

**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>		<span style="float: right; font-weight: bold;">INFRATRASPORTI.TO S.r.l.</span>																				
DIRETTORE PROGETTAZIONE Responsabile integrazione discipline specialistiche	IL PROGETTISTA																					
Ing. R. Crova Ordine degli Ingegneri della Provincia di Torino n. 6038S	Ing. F. Rizzo Ordine degli Ingegneri della Provincia di Torino n. 9337K	<b>STRUTTURE E METODI COSTRUTTIVI STAZIONI SUPERFICIALI – STAZIONE REBUDENGO RELAZIONE DI CALCOLO OPERE DI SOSTEGNO E STRUTTURE ACCESSI STAZIONE</b>										ELABORATO	REV.		SCALA	DATA						
		Int.	Est.											-	07/10/2022							
BIM MANAGER Geom. L. D'Accardi		MT	L2	T1	A1	D	STR	SRB	R	003	0	1	-	07/10/2022								

AGGIORNAMENTI

Fg. 1 di 1


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

<table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <td style="padding: 2px;">LOTTO 1</td> <td style="padding: 2px;">CARTELLA</td> <td style="padding: 2px;">9.1.1</td> <td style="padding: 2px;">3</td> <td style="padding: 2px;">MTL2T1A1D</td> <td style="padding: 2px;">STRSRBR003</td> </tr> </table>	LOTTO 1	CARTELLA	9.1.1	3	MTL2T1A1D	STRSRBR003	<p><b>STAZIONE APPALTANTE</b></p> <p>DIRETTORE DI DIVISIONE INFRASTRUTTURE E MOBILITÀ Ing. R. Bertasio</p> <p>RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO Ing. A. Strozzi</p>
LOTTO 1	CARTELLA	9.1.1	3	MTL2T1A1D	STRSRBR003		


 <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 Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSBRR003-0-1

## INDICE

<b>1</b>	<b>GENERALITA'</b>	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>DOCUMENTI DI RIFERIMENTO</b>	<b>14</b>
<b>2.1</b>	<b>NORMATIVE DI RIFERIMENTO</b>	<b>14</b>
<b>3</b>	<b>CARATTERISTICHE DEI MATERIALI</b>	<b>15</b>
<b>3.1</b>	<b>CARATTERISTICHE DEI MATERIALI</b>	<b>15</b>
<b>4</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA</b>	<b>17</b>
<b>5</b>	<b>OPERE TEMPORANEE</b>	<b>20</b>
<b>5.1</b>	<b>MODELLO DI CALCOLO</b>	<b>20</b>
5.1.1	CRITERI DI MODELLAZIONE	20
5.1.2	ANALISI DEI CARICHI	24
<b>5.2</b>	<b>RISULTATI DELLE ANALISI E VERIFICHE STRUTTURALI</b>	<b>25</b>
5.2.1	RISULTATI DELLE ANALISI NUMERICHE	25
5.2.1.1	Schema A	25
5.2.1.2	Schema B	25
5.2.1.3	Schema C	26
5.2.1.4	Schema D	27
5.2.2	VERIFICHE SLU-STR DELLA PARATIA	28
5.2.3	VERIFICHE SLU-GEO COLLASSO DELL'INSIEME TERRENO-OPERA	28
5.2.4	VERIFICA SLU-STR DEL PUNTONE	29
5.2.5	VERIFICA SLU-STR DEL CORDOLO DI SUPERFICIE	30
5.2.6	VERIFICA SLU-STR DELLA TRAVE DI RIPARTIZIONE	30
5.2.7	VERIFICA DEFORMAZIONI MASSIME DELLE STRUTTURE DI SOSTEGNO	31
<b>6</b>	<b>RIVESTIMENTI DEFINITIVI</b>	<b>34</b>
<b>6.1</b>	<b>PRINCIPALI ASSUNZIONI DELLA PROGETTAZIONE</b>	<b>34</b>
6.1.1	MODELLAZIONE NUMERICA E SCHEMATIZZAZIONE STRUTTURALE DEL MODELLO	34
6.1.2	CARATTERIZZAZIONE SISMICA	35
6.1.3	COMBINAZIONI DI CARICO	36
6.1.4	RIGIDENZE DEL SUOLO ADOTTATE NEI MODELLI NUMERICI	37
<b>6.2</b>	<b>ANALISI NUMERICA E VERIFICHE STRUTTURALI</b>	<b>38</b>
6.2.1	ACCESSO A SBALZO	38
6.2.1.1	Carichi	39
6.2.1.2	Risultati dell'analisi e verifiche strutturali	42

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSBRR003-0-1

6.2.2	ACCESSO CHIUSO	44
6.2.2.1	Carichi	44
6.2.2.2	Risultati dell'analisi e verifiche strutturali	49
6.2.3	VASCA ANTINCENDIO	51
6.2.3.1	Carichi	51
6.2.3.2	Risultati dell'analisi e verifiche strutturali	56
<b>7</b>	<b>VALIDAZIONE DEI MODELLI DI CALCOLO</b>	<b>61</b>
	<b>APPENDICE A</b>	<b>68</b>
	<b>APPENDICE B</b>	<b>76</b>
	<b>APPENDICE C</b>	<b>79</b>
	<b>APPENDICE D</b>	<b>81</b>
	<b>APPENDICE E</b>	<b>86</b>
	<b>APPENDICE F</b>	<b>95</b>
	<b>APPENDICE G</b>	<b>102</b>
	<b>APPENDICE H</b>	<b>106</b>
	<b>APPENDICE I</b>	<b>110</b>
	<b>APPENDICE J</b>	<b>118</b>
	<b>APPENDICE K</b>	<b>126</b>
	<b>APPENDICE O</b>	<b>148</b>
<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE</b>	<b>149</b>
<b>2</b>	<b>DEFINIZIONE DEI SUPPORTI PER GLI SCAVI</b>	<b>151</b>
<b>2.1</b>	<b>OUTPUT</b>	<b>154</b>
2.1.1	SOLLECITAZIONI PARATIA ACCESSO SPECIALE	154
2.1.2	SPOSTAMENTI PARATIA ACCESSO SPECIALE	157
2.1.3	SFORZO NORMALE PUNTONE ACCESSO SPECIALE	158
<b>2.2</b>	<b>VERIFICHE STRUTTURALI</b>	<b>158</b>
2.2.1	VERIFICA A FLESSIONE DEI PALI	158
2.2.2	VERIFICA DEL PUNTONE	159

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSBRR003-0-1

<b>2.3</b>	<b>VERIFICHE GEOTECNICHE</b>	<b>161</b>
2.3.1	VERIFICA DEL TAMPONE DI FONDO	161
2.3.2	STABILITÀ GLOBALE	164
<b>3</b>	<b>RIVESTIMENTO DEFINITIVO</b>	<b>166</b>
3.1.1.1	Carichi	166
3.1.1.2	Risultati dell'analisi e verifiche strutturali	168

## INDICE DELLE FIGURE

Figura 1.	Schema A	9
Figura 2.	Schema B	10
Figura 3.	Schema C	11
Figura 4.	Schema D	12
Figura 5.	Disposizione in pianta degli schemi di calcolo	13
Figura 6.	Modello di calcolo PLAXIS (Schema C)	21
Figura 7.	Modello costitutivo Hardening Soil	21
Figura 8.	Schema A - Mesh di calcolo Plaxis	25
Figura 9.	Schema B - Mesh di calcolo Plaxis	26
Figura 10.	Schema C - Mesh di calcolo Plaxis	26
Figura 11.	Schema D - Mesh di calcolo Plaxis	27
Figura 12.	Particolare armatura trave di testa	30
Figura 13.	Spostamenti Totali - Schema A	31
Figura 14.	Spostamenti Totali - Schema B	32
Figura 15.	Spostamenti Totali - Schema C	32
Figura 16.	Spostamenti Totali - Schema D	33
Figura 17.	Schematizzazione metodo di Wood	35
Figura 18.	Modello numerico – Accesso schema a sbalzo	38
Figura 19.	Peso proprio – Accesso schema a sbalzo	39
Figura 20.	Spinta orizzontale del terreno – Accesso schema a sbalzo	40
Figura 21.	Pavimentazione – Accesso schema a sbalzo	40
Figura 22.	Folla – Accesso schema a sbalzo	41
Figura 23.	Traffico -Accesso schema a sbalzo	41
Figura 24.	Spinta sismica Direzione X – Accesso schema a sbalzo	42
Figura 25.	Schema di distribuzione dell'armatura principale – Accesso schema a sbalzo	42
Figura 26.	Schema di distribuzione dell'armatura a taglio – Accesso schema a sbalzo	43
Figura 27.	Modello numerico – Accesso schema chiuso	44
Figura 28.	Peso proprio – Accesso schema chiuso	44
Figura 29.	Spinta orizzontale del terreno – Accesso schema chiuso	45


 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSBRR003-0-1

Figura 30. Spinta idrostatica – Accesso schema chiuso	46
Figura 31. Ritombamento – Accesso schema chiuso	46
Figura 32. Pavimentazione – Accesso schema chiuso	47
Figura 33. Folla – Accesso schema chiuso	47
Figura 34. Traffico – Accesso schema chiuso	48
Figura 35. Spinta sismica direzione X – Accesso schema chiuso	48
Figura 36. Schema di distribuzione dell’armatura principale – Accesso schema chiuso	49
Figura 37. Schema di distribuzione dell’armatura a taglio – Accesso schema chiuso	49
Figura 38. Modello numerico – Vasca di accumulo antincendio	51
Figura 39. Peso proprio – Vasca di accumulo antincendio	51
Figura 40. Spinta orizzontale del terreno – Vasca di accumulo antincendio	52
Figura 41. Spinta idrostatica – Vasca di accumulo antincendio	52
Figura 42. Ritombamento – Vasca di accumulo antincendio	53
Figura 43. Pavimentazione – Vasca di accumulo antincendio	53
Figura 44. Traffico – Vasca di accumulo antincendio	54
Figura 45. Spinta sismica direzione X – Vasca di accumulo antincendio	55
Figura 46. Spinta sismica direzione Y – Vasca di accumulo antincendio	55
Figura 47. Schema di distribuzione dell’armatura principale solette – Vasca di accumulo antincendio	56
Figura 48. Schema di distribuzione dell’armatura principale muri – Vasca di accumulo antincendio	57
Figura 49. Schema di distribuzione dell’armatura a taglio solette – Vasca di accumulo antincendio	57
Figura 50. Schema di distribuzione dell’armatura a taglio muri – Vasca di accumulo antincendio	58
Figura 51. Output PLAXIS: Inviluppo dello sforzo assiale, del taglio e del momento flettente - Schema A	70
Figura 52. Output PLAXIS: Inviluppo dello sforzo assiale, del taglio e del momento flettente – Schema B	72
Figura 53. Output PLAXIS: Inviluppo dello sforzo assiale, del taglio e del momento flettente – Schema C	73
Figura 54. Output PLAXIS: Inviluppo dello sforzo assiale, del taglio e del momento flettente – Schema D	75
Figura 55. Spostamenti orizzontali parete di micropali – Schema A	77
Figura 56. Spostamenti orizzontali parete di micropali – Schema B	77
Figura 57. Spostamenti orizzontali parete di micropali – Schema C	78
Figura 58. Spostamenti orizzontali parete di micropali – Schema D	78
Figura 59. Sforzo assiale, taglio e momento di progetto per i diversi stage di calcolo – Schema A	82
Figura 60. Tensione di verifica secondo NTC - tensione a snervamento acciaio – Schema A82	


 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSBRR003-0-1

Figura 61. Sforzo assiale, taglio e momento di progetto per i diversi stage di calcolo – Schema B	83
Figura 62. Tensione di verifica secondo NTC - tensione a snervamento acciaio – Schema B83	
Figura 63. Sforzo assiale, taglio e momento di progetto per i diversi stage di calcolo – Schema C	84
Figura 64. Tensione di verifica secondo NTC - tensione a snervamento acciaio – Schema C84	
Figura 65. Sforzo assiale, taglio e momento di progetto per i diversi stage di calcolo – Schema D	85
Figura 66. Tensione di verifica secondo NTC - tensione a snervamento acciaio – Schema D85	
Figura 67. Rapporto tra tensione tangenziale massima e tensione tangenziale mobilitata – Schema A	87
Figura 68. Tensioni orizzontali efficaci paratia - Lato monte e valle – Schema A	88
Figura 69. Confronto tensioni limite attive e passive con tensioni orizzontali Plaxis – Schema A	88
Figura 70. Rapporto tra tensione tangenziale massima e tensione tangenziale mobilitata – Schema B	89
Figura 71. Tensioni orizzontali efficaci paratia - Lato monte e valle – Schema B	90
Figura 72. Confronto tensioni limite attive e passive con tensioni orizzontali Plaxis – Schema B	90
Figura 73. Rapporto tra tensione tangenziale massima e tensione tangenziale mobilitata – Schema C	91
Figura 74. Tensioni orizzontali efficaci paratia - Lato monte e valle – Schema C	92
Figura 75. Confronto tensioni limite attive e passive con tensioni orizzontali Plaxis – Schema C	92
Figura 76. Rapporto tra tensione tangenziale massima e tensione tangenziale mobilitata – Schema D	93
Figura 77. Tensioni orizzontali efficaci paratia - Lato monte e valle – Schema D	94
Figura 78. Confronto tensioni limite attive e passive con tensioni orizzontali Plaxis – Schema D	94
Figura 79. Verifica Puntone – Schema B	97
Figura 80. Verifica Puntone – Schema C	98
Figura 81. Verifica Puntone – Schema D	100
Figura 82. Verifica Puntone – Schema D	101
Figura 83. Particolare armature trave di testa	103
Figura 84. Particolare armature trave di testa	105
Figura 85. Momento flettente M3-3	111
Figura 86. Taglio combinato	111
Figura 87. Momento flettente M3-3	112
Figura 88. Taglio combinato	112
Figura 89. Momento flettente M3-3	113
Figura 90. Taglio combinato	113
Figura 91. Momento flettente M3-3	114


 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSBRR003-0-1

Figura 92. Taglio combinato	114
Figura 93. Momento flettente M3-3	115
Figura 94. Taglio combinato	115
Figura 95. Momento flettente M3-3	119
Figura 96. Taglio combinato	119
Figura 97. Momento flettente M3-3	120
Figura 98. Taglio combinato	120
Figura 99. Momento flettente M3-3	121
Figura 100. Taglio combinato	121
Figura 101. Momento flettente M3-3	122
Figura 102. Taglio combinato	122
Figura 103. Momento flettente M3-3	123
Figura 104. Taglio combinato	123
Figura 105. Momento flettente MXX Lembo superiore e MXX Lembo inferiore	127
Figura 106. Momento flettente MYX Lembo superiore e MYX Lembo inferiore	127
Figura 107. Taglio combinato	127
Figura 108. Momento flettente MXX Lembo superiore e MXX Lembo inferiore	128
Figura 109. Momento flettente MYX Lembo superiore e MYX Lembo inferiore	128
Figura 110. Taglio combinato	128
Figura 111. Momento flettente MXX Lembo superiore e MXX Lembo inferiore	129
Figura 112. Momento flettente MYX Lembo superiore e MYX Lembo inferiore	129
Figura 113. Taglio combinato	129
Figura 114. Momento flettente MXX Lembo superiore e MXX Lembo inferiore	130
Figura 115. Momento flettente MYX Lembo superiore e MYX Lembo inferiore	130
Figura 116. Taglio combinato	130
Figura 117. Momento flettente MXX Lembo superiore e MXX Lembo inferiore	131
Figura 118. Momento flettente MYX Lembo superiore e MYX Lembo inferiore	131
Figura 119. Taglio combinato	131
Figura 120. Momento flettente MXX Lembo superiore e MXX Lembo inferiore	132
Figura 121. Momento flettente MYX Lembo superiore e MYX Lembo inferiore	132
Figura 122. Taglio combinato	132
Figura 123. Momento flettente MXX Lembo superiore e MXX Lembo inferiore	133
Figura 124. Momento flettente MYX Lembo superiore e MYX Lembo inferiore	133
Figura 125. Taglio combinato	133
Figura 126. Momento flettente MXX Lembo superiore e MXX Lembo inferiore	134
Figura 127. Momento flettente MYX Lembo superiore e MYX Lembo inferiore	134
Figura 128. Taglio combinato	134
Figura 129. Momento flettente MXX Lembo superiore e MXX Lembo inferiore	135
Figura 130. Momento flettente MYX Lembo superiore e MYX Lembo inferiore	135
Figura 131. Taglio combinato	135
Figura 132. Momento flettente MXX Lembo Superiore e MXX Lembo Inferiore	136



 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSBRR003-0-1

Figura 133. Momento flettente MYY Lembo Superiore e MYY Lembo Inferiore	136
Figura 134. Taglio combinato	136
Figura 135. Momento flettente MXX Lembo Esterno e MXX Lembo Interno	137
Figura 136. Momento flettente MYY Lembo Esterno e MYY Lembo Interno	137
Figura 137. Taglio combinato	137
Figura 138. Momento flettente MXX Lembo Superiore e MXX Lembo Inferiore	138
Figura 139. Momento flettente MYY Lembo Superiore e MYY Lembo Inferiore	138
Figura 140. Taglio combinato	138
Figura 141. Momento flettente MXX Lembo Superiore e MXX Lembo Inferiore	139
Figura 142. Momento flettente MYY Lembo Superiore e MYY Lembo Inferiore	139
Figura 143. Taglio combinato	139
Figura 144. Momento flettente MXX Lembo Esterno e MXX Lembo Interno	140
Figura 145. Momento flettente MYY Lembo Esterno e MYY Lembo Interno	140
Figura 146. Taglio combinato	140
Figura 147. Momento flettente MXX Lembo Superiore e MXX Lembo Inferiore	141
Figura 148. Momento flettente MYY Lembo Superiore e MYY Lembo Inferiore	141
Figura 149. Taglio combinato	141
Figura 150. Layout generale della stazione esistente e della connessione con la stazione metro	149
Figura 151. Planimetria Livello Atrio Stazione Rebaudengo	150
Figura 152. Sezione longitudinale Accesso speciale Stazione Rebaudengo	150
Figura 153. Pianta e sezione degli scavi adiacenti alla Stazione FS	151
Figura 154. Modello di calcolo Accesso speciale Stazione Rebaudengo	152
Figura 155. Involuppo Momento Flettente SLE – Paratia Accesso speciale	154
Figura 156. Involuppo Sollecitazioni taglianti SLE – Paratia Accesso speciale	155
Figura 157. Involuppo Sforzo assiale SLE – Paratia Accesso speciale	156
Figura 158. Spostamenti orizzontali – Paratia Accesso speciale	157
Figura 159. 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	161
Figura 160. Fattore di sicurezza nella fase costruttiva	164
Figura 161. Rapporto tra tensione tangenziale massima e tensione tangenziale mobilitata	165
Figura 162. Modello numerico – Area accesso speciale	166
Figura 163. Spinta orizzontale del terreno – Area accesso speciale	167
Figura 164. Spinta idrostatica – Area accesso speciale	167
Figura 165. Spinta sismica – Area accesso speciale	168



 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSBRR003-0-1

## 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, della connessione con la stazione FS, 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 puntone tipo messi in contrasto alla trave di coronamento o, mediante trave di ripartizione, al diaframma di stazione.

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

- **Schema A:** micropali di lunghezza 6 metri a sostegno di uno scavo di 3 metri  
Tale schema è impiegato negli accessi in stazione e per gli scavi necessari per la realizzazione dei diaframmi del corpo stazione.
- **Schema B:** micropali di lunghezza 8 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.
- **Schema C:** micropali di lunghezza 13 metri con due livelli di puntone a sostegno di 10 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.
- **Schema D:** micropali di lunghezza 13 metri con due livelli di puntone a sostegno di 10 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.

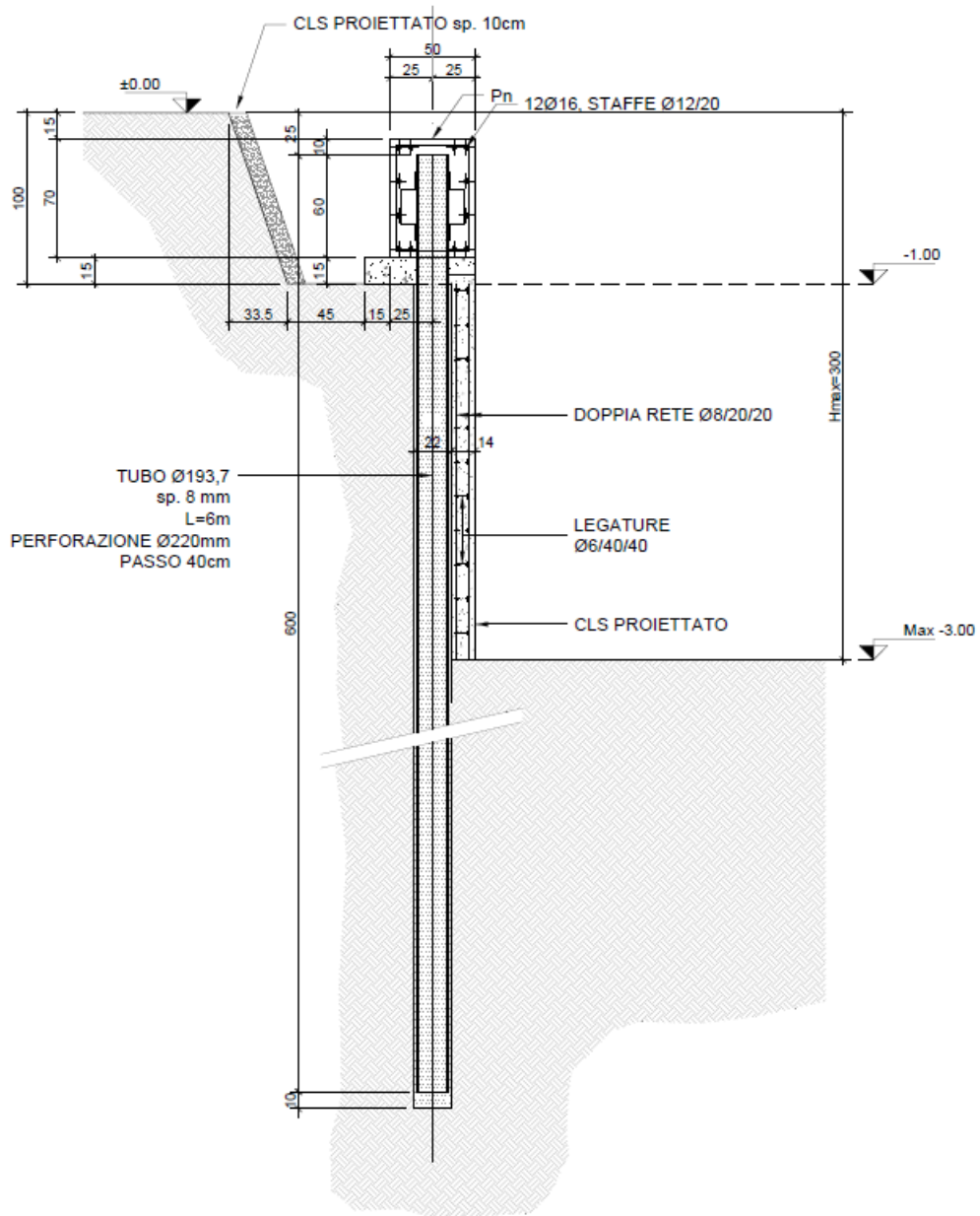


Figura 1. Schema A

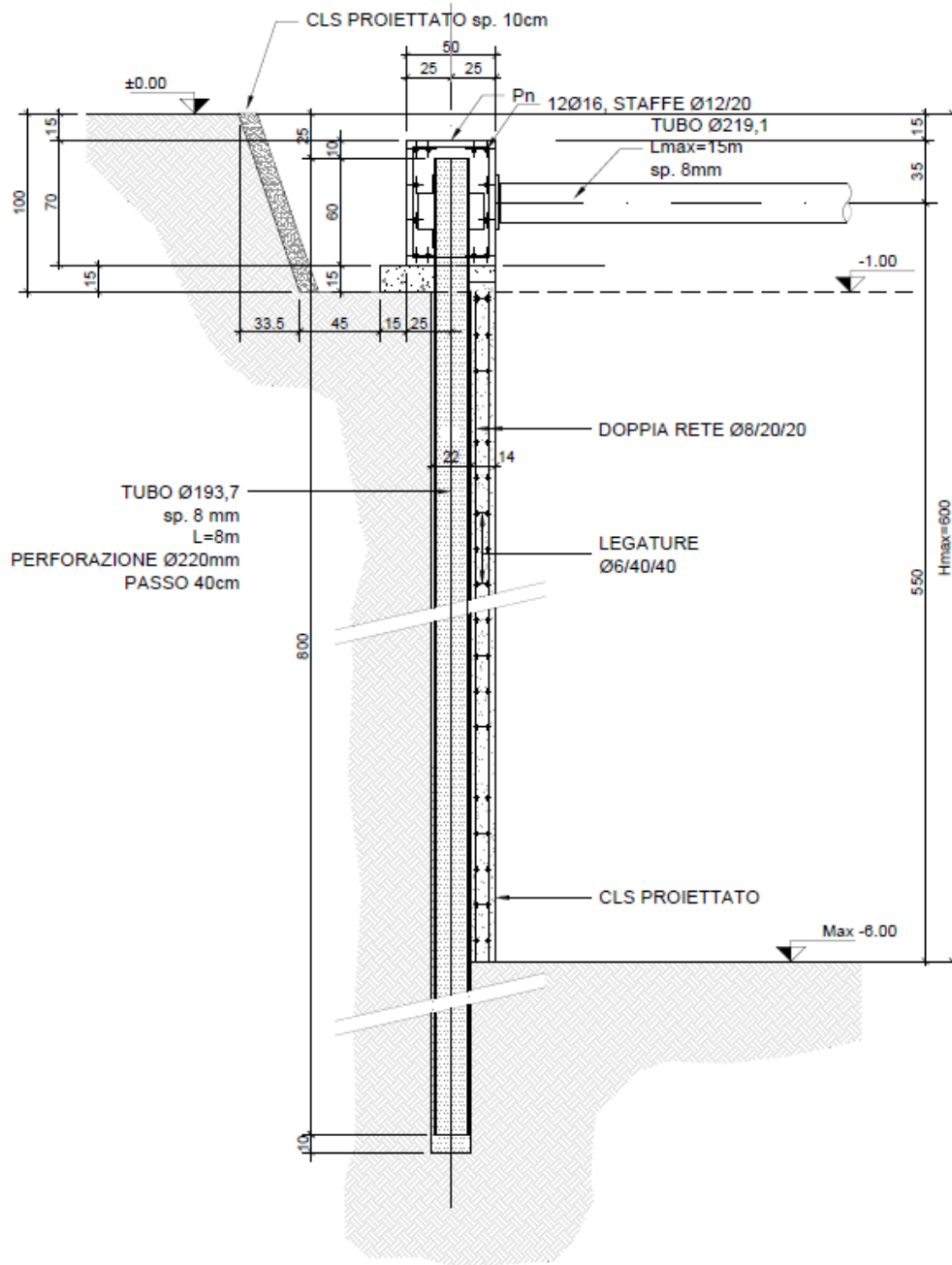


Figura 2. Schema B

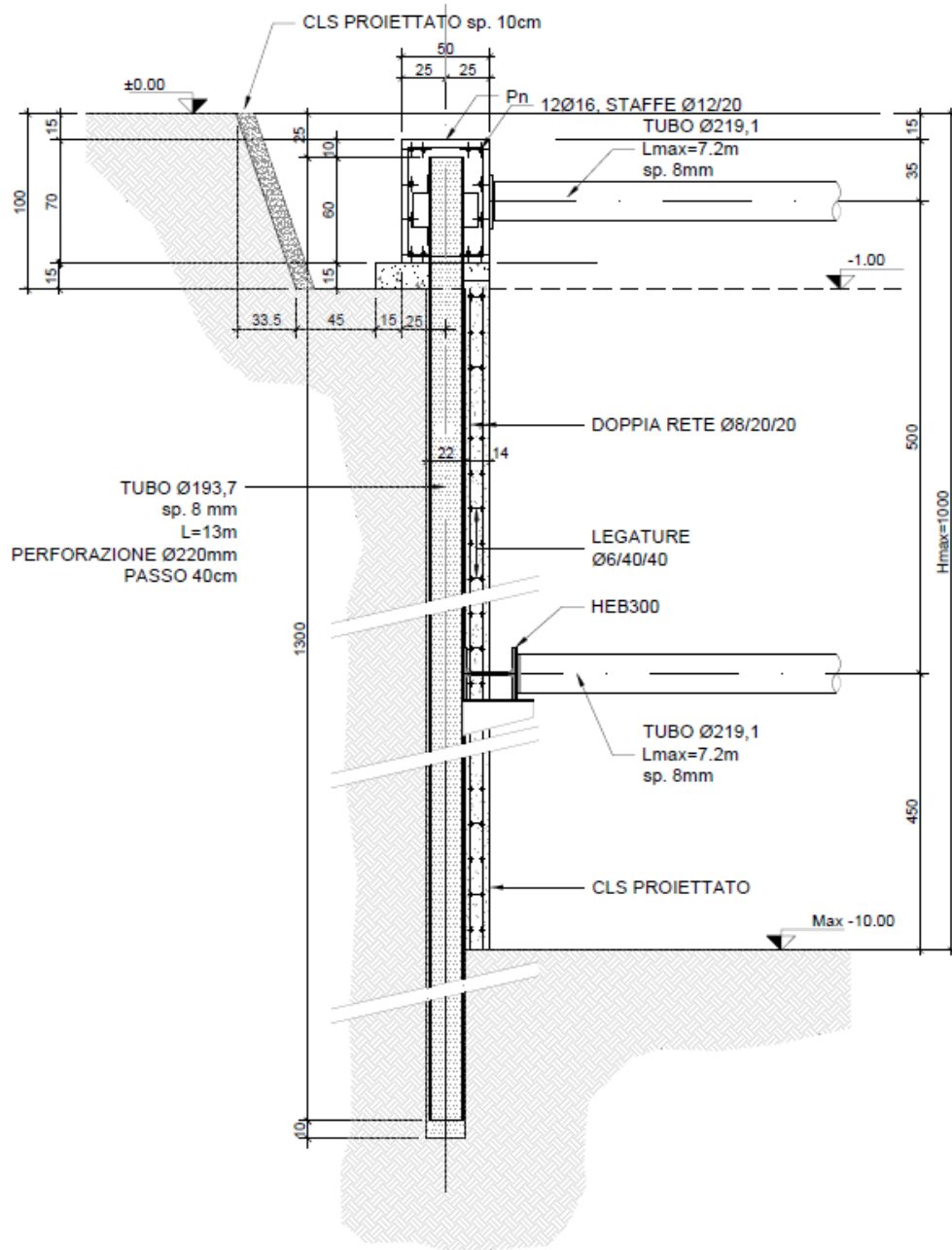


Figura 3. Schema C

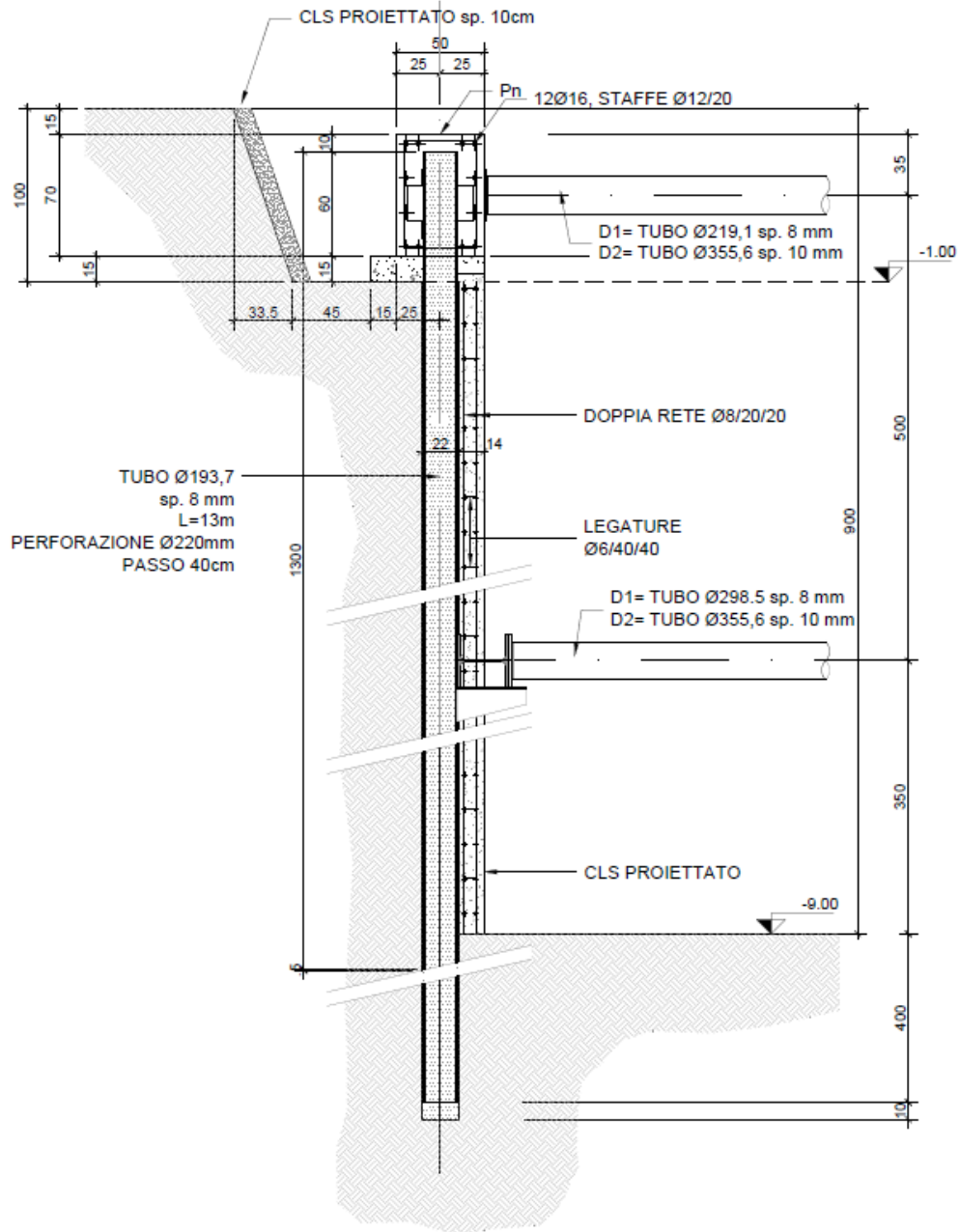



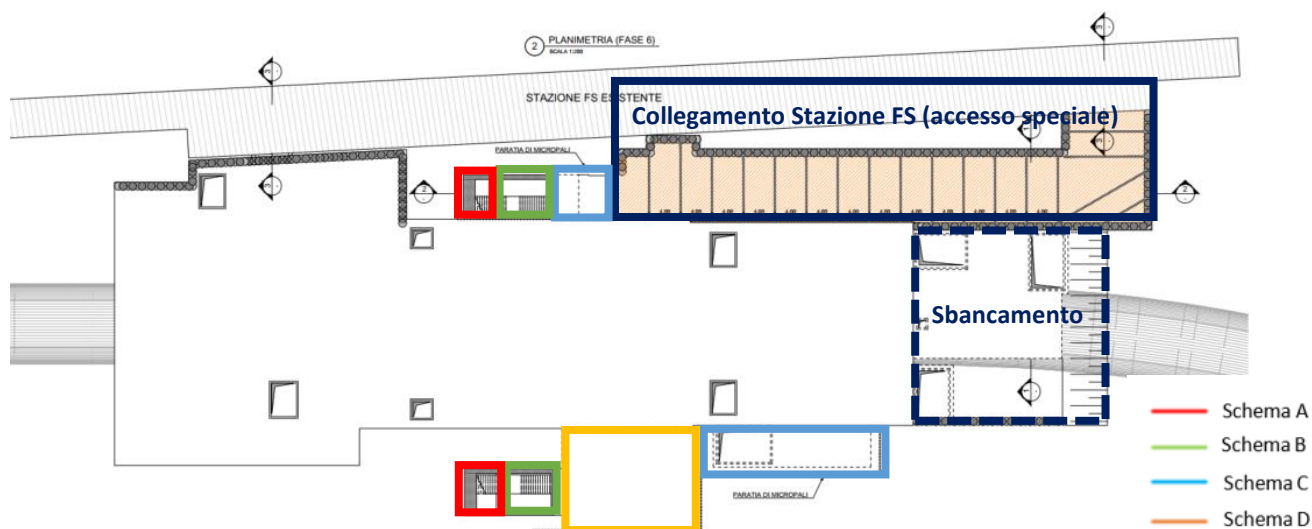
Figura 4. Schema D

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSBRR003-0-1

Successivamente per gli scatolari in c.a. in oggetto sono state individuate le sezioni strutturali rappresentative per la definizione degli spessori e delle incidenze dei rinforzi in acciaio dei rivestimenti definitivi; tali strutture sono indicate di seguito:


- Accesso a sbalzo: Parte più superficiale degli accessi, schema strutturale con parete a sbalzo di altezza massima 5.5m e soletta di fondazione di spessore 60cm;
- Accesso chiuso: Parte più profonda degli accessi, schema strutturale di uno scatolare continuo di altezza massima 6.5m con soletta di fondazione e copertura, spessore 60cm;
- Vasca antincendio: schema strutturale di uno scatolare continuo con soletta di fondazione e copertura di spessore 60cm, dimensioni approssimative 17mx8m;
- Accesso speciale (collegamento con stazione esistente FS): Struttura scatolare chiusa adiacente al corpo stazione (Appendice P).

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



**Figura 5. Disposizione in pianta degli schemi di calcolo**

Si rimanda alla Appendice P della presente relazione di calcolo ed all'elaborato MTL2T1A1DSTRSRBT001.3-0-1 la descrizione delle fasi e la composizione dei sostegni di prima fase relativi al collegamento con l'attuale Stazione FS e l'adiacente scavo di sbancamento per la realizzazione delle strutture superficiali lato Nord.


 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSBRR003-0-1

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

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSBRR003-0-1

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 <sup>3</sup>

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

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



 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSBRR003-0-1


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

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSBRR003-0-1

- **Saldature**

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

## 4 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

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

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

Unità geologica	Profondità da p.c. [m]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$c'$ [kPa]	$\phi'$ [°]	E [MPa]	$\nu'$ [-]
U1	0-5.5	19	0	29	15	0.3
U2	5.5-30	19	10	36	150	0.3


I livelli di falda di riferimento sono distinti per condizioni di breve periodo e lungo periodo come indicato di seguito:

**Tabella 2 Livelli di falda**

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

Allo scopo di validare un tipo valido per le varie condizioni di falda delle stazioni, per le strutture interne degli accessi e la vasca di accumulo è stato ipotizzato un livello di falda di lungo periodo pari a -3.0m da piano campagna.

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:

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSBRR003-0-1

- 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	$\gamma_\gamma$	$\gamma_\gamma$	1,0	1,0

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSBRR003-0-1


**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: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSBRR003-0-1

## 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 in questa fase di analisi.

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

#### 5.1.1 Criteri di modellazione

Attraverso l'analisi numerica si intende simulare il percorso delle tensioni e delle deformazioni nel terreno conseguente allo scavo.

La condizione geostatica è stata inizializzata ipotizzando un coefficiente di spinta a riposo  $K_0$  ottenuto attraverso la relazione di Jaky:

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

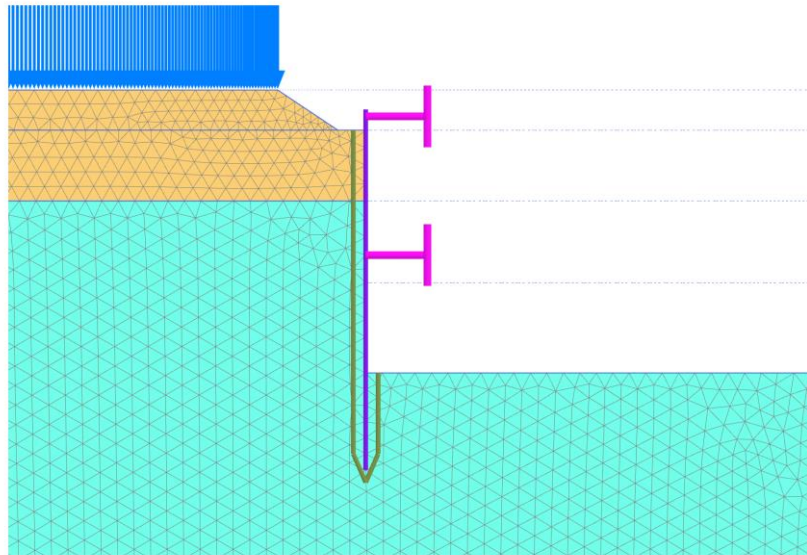
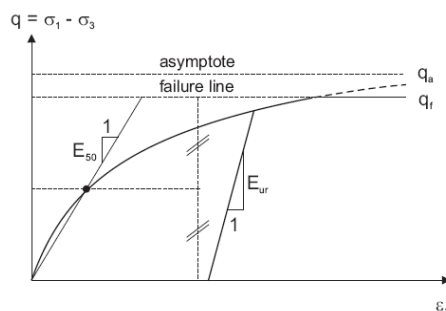


Figura 6. Modello di calcolo PLAXIS (Schema C)

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



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

$$E_{oed} = \alpha \cdot \sigma'_1{}^m$$

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

Figura 7. Modello costitutivo Hardening Soil

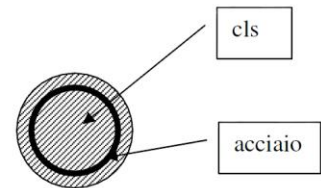
L'attrito tra parete e terreno è stato simulato nel software mediante l'introduzione di una interfaccia. L'attrito è stato posto pari al 50% della resistenza al taglio del terreno.

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 rigidezza flessionale ed assiale.

- diametro esterno palo in acciaio	$D_A=193.7 \text{ mm}$
- spessore palo in acciaio	$t=7.1 \text{ mm}$
- 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:

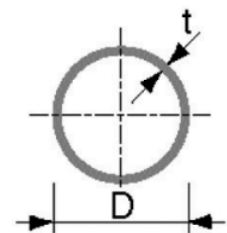
$$I_{EQ} = (E_C I_C + E_S I_S) / (i \times E_C) = 7.68e-4 \text{ m}^4$$

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

- **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 rigidezza del puntone a metro lineare risulta dunque:

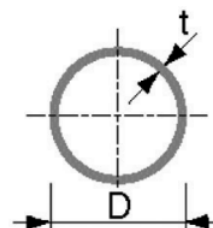
$$\text{Puntone } L=7.6 \text{ m} / i=3 \text{ m} \quad K_1=EA_P/L=1.47e8 \text{ N/m} \quad K_1^*=K_1/i=4.89e7 \text{ N/m/m}$$

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



• **Tipologia di puntone 2**

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




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

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

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

Schema A	Schema B
<u>Stage 1</u> Inizializzazione tensioni geostatiche; <u>Stage 2</u> Pre-scavo ed inizializzazione del carico variabile a tergo della parete; <u>Stage 3</u> Installazione parete di micropali; <u>Stage 4</u> Scavo sino alla quota di fondo scavo.	<u>Stage 1</u> Inizializzazione tensioni geostatiche; <u>Stage 2</u> Pre-scavo ed inizializzazione del carico variabile 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 e Schema D	
<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: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSBRR003-0-1

### 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.

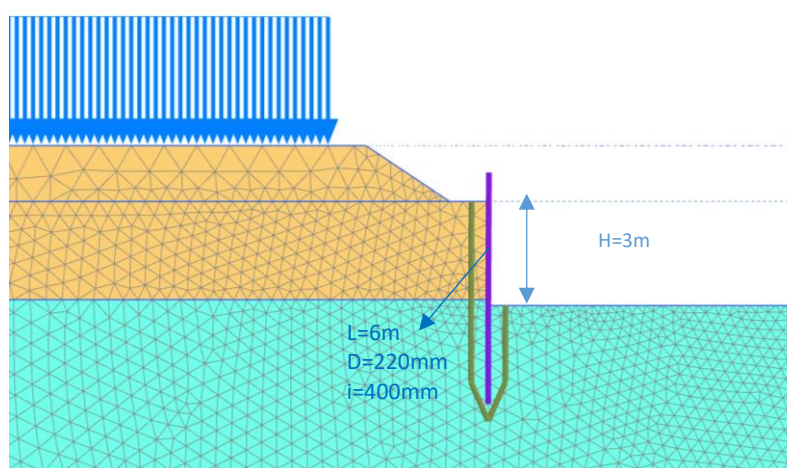
 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSBRR003-0-1

## 5.2 RISULTATI DELLE ANALISI E VERIFICHE STRUTTURALI

### 5.2.1 Risultati delle analisi numeriche

#### 5.2.1.1 Schema A

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



**Figura 8. 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.

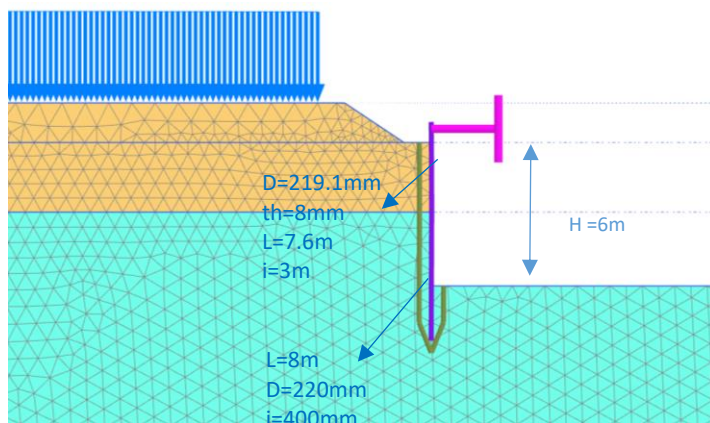


Figura 9. Schema B - Mesh di calcolo Plaxis

### 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.

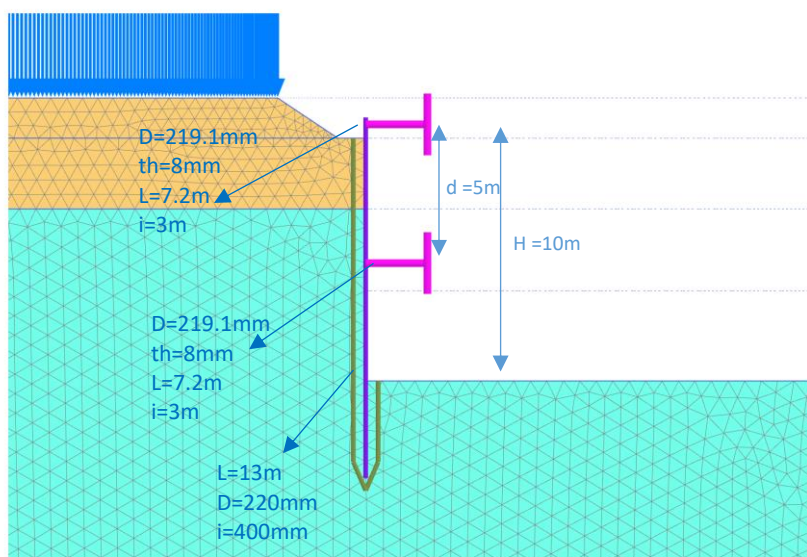


Figura 10. Schema C - Mesh di calcolo Plaxis



#### 5.2.1.4 Schema D

Lo Schema D è caratterizzato da micropali di lunghezza 13 metri con due livelli di vincolo, uno in testa e un altro posto successivamente 5m sotto, a sostegno di uno scavo totale di 10 metri. Tale schema è impiegato per lo scavo e la realizzazione delle vasche di accumulo antincendio.

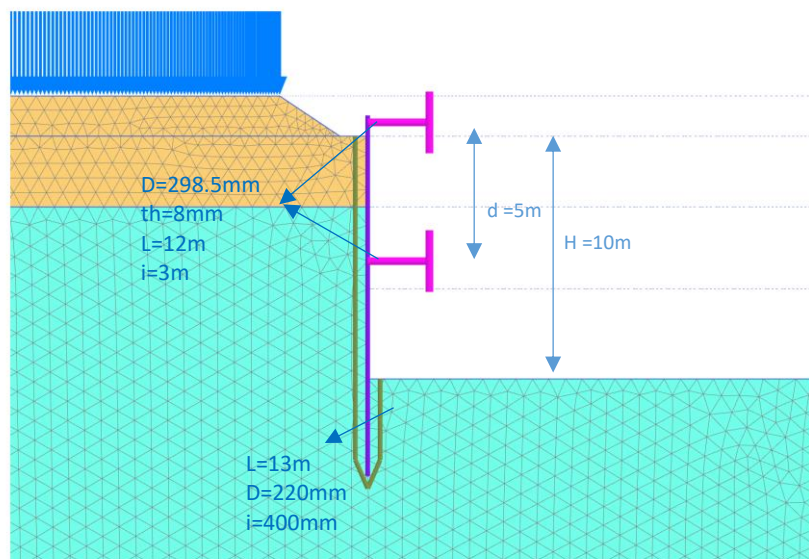



Figura 11. Schema D - Mesh di calcolo Plaxis

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSBRR003-0-1

### 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 NTC18, sia per le pareti, sia per il puntone si è garantito il soddisfacimento della disuguaglianza:

$$E_d \geq R_d$$

con

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


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

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

### 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: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSBRR003-0-1

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**

Terreno	$\gamma$ (KN/m <sup>3</sup> )	$\Phi_d'$ (°)	$c_d'$ (kPa)
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:

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

#### 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:

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


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

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

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

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

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

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSBRR003-0-1

con:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A' f_{yk}}{N_{CR}}} \quad \Phi = 0.5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2] \quad \chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = 0.15$$

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

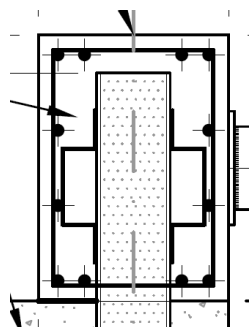
### 5.2.5 Verifica SLU-STR del cordolo di superficie

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:

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

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 12. Particolare armatura trave di testa**

### 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:

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

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSBRR003-0-1

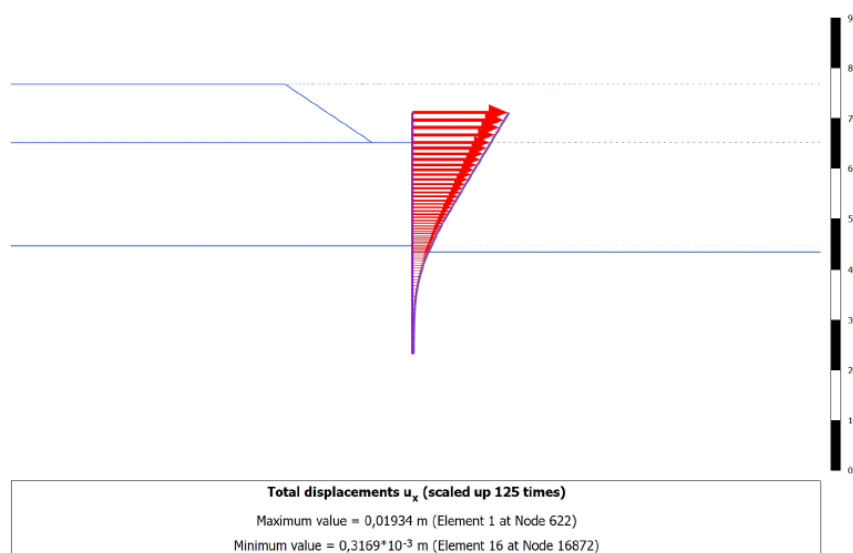
Dove q rappresenta la reazione del puntone ed L il loro interasse.

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

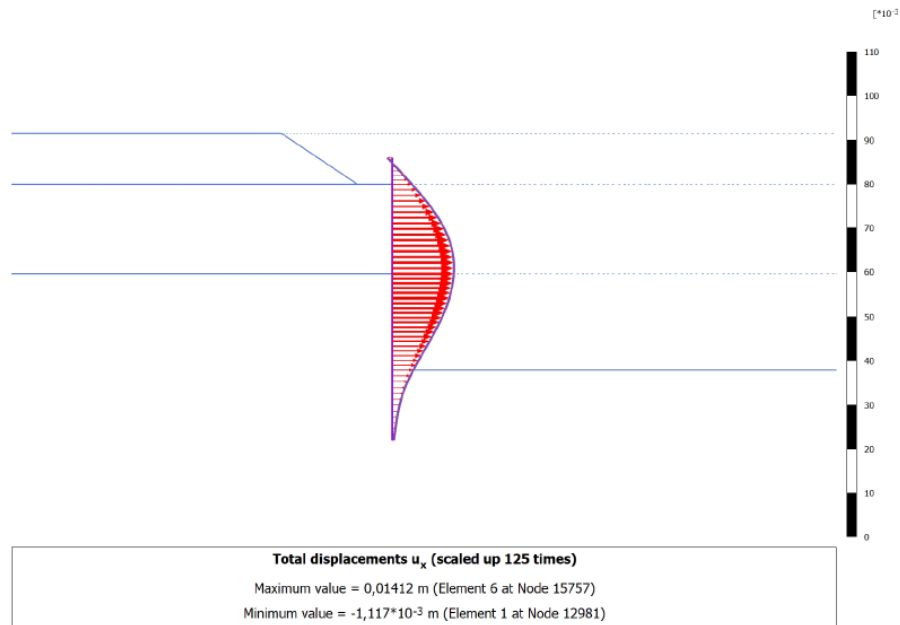
Lo spostamento massimo ammissibile stabilito dalle NTC218 paragrafo 7.11.6.3 è pari a  $u_s=0.005H$  dove H è l'altezza complessiva della paratia.



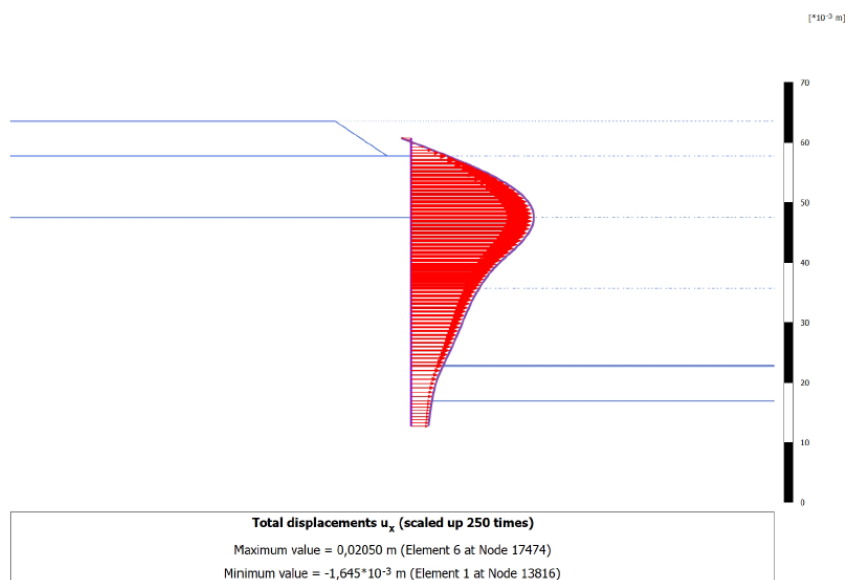
**Figura 13. Spostamenti Totali - Schema A**



 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSBRR003-0-1



**Figura 14. Spostamenti Totali - Schema B**



**Figura 15. Spostamenti Totali - Schema C**

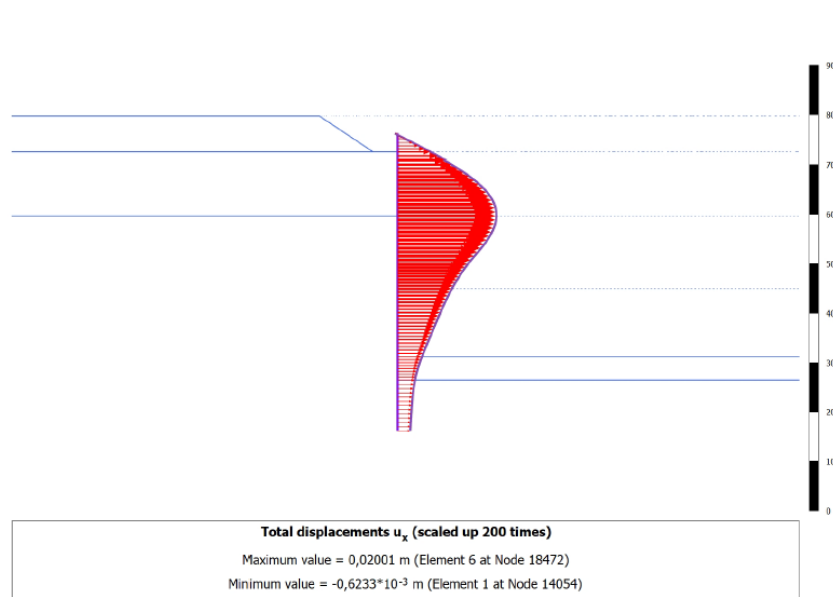



Figura 16. Spostamenti Totali - Schema D

Tabella 9 – Verifica delle deformazioni massime delle paratie di micropali

Tipologia di scavo	$u_s$ (mm)	H(m)	0.005H (mm)	$u_s \leq 0.005H$
Schema A	19.34	6	30	✓
Schema B	14.12	8	40	✓
Schema C	20.50	13	65	✓
Schema D	20.01	13	65	✓

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSBRR003-0-1

## 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

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSBRR003-0-1

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:

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

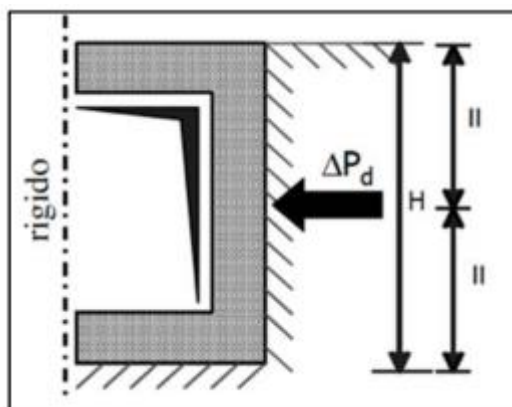
Vi saranno effetti amplificativi dovuti alla stratigrafia ed alla topografia del suolo, tenuti in conto con i seguenti coefficienti:

- *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 17. 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: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSBRR003-0-1

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

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	Sovraspinta del sisma in direzione X	0	1	0
	Sovraspinta del sisma in direzione Y	0	0	1
Coeff. Parziali geotecnici del terreno	Peso dell'unità del volume	1	1	1
	Coesione efficace	1	1	1
	Tangente dell'angolo della resistenza a taglio	1	1	1

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSBRR003-0-1

**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).

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

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSBRR003-0-1

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

$B$  : Larghezza base

Es: Modulo di Young del suolo

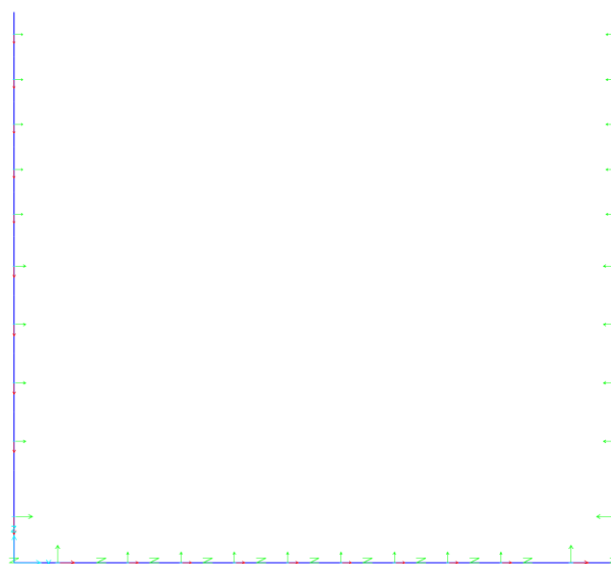
**Tabella 12 – Valori di rigidezza utilizzate nei principali modelli di calcolo**

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


## 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.



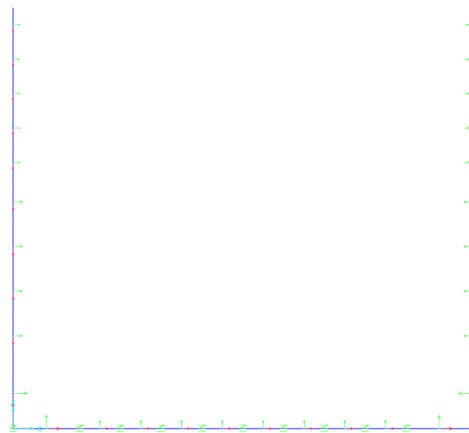
**Figura 18. Modello numerico – Accesso schema a sbalzo**

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSBRR003-0-1

### 6.2.1.1 Carichi

#### **Carichi permanenti strutturali**

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



**Figura 19. 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

$$\begin{aligned}
 k_0 &= 1 - \sin 29^\circ & 0 - 5.5 \text{ m} \\
 k_0 &= 1 - \sin 36^\circ & 5.5 - 30 \text{ m}
 \end{aligned}$$

- per le verifiche geotecniche e stato utilizzato

$$\begin{aligned}
 k_0 &= 1 - \sin 23.9^\circ & 0 - 5.5 \text{ m} \\
 k_0 &= 1 - \sin 30.2^\circ & 5.5 - 30 \text{ m}
 \end{aligned}$$





Figura 20. Spinta orizzontale del terreno – Accesso schema a sbalzo

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

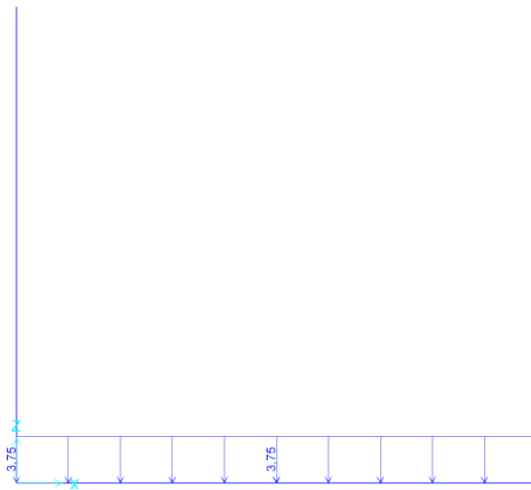


Figura 21. Pavimentazione – Accesso schema a sbalzo

### Carichi variabili

Risultano applicati i seguenti carichi:

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

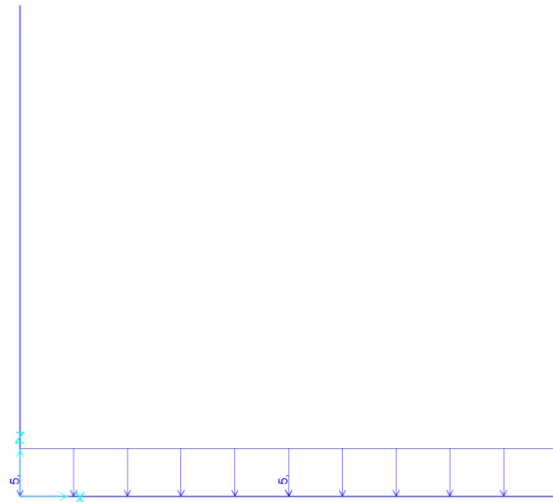



Figura 22. Folla – Accesso schema a sbalzo

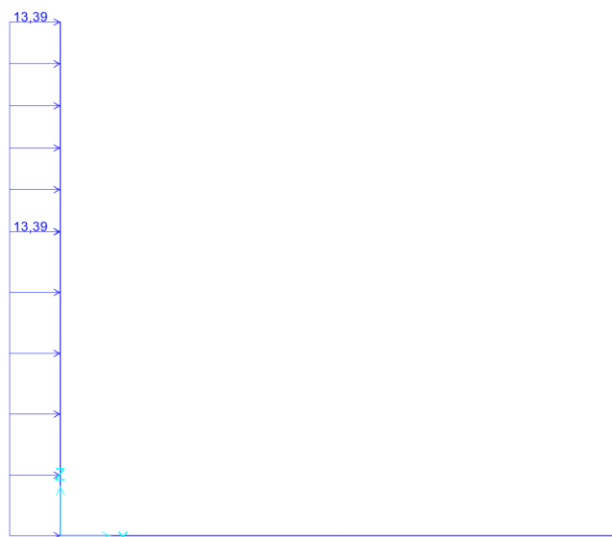
**Traffico** è stato preso in considerazione il traffico direttamente sopra la stazione e nelle vicinanze, quest'ultimo è stato quindi riportato come carico orizzontale uniformemente distribuito sulle pareti utilizzando la formula  $k_0 \cdot 20kN$  con  $k_0$  variabile seguendo le indicazioni riportate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



Figura 23. Traffico -Accesso schema a sbalzo

**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.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSBRR003-0-1

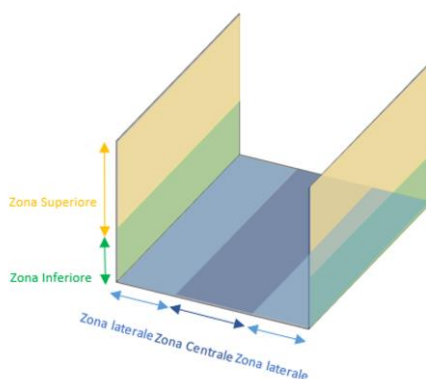


**Figura 24. Spinta sismica Direzione X – Accesso schema a sbalzo**

### 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:

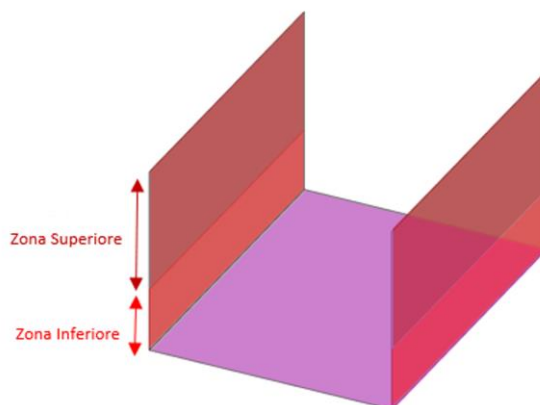
#### Armatura Principale



**Figura 25. Schema di distribuzione dell'armatura principale – Accesso schema a sbalzo**

#### Armatura a Taglio

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSBRR003-0-1




**Figura 26. 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		

**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		

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSBRR003-0-1

### 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.

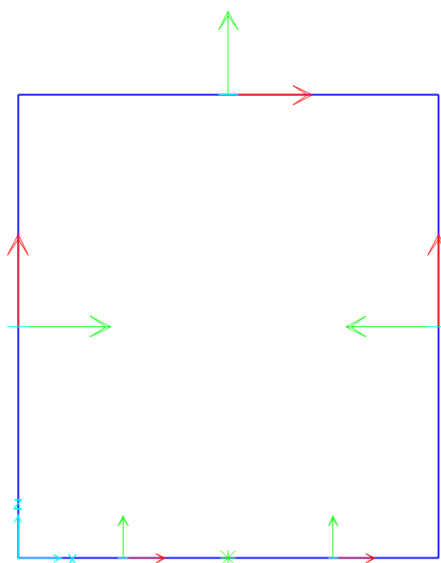


Figura 27. Modello numerico – Accesso schema chiuso

#### 6.2.2.1 Carichi

##### Carichi permanenti strutturali

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

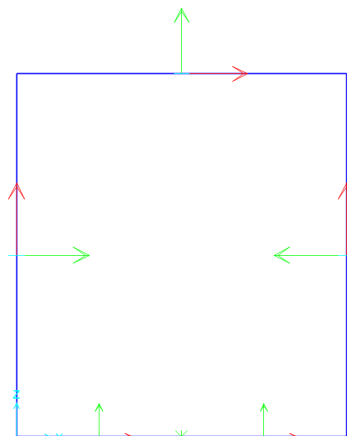



Figura 28. Peso proprio – Accesso schema chiuso

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSBRR003-0-1

### **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:

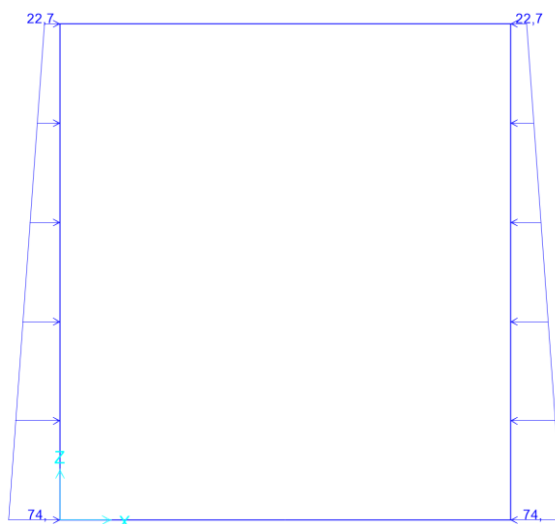
$$k_0 = 1 - \sin 29^\circ \quad 0-5.5\text{m}$$

$$k_0 = 1 - \sin 36^\circ \quad 5.5-30\text{m}$$

- per le verifiche geotecniche e stato utilizzato

$$k_0 = 1 - \sin 23.9^\circ \quad 0-5.5\text{m}$$

$$k_0 = 1 - \sin 30.2^\circ \quad 5.5-30\text{m}$$



**Figura 29. 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.

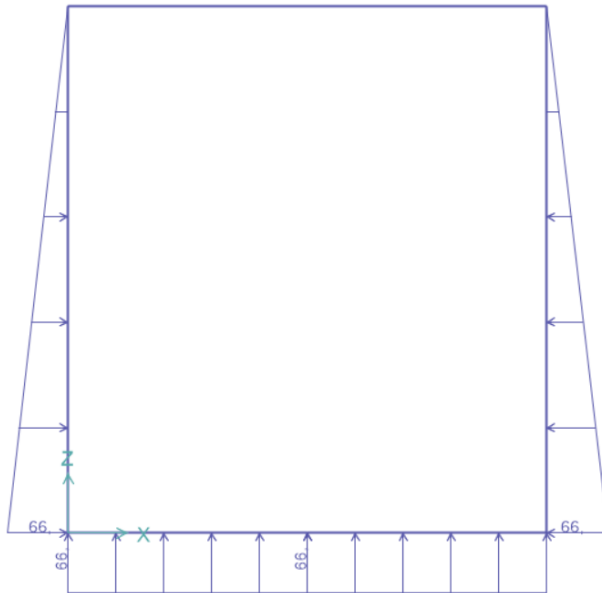


Figura 30. Spinta idrostatica – Accesso schema chiuso

**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  $\gamma = 20 \text{ kN}/\text{m}^3$ .

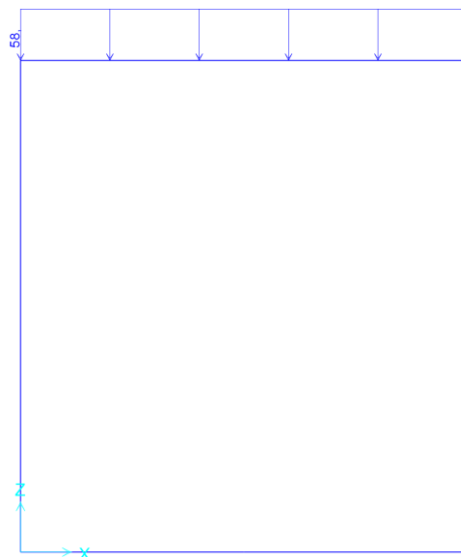


Figura 31. Ritombamento – Accesso schema chiuso

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

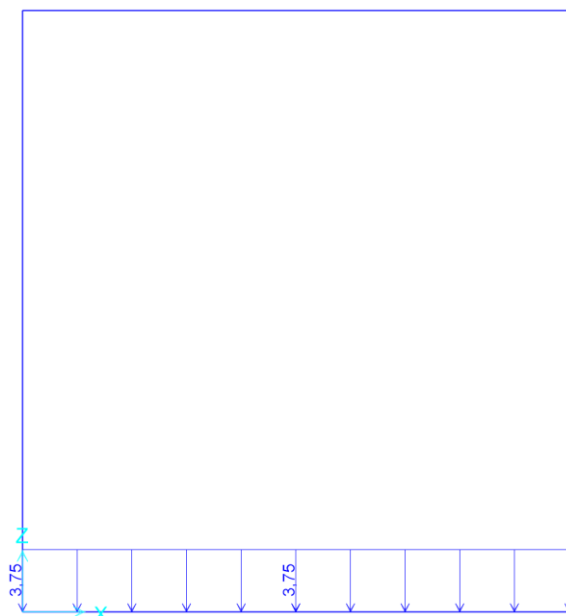


Figura 32. Pavimentazione – Accesso schema chiuso

**Carichi variabili**

Risultano applicati i seguenti carichi:

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

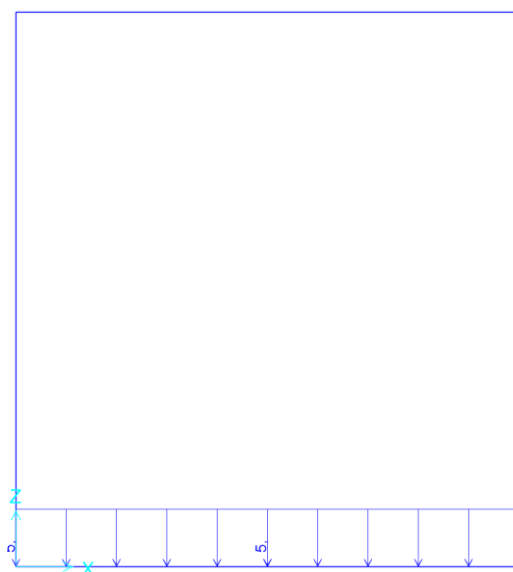

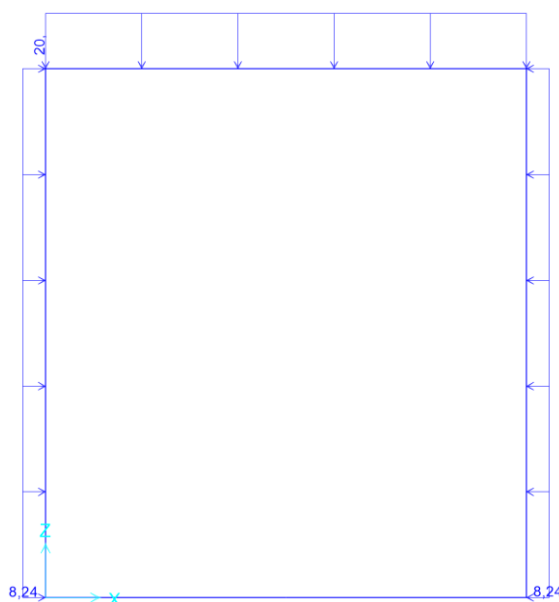


Figura 33. Folla – Accesso schema chiuso



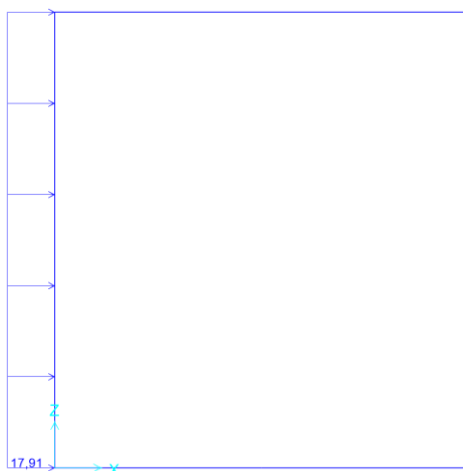
 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSBRR003-0-1

**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  $k_0 \cdot 20kN$  con  $k_0$  variabile seguendo le indicazioni riportate nella condizione di carico di spinta del terreno.




**Figura 34. Traffico – Accesso schema chiuso**

**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.



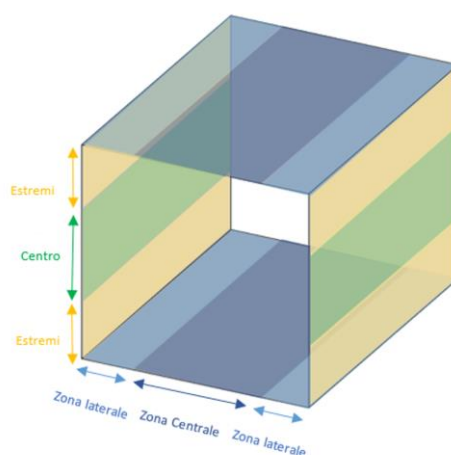
**Figura 35. Spinta sismica direzione X – Accesso schema chiuso**

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSBRR003-0-1

### 6.2.2.2 Risultati dell'analisi e verifiche strutturali

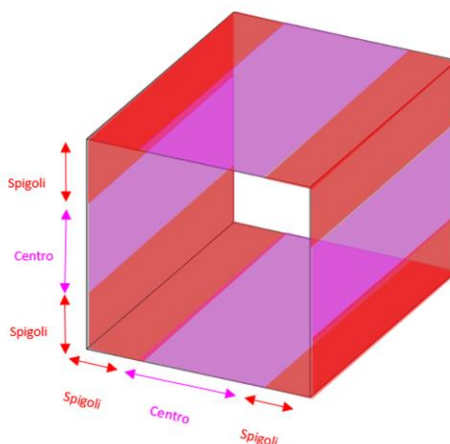
I risultati dell'analisi e le successive verifiche strutturali hanno portato alla definizione della seguente armatura per gli elementi che compongono l'accesso chiuso, inoltre sono state individuate delle zone particolari che richiedono un maggior quantitativo di armatura, per cui il rinforzo è stato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

#### Armatura Principale




**Figura 36. Schema di distribuzione dell'armatura principale – Accesso schema chiuso**

#### Armatura a Taglio



**Figura 37. Schema di distribuzione dell'armatura a taglio – Accesso schema chiuso**

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

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSBRR003-0-1

**Tabella 16 Armatura principale Soletta di copertura – Accesso schema chiuso**

	Posizione	Armatura		
		Soletta di copertura	Zona Laterale	Trasversale
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 17 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	

**Tabella 18 Armatura principale Soletta di fondo – Accesso schema chiuso**

	Posizione	Armatura		
		Soletta di fondo	Zona Laterale	Trasversale
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	

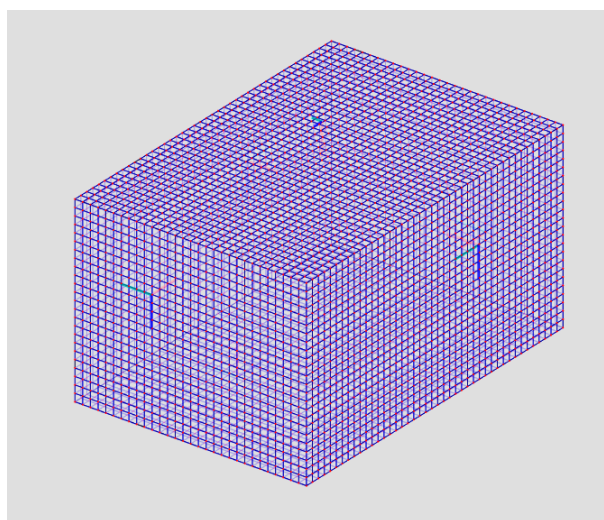
**Tabella 19 Armatura a taglio – Accesso schema chiuso**

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

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSBRR003-0-1

### 6.2.3 Vasca antincendio

Le strutture interne della vasca d'accumulo antincendio sono costituite dalle pareti, la soletta di fondo e la soletta di copertura. Tutti gli elementi hanno uno spessore di 60cm.

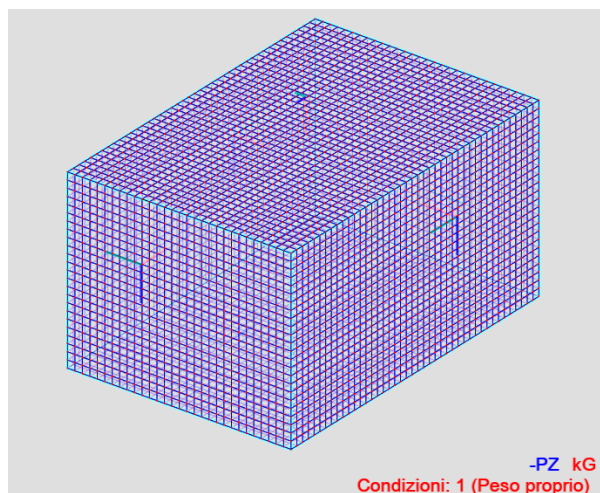


**Figura 38. Modello numerico – Vasca di accumulo antincendio**


#### 6.2.3.1 Carichi

##### Carichi permanenti strutturali

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

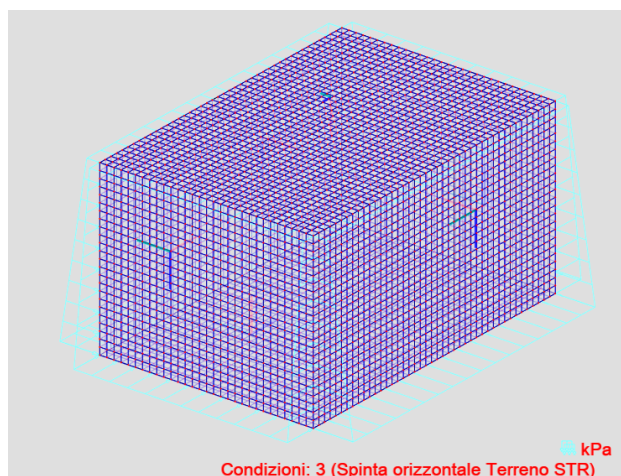


**Figura 39. Peso proprio – Vasca di accumulo antincendio**

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSBRR003-0-1

**Carichi permanenti non strutturali**

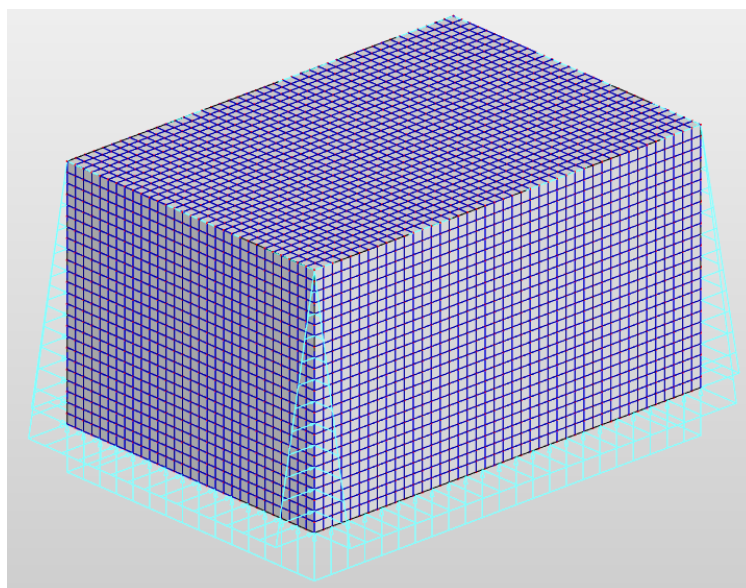
**Spinta laterale del terreno** considerata come carico distribuito triangolare pari a  $k_0 \cdot \gamma \cdot h$




**Figura 40. Spinta orizzontale del terreno – Vasca di accumulo antincendio**

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

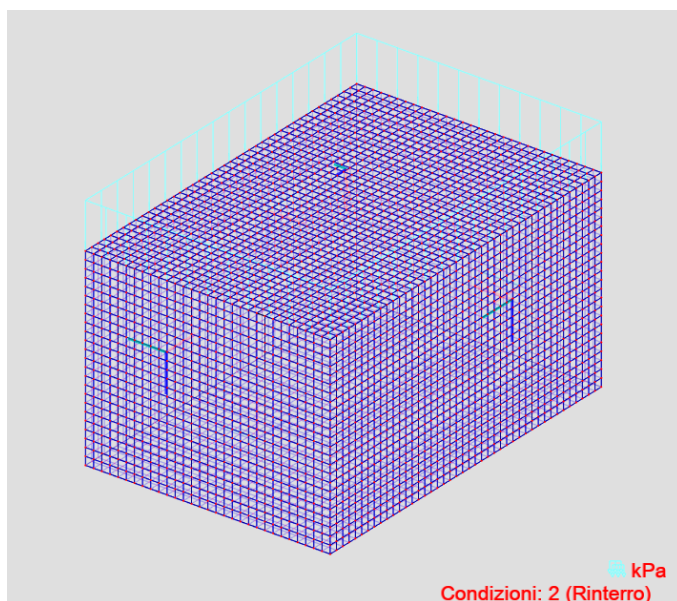
Con  $h_w$  **-2m** da piano campagna cautelativamente per la stazione in esame.



**Figura 41. Spinta idrostatica – Vasca di accumulo antincendio**

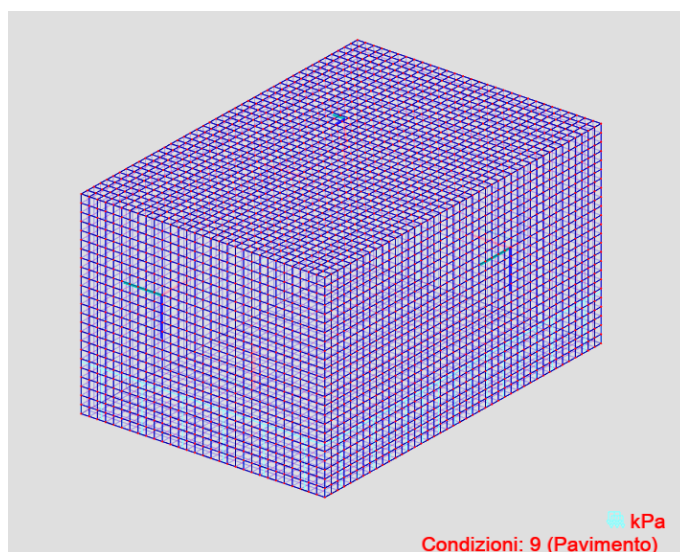
 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSBRR003-0-1

**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 42. Ritombamento – Vasca di accumulo antincendio**

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



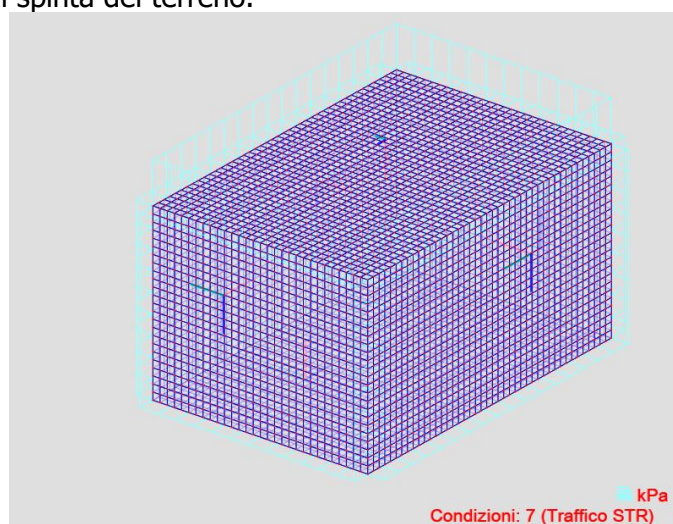
**Figura 43. Pavimentazione – Vasca di accumulo antincendio**

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSBRR003-0-1

### **Carichi variabili**

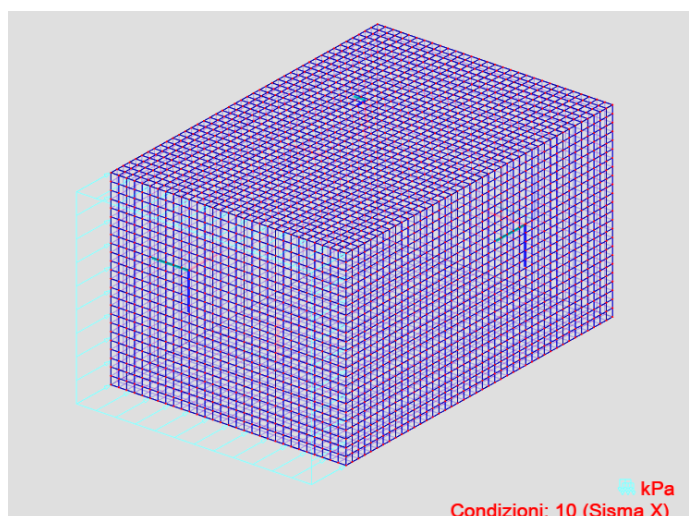
Risultano applicati i seguenti carichi:


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



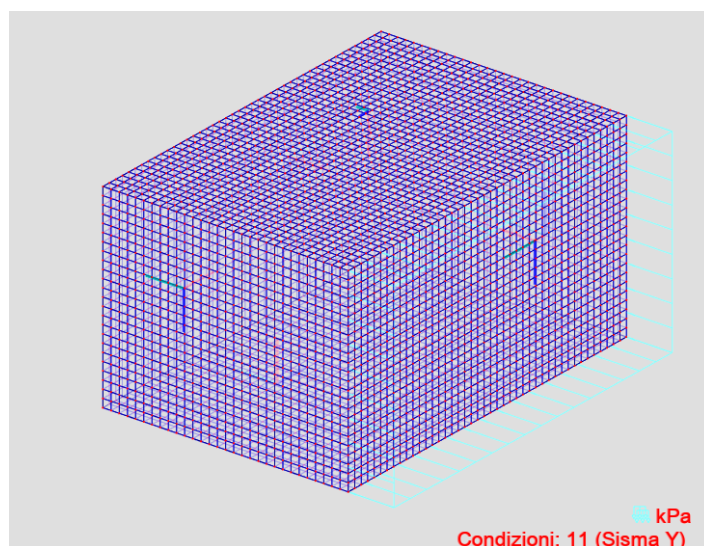
**Figura 44. Traffico – Vasca di accumulo antincendio**

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




 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSBRR003-0-1

**Figura 45. Spinta sismica direzione X – Vasca di accumulo antincendio**



**Figura 46. Spinta sismica direzione Y – Vasca di accumulo antincendio**



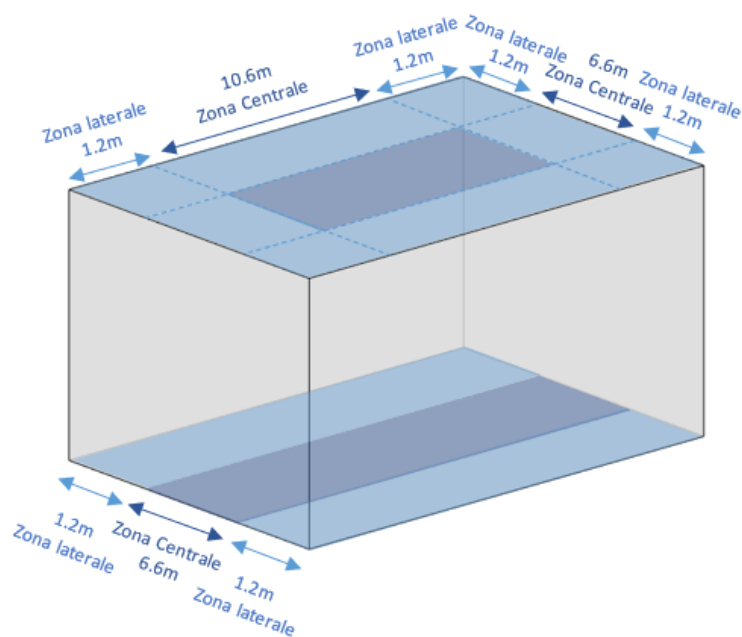
 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSBRR003-0-1

### 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 gli elementi che compongono l'accesso chiuso, inoltre sono state individuate delle zone particolari che richiedono un maggior quantitativo di armatura, per cui il rinforzo è stato disposto seguendo gli schemi riportati sotto:

#### **Armatura Principale**

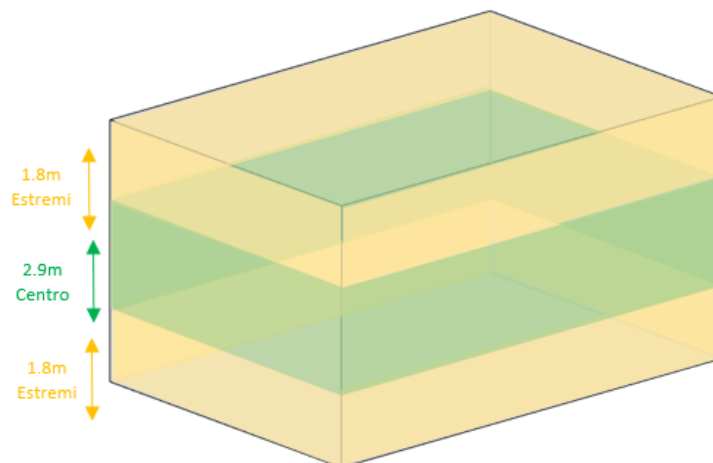
#### **Solette**



**Figura 47. Schema di distribuzione dell'armatura principale solette – 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: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSBRR003-0-1

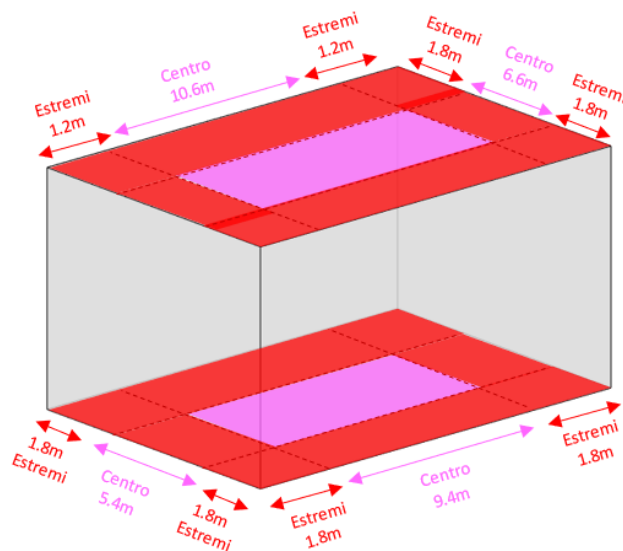
**Muri**




**Figura 48. Schema di distribuzione dell'armatura principale muri – Vasca di accumulo antincendio**

**Armatura a taglio**

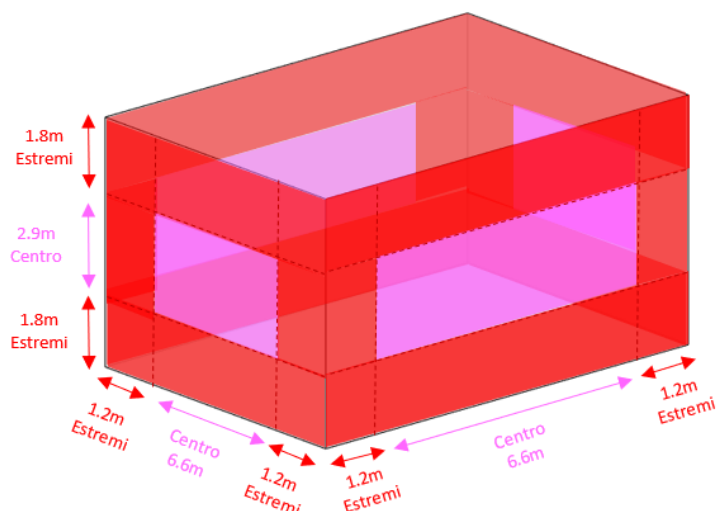
**Solette**



**Figura 49. Schema di distribuzione dell'armatura a taglio solette – 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: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSBRR003-0-1

## Muri




**Figura 50. Schema di distribuzione dell'armatura a taglio muri – Vasca di accumulo antincendio**

**Tabella 20 Armatura principale Soletta di copertura – Vasca di accumulo antincendio**

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

**Tabella 21 Armatura a taglio Soletta di copertura – Vasca di accumulo antincendio**

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

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSBRR003-0-1

**Tabella 22 Armatura principale Muri – Vasca di accumulo antincendio**


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

**Tabella 23 Armatura a taglio Muri – Vasca di accumulo antincendio**

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

**Tabella 24 Armatura principale Soletta di fondo – Vasca di accumulo antincendio**

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

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSBRR003-0-1

**Tabella 25 Armatura a taglio Soletta di copertura – Vasca di accumulo antincendio**

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



CITTA' DI TORINO

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

Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione

MTL2T1A2DSTRSBRR003-0-1

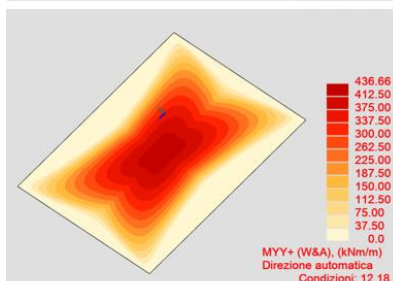
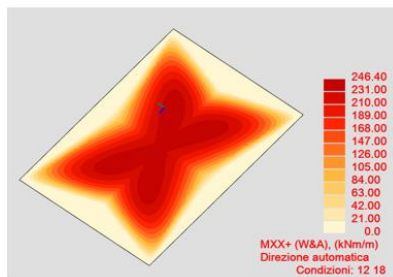
## 7 VALIDAZIONE DEI MODELLI DI CALCOLO

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

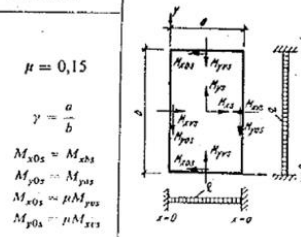
Di seguito sono riportati gli schemi considerati e i risultati ottenuti.

**Tabella 26 Comparazione dei risultati del modello con soluzioni analitiche (Calcolo di lastre e piastre con la teoria elastica lineare, R. Bares)**

STUTTURA	Momento massimo mezzeria [kNm]		
	(combinazione SLE)	Metodo analitico	Differenza (%)
Vasca – soletta di copertura (Modello Robot)	Mx=247	Mx=242	5.0
	My=437	My=416	5.0



Tab. 1.12



$\gamma$	$\nu_s$	$M_{x1}$	$M_{x2}$	$M_{y1}$	$M_{y2}$
0.50	0.0296	0.0405	0.0833	0.0024	0.0143
0.55	0.0286	0.0394	0.0817	0.0033	0.0172
0.60	0.0275	0.0378	0.0794	0.0046	0.0206
0.65	0.0261	0.0360	0.0767	0.0061	0.0242
0.70	0.0246	0.0339	0.0737	0.0079	0.0280
f. m.	$\frac{qa^4}{Eh^3}$	$qa^2$	$qa^2$	$qb^2$	$qb^2$

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

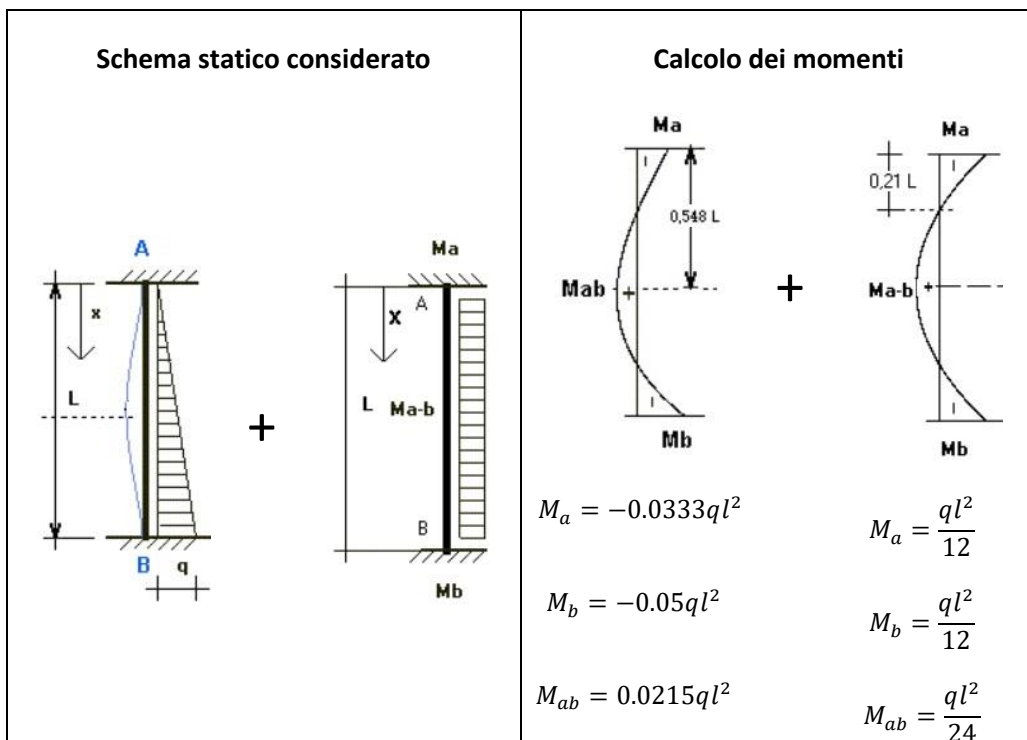
La variazione dei risultati tra i due modelli di calcolo in termini di momento flettente è dell'ordine di 5%



Sono state applicate inoltre le 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:

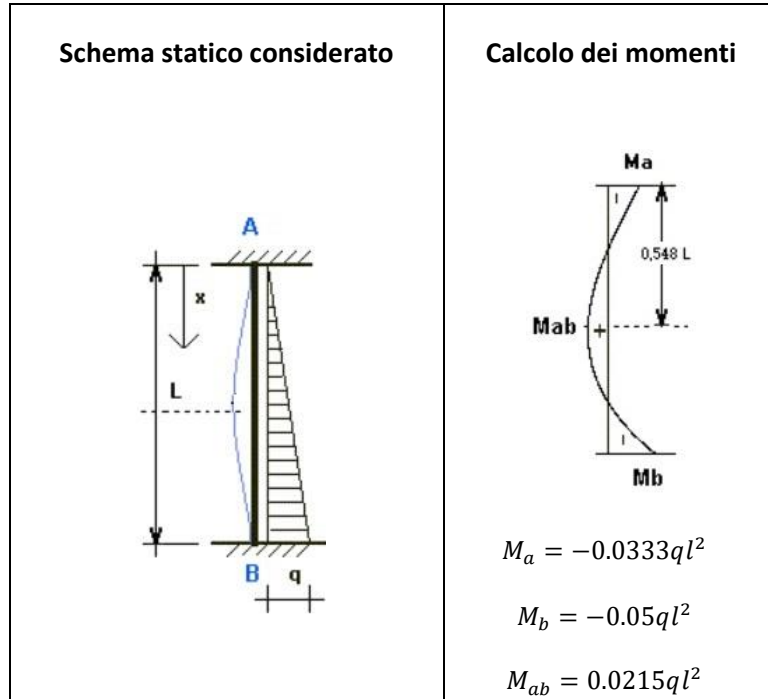
$$M_a = -127.5 \text{ kNm}$$

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

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



• Spinta idraulica



I momenti agenti dovuti alla spinta idraulica sono:

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

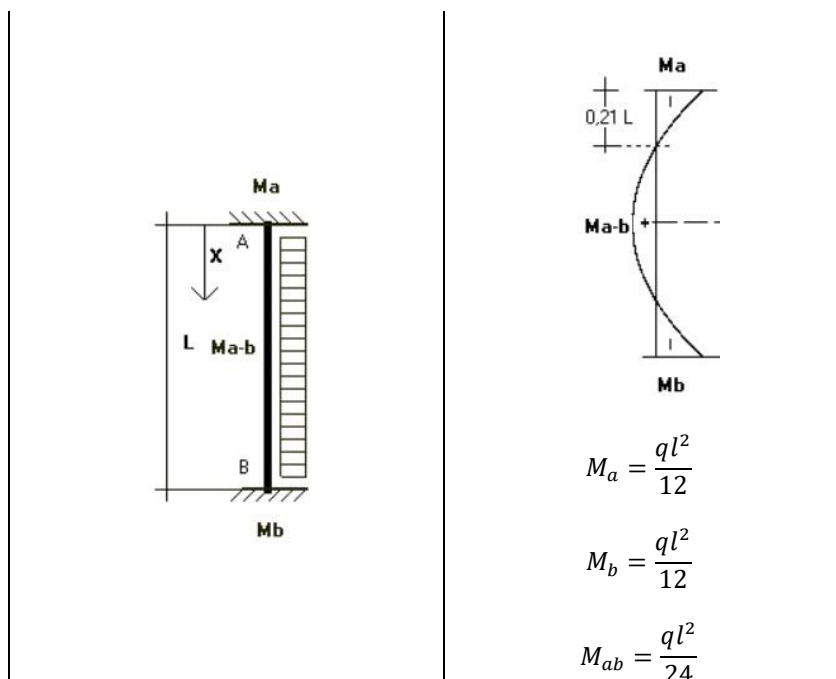
$$M_b = -116.8 \text{ kNm}$$

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

• Sovraccarico del traffico

Schema statico considerato	Calcolo dei momenti
----------------------------	---------------------





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:

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

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

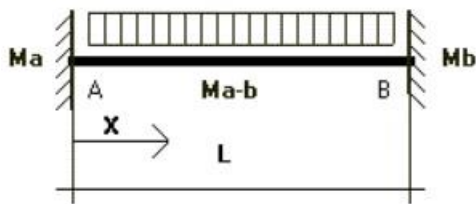
$$M_{ab} = 135 \text{ kNm}$$

### Soletta di copertura

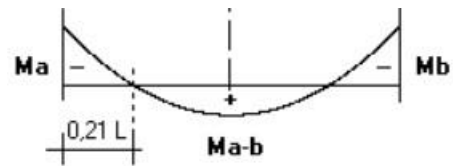
I carichi agenti sulla soletta di copertura sono tutti riconducibili ad un unico schema di carico come mostrato di seguito:



Schema statico considerato



Calcolo dei momenti



$$M_a = \frac{ql^2}{12}$$

$$M_b = \frac{ql^2}{12}$$

$$M_{ab} = \frac{ql^2}{24}$$

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

La variazione dei risultati tra i due modelli di calcolo in termini di momento flettente è dell'ordine del 25-30%.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSBRR003-0-1

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.

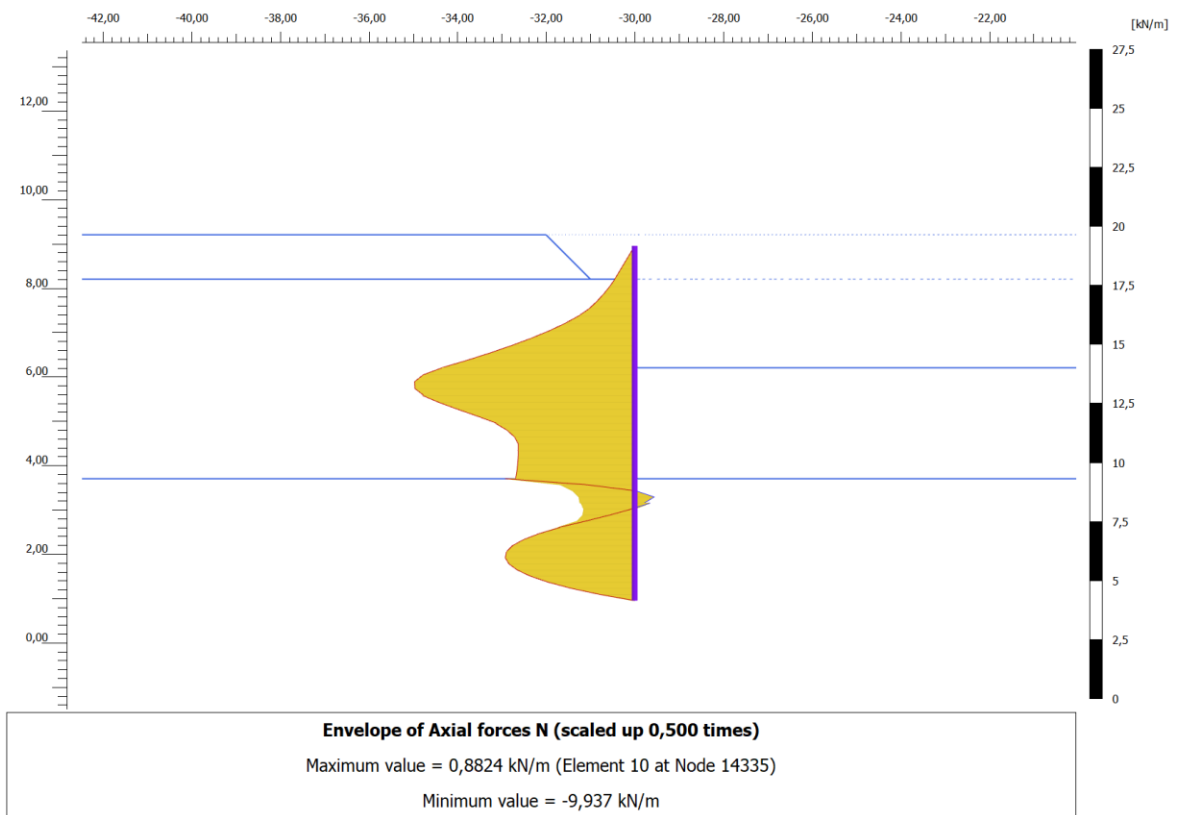
 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSBRR003-0-1

## APPENDICE A



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

- **Schema A**



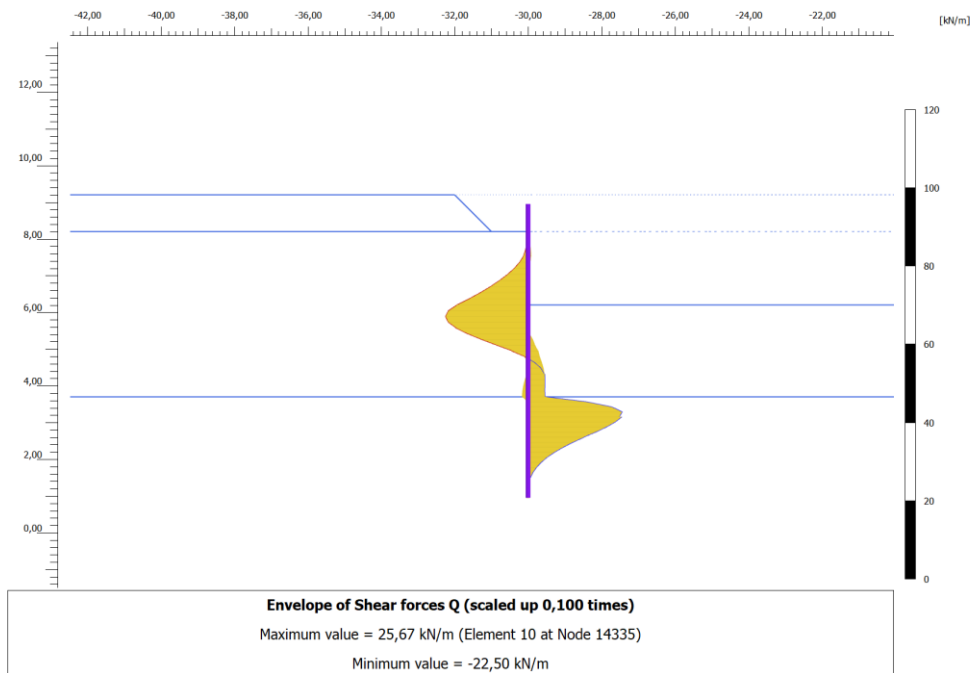
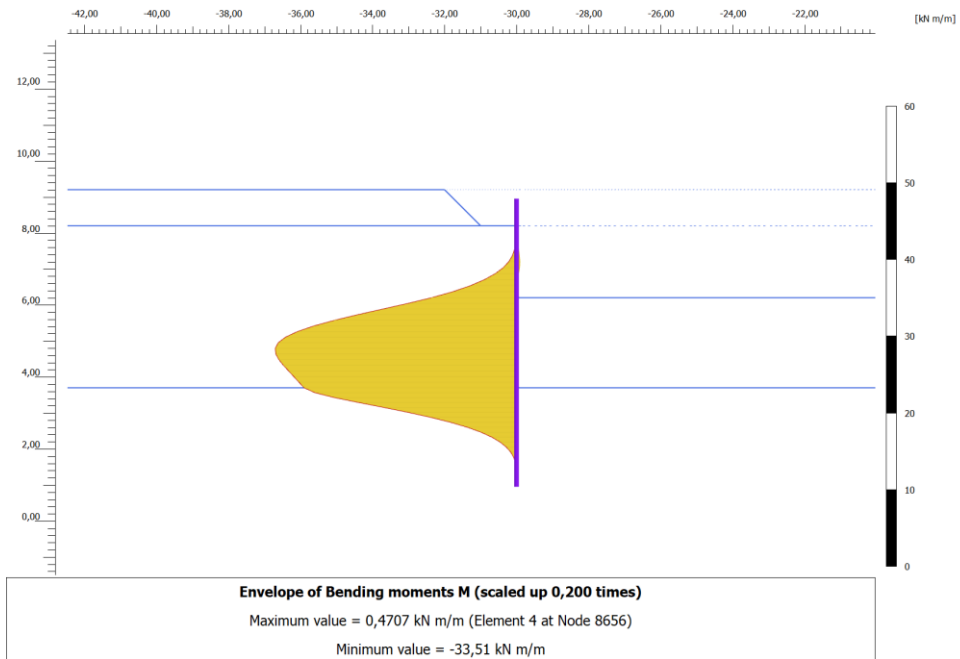
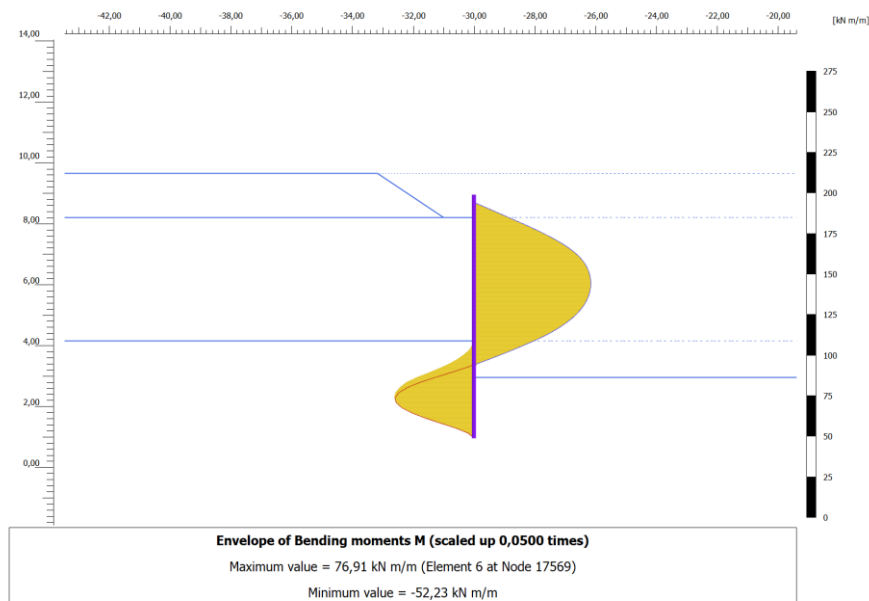
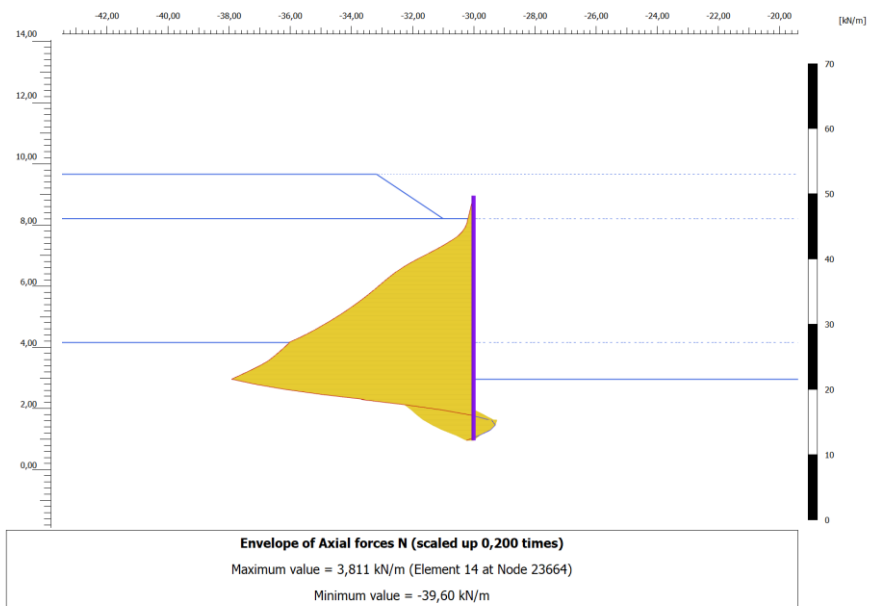


Figura 51. Output PLAXIS: Involuppo dello sforzo assiale, del taglio e del momento flettente - Schema A



• Schema B





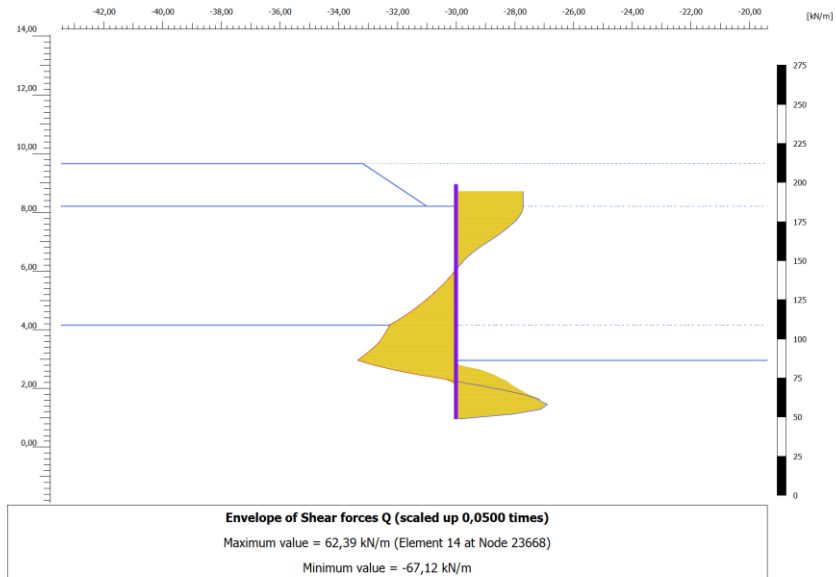
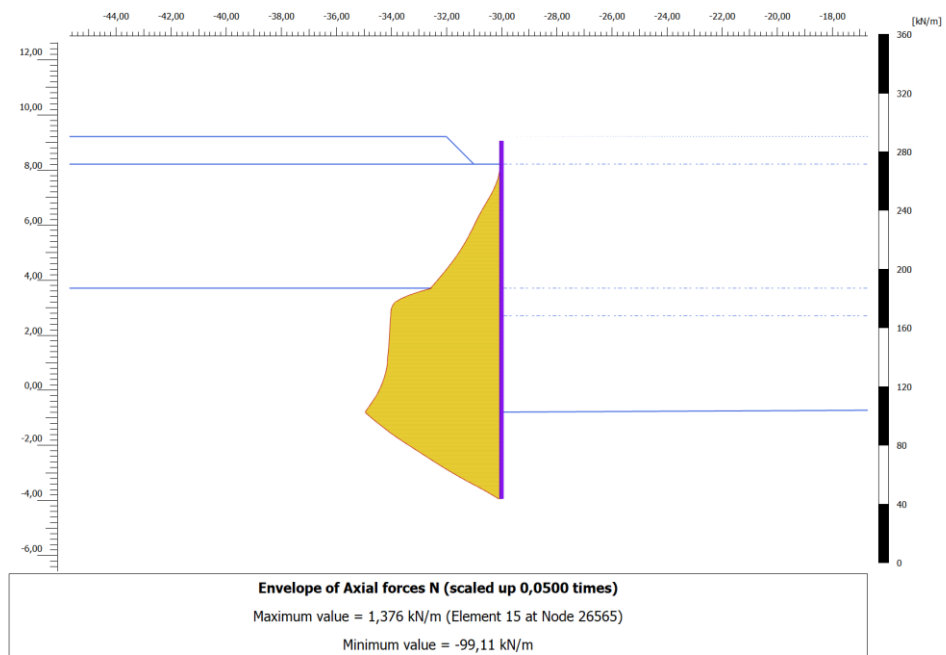


Figura 52. Output PLAXIS: Involuppo dello sforzo assiale, del taglio e del momento flettente – Schema B

• Schema C



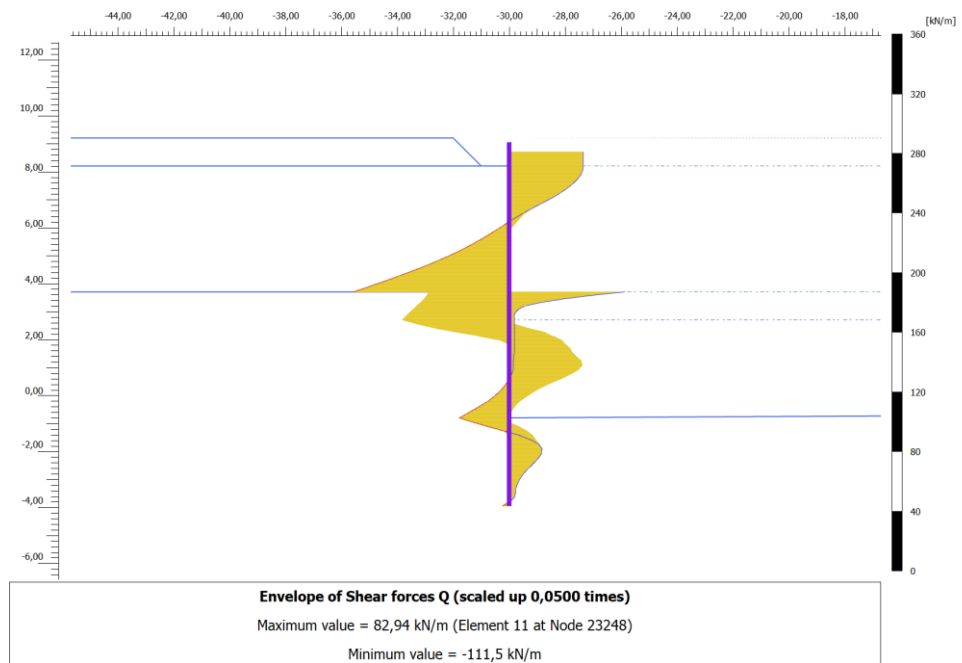
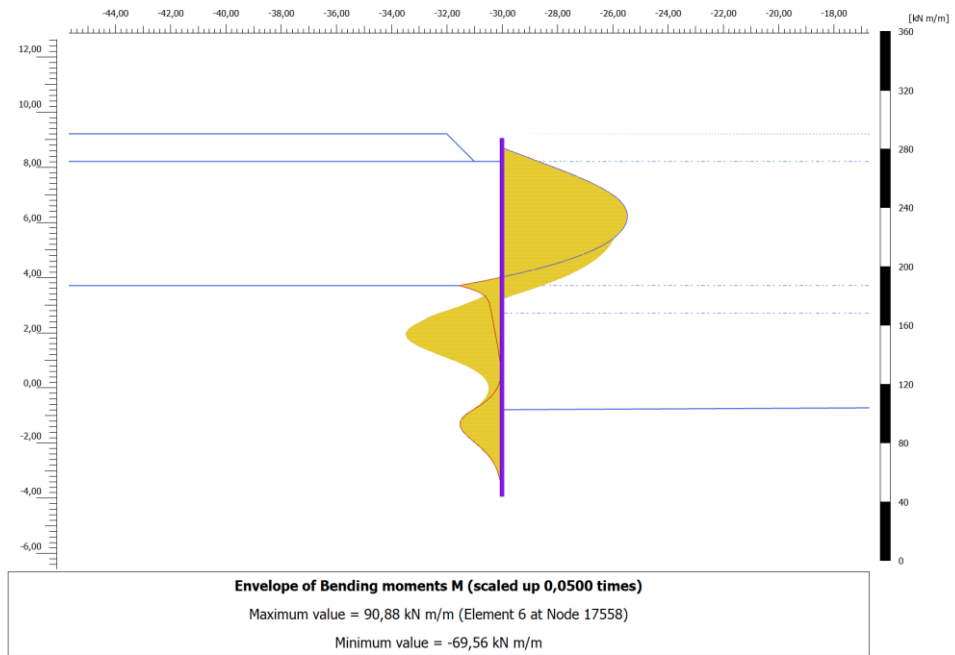
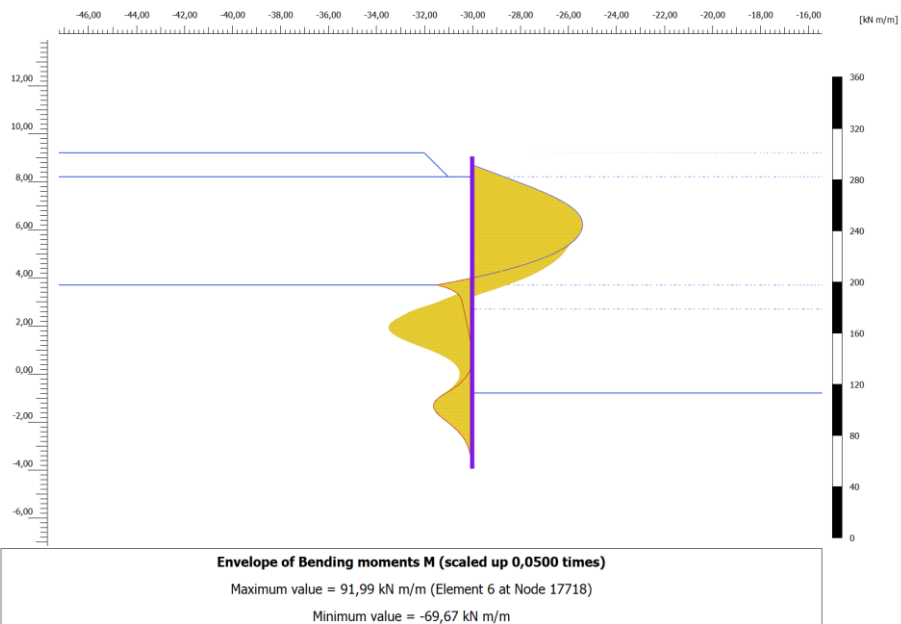
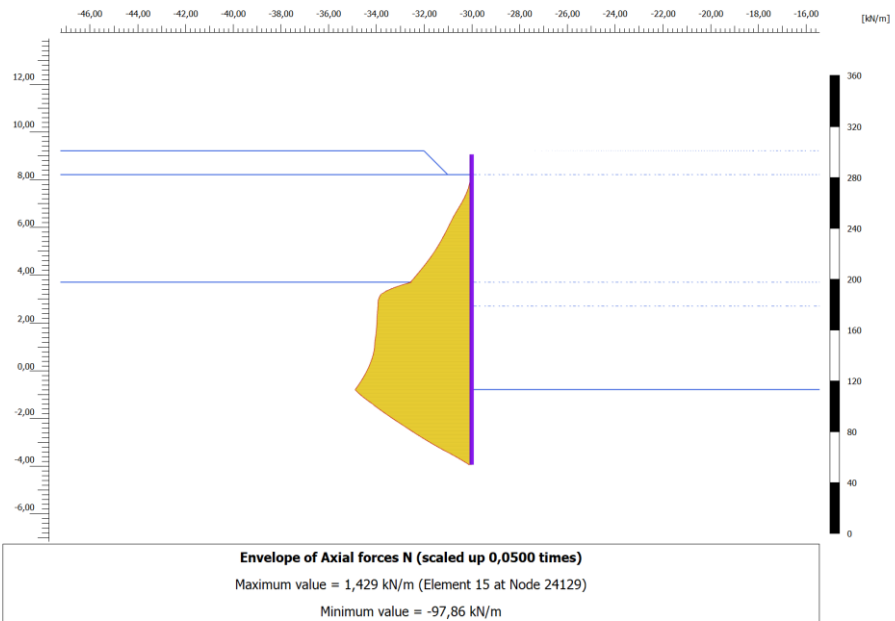


Figura 53. Output PLAXIS: Involuppo dello sforzo assiale, del taglio e del momento flettente – Schema C



• Schema D



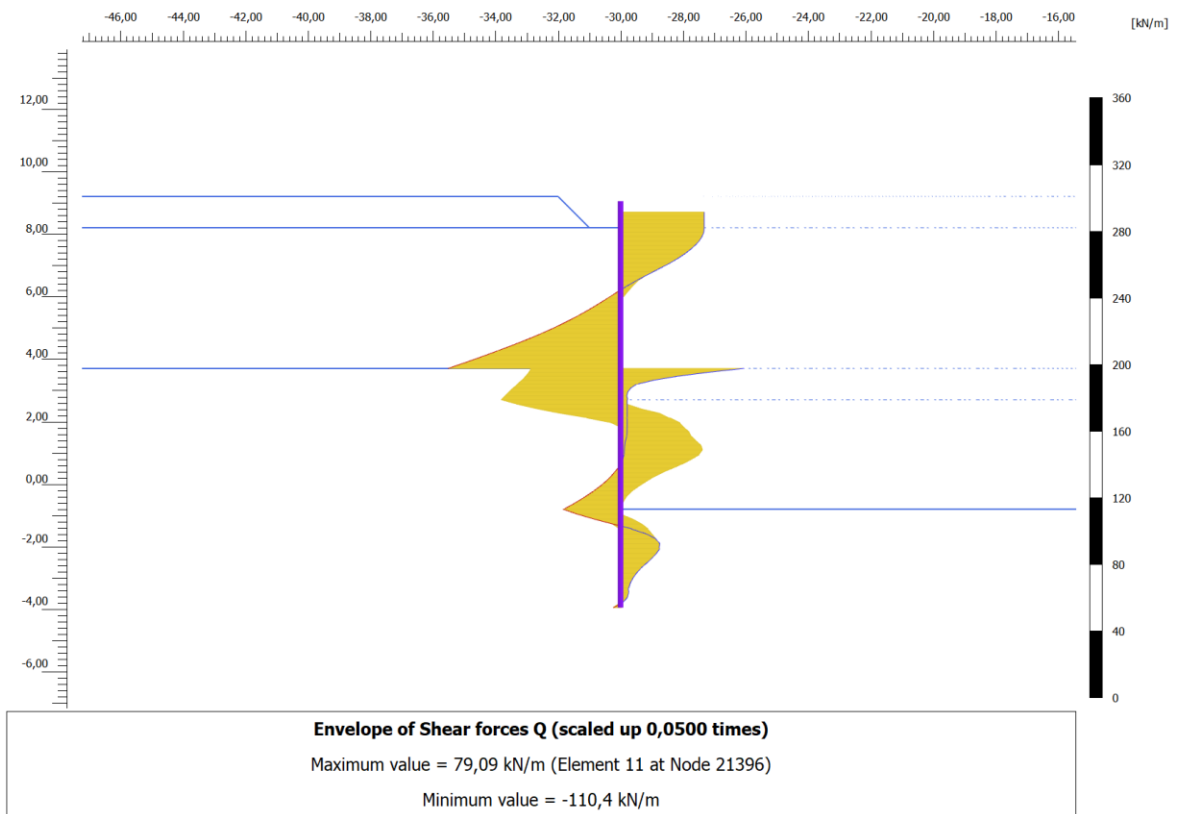




Figura 54. Output PLAXIS: Inviluppo dello sforzo assiale, del taglio e del momento flettente – Schema D

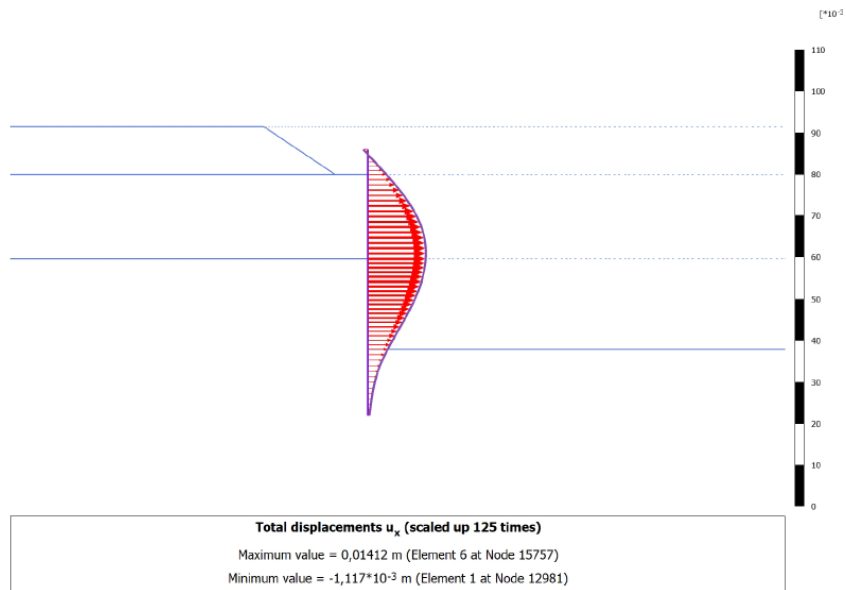
 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSBRR003-0-1

## APPENDICE B

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSBRR003-0-1

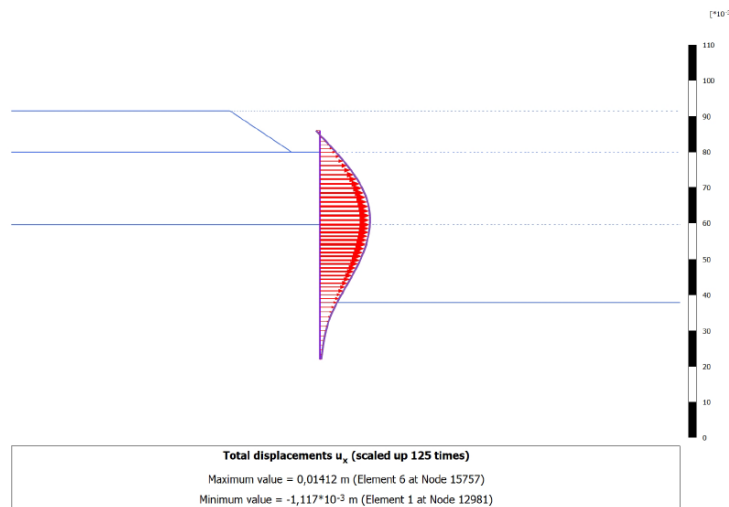
Di seguito sono riportati i risultati ottenuti dalle analisi numeriche per i diversi schemi di opere di supporto degli accessi della linea 2 Metro Torino in termini di spostamenti orizzontali della parete.

- **Schema A**




**Figura 55. Spostamenti orizzontali parete di micropali – Schema A**

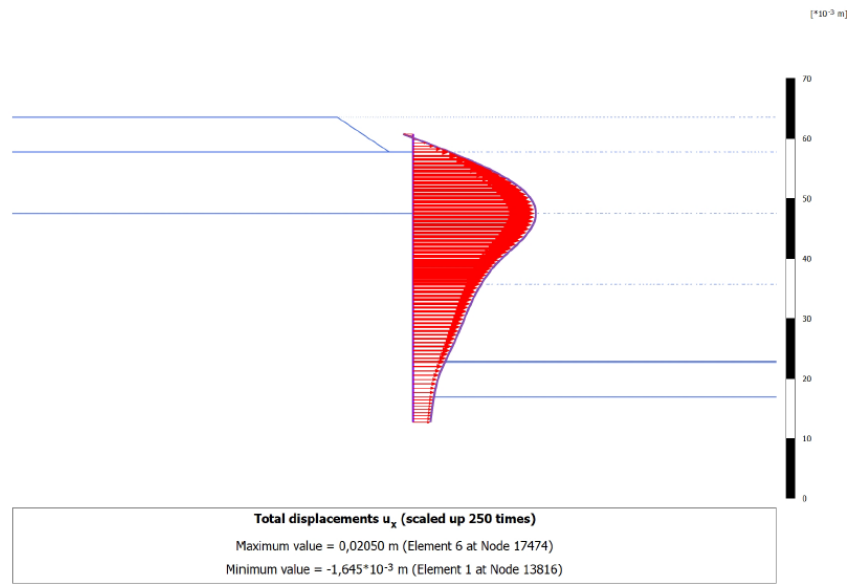
- **Schema B**



**Figura 56. Spostamenti orizzontali parete di micropali – Schema B**

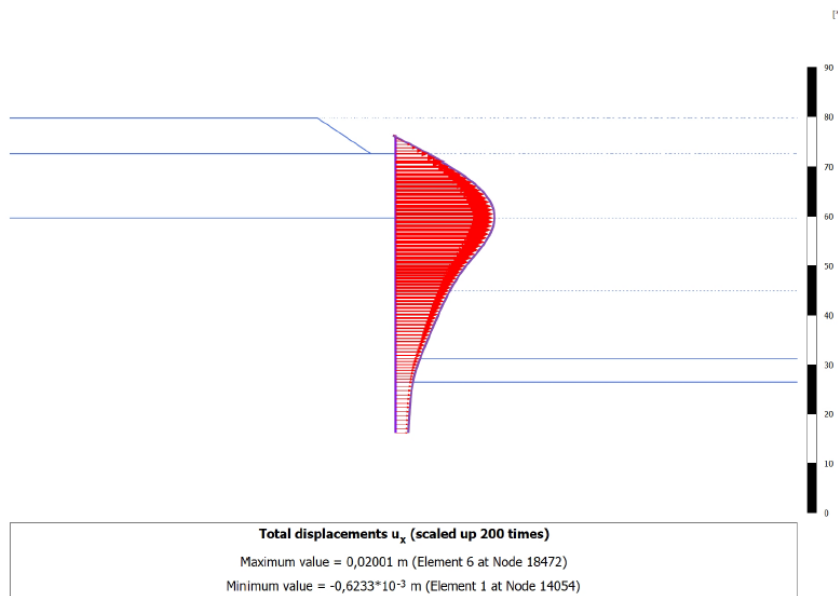
 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSBRR003-0-1

- **Schema C**




**Figura 57. Spostamenti orizzontali parete di micropali – Schema C**

- **Schema D**




**Figura 58. Spostamenti orizzontali parete di micropali – Schema D**

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSBRR003-0-1

## APPENDICE C



 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSBRR003-0-1

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 27 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 28 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

- Schema D**


**Tabella 29 Output Plaxis: Sforzo assiale sui puntone – Schema D**

**Primo puntone**

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

**Secondo puntone**

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

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSBRR003-0-1

## 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. È possibile osservare i diagrammi di sforzo assiale, taglio e momento oltre alle tensioni combinate confrontate con la tensione a snervamento di progetto, seguendo quanto descritto al Capitolo 5.2.2:

• **Schema A**

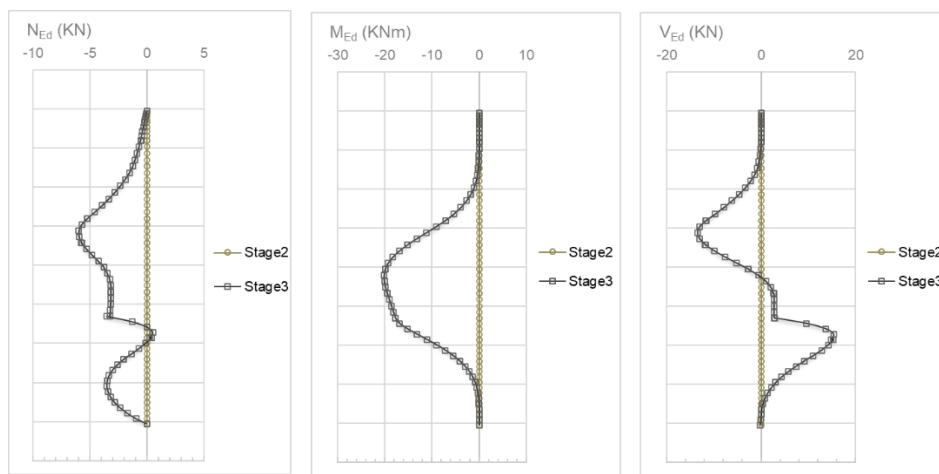


Figura 59. Sforzo assiale, taglio e momento di progetto per i diversi stage di calcolo – Schema A

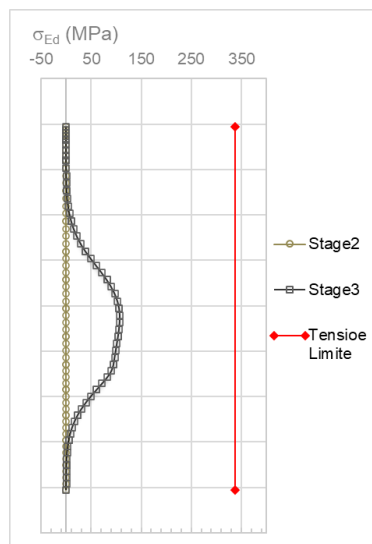


Figura 60. Tensione di verifica secondo NTC - tensione a snervamento acciaio – Schema A

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



• **Schema B**

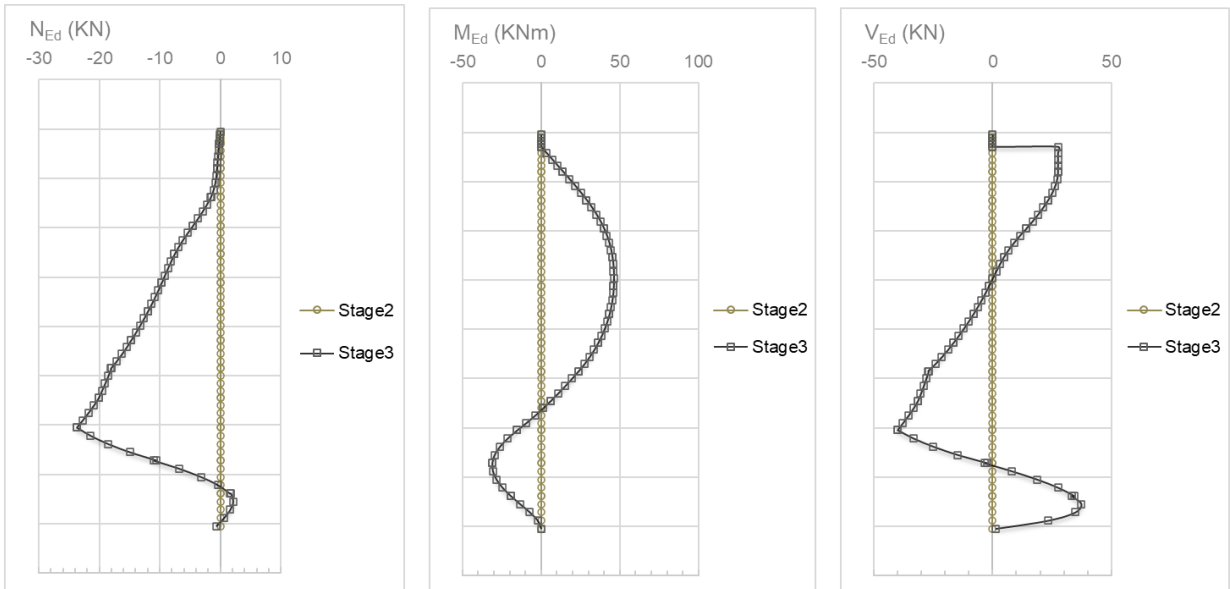


Figura 61. Sforzo assiale, taglio e momento di progetto per i diversi stage di calcolo – Schema B

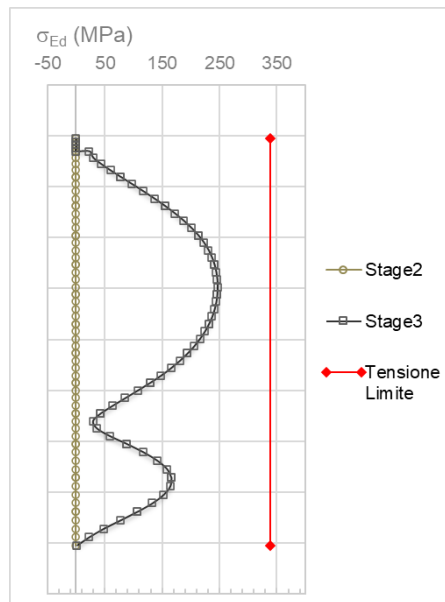


Figura 62. Tensione di verifica secondo NTC - tensione a snervamento acciaio – Schema B

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



• **Schema C**

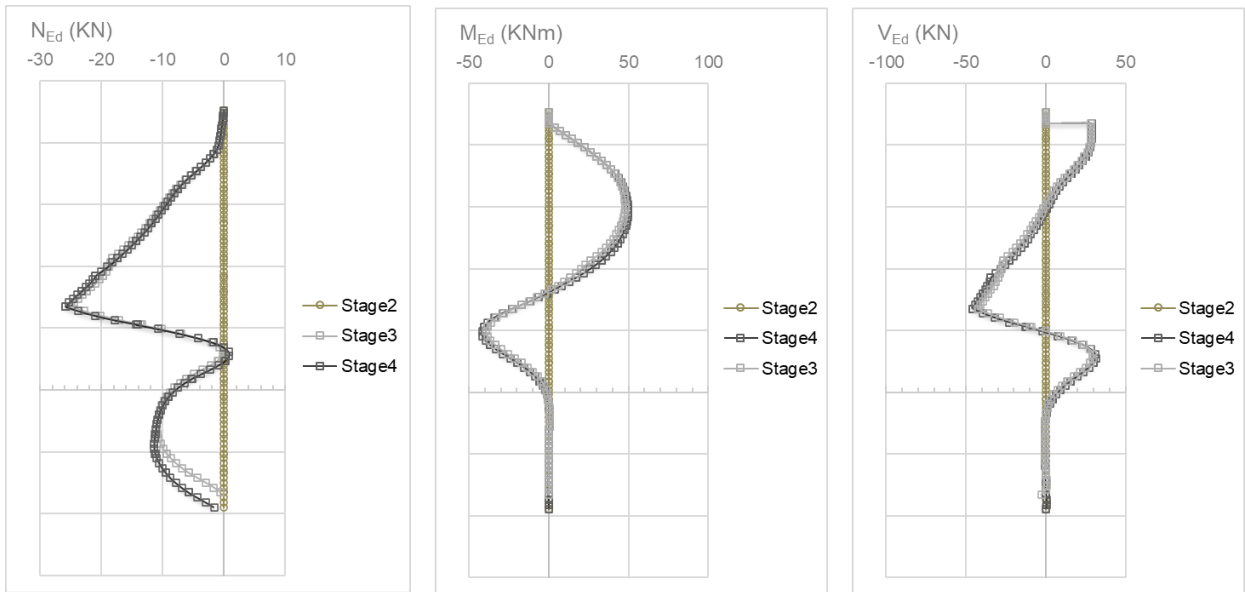


Figura 63. Sforzo assiale, taglio e momento di progetto per i diversi stage di calcolo – Schema C

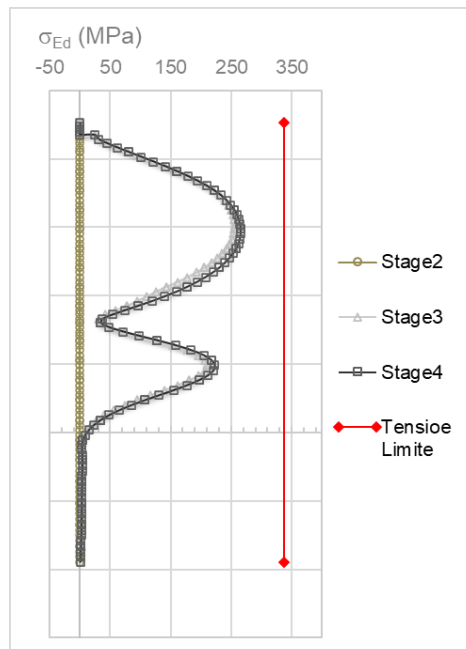


Figura 64. Tensione di verifica secondo NTC - tensione a snervamento acciaio – Schema C

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



• **Schema D**

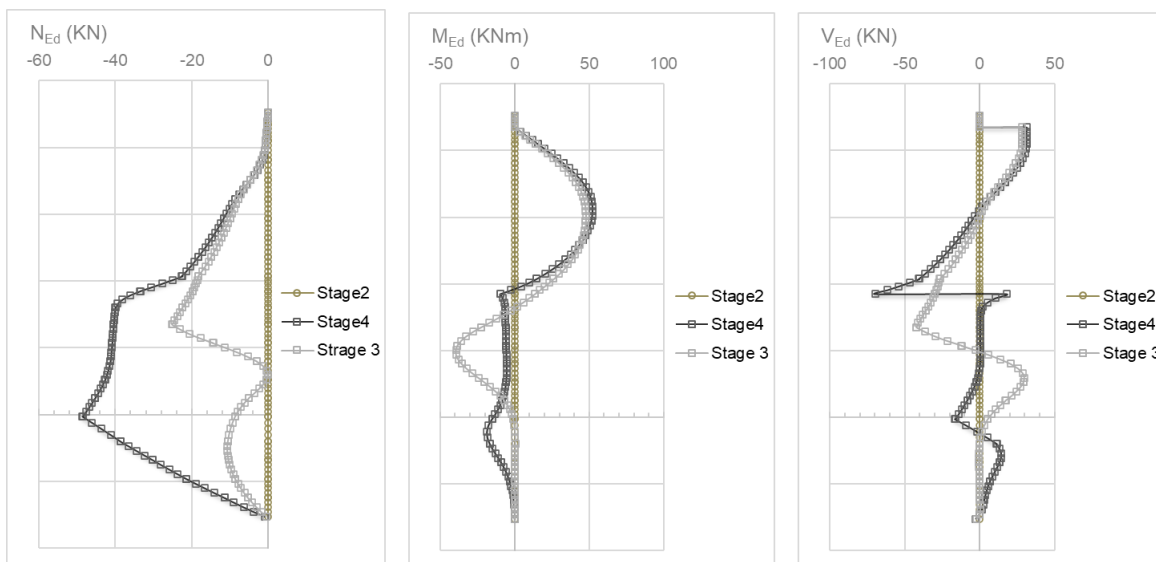


Figura 65. Sforzo assiale, taglio e momento di progetto per i diversi stage di calcolo – Schema D

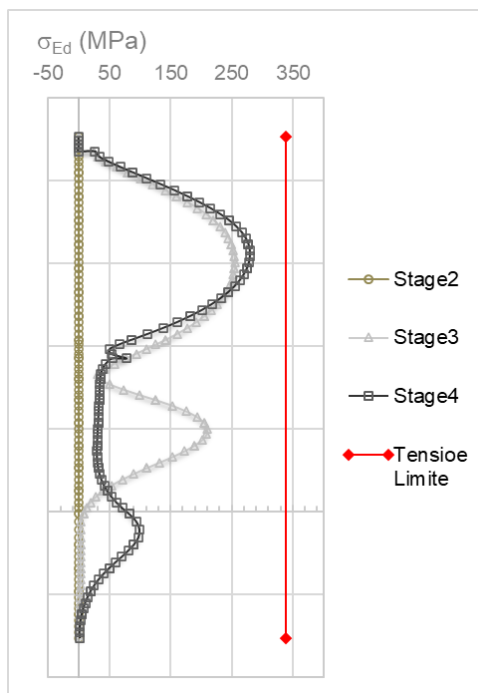




Figura 66. Tensione di verifica secondo NTC - tensione a snervamento acciaio – Schema D

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

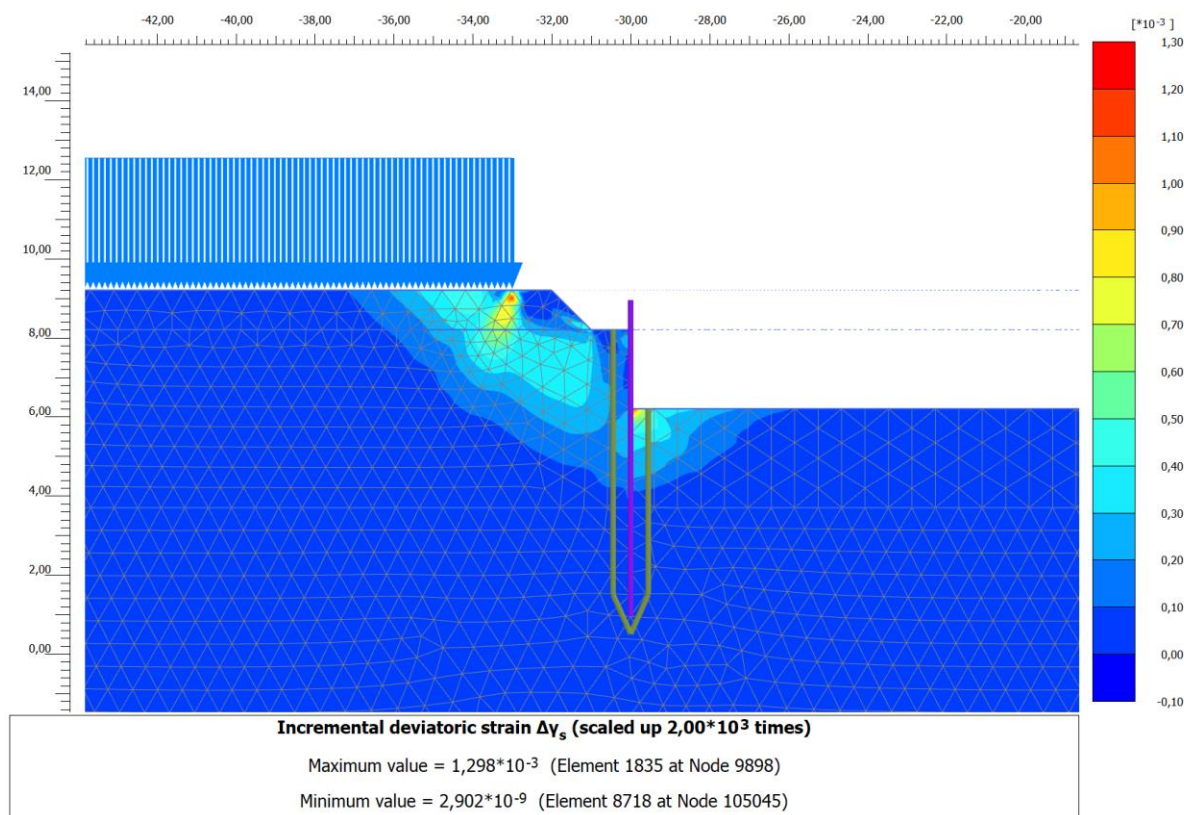
 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSBRR003-0-1

## APPENDICE E

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSBRR003-0-1

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


- **Schema A**

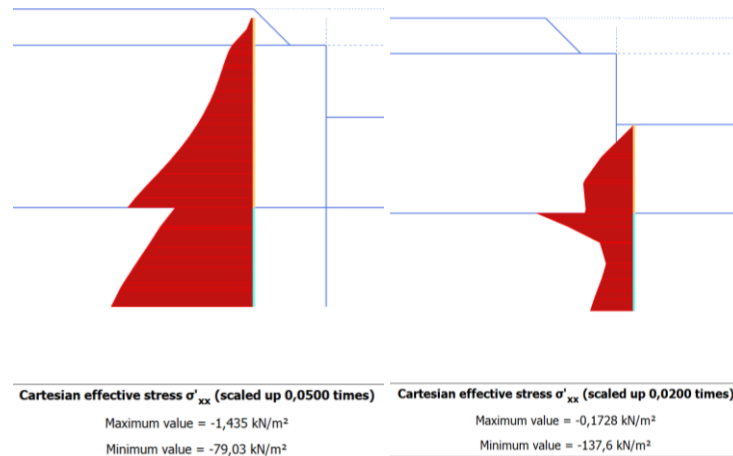


**Figura 67. Rapporto tra tensione tangenziale massima e tensione tangenziale mobilitata – Schema A**

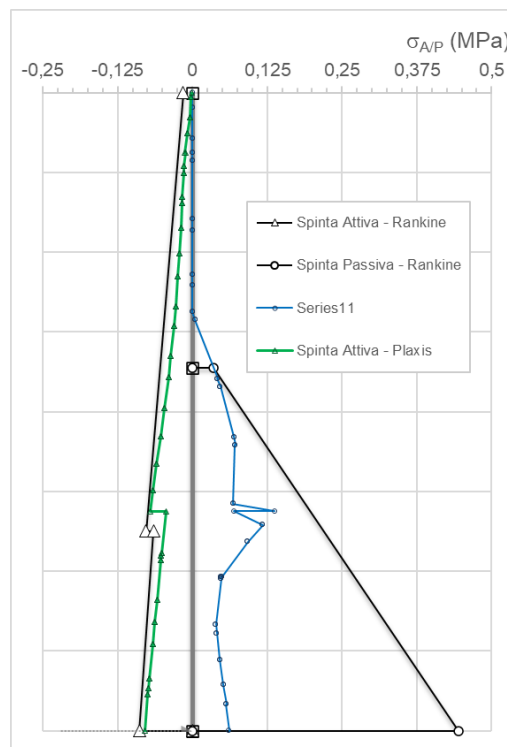
La figura 28 mostra il rapporto tra tensione tangenziale limite e tensione tangenziale agente in corrispondenza dell'ultimo step di calcolo (più critico ai fini di questa analisi). L'output fornisce indicazioni riguardo la mobilitazione delle spinte limite sulla parete.



 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSBRR003-0-1



**Figura 68. Tensioni orizzontali efficaci paratia - Lato monte e valle – Schema A**

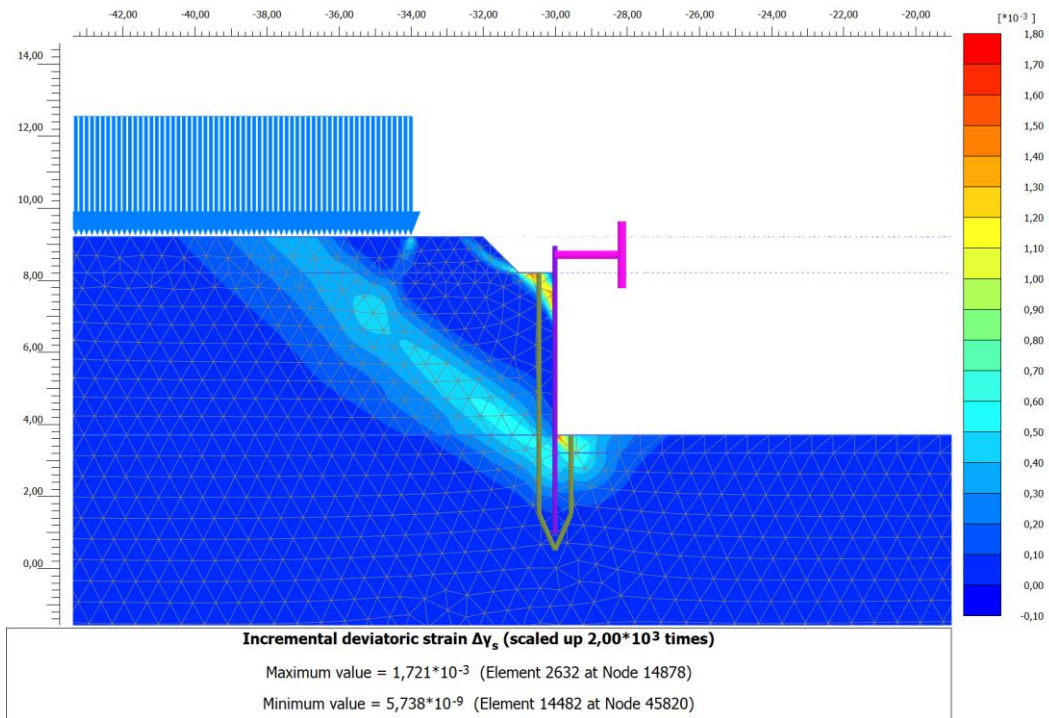


**Figura 69. Confronto tensioni limite attive e passive con tensioni orizzontali Plaxis – Schema A**

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

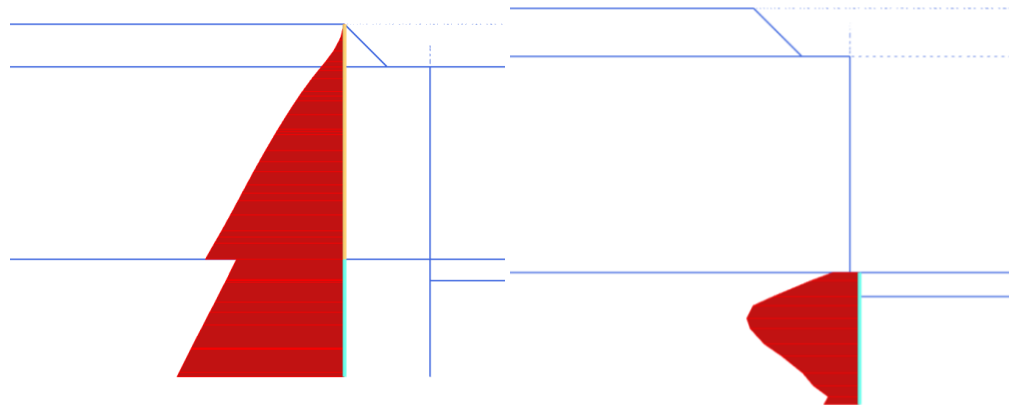


• **Schema B**



**Figura 70. Rapporto tra tensione tangenziale massima e tensione tangenziale mobilitata – Schema B**

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



Cartesian total stress  $\sigma_{xx}$  (scaled up 0,0500 times)

Maximum value = -0,3139 kN/m<sup>2</sup>

Minimum value = -78,31 kN/m<sup>2</sup>

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

Maximum value = -27,51 kN/m<sup>2</sup>

Minimum value = -117,2 kN/m<sup>2</sup>

Figura 71. Tensioni orizzontali efficaci paratia - Lato monte e valle – Schema B

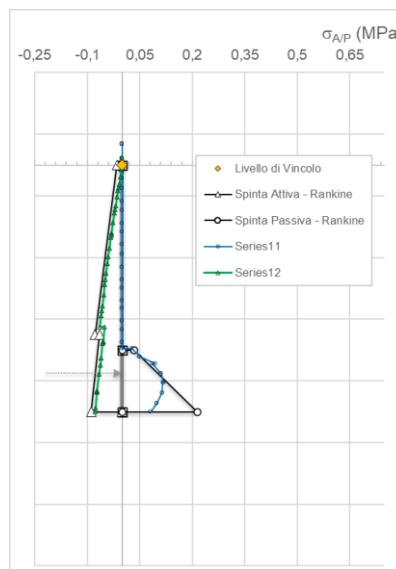


Figura 72. Confronto tensioni limite attive e passive con tensioni orizzontali Plaxis – Schema B

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

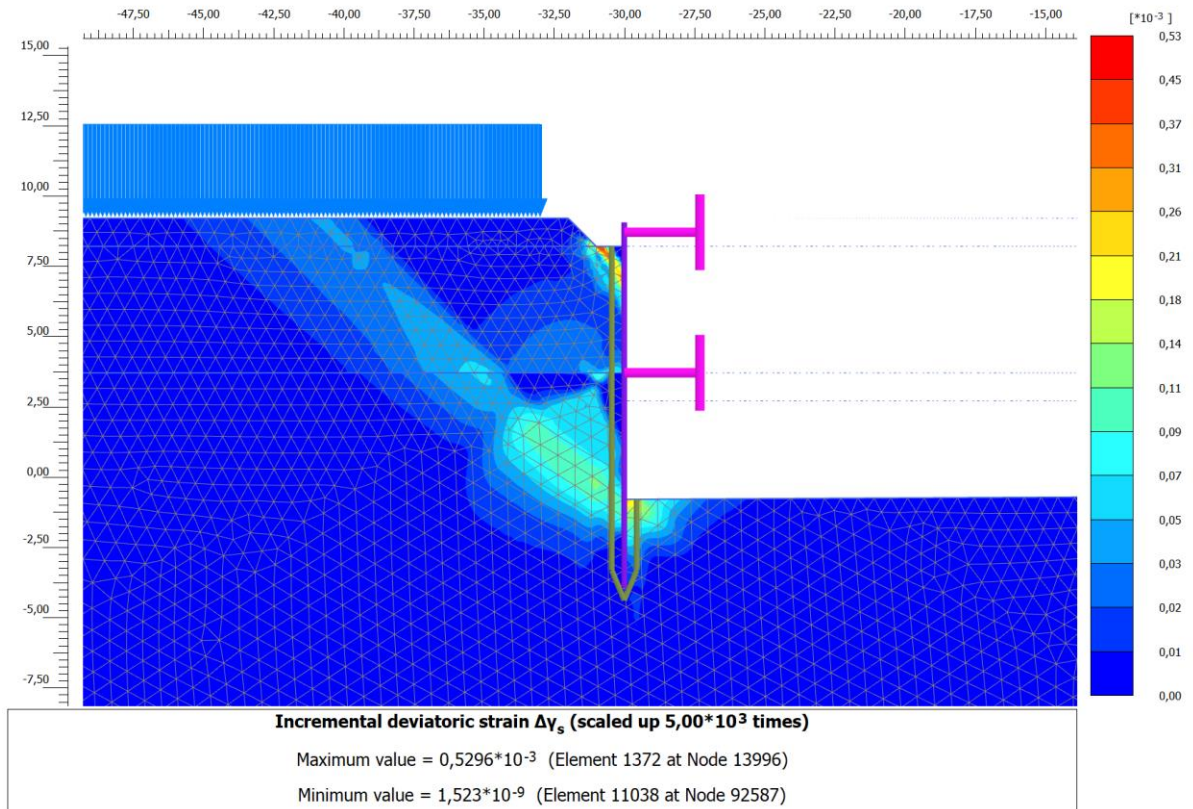
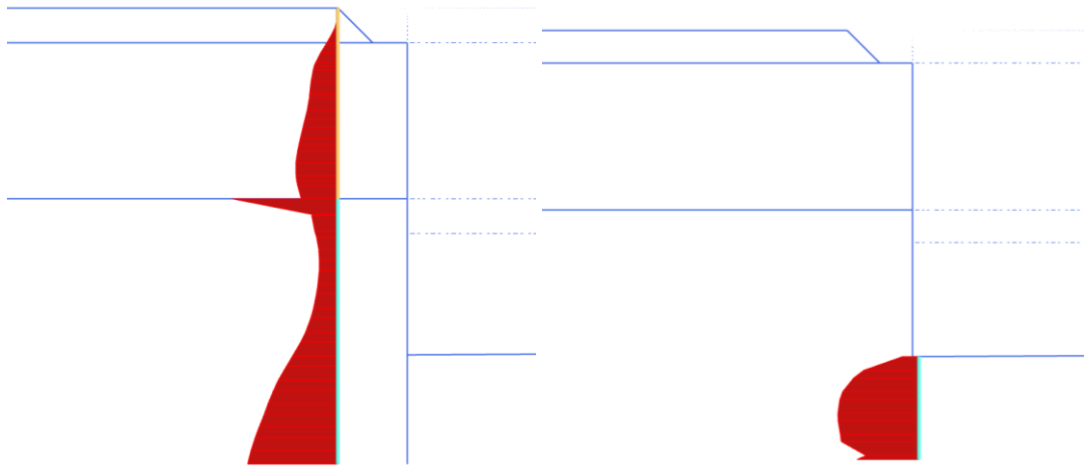


Figura 73. Rapporto tra tensione tangenziale massima e tensione tangenziale mobilitata – Schema C

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.



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

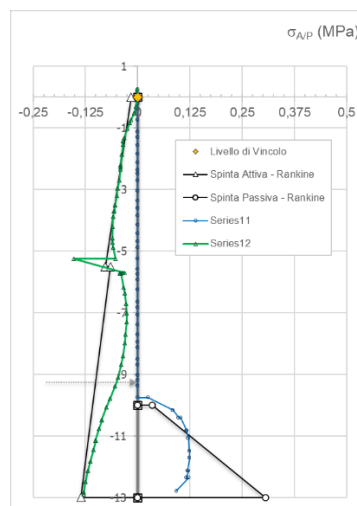
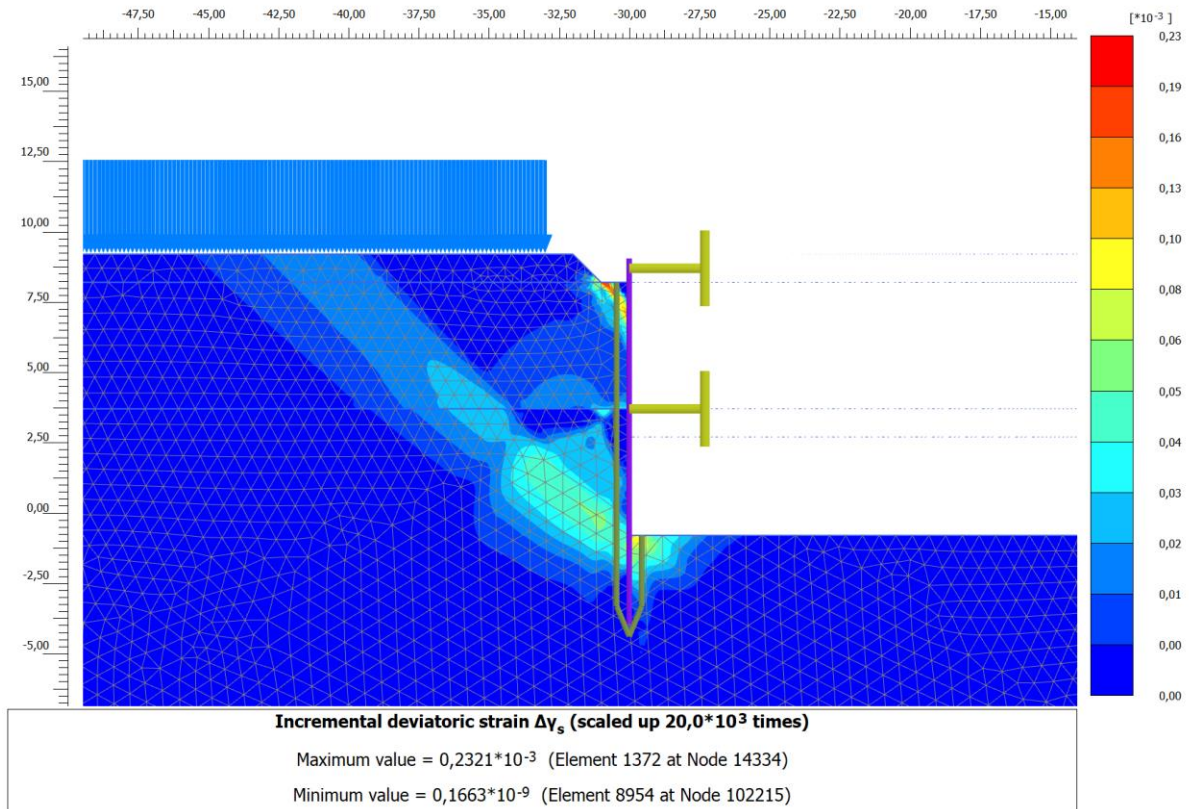


Figura 75. Confronto tensioni limite attive e passive con tensioni orizzontali Plaxis – Schema C

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

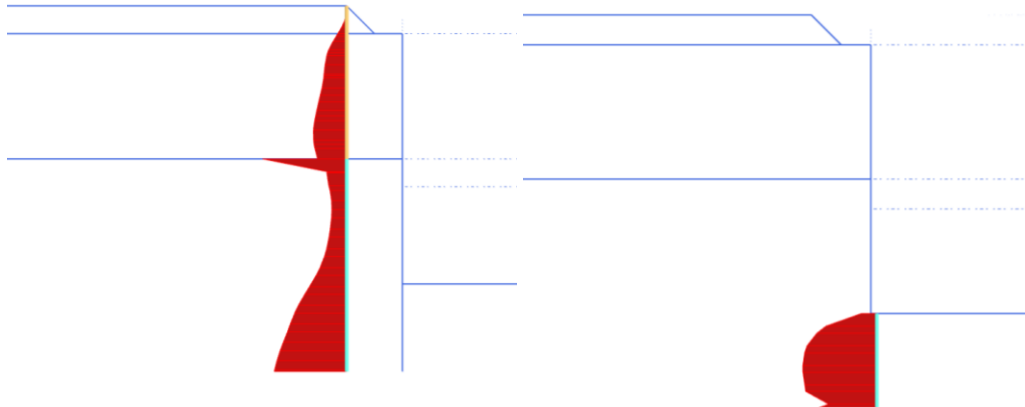


• **Schema D**



**Figura 76. Rapporto tra tensione tangenziale massima e tensione tangenziale mobilitata – Schema D**

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



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

Maximum value = -0,7094 kN/m<sup>2</sup>

Minimum value = -151,5 kN/m<sup>2</sup>

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

Maximum value = -26,07 kN/m<sup>2</sup>

Minimum value = -124,0 kN/m<sup>2</sup>

Figura 77. Tensioni orizzontali efficaci paratia - Lato monte e valle – Schema D

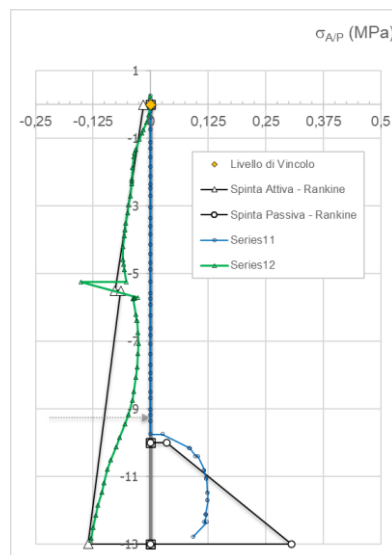




Figura 78. Confronto tensioni limite attive e passive con tensioni orizzontali Plaxis – Schema D

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: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSBRR003-0-1

## APPENDICE F



 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSBRR003-0-1

Di seguito sono riportate le caratteristiche dei puntone che sono stati utilizzati per i diversi schemi di calcolo B, C e D, E; 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 30 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 31 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>

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSBRR003-0-1

VERIFICA PUNTONE PARATIA		
Tipo Tubo (mm)		219,1
		8
Interasse Tubo (m)		3
Lunghezza Tubo (m)		7,6
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)	45,8740293
Azione Per Verifica	(KN)	206,4
N <sub>CR</sub>	KN	1062,0
λ	-	1,3317
α	-	0,21
Φ	-	1,506
χ	-	0,453
N <sub>b,Rd</sub>	KN	812,4


**Figura 79. 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 32 Caratteristiche geometriche puntone adottati - Schema C**

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

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSBRR003-0-1


**Tabella 33 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:

<b>VERIFICA PUNTONE PARATIA</b>		
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
<b>INSTABILITA' PUNTONE</b>		
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 80. 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: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSBRR003-0-1

- **Schema D**

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


**Tabella 34 Caratteristiche geometriche puntone adottati - Schema D**

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

**Tabella 35 Sollecitazioni di progetto puntone – Schema D**

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

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


 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSBRR003-0-1

○ **Primo livello**

VERIFICA PUNTONE PARATIA		
Tipo Tubo (mm)		219,1
		8
Interasse Tubo (m)		3
Lunghezza Tubo (m)		12
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)	53,56
Azione Per Verifica	(KN)	241,0
$N_{CR}$	KN	426,0
$\lambda$	-	2,1027
$\alpha$	-	0,21
$\Phi$	-	2,910
$\chi$	-	0,203
$N_{b,Rd}$	KN	364,4


**Figura 81. Verifica Puntone – Schema D**

○ **Secondo livello**


 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSBRR003-0-1

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

**Figura 82. Verifica Puntone – Schema D**

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSBRR003-0-1

## APPENDICE G

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSBRR003-0-1

- **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:

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

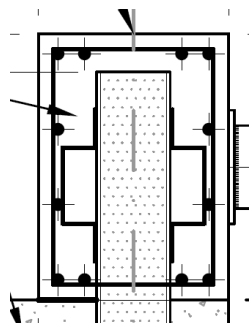
Dove q rappresenta la reazione del puntone in testa che risulta maggiormente caricato tra le sezioni analizzate ed L rappresenta il loro interasse.

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 83. Particolare armature trave di testa**

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

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



 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSBRR003-0-1

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

La verifica risulta soddisfatta.

- **Cordolo di testa per Vasche di accumulo antincendio**

Seguendo quanto riportato in capitolo 5.2.5 è stata eseguita la verifica del cordolo di testa della paratia di micropali da essere applicata alle vasche di accumulo; cioè per lo schema di calcolo D. 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:

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

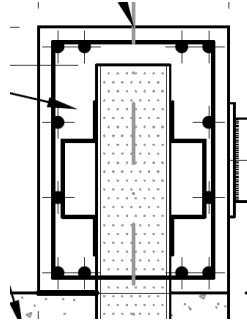
Dove q rappresenta la reazione del puntone in testa della sezione d'interesse ed L rappresenta il loro interesse.

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

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

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

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



**Figura 84. Particolare armature trave di testa**

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


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

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


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

La verifica risulta soddisfatta.

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

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSBRR003-0-1

## APPENDICE H

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSBRR003-0-1

- **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 puntone 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 puntone per unità di lunghezza.

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

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

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

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


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

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

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: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSBRR003-0-1

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

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.

- **Trave di ripartizione per Vasche antincendio**

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 alle vasche di accumulo; cioè per lo schema di calcolo D. 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 D nel caso in esame, ed L rappresenta il loro interasse.

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

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

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

Ipotizzando una trave di ripartizione HEB400 con le seguenti caratteristiche:

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSBRR003-0-1

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


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

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

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

**Verifica Soddisfatta**

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

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSBRR003-0-1

## 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

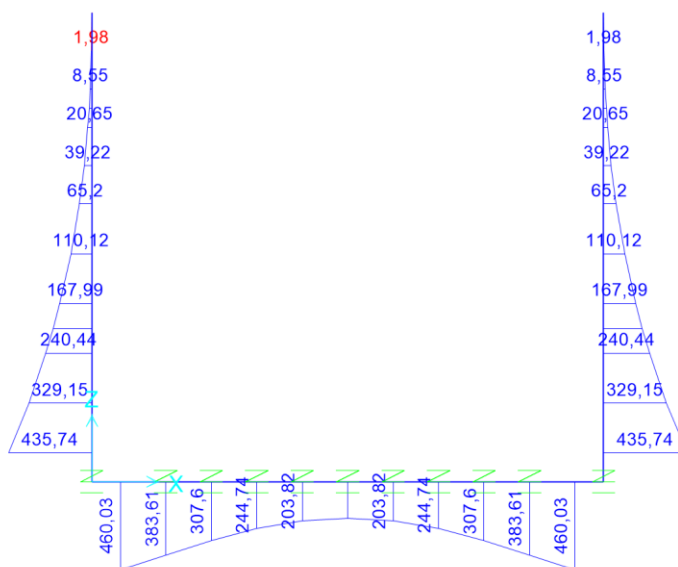


Figura 85. Momento flettente M3-3

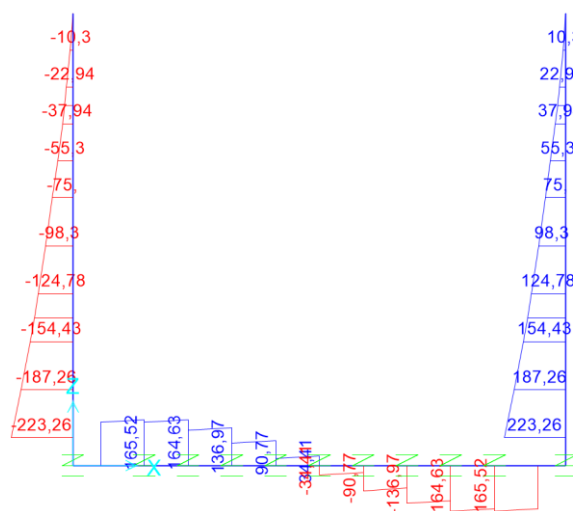


Figura 86. Taglio combinato





SLU STR SISMA X

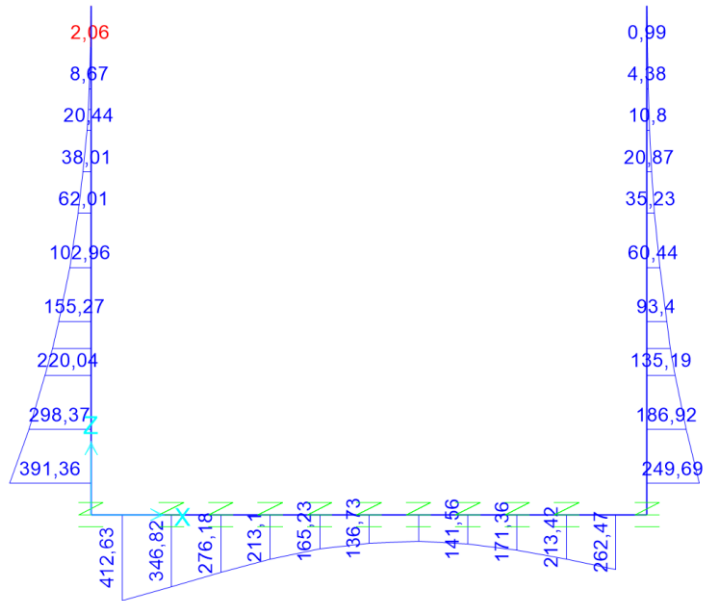


Figura 87. Momento flettente M3-3

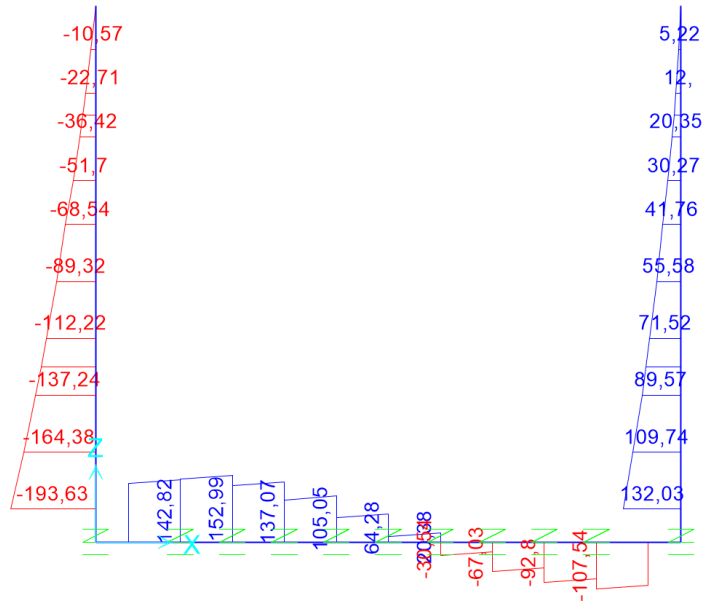


Figura 88. Taglio combinato



SLE RARA

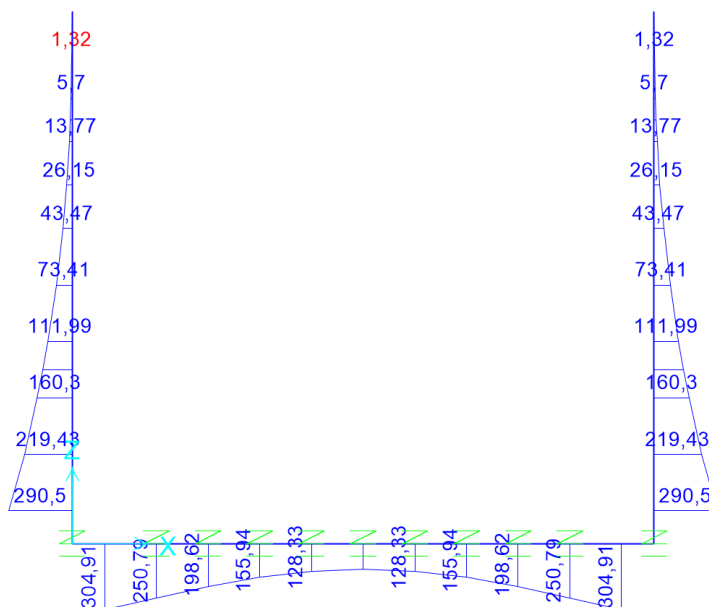


Figura 89. Momento flettente M3-3

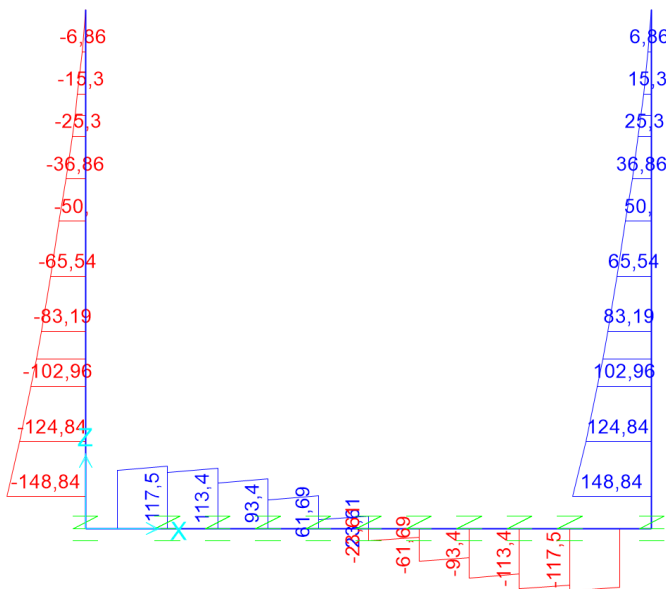


Figura 90. Taglio combinato

SLE FREQUENTE

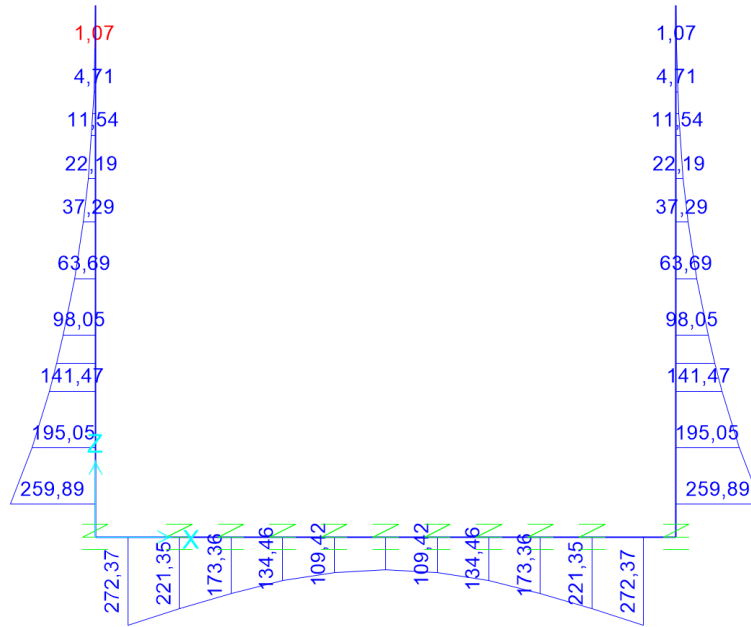


Figura 91. Momento flettente M3-3

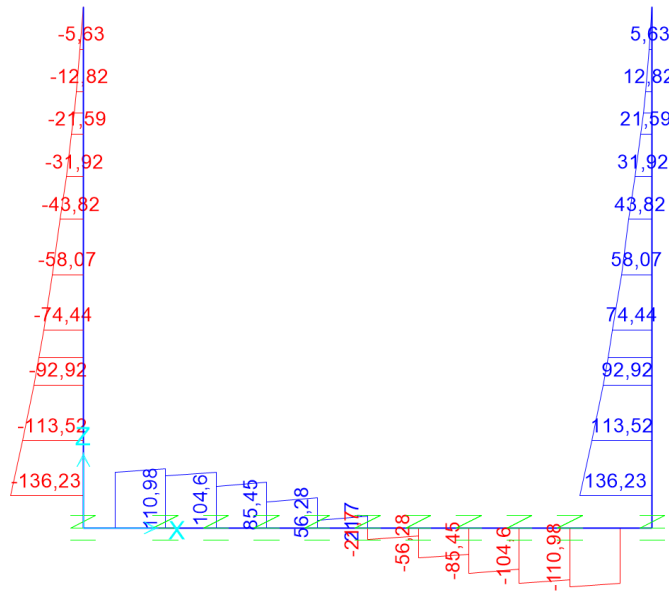


Figura 92. Taglio combinato



SLE QUASI PERMANENTE

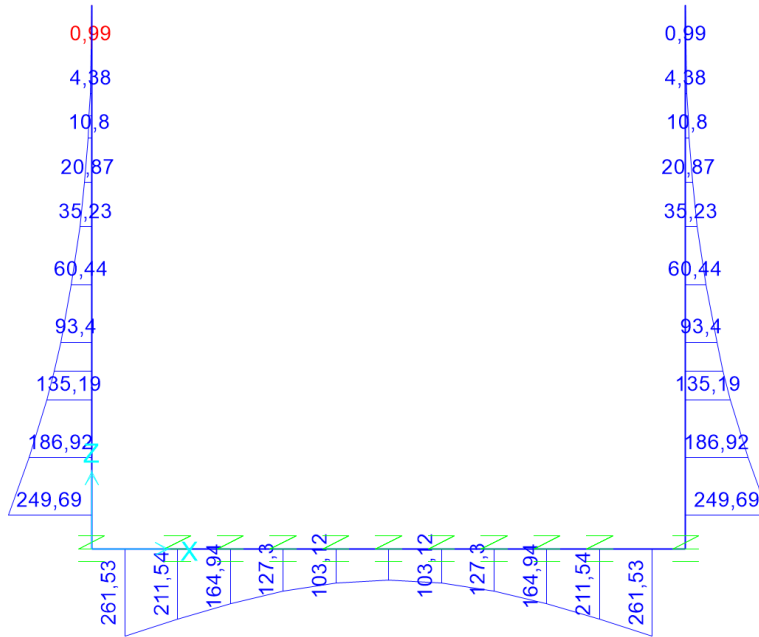


Figura 93. Momento flettente M3-3

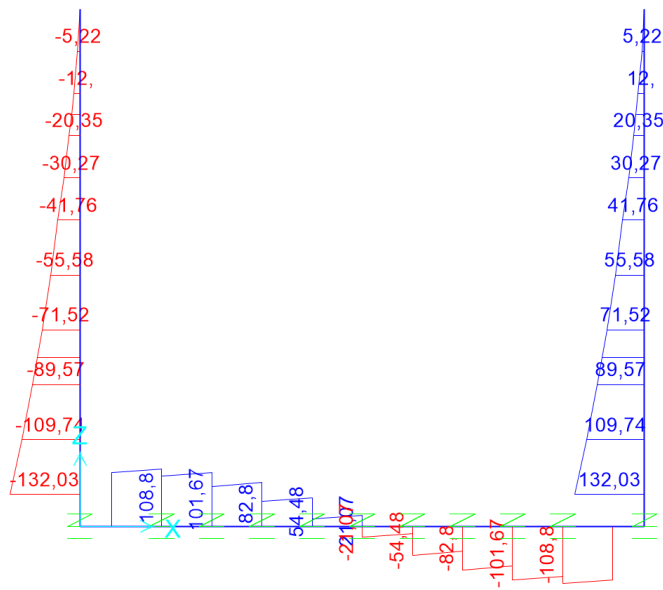



Figura 94. Taglio combinato

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSBRR003-0-1

## **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. 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 36 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: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSBRR003-0-1

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

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

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

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSBRR003-0-1

## 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

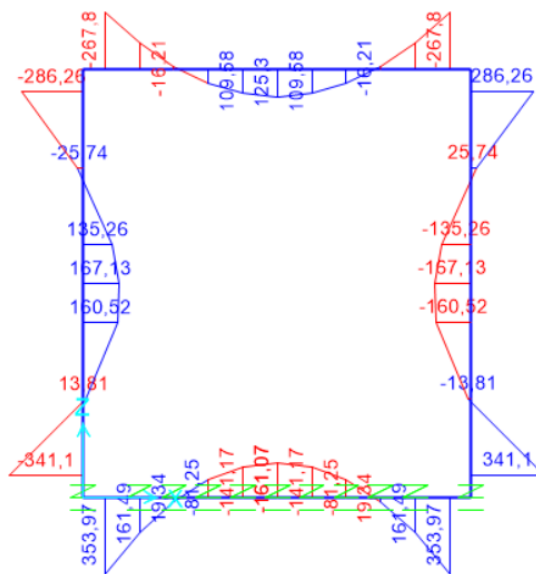


Figura 95. Momento flettente M3-3

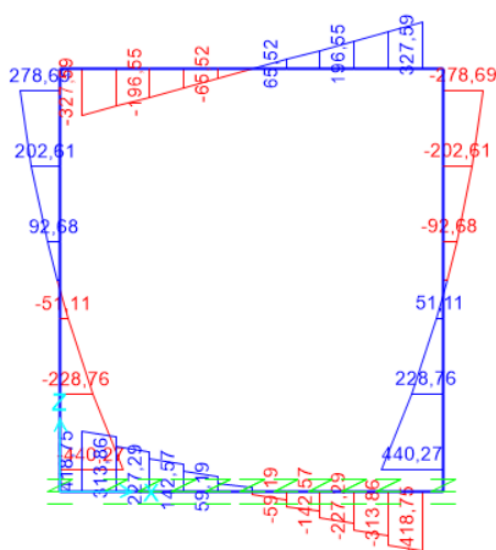


Figura 96. Taglio combinato





SLU STR SISMA X

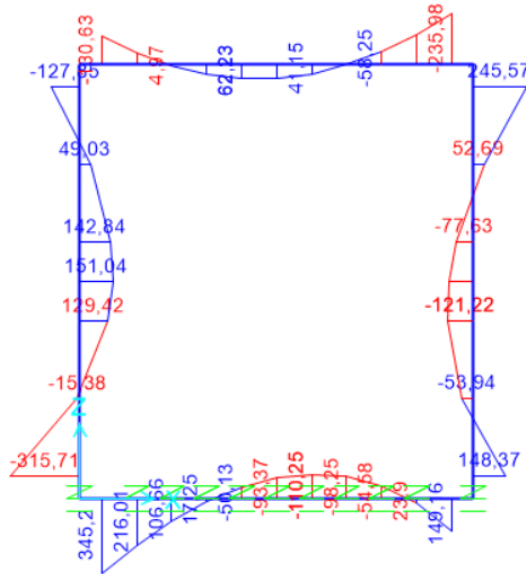


Figura 97. Momento flettente M3-3

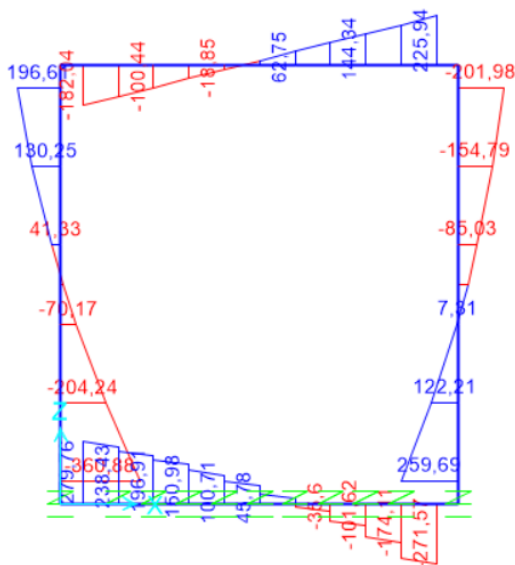


Figura 98. Taglio combinato



SLE RARA

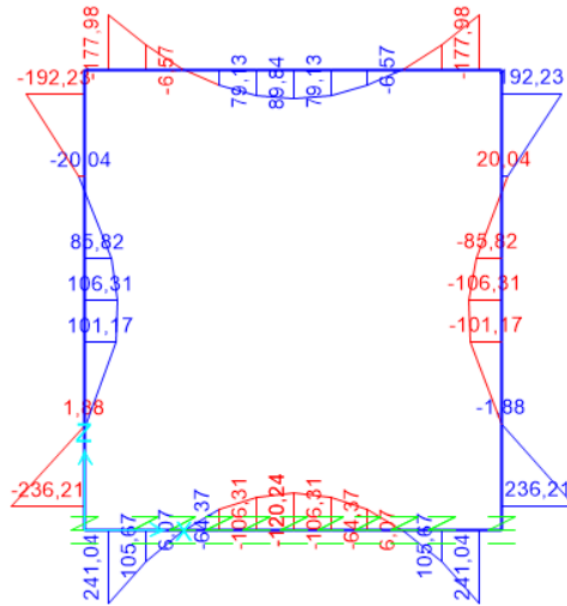


Figura 99. Momento flettente M3-3

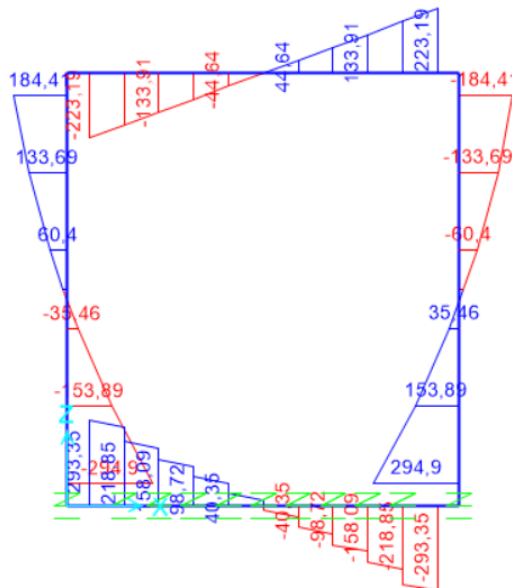


Figura 100. Taglio combinato



SLE FREQUENTE

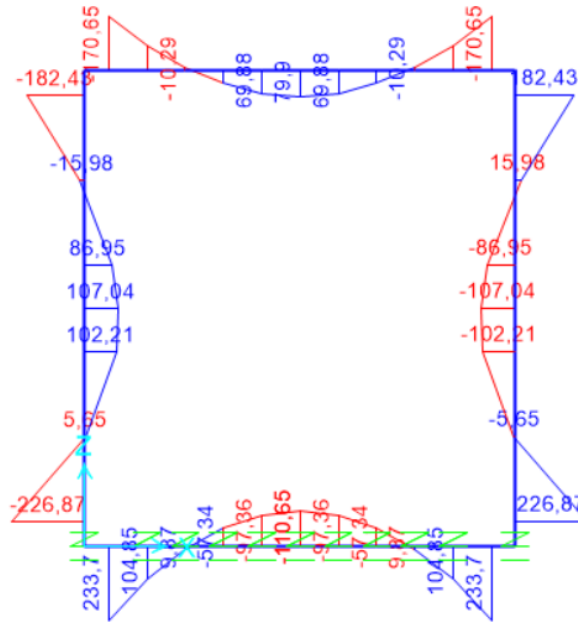


Figura 101. Momento flettente M3-3

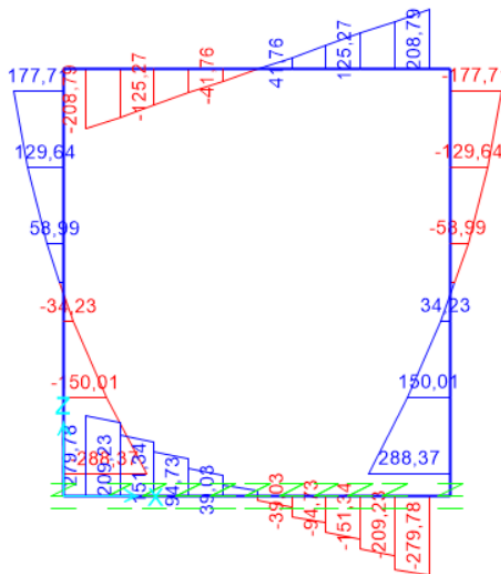


Figura 102. Taglio combinato



SLE QUASI PERMANENTE

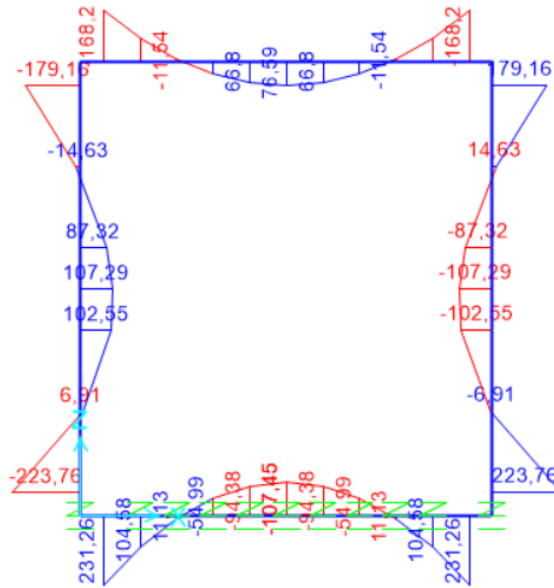


Figura 103. Momento flettente M3-3

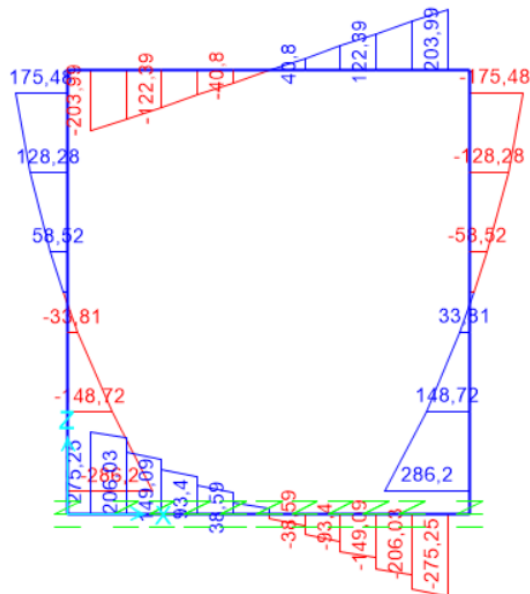



Figura 104. Taglio combinato

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSBRR003-0-1

### **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. 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:

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

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 37 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  $M_{max} < M_{lim}$


 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSBRR003-0-1

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		
		$V_{Rd,s, ULS}$	$V_{Ed, ULS}$	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: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSBRR003-0-1

## APPENDICE K



Di seguito sono riportati i risultati delle analisi della vasca d'accumulo antincendio in termini di sollecitazioni per unità di lunghezza:  $M_{xx}$ ,  $M_{yy}$ ,  $Q(1-2)$ :

SLU STR A1+M1+R1

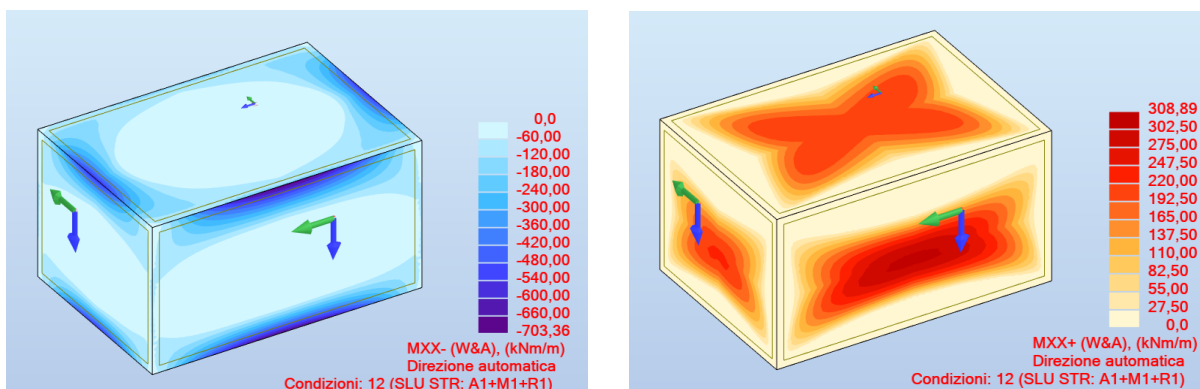


Figura 105. Momento flettente  $M_{XX}$  Lembo superiore e  $M_{XX}$  Lembo inferiore

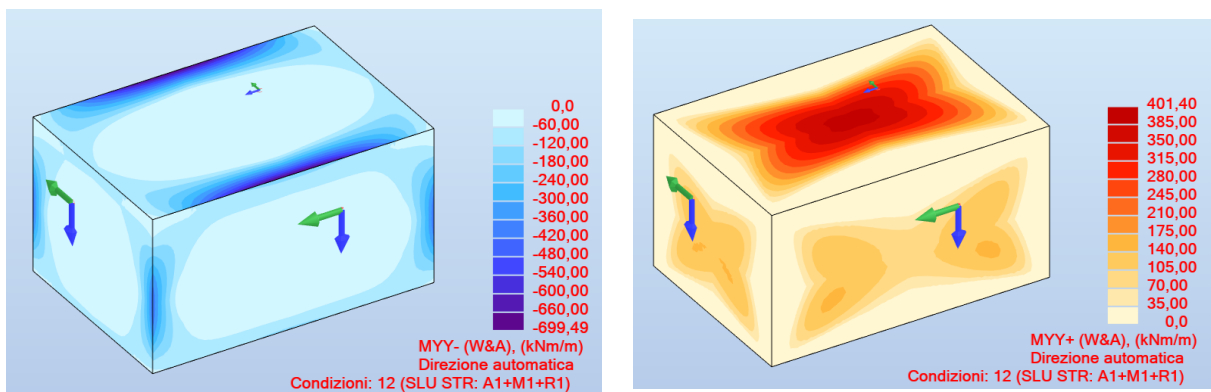


Figura 106. Momento flettente  $M_{YY}$  Lembo superiore e  $M_{YY}$  Lembo inferiore

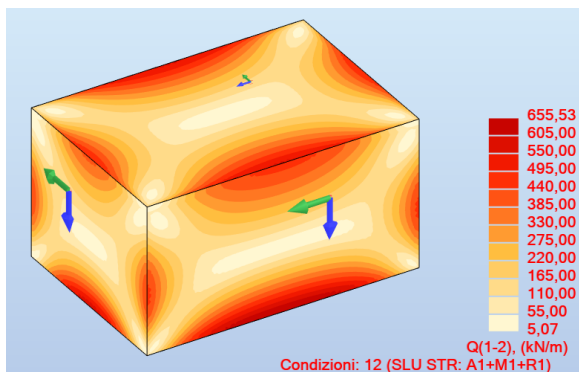


Figura 107. Taglio combinato





SLU GEO A2+M2+R2

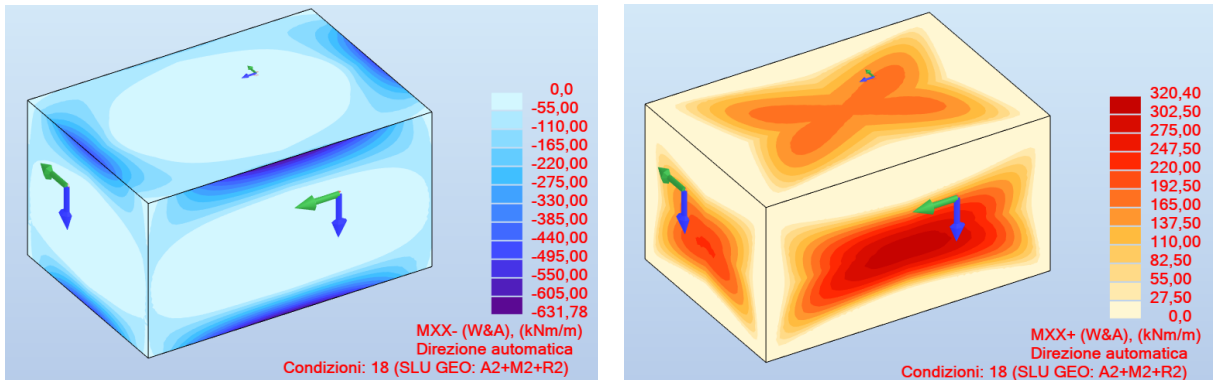


Figura 108. Momento flettente MXX Lembo superiore e MXX Lembo inferiore

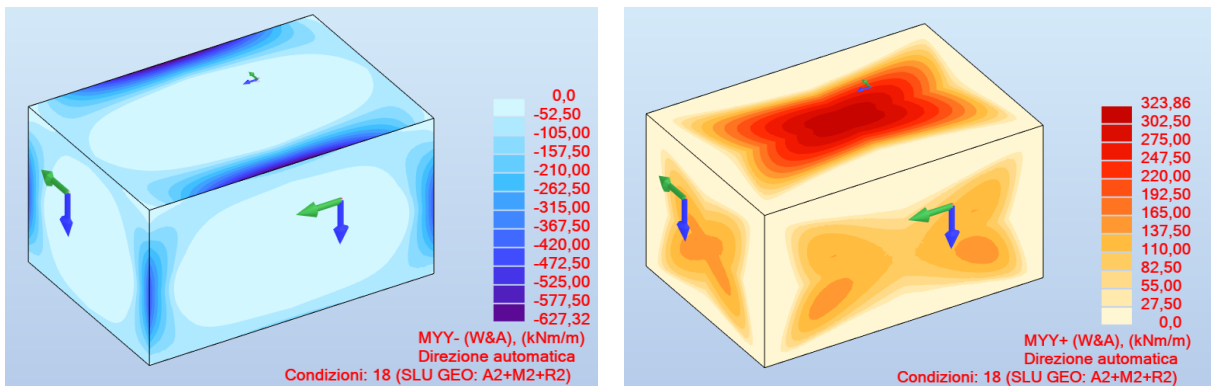


Figura 109. Momento flettente MY Y Lembo superiore e MY Y Lembo inferiore

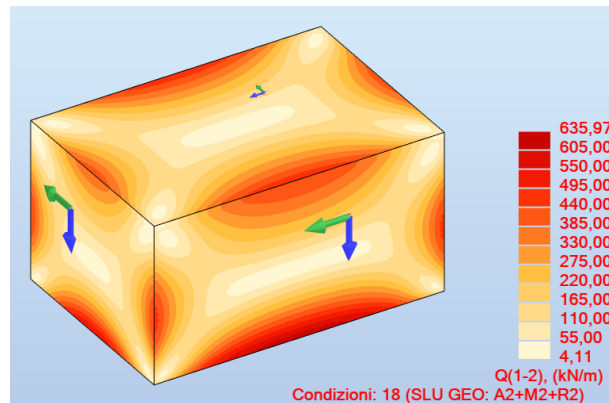


Figura 110. Taglio combinato



SLU STR SISMA X

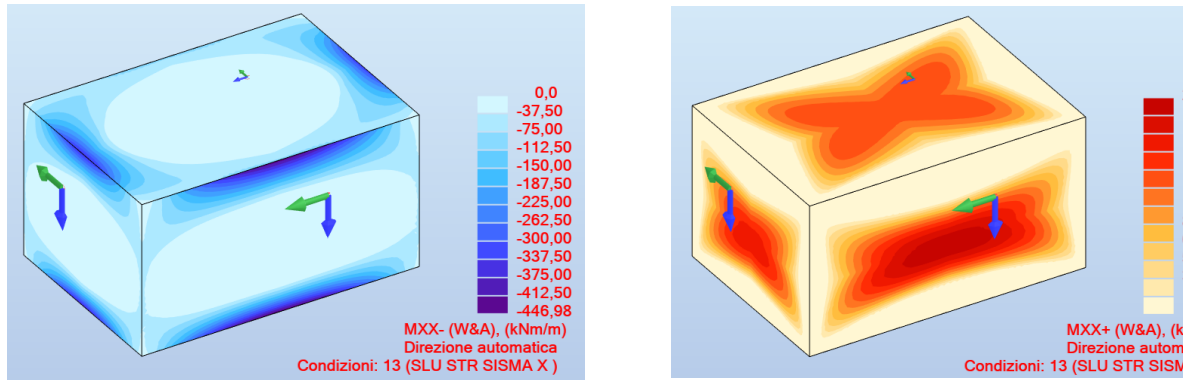


Figura 111. Momento flettente MXX Lembo superiore e MXX Lembo inferiore

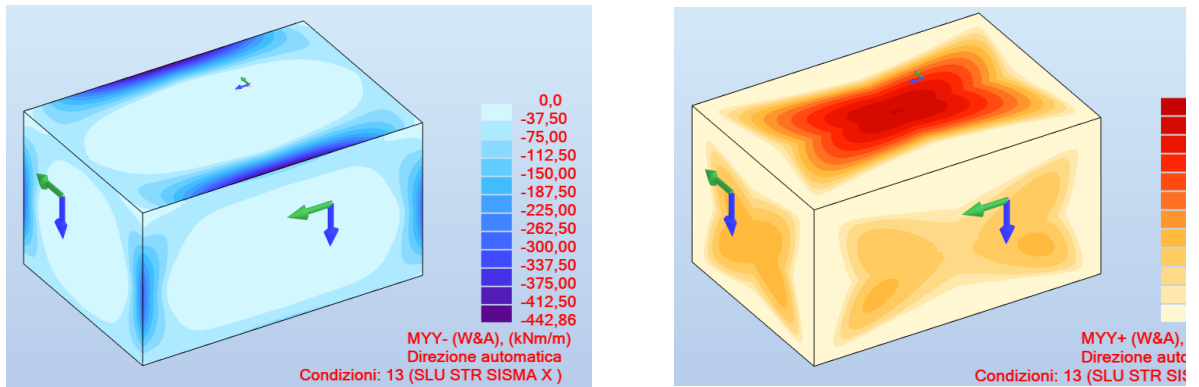


Figura 112. Momento flettente MYY Lembo superiore e MYY Lembo inferiore

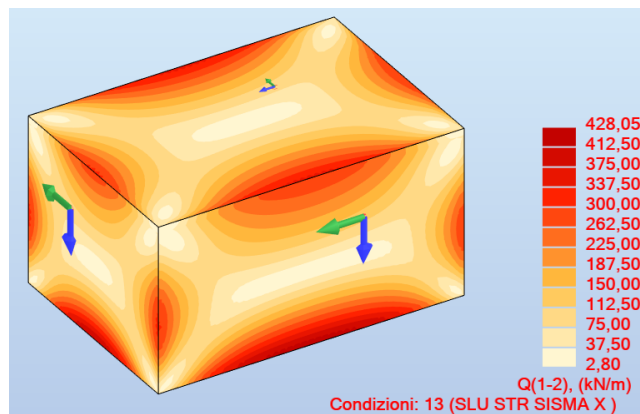


Figura 113. Taglio combinato



SLU STR SISMA Y

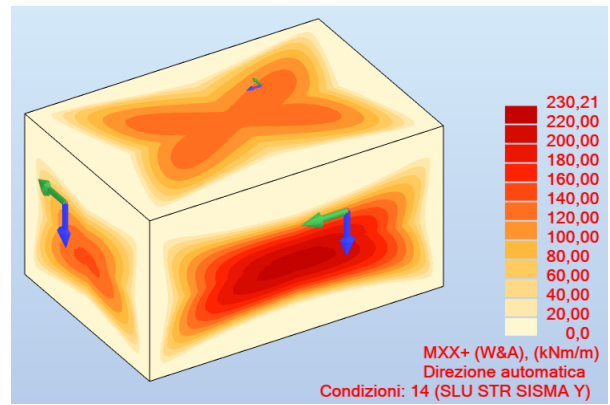
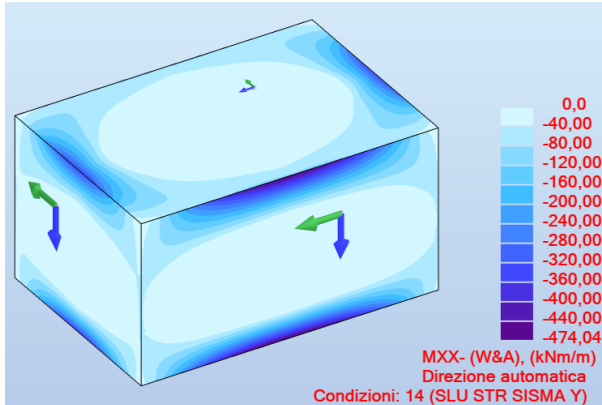


Figura 114. Momento flettente MXX Lembo superiore e MXX Lembo inferiore

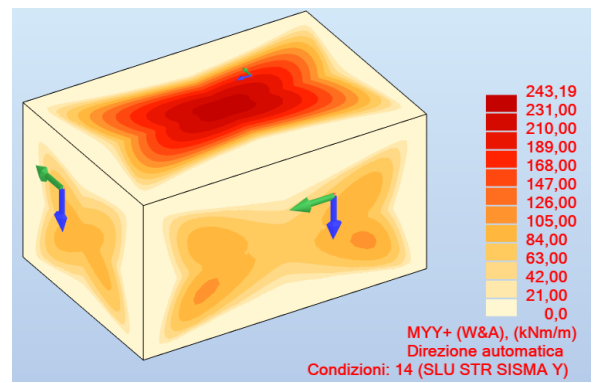
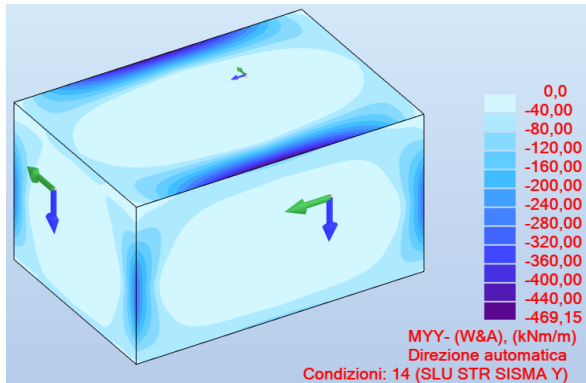


Figura 115. Momento flettente MY Y Lembo superiore e MY Y Lembo inferiore

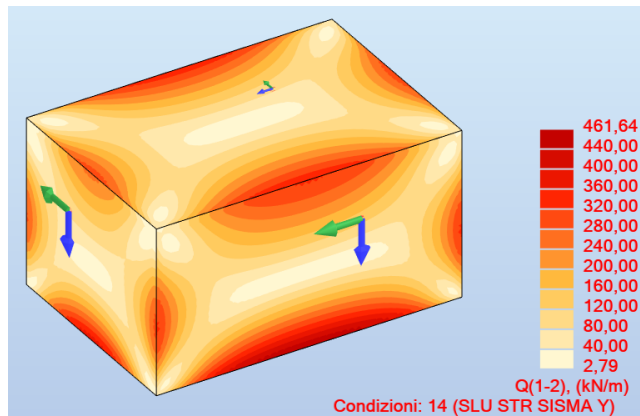


Figura 116. Taglio combinato



SLU GEO SISMA X

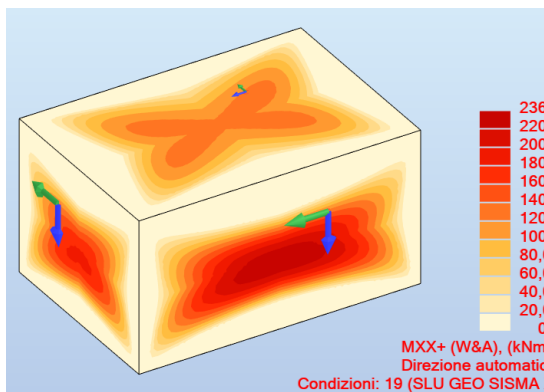
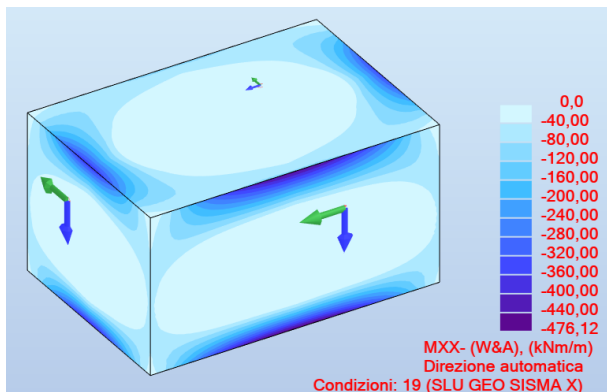


Figura 117. Momento flettente MXX Lembo superiore e MXX Lembo inferiore

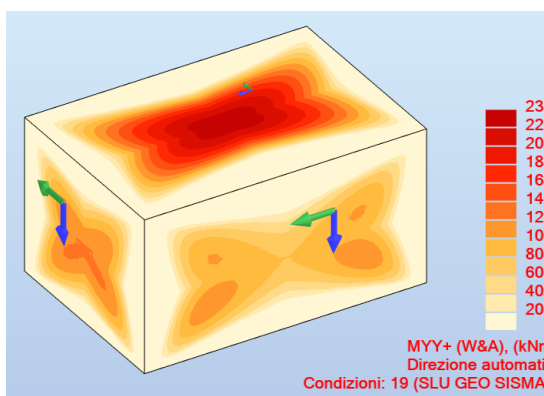
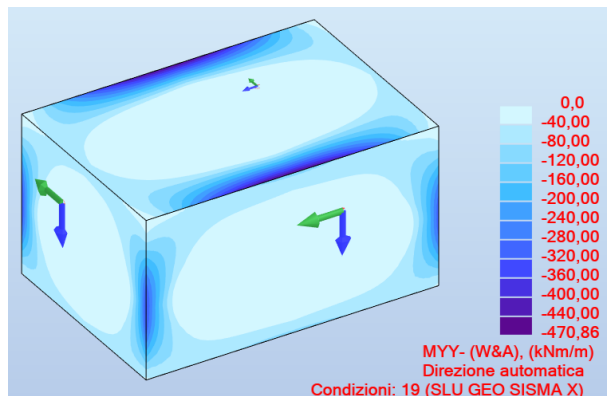


Figura 118. Momento flettente MYY Lembo superiore e MYY Lembo inferiore

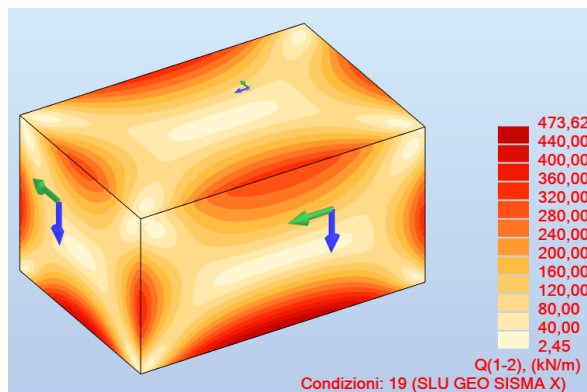


Figura 119. Taglio combinato



SLU GEO SISMA Y

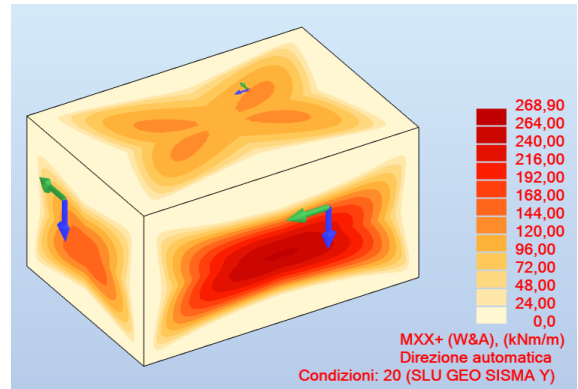
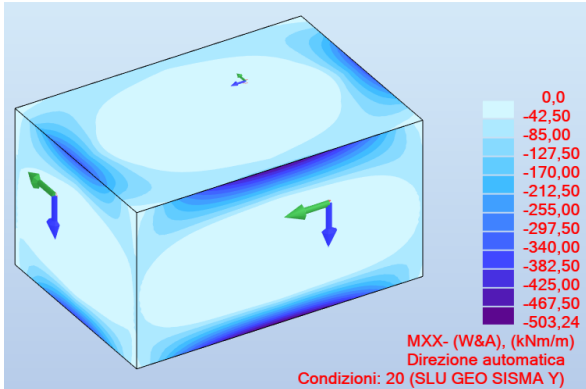


Figura 120. Momento flettente MXX Lembo superiore e MXX Lembo inferiore

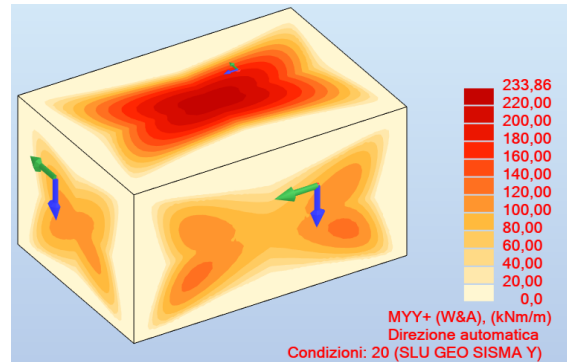
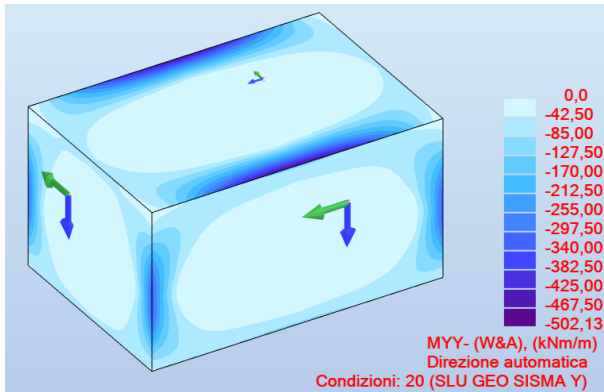


Figura 121. Momento flettente MYY Lembo superiore e MYY Lembo inferiore

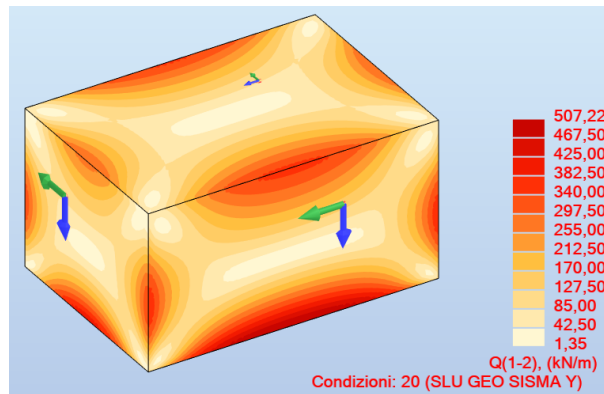


Figura 122. Taglio combinato



SLE RARA

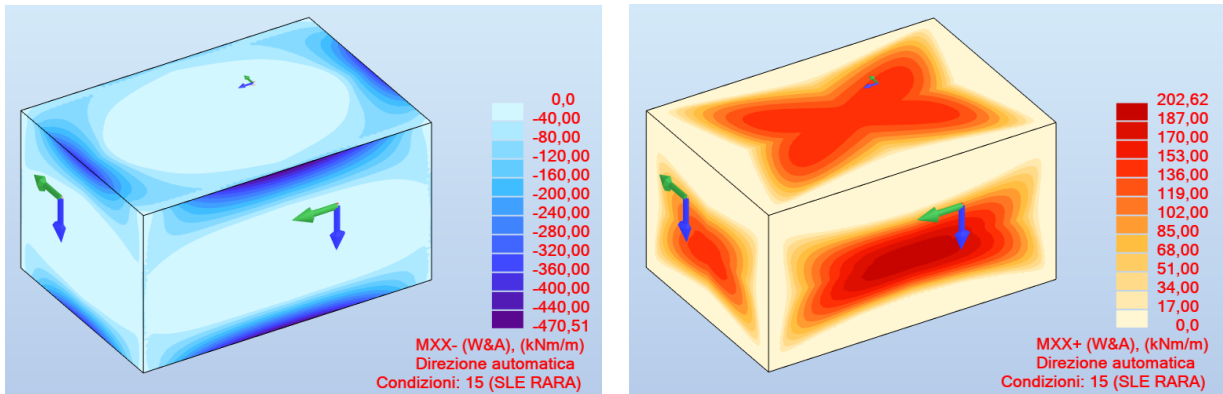


Figura 123. Momento flettente MXM Lembo superiore e MXM Lembo inferiore

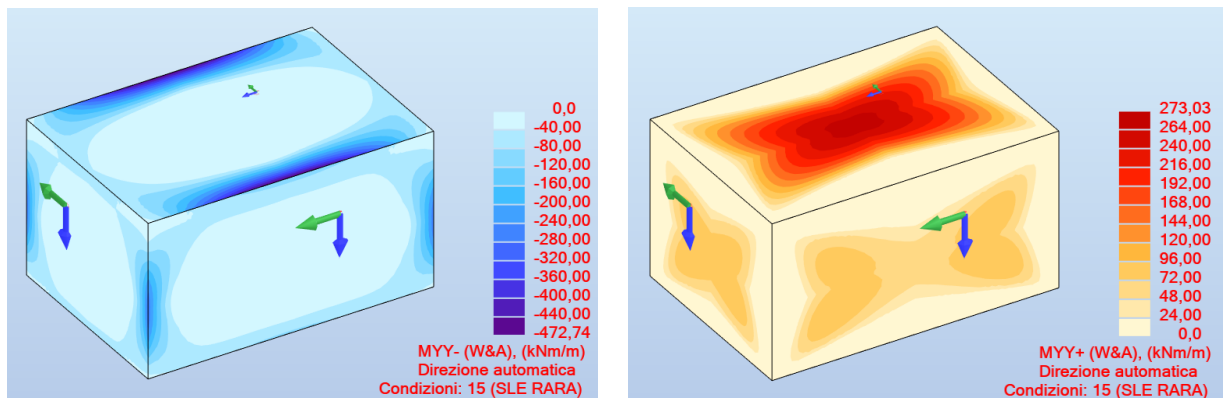


Figura 124. Momento flettente MYM Lembo superiore e MYM Lembo inferiore

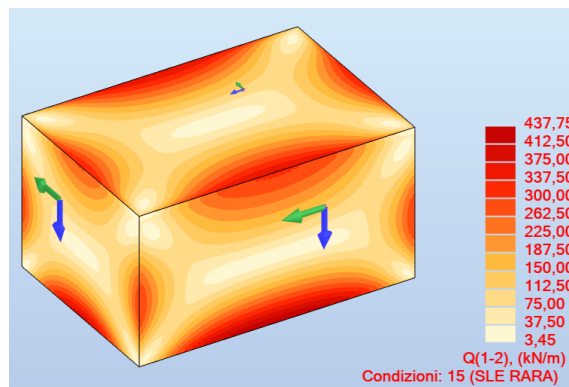


Figura 125. Taglio combinato



SLE FREQUENTE

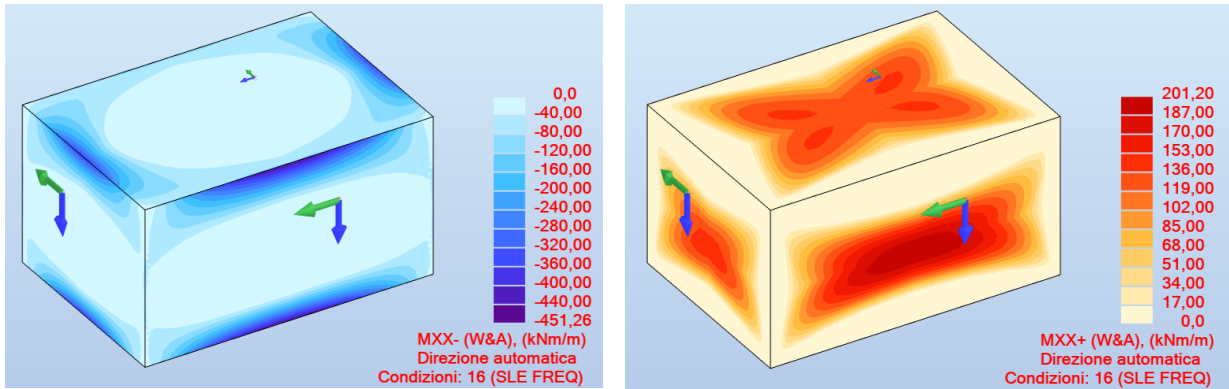


Figura 126. Momento flettente MXX Lembo superiore e MXX Lembo inferiore

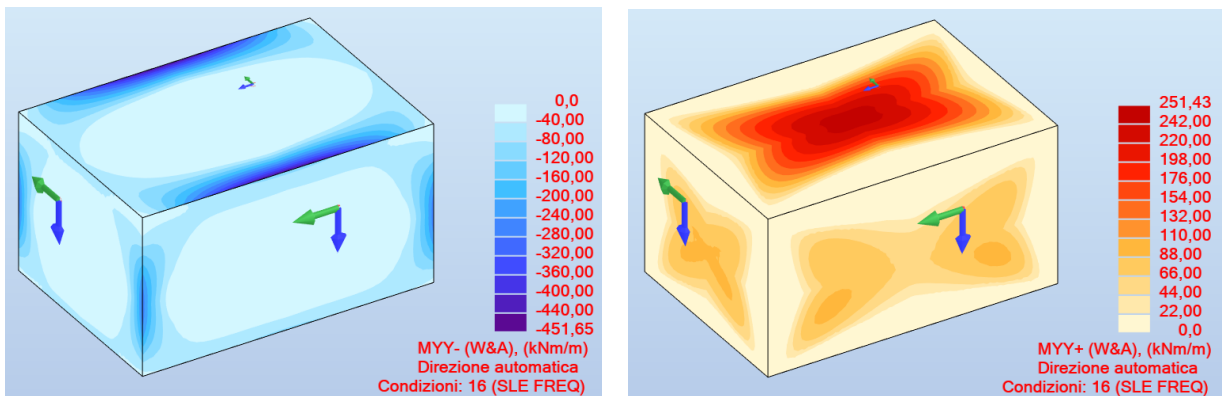


Figura 127. Momento flettente MYY Lembo superiore e MYY Lembo inferiore

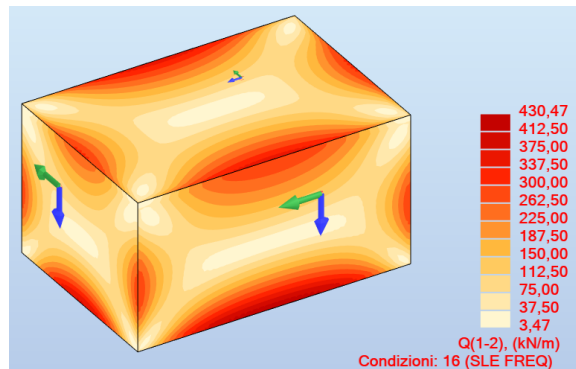
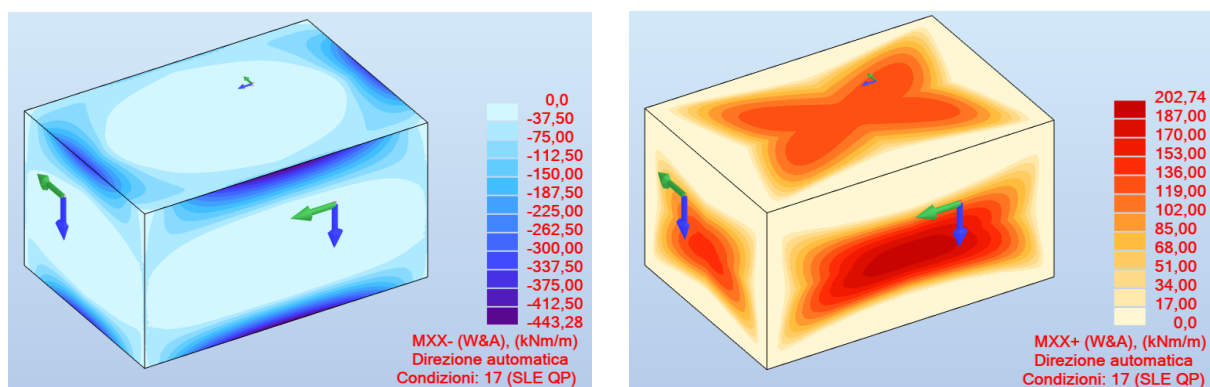
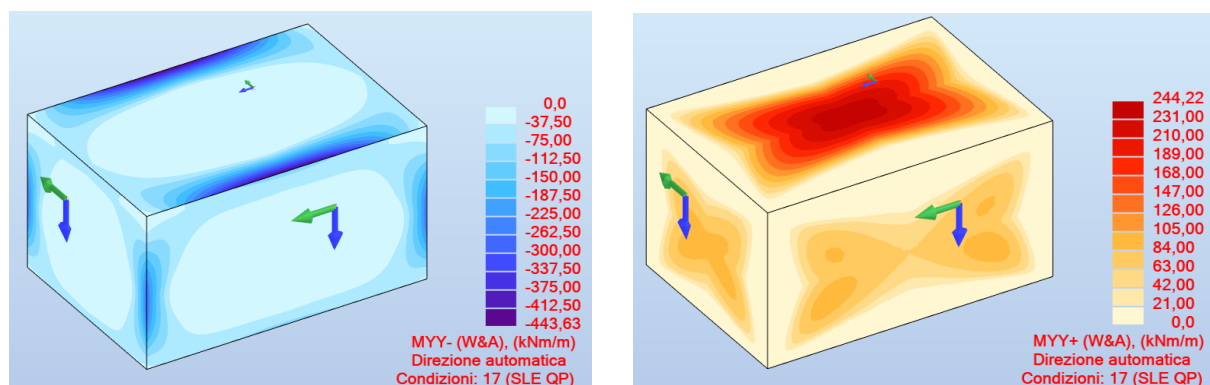


Figura 128. Taglio combinato

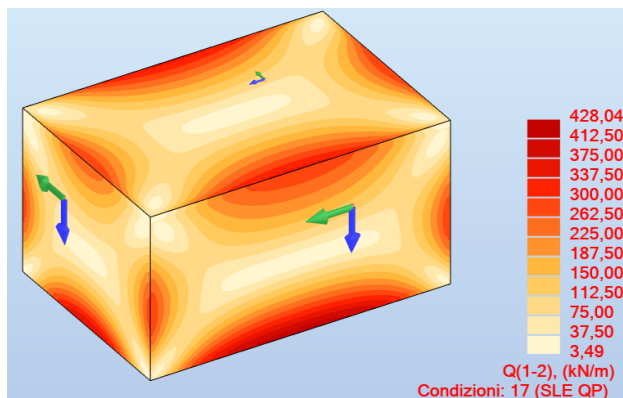
**SLE QUASI PERMANENTE**



**Figura 129. Momento flettente MXX Lembo superiore e MXX Lembo inferiore**



**Figura 130. Momento flettente MYY Lembo superiore e MYY Lembo inferiore**



**Figura 131. Taglio combinato**





INVILUPPO SLU SOLETTA DI COPERTURA

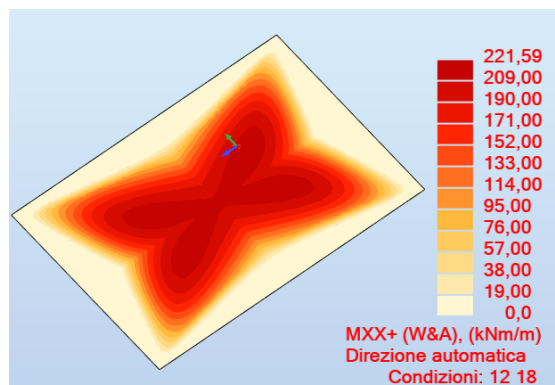
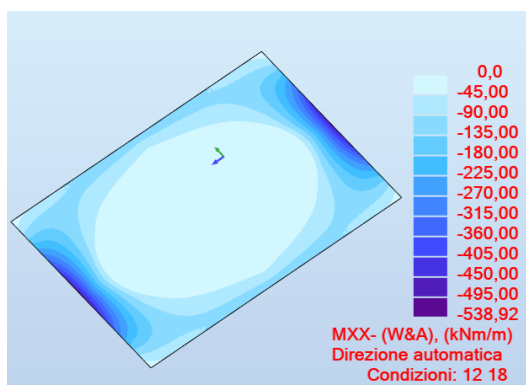


Figura 132. Momento flettente MX Lembo Superiore e MX Lembo Inferiore

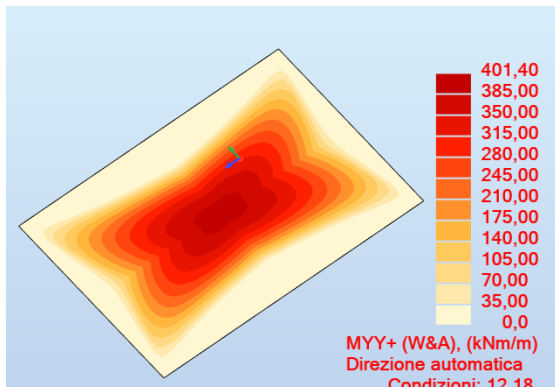
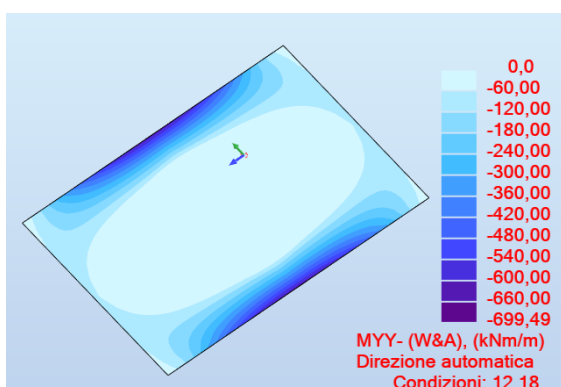


Figura 133. Momento flettente MY Lembo Superiore e MY Lembo Inferiore

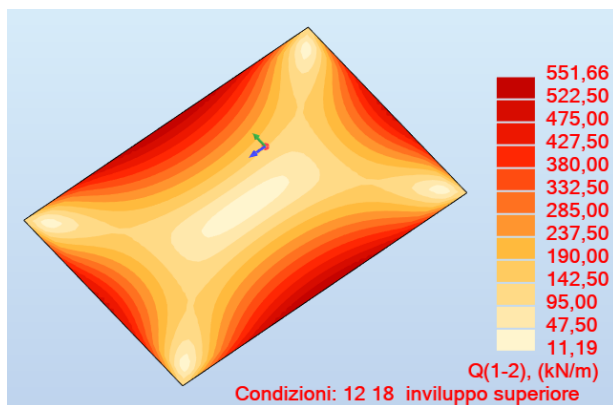


Figura 134. Taglio combinato



INVILUPPO SLU PARETI

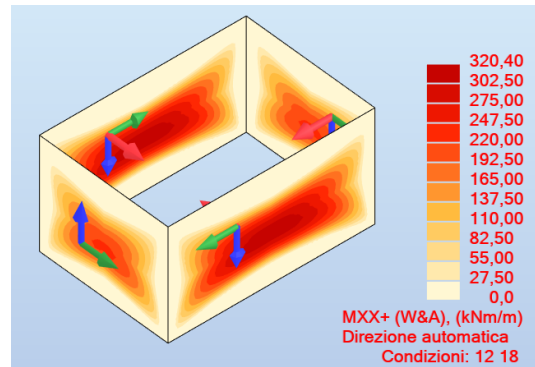
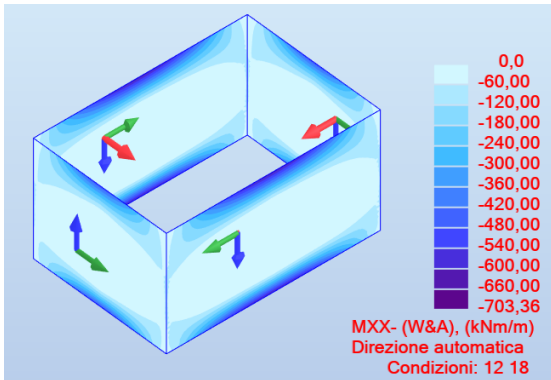


Figura 135. Momento flettente MXX Lembo Esterno e MXX Lembo Interno

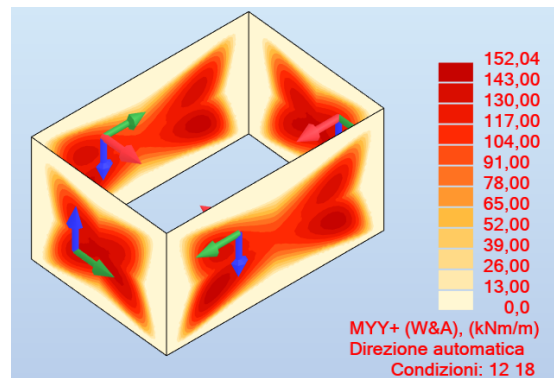
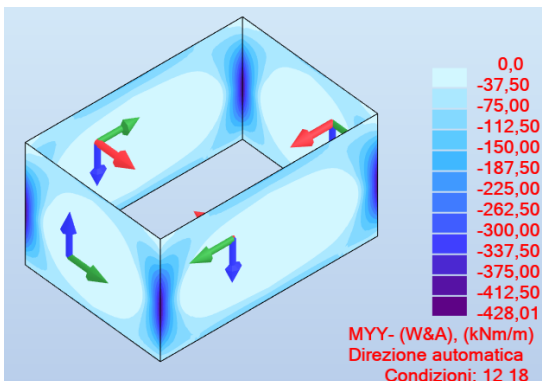


Figura 136. Momento flettente MY Lembo Esterno e MY Lembo Interno

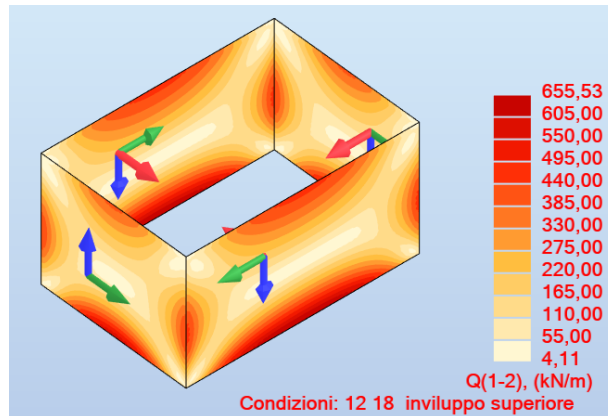


Figura 137. Taglio combinato



INVILUPPO SLU SOLETTA DI FONDO

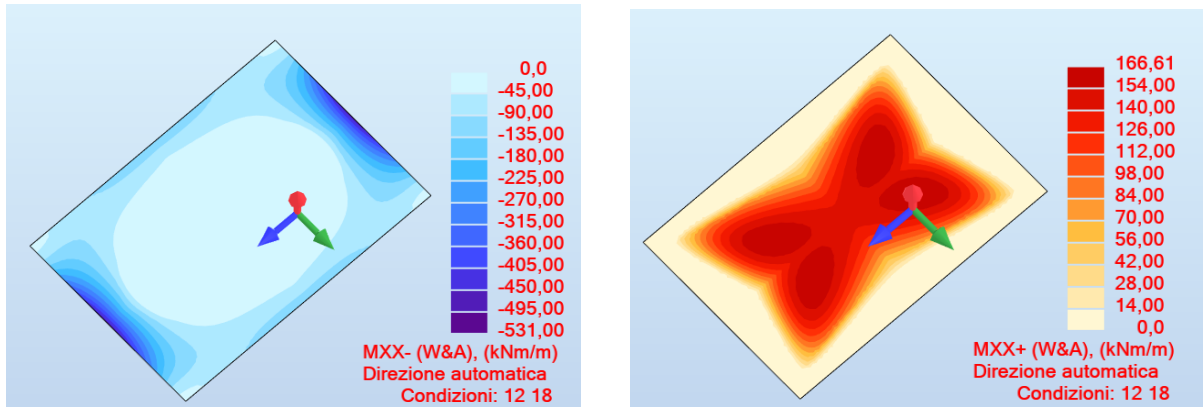


Figura 138. Momento flettente MXX Lembo Superiore e MXX Lembo Inferiore

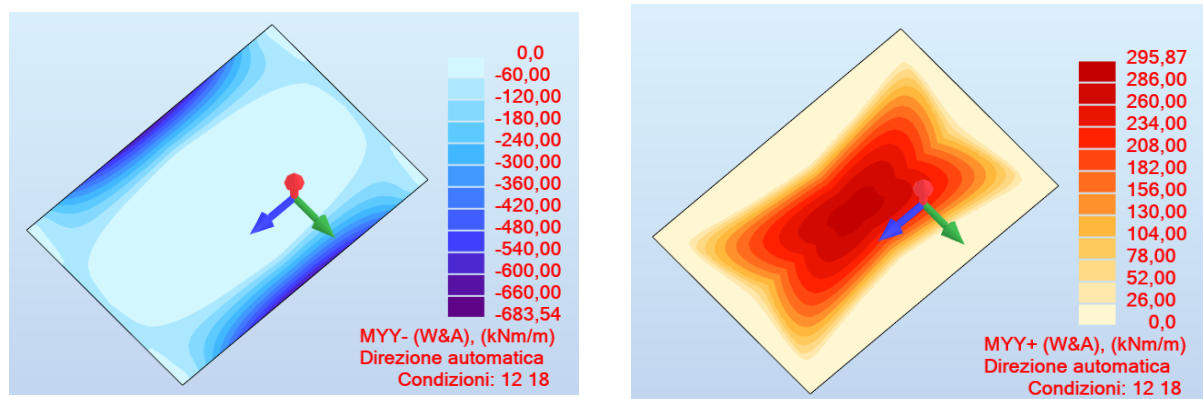


Figura 139. Momento flettente MYX Lembo Superiore e MYX Lembo Inferiore

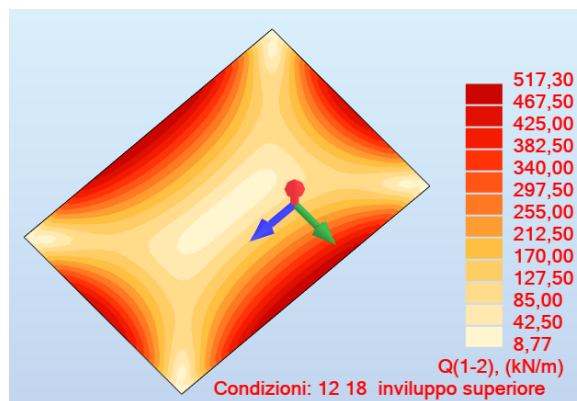


Figura 140. Taglio combinato



INVILUPPO SLE SOLETTA DI COPERTURA

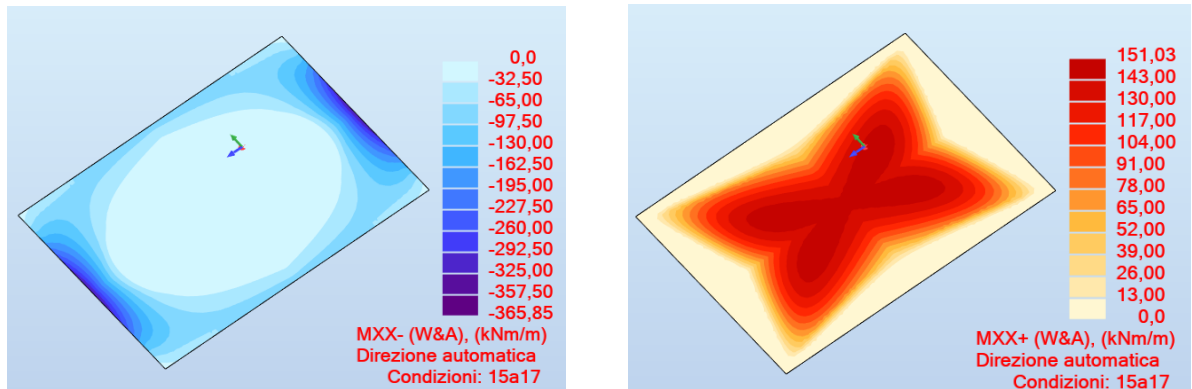


Figura 141. Momento flettente MXX Lembo Superiore e MXX Lembo Inferiore

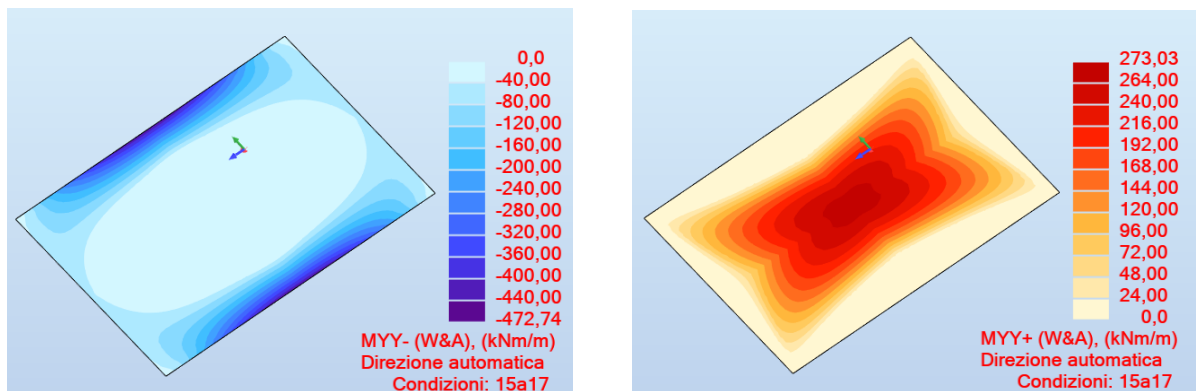


Figura 142. Momento flettente MYY Lembo Superiore e MYY Lembo Inferiore

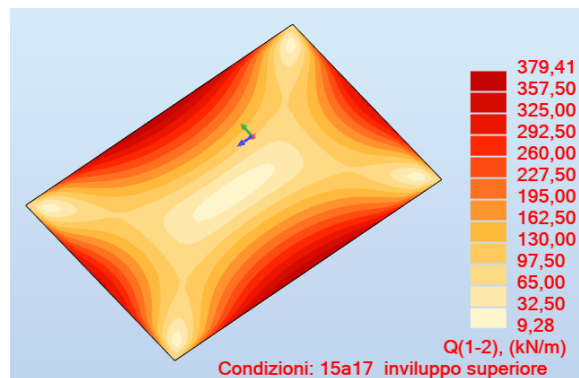


Figura 143. Taglio combinato



INVILUPPO SLE PARETI

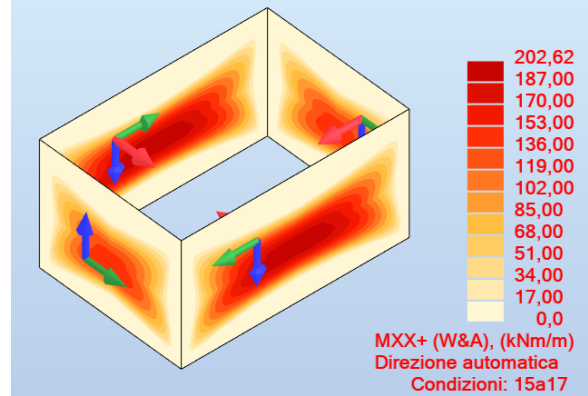
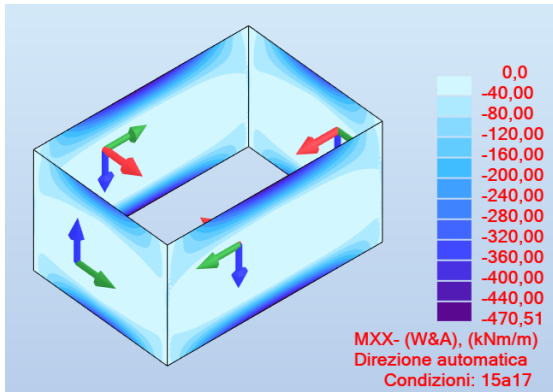


Figura 144. Momento flettente MXX Lembo Esterno e MXX Lembo Interno

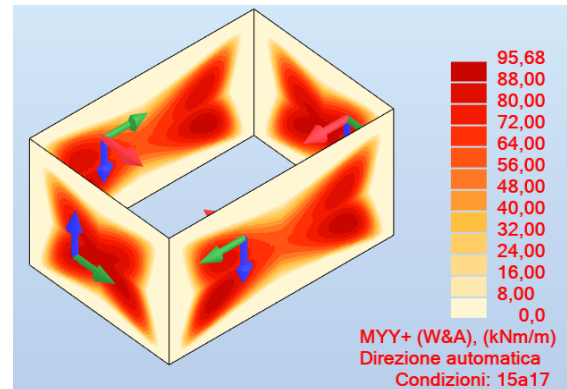
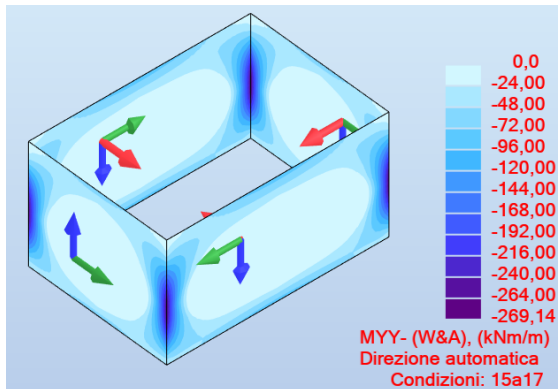


Figura 145. Momento flettente MY Lembo Esterno e MY Lembo Interno

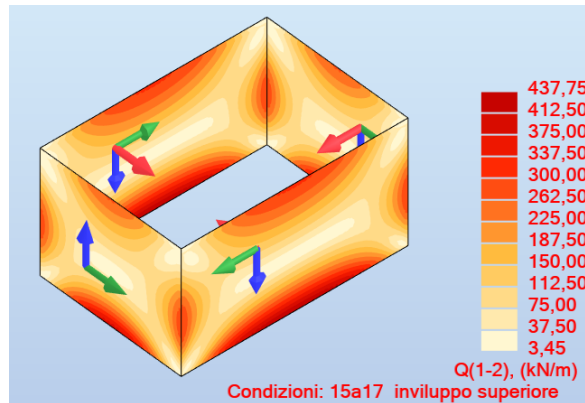


Figura 146. Taglio combinato



INVILUPPO SLE SOLETTA DI FONDO

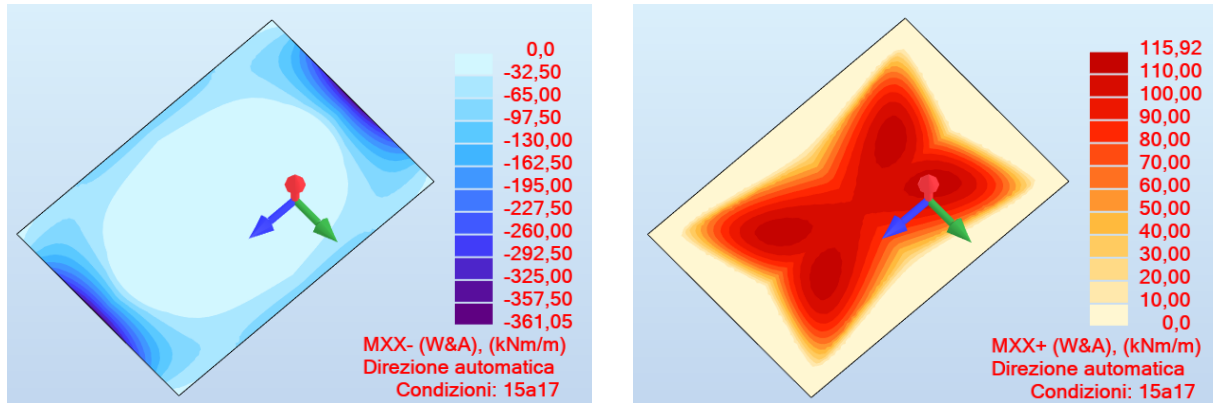


Figura 147. Momento flettente MXX Lembo Superiore e MXX Lembo Inferiore

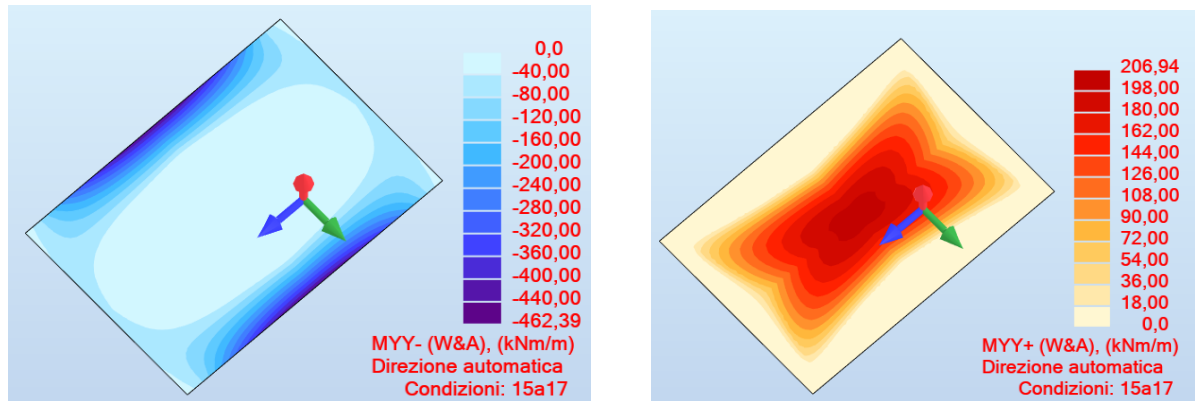


Figura 148. Momento flettente MY Y Lembo Superiore e MY Y Lembo Inferiore

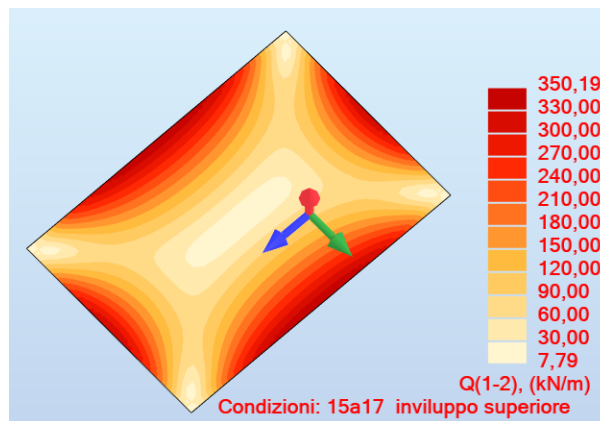



Figura 149. Taglio combinato

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSBRR003-0-1

### **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. In entrambi i casi sono stati depurati i valori di picco e sono stati presi in considerazione i valori di momento negativo e taglio sulle facce degli elementi e non sull'asse neutro.

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

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

$$M_{lim} = \min [ M_{0,30} ; M_{Sc} ; M_{Ss} ]$$

Dove,


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

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

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

**Tabella 38 Verifiche strutturali armatura principale Soletta di copertura – Vasca antincendio**

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

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSBRR003-0-1

**Tabella 39 Verifiche strutturali armatura principale Muri – Vasca antincendio**

	Posizione	Armatura			STATO LIMITE ULTIMO			STATO LIMITE DI ESERCIZIO		
					M <sub>Rd,ULS</sub>	M <sub>Ed,ULS</sub>	Verifica	M <sub>Rd,lim SLE</sub>	M <sub>Ed,SLS</sub>	Verifica
<b>Muri</b>	<b>Estremi</b>	<b>Longitudinale</b>	<b>Superiore</b>	Ø26/150	-708	-590	<b>OK</b>	-395	-375	<b>OK</b>
			<b>Inferiore</b>	Ø20/150						
		<b>Trasversale</b>	<b>Superiore</b>	Ø20/150	-435	-350	<b>OK</b>	-235	-185	<b>OK</b>
			<b>Inferiore</b>	Ø20/150						
	<b>Centro</b>	<b>Longitudinale</b>	<b>Superiore</b>	Ø20/150	435	309	<b>OK</b>	235	203	<b>OK</b>
			<b>Inferiore</b>	Ø20/150						
		<b>Trasversale</b>	<b>Superiore</b>	Ø18/150	355	147	<b>OK</b>	170	96	<b>OK</b>
			<b>Inferiore</b>	Ø18/150						


**Tabella 40 Verifiche strutturali armatura principale Soletta di fondo – Vasca antincendio**

	Posizione	Armatura			STATO LIMITE ULTIMO			STATO LIMITE DI ESERCIZIO		
					M <sub>Rd,ULS</sub>	M <sub>Ed,ULS</sub>	Verifica	M <sub>Rd,lim SLE</sub>	M <sub>Ed,SLS</sub>	Verifica
<b>Soletta di fondo</b>	<b>Zona laterale</b>	<b>Longitudinale</b>	<b>Superiore</b>	Ø26/150	-708	-435	<b>OK</b>	-395	-295	<b>OK</b>
			<b>Inferiore</b>	Ø20/150						
		<b>Trasversale</b>	<b>Superiore</b>	Ø26/150	-708	-580	<b>OK</b>	-395	-365	<b>OK</b>
			<b>Inferiore</b>	Ø20/150						
	<b>Zona centrale</b>	<b>Longitudinale</b>	<b>Superiore</b>	Ø20/150	435	167	<b>OK</b>	235	116	<b>OK</b>
			<b>Inferiore</b>	Ø20/150						
		<b>Trasversale</b>	<b>Superiore</b>	Ø20/150	435	296	<b>OK</b>	235	207	<b>OK</b>
			<b>Inferiore</b>	Ø20/150						

**Tabella 41 Verifiche strutturali armatura a taglio Soletta di copertura – Vasca antincendio**

Soletta di copertura	Posizione	Staffe	STATO LIMITE ULTIMO		
			V <sub>Rd,ULS</sub>	V <sub>Ed,ULS</sub>	Verifica
	<b>Angoli</b>	Ø10/150/150	968	552	<b>OK</b>
	<b>Centro</b>	Ø10/150/300	416	275	<b>OK</b>



 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSBRR003-0-1

**Tabella 42 Verifiche strutturali armatura a taglio Muri – Vasca antincendio**


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

**Tabella 43 Verifiche strutturali armatura a taglio Soletta di fondo – Vasca antincendio**

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

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

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

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSBRR003-0-1

## **Verifiche geotecniche**

### **Capacità portante Vasca di accumulo**

La vasca di accumulo della stazione trasmetterà il proprio peso e quello dell'acqua al terreno tramite la soletta di base. La verifica della capacità portante della soletta di base della vasca è riportata nel seguito.

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

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

Con:

$q_{ult}$  è la capacità portante ultima

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

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

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

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

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

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

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

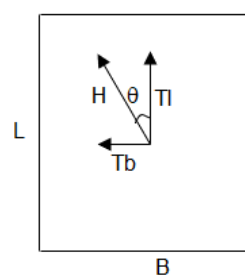
Nella applicazione presentata, i coefficienti  $g$  e  $b$  risultano uguali a 1.

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



**Tabella 44 Verifica capacità portante vasca di accumulo**

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



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



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



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



CITTA' DI TORINO

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


Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere  
di sostegno e strutture accessi stazione

MTL2T1A2DSTRSBRR003-0-1

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

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


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

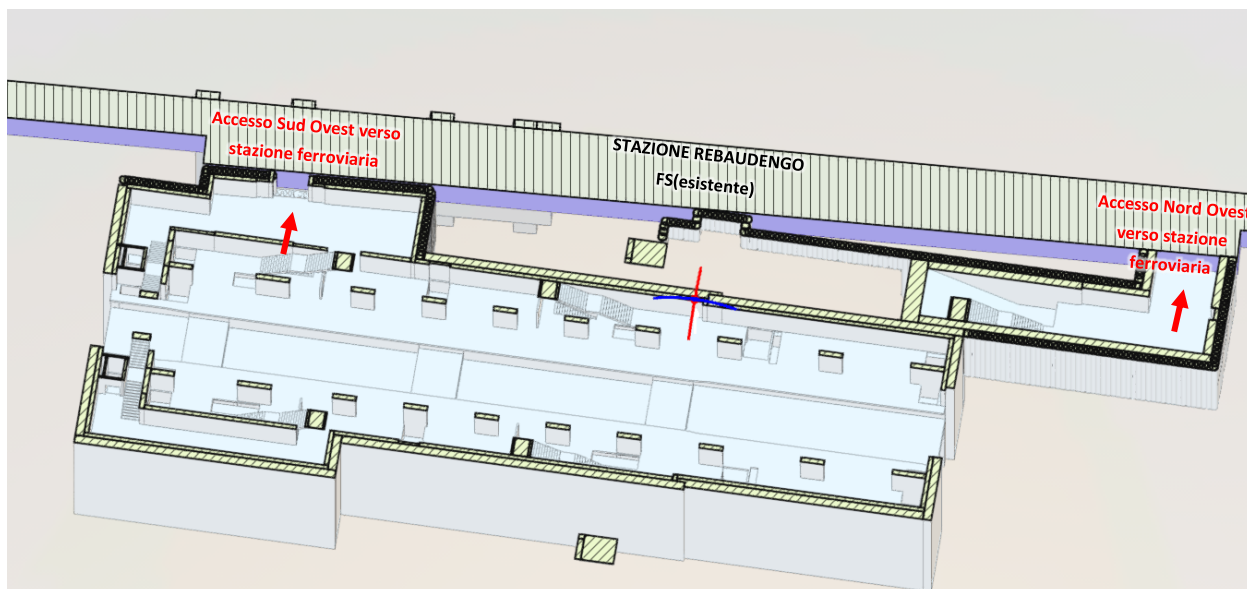
 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSBRR003-0-1

## APPENDICE O

### ACCESSO SPECIALE – Tronchino di connessione con la stazione esistente FS



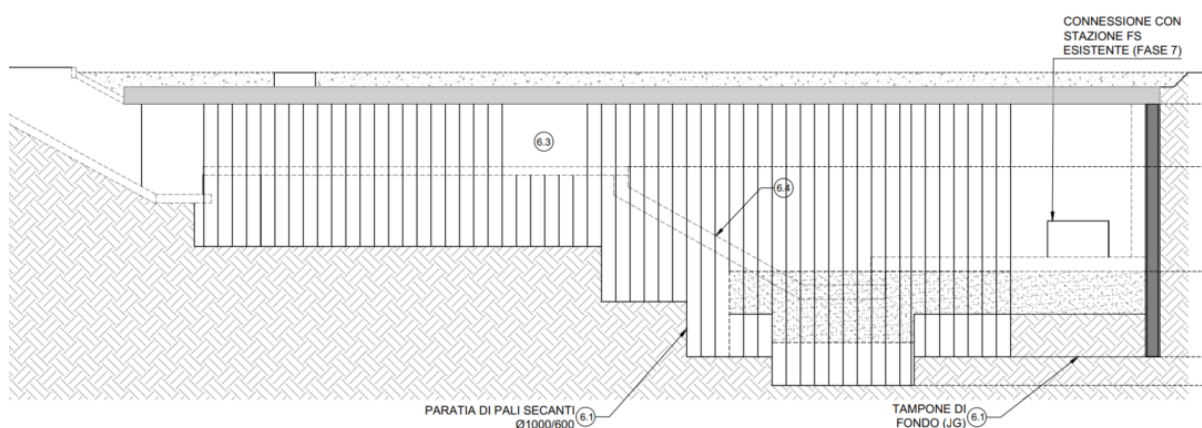
 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSBRR003-0-1



**Figura 151. Planimetria Livello Atrio Stazione Rebaudengo**

Nella tavola MTL2T1A1DSTRSRBT001.3 sono indicate le fasi costruttive del tronchino di collegamento (pali secanti e puntonatura metallica) unitamente alle fasi dettagliate relative al taglio del sistema diaframma/fodere struttura esistente.

Poiché il tronchino interferisce con la falda in fase costruttiva è stato previsto un consolidamento del fondo scavo mediante colonne di jet-grouting, come indicato nella figura seguente.



**Figura 152. Sezione longitudinale Accesso speciale Stazione Rebaudengo**



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 pali secanti di diametro pari a 100 cm e interasse 60 cm, puntonati in testa con degli elementi tubolari in acciaio di diametro 298 mm e spessore 8mm posizionati ad interasse medio 4m. Il tampone di fondo ha spessore minimo pari a 3m nella zona interferente con la falda, come mostrato negli elaborati grafici..

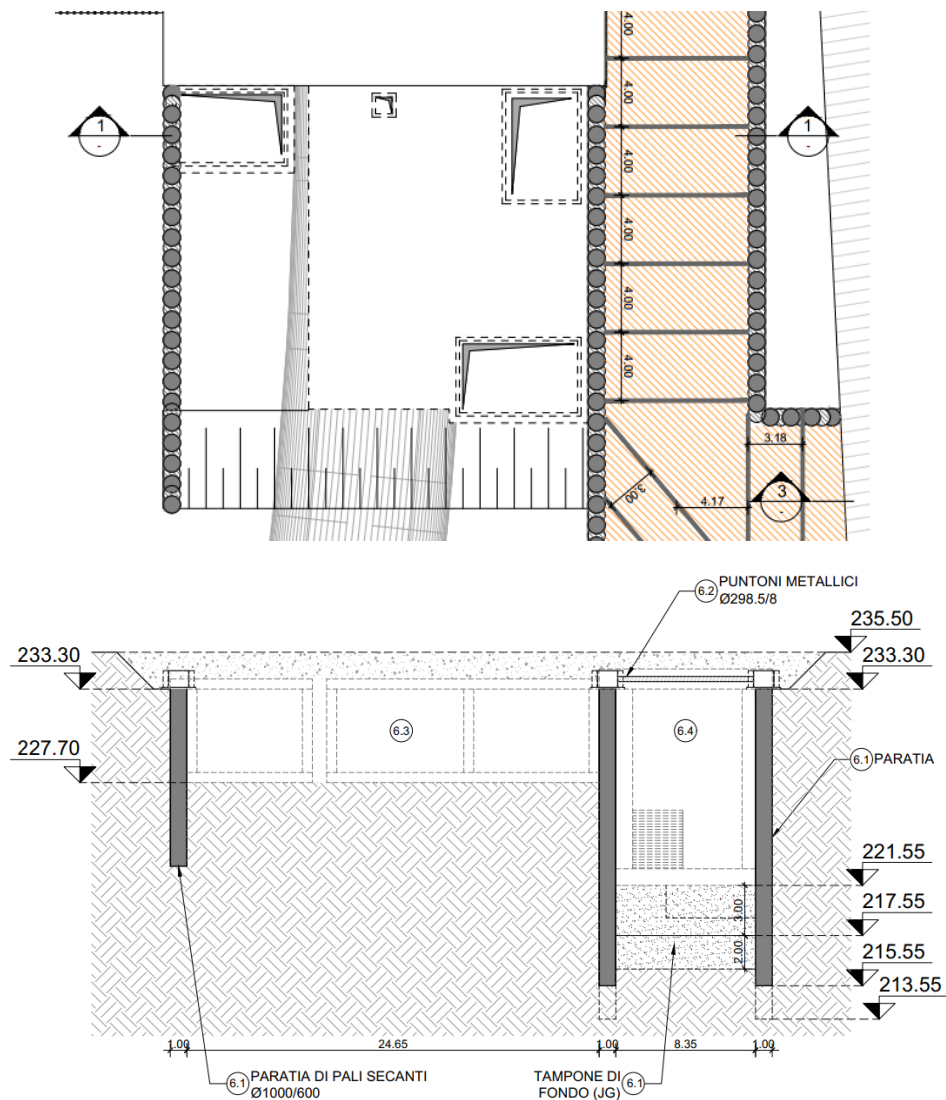



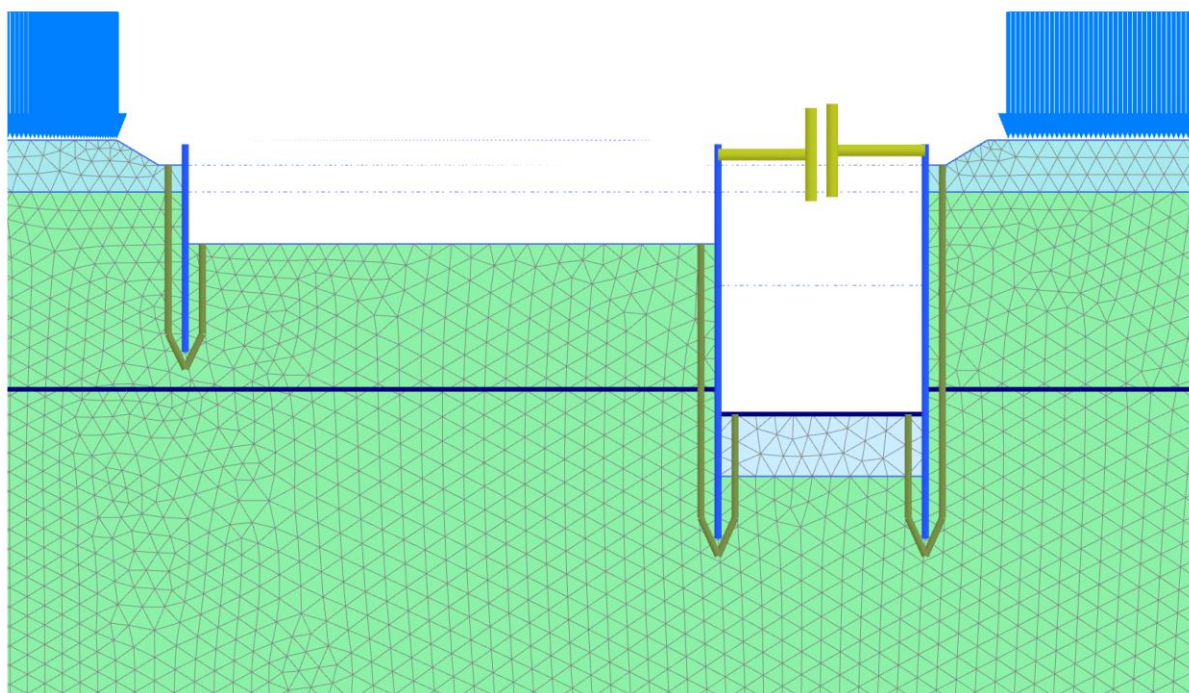
Figura 153. Pianta e sezione degli scavi adiacenti alla Stazione FS



 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSBRR003-0-1

In adiacenza al tronchino di accesso è inoltre previsto uno sbancamento, sostenuto lateralmente da una paratia di pali secanti delle medesime caratteristiche della precedente, che consentirà la successiva costruzione della vasca antincendio e degli altri vani accessori previsti sul lato Nord della stazione


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



**Figura 154. Modello di calcolo Accesso speciale Stazione Rebaudengo**

La modellazione degli elementi strutturali è stata effettuata mediante l'utilizzo di elementi plate per quanto riguarda i pali, 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.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSBRR003-0-1

**Tabella 45 Parametri input elementi strutturali**

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


<b><i>Puntoni D298.5mm sp=8mm</i></b>		
EA	1,53E+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 46 Parametri colonne Jet grouting**

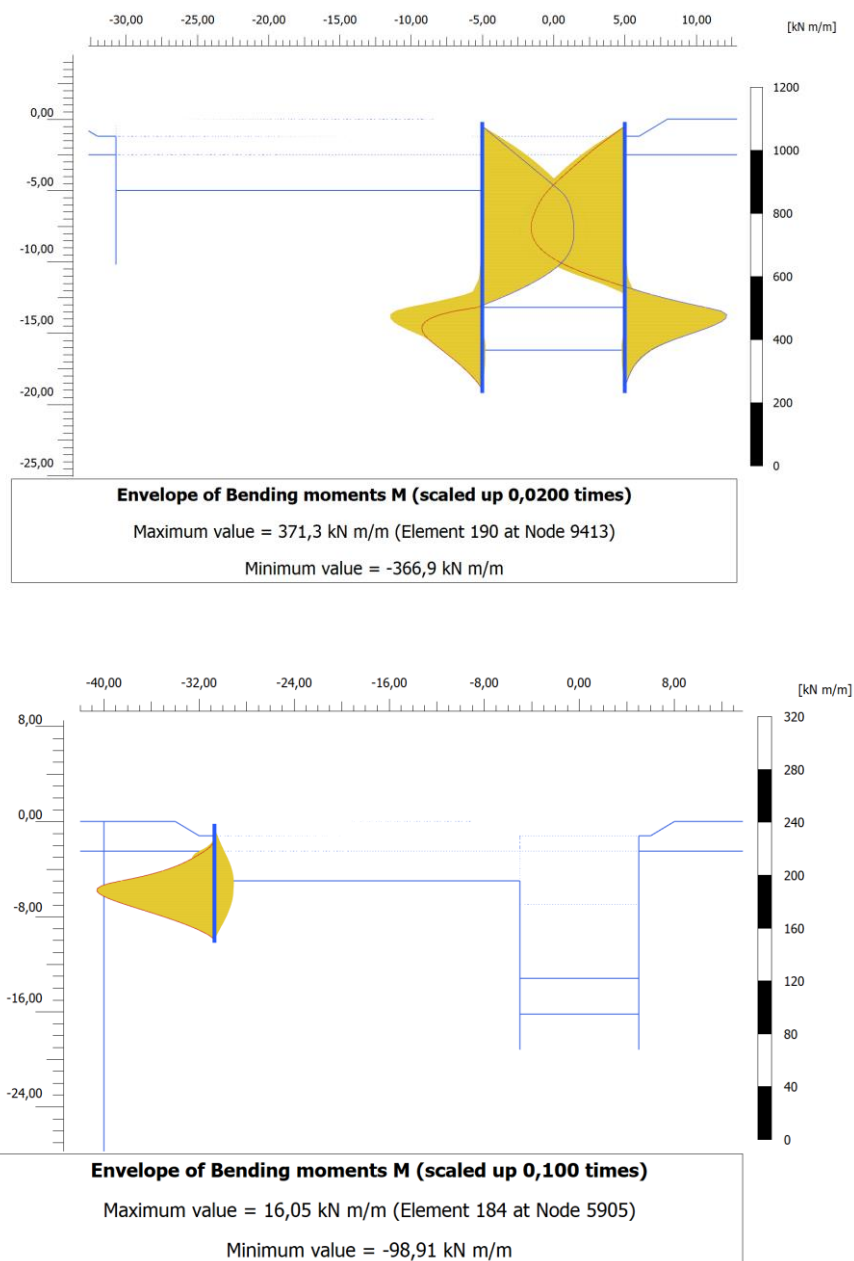
<b>Parametri JG</b>					
$\gamma$	$\phi$	c	UCS	E	v
[kN/m <sup>3</sup> ]	[°]	[kPa]	[kPa]	[MPa]	[-]
22	36	150	590	450	0,3

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

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSBRR003-0-1

## 2.1 Output

### 2.1.1 Sollecitazioni paratia Accesso speciale



**Figura 155. Involuppo Momento Flettente SLE – Paratia Accesso speciale**

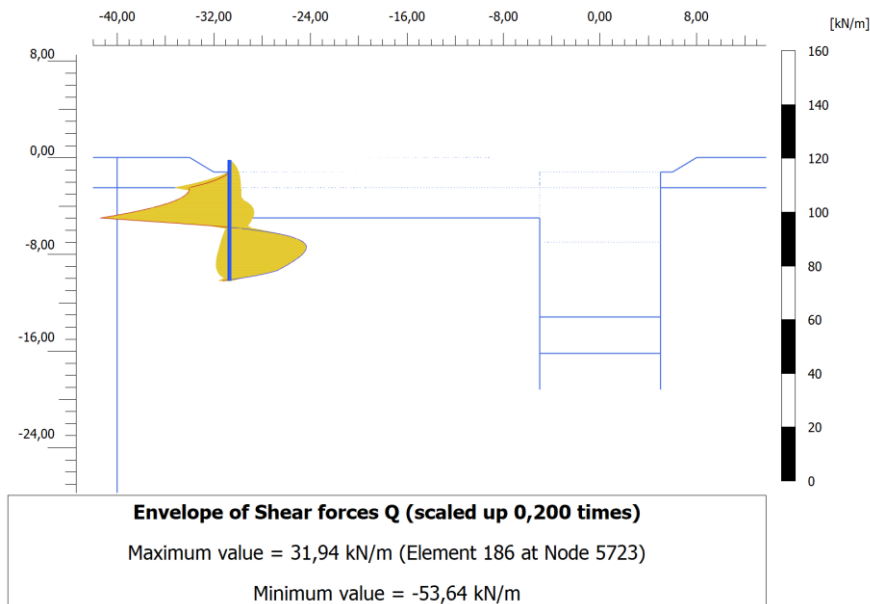
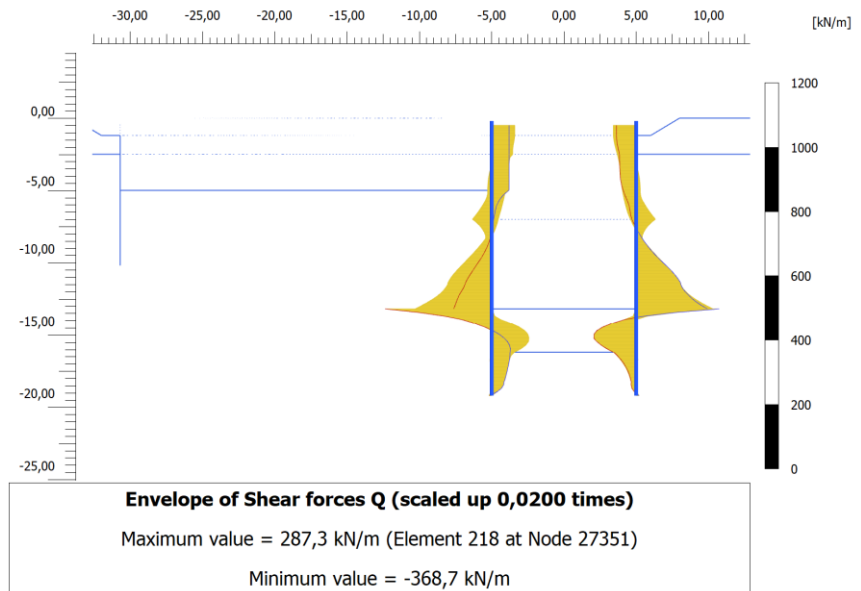


Figura 156. Inviluppo Sollecitazioni taglianti SLE – Paratia Accesso speciale

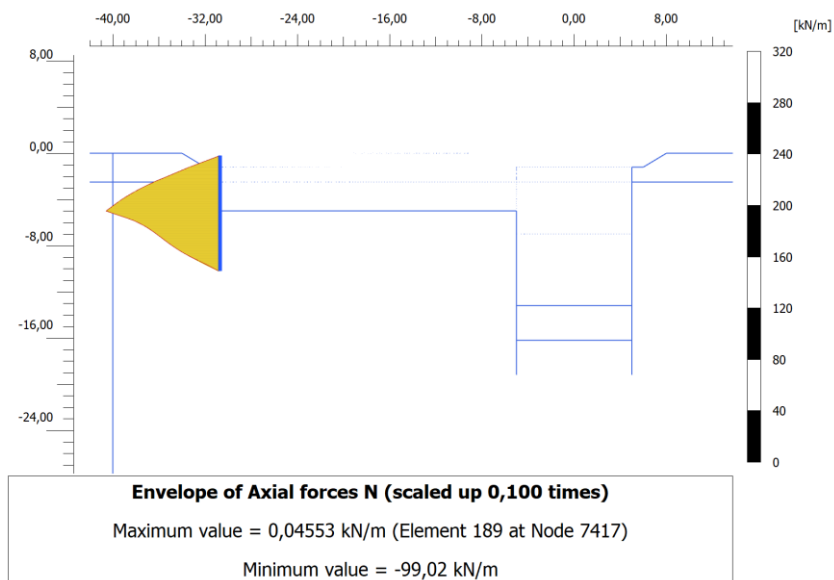
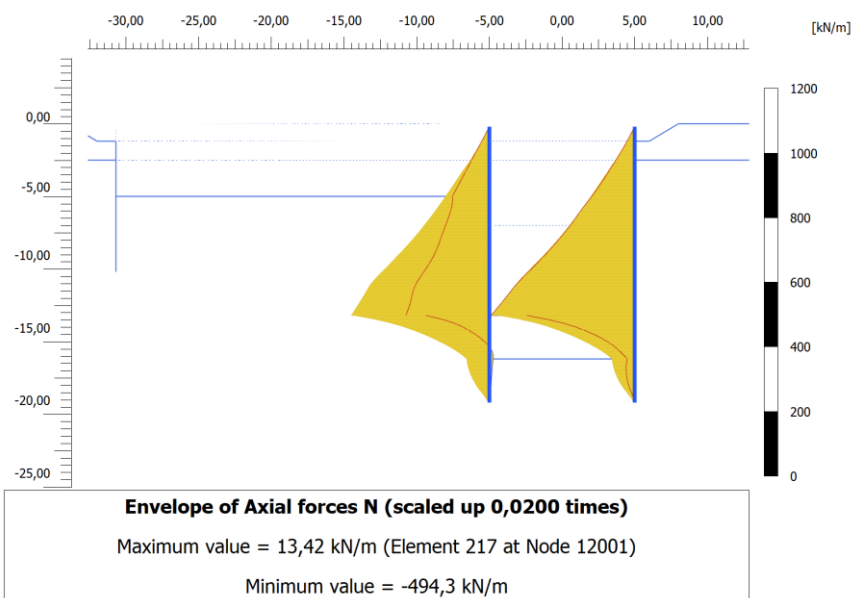


Figura 157. Inviluppo Sforzo assiale SLE – Paratia Accesso speciale



### 2.1.2 Spostamenti paratia Accesso speciale

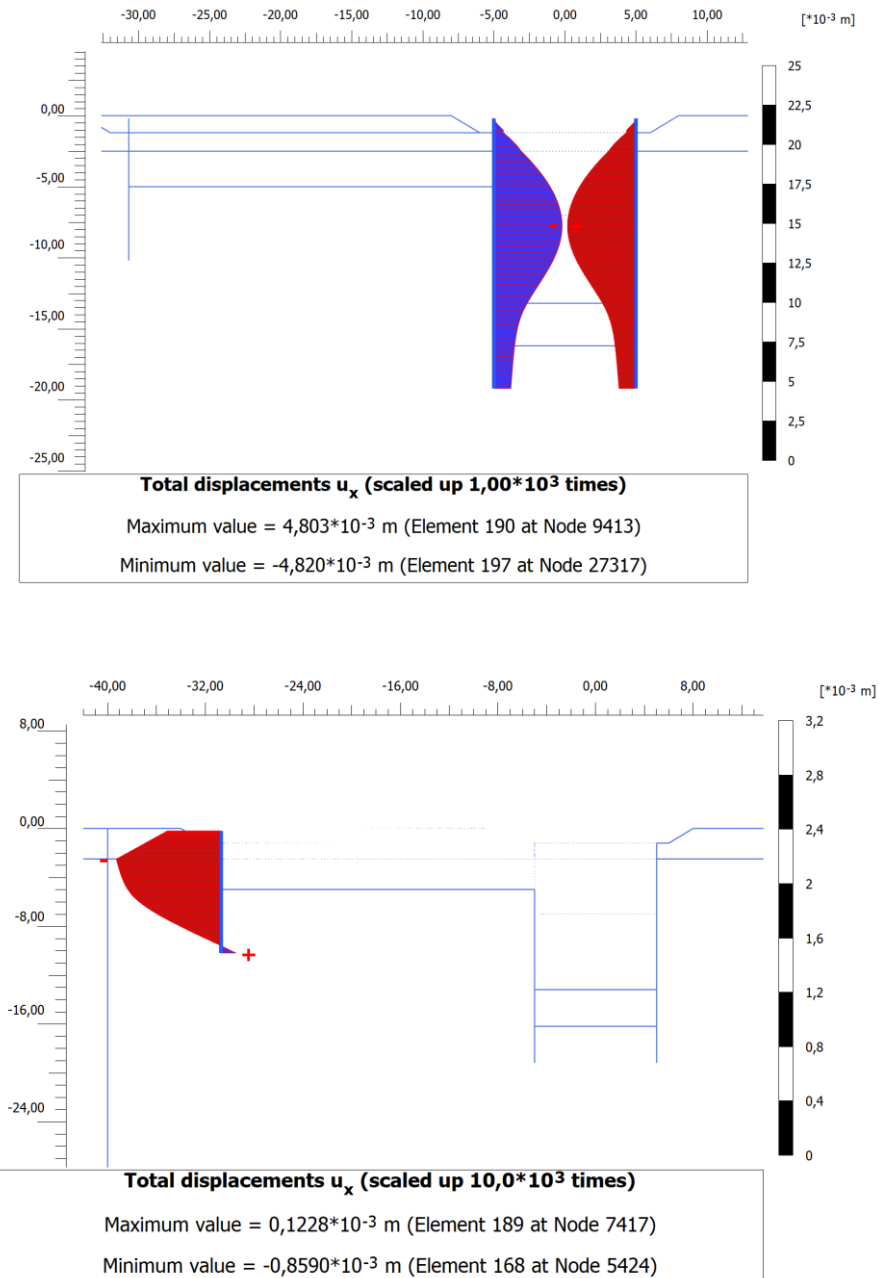


Figura 158. Spostamenti orizzontali – Paratia Accesso speciale



### 2.1.3 Sforzo normale puntone Accesso speciale

Structural element	Node	Local number	X [m]	Y [10 <sup>-3</sup> m]	N [kN]	N <sub>min</sub> [kN]	N <sub>max</sub> [kN]	Φ <sub>z</sub> [°]	Length [m]
FixedEndAnchor_1_1	9017	1	-5,000	-500,000	-241,729	-320,176	0,000	0,000	1,000
FixedEndAnchor_2_1	25190	1	5,000	-500,000	-273,780	-316,758	0,000	180,000	1,000

## 2.2 Verifiche strutturali

### 2.2.1 Verifica a flessione dei pali

L'armatura prevista per la paratia di pali che costituisce l'accesso speciale è composta da 16Ø24. Di seguito si riporta la verifica di tale armatura considerando le massime sollecitazioni ottenute dal modello di calcolo:

**Tabella 47 Verifica sollecitazioni flettenti – Paratia Accesso speciale**

Verifica SLU flessione Sezione Pali		
<b>Geometria sezione:</b>		
Diametro della sezione trasversale di calcestruzzo	1000	[mm]
Copriferro	75	[mm]
Altezza utile della sezione	925	[mm]
<b>Armature</b>		
<b>Armatura longitudinale</b>		
Diametro dei ferri correnti	24	[mm]
Numero dei ferri correnti	16	[-]
Diametro dei ferri di eventuale infittimento	0	[mm]
Numero dei ferri di eventuale infittimento	0	[-]
Area dell'armatura tesa	7235	[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>1077</b>	<b>[kNm]</b>
<b>Momento sollecitante a SLU assunto in valore assoluto</b>	<b>520</b>	<b>[kNm]</b>

## 2.2.2 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.

**Tabella 48 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	$d_{ext}$	298,50 [mm]
Spessore	$t$	8,00 [mm]
Lunghezza puntone	L	8,50 [m]
Diametro interno	$d_{int}$	282,50 [mm]
Raggio esterno	$r_{ext}$	149,25 [mm]
Raggio interno	$r_{int}$	141,25 [mm]
Area sezione trasversale	A	7301 [mm <sup>2</sup> ]
Momento d'inerzia	$I_y$	7,7037E+07 [mm <sup>4</sup> ]
Modulo di resistenza elastico	$W_{el,y}$	5,1616E+05 [mm <sup>3</sup> ]
Modulo di resistenza plastico	$W_{pl,y}$	3,5460E+06 [mm <sup>3</sup> ]
Area resistente a taglio	$A_{V,z}$	4648 [mm <sup>2</sup> ]
Raggio d'inerzia	$i_y$	102,72 [mm]





CITTA' DI TORINO

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

Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione

MTL2T1A2DSTRSBRR003-0-1

Forze agenti			
Forza normale (positiva se di compressione) caratteristica	$N_k$	320,20	[kN]
Forza normale (positiva se di compressione) di progetto	$N_{ed}$	448,28	[kN]
Momento flettente caratteristico	$M_k$	52,83	[kNm]
Momento flettente di progetto	$M_{ed}$	73,97	[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	$\rho$	37,313	[-]
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	$l$	8500,00	[mm]
Snellezza adimensionalizzata	$\lambda$	82,75	[-]
	$\varepsilon$	0,81	[-]
Snellezza limite	$\lambda_1$	76,37	[-]
	$\bar{\lambda}$	1,08	[-]
	$\alpha$	0,21	[-]
	$\Phi$	1,18	[-]
	$\chi$	0,61	[-]
Resistenza a instabilita' per sezione compressa	$N_{b,Rd}$	1499,18	[kN]
FOS	FS	3,344	[-]
<b>Instabilita' per flessione e compressione</b>			
	$\beta_M$	1,30	[-]
	$\mu_{calc}$	-1,52	[-]
	$\mu$	-1,52	[-]
	$k_{calc}$	1,45	[-]
	$k$	1,45	[-]
		0,356 < 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.

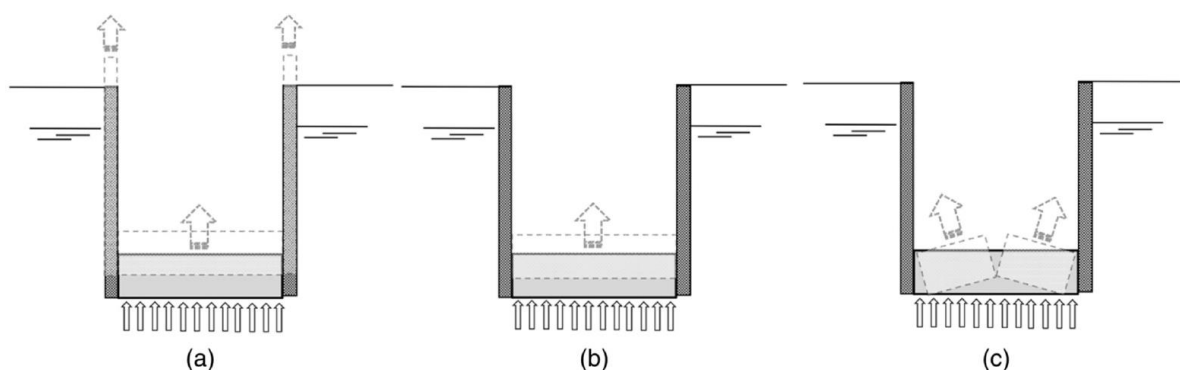


Figura 159. Possibili meccanismi di collasso: a) sollevamento del tampone di fondo e dei diaframmi b) sollevamento del tampone di fondo c) rottura del tampone di fondo

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

Tabella 49 Verifica tampone di fondo – Accesso speciale

Parametri geometrici e geotecnici		
Larghezza diaframmi	=	1 m
Altezza soletta di copertura	=	0 m
Altezza soletta intermedia	=	0,0 m
Altezza riempimento	=	0 m
Larghezza interna scavo	=	8,4 m
FEL	=	-13,2 m
Hw	=	-12 m
Profondita' paratia	=	-19,2 m
Altezza terreno saturo al di sopra del tampone	=	0,0 m
<b>Battente idraulico</b>	=	<b>7,2 m</b>
<b>Altezza tampone di fondo</b>	=	<b>3,00 m</b>
<b>Profondita' infissione paratia</b>	=	<b>6,00 m</b>



Coefficients parziali			
$\gamma_G$ fav	=	0,9	
$\gamma_G$ unfav	=	1,1	
$\gamma_\phi$	=	1,25	
$\gamma_c$	=	1,25	
Parametri geotecnici			
$\gamma_{JG}$	=	22	kN/mc
$\gamma_s$	=	19,5	kN/mc
$\phi$	=	36	°
$\delta$	=	18,00	°
$c_s$	=	10,00	kPa
$c_{JG}$	=	150,00	kPa
$q_{u,JG}$	=	589	kPa
$d$	=	0,20	

Verifica galleggiamento tampone di fondo fase costruttiva - Intera struttura			
Forze agenti			
<i>Azioni instabilizzanti</i>			
Pressione U alla base della paratia	=	70,56	kPa
Pressione U alla base del tampone	=	70,56	kPa
Forza instabilizzante	=	733,82	kN/m
<i>Azioni stabilizzanti</i>			
Peso tampone	=	554,40	kN/m
Peso terreno saturo sopra tampone	=	0,00	kN/m
Peso diaframmi	=	960,00	kN/m
Peso riempimento	=	0,00	kN/m
Peso soletta copertura	=	-105,00	kN/m
Peso soletta intermedia	=	0,00	kN/m
Forze stabilizzanti totali	=	1409,40	kN/m
<i>Resistenze</i>			
$k_a$	=	0,26	
Resistenza attrito media	=	6,28	kPa
Forza stabilizzante dovuta all'attrito	=	241,25	kN/m
Forza instabilizzante progetto	=	807,21	kN/m
Forza stabilizzante + resistenze di progetto	=	1509,71	kN/m
FS	=	1,87	OK



<b>Verifica galleggiamento tampone di fondo fase costruttiva - Solo tampone</b>			
<b>Forze agenti</b>			
<b>Azioni instabilizzanti</b>			
Pressione U alla base del tampone	=	70,56	kPa
Forza instabilizzante	=	592,70	kN/m
<b>Azioni stabilizzanti</b>			
Peso tampone	=	554,40	kN/m
Peso terreno saturo sopra tampone	=	0,00	kN/m
Forze stabilizzanti totali	=	554,40	kN/m
<b>Resistenze</b>			
Resistenza attrito media	=	94,17	kPa
Forza stabilizzante dovuta all'attrito	=	565,01	kN/m
Forza instabilizzante progetto	=	651,97	kN/m
Forza stabilizzante + resistenze di progetto	=	1063,97	kN/m
FS	=	1,63	OK

<b>Verifica resistenza interna tampone di fondo</b>			
<b>Forze agenti</b>			
<b>Azioni instabilizzanti</b>			
M instabilizzante	=	685	kNm/m
<b>Azioni stabilizzanti</b>			
M stabilizzante	=	524	kNm/m
<b>Resistenze</b>			
Resistenza interna tampone di fondo	=	795	kNm/m
Forze instabilizzanti	=	685	kNm/m
Forze stabilizzanti + resistenze di progetto	=	1318	kNm/m
FS	=	1,93	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 1.37.

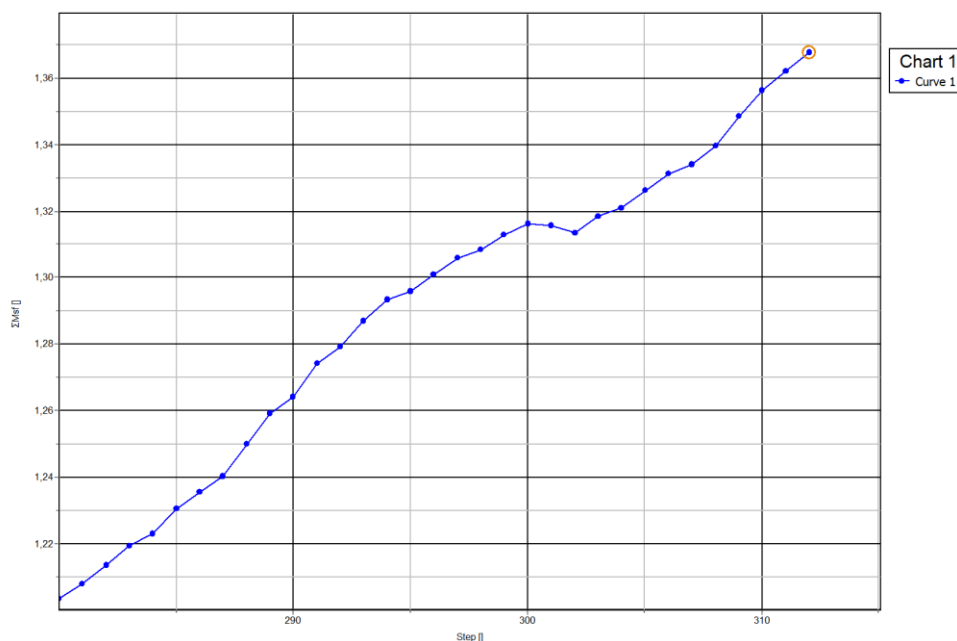


Figura 160. Fattore di sicurezza nella fase costruttiva

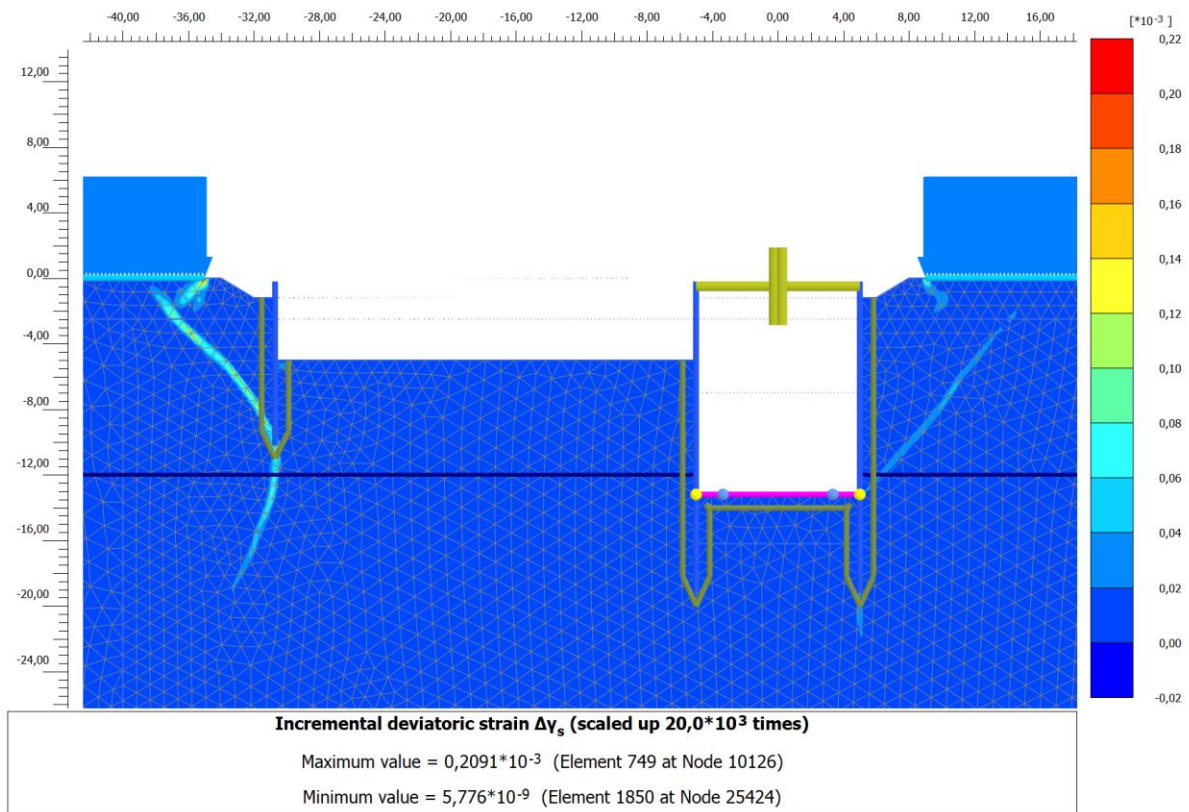



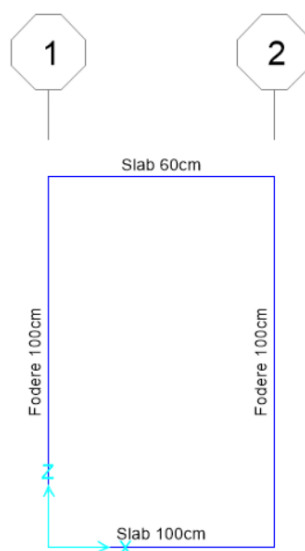
Figura 161. Rapporto tra tensione tangenziale massima e tensione tangenziale mobilitata

La Figura 161 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: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSBRR003-0-1

### 3 RIVESTIMENTO DEFINITIVO

Le strutture interne dell'area di accesso speciale sono costituite dalle pareti, la soletta di fondo aventi spessore di 1 m e la soletta di copertura avente spessore di 60 cm.



**Figura 162. Modello numerico – Area accesso speciale**

#### 3.1.1.1 Carichi

##### Carichi permanenti strutturali

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

##### 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
 

$k_0 = 1 - \sin 29^\circ$	0-4m
$k_0 = 1 - \sin 36^\circ$	4-30m
- per le verifiche geotecniche e stato utilizzato
 

$k_0 = 1 - \sin 23.9^\circ$	0-4m
$k_0 = 1 - \sin 30.2^\circ$	4-30m

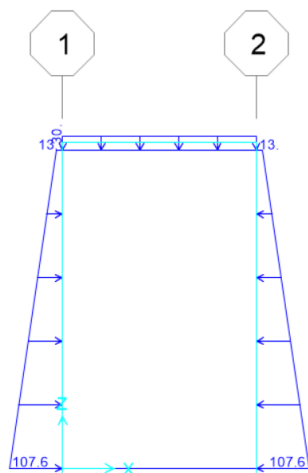


Figura 163. Spinta orizzontale del terreno – Area accesso speciale

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

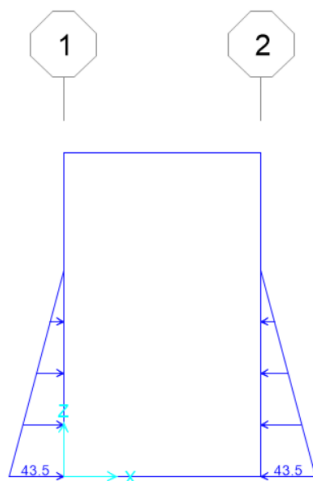


Figura 164. Spinta idrostatica – Area accesso speciale

### Carichi variabili

**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.



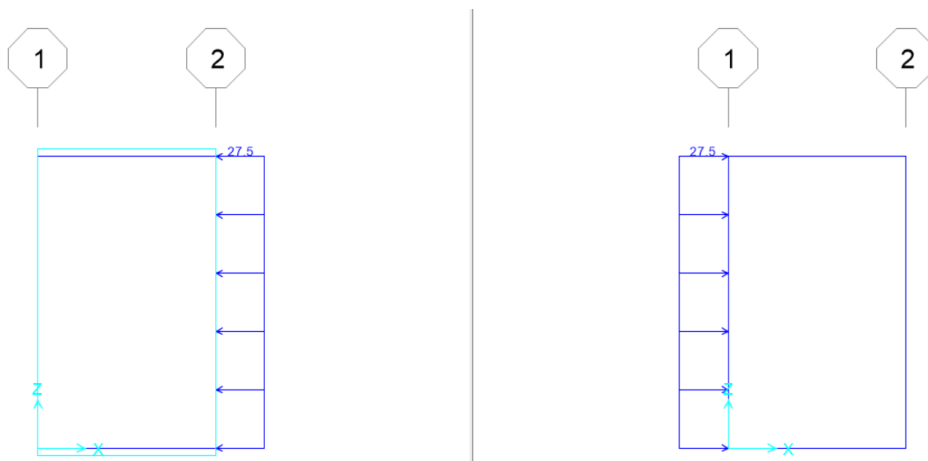


Figura 165. Spinta sismica – Area accesso speciale


3.1.1.2 Risultati dell'analisi e verifiche strutturali

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

**Armatura Principale**

Tabella 50 Armatura principale Soletta di copertura – Area accesso speciale

Soletta di copertura	Direzione	Armatura		
	Zona Laterale	Trasversale	superiore	Ø20/200
inferiore			Ø20/200	
Longitudinale		superiore	Ø24/100	
		inferiore	Ø20/200	
Zona Centrale	Trasversale	superiore	Ø20/200	
		inferiore	Ø20/200	
	Longitudinale	superiore	Ø20/200	
		inferiore	Ø20/200	

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 1: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Rebaudengo - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSBRR003-0-1

**Tabella 51 Armatura principale Muri – Area accesso speciale**

	Posizione	Armatura		
		Muri	Estremi	Trasversale
Interno	Ø20/200			
Longitudinale	Esterno		Ø26/100	
	Interno		Ø26/100	
Centro	Trasversale		Esterno	Ø20/200
			Interno	Ø20/200
	Longitudinale	Esterno	Ø24/200	
		Interno	Ø26/100	

**Tabella 52 Armatura a taglio Muri – Area accesso speciale**

Muri Vasca	Posizione	Staffe
	Estremi	Ø10/200/200
	Centro	Ø10/200/400

**Tabella 53 Armatura principale Soletta di fondo – Area accesso speciale**

	Direzione	Armatura		
		Soletta di fondo	Zona Laterale	Trasversale
Inferiore	Ø24/200			
Longitudinale	Superiore		Ø24/200	
	Inferiore		Ø26/100	
Zona Centrale	Trasversale		Superiore	Ø24/200
			Inferiore	Ø24/200
	Longitudinale	Superiore	Ø24/200	
		Inferiore	Ø26/100	