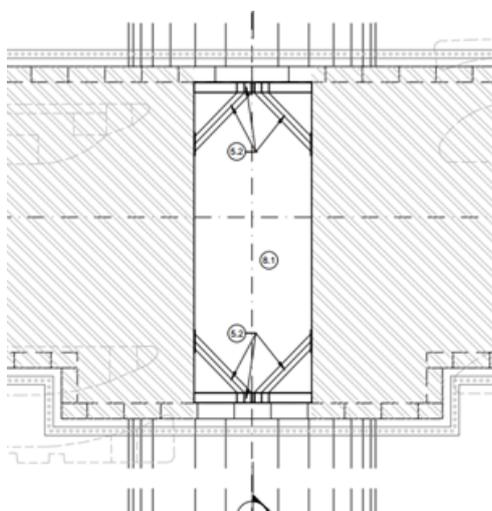


Figura 5. Sezione di calcolo BB - Puntonatura

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

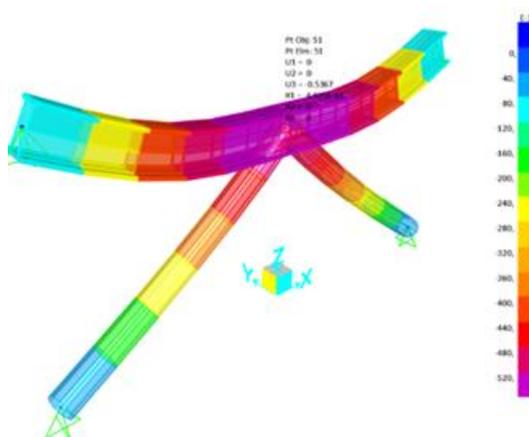


Figura 6. Modello strutturale sistema di puntonatura

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.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Mole/Giardini Reali - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSMOR001-0-1

Tabella 9 Carichi superficiali

Posizione nel modello	Entità del carico	Estensione
Destra	60 kPa	Da x = 27 m
Sinistra	70 kPa	Da x = -26 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 dello 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 sovraspinta sismica del terreno su una parete interrata.

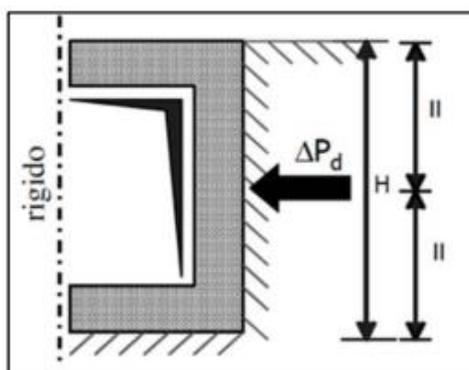


Figura 7. Schematizzazione metodo di Wood

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:

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

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Mole/Giardini Reali - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSMOR001-0-1

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.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Mole/Giardini Reali - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSMOR001-0-1

Tabella 10 Parametri input azione sismica

Calcolo spinta sismica da applicare al modello numerico			
γ_t	=	19,5	kN/mc
H	=	26,5	m
a_g	=	0,0871	
S_s	=	1,3	
S_T	=	1	
a_{max}	=	0,09648	
α	=	1,0	
β	=	1,0	
k_h	=	0,09648	
P_{ground}	=	49,86	kPa
$P_{ground\ su\ paratia}$	=	38,46	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	=	2,8944	kPa
P tot	=	41,35	kPa

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Mole/Giardini Reali - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSMOR001-0-1

Nella tabella seguente vengono riassunti i carichi applicati al modello.

Tabella 11 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	40 kPa



6. ANALISI NUMERICHE

Le analisi numeriche sono condotte seguendo le assunzioni indicate nel capitolo precedente. La sezione ritenuta rappresentativa delle condizioni geotecniche e strutturali del manufatto è indicata 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 puntatura temporanea in sostituzione della soletta del secondo mezzanino per risolvere l'interferenza con il passaggio della fresa.

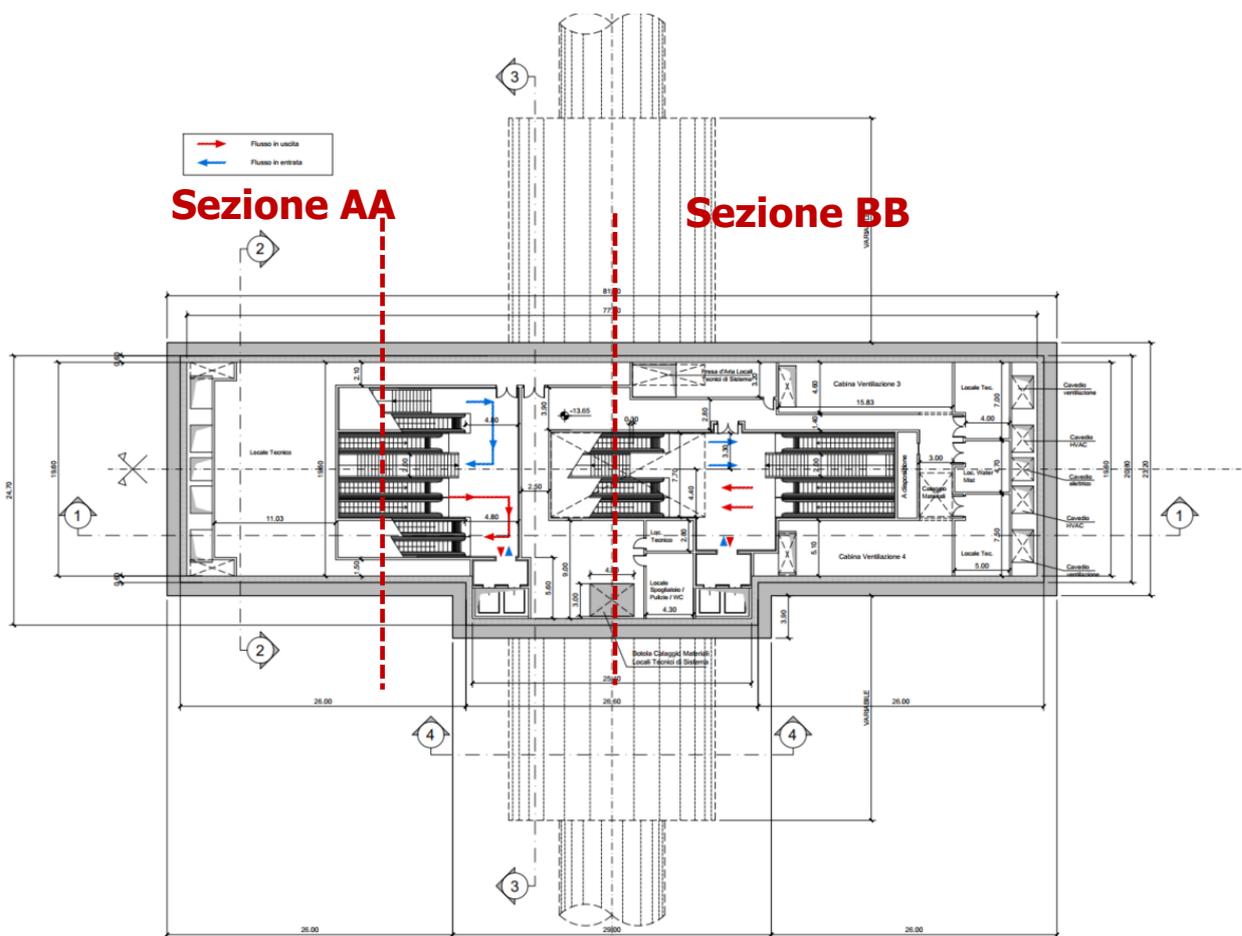


Figura 8. Stralcio planimetria stazione Mole/Giardini Reali con indicazione della sezione di calcolo AA e BB

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Mole/Giardini Reali - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSMOR001-0-1

6.1 Fasi di calcolo modello geotecnico

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

Tabella 12 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 cross-walls 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- Sezione in adiacenza stazione FS
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



CITTA' DI TORINO

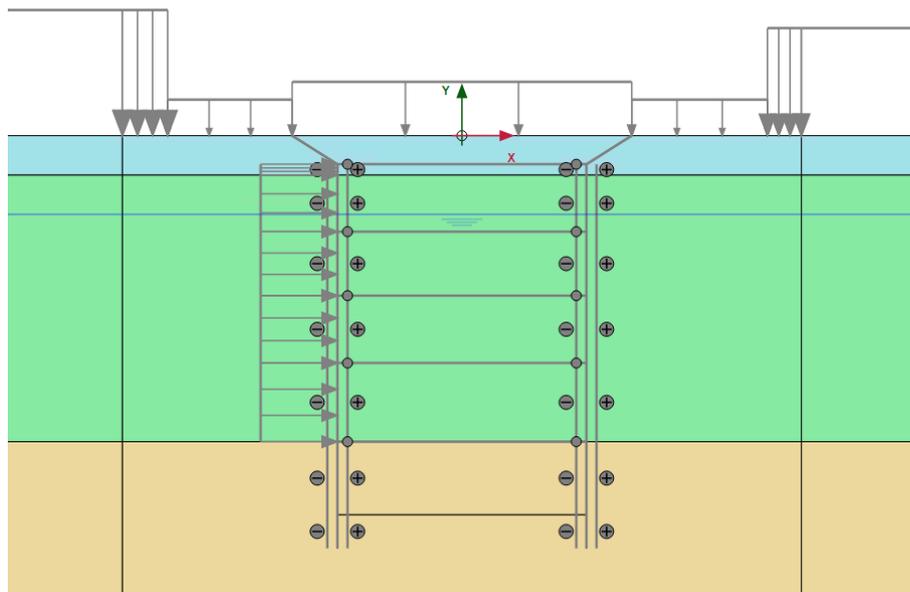
Metropolitana di Torino - Linea 2
Tratta: Politecnico-Rebaudengo
Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico

Stazione Mole/Giardini Reali - Relazione di calcolo
opere di sostegno stazione

MTL2T1A2DSTRSMOR001-0-1

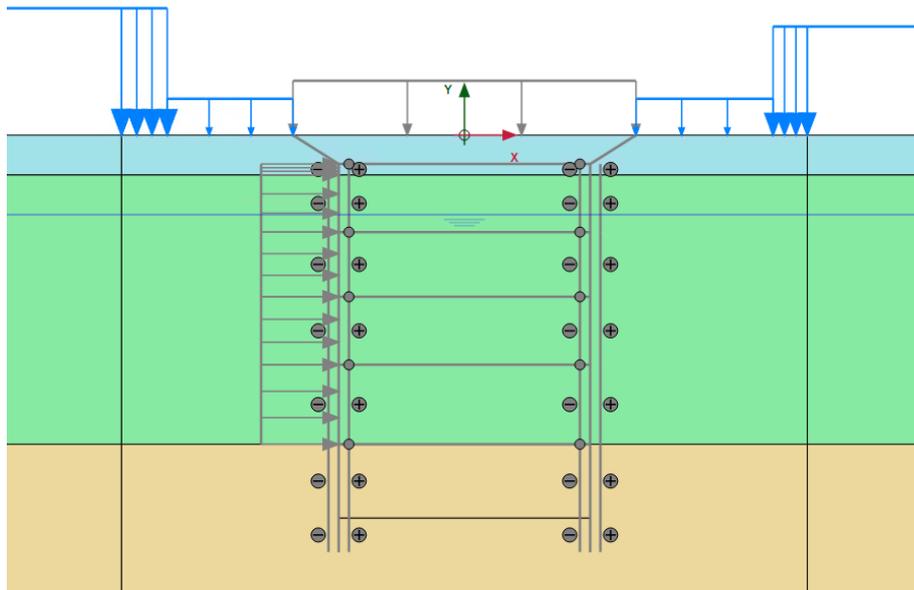
Fase 15	Ripristino delle condizioni idrauliche
Fase 16	Applicazione dell'azione sismica
Fase 17	Ricerca del fattore di sicurezza di lungo periodo
Fase 18	Valutazione della deformabilità a lungo termine a SLE

Fase 1 – Condizioni iniziali

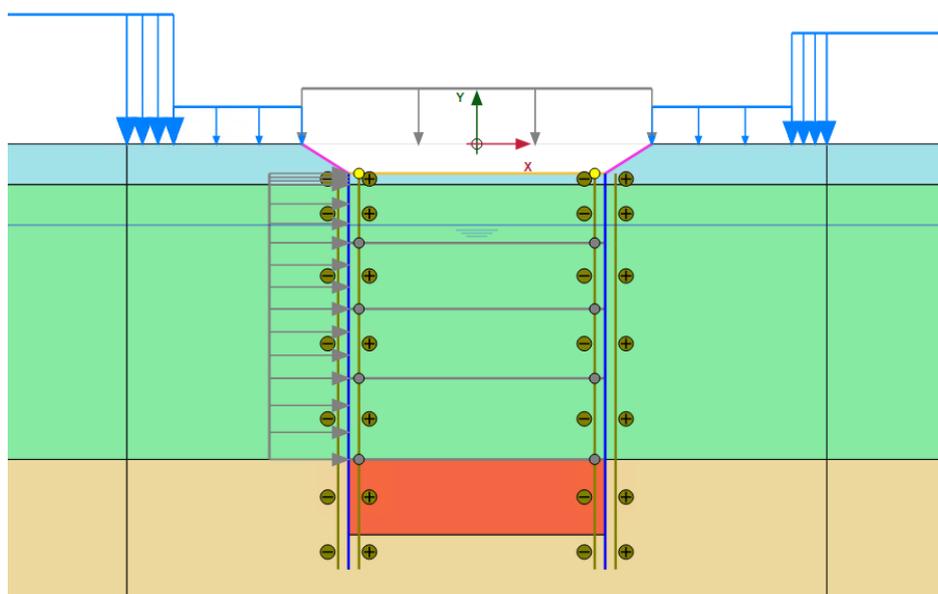




Fase 2 – Applicazione dei carichi superficiali

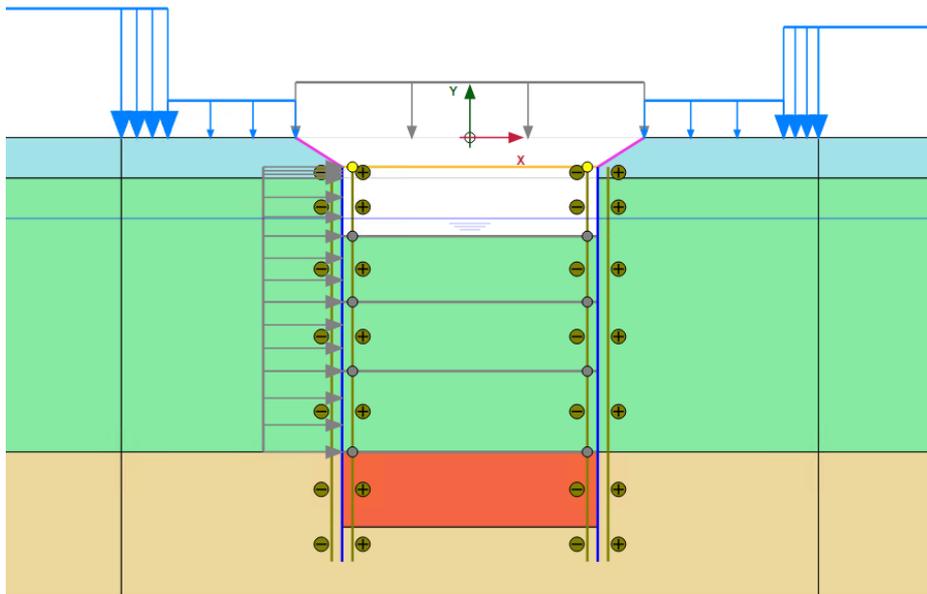


Fase 3-4 – Installazione diaframmi, cross-walls e soletta di copertura

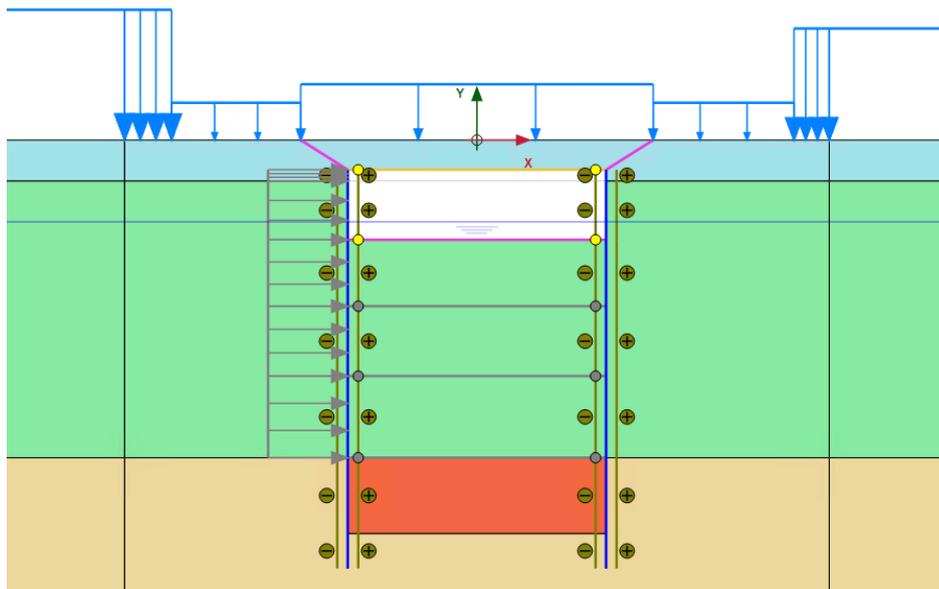




Fase 6 – Prima fase di scavo

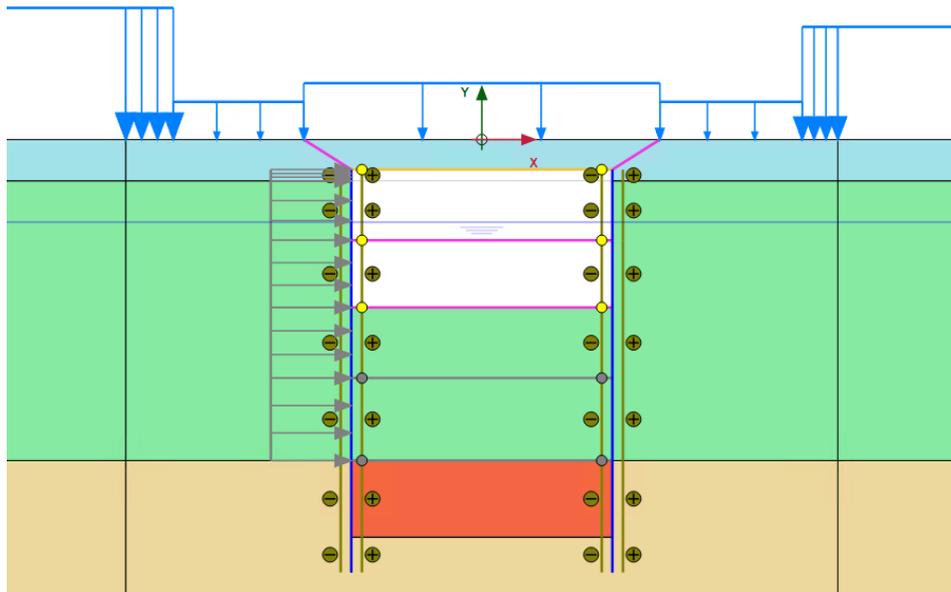


Fase 7-8 Ripristino delle condizioni in superficie e installazione prima soletta intermedia

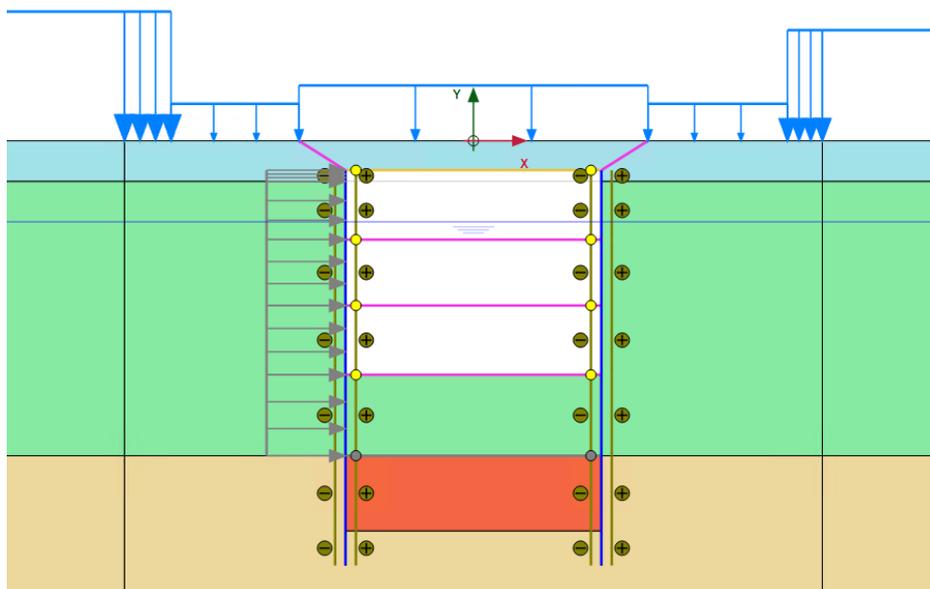




Fase 9-10 – Secondo scavo e installazione seconda soletta intermedia

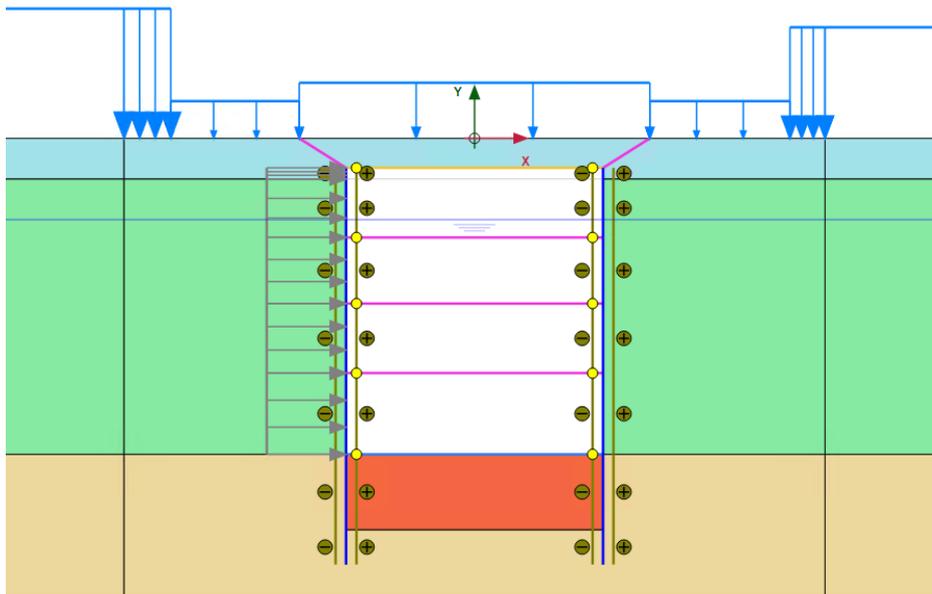


Fase 11-12 – Terzo scavo e installazione terza soletta intermedia





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



Fase 16 – Applicazione azione sismica

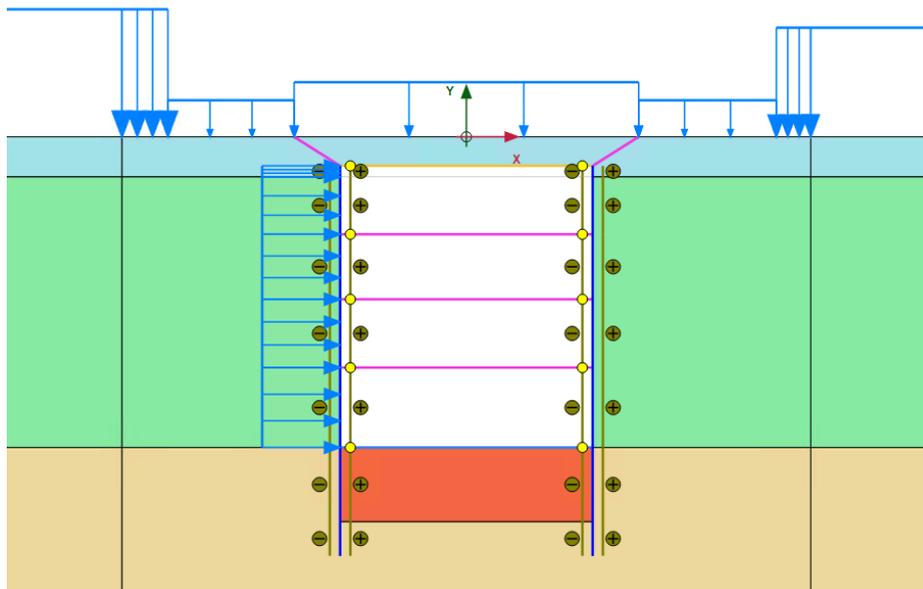


Figura 9. Fasi di calcolo modello geotecnico – Sezione AA

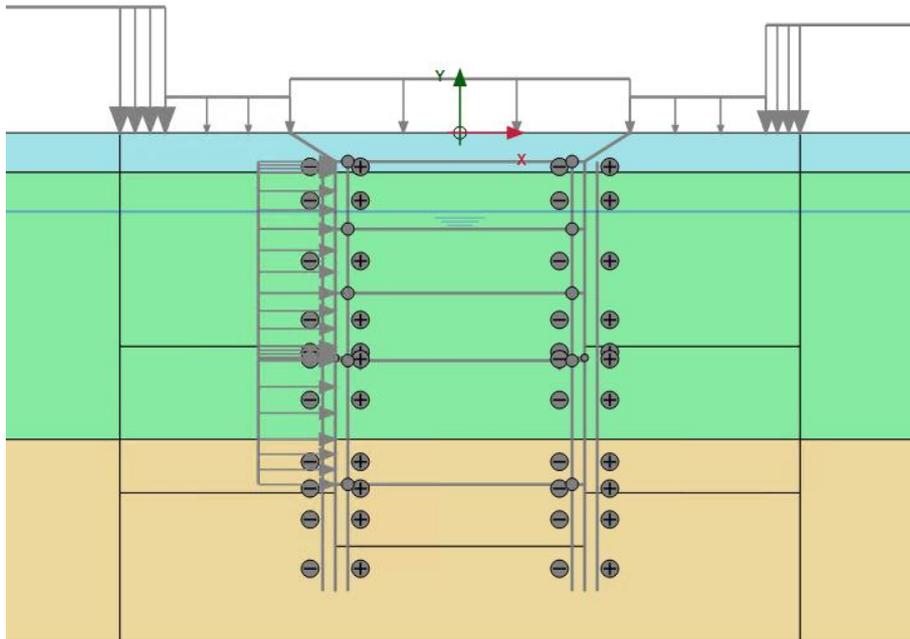
 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Mole/Giardini Reali - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSMOR001-0-1

Tabella 13 Fasi di calcolo – Sezione BB

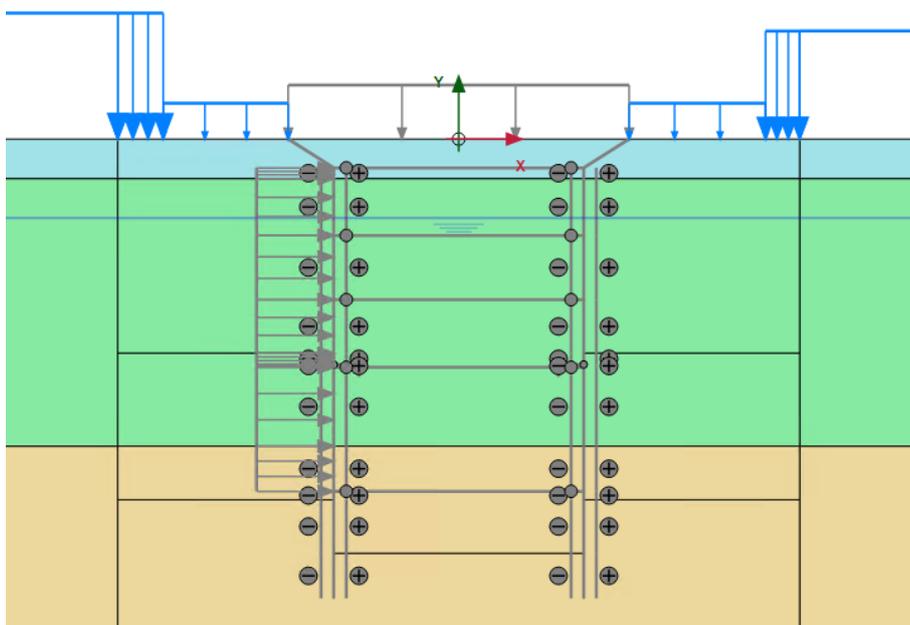
Fase di calcolo	Descrizione
Fase 1	Definizione delle condizioni geostatiche ed idrostatiche
Fase 2	Definizione dei carichi superficiali accidentali e permanenti
Fase 3	Scavo fino a quota intradosso solaio di copertura
Fase 4	Realizzazione dei cross walls e diaframmi
Fase 5	Realizzazione del solaio di 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	Passaggio della TBM e successiva rimozione della puntonatura
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

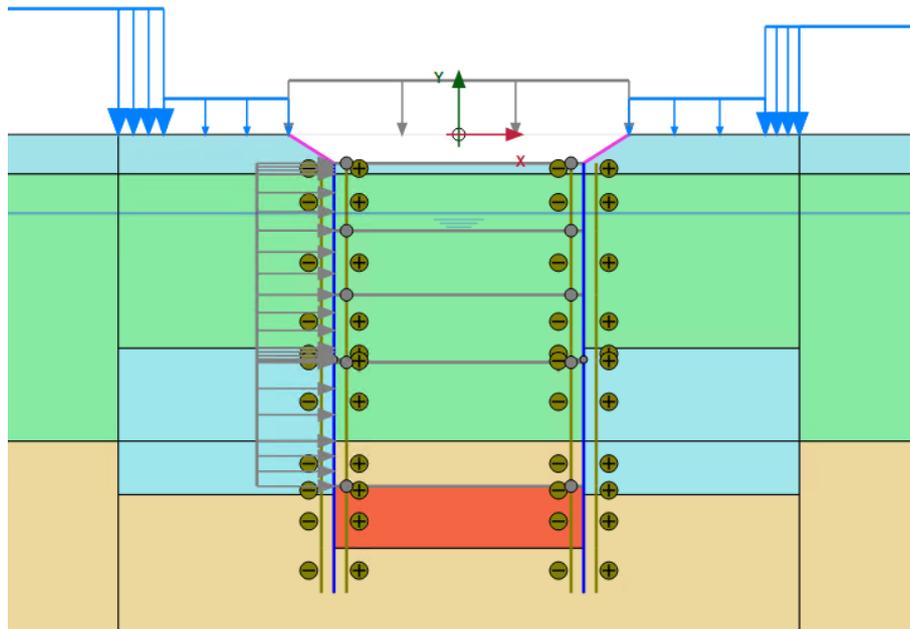


Fase 2 – Applicazione dei carichi superficiali

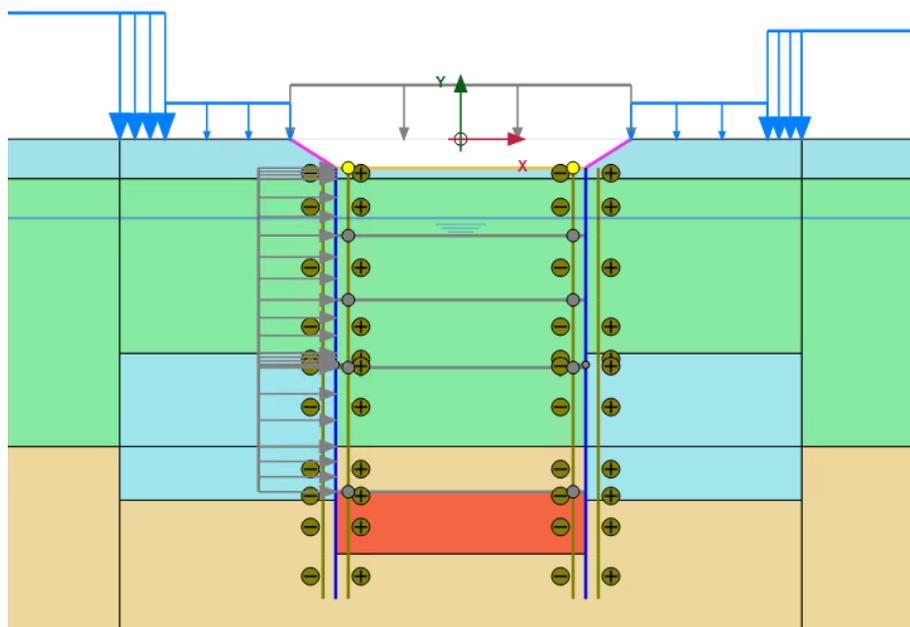




Fase 3 – Installazione diaframmi e cross-walls

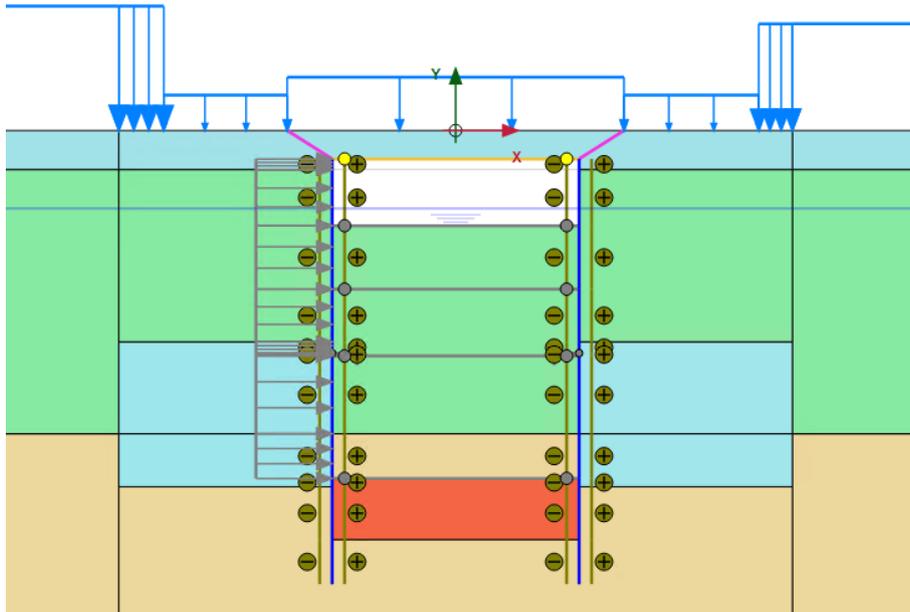


Fase 5 – Installazione soletta di copertura

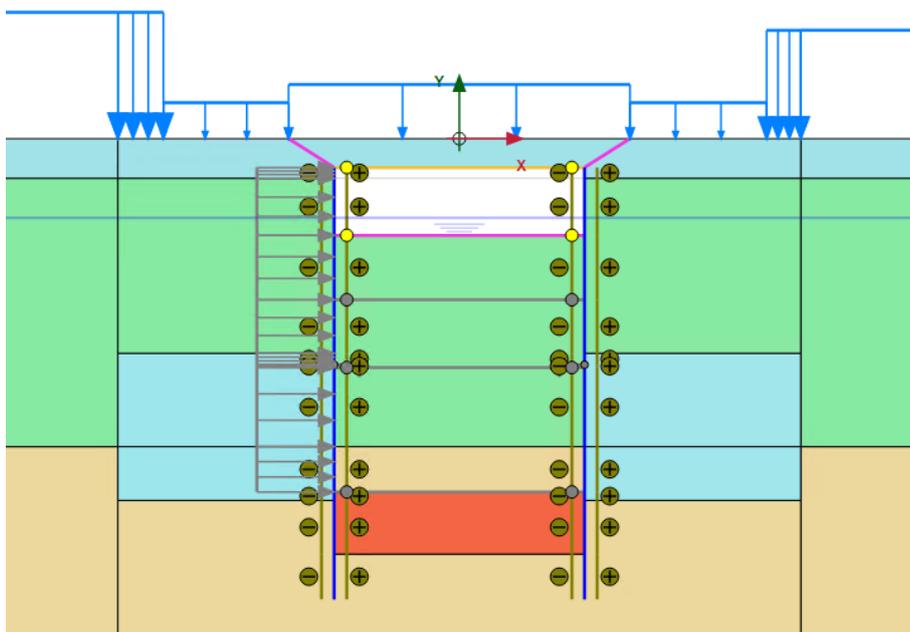




Fase 6 – Prima fase di scavo e ripristino delle condizioni in superficie

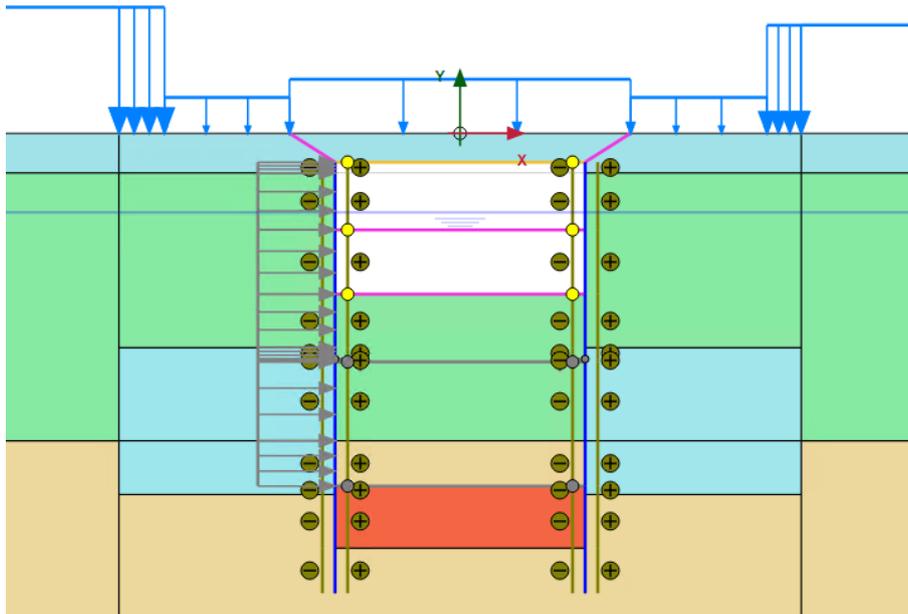


Fase 7-8 – Primo scavo e installazione prima soletta intermedia

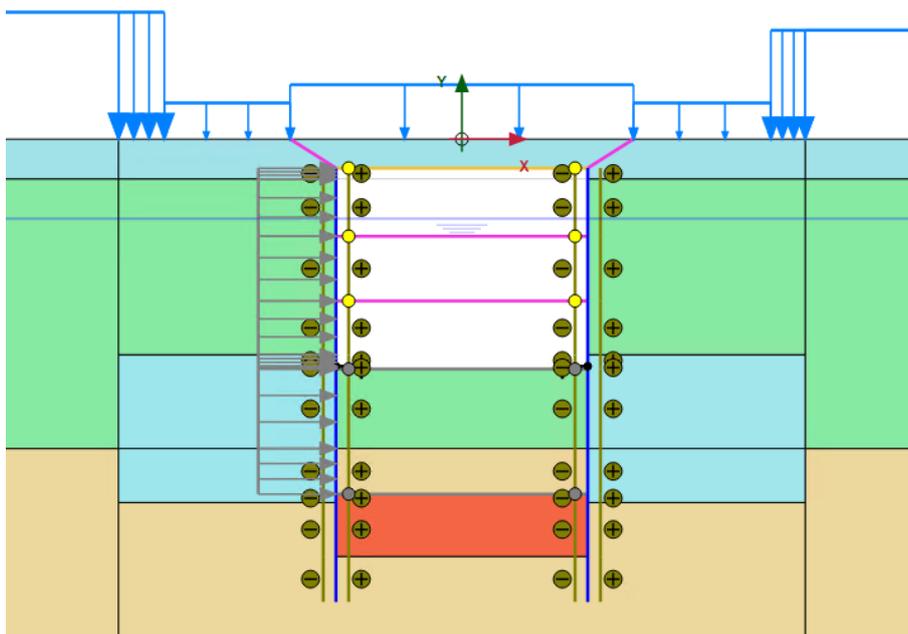




Fase 9-10 – Secondo scavo e installazione seconda soletta intermedia

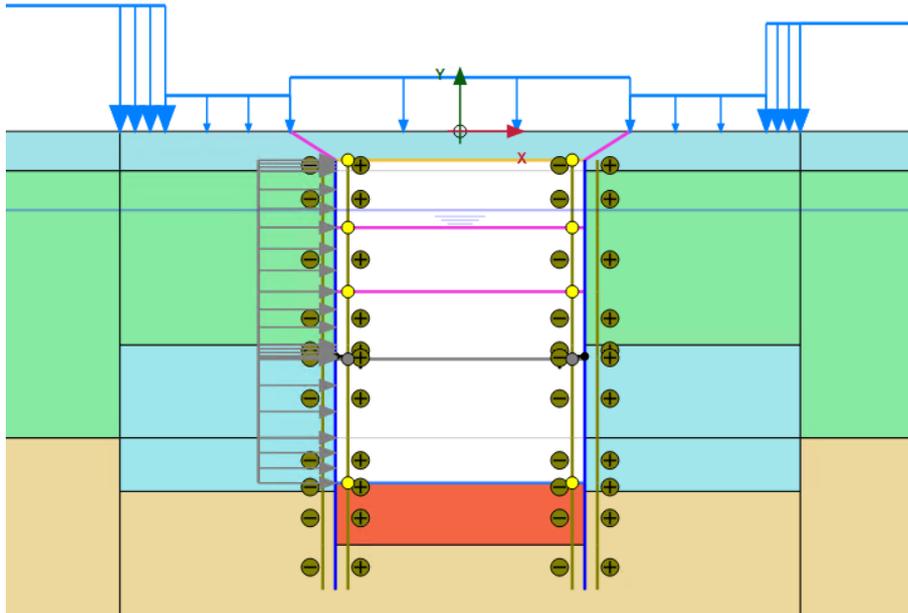


Fase 11-12 – Terzo scavo e installazione puntonatura

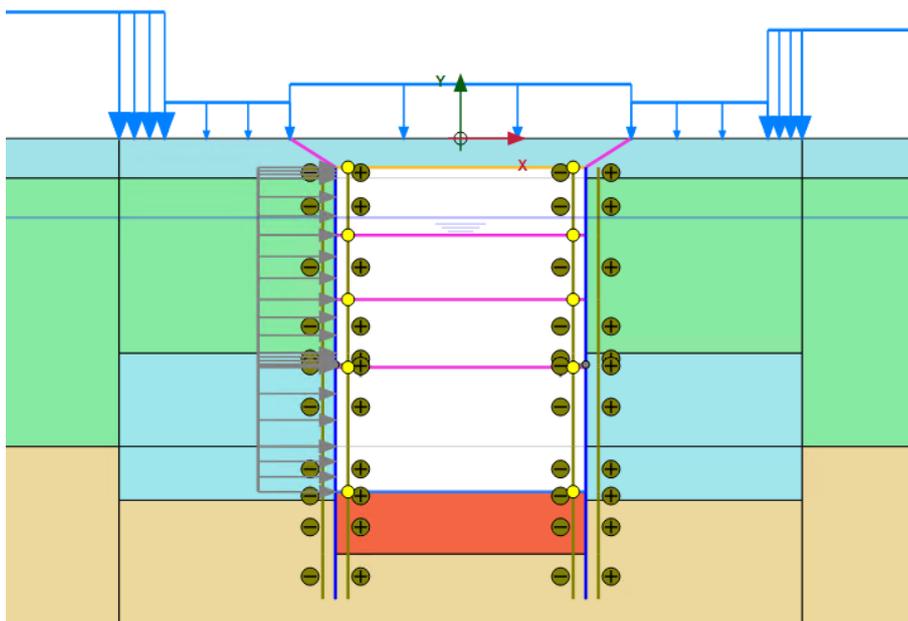




Fase 13-14 – Scavo fino a quota finale e installazione soletta di fondo



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



Fase 18 – Applicazione azione sismica

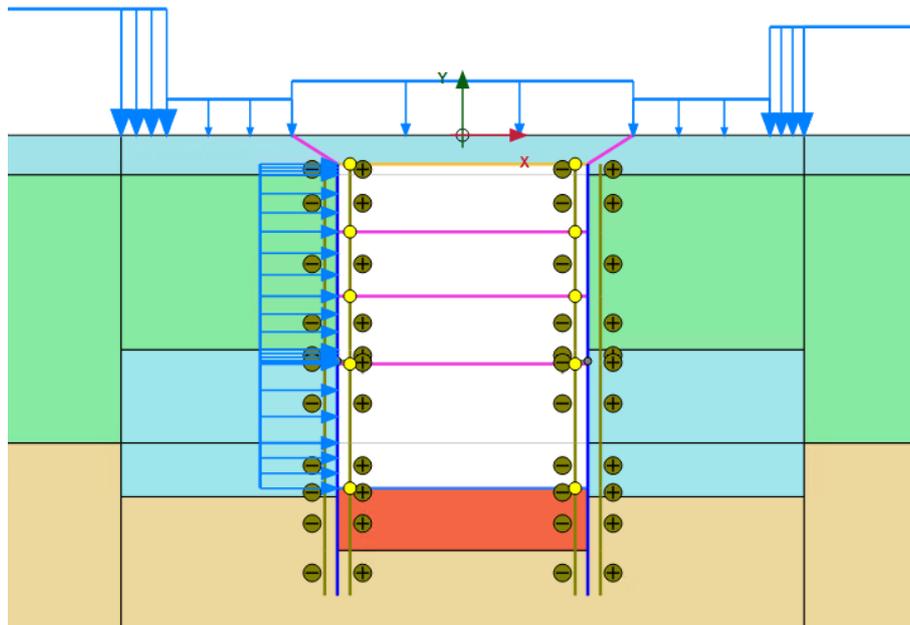
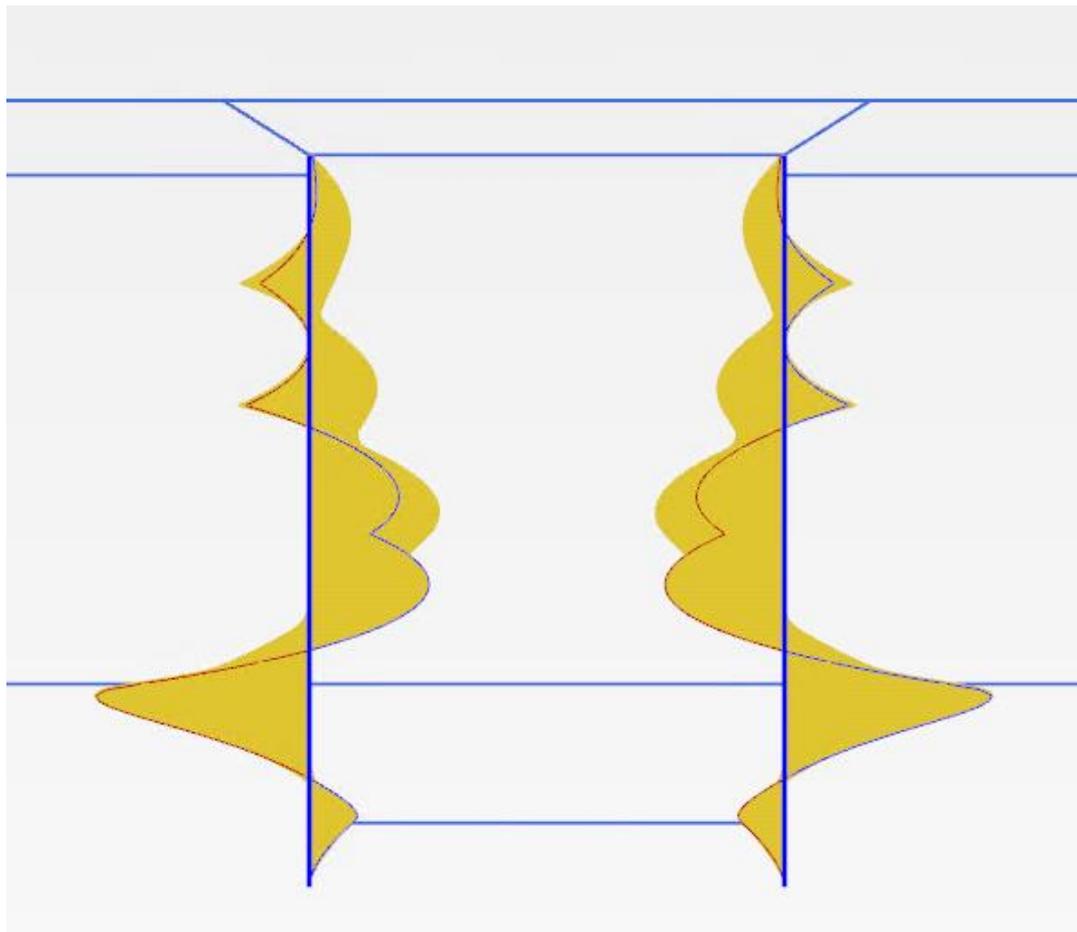


Figura 10. Fasi di calcolo modello geotecnico – Sezione BB

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Mole/Giardini Reali - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSMOR001-0-1

6.2 Output

6.2.1 Sezione AA - Cerniera - Sollecitazioni paratia



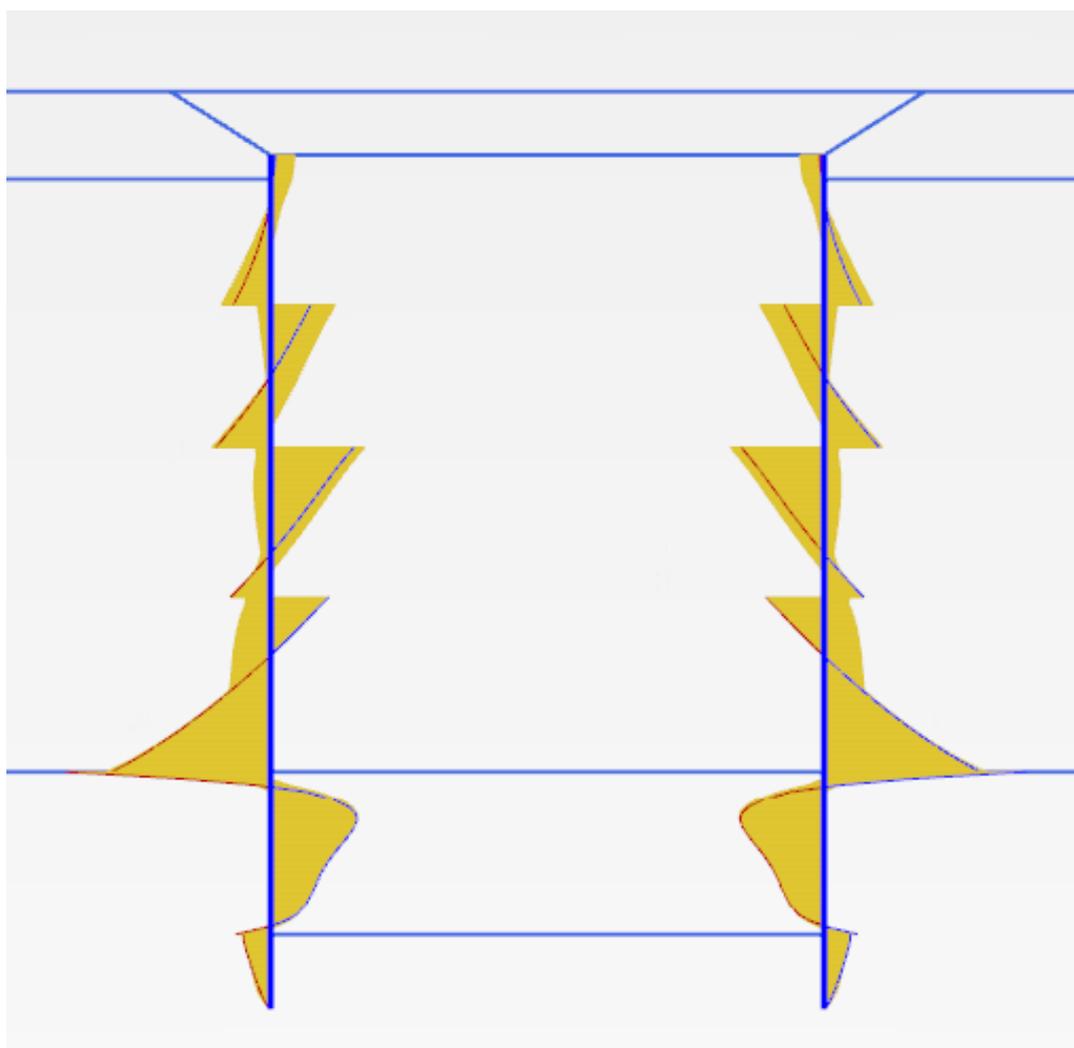
Envelope of Bending moments M (scaled up $5,00 \cdot 10^{-3}$ times)

Maximum value = 1940 kN m/m (Element 203 at Node 63542)

Minimum value = -1989 kN m/m

Figura 11. Sezione AA Diaframma – Cerniera - SLE Momento flettente – Inviluppo

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Mole/Giardini Reali - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSMOR001-0-1

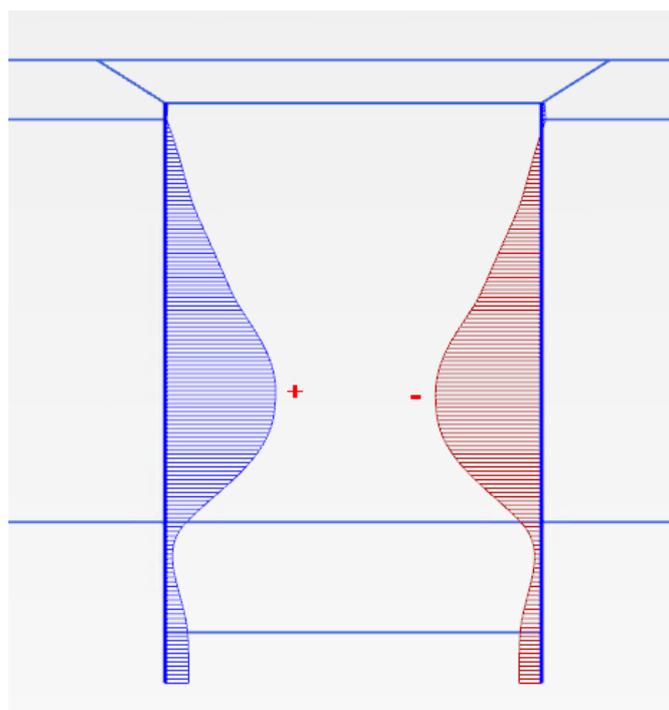


Envelope of Shear forces Q (scaled up $5,00 \cdot 10^{-3}$ times)
 Maximum value = 1615 kN/m (Element 203 at Node 63540)
 Minimum value = -1632 kN/m

Figura 12. Sezione AA Diaframma – Cerniera - SLE Diagramma taglio – Inviluppo

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Mole/Giardini Reali - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSMOR001-0-1

6.2.2 Sezione AA - Cerniera - Spostamenti paratia



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

Maximum value = $6,463 \cdot 10^{-3}$ m (Element 132 at Node 32649)

Minimum value = $-6,199 \cdot 10^{-3}$ m (Element 138 at Node 56067)

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

Di seguito sono tabellati il valore massimo e minimo del momento flettente e del taglio a stato limite ultimo e di esercizio ed infine lo spostamento orizzontale massimo del diaframma.

Tabella 14 Sollecitazioni paratia Sezione AA - Cerniera

	Paratia SLE	Paratia SLU
M_{max} [kNm/m]	1203	1684
M_{min} [kNm/m]	-1989	-2785
T_{max} [kN/m]	1480	2072
T_{min} [kN/m]	-659	-923
Spostamento max [mm]	6,46	-

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Mole/Giardini Reali - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSMOR001-0-1

6.2.3 Sezione AA - Incastro - Sollecitazioni paratia

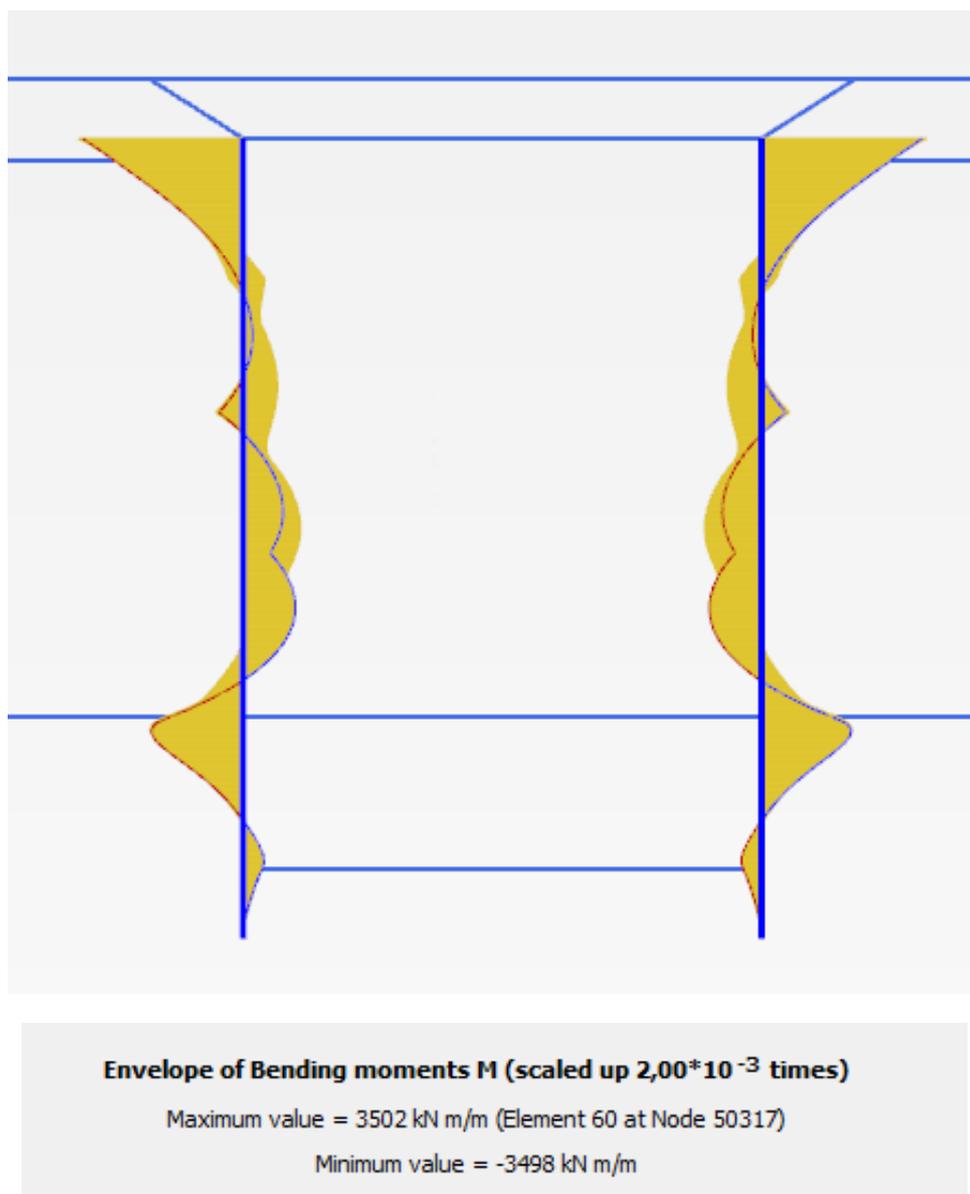
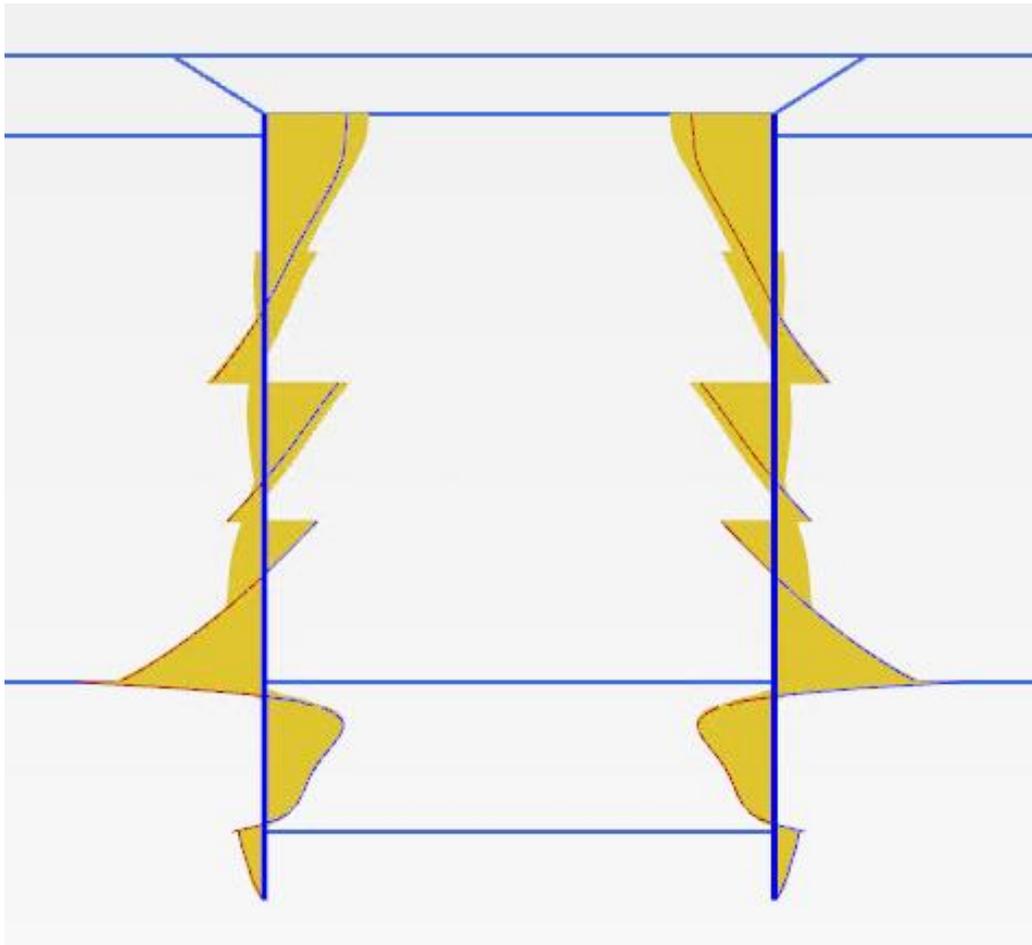


Figura 14. Sezione AA Diaframma – Incastro - SLE Momento flettente – Involuppo

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Mole/Giardini Reali - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSMOR001-0-1

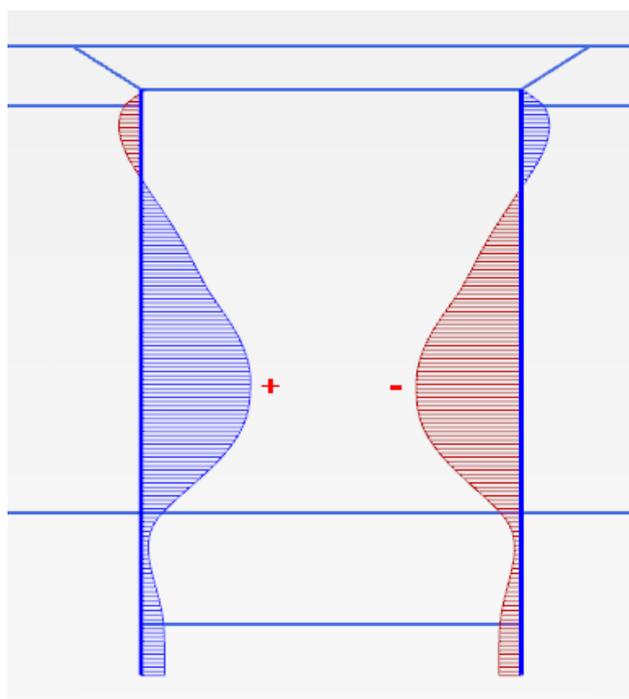


Envelope of Shear forces Q (scaled up $5,00 \cdot 10^{-3}$ times)
 Maximum value = 1603 kN/m (Element 203 at Node 63540)
 Minimum value = -1620 kN/m

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

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Mole/Giardini Reali - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSMOR001-0-1

6.2.4 Sezione AA - Incastro - Spostamenti paratia



Total displacements u_x (scaled up $1,00 \cdot 10^3$ times)
 Maximum value = $6,339 \cdot 10^{-3}$ m (Element 132 at Node 32650)
 Minimum value = $-6,082 \cdot 10^{-3}$ m (Element 138 at Node 56067)

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

Di seguito sono tabellati il valore massimo e minimo del momento flettente e del taglio a stato limite ultimo e di esercizio ed infine lo spostamento orizzontale massimo del diaframma.

Tabella 15 Sollecitazioni paratia Sezione A-A - Incastro

	Paratia SLE	Paratia SLU
M_{max} [kNm/m]	3502	4903
M_{min} [kNm/m]	-1102	-1543
T_{max} [kN/m]	1567	2194
T_{min} [kN/m]	-713	-998
Spostamento max [mm]	6,34	-

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Mole/Giardini Reali - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSMOR001-0-1

6.2.5 Sezione BB – Cerniera - Sollecitazioni paratia

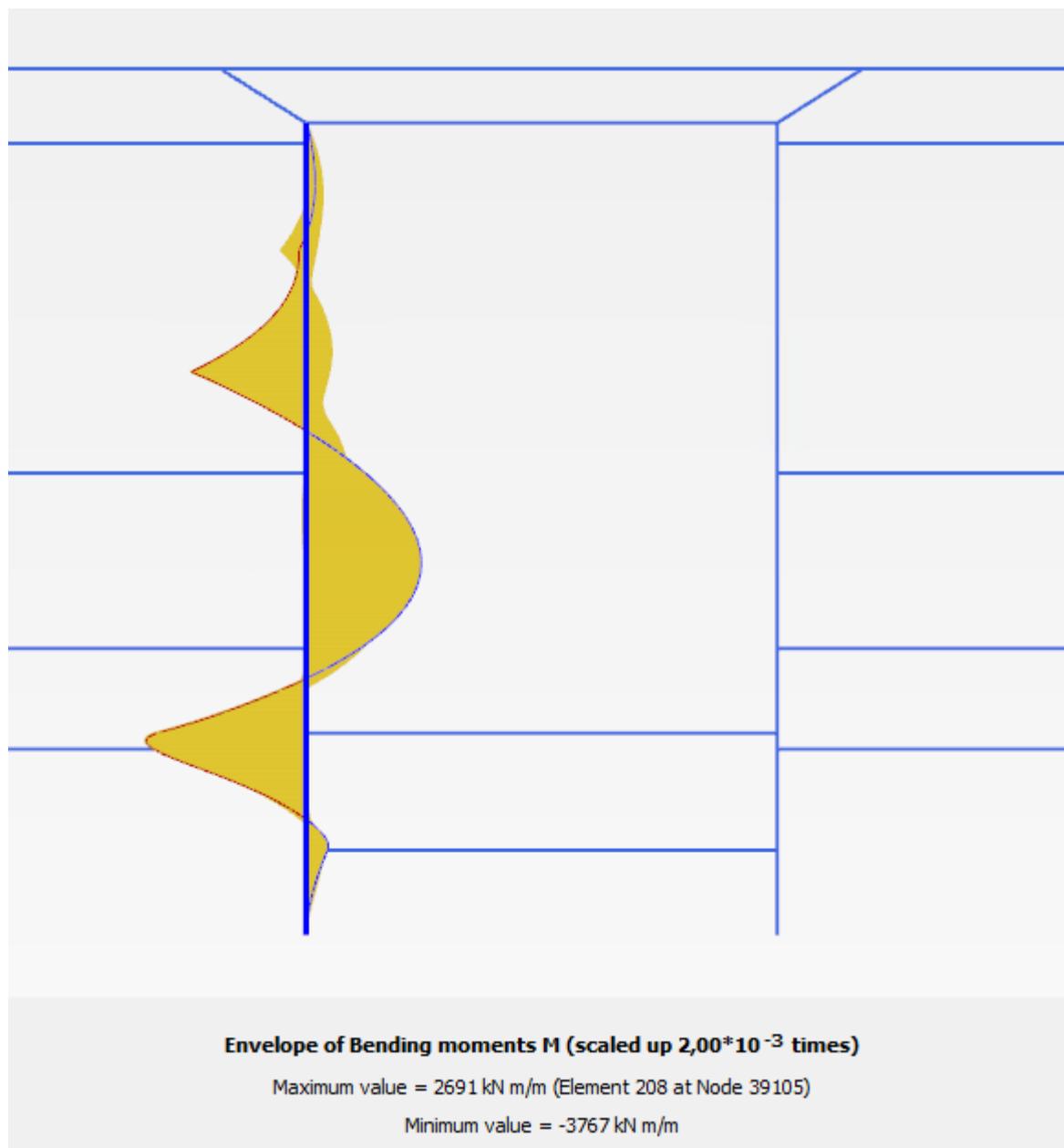


Figura 17. Sezione BB Diaframma – Cerniera - SLE Momento flettente – Involuppo

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Mole/Giardini Reali - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSMOR001-0-1

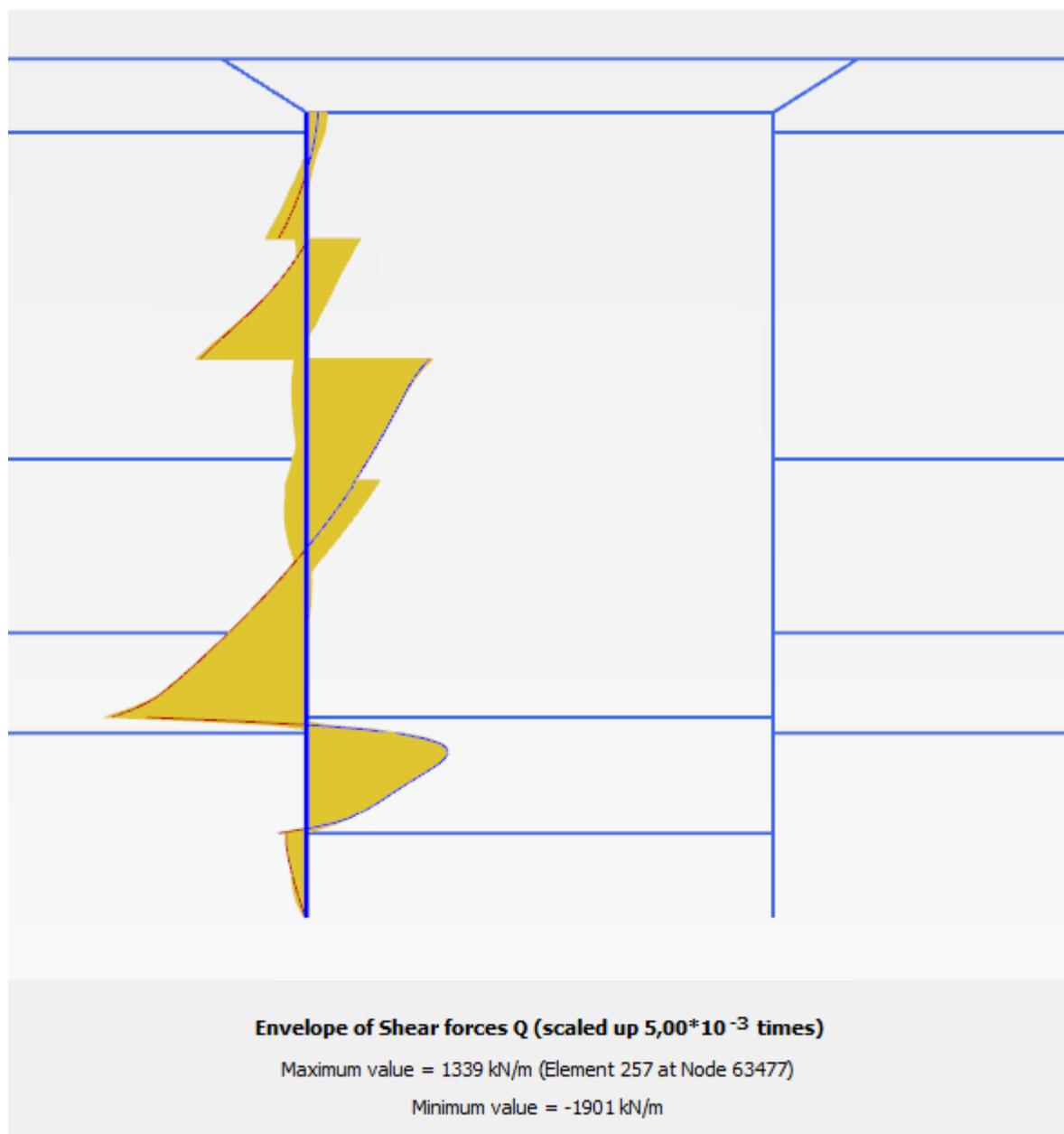


Figura 18. Sezione BB Diaframma – Cerniera - SLE Taglio – Involuppo

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Mole/Giardini Reali - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSMOR001-0-1

6.2.6 Sezione BB – Cerniera – Spostamenti paratia

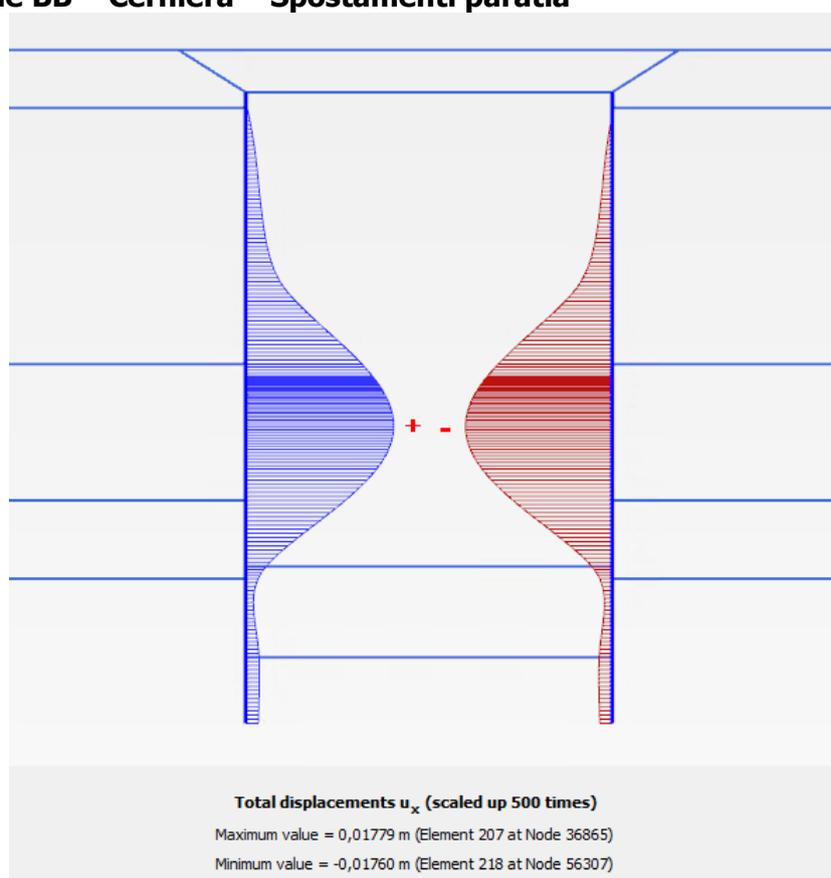


Figura 19. Sezione BB Diaframma – Cerniera - SLE Diagramma degli spostamenti orizzontali

Di seguito sono tabellati il valore massimo e minimo del momento flettente e del taglio a stato limite ultimo e di esercizio ed infine lo spostamento orizzontale massimo del diaframma.

Tabella 16 Sollecitazioni paratia Sezione BB - Cerniera

	Paratia SLE	Paratia SLU
M_{max} [kNm/m]	2691	3767
M_{min} [kNm/m]	-3767	-5274
T_{max} [kN/m]	1339	1875
T_{min} [kN/m]	-1901	-2661
Spostamento max [mm]	17,79	-

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Mole/Giardini Reali - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSMOR001-0-1

6.2.7 Sezione BB – Incastro - Sollecitazioni paratia

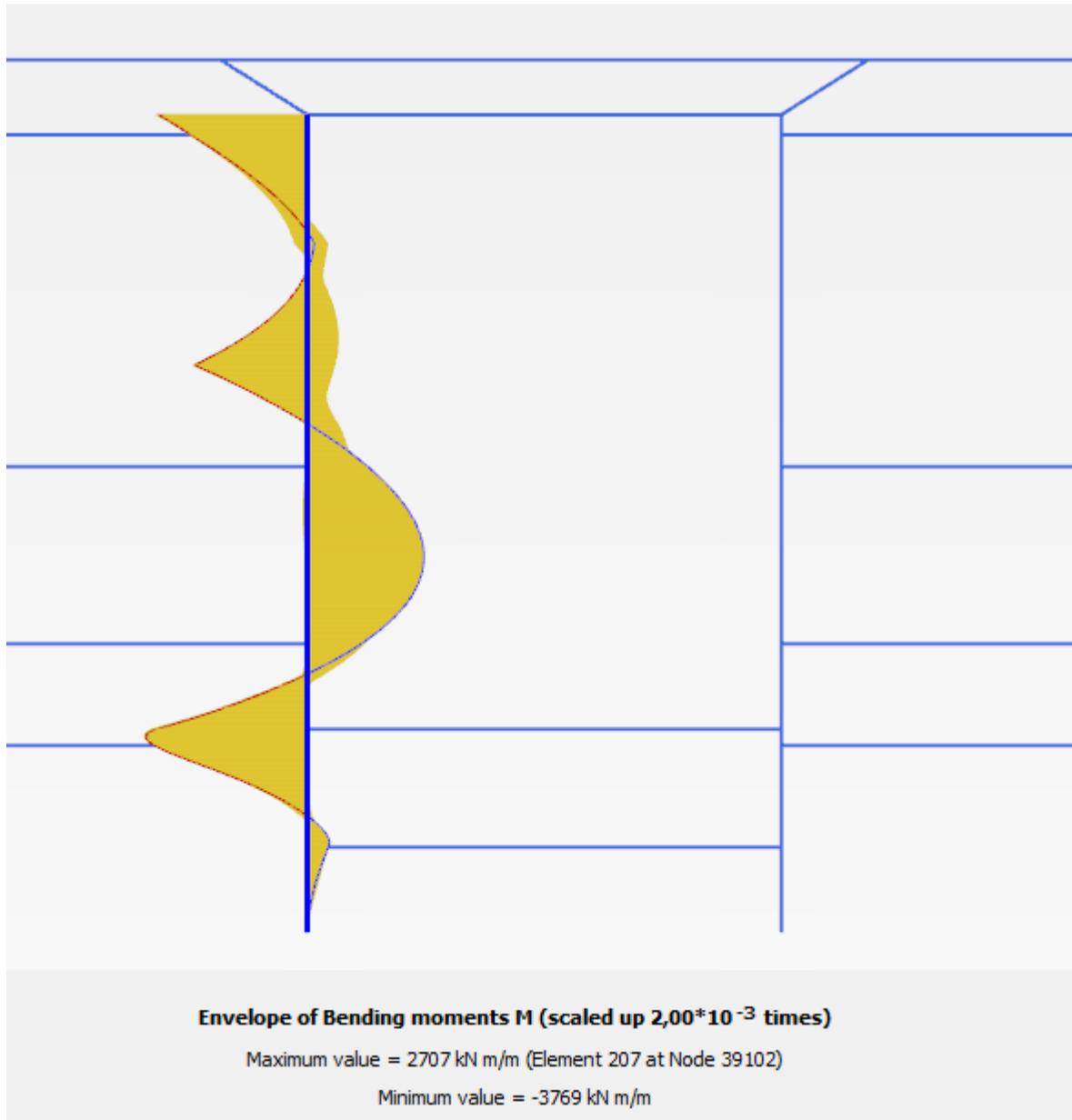


Figura 20. Sezione BB Diaframma – Incastro - SLE Momento flettente – Involuppo

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Mole/Giardini Reali - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSMOR001-0-1

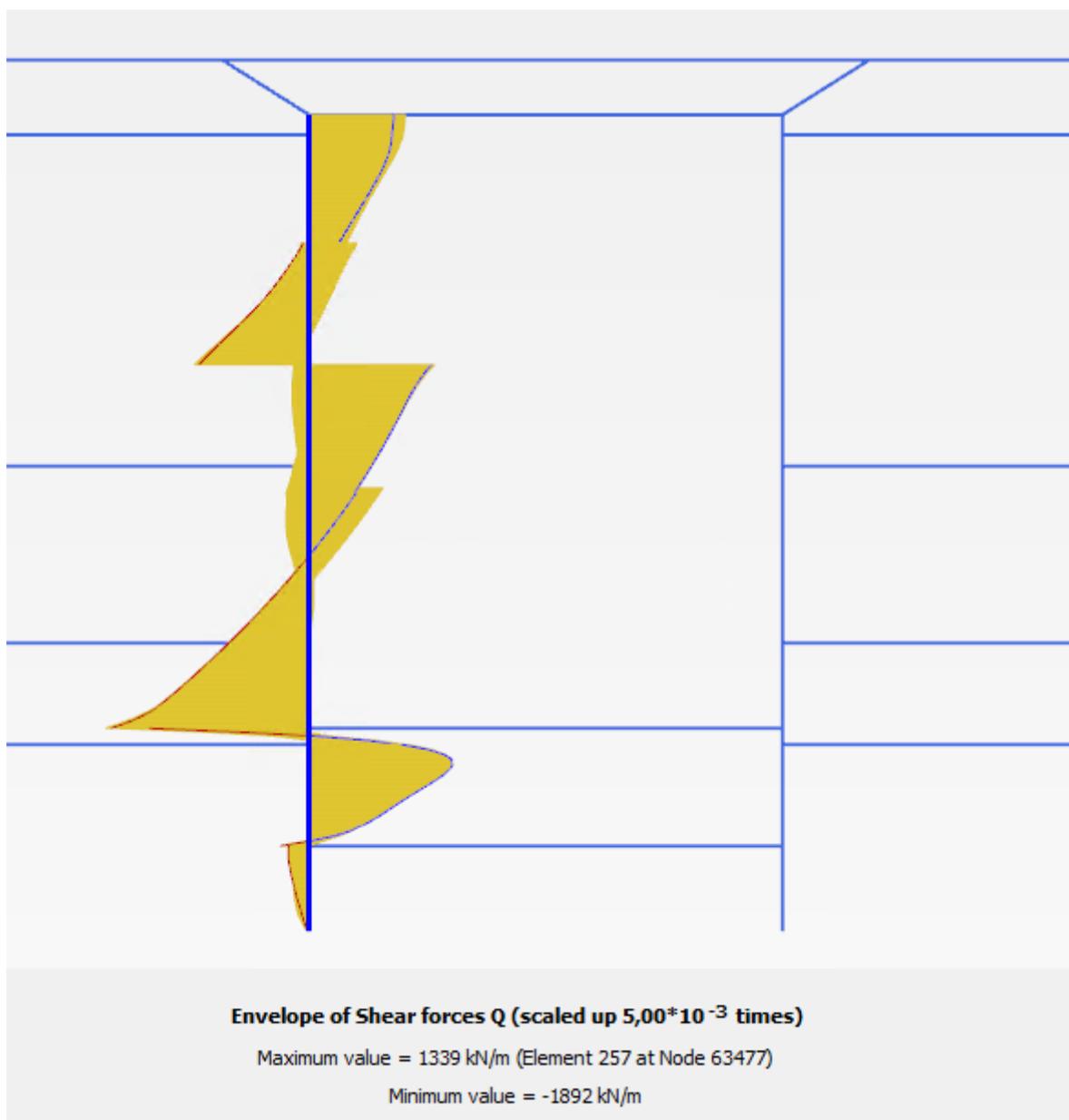


Figura 21. Sezione BB Diaframma – Incastro - SLE Taglio – Involuppo

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Mole/Giardini Reali - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSMOR001-0-1

6.2.8 Sezione BB – Incastro – Spostamenti paratia

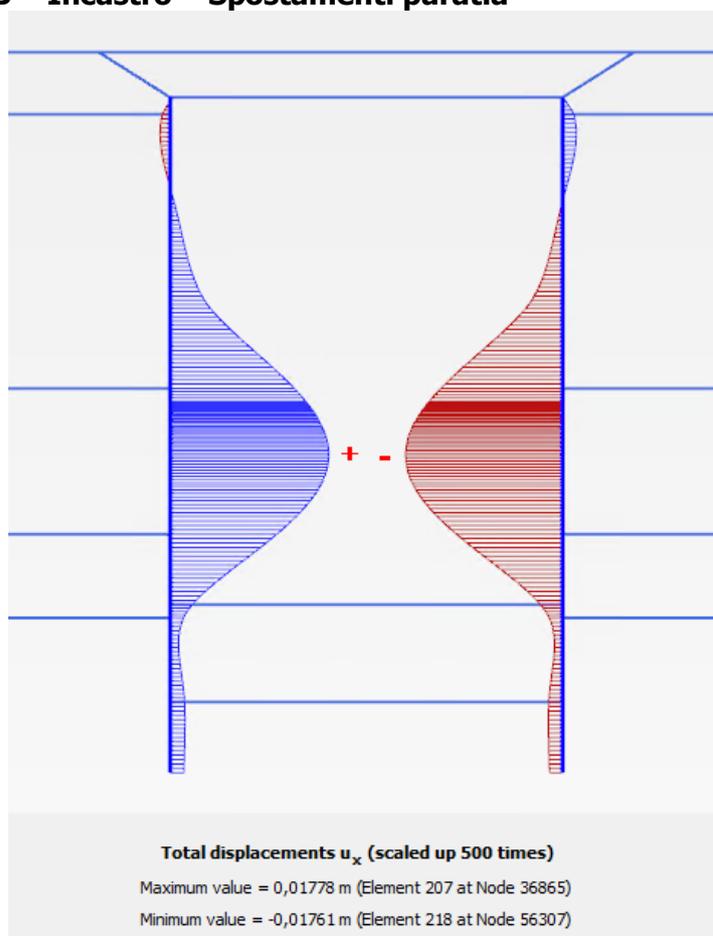


Figura 22. Sezione BB Diaframma – Incastro – Spostamenti orizzontali

Di seguito sono tabellati il valore massimo e minimo del momento flettente e del taglio a stato limite ultimo e di esercizio ed infine lo spostamento orizzontale massimo del diaframma.

Tabella 17 Sollecitazioni paratia Sezione B-B - Incastro

	Paratia SLE	Paratia SLU
M_{max} [kNm/m]	2707	3790
M_{min} [kNm/m]	-3767	-5274
T_{max} [kN/m]	1339	1875
T_{min} [kN/m]	-1892	-2649
Spostamento max [mm]	17,78	-

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Mole/Giardini Reali - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSMOR001-0-1

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 AA e BB.

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

Tabella 18 Armature longitudinali paratia sezione AA

	Lunghezza [m]	Lato interno	Lato esterno
Gabbia 1	3	Φ 20/125	3 Φ 26/125
Gabbia 2	12	2 Φ 24/125	2 Φ 26/125
Gabbia 3	12	2 Φ 24/125	2 Φ 26/125
Gabbia 4	12	2 Φ 20/125	3 Φ 26/125

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Mole/Giardini Reali - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSMOR001-0-1

Tabella 19 Armature longitudinali paratia sezione BB

	Lunghezza [m]	Lato interno	Lato esterno
Gabbia 1	7	Φ 20/125	3 Φ 32/125
Gabbia 2	12	2 Φ 24/125	3 Φ 26/125
Gabbia 3	12	3 Φ 32/125	Φ 26/125
Gabbia 4	12	2 Φ 26/125	3 Φ 32/125

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

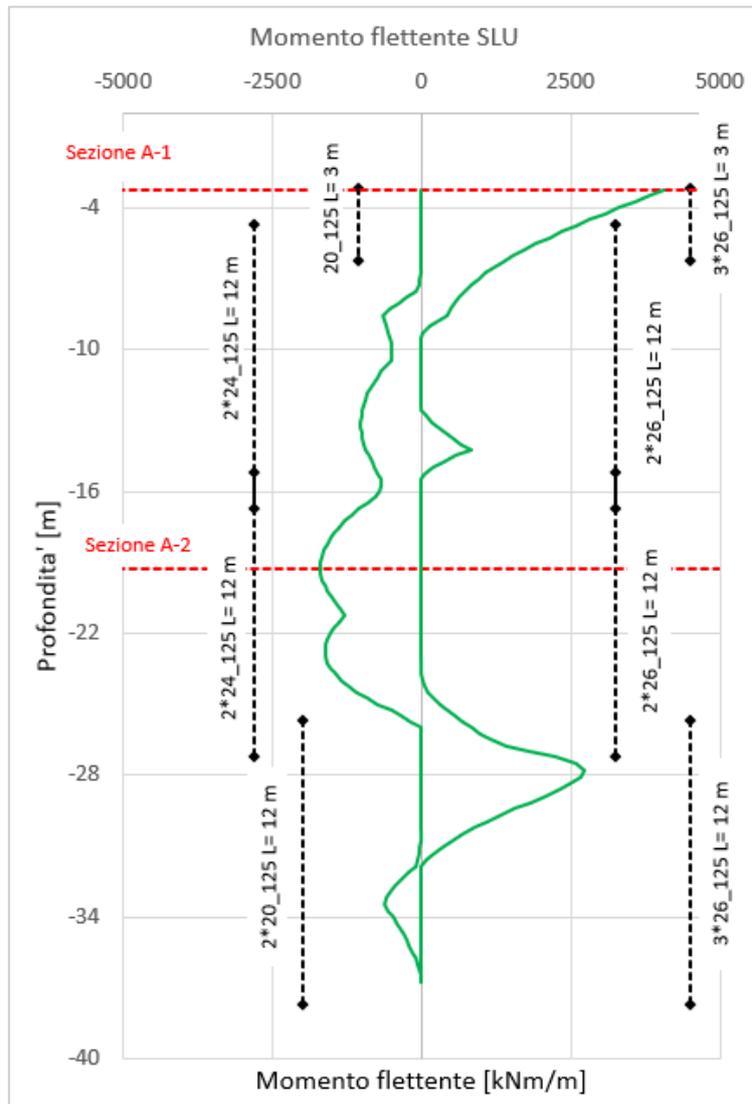


Figura 23. Diaframmi - SLU Diagramma delle sollecitazioni flettenti – Sezione AA

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Mole/Giardini Reali - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSMOR001-0-1

Tabella 20 Diaframmi - Verifica SLU flessione Sezione A1

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	1023	[mm]
Armature		
Armatura tesa		
Diametro dei ferri correnti	26	[mm]
Numero dei ferri correnti	10	[-]
Diametro dei ferri correnti secondo strato	26	[mm]
Numero dei ferri correnti secondo strato	10	[-]
Diametro dei ferri correnti terzo strato	26	[-]
Numero dei ferri correnti terzo strato	10	[-]
Area dell'armatura tesa	15928	[mm ²]
Armatura compressa		
Diametro dei ferri correnti	20	[mm]
Numero dei ferri correnti	8	[-]
Diametro dei ferri correnti secondo strato	0	[mm]
Numero dei ferri correnti secondo strato	0	[-]
Diametro dei ferri correnti terzo strato	0	[-]
Numero dei ferri correnti terzo strato	0	[-]
Area dell'armatura compressa	2513	[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	4973,32	[kNm]
Momento sollecitante a SLU assunto in valore assoluto	4903,00	[kNm]
		Verificato

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Mole/Giardini Reali - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSMOR001-0-1

Tabella 21 Diaframmi - Verifica SLU flessione Sezione A2

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	1076	[mm]
Armature		
Armatura tesa		
Diametro dei ferri correnti	24	[mm]
Numero dei ferri correnti	8	[-]
Diametro dei ferri correnti secondo strato	24	[mm]
Numero dei ferri correnti secondo strato	8	[-]
Diametro dei ferri correnti terzo strato	0	[-]
Numero dei ferri correnti terzo strato	0	[-]
Area dell'armatura tesa	7238	[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	0	[-]
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	2874,69	[kNm]
Momento sollecitante a SLU assunto in valore assoluto	1684,00	[kNm]
		Verificato



7.1.2 Sezione BB

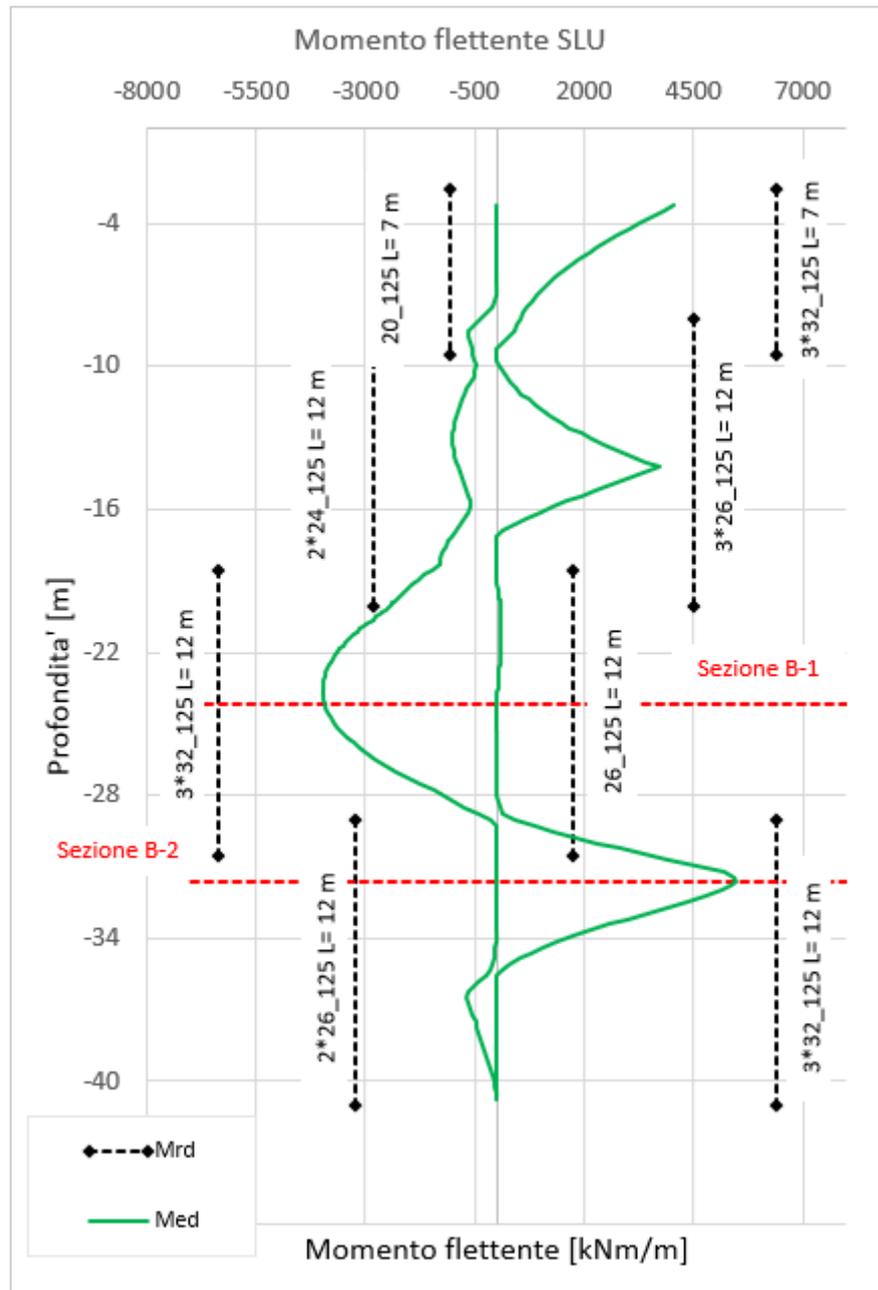


Figura 24. Diaframmi - SLU Diagramma delle sollecitazioni flettenti – Sezione BB

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Mole/Giardini Reali - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSMOR001-0-1

Tabella 22 Diaframmi - Verifica SLU flessione Sezione B1

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	32	[mm]
Numero dei ferri correnti	8	[-]
Diametro dei ferri correnti secondo strato	32	[mm]
Numero dei ferri correnti secondo strato	8	[-]
Diametro dei ferri correnti terzo strato	32	[-]
Numero dei ferri correnti terzo strato	8	[-]
Area dell'armatura tesa	19302	[mm ²]
Armatura compressa		
Diametro dei ferri correnti	26	[mm]
Numero dei ferri correnti	8	[-]
Diametro dei ferri correnti secondo strato	0	[mm]
Numero dei ferri correnti secondo strato	8	[-]
Diametro dei ferri correnti terzo strato	0	[-]
Numero dei ferri correnti terzo strato	8	[-]
Area dell'armatura compressa	4247	[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	6129,72	[kNm]
Momento sollecitante a SLU assunto in valore assoluto	3932,00	[kNm]
		Verificato

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Mole/Giardini Reali - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSMOR001-0-1

Tabella 23 Diaframmi - Verifica SLU flessione Sezione B2

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	32	[mm]
Numero dei ferri correnti	8	[-]
Diametro dei ferri correnti secondo strato	32	[mm]
Numero dei ferri correnti secondo strato	8	[-]
Diametro dei ferri correnti terzo strato	32	[-]
Numero dei ferri correnti terzo strato	8	[-]
Area dell'armatura tesa	19302	[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	6274,10	[kNm]
Momento sollecitante a SLU assunto in valore assoluto	5466,00	[kNm]
		Verificato

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Mole/Giardini Reali - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSMOR001-0-1

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:

$$1 < \text{ctg}\theta < 2.5$$

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:

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

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

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

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.

Per verifica vengono adottate due tipologie di staffatura, una con staffa esterna a 2 braccia diametro 16 mm ed una interna a 4 braccia diametro da 16 mm con passo 100 mm. La seconda tipologia è costituita da una con staffa esterna a 2 braccia diametro 14 mm ed una interna a 4 braccia diametro da 14 mm con passo 200 mm. L'immagine di seguito mostra l'involuppo delle azioni taglianti e la resistenza offerta dalla sezione.



7.2.1 Sezione AA

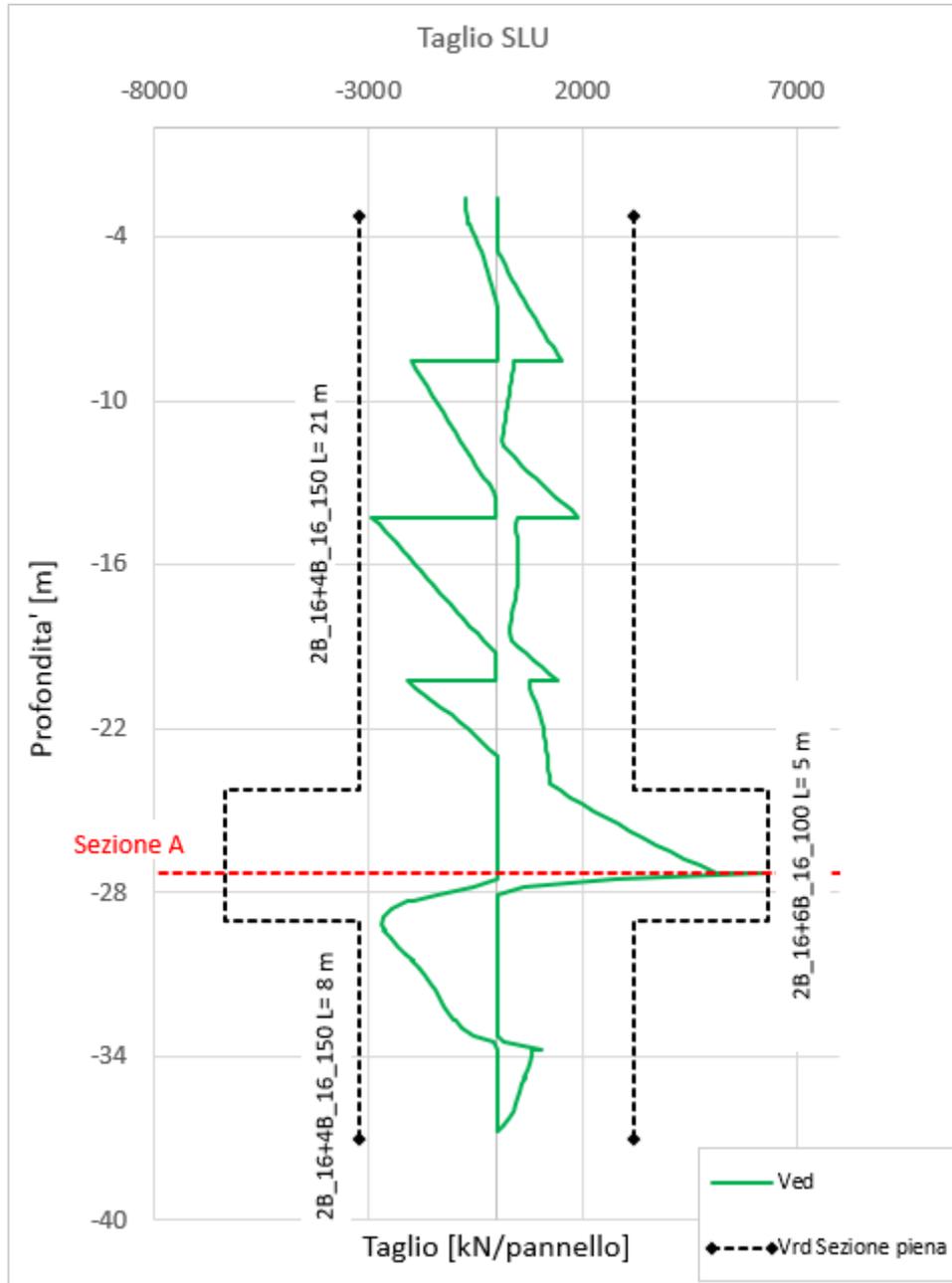


Figura 25. Diaframma - SLU Diagramma delle sollecitazioni taglianti – Sezione AA

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Mole/Giardini Reali - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSMOR001-0-1

Tabella 24 Diaframma - Verifica SLU – Taglio – Sezione A

Verifica elementi a taglio			
Pannello diaframma 2800 x 1200 mm - $\phi 16$ 2 braccia + $\phi 16$ 6 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}	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}	6142	kN
		Verificato	



7.2.2 Sezione BB

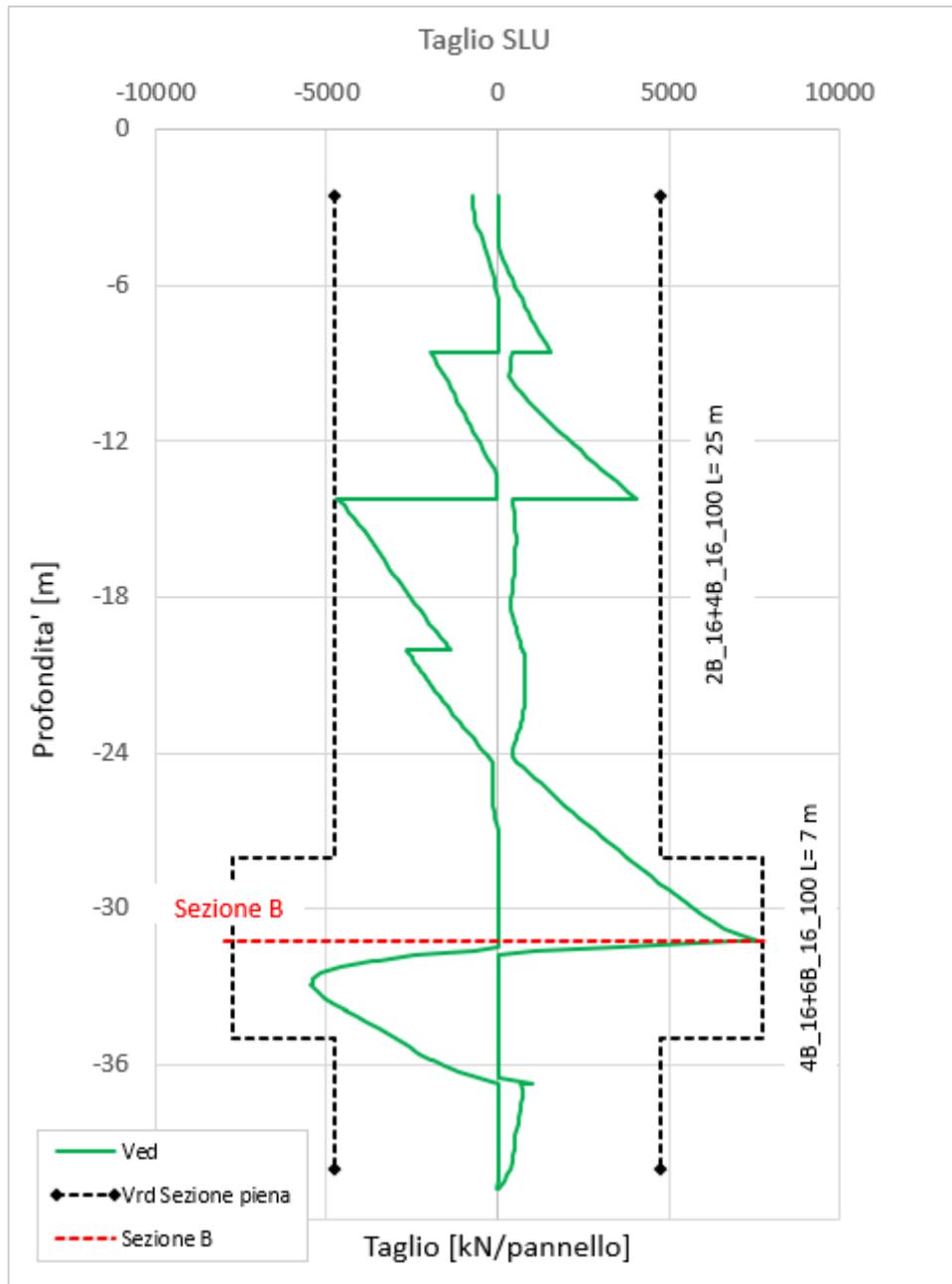


Figura 26. Diaframma - SLU Diagramma delle sollecitazioni taglianti – Sezione BB



CITTA' DI TORINO

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

Stazione Mole/Giardini Reali - Relazione di calcolo
opere di sostegno stazione

MTL2T1A2DSTRSMOR001-0-1

Tabella 25 Diaframma - Verifica SLU – Taglio – Sezione B

Verifica elementi a taglio			
Pannello diaframma 2800 x 1200 mm - ϕ16 2 braccia + ϕ16 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}	4	
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}	2009,6	mm ²
Braccio coppia interna	z	986,4	mm
Resistenza offerta dall'armatura a taglio	V_{Rsd}	7757	kN
Resistenza offerta dai puntoni	V_{Rcd}	9782	kN
Resistenza a taglio della sezione armata trasversalmente	V_{Rd}	7757	kN
Taglio sollecitante SLU	V_{ed}	7616	kN
			Verificato

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Mole/Giardini Reali - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSMOR001-0-1

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 (C25/30) sono relativi alla combinazione di carico caratteristica.

Calcestruzzo:

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

Acciaio:

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

Di seguito sono riportate le verifiche a fessurazione relative alla Sezione A1. Essendo la Sezione A2 meno sollecitata, a parità di sezione resistente questa risulta sicuramente verificata.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Mole/Giardini Reali - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSMOR001-0-1

7.3.1 Sezione AA

Tabella 26 Diaframmi - Verifica SLE –Sezione A1

Sezione di verifica SLE: 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	1023	[mm]
Limitazione delle tensioni		
Area dell'armatura tesa	15928	[mm ²]
Area dell'armatura compressa	2513	[mm ²]
Momento sollecitante	3067	[kNm]
Posizione dell'asse neutro	509,77	[mm]
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	1,2985E+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	12,0	[MPa]
Tensione calcestruzzo < 15 Mpa		Verificato
Tensione nell'armatura tesa	218,1	[MPa]
Tensione acciaio < 360 Mpa		Verificato
Apertura delle fessure		
Tensione indotta nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata	218,07	[MPa]
Valore medio della resistenza a trazione efficace del calcestruzzo	2,56	[MPa]
Fattore dipendente dalla durata del carico	0,40	[-]
Altezza efficace	230,08	[mm]
Area efficace del calcestruzzo teso attorno all'armatura	230075	[mm ²]
Rapporto geometrico sull'area efficace	0,0692	[-]
Rapporto tra Es/Ecm	6,67	[-]
Differenza tra la deformazione nell'acciaio e quella nel calcestruzzo	0,000935	[-]
Determinazione del diametro equivalente delle barre tese	26,00	[mm]
Distanza massima tra le fessure	318,85	[mm]
Ampiezza delle fessure	0,298	[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 Mole/Giardini Reali - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSMOR001-0-1

Tabella 27 Diaframmi - Verifica SLE –Sezione A2

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	1076 [mm]
Limitazione delle tensioni	
Area dell'armatura tesa	7238 [mm ²]
Area dell'armatura compressa	8495 [mm ²]
Momento sollecitante	1203 [kNm]
Posizione dell'asse neutro	337,83 [mm]
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	95982377080 [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	4,2 [MPa]
Tensione calcestruzzo < 15 Mpa	Verificato
Tensione nell'armatura tesa	169,7 [MPa]
Tensione acciaio < 360 Mpa	Verificato
Apertura delle fessure	
Tensione indotta nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata	169,75 [MPa]
Valore medio della resistenza a trazione efficace del calcestruzzo	2,56 [MPa]
Fattore dipendente dalla durata del carico	0,40 [-]
Altezza efficace	287,39 [mm]
Area efficace del calcestruzzo teso attorno all'armatura	287389 [mm ²]
Rapporto geometrico sull'area efficace	0,0252 [-]
Rapporto tra Es/Ecm	6,67 [-]
Differenza tra la deformazione nell'acciaio e quella nel calcestruzzo	0,000582 [-]
Determinazione del diametro equivalente delle barre tese	24,00 [mm]
Distanza massima tra le fessure	416,99 [mm]
Ampiezza delle fessure	0,243 [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 Mole/Giardini Reali - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSMOR001-0-1

7.3.2 Sezione BB

Tabella 28 Diaframmi - Verifica SLE –Sezione B1

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	19302	[mm ²]
Area dell'armatura compressa	4247	[mm ²]
Momento sollecitante	2808,6	[kNm]
Posizione dell'asse neutro	547,61	[mm]
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	1,70646E+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	9,0	[MPa]
Tensione calcestruzzo < 15 Mpa		Verificato
Tensione nell'armatura tesa	159,3	[MPa]
Tensione acciaio < 360 Mpa		Verificato
Apertura delle fessure		
Tensione indotta nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata	159,26	[MPa]
Valore medio della resistenza a trazione efficace del calcestruzzo	2,56	[MPa]
Fattore dipendente dalla durata del carico	0,40	[-]
Altezza efficace	217,46	[mm]
Area efficace del calcestruzzo teso attorno all'armatura	217463	[mm ²]
Rapporto geometrico sull'area efficace	0,0888	[-]
Rapporto tra Es/Ecm	6,67	[-]
Differenza tra la deformazione nell'acciaio e quella nel calcestruzzo	0,000671	[-]
Determinazione del diametro equivalente delle barre tese	32,00	[mm]
Distanza massima tra le fessure	316,29	[mm]
Ampiezza delle fessure	0,212	[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 Mole/Giardini Reali - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSMOR001-0-1

Tabella 29 Diaframmi - Verifica SLE –Sezione B2

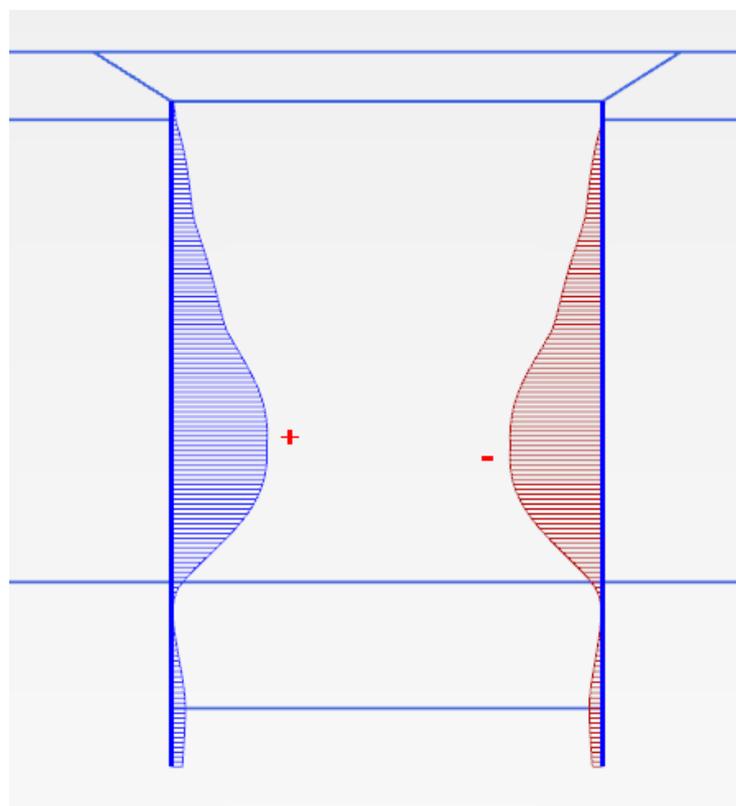
Sezione di verifica SLE: Sezione B-2		
Geometria sezione:		
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	1200	[mm]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	1000	[mm]
Copriferro	75	[mm]
Altezza utile della sezione	1075	[mm]
Limitazione delle tensioni		
Area dell'armatura tesa	19302	[mm ²]
Area dell'armatura compressa	8495	[mm ²]
Momento sollecitante	3904	[kNm]
Posizione dell'asse neutro	512,19	[mm]
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	1,86755E+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	10,7	[MPa]
Tensione calcestruzzo < 15 Mpa		Verificato
Tensione nell'armatura tesa	215,9	[MPa]
Tensione acciaio < 360 Mpa		Verificato
Apertura delle fessure		
Tensione indotta nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata	215,86	[MPa]
Valore medio della resistenza a trazione efficace del calcestruzzo	2,56	[MPa]
Fattore dipendente dalla durata del carico	0,40	[-]
Altezza efficace	229,27	[mm]
Area efficace del calcestruzzo teso attorno all'armatura	229268	[mm ²]
Rapporto geometrico sull'area efficace	0,0842	[-]
Rapporto tra Es/Ecm	6,67	[-]
Differenza tra la deformazione nell'acciaio e quella nel calcestruzzo	0,000937	[-]
Determinazione del diametro equivalente delle barre tese	32,00	[mm]
Distanza massima tra le fessure	319,62	[mm]
Ampiezza delle fessure	0,300	[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 Mole/Giardini Reali - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSMOR001-0-1

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.



Total displacements u_x (scaled up 500 times)
 Maximum value = $9,767 \cdot 10^{-3}$ m (Element 132 at Node 32650)
 Minimum value = $-9,459 \cdot 10^{-3}$ m (Element 168 at Node 57399)

Figura 27. Spostamenti orizzontali a lungo termine

Lo spostamento massimo risulta essere di 9.76 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 Mole/Giardini Reali - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSMOR001-0-1

8. VERIFICHE GEOTECNICHE

8.1 Verifica capacità portante 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 30 Verifica capacità portante paratia

Parametri geotecnici		Forza agente	
c_k	25 kPa	Carico caratteristico	1170 kN/m
ϕ_k	28°	Interasse	1 m
γ_k	19 kN/mc	Carico caratteristico	1170 kN
Dimensione fondazione		Carico di progetto	1638 kN
B	1.2 m		
L	1 m		
θ	0°		
Lunghezza immorsata			
Lunghezza	12.8 m		

Capacità portante di base		Capacità portante laterale	
s_c	1.68	σ'_v (An. numerica)	300 kPa
s_q	1.56	K_0	0.53
s_v	0.52	σ'_h average	159 kPa
d_c	1.59	δ	0.5
d_q	1.44	Resistenza palo terreno	14°
i_c, i_q	1.00	K_a	0.361
i_v	1.00	Attrito palo terreno	70.0 kPa
N_c	25.78	Resistenza laterale	3955 kN
N_q	14.71	Fattore di sicurezza parziale	1.15
N_y	10.93	R laterale di progetto	3439 kN

q_c	1727 kPa	R totale di progetto	13875 kN
q_q	9948 kPa	Carico di progetto	1638 kN
q_v	65 kPa		Verificato

q_{ult}	11740 kPa		
Fattore sicurezza parziale	1.35		
R di base di progetto	10436 kN		

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Mole/Giardini Reali - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSMOR001-0-1

8.2 Verifica del fondo scavo

La verifica della stabilità del fondo scavo nel caso specifico di immorsamento dei diaframmi nelle unità geologiche U5/U7 è condotta mediante il modello Plaxis il metodo del "safety calculation – phi/c reduction" implementato nel programma di calcolo.

Il fattore di sicurezza viene calcolato tramite l'equazione:

$$\Sigma Msf = \frac{\tan \varphi_{input}}{\tan \varphi_{reduced}} = \frac{C_{input}}{C_{reduced}} = \frac{S_{u,input}}{S_{u,reduced}} = \frac{Tensile\ strength_{input}}{Tensile\ strength_{reduced}}$$

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. La fase di calcolo considerata è quella di breve termine e in assenza del contributo stabilizzante dei cross-walls.

La Figura 28 mostra il meccanismo deformativo definito dal metodo di progressiva riduzione dei parametri geotecnici. Il fattore di sicurezza mostrato in Figura 29 (1.72) risulta ampiamente verificato.

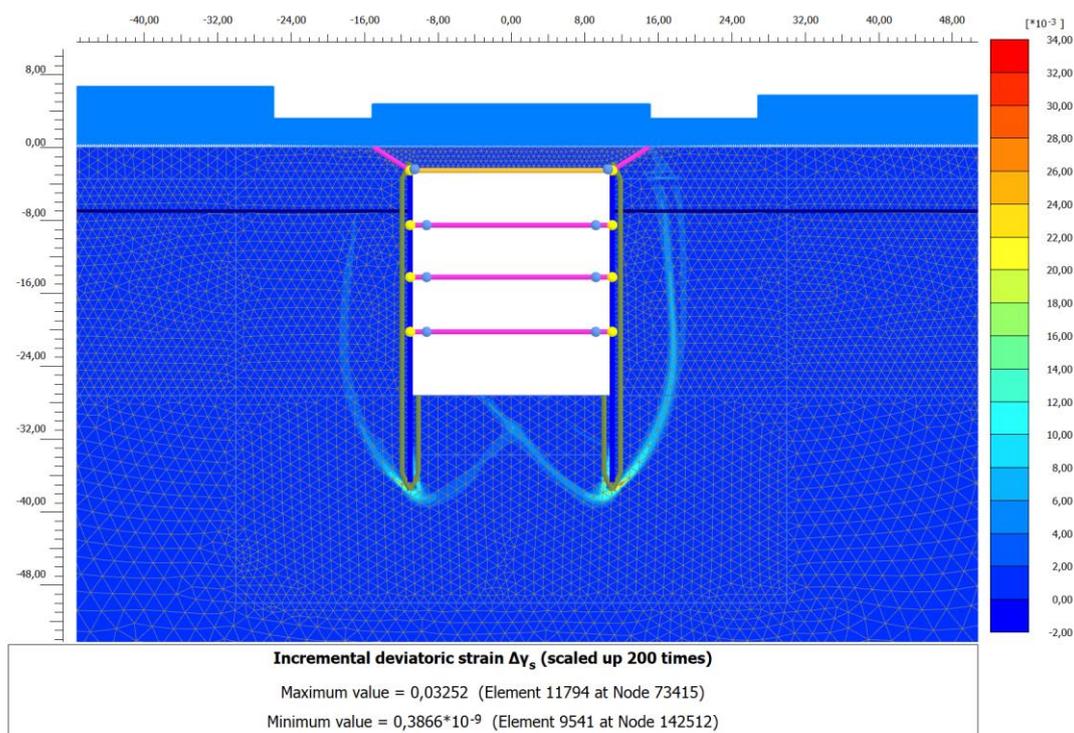


Figura 28. Meccanismo deformativo a fondo scavo in assenza di cross walls

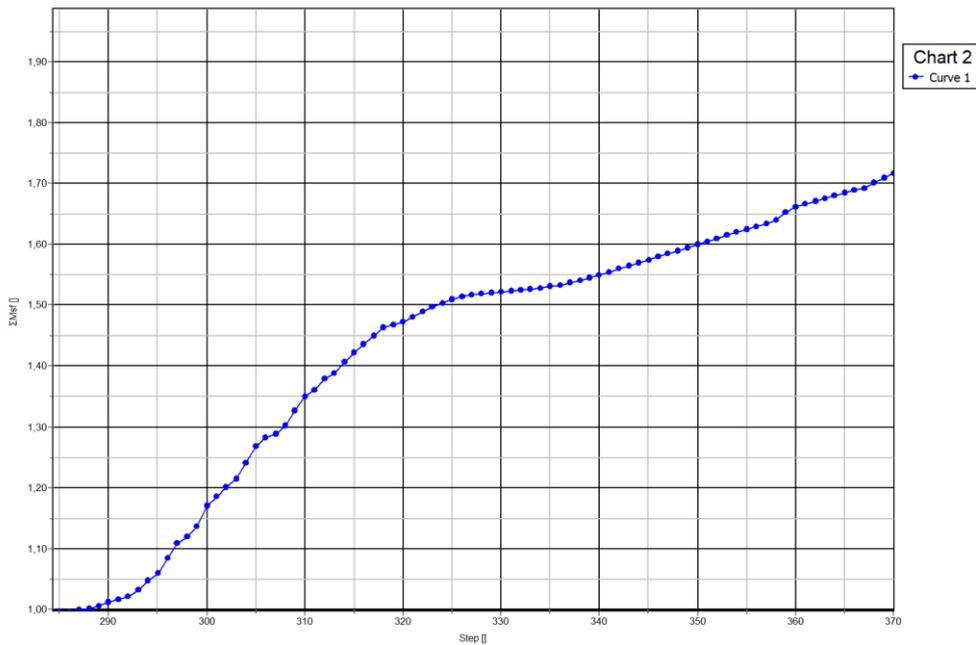


Figura 29. Fattore di sicurezza a breve termine in assenza di cross walls

Dal punto di vista idrogeologico, il substrato intercettato al di sotto della unita' U2 presenta caratteristiche di bassissima permeabilità (il rapporto dei valori del coefficiente di permeabilità misurato negli strati non coesivi e in quelli coesivi è all'incirca pari a 4 ordini di grandezza) e non presenta collegamento idraulico con lo strato sovrastante. Per tanto, non si ritengono necessarie verifiche aggiuntive del fondo scavo.



8.3 Verifica capacità portante della soletta di fondo

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

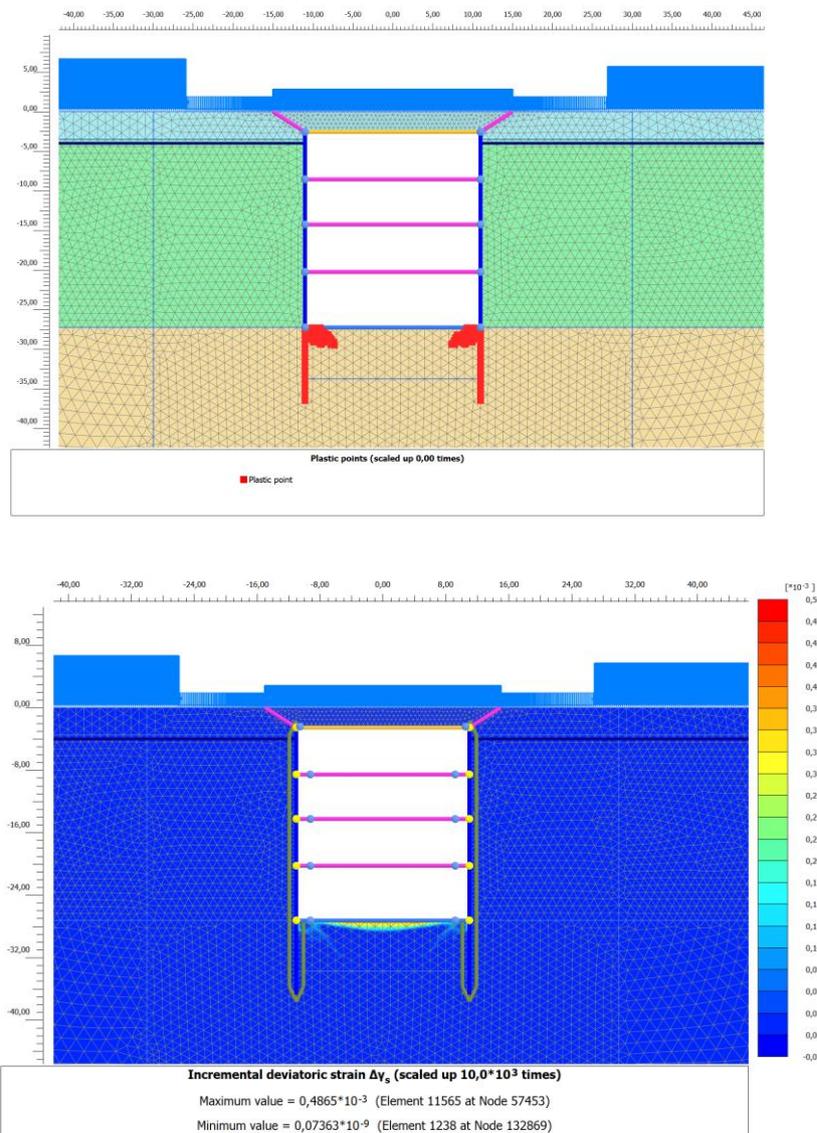


Figura 30. Zone di plasticizzazione



8.4 Verifiche di stabilità a breve e lungo termine

Il fattore di sicurezza relativo alla stabilità globale è valutato sia nella fase di breve termine una volta installate le solette e raggiunto il fondo scavo, sia nella fase 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 circa 10, pertanto è assicurata la stabilità del fondo scavo a breve termine.

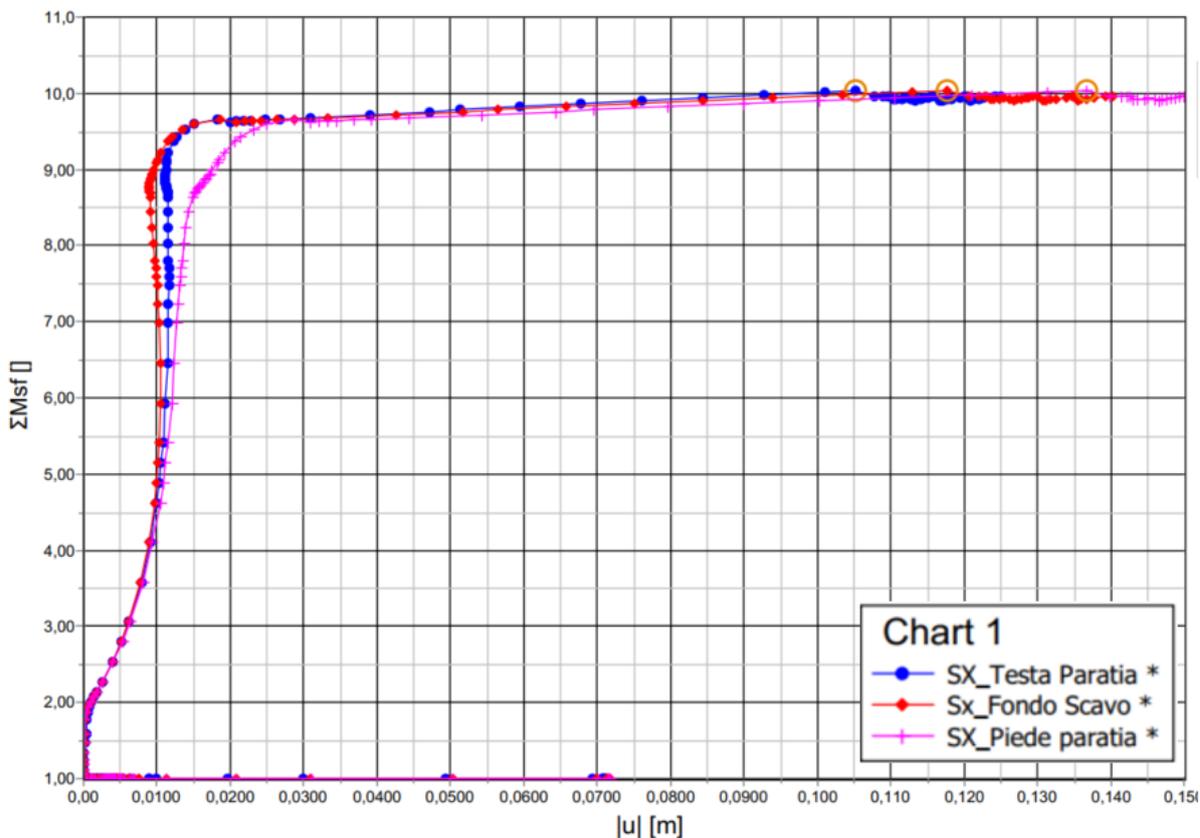


Figura 31. Fattore di sicurezza – Breve termine

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Mole/Giardini Reali - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSMOR001-0-1

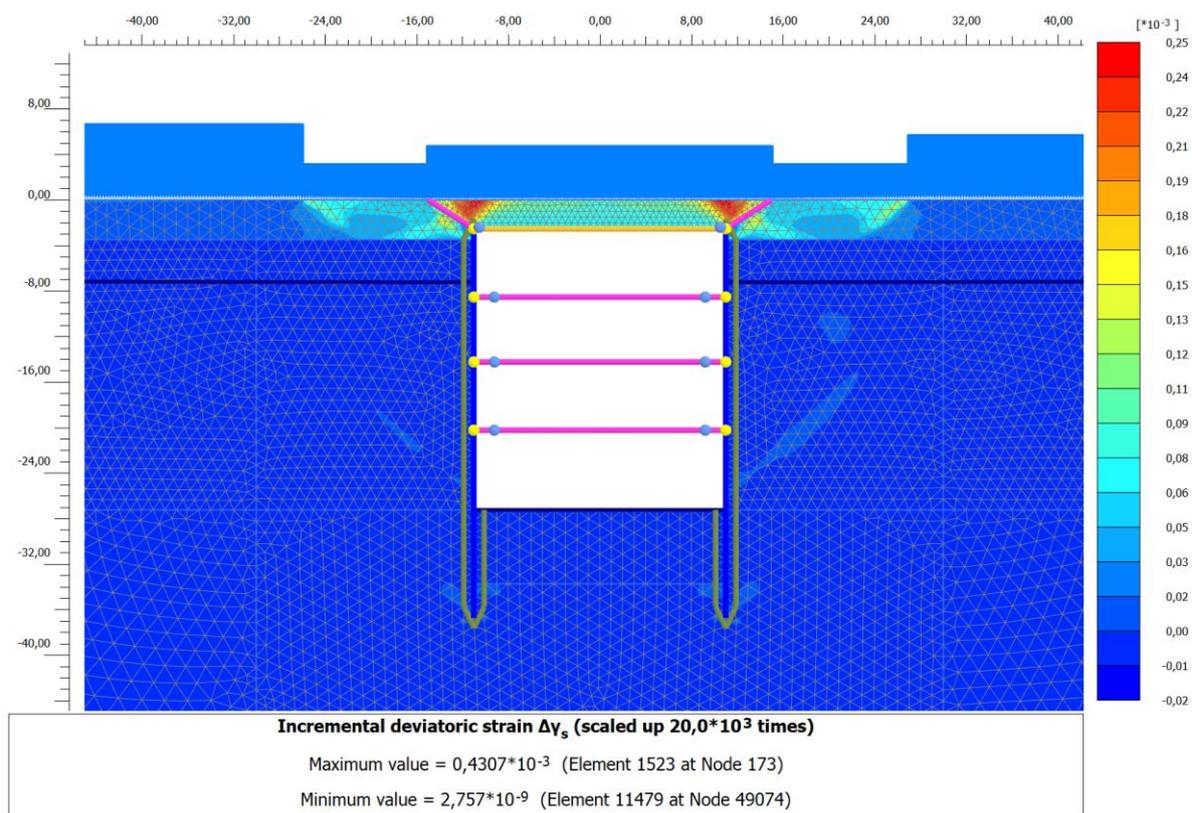


Figura 32. Rapporto tra tensione tangenziale massima e tensione tangenziale mobilitata

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 3,6 pertanto la stabilità geotecnica globale e locale è assicurata in tutte le fasi costruttive anche in assenza dell'azione stabilizzante dei cross-walls.

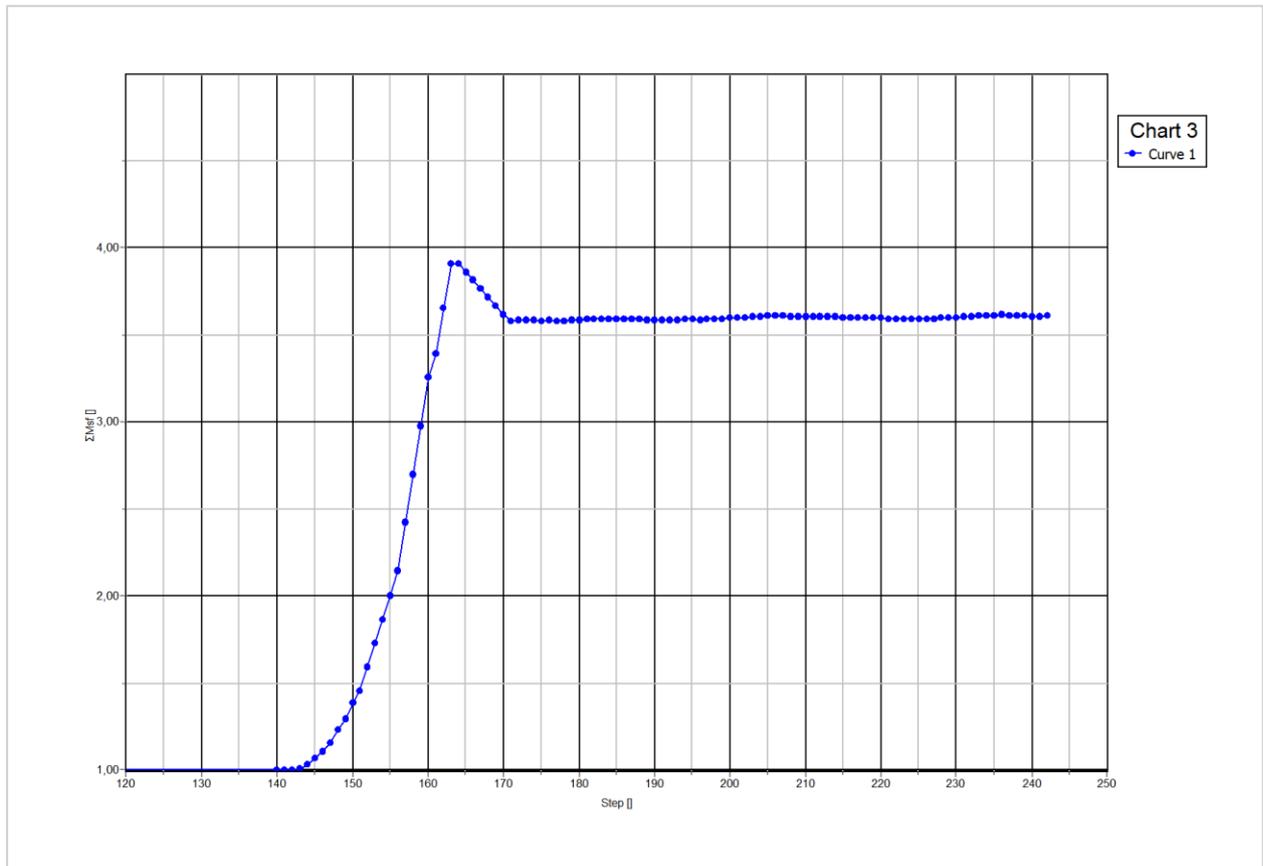


Figura 33. Fattore di sicurezza a lungo termine

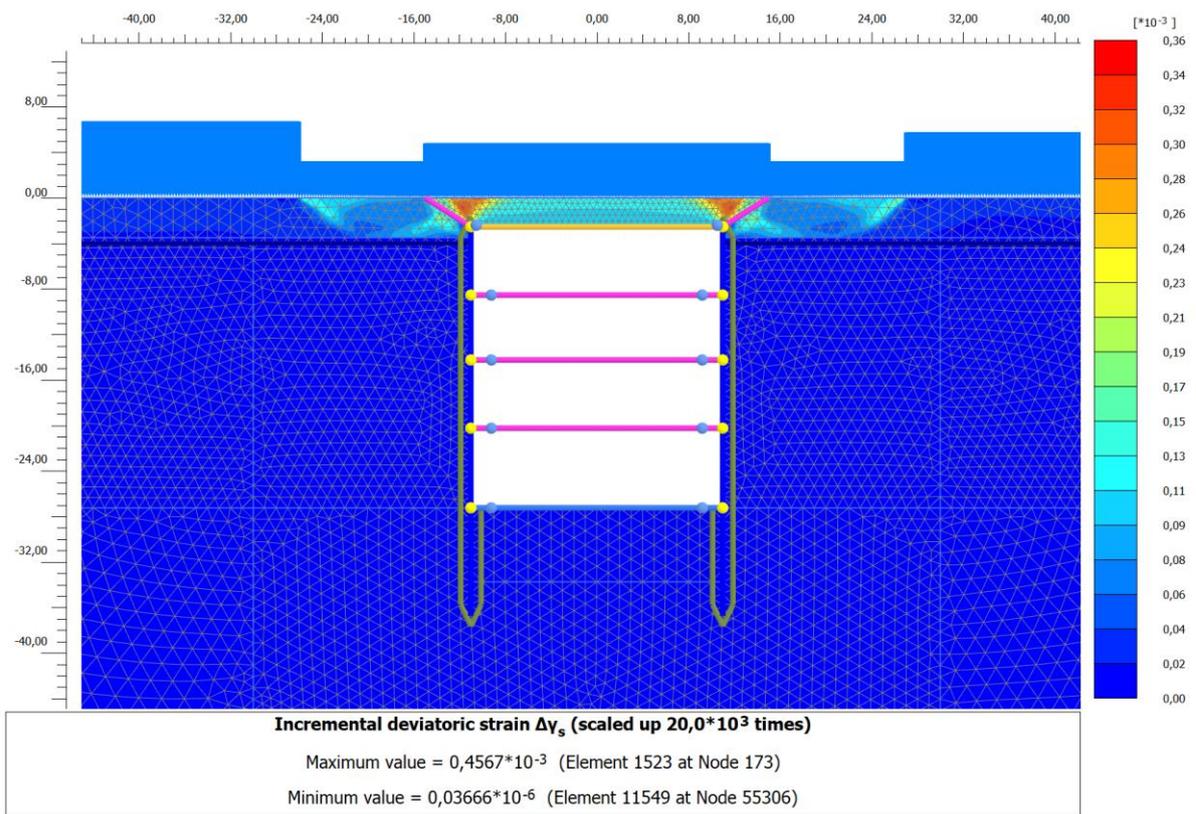
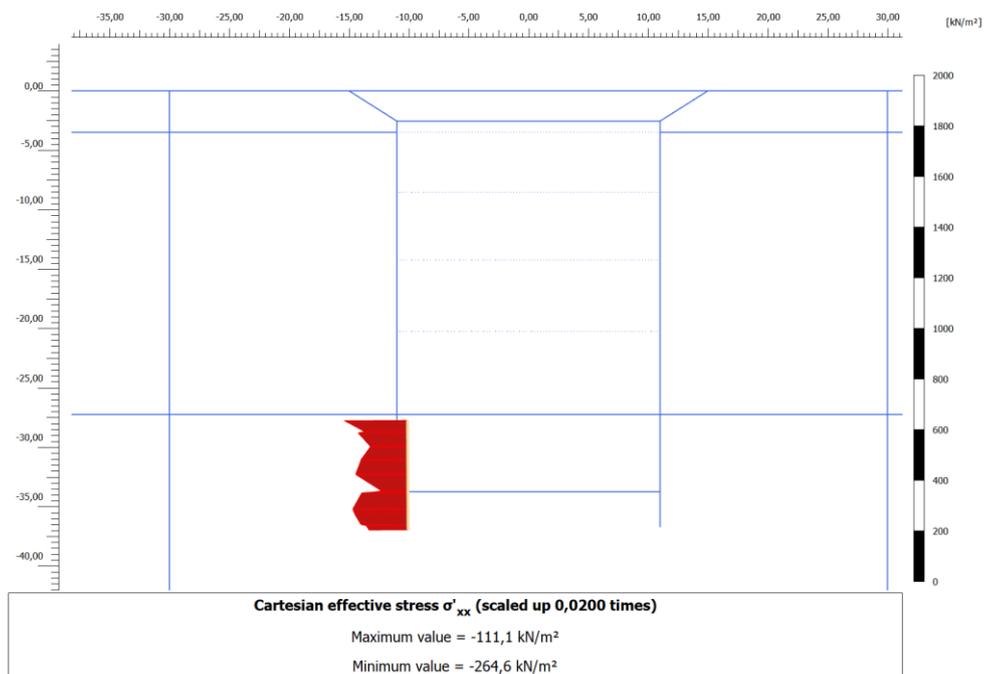
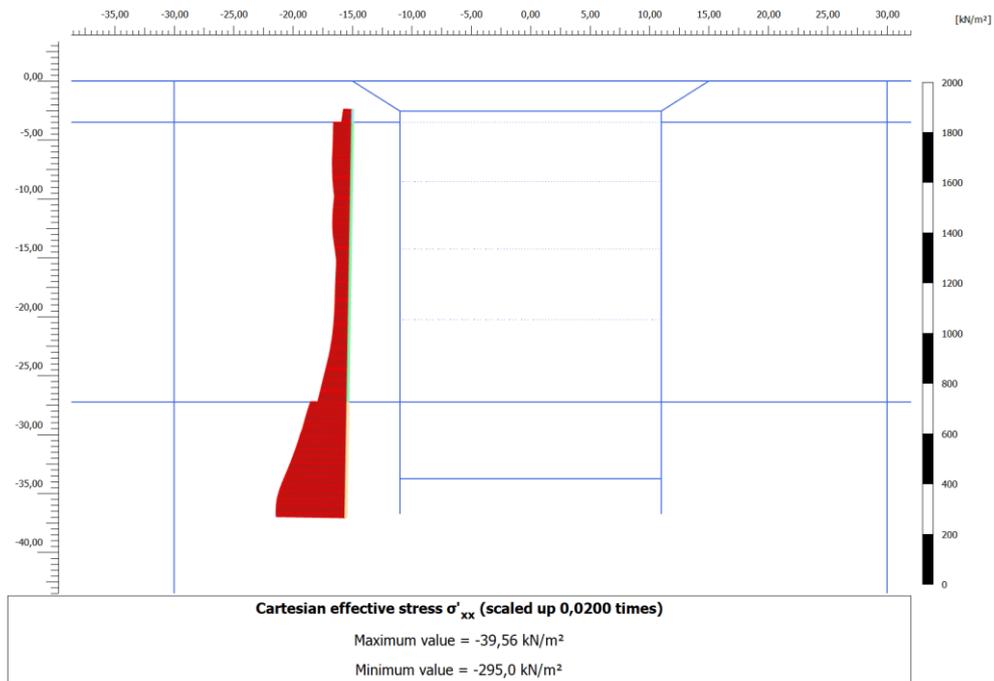


Figura 34. Rapporto tra tensione tangenziale massima e tensione tangenziale mobilitata

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



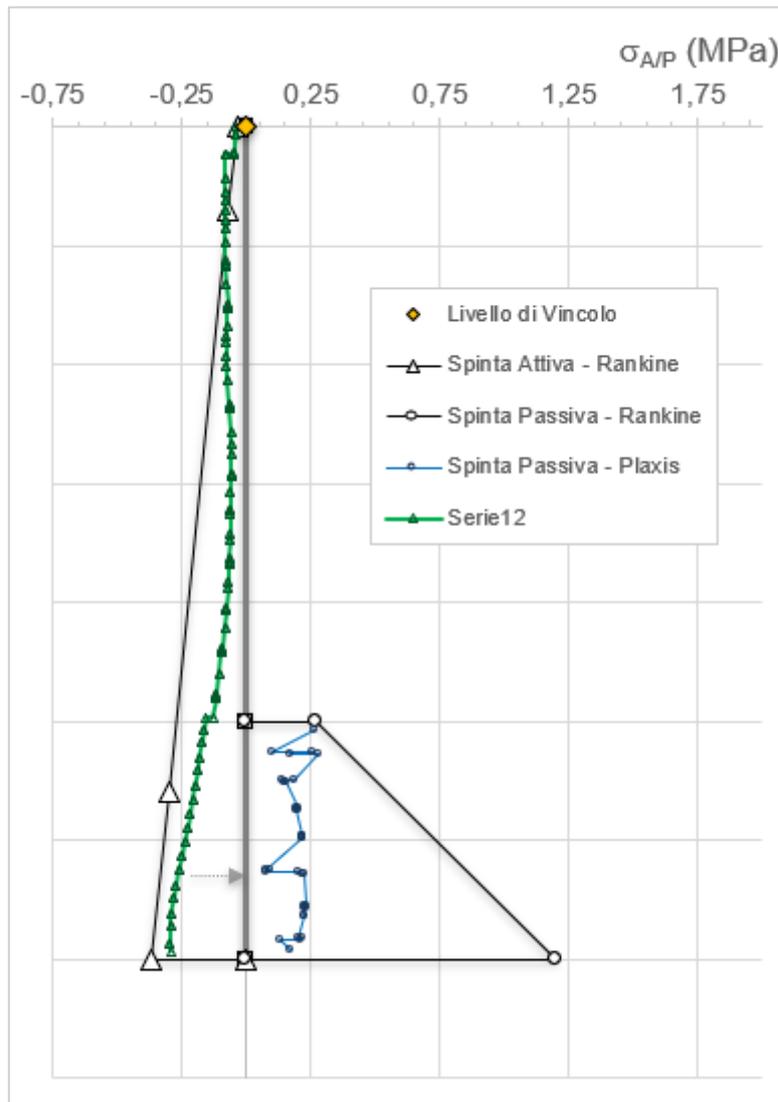


Figura 35. Confronto tensione limite attive e passive con tensioni orizzontali Plaxis

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 Mole/Giardini Reali - Relazione di calcolo
opere di sostegno stazione

MTL2T1A2DSTRSMOR001-0-1

8.5 Verifica a galleggiamento a lungo termine

		Forze stabilizzanti - Peso									
Ritombamento		Diapframmi		Soletta copertura							
Altezza	H = 1,8 m	Spessore	S = 1,2 m	Altezza	H = 1,5 m	Area	A = 1736 m ²	Area	A = 1736 m ²		
Altezza di calcolo	H _{calc} = 0,8 m	Profondita'	H = 35 m	Peso per unita' di volume	Y = 25 kN/m ³	Peso strutturale	W _{cop, str} = 65100 kN	Peso per unita' di volume	Y = 25 kN/m ³	Peso non strutturale (10%)	W _{cop, non, str} = 6510 kN
Area	A = 2001 m ²	Lunghezza	L = 217 m	Peso per unita' di volume	Y = 25 kN/m ³	Peso strutturale	W _{cop, str} = 65100 kN	Peso per unita' di volume	Y = 25 kN/m ³	Peso non strutturale (10%)	W _{cop, non, str} = 6510 kN
Peso per unita' di volume	Y = 18 kN/m ³										
Peso ritombamento	W _{rit} = 28814 kN										
Solette intermedie		Banchine		Pilastri							
Numero	n = 3	Area soletta banchina x 2	A = 952 m ²	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 = 1,2 m	Spessore soletta banchina	S = 1,2 m	Peso per unita' di volume	Y = 25 kN/m ³	Peso strutturale	W _{sol, b, str} = 28560 kN	Altezza	H = 19,15 m	Peso per unita' di volume	Y = 25 kN/m ³
Area	A = 1737 m ²	Peso per unita' di volume	Y = 25 kN/m ³	Peso non strutturale (10%)	W _{sol, b, non, str} = 2856 kN	Peso strutturale	W _{sol, b, str} = 28560 kN	Peso per unita' di volume	Y = 25 kN/m ³	Peso non strutturale (10%)	W _{sol, b, non, str} = 2856 kN
Percentuale vuoti	%V = 30	Muri banchina	L = 113,4 m								
Area di calcolo	A _{calc} = 3647,7 m ²	Spessore muri banchina	S = 0,4 m								
Peso per unita' di volume	Y = 25 kN/m ³	Peso strutturale	W _{mur, b, str} = 1134 kN								
Peso ritombamento	W _{rit, str} = 109431 kN										
Peso non strutturale (10%)	W _{rit, non, str} = 32829 kN										
Soletta di base		Fodere piano banchina		Fodere							
Altezza	H = 1,8 m	Altezza	H = 10,45 m	Altezza	H = 10,5 m	Spessore	s = 0,8 m	Spessore	s = 0,6 m		
Area	A = 1736 m ²	Lunghezza	L = 217 m	Lunghezza	L = 217 m	Lunghezza	L = 217 m	Lunghezza	L = 217 m		
Peso per unita' di volume	Y = 25 kN/m ³	Peso per unita' di volume	Y = 25 kN/m ³	Peso per unita' di volume	Y = 25 kN/m ³	Peso per unita' di volume	Y = 25 kN/m ³	Peso per unita' di volume	Y = 25 kN/m ³		
Peso strutturale	W _{cop, str} = 78120 kN	Peso strutturale	W _{fod, b, str} = 45353 kN	Peso strutturale	W _{fod, str} = 34178 kN						
Peso non strutturale (10%)	W _{cop, non, str} = 7812 kN										



CITTA' DI TORINO

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

Stazione Mole/Giardini Reali - Relazione di calcolo
opere di sostegno stazione

MTL2T1A2DSTRSMOR001-0-1

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	=	217 m
Forza stabilizzante attrito	F_{attr}	=	121533 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	$H_{w,Breve}$	=	7 m da p.c.
H falda lungo termine	$H_{w,Lungo}$	=	4 m da p.c.
Area soletta di fondo	A_{sol}	=	1736 m ²
Area piede paratie	A_{par}	=	260,4 m ²
Spinta idraulica breve termine U breve		=	430311 kN
Incremento spinta a lungo terr ΔU lungo		=	59892 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}	=	711073 kN
Forze instabilizzanti di progetto	V_{inst}	=	563180 kN
Fattore di sicurezza	FS	=	1,26 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:

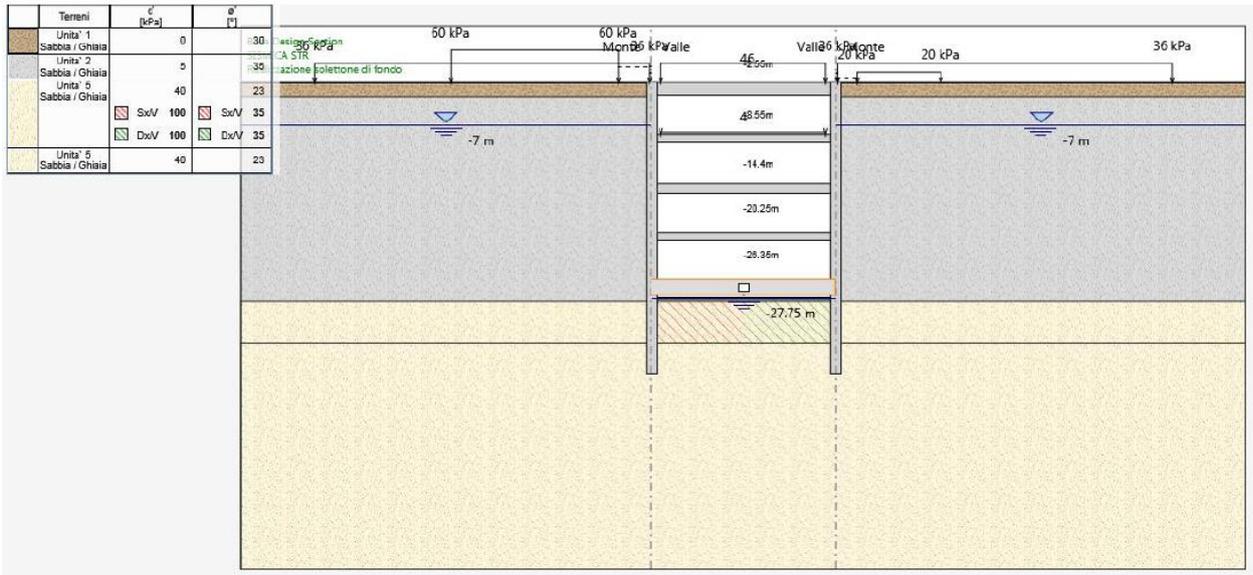


Figura 36. Modello numerico ParatiePlus

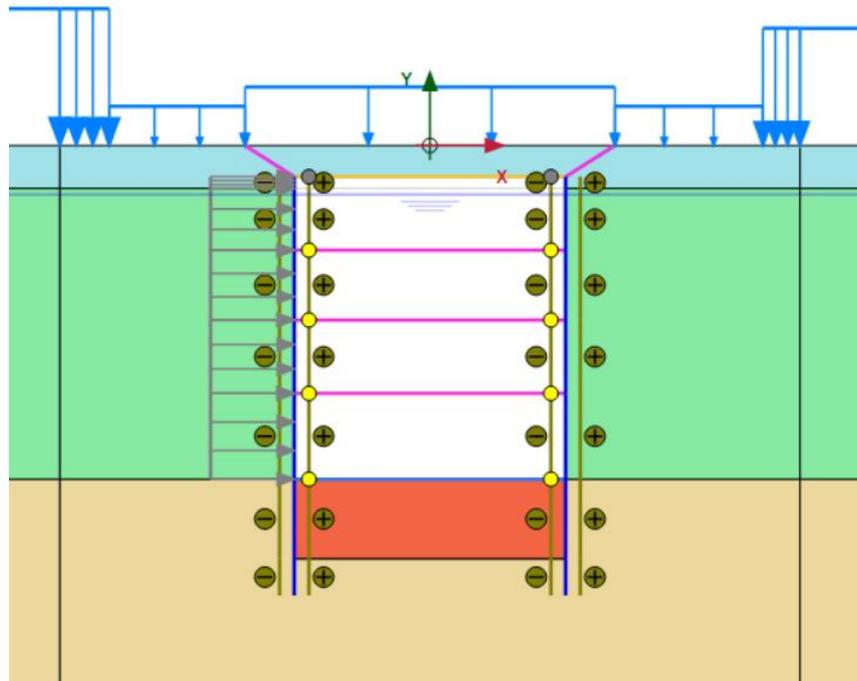


Figura 37. Modello numerico Plaxis

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

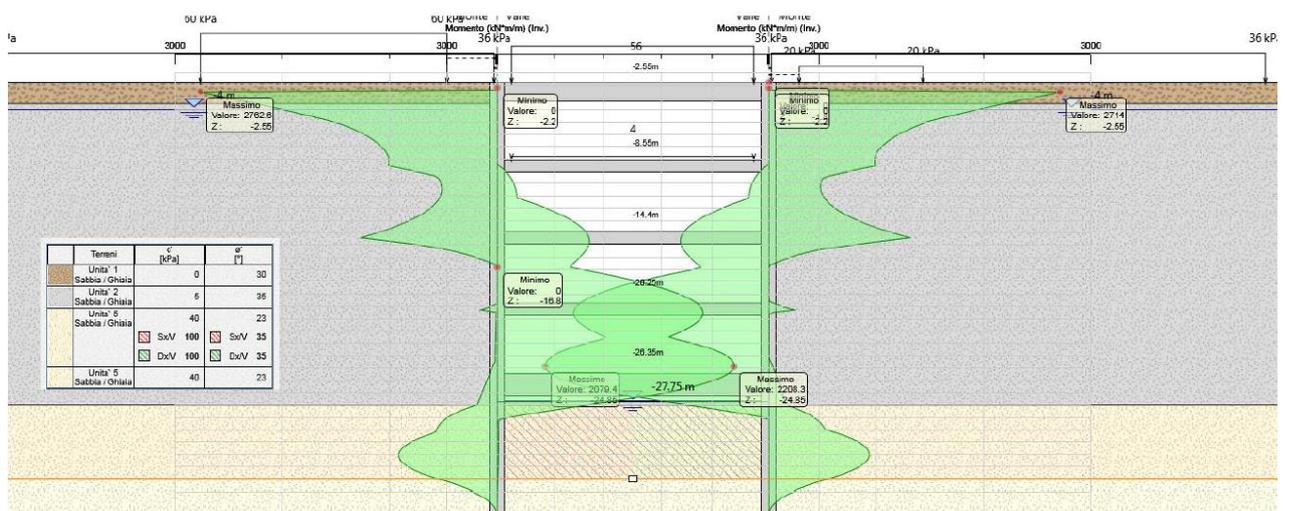


Figura 38. Involuppo momenti flettenti ParatiePlus

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Mole/Giardini Reali - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSMOR001-0-1

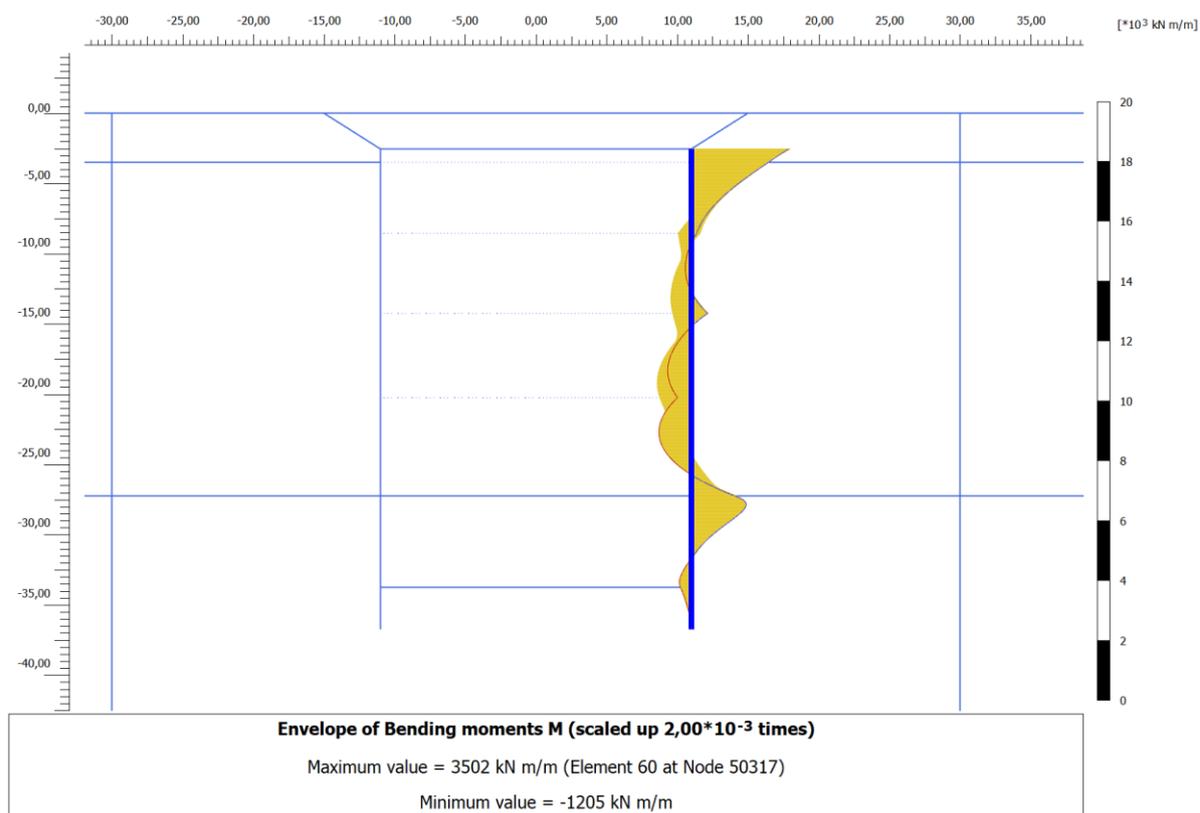


Figura 39. Involuppo momenti flettenti Plaxis

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 ai cross wall (assente nel modello di ParatiePlus) ed ad una modellazione più completa ottenuta con Plaxis 2D. Si ritiene pertanto che tale confronto dimostri la robustezza e validità delle analisi effettuate.

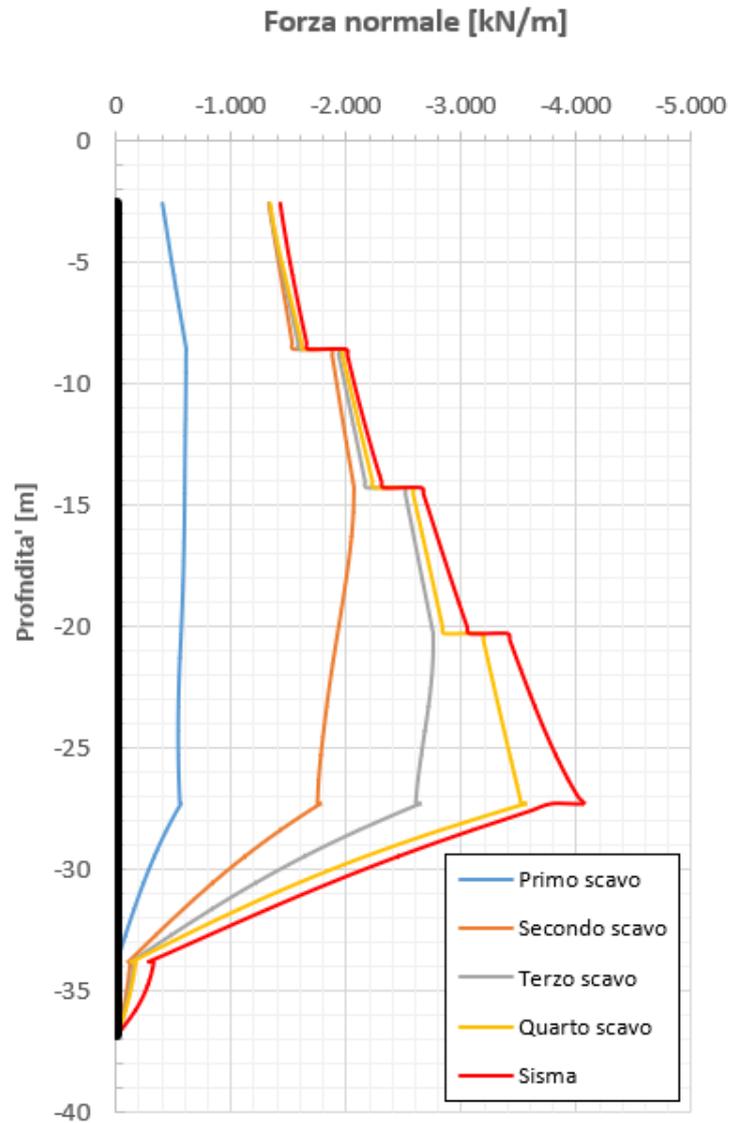
 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Mole/Giardini Reali - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSMOR001-0-1

ALLEGATO N.1

Risultati delle analisi numeriche



Sezione A-A - Cerniera





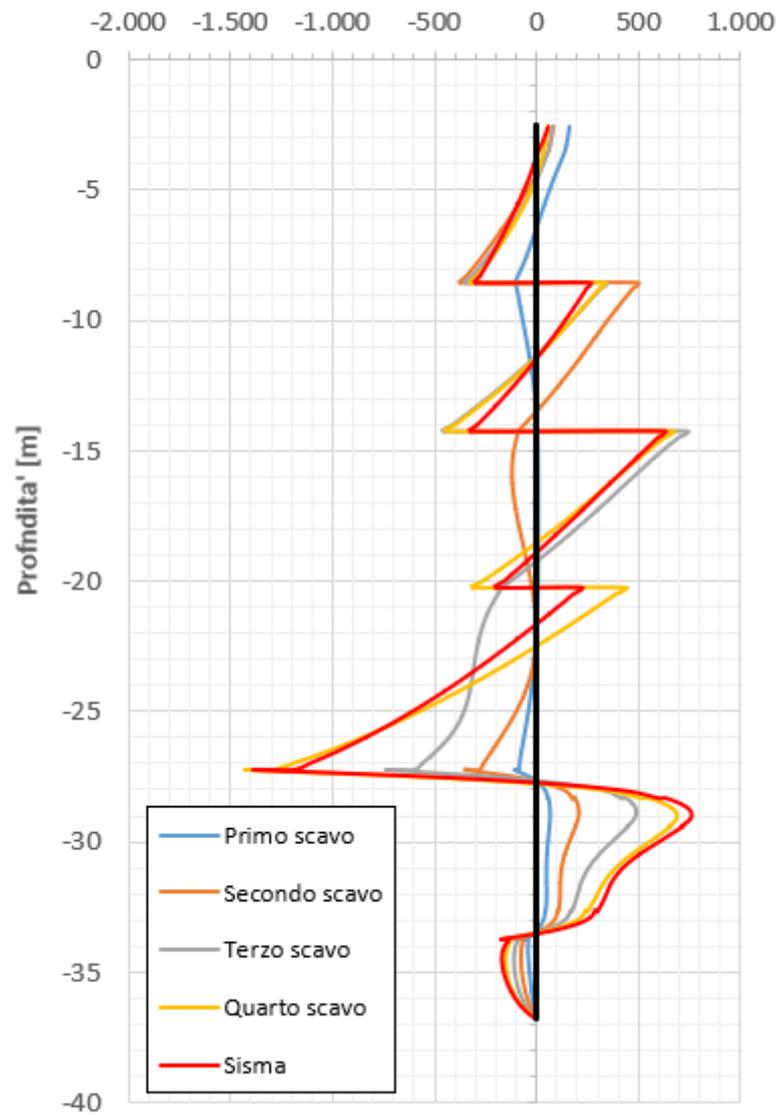
CITTA' DI TORINO

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

Stazione Mole/Giardini Reali - Relazione di calcolo
opere di sostegno stazione

MTL2T1A2DSTRSMOR001-0-1

Forza di taglio [kN/m]





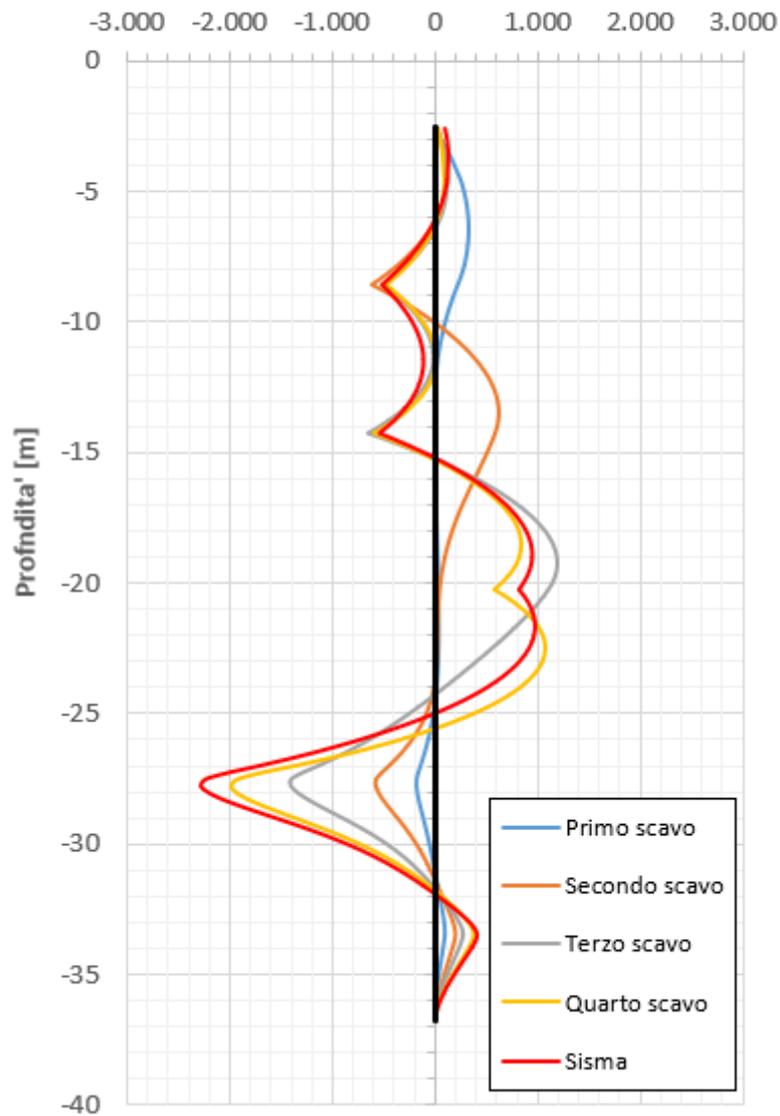
CITTA' DI TORINO

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

Stazione Mole/Giardini Reali - Relazione di calcolo
opere di sostegno stazione

MTL2T1A2DSTRSMOR001-0-1

Momento flettente [kNm/m]



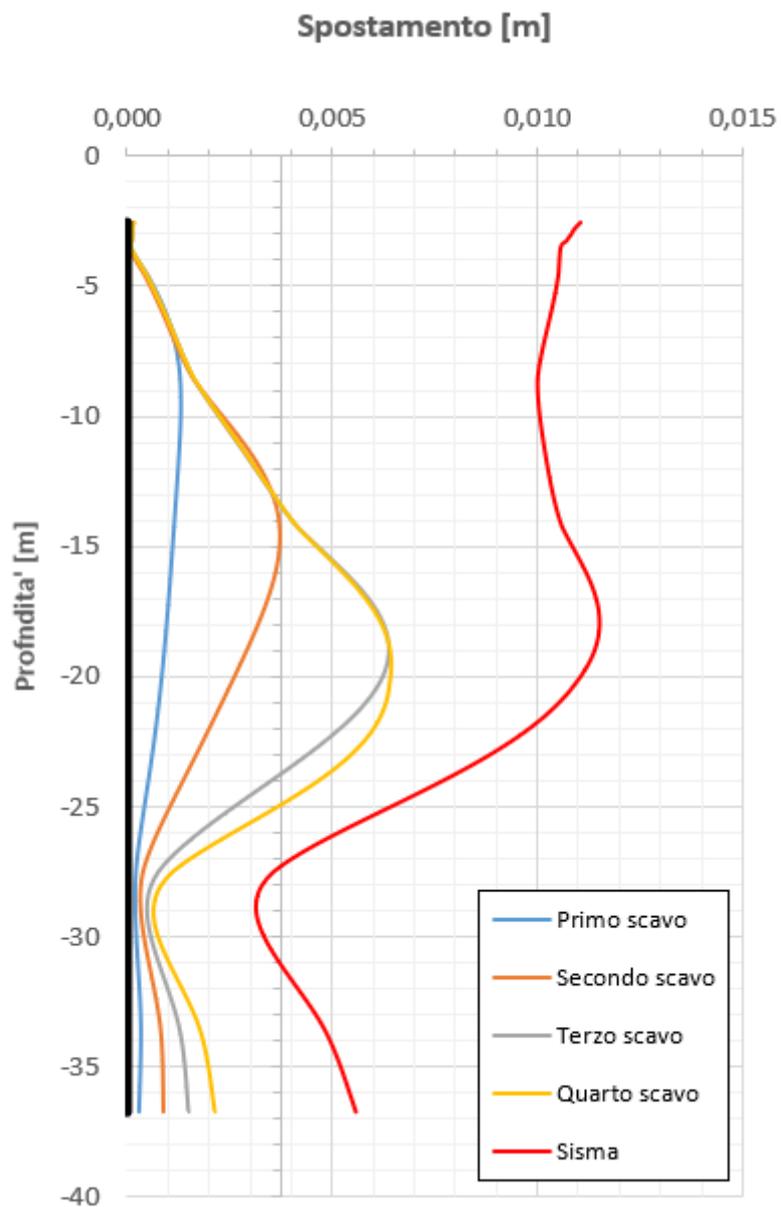
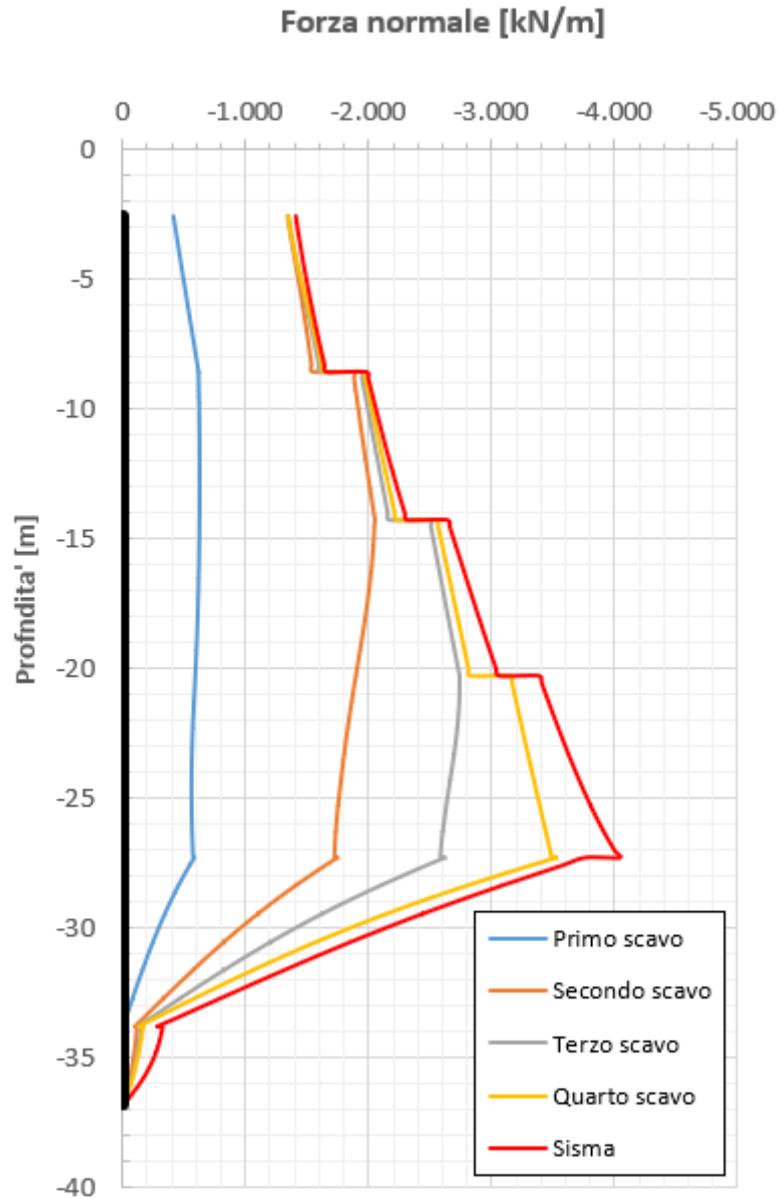


Figura 40. Andamento delle sollecitazioni e degli spostamenti orizzontali – Cerniera



Sezione A-A – Incastro





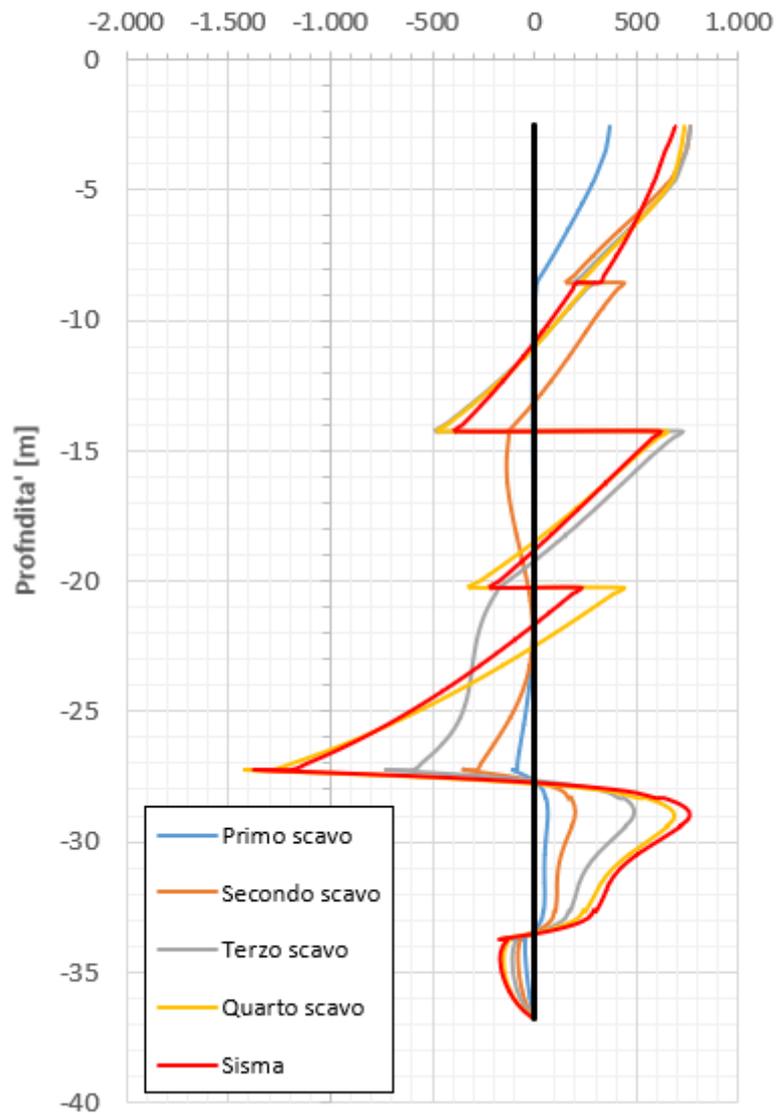
CITTA' DI TORINO

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

Stazione Mole/Giardini Reali - Relazione di calcolo
opere di sostegno stazione

MTL2T1A2DSTRSMOR001-0-1

Forza di taglio [kN/m]





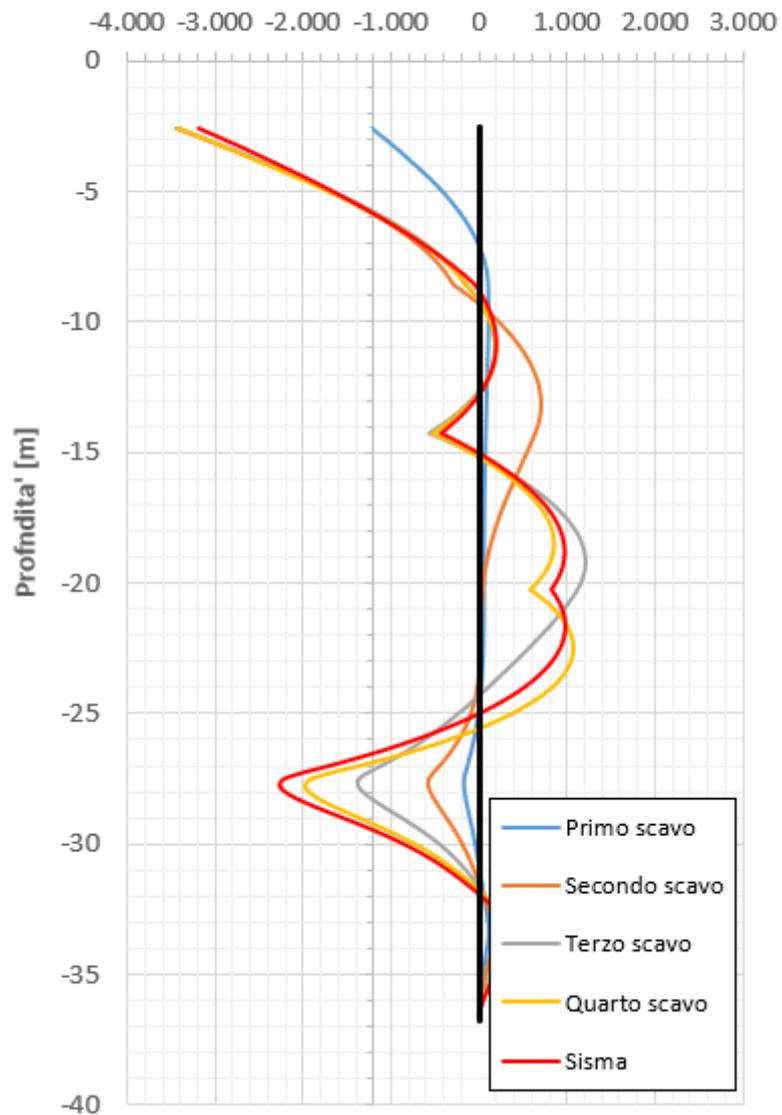
CITTA' DI TORINO

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

Stazione Mole/Giardini Reali - Relazione di calcolo
opere di sostegno stazione

MTL2T1A2DSTRSMOR001-0-1

Momento flettente [kNm/m]



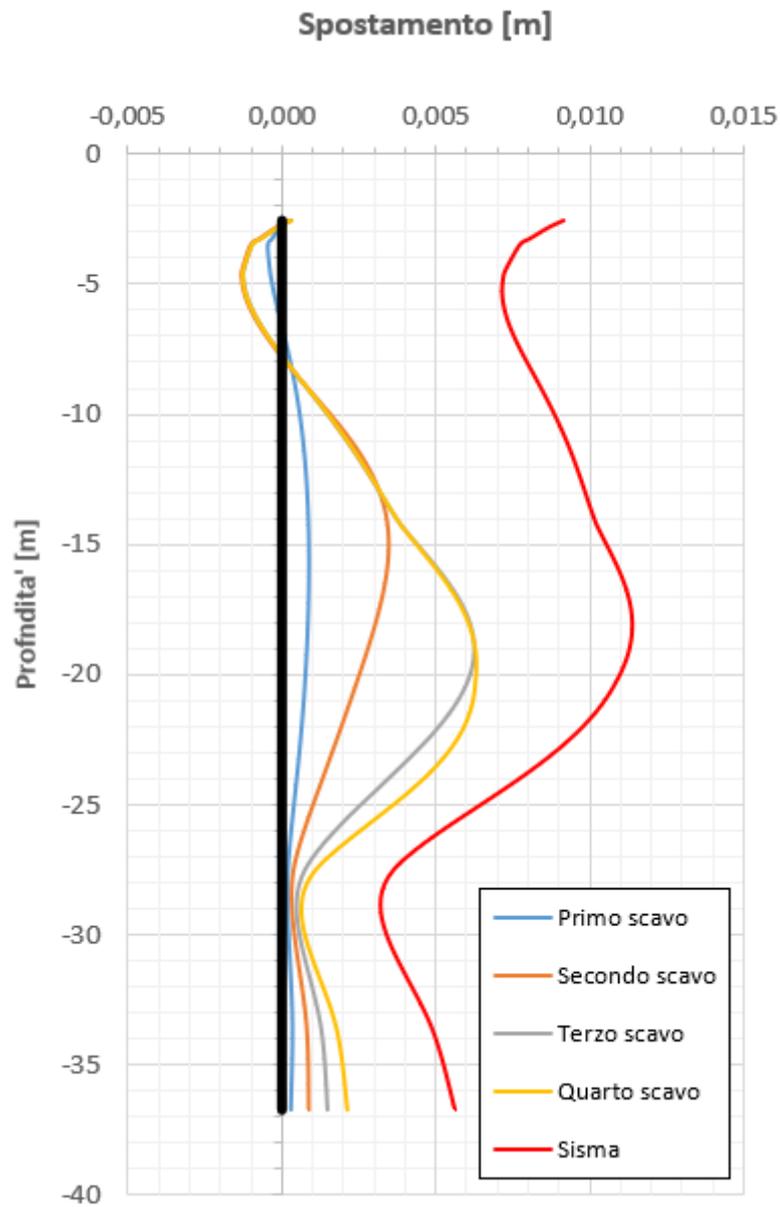


Figura 41. Andamento delle sollecitazioni e degli spostamenti orizzontali – Incastro



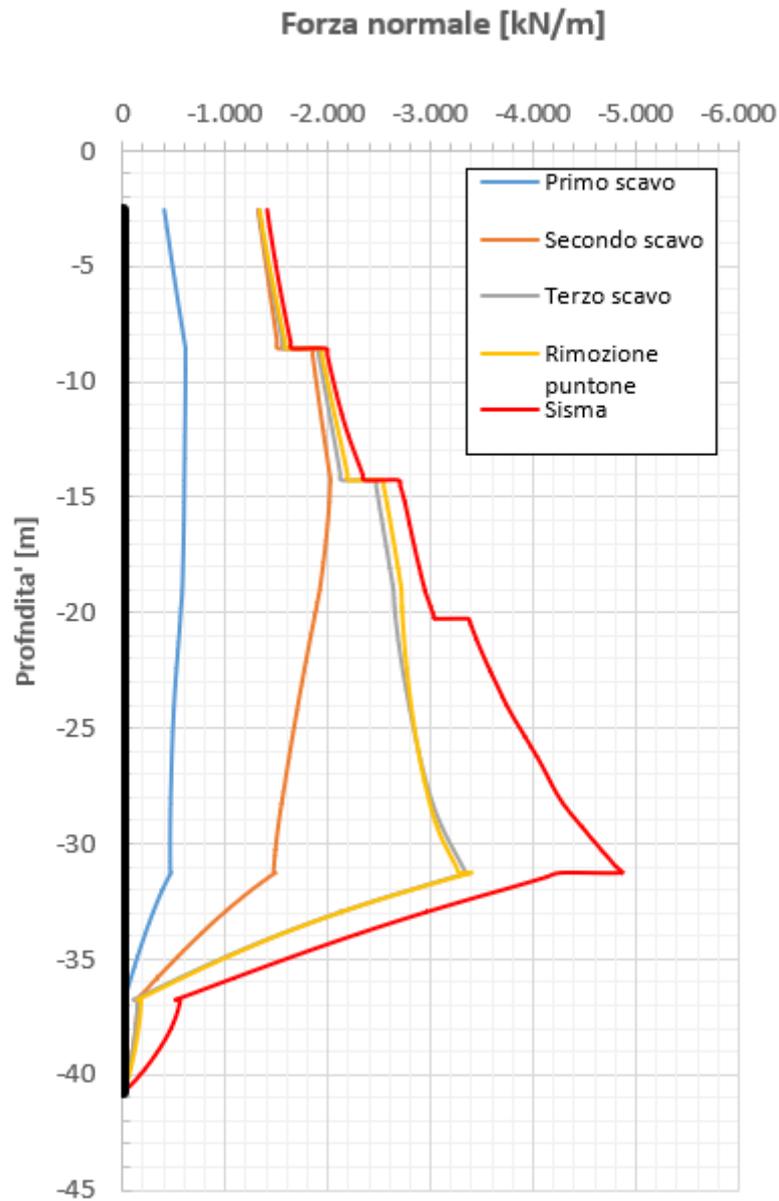
CITTA' DI TORINO

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

Stazione Mole/Giardini Reali - Relazione di calcolo
opere di sostegno stazione

MTL2T1A2DSTRSMOR001-0-1

Sezione B-B – Cerniera





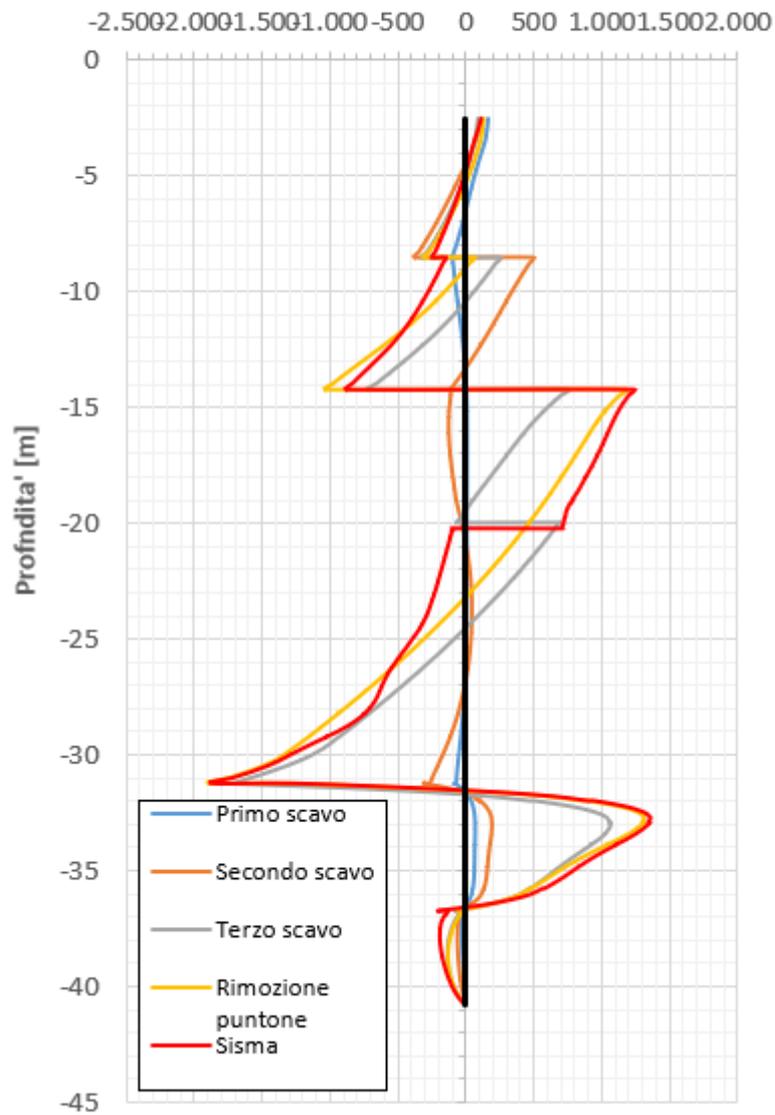
CITTA' DI TORINO

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

Stazione Mole/Giardini Reali - Relazione di calcolo
opere di sostegno stazione

MTL2T1A2DSTRSMOR001-0-1

Forza di taglio [kN/m]



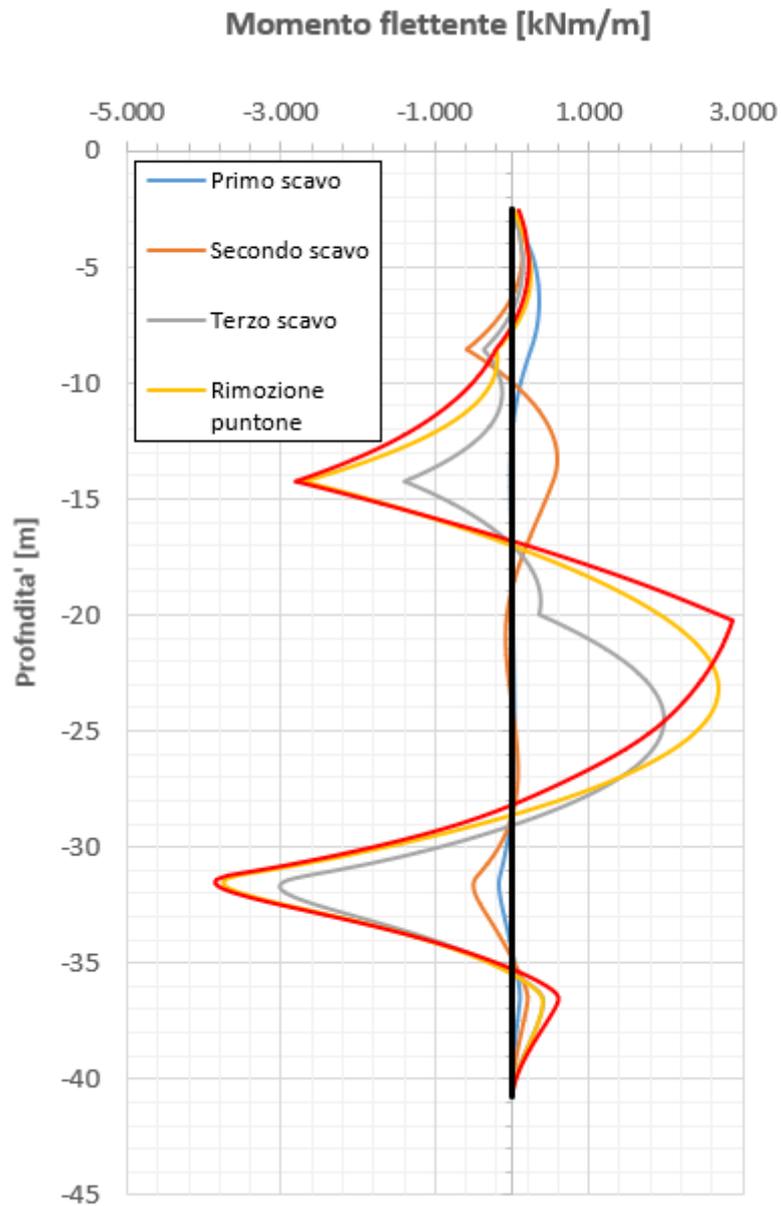


CITTA' DI TORINO

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

Stazione Mole/Giardini Reali - Relazione di calcolo
opere di sostegno stazione

MTL2T1A2DSTRSMOR001-0-1



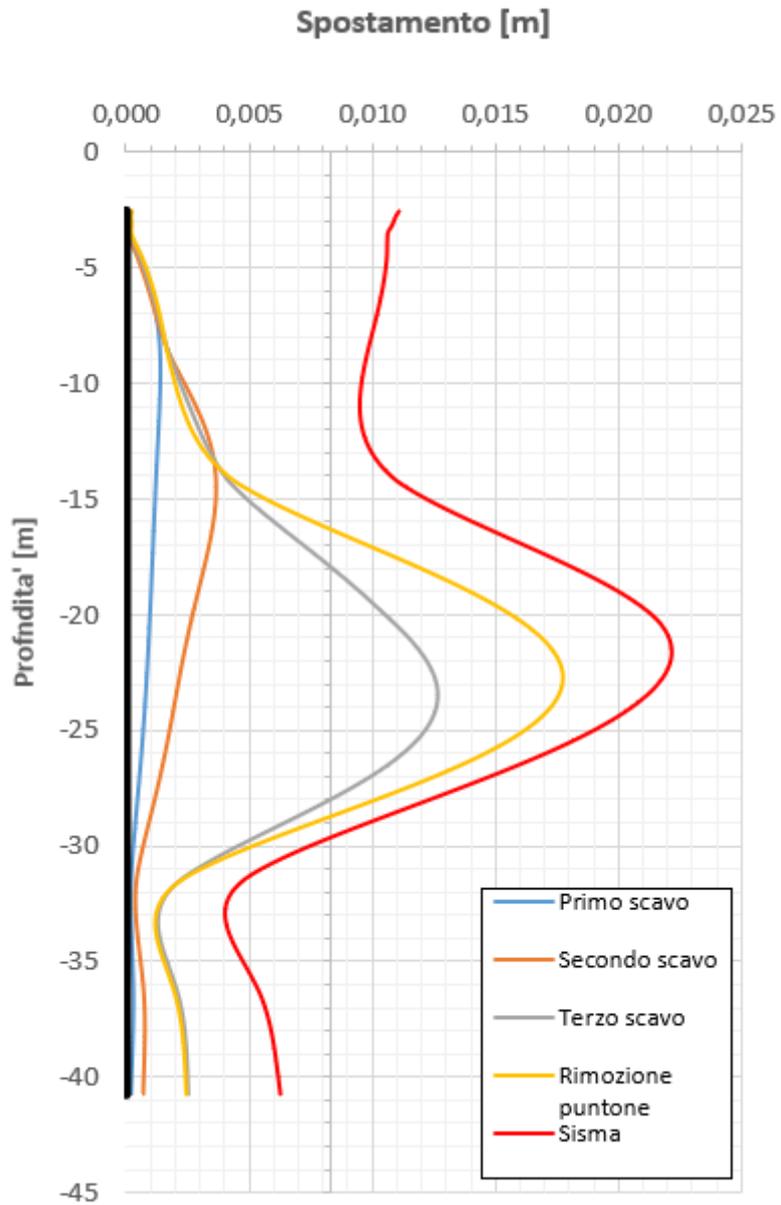


CITTA' DI TORINO

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

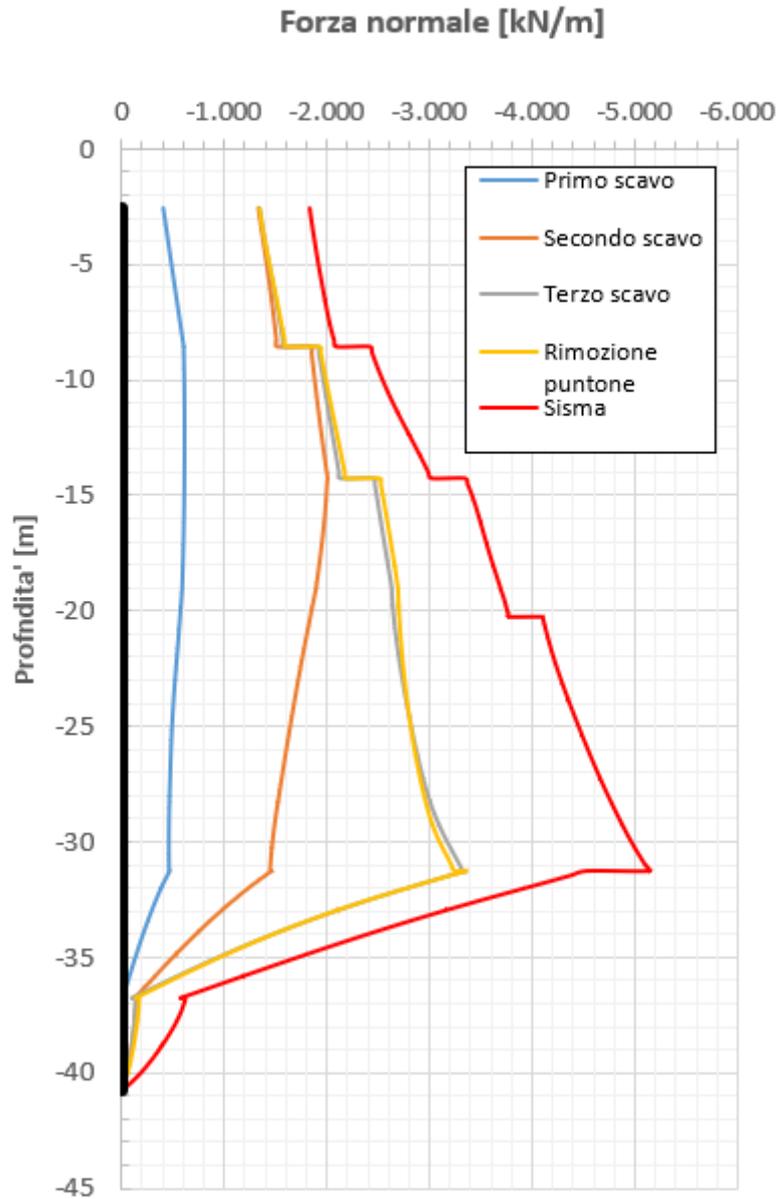
Stazione Mole/Giardini Reali - Relazione di calcolo
opere di sostegno stazione

MTL2T1A2DSTRSMOR001-0-1





Sezione B-B – Incastro





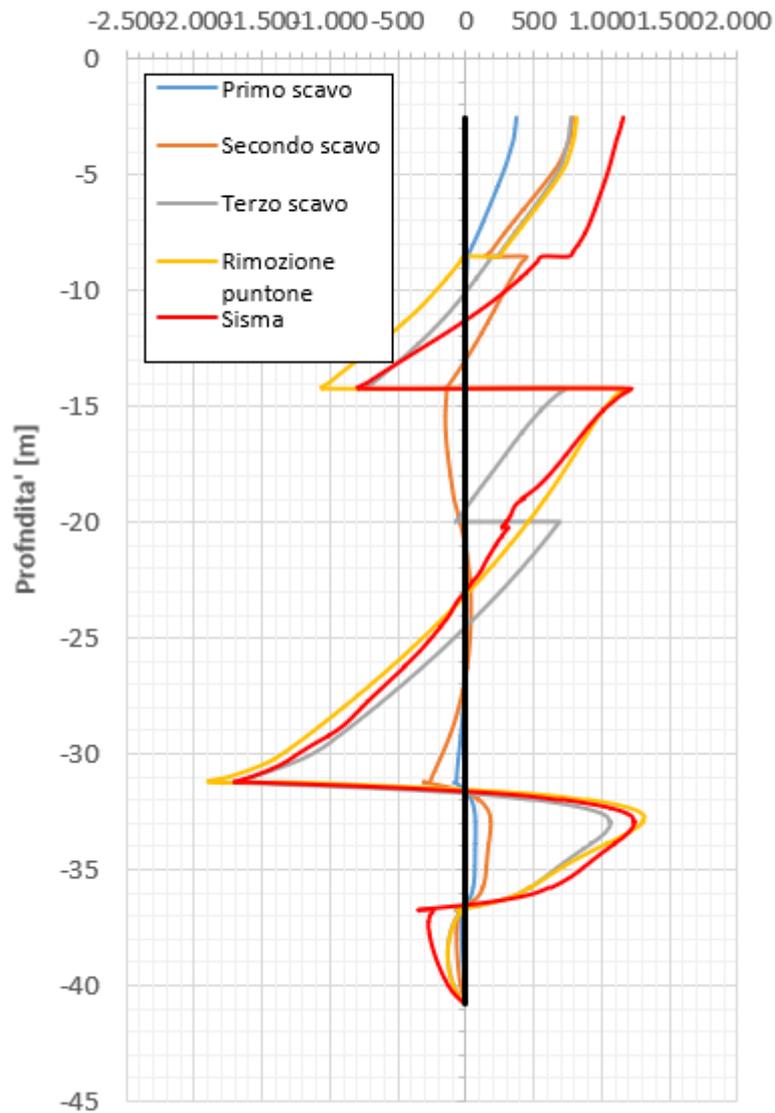
CITTA' DI TORINO

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

Stazione Mole/Giardini Reali - Relazione di calcolo
opere di sostegno stazione

MTL2T1A2DSTRSMOR001-0-1

Forza di taglio [kN/m]





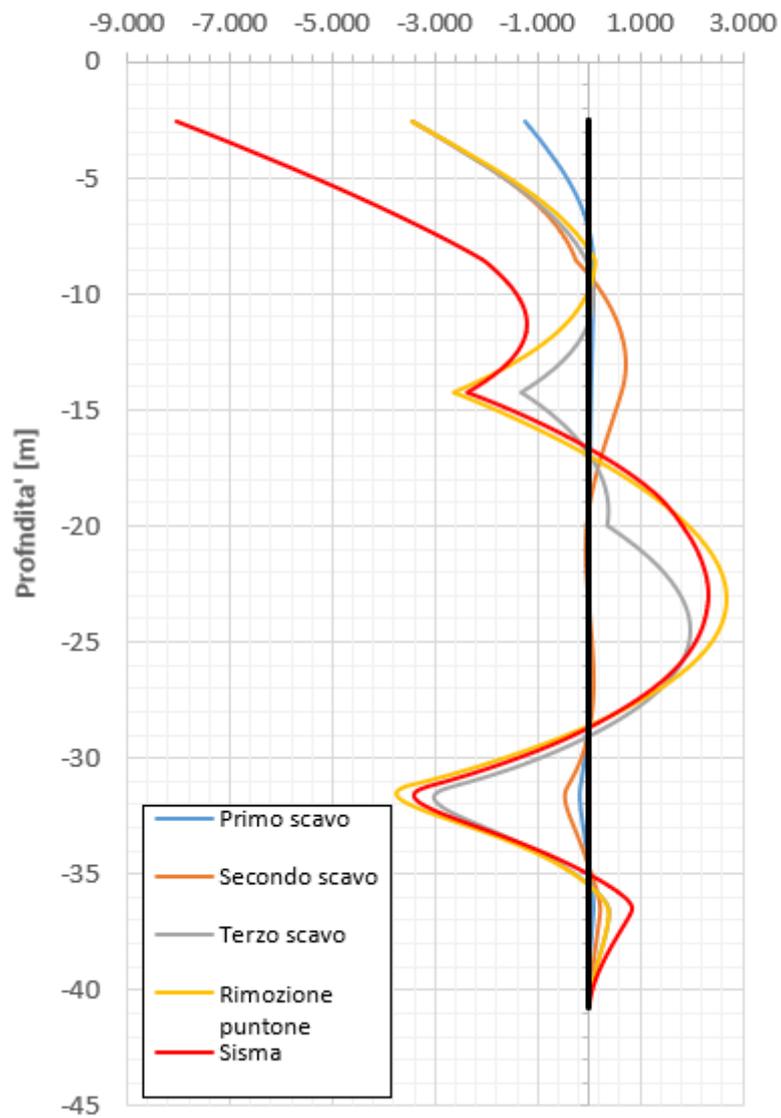
CITTA' DI TORINO

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

Stazione Mole/Giardini Reali - Relazione di calcolo
opere di sostegno stazione

MTL2T1A2DSTRSMOR001-0-1

Momento flettente [kNm/m]



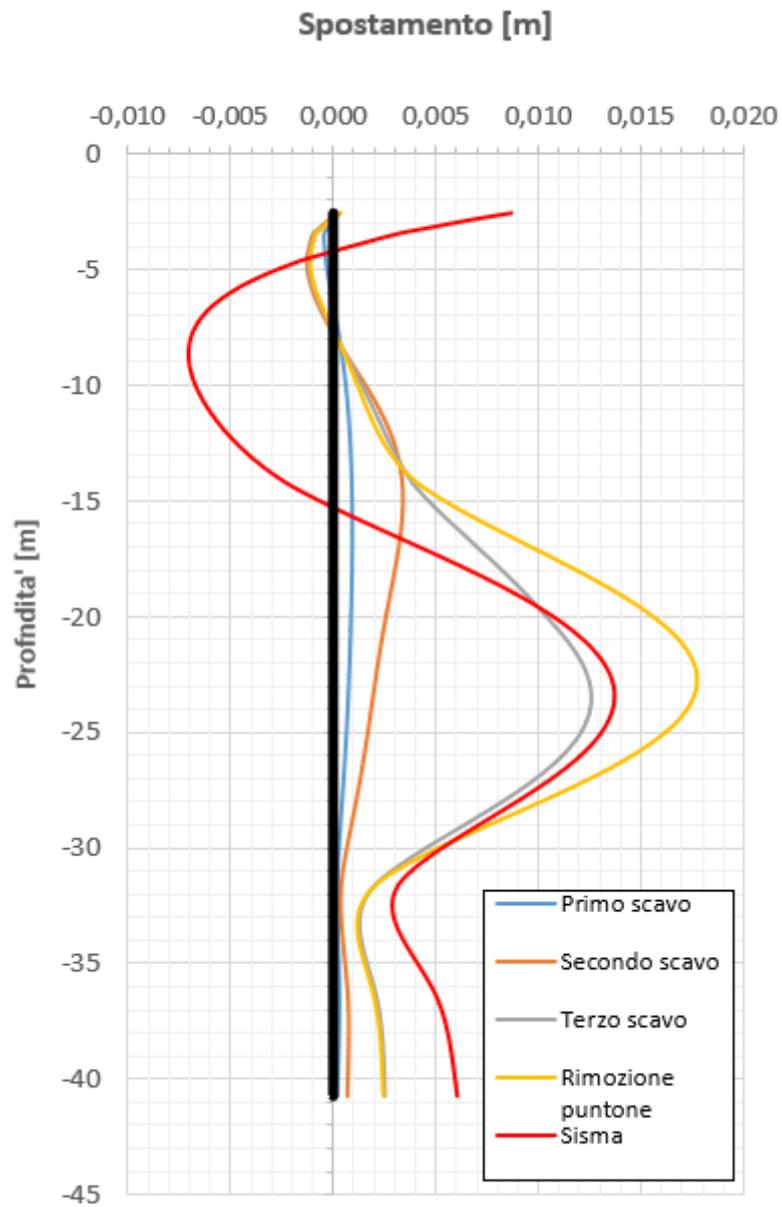


CITTA' DI TORINO

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

Stazione Mole/Giardini Reali - Relazione di calcolo
opere di sostegno stazione

MTL2T1A2DSTRSMOR001-0-1



 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Mole/Giardini Reali - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSMOR001-0-1

ALLEGATO N.2

Verifiche integrative del nodo di connessione soletta / diaframma

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Mole/Giardini Reali - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSMOR001-0-1

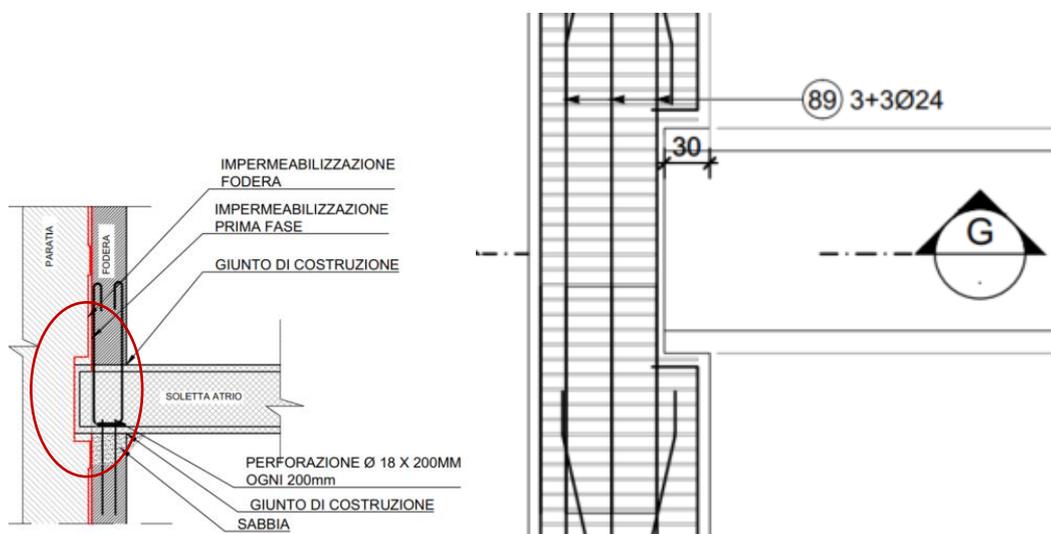
1. VERIFICA DELLA CONNESSIONE SOLETTA-DIAFRAMMA

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.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Mole/Giardini Reali - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSMOR001-0-1

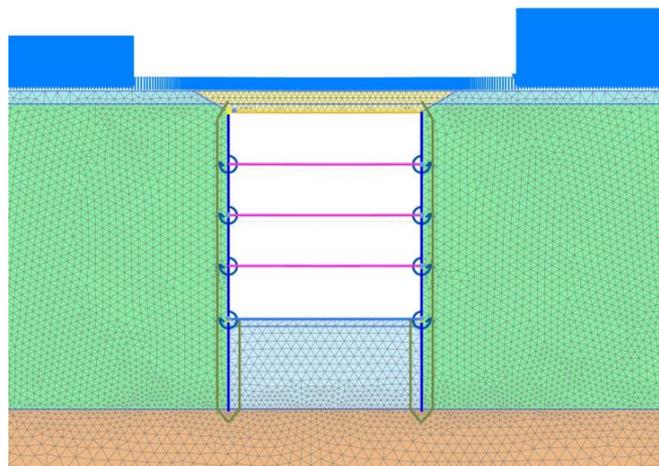


Figura 42. Modellazione dell'eccentricità tra soletta e diaframma

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.

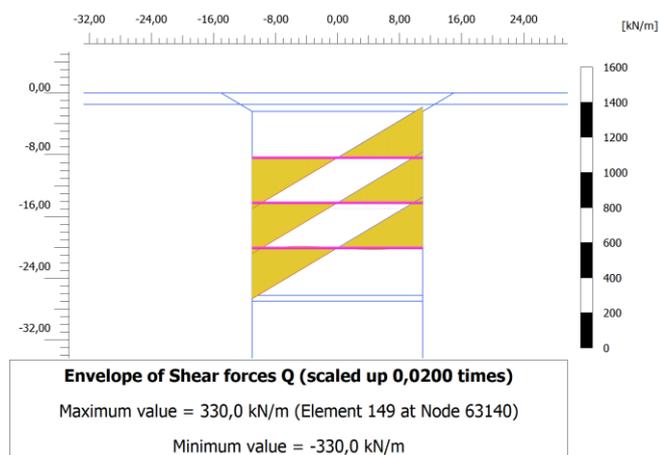


Figura 43. Valore di reazione vincolare di riferimento per il calcolo del momento flettente aggiuntivo

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.

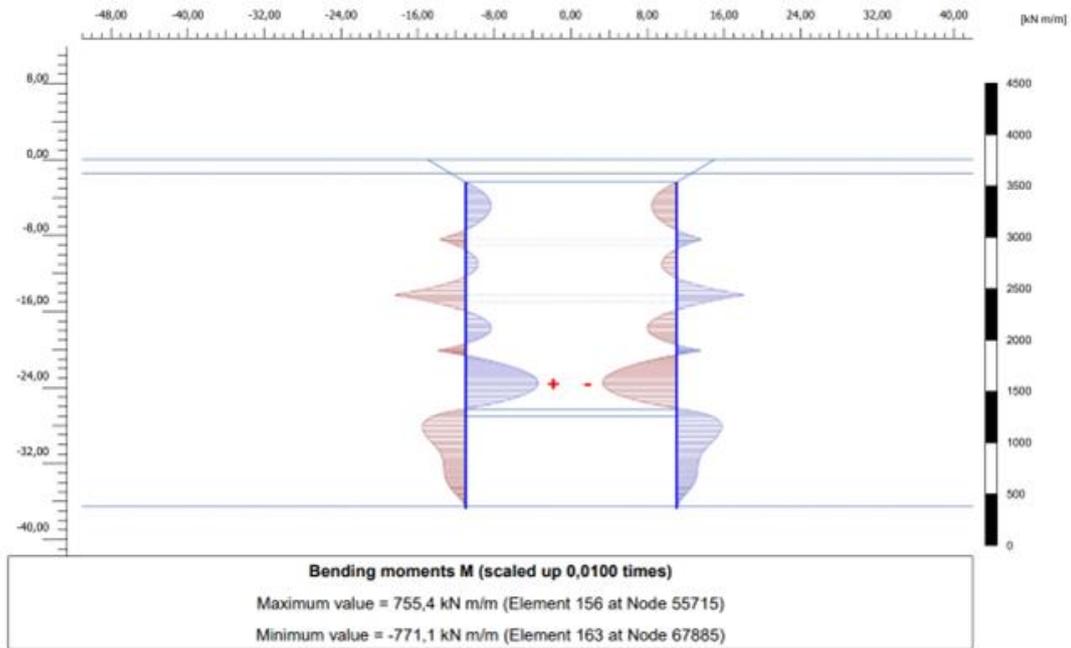


CITTA' DI TORINO

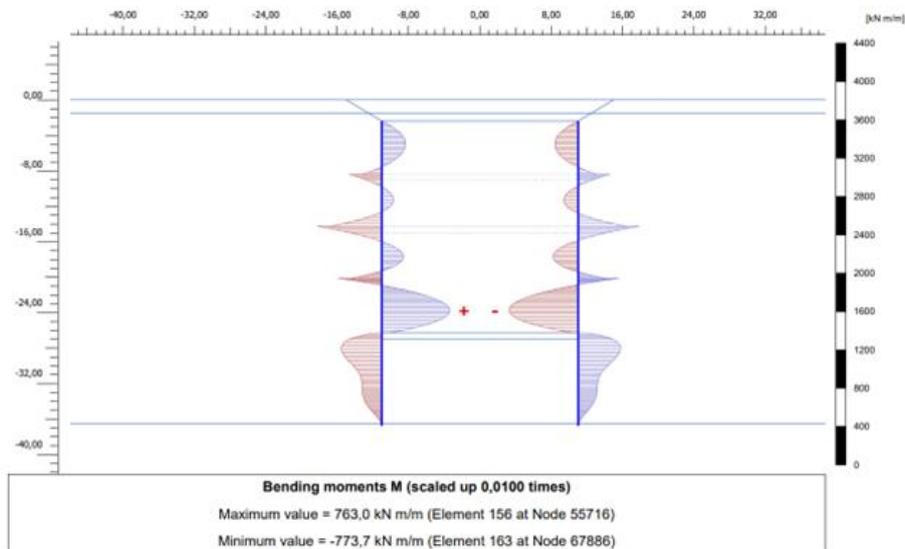
Metropolitana di Torino - Linea 2
Tratta: Politecnico-Rebaudengo
Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico

Stazione Mole/Giardini Reali - Relazione di calcolo
opere di sostegno stazione

MTL2T1A2DSTRSMOR001-0-1

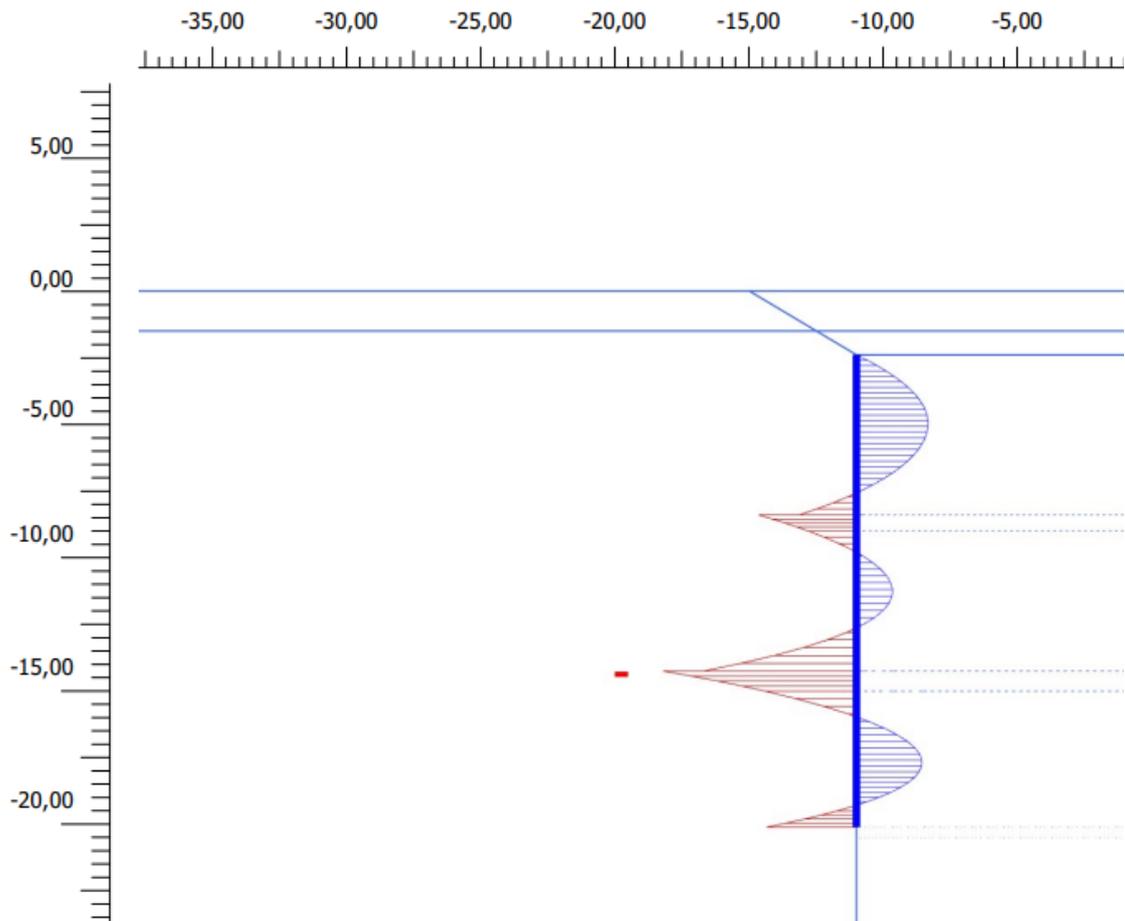


Distribuzione dei momenti flettenti in assenza di eccentricita' (fase finale di scavo – assenza di fodere)



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

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Mole/Giardini Reali - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSMOR001-0-1



Distribuzione dei momenti flettenti considerando l'eccentricita' (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

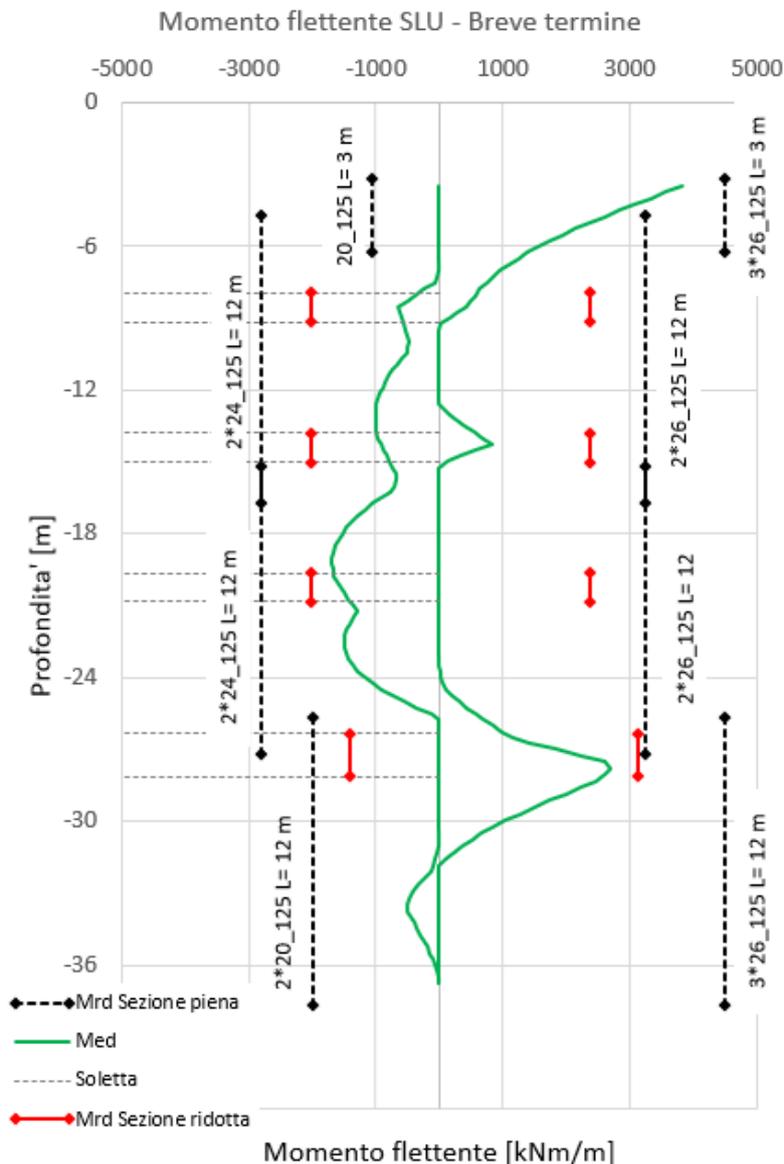


Figura 44. Diaframmi – SLU Diagramma delle sollecitazioni flettenti – Sezione AA ridotta

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Mole/Giardini Reali - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSMOR001-0-1

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

Tabella 31 Diaframmi – Verifica SLU flessione - Sezione AA ridotta -Piano Banchina

<i>Sezione di verifica SLU: Sezione Piano Banchina</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	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		
	3112,81	[kNm]
Momento sollecitante a SLU assunto in valore assoluto		
	2694,00	[kNm]
		Verificato

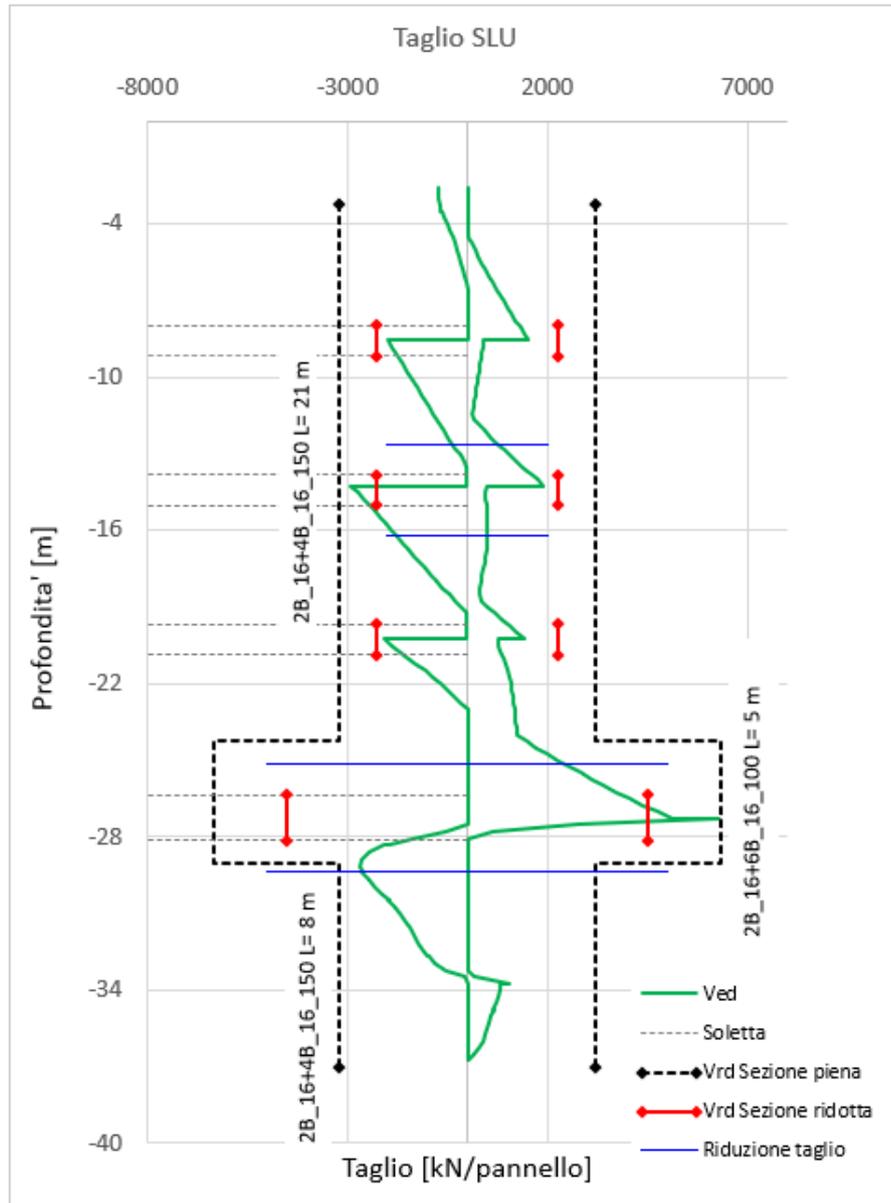


Figura 45. Diaframmi – SLU Diagramma delle sollecitazioni taglianti – Sezione AA ridotta

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 Mole/Giardini Reali - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSMOR001-0-1

Tabella 32 Diaframmi – Verifica SLU Sollecitazioni taglianti – Sezione AA ridotta

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	150	mm
Inclinazione tra puntone compresso e asse elemento	θ	45,00	°
Inclinazione armatura trasversale rispetto asse elemento	α	90	°
Area sezione trasversale armatura a taglio	A_{sw}	1607,68	mm ²
Braccio coppia interna	z	716,4	mm
Resistenza offerta dall'armatura a taglio	V_{Rsd}	3005	kN
Resistenza offerta dai puntoni	V_{Rcd}	7104	kN
Resistenza a taglio della sezione armata trasversalmente	V_{Rd}	3005	kN
Taglio sollecitante SLU	V_{ed}	2476	kN
			Verificato



1.3.2 Sezione BB

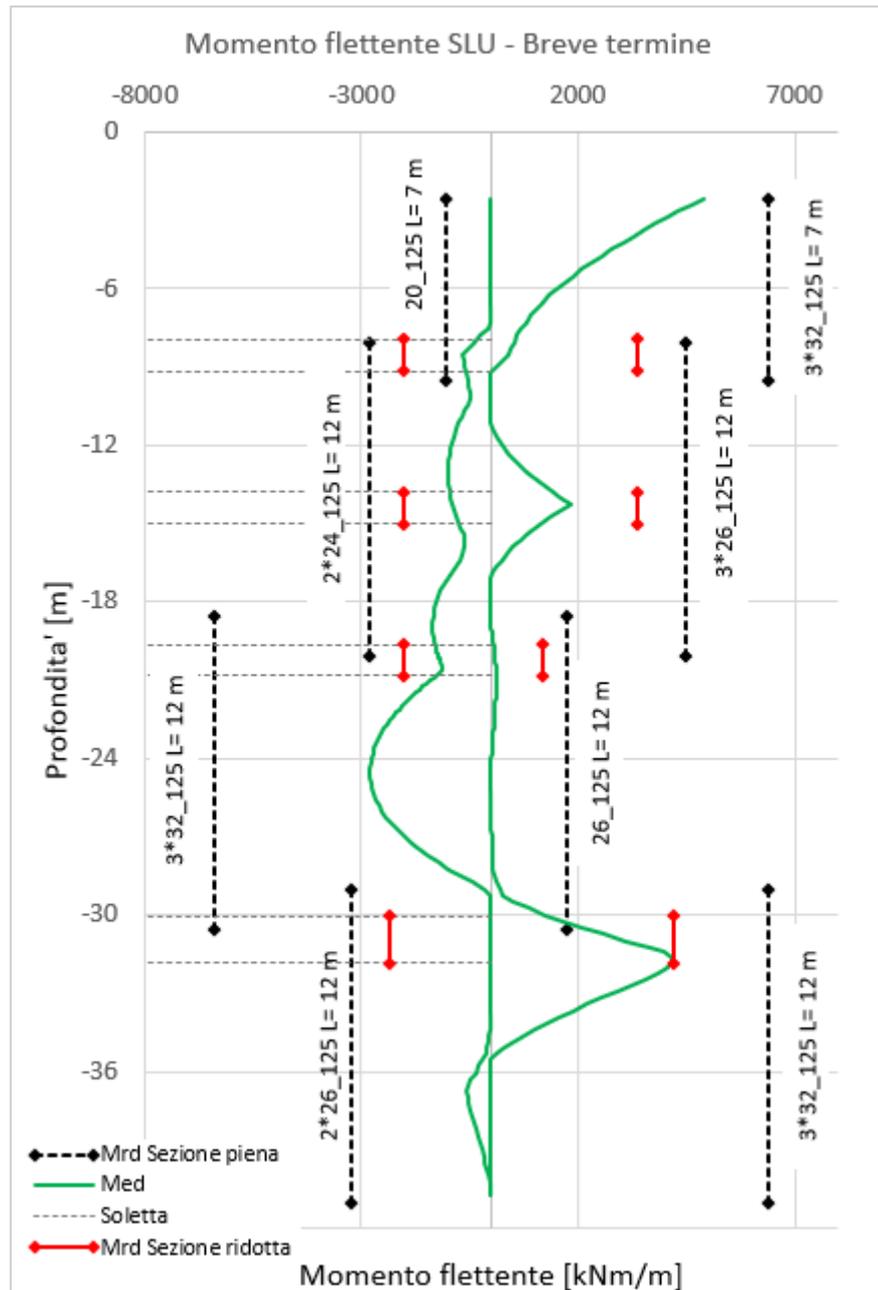


Figura 46. Diaframmi – SLU Diagramma delle sollecitazioni flettenti – Sezione BB ridotta

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Mole/Giardini Reali - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSMOR001-0-1

Tabella 33 Diaframmi – Verifica SLU flessione - Sezione BB ridotta -Piano Banchina

Sezione di verifica SLU: Sezione B-1		
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	32	[mm]
Numero dei ferri correnti	8	[-]
Diametro dei ferri correnti secondo strato	32	[mm]
Numero dei ferri correnti secondo strato	8	[-]
Diametro dei ferri correnti terzo strato	32	[-]
Numero dei ferri correnti terzo strato	8	[-]
Area dell'armatura tesa	19302	[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		
	4362,02	[kNm]
Momento sollecitante a SLU assunto in valore assoluto		
	4046,00	[kNm]
		Verificato

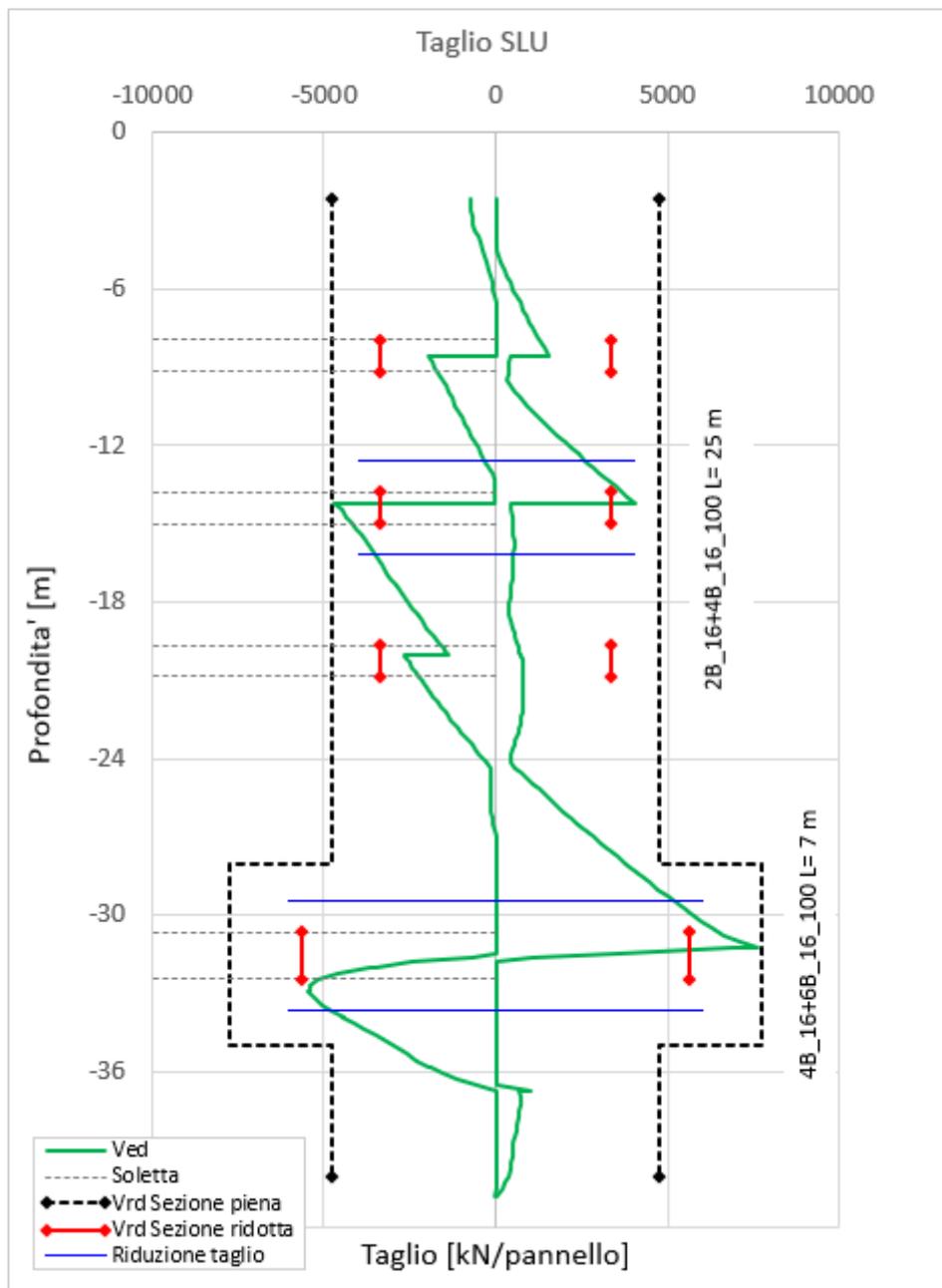


Figura 47. Diaframmi – SLU Diagramma delle sollecitazioni taglianti – Sezione BB ridotta

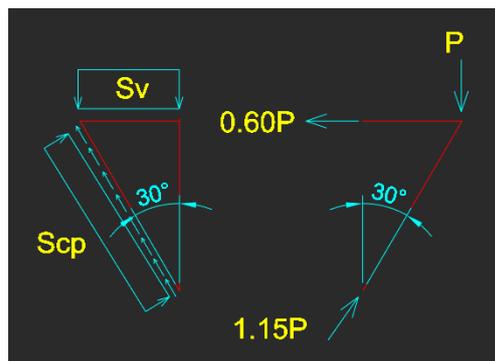
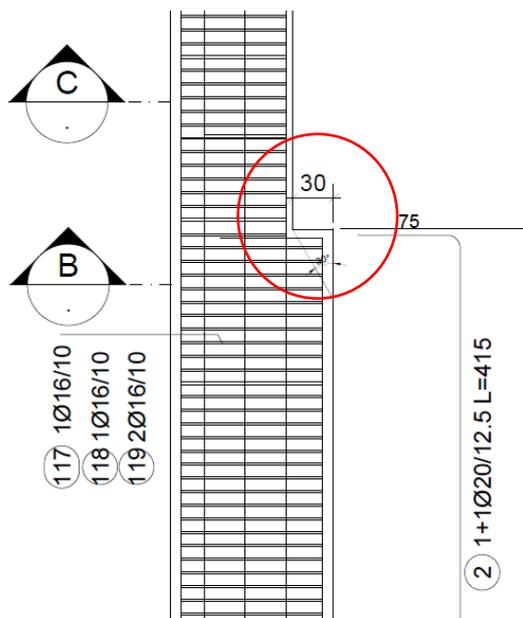
Considerando che dovuto alla modellazione possono presentarsi dei picchi in corrispondenza dei nodi tra gli elementi strutturali, le sollecitazioni di taglio potranno essere ridotte e sarà sempre cautelativo assumere nel tratto terminale il valore di taglio agente calcolato alla distanza d dall'appoggio (indicazione della linea

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Mole/Giardini Reali - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSMOR001-0-1

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.

Tabella 34 Diaframmi – Verifica SLU Sollecitazioni taglianti - Sezione BB ridotta -Piano sottobanchina

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}	4	
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}	2009,6	mm ²
Braccio coppia interna	z	716,4	mm
Resistenza offerta dall'armatura a taglio	V_{Rsd}	5634	kN
Resistenza offerta dai puntoni	V_{Rcd}	7104	kN
Resistenza a taglio della sezione armata trasversalmente	V_{Rd}	5634	kN
Taglio sollecitante SLU	V_{ed}	5052	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					
Resistenza concreto	V _{Rd,c}	=	383	kN	max[Vrd1;Vrd2]
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 _s 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 Mole/Giardini Reali - Relazione di calcolo opere di sostegno stazione	MTL2T1A2DSTRSMOR001-0-1

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

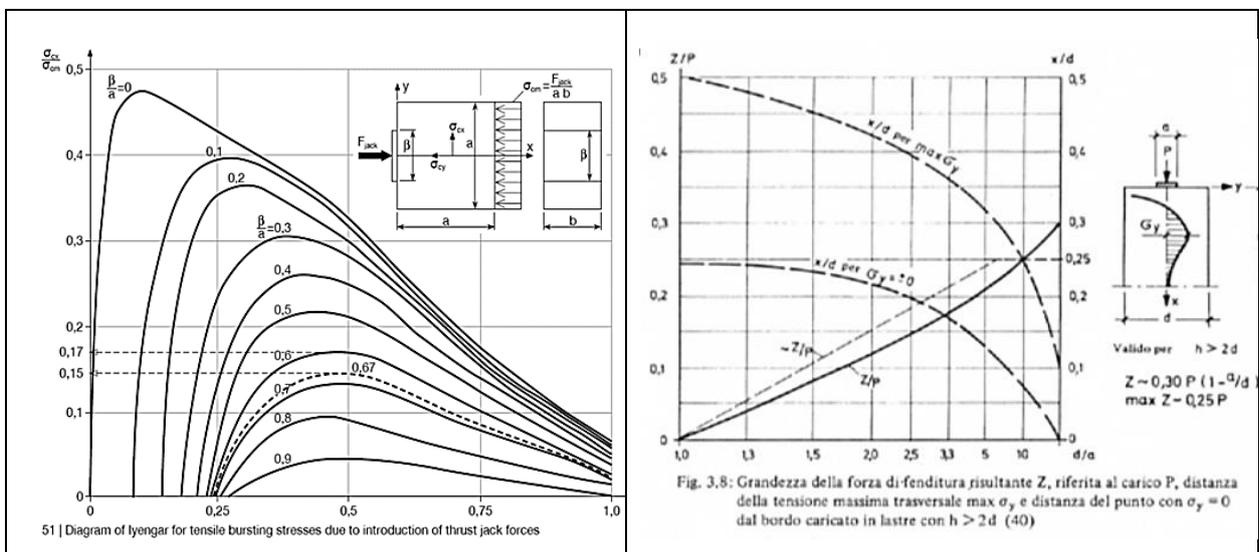
$$A_s = 8\phi 20 = 8 \times 3.14\text{cm}^2 = 25.12 \text{ cm}^2$$

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



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 e' 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 Mole/Giardini Reali - Relazione di calcolo
opere di sostegno stazione

MTL2T1A2DSTRSMOR001-0-1

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)
Variatione dimensionale dopo riscaldamento	<2.0% (longitudinale/trasversale)	(EN 1107-2) (+80 °C / 6 h)
Resistenza all'ossidazione	Variatione dell'allungamento a rottura ≤ 10 % Variatione della resistenza a trazione ≤ 10 %	(EN 14575) (120 gg / 80 °C)
Comportamento dopo stoccaggio in acqua calda	Variatione della resistenza a trazione < 20 % (longitudinale/trasversale) Variatione dell'allungamento a rottura < 20 % (longitudinale/trasversale) Variatione di massa < 4 % Variatione di massa < 10 %	(SIA V280/13 e OEBV) (+50 °C / 8 mesi) (EN 14415) (+70 °C / 360 gg)