

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



**COMUNE DI TORINO**



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

**PROGETTAZIONE DEFINITIVA  
Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico**


<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		 <b>INFRA.TO</b> <i>infrastrutture per la mobilità</i>										<b>INFRATRASPORTI.TO S.r.l.</b>		
DIRETTORE PROGETTAZIONE Responsabile integrazione discipline specialistiche	IL PROGETTISTA													
Ing. R. Crova Ordine degli Ingegneri della Provincia di Torino n. 6038S	Ing. F. Rizzo Ordine degli Ingegneri della Provincia di Torino n. 9337K	<b>STRUTTURE E METODI COSTRUTTIVI STAZIONI PROFONDE – STAZIONE NOVARA</b> <b>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE DI SOSTEGNO E STRUTTURE ACCESSI STAZIONE</b>												
		ELABORATO							REV.		SCALA	DATA		
									Int.	Est.				
BIM MANAGER Geom. L. D'Accardi		MT	L2	T1	A2	D	STR	SNO	R	003	0	1	-	30/09/2022

AGGIORNAMENTI

Fg. 1 di 1


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

<table border="1"> <tr> <td>LOTTO 2</td> <td>CARTELLA</td> <td>9.2.1</td> <td>3</td> <td>MTL2T1A2D</td> <td>STRSNOR003</td> </tr> </table>	LOTTO 2	CARTELLA	9.2.1	3	MTL2T1A2D	STRSNOR003	<p align="center"><b>STAZIONE APPALTANTE</b></p> <p align="center">DIRETTORE DI DIVISIONE INFRASTRUTTURE E MOBILITÀ Ing. R. Bertasio</p> <p align="center">RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO Ing. A. Strozziro</p>
LOTTO 2	CARTELLA	9.2.1	3	MTL2T1A2D	STRSNOR003		


 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Novara - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1

## INDICE

<b>1</b>	<b>GENERALITA'</b>	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>DOCUMENTI DI RIFERIMENTO</b>	<b>16</b>
<b>2.1</b>	<b>NORMATIVE DI RIFERIMENTO</b>	<b>16</b>
<b>3</b>	<b>CARATTERISTICHE DEI MATERIALI</b>	<b>17</b>
<b>3.1</b>	<b>CARATTERISTICHE DEI MATERIALI</b>	<b>17</b>
<b>4</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA</b>	<b>19</b>
<b>5</b>	<b>OPERE TEMPORANEE</b>	<b>22</b>
<b>5.1</b>	<b>MODELLO DI CALCOLO</b>	<b>22</b>
<b>5.2</b>	<b>RISULTATI DELLE ANALISI E VERIFICHE STRUTTURALI</b>	<b>27</b>
5.2.1	RISULTATI DELLE ANALISI NUMERICHE	27
5.2.1.1	Schema A	27
5.2.1.2	Schema B	27
5.2.1.3	Schema C	28
5.2.1.4	Schema D	29
5.2.2	VERIFICHE SLU-STR DELLA PARATIA	30
5.2.3	VERIFICHE SLU-GEO COLLASSO DELL'INSIEME TERRENO-OPERA	30
5.2.4	VERIFICA SLU-STR DEL PUNTONE	31
5.2.5	VERIFICA SLU-STR DEL CORDOLO DI SUPERFICIE	32
5.2.6	VERIFICA SLU-STR DELLA TRAVE DI RIPARTIZIONE	32
5.2.7	VERIFICA DEFORMAZIONI MASSIME DELLE STRUTTURE DI SOSTEGNO	33
<b>6</b>	<b>RIVESTIMENTI DEFINITIVI</b>	<b>36</b>
<b>6.1</b>	<b>PRINCIPALI ASSUNZIONI DELLA PROGETTAZIONE</b>	<b>36</b>
6.1.1	MODELLAZIONE NUMERICA E SCHEMATIZZAZIONE STRUTTURALE DEL MODELLO	36
6.1.3	COMBINAZIONI DI CARICO	38
6.1.4	RIGIDENZE DEL SUOLO ADOTTATE NEI MODELLI NUMERICI	39
<b>6.2</b>	<b>ANALISI NUMERICA E VERIFICHE STRUTTURALI</b>	<b>40</b>
6.2.1	ACCESSO A SBALZO	40
6.2.1.1	Carichi	40
6.2.1.2	Risultati dell'analisi e verifiche strutturali	44
6.2.2	ACCESSO CHIUSO	46
6.2.2.1	Carichi	46
6.2.2.2	Risultati dell'analisi e verifiche strutturali	51

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Novara - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1

6.2.3	VASCA DI ACCUMULO	53
6.2.3.1	Carichi	53
6.2.3.2	Risultati dell'analisi e verifiche strutturali	58
6.2.4	ACCESSO SPECIALE	62
-	<b>SOLETTA DI COPERTURA:</b>	62
6.2.4.1	Carichi	62
6.2.4.2	Risultati dell'analisi e verifiche strutturali	64
6.2.4.2.1	Verifiche SLU_ soletta di copertura	65
6.2.4.2.1.1	Verifica a flessione:	65
6.2.4.2.1.2	Verifica a taglio:	66
6.2.4.2.1.3	Verifica al punzonamento	67
6.2.4.2.2	Verifica fessurazione e tensioni _soletta di copertura	69
-	<b>PILASTRI DEFINITIVI</b>	70
6.2.4.2.2.1	Verifica a pressoflessione	71
-	<b>SOLETTA DI FONDO:</b>	73
6.2.4.3	Carichi	74
6.2.4.4	Risultati dell'analisi e verifiche strutturali	77
6.2.4.4.1	Verifiche SLU_ soletta di copertura	77
6.2.4.4.1.1	Verifica a flessione:	77
6.2.4.4.1.2	Verifica a taglio:	79
6.2.4.4.1.3	Verifica al punzonamento	80
6.2.4.4.2	Verifica fessurazione e tensioni _soletta di copertura	81
	<b>APPENDICE A</b>	<b>84</b>
	<b>APPENDICE B</b>	<b>92</b>
	<b>APPENDICE C</b>	<b>95</b>
	<b>APPENDICE D</b>	<b>97</b>
	<b>APPENDICE E</b>	<b>102</b>
	<b>APPENDICE F</b>	<b>111</b>
	<b>APPENDICE G</b>	<b>118</b>
	<b>APPENDICE H</b>	<b>122</b>
	<b>APPENDICE I</b>	<b>126</b>
	<b>APPENDICE J</b>	<b>134</b>

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Novara - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1

**APPENDICE K** **142**

**APPENDICE O** **161**

## 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.	Modello 3D e disposizione in pianta diversi schemi di calcolo	14
Figura 6.	Modello 3D accesso speciale	15
Figura 7.	Modello di calcolo PLAXIS (Schema C)	23
Figura 8.	Modello costitutivo Hardening Soil	23
Figura 9.	Schema A - Mesh di calcolo Plaxis	27
Figura 10.	Schema B - Mesh di calcolo Plaxis	28
Figura 11.	Schema C - Mesh di calcolo Plaxis	28
Figura 12.	Schema D - Mesh di calcolo Plaxis	29
Figura 13.	Particolare armatura trave di testa	32
Figura 14.	Spostamenti Totali - Schema A	33
Figura 15.	Spostamenti Totali - Schema B	34
Figura 16.	Spostamenti Totali - Schema C	34
Figura 17.	Spostamenti Totali - Schema D	35
Figura 18.	Schematizzazione metodo di Wood	37
Figura 19.	Modello numerico – Accesso schema a sbalzo	40
Figura 20.	Peso proprio – Accesso schema a sbalzo	41
Figura 21.	Spinta orizzontale del terreno – Accesso schema a sbalzo	42
Figura 22.	Pavimentazione – Accesso schema a sbalzo	42
Figura 23.	Folla – Accesso schema a sbalzo	43
Figura 24.	Traffico -Accesso schema a sbalzo	43
Figura 25.	Spinta sismica Direzione X – Accesso schema a sbalzo	44
Figura 26.	Schema di distribuzione dell’armatura principale – Accesso schema a sbalzo	44
Figura 27.	Schema di distribuzione dell’armatura a taglio – Accesso schema a sbalzo	45
Figura 28.	Modello numerico – Accesso schema chiuso	46
Figura 29.	Peso proprio – Accesso schema chiuso	46
Figura 30.	Spinta orizzontale del terreno – Accesso schema chiuso	47
Figura 31.	Spinta idrostatica – Accesso schema chiuso	48
Figura 32.	Ritombamento – Accesso schema chiuso	48
Figura 33.	Pavimentazione – Accesso schema chiuso	49




 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Novara - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1

Figura 34. Folla – Accesso schema chiuso	49
Figura 35. Traffico – Accesso schema chiuso	50
Figura 36. Spinta sismica direzione X – Accesso schema chiuso	50
Figura 37. Schema di distribuzione dell’armatura principale – Accesso schema chiuso	51
Figura 38. Schema di distribuzione dell’armatura a taglio – Accesso schema chiuso	51
Figura 39. Modello numerico – Vasca di accumulo antincendio	53
Figura 40. Peso proprio – Vasca di accumulo antincendio	53
Figura 41. Spinta orizzontale del terreno – Vasca di accumulo antincendio	54
Figura 42. Spinta idrostatica – Vasca di accumulo antincendio	54
Figura 43. Ritombamento – Vasca di accumulo antincendio	55
Figura 44. Pavimentazione – Vasca di accumulo antincendio	55
Figura 45. Traffico – Vasca di accumulo antincendio	56
Figura 46. Spinta sismica direzione X – Vasca di accumulo antincendio	56
Figura 47. Spinta sismica direzione Y – Vasca di accumulo antincendio	57
Figura 48. Schema di distribuzione dell’armatura principale solette – Vasca di accumulo antincendio	58
Figura 49. Schema di distribuzione dell’armatura principale muri – Vasca di accumulo antincendio	59
Figura 50. Schema di distribuzione dell’armatura a taglio solette – Vasca di accumulo antincendio	59
Figura 51. Schema di distribuzione dell’armatura a taglio muri – Vasca di accumulo antincendio	60
Figura 52. Modello numerico – accesso speciale	62
Figura 53. Carichi permanenti sulla soletta di copertura	63
Figura 54. Carichi permanenti sulla soletta di copertura	64
Figura 55. Deformazione della struttura sotto carichi gravitazionali	64
Figura 56. Acciaio di rinforzo As (cm <sup>2</sup> /cm) - direzione longitudinale	65
Figura 57. Acciaio di rinforzo As (cm <sup>2</sup> /cm) - direzione trasversale	66
Figura 58. Taglio massimo	67
Figura 61. Numerazione degli pilastri	71
Figura 62. Percentuale di rinforzo longitudinale	72
Figura 63. Rinforzo longitudinale	72
Figura 64. Rinforzo trasversale	73
Figura 65. Modello numerico – soletta di fondo	74
Figura 66. Carichi gravitazionali dalla sovrastruttura	75
Figura 67. CSottoppressione idrostatica a lungo termine	76
Figura 68. Deformazione della struttura sotto carichi gravitazionali	77
Figura 69. Acciaio di rinforzo As (cm <sup>2</sup> /cm) - direzione longitudinale	78
Figura 70. Acciaio di rinforzo As (cm <sup>2</sup> /cm) - direzione trasversale	78
Figura 71. Taglio massimo	79


 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Novara - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1

Figura 74. Output PLAXIS: Inviluppo dello sforzo assiale, del taglio e del momento flettente - Schema A	86
Figura 75. Output PLAXIS: Inviluppo dello sforzo assiale, del taglio e del momento flettente - Schema B	88
Figura 76. Output PLAXIS: Inviluppo dello sforzo assiale, del taglio e del momento flettente - Schema C	89
Figura 77. Output PLAXIS: Inviluppo dello sforzo assiale, del taglio e del momento flettente - Schema D	91
Figura 78. Spostamenti orizzontali parete di micropali - Schema A	93
Figura 79. Spostamenti orizzontali parete di micropali - Schema B	93
Figura 80. Spostamenti orizzontali parete di micropali - Schema C	94
Figura 81. Spostamenti orizzontali parete di micropali - Schema D	94
Figura 82. Sforzo assiale, taglio e momento di progetto per i diversi stage di calcolo - Schema A	98
Figura 83. Tensione di verifica secondo NTC - tensione a snervamento acciaio - Schema A98	
Figura 84. Sforzo assiale, taglio e momento di progetto per i diversi stage di calcolo - Schema B	99
Figura 85. Tensione di verifica secondo NTC - tensione a snervamento acciaio - Schema B99	
Figura 86. Sforzo assiale, taglio e momento di progetto per i diversi stage di calcolo - Schema C	100
Figura 87. Tensione di verifica secondo NTC - tensione a snervamento acciaio - Schema C100	
Figura 88. Sforzo assiale, taglio e momento di progetto per i diversi stage di calcolo - Schema D	101
Figura 89. Tensione di verifica secondo NTC - tensione a snervamento acciaio - Schema D101	
Figura 90. Rapporto tra tensione tangenziale massima e tensione tangenziale mobilitata - Schema A	103
Figura 91. Tensioni orizzontali efficaci paratia - Lato monte e valle - Schema A	104
Figura 92. Confronto tensioni limite attive e passive con tensioni orizzontali Plaxis - Schema A	104
Figura 93. Rapporto tra tensione tangenziale massima e tensione tangenziale mobilitata - Schema B	105
Figura 94. Tensioni orizzontali efficaci paratia - Lato monte e valle - Schema B	106
Figura 95. Confronto tensioni limite attive e passive con tensioni orizzontali Plaxis - Schema B	106
Figura 96. Rapporto tra tensione tangenziale massima e tensione tangenziale mobilitata - Schema C	107
Figura 97. Tensioni orizzontali efficaci paratia - Lato monte e valle - Schema C	108
Figura 98. Confronto tensioni limite attive e passive con tensioni orizzontali Plaxis - Schema C	108
Figura 99. Rapporto tra tensione tangenziale massima e tensione tangenziale mobilitata - Schema D	109
Figura 100. Tensioni orizzontali efficaci paratia - Lato monte e valle - Schema D	110


 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Novara - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1

Figura 101. Confronto tensioni limite attive e passive con tensioni orizzontali Plaxis – Schema D	110
Figura 102. Verifica Puntone – Schema B	113
Figura 103. Verifica Puntone – Schema C	114
Figura 104. Verifica Puntone – Schema D	116
Figura 105. Verifica Puntone – Schema D	117
Figura 106. Particolare armature trave di testa	119
Figura 107. Particolare armature trave di testa	121
Figura 108. Momento flettente M3-3	127
Figura 109. Taglio combinato	127
Figura 110. Momento flettente M3-3	128
Figura 111. Taglio combinato	128
Figura 112. Momento flettente M3-3	129
Figura 113. Taglio combinato	129
Figura 114. Momento flettente M3-3	130
Figura 115. Taglio combinato	130
Figura 116. Momento flettente M3-3	131
Figura 117. Taglio combinato	131
Figura 118. Momento flettente M3-3	135
Figura 119. Taglio combinato	135
Figura 120. Momento flettente M3-3	136
Figura 121. Taglio combinato	136
Figura 122. Momento flettente M3-3	137
Figura 123. Taglio combinato	137
Figura 124. Momento flettente M3-3	138
Figura 125. Taglio combinato	138
Figura 126. Momento flettente M3-3	139
Figura 127. Taglio combinato	139
Figura 128. Momento flettente MXX Lembo superiore e MXX Lembo inferiore	143
Figura 129. Momento flettente MYY Lembo superiore e MYY Lembo inferiore	143
Figura 130. Taglio combinato	143
Figura 131. Momento flettente MXX Lembo superiore e MXX Lembo inferiore	144
Figura 132. Momento flettente MYY Lembo superiore e MYY Lembo inferiore	144
Figura 133. Taglio combinato	144
Figura 134. Momento flettente MXX Lembo superiore e MXX Lembo inferiore	145
Figura 135. Momento flettente MYY Lembo superiore e MYY Lembo inferiore	145
Figura 136. Taglio combinato	145
Figura 137. Momento flettente MXX Lembo superiore e MXX Lembo inferiore	146
Figura 138. Momento flettente MYY Lembo superiore e MYY Lembo inferiore	146
Figura 139. Taglio combinato	146
Figura 140. Momento flettente MXX Lembo superiore e MXX Lembo inferiore	147



 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Novara - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1

Figura 141. Momento flettente MYY Lembo superiore e MYY Lembo inferiore	147
Figura 142. Taglio combinato	147
Figura 143. Momento flettente MXX Lembo superiore e MXX Lembo inferiore	148
Figura 144. Momento flettente MYY Lembo superiore e MYY Lembo inferiore	148
Figura 145. Taglio combinato	148
Figura 146. Momento flettente MXX Lembo superiore e MXX Lembo inferiore	149
Figura 147. Momento flettente MYY Lembo superiore e MYY Lembo inferiore	149
Figura 148. Taglio combinato	149
Figura 149. Momento flettente MXX Lembo superiore e MXX Lembo inferiore	150
Figura 150. Momento flettente MYY Lembo superiore e MYY Lembo inferiore	150
Figura 151. Taglio combinato	150
Figura 152. Momento flettente MXX Lembo superiore e MXX Lembo inferiore	151
Figura 153. Momento flettente MYY Lembo superiore e MYY Lembo inferiore	151
Figura 154. Taglio combinato	151
Figura 155. Momento flettente MXX Lembo Superiore e MXX Lembo Inferiore	152
Figura 156. Momento flettente MYY Lembo Superiore e MYY Lembo Inferiore	152
Figura 157. Taglio combinato	152
Figura 158. Momento flettente MXX Lembo Esterno e MXX Lembo Interno	153
Figura 159. Momento flettente MYY Lembo Esterno e MYY Lembo Interno	153
Figura 160. Taglio combinato	153
Figura 161. Momento flettente MXX Lembo Superiore e MXX Lembo Inferiore	154
Figura 162. Momento flettente MYY Lembo Superiore e MYY Lembo Inferiore	154
Figura 163. Taglio combinato	154
Figura 164. Momento flettente MXX Lembo Superiore e MXX Lembo Inferiore	155
Figura 165. Momento flettente MYY Lembo Superiore e MYY Lembo Inferiore	155
Figura 166. Taglio combinato	155
Figura 167. Momento flettente MXX Lembo Esterno e MXX Lembo Interno	156
Figura 168. Momento flettente MYY Lembo Esterno e MYY Lembo Interno	156
Figura 169. Taglio combinato	156
Figura 170. Momento flettente MXX Lembo Superiore e MXX Lembo Inferiore	157
Figura 171. Momento flettente MYY Lembo Superiore e MYY Lembo Inferiore	157
Figura 172. Taglio combinato	157

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Novara - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1

## 1 GENERALITA'

La presente relazione si inserisce nell'ambito della progettazione definitiva della Metropolitana Automatica di Torino – Linea2. In particolare, il presente elaborato descrive i calcoli e le verifiche relative alle opere provvisorie di sostegno per lo scavo degli accessi, delle ventilazioni e della vasca di accumulo della stazione di Verona, 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 219.1/8 e 298.5/8 messi in contrasto alla trave di coronamento o, mediante trave di ripartizione, al diaframma di stazione.

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

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

- **Schema A:** micropali di lunghezza 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.

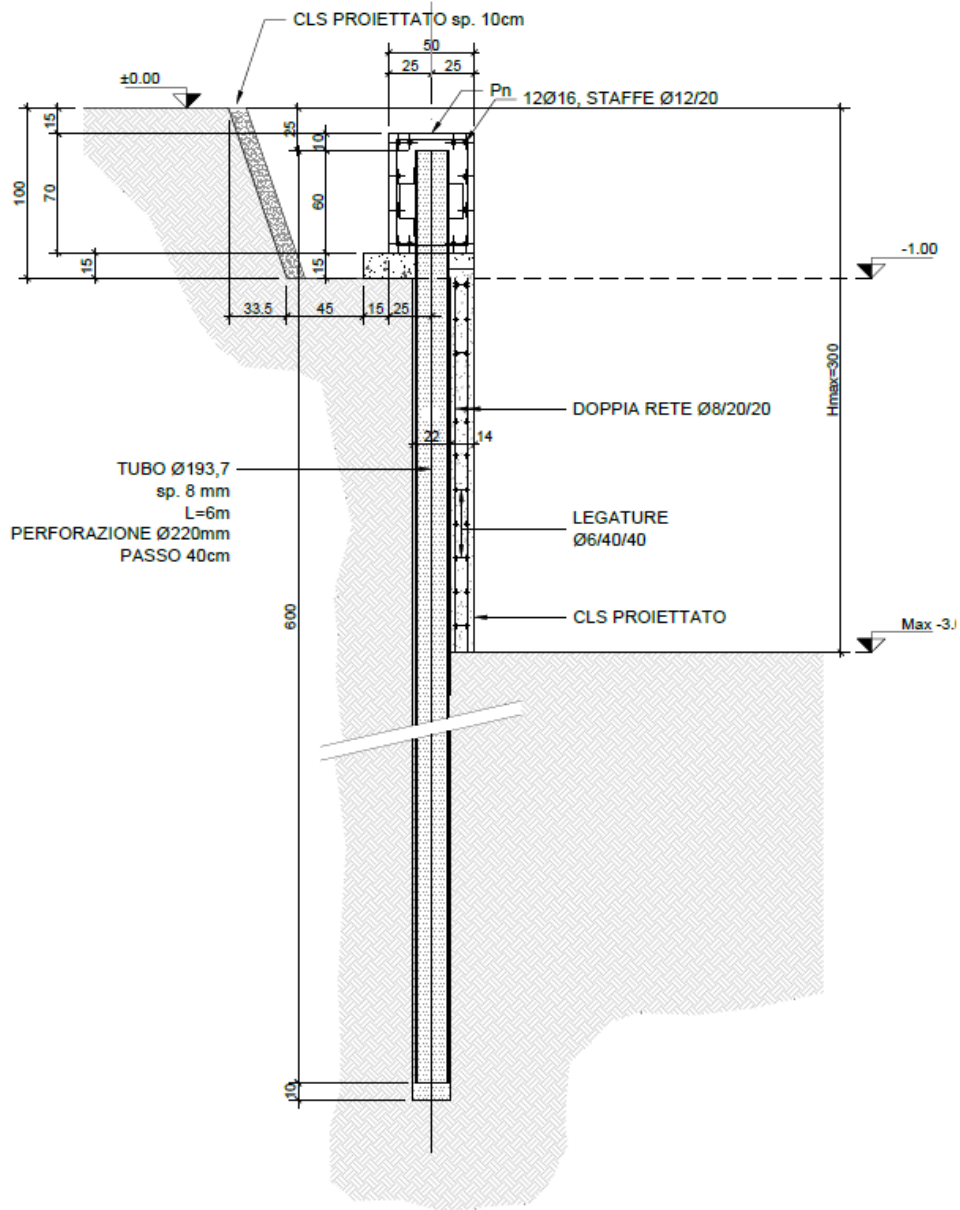


CITTA' DI TORINO

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

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

MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1



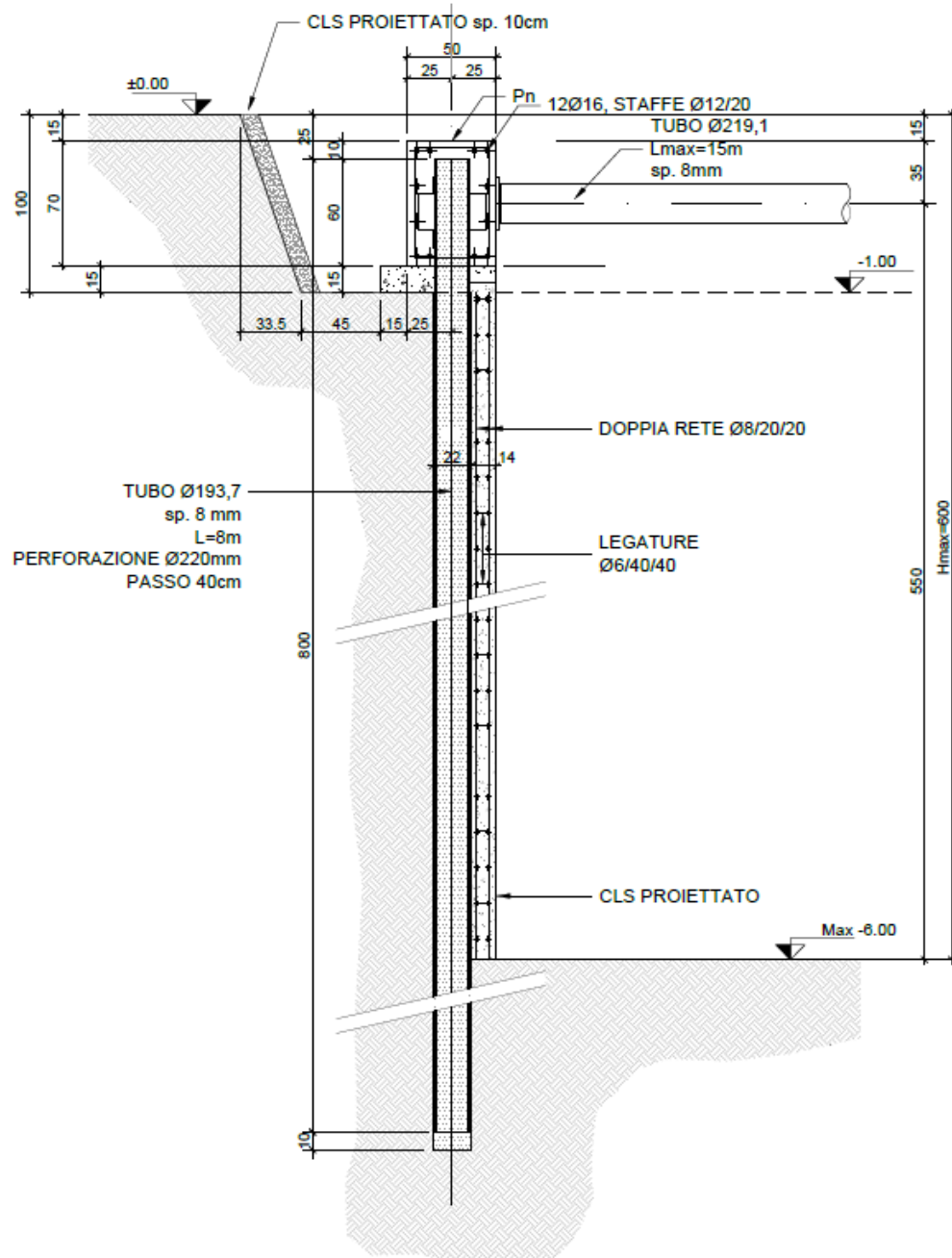


CITTA' DI TORINO

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

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

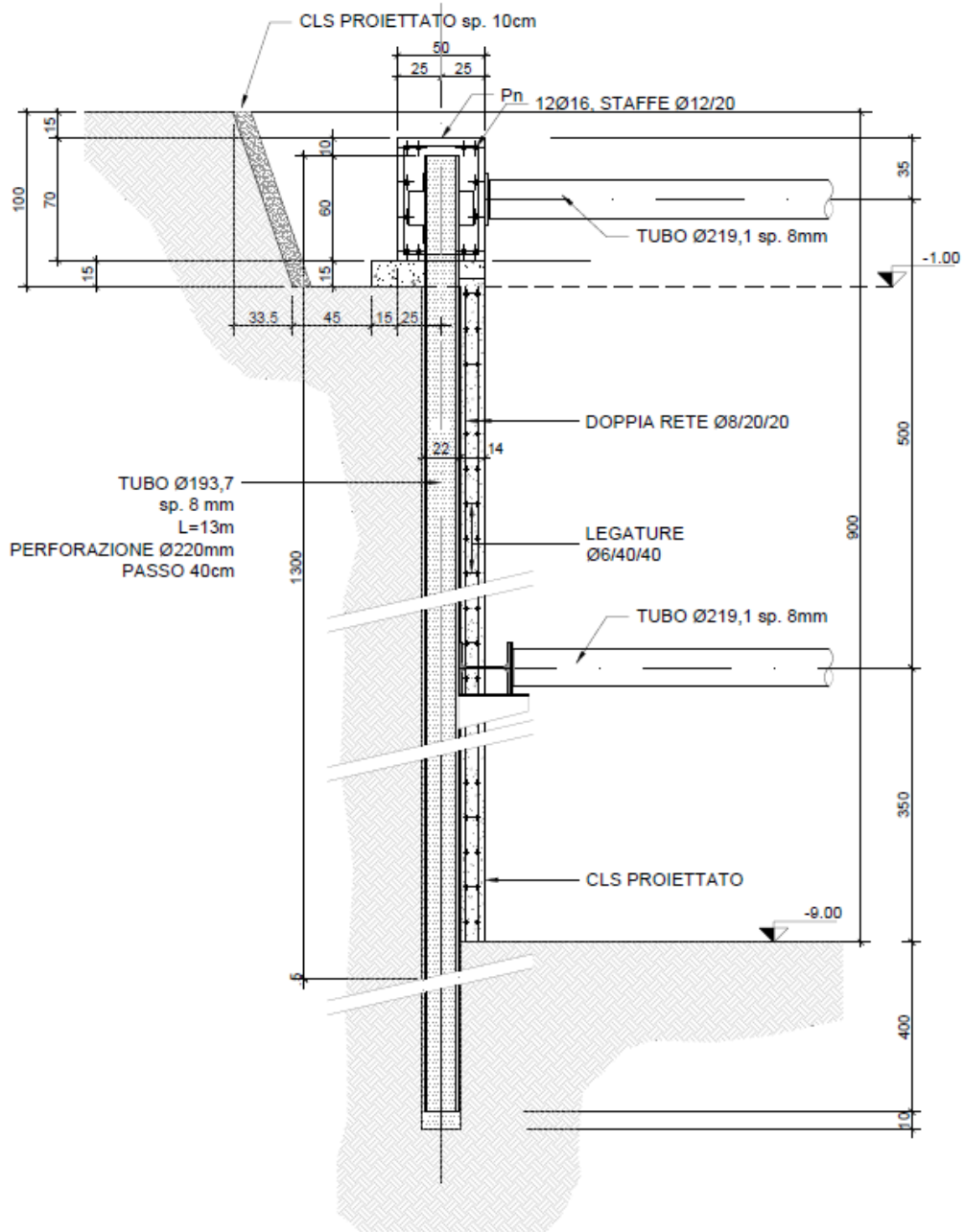
MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1












 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Novara - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1

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

- Accesso a sbalzo: Parte più superficiale degli accessi, schema strutturale di una parete a sbalzo alta 5.5m con soletta di fondazione, entrambi con spessore 60cm;
- Accesso chiuso: Parte più profonda degli accessi, schema strutturale di uno scatolare continuo di altezza 6.5m con soletta di fondazione e copertura, tutti con spessore 60cm;
- Vasca antincendio: schema strutturale di uno scatolare continuo di altezza 6.5m con soletta di fondazione e copertura, tutti con spessore 60cm, dimensioni approssimative 15mx6m;
- Accesso speciale: Struttura scatolare chiusa adiacente al corpo stazione (Figura 6)

Di seguito vengono indicate le applicazioni delle sezioni tipo di scavo per la stazione in oggetto, in azzurro vengono indicati gli schemi A, in arancione gli schemi B, in verde gli schemi C, in marrone lo schema D.

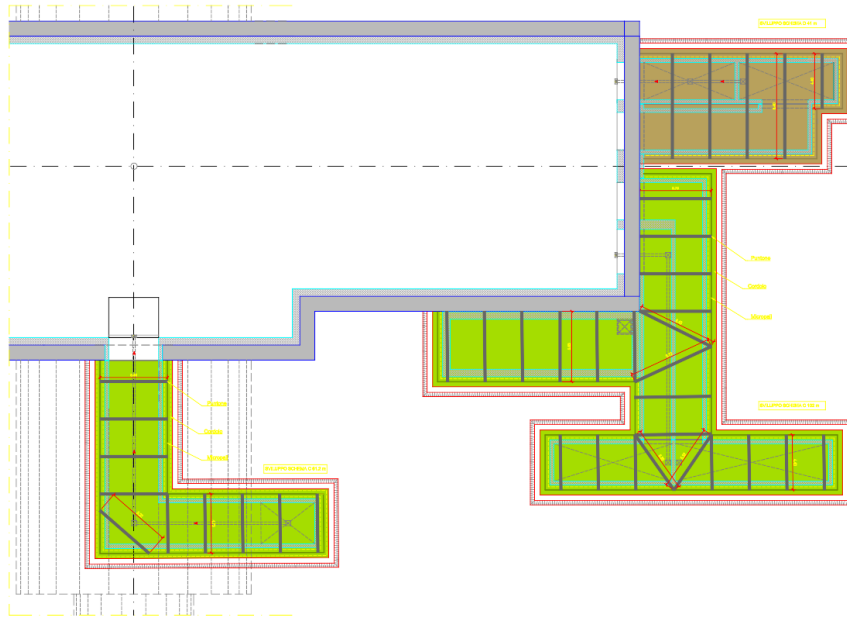
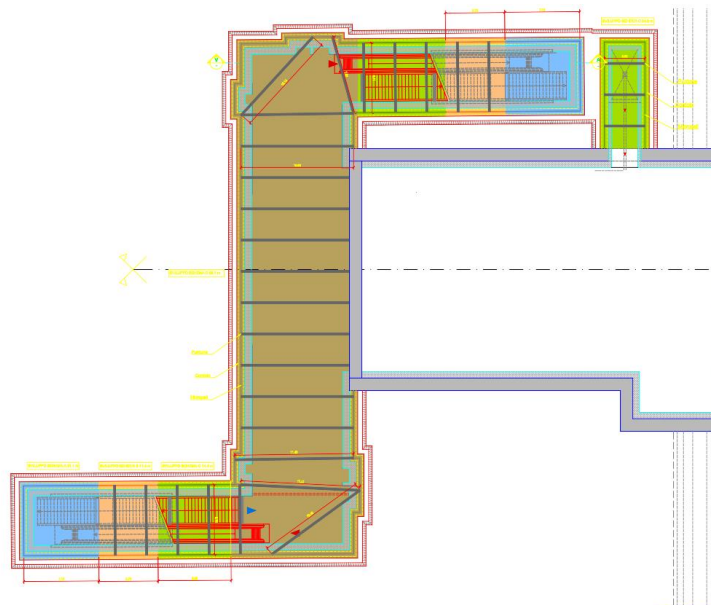


Figura 5. M<sub>c</sub>





CITTA' DI TORINO

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

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

MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1

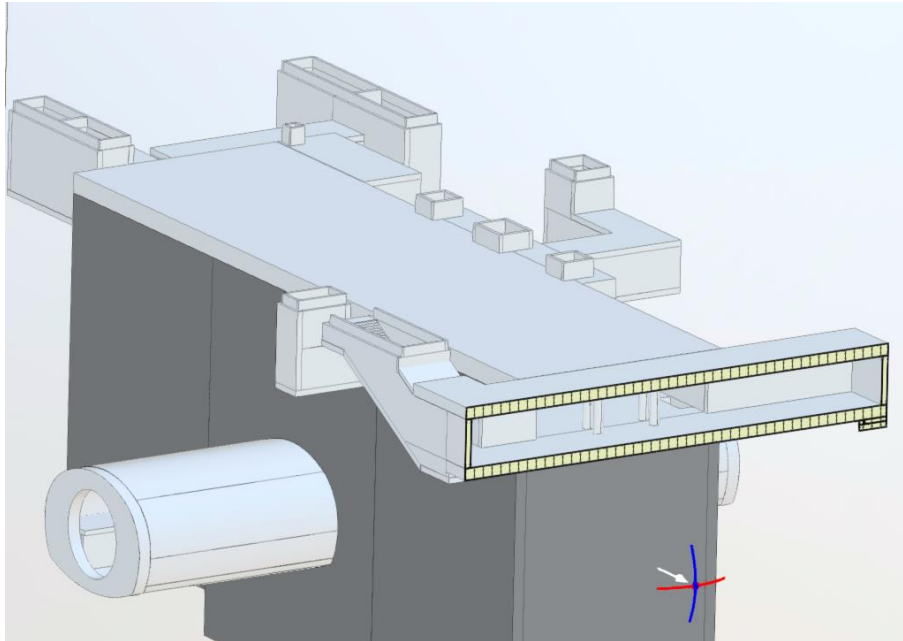



Figura 6. Modello 3D accesso speciale


 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Novara - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1

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

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Novara - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1

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 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Novara - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1


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:	$\gamma=25$ KN/m <sup>3</sup>
Classe di Esposizione	XC3 (Calcestruzzo all'interno di edifici con umidità dell'aria moderata oppure elevata / Calcestruzzo esposto all'esterno protetto dalla pioggia)

- **Acciaio di armatura**

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

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

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

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Novara - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1

- **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 di riferimento (da MTL2T1A0DGEOSNOT001)	11.5	+215.0
B T (+1.5 da livello piezometrico di riferimento) - Fase costruttiva	10.0	+216.5
L T (+3 da breve termine) – Fase di lungo termine	7.0	+219.5

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 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Novara - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1

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

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 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Novara - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1

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

Tabel	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 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Novara - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1

## 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.

5.1.1 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.

#### 5.1.2 Criteri di modellazione

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

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

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

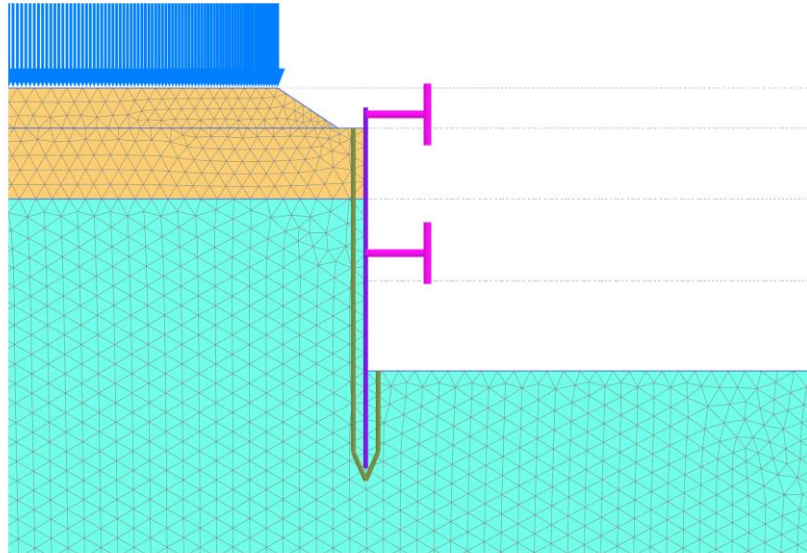
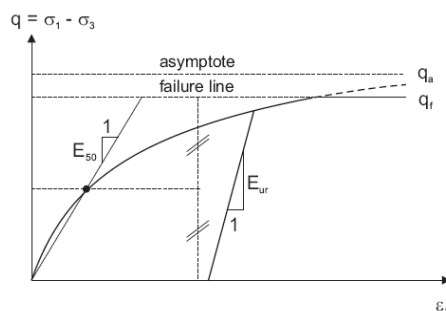


Figura 7. Modello di calcolo PLAXIS (Schema C)

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  $E_{ur}$ .




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

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

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

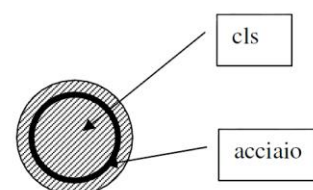
L'attrito tra parete e terreno è stato simulato nel software mediante l'introduzione di una interfaccia. L'attrito è stato posto pari al 50% della resistenza al taglio del terreno.

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

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Novara - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1

- **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	$t=8\text{mm}$
- momento di inerzia palo in acciaio	$I_S=1.814e7 \text{ mm}^4$
- modulo elasticità acciaio	$E_S=210000 \text{ MPa}$
- diametro di perforazione palo	$D_P=220.0 \text{ mm}$
- momento di inerzia area malta	$I_C=9.483e7 \text{ mm}^4$
- modulo di elasticità malta	$E_C=22000 \text{ MPa}$
- interasse tra i pali	$i=400 \text{ mm}$

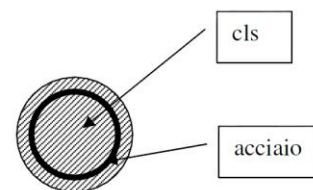


L'inerzia equivalente, scegliendo il calcestruzzo come materiale rispetto al quale omogeneizzare la sezione, risulta:

$$I_{EQ} = (E_C I_C + E_S I_S) / (i \times E_C) = 7.68e-4 \text{ m}^4 \quad h_{EQ} = (12 \times I_{EQ})^{1/3} = 0.210 \text{ m}$$

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

- diametro esterno palo in acciaio	$D_A=355.6 \text{ mm}$
- spessore palo in acciaio	$t=8\text{mm}$
- momento di inerzia palo in acciaio	$I_S=1.18e8 \text{ mm}^4$
- modulo elasticità acciaio	$E_S=210000 \text{ MPa}$
- diametro di perforazione palo	$D_P=400.0 \text{ mm}$
- modulo di elasticità malta	$E_C=22000 \text{ MPa}$
- interasse tra i pali	$i=500 \text{ mm}$



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

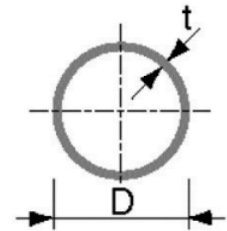
$$I_{EQ} = (E_C I_C + E_S I_S) / (i \times E_C) = 4.53e-3 \text{ m}^4 \quad h_{EQ} = (12 \times I_{EQ})^{1/3} = 0.379 \text{ m}$$

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

- **Tipologia di puntone 1**



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



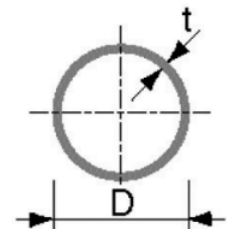
La rigidezza del puntone a metro lineare risulta dunque:

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

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


### • Tipologia di puntone 2

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



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

Lo scavo è stato simulato mediante diverse fasi di calcolo al fine di seguire la non linearità di comportamento del terreno. Con riferimento alla tabella 6, si riportano le fasi costruttive simulate nel software per tutti gli schemi considerati:

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Novara - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1

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	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 <u>Stage 6</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 installazione del secondo livello di puntoni; <u>Stage 5</u> Installazione secondo livello di puntoni <u>Stage 6</u> Scavo sino alla quota di fondo scavo.

### 5.1.3 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.

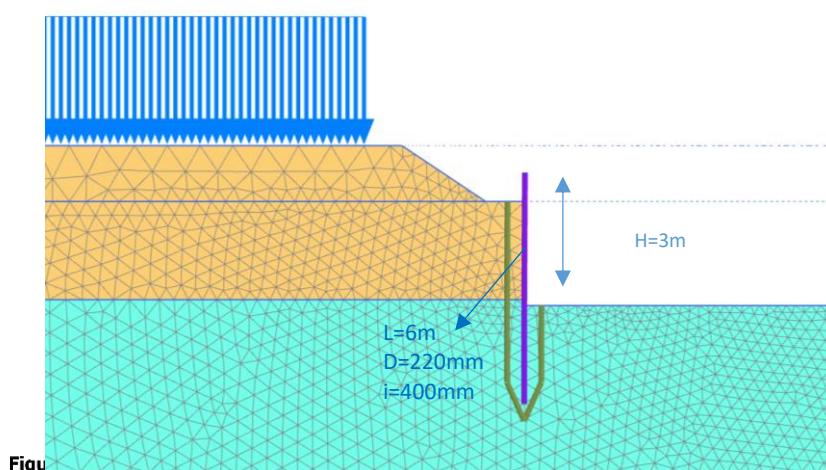
 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Novara - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1

## 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.



#### 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.



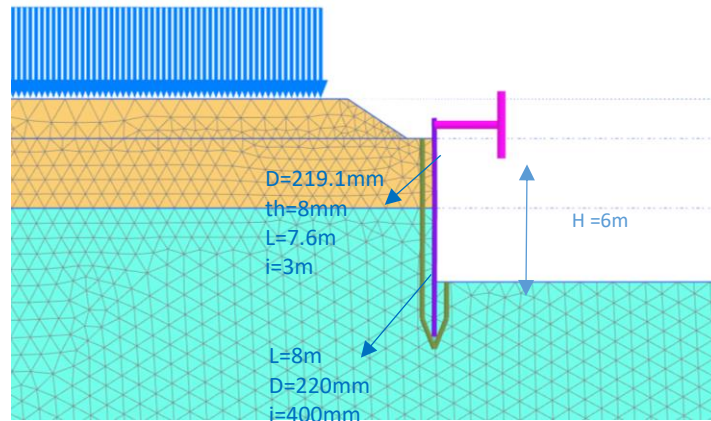
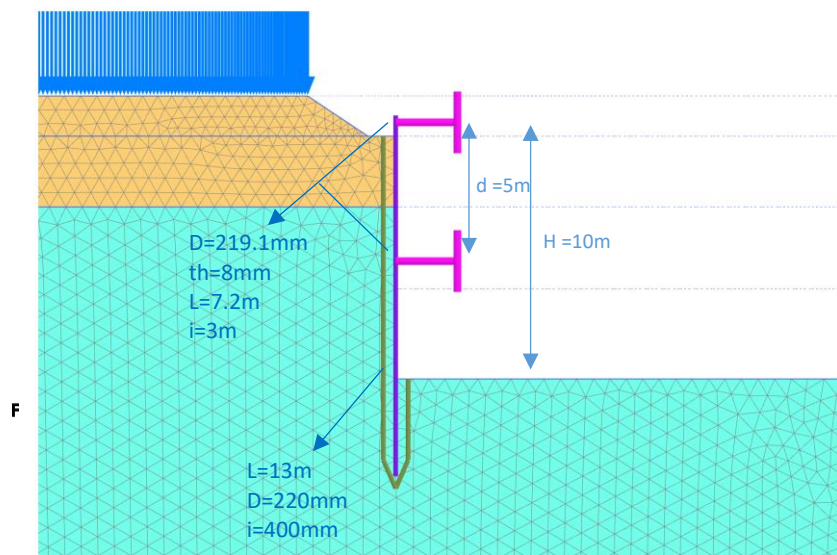


Figura 10. Schema B - Mesh di calcolo Plaxis

### 5.2.1.3 Schema C

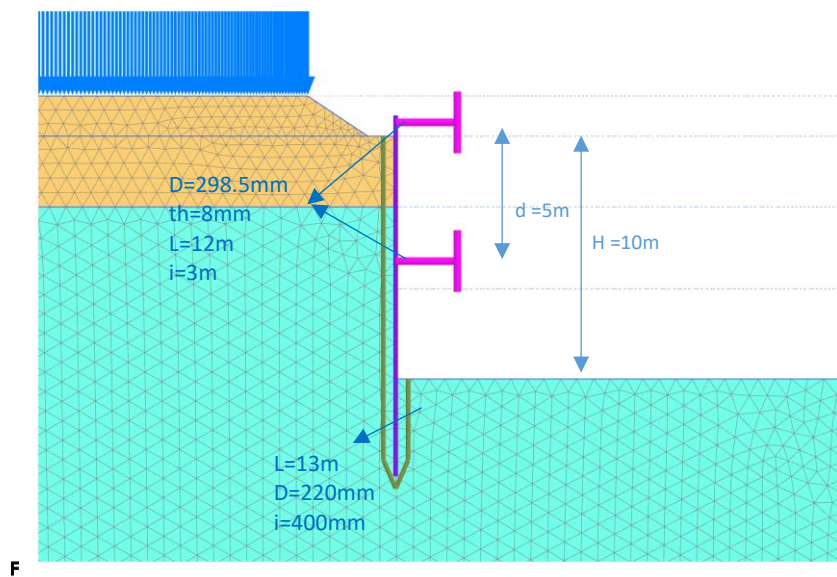
Lo Schema C è caratterizzato da micropali di lunghezza 13 metri con due livelli di vincolo, uno in testa e un altro posto successivamente 5m sotto, a sostegno di uno scavo totale di 10 metri. Tale schema è impiegato per lo scavo e la realizzazione degli accessi così come delle ventilazioni in sezione di altezza massima.






#### 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.



 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Novara - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1

### 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  $A_1+M_1+R_1$ . 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 10 kPa).

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

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

$$E_d \geq R_d$$

con

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


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

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

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

La verifica è stata condotta secondo l'approccio  $A_1-C_2$  utilizzando i coefficienti del gruppo  $A_2+M_2+R_2$  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  $M_2$ .

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 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Novara - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1

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.

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 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Novara - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1

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

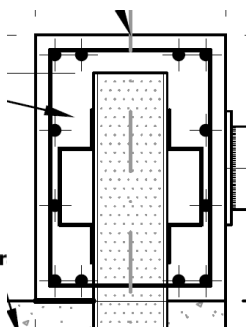
Per il dimensionamento del cordolo in cemento armato in testa alla parete di micropali si utilizza lo schema di trave su più appoggi uniformemente caricata dagli scarichi dei puntoni per unità di lunghezza. In via cautelativa, la trave è stata verificata ipotizzando un momento massimo pari a:

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

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 13. Particolare armatur




### 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 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Novara - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1

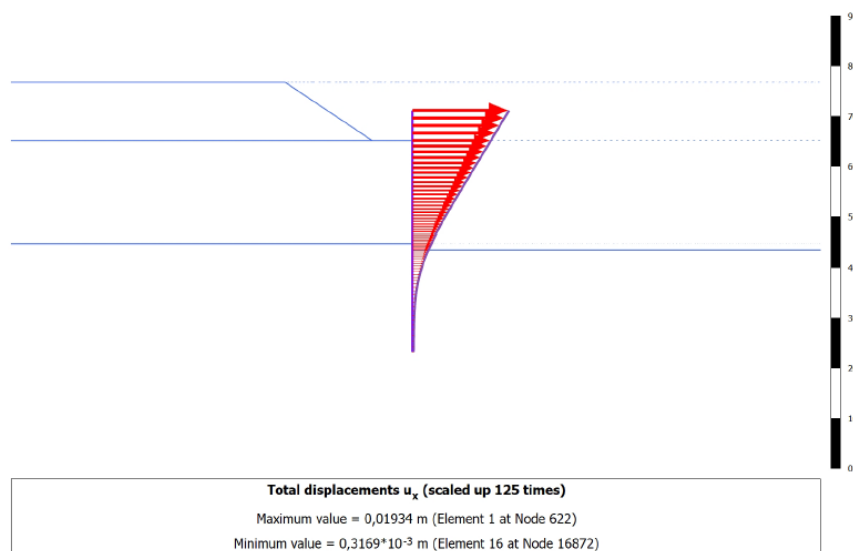
Dove q rappresenta la reazione del puntone ed L il loro interasse.

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.

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

### 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.





CITTA' DI TORINO

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

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

MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1

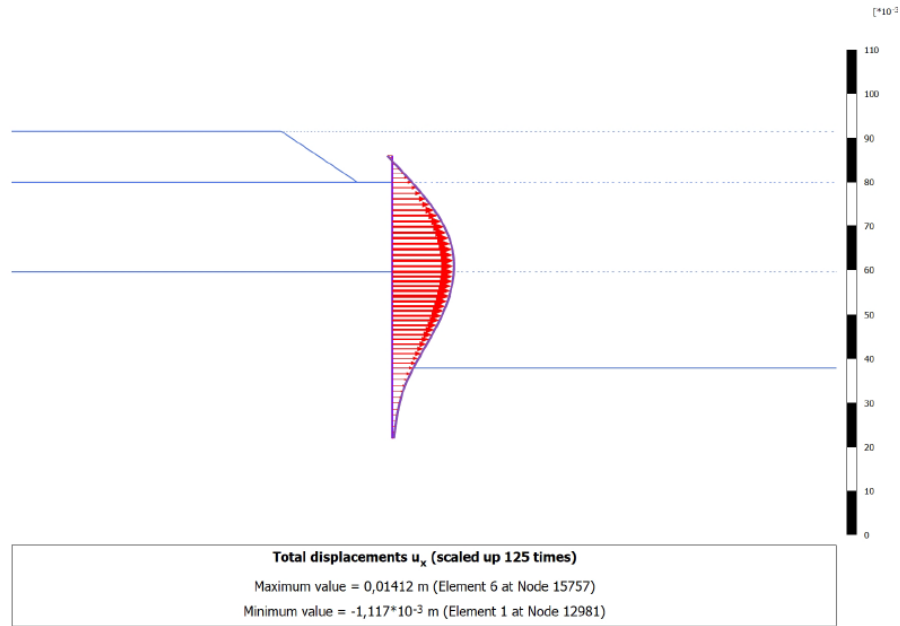
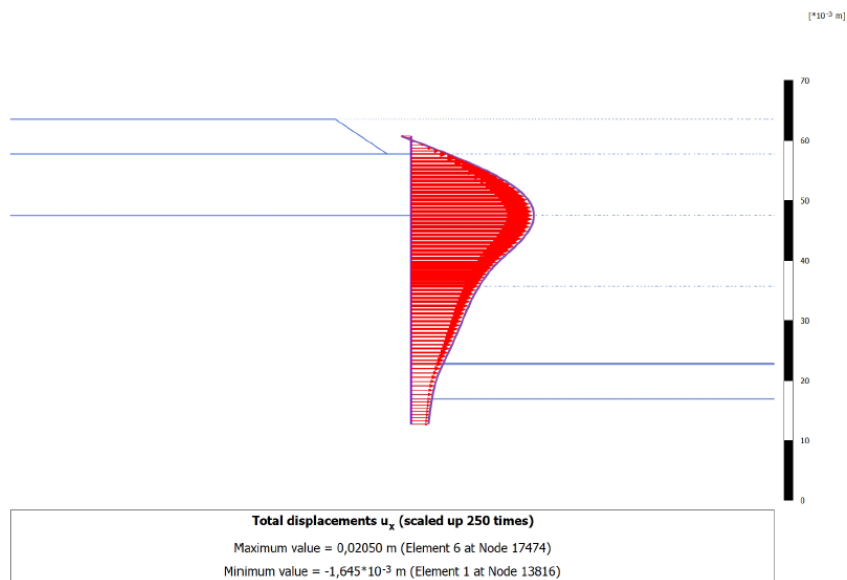


Figura 15. Spostamenti Totali - Schema B



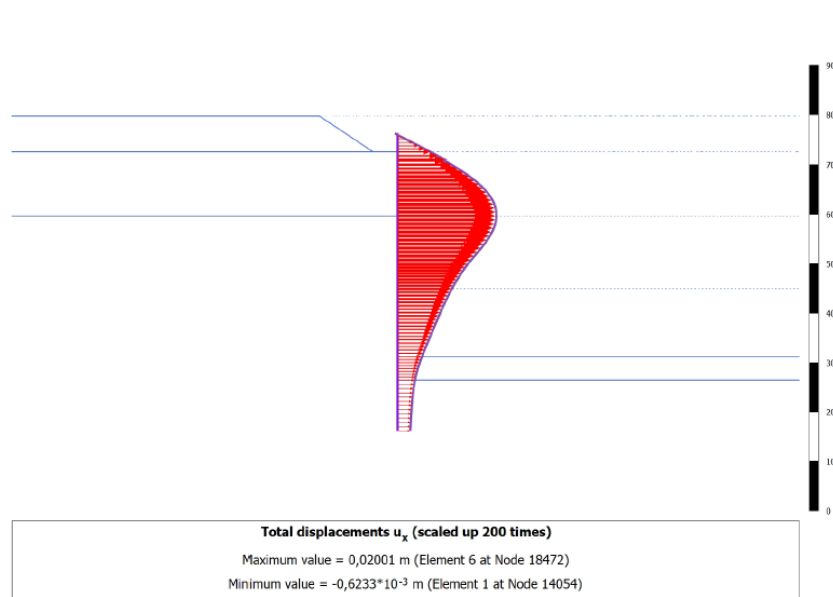



Figura 17. Spostamenti Totali - Schema D

Tabella 9 – Verifica delle deformazioni massime delle paratie di micropali

Tipologia di scavo	u <sub>s</sub> (mm)	H(m)	0.005H (mm)	u <sub>s</sub> ≤ 0.005H
Schema A	19.34	6	30	✓
Schema B	14.12	8	40	✓
Schema C	20.50	13	65	✓
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 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Novara - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1

## 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 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Novara - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1

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:

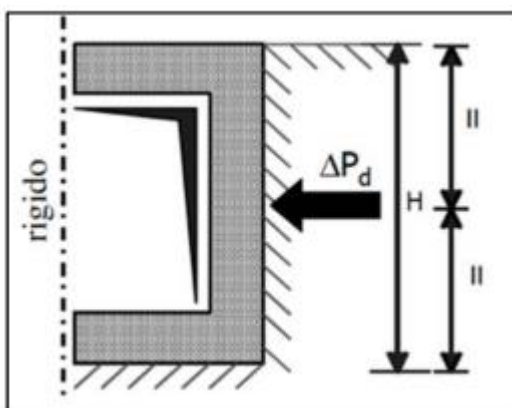
- *Coefficiente topografico ( $S_T$ )*: per superfici piane è considerato pari a **1**.
- *Coefficiente stratigrafico ( $S_s$ )*: Per sottosuolo di categoria B è considerato pari a **1.2**.

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 18. Sch.



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 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Novara - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1

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

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

**Tabella 11 Combinazioni dei carichi SLU per verifiche geotecniche**

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Novara - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1

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).

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

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

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Novara - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1

$B$  : Larghezza base

Es: Modulo di Young del suolo

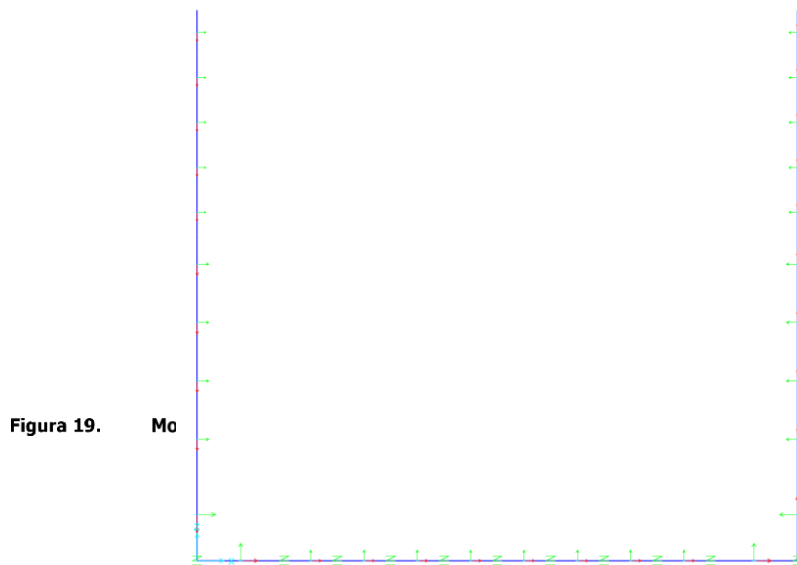
**Tabella 12 – Valori di rigidezza utilizzate nei principali modelli di calcolo**

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.



#### 6.2.1.1 Carichi

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Novara - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1

### **Carichi permanenti strutturali**

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

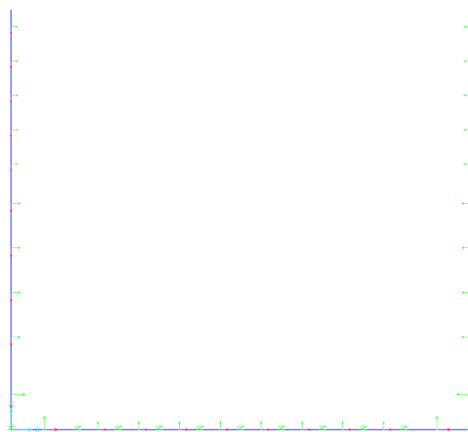


Figura 20. Peso proprio – Accesso schema a sbalzo

### **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

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


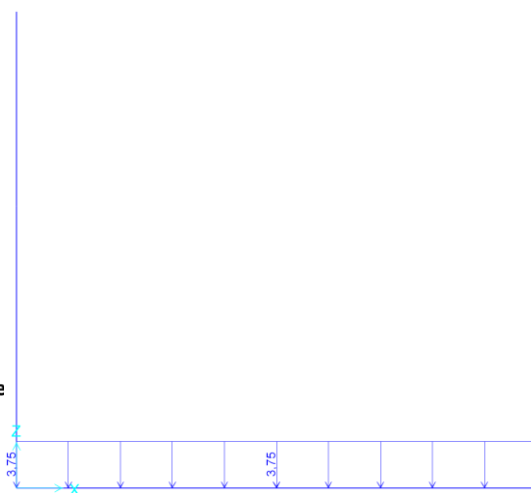
 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Novara - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1



Figura 21. Spinta orizzontale del terreno – Accesso schema a sbalzo

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

Figura 22. Pavime



### Carichi variabili

Risultano applicati i seguenti carichi:

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

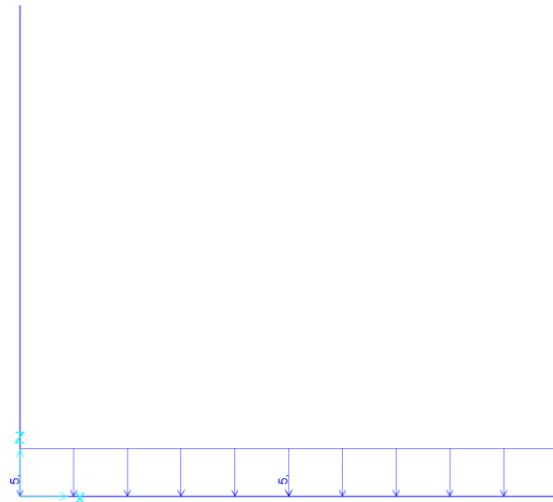


Figura 23. Folla – Accesso schema a sbalzo

**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.

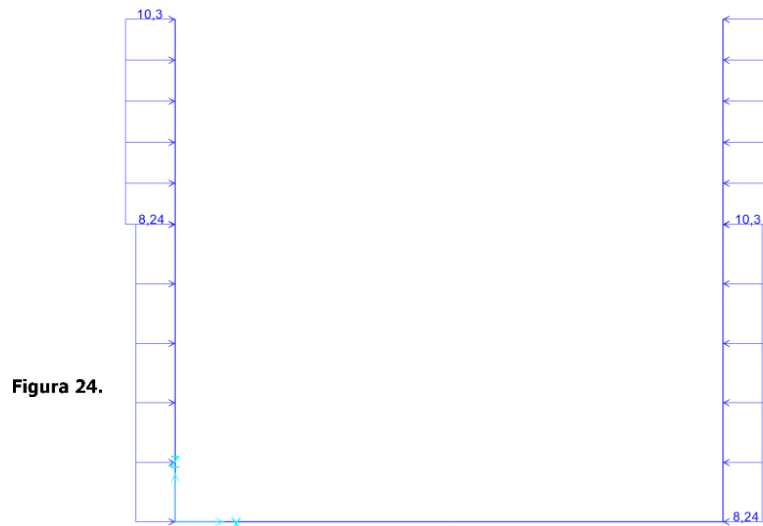



Figura 24.

**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 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Novara - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1

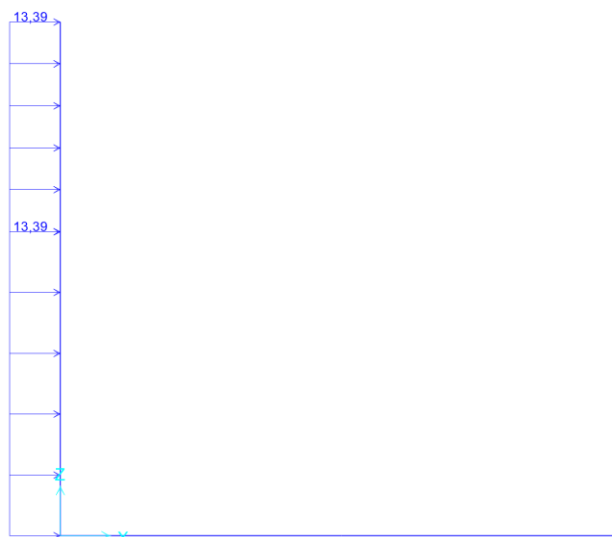


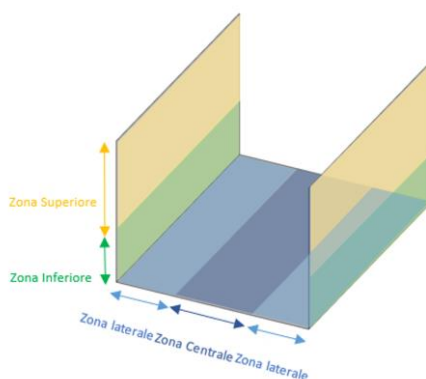
Figura 25. Spinta sismica Direzione X – Accesso schema a sbalzo

### 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 26. Schema di distribuzione



#### Armatura a Taglio

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Novara - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1

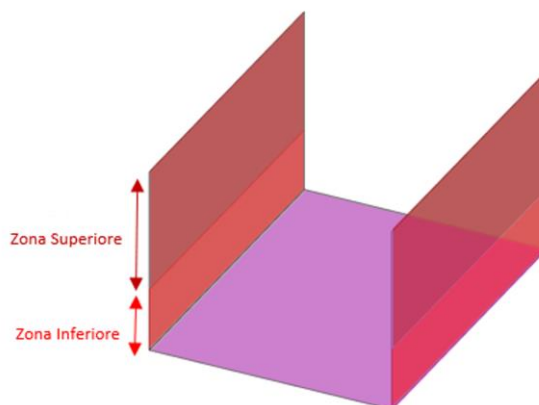



Figura 27. Schema di distribuzione dell'armatura a taglio – Accesso schema a sbalzo

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

Muri	Posizione	Armatura			
		Principale			Staffe
		Trasversale	Esterno	Interno	
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**

Soletta di fondo	Posizione	Armatura			
		Armatura principale			Staffe
		Trasversale	Superiore	Inferiore	
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		Ø10/200/200
		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 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Novara - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1

### 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.

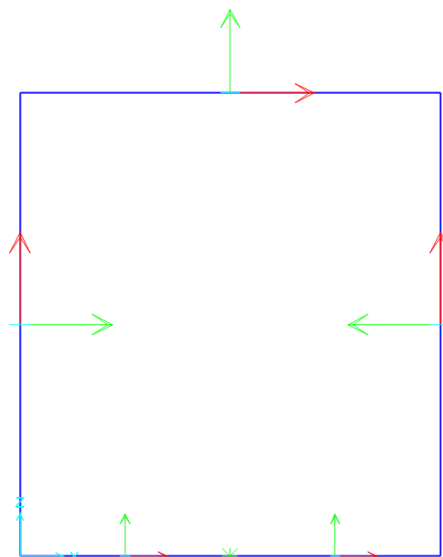


Figura 28. Modello numerico - Accesso schema chiuso

#### 6.2.2.1 Carichi

##### Carichi permanenti strutturali

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

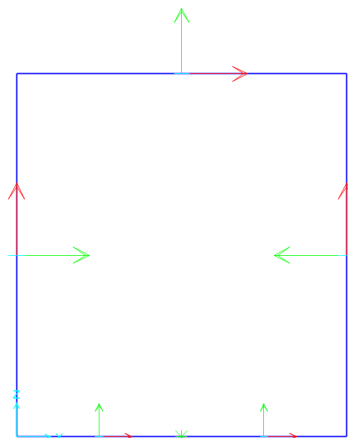



Figura 29. Peso proprio -

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Novara - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1

### **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:

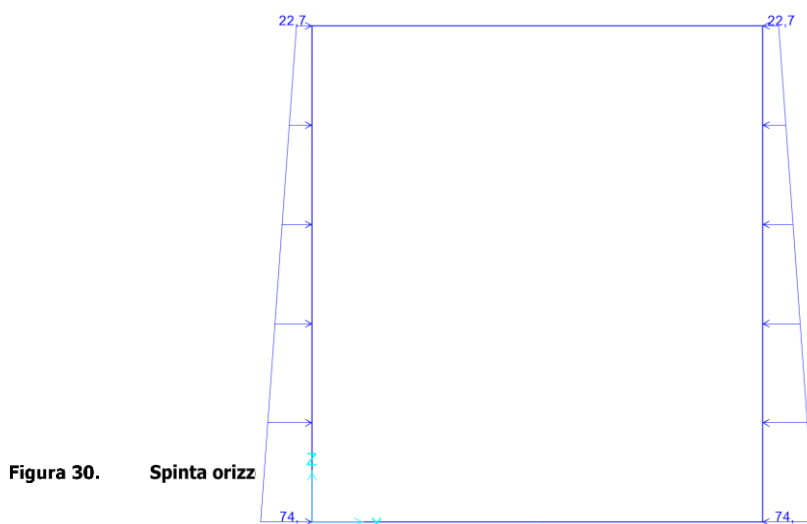
$$k_0 = 1 - \sin 29^\circ \quad 0-5.5\text{m}$$

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

- per le verifiche geotecniche e stato utilizzato


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

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



**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.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Novara - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1

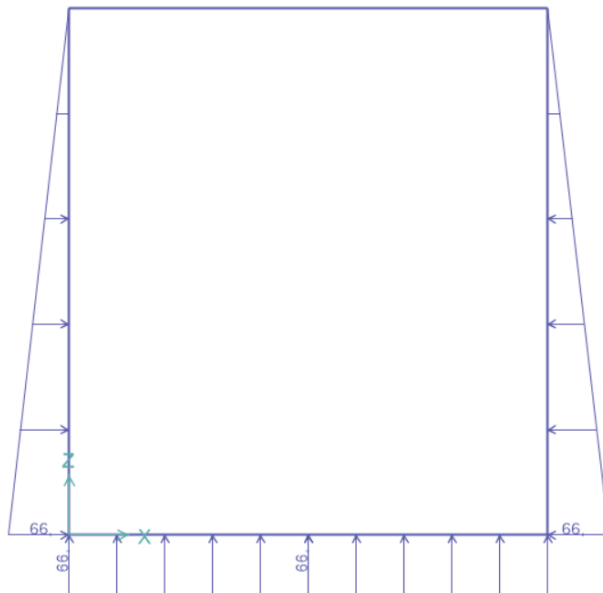


Figura 31. Spinta idrostatica – Accesso schema chiuso

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

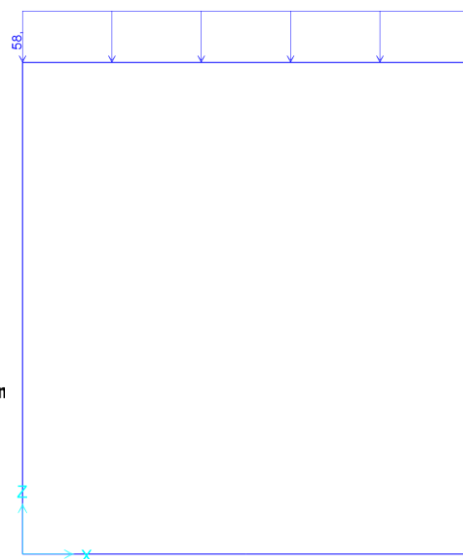


Figura 32. Ritomban

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

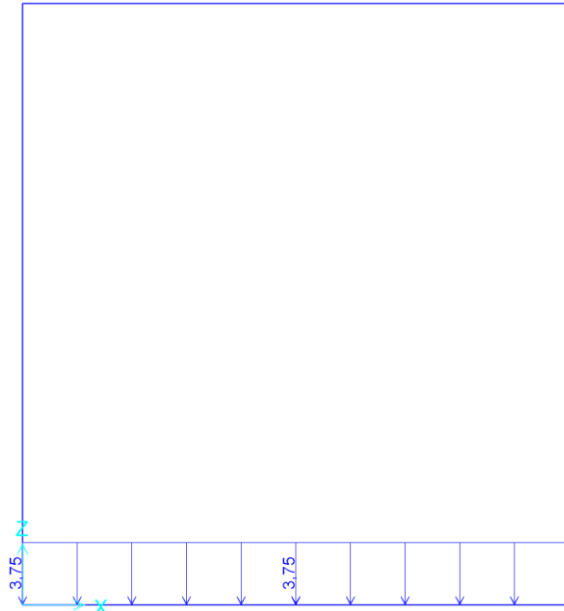


Figura 33. Pavimentazione – Accesso schema chiuso

### Carichi variabili

Risultano applicati i seguenti carichi:

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

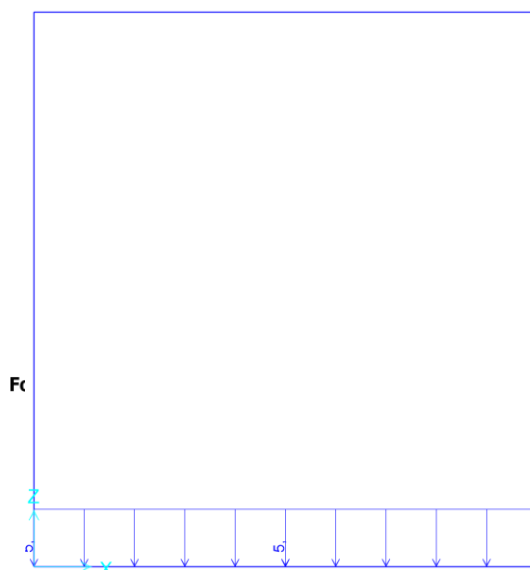

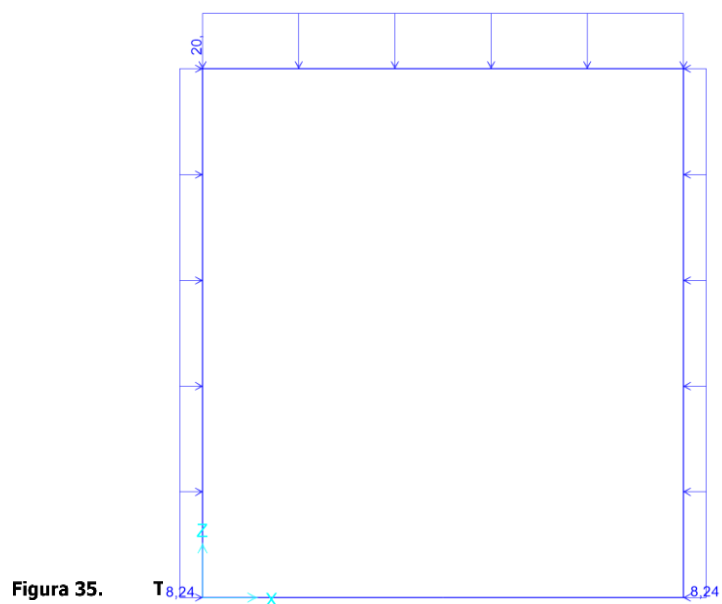


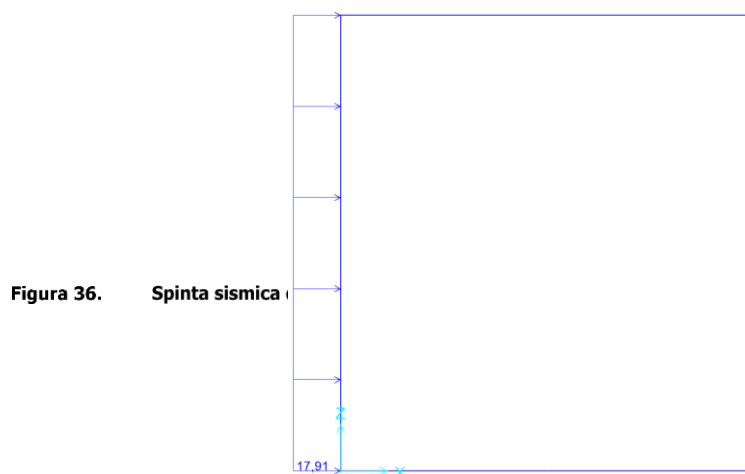
Figura 34. Fc


 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Novara - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1

**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.



**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 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Novara - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1

### 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

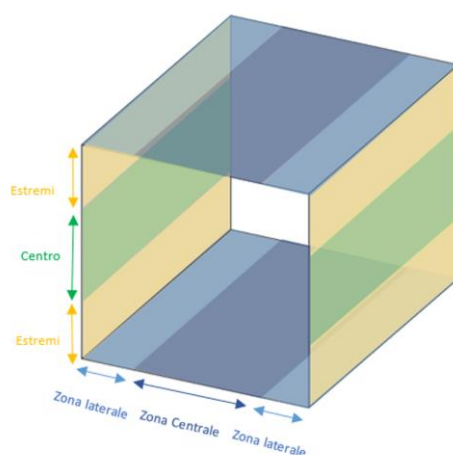


Figura 37. Schema di distribuzione c

#### Armatura a Taglio

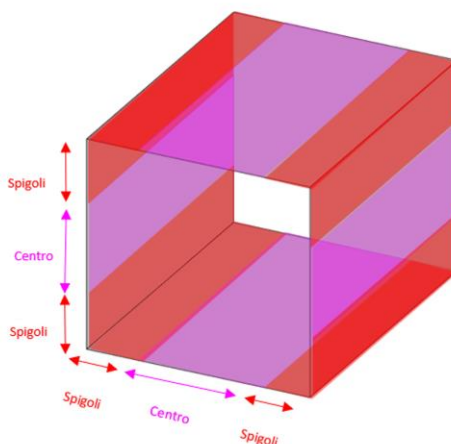



Figura 38. Schema di distribuzio

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 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Novara - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1

**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 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Novara - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1

### 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.

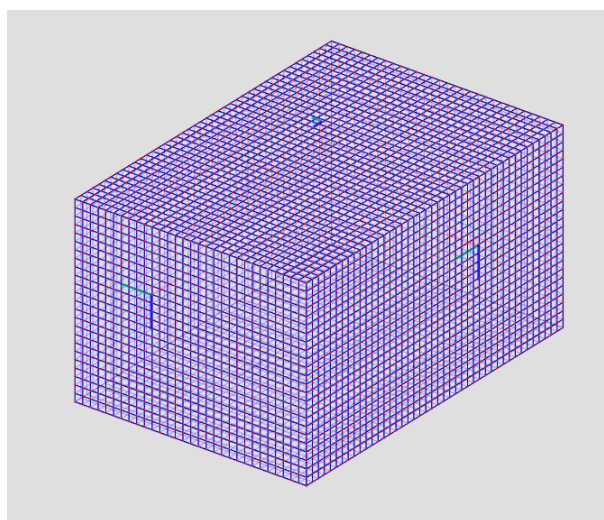


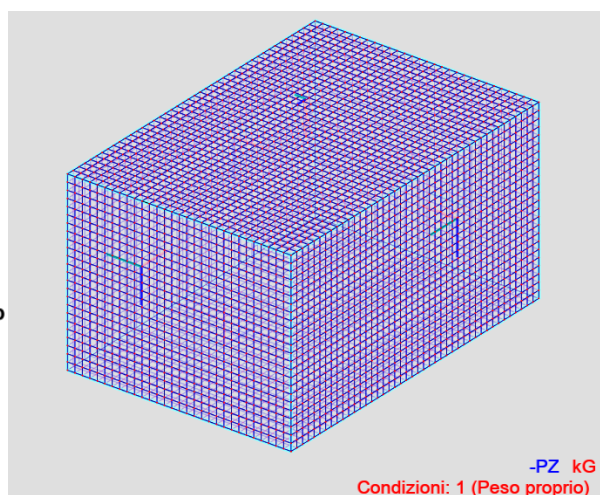
Figura 39. Modello numerico – Vasca di accumulo antincendio


#### 6.2.3.1 Carichi

##### Carichi permanenti strutturali

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

Figura 40. Peso



 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Novara - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1

**Carichi permanenti non strutturali**

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

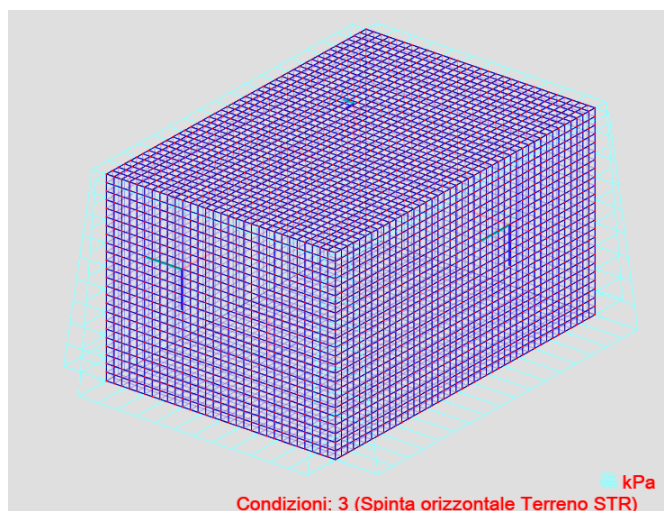


Figura 41. Spinta orizzontale del terreno – Vasca di accumulo antincendio

**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.

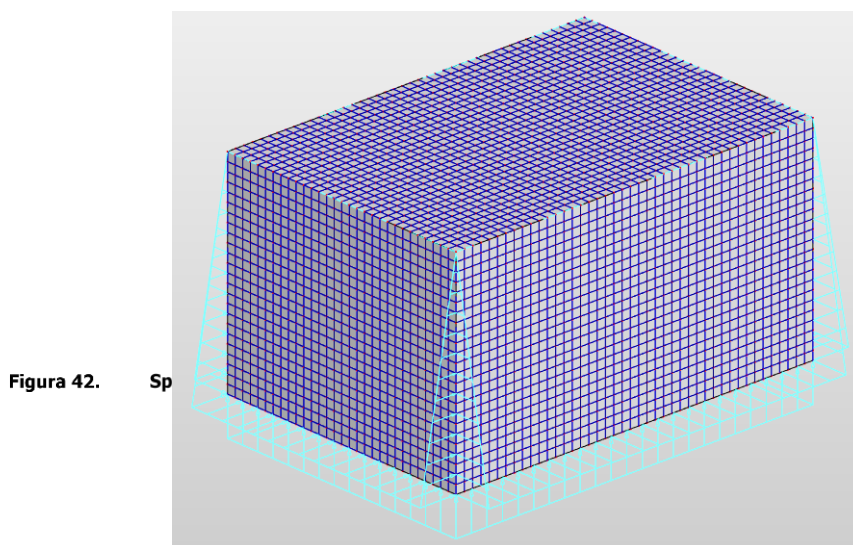



Figura 42. Sp

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Novara - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1

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

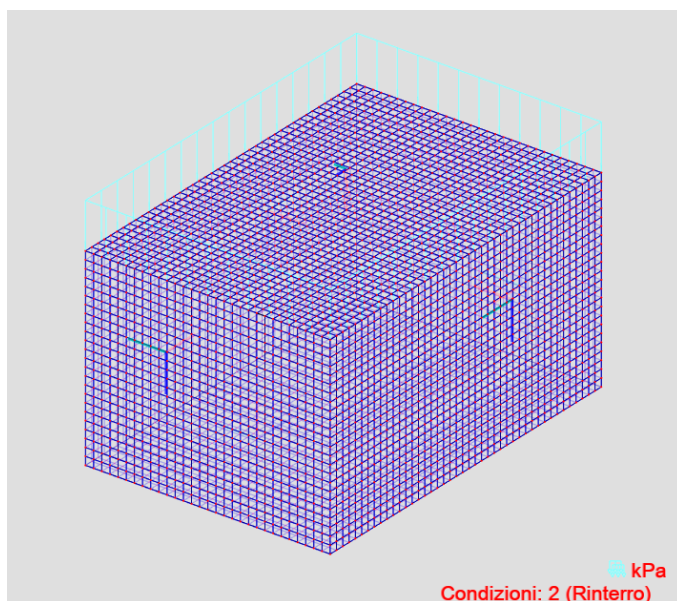


Figura 43. Ritombamento – Vasca di accumulo antincendio

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

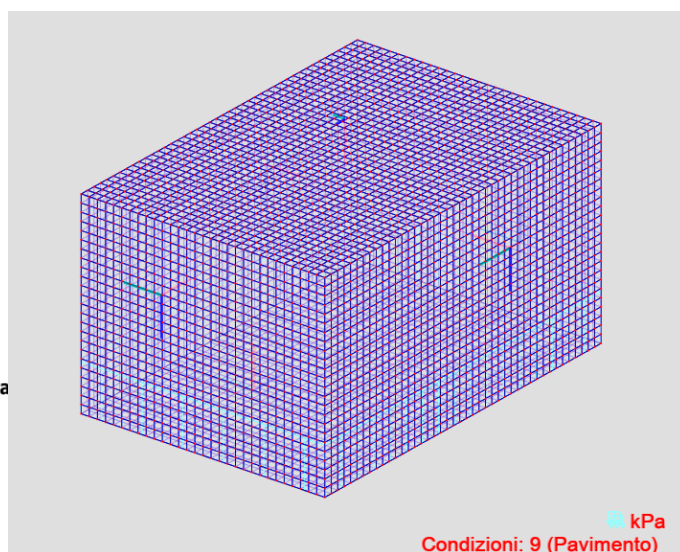



Figura 44. Pa



 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Novara - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1

### **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.

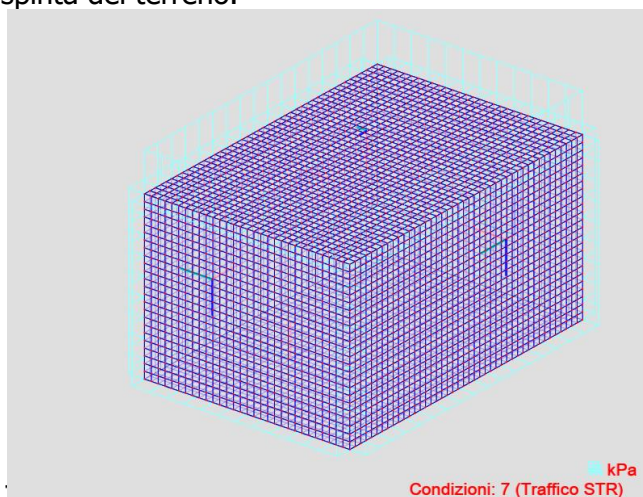


Figura 45.

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

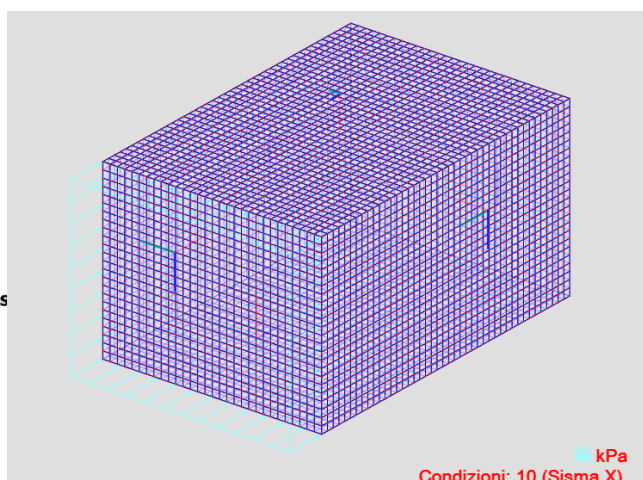

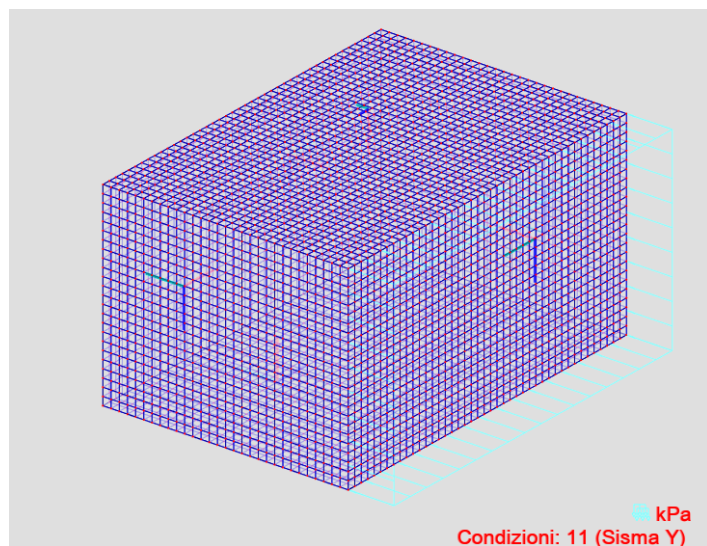


Figura 46. Spinta sis

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Novara - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1



**Figura 47. Spinta sismica direzione Y – Vasca di accumulo antincendio**



### 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

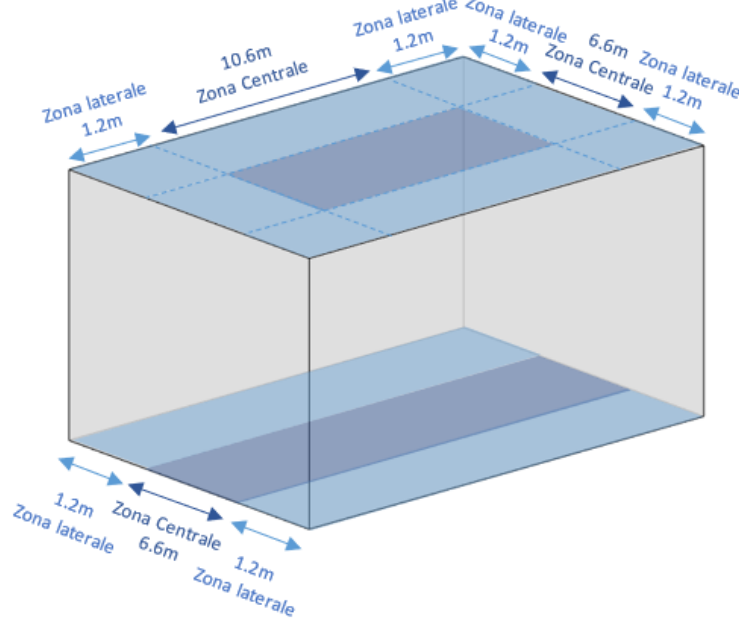



Figura 48. Schema

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Novara - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1

**Muri**

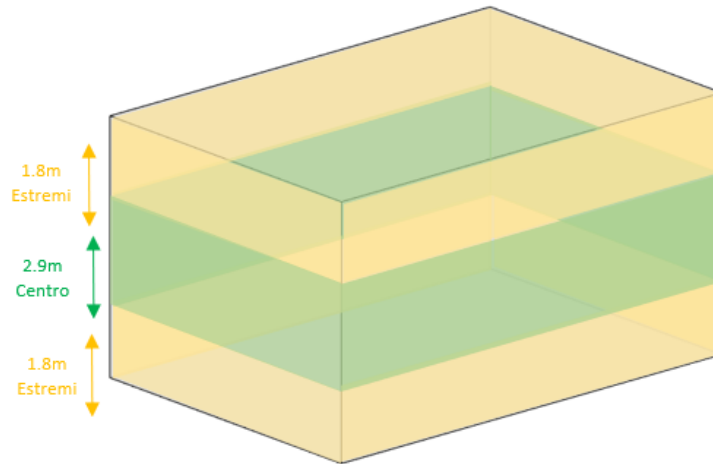


Figura 49. Schema di distribuzione dell'armatura principale muri – Vasca di accumulo antincendio

**Armatura a taglio**

**Solette**

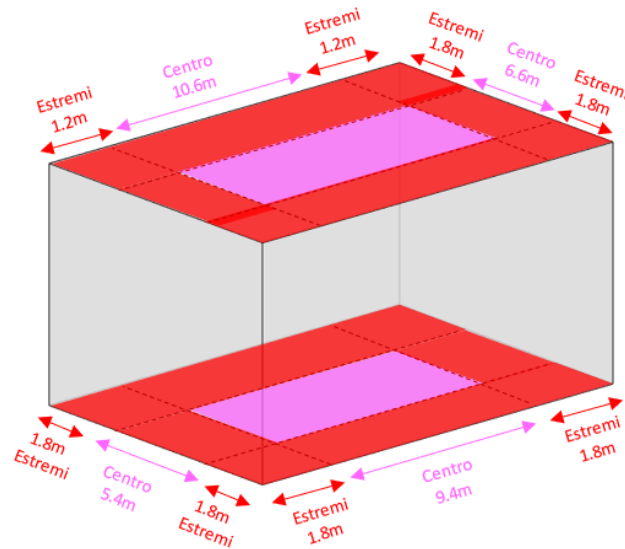



Figura 50. Schema di distribu:



 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Novara - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1

## Muri

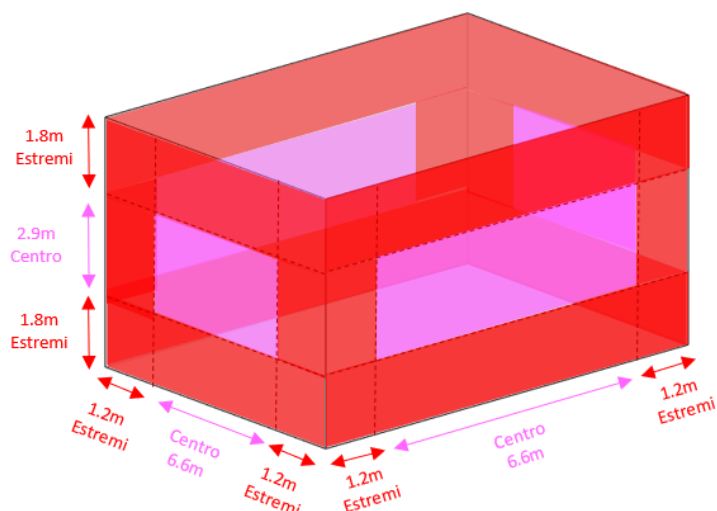



Figura 51. Schema di distribuzione dell'armatura a taglio muri – Vasca di accumulo antincendio

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

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

Tabella 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 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Novara - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1

**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 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Novara - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1

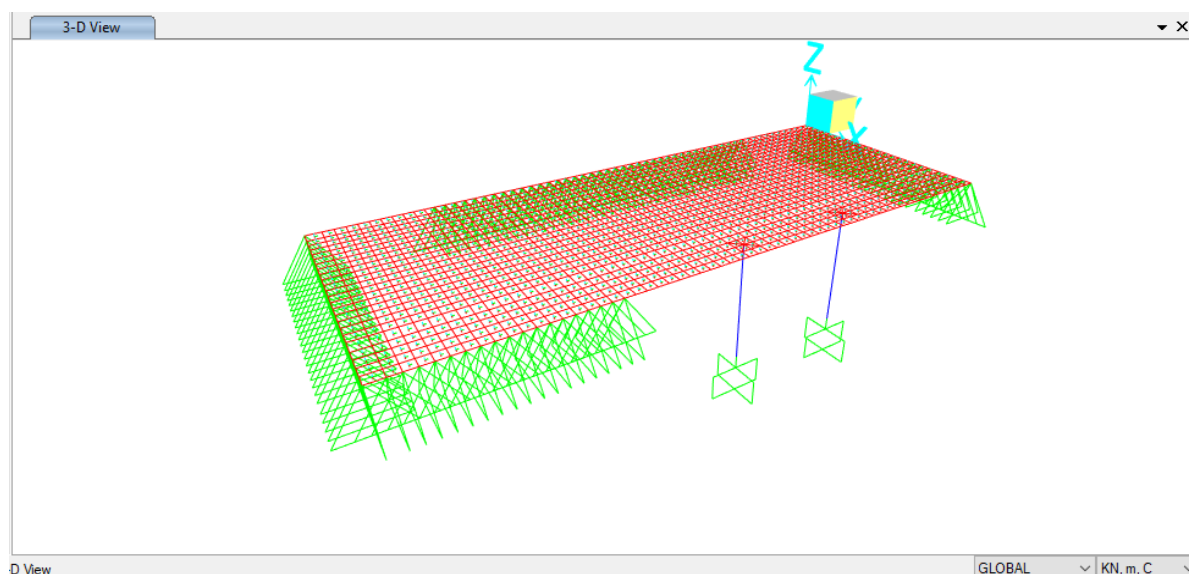
**Tabella 25 Armatura a taglio Soletta di copertura – Vasca di accumulo antincendio**

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

#### 6.2.4 Accesso speciale

##### - Soletta di copertura:

Le sovrastrutture interne considerano il solaio di copertura (piano strada), e le colonne interne sia definitivo (pilastrini), per le quali è stato sviluppato un modello tridimensionale agli elementi finiti. Figura 48 mostra uno schema semplificato del modello di analisi strutturale, evidenziando la disposizione degli elementi di tipo frame utilizzati per modellare le pilastrini finale, dal solaio di copertura al solettone di fondo, e degli elementi di tipo shell utilizzati per modellare il solai di copertura.



##### 6.2.4.1 Carichi



CITTA' DI TORINO

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

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

MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1

### Carichi permanenti strutturali

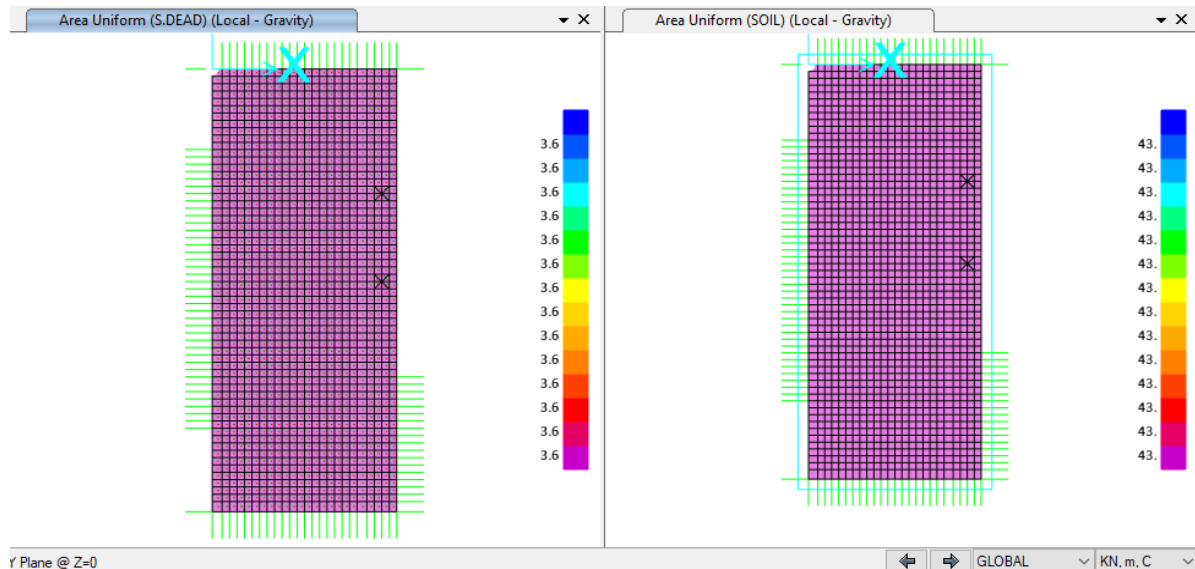
Peso proprio (calcolato automaticamente)  $1,20\text{m} \times 25 \text{ kN/m}^3 = 30,0 \text{ kN/m}^2$  (G1-Dead)

Massetto per formazione pendenze =  $0,15\text{m} \times 24 \text{ kN/m}^3 = 3,60 \text{ kN/m}^2$  (G2 - S\_Dead)

Rinterro =  $(1,63 + 0,50)\text{m} \times 20 \text{ kN/m}^3 = 43,0 \text{ kN/m}^2$  (G3 - Rinterro)

### Carichi variabili:

Sovraccarichi esterni =  $20,0 \text{ kN/m}^2$  (Q1 - Live)



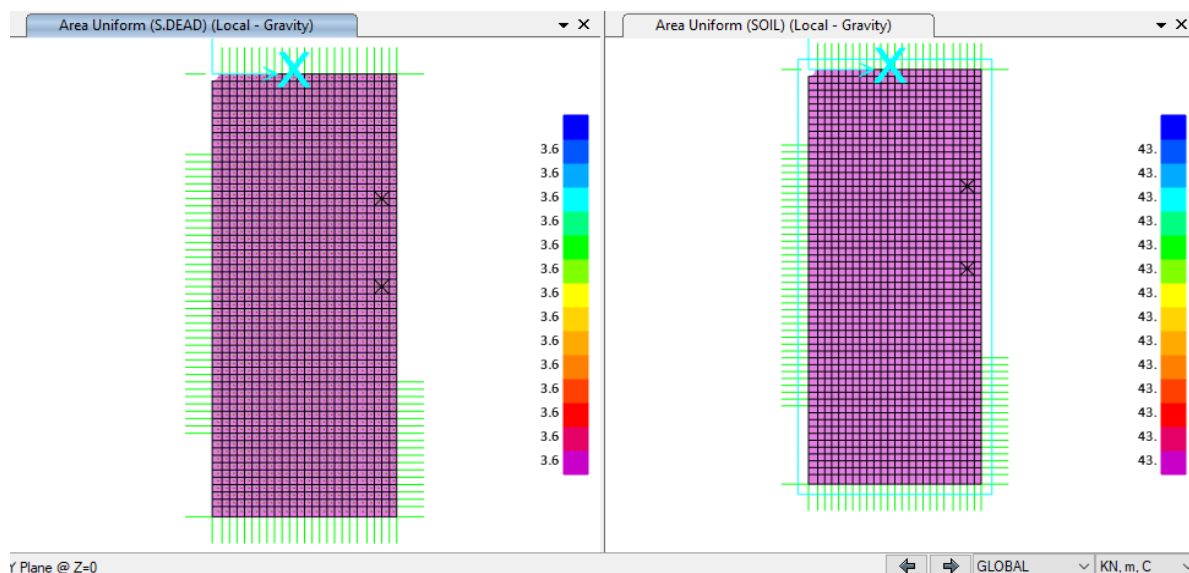
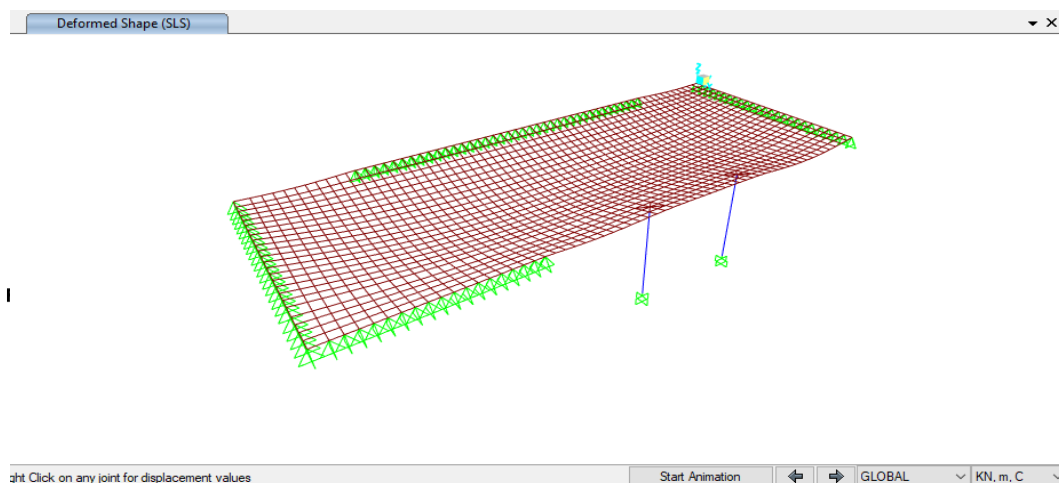


Figura 54. Carichi permanenti sulla soletta di copertura

#### 6.2.4.2 Risultati dell'analisi e verifiche strutturali

L'ALLEGATO L presenta graficamente i risultati rilevanti della soletta di copertura.

Nei paragrafi seguenti sono riportati i risultati della combinazione SLE e gli involuipi delle combinazioni SLU. I risultati della combinazione SLE sono stati utilizzati per la verifica delle tensioni in esercizio, controllo della fessurazione e deformazione. Gli involuipi della combinazione SLU sono stati utilizzati per la verifica flessione e taglio della sezione in c.a.





CITTA' DI TORINO

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

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

MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1

### 6.2.4.2.1 Verifiche SLU\_ soletta di copertura

#### 6.2.4.2.1.1 Verifica a flessione:

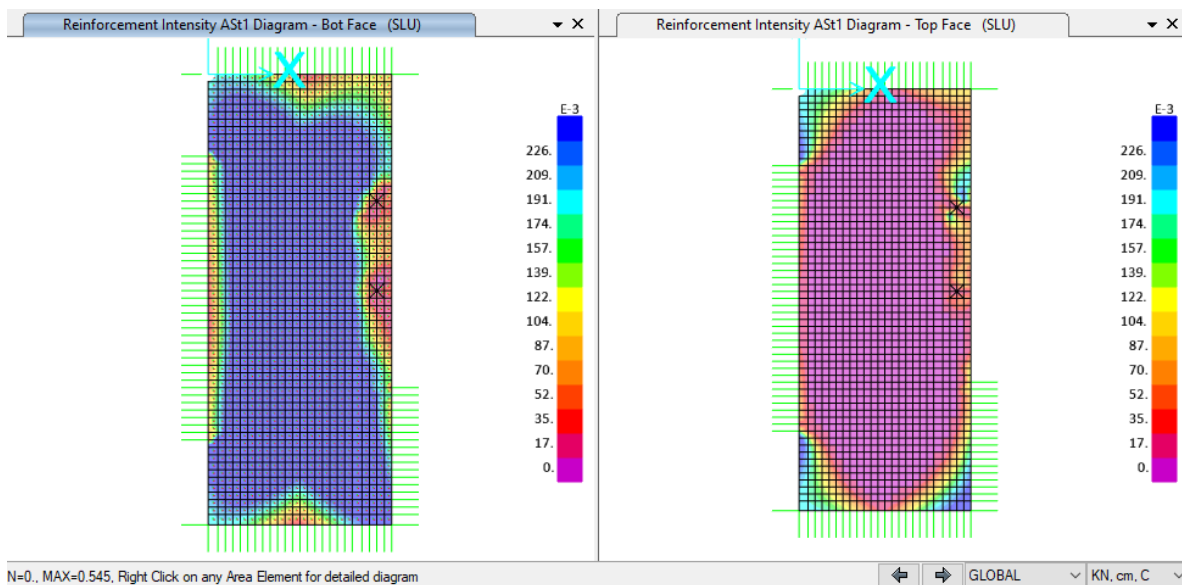
spessore di soletta = 120cm

separazione di barra = 200 / 100 cm

armatura minima: NTC §4.1.6.1.1.

$$A_{s,min} = 0,26 \frac{f_{cm}}{f_{yk}} b_t \cdot d$$

$$A_{s,min} = 0.26 (2.90/450) 100 \times 115 = 19.27 \text{ cm}^2/\text{m} \text{ --- } \phi 24/200$$



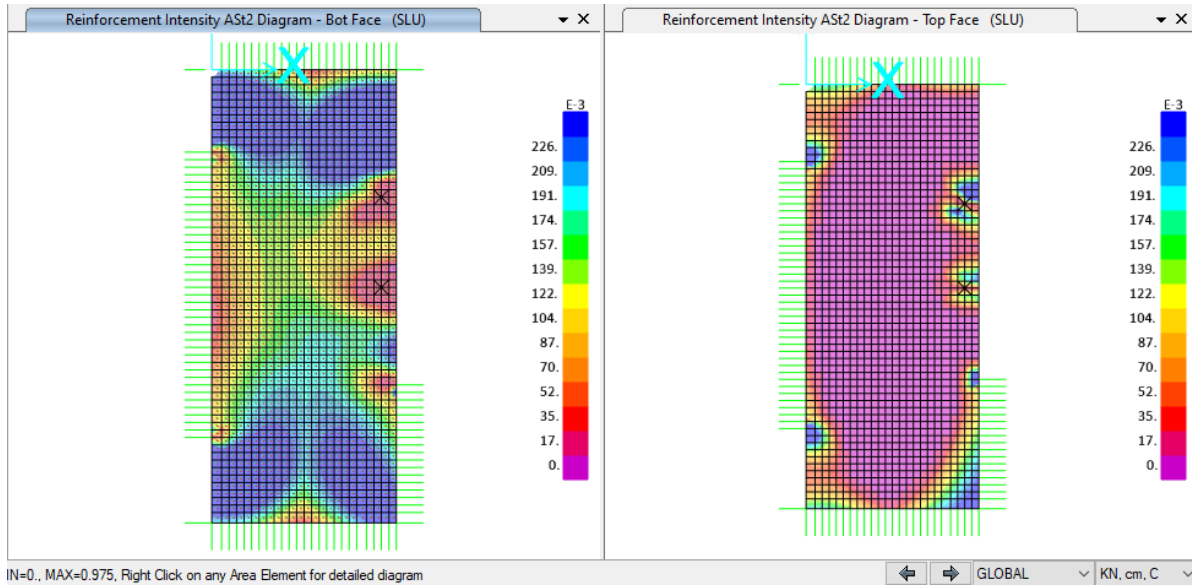


Figura 57. Acciaio di rinforzo  $A_s$  (cm<sup>2</sup>/cm) - direzione trasversale

Nella tabella seguente sono riepilogate le armature della soletta di copertura:

Tabella 26 Armature soletta di copertura

Direction	Posizione	supporto sinistro/base	vano	supporto destro/alto
longitudinale	Superiore	Φ 24/200	Φ 24/200	Φ 24/100
	Inferiore	Φ 24/100	Φ 24/100 + Φ 24/200	Φ 24/100
Trasversale	Superiore	Φ 24/200	Φ 24/200	Φ 24/100
	Inferiore	Φ 24/100	Φ 24/100	Φ 24/100

6.2.4.2.1.2 Verifica a taglio:

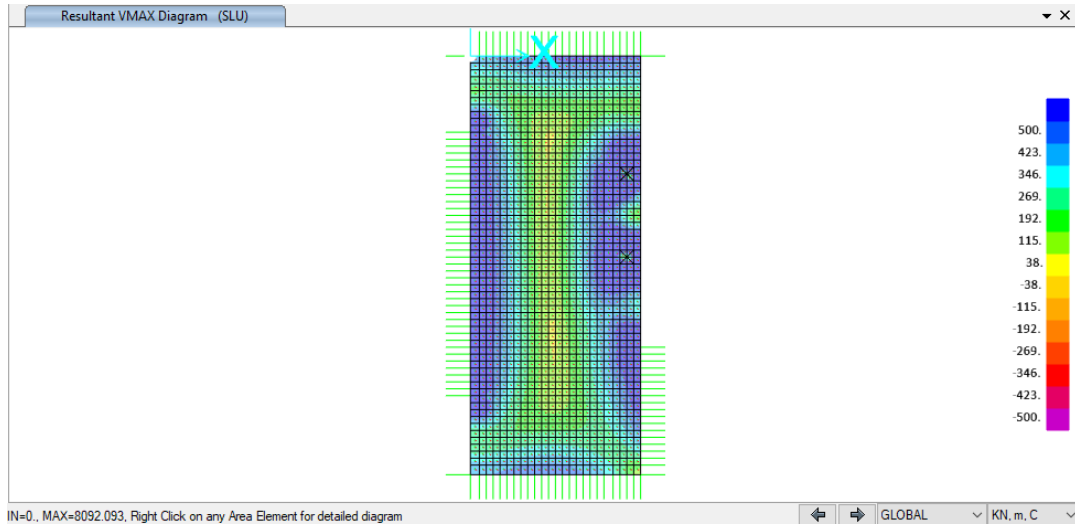


Figura 58. Taglio massimo

$$V_{max} = \sqrt{V_{13}^2 + V_{23}^2}$$

Tabella 27 Armatura a taglio

Element	Armatura a taglio al metro	V <sub>Rd</sub> [KN/m]
Span	Φ20/40/40	888
Face of the support	Φ20/20/20	3553

6.2.4.2.1.3 Verifica al punzonamento

NTC §4.1.2.3.5.4. / Eurocode 2 § 6.4

Column diameter 1m V<sub>Ed</sub> = 7000 kN



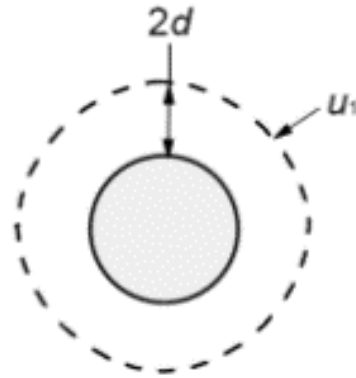


CITTA' DI TORINO

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

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

MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1



Soletta di copertura:

$$d = 1,10\text{m} \quad u_1 = 17,2885\text{m}$$

$$v_{Ed} = \beta V_{Ed} / d u_1 = 1,4 \times 7000 / 1,10 / 17,2585 / 1000 = 0,52\text{MPa}$$

$$v_{Rd,c} = v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} = 0,33 \text{ MPa} < v_{Ed}$$

$$v_{Rd,cs} = 0,75 v_{Rd,c} + 1,5 (d/s_r) A_{sw} f_{ywd,ef} (1/(u_1 d)) \sin \alpha$$

Per un perimetro situato alla distanza d dalla faccia del barrette -  $\phi 20/200$

$$A_{sw} = 18,00 / 0,20 \times 3,14 = 282 \text{ cm}^2 \quad f_{y,ef} = 390\text{MPa}$$

$$v_{Rd,cs} = 0,75 \times 0,33 + 1,5 (1,10 / 0,20) 282 \times 390 / (2680 \times 110) = 0,25 + 3,08 = 3,33 \text{ MPa} > v_{Ed}$$

- Verifiche SLE

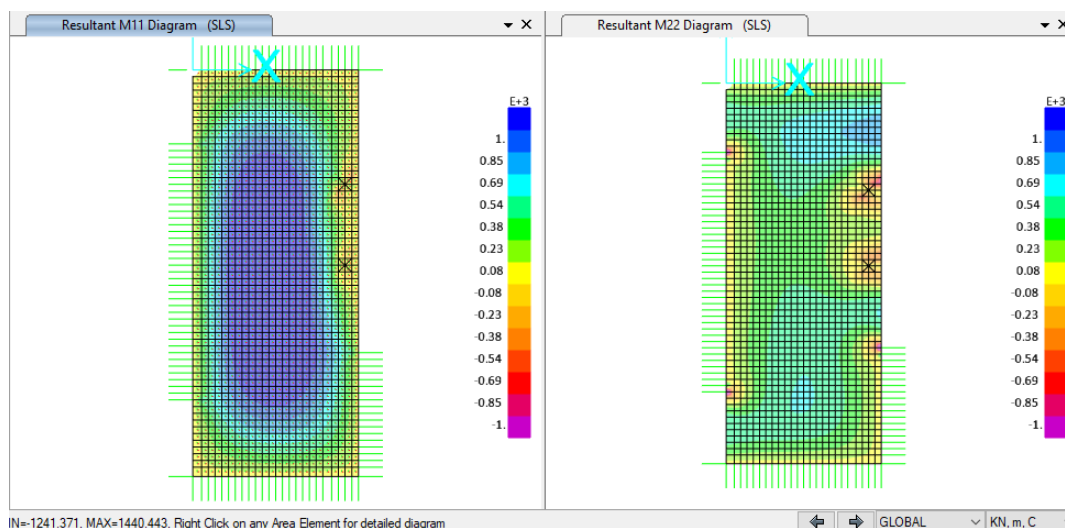


Figura 59. Momento flettente M11 & M22 – SLE

#### 6.2.4.2.2 Verifica fessurazione e tensioni \_soletta di copertura

Per ciascuna sezione tipologica, il  $M_{lim}$  è determinato nella condizione dello stato limite di esercizio (SLE) che soddisfa le seguenti condizioni:

$$M_{lim} = \min [ M_{0.30}; M_{S_c}; M_{S_s} ]$$

Dove,

$$M_{0.30} = M_{max} \text{ per una fessura limite } w_2 = 0,30\text{mm} \quad \text{NTC2018, §4.1.2.2.4.}$$

$$M_{S_c} = M_{max} \text{ per } S_{c, max} = 0,45 f_{ck} \quad \text{NTC2018, §4.1.2.2.5.1.}$$

$$M_{S_s} = M_{max} \text{ per } S_{s, max} = 0,80 f_{yk} \quad \text{NTC2018, §4.1.2.2.5.2.}$$

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>r</sub> (kN.m/m)
L1	120	112,5	φ24/100 +φ24/200	φ24/200	1450	2775
L2	120	112,5	φ24/100	φ24/100	1000	1905



### Verifica deformazione

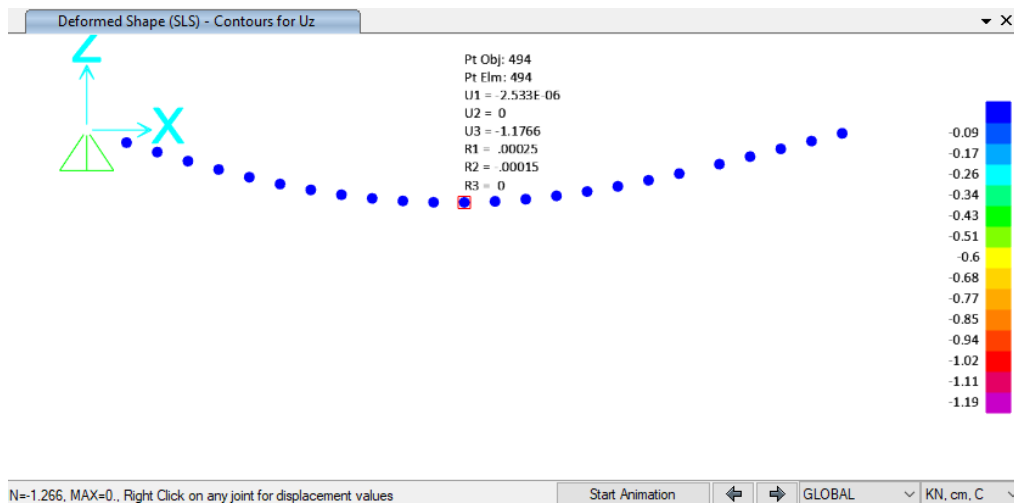


Figura 60. Deformazione SLE

Nella tabella seguente sono riepilogate il rapporto tra l'abbassamento rispetto ai supporti e la luce libera della campata per ogni asse, che deve essere inferiore al limite  $\Delta/L < 1/250$ , dove:

$\Delta = \delta_{camp} - \delta_{sup}$  ... Abbassamento rispetto ai supporti

L ... Luce libera della campata


Tabella 28 Verifica a deformazione

Assi	L (m)	$\Delta = \delta_{camp} - \delta_{sup}$ (cm)	$\Delta/L < 1/250$
1-3	12,30	1,18	1/940

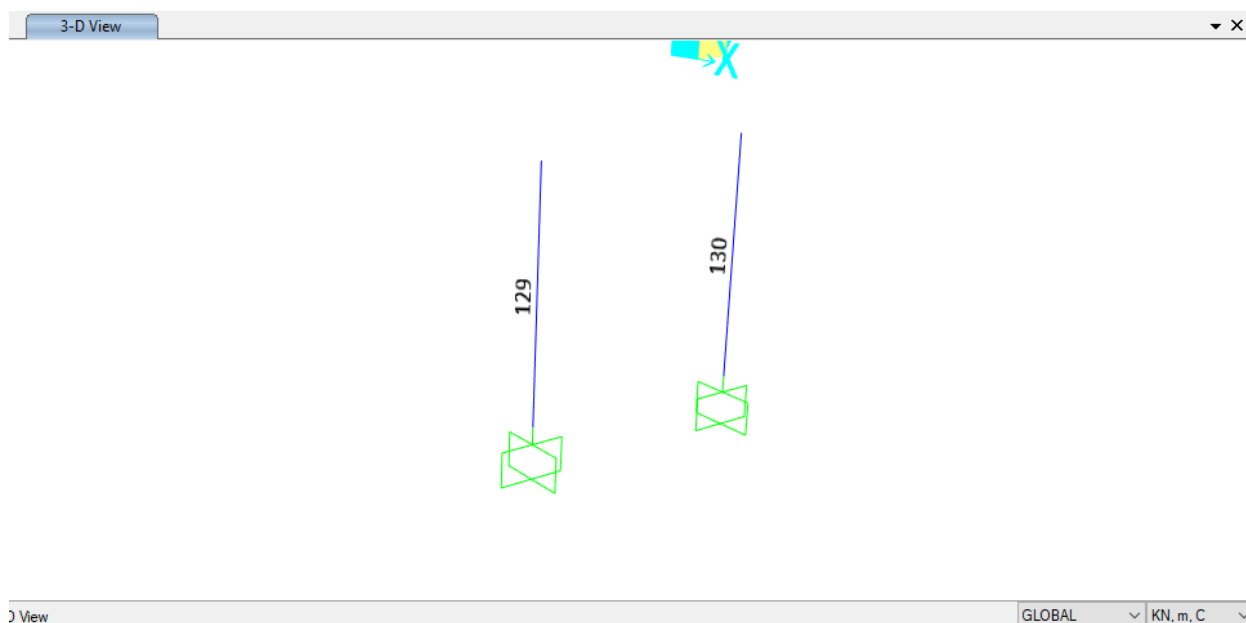
#### - Pilastri Definitivi

L'ALLEGATO M presenta graficamente i risultati rilevanti delle pilastri definitivi

#### - Verifiche SLU

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Novara - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1

#### 6.2.4.2.2.1 Verifica a pressoflessione



**Figura 61. Numerazione degli pilastri**

Di seguito vengono presentati i risultati delle requisiti degli acciai per armatura longitudinale  $A_s$  ( $\text{cm}^2$ ) e trasversale  $A_{sv}$  ( $\text{cm}^2/\text{cm}$ ) per le barrette interne.

Assi locali: 1-Verticale 2-Longitudinale 3-Trasversale



CITTA' DI TORINO

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

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

MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1

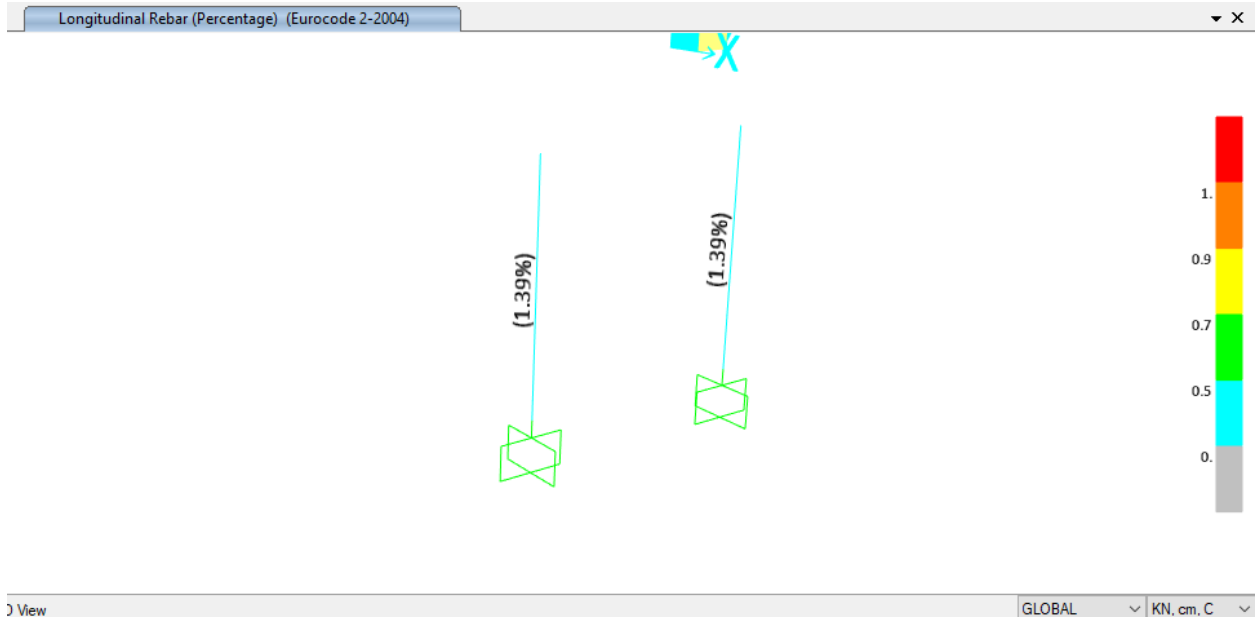
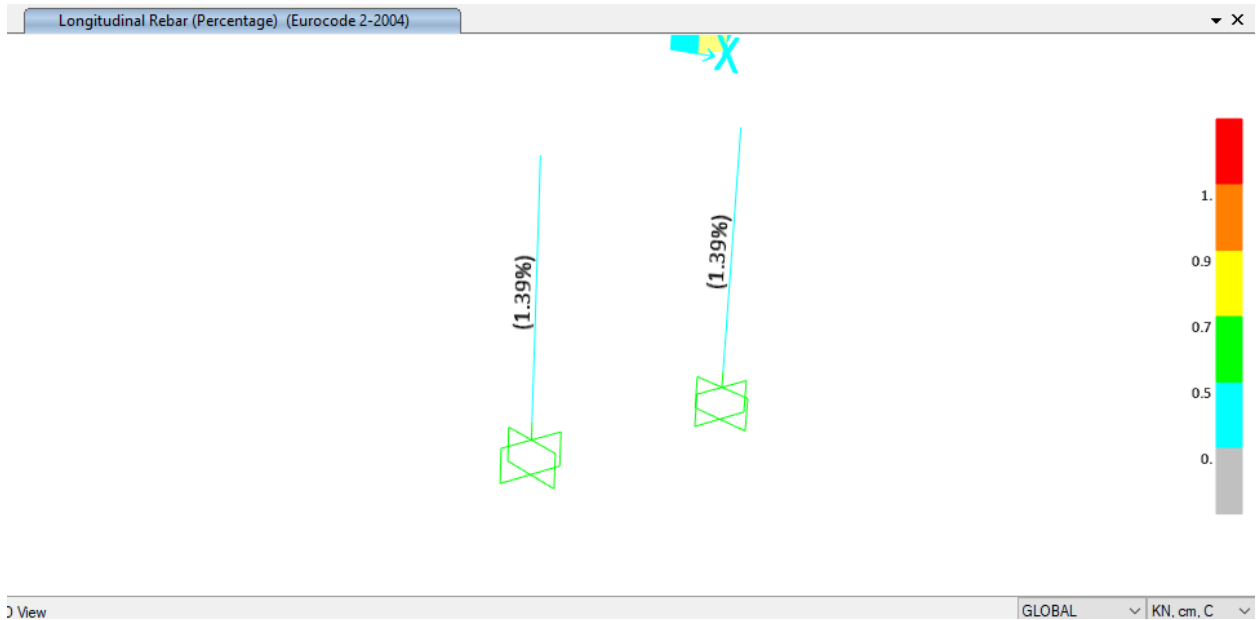

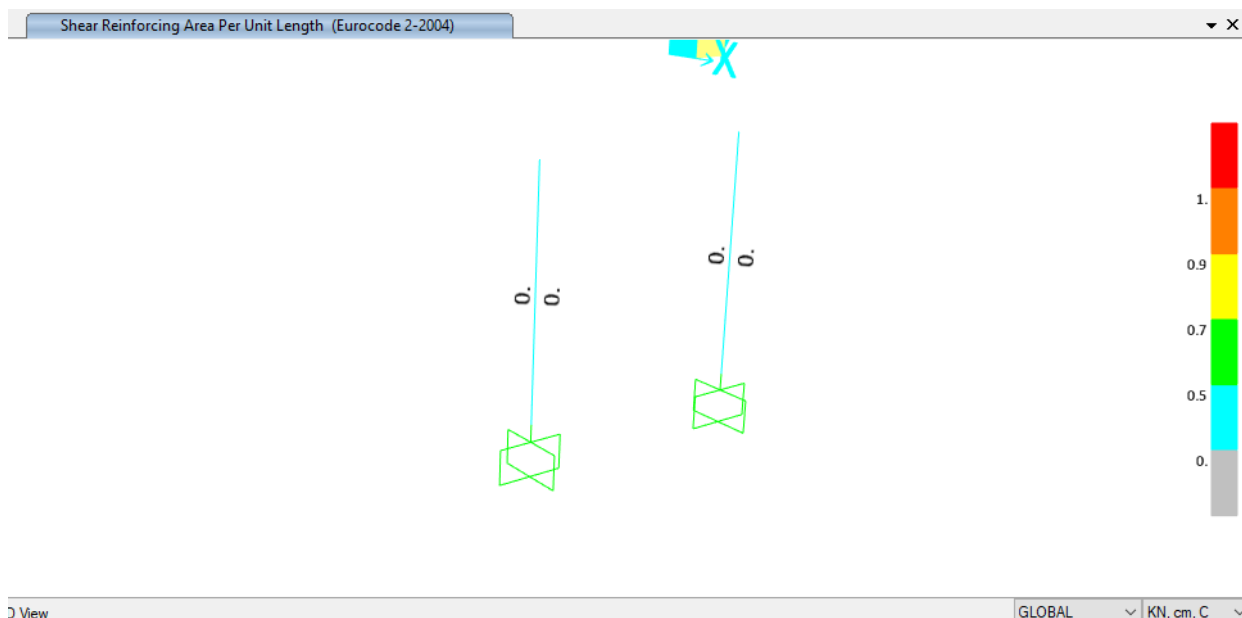


Figura 62. Percentuale di rinforzo longitudinale



 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Novara - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1



**Figura 64. Rinforzo trasversale**

Nella tabella seguente sono riepilogate le armature delle barrette:


**Tabella 29 Armature barrette**

Quota	Diameter[cm]	Reinforcement	Armatura a taglio
Da -3,13m a -7,78m	100	24 $\phi$ 24	$\phi$ 12

**- Soletta di fondo:**

Per simulare adeguatamente il terreno sottostante e le fondazioni, il modello di analisi utilizza molle di tipo *Winkler* che consentono di simulare gli effetti dell'interazione terreno-struttura. Per considerare la rigidità verticale del terreno migliorato a contatto con la faccia inferiore del solettone di fondo, in ogni elemento shell è incorporata una Springs to Area con un modulo di reazione  $K_s$  (kN/m/m<sup>2</sup>) reagente solo a compressione. In questo caso, la rigidità della molla associata a ciascun nodo interno sarà il prodotto di  $K_s$  per l'area tributaria di ciascun elemento.

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

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Novara - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1

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

$I_w$  .. Fattore di forma base

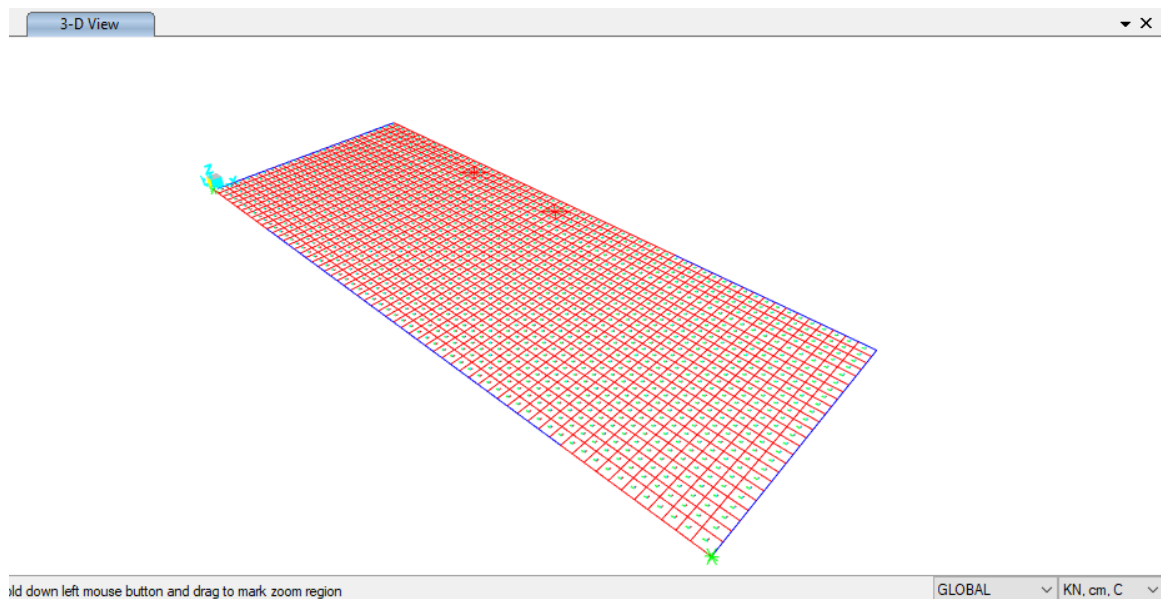
$B$ .. Larghezza base

$E_s$  ... Modulo di Young del suolo

Unità prevalente U2 migliorata – Colonne Jet Grouting

$E_s = 450 \text{ MPa}$      $\nu = 0,30$

$B = 23.2\text{m}$      $L/B \sim 3.50$      $I_w = 1,50$      $\rightarrow$      $K_s = 14210 \text{ kN/m/m}^2$



### 6.2.4.3 Carichi

Il solettone di fondo è fondamentalmente soggetto a carichi normali al suo piano, rappresentati dai carichi gravitazionali provenienti dalla sovrastruttura e trasferiti come carichi distribuiti applicati al perimetro del modello, nonché carichi verticali associati alla sottopressione idrostatica dovuta al livello della falda.

Tra gli assi 1-3, il carico totale della sovrastruttura è distribuito equamente tra i due diaframmi laterali.

$$q = (W_{T1})/L_p + w_d$$



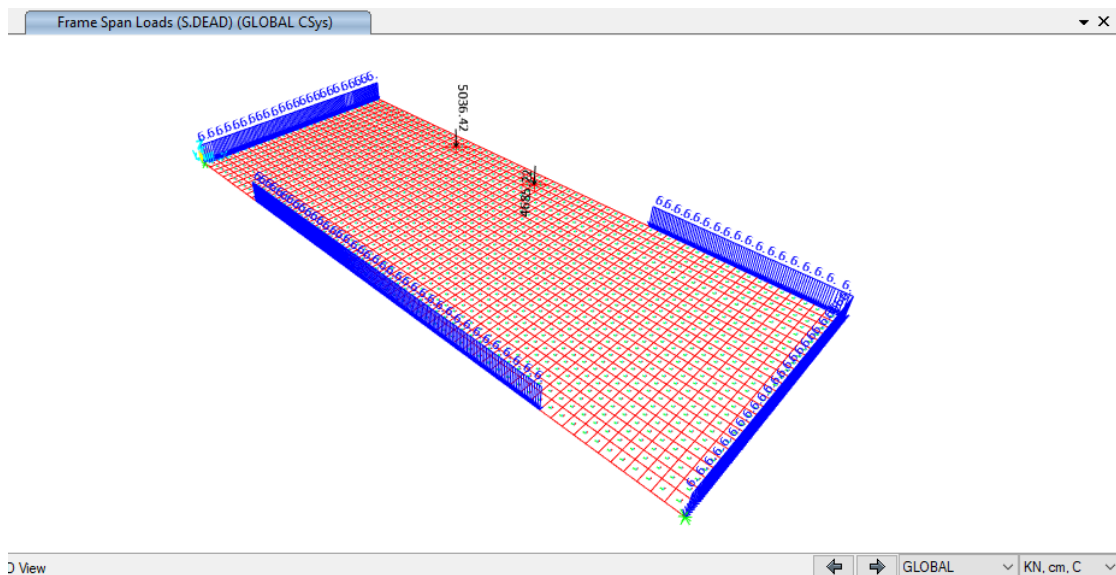
$W_{T1}$  ... peso della struttura (*Base Reaction*) = 36125 kN

$\sum R_i$  ... sommatoria della reazione dei pilastri = 9725 kN

$L_p$ ... lunghezza del perimetro della soletta sostenuta dai diaframmi = 52,8m

$w_d$ ... peso proprio dei diaframmi sopra la soletta de fondo = 92,5 kN/m

$$q = \frac{(36125 - 9725)}{60.4} + 92,5 = 600 \text{ kN/m}$$




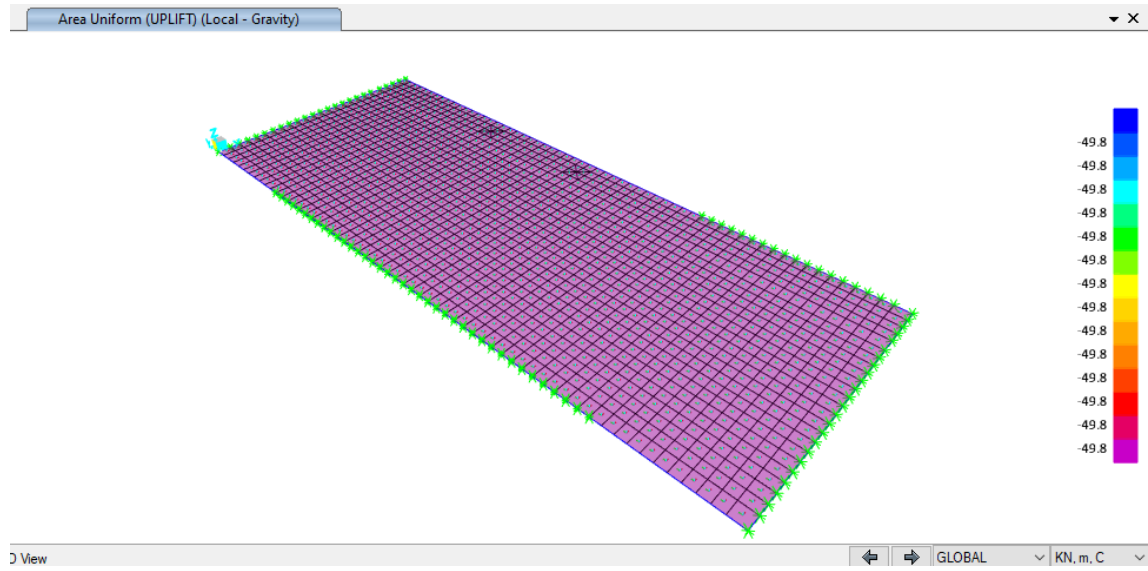
Per la verifica strutturale a lungo termine a SLU, il livello della falda è considerato 4,50 metri al di sopra del livello piezometrico di riferimento indicato nel profilo geotecnico, equivalente al livello a breve termine più 3,00 metri. Questo porta ad una sottopressione verticale che deve essere direttamente sopportata del solettone di fondo e che si somma alla reazione verticale del terreno trasmesse dai carichi gravitazionali della sovrastruttura.

Nel caso della stazione in oggetto la quota piezometrica di riferimento la quota di riferimento e' ipotizzata pari a 4,0m dal p.c., che rappresenta un dislivello  $\Delta H = 4,98\text{m}$  rispetto alla quota dell'intradosso del solettone di fondo posto a quota -8,98m.


$$\text{Sottopressione} = \Delta H \times \gamma_w = 4,98\text{m} \times 10 \text{ kN/m}^3 = 49,8 \text{ kN/m}^2$$



 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Novara - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1



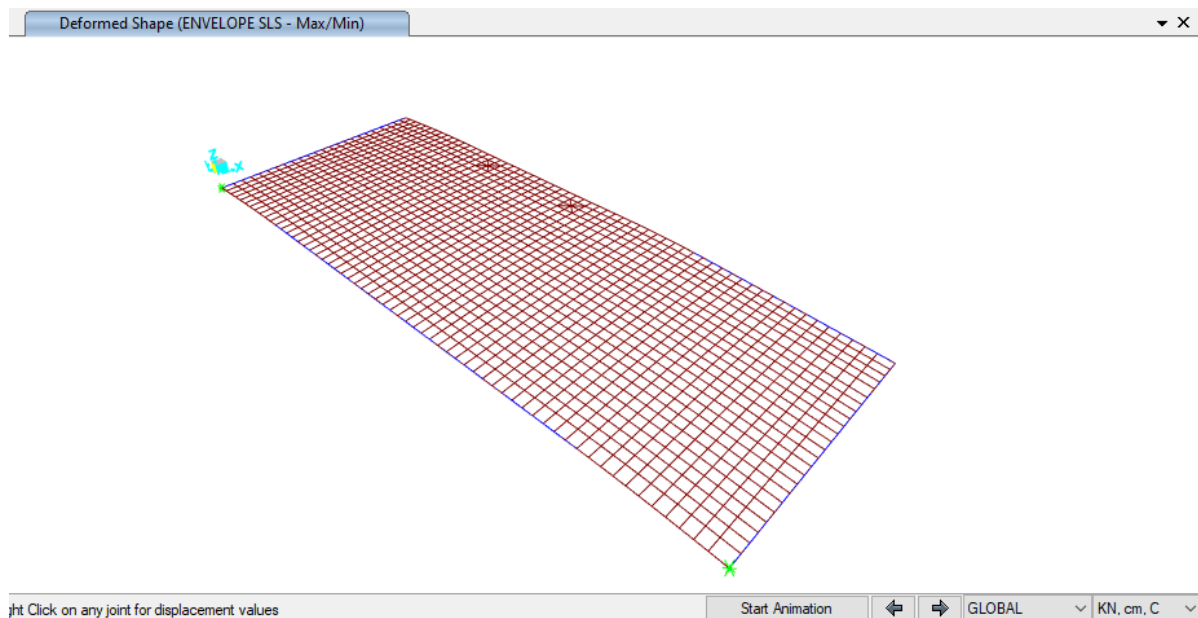
**Figura 67. CSottopressione idrostatica a lungo termine**

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Novara - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1

#### 6.2.4.4 Risultati dell'analisi e verifiche strutturali

L'ALLEGATO N presenta graficamente i risultati rilevanti della soletta di copertura.

Nei paragrafi seguenti sono riportati i risultati della combinazione SLE e gli involuipi delle combinazioni SLU. I risultati della combinazione SLE sono stati utilizzati per la verifica delle tensioni in esercizio, controllo della fessurazione e deformazione. Gli involuipi della combinazione SLU sono stati utilizzati per la verifica flessione e taglio della sezione in c.a.



##### 6.2.4.4.1 Verifiche SLU\_ soletta di copertura

###### 6.2.4.4.1.1 Verifica a flessione:

spessore di soletta = 120cm

separazione di barra = 200 / 100 cm

armatura minima: NTC §4.1.6.1.1.

$$A_{s,min} = 0,26 \frac{f_{cm}}{f_{yk}} b_t \cdot d$$

$$A_{s,min} = 0.26 (2.90/450) 100 \times 115 = 19.27 \text{ cm}^2/\text{m} \text{ --- } \phi 24/200$$



CITTA' DI TORINO

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

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

MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1

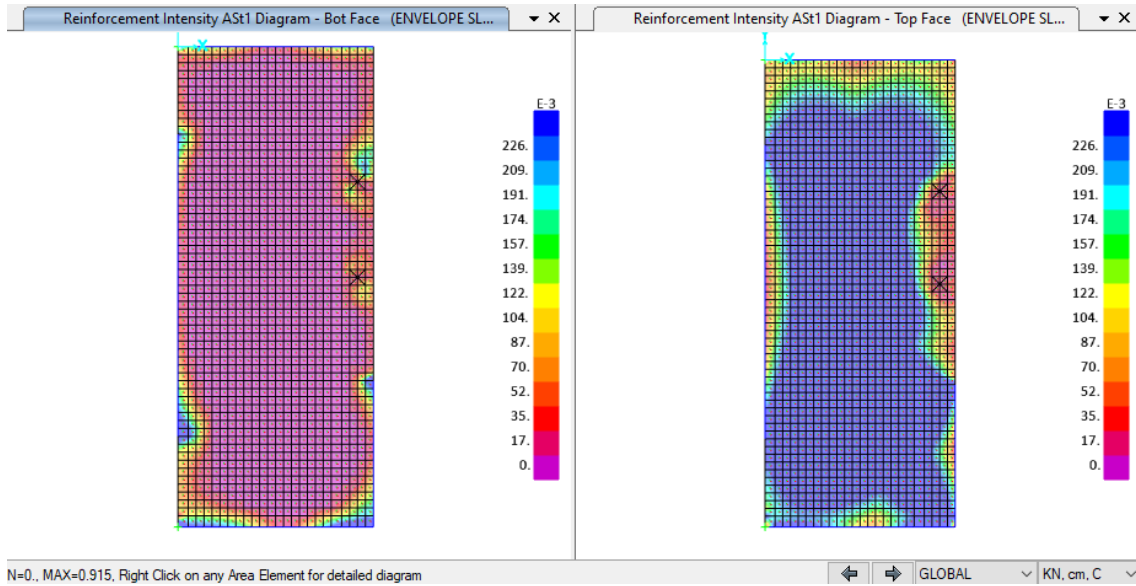
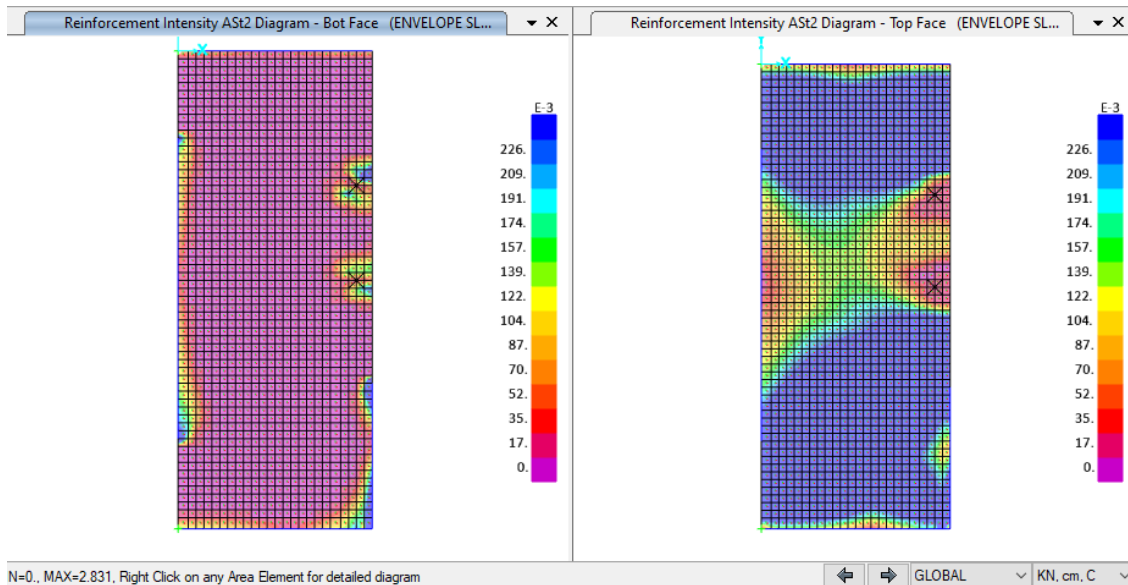



Figura 69. Acciaio di rinforzo As (cm<sup>2</sup>/cm) - direzione longitudinale



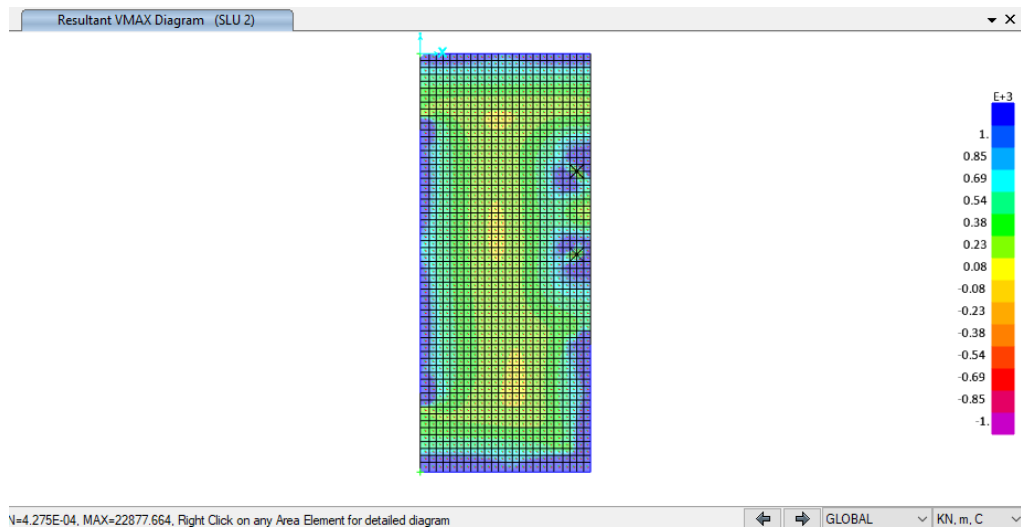
 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Novara - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1

Nella tabella seguente sono riepilogate le armature della soletta di copertura:


**Tabella 30 Armature soletta di fondo**

Direction	Posizione	supporto sinistro/base	vano	supporto destro/alto
longitudinale	Superiore	Φ 24/100	Φ 24/100 + Φ 24/100	Φ 24/100
	Inferiore	Φ 24/100	Φ 24/200	Φ 24/100
Traversale	Superiore	Φ 24/100	Φ 24/100	Φ 24/100
	Inferiore	Φ 24/100	Φ 24/100	Φ 24/100

6.2.4.4.1.2 Verifica a taglio:



$$V_{max} = \sqrt{V_{13}^2 + V_{23}^2}$$

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Novara - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1

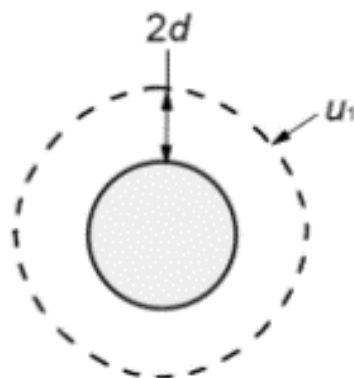
**Tabella 31 Armatura a taglio**

Element	Armatura a taglio al metro	$V_{Rd}$ [KN/m]
Span	Φ20/40/40	888
Face of the support	Φ20/20/20	3553

6.2.4.4.1.3 Verifica al punzonamento

NTC §4.1.2.3.5.4. / Eurocode 2 § 6.4

Column diameter 1m  $V_{Ed} = 7000$  kN



Soletta di copertura:

$$d = 1,10\text{m} \quad u_1 = 17,2885\text{m}$$

$$v_{Ed} = \beta V_{Ed} / d u_1 = 1,4 \times 7000 / 1,10 / 17,2885 / 1000 = 0,52\text{MPa}$$

$$v_{Rd,c} = v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} = 0,33\text{ MPa} < v_{Ed}$$

$$v_{Rd,cs} = 0,75 v_{Rd,c} + 1,5 (d/s_r) A_{sw} f_{ywd,ef} (1/(u_1 d)) \sin \alpha$$

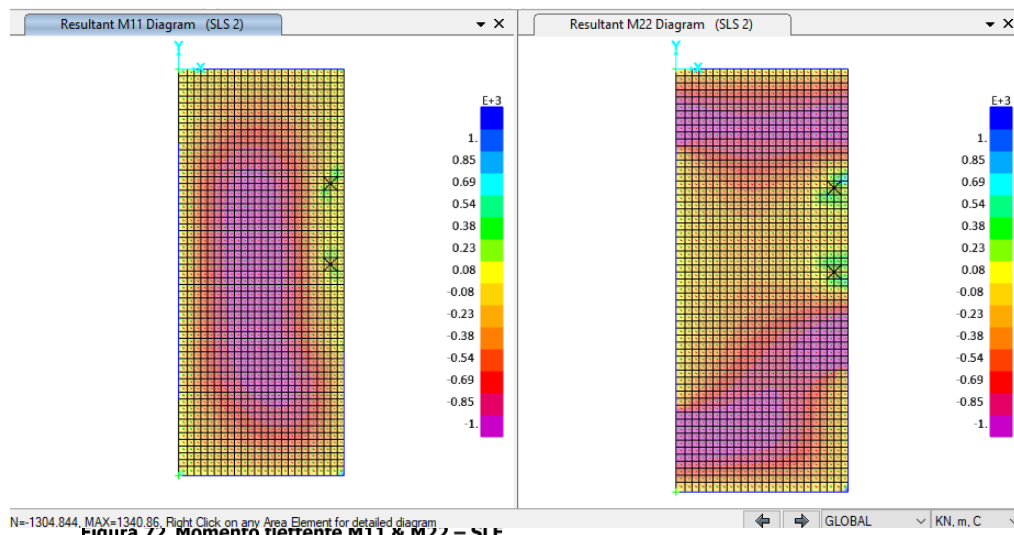


Per un perimetro situato alla distanza d dalla faccia del barrette -  $\phi 20/200$

$$A_{sw} = 18,00/0,20 \times 3,14 = 282 \text{ cm}^2 \quad f_{y,ef} = 390 \text{ MPa}$$

$$V_{Rd,cs} = 0,75 \times 0,33 + 1,5 (1,10/0,20) 282 \times 390 / (2680 \times 110) = 0,25 + 3,08 = 3,33 \text{ MPa} > V_{Ed}$$

- Verifiche SLE



6.2.4.4.2 Verifica fessurazione e tensioni \_soletta di copertura

Per ciascuna sezione tipologica, il  $M_{lim}$  è determinato nella condizione dello stato limite di esercizio (SLE) che soddisfa le seguenti condizioni:

$$M_{lim} = \min [ M_{0,30}; M_{s_c}; M_{s_s} ]$$

Dove,

$$M_{0,30} = M_{max} \text{ per una fessura limite } w_2 = 0,30 \text{ mm} \quad \text{NTC2018, §4.1.2.2.4.}$$

$$M_{s_c} = M_{max} \text{ per } s_{c, max} = 0,45 f_{ck} \quad \text{NTC2018, §4.1.2.2.5.1.}$$

$$M_{s_s} = M_{max} \text{ per } s_{s, max} = 0,80 f_{yk} \quad \text{NTC2018, §4.1.2.2.5.2.}$$



CITTA' DI TORINO

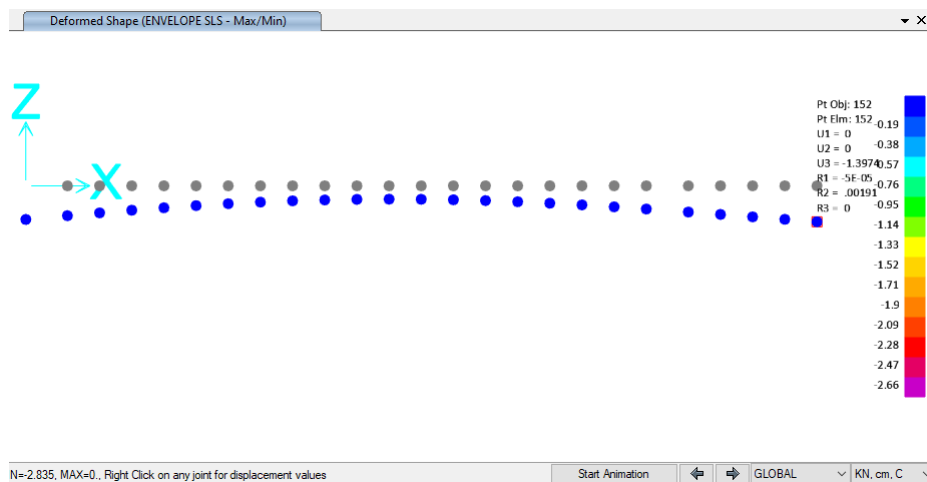
Metropolitana di Torino - Linea 2  
Tratta: Politecnico-Rebaudengo  
Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico

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

MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1

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>r</sub> (kN.m/m)
L1	120	112,5	φ24/100 + φ24/100	φ24/200	1900	3615
L2	120	112,5	φ24/100	φ24/100	1000	1905

### Verifica deformazione




Nella tabella seguente sono riepilogate il rapporto tra l'abbassamento rispetto ai supporti e la luce libera della campata per ogni asse, che deve essere inferiore al limite  $\Delta/L < 1/250$ , dove:

$\Delta = \delta_{camp} - \delta_{sup}$  ... Abbassamento rispetto ai supporti


L ... Luce libera della campata

**Tabella 32 Verifica a deformazione**


Assi	L (m)	$\Delta = \delta_{camp} - \delta_{sup}$ (cm)	$\Delta/L < 1/250$
1-3	12,30	0,9	$\ll 1/250$

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Novara - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1



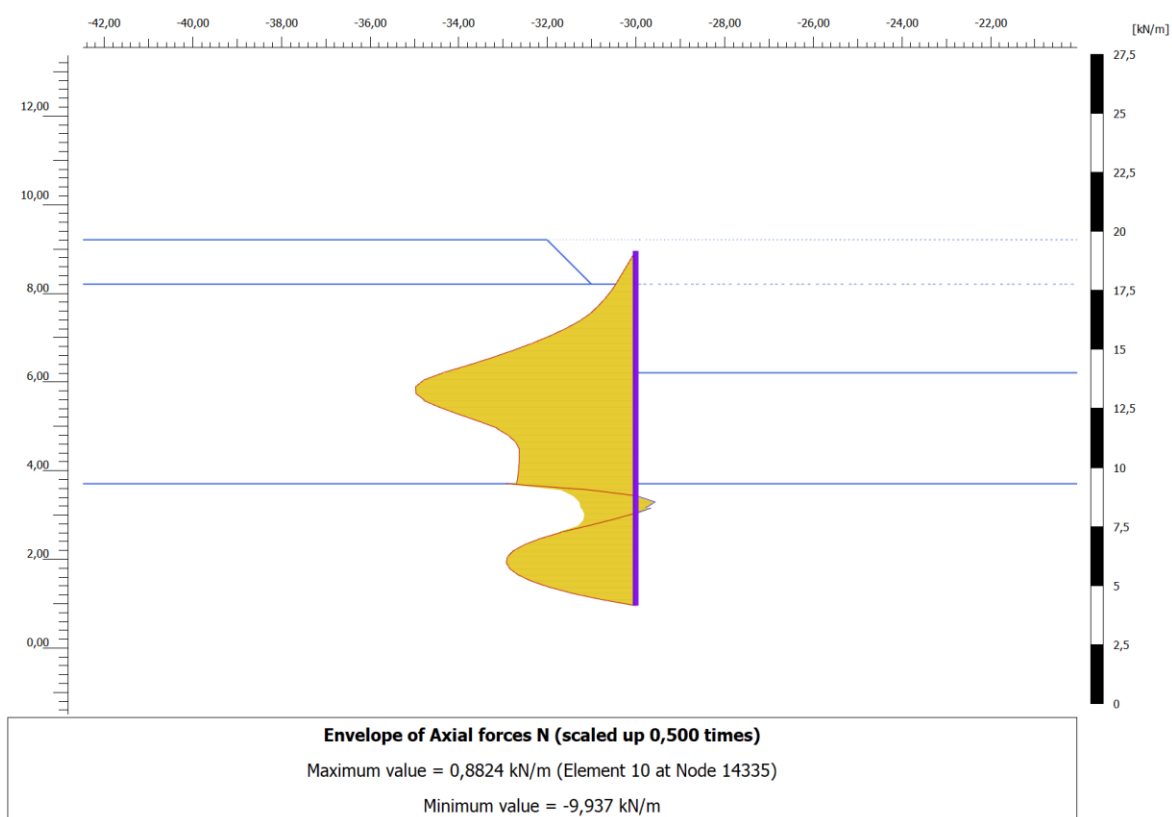
 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Novara - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1

## APPENDICE A

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Novara - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1

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 involuppi di sforzo assiale, taglio e momento flettente sulla parete.

- **Schema A**



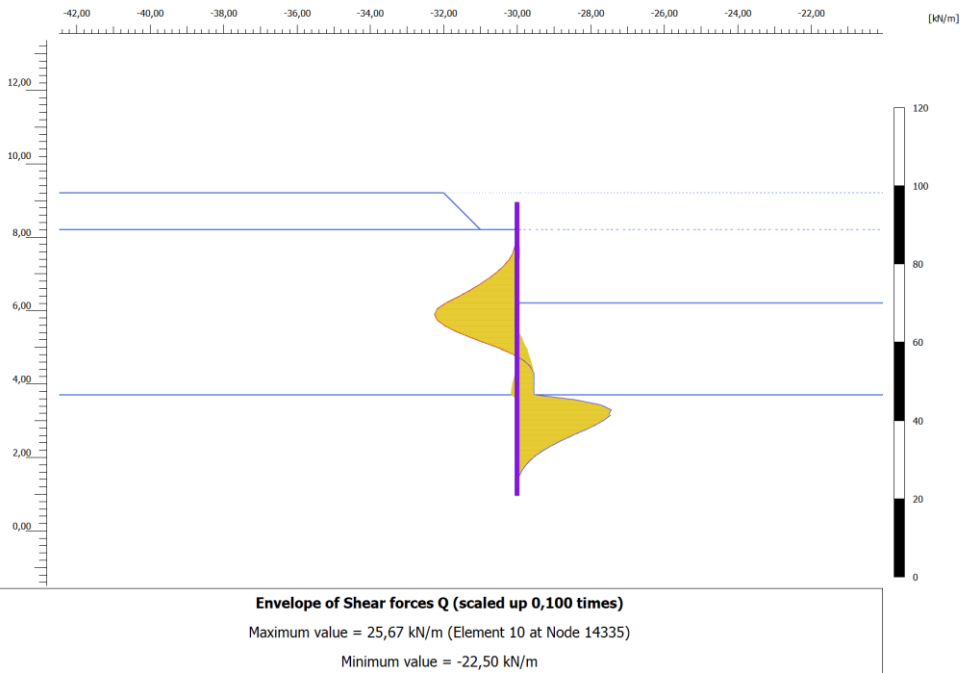
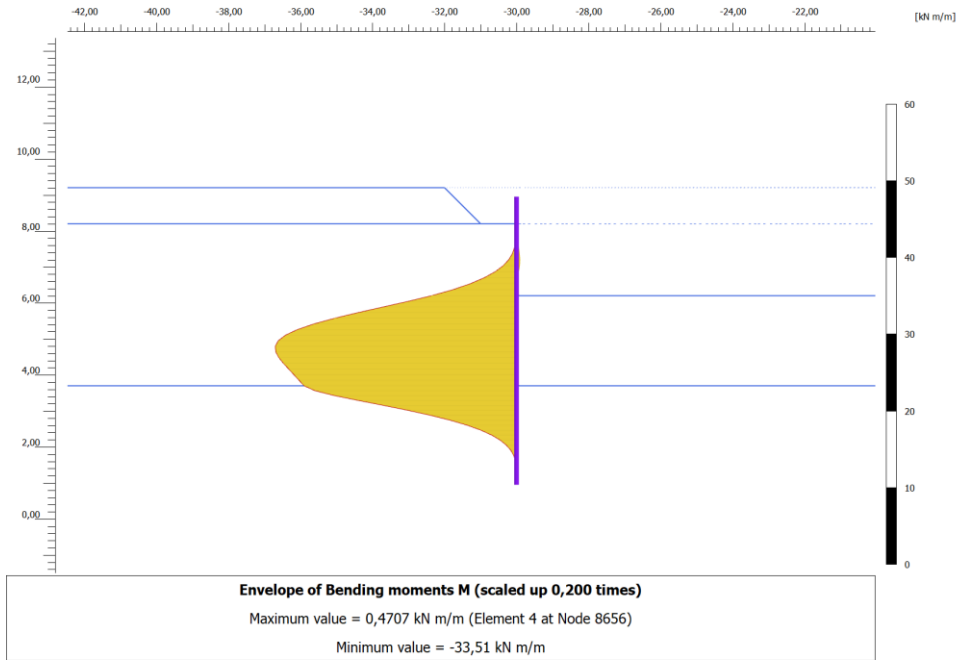
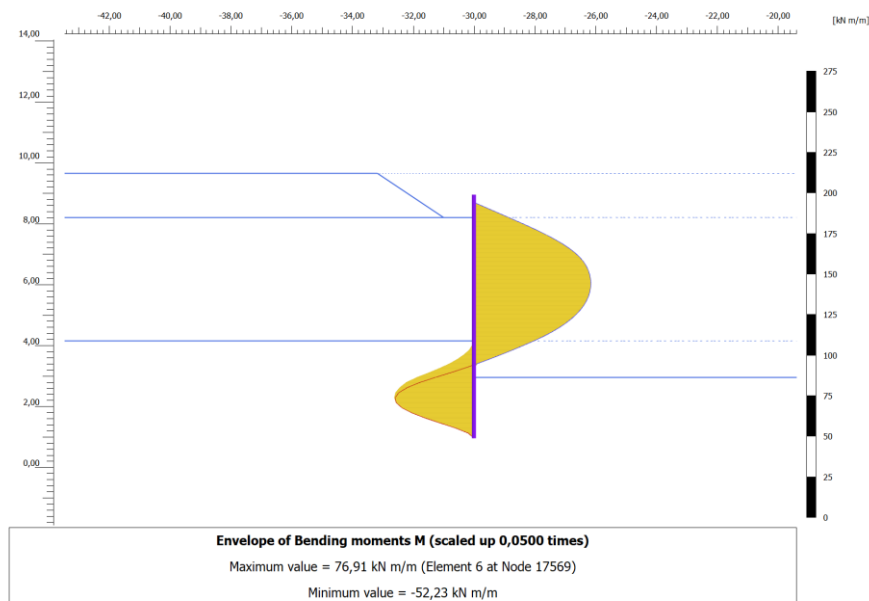
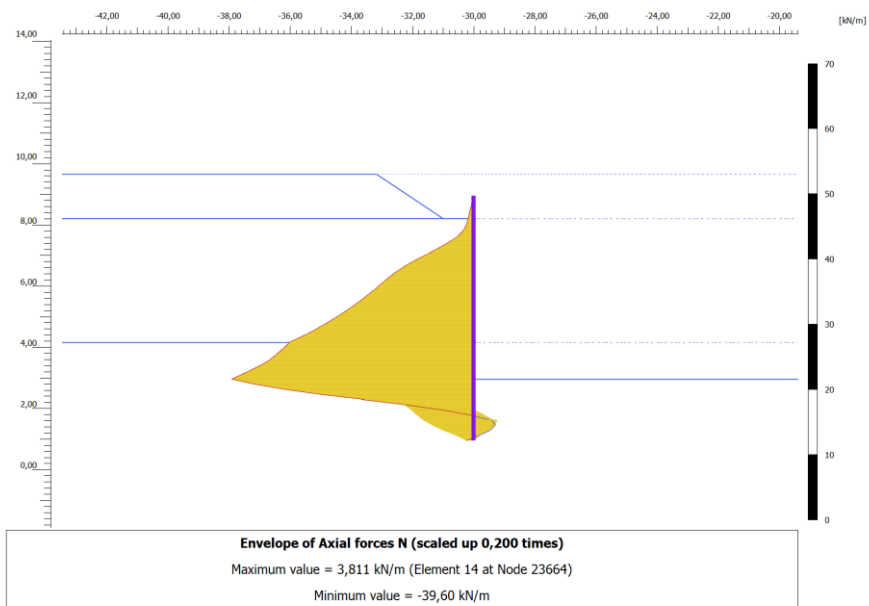


Figura 74.



• Schema B



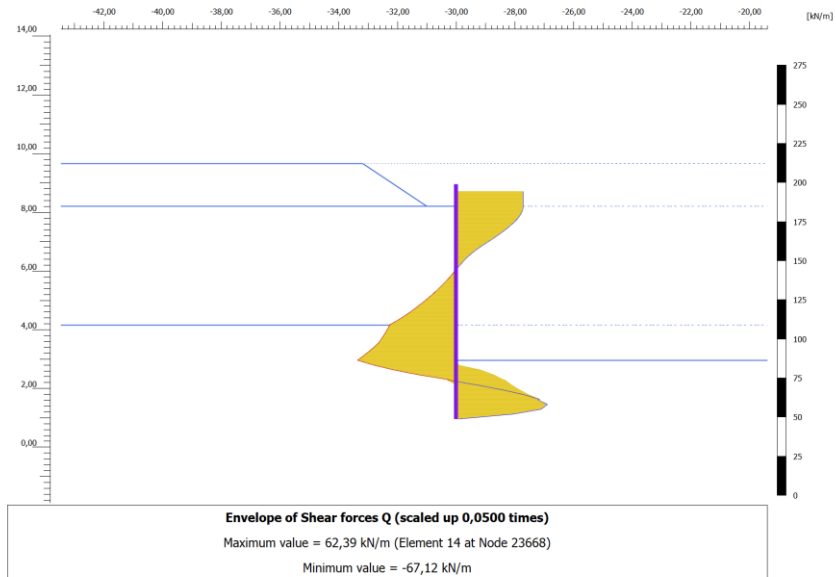
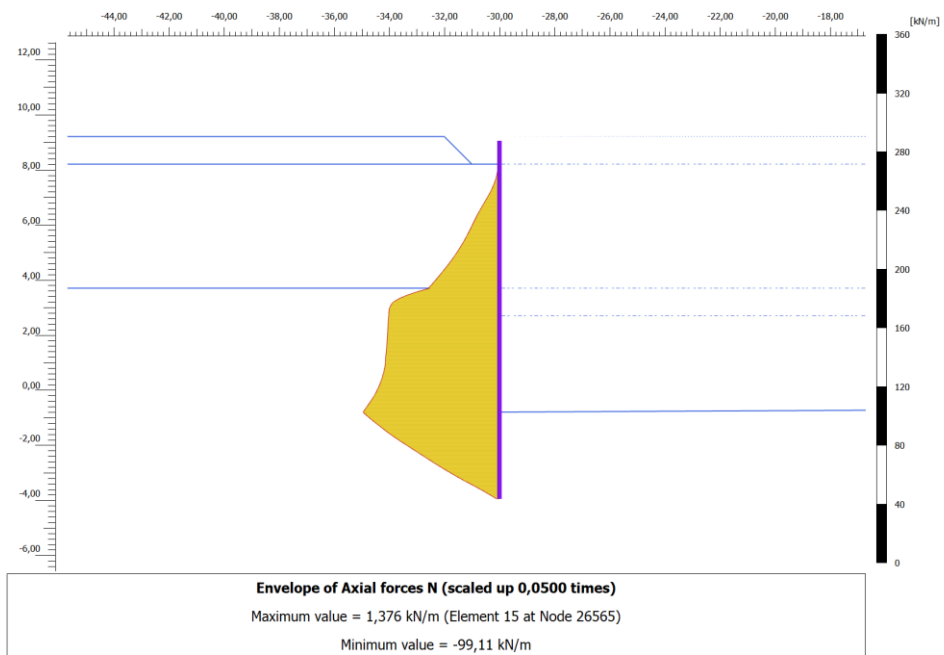


Figura 75. Output PLAXIS: Involuppo dello sforzo assiale, del taglio e del momento flettente – Schema B

• Schema C



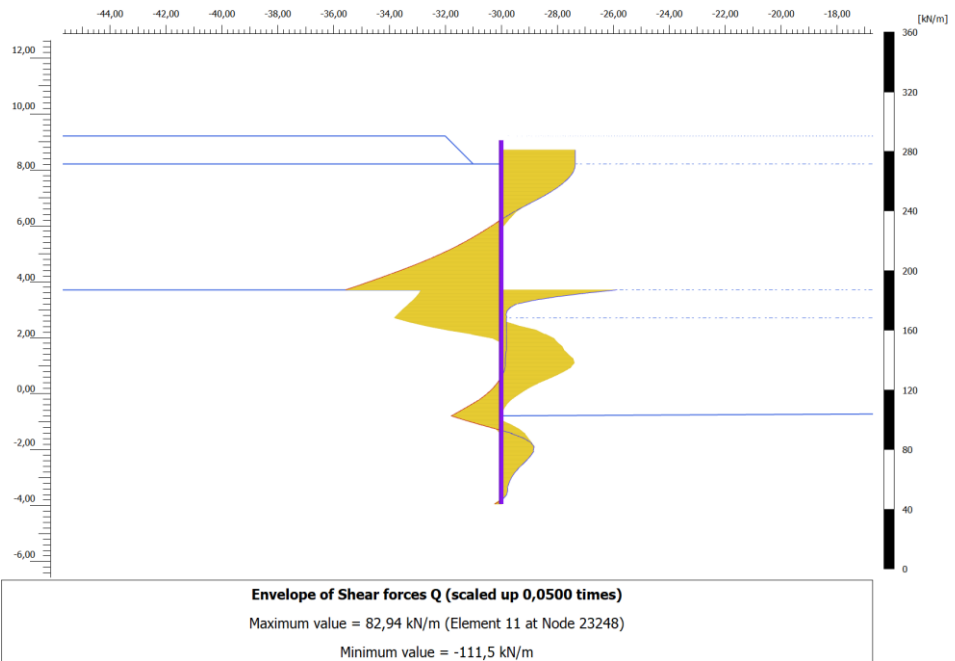
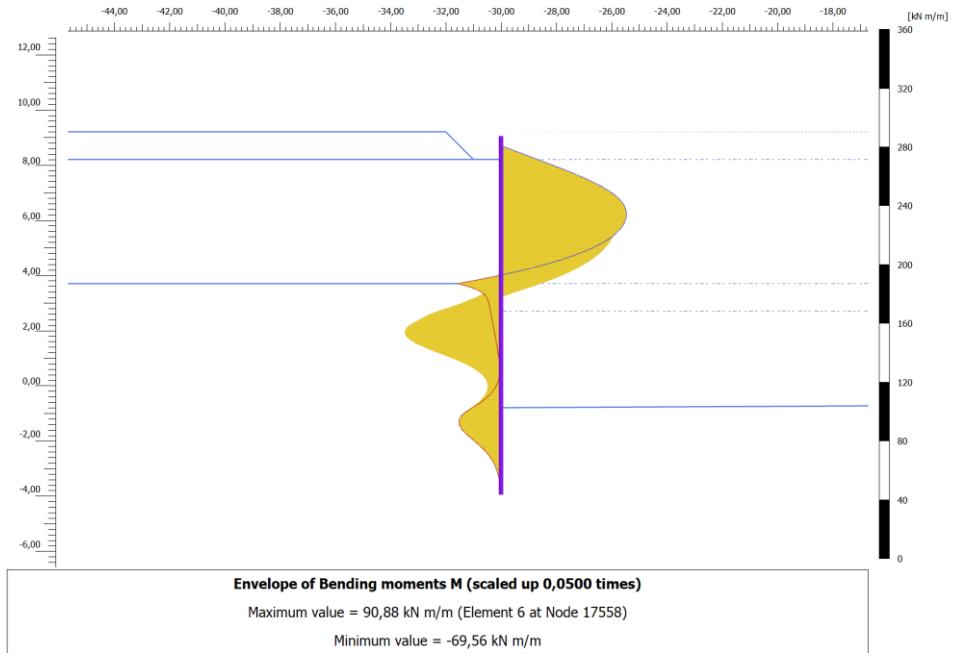
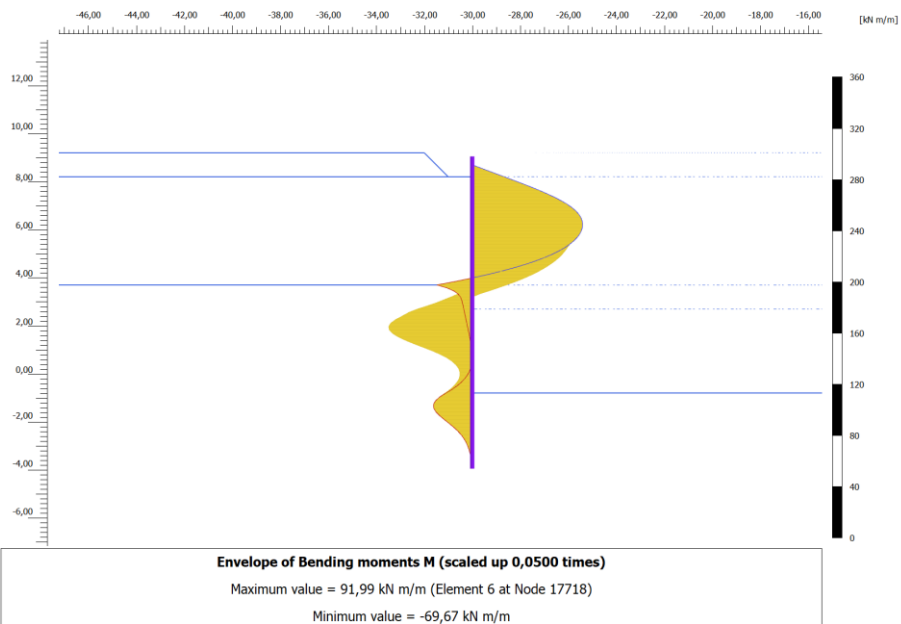
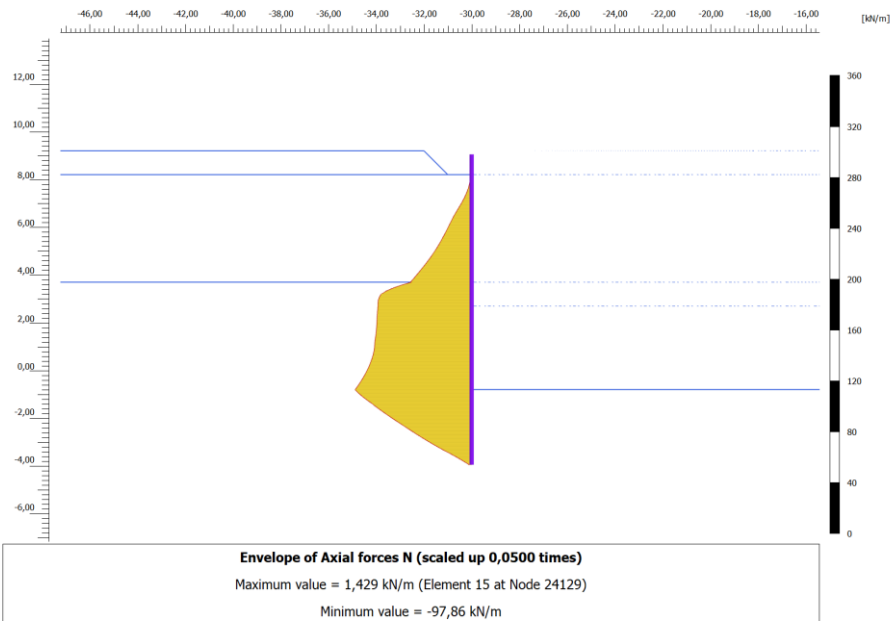
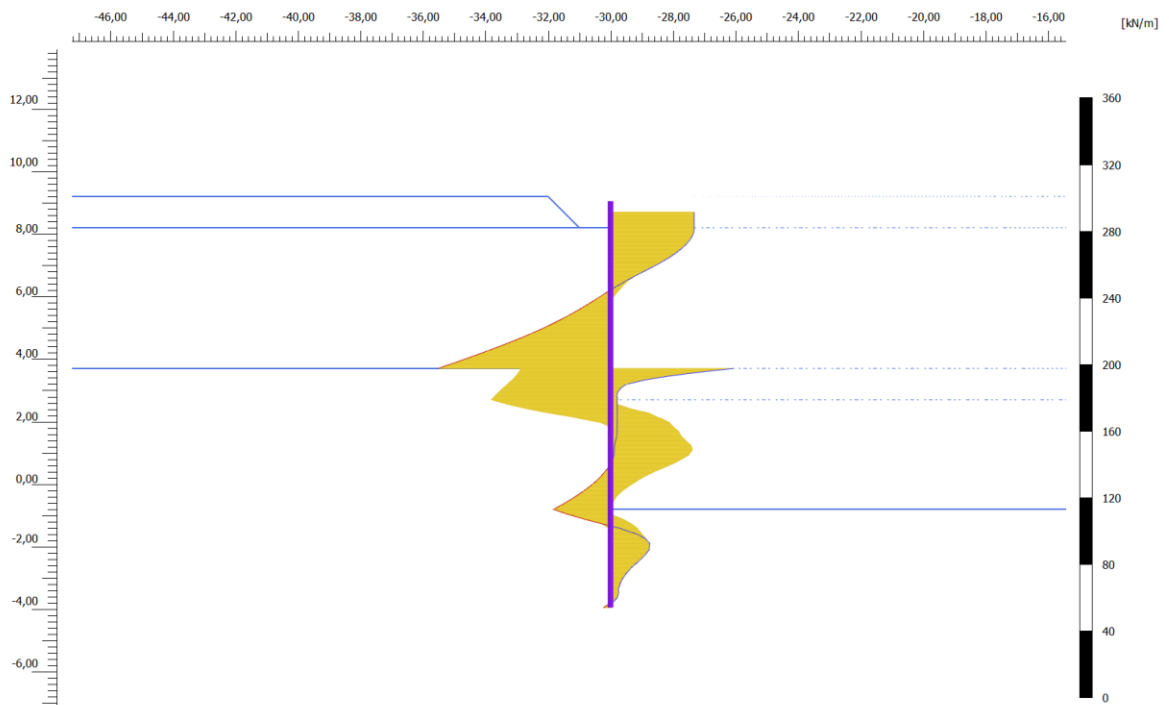


Figura 76. Output



- **Schema D**






Envelope of Shear forces Q (scaled up 0,0500 times)

Maximum value = 79,09 kN/m (Element 11 at Node 21396)


Minimum value = -110,4 kN/m

Fig



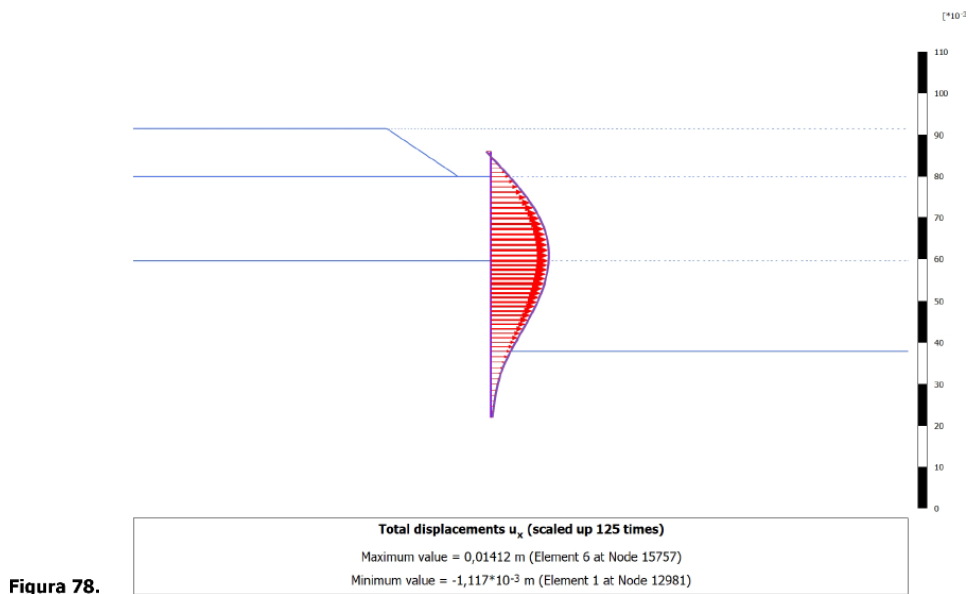
 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Novara - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1

## APPENDICE B

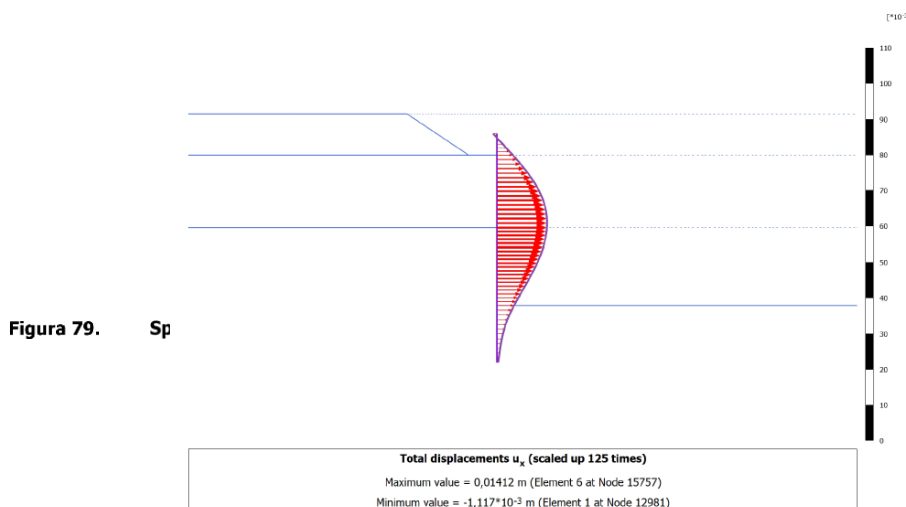
 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Novara - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1

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**



- **Schema B**





• Schema C

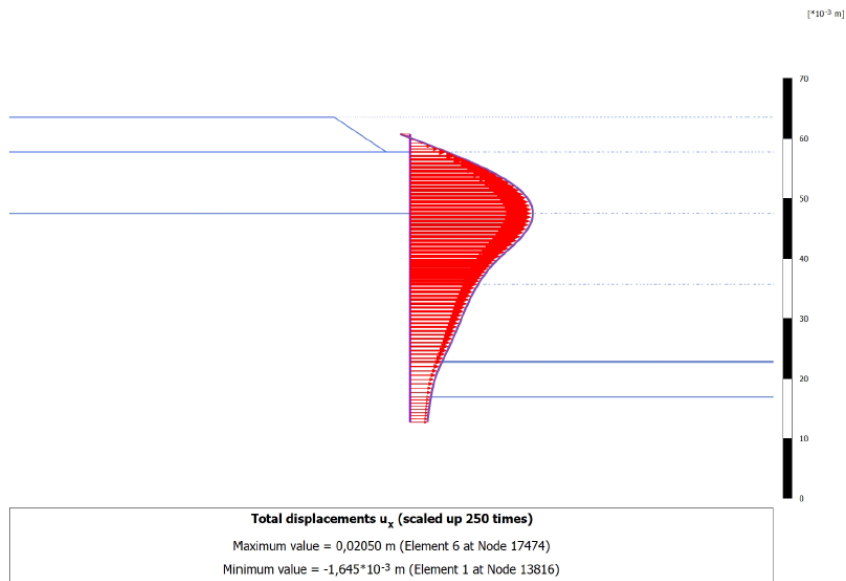


Figura 80. Spostamenti orizzontali parete di micropali – Schema C

• Schema D

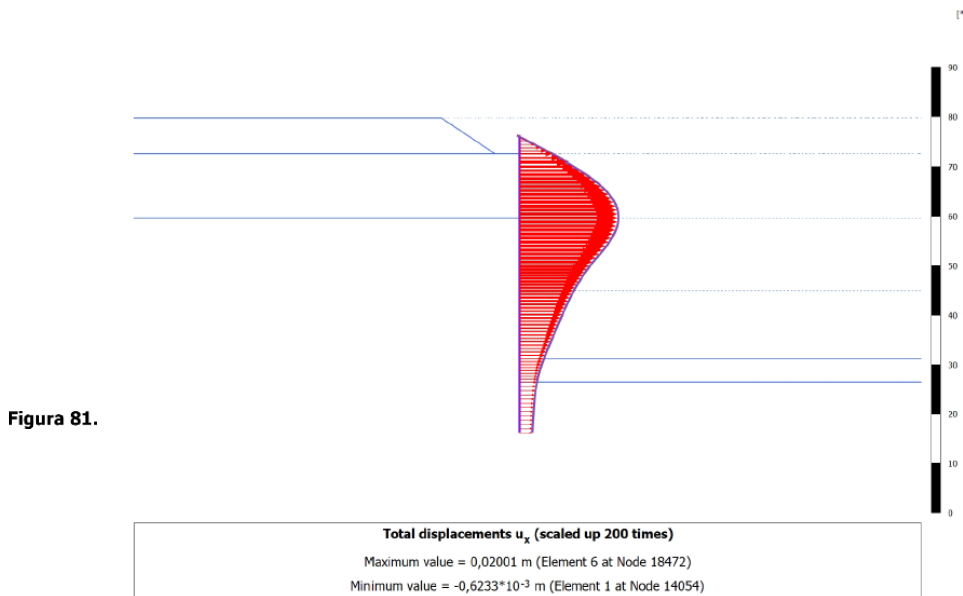




Figura 81.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Novara - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1

## APPENDICE C

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Novara - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1

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**

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 34 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**

**Primo puntone**

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

**Secondo puntone**

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

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Novara - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1

## 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**

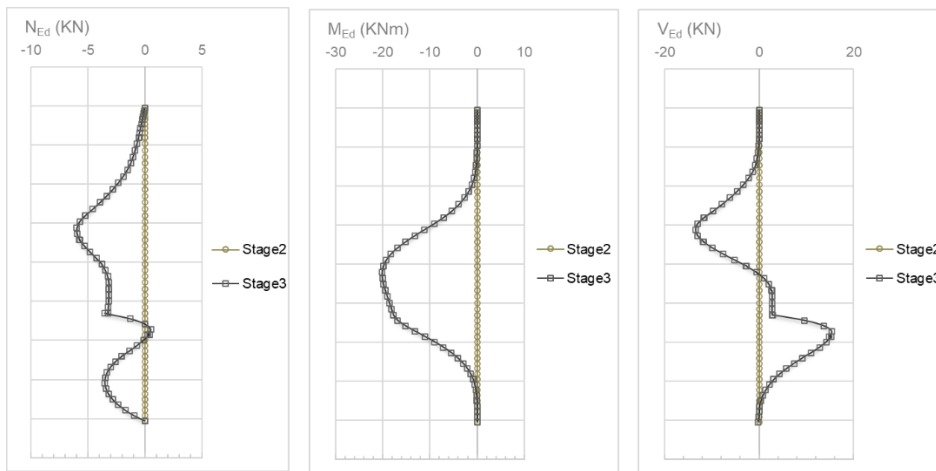


Figura 82. Sforzo assiale, taglio e momento di progetto per i diversi stage di calcolo – Schema A

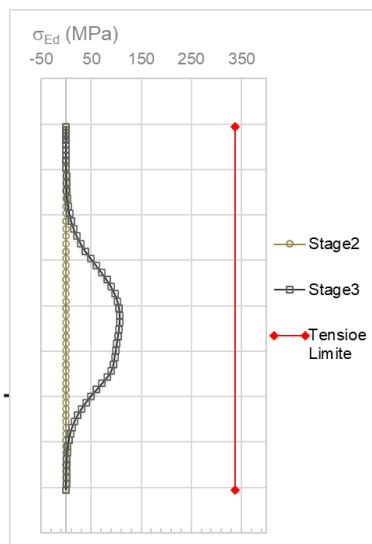


Figura 83. Tensione di verifica secondo NTC - Schema A

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



• **Schema B**

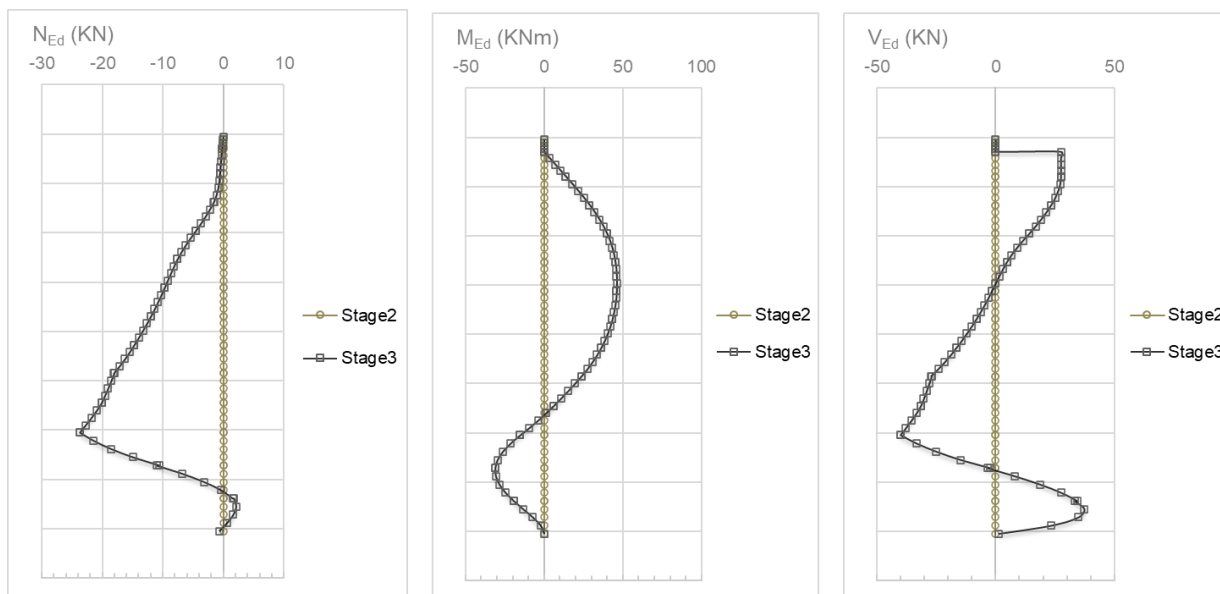


Figura 84. Sforzo assiale, taglio e momento di progetto per i diversi stage di calcolo – Schema B

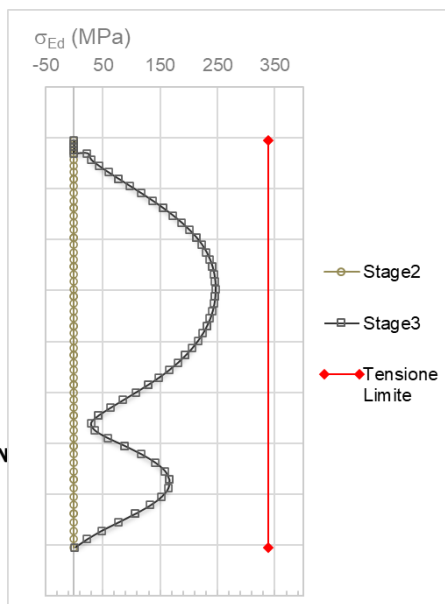


Figura 85. Tensione di verifica secondo N

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





### • Schema C

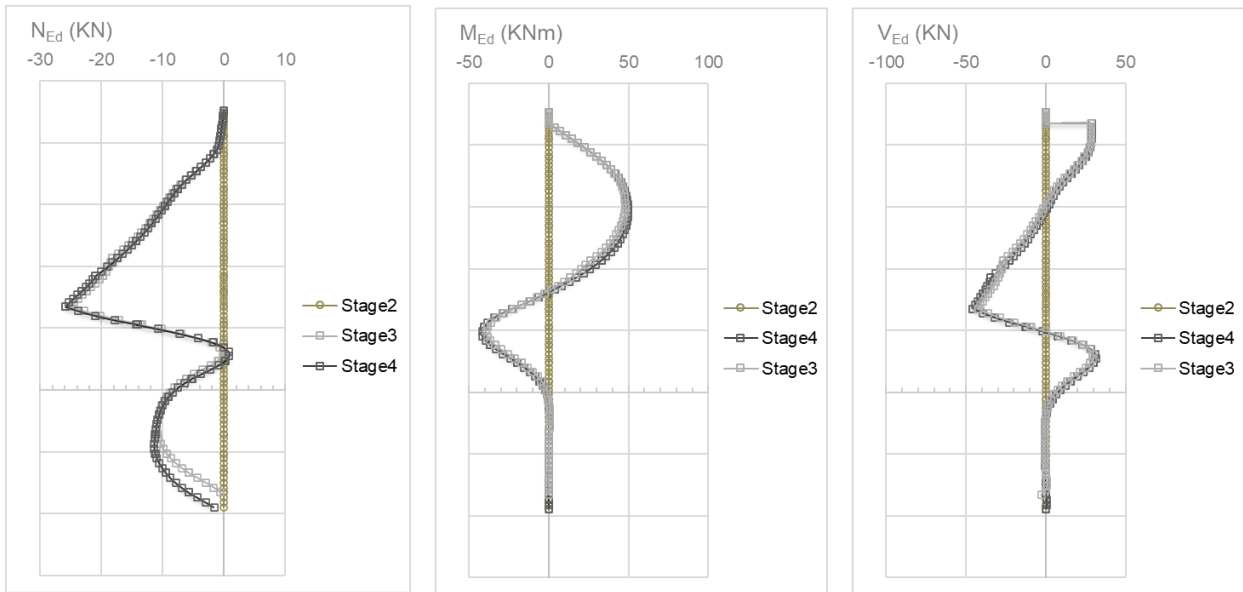


Figura 86. Sforzo assiale, taglio e momento di progetto per i diversi stage di calcolo – Schema C

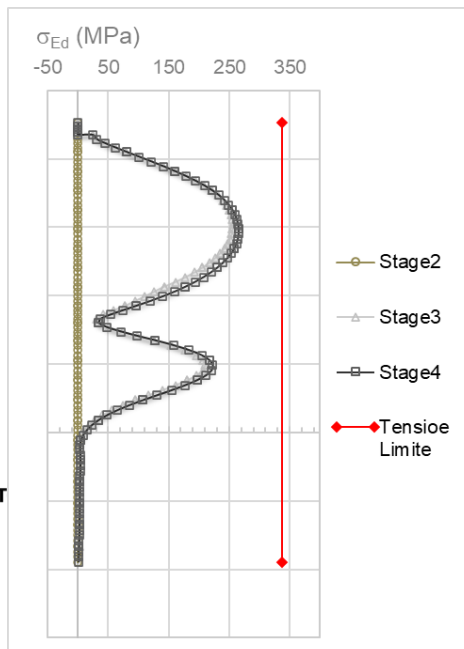


Figura 87. Tensione di verifica secondo NT

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



### • Schema D

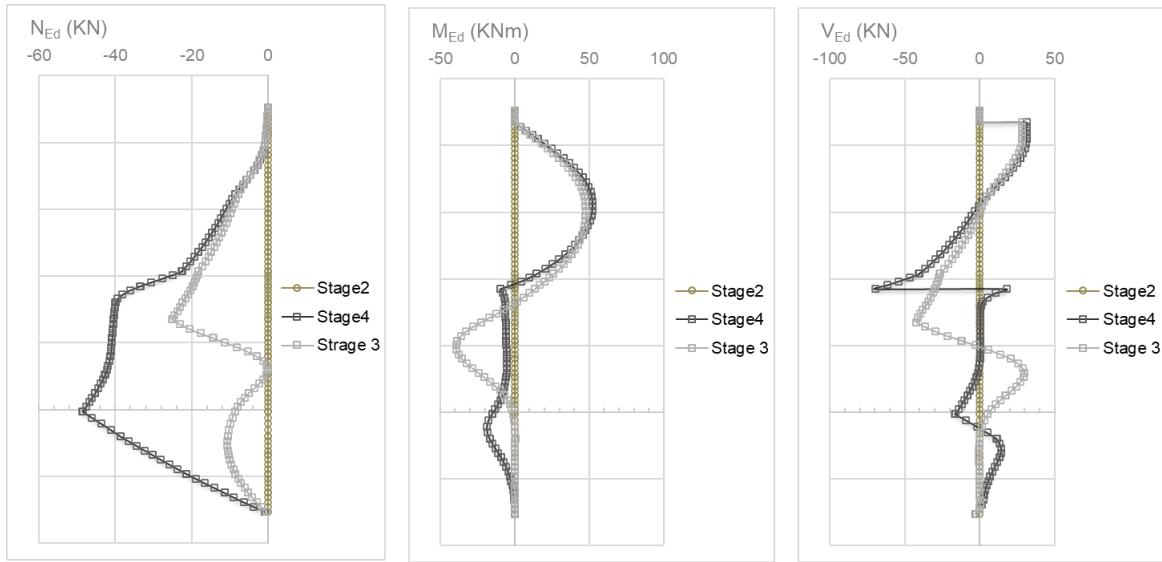
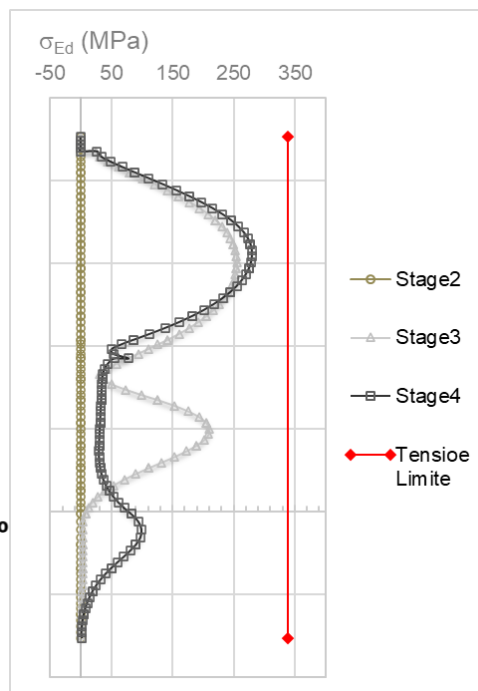



Figura 88. Sforzo assiale, taglio e momento di progetto per i diversi stage di calcolo – Schema D


Figura 89. Tensione di verifica secondo



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

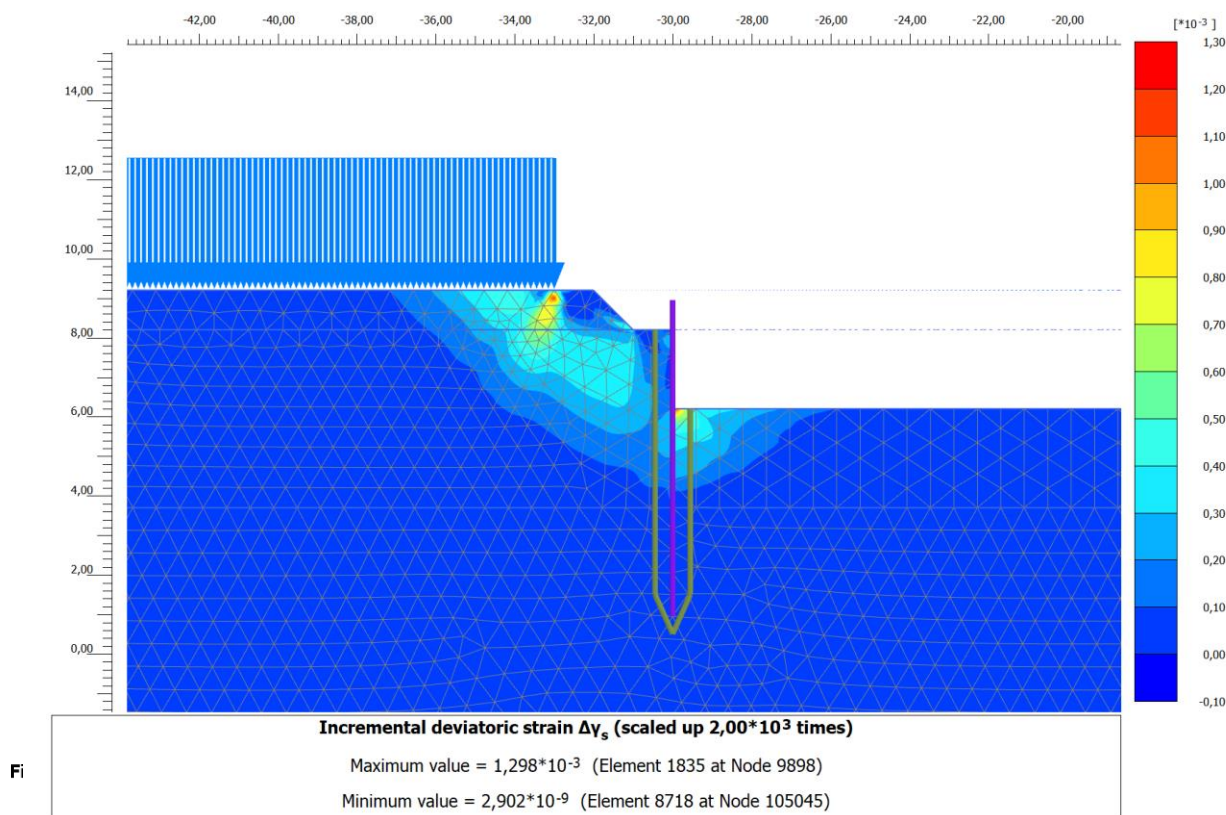
 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Novara - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1

## APPENDICE E

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Novara - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1

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

- **Schema A**



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

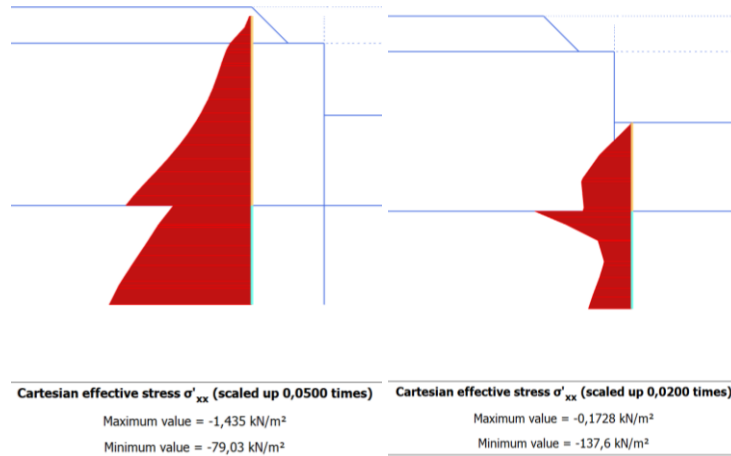


Figura 91. Tensioni orizzontali efficaci paratia - Lato monte e valle – Schema A

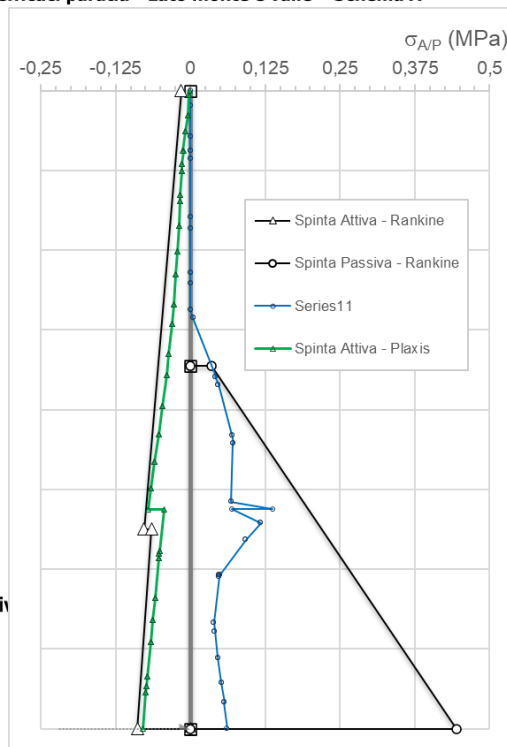


Figura 92. Confronto tensioni limite attive

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

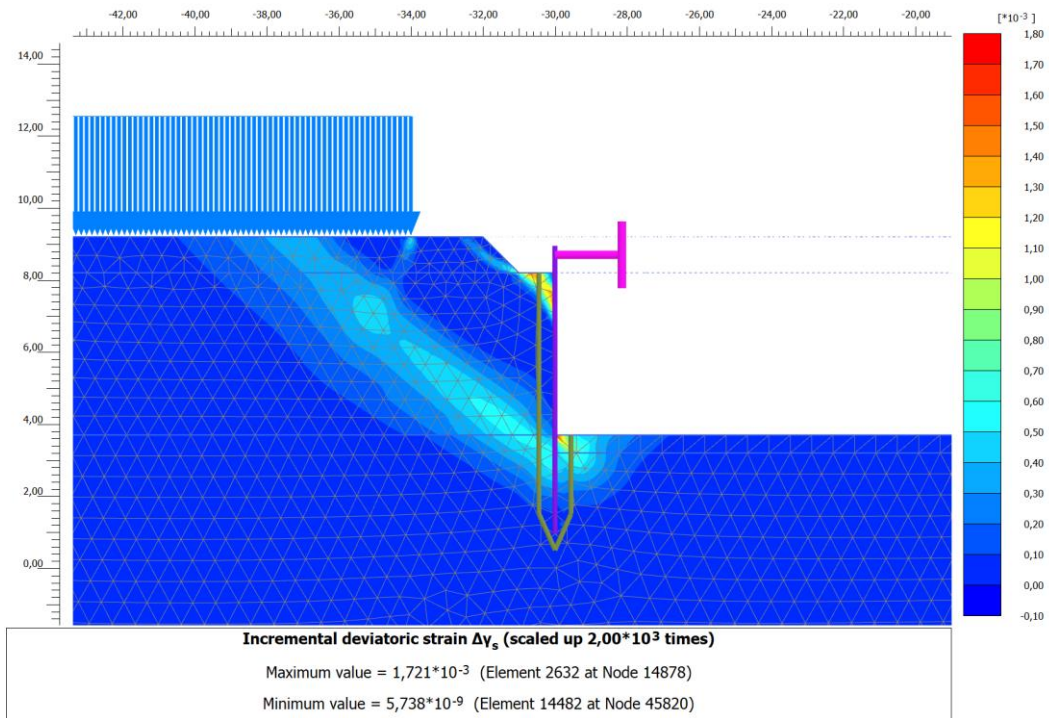
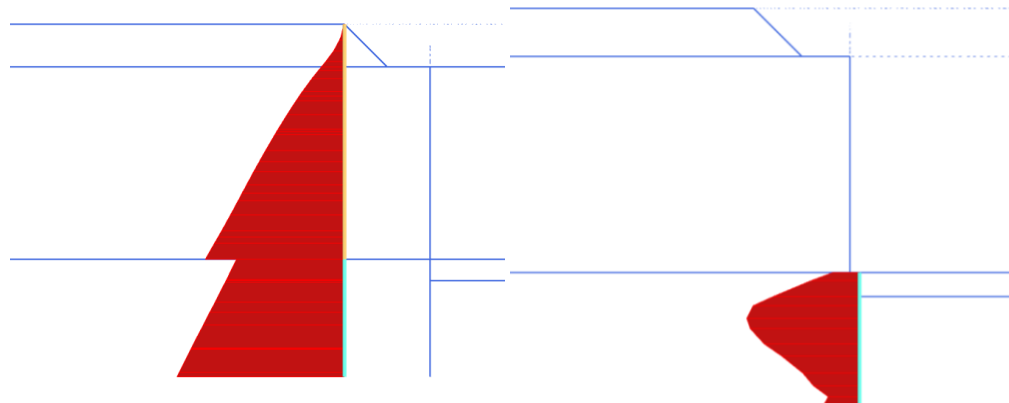


Figura 93

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

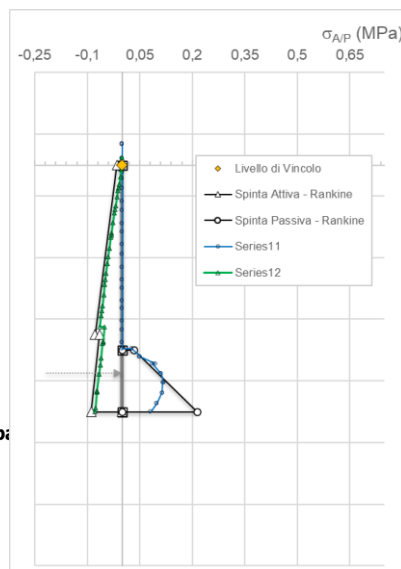


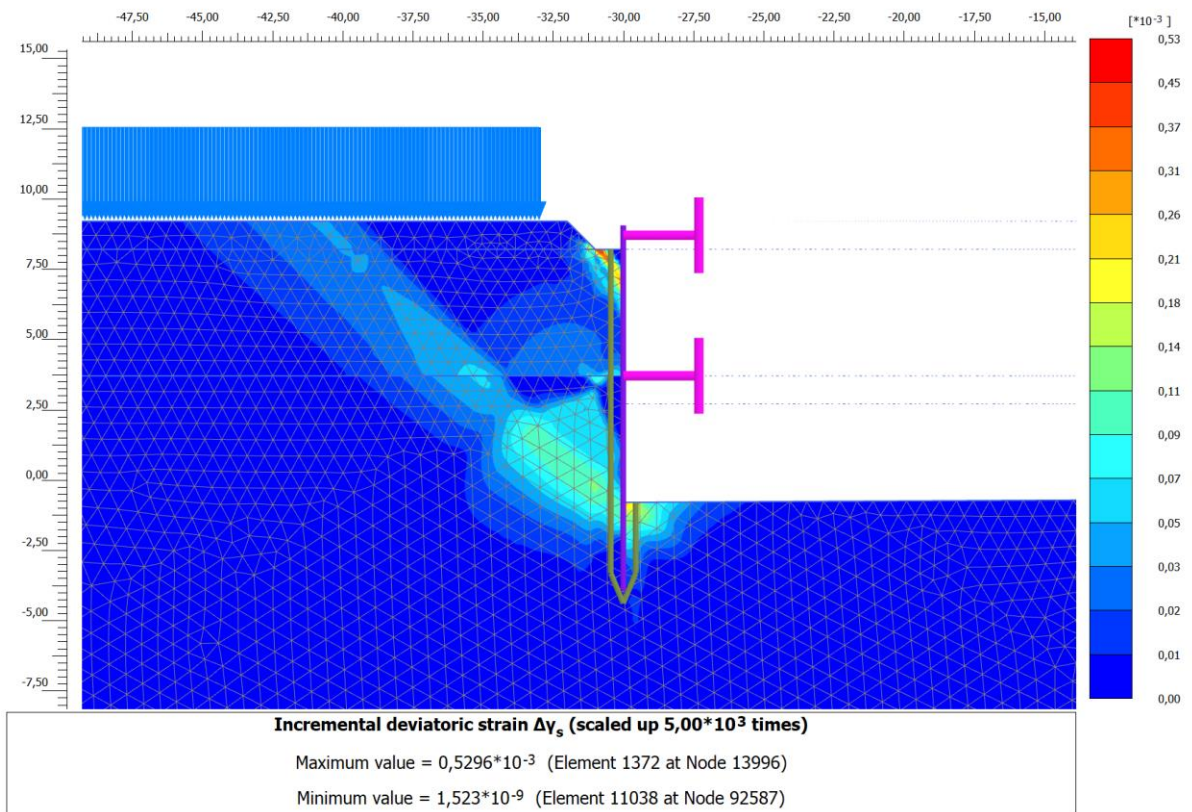
Figura 95. Confronto tensioni limite attive e passive - Lato monte e valle – Schema B

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.





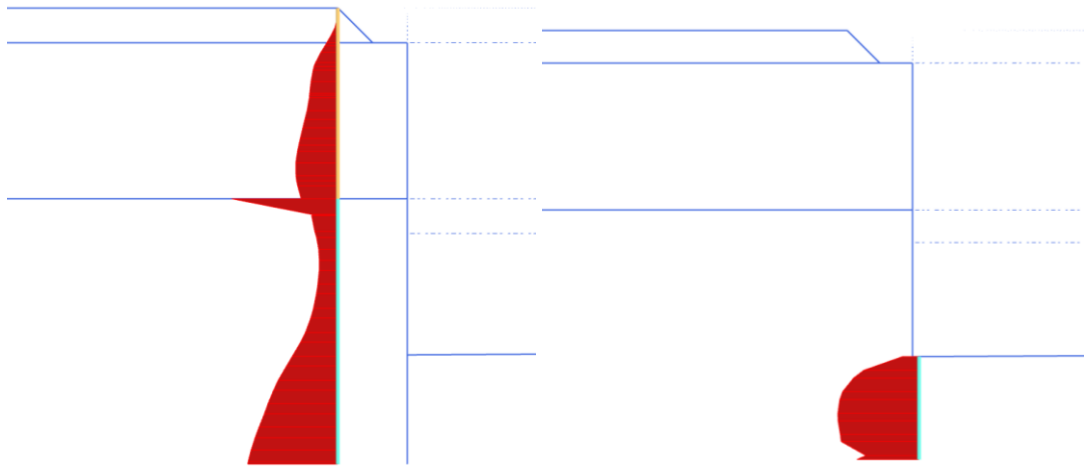
• Schema C



Figura

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

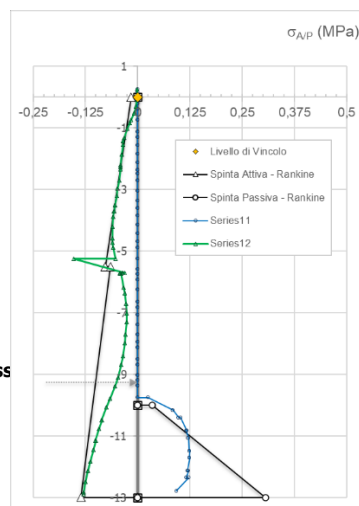


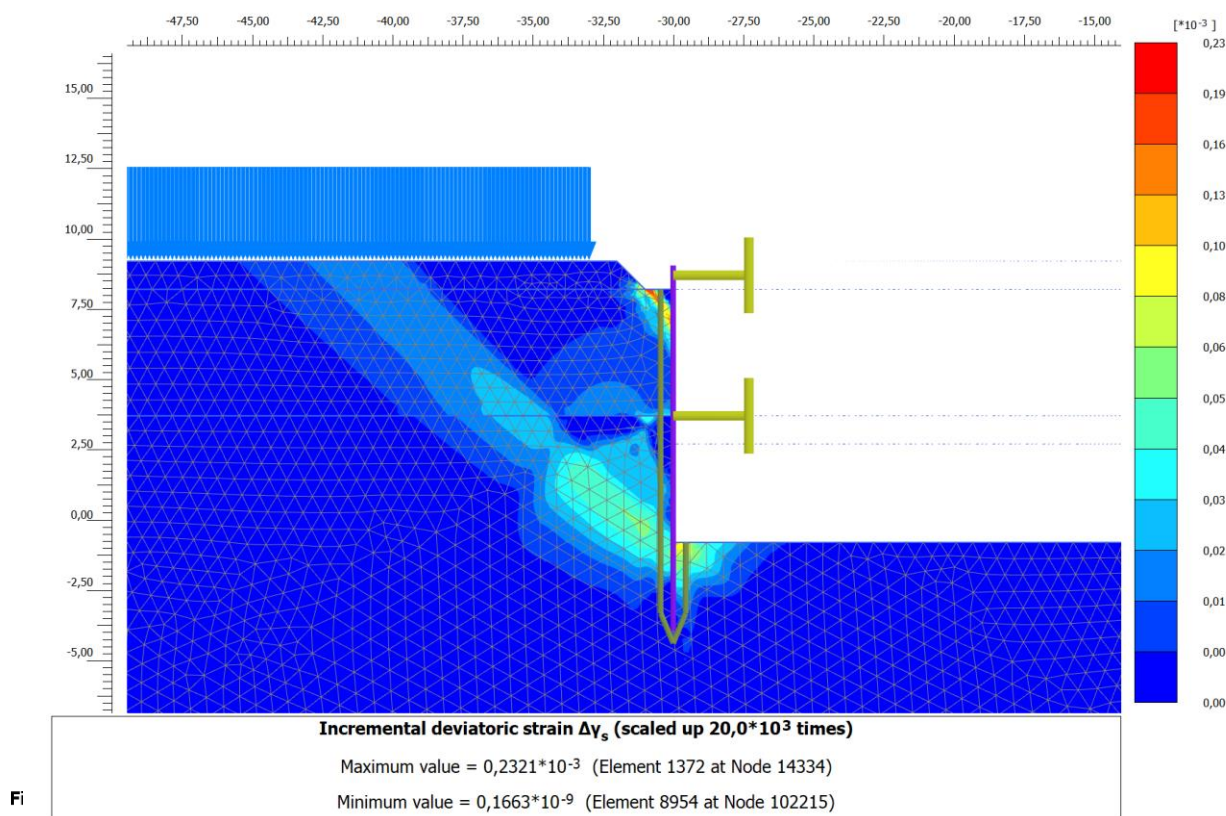
Figura 98. Confronto tensioni limite attive e pass

ema C

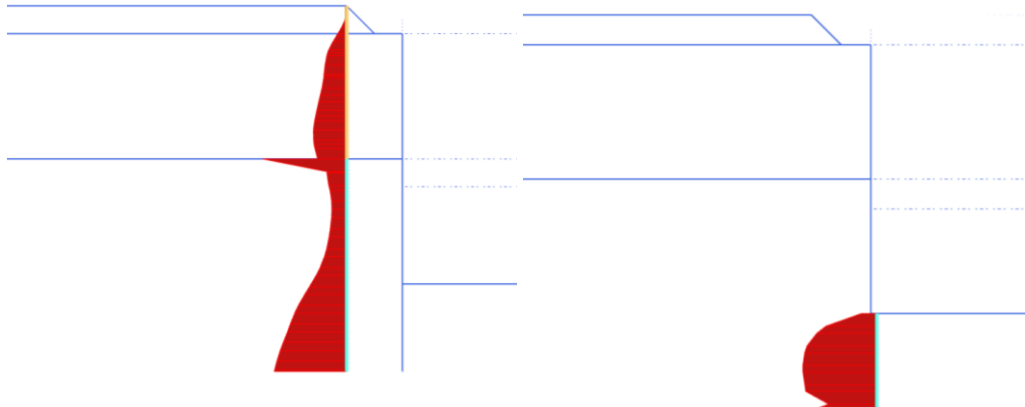
E' possibile osservare come, oltre al margine di sicurezza garantito dall'aver eseguito una analisi con i parametri di resistenza ridotti del fattore 1.25, la resistenza passiva a monte risulta attivata in una percentuale largamente inferiore al 50% rispetto alla spinta calcolabile con Rankine. Ciò garantisce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



• Schema D



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

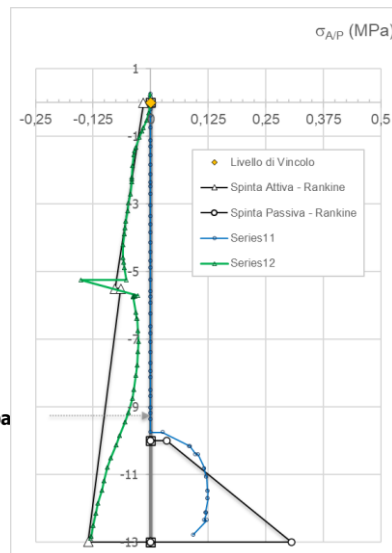




Figura 101. Confronto tensioni limite attive e passive - Schema D

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 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Novara - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1

## APPENDICE F

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Novara - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1

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 36 Caratteristiche geometriche puntone adottato - Schema B

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

Tabella 37 Sollecitazioni di progetto puntone – Schema B

Puntone	Y [m]	$N_K$ [kN]	$N_{K,MIN}$ [kN]	$N_{D,MIN}$ [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 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Novara - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1


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>D,Rd</sub>	KN	812,4

Figura 102.

## • 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:


	<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 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Novara - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1

	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 puntoni 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 puntoni:

VERIFICA PUNTONE PARATIA		
Tipo Tubo (mm)		219,1
		8
Interasse Tubo (m)		3
Lunghezza Tubo (m)		7,2
Diametro esterno	D <sub>Ext</sub> (m)	0,2191
Diametro interno	D <sub>Int</sub> (m)	0,2031
Area Palo acciaio	A (m <sup>2</sup> )	0,005305522
Momento Inerzia Palo acciaio	I (m <sup>4</sup> )	2,95963E-05
Modulo di resistenza	W <sub>EL</sub> (mm <sup>3</sup> )	0,000270163
Modulo di Young Acciaio	E (kPa)	210000000
Acciaio di costruzione	Tipo	S355
Tensione caratteristica a snervamento	f <sub>yk</sub> (MPa)	355
Coefficiente materiali	γ (-)	1,05
Tensione di progetto a snervamento	f <sub>yd</sub> (MPa)	338,1
INSTABILITA' PUNTONE		
ε	(-)	0,813616513
d/t	(-)	27,3875
CLASSE SEZIONE	(-)	1
Azione sollecitante Output	(KN/m)	192,31267
Azione Per Verifica	(KN)	865,4
N <sub>CR</sub>	KN	1183,3
λ	-	1,2616
α	-	0,21
Φ	-	1,407
χ	-	0,492
N <sub>b,Rd</sub>	KN	883,2

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Novara - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1

- **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 40 Caratteristiche geometriche puntone adottati - Schema D


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

Tabella 41 Sollecitazioni di progetto puntone – Schema D

	<b>Puntone</b>	<b>Y [m]</b>	<b><math>N_K</math> [kN]</b>	<b><math>N_{K,MIN}</math> [kN]</b>	<b><math>N_{D,MIN}</math> [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 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Novara - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1

○ **Primo livello**

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)	53,56
Azione Per Verifica	(KN)	241,0
$N_{CR}$	KN	1109,4
$\lambda$	-	1,5285
$\alpha$	-	0,21
$\Phi$	-	1,808
$\chi$	-	0,361
$N_{b,Rd}$	KN	890,3



CITTA' DI TORINO

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


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

MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1


○ Secondo livello

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		
$\epsilon$	(-)	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

Figur

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Novara - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1

## APPENDICE G

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Novara - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1

- **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.

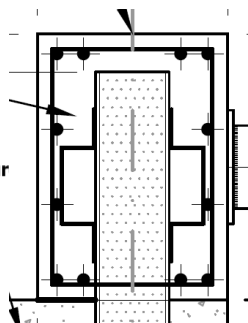
Considerando quindi lo sforzo normale massimo relativo ottenuto sul puntone di testa dallo schema C, si ha:

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

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


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 106. Particolare armatur



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

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

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Novara - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1

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

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:

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

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

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:



CITTA' DI TORINO

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

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

MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1

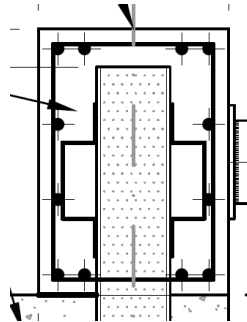


Figura 107. Particolare armature trave di testa

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


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

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


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

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 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Novara - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1

## APPENDICE H

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Novara - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1

- **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 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Novara - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1

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

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 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Novara - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1

<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 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Novara - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1

## 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

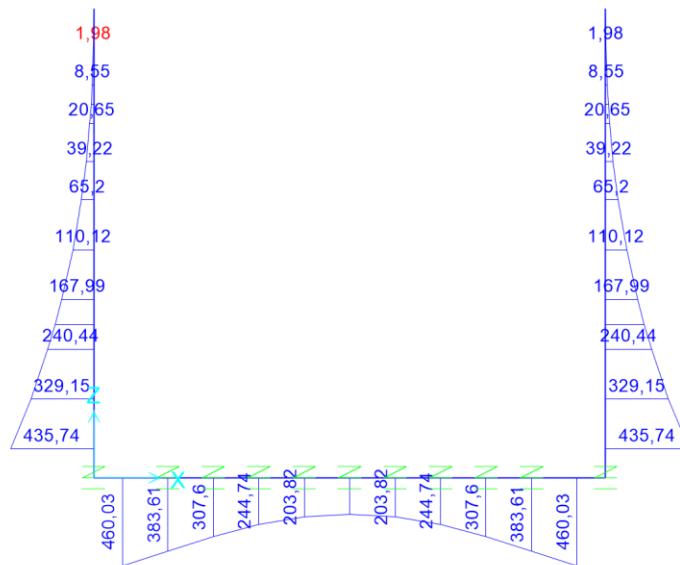


Figura 259. Momento flessione  $M_{xx}$

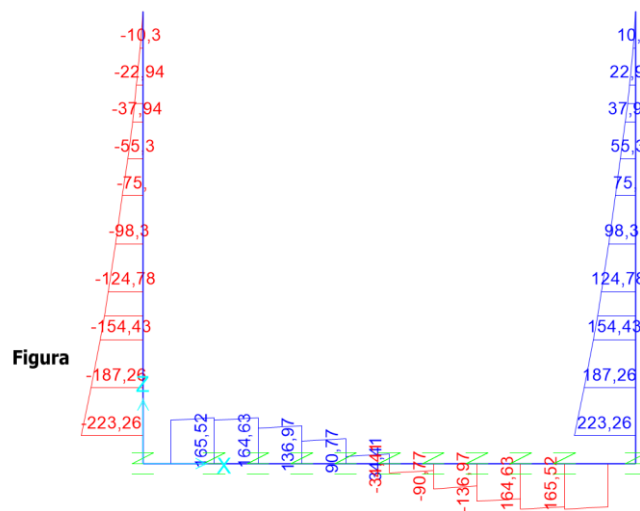


Figura 260. Momento flessione  $M_{yy}$



SLU STR SISMA X

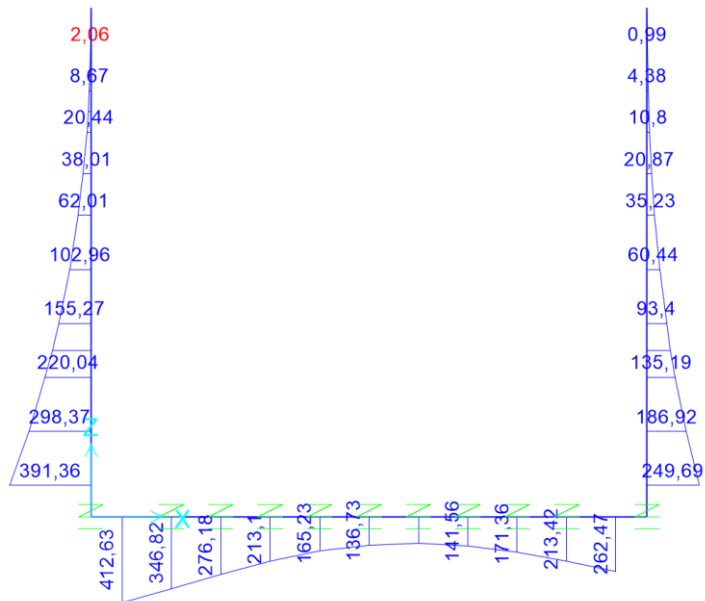
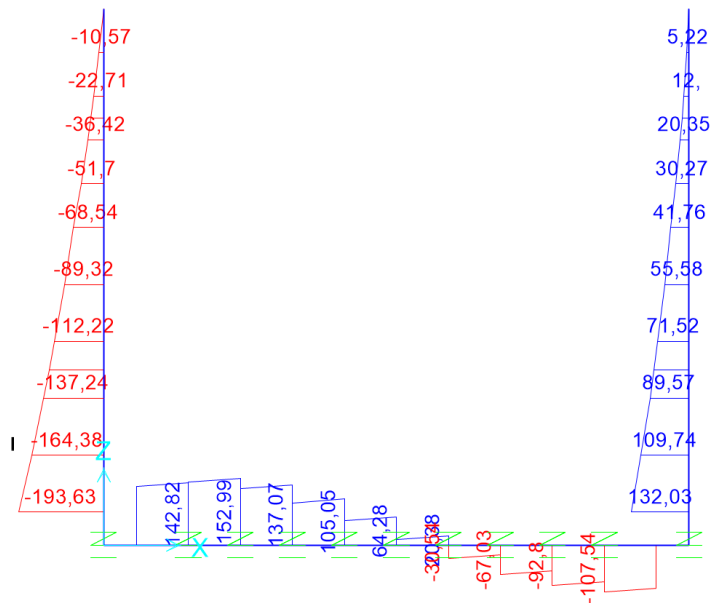


Figura 110. Momento flettente M3-3





SLE RARA

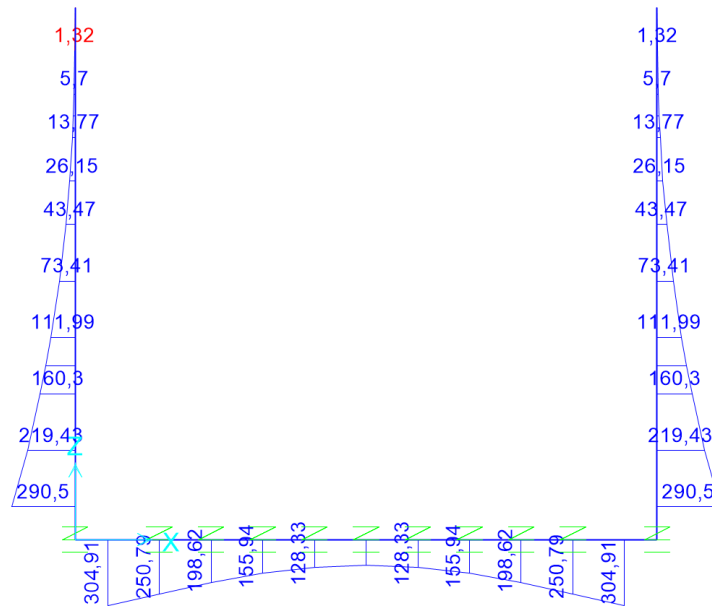
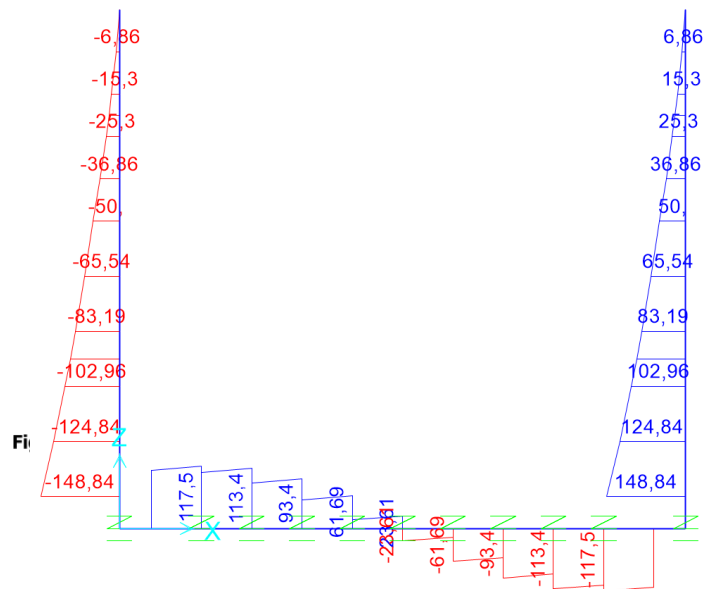


Figura 112. Momento flettente M3-3



SLE FREQUENTE



CITTA' DI TORINO

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

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

MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1

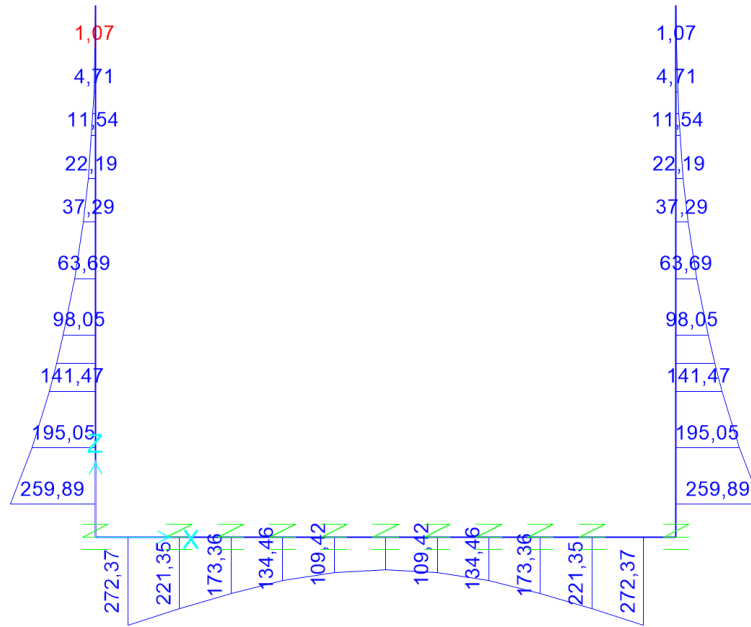
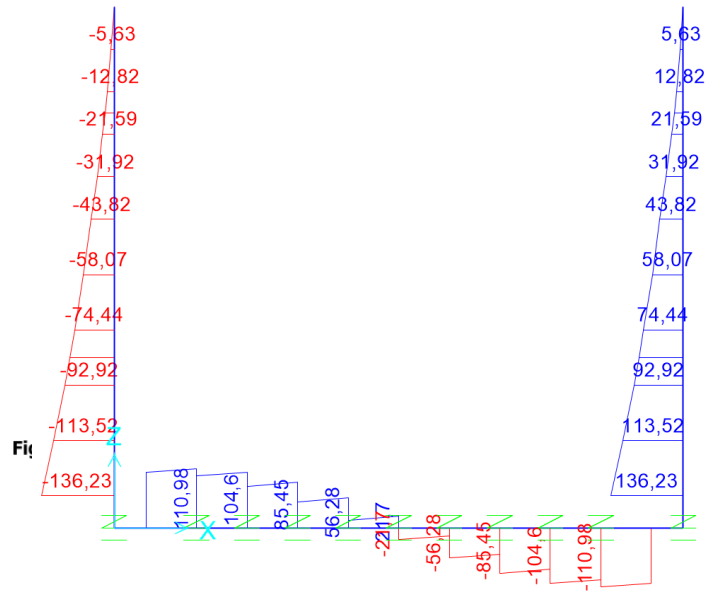


Figura 114. Momento flettente M3-3





SLE QUASI PERMANENTE

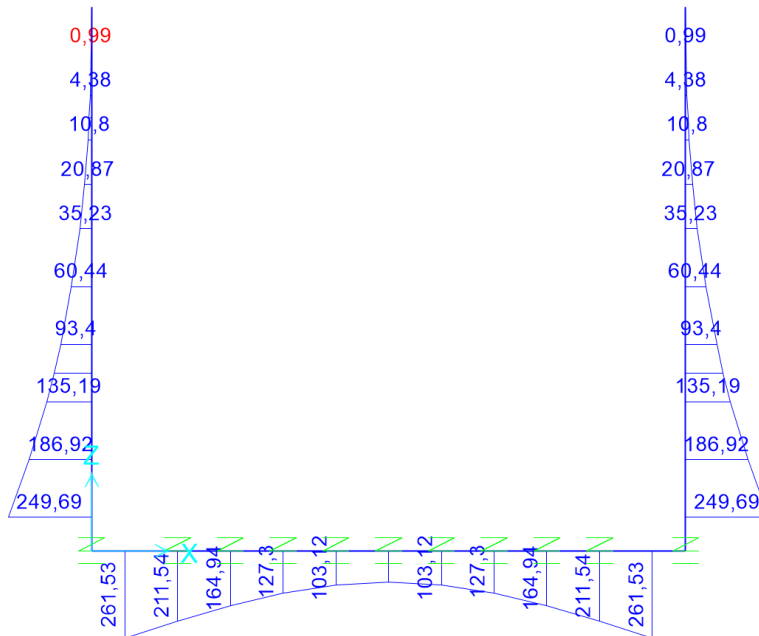
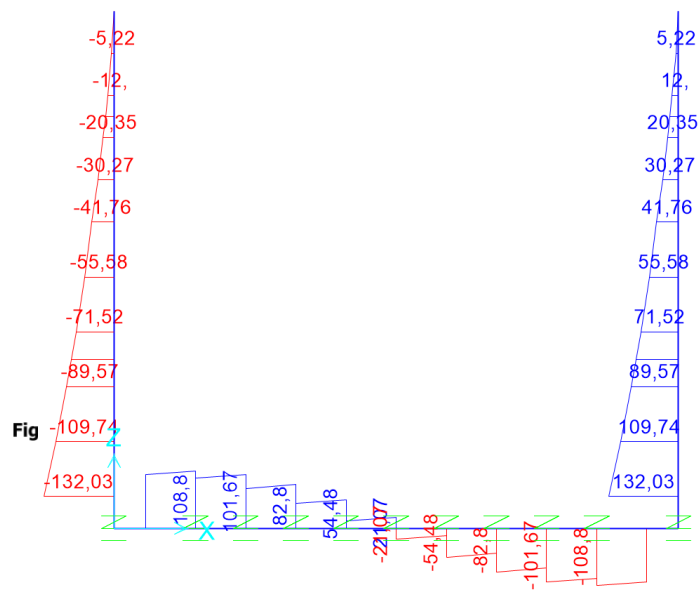



Figura 116. Momento flettente M3-3



Fig



 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Novara - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1

## 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 42 Capacità delle sezioni tipologiche

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

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


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

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Novara - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1

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 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Novara - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1

## 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

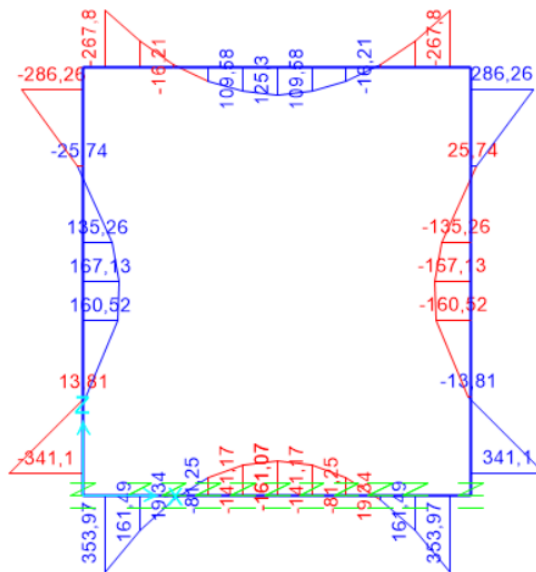


Figura 118.

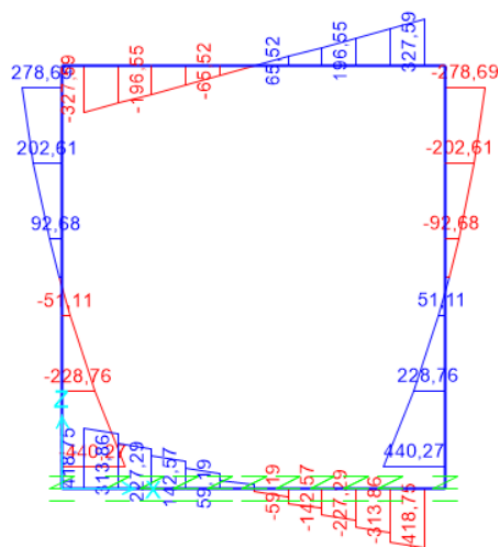


Figura 119.



SLU STR SISMA X

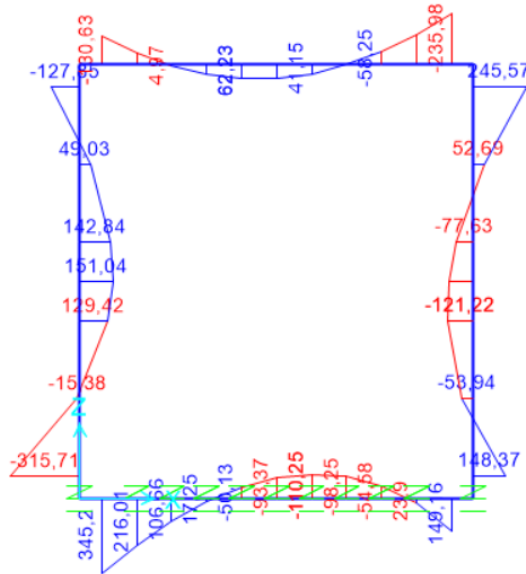


Figura 120. Momento flettente M3-3

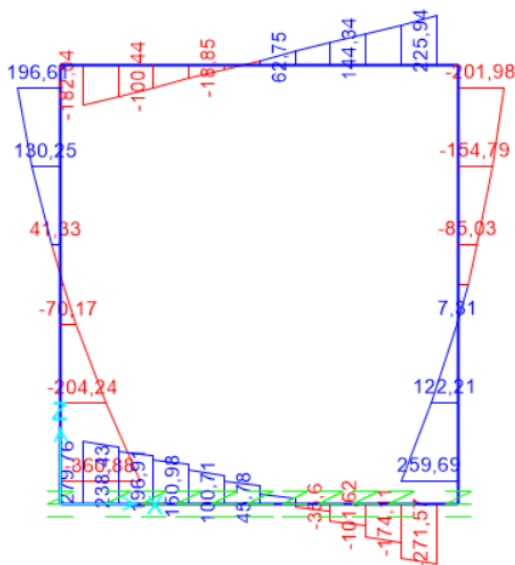


Figura 12:



SLE RARA

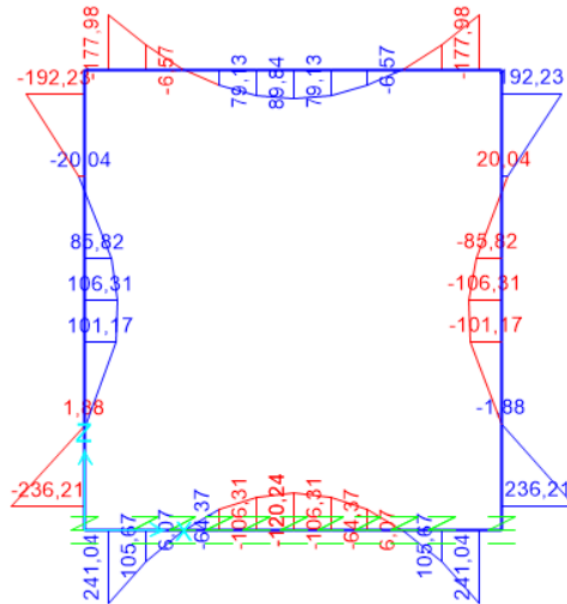


Figura 122. Momento flettente M3-3

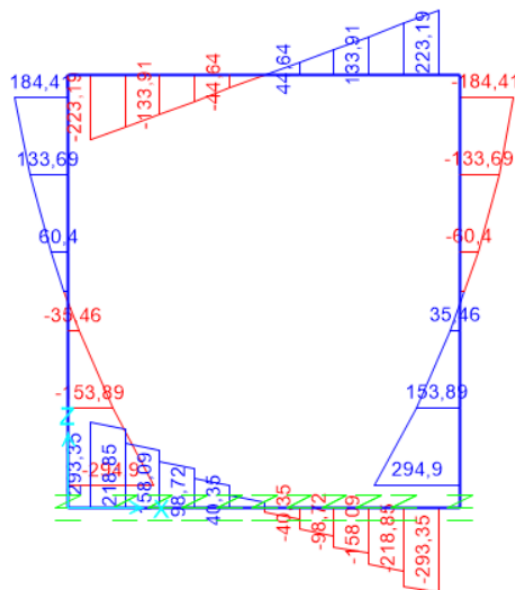


Figura 123



SLE FREQUENTE

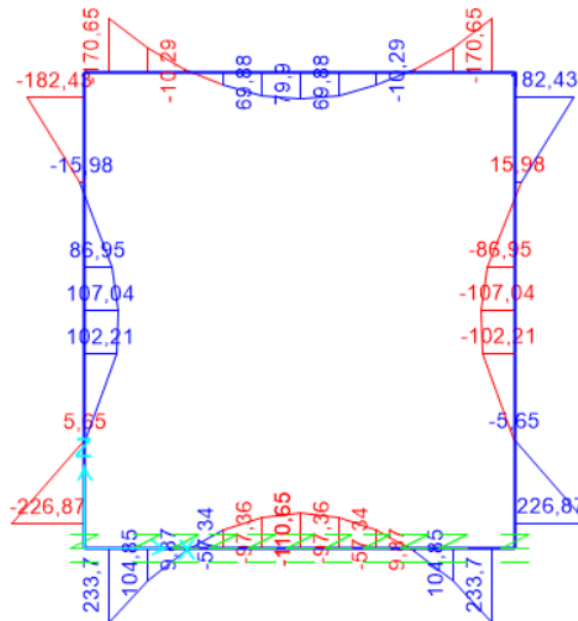


Figura 124. momento frequente M-kN

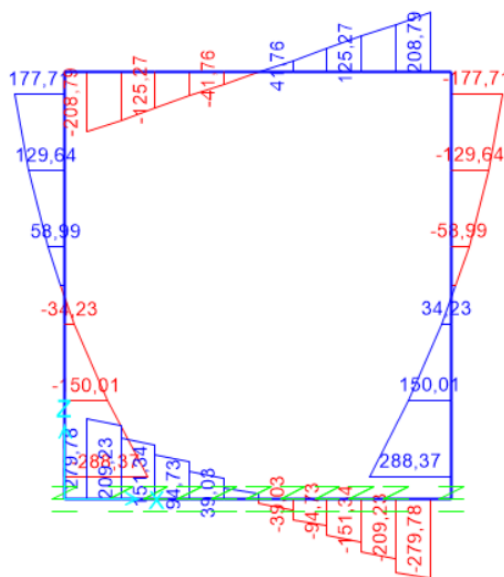


Figura 125



SLE QUASI PERMANENTE

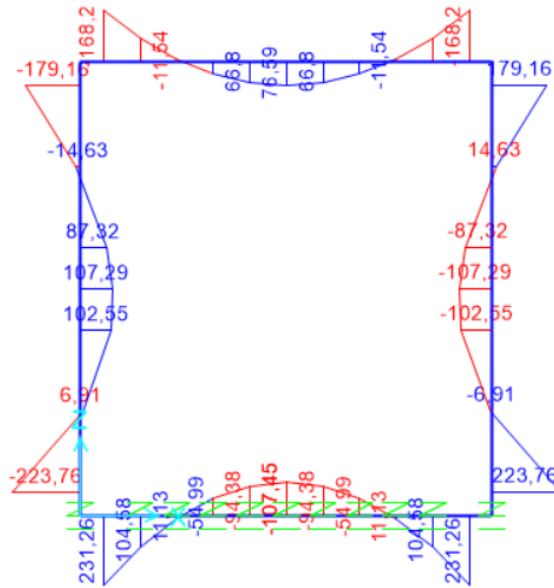


Figura 126. Momento flettente M3-3

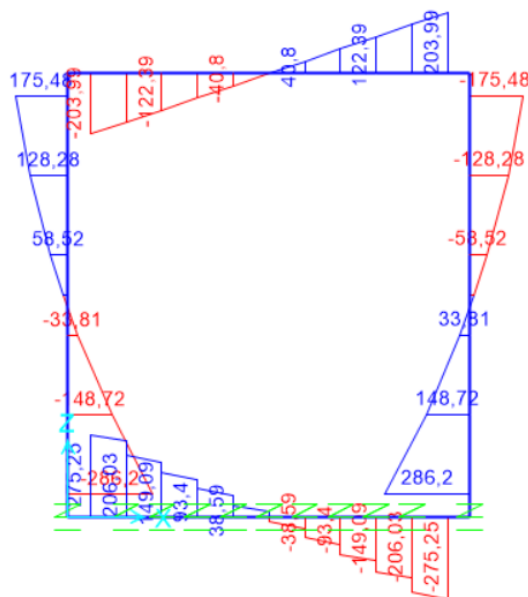



Figura 12



 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Novara - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1

### **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 inviluppi 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 43 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 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Novara - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1

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 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Novara - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1

## 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

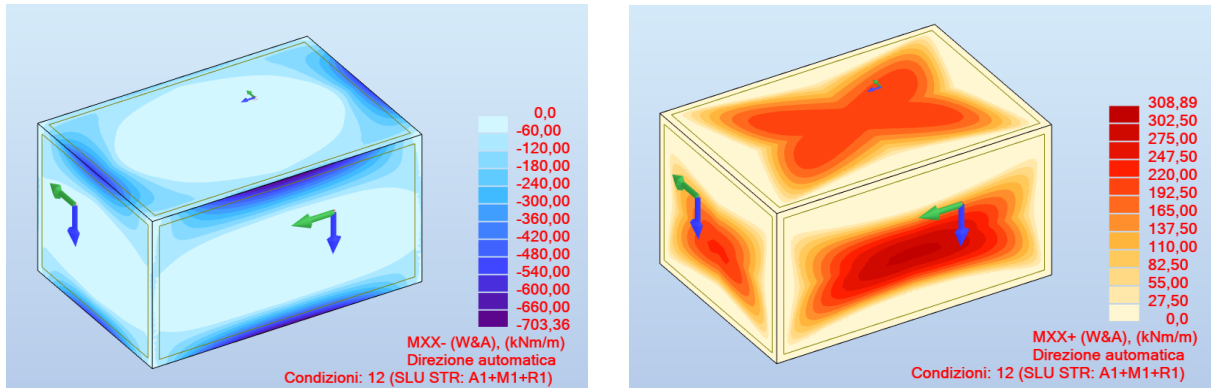
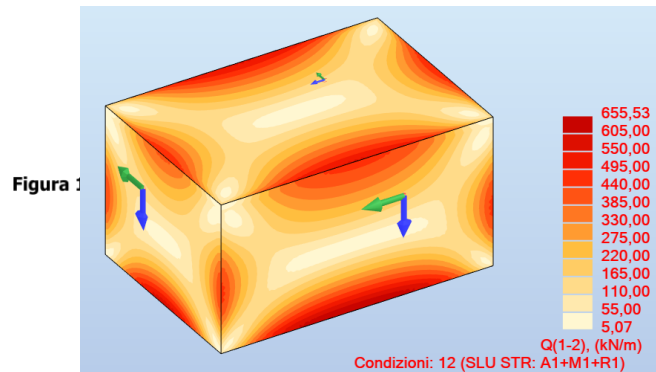
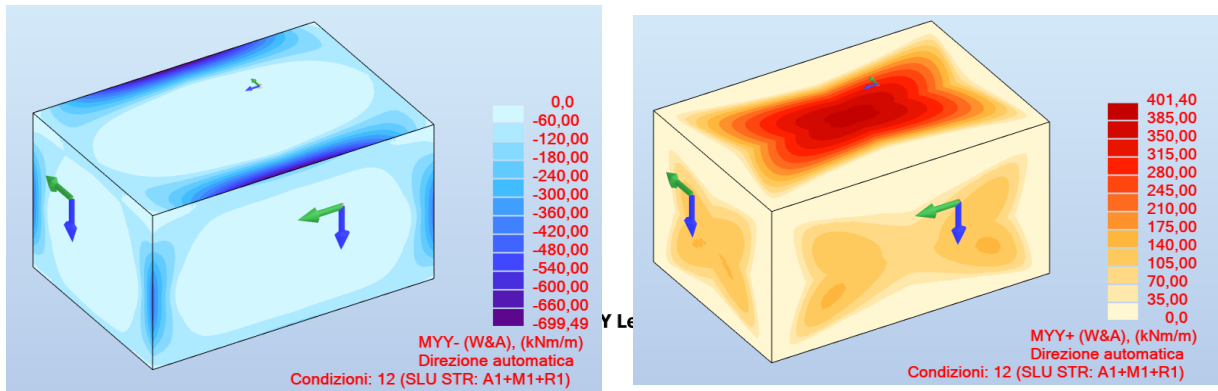
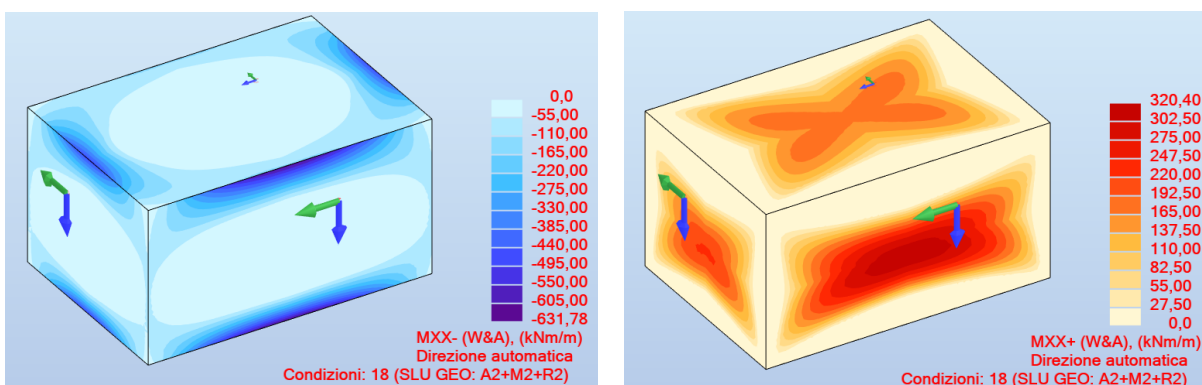


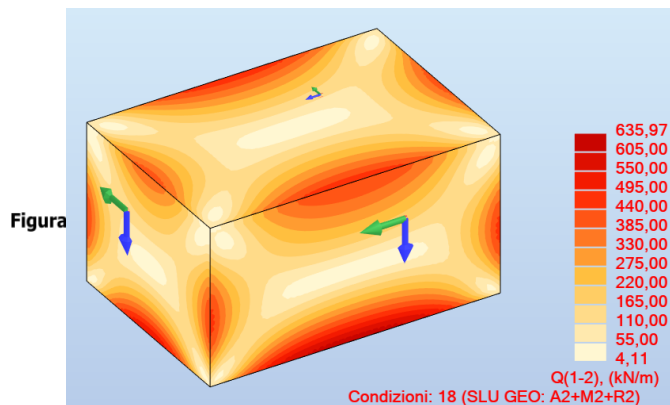
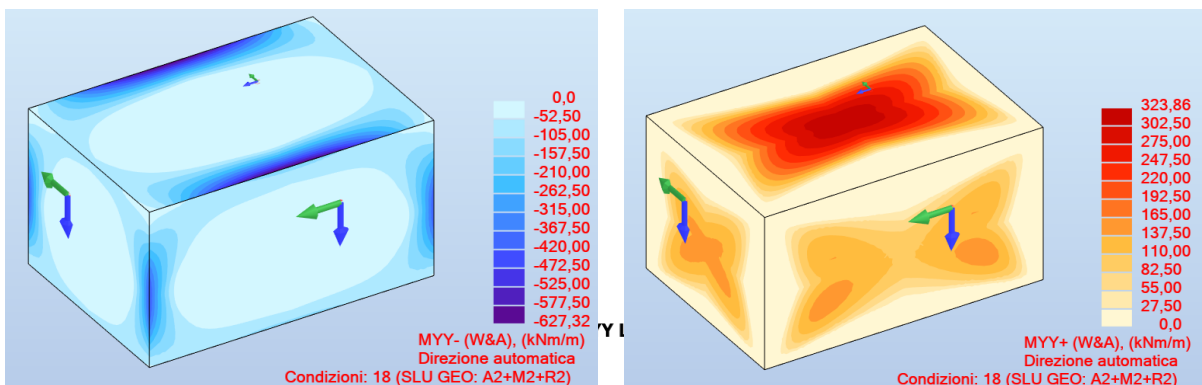
Figura 128. Momento flettente  $M_{XX}$  Lembo superiore e  $M_{XX}$  Lembo inferiore



**SLU GEO A2+M2+R2**



**Figura 131. Momento flettente MXX Lembo superiore e MXX Lembo inferiore**





SLU STR SISMA X

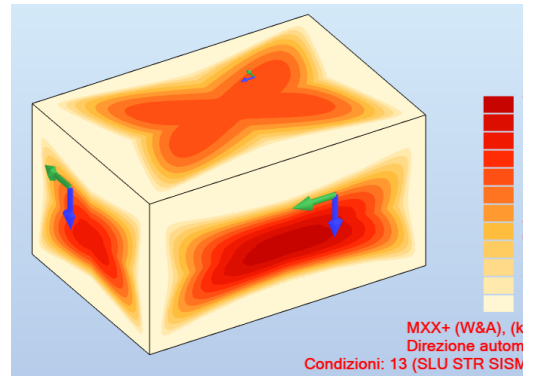
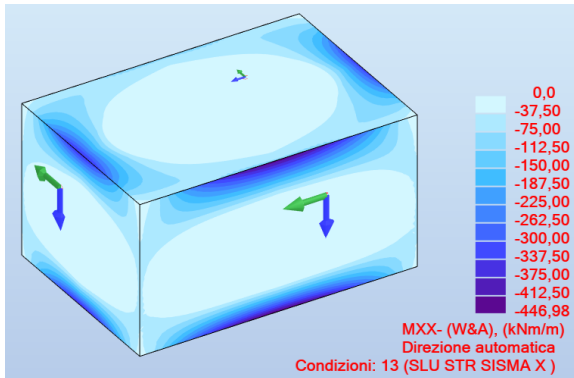
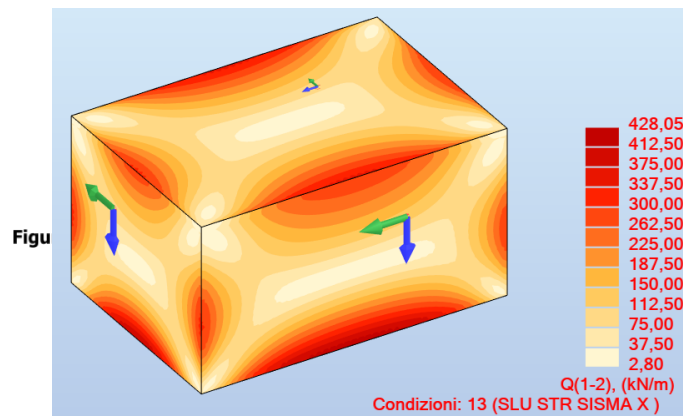
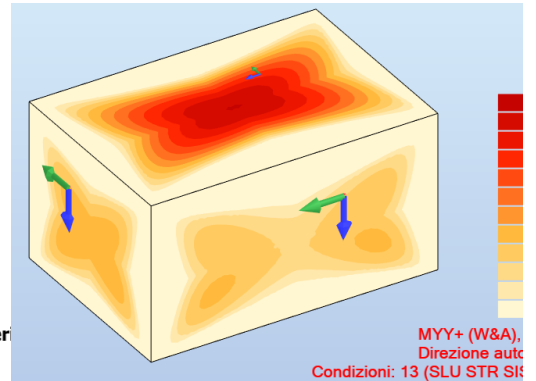
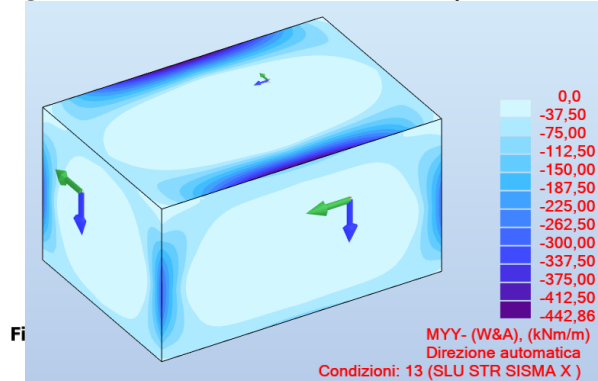


Figura 134. Momento flettente MXX Lembo superiore e MXX Lembo inferiore





SLU STR SISMA Y

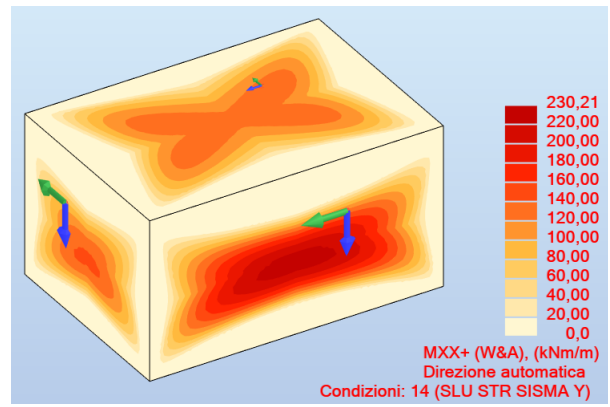
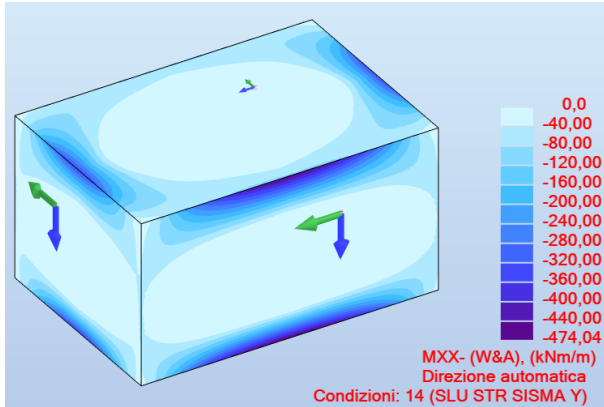
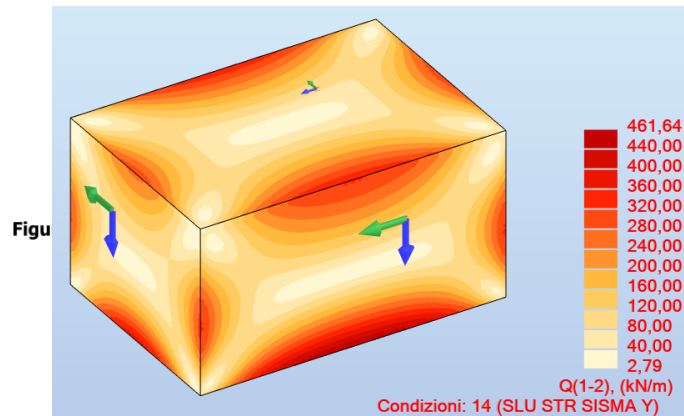
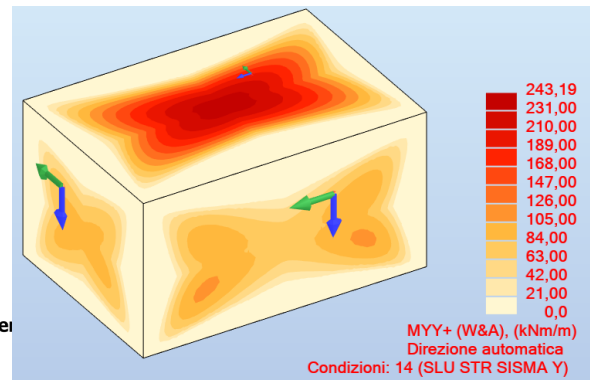
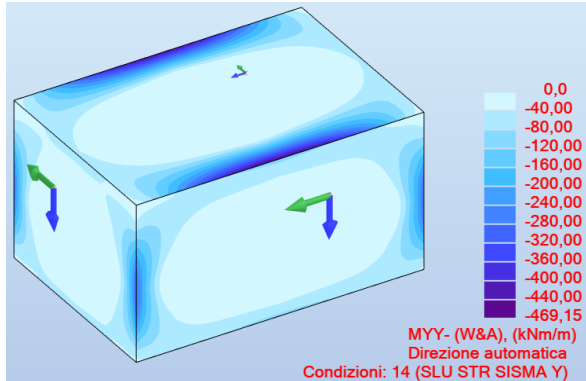


Figura 137. Momento flettente MXX Lembo superiore e MXX Lembo inferiore





SLU GEO SISMA X

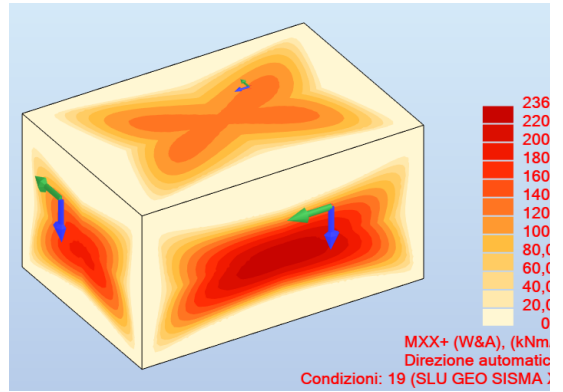
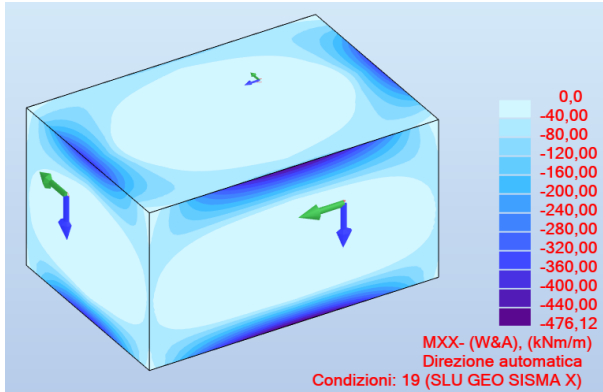
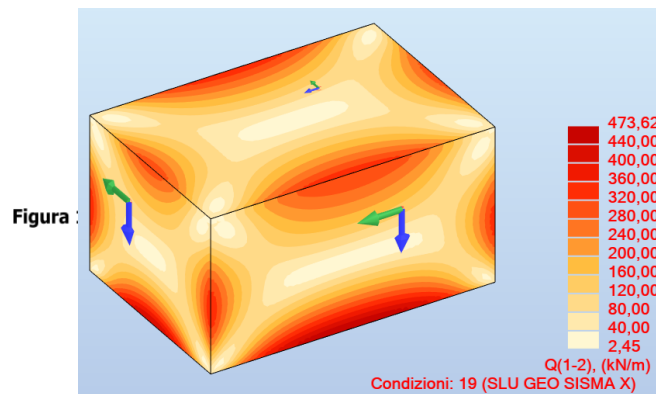
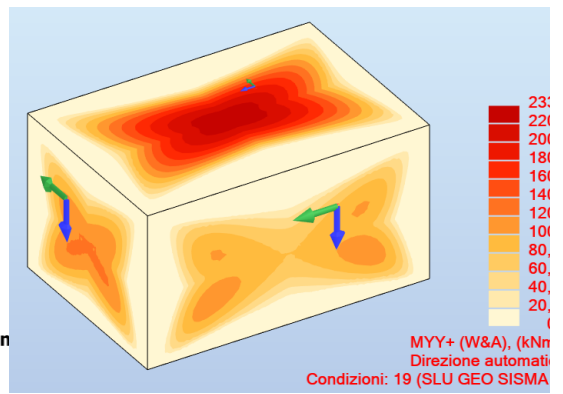
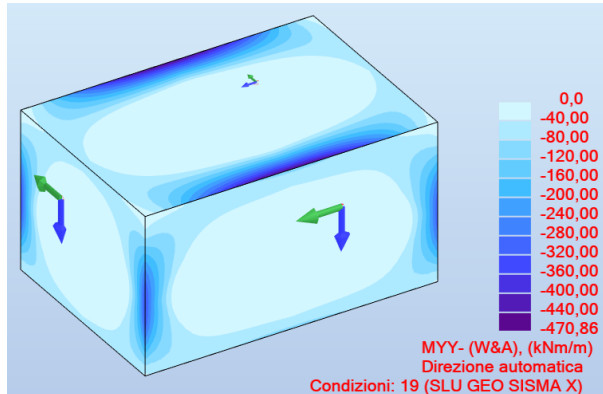


Figura 140. Momento flettente MXX Lembo superiore e MXX Lembo inferiore







SLU GEO SISMA Y

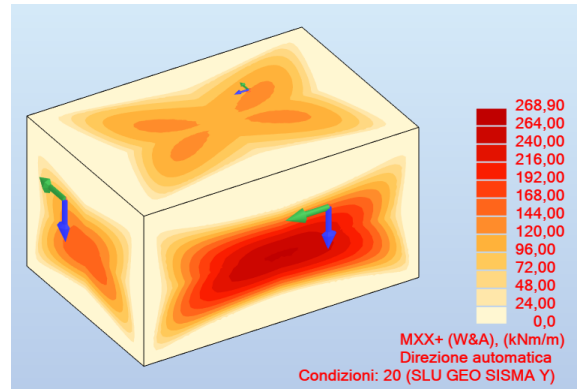
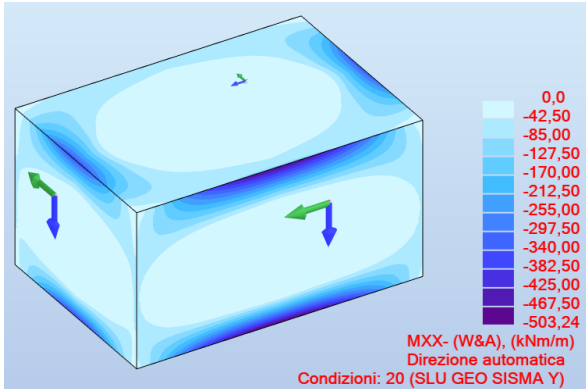
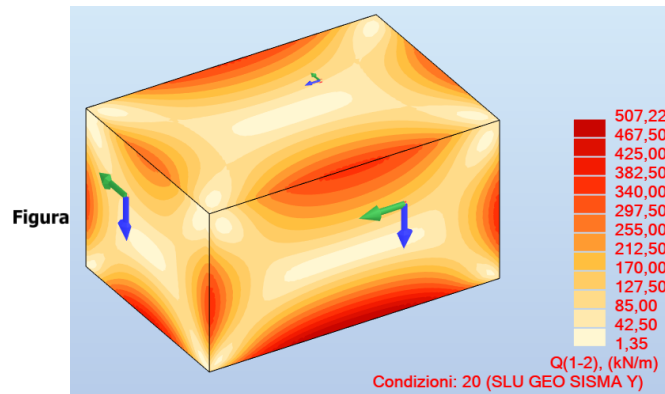
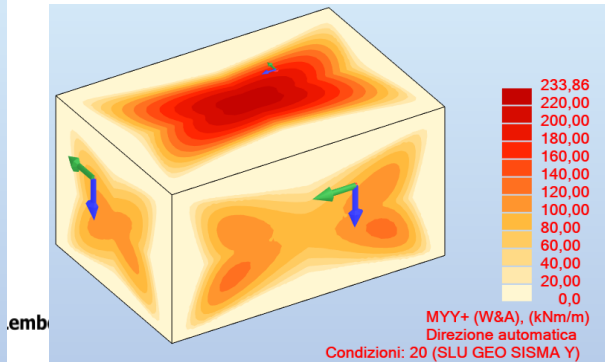
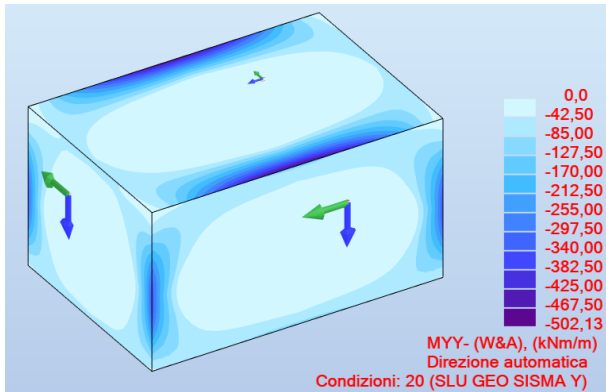


Figura 143. Momento flettente MXX Lembo superiore e MXX Lembo inferiore





SLE RARA

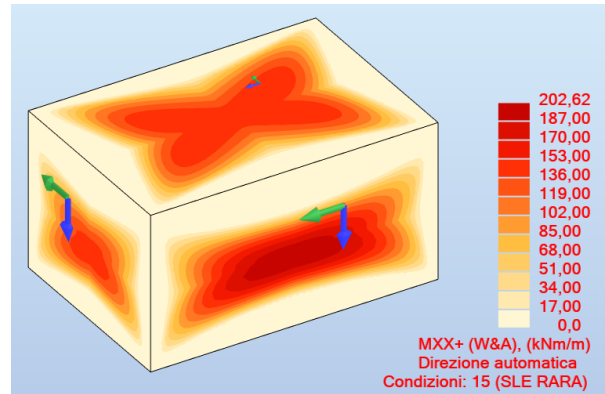
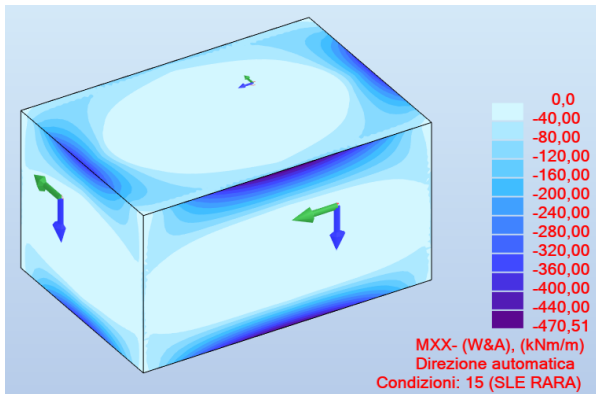


Figura 146. Momento flettente MXX Lembo superiore e MXX Lembo inferiore

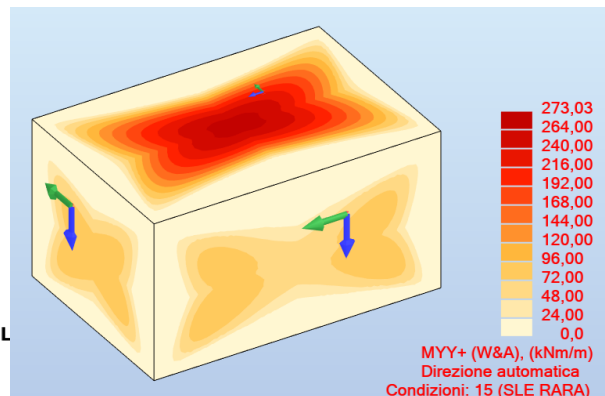
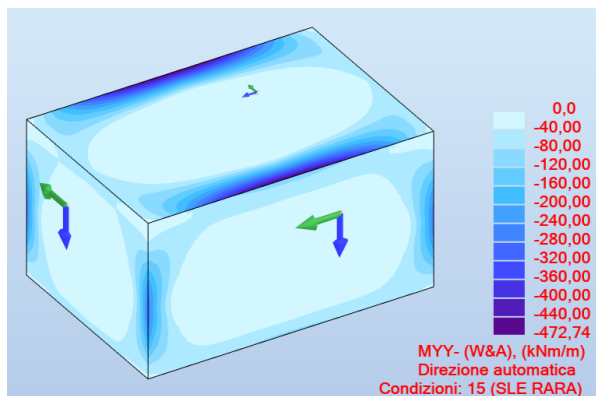
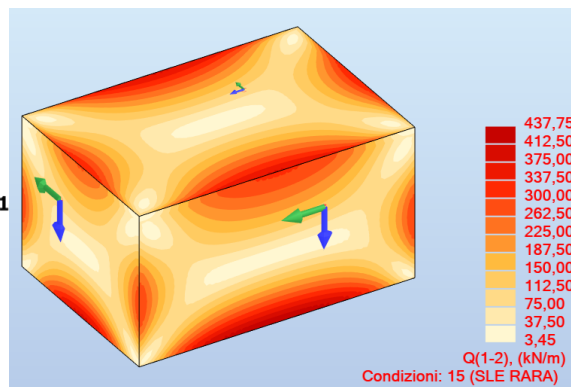


Figura 1





SLE FREQUENTE

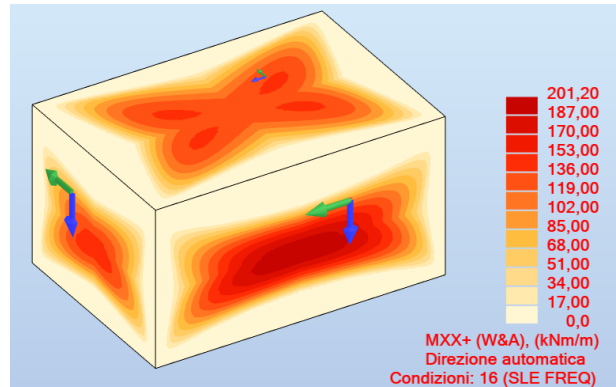
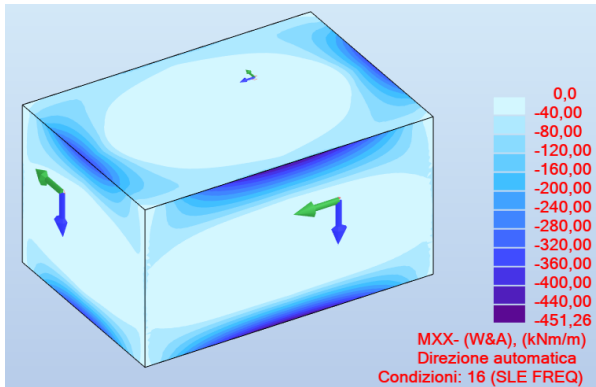


Figura 149. Momento flettente MXX Lembo superiore e MXX Lembo inferiore

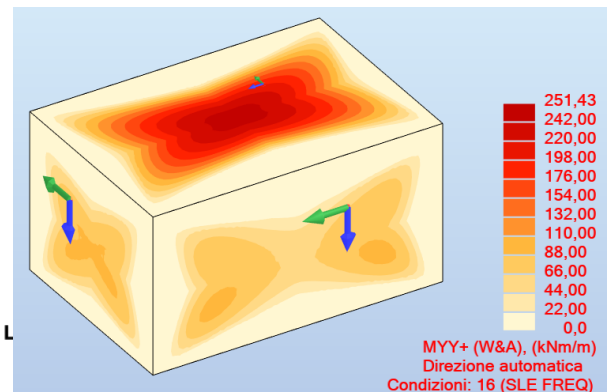
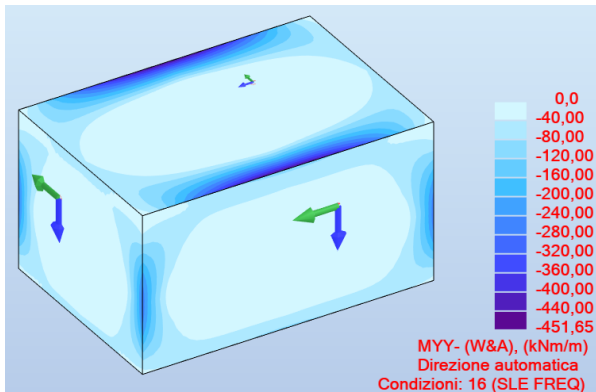
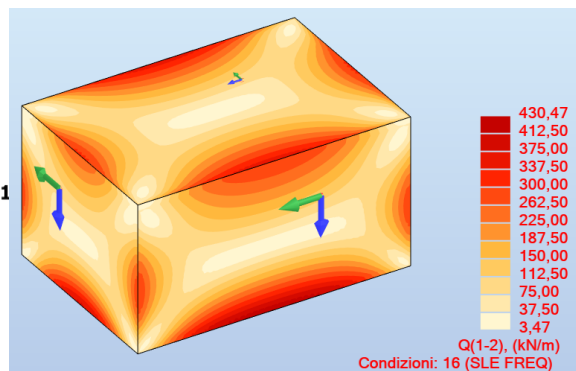


Figura 1





SLE QUASI PERMANENTE

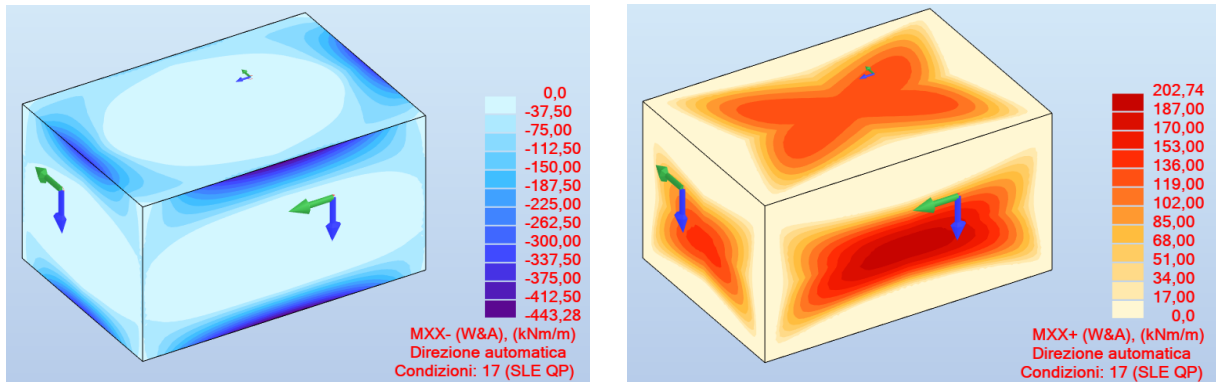
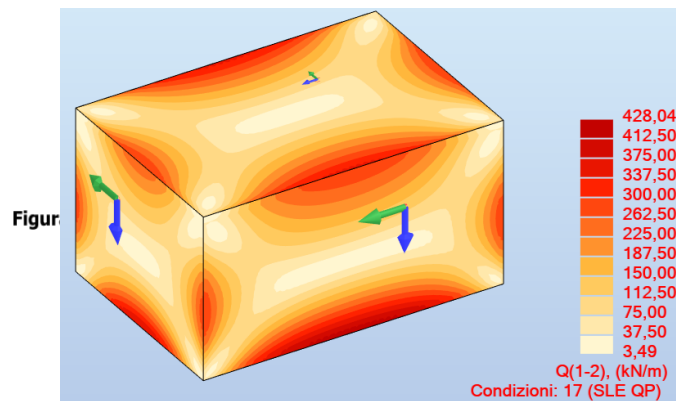
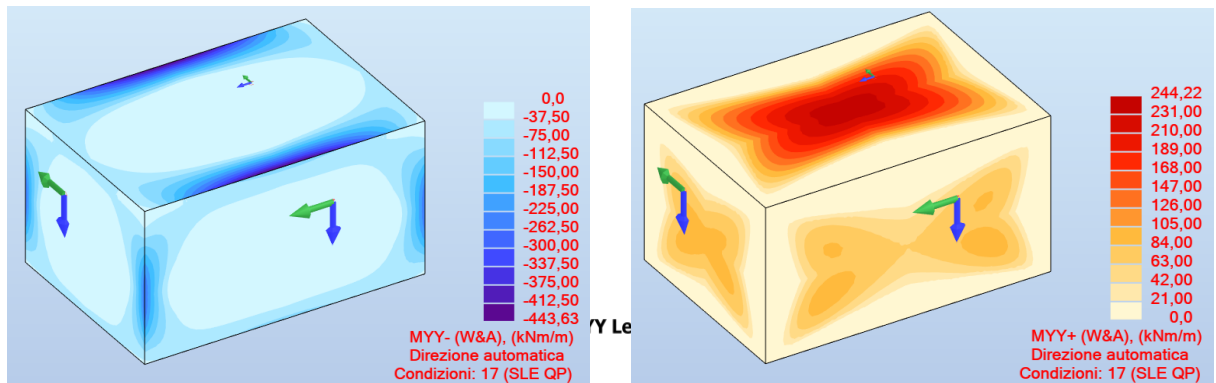


Figura 152. Momento flettente MXX Lembo superiore e MXX Lembo inferiore





INVILUPPO SLU SOLETTA DI COPERTURA

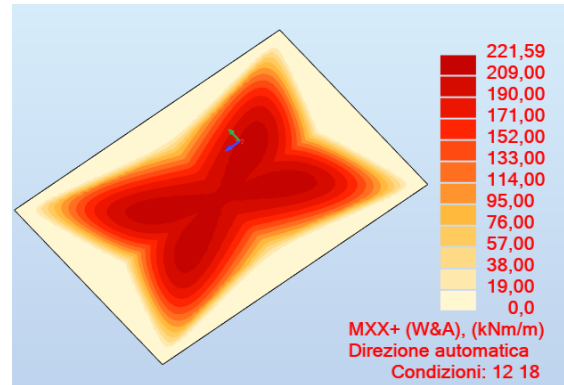
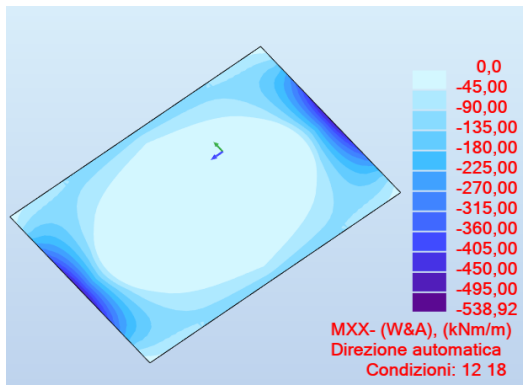
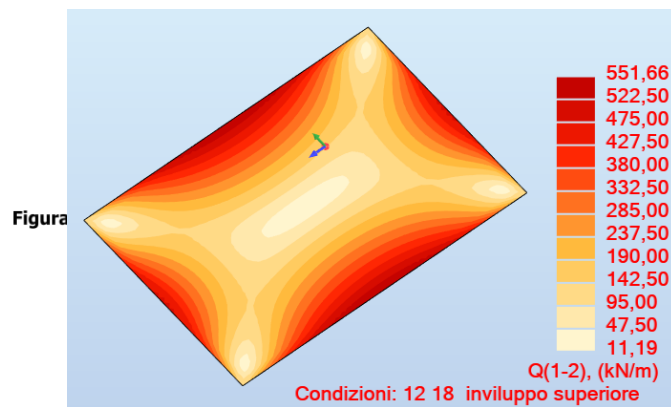
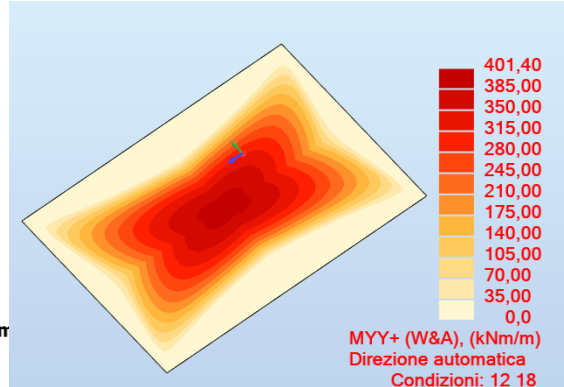
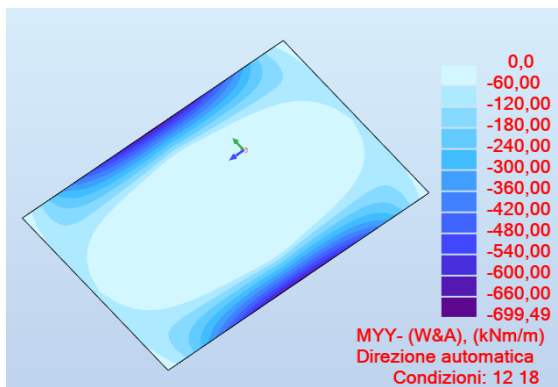


Figura 155. Momento flettente MXX Lembo Superiore e MXX Lembo Inferiore





CITTA' DI TORINO

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

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

MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1

### INVILUPPO SLU PARETI

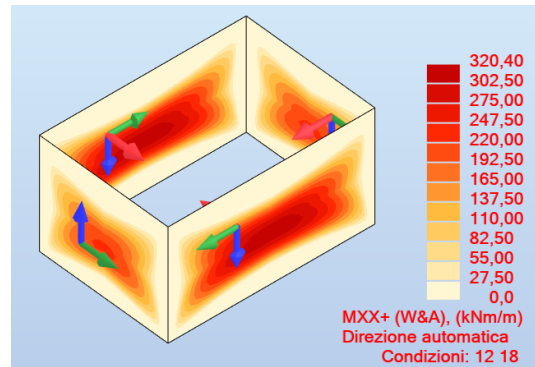
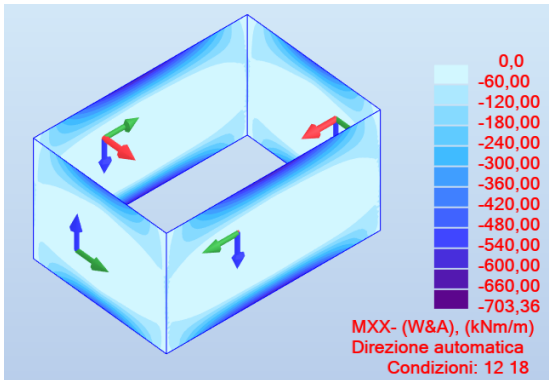
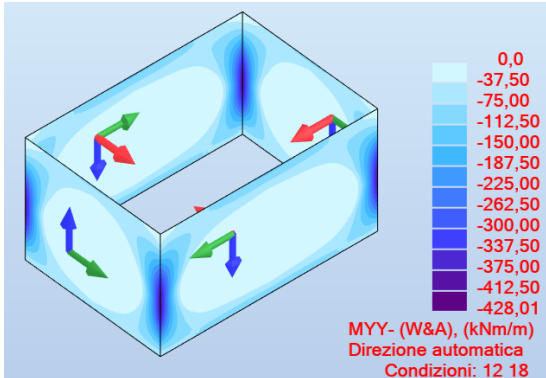
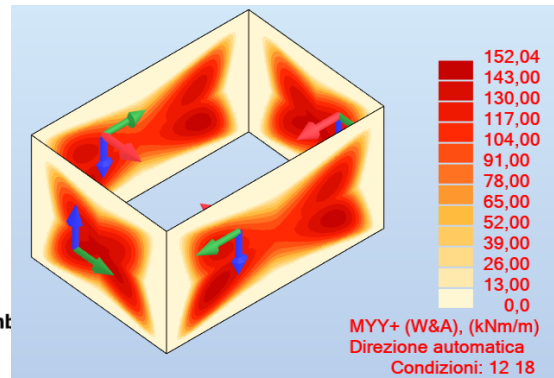


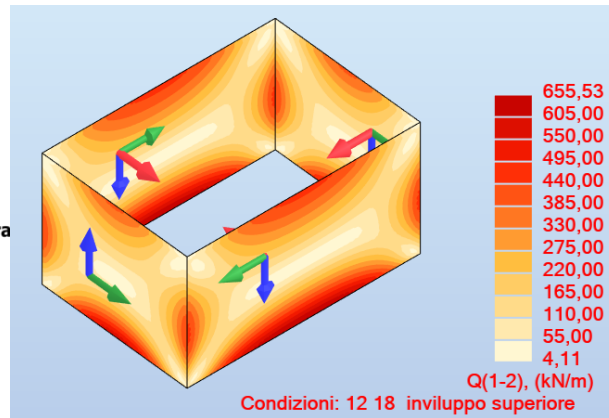
Figura 158. Momento flettente MXM Lembo Esterno e MXM Lembo Interno



MYM Lembo



Figura







INVILUPPO SLU SOLETTA DI FONDO

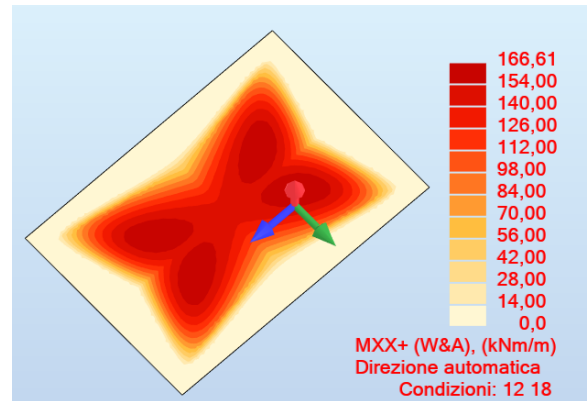
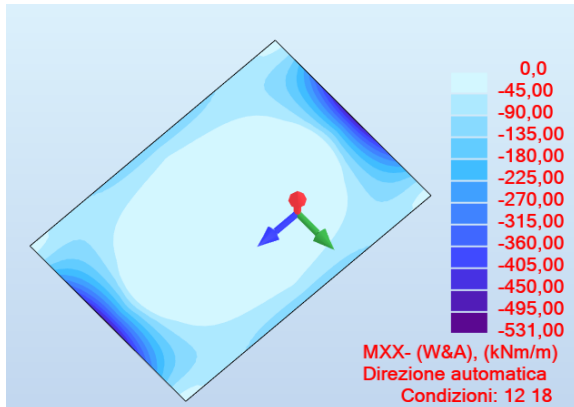
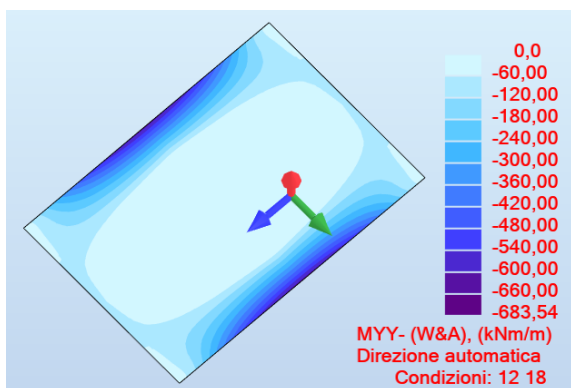


Figura 161. Momento flettente MXX Lembo Superiore e MXX Lembo Inferiore



YY Lei

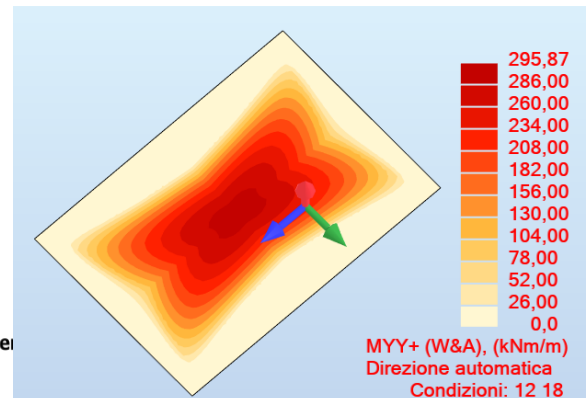
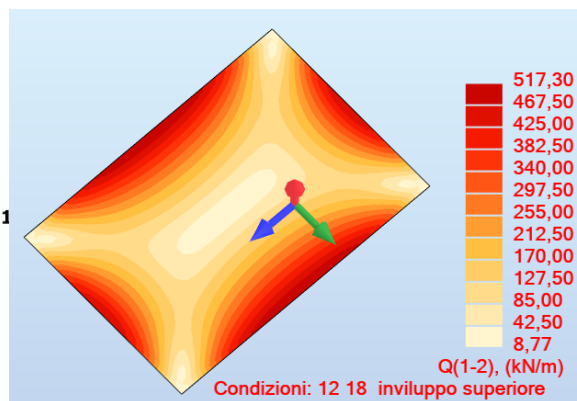


Figura 1





INVILUPPO SLE SOLETTA DI COPERTURA

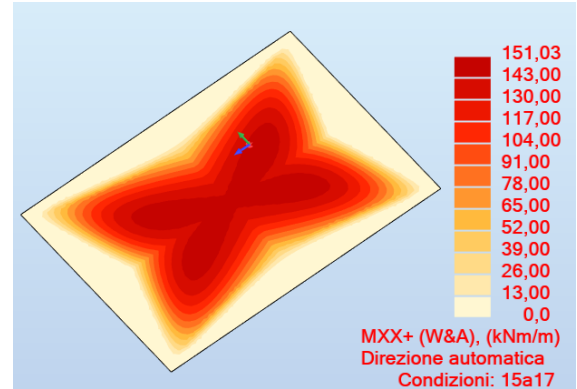
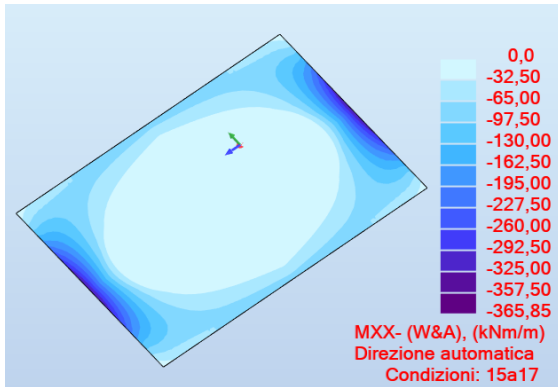
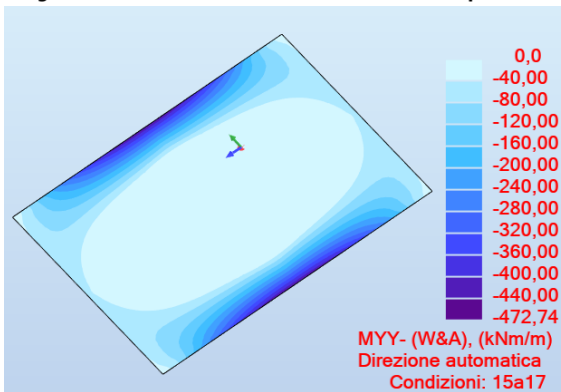


Figura 164. Momento flettente MXX Lembo Superiore e MXX Lembo Inferiore



YY Lem

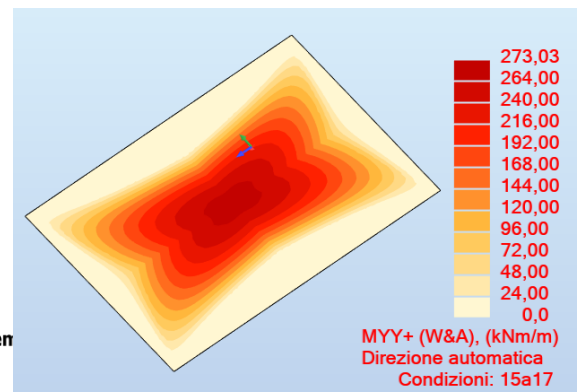
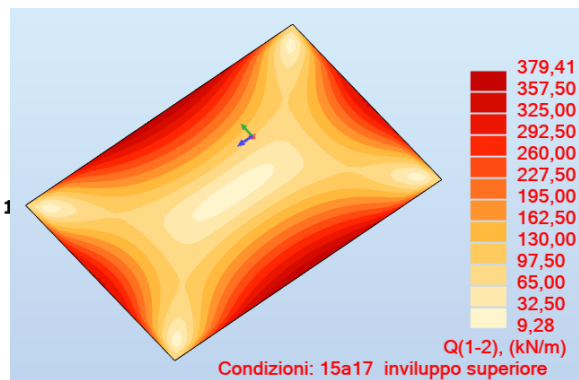


Figura 1







INVILUPPO SLE PARETI

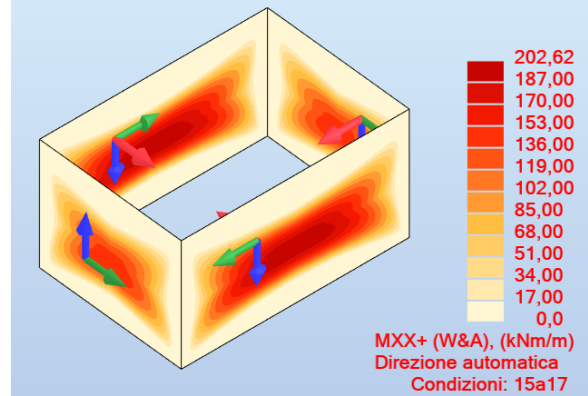
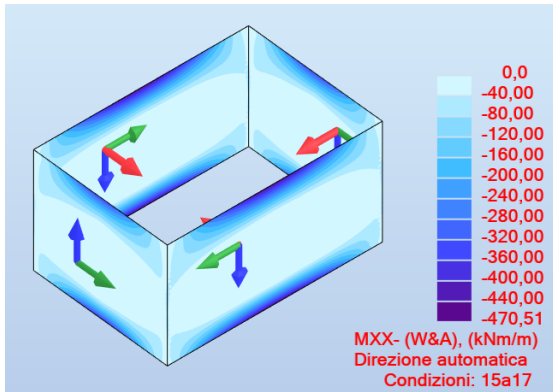
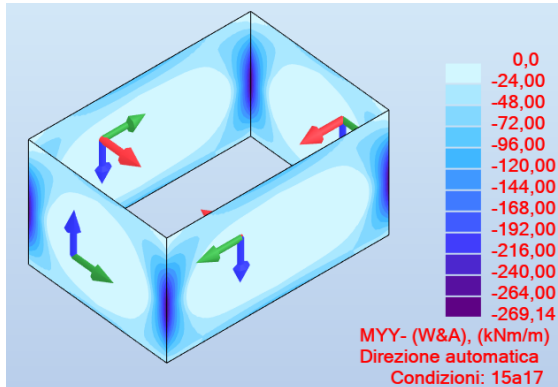
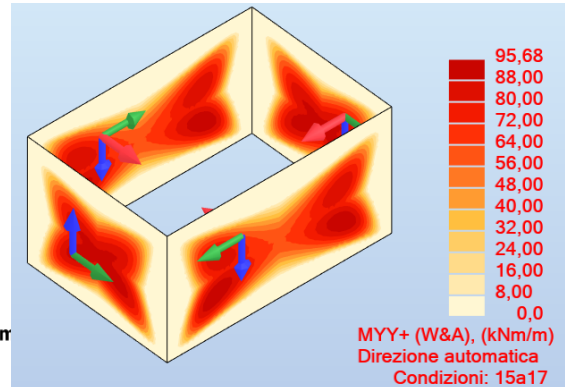


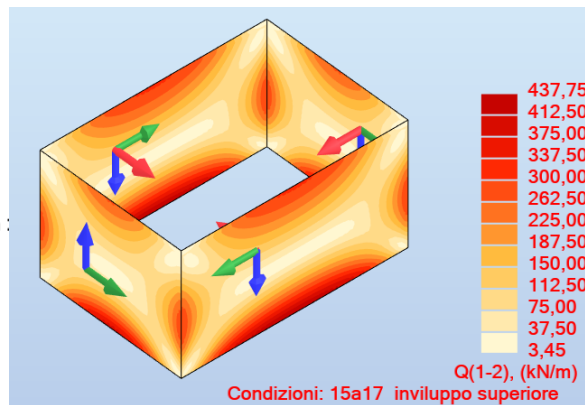
Figura 167. Momento flettente MXX Lembo Esterno e MXX Lembo Interno



YYY Lem



Figura





INVILUPPO SLE SOLETTA DI FONDO

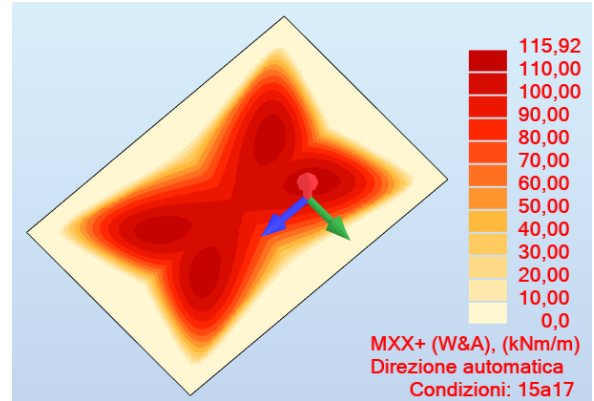
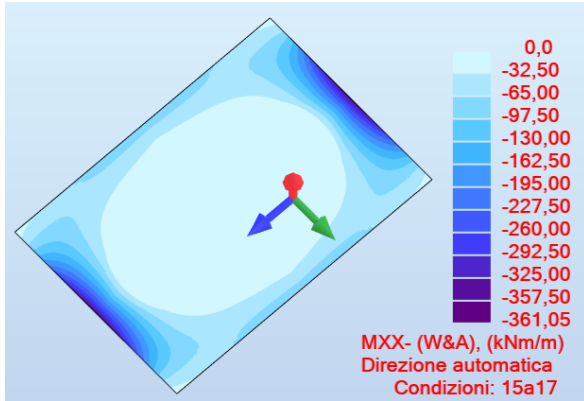
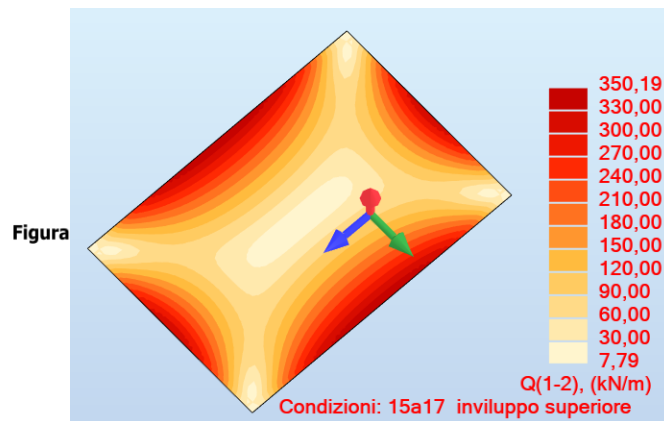
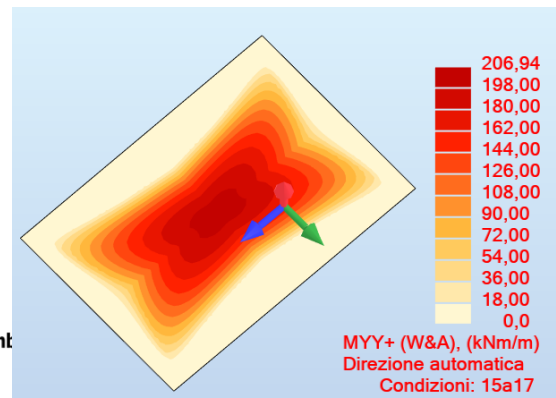
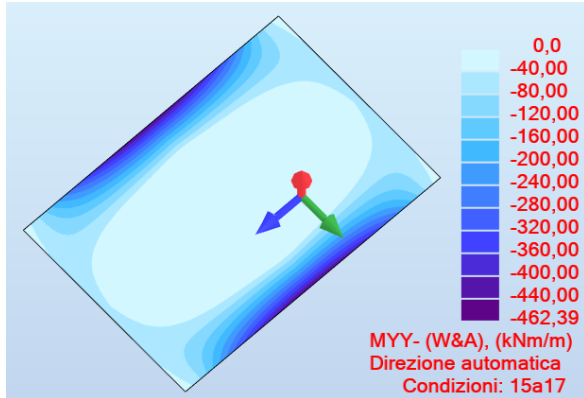



Figura 170. Momento flettente MXX Lembo Superiore e MXX Lembo Inferiore



 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Novara - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1

### 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 44 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 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Novara - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1

**Tabella 45 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 46 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 47 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 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Novara - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1

**Tabella 48 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 49 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 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Novara - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1

## APPENDICE L

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Novara - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1

## 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).

Nella tabella sottostante sono riportati i risultati per due tipologie di strutture a titolo rappresentativo delle analisi eseguite.

**Tabella 1. Risultati estratti dai modelli e confronti**

STUTTURA	Momento massimo mezzeria [kNm]		
	Robot / SAP2000 (combinazione SLE)	Metodo analitico	Differenza (%)
Vasca – soletta di copertura (Modello Robot)	Mx=247	Mx=242	<b>5.0</b>
	My=437	My=416	<b>5.0</b>
Accesso speciale– soletta di copertura (Modello SAP2000)	Mx=608	Mx=595	<b>2.2</b>
	Mx=608	My=638	<b>-4.7</b>

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

Sono state applicate altresì le note soluzioni in forma chiusa della Scienza delle Costruzioni per gli schemi piani degli accessi standards. Il confronto mostra una variazione media del 15%.

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



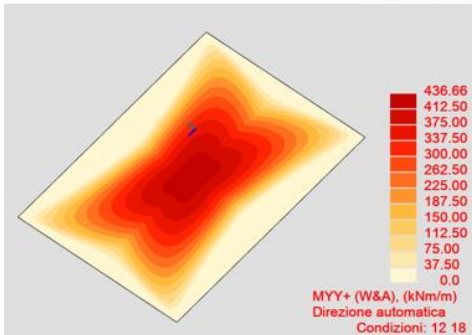
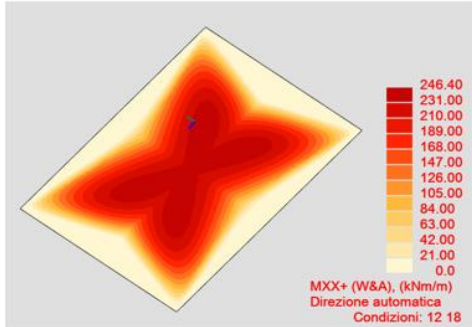


CITTA' DI TORINO

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

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

MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1



Tab. 1.12

$$\mu = 0,15$$

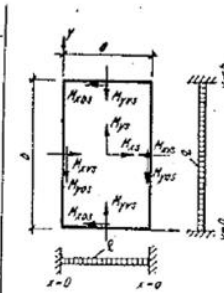
$$\gamma = \frac{a}{b}$$

$$M_{x0s} = M_{xbs}$$

$$M_{y0s} = M_{ybs}$$

$$M_{x0s} = \mu M_{ybs}$$

$$M_{y0s} = \mu M_{xbs}$$



a 9 m  
 b 13 m  
 $\gamma$  0.7

$\gamma$	$w_s$	$M_{xs}$	$M_{xrs}$	$M_{ys}$	$M_{yrs}$
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.	$\frac{qa^4}{Eh^3}$	$qa^2$	$qa^2$	$qb^2$	$qb^2$

q 88 kN/m2

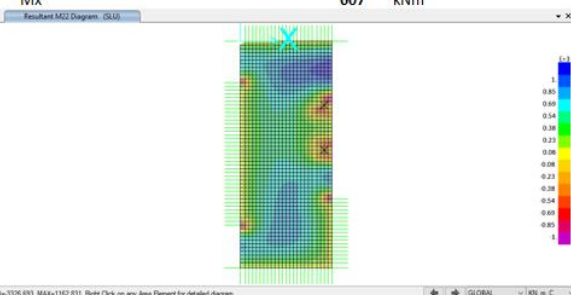
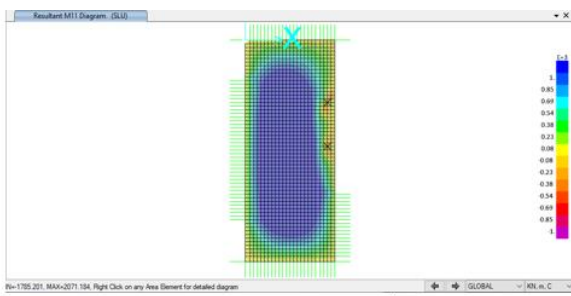
qa<sup>2</sup> 7128

qb<sup>2</sup> 14872

Mx 242 kNm

MY 416 kNm

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



Tab. 1.12

$$\mu = 0,15$$

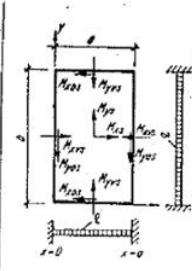
$$\gamma = \frac{a}{b}$$

$$M_{x0s} = M_{xbs}$$

$$M_{y0s} = M_{ybs}$$

$$M_{x0s} = \mu M_{ybs}$$

$$M_{y0s} = \mu M_{xbs}$$



q 111.6 kN/m2  
 a 8 m  
 b 20 m  
 $\gamma$  0.4

$\gamma$	$w_s$	$M_{xs}$	$M_{xrs}$	$M_{ys}$	$M_{yrs}$
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.	$\frac{qa^4}{Eh^3}$	$qa^2$	$qa^2$	$qb^2$	$qb^2$


qa<sup>2</sup> 7142.4

qb<sup>2</sup> 44640

Mx 595 kNm

MY 638 kNm



 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino - Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico-Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Stazione Novara - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSNOR003-0-1

Comparazione dei risultati del modello SAP2000 con soluzioni analitiche (*Calcolo di lastre e piastre con la teoria elastica lineare*, R. Bares)