

**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**

<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		 <span style="float: right;">INFRATRASPORTI.TO S.r.l.</span>												
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	<b>STRUTTURE E METODI COSTRUTTIVI STAZIONI SPECIALI – STAZIONE PORTA NUOVA RELAZIONE DI CALCOLO OPERE DI SOSTEGNO E STRUTTURE ACCESSI STAZIONE</b>												
		ELABORATO						REV.		SCALA	DATA			
BIM MANAGER Geom. L. D'Accardi		MT	L2	T1	A2	D	STR	SPN	R	003	Int.	Est.	-	24/03/2023

AGGIORNAMENTI

Fg. 1 di 1

REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	CONTROLLATO	APPROVATO	VISTO
0	EMMISSIONE	18/01/22	VFI	ECa	FRa	RCr
1	EMMISSIONE FINALE A SEGUITO DI VERIFICA PREVENTIVA	25/11/22	VFI	ECa	FRa	RCr
2	EMMISSIONE FINALE A SEGUITO DI VERIFICA PREVENTIVA	24/03/23	VFI	ECa	FRa	RCr
-	-	-	-	-	-	-

<table border="1"> <tr> <td>LOTTO 2</td> <td>CARTELLA</td> <td>9.3.4</td> <td>3</td> <td>MTL2T1A2D</td> <td>STRSPNR003</td> </tr> </table>						LOTTO 2	CARTELLA	9.3.4	3	MTL2T1A2D	STRSPNR003	<p align="center"><b>STAZIONE APPALTANTE</b></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	9.3.4	3	MTL2T1A2D	STRSPNR003												

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Porta Nuova - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSPNR003-0-2

## INDICE

<b>1</b>	<b>GENERALITA'</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>DOCUMENTI DI RIFERIMENTO</b>	<b>13</b>
<b>2.1</b>	<b>NORMATIVE DI RIFERIMENTO</b>	<b>13</b>
<b>3</b>	<b>CARATTERISTICHE DEI MATERIALI</b>	<b>14</b>
<b>3.1</b>	<b>CARATTERISTICHE DEI MATERIALI</b>	<b>14</b>
<b>4</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA</b>	<b>16</b>
<b>5</b>	<b>OPERE TEMPORANEE</b>	<b>19</b>
<b>5.1</b>	<b>MODELLO DI CALCOLO</b>	<b>19</b>
5.1.1	CRITERI DI MODELLAZIONE	19
5.1.2	ANALISI DEI CARICHI	23
<b>5.2</b>	<b>RISULTATI DELLE ANALISI E VERIFICHE STRUTTURALI</b>	<b>24</b>
5.2.1	RISULTATI DELLE ANALISI NUMERICHE	24
5.2.1.1	Schema A	24
5.2.1.2	Schema B	24
5.2.1.3	Tronchino di collegamento L1/L2 (accesso speciale)	25
5.2.2	VERIFICHE SLU-STR DELLA PARATIA	27
5.2.3	VERIFICA SLU-STR DEL PUNTONE	28
5.2.4	VERIFICA SLU-STR DEL CORDOLO DI SUPERFICIE	29
5.2.5	VERIFICA SLU-STR DELLA TRAVE DI RIPARTIZIONE	30
5.2.6	VERIFICHE SLU-GEO COLLASSO DELL'INSIEME TERRENO-OPERA	31
<b>6</b>	<b>RIVESTIMENTI DEFINITIVI</b>	<b>32</b>
<b>6.1</b>	<b>PRINCIPALI ASSUNZIONI DELLA PROGETTAZIONE</b>	<b>32</b>
6.1.1	MODELLAZIONE NUMERICA E SCHEMATIZZAZIONE STRUTTURALE DEL MODELLO	32
6.1.2	CARATTERIZZAZIONE SISMICA	33
6.1.3	COMBINAZIONI DI CARICO	34
6.1.4	RIGIDENZE DEL SUOLO ADOTTATE NEI MODELLI NUMERICI	35
<b>6.2</b>	<b>ANALISI NUMERICA E VERIFICHE STRUTTURALI</b>	<b>36</b>
6.2.1	VANI ESTERNI VENTILAZIONE	36
6.2.1.1	Carichi	37
6.2.1.2	Risultati dell'analisi e verifiche strutturali	42
6.2.2	STRUTTURE DI COLLEGAMENTO L1/L2	46

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Porta Nuova - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSPNR003-0-2

<b>7</b>	<b>VALIDAZIONE DEI MODELLI DI CALCOLO</b>	<b>53</b>
	<b>APPENDICE A</b>	<b>55</b>
	<b>APPENDICE B</b>	<b>60</b>
	<b>APPENDICE C</b>	<b>63</b>
	<b>APPENDICE D</b>	<b>65</b>
	<b>APPENDICE E</b>	<b>68</b>
	<b>APPENDICE F</b>	<b>73</b>
	<b>APPENDICE G</b>	<b>79</b>
	<b>APPENDICE H</b>	<b>83</b>
	<b>APPENDICE I</b>	<b>87</b>
	<b>APPENDICE J</b>	<b>107</b>
	<b>APPENDICE K</b>	<b>115</b>
	<b>APPENDICE L</b>	<b>127</b>

## INDICE DELLE FIGURE

Figura 1.	Schema A	8
Figura 2.	Schema B1/B2	9
Figura 3.	Schema C	10
Figura 4.	Modello 3D della connessione tra le due linee della Metro	11
Figura 5.	Disposizione in pianta degli schemi di calcolo A e B	11
Figura 6.	Planimetria della connessione tra le due linee della Metro – Accesso speciale e applicazione Schema C di scavo	12
Figura 7.	Modello di calcolo PLAXIS	20
Figura 8.	Modello costitutivo Hardening Soil	20
Figura 9.	Schema A - Mesh di calcolo Plaxis	24
Figura 10.	Schema B - Mesh di calcolo Plaxis	25
Figura 11.	Accesso speciale – Fasi di scavo e sostegni	26
Figura 12.	Accesso speciale - Modello di calcolo Plaxis	27

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Porta Nuova - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSPNR003-0-2

Figura 13. Particolare armatura trave di testa	30
Figura 14. Schematizzazione metodo di Wood	33
Figura 15. Modello numerico	36
Figura 16. Peso proprio	37
Figura 17. Spinta orizzontale del terreno	37
Figura 18. Spinta idrostatica	38
Figura 19. Ritombamento	38
Figura 20. Pavimentazione	39
Figura 21. Traffico	40
Figura 22. Spinta sismica direzione X	40
Figura 23. Spinta sismica direzione Y – Vasca di accumulo antincendio	41
Figura 24. Schema di distribuzione dell'armatura principale solette	42
Figura 25. Schema di distribuzione dell'armatura principale muri	43
Figura 26. Schema di distribuzione dell'armatura a taglio solette	43
Figura 27. Schema di distribuzione dell'armatura a taglio muri	44
Figura 1. Geometria del tronchino di collegamento Linea 1 a Linea 2 - Stazione Porta Nuova	46
Figura 2. Geometria del tronchino di collegamento Linea 1 a Linea 2 - Stazione Porta Nuova	47
Figura 3. Schema di calcolo – Fodere tronchino di collegamento	48
Figura 4. Spinta orizzontale del terreno – Fodere tronchino di collegamento	49
Figura 5. Spinta idrostatica – Fodere tronchino di collegamento	50
Figura 6. Spinta sismica – Fodere tronchino di collegamento	51
Figura 7. Output PLAXIS: Inviluppo dello sforzo assiale, del taglio e del momento flettente - Schema A	57
Figura 8. Output PLAXIS: Inviluppo dello sforzo assiale, del taglio e del momento flettente – Schema D	59
Figura 9. Spostamenti orizzontali parete di micropali – Schema A	61
Figura 10. Spostamenti orizzontali parete di micropali – Schema B	61
Tabella 20 – Verifica delle deformazioni massime delle paratie di micropali	62
Figura 11. Sforzo assiale, taglio e momento di progetto per i diversi stage di calcolo – Schema A	66
Figura 12. Tensione di verifica secondo NTC - tensione a snervamento acciaio – Schema A66	
Figura 13. Sforzo assiale, taglio e momento di progetto per i diversi stage di calcolo – Schema B	67
Figura 14. Tensione di verifica secondo NTC - tensione a snervamento acciaio – Schema B67	
Figura 15. Rapporto tra tensione tangenziale massima e tensione tangenziale mobilitata – Schema A	69
Figura 16. Tensioni orizzontali efficaci paratia - Lato monte e valle – Schema A	70
Figura 17. Confronto tensioni limite attive e passive con tensioni orizzontali Plaxis – Schema A	70

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Porta Nuova - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSPNR003-0-2

Figura 18. Rapporto tra tensione tangenziale massima e tensione tangenziale mobilitata – Schema B	71
Figura 19. Tensioni orizzontali efficaci paratia - Lato monte e valle – Schema B	72
Figura 20. Confronto tensioni limite attive e passive con tensioni orizzontali Plaxis – Schema B	72
Figura 21. Verifica Puntone – Schema B	75
Figura 22. Verifica Puntone – Schema B	76
Figura 23. Verifica Puntone – Schema B	77
Figura 24. Verifica Puntone – Schema B	78
Figura 25. Particolare armature trave di testa	80
Figura 26. Particolare armature trave di testa	82
Figura 27. Output PLAXIS: Inviluppo dello sforzo assiale, del taglio e del momento flettente Micropali Ø220 L=28m– Accesso speciale	89
Figura 28. Output PLAXIS: Inviluppo dello sforzo assiale, del taglio e del momento flettente Micropali Ø220 L=13m– Accesso speciale	91
Figura 29. Output PLAXIS: Inviluppo dello sforzo assiale, del taglio e del momento flettente diaframma – Accesso speciale	92
Figura 30. Spostamenti orizzontali – Micropali L=28m - Accesso speciale	93
Figura 31. Spostamenti orizzontali – Micropali L=13m - Accesso speciale	93
Figura 32. Spostamenti orizzontali – Diaframma - Accesso speciale	94
Figura 33. Sforzo assiale, taglio e momento di progetto per i diversi stage di calcolo – Micropali L=28m - Accesso speciale	96
Figura 34. Tensione di verifica secondo NTC - tensione a snervamento acciaio – Micropali L=28m– Accesso speciale	96
Figura 35. Sforzo assiale, taglio e momento di progetto per i diversi stage di calcolo – Micropali L=13m - Accesso speciale	97
Figura 36. Tensione di verifica secondo NTC - tensione a snervamento acciaio – Micropali L=13m– Accesso speciale	97
Figura 37. Inviluppo momento flettente e sezione di verifica – Diaframma - Accesso speciale	98
Figura 38. Inviluppo sollecitazioni di taglio e sezione di verifica – Diaframma - Accesso speciale	99
Figura 39. Verifica SLU Momento flettente – Sezione A – Diaframma – Accesso speciale	100
Figura 40. Verifica SLE Momento flettente – Sezione A – Diaframma – Accesso speciale	101
Figura 41. Verifica SLU Taglio – Sezione A – Diaframma – Accesso speciale	102
Figura 42. Rapporto tra tensione tangenziale massima e tensione tangenziale mobilitata – Schema B	103
Figura 43. Verifica Puntone L=9.5m – Accesso speciale	105
Figura 44. Verifica Puntone L=7m – Accesso speciale	106
Figura 45. Momento flettente M3-3	108
Figura 46. Taglio combinato	108
Figura 47. Momento flettente M3-3	109
Figura 48. Taglio combinato	109



Figura 49. Momento flettente M3-3	110
Figura 50. Taglio combinato	110
Figura 51. Momento flettente M3-3	111
Figura 52. Taglio combinato	111
Figura 53. Momento flettente M3-3	112
Figura 54. Taglio combinato	112
Figura 55. Momento flettente – SLE – Fodere Tronchino di collegamento	116
Figura 56. Taglio – SLE – Tronchino di collegamento	117
Figura 57. Momento flettente – SLU Statico - Fodere Tronchino di collegamento	118
Figura 58. Taglio – SLU Statico – Fodere Tronchino di collegamento	119
Figura 59. Momento flettente – SLU Sisma – Fodere Tronchino di collegamento	120
Figura 60. Taglio – SLU Sisma – Fodere Tronchino di collegamento	121
Figura 61. Momento flettente – Inviluppo SLU - Fodere Tronchino di collegamento	122
Figura 62. Taglio – Inviluppo SLU – Fodere Tronchino di collegamento	123
Figura 63. Momento flettente MXX Lembo superiore e MXX Lembo inferiore	128
Figura 64. Momento flettente MYY Lembo superiore e MYY Lembo inferiore	128
Figura 65. Taglio combinato	128
Figura 66. Momento flettente MXX Lembo superiore e MXX Lembo inferiore	129
Figura 67. Momento flettente MYY Lembo superiore e MYY Lembo inferiore	129
Figura 68. Taglio combinato	129
Figura 69. Momento flettente MXX Lembo superiore e MXX Lembo inferiore	130
Figura 70. Momento flettente MYY Lembo superiore e MYY Lembo inferiore	130
Figura 71. Taglio combinato	130
Figura 72. Momento flettente MXX Lembo superiore e MXX Lembo inferiore	131
Figura 73. Momento flettente MYY Lembo superiore e MYY Lembo inferiore	131
Figura 74. Taglio combinato	131
Figura 75. Momento flettente MXX Lembo superiore e MXX Lembo inferiore	132
Figura 76. Momento flettente MYY Lembo superiore e MYY Lembo inferiore	132
Figura 77. Taglio combinato	132
Figura 78. Momento flettente MXX Lembo superiore e MXX Lembo inferiore	133
Figura 79. Momento flettente MYY Lembo superiore e MYY Lembo inferiore	133
Figura 80. Taglio combinato	133
Figura 81. Momento flettente MXX Lembo superiore e MXX Lembo inferiore	134
Figura 82. Momento flettente MYY Lembo superiore e MYY Lembo inferiore	134
Figura 83. Taglio combinato	134
Figura 84. Momento flettente MXX Lembo superiore e MXX Lembo inferiore	135
Figura 85. Momento flettente MYY Lembo superiore e MYY Lembo inferiore	135
Figura 86. Taglio combinato	135
Figura 87. Momento flettente MXX Lembo superiore e MXX Lembo inferiore	136
Figura 88. Momento flettente MYY Lembo superiore e MYY Lembo inferiore	136
Figura 89. Taglio combinato	136

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Porta Nuova - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSPNR003-0-2

Figura 90. Momento flettente MXX Lembo Superiore e MXX Lembo Inferiore	137
Figura 91. Momento flettente MYX Lembo Superiore e MYX Lembo Inferiore	137
Figura 92. Taglio combinato	137
Figura 93. Momento flettente MXX Lembo Esterno e MXX Lembo Interno	138
Figura 94. Momento flettente MYX Lembo Esterno e MYX Lembo Interno	138
Figura 95. Taglio combinato	138
Figura 96. Momento flettente MXX Lembo Superiore e MXX Lembo Inferiore	139
Figura 97. Momento flettente MYX Lembo Superiore e MYX Lembo Inferiore	139
Figura 98. Taglio combinato	139
Figura 99. Momento flettente MXX Lembo Superiore e MXX Lembo Inferiore	140
Figura 100. Momento flettente MYX Lembo Superiore e MYX Lembo Inferiore	140
Figura 101. Taglio combinato	140
Figura 102. Momento flettente MXX Lembo Esterno e MXX Lembo Interno	141
Figura 103. Momento flettente MYX Lembo Esterno e MYX Lembo Interno	141
Figura 104. Taglio combinato	141
Figura 105. Momento flettente MXX Lembo Superiore e MXX Lembo Inferiore	142
Figura 106. Momento flettente MYX Lembo Superiore e MYX Lembo Inferiore	142
Figura 107. Taglio combinato	142

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Porta Nuova - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSPNR003-0-2

## 1 GENERALITA'

La presente relazione si inserisce nell'ambito della progettazione definitiva della stazione Porta Nuova. In particolare, il presente elaborato descrive i calcoli e le verifiche relative alle opere provvisorie di sostegno per lo scavo degli accessi e della camera di ventilazione, unitamente ai rivestimenti definitivi delle strutture stesse.

Le opere provvisorie sono caratterizzate da cortine di micropali tipo ODEX iniettati in fori di 220 mm con tubo di acciaio del diametro di 193.7 mm spessore 8.0 mm. L'interasse tra i pali è di 0.40 m e risultano collegati in testa per mezzo di una trave di coronamento in calcestruzzo armato. Dove necessario, sono previsti livelli di puntoni tipo, messi in contrasto alla trave di coronamento o, mediante trave di ripartizione, al diaframma di stazione.

Per quanto riguardano le opere temporanee, in funzione delle quote di scavo ed in funzione dei vincoli costruttivi, sono previste le seguenti tipologie di sezioni di scavo:

- **Schema A:** micropali di lunghezza 6 metri a sostegno di uno scavo di 3 metri  
Tale schema è impiegato negli accessi in stazione e per gli scavi necessari per la realizzazione dei diaframmi del corpo stazione.
- **Schema B:** micropali di lunghezza 13 metri con due livelli di puntoni a sostegno di 10 metri di scavo. I due puntoni sono posizionati rispettivamente uno in testa e l'altro ad una distanza di 5 m dal cordolo di testata. Lo schema viene suddiviso in due tipologie, B1 per puntoni di massimo 12m di lunghezza e B2 per puntoni lunghi più di 12m e fino a 18m.
- **Schema C:** micropali di lunghezza 22 metri con diversi livelli di puntoni angolari a sostegno di 20 metri di scavo. I tre puntoni sono posizionati uno in testa e gli altri ad una distanza di 2.5m sotto quello precedente ripetutamente fino alla base. Tale schema non viene analizzato in questo report in quanto ci sono effetti tridimensionali che ne garantiscono la stabilità.

Per lo scavo dell'accesso speciale che realizza anche la connessione tra le due linee della metropolitana sono stati studiati schemi di supporto *ad hoc*.

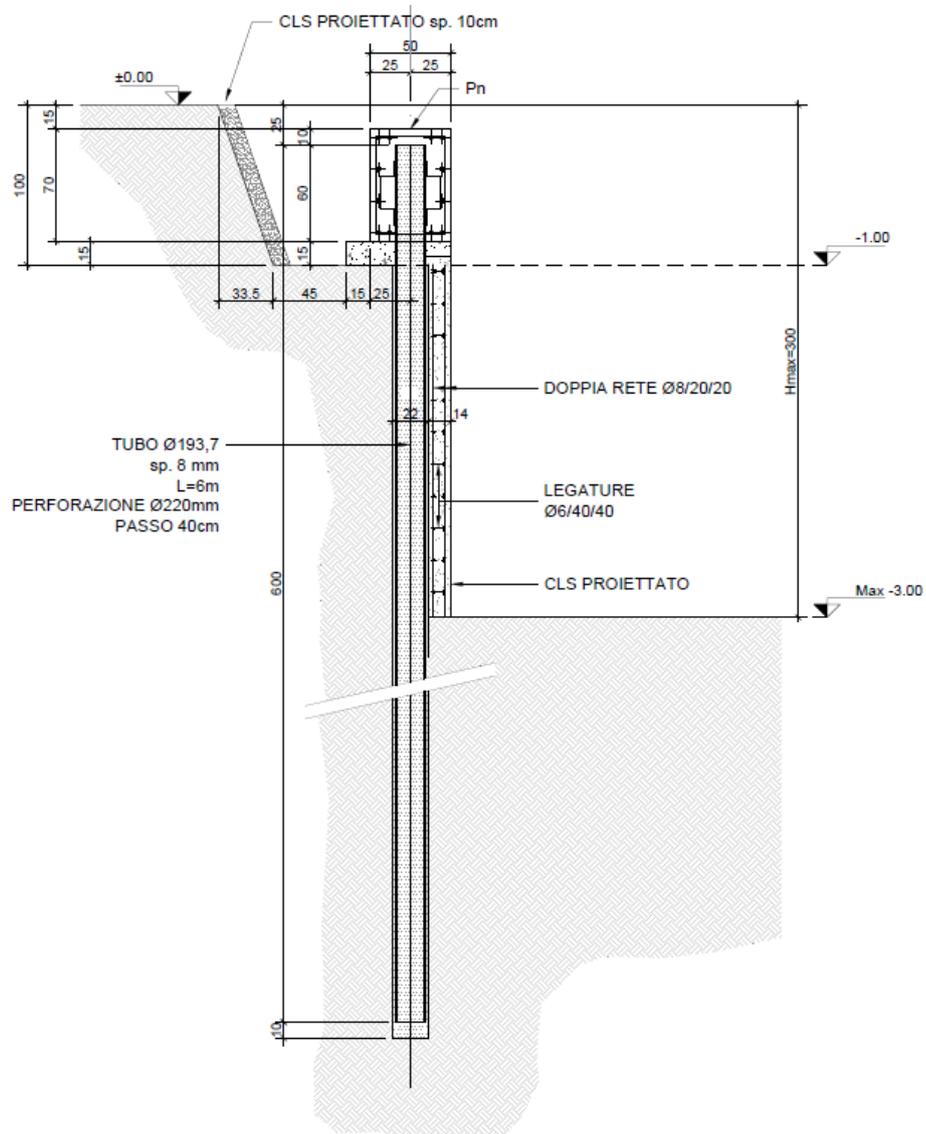


Figura 1. Schema A

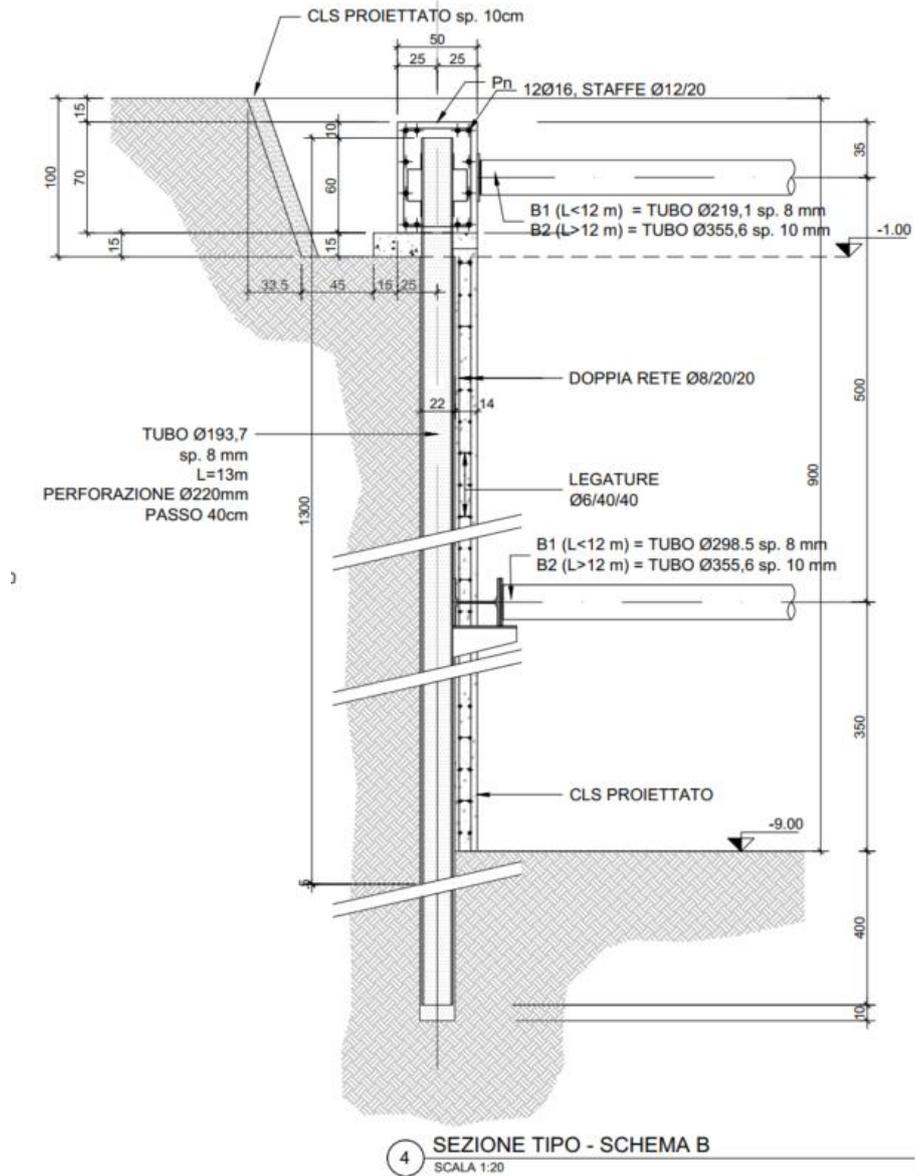


Figura 2. Schema B1/B2

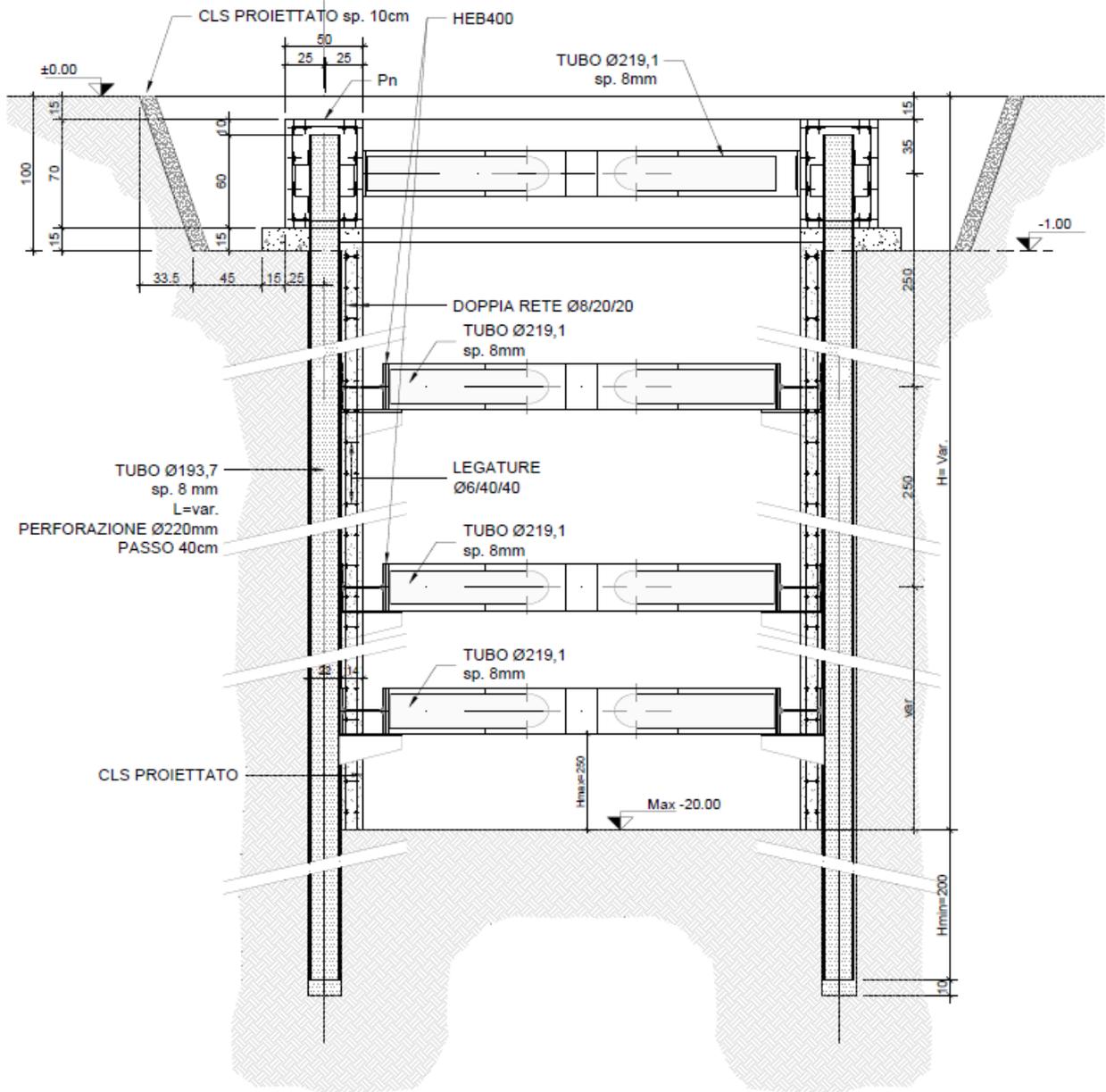


Figura 3. Schema C

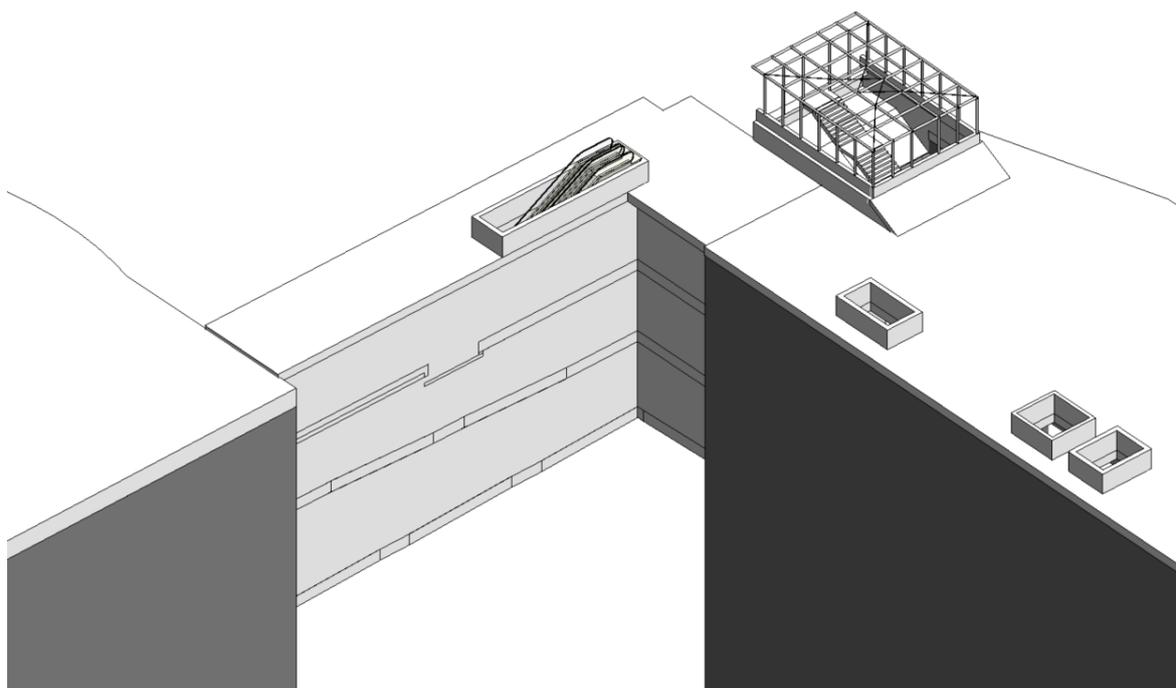


Figura 4. Modello 3D della connessione tra le due linee della Metro

Di seguito vengono indicate le applicazioni delle sezioni tipo di scavo per la stazione in oggetto.

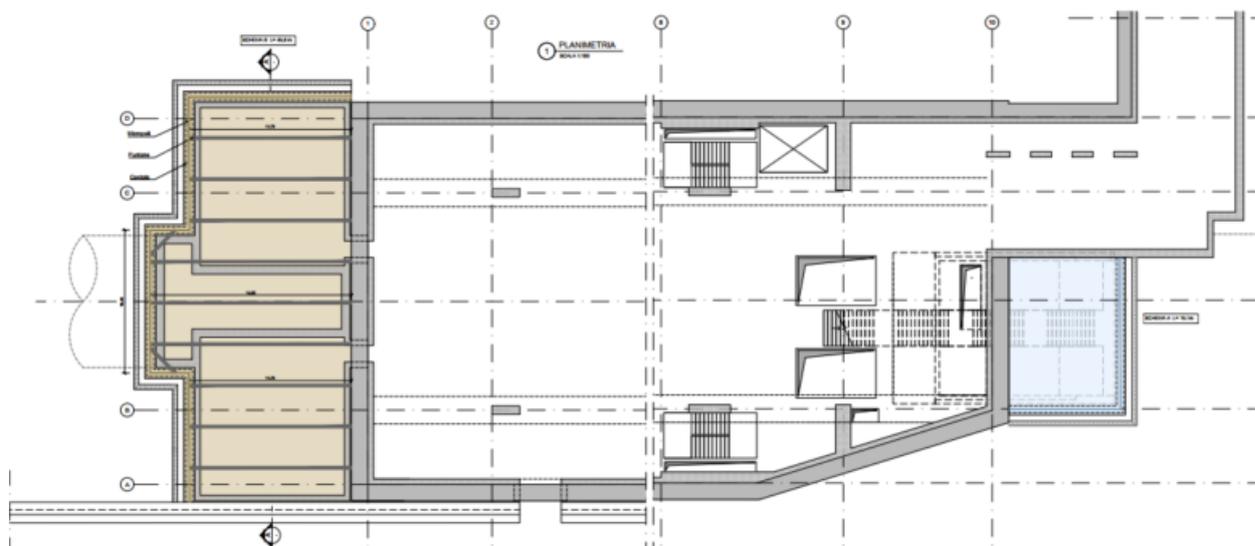
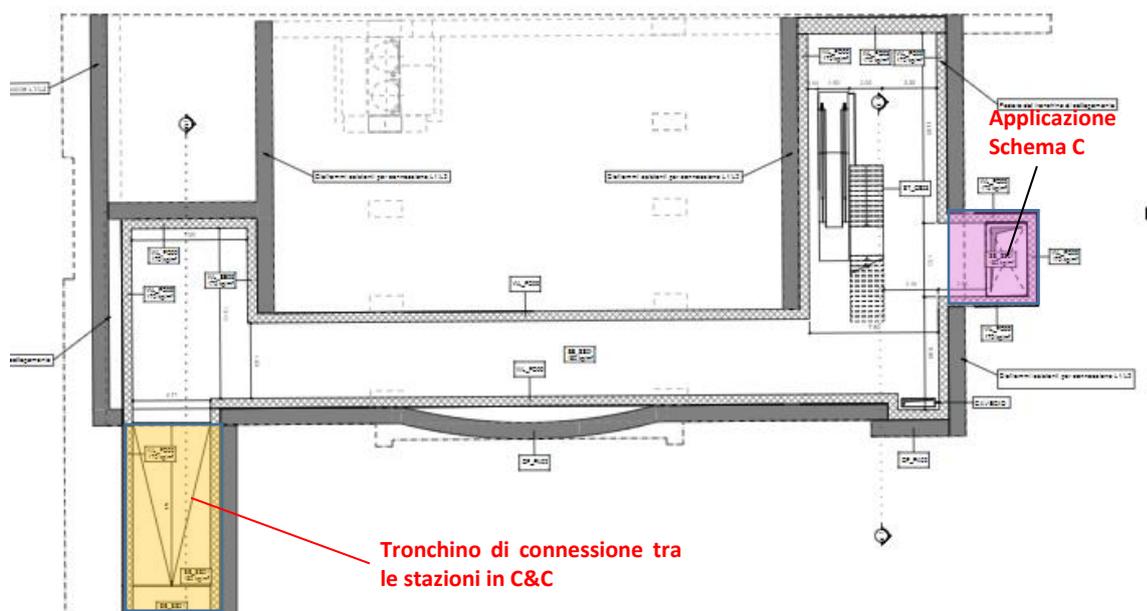


Figura 5. Disposizione in pianta degli schemi di calcolo A e B



**Figura 6. Planimetria della connessione tra le due linee della Metro – Accesso speciale e applicazione Schema C di scavo**

Successivamente sono state definite le caratteristiche geometriche e le armature delle fodere e altre strutture interne, in particolare:

- Pareti e solette dei vani ventilazione (modello 3D)
- Fodere interne del tronchino di collegamento tra le due stazioni (modelli 2D)
- Fodere del sottopasso per la connessione L1/L2 direzione Fermi (modelli 2D)

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Porta Nuova - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSPNR003-0-2

## 2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

### 2.1 Normative di riferimento

Le analisi strutturali e le verifiche di sicurezza sono state effettuate in accordo con le prescrizioni delle seguenti normative.

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"

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Porta Nuova - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSPNR003-0-2

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".

### 3 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

#### 3.1 Caratteristiche dei materiali

Con riferimento ai materiali utilizzati nell'ambito del progetto, si riportano nel seguito le principali caratteristiche utilizzate nel dimensionamento strutturale.

- **Calcestruzzo**

##### Calcestruzzo utilizzato per cordoli di testata

Tipo:	C25/30
Modulo di deformazione:	$E_c=31400$ MPa
Resistenza caratteristica cubica:	$R_{ck}=30$ MPa
Resistenza caratteristica cilindrica:	$f_{ck}=25$ MPa
Peso per unità di volume:	$\gamma=25$ KN/m <sup>3</sup>

##### Malta di iniezione per micropali

Tipo:	C20/25
Modulo di deformazione:	$E_c=30000$ MPa
Resistenza caratteristica cubica:	$R_{ck}=25$ MPa
Resistenza caratteristica cilindrica:	$f_{ck}=20$ MPa
Peso per unità di volume:	$\gamma=25$ KN/m <sup>3</sup>

##### Calcestruzzo utilizzato per i solai di stazione e strutture interne

Tipo:	C30/37
-------	--------

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Porta Nuova - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSPNR003-0-2

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

- **Acciaio di armatura**

Tipo:	B450C
Modulo di deformazione:	$E_c=210000$ MPa
Resistenza a snervamento caratteristica:	$f_{ck}=450$ MPa
Resistenza a snervamento di progetto:	$f_{cd}=391.3$ MPa
Peso per unità di volume:	$\gamma=75$ KN/m <sup>3</sup>

- **Profilati e tubi in acciaio (puntoni, micropali, travi ripartizione)**

Tipo:	S355 J0	
	$t \leq 40\text{mm}$	$40\text{mm} < t \leq 80\text{mm}$
Modulo di deformazione:	$E_c=210000$ MPa	$E_c=210000$ MPa
Resistenza a snervamento caratteristica:	$f_{yk}=355$ MPa	$f_{yk}=335$ MPa
Resistenza a snervamento di progetto:	$f_{yd}=338$ MPa	$f_{yd}=319$ MPa
Resistenza a rottura caratteristica:	$f_{yk}=510$ MPa	$f_{yk}=470$ MPa
Peso per unità di volume:	$\gamma=78$ KN/m <sup>3</sup>	$\gamma=78$ KN/m <sup>3</sup>

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Porta Nuova - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSPNR003-0-2

- **Saldature**

Le saldature dovranno essere in accordo alla UNI 5132 (elettrodi di classe 2,3,4) e dovranno essere realizzate a cordoni esterni.

## 4 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

La campagna di indagine ha portato alla determinazione dei seguenti parametri geotecnici per la stazione in oggetto:

**Tabella 1 Parametri fisico-meccanici del terreno**

Unità geologica	Profondità da p.c. [m]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$c'$ [kPa]	$\phi'$ [°]	E [MPa]	$\nu'$ [-]
U1	0-3.5	19	0	29	15	0.3
U2	3.5-11.5	19	10	36	150	0.3
U3	11.5-25.5	20	20	36	170	0.3
U2	25.5-35.5	19	10	36	150	0.3
U5	>35.5	20	40	23	65	0.3

Il livello della falda considerato è distinto per condizioni di breve periodo e lungo periodo considerando il livello di piano campagna è pari a:

**Tabella 2 Livelli di falda**

	m da p.c.	m.s.l.m
Livello piezometrico 2021	-16,0	+221,8
Livello piezometrico 2018	-17,0	+220,8
B T (+1.5 da livello piezometrico di riferimento) - Fase costruttiva	-15,5	+222,3
L T (+3 da breve termine) - Ultimo stage	-12,5	+225,3

Allo scopo di validare un tipologico valido per le varie condizioni di falda delle stazioni per la camera di ventilazione è stato ipotizzato un livello di falda di lungo periodo pari a -3.0m da piano campagna.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Porta Nuova - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSPNR003-0-2

A seconda della verifica che si intende effettuare, verranno utilizzati coefficienti che riducono i parametri meccanici di resistenza del terreno o coefficienti che amplificano gli effetti delle azioni. In particolare, seguendo quanto prescritto al punto 6.2.3 delle Norme Tecniche per le Costruzioni, si sono considerati i seguenti approcci di verifica:

- Verifiche SLU-GEO: A<sub>1</sub> - C<sub>2</sub>
- Verifiche SLU-STR: A<sub>1</sub> - C<sub>1</sub>

**Tabella 3 Coefficienti amplificativi dei carichi secondo NTC**

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

	Effetto	Coefficiente Parziale $\gamma_F$ (o $\gamma_E$ )	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti G <sub>1</sub>	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti G <sub>2</sub> <sup>(1)</sup>	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	$\gamma_{Qi}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

<sup>(1)</sup> Per i carichi permanenti G<sub>2</sub> si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti  $\gamma_{G1}$

**Tabella 4 Coefficienti riduttivi dei parametri di resistenza del terreno secondo NTC**

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

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

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Porta Nuova - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSPNR003-0-2

**Tabella 5 Coefficienti riduttivi della resistenza globale del sistema secondo NTC**

Tab. 6.5.I - Coefficienti parziali  $\gamma_R$  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	$\gamma_R = 1,4$

**Tabella 6 Riassunto parametri utilizzati nel calcolo**

Unità geologica	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$c_k'$ [kPa]	$\phi_k'$ [°]	K0 [-]
U1	19	0	29	0.5152
U2	19	10	36	0.4122
U3	20	20	36	0.5877

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Porta Nuova - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSPNR003-0-2

## 5 OPERE TEMPORANEE

### 5.1 Modello di calcolo

Le analisi strutturali e geotecniche sono state effettuate mediante il software di calcolo agli elementi finiti PLAXIS2D, bidimensionale. Tale software di calcolo fa uso del metodo degli elementi finiti per simulare il comportamento del terreno soggetto a modifiche nel suo stato tensionale. Mediante tale programma FEM è stato possibile simulare tutte le fasi di lavoro portando in conto il comportamento non lineare del terreno.

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. In particolare, si è utilizzato:

- per le pareti di micropali: elementi "plate"
- per i puntoni di rinforzo: elementi "node to node anchor";

Le travi di ripartizione non sono state simulate in questa fase di analisi.

Nel seguito verranno presentati i criteri di modellazione ed i risultati per tutte le lavorazioni descritte. Per quanto riguarda l'accesso speciale per maggiori dettagli relativi alla modellazione numerica si rimanda al paragrafo successivo della presente relazione.

#### 5.1.1 Criteri di modellazione

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:

$$K_0 = 1 - \text{sen}\varphi'$$

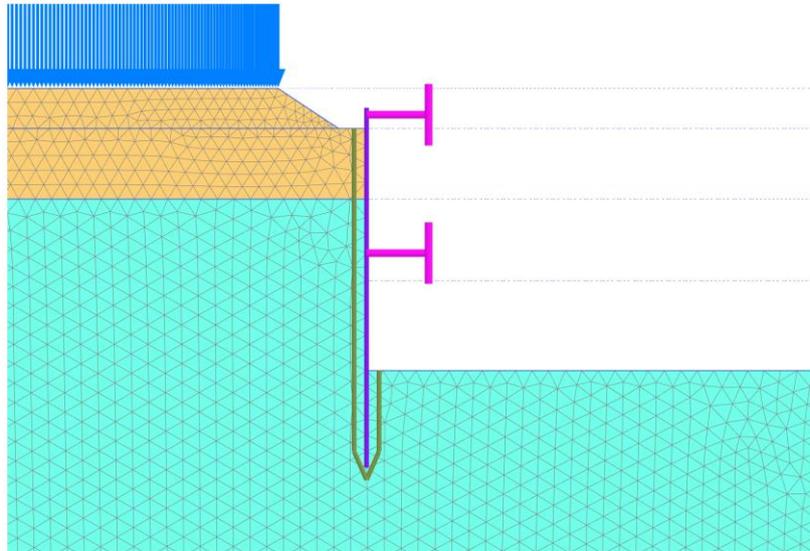
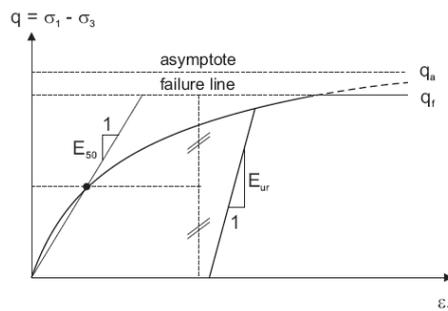


Figura 7. Modello di calcolo PLAXIS

Per il terreno è stato utilizzato un modello costitutivo elasto-plastico incrudente tipo "Hardening Soil". In tale modello, esattamente come in quello di Mohr Coulomb, la legge di resistenza è di tipo attritivo scandita dalla coesione  $c'$  e dall'angolo di attrito  $\phi'$ . L'angolo di dilatanza  $\psi$  è posto uguale  $0^\circ$ . Attraverso il modello "Hardening Soil" è possibile descrivere con maggiore dettaglio il comportamento del terreno lontano dalle condizioni di rottura attraverso l'impostazione di tre parametri:  $E_{50}$ , modulo di deformabilità secante al 50% del carico di rottura, modulo edometrico  $E_{oed}$  e modulo di scarico e ricarico  $E_{ur}$ .



$$E_{oed} = E_{oed}^{ref} \left( \frac{\sigma'_1}{P_{ref}} \right)^m$$

$$E_{oed} = \alpha \cdot \sigma'^m_1$$

$$P_{ref} = 100 \text{ kPa}$$

Figura 8. Modello costitutivo Hardening Soil

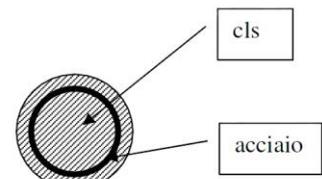
L'attrito tra parete e terreno è stato simulato nel software mediante l'introduzione di una interfaccia. L'attrito è stato posto pari al 50% della resistenza al taglio del terreno.

Di seguito si riportano le caratteristiche con le quali sono stati modellati gli elementi strutturali:



- **Parete di micropali:** tali elementi sono stati modellati come elementi "beam" attraverso le caratteristiche di rigidità flessionale ed assiale.

- diametro esterno palo in acciaio	$D_A=193.7 \text{ mm}$
- spessore palo in acciaio	$t=8.0 \text{ mm}$
- momento di inerzia palo in acciaio	$I_S=1.814e7 \text{ mm}^4$
- modulo elasticità acciaio	$E_S=210000 \text{ MPa}$
- diametro di perforazione palo	$D_P=220.0 \text{ mm}$
- momento di inerzia area malta	$I_C=9.483e7 \text{ mm}^4$
- modulo di elasticità malta	$E_C=22000 \text{ MPa}$
- interasse tra i pali	$i=400 \text{ mm}$



L'inerzia equivalente, scegliendo il calcestruzzo come materiale rispetto al quale omogeneizzare la sezione, risulta:

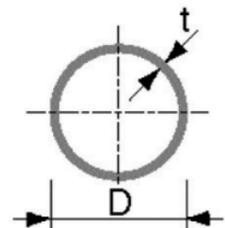
$$I_{EQ} = (E_C I_C + E_S I_S) / (i \times E_C) = 7.68e-4 \text{ m}^4$$

$$h_{EQ} = (12 \times I_{EQ})^{1/3} = 0.210 \text{ m}$$

- **Puntoni di rinforzo:** tali elementi sono stati modellati come elementi "node to node anchor" reagenti solo a compressione. Le caratteristiche delle sezioni utilizzate come puntone provvisorio di rinforzo sono riportate nel seguito:

- **Tipologia di puntone 1**

- diametro esterno puntone (tubo di acciaio)	$D_P=219.1 \text{ mm}$
- spessore puntone (tubo di acciaio)	$t=8.0 \text{ mm}$
- peso a metro lineare puntone	$p=413.8 \text{ N/m}$
- area della sezione in acciaio del puntone	$A_P=5305.5 \text{ mm}^2$
- momento di inerzia della sezione	$I_P=2.96e7 \text{ mm}^4$
- modulo elasticità acciaio	$E_S=210000 \text{ MPa}$
- lunghezza media puntone (schema B, C / D)	$L=7.6 / 13 \text{ m}$
- interasse medio puntoni (schema B, C / D)	$i=3 / 3.5 \text{ m}$



La rigidità del puntone a metro lineare risulta dunque:

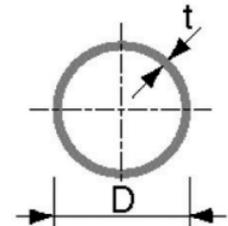
$$\text{Puntone } L=7.6 \text{ m} / i=3 \text{ m} \quad K_1=EA_P/L=1.47e8 \text{ N/m} \quad K_1^*=K_1/i=4.89e7 \text{ N/m/m}$$

$$\text{Puntone } L=13 \text{ m} / i=3.5 \text{ m} \quad K_2=EA_P/L=8.57e7 \text{ N/m} \quad K_2^*=K_2/i=2.45e7 \text{ N/m/m}$$



- **Tipologia di puntone 2**

- diametro esterno puntone (tubo di acciaio)	$D_p=298.5$ mm
- spessore puntone (tubo di acciaio)	$t=8.0$ mm
- peso a metro lineare puntone	$p=562.11$ N/m
- area della sezione in acciaio del puntone	$A_p=7301.06$ mm <sup>2</sup>
- momento di inerzia della sezione	$I_p=7.71e7$ mm <sup>4</sup>
- modulo elasticità acciaio	$E_s=210000$ MPa
- lunghezza media puntone (schema D)	$L=13$ m
- interasse medio puntoni (schema D)	$i=3.5$ m



$$\text{Puntone } L=13\text{m} / i=3.5\text{m} \quad K_3=EA_p/L=1.18e8 \text{ N/m} \quad K_3^*=K_3/i=3.37e7 \text{ N/m/m}$$

Lo scavo è stato simulato mediante diverse fasi di calcolo al fine di seguire la non linearità di comportamento del terreno. Con riferimento alla tabella seguente, si riportano le fasi costruttive simulate nel software per tutti gli schemi considerati:

**Tabella 7 Fasi di scavo per i diversi schemi di analisi**

Schema A	Schema B
<u>Stage 1</u> Inizializzazione tensioni geostatiche; <u>Stage 2</u> Pre-scavo ed inizializzazione del carico variabile a tergo della parete; <u>Stage 3</u> Installazione parete di micropali; <u>Stage 4</u> Scavo sino alla quota di fondo scavo.	<u>Stage 1</u> Inizializzazione tensioni geostatiche; <u>Stage 2</u> Pre-scavo ed inizializzazione del carico variabile dietro alla parete; <u>Stage 3</u> Installazione parete di micropali e puntone di testa; <u>Stage 4</u> Scavo sino alla quota di installazione del secondo livello di puntoni; <u>Stage 5</u> Installazione secondo livello di puntoni <u>Stage 6</u> Scavo sino alla quota di fondo scavo.
TRONCHINO L1/L2 (ACCESSO SPECIALE)	
<u>Stage 1</u> Inizializzazione tensioni geostatiche <u>Stage 3</u> Simulazione scavo stazione e galleria <u>Stage 4</u> Installazione della paratia di micropali e consolidamento a fondo scavo <u>Stage 5</u> Ribasso progressivo ed installazione dei puntoni di contrasto <u>Stage 6</u> Scavo sino alla quota di fondo scavo.	

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Porta Nuova - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSPNR003-0-2

### 5.1.2 Analisi dei carichi

Per quanto riguarda i carichi utilizzati nell'analisi numerica, si possono distinguere:

#### Peso proprio

Il peso proprio degli elementi strutturali è applicato automaticamente dal software.

#### Spinta del terreno

Le spinte sono state valutate automaticamente dal software, a seconda dell'analisi effettuata, nota la stratigrafia di cui al paragrafo 4 della presente.

#### Spinta idrostatica

La falda non interviene nel calcolo in quanto situata per l'intero tratto a profondità di molto superiori rispetto a quelle di interesse.

#### Carichi variabili – traffico

Un carico variabile pari a 20 kN/m<sup>2</sup> uniformemente distribuito è applicato dietro alla parete in tutte le fasi di calcolo.



## 5.2 RISULTATI DELLE ANALISI E VERIFICHE STRUTTURALI

### 5.2.1 Risultati delle analisi numeriche

#### 5.2.1.1 Schema A

Lo schema A è caratterizzato da micropali di lunghezza 6 metri a sostegno di uno scavo di 3 metri. Tale schema è impiegato negli accessi in stazione nella sezione più superficiale.

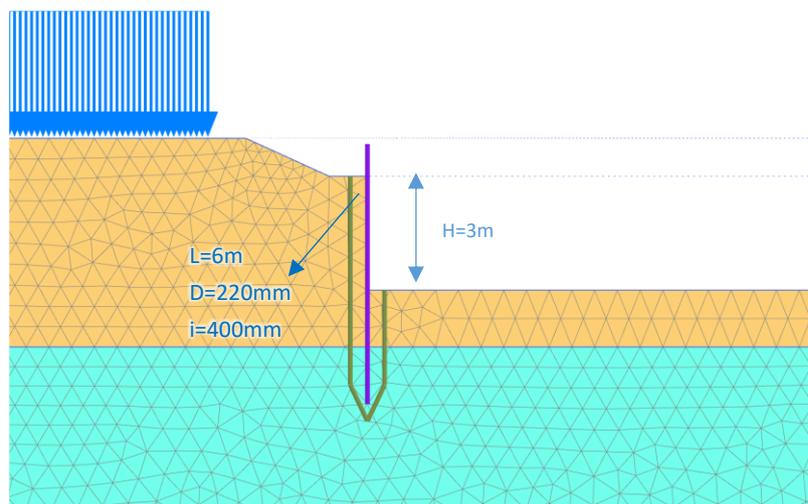


Figura 9. Schema A - Mesh di calcolo Plaxis

#### 5.2.1.2 Schema B

Lo Schema B è caratterizzato da micropali di lunghezza 13 metri con due livelli di vincolo, uno in testa e un altro posto successivamente 5m sotto, a sostegno di uno scavo totale di 10 metri. Tale schema è impiegato per lo scavo e la realizzazione delle vasche di accumulo antincendio così come delle ventilazioni in cui ci sia una luce libera massima di 12m.

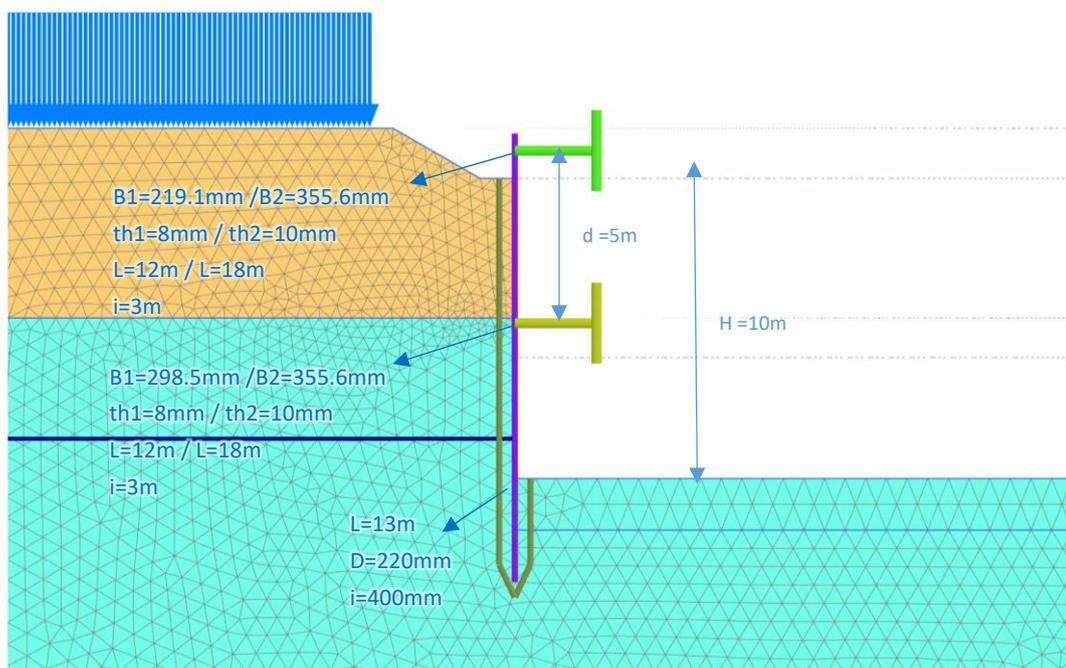


Figura 10. Schema B - Mesh di calcolo Plaxis

### 5.2.1.3 Tronchino di collegamento L1/L2 (accesso speciale)

Di seguito è riportato il modello di calcolo utilizzato per simulare il processo di scavo e le opere di sostegno nell'area in prossimità dell'accesso speciale della stazione che costituisce anche una struttura di connessione tra la stazione esistente e la futura stazione della L2.

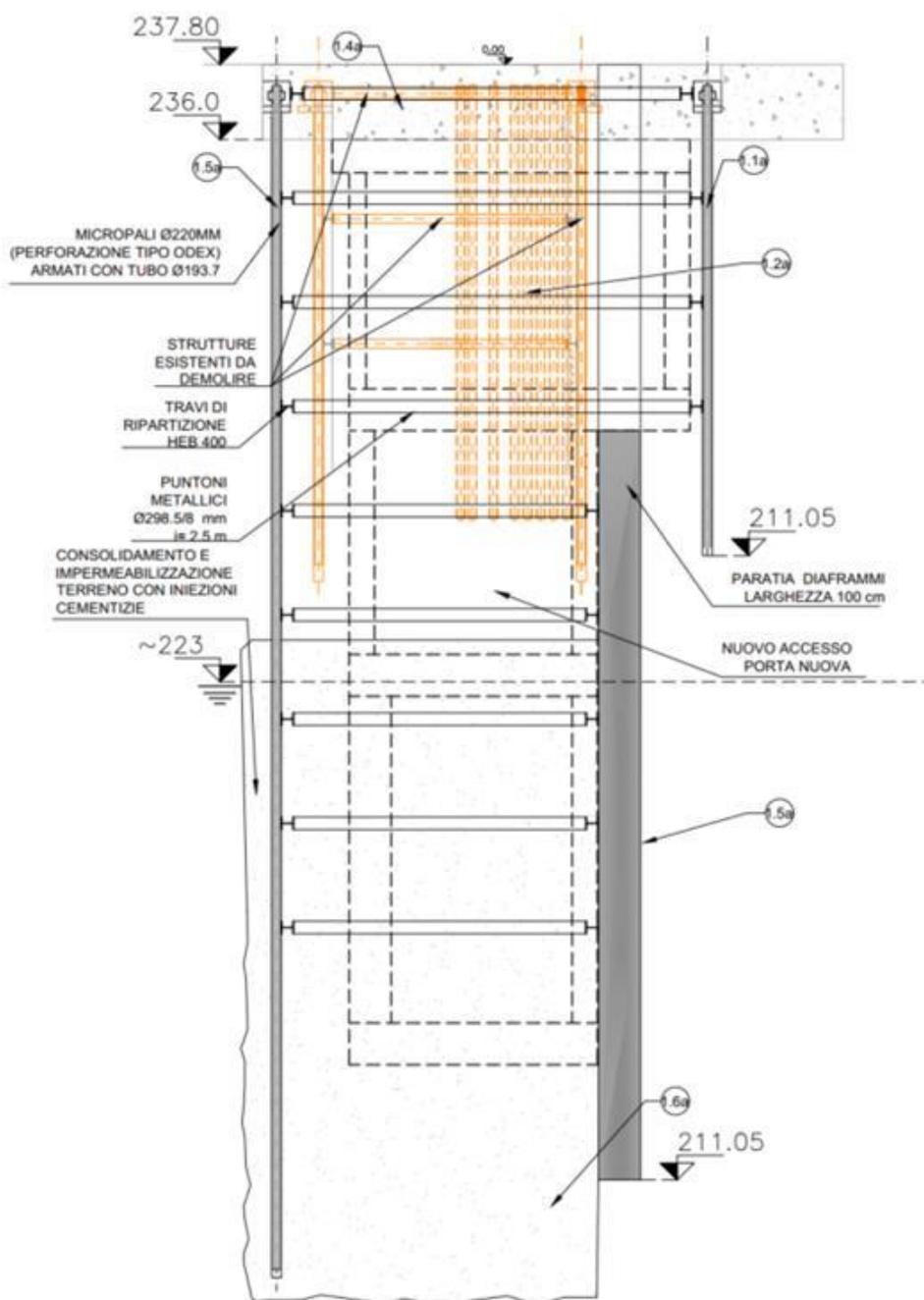


Figura 11. Accesso speciale – Fasi di scavo e sostegni

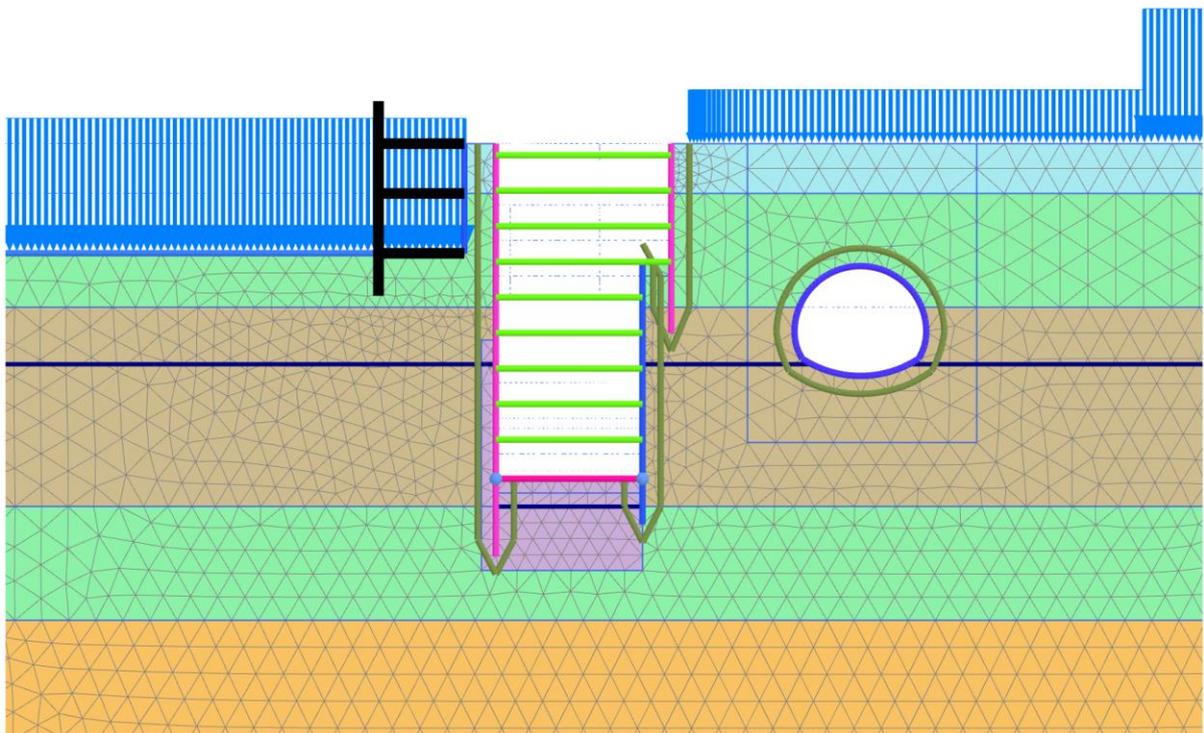


Figura 12. Accesso speciale - Modello di calcolo Plaxis

I risultati di questo modello sono stati impiegati per le verifiche delle paratie laterali costituite da diaframmi in c.a. e micropali secondo lo schema indicato di seguito.

I principali risultati sono presentati in Appendice I.

### 5.2.2 Verifiche SLU-STR della paratia

Dall'analisi di interazione terreno-struttura mediante il software PLAXIS, si ottengono i valori caratteristici delle sollecitazioni sui micropali. Per le verifiche si provvederà ad amplificare tali azioni secondo l'approccio normativo A1 C1 mediante i coefficienti parziali del gruppo  $A_1+M_1+R_1$ . Le sollecitazioni sulla parete sono state amplificate, in via cautelativa, non operando una

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Porta Nuova - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSPNR003-0-2

distinzione in termini di azioni "permanenti" (terreno a tergo della parete) ed azioni "variabili" (sovraccarico di 20 kPa).

Tutti gli effetti delle azioni sono stati amplificati per il coefficiente amplificativo delle azioni variabili 1.5.

Secondo quanto prescritto al 6.2.3.1 delle NTC18, sia per le pareti, sia per il puntone si è garantito il soddisfacimento della disuguaglianza:

$$E_d \geq R_d$$

con

$$E_d = \gamma_E \cdot E \left[ F_K; \frac{X_K}{\gamma_M}; a_d \right] \quad R_d = \frac{1}{\gamma_R} \cdot R \left[ \gamma_F F_K; \frac{X_K}{\gamma_M}; a_d \right]$$

Ipotizzando come sezione resistente la sola sezione in acciaio del micropalo, La verifica della parete verticale viene eseguita secondo quanto prescritto dalle NTC18: a partire dalla sollecitazione di sforzo assiale, taglio e momento flettente sul singolo palo, si è provveduto a valutare la tensione normale e la tensione tangenziale sulla sezione combinandole secondo la relazione:

$$\sigma_{x,Ed}^2 + \sigma_{y,Ed}^2 + \sigma_{z,Ed}^2 + 3\tau_{Ed}^2 \leq (f_{yk}/\gamma_{M0})^2$$

Le verifiche strutturali sulla paratia dei diversi schemi di sostegno e dell'accesso speciale sono presentate in Appendice D.

### 5.2.3 Verifica SLU-STR del puntone

Per quanto riguarda le verifiche del puntone compresso, le sollecitazioni caratteristiche ottenute dall'analisi numerica sono state incrementate per il fattore pari a 1.5.

Il massimo carico assiale nel puntone deve essere tale da non produrre l'instabilità del profilo. La verifica di instabilità del profilo in acciaio è stata condotta secondo quanto prescritto al §4.2.4.1.3 della Normativa tecnica:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_{yk}}} = 0.81$$

$$\text{Classe 1 } \frac{d}{t} \leq 50\varepsilon^2$$

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Porta Nuova - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSPNR003-0-2

$$\text{Classe 2 } \frac{d}{t} \leq 70\varepsilon^2$$

$$\text{Classe 3 } \frac{d}{t} \leq 90\varepsilon^2$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M1}}$$

$$N_{CR} = \frac{\pi^2 EI}{l_0^2}$$

con:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_{yk}}{N_{CR}}}$$

$$\Phi = 0.5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2]$$

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = 0.15$$

Si riporta nel seguito la verifica per il puntone maggiormente caricato.

Le verifiche strutturali sui puntoni dei diversi schemi di sostegno sono presentate in Appendice F.

#### 5.2.4 Verifica SLU-STR del cordolo di superficie

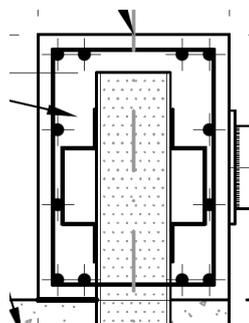
Per il dimensionamento del cordolo in cemento armato in testa alla parete di micropali si utilizza lo schema di trave su più appoggi uniformemente caricata dagli scarichi dei puntoni per unità di lunghezza. In via cautelativa, la trave è stata verificata ipotizzando un momento massimo pari a:

$$M_{Max} = \frac{1}{8}ql^2 \quad V_{Max} = 0.6ql$$

Dove q rappresenta la reazione del puntone ed L il loro interasse.

La sezione risulta verificata con una armatura di 12Φ16 disposti come da figura. Il copriferro è di 5 cm. L'armatura a taglio è costituita da Φ12/20.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Porta Nuova - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSPNR003-0-2



**Figura 13. Particolare armatura trave di testa**

Le verifiche strutturali sul cordolo di testa dei diversi schemi di sostegno sono presentate in Appendice G.

### 5.2.5 Verifica SLU-STR della trave di ripartizione

Per il dimensionamento della trave di ripartizione del secondo livello di puntoni, si utilizza lo schema di trave su più appoggi uniformemente caricata dagli scarichi dei puntoni per unità di lunghezza.

La trave è stata verificata ipotizzando un momento ed un taglio massimo pari a:

$$M_{Max} = \frac{1}{10} ql^2 \quad V_{Max} = 0.6ql$$

Dove  $q$  rappresenta la reazione del puntone ed  $L$  il loro interasse.

La trave di ripartizione è costituita da una HEB300. La verifica è stata condotta secondo quanto prescritto al punto 4.2.4.1.2 delle NTC.

$$\sigma_{x,Ed}^2 + \sigma_{x,Ed}^2 + \sigma_{x,Ed}^2 + 3\tau_{Ed}^2 \leq (f_{yk}/\gamma_{M0})^2$$

Le verifiche strutturali sulla trave di ripartizione dei diversi schemi di sostegno sono presentate in Appendice H.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Porta Nuova - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSPNR003-0-2

### 5.2.6 Verifiche SLU-GEO collasso dell'insieme terreno-opera

La verifica è stata condotta secondo l'approccio A<sub>1</sub>-C<sub>2</sub> utilizzando i coefficienti del gruppo A<sub>2</sub>+M<sub>2</sub>+R<sub>2</sub> in accordo con le NTC18, ipotizzando un meccanismo globale di collasso. In particolare, è stato realizzato un modello Plaxis riducendo i parametri di resistenza del terreno secondo i coefficienti del gruppo M<sub>2</sub>.

Al fine di scongiurare l'attivazione di un meccanismo plastico, in questa analisi la parete di micropali ed i puntoni presentano comportamento elasto-plastico; le soglie di plasticizzazione sono scandite, rispettivamente, dal momento di plasticizzazione e dal carico critico di compressione. Il soddisfacimento della verifica SLU-GEO si traduce nel garantire che le strutture rimangano in campo elastico e che non siano totalmente mobilitate le resistenze a monte e a valle della parete.

**Tabella 8 Riassunto parametri utilizzati nel calcolo per la SLU-GEO**

Terreno	γ (KN/m <sup>3</sup> )	Φ <sub>d</sub> ' (°)	c <sub>d</sub> ' (kPa)
Terreni di riporto - U1	19	23.9	0
Ghiaia e sabbie - U2	19	30.2	8
Ghiaia e sabbie - U3	20	30.2	16

Le spinte ottenute mediante l'analisi Plaxis con i parametri di resistenza ridotti sono state messe a confronto con le spinte teoriche limite sulla parete al fine di stabilire un coefficiente di sicurezza nei riguardi di un collasso generalizzato. Le spinte teoriche limite del terreno sono state calcolate cautelativamente mediante le relazioni di Rankine trascurando l'effetto legato all'attrito del terreno:

$$K_A = \frac{1 - \text{sen}\varphi_d}{1 + \text{sen}\varphi_d} \qquad K_P = \frac{1 + \text{sen}\varphi_d}{1 - \text{sen}\varphi_d}$$

Le verifiche geotecniche dei diversi schemi di sostegno sono presentate in Appendice E.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Porta Nuova - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSPNR003-0-2

## 6 RIVESTIMENTI DEFINITIVI

### 6.1 PRINCIPALI ASSUNZIONI DELLA PROGETTAZIONE

#### 6.1.1 Modellazione numerica e schematizzazione strutturale del modello

L'analisi e la progettazione strutturale delle strutture interne definitive degli accessi, vasche di accumulo e griglie di ventilazione, è stata schematizzata utilizzando diversi modelli strutturali rappresentativi dei principali componenti costituenti la struttura.

Gli accessi sono stati analizzati in due sezioni principali, la prima posta nella parte più superficiale dell'accesso dove non è presente la soletta di copertura ma in corrispondenza dell'altezza massima, risultando quindi in una struttura a sbalzo composta dalle pareti e la soletta di fondazione. La seconda sezione di calcolo posta dove l'accesso ha raggiunto il piano di atrio, collocandosi all'altezza massima dell'accesso quindi con presenza della soletta di copertura, per cui il modello risulta come uno scatolare continuo chiuso.

Le vasche d'accumulo sono rappresentate invece da uno scatolare chiuso sia da soletta di copertura, sia dalla soletta di fondazione di dimensioni definite.

L'analisi strutturale è stata condotta mediante programma di calcolo automatico ad elementi finiti Autodesk Robot Structural Analysis Professional. La struttura è stata schematizzata attraverso elementi finiti quadrangolari e triangolari di dimensioni 30cmx30cm tipo "plate-shell".

La struttura è vincolata alla base tramite un letto di molle con coefficiente di Winkler per tutte le superfici a contatto col terreno, mentre dei vincoli rigidi in direzione longitudinale per gli elementi simulati continui.

Per la verifica strutturale degli stati limite ultimo (SLU) e di esercizio (SLE), vengono utilizzati i fattori e le combinazioni dei carichi, nonché i coefficienti di sicurezza dei materiali indicati nelle NTC2018. I metodi di analisi utilizzati sono di tipo statico non lineare.

Negli elementi shell le sollecitazioni di calcolo sono state ricavate con il metodo di Wood & Armer (1968) secondo gli assi locali.

- $M_{xx} (+)$  = Momenti flettenti (W&A) che tende le fibre superiori in direzione x
- $M_{xx} (-)$  = Momenti flettenti (W&A) che tende le fibre inferiori in direzione x
- $M_{yy} (+)$  = Momenti flettenti (W&A) che tende le fibre superiori in direzione y
- $M_{yy} (-)$  = Momenti flettenti (W&A) che tende le fibre inferiori in direzione y
- $Q (1-2)$  = Sollecitazione di taglio combinato
- $U_z$  = Spostamenti in direzione z

Per lo stato limite di esercizio (SLE) vengono verificate le larghezze delle fessure e le tensioni nei materiali.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Porta Nuova - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSPNR003-0-2

### 6.1.2 Caratterizzazione sismica

Con riferimento al capitolato, le azioni sismiche verranno prese in conto considerando un valore dell'accelerazione massima orizzontale del sito pari a:

$$a_{max} / g = S_s \cdot S_T \cdot a_g / g$$

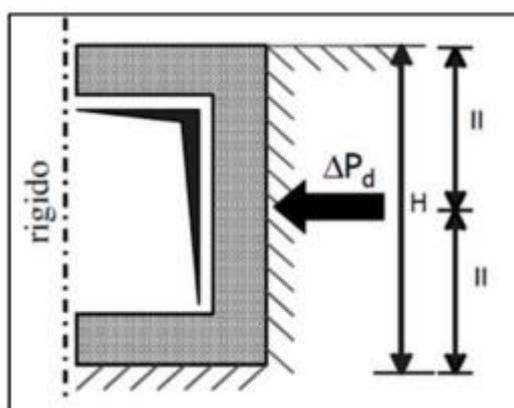
Vi saranno effetti amplificativi dovuti alla stratigrafia ed alla topografia del suolo, tenuti in conto con i seguenti coefficienti:

- *Coefficiente topografico ( $S_T$ )*: per superfici pianeggianti è considerato pari a **1**.
- *Coefficiente stratigrafico ( $S_s$ )*: Per sottosuolo di categoria C è considerato pari a **1.3**.

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

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

Assimilando l'opera come una struttura scatolare non in grado di spostarsi, le spinte delle terre sono calcolate in regime di spinta a riposo che comporta il calcolo delle spinte sismiche in tali condizioni; l'incremento dinamico di spinta del terreno è determinato secondo la teoria di (WOOD 1973), che fornisce la sovraspinta sismica del terreno su una parete interrata.



**Figura 14. 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:

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

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Porta Nuova - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSPNR003-0-2

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

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

### 6.1.3 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; così è stato possibile quindi definire le diverse combinazioni di carico di seguito elencate:

**Tabella 9 Combinazioni dei carichi SLU per verifiche strutturali**

	CARICHI	A1+M1+R1	SISMA STR_X	SISMA STR_Y
Perm. strutturali	Peso proprio	1.3	1	1
Perm. non strutturali	Spinta laterale del terreno_STR	1.5	1	1
	Spinta laterale del terreno_GEO	0	0	0
	Ricarica terreno	1.5	1	1
	Pavimentazione	1.5	1	1
Variabili	Folla	1.5	0.6	0.6
	Traffico	1.5	0.6	0.6
Azioni sismiche	Sovraspinta del sisma in direzione X	0	1	0
	Sovraspinta del sisma in direzione Y	0	0	1
Coeff. Parziali geotecnici del terreno	Peso dell'unità del volume	1	1	1
	Coesione efficace	1	1	1
	Tangente dell'angolo della resistenza a taglio	1	1	1

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Porta Nuova - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSPNR003-0-2

**Tabella 10 Combinazioni dei carichi SLU per verifiche geotecniche**

CARICHI		A2+M2+R2	SISMA GEO_X	SISMA GEO_Y
Perm. strutturali	Peso proprio	1	1	1
Perm. non strutturali	Spinta laterale del terreno_STR	0	1	1
	Spinta laterale del terreno_GEO	1.3	0	0
	Ricarica terreno	1.3	1	1
	Pavimentazione	1.3	1	1
Variabili	Folla	1.3	0.6	0.6
	Traffico	1.3	0.6	0.6
Azioni sismiche	Sovrappinta del sisma in direzione X	0	1	0
	Sovrappinta del sisma in direzione Y	0	0	1
Coeff. Parziali geotecnici del terreno	Peso dell'unità del volume	1	1	1
	Coesione efficace	1	1	1
	Tangente dell'angolo della resistenza a taglio	1.25	1.25	1.25

**Tabella 11 Combinazioni dei carichi SLE per verifiche strutturali**

CARICHI		SLE RARA	SLE FREQ	SLE QP
Perm. strutturali	Peso proprio	1	1	1
Perm. non strutturali	Spinta laterale del terreno_STR	1	1	1
	Spinta laterale del terreno_GEO	0	0	0
	Ricarica terreno	1	1	1
	Pavimentazione	1	1	1
Variabili	Folla	1	0.7	0.6
	Traffico	1	0.7	0.6
Azioni sismiche	Sovrappinta del sisma in direzione X	0	1	0
	Sovrappinta del sisma in direzione Y	0	0	1
Coeff. Parziali geotecnici del terreno	Peso dell'unità del volume	1	1	1
	Coesione efficace	1	1	1
	Tangente dell'angolo della resistenza a taglio	1	1	1

#### 6.1.4 Rigidezze del suolo adottate nei modelli numerici

Per stimare il modulo di reazione verticale del terreno si utilizza il Metodo proposto da *Bowles* (1982), adottato anche dal Comitato ACI 336.2R-88 (riapprovato 2002).

$$K_s = \frac{E_s}{B(1 - \nu^2)I_w}$$

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Porta Nuova - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSPNR003-0-2

**Dove:**  $I_w$  : Fattore di forma base

$B$  : Larghezza base

Es: Modulo di Young del suolo

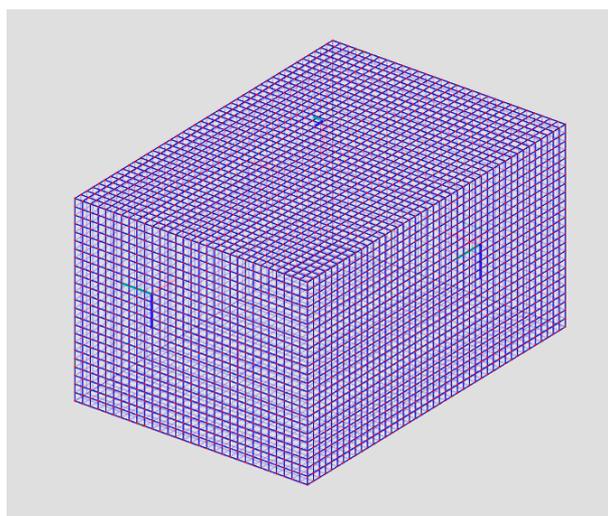
**Tabella 12 – Valori di rigidezza utilizzate nei principali modelli di calcolo**

Modello numerico / struttura	Ks (kN/m/m <sup>2</sup> )
Accesso sezione a sbalzo / sezione chiusa	27470
Camera di ventilazione	12450

## 6.2 Analisi numerica e verifiche strutturali

### 6.2.1 Vani esterni ventilazione

Le strutture in oggetto sono costituite dalle pareti, la soletta di fondo e la soletta di copertura. Tutti gli elementi hanno uno spessore di 60cm.



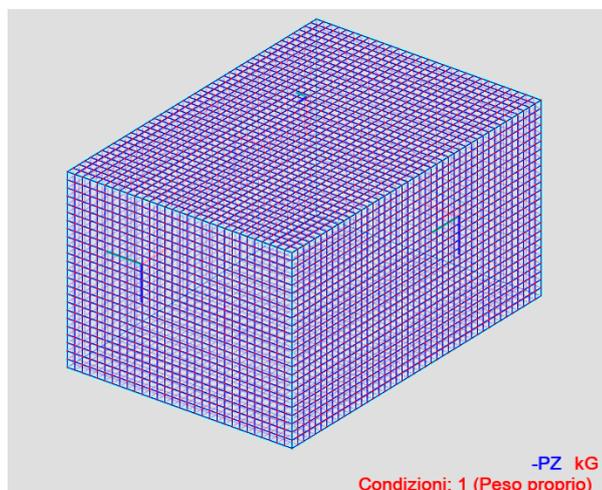
**Figura 15. Modello numerico**

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Porta Nuova - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSPNR003-0-2

### 6.2.1.1 Carichi

#### Carichi permanenti strutturali

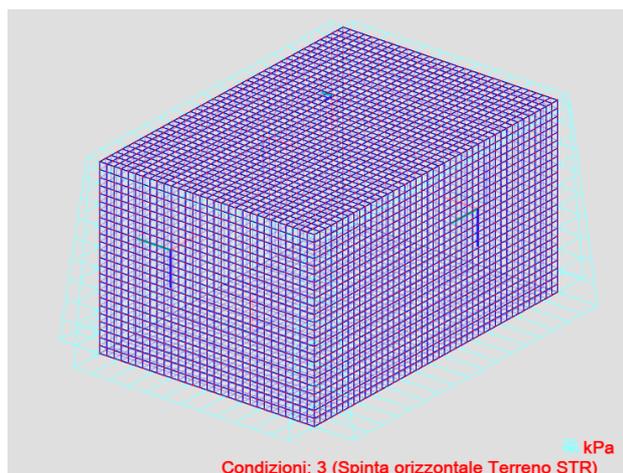
**Peso proprio** della struttura considerato automaticamente:  $\gamma_{cls} = 25 \text{ kN/m}^3$ .



**Figura 16. Peso proprio**

#### Carichi permanenti non strutturali

**Spinta laterale del terreno** considerata come carico distribuito triangolare pari a  $k_0 \cdot \gamma \cdot h$

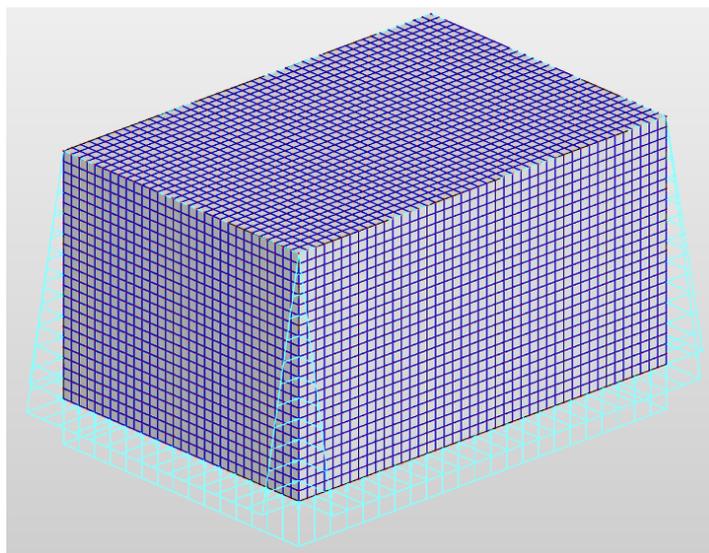


**Figura 17. Spinta orizzontale del terreno**

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Porta Nuova - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSPNR003-0-2

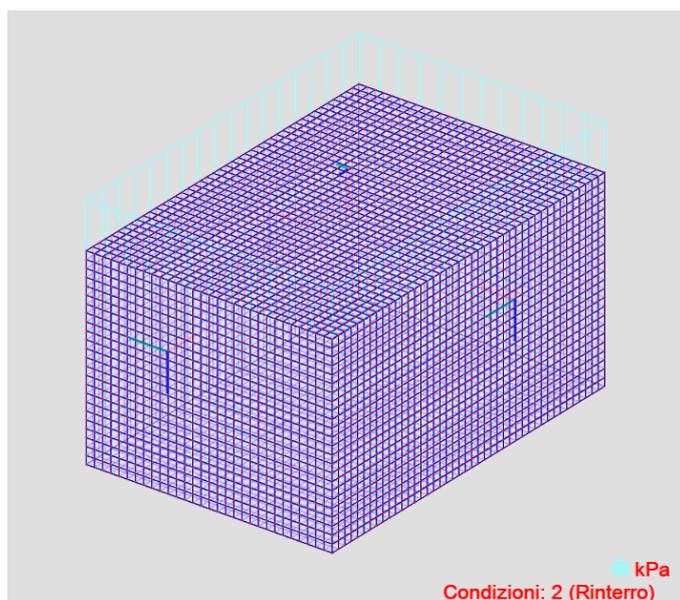
**Spinta idraulica** considerata come carico distribuito triangolare pari a  $k_0 \cdot \gamma_w \cdot h_w$ :

Con  $h_w$  **-2m** da piano campagna cautelativamente per la stazione in esame.



**Figura 18. Spinta idrostatica**

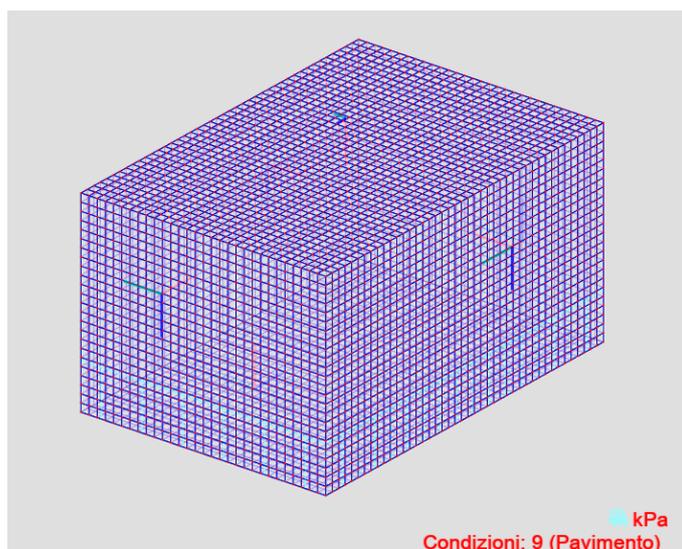
**Ritombamento** è stato considerato del materiale di riporto da ricoprire l'accesso fino ad arrivare a quota piano campagna, per cui è stato applicato un carico finale  $H \cdot \gamma$  con  $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$ .



**Figura 19. Ritombamento**

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Porta Nuova - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSPNR003-0-2

**Pavimento** sono stati considerati 15 cm di pavimentazione con  $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$ .



**Figura 20. Pavimentazione**

### **Carichi variabili**

Risultano applicati i seguenti carichi:

**Traffico:** è stato preso in considerazione il traffico direttamente sopra la stazione e nelle vicinanze, quest'ultimo è stato riportato come carico orizzontale uniformemente distribuito sulle pareti utilizzando la formula  $k_0 \cdot 20 \text{ kN}$  con  $k_0$  variabile seguendo le indicazioni riportate nella condizione di carico di spinta del terreno.

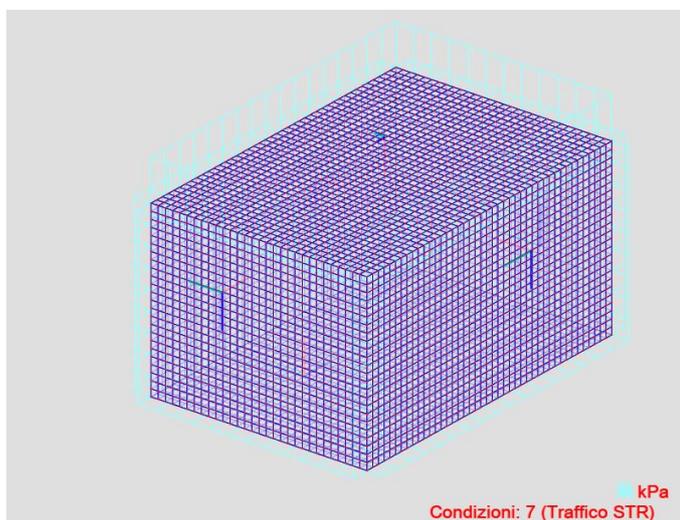


Figura 21. Traffico

**Carichi sismici** sono stati considerati agenti in entrambe le direzioni longitudinale e trasversale calcolati seguendo la teoria di Wood come specificato al capitolo 6.1.2 della presente relazione.

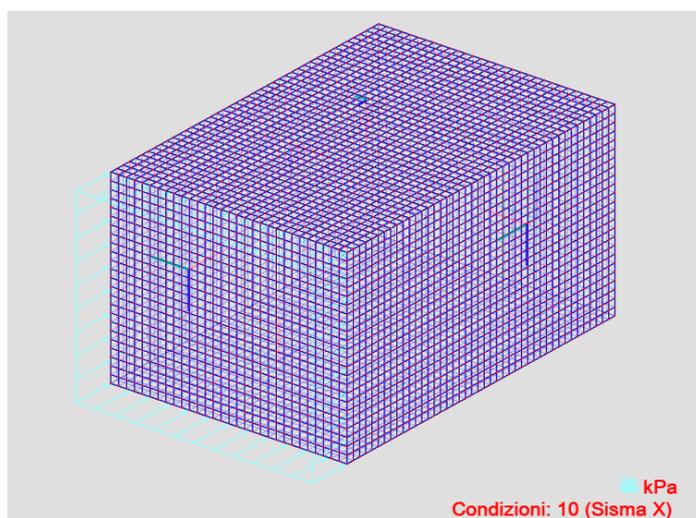


Figura 22. Spinta sismica direzione X



CITTA' DI TORINO

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

Stazione Porta Nuova - Relazione di calcolo opere  
di sostegno e strutture accessi stazione

MTL2T1A2DSTRSPNR003-0-2

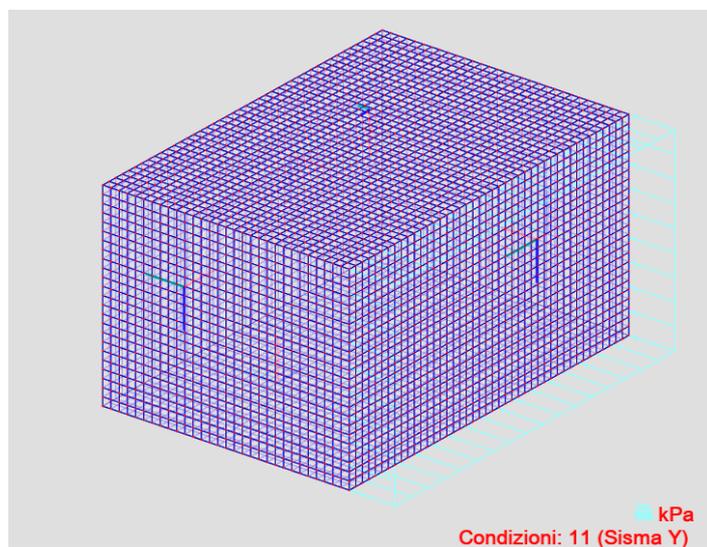


Figura 23. Spinta sismica direzione Y – Vasca di accumulo antincendio



### 6.2.1.2 Risultati dell'analisi e verifiche strutturali

I risultati dell'analisi e le successive verifiche strutturali hanno portato alla definizione della seguente armatura per gli elementi che compongono l'accesso chiuso, inoltre sono state individuate delle zone particolari che richiedono un maggior quantitativo di armatura, per cui il rinforzo è stato disposto seguendo gli schemi riportati sotto:

#### Armatura Principale

#### Solette

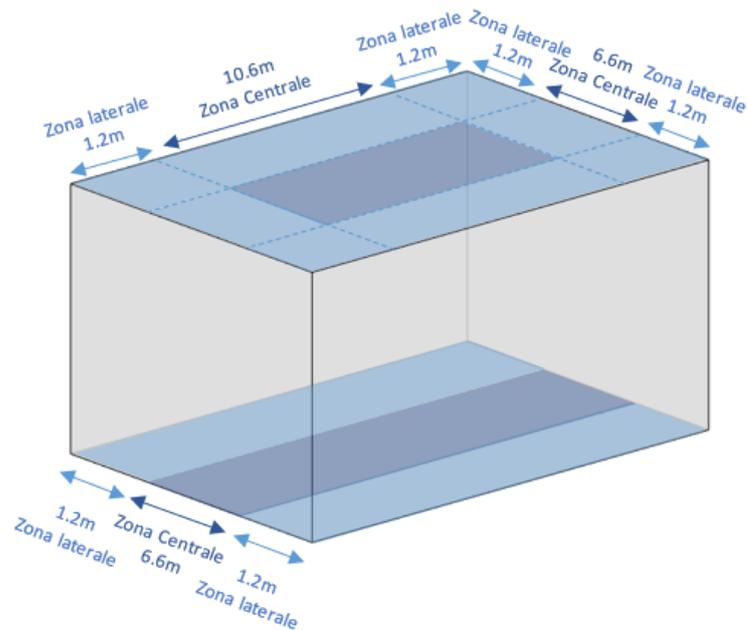


Figura 24. Schema di distribuzione dell'armatura principale solette



### Muri

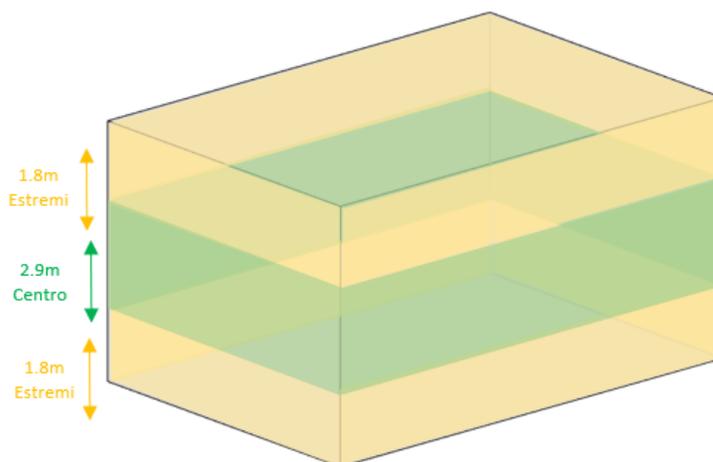


Figura 25. Schema di distribuzione dell'armatura principale muri

### Armatura a taglio

#### Solette

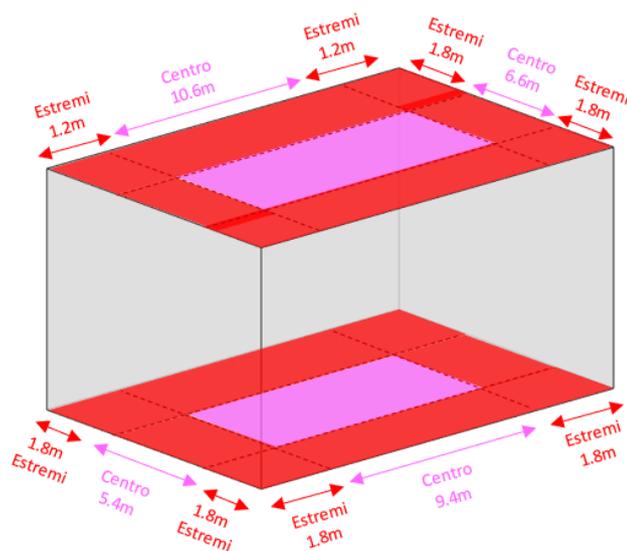
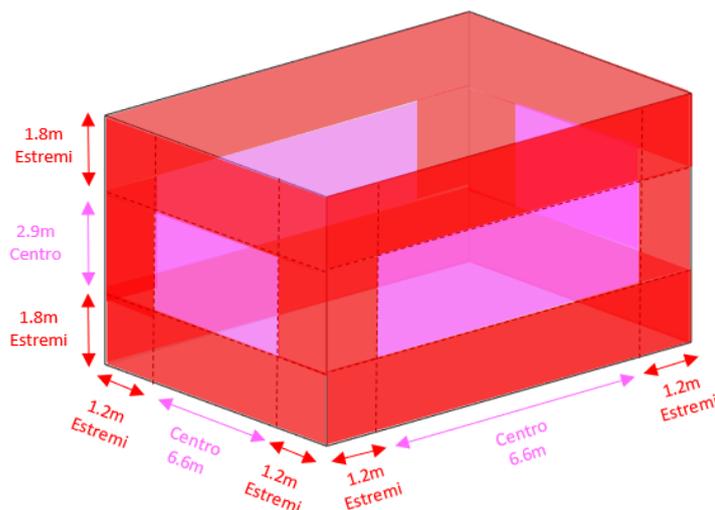


Figura 26. Schema di distribuzione dell'armatura a taglio solette



**Muri**



**Figura 27. Schema di distribuzione dell'armatura a taglio muri**

**Tabella 12 Armatura principale Soletta di copertura**

Soletta di copertura	Direzione	Armatura		
	Zona Laterale	Trasversale	superiore	Ø26/150
inferiore			Ø20/150	
Longitudinale		superiore	Ø26/150	
		inferiore	Ø20/150	
Zona Centrale	Trasversale	superiore	Ø20/150	
		inferiore	Ø20/150	
	Longitudinale	superiore	Ø20/150	
		inferiore	Ø26/150	

**Tabella 13 Armatura a taglio Soletta di copertura**

Soletta di copertura Vasca	Posizione	Staffe
	Estremi	Ø10/150/150
	Centro	Ø10/150/300

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Porta Nuova - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSPNR003-0-2

**Tabella 14 Armatura principale Muri**

Muri	Posizione	Armatura		
		Estremi	Trasversale	Esterno
Interno	Ø20/150			
Longitudinale	Esterno		Ø20/150	
	Interno		Ø20/150	
Centro	Trasversale	Esterno	Ø20/150	
		Interno	Ø20/150	
	Longitudinale	Esterno	Ø18/150	
		Interno	Ø18/150	

**Tabella 15 Armatura a taglio Muri**

Muri Vasca	Posizione	Staffe
	Estremi	Ø8/150/150
	Centro	Ø8/150/300

**Tabella 16 Armatura principale Soletta di fondo**

Soletta di fondo	Direzione	Armatura		
		Zona Laterale	Trasversale	Superiore
Inferiore	Ø20/150			
Longitudinale	Superiore		Ø26/150	
	Inferiore		Ø20/150	
Zona Centrale	Trasversale	Superiore	Ø20/150	
		Inferiore	Ø20/150	
	Longitudinale	Superiore	Ø20/150	
		Inferiore	Ø20/150	



Tabella 17 Armatura a taglio Soletta di copertura

Soletta di copertura Vasca	Posizione	Staffe
	Estremi	Ø8/150/150
	Centro	Ø8/150/300

### 6.2.2 Strutture di collegamento L1/L2

Le strutture interne del tronchino di collegamento tra le stazioni della linea 1 e 2 sono costituite dalle fodere e la soletta di fondo. I muri hanno uno spessore di 60cm per il piano atrio e primo mezzanino, mentre al secondo mezzanino lo spessore è di 60cm dal lato a contatto con il diaframma; a lato terreno le fodere adottano uno spessore di 100cm, come mostrato di seguito.

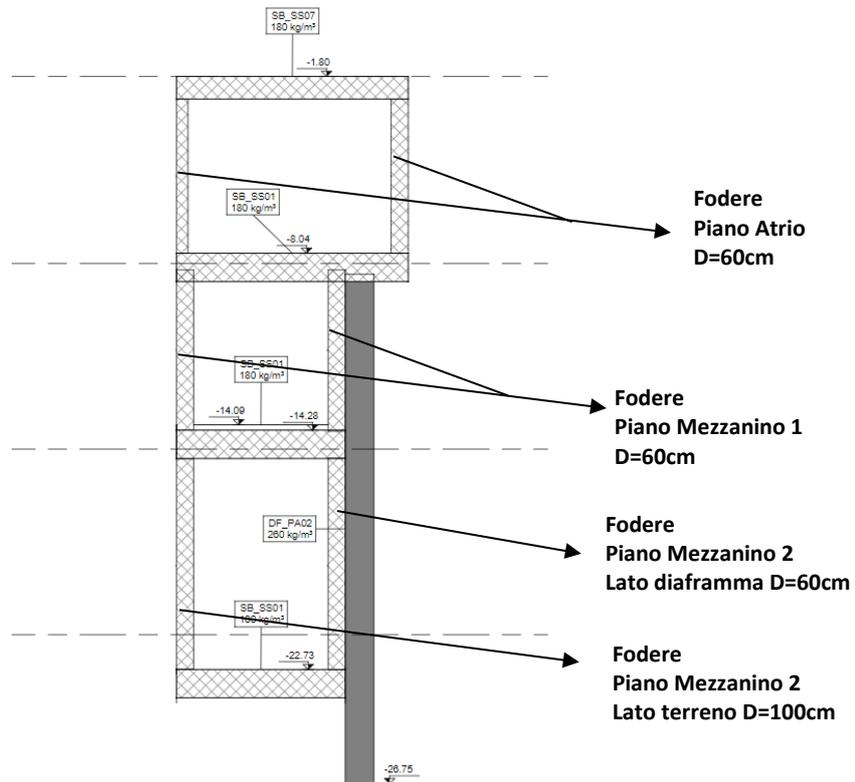
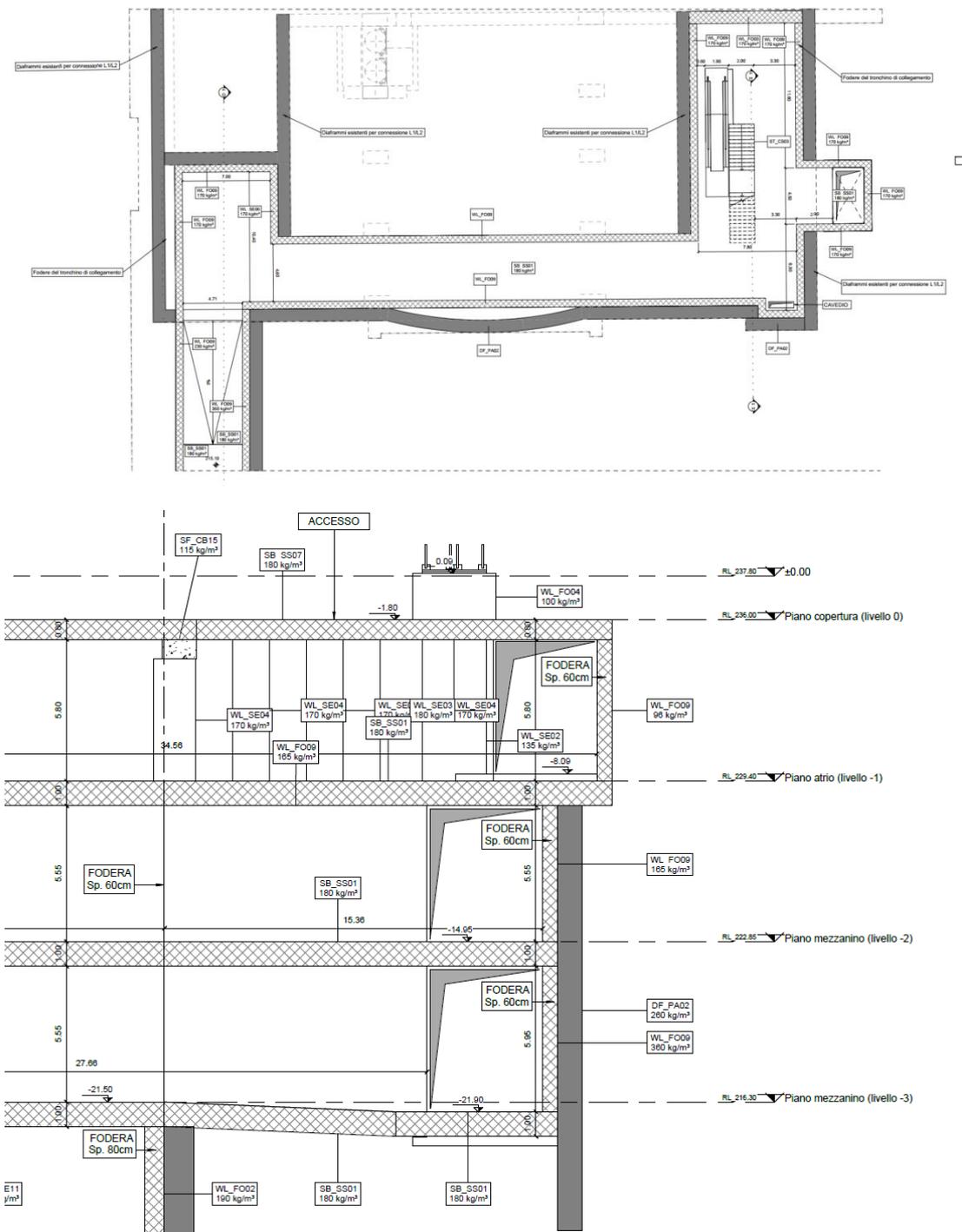


Figura 1. Geometria del tronchino di collegamento Linea 1 a Linea 2 - Stazione Porta Nuova



**Figura 2. Geometria del tronchino di collegamento Linea 1 a Linea 2 - Stazione Porta Nuova**



Le fodere del tronchino sono state schematizzate come delle travi appoggiate-appoggiate di spessore 60cm e larghezza unitaria, ad eccezione della fodera piano secondo mezzanino lato terreno, con spessore 100cm.

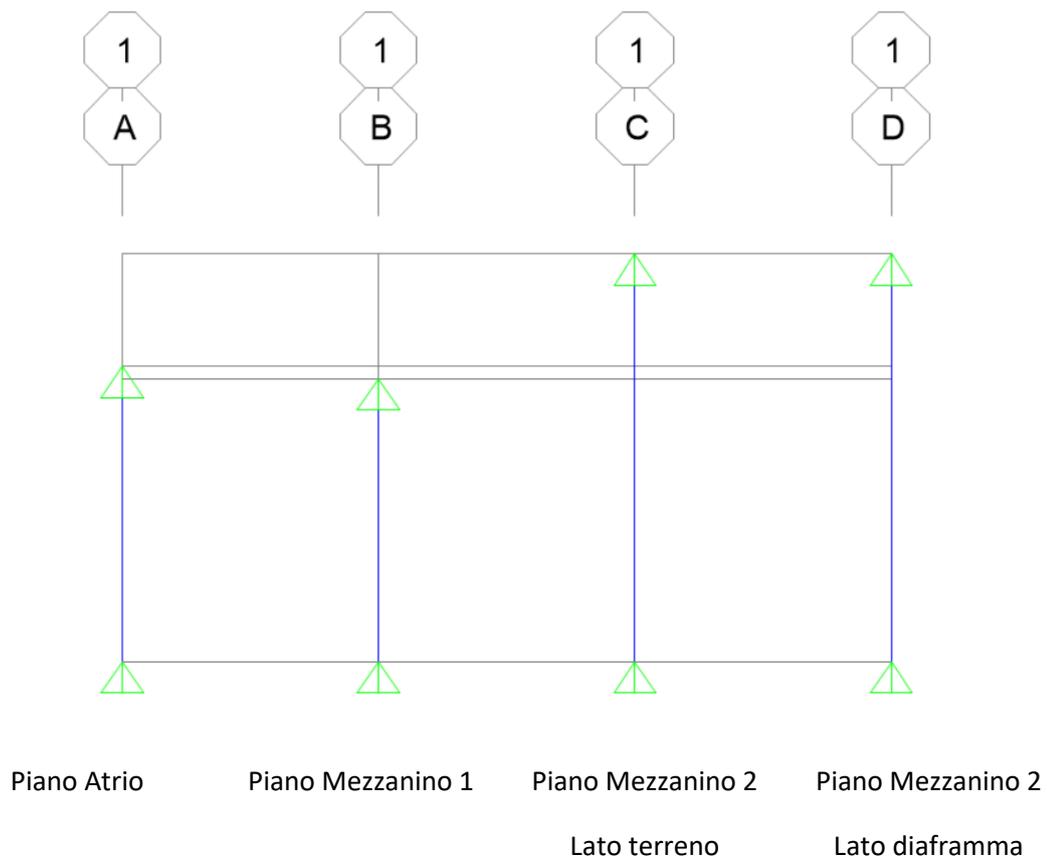
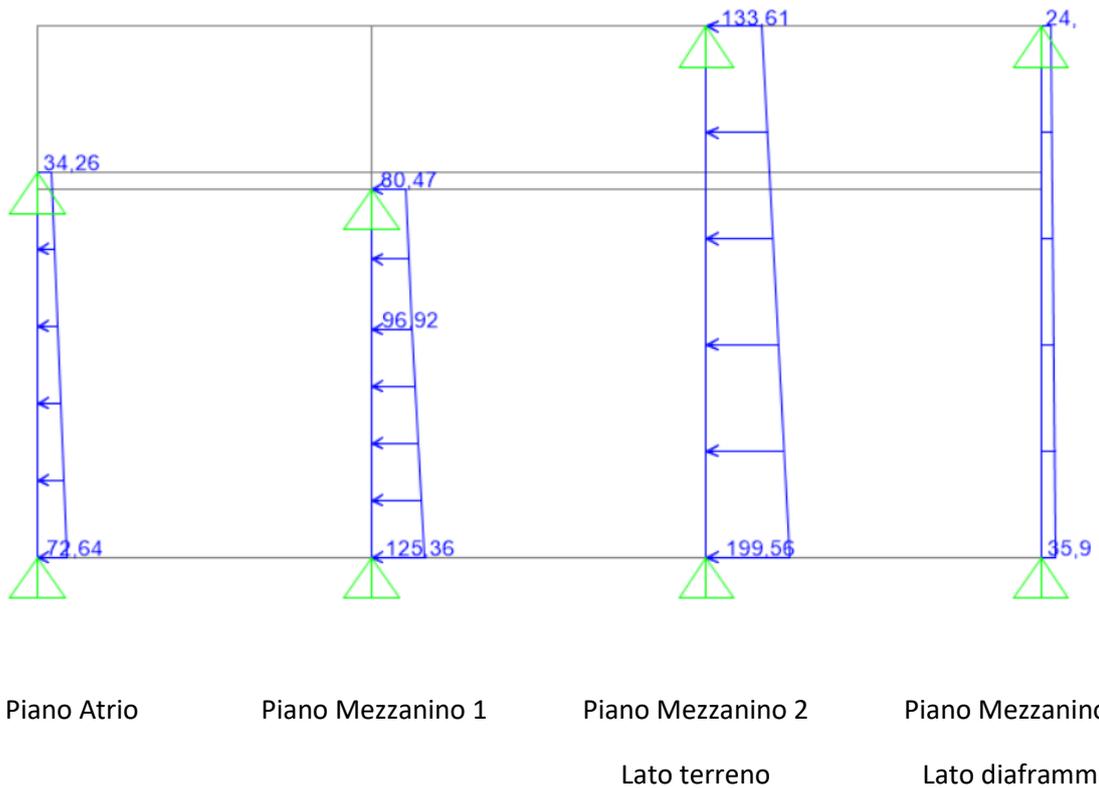


Figura 3. Schema di calcolo – Fodere tronchino di collegamento

### Carichi permanenti non strutturali

**Spinta laterale del terreno** considerata come carico distribuito triangolare pari a  $k_0 \cdot \gamma \cdot h$ . Per le fodere del piano Atrio, Mezzanino 1 e Mezzanino 2 lato terreno, la spinta è stata applicata al 100%, mentre per la fodera del piano Mezzanino 2 lato diaframma si considera la ripartizione di tale carico in base al rapporto delle inerzie tra fodera (spessore 60cm) e diaframma (spessore 100cm).



**Figura 4. Spinta orizzontale del terreno – Fodere tronchino di collegamento**

**Spinta idraulica** considerata come carico distribuito triangolare pari a  $\gamma_w \cdot h_w$ :

È stato considerato il livello di falda  $h_w$  **-12.5m** da piano campagna, per la condizione di lungo termine ed è stato applicato al 100% alle fodere.

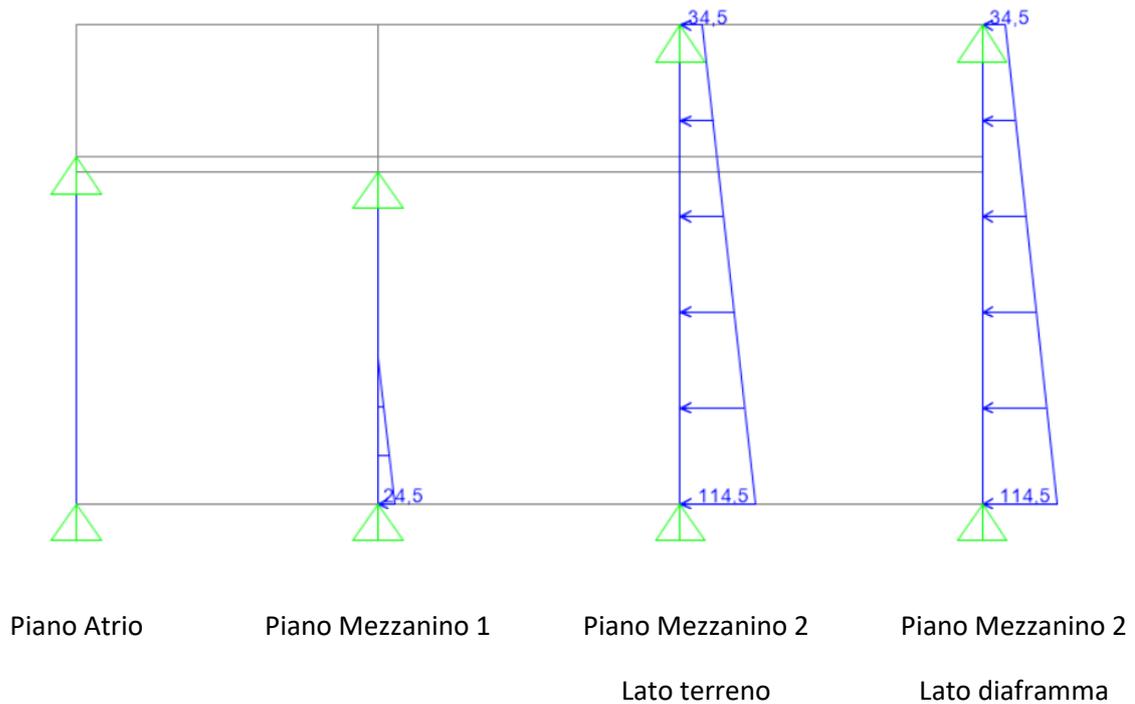


Figura 5. Spinta idrostatica – Fodere tronchino di collegamento

A favore di sicurezza il peso proprio è stato trascurato.

### **Carichi variabili**

**Carichi sismici** è stato calcolato seguendo la teoria di Wood come specificato al capitolo 6.1.2. Per le fodere del piano atrio, primo mezzanino e secondo mezzanino lato terreno, la spinta è stata applicata al 100% in quanto a diretto contatto con il terreno, mentre per la fodera del piano Mezzanino 2 lato diaframma si considera la ripartizione di tale carico in base al rapporto delle inerzie tra fodera (spessore 60cm) e diaframma (spessore 100cm).

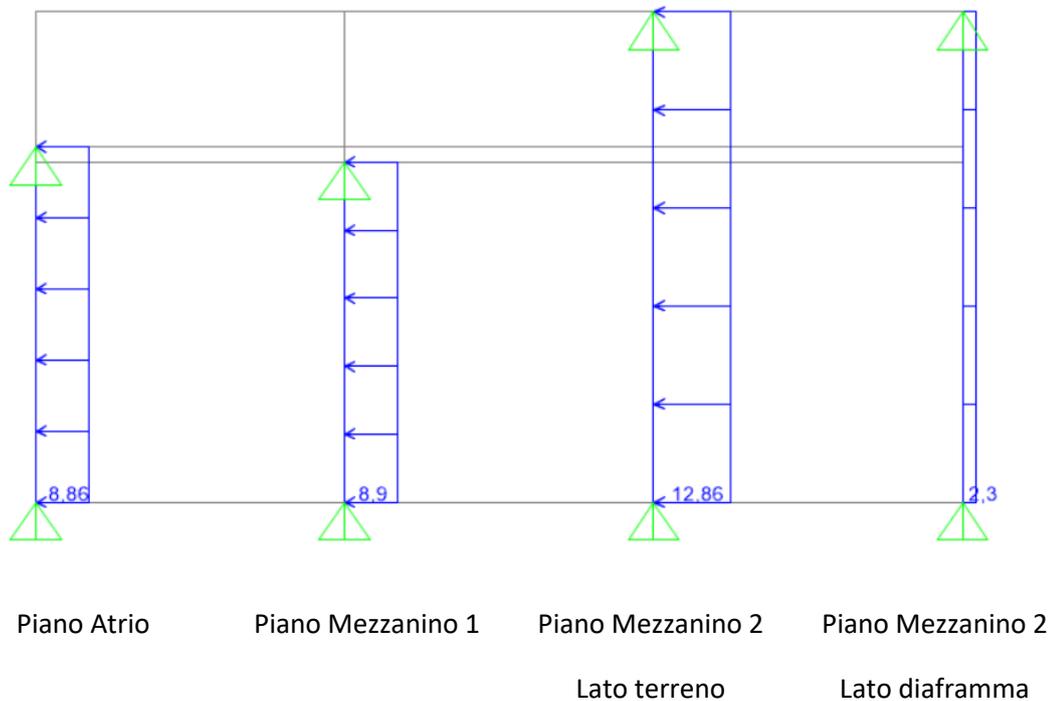


Figura 6. Spinta sismica – Fodere tronchino di collegamento

Di seguito sono riportate le verifiche considerando gli involuipi dei risultati.

#### Risultati dell'analisi e verifiche strutturali

I risultati dell'analisi e le successive verifiche strutturali hanno portato alla definizione della seguente armatura per le fodere del tronchino di collegamento:



Tabella 18 Armatura – Fodere Tronchino di collegamento

	Armatura principale			Staffe
	Piano Atrio D=60cm	Trasversale	Esterno	
Interno			Ø18/150	
Longitudinale		Esterno	Ø18/300	
		Interno	Ø18/300	

	Armatura principale			Staffe
	Piano Mezzanino 1 D=60cm	Trasversale	Esterno	
Interno			Ø26/150	
Longitudinale		Esterno	Ø16/200	
		Interno	Ø16/200	

	Armatura principale			Staffe
	Piano Mezzanino 2 Lato terreno D=100cm	Trasversale	Esterno	
Interno			Ø32/100	
Longitudinale		Esterno	Ø20/200	
		Interno	Ø20/200	

	Armatura principale			Staffe
	Piano Mezzanino 2 Lato diaframma	Trasversale	Esterno	
Interno			Ø28/100	

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Porta Nuova - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSPNR003-0-2

D=60cm	Longitudinale	Esterno	Ø20/200	
		Interno	Ø20/200	

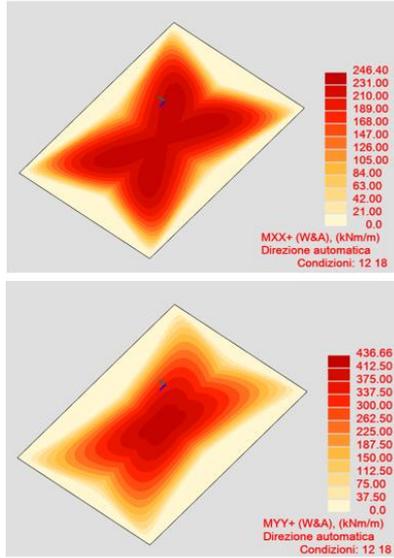
## 7 VALIDAZIONE DEI MODELLI DI CALCOLO

Nella presenta nota tecnica si presentano le verifiche sintetiche atte a consentire il giudizio di accettabilità dei risultati così come previsto dal §10.2.1 del D.M. 17/01/2018, ricostruendo le sollecitazioni di momento flettente massimo in condizioni statiche confrontando i risultati provenienti dai due software utilizzati per il dimensionamento delle strutture definitive (SAP2000 e Autodesk Robot) con i valori di momento determinati mediante soluzioni in forma chiusa (*Calcolo di lastre e piastre con la teoria elastica lineare*, R. Bares) e le note soluzioni in forma chiusa della Scienza delle Costruzioni.

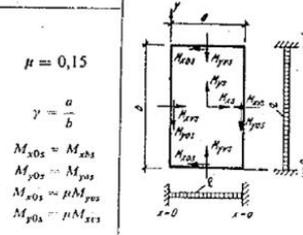
Di seguito sono riportati gli schemi considerati e i risultati ottenuti.

**Tabella 19 Comparazione dei risultati del modello con soluzioni analitiche (Calcolo di lastre e piastre con la teoria elastica lineare, R. Bares)**

STUTTURA	Momento massimo mezzzeria [kNm]		Differenza (%)
	(combinazione SLE)		
		Metodo analitico	
Vasca – soletta di copertura (Modello Robot)	M <sub>x</sub> =247	M <sub>x</sub> =242	<b>5.0</b>
	M <sub>y</sub> =437	M <sub>y</sub> =416	<b>5.0</b>



Tab. 1.12



$\gamma$	$w_s$	$M_{x1}$	$M_{x2}$	$M_{y1}$	$M_{y2}$
0,50	0,0296	0,0405	0,0833	0,0024	0,0143
0,55	0,0286	0,0394	0,0817	0,0033	0,0172
0,60	0,0275	0,0378	0,0794	0,0046	0,0206
0,65	0,0261	0,0360	0,0767	0,0061	0,0242
0,70	0,0246	0,0339	0,0737	0,0079	0,0280
f. m.	$\frac{qa^4}{Eh^3}$	$qa^2$	$qa^2$	$qb^2$	$qb^2$

a	9	m
b	13	m
$\gamma$	0.7	
q	88	kN/m <sup>2</sup>
qa <sup>2</sup>	7128	
qb <sup>2</sup>	14872	
Mx	242	kNm
My	416	kNm

La variazione dei risultati tra i due modelli di calcolo in termini di momento flettente è dell'ordine di 5%

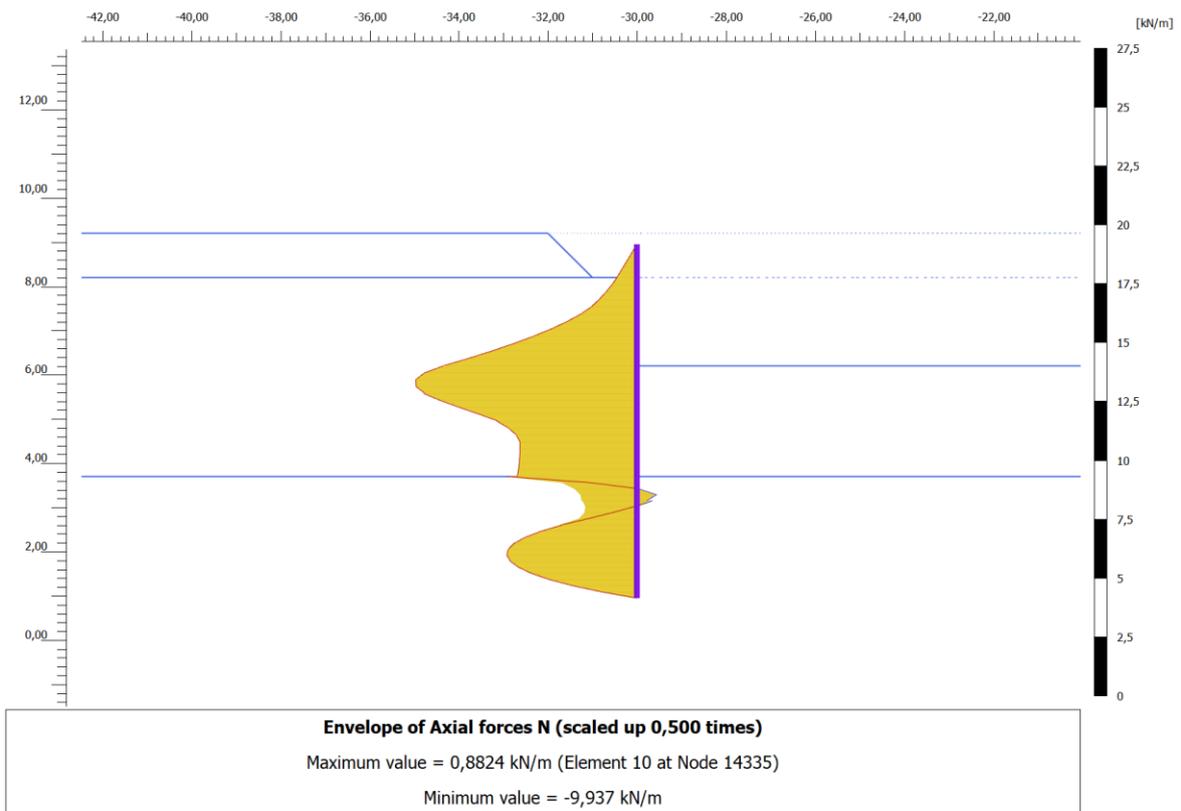
 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Porta Nuova - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSPNR003-0-2

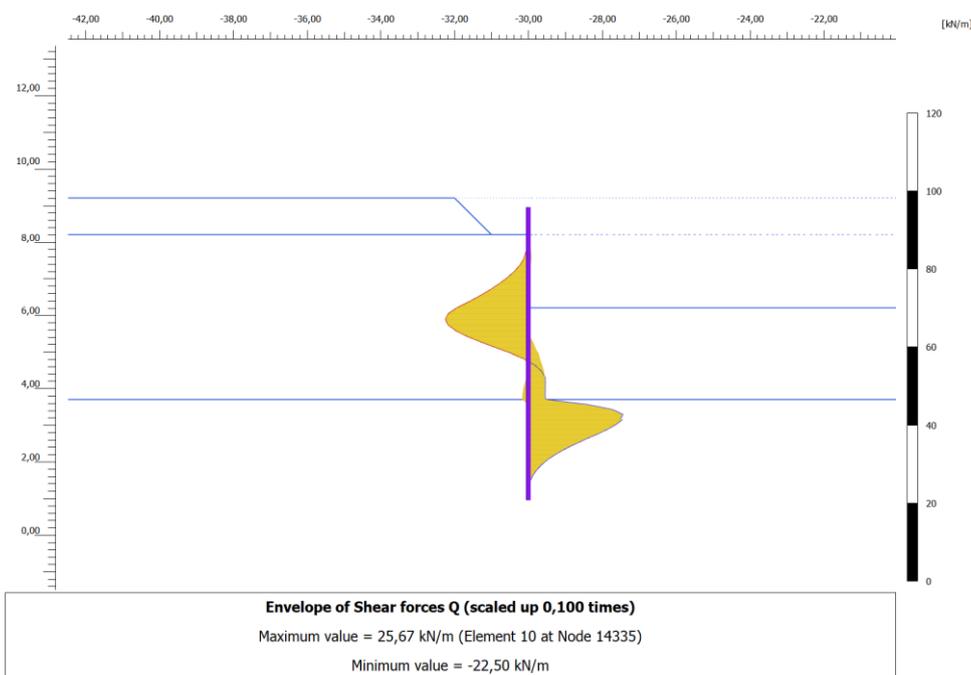
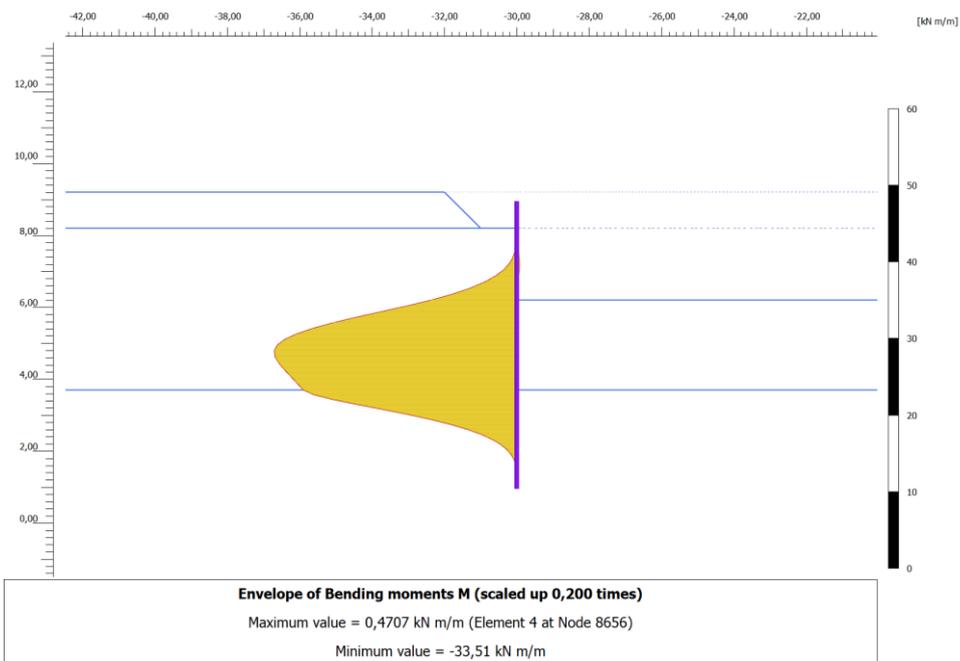
## APPENDICE A



Di seguito sono riportati i risultati ottenuti dalle analisi numeriche per i diversi schemi di opere di supporto degli accessi della linea 2 Metro Torino in termini di involucri di sforzo assiale, taglio e momento flettente sulla parete.

- **Schema A**

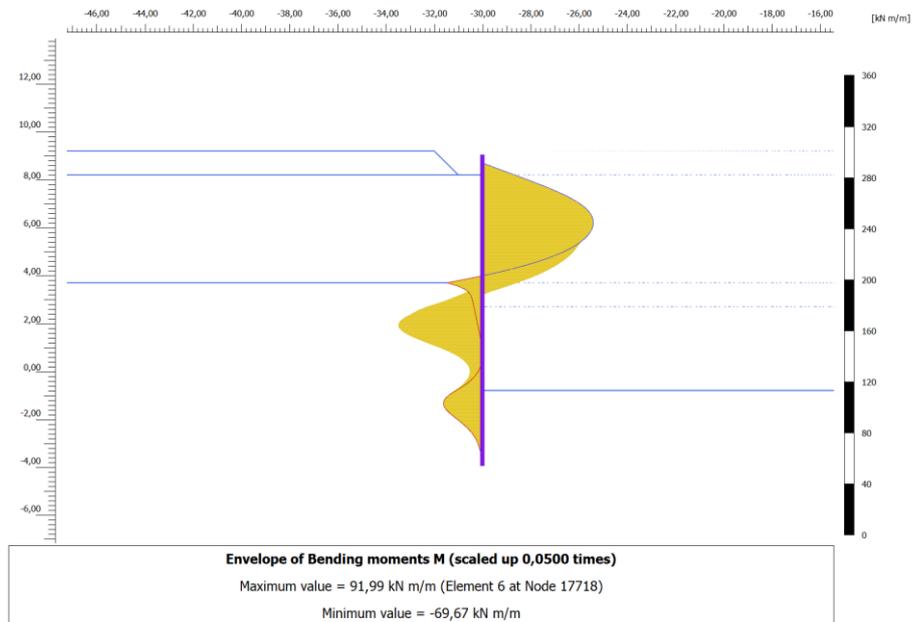
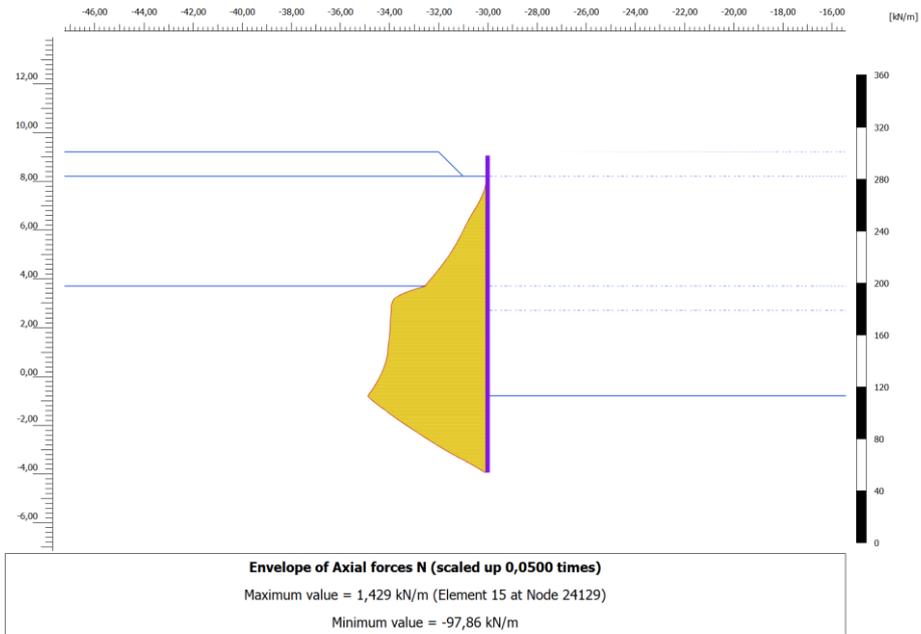




**Figura 7. Output PLAXIS: Involuppo dello sforzo assiale, del taglio e del momento flettente - Schema A**



• Schema B





CITTA' DI TORINO

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

Stazione Porta Nuova - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione

MTL2T1A2DSTRSPNR003-0-2

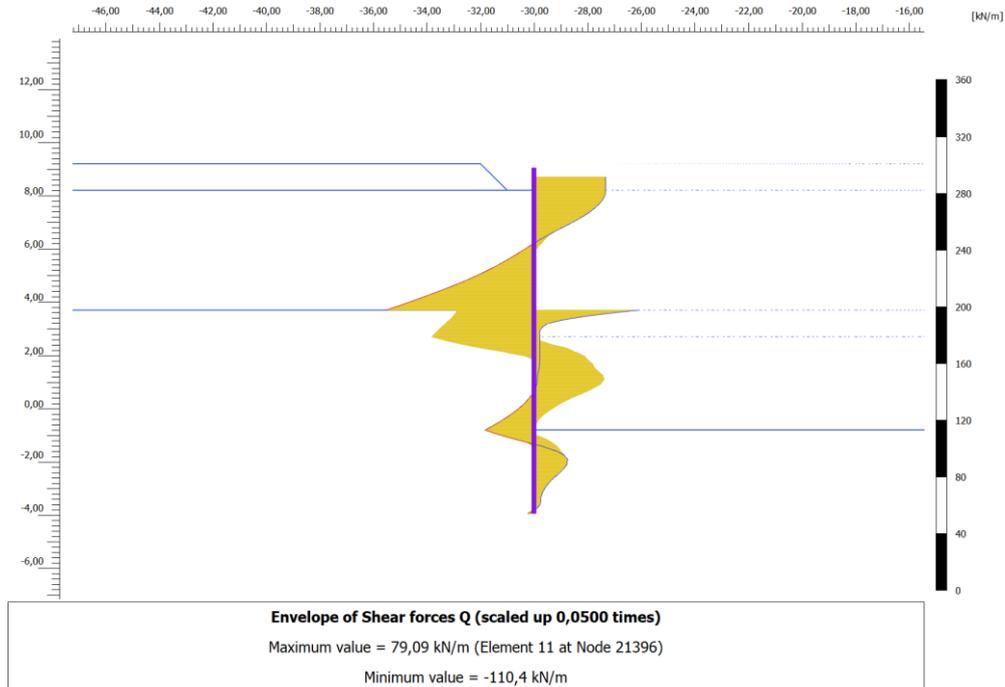


Figura 8. Output PLAXIS: Involuppo dello sforzo assiale, del taglio e del momento flettente – Schema D

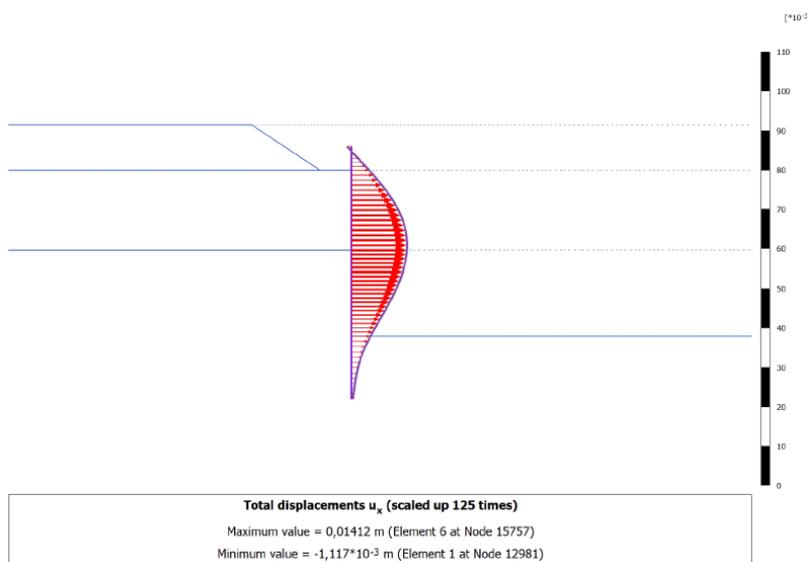
 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Porta Nuova - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSPNR003-0-2

## APPENDICE B

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Porta Nuova - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSPNR003-0-2

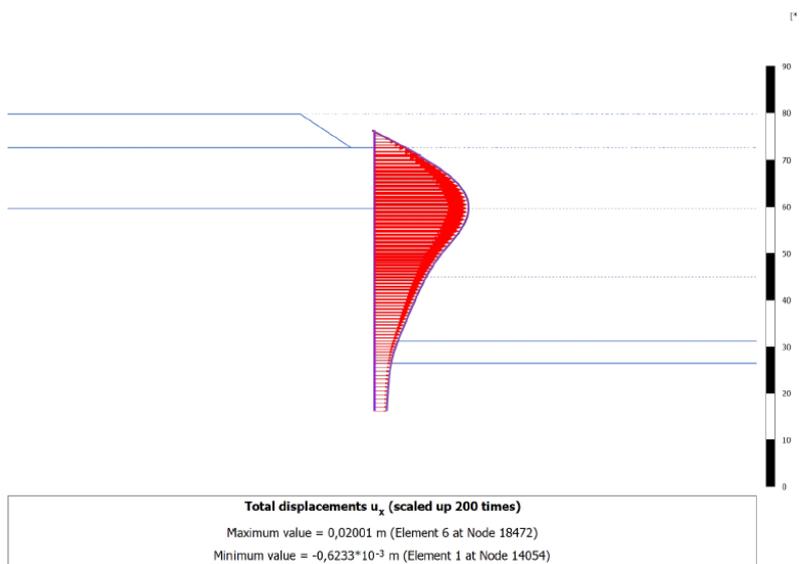
Di seguito sono riportati i risultati ottenuti dalle analisi numeriche per i diversi schemi di opere di supporto degli accessi della stazione in termini di spostamenti orizzontali della parete.

- **Schema A**



**Figura 9. Spostamenti orizzontali parete di micropali – Schema A**

- **Schema B**



**Figura 10. Spostamenti orizzontali parete di micropali – Schema B**

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Porta Nuova - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSPNR003-0-2

Lo spostamento massimo ammissibile stabilito dalle NTC2018 paragrafo 7.11.6.3 è pari a  $u_s=0.005H$  dove H è l'altezza complessiva della paratia.

**Tabella 20 – Verifica delle deformazioni massime delle paratie di micropali**

Tipologia di scavo	us (mm)	H(m)	0.005H (mm)	$u_s \leq 0.005H$
Schema A	19.34	6	30	✓
Schema B	20.01	13	65	✓

Si osserva come tutti gli schemi di calcolo rispettano i limiti di deformabilità delle paratie in base a quanto stabilito dalle NTC.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Porta Nuova - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSPNR003-0-2

## APPENDICE C

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Porta Nuova - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSPNR003-0-2

Di seguito sono riportati i risultati ottenuti dalle analisi numeriche per i diversi schemi di opere di supporto degli accessi della linea 2 Metro Torino in termini di sforzo assiale agente sui puntoni per le sezioni di calcolo in cui essi sono presenti.

- **Schema B**

**Tabella 21 Output Plaxis: Sforzo assiale sui puntoni – Schema B**

**Primo puntone**

Structural element ▲	Node ▲	Local number ▲	X ▲ [m]	Y ▲ [m]	N ▲ [kN]	N <sub>min</sub> ▲ [kN]	N <sub>max</sub> ▲ [kN]	Φ <sub>z</sub> ▲ [°]	Length ▲ [m]
FixedEndAnchor_1_1	13008	1	-30,000	8,700	-160,685	-160,685	0,000	0,000	1,000

**Secondo puntone**

Structural element ▲	Node ▲	Local number ▲	X ▲ [m]	Y ▲ [m]	N ▲ [kN]	N <sub>min</sub> ▲ [kN]	N <sub>max</sub> ▲ [kN]	Φ <sub>z</sub> ▲ [°]	Length ▲ [m]
FixedEndAnchor_2_1	21396	1	-30,000	3,700	-562,326	-562,326	0,000	0,000	1,000

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Porta Nuova - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSPNR003-0-2

## APPENDICE D



Di seguito sono riportate le verifiche SLU-STR della paratia di micropali per i diversi schemi di supporto analizzati per la Linea 2 di Metro Torino. È possibile osservare i diagrammi di sforzo assiale, taglio e momento oltre alle tensioni combinate confrontate con la tensione a snervamento di progetto, seguendo quanto descritto al Capitolo 5.2.2:

• **Schema A**

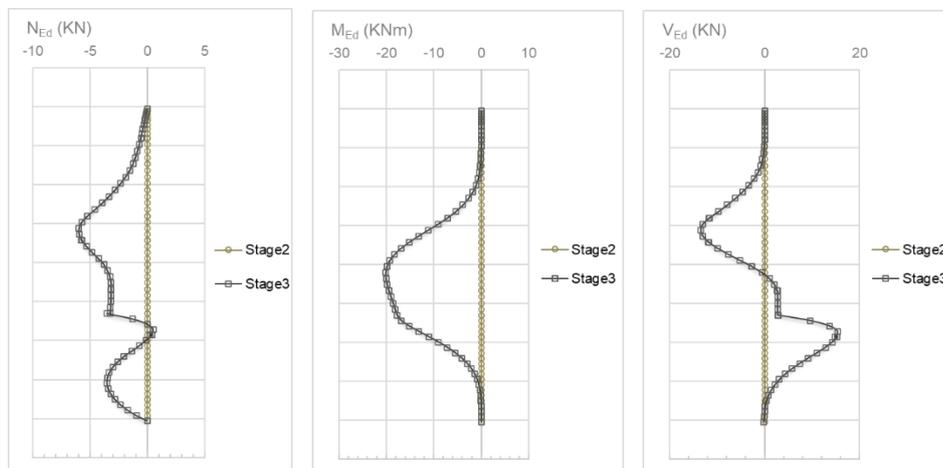


Figura 11. Sforzo assiale, taglio e momento di progetto per i diversi stage di calcolo – Schema A

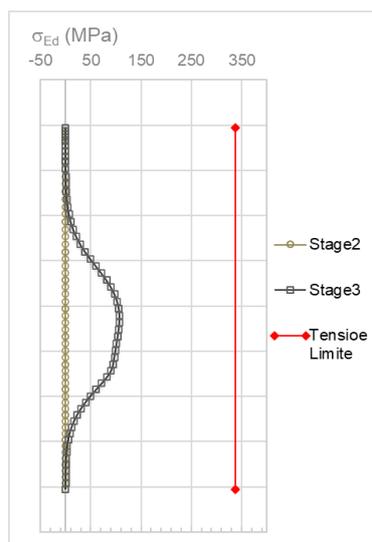


Figura 12. Tensione di verifica secondo NTC - tensione a snervamento acciaio – Schema A

La verifica per lo Schema A risulta soddisfatta adottando un micropalo F193.7x8mm ogni 400mm.



• **Schema B**

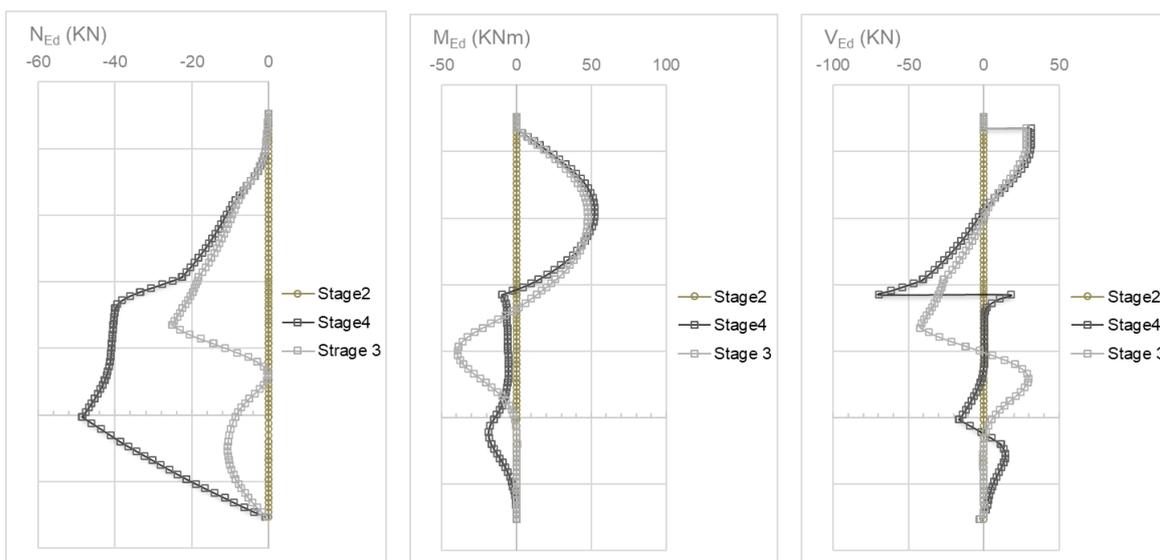


Figura 13. Sforzo assiale, taglio e momento di progetto per i diversi stage di calcolo – Schema B

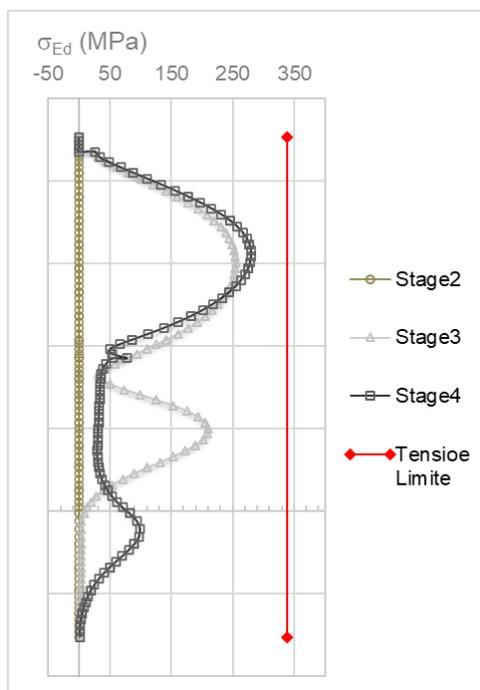


Figura 14. Tensione di verifica secondo NTC - tensione a snervamento acciaio – Schema B

La verifica per lo Schema B risulta soddisfatta adottando un micropalo F193.7x8mm ogni 400mm.

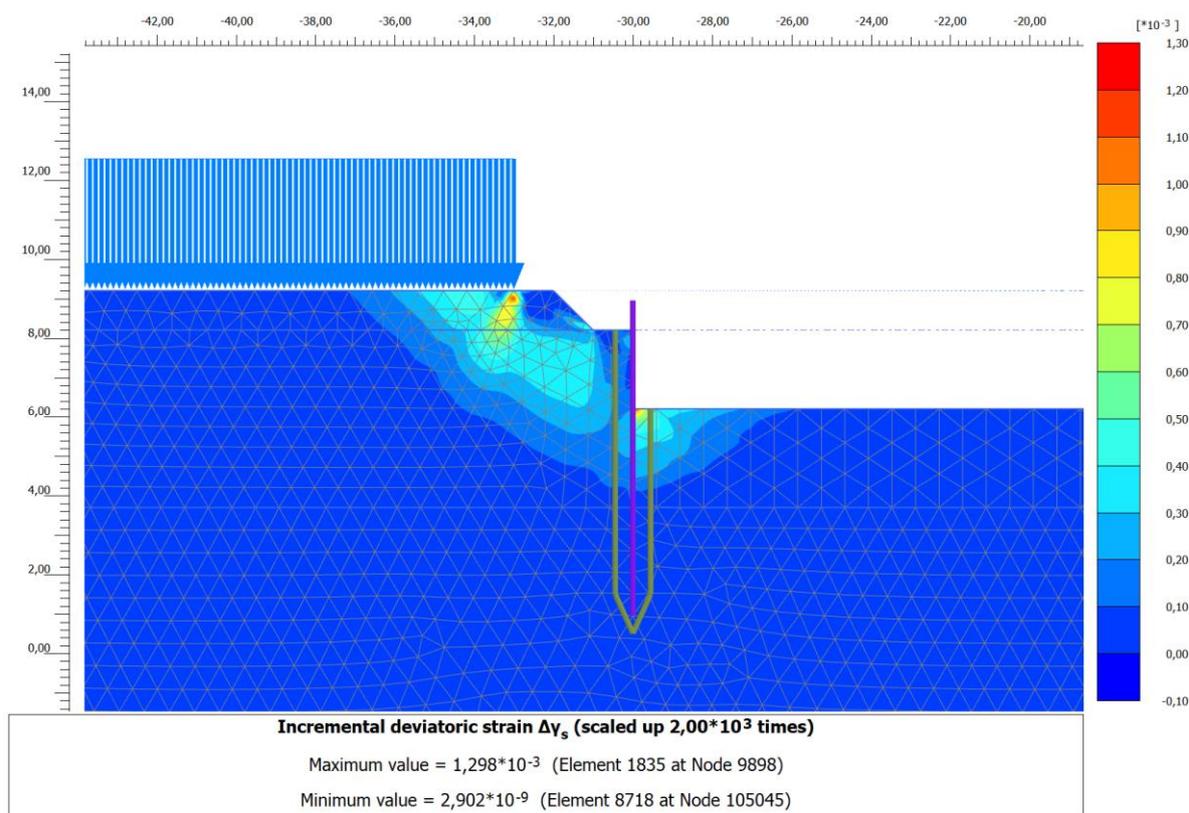
 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Porta Nuova - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSPNR003-0-2

## APPENDICE E

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Porta Nuova - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSPNR003-0-2

Di seguito sono riportati i risultati delle analisi geotecniche effettuate per le diverse sezioni di calcolo.

- **Schema A**



**Figura 15. Rapporto tra tensione tangenziale massima e tensione tangenziale mobilitata – Schema A**

La figura 28 mostra il rapporto tra tensione tangenziale limite e tensione tangenziale agente in corrispondenza dell'ultimo step di calcolo (più critico ai fini di questa analisi). L'output fornisce indicazioni riguardo la mobilitazione delle spinte limite sulla parete.

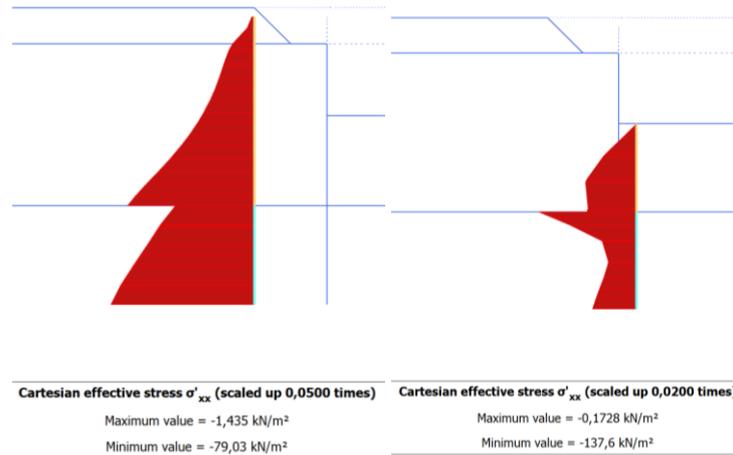


Figura 16. Tensioni orizzontali efficaci paratia - Lato monte e valle – Schema A

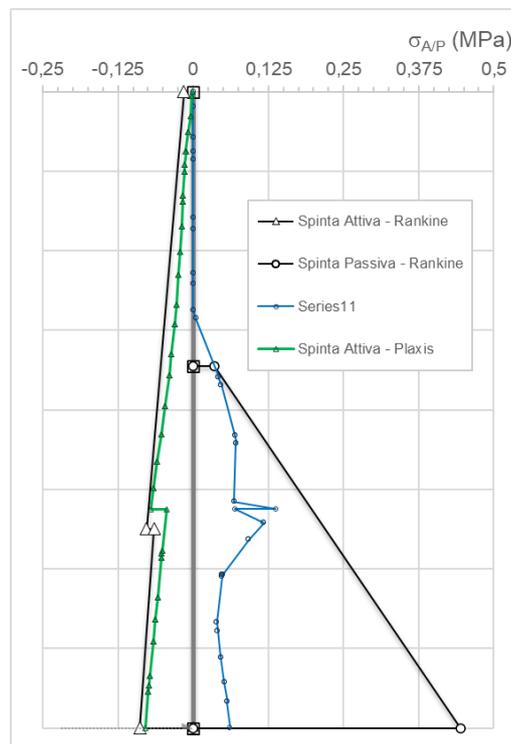
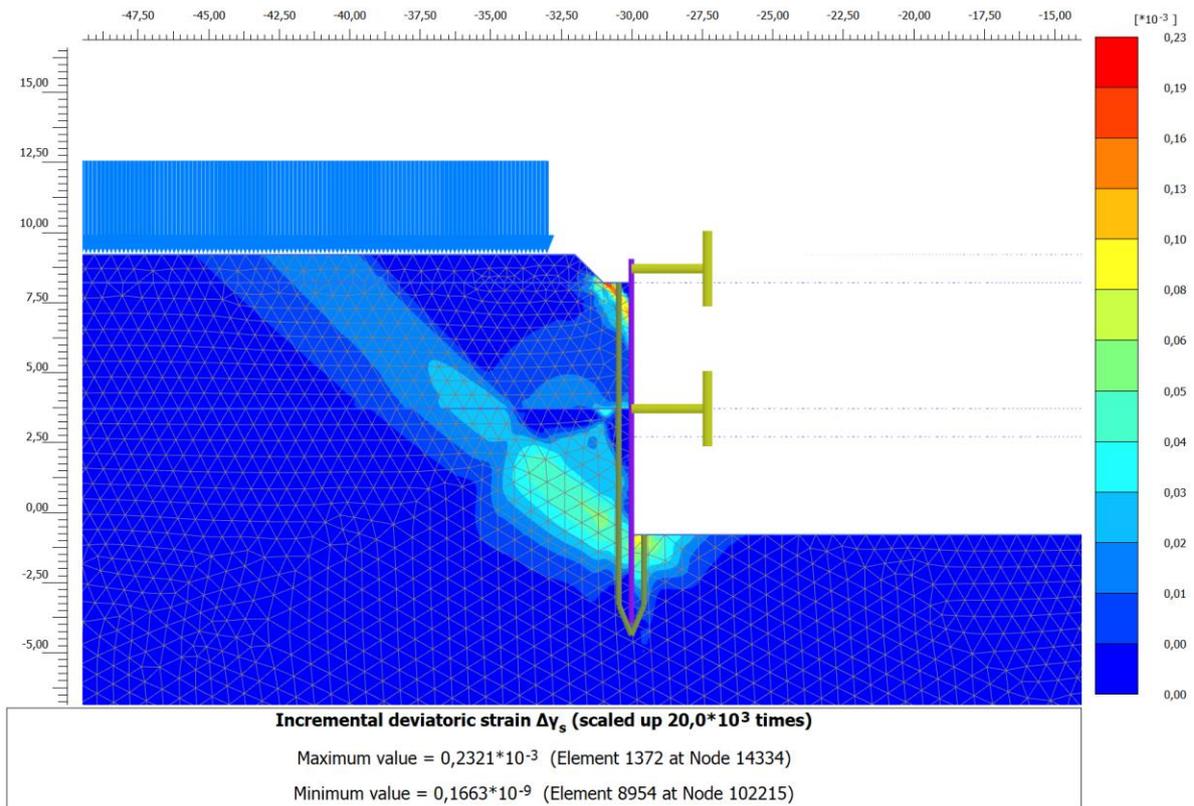


Figura 17. Confronto tensioni limite attive e passive con tensioni orizzontali Plaxis – Schema A

E' 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.

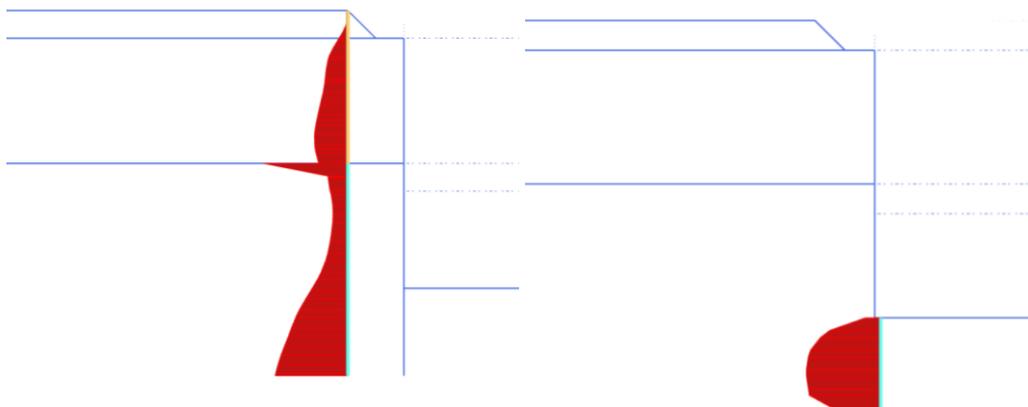


• **Schema B**



**Figura 18. Rapporto tra tensione tangenziale massima e tensione tangenziale mobilitata – Schema B**

La figura 28 mostra il rapporto tra tensione tangenziale limite e tensione tangenziale agente in corrispondenza dell'ultimo step di calcolo (più critico ai fini di questa analisi). L'output fornisce indicazioni riguardo la mobilitazione delle spinte limite sulla parete.



Cartesian effective stress $\sigma'_{xx}$ (scaled up 0,0200 times)	Cartesian effective stress $\sigma'_{xx}$ (scaled up 0,0200 times)
Maximum value = -0,7094 kN/m <sup>2</sup>	Maximum value = -26,07 kN/m <sup>2</sup>
Minimum value = -151,5 kN/m <sup>2</sup>	Minimum value = -124,0 kN/m <sup>2</sup>

Figura 19. Tensioni orizzontali efficaci paratia - Lato monte e valle – Schema B

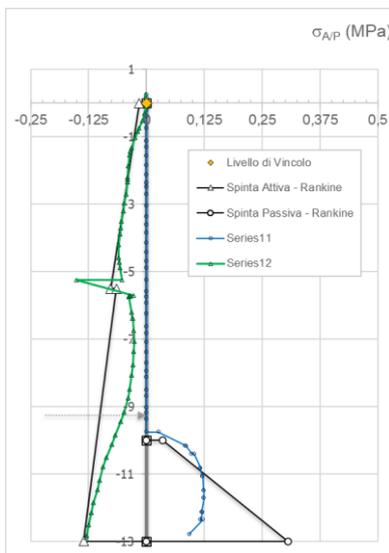


Figura 20. Confronto tensioni limite attive e passive con tensioni orizzontali Plaxis – Schema B

E' 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.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Porta Nuova - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSPNR003-0-2

## APPENDICE F

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Porta Nuova - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSPNR003-0-2

Di seguito sono riportate le caratteristiche dei puntoni che sono stati utilizzati per lo schema di calcolo B; inoltre sono riportate le verifiche SLU-STR relative ad ogni tipologia di puntone, presentando solo il caso in cui il puntone risulta maggiormente caricato.

- **Schema B**

Dalle verifiche strutturali di seguito riportate è stato necessario adottare due tipologie diverse di puntoni ad ogni livello con le seguenti caratteristiche:

**Tabella 22 Caratteristiche geometriche puntoni adottati - Schema B-L<12m**

	<i>Primo livello</i>	<i>Secondo livello</i>
<i>Diametro esterno puntone (tubo di acciaio)</i>	D1=219.1 mm	D1=298.5 mm
<i>Spessore puntone (tubo di acciaio)</i>	t=8.0 mm	t=8.0 mm
<i>Lunghezza</i>	L=12m	L=12m
<i>Interasse</i>	i=3m	i=3m

**Tabella 23 Caratteristiche geometriche puntoni adottati - Schema B-L>12m**

	<i>Primo livello</i>	<i>Secondo livello</i>
<i>Diametro esterno puntone (tubo di acciaio)</i>	D2=355.6 mm	D2=355.6 mm
<i>Spessore puntone (tubo di acciaio)</i>	t=10.0 mm	t=10.0 mm
<i>Lunghezza</i>	Lmax=18m	Lmax=18m
<i>Interasse</i>	i=3m	i=3m

**Tabella 24 Sollecitazioni di progetto puntoni – Schema B**

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Porta Nuova - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSPNR003-0-2

	Puntone	Y [m]	N <sub>k</sub> [kN]	N <sub>k,MIN</sub> [kN]	N <sub>D,MIN</sub> [kN]
<b>Primo puntone</b>	FixedEndAnchor\_1\_1	8.7	-160.7	-160.7	<b>-241.0</b>
<b>Secondo puntone</b>	FixedEndAnchor\_2\_1	3.7	-562.3	-562.3	<b>-843.5</b>

Dato che sono stati applicati due tipi di puntoni per ogni livello dello schema B, di seguito sono riportate le verifiche di ciascuno considerando la fase in cui risultano caricati maggiormente:

- **Primo livello B1-Lmax=12m**

VERIFICA PUNTONE PARATIA		
Tipo Tubo (mm)		219,1
		8
Interasse Tubo (m)		3
Lunghezza Tubo (m)		12
Diametro esterno	D <sub>Ext</sub> (m)	0,2191
Diametro interno	D <sub>Int</sub> (m)	0,2031
Area Palo acciaio	A (m <sup>2</sup> )	0,005305522
Momento Inerzia Palo acciaio	I (m <sup>4</sup> )	2,95963E-05
Modulo di resistenza	W <sub>EL</sub> (mm <sup>3</sup> )	0,000270163
Modulo di Young Acciaio	E (kPa)	210000000
Acciaio di costruzione	Tipo	S355
Tensione caratteristica a snervamento	f <sub>yk</sub> (MPa)	355
Coefficiente materiali	γ (-)	1,05
Tensione di progetto a snervamento	f <sub>yd</sub> (MPa)	338,1
INSTABILITA' PUNTONE		
ε	(-)	0,813616513
d/t	(-)	27,3875
CLASSE SEZIONE	(-)	1
Azione sollecitante Output	(KN/m)	53,56
Azione Per Verifica	(KN)	241,0
N <sub>CR</sub>	KN	426,0
$\lambda$	-	2,1027
α	-	0,21
Φ	-	2,910
χ	-	0,203
N <sub>b,Rd</sub>	KN	364,4

**Figura 21. Verifica Puntone – Schema B**

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Porta Nuova - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSPNR003-0-2

- Primo livello B2-Lmax=18m

VERIFICA PUNTONE PARATIA		
Tipo Tubo (mm)		355,6
		10
Interasse Tubo (m)		3
Lunghezza Tubo (m)		18
Diametro esterno	$D_{Ext}$ (m)	0,3556
Diametro interno	$D_{Int}$ (m)	0,3356
Area Palo acciaio	$A$ (m <sup>2</sup> )	0,010857344
Momento Inerzia Palo acciaio	$I$ (m <sup>4</sup> )	0,000162235
Modulo di resistenza	$W_{EL}$ (mm <sup>3</sup> )	0,000912458
Modulo di Young Acciaio	$E$ (kPa)	210000000
Acciaio di costruzione	Tipo	S355
Tensione caratteristica a snervamento	$f_{yk}$ (MPa)	355
Coefficiente materiali	$\gamma$ (-)	1,05
Tensione di progetto a snervamento	$f_{yd}$ (MPa)	338,1
INSTABILITA' PUNTONE		
$\epsilon$	(-)	0,813616513
d/t	(-)	35,56
CLASSE SEZIONE	(-)	1
Azione sollecitante Output	(KN/m)	53,56666667
Azione Per Verifica	(KN)	241,1
$N_{CR}$	KN	1037,8
$\lambda$	-	1,9272
$\alpha$	-	0,21
$\Phi$	-	2,538
$\chi$	-	0,239
$N_{b,Rd}$	KN	876,0

**Figura 22. Verifica Puntone – Schema B**

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Porta Nuova - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSPNR003-0-2

- Secondo livello B2-Lmax=12m

VERIFICA PUNTONE PARATIA		
Tipo Tubo (mm)		298,5
		8
Interasse Tubo (m)		3
Lunghezza Tubo (m)		12
Diametro esterno	$D_{Ext}$ (m)	0,2985
Diametro interno	$D_{Int}$ (m)	0,2825
Area Palo acciaio	$A$ (m <sup>2</sup> )	0,007301061
Momento Inerzia Palo acciaio	$I$ (m <sup>4</sup> )	7,70757E-05
Modulo di resistenza	$W_{EL}$ (mm <sup>3</sup> )	0,00051642
Modulo di Young Acciaio	$E$ (kPa)	210000000
Acciaio di costruzione	Tipo	S355
Tensione caratteristica a snervamento	$f_{yk}$ (MPa)	355
Coefficiente materiali	$\gamma$ (-)	1,05
Tensione di progetto a snervamento	$f_{yd}$ (MPa)	338,1
INSTABILITA' PUNTONE		
$\varepsilon$	(-)	0,813616513
$d/t$	(-)	37,3125
CLASSE SEZIONE	(-)	1
Azione sollecitante Output	(KN/m)	187,44333
Azione Per Verifica	(KN)	843,5
$N_{CR}$	KN	1109,4
$\lambda$	-	1,5285
$\alpha$	-	0,21
$\Phi$	-	1,808
$\chi$	-	0,361
$N_{b,Rd}$	KN	890,3

**Figura 23. Verifica Puntone – Schema B**

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Porta Nuova - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSPNR003-0-2

- Secondo livello B2-Lmax=18m

VERIFICA PUNTONE PARATIA		
Tipo Tubo (mm)		355,6
		10
Interasse Tubo (m)		3
Lunghezza Tubo (m)		18
Diametro esterno	$D_{Ext}$ (m)	0,3556
Diametro interno	$D_{Int}$ (m)	0,3356
Area Palo acciaio	$A$ (m <sup>2</sup> )	0,010857344
Momento Inerzia Palo acciaio	$I$ (m <sup>4</sup> )	0,000162235
Modulo di resistenza	$W_{EL}$ (mm <sup>3</sup> )	0,000912458
Modulo di Young Acciaio	$E$ (kPa)	210000000
Acciaio di costruzione	Tipo	S355
Tensione caratteristica a snervamento	$f_{yk}$ (MPa)	355
Coefficiente materiali	$\gamma$ (-)	1,05
Tensione di progetto a snervamento	$f_{yd}$ (MPa)	338,1
INSTABILITA' PUNTONE		
$\epsilon$	(-)	0,813616513
d/t	(-)	35,56
CLASSE SEZIONE	(-)	1
Azione sollecitante Output	(KN/m)	187,43333
Azione Per Verifica	(KN)	843,5
$N_{CR}$	KN	1037,8
$\lambda$	-	1,9272
$\alpha$	-	0,21
$\Phi$	-	2,538
$\chi$	-	0,239
$N_{b,Rd}$	KN	876,0

**Figura 24. Verifica Puntone – Schema B**

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Porta Nuova - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSPNR003-0-2

## APPENDICE G



- **Cordolo di testa per Accessi**

Seguendo quanto riportato in capitolo 5.2.4 è stata eseguita la verifica del cordolo di testa della paratia di micropali da essere applicata negli accessi e griglie di ventilazione; cioè per lo schema di calcolo A. Utilizzando lo schema di trave su più appoggi uniformemente caricata dagli scarichi dei puntoni per unità di lunghezza

In via cautelativa, la trave è stata verificata ipotizzando un momento massimo pari a:

$$M_{Max} = \frac{1}{8} q l^2 \quad V_{Max} = 0.6 q l$$

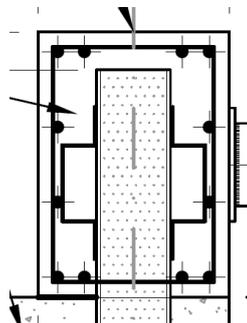
Dove q rappresenta la reazione del puntone in testa che risulta maggiormente caricato tra le sezioni analizzate ed L rappresenta il loro interasse.

Considerando quindi lo sforzo normale massimo relativo ottenuto sul puntone di testa, si ha:

$$M_{Max} = \frac{1}{8} q l^2 = \frac{1}{8} \cdot \frac{79.5 kN}{m} \cdot (3m)^2 = 89.43 KNm$$

$$V_{Max} = 0.6 \cdot 79.57 kN/m \cdot 3m = 143.4 KN$$

Utilizzando un'armatura longitudinale di 12 $\Phi$ 16, un'armatura a taglio costituita da  $\Phi$ 12/20 e copriferro pari a 5cm; i valori di resistenza della sezione di calcestruzzo armato del cordolo di testa sono confrontati con le sollecitazioni di progetto:



**Figura 25. Particolare armature trave di testa**

$$M_{E,d} = 89.43 KNm$$

$$M_{R,d} = 200.8 KNm$$

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Porta Nuova - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSPNR003-0-2

$$V_{E,d} = 143.1 \text{ KN} \qquad V_{R,ds} = 265 \text{ KN}$$

La verifica risulta soddisfatta.

- **Cordolo di testa per camera di ventilazione**

Seguendo quanto riportato in capitolo 5.2.4 è stata eseguita la verifica del cordolo di testa della paratia di micropali da essere applicata alle vasche di accumulo; cioè per lo schema di calcolo B. Utilizzando lo schema di trave su più appoggi uniformemente caricata dagli scarichi dei puntoni per unità di lunghezza.

In via cautelativa, la trave è stata verificata ipotizzando un momento massimo pari a:

$$M_{Max} = \frac{1}{8} q l^2 \qquad V_{Max} = 0.6 q l$$

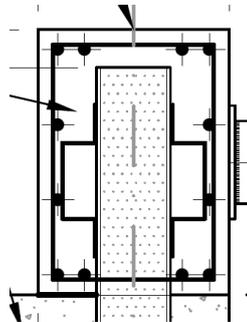
Dove q rappresenta la reazione del puntone in testa della sezione d'interesse ed L rappresenta il loro interasse.

Considerando quindi lo sforzo normale massimo relativo ottenuto sul puntone di testa dallo schema B, si ha:

$$M_{Max} = \frac{1}{8} q l^2 = \frac{1}{8} \cdot \frac{80.37 \text{ kN}}{m} \cdot (3 \text{ m})^2 = 90.41 \text{ KNm}$$

$$V_{Max} = 0.6 \cdot 80.37 \text{ kN/m} \cdot 3 \text{ m} = 144.67 \text{ KN}$$

Utilizzando un'armatura longitudinale di 12Φ16, un'armatura a taglio costituita da Φ12/20 e copriferro pari a 5cm; i valori di resistenza della sezione di calcestruzzo armato del cordolo di testa sono confrontati con le sollecitazioni di progetto:



**Figura 26. Particolare armature trave di testa**

$$M_{E,d} = 90.41 \text{ KNm}$$

$$M_{R,d} = 200.8 \text{ KNm}$$

$$V_{E,d} = 144.67 \text{ KN}$$

$$V_{R,dS} = 265 \text{ KN}$$

La verifica risulta soddisfatta.

E' possibile quindi adottare un'unica tipologia di cordolo di coronamento su tutte le paratie di micropali studiate nella presente relazione di calcolo.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Porta Nuova - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSPNR003-0-2

## APPENDICE H

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Porta Nuova - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSPNR003-0-2

- **Trave di ripartizione per accessi**

Seguendo quanto riportato in capitolo 5.2.5 è stata eseguita la verifica della trave di ripartizione per il secondo livello di puntoni da essere applicata negli accessi. Utilizzando lo schema di trave su più appoggi uniformemente caricata dagli scarichi dei puntoni per unità di lunghezza.

In via cautelativa, la trave è stata verificata ipotizzando un momento massimo pari a:

$$M_{Max} = \frac{1}{10}ql^2 \qquad V_{Max} = 0.6ql$$

Dove q rappresenta la reazione del puntone, ed L rappresenta il loro interasse.

Considerando quindi lo sforzo normale massimo relativo ottenuto, si ha:

$$M_{Max} = \frac{1}{10}ql^2 = \frac{1}{10} \cdot 288.47kN/m \cdot (3m)^2 = 259.62 KNm$$

$$V_{Max} = 0.6 \cdot 288.47 kN/m \cdot 3m = 519.25 KN$$

Ipotizzando una trave di ripartizione HEB300 con le seguenti caratteristiche:

Tipo di Trave	HE 300B
Acciaio S	355
$f_{y,d}$ (MPa)	338.10
A (m <sup>2</sup> )	1.49E-02
A <sub>taglio</sub> (m <sup>2</sup> )	4.74E-03
W <sub>El</sub> (m <sup>3</sup> )	1.68E-03

E' possibile procedere a realizzare la verifica secondo quanto prescritto al punto 4.2.4.1.2 delle NTC e utilizzando l'espressione:

$$\sigma_{x,Ed}^2 + \sigma_{x,Ed}^2 + \sigma_{x,Ed}^2 + 3\tau_{Ed}^2 \leq (f_{yk}/\gamma_{M0})^2$$

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Porta Nuova - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSPNR003-0-2

Verifica	
$\sigma_N$ (MPa)	0,00
$\sigma_M$ (MPa)	154,75
$\tau$ (MPa)	109,48
$\sigma_d$ (MPa)	244,76
$f_{y,d}$ (MPa)	338,10

Verifica Soddisfatta

La verifica risulta soddisfatta con una trave di ripartizione HEB300 sul secondo livello di puntoni per gli accessi.

- **Trave di ripartizione per camera di ventilazione**

Seguendo quanto riportato in capitolo 5.2.5 è stata eseguita la verifica della trave di ripartizione per il secondo livello di puntoni da essere applicata alle camere di ventilazione. Utilizzando lo schema di trave su più appoggi uniformemente caricata dagli scarichi dei puntoni per unità di lunghezza.

In via cautelativa, la trave è stata verificata ipotizzando un momento massimo pari a:

$$M_{Max} = \frac{1}{10} q l^2 \qquad V_{Max} = 0.6 q l$$

Dove q rappresenta la reazione del puntone posto al secondo livello dello schema B nel caso in esame, ed L rappresenta il loro interasse.

Considerando quindi lo sforzo normale massimo relativo ottenuto, si ha:

$$M_{Max} = \frac{1}{10} q l^2 = \frac{1}{10} \cdot 281.17 \text{ kN/m} \cdot (3\text{m})^2 = 253.05 \text{ KNm}$$

$$V_{Max} = 0.6 \cdot 281.17 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot 3.5\text{m} = 506.11 \text{ KN}$$

Ipotizzando una trave di ripartizione HEB400 con le seguenti caratteristiche:

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Porta Nuova - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSPNR003-0-2

<b>Tipo di Trave</b>	<b>HE 400B</b>
Acciaio S	355
<b>f<sub>y,d</sub> (MPa)</b>	338.10
<b>A (m<sup>2</sup>)</b>	1.98E-02
<b>A<sub>taglio</sub> (m<sup>2</sup>)</b>	7.00E-03
<b>W<sub>El</sub> (m<sup>3</sup>)</b>	2.88E-03

E' possibile procedere a realizzare la verifica secondo quanto prescritto al punto 4.2.4.1.2 delle NTC e utilizzando l'espressione:

$$\sigma_{x,Ed}^2 + \sigma_{y,Ed}^2 + \sigma_{z,Ed}^2 + 3\tau_{Ed}^2 \leq (f_{yk}/\gamma_{M0})^2$$

Verifica	
$\sigma_N$ (MPa)	0,00
$\sigma_M$ (MPa)	87,74
$\tau$ (MPa)	72,32
$\sigma_d$ (MPa)	152,94
<b>f<sub>y,d</sub> (MPa)</b>	<b>338,10</b>

**Verifica Soddisfatta**

La verifica risulta soddisfatta con una trave di ripartizione HEB400 sul secondo livello di puntoni per le vasche di accumulo antincendio.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Porta Nuova - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSPNR003-0-2

## APPENDICE I



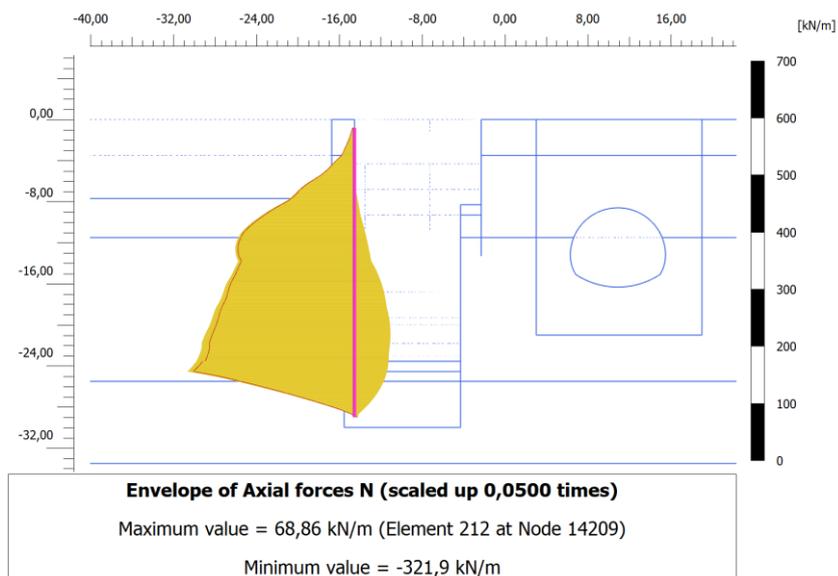
## Tronchino di collegamento

Nel presente allegato sono presentati gli output del modello di calcolo e le verifiche strutturali e geotecniche relative all'accesso speciale.

- **Output di calcolo**

### Sollecitazioni sulle paratie e diaframma

#### Micropali L=28m



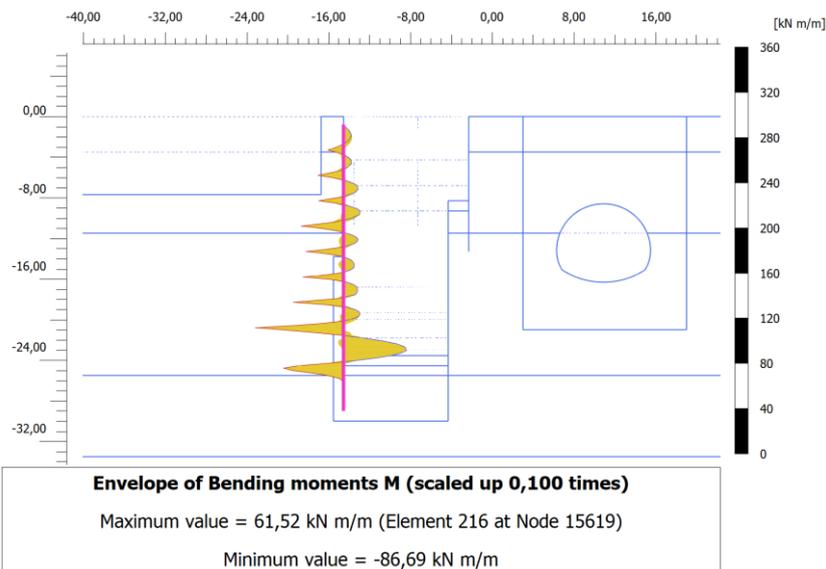
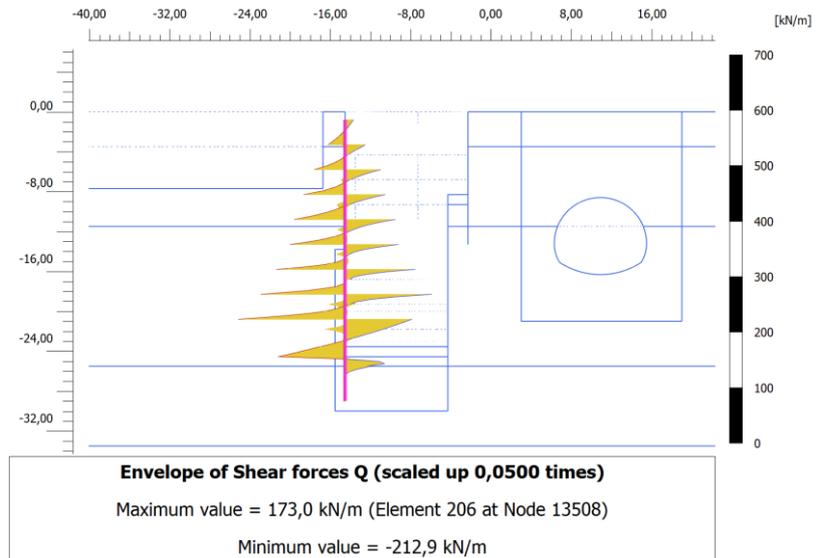
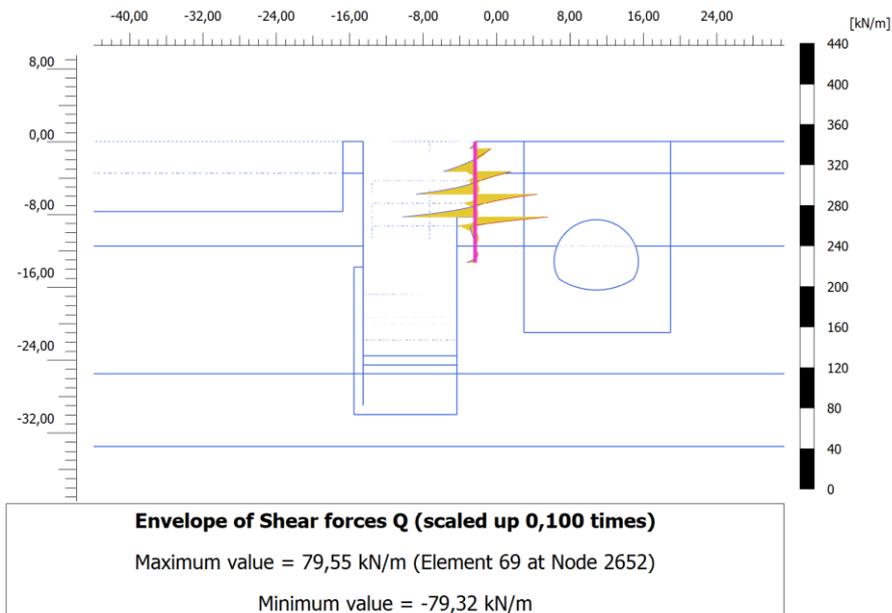


Figura 27. Output PLAXIS: Involuppo dello sforzo assiale, del taglio e del momento flettente Micropali Ø220 L=28m– Accesso speciale



### Micropali L=13m



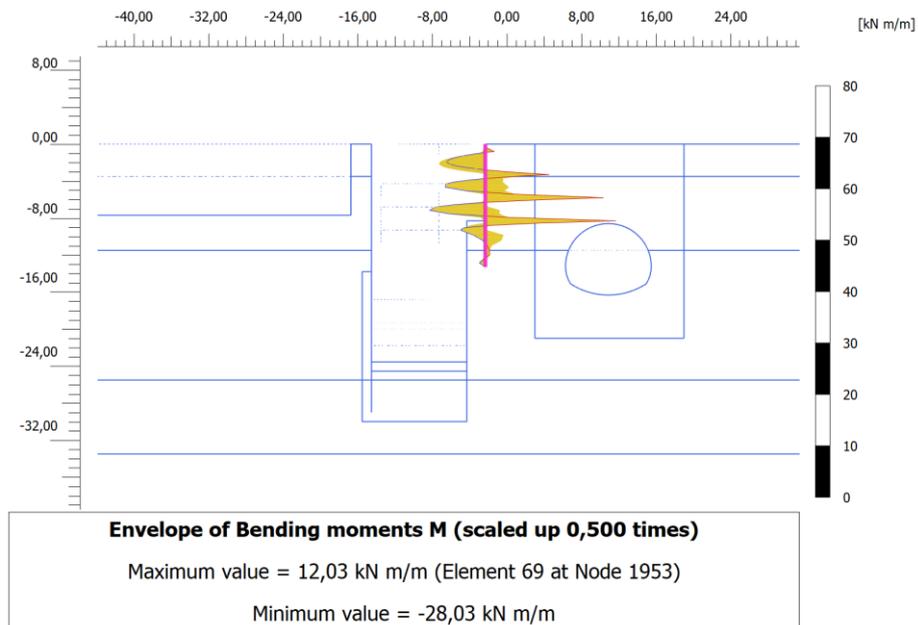
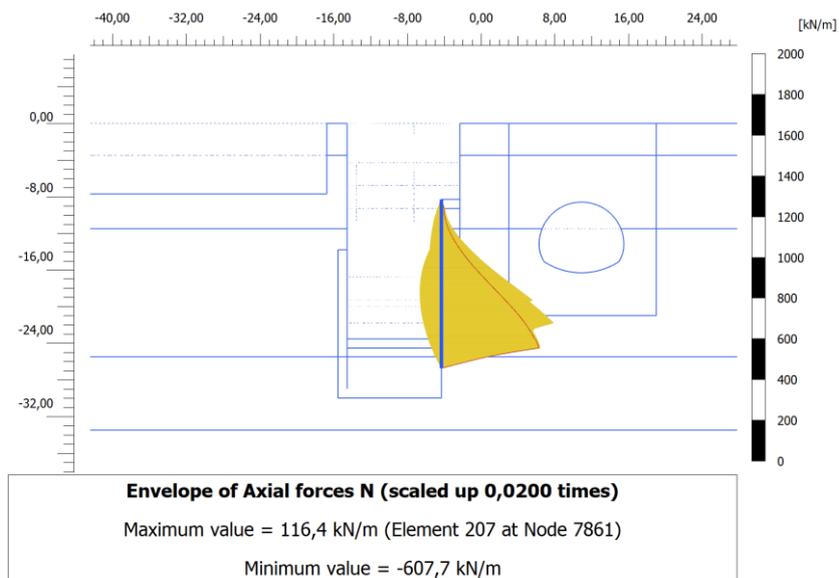


Figura 28. Output PLAXIS: Involuppo dello sforzo assiale, del taglio e del momento flettente Micropali Ø220 L=13m– Accesso speciale

### Diaframma



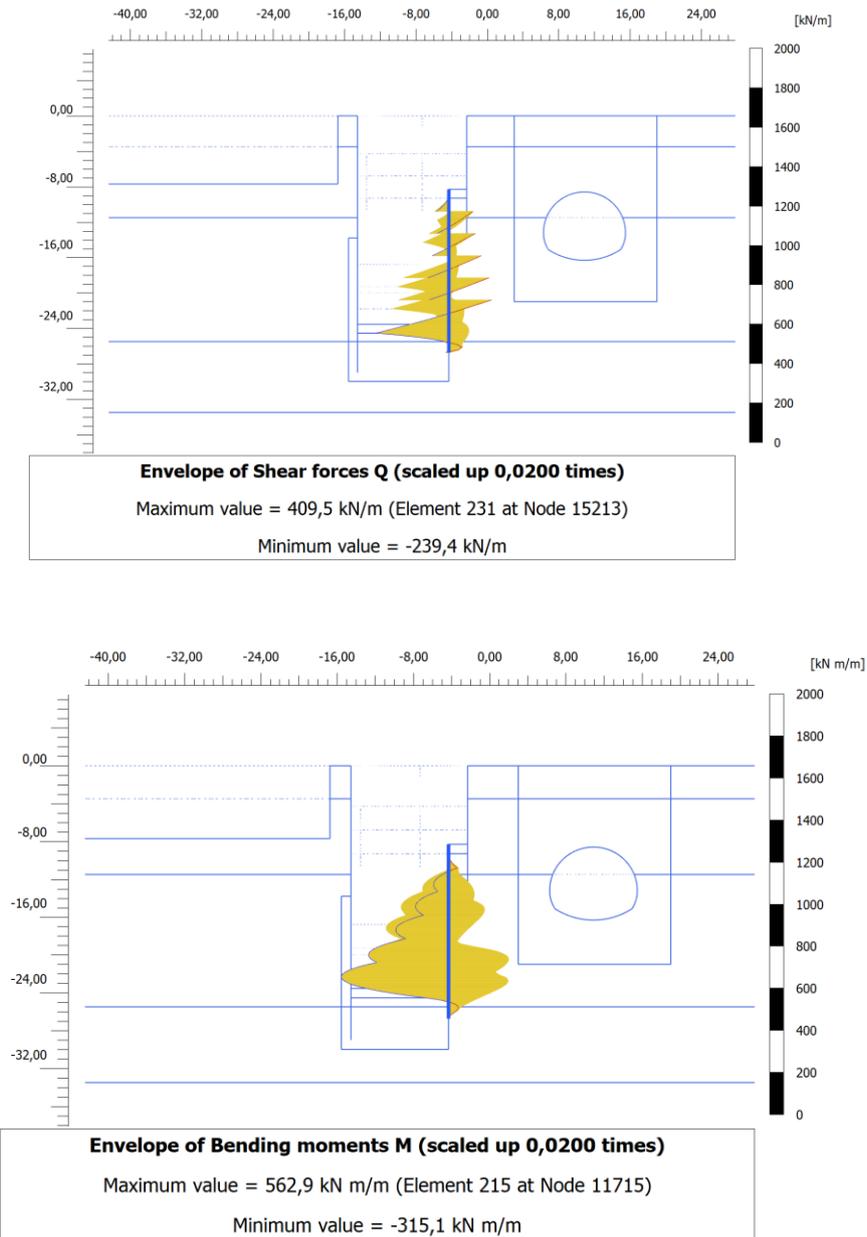


Figura 29. Output PLAXIS: Involuppo dello sforzo assiale, del taglio e del momento flettente diaframma – Accesso speciale



CITTA' DI TORINO

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

Stazione Porta Nuova - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione

MTL2T1A2DSTRSPNR003-0-2

## Spostamenti orizzontali

### Micropali L=28m

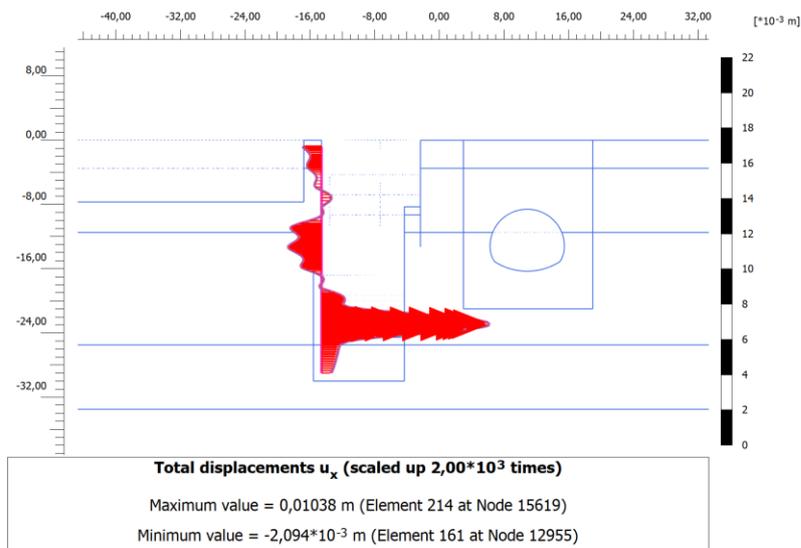


Figura 30. Spostamenti orizzontali – Micropali L=28m - Accesso speciale

### Micropali L=13m



Figura 31. Spostamenti orizzontali – Micropali L=13m - Accesso speciale



### Diaframma

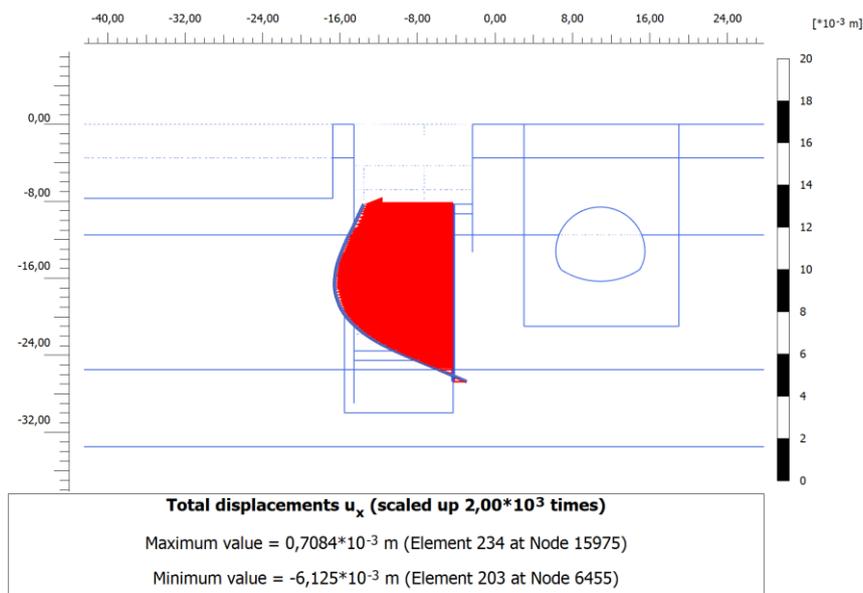


Figura 32. Spostamenti orizzontali – Diaframma - Accesso speciale

Lo spostamento massimo ammissibile stabilito dalle NTC2018 paragrafo 7.11.6.3 è pari a  $u_s = 0.005H$  dove H è l'altezza complessiva della paratia.

Tabella 25 – Verifica delle deformazioni massime delle paratie di micropali

Tipologia di scavo	$u_s$ (mm)	H(m)	$0.005H$ (mm)	$u_s \leq 0.005H$
Accesso speciale Paratia micropali L=28m	10.4	28	100	✓
Accesso speciale Paratia micropali L=13m	4.9	13	65	✓
Accesso speciale Diaframma	6.1	18	90	✓

Si osserva come tutti gli schemi di calcolo rispettano i limiti di deformabilità delle paratie in base a quanto stabilito dalle NTC.



## Sforzo assiale sui puntoni

**Tabella 26 Output Plaxis: Sforzo assiale sui puntoni – Accesso speciale**

Structural element ▲	Node ▲	Local number ▲	X [m] ▲	Y [m] ▲	N [kN] ▲	N <sub>min</sub> [kN] ▲	N <sub>max</sub> [kN] ▲
NodeToNodeAnchor_1_1	11991	1	-14,550	-0,800	-58,267	-58,267	0,000
Element 1-1 (Node-to-node anchor)	54	2	-2,315	-0,800	-58,267	-58,267	0,000
NodeToNodeAnchor_3_1	14113	1	-14,550	-3,300	-184,969	-184,969	0,000
Element 2-2 (Node-to-node anchor)	817	2	-2,315	-3,300	-184,969	-184,969	0,000
NodeToNodeAnchor_10_1	1734	1	-2,315	-5,800	-329,177	-329,177	0,000
Element 4-4 (Node-to-node anchor)	14556	2	-14,550	-5,800	-329,177	-329,177	0,000
NodeToNodeAnchor_11_1	14467	1	-14,550	-8,300	-396,810	-396,810	0,000
Element 6-6 (Node-to-node anchor)	2652	2	-2,315	-8,300	-396,810	-396,810	0,000
NodeToNodeAnchor_4_1	14570	1	-14,550	-10,800	-504,511	-504,511	0,000
Element 7-7 (Node-to-node anchor)	2887	2	-4,315	-10,800	-504,511	-504,511	0,000
NodeToNodeAnchor_5_1	12955	1	-14,550	-13,300	-538,278	-538,278	0,000
Element 8-8 (Node-to-node anchor)	3115	2	-4,315	-13,300	-538,278	-538,278	0,000
NodeToNodeAnchor_6_1	12595	1	-14,550	-15,800	-689,456	-689,456	0,000
Element 9-9 (Node-to-node anchor)	5389	2	-4,315	-15,800	-689,456	-689,456	0,000
NodeToNodeAnchor_7_1	13508	1	-14,550	-18,300	-853,250	-853,250	0,000
Element 10-10 (Node-to-node anchor)	7860	2	-4,315	-18,300	-853,250	-853,250	0,000
NodeToNodeAnchor_8_1	10052	1	-4,315	-20,800	-878,196	-878,196	0,000
Element 11-11 (Node-to-node anchor)	14209	2	-14,550	-20,800	-878,196	-878,196	0,000

- **Verifiche strutturali e geotecniche**

Di seguito sono presentate le verifiche strutturali e geotecniche relative all'accesso speciale.



## Verifiche strutturali

### Micropali L=28m

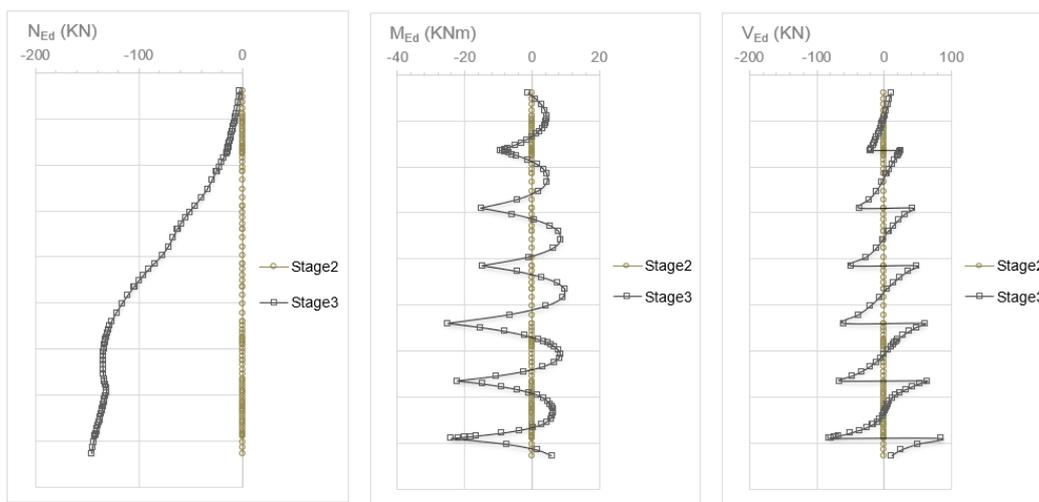


Figura 33. Sforzo assiale, taglio e momento di progetto per i diversi stage di calcolo – Micropali L=28m - Accesso speciale

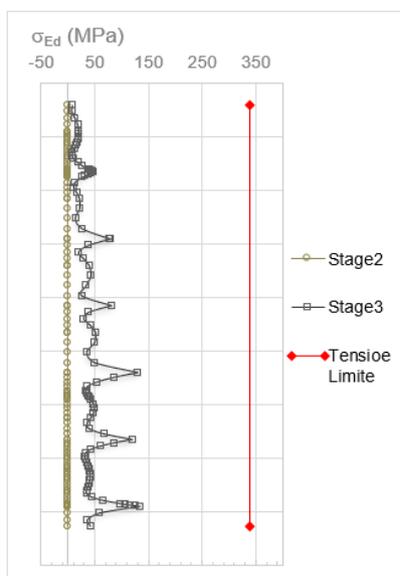


Figura 34. Tensione di verifica secondo NTC - tensione a snervamento acciaio – Micropali L=28m - Accesso speciale

La verifica dei micropali lunghi 28m per l'accesso speciale risulta soddisfatta adottando un profilo Ø193.7x8mm ogni 400mm.



### Micropali L=13m

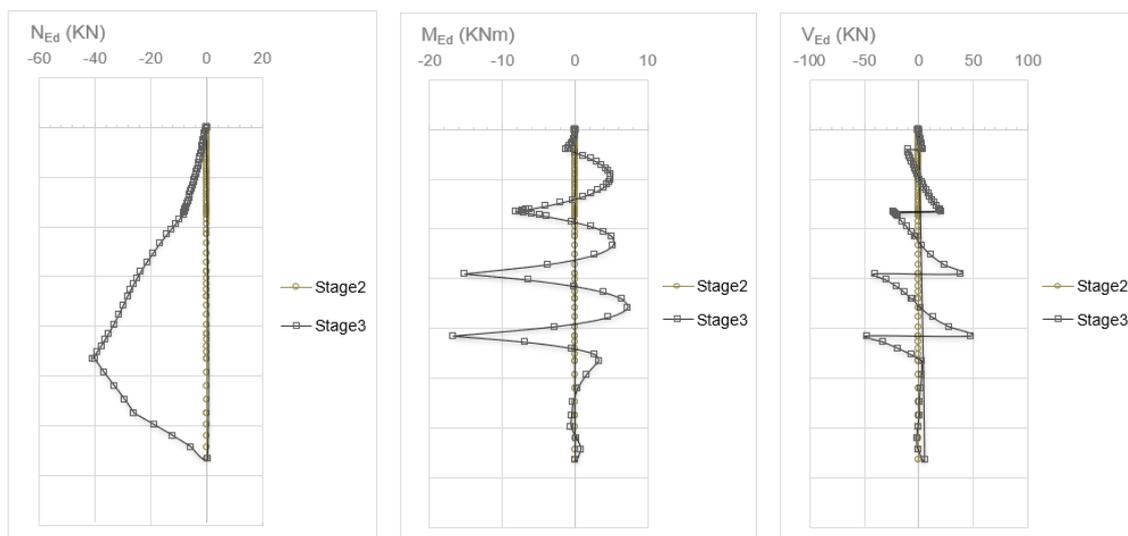


Figura 35. Sforzo assiale, taglio e momento di progetto per i diversi stage di calcolo – Micropali L=13m - Accesso speciale

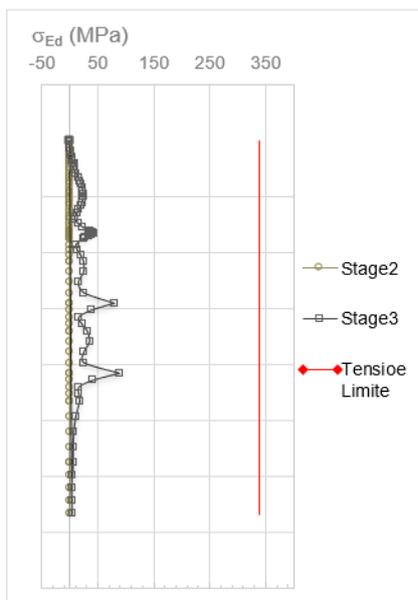


Figura 36. Tensione di verifica secondo NTC - tensione a snervamento acciaio – Micropali L=13m - Accesso speciale

La verifica dei micropali lunghi 13m per l'accesso speciale risulta soddisfatta adottando un profilo Ø193.7x8mm ogni 400mm.



### Diaframma

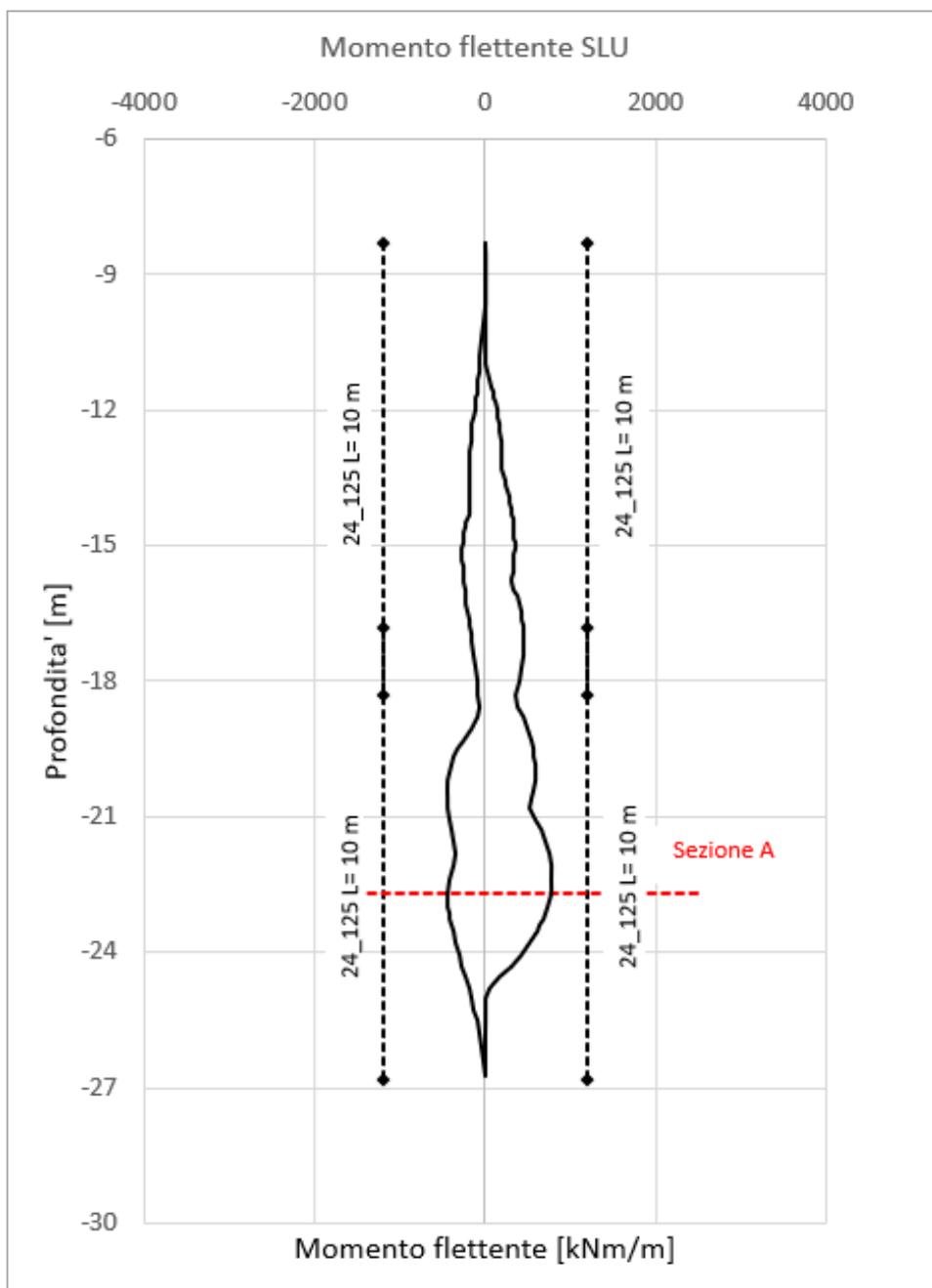


Figura 37. Involuppo momento flettente e sezione di verifica – Diaframma - Accesso speciale

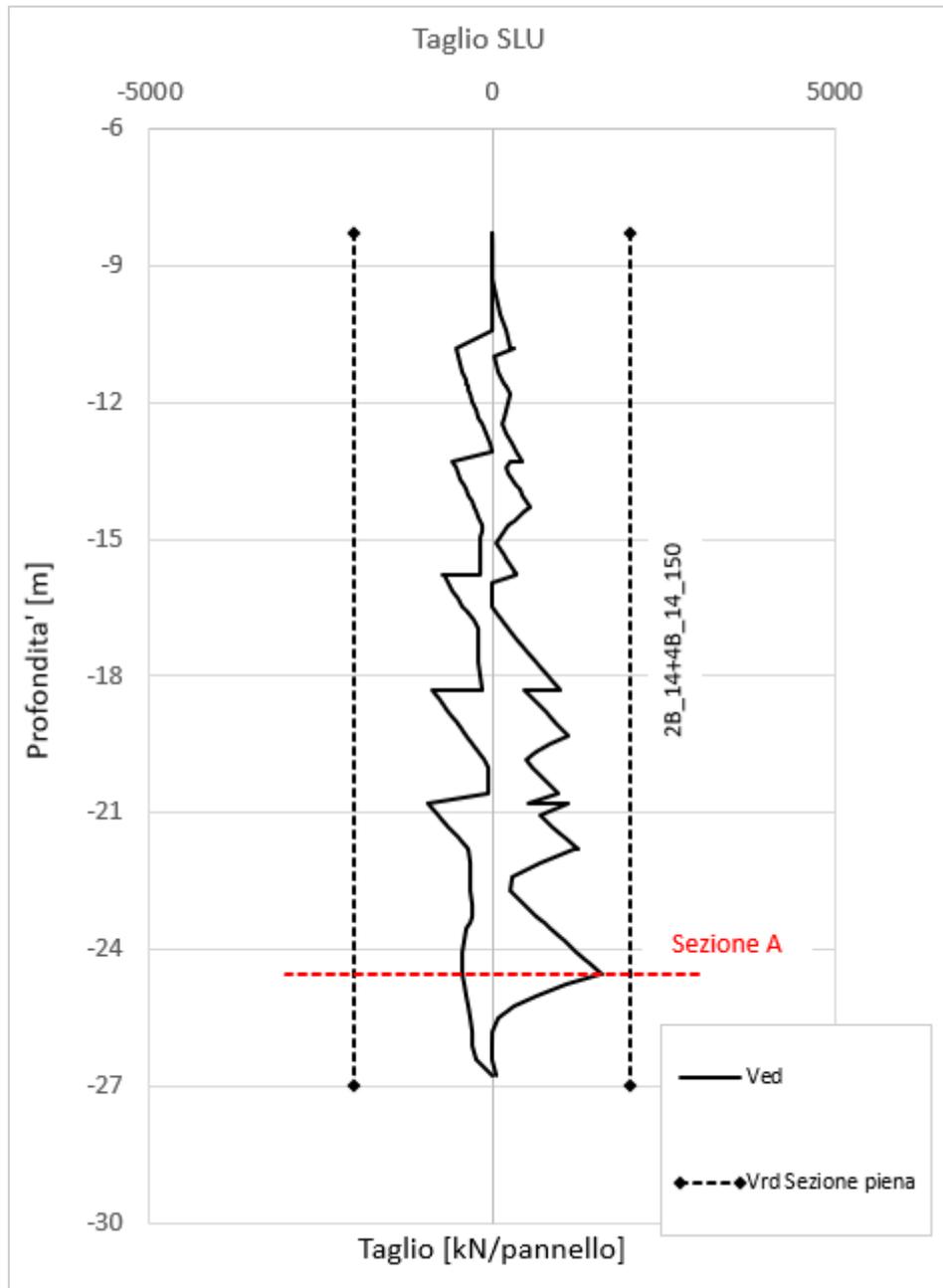


Figura 38. Involuppo sollecitazioni di taglio e sezione di verifica – Diaframma - Accesso speciale



<b>Sezione di verifica SLU: Sezione A</b>		
<b>Geometria sezione:</b>		
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	1000	[mm]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	1000	[mm]
Copriferro	75	[mm]
Altezza utile della sezione	925	[mm]
<b>Armature</b>		
<b>Armatura tesa</b>		
Diametro dei ferri correnti	24	[mm]
Numero dei ferri correnti	8	[-]
Diametro dei ferri correnti secondo strato	0	[mm]
Numero dei ferri correnti secondo strato	0	[-]
Diametro dei ferri correnti terzo strato	0	[-]
Numero dei ferri correnti terzo strato	0	[-]
Area dell'armatura tesa	3619	[mm <sup>2</sup> ]
<b>Armatura compressa</b>		
Diametro dei ferri correnti	24	[mm]
Numero dei ferri correnti	8	[-]
Diametro dei ferri correnti secondo strato	0	[mm]
Numero dei ferri correnti secondo strato	0	[-]
Diametro dei ferri correnti terzo strato	0	[-]
Numero dei ferri correnti terzo strato	0	[-]
Area dell'armatura compressa	3649	[mm <sup>2</sup> ]
<b>Materiali</b>		
<b>Calcestruzzo</b>		
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]
<b>Acciaio</b>		
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]
<b>Momento resistente della sezione</b>	<b>1243,47</b>	<b>[kNm]</b>
<b>Momento sollecitante a SLU assunto in valore assoluto</b>	<b>788,20</b>	<b>[kNm]</b>
		Verificato

**Figura 39. Verifica SLU Momento flettente – Sezione A – Diaframma – Accesso speciale**

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Porta Nuova - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSPNR003-0-2

<b>Sezione di verifica SLE: Sezione A</b>		
<b>Geometria sezione:</b>		
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	1000	[mm]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	1000	[mm]
Copriferro	75	[mm]
Altezza utile della sezione	925	[mm]
<b>Limitazione delle tensioni</b>		
Area dell'armatura tesa	3619	[mm <sup>2</sup> ]
Area dell'armatura compressa	3649	[mm <sup>2</sup> ]
Momento sollecitante	563,0	[kNm]
Posizione dell'asse neutro	254,81	[mm]
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	37504091135	[mm <sup>4</sup> ]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione caratteristica	15,0	[MPa]
Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS	360,0	[MPa]
<b>Tensione nel calcestruzzo</b>	<b>3,8</b>	<b>[MPa]</b>
Tensione calcestruzzo < 15 Mpa		Verificato
<b>Tensione nell'armatura tesa</b>	<b>184,6</b>	<b>[MPa]</b>
Tensione acciaio < 360 Mpa		Verificato
<b>Apertura delle fessure</b>		
Tensione indotta nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata	184,59	[MPa]
Valore medio della resistenza a trazione efficace del calcestruzzo	2,56	[MPa]
Fattore dipendente dalla durata del carico	0,40	[-]
Altezza efficace	187,50	[mm]
Area efficace del calcestruzzo teso attorno all'armatura	187500	[mm <sup>2</sup> ]
Rapporto geometrico sull'area efficace	0,0193	[-]
Rapporto tra Es/Ecm	6,67	[-]
Differenza tra la deformazione nell'acciaio e quella nel calcestruzzo	0,000593	[-]
Determinazione del diametro equivalente delle barre tese	24,00	[mm]
Distanza massima tra le fessure	466,38	[mm]
<b>Ampiezza delle fessure</b>	<b>0,277</b>	<b>[mm]</b>
<b>Ampiezza massima delle fessure</b>	<b>0,3</b>	<b>[mm]</b>
		Verificato

**Figura 40. Verifica SLE Momento flettente – Sezione A – Diaframma – Accesso speciale**

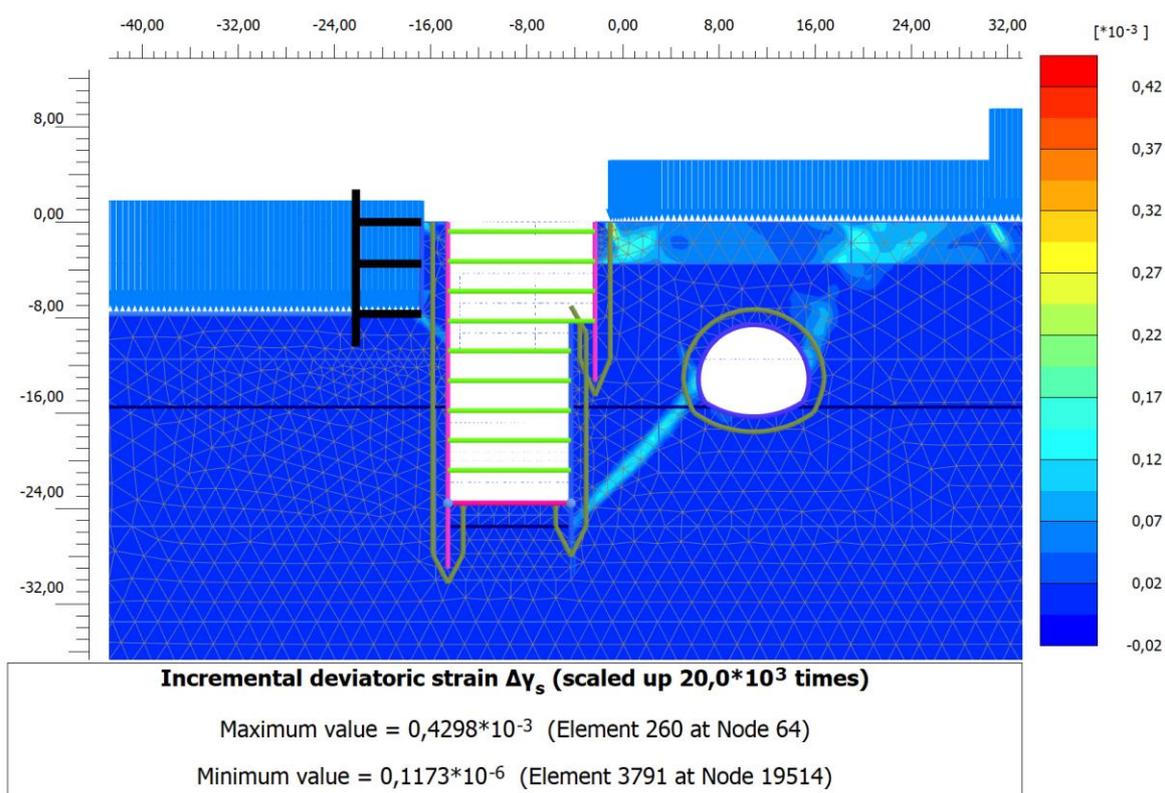


Verifica elementi a taglio			
<b>Pannello diaframma 2800 x 1000 mm - <math>\phi</math>14 2 braccia + <math>\phi</math>14 4 braccia passo 150 mm</b>			
<b>Geometria</b>			
Altezza sezione	H	1000	mm
Base sezione	B	2800	mm
Barre longitudinali tese	$\phi_{sl}$	24	mm
Diametro staffe	$\phi_{sw}$	14	mm
Copriferro	c	75	mm
Altezza utile	d	899	mm
<b>Materiali</b>			
<b>Calcestruzzo</b>			
Resistenza caratteristica cubica	$R_{ck}$	30	MPa
Resistenza caratteristica cilindrica	$f_{ck}$	25	MPa
Coefficiente parziale calcestruzzo	$\gamma_c$	1,5	
Coefficiente che tiene conto degli effetti a lungo termine	$\alpha_{cc}$	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
<b>Acciaio</b>			
Resistenza a snervamento dell'acciaio	$f_{yk}$	450	MPa
Coefficiente di sicurezza parziale acciaio	$\gamma_s$	1,15	
Resistenza di progetto a trazione dell'acciaio	$f_{yd}$	391,30	MPa
<b>Elementi con armatura a taglio</b>			
Diametro staffe esterne	$\phi_{sw1}$	14	mm
Numero braccia	$n_{b1}$	2	
Diametro staffe esterne	$\phi_{sw2}$	14	mm
Numero braccia	$n_{b2}$	4	
Passo staffe	s	150	mm
Inclinazione tra puntone compresso e asse elemento	$\theta$	45,00	°
Inclinazione armatura trasversale rispetto asse elemento	$\alpha$	90	°
Area sezione trasversale armatura a taglio	$A_{sw}$	923,16	mm <sup>2</sup>
Braccio coppia interna	z	809,1	mm
Resistenza offerta dall'armatura a taglio	$V_{Rsd}$	1949	kN
Resistenza offerta dai puntoni	$V_{Rcd}$	8024	kN
<b>Resistenza a taglio della sezione armata trasversalmente</b>	<b><math>V_{Rd}</math></b>	<b>1949</b>	<b>kN</b>
<b>Taglio sollecitante SLU</b>	<b><math>V_{ed}</math></b>	<b>1605</b>	<b>kN</b>
			Verificato

**Figura 41. Verifica SLU Taglio – Sezione A – Diaframma – Accesso speciale**



## Verifica a stabilità globale



**Figura 42. Rapporto tra tensione tangenziale massima e tensione tangenziale mobilitata – Schema B**

La figura sovrastante mostra il rapporto tra tensione tangenziale limite e tensione tangenziale agente in corrispondenza dell'ultimo step di calcolo.

La verifica della resistenza alla spinta passiva non si ritiene necessaria nel caso in analisi, in quanto la struttura è completamente puntonata dalla superficie al fondo scavo.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Porta Nuova - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSPNR003-0-2

## Verifica dei puntoni

Di seguito sono presentate le verifiche strutturali dei puntoni più carichi nella sezione dell'accesso speciale, considerando che un'unica tipologia di puntoni è stata adottata ma con lunghezze diverse dovuto alla larghezza variabile della sezione di scavo, le loro caratteristiche sono riportate:

**Tabella 27 Caratteristiche geometriche puntoni adottati – Accesso speciale**

<i>Diametro esterno puntone (tubo di acciaio)</i>	D=198.5mm	D=198.5mm
<i>Spessore puntone (tubo di acciaio)</i>	t=8.0 mm	t=8.0 mm
<i>Lunghezza massima</i>	L=9.5m	L=7m
<i>Interasse</i>	i=2.5m	i=2.5m

### Puntone L=9.5m

Dalla tabella riportata in Appendice C, risulta che il puntone più caricato nella sezione più larga, è il quarto, con uno sforzo assiale massimo caratteristico di 398.8 kN. La verifica è riportata di seguito:

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Porta Nuova - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSPNR003-0-2

VERIFICA PUNTONE PARATIA		
Tipo Tubo (mm)		298,5
		8
Interasse Tubo (m)		2,5
Lunghezza Tubo (m)		9,5
Diametro esterno	$D_{Ext}$ (m)	0,2985
Diametro interno	$D_{Int}$ (m)	0,2825
Area Palo acciaio	$A$ (m <sup>2</sup> )	0,007301061
Momento Inerzia Palo acciaio	$I$ (m <sup>4</sup> )	7,70757E-05
Modulo di resistenza	$W_{EL}$ (mm <sup>3</sup> )	0,00051642
Modulo di Young Acciaio	$E$ (kPa)	210000000
Acciaio di costruzione	Tipo	S355
Tensione caratteristica a snervamento	$f_{yk}$ (MPa)	355
Coefficiente materiali	$\gamma$ (-)	1,05
Tensione di progetto a snervamento	$f_{yd}$ (MPa)	338,1
INSTABILITA' PUNTONE		
$\epsilon$	(-)	0,813616513
d/t	(-)	37,3125
CLASSE SEZIONE	(-)	1
Azione sollecitante Output	(KN/m)	159,52
Azione Per Verifica	(KN)	598,2
$N_{CR}$	KN	1770,1
$\lambda$	-	1,2101
$\alpha$	-	0,21
$\Phi$	-	1,338
$\chi$	-	0,524
$N_{b,Rd}$	KN	1292,7

**Figura 43. Verifica Puntone L=9.5m – Accesso speciale**

## Puntone L=7m

Dalla tabella riportata in Appendice C, risulta che il puntone più caricato nella sezione più ristretta, e l'ultimo, con uno sforzo assiale massimo caratteristico di 878.2 kN. La verifica è riportata di seguito:



CITTA' DI TORINO

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

Stazione Porta Nuova - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione

MTL2T1A2DSTRSPNR003-0-2

VERIFICA PUNTONE PARATIA		
Tipo Tubo (mm)		298,5
		8
Interasse Tubo (m)		2,5
Lunghezza Tubo (m)		7
Diametro esterno	$D_{Ext}$ (m)	0,2985
Diametro interno	$D_{Int}$ (m)	0,2825
Area Palo acciaio	$A$ (m <sup>2</sup> )	0,007301061
Momento Inerzia Palo acciaio	$I$ (m <sup>4</sup> )	7,70757E-05
Modulo di resistenza	$W_{EL}$ (mm <sup>3</sup> )	0,00051642
Modulo di Young Acciaio	$E$ (kPa)	210000000
Acciaio di costruzione	Tipo	S355
Tensione caratteristica a snervamento	$f_{yk}$ (MPa)	355
Coefficiente materiali	$\gamma$ (-)	1,05
Tensione di progetto a snervamento	$f_{yd}$ (MPa)	338,1
INSTABILITA' PUNTONE		
$\varepsilon$	(-)	0,813616513
d/t	(-)	37,3125
CLASSE SEZIONE	(-)	1
Azione sollecitante Output	(KN/m)	351,28
Azione Per Verifica	(KN)	1317,3
$N_{CR}$	KN	3260,2
$\lambda$	-	0,8916
$\alpha$	-	0,21
$\Phi$	-	0,970
$\chi$	-	0,739
$N_{b,Rd}$	KN	1825,2

**Figura 44. Verifica Puntone L=7m – Accesso speciale**

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Porta Nuova - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSPNR003-0-2

## APPENDICE J



Di seguito sono riportati i risultati delle analisi dello schema dell'accesso a sbalzo in termini di sollecitazioni per unità di lunghezza:  $M_{xx}$ ,  $M_{yy}$ ,  $Q(1-2)$ :

SLU STR A1+M1+R1

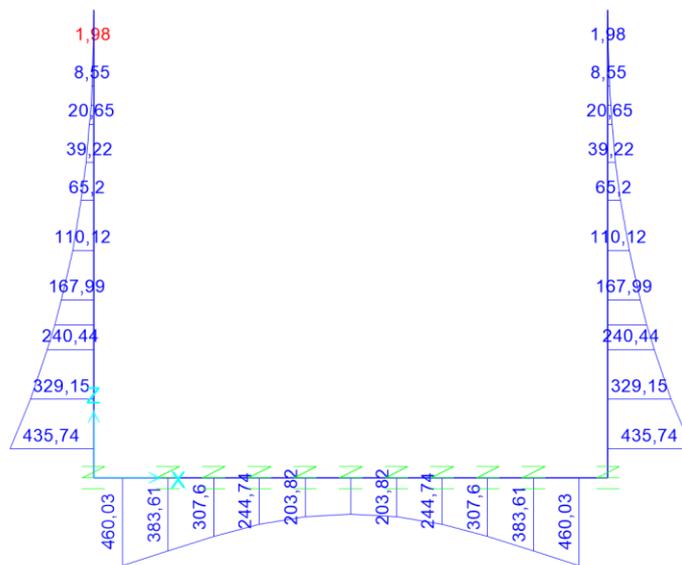


Figura 45. Momento flettente M3-3

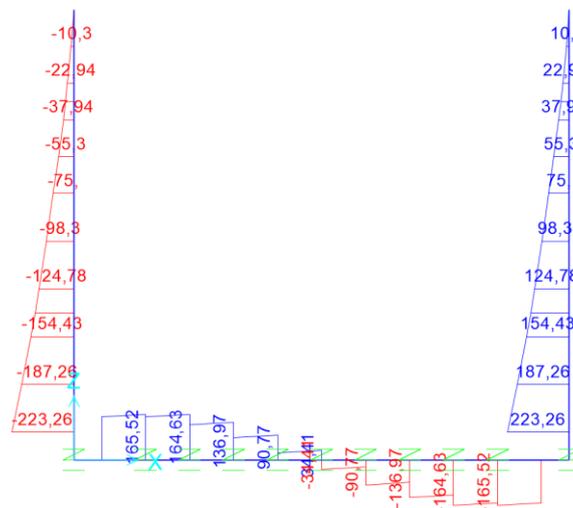


Figura 46. Taglio combinato



SLU STR SISMA X

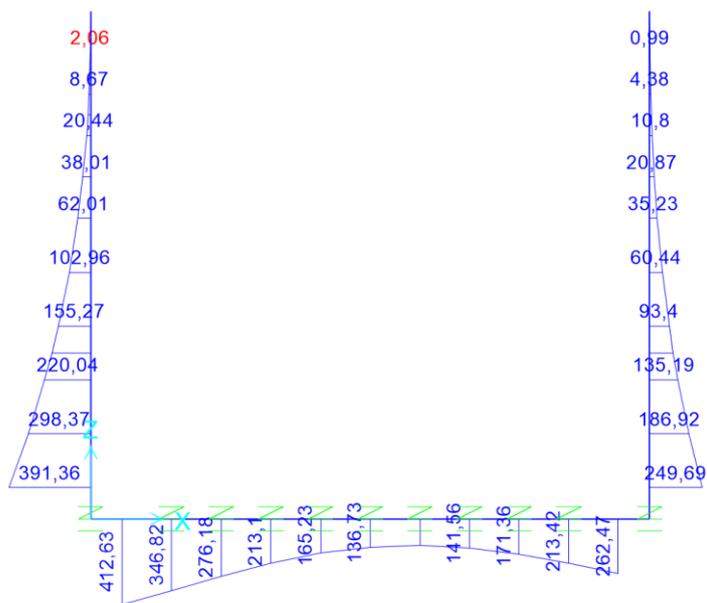


Figura 47. Momento flettente M3-3

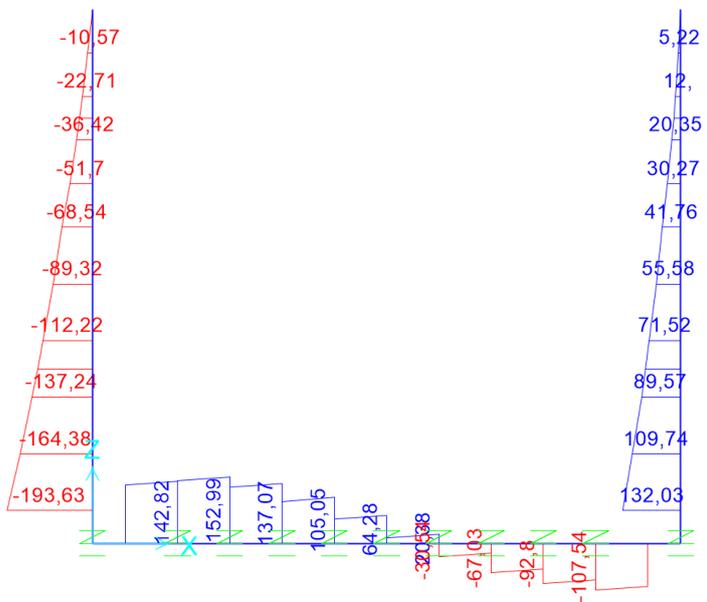


Figura 48. Taglio combinato



SLE RARA

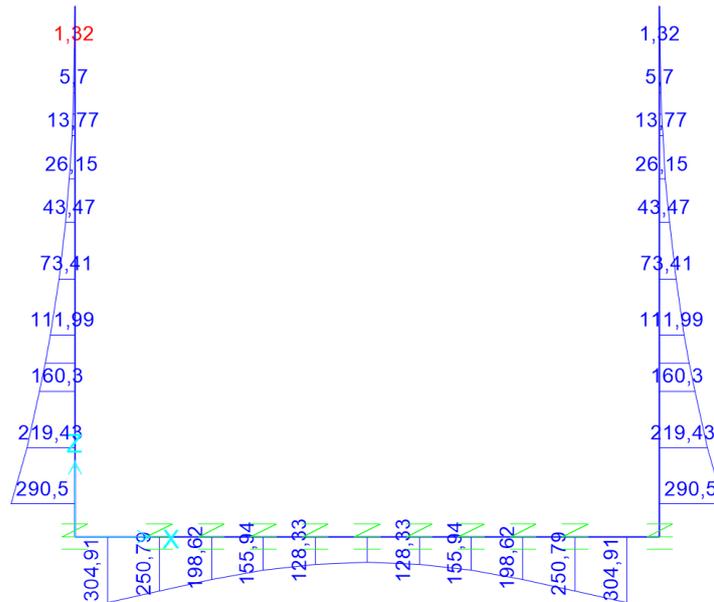


Figura 49. Momento flettente M3-3

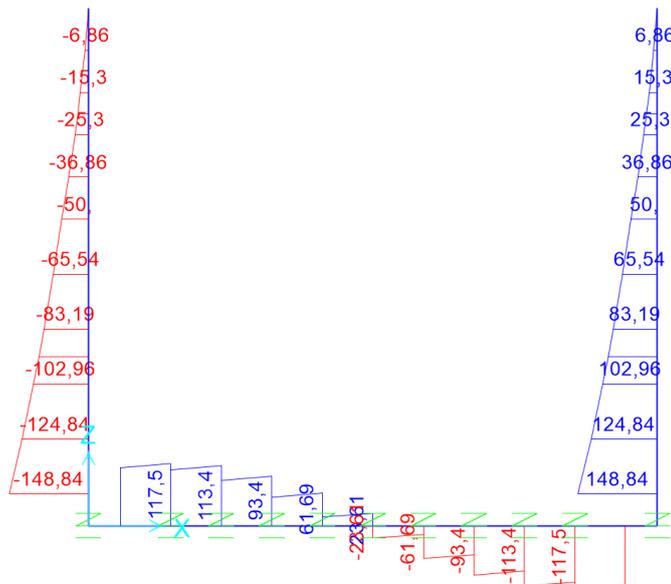


Figura 50. Taglio combinato

SLE FREQUENTE

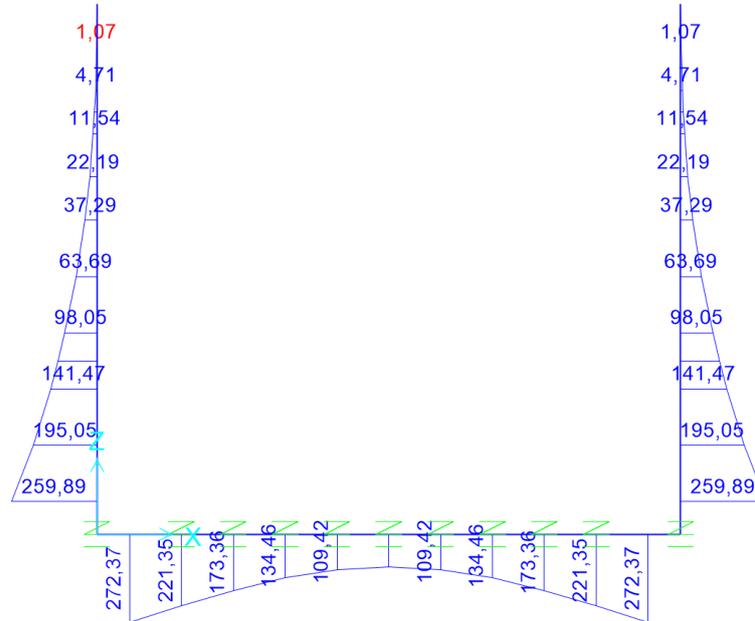


Figura 51. Momento flettente M3-3

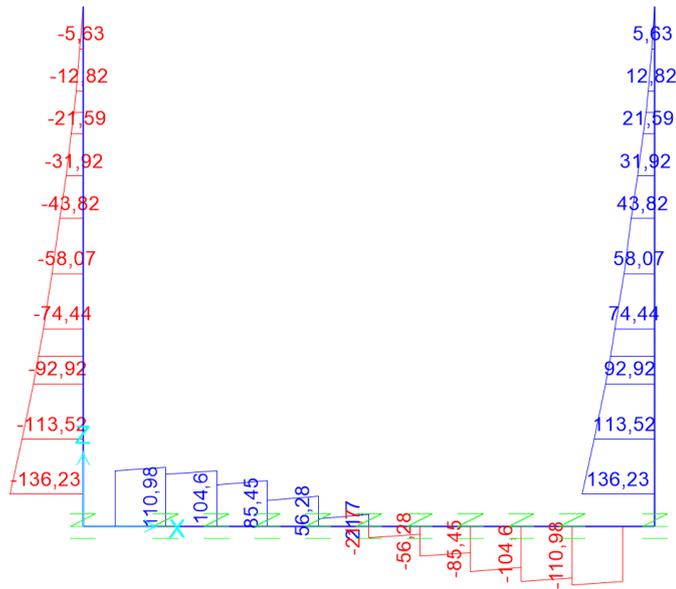


Figura 52. Taglio combinato



SLE QUASI PERMANENTE

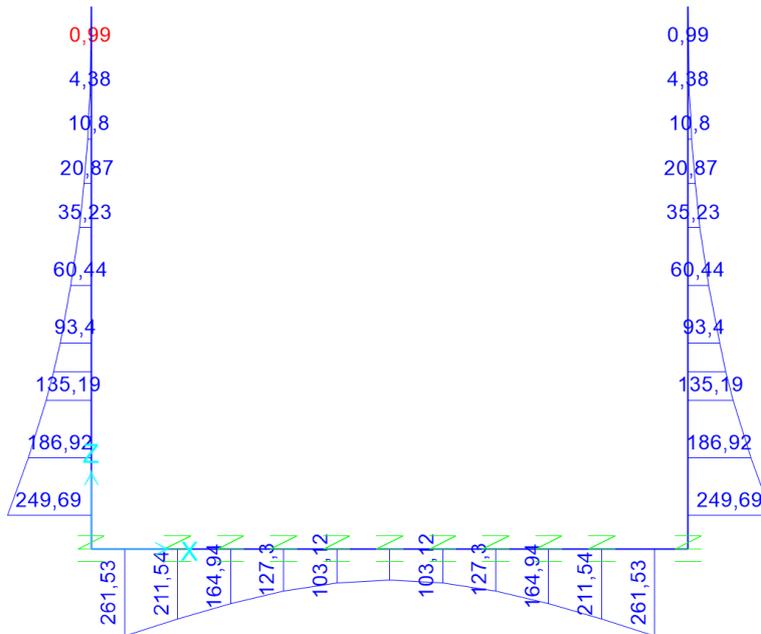


Figura 53. Momento flettente M3-3

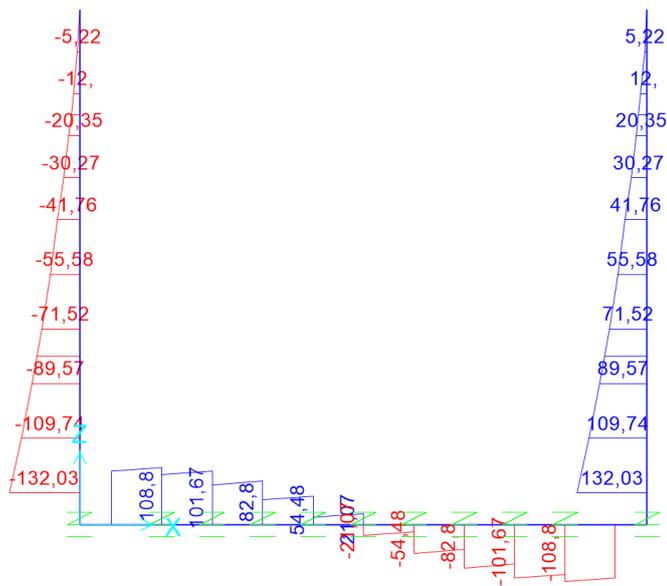


Figura 54. Taglio combinato

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Porta Nuova - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSPNR003-0-2

## **Verifiche strutturali**

Di seguito sono riportate le verifiche strutturali allo Stato Limite Ultimo, così come le verifiche allo Stato Limite di Esercizio considerando i rispettivi involucri di sollecitazioni appena mostrati. In entrambi i casi sono stati depurati i valori di picco e sono stati presi in considerazione i valori di momento negativo e taglio sulle facce degli elementi e non sull'asse neutro.

Nel caso delle verifiche allo Stato Limite di Esercizio sono stati utilizzati per la verifica delle tensioni in esercizio, controllo della fessurazione e deformazione i valori limiti per la combinazione quasi permanente; il momento resistente il  $M_{lim}$  nella condizione dello stato limite di esercizio (SLE) è determinato dalla seguente condizione:

$$M_{lim} = \min [ M_{0.30} ; M_{s_c} ; M_{s_s} ]$$

Dove,

$$M_{0.30} = M_{max} \text{ per una fessura limite } w_2 = 0,30\text{mm} \quad \text{NTC §4.1.2.2.4.}$$

$$M_{s_c} = M_{max} \text{ per } s_{c,max} = 0,45 f_{ck} \quad \text{NTC §4.1.2.2.5.1.}$$

$$M_{s_s} = M_{max} \text{ per } s_{s,max} = 0,80 f_{yk} \quad \text{NTC §4.1.2.2.5.2.}$$

**Tabella 28 Capacità delle sezioni tipologiche**

Sezione	H (cm)	d (cm)	As (cm <sup>2</sup> /m)	As' (cm <sup>2</sup> /m)	M <sub>lim</sub> (kN.m/m)	M <sub>Rd</sub> (kN.m/m)
Muro-Zona superiore	60	52.5	24/200	φ24/200	175	442.75
Muro-Zona Inferiore	60	52.5	φ24/100	φ24/200	415	842.55
Soletta di fondo-Laterale	60	52.5	φ24/100	φ24/200	415	842.55
Soletta di fondo-Centrale	60	52.5	φ24/200	φ24/200	175	442.75

Dal confronto dei momenti flettenti massimi  $M_{max}$  per SLE con i momenti limite  $M_{lim}$  di ciascuna sezione tipologica utilizzata, si verifica che  $M_{max} < M_{lim}$

L'allegato A include come riferimento un esempio di calcolo dei momenti flettenti  $M_{lim}$  e  $M_{Rd}$  per la sezione T1, ottenuto tramite il software RC-SEC

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Porta Nuova - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSPNR003-0-2

Accesso a sbalzo	Staffe	STATO LIMITE ULTIMO		
		$V_{Rd,s,ULS}$	$V_{Ed,ULS}$	Verifica
	Ø10/200/200	628	224	OK

Si osserva quindi che dal confronto dei momenti flettenti massimi allo SLU di ciascuna sezione, si verifica che  $M_{Rd,ULS} < M_{Ed,ULS}$ ; così come per il taglio  $V_{Rd,ULS} < V_{Ed,ULS}$ .

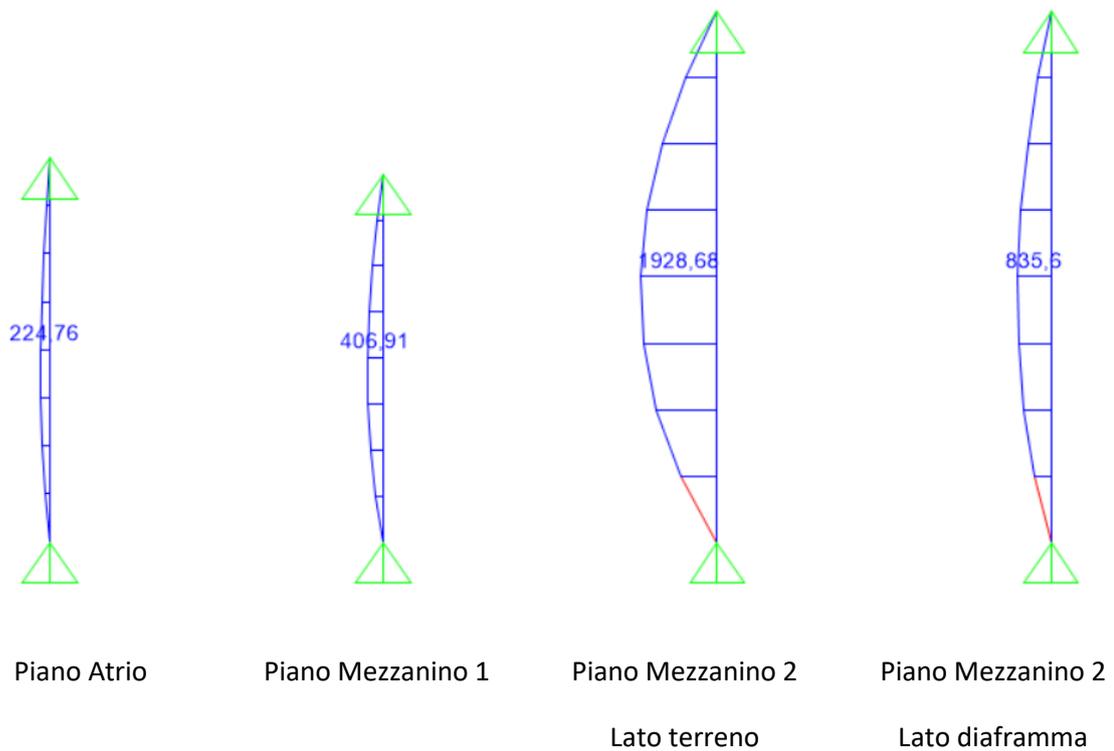
Dal confronto dei momenti flettenti massimi  $M_{max}$  per SLE con i momenti limite  $M_{lim}$  di ciascuna sezione tipologica utilizzata, si verifica che  $M_{Ed,SLE} < M_{lim,SLE}$ .

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Porta Nuova - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSPNR003-0-2

## APPENDICE K

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Porta Nuova - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSPNR003-0-2

Di seguito sono riportati i risultati delle analisi del tronchino di collegamento L1/L2 in termini di sollecitazioni:



**Figura 55. Momento flettente – SLE – Fodere Tronchino di collegamento**

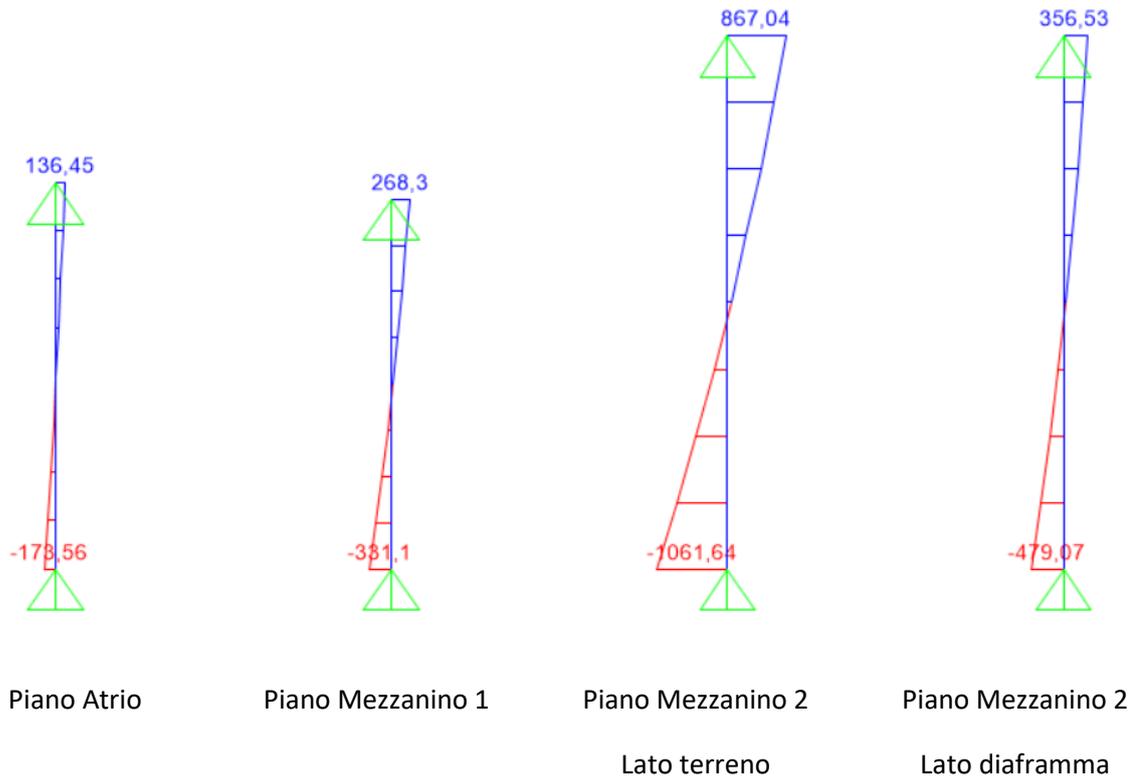
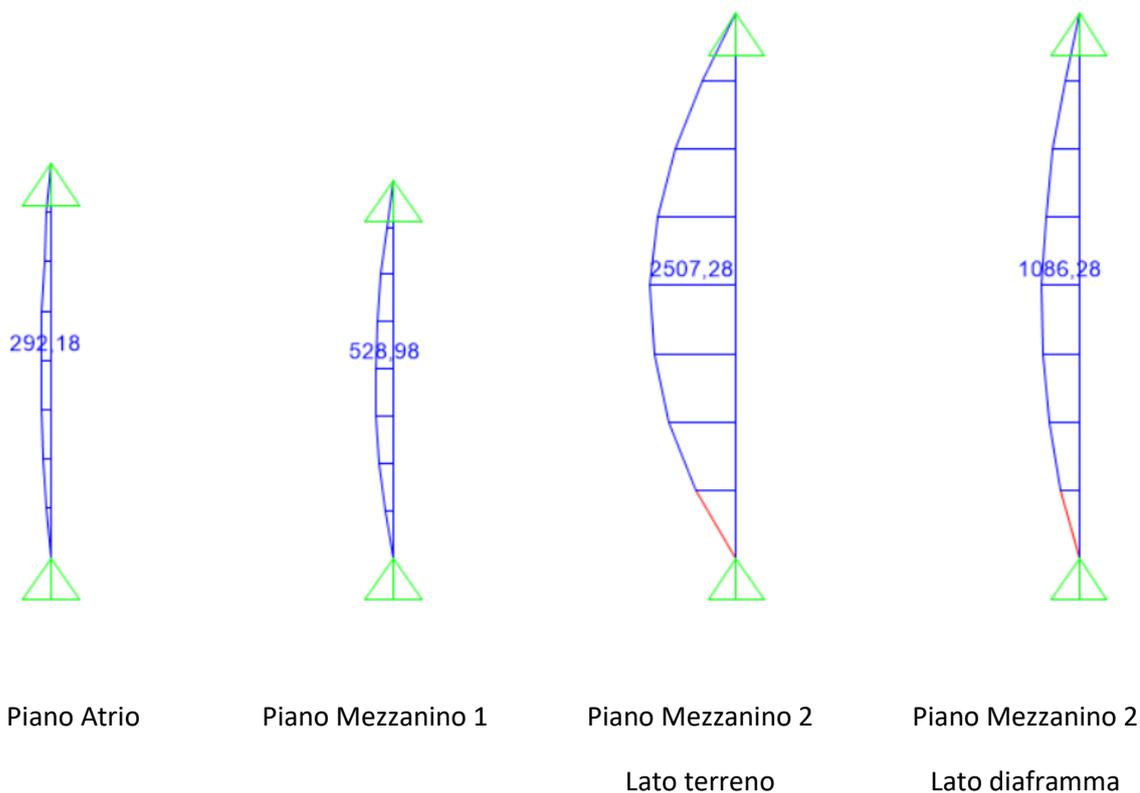


Figura 56. Taglio – SLE – Tronchino di collegamento



**Figura 57. Momento flettente – SLU Statico - Fodere Tronchino di collegamento**

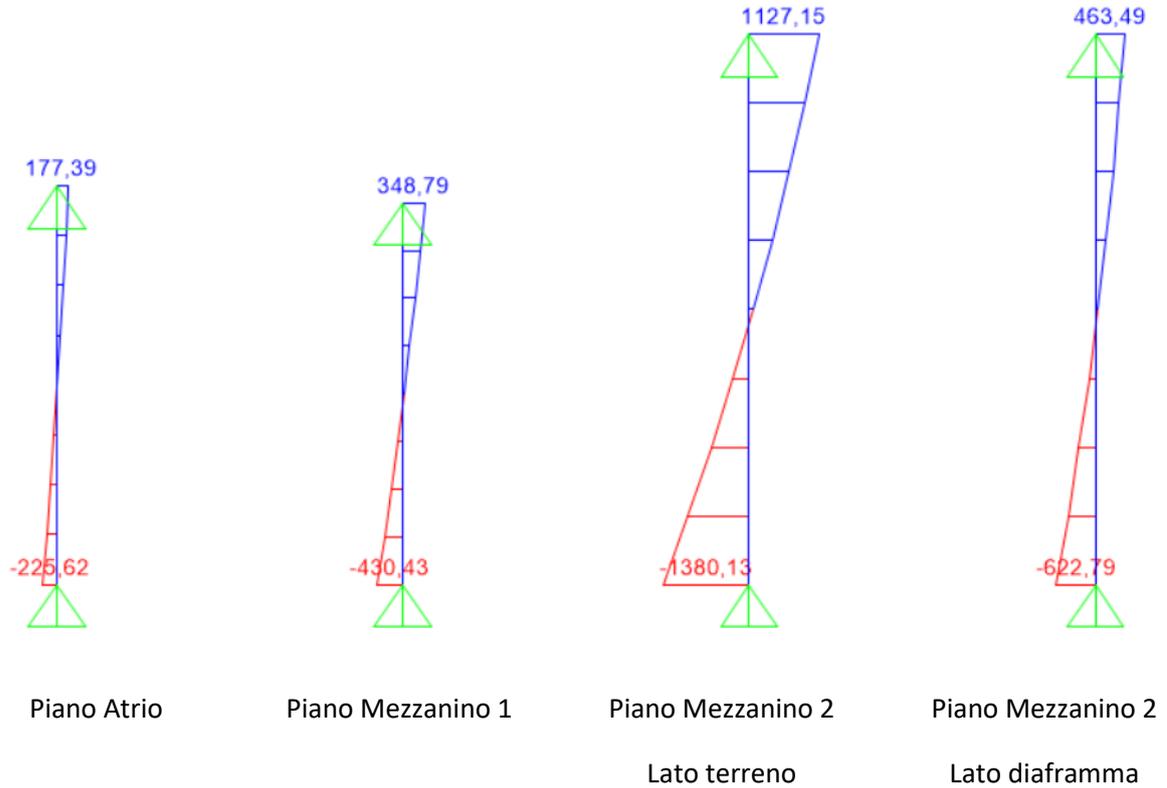


Figura 58. Taglio – SLU Statico – Fodere Tronchinno di collegamento



CITTA' DI TORINO

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

Stazione Porta Nuova - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione

MTL2T1A2DSTRSPNR003-0-2

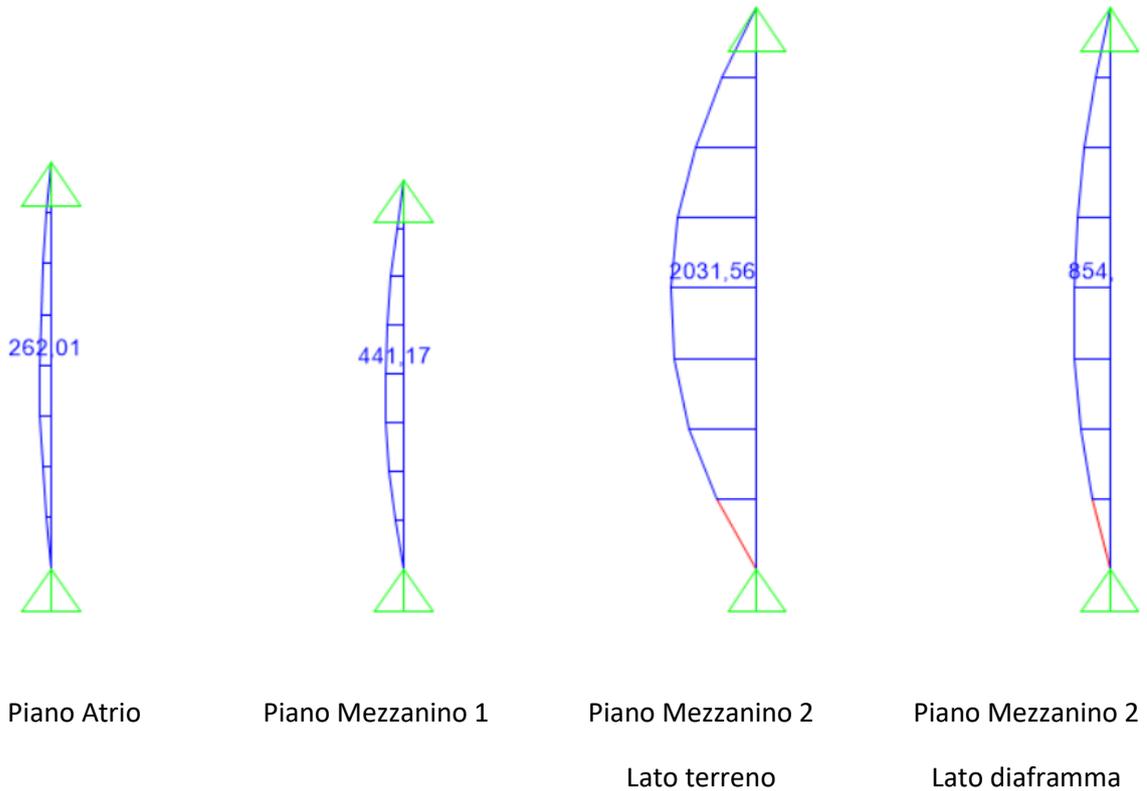


Figura 59. Momento flettente – SLU Sisma – Fodere Tronchino di collegamento

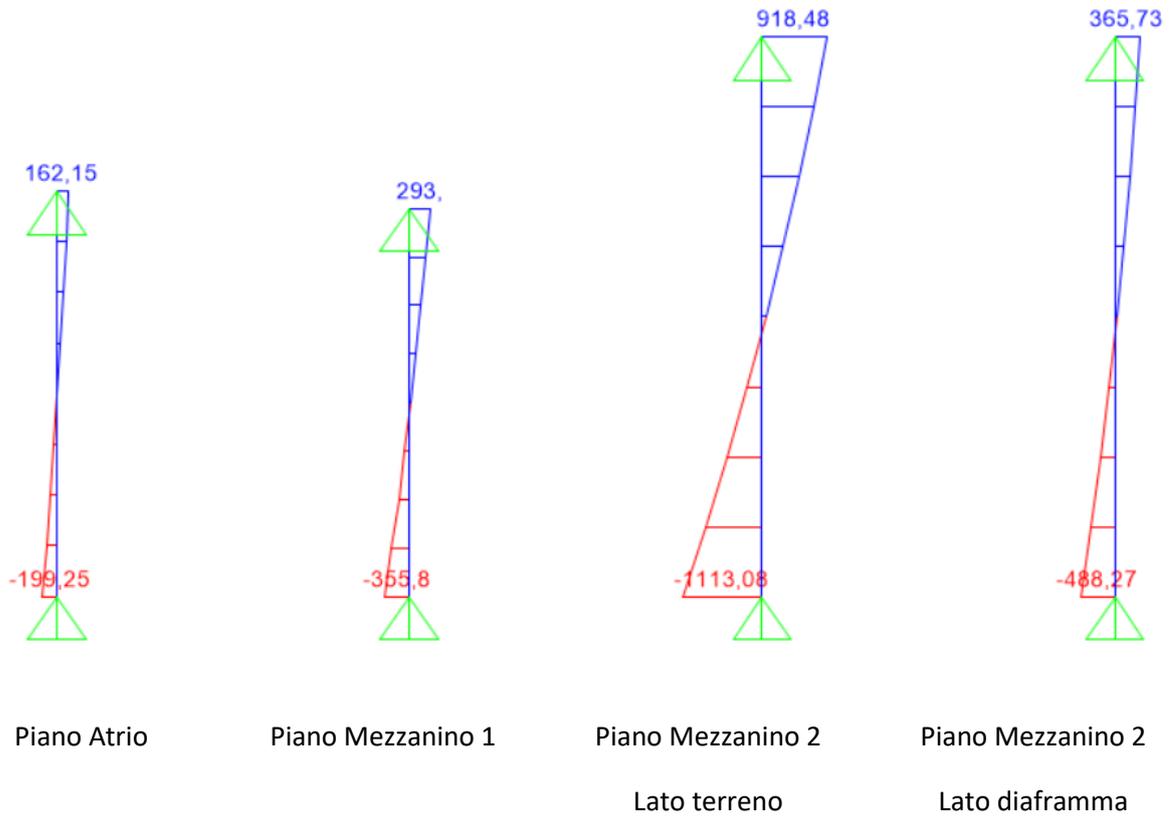
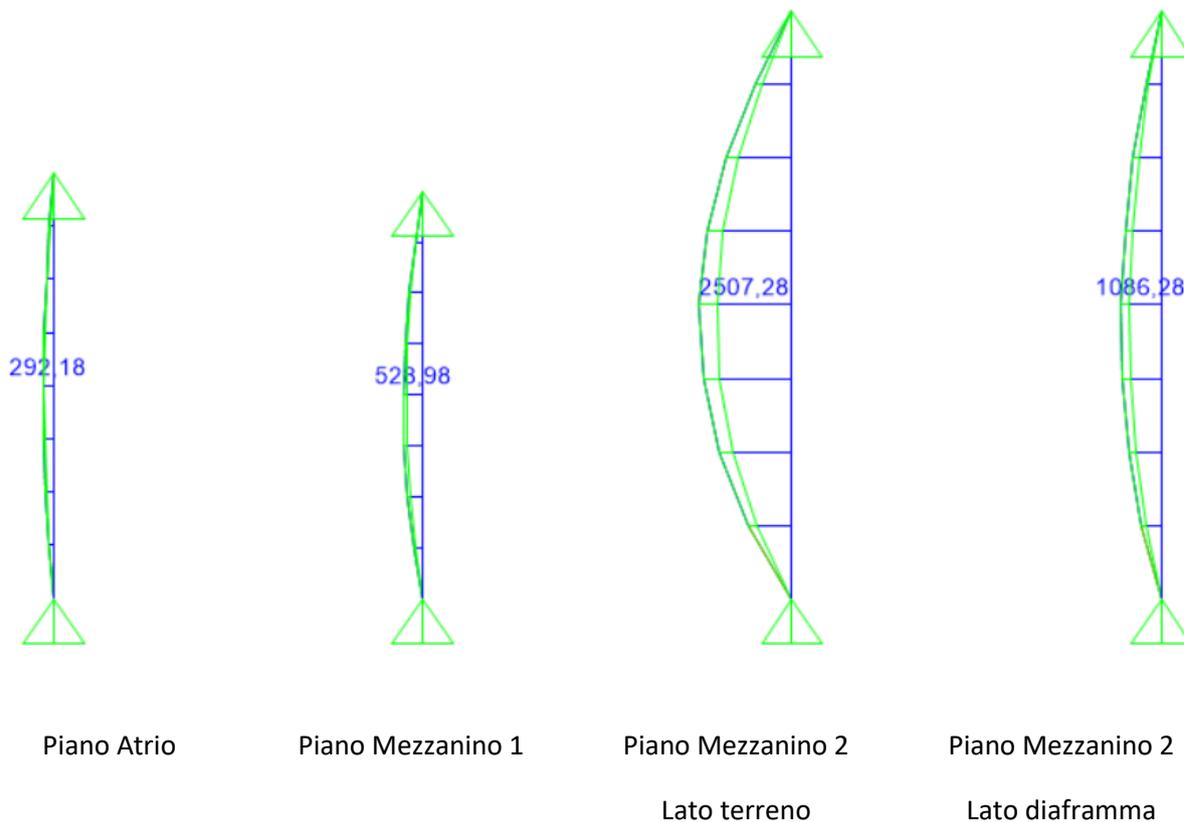
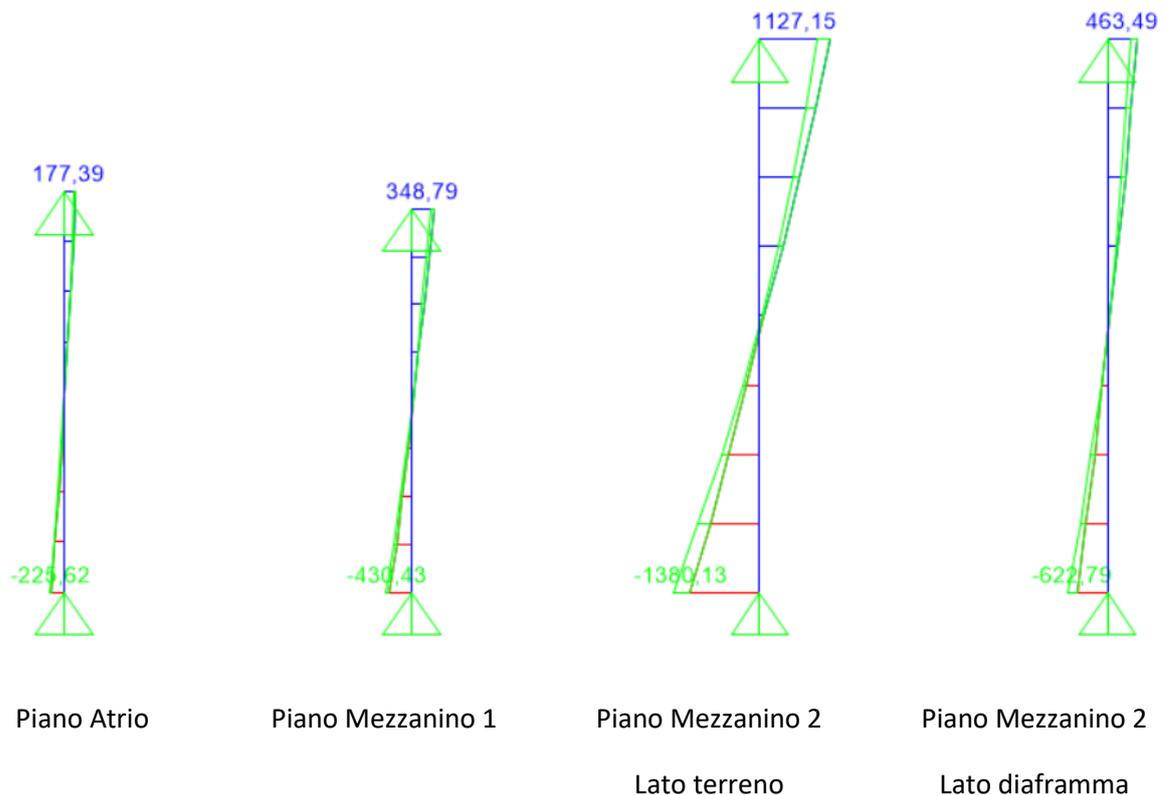


Figura 60. Taglio – SLU Sisma – Fodere Tronchino di collegamento



**Figura 61. Momento flettente – Inviluppo SLU - Fodere Tornchino di collegamento**

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Porta Nuova - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSPNR003-0-2



**Figura 62. Taglio – Inviluppo SLU – Fodere Tronchino di collegamento**

### **Verifiche strutturali**

Di seguito sono riportate le verifiche strutturali allo Stato Limite Ultimo, così come le verifiche allo Stato Limite di Esercizio considerando i rispettivi inviluppi di sollecitazioni appena mostrati.

Nel caso delle verifiche allo Stato Limite di Esercizio sono stati utilizzati per la verifica delle tensioni in esercizio, controllo della fessurazione e deformazione i valori limiti per la combinazione quasi permanente; il momento resistente limite  $M_{lim}$  nella condizione dello stato limite di esercizio (SLE) è determinato dalla seguente condizione:

$$M_{lim} = \min [ M_{0.30} ; M_{Sc} ; M_{Ss} ]$$

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Porta Nuova - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSPNR003-0-2

Dove,

$M_{0.30} = M_{max}$  per una fessura limite  $w_2 = 0,30mm$  NTC §4.1.2.2.4.

$M_{S_c} = M_{max}$  per  $S_{c,max} = 0,45 f_{ck}$  NTC §4.1.2.2.5.1.

$M_{S_s} = M_{max}$  per  $S_{s,max} = 0,80 f_{yk}$  NTC §4.1.2.2.5.2.

**Tabella 29 Verifiche strutturali armatura principale – Fodere Tronchino di collegamento**

Piano Atrio	Armatura		STATO LIMITE ULTIMO			STATO LIMITE DI ESERCIZIO		
			$M_{Rd,ULS}$	$M_{Ed,ULS}$	Verifica	$M_{Rd,lim SLE}$	$M_{Ed,SLS}$	Verifica
			D=60cm	Esterna	Ø18/150	368	292.2	OK
	Interna	Ø18/150						

Piano Mezzanino 1	Armatura		STATO LIMITE ULTIMO			STATO LIMITE DI ESERCIZIO		
			$M_{Rd,ULS}$	$M_{Ed,ULS}$	Verifica	$M_{Rd,lim SLE}$	$M_{Ed,SLS}$	Verifica
			D=60cm	Esterna	Ø26/150	747	529	OK
	Interna	Ø26/150						

Piano Mezzanino 2	Armatura		STATO LIMITE ULTIMO			STATO LIMITE DI ESERCIZIO		
			$M_{Rd,ULS}$	$M_{Ed,ULS}$	Verifica	$M_{Rd,lim SLE}$	$M_{Ed,SLS}$	Verifica
			Lato diaframma	Esterna	Ø28/100	1224	1086.3	OK
D=60cm	Interna	Ø28/100						



CITTA' DI TORINO

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

Stazione Porta Nuova - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione

MTL2T1A2DSTRSPNR003-0-2

Piano Mezzanino 2	Armatura		STATO LIMITE ULTIMO			STATO LIMITE DI ESERCIZIO		
			$M_{Rd,ULS}$	$M_{Ed,ULS}$	Verifica	$M_{Rd,lim SLE}$	$M_{Ed,SLS}$	Verifica
Lato terreno	Esterna	Ø32/100	2851	2507.3	OK	2256	1928.7	OK
D=100cm	Interna	Ø32/100						

Tabella 30 Verifiche strutturali armatura a taglio Soletta di copertura

Piano Atrio D=60cm	Staffe	STATO LIMITE ULTIMO		
		$V_{Rd,ULS}$	$V_{Ed,ULS}$	Verifica
	Ø10/150/300	280	225.6	OK

Piano Mezzanino 1 D=60cm	Staffe	STATO LIMITE ULTIMO		
		$V_{Rd,ULS}$	$V_{Ed,ULS}$	Verifica
	Ø10/150/200	486	430.4	OK

Piano Mezzanino 2 Lato terreno D=100cm	Staffe	STATO LIMITE ULTIMO		
		$V_{Rd,ULS}$	$V_{Ed,ULS}$	Verifica
	Ø12/100/200	1785	1380	OK

Piano Mezzanino 2	Staffe	STATO LIMITE ULTIMO		
		$V_{Rd,ULS}$	$V_{Ed,ULS}$	Verifica

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Porta Nuova - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSPNR003-0-2

<b>Lato diaframma</b>  <b>D=60cm</b>	$\emptyset 14/200/200$	671	622.8	<b>OK</b>
--	------------------------	-----	-------	-----------

Si osserva quindi che dal confronto dei momenti flettenti massimi allo SLU di ciascuna sezione, si verifica che  $M_{Rd,ULS} < M_{Ed,ULS}$ ; così come per il taglio  $V_{Rd,ULS} < V_{Ed,ULS}$ .

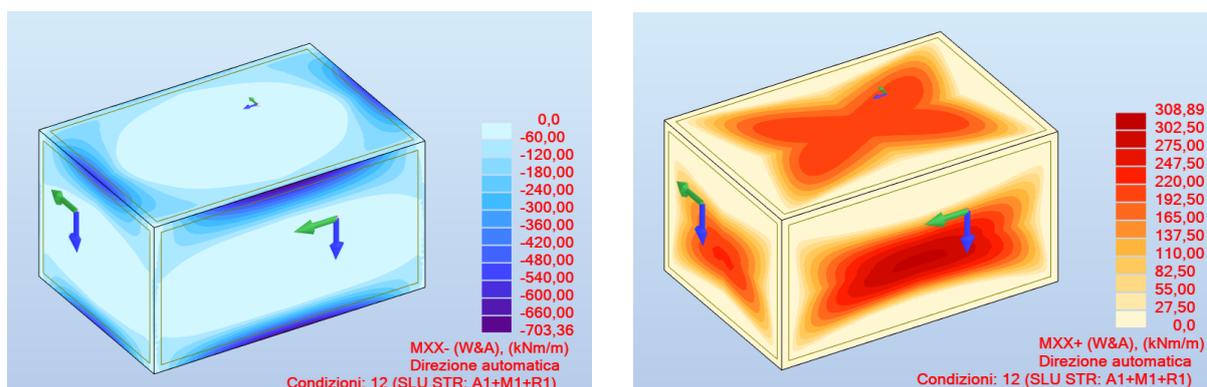
Dal confronto dei momenti flettenti massimi  $M_{max}$  per SLE con i momenti limite  $M_{lim}$  di ciascuna sezione tipologica utilizzata, si verifica che  $M_{Ed,SLE} < M_{lim,SLE}$ .

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Porta Nuova - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSPNR003-0-2

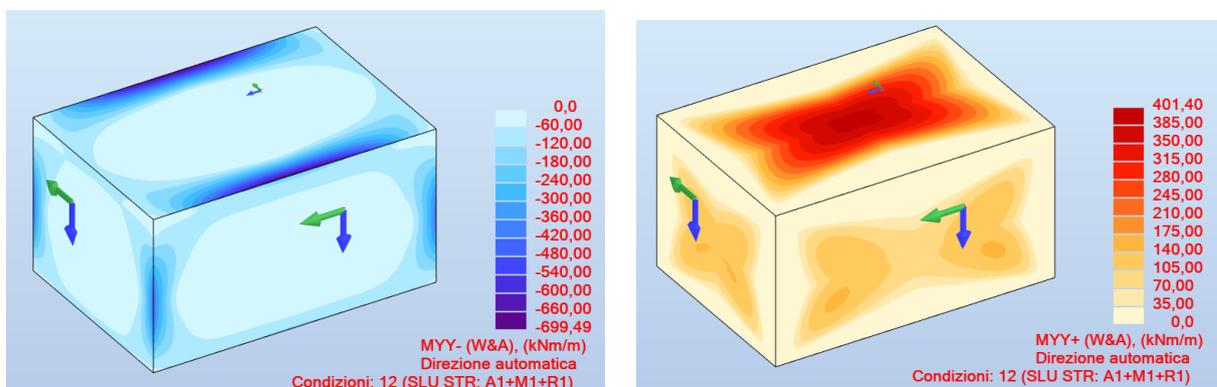
## APPENDICE L

Di seguito sono riportati i risultati delle analisi dei vani ventilazione in termini di sollecitazioni per unità di lunghezza:  $M_{xx}$ ,  $M_{yy}$ ,  $Q(1-2)$ :

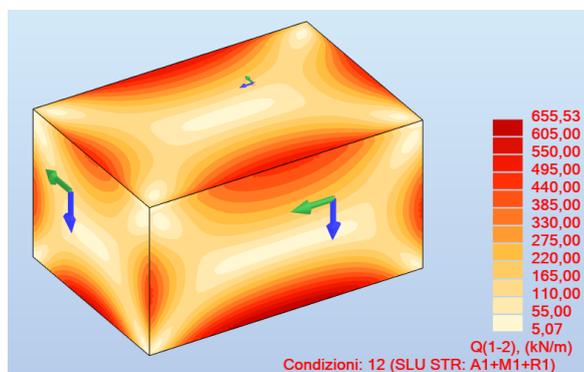
**SLU STR A1+M1+R1**



**Figura 63. Momento flettente  $M_{XX}$  Lembo superiore e  $M_{XX}$  Lembo inferiore**



**Figura 64. Momento flettente  $M_{YY}$  Lembo superiore e  $M_{YY}$  Lembo inferiore**



**Figura 65. Taglio combinato**



SLU GEO A2+M2+R2

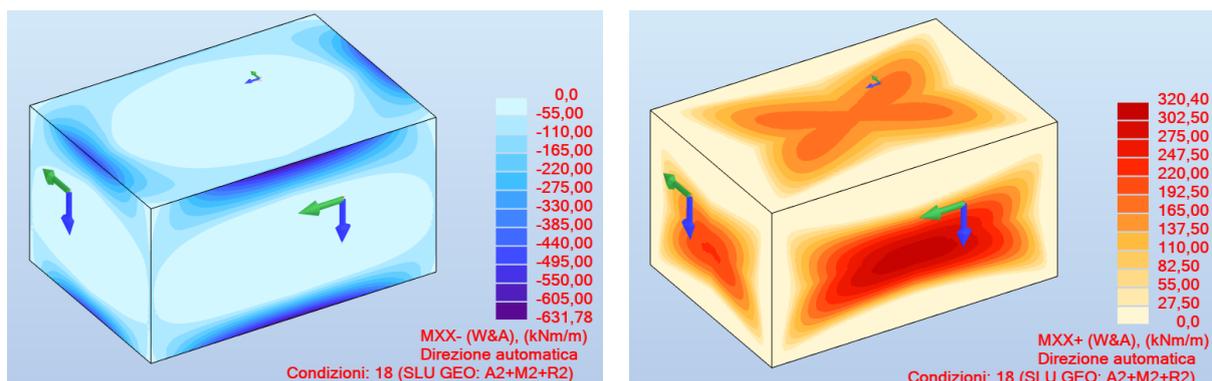


Figura 66. Momento flettente MXX Lembo superiore e MXX Lembo inferiore

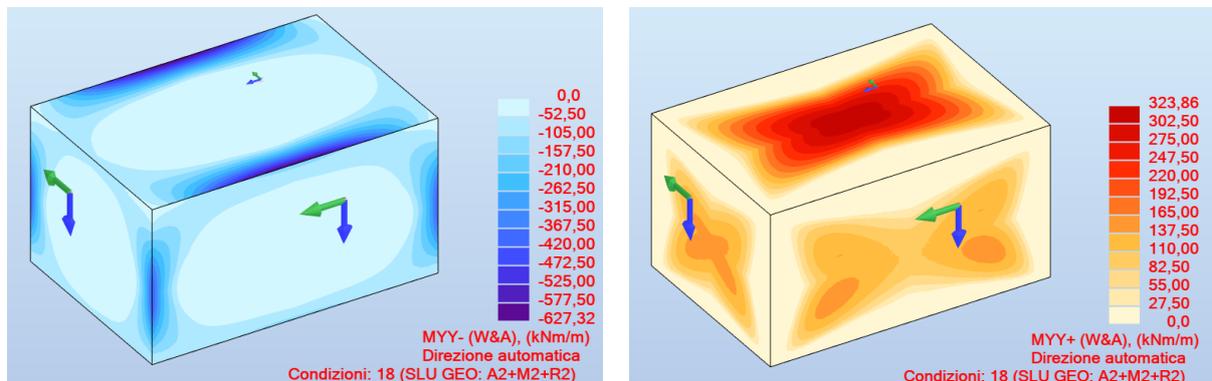


Figura 67. Momento flettente MYY Lembo superiore e MYY Lembo inferiore

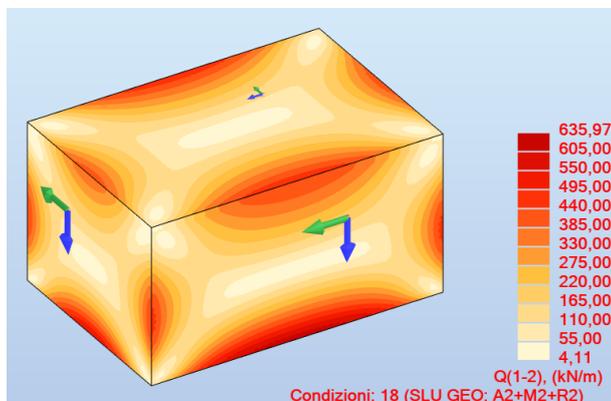


Figura 68. Taglio combinato



SLU STR SISMA X

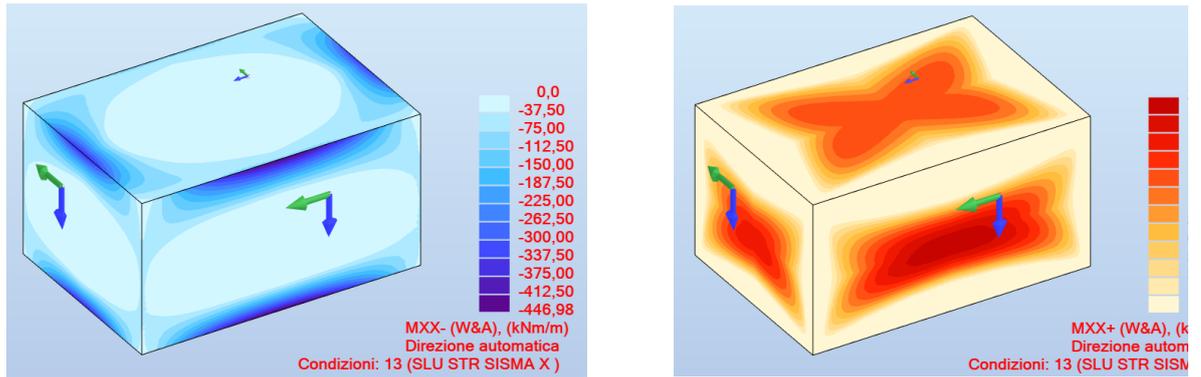


Figura 69. Momento flettente MXX Lembo superiore e MXX Lembo inferiore

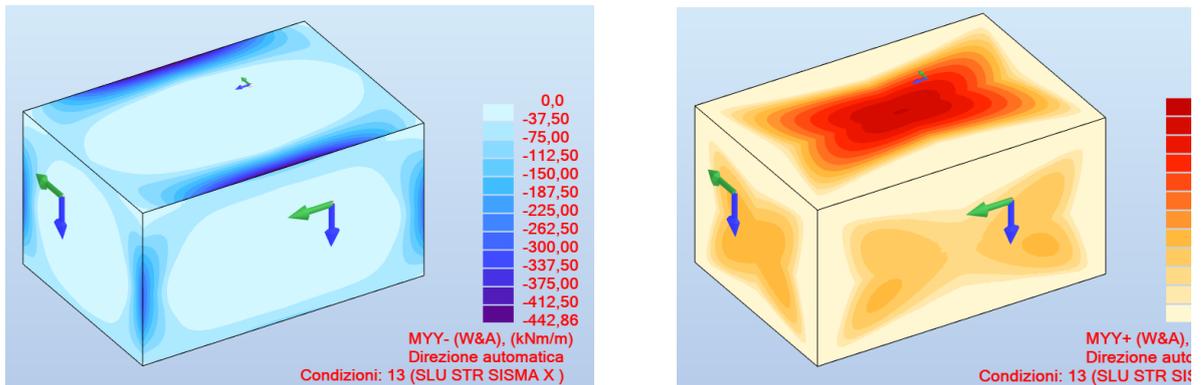


Figura 70. Momento flettente MYY Lembo superiore e MYY Lembo inferiore

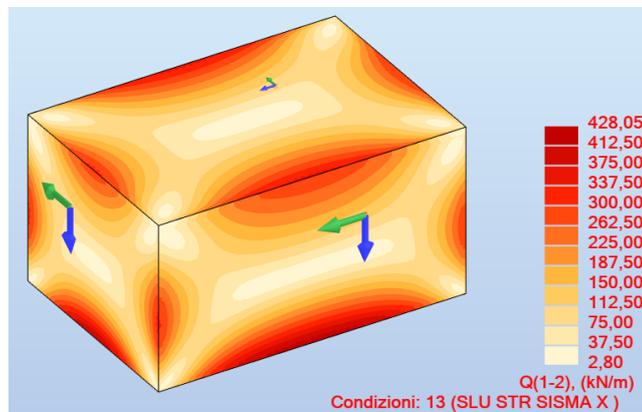


Figura 71. Taglio combinato



SLU STR SISMA Y

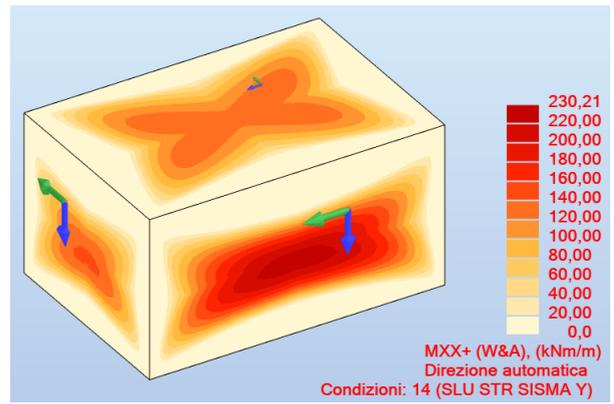
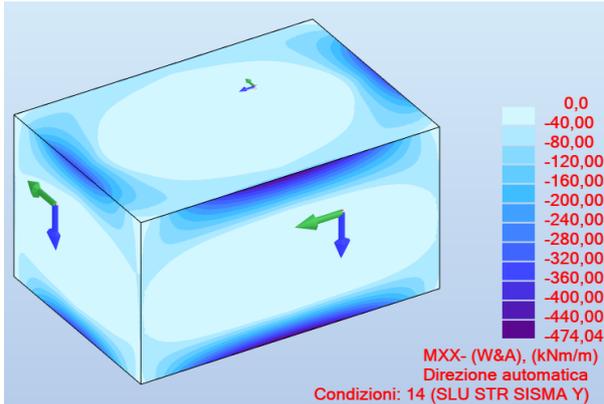


Figura 72. Momento flettente MXX Lembo superiore e MXX Lembo inferiore

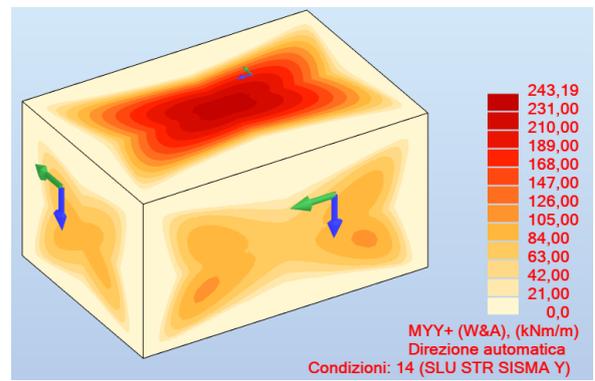
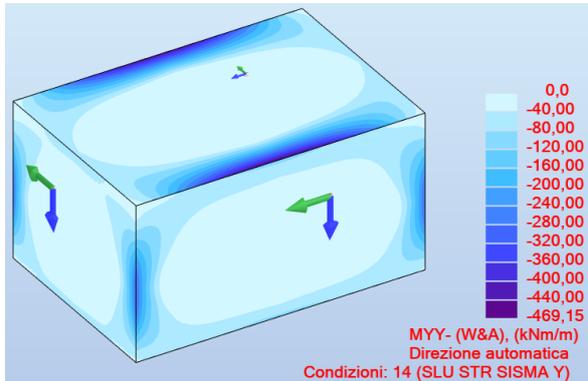


Figura 73. Momento flettente MYY Lembo superiore e MYY Lembo inferiore

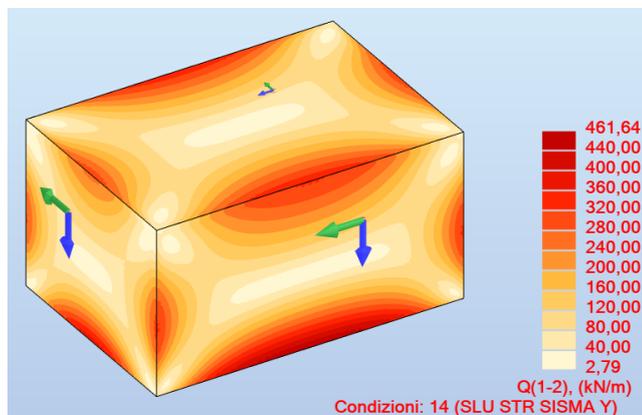


Figura 74. Taglio combinato



SLU GEO SISMA X

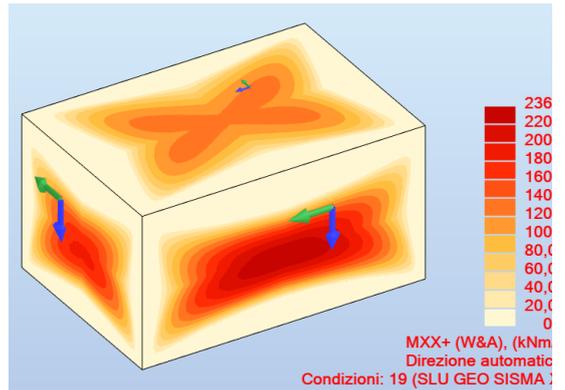
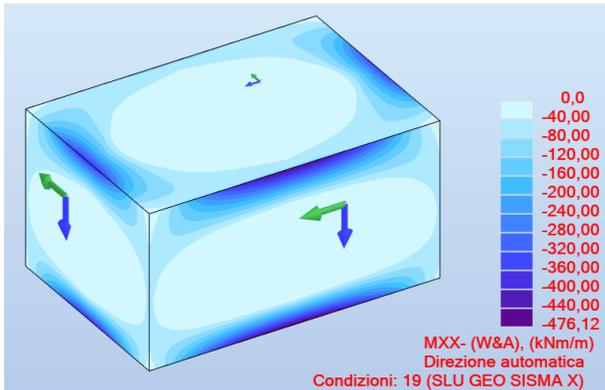


Figura 75. Momento flettente MXX Lembo superiore e MXX Lembo inferiore

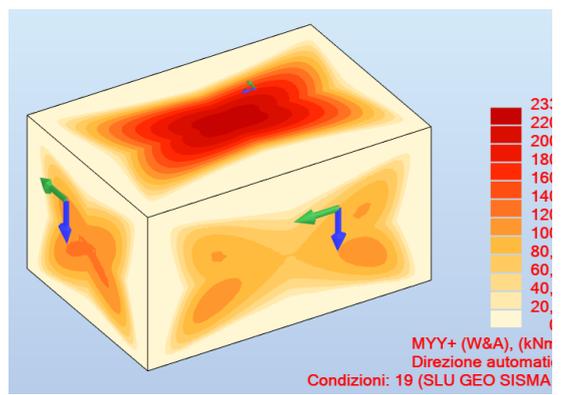
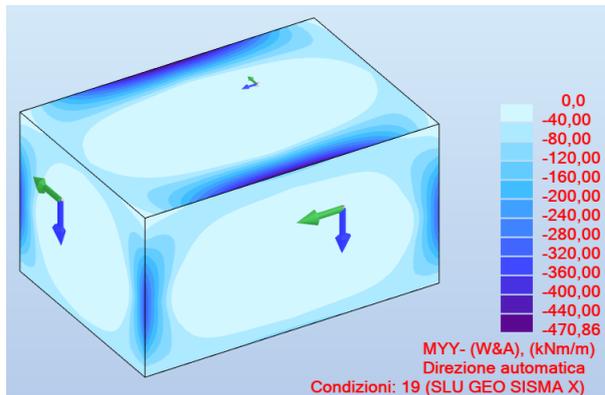


Figura 76. Momento flettente MYY Lembo superiore e MYY Lembo inferiore

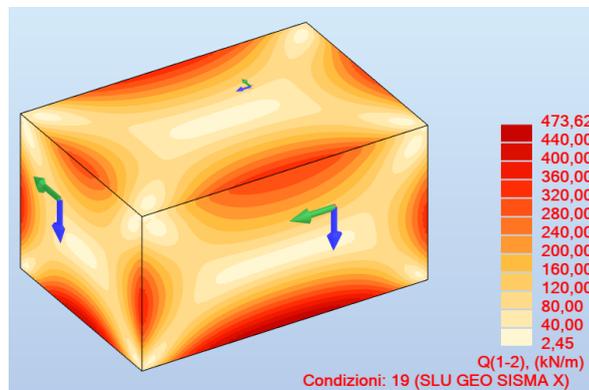


Figura 77. Taglio combinato



SLU GEO SISMA Y

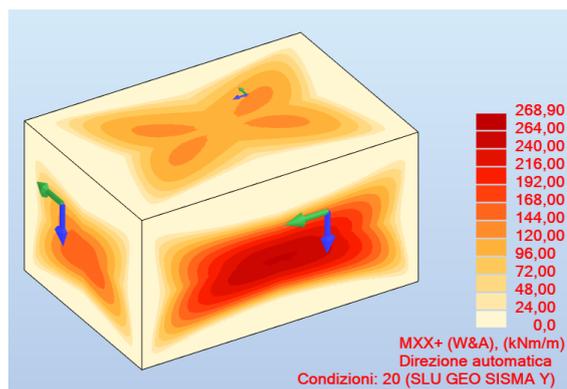
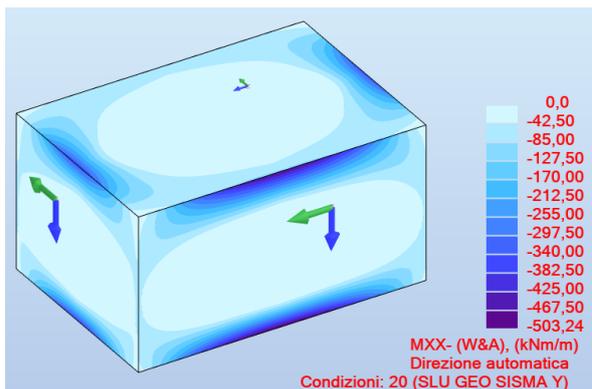


Figura 78. Momento flettente MXX Lembo superiore e MXX Lembo inferiore

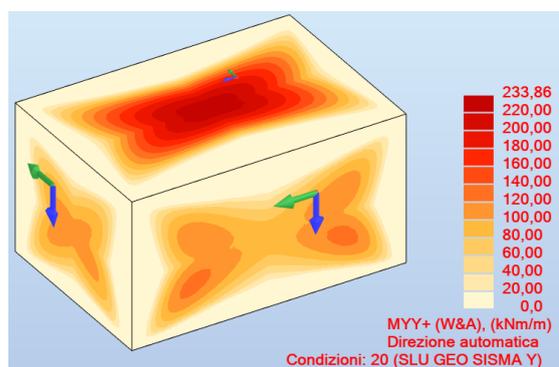
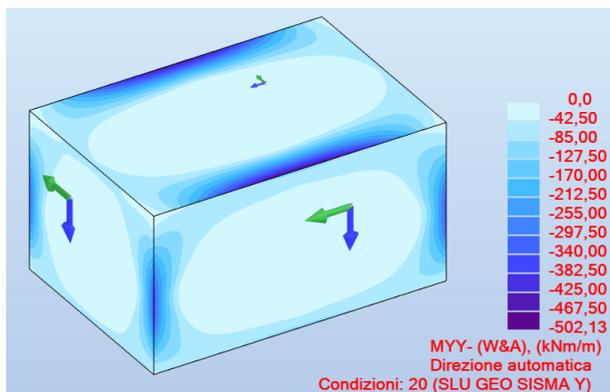


Figura 79. Momento flettente MYY Lembo superiore e MYY Lembo inferiore

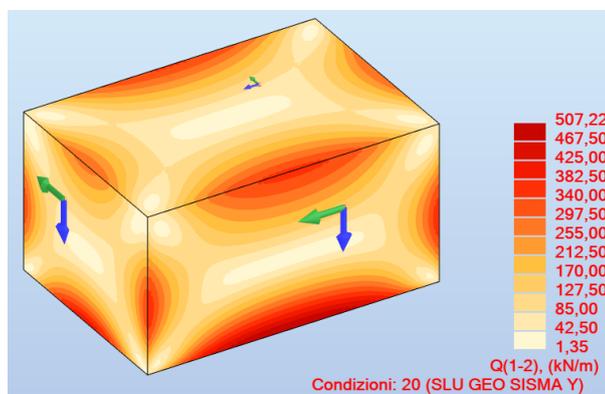


Figura 80. Taglio combinato



SLE RARA

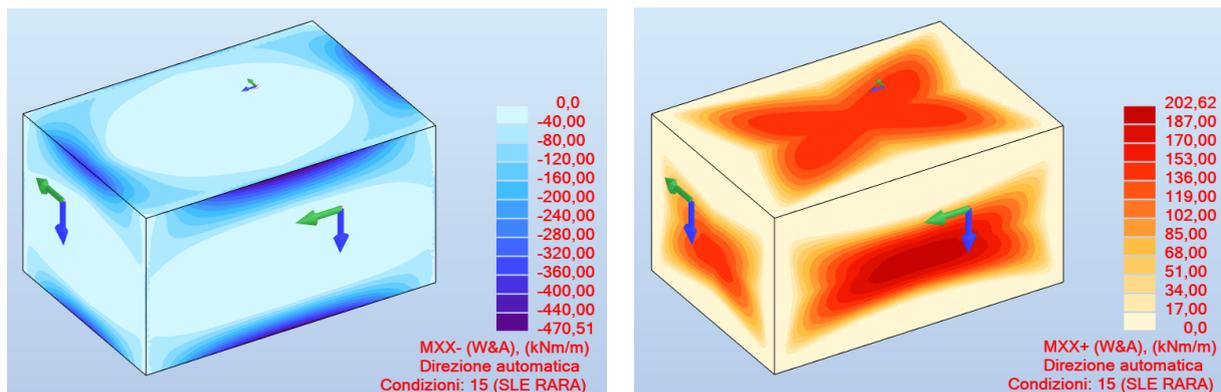


Figura 81. Momento flettente MXX Lembo superiore e MXX Lembo inferiore

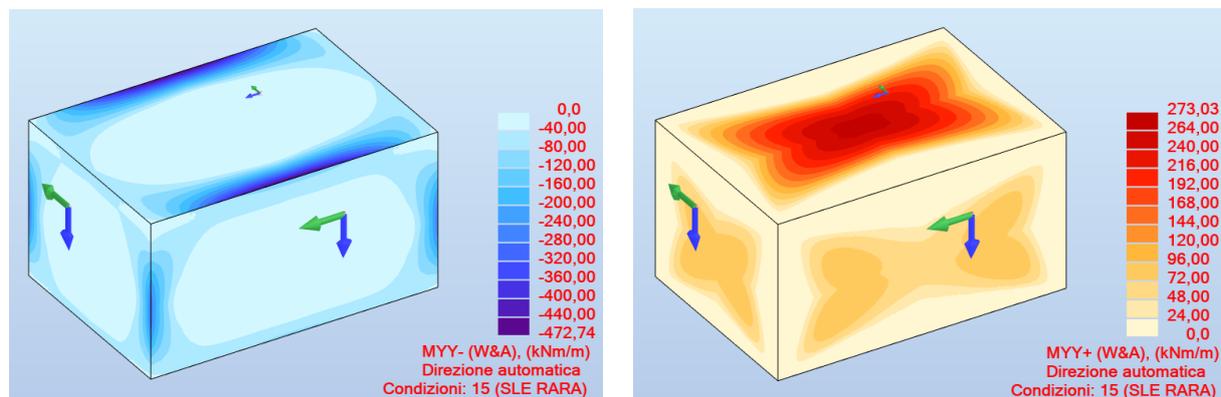


Figura 82. Momento flettente MYY Lembo superiore e MYY Lembo inferiore

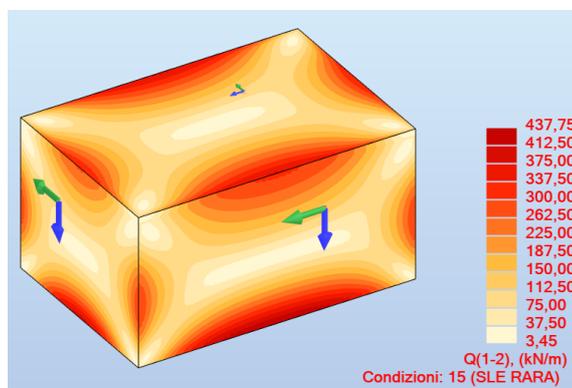


Figura 83. Taglio combinato



SLE FREQUENTE

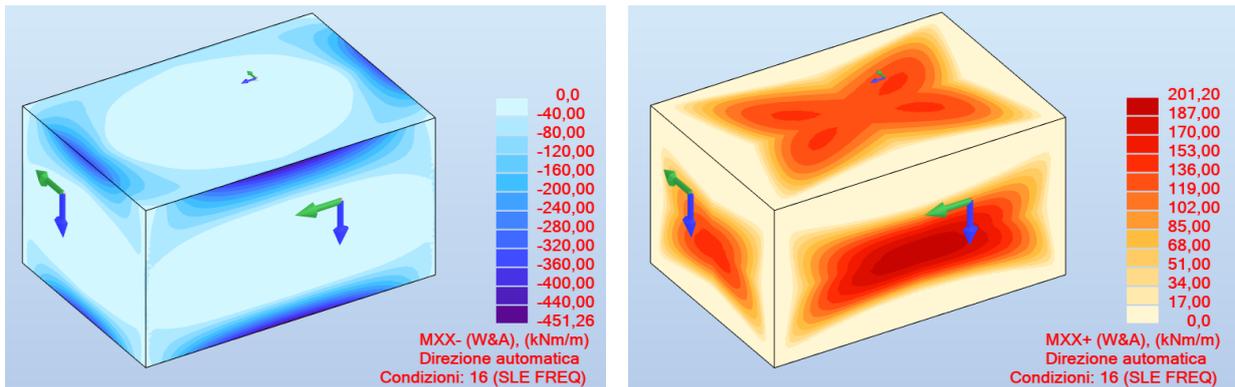


Figura 84. Momento flettente MXX Lembo superiore e MXX Lembo inferiore

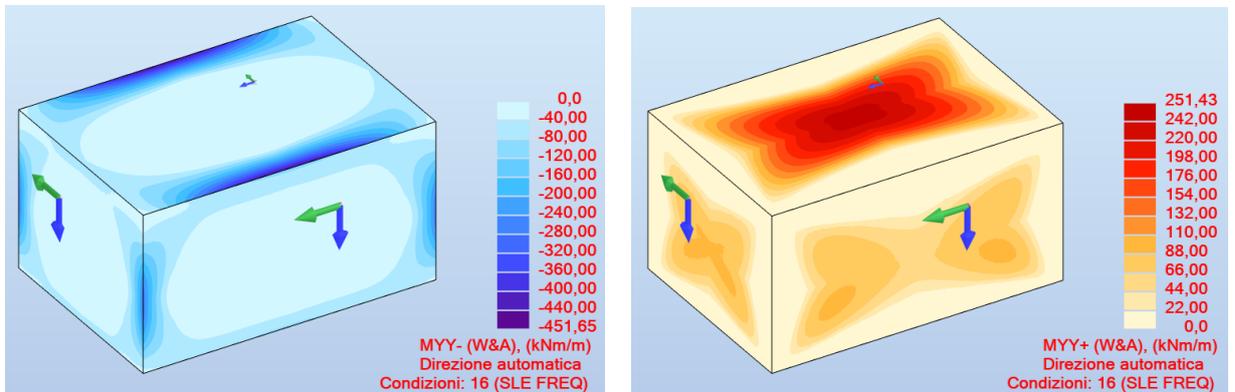


Figura 85. Momento flettente MYM Lembo superiore e MYM Lembo inferiore

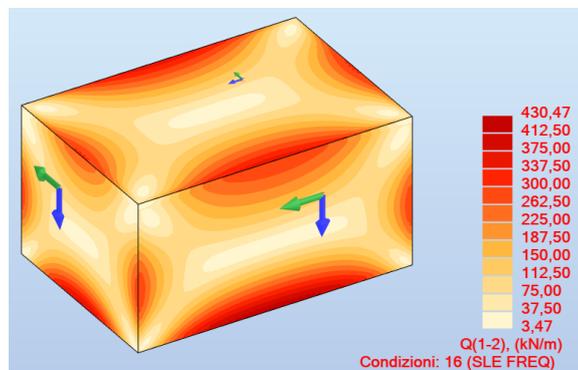


Figura 86. Taglio combinato



SLE QUASI PERMANENTE

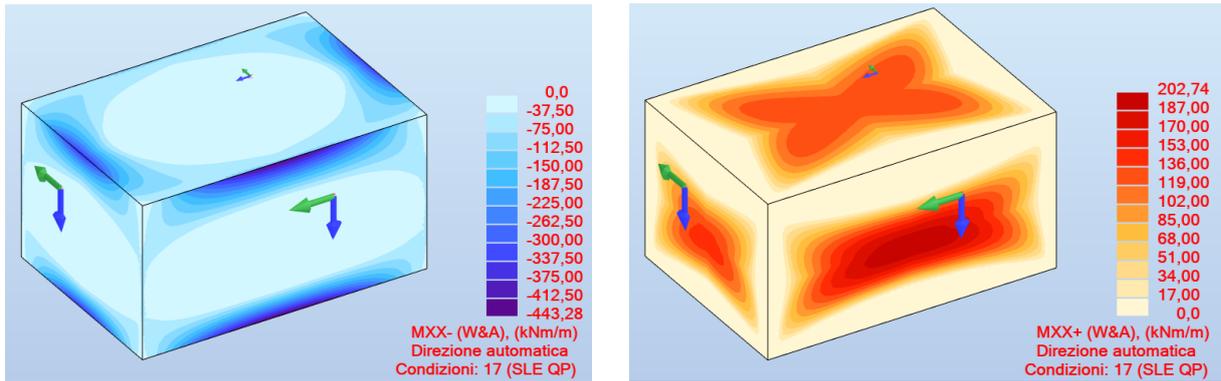


Figura 87. Momento flettente MXM Lembo superiore e MXM Lembo inferiore

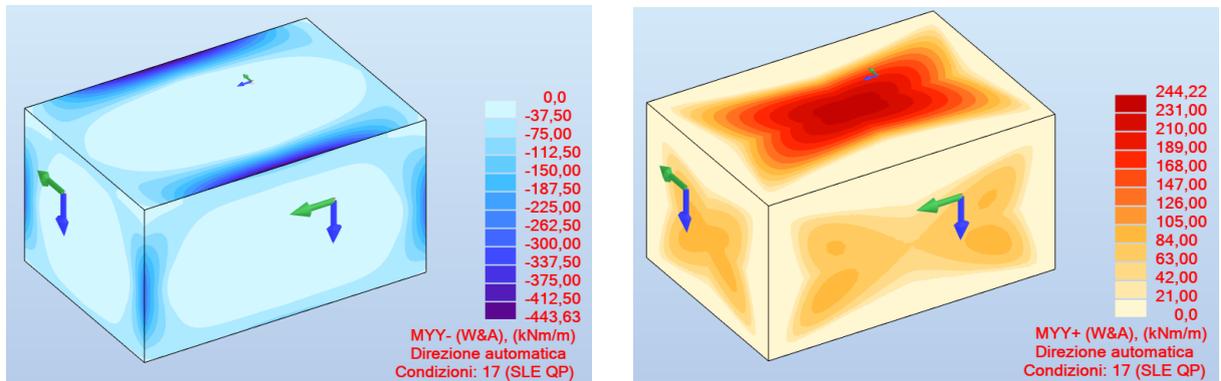


Figura 88. Momento flettente MYM Lembo superiore e MYM Lembo inferiore

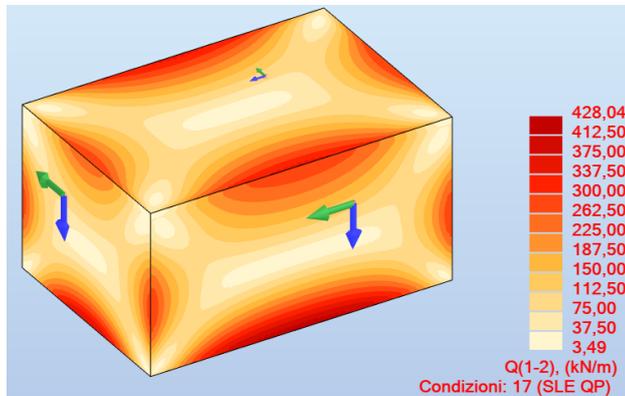


Figura 89. Taglio combinato



INVILUPPO SLU SOLETTA DI COPERTURA

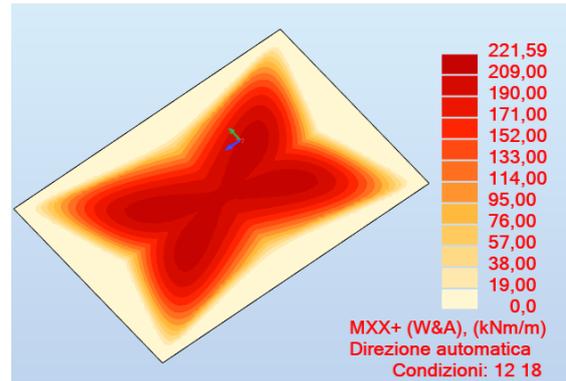
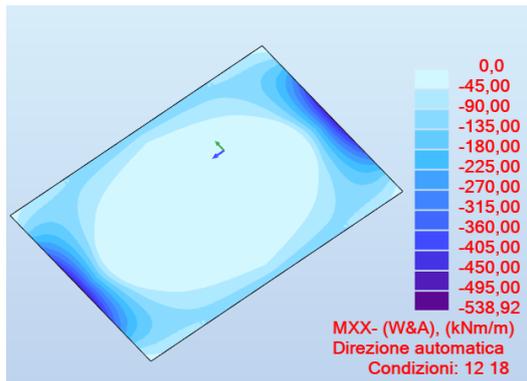


Figura 90. Momento flettente MXX Lembo Superiore e MXX Lembo Inferiore

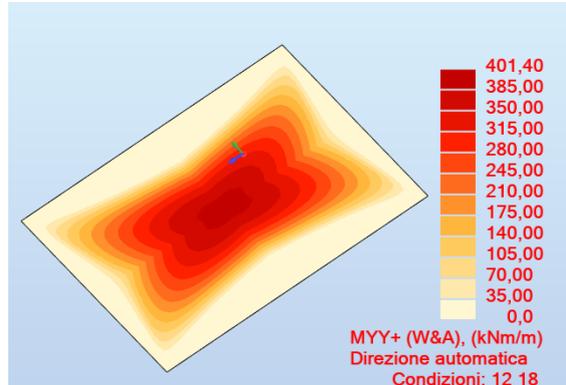
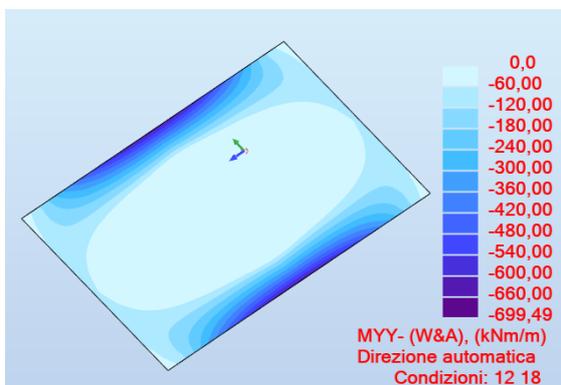


Figura 91. Momento flettente MYX Lembo Superiore e MYX Lembo Inferiore

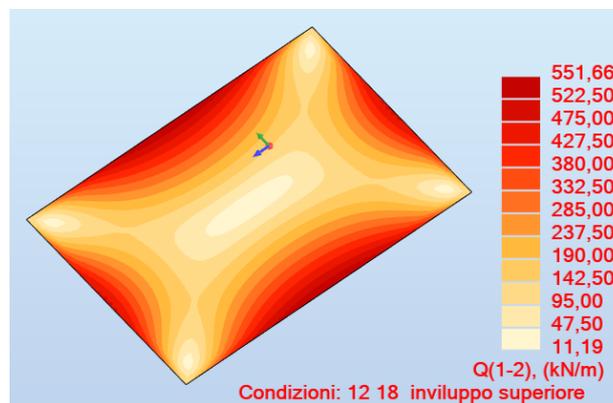


Figura 92. Taglio combinato



INVILUPPO SLU PARETI

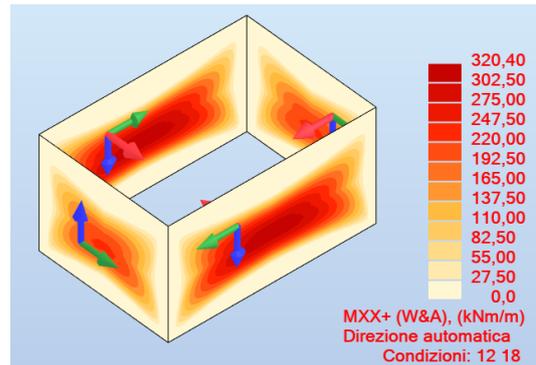
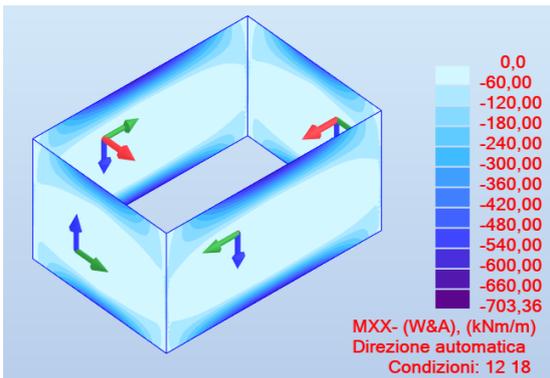


Figura 93. Momento flettente MXX Lembo Esterno e MXX Lembo Interno

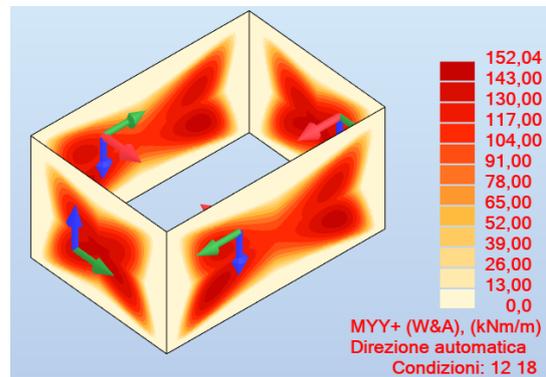
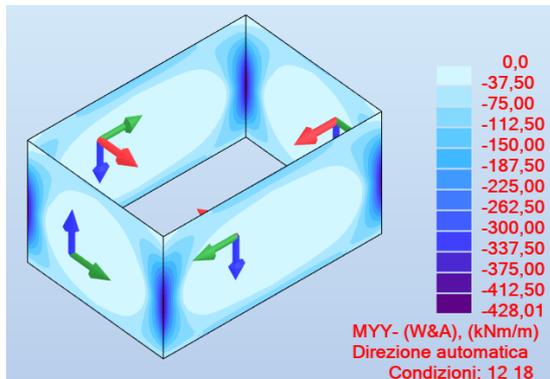


Figura 94. Momento flettente MY Y Lembo Esterno e MY Y Lembo Interno

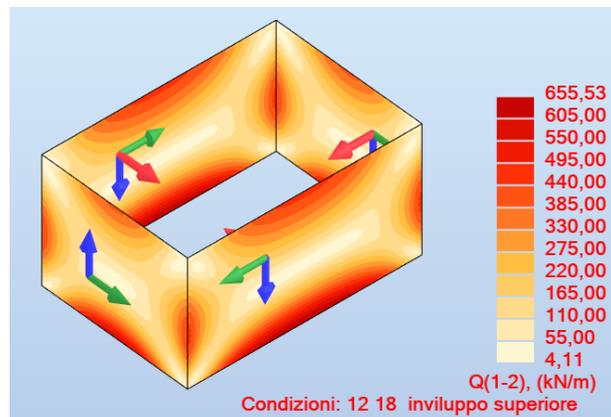


Figura 95. Taglio combinato



INVILUPPO SLU SOLETTA DI FONDO

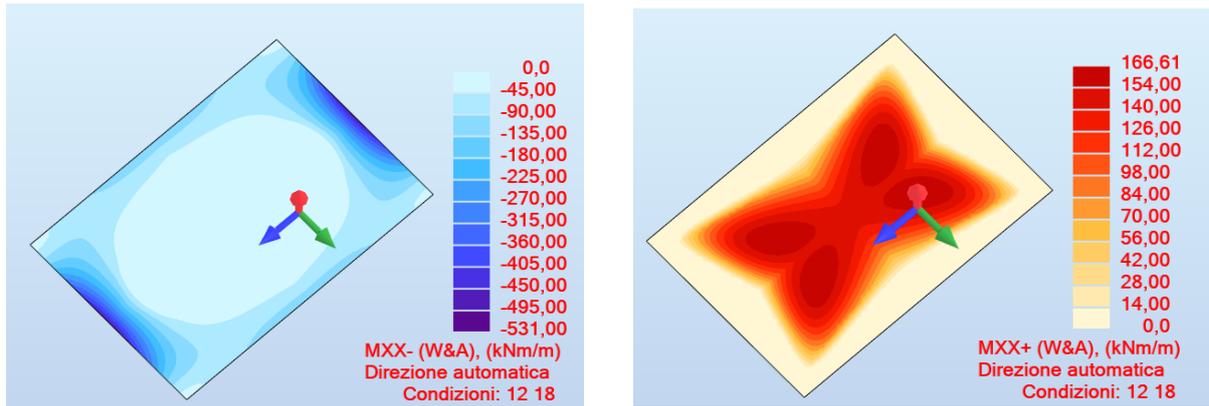


Figura 96. Momento flettente MXX Lembo Superiore e MXX Lembo Inferiore

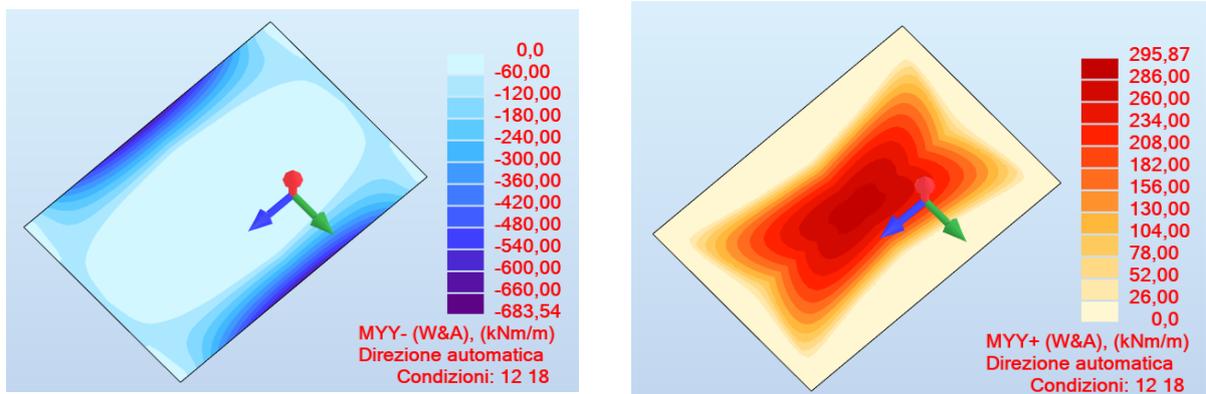


Figura 97. Momento flettente MYX Lembo Superiore e MYX Lembo Inferiore

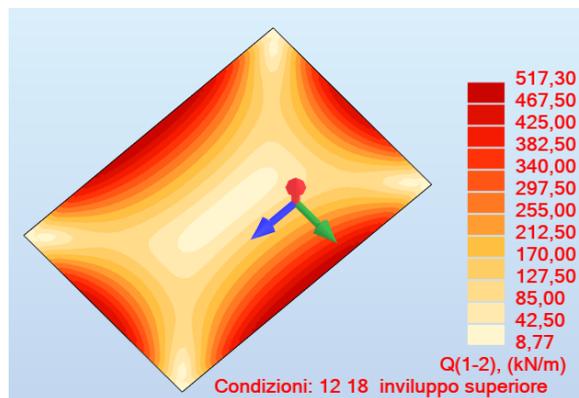


Figura 98. Taglio combinato



INVILUPPO SLE SOLETTA DI COPERTURA

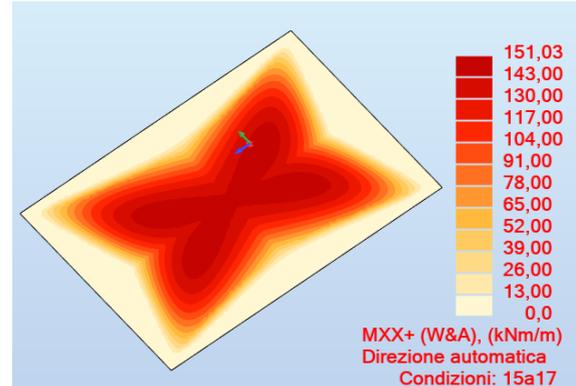
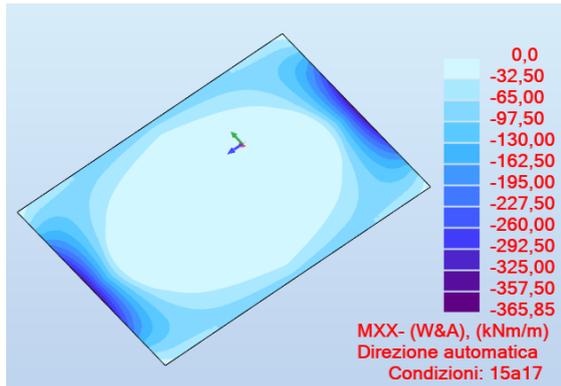


Figura 99. Momento flettente MXX Lembo Superiore e MXX Lembo Inferiore

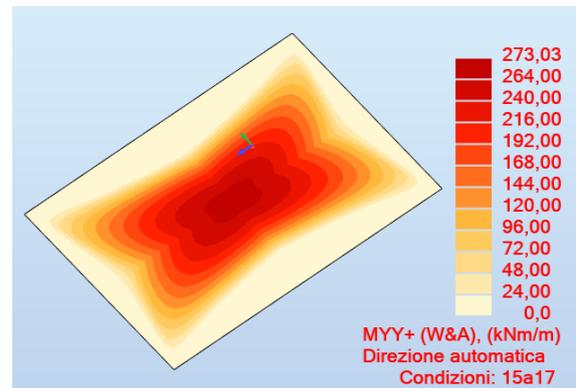
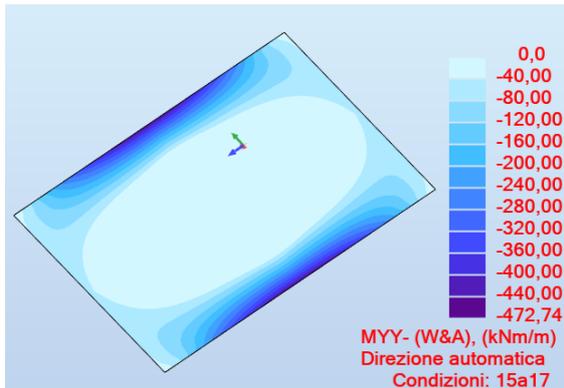


Figura 100. Momento flettente MYY Lembo Superiore e MYY Lembo Inferiore

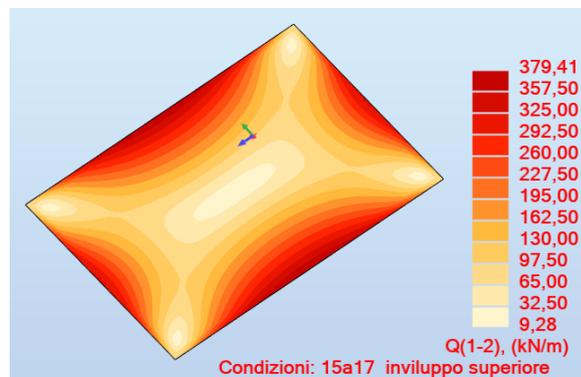


Figura 101. Taglio combinato



INVILUPPO SLE PARETI

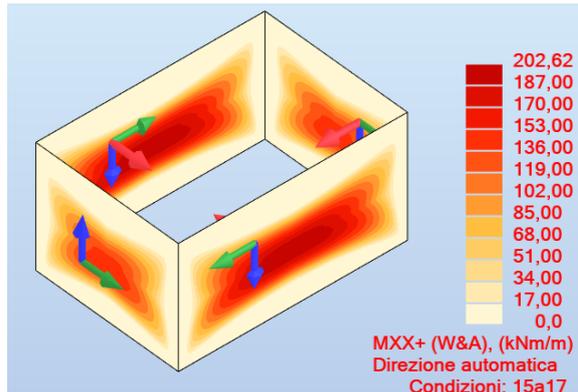
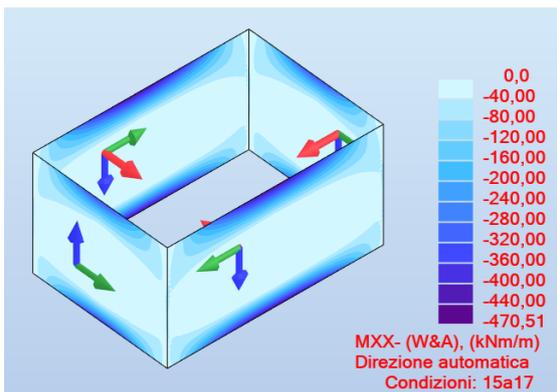


Figura 102. Momento flettente MXX Lembo Esterno e MXX Lembo Interno

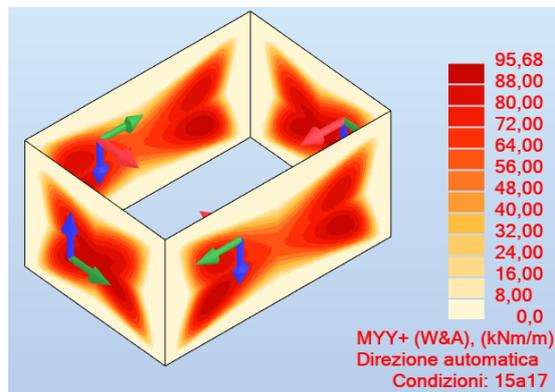
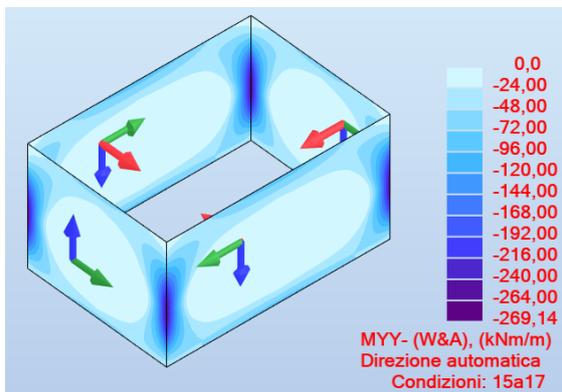


Figura 103. Momento flettente MYY Lembo Esterno e MYY Lembo Interno

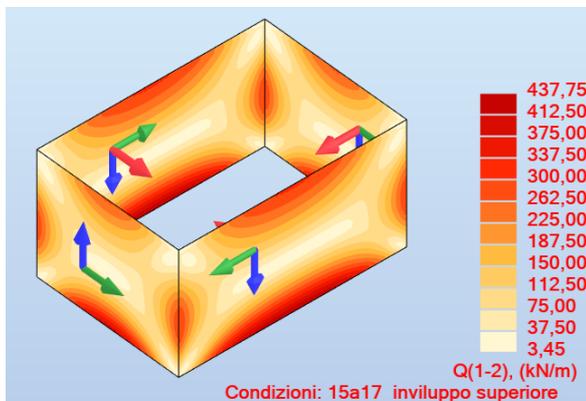


Figura 104. Taglio combinato



INVILUPPO SLE SOLETTA DI FONDO

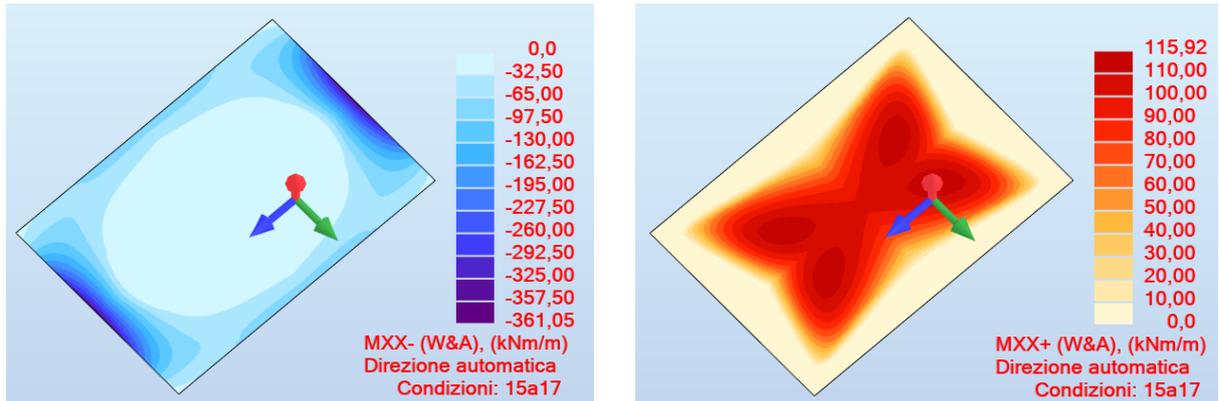


Figura 105. Momento flettente MXX Lembo Superiore e MXX Lembo Inferiore

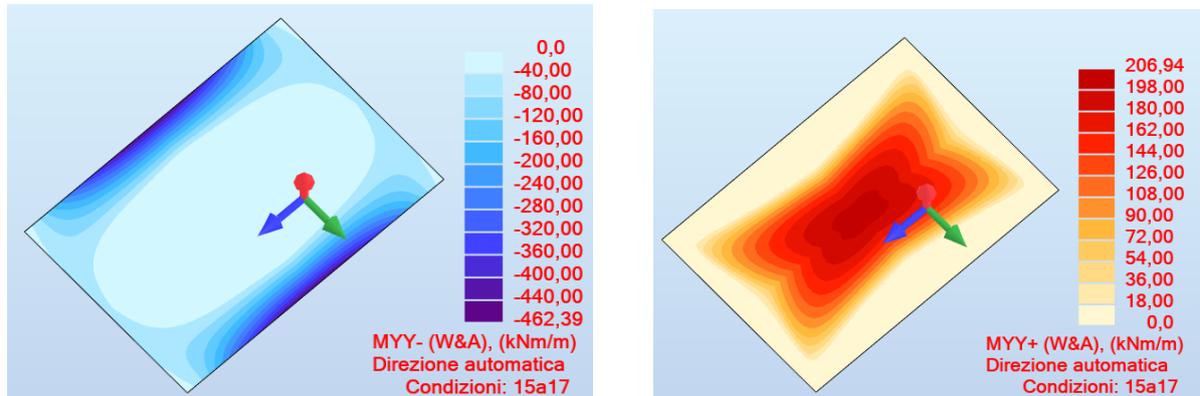


Figura 106. Momento flettente MYY Lembo Superiore e MYY Lembo Inferiore

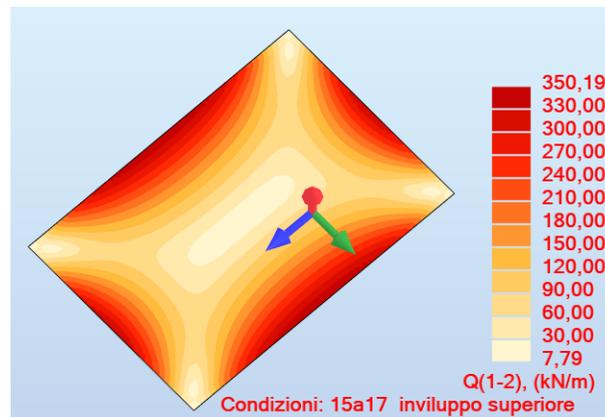


Figura 107. Taglio combinato

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Porta Nuova - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSPNR003-0-2

### **Verifiche strutturali**

Di seguito sono riportate le verifiche strutturali allo Stato Limite Ultimo, così come le verifiche allo Stato Limite di Esercizio considerando i rispettivi involucri di sollecitazioni appena mostrati. In entrambi i casi sono stati depurati i valori di picco e sono stati presi in considerazione i valori di momento negativo e taglio sulle facce degli elementi e non sull'asse neutro.

Per la verifica a taglio, l'angolo d'inclinazione della biella compressa è stata posta pari a 35°.

Nel caso delle verifiche allo Stato Limite di Esercizio sono stati utilizzati per la verifica delle tensioni in esercizio, controllo della fessurazione e deformazione i valori limite per la combinazione quasi permanente; il momento resistente limite  $M_{lim}$  nella condizione dello stato limite di esercizio (SLE) è determinato dalla seguente condizione:

$$M_{lim} = \min [ M_{0.30} ; M_{s_c} ; M_{s_s} ]$$

Dove,

$$M_{0.30} = M_{max} \text{ per una fessura limite } w_2 = 0,30\text{mm} \quad \text{NTC §4.1.2.2.4.}$$

$$M_{s_c} = M_{max} \text{ per } s_{c,max} = 0,45 f_{ck} \quad \text{NTC §4.1.2.2.5.1.}$$

$$M_{s_s} = M_{max} \text{ per } s_{s,max} = 0,80 f_{yk} \quad \text{NTC §4.1.2.2.5.2.}$$

**Tabella 31 Verifiche strutturali armatura principale Soletta di copertura**

	Posizione	Armatura			STATO LIMITE ULTIMO			STATO LIMITE DI ESERCIZIO		
					$M_{Rd,ULS}$	$M_{Ed,ULS}$	Verifica	$M_{Rd,lim SLE}$	$M_{Ed,SLS}$	Verifica
Soletta di copertura	Zona laterale	Longitudinale	Superiore	Ø26/150	-708	-539	OK	-395	-315	OK
			Inferiore	Ø20/150						
		Trasversale	Superiore	Ø26/150	-708	-520	OK	-395	-360	OK
			Inferiore	Ø20/150						
	Zona centrale	Longitudinale	Superiore	Ø20/150	435	222	OK	235	151	OK
			Inferiore	Ø20/150						
		Trasversale	Superiore	Ø26/150	708	401	OK	602	273	OK
			Inferiore	Ø20/150						

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Porta Nuova - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSPNR003-0-2

**Tabella 32 Verifiche strutturali armatura principale Muri**

	Posizione	Armatura		STATO LIMITE ULTIMO			STATO LIMITE DI ESERCIZIO			
				M <sub>Rd,ULS</sub>	M <sub>Ed,ULS</sub>	Verifica	M <sub>Rd,lim SLE</sub>	M <sub>Ed,SLS</sub>	Verifica	
				<b>Muri</b>	<b>Estremi</b>	<b>Longitudinale</b>	Superiore	Ø26/150	-708	-590
Inferiore	Ø20/150									
<b>Trasversale</b>	Superiore	Ø20/150	-435			-350	<b>OK</b>	-235	-185	<b>OK</b>
	Inferiore	Ø20/150								
<b>Centro</b>	<b>Longitudinale</b>	Superiore	Ø20/150		435	309	<b>OK</b>	235	203	<b>OK</b>
		Inferiore	Ø20/150							
	<b>Trasversale</b>	Superiore	Ø18/150	355	147	<b>OK</b>	170	96	<b>OK</b>	
		Inferiore	Ø18/150							

**Tabella 33 Verifiche strutturali armatura principale Soletta di fondo**

	Posizione	Armatura		STATO LIMITE ULTIMO			STATO LIMITE DI ESERCIZIO			
				M <sub>Rd,ULS</sub>	M <sub>Ed,ULS</sub>	Verifica	M <sub>Rd,lim SLE</sub>	M <sub>Ed,SLS</sub>	Verifica	
				<b>Soletta di fondo</b>	<b>Zona laterale</b>	<b>Longitudinale</b>	Superiore	Ø26/150	-708	-435
Inferiore	Ø20/150									
<b>Trasversale</b>	Superiore	Ø26/150	-708			-580	<b>OK</b>	-395	-365	<b>OK</b>
	Inferiore	Ø20/150								
<b>Zona centrale</b>	<b>Longitudinale</b>	Superiore	Ø20/150		435	167	<b>OK</b>	235	116	<b>OK</b>
		Inferiore	Ø20/150							
	<b>Trasversale</b>	Superiore	Ø20/150		435	296	<b>OK</b>	235	207	<b>OK</b>
		Inferiore	Ø20/150							

**Tabella 34 Verifiche strutturali armatura a taglio Soletta di copertura**

Soletta di copertura	Posizione	Staffe	STATO LIMITE ULTIMO		
			V <sub>Rd,ULS</sub>	V <sub>Ed,ULS</sub>	Verifica
			<b>Angoli</b>	Ø10/150/150	968
<b>Centro</b>	Ø10/150/300	416	275	<b>OK</b>	

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Porta Nuova - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSPNR003-0-2

**Tabella 35 Verifiche strutturali armatura a taglio Muri**

Muri	Posizione	Staffe	STATO LIMITE ULTIMO		
			$V_{Rd,ULS}$	$V_{Ed,ULS}$	Verifica
	Angoli	Ø8/150/150	621	610	OK
	Centro	Ø8/150/300	266	247	OK

**Tabella 36 Verifiche strutturali armatura a taglio Soletta di fondo**

Soletta di fondo	Posizione	Staffe	STATO LIMITE ULTIMO		
			$V_{Rd,ULS}$	$V_{Ed,ULS}$	Verifica
	Angoli	Ø8/150/150	621	571	OK
	Centro	Ø8/150/300	266	253	OK

Si osserva quindi che dal confronto dei momenti flettenti massimi allo SLU di ciascuna sezione, si verifica che  $M_{Rd,ULS} < M_{Ed,ULS}$ ; così come per il taglio  $V_{Rd,ULS} < V_{Ed,ULS}$ .

Dal confronto dei momenti flettenti massimi  $M_{max}$  per SLE con i momenti limite  $M_{lim}$  di ciascuna sezione tipologica utilizzata, si verifica che  $M_{Ed,SLE} < M_{lim,SLE}$ .

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Porta Nuova - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSPNR003-0-2

## **Verifiche geotecniche**

### **Capacità portante Vani ventilazione**

La verifica della capacità portante della soletta di base è riportata nel seguito.

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

$$q_{ult} = (cN_c d_c s_c i_c g_c b_c + qN_q d_q s_q i_q g_q b_q + \frac{1}{2} \gamma B' N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma g_\gamma b_\gamma)$$

Con:

$q_{ult}$  è la capacità portante ultima

$N_c$ ,  $N_q$ ,  $N_\gamma$  sono i fattori di capacità; portante relativi a coesione, sovraccarico e peso proprio del terreno

$d_c$ ,  $d_q$ ,  $d_\gamma$  sono fattori correttivi relativi alla profondità del piano di posa

$s_c$ ,  $s_q$ ,  $s_\gamma$  sono fattori correttivi relativi alla dimensione della fondazione

$i_c$ ,  $i_q$ ,  $i_\gamma$  sono fattori correttivi relativi all'inclinazione della fondazione

$g_c$ ,  $g_q$ ,  $g_\gamma$  sono fattori correttivi relativi alla pendenza del piano campagna

$b_c$ ,  $b_q$ ,  $b_\gamma$  sono fattori correttivi relativi all'inclinazione del piano di posa

$q$  è la tensione verticale efficace al livello della base della fondazione

Nella applicazione presentata, i coefficienti  $g$  e  $b$  risultano uguali a 1.

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

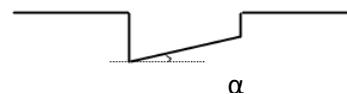
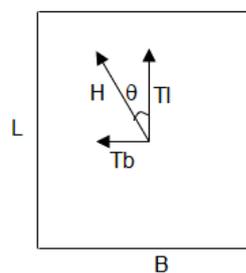


Tabella 37 Verifica capacità portante vasca di accumulo

Parametri geotecnici		
$c_k$	10	kPa
$\phi_k$	36	°
$\gamma_k$	19	kN/mc
Dimensione fondazione		
B	9	m
L	13	m
$\theta$ Inclinazione del carico	0	°
$\alpha$ Inclinazione piano di posa	0	°
$\beta$ Inclinazione piano campagna	0	°
Profondità piano di posa		
Profondità	6	m

Tensione efficace al piano di posa		
$\sigma'_v$ (Analisi numerica)	100	kPa

Forza agente		
Carico caratteristico	14789	kN
Fattore sicurezza parziale	1,4	
Carico di progetto	20704	kN



Capacità portante	
$S_c$	1,52
$S_q$	1,41
$S_\gamma$	0,72
$d_c$	1,24
$d_q$	1,15
$i_c i_q$	1,00
$i_\gamma$	1,00
$g_c$	1,00
$g_q$	1,00
$g_\gamma$	1,00
$b_c$	1,00
$b_q$	1,00



CITTA' DI TORINO

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

Stazione Porta Nuova - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione

MTL2T1A2DSTRSPNR003-0-2

$b_{\gamma}$	1,00
$N_c$	50,53
$N_q$	37,71
$N_{\gamma}$	40,01

$q_c$	947	kPa
$q_q$	6076	kPa
$q_{\gamma}$	2473	kPa

$q_{ult}$	9495	kPa
Fattore sicurezza parziale	1,35	
<b>Resistenza di progetto</b>	<b>822939</b>	<b>kN</b>
<b>Carico di progetto</b>	<b>20704</b>	<b>kN</b>
	<b>Verificato</b>	