

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



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

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

<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		 <b>INFRA.TO</b> <i>infrastrutture per la mobilità</i>												<b>INFRATRASPORTI.TO S.r.l.</b>	
DIRETTORE PROGETTAZIONE Responsabile integrazione discipline specialistiche	IL PROGETTISTA														
Ing. R. Crova Ordine degli Ingegneri della Provincia di Torino n. 60385	Ing. F. Rizzo Ordine degli Ingegneri della Provincia di Torino n. 9337K	<b>STRUTTURE E METODI COSTRUTTIVI STAZIONI SPECIALI – STAZIONE CIMAROSA/TABACCHI RELAZIONE DI CALCOLO OPERE DI SOSTEGNO E STRUTTURE ACCESSI STAZIONE</b>													
		ELABORATO								REV.		SCALA	DATA		
		MT	L2	T1	A1	D	STR	SCI	R	003	Int.	Est.	-	30/09/2022	
BIM MANAGER Geom. L. D'Accardi															

AGGIORNAMENTI

Fg. 1 di 1


REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	CONTROLLATO	APPROVATO	VISTO
0	EMISSIONE	22/12/21	VFI	ECA	FRI	RCR
1	EMISSIONE FINALE A SEGUITO DI VERIFICA PREVENTIVA	30/09/22	VFI	ECA	FRI	RCR
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-

<table border="1"> <tr> <td>LOTTO 1</td> <td>CARTELLA</td> <td>9.3.2</td> <td>3</td> <td>MTL2T1A1D</td> <td>STRSCIR003</td> </tr> </table>						LOTTO 1	CARTELLA	9.3.2	3	MTL2T1A1D	STRSCIR003	<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 1	CARTELLA	9.3.2	3	MTL2T1A1D	STRSCIR003													




## INDICE

<b>1</b>	<b>GENERALITA'</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>DOCUMENTI DI RIFERIMENTO</b>	<b>12</b>
<b>2.1</b>	<b>NORMATIVE DI RIFERIMENTO</b>	<b>12</b>
<b>3</b>	<b>CARATTERISTICHE DEI MATERIALI</b>	<b>13</b>
<b>3.1</b>	<b>CARATTERISTICHE DEI MATERIALI</b>	<b>13</b>
	<i>CALCESTRUZZO UTILIZZATO PER I SOLAI DI STAZIONE E STRUTTURE INTERNE</i>	<i>14</i>
<b>4</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA</b>	<b>15</b>
<b>5</b>	<b>OPERE TEMPORANEE</b>	<b>18</b>
<b>5.1</b>	<b>MODELLO DI CALCOLO</b>	<b>18</b>
5.1.1	CRITERI DI MODELLAZIONE	18
5.1.2	ANALISI DEI CARICHI	22
<b>5.2</b>	<b>RISULTATI DELL'ANALISI E VERIFICHE</b>	<b>23</b>
5.2.1	RISULTATI ANALISI NUMERICA	23
5.2.1.1	Schema A	23
5.2.1.2	Schema B	23
5.2.1.3	Schema C	24
5.2.2	VERIFICHE SLU-STR DELLA PARATIA	25
5.2.3	VERIFICHE SLU-GEO COLLASSO DELL'INSIEME TERRENO-OPERA	25
5.2.4	VERIFICA SLU-STR DEL PUNTONE	26
5.2.5	VERIFICA SLU-STR DEL CORDOLO DI SUPERFICIE	27
5.2.6	VERIFICA SLU-STR DELLA TRAVE DI RIPARTIZIONE	28
5.2.7	VERIFICA DEFORMAZIONI MASSIME DELLE STRUTTURE DI SOSTEGNO	28
<b>6</b>	<b>RIVESTIMENTI DEFINITIVI</b>	<b>31</b>
<b>6.1</b>	<b>PRINCIPALI ASSUNZIONI DELLA PROGETTAZIONE</b>	<b>31</b>
6.1.1	MODELLAZIONE NUMERICA E SCHEMATIZZAZIONE STRUTTURALE DEL MODELLO	31
6.1.2	CARATTERIZZAZIONE SISMICA	32
6.1.3	COMBINAZIONI DI CARICO	33
6.1.4	RIGIDENZE DEL SUOLO ADOTTATE NEI MODELLI NUMERICI	34
<b>6.2</b>	<b>ANALISI NUMERICA E VERIFICHE STRUTTURALI</b>	<b>35</b>
6.2.1	ACCESSO A SBALZO	35

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna</b>
Stazione Cimarosa/Tabacchi - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi di stazione	MTL2T1A1DSTRSCIR003-0-1

6.2.1.1	Carichi	36
6.2.1.2	Risultati dell'analisi e verifiche strutturali	39
6.2.2	ACCESSO CHIUSO	41
6.2.2.1	Carichi	42
6.2.2.2	Risultati dell'analisi e verifiche strutturali	46
6.2.3	VASCA ANTINCENDIO	48
6.2.3.1	Carichi	49
6.2.3.2	Risultati dell'analisi e verifiche strutturali	51
<b>7</b>	<b>VALIDAZIONE DEI MODELLI DI CALCOLO</b>	<b>53</b>
<hr/>		
	<b>APPENDICE A</b>	<b>59</b>
	<b>APPENDICE B</b>	<b>65</b>
	<b>APPENDICE C</b>	<b>68</b>
	<b>APPENDICE D</b>	<b>70</b>
	<b>APPENDICE E</b>	<b>74</b>
	<b>APPENDICE F</b>	<b>82</b>
	<b>APPENDICE G</b>	<b>86</b>
	<b>APPENDICE H</b>	<b>89</b>
	<b>APPENDICE I</b>	<b>92</b>
	<b>APPENDICE J</b>	<b>103</b>
	<b>APPENDICE K</b>	<b>111</b>
	<b>APPENDICE L</b>	<b>121</b>
<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE</b>	<b>122</b>
<b>2</b>	<b>DEFINIZIONE DEI SUPPORTI PER GLI SCAVI</b>	<b>124</b>
<hr/>		
<b>2.1</b>	<b>OUTPUT</b>	<b>127</b>
2.1.1	SOLLECITAZIONI PARATIA ACCESSO SPECIALE	127
2.1.2	SPOSTAMENTI PARATIA ACCESSO SPECIALE	130
2.1.3	SFORZO NORMALE PUNTONE ACCESSO SPECIALE	130
<b>2.2</b>	<b>VERIFICHE STRUTTURALI</b>	<b>131</b>
2.2.1	VERIFICA A FLESSIONE DEI DIAFRAMMI	131
2.2.2	VERIFICA A TAGLIO DEI DIAFRAMMI	132

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna</b>
Stazione Cimarosa/Tabacchi - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi di stazione	MTL2T1A1DSTRSCIR003-0-1

2.2.3	VERIFICA DEL PUNTONE	134
<b>2.3</b>	<b>VERIFICHE GEOTECNICHE</b>	<b>136</b>
2.3.1	VERIFICA DEL TAMPONE DI FONDO	136
2.3.2	STABILITÀ GLOBALE	140
<b>3</b>	<b>RIVESTIMENTO DEFINITIVO</b>	<b>142</b>
<b>3.1</b>	<b>SOLETTA DI COPERTURA</b>	<b>142</b>
<b>3.2</b>	<b>ALTRE STRUTTURE DEFINITIVE</b>	<b>149</b>

## INDICE DELLE FIGURE

Figura 1.	Schema A	8
Figura 2.	Schema B	9
Figura 3.	Schema C	10
Figura 4.	Disposizione in pianta diversi schemi di calcolo	11
Figura 5.	Modello di calcolo PLAXIS (Schema C)	19
Figura 6.	Modello costitutivo Hardening Soil	19
Figura 7.	Schema A - Mesh di calcolo Plaxis	23
Figura 8.	Schema B - Mesh di calcolo Plaxis	24
Figura 9.	Schema C - Mesh di calcolo Plaxis	24
Figura 10.	Particolare armatura trave di testa	27
Figura 11.	Spostamenti Totali - Schema A	28
Figura 12.	Spostamenti Totali - Schema B	29
Figura 13.	Spostamenti Totali - Schema C	29
Figura 14.	Schematizzazione metodo di Wood	32
Figura 15.	Modello numerico – Accesso schema a sbalzo	35
Figura 16.	Peso proprio – Accesso schema a sbalzo	36
Figura 17.	Spinta orizzontale del terreno – Accesso schema a sbalzo	37
Figura 18.	Pavimentazione – Accesso schema a sbalzo	37
Figura 19.	Folla – Accesso schema a sbalzo	38
Figura 20.	Traffico -Accesso schema a sbalzo	38
Figura 21.	Spinta sismica Direzione X – Accesso schema a sbalzo	39
Figura 22.	Schema di distribuzione dell'armatura principale – Accesso schema a sbalzo	40
Figura 23.	Schema di distribuzione dell'armatura a taglio – Accesso schema a sbalzo	40
Figura 24.	Modello numerico – Accesso schema chiuso	41
Figura 25.	Peso proprio – Accesso schema chiuso	42


 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna</b>
Stazione Cimarosa/Tabacchi - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi di stazione	MTL2T1A1DSTRSCIR003-0-1

Figura 26. Spinta orizzontale del terreno – Accesso schema chiuso	43
Figura 27. Spinta idrostatica – Accesso schema chiuso	43
Figura 28. Ritombamento – Accesso schema chiuso	44
Figura 29. Pavimentazione – Accesso schema chiuso	44
Figura 30. Folla – Accesso schema chiuso	45
Figura 31. Traffico – Accesso schema chiuso	45
Figura 32. Spinta sismica direzione X – Accesso schema chiuso	46
Figura 33. Schema di distribuzione dell’armatura principale – Accesso schema chiuso	46
Figura 34. Schema di distribuzione dell’armatura a taglio – Accesso schema chiuso	47
Figura 35. Schema di calcolo – Muri Vasca di accumulo antincendio	49
Figura 36. Spinta orizzontale del terreno – Vasca di accumulo antincendio	49
Figura 37. Spinta idrostatica – Vasca di accumulo antincendio	50
Figura 38. Spinta idrostatica – Vasca di accumulo antincendio	50
Figura 39. Spinta sismica – Vasca di accumulo antincendio	51
Figura 40. Output PLAXIS: Inviluppo dello sforzo assiale, del taglio e del momento flettente - Schema A	61
Figura 41. Output PLAXIS: Inviluppo dello sforzo assiale, del taglio e del momento flettente – Schema B	63
Figura 42. Output PLAXIS: Inviluppo dello sforzo assiale, del taglio e del momento flettente – Schema C	64
Figura 43. Spostamenti orizzontali parete di micropali – Schema A	66
Figura 44. Spostamenti orizzontali parete di micropali – Schema B	67
Figura 45. Spostamenti orizzontali parete di micropali – Schema C	67
Figura 46. Sforzo assiale, taglio e momento di progetto per i diversi stage di calcolo – Schema A	71
Figura 47. Tensione di verifica secondo NTC - tensione a snervamento acciaio – Schema A	71
Figura 48. Sforzo assiale, taglio e momento di progetto per i diversi stage di calcolo – Schema B	72
Figura 49. Tensione di verifica secondo NTC - tensione a snervamento acciaio – Schema B	72
Figura 50. Sforzo assiale, taglio e momento di progetto per i diversi stage di calcolo – Schema C	73
Figura 51. Tensione di verifica secondo NTC - tensione a snervamento acciaio – Schema C	73
Figura 52. Rapporto tra tensione tangenziale massima e tensione tangenziale mobilitata – Schema A	75
Figura 53. Tensioni orizzontali efficaci paratia - Lato monte e valle – Schema A	76
Figura 54. Confronto tensioni limite attive e passive con tensioni orizzontali Plaxis – Schema A	76
Figura 55. Rapporto tra tensione tangenziale massima e tensione tangenziale mobilitata – Schema B	77
Figura 56. Tensioni orizzontali efficaci paratia - Lato monte e valle – Schema B	78


 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna</b>
Stazione Cimarosa/Tabacchi - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi di stazione	MTL2T1A1DSTRSCIR003-0-1

Figura 57. Confronto tensioni limite attive e passive con tensioni orizzontali Plaxis – Schema B	78
Figura 58. Rapporto tra tensione tangenziale massima e tensione tangenziale mobilitata – Schema C	79
Figura 59. Tensioni orizzontali efficaci paratia - Lato monte e valle – Schema C	80
Figura 60. Confronto tensioni limite attive e passive con tensioni orizzontali Plaxis – Schema C	80
Figura 61. Verifica Puntone – Schema B	84
Figura 62. Verifica Puntone – Schema C	85
Figura 63. Particolare armature trave di testa	87
Figura 64. Momento flettente M3-3	93
Figura 65. Taglio combinato	93
Figura 66. Momento flettente M3-3	94
Figura 67. Taglio combinato	95
Figura 68. Momento flettente M3-3	95
Figura 69. Taglio combinato	96
Figura 70. Momento flettente M3-3	97
Figura 71. Taglio combinato	97
Figura 72. Momento flettente M3-3	98
Figura 73. Taglio combinato	98
Figura 74. Momento flettente M3-3	104
Figura 75. Taglio combinato	105
Figura 76. Momento flettente M3-3	105
Figura 77. Taglio combinato	105
Figura 78. Momento flettente M3-3	106
Figura 79. Taglio combinato	107
Figura 80. Momento flettente M3-3	108
Figura 81. Taglio combinato	108
Figura 82. Momento flettente M3-3	109
Figura 83. Taglio combinato	109
Figura 84. Fodera Esterna - Momento flettente – SLE	112
Figura 85. Fodera Esterna - Taglio – SLE	112
Figura 86. Fodera Esterna - Momento flettente – SLU Statico	113
Figura 87. Fodera Esterna - Taglio – SLU Statico	113
Figura 88. Fodera Esterna - Momento flettente – SLU Sisma	114
Figura 89. Fodera Esterna - Taglio – SLU Sisma	114
Figura 90. Fodera Esterna - Momento flettente – Inviluppo SLU	115
Figura 91. Fodera Esterna - Taglio – Inviluppo SLU	115
Figura 92. Parete Interna - Momento flettente – SLE	116
Figura 93. Parete Interna - Taglio – SLE	116



 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna</b>
Stazione Cimarosa/Tabacchi - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi di stazione	MTL2T1A1DSTRSCIR003-0-1

Figura 94. Parete Interna - Momento flettente – SLU Statico	117
Figura 95. Parete Interna - Taglio – SLU Statico	117
Figura 96. Parete Interna - Momento flettente – SLU Sisma	118
Figura 97. Parete Interna - Taglio – SLU Sisma	118
Figura 98. Parete Interna - Momento flettente – Involuppo SLU	119
Figura 99. Parete Interna - Taglio – Involuppo SLU	119
Figura 100. Layout generale della stazione e dell'accesso speciale	122
Figura 101. Planimetria Livello Atrio	122
Figura 102. Sezione longitudinale Accesso speciale	123
Figura 103. Sezione degli scavi adiacenti alla Galleria artificiale GA4	124
Figura 104. Modello di calcolo Accesso speciale	125
Figura 105. Involuppo Momento Flettente SLE – Paratia Accesso speciale	127
Figura 106. Involuppo Sollecitazioni taglianti SLE – Paratia Accesso speciale	128
Figura 107. Involuppo Sforzo assiale SLE – Paratia Accesso speciale	129
Figura 108. Spostamenti orizzontali – Paratia Accesso speciale	130
Figura 109. Possibili meccanismi di collasso: a) sollevamento del tampone di fondo e dei diaframmi b) sollevamento del tampone di fondo c) rottura del tampone di fondo	136
Figura 110. Fattore di sicurezza nella fase costruttiva	140
Figura 111. Rapporto tra tensione tangenziale massima e tensione tangenziale mobilitata	141
Figura 112. Struttura dell'accesso speciale – Stazione Cimarosa	142
Figura 113. Modello di calcolo – Soletta di copertura Accesso speciale – Stazione Cimarosa	143
Figura 114. Momento flettente $M_{xx}$ - Trave di ribassamento – Accesso speciale	144
Figura 115. Momento flettente $M_{yy}$ - Trave di ribassamento – Accesso speciale	144
Figura 116. Spostamenti verticali $u_z$ - Trave di ribassamento – Accesso speciale	145
Figura 117. Momento flettente $M_{xx}$ (+) – Soletta di copertura – Accesso speciale	145
Figura 118. Momento flettente $M_{xx}$ (-) – Soletta di copertura – Accesso speciale	146
Figura 119. Momento flettente $M_{yy}$ (+) – Soletta di copertura – Accesso speciale	146
Figura 120. Momento flettente $M_{yy}$ (-) – Soletta di copertura – Accesso speciale	147
Figura 121. Taglio – Soletta di copertura – Accesso speciale	147

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna</b>
Stazione Cimarosa/Tabacchi - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi di stazione	MTL2T1A1DSTRSCIR003-0-1

## 1 GENERALITA'

La presente relazione si inserisce nell'ambito della progettazione definitiva della Metropolitana Automatica di Torino – Linea2. In particolare, il presente elaborato descrive i calcoli e le verifiche relative alle opere provvisorie di sostegno per lo scavo degli accessi, delle ventilazioni e della vasca di accumulo della stazione di Cimarosa-Tabacchi, così come i rivestimenti definitivi delle stesse strutture appena elencate.

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 219.1/8 e 298.5/8 messi in contrasto alla trave di coronamento o, mediante trave di ripartizione, al diaframma di stazione.

I rivestimenti definitivi invece dimensionati e riportati qui riguardano le fodere, soletta di copertura e soletta di fondo degli accessi, griglie di ventilazione e vasche di accumulo, che hanno uno spessore di 60 cm ciascuno.

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

- **Schema A:** micropali di lunghezza 8 metri a sostegno di uno scavo di 3.2 metri. Tale schema è impiegato negli accessi in stazione (si veda Figura 7);
- **Schema B:** micropali di lunghezza 13 metri con un livello di puntone a sostegno di 6 metri di scavo. Il puntone è posizionato rispettivamente in testa in corrispondenza dell'asse del cordolo di testata. Tale schema è impiegato negli accessi (si veda Figura 8);
- **Schema C:** micropali di lunghezza 13 metri con due livelli di puntone a sostegno di 9.5 metri di scavo. I due puntone sono posizionati rispettivamente uno in testa e l'altro ad una distanza di 5 m dal cordolo di testata. Tale schema è impiegato negli accessi e nelle ventilazioni (si veda Figura 9);



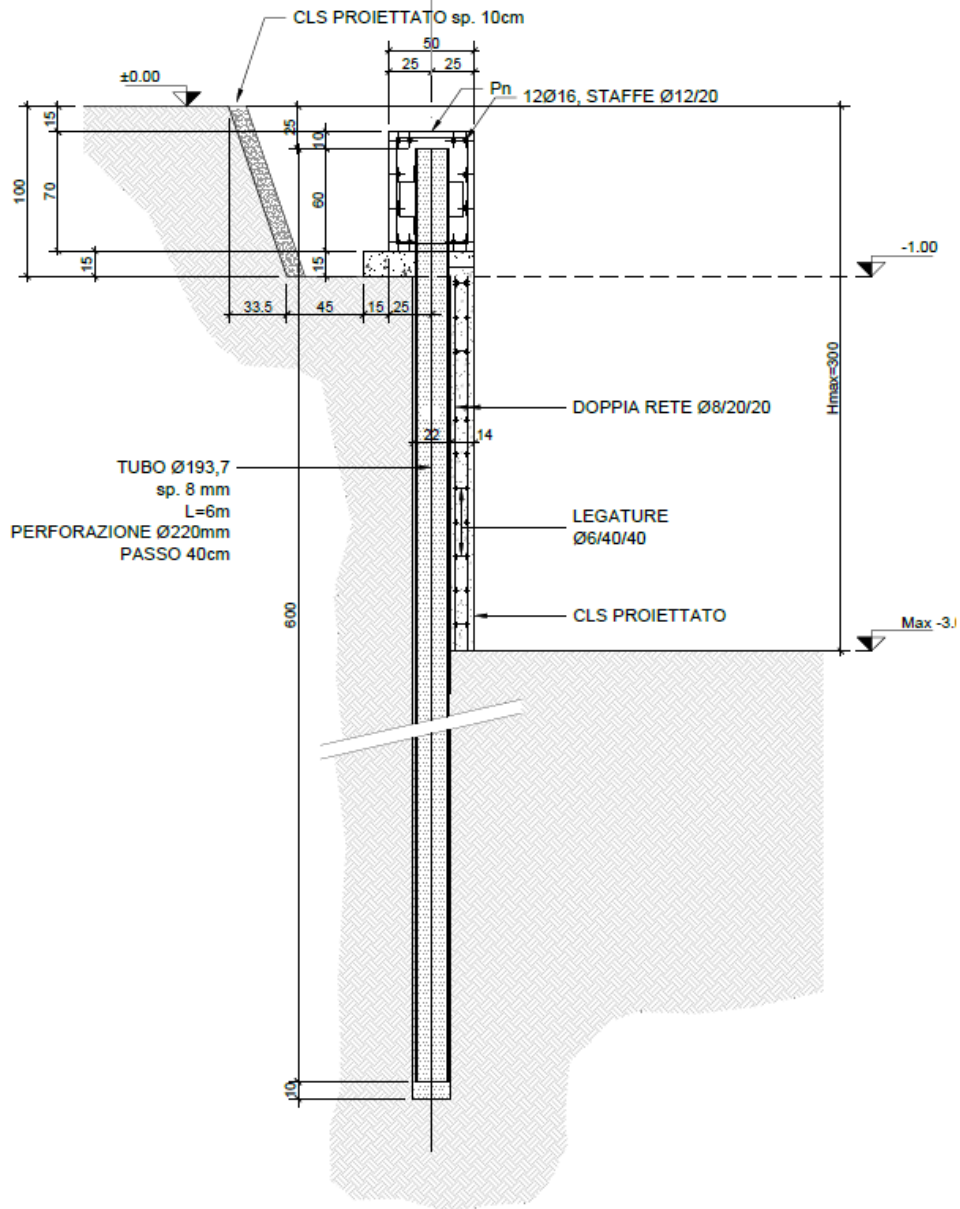


Figura 1. Schema A

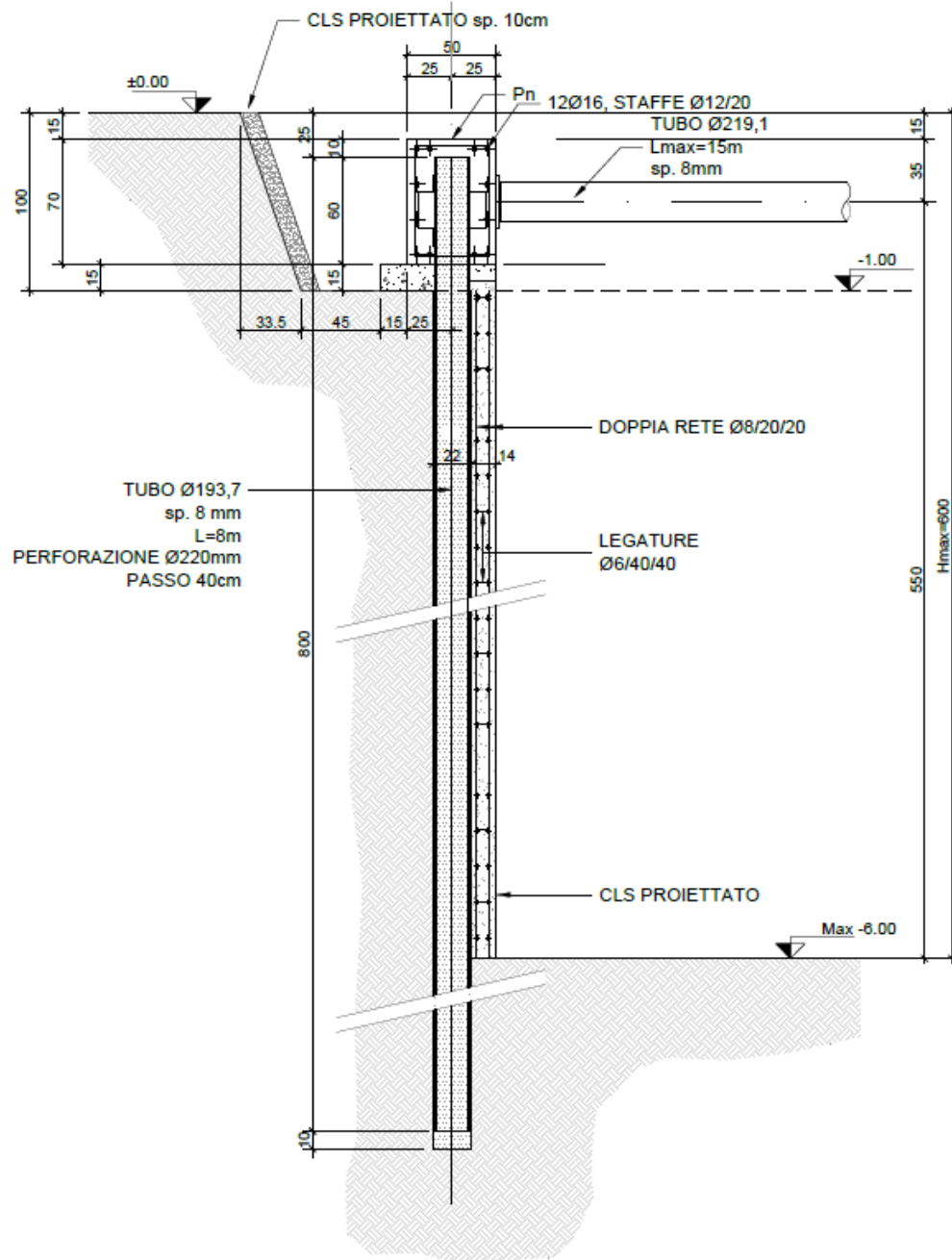


Figura 2. Schema B

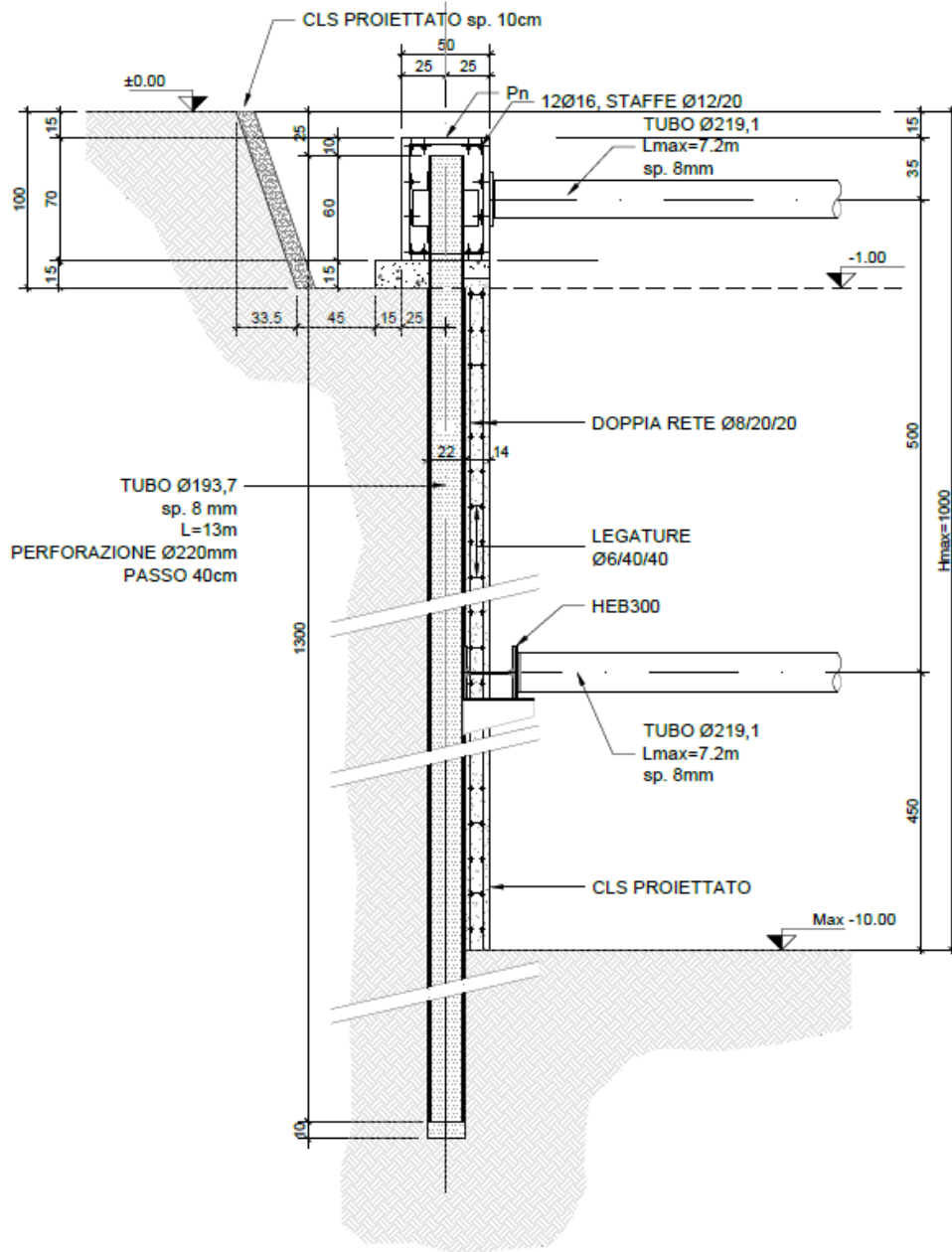


Figura 3. Schema C



Successivamente per i rivestimenti definitivi sono state individuate le altezze effettive delle strutture interne relative ad ogni schema di calcolo su elencato; quindi, le strutture definitive analizzate sono state:

- Accesso a sbalzo: Parte più superficiale degli accessi, schema strutturale di una parete a sbalzo alta 5.5m con soletta di fondazione, entrambi con spessore 60cm;
- Accesso chiuso: Parte più profonda degli accessi, schema strutturale di uno scatolare continuo di altezza 6.5m con soletta di fondazione e copertura, tutti con spessore 60cm;
- Vasca di accumulo: Struttura scatolare chiuso di dimensioni definite 10 m x 11m.

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

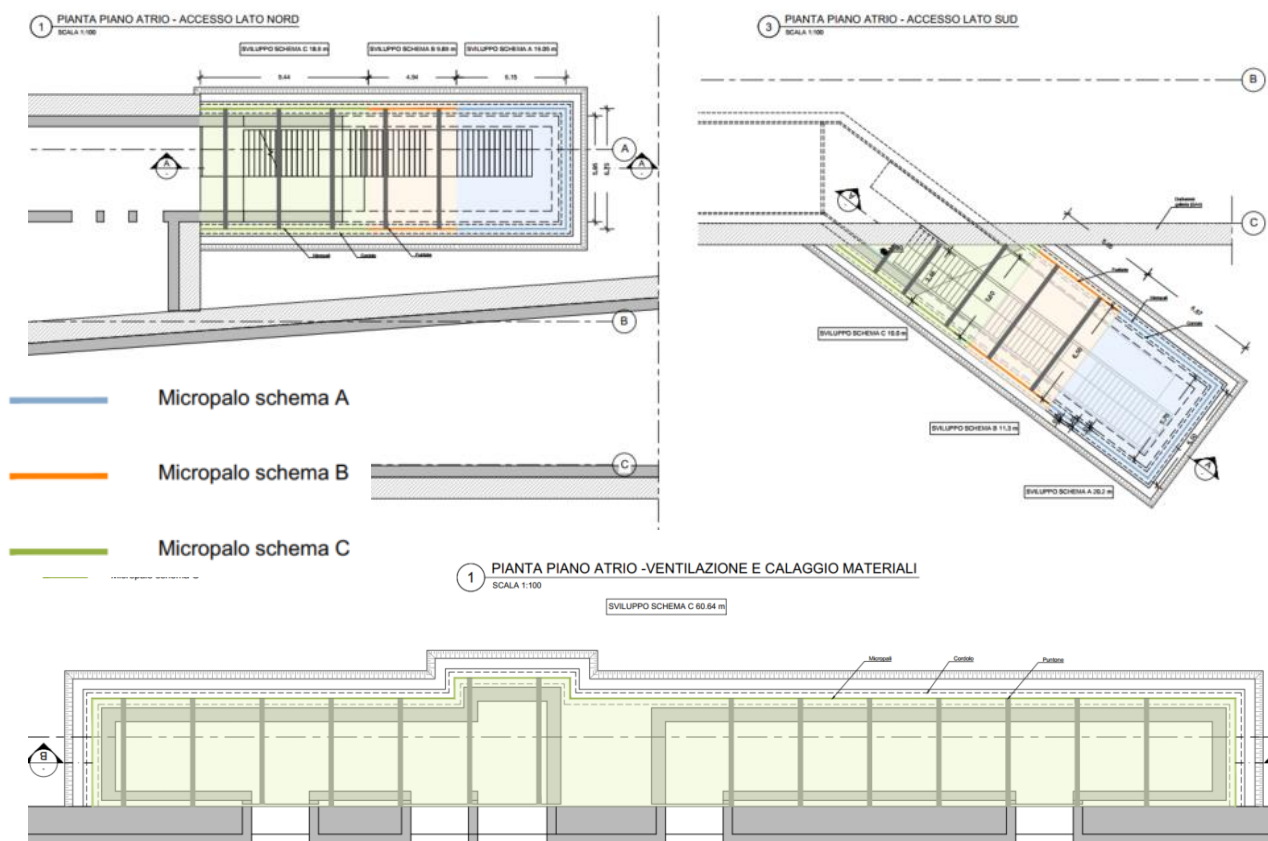



Figura 4. Disposizione in pianta diversi schemi di calcolo


 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna</b>
Stazione Cimarosa/Tabacchi - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi di stazione	MTL2T1A1DSTRSCIR003-0-1

## 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: "Presca 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 1: Rebaudengo - Bologna</b>
Stazione Cimarosa/Tabacchi - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi di stazione	MTL2T1A1DSTRSCIR003-0-1

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

### 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

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna</b>
Stazione Cimarosa/Tabacchi - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi di stazione	MTL2T1A1DSTRSCIR003-0-1

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


Tipo:	C30/37
Modulo di deformazione:	$E_c=32000$ MPa
Resistenza caratteristica cubica:	$R_{ck}=37$ MPa
Resistenza caratteristica cilindrica:	$f_{ck}=30$ MPa
Peso per unità di volume:	$Y=25$ KN/m <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	
	$t \leq 40$ mm	$40\text{mm} < t \leq 80$ 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

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna</b>
Stazione Cimarosa/Tabacchi - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi di stazione	MTL2T1A1DSTRSCIR003-0-1

Peso per unità di volume:

$\gamma=78 \text{ KN/m}^3$

$\gamma=78 \text{ KN/m}^3$

- **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 di Cimarosa-Tabacchi:

**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]	$v'$ [-]
U1	0-2	19	0	29	15	0.3
U2	2-30	19	10	36	150	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 (MTL2T1A0DGEOSCIT001)	-11.2 m	+211.3
Livello piezometrico 2018 da p.c.	-10.5 m	+212.0
B T (+1.5 da livello piezometrico di riferimento) - Fase costruttiva	-9.0 m	+213.5
L T (+3 da breve termine) - Ultimo stage	-6.0 m	+216.5

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



 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna</b>
Stazione Cimarosa/Tabacchi - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi di stazione	MTL2T1A1DSTRSCIR003-0-1

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	$\gamma_{Q1}$	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	$\gamma_Y$	$\gamma_Y$	1,0	1,0

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna</b>
Stazione Cimarosa/Tabacchi - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi di stazione	MTL2T1A1DSTRSCIR003-0-1


**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

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna</b>
Stazione Cimarosa/Tabacchi - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi di stazione	MTL2T1A1DSTRSCIR003-0-1

## 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 nell'analisi.

Nel seguito verranno presentati i criteri di modellazione ed i risultati per tutte le lavorazioni descritte.

#### 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:

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

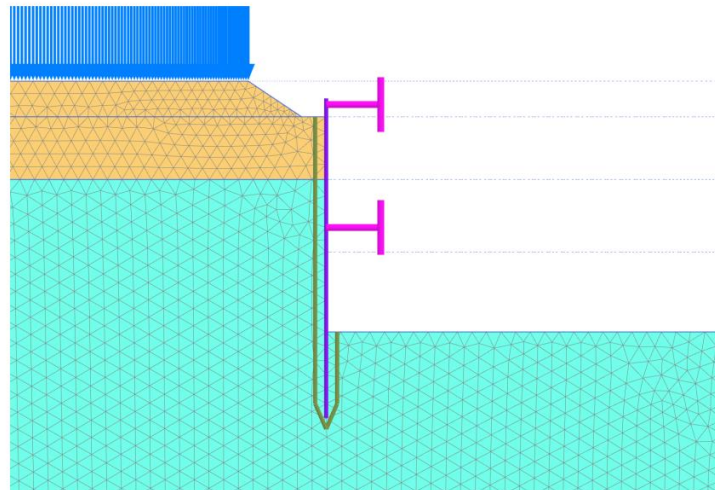
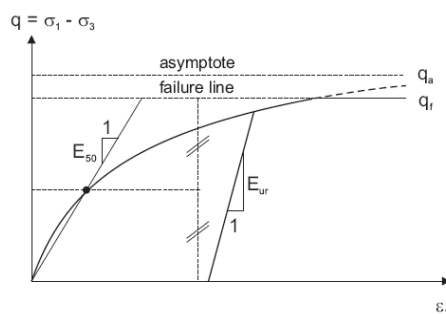


Figura 5. Modello di calcolo PLAXIS (Schema C)

Per il terreno è stato utilizzato un modello costitutivo elasto-plastico incoerente 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 ricarica  $E_{Ur}$ .



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

$$E_{oed} = \alpha \cdot \sigma_1^m$$

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

Figura 6. Modello costitutivo Hardening Soil

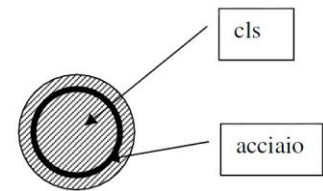
L'attrito tra parete e terreno è stato simulato nel software mediante l'introduzione di una interfaccia. L'attrito è stato posto pari al 50% della resistenza al taglio del terreno.

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	$t=8\text{mm}$
- 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:

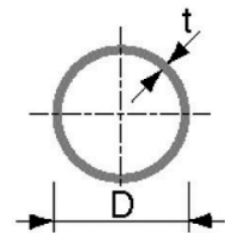
$$I_{EQ} = (E_C I_C + E_S I_S) / (i \times E_C) = 7.68e-4 \text{ m}^4$$

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

- **Puntone 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 puntone (schema B, C / D)	$i=3 / 3.5 \text{ m}$



La rigidità del puntone a metro lineare risulta dunque:

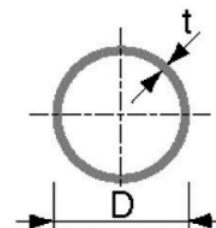
$$\text{Puntone } L=7.6\text{m} / i=3\text{m} \quad K_1=EA_P/L=1.47e8 \text{ N/m} \quad K_1^*=K_1/i=4.89e7 \text{ N/m/m}$$

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



• **Tipologia di puntone 2**

- *diametro esterno puntone (tubo di acciaio)* D<sub>p</sub>=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<sub>p</sub>=7301.06 mm<sup>2</sup>
- *momento di inerzia della sezione* I<sub>p</sub>=7.71e7 mm<sup>4</sup>
- *modulo elasticità acciaio* E<sub>s</sub>=210000 MPa
- *lunghezza media puntone (schema D)* L=13 m
- *interasse medio puntoni (schema D)* i=3.5 m




*Puntone L=13m / i=3.5m K<sub>3</sub>=EA<sub>p</sub>/L=1.18e8 N/m K<sub>3</sub><sup>\*</sup>=K<sub>3</sub>/i=3.37e7 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 6, 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 a tergo della parete; <u>Stage 3</u> Installazione parete di micropali e puntone di testa; <u>Stage 4</u> Scavo sino alla quota di fondo scavo.
Schema C	
<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 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 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 1: Rebaudengo - Bologna</b>
Stazione Cimarosa/Tabacchi - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi di stazione	MTL2T1A1DSTRSCIR003-0-1

### 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 a tergo della parete in tutte le fasi di calcolo.



## 5.2 RISULTATI DELL'ANALISI E VERIFICHE

### 5.2.1 Risultati analisi numerica

#### 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.

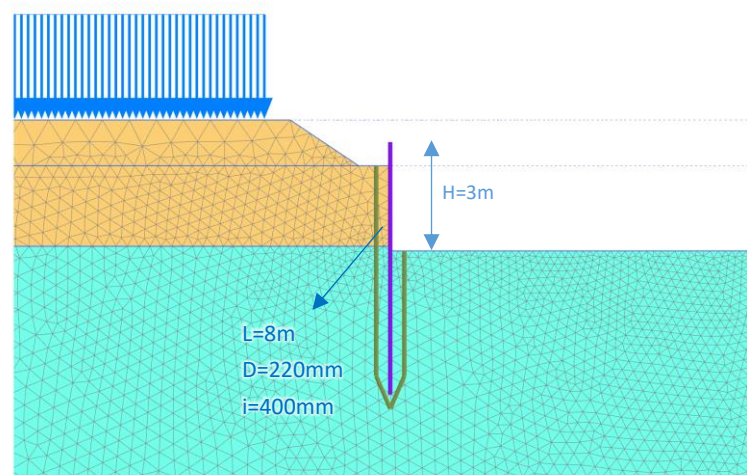


Figura 7. Schema A - Mesh di calcolo Plaxis

#### 5.2.1.2 Schema B

Lo Schema B è caratterizzato da micropali di lunghezza 8 metri con un livello di vincolo in testa a sostegno di uno scavo di 6 metri. Tale schema è impiegato per lo scavo degli accessi in sezione di altezza intermedia.



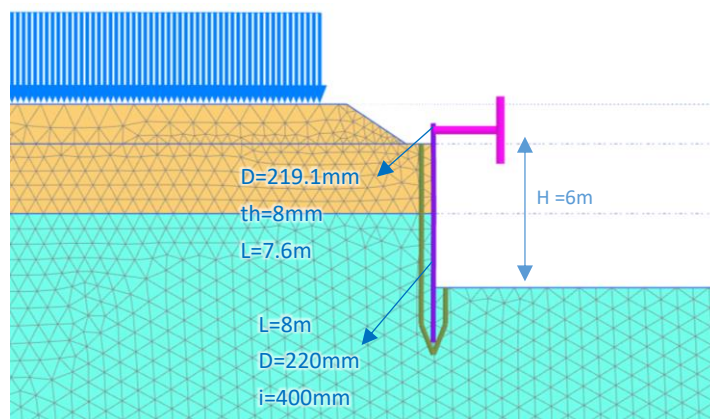


Figura 8. Schema B - Mesh di calcolo Plaxis

### 5.2.1.3 Schema C

Lo Schema C 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 degli accessi così come delle ventilazioni in sezione di altezza massima.

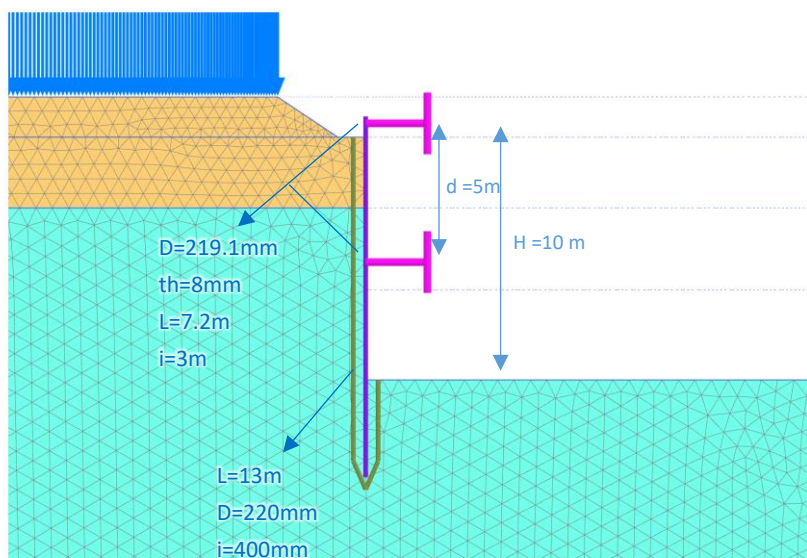



Figura 9. Schema C - Mesh di calcolo Plaxis

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna</b>
Stazione Cimarosa/Tabacchi - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi di stazione	MTL2T1A1DSTRSCIR003-0-1

## 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<sub>1</sub>+M<sub>1</sub>+R<sub>1</sub>. Le sollecitazioni sulla parete sono state amplificate, in via cautelativa, non operando una 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 NTC, 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:


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

In Appendice D è possibile osservare i diagrammi di sforzo assiale, taglio e momento oltre alle tensioni combinate confrontate con la tensione a snervamento di progetto.

## 5.2.3 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

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna</b>
Stazione Cimarosa/Tabacchi - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi di stazione	MTL2T1A1DSTRSCIR003-0-1

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**

<b>Terreno</b>	<b><math>\gamma</math> [KN/m<sup>3</sup>]</b>	<b><math>\Phi_d'</math> [°]</b>	<b><math>c_d'</math> [kPa]</b>
Terreni di riporto - U1	19	23.9	0
Ghiaia e sabbie - U2	19	30.2	8

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:

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

#### 5.2.4 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:

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

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

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

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



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

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

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.

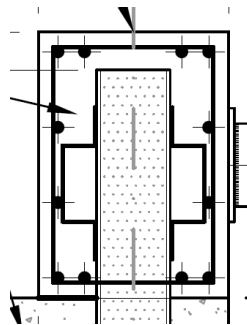
### 5.2.5 Verifica SLU-STR del cordolo di superficie

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.



**Figura 10. Particolare armatura trave di testa**

Le verifiche che hanno portato alla determinazione dell'armatura del cordolo di testa dei micropali sono riportate in Appendice G.



### 5.2.6 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:

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

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.

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

### 5.2.7 Verifica deformazioni massime delle strutture di sostegno

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

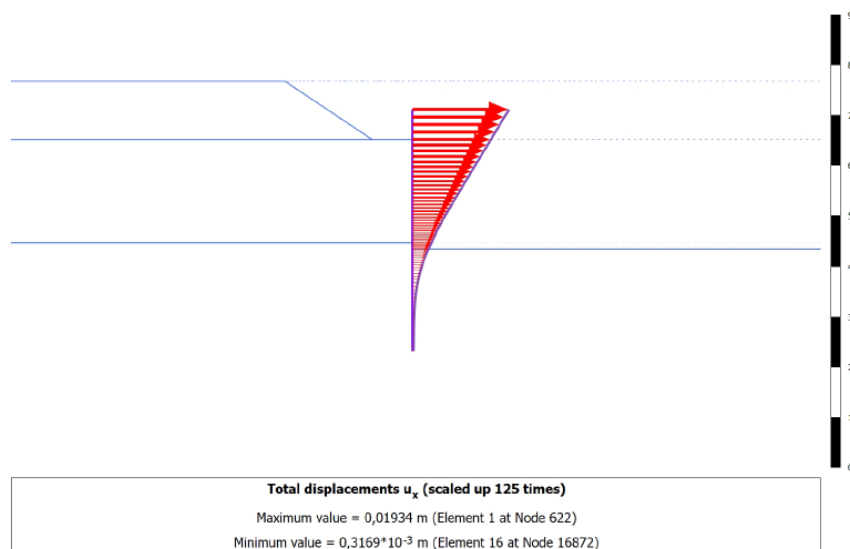


Figura 11. Spostamenti Totali - Schema A



CITTA' DI TORINO

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

Stazione Cimarosa/Tabacchi - Relazione di calcolo  
opere di sostegno e strutture accessi di stazione

MTL2T1A1DSTRSCIR003-0-1

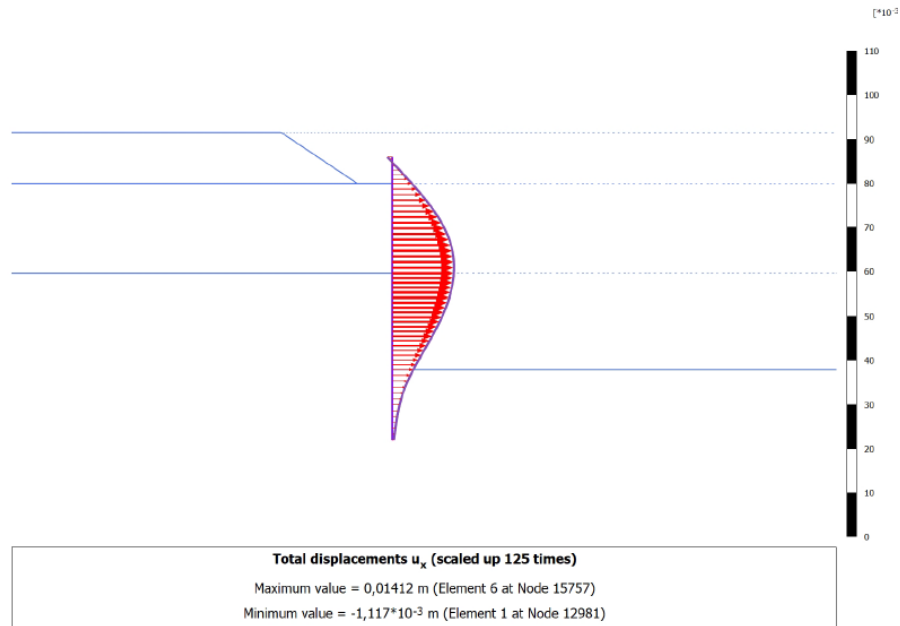


Figura 12. Spostamenti Totali - Schema B

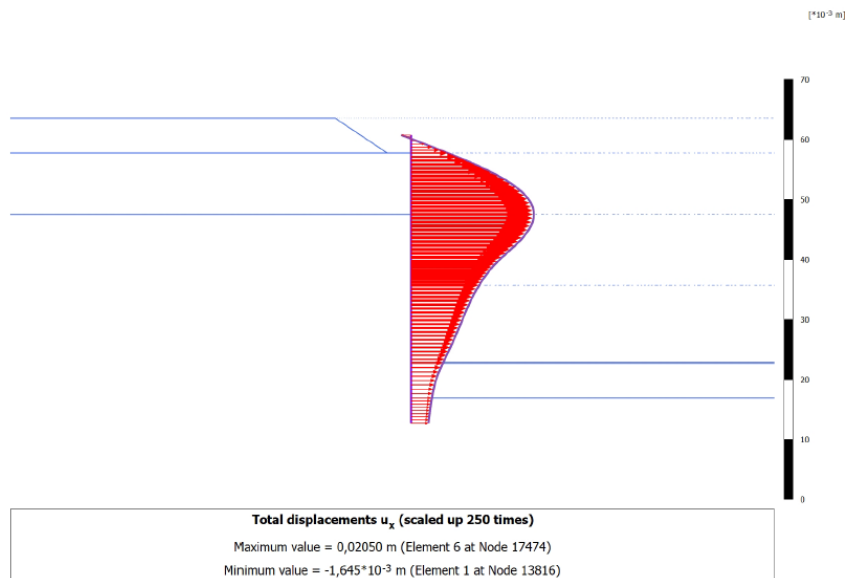




Figura 13. Spostamenti Totali - Schema C

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna</b>
Stazione Cimarosa/Tabacchi - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi di stazione	MTL2T1A1DSTRSCIR003-0-1

**Tabella 9 – Verifica delle deformazioni massime delle paratie di micropali**

Tipologia di scavo	us (mm)	H(m)	0.005H (mm)	u <sub>s</sub> ≤ 0.005H
Schema A	19.34	6	30	✓
Schema B	14.12	8	40	✓
Schema C	20.50	13	65	✓

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna</b>
Stazione Cimarosa/Tabacchi - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi di stazione	MTL2T1A1DSTRSCIR003-0-1

## 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
- $UZ$  = Spostamenti in direzione z





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

### 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 B è considerato pari a **1.2**.

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

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

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.

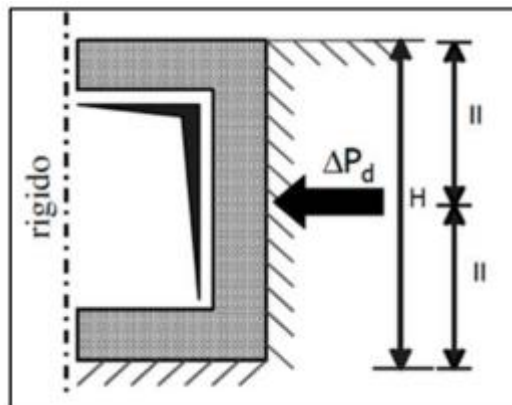



Figura 14. Schematizzazione metodo di Wood

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:

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna</b>
Stazione Cimarosa/Tabacchi - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi di stazione	MTL2T1A1DSTRSCIR003-0-1

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

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 10 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	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



Tabella 11 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 12 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).

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna</b>
Stazione Cimarosa/Tabacchi - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi di stazione	MTL2T1A1DSTRSCIR003-0-1

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

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

$B$  : Larghezza base

$E_s$ : Modulo di Young del suolo

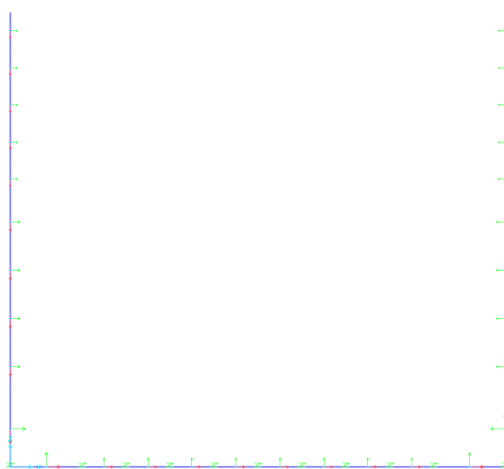
**Tabella 12 – Valori di rigidezza utilizzate nei principali modelli di calcolo**

Modello numerico / struttura	$K_s$ (kN/m/m <sup>2</sup> )
Accesso sezione a sbalzo / sezione chiusa	27470


## 6.2 Analisi numerica e verifiche strutturali

### 6.2.1 Accesso a Sbalzo

Le strutture interne dell'accesso nella parte più superficiale sono costituite dalle sole pareti e la soletta di fondazione. Tutti gli elementi hanno uno spessore di 60cm.



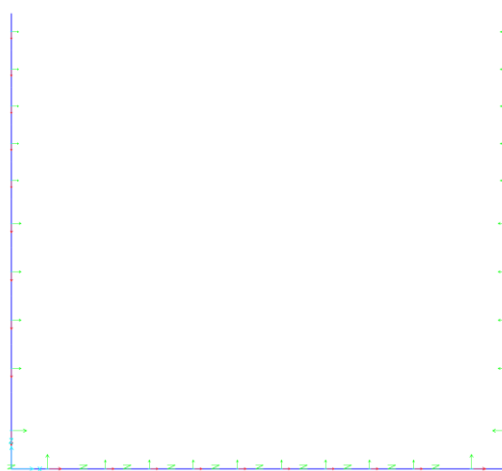
**Figura 15. Modello numerico – Accesso schema a sbalzo**

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna</b>
Stazione Cimarosa/Tabacchi - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi di stazione	MTL2T1A1DSTRSCIR003-0-1

### 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 – Accesso schema a sbalzo**

#### Carichi permanenti non strutturali

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

- per le verifiche strutturali e stato utilizzato

$$\begin{aligned} k_0 &= 1 - \sin 29^\circ & 0 - 2 \text{ m} \\ k_0 &= 1 - \sin 36^\circ & 2 - 30 \text{ m} \end{aligned}$$

- per le verifiche geotecniche e stato utilizzato

$$\begin{aligned} k_0 &= 1 - \sin 23.9^\circ & 0 - 2 \text{ m} \\ k_0 &= 1 - \sin 30.2^\circ & 2 - 30 \text{ m} \end{aligned}$$

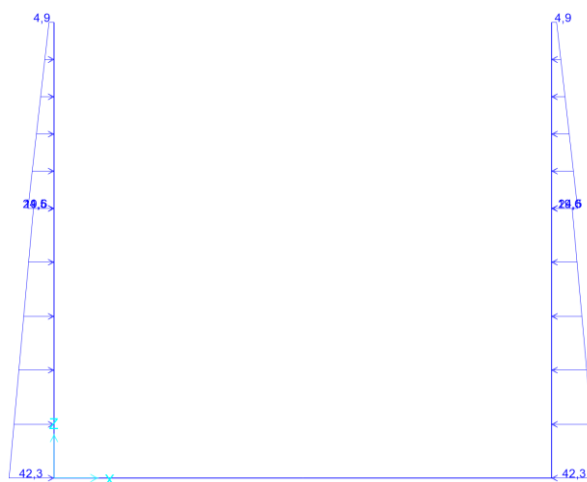


Figura 17. Spinta orizzontale del terreno – Accesso schema a sbalzo

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

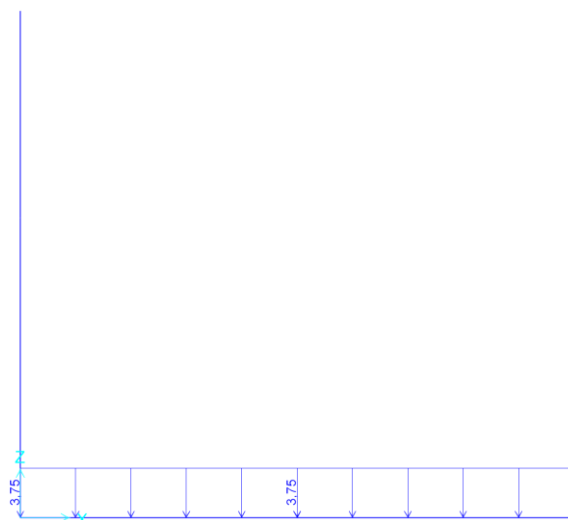


Figura 18. Pavimentazione – Accesso schema a sbalzo



### Carichi variabili

Risultano applicati i seguenti carichi:

**Folla**  $q_{folla} = 5 \text{ kN/m}^3$

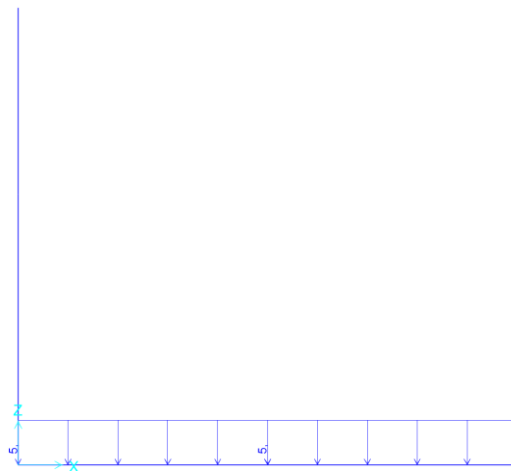



Figura 19. Folla – Accesso schema a sbalzo

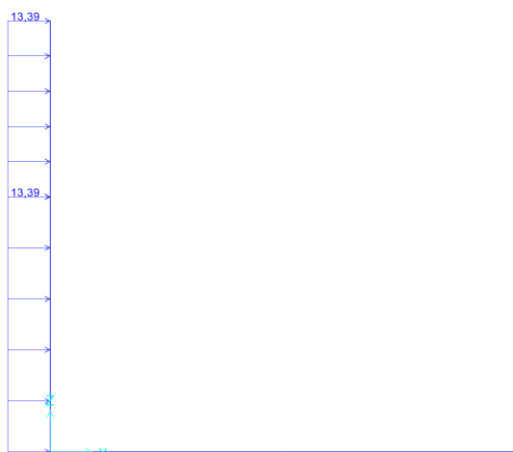
**Traffico** è stato preso in considerazione il traffico direttamente sopra la stazione e nelle vicinanze, quest'ultimo è stato quindi riportato come carico orizzontale uniformemente distribuito sulle pareti utilizzando la formula  $k_0 \cdot 20 \text{ kN}$  con  $k_0$  variabile seguendo le indicazioni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



Figura 20. Traffico -Accesso schema a sbalzo

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna</b>
Stazione Cimarosa/Tabacchi - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi di stazione	MTL2T1A1DSTRSCIR003-0-1

**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.

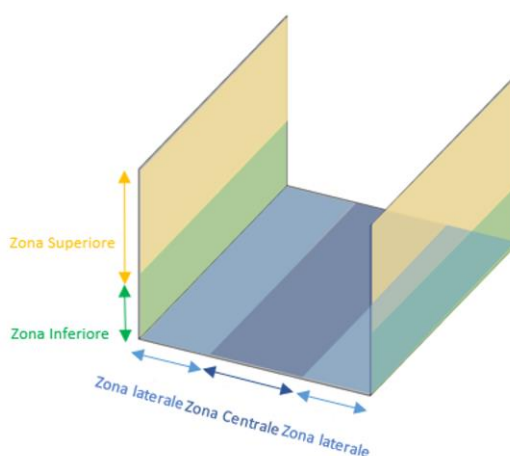


**Figura 21. Spinta sismica Direzione X – Accesso schema a sbalzo**


### **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 a sbalzo. 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:

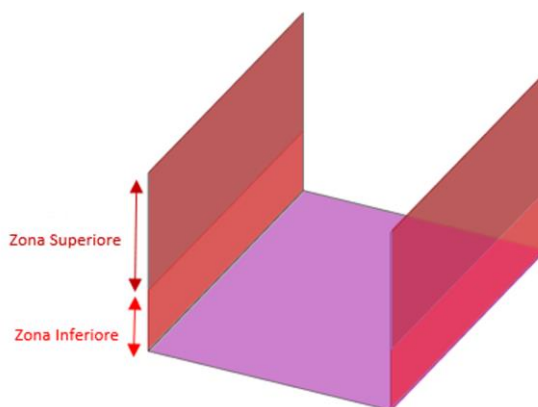
#### **Armatura Principale**





 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna</b>
Stazione Cimarosa/Tabacchi - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi di stazione	MTL2T1A1DSTRSCIR003-0-1


**Figura 22. Schema di distribuzione dell'armatura principale – Accesso schema a sbalzo**  
**Armatura a Taglio**



**Figura 23. Schema di distribuzione dell'armatura a taglio – Accesso schema a sbalzo**

**Tabella 13 Armatura Muri – Accesso schema a sbalzo**

	Posizione	Armatura			
		Principale		Staffe	
Muri	Zona Superiore	Trasversale	Esterno	Ø24/200	Ø10/200/200
			Interno	Ø24/200	
		Longitudinale	Esterno	Ø20/200	
			Interno	Ø20/200	
	Zona Inferiore	Trasversale	Esterno	Ø24/100	Ø10/200/200
			Interno	Ø24/200	
Longitudinale		Esterno	Ø20/200		
		Interno	Ø20/200		

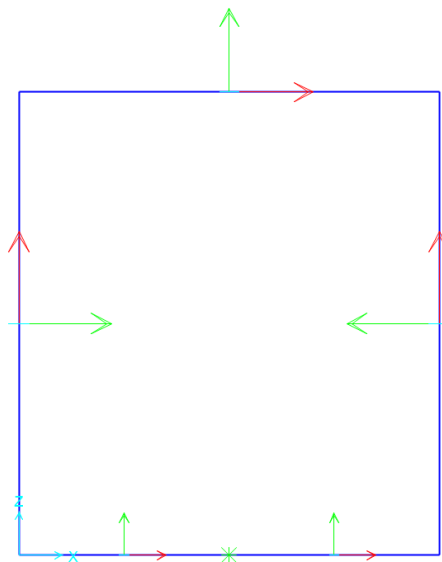
 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna</b>
Stazione Cimarosa/Tabacchi - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi di stazione	MTL2T1A1DSTRSCIR003-0-1

**Tabella 14 Armatura Soletta di fondo – Accesso schema a sbalzo**

	Posizione	Armatura			
		Armatura principale		Staffe	
Soletta di fondo	Zona Laterale	Trasversale	Superiore	Ø24/200	Ø10/200/200
			Inferiore	Ø24/00	
		Longitudinale	Superiore	Ø20/200	
			Inferiore	Ø20/200	
	Zona Centrale	Trasversale	Superiore	Ø24/200	
			Inferiore	Ø24/200	
		Longitudinale	Superiore	Ø20/200	
			Inferiore	Ø20/200	

### 6.2.2 Accesso Chiuso

Le strutture interne dell'accesso nella parte più profonda sono costituite dalle pareti, la soletta di fondo e la soletta di copertura. Tutti gli elementi hanno uno spessore di 60cm.



**Figura 24. Modello numerico – Accesso schema chiuso**



### 6.2.2.1 Carichi

#### Carichi permanenti strutturali

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

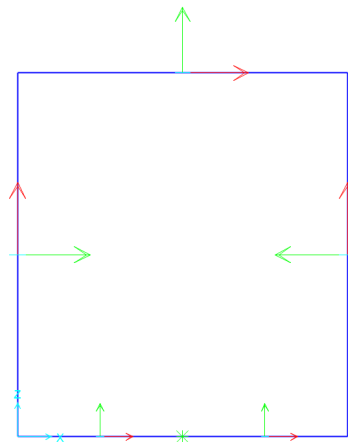


Figura 25. **Peso proprio – Accesso schema chiuso**

#### Carichi permanenti non strutturali

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

- per le verifiche strutturali e stato utilizzato:

$$\begin{aligned} k_0 &= 1 - \sin 29^\circ & 0 - 2\text{m} \\ k_0 &= 1 - \sin 36^\circ & 2 - 30\text{m} \end{aligned}$$

- per le verifiche geotecniche e stato utilizzato

$$\begin{aligned} k_0 &= 1 - \sin 23.9^\circ & 0 - 2\text{m} \\ k_0 &= 1 - \sin 30.2^\circ & 2 - 30\text{m} \end{aligned}$$

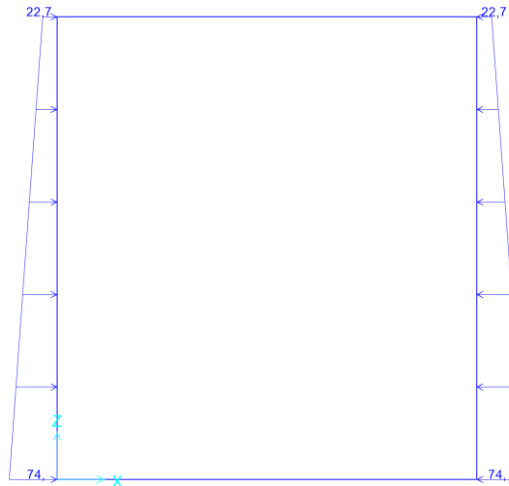


Figura 26. Spinta orizzontale del terreno – Accesso schema chiuso

**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.

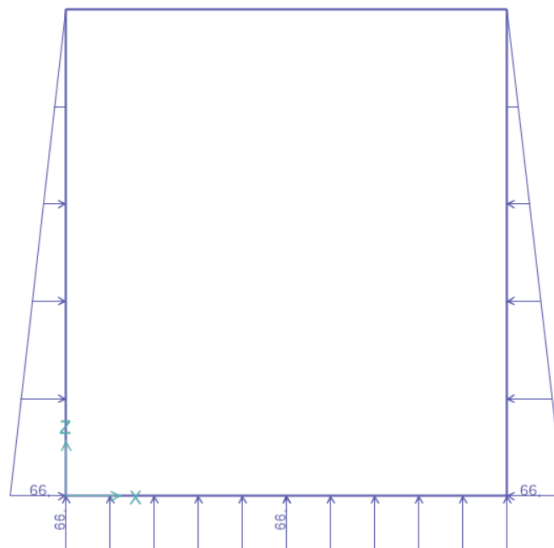

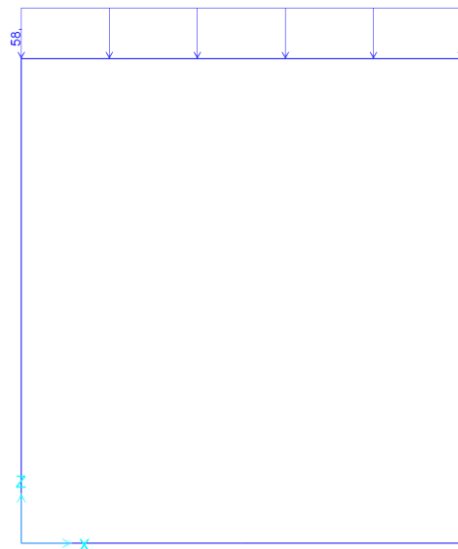


Figura 27. Spinta idrostatica – Accesso schema chiuso

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna</b>
Stazione Cimarosa/Tabacchi - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi di stazione	MTL2T1A1DSTRSCIR003-0-1

**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 28. Ritombamento – Accesso schema chiuso**

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



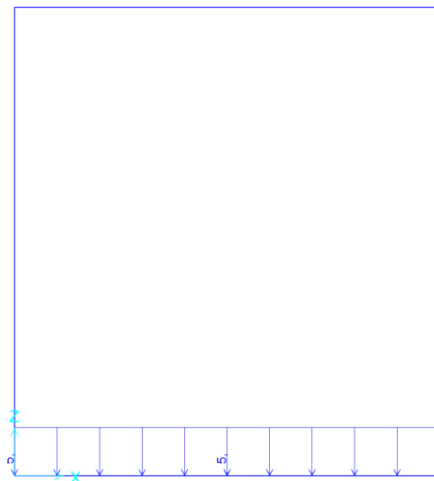
**Figura 29. Pavimentazione – Accesso schema chiuso**



### **Carichi variabili**

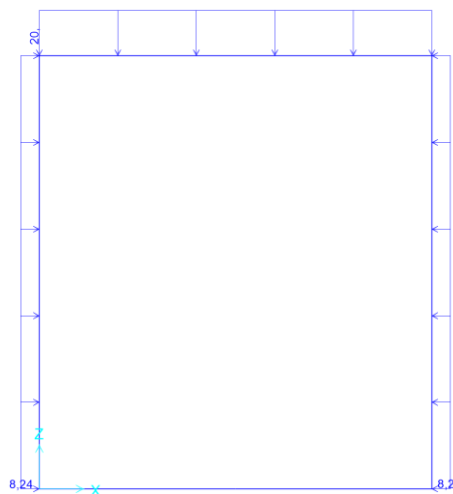
Risultano applicati i seguenti carichi:

**Folla**  $q_{folla} = 5 \text{ kN/m}^3$




**Figura 30. Folla – Accesso schema chiuso**

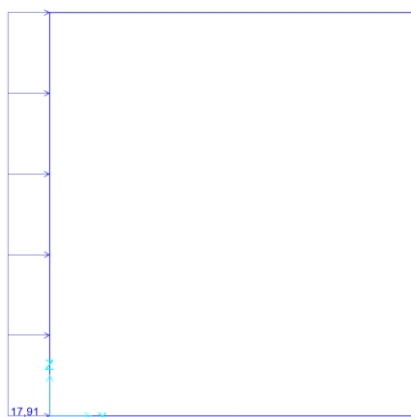
**Traffico** è stato preso in considerazione il traffico direttamente sopra la stazione e nelle vicinanze, quest'ultimo è stato quindi riportato come carico orizzontale uniformemente distribuito sulle pareti utilizzando la formula  $k_0 \cdot 20 \text{ kN}$  con  $k_0$  variabile seguendo le indicazioni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



**Figura 31. Traffico – Accesso schema chiuso**

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna</b>
Stazione Cimarosa/Tabacchi - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi di stazione	MTL2T1A1DSTRSCIR003-0-1

**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.

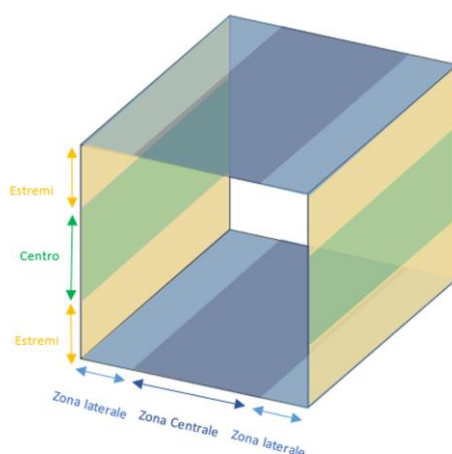


**Figura 32. Spinta sismica direzione X – Accesso schema chiuso**

### **6.2.2.2 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:

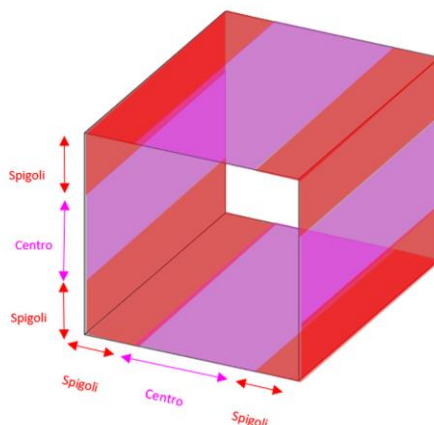
#### **Armatura Principale**



**Figura 33. Schema di distribuzione dell'armatura principale – Accesso schema chiuso**



**Armatura a Taglio**



**Figura 34. Schema di distribuzione dell'armatura a taglio – Accesso schema chiuso**


**Tabella 15 Armatura principale Soletta di copertura – Accesso schema chiuso**

	Posizione	Armatura		
		Zona Laterale	Trasversale	Superiore
Inferiore	Ø24/200			
Longitudinale	Superiore		Ø18/200	
	Inferiore		Ø18/200	
Zona Centrale	Trasversale	Superiore	Ø24/200	
		Inferiore	Ø24/200	
	Longitudinale	Superiore	Ø18/200	
		Inferiore	Ø18/200	

**Tabella 16 Armatura principale Muri – Accesso schema chiuso**

	Posizione	Armatura			
		Principale		Staffe	
Muri	Zona Superiore	Trasversale	Esterno	Ø24/200	Ø10/200/200
			Interno	Ø24/200	
		Longitudinale	Esterno	Ø20/200	
			Interno	Ø20/200	
Zona Inferiore	Trasversale	Esterno	Ø24/100	Ø10/200/200	
		Interno	Ø24/200		
	Longitudinale	Esterno	Ø20/200		
		Interno	Ø20/200		



 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna</b>
Stazione Cimarosa/Tabacchi - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi di stazione	MTL2T1A1DSTRSCIR003-0-1

**Tabella 17 Armatura principale Soletta di fondo – Accesso schema chiuso**

Soletta di fondo	Posizione	Armatura		
		Zona Laterale	Trasversale	Superiore
Inferiore	Ø24/200			
Longitudinale	Superiore		Ø18/200	
	Inferiore		Ø18/200	
Zona Centrale	Trasversale	Superiore	Ø24/200	
		Inferiore	Ø24/200	
	Longitudinale	Superiore	Ø18/200	
		Inferiore	Ø18/200	


**Tabella 18 Armatura a taglio – Accesso schema chiuso**

Posizione	Staffe
Spigoli	Ø10/200/200
Centro	Ø10/200/200

### 6.2.3 Vasca antincendio

Le strutture interne della vasca d'accumulo antincendio sono costituite dalle fodere della stazione su due lati e pareti interne sugli altri due lati, la soletta di copertura e la soletta di fondo sono quelle relative al piano copertura e atrio della stazione. I muri hanno uno spessore di 50cm mentre la soletta di copertura e fondo sono spesse 1.2m e 1.0m rispettivamente.

Dato che le solette sono state dimensionate nel report MTL2T1A1DSTRSCIR002, nel presente capitolo saranno presentate le verifiche relative alle pareti della vasca. La fodera tra il solaio di copertura e il solaio dell'atrio tra quota -2,6m e -8,7m è stata schematizzata come una trave appoggiata-appoggiata di spessore 50cm e larghezza unitaria.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna</b>
Stazione Cimarosa/Tabacchi - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi di stazione	MTL2T1A1DSTRSCIR003-0-1

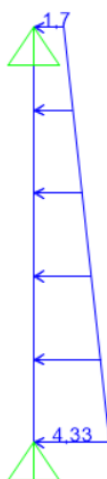


**Figura 35. Schema di calcolo – Muri Vasca di accumulo antincendio**

### 6.2.3.1 Carichi

#### Carichi permanenti non strutturali

**Spinta laterale del terreno** considerata come carico distribuito triangolare pari a  $k_0 \cdot \gamma \cdot h$  considerando la ripartizione di tale carico in base al rapporto delle inerzie tra fodera (spessore 50cm) e diaframma (spessore 120cm).



**Figura 36. Spinta orizzontale del terreno – Vasca di accumulo antincendio**



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

È stato considerato il livello di falda  $h_w$  **-6m** da piano campagna, per la condizione di lungo termine ed è stato applicato al 100% alle fodere.



Figura 37. Spinta idrostatica – Vasca di accumulo antincendio

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

Considerando la vasca quasi piena fino all'altezza di  $h_w$  **4m** al suo interno.

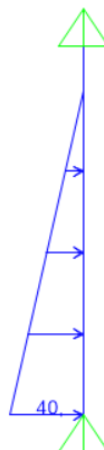



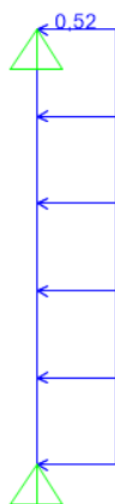
Figura 38. Spinta idrostatica – Vasca di accumulo antincendio

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna</b>
Stazione Cimarosa/Tabacchi - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi di stazione	MTL2T1A1DSTRSCIR003-0-1

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 della presente relazione. Inoltre, è stata considerata l'applicazione di tale carico in base al rapporto delle inerzie tra fodera (spessore 50cm) e diaframma (spessore 120cm).




**Figura 39. Spinta sismica – Vasca di accumulo antincendio**

Date le condizioni di contorno della vasca, sono state analizzate 3 condizioni:

Per quanto riguardano le fodere a contatto con il diaframma, sono state considerate la vasca piena e la vasca vuota. Mentre per le fodere interne non a contatto con altre strutture la condizione di vasca piena è stata analizzata. Sono riportate le verifiche considerando gli involucri dei risultati.

#### ***6.2.3.2 Risultati dell'analisi e verifiche strutturali***

I risultati dell'analisi e le successive verifiche strutturali hanno portato alla definizione della seguente armatura per le pareti della vasca antincendio:

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna</b>
Stazione Cimarosa/Tabacchi - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi di stazione	MTL2T1A1DSTRSCIR003-0-1

**Tabella 19 Armatura principale Muri – Vasca di accumulo antincendio**

Muri vasca antincendio	Armatura		
	Trasversale	Esterno	Ø16/200
		Interno	Ø16/200
	Longitudinale	Esterno	Ø16/200
Interno		Ø16/200	

**Tabella 20 Armatura a taglio Muri – Vasca di accumulo antincendio**

Muri Vasca	Staffe
	Ø8/200/400



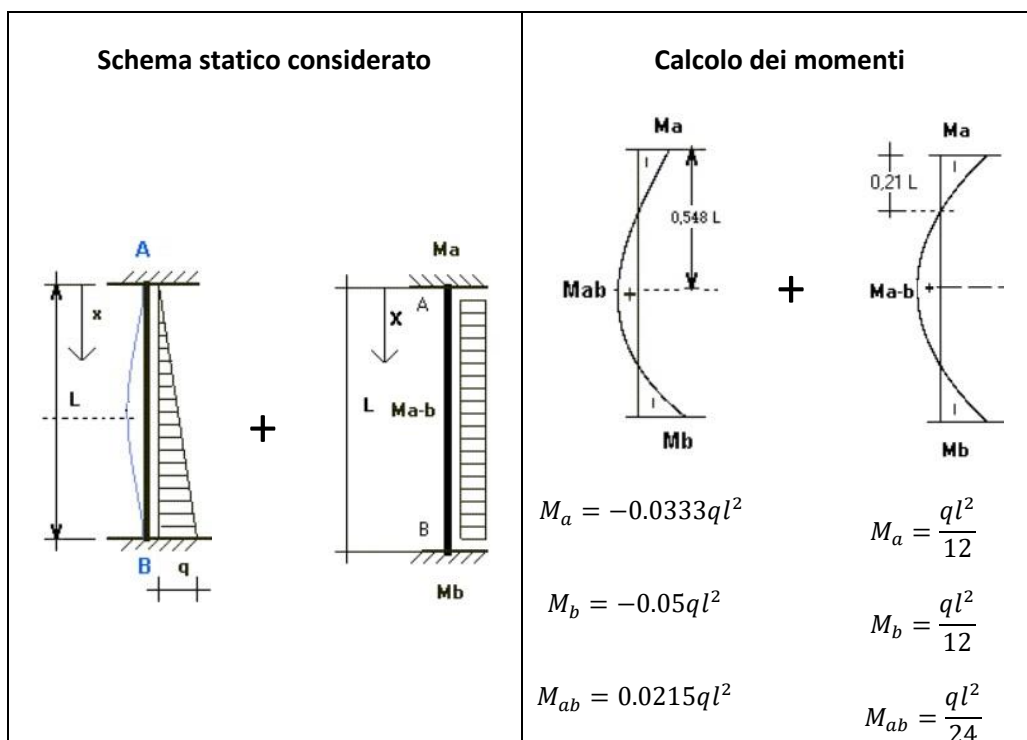
## 7 VALIDAZIONE DEI MODELLI DI CALCOLO

Nel presente capitolo 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 dal software utilizzati per il dimensionamento delle strutture definitive (SAP2000) con i valori di momento determinati mediante soluzioni analitiche. Sono state applicate le note soluzioni in forma chiusa della Scienza delle Costruzioni per calcolare i momenti flettenti dei muri e la soletta di copertura dell'accesso chiuso, considerando uno schema statico d'incastro e i diversi carichi applicati ai suddetti elementi.

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

### Muri

- Spinta del terreno





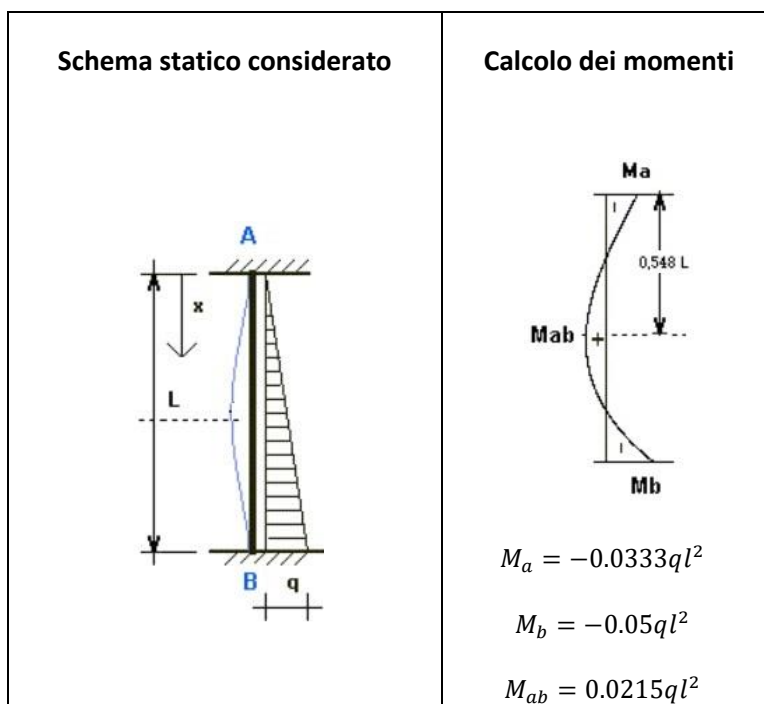
I momenti agenti dovuti alla spinta del terreno sono:

$$M_a = -127.5 \text{ kNm}$$

$$M_b = -157.8 \text{ kNm}$$

$$M_{ab} = 72.5 \text{ kNm}$$

- Spinta idraulica



I momenti agenti dovuti alla spinta idraulica sono:

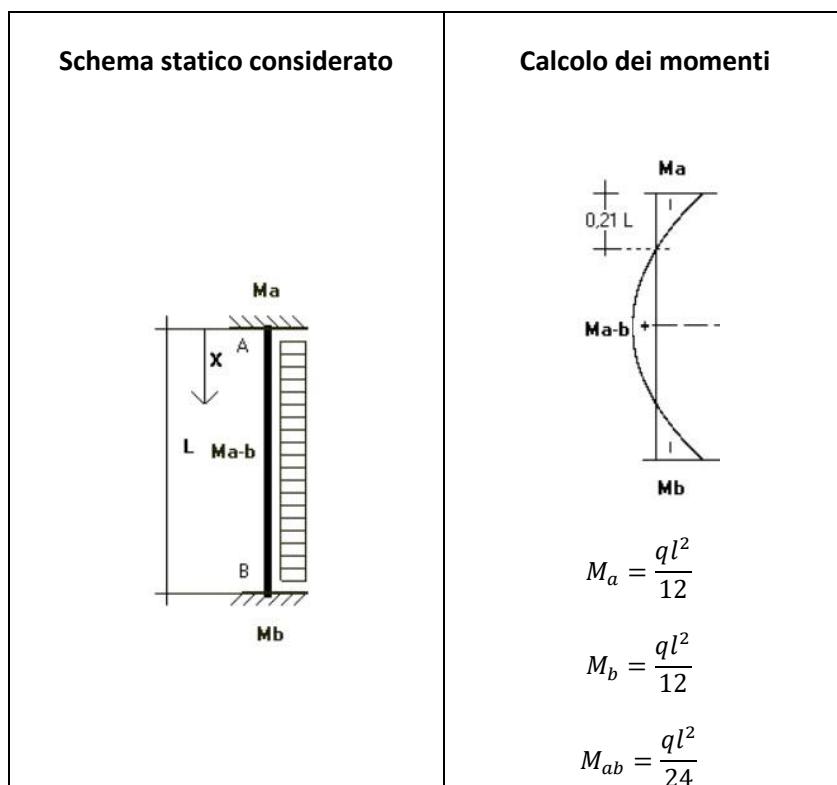
$$M_a = -77 \text{ kNm}$$

$$M_b = -116.8 \text{ kNm}$$

$$M_{ab} = 50.2 \text{ kNm}$$



• Sovraccarico del traffico



I momenti agenti dovuti alla sovrappinta laterale derivante dal traffico sono:

$$M_a = -24.3 \text{ kNm}$$

$$M_b = -24.3 \text{ kNm}$$

$$M_{ab} = 12.15 \text{ kNm}$$

Sovrapponendo gli effetti dei carichi, i momenti complessivi agenti sui muri in combinazione a Stato Limite di Esercizio sono:

$$M_a = -229 \text{ kNm}$$

$$M_b = -299 \text{ kNm}$$

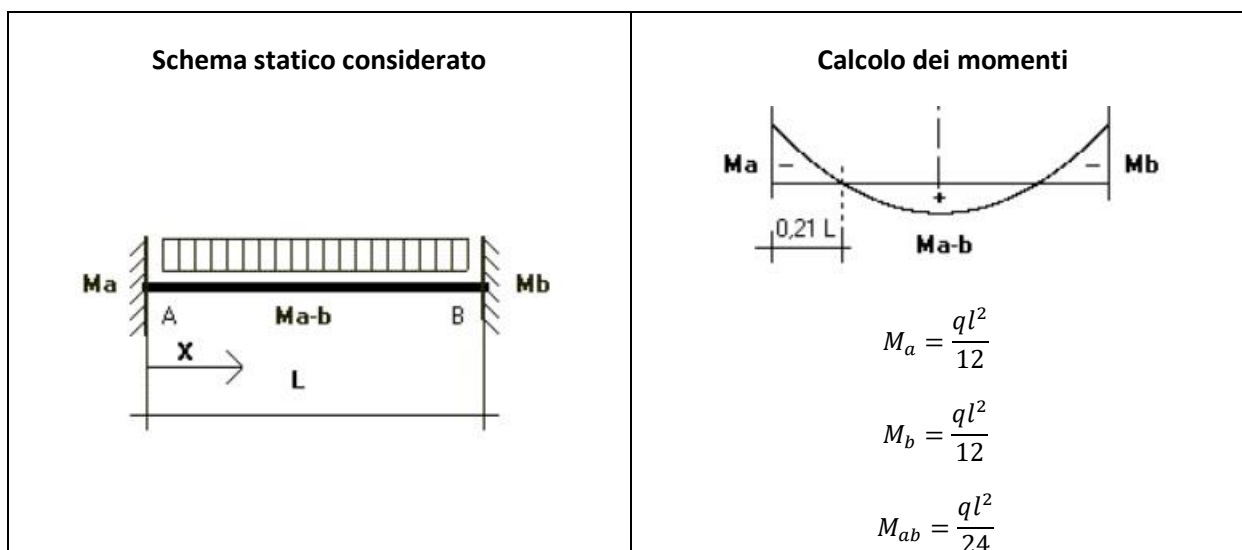
$$M_{ab} = 135 \text{ kNm}$$





### Soletta di copertura

I carichi agenti sulla soletta di copertura sono tutti riconducibili ad un unico schema di carico come mostrato di seguito:



I momenti agenti dovuti ai diversi carichi applicati sulla soletta di copertura sono:

- **Peso proprio**

$$M_a = 36.45 \text{ kNm}$$

$$M_b = 36.45 \text{ kNm}$$

$$M_{ab} = 18.23 \text{ kNm}$$

- **Ritombamento**

$$M_a = 143.4 \text{ kNm}$$

$$M_b = 143.4 \text{ kNm}$$

$$M_{ab} = 71.7 \text{ kNm}$$



Traffico

$M_a = 48.6 \text{ kNm}$

$M_b = 48.6 \text{ kNm}$

$M_{ab} = 24.3 \text{ kNm}$

I momenti complessivi agenti sui muri in combinazione a Stato Limite di Esercizio sono:

$M_a = -228.45 \text{ kNm}$


$M_b = -228.45 \text{ kNm}$

$M_{ab} = 114.2 \text{ kNm}$

Di seguito si riporta la comparazione dei momenti flettenti ottenuti con i due approcci di calcolo analitico e numerico:


Momenti analitici	$M_a = -228.45 \text{ kNm}$	$M_{ab} = 114.2 \text{ kNm}$	$M_b = -228.45 \text{ kNm}$
$M_a = -229 \text{ kNm}$			
$M_{ab} = 135 \text{ kNm}$			
$M_b = -299 \text{ kNm}$			

Momenti modellazione

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna</b>
Stazione Cimarosa/Tabacchi - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi di stazione	MTL2T1A1DSTRSCIR003-0-1

La variazione dei risultati tra i due modelli di calcolo in termini di momento flettente è dell'ordine del 25-30%. Le grosse differenze sono dovute a che il calcolo analitico tende ad essere più conservativo, dall'altro canto il modello aggiunge gli effetti di tridimensionalità e considera le molle del terreno, andando ad attenuare ancora gli effetti dei carichi.

In conclusione, le comparazioni tra modellazione geotecnica e strutturale, unitamente alle verifiche speditive e valutazioni di correttezza del comportamento atteso delle modellazioni, mostrano l'attendibilità, la robustezza e la validità delle elaborazioni eseguite.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna</b>
Stazione Cimarosa/Tabacchi - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi di stazione	MTL2T1A1DSTRSCIR003-0-1

## Appendice A



CITTA' DI TORINO

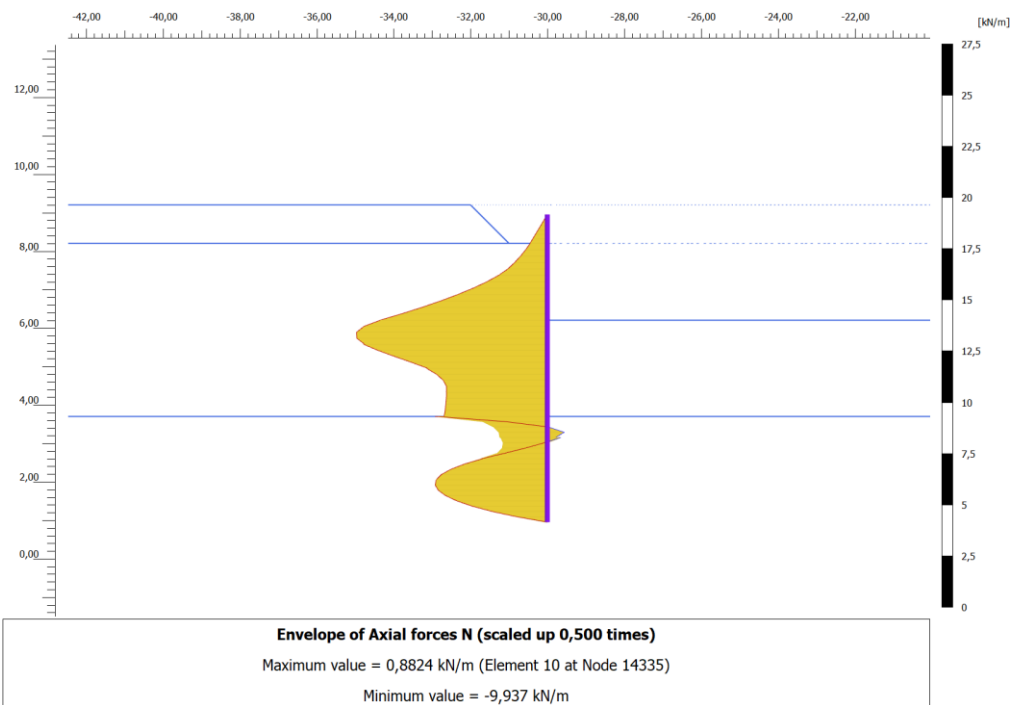
Metropolitana di Torino - Linea 2  
Tratta: Politecnico - Rebaudengo  
Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna

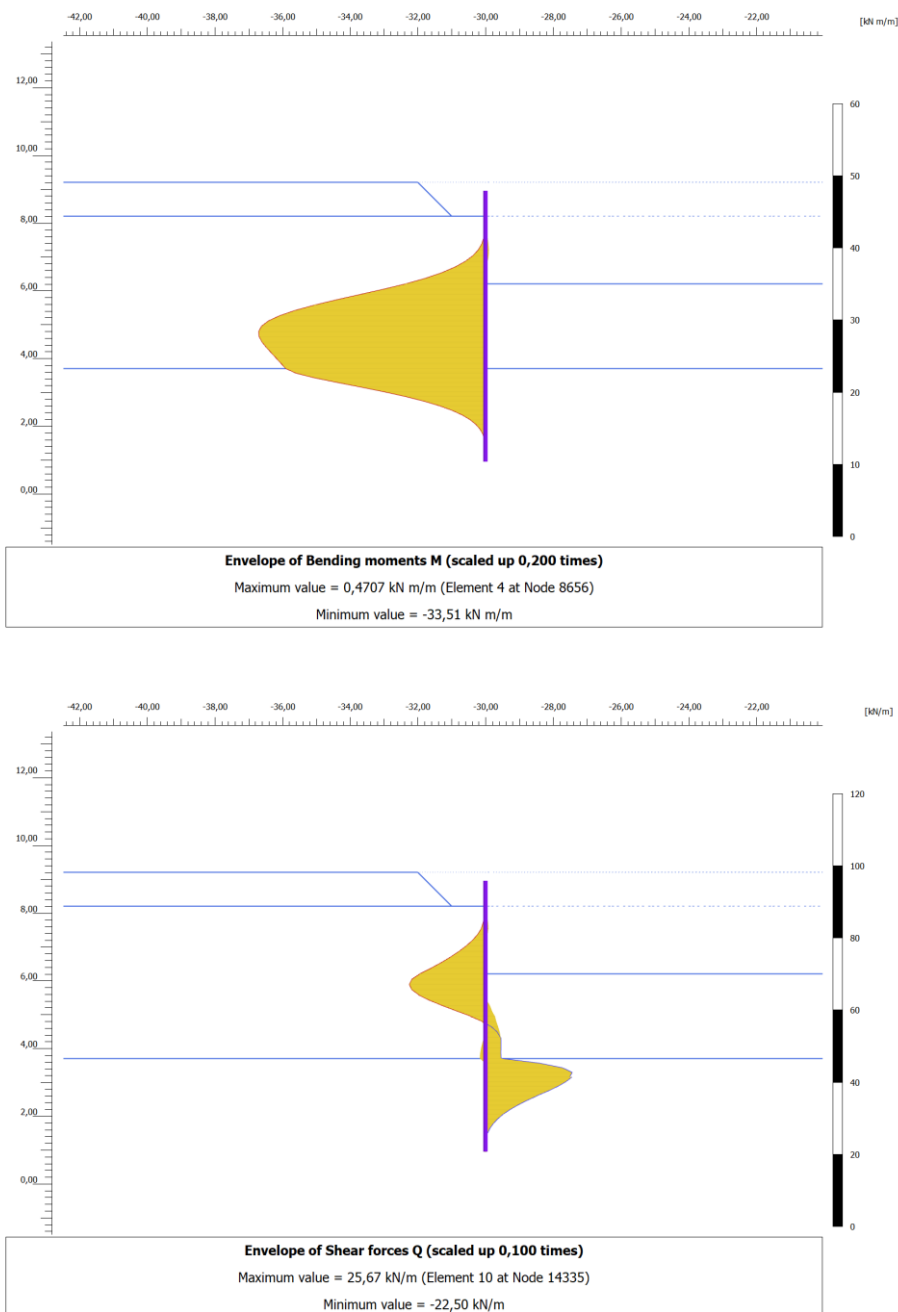
Stazione Cimarosa/Tabacchi - Relazione di calcolo  
opere di sostegno e strutture accessi di stazione

MTL2T1A1DSTRSCIR003-0-1

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**

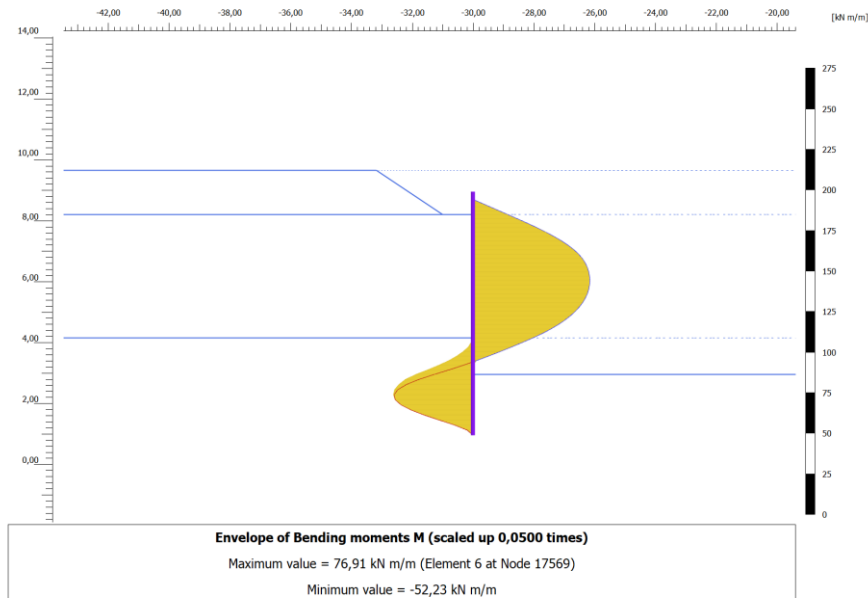
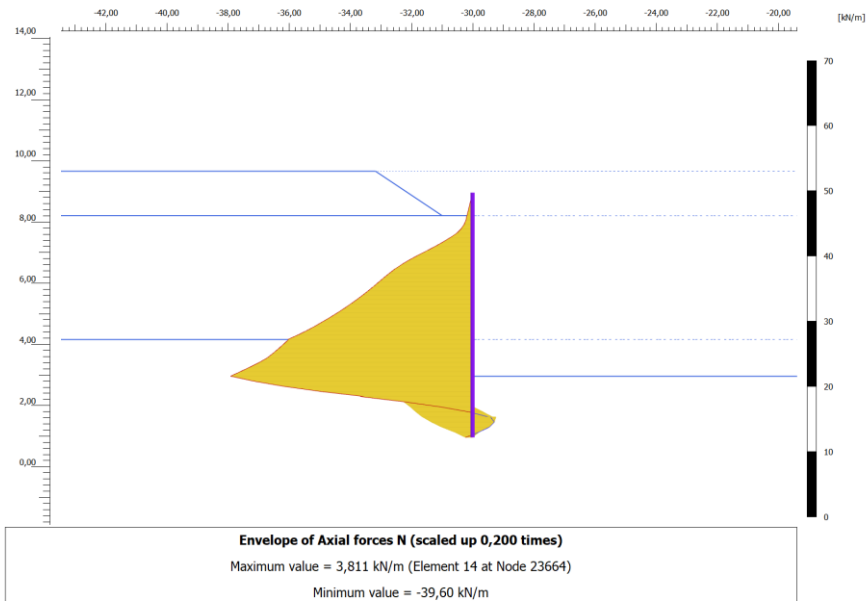




**Figura 40. Output PLAXIS: Involuppo dello sforzo assiale, del taglio e del momento flettente - Schema A**



• **Schema B**



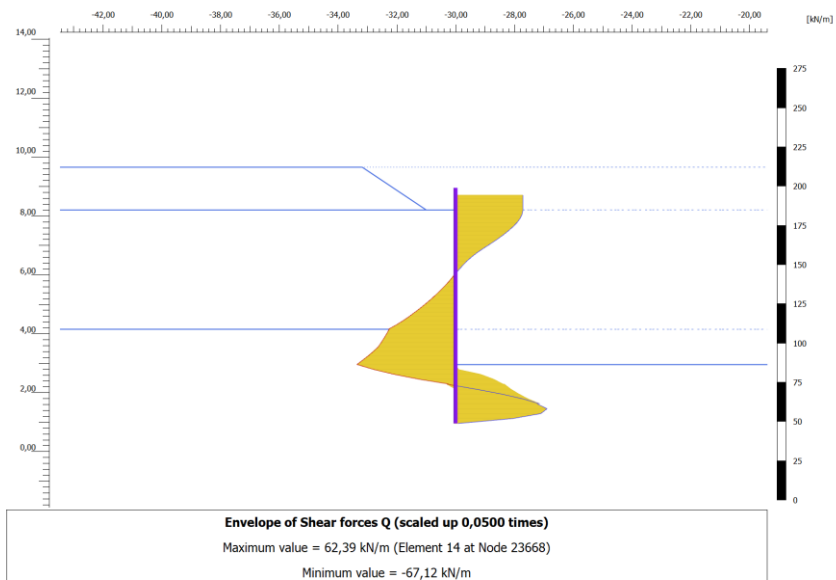
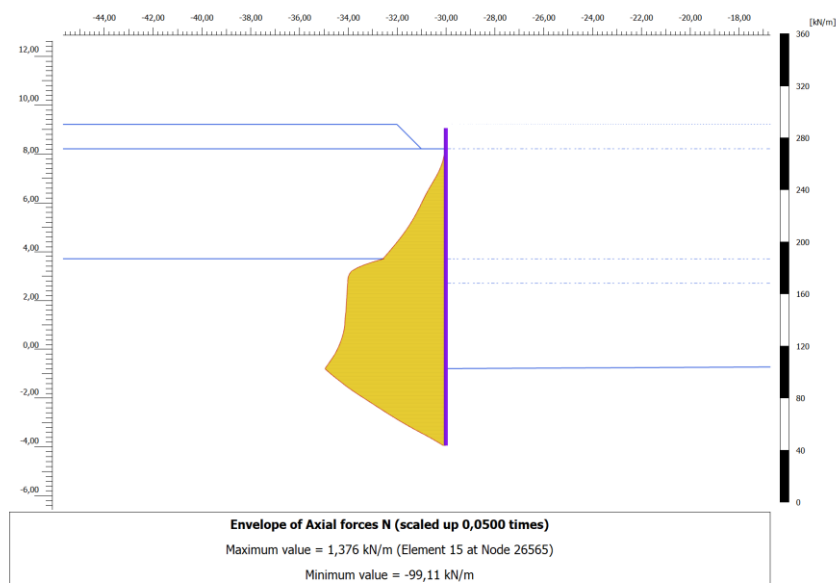


Figura 41. Output PLAXIS: Involuppo dello sforzo assiale, del taglio e del momento flettente – Schema B

- Schema C







CITTA' DI TORINO

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

Stazione Cimarosa/Tabacchi - Relazione di calcolo  
opere di sostegno e strutture accessi di stazione

MTL2T1A1DSTRSCIR003-0-1

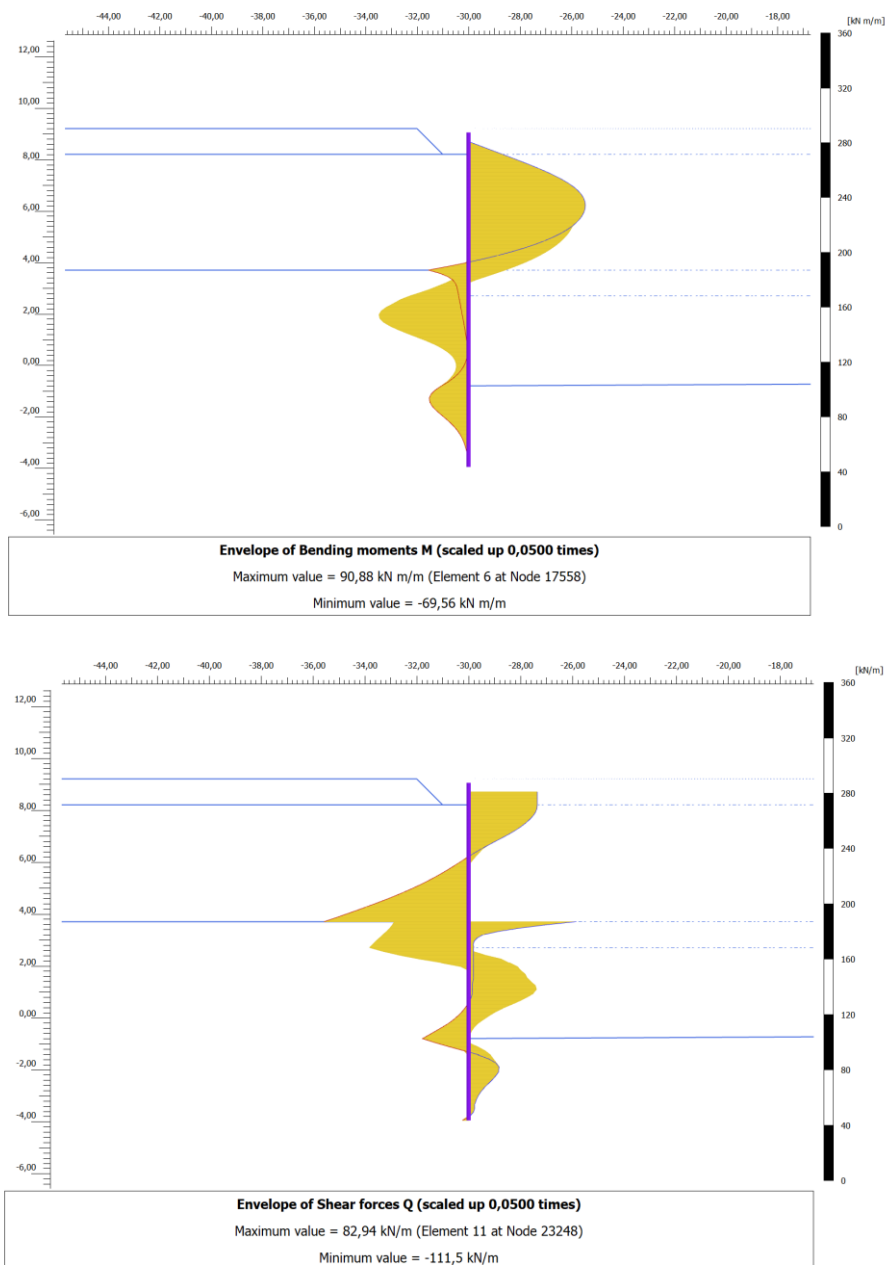




Figura 42. Output PLAXIS: Involuppo dello sforzo assiale, del taglio e del momento flettente – Schema C

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna</b>
Stazione Cimarosa/Tabacchi - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi di stazione	MTL2T1A1DSTRSCIR003-0-1

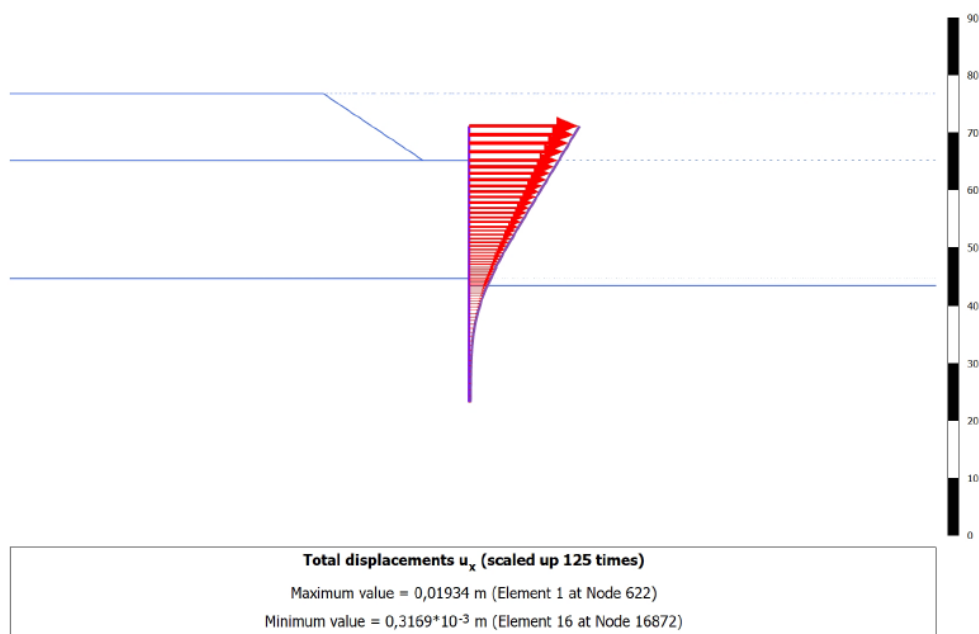
## Appendice B

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna</b>
Stazione Cimarosa/Tabacchi - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi di stazione	MTL2T1A1DSTRSCIR003-0-1

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 spostamenti orizzontali della parete.

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

- **Schema A**



**Figura 43. Spostamenti orizzontali parete di micropali – Schema A**



- **Schema B**

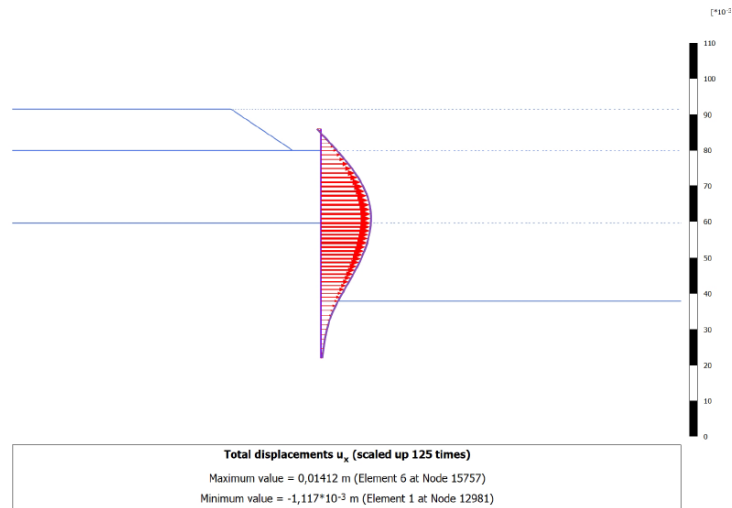


Figura 44. Spostamenti orizzontali parete di micropali – Schema B

- **Schema C**

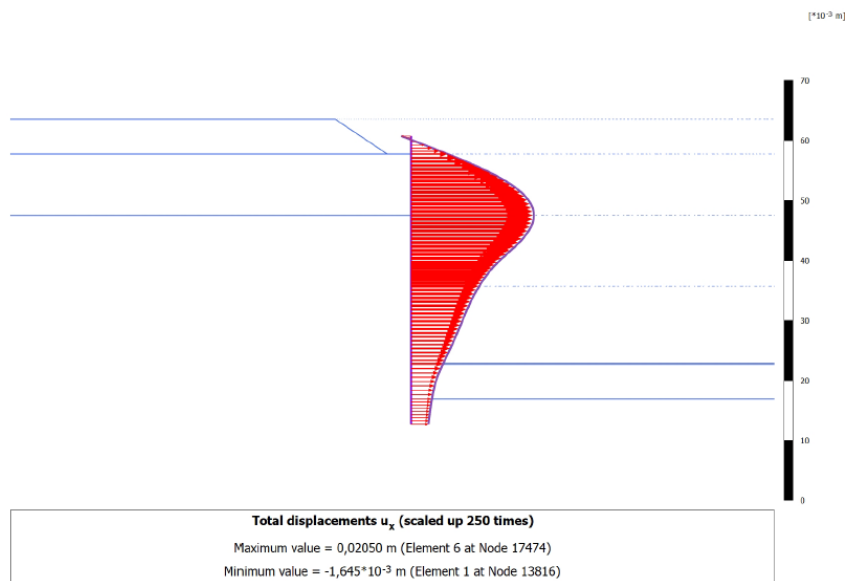




Figura 45. Spostamenti orizzontali parete di micropali – Schema C

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna</b>
Stazione Cimarosa/Tabacchi - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi di stazione	MTL2T1A1DSTRSCIR003-0-1

## Appendice C

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna</b>
Stazione Cimarosa/Tabacchi - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi di stazione	MTL2T1A1DSTRSCIR003-0-1

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 puntone per le sezioni di calcolo in cui essi sono presenti.

- **Schema B**

**Tabella 21 Output Plaxis: Sforzo assiale sul puntone – Schema B**

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	14099	1	-30,000	8,700	-137,622	-137,622	0,000	0,000	1,000

- **Schema C**


**Tabella 22 Output Plaxis: Sforzo assiale sui puntone – Schema C**

**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	12778	1	-30,000	8,700	-159,032	-159,032	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	23248	1	-30,000	3,700	-576,938	-576,938	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 1: Rebaudengo - Bologna</b>
Stazione Cimarosa/Tabacchi - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi di stazione	MTL2T1A1DSTRSCIR003-0-1

## 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. E' 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**

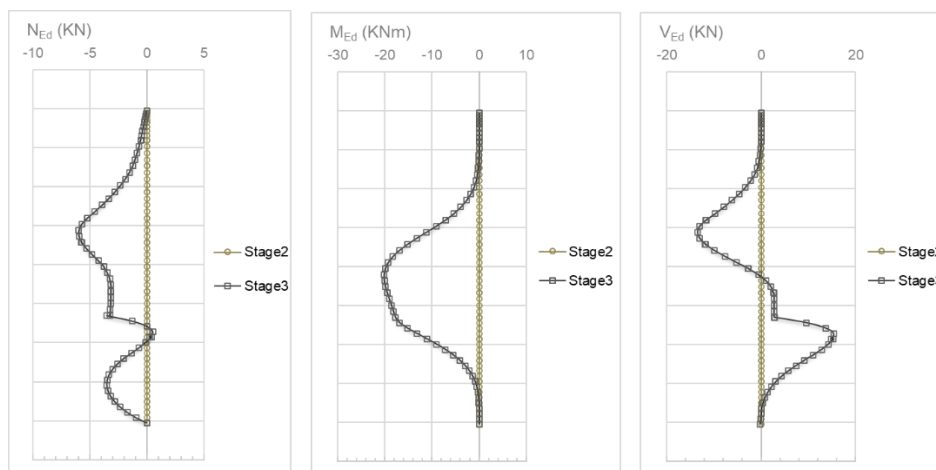


Figura 46. Sforzo assiale, taglio e momento di progetto per i diversi stage di calcolo – Schema A

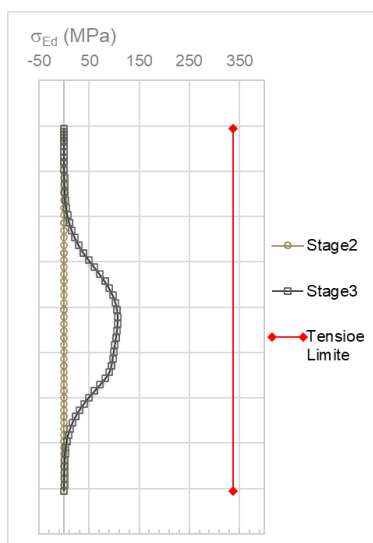


Figura 47. Tensione di verifica secondo NTC - tensione a snervamento acciaio – Schema A





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

### • Schema B

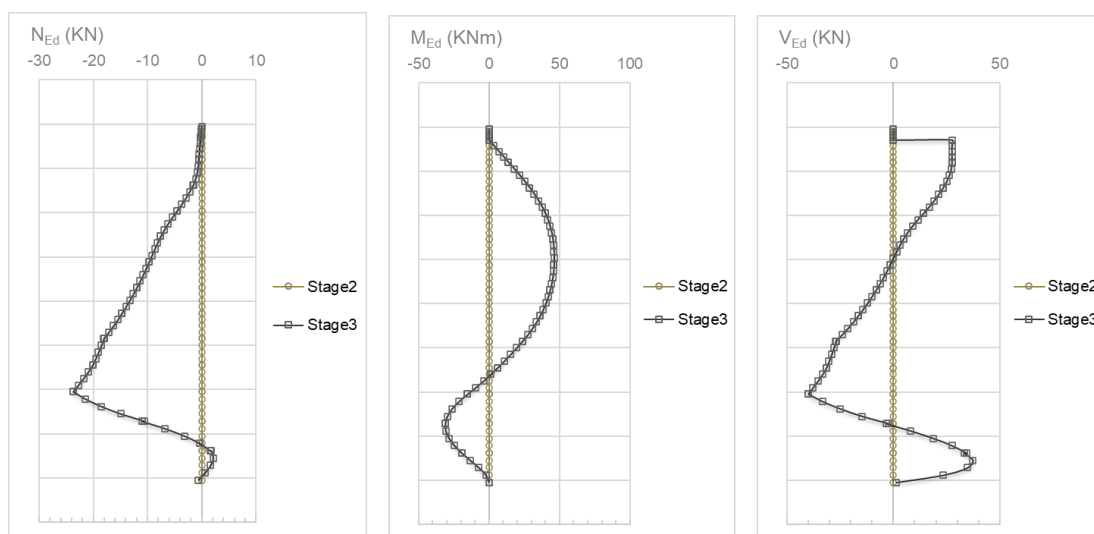


Figura 48. Sforzo assiale, taglio e momento di progetto per i diversi stage di calcolo – Schema B

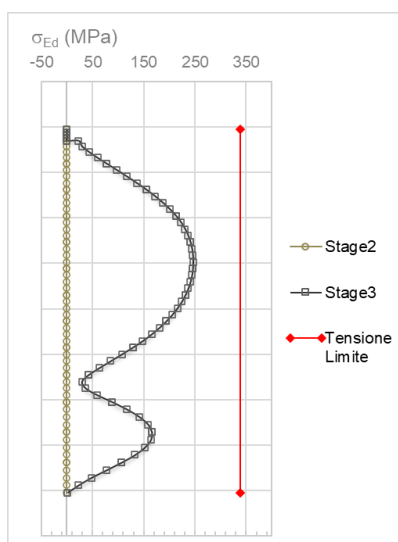


Figura 49. Tensione di verifica secondo NTC - tensione a snervamento acciaio – Schema B

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



• **Schema C**

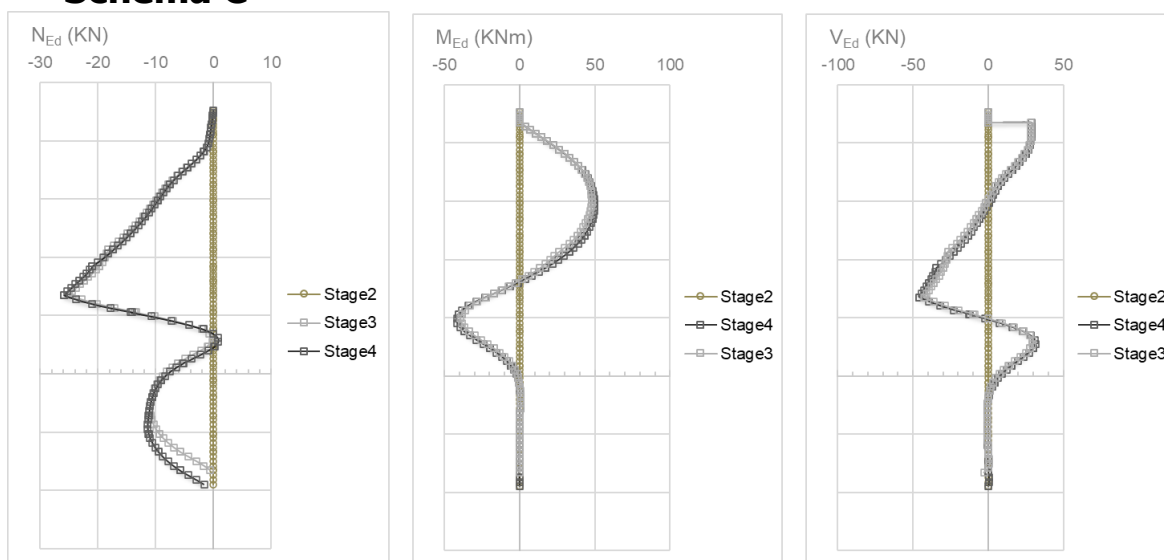


Figura 50. Sforzo assiale, taglio e momento di progetto per i diversi stage di calcolo – Schema C

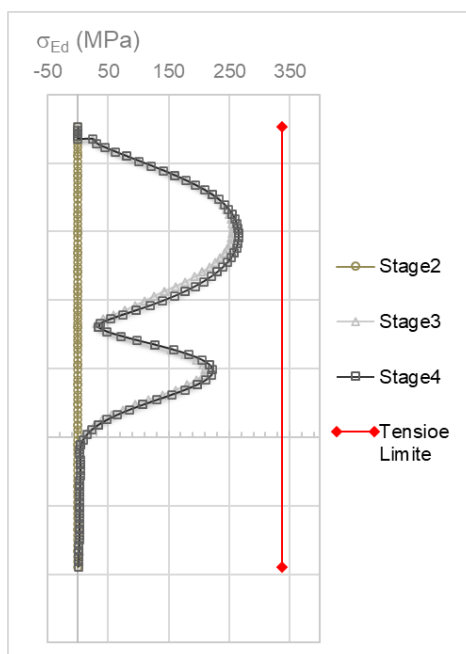




Figura 51. Tensione di verifica secondo NTC - tensione a snervamento acciaio – Schema C

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

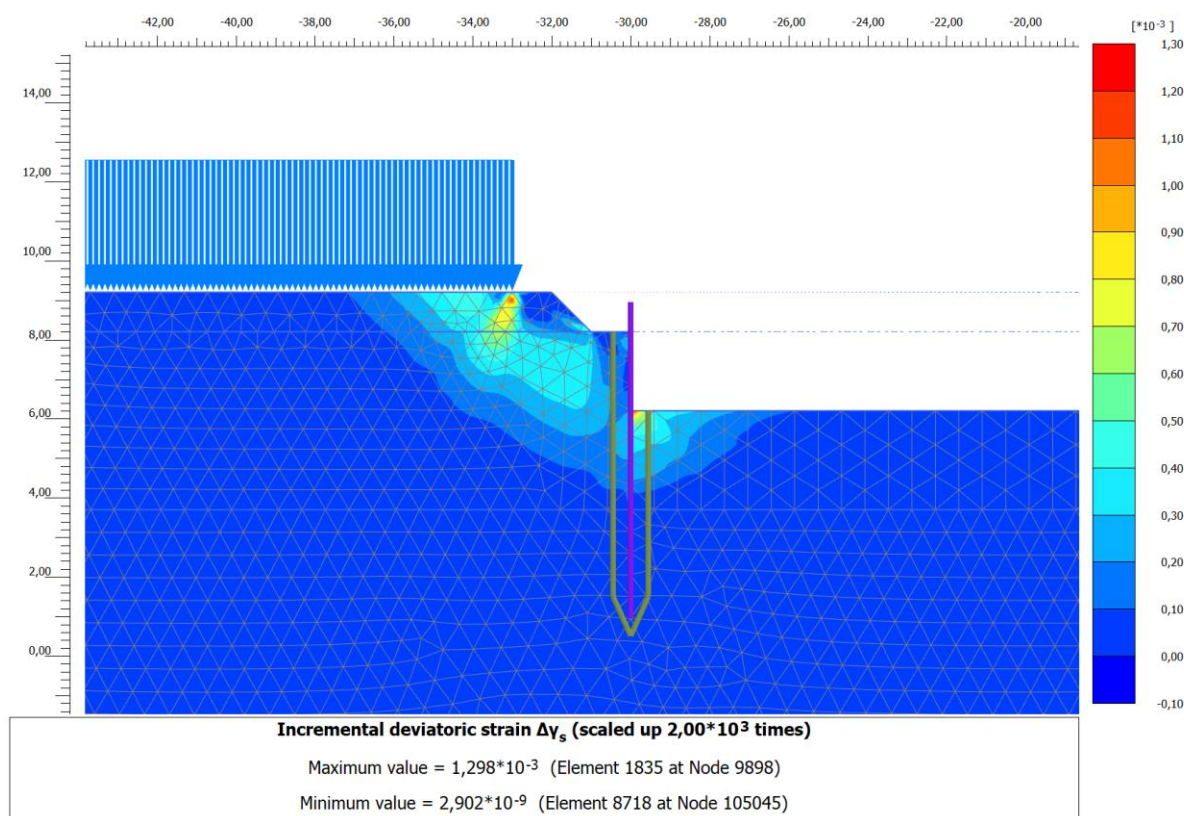
 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna</b>
Stazione Cimarosa/Tabacchi - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi di stazione	MTL2T1A1DSTRSCIR003-0-1

## Appendice E

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna</b>
Stazione Cimarosa/Tabacchi - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi di stazione	MTL2T1A1DSTRSCIR003-0-1

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

- **Schema A**



**Figura 52. 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.

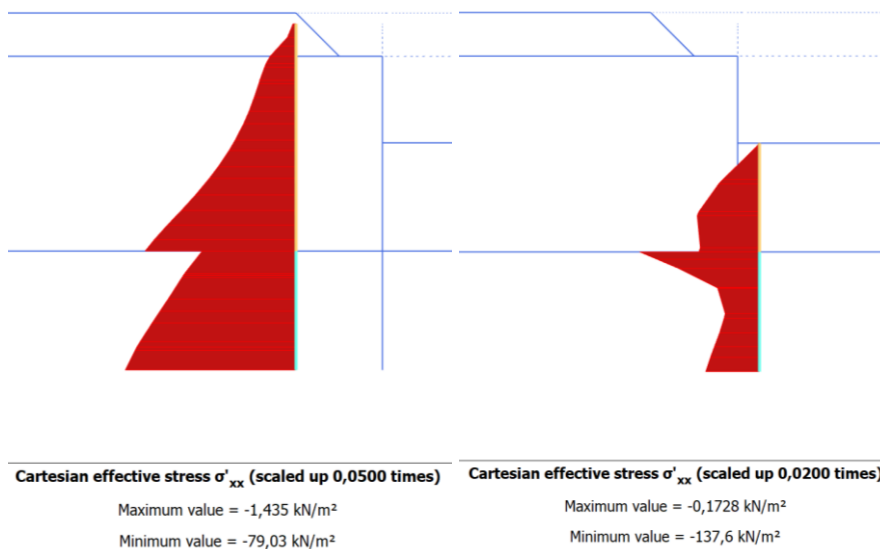


Figura 53. Tensioni orizzontali efficaci paratia - Lato monte e valle – Schema A

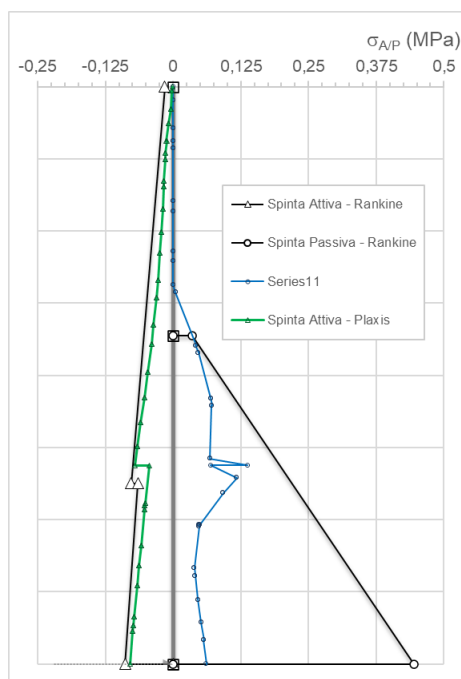



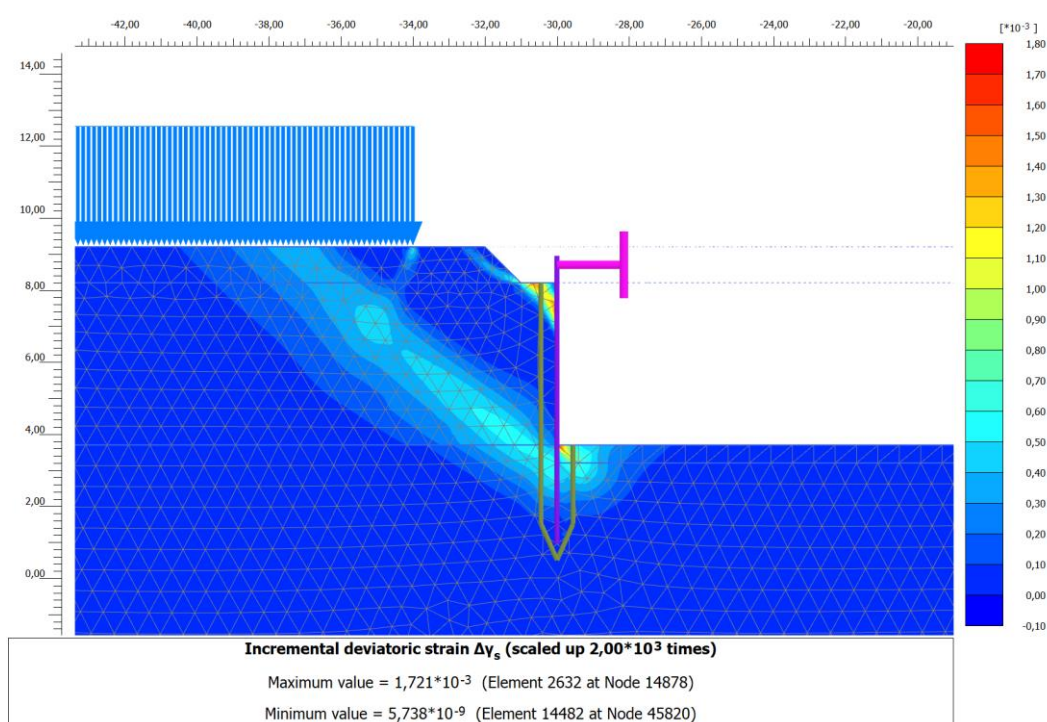
Figura 54. Confronto tensioni limite attive e passive con tensioni orizzontali Plaxis – Schema A

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

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna</b>
Stazione Cimarosa/Tabacchi - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi di stazione	MTL2T1A1DSTRSCIR003-0-1

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 55. 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.

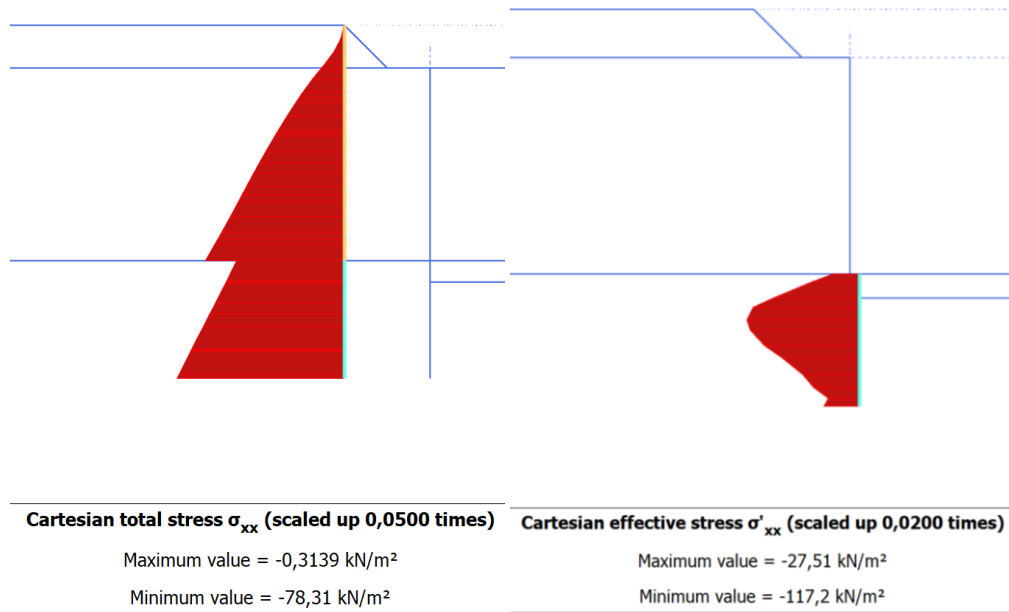


Figura 56. Tensioni orizzontali efficaci paratia - Lato monte e valle – Schema B

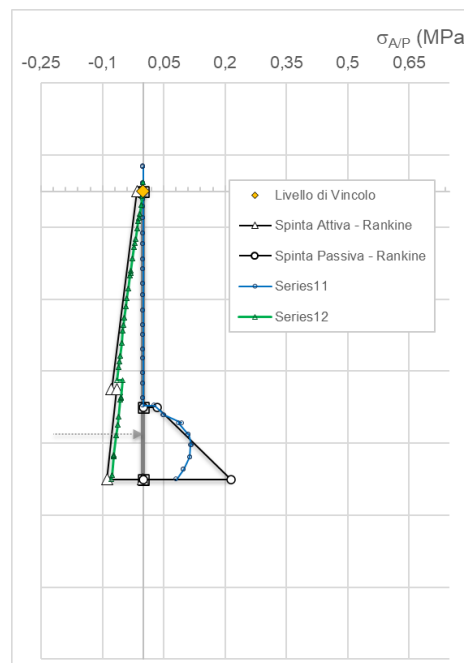
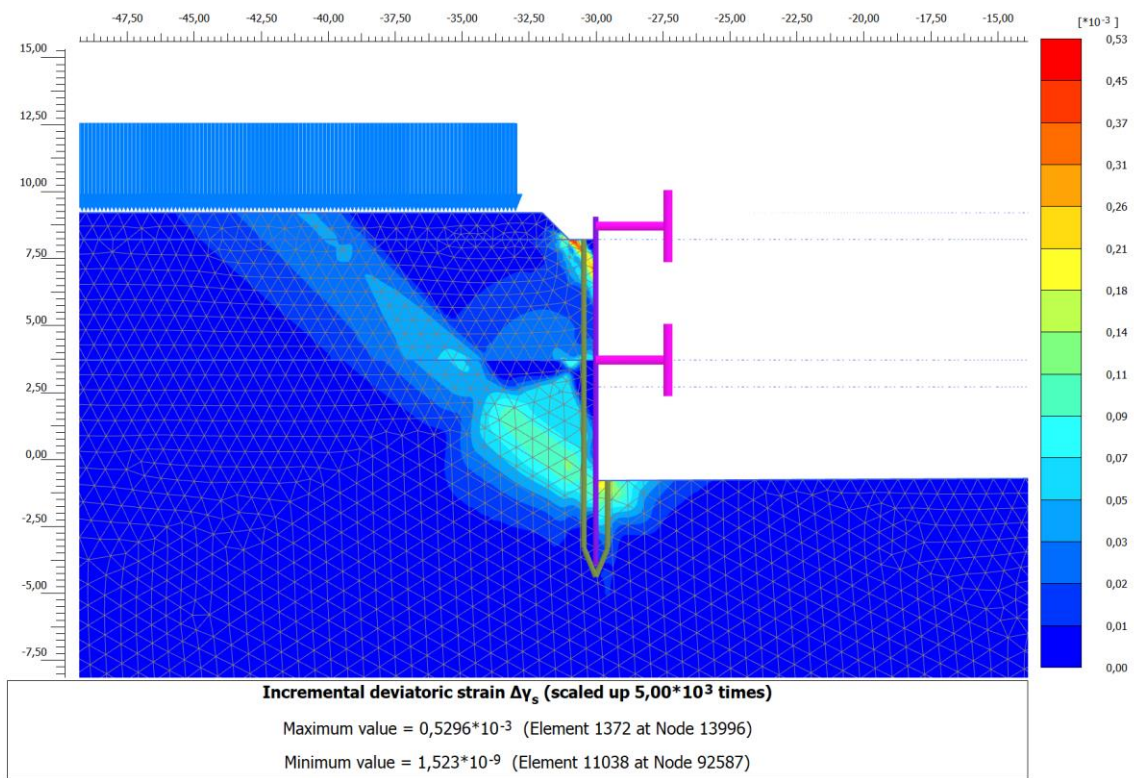


Figura 57. Confronto tensioni limite attive e passive con tensioni orizzontali Plaxis – Schema B



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

- **Schema C**



**Figura 58. Rapporto tra tensione tangenziale massima e tensione tangenziale mobilitata – Schema C**

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.



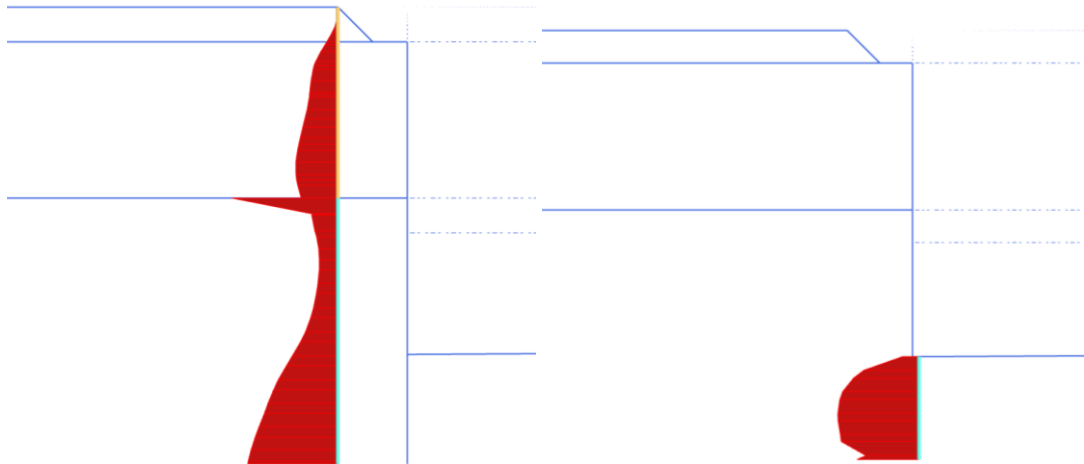


CITTA' DI TORINO

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

Stazione Cimarosa/Tabacchi - Relazione di calcolo  
opere di sostegno e strutture accessi di stazione

MTL2T1A1DSTRSCIR003-0-1



Cartesian effective stress  $\sigma'_{xx}$  (scaled up 0,0200 times)

Maximum value = -0,7191 kN/m<sup>2</sup>

Minimum value = -153,2 kN/m<sup>2</sup>

Cartesian effective stress  $\sigma'_{xx}$  (scaled up 0,0200 times)

Maximum value = -25,59 kN/m<sup>2</sup>

Minimum value = -124,4 kN/m<sup>2</sup>

Figura 59. Tensioni orizzontali efficaci paratia - Lato monte e valle – Schema C

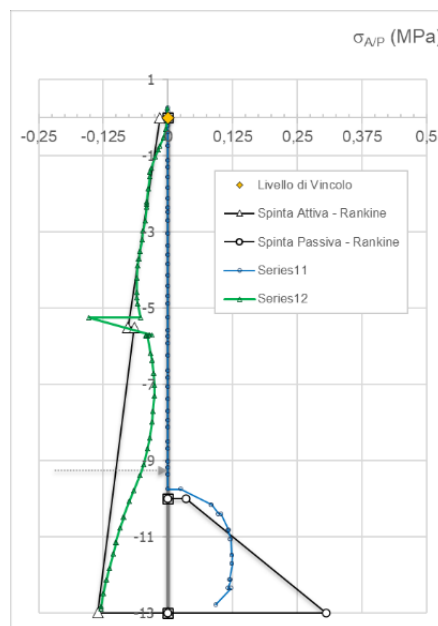





Figura 60. Confronto tensioni limite attive e passive con tensioni orizzontali Plaxis – Schema C

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna</b>
Stazione Cimarosa/Tabacchi - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi di stazione	MTL2T1A1DSTRSCIR003-0-1

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 1: Rebaudengo - Bologna</b>
Stazione Cimarosa/Tabacchi - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi di stazione	MTL2T1A1DSTRSCIR003-0-1

## Appendice F

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna</b>
Stazione Cimarosa/Tabacchi - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi di stazione	MTL2T1A1DSTRSCIR003-0-1

Di seguito sono riportate le caratteristiche dei puntone che sono stati utilizzati per i diversi schemi di calcolo B e C; 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 possibile adottare un puntone con le seguenti caratteristiche:

**Tabella 23 Caratteristiche geometriche puntone adottato - Schema B**

<i>Diametro esterno puntone (tubo di acciaio)</i>	D <sub>p</sub> =219.1 mm
<i>Spessore puntone (tubo di acciaio)</i>	t=8.0 mm
<i>Lunghezza</i>	L=7.6m
<i>Interasse</i>	i=3m

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

Puntone	Y [m]	N <sub>K</sub> [kN]	N <sub>K,MIN</sub> [kN]	N <sub>D,MIN</sub> [kN]
FixedEndAnchor\_1\_1	8.7	-137.62	-137.62	<b>-206.4</b>



VERIFICA PUNTONE PARATIA		
Tipo Tubo (mm)		219,1
		8
Interasse Tubo (m)		3
Lunghezza Tubo (m)		7,6
Diametro esterno	$D_{Ext}$ (m)	0,2191
Diametro interno	$D_{Int}$ (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	$W_{EL}$ (mm <sup>3</sup> )	0,000270163
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
$d/t$	(-)	27,3875
CLASSE SEZIONE	(-)	1
Azione sollecitante Output	(KN/m)	45,8740293
Azione Per Verifica	(KN)	206,4
$N_{CR}$	KN	1062,0
$\lambda$	-	1,3317
$\alpha$	-	0,21
$\Phi$	-	1,506
$\chi$	-	0,453
$N_{b,Rd}$	KN	812,4

**Figura 61. Verifica Puntone – Schema B**

- **Schema C**

Dalle verifiche strutturali di seguito riportate è stato possibile adottare la stessa tipologia di puntone su entrambi i livelli con le seguenti caratteristiche:

**Tabella 25 Caratteristiche geometriche puntone adottati - Schema C**

	<i>Primo livello</i>	<i>Secondo livello</i>
<b><i>Diametro esterno puntone (tubo di acciaio)</i></b>	$D_p=219.1$ mm	$D_p=219.1$ mm
<b><i>Spessore puntone (tubo di acciaio)</i></b>	$t=8.0$ mm	$t=8.0$ mm
<b><i>Lunghezza</i></b>	$L=7.2$ m	$L=7.2$ m
<b><i>Interasse</i></b>	$i=3$ m	$i=3$ m

**Tabella 26 Sollecitazioni di progetto puntone – Schema C**

	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	-159.0	-159.0	<b>-213.5</b>
<b>Secondo puntone</b>	FixedEndAnchor\_2\_1	3.7	-576.9	-576.9	<b>-865.4</b>

Dato che è stato possibile applicare la stessa tipologia di puntone per entrambi i livelli dello schema C, di seguito è riportata la verifica del puntone che risulta caricato maggiormente; quindi, si va riferimento alle sollecitazioni ottenute per il secondo livello di puntone:

VERIFICA PUNTONE PARATIA		
Tipo Tubo (mm)		219,1
		8
Interasse Tubo (m)		3
Lunghezza Tubo (m)		7,2
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)	192,31267
Azione Per Verifica	(KN)	865,4
N <sub>CR</sub>	KN	1183,3
λ	-	1,2616
α	-	0,21
Φ	-	1,407
χ	-	0,492
N <sub>b,Rd</sub>	KN	883,2

**Figura 62. Verifica Puntone – Schema C**

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna</b>
Stazione Cimarosa/Tabacchi - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi di stazione	MTL2T1A1DSTRSCIR003-0-1

## Appendice G



### • Cordolo di testa per Accessi e Ventilazioni

Seguendo quanto riportato in capitolo 5.2.5 è stata eseguita la verifica del cordolo di testa della paratia di micropali da essere applicata negli accessi e griglie di ventilazione; cioè per gli schemi di calcolo A, B e C. 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:

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

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 dallo schema C, si ha:

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

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

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:

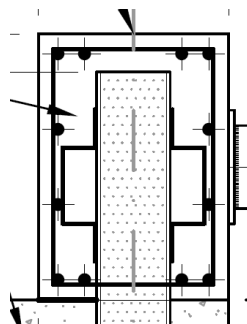


Figura 63. Particolare armature trave di testa





CITTA' DI TORINO

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

Stazione Cimarosa/Tabacchi - Relazione di calcolo  
opere di sostegno e strutture accessi di stazione

MTL2T1A1DSTRSCIR003-0-1


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

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


$$V_{E,d} = 143.1 \text{ KN}$$

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

La verifica risulta soddisfatta.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna</b>
Stazione Cimarosa/Tabacchi - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi di stazione	MTL2T1A1DSTRSCIR003-0-1

## Appendice H

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna</b>
Stazione Cimarosa/Tabacchi - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi di stazione	MTL2T1A1DSTRSCIR003-0-1

- **Trave di ripartizione per Accessi e Ventilazioni**

Seguendo quanto riportato in capitolo 5.2.6 è stata eseguita la verifica della trave di ripartizione per il secondo livello di puntoni da essere applicata negli accessi e griglie di ventilazione; cioè per lo schema di calcolo C. 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 posto al secondo livello dello schema C nel caso in esame, ed L rappresenta il loro interasse.

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


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

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

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:


 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna</b>
Stazione Cimarosa/Tabacchi - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi di stazione	MTL2T1A1DSTRSCIR003-0-1

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

Verifica	
$\sigma_N$ (MPa)	0,00
$\sigma_M$ (MPa)	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 e griglie di ventilazioni.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna</b>
Stazione Cimarosa/Tabacchi - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi di stazione	MTL2T1A1DSTRSCIR003-0-1

## Appendice I



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

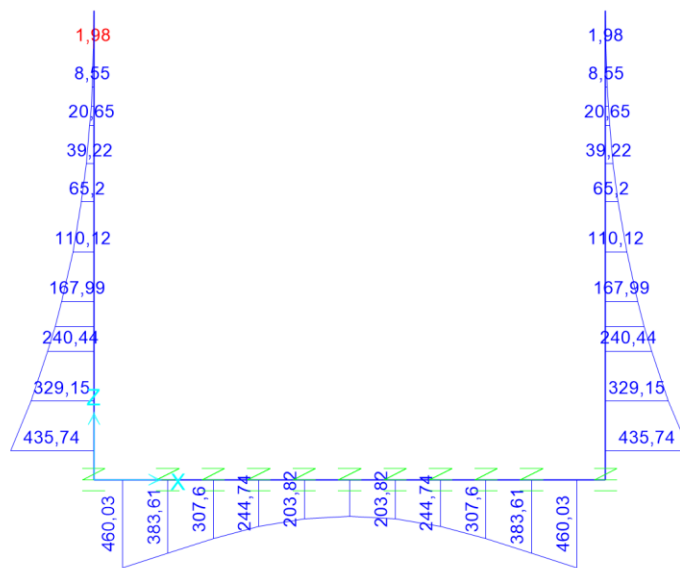


Figura 64. Momento flettente M3-3

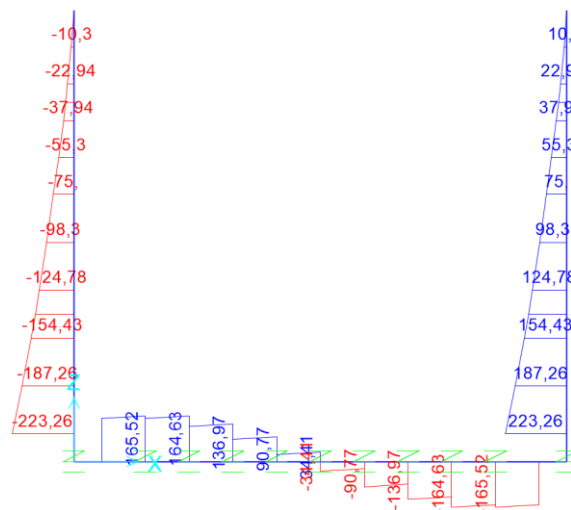


Figura 65. Taglio combinato



SLU STR SISMA X

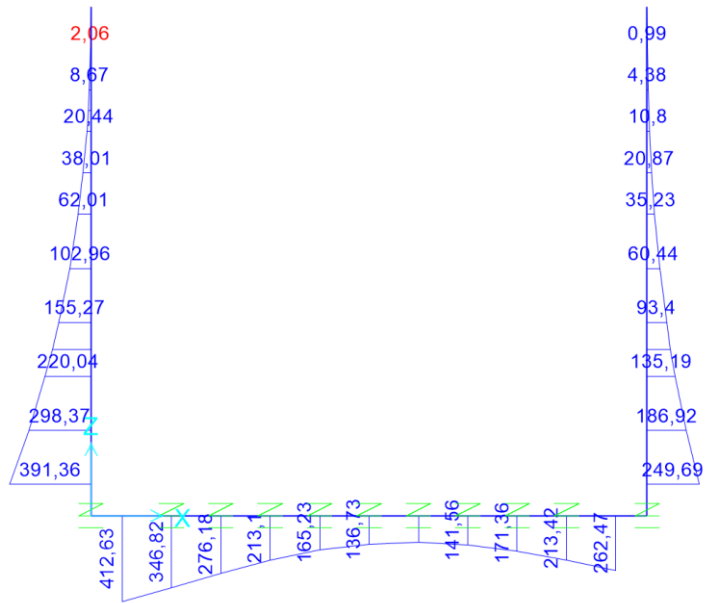
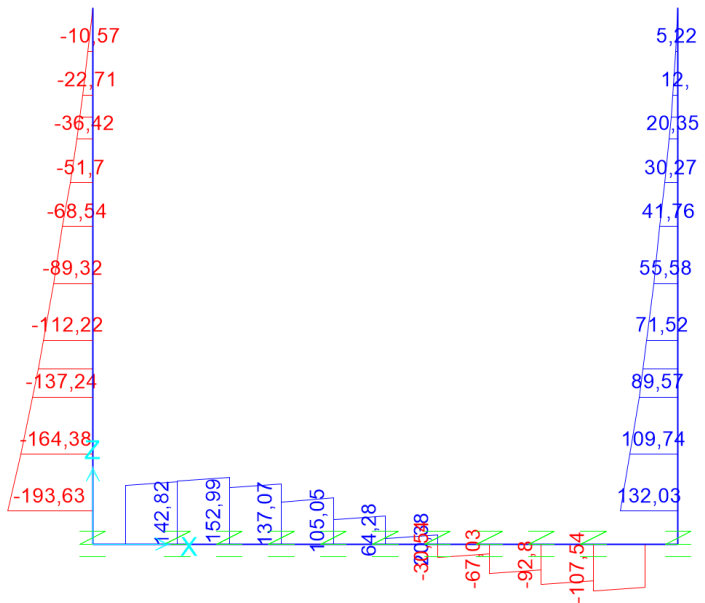


Figura 66. Momento flettente M3-3





CITTA' DI TORINO

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

Stazione Cimarosa/Tabacchi - Relazione di calcolo  
opere di sostegno e strutture accessi di stazione

MTL2T1A1DSTRSCIR003-0-1

Figura 67. Taglio combinato

SLE RARA

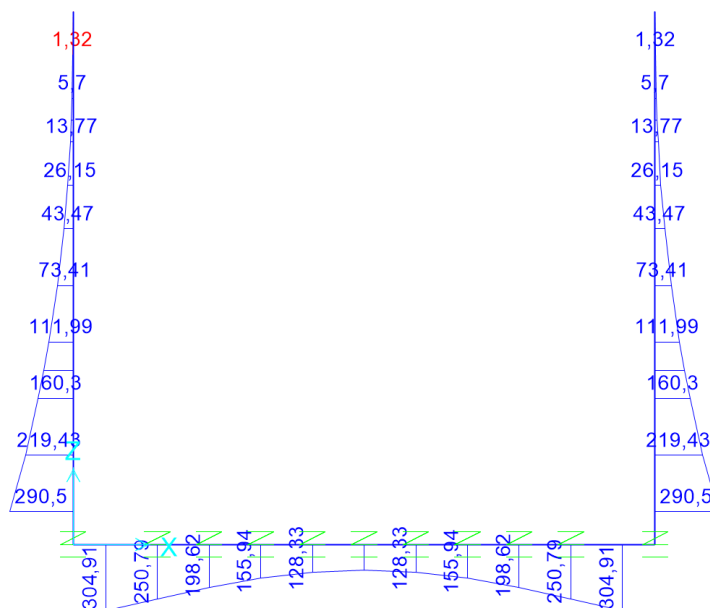


Figura 68. Momento flettente M3-3





CITTA' DI TORINO

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

Stazione Cimarosa/Tabacchi - Relazione di calcolo  
opere di sostegno e strutture accessi di stazione

MTL2T1A1DSTRSCIR003-0-1

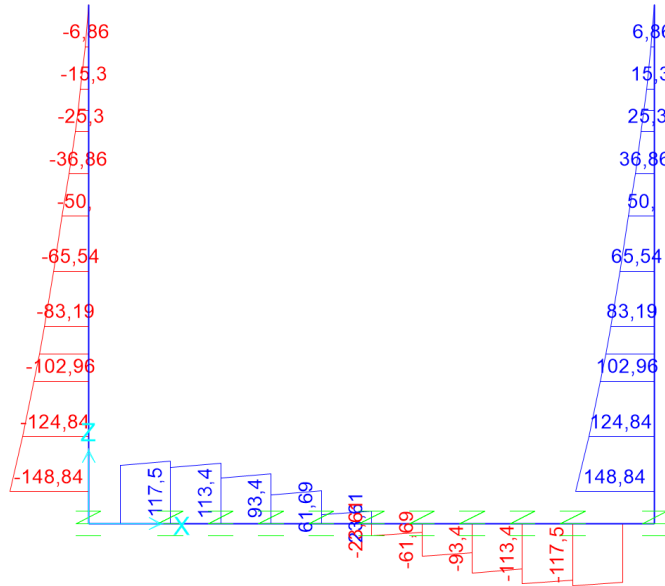


Figura 69. Taglio combinato

### SLE FREQUENTE

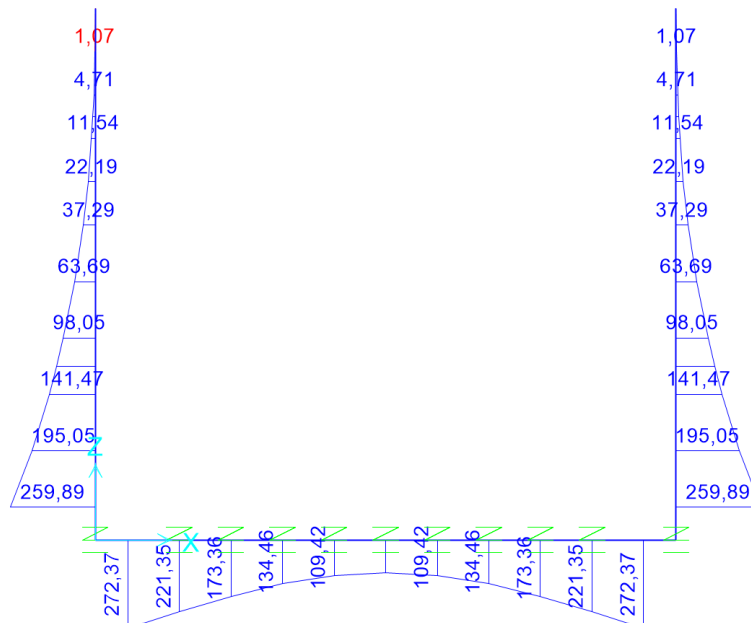




Figura 70. Momento flettente M3-3

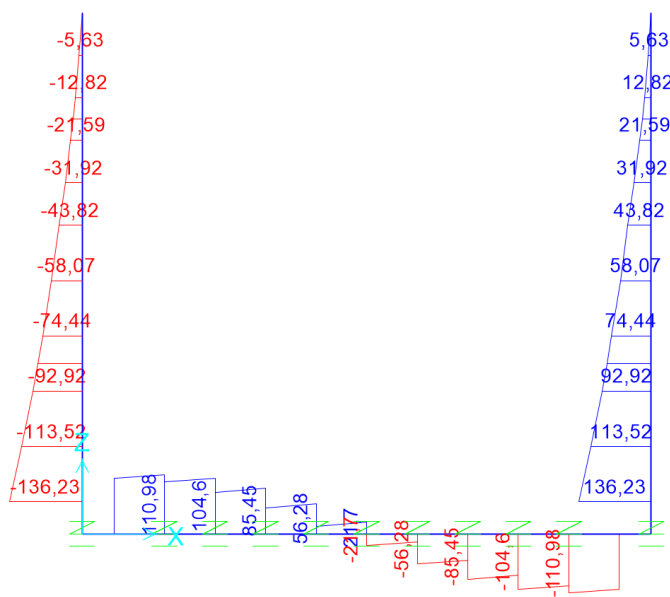


Figura 71. Taglio combinato

SLE QUASI PERMANENTE

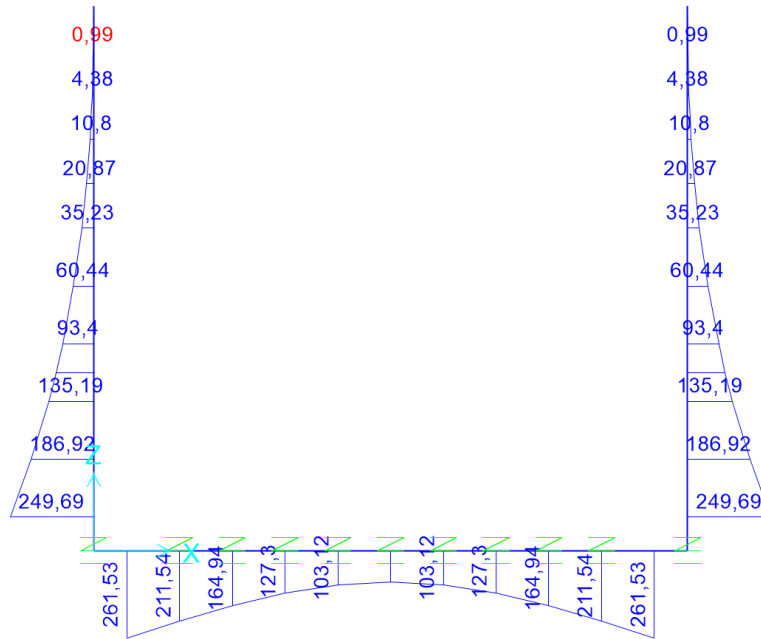


Figura 72. Momento flettente M3-3

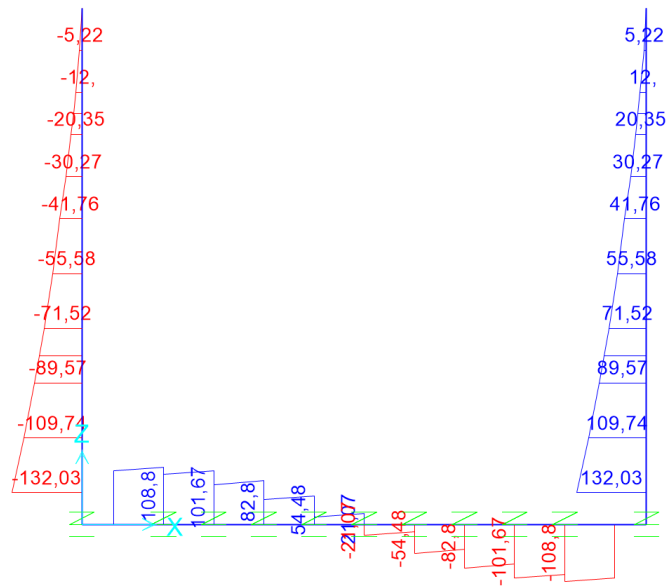


Figura 73. Taglio combinato



## 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 27 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 1: Rebaudengo - Bologna</b>
Stazione Cimarosa/Tabacchi - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi di stazione	MTL2T1A1DSTRSCIR003-0-1

Accesso a sbalzo	Staffe	STATO LIMITE ULTIMO		
		V <sub>Rd,s</sub> ULS	V <sub>Ed,ULS</sub>	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  $M_{Ed,SLE} < M_{lim,SLE}$ .

### **Verifiche geotecniche**

#### **Capacità portante Accesso aperto**

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

La capacità portante 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

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

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

Nell'applicazione presentata, i coefficienti  $g$  risultano uguali a 1.



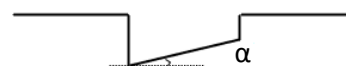
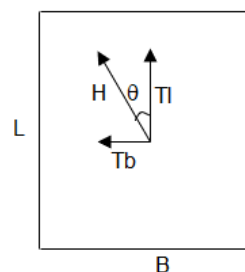
Secondo quanto prescritto dalle norme tecniche per le costruzioni al par. 6.4.3.1.1 il coefficiente parziale ( $R_3$ ) applicato all'aliquota di resistenza della capacità portante di base è pari a 1,35.

**Tabella 28 Verifica capacità portante**

Parametri geotecnici	
$c_k$	10 kPa
$\phi_k$	36 °
$\gamma_k$	19 kN/mc
Dimensione fondazione	
B	6 m
L	9 m
$\theta$ Inclinazione del carico	0 °
$\alpha$ Inclinazione piano di posa	29 °
$\beta$ Inclinazione piano campagna	0 °
Profondità piano di posa	
Profondità	5 m

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

Forza agente	
Carico caratteristico	1080 kN
Fattore sicurezza parziale	1,4
Carico di progetto	1512 kN



Capacità portante	
$s_c$	1,50
$s_q$	1,39
$s_\gamma$	0,73
$d_c$	1,28
$d_q$	1,17
$i_c i_q$	1,00
$i_\gamma$	1,00
$g_c$	1,00



CITTA' DI TORINO

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


Stazione Cimarosa/Tabacchi - Relazione di calcolo  
opere di sostegno e strutture accessi di stazione

MTL2T1A1DSTRSCIR003-0-1

$g_q$	1,00
$g_\gamma$	1,00
$b_c$	0,62
$b_q$	0,63
$b_\gamma$	0,63
$N_c$	50,53
$N_q$	37,71
$N_\gamma$	40,01

$q_c$	602	kPa
$q_q$	3888	kPa
$q_\gamma$	1057	kPa

$q_{ult}$	5547	kPa
Fattore sicurezza parziale	1,35	
<b>Resistenza di progetto</b>	<b>221866</b>	<b>kN</b>
<b>Carico di progetto</b>	<b>1512</b>	<b>kN</b>
	<b>Verificato</b>	

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna</b>
Stazione Cimarosa/Tabacchi - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi di stazione	MTL2T1A1DSTRSCIR003-0-1

## Appendice J





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

SLU STR A1+M1+R1

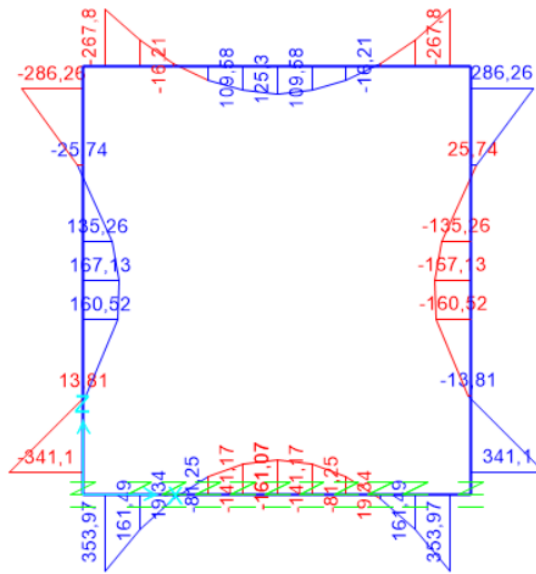


Figura 74. Momento flettente M3-3

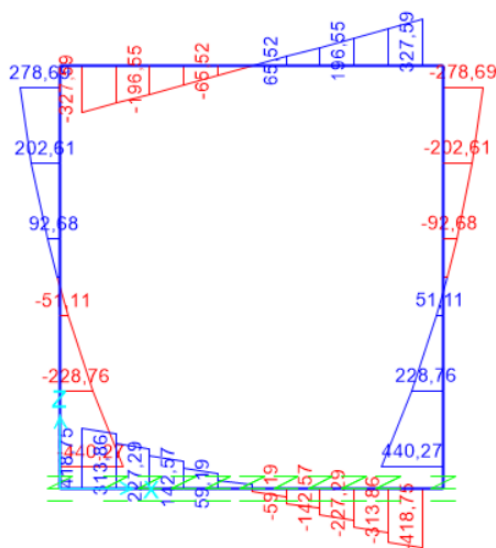




Figura 75. Taglio combinato

SLU STR SISMA X

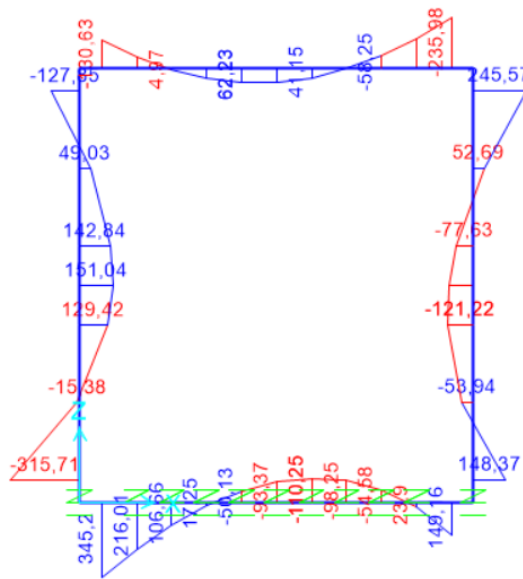


Figura 76. Momento flettente M3-3

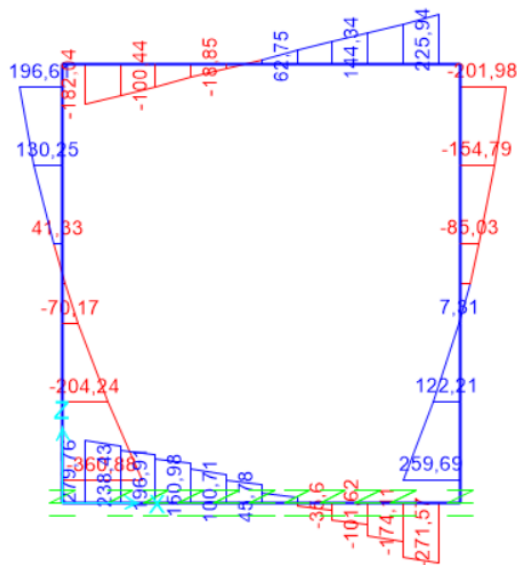


Figura 77. Taglio combinato



SLE RARA

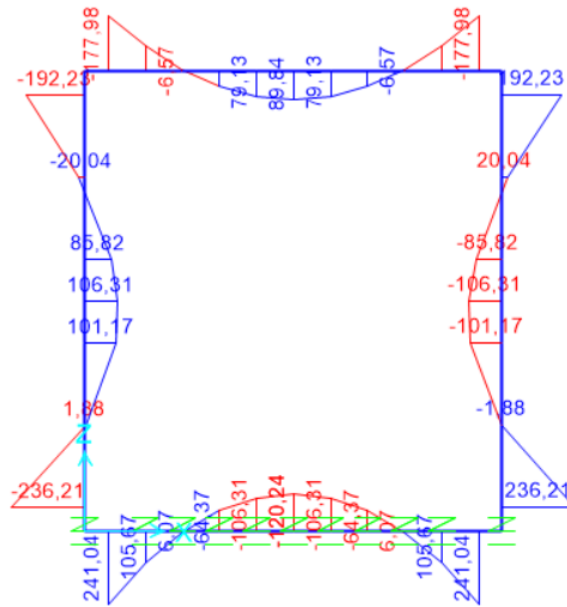


Figura 78. Momento flettente M3-3

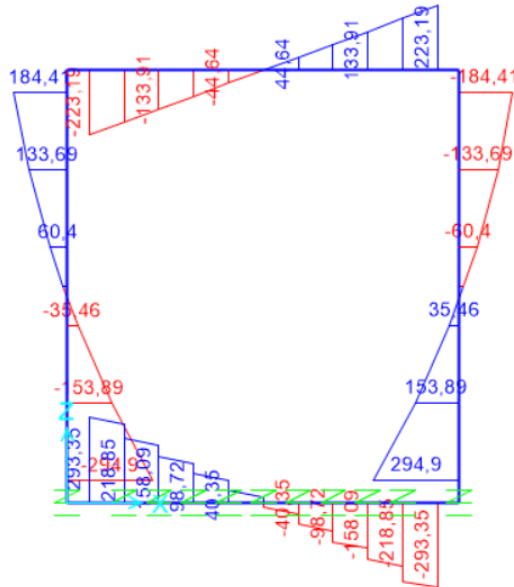


Figura 79. Taglio combinato  
SLE FREQUENTE

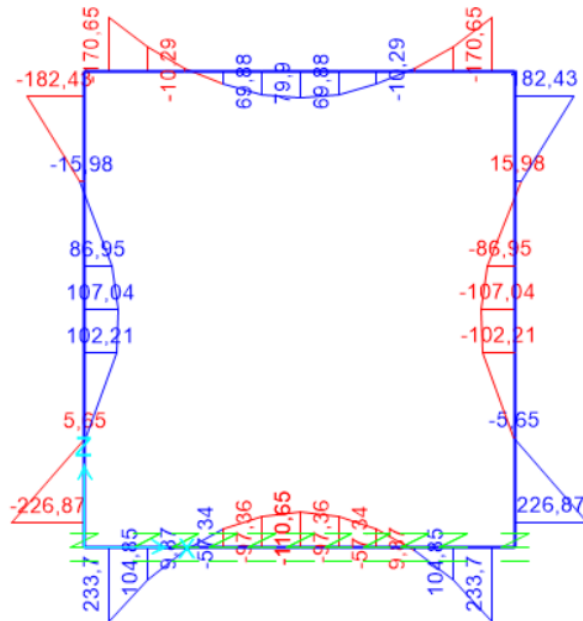




Figura 80. Momento flettente M3-3

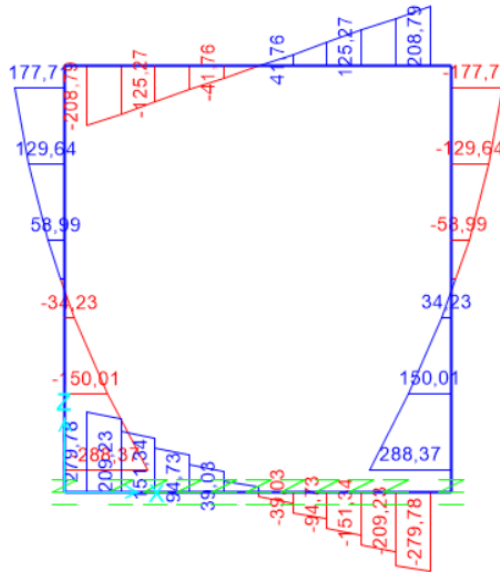


Figura 81. Taglio combinato

SLE QUASI PERMANENTE

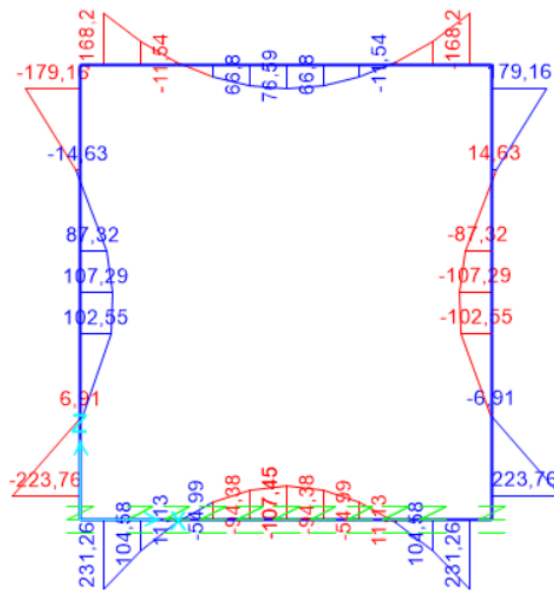




Figura 82. Momento flettente M3-3

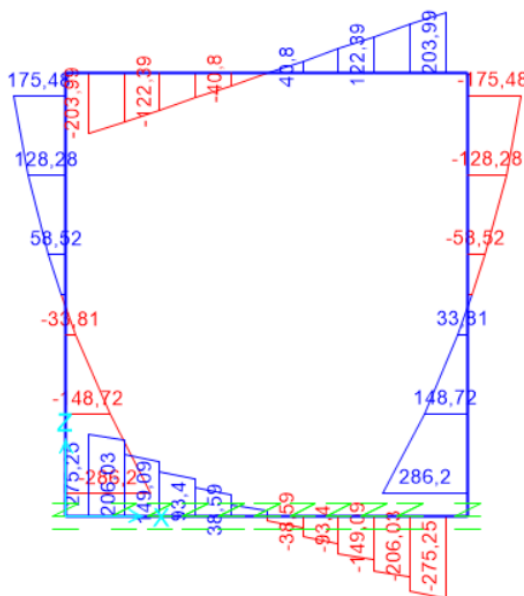


Figura 83. Taglio combinato

### 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 involuipi 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 limite  $M_{lim}$  nella condizione dello stato limite di esercizio (SLE) è determinato dalla seguente condizione:

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

Dove,

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

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



$$M_{s_s} = M_{\max} \text{ per } s_{s,\max} = 0,80 f_{yk}$$

NTC §4.1.2.2.5.2.

**Tabella 29 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	φ24/200	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
Soletta di copertura-Laterale	60	52.5	φ24/200	φ24/200	175	442.75
Soletta di copertura-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

Accesso chiuso	Staffe	STATO LIMITE ULTIMO		
		V <sub>Rd,s</sub> ULS	V <sub>Ed,ULS</sub>	Verifica
	Ø10/200/200	628	440	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 1: Rebaudengo - Bologna</b>
Stazione Cimarosa/Tabacchi - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi di stazione	MTL2T1A1DSTRSCIR003-0-1

## Appendice K

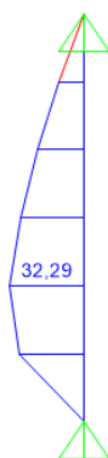


 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna</b>
Stazione Cimarosa/Tabacchi - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi di stazione	MTL2T1A1DSTRSCIR003-0-1

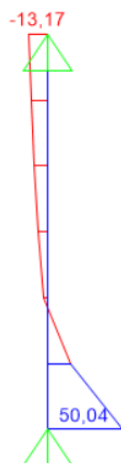
## **Output**

Di seguito sono riportati i risultati delle analisi della vasca d'accumulo antincendio in termini di sollecitazioni:

- **Fodera esterna a contatto con diaframma**



**Figura 84. Fodera Esterna - Momento flettente – SLE**



**Figura 85. Fodera Esterna - Taglio – SLE**



CITTA' DI TORINO

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

Stazione Cimarosa/Tabacchi - Relazione di calcolo  
opere di sostegno e strutture accessi di stazione

MTL2T1A1DSTRSCIR003-0-1



Figura 86. Fodera Esterna - Momento flettente – SLU Statico

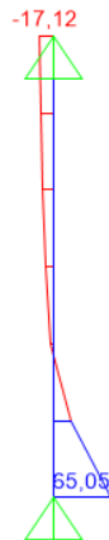

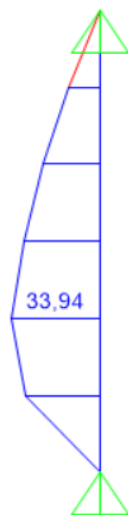
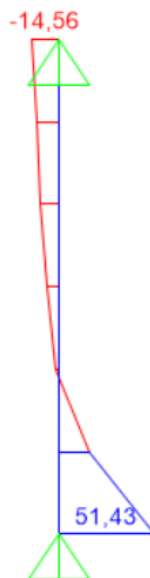


Figura 87. Fodera Esterna - Taglio – SLU Statico

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna</b>
Stazione Cimarosa/Tabacchi - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi di stazione	MTL2T1A1DSTRSCIR003-0-1



**Figura 88. Fodera Esterna - Momento flettente – SLU Sisma**



**Figura 89. Fodera Esterna - Taglio – SLU Sisma**



CITTA' DI TORINO

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

Stazione Cimarosa/Tabacchi - Relazione di calcolo  
opere di sostegno e strutture accessi di stazione

MTL2T1A1DSTRSCIR003-0-1

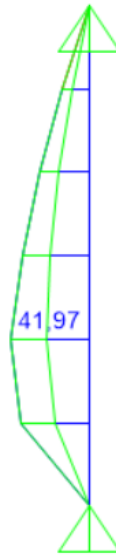


Figura 90. Fodera Esterna - Momento flettente – Inviluppo SLU

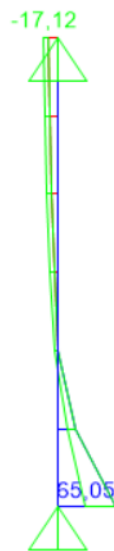


Figura 91. Fodera Esterna - Taglio – Inviluppo SLU



- **Parete interna**

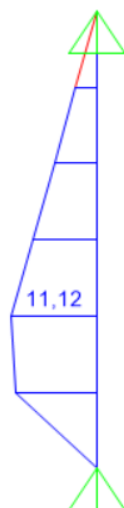


Figura 92. Parete Interna - Momento flettente – SLE

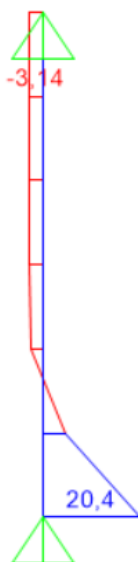

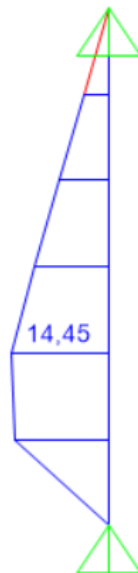
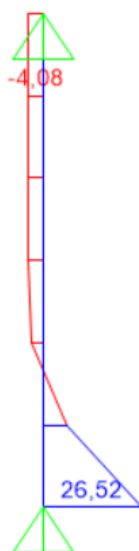


Figura 93. Parete Interna - Taglio – SLE

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna</b>
Stazione Cimarosa/Tabacchi - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi di stazione	MTL2T1A1DSTRSCIR003-0-1



**Figura 94. Parete Interna - Momento flettente – SLU Statico**



**Figura 95. Parete Interna - Taglio – SLU Statico**

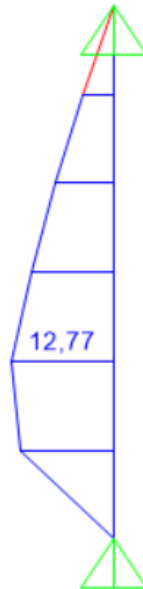


Figura 96. Parete Interna - Momento flettente – SLU Sisma



Figura 97. Parete Interna - Taglio – SLU Sisma

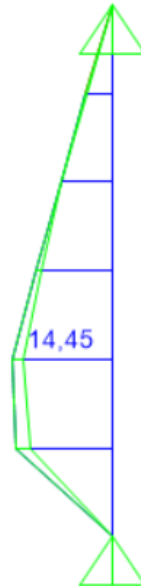


Figura 98. Parete Interna - Momento flettente – Inviluppo SLU

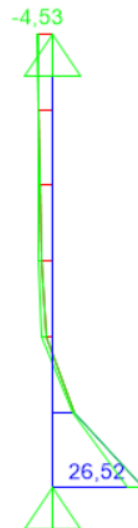



Figura 99. Parete Interna - Taglio – Inviluppo SLU



 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna</b>
Stazione Cimarosa/Tabacchi - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi di stazione	MTL2T1A1DSTRSCIR003-0-1

### **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.

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:

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

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 30 Verifiche strutturali armatura principale Muri – Vasca antincendio**


Armatura		STATO LIMITE ULTIMO			STATO LIMITE DI ESERCIZIO		
		$M_{Rd,ULS}$	$M_{Ed,ULS}$	Verifica	$M_{Rd,lim SLE}$	$M_{Ed,SLS}$	Verifica
<b>Esterna</b>	Ø16/200	175.5	42	OK	66	32.3	OK
<b>Interna</b>	Ø16/200						

**Tabella 31 Verifiche strutturali armatura a taglio Soletta di copertura – Vasca antincendio**

Staffe	STATO LIMITE ULTIMO		
	$V_{Rd,ULS}$	$V_{Ed,ULS}$	Verifica
Ø8/200/400	105	65	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 1: Rebaudengo - Bologna</b>
Stazione Cimarosa/Tabacchi - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi di stazione	MTL2T1A1DSTRSCIR003-0-1

## **APPENDICE L**

### **ACCESSO SPECIALE**



# 1 INTRODUZIONE

L'accesso Nord della stazione Cimarosa/Tabacchi verrà realizzato mediante scavo tra diaframmi contrastati da profilati metallici, previa realizzazione di un tampone di fondo in jet-grouting in quanto la struttura interferisce con la falda in fase costruttiva.

Nella tavola MTL2T1A1DSTRSCIT001.3 sono indicate le fasi costruttive e gli schemi descrittivi della soluzione progettuale.

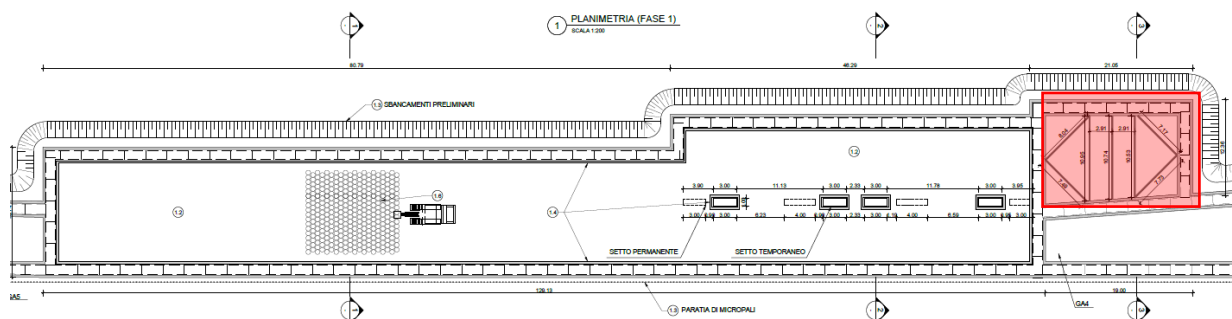


Figura 100. Layout generale della stazione e dell'accesso speciale

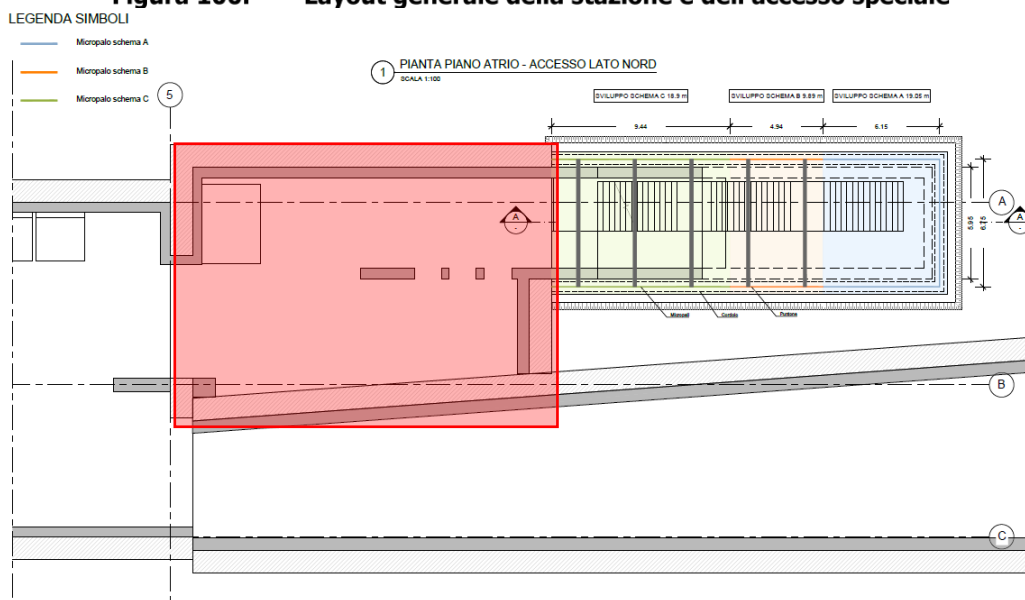
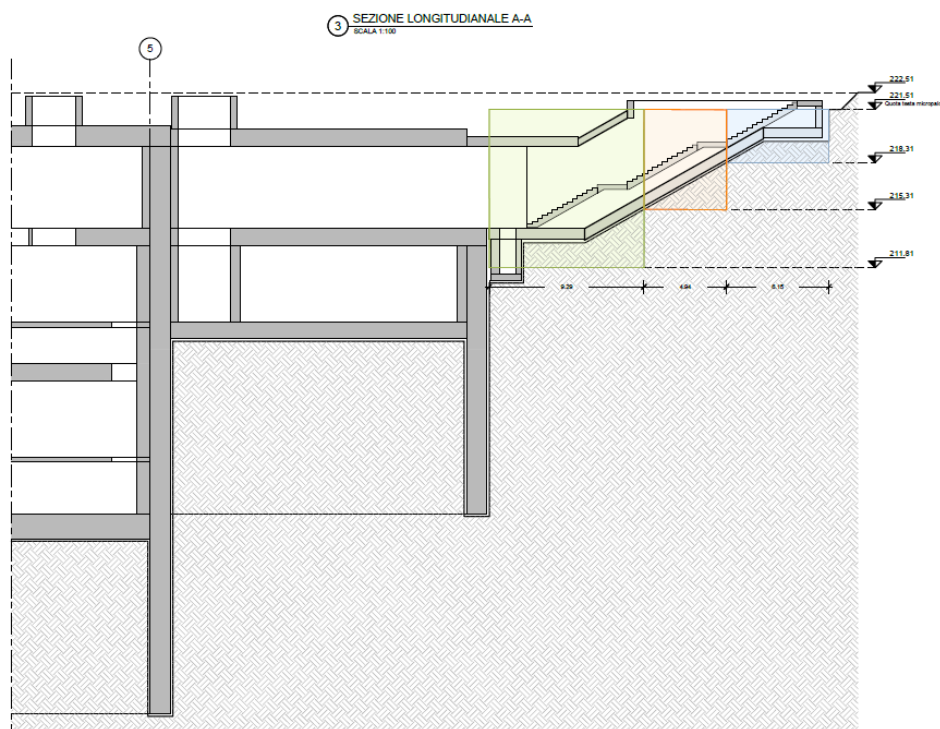


Figura 101. Planimetria Livello Atrio



**Figura 102. Sezione longitudinale Accesso speciale**

Di seguito sono riportate le principali verifiche geotecniche e strutturali del sistema di supporti temporanei e del rivestimento definitivo.



## 2 DEFINIZIONE DEI SUPPORTI PER GLI SCAVI

Il sistema di supporto dell'accesso speciale è costituito da diaframmi di spessore 120 cm, puntonati in testa con degli elementi tubolari in acciaio di diametro 610 mm e spessore 16mm posizionati ad interasse medio 4m. Il tampone di fondo ha spessore pari a 4m nella zona interferente con la falda, come mostrato negli elaborati grafici.

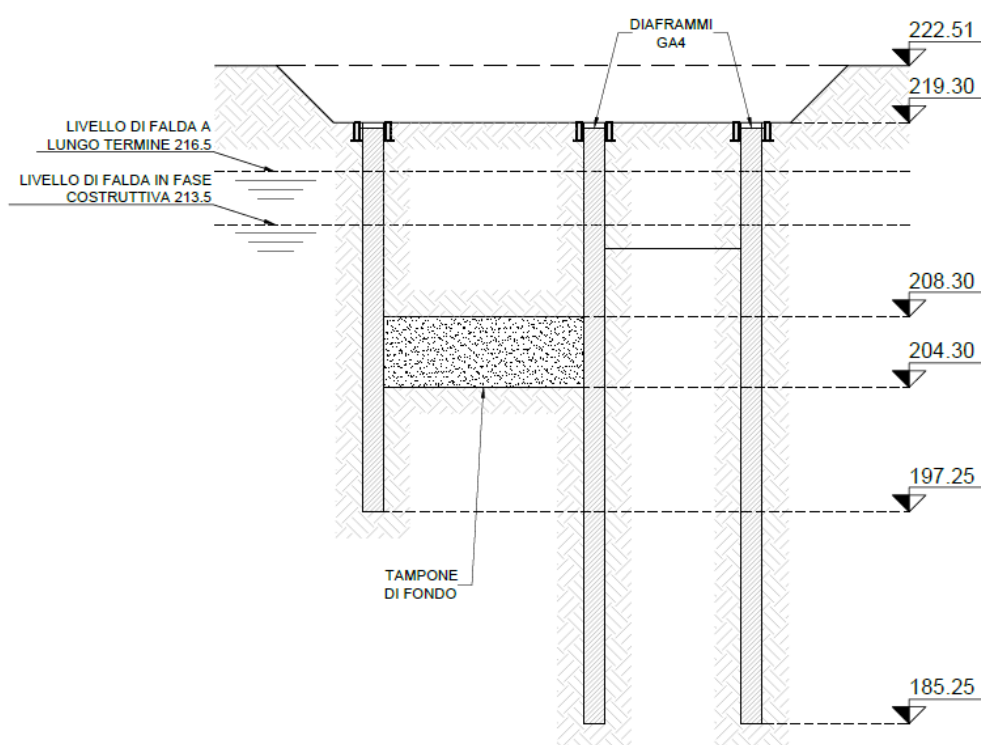
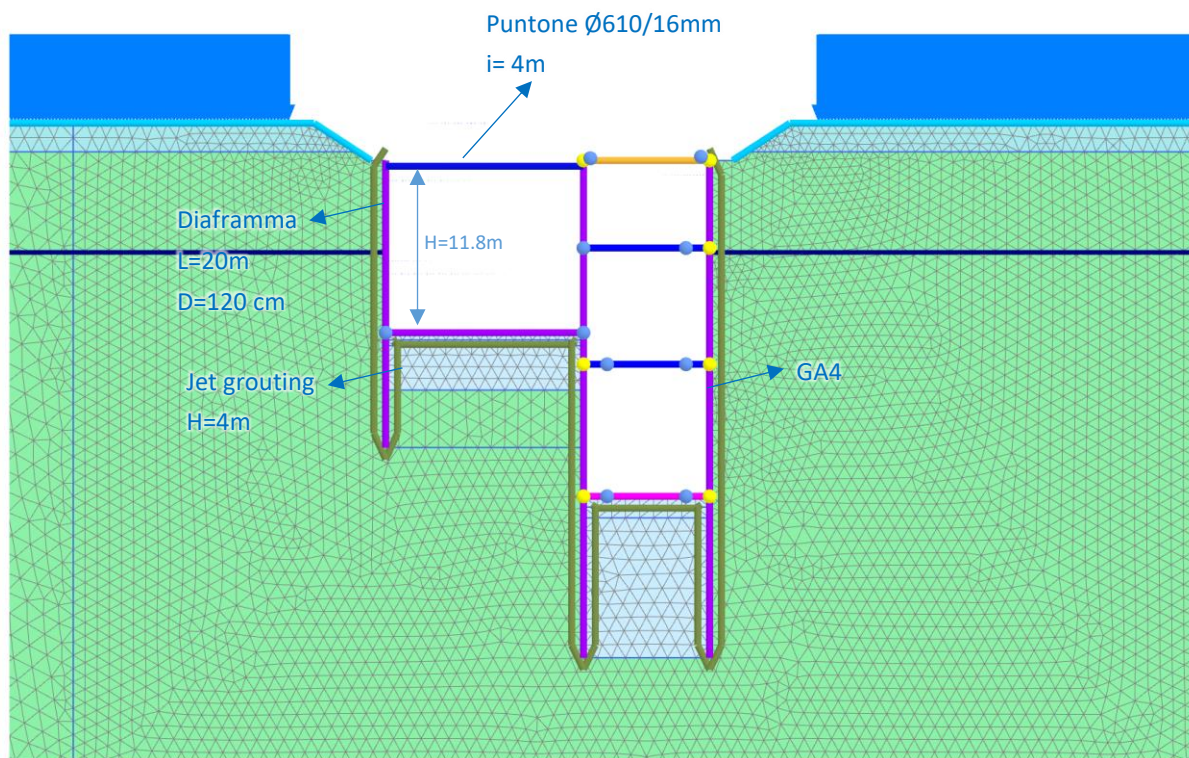


Figura 103. Sezione degli scavi adiacenti alla Galleria artificiale GA4

Di seguito è riportata la geometria del modello di calcolo FEM (Plaxis 2D):




**Figura 104. Modello di calcolo Accesso speciale**

La modellazione degli elementi strutturali è stata effettuata mediante l'utilizzo di elementi plate per quanto riguarda i diaframmi, la cui rigidità è stata valutata per metro di sviluppo del modello; mentre i puntoni sono stati modellati tramite gli elementi *anchors* con la relativa rigidità assiale e interasse.

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

**Tabella 32 Parametri input elementi strutturali**

<b>Diaframmi <math>s = 120\text{ cm}</math></b>		
EA	36E+6	kN/m
EI	4,32E+6	kNm <sup>2</sup> /m

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna</b>
Stazione Cimarosa/Tabacchi - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi di stazione	MTL2T1A1DSTRSCIR003-0-1

<b>Puntoni D610mm sp=16mm</b>		
EA	6,27E+6	kN
L <sub>spaziatura</sub>	4	m

I parametri utilizzati per la modellazione delle colonne di Jet grouting costituenti il tampone di fondo sono riassunti nella seguente tabella e sono i medesimi utilizzati per il tampone realizzato per il corpo stazione:

**Tabella 33 Parametri colonne Jet grouting**

<b>Parametri JG</b>					
$\gamma$	$\phi$	c	UCS	E	v
[kN/m <sup>3</sup> ]	[°]	[kPa]	[kPa]	[MPa]	[-]
22	36	150	590	450	0,3

A seguire sono riportati i risultati dell'analisi e le relative verifiche strutturali.



## 2.1 Output

### 2.1.1 Sollecitazioni paratia Accesso speciale

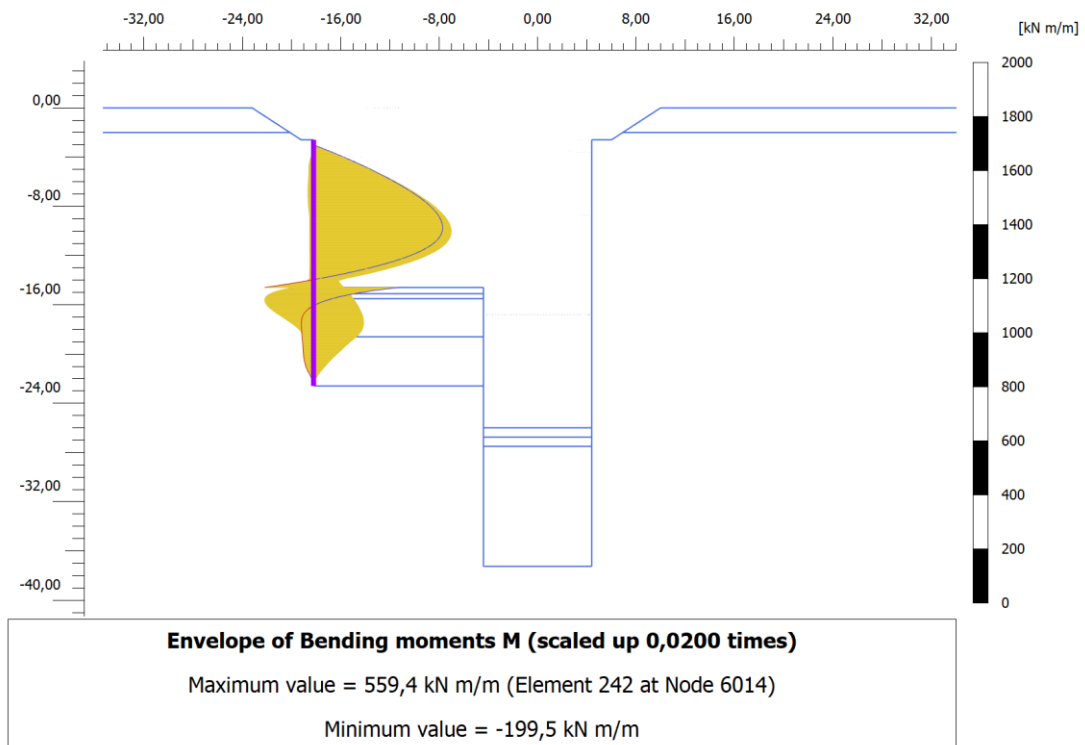


Figura 105. Involuppo Momento Flettente SLE – Paratia Accesso speciale



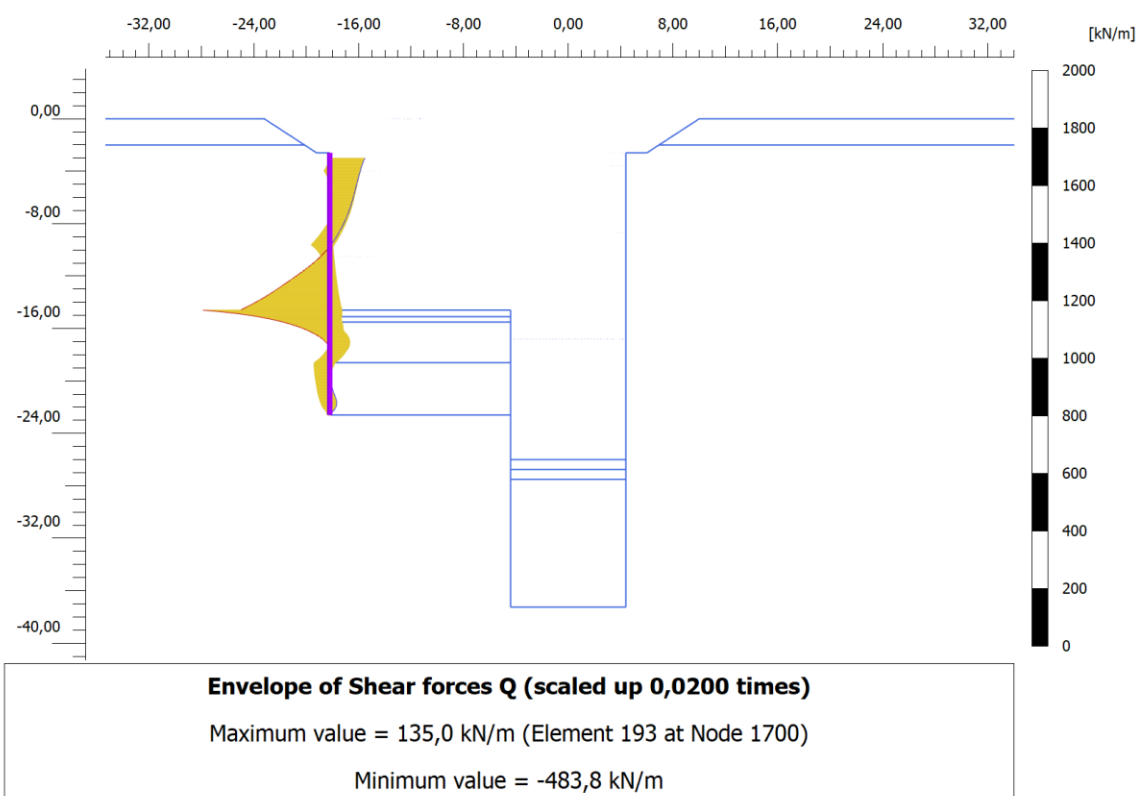


Figura 106. Inviluppo Sollecitazioni taglianti SLE – Paratia Accesso speciale

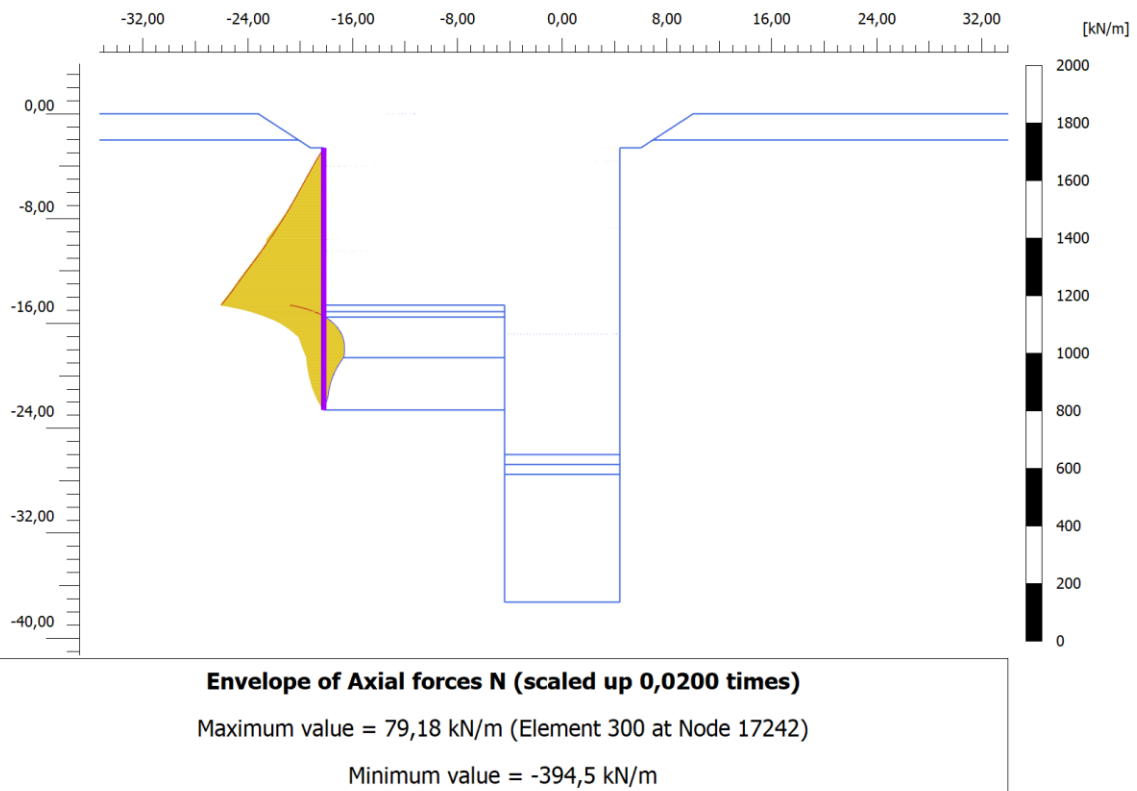
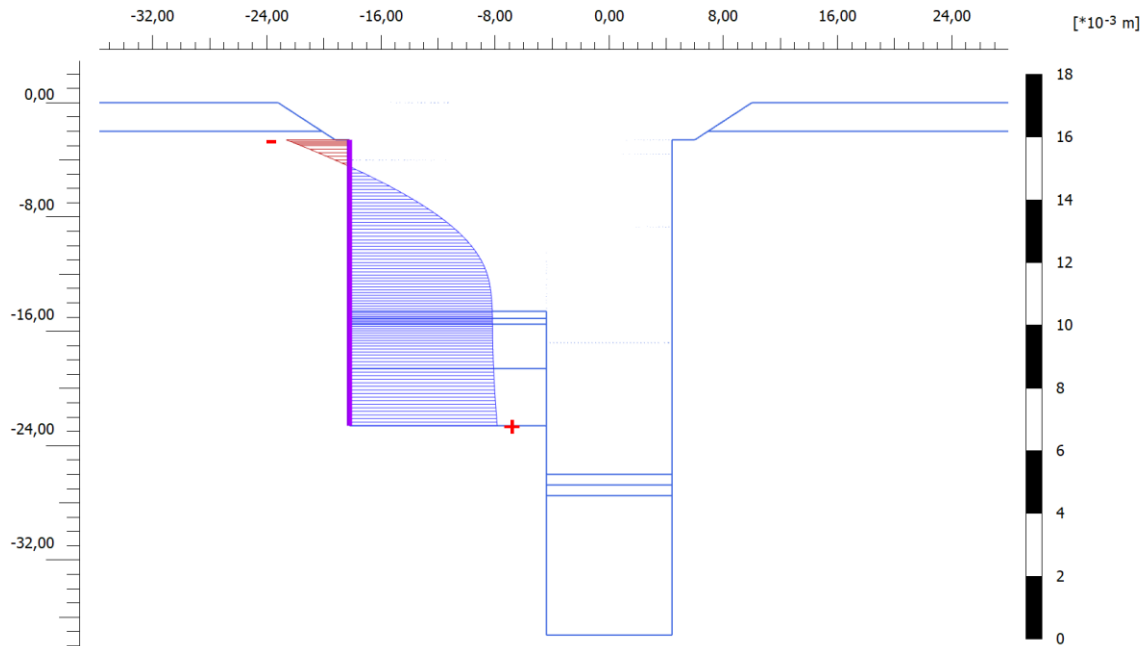


Figura 107. Involuppo Sforzo assiale SLE – Paratia Accesso speciale



### 2.1.2 Spostamenti paratia Accesso speciale



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


Maximum value =  $5,175 \cdot 10^{-3}$  m (Element 311 at Node 23688)

Minimum value =  $-2,214 \cdot 10^{-3}$  m (Element 189 at Node 1305)

**Figura 108. Spostamenti orizzontali – Paratia Accesso speciale**

### 2.1.3 Sforzo normale puntone Accesso speciale

Structural element	Node	Local number	X [m]	Y [m]	N [kN]	$N_{min}$ [kN]	$N_{max}$ [kN]
NodeToNodeAnchor_1_1	1700	1	-18,200	-3,000	-579,634	-579,634	0,000
Element 1-1 (Node-to-node anchor)	11644	2	-4,400	-3,000	-579,634	-579,634	0,000

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna</b>
Stazione Cimarosa/Tabacchi - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi di stazione	MTL2T1A1DSTRSCIR003-0-1

## 2.2 Verifiche strutturali

### 2.2.1 Verifica a flessione dei diaframmi

L'armatura prevista per la paratia di diaframmi che costituisce l'accesso speciale è composta da Ø24/150 a intradosso e estradosso della paratia. Di seguito si riporta la verifica di tale armatura considerando le massime sollecitazioni ottenute dal modello di calcolo:

**Tabella 34 Verifica sollecitazioni flettenti – Paratia Accesso speciale**

<b>Sezione di verifica SLU</b>	
<b>Geometria sezione:</b>	
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	1200 [mm]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	1000 [mm]
Copriferro	75 [mm]
Altezza utile della sezione	1075 [mm]
<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	8 [-]
Diametro dei ferri correnti terzo strato	0 [-]
Numero dei ferri correnti terzo strato	8 [-]
Area dell'armatura tesa	3649 [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	8 [-]
Diametro dei ferri correnti terzo strato	0 [-]
Numero dei ferri correnti terzo strato	8 [-]
Area dell'armatura compressa	3619 [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>1467,74</b>	<b>[kNm]</b>
<b>Momento sollecitante a SLU assunto in valore assoluto</b>	<b>560,00</b>	<b>[kNm]</b>
		Verificato

## 2.2.2 Verifica a taglio dei diaframmi

L'armatura a taglio prevista per la paratia che costituisce l'accesso speciale è composta da 6BØ14/200. Di seguito si riporta la verifica di tale armatura considerando le massime sollecitazioni ottenute dal modello di calcolo:

**Tabella 35 Verifica sollecitazioni taglianti – Paratia Accesso speciale**

Verifica elementi a taglio			
Pannello diaframma 2800 x 1200 mm - $\phi 14$ 2 braccia + $\phi 14$ 4 braccia passo 200 mm			
<b>Geometria</b>			
Altezza sezione	H	1200	mm
Base sezione	B	2800	mm
Barre longitudinali tese	$\phi_{sl}$	24	mm
Diametro staffe	$\phi_{sw}$	16	mm
Copriferro	c	75	mm
Altezza utile	d	1097	mm
<b>Materiali</b>			
<b>Calcestruzzo</b>			



CITTA' DI TORINO

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

Stazione Cimarosa/Tabacchi - Relazione di calcolo  
 opere di sostegno e strutture accessi di stazione

MTL2T1A1DSTRSCIR003-0-1

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	$s$	200	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	$z$	987,3	mm
Resistenza offerta dall'armatura a taglio	$V_{Rsd}$	1783	kN
Resistenza offerta dai puntoni	$V_{Rcd}$	9791	kN
<b>Resistenza a taglio della sezione armata trasversalmente</b>	<b><math>V_{Rd}</math></b>	<b>1783</b>	<b>kN</b>
<b>Taglio sollecitante SLU</b>	<b><math>V_{ed}</math></b>	<b>1355</b>	<b>kN</b>
		Verificato	

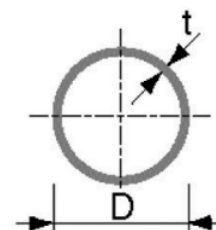


### 2.2.3 Verifica del puntone

Di seguito è riportata la verifica del puntone in testa alla paratia di pali, presentando solo il caso in cui il puntone risulta maggiormente caricato. Le caratteristiche di sollecitazione sono state riportate nel Capitolo 2 del presente allegato.

Le caratteristiche del puntone in testa all'accesso sono:

- *diametro esterno puntone (tubo di acciaio)*  $D_p=610.0 \text{ mm}$
- *spessore puntone (tubo di acciaio)*  $t=16.0 \text{ mm}$
- *area della sezione in acciaio del puntone*  $A_p=29858 \text{ mm}^2$
- *lunghezza media puntone (schema B, C / D)*  $L=11 \text{ m}$
- *interasse medio puntoni (schema B, C / D)*  $i=4 \text{ m}$



**Tabella 36 Verifica puntone – Accesso speciale**

Materiali			
Tensione di snervamento	$f_{yk}$	355	[N/mm <sup>2</sup> ]
Tensione ultima	$f_{uk}$	510	[N/mm <sup>2</sup> ]
Modulo elastico	E	210000	[N/mm <sup>2</sup> ]
Fattore di sicurezza - Resistenza	$\gamma_{M0}$	1,05	[-]
Fattore di sicurezza - Stabilità	$\gamma_{M1}$	1,05	[-]
Fattore di sicurezza resistenza a SLU	$\gamma_{M2}$	1,25	[-]

Proprietà geometriche			
Diametro esterno	$d_{ext}$	610,00	[mm]
Spessore	t	16,00	[mm]
Lunghezza puntone	L	11,00	[m]
Diametro interno	$d_{int}$	578,00	[mm]
Raggio esterno	$r_{ext}$	305,00	[mm]
Raggio interno	$r_{int}$	289,00	[mm]
Area sezione trasversale	A	29858	[mm <sup>2</sup> ]
Momento d'inerzia	$I_y$	1,3171E+09	[mm <sup>4</sup> ]
Modulo di resistenza elastico	$W_{el,y}$	4,3185E+06	[mm <sup>3</sup> ]



CITTA' DI TORINO

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

Stazione Cimarosa/Tabacchi - Relazione di calcolo  
opere di sostegno e strutture accessi di stazione

MTL2T1A1DSTRSCIR003-0-1

Modulo di resistenza plastico	$W_{pl,y}$	3,5460E+06	[mm <sup>3</sup> ]
Area resistente a taglio	$A_{V,z}$	19008	[mm <sup>2</sup> ]
Raggio d'inerzia	$i_y$	210,03	[mm]

Forze agenti			
Forza normale (positiva se di compressione) caratteristica	$N_k$	580,00	[kN]
Forza normale (positiva se di compressione) di progetto	$N_{ed}$	812,00	[kN]
Momento flettente caratteristico	$M_k$	405,08	[kNm]
Momento flettente di progetto	$M_{ed}$	567,11	[kNm]
Taglio caratteristico	$V_k$	256,00	[kN]
Taglio di progetto	$V_{ed}$	358,40	[kN]

Classificazione della sezione trasversale			
Coefficiente $\varepsilon$	$\varepsilon$	0,814	[-]
Diametro esterno/spessore	$\rho$	38,125	[-]
Rapporto limite per classe 1	$\rho_1$	33,099	[-]
Rapporto limite per classe 2	$\rho_2$	46,338	[-]
Rapporto limite per classe 3	$\rho_3$	59,577	[-]
<b>Classificazione della sezione trasversale</b>	<b>CL</b>	<b>2</b>	

Verifica di stabilita'			
<b>Instabilita' per compressione</b>			
Coefficiente di vincolo	$\beta$	1,00	[-]
Lunghezza libera di inflessione	$l$	11000,00	[mm]
Snellezza adimensionalizzata	$\lambda$	52,37	[-]
	$\varepsilon$	0,81	[-]
Snellezza limite	$\lambda_1$	76,37	[-]
	$\underline{\lambda}$	0,69	[-]
	$\alpha$	0,21	[-]
	$\Phi$	0,79	[-]
	$\chi$	0,85	[-]
Resistenza a instabilita' per sezione compressa	$N_{b,Rd}$	8624,13	[kN]
FOS	FS	10,621	[-]





Instabilita' per flessione e compressione			
	$\beta_M$	1,30	[-]
	$\mu_{calc}$	-0,96	[-]
	$\mu$	-0,96	[-]
	$k_{calc}$	1,09	[-]
	$k$	1,09	[-]
	<b>0,113</b>	<1	Verificato

## 2.3 Verifiche geotecniche

### 2.3.1 Verifica del tampone di fondo

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

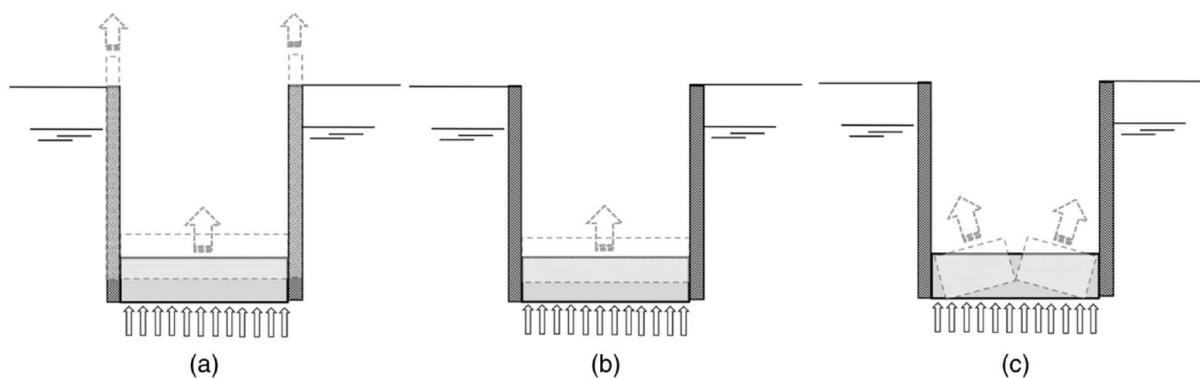


Figura 109. Possibili meccanismi di collasso: a) sollevamento del tampone di fondo e dei diaframmi b) sollevamento del tampone di fondo c) rottura del tampone di fondo

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



Tabella 37 Verifica tampone di fondo – Accesso speciale

Parametri geometrici e geotecnici		
Larghezza diaframmi	=	1,2 m
Altezza soletta di copertura	=	1,0 m
Altezza solette intermedie	=	1,0 m
Altezza riempimento	=	2 m
Larghezza interna scavo	=	12 m
Fondo scavo	=	-14,6 m
Hw	=	-9 m
Profondita' paratia	=	-22,60 m
Profondità base tampone	=	-18,60
Altezza terreno saturo al di sotto del tampone	=	0,00 m
<b>Battente idraulico paratia</b>	=	<b>13,6 m</b>
<b>Altezza tampone di fondo</b>	=	<b>4,00 m</b>
<b>Profondita' infissione paratia</b>	=	<b>8,00 m</b>

Coefficients parziali		
$\gamma_G$ fav	=	0,9
$\gamma_G$ unfav	=	1,1
$\gamma \phi$	=	1,25
$\gamma c$	=	1,25
<b>Parametri geotecnici</b>		
$\gamma_{jg}$	=	22 kN/mc
$\gamma_s$	=	19 kN/mc
$\delta$	=	0,5
$\phi_{s,k}$	=	36,0 °
$c_{s,k}$	=	10,00 kPa
$\phi_{s-int,d}$	=	16,2 °
$c_{s-int,d}$	=	0 kPa
$\phi_{jg,k}$	=	36 °
$c_{jg,k}$	=	150,00 kPa
$c_{jg-int,d}$	=	60 kPa
$\phi_{jg-int,d}$	=	16,2 °
$qu_{jg-int,k}$	=	589 kPa
$qu_{jg-int,d}$	=	471 kPa



CITTA' DI TORINO

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

Stazione Cimarosa/Tabacchi - Relazione di calcolo  
opere di sostegno e strutture accessi di stazione

MTL2T1A1DSTRSCIR003-0-1

Verifica galleggiamento della struttura a breve termine			
<b>Forze agenti</b>			
<b>Azioni instabilizzanti</b>			
Pressione U alla base della paratia	=	136,0	kPa
Pressione U alla base del tampone	=	96,0	kPa
Forza instabilizzante	=	1478,4	kN/m
<b>Azioni stabilizzanti</b>			
Peso tampone	=	1056,0	kN/m
Peso terreno saturo sopra tampone	=	0,0	kN/m
Peso diaframmi	=	1236,0	kN/m
Peso riempimento	=	547,2	kN/m
Peso soletta copertura	=	300,0	kN/m
Peso di 1 soletta intermedia	=	300,0	kN/m
Forze stabilizzanti totali	=	3439,2	kN/m
<b>Resistenze</b>			
$K_G$	=	0,56	
Tensione normale media agente sulla paratia	=	57,3	kPa
Contributo angolo di attrito	=	476,6	kN/m
Contributo coesione	=	0	kN/m
Forza stabilizzante dovuta all'attrito	=	476,6	kN/m
Forza instabilizzante progetto	=	1626,2	kN/m
Forza stabilizzante + resistenze di progetto	=	3571,9	kN/m
FS	=	2,20	OK



CITTA' DI TORINO

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

Stazione Cimarosa/Tabacchi - Relazione di calcolo  
opere di sostegno e strutture accessi di stazione

MTL2T1A1DSTRSCIR003-0-1

Verifica a galleggiamento del tampone di fondo a breve termine			
<b>Forze agenti</b>			
<b>Azioni instabilizzanti</b>			
Pressione U alla base del tampone	=	96,00	kPa
Forza instabilizzante	=	1152,00	kN/m
<b>Azioni stabilizzanti</b>			
Peso tampone	=	1056,00	kN/m
Peso terreno saturo sopra tampone	=	0,00	kN/m
Forze stabilizzanti totali	=	1056,00	kN/m
<b>Resistenze</b>			
$K_0$	=	0,72	
<b>Soil</b>			
Tensione normale media	=	0,0	kPa
Contributo angolo di attrito	=	0,0	kN/m
Contributo coesione	=	0,0	kN/m
Forza stabilizzante dovuta all'attrito	=	0,0	kN/m
<b>Grout</b>			
Tensione normale media	=	31,7	kPa
Contributo angolo di attrito	=	36,9	kN/m
Contributo coesione	=	240,0	kN/m
Forza stabilizzante dovuta all'attrito	=	553,8	kN/m
Forza instabilizzante progetto	=	1267,20	kN/m
Forza stabilizzante + resistenze di progetto	=	1504,16	kN/m
FS	=	1,19	OK

Verifica resistenza interna tampone di fondo			
<b>Forze agenti</b>			
<b>Azioni instabilizzanti</b>			
M instabilizzante	=	1901	kNm/m
<b>Azioni stabilizzanti</b>			
M stabilizzante	=	1426	kNm/m
<b>Resistenze</b>			
Resistenza interna del tampone di fondo	=	1130	kNm/m
Forza instabilizzante progetto	=	1900,80	kNm/m
Forza stabilizzante + resistenze di progetto	=	2556,06	kNm/m
FS	=	1,34	OK



### 2.3.2 Stabilità globale

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

Il fattore di sicurezza ottenuto è pari a 1.55.

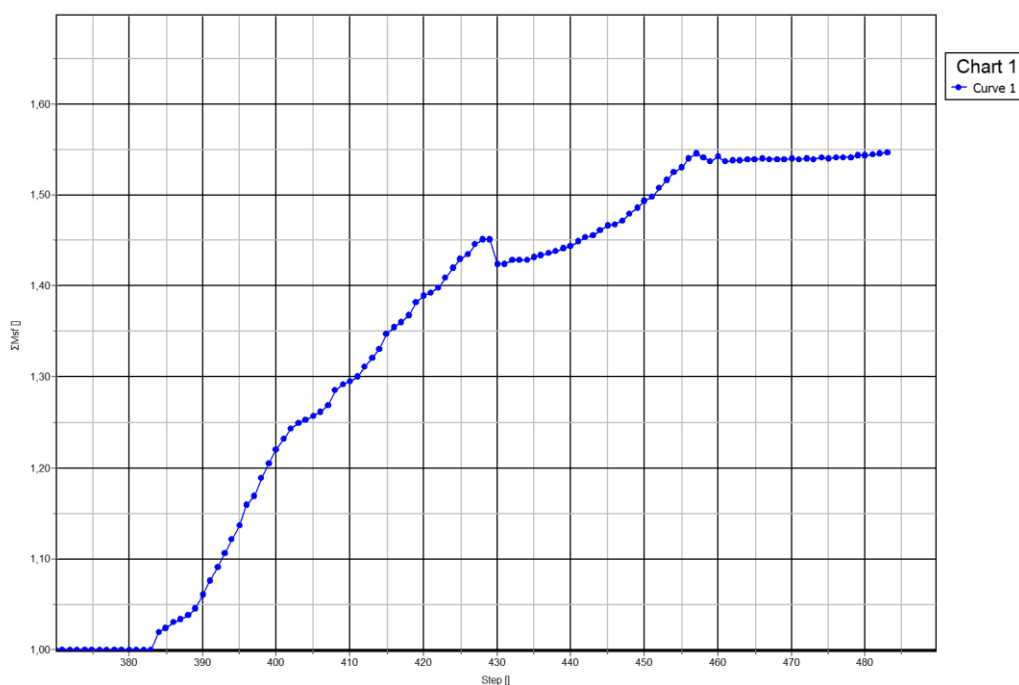
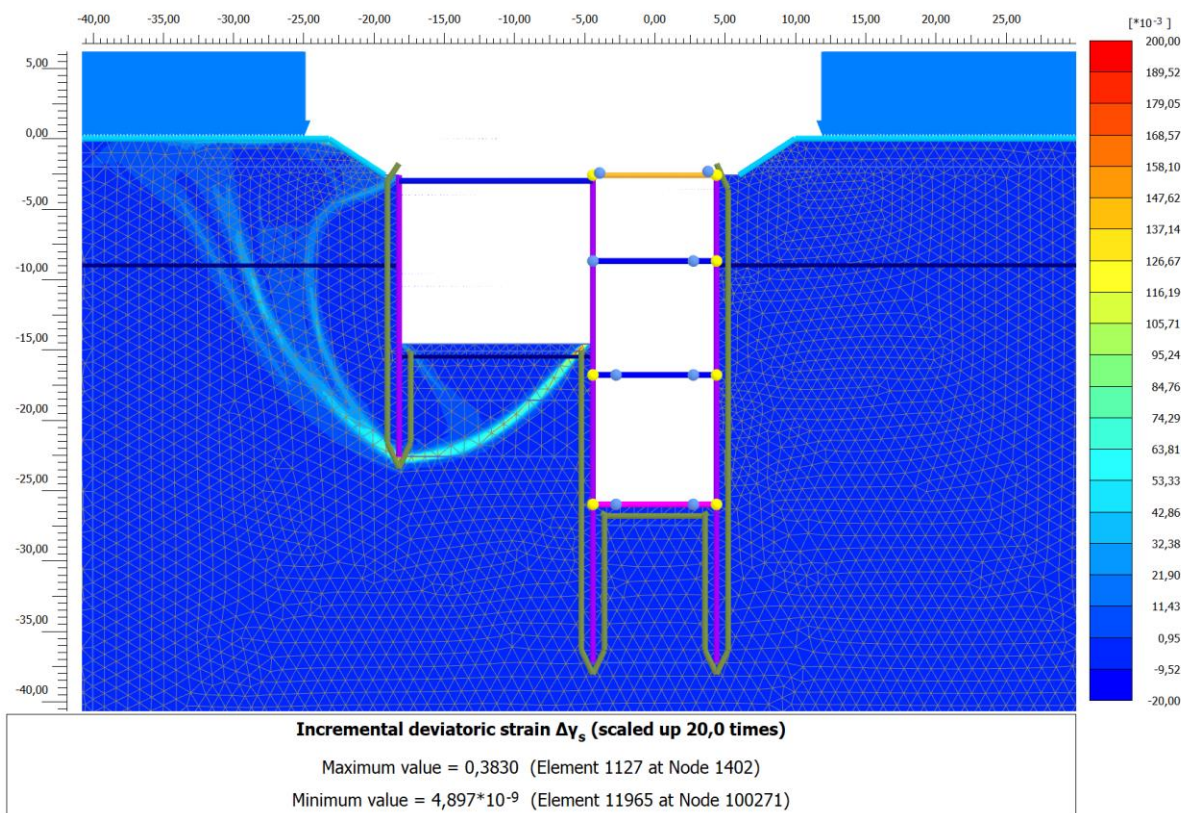



Figura 110. Fattore di sicurezza nella fase costruttiva



**Figura 111. Rapporto tra tensione tangenziale massima e tensione tangenziale mobilitata**

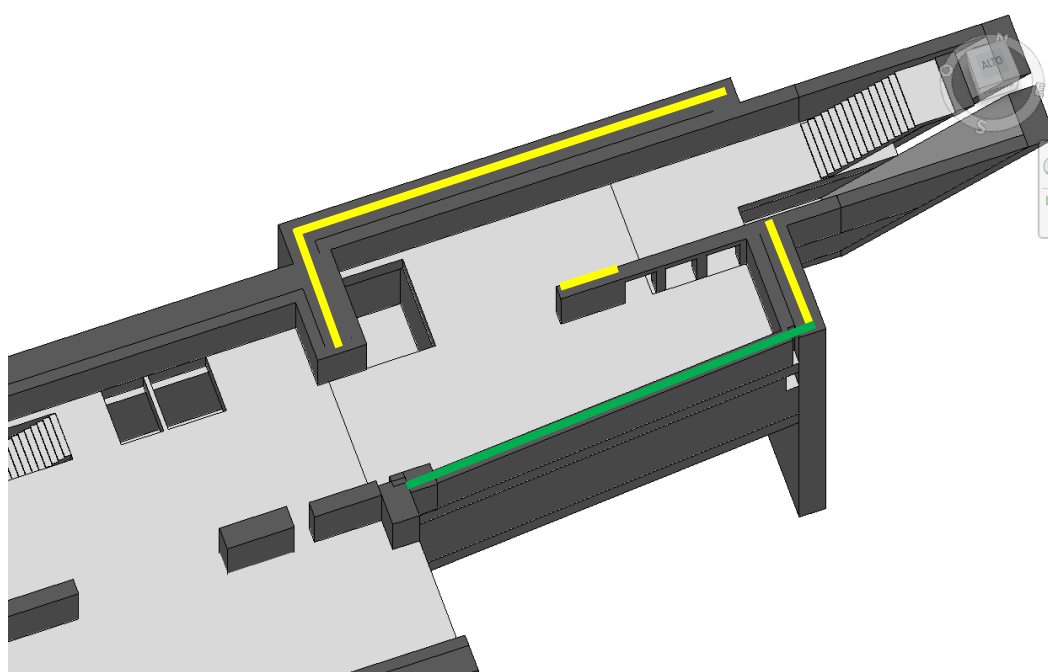
La Figura 111 mostra il rapporto tra tensione tangenziale limite e tensione tangenziale agente in corrispondenza dello step di calcolo a fondo scavo (più critico ai fini di questa analisi). L'output fornisce indicazioni riguardo la mobilitazione delle spinte limite sulla parete.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna</b>
Stazione Cimarosa/Tabacchi - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi di stazione	MTL2T1A1DSTRSCIR003-0-1

### 3 RIVESTIMENTO DEFINITIVO

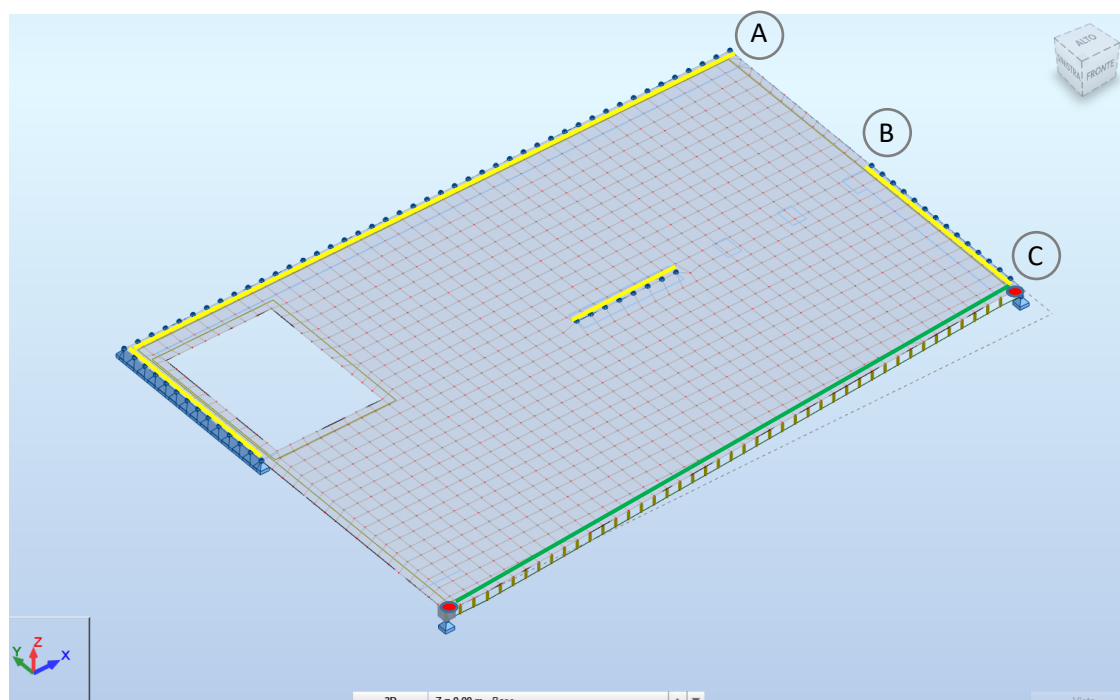
#### 3.1 Soletta di copertura

La soletta di copertura dell'accesso speciale della stazione in oggetto è stata analizzata con un modello ad hoc in quanto ha delle condizioni particolari di supporto come mostrato in Figura 112.



**Figura 112. Struttura dell'accesso speciale – Stazione Cimarosa**

Il modello di calcolo è per tanto stato modellato come un solaio di spessore 120cm su vincoli di appoggio distribuiti sui diaframmi perimetrali (segmenti gialli) e una trave di bordo ribassata di dimensioni 100x120cm (segmento verde) su appoggi di estremità (punti rossi) come evidenziato nella figura sottostante.



**Figura 113. Modello di calcolo – Soletta di copertura Accesso speciale – Stazione Cimarosa**

Le assunzioni di calcolo sono le medesime utilizzate per la soletta di copertura del corpo stazione. Applicando tali carichi si sono ottenuti i seguenti risultati:





CITTA' DI TORINO

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

Stazione Cimarosa/Tabacchi - Relazione di calcolo  
opere di sostegno e strutture accessi di stazione

MTL2T1A1DSTRSCIR003-0-1

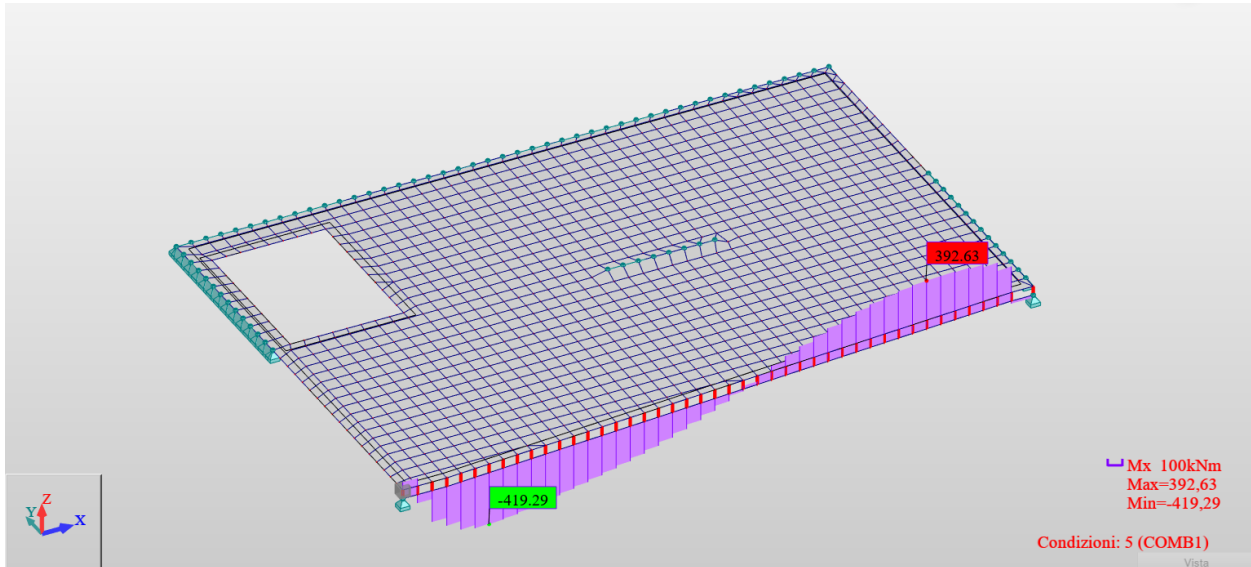


Figura 114. Momento flettente  $M_{xx}$  - Trave di ribassamento – Accesso speciale

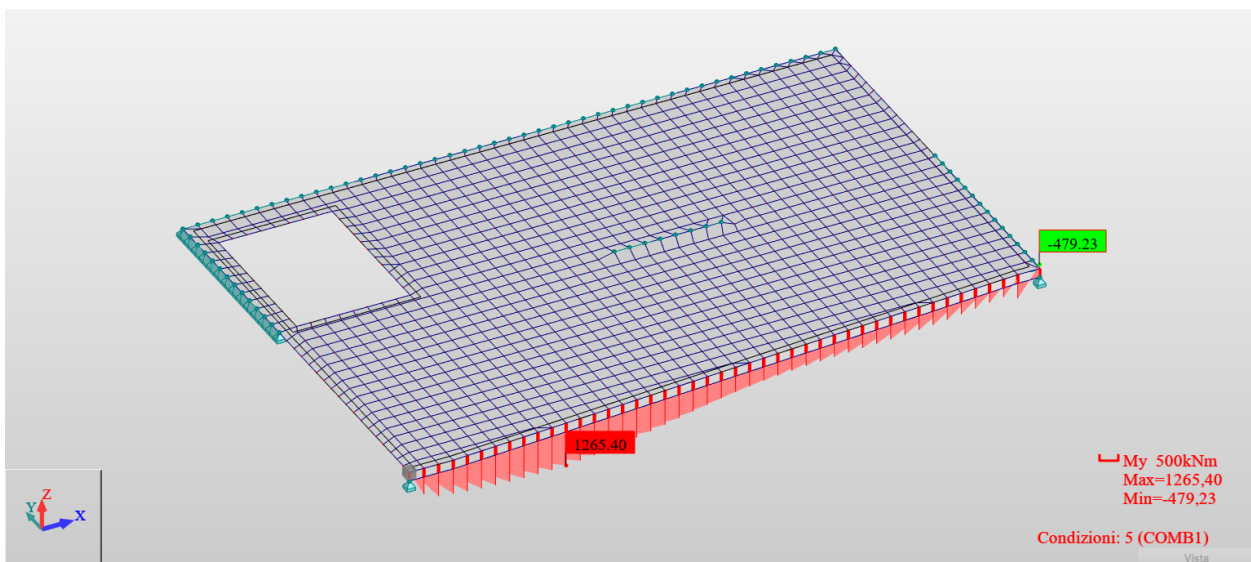


Figura 115. Momento flettente  $M_{yy}$  - Trave di ribassamento – Accesso speciale



CITTA' DI TORINO

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

Stazione Cimarosa/Tabacchi - Relazione di calcolo  
opere di sostegno e strutture accessi di stazione

MTL2T1A1DSTRSCIR003-0-1

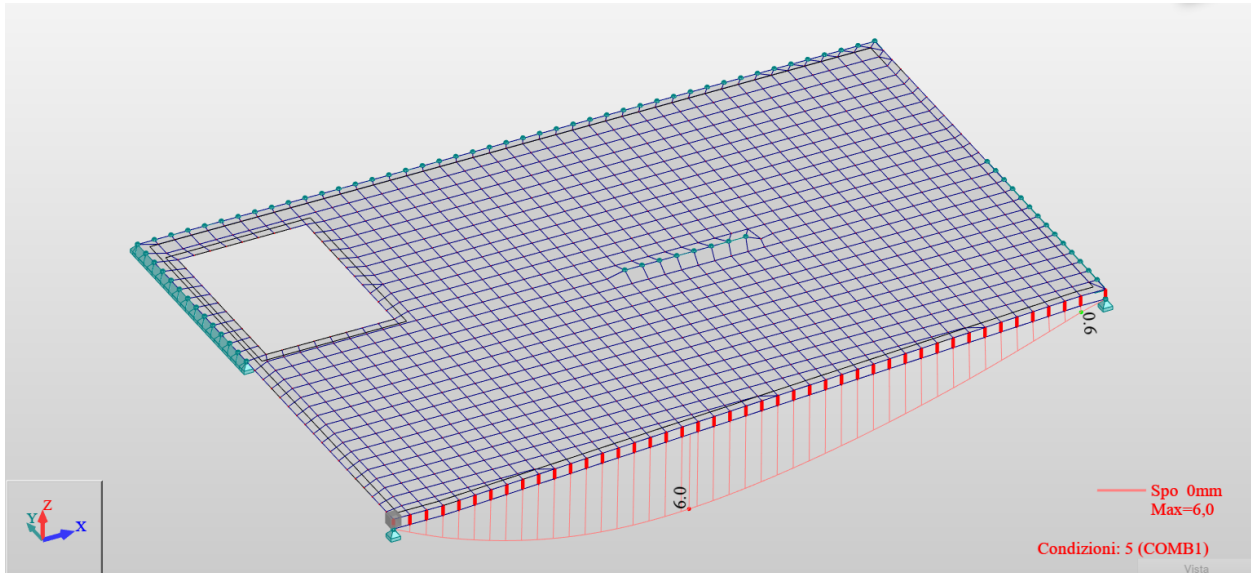


Figura 116. Spostamenti verticali uz - Trave di ribassamento – Accesso speciale

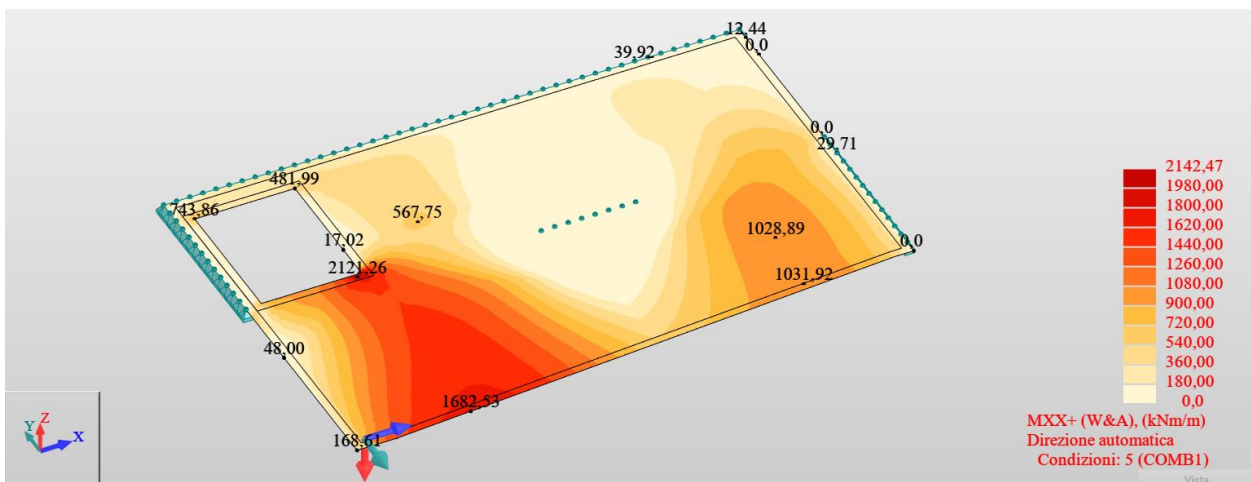


Figura 117. Momento flettente Mxx (+) – Soletta di copertura – Accesso speciale



CITTA' DI TORINO

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

Stazione Cimarosa/Tabacchi - Relazione di calcolo  
opere di sostegno e strutture accessi di stazione

MTL2T1A1DSTRSCIR003-0-1

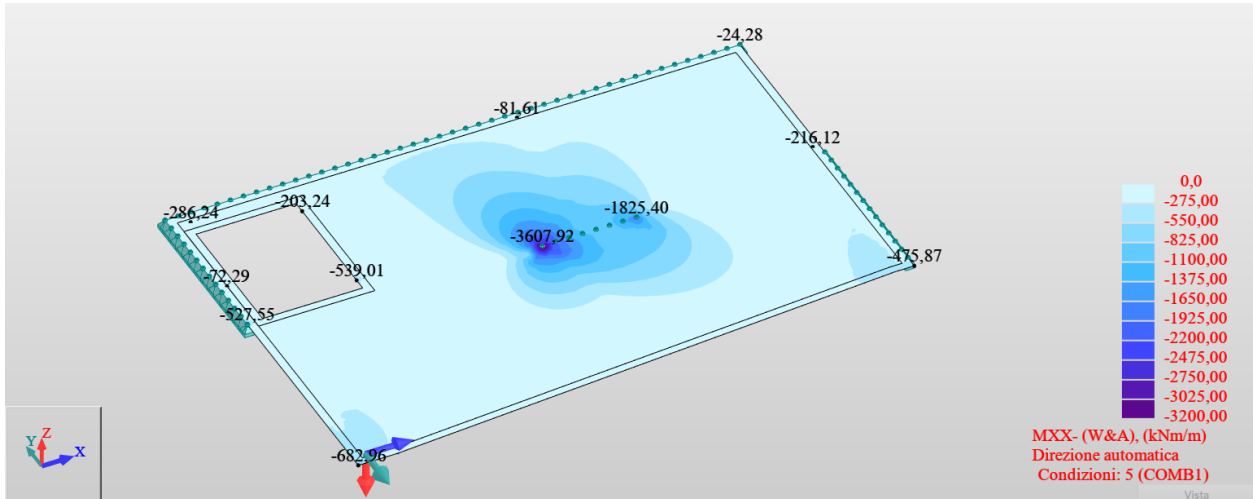


Figura 118. Momento flettente  $M_{xx}$  (-) – Soletta di copertura – Accesso speciale

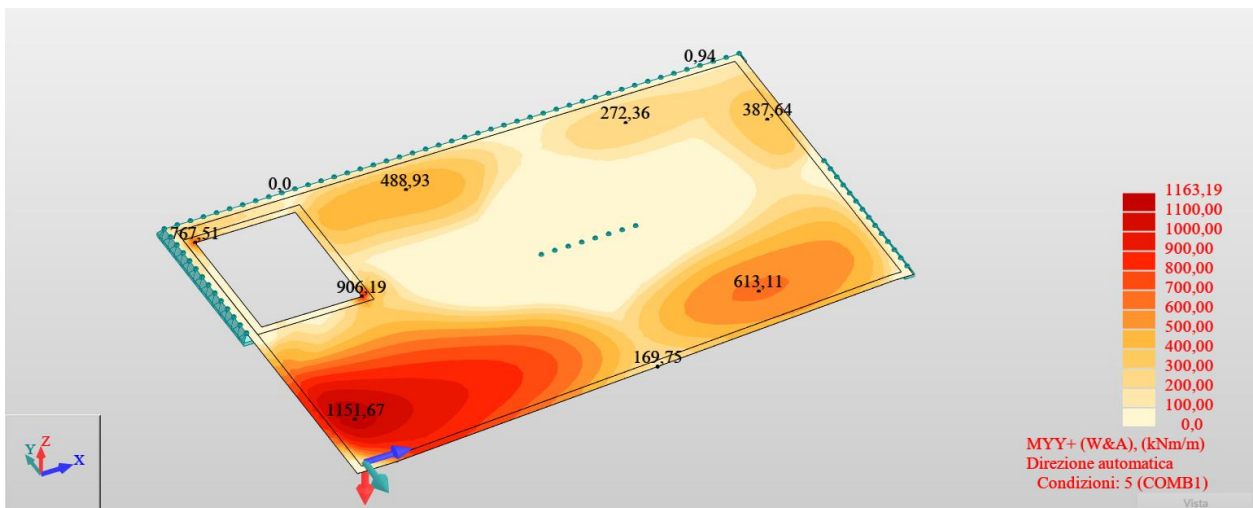


Figura 119. Momento flettente  $M_{yy}$  (+) – Soletta di copertura – Accesso speciale



CITTA' DI TORINO

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

Stazione Cimarosa/Tabacchi - Relazione di calcolo  
opere di sostegno e strutture accessi di stazione

MTL2T1A1DSTRSCIR003-0-1

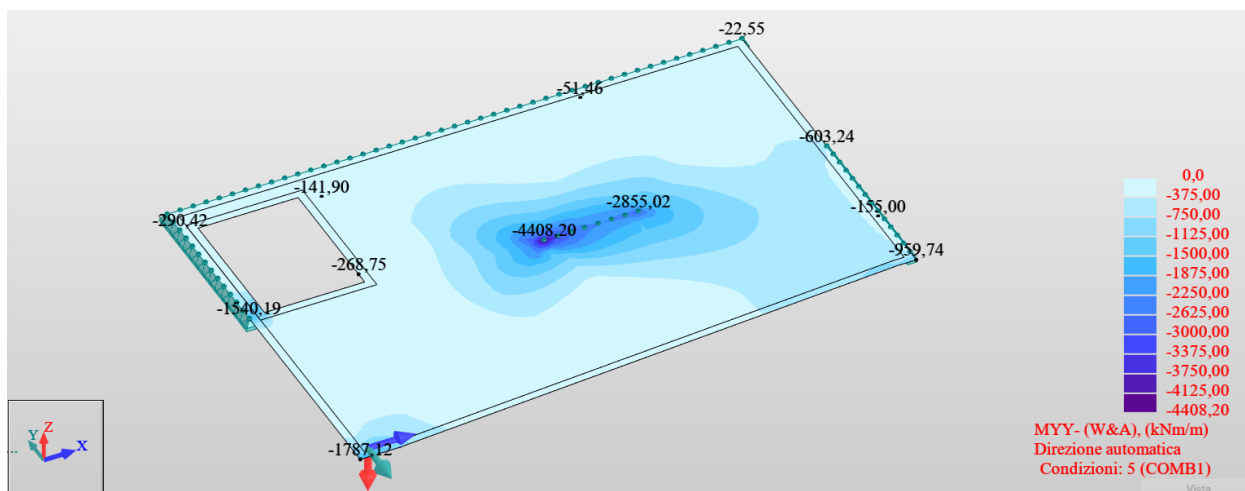


Figura 120. Momento flettente Myy (-) – Soletta di copertura – Accesso speciale

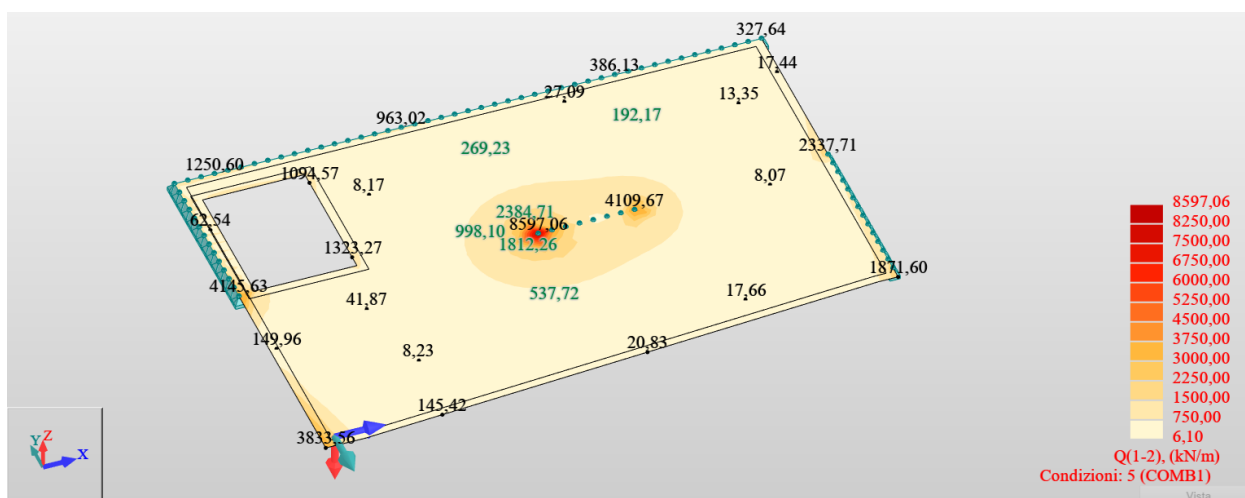


Figura 121. Taglio – Soletta di copertura – Accesso speciale

Le sollecitazioni qui presentate hanno permesso di determinare le armature riportate di seguito con un particolare infittimento in corrispondenza del setto (Asse B) e sulla zona a sbalzo (tra gli assi BC). Eventuali picchi dovuti alla modellazione sono stati trascurati prendendo il momento massimo in corrispondenza della faccia dell'appoggio:

**Tabella 38 Armatura soletta di copertura – Accesso speciale**

	Tra assi AB	Asse B	Tra assi BC
Long. Superiore	φ24/250	φ26/125	φ26/125
Long. Inferiore	φ24/250	φ26/125	φ26/125
Trasv. Superiore	φ24/250	φ24/100 + φ24/200	φ24/100
Trasv. Inferiore	φ24/250	φ24/100	φ24/100

**Tabella 39 Armatura a taglio soletta di copertura – Accesso speciale**

	Tra assi AB	Asse B	Tra assi BC
Staffe	φ22/250/500	φ22/200/250	φ22/500/500

Per ogni zona di armatura, le verifiche strutturali sono presentate di seguito:

**Verifiche Momento flettente**

Tra assi AB			Mrd [kNm]	Med [kNm]
Dir XX	Long. Superiore	φ24/250	786	570
	Long. Inferiore	φ24/250		
Dir YY	Trasv. Superiore	φ24/250	786	490
	Trasv. Inferiore	φ24/250		

Asse B			Mrd [kNm]	Med [kNm]
Dir XX	Long. Superiore	φ26/125	1792	1750
	Long. Inferiore	φ26/125		
Dir YY	Trasv. Superiore	φ24/100 + φ24/200	2815	2750
	Trasv. Inferiore	φ24/100		



Tra assi BC			Mrd [kNm]	Med [kNm]
Dir XX	Long. Superiore	φ26/125	1792	1683
	Long. Inferiore	φ26/125		
Dir YY	Trasv. Superiore	φ24/125	1533	1152
	Trasv. Inferiore	φ24/125		

### Verifiche a taglio

Tra assi AB		Vrd	Ved
Staffe	φ22/250/500	1170	1140

Asse B		Vrd	Ved
Staffe	φ22/200/250	2925	2380

Tra assi BC		Vrd	Ved
Staffe	φ22/250/500	1170	1140

### 3.2 Altre strutture definitive

Le ulteriori strutture interne dell'area di accesso speciale sono costituite dalle pareti da 60cm e la soletta di fondo avente spessore 1 m, essendo congruenti con le dimensioni delle strutture interne progettate per il corpo stazione e a parità di carichi e condizioni idrauliche, si rimanda al report MTL2T1A1DSTRSCIR002 per quanto riguardano le verifiche e armature delle suddette strutture.