

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



**COMUNE DI TORINO**



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

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

<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		 <b>INFRA.TO</b> <i>infrastrutture per la mobilità</i>										<b>INFRATRASPORTI S.r.l.</b>	
<b>DIRETTORE PROGETTAZIONE</b> Responsabile integrazione discipline specialistiche	<b>IL PROGETTISTA</b>												
Ing. R. Crova Ordine degli Ingegneri della Provincia di Torino n. 60385		Ing. F. Rizzo Ordine degli Ingegneri della Provincia di Torino n. 9337K		<b>DEPOSITO OFFICINA REBAUDENGO STRUTTURALE – STRUTTURE DEFINITIVE IN SOTTERRANEO RELAZIONE DI CALCOLO</b>									
BIM MANAGER Geom. L. D'Accardi		ELABORATO								REV.		SCALA	DATA
		MT	L2	T1	A1	D	STR	DRB	R	002	Int.		
										0	2	-	21/06/2023

AGGIORNAMENTI

Fg. 1 di 1

REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	CONTROLLATO	APPROVATO	VISTO
0	EMISSIONE	18/01/22	MSC	ECA	FRI	RCR
1	Emissione finale a seguito di verifica preventiva	30/11/22	MSC	ECA	FRI	RCR
2	Emissione finale a seguito di verifica preventiva	21/06/23	LBU	ECA	FRI	RCR
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-

<table border="1"><tr><td>LOTTO 1</td><td>CARTELLA</td><td>9.5.1</td><td>1</td><td>MTL2T1A1D</td><td>STRDRBR002</td></tr></table>						LOTTO 1	CARTELLA	9.5.1	1	MTL2T1A1D	STRDRBR002	<b>STAZIONE APPALTANTE</b>					
LOTTO 1	CARTELLA	9.5.1	1	MTL2T1A1D	STRDRBR002												
						DIRETTORE DI DIVISIONE INFRASTRUTTURE E MOBILITÀ Ing. R. Bertasio											
						RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO Ing. A. Strozzi											

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Piano di gestione della Progettazione	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

## INDICE

<b>1.</b>	<b>PREMESSA</b>	<b>11</b>
<b>2.</b>	<b>NORMATIVE DI RIFERIMENTO</b>	<b>12</b>
<b>2.1</b>	<b>NORMATIVE DI RIFERIMENTO</b>	<b>12</b>
<b>2.2</b>	<b>PROGRAMMI DI CALCOLO</b>	<b>14</b>
<b>3.</b>	<b>CARATTERISTICHE DEI MATERIALI</b>	<b>16</b>
<b>3.1</b>	<b>CALCESTRUZZO PER DIAFRAMMI: C25/30</b>	<b>16</b>
<b>3.2</b>	<b>CALCESTRUZZO PER STRUTTURE INTERNE: C30/37</b>	<b>16</b>
<b>3.3</b>	<b>ACCIAIO DA CEMENTO ARMATO: B450C</b>	<b>16</b>
<b>3.4</b>	<b>COPRIFERRO MINIMO E COPRIFERRO NOMINALE: DIAFRAMMI</b>	<b>17</b>
<b>3.5</b>	<b>COPRIFERRO MINIMO E COPRIFERRO NOMINALE: STRUTTURE INTERNE</b>	<b>19</b>
<b>4.</b>	<b>DESCRIZIONE DELLE OPERE</b>	<b>21</b>
<b>5.</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA</b>	<b>22</b>
<b>5.1</b>	<b>CONTESTO GEOLOGICO E IDROGEOLOGICO</b>	<b>22</b>
<b>5.2</b>	<b>UNITÀ GEOTECNICHE</b>	<b>23</b>
<b>5.3</b>	<b>STRATIGRAFIE DI RIFERIMENTO</b>	<b>24</b>
<b>5.4</b>	<b>LIVELLO DELLA FALDA</b>	<b>26</b>
5.4.1	LIVELLI DI PROGETTO	26
<b>6.</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE SISMICA</b>	<b>27</b>
<b>6.1</b>	<b>VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI BASE</b>	<b>27</b>
<b>6.2</b>	<b>FATTORE DI AMPLIFICAZIONE DELLO SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO</b>	<b>28</b>
<b>6.3</b>	<b>CATEGORIA DI SOTTOSUOLO</b>	<b>28</b>
<b>6.4</b>	<b>VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI PROGETTO</b>	<b>29</b>
<b>7.</b>	<b>CRITERI DI CALCOLO DELLE OPERE</b>	<b>32</b>
<b>7.1</b>	<b>VERIFICHE PER GLI ELEMENTI IN CEMENTO ARMATO</b>	<b>32</b>
7.1.1	CALCOLO DELLA RESISTENZA A SFORZO NORMALE E FLESSIONE E VERIFICA DELLA SEZIONE IN C.A. (SLU)	32
7.1.2	CALCOLO DELLA RESISTENZA NEI CONFRONTI DELLE SOLLECITAZIONI TAGLIANTI E VERIFICA DELL'ELEMENTO (SLU)	33

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

7.1.3	CALCOLO DELLA APERTURA DI FESSURA (SLE)	33
7.1.4	CALCOLO DELLE MASSIME TENSIONI IN CALCESTRUZZO E ACCIAIO NELLE CONDIZIONI DI ESERCIZIO (SLE)	35
7.1.5	PUNZONAMENTO	35
<b>7.2</b>	<b>CARICHI APPLICATI ALLE STRUTTURE</b>	<b>37</b>
<b>7.3</b>	<b>SPINTA DEL TERRENO</b>	<b>39</b>
<b>8.</b>	<b>DIMENSIONAMENTO E VERIFICHE DELLE SOLETTE</b>	<b>42</b>
<b>8.1</b>	<b>MODELLO DI CALCOLO</b>	<b>42</b>
<b>8.2</b>	<b>SEZIONI DI VERIFICA</b>	<b>46</b>
<b>8.3</b>	<b>FASI DI CALCOLO</b>	<b>47</b>
<b>8.4</b>	<b>ANALISI DEI CARICHI</b>	<b>48</b>
8.4.1	PESO PROPRIO	48
8.4.2	PERMANENTI PORTATI (SOLETTA DI COPERTURA)	49
8.4.3	ACCIDENTALI DA TRAFFICO (SOLETTA DI COPERTURA)	49
8.4.4	SOVRACCARICHI ACCIDENTALI ESTERNI PER CIRCOLAZIONE MEZZI (SOLETTA DI COPERTURA-FASE DI CANTIERE)	50
8.4.5	SOVRACCARICHI ESTERNI PER GRU SOLLEVAMENTO TRENI (SOLETTA DI COPERTURA)	51
8.4.6	SOVRACCARICHI ESTERNI (SOLETTA INTERMEDIA)	52
8.4.7	SOVRACCARICHI ESTERNI (SOLETTA DI FONDO)	52
8.4.8	SOVRACCARICHI DOVUTI AGLI EDIFICI ESISTENTI	53
8.4.9	SOVRACCARICHI DOVUTI AGLI EDIFICI IN PROGETTO	54
8.4.10	SPINTA DEL TERRENO	55
8.4.11	SPINTA DELL'ACQUA DI FALDA	56
8.4.12	SPINTA DA SOVRACCARICO ACCIDENTALE	56
8.4.13	AZIONE SISMICA	56
8.4.14	RITIRO	57
<b>8.5</b>	<b>SOLLECITAZIONI</b>	<b>59</b>
8.5.1	SOLETTA DI COPERTURA	60
8.5.2	SOLETTA INTERMEDIA	114
8.5.3	SOLETTA DI FONDO	161
<b>8.6</b>	<b>RISULTATI DELLE VERIFICHE STRUTTURALI</b>	<b>201</b>
8.6.1	SOLETTA DI COPERTURA	202
8.6.2	SOLETTA INTERMEDIA	203
8.6.3	SOLETTA DI FONDO	204
<b>8.7</b>	<b>RISULTATI DELLE VERIFICHE PER GLI SPOSTAMENTI VERTICALI</b>	<b>205</b>
<b>9.</b>	<b>DIMENSIONAMENTO E VERIFICHE DELLE FODERE INTERNE</b>	<b>207</b>

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

<b>10.</b>	<b>DIMENSIONAMENTO E VERIFICA DELLE SCALE</b>	<b>215</b>
<b>10.1</b>	<b>ANALISI DEI CARICHI</b>	<b>215</b>
<b>10.2</b>	<b>COMBINAZIONE DEI CARICHI</b>	<b>217</b>
<b>10.3</b>	<b>SOLLECITAZIONI E VERIFICHE</b>	<b>217</b>
<b>11.</b>	<b>DIMENSIONAMENTO E VERIFICA DELLE BANCHINE</b>	<b>222</b>
<b>11.1</b>	<b>ANALISI DEI CARICHI</b>	<b>223</b>
<b>11.2</b>	<b>COMBINAZIONE DEI CARICHI</b>	<b>224</b>
<b>11.3</b>	<b>SOLLECITAZIONI E VERIFICHE</b>	<b>228</b>
<b>12.</b>	<b>DIMENSIONAMENTO E VERIFICA DEI DIAFRAMMI INTERMEDI</b>	<b>234</b>
<b>13.</b>	<b>DIMENSIONAMENTO E VERIFICHE DEGLI SPINOTTI DI COLLEGAMENTO TRA SOLETTE E DIAFRAMMI INTERMEDI</b>	<b>242</b>
<b>14.</b>	<b>VERIFICHE LOCALI DEL CALCESTRUZZO NELLE ZONE DI APPOGGIO DELLE SOLETTE</b>	<b>243</b>
<b>15.</b>	<b>VERIFICHE A PUNZONAMENTO DELLA SOLETTA DI COPERTURA</b>	<b>248</b>
<b>16.</b>	<b>DIMENSIONAMENTO E VERIFICHE VASCA ANTINCENDIO</b>	<b>255</b>
<b>17.</b>	<b>DIMENSIONAMENTO E VERIFICHE VASCHE DI AGGOTTAMENTO</b>	<b>268</b>
<b>18.</b>	<b>VALIDAZIONE DEI MODELLI DI CALCOLO</b>	<b>273</b>
<b>18.1</b>	<b>VALIDAZIONE DIAFRAMMI</b>	<b>273</b>
<b>18.2</b>	<b>VALIDAZIONE SOLETTE</b>	<b>275</b>

## INDICE DELLE FIGURE

Figura 1.	Key-plan della Linea 2 della Metropolitana di Torino	11
Figura 2.	Dimensioni minime spessore muro e copriferro in caso di incendio (UNI EN 1992-1-2:2005)	18
Figura 3.	Quadro strutturale tratto dal progetto CARG (Fonte: Forno M.G., 2012)	22
Figura 4.	Spettri di risposta di riferimento	31
Figura 5.	Schematizzazione metodo di Wood	39
Figura 6.	Valori di Ka e Kp ottenuti con superficie di scorrimento formata da spirale logaritmica (Navfac, 1971)	41
Figura 7.	Sezione tipologica (con evidenza della presenza del diaframma intermedio)	42

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

Figura 8.	Modello di Calcolo Paratie Plus - Sezione tipologica	43
Figura 9.	Modello di Calcolo DIANA FEA – Vista 3D	44
Figura 10.	Vista 3d della struttura con evidenziati i diaframmi perimetrali e intermedi	45
Figura 11.	Sezioni di verifica delle solette	46
Figura 12.	Zone della soletta di copertura in cui è stata prevista la presenza di calcestruzzo alleggerito (NC39)	49
Figura 13.	Gru di sollevamento treni: (a) rappresentazione del mezzo e (b) impronta di carico sulla soletta	51
Figura 14.	Soletta di copertura con evidenziata la zona di carico delle gru di sollevamento treni	52
Figura 15.	Allineamenti con carico equivalente edificio fuori terra: (a) allineamento centrale e (b) allineamenti laterali	55
Figura 16.	Schematizzazione metodo di Wood	57
Figura 17.	Convenzioni azioni interne del software di calcolo DIANA	59
Figura 18.	Soletta copertura FASE 6 – Sollecitazioni SLU	63
Figura 19.	Soletta copertura FASE 8 – Sollecitazioni SLU	67
Figura 20.	Soletta copertura FASE 9 – Sollecitazioni SLU	71
Figura 21.	Soletta copertura FASE 10 – Sollecitazioni SLU	75
Figura 22.	Soletta copertura FASE 10 – Sollecitazioni SLV	79
Figura 23.	Soletta copertura FASE 11 – Sollecitazioni SLU	83
Figura 24.	Soletta copertura FASE 11 – Sollecitazioni SLV	87
Figura 25.	Soletta copertura FASE 12 – Sollecitazioni SLU	91
Figura 26.	Soletta copertura FASE 12 – Sollecitazioni SLV	95
Figura 27.	Soletta copertura FASE 6 – Sollecitazioni SLE	98
Figura 28.	Soletta copertura FASE 8 – Sollecitazioni SLE	101
Figura 29.	Soletta copertura FASE 9 – Sollecitazioni SLE	104
Figura 30.	Soletta copertura FASE 10 – Sollecitazioni SLE	107
Figura 31.	Soletta copertura FASE 11 – Sollecitazioni SLE	110
Figura 32.	Soletta copertura FASE 12 – Sollecitazioni SLE	113
Figura 33.	Soletta intermedia FASE 8 – Sollecitazioni SLU	117
Figura 34.	Soletta intermedia FASE 9 – Sollecitazioni SLU	121
Figura 35.	Soletta intermedia FASE 10 – Sollecitazioni SLU	125
Figura 36.	Soletta intermedia FASE 10 – Sollecitazioni SLV	129
Figura 37.	Soletta intermedia FASE 11 – Sollecitazioni SLU	133
Figura 38.	Soletta intermedia FASE 11 – Sollecitazioni SLV	137
Figura 39.	Soletta intermedia FASE 12 – Sollecitazioni SLU	141
Figura 40.	Soletta intermedia FASE 12 – Sollecitazioni SLV	145
Figura 41.	Soletta intermedia FASE 8 – Sollecitazioni SLE	148
Figura 42.	Soletta intermedia FASE 9 – Sollecitazioni SLE	151
Figura 43.	Soletta intermedia FASE 10 – Sollecitazioni SLE	154
Figura 44.	Soletta intermedia FASE 11 – Sollecitazioni SLE	157
Figura 45.	Soletta intermedia FASE 12 – Sollecitazioni SLE	160

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

Figura 46. Soletta di fondo FASE 9 – Sollecitazioni SLU	164
Figura 47. Soletta di fondo FASE 10 – Sollecitazioni SLU	168
Figura 48. Soletta di fondo FASE 10 – Sollecitazioni SLV	172
Figura 49. Soletta di fondo FASE 11 – Sollecitazioni SLU	176
Figura 50. Soletta di fondo FASE 11 – Sollecitazioni SLV	180
Figura 51. Soletta di fondo FASE 12 – Sollecitazioni SLU	184
Figura 52. Soletta di fondo FASE 12 – Sollecitazioni SLV	188
Figura 53. Soletta di fondo FASE 9 – Sollecitazioni SLE	191
Figura 54. Soletta di fondo FASE 10 – Sollecitazioni SLE	194
Figura 55. Soletta di fondo FASE 11 – Sollecitazioni SLE	197
Figura 56. Soletta di fondo FASE 12 – Sollecitazioni SLE	200
Figura 57. Sezioni di verifica delle solette	201
Figura 58. Spostamento verticale nella soletta di copertura	205
Figura 59. Spostamento verticale nella soletta intermedia	205
Figura 60. Fodere in calcestruzzo	207
Figura 61. Fodere in calcestruzzo – modello FEM	209
Figura 62. Fodere in calcestruzzo – sollecitazioni SLU: (a) momento in kNm, (b) taglio in kN e (c) sforzo normale in kN	210
Figura 63. Fodere in calcestruzzo – sollecitazioni SLV: (a) momento in kNm, (b) taglio in kN e (c) sforzo normale in kN	211
Figura 64. Fodere in calcestruzzo – sollecitazioni SLE: (a) momento in kNm, (b) sforzo normale in kN	212
Figura 65. Fodere in calcestruzzo – sezioni di verifica	213
Figura 66. Schema strutturale delle scale	215
Figura 67. Sovraccarico d’esercizio	216
Figura 68. Carichi permanenti	216
Figura 69. Diagramma momenti flettenti allo stato limite ultimo (SLU)	217
Figura 70. Diagramma taglio allo stato limite ultimo (SLU)	218
Figura 71. Diagramma momento flettenti allo stato limite d’esercizio (SLE)	218
Figura 72. Diagramma taglio allo stato limite d’esercizio (SLE)	219
Figura 73. Sezioni analizzate	219
Figura 74. Geometria della banchina	222
Figura 75. Geometria nel modello di calcolo	223
Figura 76. Rappresentazione dei vincoli applicati	223
Figura 77. Valori dei sovraccarichi per le diverse categorie d’uso	224
Figura 78. Condizioni ambientali e criteri dello stato limite di fessurazione	225
Figura 79. Modalità di applicazione del sovraccarico d'esercizio	226
Figura 80. Deformate per le due modalità di applicazione del sovraccarico d'esercizio	226
Figura 81. Deformata con l'applicazione contemporanea dei due sovraccarichi d'esercizio	227
Figura 82. Modalità di applicazione del carico G <sub>2</sub>	227
Figura 83. Involuppo dei diagrammi dell'azione assiale allo SLU	228
Figura 84. Involuppo dei diagrammi del taglio allo SLU	229

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

Figura 85. Inviluppo dei diagrammi dei momenti flettenti allo SLU	229
Figura 86. Inviluppo dei diagrammi dell'azione assiale con combinazione caratteristica	230
Figura 87. Combinazione dei diagrammi del taglio con combinazione caratteristica	230
Figura 88. Inviluppo dei diagrammi del momento flettente con combinazione caratteristica	231
Figura 89. Sezioni di verifica	232
Figura 90. Modello di Calcolo DIANA FEA – Vista 3D	234
Figura 91. Vista 3d della struttura con evidenziati i diaframmi perimetrali e intermedi	235
Figura 92. Sezioni di verifica delle solette	235
Figura 93. Diaframma Continuo Allineamento C/E – Momento unitario in kNm/m: SLU, SLV e SLE	236
Figura 94. Diaframma Isolato Allineamento B1 – Momento unitario in kNm/m: SLU, SLV e SLE	236
Figura 95. Diaframma Isolato Allineamento D2 – Momento unitario in kNm/m: SLU, SLV e SLE	237
Figura 96. Diaframma Continuo Allineamento C/E – Azione assiale unitaria in kN/m: SLU, SLV e SLE	237
Figura 97. Diaframma Isolato Allineamento B1 – Azione assiale unitaria in kN/m: SLU, SLV e SLE	238
Figura 98. Diaframma Isolato Allineamento D2 – Azione assiale unitaria in kN/m: SLU, SLV e SLE	238
Figura 99. Diaframma Continuo Allineamento C/E – Taglio unitario in kN/m: SLU e SLV	239
Figura 100. Diaframma Isolato Allineamento B1 – Taglio unitario in kN/m: SLU e SLV	239
Figura 101. Diaframma Isolato Allineamento D2 – Taglio unitario in kN/m: SLU e SLV	240
Figura 102. Meccanismo resistente	243
Figura 103. Pilastri oggetto della verifica locale	249
Figura 104. Valore del coefficiente $\beta$ secondo EN 1992-1-1:2015	253
Figura 105. Modello 3D in SAP2000	255
Figura 106. Vasca antincendio – Momento flettente [kNm]: (a) SLU1, (b) SLU2 e (c) SLV	257
Figura 107. Vasca antincendio – Azione assiale [kN]: (a) SLU1, (b) SLU2 e (c) SLV	257
Figura 108. Vasca antincendio – Azione tagliante [kN]: (a) SLU1, (b) SLU2 e (c) SLV	258
Figura 109. Vasca antincendio – Momento flettente [kNm]: (a) SLE1 e (b) SLE2	258
Figura 110. Vasca antincendio – Azione assiale [kN]: (a) SLE1 e (b) SLE2	259
Figura 111. Sezioni di verifica della vasca antincendio	260
Figura 112. (a) Modello 3D in SAP2000, (b) convenzioni per azioni interne (Asse 1 rosso, Asse 2 verde e Asse 3 blu)	268
Figura 113. Vasca di aggotamento – Momento flettente M22 [kNm]: (a) SLU, (b) SLE e (b) SLV	270
Figura 114. Vasca di aggotamento – Momento flettente M11 [kNm]: (a) SLU, (b) SLE e (b) SLV	270
Figura 115. Vasca di aggotamento – Azione assiale [kN]: (a) SLU, (b) SLE e (b) SLV	270
Figura 116. Vasca di aggotamento – Azione tagliante [kN]: (a) SLU e (b) SLV	271
Figura 117. Sezioni di verifica della vasca di aggotamento	271
Figura 118. Sezione tipologica (con evidenza della presenza del diaframma intermedio)	273

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

Figura 119. Sezioni di verifica dei diaframmi perimetrali	274
Figura 120. Sollecitazioni su diaframma sud in sezione 1 – confronti tra Momenti sollecitanti ottenuti con il software Paratie e con il software DIANA	275
Figura 121. Schema semplificato della soletta di copertura	276
Figura 122. Sezioni di verifica dei diaframmi perimetrali	276
Figura 123. Soletta di copertura – confronto dell'azione tagliante unitaria [kN/m] tra Momenti sollecitanti ottenuti con il software SAP2000 e con il software DIANA	277
Figura 124. Soletta di copertura – confronto del momento flettente unitario [kNm/m] tra Momenti sollecitanti ottenuti con il software SAP2000 e con il software DIANA	277

## INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1. Classi di esposizione e copriferro impiegati	19
Tabella 2. Parametri di resistenza e deformabilità per le unità geotecniche di riferimento	24
Tabella 3. Parametri di resistenza e deformabilità impiegati nelle analisi numeriche	25
Tabella 4. Livelli di falda di progetto	26
Tabella 5. Sintesi dei parametri di pericolosità sismica di base	29
Tabella 6. Sintesi delle azioni sismiche di progetto	30
Tabella 7.1 Valori del coefficiente $\beta$	36
Tabella 7. Soletta di copertura – verifiche flessionali a SLU	202
Tabella 8. Soletta di copertura – verifiche a taglio a SLU	202
Tabella 9. Soletta di copertura – verifiche a fessurazione SLE	202
Tabella 10. Soletta di copertura – verifiche tensionali a SLE	202
Tabella 11. Soletta intermedia – verifiche flessionali a SLU	203
Tabella 12. Soletta intermedia – verifiche a taglio a SLU	203
Tabella 13. Soletta intermedia – verifiche a fessurazione SLE	203
Tabella 14. Soletta intermedia – verifiche tensionali a SLE	203
Tabella 15. Soletta di fondo – verifiche flessionali a SLU	204
Tabella 16. Soletta di fondo – verifiche a taglio a SLU	204
Tabella 17. Soletta di fondo – verifiche a fessurazione SLE	204
Tabella 18. Soletta di fondo – verifiche tensionali a SLE	204
Tabella 19. Verifiche spostamenti verticali a SLE	206
Tabella 20. Fodere in calcestruzzo – verifiche flessionali a SLU e SLV	213
Tabella 21. Fodere in calcestruzzo – verifiche a taglio SLU e SLV	213
Tabella 22. Fodere in calcestruzzo – verifiche a fessurazione SLE	214
Tabella 23. Fodere in calcestruzzo – verifiche tensionali SLE	214
Tabella 24. Fodere in calcestruzzo – verifica flessionale SLU e SLV considerando sezione ridotta a causa di ipotetica non verticalità dei diaframmi	214
Tabella 25. Risultati delle verifiche a pressoflessione allo stato limite ultimo (SLU)	220
Tabella 26. Risultati delle verifiche a taglio allo stato limite ultimo (SLU)	220
Tabella 27. Risultati delle verifiche a fessurazione allo stato limite d'esercizio (SLE)	220

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

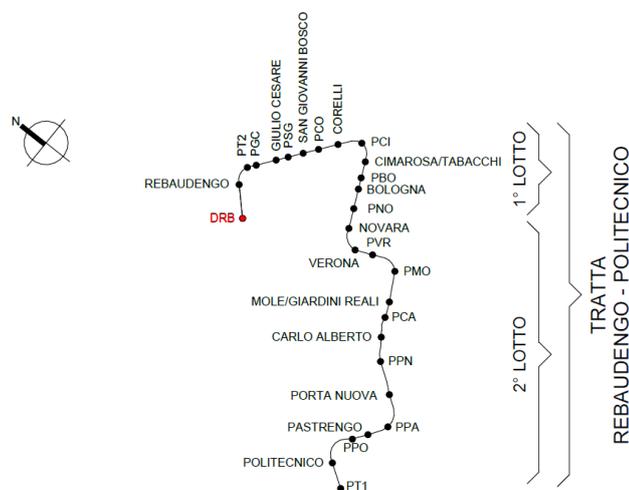
Tabella 28. Risultati delle verifiche di controllo delle tensioni allo stato limite d' esercizio (SLE)	220
Tabella 29. Risultati delle verifiche a deformazioni allo stato limite d'esercizio (SLE)	221
Tabella 30. Combinazioni di carico analizzate	228
Tabella 31. Risultati della verifica a pressoflessione (SLU)	232
Tabella 32. Risultati della verifica a taglio (SLU)	233
Tabella 33. Risultati della verifica a fessurazione	233
Tabella 34. Risultati verifica delle tensioni	233
Tabella 35. Fodere in calcestruzzo – verifiche flessionali a SLU e SLV	240
Tabella 36. Fodere in calcestruzzo – verifiche a taglio SLU e SLV	240
Tabella 37. Fodere in calcestruzzo – verifiche a fessurazione SLE	241
Tabella 38. Fodere in calcestruzzo – verifiche tensionali SLE	241
Tabella 39. Spinotti di collegamento diaframmi/soletta – verifica a taglio dello spinotto	242
Tabella 40. Spinotti di collegamento diaframmi/soletta – verifica a taglio della soletta	242
Tabella 41. Parametri geometrici della soletta	243
Tabella 42. Parametri per la verifica a taglio	245
Tabella 43. Armatura presente nel concio per il diaframma primario	246
Tabella 44. Armatura presente nel concio per il diaframma secondario	246
Tabella 45. Armatura che assorbe la componente orizzontale di $V_{Ed}$	246
Tabella 46. Verifica del meccanismo a taglio	247
Tabella 47. Verifica del meccanismo a taglio	247
Tabella 48. Caratteristiche del calcestruzzo	249
Tabella 49. Caratteristiche del materiale acciaio	250
Tabella 50. Caratteristiche geometriche del pilastro	251
Tabella 51. Diametro delle armature longitudinali nella soletta di copertura	251
Tabella 52. Passo dell'armatura longitudinale nella soletta di copertura	252
Tabella 53. Area totale dell'armatura longitudinale nella soletta di copertura	252
Tabella 54. Parametri per la verifica lungo il perimetro critico in assenza di armature	254
Tabella 55. Vasca antincendio – verifiche flessionali a SLU	260
Tabella 56. Vasca antincendio – verifiche a taglio a SLU	260
Tabella 57. Vasca antincendio – verifiche a fessurazione SLE	261
Tabella 58. Vasca antincendio – verifiche tensionali SLE	261
Tabella 59. Vasca di aggotamento – verifiche flessionali a SLU e SLV	271
Tabella 60. Vasca di aggotamento – verifiche a taglio a SLU e SLV	272
Tabella 61. Vasca di aggotamento – verifiche a fessurazione SLE	272
Tabella 62. Vasca di aggotamento antincendio – verifiche tensionali SLE	272

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

## 1. PREMESSA

La presente Relazione Tecnica e di Calcolo ha per oggetto la Progettazione Definitiva delle opere definite della parte interrata del Deposito Officina Rebaudengo, ubicato in corrispondenza dell'estremità del 1° Lotto Funzionale della linea 2 della Metropolitana di Torino. In particolare, saranno trattate le ipotesi di calcolo, le fasi realizzative, le analisi strutturali e le relative verifiche di sicurezza.

Il tracciato urbano della Linea 2 della Metropolitana di Torino, si sviluppa per circa 14.50 km dal settore Nord/Est al settore Sud/Ovest della città di Torino e cioè dalla nuova stazione Rebaudengo del passante ferroviario, si inserisce nell'ex scalo ferroviario Vanchiglia, utilizzando la trincea tra le vie Gottardo e Sempione, percorre corso Regio Parco, attraversa il fiume Dora, i Giardini Reali, piazza castello, devia verso via Roma, interseca la linea 1 esistente nella stazione di Porta Nuova e, attraversando prima la stazione ferroviaria di Porta Nuova e successivamente corso Stati Uniti, devia su Corso Trento, percorre corso Duca degli Abruzzi per immettersi lungo corso Orbassano fino al cimitero parco (per maggiori dettagli si riporta nella figura seguente il key-plan della linea in questione).



**Figura 1. Key-plan della Linea 2 della Metropolitana di Torino**

Nella presente relazione saranno trattati i seguenti argomenti:

- documenti e normative di riferimento per la progettazione definitiva delle opere;
- descrizione delle opere e delle caratteristiche dei materiali impiegati per la realizzazione;
- descrizione del contesto geologico, idrogeologico e caratterizzazione geotecnica;
- caratterizzazione sismica dell'area di riferimento;
- criteri di calcolo delle opere, dimensionamento e verifica delle stesse.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

## 2. NORMATIVE DI RIFERIMENTO

### 2.1 Normative di riferimento

La Progettazione Definitiva delle opere sarà condotta in accordo alle seguenti Norme:

- [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" - NTC2018 - (GU n.42 del 20/02/2018).
- [3] Circolare esplicativa del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti del 21 gennaio 2019, n.7 del Consiglio superiore dei Lavori Pubblici recante "Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni, di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018" (GU Serie Generale n.35 del 11-02-2019 - Suppl. Ordinario n. 5).
- [4] D.M. 21/10/2015: "Approvazione della regola tecnica di prevenzione incendi per la progettazione, costruzione ed esercizio delle metropolitane".
- [5] SAFECAST - Design guidelines for connections of precast structures under seismic actions – Paolo Negro and Giandomenico Toniolo, 2012
- [6] Legge nr. 64 del 02/02/1974
- [7] DGR n.6-887 del 30.12.2019
- [8] DGR n.10-4161 del 26.11.2021
- [9] UNI 9503-2007: "Procedimento analitico per valutare la resistenza al fuoco degli elementi costruttivi in acciaio".
- [10] D.M. 16/02/2007 – Classificazione di resistenza al fuoco di prodotti ed elementi costruttivi di opere da costruzione.
- [11] UNI EN 206:2016, "Calcestruzzo – Parte 1: specificazione, prestazione, produzione e conformità".
- [12] UNI 11104-2016, "Calcestruzzo: specificazione, prestazione, produzione e conformità – Specificazioni complementari per l'applicazione della EN 206".
- [13] UNI EN 1090-1:2012 – "Esecuzione di strutture di acciaio e di alluminio - Parte 1: Requisiti per la valutazione di conformità dei componenti strutturali".
- [14] Stucchi M., et al., 2004 - Pericolosità sismica di riferimento per il territorio nazionale MPS04. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. (<https://doi.org/10.13127/sh/mps04/ag>).
- [15] Azioni sismiche - Spettri di risposta ver.1.03 (Software sperimentale disponibile dal sito del CSLPP, <http://cslp.mit.gov.it>).

Quando necessario, sono state altresì assunti a riferimento i Codici Normativi Europei nella loro ultima revisione) sottoelencati:

- [16] Eurocode 0 - Criteri generali di progettazione strutturale
- [17] UNI EN 1990:2006 Criteri generali di progettazione strutturale

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

- [18] Eurocodice 1 – Azioni sulle strutture
- [19] UNI EN 1991-1-1:2004 Parte 1-1: Azioni in generale - Pesì per unità di volume, pesì propri e sovraccarichi per gli edifici
- [20] UNI EN 1991-1-2:2004 Parte 1-2: Azioni in generale - Azioni sulle strutture esposte al fuoco
- [21] UNI EN 1991-1-3:2015 Parte 1-3: Azioni in generale - Carichi da neve
- [22] UNI EN 1991-1-4:2010 Parte 1-4: Azioni in generale - Azioni del vento
- [23] UNI EN 1991-1-5:2004 Parte 1-5: Azioni in generale - Azioni termiche
- [24] UNI EN 1991-1-6:2005 Parte 1-6: Azioni in generale - Azioni durante la costruzione
- [25] UNI EN 1991-1-7:2014 Parte 1-7: Azioni in generale - Azioni eccezionali
- [26] UNI EN 1991-2:2005 Parte 2: Carichi da traffico sui ponti
- [27] UNI EN 1991-3:2006 Parte 3: Azioni indotte da gru e da macchinari
- [28] UNI EN 1991-4:2006 Parte 4: Azioni su silos e serbatoi
- [29] Eurocodice 2 – Progettazione delle strutture in calcestruzzo
- [30] UNI EN 1992-1-1:2015 Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici
- [31] UNI EN 1992-1-2:2005 Parte 1-2: Regole generali - Progettazione strutturale contro l'incendio
- [32] UNI EN 1992-2:2006 Parte 2: Ponti di calcestruzzo - Progettazione e dettagli costruttivi
- [33] UNI EN 1992-3:2006 Parte 3: Strutture di contenimento liquidi
- [34] Eurocodice 3 – Progettazione delle strutture in acciaio
- [35] UNI EN 1993-1-1:2014 Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici
- [36] UNI EN 1993-1-2:2005 Parte 1-2: Regole generali - Progettazione strutturale contro l'incendio
- [37] UNI EN 1993-1-3:2007 Parte 1-3: Regole generali - Regole supplementari per l'impiego dei profilati e delle lamiere sottili piegati a freddo
- [38] UNI EN 1993-1-4:2015 Parte 1-4: Regole generali - Regole supplementari per acciai inossidabili
- [39] UNI EN 1993-1-5:2017 Parte 1-5: Elementi strutturali a lastra
- [40] UNI EN 1993-1-6:2017 Parte 1-6: Resistenza e stabilità delle strutture a guscio
- [41] UNI EN 1993-1-7:2007 Parte 1-7: Strutture a lastra ortotropa caricate al di fuori del piano
- [42] UNI EN 1993-1-8:2005 Parte 1-8: Progettazione dei collegamenti
- [43] UNI EN 1993-1-9:2005 Parte 1-9: Fatica
- [44] UNI EN 1993-1-10:2005 Parte 1-10: Resilienza del materiale e proprietà attraverso lo spessore
- [45] UNI EN 1993-1-11:2007 Parte 1-11: Progettazione di strutture con elementi tesi
- [46] UNI EN 1993-1-12:2007 Parte 1-12: Regole aggiuntive per l'estensione della EN 1993 fino agli acciai di grado S 700
- [47] UNI EN 1993-2:2007 Parte 2: Ponti di acciaio
- [48] UNI EN 1993-3-1:2007 Parte 3-1: Torri, pali e ciminiere - Torri e pali

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

- [49] UNI EN 1993-3-2:2007 Parte 3-2: Torri, pali e ciminiere - Ciminiere
- [50] UNI EN 1993-4-1:2017 Parte 4-1: Silos
- [51] UNI EN 1993-4-2:2007 Parte 4-2: Serbatoi
- [52] UNI EN 1993-4-3:2007 Parte 4-3: Condotte
- [53] UNI EN 1993-5:2007 Parte 5: Pali e palancole
- [54] UNI EN 1993-6:2007 Parte 6: Strutture per apparecchi di sollevamento
- [55] Eurocodice 4 – Progettazione delle strutture composte acciaio-calcestruzzo
- [56] UNI EN 1994-1-1:2005 Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici
- [57] UNI EN 1994-1-2:2005 Parte 1-2: Regole generali - Progettazione strutturale contro l'incendio
- [58] UNI EN 1994-2:2006 Parte 2: Regole generali e regole per i ponti
- [59] Eurocodice 5 – Progettazione delle strutture in legno
- [60] UNI EN 1995-1-1:2014 Parte 1-1: Regole generali - Regole comuni e regole per gli edifici
- [61] UNI EN 1995-1-2:2005 Parte 1-2: Regole generali - Progettazione strutturale contro l'incendio
- [62] UNI EN 1995-2:2005 Parte 2: Ponti
- [63] Eurocodice 6 – Progettazione delle strutture in muratura
- [64] UNI EN 1996-1-1:2013 Parte 1-1: Regole generali per strutture di muratura armata e non armata
- [65] UNI EN 1996-1-2:2005 Parte 1-2: Regole generali - Progettazione strutturale contro l'incendio
- [66] UNI EN 1996-2:2006 Parte 2: Considerazioni progettuali, selezione dei materiali ed esecuzione delle murature
- [67] UNI EN 1996-3:2006 Parte 3: Metodi di calcolo semplificato per strutture di muratura non armata
- [68] Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica
- [69] UNI EN 1997-1:2013 Parte 1: Regole generali
- [70] UNI EN 1997-2:2007 Parte 2: Indagini e prove nel sottosuolo
- [71] Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica
- [72] UNI EN 1998-1:2013 Parte 1: Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici
- [73] UNI EN 1998-2:2011 Parte 2: Ponti
- [74] UNI EN 1998-3:2005 Parte 3: Valutazione e adeguamento degli edifici
- [75] UNI EN 1998-4:2006 Parte 4: Silos, serbatoi e condotte
- [76] UNI EN 1998-5:2005 Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici
- [77] UNI EN 1998-6:2005 Parte 6: Torri, pali e camini

## 2.2 Programmi di calcolo

- Per il dimensionamento delle paratie: Paratie Plus 2022 – CaAS 2022
- Per le analisi di stabilità: Slide 6.0 – Rocscience inc.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

- Per le analisi agli Elementi Finiti delle opere in calcestruzzo armato (parte interrata del deposito): DIANA FEA
- Per le analisi agli Elementi Finiti delle opere in calcestruzzo armato (edificio fuori terra): SAP 2000 (ver. 2022)

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

### 3. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

#### 3.1 Calcestruzzo per diaframmi: C25/30

Classe di esposizione:	XC2
Resistenza caratteristica a compressione:	$f_{ck} = 0.83 \cdot R_{ck} = 24.90 \text{ MPa}$
Resistenza media a compressione:	$f_{cm} = f_{ck} + 8 = 32.90 \text{ MPa}$
Modulo Elastico:	$E_{cm} = 22000 \cdot (f_{cm}/10)^{0.3} = 31447.16 \text{ MPa}$
Resistenza di calcolo a compressione:	$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c = 0.85 \cdot f_{ck} / 1.5 = 14.11 \text{ MPa}$
Resistenza a trazione media:	$f_{ctm} = 0.3 \cdot f_{ck}^{2/3} = 2.55 \text{ MPa}$
Resistenza a trazione:	$f_{ctk} = 0.7 \cdot f_{ctm} = 1.79 \text{ MPa}$
Resistenza a trazione di calcolo:	$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c = 1.19 \text{ MPa}$

#### 3.2 Calcestruzzo per strutture interne: C30/37

Classe di esposizione:	XC3
Resistenza caratteristica a compressione:	$f_{ck} = 0.83 \cdot R_{ck} = 30.71 \text{ MPa}$
Resistenza media a compressione:	$f_{cm} = f_{ck} + 8 = 38.71 \text{ MPa}$
Modulo Elastico:	$E_{cm} = 22000 \cdot (f_{cm}/10)^{0.3} = 33019.43 \text{ MPa}$
Resistenza di calcolo a compressione:	$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c = 0.85 \cdot f_{ck} / 1.5 = 17.40 \text{ MPa}$
Resistenza a trazione media:	$f_{ctm} = 0.3 \cdot f_{ck}^{2/3} = 2.94 \text{ MPa}$
Resistenza a trazione:	$f_{ctk} = 0.7 \cdot f_{ctm} = 2.06 \text{ MPa}$
Resistenza a trazione di calcolo:	$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c = 1.37 \text{ MPa}$

#### 3.3 Acciaio da cemento armato: B450C

Tensione di rottura caratteristica	$f_{tk} \geq 540 \text{ MPa}$
Tensione di snervamento caratteristica	$f_{yk} \geq 450 \text{ MPa}$
Tensione di snervamento di calcolo	$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = f_{yk} / 1.15 = 391.3 \text{ MPa}$
Allungamento caratteristico	$\geq 7.5\%$

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

Modulo elastico

$E_s = 210000 \text{ MPa}$

### 3.4 Copriferro minimo e copriferro nominale: diaframmi

Al fine di preservare le armature dai fenomeni di aggressione ambientale, dovrà essere previsto un idoneo copriferro; il suo valore, misurato tra la parete interna del cassero e la generatrice dell'armatura metallica più vicina, individua il cosiddetto "copriferro nominale".

Il copriferro viene calcolato secondo le prescrizioni dell'Eurocodice 2 (UNI EN 1992-1-1, §4.4.1): il copriferro nominale è definito come il copriferro minimo ( $c_{min}$ ) più un margine di progetto per gli scostamenti  $\Delta C_{dev}$ :

$$C_{nom} = C_{min} + \Delta C_{dev}$$

Il copriferro minimo ( $c_{min}$ ) è pari a:

$$C_{min} = \max (C_{min,b}; C_{min,dur} + \Delta C_{dur,\gamma} - \Delta C_{dur,st} - \Delta C_{dur,add}; 10 \text{ mm})$$

in cui:

- $c_{min,b}$  è il copriferro minimo dovuto al requisito di aderenza e vale 20 mm (diametro massimo delle barre isolate);
- $c_{min,dur}$  è il copriferro minimo dovuto alle condizioni ambientali (30 mm);
- $\Delta C_{dur,\gamma}$  riduzione del copriferro per margine di sicurezza (0 mm);
- $\Delta C_{dur,st}$  riduzione del copriferro per utilizzo di acciaio inossidabile (0 mm);
- $\Delta C_{dur,add}$  riduzione del copriferro per utilizzo di protezione aggiuntiva (0 mm).

Pertanto, si ha  $c_{min} = 45 \text{ mm}$ . Nel caso in esame, sarà adottato un copriferro nominale pari a **75 mm** per tutte le opere in oggetto (coerentemente con quanto indicato nel manuale di progettazione).

I rischi derivanti dagli incendi devono essere limitati progettando e realizzando le costruzioni in modo tale da garantire la resistenza e la stabilità degli elementi portanti, nonché da limitare la propagazione del fuoco e dei fumi. La resistenza al fuoco è il tempo durante il quale la struttura può resistere al fuoco. Per il caso in esame si considera una durata di progetto dell'incendio di 120 minuti (REI 120, riferito alla curva di incendio ISO 834).

Per la valutazione del copriferro da adottare si utilizza il metodo tabellare secondo quanto riportato al §5.4.2 della UNI EN 1992-1-2:2005; si riporta di seguito la tabella relativa allo spessore minimo da adottare per diaframma e copriferro.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

Standard fire resistance	Minimum dimensions (mm)			
	Wall thickness/axis distance for			
	$\mu_{fi} = 0,35$		$\mu_{fi} = 0,7$	
	wall exposed on one side	wall exposed on two sides	wall exposed on one side	wall exposed on two sides
1	2	3	4	5
REI 30	100/10*	120/10*	120/10*	120/10*
REI 60	110/10*	120/10*	130/10*	140/10*
REI 90	120/20*	140/10*	140/25	170/25
REI 120	150/25	160/25	160/35	220/35
REI 180	180/40	200/45	210/50	270/55
REI 240	230/55	250/55	270/60	350/60

\* Normally the cover required by EN 1992-1-1 will control.

**Note:** For the definition of  $\mu_{fi}$  see 5.3.2 (3).

**Figura 2. Dimensioni minime spessore muro e copriferro in caso di incendio (UNI EN 1992-1-2:2005)**

Il valore  $\mu_{fi}$  rappresenta il rapporto tra  $N_{Ed}$  (sforzo normale agente) e  $N_{Rd}$  (sforzo normale resistente); nel caso in esame si considera – cautelativamente –  $\mu_{fi} = 0.7$ .

Secondo quanto riportato in Figura 2 lo spessore minimo del muro (per REI 120) deve essere pari a 160 mm, mentre per il copriferro pari a 35 mm; entrambe le condizioni risultano dunque soddisfatte.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

### 3.5 Copriferro minimo e copriferro nominale: strutture interne

Al fine di preservare le armature dai fenomeni di aggressione ambientale, dovrà essere previsto un idoneo copriferro; il suo valore, misurato tra la parete interna del cassero e la generatrice dell'armatura metallica più vicina, individua il cosiddetto "copriferro nominale". I valori dei copriferro sono calcolati in accordo alla tabella C4.1.6.1.3 della Circolare del 21 gennaio 2019 inerente alle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni.

**Tabella 1. Classi di esposizione e copriferro impiegati**

Tipologia	Classe di esposizione	Ambiente	Classe calcestruzzo	$c_{min}$ [mm]	$c_{utilizzato}$ [mm]
Diaframmi	XC2	Ordinario	C25/30	25+10*+10* *=45	75
Solaio di copertura	XC3	Ordinario	C30/37	20+10*+10* *=40	50
Fodere	XC3	Ordinario	C30/37	20+10*+10* *=40	50
Solai interni	XC3	Ordinario	C30/37	20+10*+10* *=40	40
Pilastri interni	XC3	Ordinario	C30/37	25+10*+10* *=45	45
Solaio di fondo	XC3	Ordinario	C30/37	20+10*+10* *=40	50

\*per costruzioni con vita nominale di 100 anni

\*\*per tolleranze di posa dell'armatura

Tabella C4.1.IV - Copriferri minimi in mm

$c_{min}$	$c_o$	ambiente	barre da c.a. elementi a piastra		barre da c.a. altri elementi		cavi da c.a.p. elementi a piastra		cavi da c.a.p. altri elementi	
			$c \geq c_o$	$c_{min} < c < c_o$	$c \geq c_o$	$c_{min} < c < c_o$	$c \geq c_o$	$c_{min} < c < c_o$	$c \geq c_o$	$c_{min} < c < c_o$
C25/30	C35/45	ordinario	15	20	20	25	25	30	30	35
C30/37	C40/50	aggressivo	25	30	30	35	35	40	40	45
C35/45	C45/55	molto ag.	35	40	40	45	45	50	50	50

Sulla base della classe di esposizione XC3 considerata si assume un copriferro minimo pari a 20 mm, a tale valore va aggiunta la tolleranza di posa pari a 10 mm e, dato che la struttura ha vita

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

nominale di 100 anni, si aggiungono ulteriormente altri 10 mm. Pertanto, il  $c_{min}$  risulta essere pari a:

$$c_{min} = 20 + 10 + 10 = 40 \text{ mm}$$

Il copriferro nominale è definito come il copriferro minimo ( $c_{min}$ ) più un margine di progetto per gli scostamenti  $\Delta C_{dev}$ :

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta C_{dev} = 40 + 10 = 50 \text{ mm}$$

Nel caso in esame sarà adottato un copriferro nominale pari a **50 mm** per tutte le strutture in oggetto (soletta di copertura, soletta intermedia, solettone di fondo e fodere).

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

## 4. DESCRIZIONE DELLE OPERE

Il deposito officina Rebaudengo è ubicato all'estremità nord della Linea. Presenta uno sviluppo longitudinale complessivo di circa 270 m ed è costituito da due livelli interrati, che di fatto si estendono per tutto lo sviluppo dell'opera, e da un edificio fuori terra di 3 piani.

La parte interrata verrà realizzata con metodo di scavo tipo "Top-Down". Questa metodologia prevede, a livello di macro-fasistica realizzativa: l'esecuzione dei diaframmi perimetrali e di eventuali diaframmi intermedi di sostegno, il getto del solettone di copertura, lo scavo dall'interno al di sotto del solettone, la realizzazione della soletta intermedia, lo scavo al di sotto della soletta intermedia, la realizzazione del solettone di fondo (previa messa in opera del sistema di impermeabilizzazione) e la realizzazione delle contropareti interne. Tutte le solette (copertura, intermedia, di fondo) offrono un contrasto orizzontale ai diaframmi perimetrali, garantendo la possibilità di realizzare gli scavi all'interno pur senza far ricorso a sistemi temporanei di supporto (tiranti, puntoni, etc.).

La larghezza della sezione trasversale tipologica del deposito è variabile da 30.0 a 80.0 m, con un allargamento a forma triangolare in corrispondenza dell'estremità nord.

Il solettone di copertura presenta, per la quasi totalità dello sviluppo in pianta, uno spessore medio di 1.80 m. Nella zona sud del manufatto sono previste, su ambo i lati, alcune aperture (cavedi, etc.) di dimensioni indicative 4.0 x 3.0 m. Nella zona nord, dove l'opera presenta maggiore larghezza in pianta, sono previste due ulteriori aperture: una circolare (di diametro pari a 20.0 m) per illuminazione e una rettangolare (di dimensioni circa 5.0 x 20 m) per consentire il calaggio dei vagoni. Lo spessore medio del ricoprimento al di sopra della soletta di copertura è pari a circa 0.80 m; in configurazione finale è prevista la realizzazione di un'area di parcheggio.

La soletta intermedia, che per buona parte dello sviluppo dell'opera ha lo scopo funzionale di separare i locali tecnici dal piano banchina, presenta uno spessore di 1.00 m.

Il solettone di fondo presenta, invece, uno spessore medio di 1.50 m. Si prevede l'esecuzione, per la fase di cantiere, di un tappo di fondo che garantisca la tenuta nei confronti della risalita dell'acqua di falda.

I diaframmi perimetrali (definitivi) hanno spessore pari a 1.20 m, quelli intermedi pari a 0.60-0.80 m. L'altezza media complessiva di scavo è pari a circa 17.3 m.

L'edificio fuori terra presenta dimensioni in pianta di 45.0 m x 20.0 m. La struttura portante, in calcestruzzo armato, presenta una maglia compatibile con quella degli elementi verticali della parte interrata (diaframmi, contropareti). L'altezza media di interpiano (netta, tra le strutture portanti) è pari a 4.50 m.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

## 5. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

### 5.1 Contesto geologico e idrogeologico

L'area lungo la quale si realizzerà la linea 2 della Metropolitana di Torino si ubica nella cosiddetta "pianura piemontese settentrionale" delimitata a Nord-Ovest dalle Alpi e verso Sud-Est dai rilievi collinari della Collina di Torino e del Monferrato. Tale struttura è caratterizzata da una potente serie di età pliocenico superiore – olocenica formata dagli apporti successivi di due ampi conoidi fluvio-glaciali appartenenti al fiume Dora Riparia e torrente Stura di Lanzo. All'interno dei depositi fluvio-glaciali, si rinvengono termini litologici legati ai litotipi del bacino idrografico di alimentazione, per esempio serpentiniti e ultrabasiti del Massiccio Ultrabasico di Lanzo, gneiss e quarziti del Complesso del Dora Maira. I materiali di natura continentale sono sovrapposti ad una serie marina pliocenica composta da depositi sabbiosi, sabbioso-limosi fino a totalmente limosi. Ad ulteriore profondità si rinvengono formazioni marine di età terziaria di natura prevalentemente marnosa ed arenaceo-conglomeratica costituenti la Collina di Torino. Come si può osservare dalla figura sottostante, il fianco occidentale della Collina di Torino, con struttura anticlinale con asse circa NE-SW, si immerge al di sotto dei depositi quaternari della pianura.



**Figura 3. Quadro strutturale tratto dal progetto CARG (Fonte: Forno M.G., 2012)**

I terreni presenti in superficie appartengono quindi all'ambiente continentale e risalgono al periodo Pleistocenico (Era Quaternaria); tali depositi sono formati in prevalenza da materiali ghiaiosi, sabbiosi e limosi all'interno dei quali si rinvengono localmente ciottoli silicatici, silicei e calcarei. I ciottoli possono avere dimensioni molto variabili (fino a pluridecimetriche, in media di 10-30 cm), e generalmente sono composti da quarziti, gneiss, serpentiniti e metagabbri. A minori profondità si possono incontrare lenti limoso-argillose attribuibili al fiume Po. La caratteristica principale dei depositi pleistocenici di origine fluvio-glaciale è la presenza in forma discontinua e localizzata, di orizzonti e livelli con grado di cementazione (e/o addensamento) variabile. I livelli conglomeratici, dotati di maggior cementazione, sono caratteristici del sottosuolo di Torino e sono conosciuti con il nome di "puddinghe". I depositi fluvio-glaciali possono presentare caratteristiche

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

notevolmente variabili in termini di resistenza e deformabilità geotecnica in funzione del grado di cementazione ma anche dal punto di vista granulometrico.

A maggiori profondità, al di sotto dei depositi del Quaternario, si possono riscontrare i seguenti materiali geologici, dipendendo dalla zona della città in considerazione:

- depositi lacustri e fluviolacustri del Villafranchiano (Pleistocene inferiore-Pliocene superiore) che possono essere di due differenti tipologie:
  - materiale di ambiente lacustre-palustre, caratterizzati da una granulometria predominante fine e costituiti da alternanza di limi e argille;
  - materiali di ambiente fluviale, più grossolani e rappresentati da livelli sabbioso-ghiaiosi;
- la successione marina Pliocenica (composta da limi argillosi, limi sabbiosi e sabbie grigio-azzurre con fossili);
- la successione marina Oligo-Miocenica della Collina di Torino (formata da marne, siltiti, arenarie e conglomerati marini).

In base agli studi idrogeologici realizzati nella città di Torino e considerando le esperienze previe di progetti simili, possono essere identificati due principali livelli idrogeologici:

- Complesso ghiaioso-sabbioso, sede dell'acquifero libero principale, è formato dai depositi grossolani del Quaternario (ciottoli, ghiaie, e sabbie in matrice sabbioso-limoso) con potenza tra i 30-40 m. In genere i depositi quaternari possono essere caratterizzati da una permeabilità maggiore a  $1.0E-04$  m/s (permeabilità da media a alta) e localmente presentano un grado di permeabilità inferiore (permeabilità media, compresa tra  $1.0E-06$  m/s e  $1.0E-04$  m/s).
- Complesso argilloso-limoso-ghiaioso, sede di un acquifero profondo di tipo "multifalda" situato ad una profondità indicativa tra 40 e 200 m dal p.c. Questo acquifero è costituito da alternanze di depositi medio grossolani e fini appartenenti ai depositi fluviolacustri del Villafranchiano (con una permeabilità media, compresa tra  $1.0E-06$  m/s e  $1.0E-04$  m/s), chiusi al tetto da depositi argillosi (potenti fino a 20-30 m e con permeabilità medio-bassa, da  $1.0E-08$  m/s a  $1.0E-06$  m/s).

Si può concludere che i lavori della Linea 2 interferiranno esclusivamente con l'acquifero superficiale del complesso ghiaioso-sabbioso, con eccezione della tratta compresa tra le stazioni di Zappata e Caboto lungo la quale la soletta della galleria attraverserà i depositi del Villafranchiano. Con riferimento all'esperienza della Linea 1 della Metropolitana di Torino, la falda superficiale si colloca ad una profondità variabile tra i 14 m ed i 16 m dal piano campagna e l'oscillazione annuale può raggiungere un valore massimo di 2.0 m.

## 5.2 Unità geotecniche

Con riferimento alla relazione Geotecnica, sono state individuate 7 unità geotecniche, caratterizzate da un comportamento meccanico-deformativo simile.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

Nella seguente tabella si riportano gli intervalli di valori proposti per i parametri di resistenza e deformabilità delle unità geotecniche interessate dalla realizzazione delle opere in sotterraneo della linea 2 della Metropolitana di Torino. Considerando la quantità di prove di laboratorio eseguite sino a questa fase, ed una volta verificato che i materiali attraversati sono principalmente gli stessi, si è usato come riferimento la caratterizzazione geo-meccanica utilizzata nel contesto del progetto esecutiva della linea 1 della Metropolitana di Torino esistente.

**Tabella 2. Parametri di resistenza e deformabilità per le unità geotecniche di riferimento**

Strato (n°)	Unità	Geologia	Peso di volume ( $\gamma$ )	Coesione $c'$ (kPa)	Angolo resistenza $\phi'$	Modulo (MPa)	Poisson (-)	Coeff. permeabilità (m/s)
1	1	UID	19	0	29	15	0.30	$2 \cdot 10^{-5}$ a $8 \cdot 10^{-6}$
2	2	AFR	19	10	36÷38	150	0.30	$2 \cdot 10^{-5}$ a $8 \cdot 10^{-6}$
3	3	INS	20	20	36÷38	170	0.30	$2 \cdot 10^{-5}$ a $8 \cdot 10^{-6}$
4	6	SFR	19	20	31	90	0.35	$5 \cdot 10^{-6}$
5	5	FAA	20	40	23	65	0.35	$2 \div 6 \cdot 10^{-9}$
6	7	SAF	20÷21	25	28	150	0.35	$2 \div 6 \cdot 10^{-9}$

*\*U1: Terreno superficiale; U2: Ghiaie e sabbie da sciolte a debolmente cementate; U3: Ghiaie e sabbie mediamente cementate; U4: Ghiaie e sabbie altamente cementate; U5: Limi argillosi ed argille limose; U6: Alternanza di sabbie fini-medie debolmente limose e limi argillosi-sabbiosi; U7: Argille limose compatte e localmente litificate (marne di Sant'Agata).*

Per ulteriori dettagli e/o approfondimenti in merito alla caratterizzazione geotecnica dei materiali si rimanda all'elaborato specialistico.

### 5.3 Stratigrafie di riferimento

Il deposito Rebaudengo è ubicato all'estremità nord della linea, per cui il sottosuolo in questa area è caratterizzato dalla presenza dell'unità 1 superficiale e dell'unità 2 fino alle massime profondità di interesse per il manufatto in oggetto. La falda desunta dai profili geotecnici e dalla relazione geotecnica è ubicata a circa 14.80 m da p.c., per cui per le analisi a breve termine si è assunta una quota della falda pari a -13.50 m da p.c. mentre per le analisi a lungo termine si è assunta una quota della falda pari a -11.50 m da p.c. come riportato nella figura seguente.

I parametri geotecnici di progetto sono riassunti nella tabella seguente.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

Per il modello di calcolo della sezione oggetto di studio sono stati impiegati i parametri geotecnici riportati nella seguente tabella. I parametri assunti per tali unità sono stati definiti considerando i valori più cautelativi tra tutte le sottounità che ricadono all'interno delle unità principali.

**Tabella 3. Parametri di resistenza e deformabilità impiegati nelle analisi numeriche**

Unità	$H_{strato}$	$\gamma_{nat,dry}$	$\phi'$	$c'$	$E_{VC,op}$	$E_{UR,op}$
	[m]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[°]	[kPa]	[MPa]	[MPa]
U1 (*)	5.0	19	29	0	10	16
U2 (*)	Oltre -5.0 m	19	36	10	150	240

*\*U1: Terreno superficiale; U2: Ghiaie e sabbie da sciolte a debolmente cementate.*

Per entrambe le unità si è considerato un coefficiente Poisson  $\nu$  pari a 0.3

Data la presenza di un tappo di fondo per le fasi realizzative del Deposito, si è considerato nelle analisi uno spessore di terreno trattato con Jet-Grouting pari a **6.00 m**. I dati utilizzati per il tampone di fondo sono i seguenti:

Peso di volume del terreno trattato ( $\gamma$ ): 22 kN/m<sup>3</sup>;

Permeabilità: 10<sup>-7</sup> m/s;

Coesione ( $c'$ ): 150 kPa;

Angolo di attrito ( $\phi'$ ): 36°;

Modulo di Young (E): 450 MPa;

Coefficiente di Poisson  $\nu$ : 0.3;

UCS: 590 KPa.

Sia nelle analisi numeriche che negli elaborati di progetto il tappo di fondo è stato considerato a partire da una profondità di 0.5 m dalla quota di estradosso del solettone di fondo per tener conto di un possibile extra-scavo di 0.5 m.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

## 5.4 Livello della falda

### 5.4.1 Livelli di progetto

I livelli di breve termine (fase di costruzione) e lungo termine (fase di esercizio) sono stati così definiti:

**Breve termine:** livello di riferimento (indicato sul profilo) **+ 1.5m**

⇒ livello di falda considerato per il B.T. e per la verifica a galleggiamento del tappo di fondo.

**Lungo termine:** livello di breve termine **+ 3.0m**

⇒ livello di falda considerato per il B.T. e per la verifica a galleggiamento della stazione.

Ne derivano i seguenti valori di falda di progetto utilizzati per le analisi di breve e lungo termine.

**Tabella 4. Livelli di falda di progetto**

<b>Condizione</b>	<b>Quota assoluta [m s.l.m.]</b>	<b>Quota relativa da p.c. [m] (*)</b>
Breve termine	224.25	-13.25
Lungo termine	227.25	-10.25

(\*) Quota media del p.c. assunta a 237.50 m s.l.m.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

## 6. CARATTERIZZAZIONE SISMICA

La caratterizzazione sismica prevede:

- la definizione dell'accelerazione sismica di riferimento su substrato rigido di base;
- l'individuazione della classe di sottosuolo, per la valutazione dell'amplificazione stratigrafica;
- l'individuazione di un valore di riferimento per la magnitudo massima attesa.

### 6.1 Valutazione dell'azione sismica di base

La valutazione dell'azione sismica per il dimensionamento degli elementi delle infrastrutture, si basa sulla mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale in cui la pericolosità è quantificata dall'accelerazione di picco (normalizzata rispetto all'accelerazione di gravità),  $a_g/g$ , in condizioni ideali di sottosuolo rigido e superficie orizzontale, associata a diverse probabilità di superamento in 50 anni. I valori di  $a_g/g$  sono dati su una griglia di punti equi-spaziati di 10km. Sulla stessa griglia sono dati anche in valori dei parametri caratteristici dello spettro di risposta elastico su substrato rigido (Cfr. §3.2 "azione sismica" delle NTC 2018 che, per i valori di  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T^*C$  necessari per la determinazione delle azioni sismiche, si rimanda agli allegati A e B delle NTC 2008), per le probabilità di superamento associate agli stati limite di verifica previsti dalla normativa di riferimento.

L'azione sismica così individuata viene successivamente variata, nei modi chiaramente precisati dalle NTC, per tener conto delle modifiche prodotte dalle condizioni locali stratigrafiche del sottosuolo effettivamente presente nel sito di costruzione e dalla morfologia della superficie. Tali modifiche caratterizzano la risposta sismica locale.

La normativa delinea il processo di individuazione dell'azione sismica di progetto che prevede:

- la definizione della vita utile dell'opera,  $V_R$ , sulla base della correlazione tra vita nominale  $V_N$  e classe d'uso  $C_U$ :  $V_R = V_N \times C_U$
- la stima del periodo di ritorno,  $T_R$ , sulla base delle probabilità di superamento,  $P_{V_R}$ , associata agli stati limite di verifica, secondo la formula:  $T_R = V_R / \ln(1 - P_{V_R})$
- la stima dei valori dei parametri caratteristici dello spettro di risposta elastico su suolo rigido (parametri d'azione) in funzione di  $T_R$ .

I parametri d'azione sono:

- $a_g/g$ , accelerazione massima normalizzata, su sito di riferimento rigido orizzontale;
- $F_0$ , moltiplicatore di  $a_g/g$  che quantifica l'amplificazione spettrale massima su sito di riferimento rigido orizzontale, ed ha valore minimo pari a 2.2;
- $T^*C$ , periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale su sito di riferimento rigido.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

- Gli stati limite di verifica previsti dalla NTC2018 sono elencati di seguito, con le corrispondenti probabilità di superamento in 50 anni:
  - Stato limite ultimo di collasso, SLC,  $P_{RV} = 5\%$ ;
  - Stato limite ultimo di vulnerabilità, SLV,  $P_{RV} = 10\%$ ;
  - Stato limite di esercizio, di danno, SLD,  $P_{RV} = 63\%$ ;
  - Stato limite di esercizio, di operatività, SLO,  $P_{RV} = 81\%$ .

## 6.2 Fattore di amplificazione dello spettro di risposta elastico

In coerenza con le prescrizioni normative, l'accelerazione orizzontale massima in superficie,  $a_{max}/g$ , si ottiene moltiplicando l'accelerazione massima di base,  $a_g/g$ , per un fattore di amplificazione stratigrafica,  $S_s$ , ed uno di amplificazione topografica,  $S_T$ :

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

Il fattore di amplificazione stratigrafica dipende dalla classe di sottosuolo definita sulla base di indagini specifiche per la valutazione delle velocità di propagazione delle onde di taglio,  $V_s$ , nel sottosuolo di sedime delle singole opere, e si calcola secondo la formulazione riportata nella normativa di riferimento (paragrafo 3.2.3.2.1, Tabella 3.2.IV), in funzione dei parametri spettrali  $F_0$  ed  $a_g/g$ .

La classe di sottosuolo modifica anche il valore del periodo  $T_C$  di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione, attraverso il coefficiente  $C_C$  secondo la formulazione riportata in norma (paragrafo 3.2.3.2.1, Tabella 3.2.IV).

Nel caso specifico, l'andamento altimetrico dell'area attraversata dall'infrastruttura di progetto, prevalentemente pianeggiante, con rilievi di pendenza minore di  $15^\circ$ , giustifica l'assunzione di una categoria topografica T1, a cui corrisponde  $S_T = 1$  (Tabella 3.2.III e Tabella 3.2.V).

## 6.3 Categoria di sottosuolo

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II delle NTC2018, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio,  $V_S$ .

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio,  $V_{S,eq}$  (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

dove:

$h_i$  = spessore dell' $i$ -esimo strato;

$V_{S,i}$  = velocità delle onde di taglio nell' $i$ -esimo strato;

$N$  = numero di strati;

$H$  = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_S$  non inferiore a 800 m/s.

## 6.4 Valutazione dell'azione sismica di progetto

Sulla base delle caratteristiche delle opere in progetto, sono stati scelti i seguenti parametri:

- Vita nominale: **100 anni** (Tipo di costruzione di categoria 3 – grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica);
- Classe d'uso: **III** Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significanti. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provoca situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso;
- Coefficienti  $C_u$ : **1.5** (funzione della classe d'uso).

I parametri di pericolosità sismica di base sono stati elaborati a partire dalle coordinate del sito di riferimento. Con riferimento alle opere in oggetto:

- Latitudine: 45.100444°
- Longitudine: 7.687972°

Sulla base di tali parametri di ingresso si ottengono i seguenti valori di pericolosità sismica:

**Tabella 5. Sintesi dei parametri di pericolosità sismica di base**

Parametri stati limite	u.m.	SLD	SLV
Probabilità di superamento ( $P_{VR}$ )	%	63	10
Tempo di ritorno ( $T_R$ )	anni	151	1424
Accelerazione orizzontale massima su suolo rigido ( $a_g$ )	g	0.039	0.068
Fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale ( $F_0$ )	-	2.679	2.851
Tempo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale ( $T^*c$ )	s	0.232	0.290

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

La categoria di sottosuolo è stata definita in funzione dei materiali naturali interessati dalle opere in progetto; in particolare nel caso in esame si adotta la categoria di sottosuolo **B** (*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s*).

Per quanto riguarda le condizioni topografiche è stata attribuita alle opere in oggetto la categoria T1 (*Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$* ).

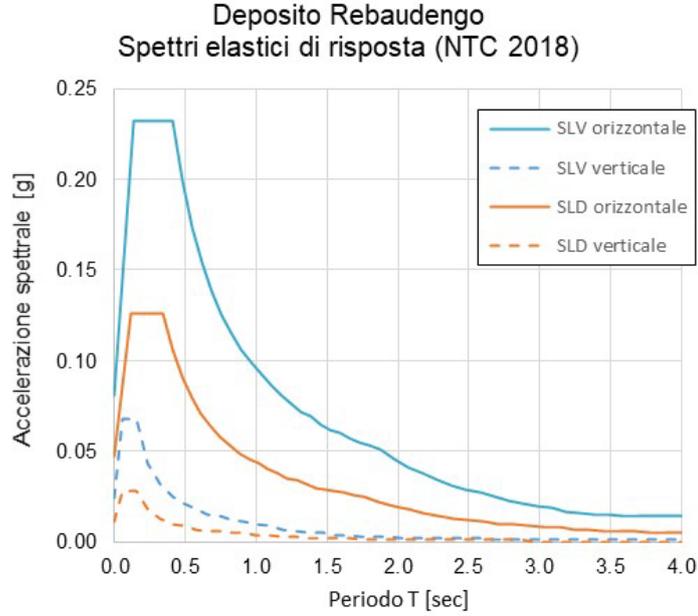
Sulla base di quanto sopra esposto, i parametri sismici di progetto che saranno impiegate per le analisi delle opere in oggetto risultano:

**Tabella 6. Sintesi delle azioni sismiche di progetto**

Stato Limite	Coefficienti sismici	
SLD	Ss	1.200
	Cc	1.473
	St	1.000
	$a_{max}$ (g)	0.047
SLV	Ss	1.200
	Cc	1.409
	St	1.000
	$a_{max}$ (g)	0.081

Infine, in figura sono riportati gli spettri di risposta di progetto.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



**Figura 4. Spettri di risposta di riferimento**

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

## 7. CRITERI DI CALCOLO DELLE OPERE

In ottemperanza con la normativa vigente, i calcoli sono condotti con il metodo semi-probabilistico agli stati limite.

Le verifiche di sicurezza relative agli stati limite ultimi (SLU) e le analisi relative alle condizioni di esercizio (SLE) sono state effettuate nel rispetto dei criteri delle NTC2018.

In generale, le analisi degli stati limite di esercizio (SLE) sono utilizzate per ottenere informazioni circa gli spostamenti attesi sotto i carichi di esercizio e per verificarne l'ammissibilità nei confronti della funzionalità dell'opera.

Le analisi agli stati limite ultimi (SLU) sono impiegate per le verifiche di resistenza degli elementi strutturali e per le verifiche geotecniche.

### 7.1 Verifiche per gli elementi in cemento armato

#### 7.1.1 Calcolo della resistenza a sforzo normale e flessione e verifica della sezione in c.a. (SLU)

La valutazione della resistenza (STR) delle sezioni di elementi monodimensionali nei confronti di sforzo normale e flessione si valuta, coerentemente con quanto riportato al paragrafo 4.1.2.3.4.2 delle NTC 2018, facendo ricorso alle seguenti ipotesi:

- ✓ conservazione delle sezioni piane;
- ✓ perfetta aderenza tra acciaio e calcestruzzo;
- ✓ rottura del calcestruzzo determinata dal raggiungimento della sua capacità deformativa ultima a compressione;
- ✓ rottura dell'armatura tesa determinata dal raggiungimento della sua capacità deformativa ultima.

Per quanto riguarda i modelli costitutivi dei materiali è stato adottato per l'acciaio un legame bilineare associato ad un comportamento elastico perfettamente plastico mentre si è scelto un diagramma con andamento parabola-rettangolo per il calcestruzzo come permesso dalla Normativa di riferimento.

Fissate tali ipotesi la verifica allo SLU della sezione presso inflessa si pone controllando che:

$$M_{Rd} = M_{Rd}(N_{Ed}) \geq M_{Ed}$$

Dove  $M_{Rd}$  è il valore di calcolo del momento resistente corrispondente allo sforzo normale agente ( $N_{Ed}$ ) e  $M_{Ed}$  è il momento sollecitante la sezione.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

### 7.1.2 Calcolo della resistenza nei confronti delle sollecitazioni taglianti e verifica dell'elemento (SLU)

La resistenza a taglio  $V_{Rd}$  dell'elemento (STR) si valuta sulla base di un'adeguata schematizzazione a traliccio.

Con riferimento all'armatura trasversale, la resistenza di calcolo a "taglio trazione" si calcola:

$$V_{Rsd} = 0.9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (ctg\alpha + ctg\theta) \cdot sen\alpha$$

La resistenza a "taglio compressione" si pone invece:

$$V_{Rcd} = 0.9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot (ctg\alpha + ctg\theta) \cdot (1 + ctg^2\theta)$$

La resistenza a taglio dell'elemento è la minore di quelle definite:

$$V_{Rd} = \text{MIN} (V_{Rsd}, V_{Rcd})$$

La verifica di resistenza si pone:

$$V_{Rd} \geq V_{Ed}$$

dove  $V_{Ed}$  indica il valore dello sforzo di taglio sollecitante.

Per maggiori chiarimenti circa i simboli adoperati si faccia riferimento alle NTC 2018 al paragrafo 4.1.2.3.5. ed al paragrafo 7.4.4.5.1.

### 7.1.3 Calcolo della apertura di fessura (SLE)

In accordo alle NTC2018 l'ampiezza caratteristica delle fessure  $w_k$  è calcolata come 1,7 volte il prodotto della deformazione media delle barre d'armatura  $\varepsilon_{sm}$  per la distanza media tra le fessure  $\Delta_{sm}$ :

$$w_k = 1,7 \varepsilon_{sm} \Delta_{sm}$$

Per il calcolo di  $\varepsilon_{sm}$  e  $\Delta_{sm}$  si è fatto riferimento alla circolare esplicativa delle suddette norme NTC2018.

La deformazione unitaria media delle barre  $\varepsilon_{sm}$  può essere calcolata con l' espressione:

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ctm}}{\rho_{eff}} (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} \geq 0.6 \frac{\sigma_s}{E_s}$$

in cui:

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

$\sigma_s$  è la tensione nell' armatura tesa considerando la sezione fessurata;

$\alpha_e$  è il rapporto  $E_s/E_{cm}$ ;

$\rho_{eff}$  è pari a  $A_s/A_{c,eff}$

$A_{c,eff}$  è l' area efficace di calcestruzzo teso attorno all' armatura, di altezza  $h_{c,eff}$ , dove  $h_{c,eff}$  è il valore minore tra  $2.5(h-d)$ ,  $(h-x)/3$  o  $h/2$ ;

$k_t$  è un fattore dipendente dalla durata del carico e vale:  $k_t = 0,6$  per carichi di breve durata,  $k_t = 0,4$  per carichi di lunga durata.

Nei casi in cui l' armatura sia disposta con una spaziatura non superiore a  $5(c+\phi/2)$ , la distanza media tra le fessure,  $\Delta_{sm}$ , può essere valutata con l' espressione:

$$\Delta_{sm} = \left( k_3 c + k_1 k_2 k_4 \frac{\phi}{\rho_{eff}} \right) / 1.7$$

in cui:

$\phi$  è il diametro delle barre,  $c$  il ricoprimento dell'armatura,  $k_1$  un fattore che dipende dal tipo di barre ( $k_1=0.8$  per barre ad aderenza migliorata e  $k_1=1.6$  per barre lisce),  $k_2$  un fattore che dipende dalla sollecitazione ( $k_2=0.5$  per flessione e  $k_2=1$  per trazione semplice),  $k_3=3.4$  e  $k_4=0.425$ .

Le verifiche di fessurazione a SLE sono condotte andando a confrontare l'apertura di fessura così calcolata con i limiti definiti da normativa e riportati in Figura .

Tab. 4.1.IV - Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione

Gruppi di Esigenze	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile Stato limite	$w_k$	Poco sensibile Stato limite	$w_k$
A	Ordinarie	frequente	apertura fessure	$\leq w_2$	apertura fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
B	Aggressive	frequente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$
C	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	apertura fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$

Figura 1 – Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione e relativi limiti, NTC2018

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

Le diverse condizioni ambientali associate alle classi di esposizione sono riportate in Figura , le armature si distinguono in sensibili (acciai da precompresso) e poco sensibili (acciai ordinari), i valori limiti di apertura di fessura sono considerati pari a:

- ✓  $w_1=0.2\text{mm}$
- ✓  $w_2=0.3\text{mm}$
- ✓  $w_3=0.4\text{mm}$

Tab. 4.1.III – Descrizione delle condizioni ambientali

Condizioni ambientali	Classe di esposizione
Ordinarie	XC0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

Figura 2 – Definizione delle condizioni ambientali, NTC2018

Per quanto riguarda i valori limite dell'apertura di fessura, l'opera è stata considerata come classe di esposizione XC3, pertanto condizioni ordinarie.

#### 7.1.4 Calcolo delle massime tensioni in calcestruzzo e acciaio nelle condizioni di esercizio (SLE)

In accordo alle NTC2018 la massima tensione di compressione nel calcestruzzo  $\sigma_{c,max}$  deve rispettare la seguente limitazione:

$$\sigma_{c,max} \leq 0.6 f_{ck} \quad \text{per combinazione SLE caratteristica}$$

$$\sigma_{c,max} \leq 0.45 f_{ck} \quad \text{per combinazione SLE quasi permanente}$$

la massima tensione dell'acciaio  $\sigma_{s,max}$  deve rispettare la seguente limitazione:

$$\sigma_{s,max} \leq 0.8 f_{yk} \quad \text{per combinazione SLE caratteristica}$$

#### 7.1.5 Punzonamento

La verifica a punzonamento degli elementi strutturali in c.a. è stata condotta secondo quanto riportato nelle NTC 2018. In particolare, le NTC 2018 si sono uniformate alla metodologia di calcolo prevista dall'Eurocodice 2 (capitolo 6.4 della UNIEN1992-1-1:2015).

La verifica a punzonamento è caratterizzata dai seguenti step:

- Verifica dell'idoneità geometrica degli elementi punzonabili: la verifica viene condotta rispetto al perimetro caricato in corrispondenza dell'elemento punzonante;
- Verifica lungo il perimetro critico: viene condotta una prima verifica della resistenza del solo calcestruzzo e, in caso negativo, è obbligatorio l'inserimento delle specifiche armature a punzonamento in presenza delle quali occorrerà eseguire una specifica verifica;
- Progettazione delle armature a punzonamento.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

In primo luogo, è necessario svolgere la verifica dell'idoneità degli elementi punzonabili. Essa è condotta per potersi accertare che l'elemento punzonante e quello punzonato siano dimensionati correttamente. La verifica da condurre è riassunta con la seguente equazione:

$$v_{Ed,0} = \frac{\beta \cdot V_{Ed}}{u_0 \cdot d} \leq v_{Rd,max} = 0,50 \cdot v \cdot f_{cd}$$

Dove:

- $\beta$  è un coefficiente che tiene conto dell'eccentricità tra momento flettente e sforzo normale) del carico applicato all'elemento punzonante. Questo parametro può essere stimato in relazione alla posizione in pianta del pilastro;
- $V_{Ed}$  è l'azione di punzonamento di progetto;
- $v = 0,60 \cdot (1 - f_{ck}/250)$

Di seguito si riporta i valori che assume il coefficiente  $\beta$  in funzione della posizione della posizione del pilastro:

**Tabella 7.1 Valori del coefficiente  $\beta$**

Posizione elemento punzonante	$\beta$
	[-]
Interno	1,15
Di bordo	1,40
D'angolo	1,50

Se la verifica, appena riportata, è soddisfatta è possibile passare alla verifica a punzonamento lungo il perimetro critico. Il perimetro critico risulta essere quel perimetro che si trova ad una distanza pari a  $2 \cdot d$  dell'elemento punzonante. Il perimetro critico risulta essere l'involuppo convesso del perimetro dell'elemento punzonante, escludendo i limiti della soletta.

Tale perimetro, per pilastro in elevazione, è ricavabile dalle seguenti formule in funzione della posizione:

$$u_1 = 2 \cdot (c_1 + c_2) + 4 \cdot \pi \cdot d \rightarrow \text{per pilastri interni}$$

$$u_1 = c_2 + 2 \cdot c_1 + 2 \cdot \pi \cdot d \rightarrow \text{per pilastri di bordo}$$

$$u_1 = c_1 + c_2 + \pi \cdot d \rightarrow \text{per pilastri d'angolo}$$

Nel caso di elementi di fondazione, invece, il perimetro critico è da individuarsi in modo iterativo tra tutti quelli con il minore coefficiente di sicurezza, fino ad una distanza di  $2d$  dal pilastro.

La verifica lungo il perimetro critico viene condotta, in prima battuta, andando a calcolare la resistenza in assenza di armatura a taglio. La verifica si pone nella seguente forma:

$$v_{Ed,1} = \frac{\beta \cdot V_{Ed}}{u_1 \cdot d} \leq v_{Rd,c} = C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \geq (v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp})$$

Dove:

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

- $C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c}$ ;
- $k = \min \left[ 1 + \sqrt{\frac{200}{d [mm]}}; 2 \right]$
- $\rho_l = \sqrt{\rho_{ly} \cdot \rho_{lz}} \leq 0,02$
- $\rho_{ly} = \frac{A_{sly}}{(c_1+6 \cdot d) \cdot d}$   $\rho_{lz} = \frac{A_{slz}}{(c_2+6 \cdot d) \cdot d}$
- $k_1 = 0,10$
- $\sigma_{cp} = \frac{\sigma_{cy} + \sigma_{cz}}{2}$
- $v_{min} = 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} [MPa]$

Qualora non sia possibile, con il solo contributo del calcestruzzo, assorbire la totalità dello sforzo punzonante, sarà necessario disporre delle armature a punzonamento di area totale  $A_{sw}$ . Si noti che  $A_{sw}$  è l'area totale delle armature a punzonamento disposte lungo il perimetro critico.

Siccome non è nota a priori la reale posizione della superficie critica di rottura a punzonamento, la norma prevede di "replicare" queste armature in modo concentrico rispettando i limiti dimensionali indicati nel prosieguo. Verranno, quindi, disposte un certo numero di "file" tutte di area totale  $A_{sw}$  e concentriche al pilastro e via via più distanti da questo.

L'armatura totale a punzonamento di una fila ( $A_{sw}$ ) deve essere scelta in modo tale che sia soddisfatta la seguente verifica:

$$v_{Ed,1} \leq v_{Rd,cs} = 0,75 \cdot v_{Rd,c} + 1,50 \cdot \left( \frac{d}{s_r} \right) \cdot A_{sw} \cdot f_{ywd,ef} \cdot \frac{\sin(\alpha)}{u_1 \cdot d}$$

Dove:

- $s_r$  è l'interasse radiale dell'armatura a punzonamento (ovvero la distanza tra due file di armature concentriche);
- $f_{ywd,ef}$  è la tensione di snervamento di progetto efficace delle armature a punzonamento:  
 $f_{ywd,ef} = 250 + 0,25 \cdot d \leq f_{ywd}$
- $\alpha$  è l'angolo di snervamento dell'armatura a punzonamento con l'orizzontale.

## 7.2 Carichi applicati alle strutture

Al fine di massimizzare le azioni sollecitanti per la definizione dei carichi (permanenti, accidentali, ecc.) per le relative combinazioni (Stati Limite Ultimi, Stati limiti di Esercizio, Stati limiti di Danno, etc.) saranno prese in considerazione tutte le prescrizioni del citato DM 17 gennaio 2018: Aggiornamento delle "Norme Tecniche per le costruzioni" (GU n.42 del 20/02/2018).

I software FEM più comuni consentono l'applicazione di forze e momenti concentrati o distribuiti esterni, per situazioni molto speciali. I carichi da considerare sono riepilogati di seguito.

- **Peso della struttura.** Il peso proprio della struttura è calcolato in base alla geometria degli elementi strutturali e al peso specifico assunto per i materiali (CLS) pari a:  
 $\gamma_{cls} = 25,0 \text{ kN/m}^3$

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

- **Spinte del suolo.** La spinta del terreno viene solitamente calcolata dai software considerando la storia di carico dell'opera di sostegno, in diverse fasi di costruzione, considerando la pressione attiva ( $K_a$ ) e la pressione passiva ( $K_p$ ). L'attrito terreno-struttura sarà considerato sul lato attivo e passivo durante la fase temporanea della costruzione ma non in condizioni permanenti di lungo termine. Pertanto, nelle analisi, l'angolo di attrito della parete  $\delta$  è uguale a:

$$\delta = \frac{1}{2} \varphi \text{ per diaframmi, pali e micropali durante la fase di costruzione.}$$

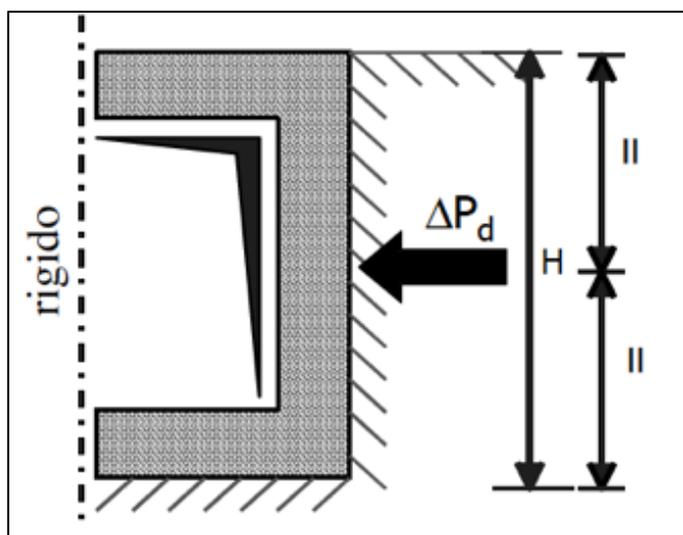
$$\delta = 0^\circ \text{ per diaframmi (strutture permanenti) in condizione di lungo termine.}$$

- **Spinta pressione idraulica in caso di presenza di falda.** Nella fase transitoria della costruzione i diaframmi saranno progettati al fine di sopportare la spinta del suolo e la spinta idraulica dovuta alla falda quando presente. A lungo termine, invece, si considereranno i diaframmi come strutture permanenti per la sola spinta del suolo. Per quanto riguarda la spinta idraulica, a favore di sicurezza, si considererà che i giunti fra un diaframma e l'altro non saranno più in grado di "trattenere" l'acqua di falda che, quindi, andrà a esercitare la propria pressione per la sua interezza sulle fodere interne opportunamente impermeabilizzate.

I livelli di breve termine (fase di costruzione) e lungo termine (fase di esercizio) sono così definiti:

- Breve termine: livello indicato sul profilo + 1.5m (livello di falda considerato nella verifica a galleggiamento del tappo di fondo).
- Lungo termine: livello di breve termine + 3.0m (livello di falda considerato nella verifica a sifonamento e a galleggiamento della stazione).
- **Sovraccarichi esterni per circolazione mezzi.** Fatte salve situazioni singolari dove il ricoprimento non ha uno spessore adeguato a ridistribuire i carichi stradali da normativa agenti sull'estradosso della soletta (per queste configurazioni rimangono valide le indicazioni definite dalle NTC2018), per simulare la presenza di circolazione di mezzi di cantiere (nella fase di costruzione) e traffico stradale (nella fase definitiva) a tergo delle opere di sostegno, sarà considerato un carico nastriforme di 20 kPa applicato uniformemente su tutto il solaio di copertura e come spinta dal solo lato di azione del sisma. Tale sovraccarico sarà considerato anche in fase di costruzione quale carico di cantiere e/o riapertura al traffico.
- **Carichi degli edifici posti a tergo delle opere di contenimento.** Per tenere in conto di questa situazione si considererà, quale scarico a quota fondazione dell'edificio, un carico di 10 kPa per ogni piano dell'edificio stesso.
- **Carichi sismici.** Per quello che riguarda l'applicazione della spinta sismica, si utilizzerà il metodo di Wood (1973). Tale metodo fornisce la sovraspinta sismica del terreno su una parete interrata.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



**Figura 5. Schematizzazione metodo di Wood**

Tale metodo è utilizzato nel caso di manufatti scatolari e l'incremento di spinta legato al sisma può essere stimato secondo la relazione:

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

In cui  $\gamma$  è il peso specifico del terreno supposto uniforme. Poiché tale risultante ha il punto di applicazione a metà dell'altezza  $H$  del muro, è possibile assumere una pressione uniforme di entità pari a:

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

### 7.3 Spinta del terreno

Nelle analisi delle opere strutturali della struttura interrata le spinte del terreno sono state ricavate dal software Paratie Plus per ogni fase realizzativa e applicate così al modello strutturale che, come mostrato in seguito, prevede la presenza delle solette ai vari interpiani e dei diaframmi.

Nel modello di calcolo realizzato mediante il software Paratie Plus, la spinta del terreno viene determinata investigando l'interazione statica tra terreno e la struttura deformabile a partire da uno stato di spinta a riposo del terreno sulla paratia.

I parametri che identificano il tipo di legge costitutiva possono essere distinti in due sottoclassi: parametri di spinta e parametri di deformabilità del terreno.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

I parametri di spinta sono il coefficiente di spinta a riposo  $K_0$ , il coefficiente di spinta attiva  $K_a$  e il coefficiente di spinta passiva  $K_p$ .

Il coefficiente di spinta a riposo fornisce lo stato tensionale presente in sito prima delle operazioni di scavo. Esso lega la tensione orizzontale efficace  $\sigma'_h$  a quella verticale  $\sigma'_v$  attraverso la seguente relazione:

$$\sigma'_h = K_0 \cdot \sigma'_v$$

$K_0$  dipende dalla resistenza del terreno, attraverso il suo angolo di attrito efficace  $\phi'$  e dalla sua storia geologica. Si può assumere che:

$$K_0 = K_0^{NC} \cdot (OCR)^m$$

dove

$$K_0^{NC} = 1 - \sin \phi'$$

e il coefficiente di spinta a riposo per un terreno normalconsolidato ( $OCR = 1$ ).  $OCR$  rappresenta il grado di sovraconsolidazione e "m" un parametro empirico, di solito compreso tra 0.4 e 0.7.

I coefficienti di spinta attiva e passiva sono forniti dalla teoria di Rankine per una parete liscia dalle seguenti espressioni:

$$K_a = \tan^2(45 - \phi'/2)$$

$$K_p = \tan^2(45 + \phi'/2)$$

Per tener conto dell'angolo di attrito  $\delta$  tra paratia e terreno, assunto per il caso in esame pari a 0.5 volte l'angolo di resistenza al taglio, il software Paratie Plus impiega rispettivamente per i coefficienti di spinta attiva e passiva le formulazioni di Coulomb e Lancellotta.

Di seguito si riporta la formulazione di Coulomb per la determinazione del coefficiente di spinta attiva impiegato dal software di calcolo Paratie Plus:

$$K_a = \frac{\cos^2(\phi' - \beta)}{\cos^2 \beta \cdot \cos(\beta + \delta) \cdot \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta + \phi') \cdot \sin(\phi' - i)}{\cos(\beta + \delta) \cdot \cos(\beta - i)}} \right]^2}$$

Dove  $\beta$  è l'angolo di inclinazione del diaframma rispetto alla verticale e "i" l'angolo di inclinazione del terreno a monte della paratia rispetto all'orizzontale.

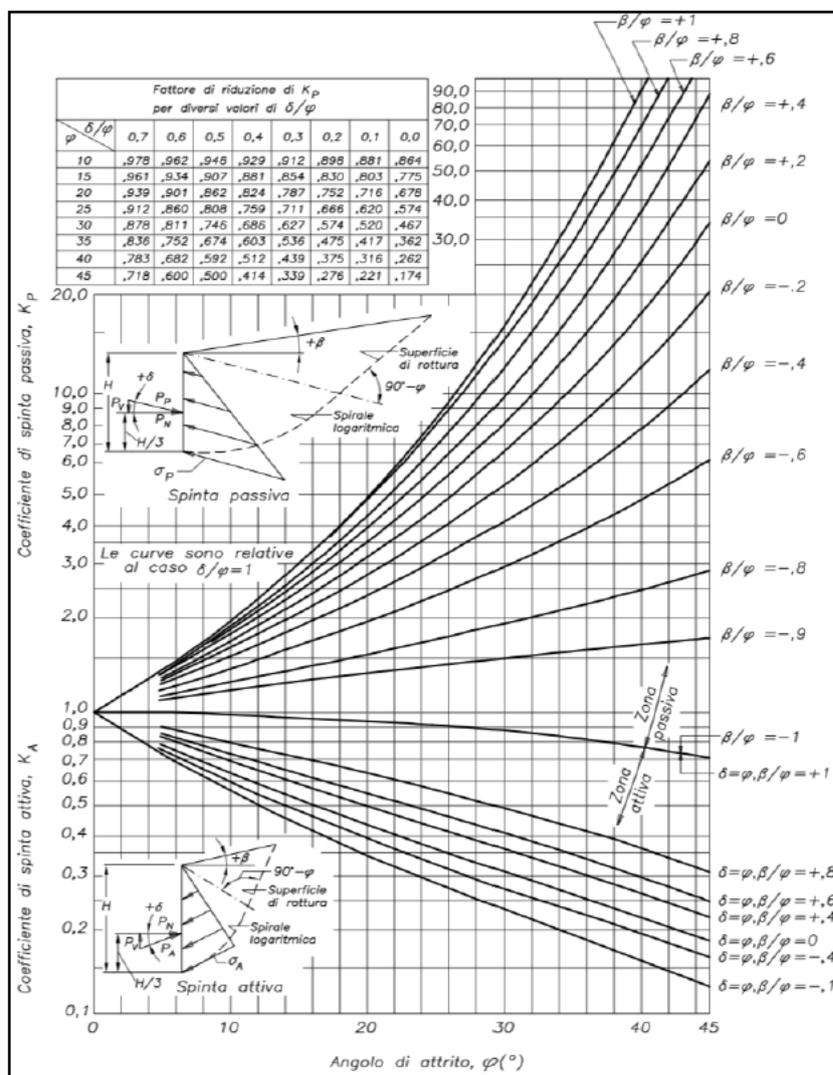
Di seguito si riporta la formulazione di Lancellotta per la determinazione del coefficiente di spinta passiva impiegato dal software di calcolo Paratie Plus:

$$K_p = \left[ \frac{\cos \delta}{1 - \sin \phi'} \cdot \left( \cos \delta + \sqrt{\sin^2 \phi' - \sin^2 \delta} \right) \right] \cdot e^{2\theta \cdot \tan \phi'}$$

dove

$$2\theta = \sin^{-1} \left( \frac{\sin \delta}{\sin \phi'} \right) + \delta$$

Il software di calcolo calcola automaticamente i coefficienti di spinta a riposo, attivi e passivi in accordo alle formulazioni sopra citate e riportate per semplicità nella figura seguente.


**Figura 6. Valori di  $K_a$  e  $K_p$  ottenuti con superficie di scorrimento formata da spirale logaritmica (Navfac, 1971)**

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

## 8. DIMENSIONAMENTO E VERIFICHE DELLE SOLETTE

Il presente capitolo contiene i risultati delle analisi numeriche e delle rispettive verifiche di sicurezza eseguite sulle 3 solette della struttura interrata.

Per lo studio dell'opera ci si è avvalsi di un modello ad elementi finiti tridimensionale costituito dai diaframmi, sia perimetrali che intermedi, e dalle tre solette (soletta di copertura, soletta intermedia e soletta di fondo).

Le analisi sono state condotte per diverse fasi costruttive, come dettagliatamente descritto al capitolo 8.3.

Per tutte le diverse fasi analizzate, il modello di calcolo strutturale delle solette (sviluppato con il software DIANA e descritto nella presente relazione) è stato utilizzato simultaneamente con il modello di calcolo dei diaframmi (sviluppato con il software Paratie Plus e descritto nella relazione delle opere provvisorie). In particolare, per ogni fase analizzata, dal software Paratie sono state ricavate le spinte attive e passive agenti sui diaframmi, successivamente inserite come carico esterno nel modello strutturale. Allo stesso tempo, dal modello strutturale qui descritto, sono stati ricavati i momenti agenti in testa alle paratie e le rigidità rotazionali e traslazionali offerte come vincolo dalle solette ai diaframmi.

### 8.1 Modello di calcolo

Il Deposito, che come accennato verrà realizzato con il metodo Top-Down, prevede la presenza sia di diaframmi perimetrali, per consentire lo scavo fino alla quota del solettone di fondo, che di diaframmi intermedi, il cui scopo è principalmente quello di fungere da supporto per il solettone di copertura e per la soletta intermedia sia in condizioni di scavo che sul lungo termine.

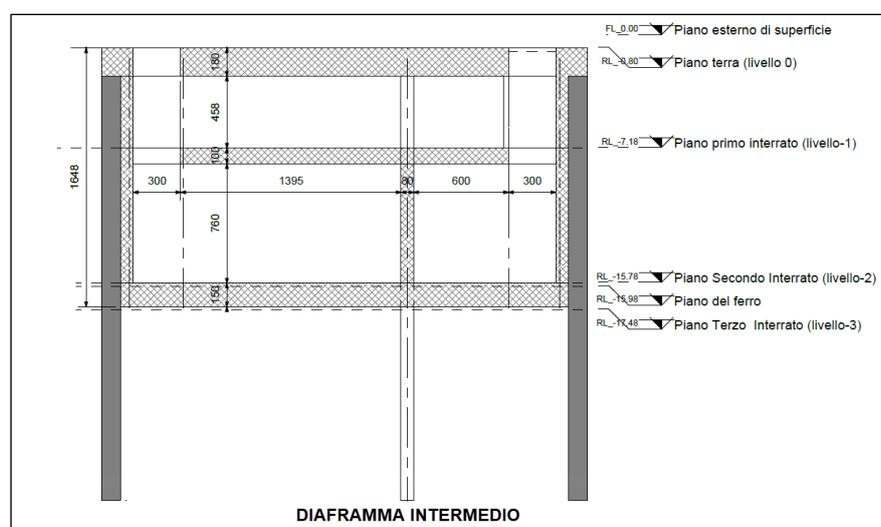


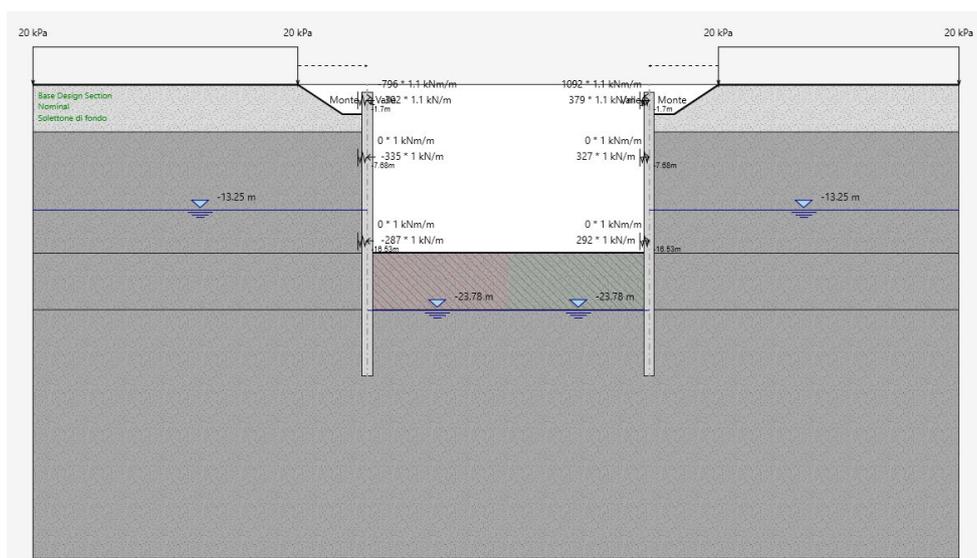
Figura 7. Sezione tipologica (con evidenza della presenza del diaframma intermedio)

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

La presenza di questi ultimi elementi (diaframmi intermedi) ha comportato la necessità di affiancare al modello di Paratie Plus, utilizzato per la verifica dei diaframmi, un secondo modello FEM, in grado di simulare la struttura nella sua interezza (solettoni, diaframmi perimetrali e intermedi) e con le sue peculiarità (forometrie nelle solette, etc.) e di restituire le sollecitazioni e il grado di vincolo reale trasmessi dagli elementi orizzontali ai diaframmi perimetrali. Il secondo modello, 3D, è stato realizzato con il software di calcolo DIANA FEA.

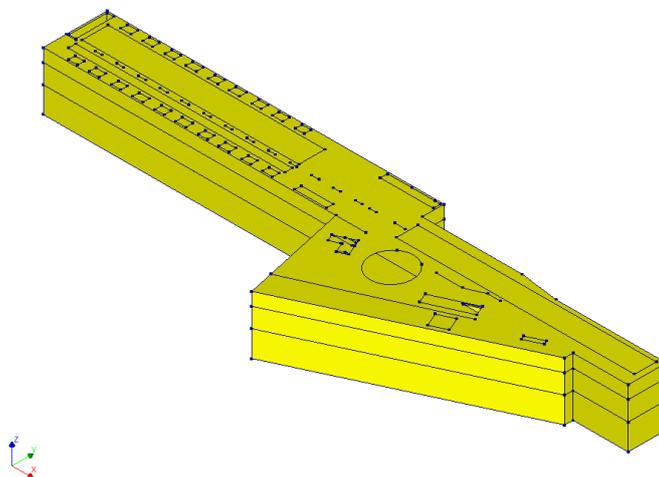
Come illustrato nel dettaglio nella fasistica riportata nel paragrafo 8.3 in corrispondenza degli step più significativi del calcolo, le analisi sono state effettuate con entrambi i modelli di calcolo.

Dal software Paratie Plus sono state estratte (e tarate) le rigidezze del terreno e le spinte a tergo e a valle delle opere di sostegno; dal modello 3D realizzato con il software DIANA FEA una volta inserite le rigidezze, tramite molle alla Winkler opportunamente tarate, e le spinte del terreno e della falda sono state estratte, come accennato, le azioni trasmesse ai diaframmi e le reali rigidezze dei solettoni che fungono da contrasto per i diaframmi.



**Figura 8. Modello di Calcolo Paratie Plus - Sezione tipologica**

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



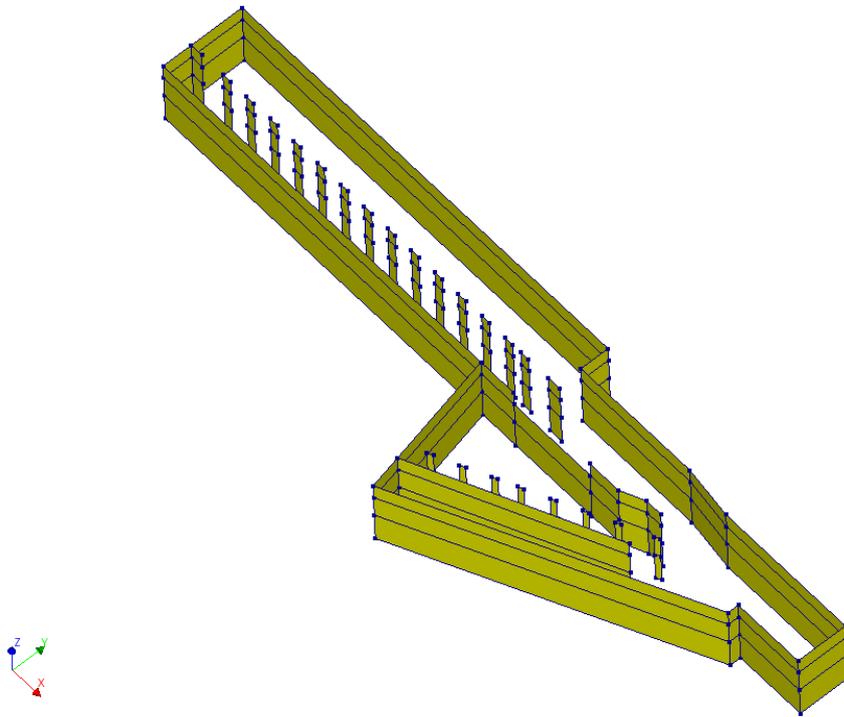
**Figura 9. Modello di Calcolo DIANA FEA – Vista 3D**

Il modello globale, sviluppato in DIANA, comprende la soletta di copertura, avente spessore 1.8m, la soletta intermedia avente spessore di 1.0m e la soletta di fondo avente spessore di 1.5m. Inoltre, nel modello sono stati inseriti i diaframmi perimetrali, aventi spessore 1.2m e profondità di 30 m, e i diaframmi interni, aventi spessore di 0.8m o 0.6m e profondità di 30m. Nelle solette di copertura e intermedia sono inoltre state inserite tutte le aperture desunte dai layout funzionali di input.

La soletta di copertura è stata considerata come rigidamente collegata ai diaframmi perimetrali, per le solette intermedia e di fondo invece sono state considerate come semplicemente appoggiate ai diaframmi, realizzando un vincolo di tipo cerniera in corrispondenza dei nodi di collegamenti.

Per meglio comprendere il posizionamento dei diaframmi considerati nel calcolo, in figura è rappresentata una vista dell'opera escludendo le solette.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

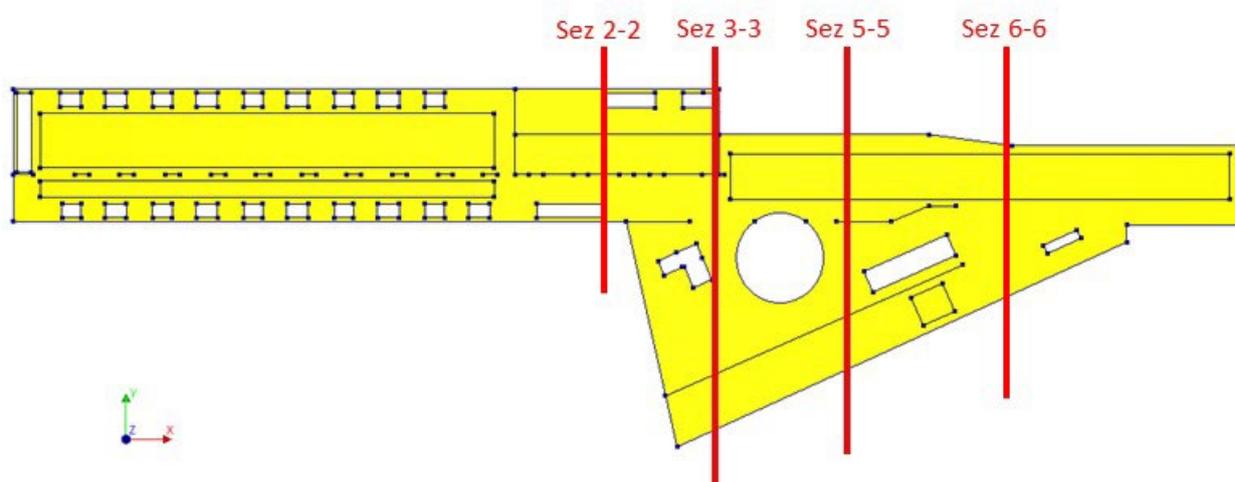


**Figura 10. Vista 3d della struttura con evidenziati i diaframmi perimetrali e intermedi**

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

## 8.2 Sezioni di verifica

Sono state considerate n.4 sezioni rappresentative, sulla base delle quali si sono dimensionate n.4 armature tipologiche le solette ai vari interpiani.



**Figura 11. Sezioni di verifica delle solette**

La sezione 2, ubicata nella parte centrale del Deposito è rappresentativa della zona in cui al di sopra della copertura verrà realizzato l'edificio contenente la parte fuori terra del Deposito.

La sezione 3, ubicata nella parte centrale del Deposito è rappresentativa della zona in cui le solette presentano la luce totale maggiore.

La sezione 5 è rappresentativa della zona in cui le solette presentano un doppio appoggio fornito dai diaframmi intermedi.

La sezione 6, ubicata nella parte nord del deposito, è rappresentativa della zona in cui le solette presentano la luce netta maggiore tra i due diaframmi perimetrali.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

### 8.3 Fasi di calcolo

Le fasi previste per la realizzazione dell'opera sono riassunte in seguito:

- **Fase 1:** condizione geostatica (Piano campagna a q.r. +0.00, Unità U1 da +0.00 a -5.00 m da p.c., falda a -13.25 m da p.c. – falda di progetto a breve termine).
- **Fase 2:** realizzazione prescavo fino a q.r. -3.10 (si considera, a favore di sicurezza, un extrascavo di 0.50 rispetto alla quota di intradosso del solettone di copertura); applicazione del carico stradale pari a 20 kPa a tergo di entrambe le paratie.
- **Fase 3:** realizzazione dei diaframmi perimetrali (lunghezza complessiva 30.0 m, interasse 29.55 m, spessore 1.20 m); il diaframma intermedio (lunghezza complessiva 30.0 m, spessore 0.80 m) non viene modellato in Paratie Plus.
- **Fase 4:** realizzazione del tappo di fondo, H=6.00 m, tra le q.r. -21.50 e -27.50 e abbattimento della falda all'interno dello scavo.
- **Fase 5:** realizzazione della soletta di copertura (spessore 1.80 m, asse a q.r. -1.70 m); sovraccarico accidentale distribuito sulla soletta pari a 20 kPa.
- **Fase 6:** esecuzione dello scavo fino a q.r. -8.68 da p.c. al di sotto della soletta di copertura.
- **Fase 7:** realizzazione della soletta intermedia (spessore 1.00 m, asse a q.r. -7.68 m); sovraccarico accidentale distribuito sulla soletta pari a 10 kPa.
- **Fase 8:** esecuzione dello scavo fino a q.r. -17.78 da p.c.
- **Fase 9:** esecuzione del solettone di fondo (spessore 1.50 m, asse a q.r. -16.53 m); sovraccarico accidentale distribuito sul solettone pari a 70 kPa.
- **Fase 10:** rinterro fino a piano campagna (carico permanente distribuito pari a 16 kPa) e applicazione dei carichi accidentali (30 kPa) sulla soletta di copertura.
- **Fase 11:** innalzamento quota della falda a -10.25 m da p.c.
- **Fase 12:** simulazione della condizione a lungo termine: oltre alla falda L.T. si considerano l'annullamento dell'angolo di attrito terreno-paratia, l'annullamento del tappo di fondo e la conseguente risalita della falda anche all'interno dello scavo (con diaframmi sollecitati da un carico idrostatico M-V equilibrato). In questa fase, in accordo a quanto previsto nel capitolato prestazionale, per simulare il fluage delle strutture in cls sotto carico costante, si applica, per le verifiche in esercizio, al modulo elastico del cls un coefficiente riduttivo pari a 2.75.

Rispetto alle fasi qui descritte nel software DIANA è stato studiato il comportamento strutturale delle solette nelle seguenti fasi:

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

- **Fase 6:** caratterizzata dalla realizzazione della soletta di copertura e dalla realizzazione del primo scavo (-8.68 da p.c) e dall'applicazione dei carichi di cantiere;
- **Fase 8:** caratterizzata dalla realizzazione della soletta intermedia (considerata incernierata in corrispondenza dei nodi sui diaframmi), dalla realizzazione del secondo scavo (-17.78 da p.c.) e dall'applicazione dei carichi di cantiere;
- **Fase 9:** caratterizzata dalla realizzazione della soletta di fondo (considerata incernierata in corrispondenza dei nodi sui diaframmi) e dall'applicazione dei carichi di cantiere;
- **Fase 10:** caratterizzata dall'applicazione dei carichi di esercizio della struttura;
- **Fase 11:** caratterizzata dall'innalzamento del livello di falda al livello a lungo termine (-10.25m da p.c.);
- **Fase 12:** caratterizzata dalle condizioni di falda a lungo termine, dall'annullamento del tappo di fondo e dall'annullamento dell'angolo di attrito terreno-paratia. In questa fase l'annullamento del tappo di fondo comporta una sottospinta agente sulla soletta di fondo.

Per tutte queste fasi di calcolo le spinte attive e passive agenti sui diaframmi sono state ricavate dal software Paratie, come descritto in precedenza.

## 8.4 Analisi dei carichi

### 8.4.1 Peso proprio

Il peso proprio della struttura è calcolato in base alla geometria degli elementi strutturali e al peso specifico assunto per i materiali (CLS) pari a:

$$\gamma_{cls} = 25.0 \quad \text{kN/m}^3$$

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

In alcune zone della soletta di copertura sono stati inseriti degli alleggerimenti, costituiti da profili cilindrici cavi di acciaio, aventi diametro di 900mm e interasse di 1300mm. In direzione longitudinale invece sono caratterizzati da una lunghezza di 3500mm e una distanza tra un profilo e il successivo di 800mm. Rispetto alle geometrie così definite sono in seguito calcolati il volume del calcestruzzo pieno, il volume dei vuoti e il volume del calcestruzzo alleggerito, ottenuto dalla differenza dei due

$$V_{cls} = 1800 \cdot 1300 \cdot (3500 + 800) = 10.06 \text{ m}^3$$

$$V_{vuoti} = \pi \cdot 900^2 / 4 \cdot 3500 = 2.23 \text{ m}^3$$

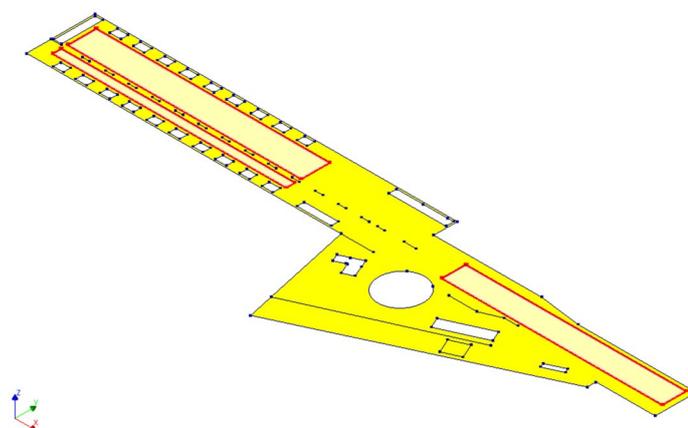
$$V_{cls,alleggerito} = 10.06 - 2.23 = 7.83 \text{ m}^3$$

Per le parti di solaio di copertura che verranno realizzate con calcestruzzo alleggerito, si è pertanto considerato:

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

$$\gamma_{cls,alleggerito} = \frac{V_{cls,alleggerito}}{V_{cls}} \cdot \gamma_{cls} = \frac{7.83}{10.06} \cdot 25 \cong 20 \text{ kN/m}^3$$

In figura sono evidenziate le zone della soletta di copertura in cui è stata considerata la presenza di calcestruzzo alleggerito.



**Figura 12.** Zone della soletta di copertura in cui è stata prevista la presenza di calcestruzzo alleggerito (NC39)

#### 8.4.2 Permanenti portati (soletta di copertura)

Per le analisi delle paratie e delle strutture interne, si è considerato un ricoprimento di 0.80 m sul solaio di copertura, assumendo in favore di sicurezza un peso dell'unità di volume pari a:

$$\gamma_{rinterro} = 20.0 \text{ kN/m}^3$$

Da cui:

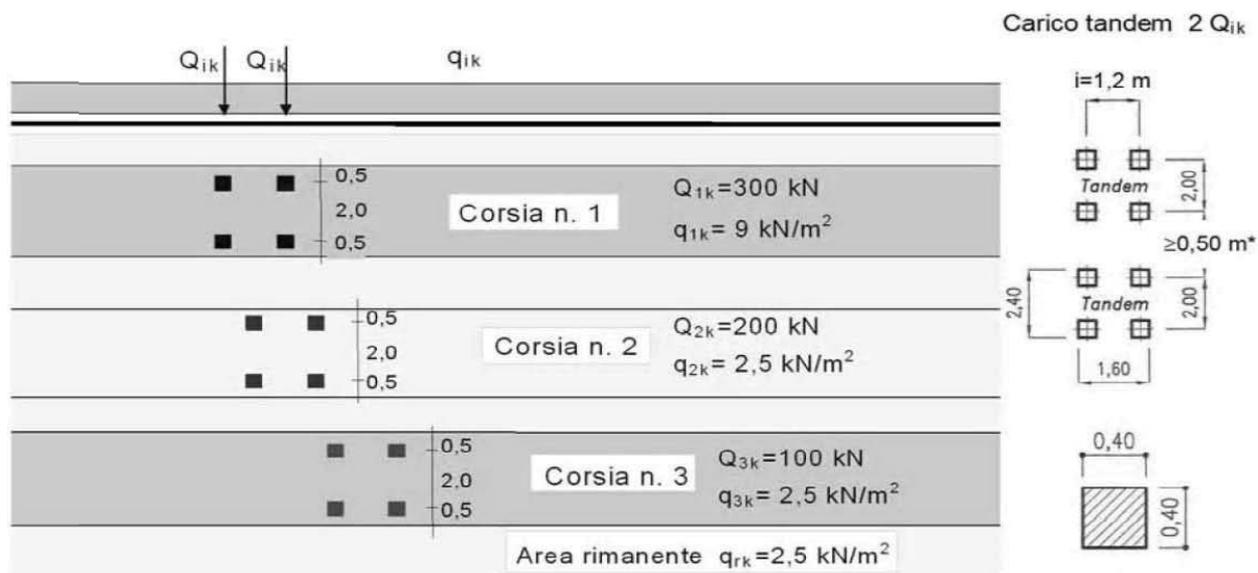
$$q_{cop.} = 16.0 \text{ kN/m}^2$$

#### 8.4.3 Accidentali da traffico (soletta di copertura)

Per i carichi da traffico agenti sulla soletta di copertura si è fatto riferimento – in quanto condizione di carico più gravosa – allo schema di carico 1 previsto al §5.1.3.3.3 della Normativa vigente (NTC2018).

Lo schema di carico 1 è costituito da carichi concentrati su due assi in tandem, applicati su impronte di pneumatico di forma quadrata e lato 0.40 m, e da carichi uniformemente distribuiti come mostrato nella figura seguente. Questo schema è da assumere a riferimento sia per le verifiche globali, sia per le verifiche locali, considerando un solo tandem per corsia, disposto in asse alla corsia stessa. Il carico tandem, se presente, va considerato per intero.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



Schema di carico 1 (dimensioni in [m])  
**Schema di carico 1 previsto per la soletta di copertura**

A partire dal piano stradale il carico si diffonderà fino alla mezzera della soletta di copertura; a tal proposito si considera un angolo di diffusione pari a 45° sia per il terreno che per la soletta in c.a. Per un'altezza di terreno pari a 0.8 m (per il caso in esame) e della soletta pari ad 1.8 m si ha:

$$\Delta L_{TERRENO} = 2 \cdot H_{TERRENO} \cdot \tan 45^\circ = 2 \cdot 0.8 \cdot \tan 45^\circ = 1.6 \text{ m}$$

$$\Delta L_{SOLETTA} = 2 \cdot \frac{H_{SOLETTA}}{2} \cdot \tan 45^\circ = 2 \cdot 0.9 \cdot \tan 45^\circ = 1.8 \text{ m}$$

$$\Delta L = \Delta L_{TERRENO} + \Delta L_{SOLETTA} = 3.40 \text{ m}$$

L'impronta di carico in superficie è pari a 1.60 x 2.40 m (L1xL2) come indicato in 0, che diffuso fino alla mezzera della soletta risulta pari a 5.00 x 5.80 m (L1+ΔL x L2+ΔL). Si ha dunque che:

$$q_{TOT,Stradale} = q_1 + q_2 = \frac{600}{5.00 \cdot 5.80} + 9 = 30.0 \text{ kPa}$$

#### 8.4.4 Sovraccarichi accidentali esterni per circolazione mezzi (soletta di copertura-fase di cantiere)

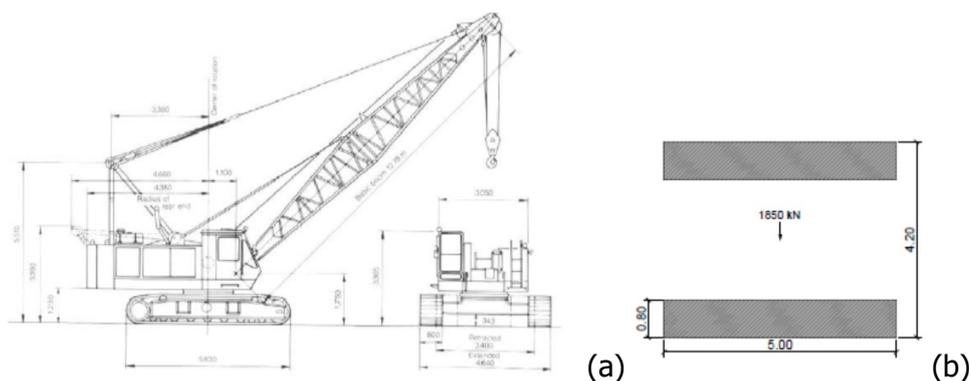
Fatte salve situazioni singolari dove il ricoprimento non ha uno spessore adeguato a ridistribuire i carichi stradali da normativa agenti sull'estradosso della soletta (per queste configurazioni rimangono valide le indicazioni definite dalle NTC2018), per simulare la presenza di circolazione

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

di mezzi di cantiere (nella fase di costruzione) e traffico stradale (nella fase definitiva) a tergo delle opere di sostegno, sarà considerato un carico uniformemente distribuito di **20 kPa** applicato uniformemente su tutto il solaio di copertura e come spinta dal solo lato di azione del sisma. Tale sovraccarico sarà considerato anche in fase di costruzione quale carico di cantiere e/o riapertura al traffico.

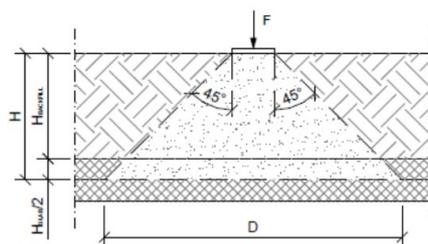
#### 8.4.5 Sovraccarichi esterni per gru sollevamento treni (soletta di copertura)

Per il carico trasmesso dalla gru di movimentazione dei treni è stato considerato un'azione complessiva pari a 1850 kN, agente su un ingombro massimo di 5.0x4.2m, come mostrato in figura.



**Figura 13. Gru di sollevamento treni: (a) rappresentazione del mezzo e (b) impronta di carico sulla soletta**

Per la diffusione del carico è stato considerato un schema come in figura considerando un ricoprimento di 80cm e l'altezza della soletta di 180cm.



Ne deriva una impronta di carico di calcolo avente le seguenti dimensioni:

$$B = 2 \cdot (0.8 + 1.8/2) + 5.0 = 8.4 \text{ m}$$

$$D = 2 \cdot (0.8 + 1.8/2) + 4.2 = 7.6 \text{ m}$$

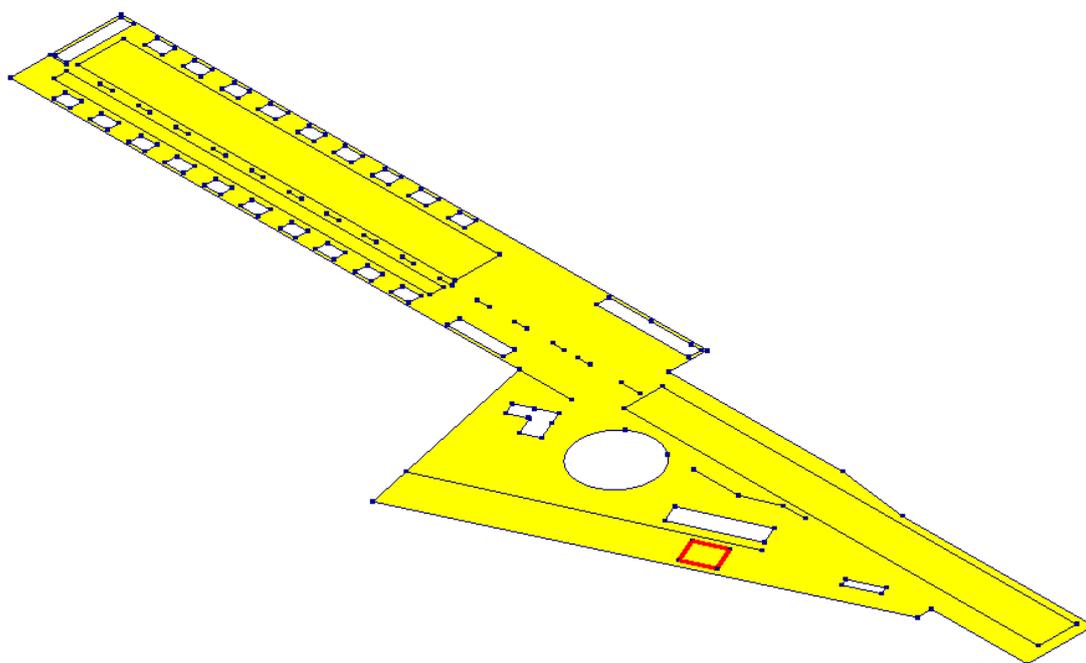
Il carico considerato sarà quindi pari a

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

$$q = \frac{1850}{8.4 \cdot 7.6} = 29 \text{ kPa}$$

Per considerare una condiziona cautelativa, ipotizzando la possibilità di un rinterro inferiore rispetto a quello di progetto, all'interno del modello si è considerato:

$$q_{gru.} = 40.0 \text{ kN/m}^2$$



**Figura 14. Soletta di copertura con evidenziata la zona di carico delle gru di sollevamento treni**

#### **8.4.6 Sovraccarichi esterni (soletta intermedia)**

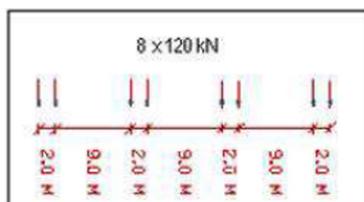
Si è considerato:

$$q_{interm..} = 10.0 \text{ kN/m}^2$$

#### **8.4.7 Sovraccarichi esterni (soletta di fondo)**

Per quanto riguarda i carichi variabili nella soletta di fondo si è considerato il carico trasmesso dai trani secondo lo schema mostrato in figura.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



Il carico è stato considerato con una diffusione a 45° all'interno della soletta di fondo, di spessore 1.5m, pertanto:

$$\Delta L_{SOLETTA} = 2 \cdot \frac{H_{SOLETTA}}{2} \cdot \tan 45^\circ = 2 \cdot 0.75 \cdot \tan 45^\circ = 1.5 \text{ m}$$

$$\Delta L = \Delta L_{SOLETTA} + INTERASSE = 1.5 + 2 = 3.5 \text{ m}$$

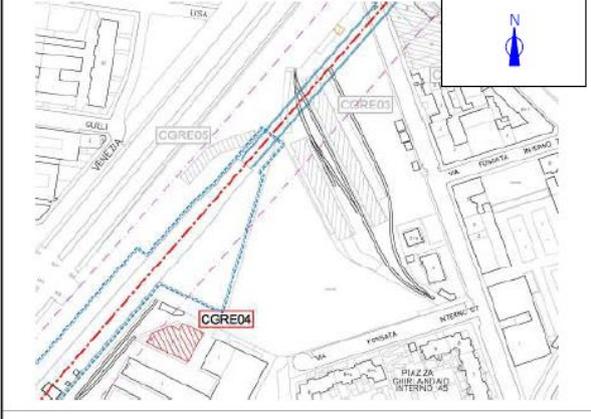
Il carico distribuito equivalente, applicato alla soletta di fondo sarà pertanto pari a:

$$q = \frac{2 \cdot 120}{3.5 \cdot 1} = 70 \text{ kPa}$$

#### 8.4.8 Sovraccarichi dovuti agli edifici esistenti

Per considerare la presenza di edifici esistenti si considera, quale scarico a quota fondazione dell'edificio, un carico di 10 kPa per ogni piano dell'edificio stesso. In prossimità del Deposito in progetto è presente unicamente l'edificio GCRE04, costituito da un piano fuori terra e da un piano interrato. Il sovraccarico a tergo delle paratie, anche tenendo conto dell'alleggerimento dato dal piano interrato, risulta minore rispetto a quello variabile da cantiere (20 kPa). In tutte le analisi effettuate si è pertanto sempre considerato il solo sovraccarico variabile da cantiere.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

<b>Comune</b>	TORINO	<b>CODICE IDENTIFICATIVO EDIFICIO</b>	<b>GCRE04</b>
<b>Indirizzo</b>	Via Valprato 68		
<b>Stralcio planimetrico</b>		<b>Vista facciata principale</b>	
			

#### 8.4.9 Sovraccarichi dovuti agli edifici in progetto

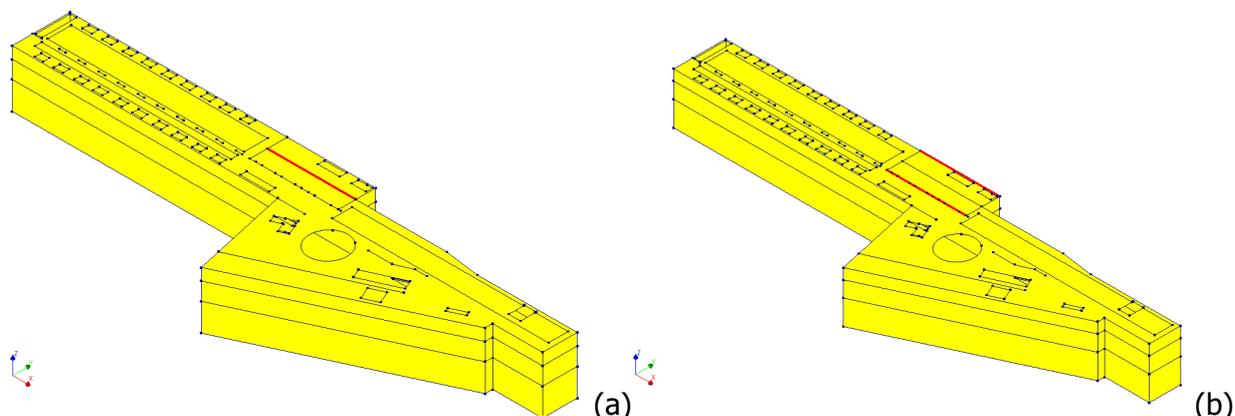
L'edificio fuori terra, sovrastante la soletta di copertura è stato schematizzato applicando dei carichi equivalenti distribuiti linearmente come mostrato in figura.

Al momento della redazione di tale documento non si era ancora definito l'assetto definitivo dell'opera fuori terra in termini di posizionamento e dimensioni degli elementi strutturali.

È stata pertanto considerata nel presente calcolo una condizione cautelativa ma comunque realistica degli ipotetici scarichi in fondazione dell'edificio fuori terra, che nel modello di calcolo sono stati inseriti come carichi distribuiti linearmente lungo gli allineamenti evidenziati in figura. I carichi inseriti sono i seguenti:

$$\begin{aligned}
 g_{\text{allineamenti laterali}} &= 102 \frac{kN}{m}; & g_{\text{allineamento centrale}} &= 280 \frac{kN}{m} \\
 q_{\text{allineamenti laterali}} &= 44 \frac{kN}{m}; & q_{\text{allineamento centrale}} &= 120 \frac{kN}{m}
 \end{aligned}$$

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



**Figura 15.** Allineamenti con carico equivalente edificio fuori terra: (a) allineamento centrale e (b) allineamenti laterali

#### 8.4.10 Spinta del terreno

Nel modello di calcolo impiegato dal software adottato PARATIE, la spinta del terreno viene determinata investigando l'interazione statica tra terreno e la struttura deformabile a partire da uno stato di spinta a riposo del terreno sulla paratia.

I parametri che identificano il tipo di legge costitutiva possono essere distinti in due sottoclassi: parametri di spinta e parametri di deformabilità del terreno.

I parametri di spinta sono il coefficiente di spinta a riposo  $K_0$ , il coefficiente di spinta attiva  $K_a$  e il coefficiente di spinta passiva  $K_p$ .

Il coefficiente di spinta a riposo fornisce lo stato tensionale presente in sito prima delle operazioni di scavo. Esso lega la tensione orizzontale efficace  $\sigma'_h$  a quella verticale  $\sigma'_v$  attraverso la relazione:

$$\sigma'_h = K_0 \cdot \sigma'_v$$

$K_0$  dipende dalla resistenza del terreno, attraverso il suo angolo di attrito efficace  $\phi'$  e dalla sua storia geologica. Si può assumere che:

$$K_0 = K_{0, NC} \cdot (OCR)^m$$

dove:

$$K_{0, NC} = 1 - \text{sen } \phi'$$

è il coefficiente di spinta a riposo per un terreno normalconsolidato ( $OCR=1$ ).  $OCR$  è il grado di sovraconsolidazione e  $m$  è un parametro empirico, di solito compreso tra 0.4 e 0.7.

I coefficienti di spinta attiva e passiva sono forniti dalla teoria di Rankine per una parete liscia dalle seguenti espressioni:

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

$$K_a = \tan^2(45 - \varphi'/2)$$

$$K_p = \tan^2(45 + \varphi'/2)$$

Attraverso valori opportuni di  $K_a$  e  $K_p$  si può tener conto dell'angolo di attrito  $\delta$  tra paratia e terreno e della pendenza del terreno a monte ed entro la luce di scavo; si possono usare a questo scopo i valori desunti da NAVFAC (1986) o quelle elaborate da Caquot e Kerisel (1948). Per maggiori dettagli si rimanda al manuale del software PARATIE.

L'attrito terreno-struttura sarà considerato sul lato attivo e passivo durante la fase temporanea della costruzione ma non in condizioni permanenti di lungo termine. Pertanto, nelle analisi, l'angolo di attrito della parete  $\delta$  è uguale a:

$$\delta = \frac{1}{2} \varphi \text{ per diaframmi, pali e micropali durante la fase di costruzione.}$$

$$\delta = 0^\circ \text{ per diaframmi (strutture permanenti) in condizione di lungo termine.}$$

#### 8.4.11 Spinta dell'acqua di falda

Nella fase transitoria della costruzione i diaframmi saranno progettati al fine di sopportare la spinta del suolo e la spinta idraulica dovuta alla falda quando presente. A lungo termine, invece, si considereranno i diaframmi come strutture permanenti per la sola spinta del suolo. Per quanto riguarda la spinta idraulica, a favore di sicurezza, si considererà che i giunti fra un diaframma e l'altro non saranno più in grado di "trattenere" l'acqua di falda che, quindi, andrà a esercitare la propria pressione per la sua interezza sulle fodere interne opportunamente impermeabilizzate.

I livelli di breve termine (fase di costruzione) e lungo termine (fase di esercizio) sono così definiti:

- Breve termine: livello indicato sul profilo + 1.5 m rispetto al livello piezometrico di riferimento (livello di falda considerato nella verifica a galleggiamento del tappo di fondo).
- Lungo termine: livello di breve termine + 3.0 m (livello di falda considerato nella verifica a sifonamento e a galleggiamento della stazione).

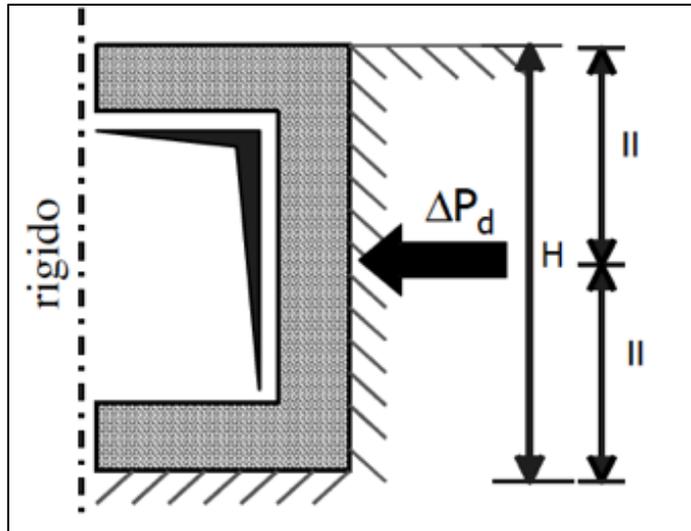
#### 8.4.12 Spinta da sovraccarico accidentale

Sarà considerato un carico nastroforme di 20 kPa applicato a tergo delle paratie e delle fodere. Tale sovraccarico sarà considerato anche in fase di costruzione quale carico di cantiere e/o riapertura al traffico.

#### 8.4.13 Azione sismica

Per quello che riguarda l'applicazione della spinta sismica, si utilizzerà il metodo di Wood (1973). Tale metodo fornisce la sovraspinta sismica del terreno su una parete interrata.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



**Figura 16. Schematizzazione metodo di Wood**

Tale metodo è utilizzato nel caso di manufatti scatolari e l'incremento di spinta legato al sisma può essere stimato secondo la relazione:

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

In cui  $\gamma$  è il peso specifico del terreno supposto uniforme. Poiché tale risultante ha il punto di applicazione a metà dell'altezza  $H$  del muro, è possibile assumere una pressione uniforme di entità pari a:

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

#### **8.4.14 Ritiro**

Il ritiro è stato considerato intrinsecamente all'interno del software di calcolo. Il software permette di calcolare intrinsecamente il valore del ritiro secondo la formulazione proposta dal Model Code 2010.

Tale formulazione, in maniera del tutto analoga a quanto previsto dalle NTC2018 consente di calcolare il ritiro come somma di due contributi, la deformazione per ritiro da essiccamento e la deformazione per ritiro autogeno. In particolare, il ritiro autogeno dipende essenzialmente dal tipo di calcestruzzo mentre il ritiro da essiccamento dipende dalla tipologia di calcestruzzo, da

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

aspetti geometrici come la sezione di calcestruzzo esposta all'aria e da aspetti ambientali come l'umidità relativa, che nei calcoli è fissata come valore di input a un valore pari all'80%.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

## 8.5 Sollecitazioni

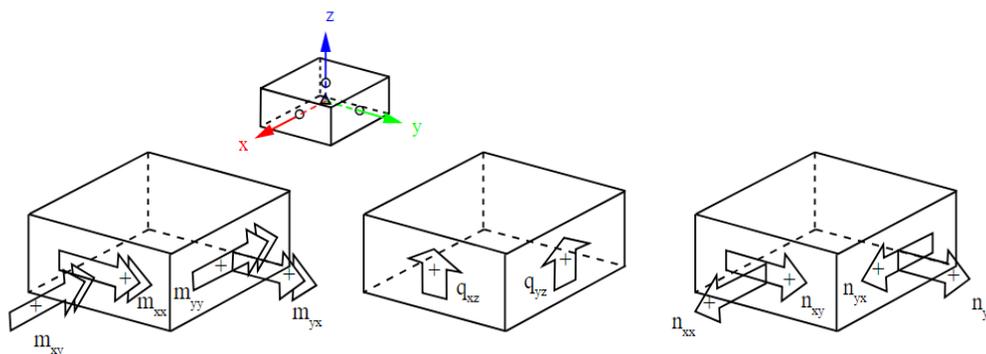
Per tutte le 6 fasi di costruzione analizzate vengono in seguito riportate le sollecitazioni ottenute sia a SLU che a SLE. Sulla base delle sollecitazioni ottenute, nel paragrafo seguente verranno poi condotte le verifiche.

Per completezza viene in seguito riportata una breve descrizione delle fasi di costruzione analizzate, più dettagliatamente descritte al paragrafo 8.3:

- **Fase 6:** caratterizzata dalla realizzazione della soletta di copertura e dalla realizzazione del primo scavo (-8.68 da p.c) e dall'applicazione dei carichi di cantiere;
- **Fase 8:** caratterizzata dalla realizzazione della soletta intermedia (considerata incernierata in corrispondenza dei nodi sui diaframmi), dalla realizzazione del secondo scavo (-17.78 da p.c.) e dall'applicazione dei carichi di cantiere;
- **Fase 9:** caratterizzata dalla realizzazione della soletta di fondo (considerata incernierata in corrispondenza dei nodi sui diaframmi) e dall'applicazione dei carichi di cantiere;
- **Fase 10:** caratterizzata dall'applicazione dei carichi di esercizio della struttura;
- **Fase 11:** caratterizzata dall'innalzamento del livello di falda al livello a lungo termine (-10.25m da p.c.);
- **Fase 12:** caratterizzata dalle condizioni di falda a lungo termine, dall'annullamento del tappo di fondo e dall'annullamento dell'angolo di attrito terreno-paratia. In questa fase l'annullamento del tappo di fondo comporta una sottospinta agente sulla soletta di fondo.

Per le fasi 10,11 e 12 sono inoltre state considerate anche le combinazioni sismiche a SLV.

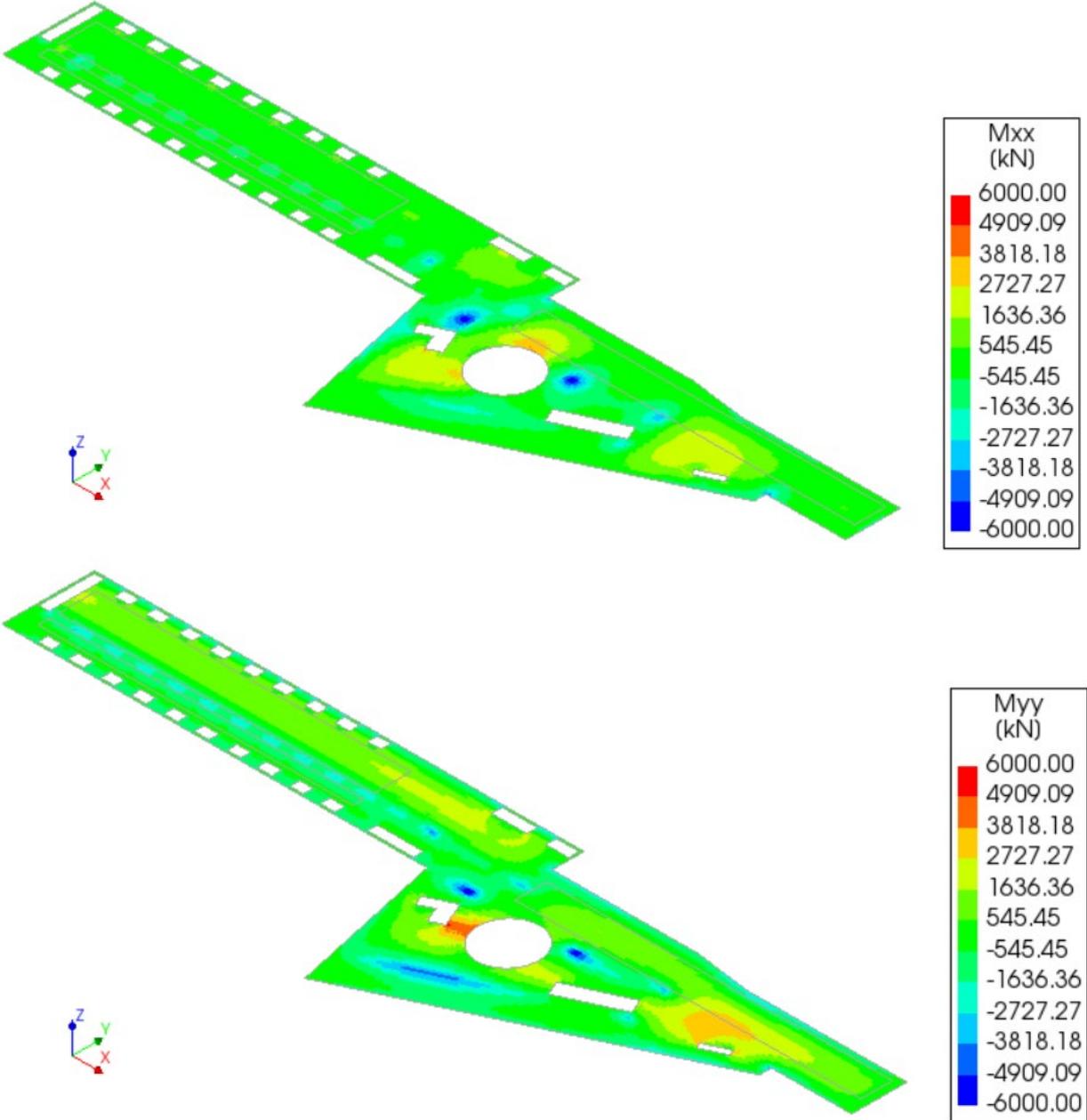
Per una maggior comprensione dei risultati si riporta in seguito la convenzione del software di calcolo per le azioni interne generalizzate.



**Figura 17. Convenzioni azioni interne del software di calcolo DIANA**

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

**8.5.1 Soletta di copertura**



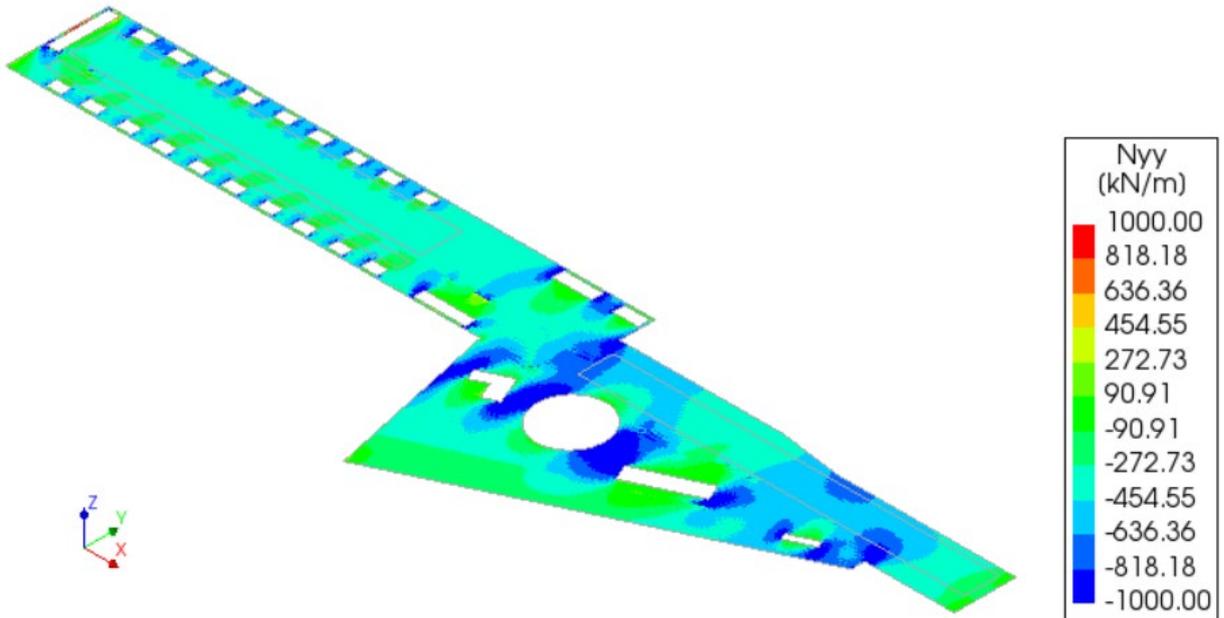
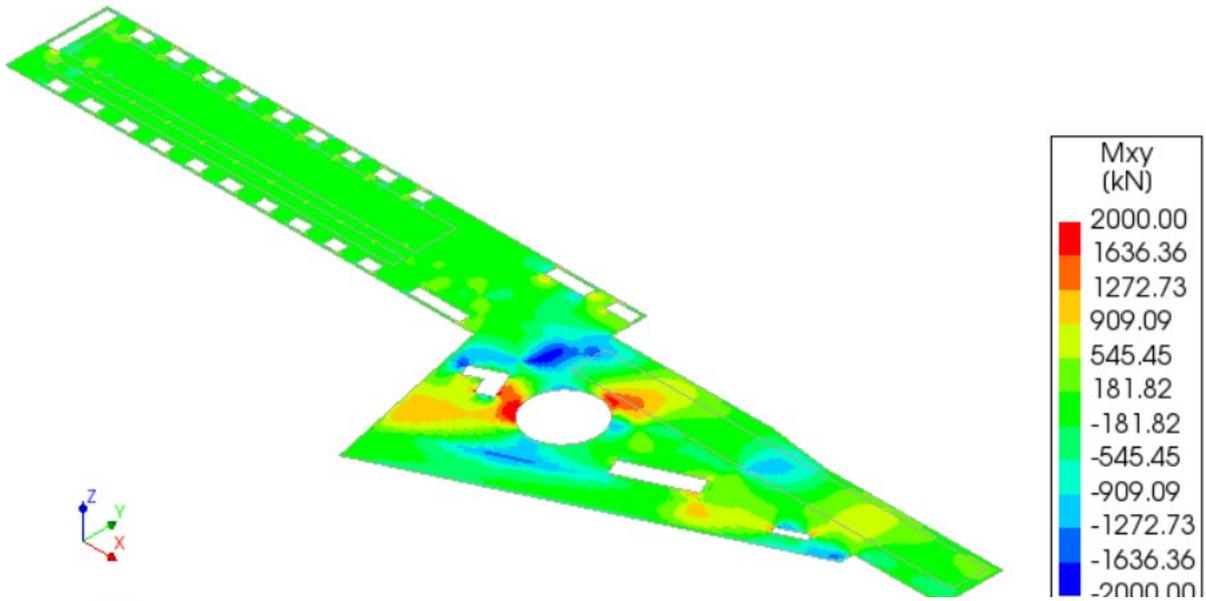


CITTA' DI TORINO

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

Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive  
in sotterraneo – Relazione di calcolo

MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



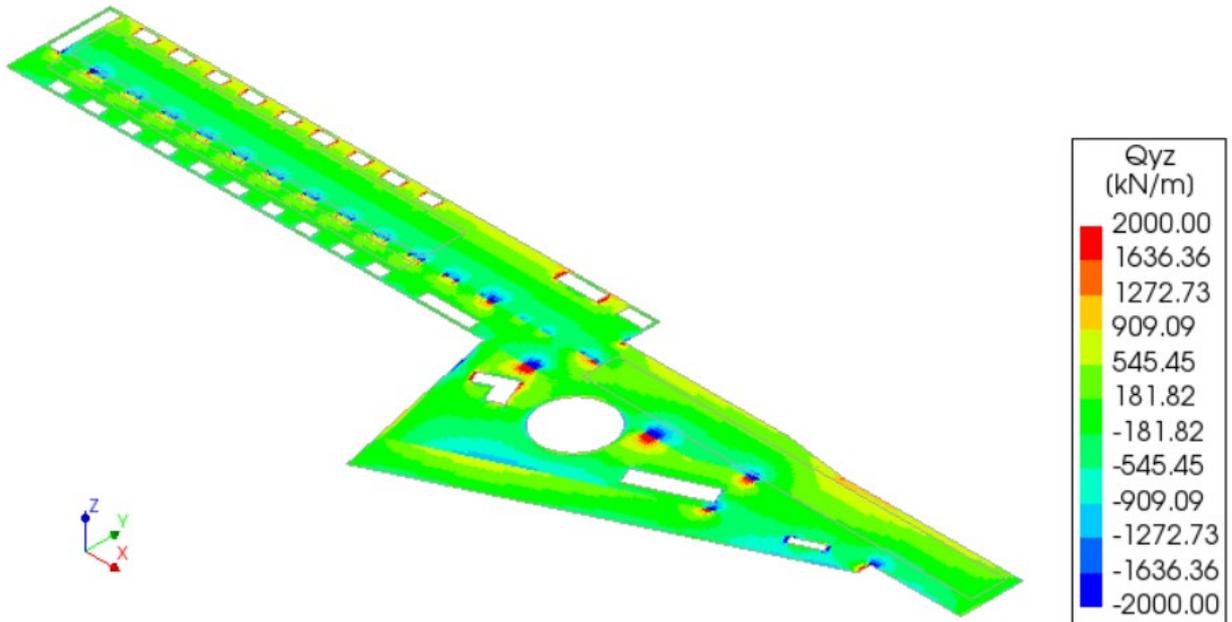
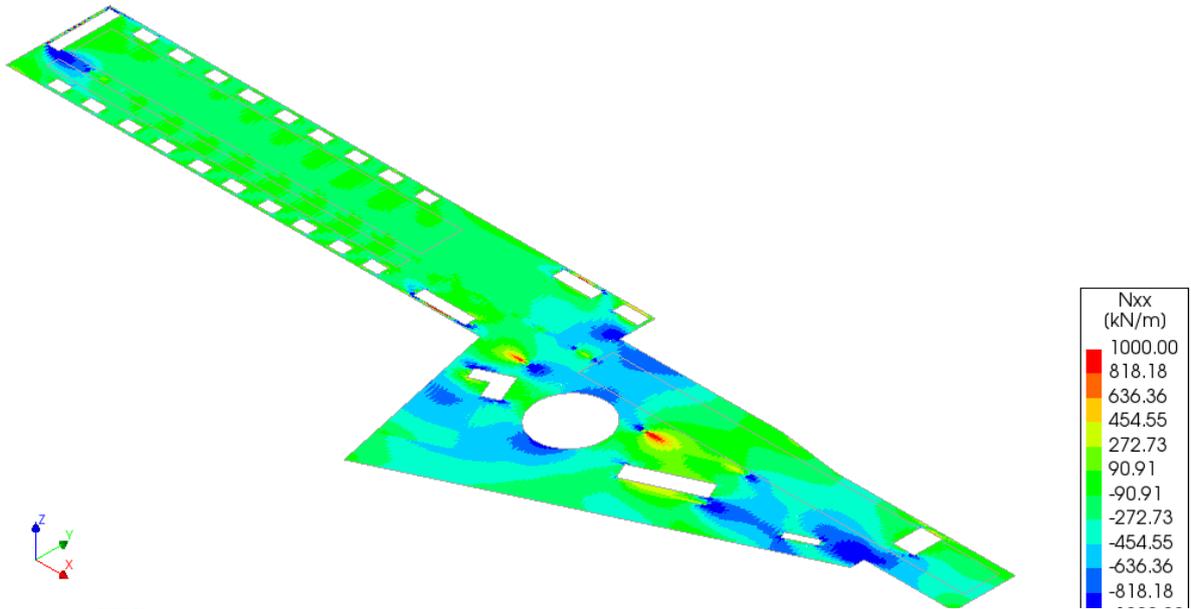


CITTA' DI TORINO

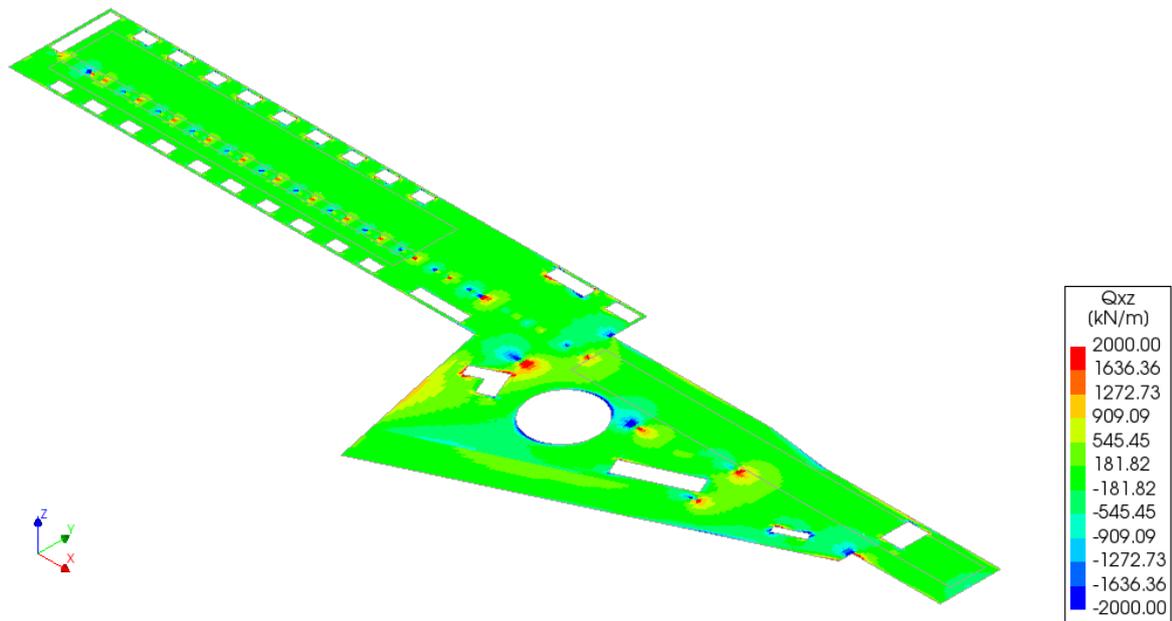
Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta:  
Politecnico – Rebaudengo – Lotto  
Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna

Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive  
in sotterraneo – Relazione di calcolo

MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



**Figura 18. Soletta copertura FASE 6 – Sollecitazioni SLU**

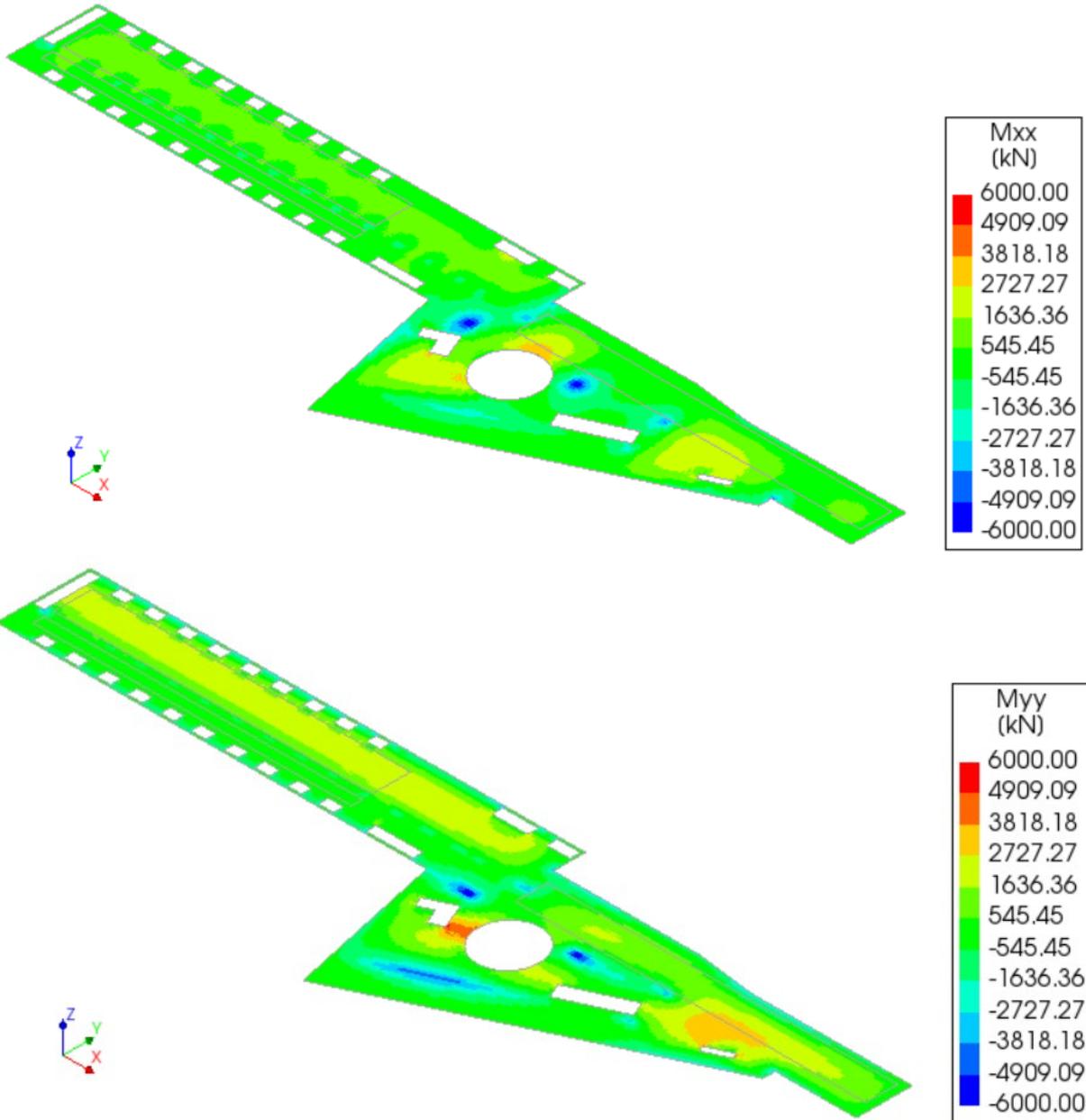


CITTA' DI TORINO

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

Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive  
in sotterraneo – Relazione di calcolo

MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



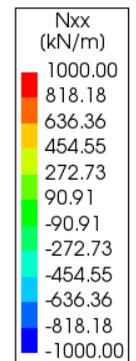
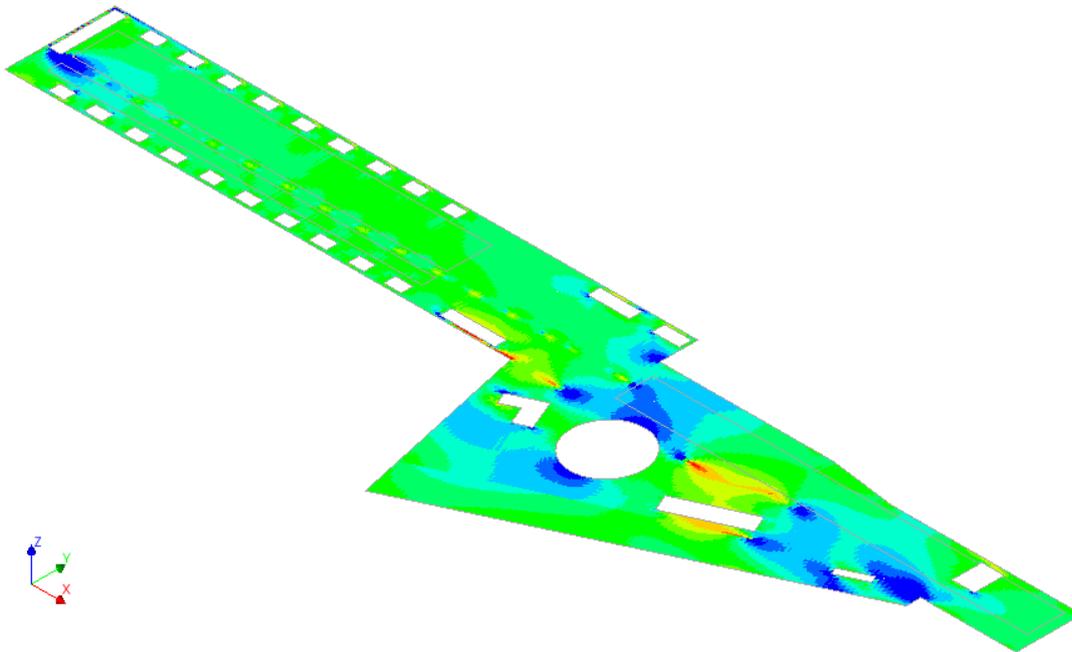
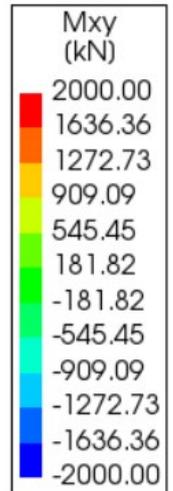
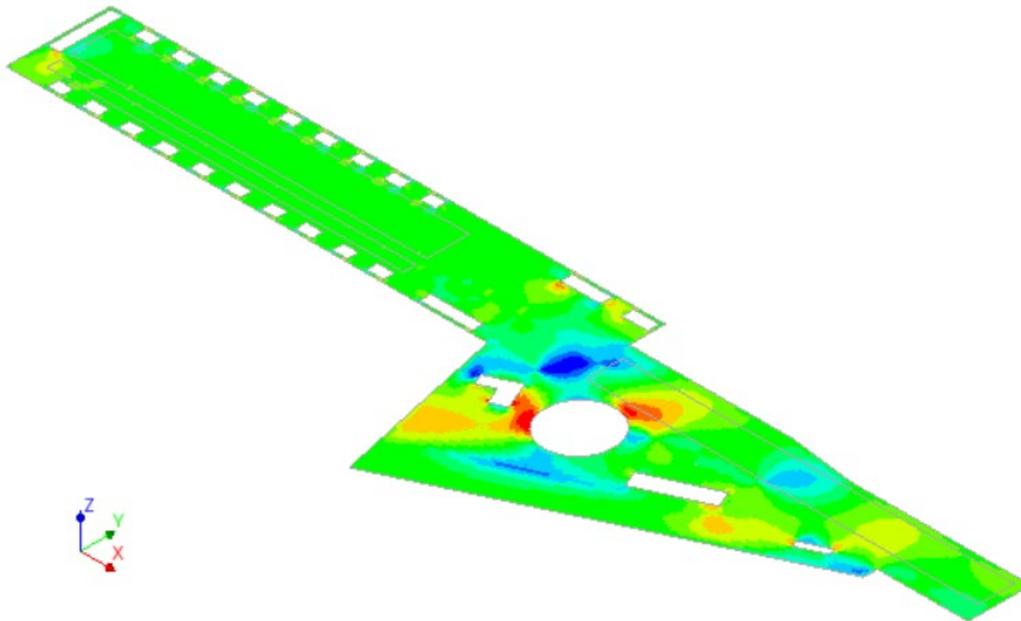


CITTA' DI TORINO

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

Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive  
in sotterraneo – Relazione di calcolo

MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



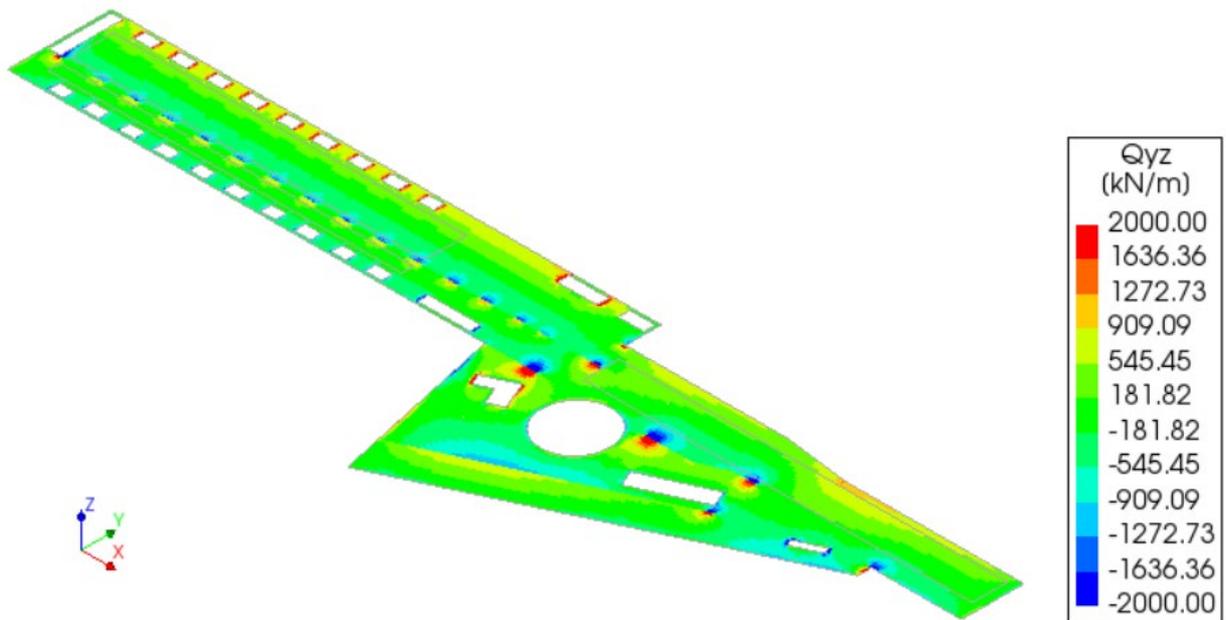
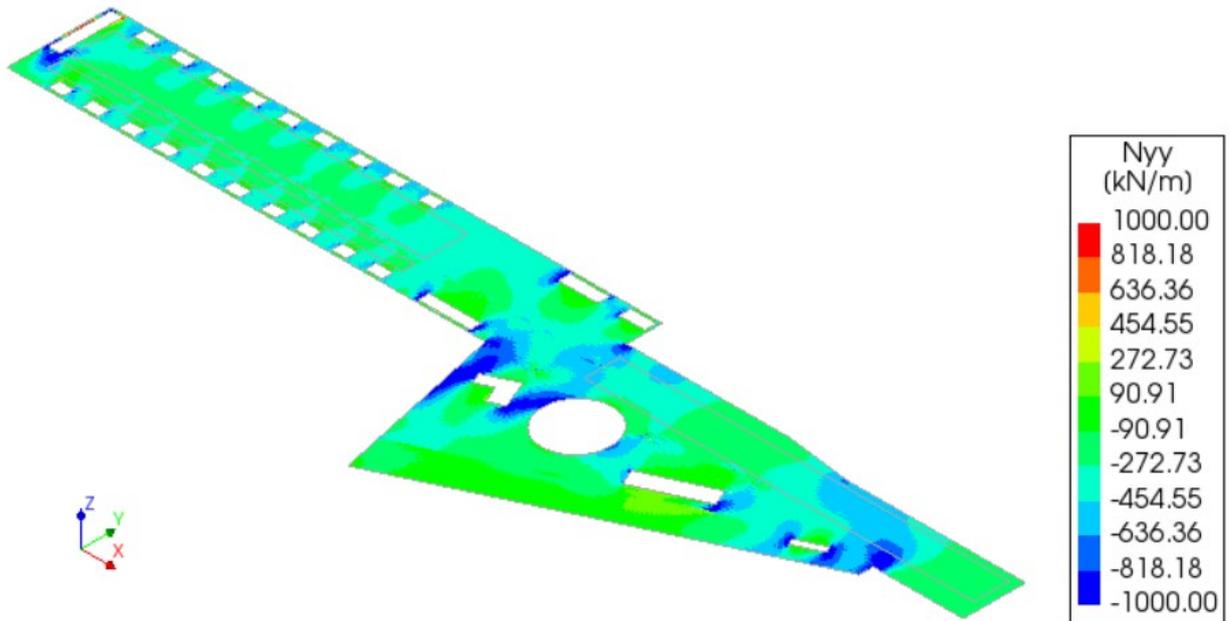


CITTA' DI TORINO

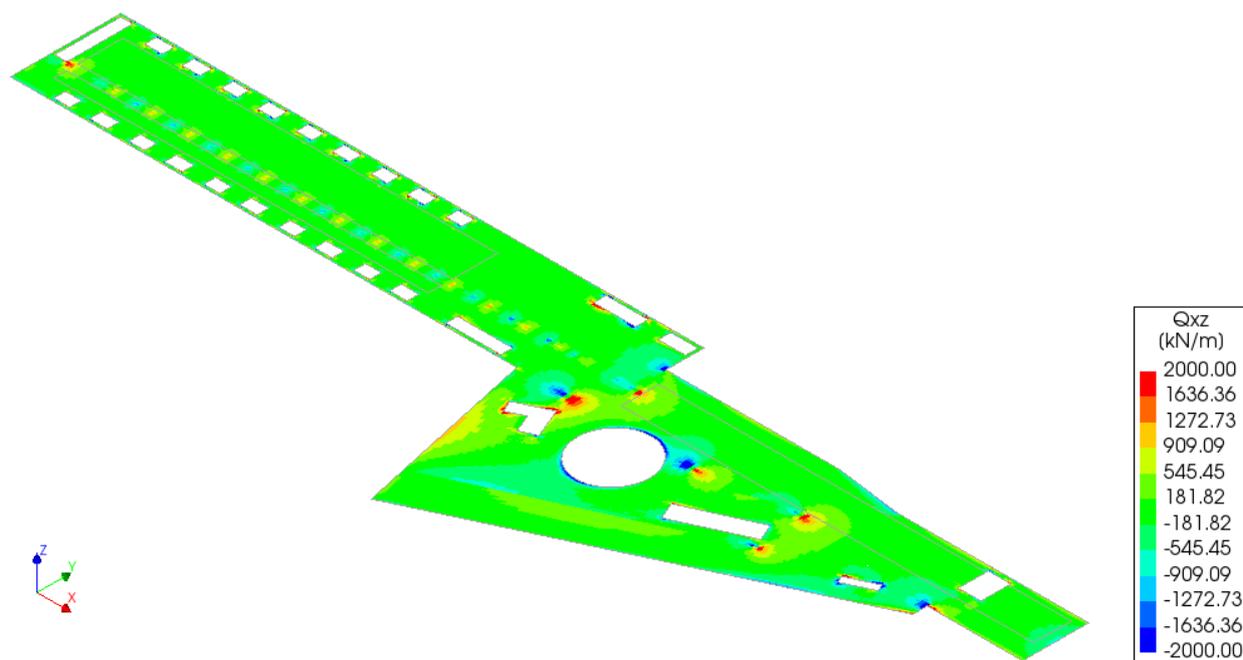
Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta:  
Politecnico – Rebaudengo – Lotto  
Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna

Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive  
in sotterraneo – Relazione di calcolo

MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

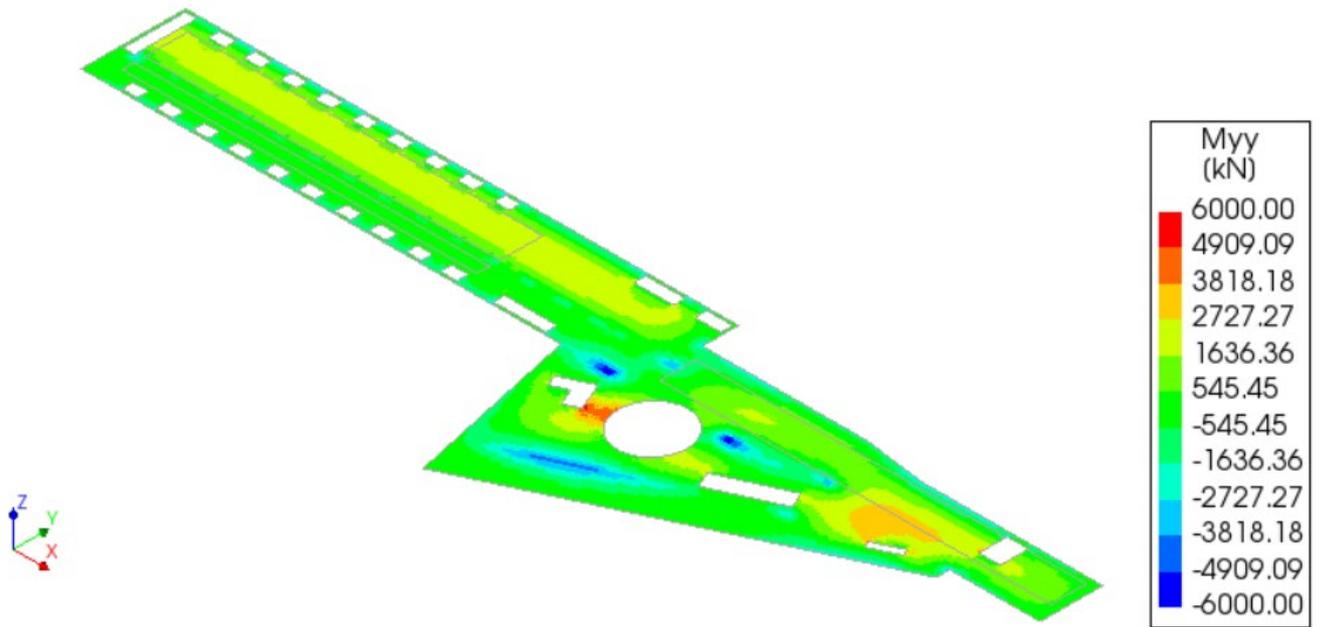
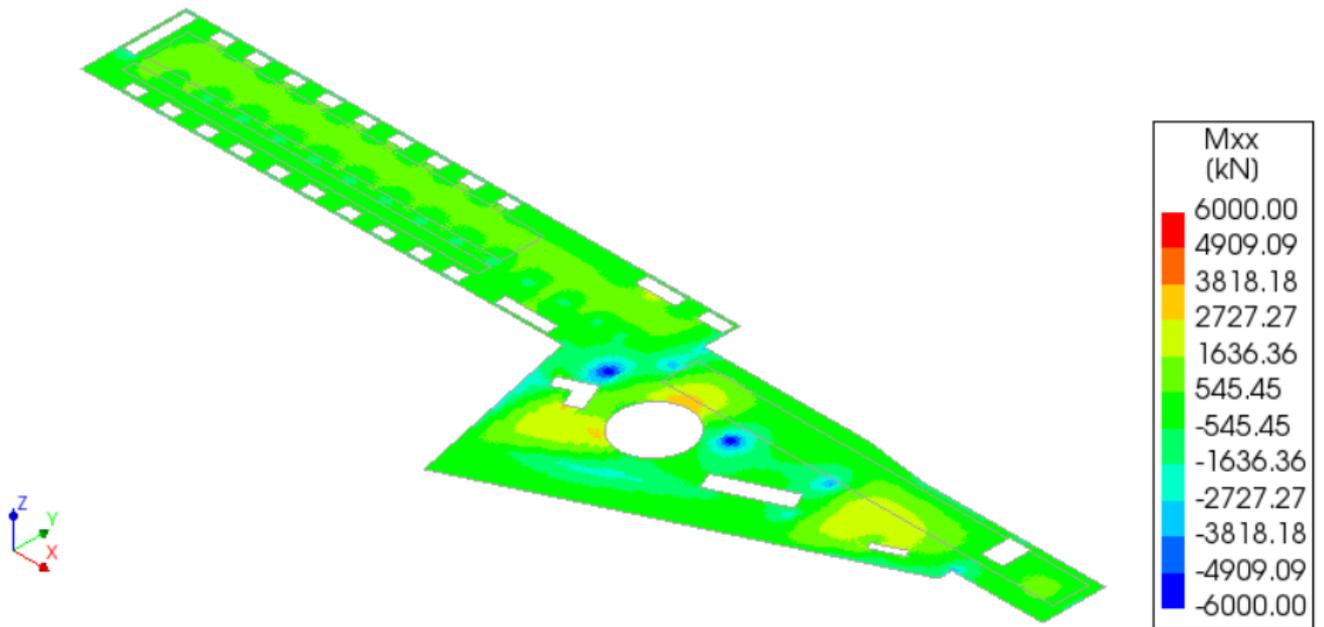


 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



**Figura 19. Soletta copertura FASE 8 – Sollecitazioni SLU**

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



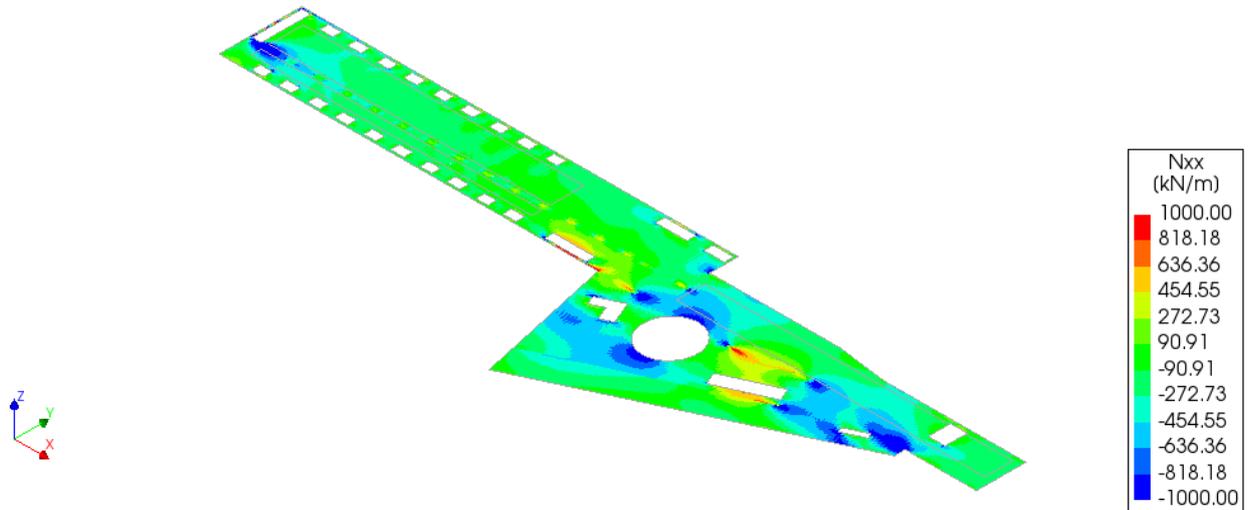
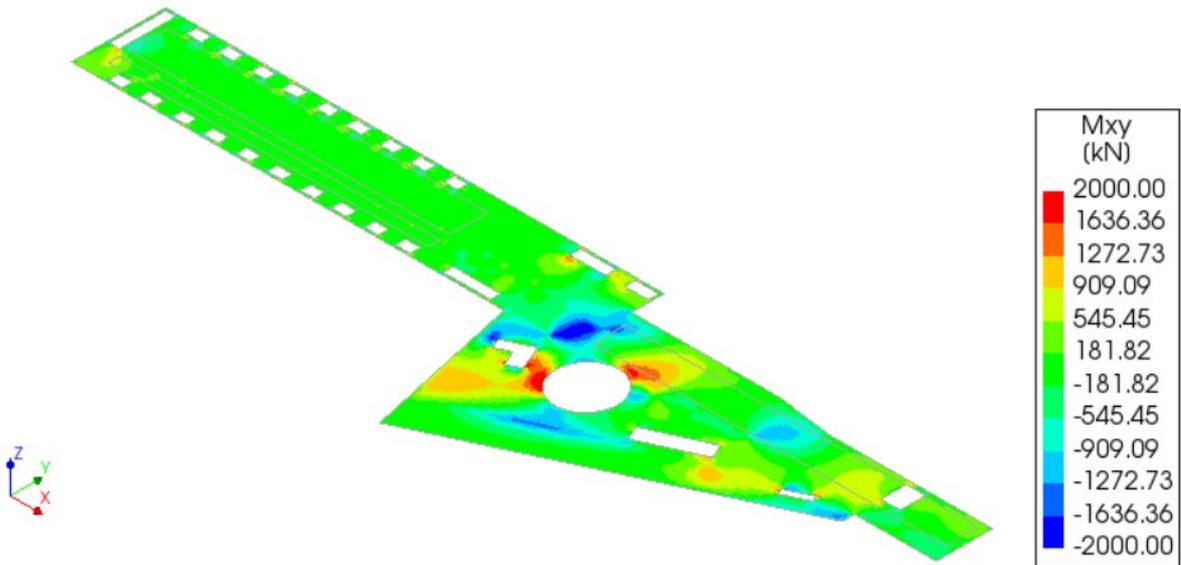


CITTA' DI TORINO

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

Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive  
in sotterraneo – Relazione di calcolo

MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



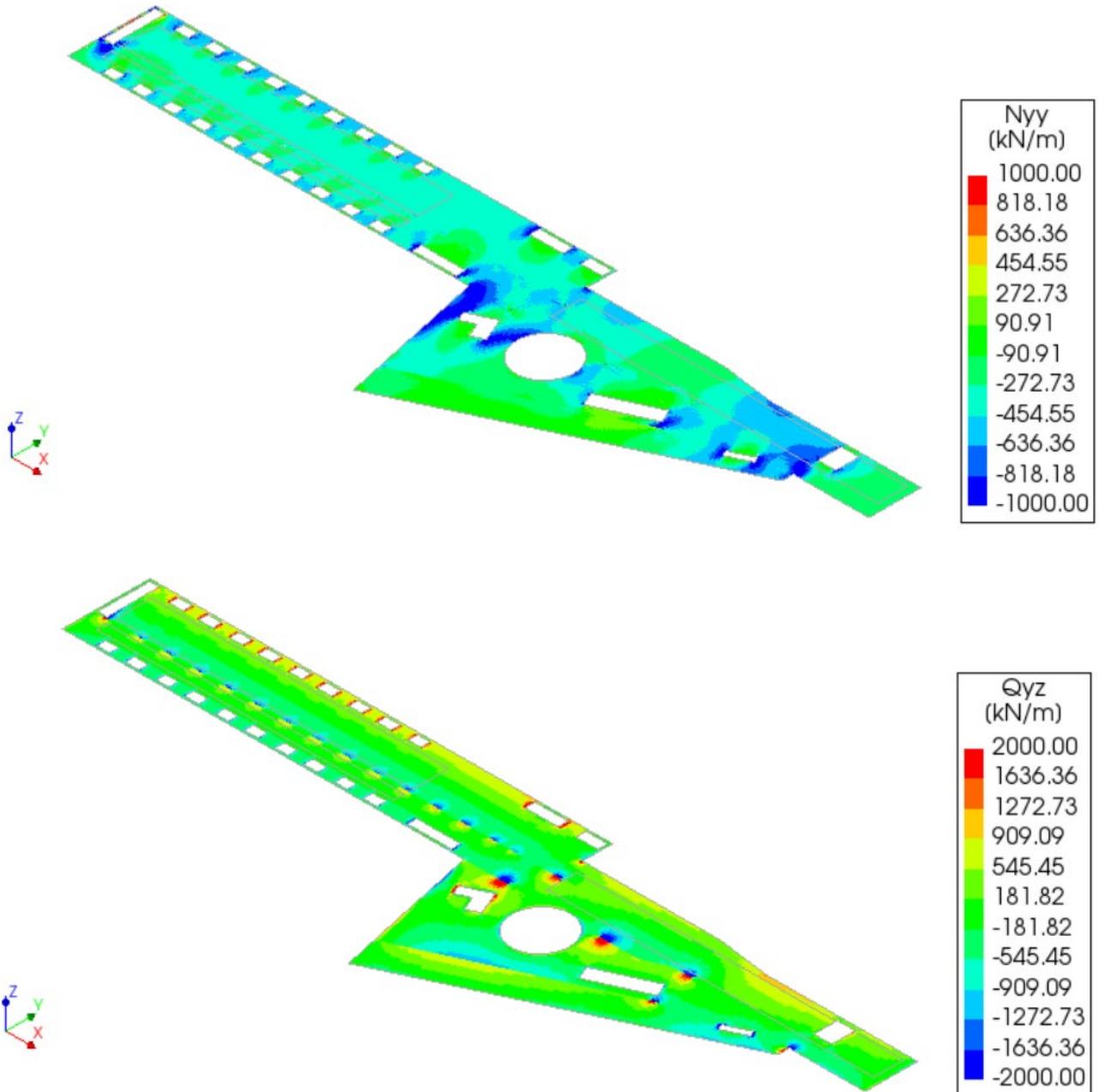


CITTA' DI TORINO

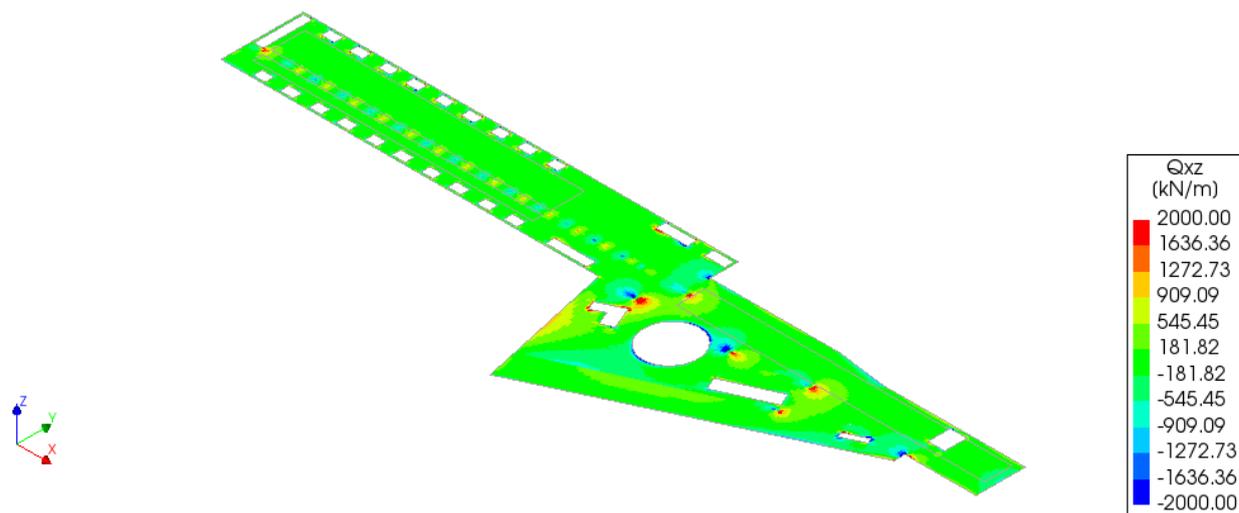
Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta:  
Politecnico – Rebaudengo – Lotto  
Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna

Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive  
in sotterraneo – Relazione di calcolo

MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



**Figura 20. Soletta copertura FASE 9 – Sollecitazioni SLU**

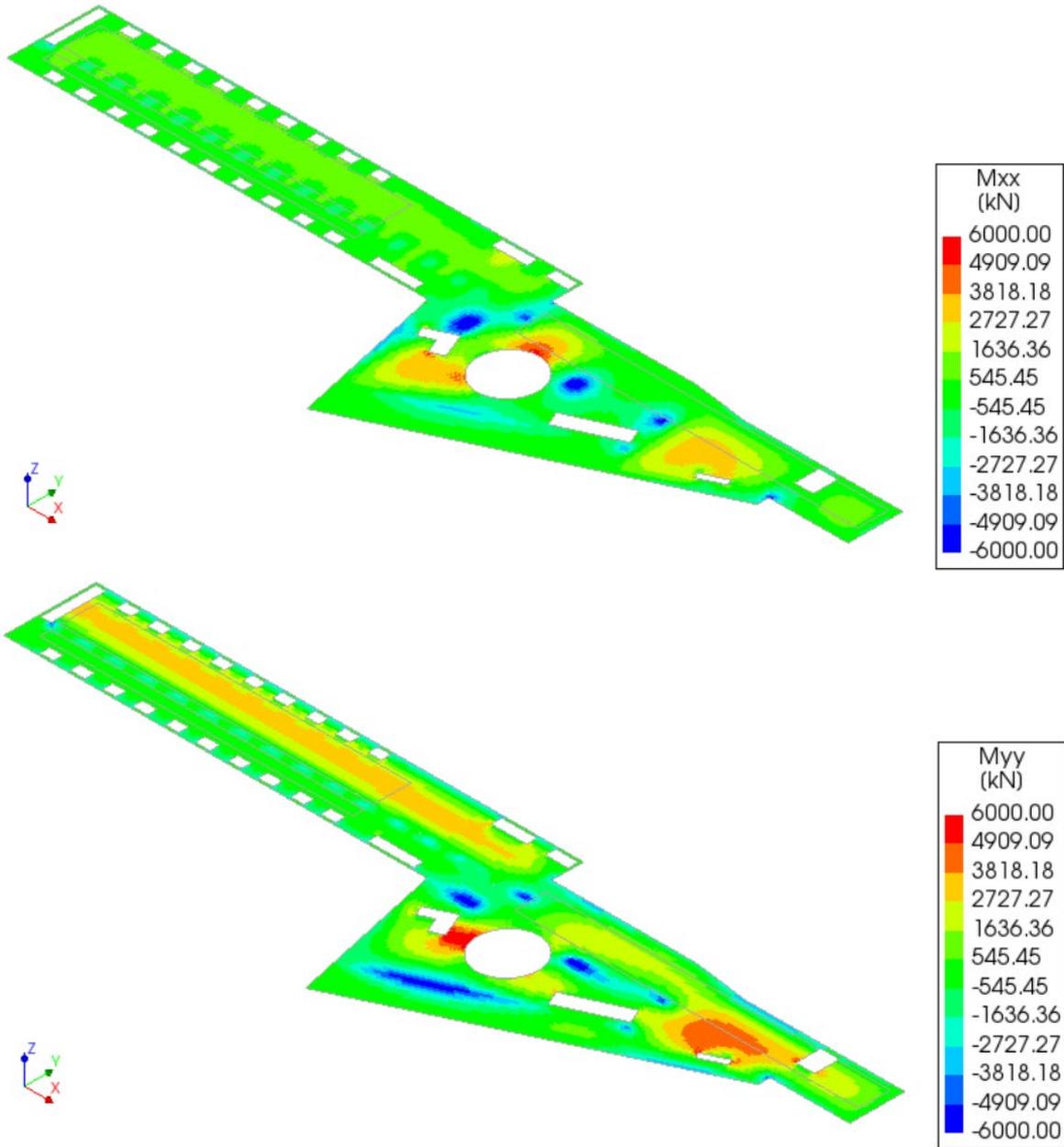


CITTA' DI TORINO

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

Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive  
in sotterraneo – Relazione di calcolo

MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



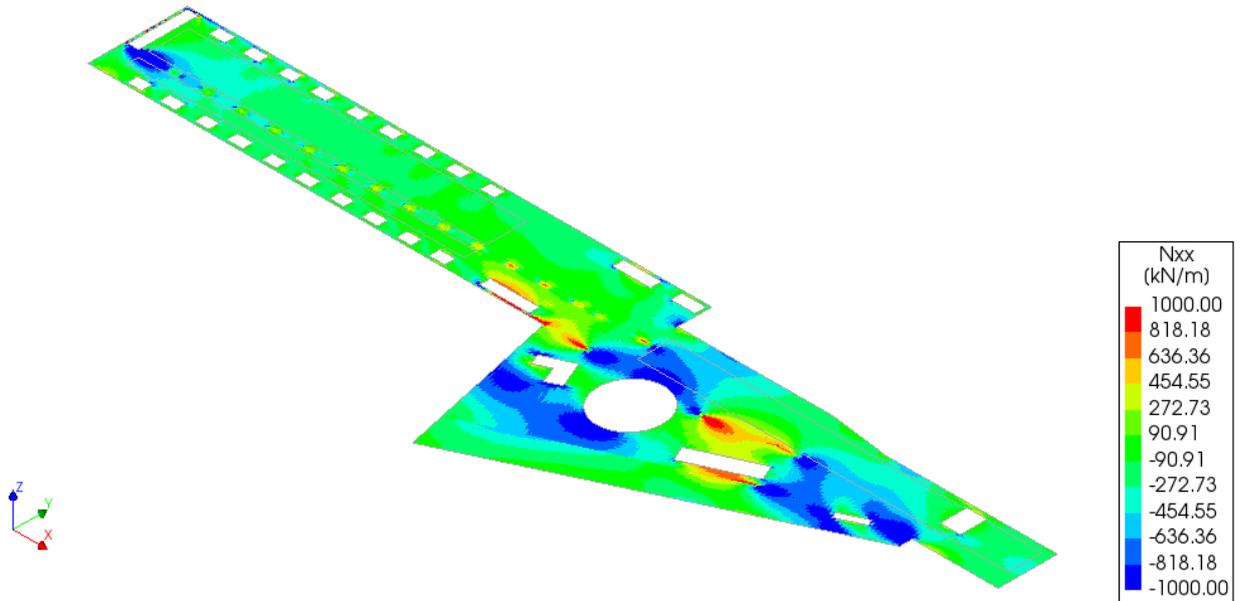
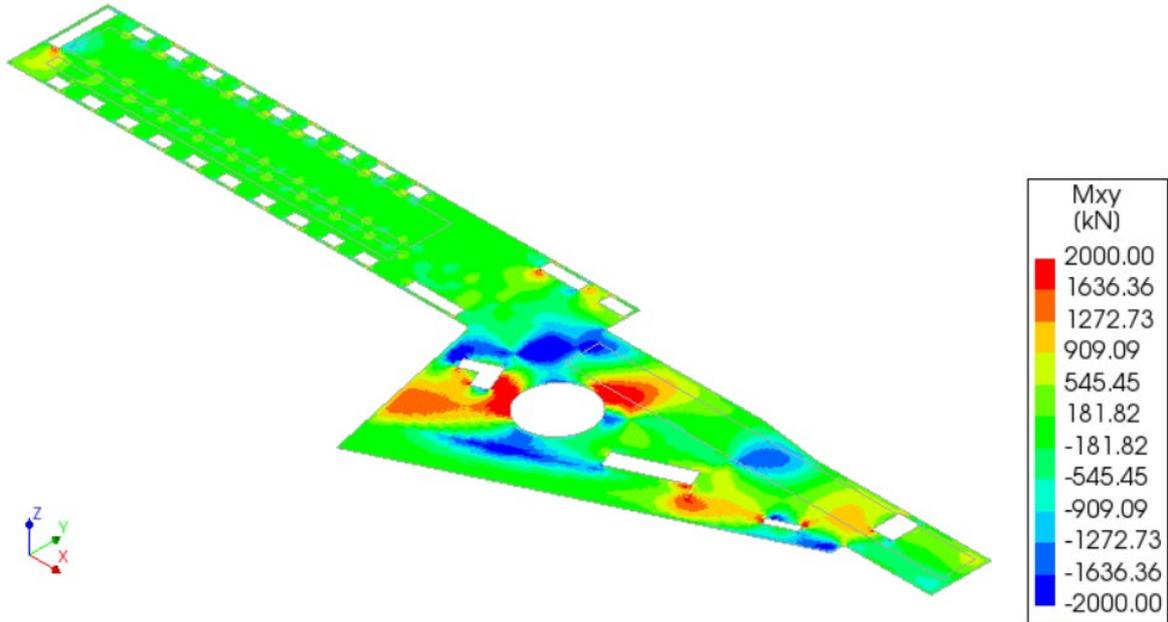


CITTA' DI TORINO

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

Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive  
in sotterraneo – Relazione di calcolo

MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



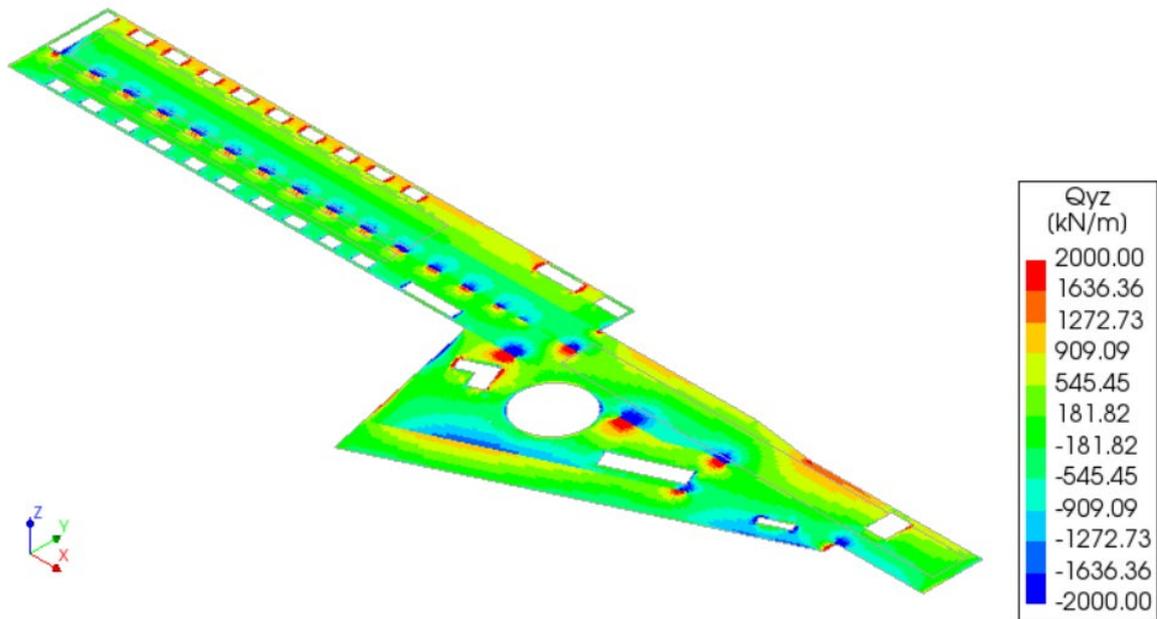
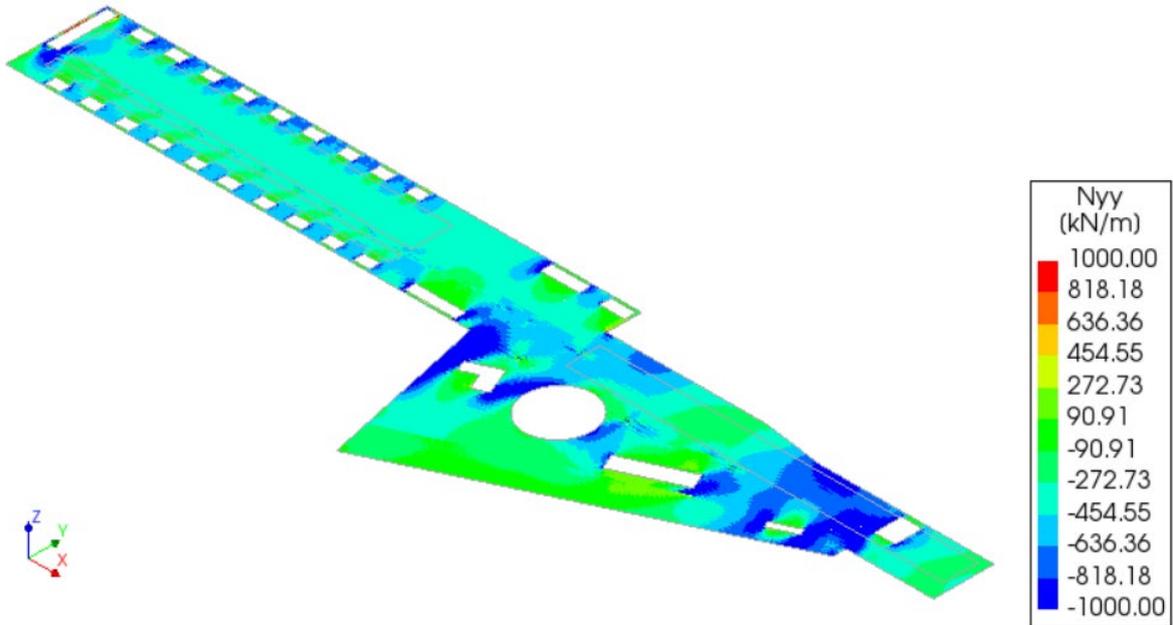


CITTA' DI TORINO

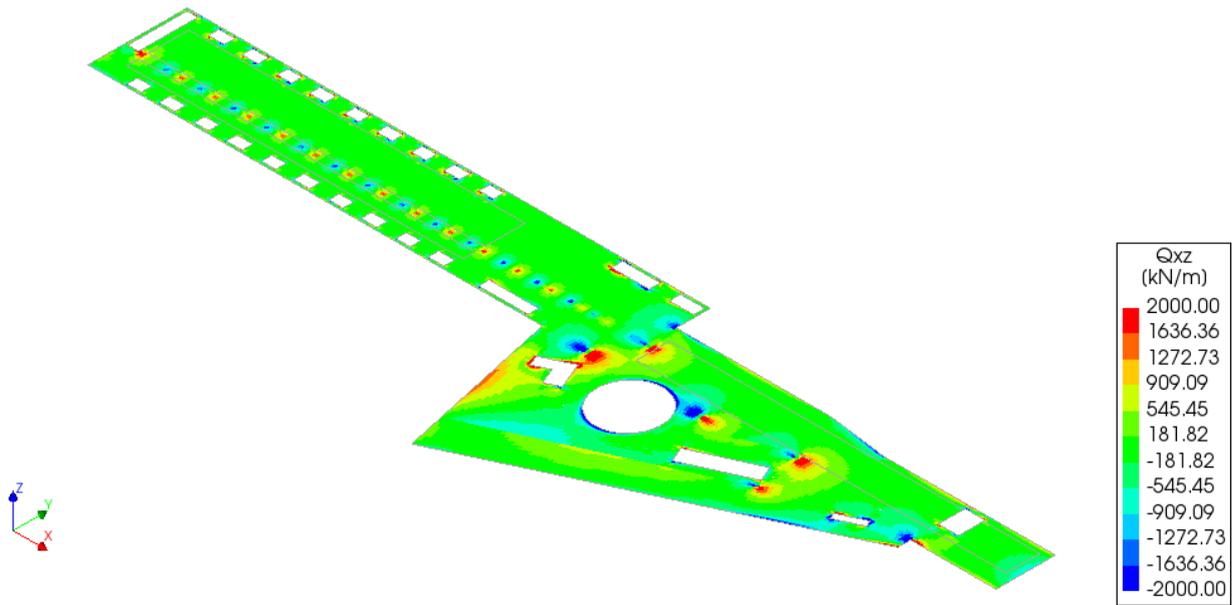
Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta:  
Politecnico – Rebaudengo – Lotto  
Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna

Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive  
in sotterraneo – Relazione di calcolo

MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



**Figura 21. Soletta copertura FASE 10 – Sollecitazioni SLU**

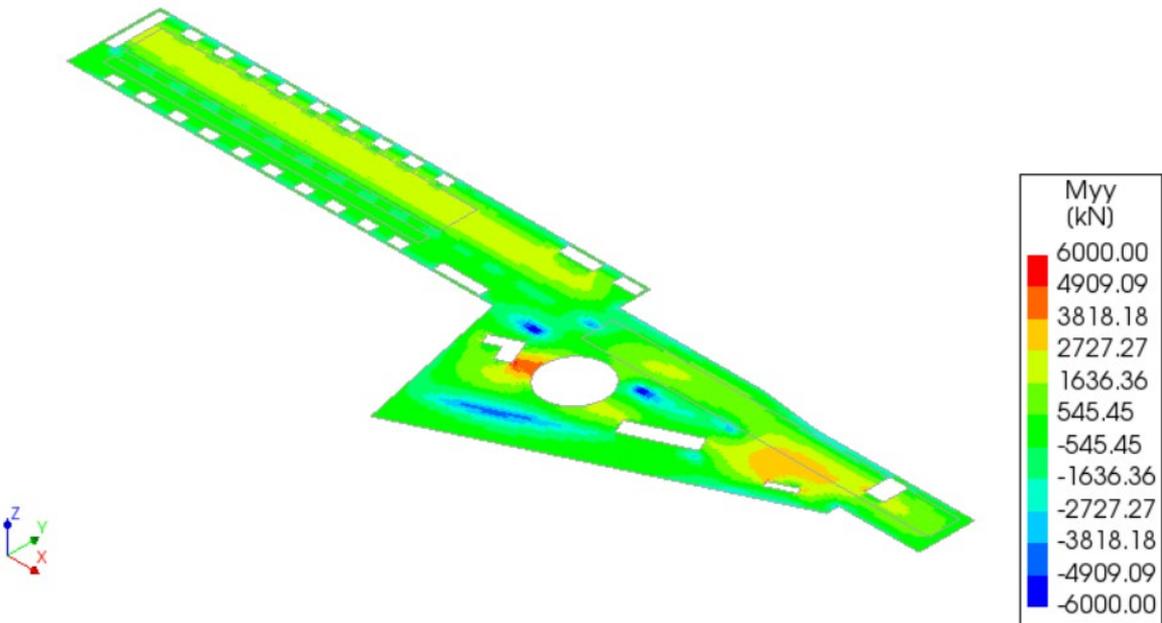
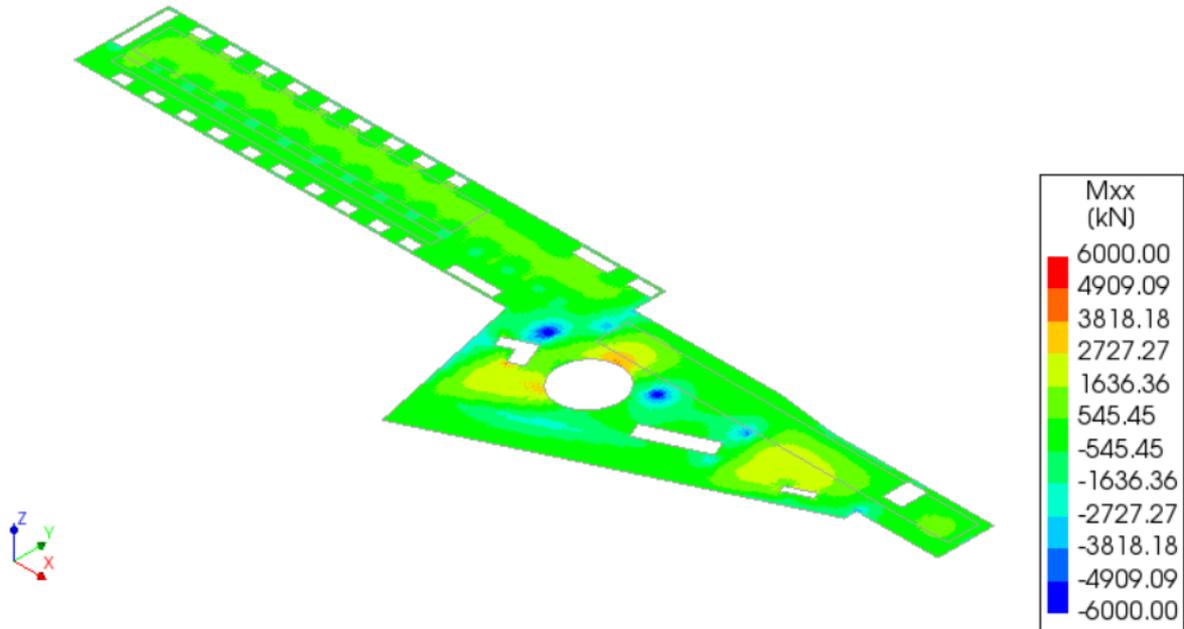


CITTA' DI TORINO

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

Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive  
in sotterraneo – Relazione di calcolo

MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



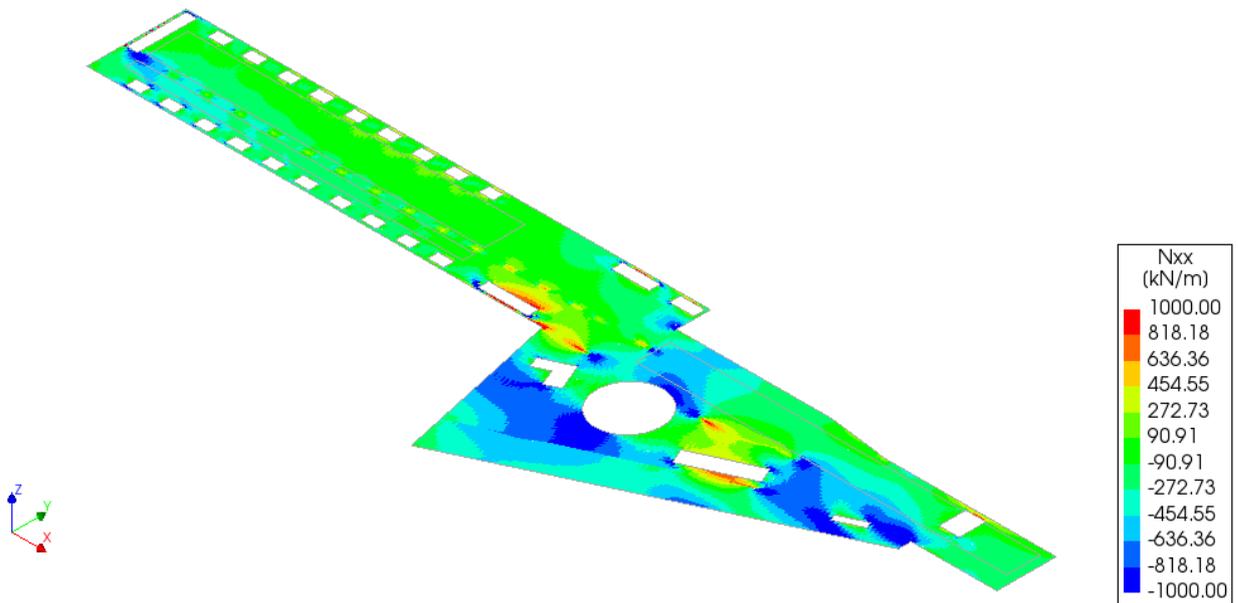
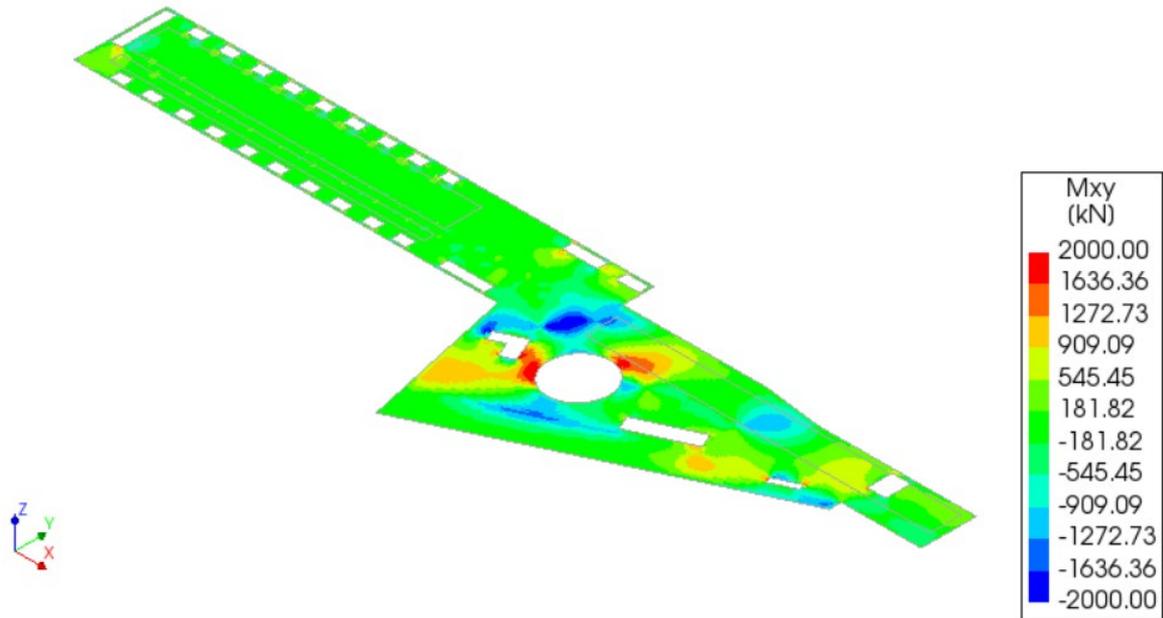


CITTA' DI TORINO

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

Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive  
in sotterraneo – Relazione di calcolo

MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



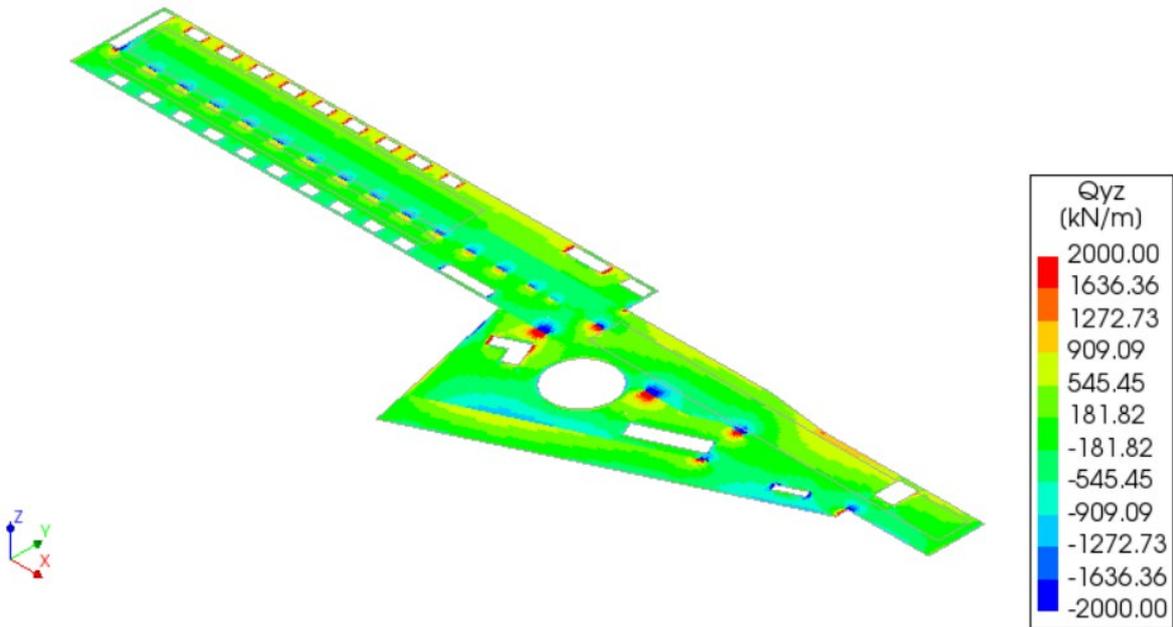
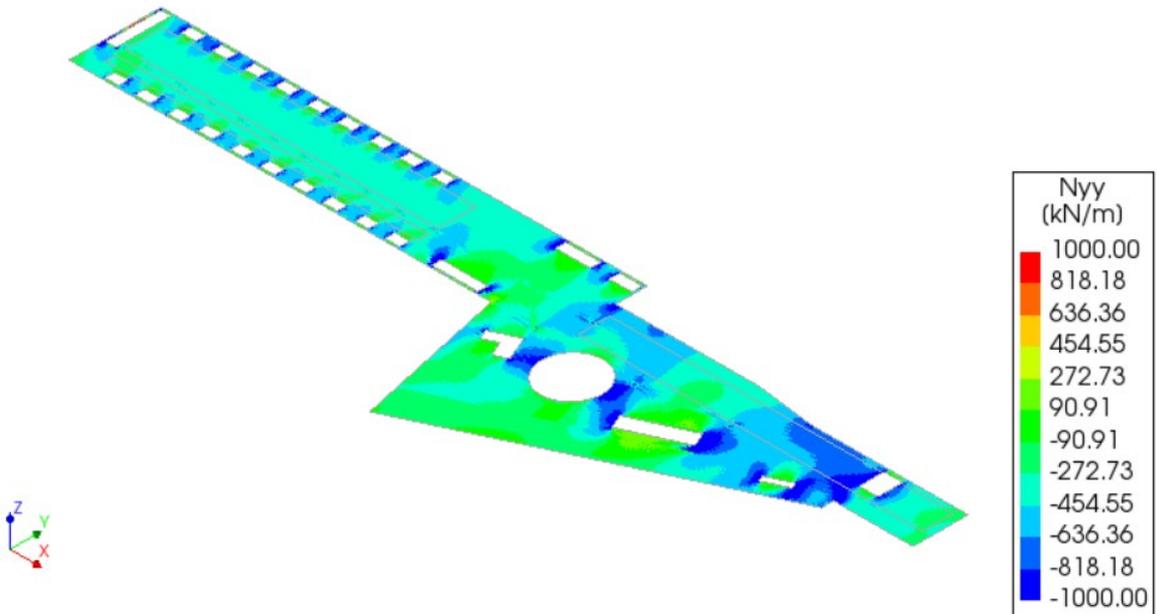


CITTA' DI TORINO

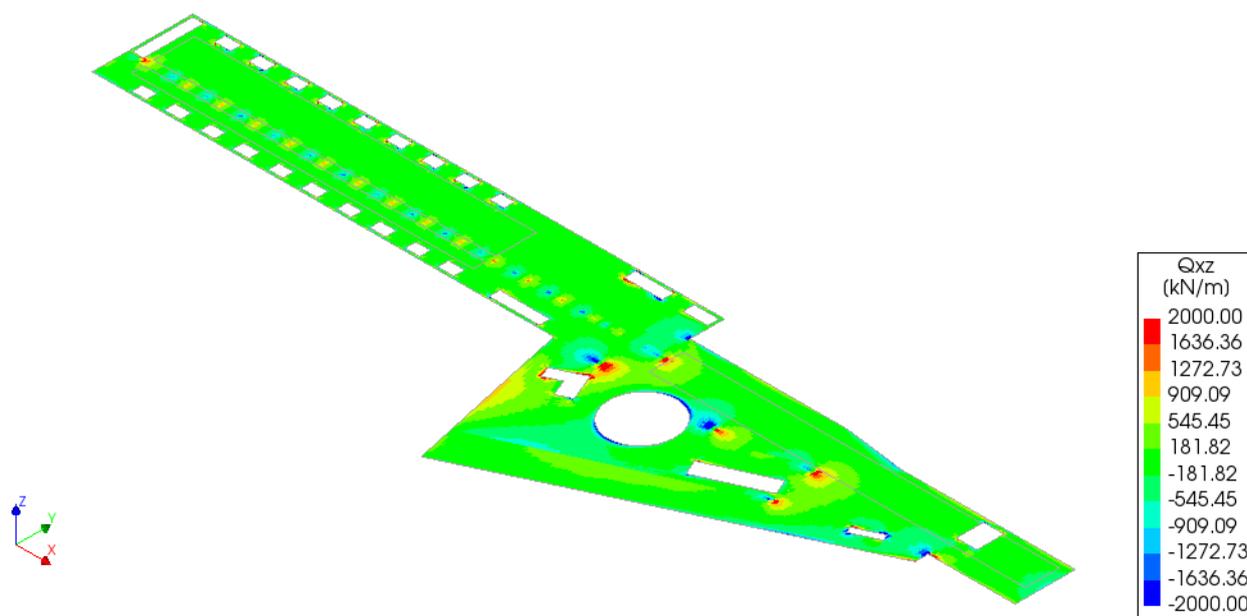
Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta:  
Politecnico – Rebaudengo – Lotto  
Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna

Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive  
in sotterraneo – Relazione di calcolo

MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



**Figura 22. Soletta copertura FASE 10 – Sollecitazioni SLV**

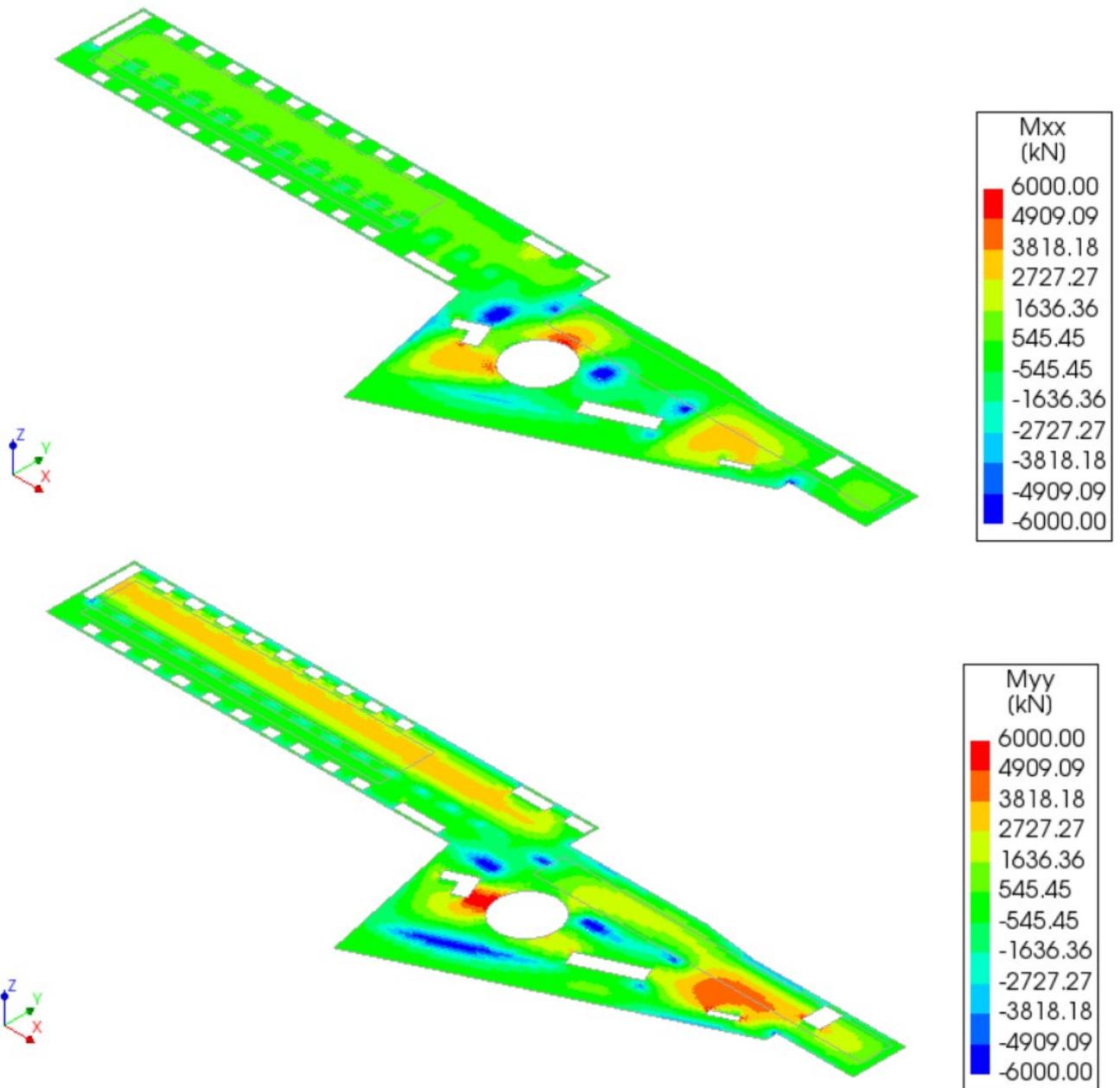


CITTA' DI TORINO

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

Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive  
in sotterraneo – Relazione di calcolo

MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



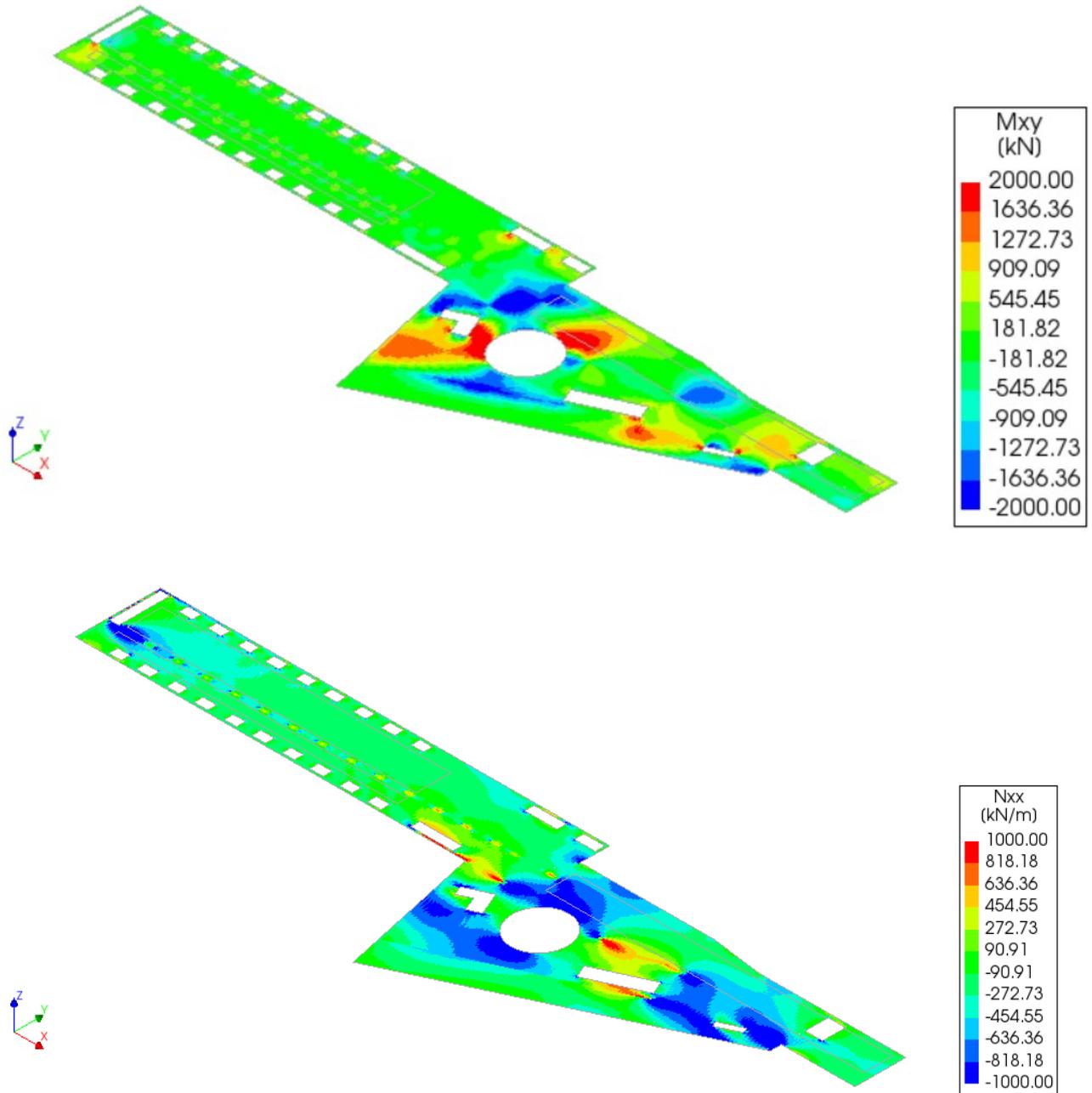


CITTA' DI TORINO

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

Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive  
in sotterraneo – Relazione di calcolo

MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



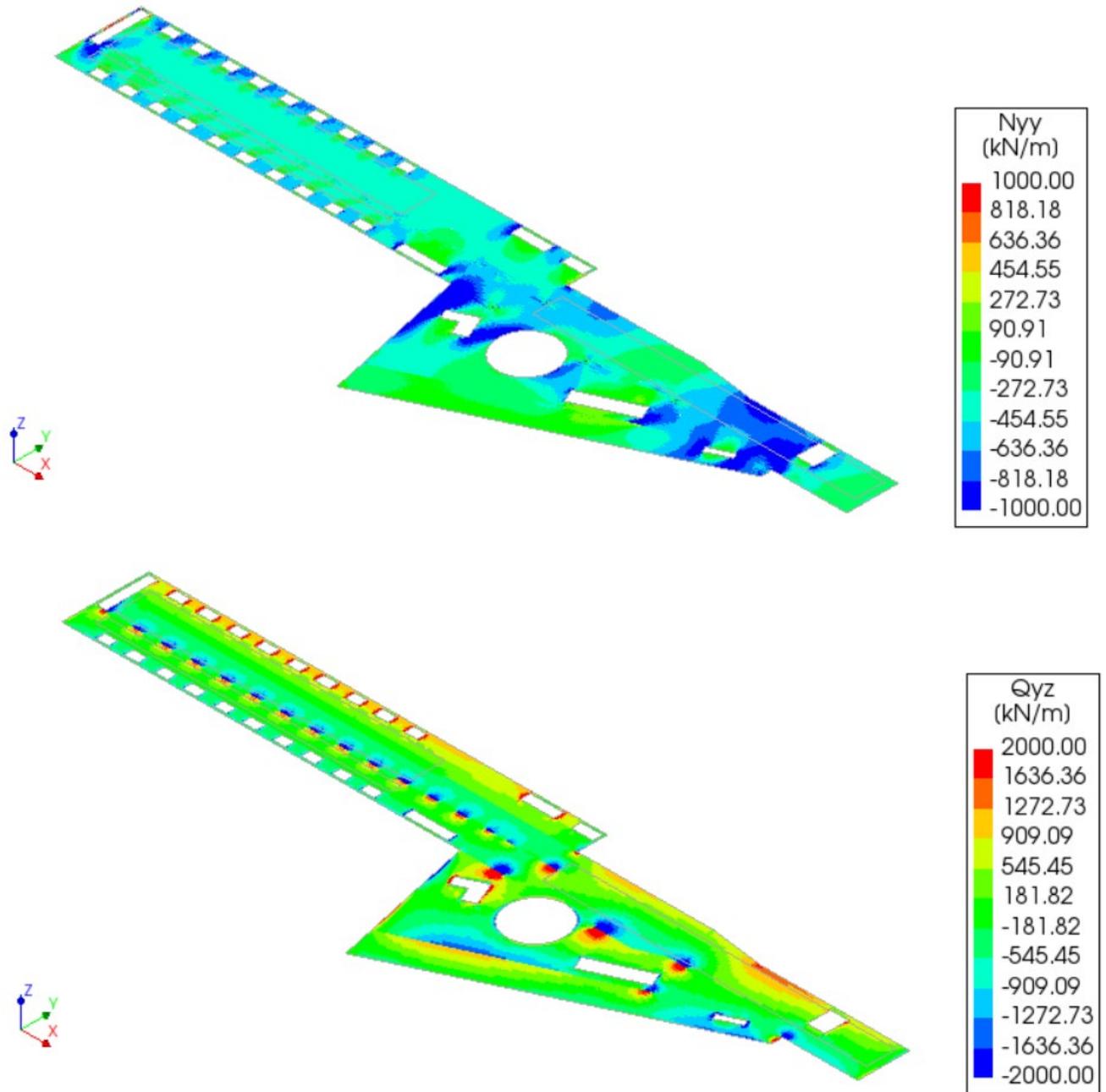


CITTA' DI TORINO

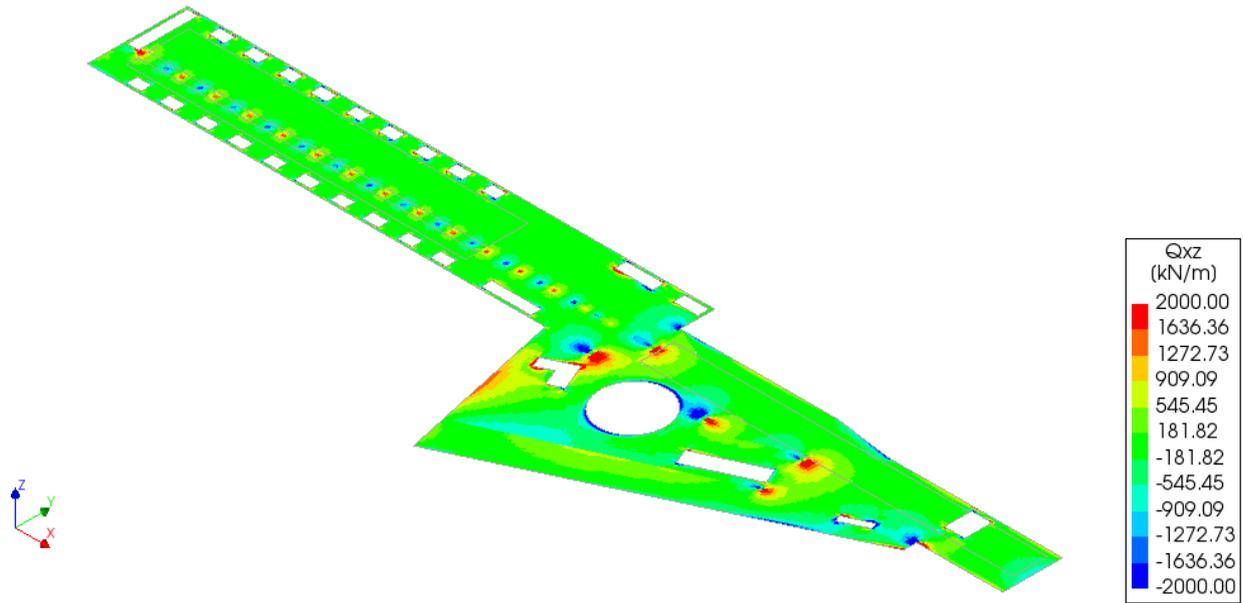
Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta:  
Politecnico – Rebaudengo – Lotto  
Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna

Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive  
in sotterraneo – Relazione di calcolo

MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



**Figura 23. Soletta copertura FASE 11 – Sollecitazioni SLU**

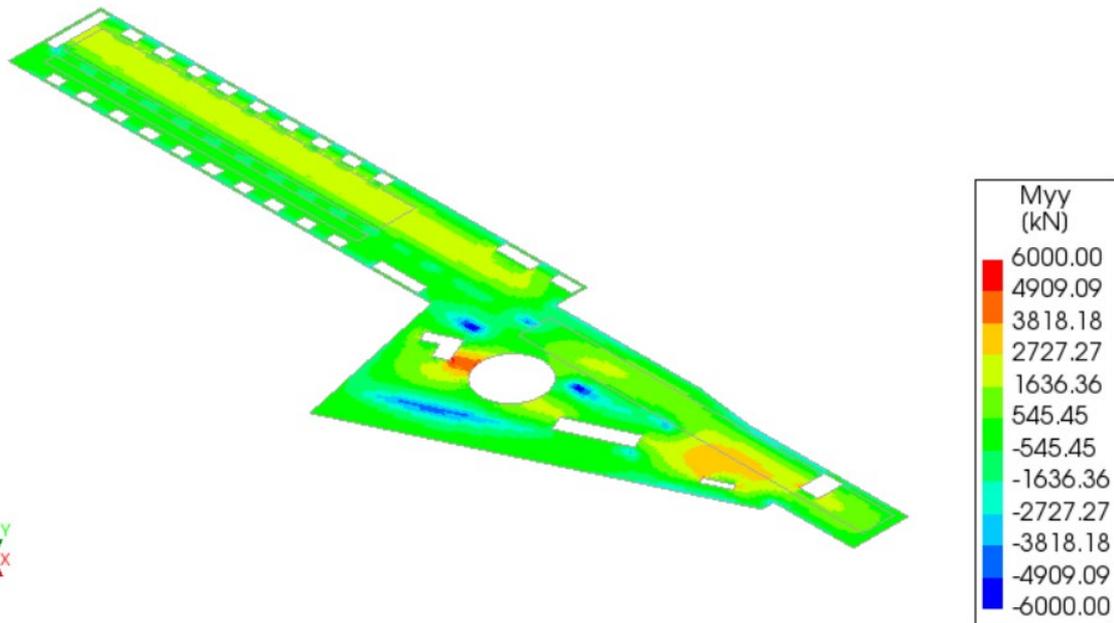
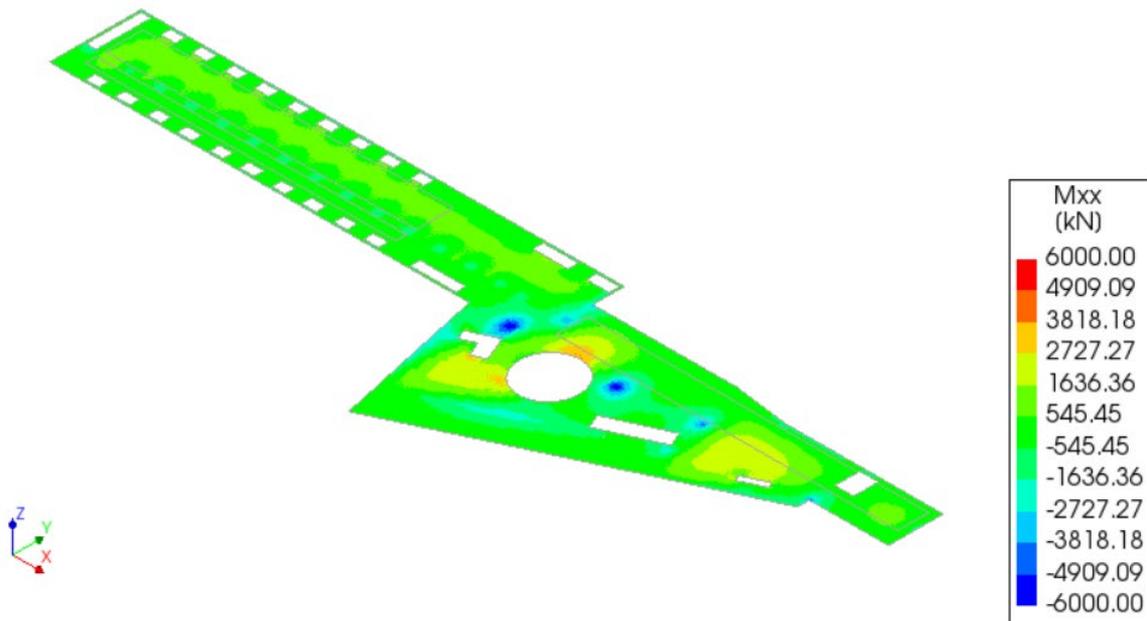


CITTA' DI TORINO

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

Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive  
in sotterraneo – Relazione di calcolo

MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



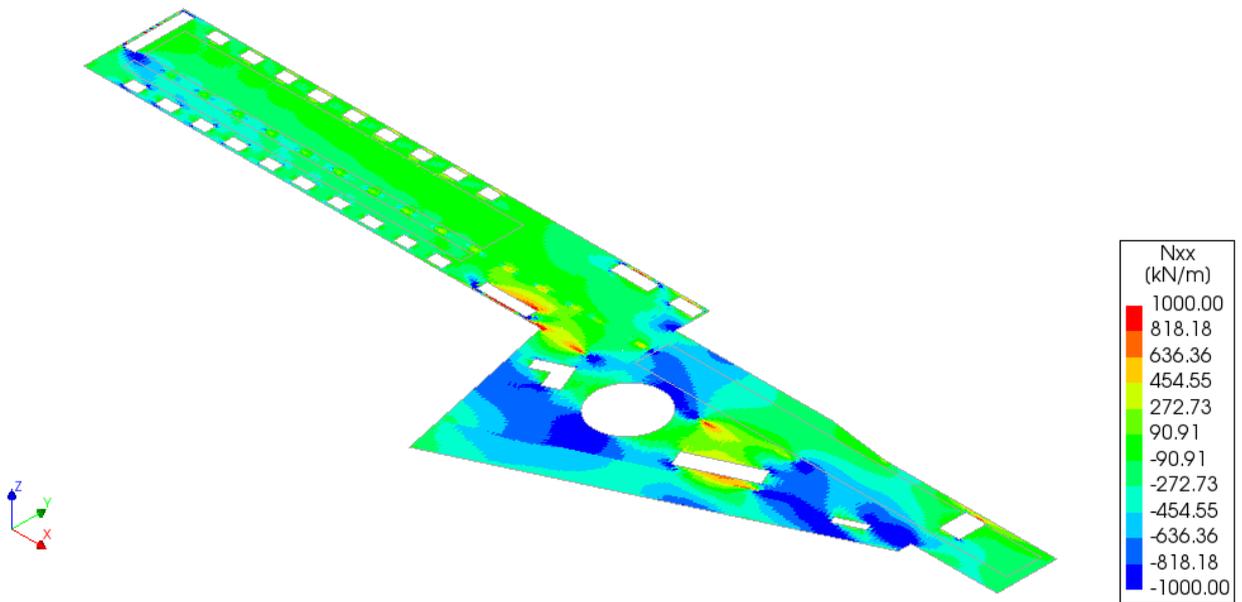
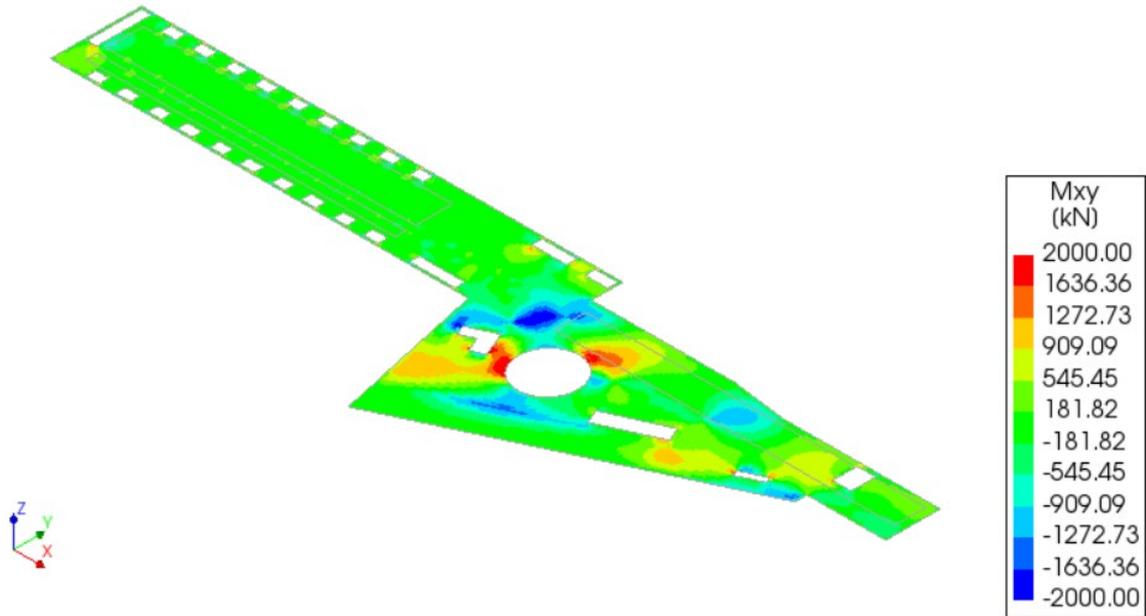


CITTA' DI TORINO

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

Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive  
in sotterraneo – Relazione di calcolo

MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



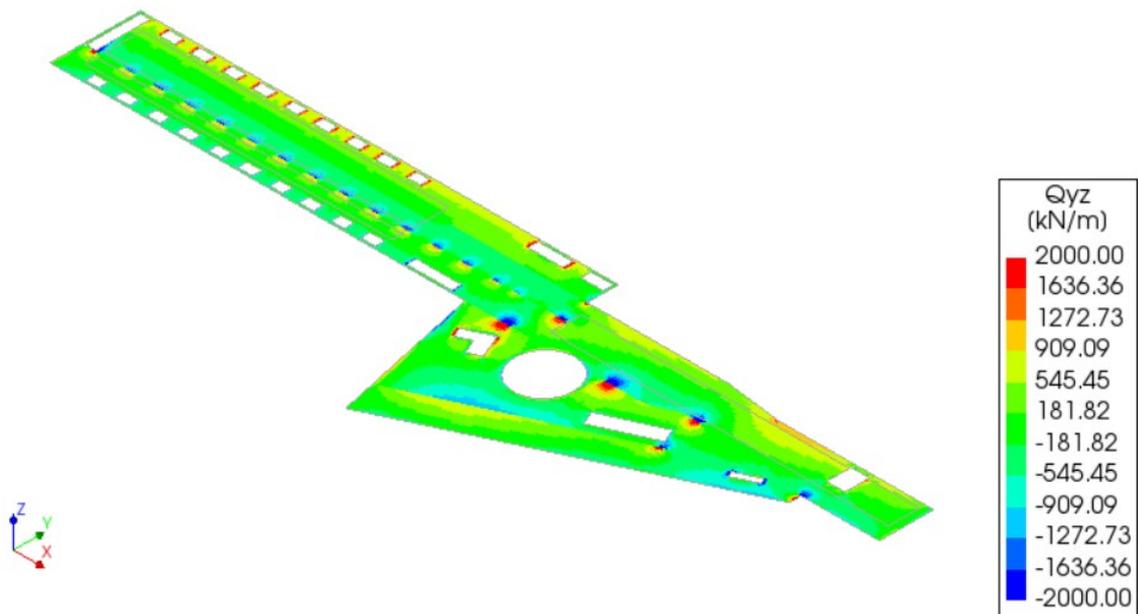
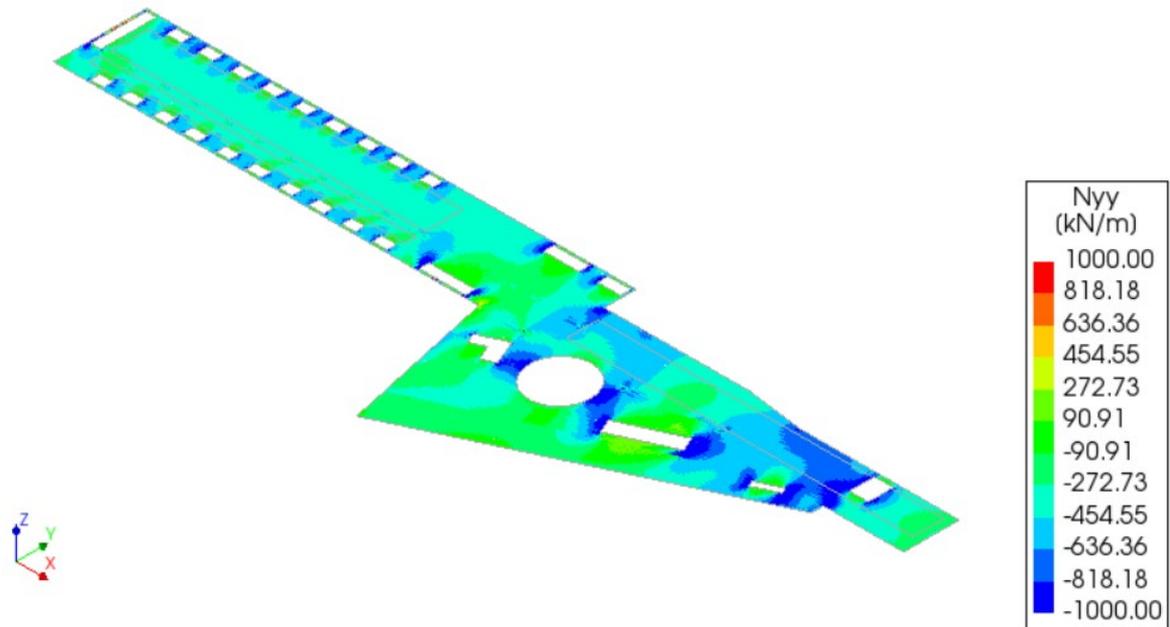


CITTA' DI TORINO

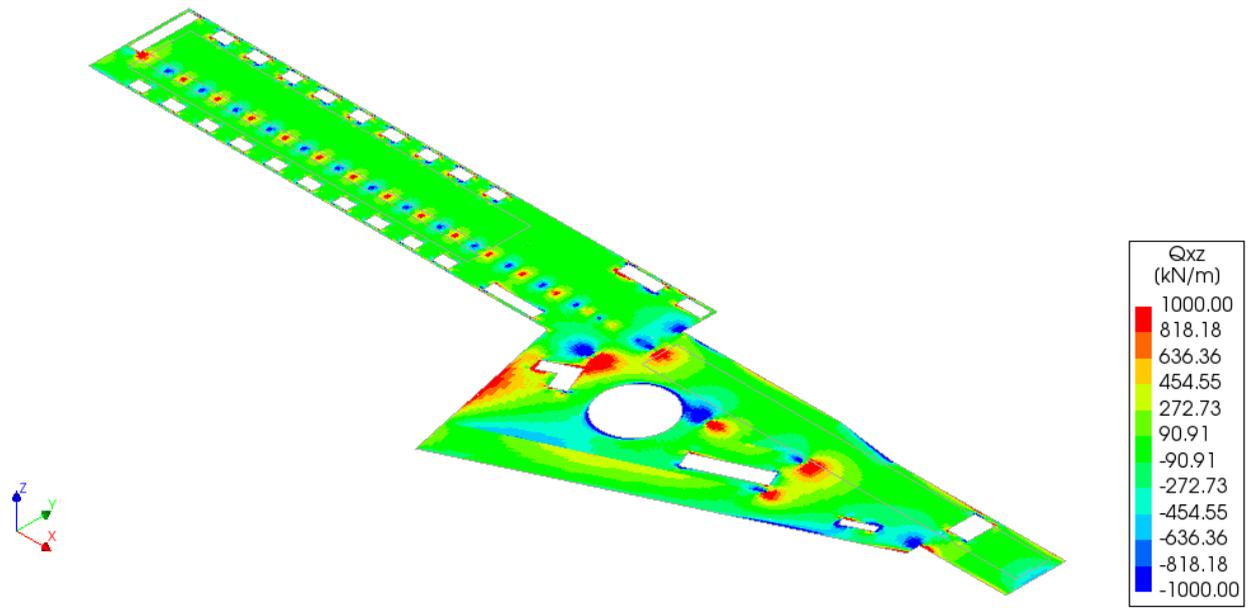
Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta:  
Politecnico – Rebaudengo – Lotto  
Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna

Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive  
in sotterraneo – Relazione di calcolo

MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



**Figura 24. Soletta copertura FASE 11 – Sollecitazioni SLV**

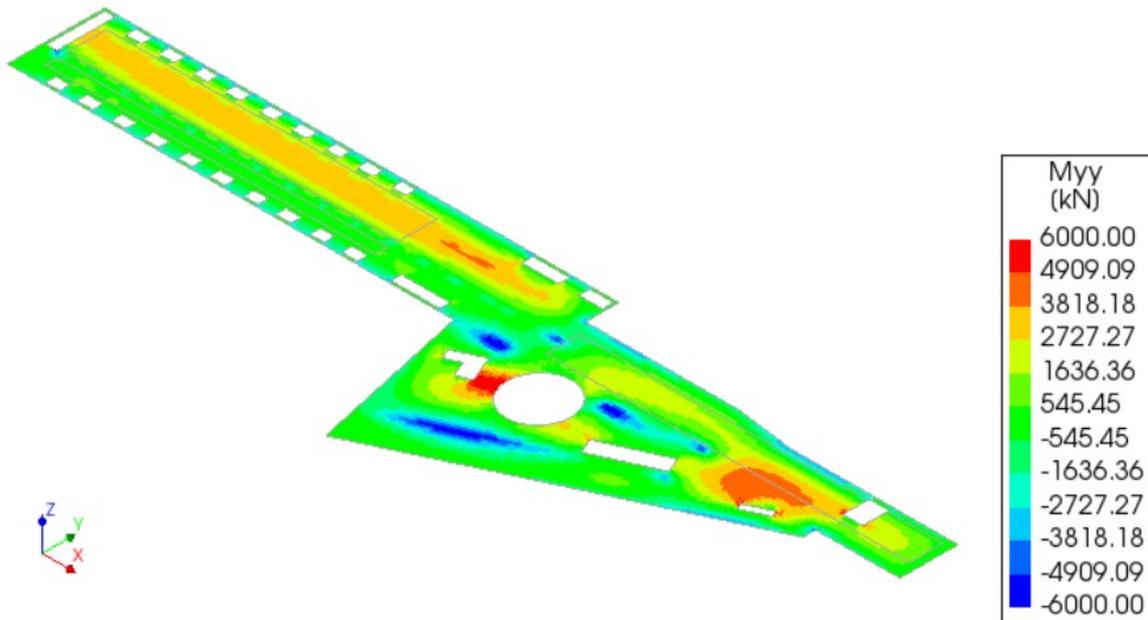
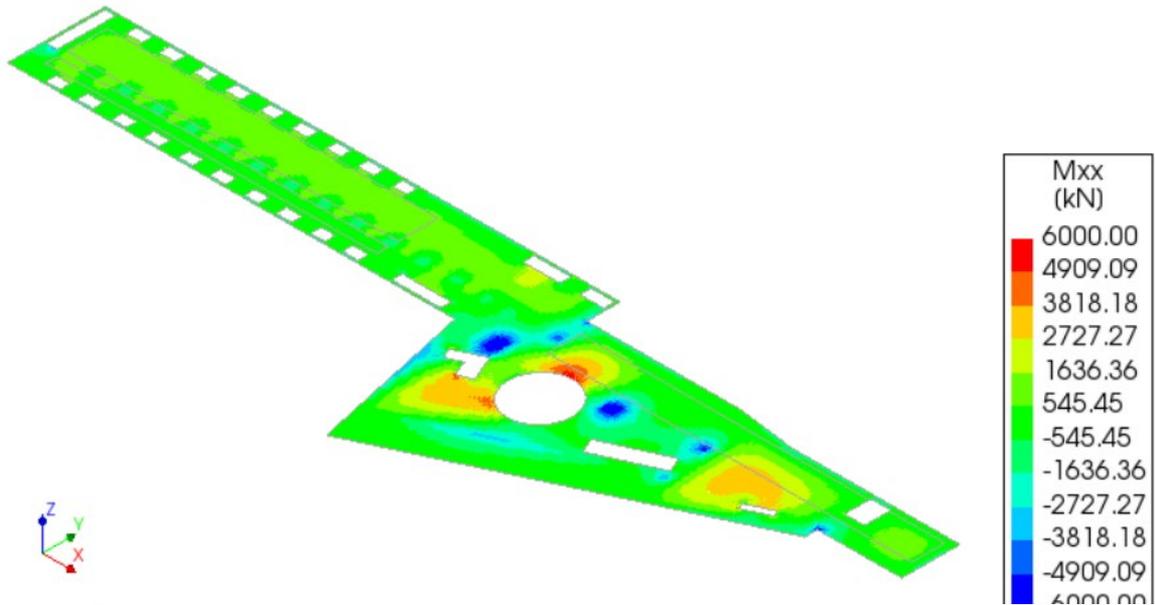


CITTA' DI TORINO

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

Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive  
in sotterraneo – Relazione di calcolo

MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



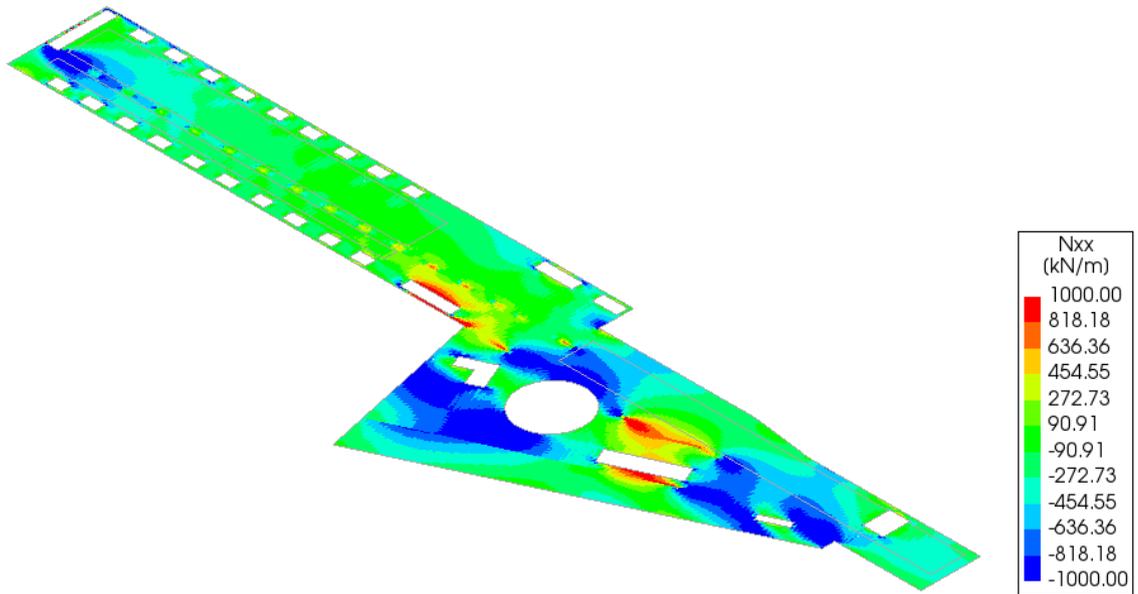
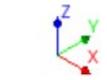
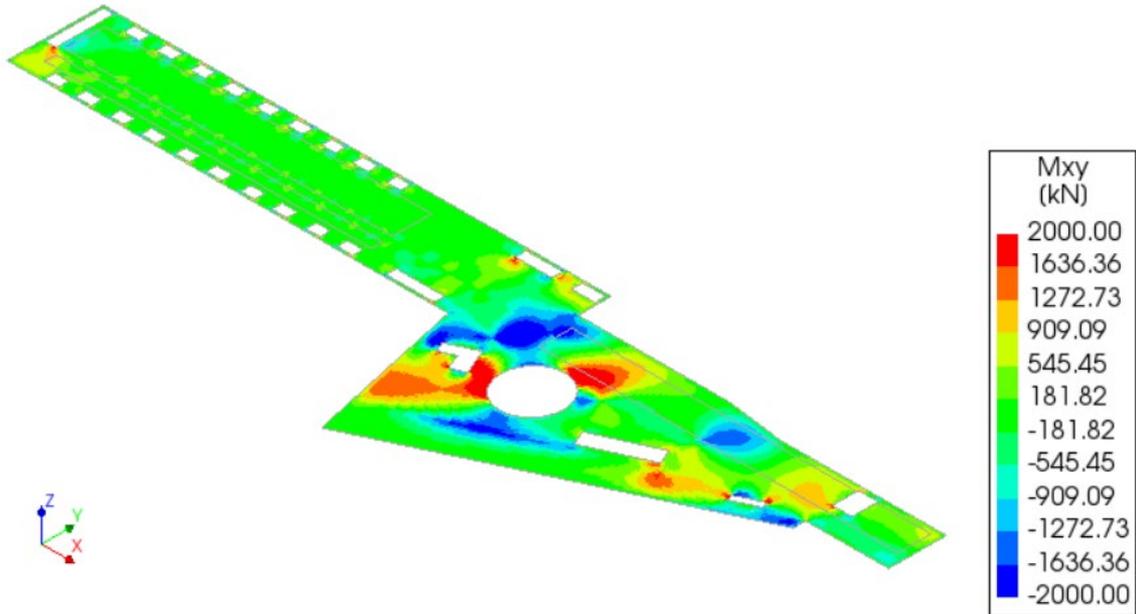


CITTA' DI TORINO

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

Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive  
in sotterraneo – Relazione di calcolo

MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



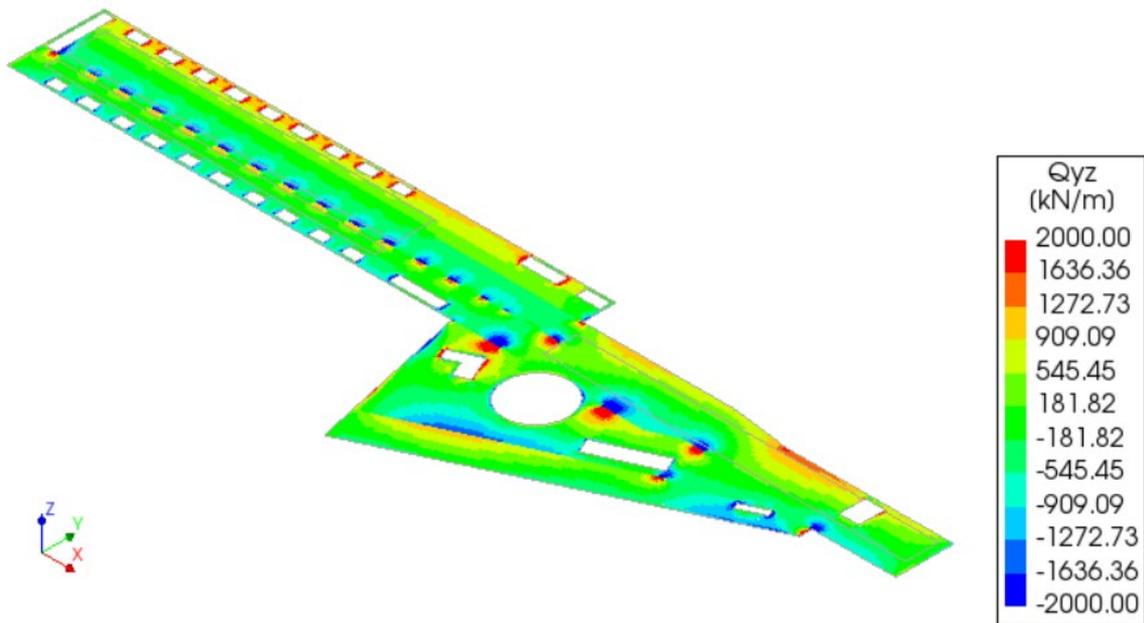
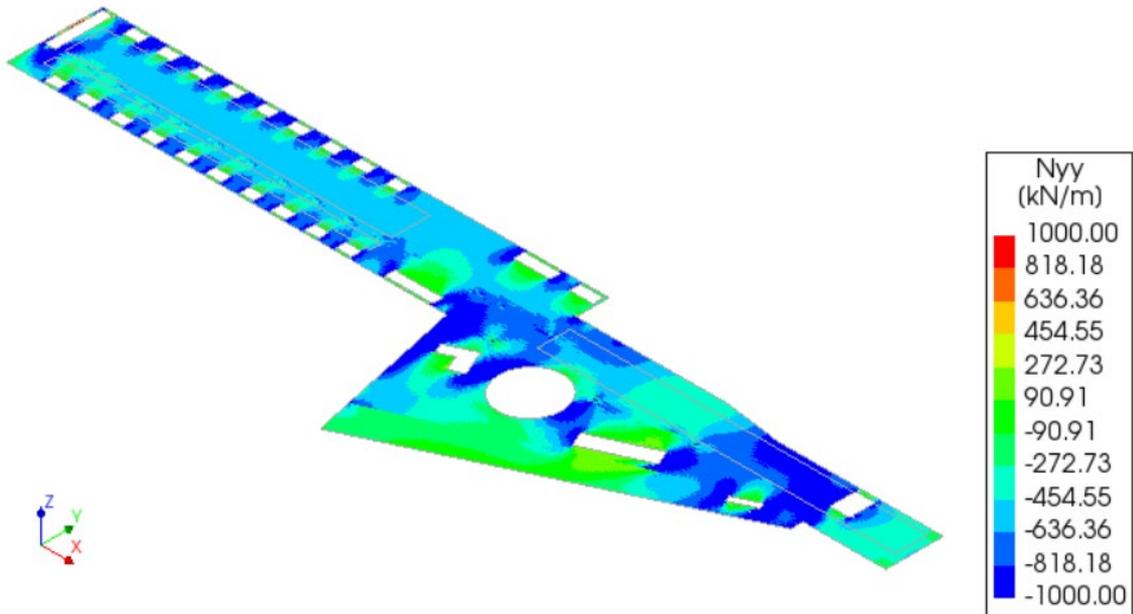


CITTA' DI TORINO

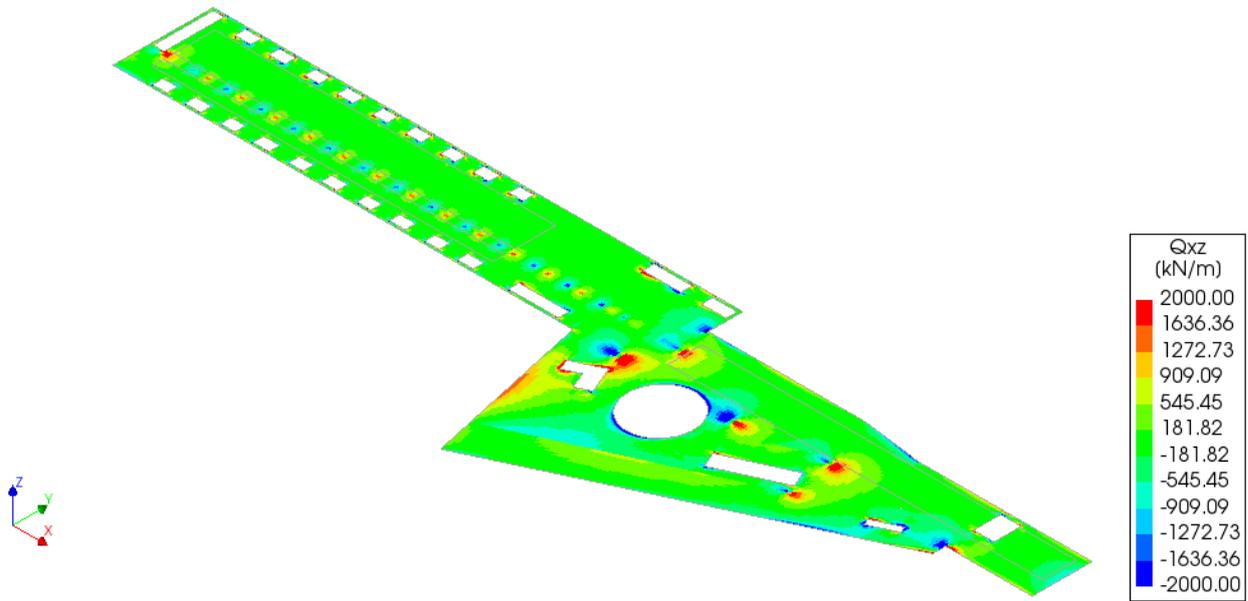
Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta:  
Politecnico – Rebaudengo – Lotto  
Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna

Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive  
in sotterraneo – Relazione di calcolo

MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



**Figura 25. Soletta copertura FASE 12 – Sollecitazioni SLU**

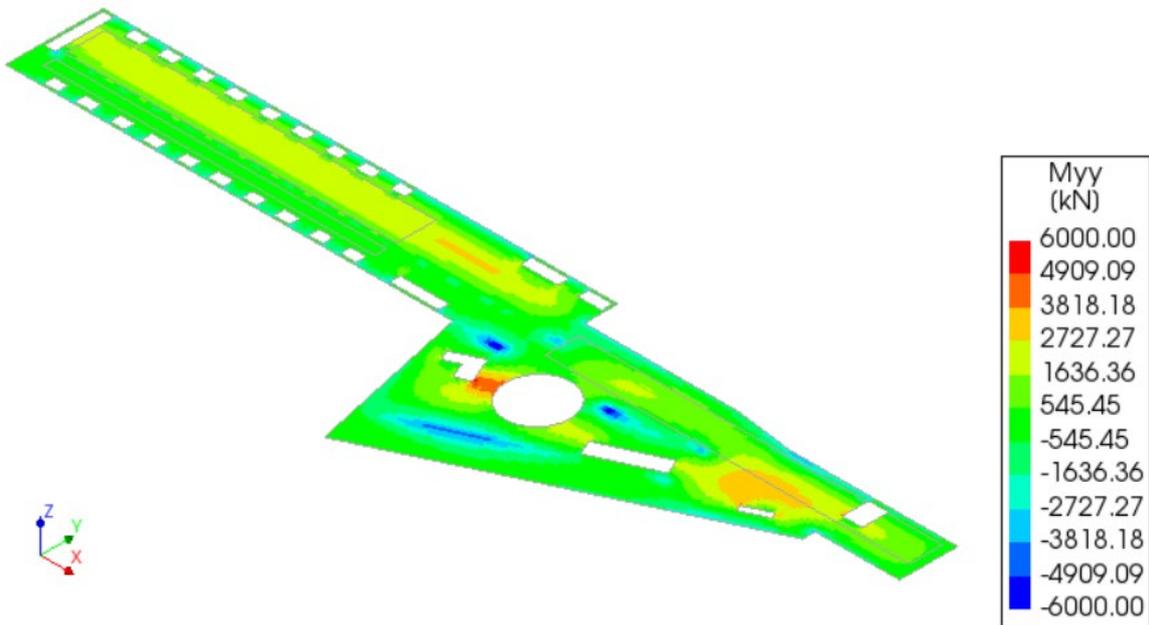
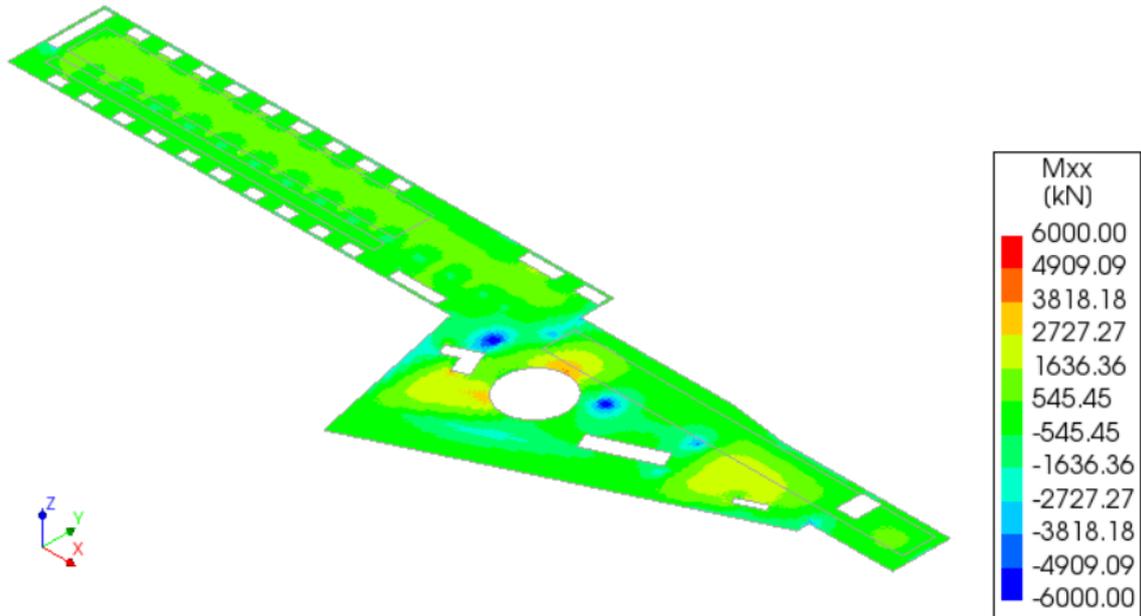


CITTA' DI TORINO

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

Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive  
in sotterraneo – Relazione di calcolo

MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



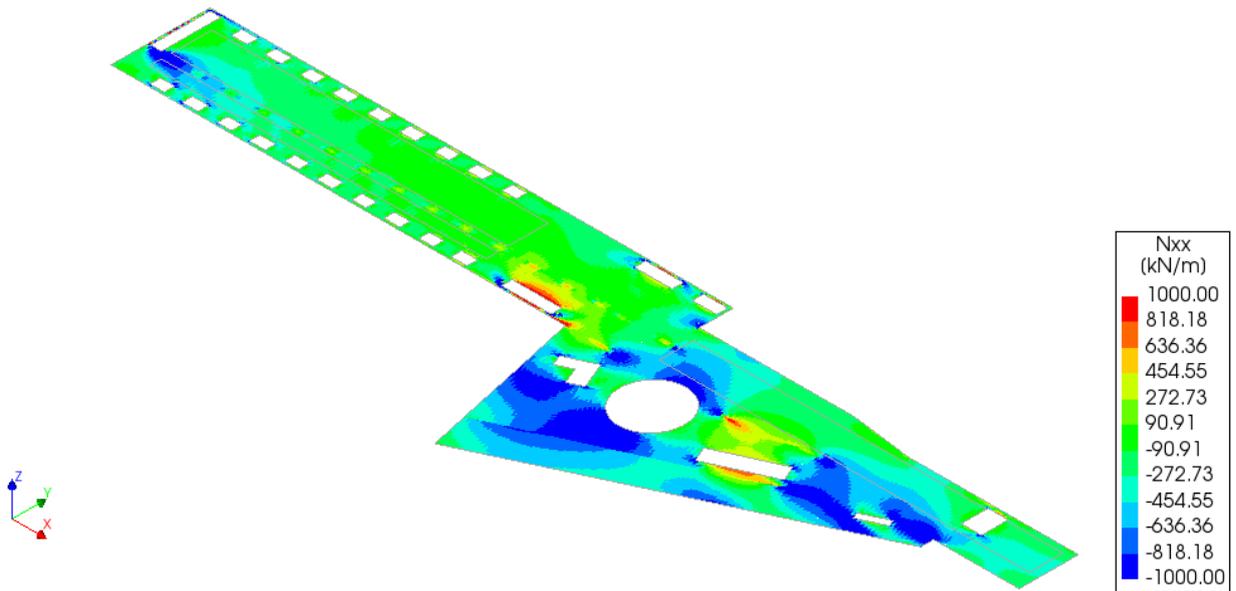
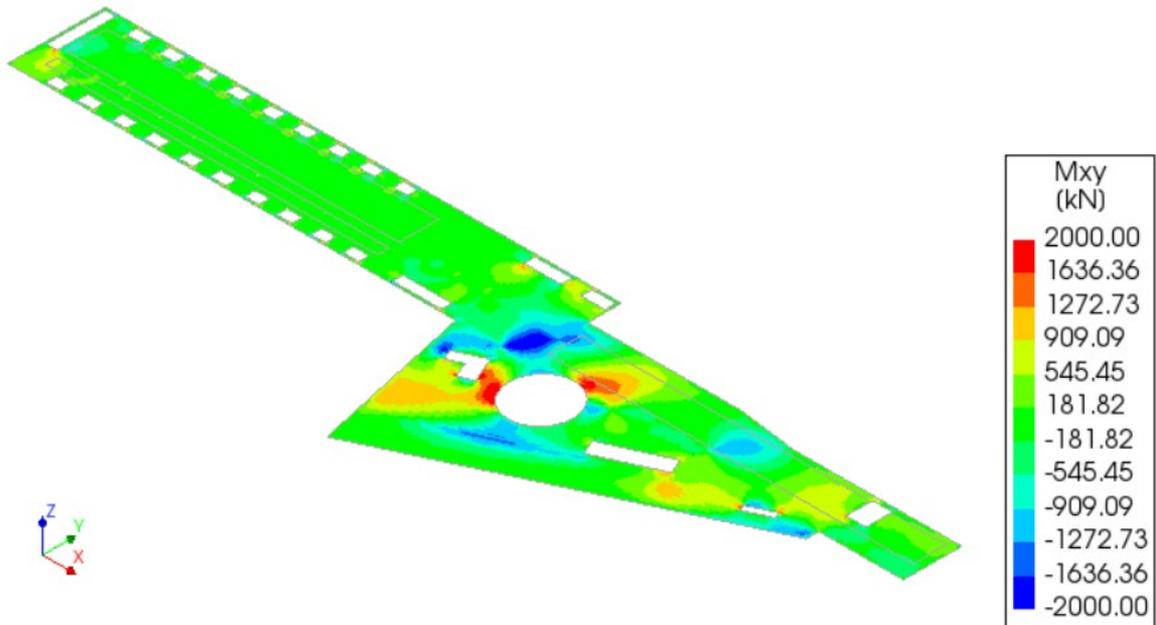


CITTA' DI TORINO

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

Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive  
in sotterraneo – Relazione di calcolo

MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



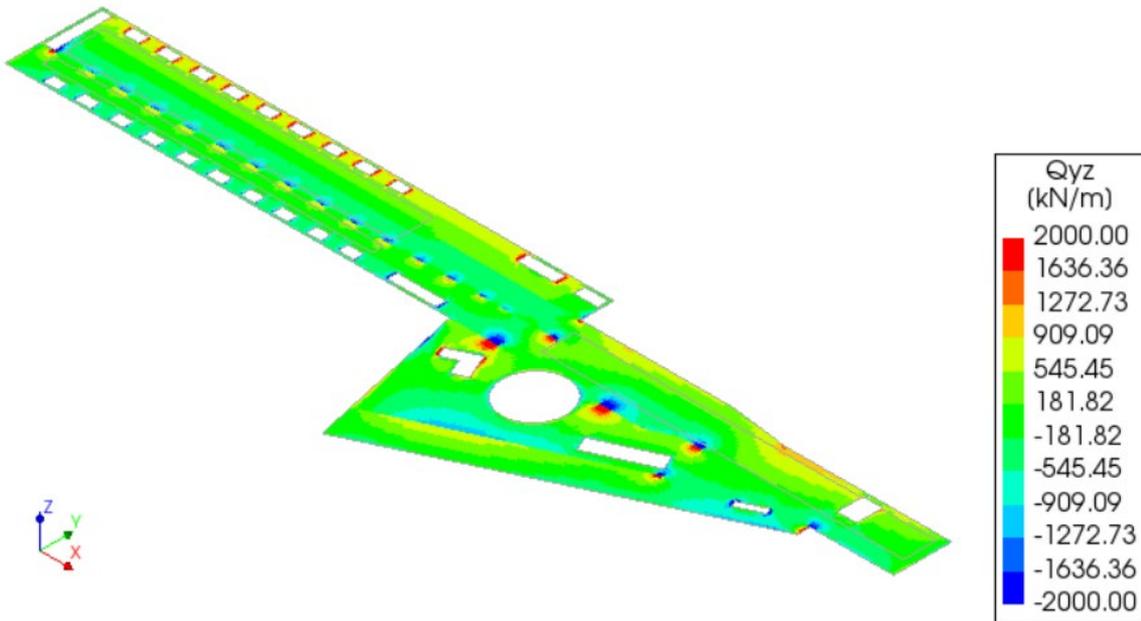
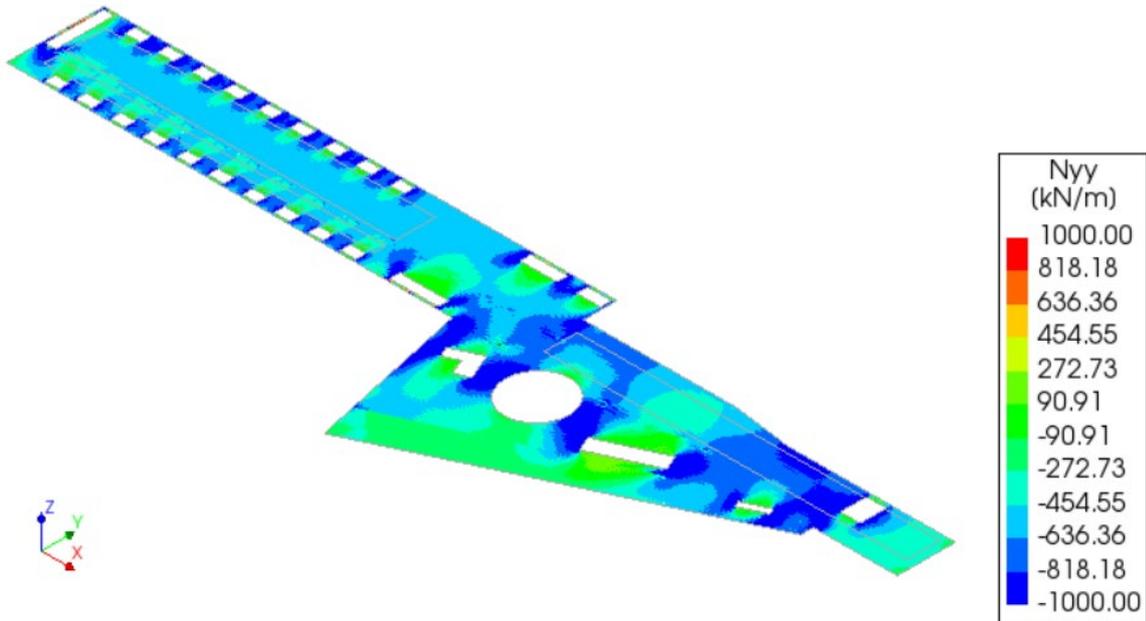


CITTA' DI TORINO

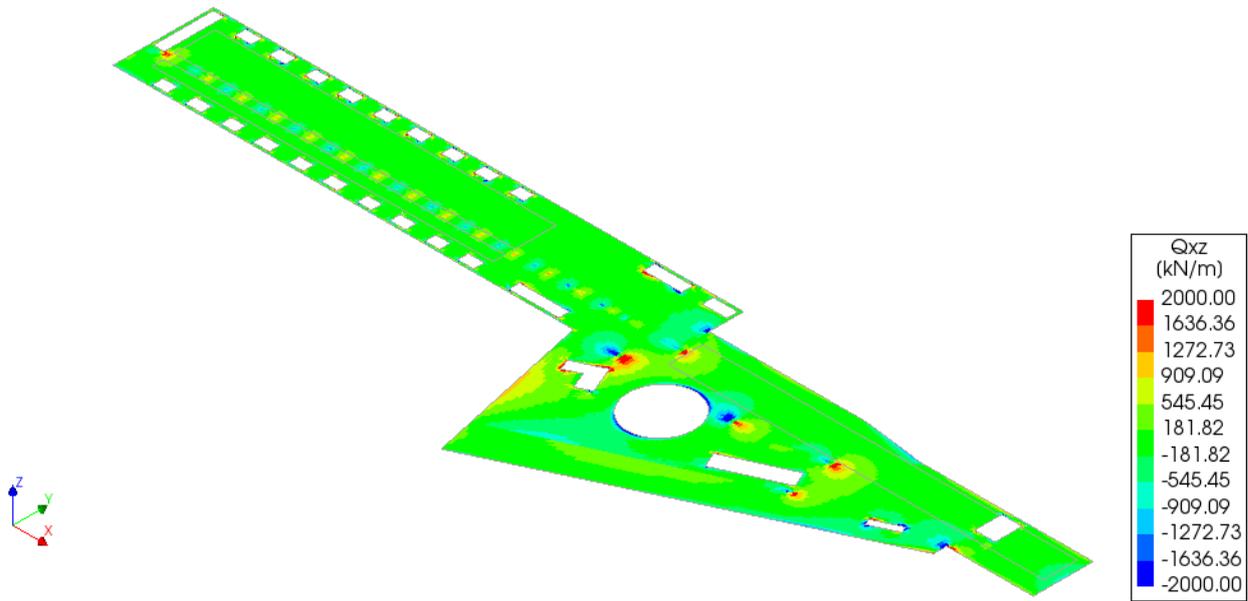
Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta:  
Politecnico – Rebaudengo – Lotto  
Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna

Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive  
in sotterraneo – Relazione di calcolo

MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



**Figura 26. Soletta copertura FASE 12 – Sollecitazioni SLV**

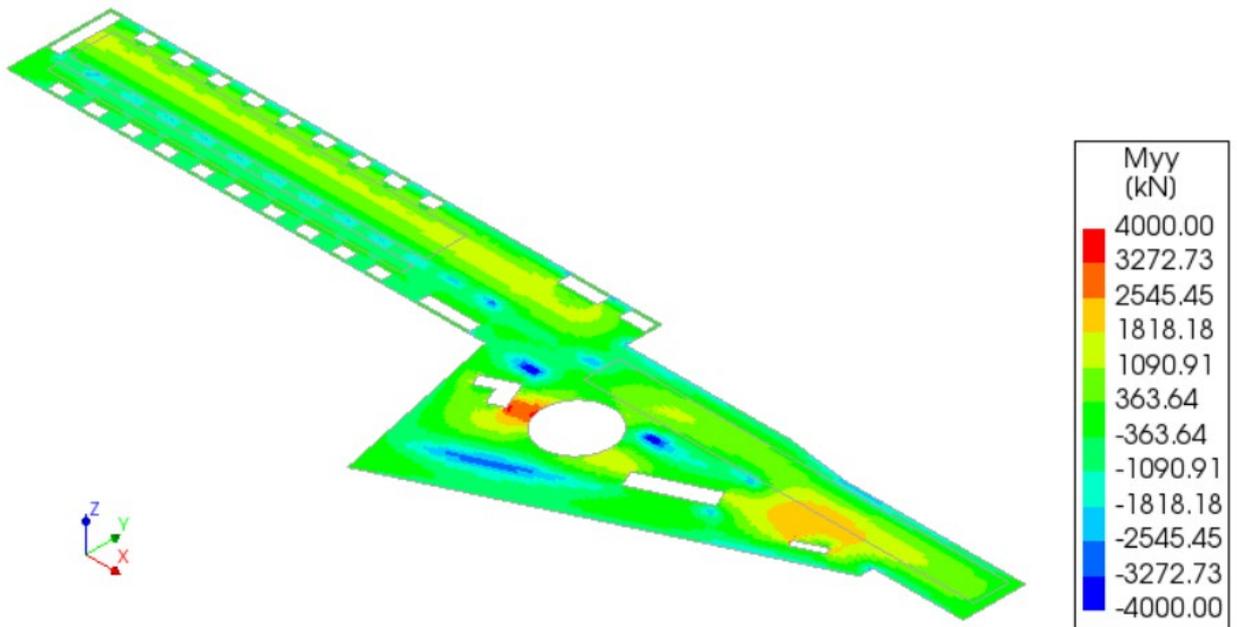
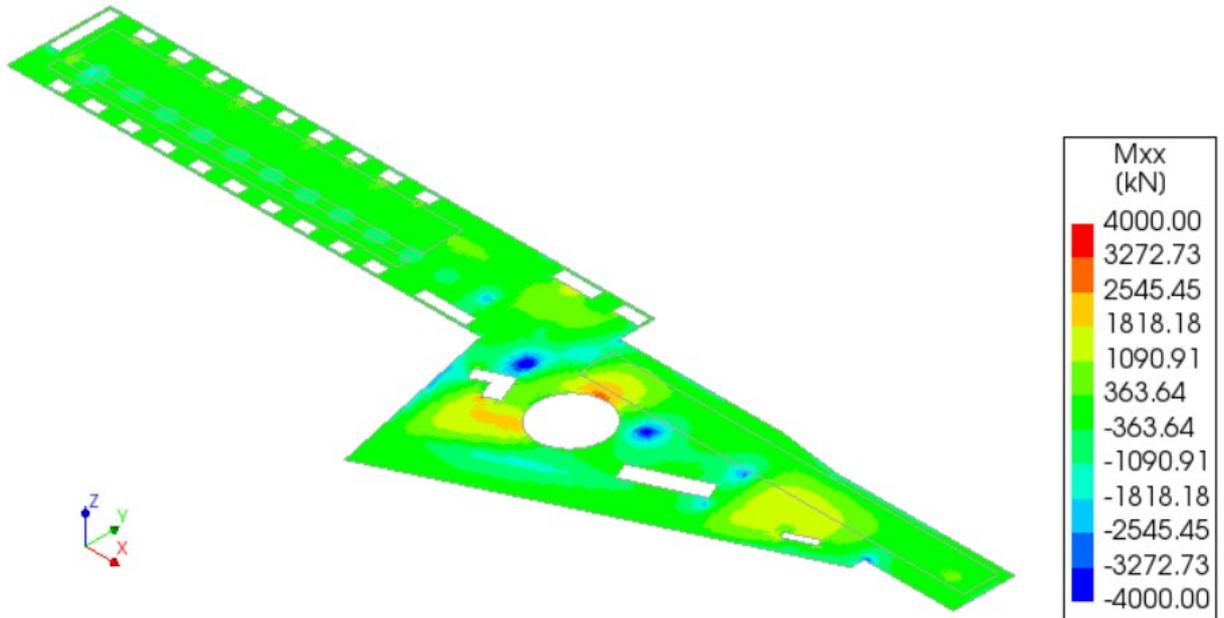


CITTA' DI TORINO

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

Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive  
in sotterraneo – Relazione di calcolo

MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



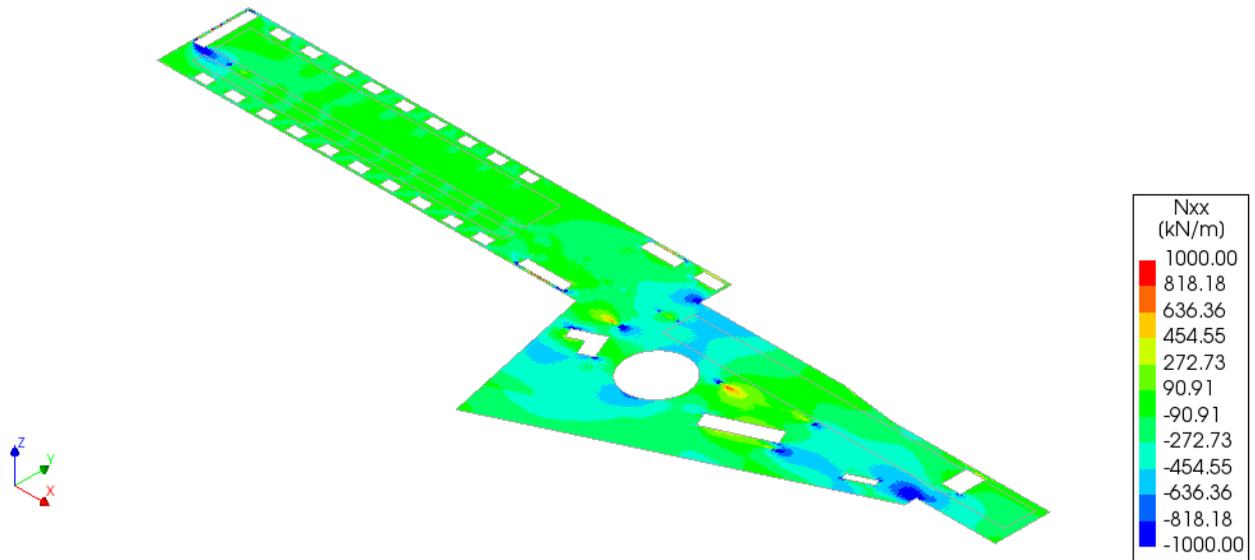
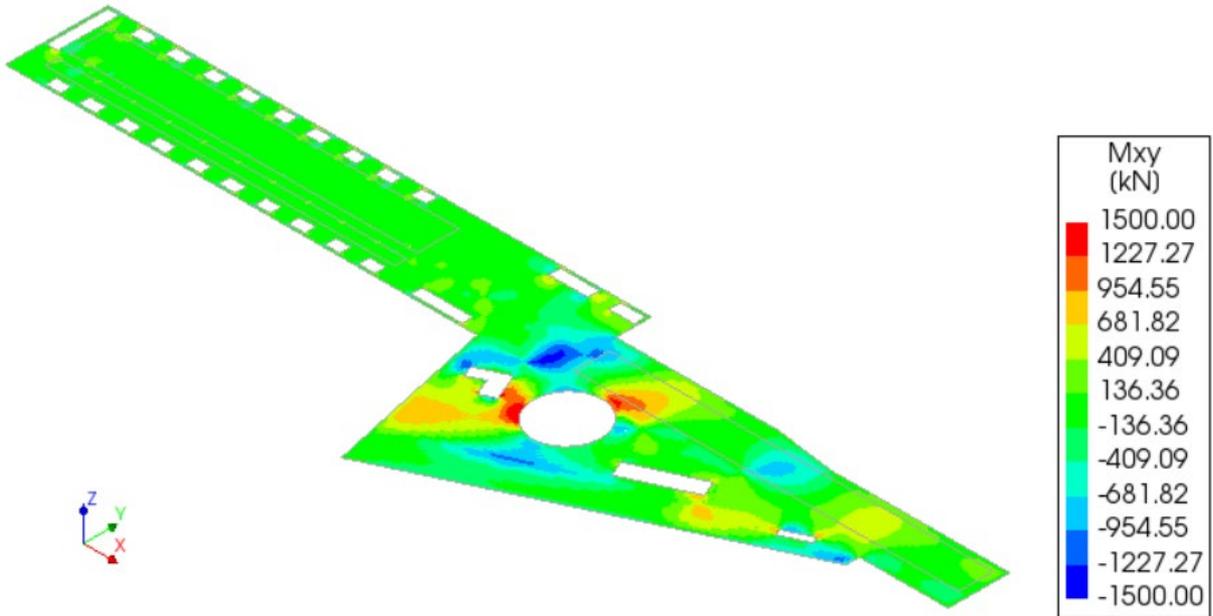


CITTA' DI TORINO

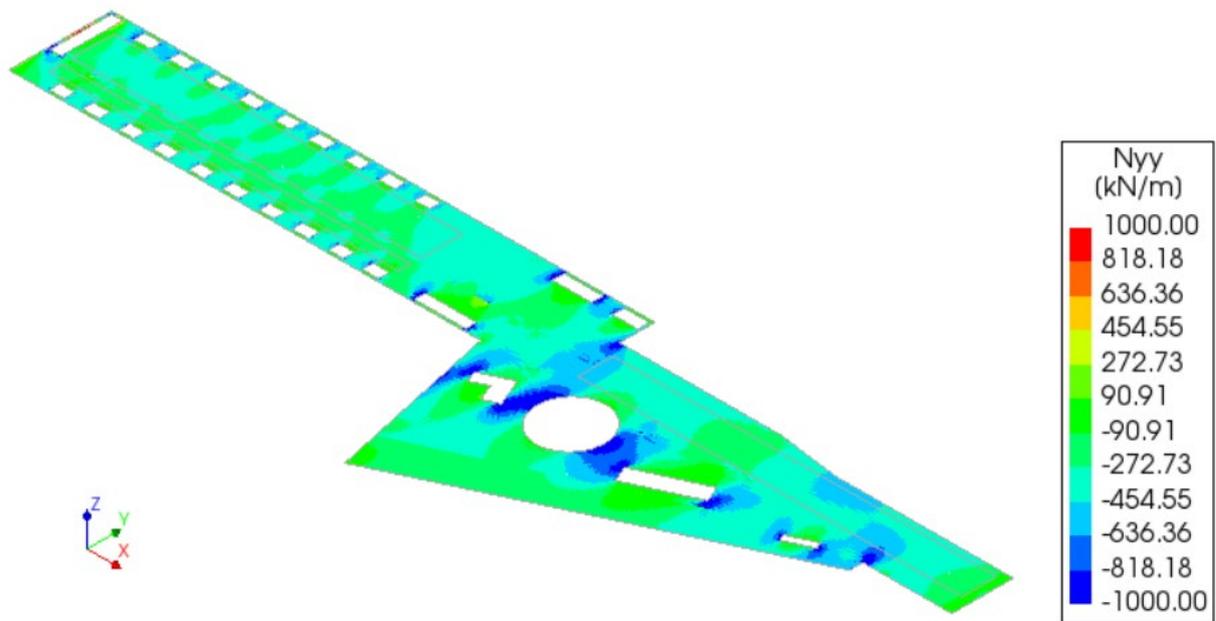
Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta:  
Politecnico – Rebaudengo – Lotto  
Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna

Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive  
in sotterraneo – Relazione di calcolo

MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



**Figura 27. Soletta copertura FASE 6 – Sollecitazioni SLE**

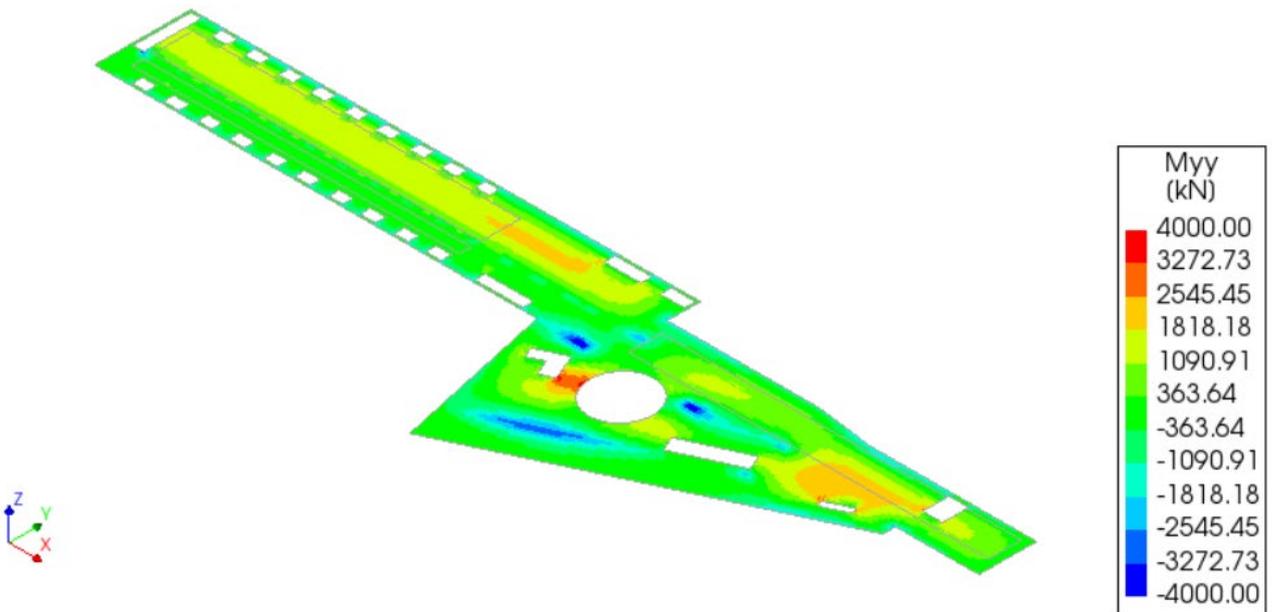
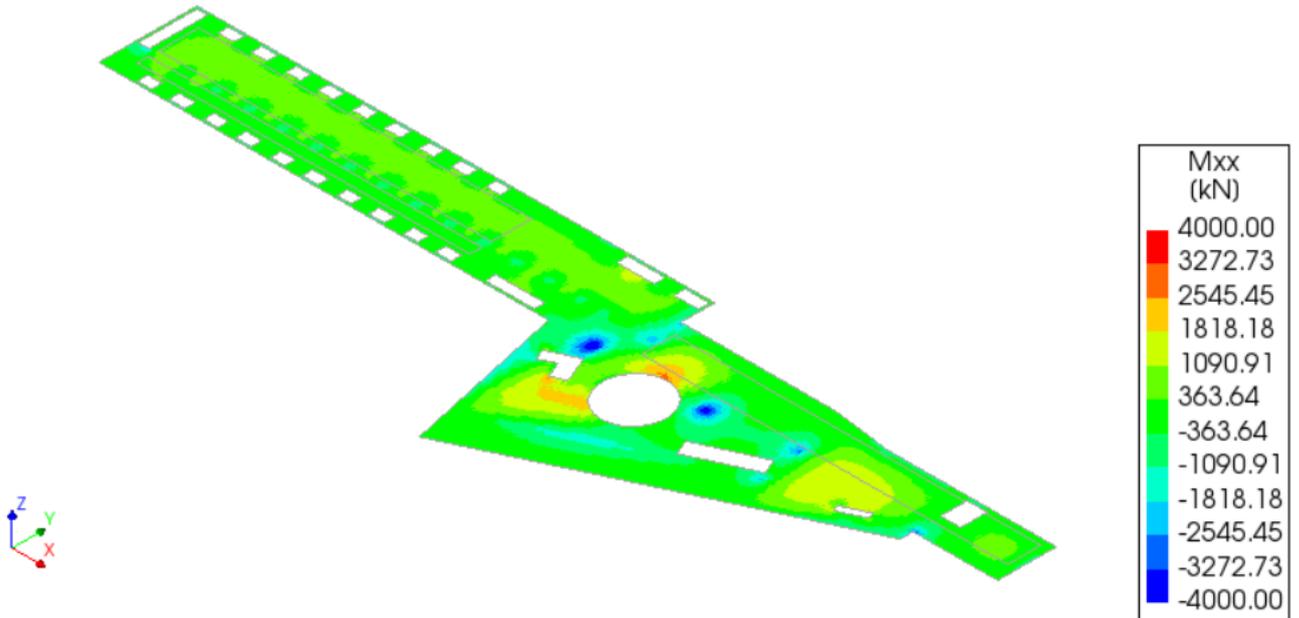


CITTA' DI TORINO

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

Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive  
in sotterraneo – Relazione di calcolo

MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



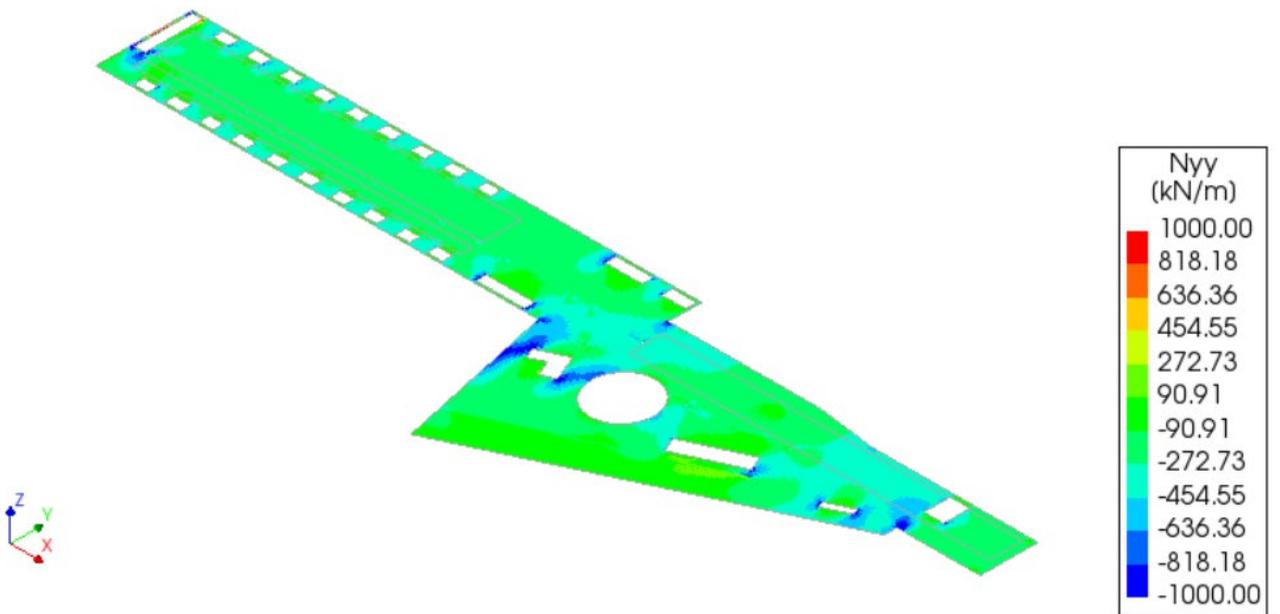
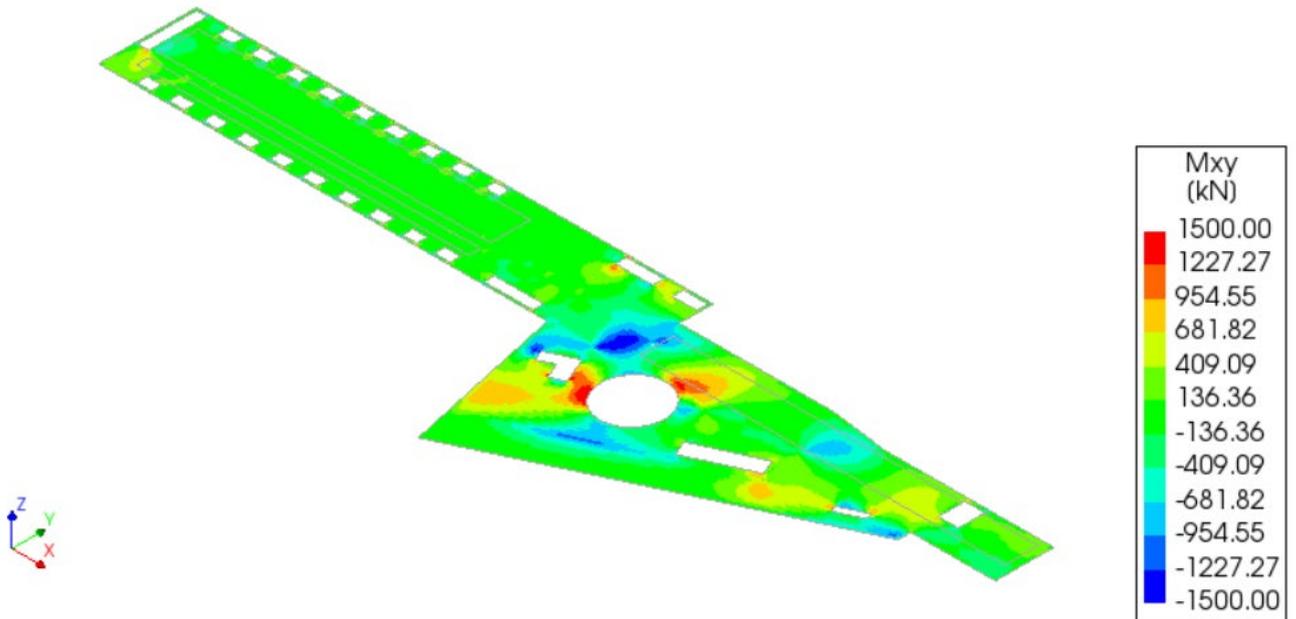


CITTA' DI TORINO

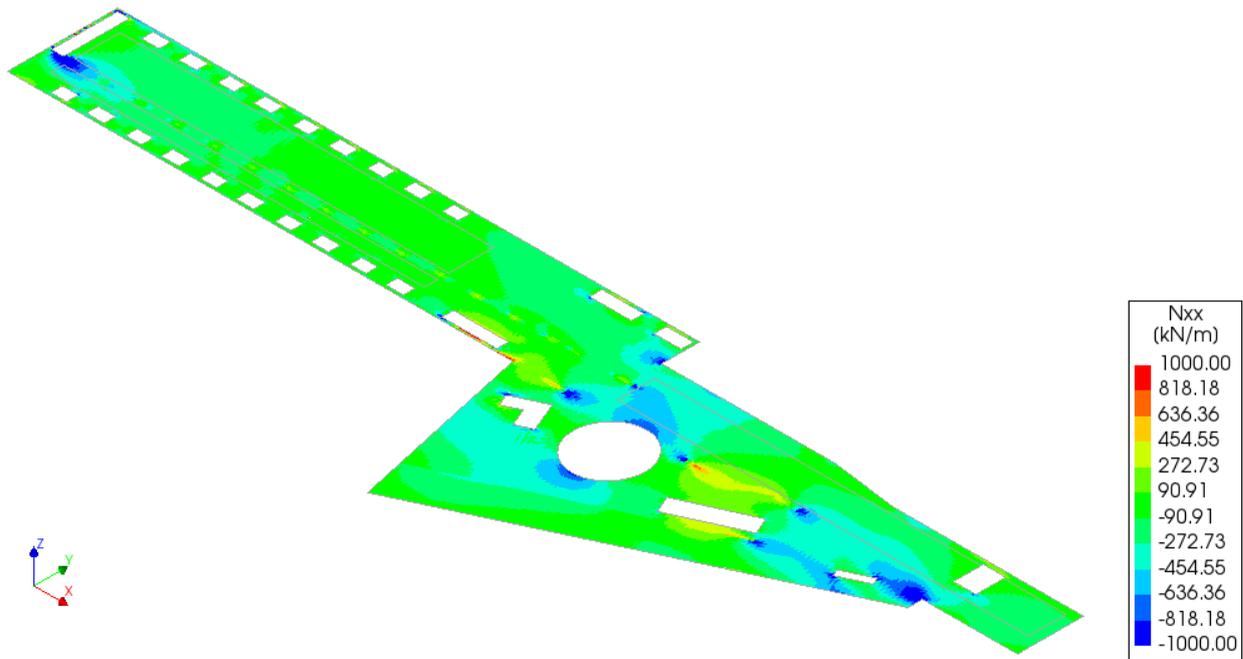
Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta:  
Politecnico – Rebaudengo – Lotto  
Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna

Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive  
in sotterraneo – Relazione di calcolo

MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



**Figura 28. Soletta copertura FASE 8 – Sollecitazioni SLE**

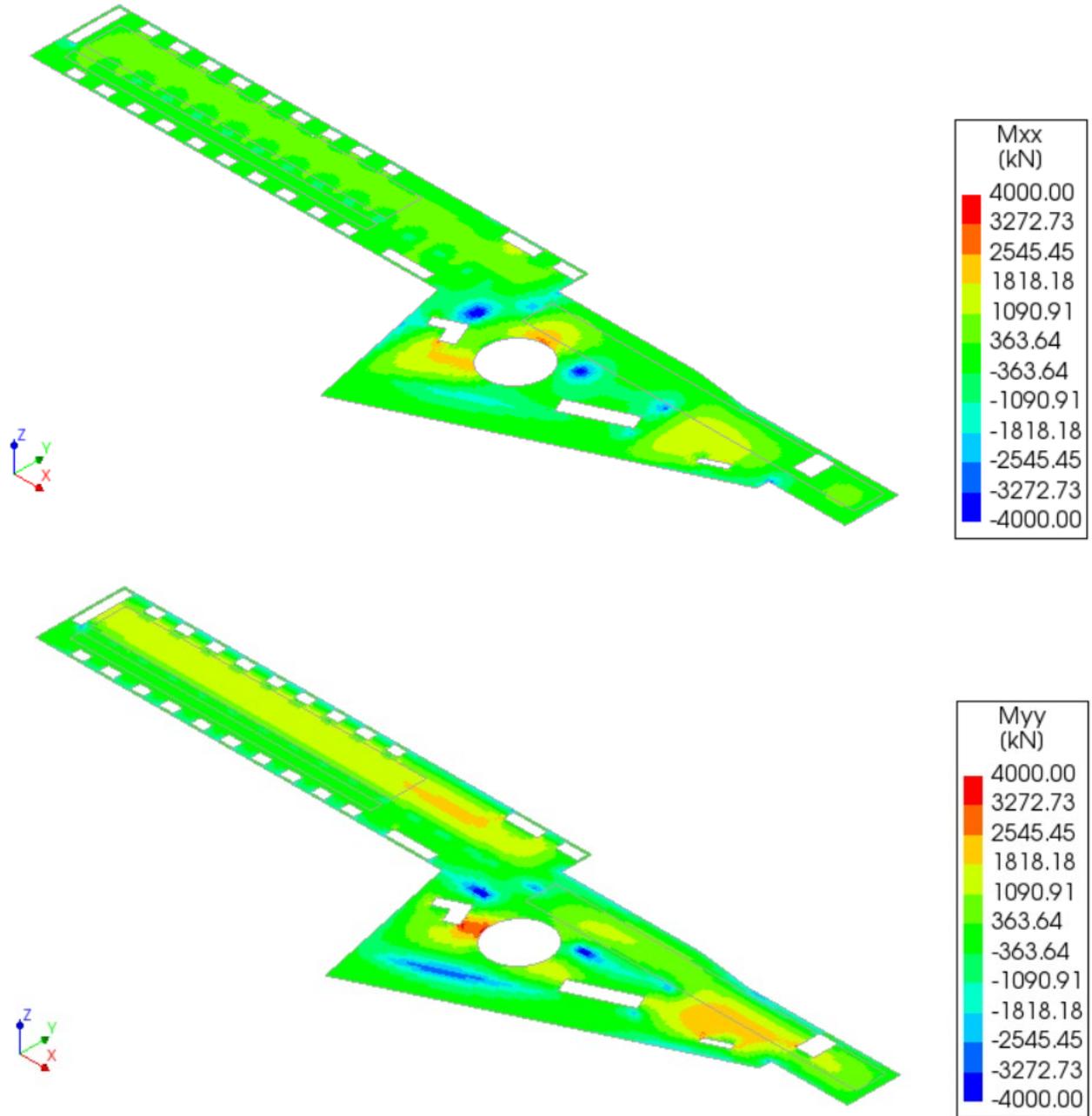


CITTA' DI TORINO

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

Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive  
in sotterraneo – Relazione di calcolo

MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



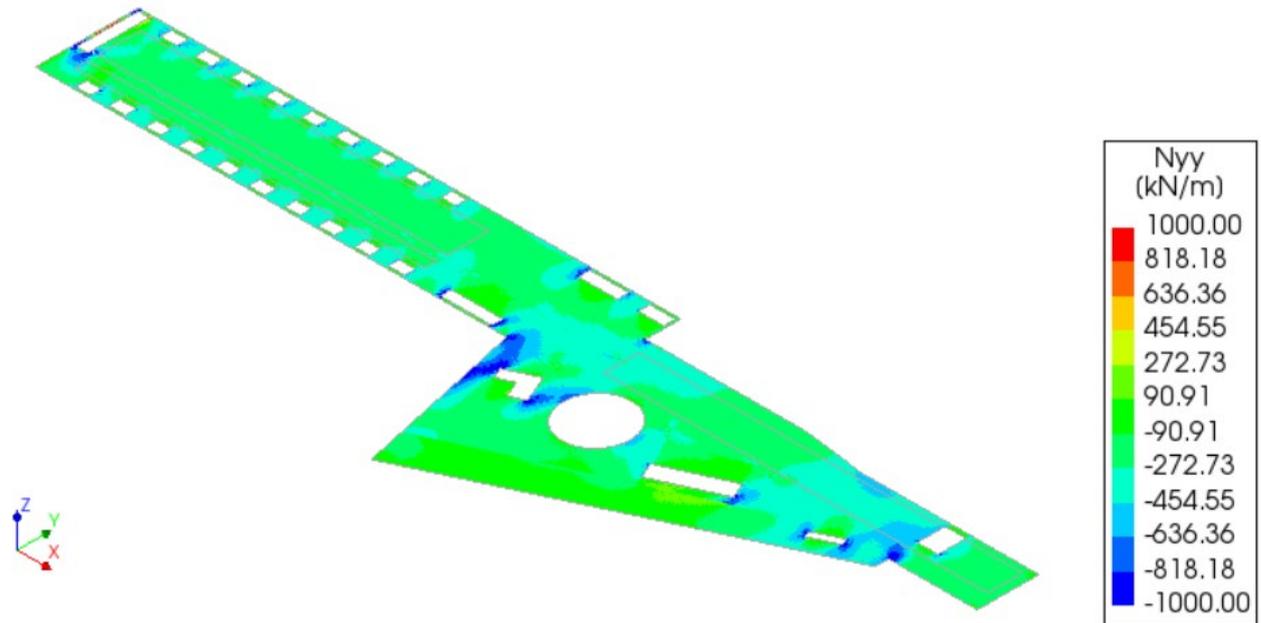
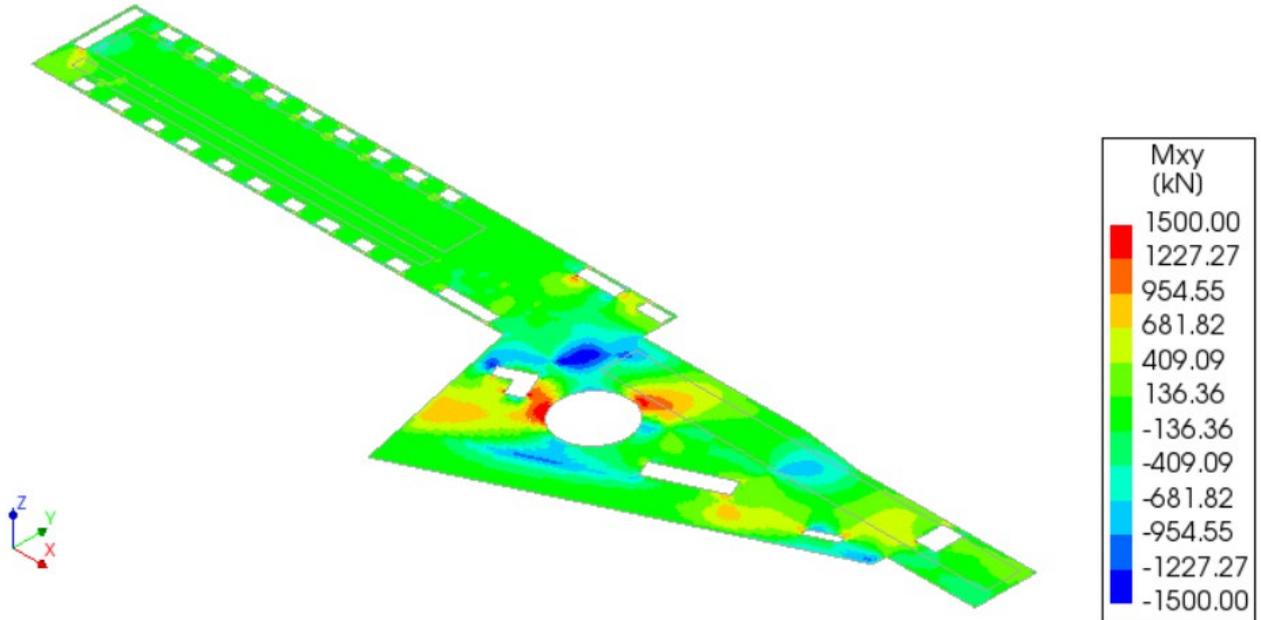


CITTA' DI TORINO

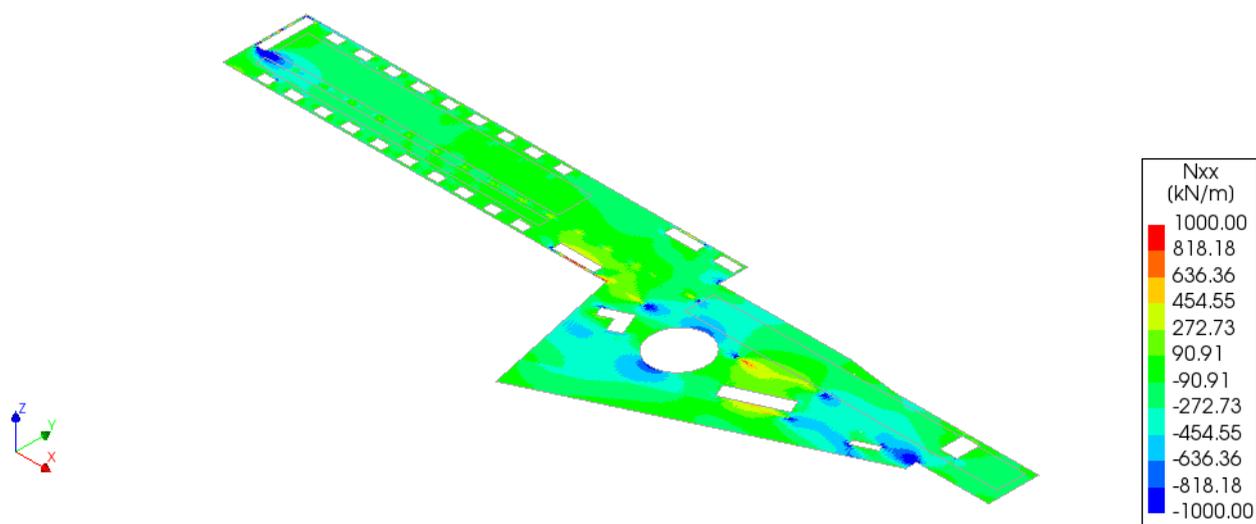
Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta:  
Politecnico – Rebaudengo – Lotto  
Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna

Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive  
in sotterraneo – Relazione di calcolo

MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



**Figura 29. Soletta copertura FASE 9 – Sollecitazioni SLE**

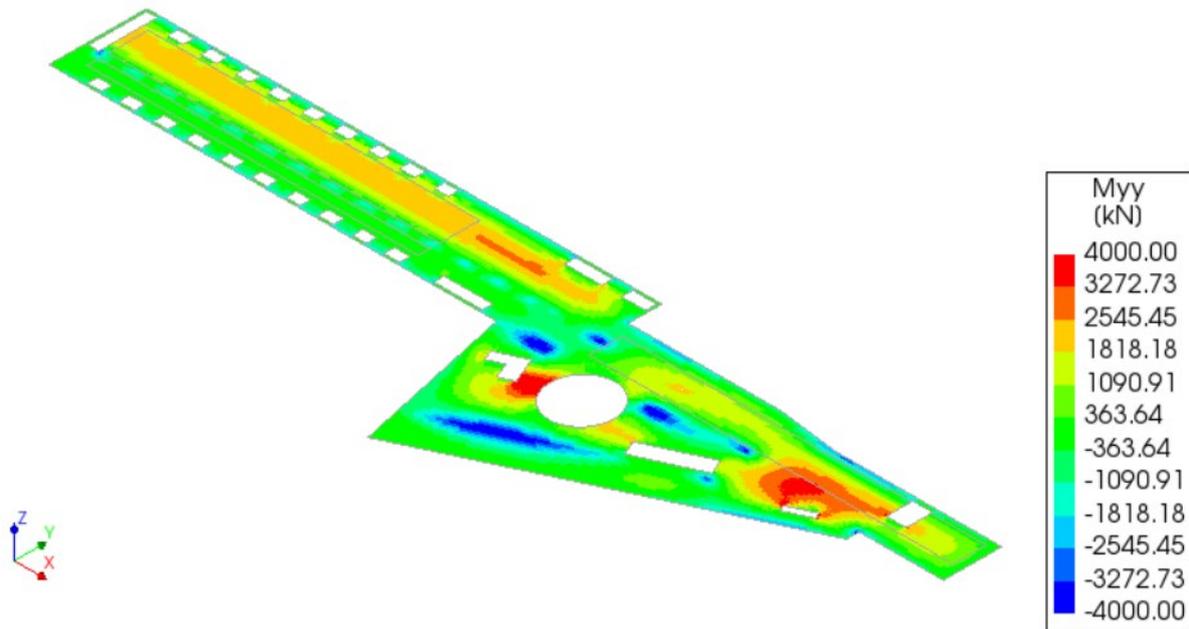
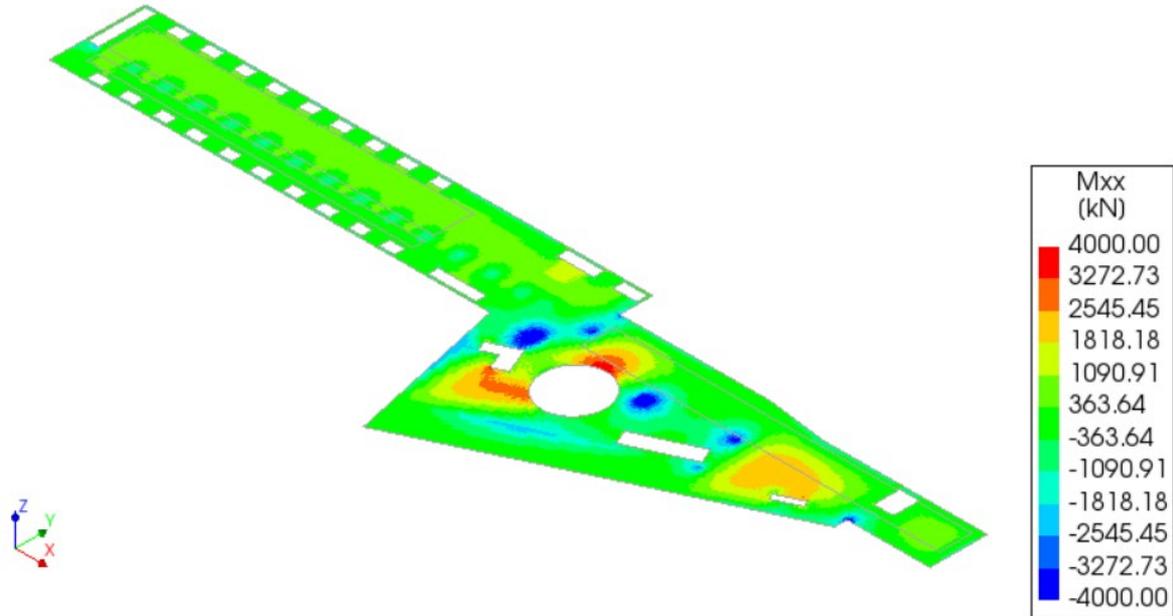


CITTA' DI TORINO

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

Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive  
in sotterraneo – Relazione di calcolo

MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



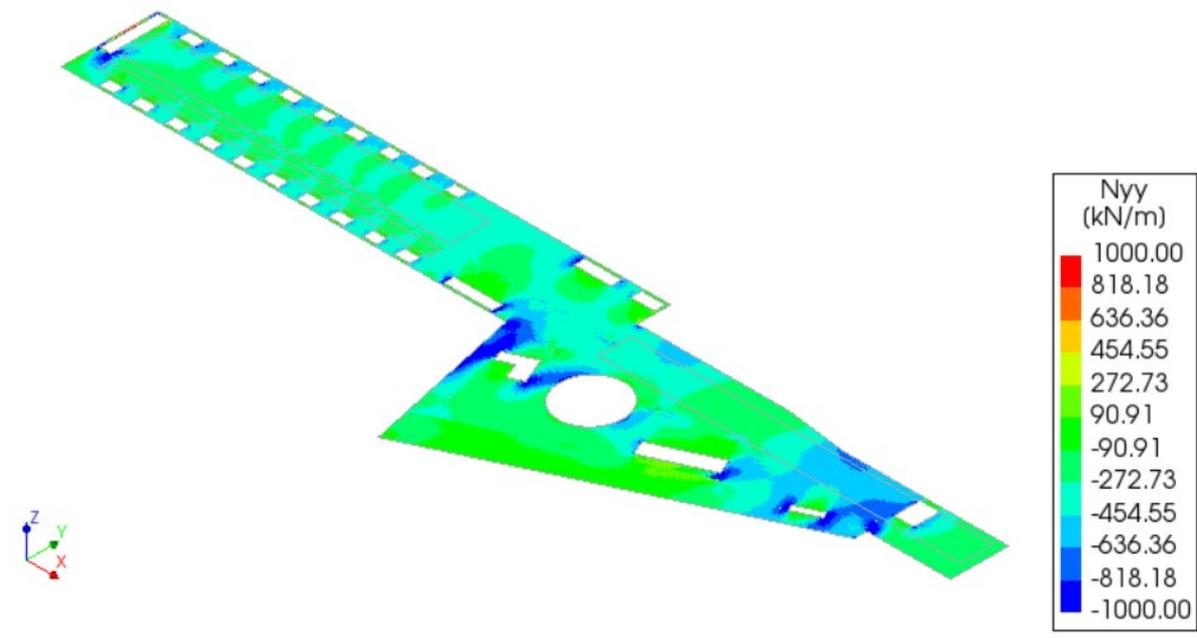
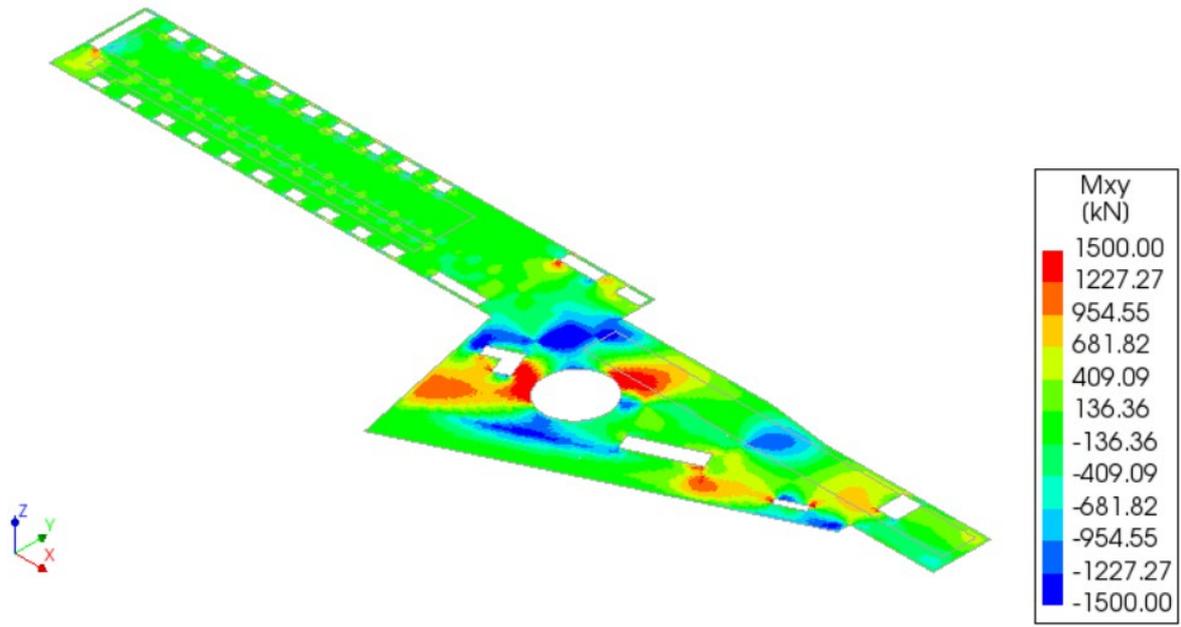


CITTA' DI TORINO

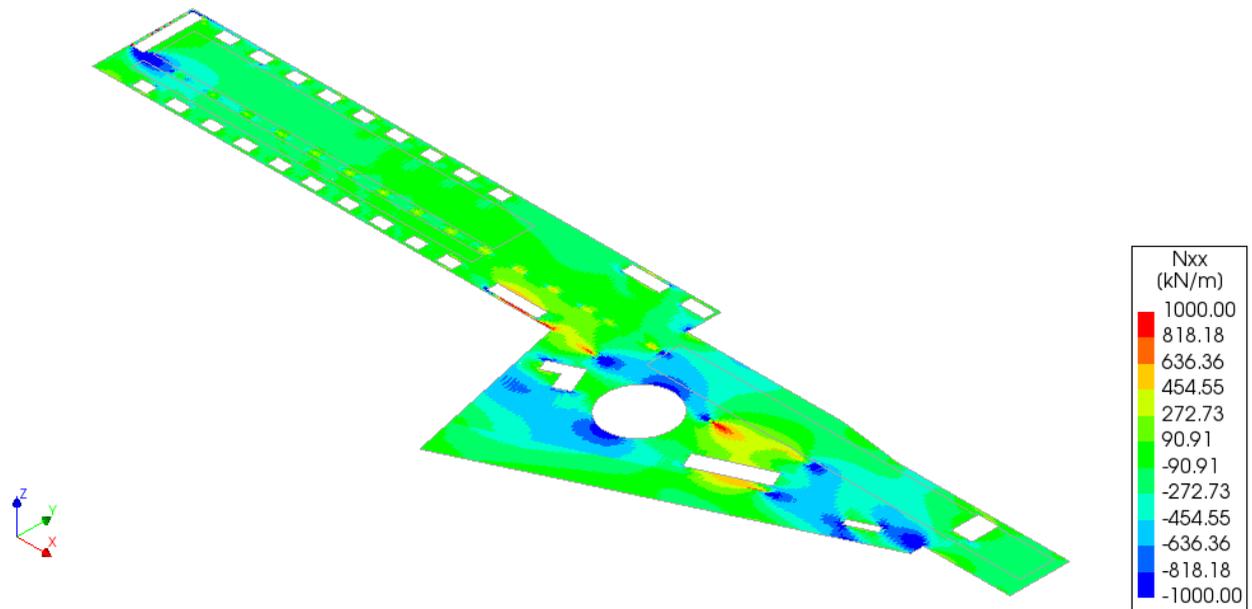
Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta:  
Politecnico – Rebaudengo – Lotto  
Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna

Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive  
in sotterraneo – Relazione di calcolo

MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



**Figura 30. Soletta copertura FASE 10 – Sollecitazioni SLE**

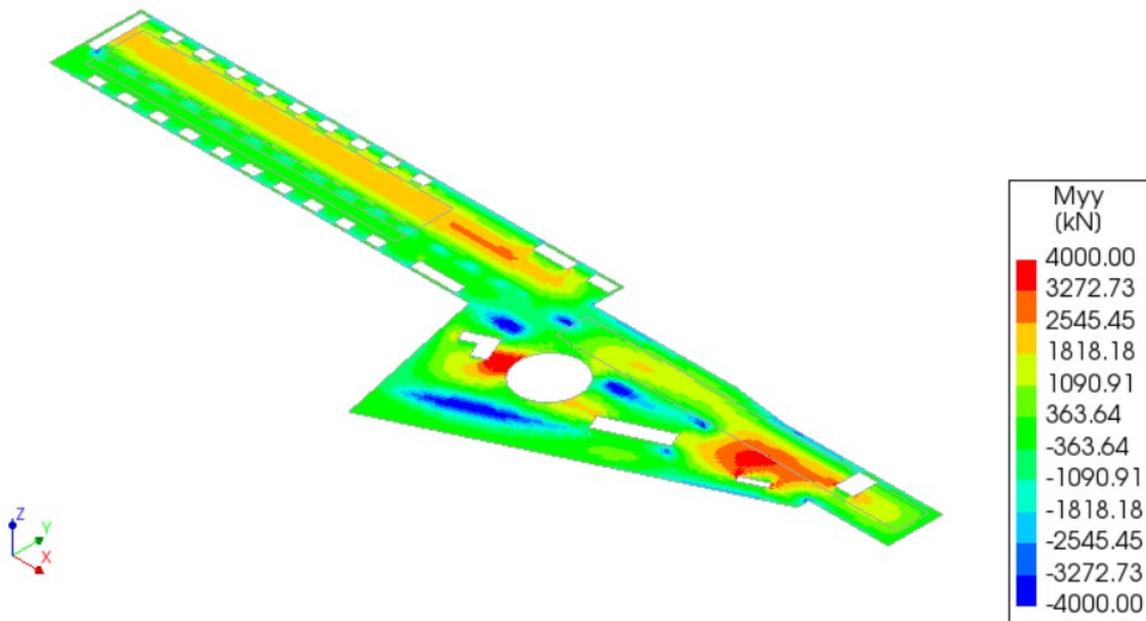
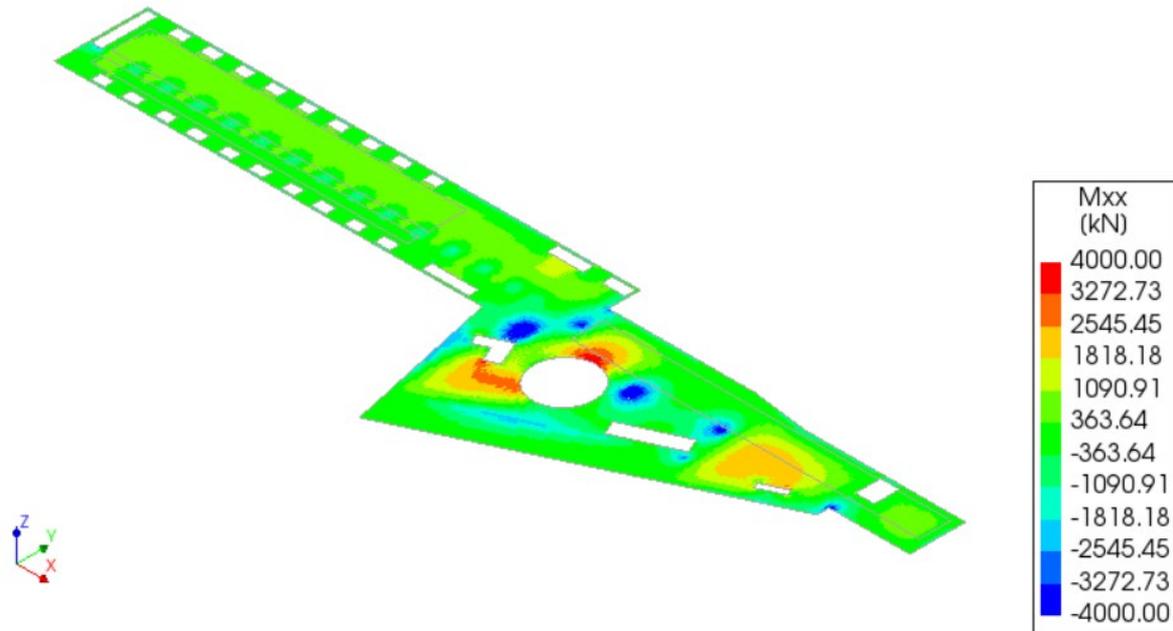


CITTA' DI TORINO

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

Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive  
in sotterraneo – Relazione di calcolo

MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



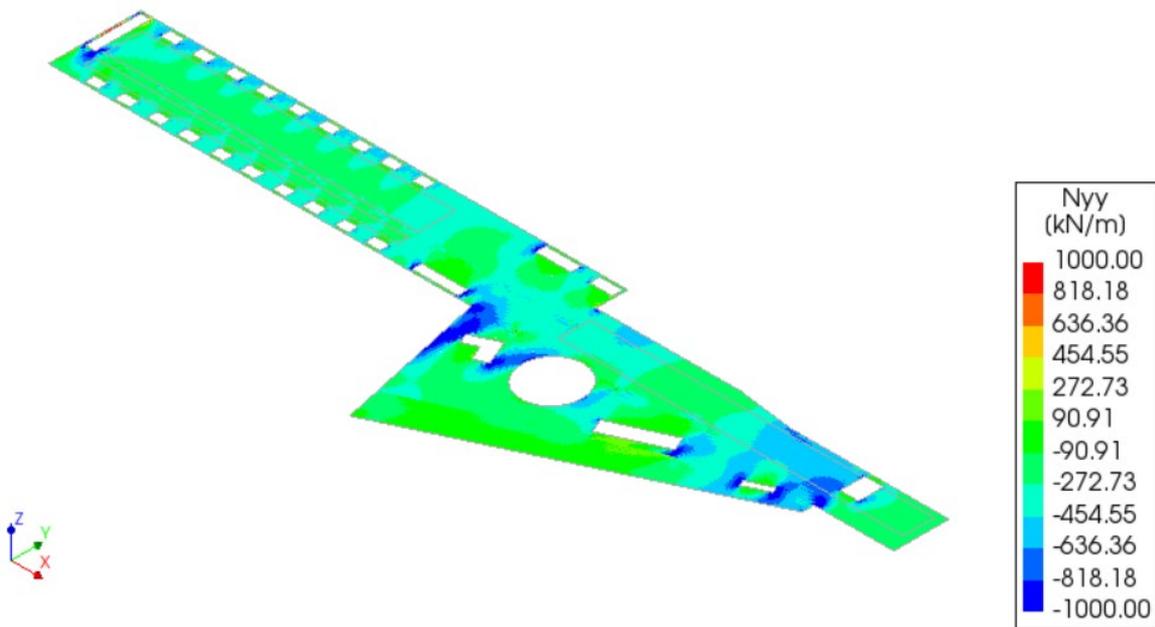
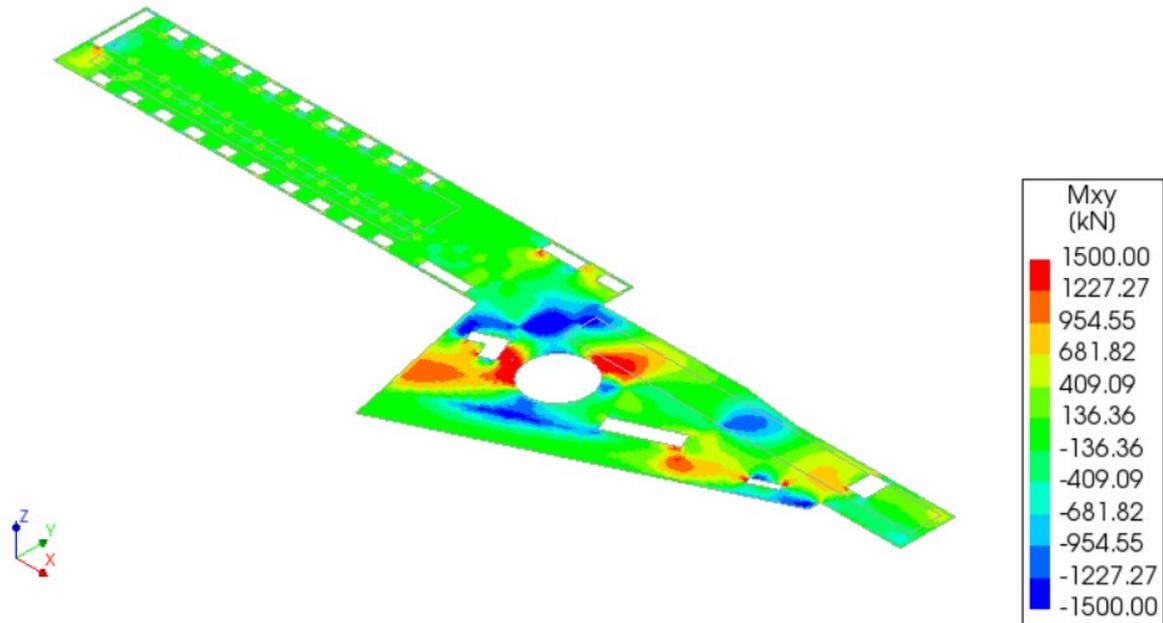


CITTA' DI TORINO

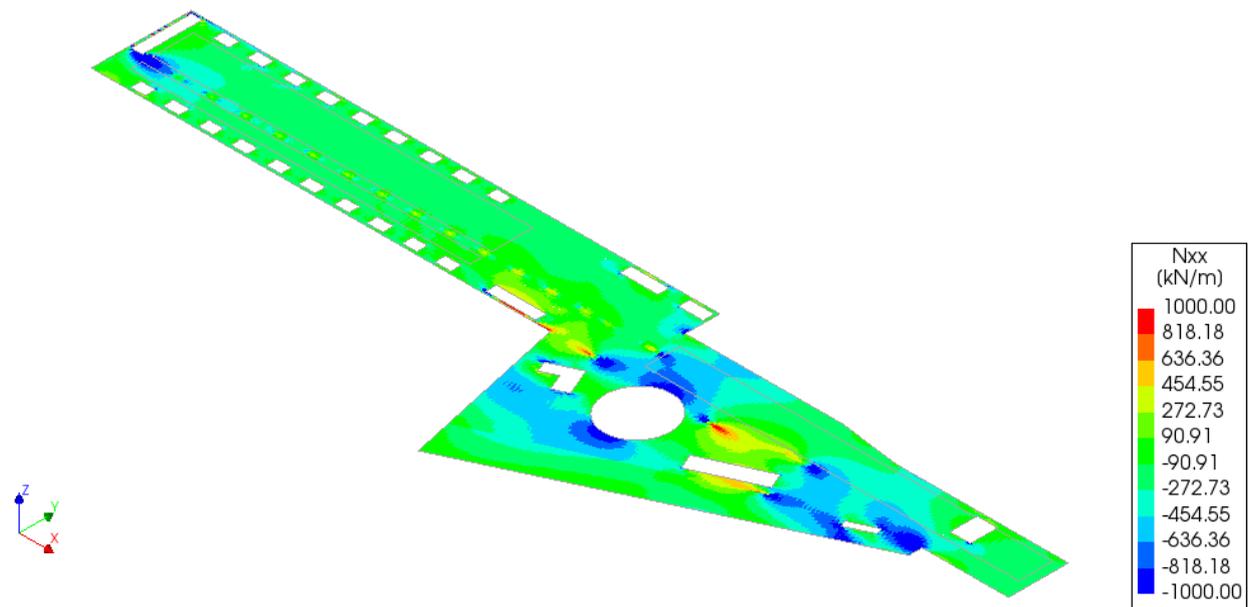
Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta:  
Politecnico – Rebaudengo – Lotto  
Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna

Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive  
in sotterraneo – Relazione di calcolo

MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



**Figura 31. Soletta copertura FASE 11 – Sollecitazioni SLE**

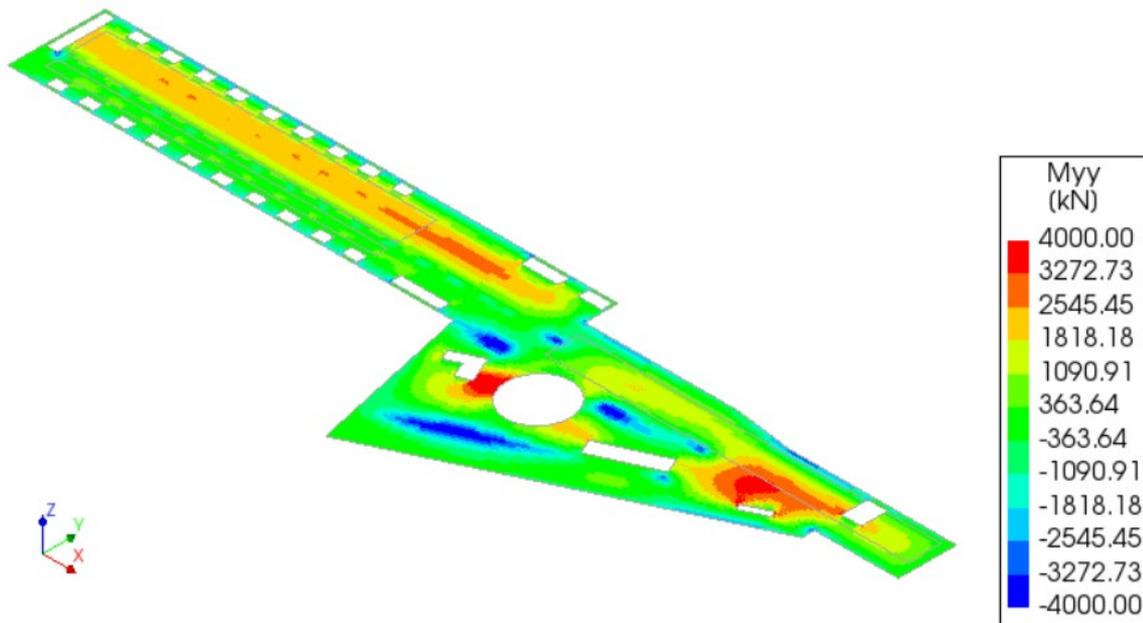
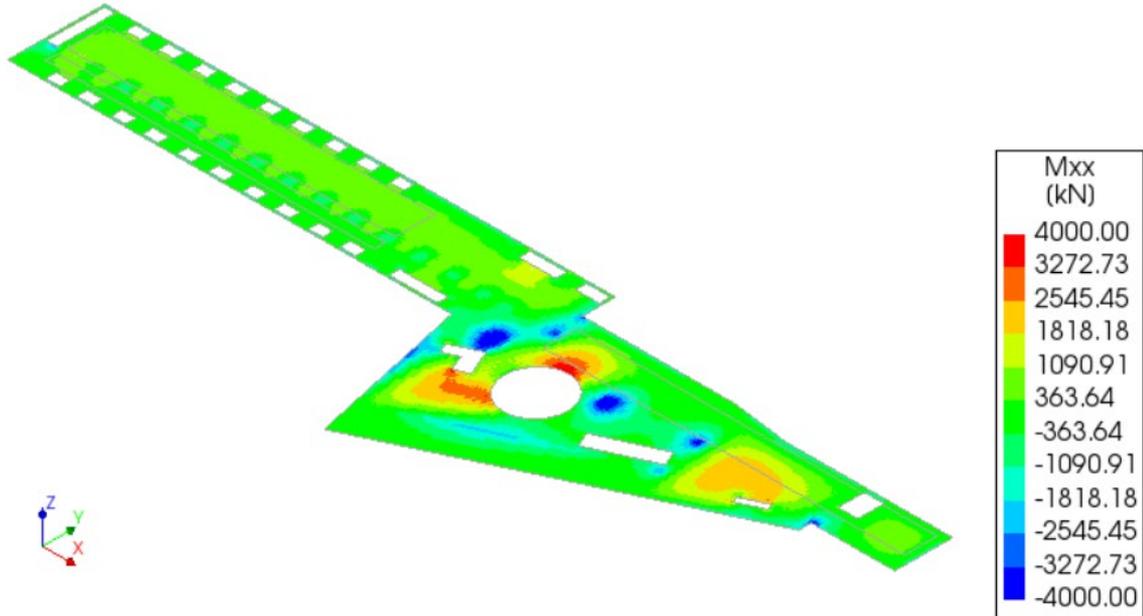


CITTA' DI TORINO

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

Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive  
in sotterraneo – Relazione di calcolo

MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



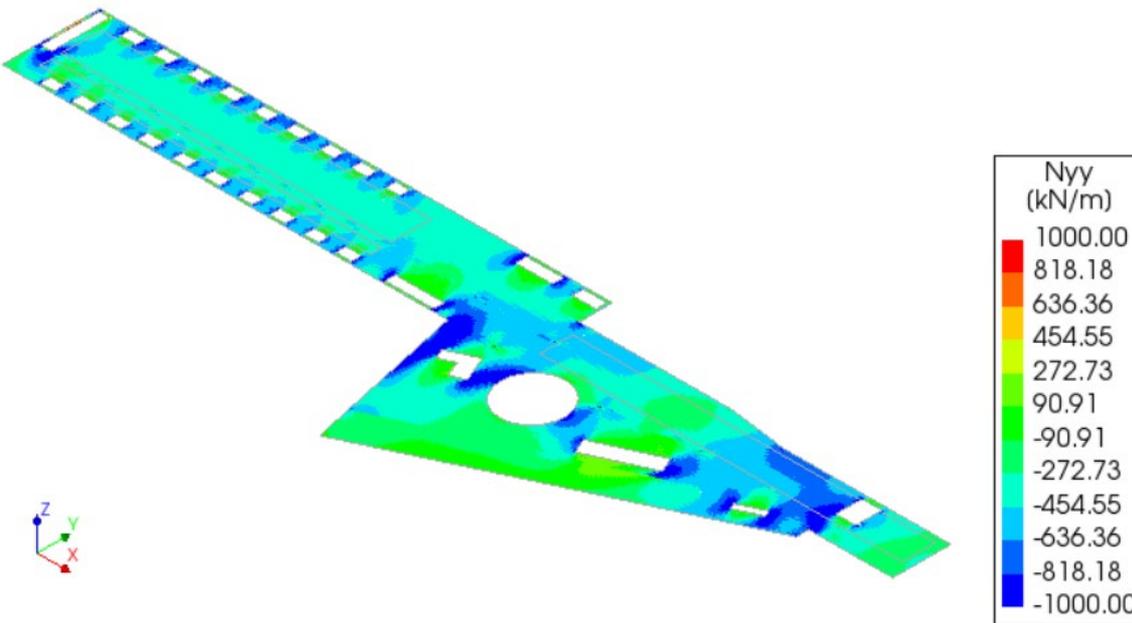
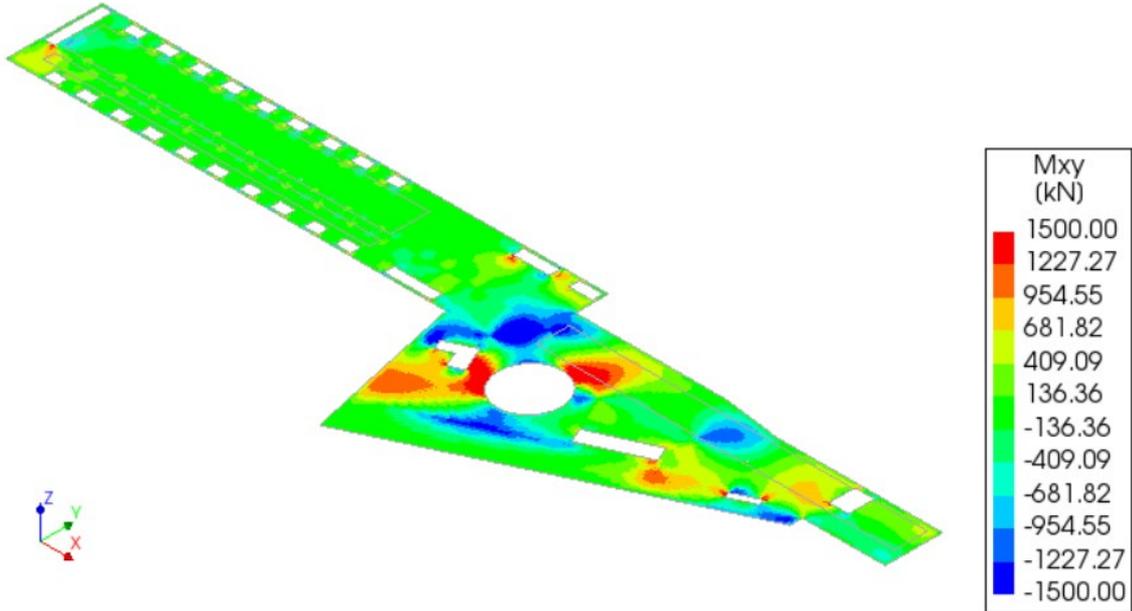


CITTA' DI TORINO

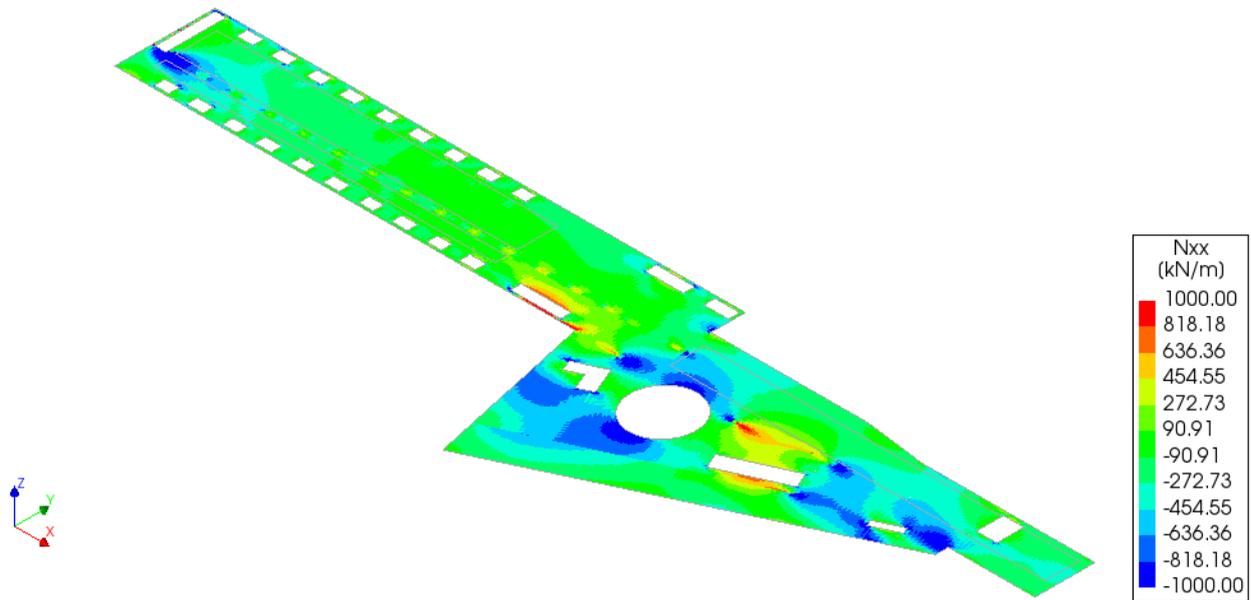
Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta:  
Politecnico – Rebaudengo – Lotto  
Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna

Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive  
in sotterraneo – Relazione di calcolo

MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



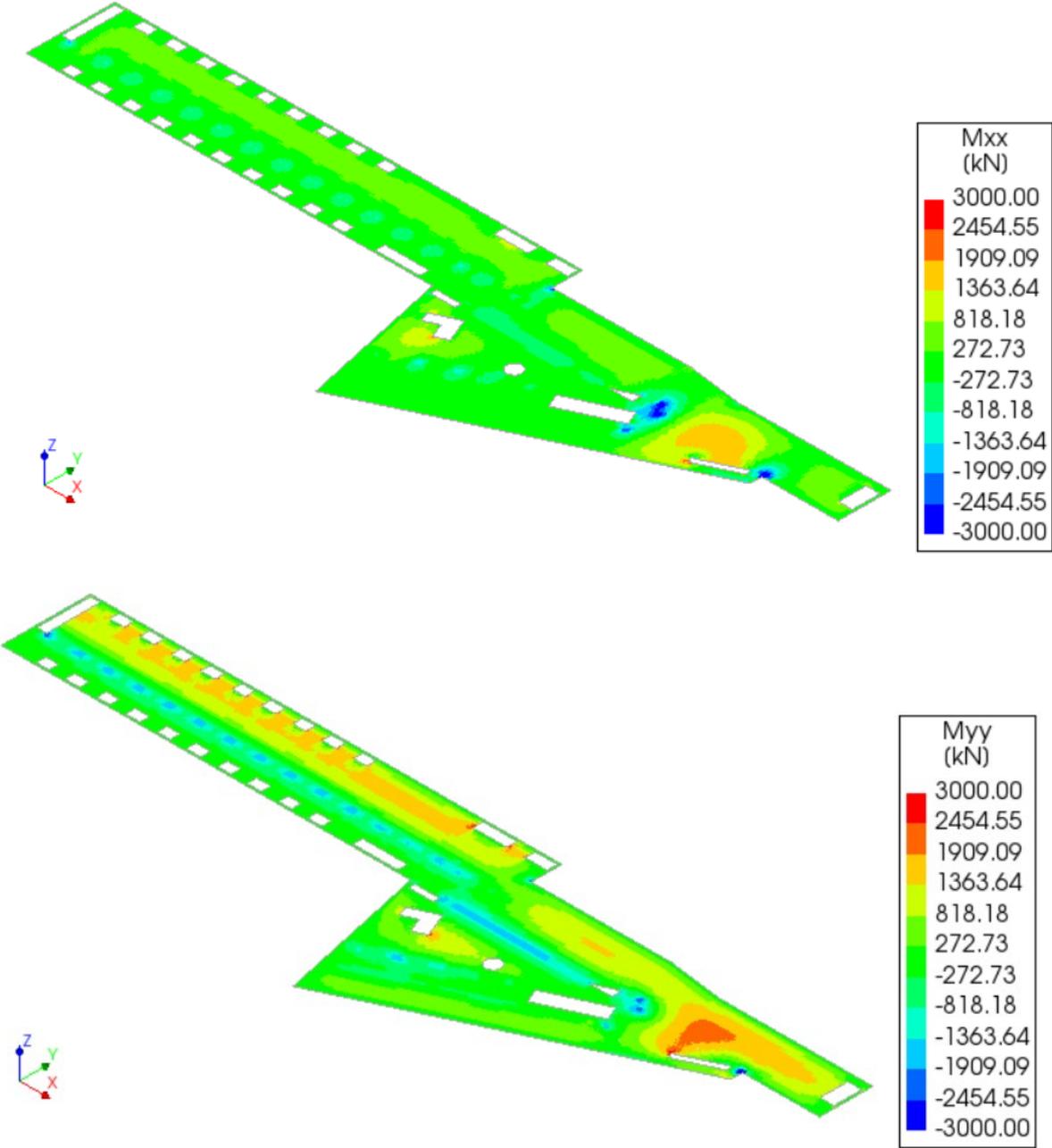
 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



**Figura 32. Soletta copertura FASE 12 – Sollecitazioni SLE**

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

**8.5.2 Soletta intermedia**



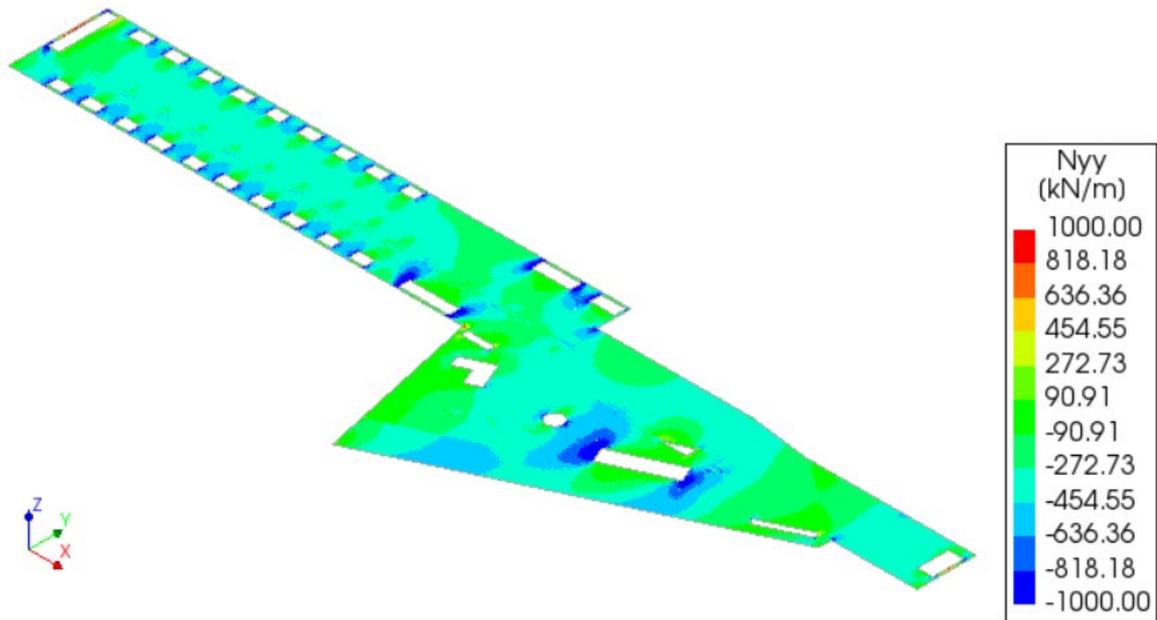
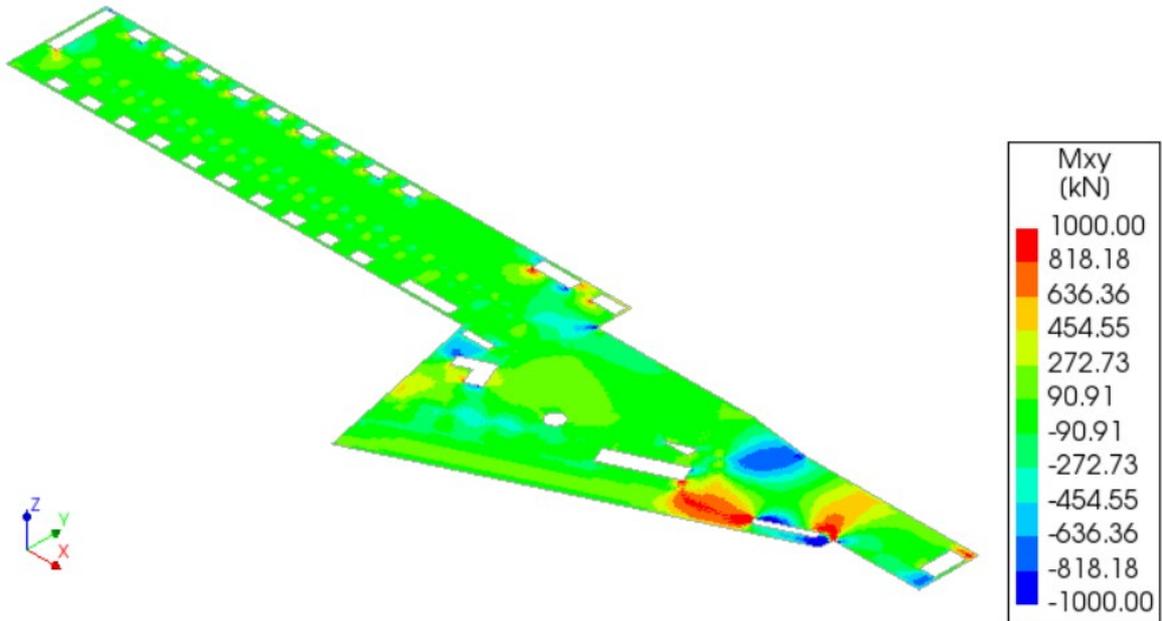


CITTA' DI TORINO

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

Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive  
in sotterraneo – Relazione di calcolo

MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



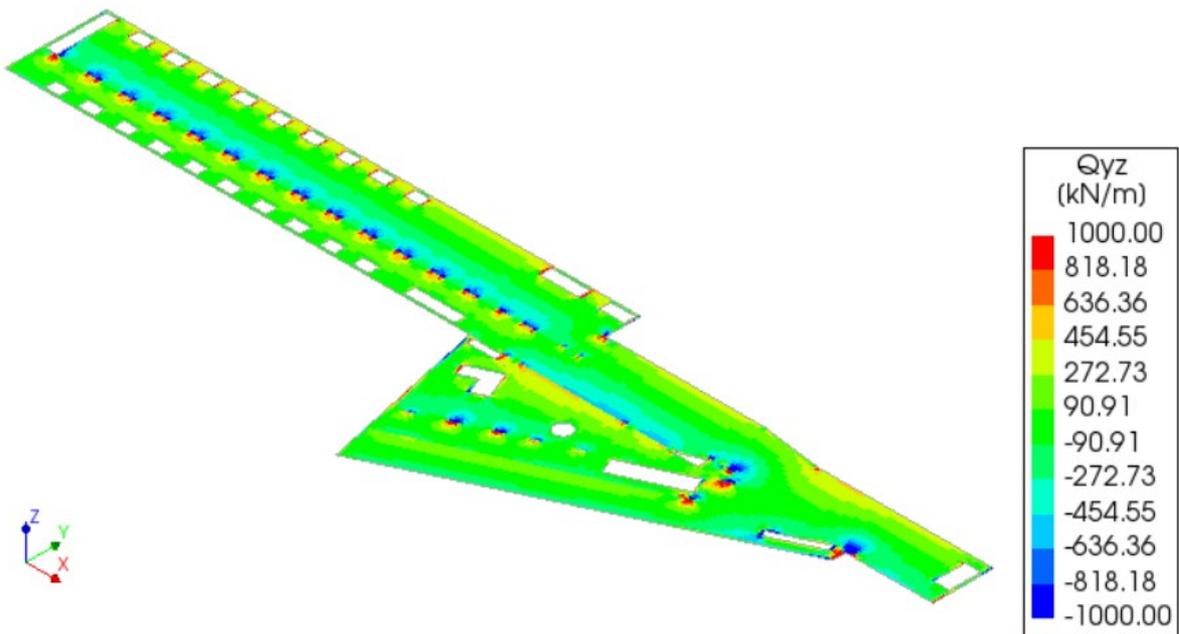
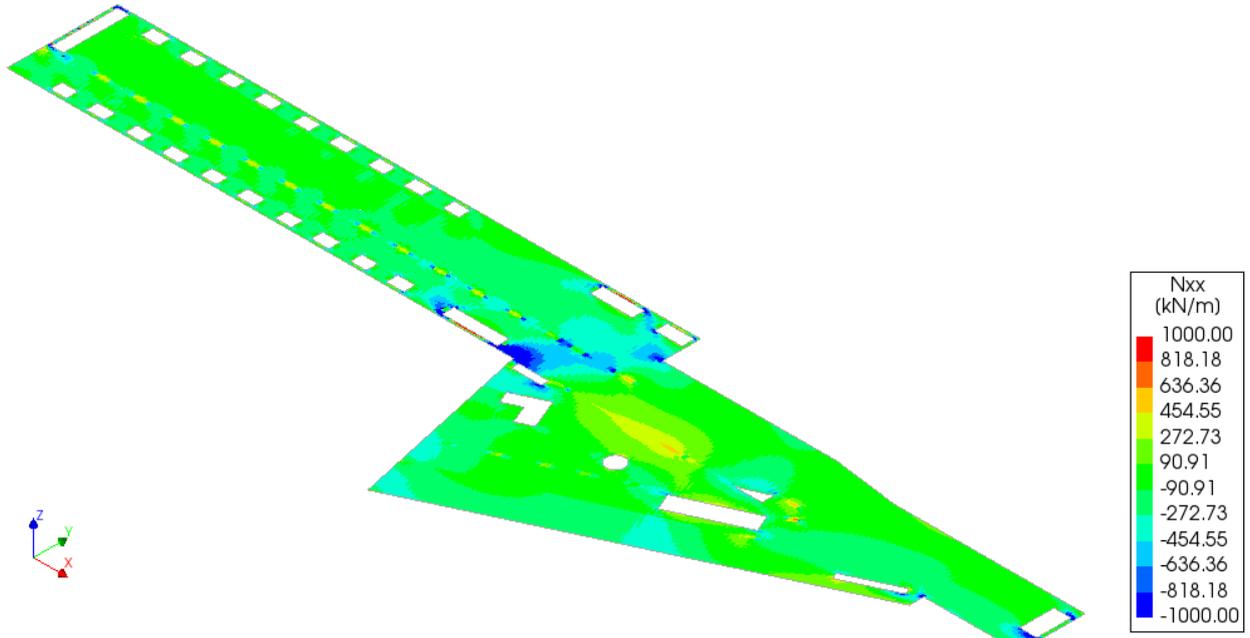


CITTA' DI TORINO

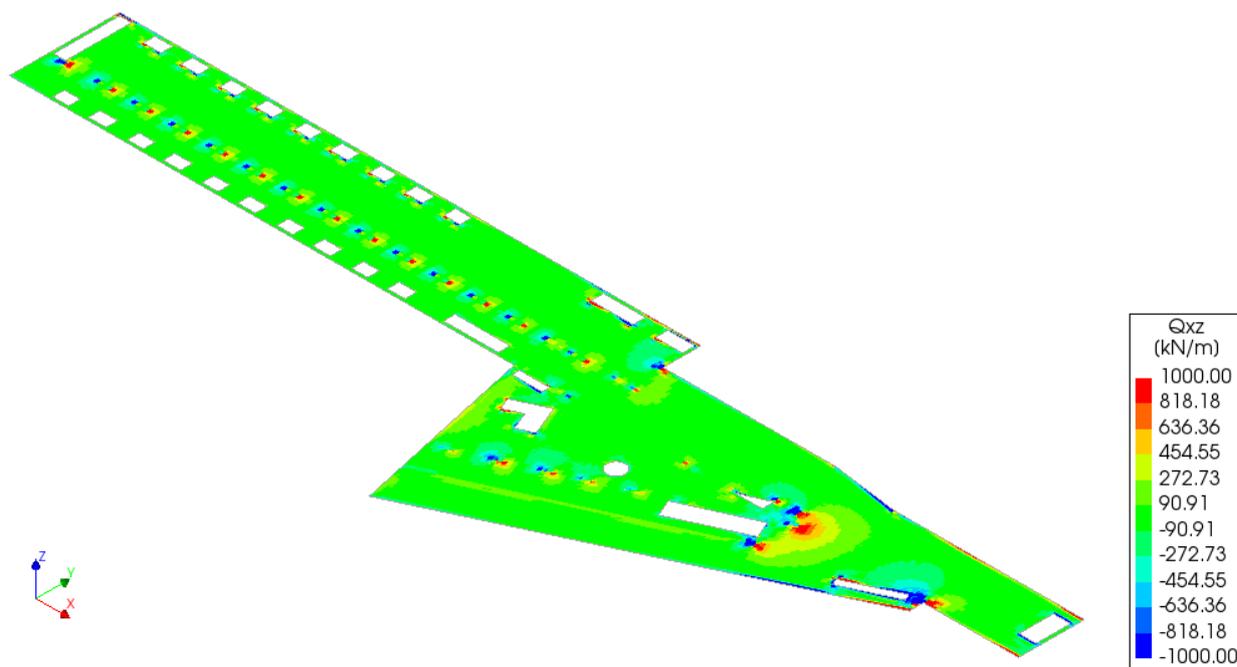
Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta:  
Politecnico – Rebaudengo – Lotto  
Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna

Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive  
in sotterraneo – Relazione di calcolo

MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



**Figura 33. Soletta intermedia FASE 8 – Sollecitazioni SLU**

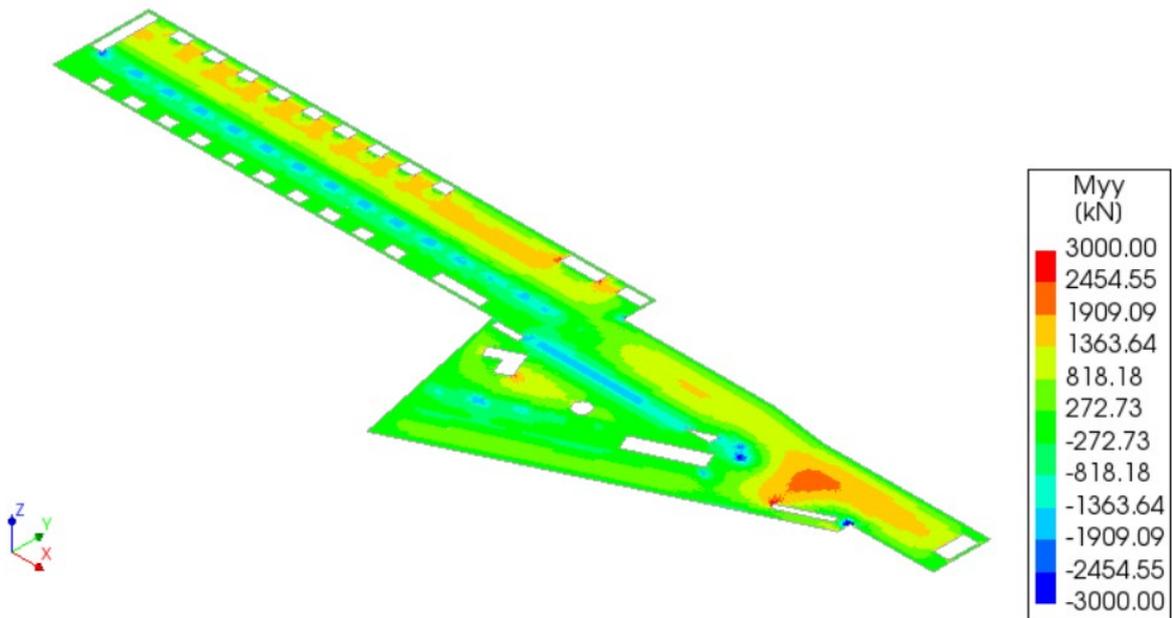
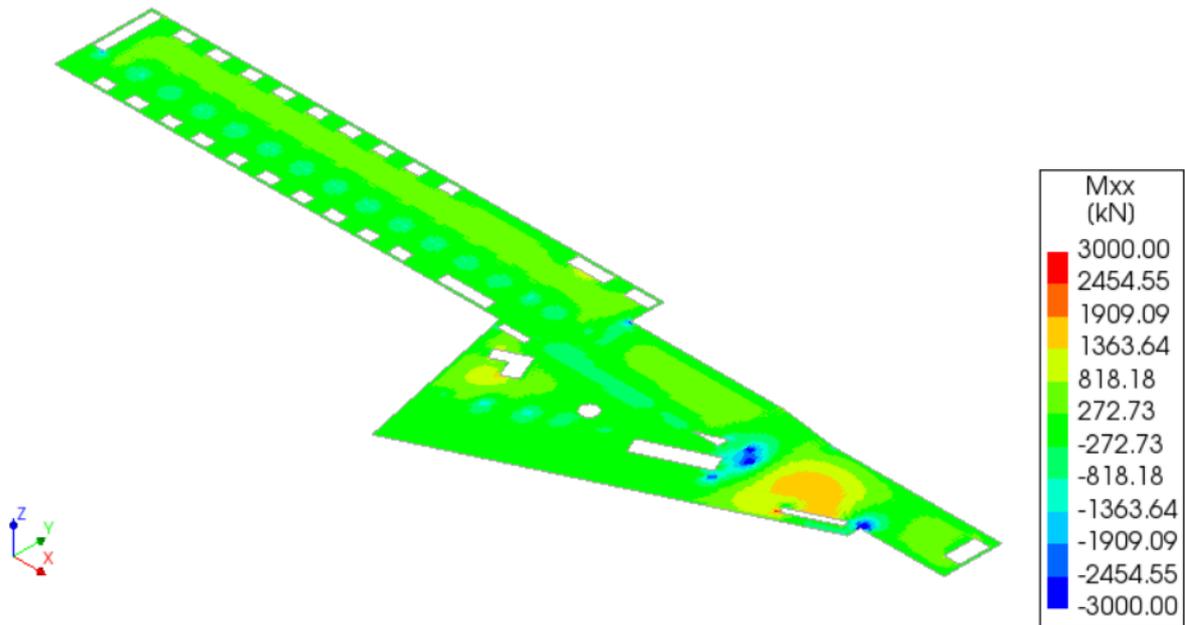


CITTA' DI TORINO

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

Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive  
in sotterraneo – Relazione di calcolo

MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



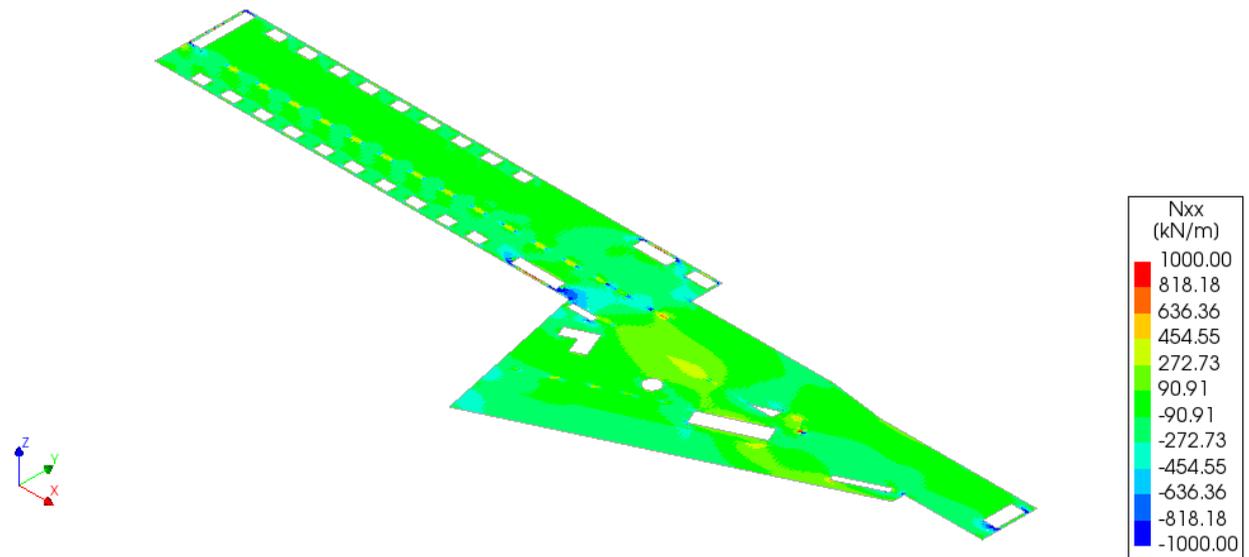
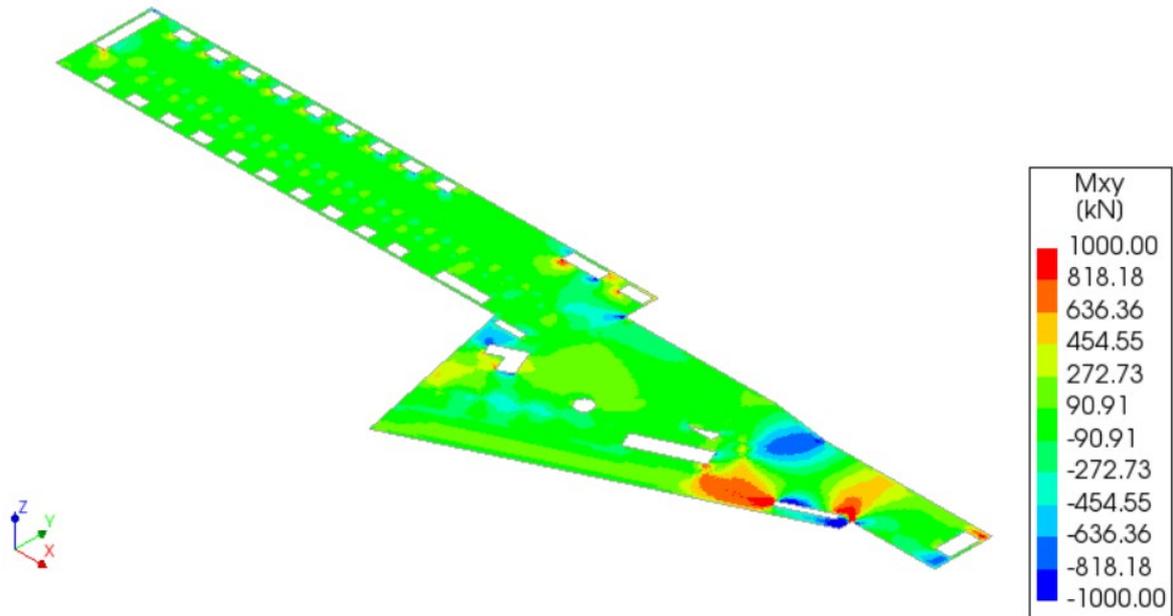


CITTA' DI TORINO

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

Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive  
in sotterraneo – Relazione di calcolo

MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



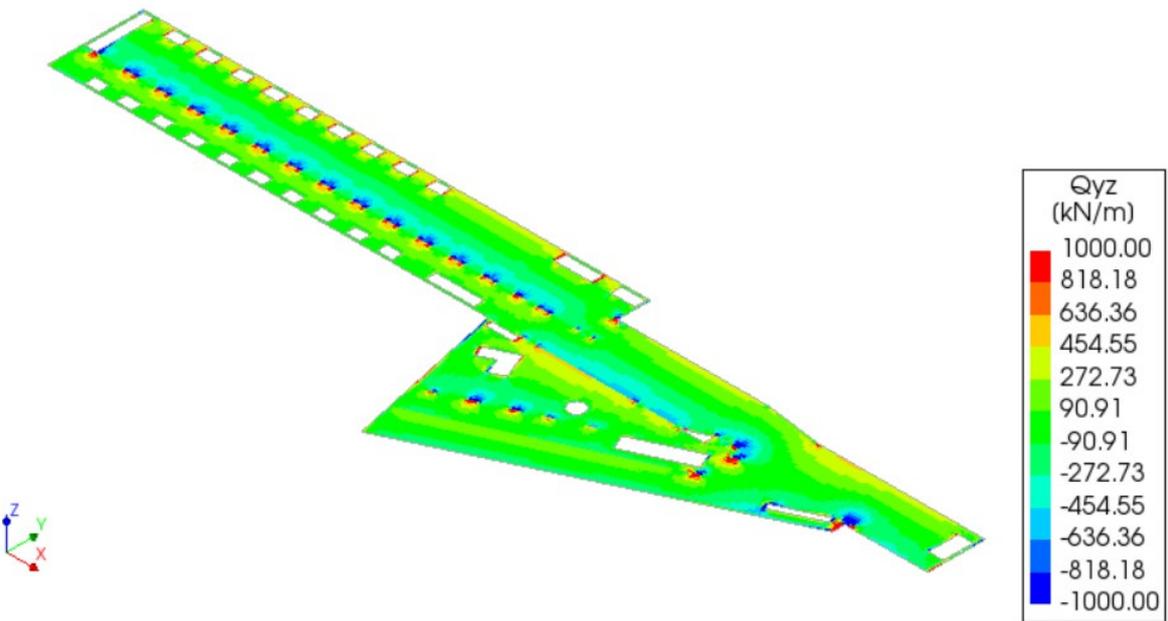
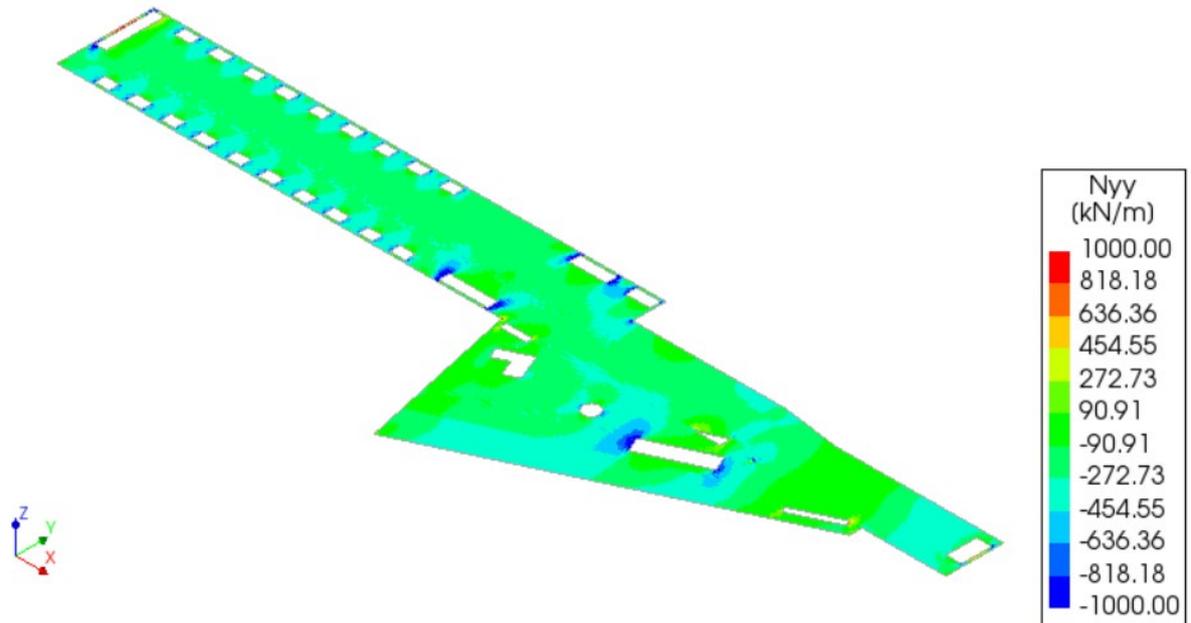


CITTA' DI TORINO

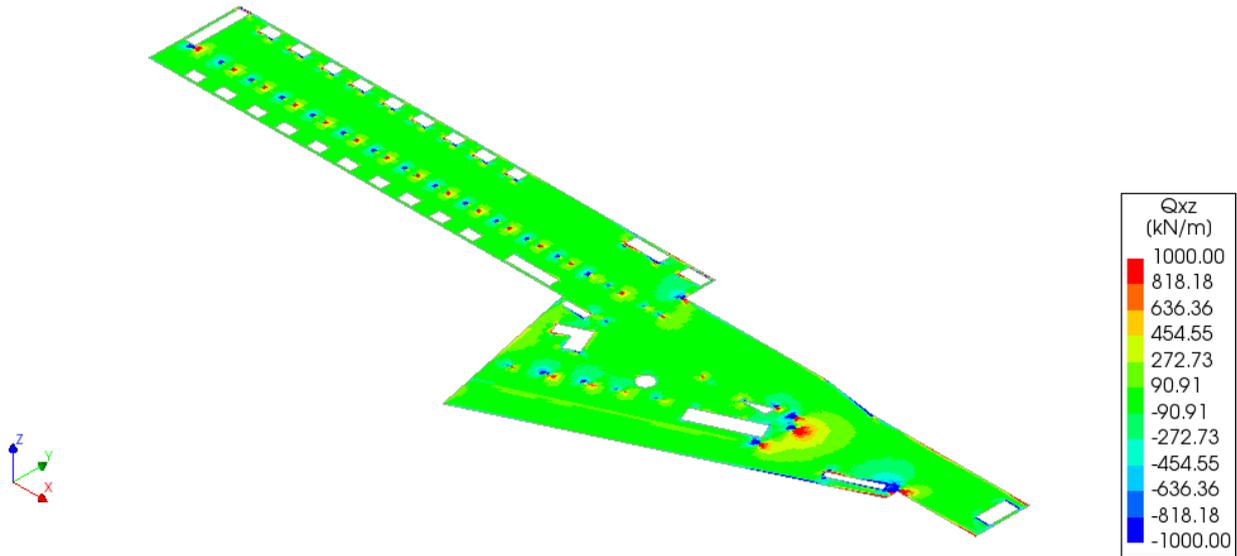
Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta:  
Politecnico – Rebaudengo – Lotto  
Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna

Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive  
in sotterraneo – Relazione di calcolo

MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



**Figura 34. Soletta intermedia FASE 9 – Sollecitazioni SLU**

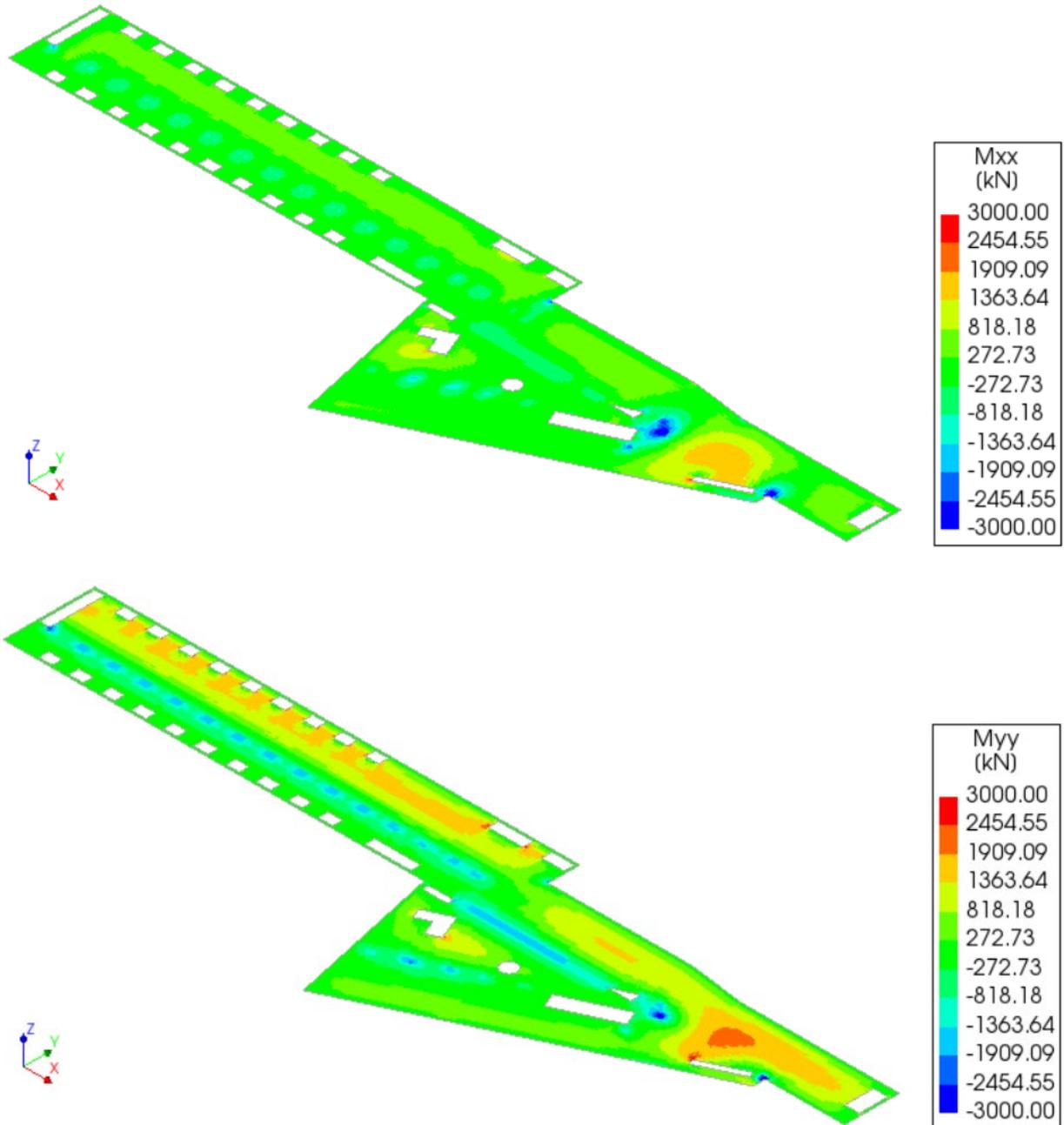


CITTA' DI TORINO

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

Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive  
in sotterraneo – Relazione di calcolo

MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



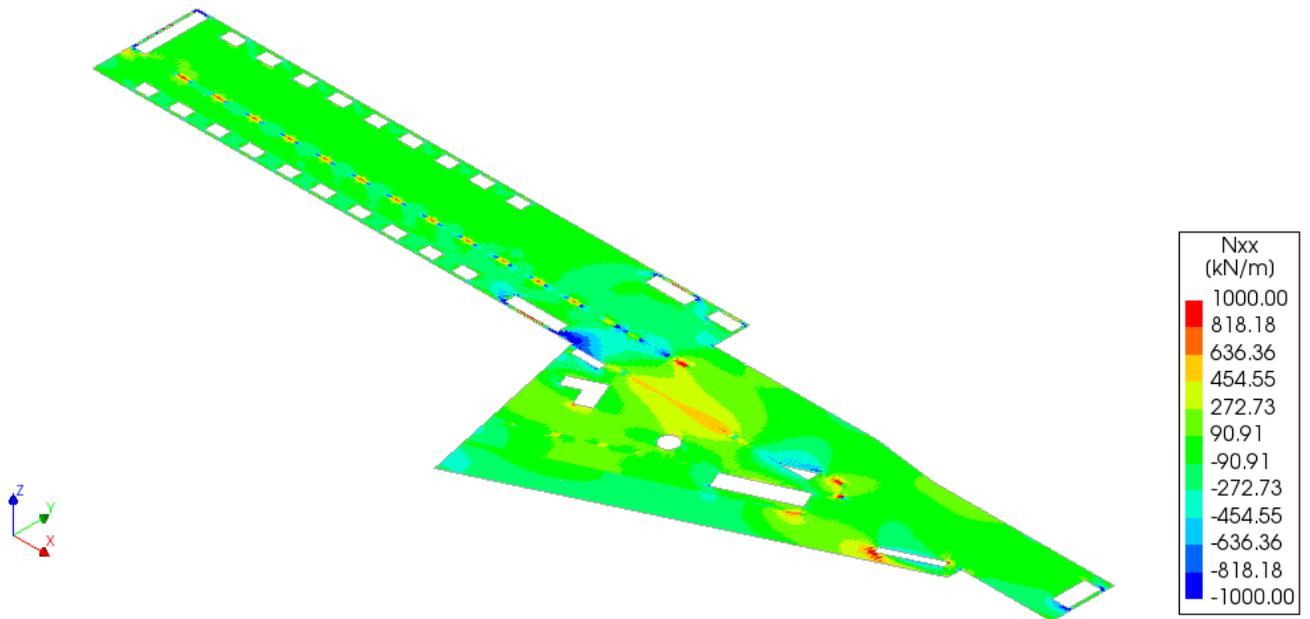
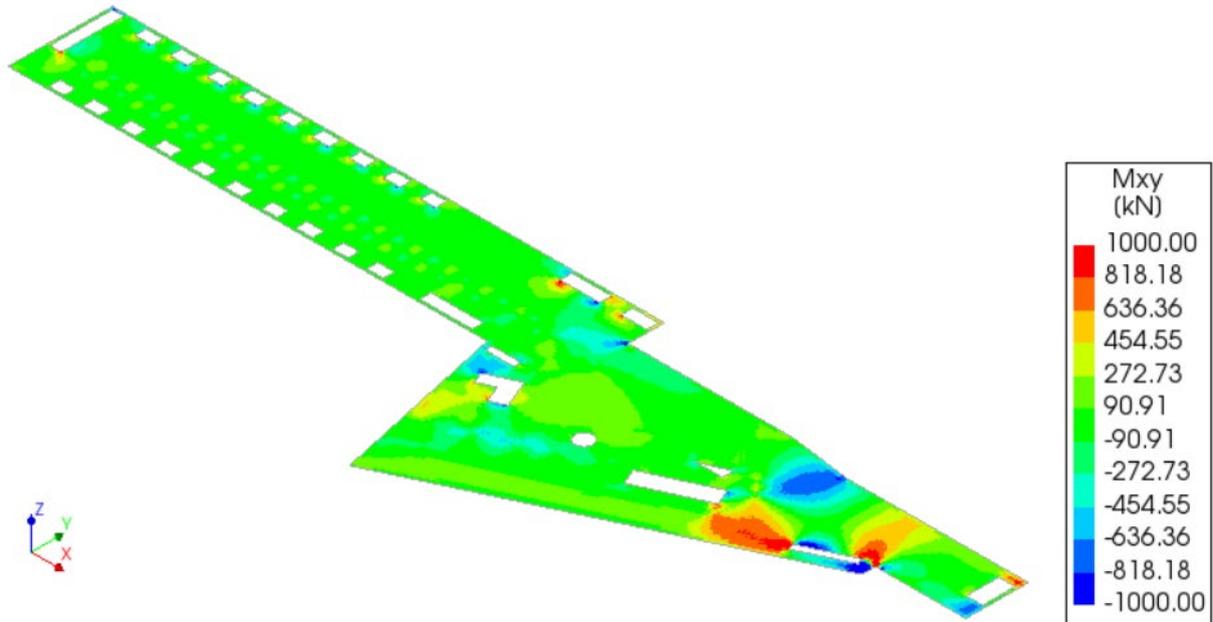


CITTA' DI TORINO

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

Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive  
in sotterraneo – Relazione di calcolo

MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



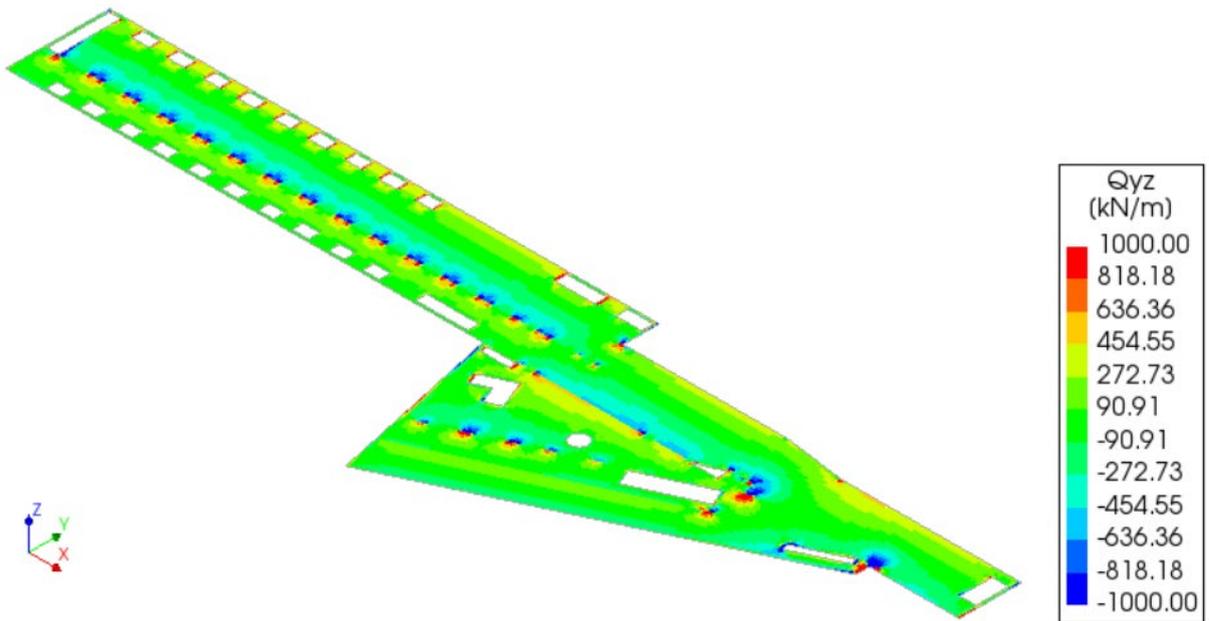
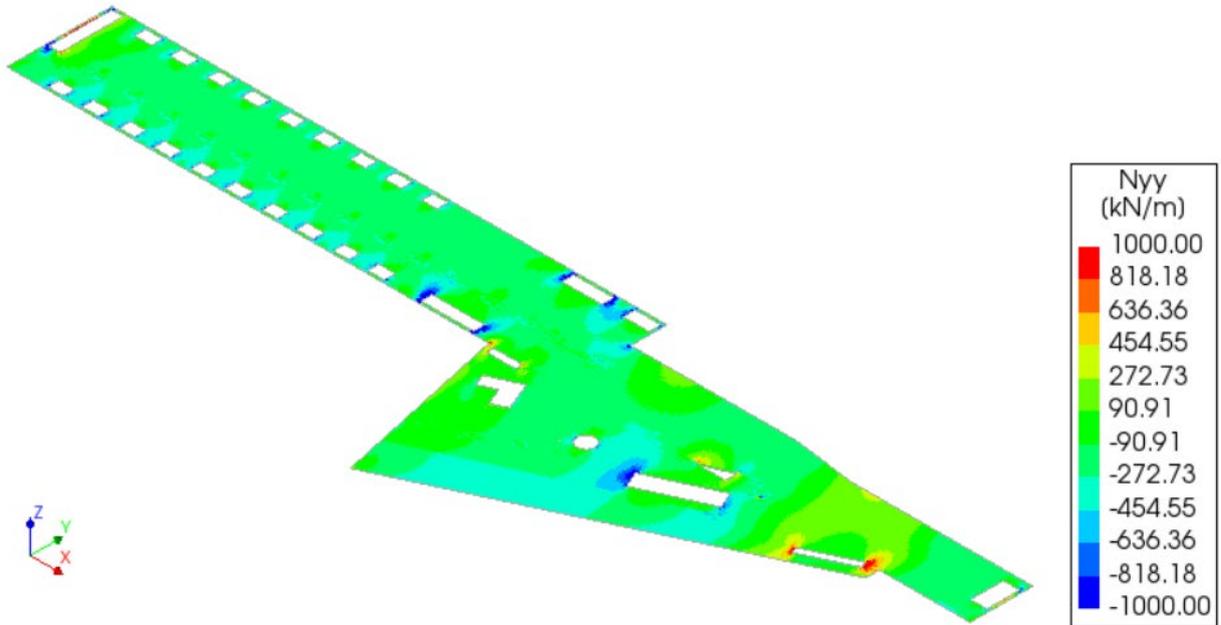


CITTA' DI TORINO

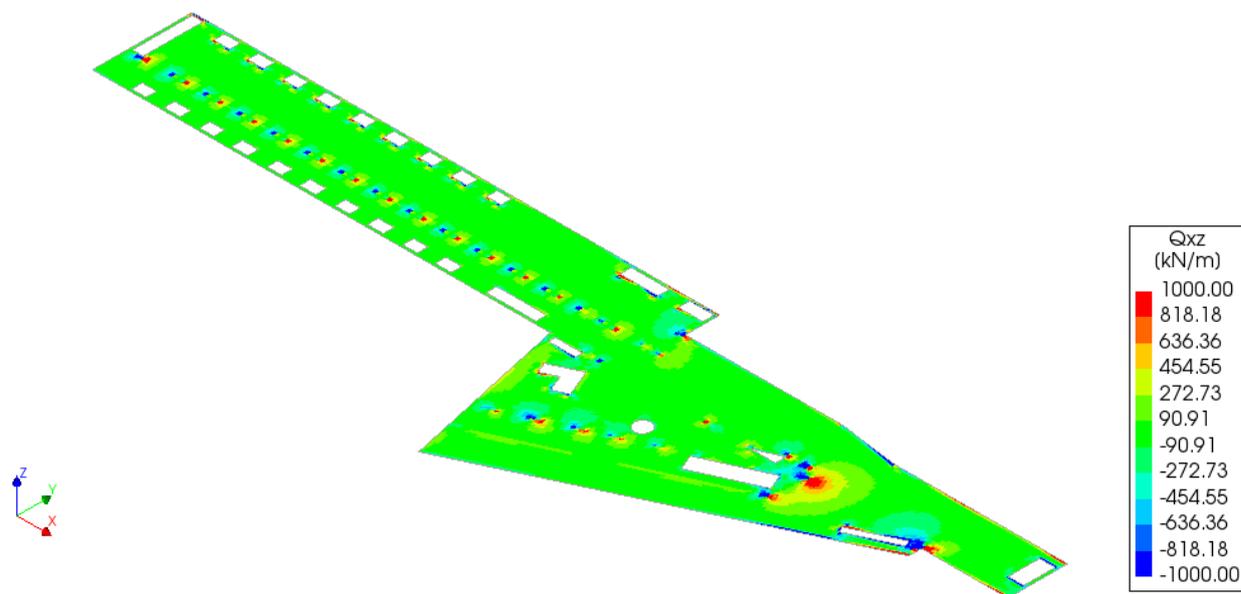
Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta:  
Politecnico – Rebaudengo – Lotto  
Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna

Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive  
in sotterraneo – Relazione di calcolo

MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



**Figura 35. Soletta intermedia FASE 10 – Sollecitazioni SLU**

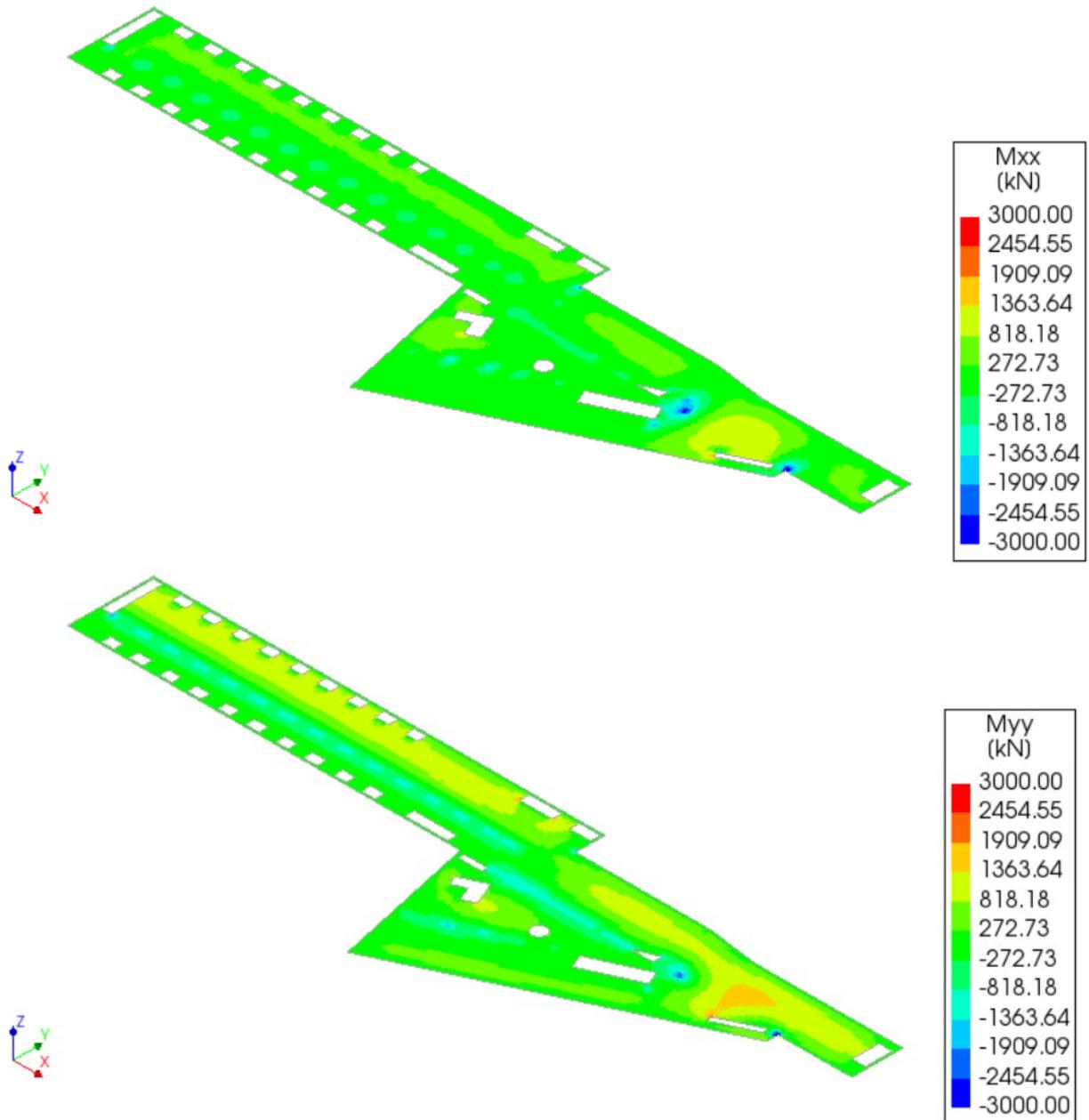


CITTA' DI TORINO

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

Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive  
in sotterraneo – Relazione di calcolo

MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



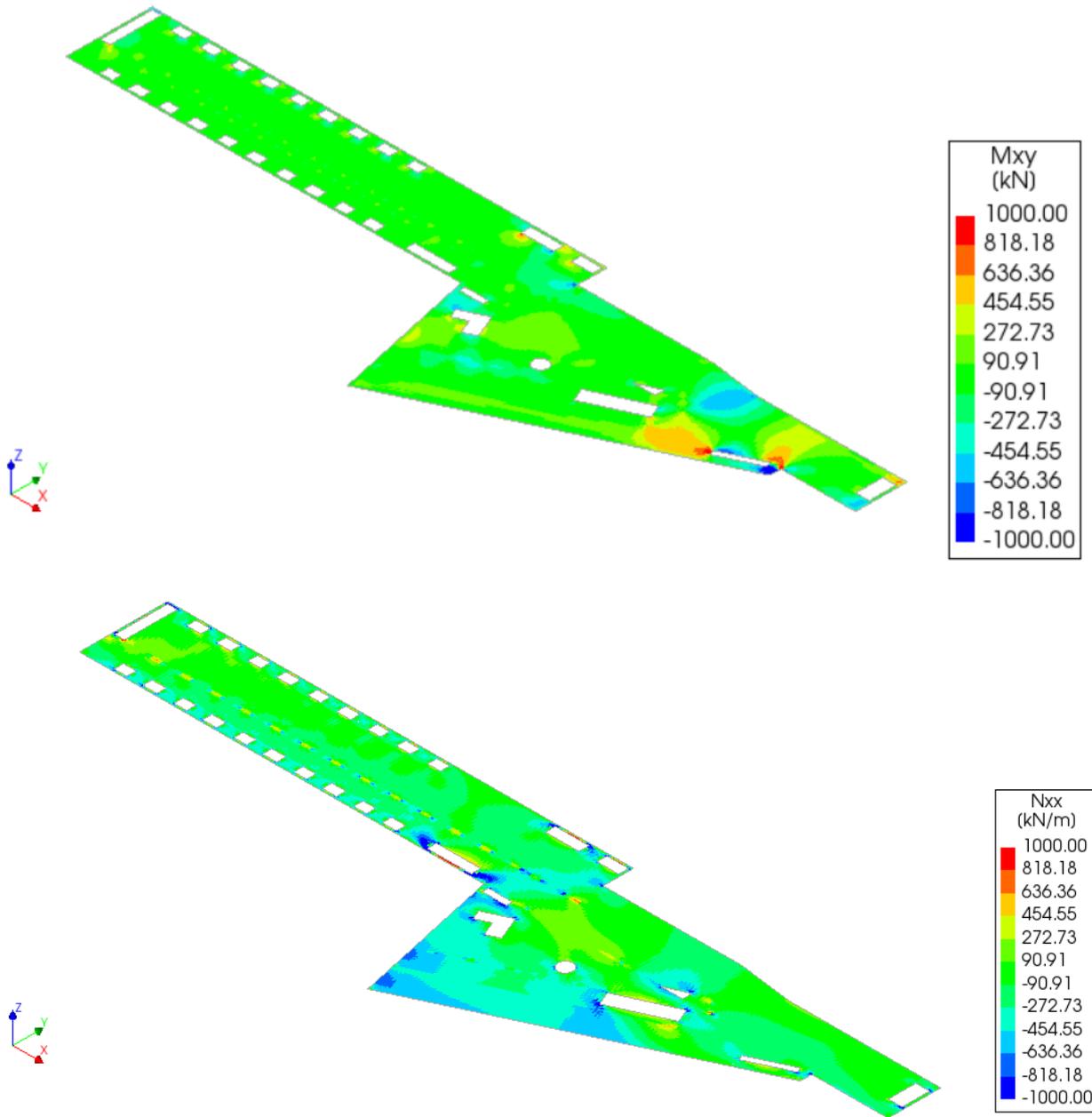


CITTA' DI TORINO

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

Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive  
in sotterraneo – Relazione di calcolo

MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



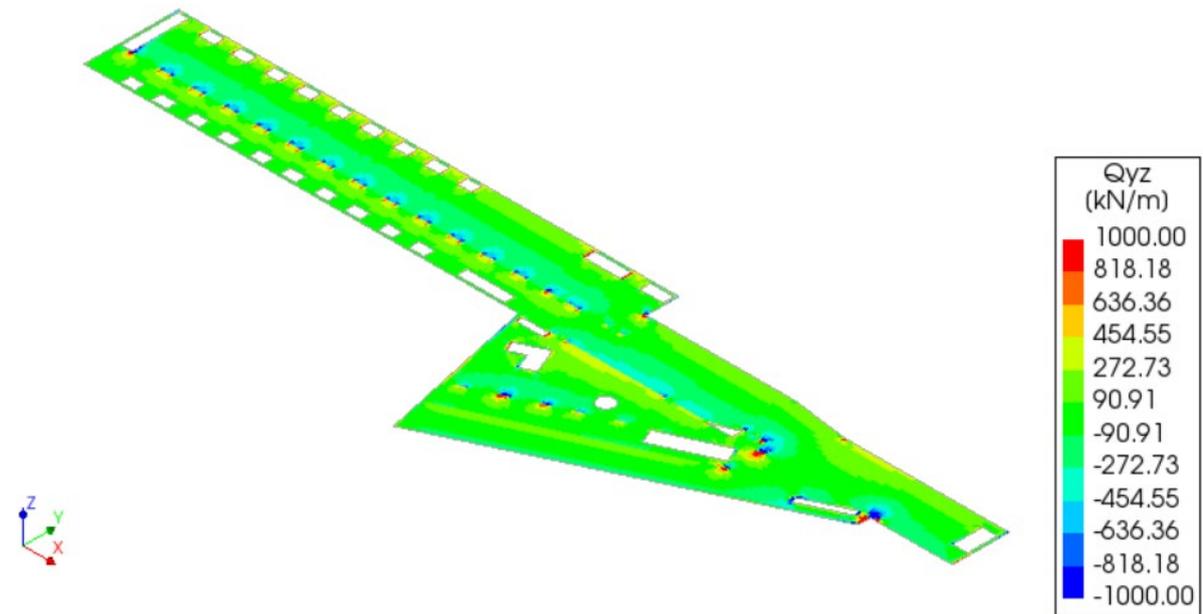
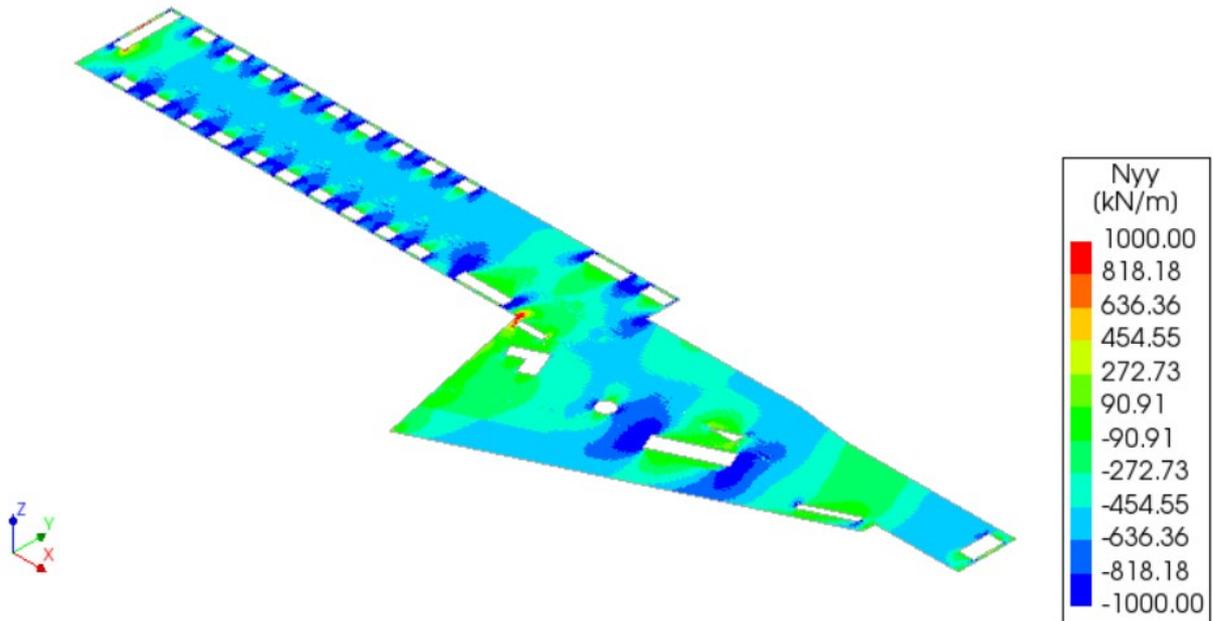


CITTA' DI TORINO

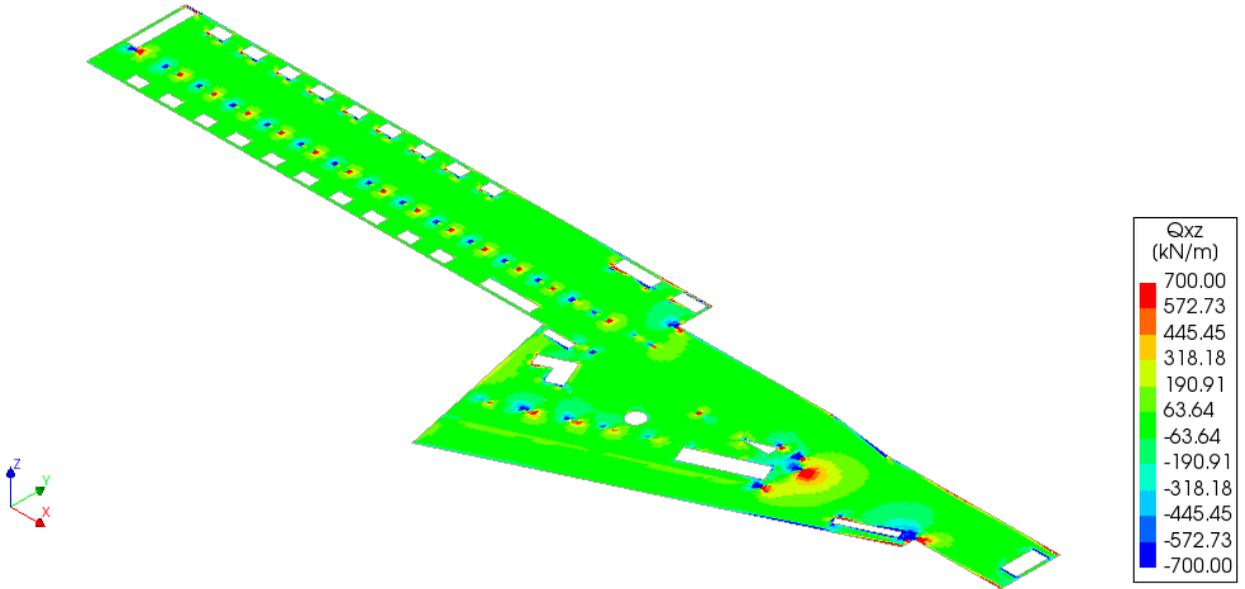
Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta:  
Politecnico – Rebaudengo – Lotto  
Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna

Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive  
in sotterraneo – Relazione di calcolo

MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



**Figura 36. Soletta intermedia FASE 10 – Sollecitazioni SLV**

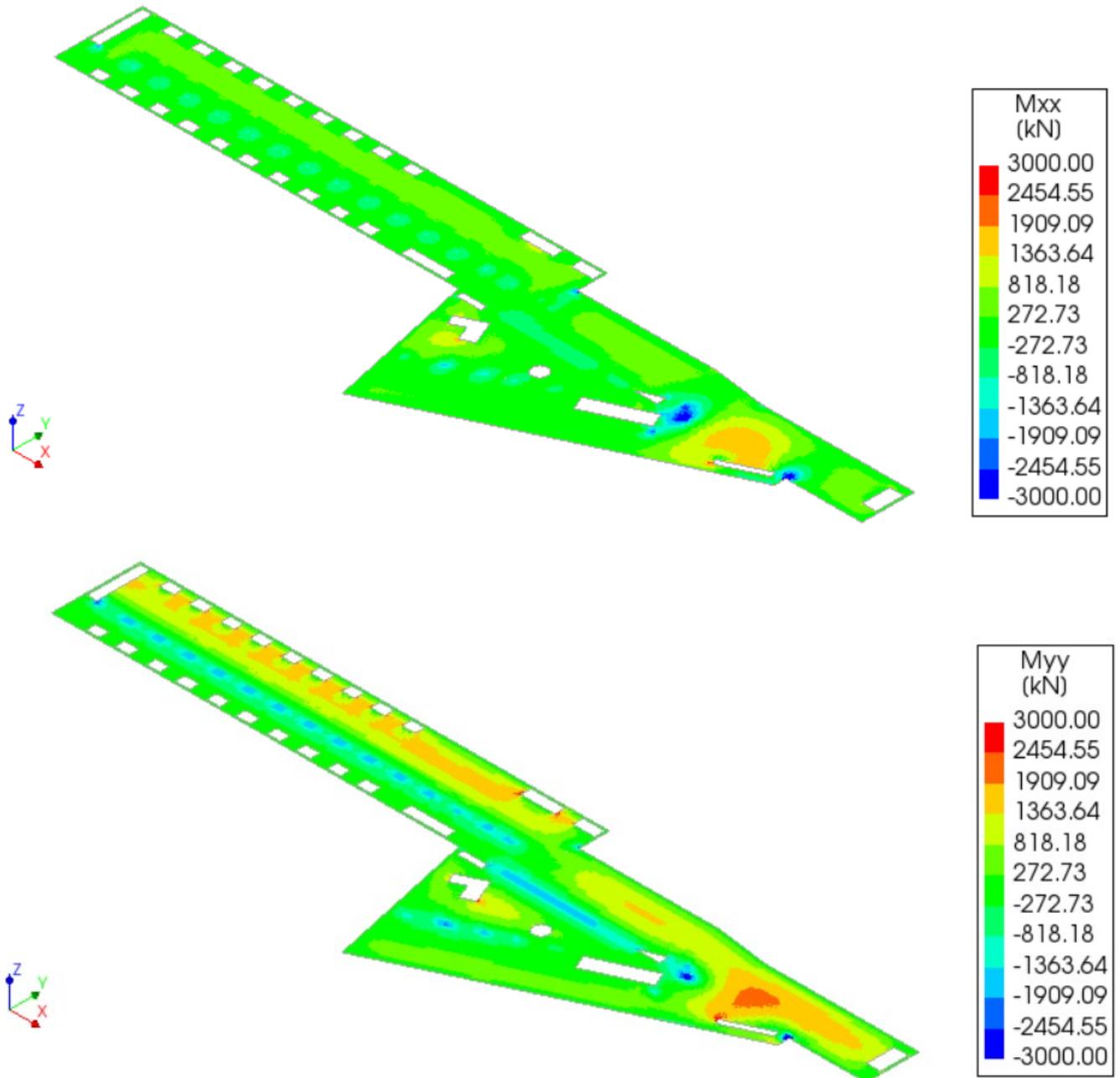


CITTA' DI TORINO

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

Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive  
in sotterraneo – Relazione di calcolo

MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



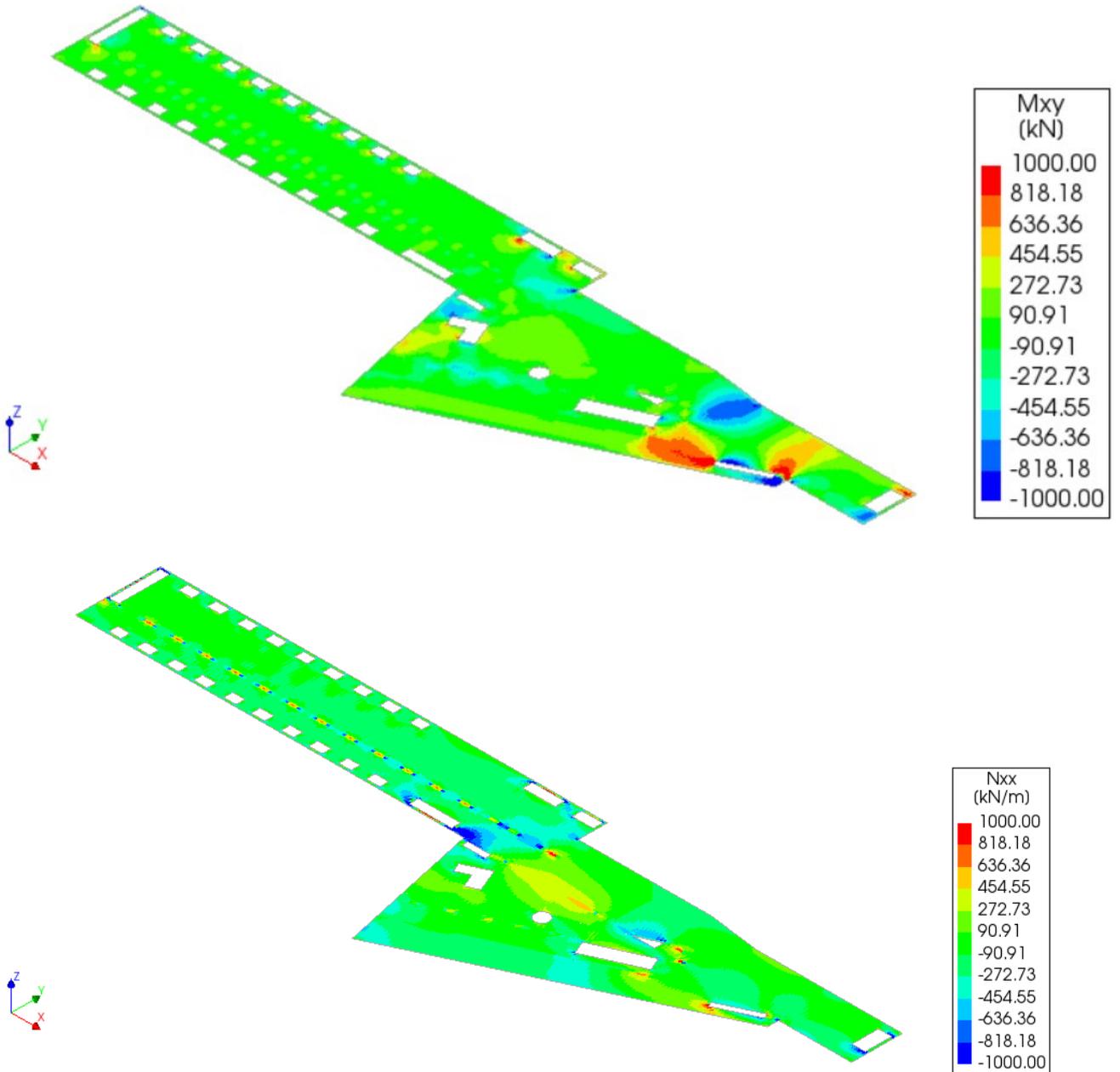


CITTA' DI TORINO

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

Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive  
in sotterraneo – Relazione di calcolo

MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



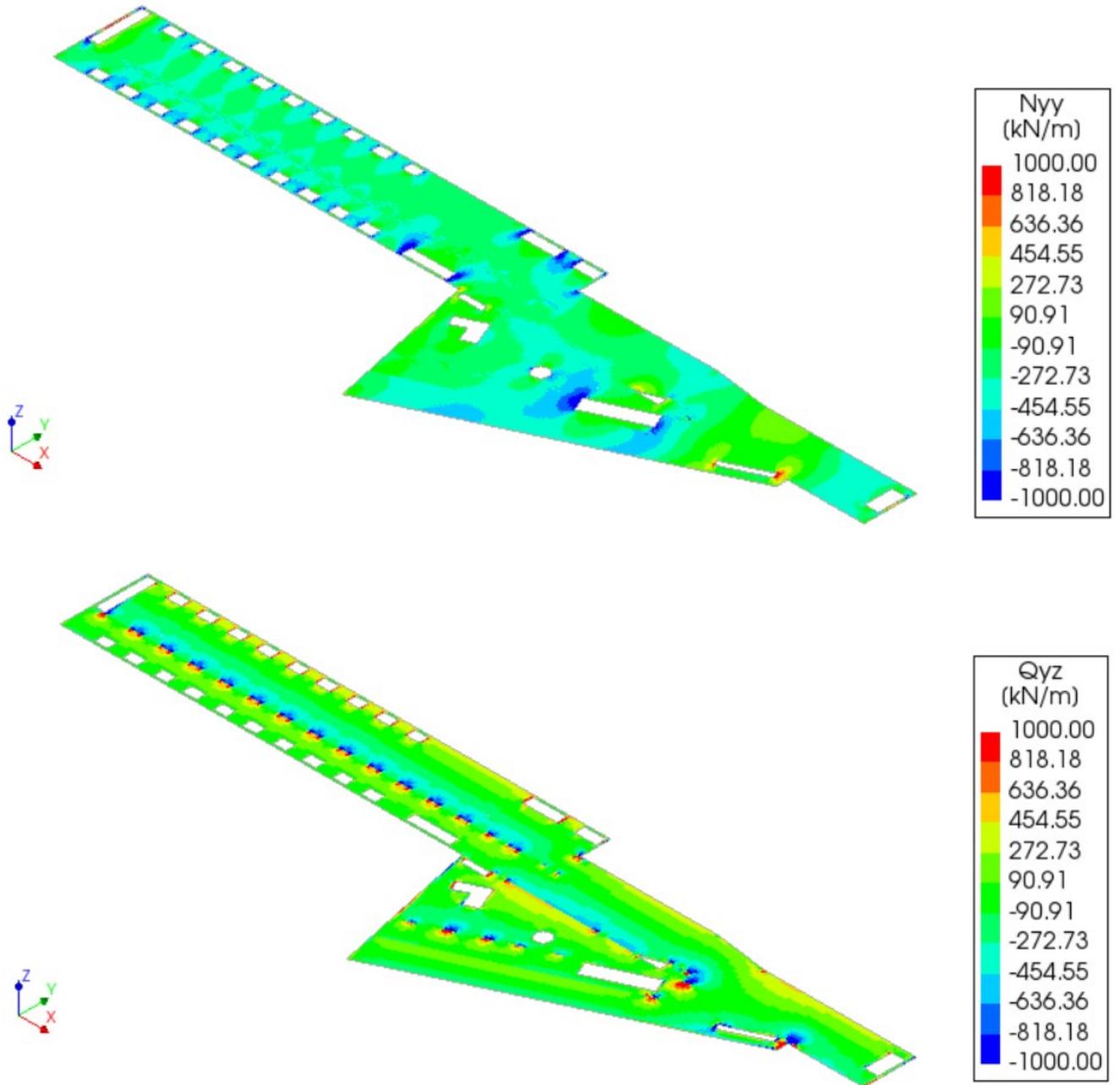


CITTA' DI TORINO

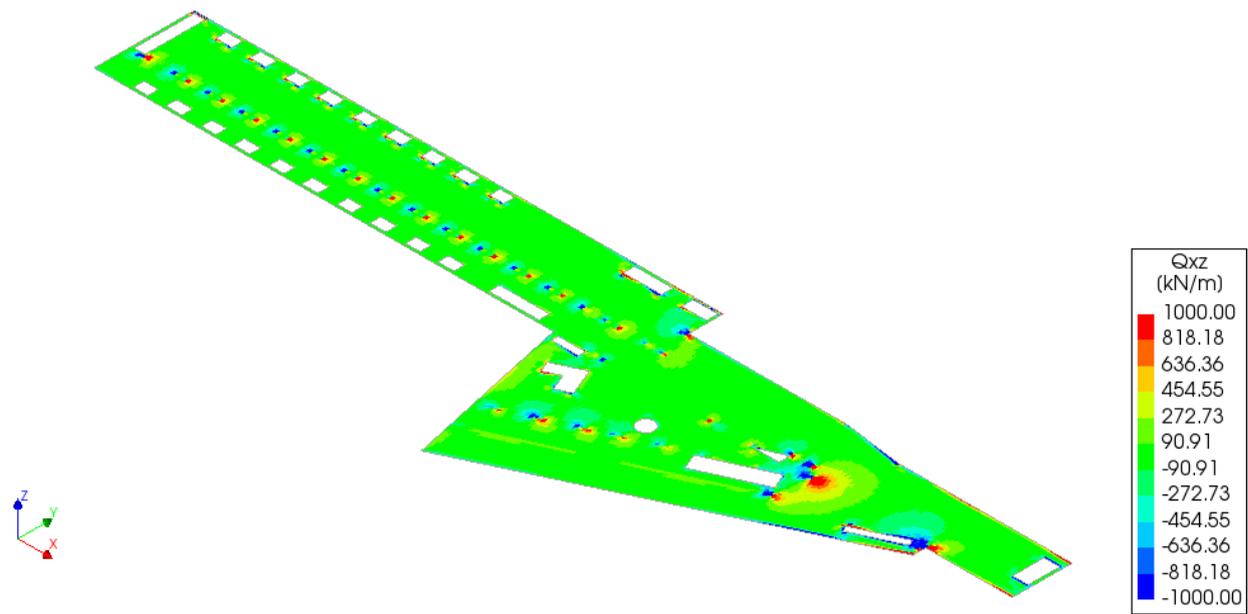
Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta:  
Politecnico – Rebaudengo – Lotto  
Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna

Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive  
in sotterraneo – Relazione di calcolo

MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



**Figura 37. Soletta intermedia FASE 11 – Sollecitazioni SLU**

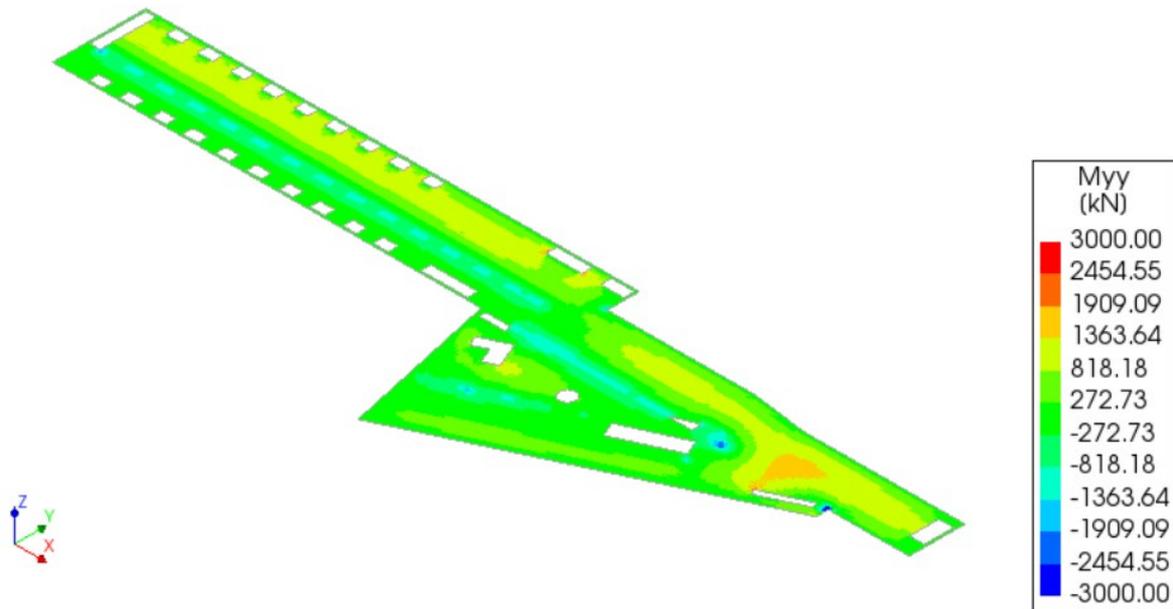
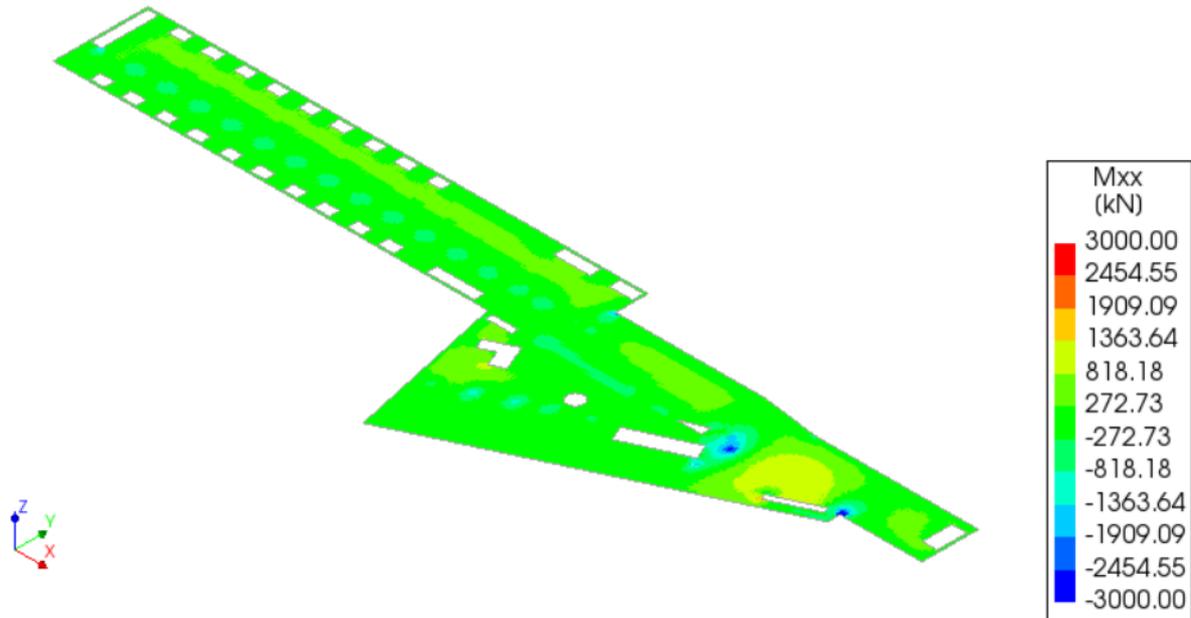


CITTA' DI TORINO

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

Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive  
in sotterraneo – Relazione di calcolo

MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



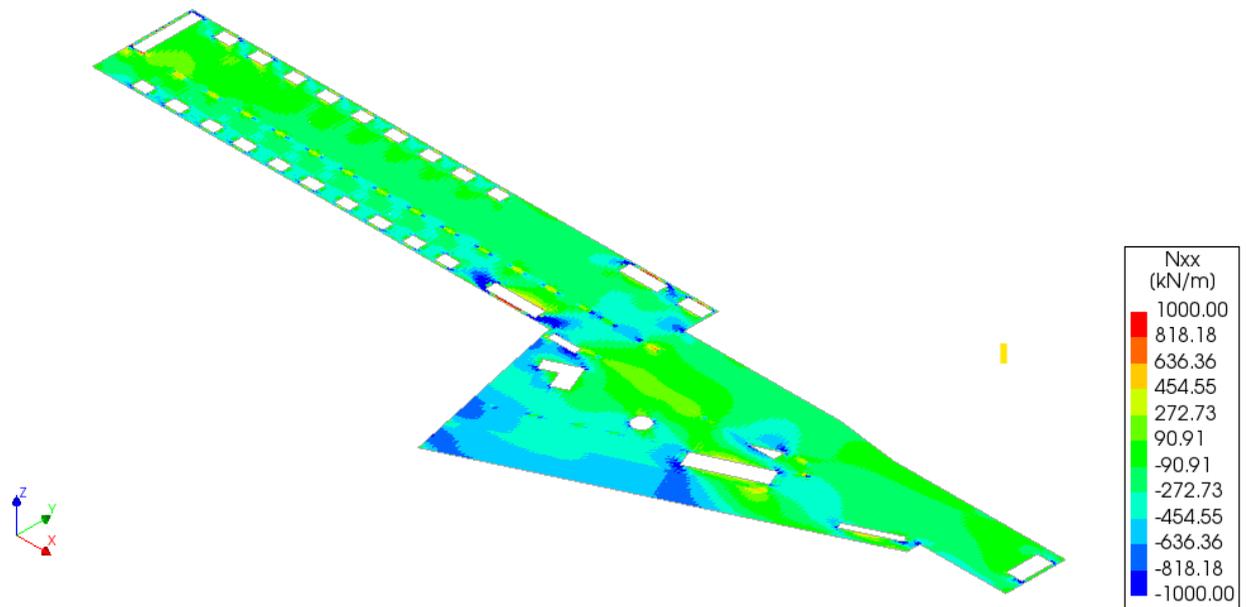
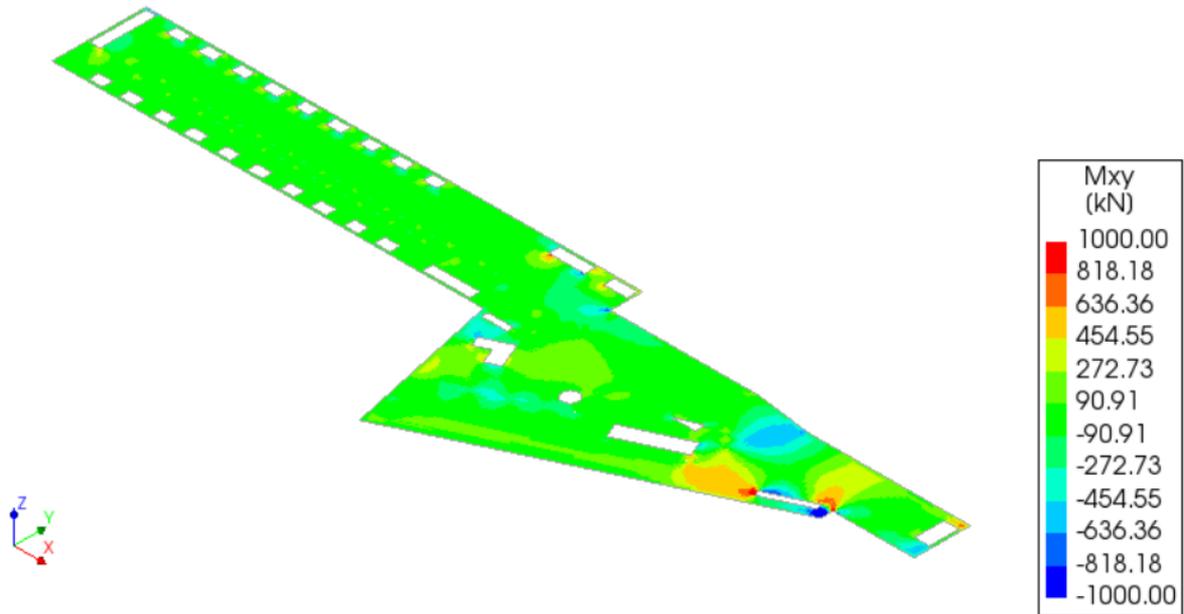


CITTA' DI TORINO

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

Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive  
in sotterraneo – Relazione di calcolo

MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



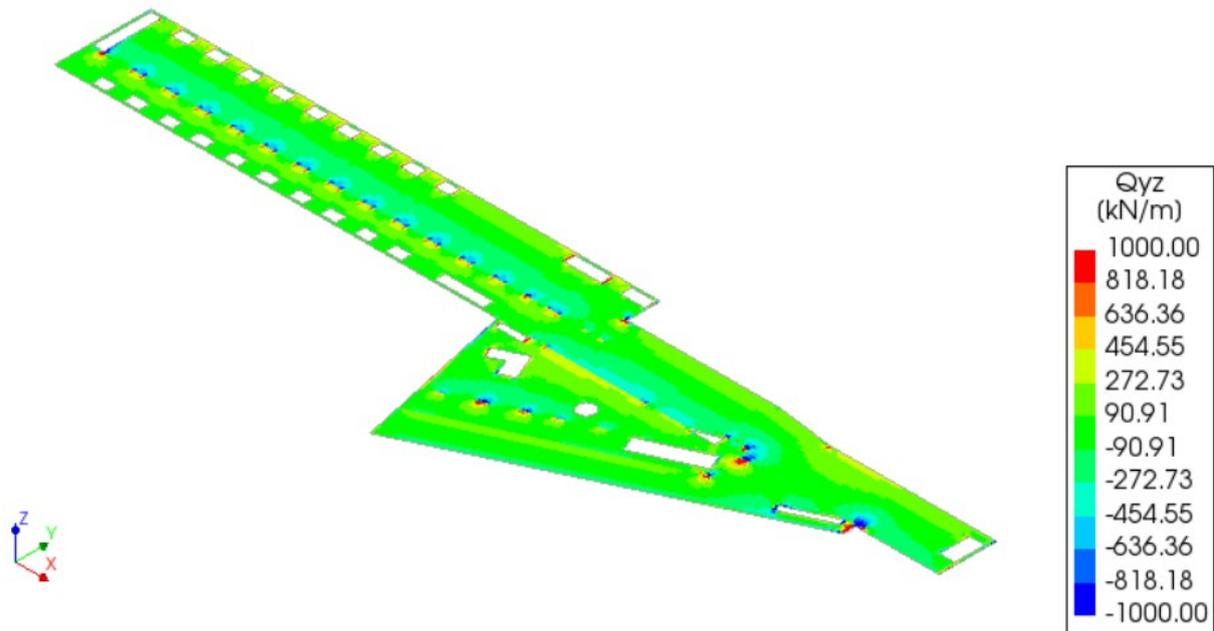
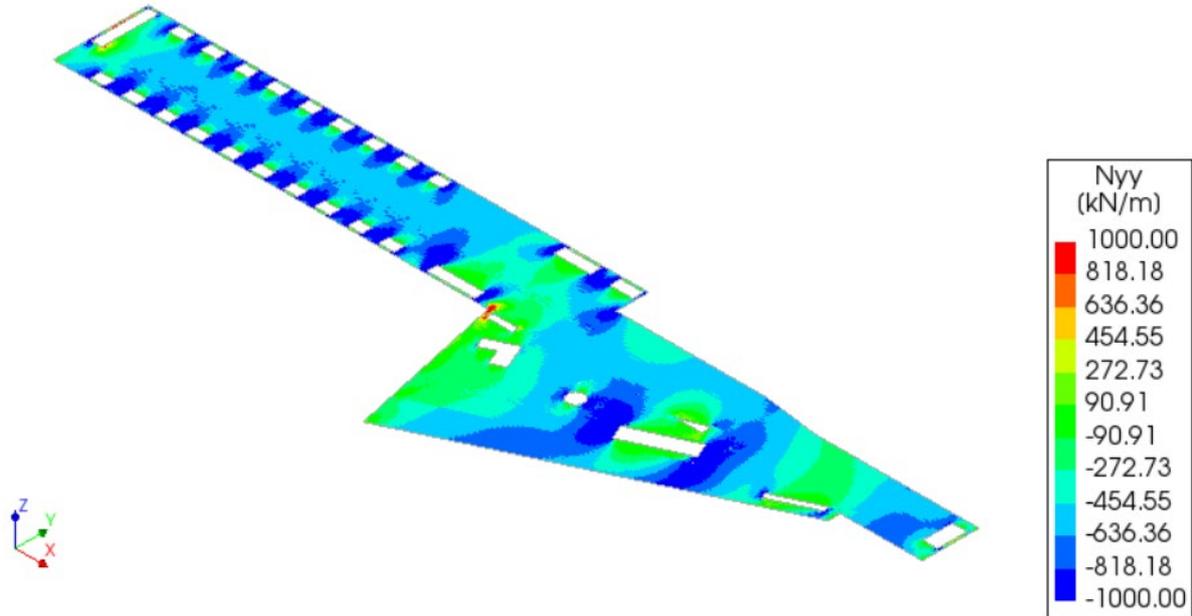


CITTA' DI TORINO

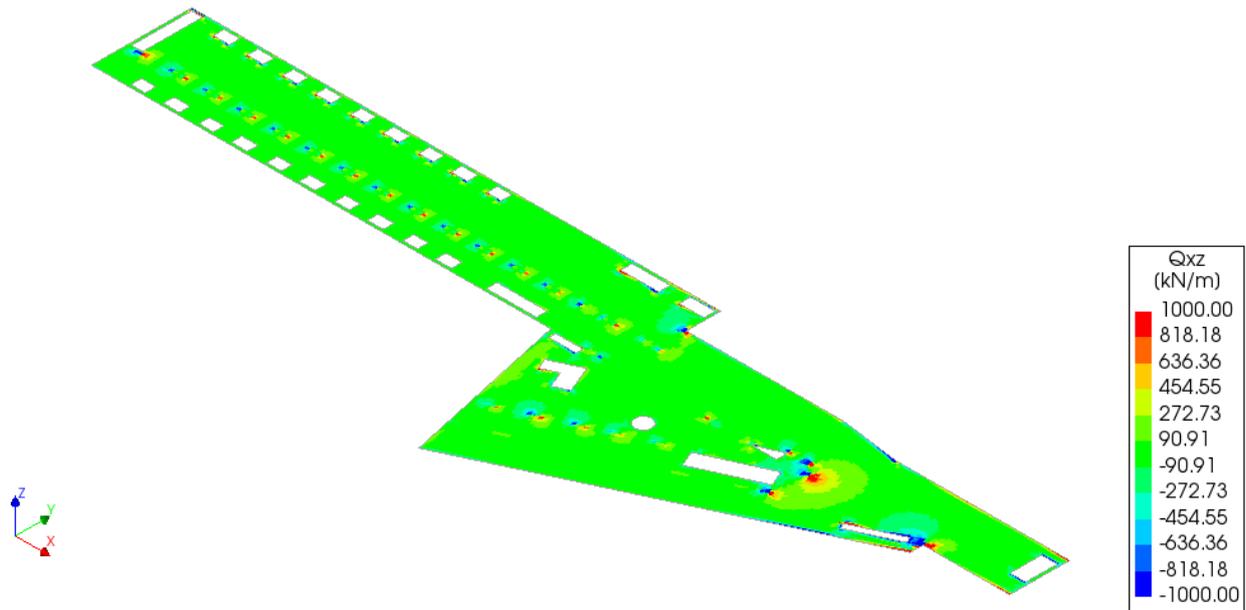
Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta:  
Politecnico – Rebaudengo – Lotto  
Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna

Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive  
in sotterraneo – Relazione di calcolo

MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



**Figura 38. Soletta intermedia FASE 11 – Sollecitazioni SLV**

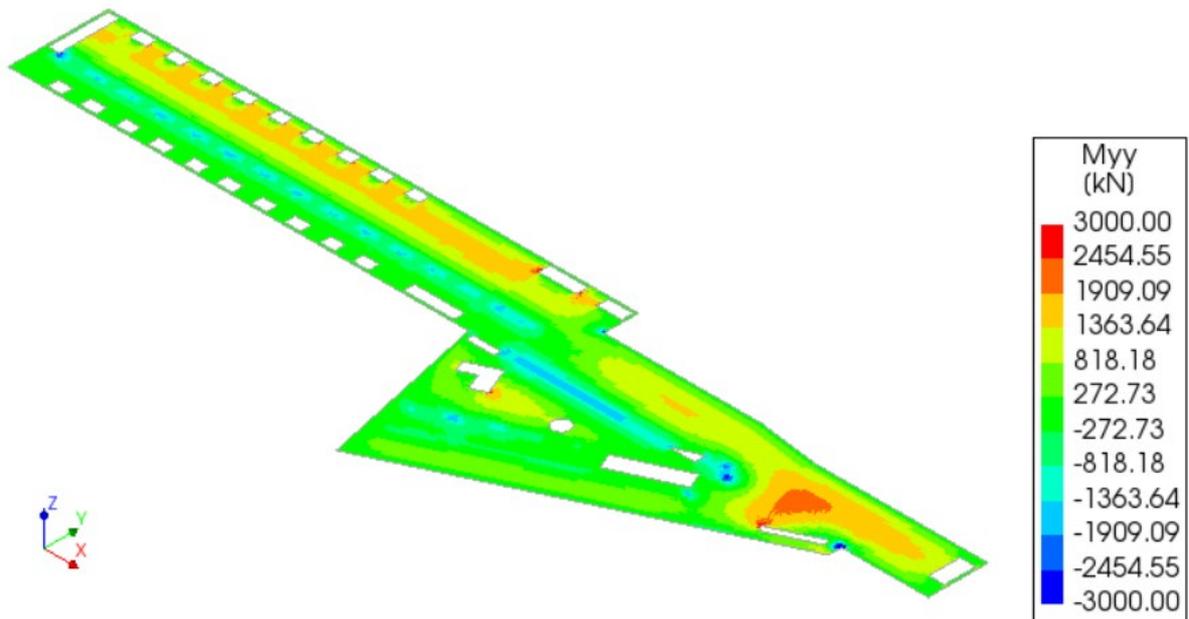
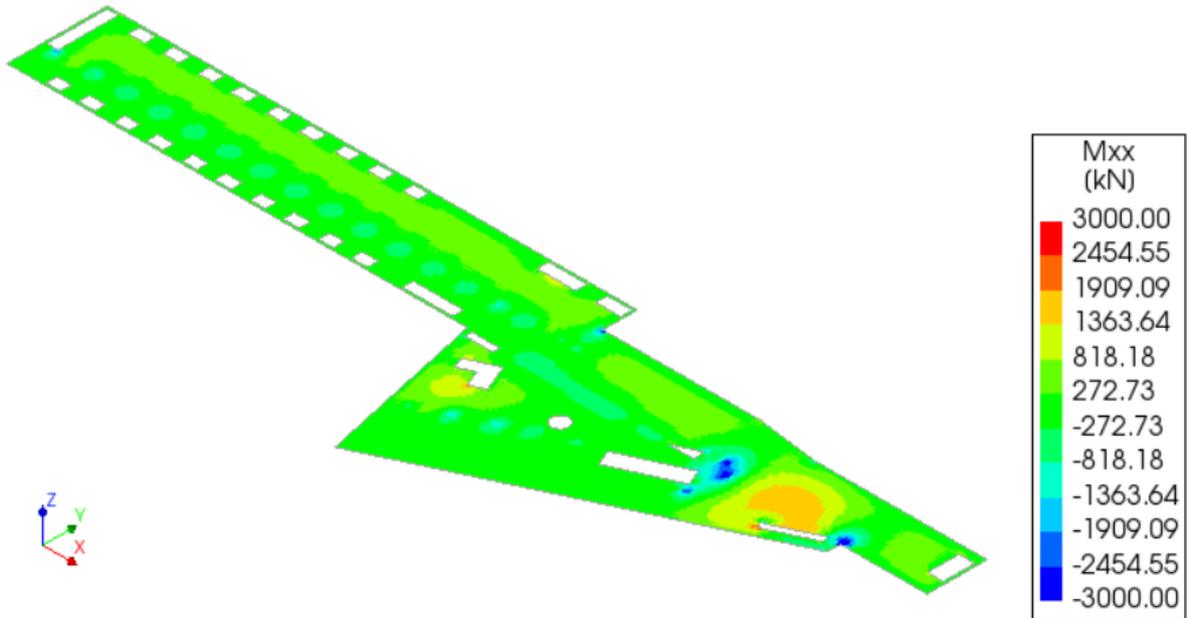


CITTA' DI TORINO

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

Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive  
in sotterraneo – Relazione di calcolo

MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



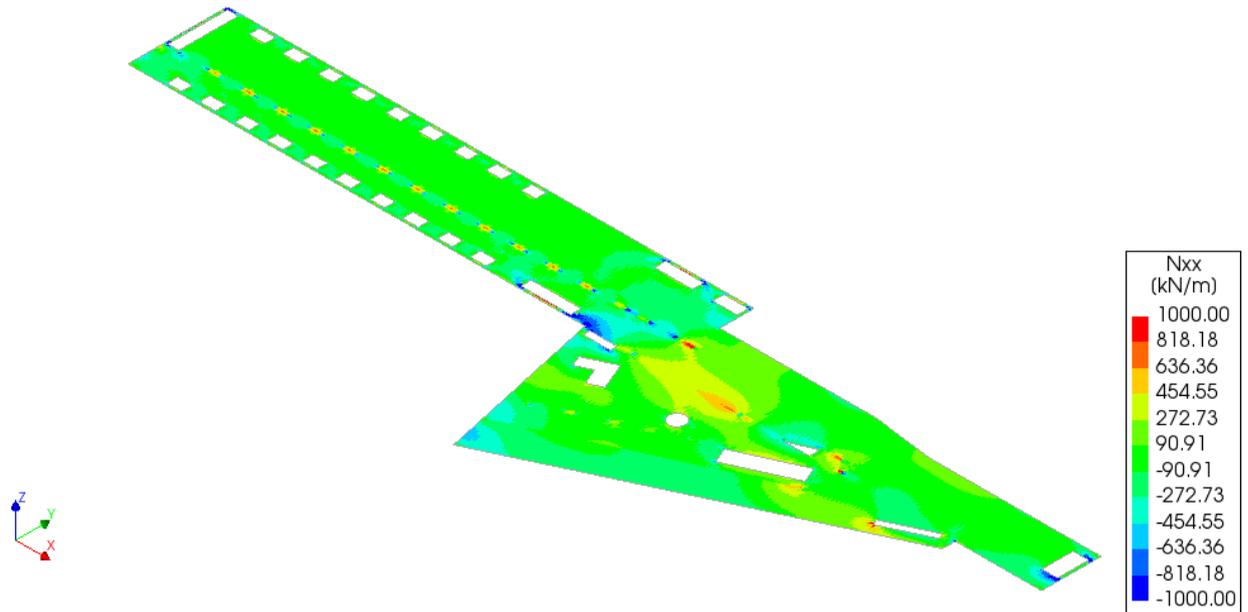
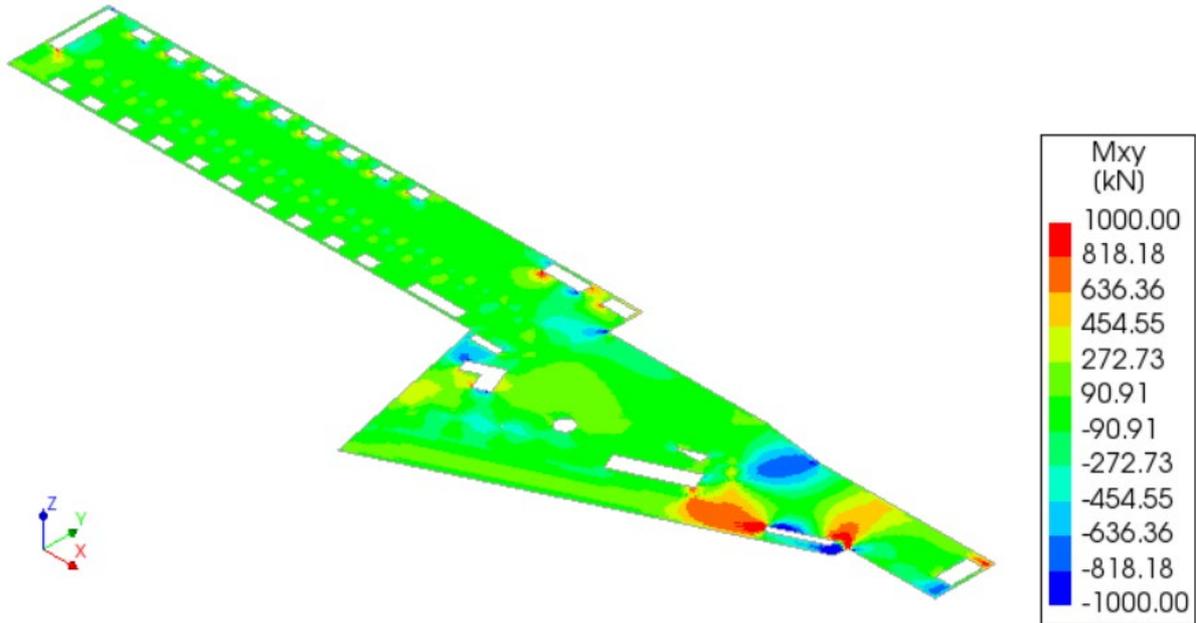


CITTA' DI TORINO

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

Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive  
in sotterraneo – Relazione di calcolo

MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



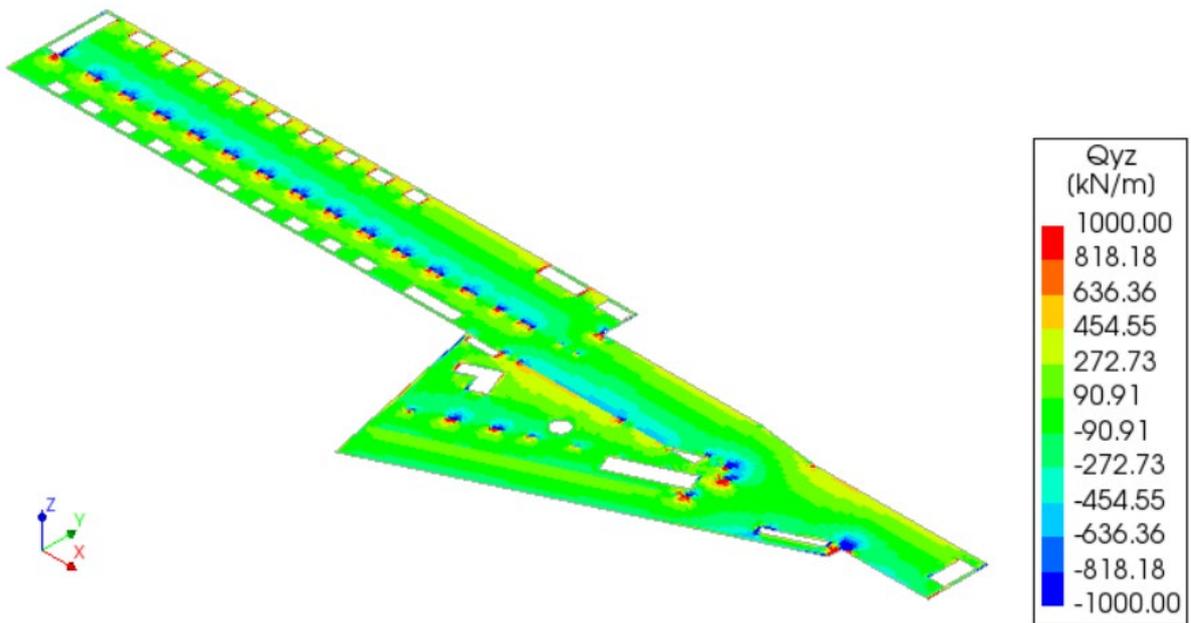
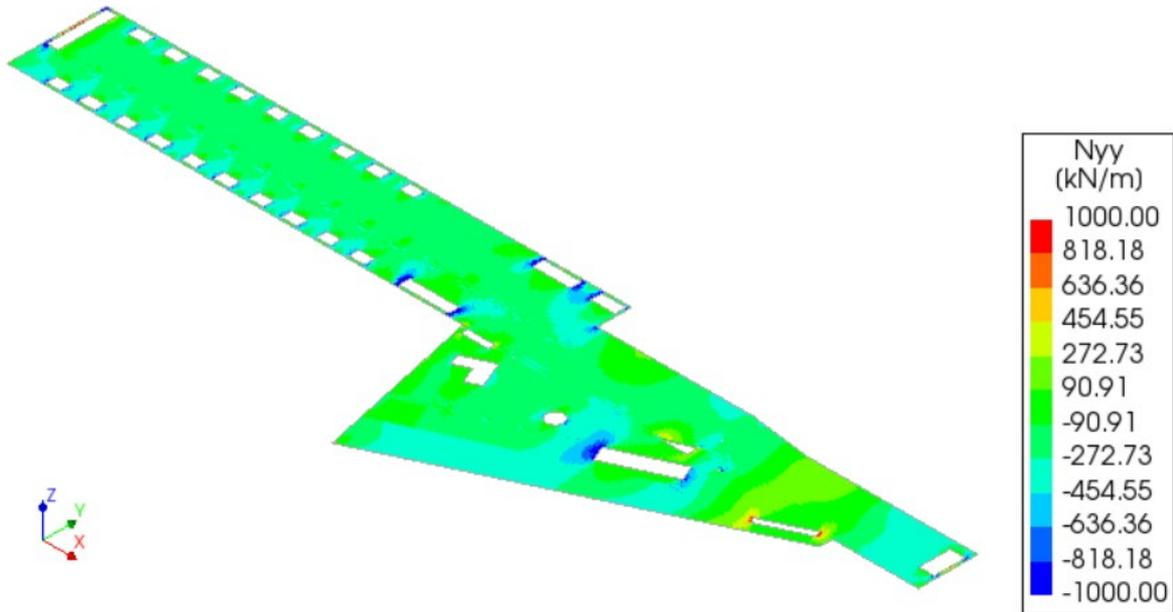


CITTA' DI TORINO

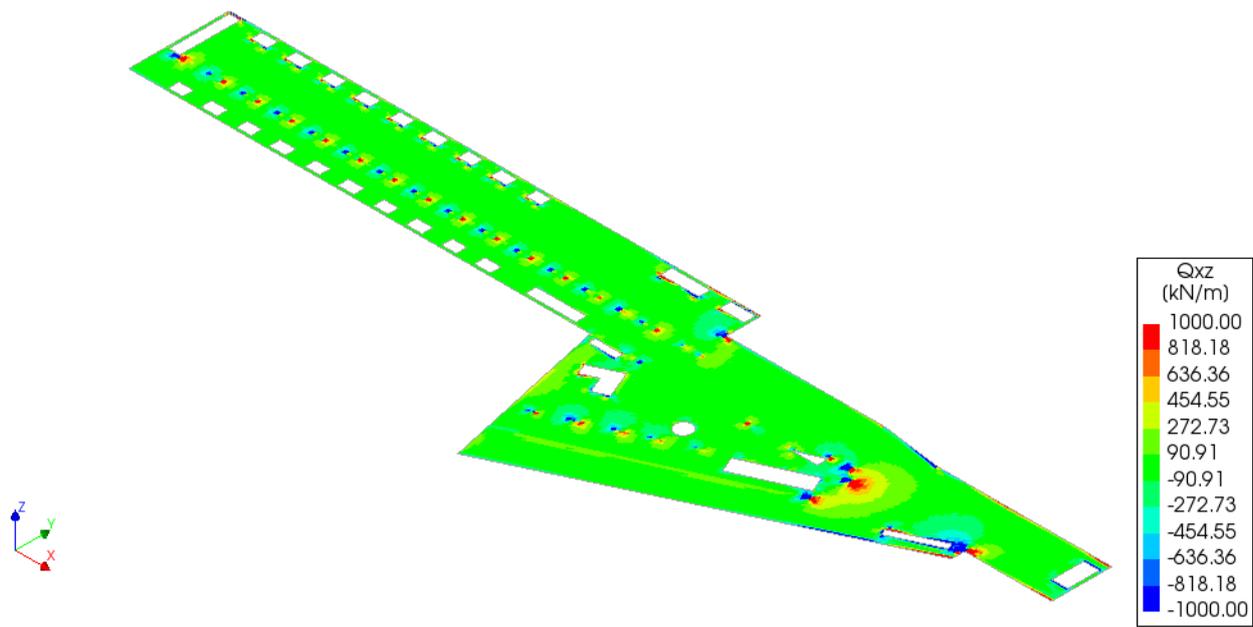
Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta:  
Politecnico – Rebaudengo – Lotto  
Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna

Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive  
in sotterraneo – Relazione di calcolo

MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



**Figura 39. Soletta intermedia FASE 12 – Sollecitazioni SLU**

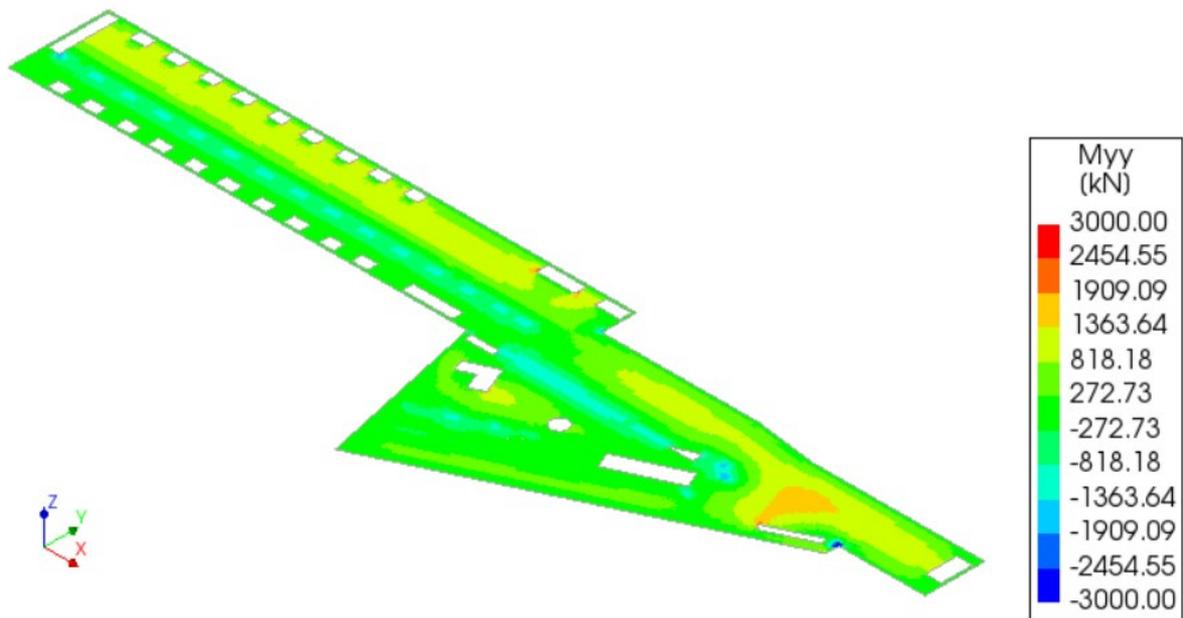
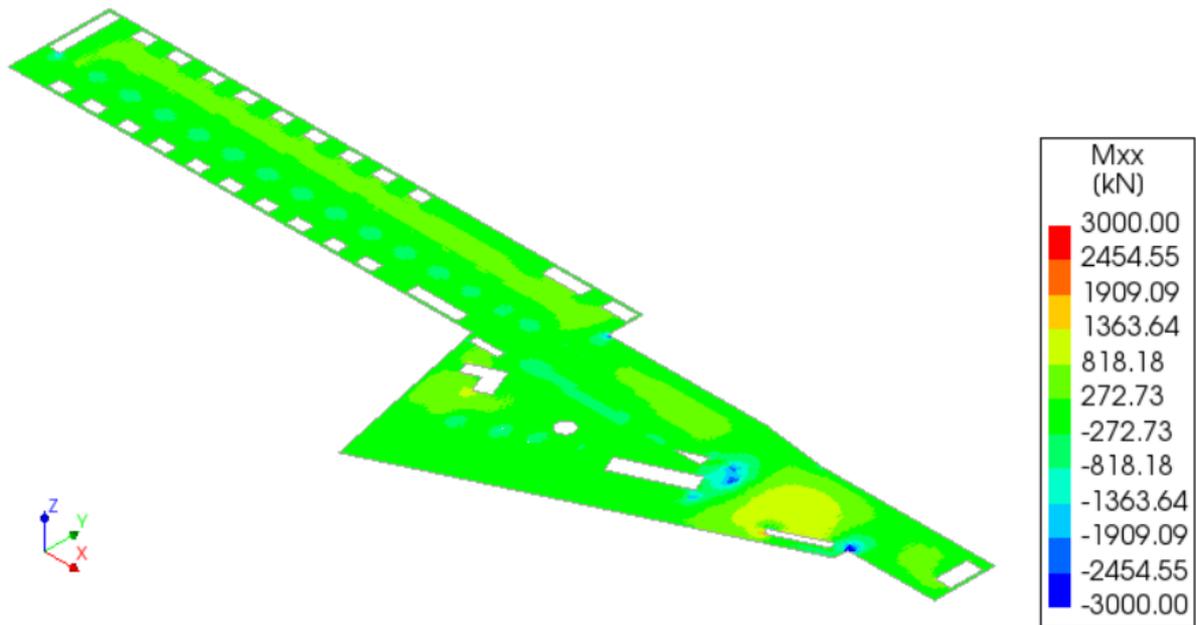


CITTA' DI TORINO

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

Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive  
in sotterraneo – Relazione di calcolo

MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



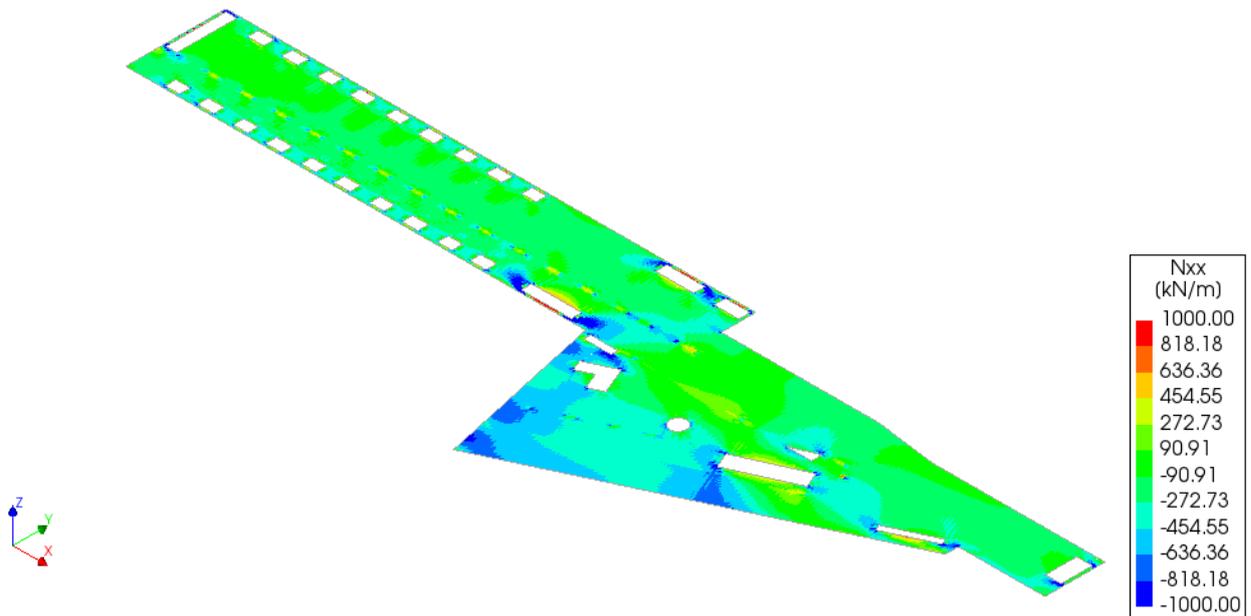
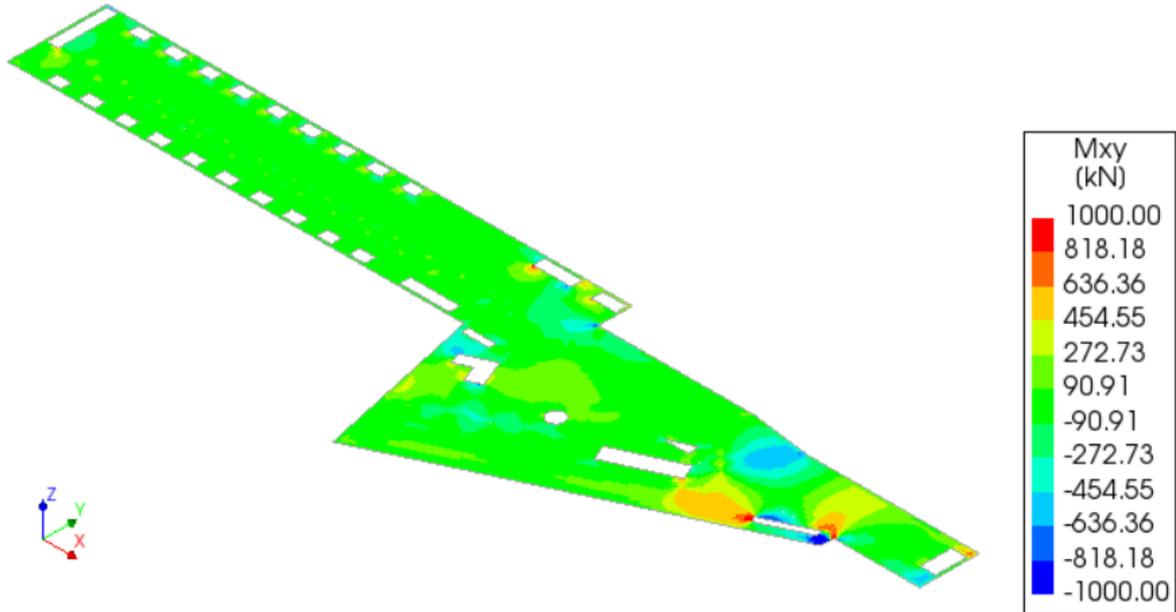


CITTA' DI TORINO

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

Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive  
in sotterraneo – Relazione di calcolo

MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



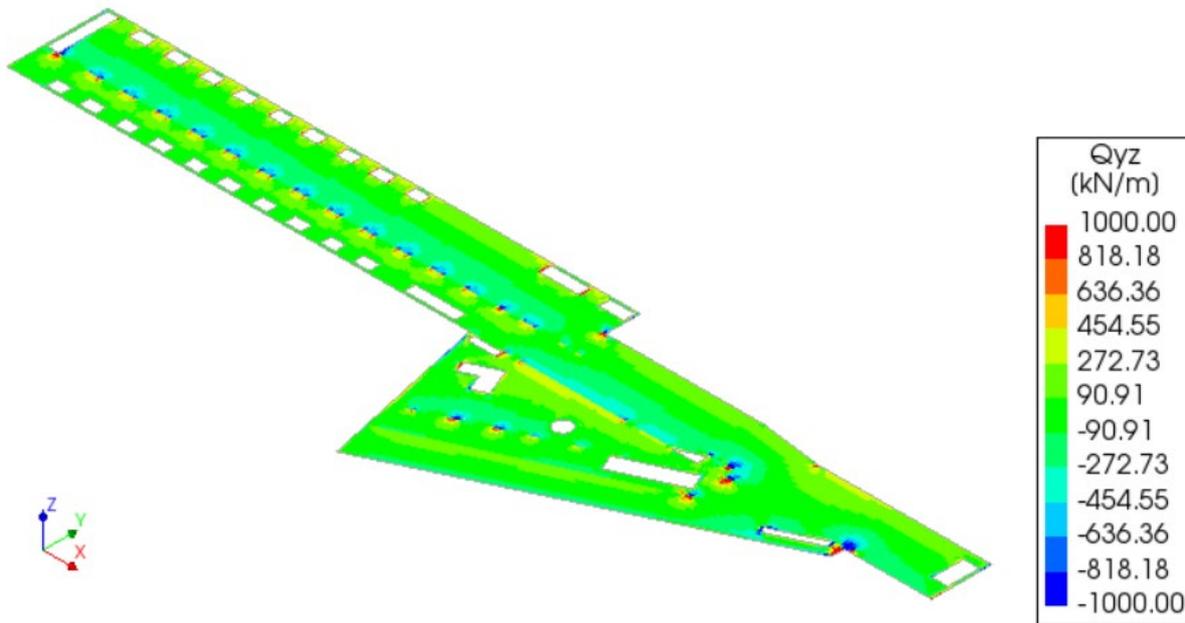
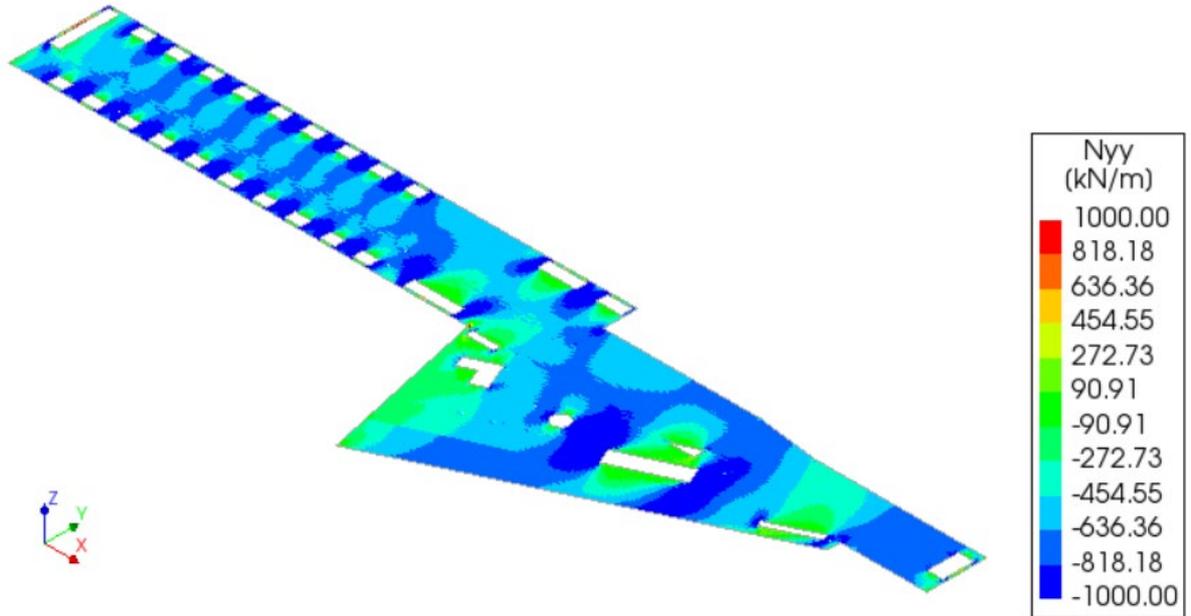


CITTA' DI TORINO

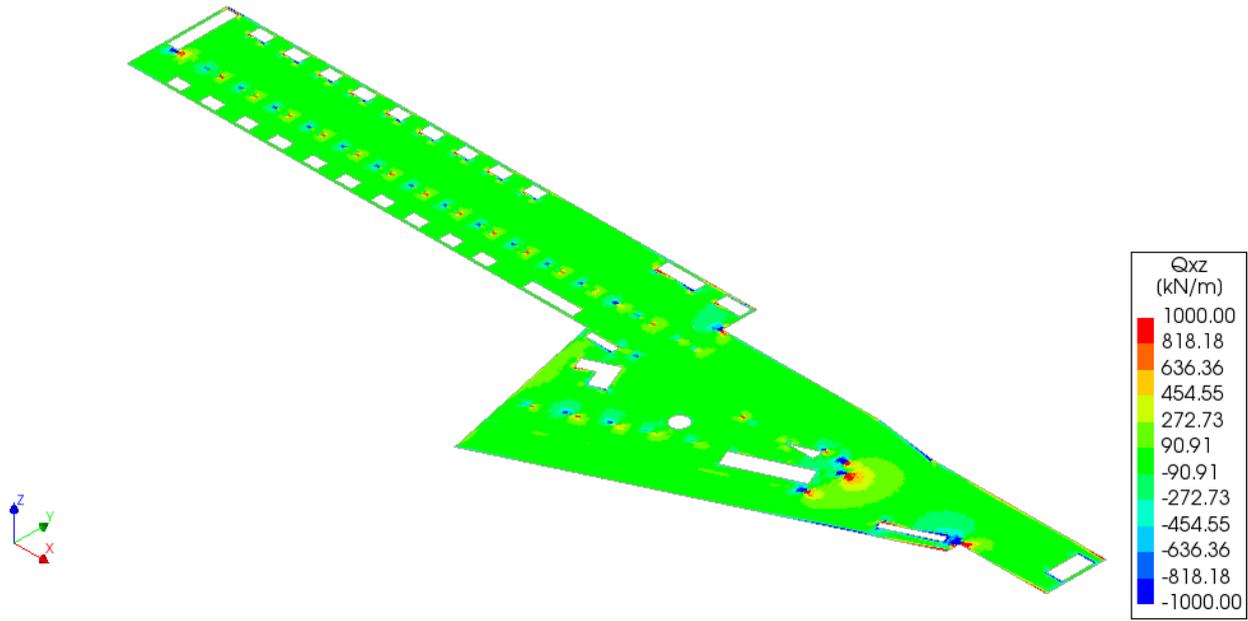
Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta:  
Politecnico – Rebaudengo – Lotto  
Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna

Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive  
in sotterraneo – Relazione di calcolo

MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



**Figura 40. Soletta intermedia FASE 12 – Sollecitazioni SLV**

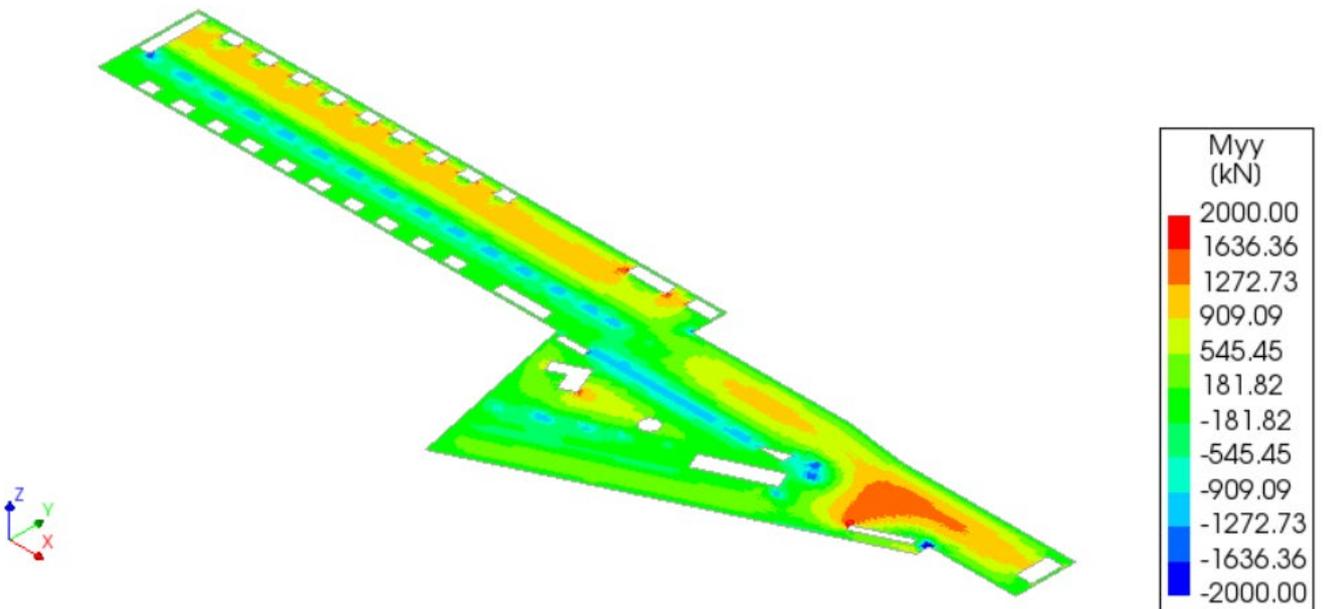
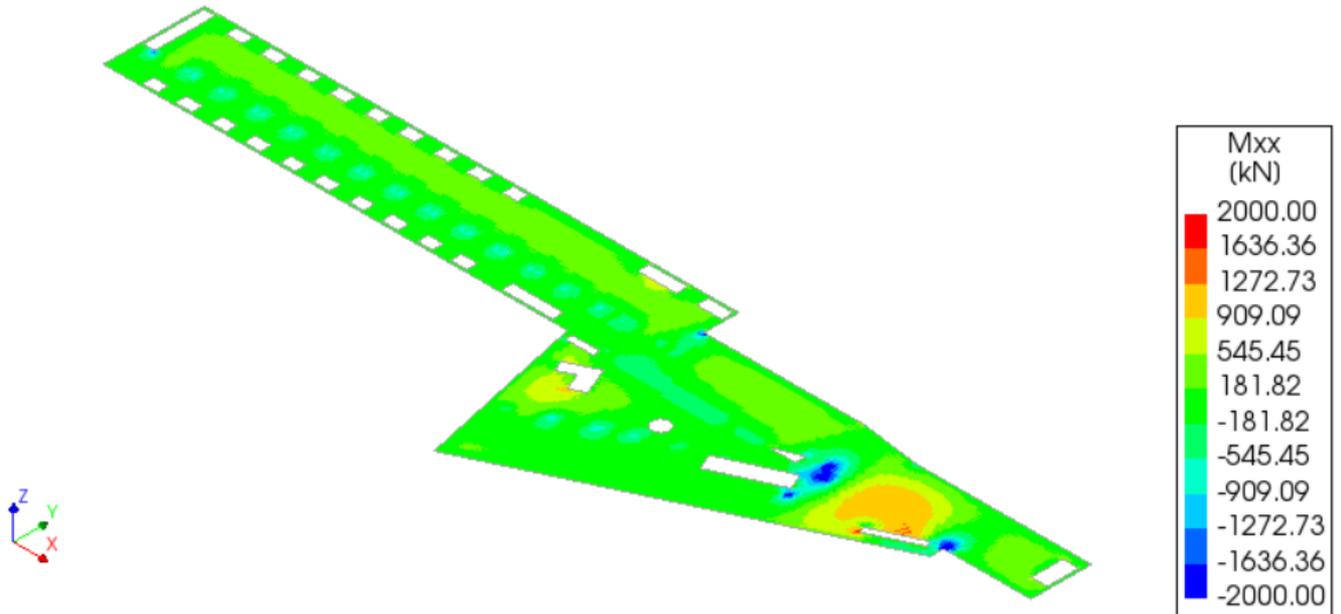


CITTA' DI TORINO

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

Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive  
in sotterraneo – Relazione di calcolo

MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



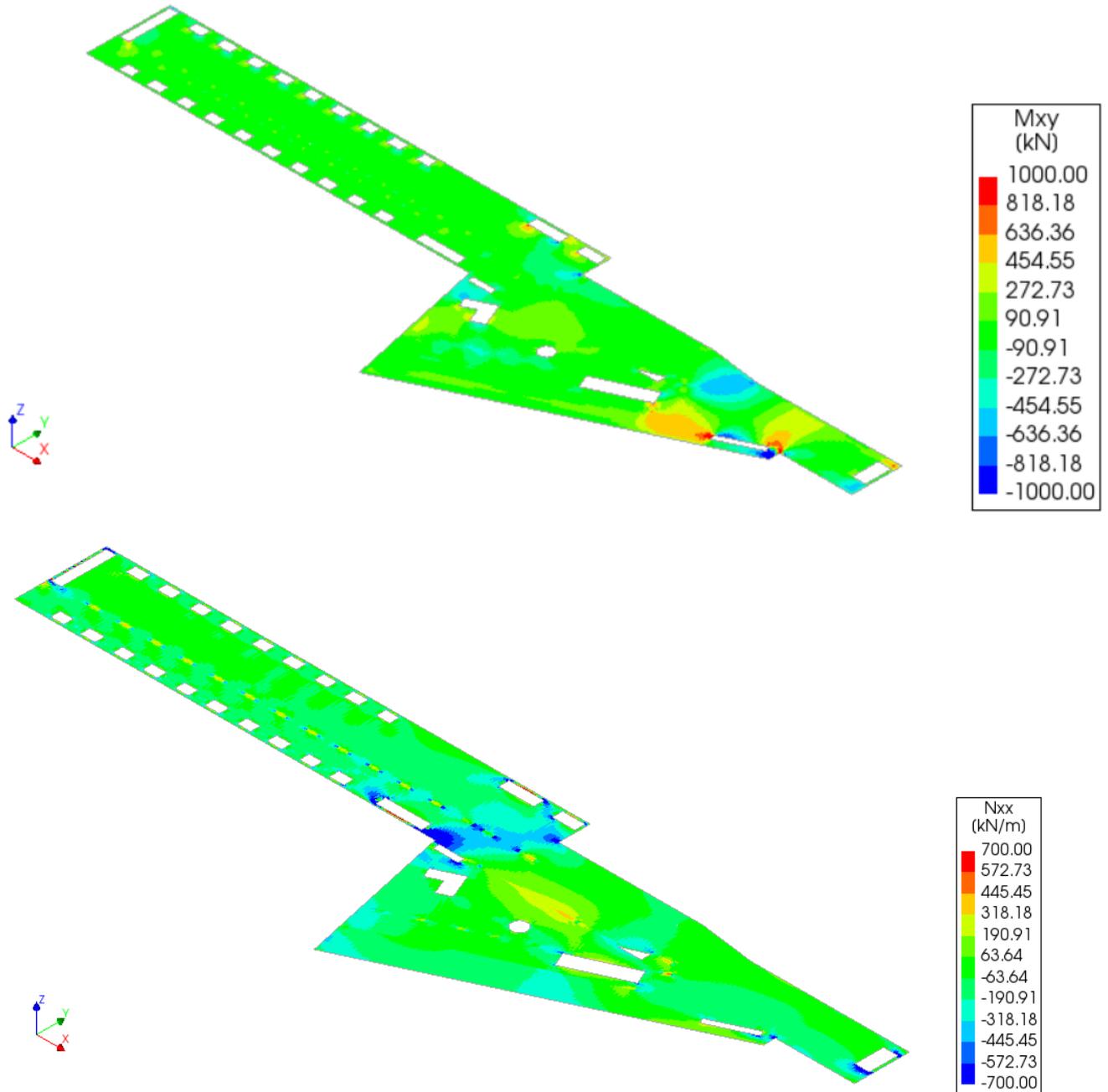


CITTA' DI TORINO

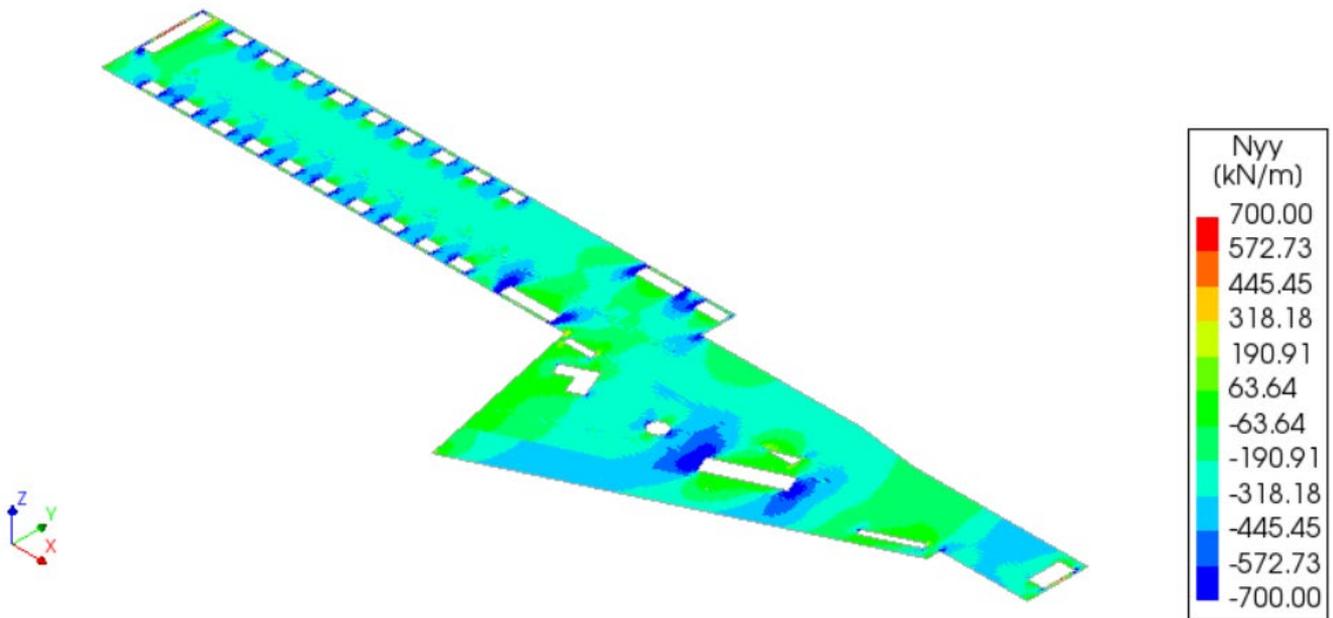
Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta:  
Politecnico – Rebaudengo – Lotto  
Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna

Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive  
in sotterraneo – Relazione di calcolo

MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



**Figura 41. Soletta intermedia FASE 8 – Sollecitazioni SLE**

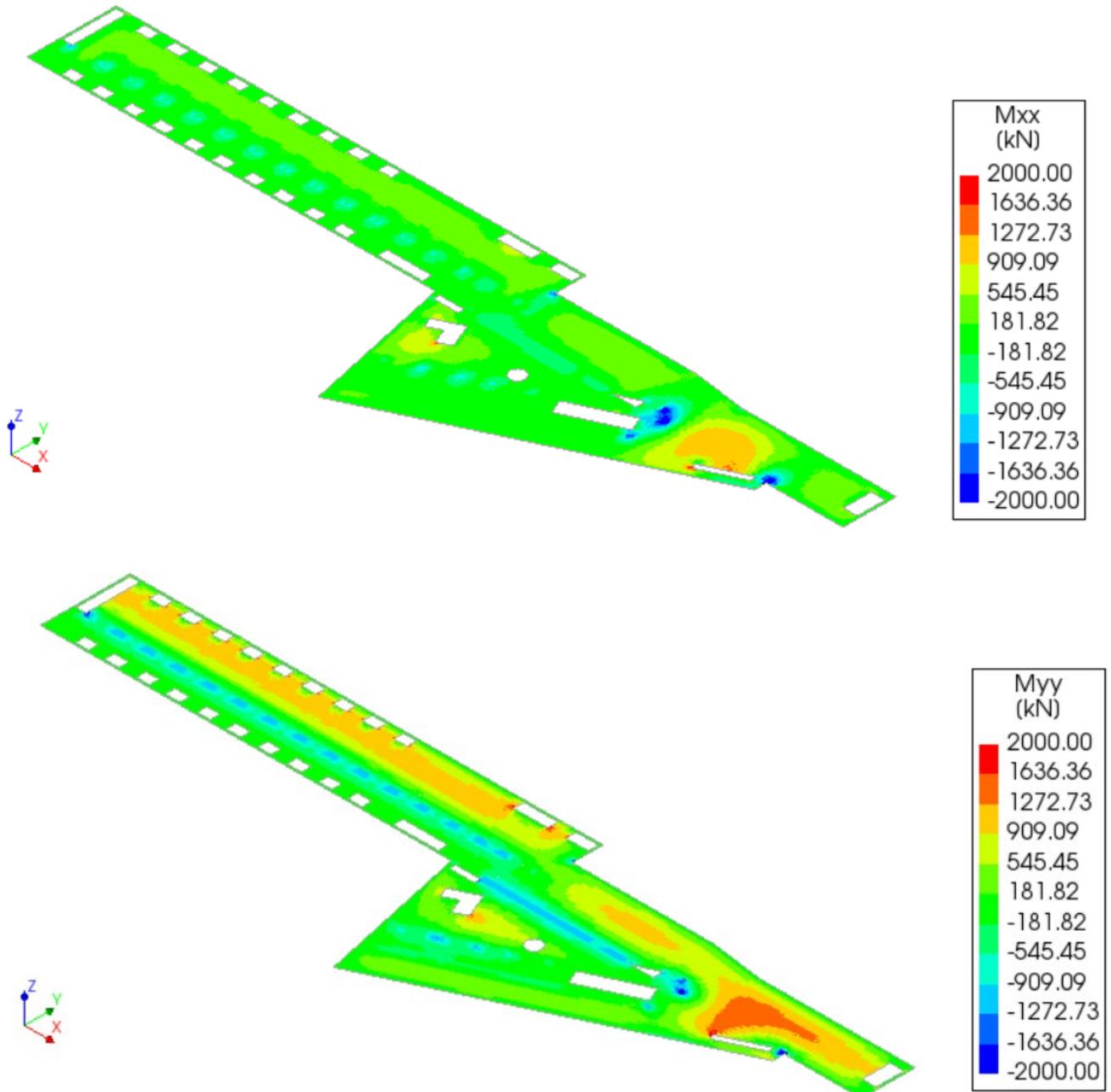


CITTA' DI TORINO

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

Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive  
in sotterraneo – Relazione di calcolo

MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



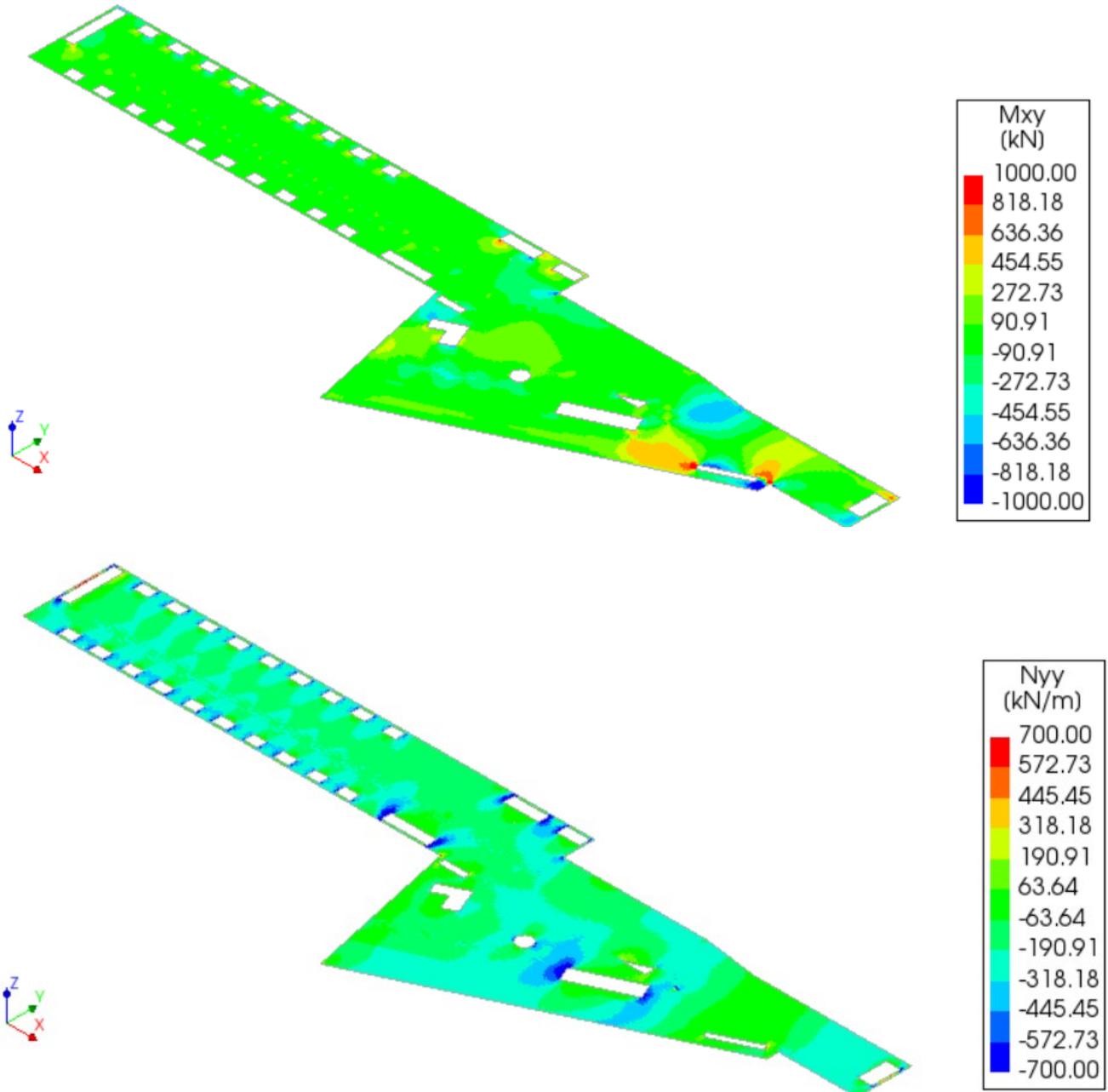


CITTA' DI TORINO

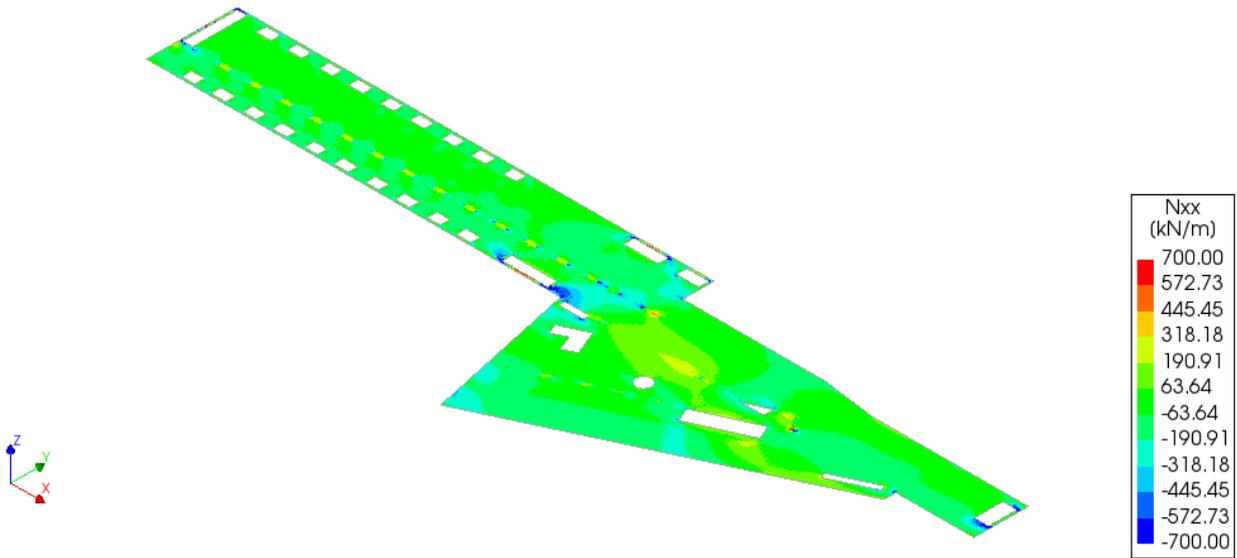
Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta:  
Politecnico – Rebaudengo – Lotto  
Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna

Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive  
in sotterraneo – Relazione di calcolo

MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



**Figura 42. Soletta intermedia FASE 9 – Sollecitazioni SLE**

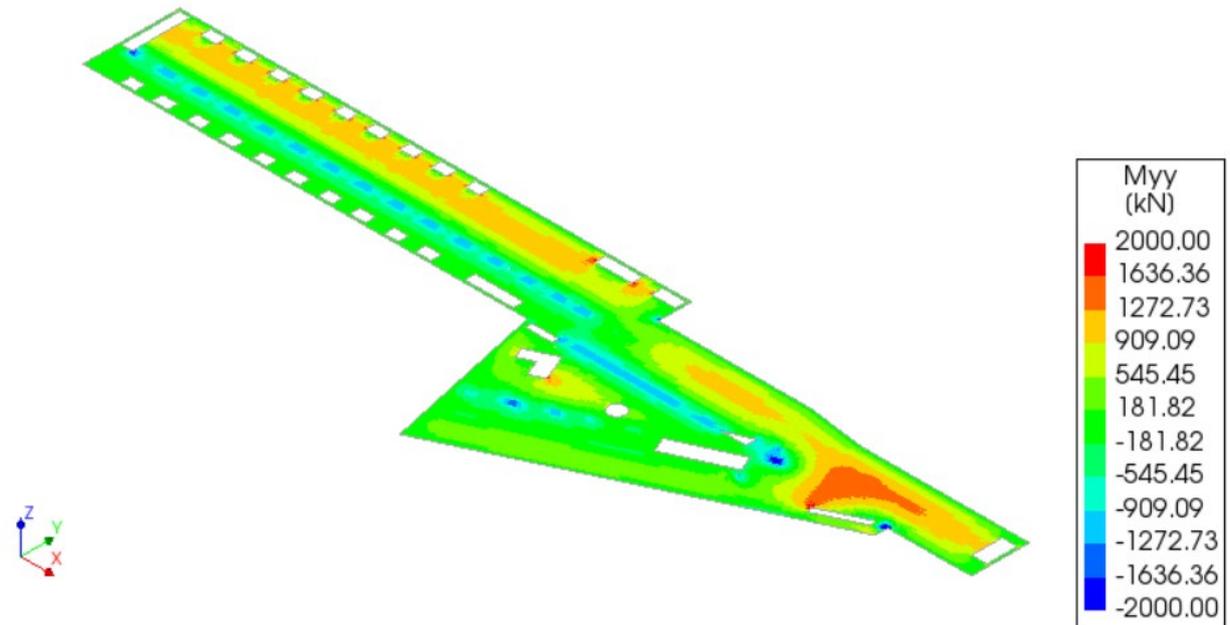
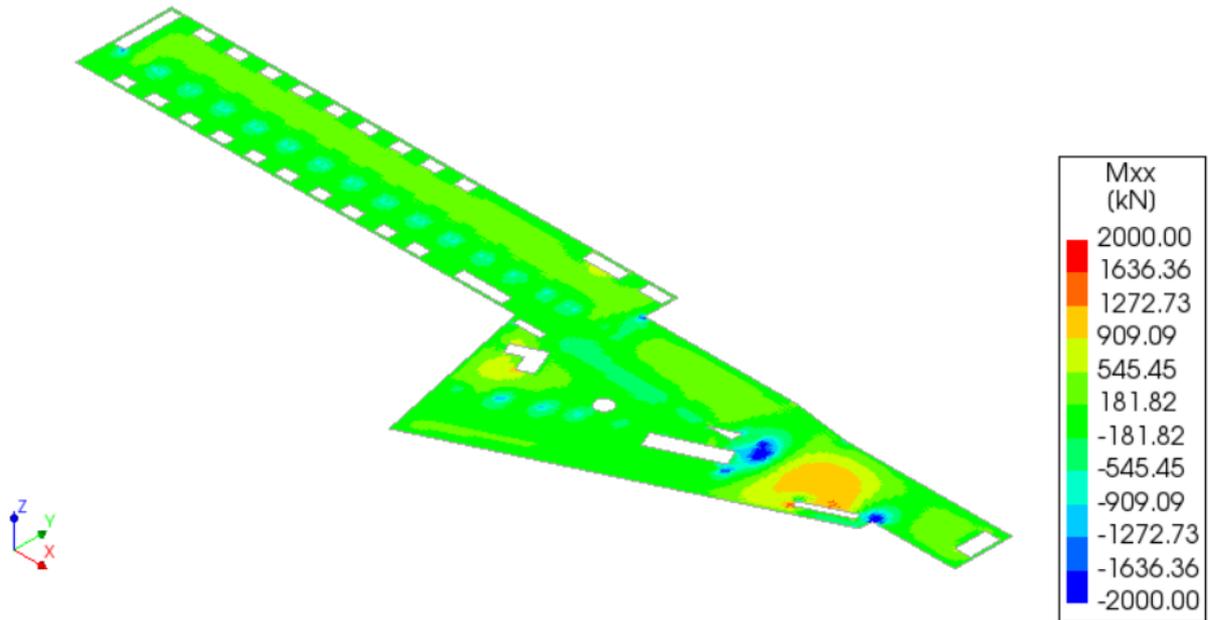


CITTA' DI TORINO

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

Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive  
in sotterraneo – Relazione di calcolo

MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



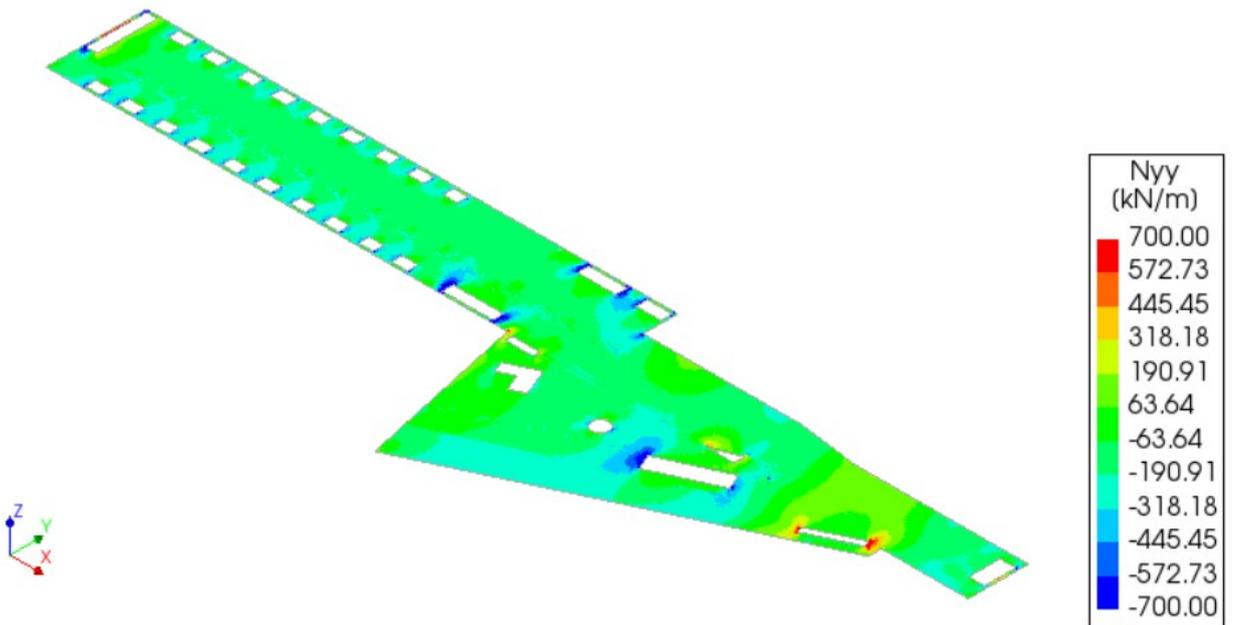
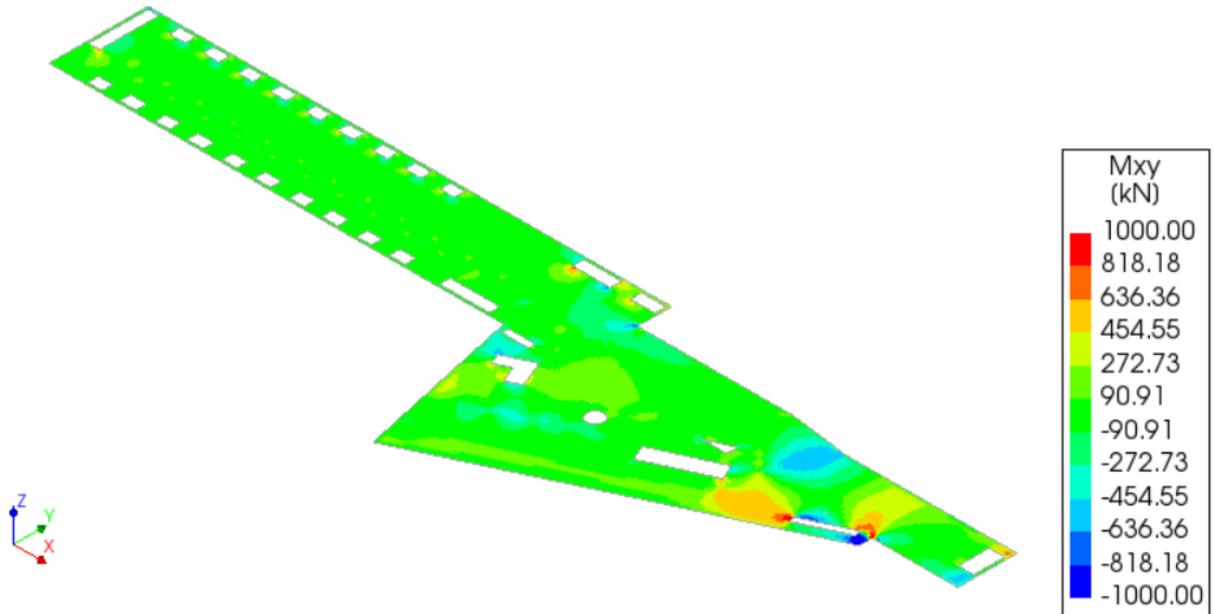


CITTA' DI TORINO

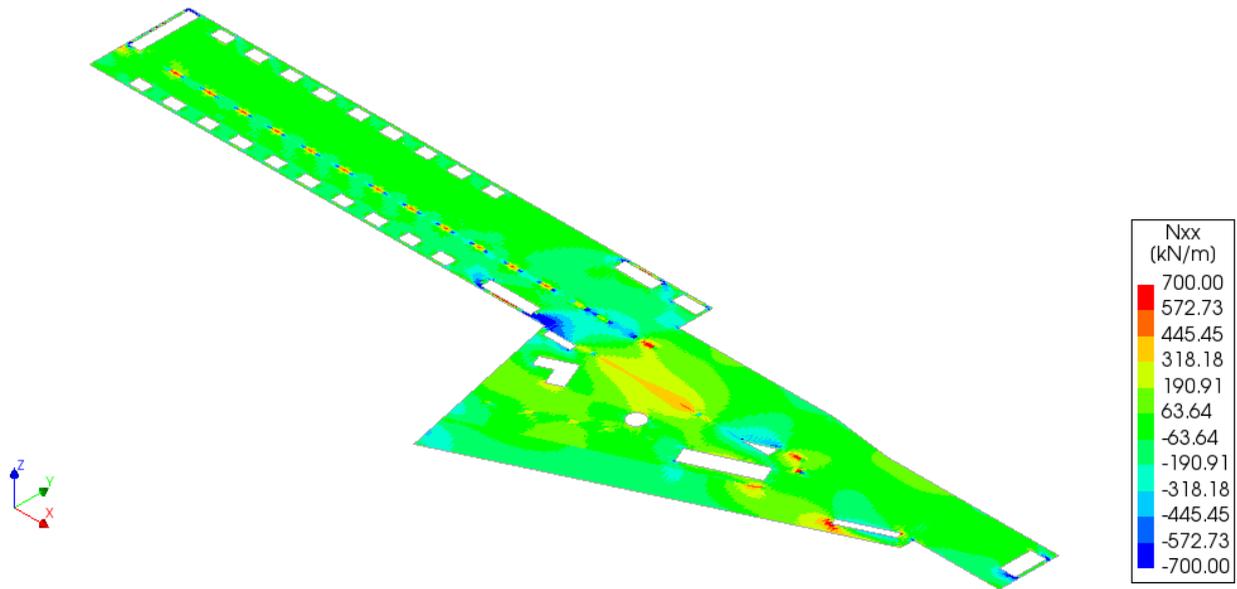
Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta:  
Politecnico – Rebaudengo – Lotto  
Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna

Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive  
in sotterraneo – Relazione di calcolo

MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



**Figura 43. Soletta intermedia FASE 10 – Sollecitazioni SLE**

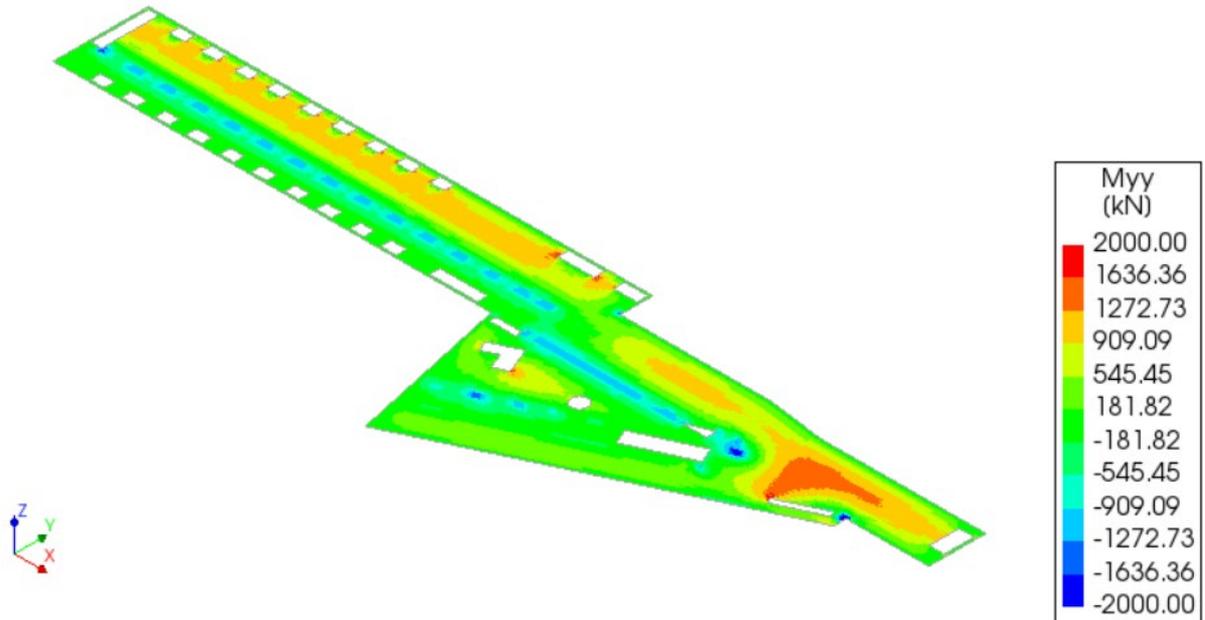
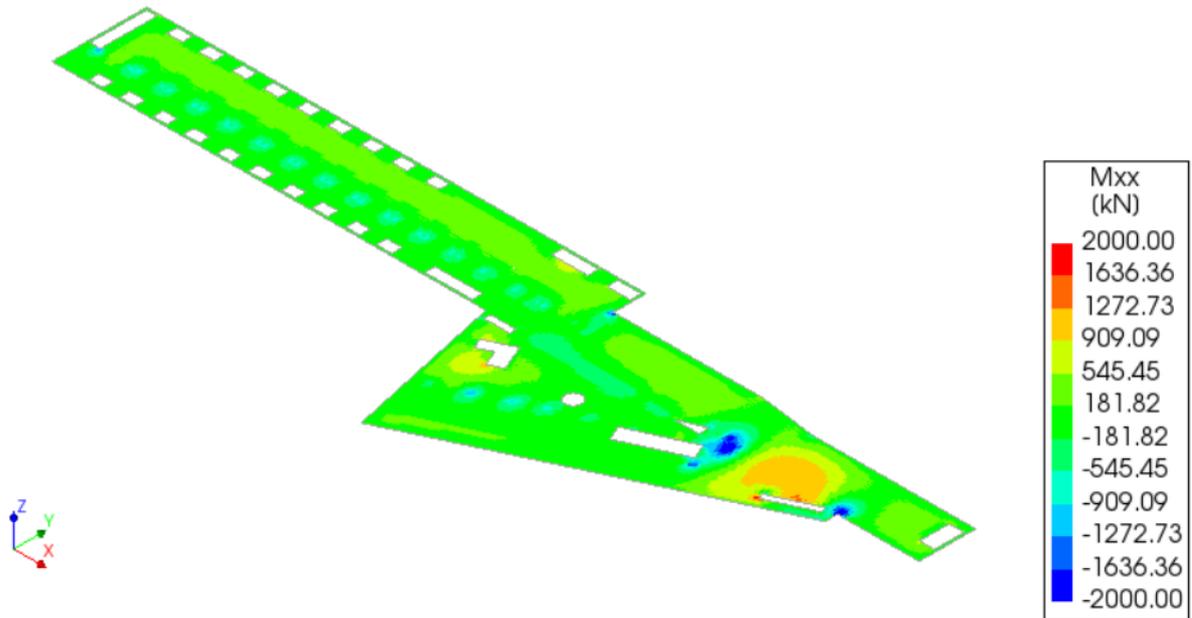


CITTA' DI TORINO

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

Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive  
in sotterraneo – Relazione di calcolo

MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



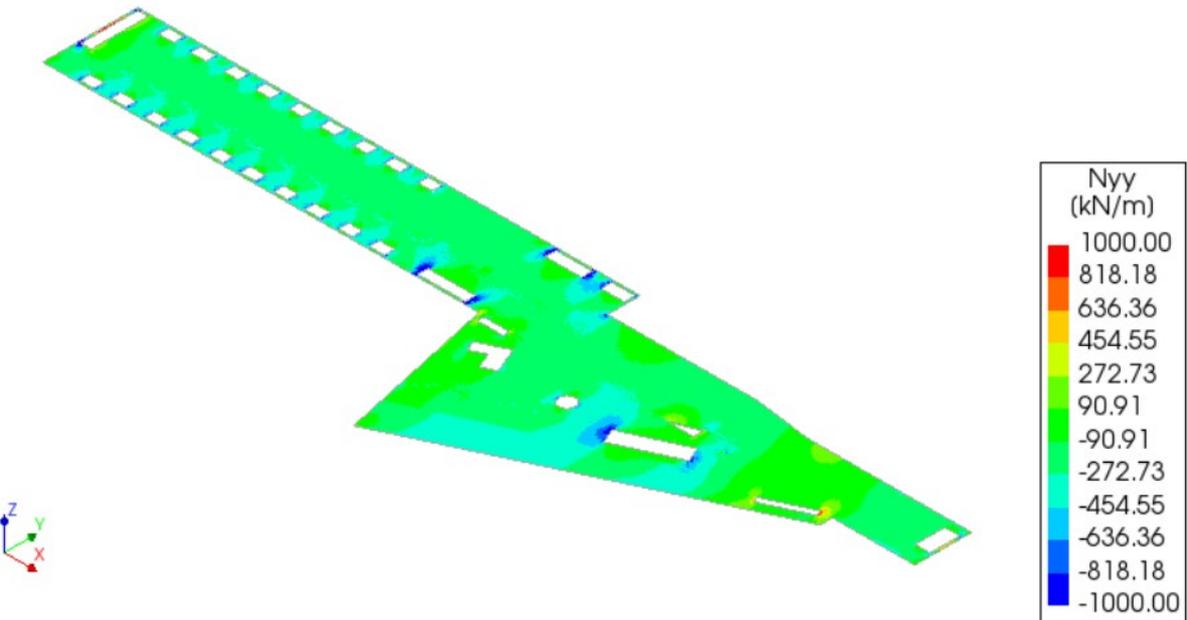
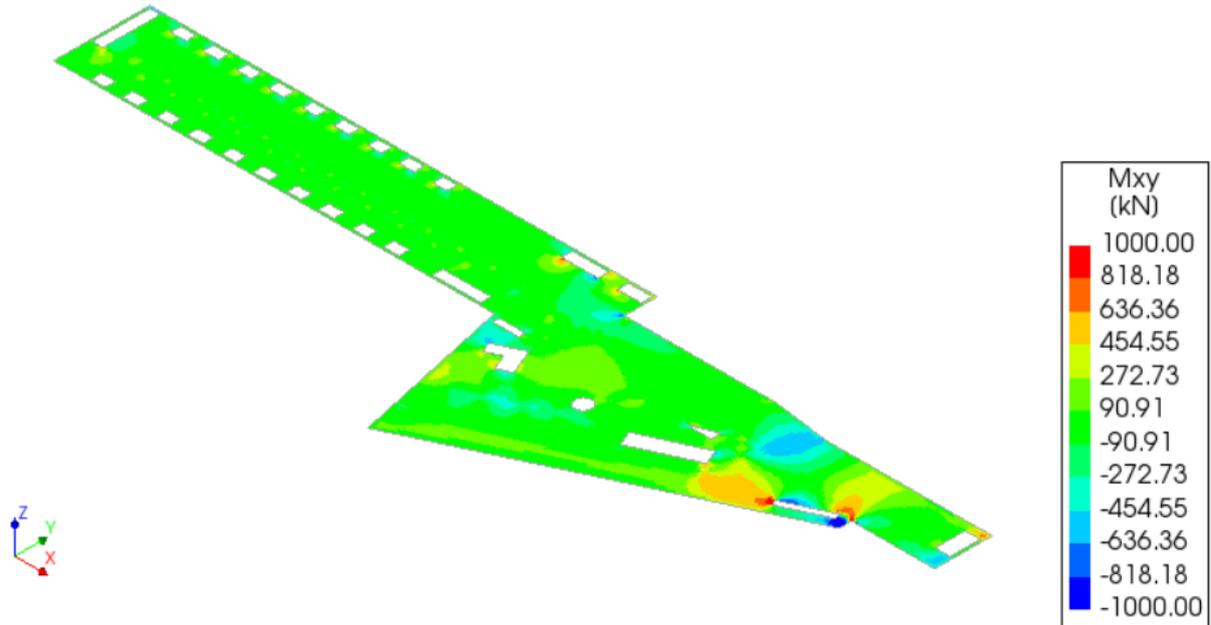


CITTA' DI TORINO

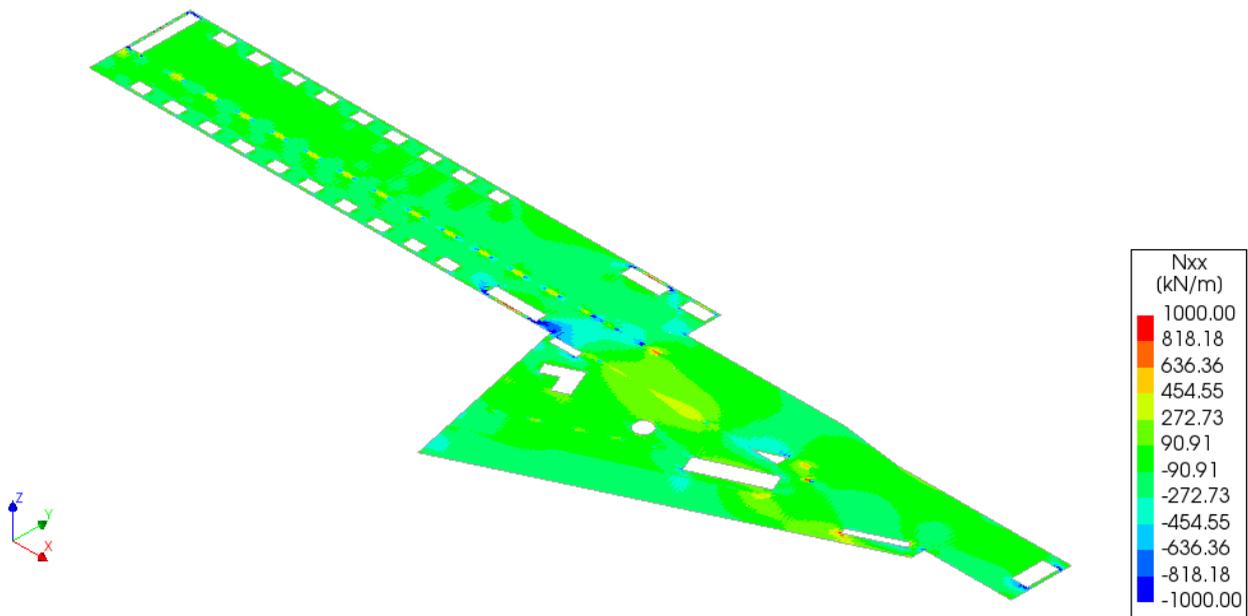
Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta:  
Politecnico – Rebaudengo – Lotto  
Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna

Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive  
in sotterraneo – Relazione di calcolo

MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



**Figura 44. Soletta intermedia FASE 11 – Sollecitazioni SLE**

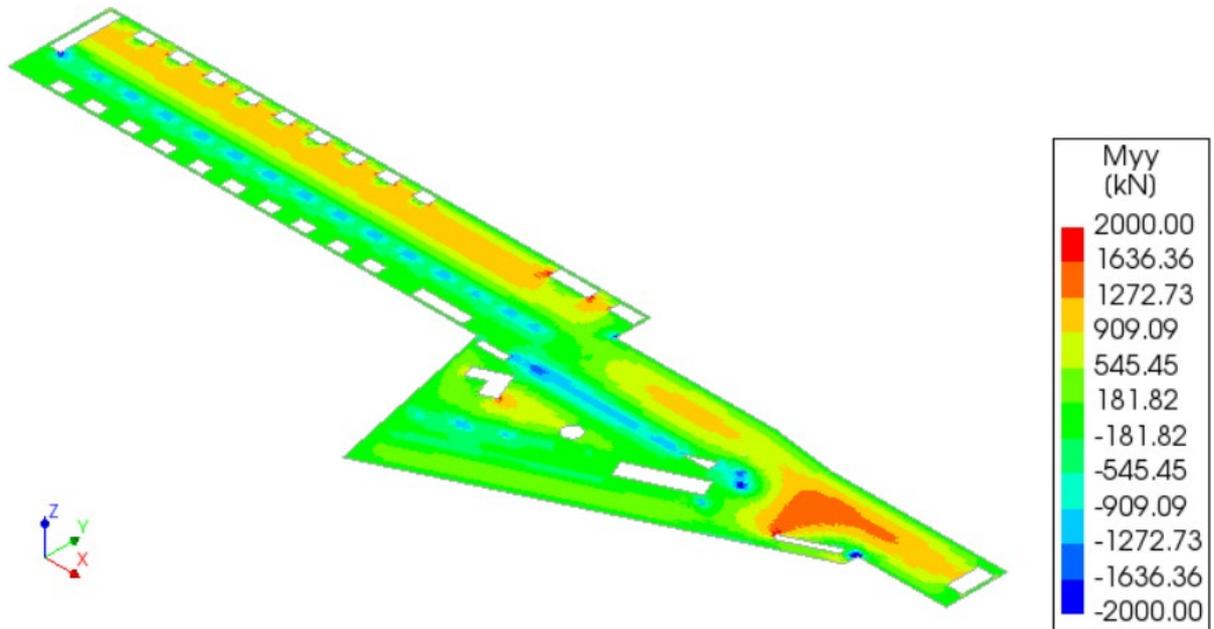
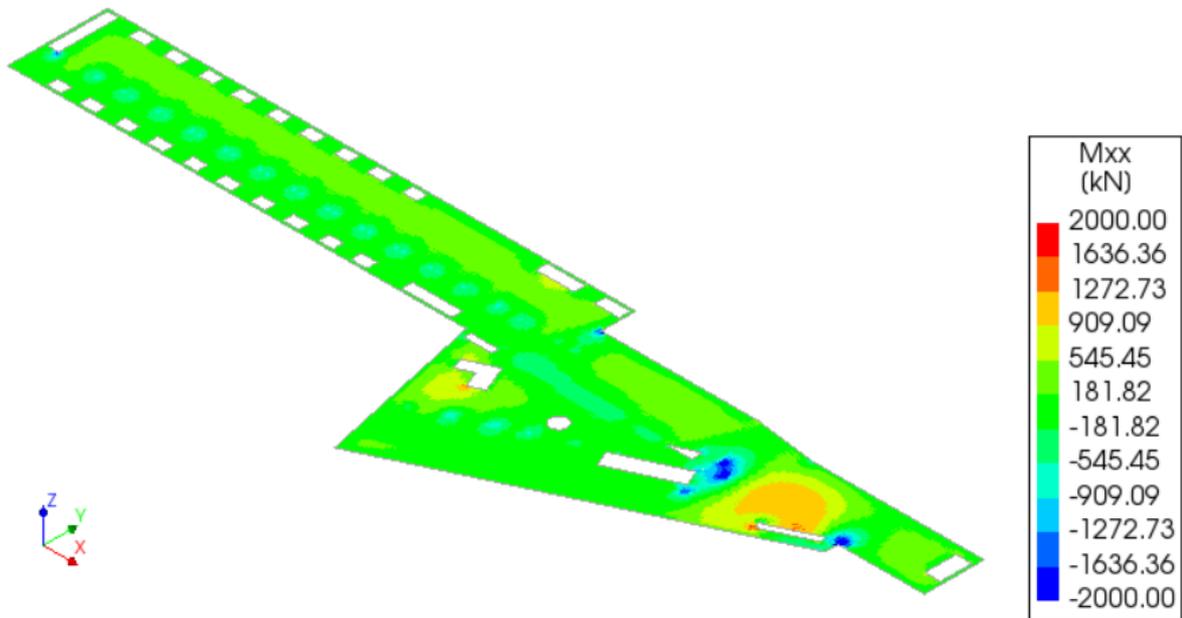


CITTA' DI TORINO

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

Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive  
in sotterraneo – Relazione di calcolo

MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



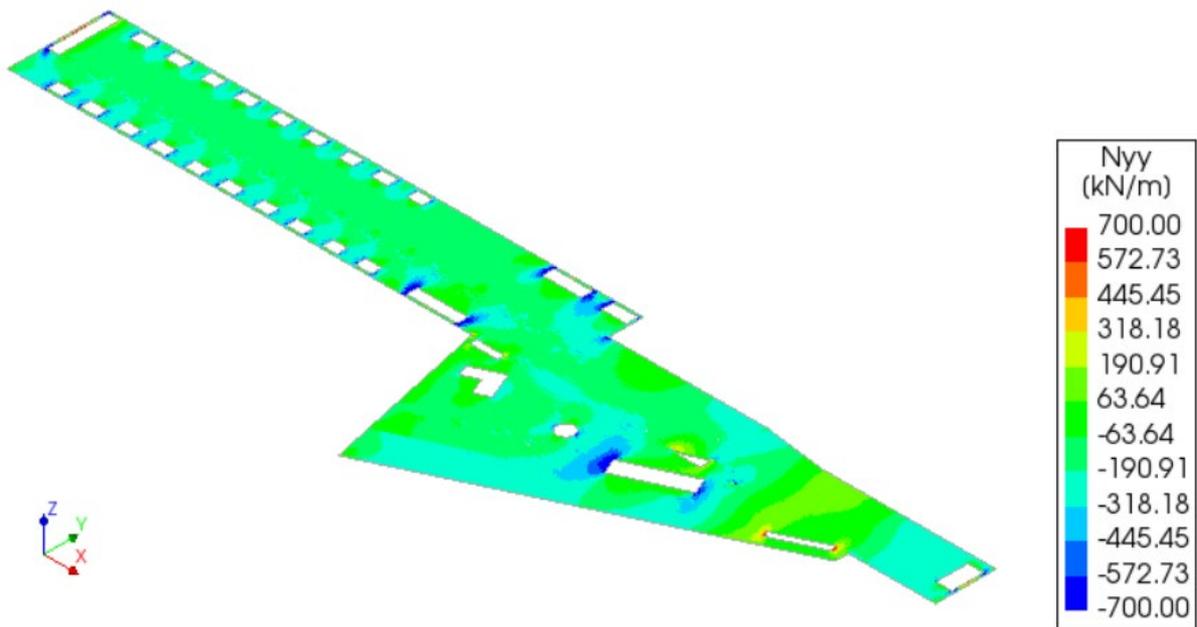
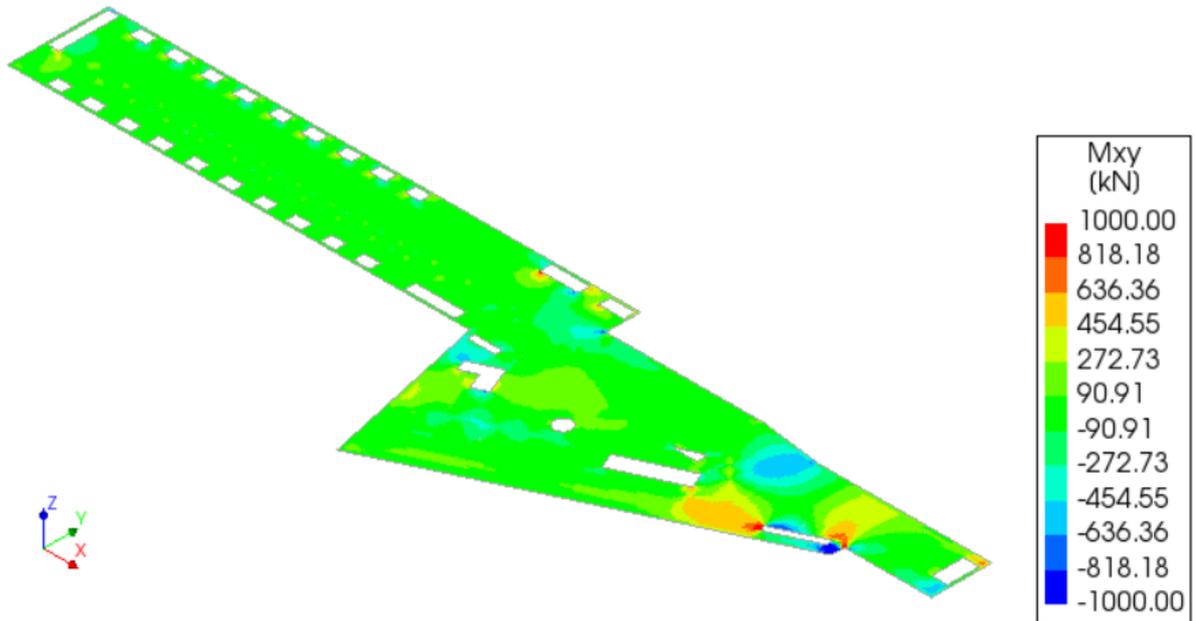


CITTA' DI TORINO

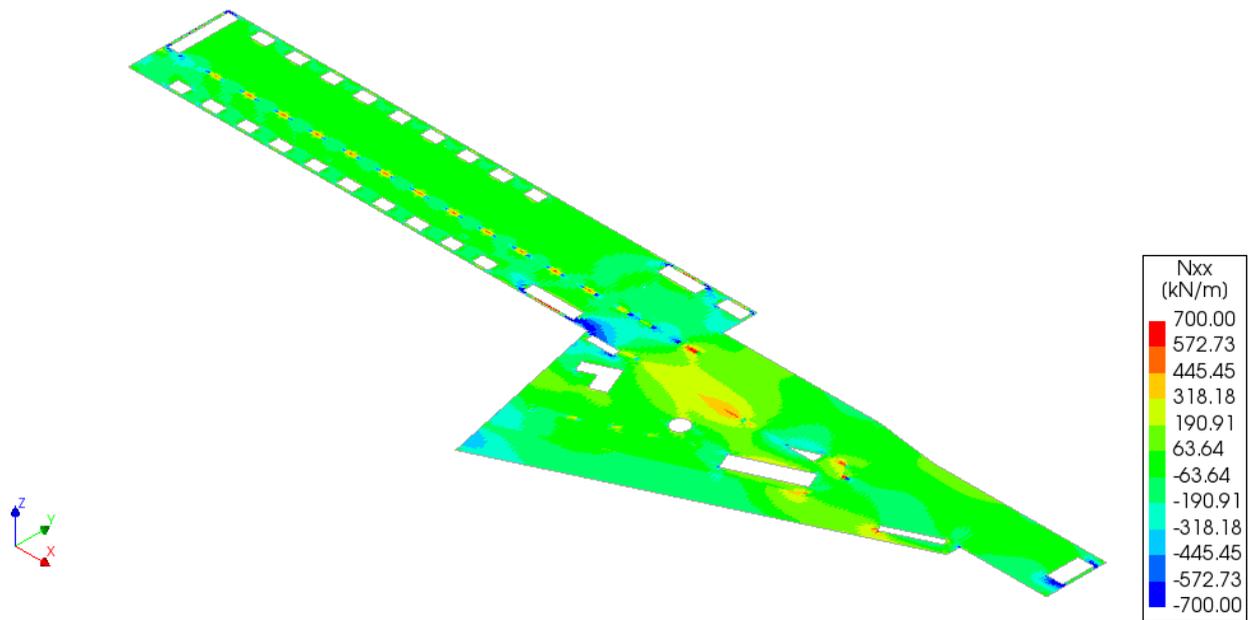
Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta:  
Politecnico – Rebaudengo – Lotto  
Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna

Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive  
in sotterraneo – Relazione di calcolo

MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



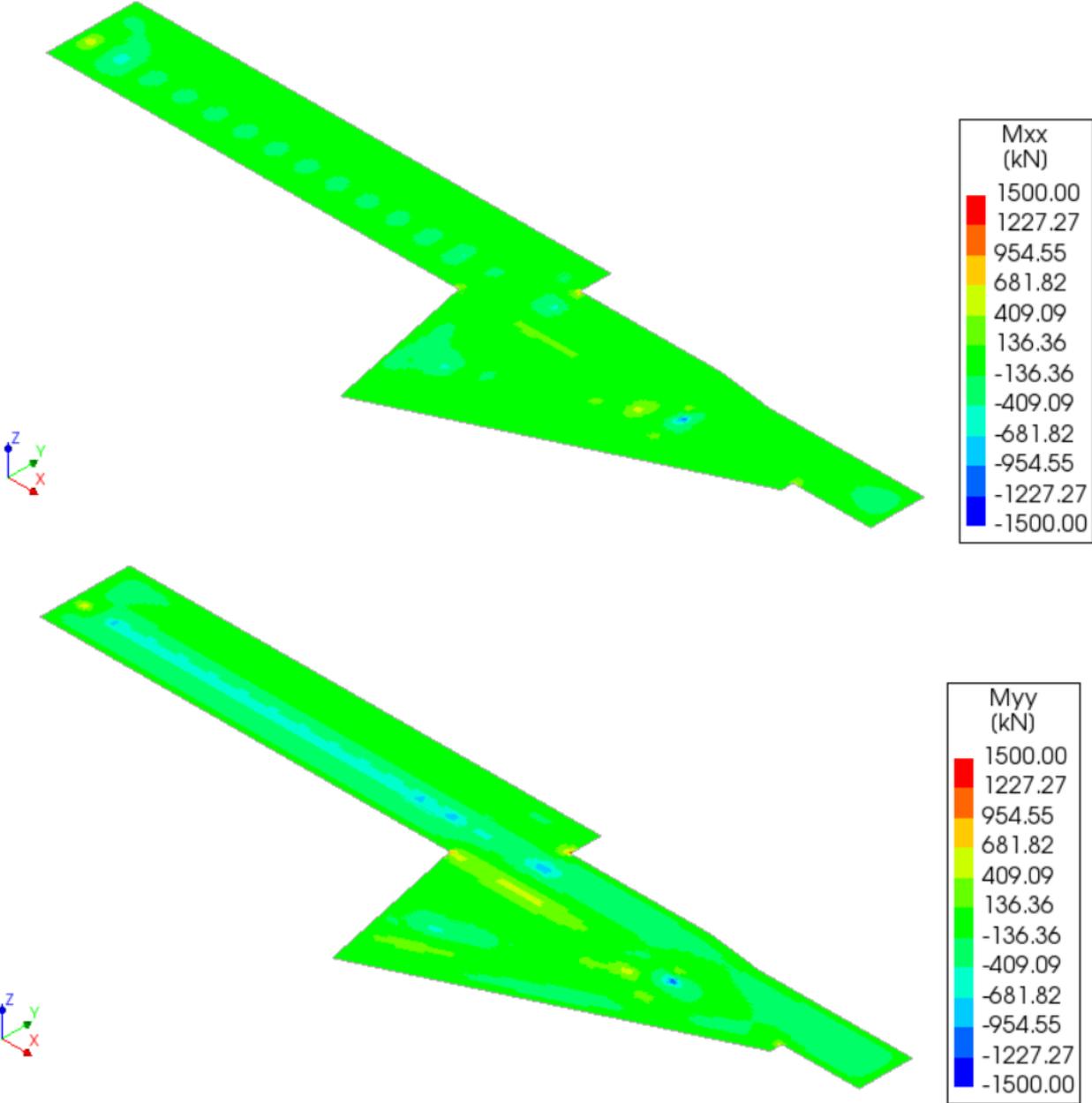
 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



**Figura 45. Soletta intermedia FASE 12 – Sollecitazioni SLE**

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

**8.5.3 Soletta di fondo**



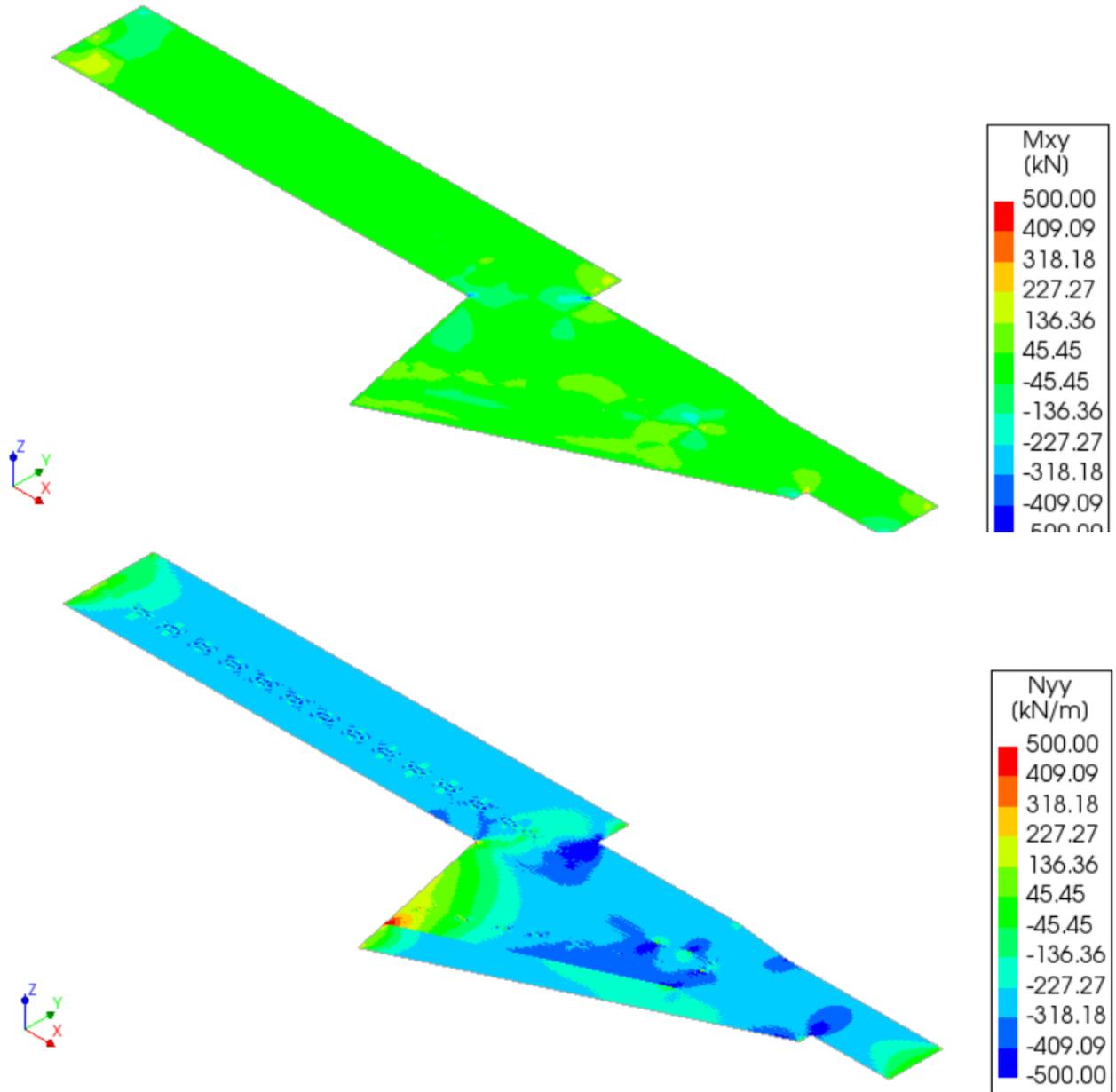


CITTA' DI TORINO

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

Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive  
in sotterraneo – Relazione di calcolo

MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



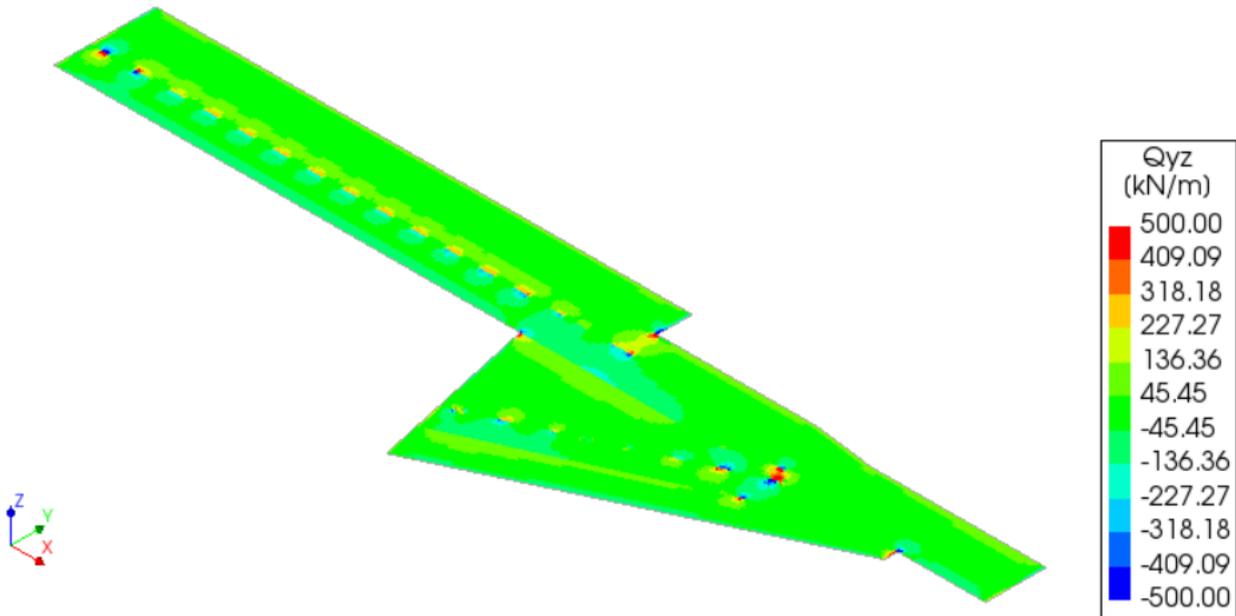
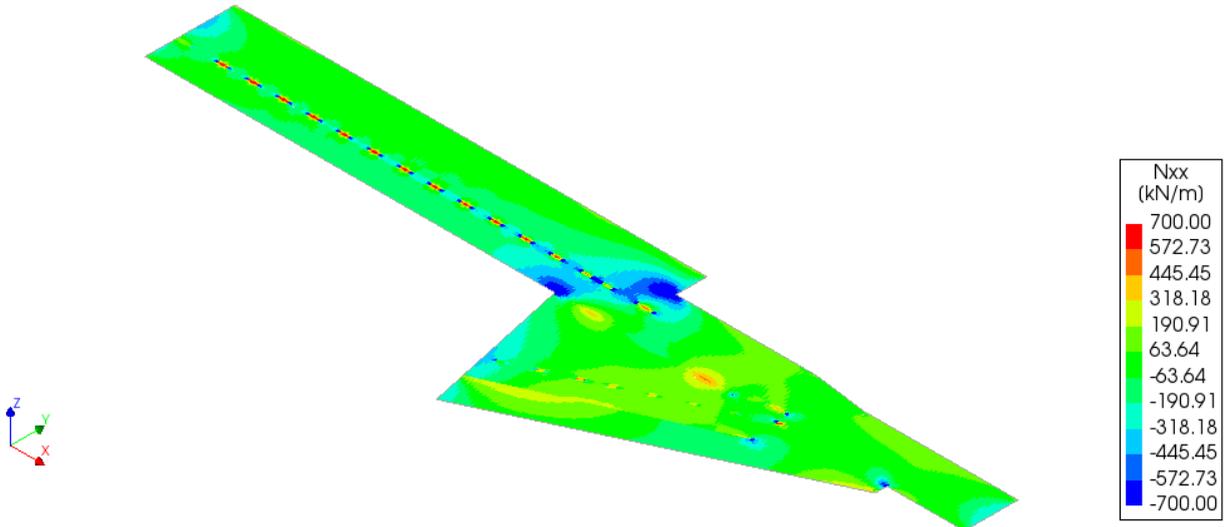


CITTA' DI TORINO

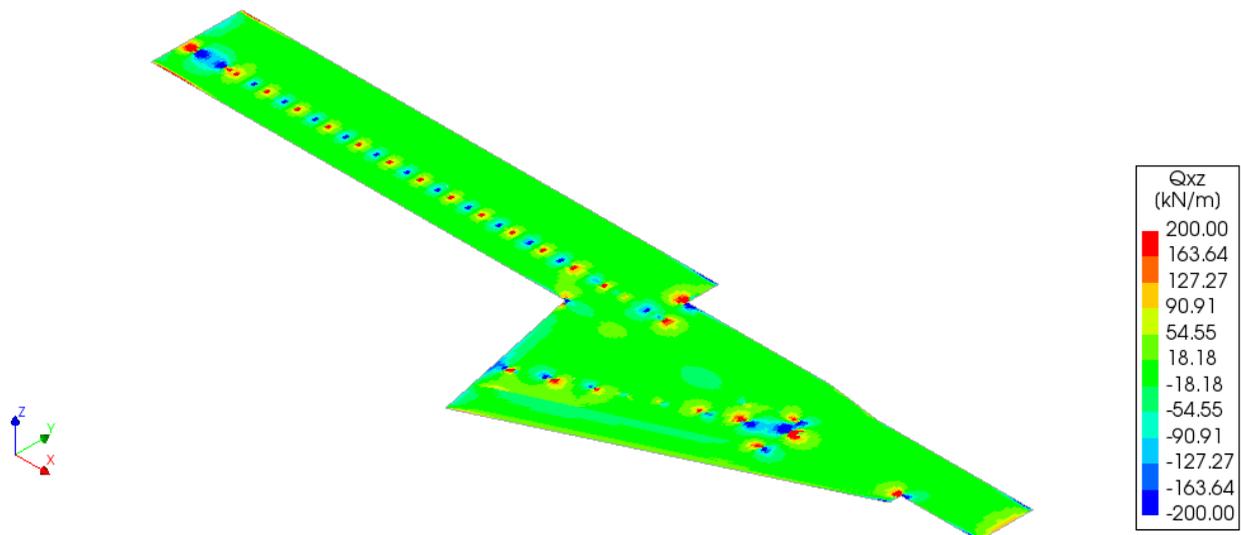
Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta:  
Politecnico – Rebaudengo – Lotto  
Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna

Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive  
in sotterraneo – Relazione di calcolo

MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



**Figura 46. Soletta di fondo FASE 9 – Sollecitazioni SLU**

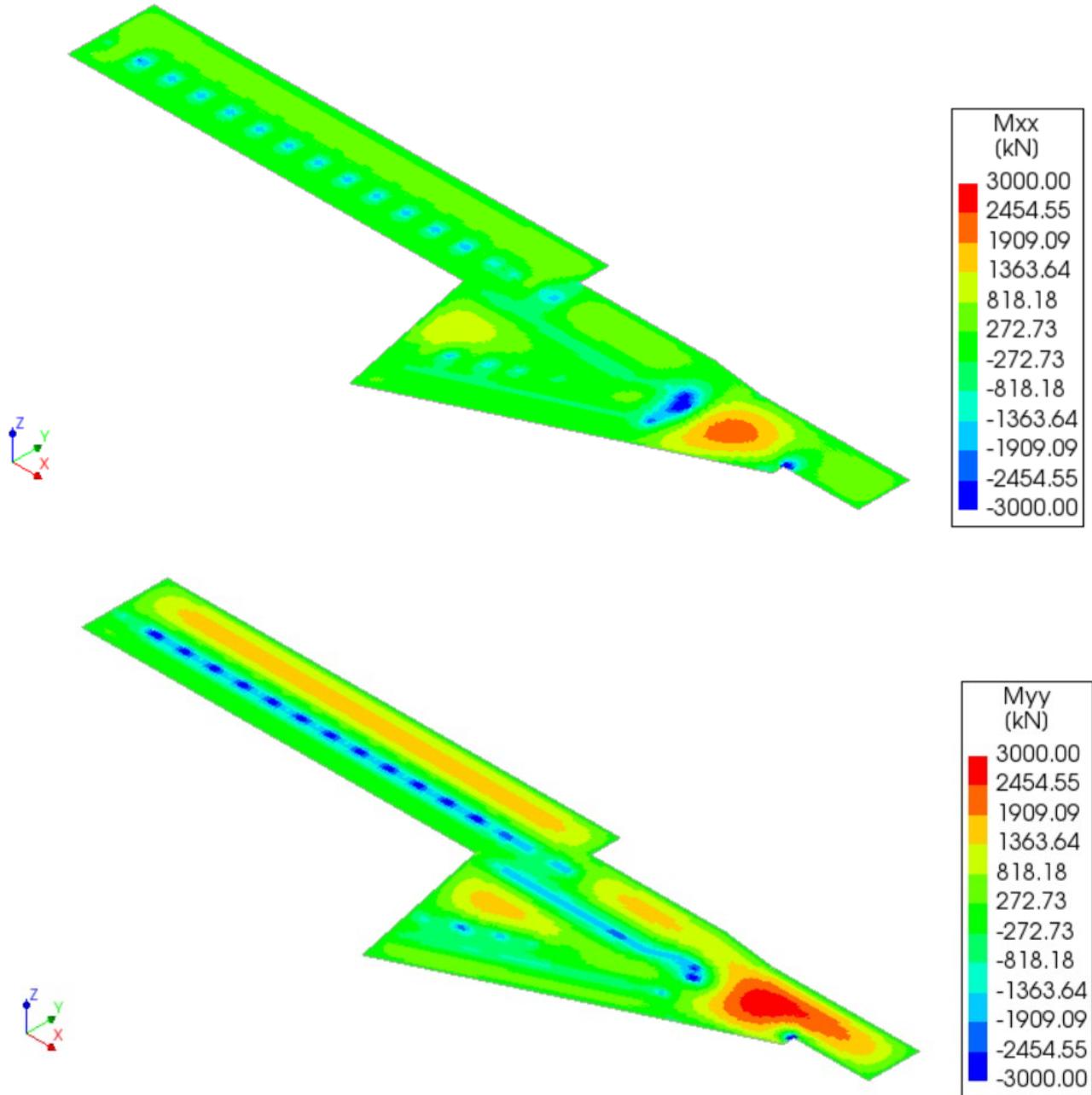


CITTA' DI TORINO

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

Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive  
in sotterraneo – Relazione di calcolo

MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



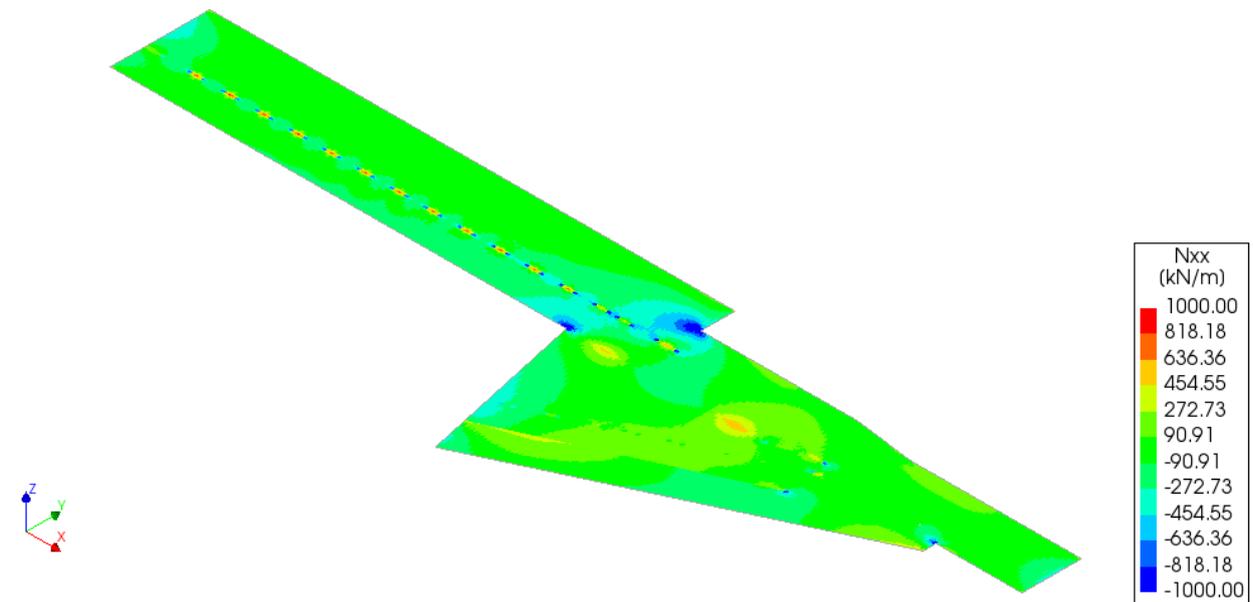
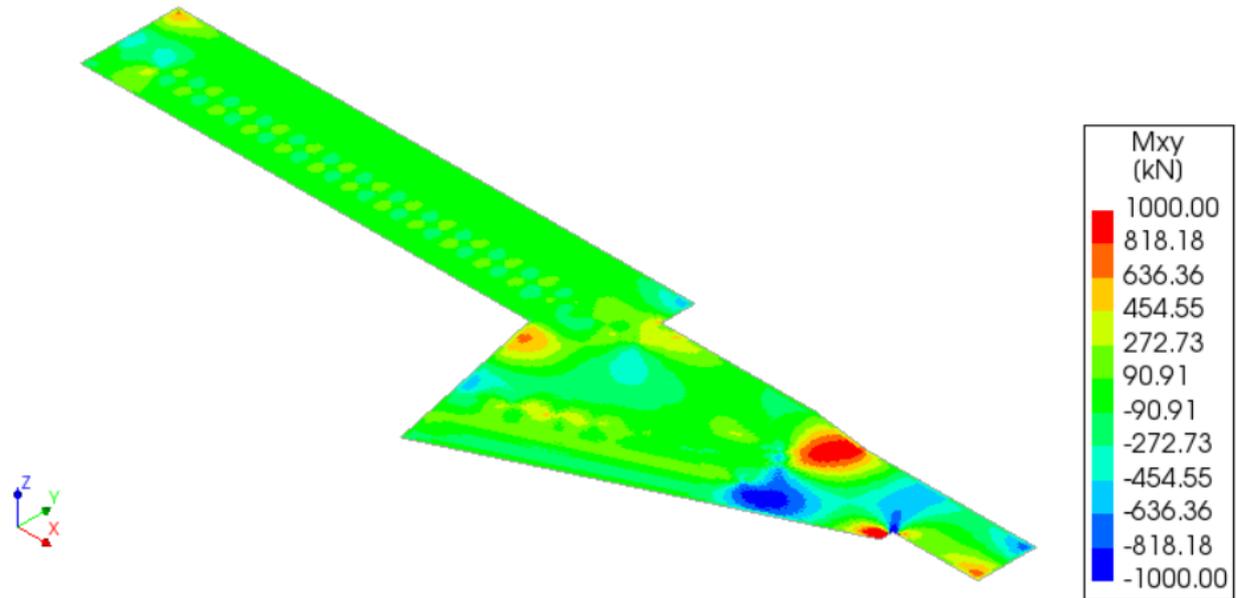


CITTA' DI TORINO

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

Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive  
in sotterraneo – Relazione di calcolo

MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



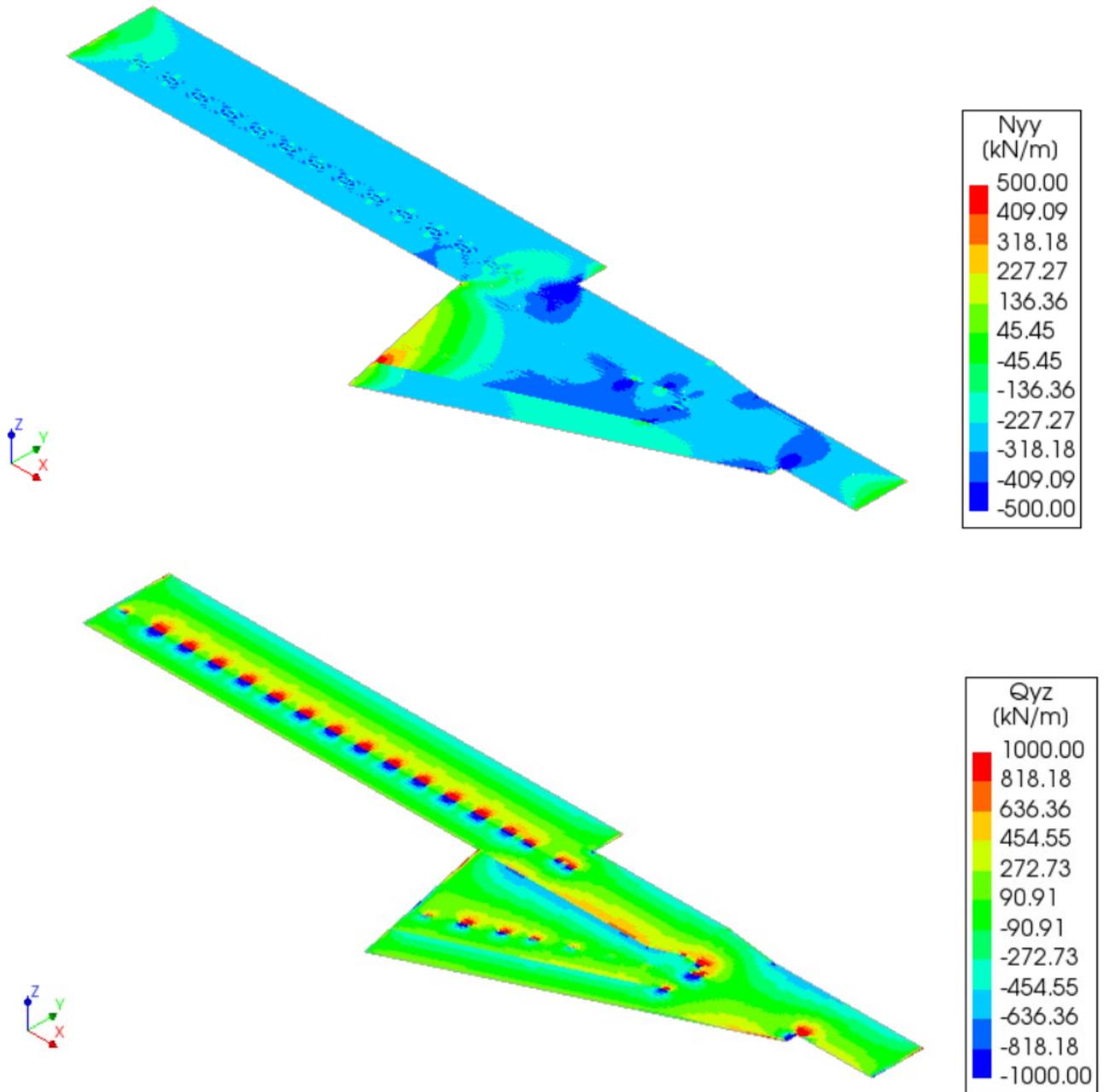


CITTA' DI TORINO

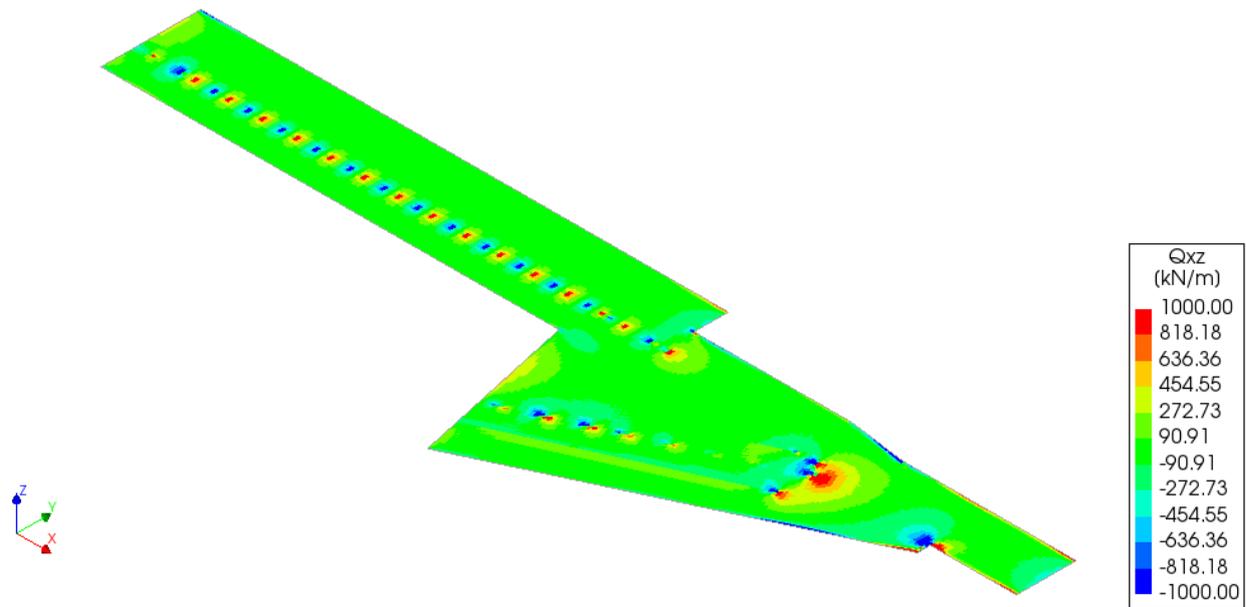
Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta:  
Politecnico – Rebaudengo – Lotto  
Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna

Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive  
in sotterraneo – Relazione di calcolo

MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

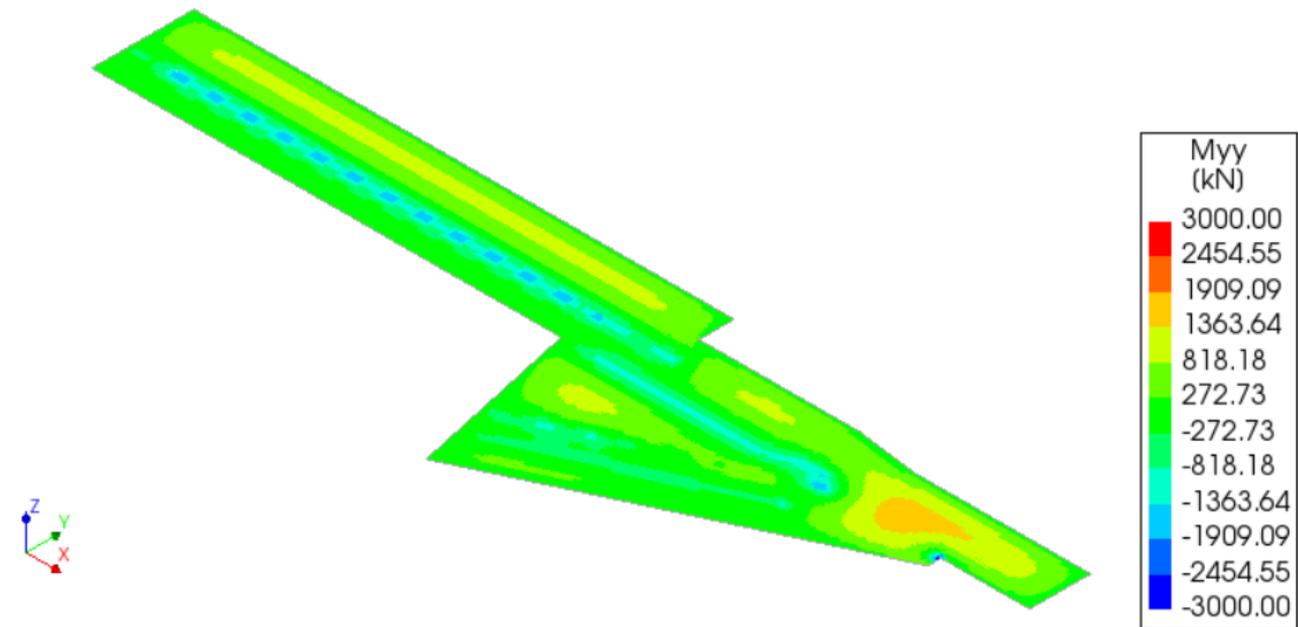
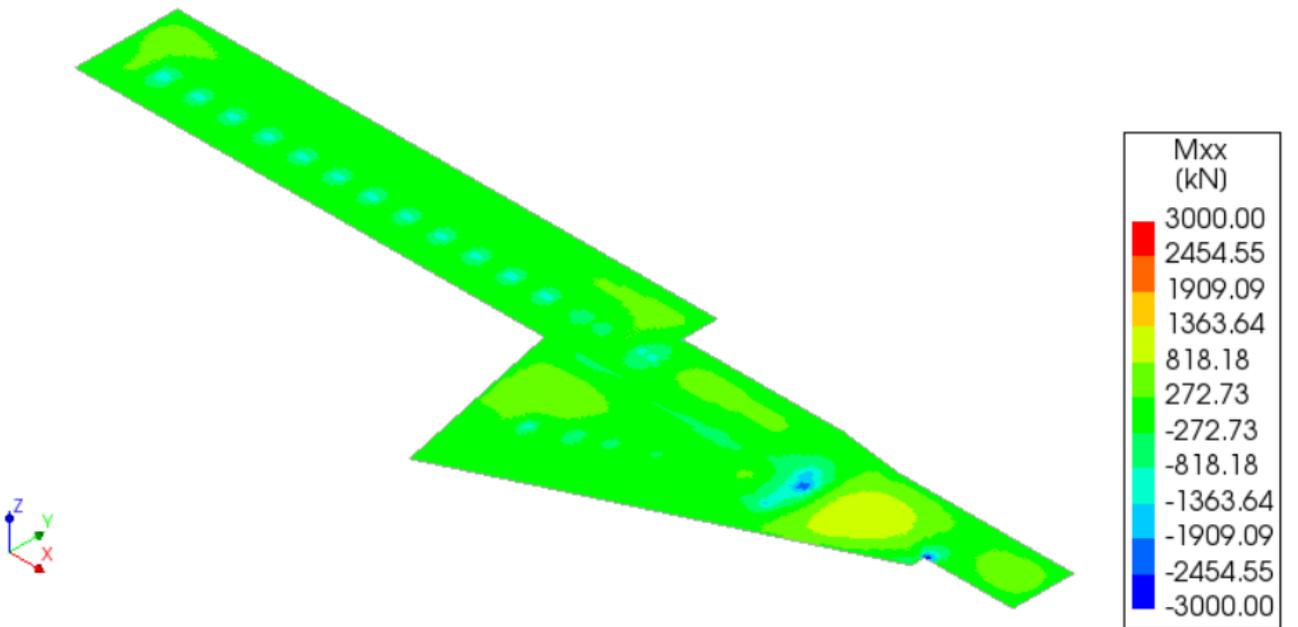


 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

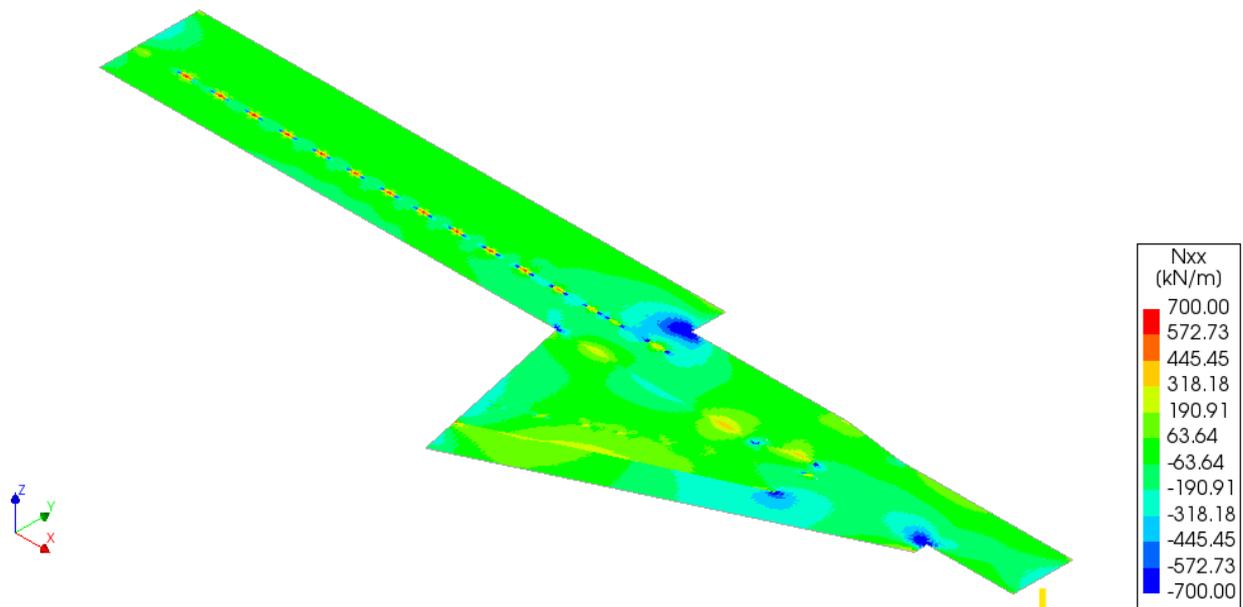
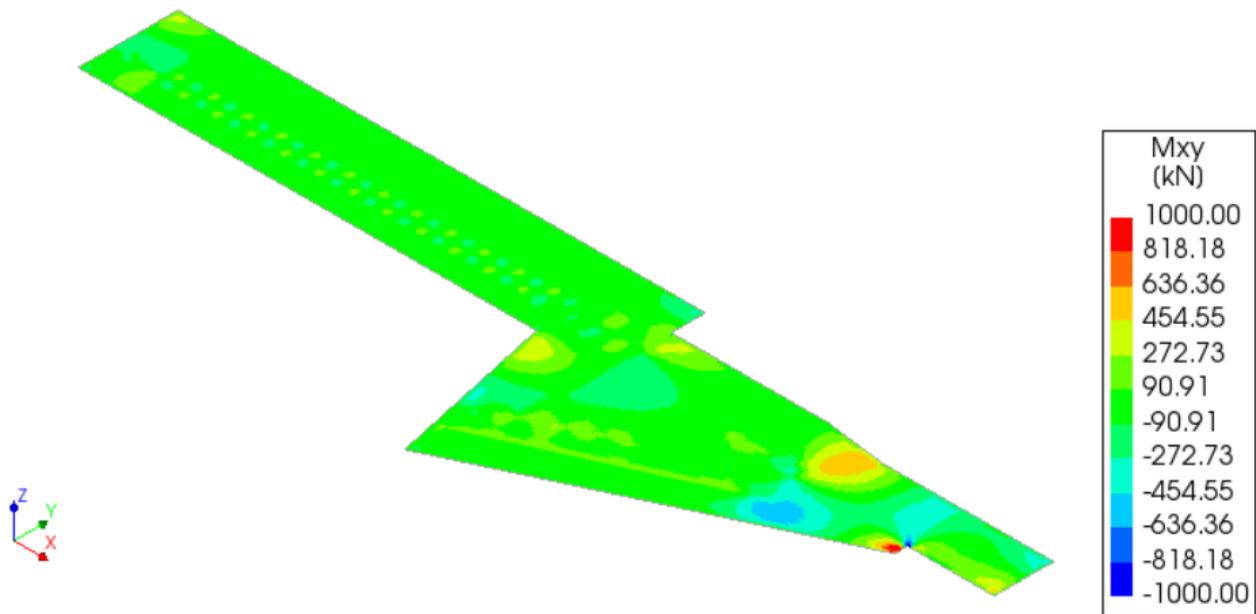


**Figura 47. Soletta di fondo FASE 10 – Sollecitazioni SLU**

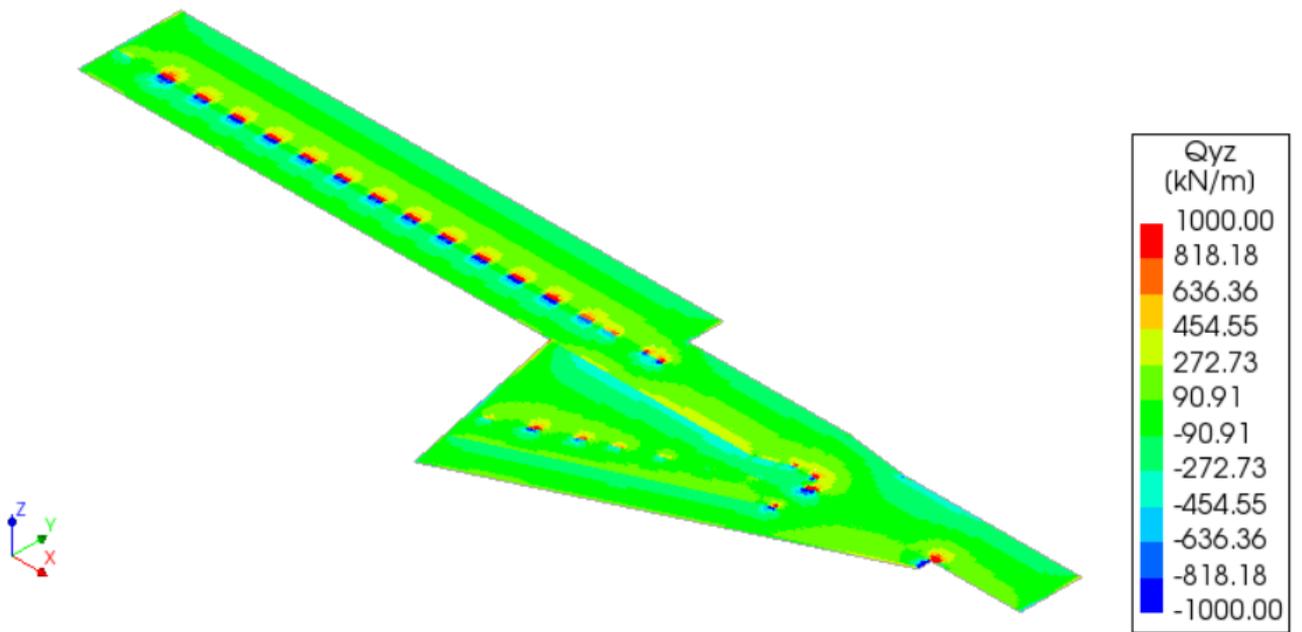
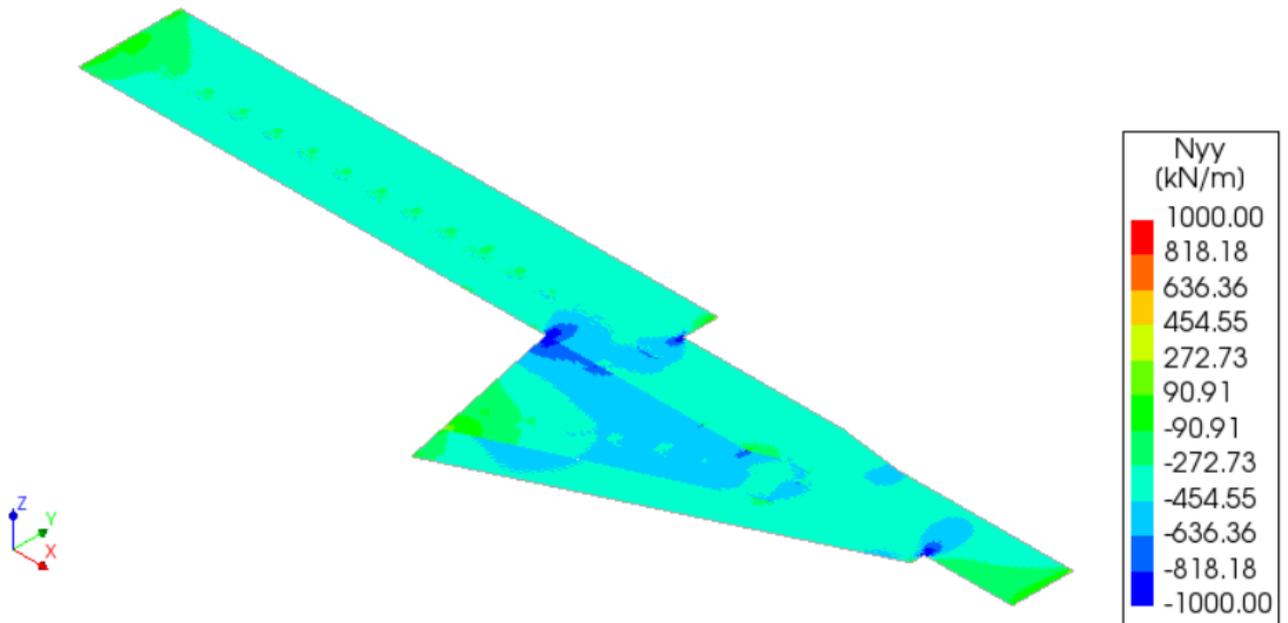
 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



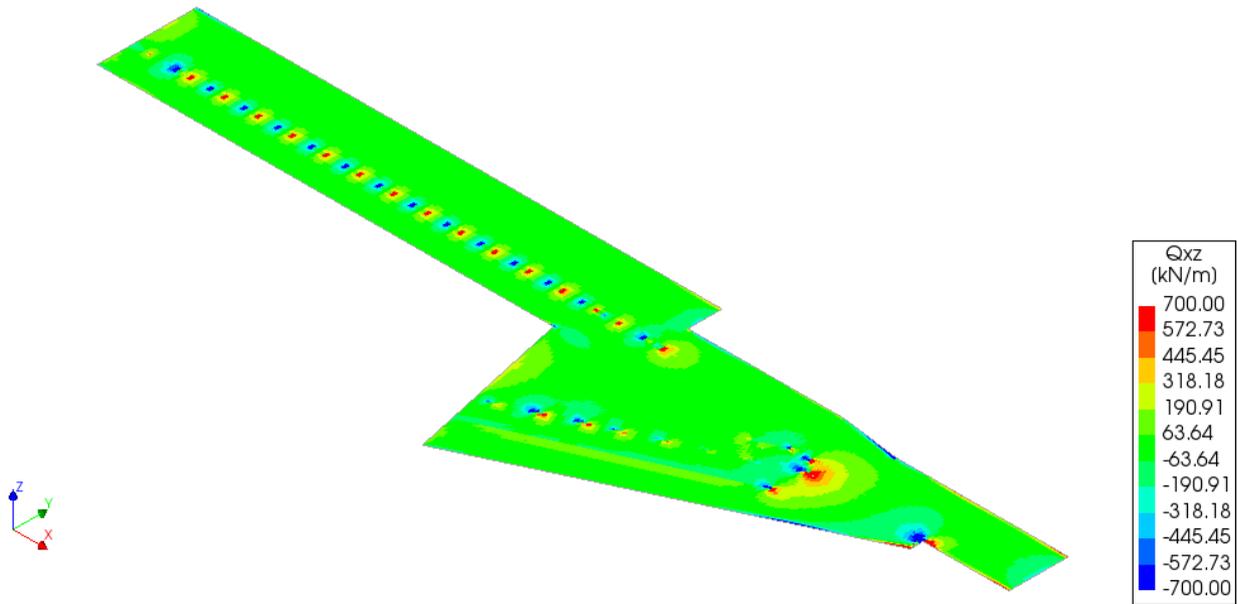
 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

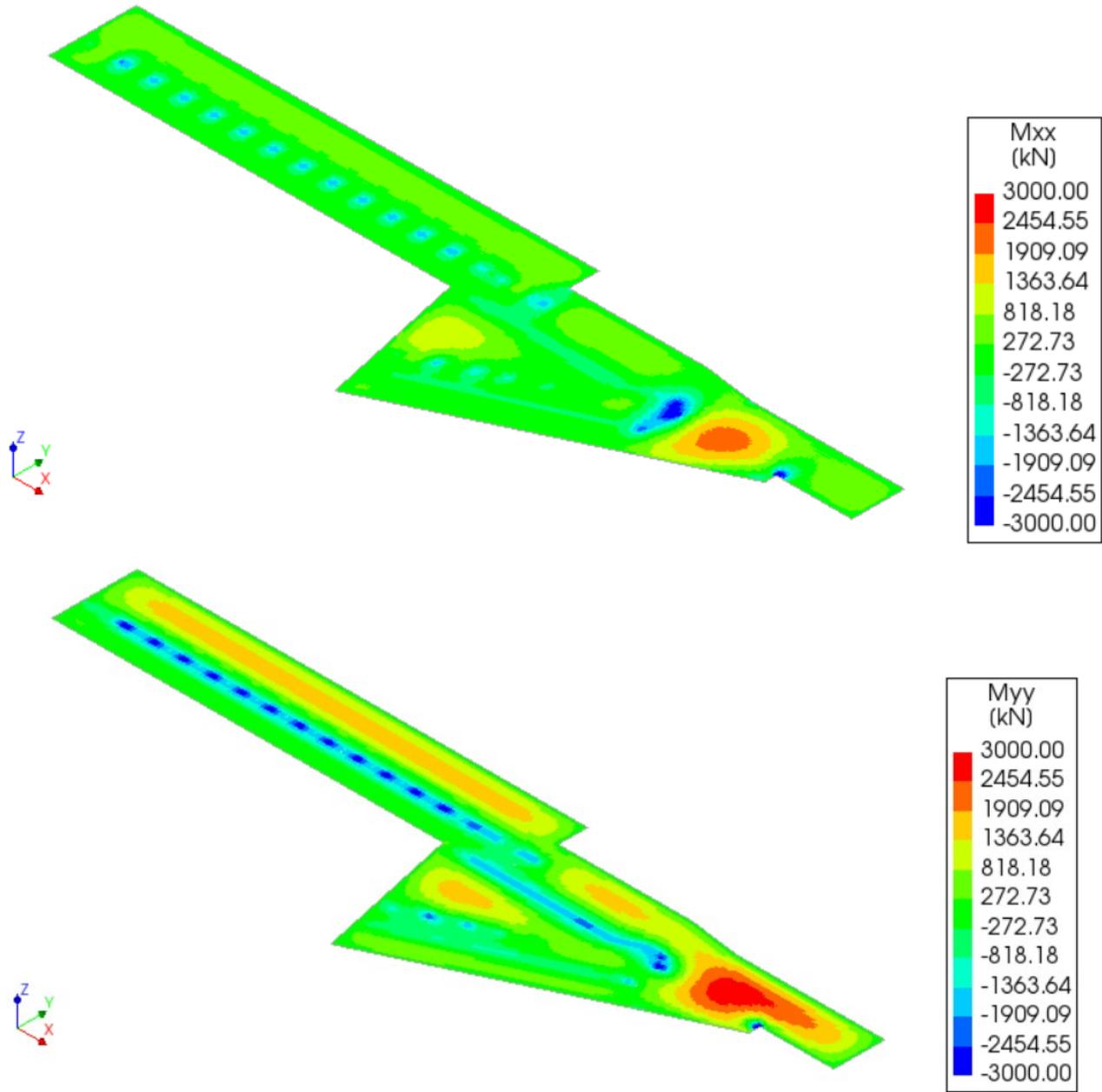


 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



**Figura 48. Soletta di fondo FASE 10 – Sollecitazioni SLV**

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



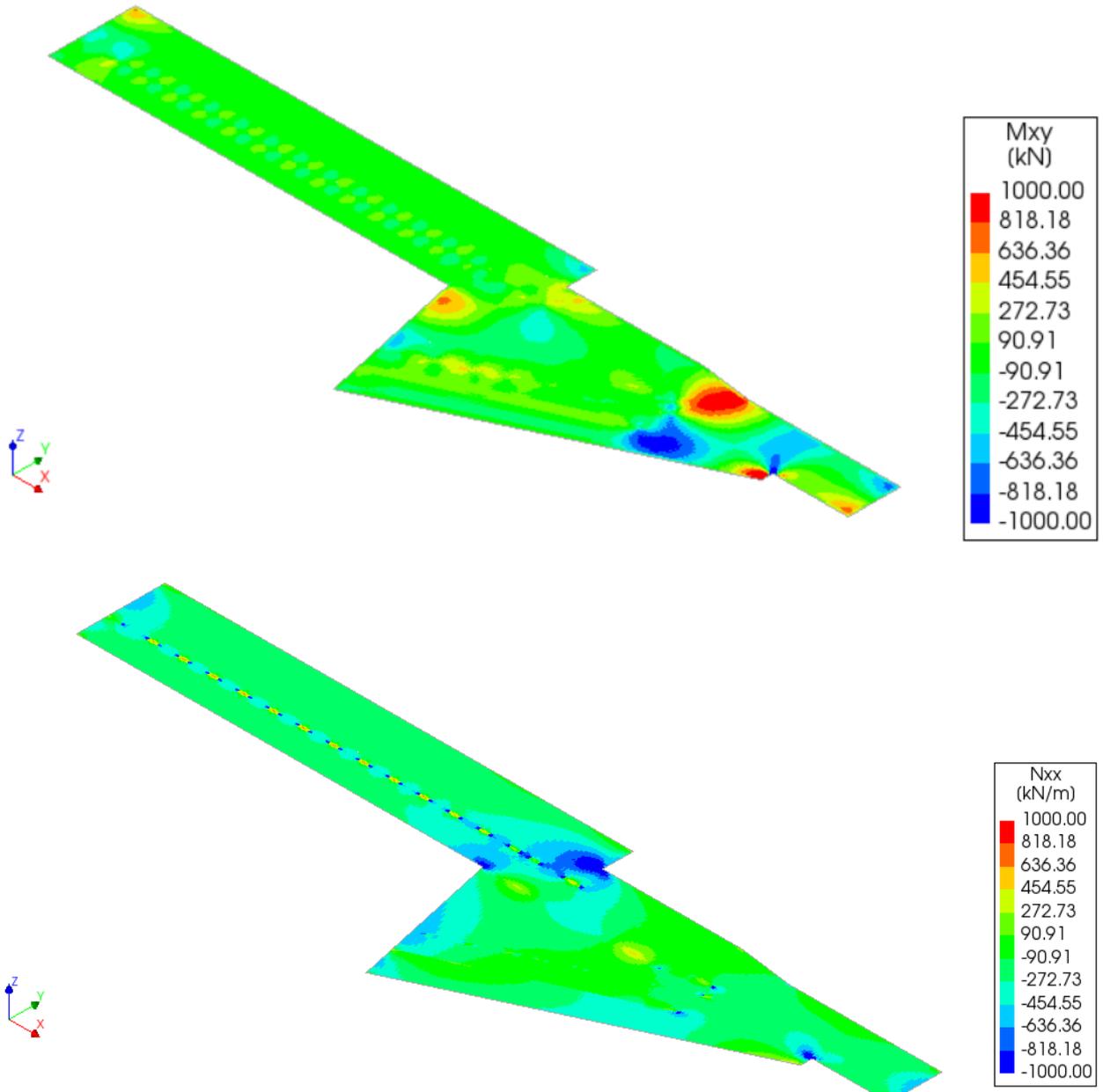


CITTA' DI TORINO

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

Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive  
in sotterraneo – Relazione di calcolo

MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



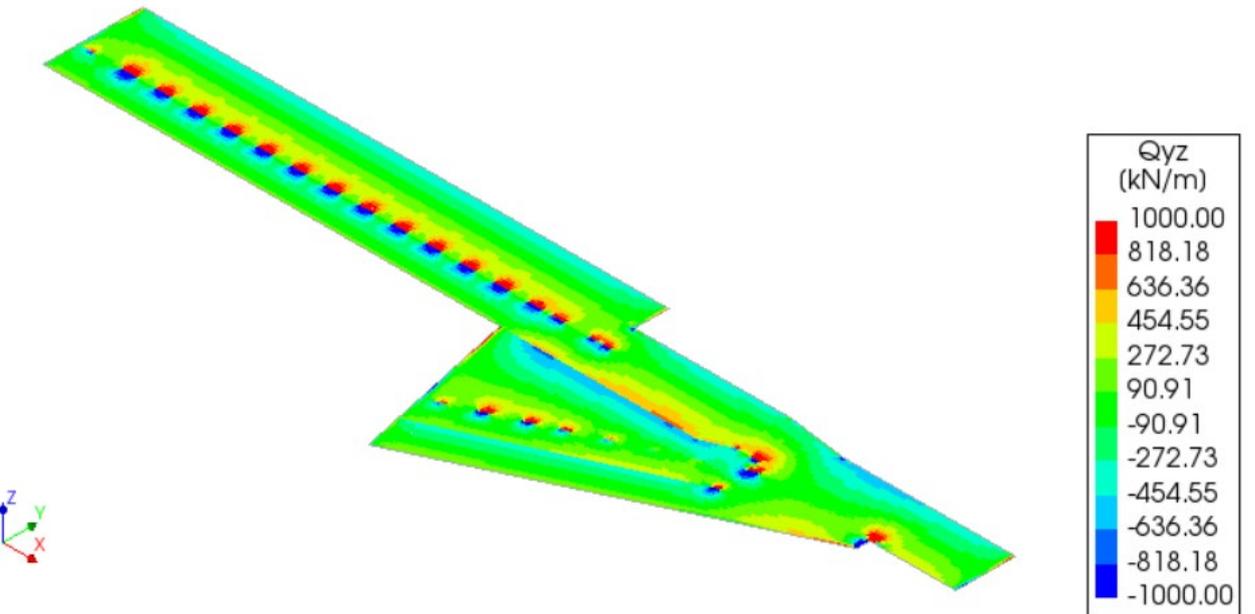
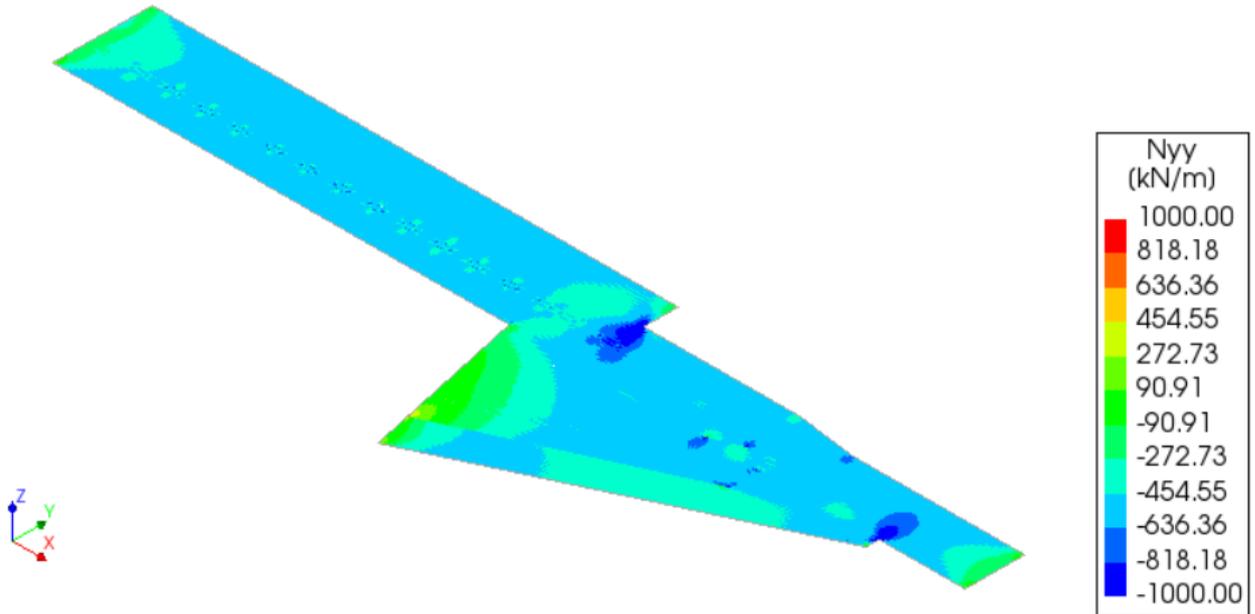


CITTA' DI TORINO

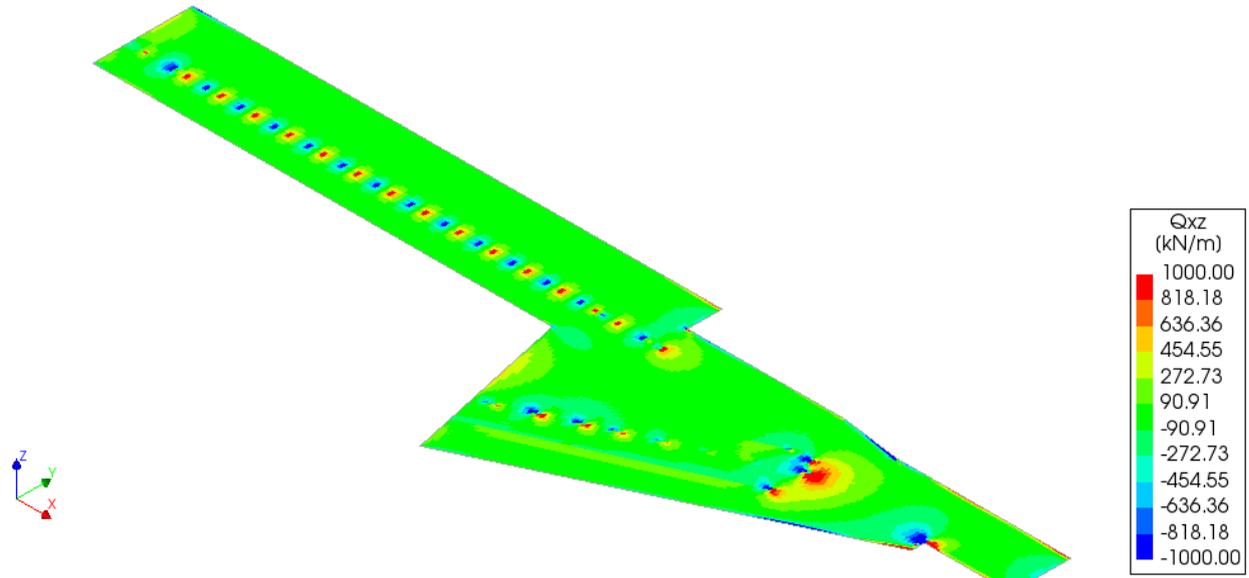
Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta:  
Politecnico – Rebaudengo – Lotto  
Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna

Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive  
in sotterraneo – Relazione di calcolo

MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

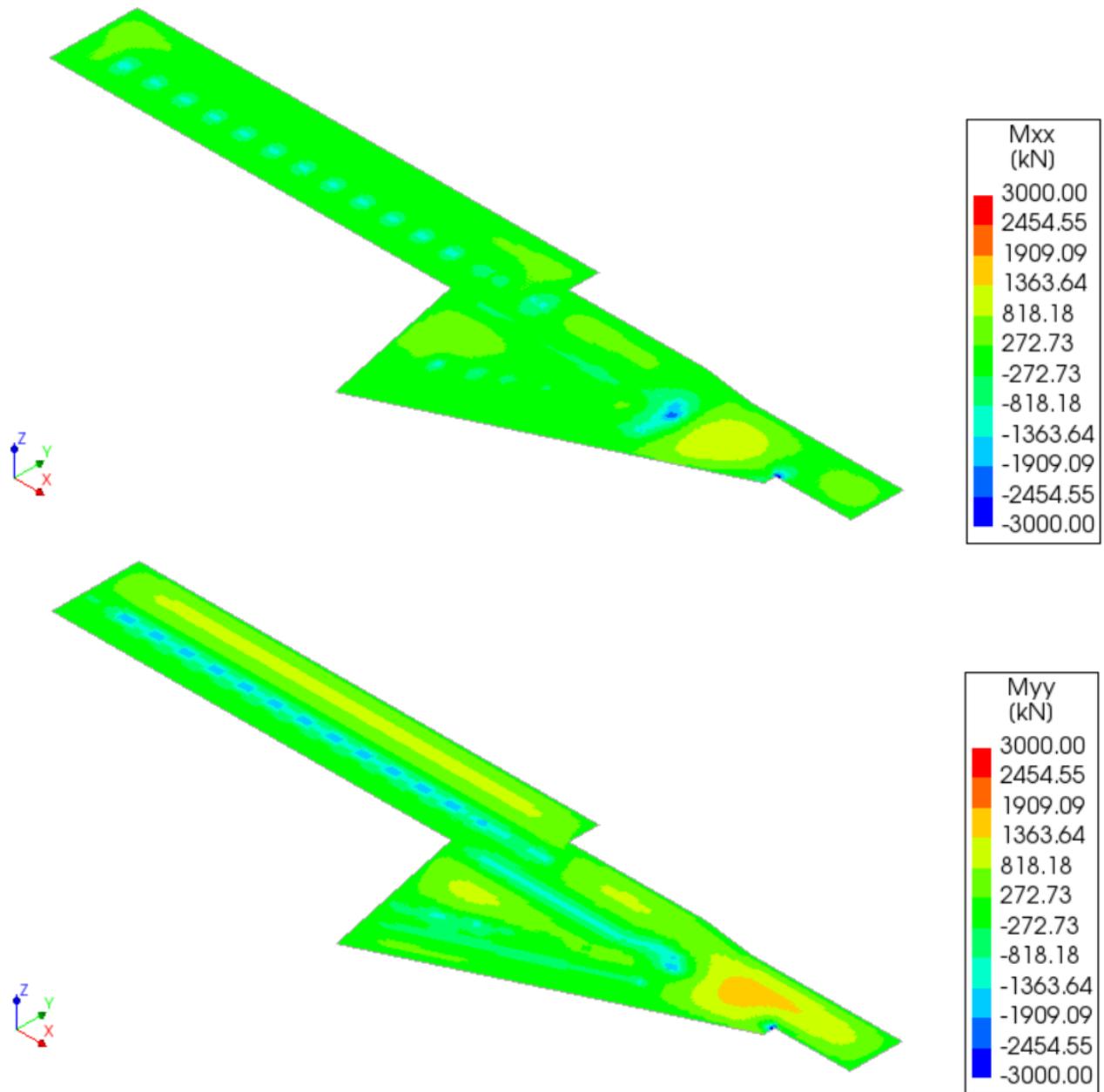


 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



**Figura 49. Soletta di fondo FASE 11 – Sollecitazioni SLU**

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



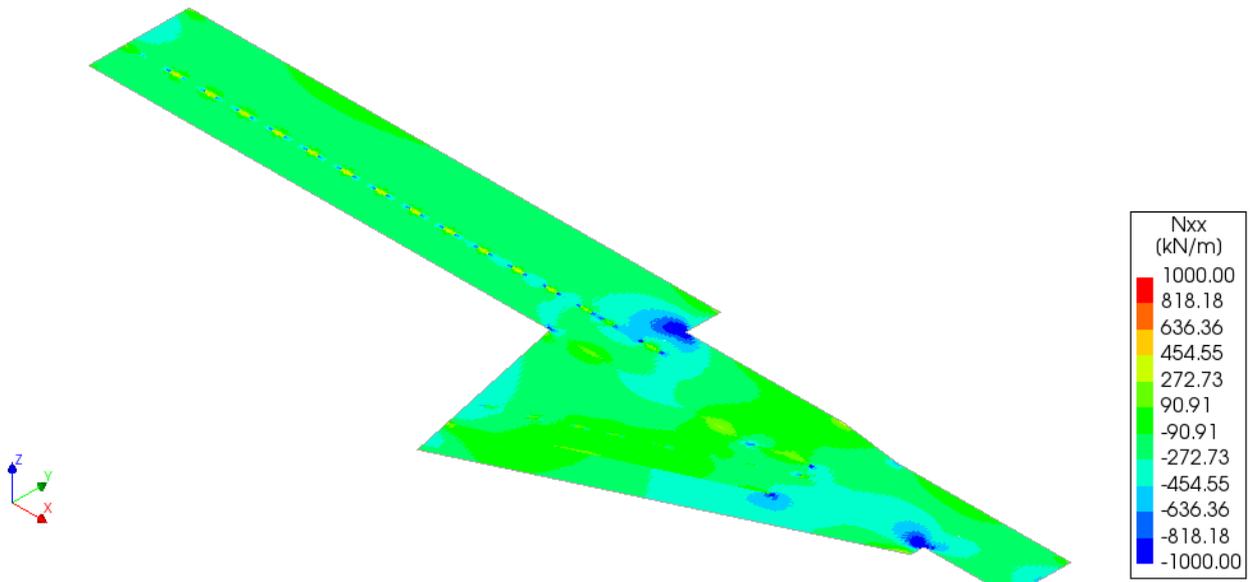
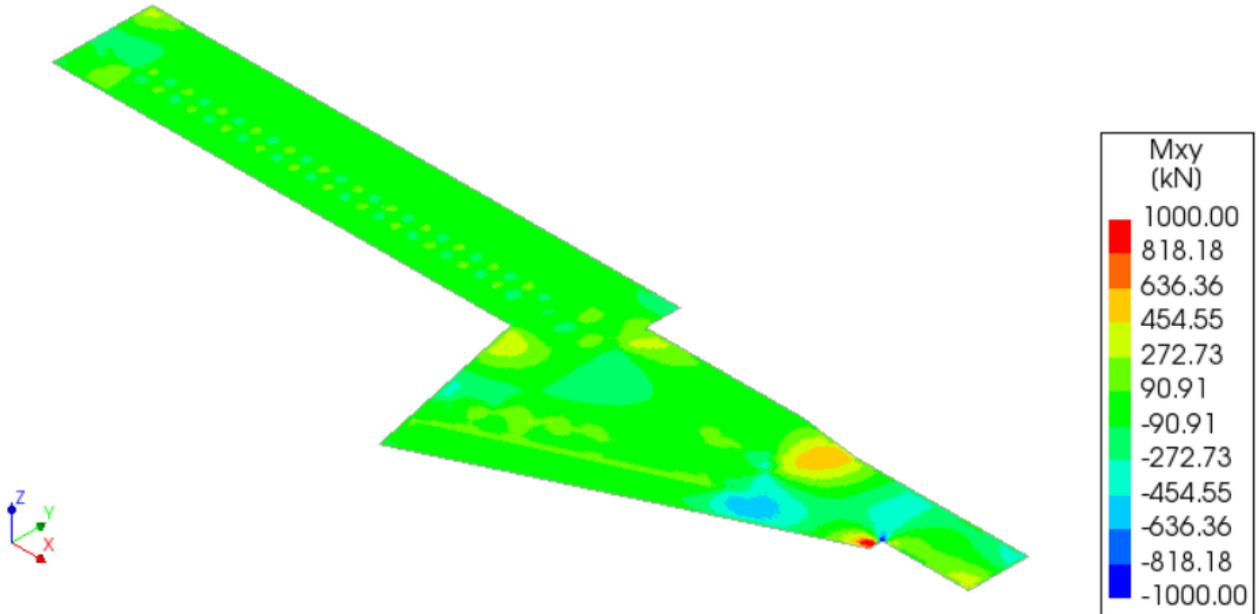


CITTA' DI TORINO

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

Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive  
in sotterraneo – Relazione di calcolo

MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



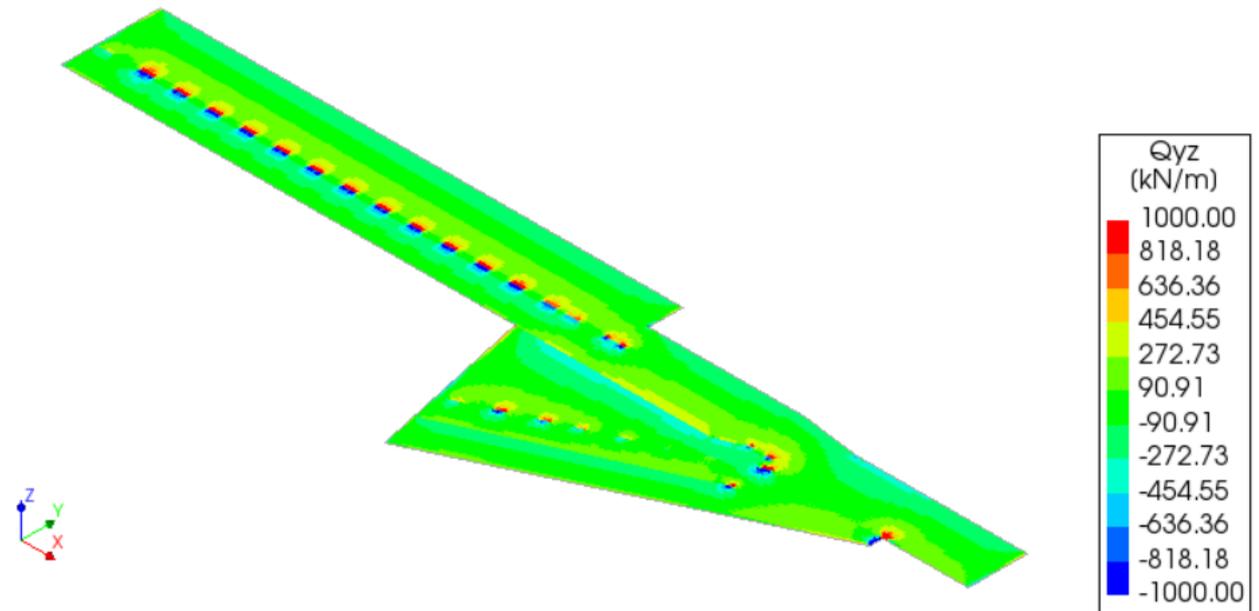
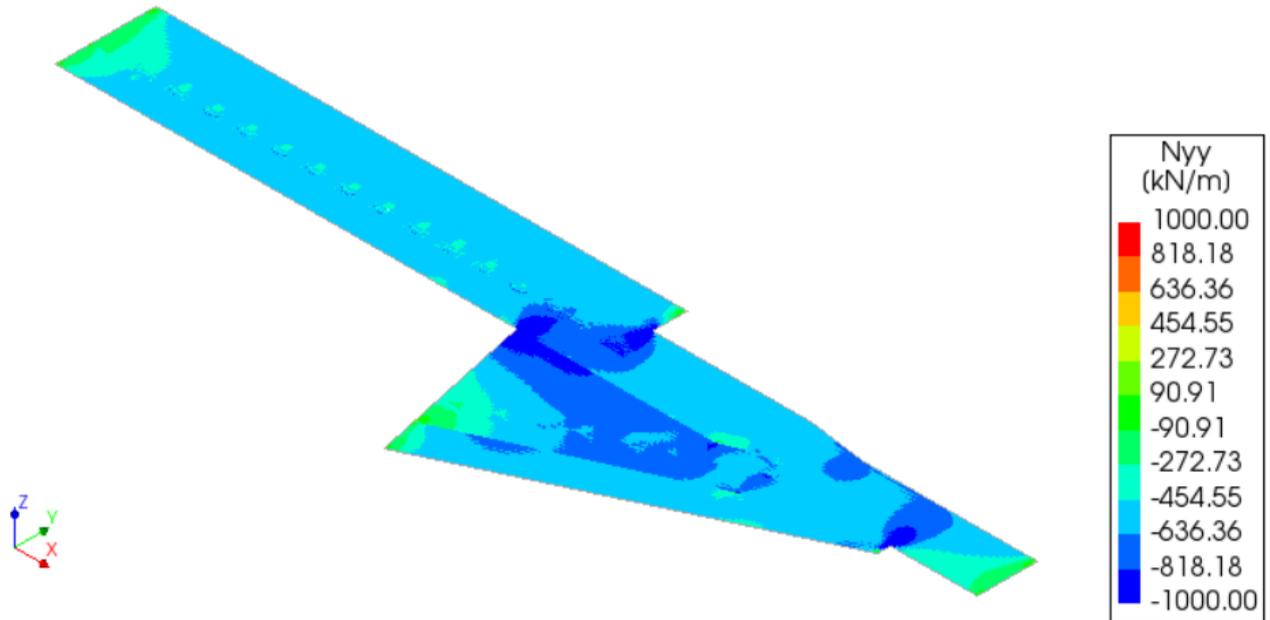


CITTA' DI TORINO

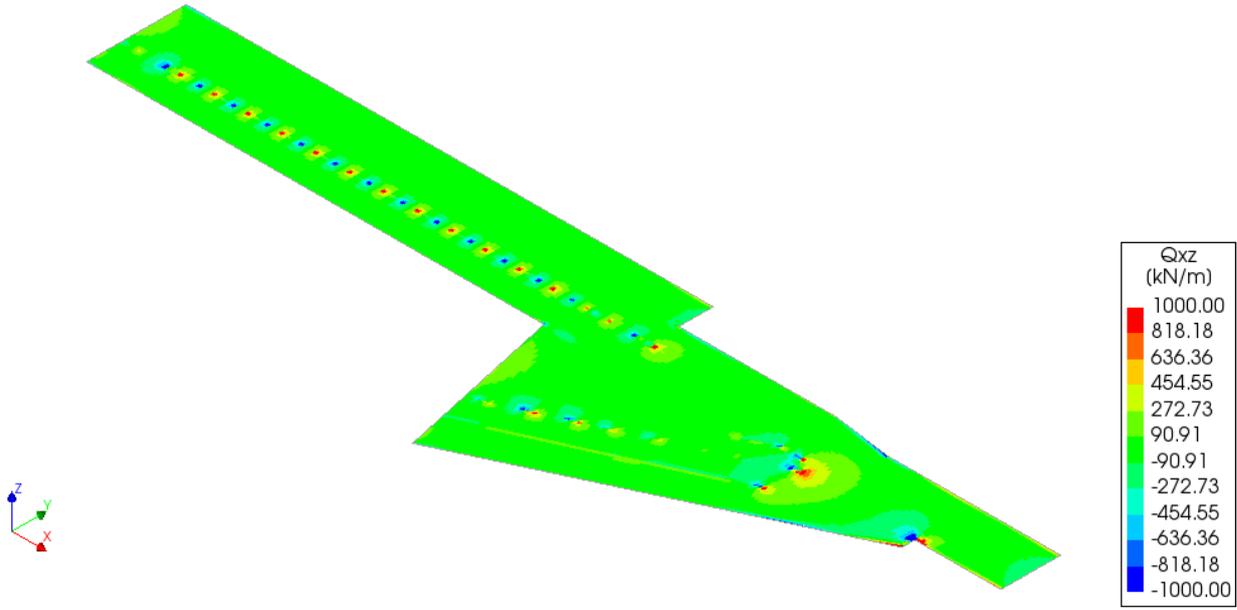
Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta:  
Politecnico – Rebaudengo – Lotto  
Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna

Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive  
in sotterraneo – Relazione di calcolo

MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



**Figura 50. Soletta di fondo FASE 11 – Sollecitazioni SLV**

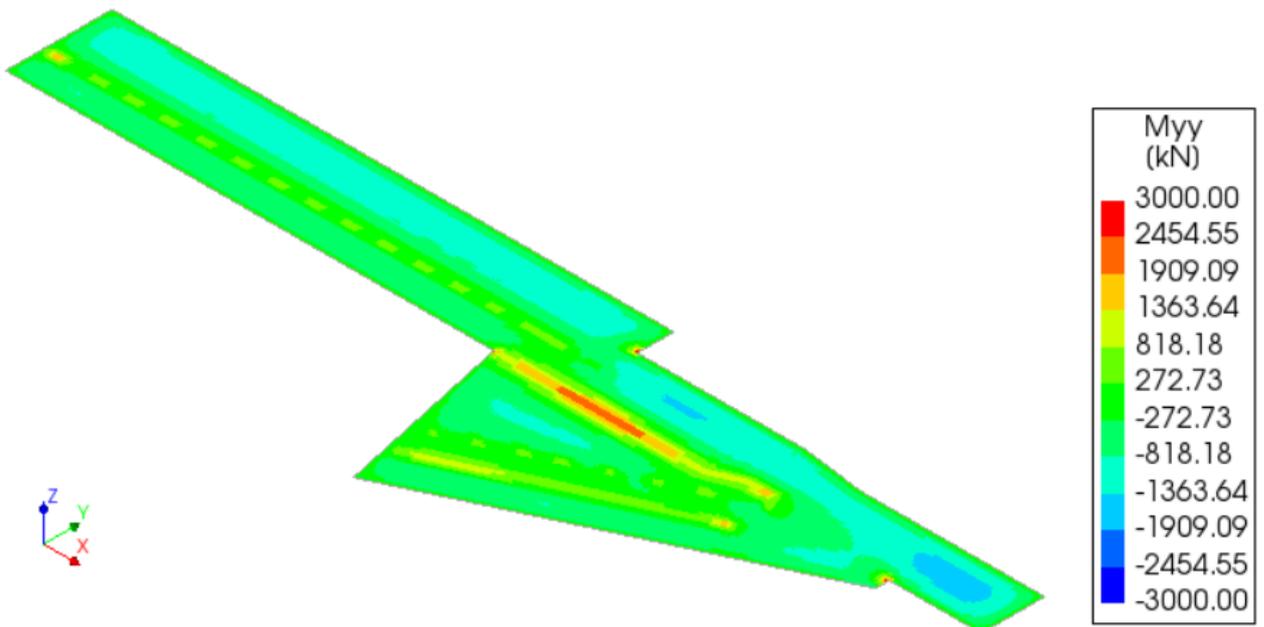
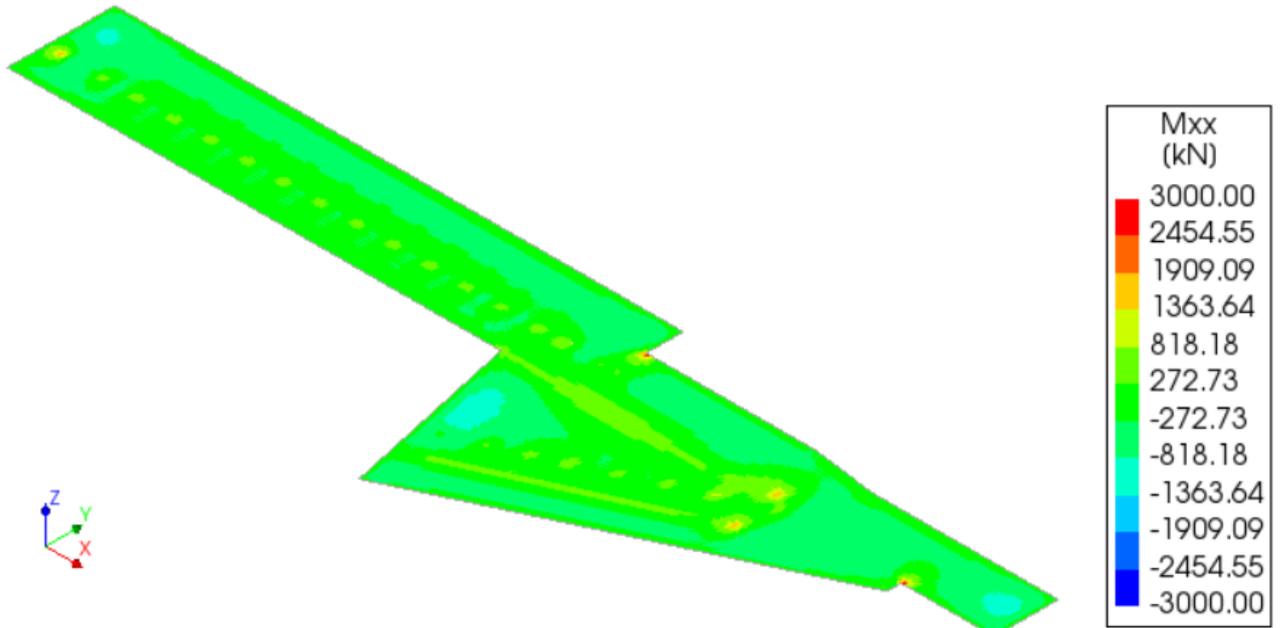


CITTA' DI TORINO

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

Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive  
in sotterraneo – Relazione di calcolo

MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



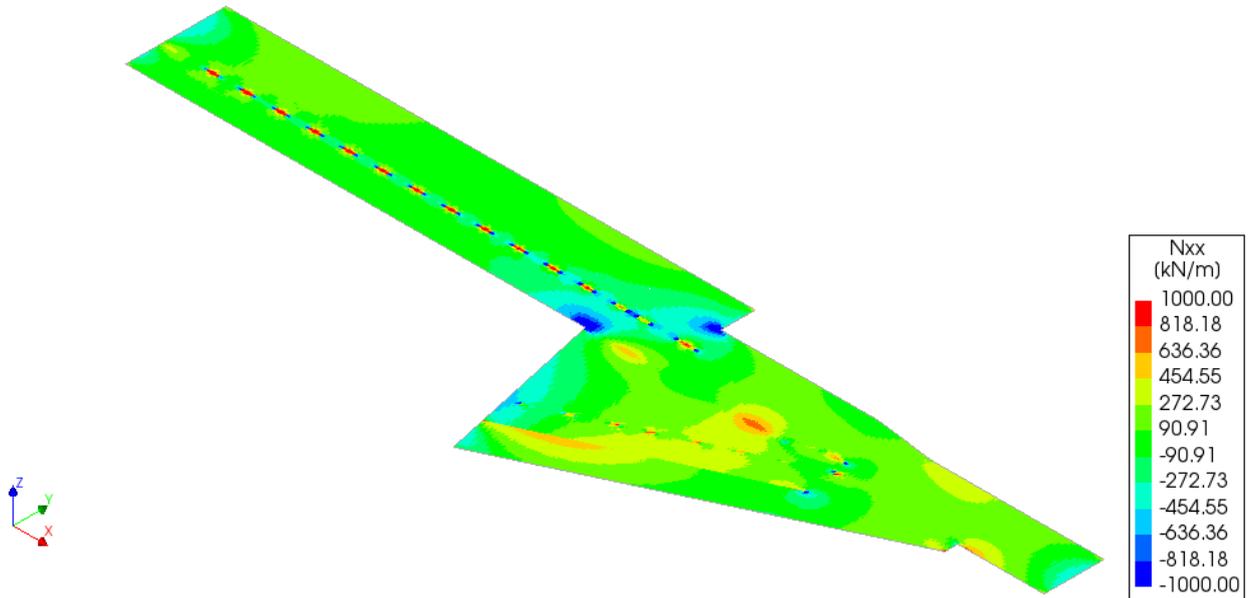
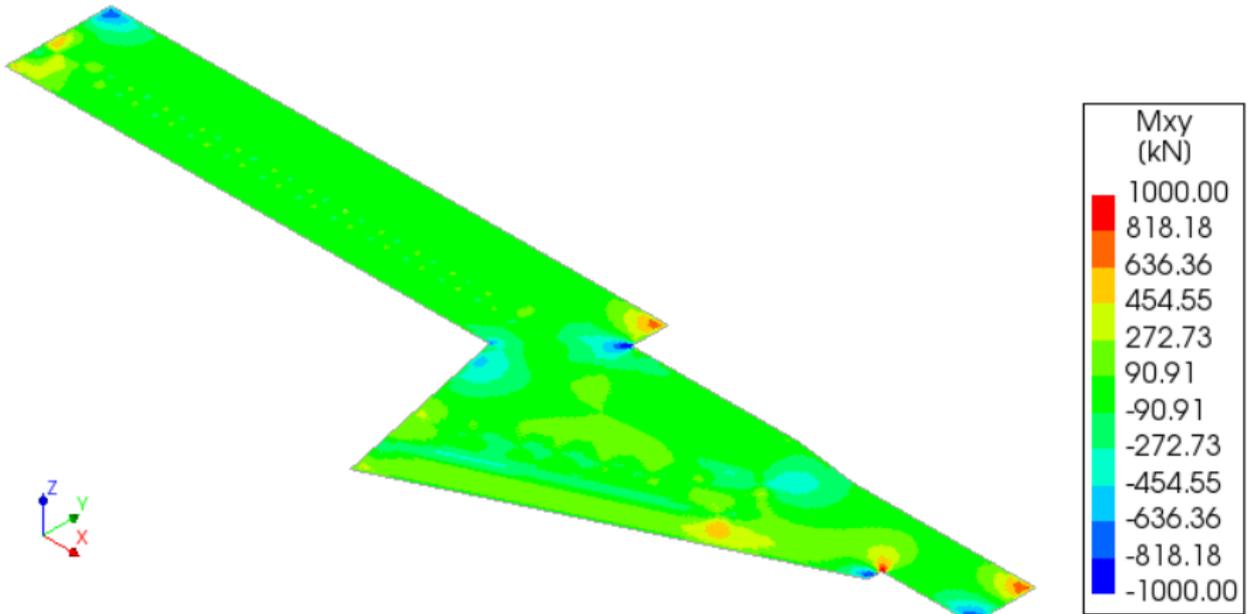


CITTA' DI TORINO

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

Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive  
in sotterraneo – Relazione di calcolo

MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



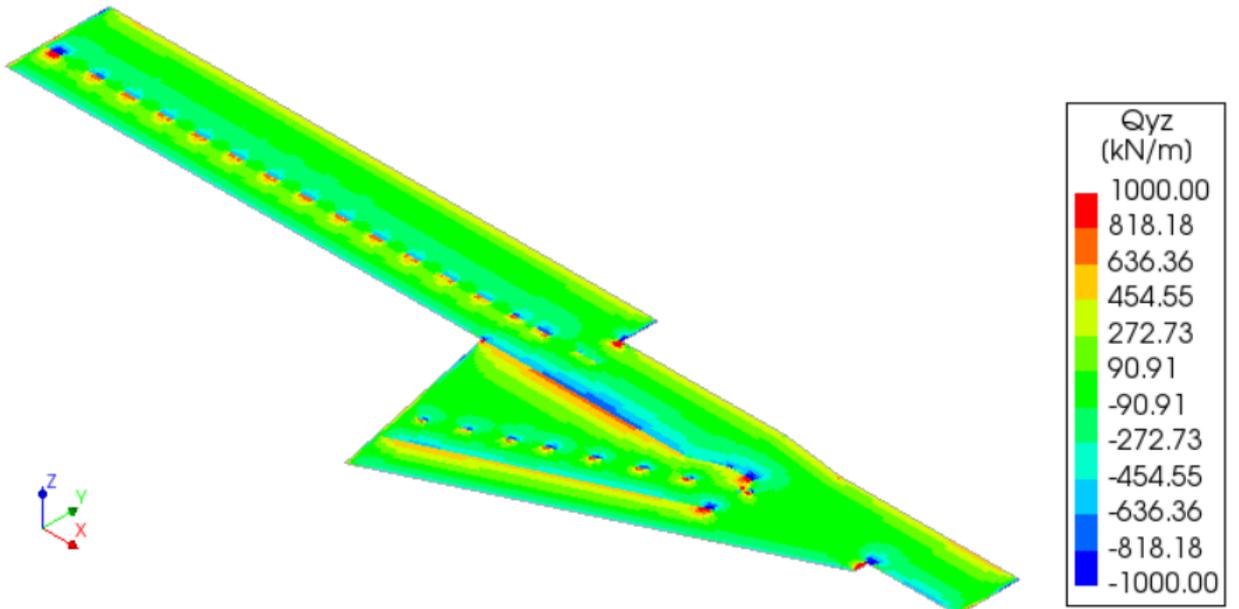
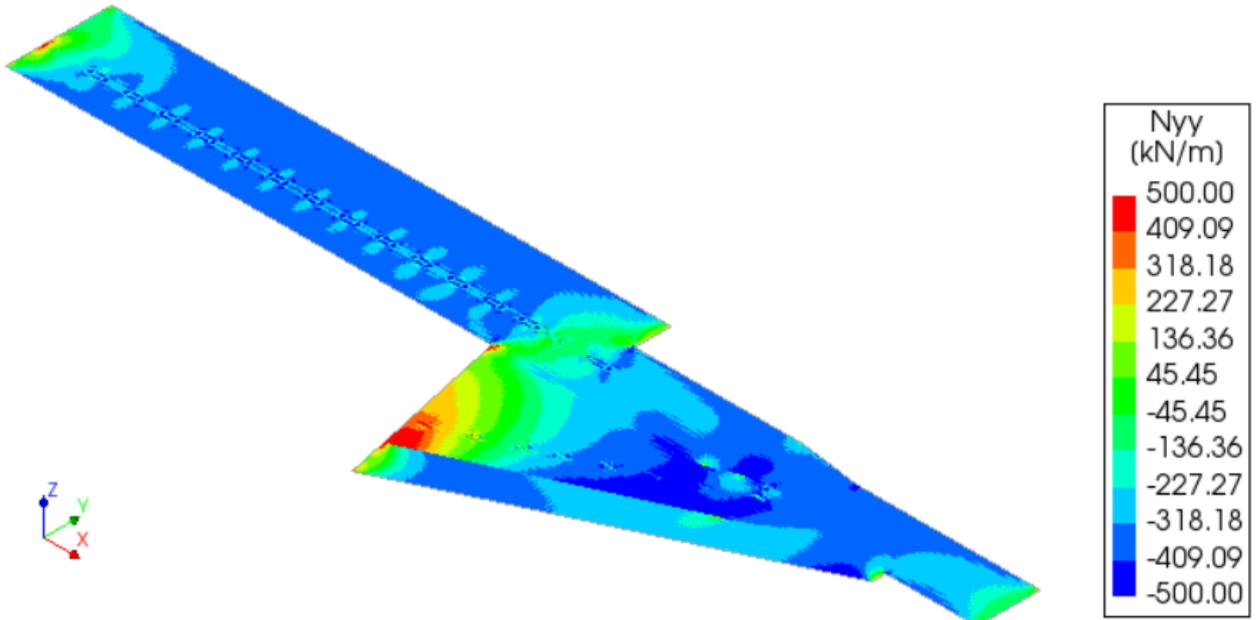


CITTA' DI TORINO

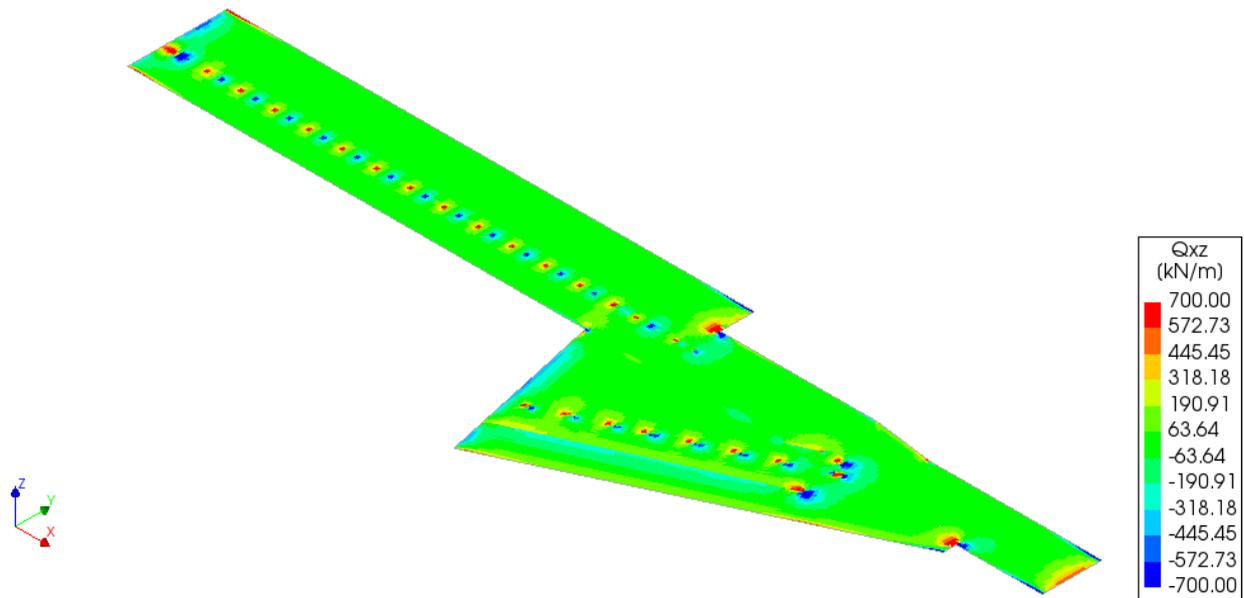
Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta:  
Politecnico – Rebaudengo – Lotto  
Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna

Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive  
in sotterraneo – Relazione di calcolo

MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



**Figura 51. Soletta di fondo FASE 12 – Sollecitazioni SLU**

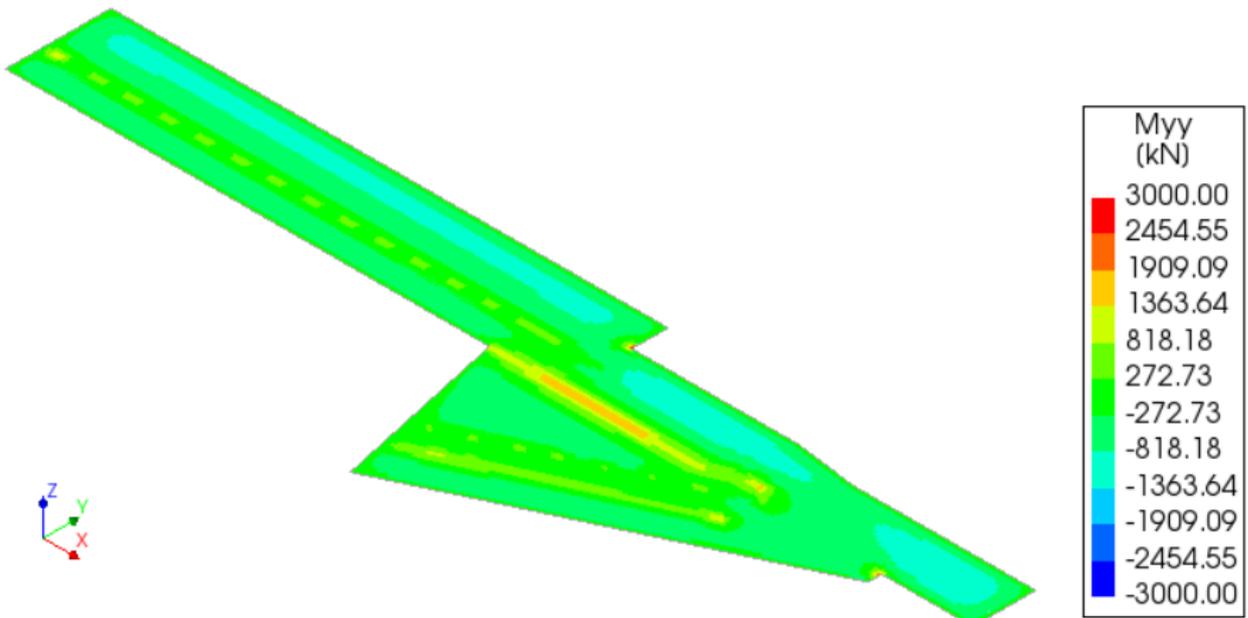
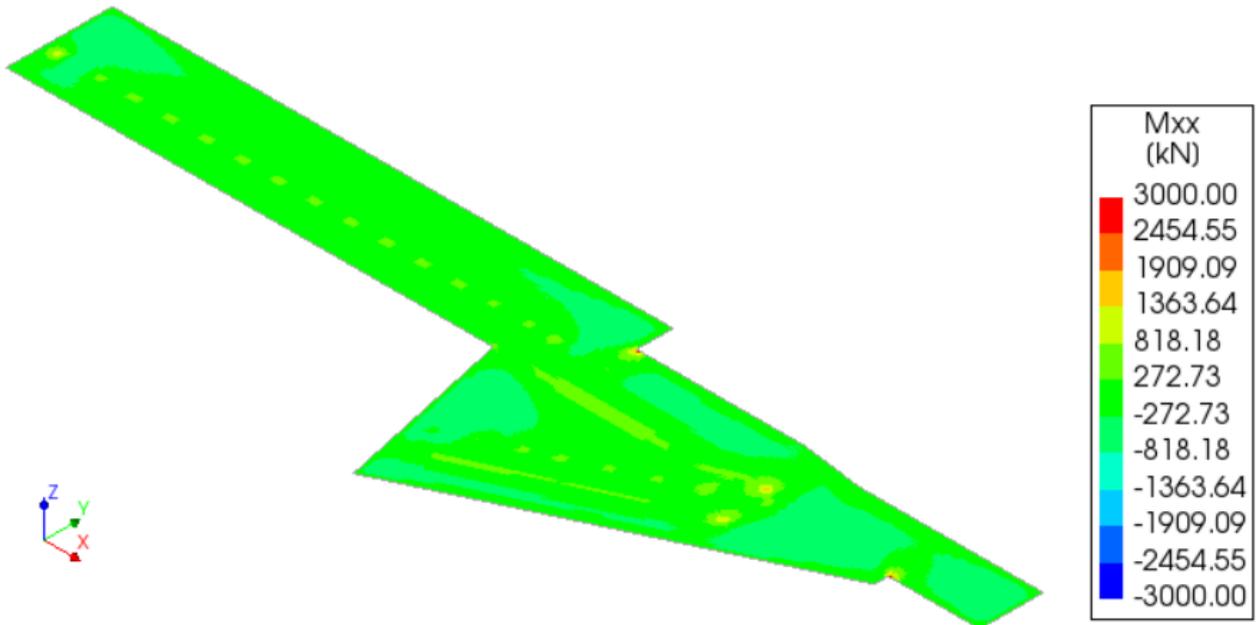


CITTA' DI TORINO

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

Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive  
in sotterraneo – Relazione di calcolo

MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



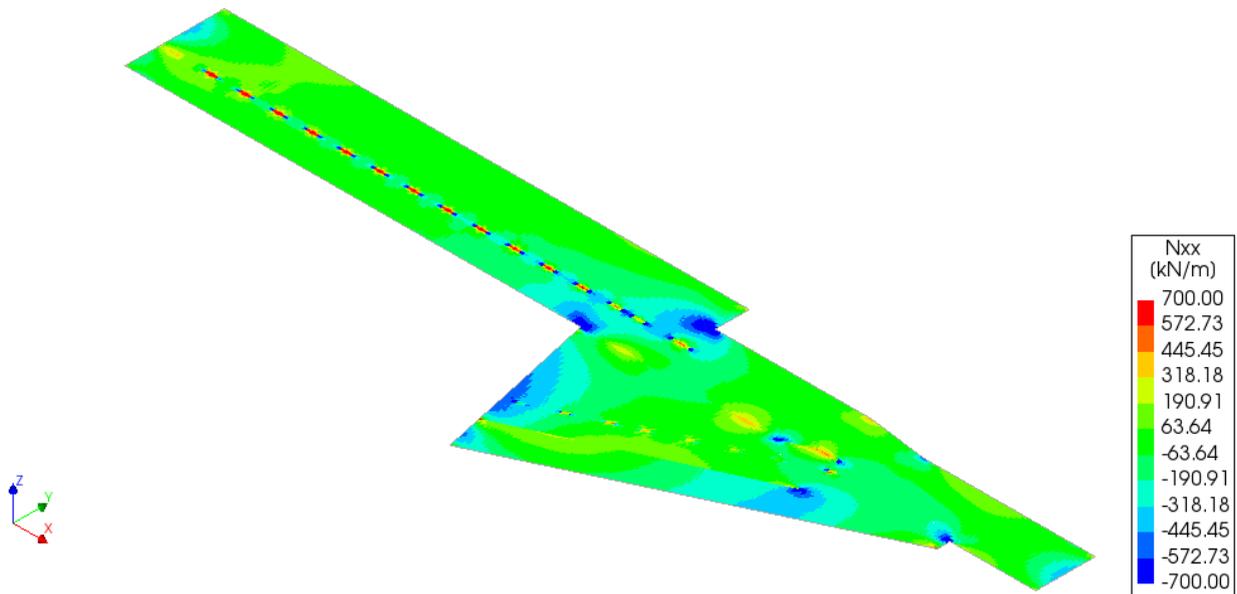
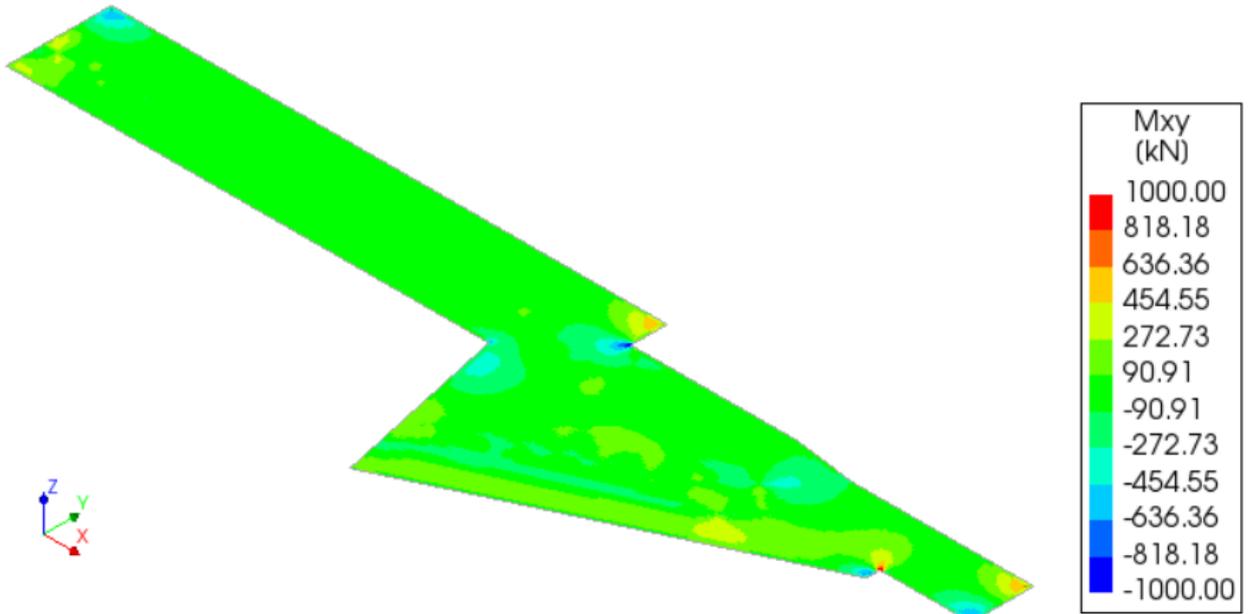


CITTA' DI TORINO

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

Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive  
in sotterraneo – Relazione di calcolo

MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



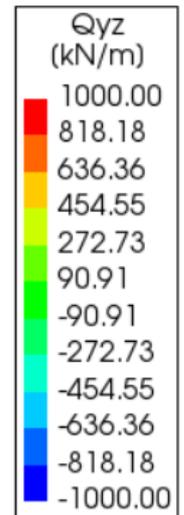
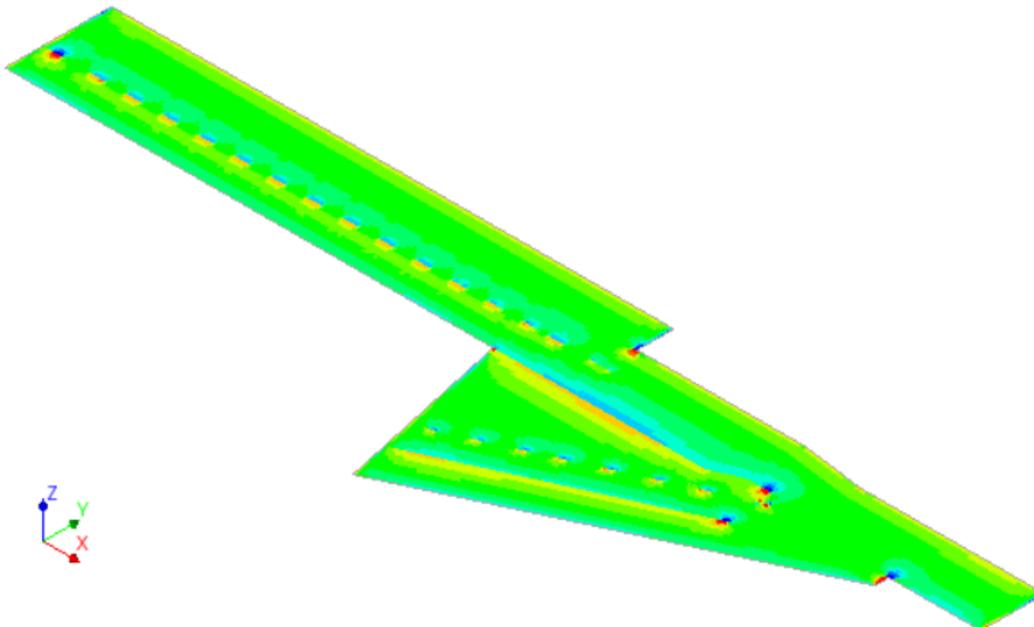
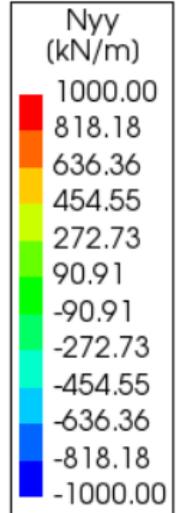
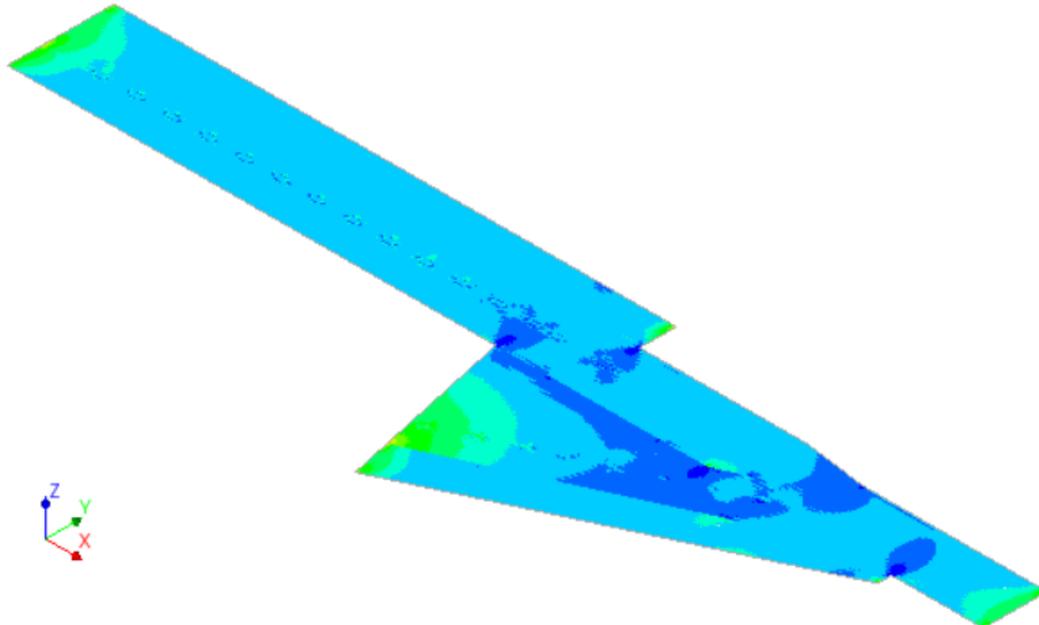


CITTA' DI TORINO

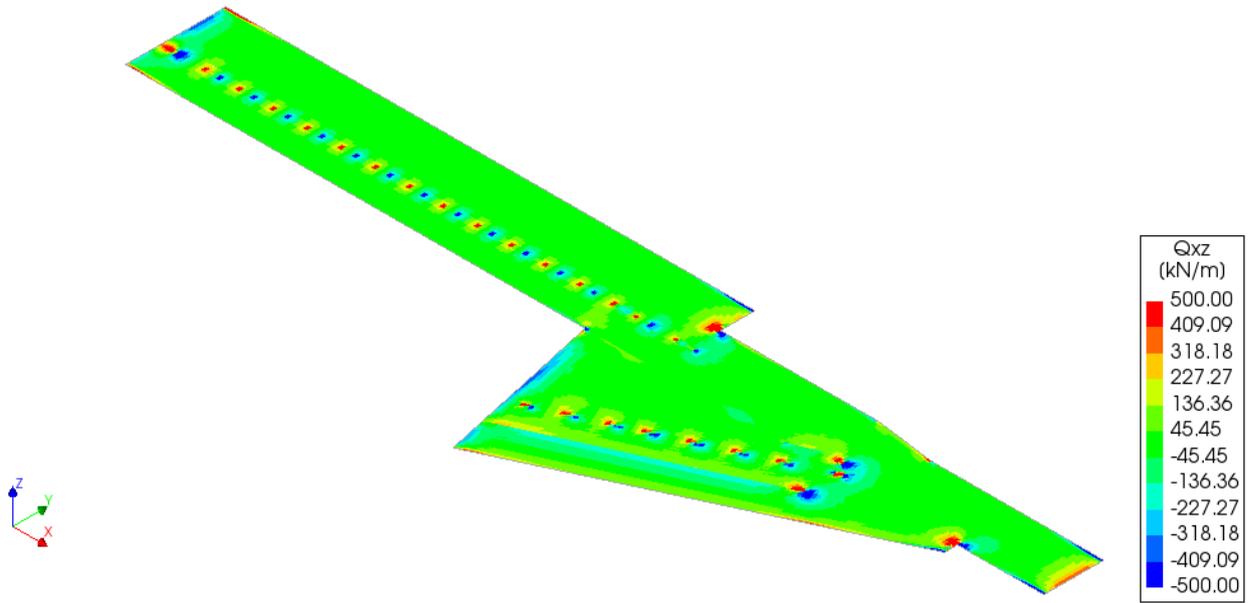
Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta:  
Politecnico – Rebaudengo – Lotto  
Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna

Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive  
in sotterraneo – Relazione di calcolo

MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

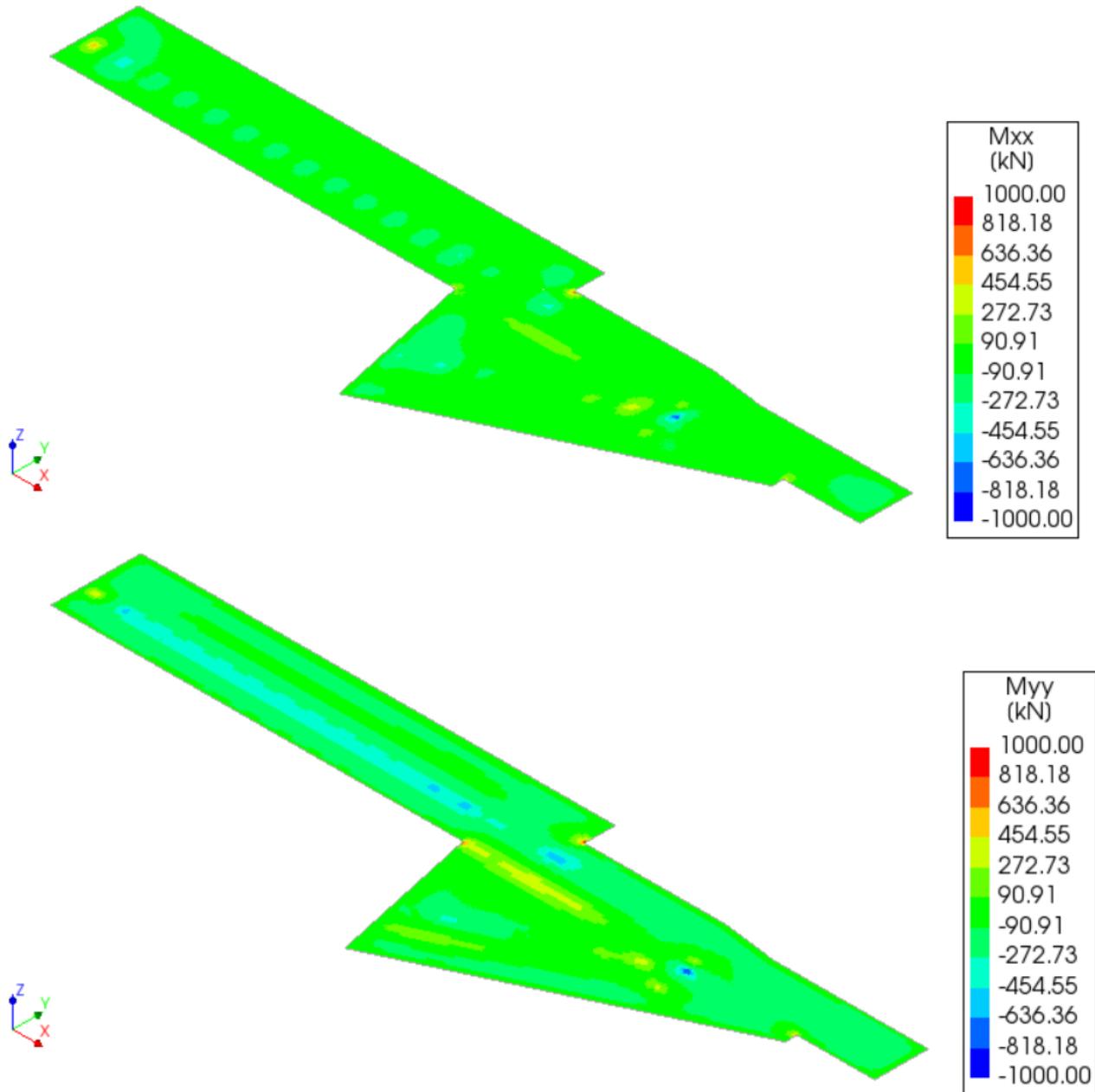


 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

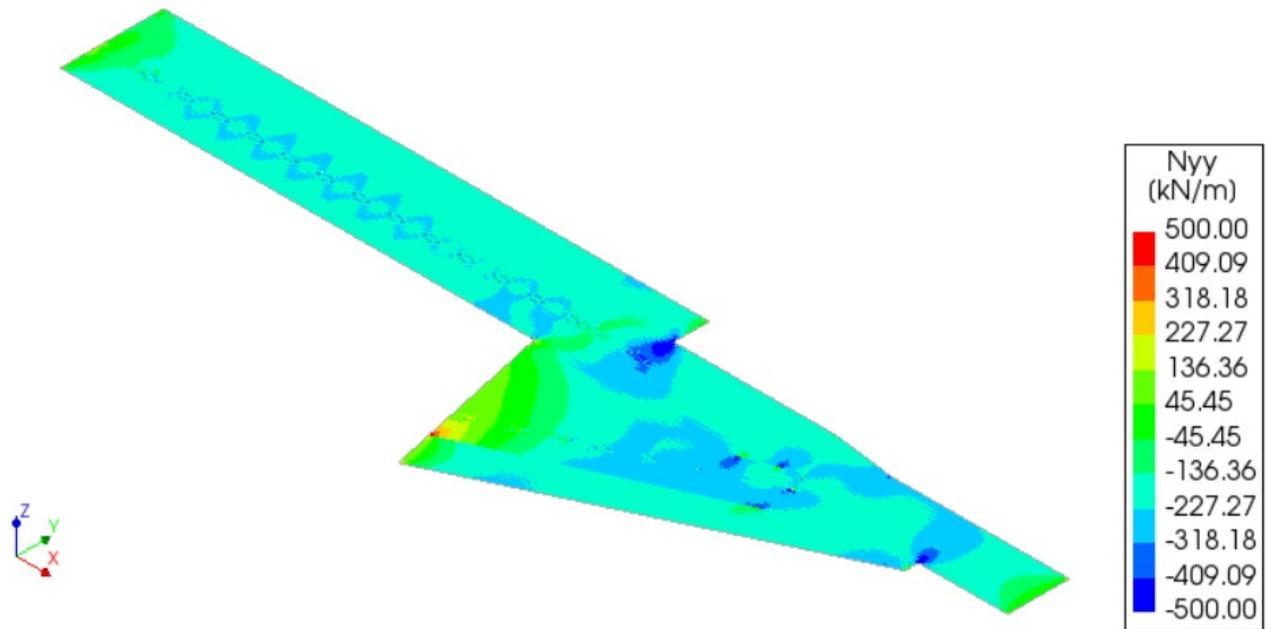
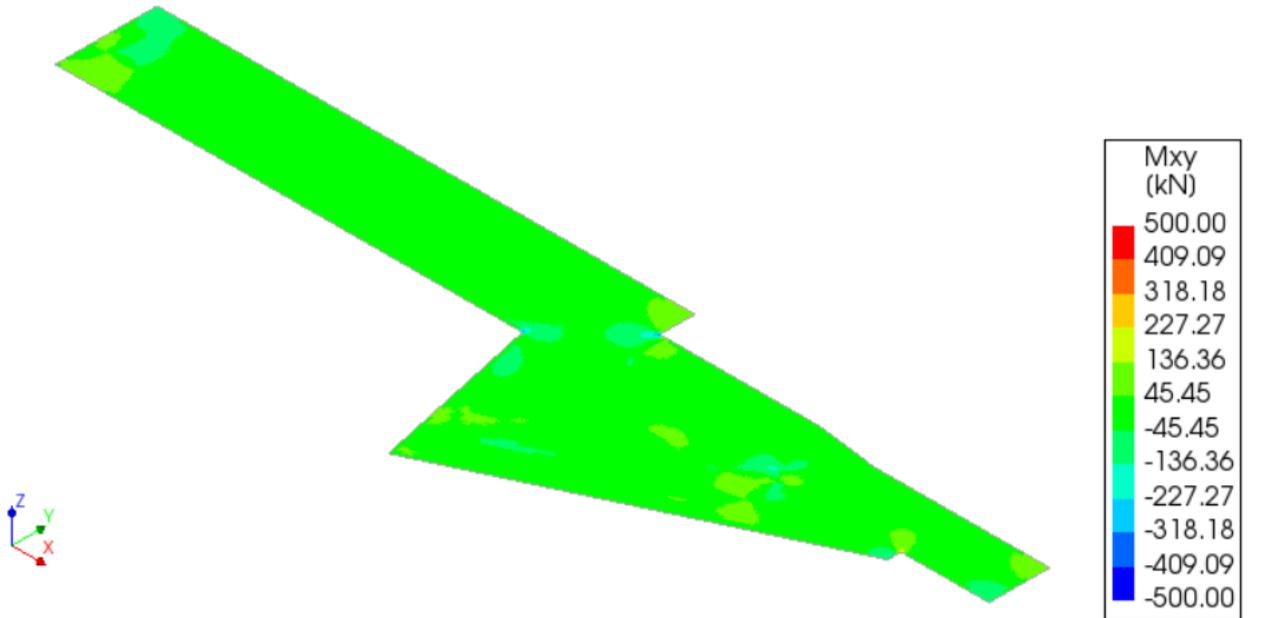


**Figura 52. Soletta di fondo FASE 12 – Sollecitazioni SLV**

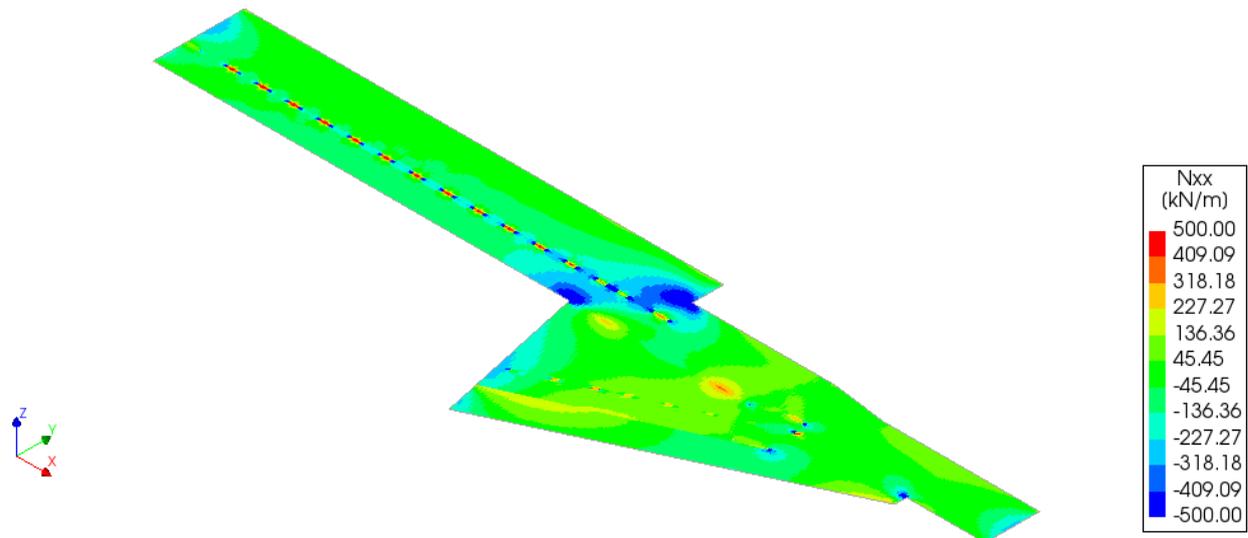
 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

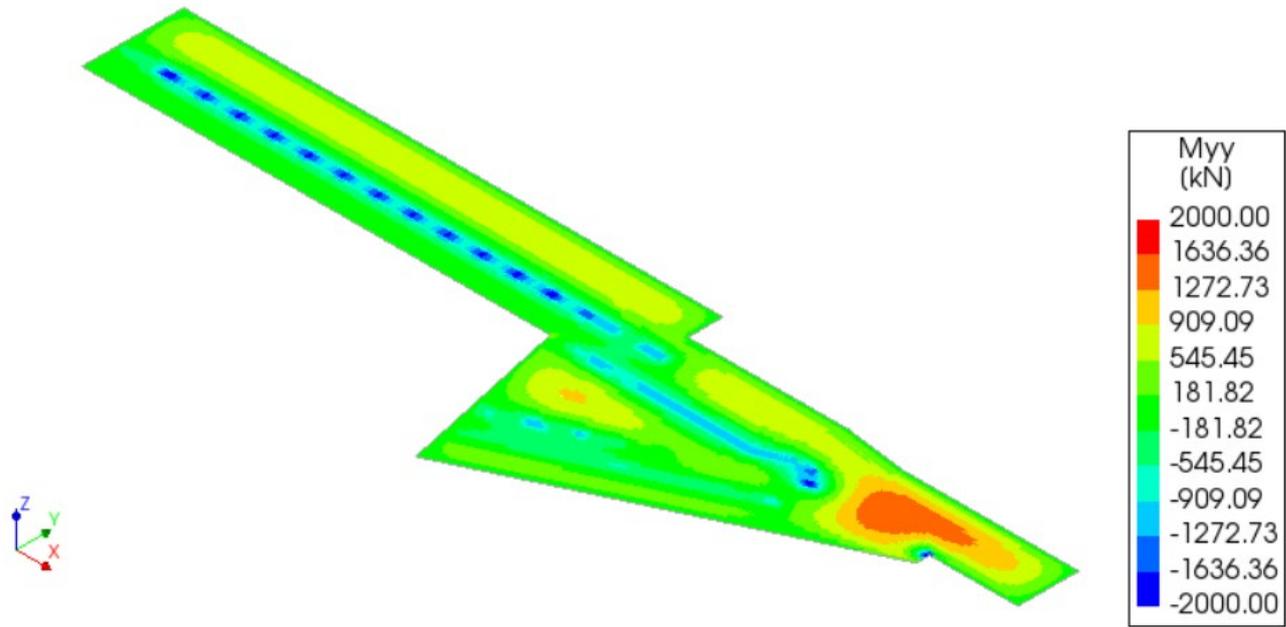
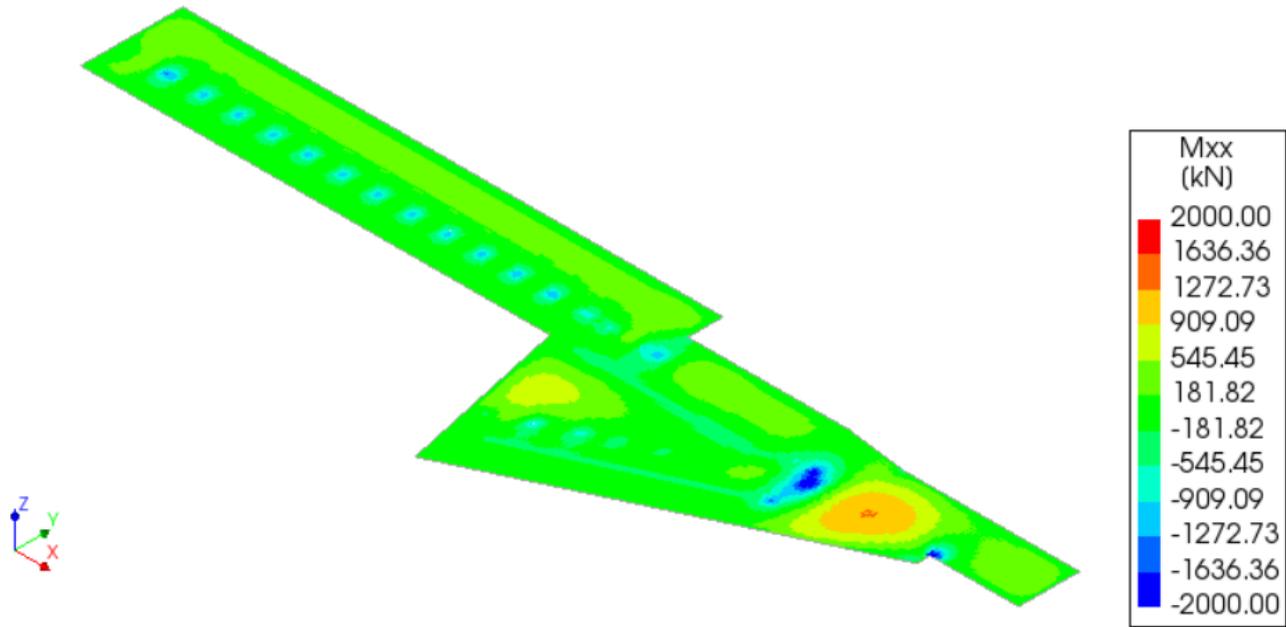


 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



**Figura 53. Soletta di fondo FASE 9 – Sollecitazioni SLE**

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



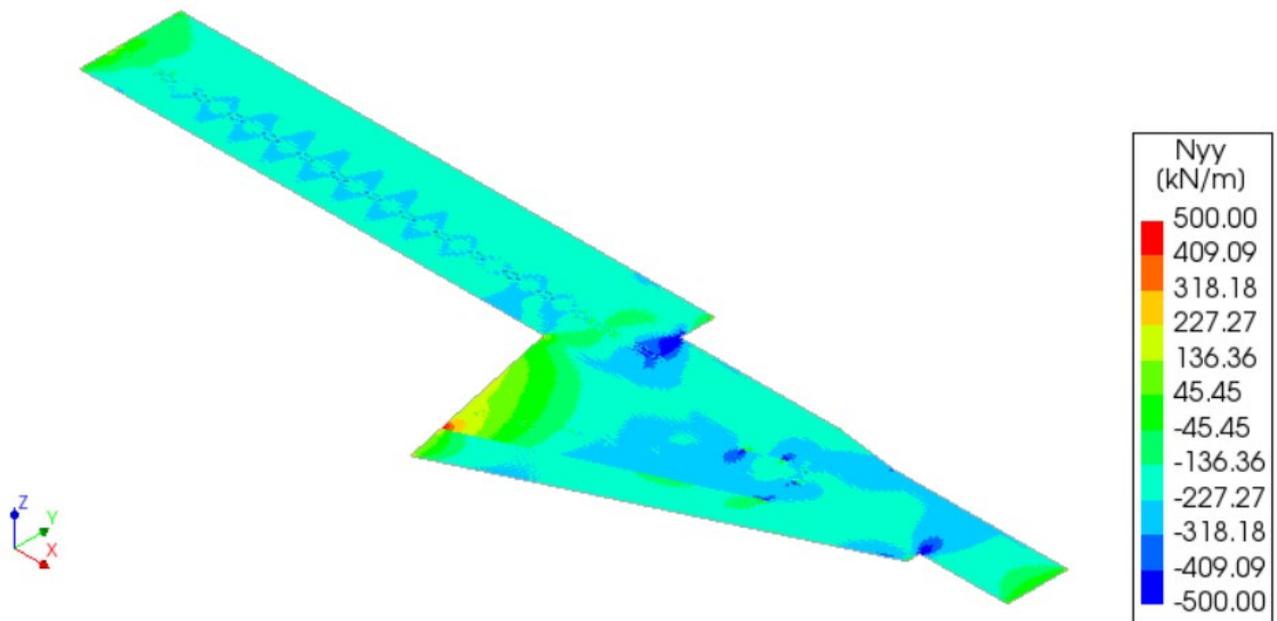
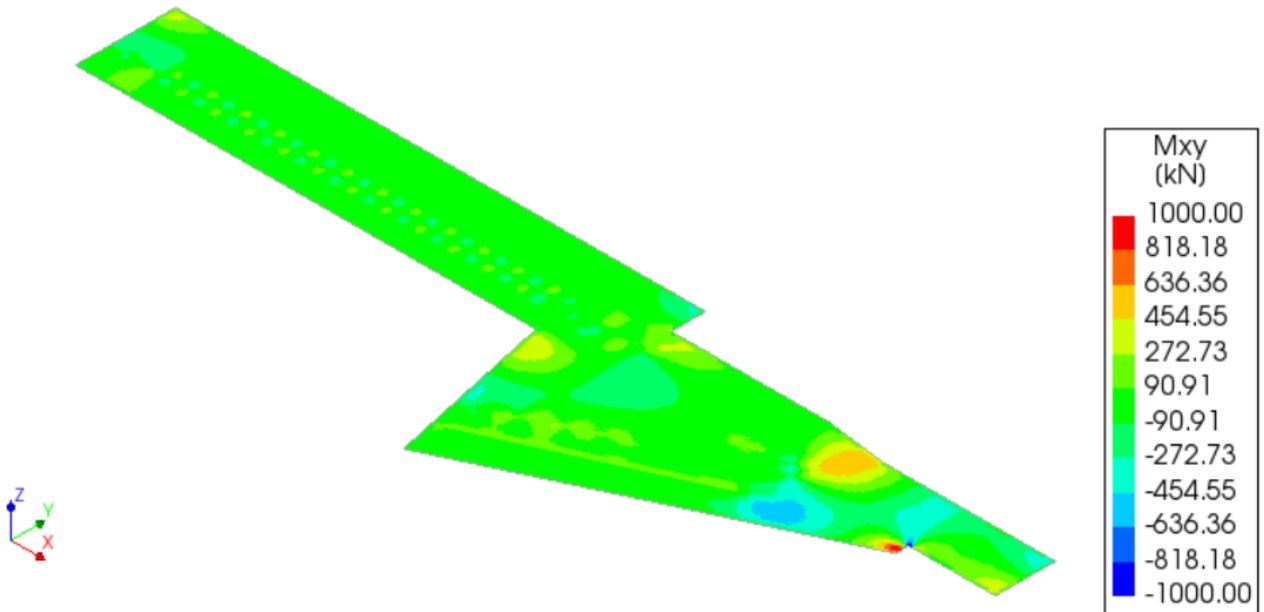


CITTA' DI TORINO

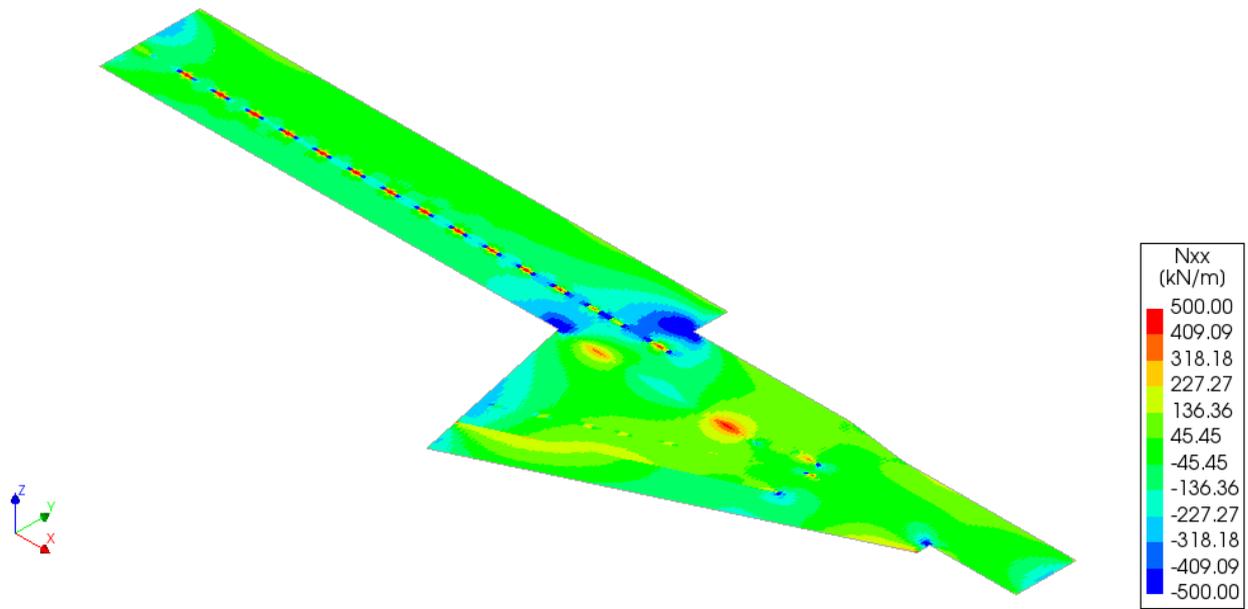
Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta:  
Politecnico – Rebaudengo – Lotto  
Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna

Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive  
in sotterraneo – Relazione di calcolo

MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

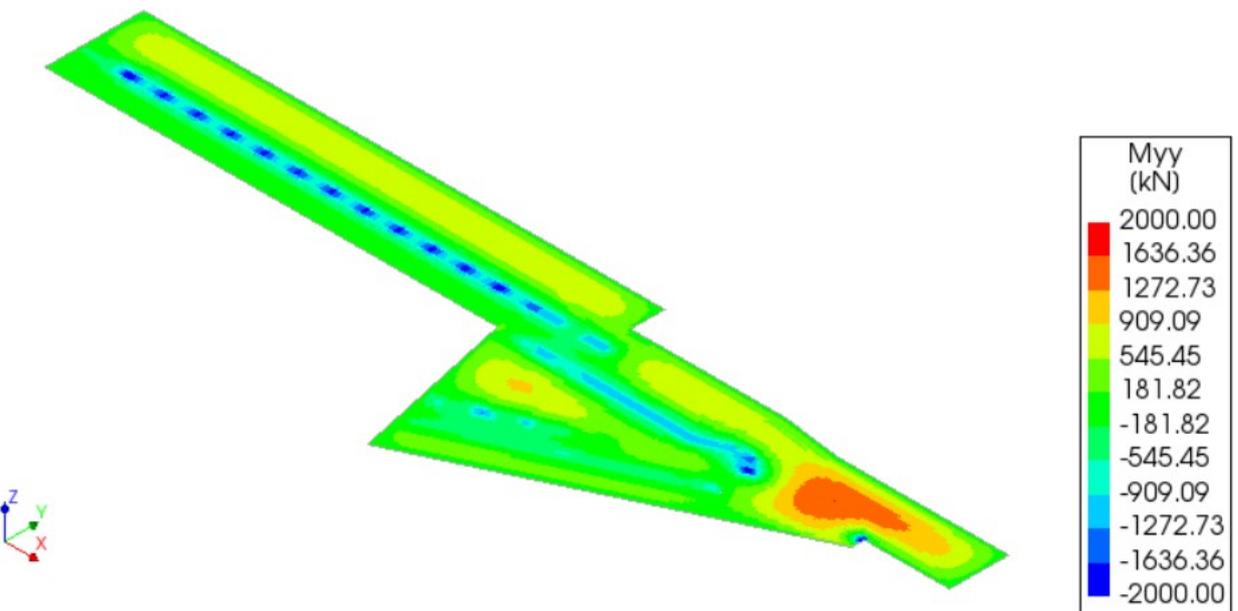
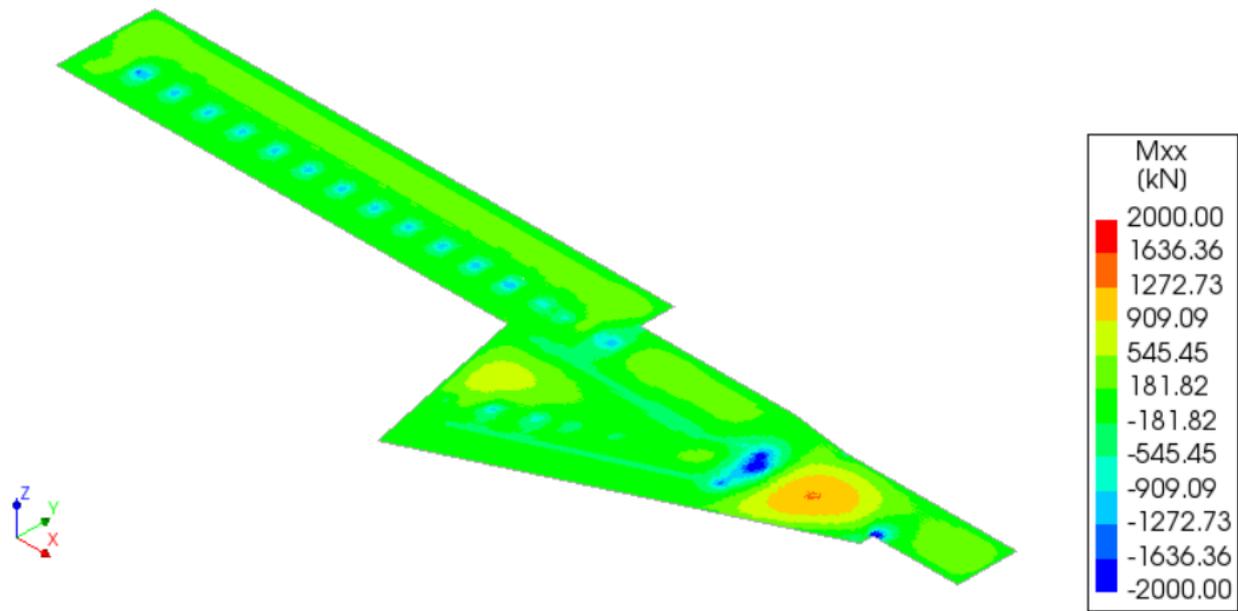


 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



**Figura 54. Soletta di fondo FASE 10 – Sollecitazioni SLE**

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



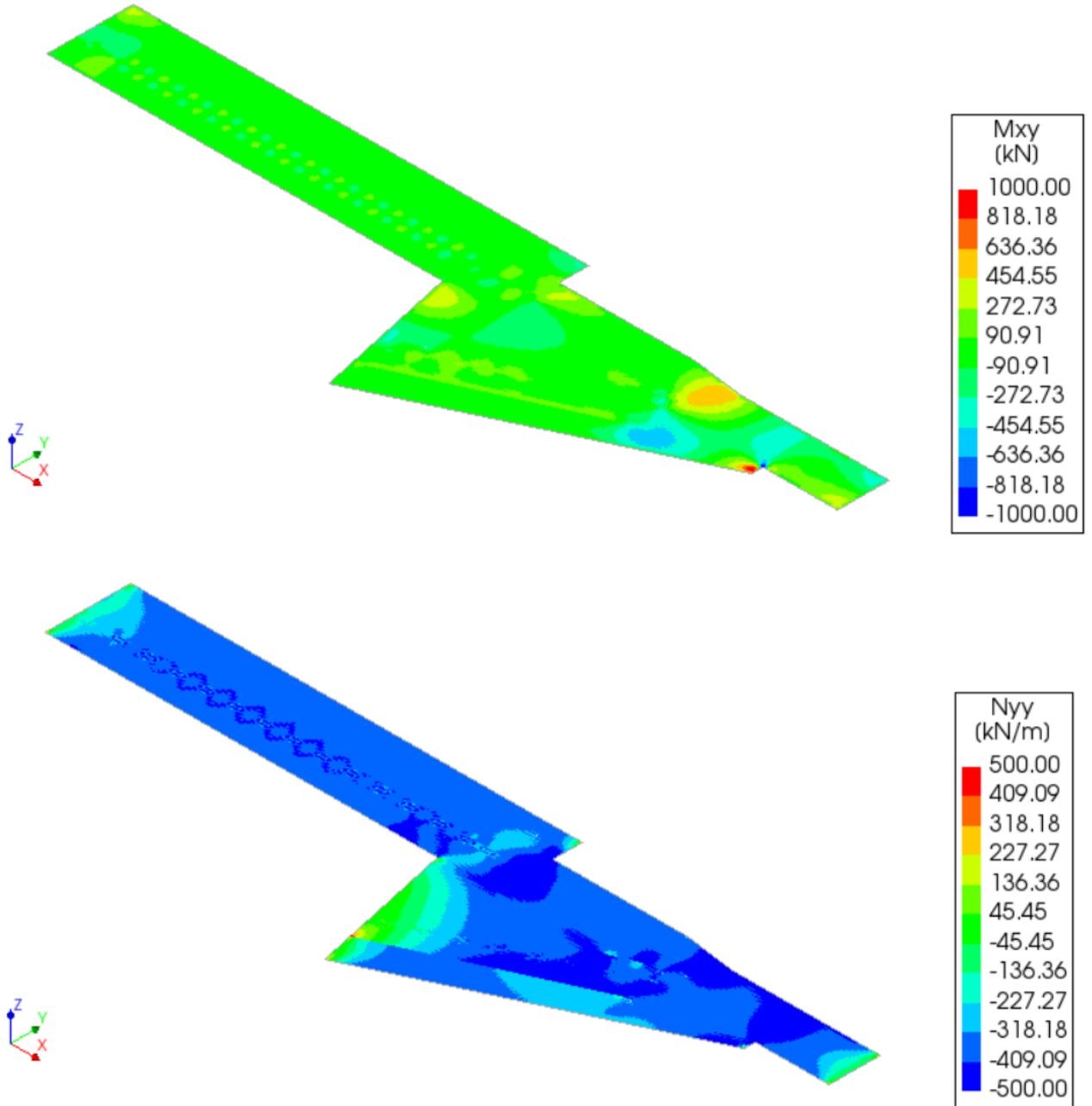


CITTA' DI TORINO

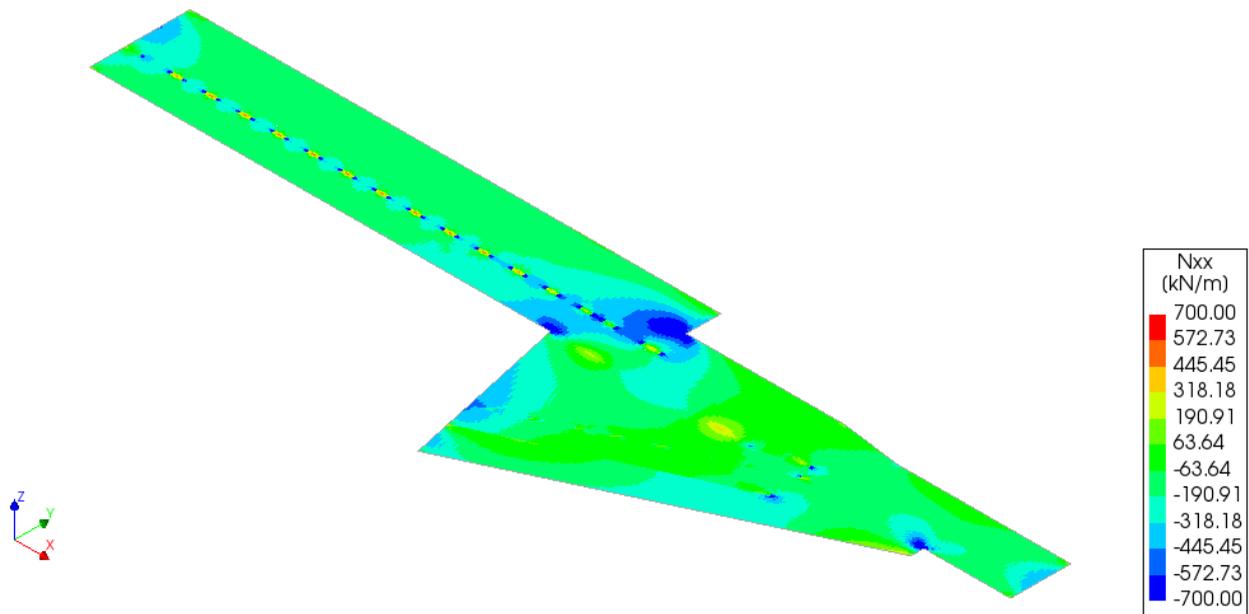
Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta:  
Politecnico – Rebaudengo – Lotto  
Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna

Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive  
in sotterraneo – Relazione di calcolo

MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



**Figura 55. Soletta di fondo FASE 11 – Sollecitazioni SLE**

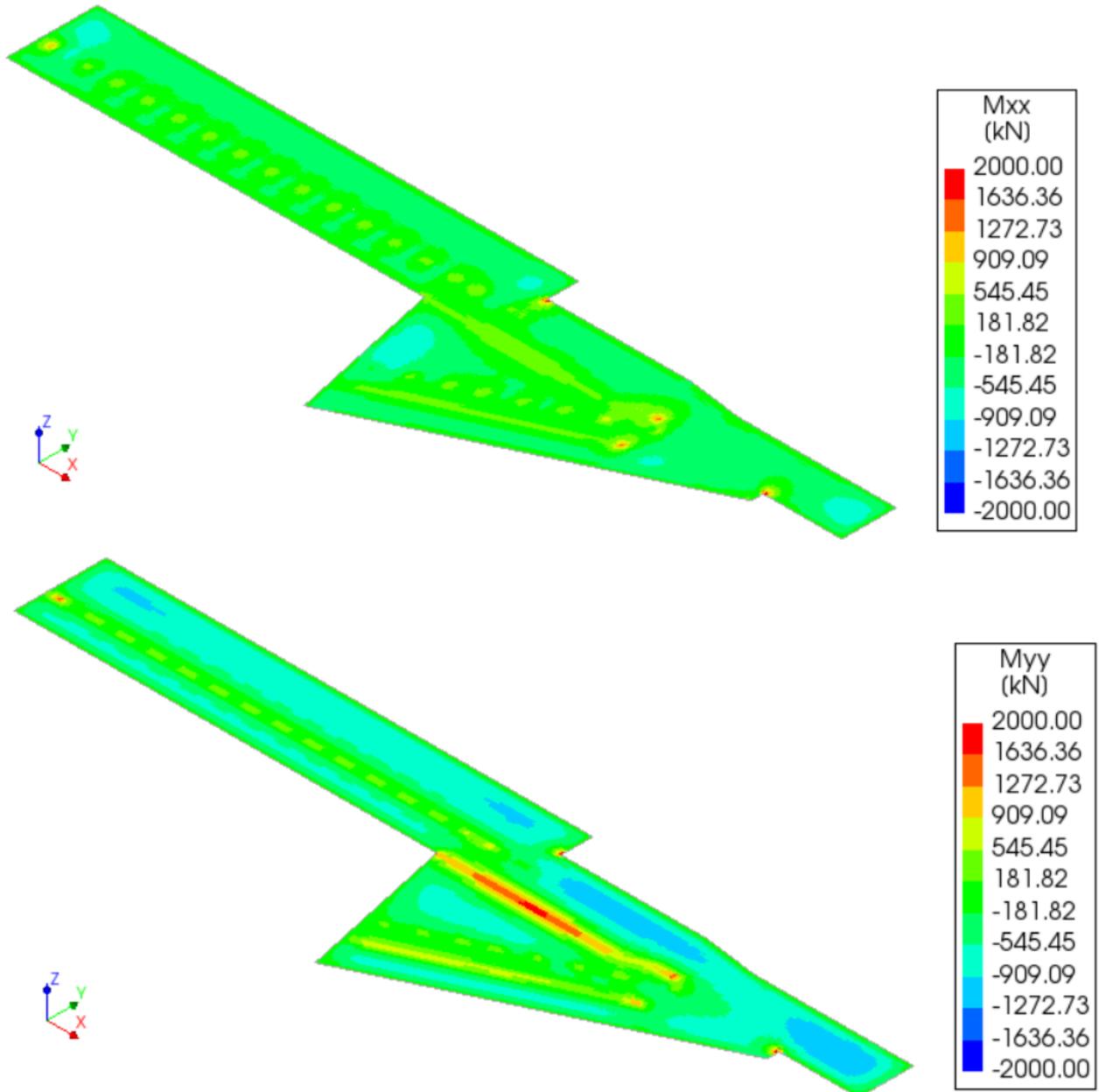


CITTA' DI TORINO

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

Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive  
in sotterraneo – Relazione di calcolo

MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



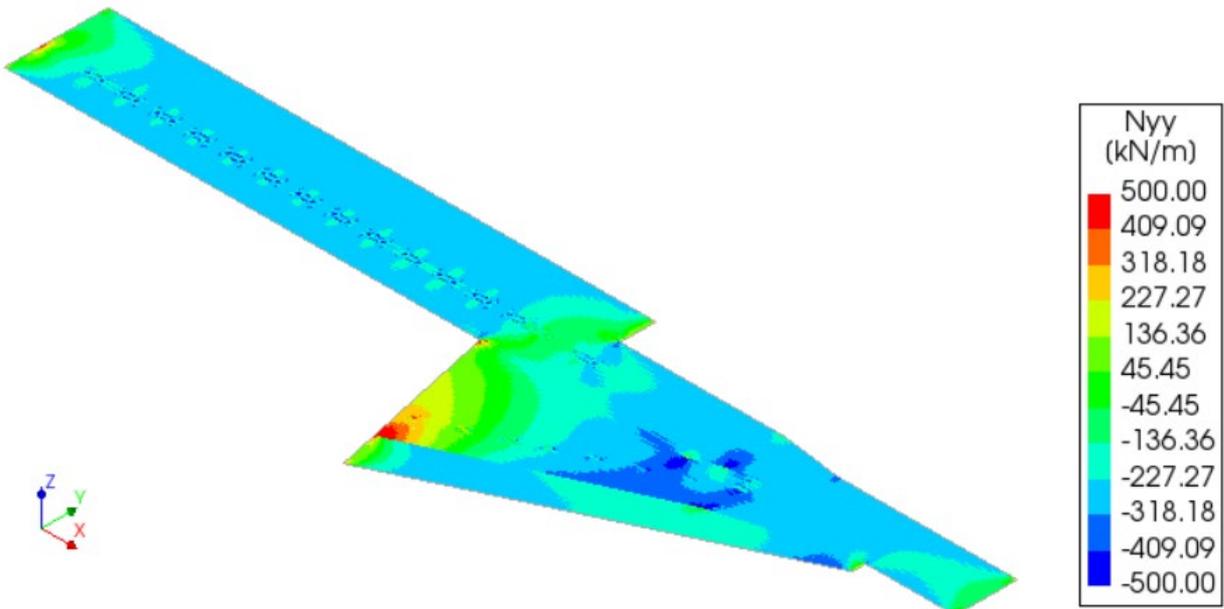
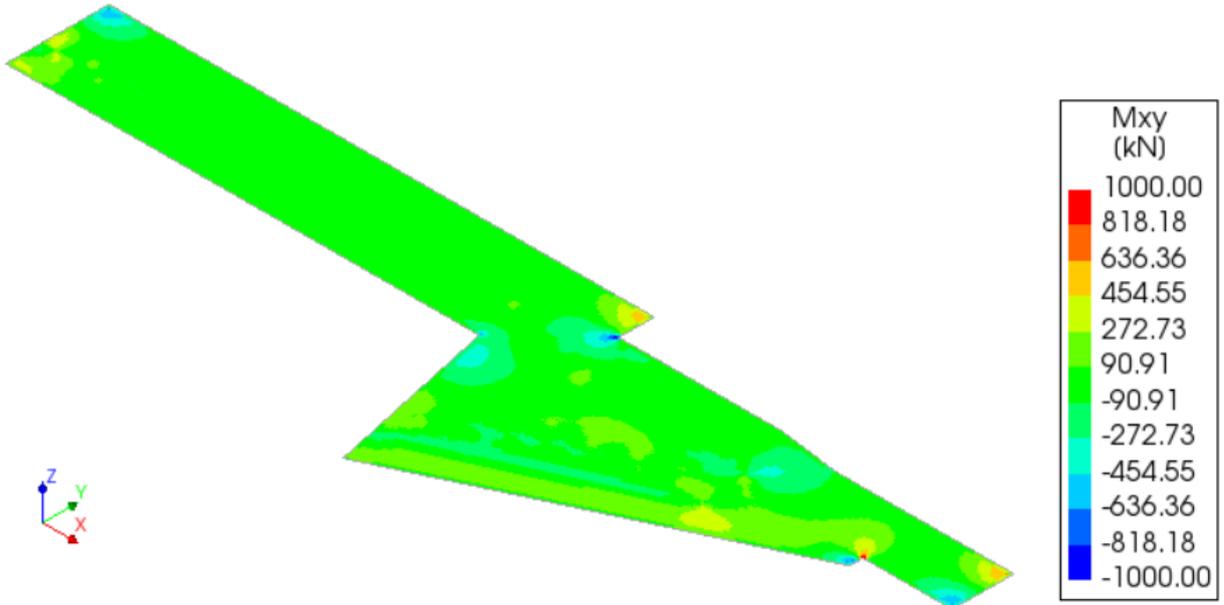


CITTA' DI TORINO

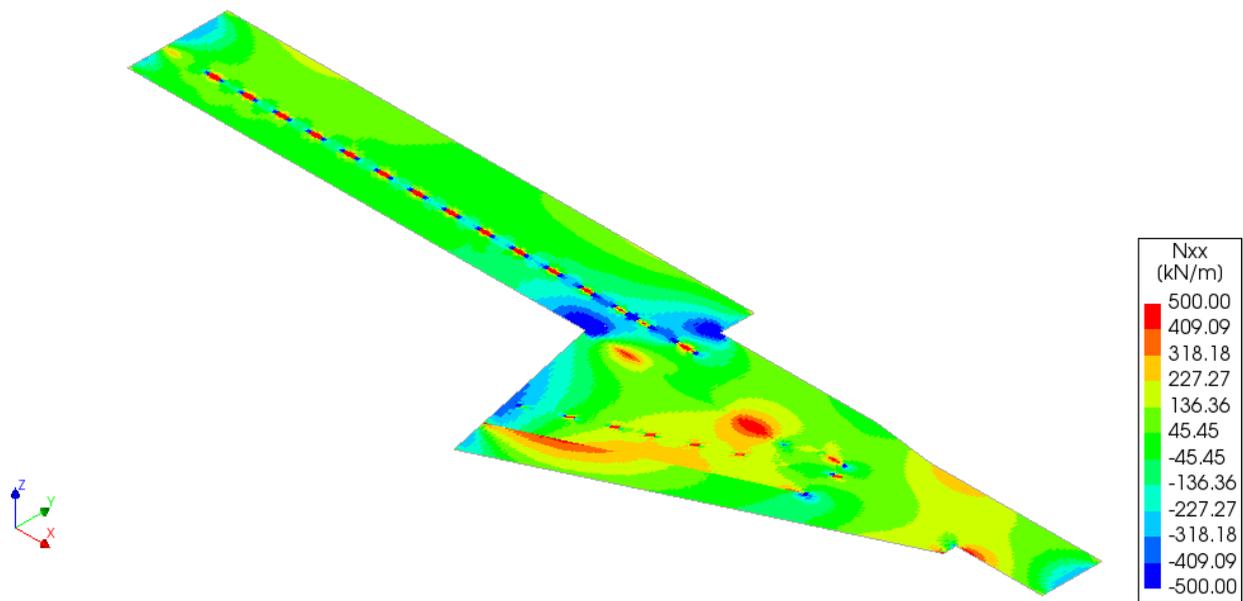
Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta:  
Politecnico – Rebaudengo – Lotto  
Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna

Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive  
in sotterraneo – Relazione di calcolo

MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

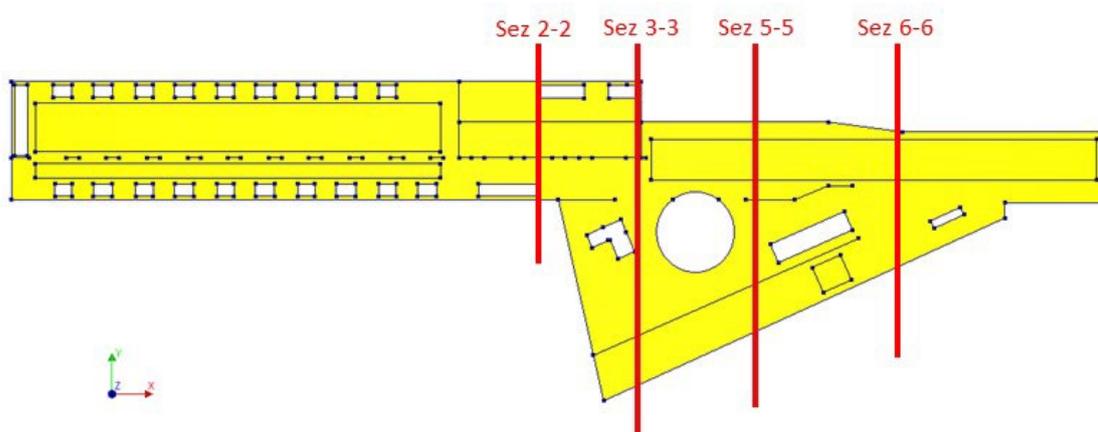


**Figura 56. Soletta di fondo FASE 12 – Sollecitazioni SLE**

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

## 8.6 Risultati delle verifiche strutturali

Vengono in seguito riportate le verifiche condotte per le 4 sezioni più rappresentative riportate in figura.



**Figura 57. Sezioni di verifica delle solette**

Per ogni sezione sarà verificata la sezione di momento massimo, in campata, e la sezione di momento minimo, agli appoggi. Rispetto a tutte le fasi analizzate in precedenza le verifiche sono state condotte considerando l'involuppo delle sollecitazioni. Per quanto riguarda le verifiche flessionali, sono state considerate armature disposte nelle due direzioni ortogonali X e Y e i relativi momenti agenti sono stati elaborati tenendo in considerazione anche il momento misto, secondo la seguente formulazione:

$$\begin{aligned}
 M_{xx,max,calcolo} &= M_{xx,max} + |M_{xy}| \\
 M_{xx,min,calcolo} &= M_{xx,min} - |M_{xy}| \\
 M_{yy,max,calcolo} &= M_{yy,max} + |M_{xy}| \\
 M_{yy,min,calcolo} &= M_{yy,min} - |M_{xy}|
 \end{aligned}$$

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

### 8.6.1 Soletta di copertura

**Tabella 7. Soletta di copertura – verifiche flessionali a SLU**

SOLETTA DI COPERTURA						
	Comb	$N_{Ed}$ [kN]	$M_{Ed}$ [kNm]	Armature	$M_{Rd}$ [kNm]	Stato
SEZ 2-2 max	SLU	-512	<b>4319</b>	2Φ26/10	<b>7205</b>	verificato
SEZ 2-2 min	SLU	-512	<b>-3162</b>	Φ26/10	<b>-3936</b>	verificato
SEZ 3-3 max	SLU	286	<b>8131</b>	3Φ26/10	<b>9561</b>	verificato
SEZ 3-3 min	SLU	286	<b>-6580</b>	3Φ26/10	<b>-9561</b>	verificato
SEZ 5-5 max	SLU	-54	<b>3793</b>	2Φ24/10	<b>5864</b>	verificato
SEZ 5-5 min	SLU	-32	<b>-5835</b>	3Φ24/10	<b>-8395</b>	verificato
SEZ 6-6 max	SLU	-731	<b>5604</b>	3Φ24/10	<b>8858</b>	verificato
SEZ 6-6 min	SLU	-731	<b>-4453</b>	2Φ24/10	<b>-6388</b>	verificato

**Tabella 8. Soletta di copertura – verifiche a taglio a SLU**

SOLETTA DI COPERTURA						
	Comb	$N_{Ed}$ [kN]	$V_{Ed}$ [kNm]	Armature	$V_{Rd}$ [kNm]	Stato
SEZ 2-2	SLU	-512	1232	Φ16/40x20	<b>3843</b>	verificato
SEZ 3-3	SLU	286	1386	Φ16/40x20	<b>3843</b>	verificato
SEZ 5-5	SLU	-54	2793	Φ16/20x20	<b>5612</b>	verificato
SEZ 6-6	SLU	-731	1487	Φ16/40x20	<b>3843</b>	verificato

**Tabella 9. Soletta di copertura – verifiche a fessurazione SLE**

SOLETTA DI COPERTURA							
	Comb	$N_{Ed}$ [kN]	$M_{Ed}$ [kNm]	Armature	$w_k$ [mm]	$w_1$ [mm]	Stato
SEZ 2-2 max	SLE_qperm	-339	3063	2Φ26/10	<b>0.17</b>	<b>0.30</b>	verificato
SEZ 2-2 min	SLE_qperm	-339	-2111	Φ26/10	<b>0.24</b>	<b>0.30</b>	verificato
SEZ 3-3 max	SLE_qperm	193	5946	3Φ26/10	<b>0.25</b>	<b>0.30</b>	verificato
SEZ 3-3 min	SLE_qperm	193	-4808	3Φ26/10	<b>0.20</b>	<b>0.30</b>	verificato
SEZ 5-5 max	SLE_qperm	-65	2759	2Φ24/10	<b>0.19</b>	<b>0.30</b>	verificato
SEZ 5-5 min	SLE_qperm	-21	-4255	3Φ24/10	<b>0.20</b>	<b>0.30</b>	verificato
SEZ 6-6 max	SLE_qperm	-458	4079	3Φ24/10	<b>0.18</b>	<b>0.30</b>	verificato
SEZ 6-6 min	SLE_qperm	-581	-3268	2Φ24/10	<b>0.20</b>	<b>0.30</b>	verificato

**Tabella 10. Soletta di copertura – verifiche tensionali a SLE**

SOLETTA DI COPERTURA							
	Comb	$\sigma_c$ [MPa]	$\sigma_s$ [MPa]	Armature	$\sigma_{c,lim}$ [MPa]	$\sigma_{s,lim}$ [MPa]	Stato
SEZ 2-2 max	SLE_qperm	6	178	2Φ26/10	<b>13.50</b>	<b>360.00</b>	verificato
SEZ 2-2 min	SLE_qperm	5	217	Φ26/10	<b>13.50</b>	<b>360.00</b>	verificato
SEZ 3-3 max	SLE_qperm	10	273	3Φ26/10	<b>13.50</b>	<b>360.00</b>	verificato
SEZ 3-3 min	SLE_qperm	8	222	3Φ26/10	<b>13.50</b>	<b>360.00</b>	verificato
SEZ 5-5 max	SLE_qperm	6	199	2Φ24/10	<b>13.50</b>	<b>360.00</b>	verificato
SEZ 5-5 min	SLE_qperm	8	222	3Φ24/10	<b>13.50</b>	<b>360.00</b>	verificato
SEZ 6-6 max	SLE_qperm	8	199	3Φ24/10	<b>13.50</b>	<b>360.00</b>	verificato
SEZ 6-6 min	SLE_qperm	7	211	2Φ24/10	<b>13.50</b>	<b>360.00</b>	verificato

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

## 8.6.2 Soletta intermedia

**Tabella 11. Soletta intermedia – verifiche flessionali a SLU**

SOLETTA INTERMEDIA						
	Comb	N <sub>Ed</sub> [kN]	M <sub>Ed</sub> [kNm]	Armature	M <sub>Rd</sub> [kNm]	Stato
SEZ 2-2 max	SLU	-117	<b>1609</b>	2Φ24/10	<b>3036</b>	verificato
SEZ 2-2 min	SLU	-126	<b>-950</b>	Φ24/10	<b>-1635</b>	verificato
SEZ 3-3 max	SLU	-95	<b>1880</b>	2Φ24/10	<b>3017</b>	verificato
SEZ 3-3 min	SLU	-53	<b>-2175</b>	2Φ24/10	<b>-3010</b>	verificato
SEZ 5-5 max	SLU	-120	<b>1460</b>	2Φ24/10	<b>3037</b>	verificato
SEZ 5-5 min	SLU	-218	<b>-1041</b>	Φ24/10	<b>-1675</b>	verificato
SEZ 6-6 max	SLU	-81	<b>2767</b>	3Φ24/10	<b>4147</b>	verificato
SEZ 6-6 min	SLU	-81	<b>-1147</b>	Φ24/10	<b>-1615</b>	verificato

**Tabella 12. Soletta intermedia – verifiche a taglio a SLU**

SOLETTA INTERMEDIA						
	Comb	N <sub>Ed</sub> [kN]	V <sub>Ed</sub> [kNm]	Armature	V <sub>Rd</sub> [kNm]	Stato
SEZ 2-2	SLU	-210	597	Φ16/40x20	<b>2073</b>	verificato
SEZ 3-3	SLU	-53	1276	Φ16/40x20	<b>2073</b>	verificato
SEZ 5-5	SLU	-120	348	Φ16/40x20	<b>2073</b>	verificato
SEZ 6-6	SLU	-81	405	Φ16/40x20	<b>2073</b>	verificato

**Tabella 13. Soletta intermedia – verifiche a fessurazione SLE**

SOLETTA INTERMEDIA							
	Comb	N <sub>Ed</sub> [kN]	M <sub>Ed</sub> [kNm]	Armature	w <sub>k</sub> [mm]	w <sub>1</sub> [mm]	Stato
SEZ 2-2 max	SLE_qperm	-198	1170	2Φ24/10	<b>0.15</b>	<b>0.30</b>	verificato
SEZ 2-2 min	SLE_qperm	-101	-693	Φ24/10	<b>0.17</b>	<b>0.30</b>	verificato
SEZ 3-3 max	SLE_qperm	-68	1382	2Φ24/10	<b>0.19</b>	<b>0.30</b>	verificato
SEZ 3-3 min	SLE_qperm	-50	-1569	2Φ24/10	<b>0.22</b>	<b>0.30</b>	verificato
SEZ 5-5 max	SLE_qperm	-105	1033	2Φ24/10	<b>0.13</b>	<b>0.30</b>	verificato
SEZ 5-5 min	SLE_qperm	-177	-767	Φ24/10	<b>0.19</b>	<b>0.30</b>	verificato
SEZ 6-6 max	SLE_qperm	-82	2038	3Φ24/10	<b>0.20</b>	<b>0.30</b>	verificato
SEZ 6-6 min	SLE_qperm	-82	-845	Φ24/10	<b>0.23</b>	<b>0.30</b>	verificato

**Tabella 14. Soletta intermedia – verifiche tensionali a SLE**

SOLETTA INTERMEDIA							
		σ <sub>c</sub> [MPa]	σ <sub>s</sub> [MPa]	Armature	σ <sub>c,lim</sub> [MPa]	σ <sub>s,lim</sub> [MPa]	Stato
SEZ 2-2 max	SLE_qperm	7	160	2Φ24/10	<b>13.50</b>	<b>360.00</b>	verificato
SEZ 2-2 min	SLE_qperm	5	169	Φ24/10	<b>13.50</b>	<b>360.00</b>	verificato
SEZ 3-3 max	SLE_qperm	8	198	2Φ24/10	<b>13.50</b>	<b>360.00</b>	verificato
SEZ 3-3 min	SLE_qperm	9	226	2Φ24/10	<b>13.50</b>	<b>360.00</b>	verificato
SEZ 5-5 max	SLE_qperm	6	145	2Φ24/10	<b>13.50</b>	<b>360.00</b>	verificato
SEZ 5-5 min	SLE_qperm	5	180	Φ24/10	<b>13.50</b>	<b>360.00</b>	verificato
SEZ 6-6 max	SLE_qperm	11	222	3Φ24/10	<b>13.50</b>	<b>360.00</b>	verificato
SEZ 6-6 min	SLE_qperm	6	210	Φ24/10	<b>13.50</b>	<b>360.00</b>	verificato

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

### 8.6.3 Soletta di fondo

**Tabella 15. Soletta di fondo – verifiche flessionali a SLU**

SOLETTA DI FONDO						
	Comb	N <sub>Ed</sub> [kN]	M <sub>Ed</sub> [kNm]	Armature	M <sub>Rd</sub> [kNm]	Stato
SEZ 2-2 max	SLU	-245	<b>1671</b>	Φ24/10	<b>2633</b>	verificato
SEZ 2-2 min	SLU	-466	<b>-1604</b>	Φ24/10	<b>-2784</b>	verificato
SEZ 3-3 max	SLU	165	<b>2291</b>	2Φ24/10	<b>4649</b>	verificato
SEZ 3-3 min	SLU	-191	<b>-2390</b>	2Φ24/10	<b>-4794</b>	verificato
SEZ 5-5 max	SLU	-172	<b>1637</b>	Φ24/10	<b>2583</b>	verificato
SEZ 5-5 min	SLU	-396	<b>3225</b>	Φ24/10	<b>5012</b>	verificato
SEZ 6-6 max	SLU	-396	<b>3225</b>	2Φ24/10	<b>5012</b>	verificato
SEZ 6-6 min	SLU	-245	<b>-1263</b>	Φ24/10	<b>-2633</b>	verificato

**Tabella 16. Soletta di fondo – verifiche a taglio a SLU**

SOLETTA DI FONDO						
	Comb	N <sub>Ed</sub> [kN]	V <sub>Ed</sub> [kNm]	Armature	V <sub>Rd</sub> [kNm]	Stato
SEZ 2-2	SLU	-466	867	Φ16/40x20	<b>3179</b>	verificato
SEZ 3-3	SLU	-191	1404	Φ16/20x20	<b>4660</b>	verificato
SEZ 5-5	SLU	-172	538	Φ16/40x20	<b>3179</b>	verificato
SEZ 6-6	SLU	-396	491	Φ16/40x20	<b>3179</b>	verificato

**Tabella 17. Soletta di fondo – verifiche a fessurazione SLE**

SOLETTA DI FONDO							
	Comb	N <sub>Ed</sub> [kN]	M <sub>Ed</sub> [kNm]	Armature	w <sub>k</sub> [mm]	w <sub>1</sub> [mm]	Stato
SEZ 2-2 max	SLE_qperm	-188	962	Φ24/10	<b>0.14</b>	<b>0.30</b>	verificato
SEZ 2-2 min	SLE_qperm	-358	-1025	Φ24/10	<b>0.13</b>	<b>0.30</b>	verificato
SEZ 3-3 max	SLE_qperm	12	1138	2Φ24/10	<b>0.09</b>	<b>0.30</b>	verificato
SEZ 3-3 min	SLE_qperm	-152	-1449	2Φ24/10	<b>0.11</b>	<b>0.30</b>	verificato
SEZ 5-5 max	SLE_qperm	-138	957	Φ24/10	<b>0.14</b>	<b>0.30</b>	verificato
SEZ 5-5 min	SLE_qperm	-138	-943	Φ24/10	<b>0.13</b>	<b>0.30</b>	verificato
SEZ 6-6 max	SLE_qperm	-305	1858	2Φ24/10	<b>0.14</b>	<b>0.30</b>	verificato
SEZ 6-6 min	SLE_qperm	-305	-603	Φ24/10	<b>0.06</b>	<b>0.30</b>	verificato

**Tabella 18. Soletta di fondo – verifiche tensionali a SLE**

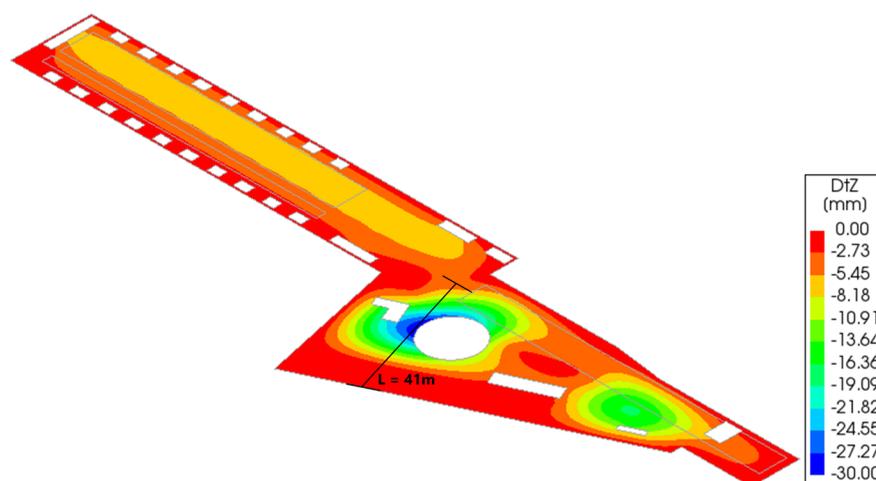
SOLETTA DI FONDO							
		σ <sub>c</sub> [MPa]	σ <sub>s</sub> [MPa]	Armature	σ <sub>c,lim</sub> [MPa]	σ <sub>s,lim</sub> [MPa]	Stato
SEZ 2-2 max	SLE_qperm	3	141	Φ24/10	<b>13.50</b>	<b>360.00</b>	verificato
SEZ 2-2 min	SLE_qperm	4	135	Φ24/10	<b>13.50</b>	<b>360.00</b>	verificato
SEZ 3-3 max	SLE_qperm	3	103	2Φ24/10	<b>13.50</b>	<b>360.00</b>	verificato
SEZ 3-3 min	SLE_qperm	4	123	2Φ24/10	<b>13.50</b>	<b>360.00</b>	verificato
SEZ 5-5 max	SLE_qperm	3	145	Φ24/10	<b>13.50</b>	<b>360.00</b>	verificato
SEZ 5-5 min	SLE_qperm	3	142	Φ24/10	<b>13.50</b>	<b>360.00</b>	verificato
SEZ 6-6 max	SLE_qperm	5	152	2Φ24/10	<b>13.50</b>	<b>360.00</b>	verificato
SEZ 6-6 min	SLE_qperm	2	70	Φ24/10	<b>13.50</b>	<b>360.00</b>	verificato

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

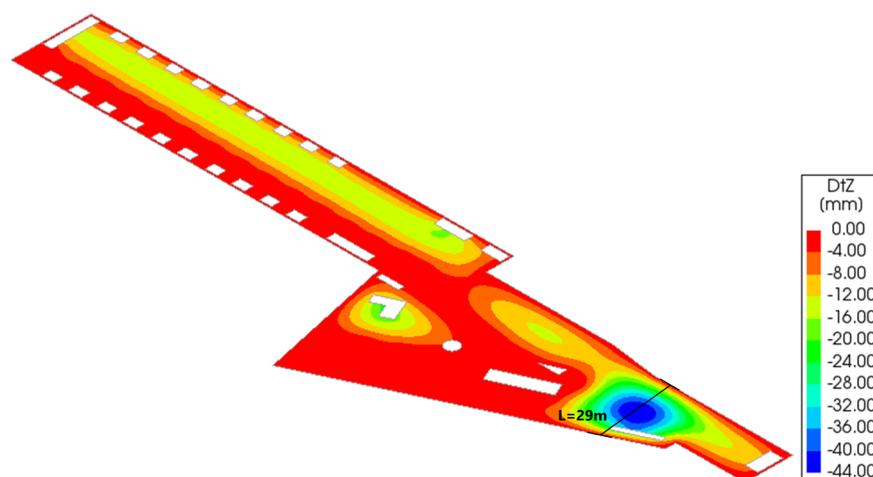
## 8.7 Risultati delle verifiche per gli spostamenti verticali

Vengono in seguito riportate le verifiche condotte per le solette per quanto riguarda lo stato limite d'esercizio per gli spostamenti verticali.

Di seguito si riportano innanzitutto in forma grafica i risultati degli spostamenti verticali. Nelle figure viene riportata anche la luce della campata di riferimento, per il massimo spostamento per ogni piano. Per la soletta di copertura si registra uno spostamento massimo pari a 30mm considerando una Luce apri a 41m, la quale è presa tra il diaframma esterno e quello interno dell'allineamento B1. Per la soletta intermedia si rileva uno spostamento massimo pari a 44mm, con una Luce pari a 29m, tra i due diaframmi esterni.



**Figura 58. Spostamento verticale nella soletta di copertura**



**Figura 59. Spostamento verticale nella soletta intermedia**

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

Di seguito si riportano i risultati delle verifiche, effettuati in accordo con le NTC18, dove le verifiche vanno condotte per  $\delta_{max}$ , lo spostamento dello stato finale depurato dalla monta iniziale, e  $\delta_2$ , lo spostamento elastico dovuto ai carichi variabili.

Prima di mostrare la tabella con i risultati di seguito si riporta lo sviluppo del calcolo per il caso di spostamento massimo.

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{COPERTURA: } \frac{\delta_{max}}{L} = \frac{30mm - 15mm}{41m} = \frac{15mm}{41m} = 0.004 < \frac{1}{250} = 0.04 \\ \text{INTERMEDIO: } \frac{\delta_{max}}{L} = \frac{44mm - 31mm}{41m} = \frac{13mm}{29m} = 0.004 < \frac{1}{250} = 0.04 \end{array} \right.$$

**Tabella 19. Verifiche spostamenti verticali a SLE**

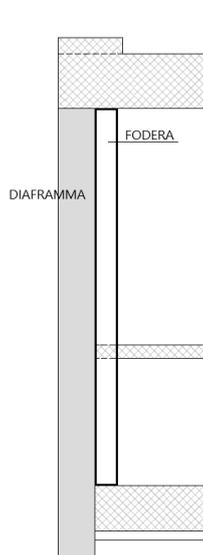
	Calcolo		Limiti da normativa				Stato
	$\delta_{max} / L$	$\delta_2 / L$	$\delta_{max,lim} / L$	$\delta_{2,lim} / L$	$\delta_{max,lim} / L$	$\delta_{2,lim} / L$	
	[%]	[%]	[-]	[-]	[%]	[%]	
Soletta							
Copertura	<b>0.04</b>	<b>0.02</b>	1/250	1/300	<b>0.40</b>	<b>0.33</b>	verificato
Intermedia	<b>0.04</b>	<b>0.04</b>	1/250	1/300	<b>0.40</b>	<b>0.33</b>	verificato

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

## 9. DIMENSIONAMENTO E VERIFICHE DELLE FODERE INTERNE

Nel seguente capitolo si mostrano le analisi condotte per le verifiche delle fodere interne della struttura.

Le fodere sono caratterizzate da uno spessore di 80cm e da una altezza di 4.6m nel primo piano interrato e di 7.6m nel secondo piano interrato.



**Figura 60. Fodere in calcestruzzo**

le verifiche agli SLU e SLE. I carichi considerati per la verifica di questi elementi sono i seguenti:

1. Peso proprio della fodera.
2. Spinta dell'acqua, si considera infatti che a lungo termine l'acqua filtri attraverso il diaframma andando ad agire come carico sulla fodera. La falda viene considerata ad una profondità di 10.25m da piano campagna. Considerando la quota  $z=0$  come quota di base della fodera del secondo piano interrato, la spinta dell'acqua è definita coi seguenti valori.

$z$ [m]	$Sp$ [kN/m]
0	55.3
5.53	0

3. Spinta statica SLU da Paratie, la quale considera il carico laterale dovuto al terreno e i relativi sovraccarichi presenti al piano campagna (20 kPa). Si considera inoltre che il diaframma e la fodera collaborino nel sostenere il carico del terreno. La ripartizione

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

(0.54:0.46) della spinta è stata valutata, a favore di sicurezza, considerando una riduzione del modulo elastico dei diaframmi di un fattore 2.75 per considerare gli effetti di fluage.

	<b>DIAFRAMMA</b>	<b>FODERA</b>
<b>CLS</b>	C25/30	C30/37
<b>E [MPa]</b>	31476	32837
<b>fi</b>	2.75	1
<b>B [mm]</b>	1000	1000
<b>H [mm]</b>	1200	800
<b>I [mm<sup>4</sup>]</b>	1.44E+11	42666666667
<b>EI [MN]</b>	1.64819E+15	1.40103E+15
<b>ratio [-]</b>	0.54	0.46

Di conseguenza il carico relativo alla spinta, riportato in seguito, è stato scalato successivamente con un coefficiente pari a 0.46.

<b>z [m]</b>	<b>S<sub>SLU</sub> [kN/m]</b>
13.18	25.47
10.78	54.78
10.68	85.30
8.1	64.17
6	41.61
0	61.88

4. Spinta statica SLV da Paratie, la quale considera il carico laterale dovuto al terreno e i relativi sovraccarichi presenti al piano campagna (20 kPa). Si considera inoltre che il diaframma e la fodera collaborino nel sostenere il carico del terreno. La ripartizione (0.54:0.46) della spinta è stata valutata, a favore di sicurezza, considerando una riduzione del modulo elastico dei diaframmi di un fattore 2.75 per considerare gli effetti di fluage.

	<b>DIAFRAMMA</b>	<b>FODERA</b>
<b>CLS</b>	C25/30	C30/37
<b>E [MPa]</b>	31476	32837
<b>fi</b>	2.75	1
<b>B [mm]</b>	1000	1000
<b>H [mm]</b>	1200	800
<b>I [mm<sup>4</sup>]</b>	1.44E+11	42666666667
<b>EI [MN]</b>	1.64819E+15	1.40103E+15
<b>ratio [-]</b>	0.54	0.46

Di conseguenza il carico relativo alla spinta, riportato in seguito, è stato scalato successivamente con un coefficiente pari a 0.46.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

<b>z [m]</b>	<b>S<sub>SLV</sub> [kN/m]</b>
13.18	71.81
10.78	101.08
10.68	128.17
8.1	106.32
6	80.33
0	103.40

Per le verifiche sono stati considerati i seguenti coefficienti:

	Peso proprio	Spinta idro	Spinta terra	Sovraccarichi esterni	Sisma
SLE	1	1	1	1	0
SLU	1.3	1.3	1.3	1.5	0
SLV	1	1	1	1	1

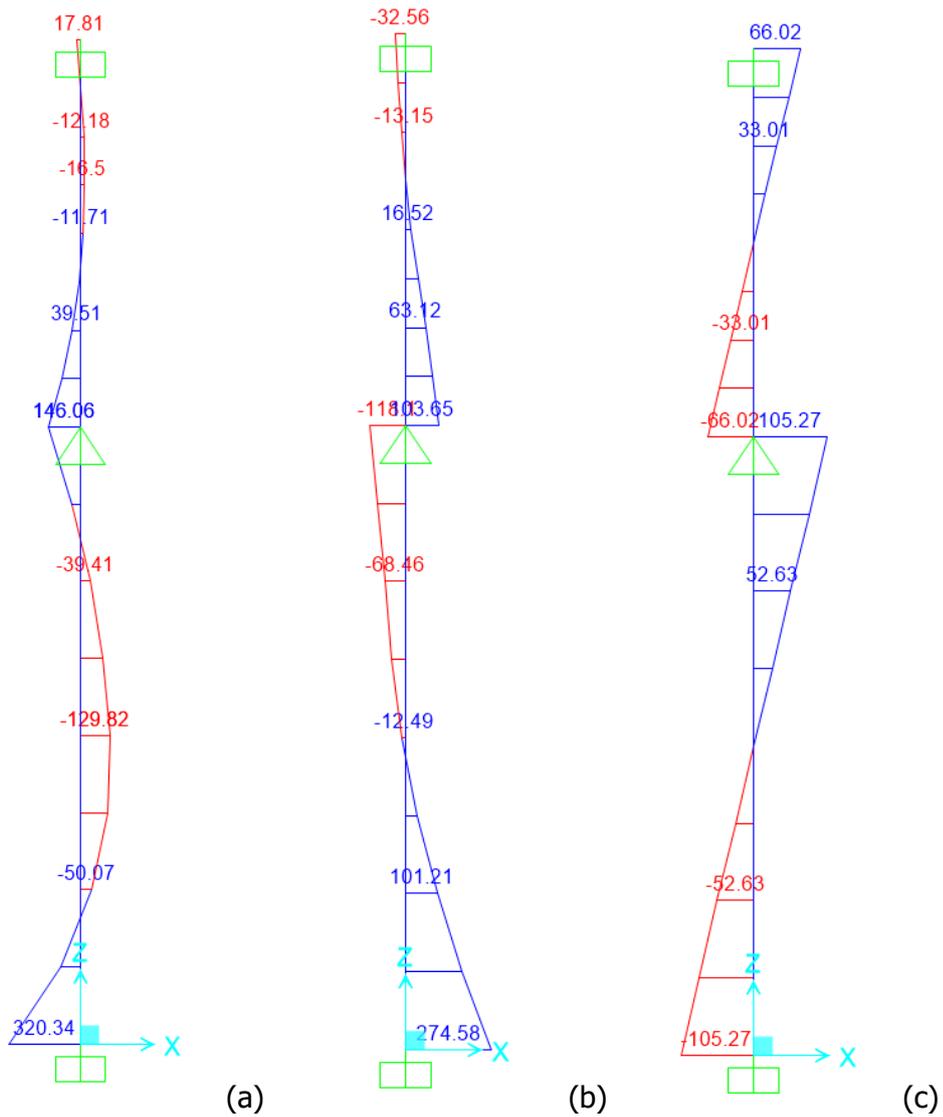
Le analisi sono state condotte con il software SAP2000, con un modello monodimensionale in cui le fodere sono state modellate con la loro geometria e considerate come incastrate alle due estremità. In corrispondenza del nodo con la soletta intermedia è stata invece modellata una condizione di appoggio, come mostrato in figura



**Figura 61. Fodere in calcestruzzo – modello FEM**

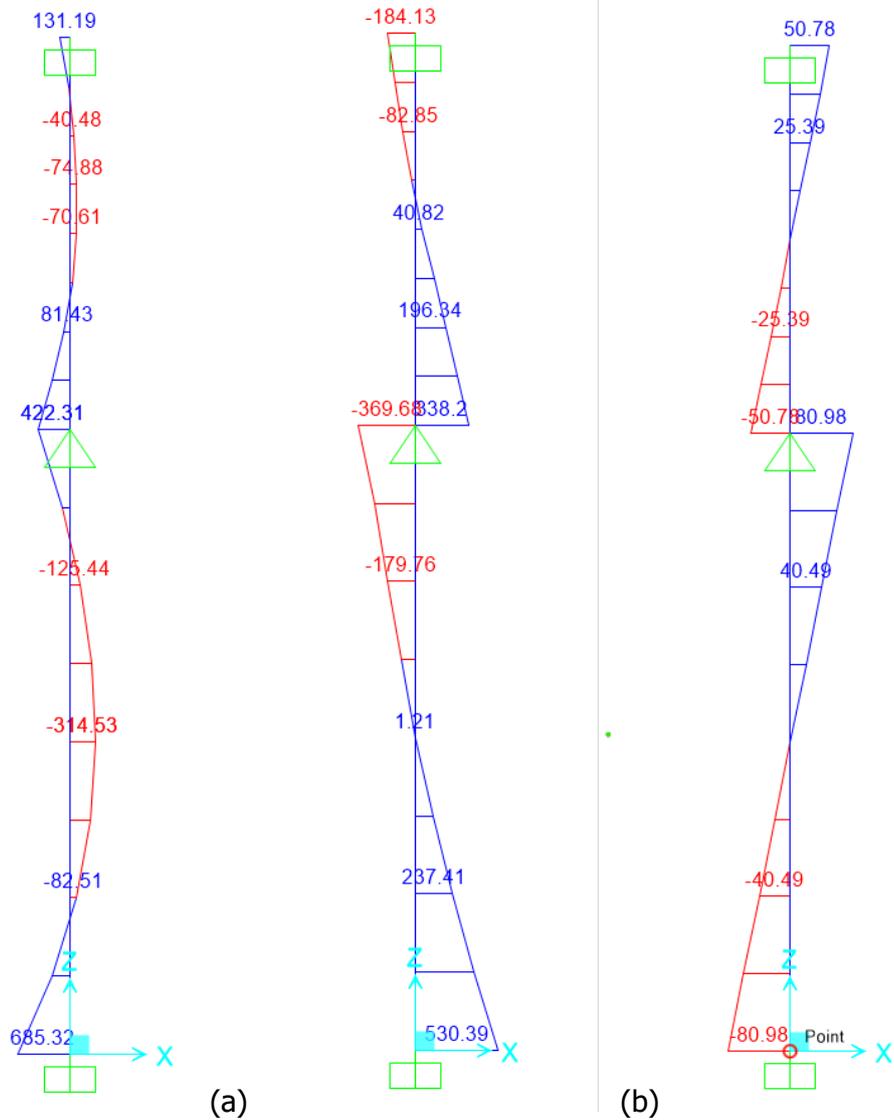
 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

In seguito, si riportano le sollecitazioni ottenute per le fodere a SLU, SLV e SLE.



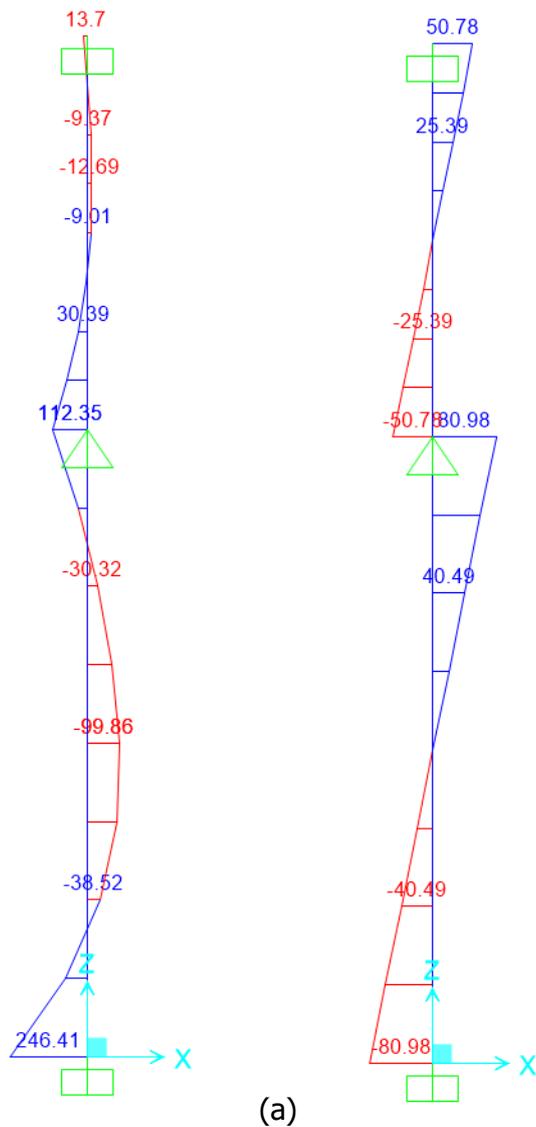
**Figura 62. Fodere in calcestruzzo – sollecitazioni SLU: (a) momento in kNm, (b) taglio in kN e (c) sforzo normale in kN**

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



**Figura 63. Fodere in calcestruzzo – sollecitazioni SLV: (a) momento in kNm, (b) taglio in kN e (c) sforzo normale in kN**

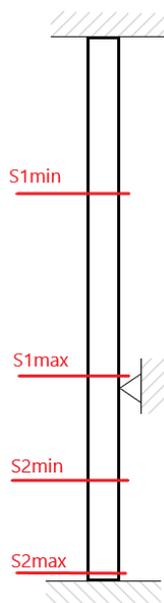
 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



**Figura 64. Fodere in calcestruzzo – sollecitazioni SLE: (a) momento in kNm, (b) sforzo normale in kN**

Infine, di seguito si riportano i risultati delle verifiche effettuate. Le verifiche sono riportate per le sezioni riportate in figura.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



**Figura 65. Fodere in calcestruzzo – sezioni di verifica**

**Tabella 20. Fodere in calcestruzzo – verifiche flessionali a SLU e SLV**

SLU							
	HSEZ [mm]	Comb	N <sub>Ed</sub> [kN]	M <sub>Ed</sub> [kNm]	Armature	M <sub>Rd</sub> [kNm]	Stato
S1max	800	SLU	105	<b>146</b>	Φ24/20	<b>592</b>	verificato
S1min	800	SLU	0	<b>-16</b>	Φ24/20	<b>-629</b>	verificato
S2max	800	SLU	-105	<b>320</b>	Φ24/10	<b>1259</b>	verificato
S2min	800	SLU	0	<b>-130</b>	Φ24/20	<b>-629</b>	verificato
SLV							
	HSEZ [mm]	Comb	N <sub>Ed</sub> [kN]	M <sub>Ed</sub> [kNm]	Armature	M <sub>Rd</sub> [kNm]	Stato
S1max	800	SLV	81	<b>422</b>	Φ24/20	<b>601</b>	verificato
S1min	800	SLV	0	<b>-75</b>	Φ24/20	<b>-629</b>	verificato
S2max	800	SLV	-81	<b>685</b>	Φ24/10	<b>1251</b>	verificato
S2min	800	SLV	0	<b>-315</b>	Φ24/20	<b>-629</b>	verificato

**Tabella 21. Fodere in calcestruzzo – verifiche a taglio SLU e SLV**

SLU							
	HSEZ [mm]	Comb	N <sub>Ed</sub> [kN]	V <sub>Ed</sub> [kNm]	Armature	V <sub>Rd</sub> [kNm]	Stato
S1	800	SLU	105	110	Φ12/40x40	<b>467</b>	verificato
S2	800	SLU	-105	275	Φ12/40x20	<b>933</b>	verificato
SLV							
		Comb	N <sub>Ed</sub> [kN]	V <sub>Ed</sub> [kNm]	Armature	V <sub>Rd</sub> [kNm]	Stato
S1	800	SLV	81	370	Φ12/40x40	<b>467</b>	verificato
S2	800	SLV	-81	530	Φ12/40x20	<b>933</b>	verificato

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

**Tabella 22. Fodere in calcestruzzo – verifiche a fessurazione SLE**

SLE								
	H <sub>SEZ</sub> [mm]	Comb	N <sub>Ed</sub> [kN]	M <sub>Ed</sub> [kNm]	Armature	w <sub>k</sub> [mm]	w <sub>1</sub> [mm]	Stato
S1max	800	SLE_caratt	81	112	Φ24/20	<b>0.10</b>	<b>0.30</b>	verificato
S1min	800	SLE_caratt	0	-13	Φ24/20	<b>0.01</b>	<b>0.30</b>	verificato
S2max	800	SLE_caratt	-81	246	Φ24/10	<b>0.06</b>	<b>0.30</b>	verificato
S2min	800	SLE_caratt	0	-100	Φ24/20	<b>0.07</b>	<b>0.30</b>	verificato

**Tabella 23. Fodere in calcestruzzo – verifiche tensionali SLE**

SLE								
	H <sub>SEZ</sub> [mm]	Comb	s <sub>c</sub> [MPa]	s <sub>s</sub> [MPa]	Armature	s <sub>c,lim</sub> [MPa]	s <sub>s,lim</sub> [MPa]	Stato
S1max	800	SLE_caratt	1	90	Φ24/20	<b>14.40</b>	<b>360</b>	verificato
S1min	800	SLE_caratt	0	9	Φ24/20	<b>14.40</b>	<b>360</b>	verificato
S2max	800	SLE_caratt	3	74	Φ24/10	<b>14.40</b>	<b>360</b>	verificato
S2min	800	SLE_caratt	1	65	Φ24/20	<b>14.40</b>	<b>360</b>	verificato

Come si può vedere dalle tabelle riassuntive la sezioni vengono armate con una fila lato interno ed esterno di Φ24/20 nella parte superiore e Φ24/10 lato teso nella parte inferiore; mentre per il taglio vengono inseriti degli spilli Φ12 con passo 40x40cm nella parte superiore e 40x20cm nella parte inferiore.

Per valutare la "robustezza" delle fodere rispetto alla possibile non verticalità dei diaframmi, è stato considerato un errore dello 0.5% rispetto alla verticalità nel getto dei diaframmi esterni. Tale disallineamento rispetto alla verticale comporterebbe una riduzione massima della sezione delle fodere di 3cm nel primo piano interrato e di 7cm nel secondo piano interrato. In tabella sono proposte le verifiche delle sezioni più sollecitate, considerando una sezione ridotta delle fodere.

**Tabella 24. Fodere in calcestruzzo – verifica flessionale SLU e SLV considerando sezione ridotta a causa di ipotetica non verticalità dei diaframmi**

SLU							
	H <sub>SEZ,R</sub> [mm]	Comb	N <sub>Ed</sub> [kN]	M <sub>Ed</sub> [kNm]	Armature	M <sub>Rd</sub> [kNm]	Stato
S1max	770	SLU	105	<b>146</b>	Φ24/20	<b>567</b>	verificato
S2max	730	SLU	-105	<b>320</b>	Φ24/10	<b>1131</b>	verificato
SLV							
	H <sub>SEZ,R</sub> [mm]	Comb	N <sub>Ed</sub> [kN]	M <sub>Ed</sub> [kNm]	Armature	M <sub>Rd</sub> [kNm]	Stato
S1max	770	SLV	81	<b>422</b>	Φ24/20	<b>575</b>	verificato
S2max	730	SLV	-81	<b>685</b>	Φ24/10	<b>1224</b>	verificato

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

## 10. DIMENSIONAMENTO E VERIFICA DELLE SCALE

Le scale fisse sono costituite da una soletta inclinata di spessore 0,30 m, con gradini di 0,32x0,16 m. La figura sottostante mostra lo schema del modello strutturale adottato per la rampa di larghezza pari a 1,25 m.

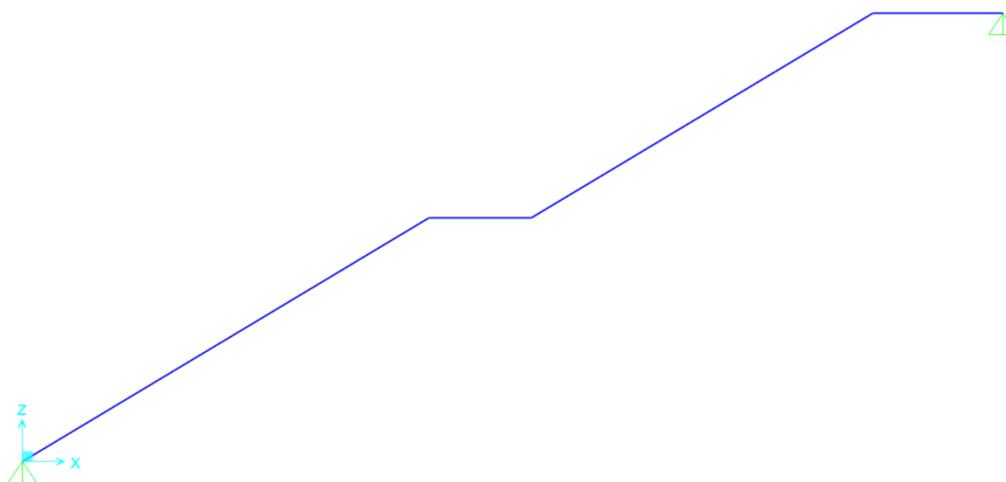


Figura 66. Schema strutturale delle scale

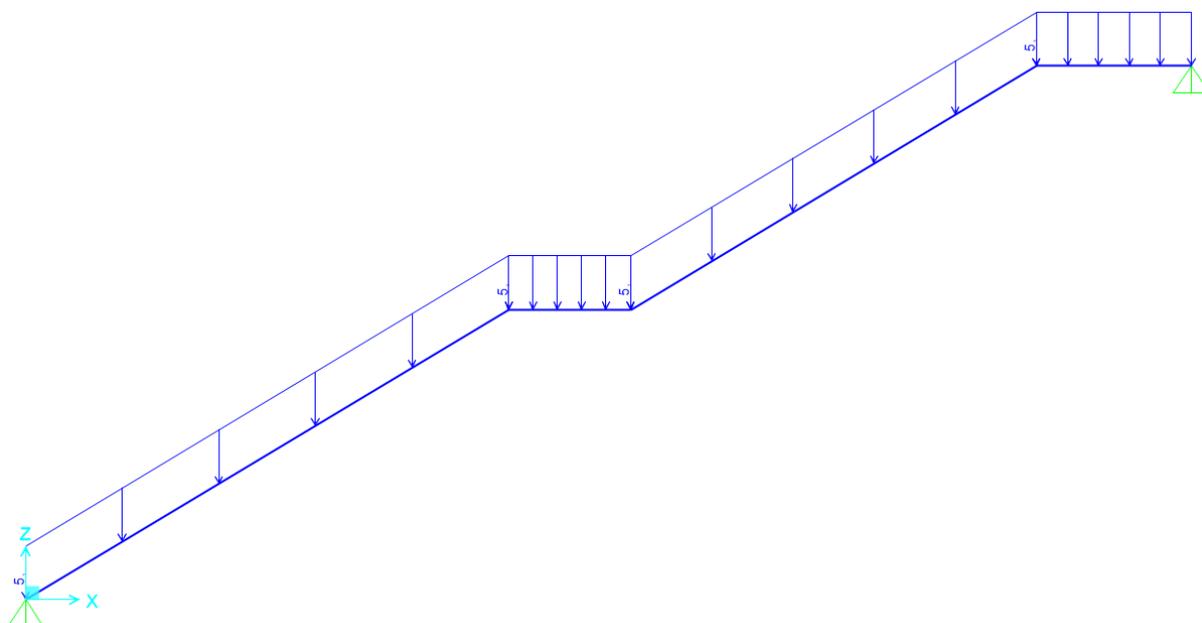
### 10.1 ANALISI DEI CARICHI

La scala è soggetta ai seguenti carichi:

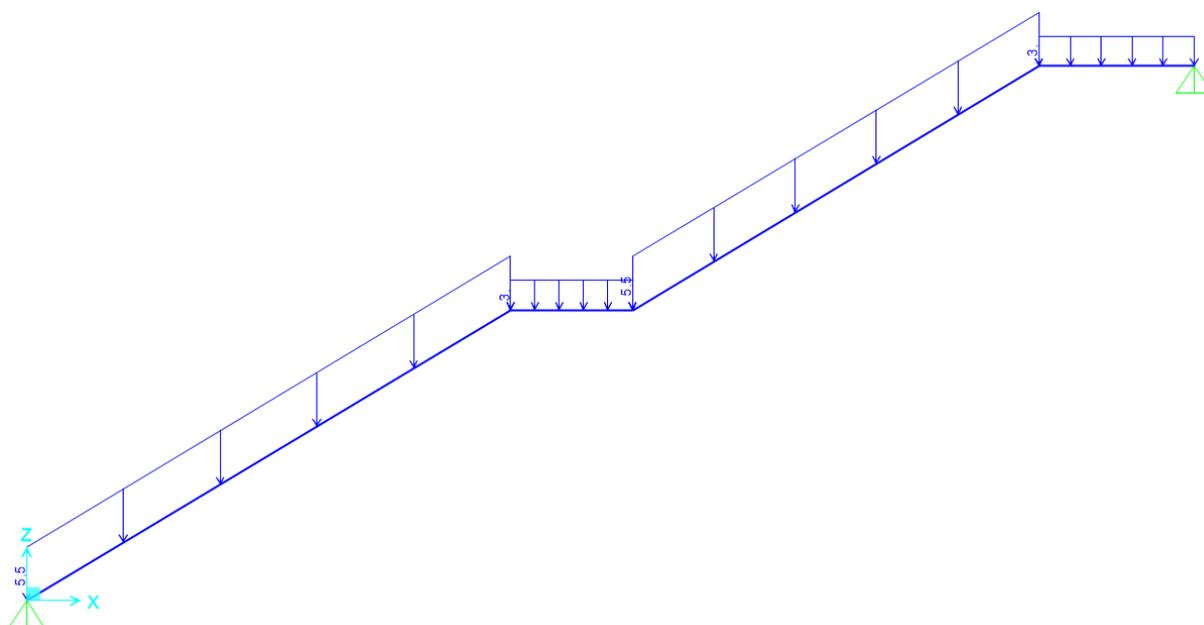
- Carichi permanenti:
  - Peso proprio della struttura portante ( $G_1$ ): esso è calcolato automaticamente dal software in funzione delle dimensioni geometriche;
  - Carico dei gradini ( $G_2$ ):  $\frac{1}{2} \cdot 0,16 \text{ m} \cdot 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot 1,25 \text{ m} = 5 \text{ kN/m}$ ;
  - Carico dei rivestimenti ( $G_2$ ):  $0,10 \text{ m} \cdot 24 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot 1,25 \text{ m} = 3,00 \text{ kN/m}$ ;
- Carichi variabili:
  - Sovraccarico d'esercizio ( $Q_k$ ):  $4,00 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 1,25 = 5,00 \text{ kN/m}$ ;

Applicando i carichi, appena descritti, alla struttura portante della scala, il risultato ottenuto è il seguente:

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



**Figura 67. Sovraccarico d'esercizio**



**Figura 68. Carichi permanenti**

Per completezza si precisa che sui pianerottoli è stato applicato un carico pari a 3 kN/m poiché in quelle zone non saranno presenti i gradini, bensì solo il rivestimento.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

## 10.2 COMBINAZIONE DEI CARICHI

La verifica strutturale è stata condotta secondo due stati limite:

- Stato limite ultimo (SLU);
- Stato limite d'esercizio (SLE).

I precedenti stati limite sono stati analizzati utilizzando le combinazioni di carico indicate nella normativa italiana (NTC2018), in particolare nel capitolo 2.5.3. Si riportano di seguito le combinazioni utilizzate:

- Stato limite ultimo (SLU):  

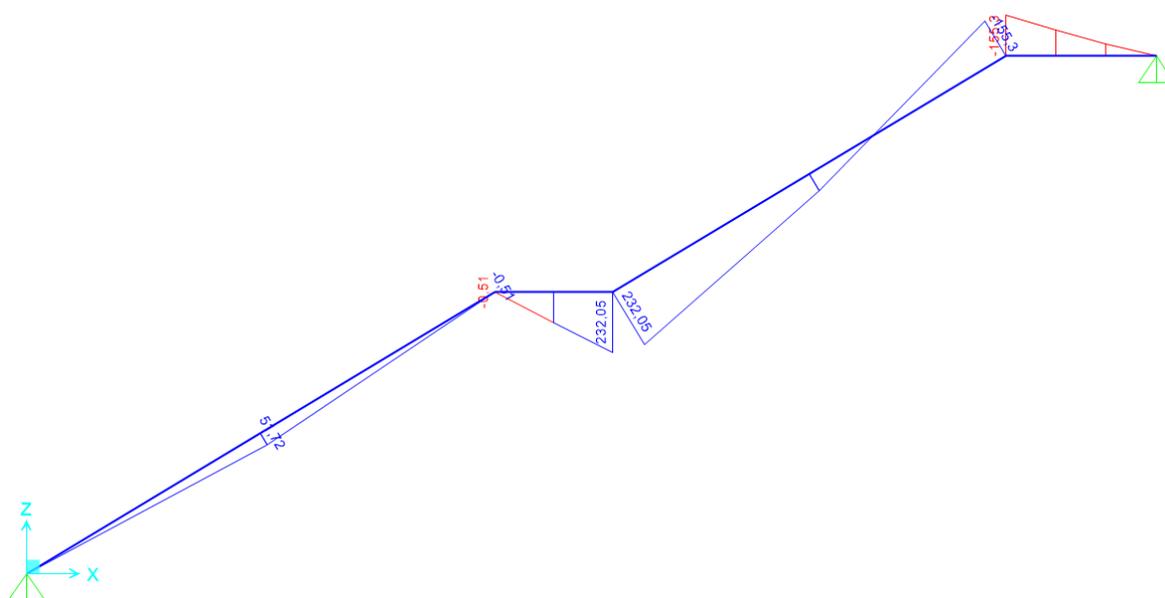
$$\gamma_{G_1} \cdot G_1 + \gamma_{G_2} \cdot G_2 + \gamma_Q \cdot Q_k = 1,30 \cdot G_1 + 1,50 \cdot G_2 + 1,50 \cdot Q_k$$
- Stato limite d'esercizio (SLE):
  - Combinazione quasi permanente:  

$$G_1 + G_2 + \psi_{1,j} \cdot Q_k = G_1 + G_2 + 0,70 \cdot Q_k$$

I valori dei coefficienti utilizzati sono stati assunti in base a quanto dichiarato nelle tabelle 2.5.I e 2.6.I della normativa italiana (NTC2018).

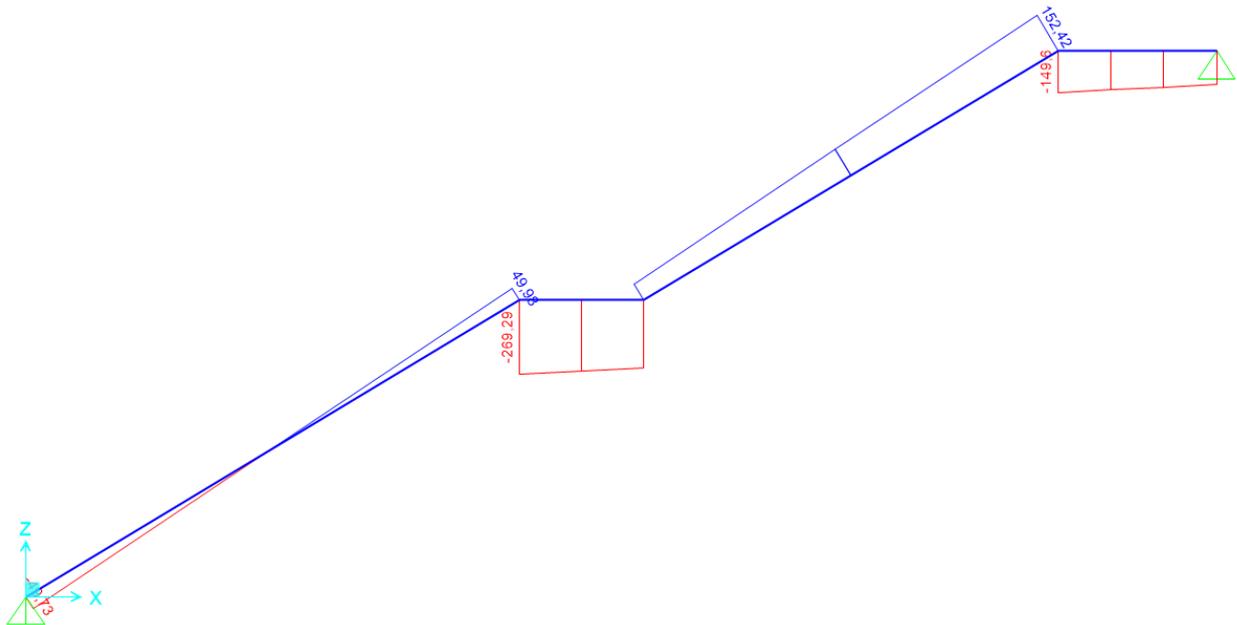
## 10.3 SOLLECITAZIONI E VERIFICHE

I risultati, in termini di sollecitazioni, sono riportanti di seguito:

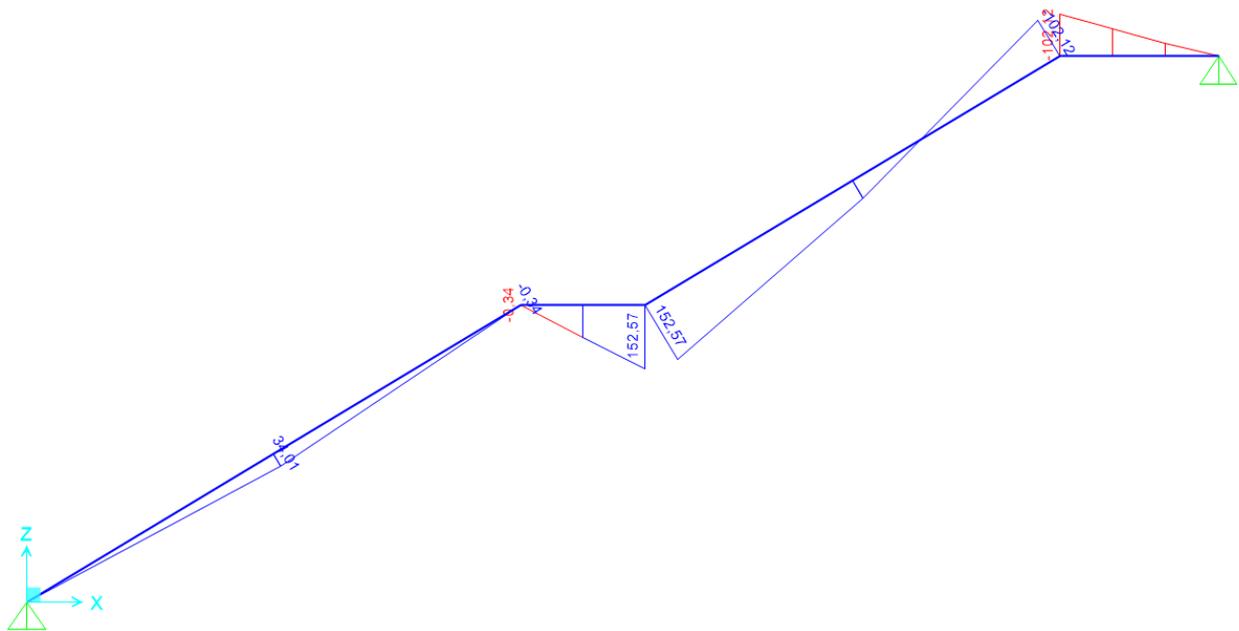


**Figura 69. Diagramma momenti flettenti allo stato limite ultimo (SLU)**

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

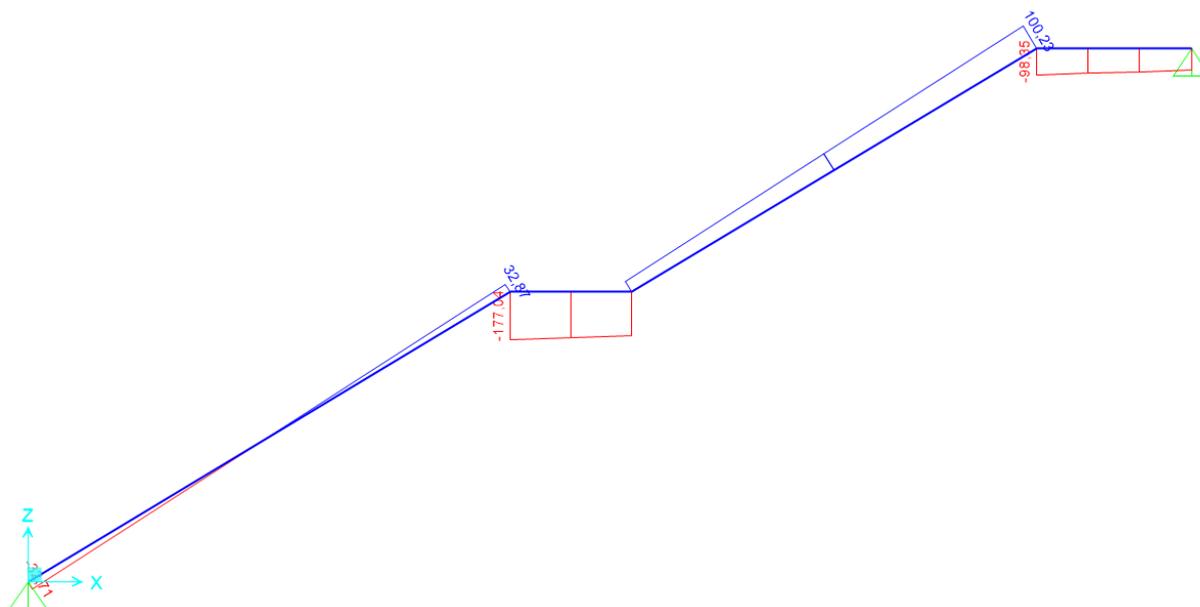


**Figura 70. Diagramma taglio allo stato limite ultimo (SLU)**



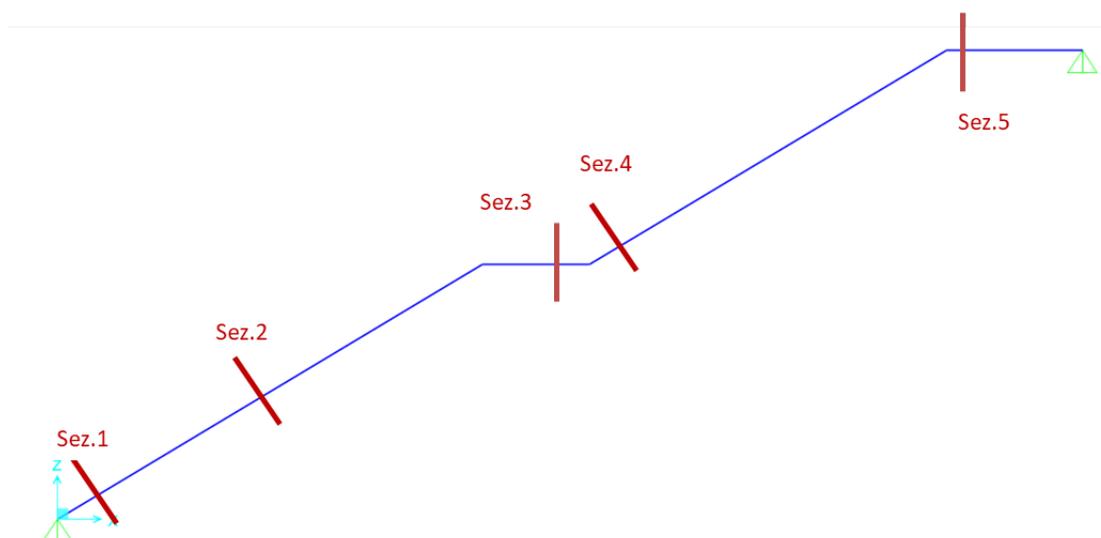
**Figura 71. Diagramma momento flettenti allo stato limite d'esercizio (SLE)**

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



**Figura 72. Diagramma taglio allo stato limite d'esercizio (SLE)**

A questo punto, una volta note le sollecitazioni, si è passati a svolgere le verifiche necessarie. Allo stato limite ultimo (SLU) sono state condotte le verifiche sia a pressoflessione che a taglio, allo stato limite d'esercizio (SLE) sono state condotte le verifiche tensionali, le verifiche a fessurazione e le verifiche a deformazione. In tutte le verifiche appena citate le sezioni analizzate sono le seguenti:



**Figura 73. Sezioni analizzate**

Cominciando dallo stato limite ultimo, si riporta di seguito una tabella riassuntiva dei risultati:

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
	Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo

SLU - pressoflessione						
Scala						
	Comb	N <sub>Ed</sub> [kN]	M <sub>Ed</sub> [kNm]	Armature	M <sub>Rd</sub> [kNm]	Stato
SEZIONE 1-1	SLU	-664	<b>0</b>	12Φ18/10	<b>295</b>	verificato
SEZIONE 2-2	SLU	-664	<b>6</b>	12Φ18/10	<b>295</b>	verificato
SEZIONE 3-3	SLU	-542	<b>232</b>	12Φ18/10	<b>285</b>	verificato
SEZIONE 4-4	SLU	-592	<b>232</b>	12Φ18/10	<b>289</b>	verificato
SEZIONE 5-5	SLU	-542	<b>-155</b>	12Φ18/10	<b>-285</b>	verificato

**Tabella 25. Risultati delle verifiche a pressoflessione allo stato limite ultimo (SLU)**

SLU - taglio						
Scala						
	Comb	N <sub>Ed</sub> [kN]	V <sub>Ed</sub> [kNm]	Armature	V <sub>Rd</sub> [kNm]	Stato
SEZIONE 1-1	SLU	-664	-50	Φ10/40x40	<b>279</b>	verificato
SEZIONE 2-2	SLU	-664	0	Φ10/40x40	<b>279</b>	verificato
SEZIONE 3-3	SLU	-542	-250	Φ10/40x40	<b>279</b>	verificato
SEZIONE 4-4	SLU	-592	70	Φ10/40x40	<b>279</b>	verificato
SEZIONE 5-5	SLU	-542	-150	Φ10/40x40	<b>279</b>	verificato

**Tabella 26. Risultati delle verifiche a taglio allo stato limite ultimo (SLU)**

Invece allo stato limite d'esercizio i risultati ottenuti sono i seguenti:

SLE - fessurazione							
Scala							
	Comb	N <sub>Ed</sub> [kN]	M <sub>Ed</sub> [kNm]	Armature	w <sub>k</sub> [mm]	w <sub>1</sub> [mm]	Stato
SEZIONE 1-1	SLE_frequente	-436,4	0,0	12Φ18/10	<b>0,00</b>	<b>0,30</b>	verificato
SEZIONE 2-2	SLE_frequente	-436,4	34,0	12Φ18/10	<b>0,00</b>	<b>0,30</b>	verificato
SEZIONE 3-3	SLE_frequente	-356,6	152,6	12Φ18/10	<b>0,24</b>	<b>0,30</b>	verificato
SEZIONE 4-4	SLE_frequente	-389,4	152,6	12Φ18/10	<b>0,23</b>	<b>0,30</b>	verificato
SEZIONE 5-5	SLE_frequente	-356,6	102,1	12Φ18/10	<b>0,12</b>	<b>0,30</b>	verificato

**Tabella 27. Risultati delle verifiche a fessurazione allo stato limite d'esercizio (SLE)**

SLE - controllo tensioni							
Scala							
	Comb	σ <sub>c</sub> [MPa]	σ <sub>s</sub> [MPa]	Armature	σ <sub>c,lim</sub> [MPa]	σ <sub>s,lim</sub> [MPa]	Stato
SEZIONE 1-1	SLE_frequente	0,9	0,0	12Φ18/10	<b>13,50</b>	<b>360,00</b>	verificato
SEZIONE 2-2	SLE_frequente	2,6	1,3	12Φ18/10	<b>13,50</b>	<b>360,00</b>	verificato
SEZIONE 3-3	SLE_frequente	11,6	199,3	12Φ18/10	<b>13,50</b>	<b>360,00</b>	verificato
SEZIONE 4-4	SLE_frequente	11,6	194,0	12Φ18/10	<b>13,50</b>	<b>360,00</b>	verificato
SEZIONE 5-5	SLE_frequente	7,8	114,4	12Φ18/10	<b>13,50</b>	<b>360,00</b>	verificato

**Tabella 28. Risultati delle verifiche di controllo delle tensioni allo stato limite d'esercizio (SLE)**

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

SLE - deformazioni				
Scala				
	Comb.	Spostamento misurato [mm]	Spostamento limite [mm]	Stato
SEZIONE 1-1	SLE_frequente	<b>0,0</b>	<b>34,40</b>	verificato
SEZIONE 2-2	SLE_frequente	<b>3,6</b>	<b>34,40</b>	verificato
SEZIONE 3-3	SLE_frequente	<b>5,7</b>	<b>34,40</b>	verificato
SEZIONE 4-4	SLE_frequente	<b>5,7</b>	<b>34,40</b>	verificato
SEZIONE 5-5	SLE_frequente	<b>1,2</b>	<b>34,40</b>	verificato

**Tabella 29. Risultati delle verifiche a deformazioni allo stato limite d'esercizio (SLE)**

Dove lo spostamento limite è pari a 1/250 della luce totale secondo il capitolo 4.2.4.1 della normativa italiana (NTC2018):

$$\delta_{z,lim} = \frac{1}{250} \cdot L = \frac{1}{250} \cdot L = \frac{1}{250} \cdot 8600 = 34,40 \text{ mm}$$

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

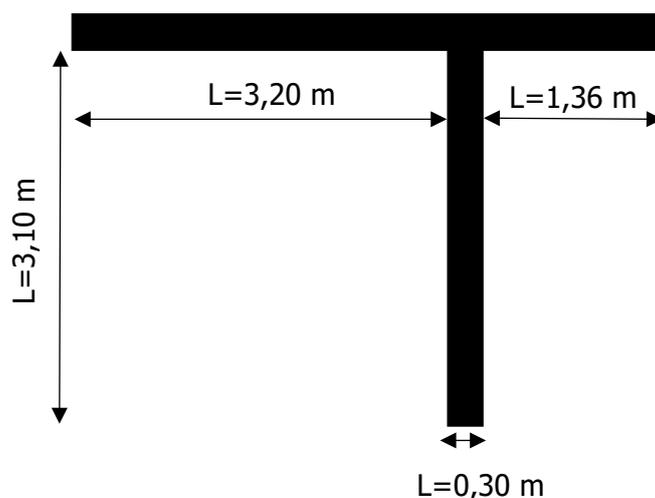
## 11. DIMENSIONAMENTO E VERIFICA DELLE BANCHINE

Nel presente capitolo si riportano le verifiche condotte in merito alle banchine.

Le verifiche riguardano analisi allo stato limite ultimo (SLU) e stato limite d'esercizio (SLE). In particolare:

- Stato limite ultimo (SLU):
  - Verifica a rottura per flessione;
  - Verifica a rottura per taglio.
- Stato limite d'esercizio (SLE).
  - Verifica delle tensioni;
  - Verifica a fessurazione.

La banchina è caratterizzata dalla seguente geometria:



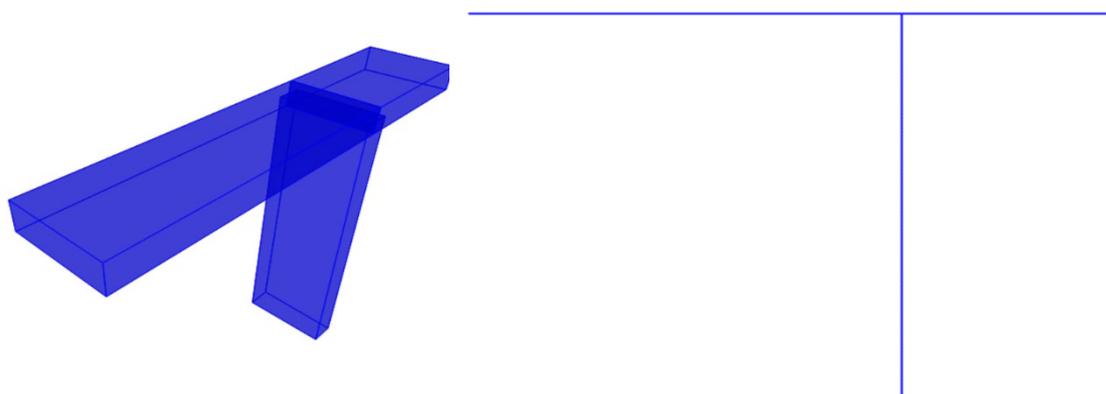
**Figura 74. Geometria della banchina**

Essa permette di ottenere le distanze tra gli assi degli elementi orizzontali e verticali, necessari per l'implementazione del modello di calcolo.

La sezione implementata nel modello di calcolo è caratterizzata da un'altezza pari a 0,30 m e una base pari a 1,00 m. La scelta di una base unitaria è stata svolta per semplificare la quantificazione dei carichi agenti sulla banchina.

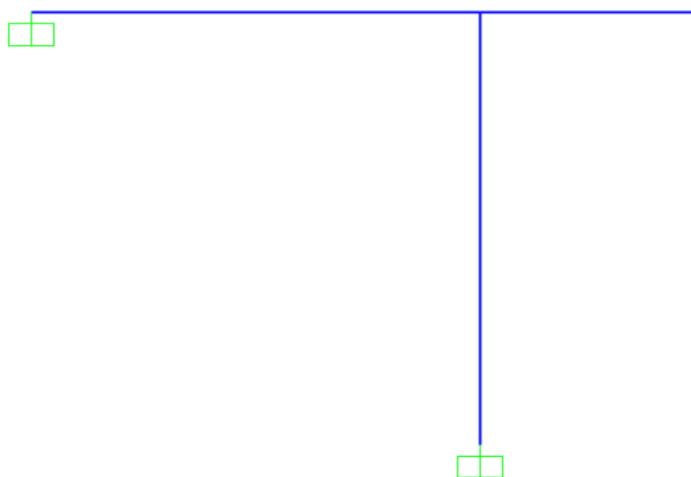
Attraverso la geometria appena definita, si è ottenuto il seguente modello di calcolo:

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



**Figura 75. Geometria nel modello di calcolo**

Infine, sono stati applicati dei vincoli corrispondenti a degli incastri, alla base del pilastro e alla sinistra dell'elemento orizzontale, poiché si prevede un ammorsamento delle armature tale da garantire un vincolo equiparabile ad un incastro perfetto:



**Figura 76. Rappresentazione dei vincoli applicati**

## 11.1 ANALISI DEI CARICHI

Una volta definita la geometria si è passati a quantificare i carichi agenti sulla banchina.

I carichi analizzati sono i seguenti:

- Carichi permanenti:
  - Peso proprio della struttura portante ( $G_1$ ): esso è calcolato automaticamente dal software in funzione delle dimensioni geometriche;

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

- Carico dei rivestimenti ( $G_2$ ):  $0,10 \text{ m} \cdot 24 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot 1,00 \text{ m} = 2,40 \text{ kN/m}$ ;
- **Carichi variabili:**
  - **Sovraccarico d'esercizio ( $Q_k$ ):**  $5,00 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 1,00 \text{ m} = 5,00 \text{ kN/m}$ ;

La scelta di un valore pari a  $5,00 \text{ kN/m}^2$  per i carichi variabili è motivata dai valori dei sovraccarichi riportati dalle Norme Tecniche per le costruzioni - NTC2018:

Tab. 3.1.II - Valori dei sovraccarichi per le diverse categorie d'uso delle costruzioni

Cat.	Ambienti	$q_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$Q_k$ [kN]	$H_k$ [kN/m]
A	Ambienti ad uso residenziale			
	Aree per attività domestiche e residenziali; sono compresi in questa categoria i locali di abitazione e relativi servizi, gli alberghi (ad esclusione delle aree soggette ad affollamento), camere di degenza di ospedali	2,00	2,00	1,00
	Scale comuni, balconi, ballatoi	4,00	4,00	2,00
B	Uffici			
	Cat. B1 Uffici non aperti al pubblico	2,00	2,00	1,00
	Cat. B2 Uffici aperti al pubblico	3,00	2,00	1,00
	Scale comuni, balconi e ballatoi	4,00	4,00	2,00
C	Ambienti suscettibili di affollamento			
	Cat. C1 Aree con tavoli, quali scuole, caffè, ristoranti, sale per banchetti, lettura e ricevimento	3,00	3,00	1,00
	Cat. C2 Aree con posti a sedere fissi, quali chiese, teatri, cinema, sale per conferenze e attesa, aule universitarie e aule magne	4,00	4,00	2,00
	Cat. C3 Ambienti privi di ostacoli al movimento delle persone, quali musei, sale per esposizioni, aree d'accesso a uffici, ad alberghi e ospedali, ad atrii di stazioni ferroviarie	5,00	5,00	3,00
	Cat. C4. Aree con possibile svolgimento di attività fisiche, quali sale da ballo, palestre, palcoscenici.	5,00	5,00	3,00
	Cat. C5. Aree suscettibili di grandi affollamenti, quali edifici per eventi pubblici, sale da concerto, palazzetti per lo sport e relative tribune, gradinate e piattaforme ferroviarie.	5,00	5,00	3,00
	Scale comuni, balconi e ballatoi	Secondo categoria d'uso servita, con le seguenti limitazioni		
		≥ 4,00	≥ 4,00	≥ 2,00

Figura 77. Valori dei sovraccarichi per le diverse categorie d'uso

## 11.2 COMBINAZIONE DEI CARICHI

La verifica strutturale è stata condotta secondo due stati limite:

- Stato limite ultimo (SLU);
- Stato limite d'esercizio (SLE).

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

I precedenti stati limite sono stati analizzati utilizzando le combinazioni di carico indicate nelle Norme Tecniche per le costruzioni (NTC2018), in particolare nel capitolo 2.5.3. Si riportano di seguito le combinazioni utilizzate:

- Stato limite ultimo (SLU):

$$\gamma_{G_1} \cdot G_1 + \gamma_{G_2} \cdot G_2 + \gamma_Q \cdot Q_k = 1,30 \cdot G_1 + 1,50 \cdot G_2 + 1,50 \cdot Q_k$$

- Stato limite d'esercizio (SLE):

- Combinazione caratteristica:

$$G_1 + G_2 + \psi_{1,j} \cdot Q_k = G_1 + G_2 + Q_k$$

Si è previsto di utilizzare solo la combinazione caratteristica perché risulta essere la combinazione che massimizza le sollecitazioni sulla struttura della banchina.

La combinazione caratteristica, anche se non esplicitamente richiesta dalla normativa per le verifiche a fessurazione, risulta essere la combinazione più svantaggiosa a causa della massimizzazione delle sollecitazioni. Inoltre, questa combinazione è stata utilizzata insieme al limite di ampiezza delle fessure più stringente:

$$w_1 = 0,2 \text{ mm}$$

$$w_2 = 0,3 \text{ mm}$$

$$w_3 = 0,4 \text{ mm}$$

Tab. 4.1.III – Descrizione delle condizioni ambientali

Condizioni ambientali	Classe di esposizione
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

Tab. 4.1.IV - Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione

Gruppi di Esigenze	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	w <sub>k</sub>	Stato limite	w <sub>k</sub>
A	Ordinarie	frequente	apertura fessure	≤ w <sub>2</sub>	apertura fessure	≤ w <sub>3</sub>
		quasi permanente	apertura fessure	≤ w <sub>1</sub>	apertura fessure	≤ w <sub>2</sub>
B	Aggressive	frequente	apertura fessure	≤ w <sub>1</sub>	apertura fessure	≤ w <sub>2</sub>
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	≤ w <sub>1</sub>
C	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	apertura fessure	≤ w <sub>1</sub>
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	≤ w <sub>1</sub>

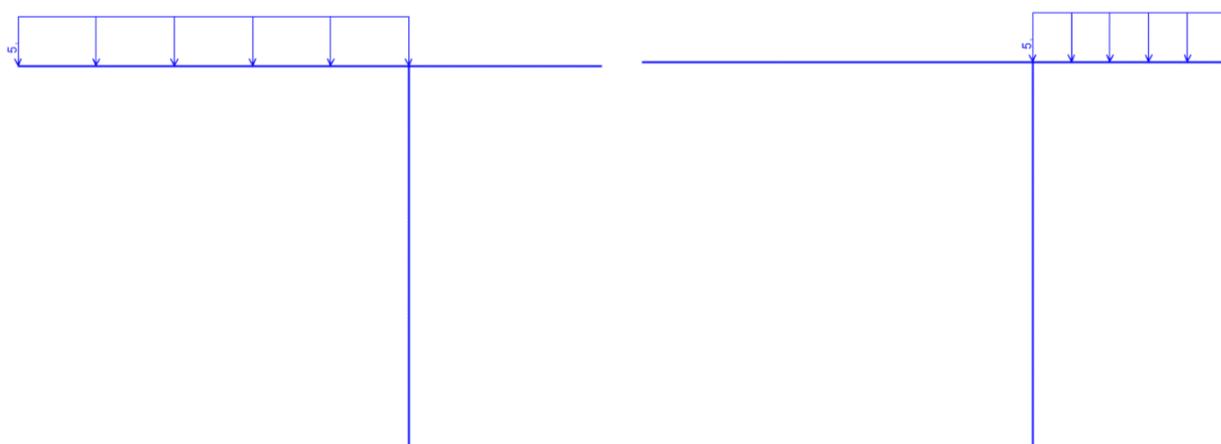
w<sub>1</sub>, w<sub>2</sub>, w<sub>3</sub> sono definiti al § 4.1.2.2.4, il valore w<sub>k</sub> è definito al § 4.1.2.2.4.5.

**Figura 78. Condizioni ambientali e criteri dello stato limite di fessurazione**

In questo modo si è utilizzata la situazione più gravosa per svolgere la verifica a fessurazione. La stessa combinazione è stata utilizzata per svolgere le verifiche delle tensioni nel calcestruzzo e nell'acciaio secondo quanto richiesto dalle Norme Tecniche per le costruzioni (NTC2018).

Infine, ma non per importanza, si è previsto di analizzare nel dettaglio il sovraccarico d'esercizio. Infatti, si è previsto di applicare il sovraccarico attraverso le seguenti modalità:

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

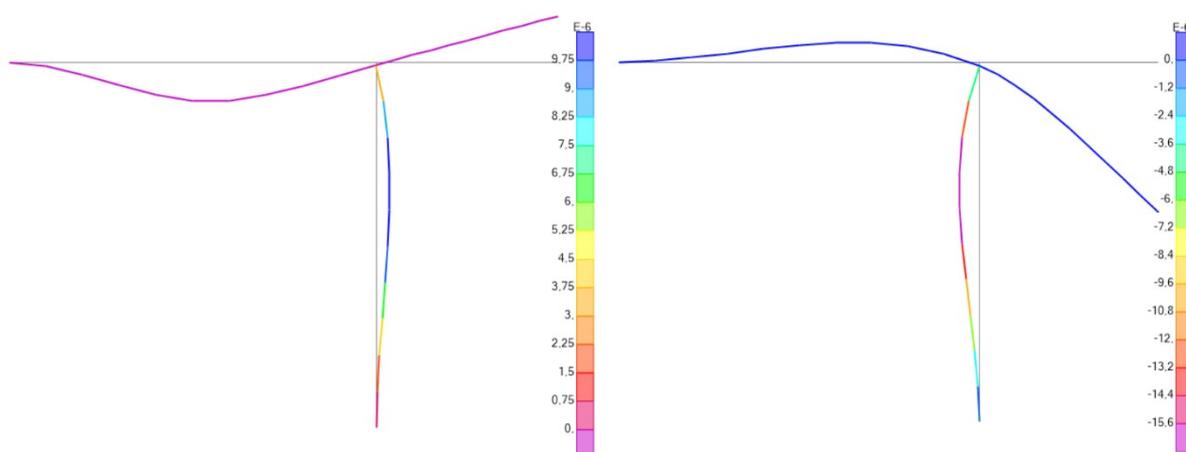


**Figura 79. Modalità di applicazione del sovraccarico d'esercizio**

Il sovraccarico è stato considerato anche come un carico uniformemente distribuito su tutta la lunghezza dell'elemento strutturale orizzontale.

La scelta di analizzare i due carichi nelle modalità appena descritte è motivata dal fatto che generano delle sollecitazioni maggiori rispetto al caso in cui si applicasse il carico su tutto l'elemento orizzontale.

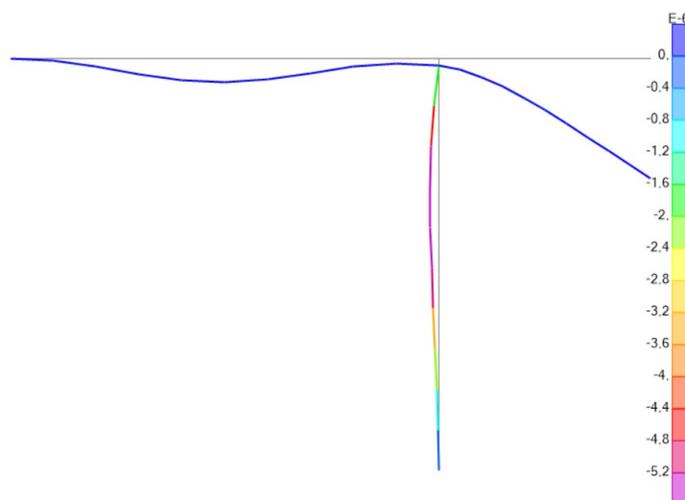
In merito a questo aspetto si riportano di seguito le relative deformate e sollecitazioni nei due casi:



**Figura 80. Deformate per le due modalità di applicazione del sovraccarico d'esercizio**

Di seguito, invece, le sollecitazioni ottenute applicando contemporaneamente i carichi:

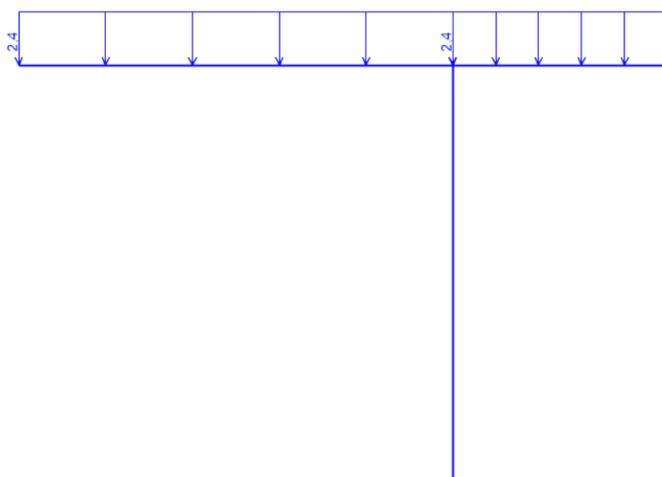
 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



**Figura 81. Deformata con l'applicazione contemporanea dei due sovraccarichi d'esercizio**

Come si può notare da quest'ultima immagine, gli spostamenti risultano essere più contenuti rispetto ai due casi analizzati precedentemente. Questo aspetto, ovviamente si presenta anche per tutte le sollecitazioni. Quindi, la prima condizione di carico va a massimizzare le sollecitazioni nell'elemento orizzontale di sinistra, mentre la seconda condizione massimizza le sollecitazioni nell'elemento orizzontale di destra.

Le precisazioni appena fatte per il sovraccarico d'esercizio, non è stato condotto per il carico derivante dai rivestimenti. Di conseguenza, il carico applicato è il seguente:



**Figura 82. Modalità di applicazione del carico  $G_2$**

Le precisazioni fatte precedentemente comportano un aumento delle combinazioni di carico. In particolare, sono state considerate le seguenti combinazioni:

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

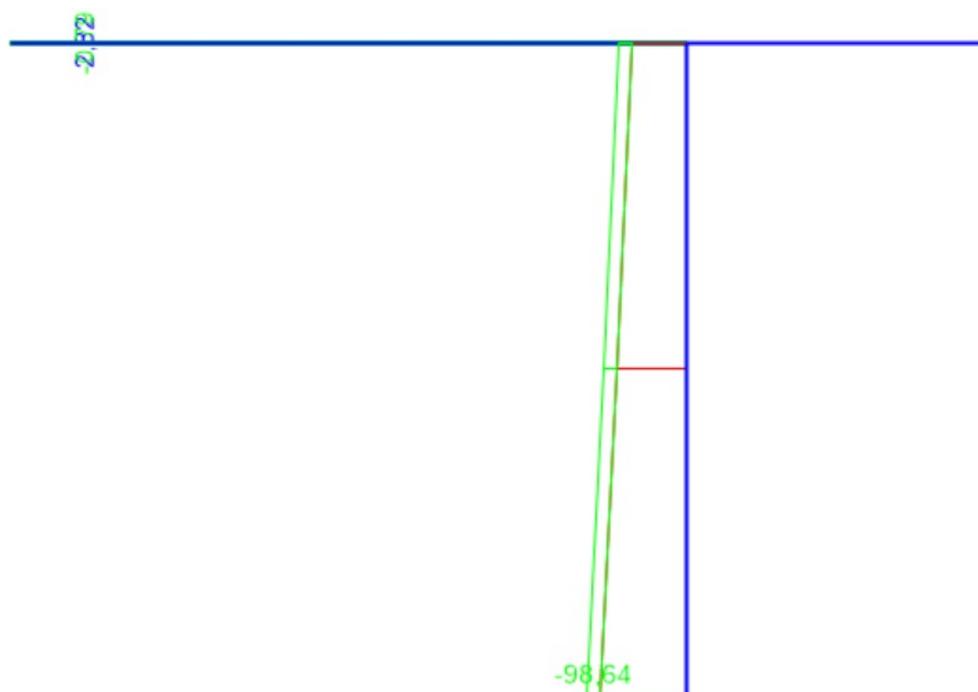
Combinazione	Carichi utilizzati			
	G <sub>1</sub>	G <sub>2</sub>	Q <sub>k1</sub>	Q <sub>k2</sub>
SLU <sub>1</sub>	1,30	1,50	1,50	0,00
SLU <sub>2</sub>	1,30	1,50	0,00	1,50
SLU <sub>3</sub>	1,30	1,50	1,50	1,50
SLE <sub>CARATT,1</sub>	1,00	1,00	1,00	0,00
SLE <sub>CARATT,2</sub>	1,00	1,00	0,00	1,00
SLE <sub>CARATT,3</sub>	1,00	1,00	1,00	1,00

**Tabella 30. Combinazioni di carico analizzate**

Svolte le precedenti combinazioni, si è svolto l’involuppo per le combinazioni allo stato limite ultimo (SLU) e stato limite d’esercizio (SLE) per riuscire ad ottenere le sollecitazioni maggiori in ciascun stato limite.

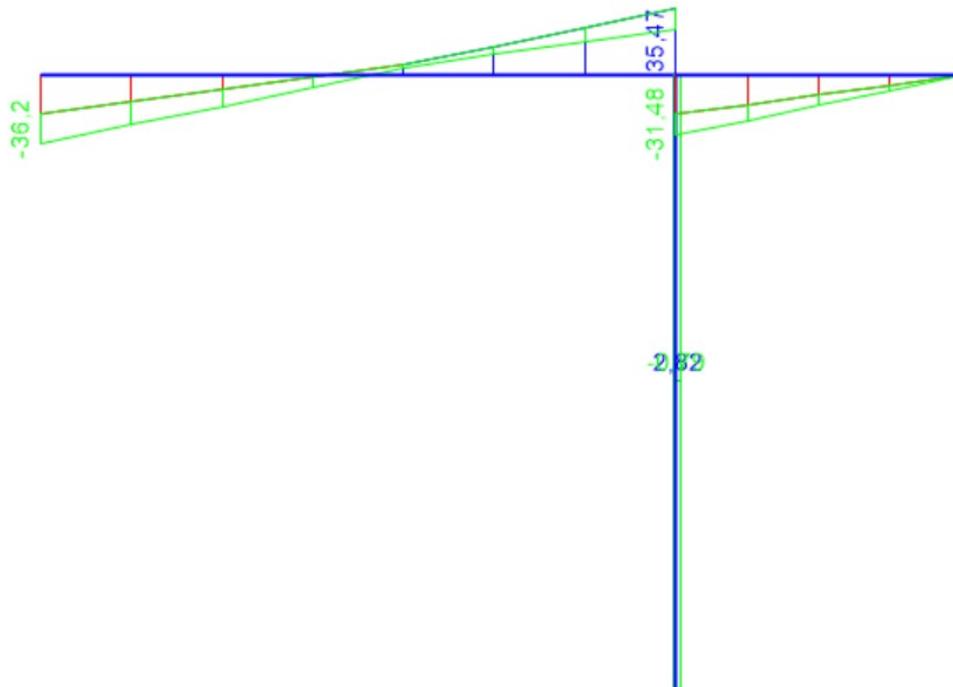
### 11.3 SOLLECITAZIONI E VERIFICHE

I risultati, in termini di sollecitazioni, sono riportati come involucro. In questo modo è possibile ottenere i seguenti grafici:

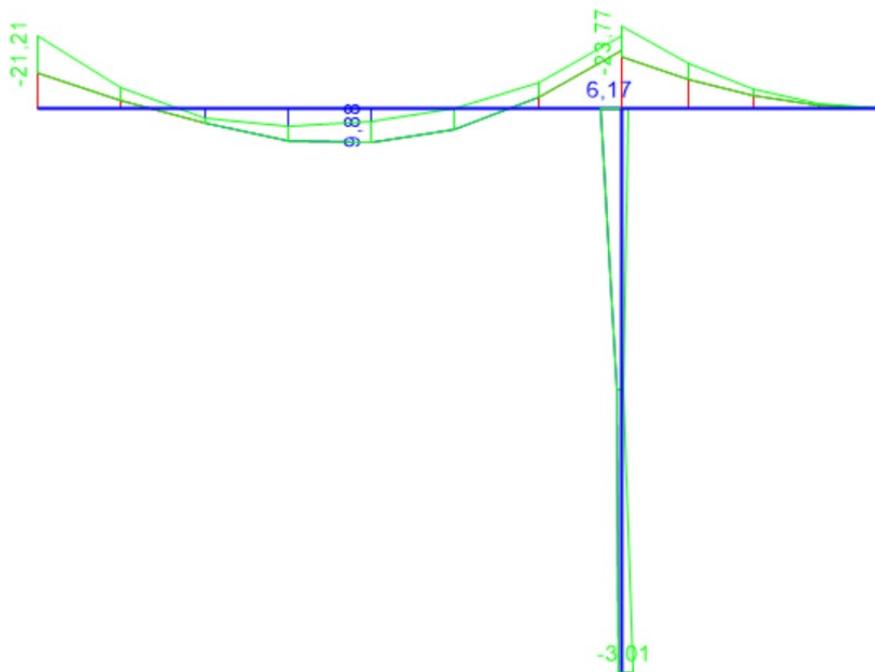


**Figura 83. Involuppo dei diagrammi dell'azione assiale allo SLU**

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

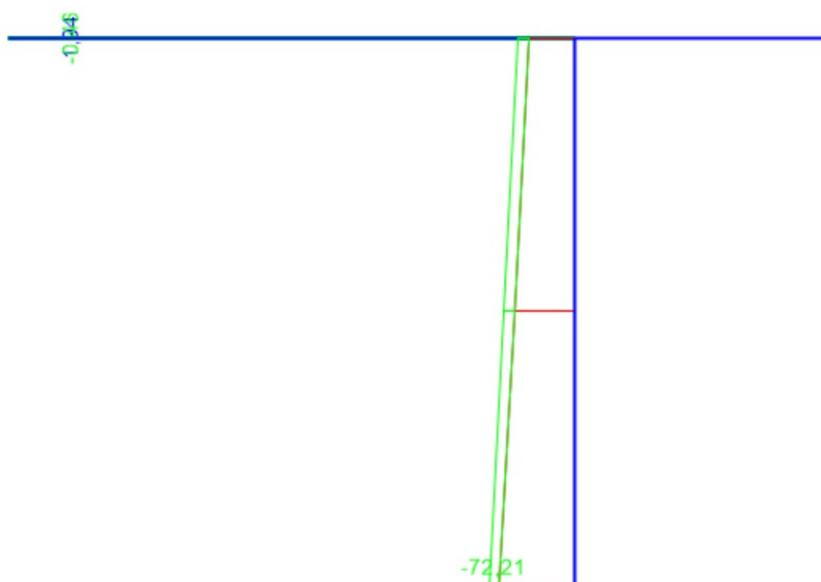


**Figura 84. Inviluppo dei diagrammi del taglio allo SLU**

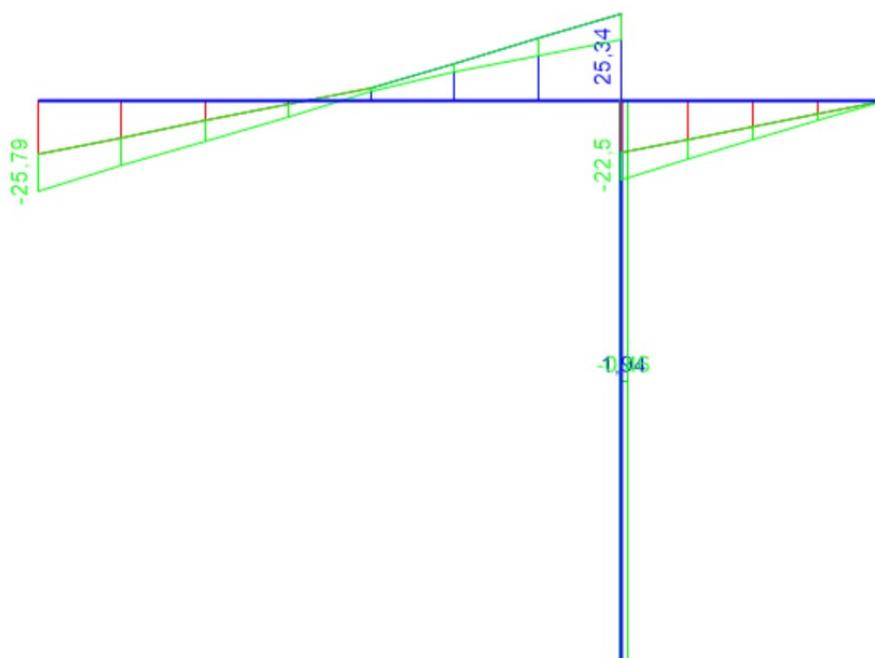


**Figura 85. Inviluppo dei diagrammi dei momenti flettenti allo SLU**

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

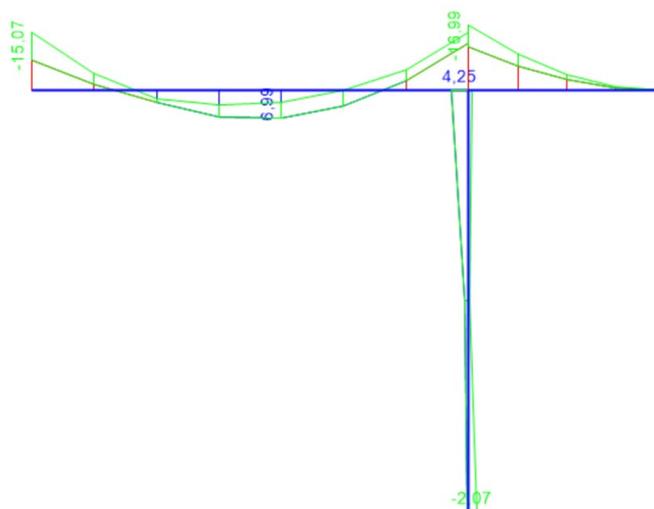


**Figura 86. Inviluppo dei diagrammi dell'azione assiale con combinazione caratteristica**



**Figura 87. Combinazione dei diagrammi del taglio con combinazione caratteristica**

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



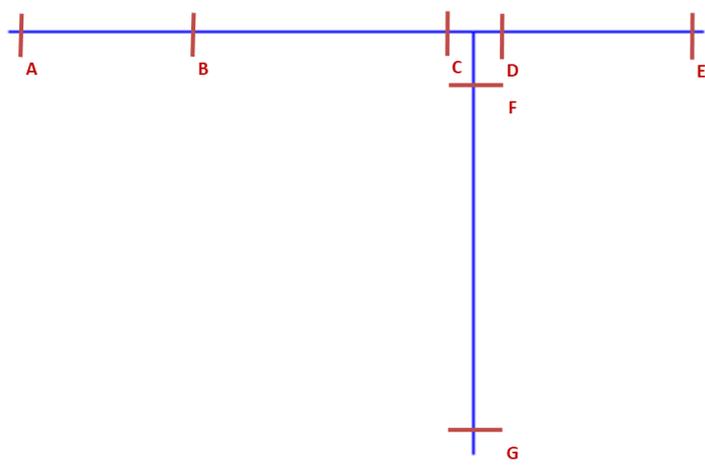
**Figura 88. Involuppo dei diagrammi del momento flettente con combinazione caratteristica**

Sulla base delle sollecitazioni ottenute, sono state condotte le seguenti verifiche:

- Stato limite ultimo (SLU):
  - Verifica a rottura per flessione della sezione;
  - Verifica a rottura per taglio.
- Stato limite d'esercizio (SLE).
  - Verifica delle tensioni;
  - Verifica a fessurazione.

In merito alle ipotesi alla base dei risultati che verranno successivamente riportati, si può fare riferimento a quanto riportato al capitolo **Error! Reference source not found.** Le sezioni oggetto di verifica sono le seguenti:

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



**Figura 89. Sezioni di verifica**

Quindi, di seguito si riportano i risultati delle verifiche svolte:

- Stato limite ultimo (SLU):

SLU - pressoflessione							
SLU							
	H <sub>SEZ</sub> [mm]	Comb	N <sub>Ed</sub> [kN]	M <sub>Ed</sub> [kNm]	Armature	M <sub>Rd</sub> [kNm]	Stato
A	300	SLU	0	-21	1Φ12/20	-60	verificato
B	300	SLU	0	10	1Φ12/20	60	verificato
C	300	SLU	0	-21	1Φ12/20	-60	verificato
D	300	SLU	0	-24	1Φ12/20	-60	verificato
E	300	SLU	0	0	1Φ12/20	60	verificato
F	300	SLU	-67	6	1Φ14/20	85	verificato
G	300	SLU	-99	-3	1Φ14/20	-88	verificato

**Tabella 31. Risultati della verifica a pressoflessione (SLU)**

SLU - taglio							
SLU							
	H <sub>SEZ</sub> [mm]	Comb	N <sub>Ed</sub> [kN]	V <sub>Ed</sub> [kNm]	Armature	V <sub>Rd</sub> [kNm]	Stato
A	300	SLU	0	36	Φ8/40x40	65	verificato
B	300	SLU	0	0	Φ8/40x40	65	verificato
C	300	SLU	0	35	Φ8/40x40	65	verificato
D	300	SLU	0	31	Φ8/40x40	65	verificato
E	300	SLU	0	0	Φ8/40x40	65	verificato
F	300	SLU	-67	3	Φ8/40x40	65	verificato
G	300	SLU	-99	3	Φ8/40x40	65	verificato

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

**Tabella 32. Risultati della verifica a taglio (SLU)**

- Stato limite d'esercizio (SLE).

SLE - fessurazione								
SLE								
	H <sub>SEZ</sub> [mm]	Comb	N <sub>Ed</sub> [kN]	M <sub>Ed</sub> [kNm]	Armature	w <sub>k</sub> [mm]	w <sub>1</sub> [mm]	Stato
A	300	SLE	0,0	-15,1	1Φ12/20	<b>0,161</b>	<b>0,30</b>	verificato
B	300	SLE	0,0	7,0	1Φ12/20	<b>0,075</b>	<b>0,30</b>	verificato
C	300	SLE	0,0	-15,1	1Φ12/20	<b>0,161</b>	<b>0,30</b>	verificato
D	300	SLE	0,0	-17,0	1Φ12/20	<b>0,182</b>	<b>0,30</b>	verificato
E	300	SLE	0,0	0,0	1Φ12/20	<b>0,001</b>	<b>0,30</b>	verificato
F	300	SLE	-47,8	4,3	1Φ14/20	<b>0,001</b>	<b>0,30</b>	verificato
G	300	SLE	-72,2	-2,1	1Φ14/20	<b>0,001</b>	<b>0,30</b>	verificato

**Tabella 33. Risultati della verifica a fessurazione**

SLE - controllo tensioni								
SLE								
	H <sub>SEZ</sub> [mm]	Comb	σ <sub>c</sub> [MPa]	σ <sub>s</sub> [MPa]	Armature	σ <sub>c,lim</sub> [MPa]	σ <sub>s,lim</sub> [MPa]	Stato
A	300	SLE	<b>2,5</b>	<b>122,0</b>	1Φ12/20	<b>13,50</b>	<b>360,00</b>	verificato
B	300	SLE	<b>1,2</b>	<b>56,5</b>	1Φ12/20	<b>13,50</b>	<b>360,00</b>	verificato
C	300	SLE	<b>2,6</b>	<b>122,0</b>	1Φ12/20	<b>13,50</b>	<b>360,00</b>	verificato
D	300	SLE	<b>2,9</b>	<b>137,3</b>	1Φ12/20	<b>13,50</b>	<b>360,00</b>	verificato
E	300	SLE	<b>1,1</b>	<b>1,1</b>	1Φ12/20	<b>13,50</b>	<b>360,00</b>	verificato
F	300	SLE	<b>1,0</b>	<b>1,6</b>	1Φ14/20	<b>13,50</b>	<b>360,00</b>	verificato
G	300	SLE	<b>1,1</b>	<b>1,1</b>	1Φ14/20	<b>13,50</b>	<b>360,00</b>	verificato

**Tabella 34. Risultati verifica delle tensioni**

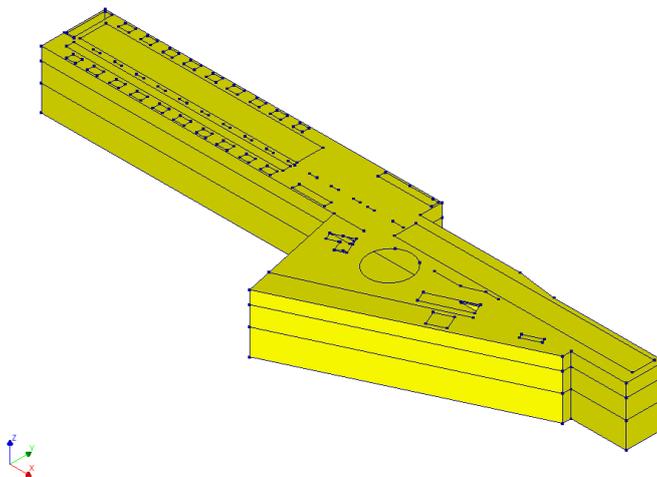
 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

## 12. DIMENSIONAMENTO E VERIFICA DEI DIAFRAMMI INTERMEDI

Il presente capitolo contiene i risultati delle analisi numeriche e delle rispettive verifiche di sicurezza eseguite n. 4 sezioni di calcolo rappresentative per i diaframmi intermedi.

Per lo studio dell'opera ci si è avvalsi di un modello ad elementi finiti tridimensionale costituito dai diaframmi, sia perimetrali che intermedi, e dalle tre solette (soletta di copertura, soletta intermedia e soletta di fondo).

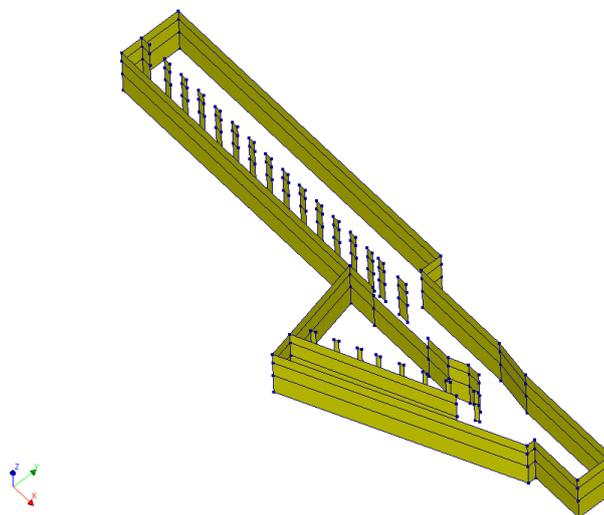
Il modello globale come già mostrato più dettagliatamente nel capitolo 8.1, sviluppato in DIANA, comprende la soletta di copertura, avente spessore 1.8m, la soletta intermedia avente spessore di 1.0m e la soletta di fondo avente spessore di 1.5m. Inoltre, nel modello sono stati inseriti i diaframmi perimetrali, aventi spessore 1.2m e profondità di 30 m, e i diaframmi interni, aventi spessore di 0.8m o 0.6m e profondità di 30m. Nelle solette di copertura e intermedia sono inoltre state inserite tutte le aperture desunte dai layout funzionali di input.



**Figura 90. Modello di Calcolo DIANA FEA – Vista 3D**

Per meglio comprendere il posizionamento dei diaframmi considerati nel calcolo, in figura è rappresentata una vista dell'opera escludendo le solette.

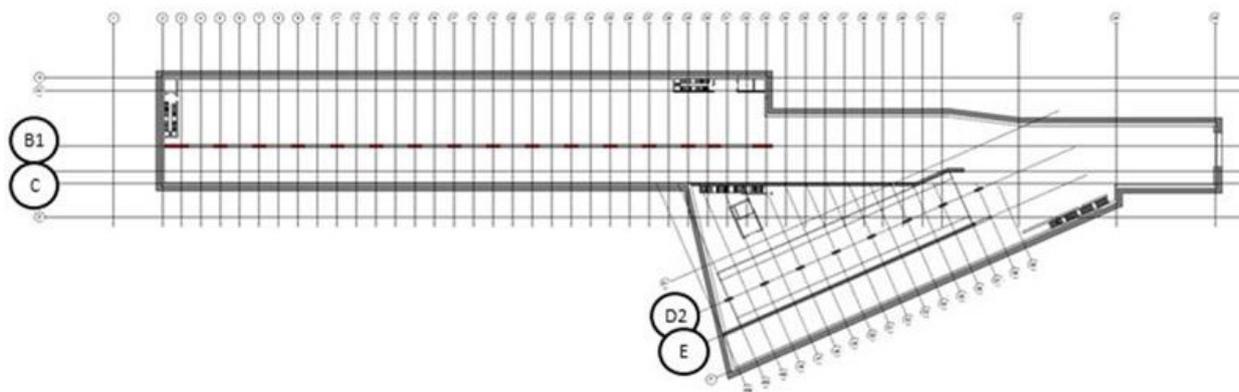
 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



**Figura 91. Vista 3d della struttura con evidenziati i diaframmi perimetrali e intermedi**

Sono state considerate n.4 allineamenti, sulla base delle quali si sono dimensionati n.4 armature tipologiche dei diversi diaframmi:

- Diaframma continuo primario 2.60x0.80m, di cui è stata verificata la sezione più critica appartenente all'allineamento C/E.
- Diaframma continuo secondario 2.80x0.80m, di cui è stata verificata la sezione più critica appartenente all'allineamento C/E.
- Diaframma isolato B1 3.20x0.80m, di cui è stata verificata la sezione più critica appartenente all'allineamento B1.
- Diaframma isolato D2 2.00x0.60m, di cui è stata verificata la sezione più critica appartenente all'allineamento D2.

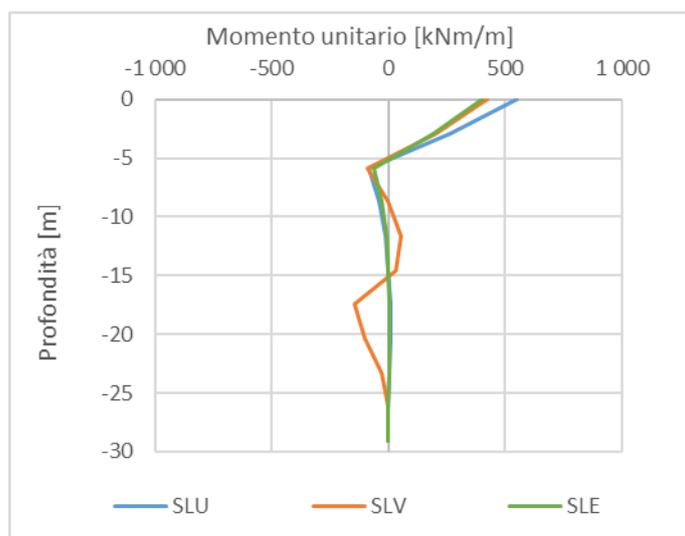


**Figura 92. Sezioni di verifica delle solette**

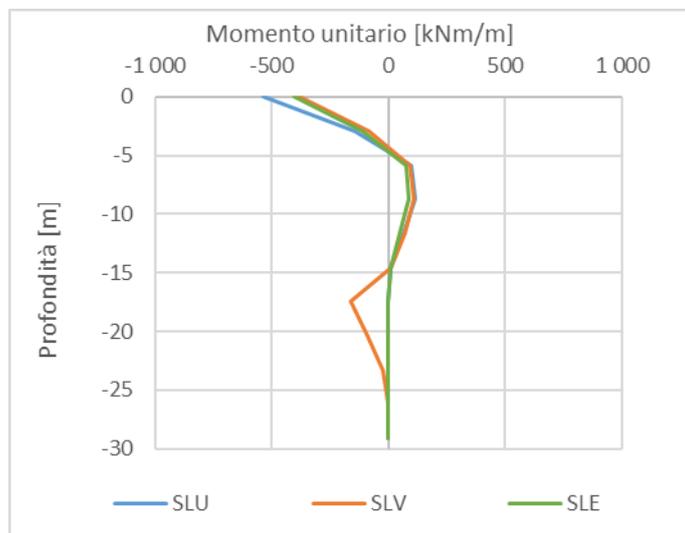
 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

Per le verifiche agli SLU e SLE sono stati considerati i medesimi carichi applicati al modello 3D definiti nel capitolo 8.4.

In seguito, si riportano le sollecitazioni ottenute per le fodere a SLU e SLE.

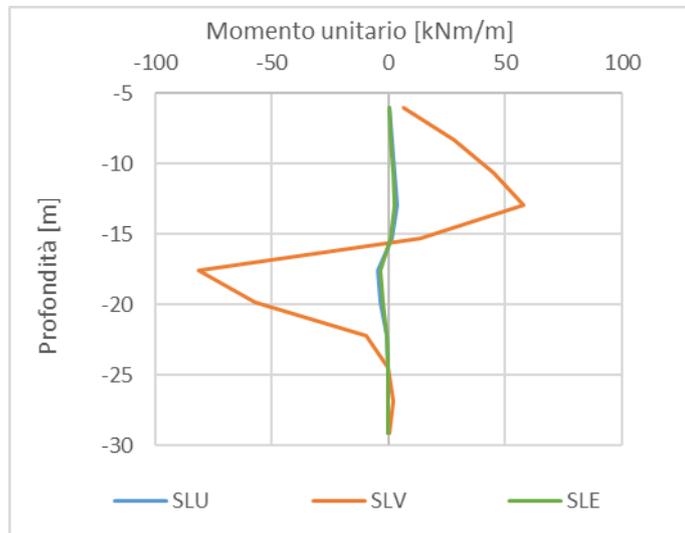


**Figura 93. Diaframma Continuo Allineamento C/E – Momento unitario in kNm/m: SLU, SLV e SLE**

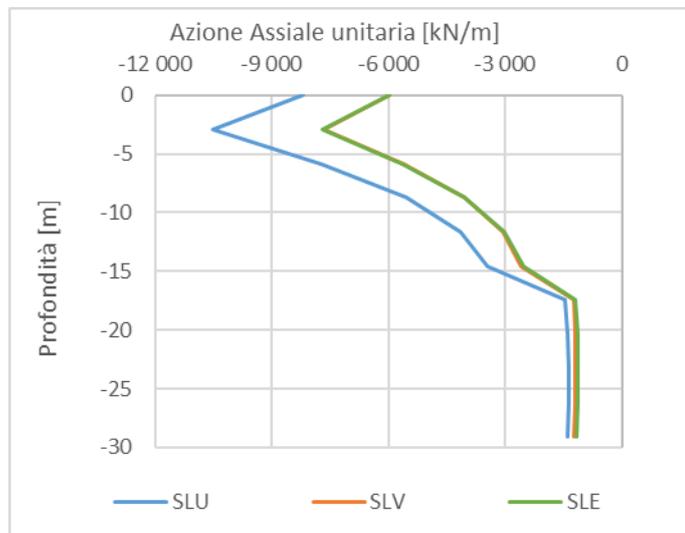


**Figura 94. Diaframma Isolato Allineamento B1 – Momento unitario in kNm/m: SLU, SLV e SLE**

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

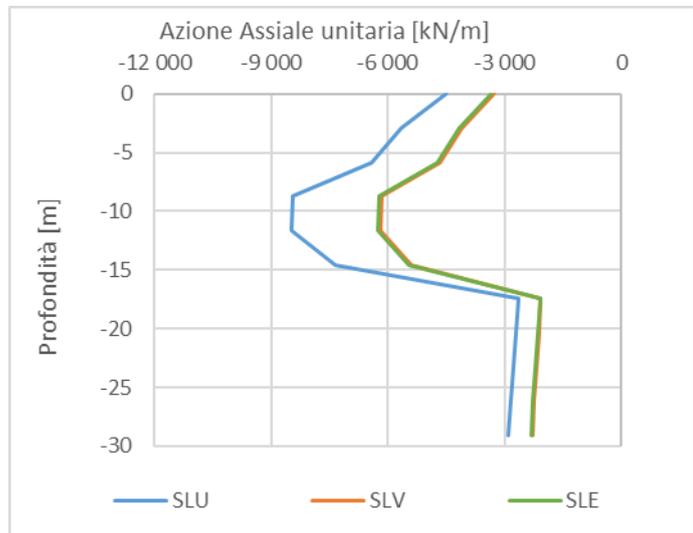


**Figura 95. Diaframma Isolato Allineamento D2 – Momento unitario in kNm/m: SLU, SLV e SLE**

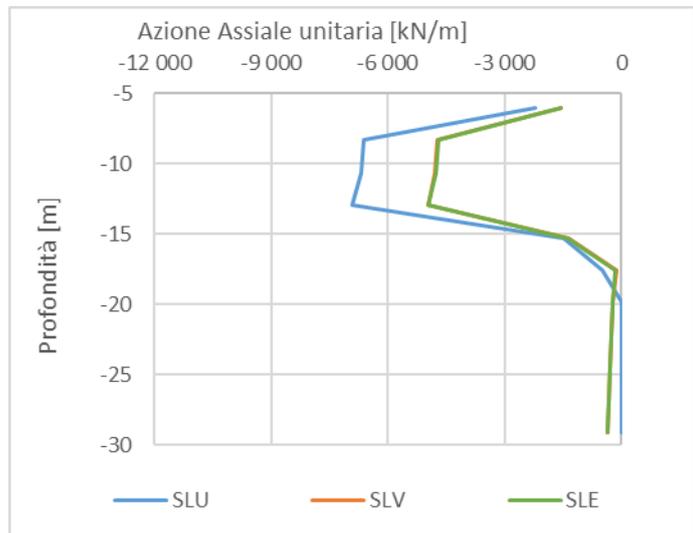


**Figura 96. Diaframma Continuo Allineamento C/E – Azione assiale unitaria in kN/m: SLU, SLV e SLE**

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

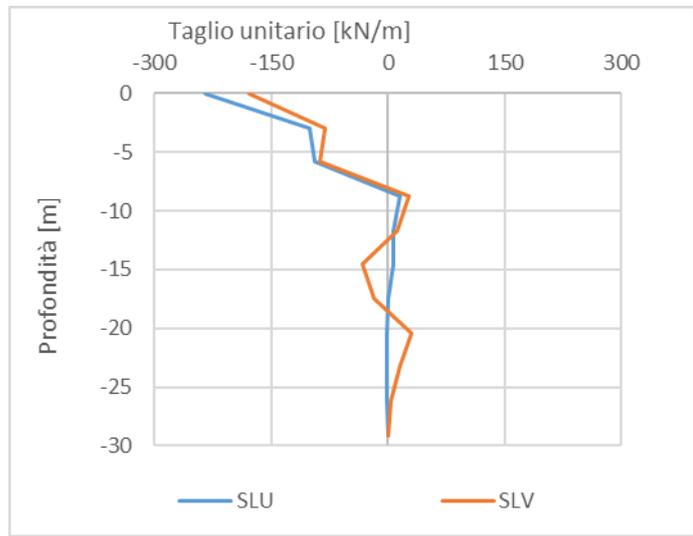


**Figura 97. Diaframma Isolato Allineamento B1 – Azione assiale unitaria in kN/m: SLU, SLV e SLE**

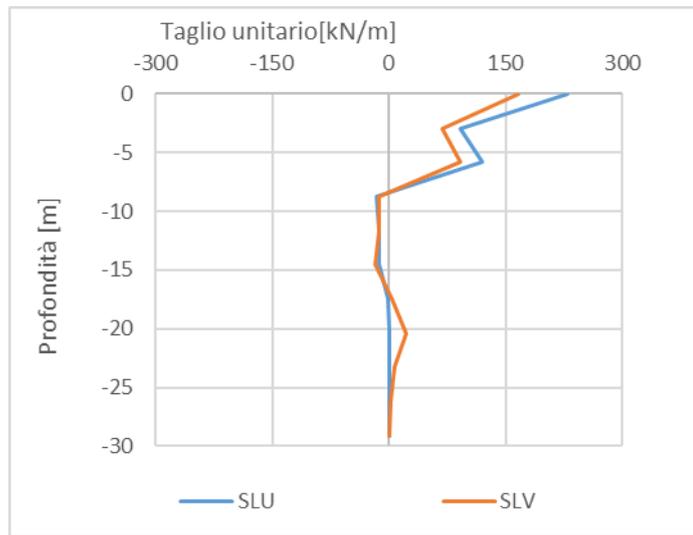


**Figura 98. Diaframma Isolato Allineamento D2 – Azione assiale unitaria in kN/m: SLU, SLV e SLE**

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

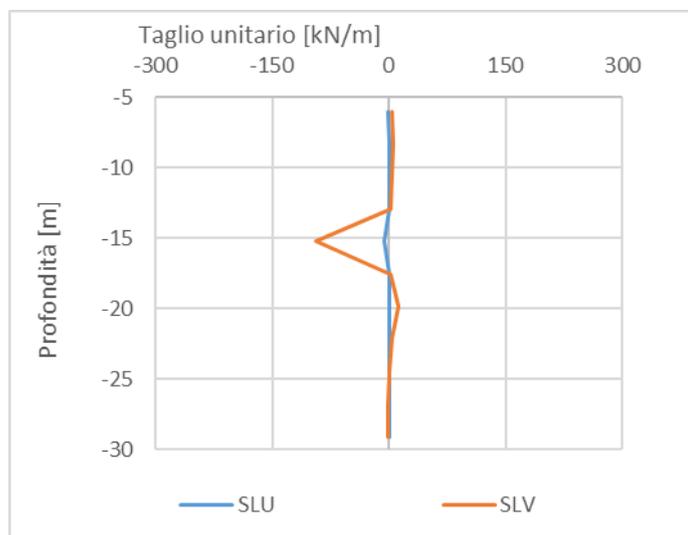


**Figura 99. Diaframma Continuo Allineamento C/E – Taglio unitario in kN/m: SLU e SLV**



**Figura 100. Diaframma Isolato Allineamento B1 – Taglio unitario in kN/m: SLU e SLV**

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



**Figura 101. Diaframma Isolato Allineamento D2 – Taglio unitario in kN/m: SLU e SLV**

Infine, di seguito si riportano i risultati delle verifiche effettuate, considerando la sezione più critica di ogni diaframma. I valori riportati di seguito sono già moltiplicati per la larghezza del diaframma.

**Tabella 35. Fodere in calcestruzzo – verifiche flessionali a SLU e SLV**

SLU								
	B <sub>SEZ</sub> [mm]	H <sub>SEZ</sub> [mm]	Comb	N <sub>Ed</sub> [kN]	M <sub>Ed</sub> [kNm]	Armature	M <sub>Rd</sub> [kNm]	Stato
Principale C/E	2600	800	SLU	-21286	<b>1435</b>	24 Φ20/10	<b>3631</b>	verificato
Secondario C/E	2800	800	SLU	-22924	<b>1546</b>	26 Φ20/10	<b>5044</b>	verificato
Isolato B1	3200	800	SLU	-14448	<b>1728</b>	30 Φ20/10	<b>6204</b>	verificato
Isolato D2	2000	600	SLU	-918	<b>8</b>	18 Φ20/10	<b>1295</b>	verificato
SLV								
	B <sub>SEZ</sub> [mm]	H <sub>SEZ</sub> [mm]	Comb	N <sub>Ed</sub> [kN]	M <sub>Ed</sub> [kNm]	Armature	M <sub>Rd</sub> [kNm]	Stato
Principale C/E	2600	800	SLV	-15499	<b>1105</b>	24 Φ20/10	<b>4409</b>	verificato
Secondario C/E	2800	800	SLV	-16691	<b>1190</b>	26 Φ20/10	<b>5587</b>	verificato
Isolato B1	3200	800	SLV	-10538	<b>1222</b>	30 Φ20/10	<b>5563</b>	verificato
Isolato D2	2000	600	SLV	-288	<b>162</b>	18 Φ20/10	<b>1153</b>	verificato

**Tabella 36. Fodere in calcestruzzo – verifiche a taglio SLU e SLV**

SLU								
	B <sub>SEZ</sub> [mm]	H <sub>SEZ</sub> [mm]	Comb	N <sub>Ed</sub> [kN]	V <sub>Ed</sub> [kNm]	Armature	V <sub>Rd</sub> [kNm]	Stato
Principale C/E	2600	800	SLU	-21286	608	Φ16/20	<b>8403</b>	verificato
Secondario C/E	2800	800	SLU	-22924	655	Φ16/20	<b>3796</b>	verificato
Isolato B1	3200	800	SLU	-14448	733	Φ16/20	<b>3796</b>	verificato
Isolato D2	2000	600	SLU	-3010	12	Φ16/20	<b>2694</b>	verificato
SLV								
	B <sub>SEZ</sub> [mm]	H <sub>SEZ</sub> [mm]	Comb	N <sub>Ed</sub> [kN]	V <sub>Ed</sub> [kNm]	Armature	V <sub>Rd</sub> [kNm]	Stato
Principale C/E	2600	800	SLV	-15499	465	Φ16/20	<b>8403</b>	verificato
Secondario C/E	2800	800	SLV	-16691	501	Φ16/20	<b>3796</b>	verificato

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

Isolato B1	3200	800	SLV	-10538	534	Φ16/20	<b>3796</b>	verificato
Isolato D2	2000	600	SLV	-2728	186	Φ16/20	<b>2672</b>	verificato

**Tabella 37. Fodere in calcestruzzo – verifiche a fessurazione SLE**

SLE									
	B <sub>SEZ</sub> [mm]	H <sub>SEZ</sub> [mm]	Comb	N <sub>Ed</sub> [kN]	M <sub>Ed</sub> [kNm]	Armature	w <sub>k</sub> [mm]	w <sub>1</sub> [mm]	Stato
Principale C/E	2600	800	SLE	-15548	1040	24 Φ20/10	<b>0.001</b>	<b>0.300</b>	verificato
Secondario C/E	2800	800	SLE	-16744	1120	26 Φ20/10	<b>0.001</b>	<b>0.300</b>	verificato
Isolato B1	3200	800	SLE	-10678	1296	30 Φ20/10	<b>0.001</b>	<b>0.300</b>	verificato
Isolato D2	2000	600	SLE	326	6	18 Φ20/10	<b>0.001</b>	<b>0.300</b>	verificato

**Tabella 38. Fodere in calcestruzzo – verifiche tensionali SLE**

SLE									
	B <sub>SEZ</sub> [mm]	H <sub>SEZ</sub> [mm]	Comb	σ <sub>c</sub> [MPa]	σ <sub>s</sub> [MPa]	Armature	σ <sub>c,lim</sub> [MPa]	σ <sub>s,lim</sub> [MPa]	Stato
Principale C/E	2600	800	SLE	<b>9.9</b>	<b>1</b>	24 Φ20/10	<b>11.3</b>	<b>360</b>	verificato
Secondario C/E	2800	800	SLE	<b>9.9</b>	<b>1</b>	26 Φ20/10	<b>11.3</b>	<b>360</b>	verificato
Isolato B1	3200	800	SLE	<b>6.9</b>	<b>1</b>	30 Φ20/10	<b>11.3</b>	<b>360</b>	verificato
Isolato D2	2000	600	SLE	<b>0.3</b>	<b>1</b>	18 Φ20/10	<b>11.3</b>	<b>360</b>	verificato

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

### 13. DIMENSIONAMENTO E VERIFICHE DEGLI SPINOTTI DI COLLEGAMENTO TRA SOLETTE E DIAFRAMMI INTERMEDI

Le solette intermedia e di fondo sono collegate ai diaframmi intermedi per mezzo di spinotti metallici. Tali spinotti verranno post-installati mediante perforazione sui diaframmi stessi e saranno passanti da un lato all'altro del diaframma per una estensione di 120cm da entrambi i lati. Il compito di questi elementi sarà quello di lavorare a taglio per fornire il supporto alla soletta una volta gettata.

La verifica degli spinotti di collegamento è stata effettuata desumendo i valori di taglio agente sulle solette in corrispondenza dei diaframmi intermedi. È stata valutata la condizione più critica, in corrispondenza della zona sud del deposito, in cui i diaframmi intermedi, di lunghezza 3.2m sono distanziati tra loro di 10m. Il taglio massimo agente sul diaframma è pari a  $V_{ed} = 1910.4$  kN.

Per il calcolo della resistenza offerta dagli spinotti si è fatto riferimento alle formulazioni desunte da [5], secondo cui la resistenza di un singolo spinotto è calcolabile come:

$$V_{RD} = 0.9 \cdot \phi^2 \sqrt{f_{yd} \cdot f_{cd}} = 0.9 \cdot 32^2 \sqrt{391 \cdot 18.13} = 77.6 \text{ kN}$$

Di conseguenza vengono selezionati 30Φ32 passanti (L=120+120+80 cm) da posizionare 3 file orizzontali ( $V_{rd} = 2329$ kN).

Gli spinotti verranno poi confinati per mezzo di 3 staffe Φ16, ripetute 4 volte con passo 20cm, in modo da prevenire rotture a taglio nella soletta.

**Tabella 39. Spinotti di collegamento diaframmi/soletta – verifica a taglio dello spinotto**

Diframma-soletta						
	Comb	$N_{Ed}$ [kN]	$V_{Ed}$ [kNm]	Armature	$R_{Rd}$ [kNm]	Stato
Sezione 1	SLU	0	<b>1910</b>	30Φ32	<b>2329</b>	verificato

**Tabella 40. Spinotti di collegamento diaframmi/soletta – verifica a taglio della soletta**

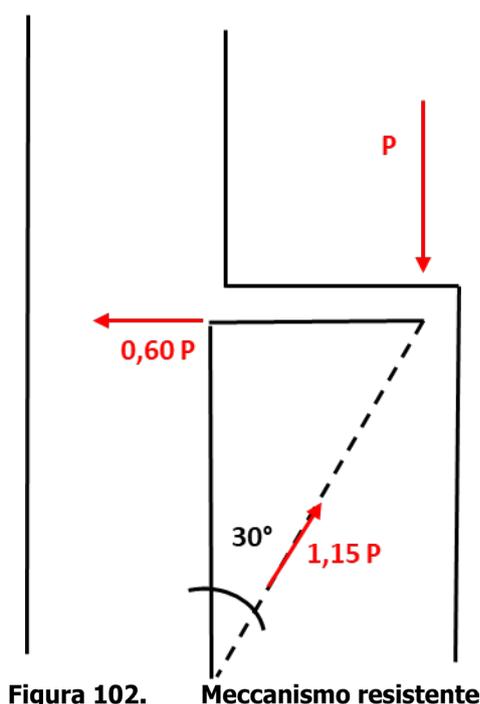
Diframma-soletta						
	Comb	$N_{Ed}$ [kN]	$V_{Ed}$ [kNm]	Armature	$R_{Rd}$ [kNm]	Stato
Sezione 1	SLU	-630	<b>1878</b>	4Φ16/20	<b>1925</b>	verificato

Le verifiche si ritengono soddisfatte, anche in relazione del fatto che i diaframmi intermedi presentano comunque degli scassi di appoggio sui lati corti come ulteriore elemento di supporto, ridondante rispetto alle verifiche effettuate. Inoltre, come elemento resistente ulteriormente ridondante sono anche presenti 8 spinotti Φ32 sui lati corti dei diaframmi.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

## 14. VERIFICHE LOCALI DEL CALCESTRUZZO NELLE ZONE DI APPOGGIO DELLE SOLETTE

Oltre alle verifiche appena riportate, è stata condotta una verifica per la rottura a taglio del cuneo inclinato:



La verifica è stata condotta svolgendo i seguenti step:

1. Resistenza a taglio sulla superficie inclinata di rottura;
2. Verifica della tensione agente nell'armatura orizzontale;
3. Verifica delle trazioni indotte localmente.

I punti 2 e 3, invece, servono per verificare che le tensioni indotte dal meccanismo, siano inferiori delle resistenze dei materiali utilizzati. In particolare, che la tensione nell'armatura orizzontale sia della resistenza a snervamento dell'acciaio, e che la tensione a trazione indotta nel calcestruzzo, sia inferiore della sua resistenza a trazione.

Prima di condurre le verifiche, è importante quantificare l'azione assiale che viene scaricata dalla soletta sul diaframma. Le caratteristiche geometriche della soletta sono i seguenti:

**Tabella 41. Parametri geometrici della soletta**

Parametro	Descrizione	Valore	Unità di misura
Spessore	s	1,00	m
Luce	L	7,00	m

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

Base	b	m
------	---	---

Dove L risulta già metà luce della soletta. I carichi agenti che sono stati utilizzati sono:

- Peso proprio ( $G_1$ ): 25 kN/m<sup>3</sup>;
- Sovraccarico accidentale ( $Q_k$ ): 10 kN/m<sup>3</sup>.

Attraverso la combinazione allo stato limite ultimo (SLU), l'azione assiale che viene scambiata dalla soletta sul diaframma è pari a:

$$N = (\gamma_{G_1} \cdot G_1 + \gamma_{Q_k} \cdot Q_k) \cdot b \cdot s \cdot L = (1,30 \cdot 25 + 1,50 \cdot 10) \cdot 1,00 \cdot 1,00 \cdot 7,00 = 332,50 \text{ kN}$$

Dove è importante precisare che l'azione assiale è stata quantificata per una soletta caratterizzata da una lunghezza pari a 1,00 m.

Una volta quantificata l'azione assiale, si è amplificata la stessa del 40%:

$$V_{Ed} = 1,40 \cdot N = 465,50 \text{ kN}$$

A questo punto è stato possibile svolgere la verifica, quindi si cominciato a quantificare la resistenza a taglio del calcestruzzo lungo la superficie di rottura del meccanismo di taglio. L'equazione utilizzata è l'equazione 4.1.23 delle Norme Tecniche per le costruzioni (NTC2018), la quale viene riportata di seguito:

$$V_{Rd} = \max \left\{ \left[ 0,18 \cdot k \cdot \frac{(100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}}}{\gamma_c} + 0,15 \cdot \sigma_{cp} \right] b_w \cdot d; (v_{min} + 0,15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d \right\}$$

Dove:

- $f_{ck}$  è espresso in MPa
- $k = 1 + \left(\frac{200}{d}\right)^{\frac{1}{2}} \leq 2$
- $v_{min} = 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}}$
- d è l'altezza utile della sezione
- $\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot d}$  è il rapporto geometrico di armatura longitudinale tesa che si estende per non meno di una lunghezza pari alla lunghezza di ancoraggio maggiorata di d;
- $\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c}$  [MPa] è la tensione media di compressione nella sezione ( $\leq 0,20 \cdot f_{cd}$ );
- $b_w$  è la larghezza minima della sezione (in mm).

Nel caso in esame la resistenza a taglio del solo calcestruzzo risulta pari a:

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

$$V_{Rd} = \max \left\{ \left[ 0,18 \cdot k \cdot \frac{(100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}}}{\gamma_c} + 0,15 \cdot \sigma_{cp} \right] b_w \cdot d; (v_{min} + 0,15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d \right\}$$

Dove:

**Tabella 42. Parametri per la verifica a taglio**

Parametro	Valore	Unità di misura
k	1,63	-
$\rho_l$	0,00	-
$f_{ck}$	25	MPa
$\gamma_c$	1,50	-
$\sigma_{cp}$	0,776	MPa
$b_w$	1000	mm
d	500	mm
$v_{min}$	0,365	MPa

Dove:

$$k = 1 + \left( \frac{200}{d} \right)^{\frac{1}{2}} = 1 + \left( \frac{200}{500} \right)^{\frac{1}{2}} = 1,63$$

$$\rho_l = 0$$

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} = \frac{465,50 \cdot 1000}{1000 \cdot 500} = 0,775 \text{ MPa}$$

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0,035 \cdot 1,63^{\frac{3}{2}} \cdot 25^{\frac{1}{2}} = 0,365 \text{ MPa}$$

In particolare, è importante affermare che la resistenza a taglio del calcestruzzo è stata calcolata sulla superficie inclinata, quindi la base e l'altezza utile della sezione risulta essere pari a:

$$b = \frac{300}{\sin(30^\circ)} = 600 \text{ mm}$$

Allora la resistenza a taglio risulta essere pari a:

$$V_{Rd} = \max \left\{ \left[ 0,18 \cdot 1,63 \cdot \frac{(100 \cdot 0 \cdot 25)^{\frac{1}{3}}}{1,50} + 0,15 \cdot 0,775 \right] 1000 \cdot 600; (0,365 + 0,15 \cdot 0,775) \cdot 1000 \cdot 600 \right\} = 240,69 \text{ kN/m}$$

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

Questo calcolo è stato condotto sia per il diaframma primario e il diaframma secondario. I risultati ottenuti sono i medesimi poiché non entrano in gioco le dimensioni geometriche dei diaframmi.

Confrontando la resistenza appena calcolata con l'azione agente, pari a 465,50 kN/m, è possibile notare che non è sufficiente resistenza a taglio del calcestruzzo. Di conseguenza, è necessario valutare la resistenza considerando il contributo delle diverse armature presenti nel concio triangolare.

Prima di continuare la verifica a taglio, è importante precisare che sono presenti due differenti sezioni da verifica:

- La sezione del diaframma primario, caratterizzata da una lunghezza pari a 2,60 m;
- La sezione del diaframma secondario, caratterizzata da una lunghezza pari a 2,80 m;

In particolare, attraverso una rappresentazione grafica, è possibile quantificare i seguenti quantitativi di armatura presenti all'interno del concio:

- Diaframma primario:

**Tabella 43. Armatura presente nel concio per il diaframma primario**

Tipo di armatura	Diametro ferri [mm]	Numero ferri	Strati	Passo [mm]	Area totale [mm <sup>2</sup> ]
Trasversale	26	24	1	100	12742,30

- Diaframma secondario:

**Tabella 44. Armatura presente nel concio per il diaframma secondario**

Tipo di armatura	Diametro ferri [mm]	Numero ferri	Strati	Passo [mm]	Area totale [mm <sup>2</sup> ]
Trasversale	26	26	1	100	13804,16

A questo punto si è calcolato il quantitativo di armatura che dovrà assorbire la componente orizzontale del carico  $V_{Ed}$ , secondo il traliccio identificato nella figura precedente:

**Tabella 45. Armatura che assorbe la componente orizzontale di  $V_{Ed}$**

Diaframma	Diametro ferri [mm]	Numero ferri	Strati	Area totale [mm <sup>2</sup> ]
Primario	26	10	1	5309,29
Secondario	26	10	1	5309,29

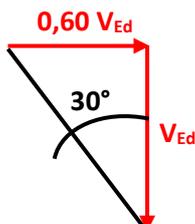
Il quantitativo è stato calcolato su una lunghezza unitaria del diaframma. Di conseguenza la verifica sarà la seguente:

$$V_{Rd} = A_s \cdot f_{yd} \geq N_{Ed} = 0,60 \cdot V_{Ed}$$

Il coefficiente 0,60, riportato nella disequazione appena definita, è ottenuto dalla proiezione dell'azione scaricata dalla soletta rispetto al piano orizzontale:

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

$$N_{Ed} = V_{Ed} \cdot \tan(30^\circ) = V_{Ed} \cdot 0,60$$



È importante sottolineare che l'armatura che dovrà assorbire la componente orizzontale del traliccio, è sia l'armatura longitudinale, che viene piegata, sia l'armatura a taglio. In via cautelativa si è deciso di considerare solo l'armatura longitudinale che viene fatta ripiegare.

I risultati ottenuti sono i seguenti:

**Tabella 46. Verifica del meccanismo a taglio**

Diaframma	$N_{Ed}$ [kN/m]	Area armatura ( $A_s$ ) [mm <sup>2</sup> ]	$f_{yd}$ [MPa]	$V_{Rd}$ [kN/m]	FS
Primario	279,30	5309,29	391,30	2077,54	7,44
Secondario	279,30	5309,29	391,30	2077,54	7,44

Come si può notare la verifica è ampiamente soddisfatta, quindi è possibile passare alla verifica delle trazioni indotte localmente. La verifica è la seguente:

$$\sigma_{t,max} = 0,50 \cdot \sigma_{cm} = 0,50 \cdot V_{Ed}/A_c < f_{ctm}$$

Dove il fattore 0,50 è stato assunto utilizzando i consueti metodi di analisi delle pressioni indotte (Leonardth and Iyengar). Nelle condizioni più estreme, le trazioni indotte sono limitate al 50% delle massime sollecitazioni di compressione.

Quindi, nel caso in esame la verifica è la seguente:

**Tabella 47. Verifica del meccanismo a taglio**

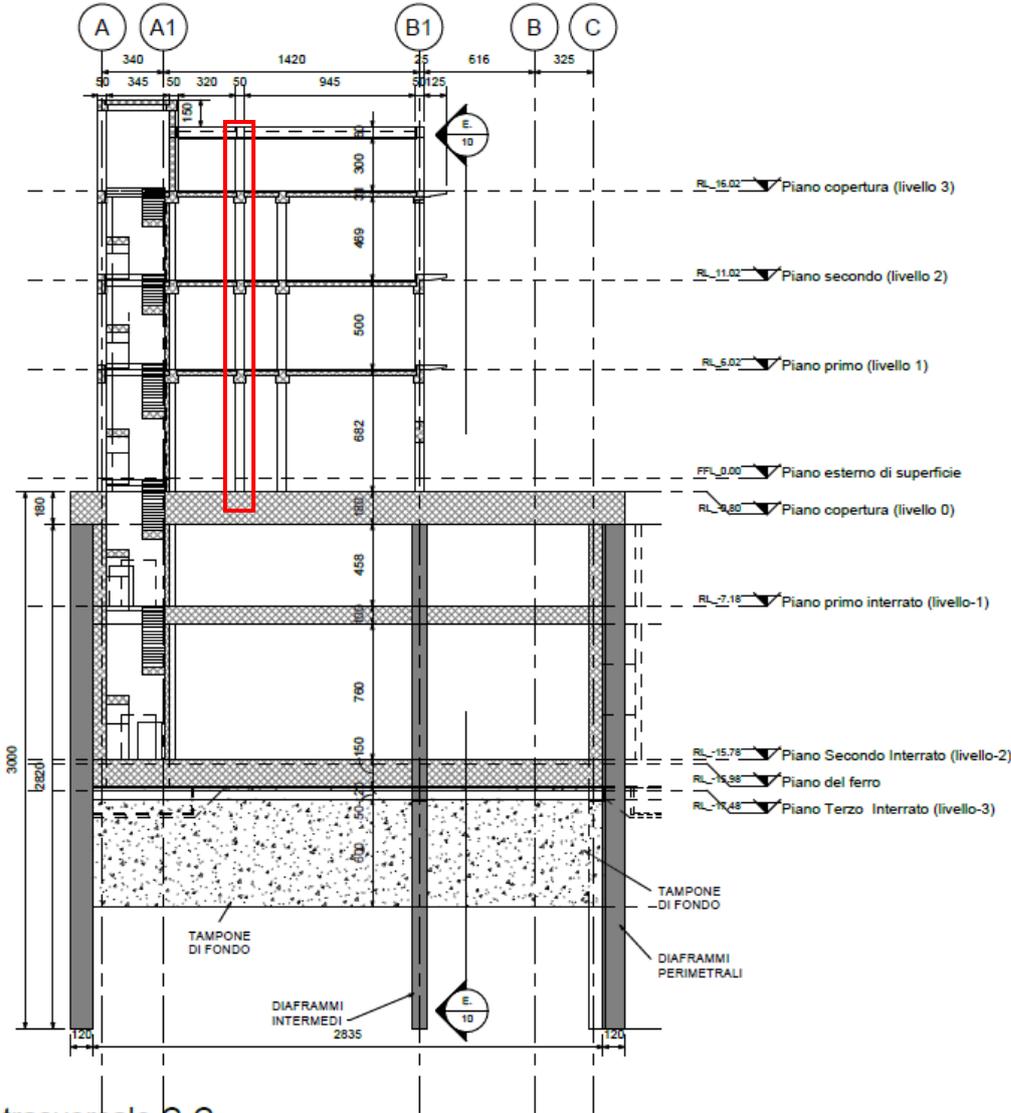
Diaframma	$V_{Ed}$ [kN/m]	Area calcestruzzo ( $A_c$ ) [mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{cm}$ [MPa]	$\sigma_{t,max}$ [MPa]	$f_{ctm}$ [MPa]
Primario	465,50	300000	1,55	0,78	2,56
Secondario	465,50	300000	1,55	0,78	2,56

Attraverso le verifiche appena condotte, è possibile affermare che anche le verifiche per la rottura a taglio dell'appoggio soletta – diaframma sono soddisfatte, sia per il diaframma primario che per il diaframma secondario.

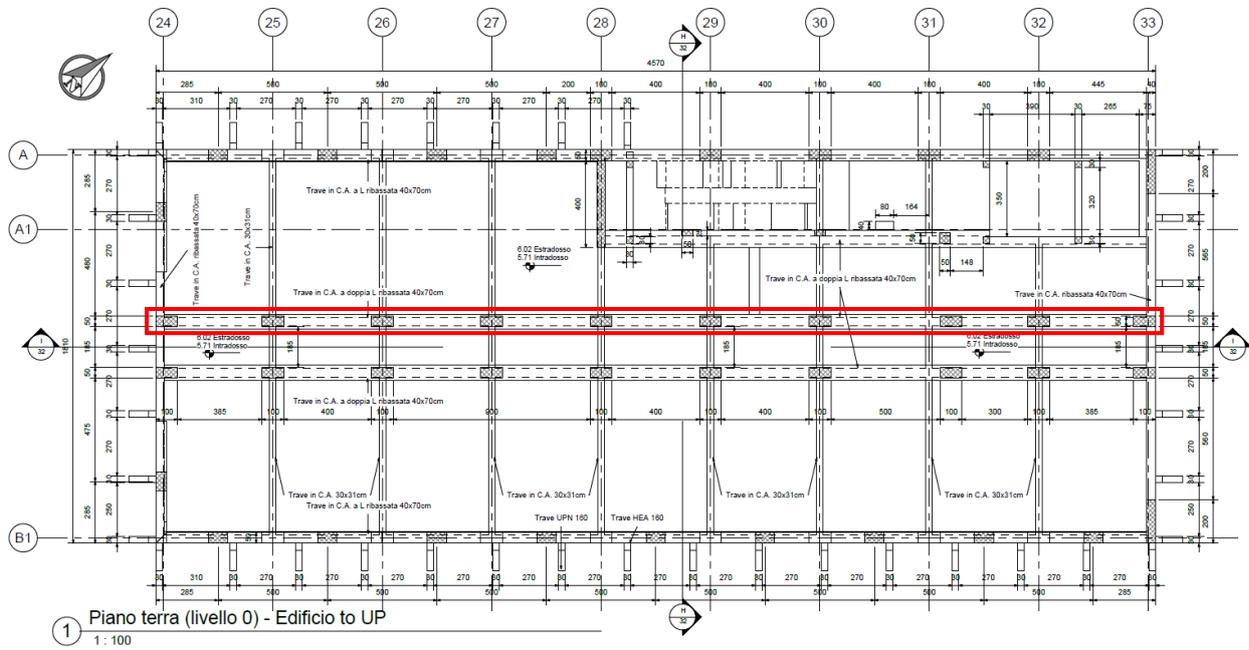
 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

# 15. VERIFICHE A PUNZONAMENTO DELLA SOLETTA DI COPERTURA

La verifica a punzonamento è stata svolta secondo quanto è stato riportato nel capitolo 7.1.5. In particolare, la verifica è stata condotta per i pilastri riportati nella seguente immagine:



**C** Sezione trasversale C-C  
1 : 200



**Figura 103. Pilastri oggetto della verifica locale**

Questa scelta è motivata dal fatto che alcuni pilastri terminano il proprio sviluppo in corrispondenza della soletta di fondo. In particolare, l'azione di compressione, derivante dai pilastri soprastanti, agente sulla soletta di copertura genera un possibile meccanismo di rottura per punzonamento nella zona di unione tra il pilastro e la soletta di copertura del pozzo.

Il possibile meccanismo di rottura è stato analizzato per il pilastro sollecitato dalla massima azione di compressione.

La verifica è stata condotta andando a definire in prima battuta le caratteristiche dei materiali utilizzati:

- Calcestruzzo:

**Tabella 48. Caratteristiche del calcestruzzo**

Calcestruzzo (C30/37)		
Parametro	Valore	Unità di misura
$f_{ck}$	30	MPa
$\gamma_c$	1,50	-
$\alpha_c$	0,85	-

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

$f_{cd}$	17,00	MPa
$f_{cm}$	38	MPa
$E_c$	32836,60	MPa

- Acciaio:

**Tabella 49. Caratteristiche del materiale acciaio**

Acciaio (B450C)		
Parametro	Valore	Unità di misura
$f_{yk}$	450	MPa
$g_c$	1,15	-
$f_{yd}$	391,30	MPa
$E_s$	210000	MPa

In particolare, i parametri meccanici per il calcestruzzo sono stati quantificati attraverso le seguenti formule:

- Resistenza media a compressione:

$$f_{cm} = f_{ck} + 8 = 30 + 8 = 38 \text{ MPa}$$

- Modulo Elastico:

$$E_{cm} = 22000 \cdot \left(\frac{f_{cm}}{10}\right)^{0,3} = 22000 \cdot \left(\frac{38}{10}\right)^{0,3} = 32836,60 \text{ MPa}$$

- Resistenza di calcolo a compressione:

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 0,85 \cdot \frac{30}{1,5} = 17 \text{ MPa}$$

- Resistenza a trazione media:

$$f_{ctm} = 0,3 \cdot f_{ck}^{\frac{2}{3}} = 0,30 \cdot 30^{\frac{2}{3}} = 2,896 \text{ MPa}$$

- Resistenza a trazione:

$$f_{ctk} = 0,7 \cdot f_{ctm} = 0,70 \cdot 2,896 = 2,03 \text{ MPa}$$

- Resistenza a trazione di calcolo:

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk}}{\gamma_c} = \frac{2,03}{1,50} = 1,35 \text{ MPa}$$

Invece, i parametri meccanici dell'acciaio sono stati calcolati con le seguenti formule:

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

- Resistenza a compressione di calcolo:

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{450}{1,15} = 391,30 \text{ MPa}$$

Una volta quantificate le caratteristiche dei materiali, si è identificata l'azione tagliante, le dimensioni geometriche del pilastro e della soletta e l'armatura presente nella piastra.

In merito all'azione tagliante, e quindi l'azione assiale derivante dal pilastro, si è scelto di utilizzare l'azione massima ottenuta dal modello tridimensionale del deposito officina Rebaudengo. Si è scelta un'azione tagliante pari a 2122 kN.

A questo punto si è passati ad estrapolare le dimensioni geometriche del pilastro, su cui agisce l'azione assiale appena definita, e le dimensioni della soletta di copertura della struttura in sotterraneo.

Le dimensioni geometriche del pilastro sono le seguenti:

**Tabella 50. Caratteristiche geometriche del pilastro**

Dimensione pilastro	Valore	Unità di misura
$c_1$	1000	mm
$c_2$	500	mm

Dove  $c_1$  è la dimensione del pilastro ortogonale all'asse  $y$ ,  $c_2$  è la dimensione del pilastro ortogonale all'asse  $z$ .

Invece per quello che riguarda la piastra è necessario quantificare lo spessore e l'armatura longitudinale presente. Lo spessore della soletta di copertura è pari a 180 cm.

Il copriferro della soletta è stato quantificato sulla base delle informazioni riportate nella sezione 3.5 della relazione.

In merito dell'armatura longitudinale è importante distinguere l'armatura secondo le due direzioni in pianta della soletta di copertura. Invece, le armature presenti nella soletta sono le seguenti:

- Diametro delle armature:

**Tabella 51. Diametro delle armature longitudinali nella soletta di copertura**

Armatura longitudinale	Valore	Unità di misura
$\phi_{sl,z}$	26	mm

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

$\phi_{sl,y}$	26	mm
---------------	----	----

Dove  $\phi_{sl,z}$  è il diametro delle armature parallele alla direzione  $z$ , invece  $\phi_{sl,y}$  è il diametro delle armature parallele alla direzione  $y$ .

- Passo delle armature:

**Tabella 52. Passo dell'armatura longitudinale nella soletta di copertura**

Armatura longitudinale	Valore	Unità di misura
$p_{sl,z}$	200	mm
$p_{sl,y}$	100	mm

- Area totale delle armature;

**Tabella 53. Area totale dell'armatura longitudinale nella soletta di copertura**

Armatura longitudinale	Valore	Unità di misura
$A_{sl,z}$	28787	mm <sup>2</sup>
$A_{sl,y}$	60229	mm <sup>2</sup>

L'area delle armature longitudinali della soletta ( $A_{sl,z}$  e  $A_{sl,y}$ ) è stata calcolata secondo le prescrizioni presenti nella EN 1992-1-1:2015. Ovvero è l'armatura longitudinale nelle due direzioni che attraversano la dimensione del pilastro maggiorata di  $3d$  su ciascun lato:

$$A_{sl,z} = \frac{\pi \cdot \phi_{sl,z}^2 \cdot c_2 + 6 \cdot d_{eff}}{4 \cdot p_{s,z}} = \frac{\pi \cdot 26^2 \cdot 500 + 6 \cdot 1724}{4 \cdot 200}$$

Dove:

- $c_2$  è la dimensione del pilastro perpendicolare all'asse  $z$ ;
- $d_{eff}$  è la media dell'altezza utile dell'elemento punzonato, calcolato come:

$$d_{eff} = \frac{d_y + d_z}{2} = \frac{1711 + 1737}{2} = 1724 \text{ mm}$$

Dove:

$$d_z = h - c - \frac{\phi_z}{2} = 1800 - 50 - \frac{26}{2} = 1737 \text{ mm}$$

$$d_y = h - c - \phi_z - \frac{\phi_y}{2} = 1800 - 50 - 26 - \frac{26}{2} = 1711 \text{ mm}$$

Una volta quantificati tutti i parametri dei materiali, le dimensioni geometriche dell'elemento punzonante, punzonato e l'area dell'armatura longitudinale della piastra, si è cominciato a

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

svolgere la verifica per il meccanismo di collasso a punzonamento. Si è cominciato svolgendo la verifica dell'idoneità geometrica.

Nel caso in esame il pilastro risulta essere un pilastro interno e quindi il perimetro di verifica risulta essere pari a:

$$u_0 = 2 \cdot (c_1 + c_2) = 2 \cdot (1000 + 500) = 3000 \text{ mm}$$

Quindi la verifica sarà la seguente:

$$v_{Ed,0} = \frac{\beta \cdot V_{Ed}}{u_0 \cdot d} = 0,47 \frac{N}{mm^2} \leq v_{Rd,max} = 0,50 \cdot v \cdot f_{cd} = 4,49 \frac{N}{mm^2}$$

Dove:

$$v_{Ed,0} = \frac{\beta \cdot V_{Ed}}{u_0 \cdot d} = \frac{1,15 \cdot 2122 \cdot 1000}{3000 \cdot 1724} = 0,47 \frac{N}{mm^2}$$

$$v_{Rd,max} = 0,50 \cdot v \cdot f_{cd} = 0,50 \cdot 0,60 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,50 \cdot 0,60 \cdot \left(1 - \frac{30}{250}\right) = 4,49 \frac{N}{mm^2}$$

Il coefficiente  $\beta$  è stato calcolato attraverso la figura 6.21N del EN 1992-1-1:2015:

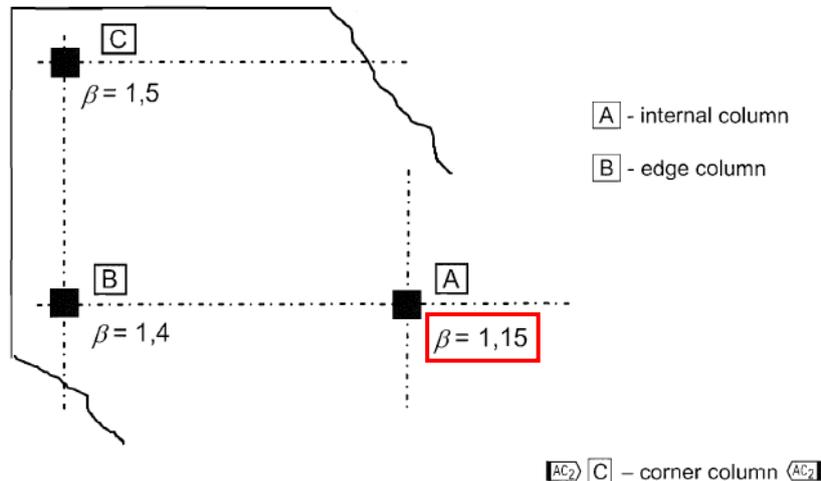


Figure 6.21N: Recommended values for  $\beta$

**Figura 104. Valore del coefficiente  $\beta$  secondo EN 1992-1-1:2015**

Secondo quanto riportato, il primo step della verifica a punzonamento è soddisfatto. Ciò significa che lo spessore della soletta è adeguato. A questo punto si è passati a svolgere il secondo step, ovvero la verifica lungo il perimetro critico in assenza di armature.

La verifica che si è condotta è la seguente:

$$v_{Ed,1} = \frac{\beta \cdot V_{Ed}}{u_1 \cdot d} = 0,0574 \frac{N}{mm^2} \leq v_{Rd,c} = C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \geq (v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp})$$

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

$$v_{Ed,1} = 0,0574 \frac{N}{mm^2} \leq v_{Rd,c} = 0,30 N/mm^2$$

Dove:

**Tabella 54. Parametri per la verifica lungo il perimetro critico in assenza di armature**

Parametri per la verifica lungo il perimetro critico in assenza di armature		
Parametro	Valore	Unità di misura
$u_1$	24664	mm
$C_{Rd,c}$	0,12	-
$k$	1,34	-
$\rho_l$	0,0022	-
$k_1$	0,10	-
$\sigma_{cp}$	0	MPa
$v_{min}$	0,298	MPa

I parametri riportati nella precedente tabella sono stati calcolati attraverso le seguenti equazioni:

$$u_1 = 2 \cdot (c_1 + c_2) + 4 \cdot \pi \cdot d = 24664 \text{ mm}$$

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,50} = 0,12$$

$$k = \min \left[ 1 + \sqrt{\frac{200}{d \text{ [mm]}}}; 2 \right] = \min \left[ 1 + \sqrt{\frac{200}{1724}} = 1,34; 2 \right] = 1,34$$

$$\rho_l = \sqrt{\rho_{ly} \cdot \rho_{lz}} = \sqrt{0,0031 \cdot 0,0015} = 0,0022 \leq 0,02$$

In cui:

$$\rho_{ly} = \frac{A_{sly}}{(c_1 + 6 \cdot d) \cdot d} = \frac{60229}{(500 + 6 \cdot 1724) \cdot 1724} = 0,0031$$

$$\rho_{lz} = \frac{A_{slz}}{(c_2 + 6 \cdot d) \cdot d} = \frac{28787}{(1000 + 6 \cdot 1724) \cdot 1724} = 0,0015$$

$$k_1 = 0,10$$

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

$$\sigma_{cp} = \frac{\sigma_{cy} + \sigma_{cz}}{2} = 0 \text{ MPa}$$

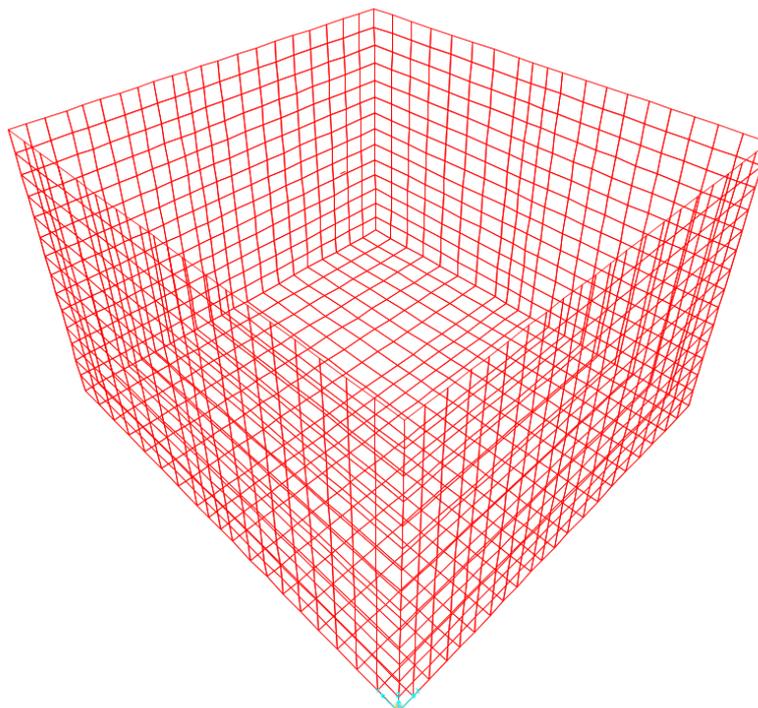
$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0,035 \cdot 1,34^{\frac{3}{2}} \cdot 30^{\frac{1}{2}} = 0,298 \text{ MPa}$$

Attraverso i calcoli appena esplicitati, si è ottenuto che non è necessario prevedere delle specifiche armature a punzonamento. Quindi sono sufficienti le armature a taglio posizionate nella soletta di copertura.

## 16. DIMENSIONAMENTO E VERIFICHE VASCA ANTINCENDIO

### 16.1 PARTE INTERRATA

La verifica della parte interrata della vasca antincendio è stata fatta tramite la creazione di un modello 3D in SAP2000. Nel modello la vasca in questione presenta una base rettangolare di dimensione 10.50 m x 9.80 m, considerando l'asse dei muri laterali (dimensioni nette interne 9.70 m x 9.00 m). L'altezza della vasca invece è pari a 7m (altezza netta interna 5.58 m). I muri laterali hanno spessore 80cm, mentre la soletta di fondo è spessa 100cm. La soletta di copertura, semplicemente appoggiata, è stata analizzata con un modello separato.



**Figura 105. Modello 3D in SAP2000**

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

I carichi considerati per la verifica di questi elementi sono i seguenti:

1. Peso proprio della struttura.
2. Spinta dell'acqua all'interno della vasca, agente dall'interno verso l'esterno.

**Spinta dell'acqua**

z [m]	Spinta idro [kN/ m <sup>2</sup> ]	
	SLE	SLU
7	0.0	0.0
0	70.0	91.0

3. Spinta del terreno, è stata considerata assumendo un coefficiente di spinta a riposo  $k_0=0.52$  e un  $\gamma=19\text{kN/m}^3$ . Se ne deducono le seguenti spinte agenti dall'esterno verso l'interno.

**Spinta del terreno**

z [m]	Spinta terreno [kN/ m <sup>2</sup> ]	
	SLE	SLU
7	0.0	0.0
0	68.5	89.1

4. Carico accidentale, è stato considerato un carico accidentale di 20kPa agente sulla superficie. Tale carico, in virtù del coefficiente di spinta a riposo  $k_0=0.52$  si trasmette alle pareti verticali della vasca secondo i seguenti valori.

**Spinta dovuta al carico accidentale**

z [m]	Carico accidentale [kN/ m <sup>2</sup> ]	
	SLE	SLU
7	10.3	15.5
0	10.3	15.5

5. Azione sismica è stata considerata tramite un'accelerazione orizzontale pari a 0.08g per la parte strutturale. La sovrappinta dinamica del terreno è stata invece calcolata col metodo di Wood, da cui si ricava una pressione aggiuntiva pari a 10.77 kPa

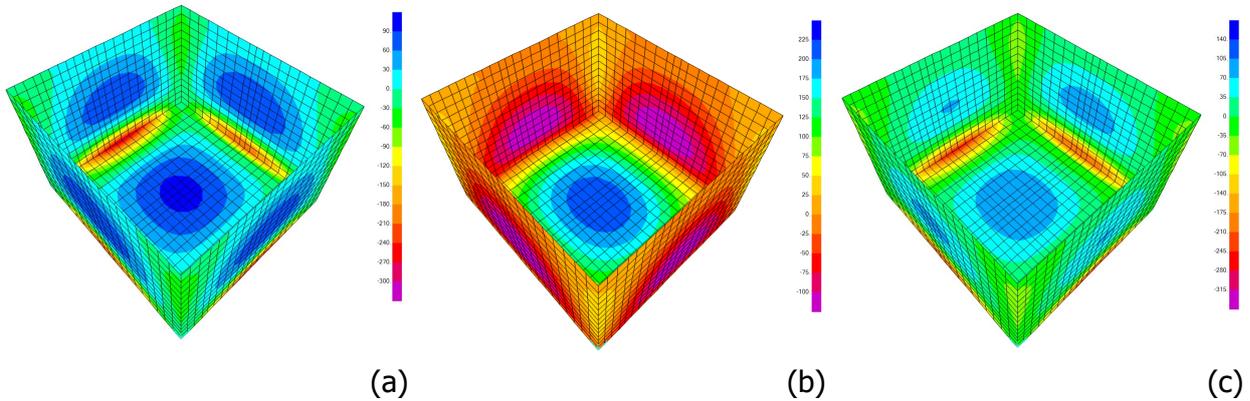
Per le verifiche sono stati considerati i seguenti coefficienti:

	Peso proprio	Spinta acqua	Spinta terra	Sovraccarico	Sisma
SLE_1	1	0	SLE	SLE	0
SLE_2	1	SLE	0	SLE	0
SLU_1	1.3	0	SLU	SLU	0
SLU_2	1.3	SLU	0	0	0

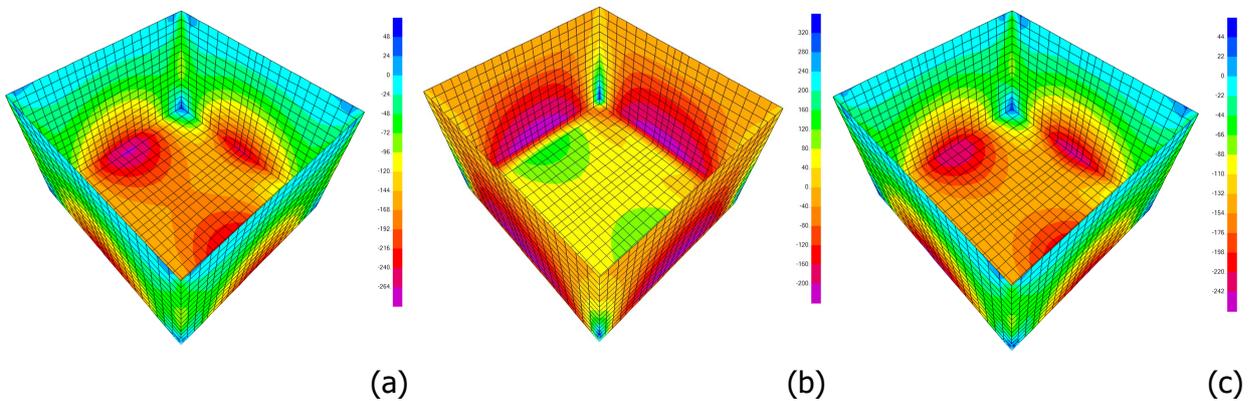
 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

SLV	1	0	SLE	SLE	SLV
-----	---	---	-----	-----	-----

Di seguito si riportano i valori delle azioni interne.



**Figura 106. Vasca antincendio – Momento flettente [kNm]: (a) SLU1, (b) SLU2 e (c) SLV**



**Figura 107. Vasca antincendio – Azione assiale [kN]: (a) SLU1, (b) SLU2 e (c) SLV**

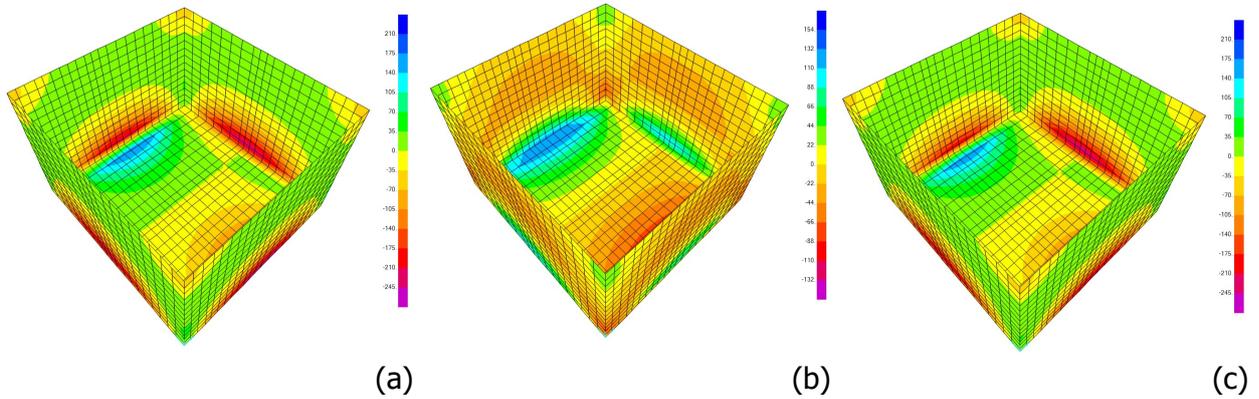


Figura 108. Vasca antincendio – Azione tagliante [kN]: (a) SLU1, (b) SLU2 e (c) SLV

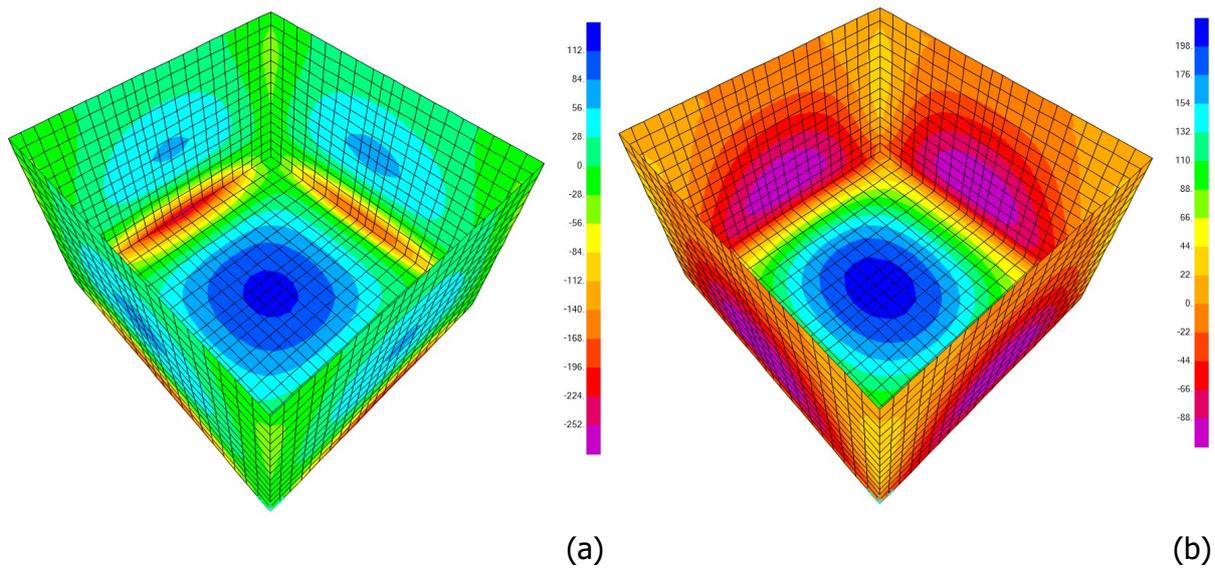
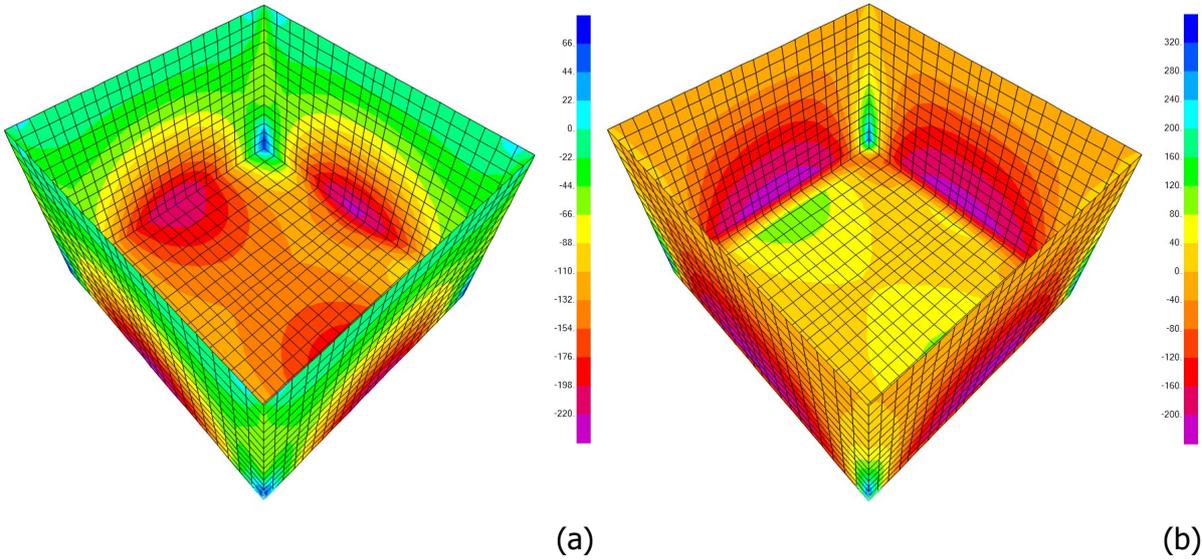


Figura 109. Vasca antincendio – Momento flettente [kNm]: (a) SLE1 e (b) SLE2

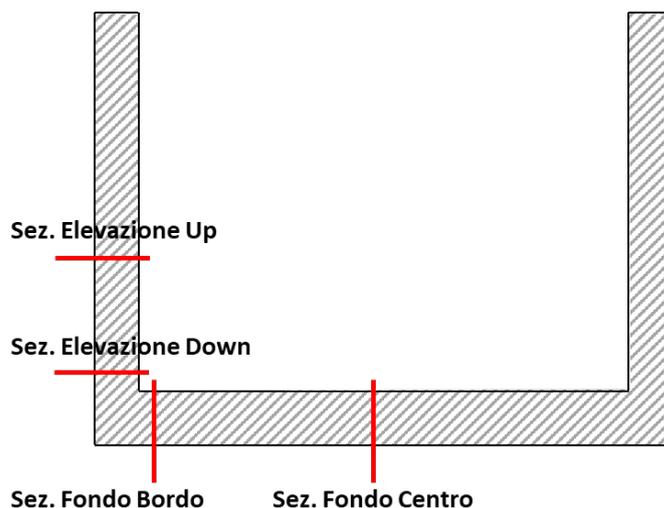
 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



**Figura 110. Vasca antincendio – Azione assiale [kN]: (a) SLE1 e (b) SLE2**

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

Le sezioni di verifica considerate sono riportate nella figura sottostante.



**Figura 111. Sezioni di verifica della vasca antincendio**

Le verifiche riportate di seguito fanno riferimento al caso critico tra la condizione di vasca piena senza rinterro e vasca vuota con rinterro.

**Tabella 55. Vasca antincendio – verifiche flessionali a SLU**

Statica						
	Comb	$N_{Ed}$ [kN]	$M_{Ed}$ [kNm]	Armature	$M_{Rd}$ [kNm]	Stato
SEZ. ElevazionDown	SLU_1	-250	<b>-193</b>	Φ24/20	<b>-702</b>	verificato
SEZ. ElevazioneUp	SLU_2	-190	<b>-124</b>	Φ24/20	<b>-682</b>	verificato
SEZ. FondoBordo	SLU_1	-302	<b>-330</b>	Φ24/20	<b>-927</b>	verificato
SEZ. FondoCentro	SLU_2	100	<b>241</b>	Φ24/20	<b>753</b>	verificato
Sismica						
	Comb	$N_{Ed}$ [kN]	$M_{Ed}$ [kNm]	Armature	$M_{Rd}$ [kNm]	Stato
SEZ. ElevazionDown	SLV	-245	<b>-190</b>	Φ24/20	<b>-700</b>	verificato
SEZ. ElevazioneUp	SLV	-80	<b>80</b>	Φ24/20	<b>646</b>	verificato
SEZ. FondoBordo	SLV	-285	<b>-322</b>	Φ24/20	<b>-919</b>	verificato
SEZ. FondoCentro	SLV	-220	<b>120</b>	Φ24/20	<b>891</b>	verificato

**Tabella 56. Vasca antincendio – verifiche a taglio a SLU**

Statica						
	Comb	$N_{Ed}$ [kN]	$V_{Ed}$ [kNm]	Armature	$V_{Rd}$ [kNm]	Stato
SEZ. ElevazionDown	SLU_1	-225	256	Φ12/40x40	<b>467</b>	verificato
SEZ. ElevazioneUp	SLU_1	-5	20	Φ12/40x40	<b>467</b>	verificato
Sismica						
	Comb	$N_{Ed}$ [kN]	$V_{Ed}$ [kNm]	Armature	$V_{Rd}$ [kNm]	Stato
SEZ. ElevazionDown	SLV	-222	230	Φ12/40x40	<b>467</b>	verificato
SEZ. ElevazioneUp	SLV	-5	20	Φ12/40x40	<b>467</b>	verificato

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

**Tabella 57. Vasca antincendio – verifiche a fessurazione SLE**

CombinazioneSLE							
	Comb	N <sub>Ed</sub> [kN]	M <sub>Ed</sub> [kNm]	Armature	w <sub>k</sub> [mm]	w <sub>1</sub> [mm]	Stato
SEZ. ElevazionDown	SLE_1	-226	-245	Φ24/20	<b>0.16</b>	<b>0.30</b>	verificato
SEZ. ElevazioneUp	SLE_2	-200	-107	Φ24/20	<b>0.05</b>	<b>0.30</b>	verificato
SEZ. FondoBordo	SLE_1	-230	-275	Φ24/20	<b>0.13</b>	<b>0.30</b>	verificato
SEZ. FondoCentro	SLE_2	67	-230	Φ24/20	<b>0.18</b>	<b>0.30</b>	verificato

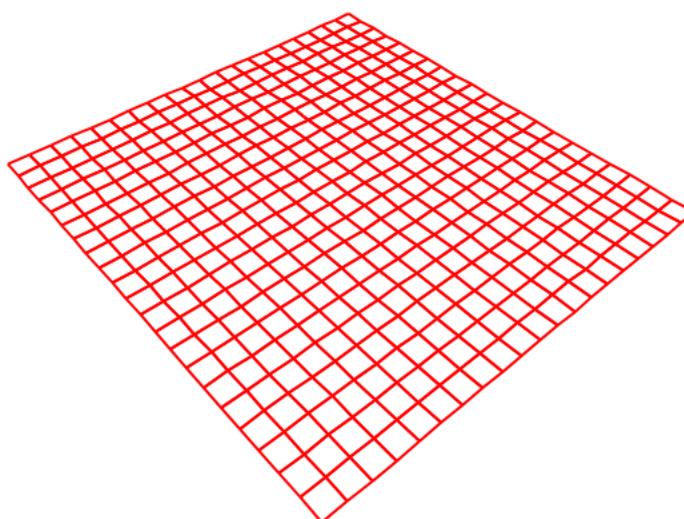
**Tabella 58. Vasca antincendio – verifiche tensionali SLE**

CombinazioneSLE							
	Comb	σ <sub>c</sub> [MPa]	σ <sub>s</sub> [MPa]	Armature	σ <sub>c,lim</sub> [MPa]	σ <sub>s,lim</sub> [MPa]	Stato
SEZ. ElevazionDown	SLE_1	4	117	Φ24/20	<b>13.50</b>	<b>360.00</b>	verificato
SEZ. ElevazioneUp	SLE_2	2	33	Φ24/20	<b>13.50</b>	<b>360.00</b>	verificato
SEZ. FondoBordo	SLE_1	3	96	Φ24/20	<b>13.50</b>	<b>360.00</b>	verificato
SEZ. FondoCentro	SLE_2	3	128	Φ24/20	<b>13.50</b>	<b>360.00</b>	verificato

Come si può vedere dalle tabelle riassuntive la sezioni vengono armate con una fila di Φ24/20 lato interno ed esterno, mentre per il taglio vengono inseriti degli spilli Φ12 con passo 40x40cm.

## 16.2 COPERTURA

La verifica della copertura della vasca antincendio è stata svolta tramite la creazione di un modello 2D in SAP2000. La copertura in questione presenta una base rettangolare di dimensione 10.50 m x 9.80 m, considerando l'asse dei muri laterali. Lo spessore è pari a 80cm.



**Figura 112. Modello 2D in SAP2000**

I carichi considerati per la verifica di questi elementi sono i seguenti:

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

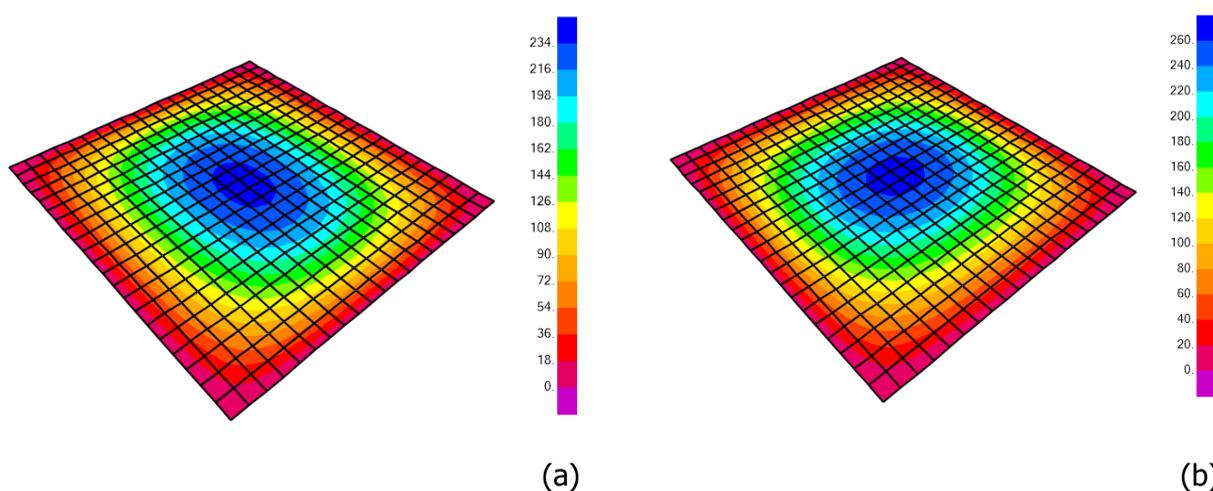
1. Peso proprio della struttura.
2. Carico accidentale, è stato considerato un carico accidentale di 20kPa agente sulla copertura;
3. Azione sismica è stata considerata tramite un'accelerazione orizzontale pari a 0.08g e un'accelerazione verticale pari a 0,04g.

La vasca risulta essere appoggiata in corrispondenza di tutti e quattro i lati esterni.

Per le verifiche sono stati considerati i seguenti coefficienti:

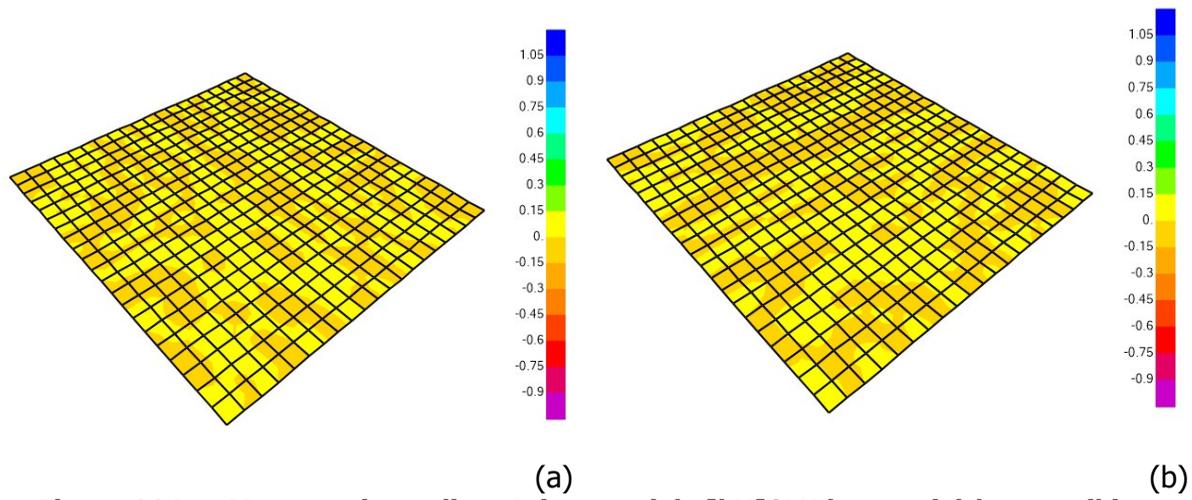
	Peso proprio	Sovraccarico	Az. Sismica x	Az. Sismica y	Az. Sismica z
SLE	1.00	1.00	0	0	0
SLU	1.30	1.50	0	0	0
SLV_1	1.00	1.00	±1.00	±0.30	±0.30
SLV_2	1.00	1.00	±0.30	±1.00	±0.30
SLV_3	1.00	1.00	±0.30	±0.3	±1.0

Di seguito si riportano i valori delle azioni interne.

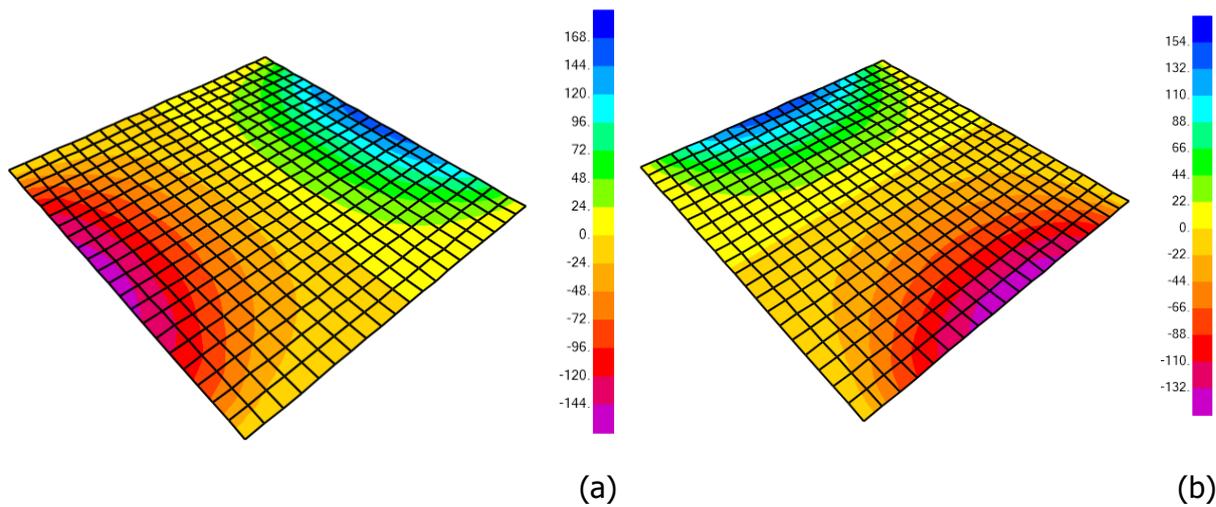


**Figura 113. Vasca antincendio – Momento flettente [kNm] SLU lungo x (a) lungo y (b)**

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



**Figura 114. Vasca antincendio – Azione assiale [kN]SLU lungo x(a) lungo y (b)**



**Figura 115. Vasca antincendio – Azione tagliante [kN] SLU lungo x (a) lungo y (b)**

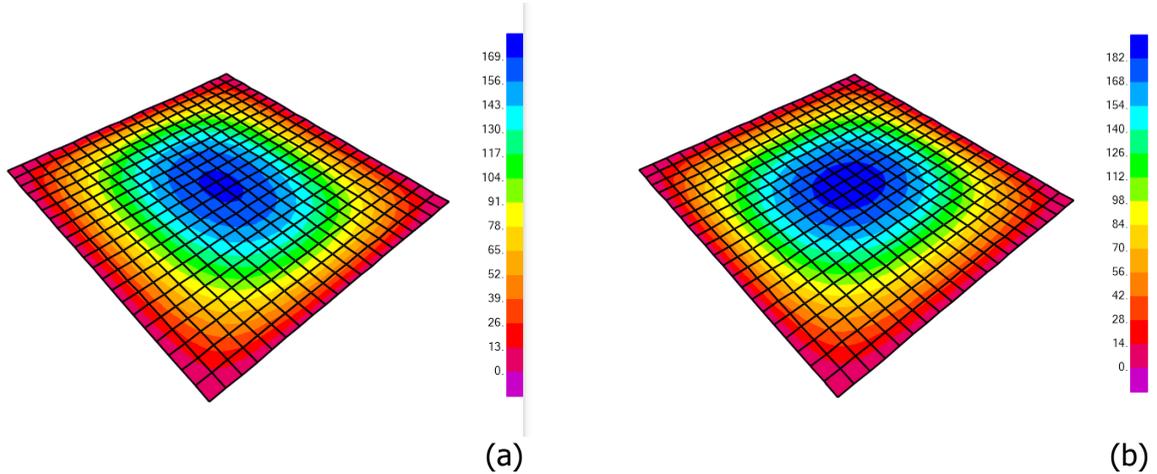


Figura 116. Vasca antincendio – Momento flettente [kNm] SLE lungo x (a) lungo y (b)

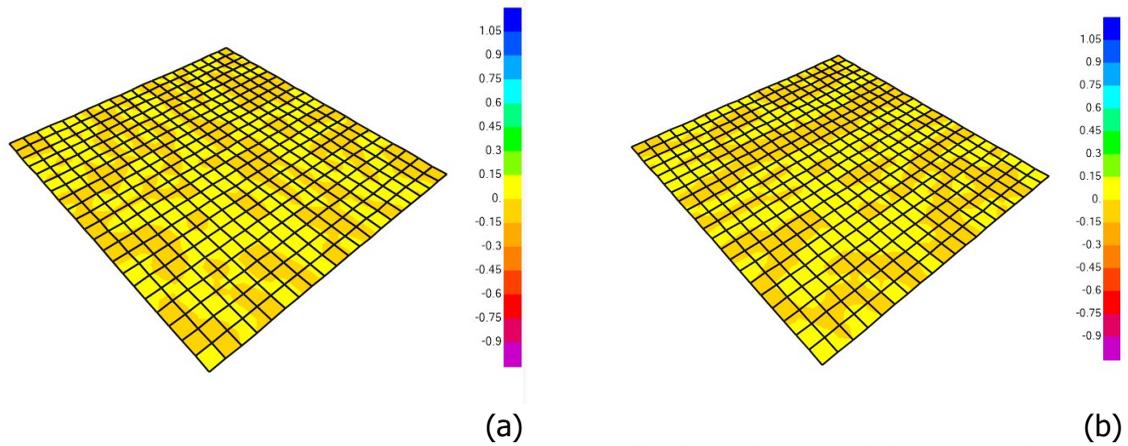


Figura 117. Vasca antincendio – Azione assiale [kN] SLE lungo x (a) lungo y (b)

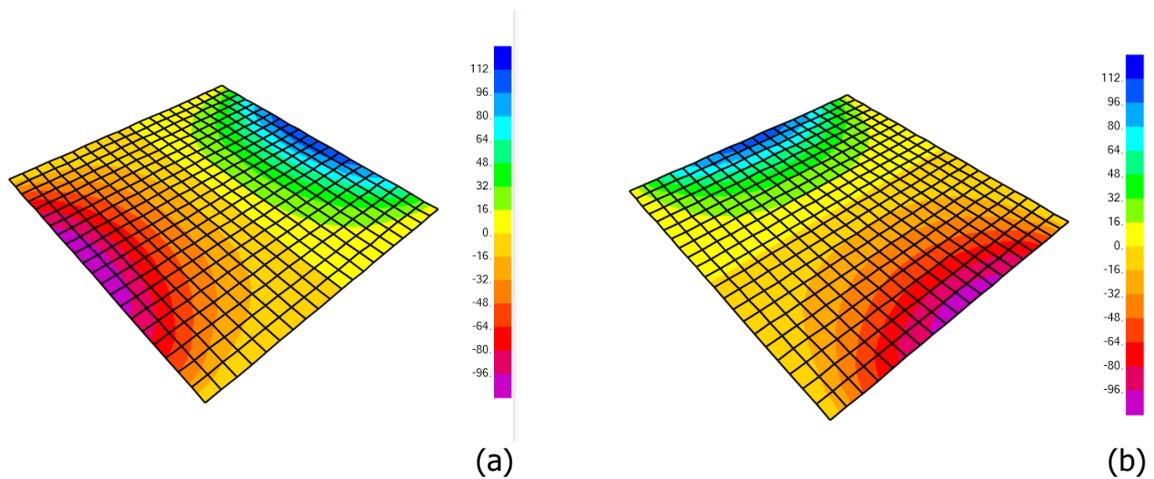
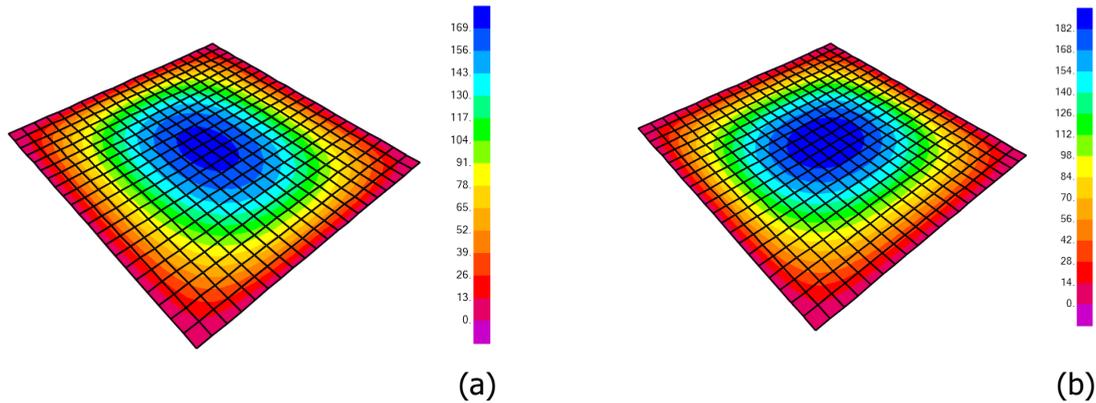
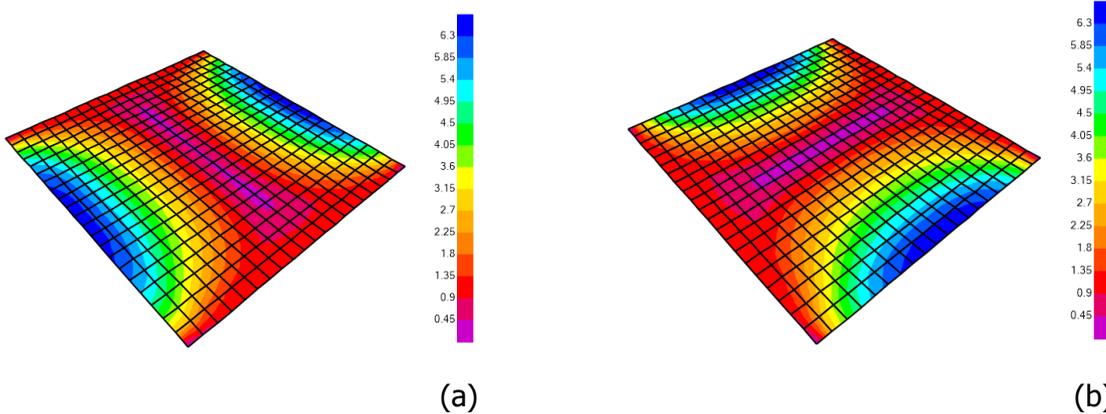


Figura 118. Vasca antincendio – Azione tagliante [kN] SLE lungo x (a) lungo y (b)

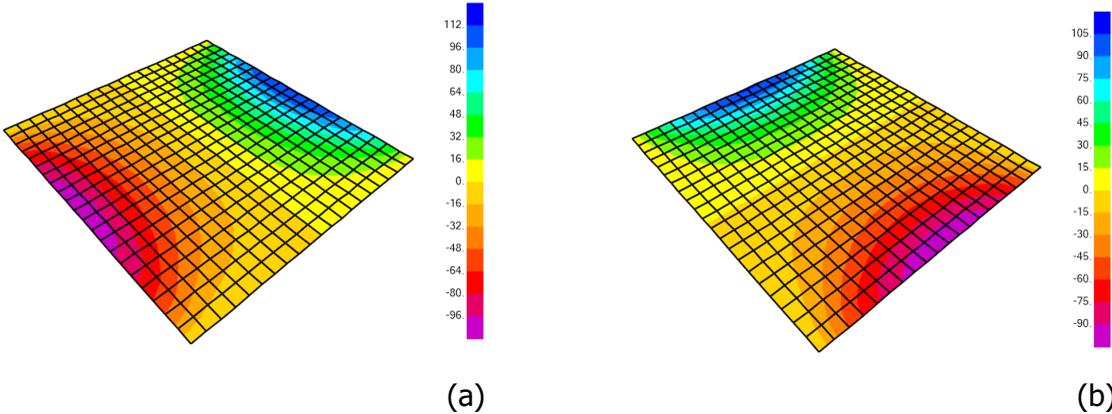
 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



**Figura 119. Vasca antincendio – Momento flettente [kNm] SLV lungo x (a) lungo y (b)**



**Figura 120. Vasca antincendio – Azione assiale [kN] SLV lungo x (a) lungo y (b)**

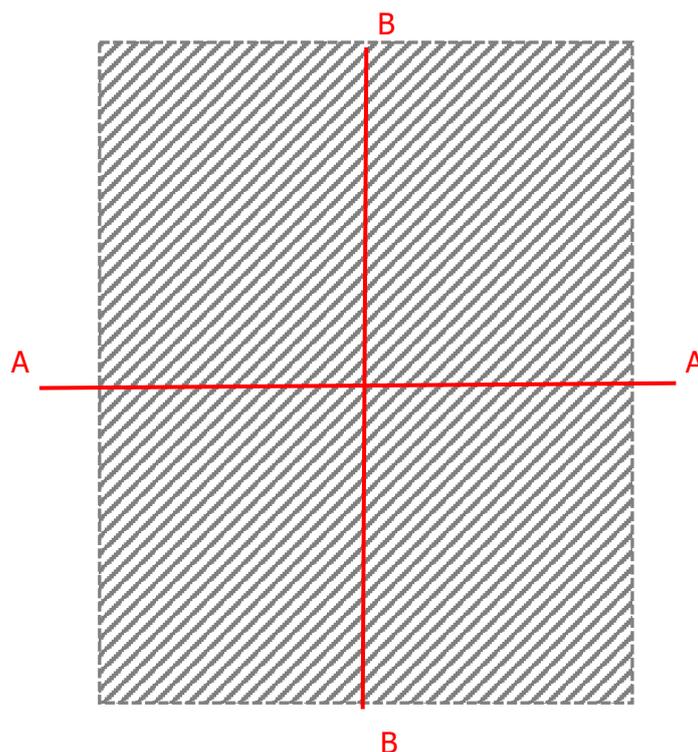


**Figura 121. Vasca antincendio – Azione tagliante [kN] SLV lungo x (a) lungo y (b)**

Come si può notare l'azione assiale risulta essere nulla nelle combinazioni SLU e SLE.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

Le sezioni di verifica considerate sono riportate nella figura sottostante.



**Figura 122. Sezioni di verifica della vasca antincendio**

In particolare, le sezioni sono state svolte in corrispondenza della mezzeria di ciascun lato per intercettare il valore massimo di momento flettente e taglio. In ciascuna sezione sono stati studiati seguenti punti:

- Il punto in mezzeria per studiare la sezione soggetta al massimo momento flettente;
- La sezione in corrispondenza dell'appoggio per considerare la massima azione tagliante.

Le verifiche sono state riportate di seguito:

**Tabella 59. Vasca antincendio – verifiche flessionali a SLU e SLV**

Statica						
	Comb	$N_{Ed}$ [kN]	$M_{Ed}$ [kNm]	Armature	$M_{Rd}$ [kNm]	Stato
A-A mezzeria	SLU	0	<b>250</b>	Φ24/20	<b>603</b>	verificato
B-B mezzeria	SLU	0	<b>270</b>	Φ24/20	<b>617</b>	verificato
Sismica						
	Comb	$N_{Ed}$ [kN]	$M_{Ed}$ [kNm]	Armature	$M_{Rd}$ [kNm]	Stato
A-A mezzeria	SLV	0	<b>175</b>	Φ24/20	<b>603</b>	verificato
B-B mezzeria	SLV	0	<b>195</b>	Φ24/20	<b>617</b>	verificato

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

**Tabella 60. Vasca antincendio – verifiche a taglio a SLU**

Statica						
	Comb	$N_{Ed}$ [kN]	$V_{Ed}$ [kNm]	Armature	$V_{Rd}$ [kNm]	Stato
A-A appoggio	SLU	0	<b>148</b>	Φ12/40x40	<b>437</b>	verificato
B-B appoggio	SLU	0	<b>156</b>	Φ12/40x40	<b>452</b>	verificato
Sismica						
	Comb	$N_{Ed}$ [kN]	$V_{Ed}$ [kNm]	Armature	$V_{Rd}$ [kNm]	Stato
A-A mezzeria	SLV	0	<b>108</b>	Φ12/40x40	<b>437</b>	verificato
B-B mezzeria	SLV	0	<b>113</b>	Φ12/40x40	<b>452</b>	verificato

**Tabella 61. Vasca antincendio – verifiche a fessurazione SLE**

CombinazioneSLE							
	Comb	$N_{Ed}$ [kN]	$M_{Ed}$ [kNm]	Armature	$w_k$ [mm]	$w_1$ [mm]	Stato
A-A mezzeria	SLE	0	172	Φ24/20	<b>0.12</b>	<b>0.30</b>	verificato
B-B mezzeria	SLE	0	191	Φ24/20	<b>0.12</b>	<b>0.30</b>	verificato

**Tabella 62. Vasca antincendio – verifiche tensionali SLE**

CombinazioneSLE							
	Comb	$\sigma_c$ [MPa]	$\sigma_s$ [MPa]	Armature	$\sigma_{c,lim}$ [MPa]	$\sigma_{s,lim}$ [MPa]	Stato
A-A mezzeria	SLE	3	122	Φ24/20	<b>13.50</b>	<b>360.00</b>	verificato
B-B mezzeria	SLE	3	128	Φ24/20	<b>13.50</b>	<b>360.00</b>	verificato

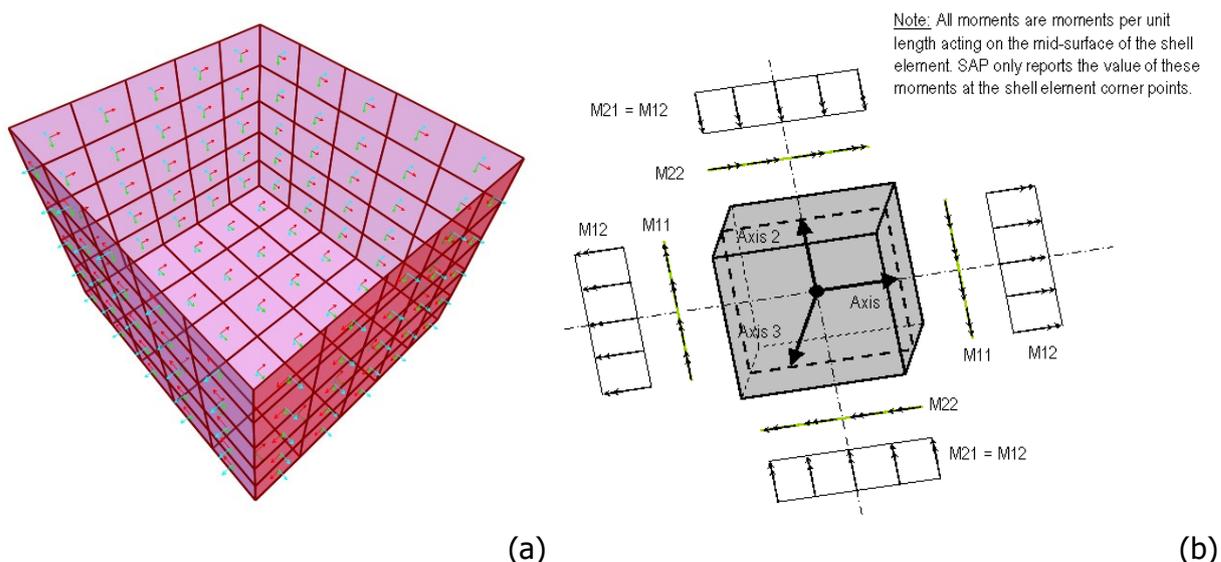
Come si può vedere dalle tabelle riassuntive la sezioni vengono armate con una fila di Φ24/20 lato interno ed esterno, mentre per il taglio vengono inseriti degli spilli Φ12 con passo 40x40cm.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

## 17. DIMENSIONAMENTO E VERIFICHE VASCHE DI AGGOTTAMENTO

La verifica delle vasche di aggottamento è stata fatta tramite la creazione di un modello 3D in SAP2000. La vasca in questione presenta una base rettangolare di dimensione 5.80m x 6.30m, considerando l'asse dei muri laterali (5.0x5.5m interni). L'altezza della vasca invece è pari a 4.5m, interni (4.90m considerando la mezzeria della soletta di fondo). I muri laterali e la soletta hanno entrambi spessore 80cm.

Tale struttura, essendo creata al di sotto della soletta di fondo del deposito, viene modellata in testa tramite un incastro che simuli la connessione tra di essa e la suddetta soletta. Alle pareti verticali e alla soletta di fondo della vasca vengono applicate delle molle traslazionali reagenti a sola compressione, con rigidzze pari a quelli utilizzate per la vasca antincendio.



**Figura 123. (a) Modello 3D in SAP2000, (b) convenzioni per azioni interne (Asse 1 rosso, Asse 2 verde e Asse 3 blu)**

I carichi considerati per la verifica di questi elementi sono i seguenti:

4. Peso proprio della struttura.
5. Spinta dell'acqua di falda, agente sia come spinta laterale (con i valori riportati in tabella) che come sottospinta, pari a 119/154.7 kN/m<sup>2</sup>, rispettivamente a SLE e SLU.

### Spinta dell'acqua laterale

z [m]	Spinta idro [kN/m <sup>2</sup> ]	
	SLE	SLU
4.9	70.0	91.0

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

0	119.0	154.7
---	-------	-------

6. Spinta del terreno, è stata considerata assumendo un coefficiente di spinta a riposo  $k_0=0.52$  e un  $\gamma=19\text{kN/m}^3$ . Se ne deducono le seguenti spinte agenti dall'esterno verso l'interno.

**Spinta del terreno**

z [m]	Spinta terreno [kN/m <sup>2</sup> ]	
	SLE	SLU
4.9	171.5	223.0
0	219.9	285.9

7. Carico accidentale, è stato considerato un carico accidentale di 70kPa agente sulla superficie. Tale carico, in virtù del coefficiente di spinta a riposo  $k_0=0.52$  si trasmette alle pareti verticali della vasca secondo i seguenti valori.

**Spinta dovuta al carico accidentale**

z [m]	Carico accidentale [kN/ m <sup>2</sup> ]	
	SLE	SLU
4.9	36.4	54.6
0	36.4	54.6

8. Azione sismica è stata considerata tramite un'accelerazione orizzontale pari a 0.08g per la parte strutturale. La sovraspinta dinamica del terreno è stata invece calcolata col metodo di Wood, da cui si ricava una pressione aggiuntiva pari a 6.84 kPa

Per le verifiche sono stati considerati i seguenti coefficienti:

	Peso proprio	Spinta acqua	Spinta terra	Sovraccarico	Sisma
SLE	1	SLE	SLE	SLE	0
SLU	1.3	SLU	SLU	SLU	0
SLV	1	SLE	SLE	SLE	SLV

Di seguito si riportano i valori delle azioni interne.

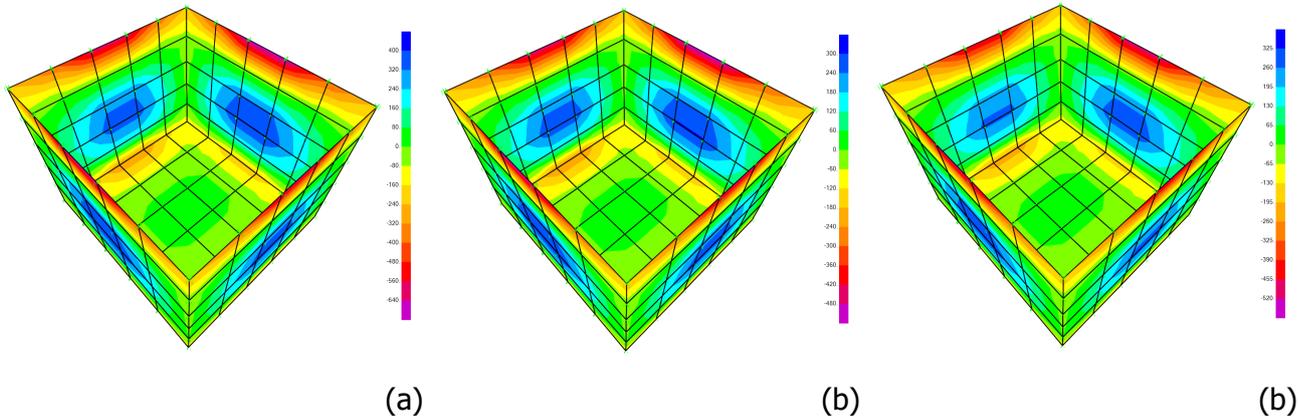


Figura 124. Vasca di aggotamento – Momento flettente M22 [kNm]: (a) SLU, (b) SLE e (b) SLV

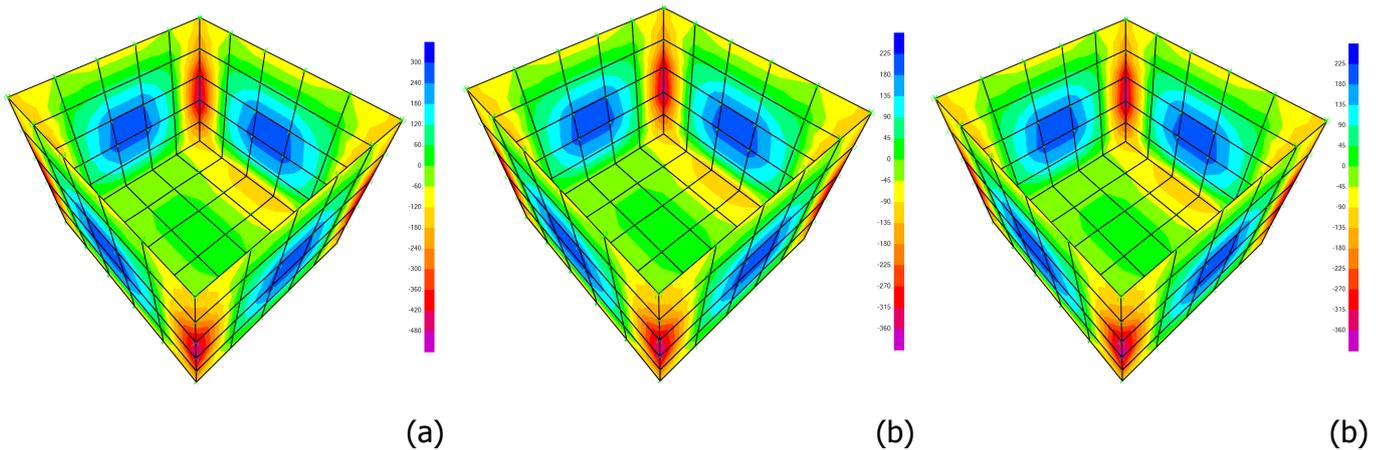


Figura 125. Vasca di aggotamento – Momento flettente M11 [kNm]: (a) SLU, (b) SLE e (b) SLV

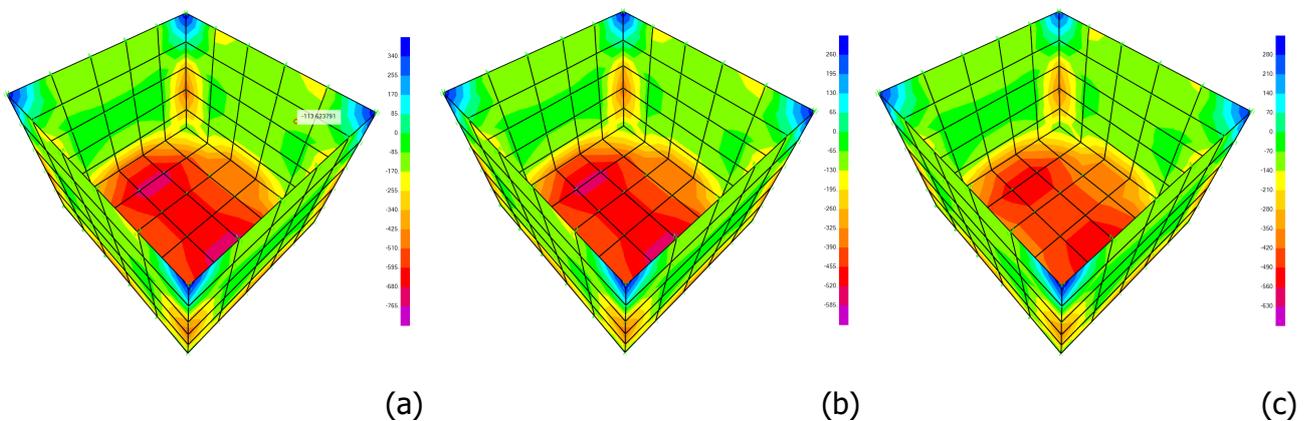
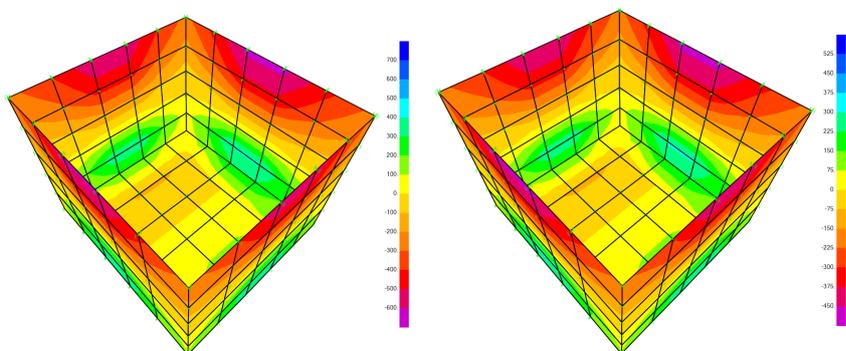


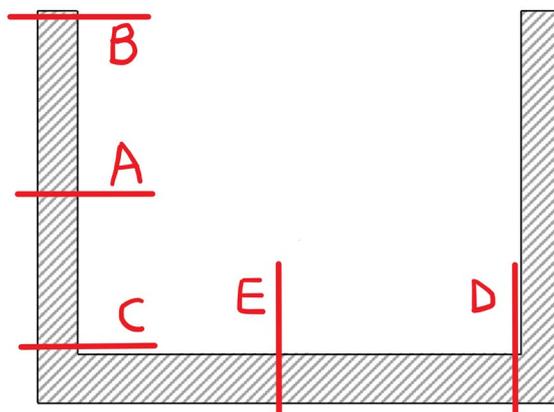
Figura 126. Vasca di aggotamento – Azione assiale [kN]: (a) SLU, (b) SLE e (b) SLV

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



**Figura 127. Vasca di aggotamento – Azione tagliante [kN]: (a) SLU e (b) SLV**

Le sezioni di verifica considerate sono riportate nella figura sottostante.



**Figura 128. Sezioni di verifica della vasca di aggotamento**

Le verifiche riportate di seguito fanno riferimento al caso critico tra la condizione di vasca piena senza rinterro e vasca vuota con rinterro.

**Tabella 63. Vasca di aggotamento – verifiche flessionali a SLU e SLV**

SLU							
H <sub>SEZ</sub> [mm]	Comb	N <sub>Ed</sub> [kN]	M <sub>Ed</sub> [kNm]	Armature	M <sub>Rd</sub> [kNm]	Stato	
A	800	SLU	-115	<b>400</b>	Φ24/20	<b>651</b>	verificato
B	800	SLU	-160	<b>-680</b>	Φ24/10	<b>-1238</b>	verificato
C	800	SLU	-490	<b>-300</b>	Φ24/10	<b>-1339</b>	verificato
D	800	SLU	-490	<b>-300</b>	Φ24/20	<b>-773</b>	verificato
E	800	SLU	-620	<b>35</b>	Φ24/20	<b>815</b>	verificato
SLV							
H <sub>SEZ</sub> [mm]	Comb	N <sub>Ed</sub> [kN]	M <sub>Ed</sub> [kNm]	Armature	M <sub>Rd</sub> [kNm]	Stato	
A	800	SLV	-90	<b>310</b>	Φ24/20	<b>647</b>	verificato

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
	Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo

MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

B	800	SLV	-120	<b>-520</b>	Φ24/10	<b>-1225</b>	verificato
C	800	SLV	-385	<b>-230</b>	Φ24/10	<b>-1307</b>	verificato
D	800	SLV	-385	<b>-230</b>	Φ24/20	<b>-740</b>	verificato
E	800	SLV	-475	<b>25</b>	Φ24/20	<b>768</b>	verificato

**Tabella 64. Vasca di aggettamento – verifiche a taglio a SLU e SLV**

SLU							
	H <sub>SEZ</sub> [mm]	Comb	N <sub>Ed</sub> [kN]	V <sub>Ed</sub> [kNm]	Armature	V <sub>Rd</sub> [kNm]	Stato
A	1000	SLU	-115	75	Φ12/40x20	<b>927</b>	verificato
B	800	SLU	-160	635	Φ12/40x20	<b>927</b>	verificato
C	800	SLU	-490	410	Φ12/40x20	<b>927</b>	verificato
D	800	SLU	-490	350	Φ12/40x20	<b>927</b>	verificato
E	800	SLU	-620	5	Φ12/40x20	<b>927</b>	verificato
SLV							
	H <sub>SEZ</sub> [mm]	Comb	N <sub>Ed</sub> [kN]	V <sub>Ed</sub> [kNm]	Armature	V <sub>Rd</sub> [kNm]	Stato
A	1000	SLV	-90	70	Φ12/40x20	<b>927</b>	verificato
B	800	SLV	-120	490	Φ12/40x20	<b>927</b>	verificato
C	800	SLV	-385	315	Φ12/40x20	<b>927</b>	verificato
D	800	SLV	-385	275	Φ12/40x20	<b>927</b>	verificato
E	800	SLV	-475	5	Φ12/40x20	<b>927</b>	verificato

**Tabella 65. Vasca di aggettamento – verifiche a fessurazione SLE**

SLE								
	H <sub>SEZ</sub> [mm]	Comb	N <sub>Ed</sub> [kN]	M <sub>Ed</sub> [kNm]	Armature	w <sub>k</sub> [mm]	w <sub>1</sub> [mm]	Stato
A	800	Max	-90	305	Φ24/20	<b>0.25</b>	<b>0.30</b>	verificato
B	800	Min	-120	-510	Φ24/10	<b>0.17</b>	<b>0.30</b>	verificato
C	800	Max	-340	-235	Φ24/10	<b>0.04</b>	<b>0.30</b>	verificato
D	800	Min	-340	-235	Φ24/20	<b>0.12</b>	<b>0.30</b>	verificato
E	800	Max	-470	30	Φ24/20	<b>0.00</b>	<b>0.30</b>	verificato

**Tabella 66. Vasca di aggettamento antincendio – verifiche tensionali SLE**

SLE								
	H <sub>SEZ</sub> [mm]	Comb	σ <sub>c</sub> [MPa]	σ <sub>s</sub> [MPa]	Armature	σ <sub>c,lim</sub> [MPa]	σ <sub>s,lim</sub> [MPa]	Stato
A	800	Max	<b>4.4</b>	<b>184.0</b>	Φ24/20	<b>11.25</b>	<b>360.00</b>	verificato
B	800	Min	<b>5.7</b>	<b>162.3</b>	Φ24/10	<b>11.25</b>	<b>360.00</b>	verificato
C	800	Max	<b>2.9</b>	<b>49.0</b>	Φ24/10	<b>11.25</b>	<b>360.00</b>	verificato
D	800	Min	<b>3.5</b>	<b>89.0</b>	Φ24/20	<b>11.25</b>	<b>360.00</b>	verificato
E	800	Max	<b>1.0</b>	<b>2.0</b>	Φ24/20	<b>11.25</b>	<b>360.00</b>	verificato

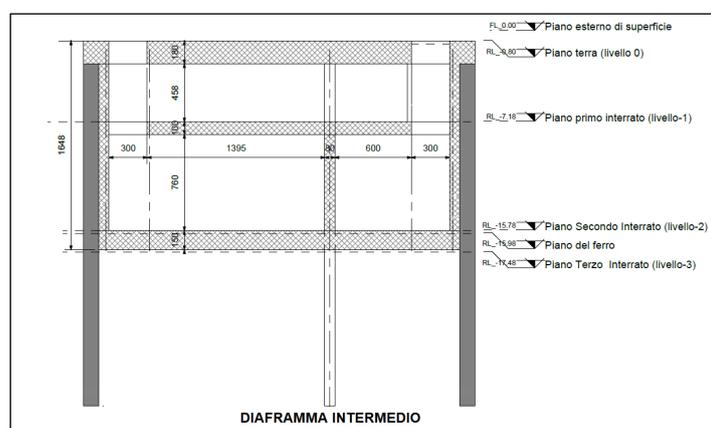
Come si può vedere dalle tabelle riassuntive la sezione di fondo viene armata con una fila di Φ24/20 lato interno ed esterno, mentre la parete in elevazione viene armata con una fila di Φ24/10 lato esterno e una fila di Φ24/20 lato interno. L'armatura a taglio consiste in spilli Φ12 con passo 40x20cm.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

## 18. VALIDAZIONE DEI MODELLI DI CALCOLO

### 18.1 VALIDAZIONE DIAFRAMMI

Come già dettagliatamente descritto in precedenza il Deposito verrà realizzato con il metodo Top-Down e prevederà la presenza sia di diaframmi perimetrali, per consentire lo scavo fino alla quota del solettone di fondo, che di diaframmi intermedi, il cui scopo è principalmente quello di fungere da supporto per il solettone di copertura e per la soletta intermedia sia in condizioni di scavo che sul lungo termine.



**Figura 129. Sezione tipologica (con evidenza della presenza del diaframma intermedio)**

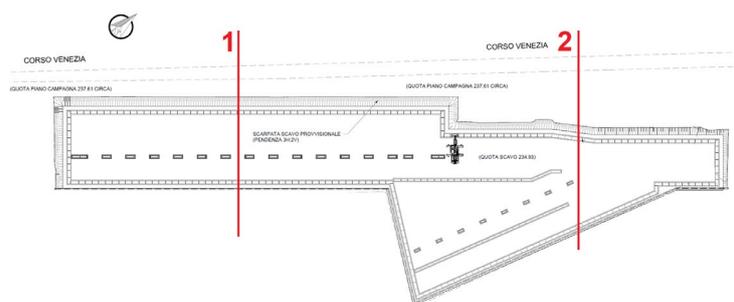
Per questo motivo, l'interazione tra le opere di sostegno (diaframmi) e le strutture interne del deposito (solette ai vari livelli) è ritenuta molto importante nell'analisi del comportamento dell'opera. In particolare, la presenza dei diaframmi intermedi ha comportato la necessità di affiancare al modello di Paratie Plus, utilizzato per la verifica dei diaframmi, un secondo modello FEM tridimensionale, in grado di simulare la struttura nella sua interezza (solettoni, diaframmi perimetrali e intermedi) e con le sue peculiarità (forometrie nelle solette, etc.) e di restituire le sollecitazioni e il grado di vincolo reale trasmessi dagli elementi orizzontali ai diaframmi perimetrali. Il secondo modello, 3D, è stato realizzato con il software di calcolo DIANA FEA.

Dal software Paratie Plus sono state estratte (e tarate) le rigidzze del terreno e le spinte a tergo e a valle delle opere di sostegno; dal modello 3D realizzato con il software DIANA FEA una volta inserite le rigidzze, tramite molle alla Winkler opportunamente tarate, e le spinte del terreno e della falda sono state estratte, come accennato, le azioni trasmesse ai diaframmi e le reali rigidzze dei solettoni che fungono da contrasto per i diaframmi.

Al fine di validare la metodologia proposta sono quindi stati condotti dei confronti tra le sollecitazioni sui diaframmi ottenute con i due diversi modelli per verificare che il passaggio delle rigidzze e delle sollecitazioni sulle solette da DIANA a Paratie e il passaggio delle spinte delle terre e delle rigidzze offerte dal terreno da Paratie a DIANA fornissero risultati confortanti.

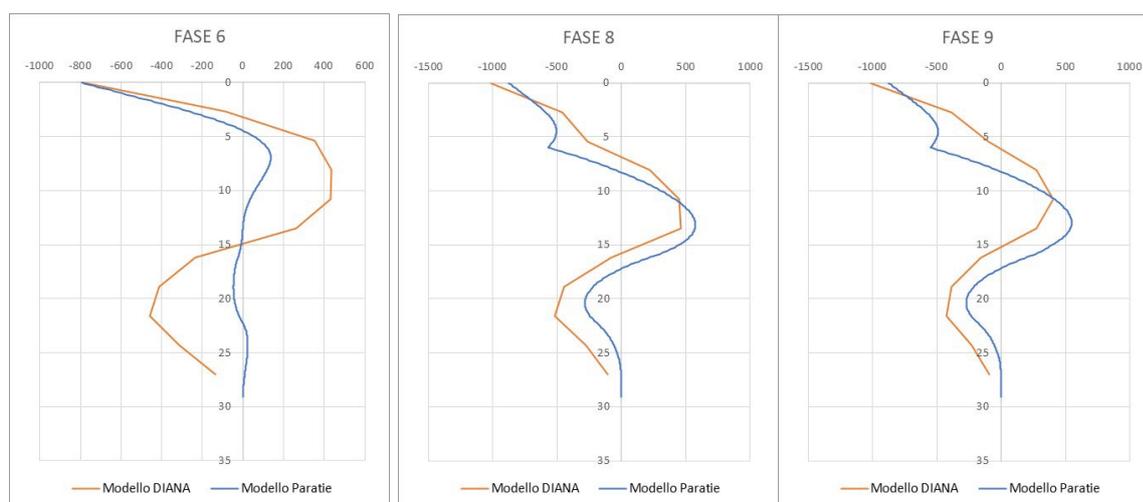
 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX

Sono quindi stati confrontati i momenti agenti sul diaframma a sud della sezione 1, riportata in figura.

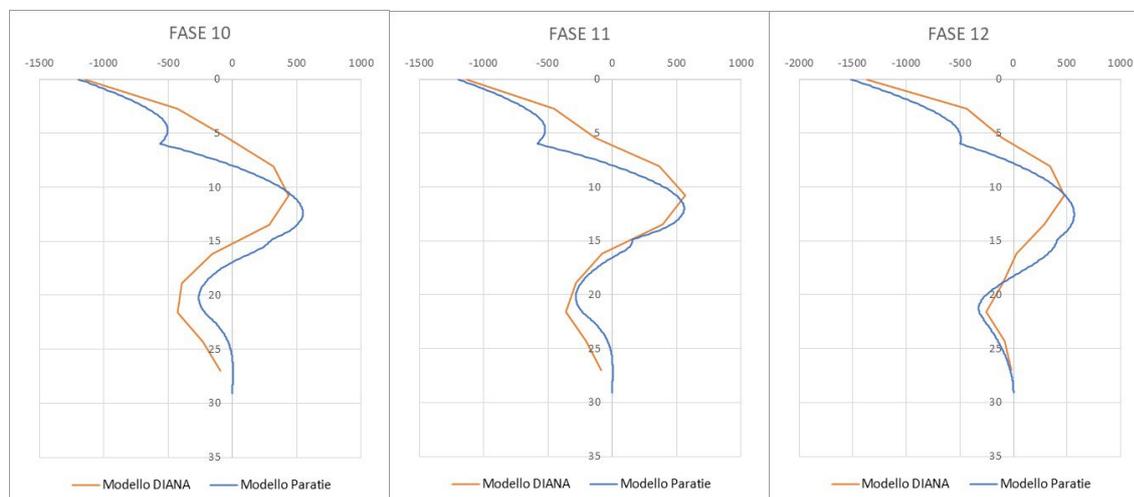


**Figura 130. Sezioni di verifica dei diaframmi perimetrali**

In seguito, si riportano i confronti ottenuti per le fasi più significative enunciate nel paragrafo 8.3.



 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



**Figura 131. Sollecitazioni su diaframma sud in sezione 1 – confronti tra Momenti sollecitanti ottenuti con il software Paratie e con il software DIANA**

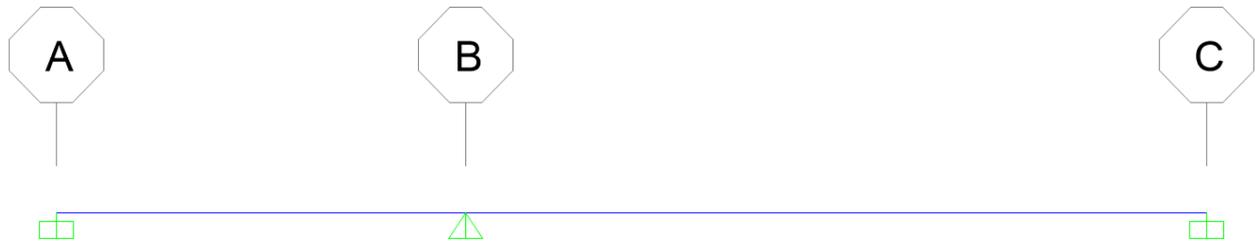
Come si evince dai risultati i confronti tra i due software sono in buon accordo per tutte le fasi di calcolo. Si evidenzia solo un leggero disaccordo sui momenti ottenuti per la fase 6, a questo proposito però è opportuno specificare come questa sia stata utilizzata prevalentemente per la taratura dei modelli e non risulta mai essere la fase dimensionante, né per i diaframmi né per le solette. Rispetto ai risultati riportati poi, si sottolinea come i diaframmi siano stati dimensionati con i momenti sollecitanti desunti dal software Paratie, che seppur di poco risultano essere i momenti maggiori.

## 18.2 VALIDAZIONE SOLETTE

Al fine di validare la metodologia proposta sono stati condotti dei confronti tra le sollecitazioni sulle solette ottenuti con DIANA e le risultanti ottenute da un modello semplificato analizzato tramite SAP2000.

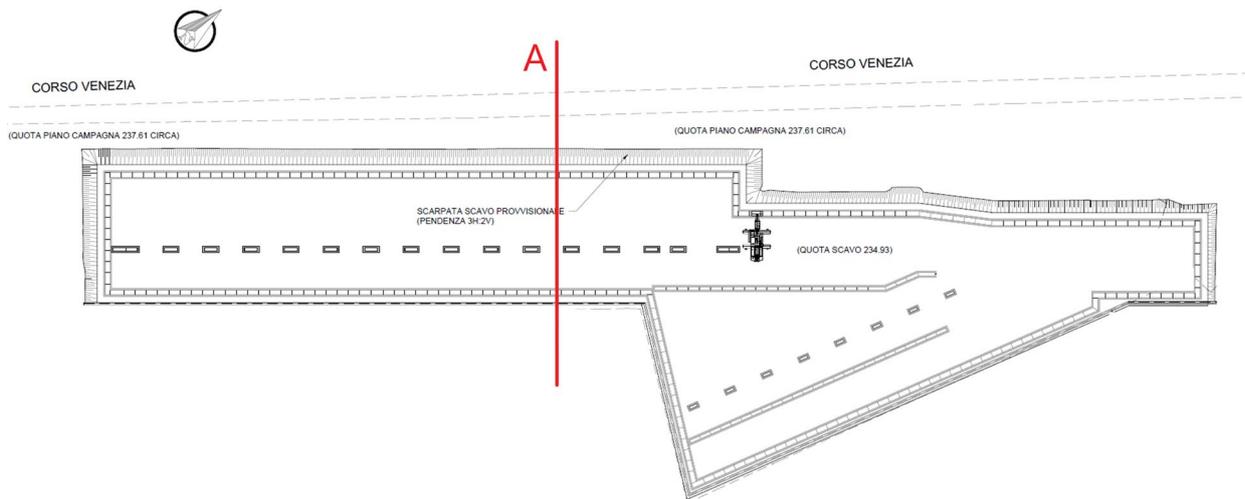
Il modello semplificato si compone un'unica asta incastrata agli estremi, in corrispondenza dei diaframmi esterni, e un appoggio circa a circa 1/3 della luca in corrispondenza del diaframma intermedio. Il carico applicato al modello consiste solamente nell'applicazione del peso proprio della struttura.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



**Figura 132. Schema semplificato della soletta di copertura**

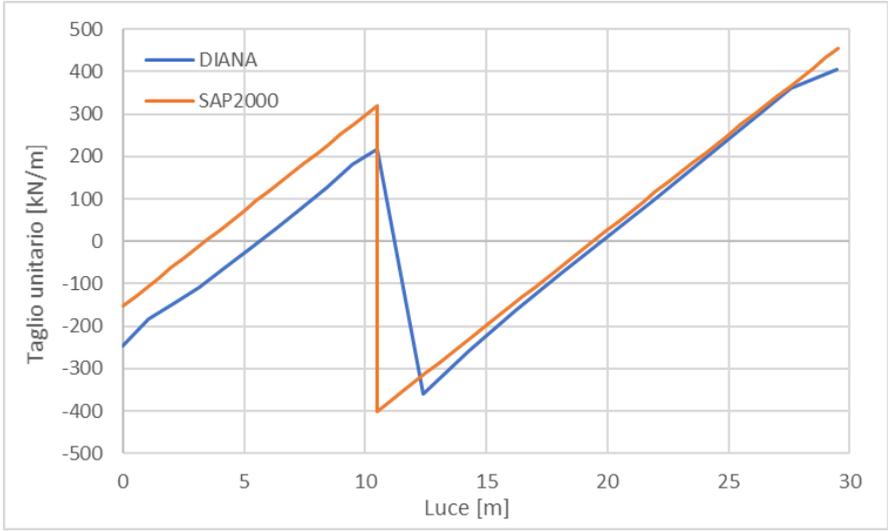
Sono quindi stati confrontati il momento e il taglio agenti sulla soletta nella sezione mostrata in figura.



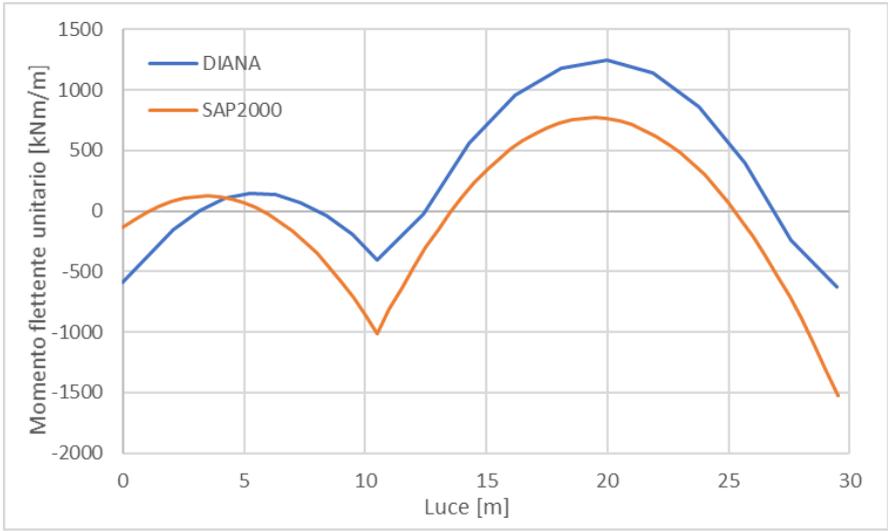
**Figura 133. Sezioni di verifica dei diaframmi perimetrali**

In seguito, si riportano i confronti ottenuti per la fase più significativa enunciata nel paragrafo 12.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Strutture definitive in sotterraneo – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR002-0-2.DOCX



**Figura 134. Soletta di copertura – confronto dell’azione tagliante unitaria [kN/m] tra Momenti sollecitanti ottenuti con il software SAP2000 e con il software DIANA**



**Figura 135. Soletta di copertura – confronto del momento flettente unitario [kNm/m] tra Momenti sollecitanti ottenuti con il software SAP2000 e con il software DIANA**

Come si evince dai risultati i confronti tra i due software sono in buon accordo.