

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



**COMUNE DI TORINO**



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

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


<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		 <b>INFRASTRUTTURE PER LA MOBILITÀ</b> INFRATRASPORTI S.r.l.												
DIRETTORE PROGETTAZIONE Responsabile integrazione discipline specialistiche	IL PROGETTISTA													
Ing. R. Crova Ordine degli Ingegneri della Provincia di Torino n. 60385	Ing. F. Rizzo Ordine degli Ingegneri della Provincia di Torino n. 9337K	<b>PROGETTO STRUTTURALE – STAZIONI SPECIALI STAZIONE POLITECNICO RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE INTERNE STAZIONE</b>												
		ELABORATO							REV.		SCALA	DATA		
BIM MANAGER Geom. L. D'Accardi		MT	L2	T1	A2	D	STR	SPO	R	003	Int.	Est.	-	18/11/2022

AGGIORNAMENTI

Fg. 1 di 1

REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	CONTROLLATO	APPROVATO	VISTO
0	EMISSIONE	31/03/22	LSA	ECA	FRI	RCR
1	EMISSIONE FINALE A SEGUITO DI VERIFICA PREVENTIVA	18/11/22	LSA	ECA	FRI	RCR
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-

<table border="1"> <tr> <td>LOTTO 2</td> <td>CARTELLA</td> <td>9.3.1</td> <td>3</td> <td>MTL2T1A2D</td> <td>STRSPOR003</td> </tr> </table>	LOTTO 2	CARTELLA	9.3.1	3	MTL2T1A2D	STRSPOR003	<p align="center"><b>STAZIONE APPALTANTE</b></p> <p align="center">DIRETTORE DI DIVISIONE INFRASTRUTTURE E MOBILITÀ Ing. R. Bertasio</p> <p align="center">RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO Ing. A. Strozzi</p>
LOTTO 2	CARTELLA	9.3.1	3	MTL2T1A2D	STRSPOR003		

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

## INDICE

<b>1.</b>	<b>PREMESSA</b>	<b>17</b>
<b>2.</b>	<b>DOCUMENTI E NORMATIVE DI RIFERIMENTO</b>	<b>18</b>
<b>2.1</b>	<b>NORMATIVE DI RIFERIMENTO</b>	<b>18</b>
<b>2.2</b>	<b>PROGRAMMI DI CALCOLO</b>	<b>21</b>
<b>3.</b>	<b>CARATTERISTICHE DEI MATERIALI</b>	<b>22</b>
<b>3.1</b>	<b>CALCESTRUZZO PER DIAFRAMMI: C25/30</b>	<b>22</b>
<b>3.2</b>	<b>STRUTTURE INTERNE: C30/37</b>	<b>22</b>
<b>3.3</b>	<b>ACCIAIO DA CEMENTO ARMATO: B450C</b>	<b>22</b>
<b>3.4</b>	<b>COPRIFERRO MINIMO E COPRIFERRO NOMINALE: DIAFRAMMI</b>	<b>23</b>
<b>3.5</b>	<b>COPRIFERRO MINIMO E COPRIFERRO NOMINALE: STRUTTURE INTERNE</b>	<b>24</b>
<b>3.6</b>	<b>ACCIAIO PER CARPENTERIA: S355J0 – (STRUTTURE PROVVISORIALI)</b>	<b>26</b>
<b>3.7</b>	<b>BARRE IN VETRORESINA</b>	<b>26</b>
<b>4.</b>	<b>DESCRIZIONE DELLE OPERE</b>	<b>27</b>
<b>5.</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA</b>	<b>30</b>
<b>5.1</b>	<b>CONTESTO GEOLOGICO E IDROGEOLOGICO</b>	<b>30</b>
<b>5.2</b>	<b>PARAMETRI GEOTECNICI DI RIFERIMENTO</b>	<b>34</b>
<b>6.</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE SISMICA</b>	<b>36</b>
<b>6.1</b>	<b>VALUTAZIONE DELL’AZIONE SISMICA DI BASE</b>	<b>36</b>
<b>6.2</b>	<b>FATTORE DI AMPLIFICAZIONE DELLO SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO</b>	<b>37</b>
<b>6.3</b>	<b>CATEGORIA DI SOTTOSUOLO</b>	<b>37</b>
<b>6.4</b>	<b>VALUTAZIONE DELL’AZIONE SISMICA DI PROGETTO</b>	<b>38</b>
<b>7.</b>	<b>CRITERI DI CALCOLO DELLE OPERE</b>	<b>40</b>
<b>7.1</b>	<b>CENNI NORMATIVI</b>	<b>41</b>
<b>7.2</b>	<b>CRITERI DI ANALISI DELLA SICUREZZA</b>	<b>42</b>
<b>7.3</b>	<b>ORIGINE DEL CODICE DI CALCOLO E SUA VALIDAZIONE</b>	<b>44</b>



<b>7.4</b>	<b>CARICHI APPLICATI ALLE STRUTTURE</b>	<b>50</b>
7.4.1	PESO PROPRIO	50
7.4.2	PERMANENTI PORTATI STRUTTURALI $G_1$	50
7.4.3	PERMANENTI PORTATI NON STRUTTURALI $G_2$	50
7.4.4	SPINTA DEL TERRENO	51
7.4.5	SPINTA DELL'ACQUA	51
7.4.6	AZIONI VARIABILI $Q$	52
<b>7.5</b>	<b>AZIONE SISMICA <math>E</math></b>	<b>53</b>
7.5.1	SPINTA DEL TERRENO IN FASE SISMICA	56
<b>7.6</b>	<b>AZIONI TERMICHE</b>	<b>56</b>
<b>7.7</b>	<b>EFFETTI DOVUTI AL RITIRO</b>	<b>57</b>
<b>7.8</b>	<b>MODELLAZIONE DELLE AZIONI</b>	<b>58</b>
<b>7.9</b>	<b>INTERAZIONE TERRENO-STRUTTURA</b>	<b>63</b>
<b>8.</b>	<b>STRUTTURA INTERRATA</b>	<b>65</b>
<b>8.1</b>	<b>MODELLAZIONE DELLA STRUTTURA</b>	<b>65</b>
<b>8.2</b>	<b>MODELLAZIONE DELLE AZIONI – TEMPO INFINITO</b>	<b>72</b>
8.2.1	SOLETTONE DI COPERTURA	73
8.2.2	PIANO ATRIO (-1)	74
8.2.3	PIANO MEZZANINO (-2)	77
8.2.4	PIANO MEZZANINO (-3)	79
8.2.5	PIANO BANCHINA	82
8.2.6	PLATEA DI FONDAZIONE E CUNICOLI	84
8.2.7	CARICHI ORIZZONTALI	87
8.2.8	RITIRO	89
<b>8.3</b>	<b>MODELLAZIONE DELLE AZIONI – TEMPO ZERO</b>	<b>89</b>
8.3.1	SOLETTONE DI COPERTURA	91
8.3.2	PIANO ATRIO (-1)	92
8.3.3	PIANO MEZZANINO (-2)	92
8.3.4	PLATEA DI FONDAZIONE	93
<b>9.</b>	<b>VERIFICA DI RIGIDEZZA – SLO</b>	<b>94</b>
<b>10.</b>	<b>VERIFICA DI RESISTENZA – SLD</b>	<b>101</b>
<b>11.</b>	<b>VERIFICA SOLETTONE DI COPERTURA</b>	<b>101</b>
<b>11.1</b>	<b>VERIFICA STATI LIMITE ULTIMI – SLU E SLV</b>	<b>101</b>
11.1.1	SOLLECITAZIONI	101
11.1.2	VERIFICHE STRUTTURALI	106

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

<b>11.2</b>	<b>VERIFICA STATI LIMITE DI ESERCIZIO - SLE</b>	<b>122</b>
11.2.1	STATO LIMITE DI DEFORMAZIONE	122
11.2.2	STATO LIMITE DI FESSURAZIONE	123
11.2.3	STATO LIMITE DI LIMITAZIONE DELLE TENSIONI IN ESERCIZIO	126
<b>12.</b>	<b>VERIFICA TRAVI RIBASSATE</b>	<b>131</b>
<b>12.1</b>	<b>SOLLECITAZIONI</b>	<b>132</b>
<b>12.2</b>	<b>VERIFICHE STRUTTURALI</b>	<b>137</b>
12.2.1	TRAVI 200X160	137
12.2.2	TRAVI 180X160	143
<b>13.</b>	<b>VERIFICA PIANO ATRIO</b>	<b>147</b>
<b>13.1</b>	<b>VERIFICA STATI LIMITE ULTIMI – SLU E SLV</b>	<b>147</b>
13.1.1	SOLLECITAZIONI	147
13.1.2	VERIFICHE STRUTTURALI	152
<b>13.2</b>	<b>VERIFICA STATI LIMITE DI ESERCIZIO - SLE</b>	<b>162</b>
13.2.1	STATO LIMITE DI DEFORMAZIONE	162
13.2.2	STATO LIMITE DI FESSURAZIONE	163
13.2.3	STATO LIMITE DI LIMITAZIONE DELLE TENSIONI IN ESERCIZIO	166
<b>14.</b>	<b>VERIFICA PIANO MEZZANINO (-2)</b>	<b>171</b>
<b>14.1</b>	<b>VERIFICA STATI LIMITE ULTIMI – SLU E SLV</b>	<b>171</b>
14.1.1	SOLLECITAZIONI	171
14.1.2	VERIFICHE STRUTTURALI	176
<b>14.2</b>	<b>VERIFICA STATI LIMITE DI ESERCIZIO - SLE</b>	<b>186</b>
14.2.1	STATO LIMITE DI DEFORMAZIONE	186
14.2.2	STATO LIMITE DI FESSURAZIONE	187
14.2.3	STATO LIMITE DI LIMITAZIONE DELLE TENSIONI IN ESERCIZIO	190
<b>15.</b>	<b>VERIFICA PIANO MEZZANINO (-3)</b>	<b>194</b>
<b>15.1</b>	<b>VERIFICA STATI LIMITE ULTIMI – SLU E SLV</b>	<b>194</b>
15.1.1	SOLLECITAZIONI	194
15.1.2	VERIFICHE STRUTTURALI	197
<b>15.2</b>	<b>VERIFICA STATI LIMITE DI ESERCIZIO - SLE</b>	<b>207</b>
15.2.1	STATO LIMITE DI DEFORMAZIONE	207
15.2.2	STATO LIMITE DI FESSURAZIONE	208
15.2.3	STATO LIMITE DI LIMITAZIONE DELLE TENSIONI IN ESERCIZIO	211
<b>16.</b>	<b>VERIFICA PIANO BANCHINA</b>	<b>216</b>

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

<b>16.1</b>	<b>VERIFICA STATI LIMITE ULTIMI – SLU E SLV</b>	<b>216</b>
16.1.1	SOLLECITAZIONI	216
16.1.2	VERIFICHE STRUTTURALI	219
<b>16.2</b>	<b>VERIFICA STATI LIMITE DI ESERCIZIO - SLE</b>	<b>229</b>
16.2.1	STATO LIMITE DI DEFORMAZIONE	229
16.2.2	STATO LIMITE DI FESSURAZIONE	230
16.2.3	STATO LIMITE DI LIMITAZIONE DELLE TENSIONI IN ESERCIZIO	233
<b>17.</b>	<b>VERIFICA PLATEA</b>	<b>238</b>
<b>17.1</b>	<b>VERIFICA STATI LIMITE ULTIMI – SLU E SLV</b>	<b>238</b>
17.1.1	SOLLECITAZIONI	238
17.1.2	VERIFICHE STRUTTURALI	242
<b>17.2</b>	<b>VERIFICA STATI LIMITE DI ESERCIZIO - SLE</b>	<b>252</b>
17.2.1	STATO LIMITE DI DEFORMAZIONE	252
17.2.2	STATO LIMITE DI FESSURAZIONE	253
17.2.3	STATO LIMITE DI LIMITAZIONE DELLE TENSIONI IN ESERCIZIO	256
<b>18.</b>	<b>VERIFICA FODERE</b>	<b>260</b>
<b>18.1</b>	<b>SOLLECITAZIONI</b>	<b>261</b>
<b>18.2</b>	<b>VERIFICHE STRUTTURALI</b>	<b>263</b>
<b>19.</b>	<b>VERIFICA PILASTRI PIANO ATRIO</b>	<b>267</b>
<b>19.1</b>	<b>SOLLECITAZIONI</b>	<b>267</b>
<b>19.2</b>	<b>VERIFICHE STRUTTURALI</b>	<b>271</b>
<b>20.</b>	<b>VERIFICA DIAFRAMMI INTERNI PROVVISORI</b>	<b>274</b>
<b>20.1</b>	<b>SOLLECITAZIONI</b>	<b>274</b>
<b>20.2</b>	<b>VERIFICHE STRUTTURALI</b>	<b>277</b>
<b>21.</b>	<b>VERIFICA SCALONE DI ACCESSO PASSEGGERI</b>	<b>282</b>
<b>21.1</b>	<b>SOLLECITAZIONI</b>	<b>283</b>
<b>21.2</b>	<b>VERIFICHE STRUTTURALI</b>	<b>285</b>
<b>22.</b>	<b>ROBUSTEZZA STRUTTURALE</b>	<b>290</b>
<b>22.1</b>	<b>INCENDIO</b>	<b>290</b>
<b>22.2</b>	<b>SOVRARESISTENZA</b>	<b>295</b>
<b>23.</b>	<b>GIUDIZIO MOTIVATO DI ACCETTABILITA' DEI RISULTATI</b>	<b>296</b>

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

## INDICE DELLE FIGURE

Figura 1.	Key-plan linea 2 della Metropolitana di Torino	17
Figura 2.	Stazione "Politecnico" – estratto Google Maps	18
Figura 3.	Dimensioni minime spessore muro e copriferro in caso di incendio (UNI EN 1992-1-2:2005)	24
Figura 4.	Planimetria piano Banchina	28
Figura 5.	Planimetria piano Mezzanino (-3)	28
Figura 6.	Planimetria piano Mezzanino (-2)	29
Figura 7.	Planimetria piano Atrio	29
Figura 8.	Sezione longitudinale	30
Figura 9.	Sezione trasversale	30
Figura 10.	Quadro strutturale tratto dal progetto CARG (Fonte: Forno M.G., 2012)	31
Figura 11.	Sezione geotecnica – Estratto elaborato MTL2T1A0DGEOSPOT 001	34
Figura 12.	Individuazione del sito	53
Figura 13.	Individuazione dei parametri di progettazione	54
Figura 14.	Spettro SLV	54
Figura 15.	Spettro SLD	55
Figura 16.	Spettro SLO	55
Figura 17.	Complessivo stazione – Modello FEM Vista 1	66
Figura 18.	Complessivo stazione – Modello FEM Vista 2	66
Figura 19.	Struttura interna	67
Figura 20.	Struttura interrata – Piano atrio	67
Figura 21.	Struttura interrata – Piano mezzanino (-2)	68
Figura 22.	Struttura interrata – Piano mezzanino (-3)	68
Figura 23.	Struttura interrata – Piano banchina	69
Figura 24.	Struttura interrata – Platea di fondazione e cunicoli	69
Figura 25.	Vincoli con il mondo esterno – Sezione trasversale	70
Figura 26.	Vincoli con il mondo esterno – Sezione longitudinale	71
Figura 27.	Dettaglio – Molle compression-only X/Y e Z	71
Figura 28.	Solettone di copertura– Carichi permanenti NON strutturali G <sub>2</sub>	73
Figura 29.	Solettone di copertura – Carico variabile veicolare	73
Figura 30.	Piano atrio (-1) – Carichi permanenti strutturali G <sub>1</sub> – Scale	74
Figura 31.	Piano atrio (-1) – Carichi permanenti NON strutturali G <sub>2</sub> – Scale	74
Figura 32.	Piano atrio (-1) – Carichi permanenti NON strutturali G <sub>2</sub>	75
Figura 33.	Piano atrio (-1) – Carico variabile Q cat.E – Zona Locali Tecnici	75
Figura 34.	Piano atrio (-1) – Carico variabile Q cat.C5 – Zona viaggiatori	76
Figura 35.	Piano mezzanino (-2) – Carichi permanenti strutturali G <sub>1</sub> - Scale	77
Figura 36.	Piano mezzanino (-2) – Carichi permanenti NON strutturali G <sub>2</sub> – Scale	77

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

Figura 37. Piano mezzanino (-2) – Carichi permanenti NON strutturali G <sub>2</sub>	78
Figura 38. Piano mezzanino (-2) – Carico variabile Q cat.E	78
Figura 39. Piano mezzanino (-3) – Carichi permanenti strutturali G <sub>1</sub> - Scale	79
Figura 40. Piano mezzanino (-3) – Carichi permanenti NON strutturali G <sub>2</sub> – Scale	79
Figura 41. Piano mezzanino (-3) – Carichi permanenti NON strutturali G <sub>2</sub>	80
Figura 42. Piano mezzanino (-3) – Carico variabile Q cat.E – Zona Locali Tecnici	80
Figura 43. Piano mezzanino (-3) – Carico variabile Q cat.C5 – Zona viaggiatori	81
Figura 44. Piano banchina – Carichi permanenti strutturali G <sub>1</sub> - Scale	82
Figura 45. Piano banchina – Carichi permanenti NON strutturali G <sub>2</sub>	82
Figura 46. Piano banchina – Carico variabile Q cat.E – Zona Locali Tecnici	83
Figura 47. Piano banchina – Carico variabile Q cat.C5 – Zona viaggiatori	83
Figura 48. Platea di fondazione – Carichi permanenti strutturali G <sub>1</sub> – Scale	84
Figura 49. Platea di fondazione – Carichi permanenti NON strutturali G <sub>2</sub>	84
Figura 50. Platea di fondazione – Ballast	85
Figura 51. Copertura cunicoli – Ballast	85
Figura 52. Platea di fondazione – Carico variabile da treno	86
Figura 53. Copertura cunicoli – Carico variabile da treno	86
Figura 54. Spinta statica del terreno - Tipologico	87
Figura 55. Spinta sovraccarico stradale - Tipologico	87
Figura 56. Sovrappinta sismica terreno - Tipologico	88
Figura 57. Spinta idrostatica quota 231 m s.l.m. (-15.80 m da P.C.) - Tipologico	88
Figura 58. Azione termica per effetto del ritiro	89
Figura 59. Struttura verticale – Tempo infinito	90
Figura 60. Struttura verticale – Tempo zero	90
Figura 61. Solettone di copertura– Carichi permanenti NON strutturali G <sub>2</sub>	91
Figura 62. Solettone di copertura – Carico variabile di cantiere	91
Figura 63. Piano atrio (-1) – Carico variabile di cantiere	92
Figura 64. Piano mezzanino (-2) – Carico variabile di cantiere	92
Figura 65. Platea di fondazione – Carico variabile di cantiere	93
Figura 66. Solettone di copertura – Massimo spostamento XY SLO	94
Figura 67. Solettone di copertura – Minimo spostamento XY SLO	95
Figura 68. Piano atrio (-1) – Massimo spostamento XY SLO	95
Figura 69. Piano atrio (-1) – Minimo spostamento XY SLO	96
Figura 70. Piano mezzanino (-2) – Massimo spostamento XY SLO	96
Figura 71. Piano mezzanino (-2) – Minimo spostamento XY SLO	97
Figura 72. Piano mezzanino (-3) – Massimo spostamento XY SLO	97
Figura 73. Piano mezzanino (-3) – Minimo spostamento XY SLO	98
Figura 74. Piano banchina – Massimo spostamento XY SLO	98
Figura 75. Piano banchina – Minimo spostamento XY SLO	99
Figura 76. Platea di fondazione – Massimo spostamento XY SLO	99
Figura 77. Platea di fondazione – Minimo spostamento XY SLO	100
Figura 78. Solettone – Inviluppo momento flettente M <sub>xx</sub> – Direzione X – Tempo infinito	102





Figura 79. Solettone – Inviluppo momento flettente  $M_{xx}$  – Direzione X – Tempo zero 102

Figura 80. Solettone – Inviluppo momento flettente  $M_{yy}$  – Direzione Y – Tempo infinito 103

Figura 81. Solettone – Inviluppo momento flettente  $M_{yy}$  – Direzione Y – Tempo zero 103

Figura 82. Solettone – Inviluppo taglio  $V_{xx}$  – Direzione X – Tempo infinito 104

Figura 83. Solettone – Inviluppo taglio  $V_{xx}$  – Direzione X – Tempo zero 104

Figura 84. Solettone – Inviluppo taglio  $V_{yy}$  – Direzione Y – Tempo infinito 105

Figura 85. Solettone – Inviluppo taglio  $V_{yy}$  – Direzione Y – Tempo zero 105

Figura 86. Solettone di copertura – Armatura superiore direzione D1 107

Figura 87. Solettone di copertura – Armatura inferiore direzione D1 107

Figura 88. Solettone di copertura – Armatura superiore direzione D2 108

Figura 89. Solettone di copertura – Armatura inferiore direzione D2 108

Figura 90. Solettone di copertura – Tasso di lavoro faccia superiore – Direzione D1 110

Figura 91. Solettone di copertura – Tasso di lavoro faccia superiore – Direzione D1 – Zone > 1 110

Figura 92. Solettone di copertura – Tasso di lavoro faccia inferiore – Direzione D1 111

Figura 93. Solettone di copertura – Tasso di lavoro faccia superiore – Direzione D2 112

Figura 94. Solettone di copertura – Tasso di lavoro faccia superiore – Direzione D2 – Zone > 1 112

Figura 95. Solettone di copertura – Tasso di lavoro faccia inferiore – Direzione D2 113

Figura 96. Solettone di copertura – Tasso di lavoro faccia superiore – Direzione D1 114

Figura 97. Solettone di copertura – Tasso di lavoro faccia superiore – Direzione D1 – Zone > 1 114

Figura 98. Solettone di copertura – Tasso di lavoro faccia inferiore – Direzione D1 115

Figura 99. Solettone di copertura – Tasso di lavoro faccia inferiore – Direzione D1 – Zone > 1 115

Figura 100. Solettone di copertura – Tasso di lavoro faccia superiore – Direzione D2 116

Figura 101. Solettone di copertura – Tasso di lavoro faccia inferiore – Direzione D2 117

Figura 102. Solettone di copertura – Tasso di lavoro faccia inferiore – Direzione D2 – Zone > 1 117

Figura 103. Solettone di copertura – Resistenza a taglio Direzione X 120

Figura 104. Solettone di copertura – Resistenza a taglio Direzione Y 120

Figura 105. Solettone di copertura – Resistenza a taglio Direzione X 121

Figura 106. Solettone di copertura – Resistenza a taglio Direzione Y 121

Figura 107. Solettone di copertura – Massima deformazione 122

Figura 108. Solettone di copertura – Apertura delle fessure - Ratio Direzione 1 124

Figura 109. Solettone di copertura – Apertura delle fessure - Ratio Direzione 1 – Zone > 1 124

Figura 110. Solettone di copertura – Apertura delle fessure - Ratio Direzione 2 125

Figura 111. Solettone di copertura – Apertura delle fessure - Ratio Direzione 2 – Zone > 1 125

Figura 112. Solettone di copertura – Tensioni calcestruzzo - Ratio Direzione 1 127

Figura 113. Solettone di copertura – Tensioni calcestruzzo - Ratio Direzione 2 128

Figura 114. Solettone di copertura – Tensioni calcestruzzo - Ratio Direzione 2 – Zone > 1 128

Figura 115. Solettone di copertura – Tensioni armatura - Ratio Direzione 1 129

Figura 116. Solettone di copertura – Tensioni armatura - Ratio Direzione 1 – Zone > 1 129

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

Figura 117. Solettone di copertura – Tensioni armatura - Ratio Direzione 2	130
Figura 118. Travi ribassate solettone di copertura – Tempo infinito	131
Figura 119. Travi ribassate solettone di copertura – Tempo zero	132
Figura 120. Travi ribassate 200x160 – Inviluppo $M_y$ tempo infinito	133
Figura 121. Travi ribassate 200x160 – Inviluppo $M_y$ tempo zero	133
Figura 122. Travi ribassate 200x160 – Inviluppo $V_z$ tempo infinito	134
Figura 123. Travi ribassate 200x160 – Inviluppo $V_z$ tempo zero	134
Figura 124. Travi ribassate 180x160 – Inviluppo $M_y$ tempo infinito	135
Figura 125. Travi ribassate 180x160 – Inviluppo $M_y$ tempo zero	135
Figura 126. Travi ribassate 180x160 – Inviluppo $V_z$ tempo infinito	136
Figura 127. Travi ribassate 180x160 – Inviluppo $V_z$ tempo zero	136
Figura 128. Travi ribassate – Verifica trave TR200x160	138
Figura 129. Travi ribassate – Verifica trave TR200x160 tempo zero	139
Figura 130. Travi ribassate – Verifica trave TR200x160 appoggio SX	140
Figura 131. Travi ribassate – Verifica trave TR200x160 appoggio DX	141
Figura 132. Travi ribassate – Verifica trave TR180x160 MAX $M_{NEG}$	144
Figura 133. Travi ribassate – Verifica trave TR180x160 MAX $M_{POS}$	145
Figura 134. Piano atrio (-1) – Inviluppo momento flettente $M_{xx}$ – Direzione X – Tempo infinito	148
Figura 135. Piano atrio (-1) – Inviluppo momento flettente $M_{xx}$ – Direzione X – Tempo zero	148
Figura 136. Piano atrio (-1) – Inviluppo momento flettente $M_{yy}$ – Direzione Y – Tempo infinito	149
Figura 137. Piano atrio (-1) – Inviluppo momento flettente $M_{yy}$ – Direzione Y – Tempo zero	149
Figura 138. Piano atrio (-1) – Inviluppo taglio $V_{xx}$ – Direzione X – Tempo infinito	150
Figura 139. Piano atrio (-1) – Inviluppo taglio $V_{xx}$ – Direzione X – Tempo zero	150
Figura 140. Piano atrio (-1) – Inviluppo taglio $V_{yy}$ – Direzione Y – Tempo infinito	151
Figura 141. Piano atrio (-1) – Inviluppo taglio $V_{yy}$ – Direzione Y – Tempo zero	151
Figura 142. Piano atrio (-1) – Armatura superiore direzione D1	153
Figura 143. Piano atrio (-1) – Armatura inferiore direzione D1	153
Figura 144. Piano atrio (-1) – Armatura superiore direzione D2	154
Figura 145. Piano atrio (-1) – Armatura inferiore direzione D2	154
Figura 146. Piano atrio (-1) – Tasso di lavoro faccia superiore – Direzione D1	156
Figura 147. Piano atrio (-1) – Tasso di lavoro faccia superiore – Direzione D1 – Zone > 1	156
Figura 148. Piano atrio (-1) – Tasso di lavoro faccia inferiore – Direzione D1	157
Figura 149. Piano atrio (-1) – Tasso di lavoro faccia inferiore – Direzione D1 – Zone > 1	157
Figura 150. Piano atrio (-1) – Tasso di lavoro faccia superiore – Direzione D2	158
Figura 151. Piano atrio (-1) – Tasso di lavoro faccia superiore – Direzione D2 – Zone > 1	158
Figura 152. Piano atrio (-1) – Tasso di lavoro faccia inferiore – Direzione D2	159
Figura 153. Piano atrio (-1) – Tasso di lavoro faccia inferiore – Direzione D2 – Zone > 1	159
Figura 154. Piano atrio (-1) – Resistenza a taglio Direzione X	161
Figura 155. Piano atrio (-1) – Resistenza a taglio Direzione Y	161
Figura 156. Piano atrio (-1) – Massima deformazione	162



Figura 157. Piano atrio (-1) – Apertura delle fessure - Ratio Direzione 1 164

Figura 158. Piano atrio (-1) – Apertura delle fessure - Ratio Direzione 1 – Zone > 1 164

Figura 159. Piano atrio (-1) – Apertura delle fessure - Ratio Direzione 2 165

Figura 160. Piano atrio (-1) – Apertura delle fessure - Ratio Direzione 2 – Zone > 1 165

Figura 161. Piano atrio (-1) – Tensioni calcestruzzo - Ratio Direzione 1 167

Figura 162. Piano atrio (-1) – Tensioni calcestruzzo - Ratio Direzione 1 – Zone > 1 167

Figura 163. Piano atrio (-1) – Tensioni calcestruzzo - Ratio Direzione 2 168

Figura 164. Piano atrio (-1) – Tensioni calcestruzzo - Ratio Direzione 2 – Zone > 1 168

Figura 165. Piano atrio (-1) – Tensioni armatura - Ratio Direzione 1 169

Figura 166. Piano atrio (-1) – Tensioni armatura - Ratio Direzione 1 – Zone > 1 169

Figura 167. Piano atrio (-1) – Tensioni armatura - Ratio Direzione 2 170

Figura 168. Piano atrio (-1) – Tensioni armatura - Ratio Direzione 2 – Zone > 1 170

Figura 169. Mezzanino (-2) – Inviluppo momento flettente  $M_{xx}$  – Direzione X – Tempo infinito 172

Figura 170. Mezzanino (-2) – Inviluppo momento flettente  $M_{xx}$  – Direzione X – Tempo zero 172

Figura 171. Mezzanino (-2) – Inviluppo momento flettente  $M_{yy}$  – Direzione Y – Tempo infinito 173

Figura 172. Mezzanino (-2) – Inviluppo momento flettente  $M_{yy}$  – Direzione Y – Tempo zero 173

Figura 173. Mezzanino (-2) – Inviluppo taglio  $V_{xx}$  – Direzione X – Tempo infinito 174

Figura 174. Mezzanino (-2) – Inviluppo taglio  $V_{xx}$  – Direzione X – Tempo infinito – Tempo zero 174

Figura 175. Mezzanino (-2) – Inviluppo taglio  $V_{yy}$  – Direzione Y – Tempo infinito 175

Figura 176. Mezzanino (-2) – Inviluppo taglio  $V_{yy}$  – Direzione Y – Tempo zero 175

Figura 177. Piano mezzanino (-2) – Armatura superiore direzione D1 177

Figura 178. Piano mezzanino (-2) – Armatura inferiore direzione D1 177

Figura 179. Piano mezzanino (-2) – Armatura superiore direzione D2 178

Figura 180. Piano mezzanino (-2) – Armatura inferiore direzione D2 178

Figura 181. Piano mezzanino (-2) – Tasso di lavoro faccia superiore – Direzione D1 180

Figura 182. Piano mezzanino (-2) – Tasso di lavoro faccia superiore – Direzione D1 – Zone > 1 180

Figura 183. Piano mezzanino (-2) – Tasso di lavoro faccia inferiore – Direzione D1 181

Figura 184. Piano mezzanino (-2) – Tasso di lavoro faccia inferiore – Direzione D1 – Zone > 1 181

Figura 185. Piano mezzanino (-2) – Tasso di lavoro faccia superiore – Direzione D2 182

Figura 186. Piano mezzanino (-2) – Tasso di lavoro faccia inferiore – Direzione D2 183

Figura 187. Piano mezzanino (-2) – Tasso di lavoro faccia inferiore – Direzione D2 – Zone > 1 183

Figura 188. Piano mezzanino (-2) – Resistenza a taglio Direzione X 185

Figura 189. Piano mezzanino (-2) – Resistenza a taglio Direzione Y 185

Figura 190. Piano mezzanino (-2) – Massima deformazione 186

Figura 191. Piano mezzanino (-2) – Apertura delle fessure - Ratio Direzione 1 188

Figura 192. Piano mezzanino (-2) – Apertura delle fessure - Ratio Direzione 1 – Zone > 1 188

Figura 193. Piano mezzanino (-2) – Apertura delle fessure - Ratio Direzione 2 189

Figura 194. Piano mezzanino (-2) – Apertura delle fessure - Ratio Direzione 2 – Zone > 1 189

Figura 195. Piano mezzanino (-2) – Tensioni calcestruzzo - Ratio Direzione 1 191

Figura 196. Piano mezzanino (-2) – Tensioni calcestruzzo - Ratio Direzione 1 – Zone > 1 191



Figura 197. Piano mezzanino (-2) – Tensioni calcestruzzo - Ratio Direzione 2 192

Figura 198. Piano mezzanino (-2) – Tensioni calcestruzzo - Ratio Direzione 2 – Zone > 1 192

Figura 199. Piano mezzanino (-2) – Tensioni armatura - Ratio Direzione 1 193

Figura 200. Piano mezzanino (-2) – Tensioni armatura - Ratio Direzione 1 – Zone > 1 193

Figura 201. Piano mezzanino (-2) – Tensioni armatura - Ratio Direzione 2 194

Figura 202. Piano mezzanino (-3) – Inviluppo momento flettente  $M_{xx}$  – Direzione X 195

Figura 203. Piano mezzanino (-3) – Inviluppo momento flettente  $M_{yy}$  – Direzione Y 195

Figura 204. Piano mezzanino (-3) – Inviluppo taglio  $V_{xx}$  – Direzione X 196

Figura 205. Piano mezzanino (-3) – Inviluppo taglio  $V_{yy}$  – Direzione Y 196

Figura 206. Piano mezzanino (-3) – Armatura superiore direzione D1 198

Figura 207. Piano mezzanino (-3) – Armatura inferiore direzione D1 198

Figura 208. Piano mezzanino (-3) – Armatura superiore direzione D2 199

Figura 209. Piano mezzanino (-3) – Armatura inferiore direzione D2 199

Figura 210. Piano mezzanino (-3) – Tasso di lavoro faccia superiore – Direzione D1 201

Figura 211. Piano mezzanino (-3) – Tasso di lavoro faccia superiore – Direzione D1 – Zone > 1 201

Figura 212. Piano mezzanino (-3) – Tasso di lavoro faccia inferiore – Direzione D1 202

Figura 213. Piano mezzanino (-3) – Tasso di lavoro faccia inferiore – Direzione D1 – Zone > 1 202

Figura 214. Piano mezzanino (-2) – Tasso di lavoro faccia superiore – Direzione D2 203

Figura 215. Piano mezzanino (-3) – Tasso di lavoro faccia superiore – Direzione D2 – Zone > 1 203

Figura 216. Piano mezzanino (-3) – Tasso di lavoro faccia inferiore – Direzione D2 204

Figura 217. Piano mezzanino (-3) – Tasso di lavoro faccia inferiore– Direzione D2 – Zone > 1204

Figura 218. Piano mezzanino (-3) – Resistenza a taglio Direzione X 206

Figura 219. Piano mezzanino (-3) – Resistenza a taglio Direzione Y 206

Figura 220. Piano mezzanino (-3) – Massima deformazione 207

Figura 221. Piano mezzanino (-3) – Apertura delle fessure - Ratio Direzione 1 209

Figura 222. Piano mezzanino (-3) – Apertura delle fessure - Ratio Direzione 1 – Zone > 1 209

Figura 223. Piano mezzanino (-3) – Apertura delle fessure - Ratio Direzione 2 210

Figura 224. Piano mezzanino (-3) – Apertura delle fessure - Ratio Direzione 2 – Zone > 1 210

Figura 225. Piano mezzanino (-3) – Tensioni calcestruzzo - Ratio Direzione 1 212

Figura 226. Piano mezzanino (-3) – Tensioni calcestruzzo - Ratio Direzione 2 213

Figura 227. Piano mezzanino (-3) – Tensioni calcestruzzo - Ratio Direzione 2 – Zone > 1 213

Figura 228. Piano mezzanino (-3) – Tensioni armatura - Ratio Direzione 1 214

Figura 229. Piano mezzanino (-3) – Tensioni armatura - Ratio Direzione 1 – Zone > 1 214

Figura 230. Piano mezzanino (-2) – Tensioni armatura - Ratio Direzione 2 215

Figura 231. Piano mezzanino (-3) – Tensioni armatura - Ratio Direzione 2 – Zone > 1 215

Figura 232. Piano banchina – Inviluppo momento flettente  $M_{xx}$  – Direzione X 217

Figura 233. Piano banchina – Inviluppo momento flettente  $M_{yy}$  – Direzione Y 217

Figura 234. Piano banchina – Inviluppo taglio  $V_{xx}$  – Direzione X 218

Figura 235. Piano banchina – Inviluppo taglio  $V_{yy}$  – Direzione Y 218

Figura 236. Piano banchina – Armatura superiore direzione D1 220

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

Figura 237. Piano banchina – Armatura inferiore direzione D1	220
Figura 238. Piano banchina – Armatura superiore direzione D2	221
Figura 239. Piano banchina – Armatura inferiore direzione D2	221
Figura 240. Piano banchina – Tasso di lavoro faccia superiore – Direzione D1	223
Figura 241. Piano banchina – Tasso di lavoro faccia superiore – Direzione D1 – Zone > 1	223
Figura 242. Piano banchina – Tasso di lavoro faccia inferiore – Direzione D1	224
Figura 243. Piano banchina – Tasso di lavoro faccia inferiore – Direzione D1 – Zone > 1	224
Figura 244. Piano banchina – Tasso di lavoro faccia superiore – Direzione D2	225
Figura 245. Piano banchina – Tasso di lavoro faccia superiore – Direzione D2 – Zone > 1	225
Figura 246. Piano banchina – Tasso di lavoro faccia inferiore – Direzione D2	226
Figura 247. Piano banchina – Resistenza a taglio Direzione X	228
Figura 248. Piano banchina – Resistenza a taglio Direzione Y	228
Figura 249. Piano banchina – Massima deformazione	229
Figura 250. Piano banchina – Apertura delle fessure - Ratio Direzione 1	231
Figura 251. Piano banchina – Apertura delle fessure - Ratio Direzione 1 – Zone > 1	231
Figura 252. Piano banchina – Apertura delle fessure - Ratio Direzione 2	232
Figura 253. Piano banchina – Apertura delle fessure - Ratio Direzione 2 – Zone > 1	232
Figura 254. Piano banchina – Tensioni calcestruzzo - Ratio Direzione 1	234
Figura 255. Piano banchina – Tensioni calcestruzzo - Ratio Direzione 1 – Zone > 1	234
Figura 256. Piano banchina – Tensioni calcestruzzo - Ratio Direzione 2	235
Figura 257. Piano banchina – Tensioni calcestruzzo - Ratio Direzione 2 – Zone > 1	235
Figura 258. Piano banchina – Tensioni armatura - Ratio Direzione 1	236
Figura 259. Piano banchina – Tensioni armatura - Ratio Direzione 1 – Zone > 1	236
Figura 260. Piano banchina – Tensioni armatura - Ratio Direzione 2	237
Figura 261. Piano banchina – Tensioni armatura - Ratio Direzione 2 – Zone > 1	237
Figura 262. Platea – Inviluppo momento flettente $M_{xx}$ – Direzione X	239
Figura 263. Platea – Inviluppo momento flettente $M_{yy}$ – Direzione Y	240
Figura 264. Platea – Inviluppo taglio $V_{xx}$ – Direzione X	241
Figura 265. Platea – Inviluppo taglio $V_{yy}$ – Direzione Y – Tempo infinito	241
Figura 267. Platea – Armatura superiore direzione D1	243
Figura 268. Platea – Armatura inferiore direzione D1	243
Figura 269. Platea – Armatura superiore direzione D2	244
Figura 270. Platea – Armatura inferiore direzione D2	244
Figura 271. Platea – Tasso di lavoro faccia superiore – Direzione D1	246
Figura 272. Platea – Tasso di lavoro faccia superiore – Direzione D1 – Zone > 1	246
Figura 273. Platea – Tasso di lavoro faccia inferiore – Direzione D1	247
Figura 274. Platea – Tasso di lavoro faccia inferiore – Direzione D1 – Zone > 1	247
Figura 275. Platea – Tasso di lavoro faccia superiore – Direzione D2	248
Figura 276. Platea – Tasso di lavoro faccia inferiore – Direzione D2	249
Figura 277. Platea – Tasso di lavoro faccia inferiore – Direzione D2 – Zone > 1	249
Figura 278. Platea – Resistenza a taglio Direzione X	251
Figura 279. Platea – Resistenza a taglio Direzione Y	251

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

Figura 280. Platea – Massima deformazione	252
Figura 281. Platea – Apertura delle fessure - Ratio Direzione 1	254
Figura 282. Platea – Apertura delle fessure - Ratio Direzione 1 – Zone > 1	254
Figura 283. Platea – Apertura delle fessure - Ratio Direzione 2	255
Figura 284. Platea – Apertura delle fessure - Ratio Direzione 2 – Zone > 1	255
Figura 285. Platea – Tensioni calcestruzzo - Ratio Direzione 1	257
Figura 286. Platea – Tensioni calcestruzzo - Ratio Direzione 2	257
Figura 287. Platea – Tensioni armatura - Ratio Direzione 1	258
Figura 288. Platea – Tensioni armatura - Ratio Direzione 1 – Zone > 1	258
Figura 289. Platea – Tensioni armatura - Ratio Direzione 2	259
Figura 290. Platea – Tensioni armatura - Ratio Direzione 2 – Zone > 1	259
Figura 291. Fodere – Schema statico – Tipologico	260
Figura 292. Fodere longitudinali – Involuppo momento flettente $M_y$ – Tipologico	262
Figura 293. Fodere longitudinali – Involuppo taglio $V_z$ – Tipologico	262
Figura 294. Fodere longitudinali – Tasso di lavoro $M_y$ – Tipologico	264
Figura 295. Fodere longitudinali – Tasso di lavoro $V_z$ – Tipologico	264
Figura 296. Fodere longitudinali – Tabella riassuntiva verifiche	265
Figura 297. Fodere longitudinali – Verifica fodera sp. 80cm	266
Figura 298. Pilastrì – Vista 3D	267
Figura 299. Pilastrì – Involuppo momento flettente $M_y$	268
Figura 300. Pilastrì – Involuppo momento flettente $M_z$	268
Figura 301. Pilastrì – Involuppo taglio $V_z$	269
Figura 302. Pilastrì – Involuppo taglio $V_y$	269
Figura 303. Pilastrì – Involuppo sforzo normale $N$	270
Figura 304. Pilastrì – Sezione di verifica	271
Figura 305. Pilastrì – Verifica sezione più sollecitata	272
Figura 306. Diaframmi interni provvisori – Vista 3D	274
Figura 307. Diaframmi – Momento flettente $M_{xx}$	275
Figura 308. Diaframmi – Taglio agente $V_{xx}$	275
Figura 309. Diaframmi – Sforzo normale $F_{xx}$	276
Figura 310. Diaframmi – Armatura verticale	277
Figura 311. Diaframmi – Armatura orizzontale	278
Figura 312. Diaframmi – Tasso di lavoro armatura verticale	279
Figura 313. Diaframmi – Tasso di lavoro armatura verticale – Zone > 1	279
Figura 314. Diaframmi – Tasso di lavoro armatura orizzontale	280
Figura 315. Diaframmi – Tasso di lavoro armatura orizzontale – Zone > 1	280
Figura 316. Scalone di accesso passeggeri - Sezione	282
Figura 317. Scalone di accesso passeggeri – Schema statico	283
Figura 318. Scalone di accesso passeggeri – Involuppo momento $M_y$ - SLU	284
Figura 319. Scalone di accesso passeggeri – Involuppo taglio $V_z$ - SLU	284
Figura 320. Scalone di accesso passeggeri – Involuppo sforzo normale $N$ - SLU	285
Figura 321. Scalone di accesso passeggeri – Tasso di lavoro flessione $M_y$ – SLU	286


 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

Figura 322. Scalone di accesso passeggeri – Tasso di lavoro taglio $V_z$ – SLU	287
Figura 323. Scalone di accesso passeggeri – Tabella riassuntiva verifiche – SLU	287
Figura 324. Scalone di accesso passeggeri – Tabella riassuntiva verifiche – SLE	288
Figura 325. Scalone di accesso passeggeri – Verifica soletta	289

## INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1. Classi di esposizione e copriferro impiegati	25
Tabella 2. Parametri di resistenza e deformabilità per le unità geotecniche di riferimento	33
Tabella 3. Modello geotecnico	34
Tabella 4. Parametri geotecnici caratteristici	35
Tabella 5. Parametri Jet Grouting caratteristici	35
Tabella 6. Sintesi dei parametri di pericolosità sismica di base	39
Tabella 7. Sintesi delle azioni sismiche di progetto	40
Tabella 8. Rispetto dei requisiti nei confronti degli SL	41
Tabella 9. Coefficienti parziali per le azioni	42
Tabella 10. Tipi di analisi	45
Tabella 11. Tipologia di elementi finiti disponibili	46
Tabella 12. Tipologia di materiali e sezioni disponibili	47
Tabella 13. Tipologia di vincoli disponibili	48
Tabella 14. Tipologia di condizioni di carico disponibili	49
Tabella 15. Rigidezze Diaframmi/Fodere	51
Tabella 16. Spinta orizzontale terreno	51
Tabella 17. Spinta orizzontale sovraccarico stradale	52
Tabella 18. Sovrappinta sismica orizzontale terreno	56
Tabella 19. Deformazione da ritiro per essiccamento	57
Tabella 20. Casi di carico CDC	59
Tabella 21. Coefficienti combinazioni di carico CMB	61
Tabella 22. Tipologia combinazioni	62
Tabella 23. Caratteristiche modello FEM	65
Tabella 24. Caratteristiche sezioni modello FEM	72
Tabella 25. Armatura minima	106
Tabella 26. Verifica taglio – Solettone di copertura	119
Tabella 27. Controllo armatura minima e passo minimo staffe - Travi	137
Tabella 28. Verifica taglio – TR200x160	142
Tabella 29. Verifica taglio – TR180x160	146
Tabella 30. Armatura minima	152
Tabella 31. Verifica taglio – Piano atrio (-1)	160
Tabella 32. Armatura minima	176
Tabella 33. Verifica taglio – Piano mezzanino (-2)	184
Tabella 34. Armatura minima	197

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

Tabella 35. Verifica taglio – Piano mezzanino (-3)	205
Tabella 36. Armatura minima	219
Tabella 37. Verifica taglio – Piano banchina	227
Tabella 38. Armatura minima	242
Tabella 39. Verifica a taglio – Platea di fondazione	250
Tabella 40. Armatura minima	263
Tabella 41. Verifica a taglio – Platea di fondazione	273
Tabella 42. Armatura minima	286
Tabella 43. Resistenza al fuoco – Solette piene/solai	291
Tabella 44. Resistenza al fuoco – Travi	292
Tabella 45. Resistenza al fuoco – Pilastri	293
Tabella 46. Resistenza al fuoco – Pareti/Setti	294
Tabella 47. Copriferrì a freddo	294
Tabella 48. Confronto reazioni vincolari	296

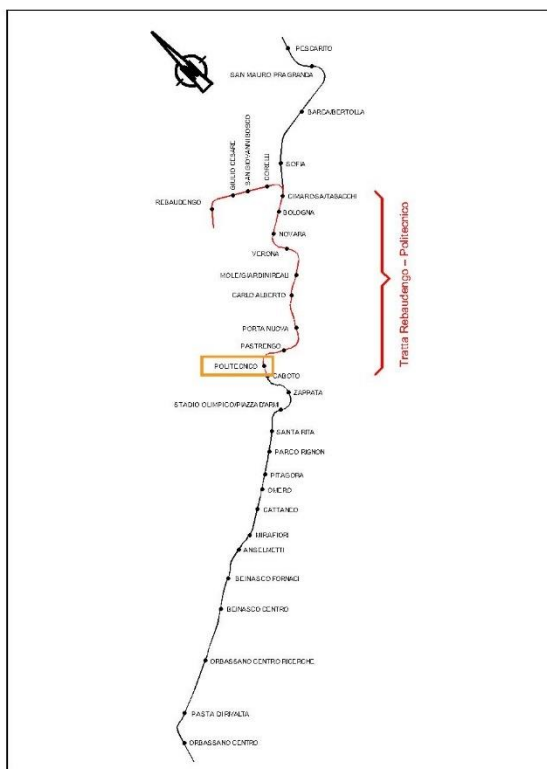




# 1. PREMESSA

La presente relazione tecnica ha per oggetto la Progettazione Definitiva delle strutture della stazione Politecnico alla PK 6+200 circa, della linea 2 della Metropolitana di Torino. Saranno trattate le analisi strutturali e le relative verifiche di sicurezza delle strutture interrato della stazione.

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 linea 2 della Metropolitana di Torino**

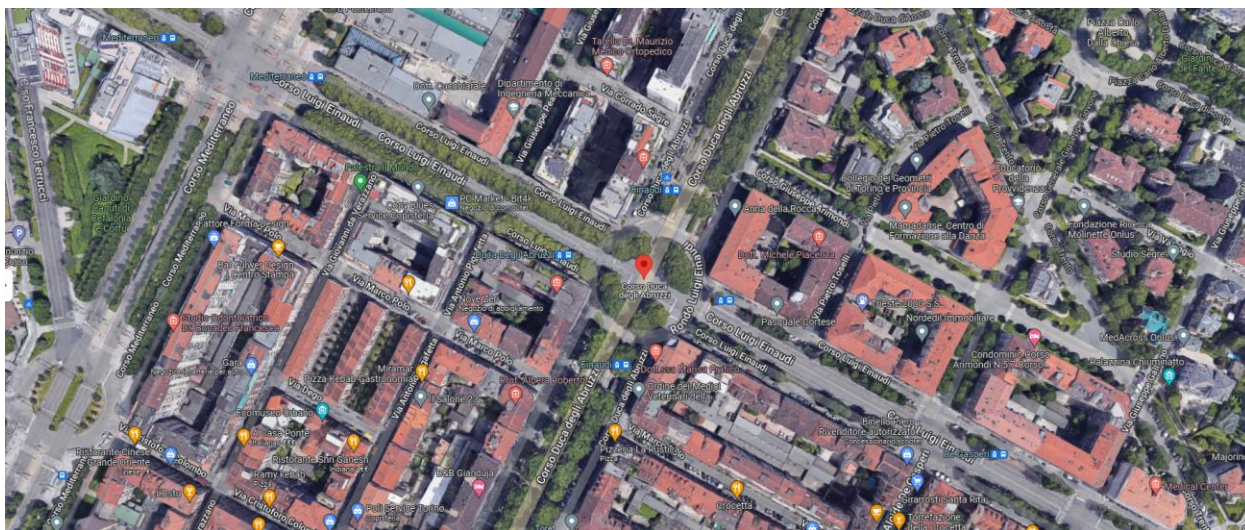


Figura 2. Stazione "Politecnico" – estratto Google Maps

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.

## 2. DOCUMENTI E 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] UNI 9503-2007: "Procedimento analitico per valutare la resistenza al fuoco degli elementi costruttivi in acciaio".

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

- [6] D.M. 16/02/2007 – Classificazione di resistenza al fuoco di prodotti ed elementi costruttivi di opere da costruzione.
- [7] UNI EN 206:2016, "Calcestruzzo – Parte 1: specificazione, prestazione, produzione e conformità".
- [8] UNI 11104-2016, "Calcestruzzo: specificazione, prestazione, produzione e conformità – Specificazioni complementari per l'applicazione della EN 206".
- [9] UNI EN 1090-1:2012 – "Esecuzione di strutture di acciaio e di alluminio - Parte 1: Requisiti per la valutazione di conformità dei componenti strutturali".
- [10] 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>).
- [11] Azioni sismiche - Spettri di risposta ver.1.03 (Software sperimentale disponibile dal sito del CSLLPP, <http://cslp.mit.gov.it>).
- [12] Legge 2 febbraio 1974, n. 64: "Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche"
- [13] D.G.R. 30 Dicembre 2019, n. 6-887: "Preso d'atto e approvazione dell'aggiornamento della classificazione sismica del territorio della Regione Piemonte"
- [14] D.G.R. 26 Novembre 2021, n. 10-4161: "Approvazione delle nuove procedure di semplificazione attuative di gestione e controllo delle attività urbanistico-edilizie ai fini della prevenzione del rischio sismico".

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

- [15] Eurocode 0 - Criteri generali di progettazione strutturale
- [16] UNI EN 1990:2006 Criteri generali di progettazione strutturale
- [17] Eurocodice 1 – Azioni sulle strutture
- [18] UNI EN 1991-1-1:2004 Parte 1-1: Azioni in generale - Pesì per unità di volume, pesì propri e sovraccarichi per gli edifici
- [19] UNI EN 1991-1-2:2004 Parte 1-2: Azioni in generale - Azioni sulle strutture esposte al fuoco
- [20] UNI EN 1991-1-3:2015 Parte 1-3: Azioni in generale - Carichi da neve
- [21] UNI EN 1991-1-4:2010 Parte 1-4: Azioni in generale - Azioni del vento
- [22] UNI EN 1991-1-5:2004 Parte 1-5: Azioni in generale - Azioni termiche
- [23] UNI EN 1991-1-6:2005 Parte 1-6: Azioni in generale - Azioni durante la costruzione
- [24] UNI EN 1991-1-7:2014 Parte 1-7: Azioni in generale - Azioni eccezionali
- [25] UNI EN 1991-2:2005 Parte 2: Carichi da traffico sui ponti
- [26] UNI EN 1991-3:2006 Parte 3: Azioni indotte da gru e da macchinari
- [27] UNI EN 1991-4:2006 Parte 4: Azioni su silos e serbatoi
- [28] Eurocodice 2 – Progettazione delle strutture in calcestruzzo
- [29] UNI EN 1992-1-1:2015 Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

- [30] UNI EN 1992-1-2:2005 Parte 1-2: Regole generali - Progettazione strutturale contro l'incendio
- [31] UNI EN 1992-2:2006 Parte 2: Ponti di calcestruzzo - Progettazione e dettagli costruttivi
- [32] UNI EN 1992-3:2006 Parte 3: Strutture di contenimento liquidi
- [33] Eurocodice 3 – Progettazione delle strutture in acciaio
- [34] UNI EN 1993-1-1:2014 Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici
- [35] UNI EN 1993-1-2:2005 Parte 1-2: Regole generali - Progettazione strutturale contro l'incendio
- [36] 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
- [37] UNI EN 1993-1-4:2015 Parte 1-4: Regole generali - Regole supplementari per acciai inossidabili
- [38] UNI EN 1993-1-5:2017 Parte 1-5: Elementi strutturali a lastra
- [39] UNI EN 1993-1-6:2017 Parte 1-6: Resistenza e stabilità delle strutture a guscio
- [40] UNI EN 1993-1-7:2007 Parte 1-7: Strutture a lastra ortotropa caricate al di fuori del piano
- [41] UNI EN 1993-1-8:2005 Parte 1-8: Progettazione dei collegamenti
- [42] UNI EN 1993-1-9:2005 Parte 1-9: Fatica
- [43] UNI EN 1993-1-10:2005 Parte 1-10: Resilienza del materiale e proprietà attraverso lo spessore
- [44] UNI EN 1993-1-11:2007 Parte 1-11: Progettazione di strutture con elementi tesi
- [45] UNI EN 1993-1-12:2007 Parte 1-12: Regole aggiuntive per l'estensione della EN 1993 fino agli acciai di grado S 700
- [46] UNI EN 1993-2:2007 Parte 2: Ponti di acciaio
- [47] UNI EN 1993-3-1:2007 Parte 3-1: Torri, pali e ciminiere - Torri e pali
- [48] UNI EN 1993-3-2:2007 Parte 3-2: Torri, pali e ciminiere - Ciminiere
- [49] UNI EN 1993-4-1:2017 Parte 4-1: Silos
- [50] UNI EN 1993-4-2:2007 Parte 4-2: Serbatoi
- [51] UNI EN 1993-4-3:2007 Parte 4-3: Condotte
- [52] UNI EN 1993-5:2007 Parte 5: Pali e palancole
- [53] UNI EN 1993-6:2007 Parte 6: Strutture per apparecchi di sollevamento
- [54] Eurocodice 4 – Progettazione delle strutture composte acciaio-calcestruzzo
- [55] UNI EN 1994-1-1:2005 Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici
- [56] UNI EN 1994-1-2:2005 Parte 1-2: Regole generali - Progettazione strutturale contro l'incendio
- [57] UNI EN 1994-2:2006 Parte 2: Regole generali e regole per i ponti
- [58] Eurocodice 5 – Progettazione delle strutture in legno
- [59] UNI EN 1995-1-1:2014 Parte 1-1: Regole generali - Regole comuni e regole per gli edifici
- [60] UNI EN 1995-1-2:2005 Parte 1-2: Regole generali - Progettazione strutturale contro l'incendio
- [61] UNI EN 1995-2:2005 Parte 2: Ponti


 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

- [62] Eurocodice 6 – Progettazione delle strutture in muratura
- [63] UNI EN 1996-1-1:2013 Parte 1-1: Regole generali per strutture di muratura armata e non armata
- [64] UNI EN 1996-1-2:2005 Parte 1-2: Regole generali - Progettazione strutturale contro l'incendio
- [65] UNI EN 1996-2:2006 Parte 2: Considerazioni progettuali, selezione dei materiali ed esecuzione delle murature
- [66] UNI EN 1996-3:2006 Parte 3: Metodi di calcolo semplificato per strutture di muratura non armata
- [67] Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica
- [68] UNI EN 1997-1:2013 Parte 1: Regole generali
- [69] UNI EN 1997-2:2007 Parte 2: Indagini e prove nel sottosuolo
- [70] Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica
- [71] UNI EN 1998-1:2013 Parte 1: Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici
- [72] UNI EN 1998-2:2011 Parte 2: Ponti
- [73] UNI EN 1998-3:2005 Parte 3: Valutazione e adeguamento degli edifici
- [74] UNI EN 1998-4:2006 Parte 4: Silos, serbatoi e condotte
- [75] UNI EN 1998-5:2005 Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici
- [76] UNI EN 1998-6:2005 Parte 6: Torri, pali e camini

## 2.2 Programmi di calcolo

Per l'analisi delle strutture in c.a. e acciaio e le relative verifiche è stato utilizzato il seguente software:

Informazioni sul codice di calcolo	
Titolo:	Midas GEN
Versione:	Gen 2022 (v1.1)
Produttore-Distributore:	MIDAS Information Technology Co.,Ltd - South Korea
Codice Licenza:	Licenza CFENGEN0002443

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.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 Strutture interne: C30/37

Classe di esposizione strutture interne:	XC3
Classe di esposizione sovrastruttura:	XC1
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	$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = f_{yk} / 1.15 = 391.3 \text{ MPa}$

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

Allungamento caratteristico  $\geq 7.5\%$

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 26 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  $c_{min} = 56 \text{ mm}$ . 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</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.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 3. 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 3 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.

### 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.



 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

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

Tipologia	Esposizione	Ambiente	Classe calcestruzzo	$c_{min}$ [mm]	$c_{utilizzato}$ [mm]
Diaframmi	XC2	Ordinario	C25/30	$25+10^*+10^{**}=45$	75
Solettone di copertura	XC3	Ordinario	C30/37	$20+10^*+10^{**}=40$	50
Fodere	XC3	Ordinario	C30/37	$20+10^*+10^{**}=40$	50
Orizzontamenti	XC3	Ordinario	C30/37	$20+10^*+10^{**}=40$	40
Pilastrini/Setti	XC3	Ordinario	C30/37	$25+10^*+10^{**}=45$	45
Platea di fondazione	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

			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	
$c_{min}$	$c_o$	ambiente	$C \geq C_o$	$C_{min} < C < C_o$	$C \geq C_o$	$C_{min} < C < C_o$	$C \geq C_o$	$C_{min} < C < C_o$	$C \geq C_o$	$C_{min} < C < C_o$
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 delle classi di esposizione XC3 e XC1 considerate si assume un copriferro minimo pari a:

- 20 mm per gli elementi orizzontali;
- 25 mm per gli elementi verticali;

a tale valore va aggiunta la tolleranza di posa pari a 10 mm e, dato che la struttura ha vita nominale di 100 anni, si aggiungono ulteriormente altri 10 mm. Pertanto, il  $c_{min}$  risulta essere rispettivamente pari a:

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

$$c_{min} = 25 + 10 + 10 = 45 \text{ mm}$$

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

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 il solettone di copertura e la platea di fondazione;
- 50 mm per le fodere di rivestimento diaframmi;
- 40 mm per i solai interni della stazione e la copertura della sovrastruttura zona locali tecnici;
- 45 mm per le strutture verticali.

### 3.6 Acciaio per carpenteria: S355J0 – (Strutture provvisionali)

Per spessori  $t \leq 40 \text{ mm}$

Tensione di rottura caratteristica  $f_{tk} \geq 510 \text{ MPa}$

Tensione di snervamento caratteristica  $f_{yk} \geq 355 \text{ MPa}$

Per spessori  $40 \text{ mm} < t \leq 80 \text{ mm}$

Tensione di rottura caratteristica  $f_{tk} \geq 470 \text{ MPa}$

Tensione di snervamento caratteristica  $f_{yk} \geq 335 \text{ MPa}$

Coefficienti di sicurezza

Resistenza delle sezioni di Classe 1-2-3-4  $\gamma_{M0} = 1.05$

Resistenza all'instabilità delle membrature  $\gamma_{M1} = 1.05$

Resistenza nei riguardi della frattura  $\gamma_{M2} = 1.25$

Modulo elastico  $E_s = 210000 \text{ MPa}$

### 3.7 Barre in vetroresina

Resina tipo vinilestere

Densità  $\rho = 1.9 \text{ g/cm}^3$

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

Contenuto in vetro	$\Delta_g = 70\%$
Resistenza a trazione caratteristica:	$f_{tk} > 850 \text{ MPa}$
Modulo elastico a trazione	$E = 40 \text{ GPa}$

## 4. DESCRIZIONE DELLE OPERE

La stazione è un manufatto a quattro livelli interrati con dimensioni in pianta di circa 74.0x30.0m e fondo scavo posto alla profondità di circa -32.00m rispetto al piano campagna; al suo interno sono presenti:

- platea di fondazione a spessore variabile 1.30/1.80m con estradosso a -28.25m rispetto al piano campagna, sagomata per ospitare i cunicoli impiantistici presenti sotto la via di corsa;
- soletta di banchina di spessore pari a 0.30m con estradosso a -25.15m rispetto al piano campagna;
- diaframmi laterali di spessore 1.20m continui lungo tutto il perimetro della stazione;
- diaframmi centrali temporanei di spessore 1.20m discontinui;
- solettoni intermedi di spessore pari a 1.00m con estradosso rispettivamente a:
  - o Piano Mezzanino (-3): -19.35m
  - o Piano Mezzanino (-2): -13.50m
  - o Piano Atrio (-1): -7.65m
- solettone di copertura nervato di spessore pari a 0.80m con estradosso a -1.80m rispetto al piano campagna;
- setti interni centrali di spessore variabile 1.00/0.80m discontinui;
- pilastri circolari D1000mm presenti al piano atrio zona viaggiatori;
- fodere verticali di rivestimento dei diaframmi laterali di spessore variabile 1.00/0.80/0.60m.

In corrispondenza del piano atrio è presente la porzione di ingresso alla stazione, manufatto ad un livello interrato concepita come struttura indipendente dal corpo stazione, nel quale sono presenti:

- platea di fondazione di spessore 1.0m con estradosso a -7.65m rispetto al piano campagna;
- solettone di copertura di spessore pari a 0.80/0.50m con estradosso a -1.80/-2.70m rispetto al piano campagna;
- diaframmi laterali di spessore 0.80m lungo il perimetro;
- pilastri circolari D1000mm;
- fodere verticali di rivestimento dei diaframmi di spessore variabile 0.60m.

Le scale di accesso sono realizzate con cortina di micropali temporanea rivestita da un contromuro in c.a. dello spessore di 0.60m.



Lungo il perimetro del corpo stazione sono presenti le appendici di aerazione e calaggio materiali.

Per l'analisi dei diaframmi laterali si faccia riferimento al documento MTL2T1A1DSTRSGCR001 "Relazione di calcolo opere di sostegno stazione".

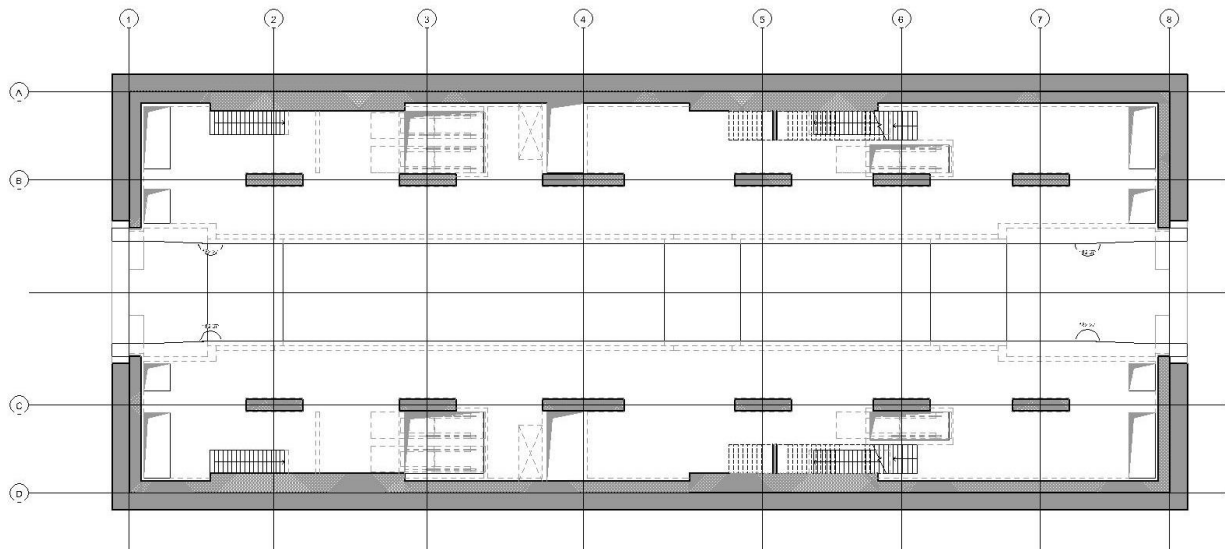


Figura 4. Planimetria piano Banchina

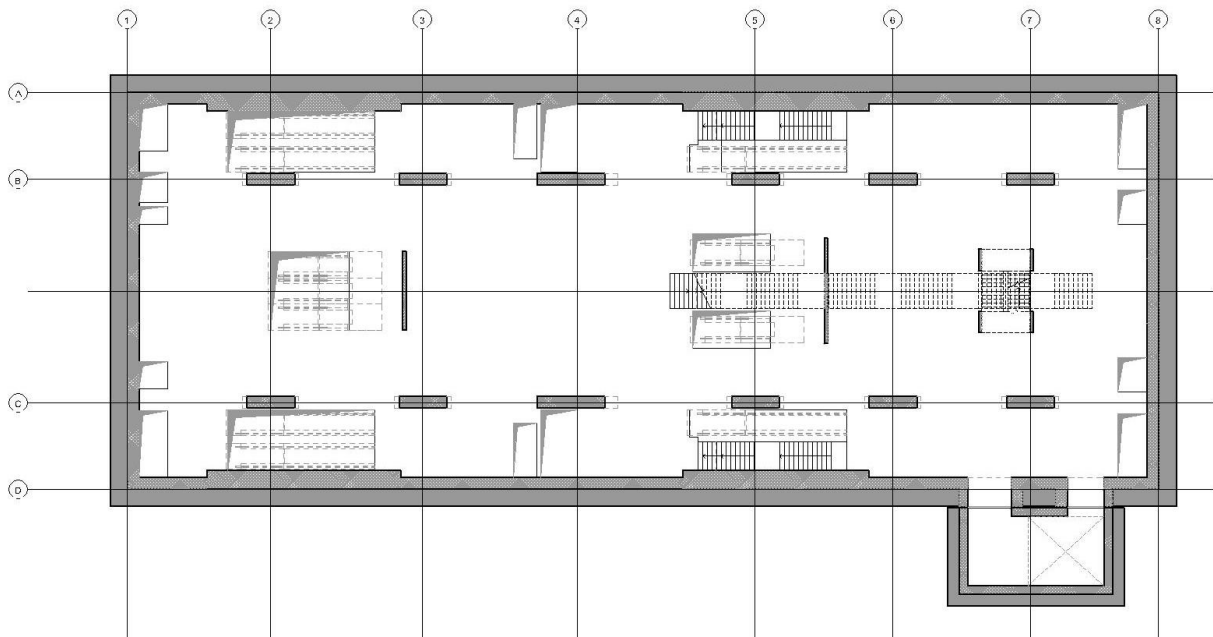


Figura 5. Planimetria piano Mezzanino (-3)

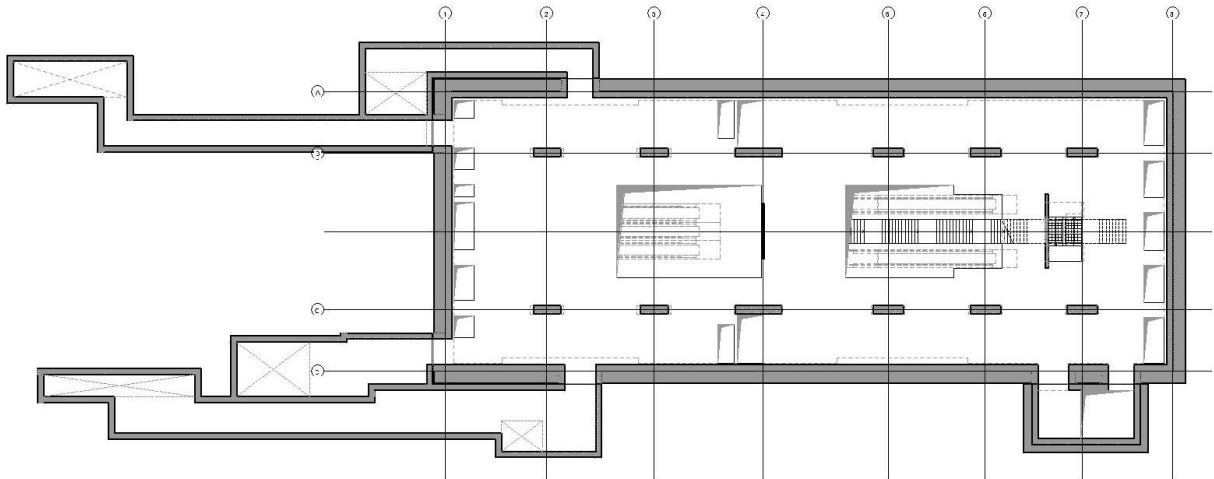


Figura 6. Planimetria piano Mezzanino (-2)

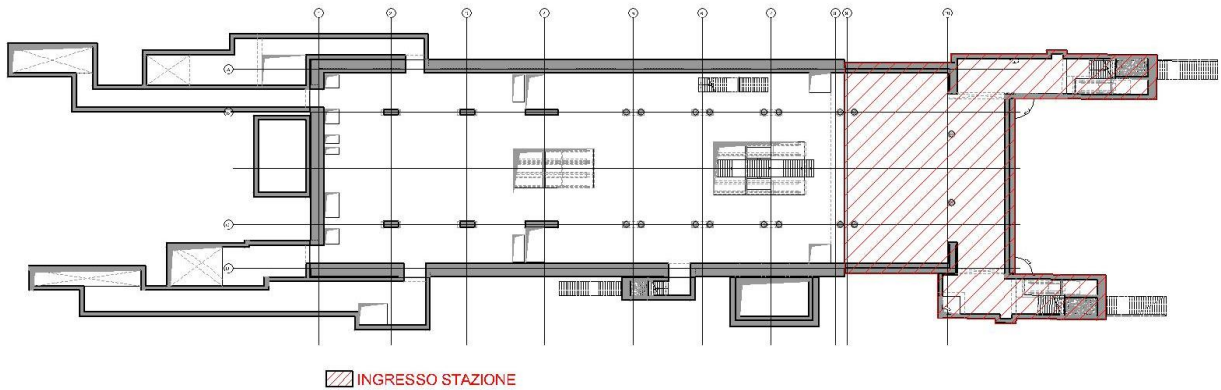


Figura 7. Planimetria piano Atrio

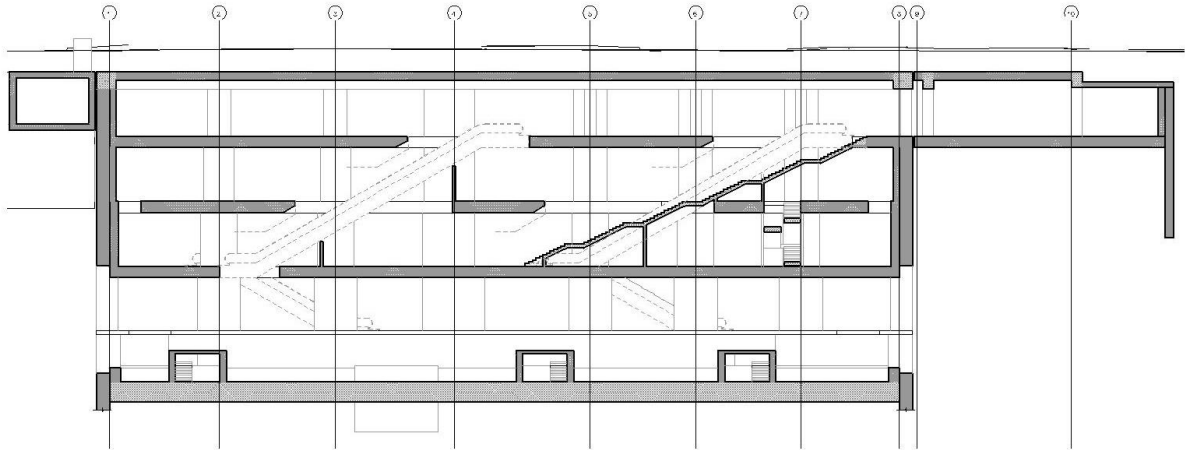


Figura 8. Sezione longitudinale

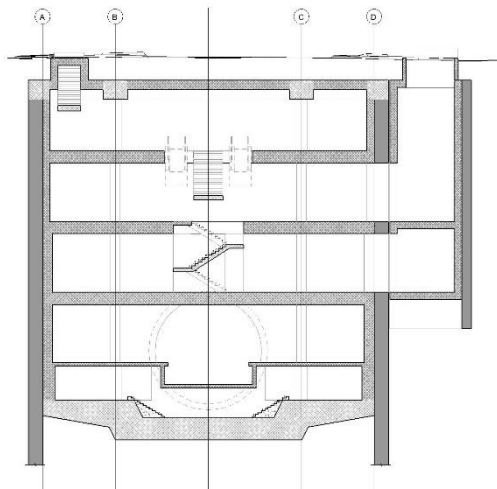


Figura 9. Sezione trasversale

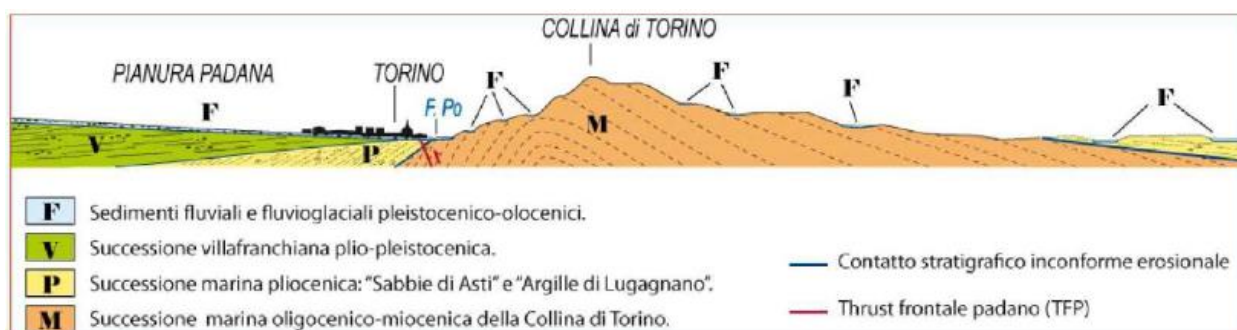
## 5. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

### 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

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

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 rinvenivano 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 10. 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 rinvenivano 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 fluvioglaciale 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 fluvioglaciali possono presentare caratteristiche 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;

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

- 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-limosa) 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 ad 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.

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

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**

Unità	$\gamma_{nat}$	$\phi'$	$c'$	$C_u$	$E$	$\nu$
	[kN/m <sup>3</sup> ]	[°]	[kPa]	[kPa]	[MPa]	[-]
U1	17-19	30-37	0	-	10-25	0.2-0.3
U2	18-21	32-40	0-20	-	140-170	0.3-0.4
U3	19-22	35-37	20-50	-	170-200	0.3-0.4
U4	19-22	36-42	50-140	-	200-260	0.3-0.4
U5	19-21	20-30	22-45	100-150	30-100	0.3-0.35
U6	18-20	26-36	10-35	70-310	60-120	0.3-0.35
U7	18-20	27-31	15-30	100-200	100-200	0.3-0.35

*\*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).*

dove:

$\gamma_{nat}$ : peso di volume unitario

$\phi'$ : angolo di attrito

$c'$ : coesione apparente

$C_u$ : coesione non drenata

$E$ : modulo di Young del terreno

$\nu$ : coefficiente di Poisson del terreno

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



### 5.2 Parametri geotecnici di riferimento

Nella seguente immagine si riporta la sezione geotecnica di riferimento per la stazione Politecnico:

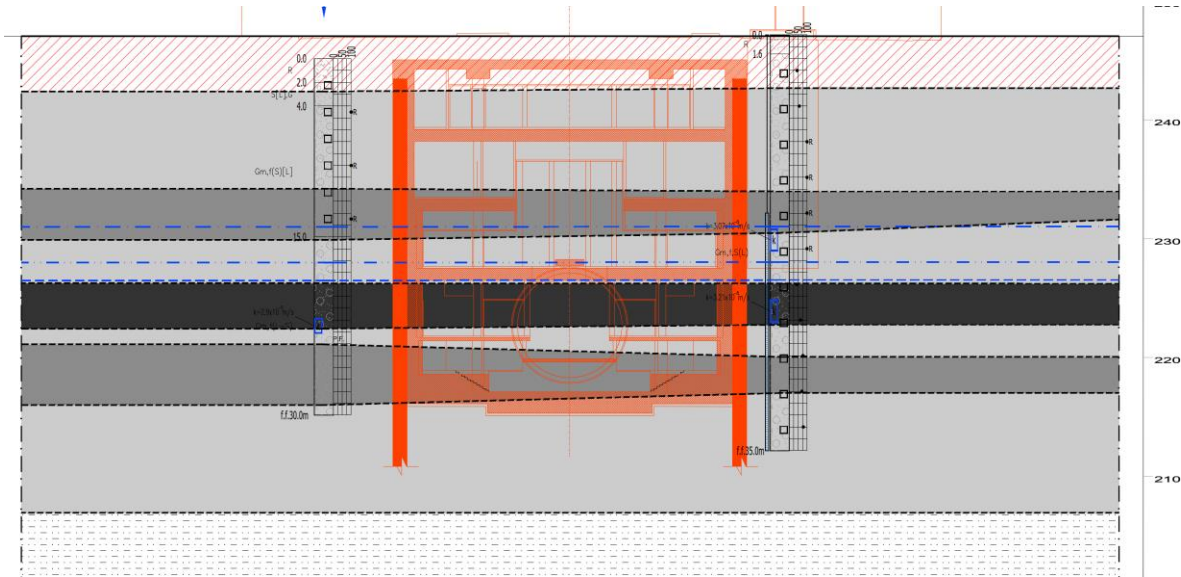


Figura 11. Sezione geotecnica – Estratto elaborato MTL2T1A0DGEOSPOT 001

Nella Tabella 2 è riportato il modello geotecnico di riferimento utilizzato per il dimensionamento della paratia di micropali. In Tabella 3 e Tabella 4 sono riportati i parametri geotecnici utilizzati nelle analisi. Per maggiori dettagli sulla caratterizzazione geotecnica si rimanda agli elaborati progettuali di riferimento.

Nelle seguenti tabelle vengono riportati la stratigrafia adottata e i parametri geotecnici adottati nella presente modellazione.

Tabella 3. Modello geotecnico

Unità geotecnica	Quota superiore da p.c. [m]	Quota inferiore da p.c. [m]
U1 - Terreno superficiale	0.0	-4.5
U2 – Ghiaia e sabbia da sciolta a debolmente cementata	-4.5	-40.0
U6 – Limo sabbioso debolmente argilloso	-40.0	-

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

**Tabella 4. Parametri geotecnici caratteristici**

<b>Unità geotecnica</b>	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\phi$ [°]	$c'$ [kPa]	$c_u$ [kPa]	<b>E</b> [MPa]	<b>v</b> [-]
U1	19	29	0	-	15	0.3
U2	19	36	10		150	0.3
U6	19	31	20	-	90	0.35

Nell'ambito della caratterizzazione geotecnica, gli strati riconducibili alle unità 3 e 4 sono stati debitamente esaminati (si veda la Relazione Geotecnica par.7.8.3 cod. MTL2T1A0DGEOPENR002) e raggruppati nella formazione AFR-INS come indicato al capitolo 7.3 della Relazione Geotecnica, cautelativamente si riconduce quindi alle caratteristiche geomeccaniche fornite per l'Unità 2.

I parametri utilizzati per la modellazione delle colonne di Jet grouting costituenti il tampone di fondo sono riassunti nella seguente tabella:

**Tabella 5. Parametri Jet Grouting caratteristici**

<b>Unità geotecnica</b>	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\phi$ [°]	$c'$ [kPa]	$c_u$ [kPa]	<b>E</b> [MPa]	<b>v</b> [-]
Jet Grouting	22	36	150	-	450	0.3

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

<b>Falda</b>	<b>m s.l.m.m.</b>
Falda da letture piezometriche	226.50
Falda per analisi breve termine	228
Falda per analisi lungo termine	231

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.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  $a_g$ ,  $F_o$ ,  $T^*_c$  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;
- $F_o$ , 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</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.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</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.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: 45.060267°**
- **Longitudine: 7.661127°**

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

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

**Tabella 6. Sintesi dei parametri di pericolosità sismica di base**

Parametri stati limite	u.m.	SLO	SLD	SLV
Probabilità di superamento ( <b>P<sub>VR</sub></b> )	%	81	63	10
Tempo di ritorno ( <b>T<sub>R</sub></b> )	anni	90	151	1424
Accelerazione orizzontale massima su suolo rigido ( <b>a<sub>g</sub></b> )	g	0.035	0.040	0.070
Fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale ( <b>F<sub>0</sub></b> )	-	2.647	2.677	2.851
Tempo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale ( <b>T*c</b> )	s	0.232	0.233	0.289

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:

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

**Tabella 7. Sintesi delle azioni sismiche di progetto**

Stato Limite	Coefficienti sismici	Depositati di paleofrana
SLO	Ss	1.200
	Cc	1.494
	St	1.000
	$a_{max} (g)$	0.042
SLD	Ss	1.200
	Cc	1.473
	St	1.000
	$a_{max} (g)$	0.048
SLV	Ss	1.200
	Cc	1.410
	St	1.000
	$a_{max} (g)$	0.084

## 7. CRITERI DI CALCOLO DELLE OPERE


In ottemperanza con la normativa vigente, i calcoli sono condotti con il metodo semi-probabilistico agli stati limite, seguendo le prescrizioni riportate nel cap. 7 in quanto il sito di costruzione ricade in zona sismica 3.

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.



 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

**Tabella 8. Rispetto dei requisiti nei confronti degli SL**

Tab. 7.3.III – Stati limite di elementi strutturali primari, elementi non strutturali e impianti

STATI LIMITE		CU I	CU II			CU III e IV		
		ST	ST	NS	IM	ST	NS	IM <sup>(*)</sup>
SLE	SLO					RIG		FUN
	SLD	RIG	RIG			RES		
SLU	SLV	RES	RES	STA	STA	RES	STA	STA
	SLC		DUT <sup>(*)</sup>			DUT <sup>(*)</sup>		

## 7.1 Cenni Normativi

I criteri per la verifica e il dimensionamento di seguito esposti si applicano a tutte le opere strutturali.

In accordo con quanto prescritto dalla Normativa vigente, per ogni Stato Limite Ultimo (SLU) deve essere rispettata la seguente condizione:

$$E_d < R_d$$

in cui  $E_d$  rappresenta il valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione, mentre  $R_d$  è il valore di progetto della resistenza. Per quanto concerne le azioni di progetto  $E_d$ , queste possono essere determinate applicando i coefficienti parziali sulle azioni caratteristiche, oppure, successivamente, sulle sollecitazioni prodotte dalle azioni caratteristiche.

Le azioni sulla costruzione possono essere suddivise in:

- Carichi permanenti G1: peso proprio degli elementi strutturali;
- Carichi permanenti G2: peso proprio degli elementi NON strutturali;
- Carichi variabili Q: sovraccarichi, azioni ambientali e azioni termiche
- Sismiche E: terremoti
- Azioni eccezionali A: incendi, esplosioni, urti e impatti.

Nelle verifiche possono essere adottati in alternativa, due diversi approcci progettuali:

- per l'approccio 1 si considerano due diverse combinazioni di gruppi di coefficienti di sicurezza parziali per le azioni, per i materiali e per la resistenza globale (combinazione 1 con coefficienti A1 e combinazione 2 con coefficienti A2),
- per l'approccio 2 si definisce un'unica combinazione per le azioni, per la resistenza dei materiali e per la resistenza globale (con coefficienti A1).

I valori dei coefficienti parziali da assumersi per la determinazione degli effetti delle azioni nelle verifiche agli Stati Limite Ultimi sono riportati nella seguente tabella (Tab. 2.6.I delle NTC 2018):

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

**Tabella 9. Coefficienti parziali per le azioni**

		Coefficiente	EQU	A1	A2
		$\gamma_F$			
Carichi permanenti $G_1$	Favorevoli	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali $G_2^{(1)}$	Favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevoli	$\gamma_Q$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

<sup>(1)</sup> Nel caso in cui l'intensità dei carichi permanenti non strutturali o di una parte di essi (ad es. carichi permanenti portati) sia ben definita in fase di progetto, per detti carichi o per la parte di essi nota si potranno adottare gli stessi coefficienti parziali validi per le azioni permanenti.

Per il calcolo e la verifica si devono considerare i seguenti stati limite ultimi:

- SLU/SLV di tipo strutturale (STR)

accertando che le resistenze superino le azioni agenti nei diversi elementi strutturali e per ciascuno stato limite considerato.

La verifica strutturale è effettuata secondo l'approccio 2, con la Combinazione 1 (coefficienti A1) secondo la tabella sopra riportata.

Per le condizioni di esercizio, bisogna analizzare gli Stati Limite di Esercizio (SLE) per verificarne la presenza di:

- eventuali danneggiamenti locali che possano ridurre la durabilità della struttura (es. eccessiva fessurazione nel calcestruzzo);
- spostamenti/deformazioni eccessivi che possano limitare l'uso della costruzione, la sua efficienza e il suo aspetto.

## 7.2 Criteri di analisi della sicurezza

La verifica della sicurezza degli elementi strutturali avviene con i metodi della scienza delle costruzioni. L'analisi strutturale è condotta con il metodo degli spostamenti per la valutazione dello stato tensodeformativo indotto da carichi statici, applicando il metodo dell'analisi modale e dello spettro di risposta in termini di accelerazione per la valutazione dello stato tensodeformativo indotto da carichi dinamici (tra cui quelli di tipo sismico).

L'analisi viene effettuata con il metodo degli elementi finiti. Il metodo sopraindicato si basa sulla schematizzazione della struttura in elementi connessi solo in corrispondenza di un numero prefissato di punti denominati nodi. I nodi sono definiti dalle tre coordinate cartesiane in un sistema di riferimento globale. Le incognite del problema (nell'ambito del metodo degli spostamenti) sono le componenti di spostamento dei nodi riferite al sistema di riferimento globale

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

(traslazioni secondo X, Y, Z, rotazioni attorno X, Y, Z). La soluzione del problema si ottiene con un sistema di equazioni algebriche lineari i cui termini noti sono costituiti dai carichi agenti sulla struttura opportunamente concentrati ai nodi:

$$\mathbf{K} * \mathbf{u} = \mathbf{F} \quad \text{dove} \quad \mathbf{K} = \text{matrice di rigidezza}$$

$\mathbf{u}$  = vettore spostamenti nodali  
 $\mathbf{F}$  = vettore forze nodali

Dagli spostamenti ottenuti con la risoluzione del sistema vengono quindi dedotte le sollecitazioni e/o le tensioni di ogni elemento, riferite generalmente ad una terna locale all'elemento stesso.

Il sistema di riferimento utilizzato è costituito da una terna cartesiana destrorsa XYZ. Si assume l'asse Z verticale ed orientato verso l'alto.

Gli elementi utilizzati per la modellazione dello schema statico della struttura sono i seguenti:

- Elemento tipo **TRUSS**
- Elemento tipo **BEAM**
- Elemento tipo **PLATE**
- Elemento tipo **BOUNDARY**
- Elemento tipo **STIFFNESS**

Tipo di analisi strutturali effettuate:

- Struttura interrata:                      Analisi NON Lineare Statica.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

### 7.3 Origine del codice di calcolo e sua validazione

L'analisi è stata sviluppata con il software Midas GEN 2022 v.1.1.

---



MIDAS IT Co., Ltd.  
 MIDAS IT Tower - Pangyo Seven Venture Valley,  
 633 Sampyeong-dong, Bundang-gu, Seongnam-si, Gyeonggi-do, 463-400,  
 KOREA

MIDAS IT Co., Ltd.

Modeling, Integrated Design & Analysis Software  
 Phone: +82-31-789-2000  
 E-mail: [info@midasit.com](mailto:info@midasit.com)  
<http://www.MidasUser.com>

---

I programmi per famiglie MIDAS producono risultati di analisi accurati basati su teorie e tecniche numeriche aggiornate pubblicate su riviste riconosciute. Il programma è stato verificato da migliaia di esempi e analisi comparative con altri S/W durante lo sviluppo.

Dallo sviluppo iniziale nel 1989, i programmi familiari MIDAS sono stati applicati in modo accurato ed efficace a oltre 5000 progetti nazionali e all'estero.

Un rigoroso processo di verifica del Computational Structural Engineering Institute of Korea ha esaminato i programmi della famiglia MIDAS

Midas Gen è stato sviluppato in Visual C++, un linguaggio di programmazione ad oggetti, in ambiente Windows. Il programma è straordinariamente veloce e può essere facilmente padroneggiato per applicazioni pratiche. Utilizzando la GUI (Graphic User Interface) le funzioni di visualizzazione grafica e, è possibile verificare un modello strutturale in ogni fase della realizzazione, con i risultati visualizzabili nella maniera più libera.

Di seguito si riportano i campi di impiego.



Tabella 10. Tipi di analisi

Simultaneously used analysis types	Gen /Civil	Linear Static	Eigenvalue	Response Spectrum	Time History		P-Delta	Buckling	Moving Load	Settlement
					Linear	Nonlinear				
Linear Static	✓/✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Eigenvalue	✓/✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Response Spectrum	✓/✓	✓	✓	✓			✓		✓	✓
Time History (Linear)	✓/✓	✓	✓		✓	✓	✓		✓	✓
Time History (Nonlinear)	✓/✓	✓	✓		✓	✓	✓		✓	✓
P-Delta	✓/✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓
Buckling	✓/✓	✓					✓			
Moving Load	✓/✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓
Settlement	✓/✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓
Pushover	✓/✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓ 1)		✓	✓
Geometric Nonlinear	✓/✓	✓								
Geometric Nonlinear (Init. Force for G.S.)	✓/✓	✓								
Material Nonlinear	✓/✓	✓								
Construction Stage (Linear)	✓/✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓ 2)	✓ 3)	✓	✓
Construction Stage (Nonlinear)	✓/✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓ 3)	✓	✓
Heat of Hydration	✓/✓									
PSC	/✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Composite	/✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓	✓
Boundary Change Load Case	✓/✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓
Simultaneously used analysis types	Pushover	Nonlinear			Construction Stage		Heat of Hydration	PSC <sup>a)</sup> (Tendon, Static)	Composite <sup>7)</sup> (Static)	Boundary Change Load Case
		Geometric	Geometric (Init. Force for G.S)	Material	Linear	Nonlinear (Indep.Accum.)				
Linear Static	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓
Eigenvalue	✓				✓	✓		✓	✓	✓
Response Spectrum	✓				✓	✓		✓	✓	✓
Time History (Linear)	✓				✓	✓		✓	✓	✓
Time History (Nonlinear)	✓				✓	✓		✓	✓	✓
P-Delta	✓ 1)				✓ 2)	✓		✓		
Buckling					✓ 3)	✓ 3)		✓		✓
Moving Load	✓				✓	✓		✓	✓	✓
Settlement	✓				✓	✓		✓	✓	✓
Pushover	✓				✓	✓		✓		✓
Geometric Nonlinear		✓	✓	✓ 5)	✓ 3),4)	✓ 3),4)		✓		✓
Geometric Nonlinear (Init. Force for G.S.)		✓	✓		✓ 3),4)	✓ 3),4)		✓		✓
Material Nonlinear		✓ 5)		✓	✓ 3),4)	✓ 3),4)		✓ 3)		✓
Construction Stage (Linear)	✓	✓ 3),4)	✓ 3),4)	✓ 3),4)	✓	✓		✓		✓
Construction Stage (Nonlinear)	✓	✓ 3),4)	✓ 3),4)	✓ 3),4)	✓	✓		✓		✓
Heat of Hydration							✓			✓
PSC	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓		✓
Composite									✓	✓
Boundary Change Load Case	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓



**Tabella 11. Tipologia di elementi finiti disponibili**

Applicable element type for each analysis type	Gen /Civil	Linear Static	Eigenvalue	Response Spectrum	Time History		P-Delta	Buckling	Moving Load	Settlement
					Linear	Nonlinear				
Truss	✓/✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Tension Only	✓/✓	✓	✓ 2)	✓ 2)	✓ 2)	✓ 2)			✓ 2)	✓ 2)
Hook	✓/✓	✓	✓ 2)	✓ 2)	✓ 2)	✓ 2)				
Cable	✓/✓	✓ 1)	✓ 2)	✓ 2)	✓ 2)	✓ 2)			✓ 2)	✓ 2)
Compression Only	✓/✓	✓	✓ 2)	✓ 2)	✓ 2)	✓ 2)			✓ 2)	✓ 2)
Gap	✓/✓	✓	✓ 2)	✓ 2)	✓ 2)	✓ 2)				
General Beam	✓/✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Tapered Beam	✓/✓	✓	✓	✓	✓	✓ 3)	✓	✓	✓	✓
Plate-Thick	✓/✓	✓	✓	✓	✓	✓ 4)	✓ 4)	✓	✓	✓
Plate-Thin	✓/✓	✓	✓	✓	✓	✓ 4)	✓ 4)	✓	✓	✓
Plane Stress	✓/✓	✓	✓	✓	✓	✓ 4)	✓ 4)	✓ 4)	✓	✓
Solid	✓/✓	✓	✓	✓	✓	✓ 4)	✓ 4)	✓	✓	✓
Wall-Membrane	✓/	✓	✓	✓	✓	✓ 4)	✓		✓ 4)	✓ 4)
Wall-Plate	✓/	✓	✓	✓	✓	✓ 4)	✓		✓ 4)	✓ 4)
Plane Strain	✓/✓	✓	✓	✓	✓	✓ 4)				
Axisymmetric	✓/✓	✓								
Applicable element type for each analysis type	Pushover	Nonlinear			Construction Stage		Heat of Hydration	PSC <sup>1)</sup> (Tendon, Static)	Composite <sup>1 2)</sup> (Static)	Boundary Change Load Case
		Geometric	Geometric (Init. Force for G.S)	Material	Linear	Nonlinear (Indep. Accum.)				
Truss	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	9)	✓	✓
Tension Only		✓	✓	✓	✓	✓ 8)		9)	✓ 10)	✓
Hook		✓	✓	✓				9)		✓
Cable		✓ 5)	✓ 5)	✓ 2)	✓ 1)	✓		9)	✓ 10)	✓
Compression Only		✓	✓	✓	✓	✓ 8)		9)	✓ 10)	✓
Gap		✓	✓	✓				9)		✓
General Beam	✓	✓	✓	✓ 7)	✓	✓		✓	✓	✓
Tapered Beam	✓ 3)	✓	✓	✓ 7)	✓	✓		✓	✓	✓
Plate-Thick	✓ 4)	✓	✓ 4)	✓	✓	✓ 8)		9)	✓	✓
Plate-Thin	✓ 4)	✓ 6)	✓ 4)	✓ 6)	✓	✓ 8)		9)	✓	✓
Plane Stress	✓ 4)	✓	✓ 4)	✓	✓	✓ 8)		9)	✓	✓
Solid	✓ 4)	✓	✓ 4)	✓	✓	✓ 8)	✓	9)	✓	✓
Wall-Membrane	✓	✓	✓ 4)		✓	✓ 8)				✓
Wall-Plate	✓	✓	✓ 4)		✓	✓ 8)				✓
Plane Strain			✓ 4)	✓	✓	✓ 8)				✓
Axisymmetric			✓ 4)	✓	✓	✓ 8)				✓



Tabella 12. Tipologia di materiali e sezioni disponibili

Applicable material & section for each analysis type	Gen /Civil	Linear Static	Eigenvalue	Response Spectrum	Time History		P-Delta	Buckling	Moving Load	Settlement
					Linear	Nonlinear				
Material	✓/✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Time Dependent Material	✓/✓	✓ 1)	✓ 1)	✓ 1)	✓ 1)	✓ 1)	✓ 1)	✓ 1)	✓ 1)	✓ 1)
Section-DB/User	✓/✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Section-Value	✓/✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Section-SRC	✓/✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Section-Combined	✓/✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Section-PSC	/✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Section-Tapered	✓/✓	✓	✓	✓	✓	✓ 2)	✓	✓	✓	✓
Section-Composite	/✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Thickness-Value	✓/✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓ 3)	✓	✓	✓
Thickness-Stiffened	✓/✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓ 3)	✓	✓	✓
Applicable material & section for each analysis type	Pushover	Nonlinear			Construction Stage		Heat of Hydration	PSC <sup>5)</sup> (Tendon, Static)	Composite <sup>6)</sup> (Static)	Boundary Change Load Case
		Geometric	Geometric (Init. Force for G.S)	Material	Linear	Nonlinear (Indep. Accum.)				
Material	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Time Dependent Material	✓ 1)	✓ 1)	✓ 1)	✓ 1)	✓	✓ 4)	✓		✓ 1)	
Section-DB/User	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Section-Value	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Section-SRC	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Section-Combined	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Section-PSC	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Section-Tapered	✓ 2)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Section-Composite	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Thickness-Value	✓	✓ 5)	✓ 5)	✓ 5)	✓	✓ 6)		7)	✓	✓
Thickness-Stiffened	✓	✓	✓	✓	✓	✓ 6)		7)	✓	✓



Tabella 13. Tipologia di vincoli disponibili

Applicable boundary condition for each analysis type	Gen /Civil	Linear Static	Eigenvalue	Response Spectrum	Time History		P-Delta	Buckling	Moving Load	Settlement
					Linear	Nonlinear				
Point Spring (Linear)	✓✓✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Point Spring (Nonlinear)	✓✓✓	✓	✓ 2)	✓ 2)	✓ 2)	✓ 2)	✓ 2)	✓ 2)	✓ 2)	✓ 2)
General Spring	✓✓✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Elastic Link-General	✓✓✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Elastic Link-Rigid	✓✓✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Elastic Link-Tension	✓✓✓	✓	✓ 1)	✓ 1)	✓ 1)	✓ 1)	✓ 1)	✓ 1)	✓ 1)	✓ 1)
Elastic Link-Comp.	✓✓✓	✓	✓ 1)	✓ 1)	✓ 1)	✓ 1)	✓ 1)	✓ 1)	✓ 1)	✓ 1)
General Link (Element Type)	✓✓✓	✓ 1)	✓ 1)	✓ 1)	✓	✓ 3)	✓ 1)	✓ 1)	✓ 1)	✓ 1)
General Link (Force Type)	✓✓✓	✓ 1)	✓ 1)	✓ 1)	✓ 1)	✓	✓ 1)	✓ 1)	✓ 1)	✓ 1)
Beam End Release	✓✓✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Beam End Offset	✓✓✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Plate End Release	✓✓✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Rigid Link	✓✓✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Node Local Axis	✓✓✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Effective Width Scale Factor	/✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Section Stiff. Scale Factor	✓✓✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Wall Stiff. Scale Factor	✓/	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Applicable boundary condition for each analysis type	Pushover	Nonlinear			Construction Stage		Heat of Hydration	PSC <sup>8)</sup> (Tendon, Static)	Composite <sup>7)</sup> (Static)	Boundary Change Load Case
		Geometric	Geometric (Init. Force for G.S)	Material	Linear	Nonlinear (Indep. Accum.)				
Point Spring (Linear)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Point Spring (Nonlinear)		✓	✓	✓				✓	✓	✓
General Spring	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Elastic Link-General	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Elastic Link-Rigid	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Elastic Link-Tension		✓	✓	✓ 1)	✓	✓		✓	✓	
Elastic Link-Comp.		✓	✓	✓ 1)	✓	✓		✓	✓	
General Link (Element Type)	✓ 1)	✓ 1)	✓ 1)	✓ 1)	✓ 1)	✓ 1)		✓ 1)	✓ 1)	✓ 5)
General Link (Force Type)	✓ 1)	✓ 1)	✓ 1)	✓ 1)	✓ 1)	✓ 1)		✓ 1)	✓ 1)	✓ 5)
Beam End Release	✓				✓	✓		✓	✓	✓
Beam End Offset	✓	✓	✓	✓	✓ 4)	✓ 4)				
Plate End Release	✓				✓	✓			✓	
Rigid Link	✓	✓	✓	✓	✓ 4)	✓ 4)	✓	✓	✓	
Node Local Axis	✓	✓	✓	✓	✓ 4)	✓ 4)	✓	✓	✓	
Effective Width Scale Factor		✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	
Section Stiff. Scale Factor	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	
Wall Stiff. Scale Factor		✓	✓		✓					✓





CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

Tabella 14. Tipologia di condizioni di carico disponibili

Applicable load type for each analysis type	Gen /Civil	Linear Static	Eigenvalue	Response Spectrum	Time History		P-Delta	Buckling	Moving Load	Settlement
					Linear	Nonlinear				
Static Load Case	✓/✓	✓					✓	✓		
Self Weight	✓/✓	✓					✓	✓		
Nodal Loads	✓/✓	✓					✓	✓		
Specified Displacement	✓/✓	✓	✓ 1)	✓ 1)	✓ 1)	✓ 1)	✓ 1)	✓ 1)	✓ 1)	✓ 1)
Beam Load	✓/✓	✓					✓	✓		
Floor Load	✓/✓	✓					✓	✓		
Pressure Load	✓/✓	✓					✓	✓		
System Temperature	✓/✓	✓					✓	✓		
Nodal Temperature	✓/✓	✓					✓	✓		
Element Temperature	✓/✓	✓					✓	✓		
Temperature Gradient	✓/✓	✓					✓	✓		
Beam Section Temperature	✓/✓	✓					✓	✓		
Prestress Beam Load	✓/✓	✓					✓	✓		
Pretension Load	✓/✓	✓					✓	✓		
Tendon Prestress	✓/✓	✓					✓	✓		
Time Load for CS	✓/✓									
Static Wind Load	✓/	✓					✓	✓		
Static Seismic Load	✓/	✓					✓	✓		
Initial Element Force	✓/✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Initial Force for Geo.Stiffness	✓/✓					✓				
Equilibrium Element Nodal Force	/✓									
Applicable load type for each analysis type	Pushover	Nonlinear			Construction Stage		Heat of Hydration	PSC <sup>®</sup> (Tendon, Static)	Composite <sup>10)</sup> (Static)	Boundary Change Load Case
		Geometric	Geometric (Init. Force for G.S)	Material	Linear	Nonlinear (Indep.Acc um.)				
Static Load Case	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓ 3)	✓	✓	✓
Self Weight	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓ 4)	✓	✓	✓
Nodal Loads	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓ 2)	✓	✓	✓
Specified Displacement	✓ 1)	✓ 1)	✓ 1)	✓ 1)	✓ 1)	✓ 1)		✓ 1)	✓ 1)	✓ 1)
Beam Load	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓
Floor Load	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓
Pressure Load	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓ 3)	✓	✓	✓
System Temperature	✓ 2)	✓	✓		✓	✓		✓	✓	✓
Nodal Temperature	✓ 2)	✓	✓		✓	✓		✓	✓	✓
Element Temperature	✓ 2)	✓	✓		✓	✓		✓	✓	✓
Temperature Gradient	✓ 2)	✓	✓		✓	✓		✓	✓	✓
Beam Section Temperature	✓ 2)	✓	✓		✓	✓		✓	✓	✓
Prestress Beam Load	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓
Pretension Load	✓	✓	✓		✓	✓	✓ 3)	✓	✓	✓
Tendon Prestress					✓	✓		✓		✓
Time Load for CS					✓	✓ 8)				✓
Static Wind Load	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓
Static Seismic Load	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓
Initial Element Force								✓	✓	✓
Initial Force for Geo.Stiffness		✓	✓		✓ 5)	✓ 6,7)				
Equilibrium Element Nodal Force						✓ 7)				

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

## 7.4 Carichi applicati alle strutture

### 7.4.1 Peso proprio

I pesi propri dei singoli elementi strutturali sono ottenuti in automatico dal programma di calcolo in funzione del materiale scelto e della tipologia/dimensioni della sezione.

### 7.4.2 Permanenti portati strutturali $G_1$

Per il calcolo delle strutture portanti sono stati utilizzati i seguenti carichi permanenti portati strutturali:

- Banchina: 2.00 kN/m<sup>2</sup>
- Sottobanchina: 6.00 kN/m<sup>2</sup>
- Ballast: 50.40 kN/m<sup>2</sup>
- Murature interne: 2.00 kN/m<sup>2</sup>
- Sovrastruttura – Muratura perimetrale: 18.00 kN/m

### 7.4.3 Permanenti portati non strutturali $G_2$

Per il calcolo delle strutture portanti sono stati utilizzati i seguenti carichi permanenti portati NON strutturali:

- Solettone di copertura:
  - Strato protettivo in cls (sp.0.15cm) 3.60 kN/m<sup>2</sup>
  - Rinterro (sp.1.80m) 36.00 kN/m<sup>2</sup>
- Piano Atrio (-1):
  - Locali tecnici 7.60 kN/m<sup>2</sup>
  - Zona viaggiatori 3.60/7.60 kN/m<sup>2</sup>
- Piano Mezzanino (-2):
  - Locali tecnici – pav. galleggiante 5.00 kN/m<sup>2</sup>
  - Locali tecnici 7.60 kN/m<sup>2</sup>
- Piano Mezzanino (-3):
  - Locali tecnici – pav. galleggiante 5.00 kN/m<sup>2</sup>
  - Zona viaggiatori 7.60 kN/m<sup>2</sup>
- Banchina: 6.40 kN/m<sup>2</sup>
- Sottobanchina: 7.20 kN/m<sup>2</sup>
- Ballast (sp. 3.60m): 86.40 kN/m<sup>2</sup>
- Murature interne (comprese nei carichi di piano) 4.00 kN/m<sup>2</sup>
- Scale di accesso: 2.00 kN/m<sup>2</sup>
- Carichi appesi: 0.50 kN/m<sup>2</sup>

#### Valutazione dei carichi (fase di cantiere)

- Solettone di copertura: 15.00 kN/m<sup>2</sup>

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

#### 7.4.4 Spinta del terreno

Per il calcolo della spinta del terreno sono stati utilizzati i seguenti parametri:

- Peso di volume unitario  $\gamma$ : 19.6 kN/m<sup>3</sup>
- Angolo di attrito: 32°
- Coefficiente di spinta a riposo  $K_0$ : 0.470

A favore di sicurezza, si è deciso di caricare le fodere adiacenti con una quota parte dell'azione del terreno agente sul diaframma esterno, in quanto la deformazione che subisce questo ultimo sotto la spinta laterale del terreno potrebbe interessare la fodera: le due strutture risultano adiacenti ma non collaborante per l'interposizione dello strato di impermeabilizzazione.

La spinta del terreno è stata ripartita proporzionalmente alle rigidità delle due strutture.

**Tabella 15. Rigidezze Diaframmi/Fodere**

	MAT.	E [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_i$	B [mm]	H [mm]	J [mm <sup>4</sup> ]	K	Ratio
DIAFRAMMA	C25/30	31476	1	1000	1200	1.44E+11	4.53254E+15	0.62
FODERA	C30/37	32837	1	1000	1000	83333333333	2.73642E+15	0.38
FODERA	C30/37	32837	1	1000	800	42666666667	1.40105E+15	0.24
FODERA	C30/37	32837	1	1000	600	18000000000	5.91066E+14	0.12

Data la presenza della falda, per le porzioni sommerse, vengono calcolate le tensioni orizzontali efficaci.

**Tabella 16. Spinta orizzontale terreno**

FLOOR	Q [m]	$\sigma_{HT}$	rapporto inerzia		$\sigma_{HT}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	
		kN/m <sup>2</sup>	UP	DOWN	UP	DOWN
Solettone di copertura	2.2	20.27		0.12	0.00	2.43
Piano Atrio (-1)	8.15	75.09	0.12	0.12	9.01	9.01
Piano Mezzanino (-2)	14	128.99	0.12	0.24	15.48	30.96
Quota falda	16	147.42	0.24	0.24	35.38	35.38
Piano Mezzanino (-3)	19.85	164.79	0.24	0.24	39.55	39.55
Piano Banchina	25.3	189.39	0.24	0.38	45.45	71.97
Platea di fondazione	28.25	202.70	0.38		77.03	0.00

La quota si riferisce all'asse medio del piano considerato.

#### 7.4.5 Spinta dell'acqua

Il livello di falda, fissato a 231 m s.l.m. (ossia -15.80 m dal piano campagna), interessa le opere strutturali in oggetto.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

A favore di sicurezza, per i calcoli a lungo periodo, si trascura la presenza delle opere provvisorie quali diaframmi e tamponi di fondo, applicando l'azione idrostatica come:

- spinta orizzontale sulle fodere con una percentuale del 100%;
- sottospinta sulla platea di fondazione con una percentuale del 100%.

#### 7.4.6 Azioni variabili Q

##### Valutazione dei carichi di piano

Per il calcolo delle strutture portanti sono stati utilizzati i seguenti carichi variabili:

- Solettone di copertura [veicolare]: 30.00 kN/m<sup>2</sup>
- Piano Atrio (-1):
  - Locali tecnici di sistema [cat.E] 20.00 kN/m<sup>2</sup>
  - Locali tecnici [cat.E] 10.00 kN/m<sup>2</sup>
  - Zona viaggiatori [cat.C5] 5.00 kN/m<sup>2</sup>
- Piano Mezzanino (-2):
  - Locali tecnici [cat.E] 10.00 kN/m<sup>2</sup>
- Piano Mezzanino (-3):
  - Locali tecnici [cat.E] 10.00 kN/m<sup>2</sup>
  - Zona viaggiatori [cat.C5] 5.00 kN/m<sup>2</sup>
- Piano Banchina:
  - Locali tecnici [cat.E] 10.00 kN/m<sup>2</sup>
  - Zona viaggiatori [cat.C5] 5.00 kN/m<sup>2</sup>
- Sottobanchina [cat.E]: 10.00 kN/m<sup>2</sup>
- Convoglio: 7.90 kN/m<sup>2</sup>
- Sovraccarico stradale controviai: 20.00 kN/m<sup>2</sup>
- Scale di accesso [cat. C5]: 5.00 kN/m<sup>2</sup>

Come per la spinta del terreno, anche la spinta orizzontale dovuta al sovraccarico stradale è stata ripartita proporzionalmente alle rigidità delle due strutture.

**Tabella 17. Spinta orizzontale sovraccarico stradale**

FLOOR	Q [m]	$\sigma_{HQ}$	rapporto inerzia		$\sigma_{HQ}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	
		kN/m <sup>2</sup>	UP	DOWN	UP	DOWN
Solettone di copertura	2.2	9.40		0.12	0.00	1.13
Piano Atrio (-1)	8.15	9.40	0.12	0.12	1.13	1.13
Piano Mezzanino (-2)	14	9.40	0.12	0.24	1.13	2.26
Piano Mezzanino (-3)	19.85	9.40	0.24	0.24	2.26	2.26
Piano Banchina	25.3	9.40	0.24	0.38	2.26	3.57
Platea di fondazione	28.25	9.40	0.38		3.57	0.00

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

Valutazione dei carichi (fase di cantiere)

- Solettone di copertura: 20.00 kN/m<sup>2</sup>
- Altre solette interrato: 10.00 kN/m<sup>2</sup>

Si trascurano i carichi verticali ed orizzontali associati al passaggio della TBM in quanto trattasi di sovraccarichi non dimensionanti. Analisi più dettagliate saranno condotte in fase di stesura del progetto esecutivo.

**7.5 Azione sismica E**

Per la verifica delle strutture, a favore di sicurezza, si considera una struttura a comportamento **NON DISSIPATIVO**, utilizzato un fattore di comportamento q allo SLV unitario.

**FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO**

Ricerca per coordinate

Ricerca per comune

LONGITUDINE: 7.6761

LATITUDINE: 45.0781

REGIONE: Piemonte

PROVINCIA: Torino

COMUNE: Torino

Elaborazioni grafiche

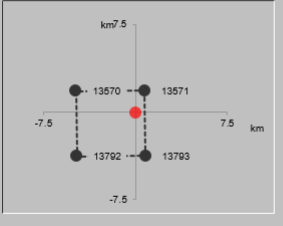
Grafici spettri di risposta

Variabilità dei parametri


Elaborazioni numeriche

Tabella parametri

Nodi del reticolo intorno al sito



Reticolo di riferimento



Controllo sul reticolo

- Sito esterno al reticolo
- Interpolazione su 3 nodi
- Interpolazione corretta

Interpolazione: superficie rigata

La "Ricerca per comune" utilizza le coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

**Figura 12. Individuazione del sito**

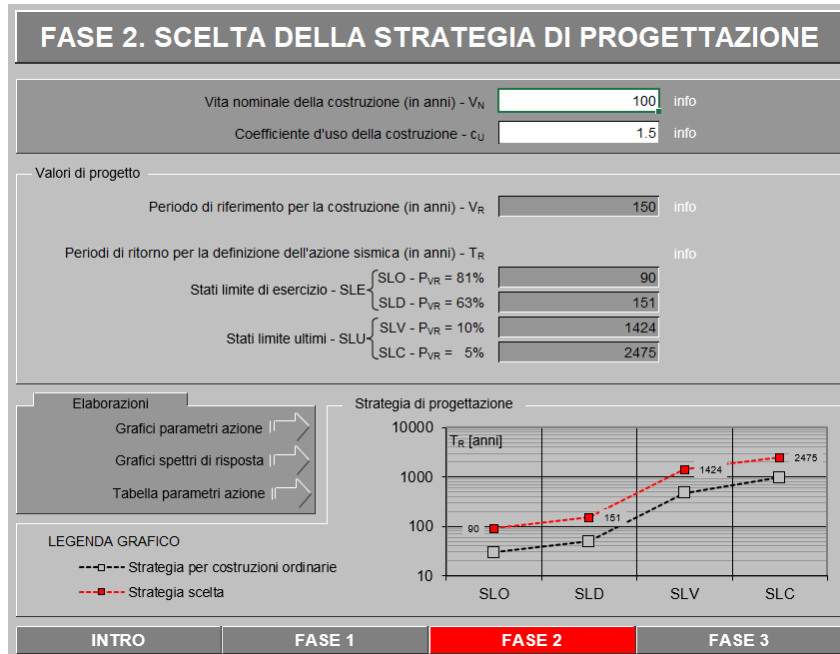


Figura 13. Individuazione dei parametri di progettazione

SLV

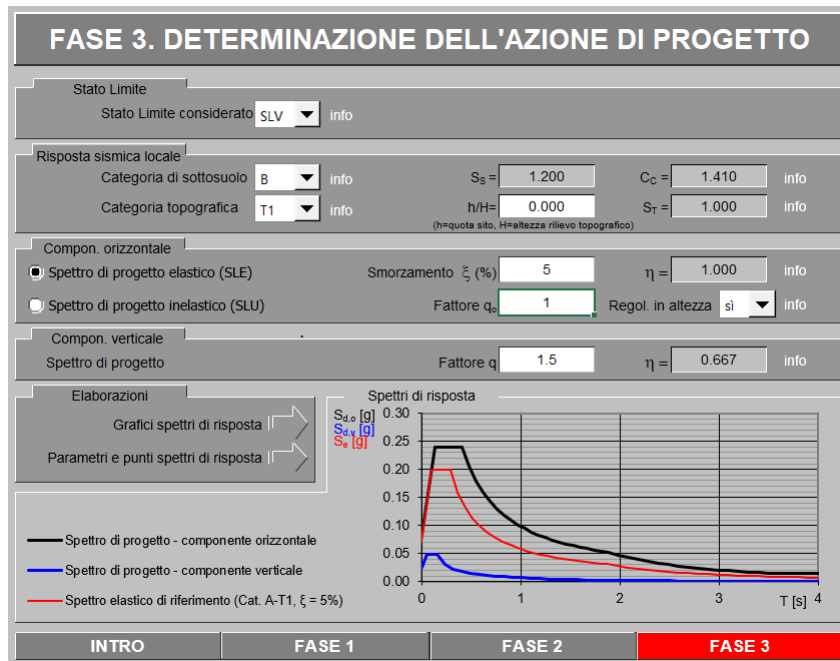


Figura 14. Spettro SLV



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

SLD

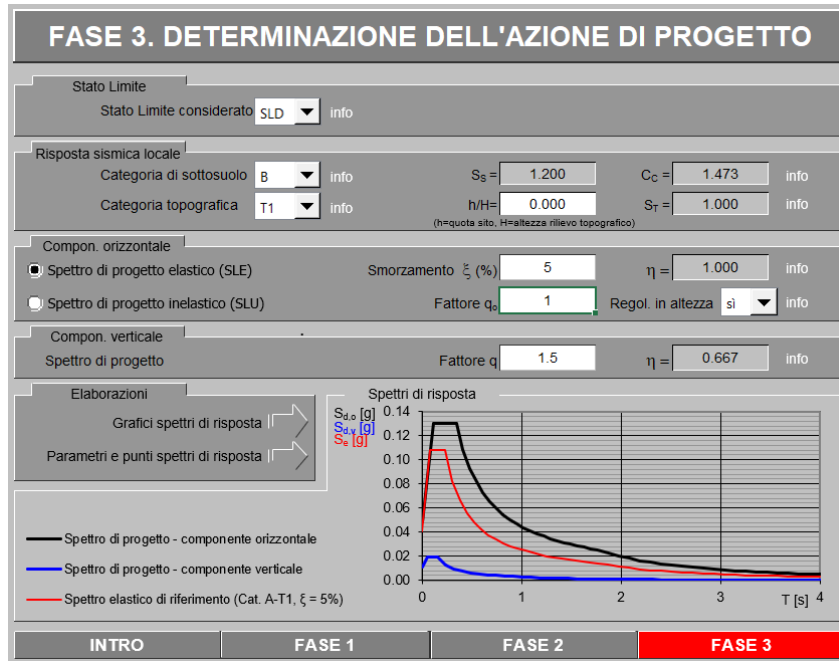


Figura 15. Spettro SLD

SLO

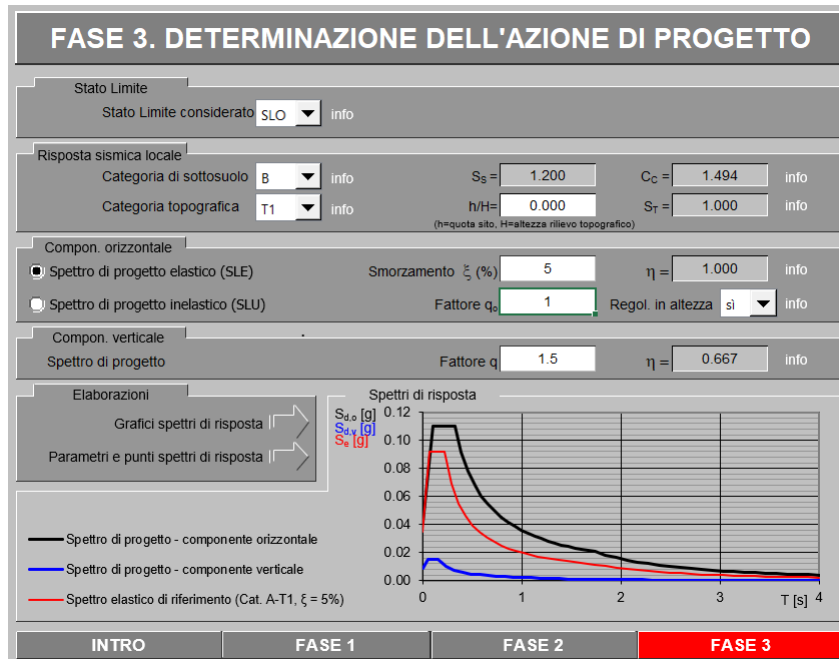


Figura 16. Spettro SLO

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

### 7.5.1 Spinta del terreno in fase sismica

Per la determinazione dell'incremento di spinta sismica da applicare sulle strutture interrata si utilizza la seguente espressione (Wood J.H., 1973):

$$\Delta P_d = \gamma \cdot k_h \cdot H^2$$

dove:

- $\Delta P_d$  è l'incremento di spinta del terreno dovuto al sisma;
- $\gamma$  è la media pesata del peso di volume del terreno da p.c. a fondo scavo;
- $k_h$  è il coefficiente sismico orizzontale;
- $H$  è il dislivello tra la quota dei diversi orizzontamenti.

Come per la spinta del terreno statica, anche la porzione dovuta al sisma è stata ripartita proporzionalmente alle rigidezze delle due strutture.

ag/g	0.07
S	1.2
ag/g max	0.084


**Tabella 18. Sovrappinta sismica orizzontale terreno**

FLOOR	Q [m]	$\sigma_{HT}$	rapporto inerzia		$\sigma_{HT}$ [kN/m2]	
		kN/m2	UP	DOWN	UP	DOWN
Solettone di copertura	2.2	3.62		0.12	0.00	0.43
Piano Atrio (-1)	8.15	13.42	0.12	0.12	1.61	1.61
Piano Mezzanino (-2)	14	23.05	0.12	0.24	2.77	5.53
Piano Mezzanino (-3)	19.85	32.68	0.24	0.24	7.84	7.84
Piano Banchina	25.3	41.65	0.24	0.38	10.00	15.83
Platea di fondazione	28.25	46.51	0.38		17.67	

### 7.6 Azioni termiche

Dato che la struttura risulta completamente interrata, in fase di analisi non sono stati considerati gli effetti dovuti alle variazioni termica.



 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

## 7.7 Effetti dovuti al ritiro

Il ritiro che si genera durante la stagionatura del calcestruzzo è dovuto all'evaporazione dell'acqua di impasto presente nei pori della pasta di cemento, tale fenomeno genera un accorciamento nel manufatto, che se impedito porta alla generazione di stati di coazione e alla formazione di fessure.

In sede di progettazione strutturale il ritiro del calcestruzzo può essere valutato sulla base delle indicazioni di seguito fornite.

La deformazione totale da ritiro si può esprimere come:

$$\varepsilon_{cs} = \varepsilon_{cd} + \varepsilon_{ca}$$

Dove:

- $\varepsilon_{cs}$  è la deformazione totale per ritiro;
- $\varepsilon_{cd}$  è la deformazione per ritiro da essiccamento;
- $\varepsilon_{ca}$  è la deformazione per ritiro autogeno.

Il valore medio a tempo infinito della deformazione per ritiro da essiccamento:

$$\varepsilon_{cd,\infty} = k_h \varepsilon_{c0}$$

può essere valutato mediante i seguenti valori in funzione della resistenza caratteristica a compressione, dell'umidità relativa e del parametro  $h_0$ :

**Tabella 19. Deformazione da ritiro per essiccamento**

**Tab. 11.2.Va – Valori di  $\varepsilon_{c0}$**

$f_{ck}$	Deformazione da ritiro per essiccamento (in ‰)					
	Umidità Relativa (in ‰)					
	20	40	60	80	90	100
20	-0,62	-0,58	-0,49	-0,30	-0,17	+0,00
40	-0,48	-0,46	-0,38	-0,24	-0,13	+0,00
60	-0,38	-0,36	-0,30	-0,19	-0,10	+0,00
80	-0,30	-0,28	-0,24	-0,15	-0,07	+0,00

**Tab. 11.2.Vb – Valori di  $k_h$**

$h_0$ (mm)	$k_h$
100	1,00
200	0,85
300	0,75
$\geq 500$	0,70

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

Il valore medio a tempo infinito della deformazione per ritiro autogeno  $\varepsilon_{ca,\infty}$  può essere valutato mediante l'espressione:

$$\varepsilon_{ca,\infty} = -2.5(f_{ck} - 10) \cdot 10^{-6}$$

Si calcola l'effetto del ritiro dopo un tempo pari a 5 anni; nel caso in oggetto abbiamo:

- umidità relativa                      70%;
- $f_{ck}$                                         30.71 N/mm<sup>2</sup>;
- $\varepsilon_{c0}$                                       -0.349‰
- $k_h$                                          0.7
- $\varepsilon_{ca,\infty}$                                 -0.0518‰
- $\varepsilon_{cd,\infty}$                                 -0.245‰
- $\varepsilon_{cs,\infty}$                                 -0.296‰
- $\varepsilon_{cd}(t)$                                 -0.0956‰
- $\varepsilon_{cs}(t)$                                 -0.147‰

e considerando un coefficiente di dilatazione termica  $\alpha$  del cls di 1E-5 1/°C si ottiene una variazione termica equivalente pari a 15°C.

## 7.8 Modellazione delle azioni

In accordo con le sopra citate normative, sono state considerate nei calcoli le seguenti azioni:

- pesi propri elementi strutturali SW;
- carichi permanenti strutturali  $G_1$
- carichi permanenti non strutturali  $G_2$ ;
- carichi variabili Q;
- azione sismica E
- azioni termiche T.

Le diverse azioni agenti, classificate in casi di carico (CDC), sono combinate secondo le regole previste dalla normativa vigente.



Tabella 20. Casi di carico CDC

No.	Name	Type	Description
1	SW	Dead Load (D)	Self Weight
2	G1	Dead Load (D)	Permanenti strutturali
3	G2	Dead Load (D)	Permanenti NON strutturali
4	QE	Live Load (L)	Variabile Cat. E
5	QC5	Live Load (L)	Variabile cat. C5
6	G2_B	Dead Load (D)	Ballast
7	Q_TRN	Live Load (L)	Treno
8	RTR	Dead Load (D)	Ritiro
9	TR	Dead Load (D)	Spinta terreno
10	CS_X+	Live Load (L)	Spinta carico stradale X+
11	CS_X-	Live Load (L)	Spinta carico stradale X-
12	CS_Y+	Live Load (L)	Spinta carico stradale Y+
13	CS_Y-	Live Load (L)	Spinta carico stradale Y-
14	WTR	Dead Load (D)	Water
15	QVC	Live Load (L)	Variabile - Veicoli
16	TR_EQ_X+	Earthquake (E)	Incremento spinta terreno X+
17	TR_EQ_X-	Earthquake (E)	Incremento spinta terreno X-
18	TR_EQ_Y+	Earthquake (E)	Incremento spinta terreno Y+
19	TR_EQ_Y-	Earthquake (E)	Incremento spinta terreno Y-
20	SLV_X_E+	Earthquake (E)	Sisma X ECC+
21	SLV_X_E-	Earthquake (E)	Sisma X ECC-
22	SLV_Y_E+	Earthquake (E)	Sisma Y ECC+
23	SLV_Y_E-	Earthquake (E)	Sisma Y ECC-
24	SLO_X_E+	Earthquake (E)	Sisma X ECC+
25	SLO_X_E-	Earthquake (E)	Sisma X ECC-
26	SLO_Y_E+	Earthquake (E)	Sisma Y ECC+
27	SLO_Y_E-	Earthquake (E)	Sisma Y ECC-

Le combinazioni previste sono destinate al controllo di sicurezza della struttura ed alla verifica degli spostamenti e delle sollecitazioni.

Ai fini delle verifiche degli stati limite si definiscono le seguenti combinazioni delle azioni:

#### Combinazione fondamentale SLU

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

#### Combinazione caratteristica (rara) SLE

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

#### Combinazione frequente SLE

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$

#### Combinazione quasi permanente SLE

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

**Combinazione sismica**, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$

**Combinazione eccezionale**, impiegata per gli stati limite connessi alle azioni eccezionali

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$

dove

NTC 2008 Tabella 2.5.I

Destinazione d'uso/azione	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
Categoria A - Ambienti ad uso residenziale	0,70	0,50	0,30
Categoria B - Uffici	0,70	0,50	0,30
Categoria C - Ambienti suscettibili di affollamento	0,70	0,70	0,60
Categoria D - Ambienti ad uso commerciale	0,70	0,70	0,60
Categoria E – Aree per immagazzinamento, uso commerciale ed uso industriale, Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,00	0,90	0,80
Categoria F - Rimesse, parcheggi ed aree per il traffico di veicoli (per autoveicoli di peso < 30 kN)	0,70	0,70	0,60
Categoria G - Rimesse, parcheggi ed aree per il traffico di veicoli (per autoveicoli di peso > 30 kN)	0,70	0,50	0,30
Categoria H - Coperture accessibili per sola manutenzione	0,00	0,00	0,00
Categoria I - Coperture praticabili	da valutarsi caso per caso		
Categoria K - Coperture per usi speciali (impianti, eliporti...)	caso		
Vento	0,60	0,20	0,00
Neve a quota <= 1000 m	0,50	0,20	0,00
Neve a quota > 1000 m	0,70	0,50	0,20
Variazioni Termiche	0,60	0,50	0,00



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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

**Tabella 21. Coefficienti combinazioni di carico CMB**

CMB	NAME	ACTIVE	TYPE	SW	G1	G2	QE	QC5	G2_B	Q_TRN	RTR	TR	CS_X+	CS_X-	CS_Y+	CS_Y-	WTR	QVC	TR_EQ_X+	TR_EQ_X-	TR_EQ_Y+	TR_EQ_Y-	SLV_X_E+	SLV_X_E-	SLVY_E+	SLVY_E-	SLO_X_E+	SLO_X_E-	SLO_Y_E+	SLO_Y_E-
SLU	gLCB1	Active	Add	1.3	1.3	1.3	1.5	1.05	1.3	1.125	1.3	1.3	1.125	1.125	1.125	1.125	1	1.125												
SLU	gLCB2	Active	Add	1.3	1.3	1.3	1.5	1.5	1.3	1.125	1.3	1.3	1.125	1.125	1.125	1.125	1	1.125												
SLU	gLCB3	Active	Add	1.3	1.3	1.3	1.5	1.05	1.3	1.5	1.3	1.3	1.125	1.125	1.125	1.125	1	1.125												
SLU	gLCB4	Active	Add	1.3	1.3	1.3	1.5	1.05	1.3	1.125	1.3	1.3	1.5	1.125	1.125	1.125	1	1.125												
SLU	gLCB5	Active	Add	1.3	1.3	1.3	1.5	1.05	1.3	1.125	1.3	1.3	1.125	1.5	1.125	1.125	1	1.125												
SLU	gLCB6	Active	Add	1.3	1.3	1.3	1.5	1.05	1.3	1.125	1.3	1.3	1.125	1.125	1.5	1.125	1	1.125												
SLU	gLCB7	Active	Add	1.3	1.3	1.3	1.5	1.05	1.3	1.125	1.3	1.3	1.125	1.125	1.5	1.125	1	1.125												
SLU	gLCB8	Active	Add	1.3	1.3	1.3	1.5	1.05	1.3	1.125	1.3	1.3	1.125	1.125	1.125	1.125	1	1.5												
SLU	gLCB9	Active	Add	1	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1.3	0												
SLV	gLCB10	Active	Add	1	1	1	0.8	0.6	1		1	1	0.2	0	0.06	0	1	0.2	1	0	0.3	0	1			0.3				
SLV	gLCB11	Active	Add	1	1	1	0.8	0.6	1		1	1	0.2	0	-0.06	0	1	0.2	1	0	-0.3	0	1			-0.3				
SLV	gLCB12	Active	Add	1	1	1	0.8	0.6	1		1	1	0.2	0	0	0.06	1	0.2	1	0	0	0.3	1				0.3			
SLV	gLCB13	Active	Add	1	1	1	0.8	0.6	1		1	1	0.2	0	0	-0.06	1	0.2	1	0	0	-0.3	1				-0.3			
SLV	gLCB14	Active	Add	1	1	1	0.8	0.6	1		1	1	0	0.2	0.06	0	1	0.2	0	1	0.3	0		1	0.3					
SLV	gLCB15	Active	Add	1	1	1	0.8	0.6	1		1	1	0	0.2	-0.06	0	1	0.2	0	1	-0.3	0		1	-0.3					
SLV	gLCB16	Active	Add	1	1	1	0.8	0.6	1		1	1	0	0.2	0	0.06	1	0.2	0	1	0	0.3		1	0.3					
SLV	gLCB17	Active	Add	1	1	1	0.8	0.6	1		1	1	0	0.2	0	-0.06	1	0.2	0	1	0	-0.3		1	-0.3					
SLV	gLCB18	Active	Add	1	1	1	0.8	0.6	1		1	1	0.06	0	0.2	0	1	0.2	0.3	0	1	0	0.3		1					
SLV	gLCB19	Active	Add	1	1	1	0.8	0.6	1		1	1	-0.06	0	0.2	0	1	0.2	-0.3	0	1	0	-0.3		1					
SLV	gLCB20	Active	Add	1	1	1	0.8	0.6	1		1	1	0	0.06	0.2	0	1	0.2	0	0.3	1	0		0.3	1					
SLV	gLCB21	Active	Add	1	1	1	0.8	0.6	1		1	1	0	-0.06	0.2	0	1	0.2	0	-0.3	1	0		-0.3	1					
SLV	gLCB22	Active	Add	1	1	1	0.8	0.6	1		1	1	0.06	0	0	0.2	1	0.2	0.3	0	0	1	0.3			1				
SLV	gLCB23	Active	Add	1	1	1	0.8	0.6	1		1	1	-0.06	0	0	0.2	1	0.2	-0.3	0	0	1	-0.3			1				
SLV	gLCB24	Active	Add	1	1	1	0.8	0.6	1		1	1	0	0.06	0	0.2	1	0.2	0	0.3	0	1		0.3		1				
SLV	gLCB25	Active	Add	1	1	1	0.8	0.6	1		1	1	0	-0.06	0	0.2	1	0.2	0	-0.3	0	1		-0.3		1				
SLV	gLCB26	Active	Add	1	1	1	0.8	0.6	1		1	1	-0.2	0	-0.06	0	1	0.2	-1	0	-0.3	0	-1		-0.3					
SLV	gLCB27	Active	Add	1	1	1	0.8	0.6	1		1	1	-0.2	0	0.06	0	1	0.2	-1	0	0.3	0	-1		0.3					
SLV	gLCB28	Active	Add	1	1	1	0.8	0.6	1		1	1	-0.2	0	0	-0.06	1	0.2	-1	0	0	-0.3	-1			-0.3				
SLV	gLCB29	Active	Add	1	1	1	0.8	0.6	1		1	1	-0.2	0	0	0.06	1	0.2	-1	0	0	0.3	-1			0.3				
SLV	gLCB30	Active	Add	1	1	1	0.8	0.6	1		1	1	0	-0.2	-0.06	0	1	0.2	0	-1	-0.3	0		-1	-0.3					
SLV	gLCB31	Active	Add	1	1	1	0.8	0.6	1		1	1	0	-0.2	0.06	0	1	0.2	0	-1	0.3	0		-1	0.3					
SLV	gLCB32	Active	Add	1	1	1	0.8	0.6	1		1	1	0	-0.2	0	-0.06	1	0.2	0	-1	0	-0.3		-1		-0.3				
SLV	gLCB33	Active	Add	1	1	1	0.8	0.6	1		1	1	0	-0.2	0	0.06	1	0.2	0	-1	0	0.3		-1		0.3				
SLV	gLCB34	Active	Add	1	1	1	0.8	0.6	1		1	1	-0.06	0	-0.2	0	1	0.2	-0.3	0	-1	0	-0.3		-1					
SLV	gLCB35	Active	Add	1	1	1	0.8	0.6	1		1	1	0.06	0	-0.2	0	1	0.2	0.3	0	-1	0	0.3		-1					
SLV	gLCB36	Active	Add	1	1	1	0.8	0.6	1		1	1	0	-0.06	-0.2	0	1	0.2	0	-0.3	-1	0		-0.3	-1					
SLV	gLCB37	Active	Add	1	1	1	0.8	0.6	1		1	1	0	0.06	-0.2	0	1	0.2	0	0.3	-1	0		0.3	-1					
SLV	gLCB38	Active	Add	1	1	1	0.8	0.6	1		1	1	-0.06	0	0	-0.2	1	0.2	-0.3	0	0	-1	-0.3			-1				
SLV	gLCB39	Active	Add	1	1	1	0.8	0.6	1		1	1	0.06	0	0	-0.2	1	0.2	0.3	0	0	-1	0.3			-1				
SLV	gLCB40	Active	Add	1	1	1	0.8	0.6	1		1	1	0	-0.06	0	-0.2	1	0.2	0	-0.3	0	-1		-0.3		-1				
SLV	gLCB41	Active	Add	1	1	1	0.8	0.6	1		1	1	0	0.06	0	-0.2	1	0.2	0	0.3	0	-1		0.3		-1				
SLO	gLCB42	Active	Add	1	1	1	0.8	0.6	1		1	1	0.2	0	0.06	0	1	0.2	1	0	0.3	0				1			0.3	
SLO	gLCB43	Active	Add	1	1	1	0.8	0.6	1		1	1	0.2	0	-0.06	0	1	0.2	1	0	-0.3	0				1			-0.3	
SLO	gLCB44	Active	Add	1	1	1	0.8	0.6	1		1	1	0.2	0	0	0.06	1	0.2	1	0	0	0.3				1				0.3
SLO	gLCB45	Active	Add	1	1	1	0.8	0.6	1		1	1	0.2	0	0	-0.06	1	0.2	1	0	0	-0.3				1				-0.3
SLO	gLCB46	Active	Add	1	1	1	0.8	0.6	1		1	1	0	0.2	0.06	0	1	0.2	0	1	0.3	0					1			0.3
SLO	gLCB47	Active	Add	1	1	1	0.8	0.6	1		1	1	0	0.2	-0.06	0	1	0.2	0	1	-0.3	0					1			-0.3
SLO	gLCB48	Active	Add	1	1	1	0.8	0.6	1		1	1	0	0.2	0	0.06	1	0.2	0	1	0	0.3				1				0.3
SLO	gLCB49	Active	Add	1	1	1	0.8	0.6	1		1	1	0	0.2	0	-0.06	1	0.2	0	1	0	-0.3					1			-0.3
SLO	gLCB50	Active	Add	1	1	1	0.8	0.6	1		1	1	0.06	0	0.2	0	1	0.2	0.3	0	1	0				0.3			1	
SLO	gLCB51	Active	Add	1	1	1	0.8	0.6	1		1	1	-0.06	0	0.2	0	1	0.2	-0.3	0	0	1	0			-0.3			1	
SLO	gLCB52	Active	Add	1	1	1	0.8	0.6	1		1	1	0	0.06	0.2	0	1	0.2	0	0.3	1	0					0.3		1	
SLO	gLCB53	Active	Add	1	1	1	0.8	0.6	1		1	1	0	-0.06	0.2	0	1	0.2	0	-0.3	1	0					-0.3		1	
SLO	gLCB54	Active	Add	1	1	1	0.8	0.6	1		1	1	0.06	0	0	0.2	1	0.2	0.3	0	0	1				0.3				1
SLO	gLCB55	Active	Add	1	1	1	0.8	0.6	1		1	1	-0.06	0	0	0.2	1	0.2	-0.3	0	0	1				-0.3				1
SLO	gLCB56	Active	Add	1	1	1	0.8	0.6	1		1	1	0	0.06	0	0.2	1	0.2	0	0.3	0	1					0.3			1



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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

CMB	NAME	ACTIVE	TYPE	SW	G1	G2	QE	QC5	G2_B	Q TRN	RTR	TR	CS_X+	CS_X-	CS_Y+	CS_Y-	WTR	QVC	TR_EQ_X+	TR_EQ_X-	TR_EQ_Y+	TR_EQ_Y-	SLV_X_E+	SLV_X_E-	SLV_Y_E+	SLV_Y_E-	SLO_X_E+	SLO_X_E-	SLO_Y_E+	SLO_Y_E-
SLO	gLCB57	Active	Add	1	1	1	0.8	0.6	1		1	1	0	-0.06	0	0.2	1	0.2	0	-0.3	0	1						-0.3		1
SLO	gLCB58	Active	Add	1	1	1	0.8	0.6	1		1	1	-0.2	0	-0.06	0	1	0.2	-1	0	-0.3	0					-1		-0.3	
SLO	gLCB59	Active	Add	1	1	1	0.8	0.6	1		1	1	-0.2	0	0.06	0	1	0.2	-1	0	0.3	0					-1		0.3	
SLO	gLCB60	Active	Add	1	1	1	0.8	0.6	1		1	1	-0.2	0	0	-0.06	1	0.2	-1	0	0	-0.3					-1		-0.3	
SLO	gLCB61	Active	Add	1	1	1	0.8	0.6	1		1	1	-0.2	0	0	0.06	1	0.2	-1	0	0	0.3					-1		0.3	
SLO	gLCB62	Active	Add	1	1	1	0.8	0.6	1		1	1	0	-0.2	-0.06	0	1	0.2	0	-1	-0.3	0					-1		-0.3	
SLO	gLCB63	Active	Add	1	1	1	0.8	0.6	1		1	1	0	-0.2	0.06	0	1	0.2	0	-1	0.3	0					-1		0.3	
SLO	gLCB64	Active	Add	1	1	1	0.8	0.6	1		1	1	0	-0.2	0	-0.06	1	0.2	0	-1	0	-0.3					-1		-0.3	
SLO	gLCB65	Active	Add	1	1	1	0.8	0.6	1		1	1	0	-0.2	0	0.06	1	0.2	0	-1	0	0.3					-1		0.3	
SLO	gLCB66	Active	Add	1	1	1	0.8	0.6	1		1	1	-0.06	0	-0.2	0	1	0.2	-0.3	0	-1	0					-0.3		-1	
SLO	gLCB67	Active	Add	1	1	1	0.8	0.6	1		1	1	0.06	0	-0.2	0	1	0.2	0.3	0	-1	0					0.3		-1	
SLO	gLCB68	Active	Add	1	1	1	0.8	0.6	1		1	1	0	-0.06	-0.2	0	1	0.2	0	-0.3	-1	0					-0.3		-1	
SLO	gLCB69	Active	Add	1	1	1	0.8	0.6	1		1	1	0	0.06	-0.2	0	1	0.2	0	0.3	-1	0					0.3		-1	
SLO	gLCB70	Active	Add	1	1	1	0.8	0.6	1		1	1	-0.06	0	0	-0.2	1	0.2	-0.3	0	0	-1					-0.3		-1	
SLO	gLCB71	Active	Add	1	1	1	0.8	0.6	1		1	1	0.06	0	0	-0.2	1	0.2	0.3	0	0	-1					0.3		-1	
SLO	gLCB72	Active	Add	1	1	1	0.8	0.6	1		1	1	0	-0.06	0	-0.2	1	0.2	0	-0.3	0	-1					-0.3		-1	
SLO	gLCB73	Active	Add	1	1	1	0.8	0.6	1		1	1	0	0.06	0	-0.2	1	0.2	0	0.3	0	-1					0.3		-1	
SLE_R	gLCB74	Active	Add	1	1	1	1	0.7	1	0.75	1	1	0.75	0.75	0.75	0.75	1	0.75												
SLE_R	gLCB75	Active	Add	1	1	1	1	1	1	0.75	1	1	0.75	0.75	0.75	0.75	1	0.75												
SLE_R	gLCB76	Active	Add	1	1	1	1	0.7	1	1	1	1	0.75	0.75	0.75	0.75	1	0.75												
SLE_R	gLCB77	Active	Add	1	1	1	1	0.7	1	0.75	1	1	1	0.75	0.75	0.75	1	0.75												
SLE_R	gLCB78	Active	Add	1	1	1	1	0.7	1	0.75	1	1	0.75	1	0.75	0.75	1	0.75												
SLE_R	gLCB79	Active	Add	1	1	1	1	0.7	1	0.75	1	1	0.75	0.75	1	0.75	1	0.75												
SLE_R	gLCB80	Active	Add	1	1	1	1	0.7	1	0.75	1	1	0.75	0.75	0.75	1	1	0.75												
SLE_R	gLCB81	Active	Add	1	1	1	1	0.7	1	0.75	1	1	0.75	0.75	0.75	0.75	1	1												
SLE_F	gLCB82	Active	Add	1	1	1	0.9	0.6	1		1	1						1												
SLE_F	gLCB83	Active	Add	1	1	1	0.8	0.7	1		1	1						1												
SLE_F	gLCB84	Active	Add	1	1	1	0.8	0.6	1	0.75	1	1						1												
SLE_F	gLCB85	Active	Add	1	1	1	0.8	0.6	1		1	1	0.75					1												
SLE_F	gLCB86	Active	Add	1	1	1	0.8	0.6	1		1	1		0.75				1												
SLE_F	gLCB87	Active	Add	1	1	1	0.8	0.6	1		1	1			0.75			1												
SLE_F	gLCB88	Active	Add	1	1	1	0.8	0.6	1		1	1				0.75		1												
SLE_F	gLCB89	Active	Add	1	1	1	0.8	0.6	1		1	1						1	0.75											
SLE_QP	gLCB90	Active	Add	1	1	1	0.8	0.6	1		1	1						1												

**Tabella 22. Tipologia combinazioni**

ID	Name	Tipo	Sigla Id
1-9	gLCB1-gLCB9	SLU	Combinazione SLU
10-41	gLCB10-gLCB41	SLV	Combinazione SLU sismica
42-73	gLCB42-gLCB73	SLO	Combinazione SLE sismica
74-90	gLCB74-gLCB90	SLE	Combinazioni SLE (R, FQ, QP)

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

## 7.9 Interazione terreno-struttura

Nel modello FEM l'interazione terreno-struttura è schematizzata secondo il modello di Winkler con una serie di molle elastiche indipendenti reagenti a sola compressione (compression-only) posizionate sia lungo la lunghezza dei diaframmi in corrispondenza dai diversi orizzontamenti (rigidezza laterale) che alla base dello stesso (rigidezza alla punta).

La rigidezza assiale delle molle risulta proporzionale al modulo di reazione  $k_s$  del terreno che è considerato variabile linearmente con la profondità.

A favore di sicurezza, si sono considerati dei valori costanti per le diverse rigidezze, in particolare:

- Rigidezza laterale diaframmi
  - o Solettone di copertura: 31039.23 kN/m
  - o Piano Atrio (-1): 181686.75 kN/m
  - o Piano Mezzanino (-2): 265369.39 kN/m
  - o Piano Mezzanino (-3): 342907.20 kN/m
  - o Platea di fondazione: 495529.60 kN/m
- Rigidezza verticale diaframmi
  - o Solettone di copertura: 19872.24 kN/m<sup>3</sup>
  - o Piano Atrio (-1): 38022.23 kN/ m<sup>3</sup>
  - o Piano Mezzanino (-2): 56172.21 kN/ m<sup>3</sup>
  - o Platea di fondazione: 93167.70 kN/ m<sup>3</sup>
  - o Diaframmi provvisori: 72434.09 kN/ m<sup>3</sup>
- Rigidezza verticale platea di fondazione
  - o Platea di fondazione: 70684.03 kN/ m<sup>3</sup>

Per la determinazione di  $k_w$  si fa riferimento al metodo di **Randolph e Wroth (1978)**, il quale considera il palo immerso in un mezzo elastico, ed esamina separatamente l'interazione con tale mezzo della superficie laterale e della base del palo, le due soluzioni vengono poi sovrapposte.

Nel metodo si calcola quindi  $k_w = k_s + k_b$

dove:

- $k_s$  rappresenta la rigidezza della molla laterale
- $k_b$  la rigidezza della molla alla base del palo.

$$k_s = 2 \cdot \pi \cdot L \cdot G_m / \zeta$$

$$k_b = 4 \cdot r_b \cdot G_b / (1 - \nu)$$

I parametri utilizzati dal modello sono:

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

$r_0 = D/2$  rappresenta il raggio del palo

$L$  è la lunghezza del palo

$\zeta$  è un coefficiente che tiene conto dell'ampiezza  $r_m$  del campo deformativo che si sviluppa intorno al palo di raggio  $r_0$

$\xi = G_L / G_b$  è il rapporto tra i moduli di taglio alla profondità  $z = L$ , per pali poggianti su di uno strato di elevata rigidezza

$\rho = G_m / G_L$  è il fattore di non omogeneità del terreno laterale, per pali immersi in un terreno con rigidezza variabile


$G_m$  rappresenta il valore medio del modulo di elasticità trasversale fra la superficie e la profondità  $L$

$G_L$  il valore medio del modulo di elasticità trasversale alla profondità  $L$ .

$r_b$  il raggio alla base

$G_b$  il modulo di elasticità trasversale del materiale al di sotto della base del palo



 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

## 8. STRUTTURA INTERRATA

### 8.1 Modellazione della struttura

Di seguito si riportano le caratteristiche geometriche del modello FEM realizzato (per la sola parte interrata)

**Tabella 23. Caratteristiche modello FEM**

<b>Modellazione della geometria e proprietà meccaniche:</b>	
nodi	23340
elementi D2	392
elementi D3 (per pareti, platee, gusci...)	23687
elementi Wall	0
elementi solaio	0
elementi solidi	0
Elementi di tipo TRUSS	NO
Elementi di tipo BEAM	SI
Elementi di tipo PLATE	SI
Elementi di tipo WALL	NO
<b>Orizzontamenti:</b>	
Solai con la proprietà piano rigido	NO
Solai senza la proprietà piano rigido	NO
<b>Tipo di vincoli:</b>	
Nodi vincolati rigidamente	SI
Nodi vincolati elasticamente	SI



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

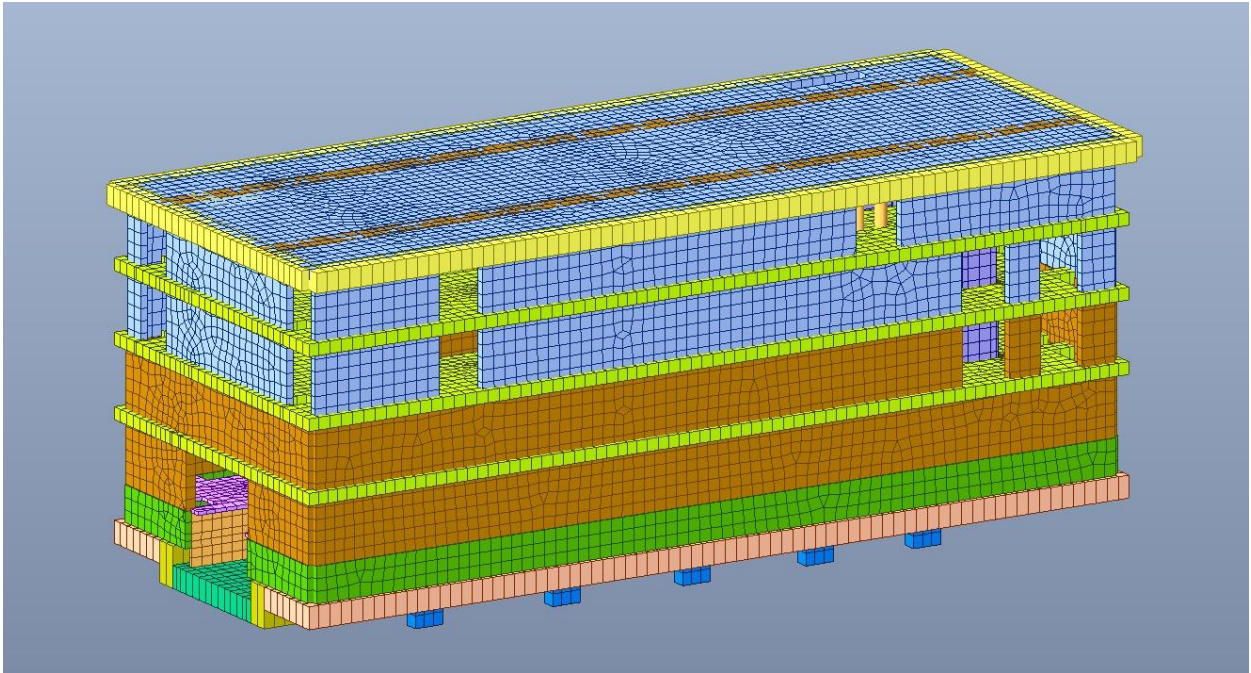


Figura 17. Complessivo stazione – Modello FEM Vista 1

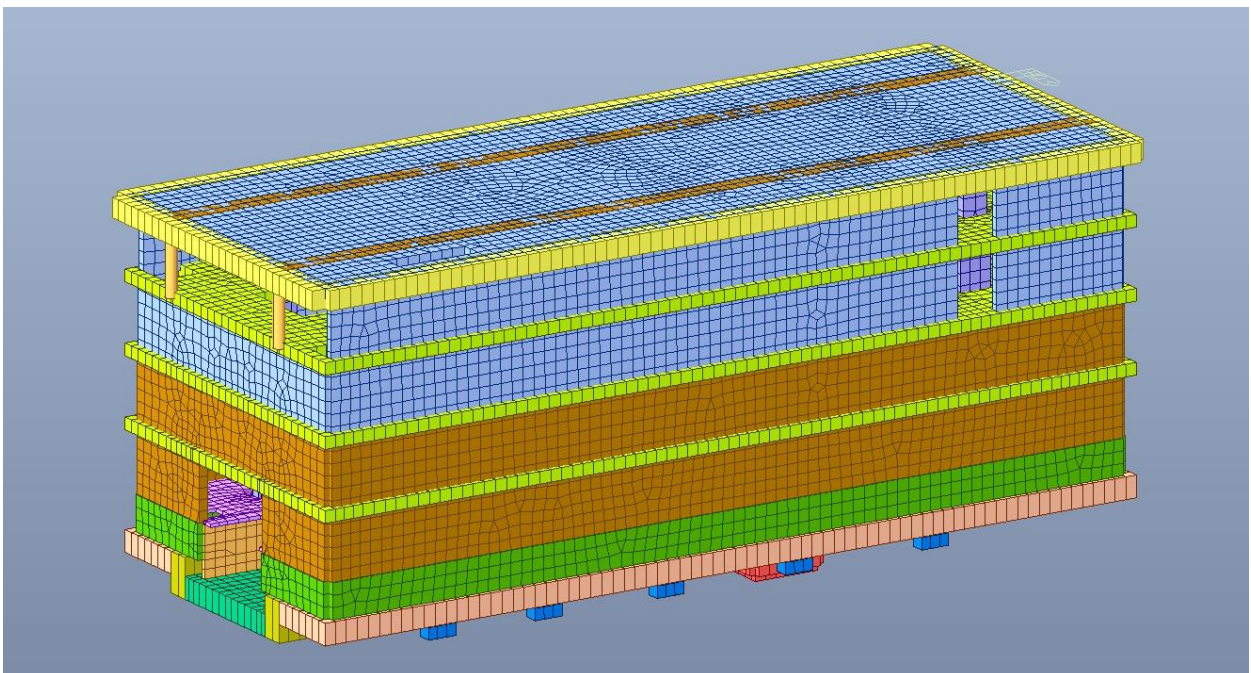


Figura 18. Complessivo stazione – Modello FEM Vista 2

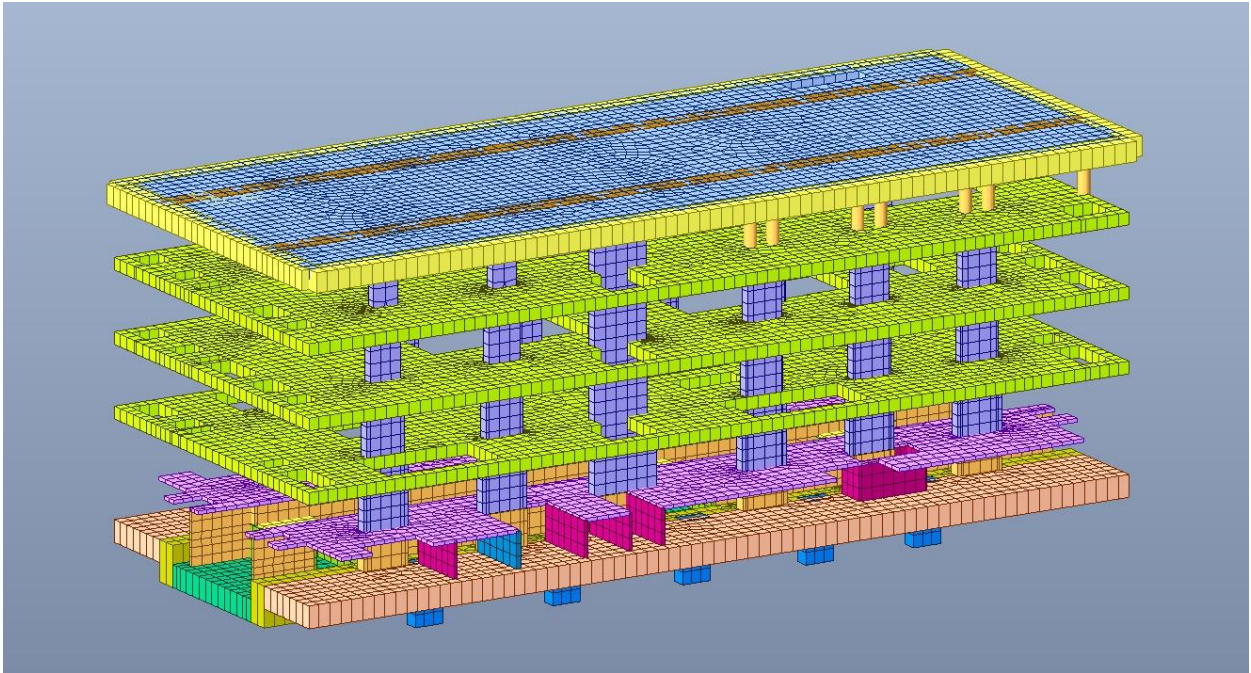


Figura 19. Struttura interna

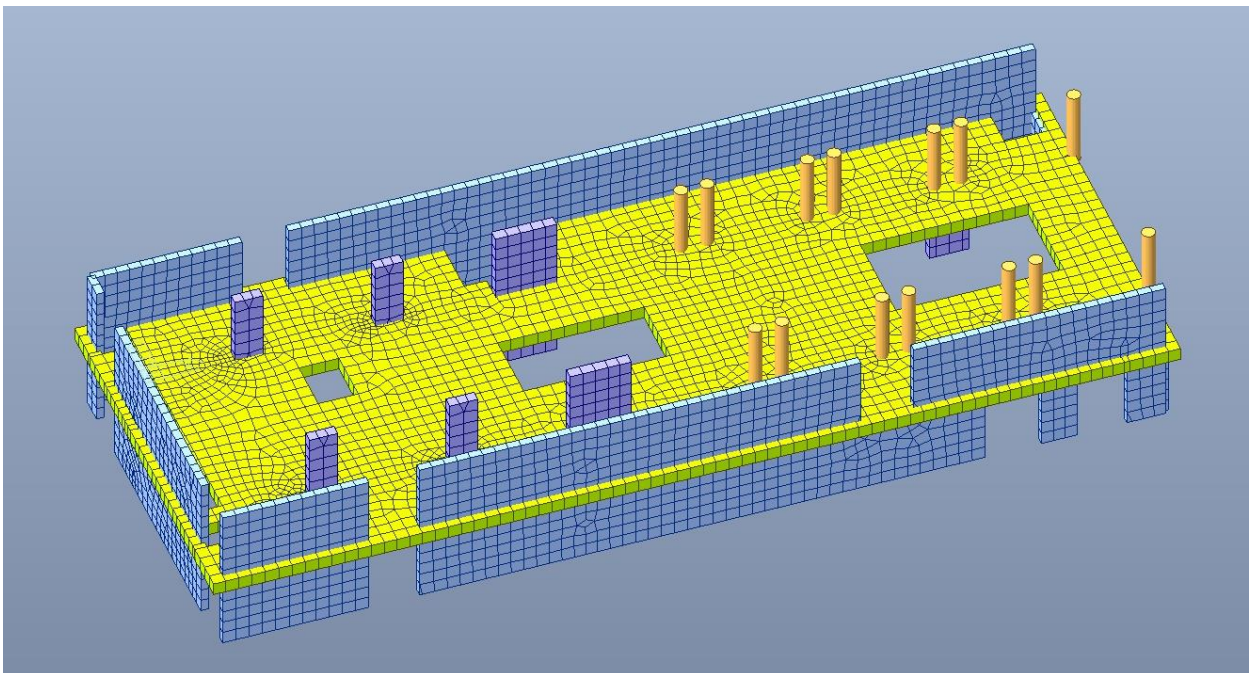


Figura 20. Struttura interrata – Piano atrio

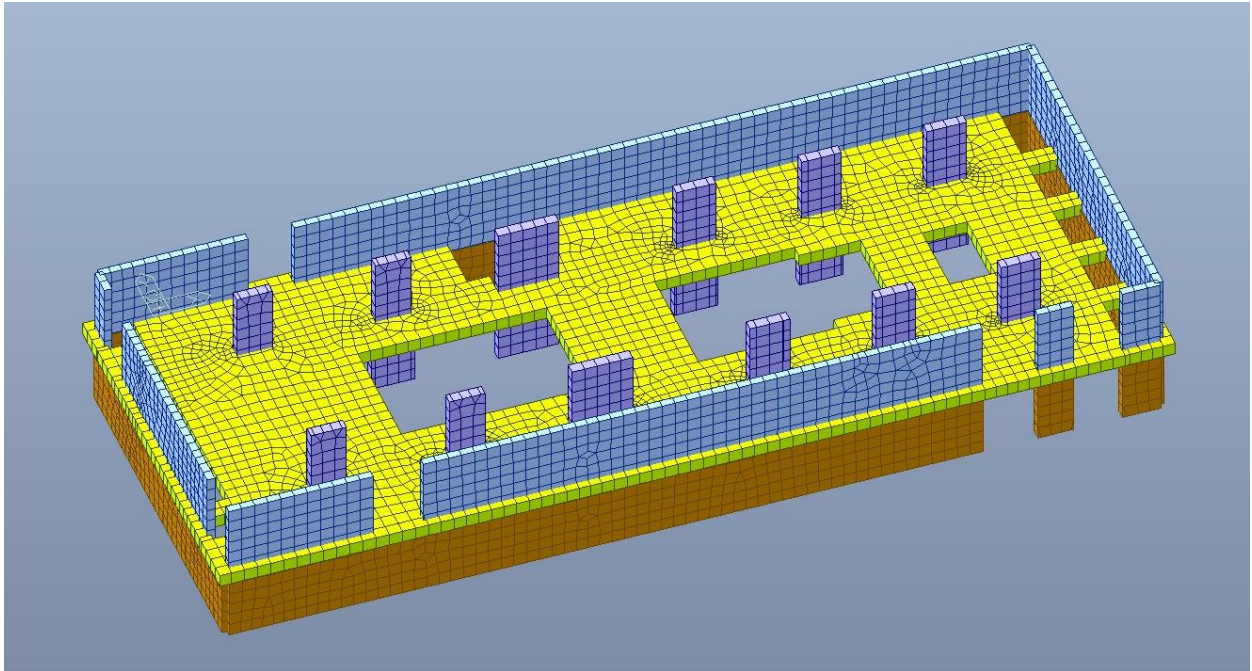


Figura 21. Struttura interrata – Piano mezzanino (-2)

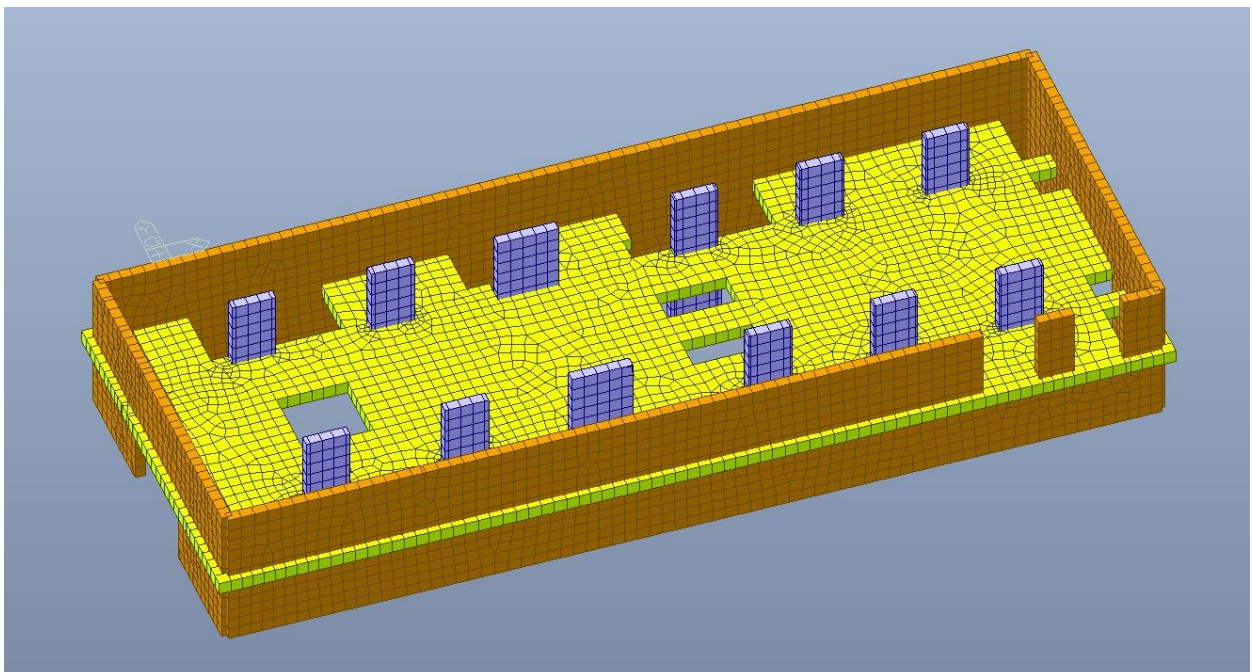


Figura 22. Struttura interrata – Piano mezzanino (-3)

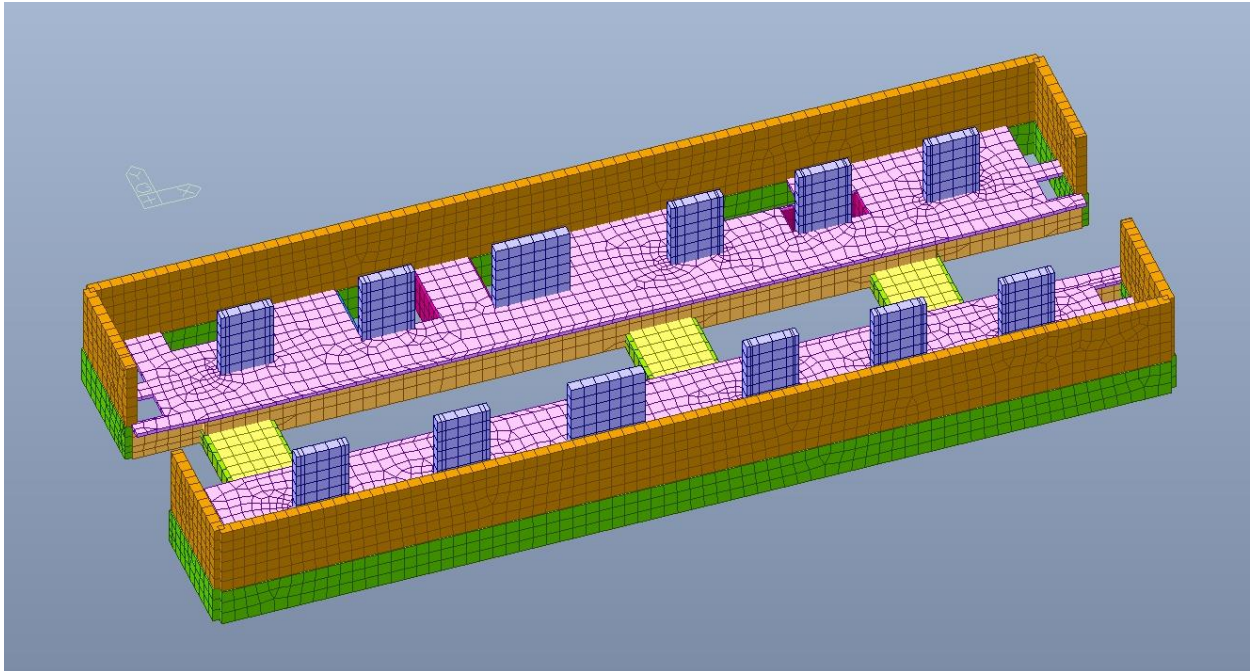


Figura 23. Struttura interrata – Piano banchina

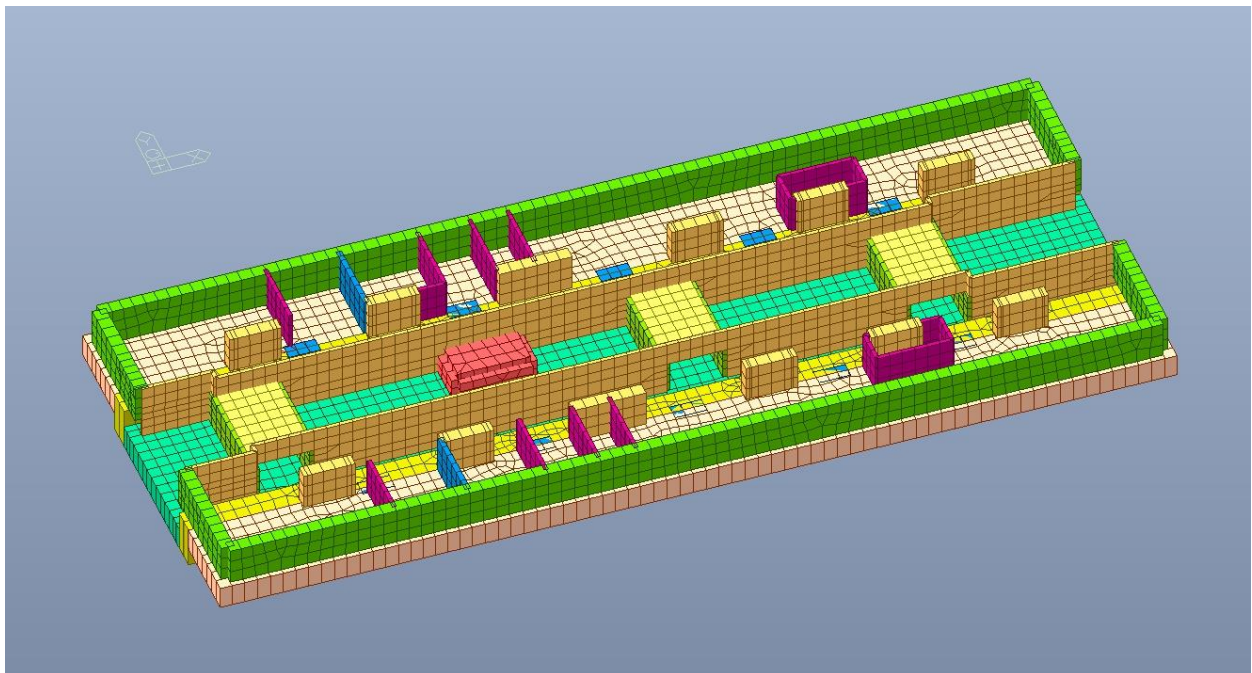
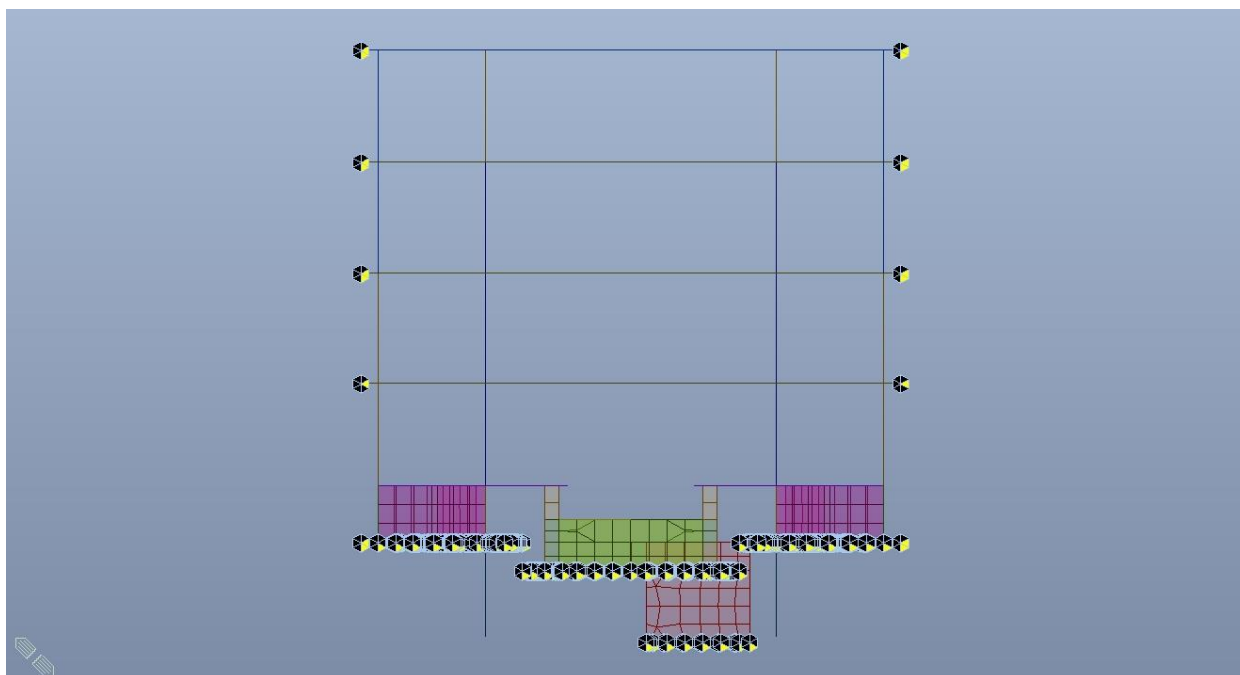


Figura 24. Struttura interrata – Platea di fondazione e cunicoli

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

Vincoli:

- interni: struttura incastrata;
- col mondo esterno: molle reagenti a sola compressione (Winkler).



**Figura 25. Vincoli con il mondo esterno – Sezione trasversale**

I diaframmi esterni NON sono stati modellati in quanto non oggetto della presente relazione; mentre i diaframmi centrali sono stati modellati solamente per la porzione sotto la platea di fondazione in quanto fungono da vincoli a tempo infinito.

I collegamenti tra orizzontamenti e diaframmi esterni sono stati modellati tramite l'inserimento di molle orizzontali compression-only ortogonali al diaframma stesso in modo da simulare la rigidità laterale e lungo Z in modo da simulare la rigidità di base; a favore di sicurezza per i diaframmi centrali è stata considerata la sola rigidità alla base, trascurando il contributo offerto dall'attrito laterale della parte infissa.

Per il Piano mezzanino (-3) è stato modellato solamente il vincolo orizzontale, in quanto non trova appoggio sul diaframma perimetrale ma solamente sulle fodere di rivestimento.

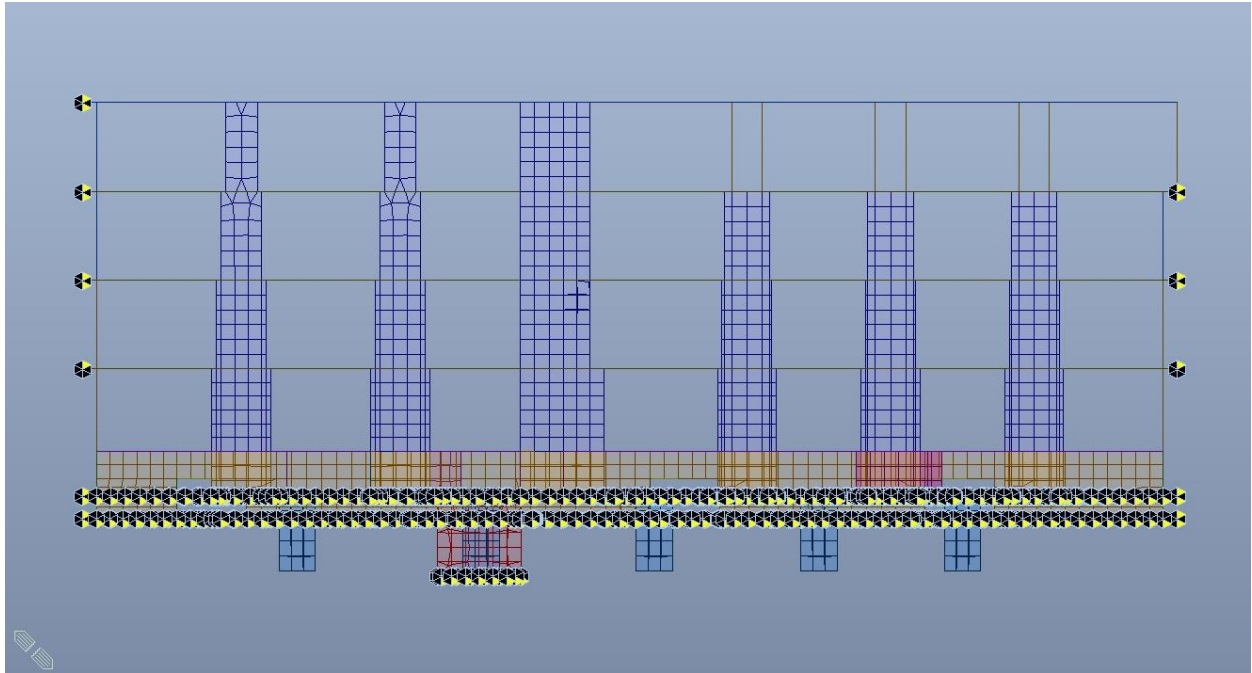


Figura 26. Vincoli con il mondo esterno – Sezione longitudinale

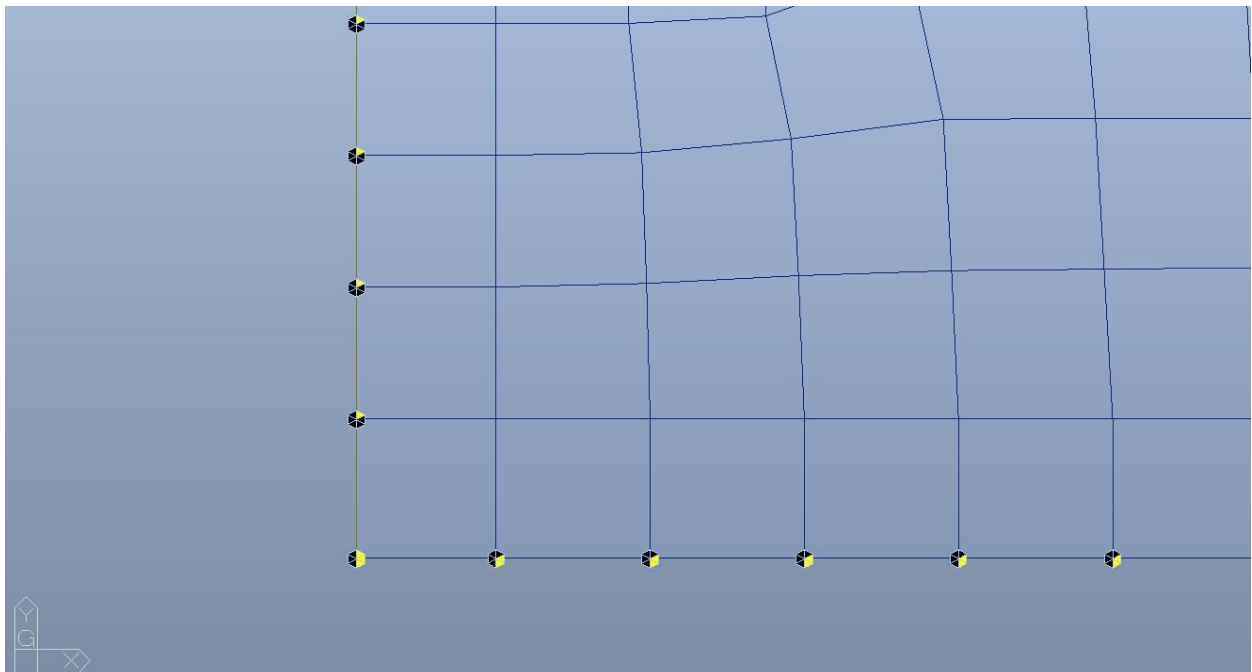


Figura 27. Dettaglio – Molle compression-only X/Y e Z

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

Nella tabella seguente sono indicati gli spessori dei rispettivi elementi strutturali.

**Tabella 24. Caratteristiche sezioni modello FEM**

NAME	TYPE	IN-OUT	THICK-IN [cm]
Solettone di copertura	Value	Yes	80
Solettoni intermedi	Value	Yes	100
Diaframmi_INT	Value	Yes	120
Fodere	Value	Yes	60-80-100
Banchina	Value	Yes	30
Muretti_Banchina	Value	Yes	30
Soletta_VC	Value	Yes	30
Setti_scala	Value	Yes	25
Setti_VC	Value	Yes	60
Platea	Value	Yes	130-180
Setti_Fossa	Value	Yes	100
Fondo_Fossa	Value	Yes	100
Soletta_Fossa	Value	Yes	100

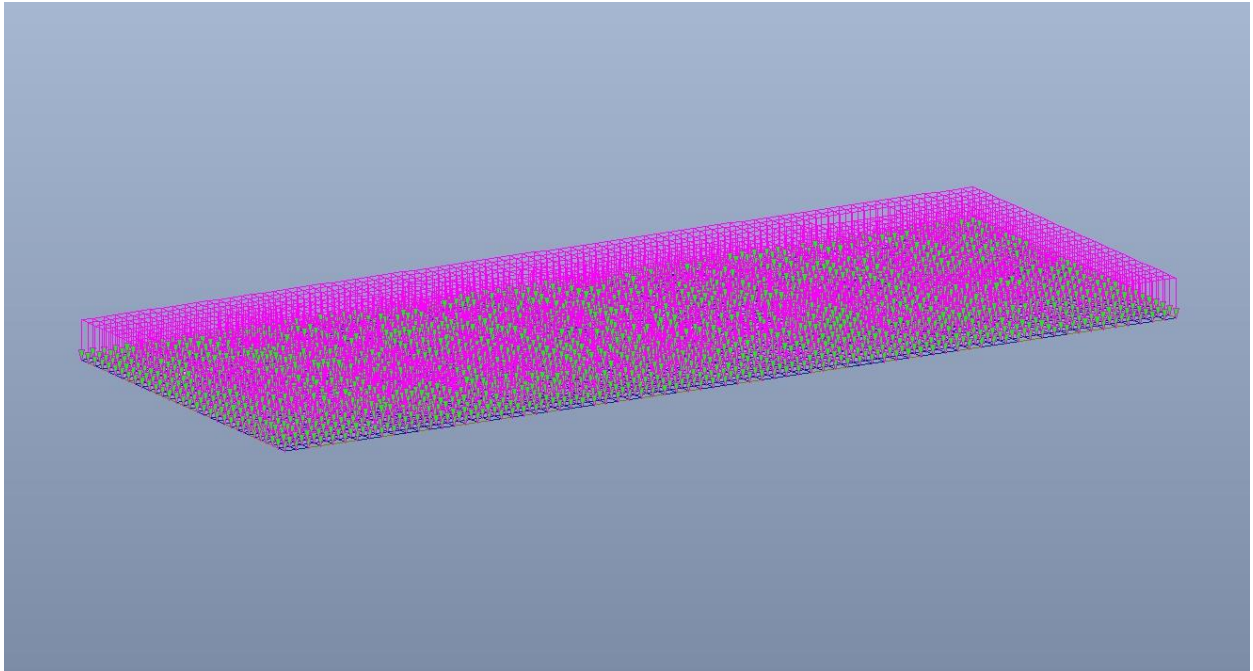
## 8.2 Modellazione delle azioni – Tempo infinito

Di seguito si riportano i carichi applicati sul modello FEM realizzato per i diversi orizzontamenti

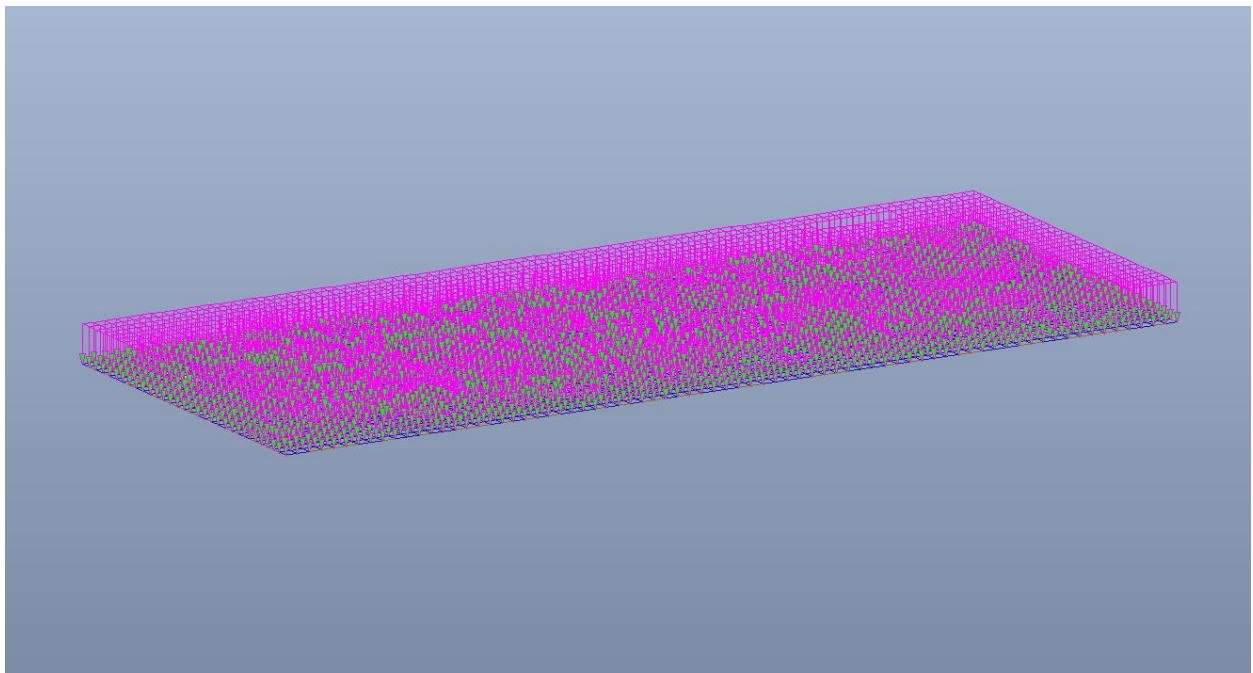


 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

### 8.2.1 Solettone di copertura



**Figura 28. Solettone di copertura– Carichi permanenti NON strutturali  $G_2$**



**Figura 29. Solettone di copertura – Carico variabile veicolare**



### 8.2.2 Piano atrio (-1)

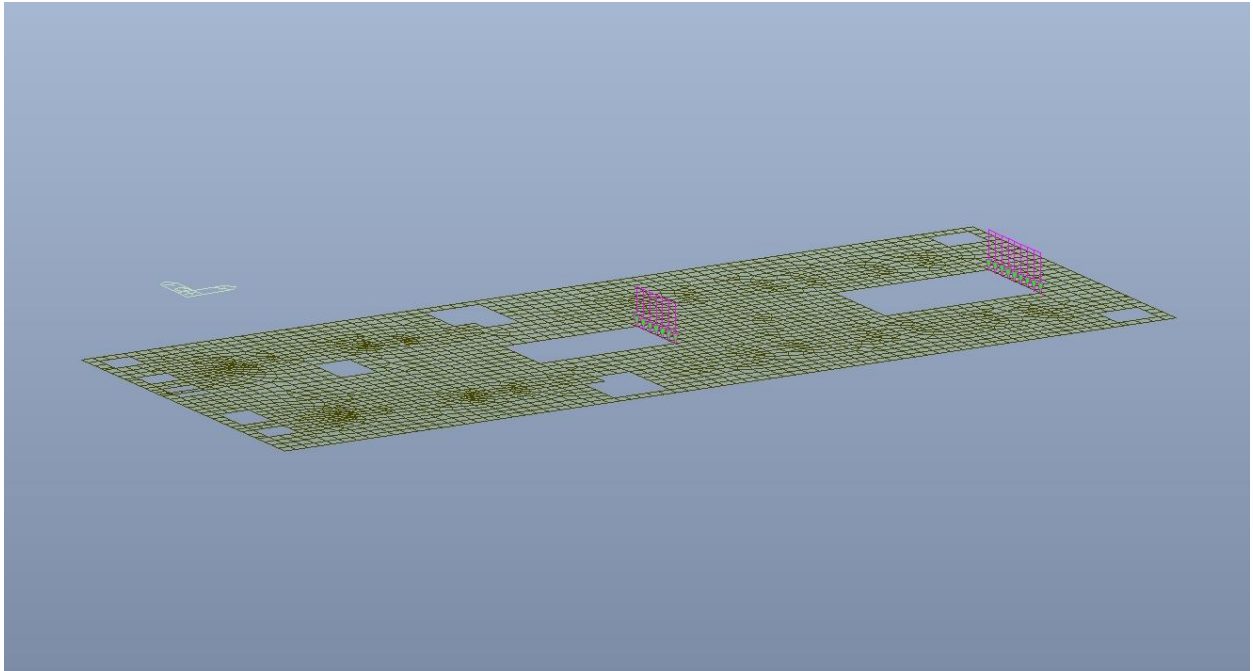


Figura 30. Piano atrio (-1) – Carichi permanenti strutturali  $G_1$  – Scale

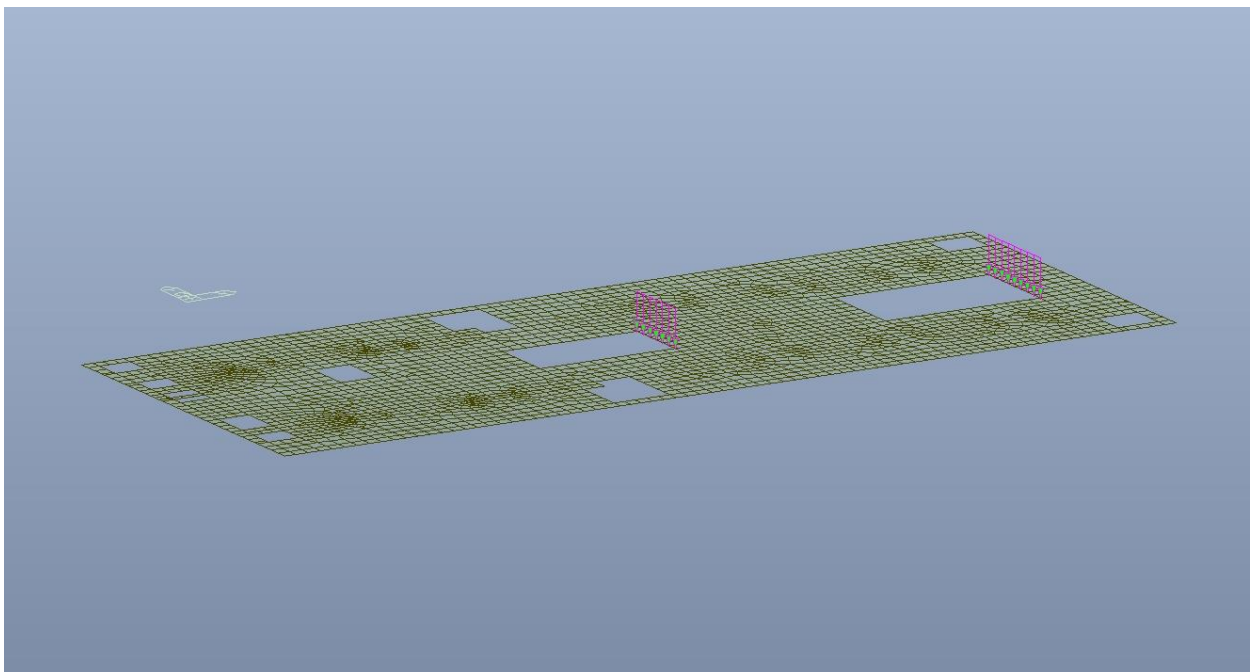


Figura 31. Piano atrio (-1) – Carichi permanenti NON strutturali  $G_2$  – Scale

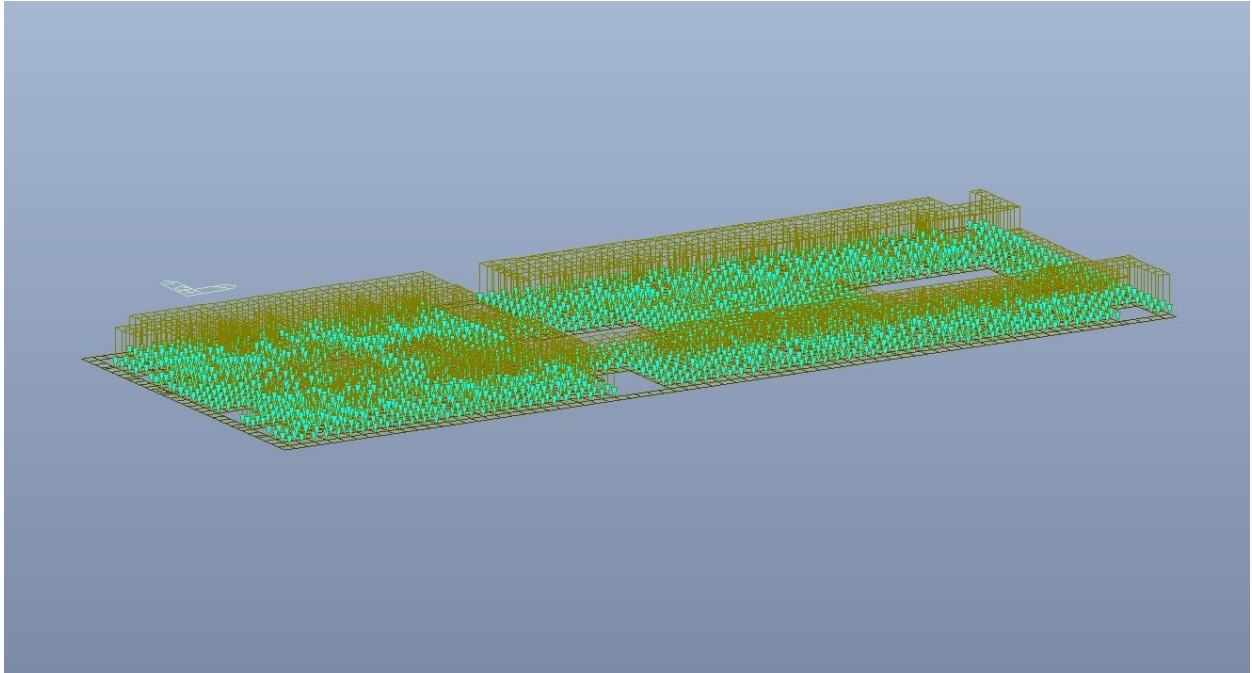


Figura 32. Piano atrio (-1) – Carichi permanenti NON strutturali  $G_2$

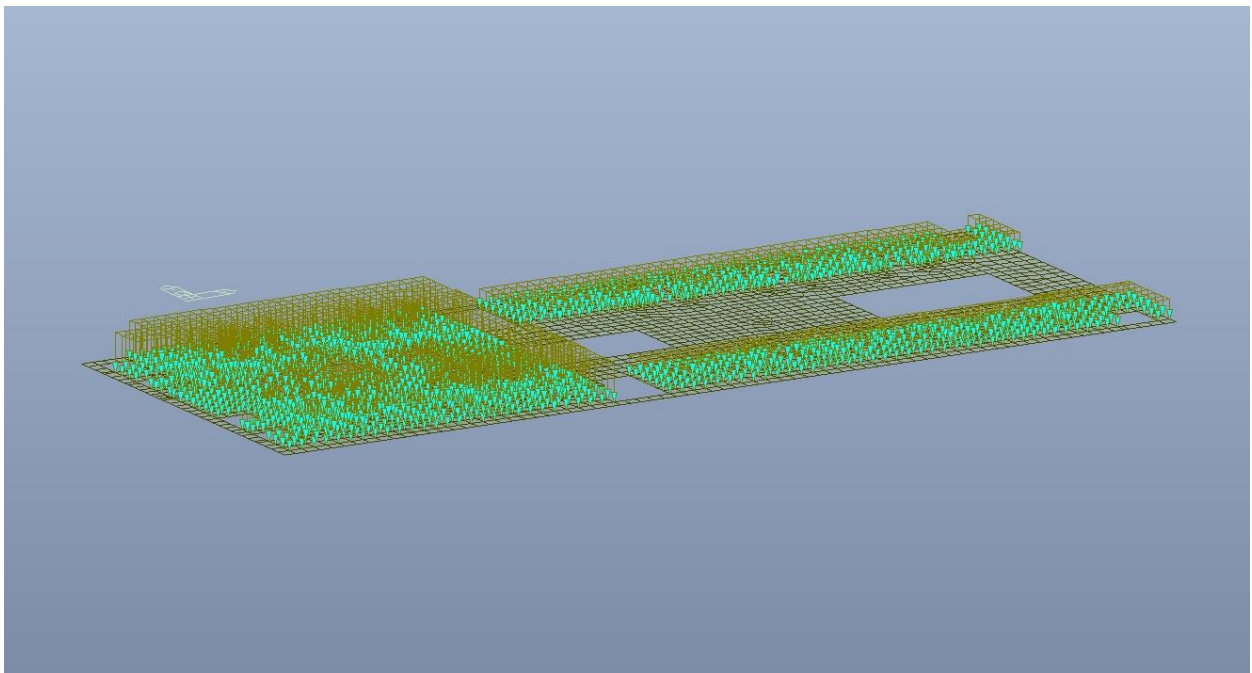


Figura 33. Piano atrio (-1) – Carico variabile Q cat.E – Zona Locali Tecnici



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

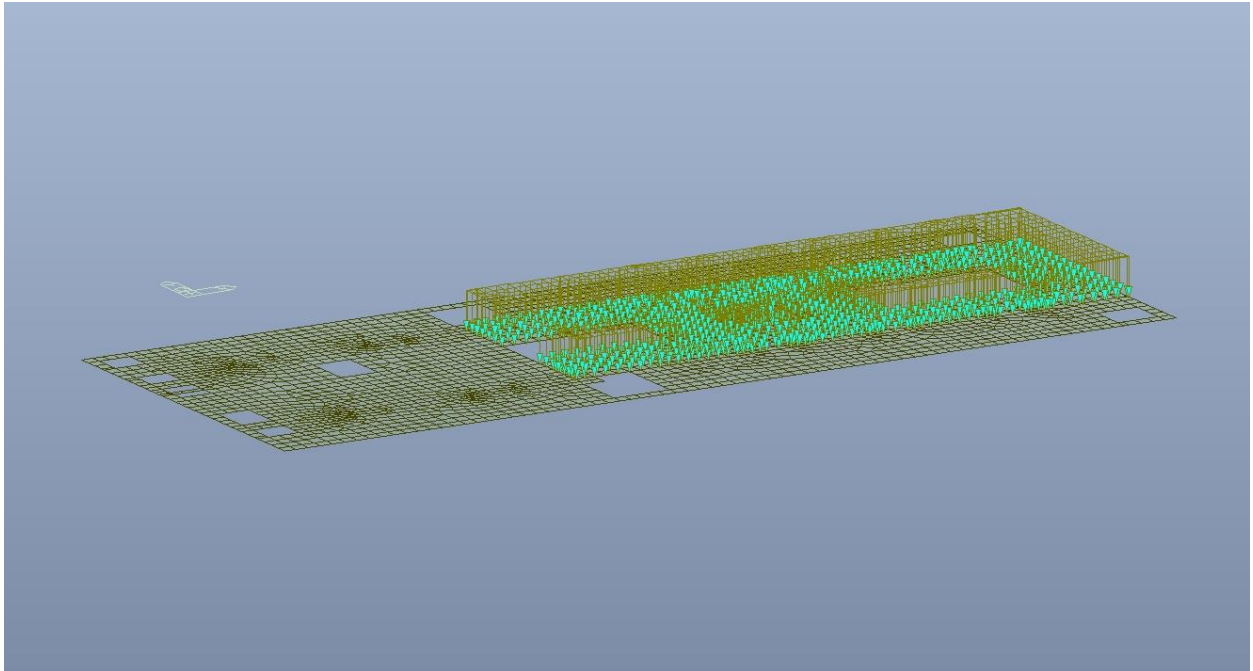
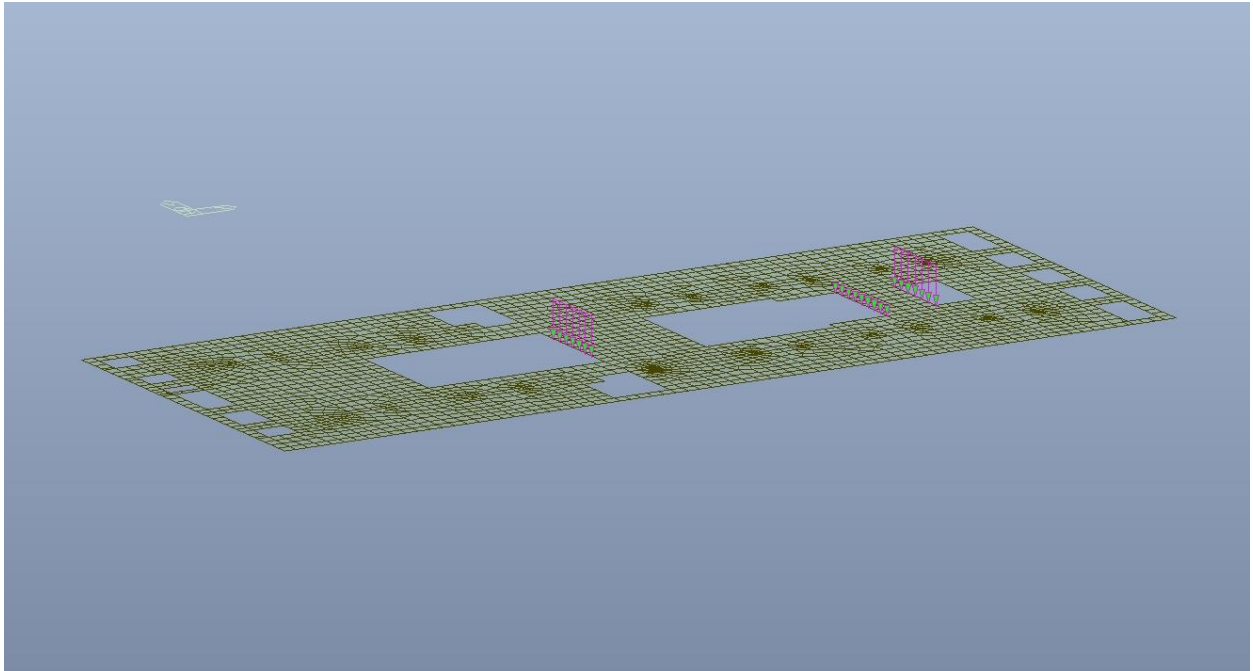


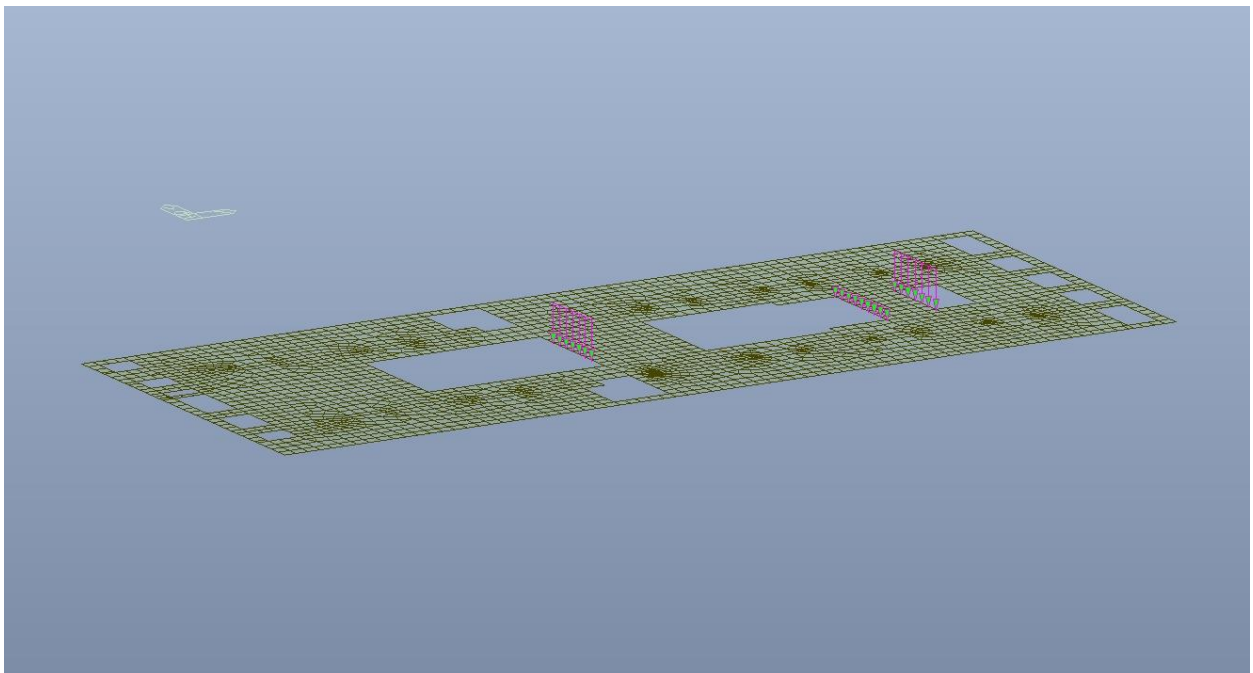
Figura 34. Piano atrio (-1) – Carico variabile Q cat.C5 – Zona viaggiatori

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

### 8.2.3 Piano mezzanino (-2)



**Figura 35. Piano mezzanino (-2) – Carichi permanenti strutturali  $G_1$  - Scale**



**Figura 36. Piano mezzanino (-2) – Carichi permanenti NON strutturali  $G_2$  – Scale**

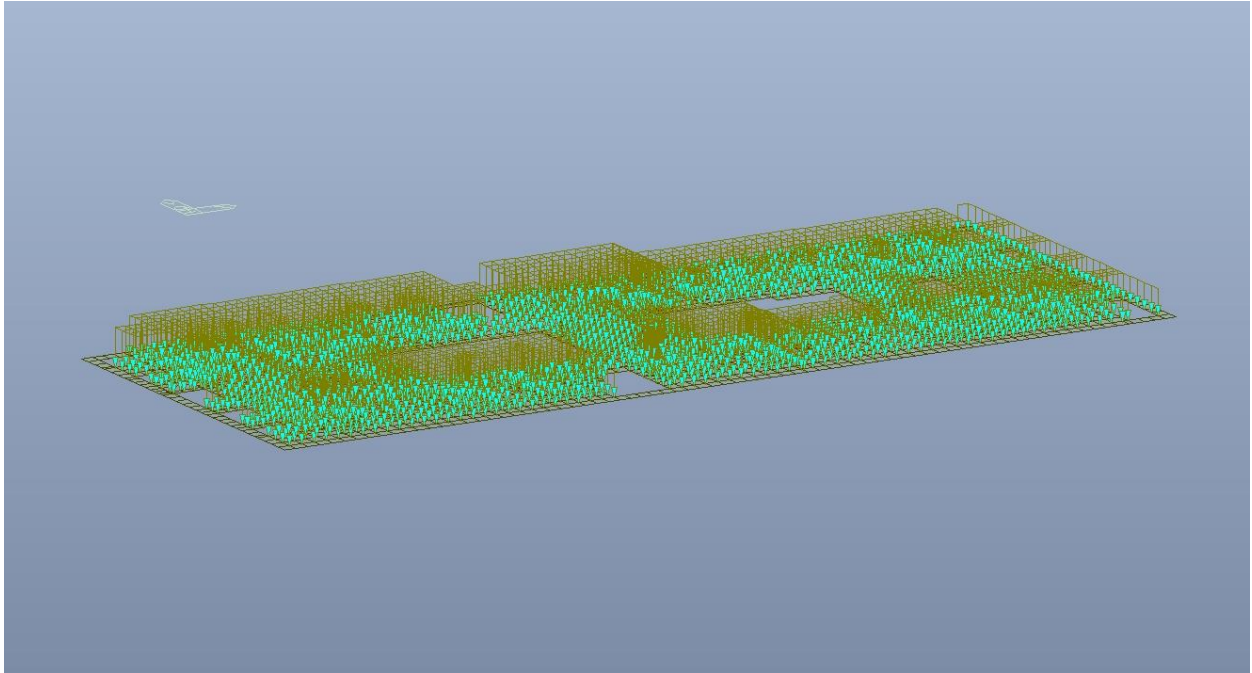


Figura 37. Piano mezzanino (-2) – Carichi permanenti NON strutturali  $G_2$

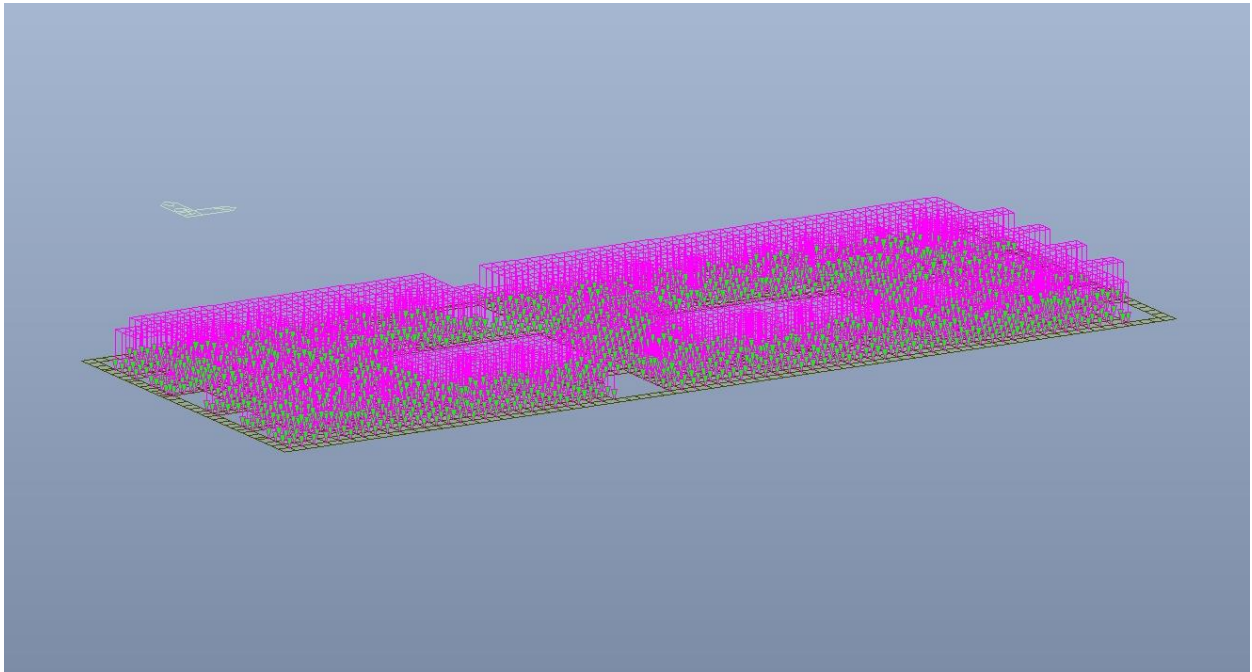


Figura 38. Piano mezzanino (-2) – Carico variabile Q cat.E



### 8.2.4 Piano mezzanino (-3)

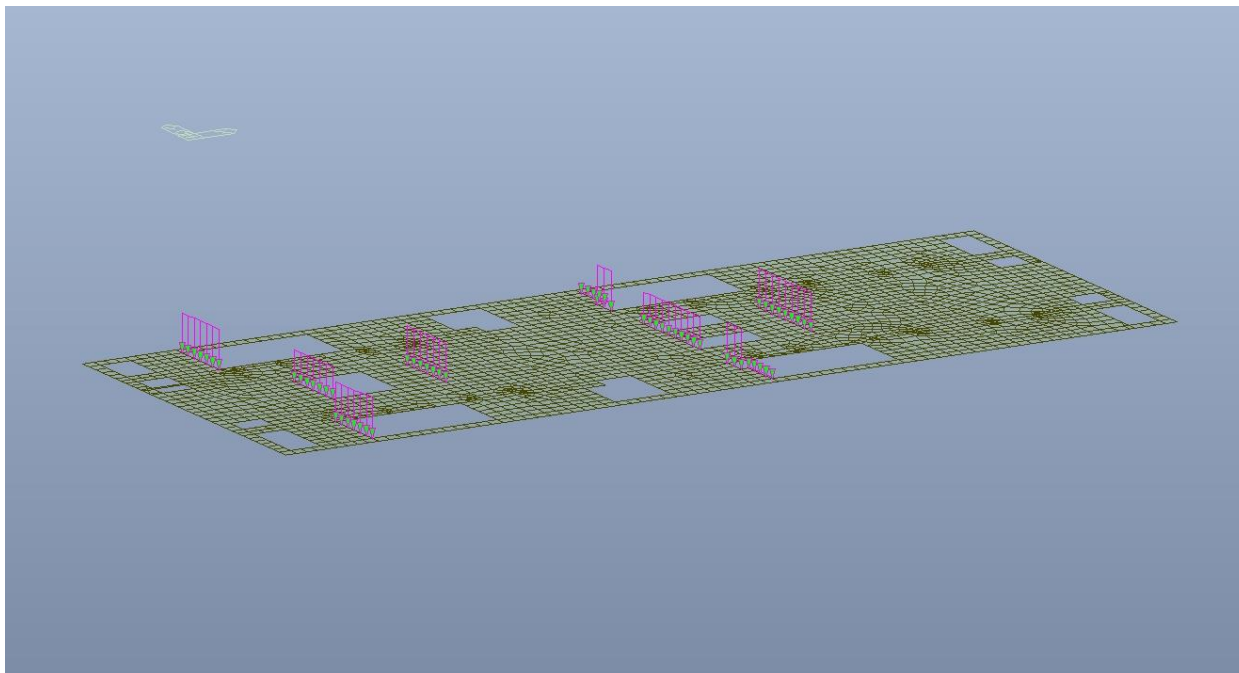


Figura 39. Piano mezzanino (-3) – Carichi permanenti strutturali  $G_1$  - Scale

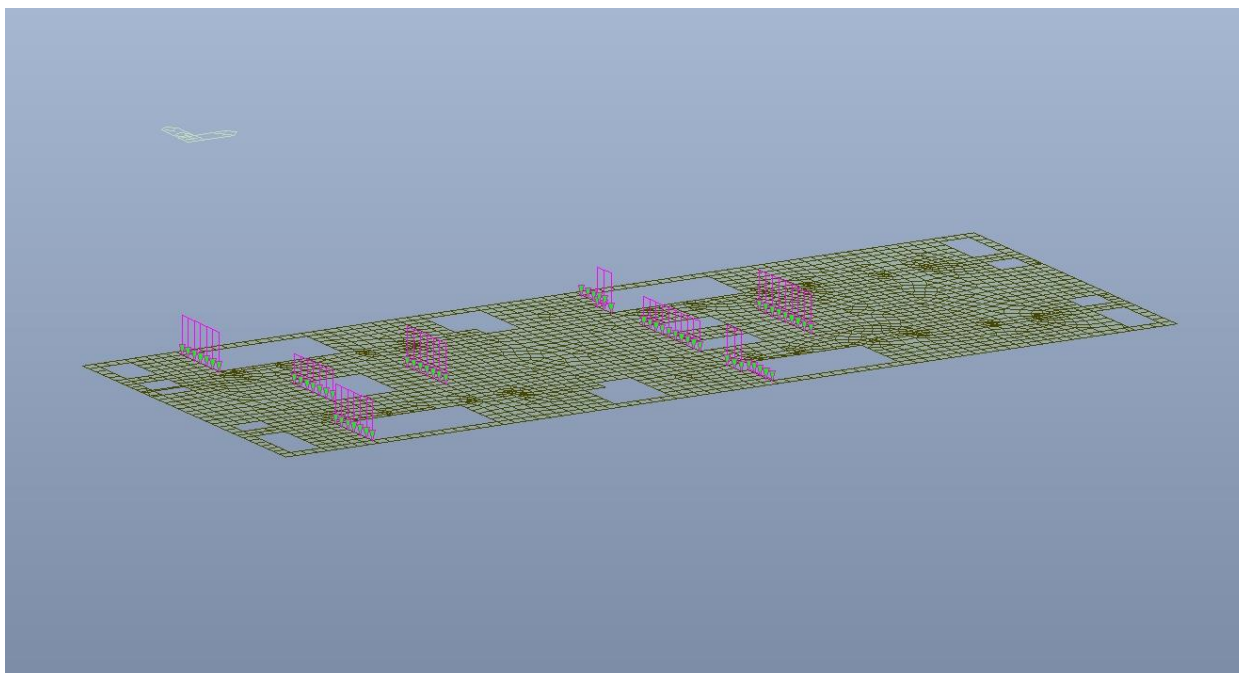


Figura 40. Piano mezzanino (-3) – Carichi permanenti NON strutturali  $G_2$  – Scale

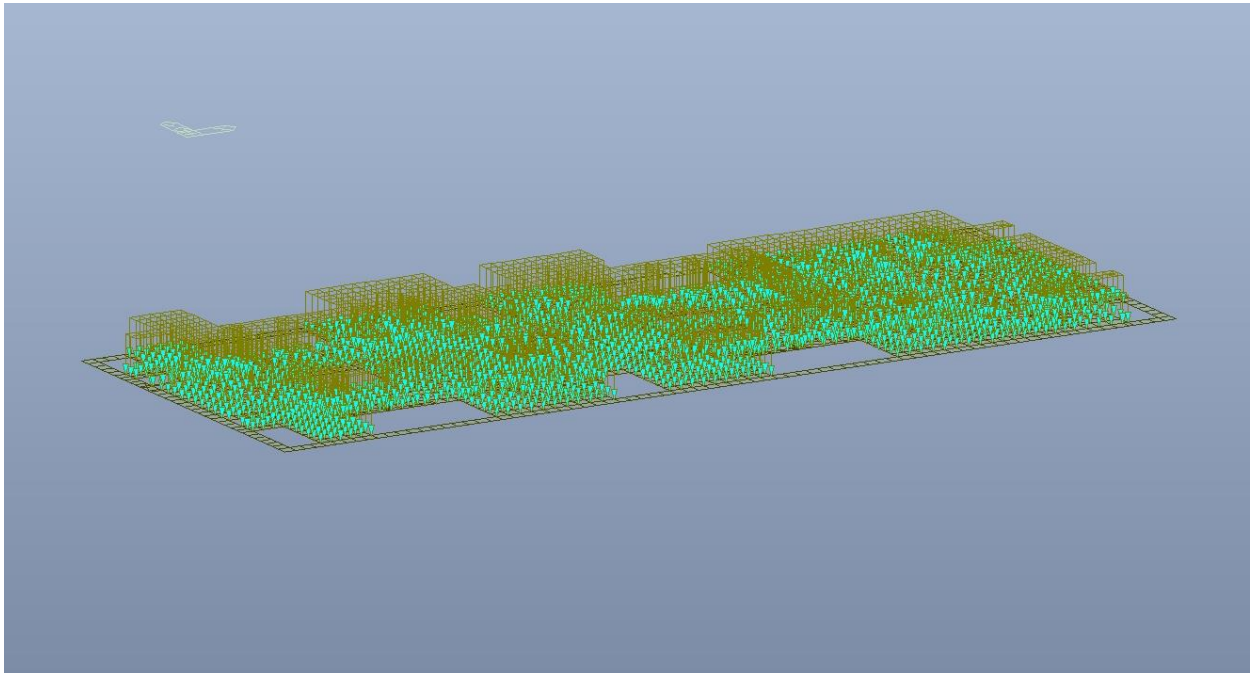


Figura 41. Piano mezzanino (-3) – Carichi permanenti NON strutturali  $G_2$

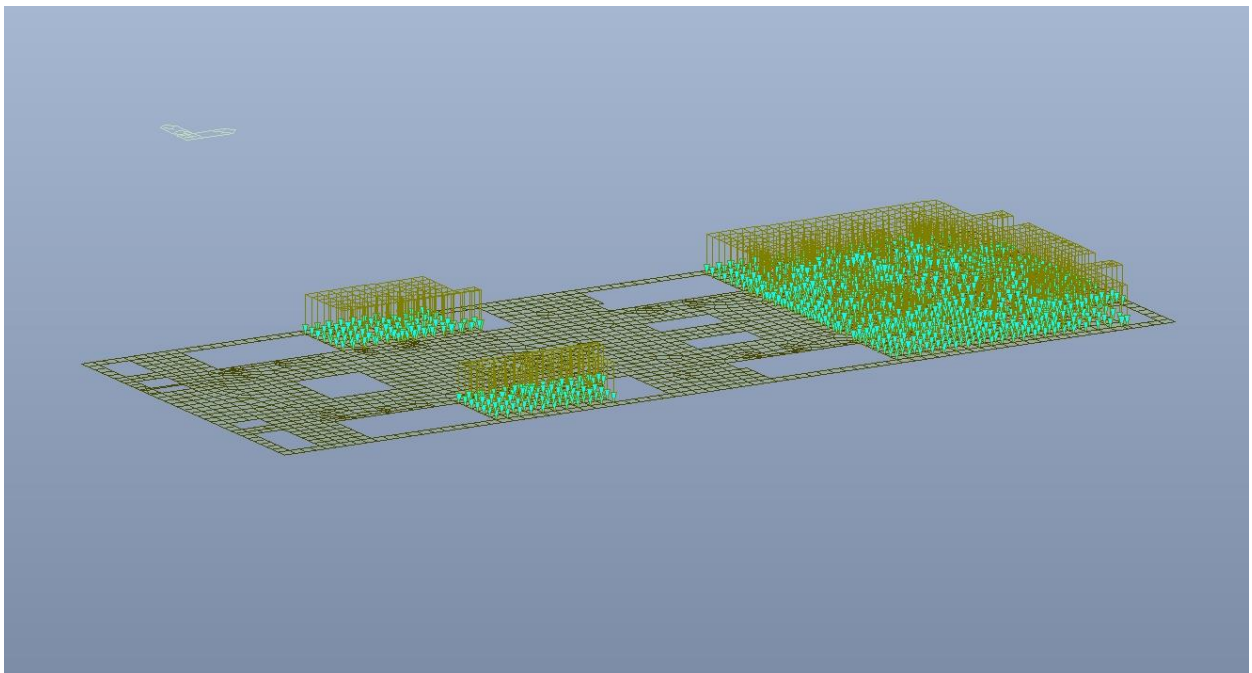


Figura 42. Piano mezzanino (-3) – Carico variabile Q cat.E – Zona Locali Tecnici





CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

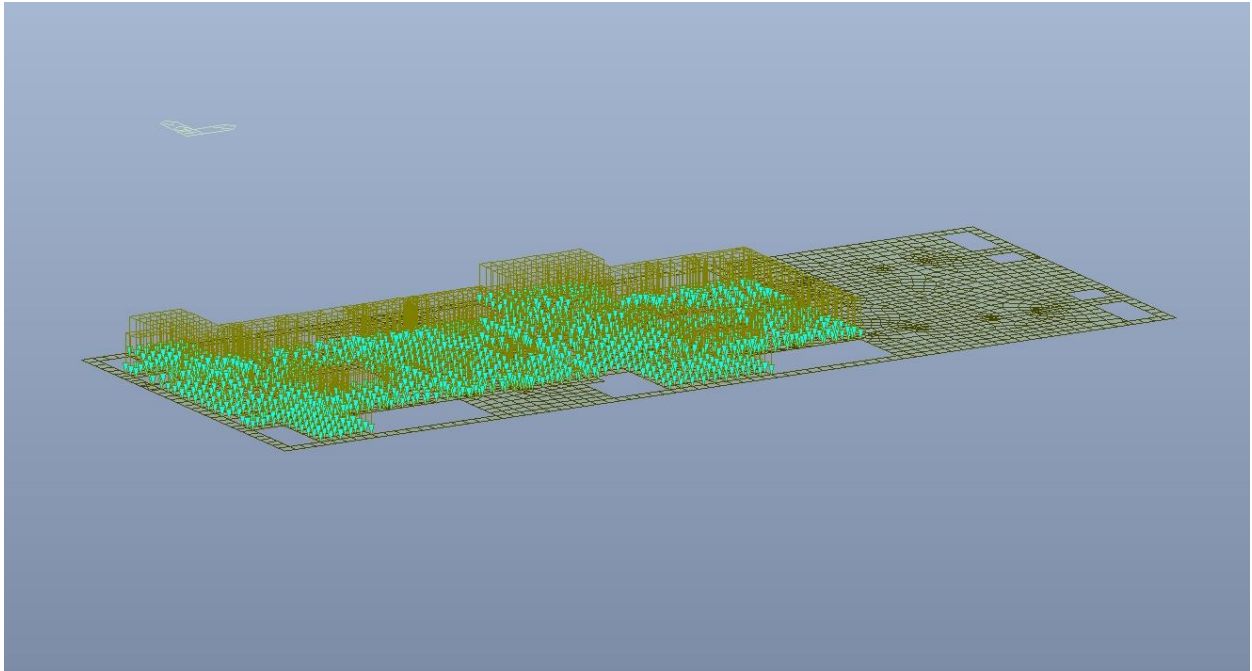


Figura 43. Piano mezzanino (-3) – Carico variabile Q cat.C5 – Zona viaggiatori



### 8.2.5 Piano banchina

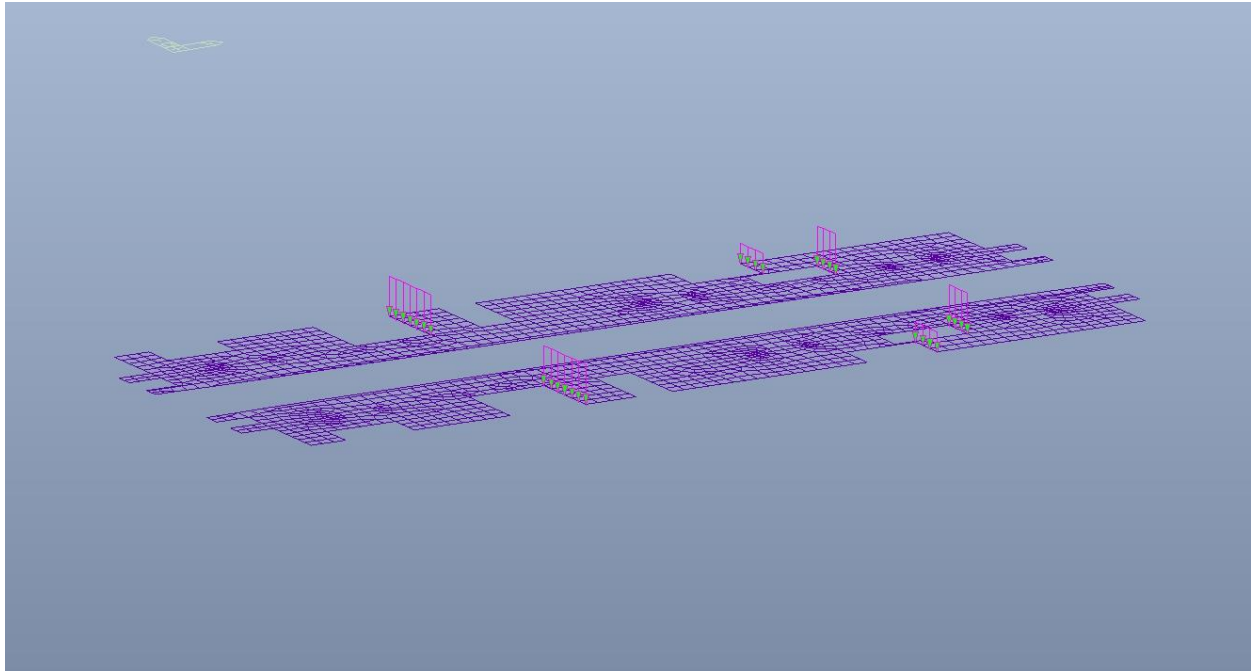


Figura 44. Piano banchina – Carichi permanenti strutturali  $G_1$  - Scale

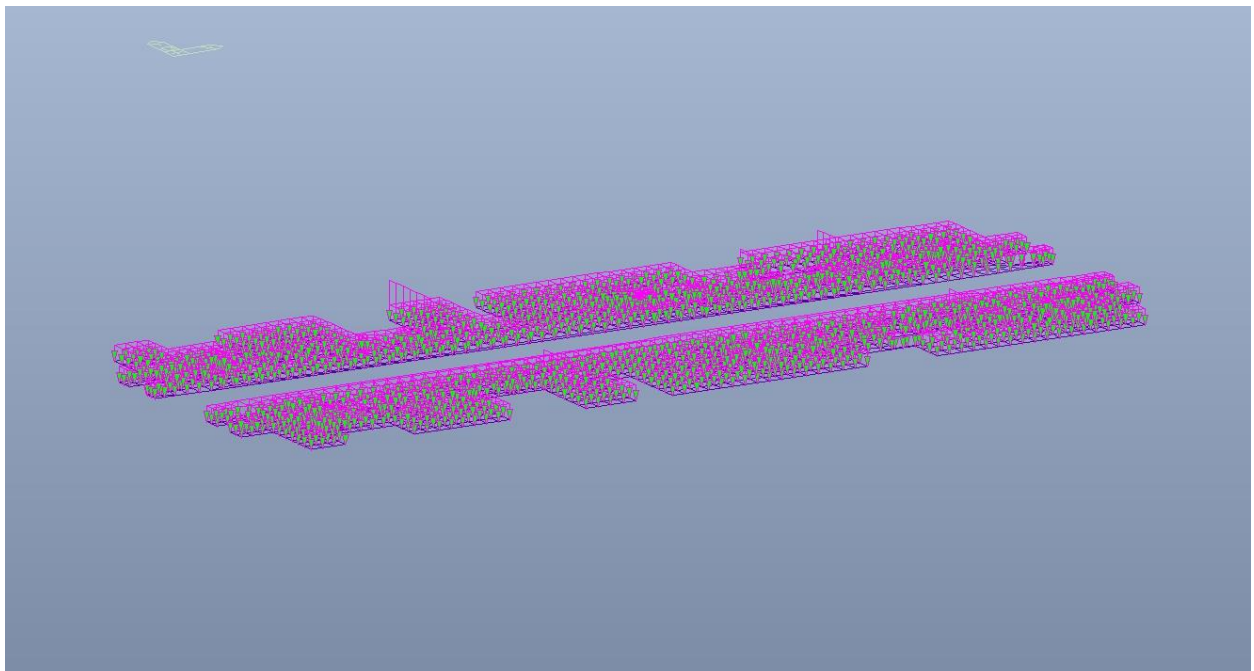


Figura 45. Piano banchina – Carichi permanenti NON strutturali  $G_2$

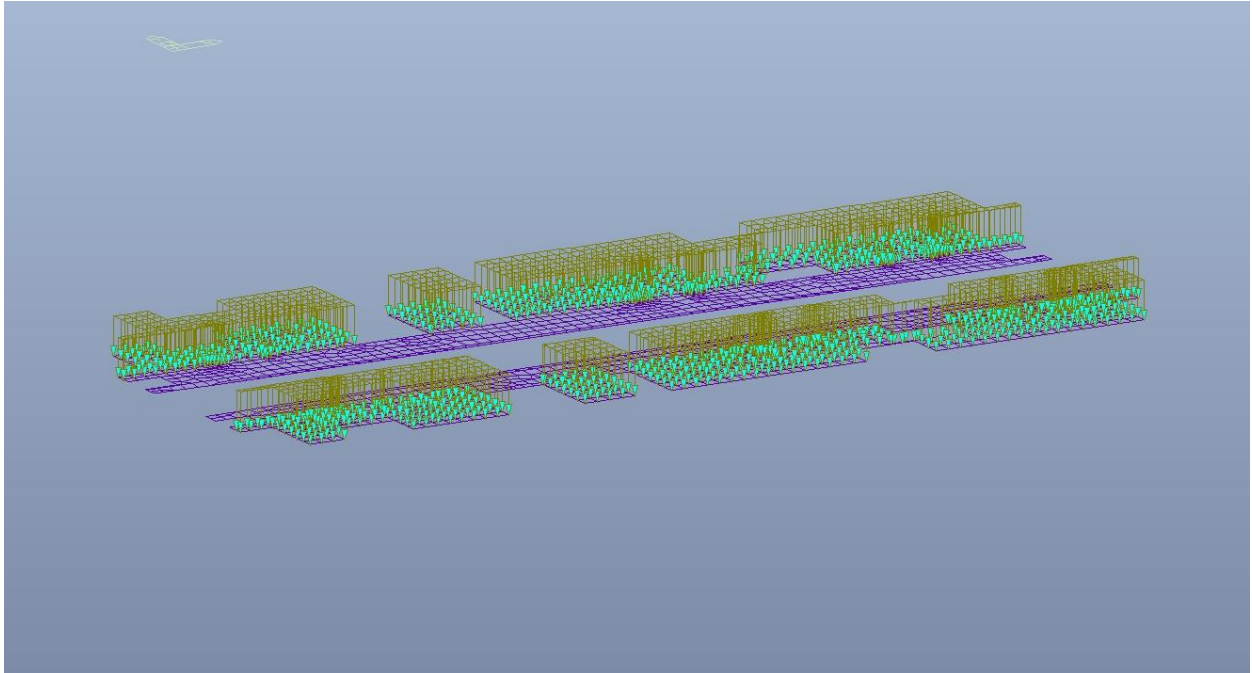


Figura 46. Piano banchina – Carico variabile Q cat.E – Zona Locali Tecnici

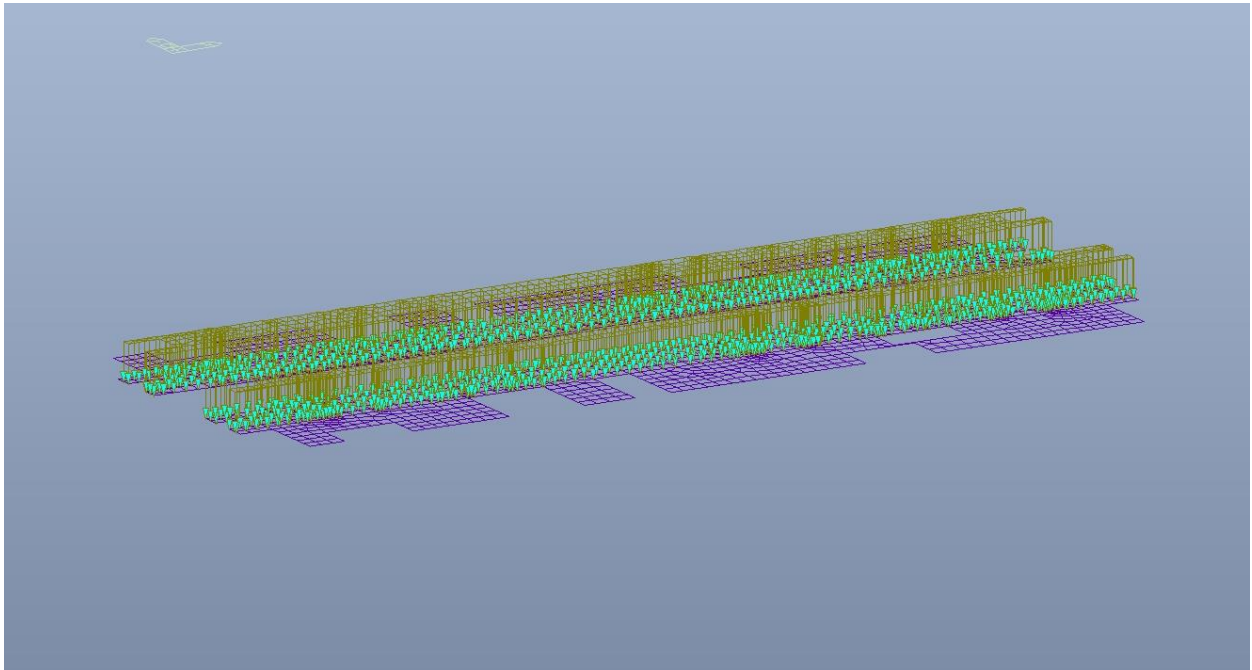


Figura 47. Piano banchina – Carico variabile Q cat.C5 – Zona viaggiatori



### 8.2.6 Platea di fondazione e cunicoli

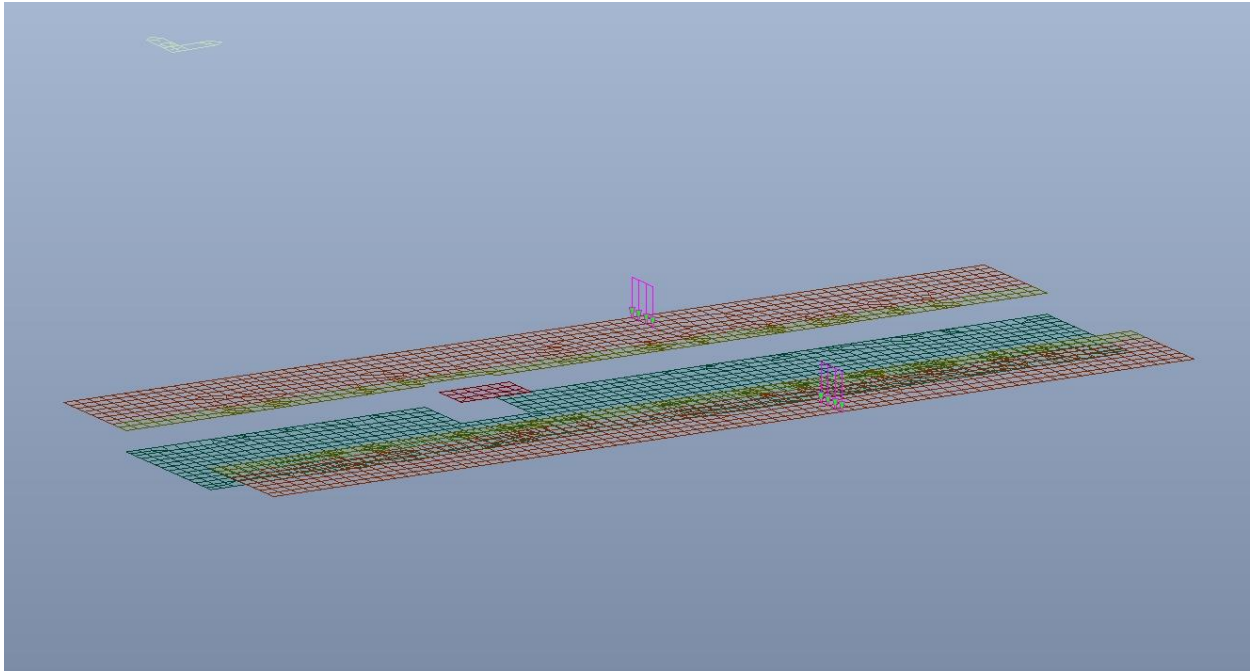


Figura 48. Platea di fondazione – Carichi permanenti strutturali  $G_1$  – Scale

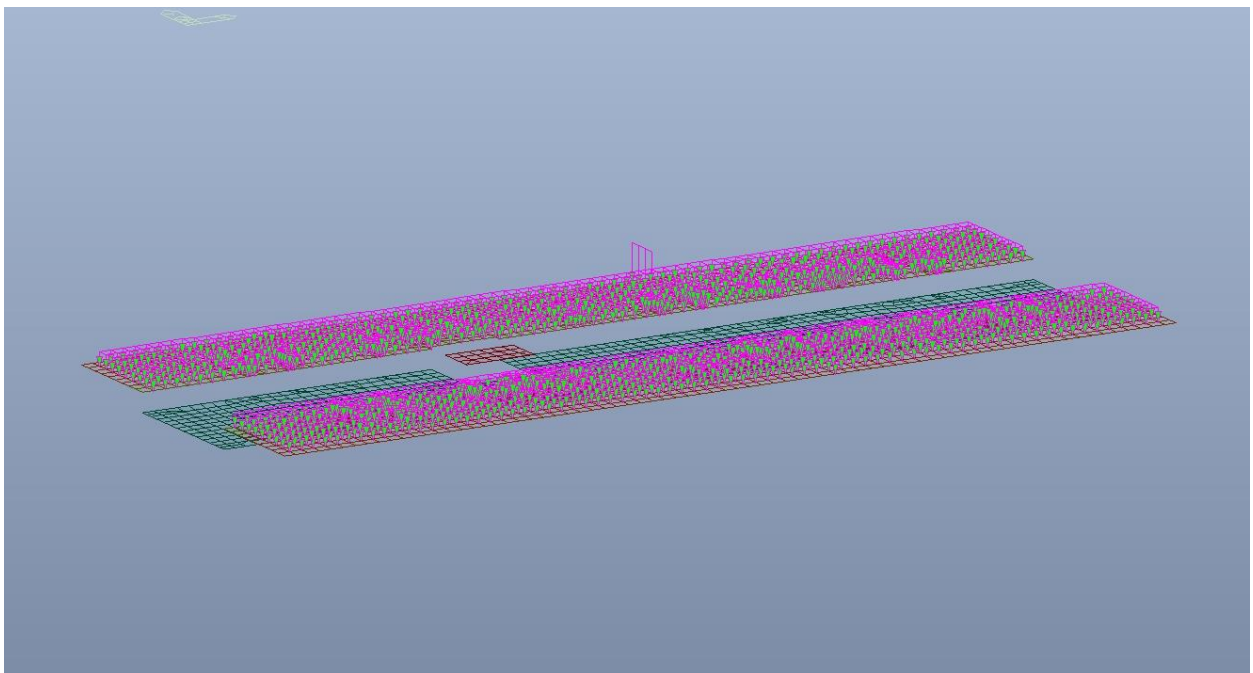


Figura 49. Platea di fondazione – Carichi permanenti NON strutturali  $G_2$

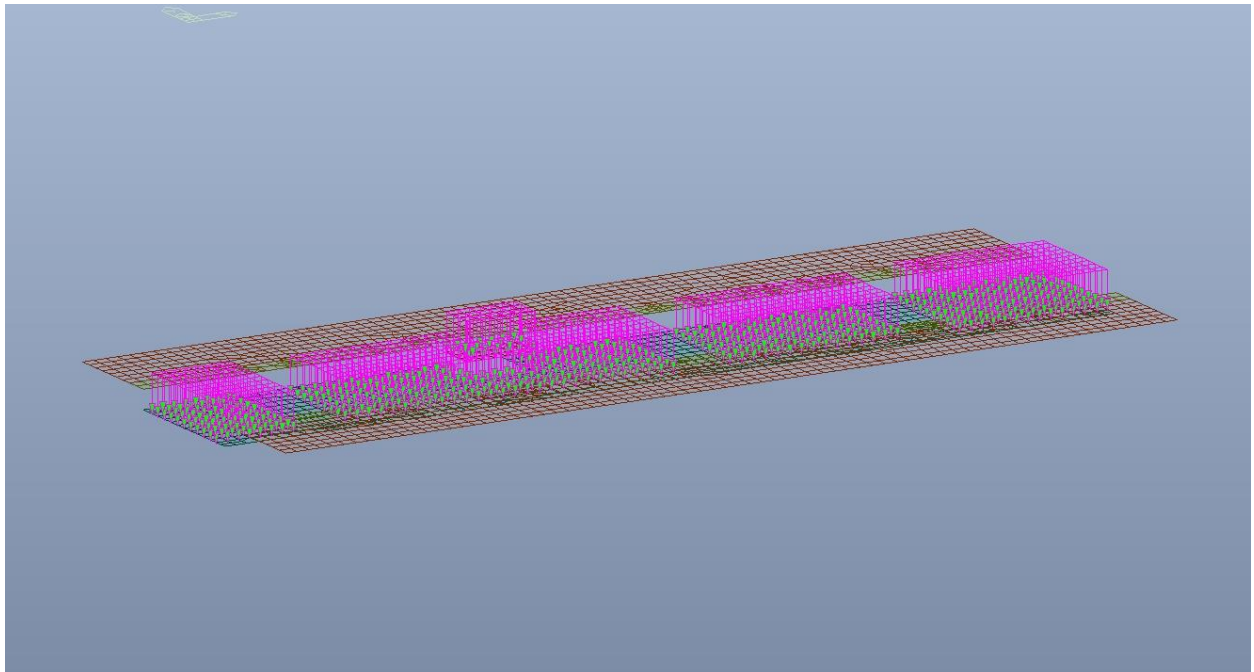


Figura 50. Platea di fondazione – Ballast

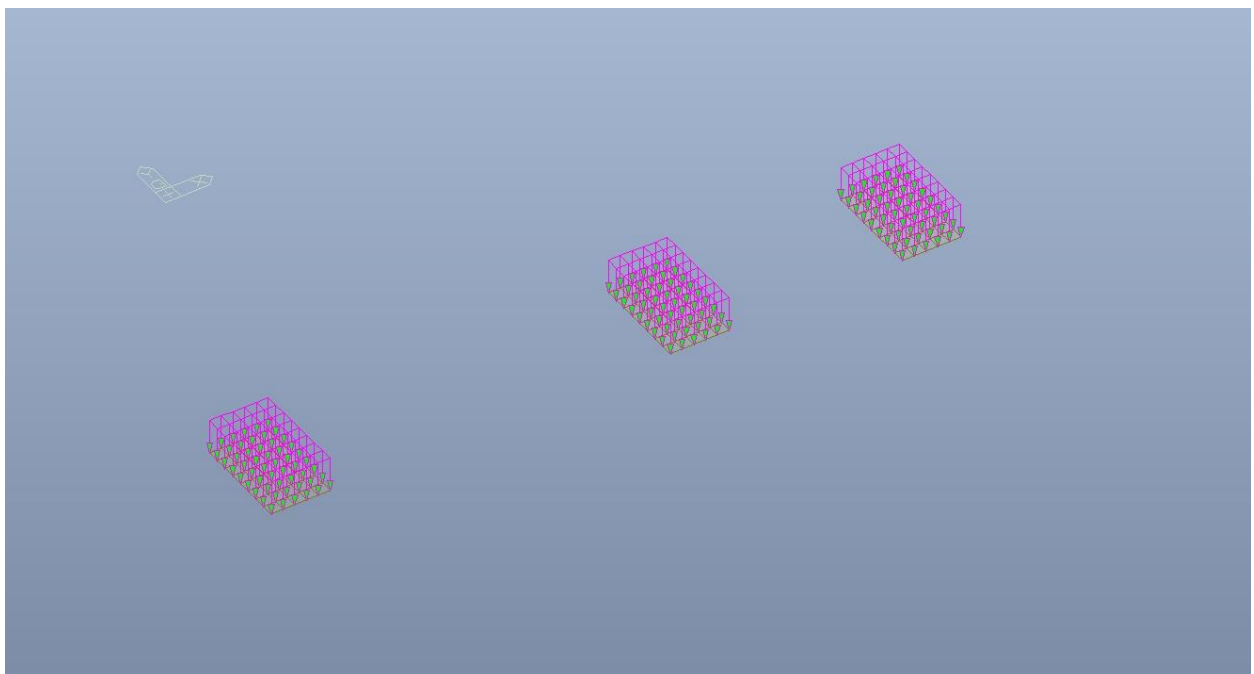


Figura 51. Copertura cunicoli – Ballast

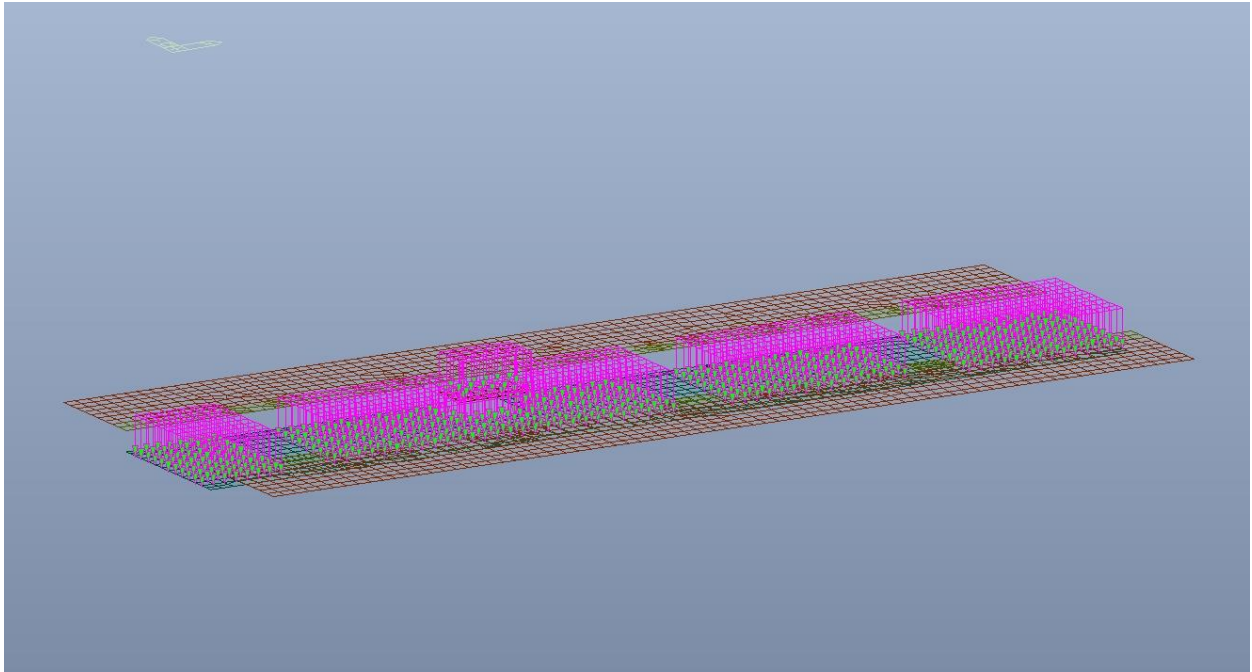


Figura 52. Platea di fondazione – Carico variabile da treno

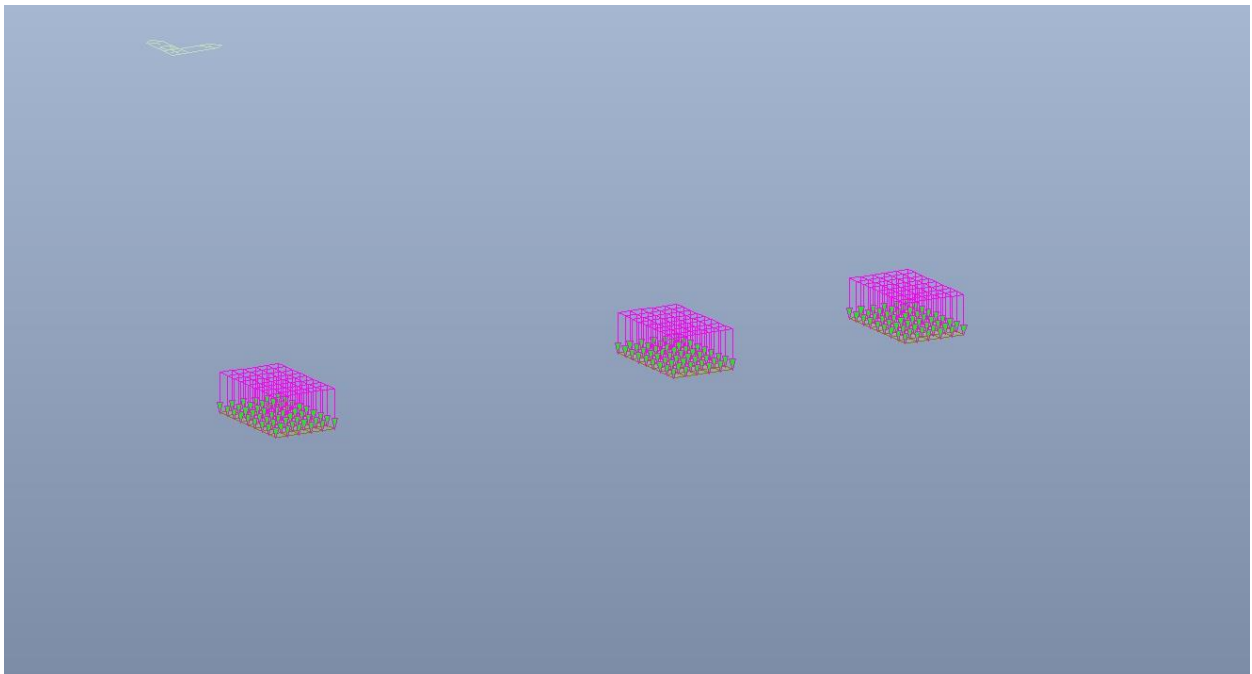


Figura 53. Copertura cunicoli – Carico variabile da treno



### 8.2.7 Carichi orizzontali

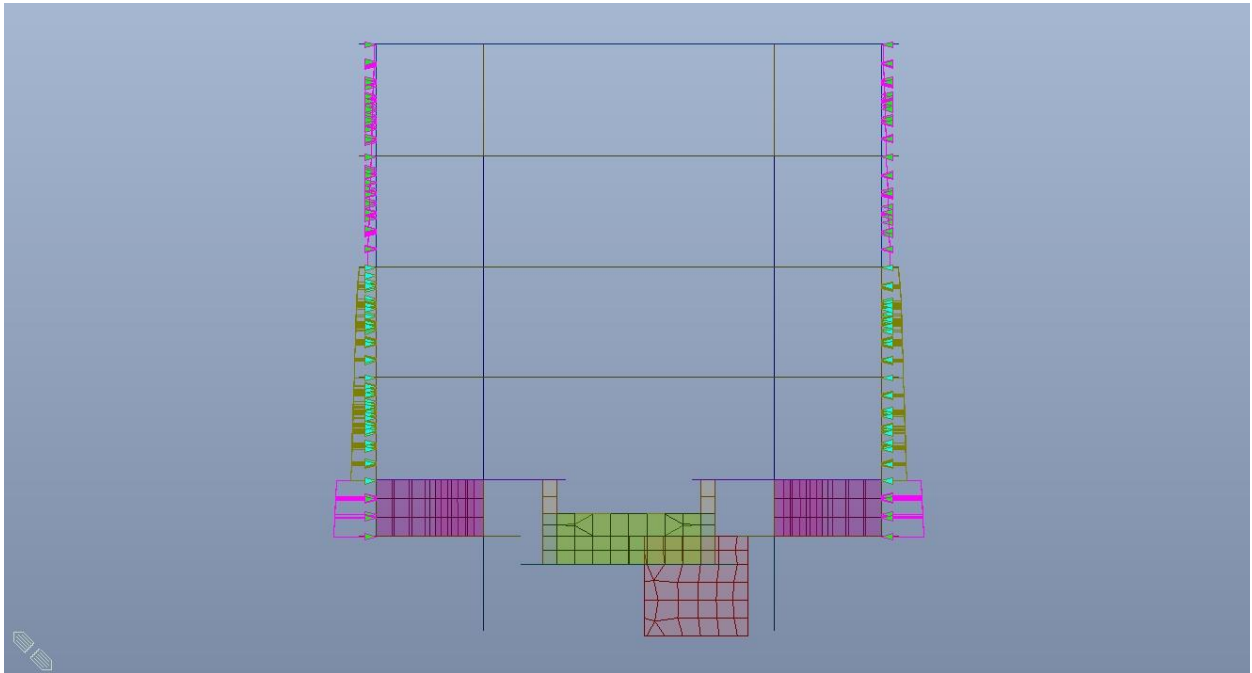


Figura 54. Spinta statica del terreno - Tipologico

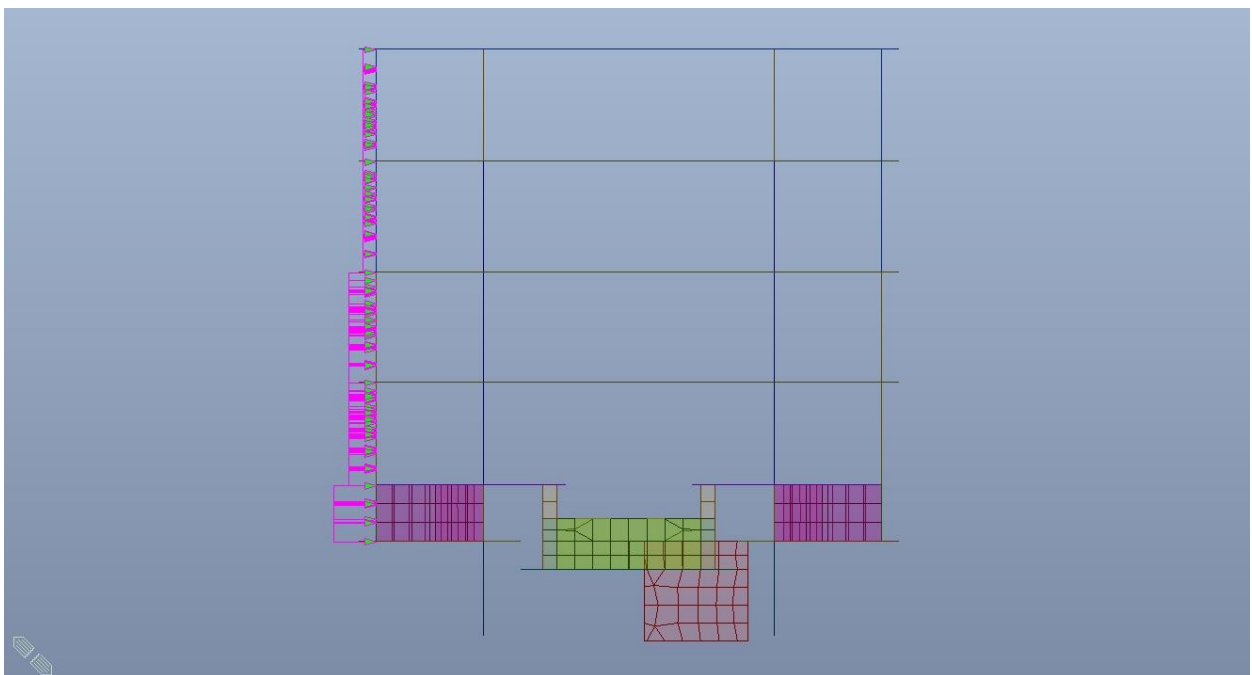


Figura 55. Spinta sovraccarico stradale - Tipologico

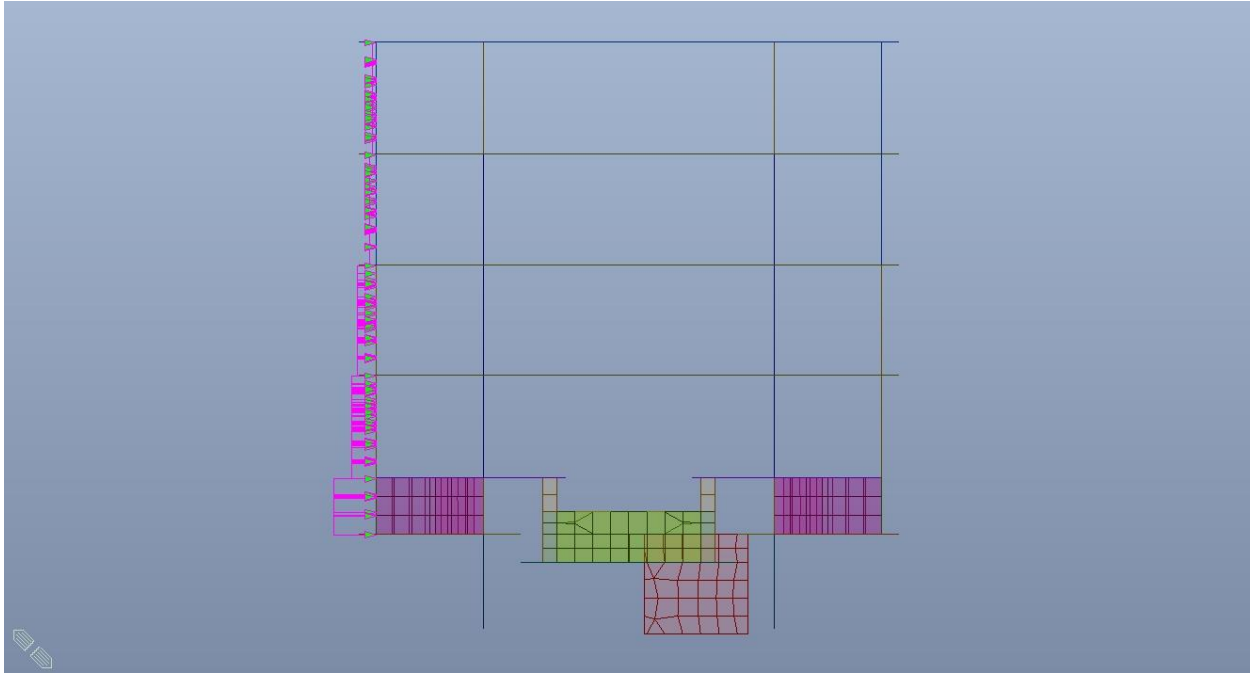


Figura 56. Sovrappinta sismica terreno - Tipologico

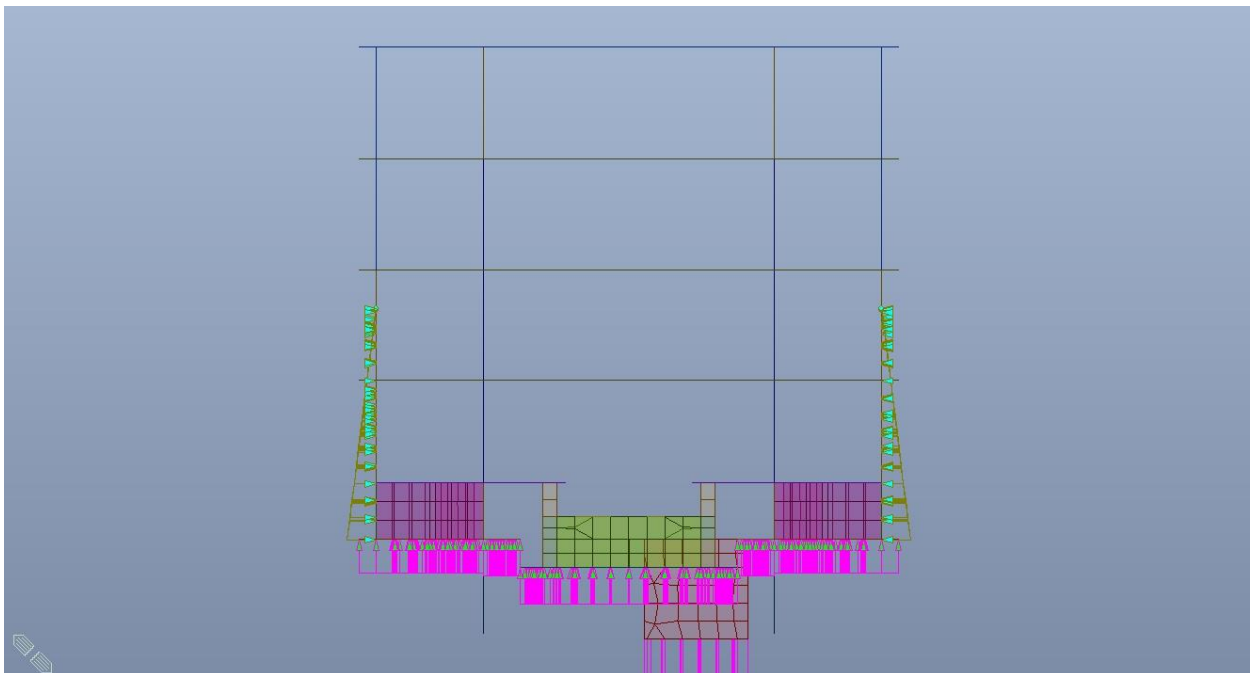


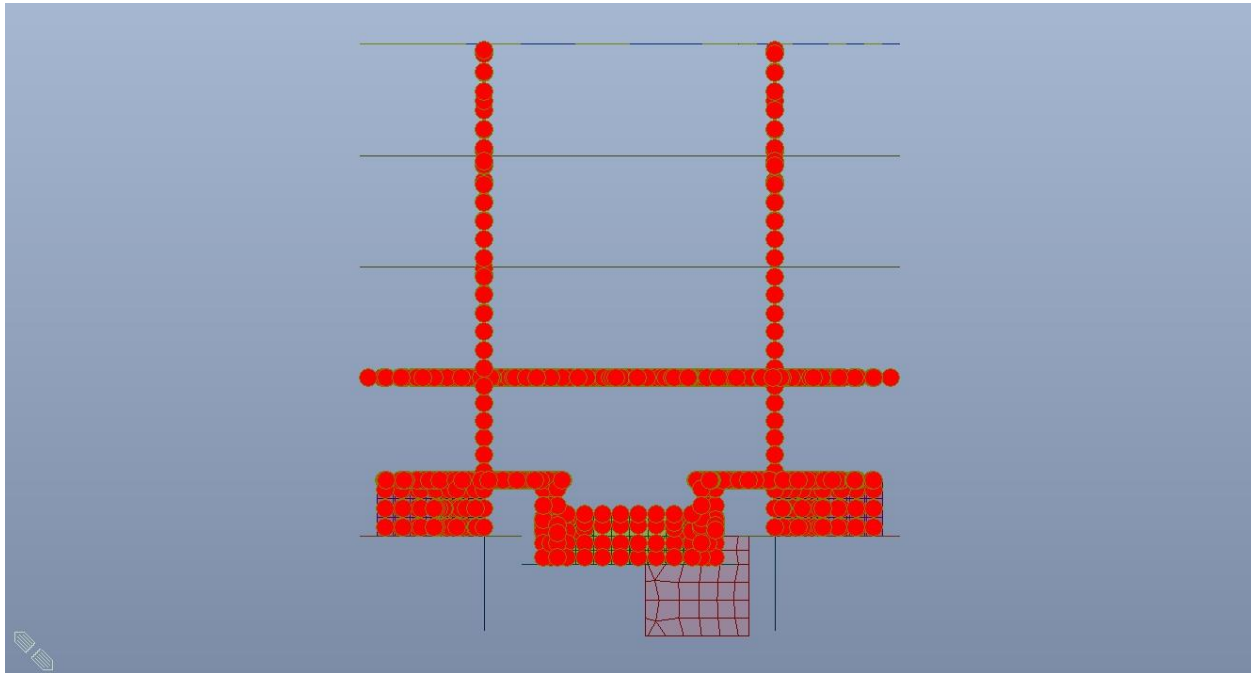
Figura 57. Spinta idrostatica quota 231 m s.l.m. (-15.80 m da P.C.) - Tipologico



 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

### 8.2.8 Ritiro

L'azione termica è applicata a tutte le strutture interne, sia orizzontali che verticali; nell'immagine seguente non sono state riportate le fodere per motivi di chiarezza di rappresentazione.



**Figura 58. Azione termica per effetto del ritiro**

### 8.3 Modellazione delle azioni – Tempo zero

Come si evince dalle immagini seguenti, le strutture verticali interne a sostegno dei diversi piani sono differenti tra il tempo zero (cantiere) e tempo infinito, sia come tipologia che come posizione. Questo comporta una traslazione dei punti di massimo momento positivo e di massimo momento negativo nel tempo.

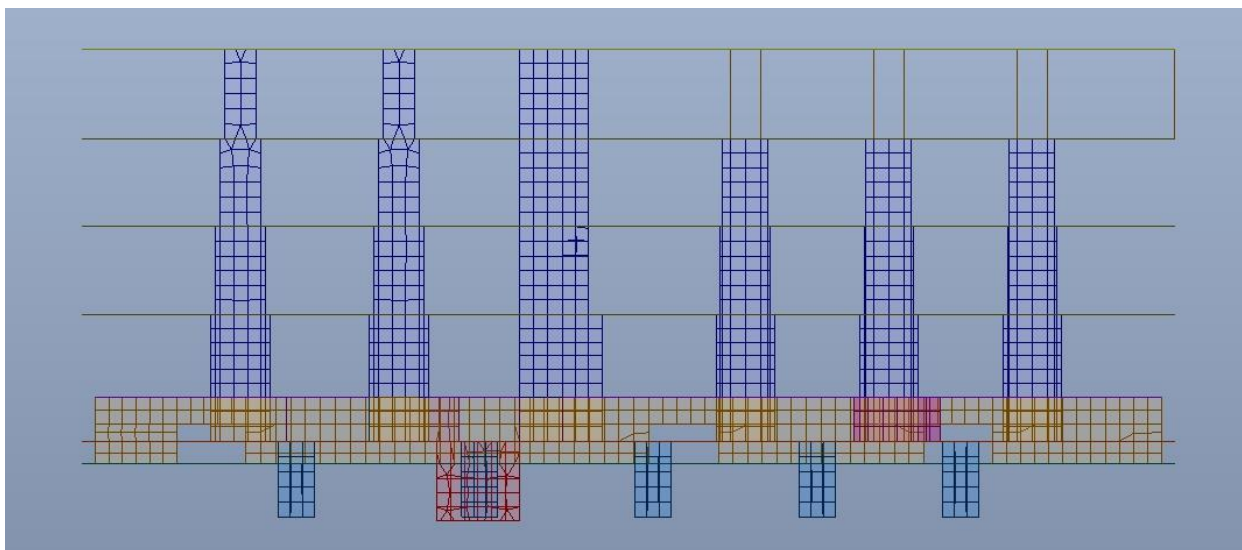


Figura 59. Struttura verticale – Tempo infinito

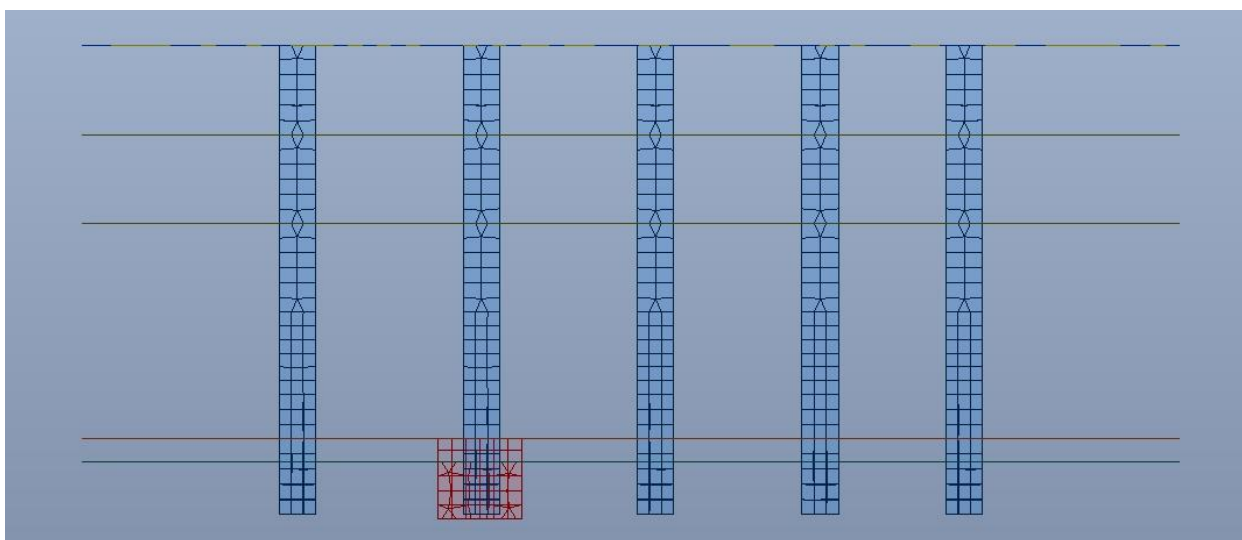


Figura 60. Struttura verticale – Tempo zero

Di seguito si riportano i carichi a tempo zero applicati sul modello FEM realizzato, per l'analisi dei solettoni di piano e dei diaframmi temporanei.



### 8.3.1 Solettone di copertura

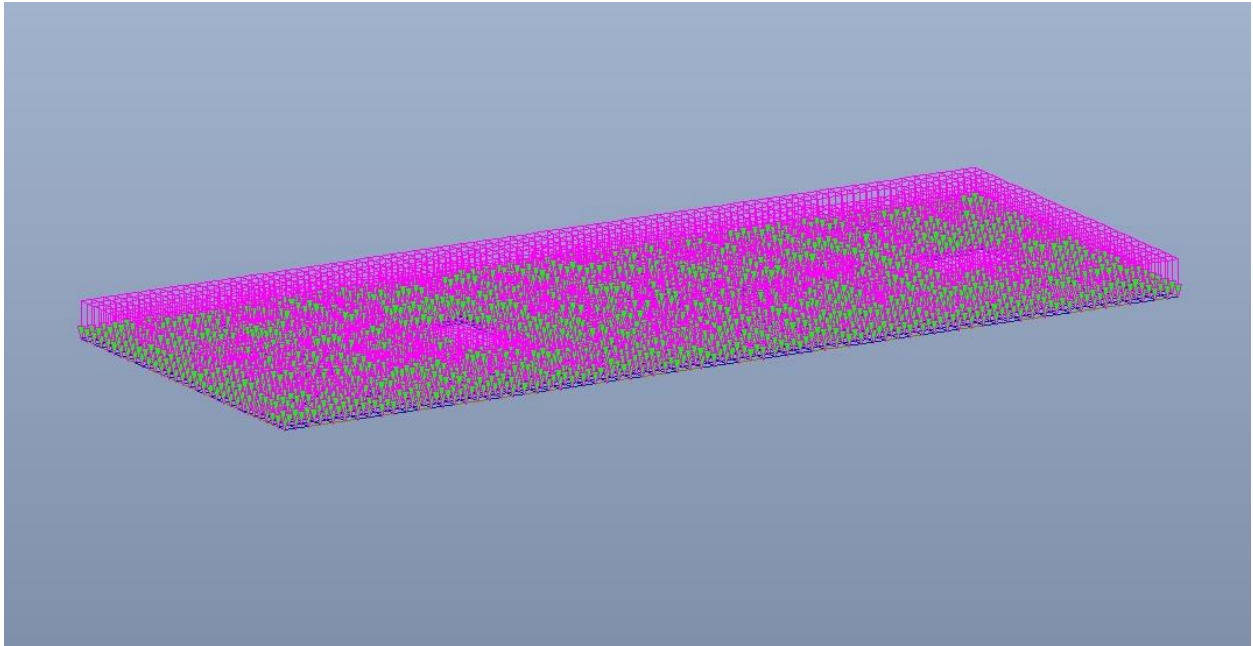


Figura 61. Solettone di copertura– Carichi permanenti NON strutturali  $G_2$

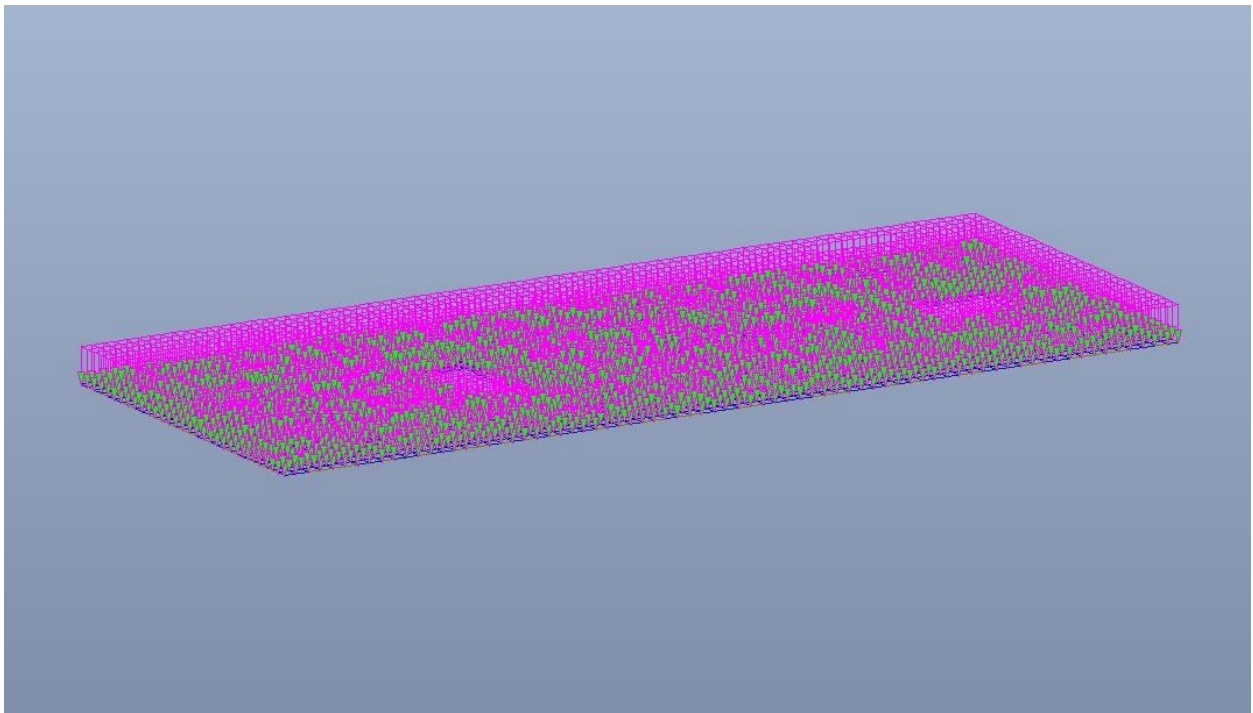


Figura 62. Solettone di copertura – Carico variabile di cantiere

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

### 8.3.2 Piano atrio (-1)

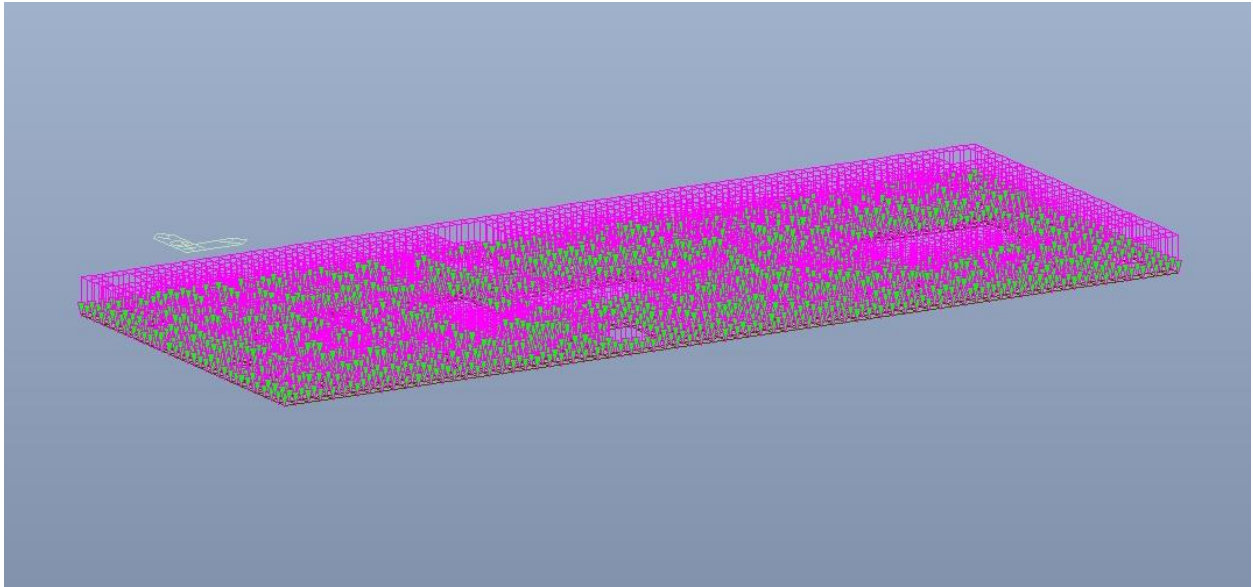


Figura 63. Piano atrio (-1) – Carico variabile di cantiere

### 8.3.3 Piano mezzanino (-2)

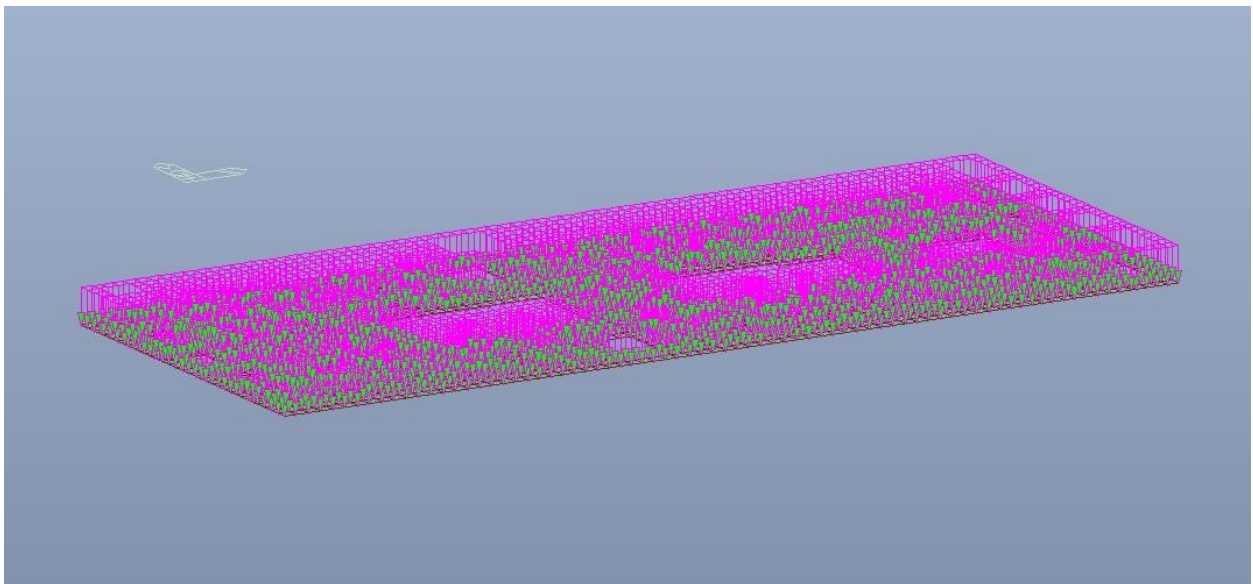
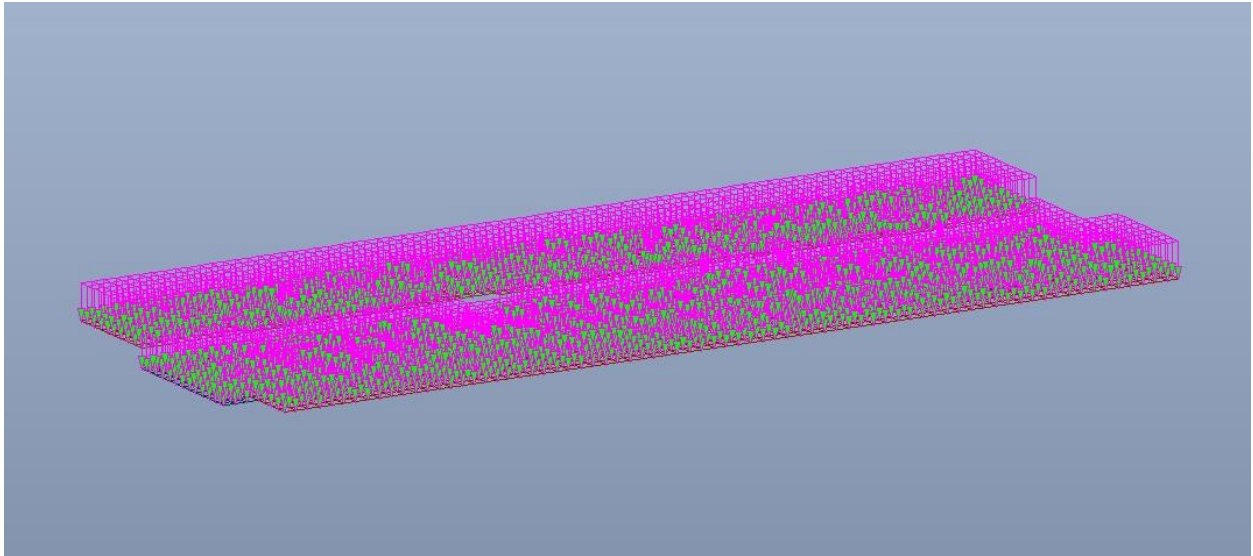


Figura 64. Piano mezzanino (-2) – Carico variabile di cantiere

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

### 8.3.4 Platea di fondazione



**Figura 65. Platea di fondazione – Carico variabile di cantiere**

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

## 9. VERIFICA DI RIGIDEZZA – SLO

La condizione in termini di rigidezza sulla struttura si ritiene soddisfatta qualora la conseguente deformazione degli elementi strutturali non produca sugli elementi non strutturali danni tali da rendere la costruzione temporaneamente inagibile.

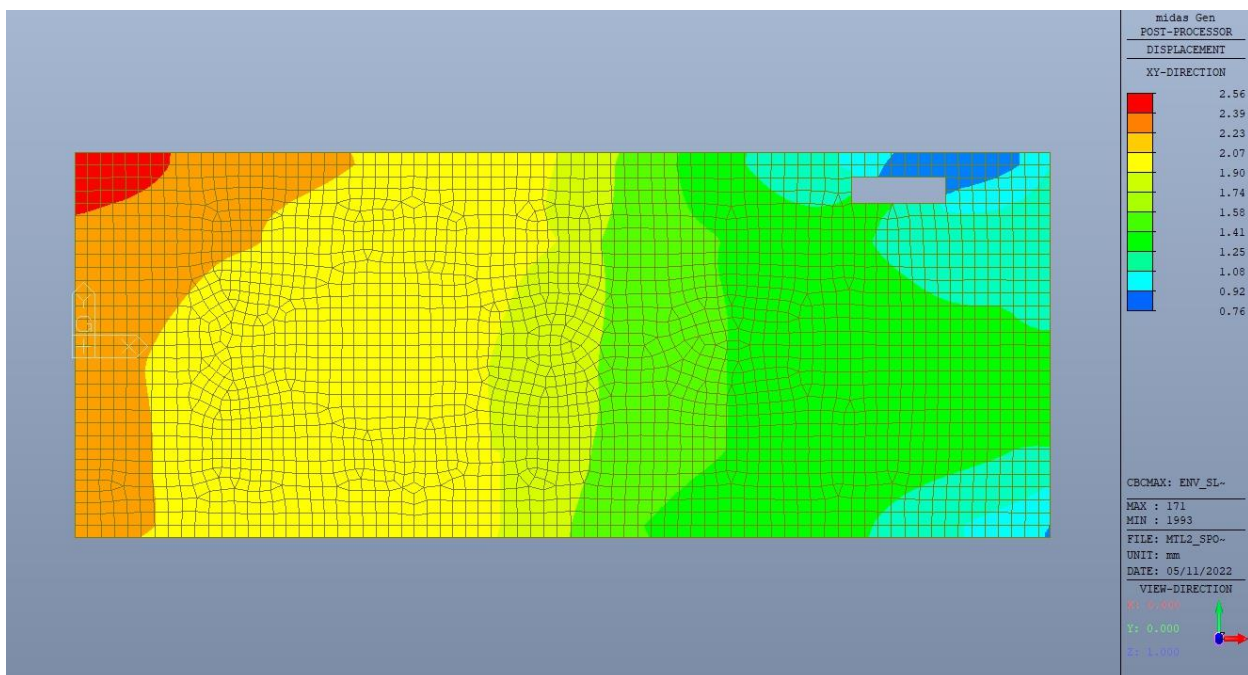
Nel caso delle costruzioni civili e industriali di classe d'uso III tale condizione si può ritenere soddisfatta quando gli spostamenti di interpiano, ottenuti dall'analisi in presenza dell'azione sismica di progetto corrispondente allo SLO, sono inferiori ai 2/3 dei limiti indicati al Par. 7.3.6.1, in tale caso pari a 0.005 (tamponature collegate rigidamente alla struttura).

$$qd_r \leq \frac{2}{3} \cdot 0.0050 \cdot h$$

dove:

- $q$  è il fattore di struttura per il relativo Stato;
- $d_r$  è il massimo spostamento relativo;
- $h$  è l'altezza di interpiano.

Le immagini seguenti riportano i massimi/minimi spostamenti XY per i rispettivi orizzontamenti.



**Figura 66. Solettone di copertura – Massimo spostamento XY SLO**

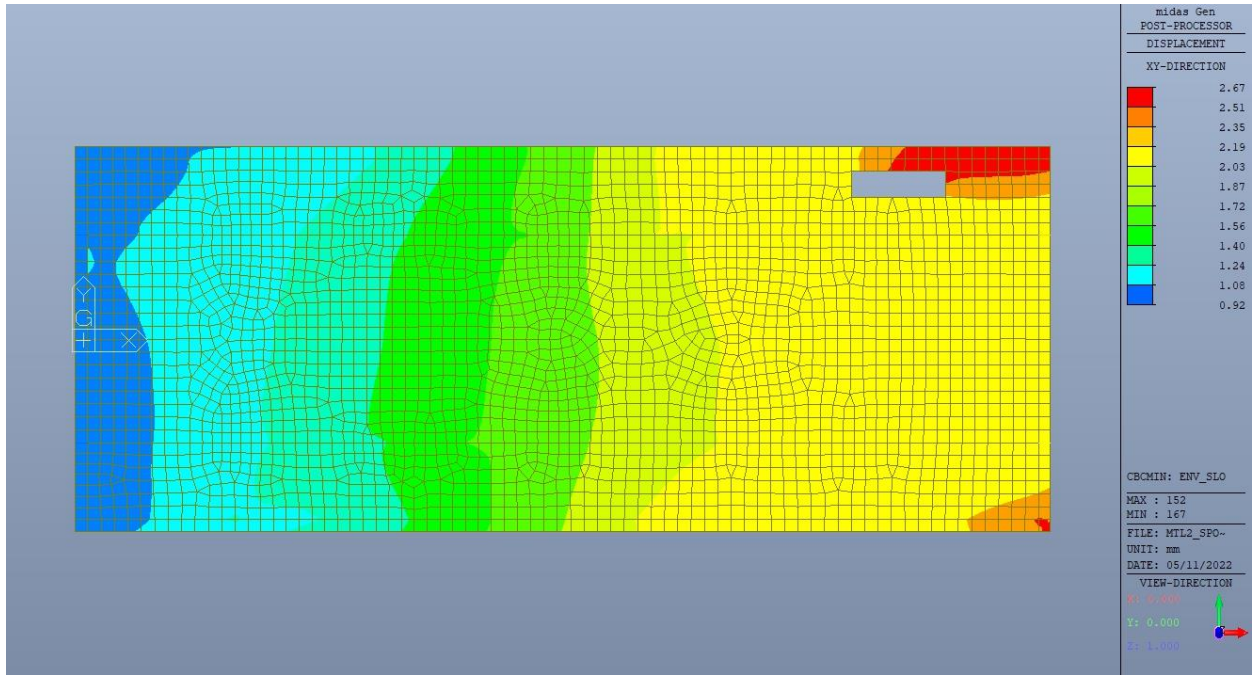


Figura 67. Solettone di copertura – Minimo spostamento XY SLO

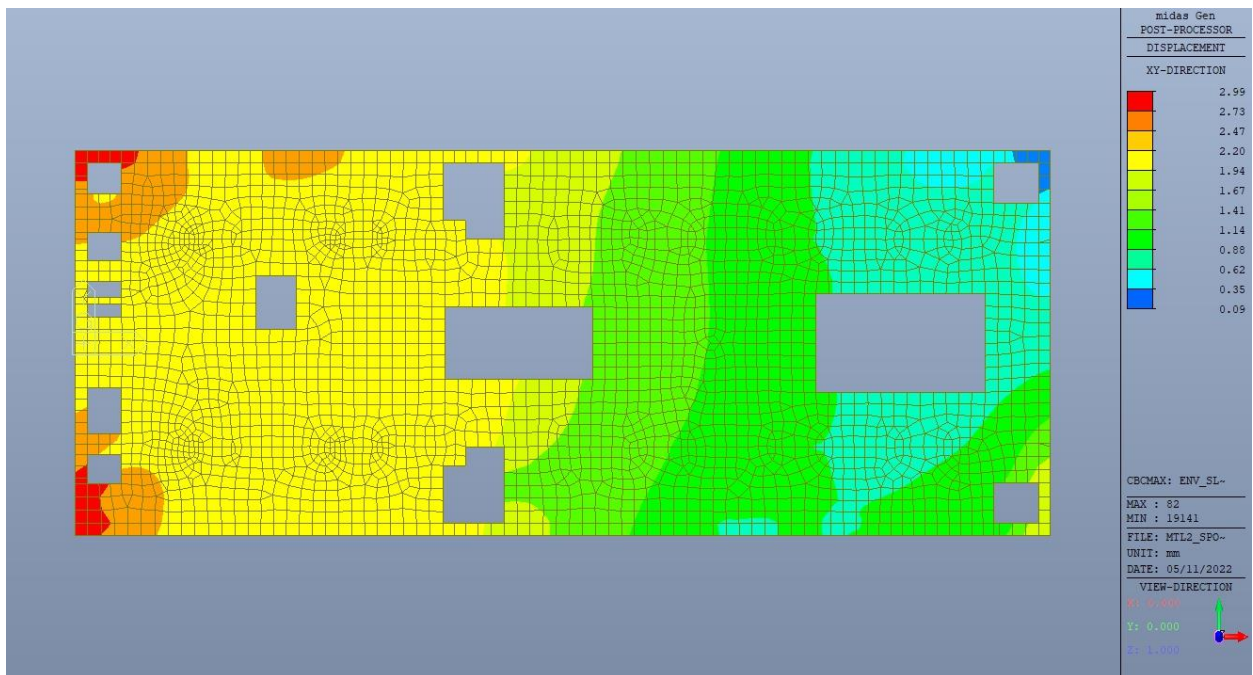


Figura 68. Piano atrio (-1) – Massimo spostamento XY SLO



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

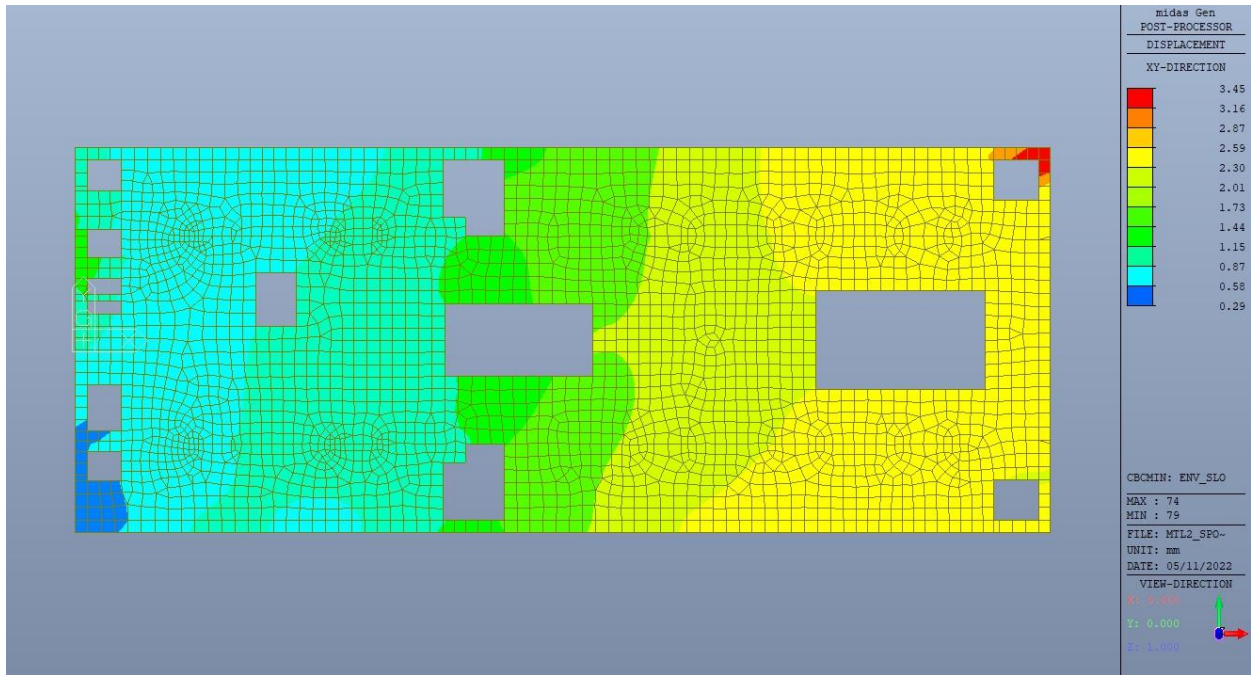


Figura 69. Piano atrio (-1) – Minimo spostamento XY SLO

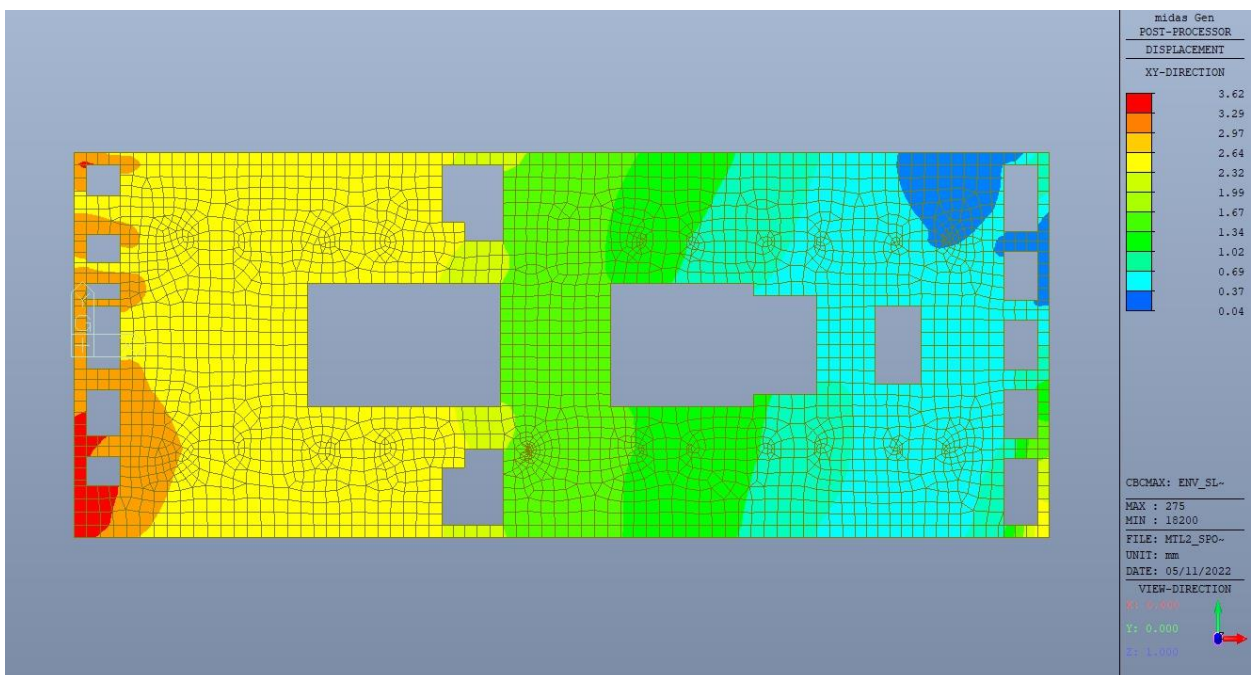


Figura 70. Piano mezzanino (-2) – Massimo spostamento XY SLO





CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

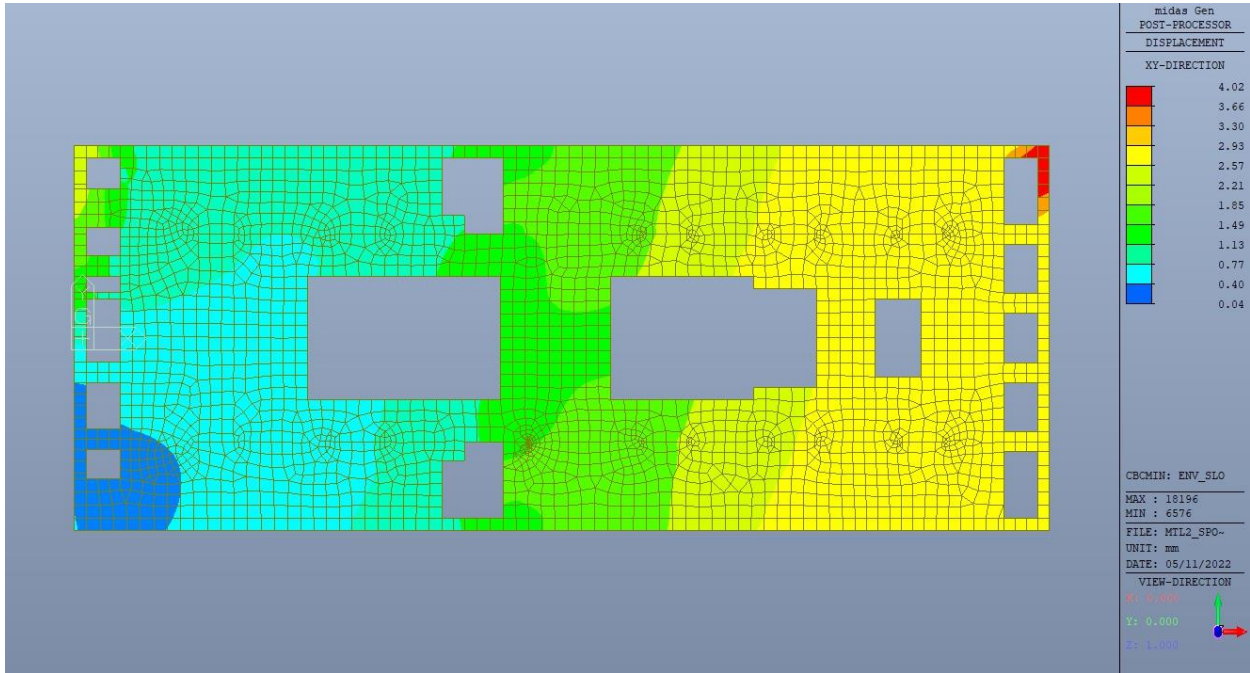


Figura 71. Piano mezzanino (-2) – Minimo spostamento XY SLO

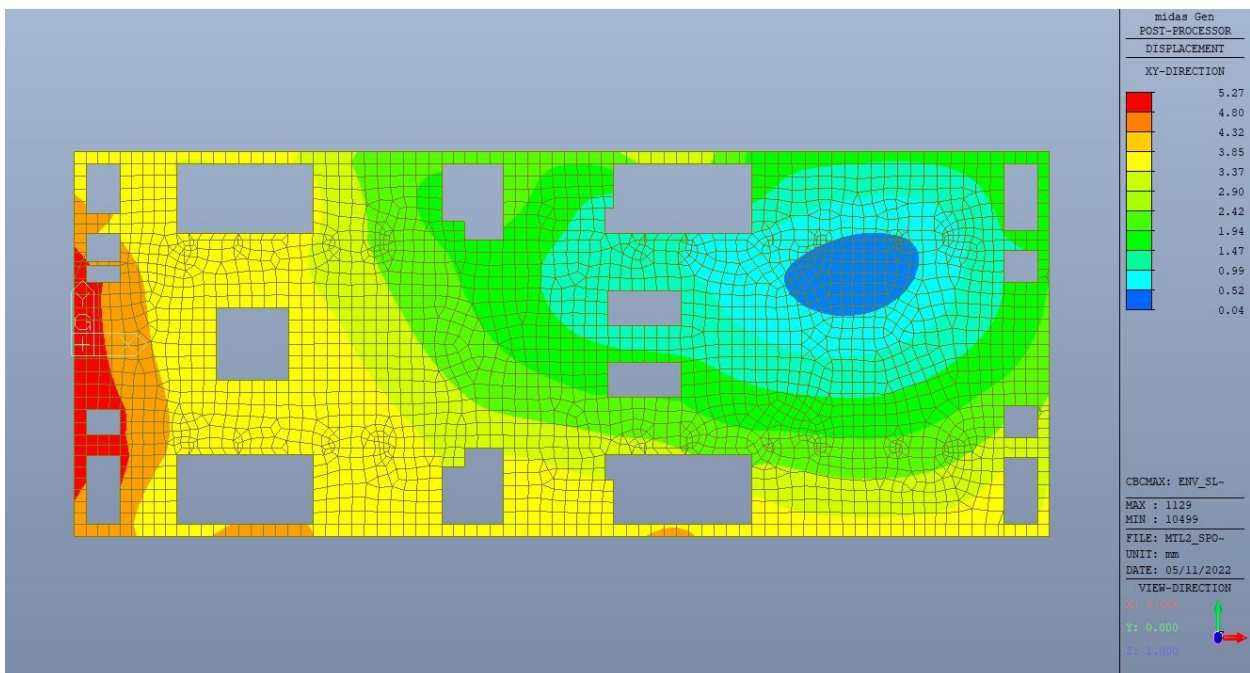


Figura 72. Piano mezzanino (-3) – Massimo spostamento XY SLO



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

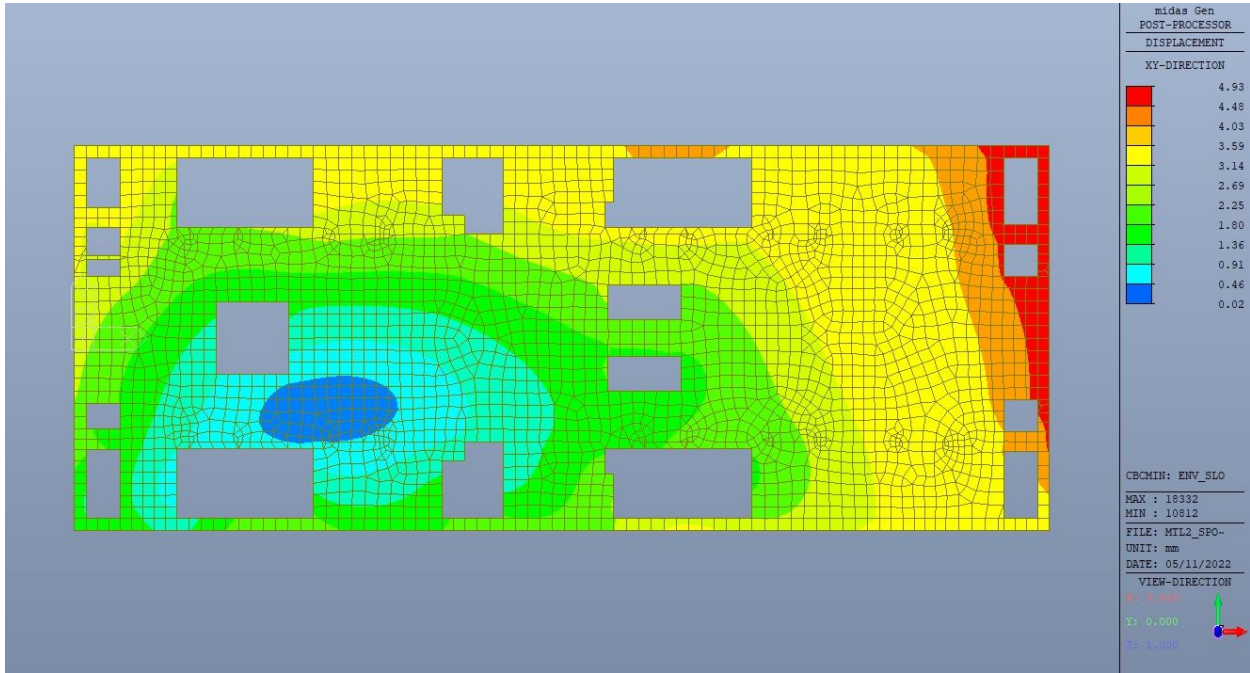


Figura 73. Piano mezzanino (-3) – Minimo spostamento XY SLO

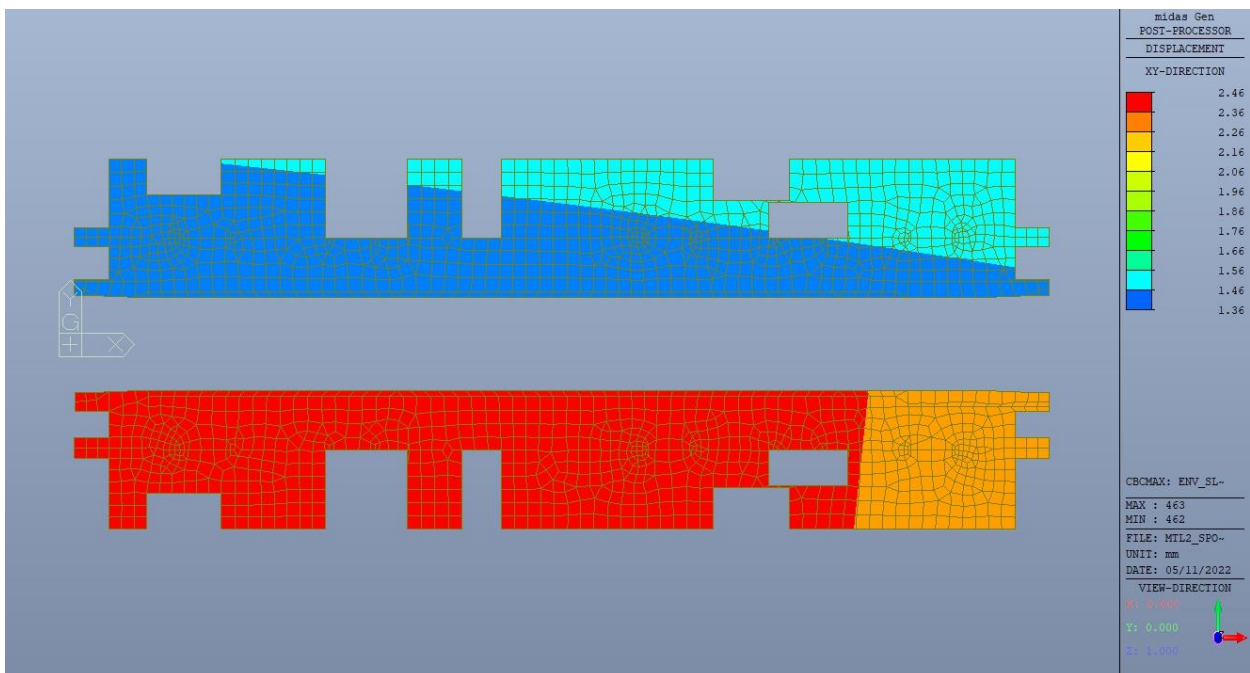


Figura 74. Piano banchina – Massimo spostamento XY SLO



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

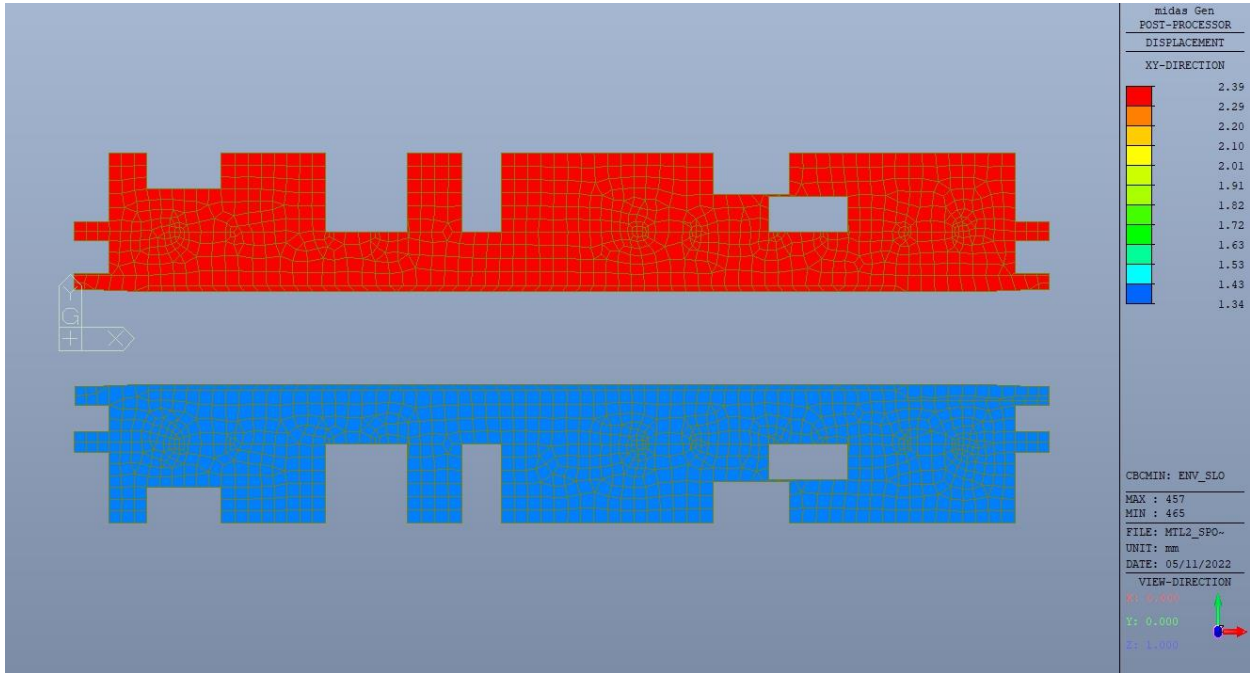


Figura 75. Piano banchina – Minimo spostamento XY SLO

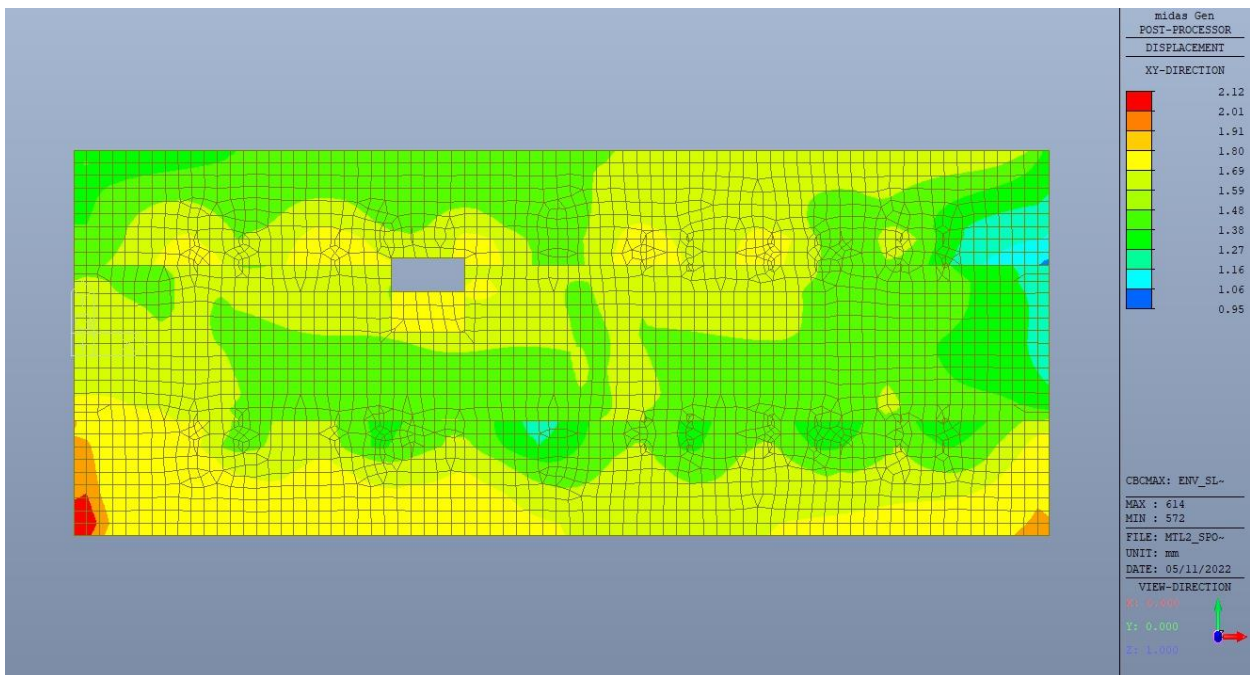


Figura 76. Platea di fondazione – Massimo spostamento XY SLO

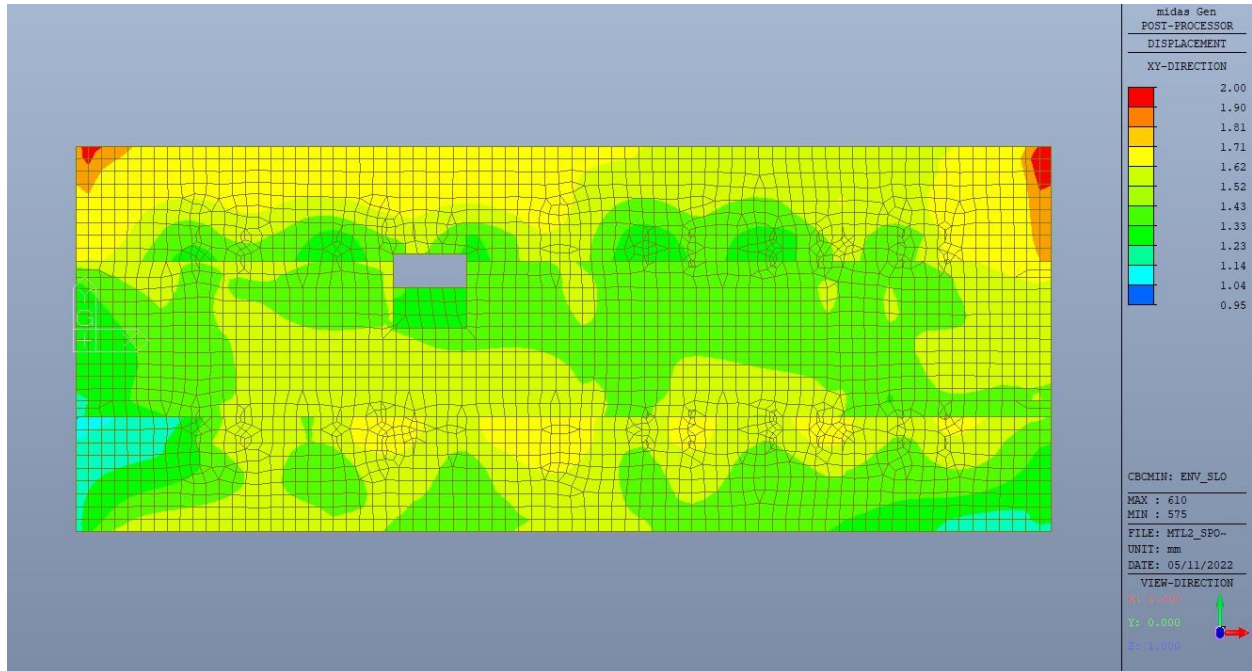


Figura 77. Platea di fondazione – Minimo spostamento XY SLO

FLOOR	D <sub>xy</sub> [mm]		H [m]	dr [mm]	limite [mm]	CK
	MAX	MIN				
Solettone di copertura	2.56	2.67	5.95	0.78	19.83	OK
Piano atrio	2.99	3.45	5.85	0.63	19.50	OK
Piano mezzanino (-2)	3.62	4.02	5.85	1.65	19.50	OK
Piano mezzanino (-3)	5.27	4.93	5.45	2.81	18.17	OK
Piano banchina	2.46	2.39	2.95	0.66	9.83	OK
Platea di fondazione	3.12	2.00				

Si può ritenere la verifica di rigidità allo SLO soddisfatta.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

## 10. VERIFICA DI RESISTENZA – SLD

Si deve verificare che i singoli elementi strutturali e la struttura nel suo insieme possiedano una capacità in resistenza sufficiente a soddisfare la domanda allo SLD.

Essendo una struttura a comportamento NON dissipativo, il fattore di struttura  $q_{SLV}$  e  $q_{SLD}$  coincidono e sono entrambi pari a 1; inoltre la capacità delle membrature è calcolata con riferimento al loro comportamento elastico o sostanzialmente elastico.

In questo caso, come riportato nelle figure n.11 e n.12, essendo lo spettro SLD sempre inferiore allo spettro SLV, si può ritenere tale verifica non significativa e di conseguenza automaticamente soddisfatta.

## 11. VERIFICA SOLETTONE DI COPERTURA

Come evidenziato nel cap.8, le strutture verticali interne a sostegno dei diversi piani sono differenti tra il tempo zero (cantiere) e tempo infinito, sia come tipologia che come posizione. Questo comporta una traslazione dei punti di massimo momento positivo e di massimo momento negativo nel tempo.

### 11.1 Verifica Stati Limite Ultimi – SLU e SLV

Si deve verificare che i singoli elementi strutturali e la struttura nel suo insieme possiedano una capacità in resistenza sufficiente a soddisfare la domanda sia allo SLV che allo SLU.

Nel seguito si riportano sinteticamente i principali risultati delle analisi.

#### 11.1.1 Sollecitazioni

Le immagini successive riportano gli involuppi delle sollecitazioni per gli Stati Limite SLU e SLV nelle due direzioni X e Y, sia a tempo infinito che a tempo zero.



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

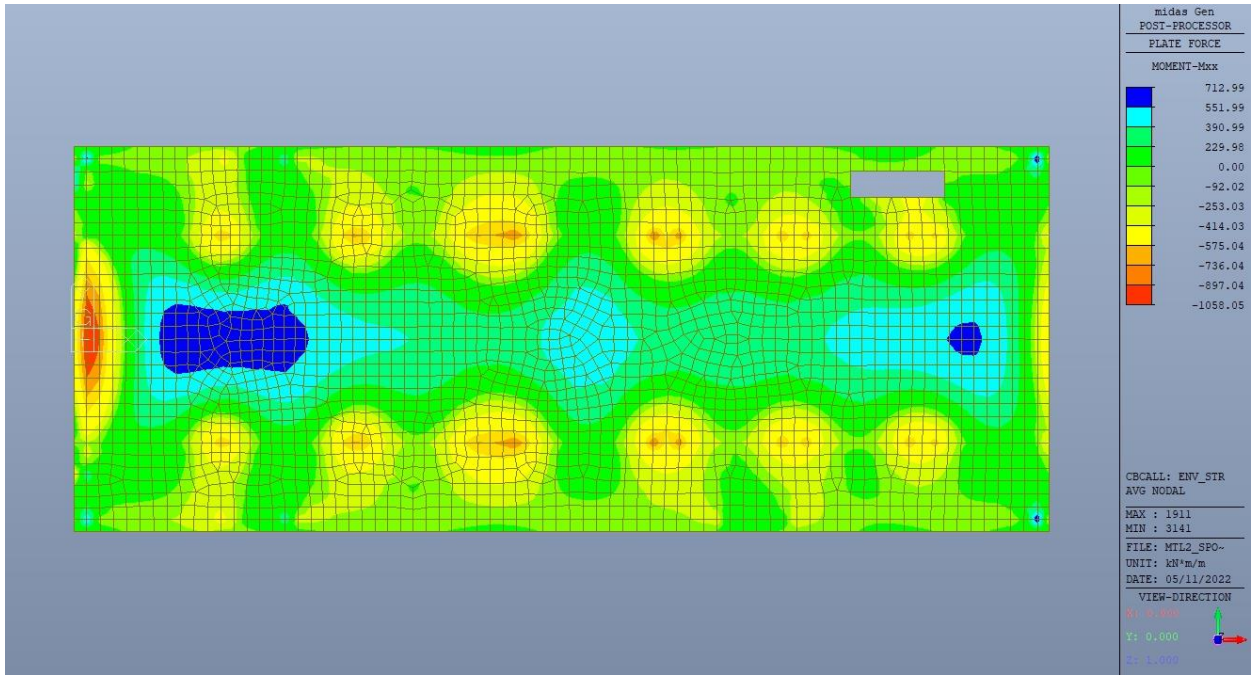


Figura 78. Solettone – Involuppo momento flettente  $M_{xx}$  – Direzione X – Tempo infinito

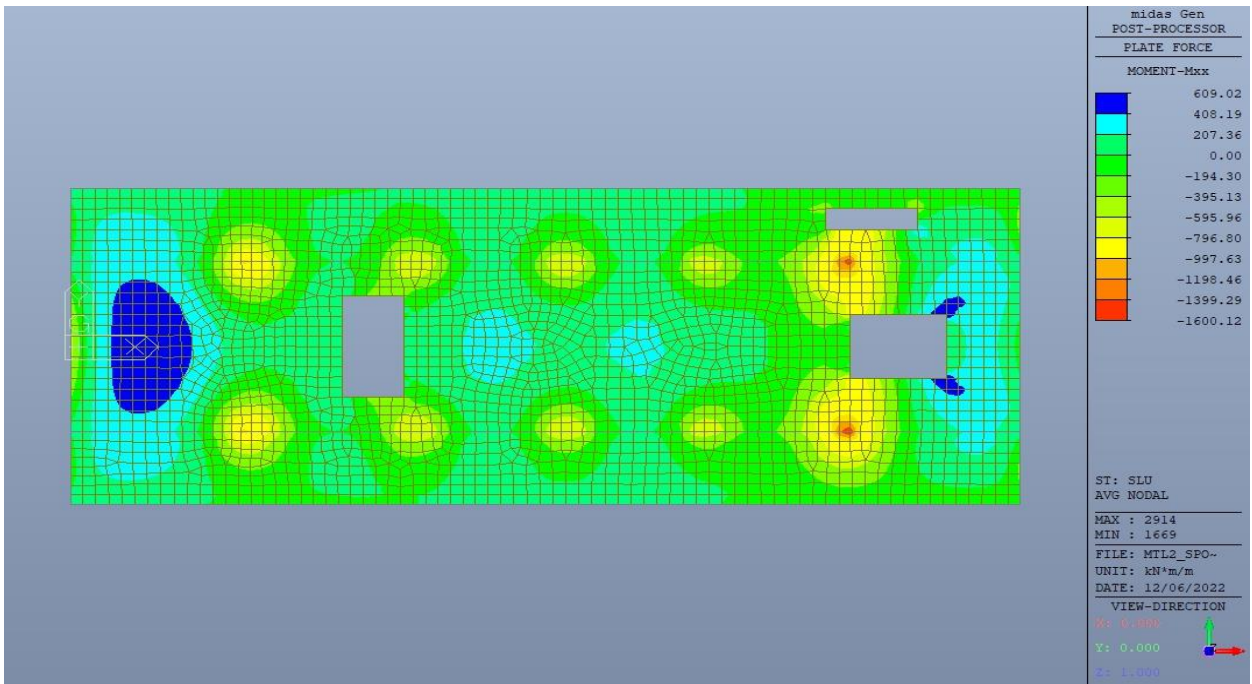


Figura 79. Solettone – Involuppo momento flettente  $M_{xx}$  – Direzione X – Tempo zero



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

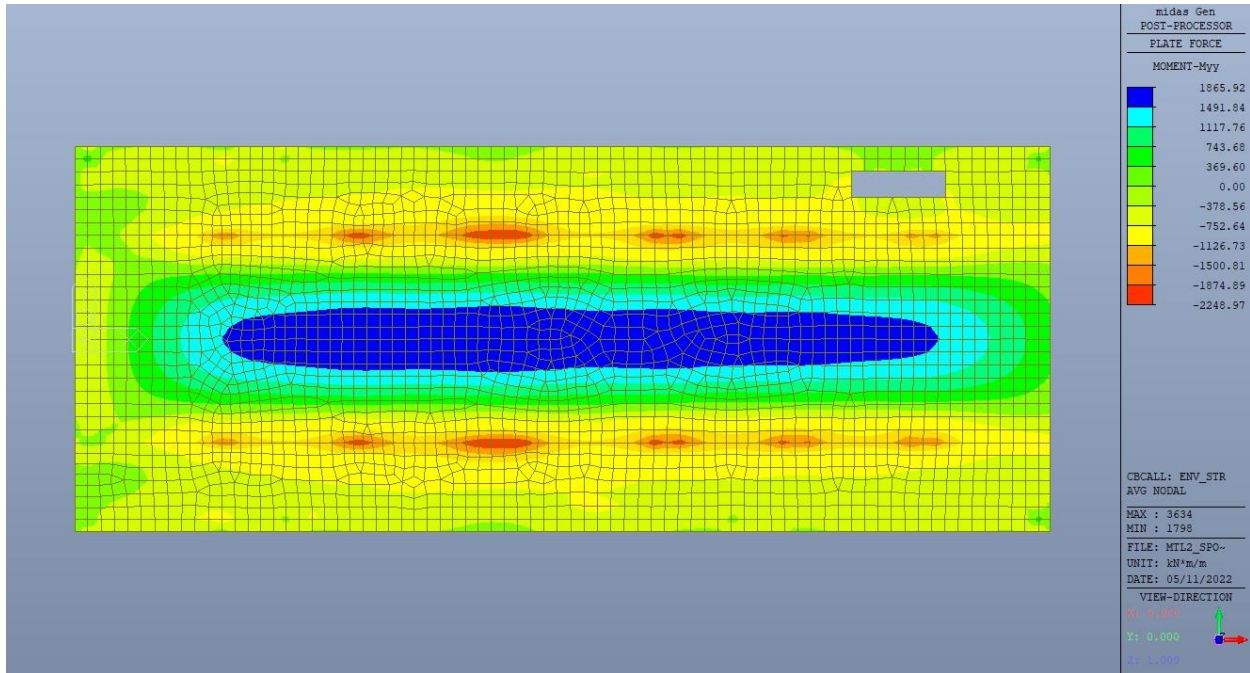


Figura 80. Solettone – Inviluppo momento flettente  $M_{yy}$  – Direzione Y – Tempo infinito

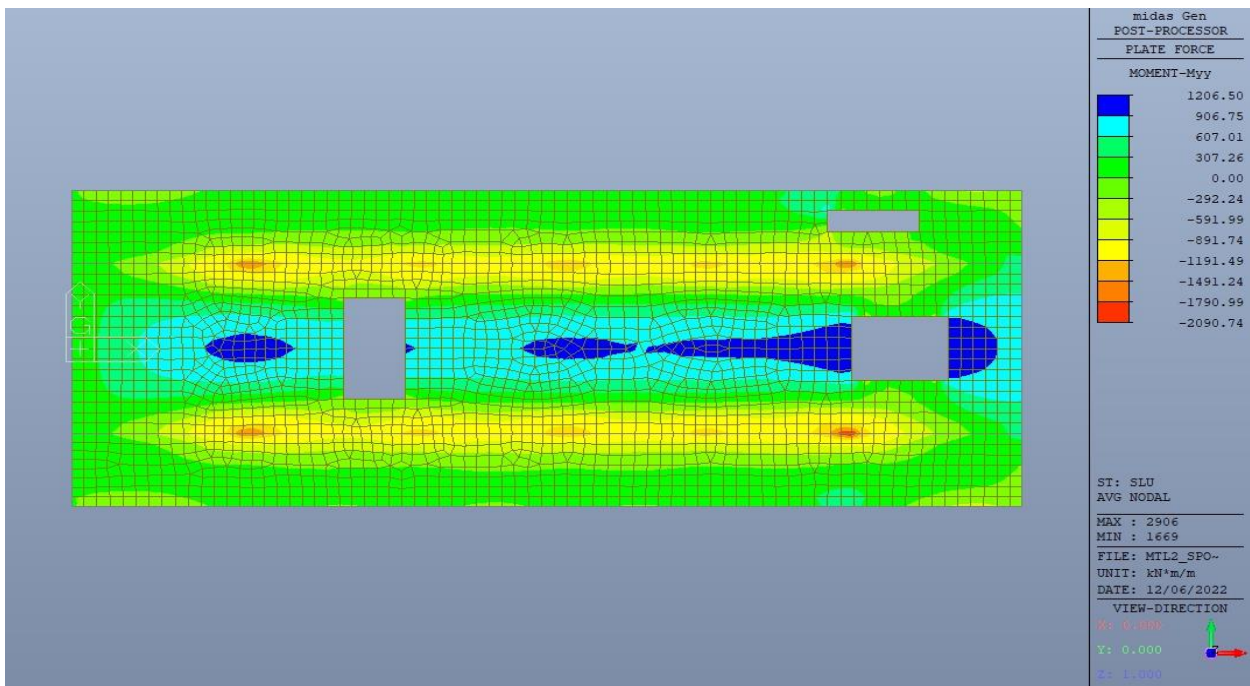


Figura 81. Solettone – Inviluppo momento flettente  $M_{yy}$  – Direzione Y – Tempo zero



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

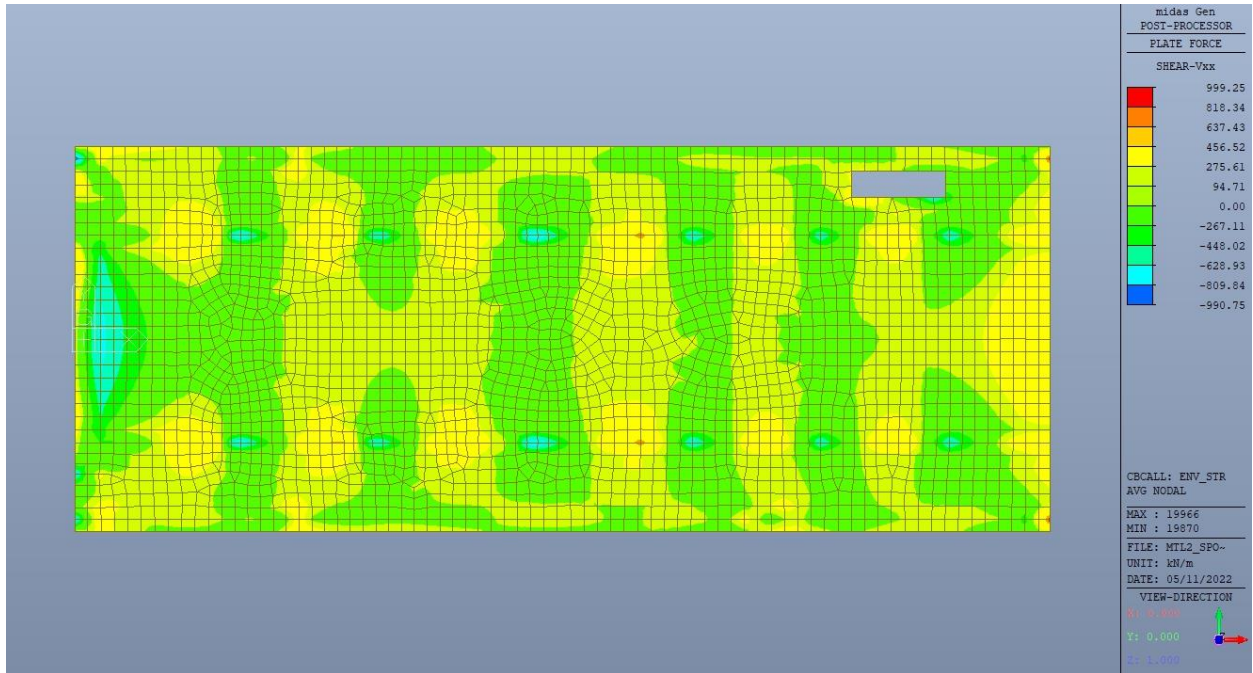


Figura 82. Solettone – Involuppo taglio  $V_{xx}$  – Direzione X – Tempo infinito

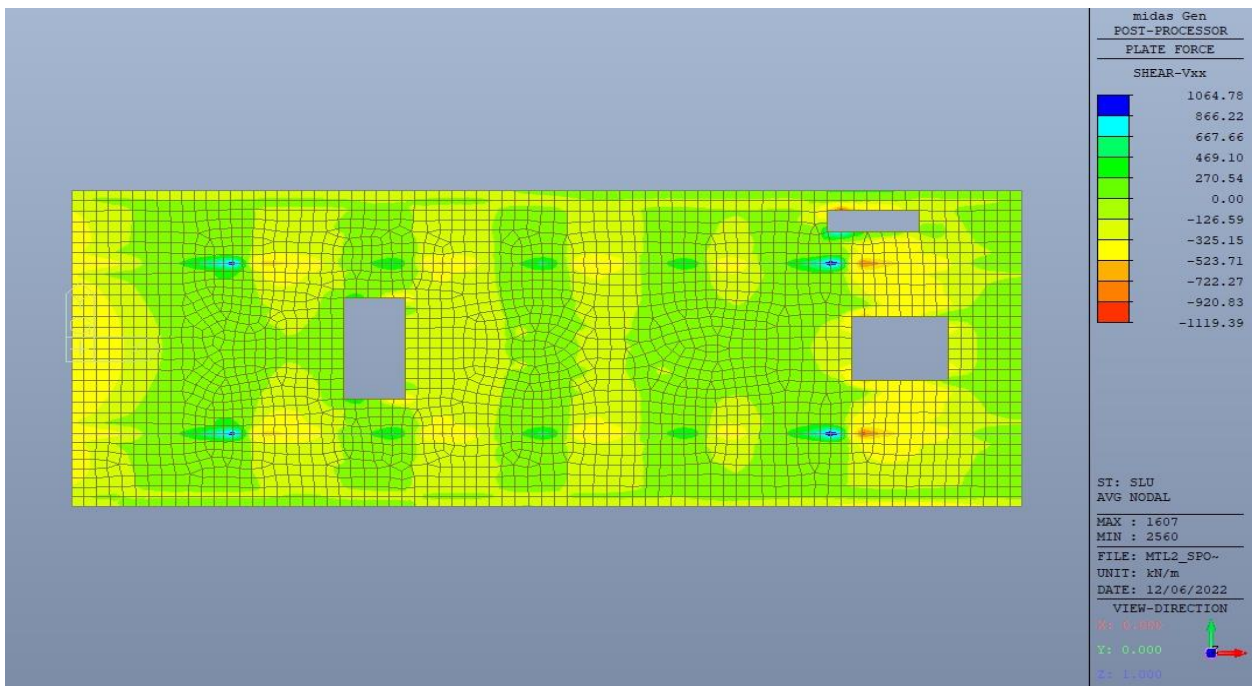


Figura 83. Solettone – Involuppo taglio  $V_{xx}$  – Direzione X – Tempo zero



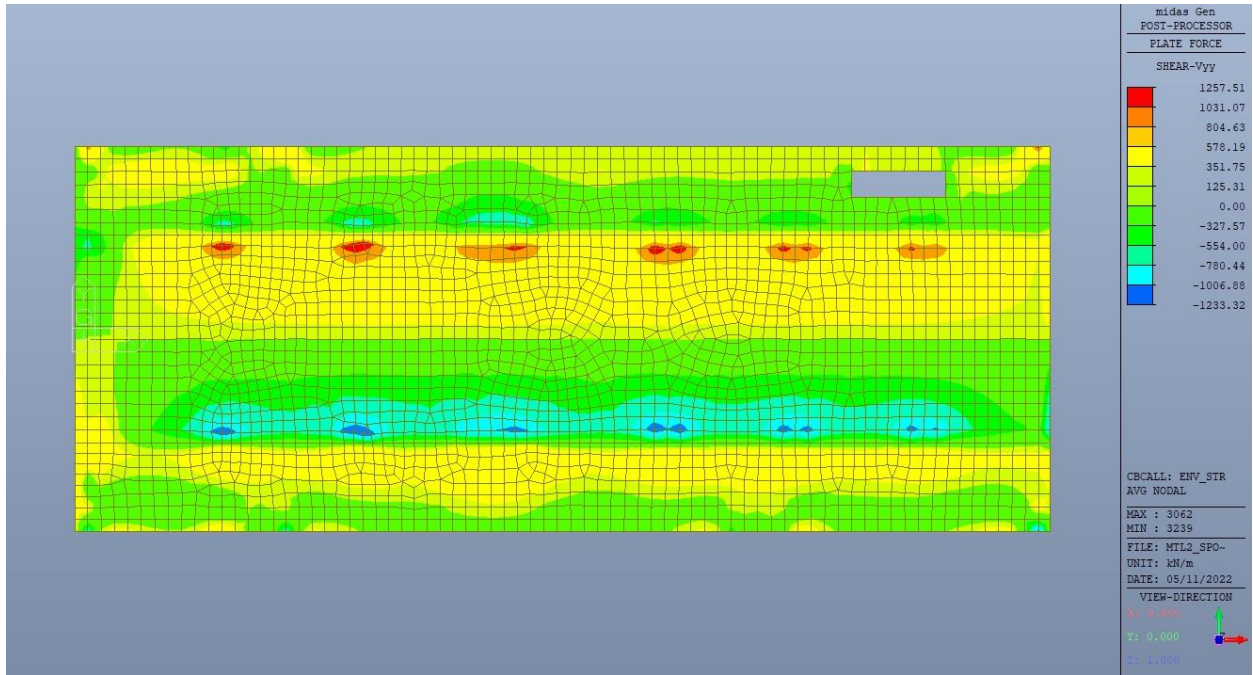


Figura 84. Solettone – Involuppo taglio  $V_{yy}$  – Direzione Y – Tempo infinito

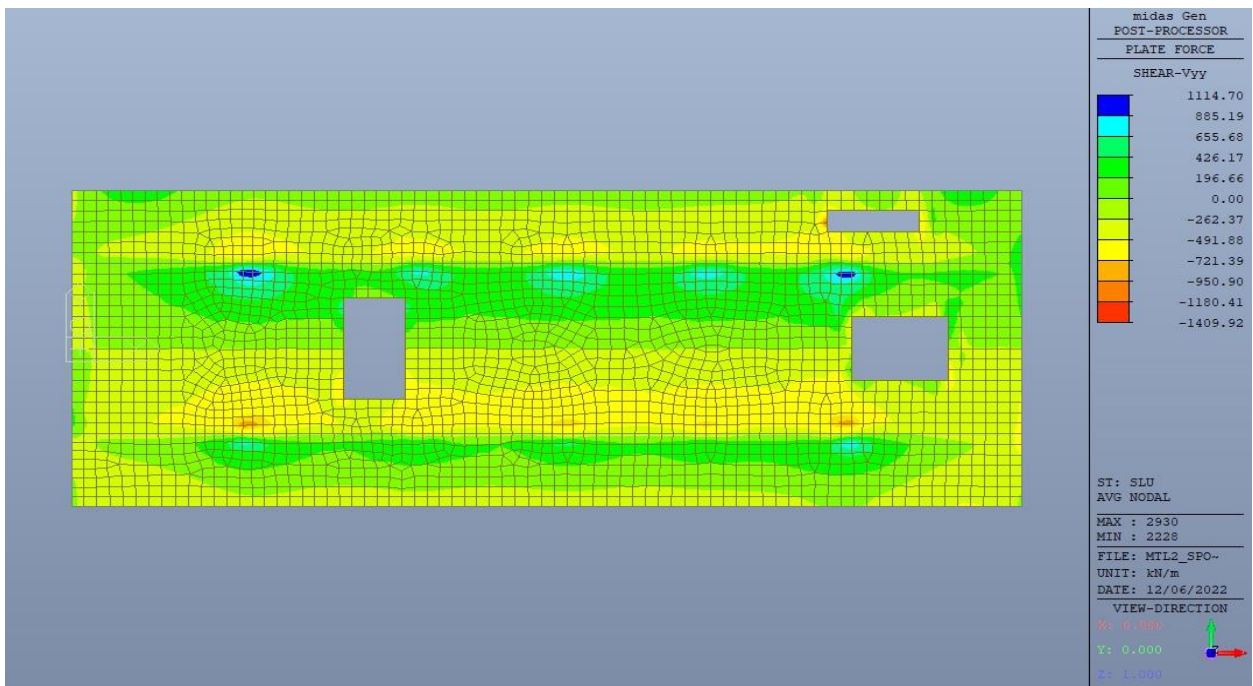


Figura 85. Solettone – Involuppo taglio  $V_{yy}$  – Direzione Y – Tempo zero



### 11.1.2 Verifiche strutturali

Trattandosi di struttura a comportamento non dissipativo, la capacità delle membrature e dei collegamenti deve essere valutata in accordo con le regole di cui al par. 4.1 delle citate norme, senza nessun requisito aggiuntivo.

Come valore minimo dell'armatura longitudinale si è considerato quanto riportato nel par. 4.1.6 delle NTC2018, ossia il quantitativo minimo riportato per le travi pari a

$$A_{s,min} = 0.26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot h$$

dove:

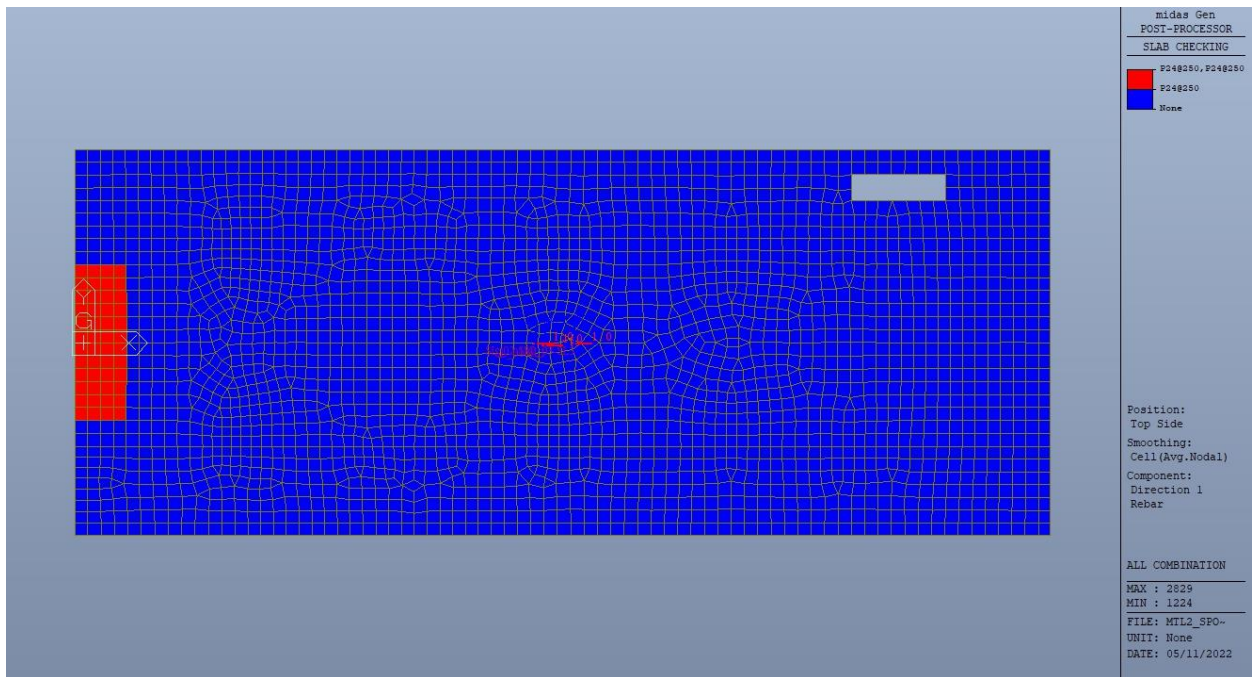
- $f_{ctm}$  è il valore medio della resistenza a trazione del cls;
- $f_{yk}$  è il valore caratteristico della resistenza a trazione dell'armatura;
- $b_t$  è la larghezza media della zona tesa;
- $h$  è l'altezza della sezione.

Tabella 25. Armatura minima

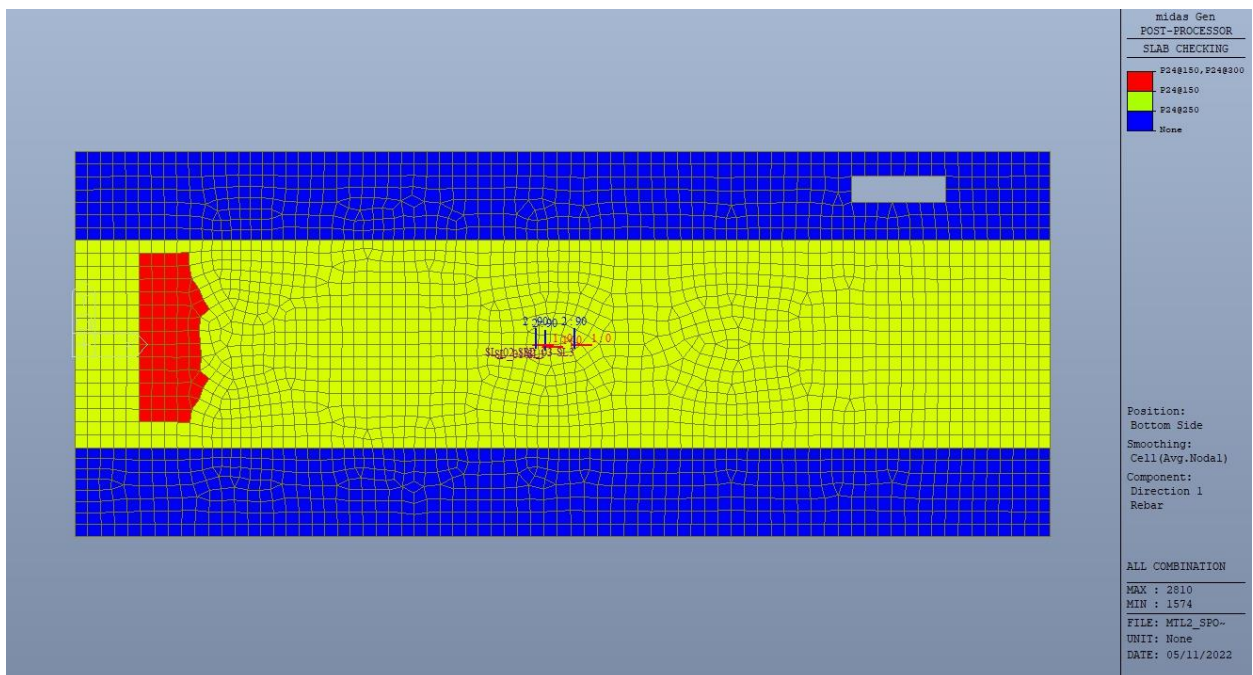
				D1 - TOP			D1 - BOTTOM		
Tipologia	b [cm]	h [cm]	A <sub>c</sub> [cm <sup>2</sup> ]	A <sub>s</sub> [cm <sup>2</sup> ]	A <sub>smin</sub> [cm <sup>2</sup> ]	CK	A <sub>s</sub> [cm <sup>2</sup> ]	A <sub>smin</sub> [cm <sup>2</sup> ]	CK
Solettone H80	100	80	8000	18.08	13.39	OK	18.08	13.39	OK
				D2 - TOP			D2 - BOTTOM		
Tipologia	b [cm]	h [cm]	A <sub>c</sub> [cm <sup>2</sup> ]	A <sub>s</sub> [cm <sup>2</sup> ]	A <sub>smin</sub> [cm <sup>2</sup> ]	CK	A <sub>s</sub> [cm <sup>2</sup> ]	A <sub>smin</sub> [cm <sup>2</sup> ]	CK
Solettone H80	100	100	10000	22.6	13.39	OK	22.6	13.39	OK

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

Nelle immagini seguenti sono riportate le armature superiori e inferiori nelle due direzioni D1 e D2.



**Figura 86. Solettone di copertura – Armatura superiore direzione D1**



**Figura 87. Solettone di copertura – Armatura inferiore direzione D1**

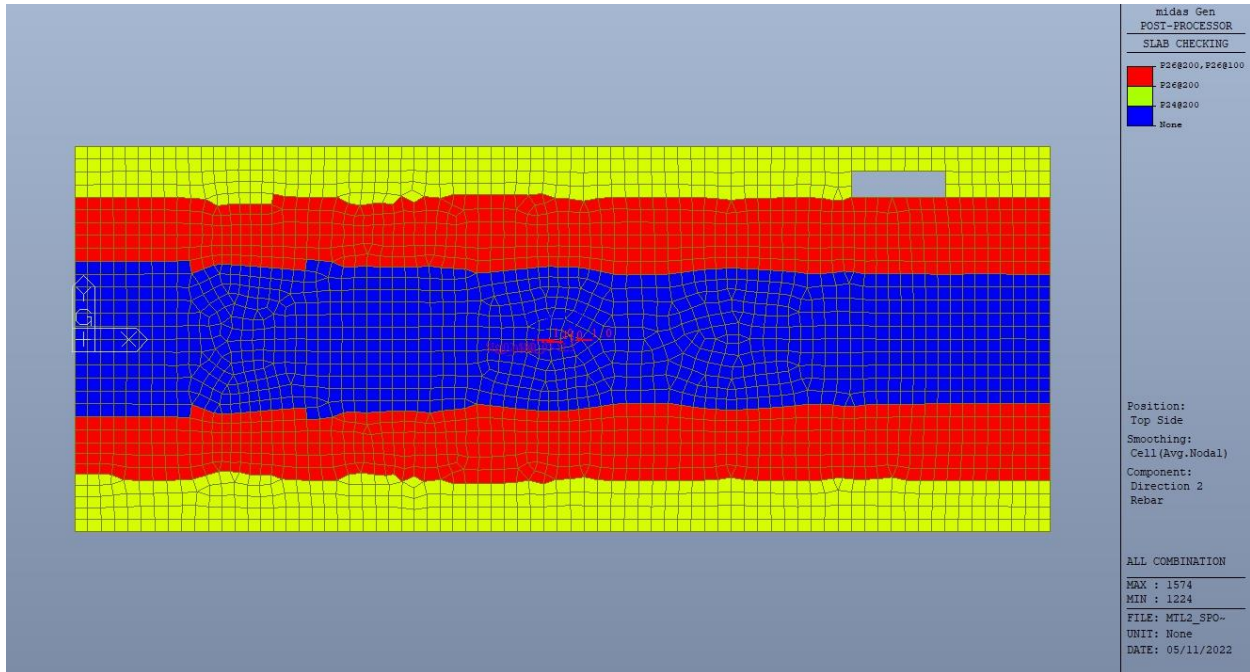


Figura 88. Solettone di copertura – Armatura superiore direzione D2

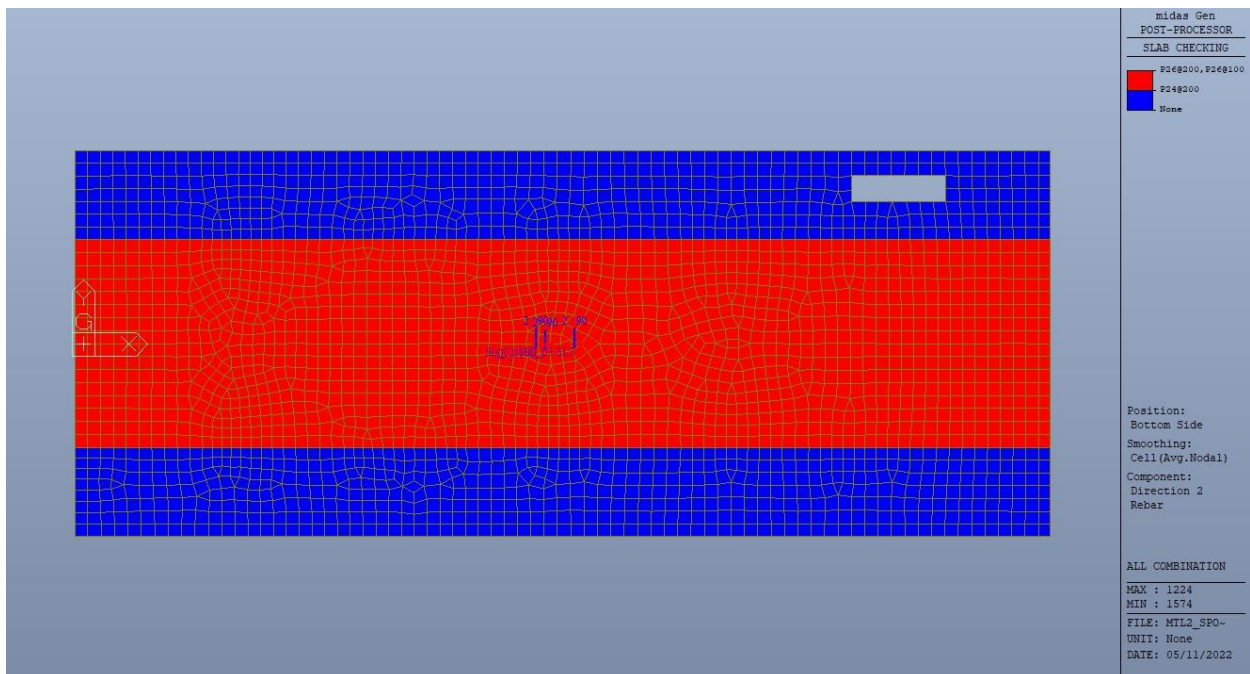


Figura 89. Solettone di copertura – Armatura inferiore direzione D2

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

Nelle seguenti immagini vengono riportati i massimi tassi di lavoro a flessione e taglio dei singoli elementi strutturali nelle due direzioni D1 e D2 per entrambe le fasi temporali evidenziando, nel caso, quelli con un valore superiore all'unità indicatore che la verifica in oggetto non è soddisfatta.



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

TEMPO INFINITO

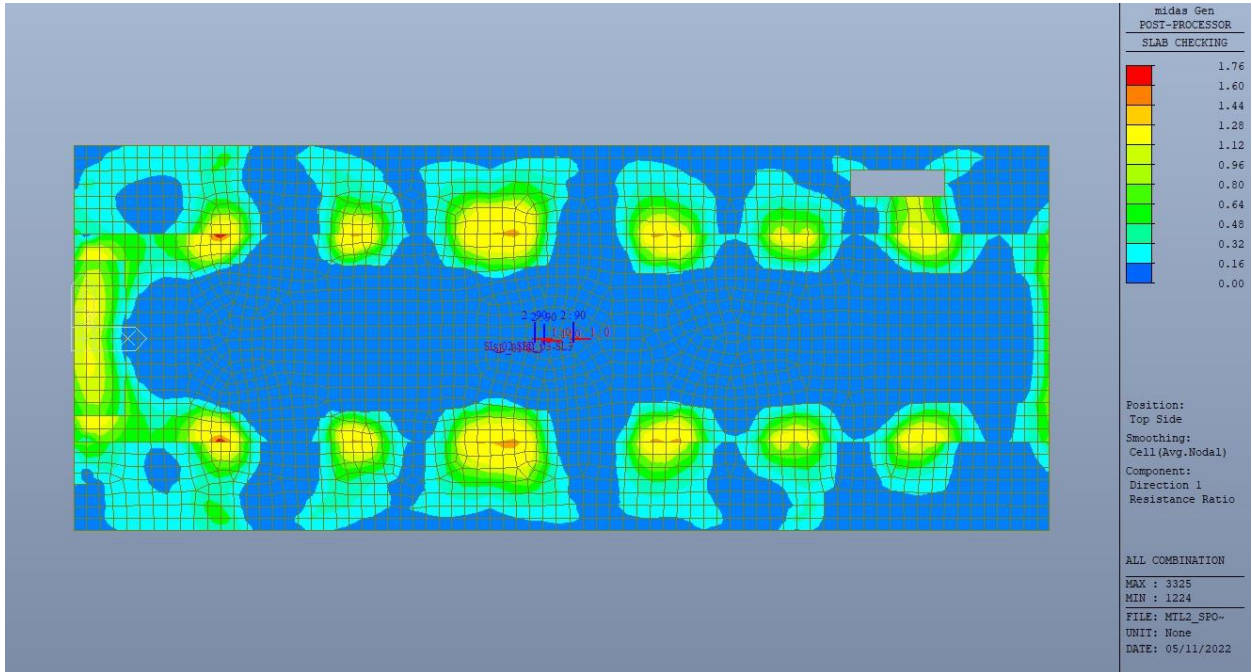


Figura 90. Solettone di copertura – Tasso di lavoro faccia superiore – Direzione D1

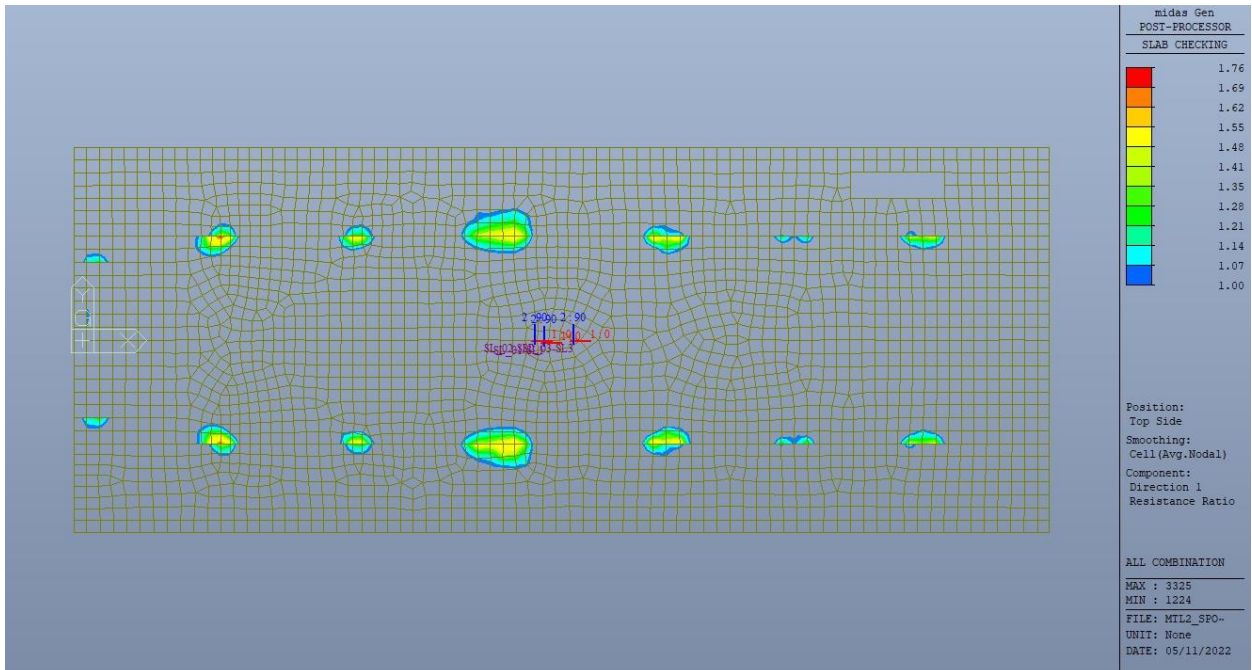


Figura 91. Solettone di copertura – Tasso di lavoro faccia superiore – Direzione D1 – Zone > 1



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

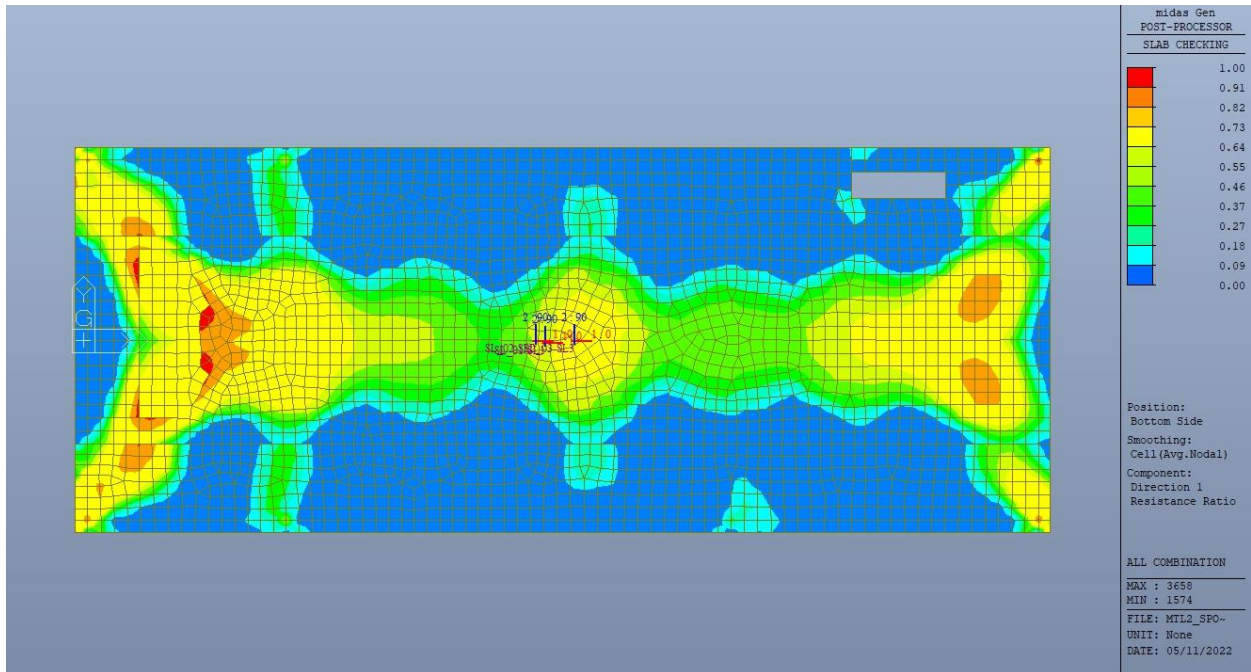


Figura 92. Solettone di copertura – Tasso di lavoro faccia inferiore – Direzione D1



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

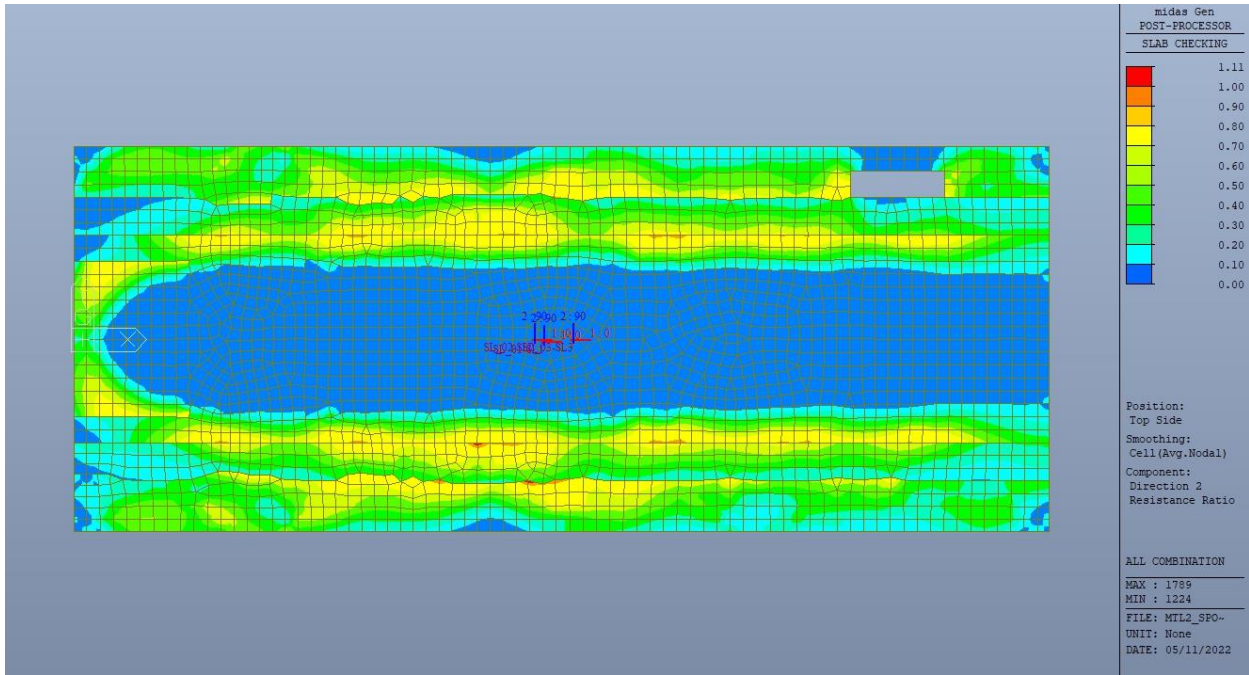


Figura 93. Solettone di copertura – Tasso di lavoro faccia superiore – Direzione D2

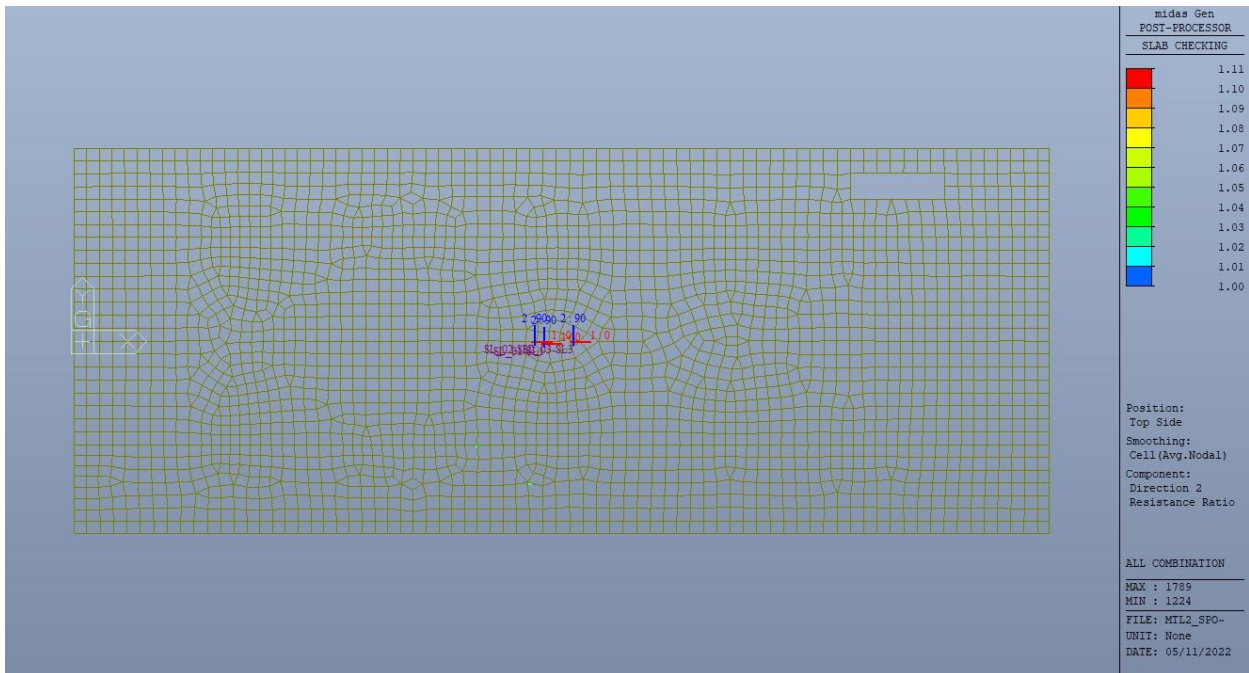
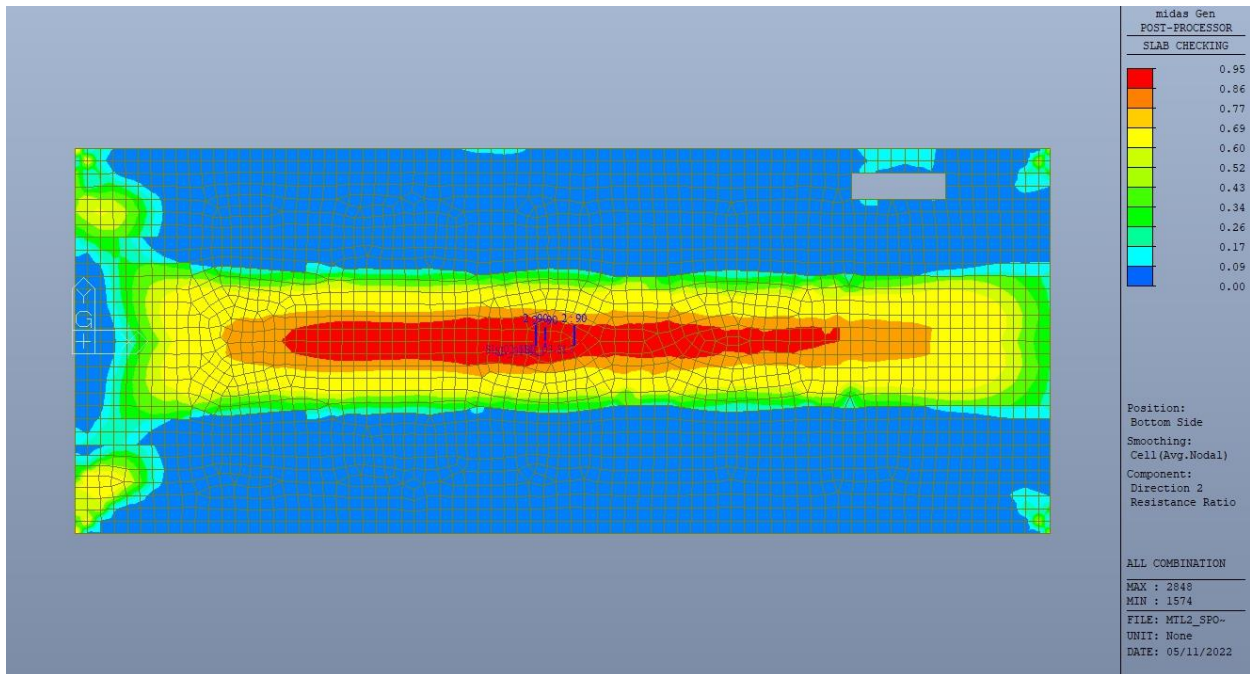


Figura 94. Solettone di copertura – Tasso di lavoro faccia superiore – Direzione D2 – Zone > 1



 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX



**Figura 95. Solettone di copertura – Tasso di lavoro faccia inferiore – Direzione D2**

In particolare, nella figura n.81 le zone con tasso di lavoro maggiore di 1 possono essere trascurare in quanto è presente la trave ribassata di larghezza pari a 2m.

Per entrambe le direzioni, le zone con tasso di lavoro superiore all'unità sono localizzate e in numero ridotto rispetto alla totalità degli elementi, si può considerare la verifica soddisfatta.



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

TEMPO ZERO

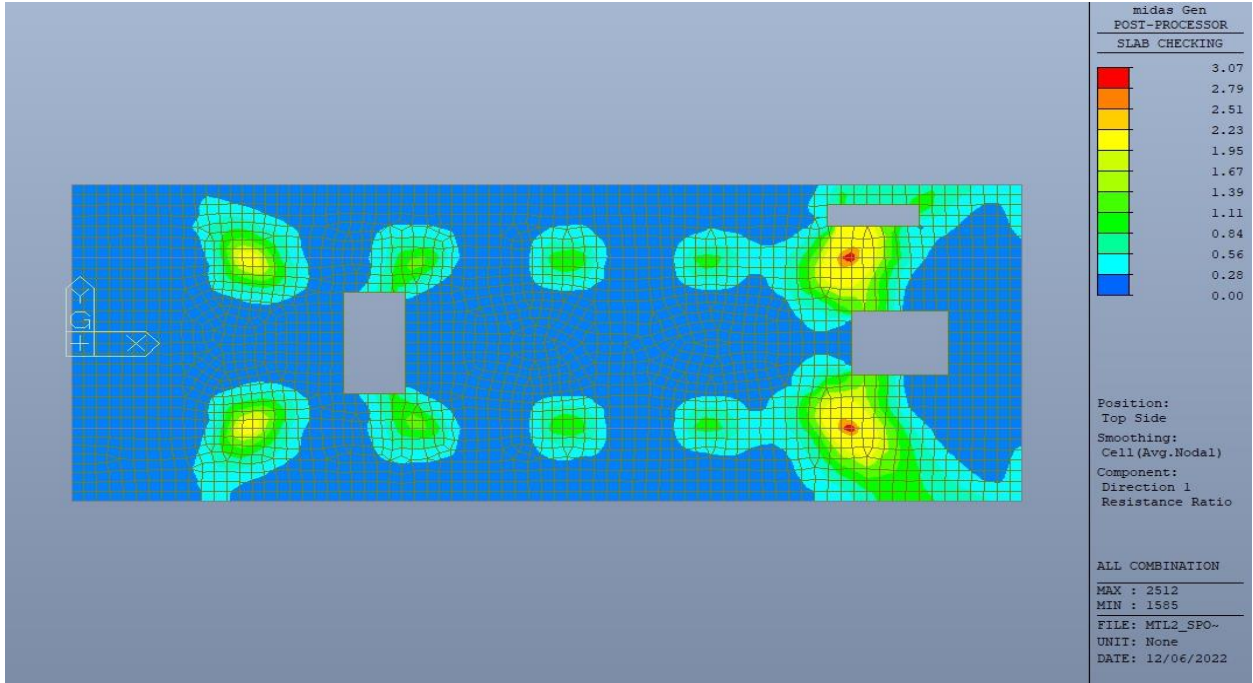


Figura 96. Solettone di copertura – Tasso di lavoro faccia superiore – Direzione D1

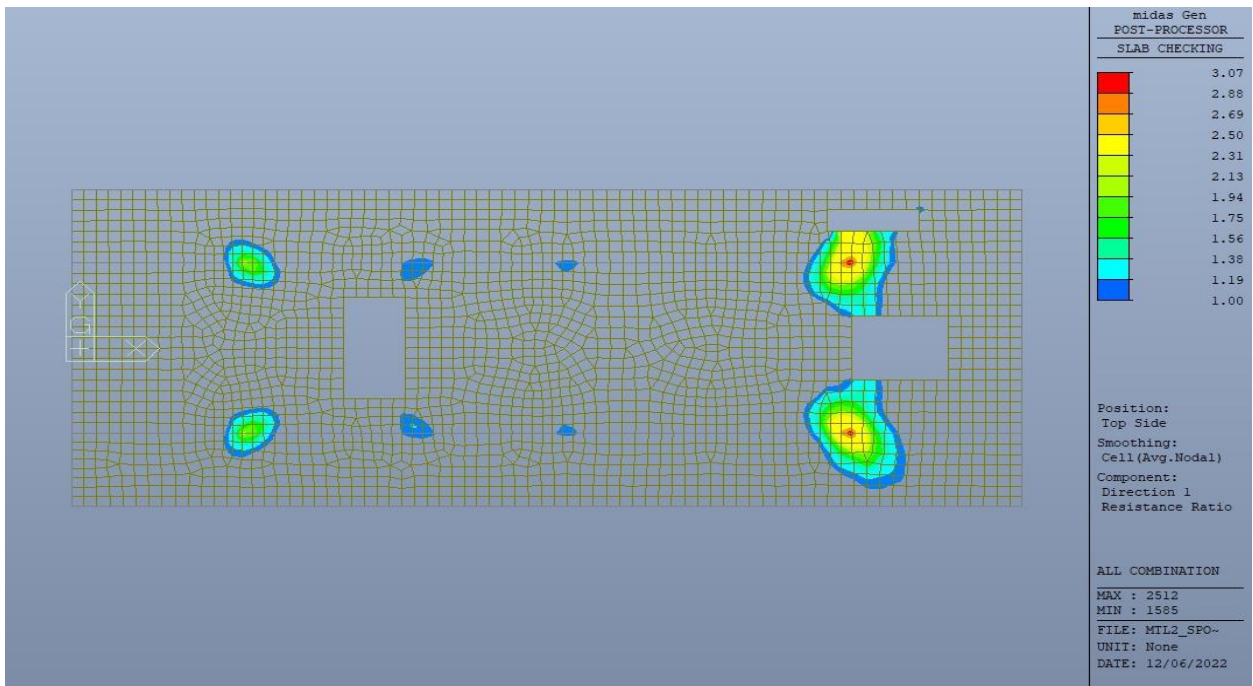


Figura 97. Solettone di copertura – Tasso di lavoro faccia superiore – Direzione D1 – Zone > 1



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

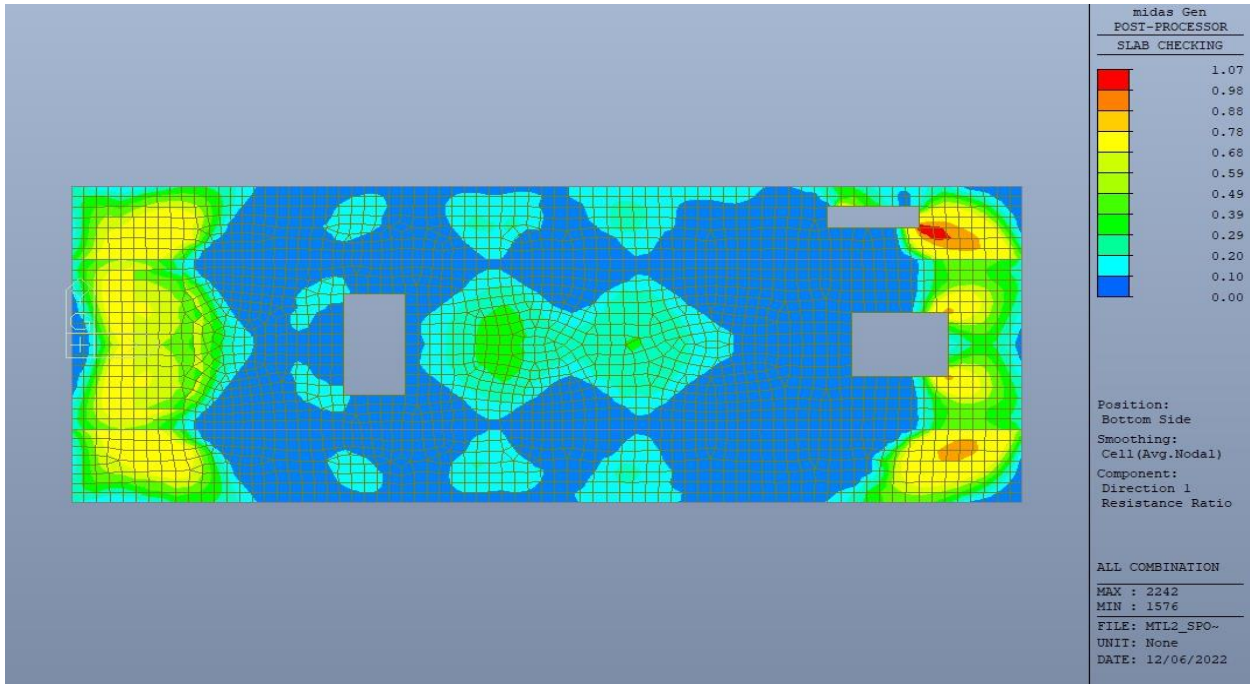


Figura 98. Solettone di copertura – Tasso di lavoro faccia inferiore – Direzione D1

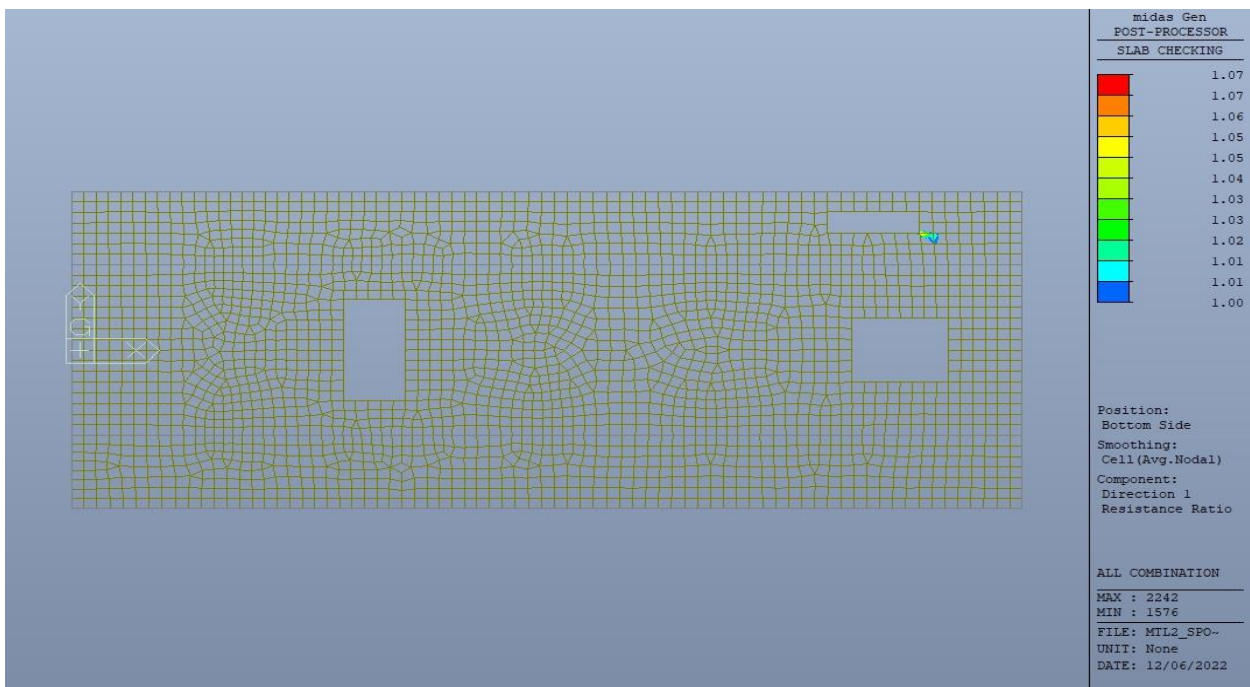
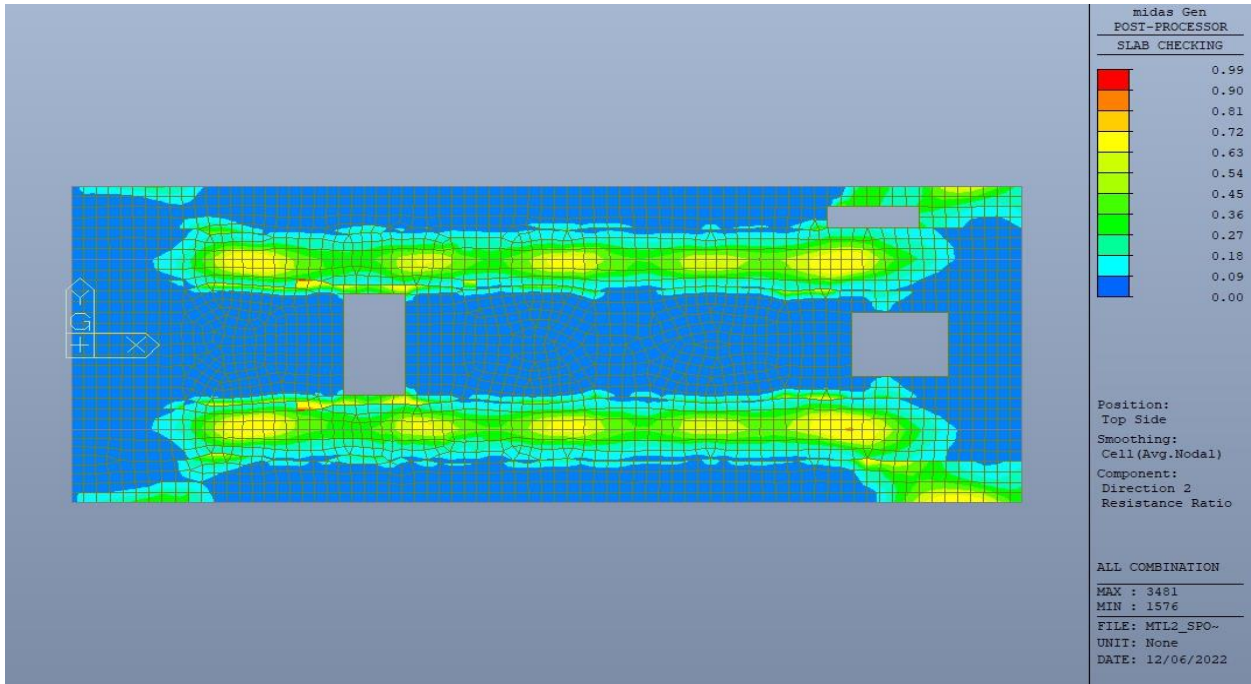


Figura 99. Solettone di copertura – Tasso di lavoro faccia inferiore – Direzione D1 – Zone > 1

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX



**Figura 100. Solettone di copertura – Tasso di lavoro faccia superiore – Direzione D2**



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

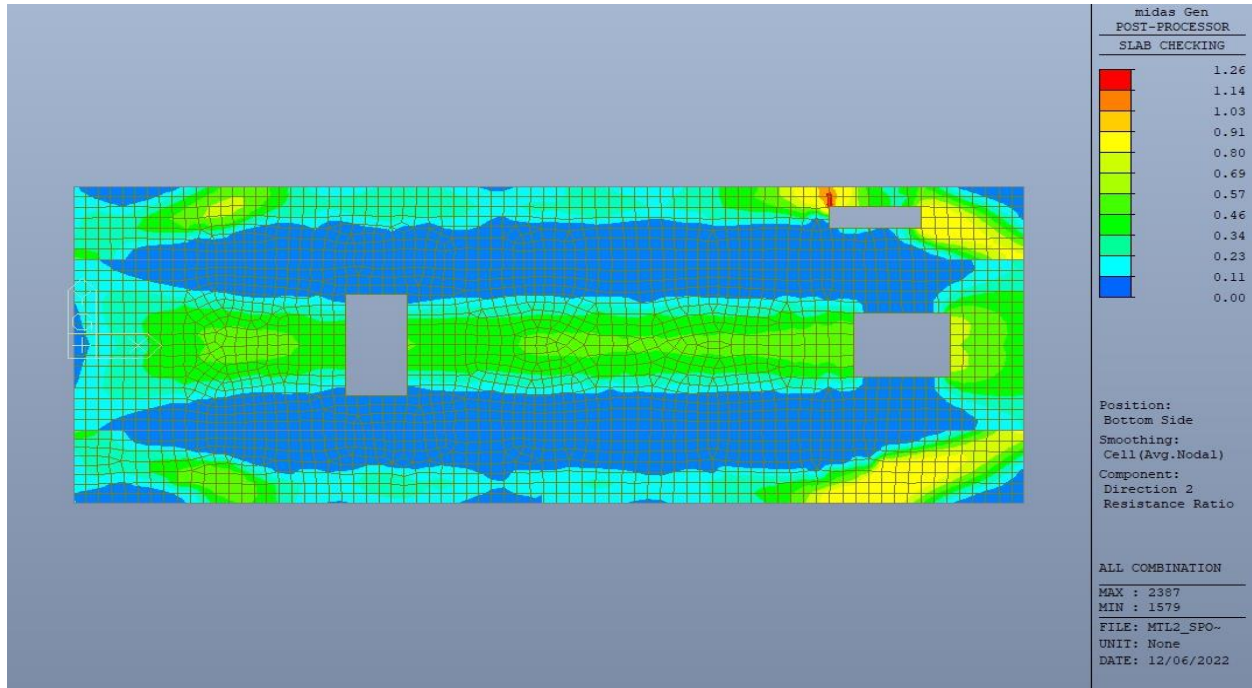


Figura 101. Solettone di copertura – Tasso di lavoro faccia inferiore – Direzione D2

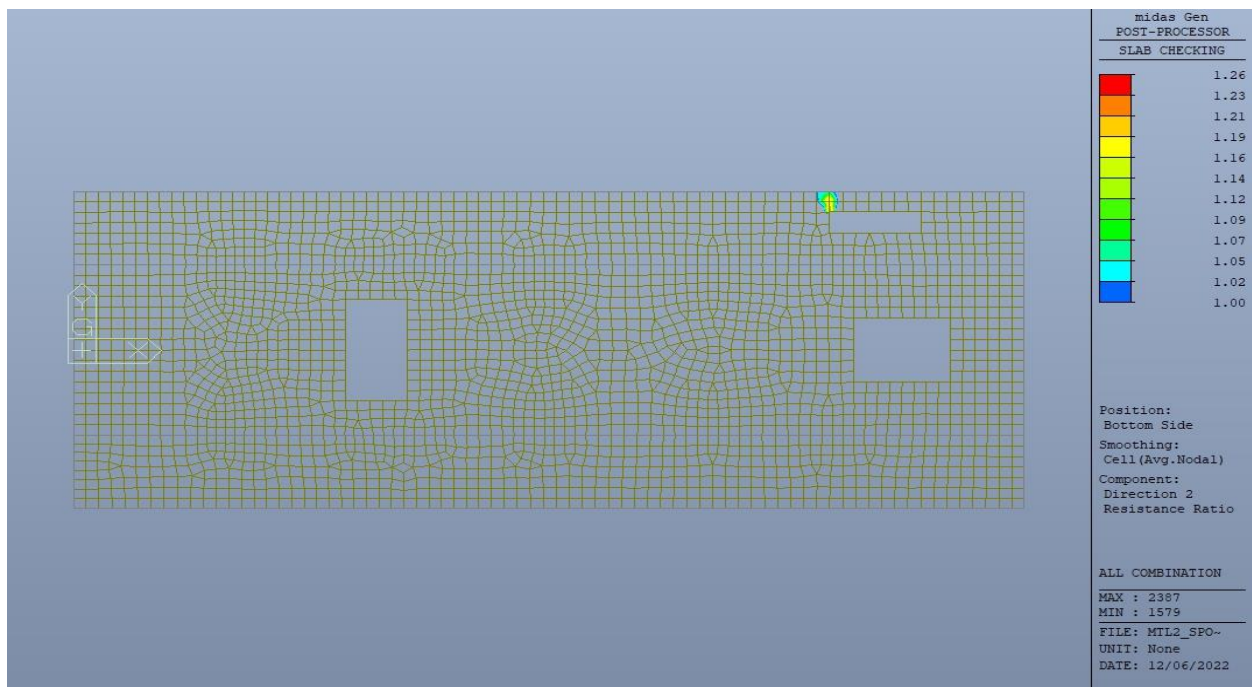


Figura 102. Solettone di copertura – Tasso di lavoro faccia inferiore – Direzione D2 – Zone > 1

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

Al tempo zero, per entrambe le direzioni, le zone con tasso di lavoro superiore all'unità sono localizzate e in numero ridotto rispetto alla totalità degli elementi, si può considerare la verifica soddisfatta.

In particolare, nella figura n.97 le zone con tasso di lavoro maggiore di 1 possono essere trascurare in quanto è presente la trave ribassata di larghezza pari a 2m.

L'analisi delle condizioni intermedie saranno oggetto di approfondimento in fase di stesura del progetto esecutivo/costruttivo.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

Resistenza a taglio di progetto in direzione X e Y – valore per unità di lunghezza.

**Tabella 26. Verifica taglio – Solettone di copertura**

CLS	C30/37		tipologia calcestruzzo
Acciaio	B450C		tipologia acciaio
$f_{yk}$	450	N/mm <sup>2</sup>	valore caratteristico della resistenza a trazione acciaio
$f_{ck}$	30.71	N/mm <sup>2</sup>	valore caratteristico della resistenza a compressione del cls
$\gamma_c$	1.5		coefficiente di sicurezza
c	100	mm	copriferro
d	700	mm	altezza utile sezione
k	1.53		
$\rho_1$	0.26%		rapporto geometrico di armatura longitudinale
$v_{min}$	0.369		
$V_{Rd}$	257.07	kN	
$V_{Rd,min}$	258.09	kN	
<b><math>V_{Rd,c}</math></b>	<b>258.09</b>	<b>kN</b>	resistenza a taglio NO armatura
NB	4		numero bracci
D	20	mm	diametro armatura a taglio
$A_b$	3.14	cm <sup>2</sup>	area barra armatura a taglio
$A_{st}$	12.56	cm <sup>2</sup>	area complessiva staffe
st	200	mm	passo staffe
$\gamma_s$	1.15		
$\alpha$	90	°	
cotg teta	1		
$V_{Rsd}$	1548.16	kN	resistenza di progetto a taglio - lato acciaio
$\alpha_c$	1		
v	0.5		
$f_{cd}$	17.40	N/mm <sup>2</sup>	
$V_{Rcd}$	2740.87	kN	resistenza di progetto a taglio - lato calcestruzzo
<b><math>V_{Rd}</math></b>	<b>1548.16</b>	<b>kN</b>	resistenza a taglio CON armatura

Come riportato dalle immagini successive, la resistenza di progetto a taglio per elementi con armatura dedicata è superiore al taglio agente per tutta la totalità degli elementi, si può considerare la verifica soddisfatta per entrambe le direzioni.



TEMPO INFINITO

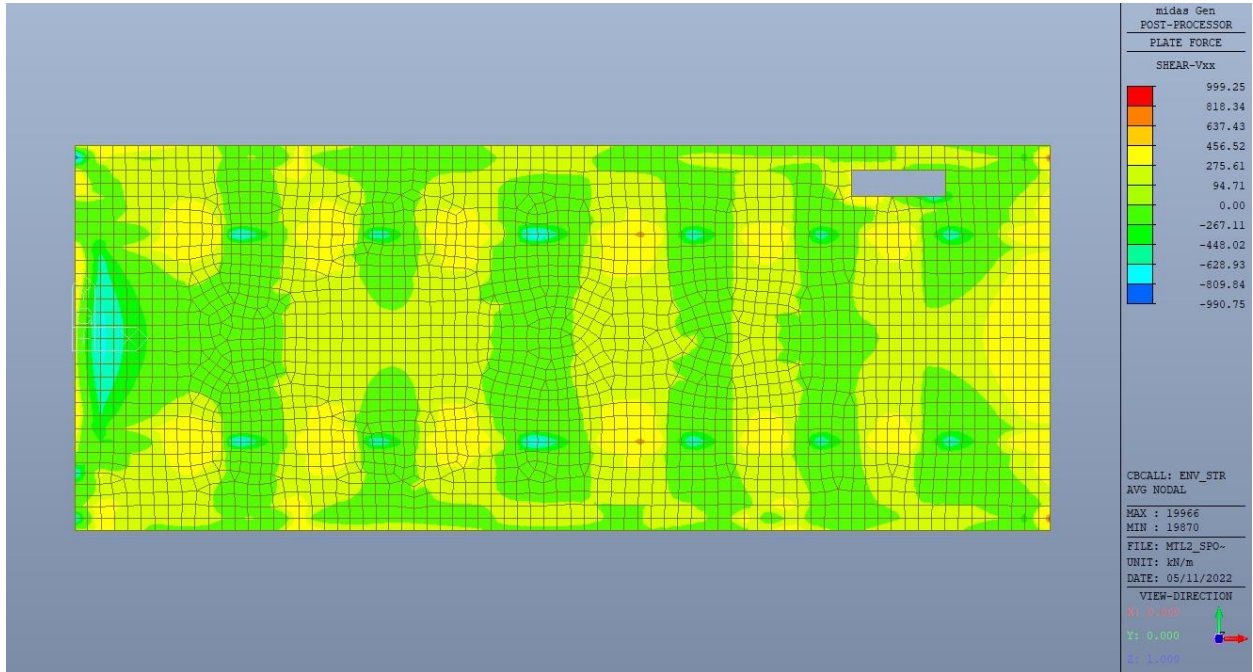


Figura 103. Solettone di copertura – Resistenza a taglio Direzione X

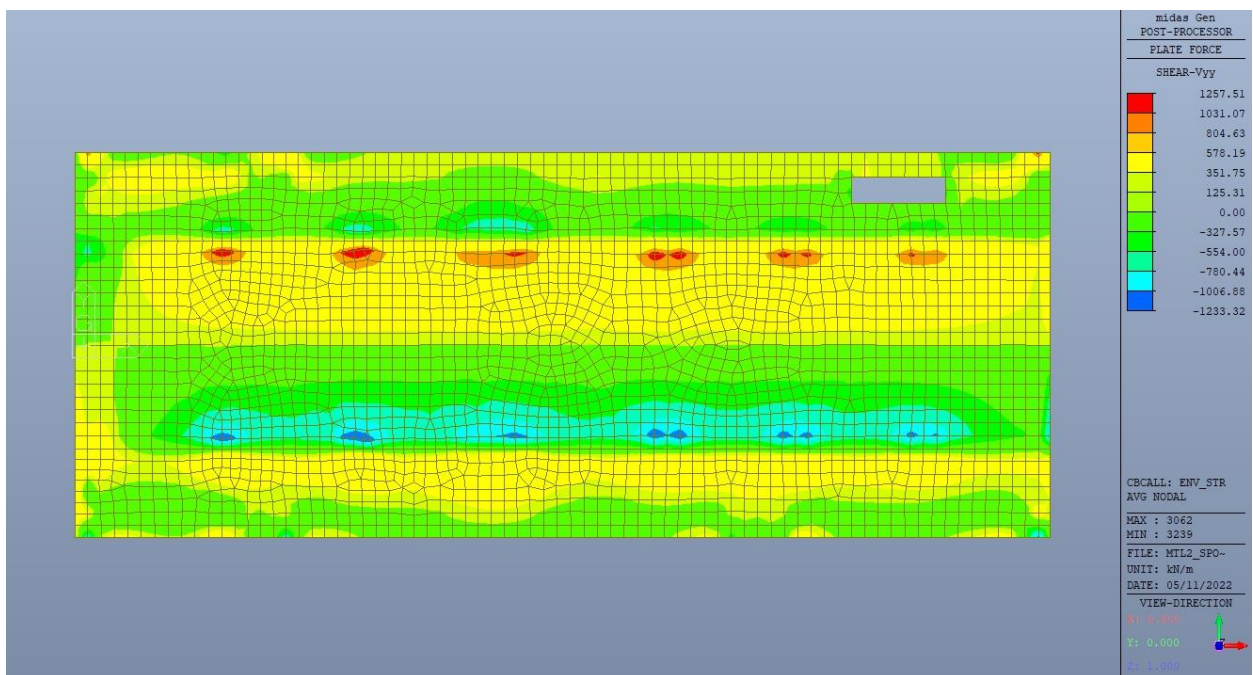


Figura 104. Solettone di copertura – Resistenza a taglio Direzione Y





TEMPO ZERO

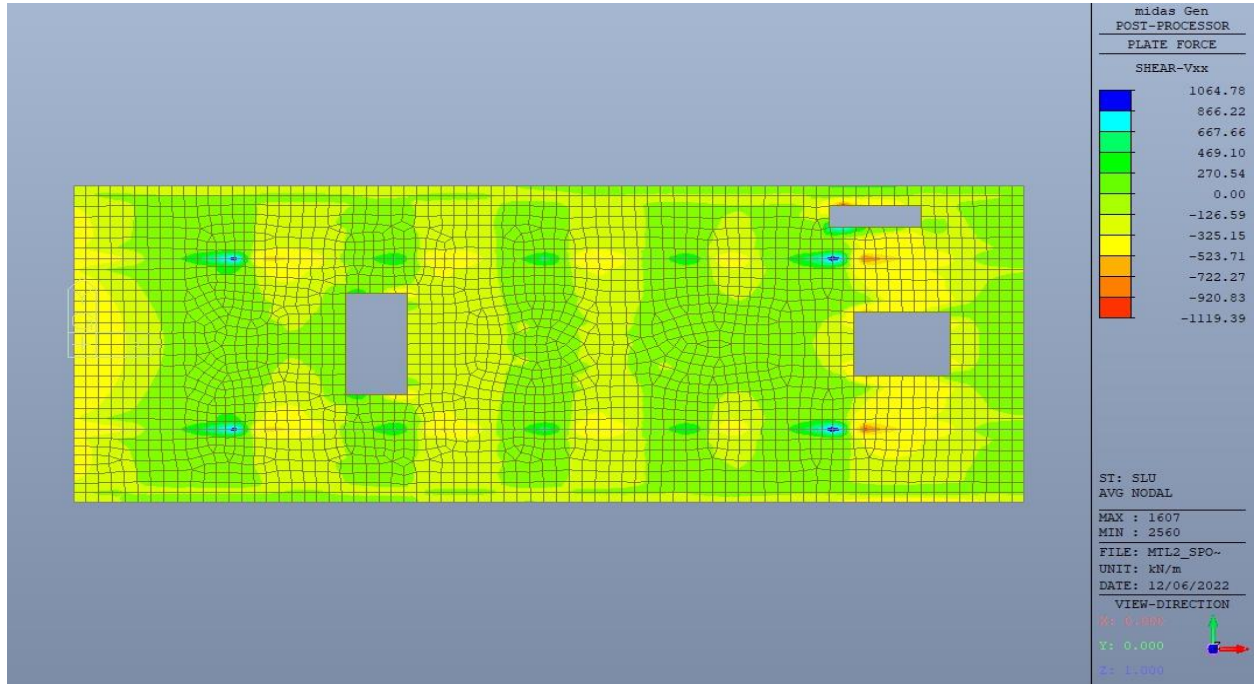


Figura 105. Solettone di copertura – Resistenza a taglio Direzione X

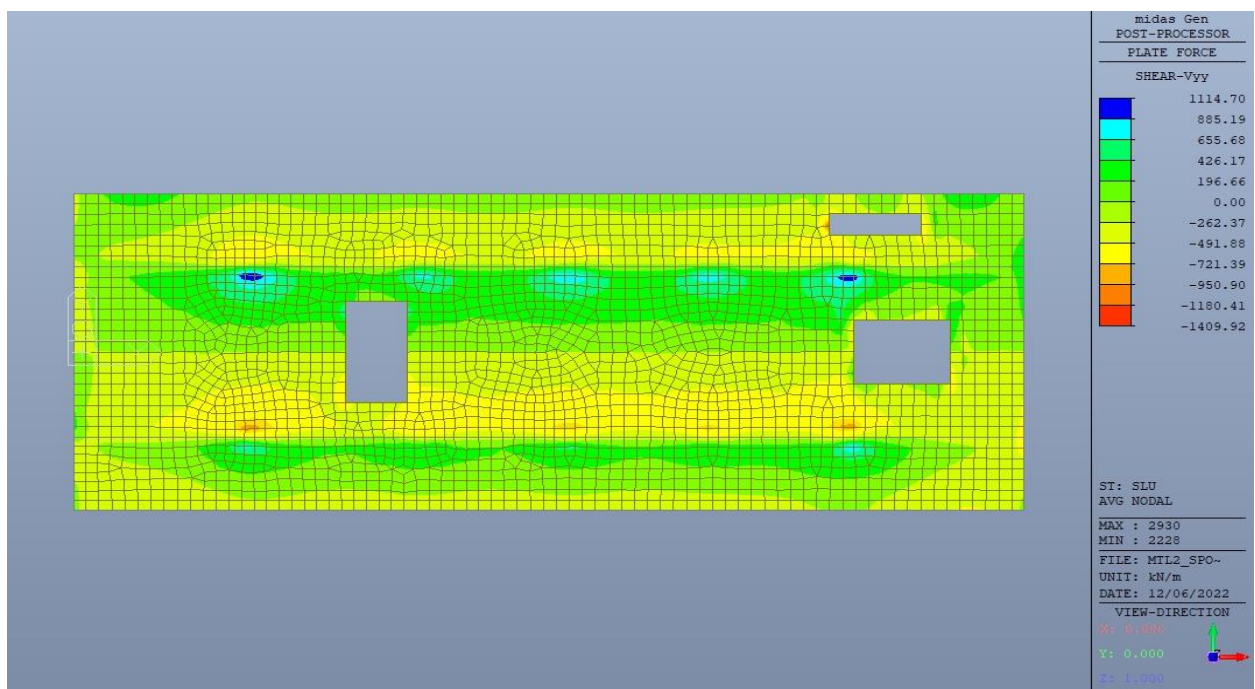


Figura 106. Solettone di copertura – Resistenza a taglio Direzione Y

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

## 11.2 Verifica Stati Limite di Esercizio - SLE

Si deve verificare il rispetto dei seguenti stati limite:

- deformazione;
- fessurazione;
- limitazione delle tensioni di esercizio.

Le verifiche SLE sono condotte solamente a tempo infinito, in quanto risulta essere la configurazione più gravosa.

### 11.2.1 Stato limite di deformazione

I limiti di deformabilità devono essere congruenti con le prestazioni richieste alla struttura anche in relazione alla destinazione d'uso, con riferimento alle esigenze statiche, funzionali ed estetiche.

Si può considerare la deformazione massima a pieno carico pari a 1/250 della luce di calcolo.

$L = 28.60 \text{ m}$  (tra travi rialzate interne)

$\delta_{\max} = 114.4\text{mm}$

Di seguito si riporta la deformata calcolata, a favore di sicurezza, in condizione di creep (effetti a lungo termine dovuti al fluage) con un modulo elastico del cls  $E_c$  ridotto di un valore pari a 2.75.

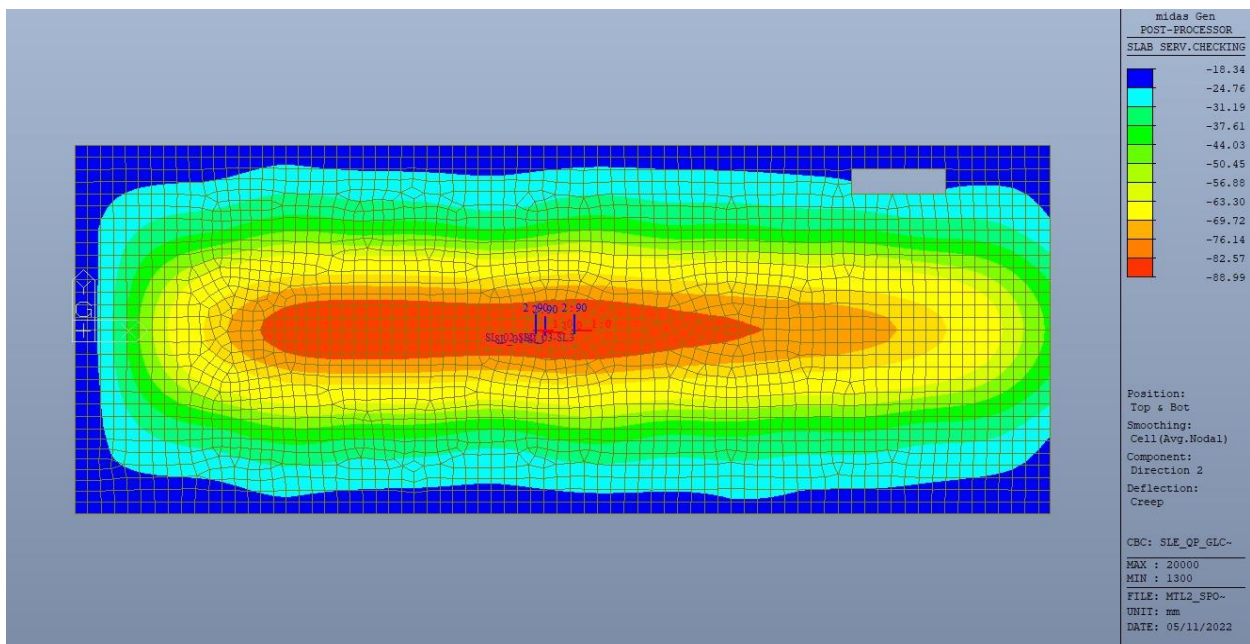


Figura 107. Solettone di copertura – Massima deformazione

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

Il massimo valore dell'abbassamento relativo in combinazione RARA è pari a 71.00mm, inferiore al valore massimo e compatibile con le prestazioni richieste.

La verifica è soddisfatta.

### 11.2.2 Stato limite di fessurazione

Ai fini della protezione contro la corrosione delle armature metalliche e della protezione contro il degrado del calcestruzzo, in funzione della classe di esposizione scelta si determina la condizione ambientale:

- ordinarie;
- aggressive;
- molto aggressive.

Stabilito la classe ambientale, in funzione della tipologia di armatura, se sensibile o poco sensibile alla corrosione, si determina il valore limite di apertura delle fessure.

In questo caso:

- classe di esposizione XC3;
- classe ambientale ordinaria;
- armatura poco sensibile;
- valore limite apertura delle fessure  $w_3$  (0.4mm) combinazioni SLE Frequente;
- valore limite apertura delle fessure  $w_2$  (0.3mm) combinazioni SLE Quasi Permanente.

Nelle seguenti immagini vengono riportati il ratio tra il valore di apertura delle fessure e il relativo valore limite nelle due direzioni di armatura; evidenziando, nel caso, le zone con un valore superiore all'unità indicatore che la verifica in oggetto non è soddisfatta.



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

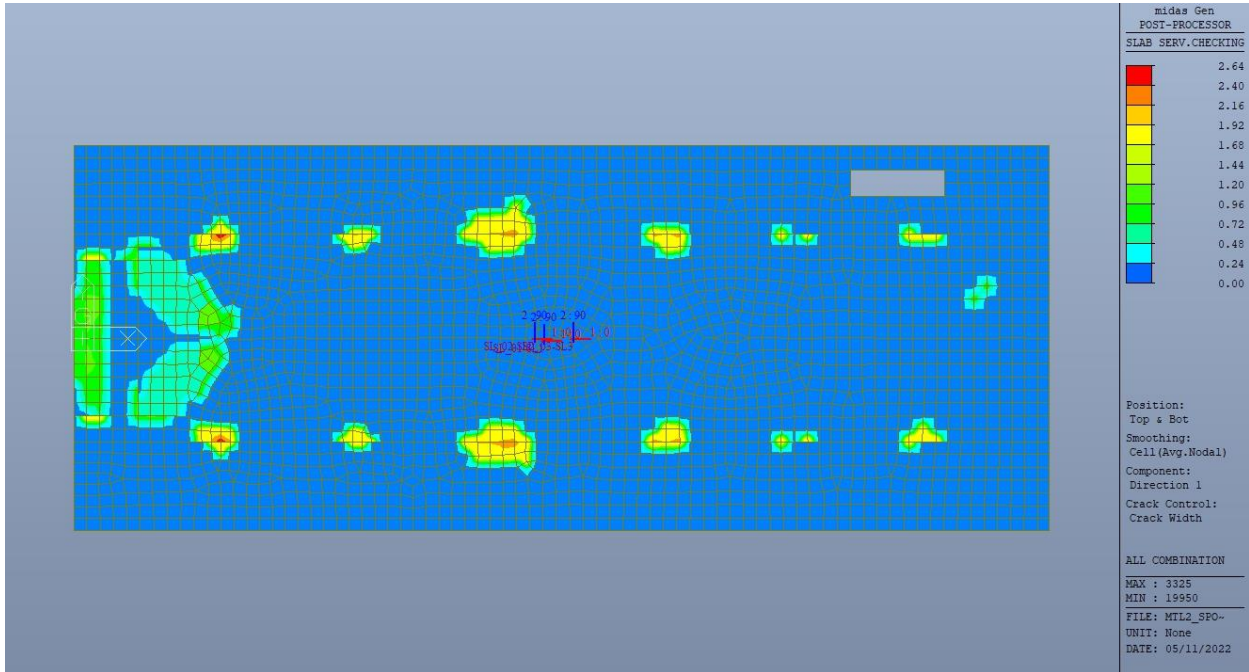


Figura 108. Solettone di copertura – Apertura delle fessure - Ratio Direzione 1

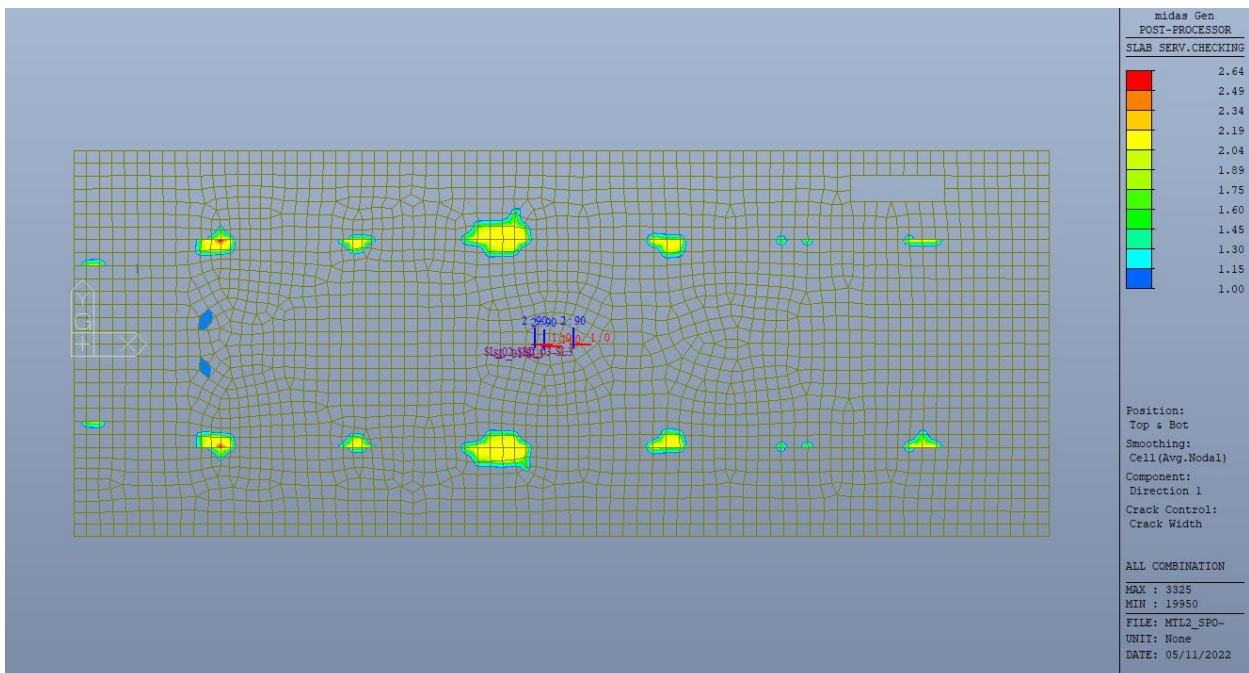


Figura 109. Solettone di copertura – Apertura delle fessure - Ratio Direzione 1 – Zone > 1



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

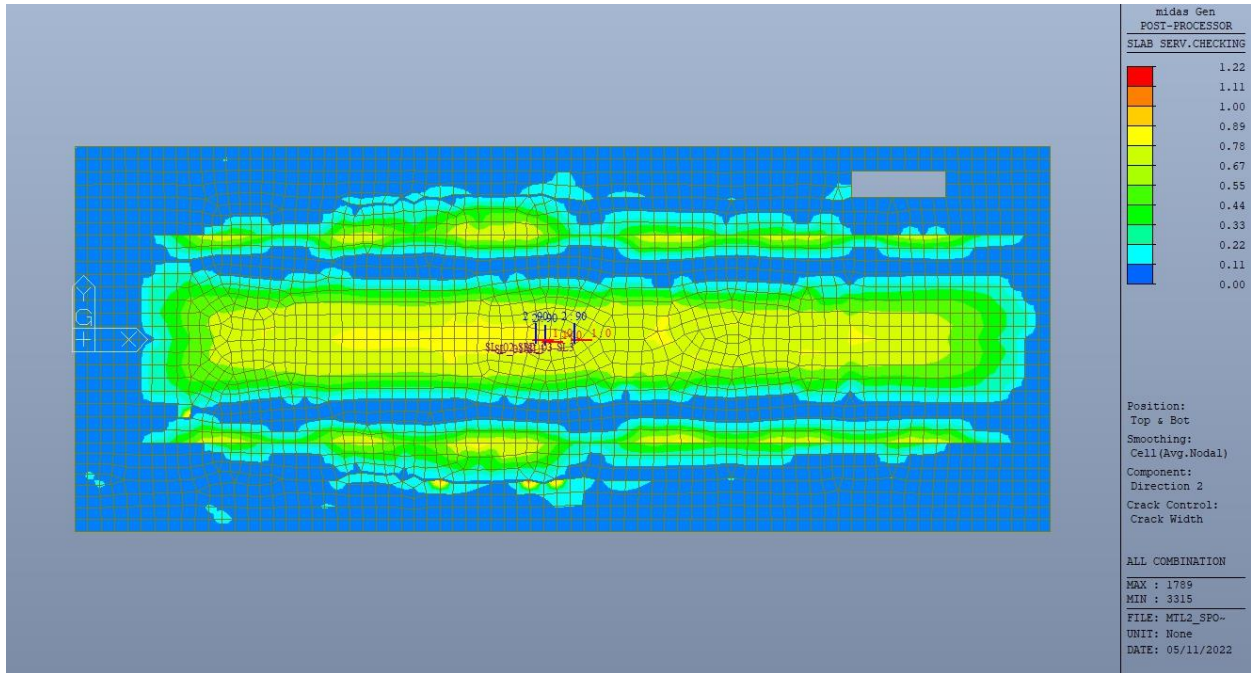


Figura 110. Solettone di copertura – Apertura delle fessure - Ratio Direzione 2

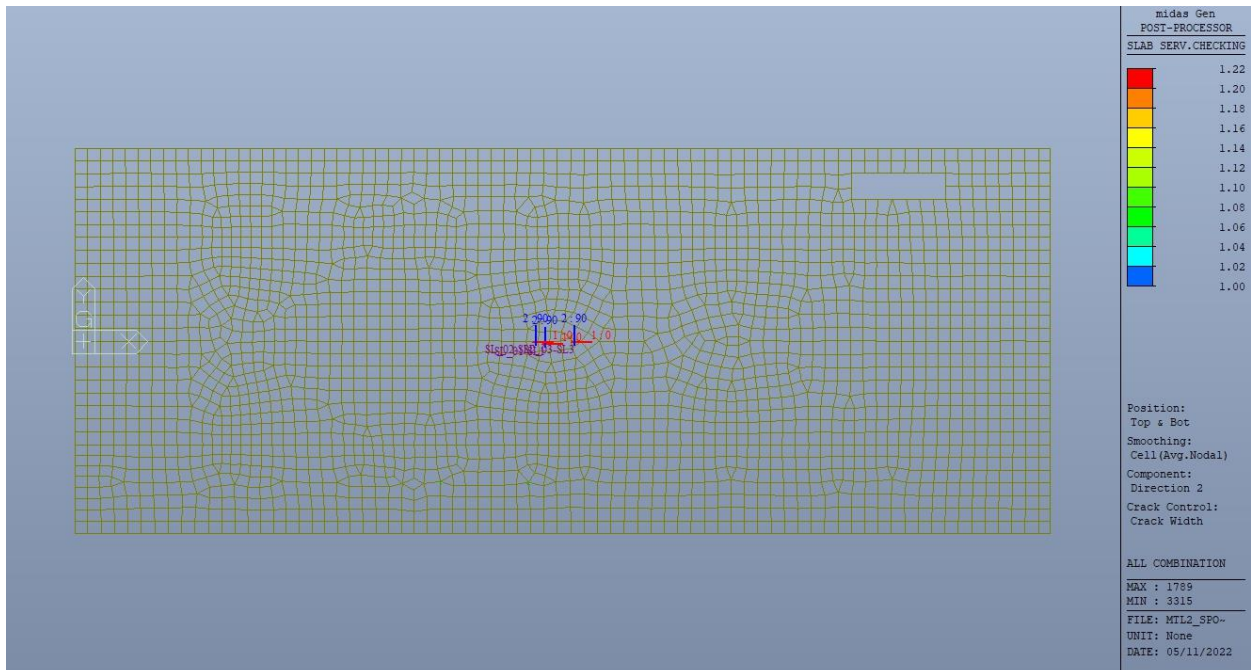



Figura 111. Solettone di copertura – Apertura delle fessure - Ratio Direzione 2 – Zone > 1

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

Come si evince, le zone in cui il ratio è maggiore di uno, sono localizzate ed in numero limitato rispetto alle dimensioni complessive del solettone di copertura; in particolare non si considerano le zone comprese all'interno delle travi ribassate.

Si può ritenere la verifica soddisfatta.

### 11.2.3 Stato limite di limitazione delle tensioni in esercizio

Si deve verificare che nelle varie parti della struttura le massime tensioni, sia nel calcestruzzo sia nelle armature, dovute alle combinazioni caratteristiche e quasi permanente delle azioni siano inferiori ai massimi valori consentiti:

- $\sigma_{c,max} \leq 0.60 f_{ck}$  per la combinazione caratteristica;
- $\sigma_{c,max} \leq 0.45 f_{ck}$  per la combinazione quasi permanente;
- $\sigma_{s,max} \leq 0.80 f_{yk}$  per la combinazione caratteristica.

Nelle seguenti immagini vengono riportati il ratio tra la tensione massima (cls e armatura) e il relativo valore limite nelle due direzioni di armatura; evidenziando, nel caso, le zone con un valore superiore all'unità indicatore che la verifica in oggetto non è soddisfatta.



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

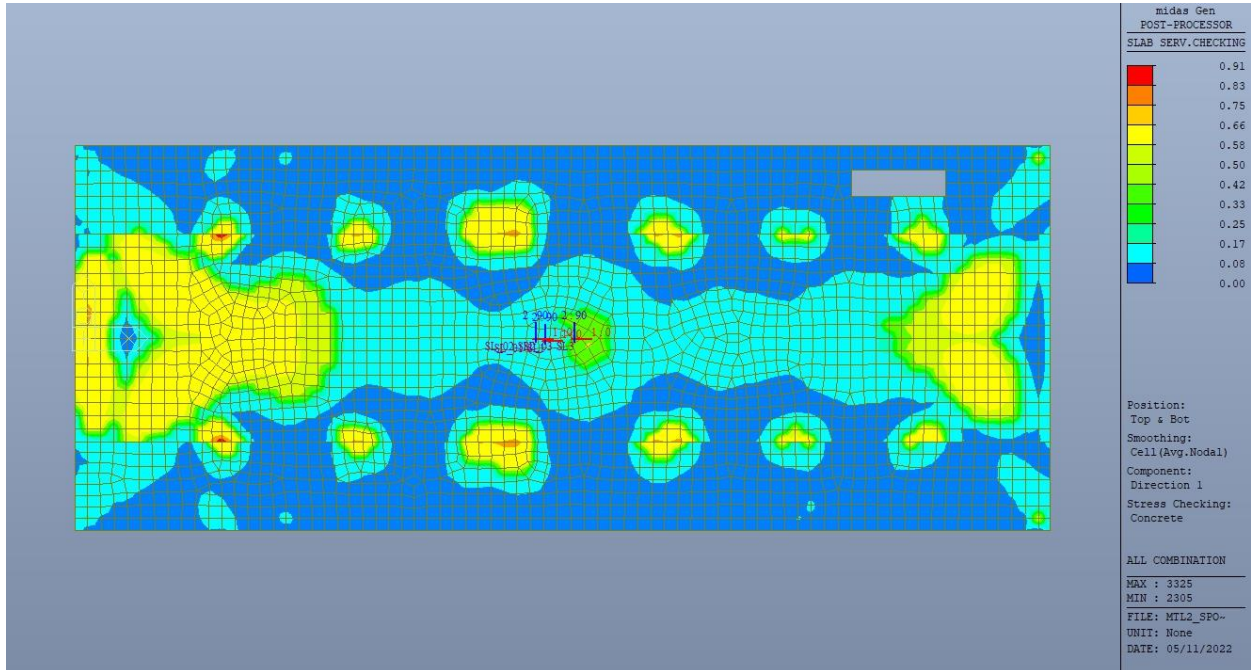


Figura 112. Solettone di copertura – Tensioni calcestruzzo - Ratio Direzione 1



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

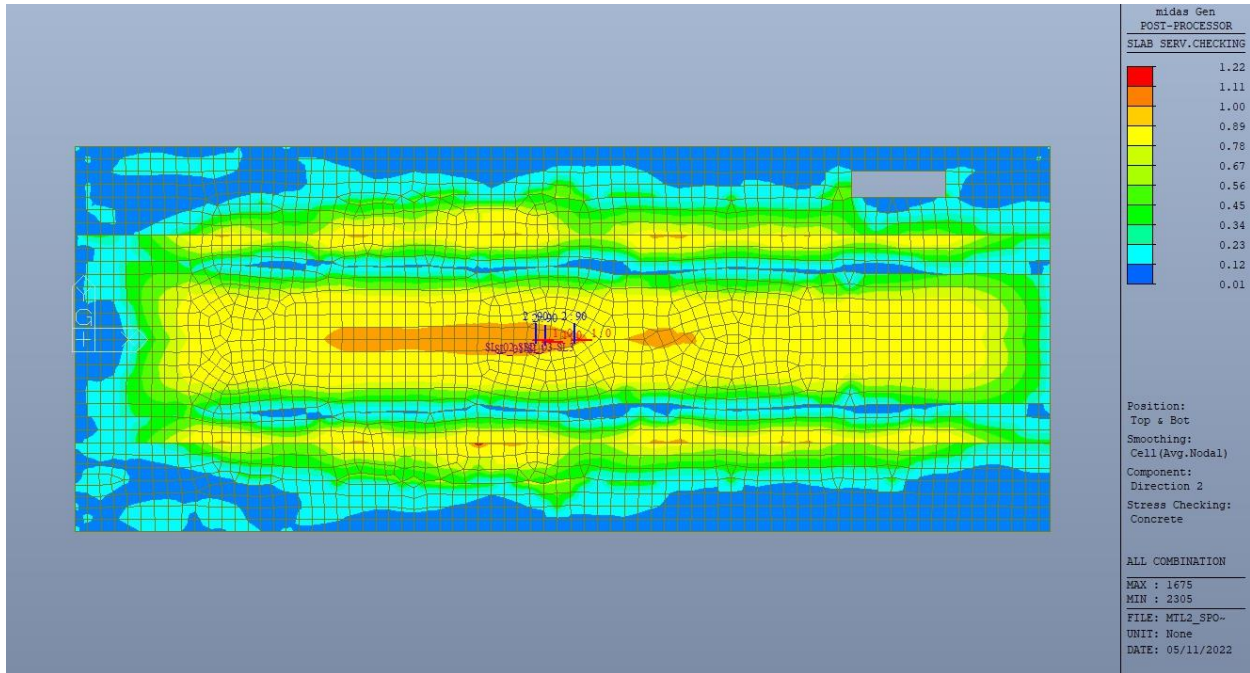


Figura 113. Solettone di copertura – Tensioni calcestruzzo - Ratio Direzione 2

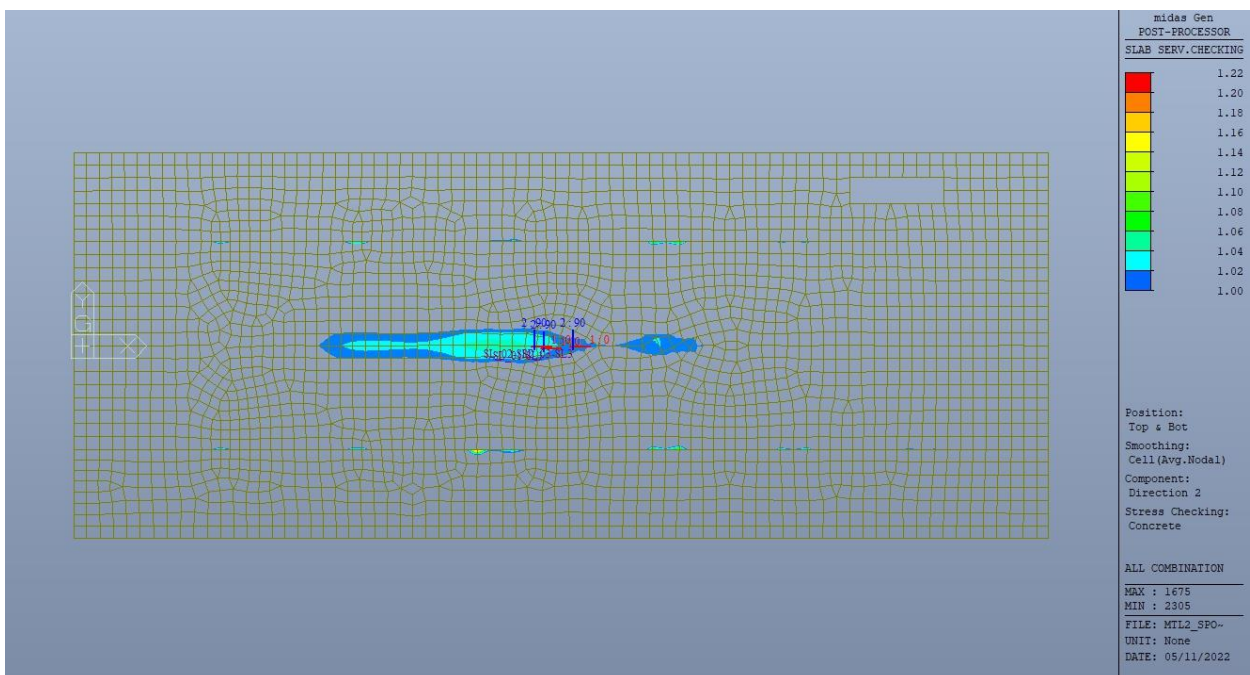


Figura 114. Solettone di copertura – Tensioni calcestruzzo - Ratio Direzione 2 – Zone > 1





CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

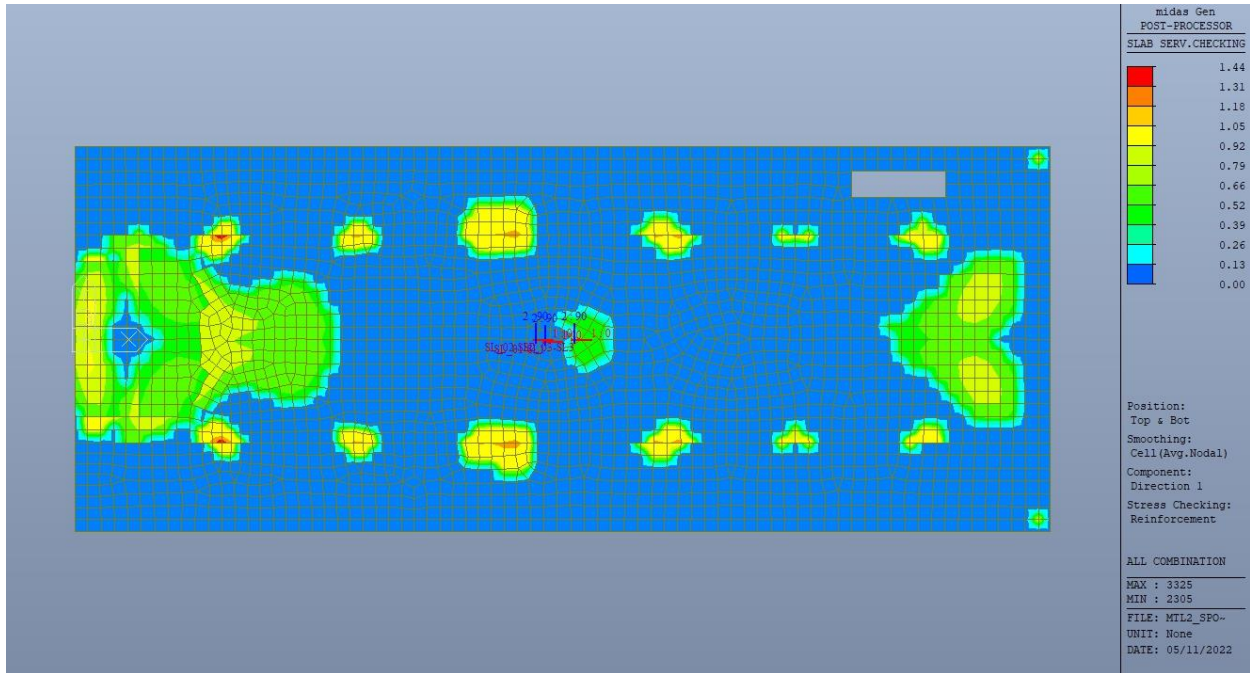


Figura 115. Solettone di copertura – Tensioni armatura - Ratio Direzione 1

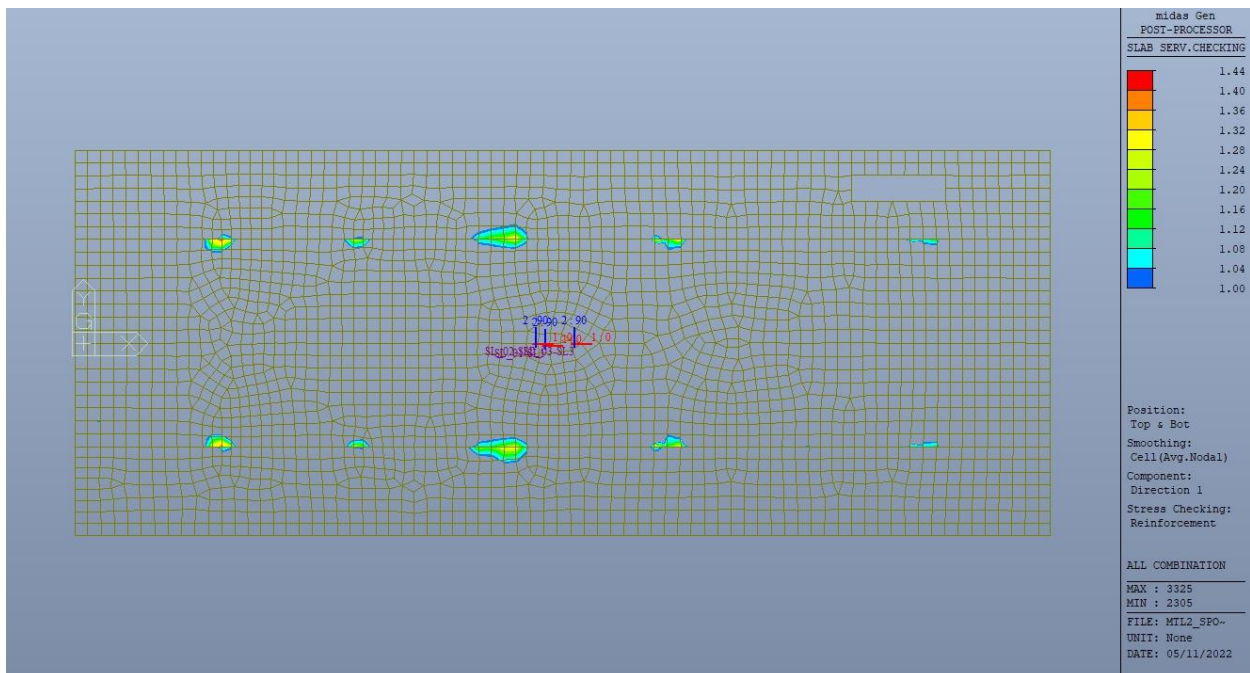
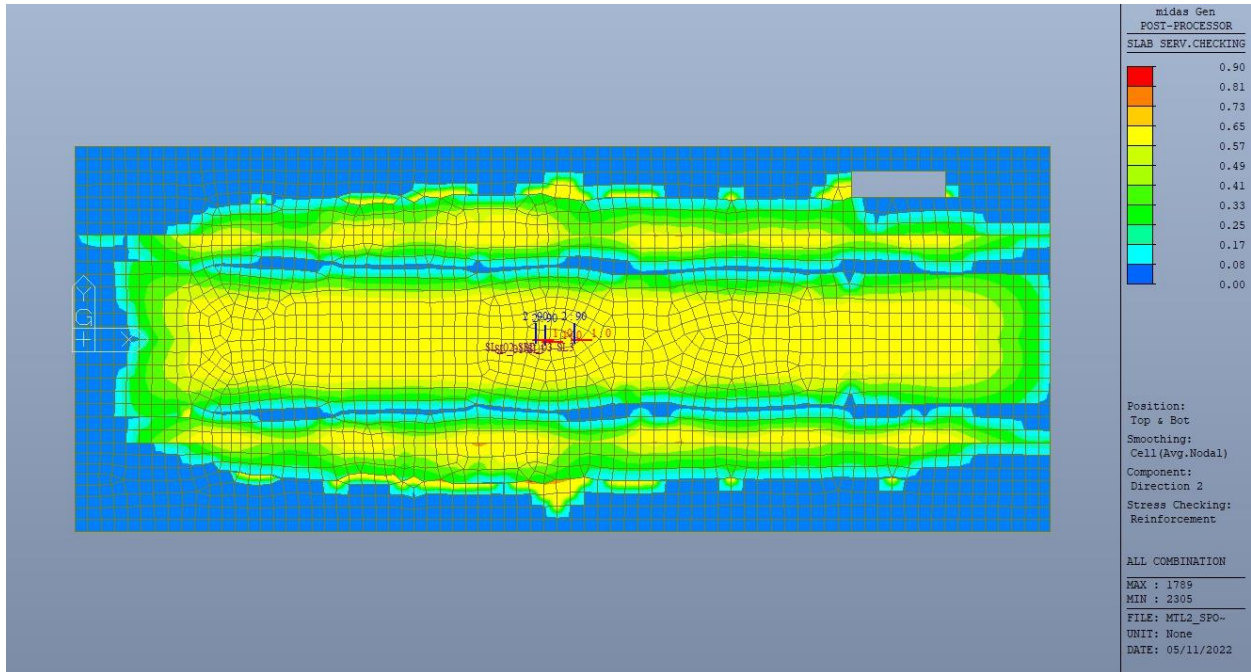


Figura 116. Solettone di copertura – Tensioni armatura - Ratio Direzione 1 – Zone > 1



**Figura 117. Solettone di copertura – Tensioni armatura - Ratio Direzione 2**

Come si evince, le zone in cui il ratio è maggiore di uno, sono localizzate ed in numero limitato rispetto alle dimensioni della soletta di copertura.

Si può ritenere la verifica soddisfatta.



## 12. VERIFICA TRAVI RIBASSATE

Le travi ribassate hanno le seguenti sezioni:

- Travi perimetrali 180x160cm;
- Travi centrali 200x160cm.

Come si evince dalle immagini seguenti, le strutture verticali a sostegno delle stesse sono differenti tra il tempo zero (cantiere) e tempo infinito, sia come tipologia che come posizione. Questo comporta una traslazione dei punti di massimo momento positivo e di massimo momento negativo nel tempo.

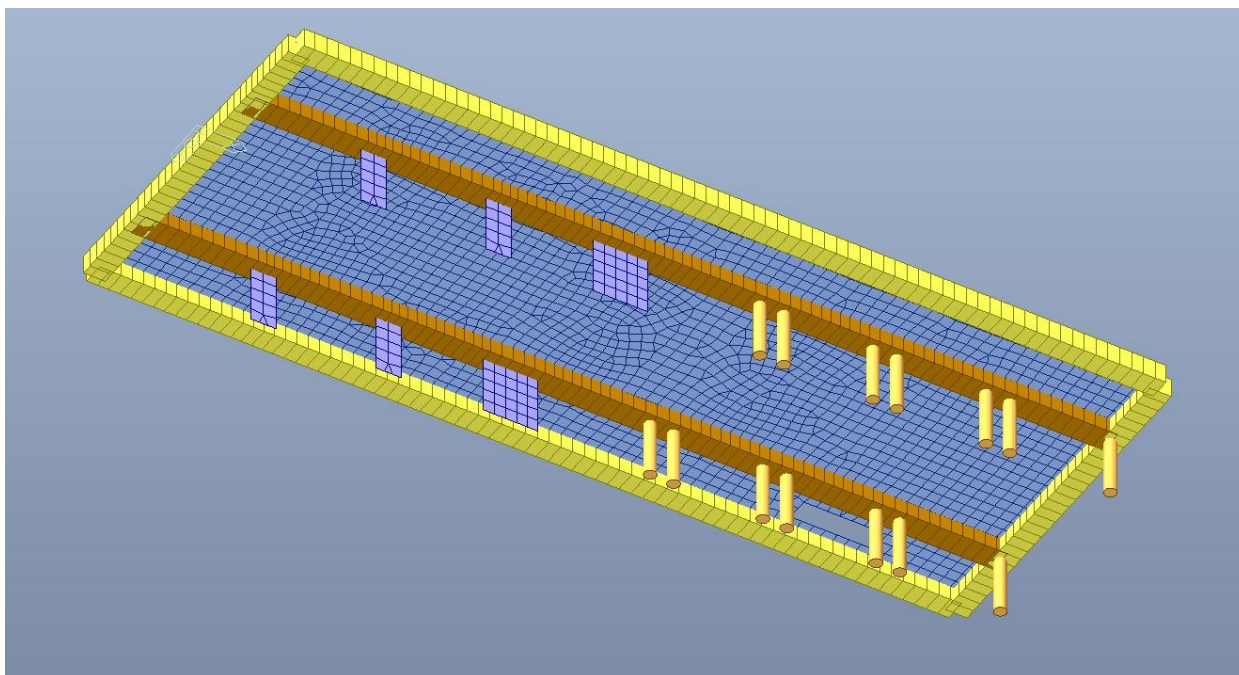
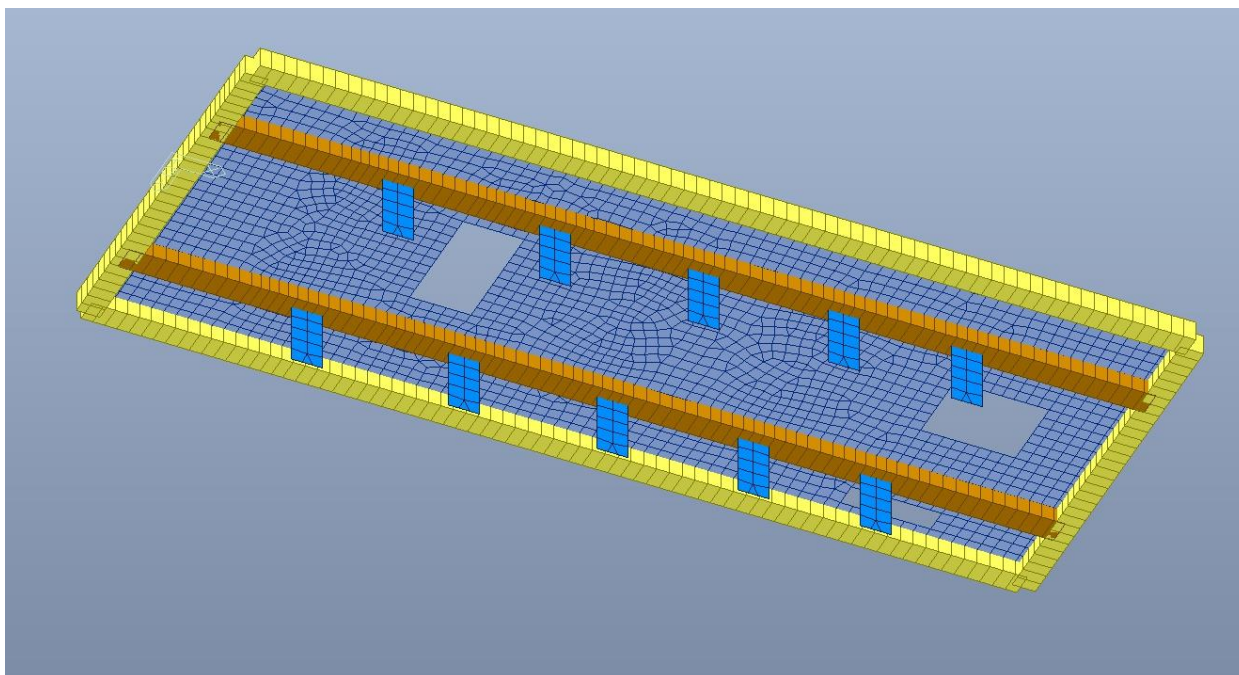


Figura 118. Travi ribassate solettone di copertura – Tempo infinito



**Figura 119. Travi ribassate solettone di copertura – Tempo zero**

Si deve verificare che i singoli elementi strutturali e la struttura nel suo insieme possiedano una capacità in resistenza sufficiente a soddisfare la domanda sia allo SLV che allo SLU.

Nel seguito si riportano sinteticamente i principali risultati delle analisi.

### **12.1 Sollecitazioni**

Le immagini successive riportano gli involuipi delle sollecitazioni per gli Stati Limite SLU e SLV di momento flettente e taglio, sia a tempo infinito che a tempo zero.



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

Travi 200x160

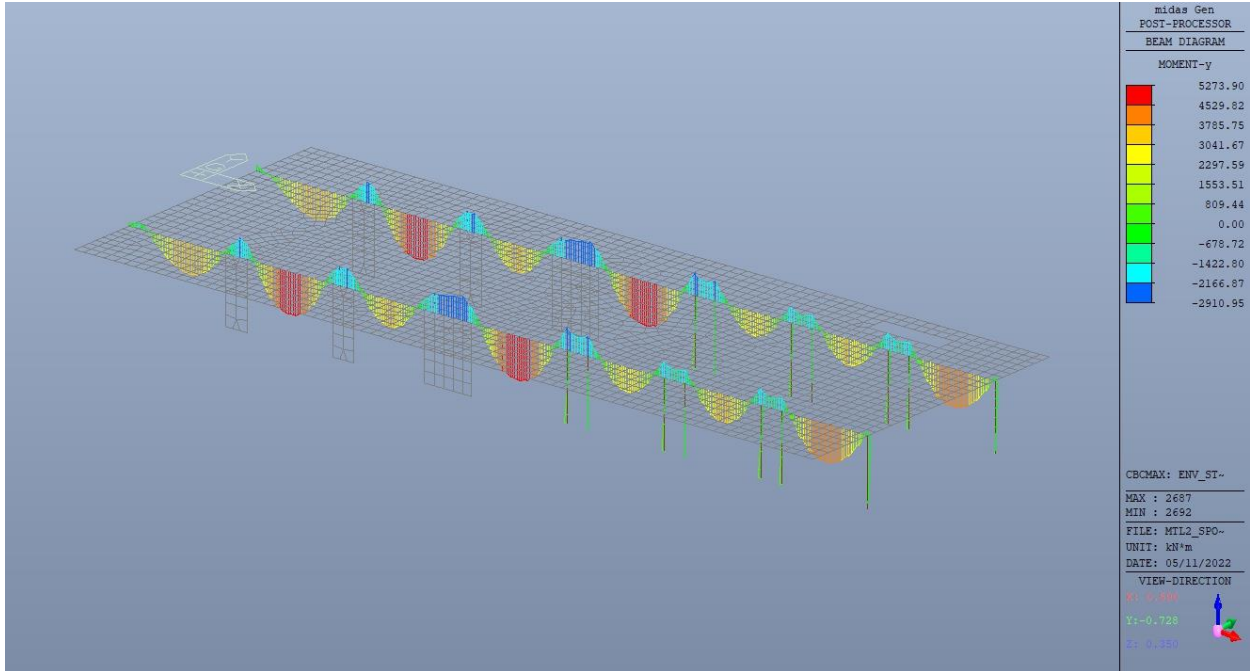


Figura 120. Travi ribassate 200x160 – Involuppo  $M_y$  tempo infinito

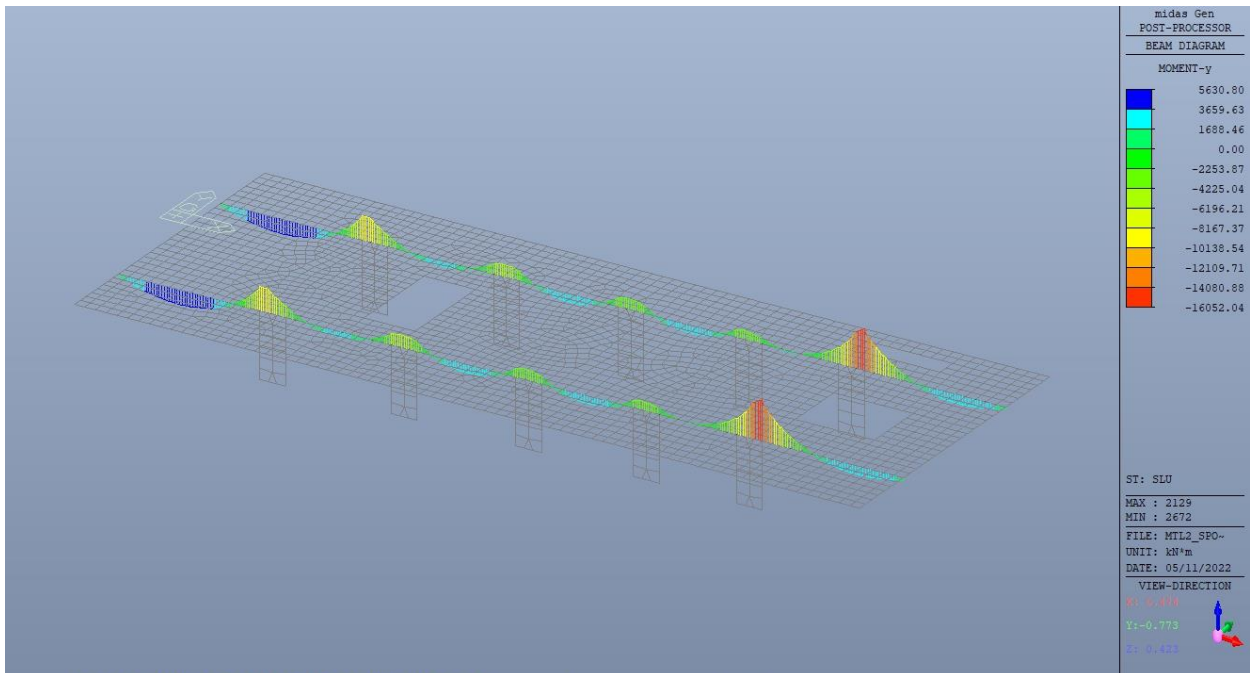


Figura 121. Travi ribassate 200x160 – Involuppo  $M_y$  tempo zero



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

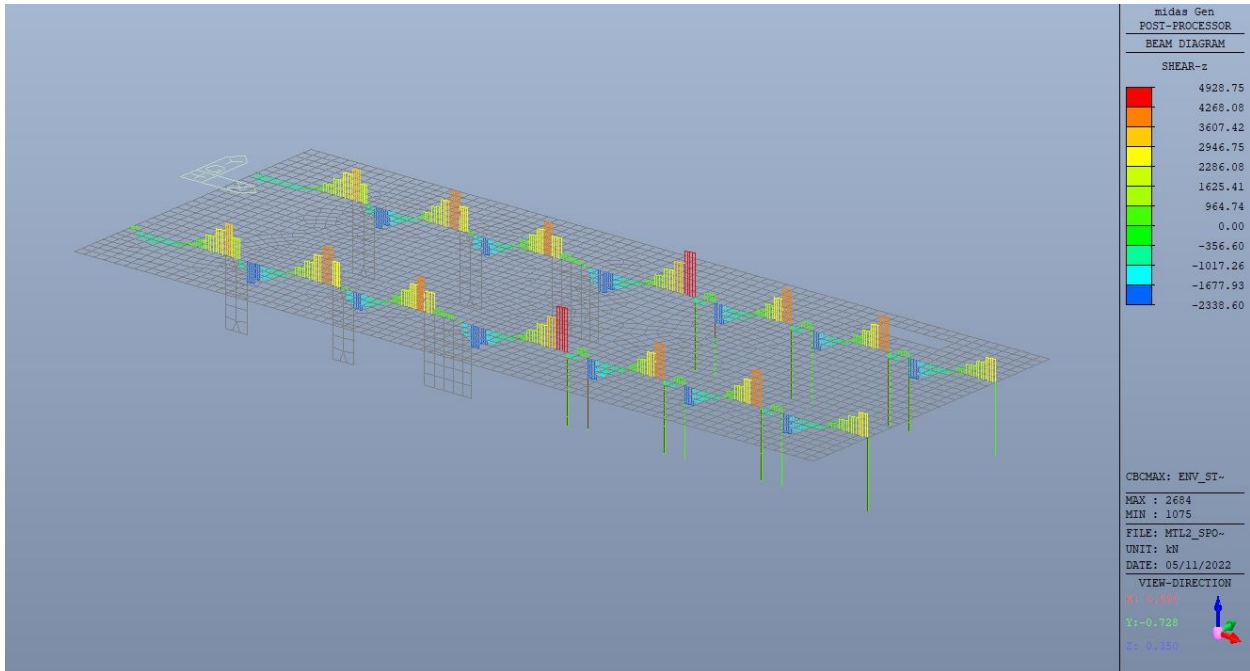


Figura 122. Travi ribassate 200x160 – Involuppo  $V_z$  tempo infinito

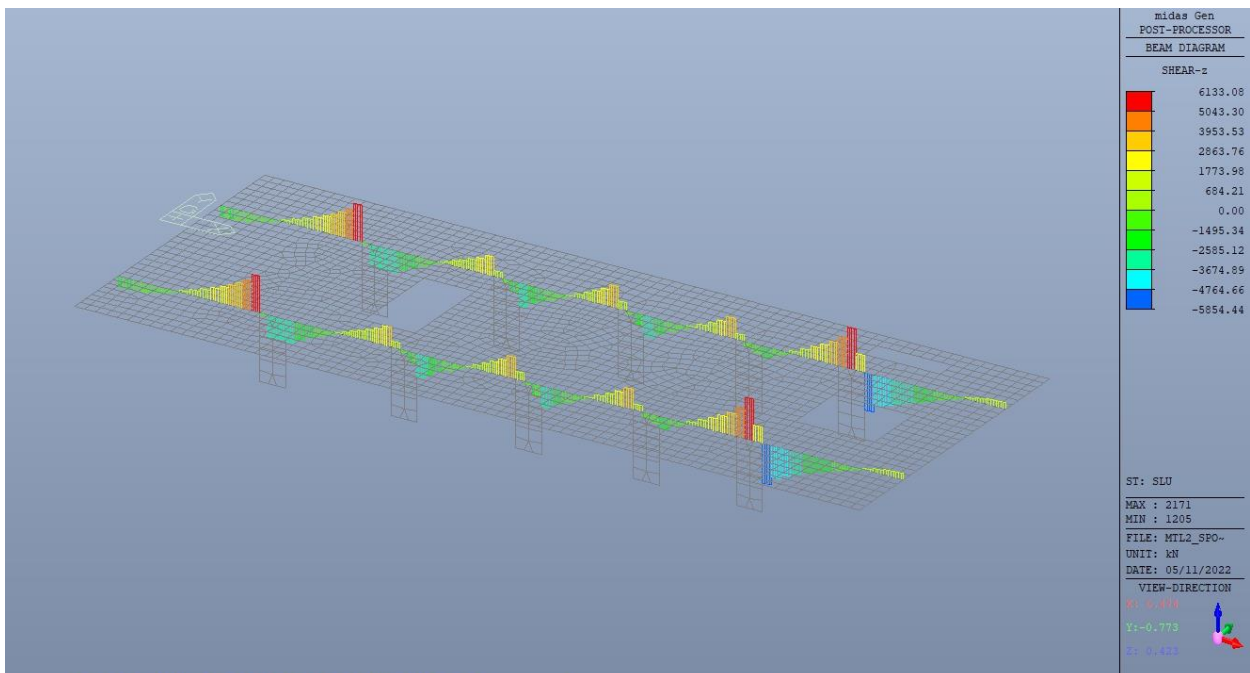


Figura 123. Travi ribassate 200x160 – Involuppo  $V_z$  tempo zero



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

Travi 180x160

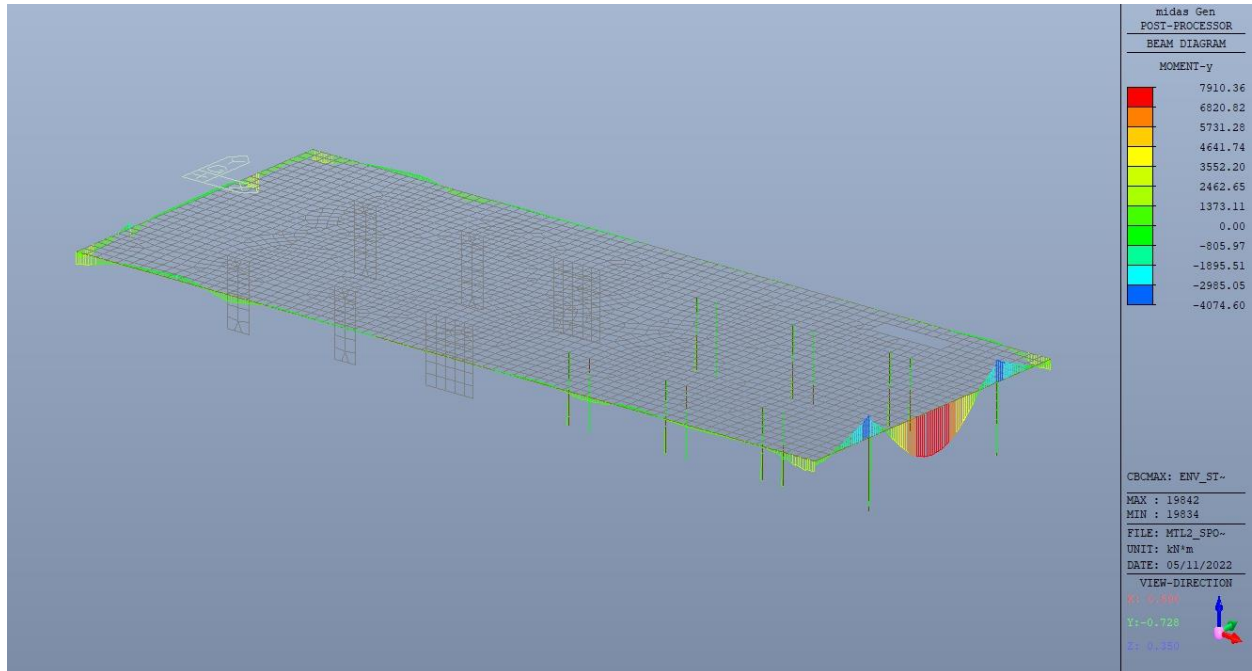


Figura 124. Travi ribassate 180x160 – Involuppo  $M_y$  tempo infinito

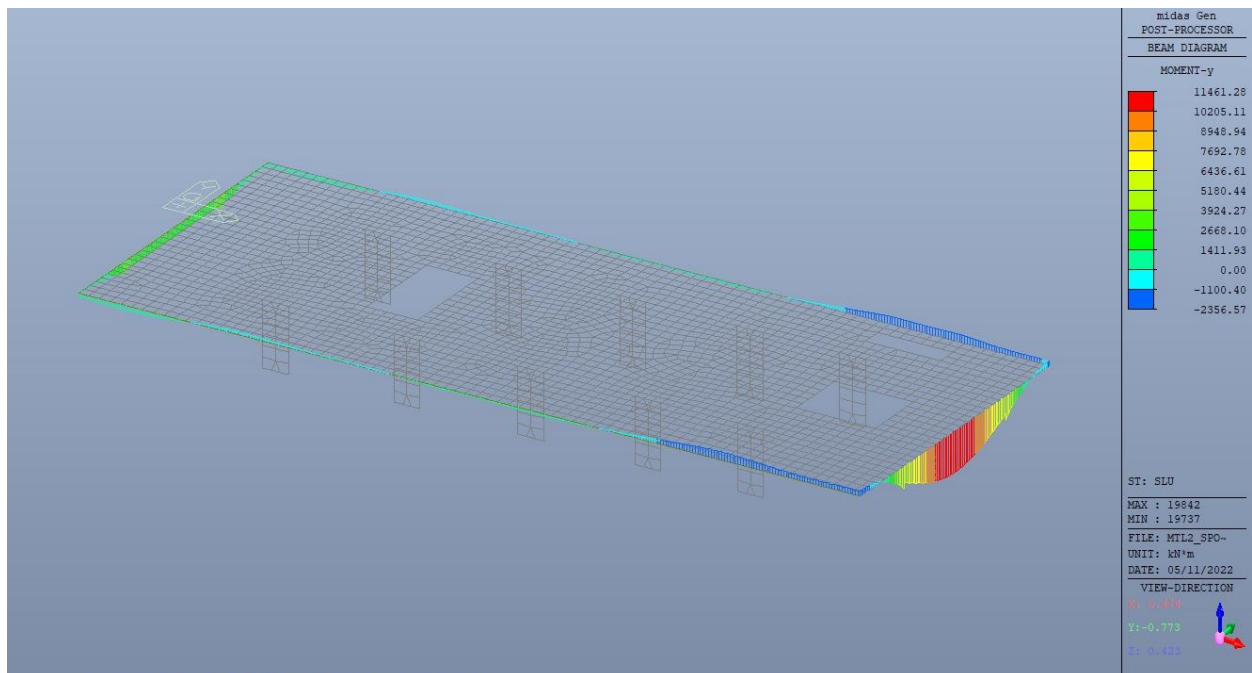


Figura 125. Travi ribassate 180x160 – Involuppo  $M_y$  tempo zero



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

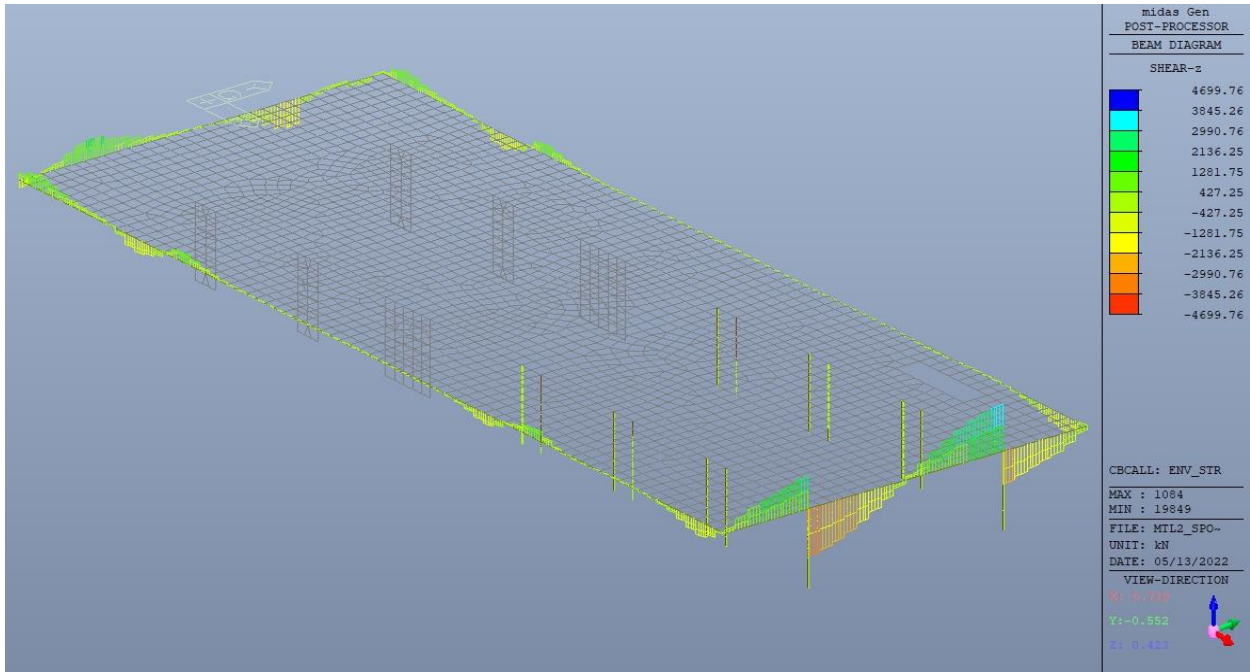


Figura 126. Travi ribassate 180x160 – Involuppo  $V_z$  tempo infinito

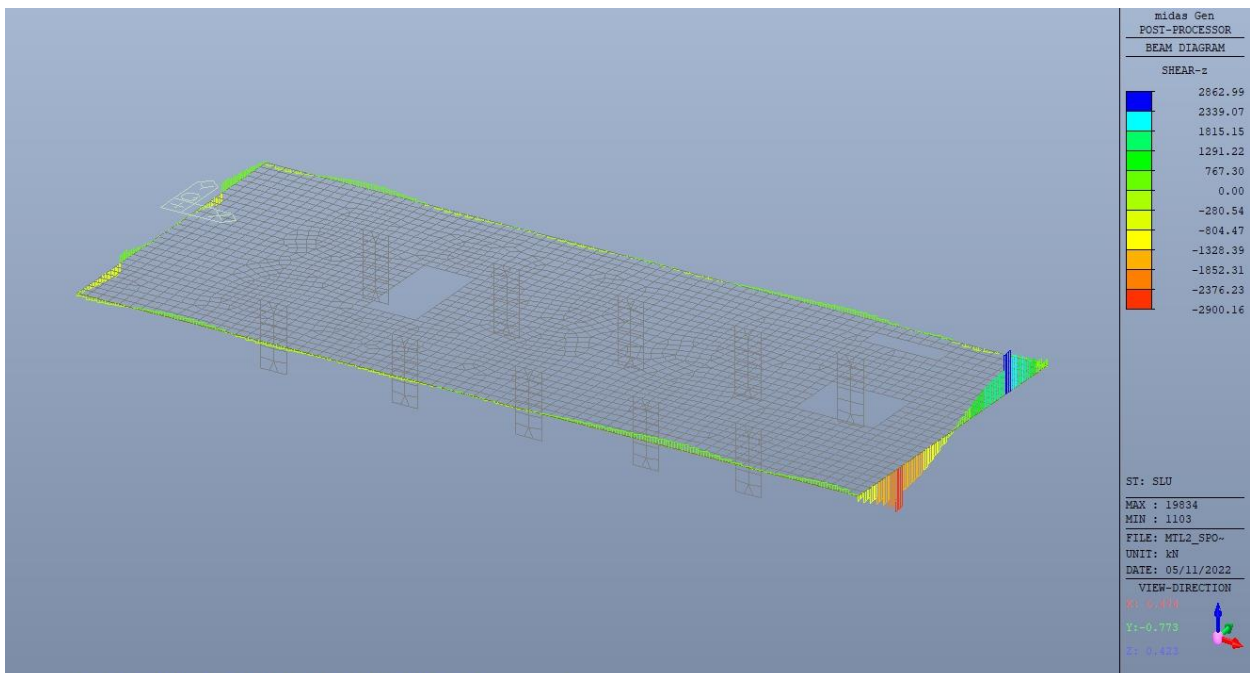


Figura 127. Travi ribassate 180x160 – Involuppo  $V_z$  tempo zero





## 12.2 Verifiche strutturali

Trattandosi di struttura a comportamento non dissipativo, la capacità delle membrature e dei collegamenti deve essere valutata in accordo con le regole di cui al par. 4.1 delle citate norme, senza nessun requisito aggiuntivo.

A favore di sicurezza sono stati adottati, comunque, i dettagli costruttivi per le strutture a comportamento dissipativo, in particolare le limitazioni geometriche e di armatura per la classe di duttilità B, come riportato nel par. 7.4.6 delle NTC2018.

**Tabella 27. Controllo armatura minima e passo minimo staffe - Travi**

Tipologia	b [cm]	h [cm]	$A_c$ [cm <sup>2</sup> ]	$A_i$ [cm <sup>2</sup> ]	$A_s$ [cm <sup>2</sup> ]	$\rho$ [%]	$\rho_{comp}$ [%]	$\rho_{min}$ [%]	$\rho_{max}$ [%]	CK	$\rho$ ST [cm]	$\rho_{min}$ ST [cm]	CK
TR 180x160	180	160	28800	159.3	159.3	0.55%	0.55%	0.31%	1.33%	OK	20	20.8	OK
TR 200x160	200	160	32000	138.06	138.06	0.43%	0.43%	0.31%	1.21%	OK	20	20.8	OK

### 12.2.1 Travi 200x160

Di seguito si riporta la verifica a flessione per la sezione tipologica della trave ribassata 200x160cm, armata sia inferiormente che superiormente con:

- 1° strato esterno 16d26;
- 2° strato interno 10d26.



Verifica C.A. S.L.U. - File: MTL2\_SPO\_TR200X160

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo: TR\_200x160 -- SEZIONE TIPOLOGICA -- T INF

N° figure elementari 1 Zoom N° strati barre 4 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	200	160	1	84.95	10
			2	53.09	18
			3	53.09	142
			4	84.95	150

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> 0 kN  
M<sub>xEd</sub> 5273 kNm  
M<sub>yEd</sub> 0 kNm

P.to applicazione N  
Centro Baricentro cls  
Coord.[cm] xN 0 yN 0

Tipo rottura Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Materiali B450C C30/37

ε<sub>su</sub> 67.5 ‰ ε<sub>c2</sub> 2 ‰  
f<sub>yd</sub> 391.3 N/mm² ε<sub>cu</sub> 3.5 ‰  
E<sub>s</sub> 200'000 N/mm² f<sub>cd</sub> 17 N/mm²  
E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub> 15 f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub> 0.8  
ε<sub>syd</sub> 1.957 ‰ σ<sub>c,adm</sub> 11.5 N/mm²  
σ<sub>s,adm</sub> 255 N/mm² τ<sub>co</sub> 0.6933  
τ<sub>c1</sub> 2.029

M<sub>xRd</sub> 7'609 kN m  
σ<sub>c</sub> -17 N/mm²  
σ<sub>s</sub> 391.3 N/mm²  
ε<sub>c</sub> 3.5 ‰  
ε<sub>s</sub> 31.43 ‰  
d 150 cm  
x 15.03 x/d 0.1002  
δ 0.7

Tipo Sezione  
Rettan.re Trapezi  
a T Circolare  
Rettangoli Coord.

Metodo di calcolo  
S.L.U.+ S.L.U.-  
Metodo n

Tipo flessione  
Retta Deviata

N° rett. 100  
Calcola MRd Dominio M-N  
L<sub>o</sub> 0 cm Col. modello

Precompresso

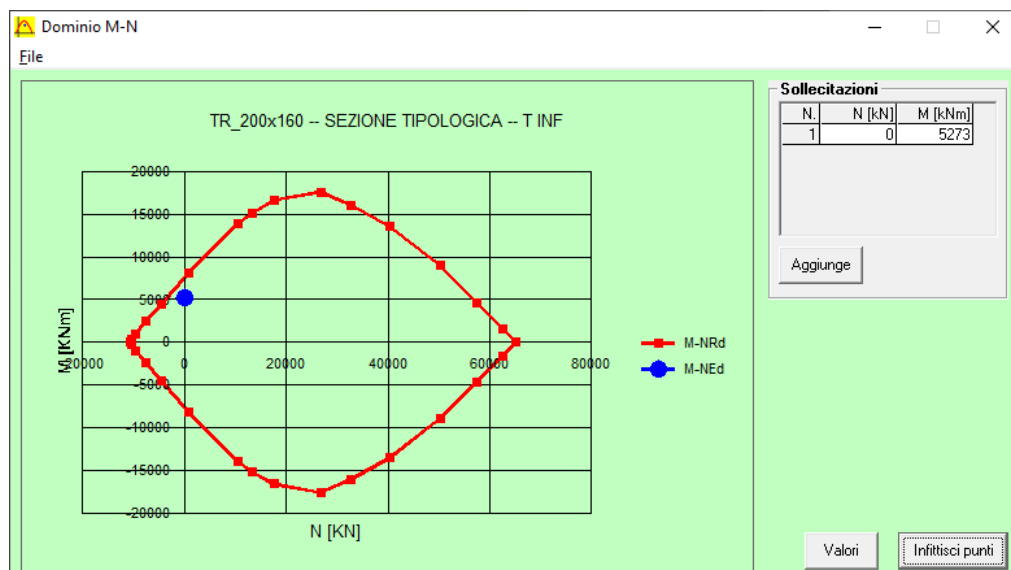


Figura 128. Travi ribassate – Verifica trave TR200x160



Tale valore di momento flettente resistente è superiore al massimo valore di momento flettente (positivo e negativo) agente lungo tutta la trave, sia a tempo infinito che a tempo zero; fanno eccezione i seguenti punti (a tempo zero) in cui il valore di momento negativo è superiore al valore calcolato.

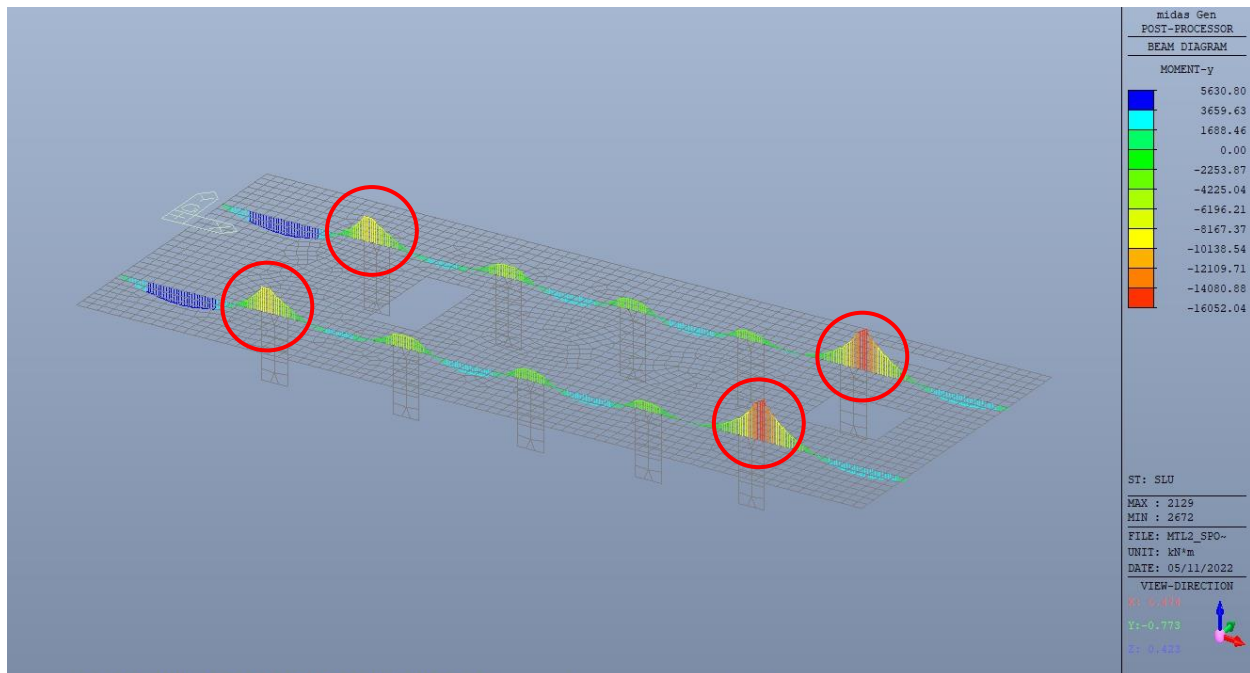


Figura 129. Travi ribassate – Verifica trave TR200x160 tempo zero

Tali sezioni devono essere armate secondo il seguente schema:

- Appoggio di sinistra:
  - o Superiore
    - 1° strato esterno 16d26
    - 2° strato interno 10d26
    - 3° strato interno 10d26
  - o Inferiore
    - 1° strato esterno 16d26
    - 2° strato interno 10d26
- Appoggio di destra:
  - o Superiore
    - 1° strato esterno 16d26
    - 2° strato interno 16d26
    - 3° strato interno 16d26
    - 4° strato interno 16d26
  - o Inferiore
    - 1° strato esterno 16d26
    - 2° strato interno 10d26
    - 3° strato interno 10d26



Verifica C.A. S.L.U. - File: MTL2\_SPO\_TR200X160\_SX

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

TITOLO: TR\_200x160 - SX

N° figure elementari 1 Zoom N° strati barre 5 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	200	160	1	84.95	10
			2	53.09	18
			3	53.09	142
			4	84.95	150
			5	53.09	134

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> 0 0 kN  
M<sub>xEd</sub> 9407 0 kNm  
M<sub>yEd</sub> 0 0

P.to applicazione N  
Centro Baricentro cls  
Coord.[cm] xN 0 yN 0

Tipo rottura Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Materiali B450C C30/37

ε<sub>su</sub> 67.5 ‰ ε<sub>c2</sub> 2 ‰  
f<sub>yd</sub> 391.3 N/mm² ε<sub>cu</sub> 3.5 ‰  
E<sub>s</sub> 200'000 N/mm² f<sub>cd</sub> 17 ‰  
E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub> 15 f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub> 0.8  
ε<sub>syd</sub> 1.957 ‰ σ<sub>c,adm</sub> 11.5  
σ<sub>s,adm</sub> 255 N/mm² τ<sub>co</sub> 0.6933  
τ<sub>c1</sub> 2.029

M<sub>xRd</sub> 10'101 kN m  
σ<sub>c</sub> -17 N/mm²  
σ<sub>s</sub> 391.3 N/mm²  
ε<sub>c</sub> 3.5 ‰  
ε<sub>s</sub> 25.97 ‰  
d 150 cm  
x 17.81 x/d 0.1188  
δ 0.7

Tipo Sezione  
Rettan.re Trapezi  
a T Circolare  
Rettangoli Coord.

Metodo di calcolo  
S.L.U. + S.L.U. -  
Metodo n

Tipo flessione  
Retta Deviata

N° rett. 100  
Calcola MRd Dominio M-N  
L<sub>o</sub> 0 cm Col. modello  
Precompresso

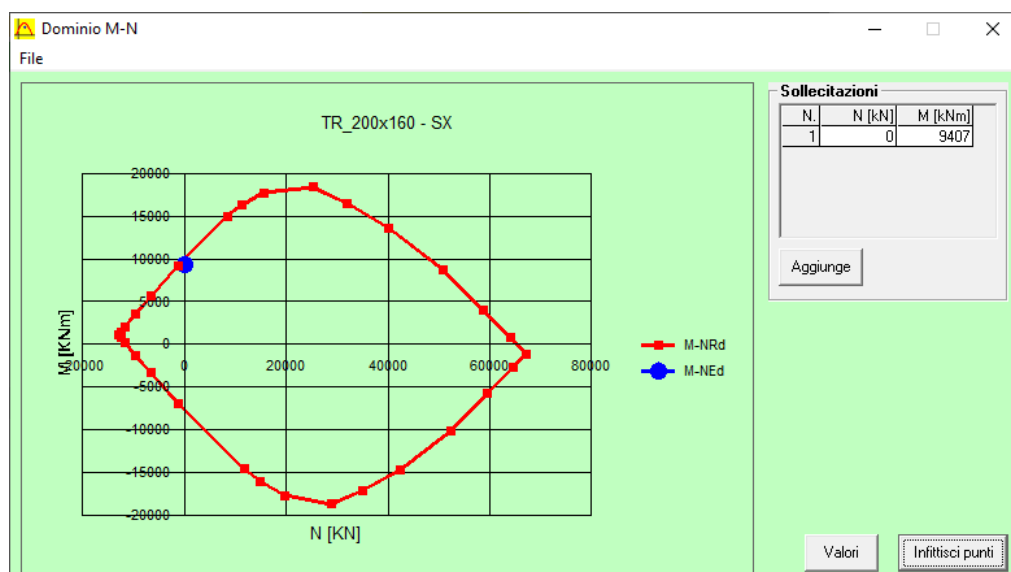


Figura 130. Travi ribassate – Verifica trave TR200x160 appoggio SX



Verifica C.A. S.L.U. - File: MTL2\_SPO\_TR200X160\_DX

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo: TR\_200x160 - DX

N° figure elementari 1 Zoom N° strati barre 7 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	200	160	3	84.95	142
			4	84.95	150
			5	84.95	134
			6	84.95	126
			7	53.09	26

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> 0 kN  
M<sub>xEd</sub> 16052 kNm  
M<sub>yEd</sub> 0 kNm

P.to applicazione N  
Centro Baricentro cls  
Coord.[cm] xN 0 yN 0

Materiali B450C C30/37

ε<sub>su</sub> 67.5 ‰ ε<sub>c2</sub> 2 ‰  
f<sub>yd</sub> 391.3 N/mm² ε<sub>cu</sub> 3.5 ‰  
E<sub>s</sub> 200'000 N/mm² f<sub>cd</sub> 17 N/mm²  
E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub> 15 f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub> 0.8  
ε<sub>syd</sub> 1.957 ‰ σ<sub>c,adm</sub> 11.5 N/mm²  
σ<sub>s,adm</sub> 255 N/mm² τ<sub>co</sub> 0.6933  
τ<sub>c1</sub> 2.029

M<sub>xRd</sub> 16'653 kNm  
σ<sub>c</sub> -17 N/mm²  
σ<sub>s</sub> 391.3 N/mm²  
ε<sub>c</sub> 3.5 ‰  
ε<sub>s</sub> 14.35 ‰  
d 150 cm  
x 29.41 x/d 0.1961  
δ 0.7

Tipo Sezione  
Rettan.re Trapezi  
a T Circolare  
Rettangoli Coord.

Metodo di calcolo  
S.L.U.+ S.L.U.-  
Metodo n

Tipo flessione  
Retta Deviata

N° rett. 100  
Calcola MRd Dominio M-N  
L<sub>o</sub> 0 cm Col. modello

Precompresso

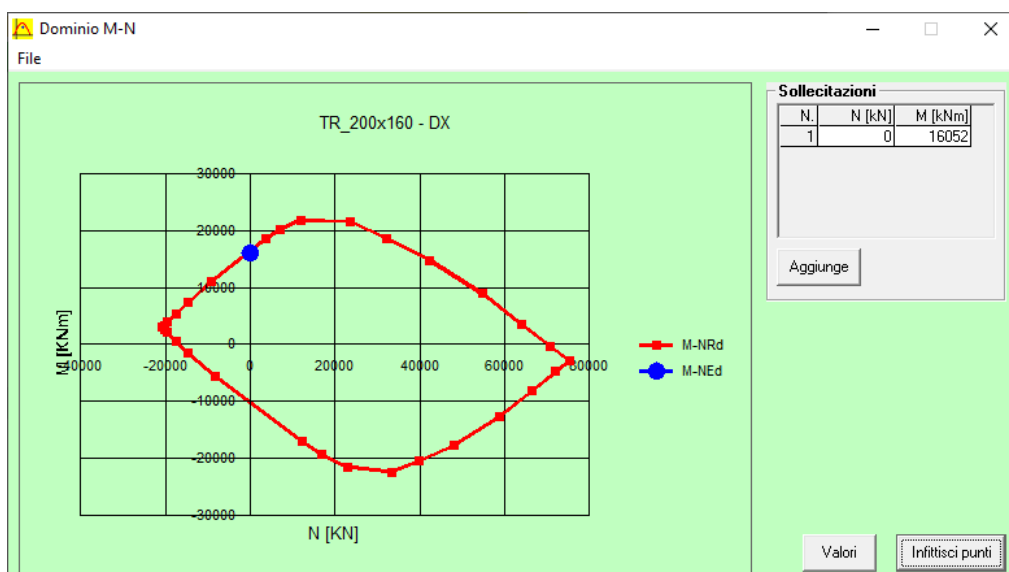


Figura 131. Travi ribassate – Verifica trave TR200x160 appoggio DX



Resistenza a taglio di progetto.

**Tabella 28. Verifica taglio – TR200x160**

CLS	C30/37		tipologia calcestruzzo
Acciaio	B450C		tipologia acciaio
$f_{yk}$	450	N/mm <sup>2</sup>	valore caratteristico della resistenza a trazione acciaio
$f_{ck}$	30.71	N/mm <sup>2</sup>	valore caratteristico della resistenza a compressione del cls
$\gamma_c$	1.5		coefficiente di sicurezza
c	100	mm	copriferro
d	1500	mm	altezza utile sezione
k	1.37		
$\rho_1$	0.46%		rapporto geometrico di armatura longitudinale
$v_{min}$	0.309		
$V_{Rd}$	1188.20	kN	
$V_{Rd,min}$	928.11	kN	
<b><math>V_{Rd,c}</math></b>	<b>1188.20</b>	<b>kN</b>	resistenza a taglio NO armatura
NB	6		numero bracci
D	20	mm	diametro armatura a taglio
$A_b$	3.14	cm <sup>2</sup>	area barra armatura a taglio
$A_{st}$	18.84	cm <sup>2</sup>	area complessiva staffe
st	200	mm	passo staffe
$\gamma_s$	1.15		
$\alpha$	90	°	
cotg teta	1		
$V_{Rsd}$	4976.22	kN	resistenza di progetto a taglio - lato acciaio
$\alpha_c$	1		
v	0.5		
$f_{cd}$	17.40	N/mm <sup>2</sup>	
$V_{Rcd}$	11746.58	kN	resistenza di progetto a taglio - lato calcestruzzo
<b><math>VRd</math></b>	<b>4976.22</b>	<b>kN</b>	resistenza a taglio CON armatura – SEZIONE TIPOLOGICA
NB	6		numero bracci
D	20	mm	diametro armatura a taglio
$A_b$	3.14	cm <sup>2</sup>	area barra armatura a taglio
$A_{st}$	18.84	cm <sup>2</sup>	area complessiva staffe
st	150	mm	passo staffe
$g_s$	1.15		
a	90	°	
cotg teta	1		
$VRsd$	6634.96	kN	resistenza di progetto a taglio - lato acciaio
ac	1		
n	0.5		
fcd	17.40	N/mm <sup>2</sup>	
$VRcd$	11746.58	kN	resistenza di progetto a taglio - lato calcestruzzo
<b><math>VRd</math></b>	<b>6634.96</b>	<b>kN</b>	resistenza a taglio CON armatura – APPOGGI SX E DX

La resistenza di progetto a taglio per elementi con armatura dedicata è superiore al taglio agente per tutta la totalità degli elementi.

Tutte le verifiche sono soddisfatte.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

### 12.2.2 Travi 180x160

Di seguito si riporta la verifica a flessione per le sezioni maggiormente sollecitate della trave ribassata 180x160cm, considerando l'involuppo delle sollecitazioni a tempo zero e tempo infinito:

- Massimo momento negativo:
  - Superiore
    - 1° strato esterno 14d26
    - 2° strato interno 14d26
  - Inferiore
    - 1° strato esterno 14d26
    - 2° strato interno 14d26
- Massimo momento positivo:
  - Superiore
    - 1° strato esterno 14d26
    - 2° strato interno 14d26
  - Inferiore
    - 1° strato esterno 14d26
    - 2° strato interno 14d26
    - 3° strato interno 14d26



Verifica C.A. S.L.U. - File: MTL2\_SPO\_TR180x160\_TINF\_MNEG

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

TITOLO : TR\_180x160 - T INF

N° figure elementari 1 Zoom N° strati barre 4 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	180	160

N°	As [cm²]	d [cm]
1	74.33	10
2	74.33	18
3	74.33	142
4	74.33	150

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> 0 kN  
M<sub>xEd</sub> -4074.60 kNm  
M<sub>yEd</sub> 0 kNm

P.to applicazione N  
 Centro  Baricentro cls  
 Coord.[cm] xN 0 yN 0

Tipo rottura Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Materiali B450C C30/37

$\epsilon_{su}$  67.5 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰  
 $f_{yd}$  391.3 N/mm²  $\epsilon_{cu}$  3.5 ‰  
 $E_s$  200'000 N/mm²  $f_{cd}$  17 N/mm²  
 $E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  0.8  
 $\epsilon_{syd}$  1.957 ‰  $\sigma_{c,adm}$  11.5 N/mm²  
 $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm²  $\tau_{co}$  0.6933  
 $\tau_{c1}$  2.029

M<sub>xRd</sub> -8'070 kNm

$\sigma_c$  -17 N/mm²  
 $\sigma_s$  391.3 N/mm²  
 $\epsilon_c$  3.5 ‰  
 $\epsilon_s$  27.96 ‰  
 d 150 cm  
 x 16.69 x/d 0.1113  
 $\delta$  0.7

Metodo di calcolo S.L.U.+ S.L.U.- Metodo n

Tipo flessione Retta Deviata

N° rett. 100

Calcola MRd Dominio M-N

L<sub>0</sub> 0 cm Col. modello

Precompresso

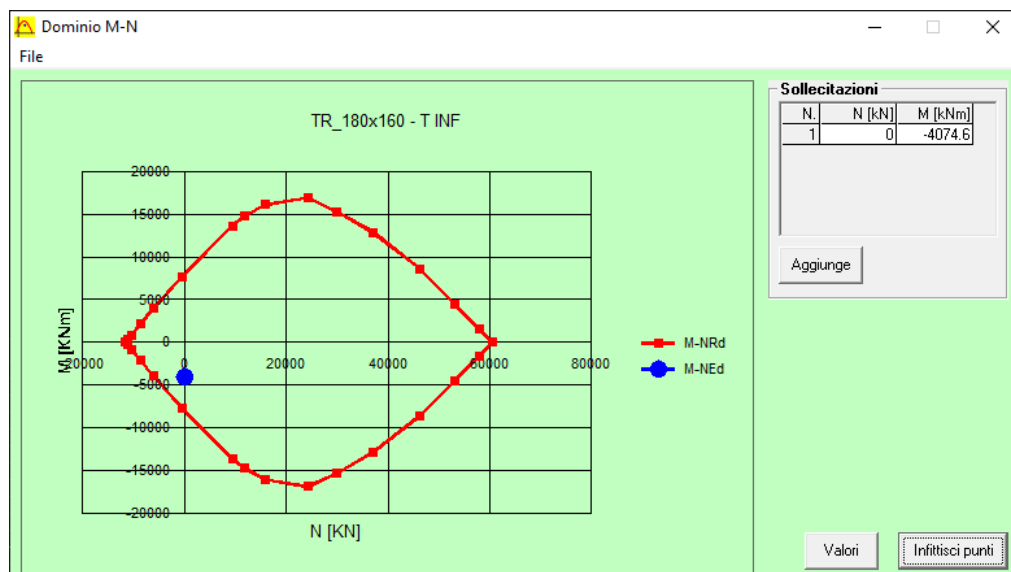


Figura 132. Travi ribassate – Verifica trave TR180x160 MAX M<sub>NEG</sub>





Verifica C.A. S.L.U. - File: MTL2\_SPO\_TR180X160\_TINF\_MPOS

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

TITOLO : TR\_180x160 - T INF

N° figure elementari 1 Zoom N° strati barre 5 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	180	160	1	74.33	10
			2	74.33	18
			3	74.33	142
			4	74.33	150
			5	74.33	134

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> 0 0 kN  
M<sub>xEd</sub> 11461 0 kNm  
M<sub>yEd</sub> 0 0

P.to applicazione N  
Centro Baricentro cls  
Coord.[cm] xN 0 yN 0

Tipo rottura Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Materiali B450C C30/37

ε<sub>su</sub> 67.5 ‰ ε<sub>c2</sub> 2 ‰  
f<sub>yd</sub> 391.3 N/mm² ε<sub>cu</sub> 3.5 ‰  
E<sub>s</sub> 200'000 N/mm² f<sub>cd</sub> 17 N/mm²  
E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub> 15 f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub> 0.8  
ε<sub>syd</sub> 1.957 ‰ σ<sub>c,adm</sub> 11.5 N/mm²  
σ<sub>s,adm</sub> 255 N/mm² τ<sub>co</sub> 0.6933  
τ<sub>c1</sub> 2.029

M<sub>xRd</sub> 11'520 kN m  
σ<sub>c</sub> -17 N/mm²  
σ<sub>s</sub> 391.3 N/mm²  
ε<sub>c</sub> 3.5 ‰  
ε<sub>s</sub> 21.4 ‰  
d 150 cm  
x 21.09 x/d 0.1406  
δ 0.7

Tipo Sezione  
Rettan.re Trapezi  
a T Circolare  
Rettangoli Coord.

Metodo di calcolo  
S.L.U.+ S.L.U.-  
Metodo n

Tipo flessione  
Retta Deviata

N° rett. 100  
Calcola MRd Dominio M-N  
L<sub>o</sub> 0 cm Col. modello

Precompresso

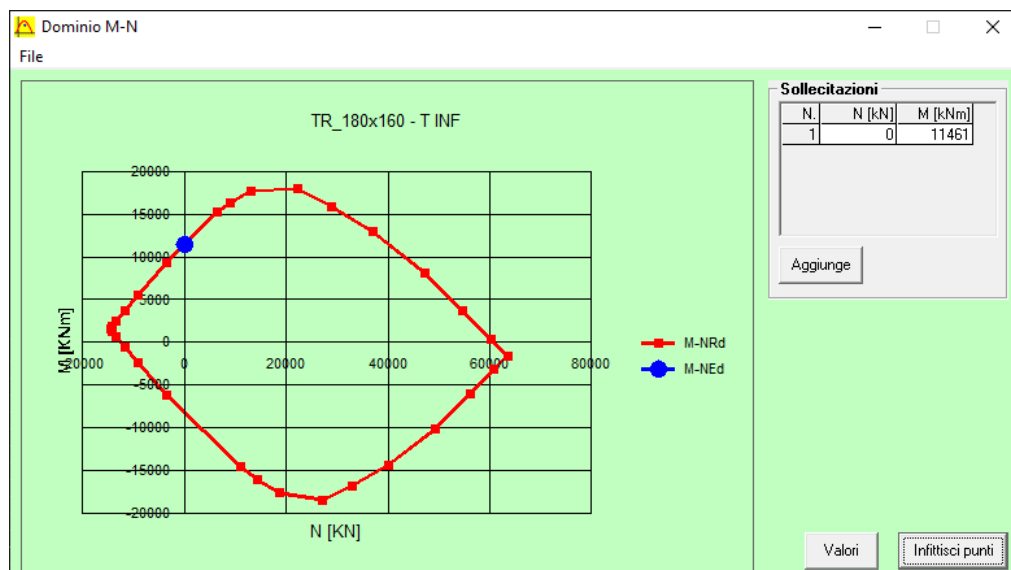


Figura 133. Travi ribassate – Verifica trave TR180x160 MAX M<sub>Pos</sub>

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

Resistenza a taglio di progetto.

**Tabella 29. Verifica taglio – TR180x160**

CLS	C30/37		tipologia calcestruzzo
Acciaio	B450C		tipologia acciaio
$f_{yk}$	450	N/mm <sup>2</sup>	valore caratteristico della resistenza a trazione acciaio
$f_{ck}$	30.71	N/mm <sup>2</sup>	valore caratteristico della resistenza a compressione del cls
$\gamma_c$	1.5		coefficiente di sicurezza
c	100	mm	copriferro
d	1500	mm	altezza utile sezione
k	1.37		
$\rho_1$	0.55%		rapporto geometrico di armatura longitudinale
$v_{min}$	0.309		
$V_{Rd}$	1135.31	kN	
$V_{Rd,min}$	835.30	kN	
<b><math>V_{Rd,c}</math></b>	<b>1135.31</b>	<b>kN</b>	resistenza a taglio NO armatura
NB	6		numero bracci
D	20	mm	diametro armatura a taglio
$A_b$	3.14	cm <sup>2</sup>	area barra armatura a taglio
$A_{st}$	18.84	cm <sup>2</sup>	area complessiva staffe
st	200	mm	passo staffe
$\gamma_s$	1.15		
$\alpha$	90	°	
cotg teta	1		
$V_{Rsd}$	4976.22	kN	resistenza di progetto a taglio - lato acciaio
$\alpha_c$	1		
v	0.5		
$f_{cd}$	17.40	N/mm <sup>2</sup>	
$V_{Rcd}$	10571.92	kN	resistenza di progetto a taglio - lato calcestruzzo
<b><math>V_{Rd}</math></b>	<b>4976.22</b>	<b>kN</b>	resistenza a taglio CON armatura

La resistenza di progetto a taglio per elementi con armatura dedicata è superiore al taglio agente per tutta la totalità degli elementi.

Tutte le verifiche sono soddisfatte.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

## 13. VERIFICA PIANO ATRIO

Come evidenziato nel cap.8, le strutture verticali interne a sostegno dei diversi piani sono differenti tra il tempo zero (cantiere) e tempo infinito, sia come tipologia che come posizione. Questo comporta una traslazione dei punti di massimo momento positivo e di massimo momento negativo nel tempo.

### 13.1 Verifica Stati Limite Ultimi – SLU e SLV

Si deve verificare che i singoli elementi strutturali e la struttura nel suo insieme possiedano una capacità in resistenza sufficiente a soddisfare la domanda sia allo SLV che allo SLU.

Nel seguito si riportano sinteticamente i principali risultati delle analisi.

#### 13.1.1 Sollecitazioni

Le immagini successive riportano gli involuipi delle sollecitazioni per gli Stati Limite SLU e SLV nelle due direzioni X e Y , sia a tempo infinito che a tempo zero.



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

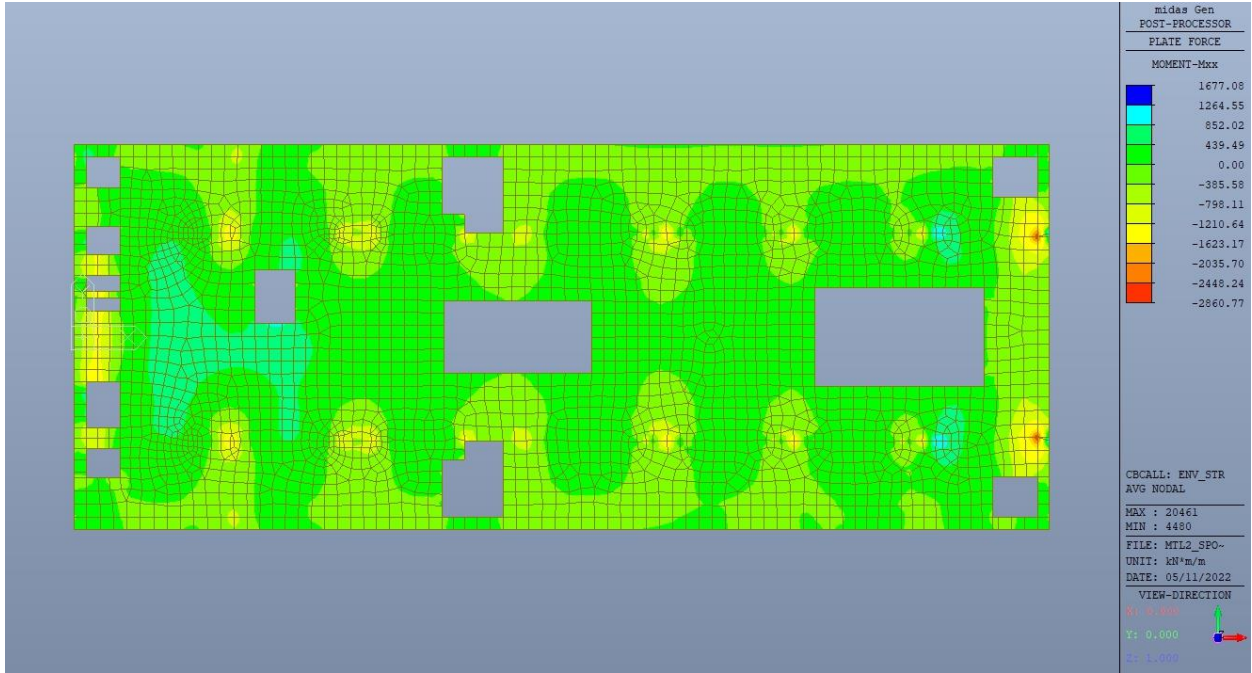


Figura 134. Piano atrio (-1) – Involuppo momento flettente  $M_{xx}$  – Direzione X – Tempo infinito

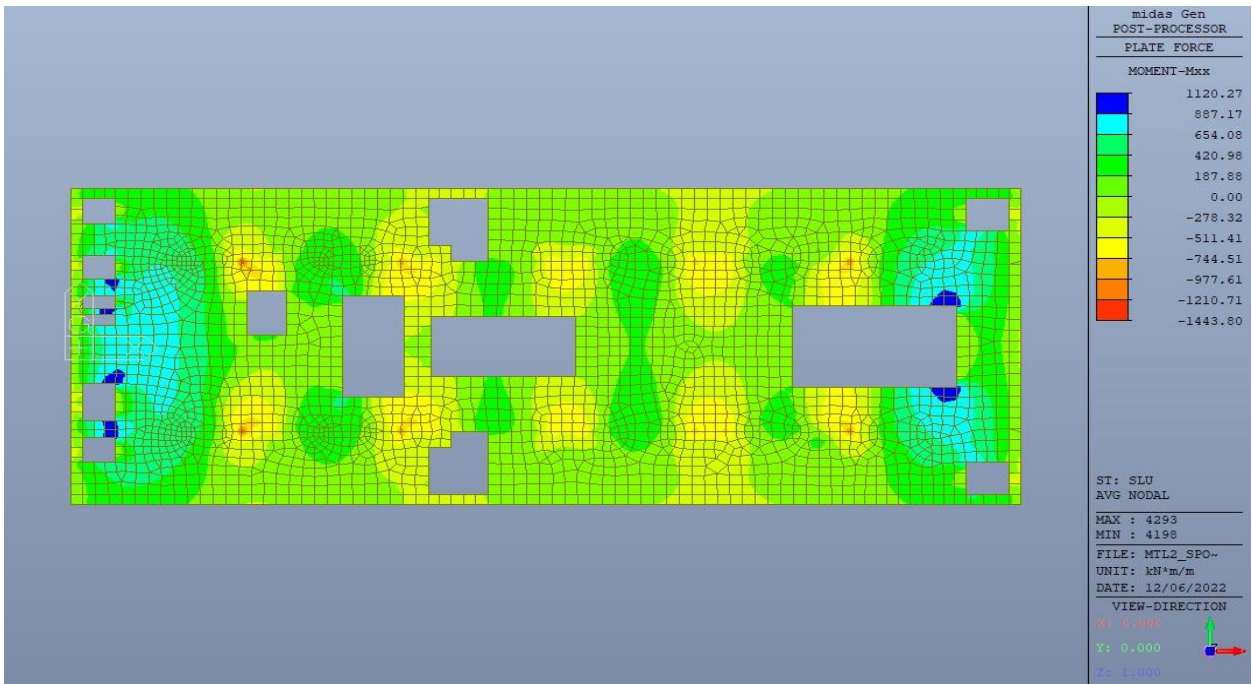


Figura 135. Piano atrio (-1) – Involuppo momento flettente  $M_{xx}$  – Direzione X – Tempo zero



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

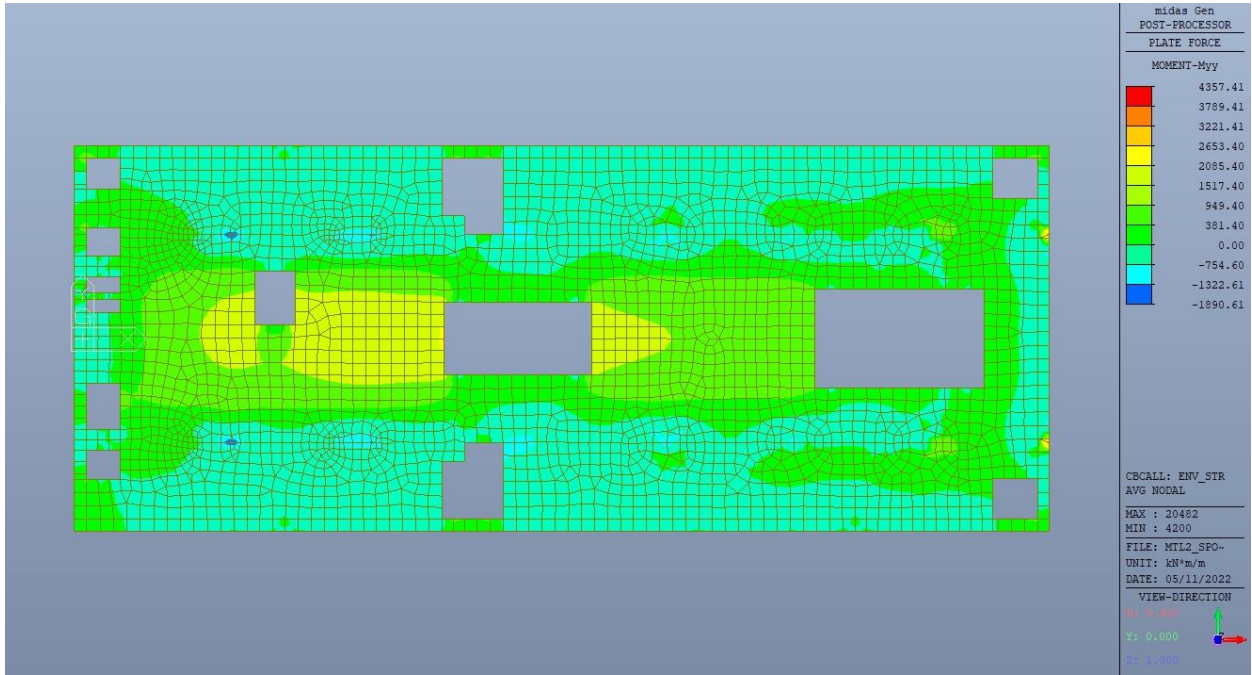


Figura 136. Piano atrio (-1) – Involuppo momento flettente  $M_{yy}$  – Direzione Y – Tempo infinito

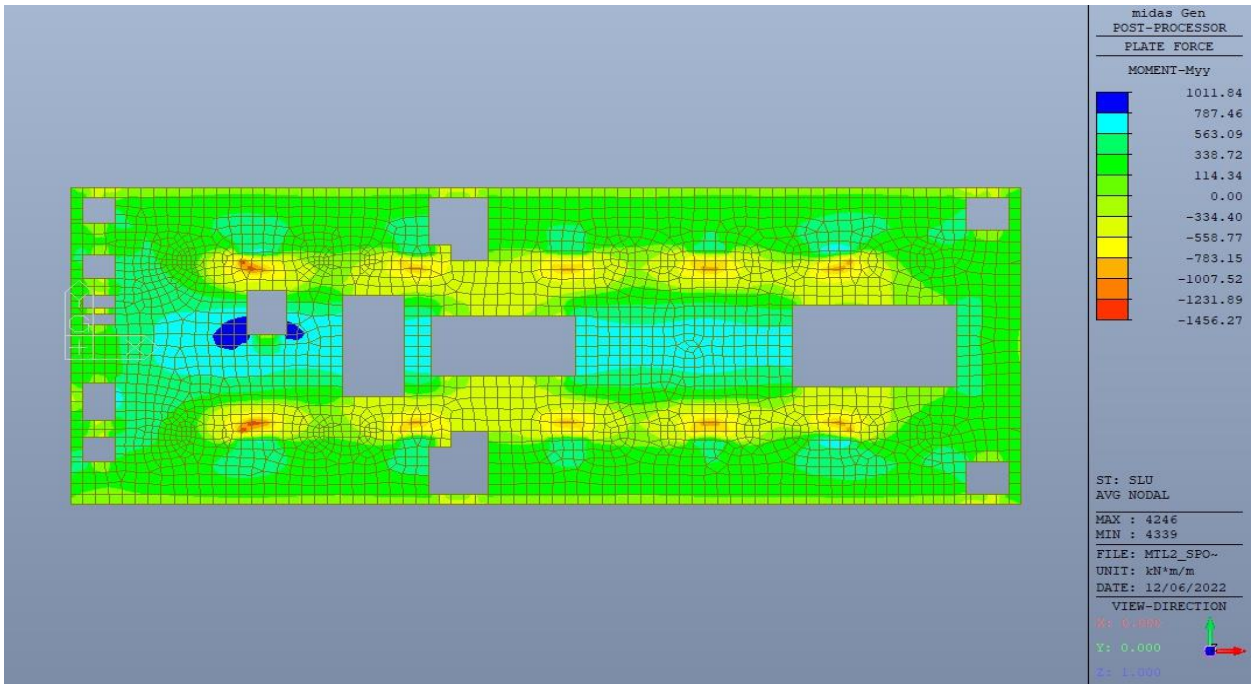


Figura 137. Piano atrio (-1) – Involuppo momento flettente  $M_{yy}$  – Direzione Y – Tempo zero



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

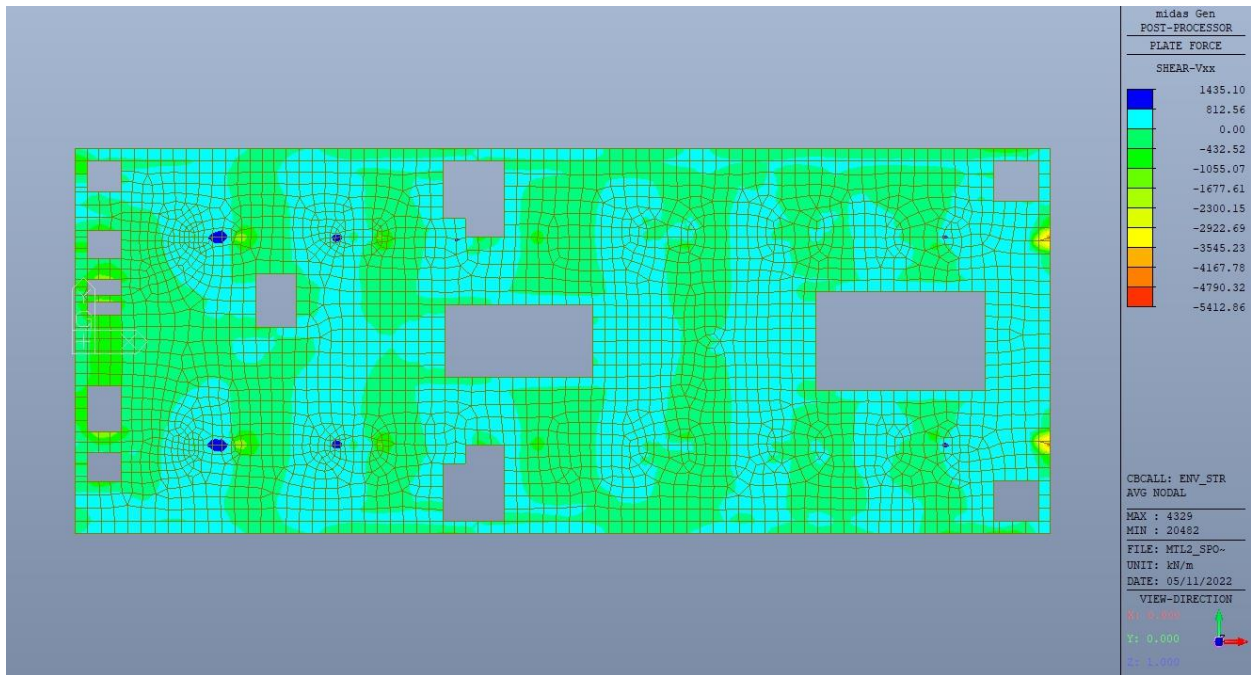


Figura 138. Piano atrio (-1) – Involuppo taglio  $V_{xx}$  – Direzione X – Tempo infinito

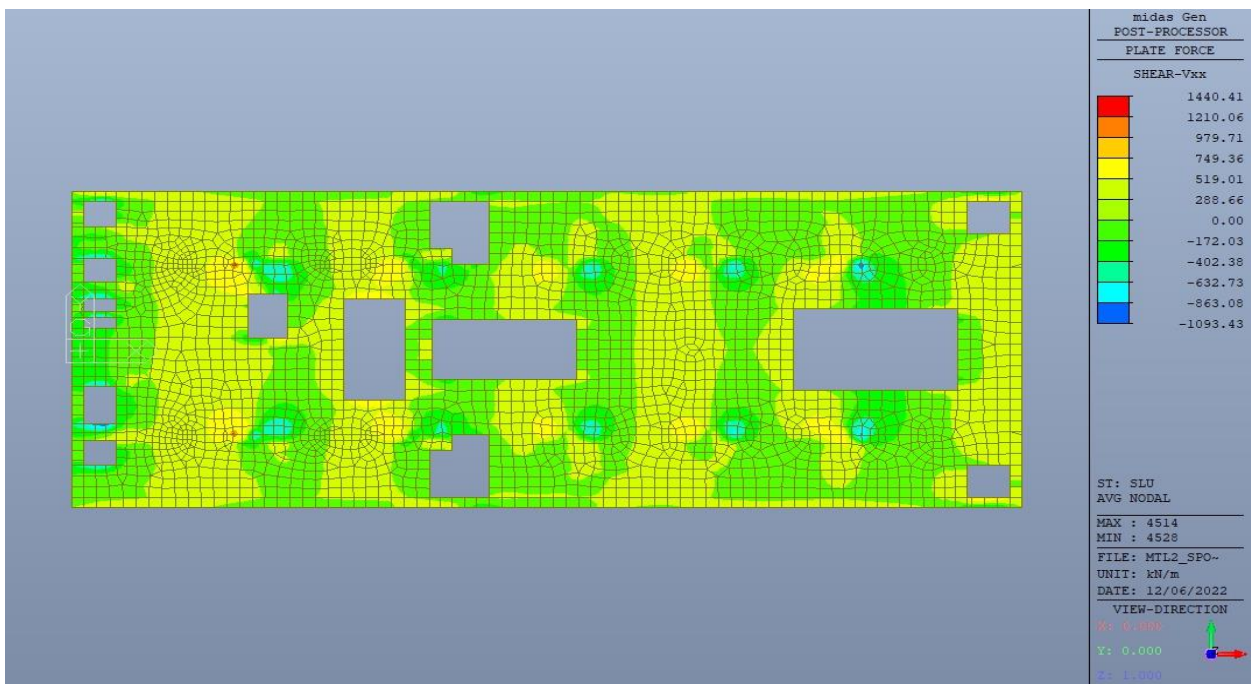


Figura 139. Piano atrio (-1) – Involuppo taglio  $V_{xx}$  – Direzione X – Tempo zero

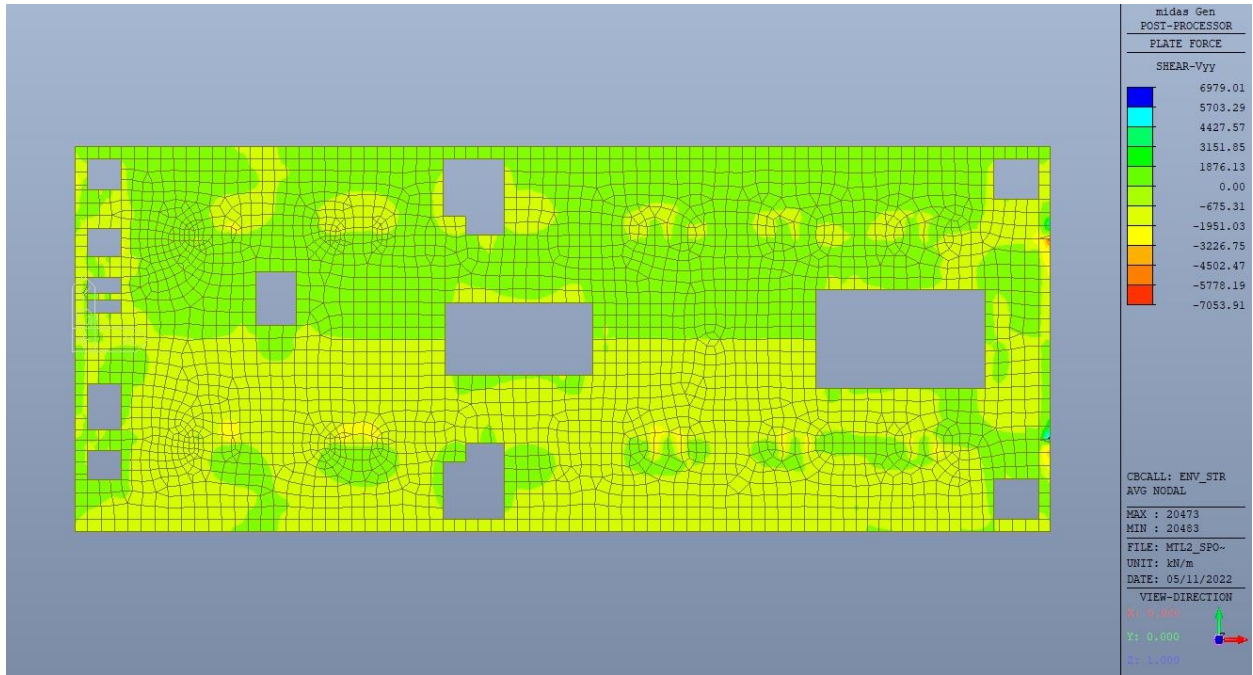


Figura 140. Piano atrio (-1) – Involuppo taglio  $V_{yy}$  – Direzione Y – Tempo infinito

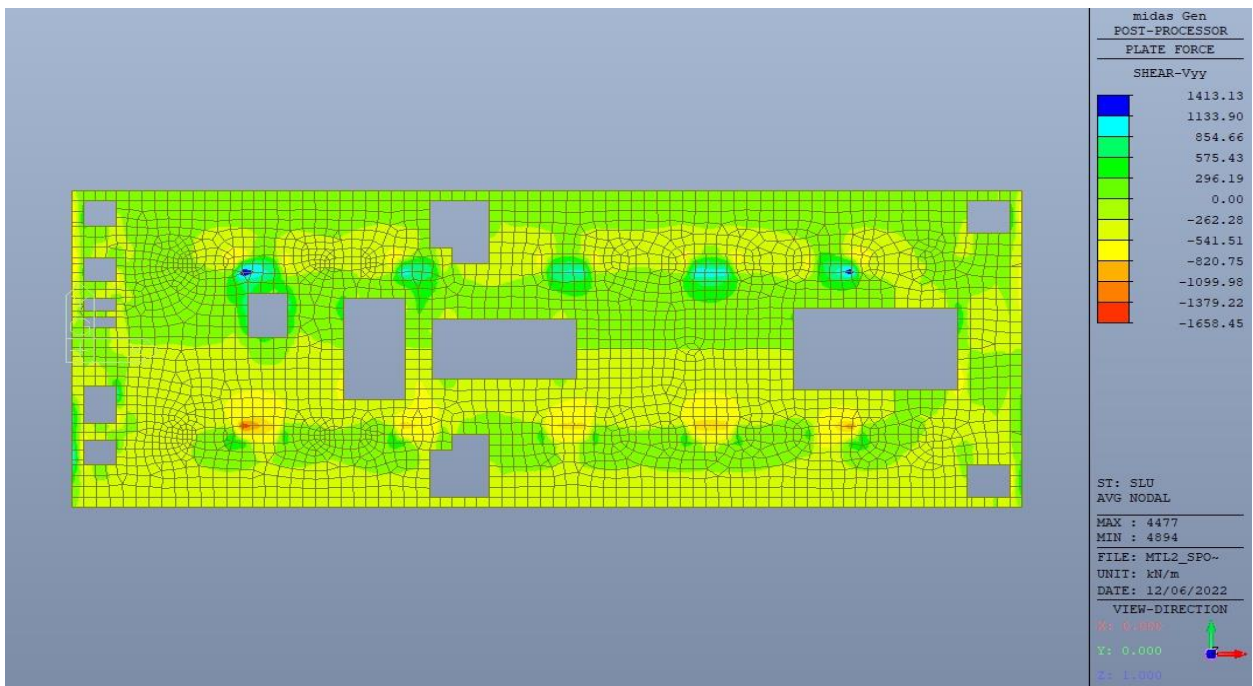


Figura 141. Piano atrio (-1) – Involuppo taglio  $V_{yy}$  – Direzione Y – Tempo zero



### 13.1.2 Verifiche strutturali

Trattandosi di struttura a comportamento non dissipativo, la capacità delle membrature e dei collegamenti deve essere valutata in accordo con le regole di cui al par. 4.1 delle citate norme, senza nessun requisito aggiuntivo.

Come valore minimo dell'armatura longitudinale si è considerato quanto riportato nel par. 4.1.6 delle NTC2018, ossia il quantitativo minimo riportato per le travi pari a

$$A_{s,min} = 0.26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot h$$

dove:

- $f_{ctm}$  è il valore medio della resistenza a trazione del cls;
- $f_{yk}$  è il valore caratteristico della resistenza a trazione dell'armatura;
- $b_t$  è la larghezza media della zona tesa;
- $h$  è l'altezza della sezione.

Tabella 30. Armatura minima

				D1 - TOP			D1 - BOTTOM		
Tipologia	b [cm]	h [cm]	A <sub>c</sub> [cm <sup>2</sup> ]	A <sub>s</sub> [cm <sup>2</sup> ]	A <sub>smin</sub> [cm <sup>2</sup> ]	CK	A <sub>s</sub> [cm <sup>2</sup> ]	A <sub>smin</sub> [cm <sup>2</sup> ]	CK
Solettone H100	100	100	10000	18.08	16.73	OK	18.08	16.73	OK
				D2 - TOP			D2 - BOTTOM		
Tipologia	b [cm]	h [cm]	A <sub>c</sub> [cm <sup>2</sup> ]	A <sub>s</sub> [cm <sup>2</sup> ]	A <sub>smin</sub> [cm <sup>2</sup> ]	CK	A <sub>s</sub> [cm <sup>2</sup> ]	A <sub>smin</sub> [cm <sup>2</sup> ]	CK
Solettone H100	100	100	10000	22.6	16.73	OK	22.6	16.73	OK

Nelle immagini seguenti sono riportate le armature superiori e inferiori nelle due direzioni D1 e D2.

Le verifiche a tempo zero si ritengono automaticamente soddisfatte in quanto le sollecitazioni ottenute risultano essere sempre inferiori a quelle a tempo infinito.





CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

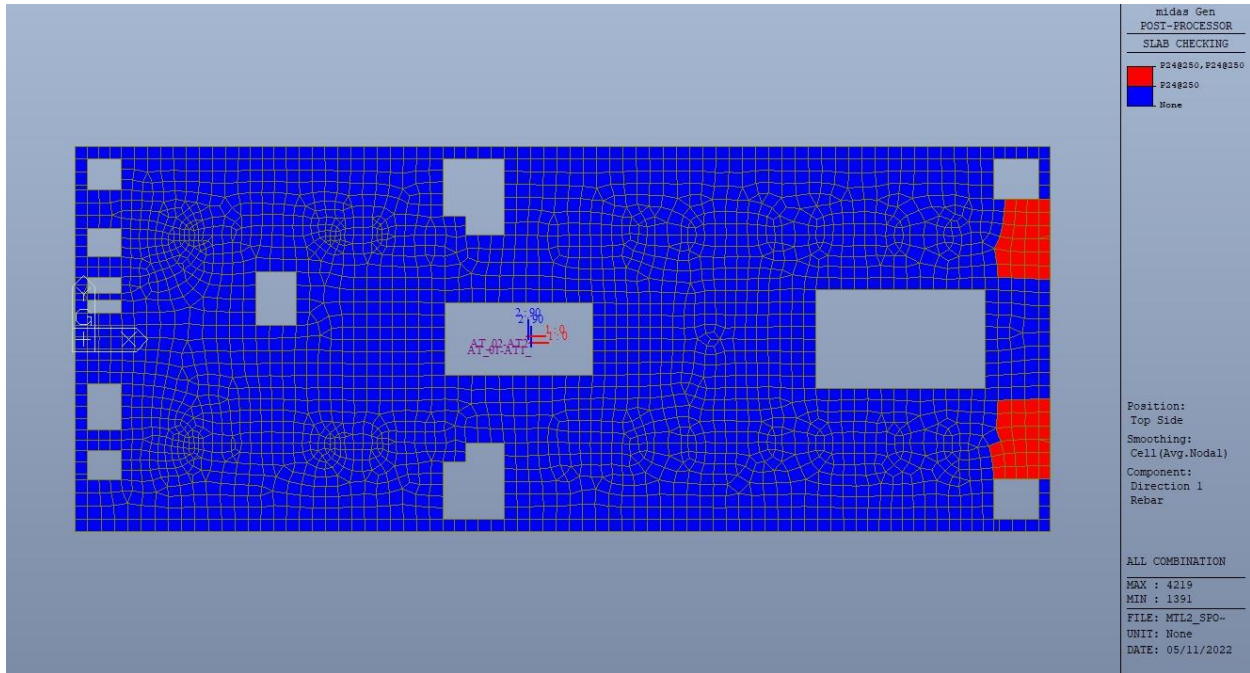


Figura 142. Piano atrio (-1) – Armatura superiore direzione D1

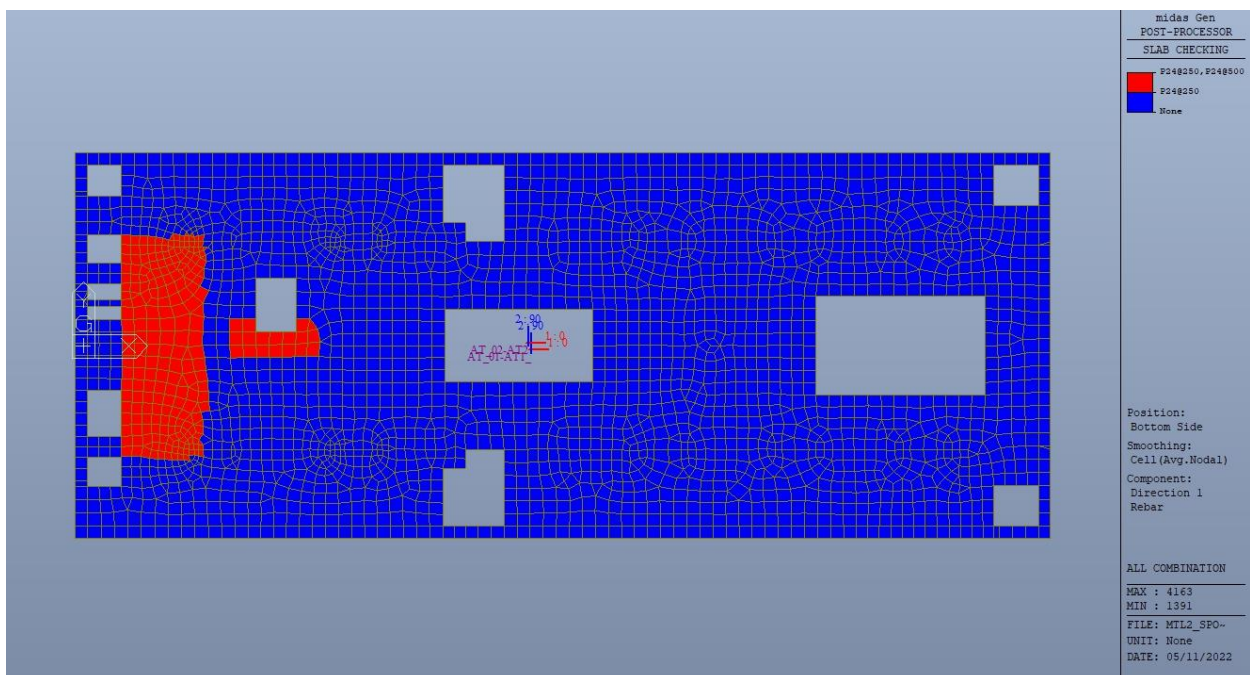


Figura 143. Piano atrio (-1) – Armatura inferiore direzione D1



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

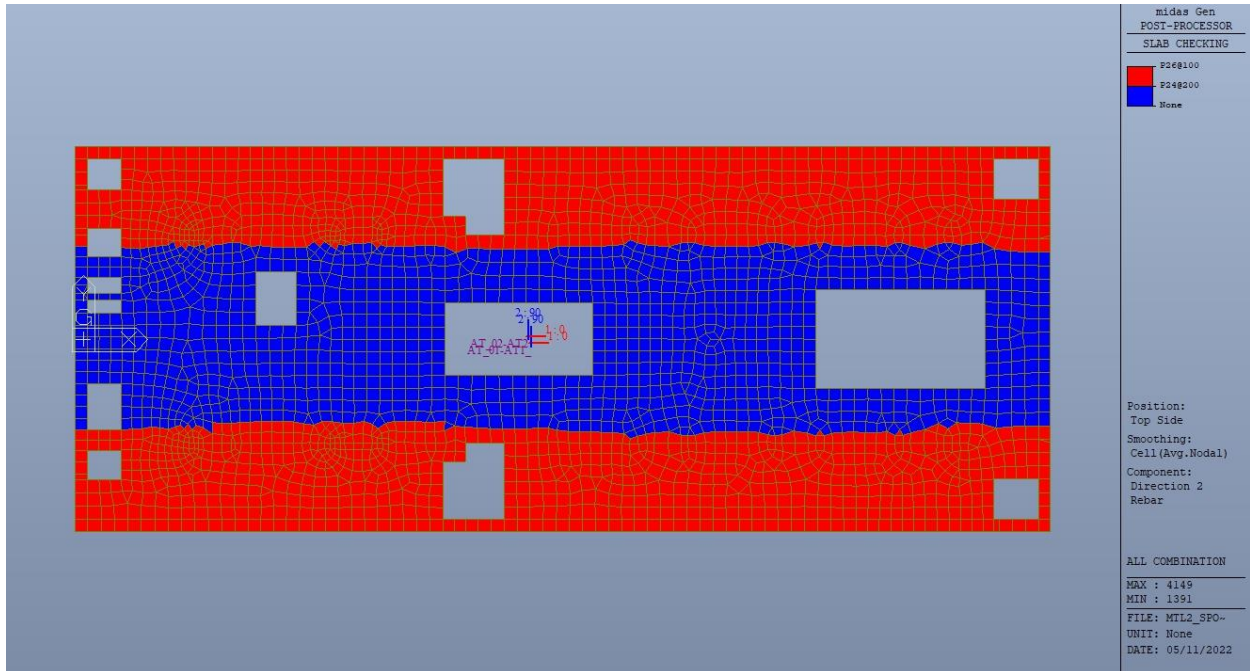


Figura 144. Piano atrio (-1) – Armatura superiore direzione D2

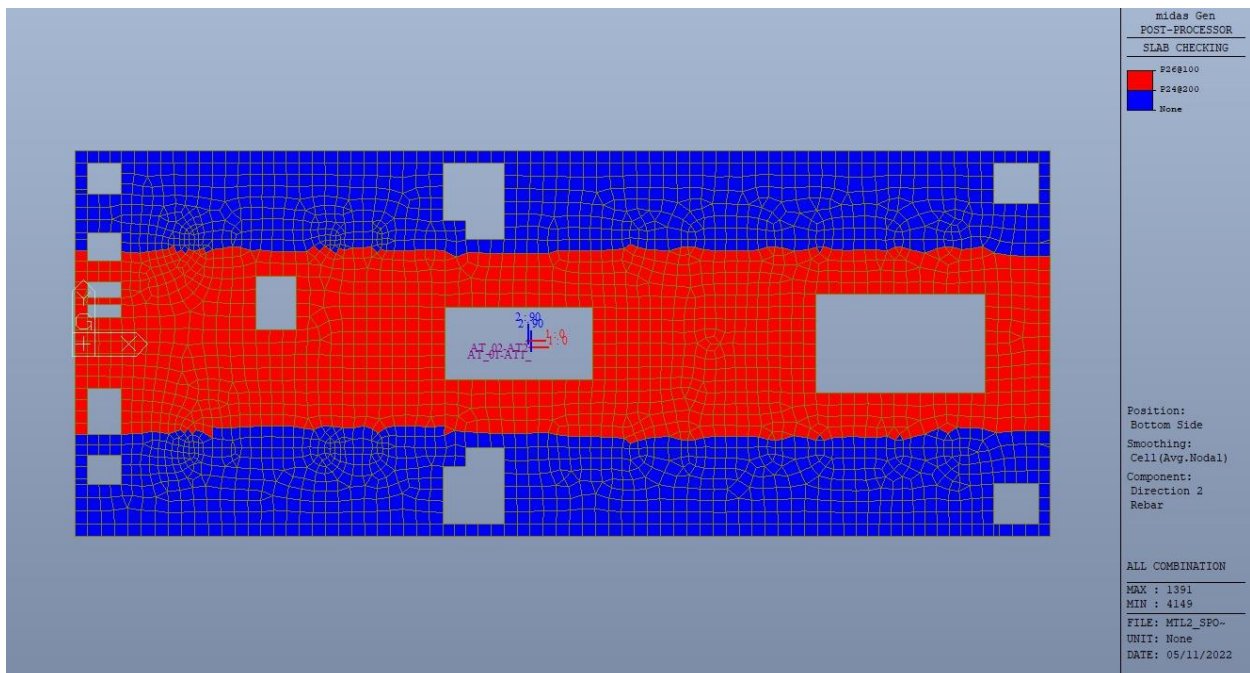


Figura 145. Piano atrio (-1) – Armatura inferiore direzione D2

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

Nelle seguenti immagini vengono riportati i massimi tassi di lavoro a flessione e taglio dei singoli elementi strutturali nelle due direzioni D1 e D2 evidenziando, nel caso, quelli con un valore superiore all'unità indicatore che la verifica in oggetto non è soddisfatta.



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

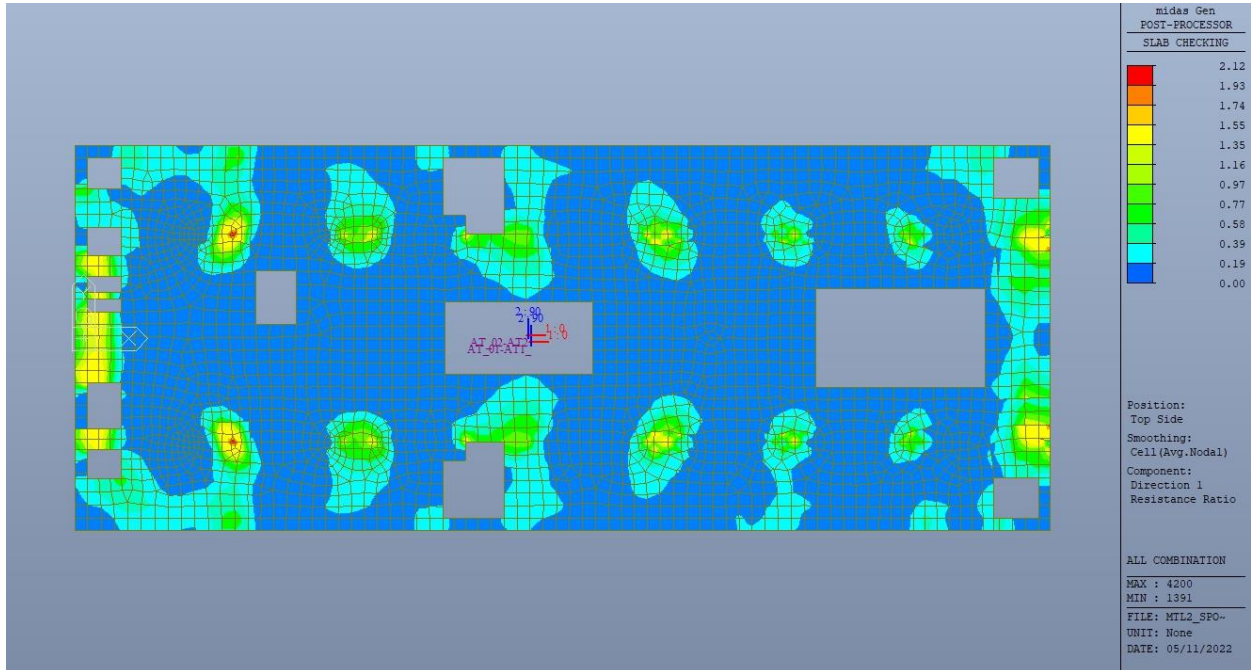


Figura 146. Piano atrio (-1) – Tasso di lavoro faccia superiore – Direzione D1

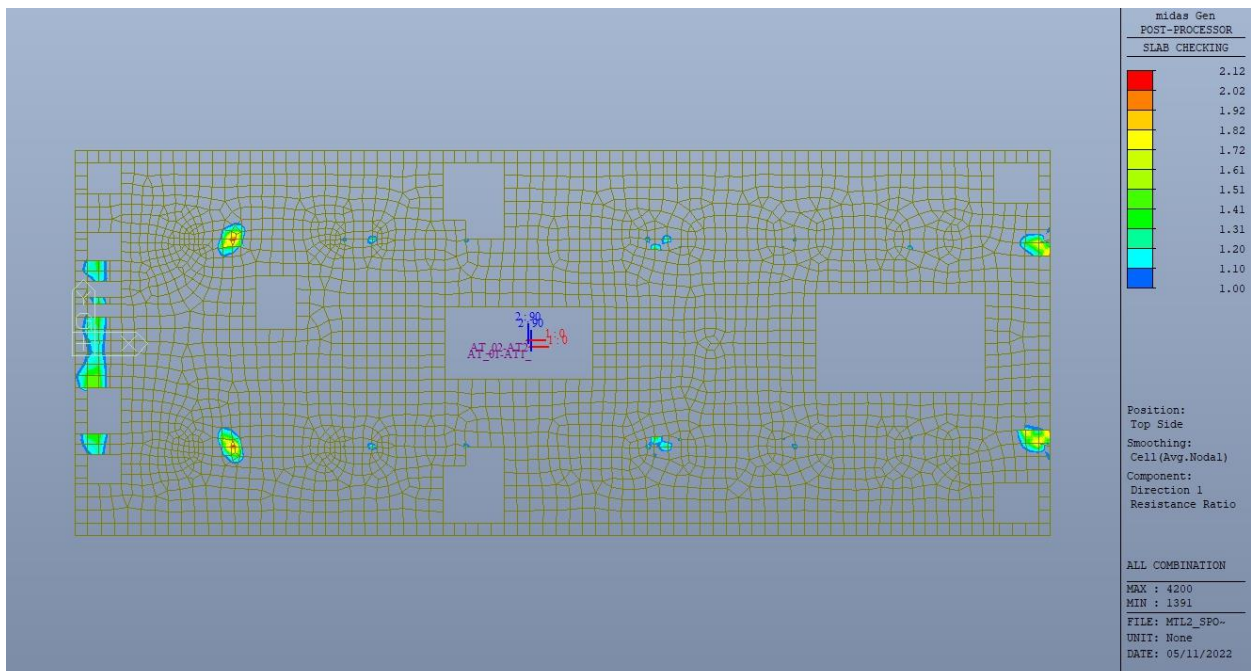


Figura 147. Piano atrio (-1) – Tasso di lavoro faccia superiore – Direzione D1 – Zone > 1



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

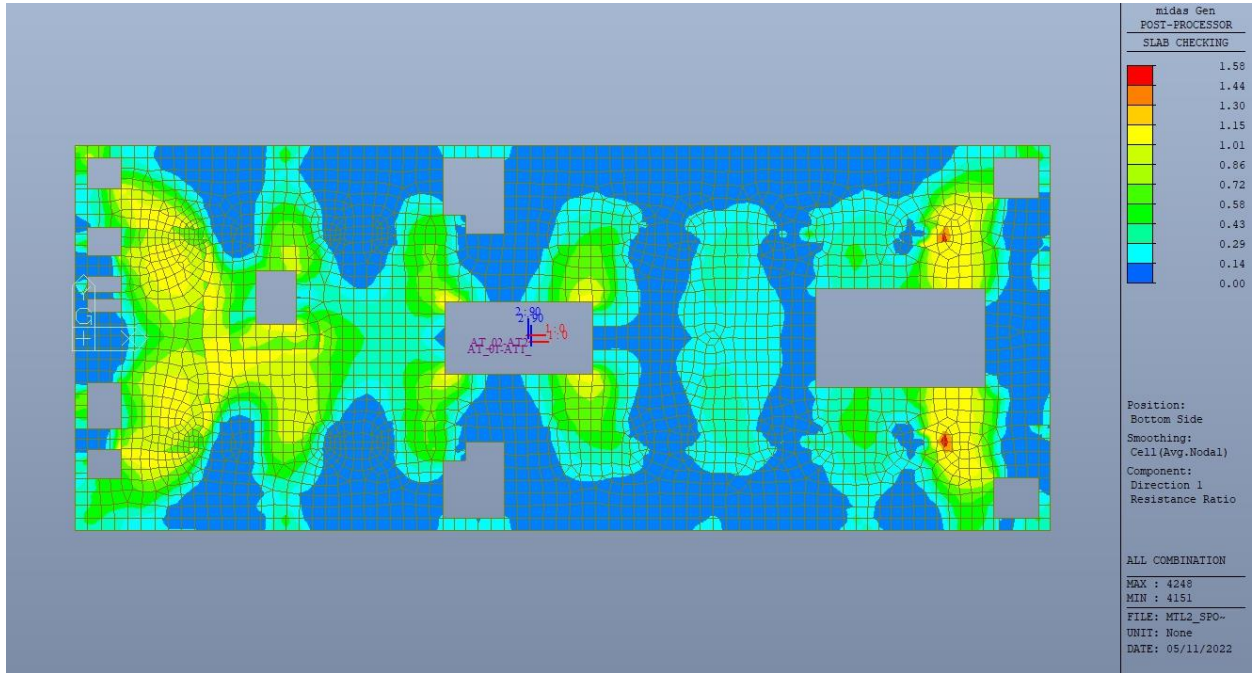


Figura 148. Piano atrio (-1) – Tasso di lavoro faccia inferiore – Direzione D1

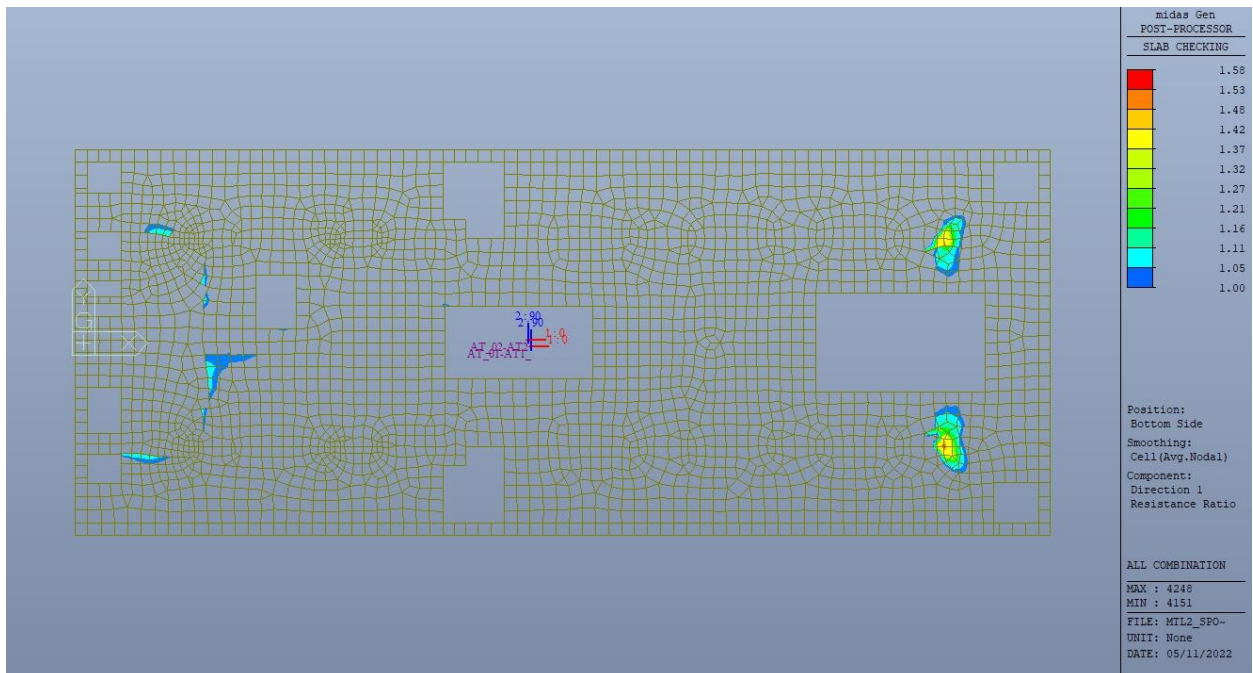


Figura 149. Piano atrio (-1) – Tasso di lavoro faccia inferiore – Direzione D1 – Zone > 1



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

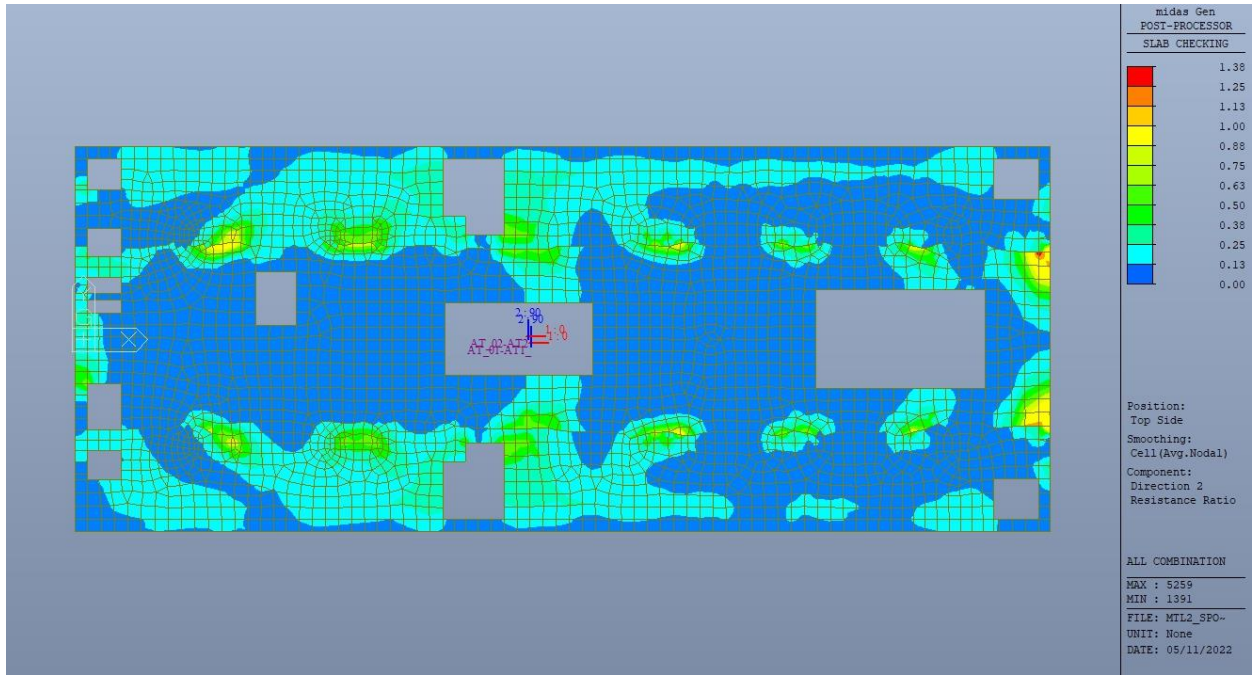


Figura 150. Piano atrio (-1) – Tasso di lavoro faccia superiore – Direzione D2

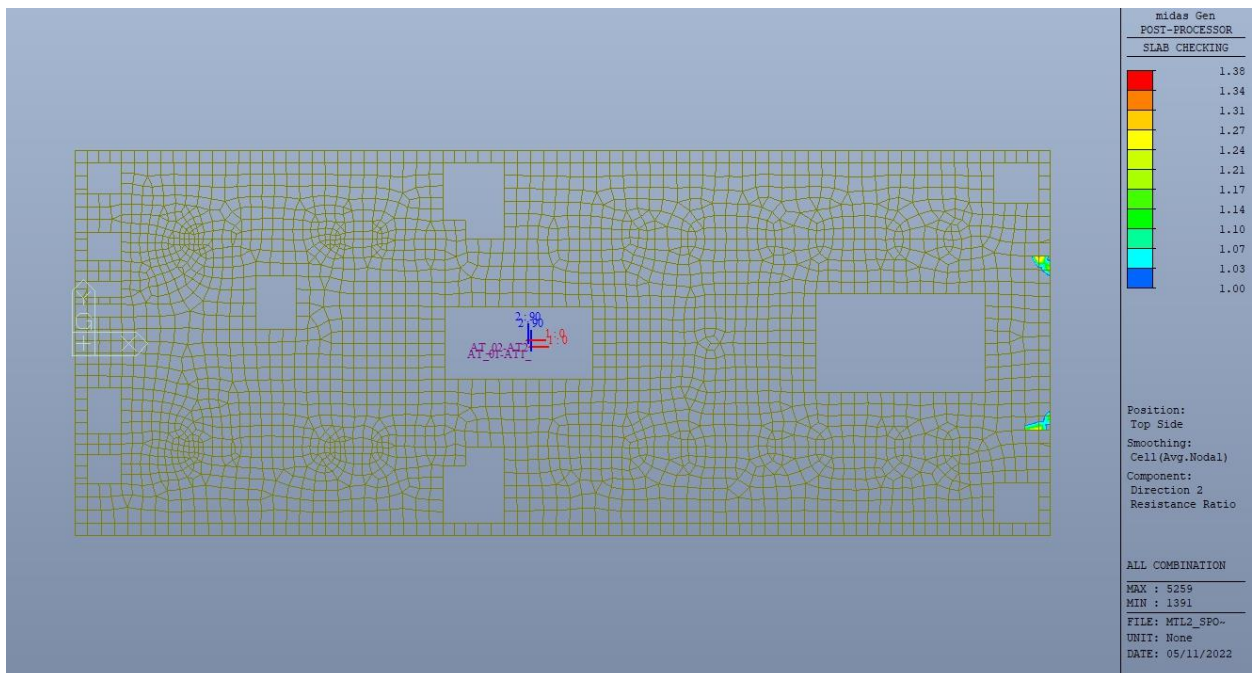


Figura 151. Piano atrio (-1) – Tasso di lavoro faccia superiore – Direzione D2 – Zone > 1



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

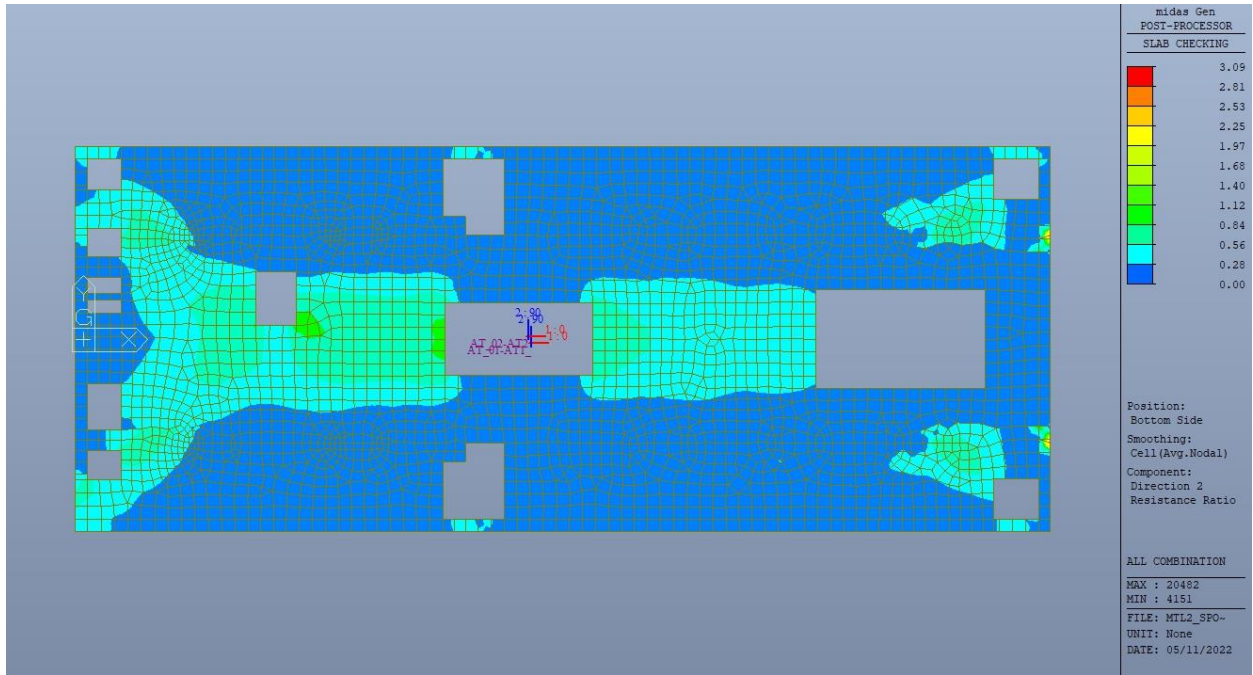


Figura 152. Piano atrio (-1) – Tasso di lavoro faccia inferiore – Direzione D2

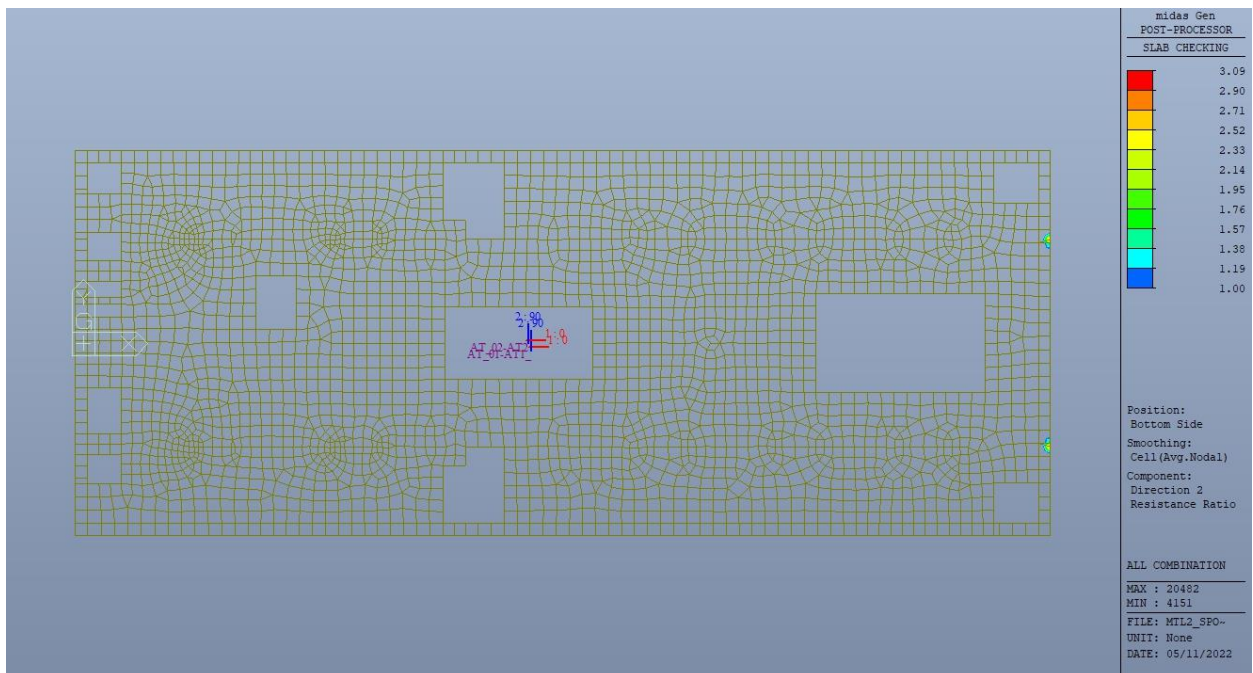


Figura 153. Piano atrio (-1) – Tasso di lavoro faccia inferiore – Direzione D2 – Zone > 1

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

Per entrambe le direzioni, le zone con tasso di lavoro superiore all'unità sono localizzate e in numero ridotto rispetto alla totalità degli elementi, si può considerare la verifica soddisfatta.

Resistenza a taglio di progetto in direzione X e Y – valore per unità di lunghezza.

**Tabella 31. Verifica taglio – Piano atrio (-1)**

CLS	C30/37		tipologia calcestruzzo
Acciaio	B450C		tipologia acciaio
$f_{yk}$	450	N/mm <sup>2</sup>	valore caratteristico della resistenza a trazione acciaio
$f_{ck}$	30.71	N/mm <sup>2</sup>	valore caratteristico della resistenza a compressione del cls
$\gamma_c$	1.5		coefficiente di sicurezza
c	100	mm	copriferro
d	900	mm	altezza utile sezione
k	1.47		
$\rho_1$	0.20%		rapporto geometrico di armatura longitudinale
$v_{min}$	0.346		
$V_{Rd}$	291.45	kN	
$V_{Rd,min}$	311.56	kN	
<b><math>V_{Rd,c}</math></b>	<b>311.56</b>	<b>kN</b>	resistenza a taglio NO armatura
NB	4		numero bracci
D	20	mm	diametro armatura a taglio
$A_b$	3.14	cm <sup>2</sup>	area barra armatura a taglio
$A_{st}$	12.56	cm <sup>2</sup>	area complessiva staffe
st	200	mm	passo staffe
$\gamma_s$	1.15		
$\alpha$	90	°	
cotg teta	1		
$V_{Rsd}$	1990.49	kN	resistenza di progetto a taglio - lato acciaio
$\alpha_c$	1		
v	0.5		
$f_{cd}$	17.40	N/mm <sup>2</sup>	
$V_{Rcd}$	3523.97	kN	resistenza di progetto a taglio - lato calcestruzzo
<b><math>VRd</math></b>	<b>1990.49</b>	<b>kN</b>	resistenza a taglio CON armatura

Come riportato dalle immagini successive, le zone in cui la resistenza di progetto a taglio per elementi con armatura dedicata è inferiore al taglio agente sono localizzate e in numero ridotto rispetto alla totalità degli elementi, si può considerare la verifica soddisfatta per entrambe le direzioni.



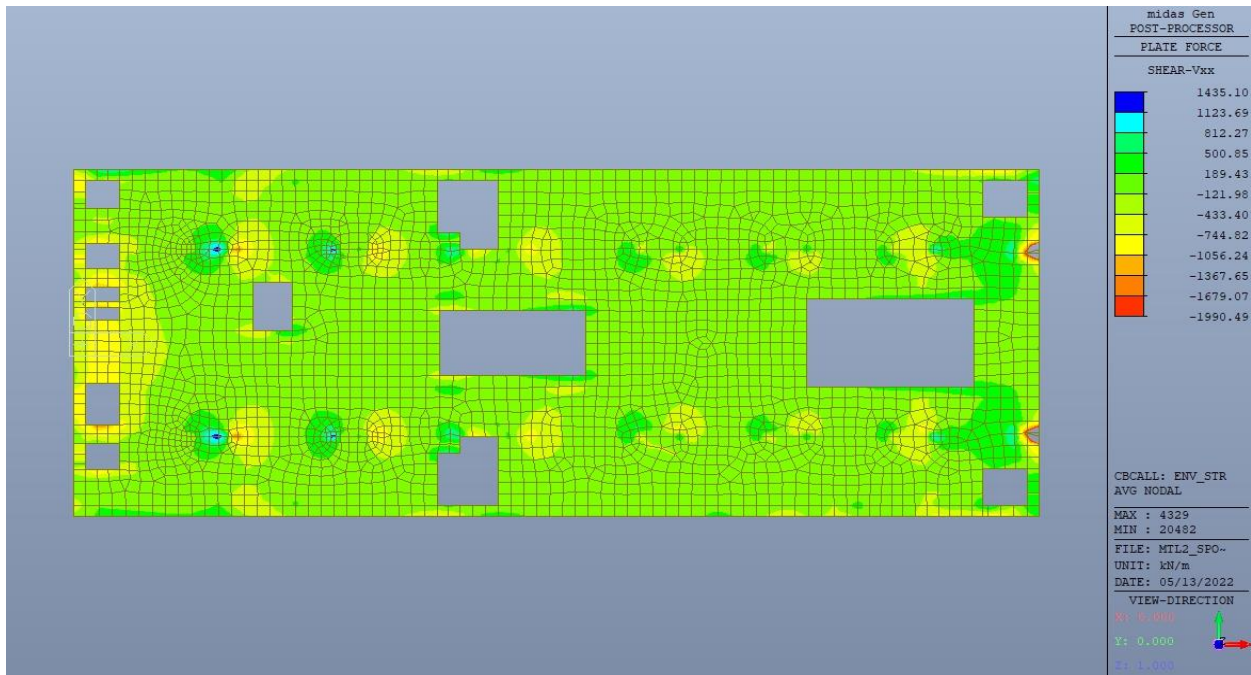


Figura 154. Piano atrio (-1) – Resistenza a taglio Direzione X

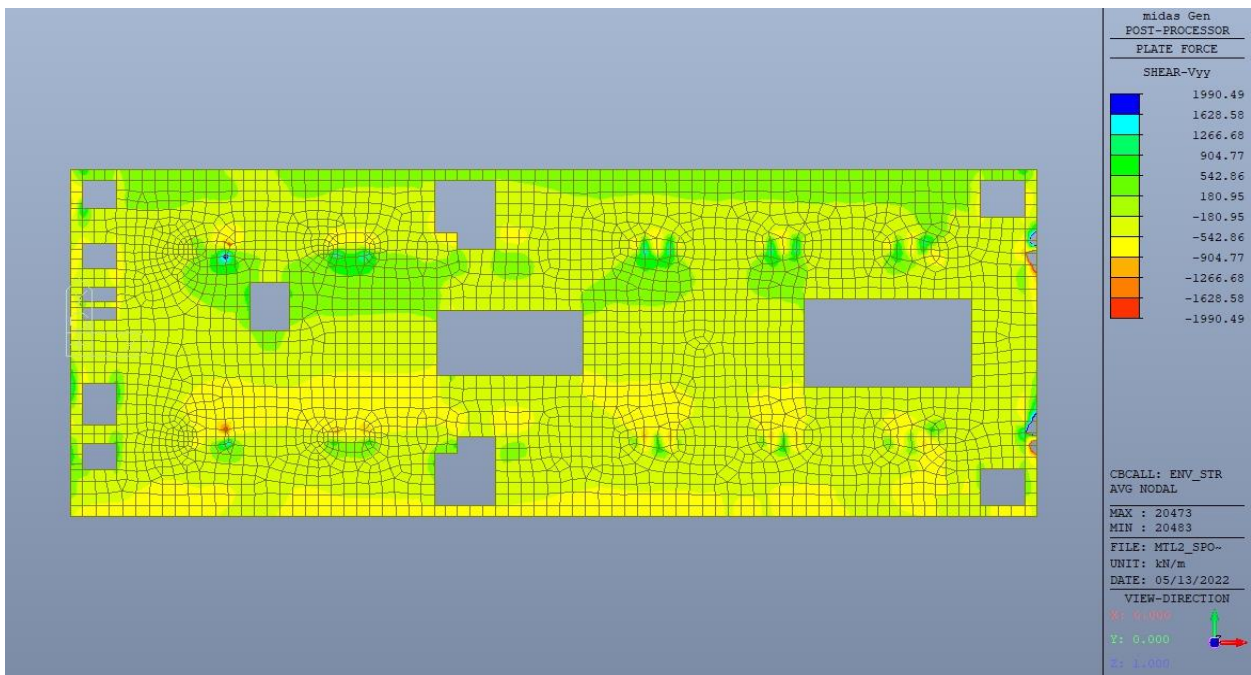


Figura 155. Piano atrio (-1) – Resistenza a taglio Direzione Y

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

## 13.2 Verifica Stati Limite di Esercizio - SLE

Si deve verificare il rispetto dei seguenti stati limite:

- deformazione;
- fessurazione;
- limitazione delle tensioni di esercizio.

### 13.2.1 Stato limite di deformazione

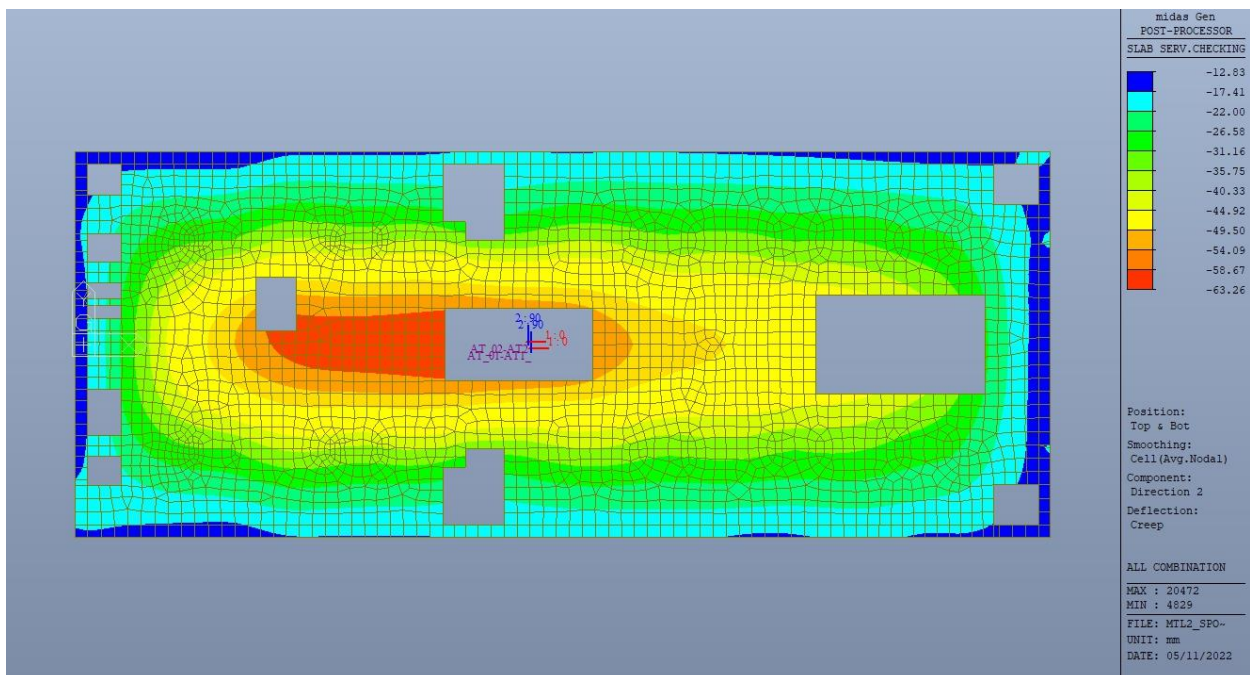
I limiti di deformabilità devono essere congruenti con le prestazioni richieste alla struttura anche in relazione alla destinazione d'uso, con riferimento alle esigenze statiche, funzionali ed estetiche.

Si può considerare la deformazione massima a pieno carico pari a 1/250 della luce di calcolo.

$L = 28.60 \text{ m}$  (tra diaframmi esterni)

$\delta_{\max} = 114.4 \text{ mm}$

Di seguito si riporta la deformata calcolata, a favore di sicurezza, in condizione di creep (effetti a lungo termine dovuti al fluage) con un modulo elastico del cls  $E_c$  ridotto di un valore pari a 2.75.



**Figura 156. Piano atrio (-1) – Massima deformazione**

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

Il massimo valore dell'abbassamento relativo in combinazione RARA è pari a 50.43mm, inferiore al valore massimo e compatibile con le prestazioni richieste.

La verifica è soddisfatta.

### 13.2.2 Stato limite di fessurazione

Ai fini della protezione contro la corrosione delle armature metalliche e della protezione contro il degrado del calcestruzzo, in funzione della classe di esposizione scelta si determina la condizione ambientale:

- ordinarie;
- aggressive;
- molto aggressive.

Stabilito la classe ambientale, in funzione della tipologia di armatura, se sensibile o poco sensibile alla corrosione, si determina il valore limite di apertura delle fessure.

In questo caso:

- classe di esposizione XC3;
- classe ambientale ordinaria;
- armatura poco sensibile;
- valore limite apertura delle fessure  $w_3$  (0.4mm) combinazioni SLE Frequente;
- valore limite apertura delle fessure  $w_2$  (0.3mm) combinazioni SLE Quasi Permanente.

Nelle seguenti immagini vengono riportati il ratio tra il valore di apertura delle fessure e il relativo valore limite nelle due direzioni di armatura; evidenziando, nel caso, le zone con un valore superiore all'unità indicatore che la verifica in oggetto non è soddisfatta.



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

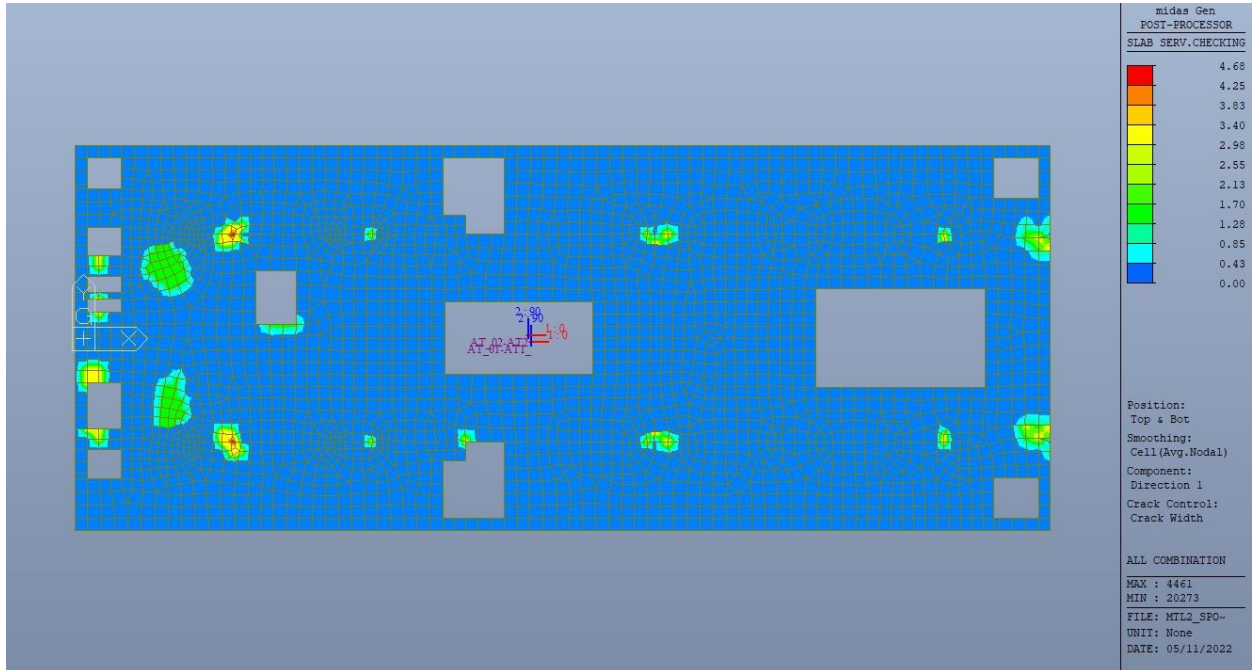


Figura 157. Piano atrio (-1) – Apertura delle fessure - Ratio Direzione 1

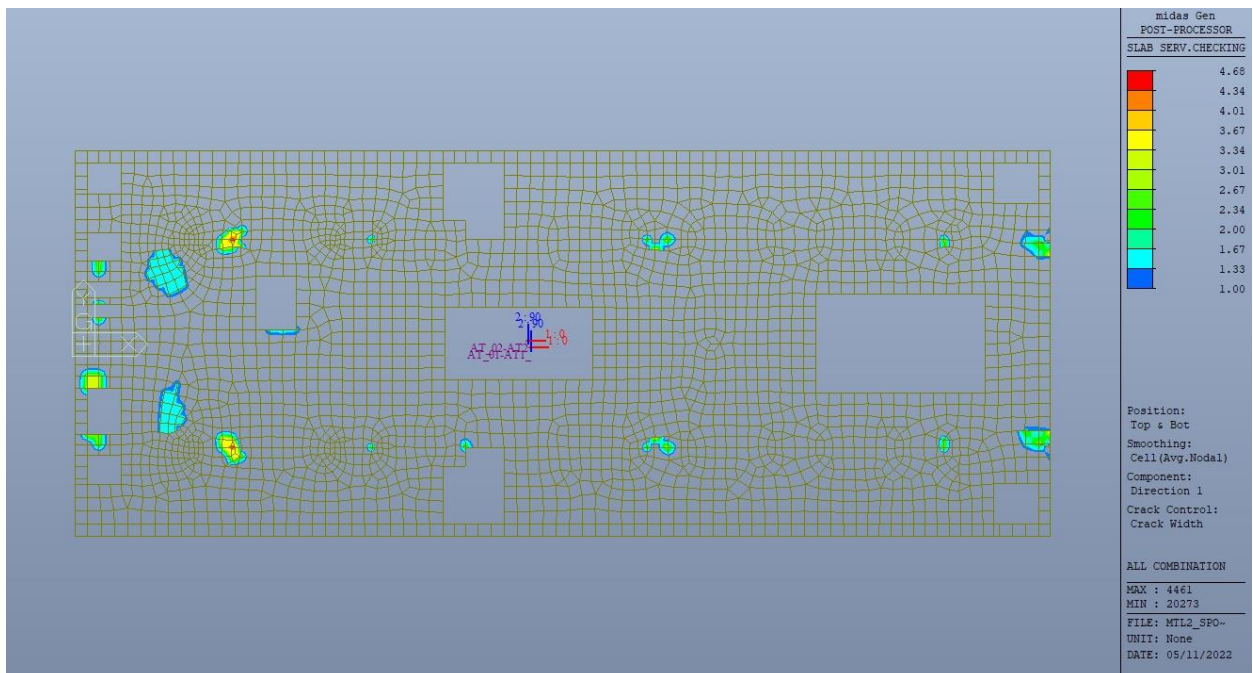


Figura 158. Piano atrio (-1) – Apertura delle fessure - Ratio Direzione 1 – Zone > 1



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

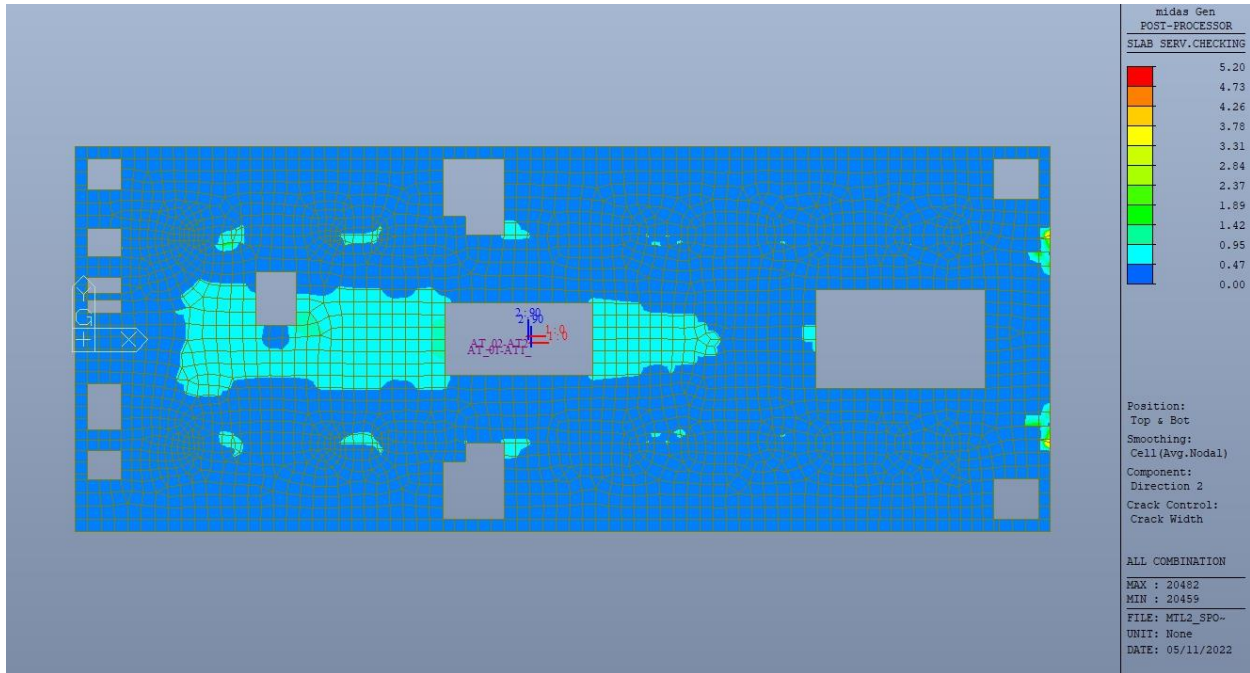


Figura 159. Piano atrio (-1) – Apertura delle fessure - Ratio Direzione 2

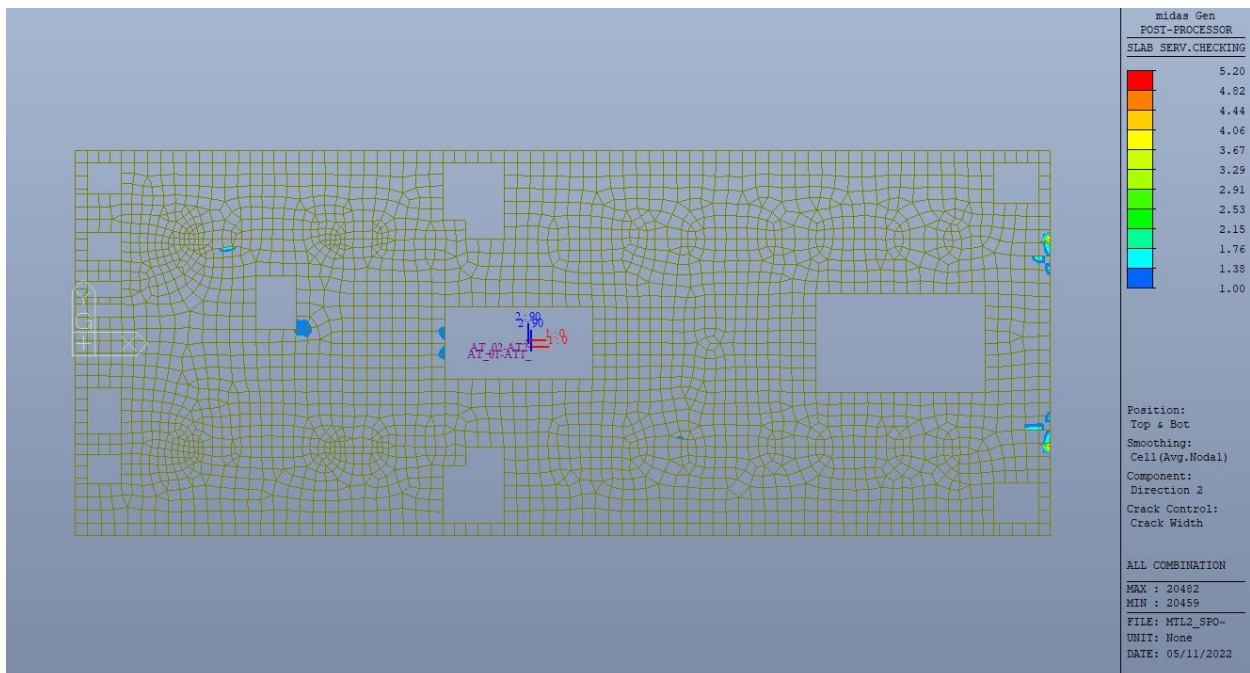


Figura 160. Piano atrio (-1) – Apertura delle fessure - Ratio Direzione 2 – Zone > 1

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

Come si evince, le zone in cui il ratio è maggiore di uno, sono localizzate ed in numero limitato rispetto alle dimensioni complessive del solettone; si può ritenere la verifica soddisfatta.

### 13.2.3 Stato limite di limitazione delle tensioni in esercizio

Si deve verificare che nelle varie parti della struttura le massime tensioni, sia nel calcestruzzo sia nelle armature, dovute alle combinazioni caratteristiche e quasi permanente delle azioni siano inferiori ai massimi valori consentiti:

- $\sigma_{c,max} \leq 0.60 f_{ck}$  per la combinazione caratteristica;
- $\sigma_{c,max} \leq 0.45 f_{ck}$  per la combinazione quasi permanente;
- $\sigma_{s,max} \leq 0.80 f_{yk}$  per la combinazione caratteristica.

Nelle seguenti immagini vengono riportati il ratio tra la tensione massima (cls e armatura) e il relativo valore limite nelle due direzioni di armatura; evidenziando, nel caso, le zone con un valore superiore all'unità indicatore che la verifica in oggetto non è soddisfatta.

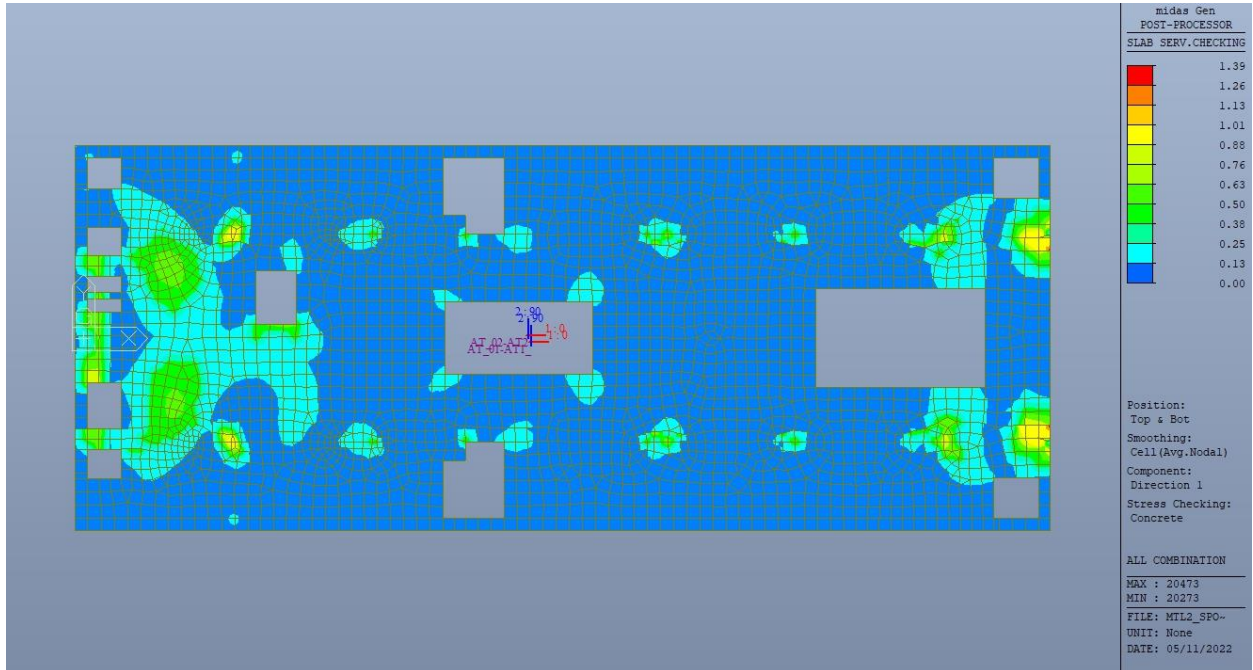


Figura 161. Piano atrio (-1) – Tensioni calcestruzzo - Ratio Direzione 1

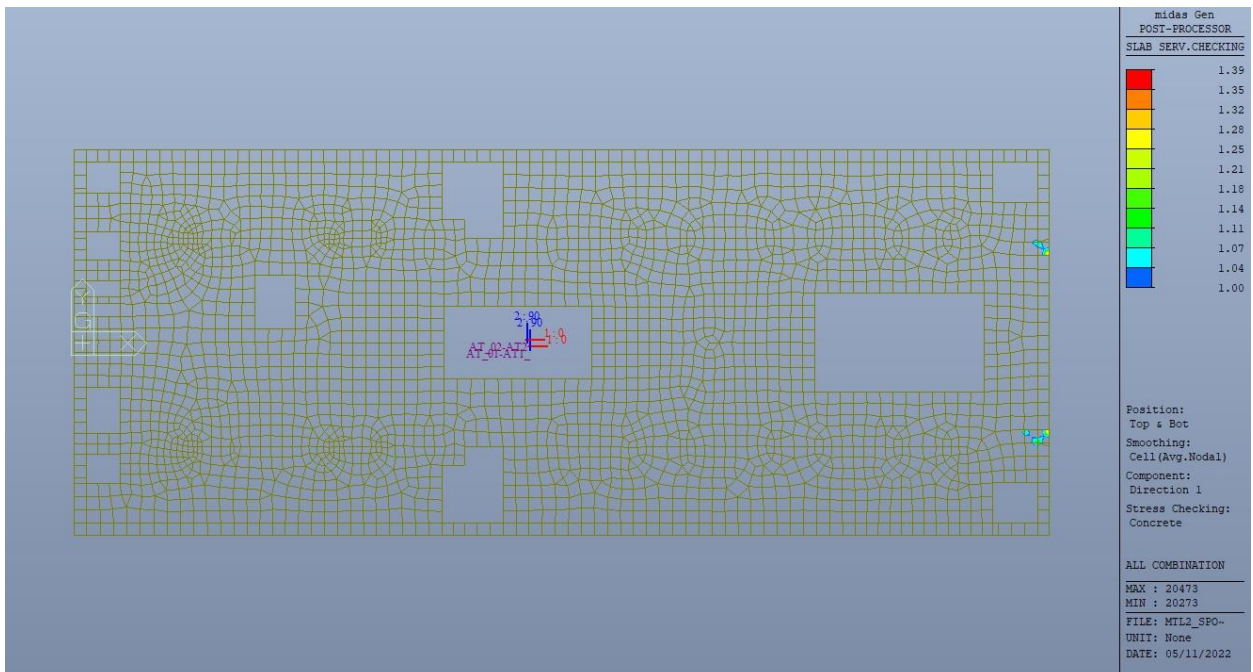


Figura 162. Piano atrio (-1) – Tensioni calcestruzzo - Ratio Direzione 1 – Zone > 1

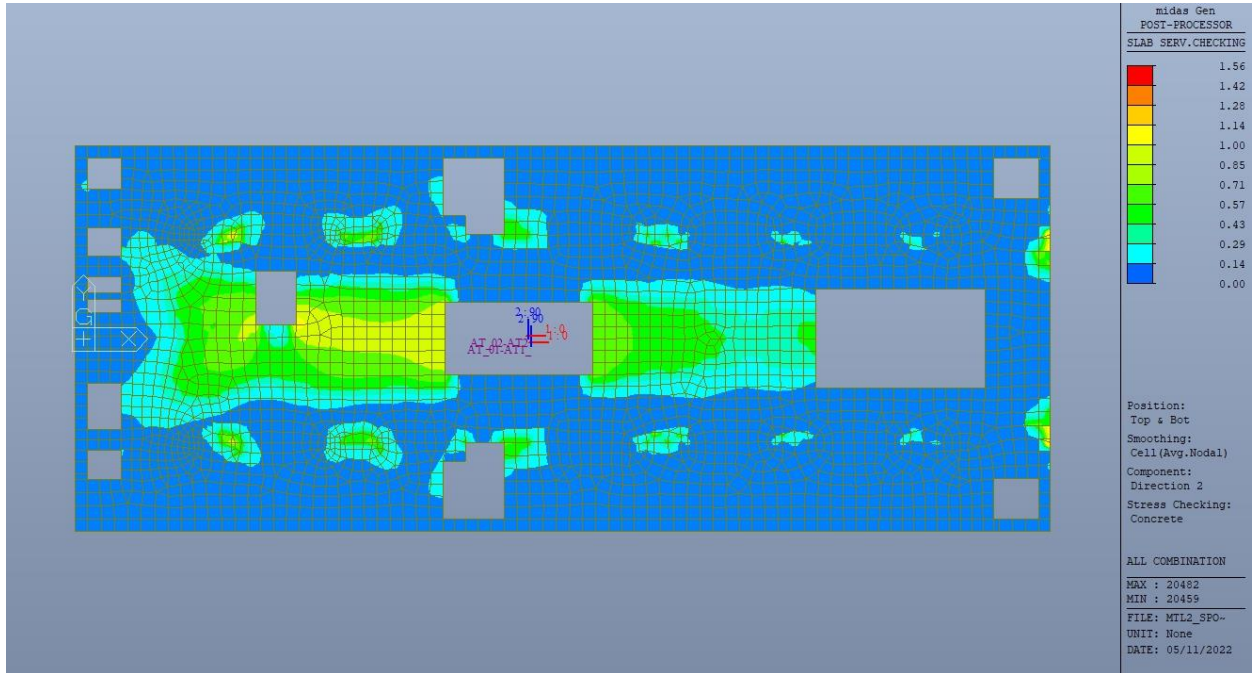


Figura 163. Piano atrio (-1) – Tensioni calcestruzzo - Ratio Direzione 2

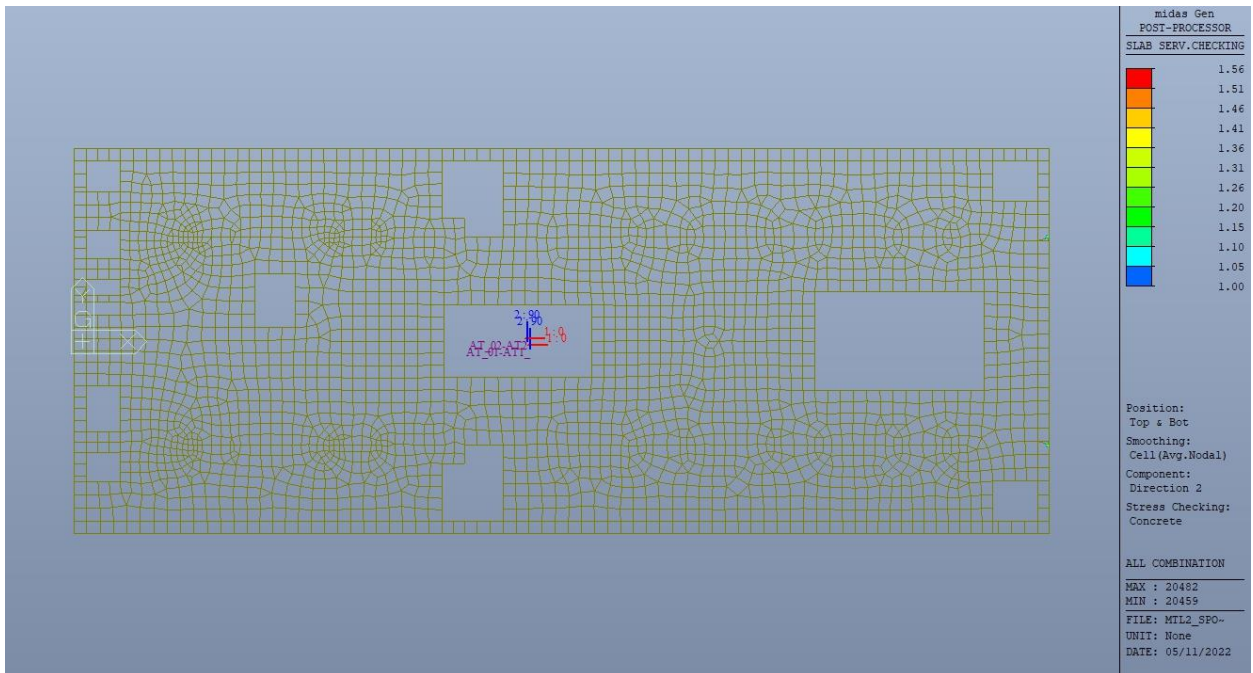


Figura 164. Piano atrio (-1) – Tensioni calcestruzzo - Ratio Direzione 2 – Zone > 1





CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

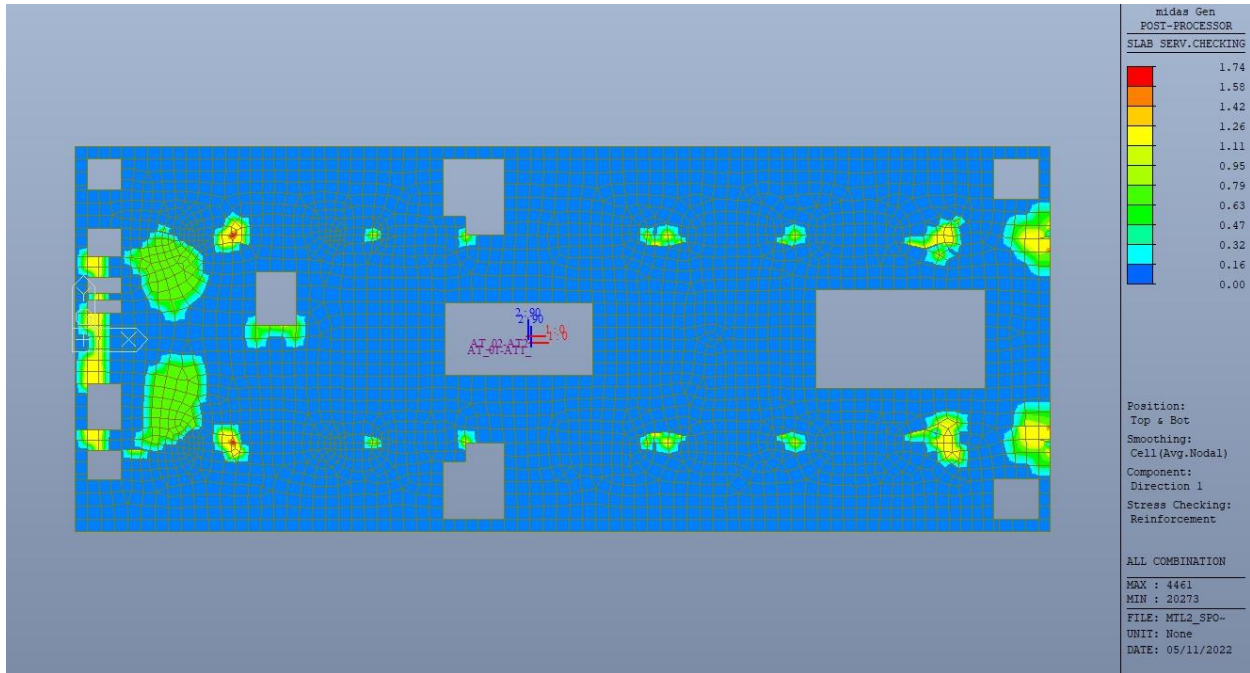


Figura 165. Piano atrio (-1) – Tensioni armatura - Ratio Direzione 1

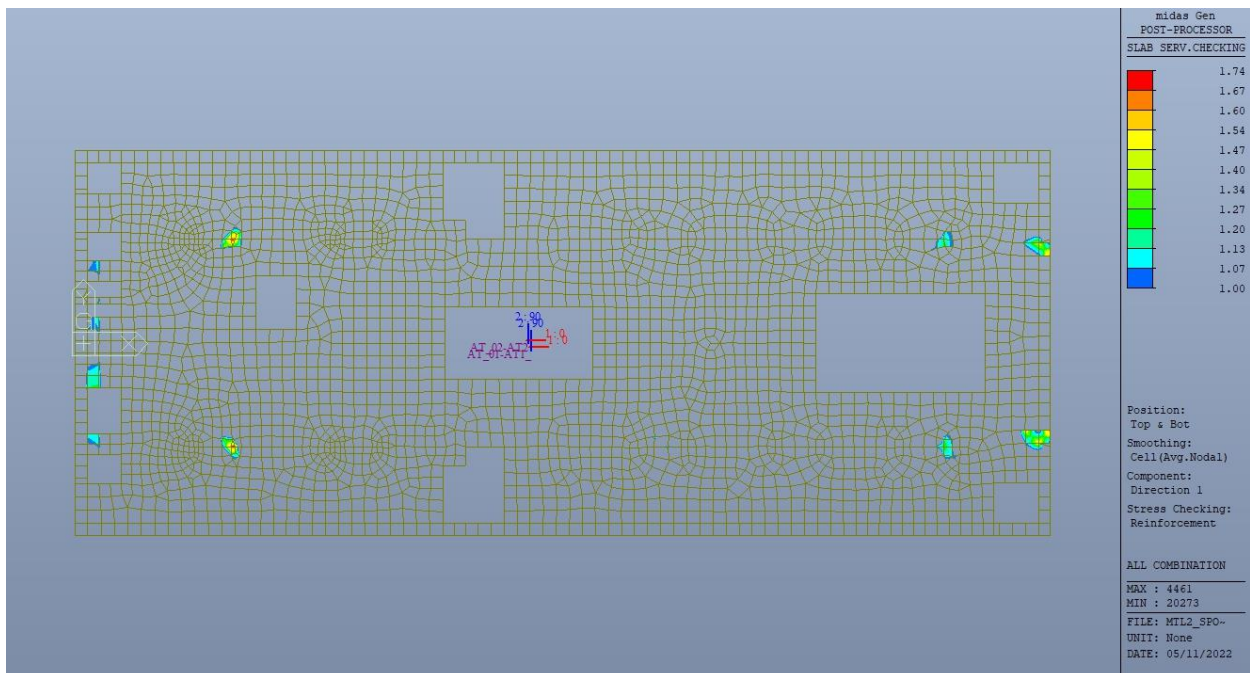


Figura 166. Piano atrio (-1) – Tensioni armatura - Ratio Direzione 1 – Zone > 1



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

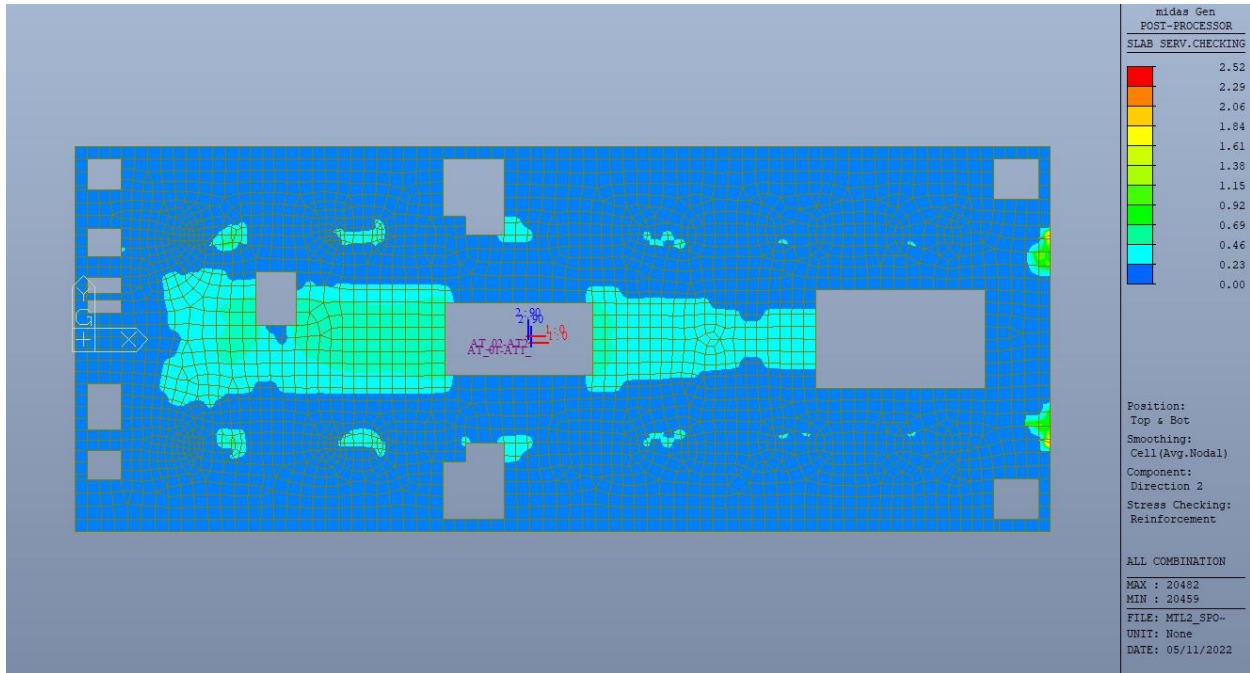


Figura 167. Piano atrio (-1) – Tensioni armatura - Ratio Direzione 2

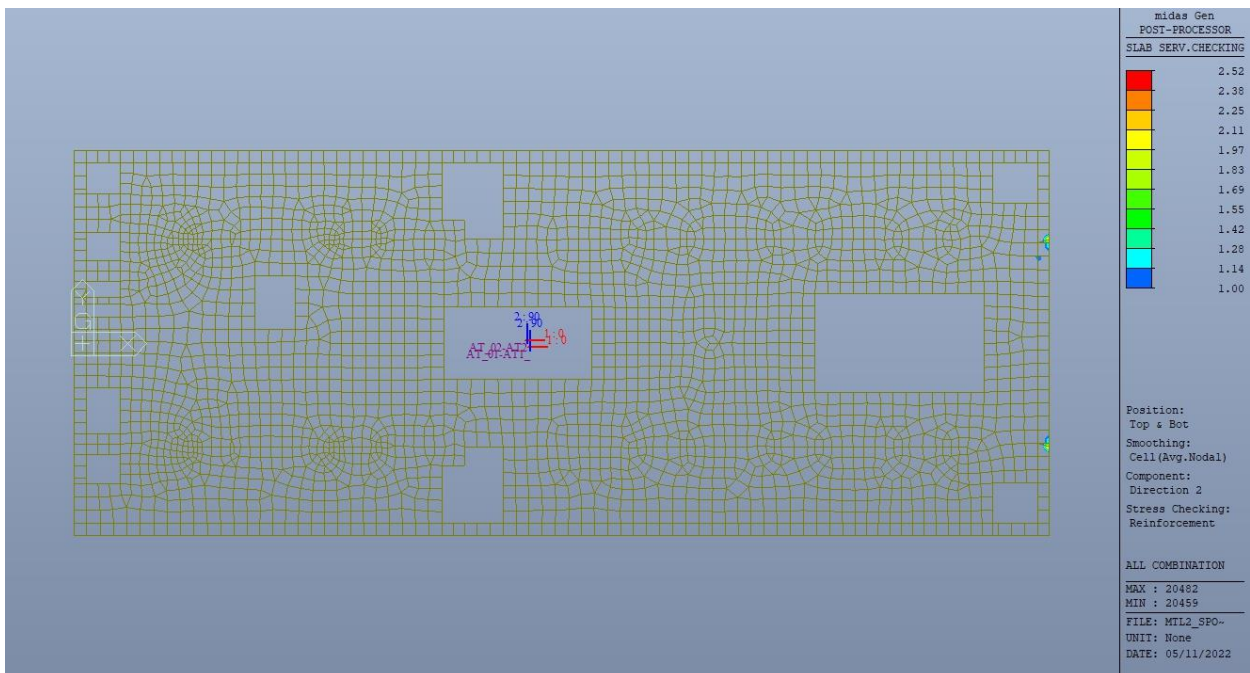


Figura 168. Piano atrio (-1) – Tensioni armatura - Ratio Direzione 2 – Zone > 1

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

Come si evince, le zone in cui il ratio è maggiore di uno, sono localizzate ed in numero limitato rispetto alle dimensioni della soletta di piano.

Si può ritenere la verifica soddisfatta.

## 14. VERIFICA PIANO MEZZANINO (-2)

Come evidenziato nel cap.8, le strutture verticali interne a sostegno dei diversi piani sono differenti tra il tempo zero (cantiere) e tempo infinito, sia come tipologia che come posizione. Questo comporta una traslazione dei punti di massimo momento positivo e di massimo momento negativo nel tempo.

### 14.1 Verifica Stati Limite Ultimi – SLU e SLV

Si deve verificare che i singoli elementi strutturali e la struttura nel suo insieme possiedano una capacità in resistenza sufficiente a soddisfare la domanda sia allo SLV che allo SLU.

Nel seguito si riportano sinteticamente i principali risultati delle analisi.

#### 14.1.1 Sollecitazioni

Le immagini successive riportano gli involuipi delle sollecitazioni per gli Stati Limite SLU e SLV nelle due direzioni X e Y, sia a tempo infinito che a tempo zero.



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

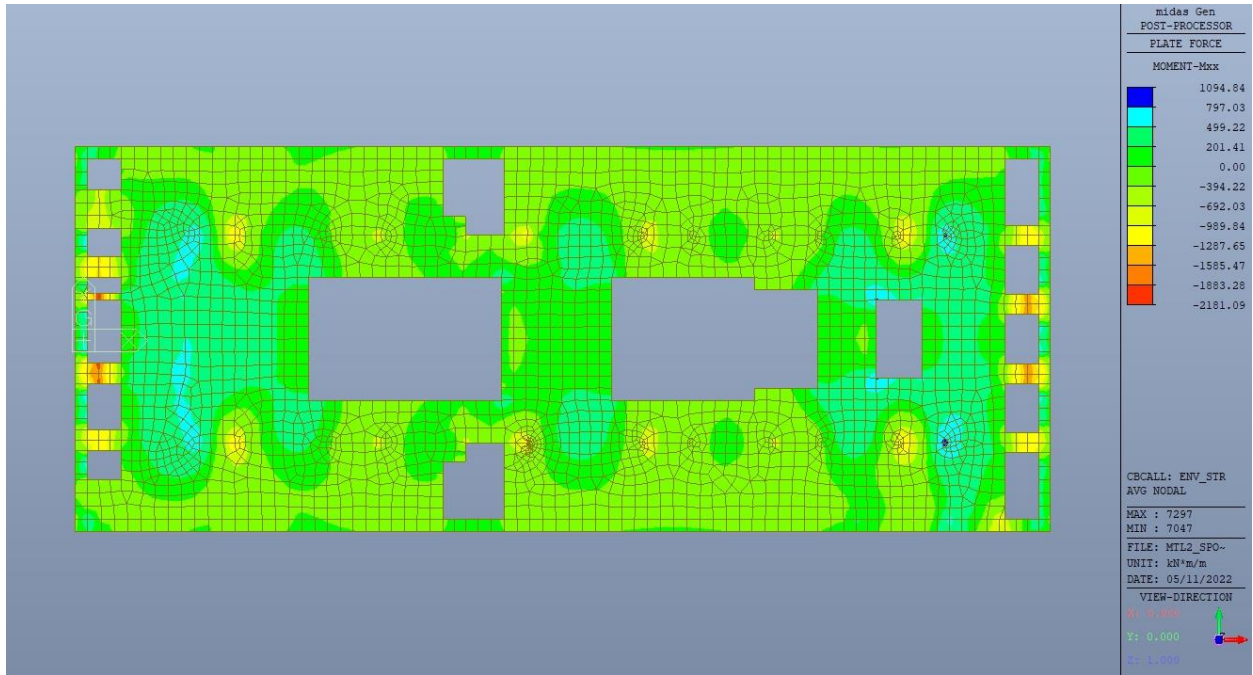


Figura 169. Mezzanino (-2) – Involuppo momento flettente  $M_{xx}$  – Direzione X – Tempo infinito

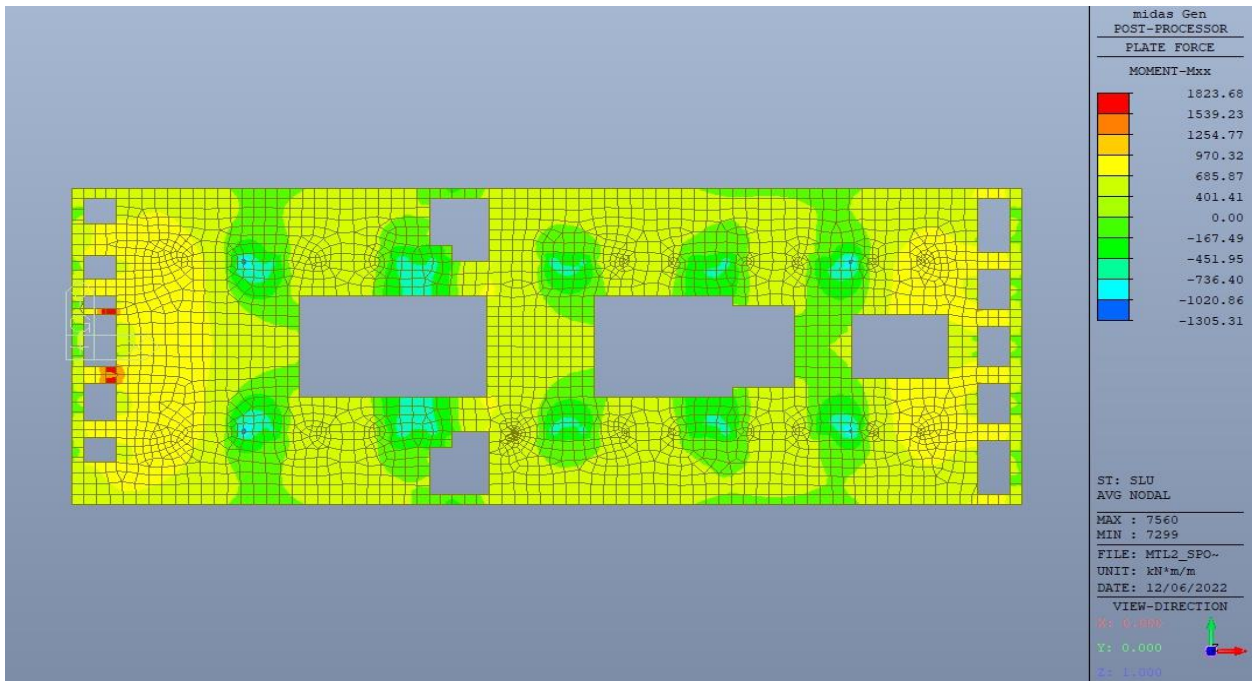


Figura 170. Mezzanino (-2) – Involuppo momento flettente  $M_{xx}$  – Direzione X – Tempo zero



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

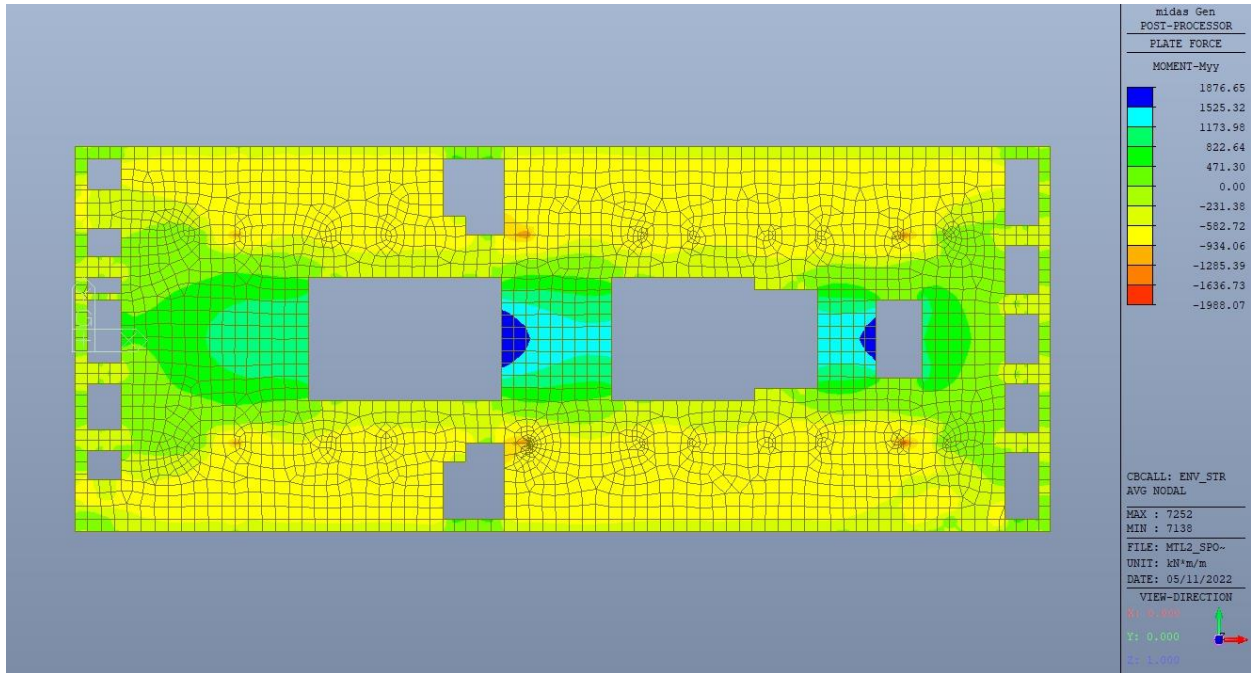


Figura 171. Mezzanino (-2) – Involuppo momento flettente  $M_{yy}$  – Direzione Y – Tempo infinito

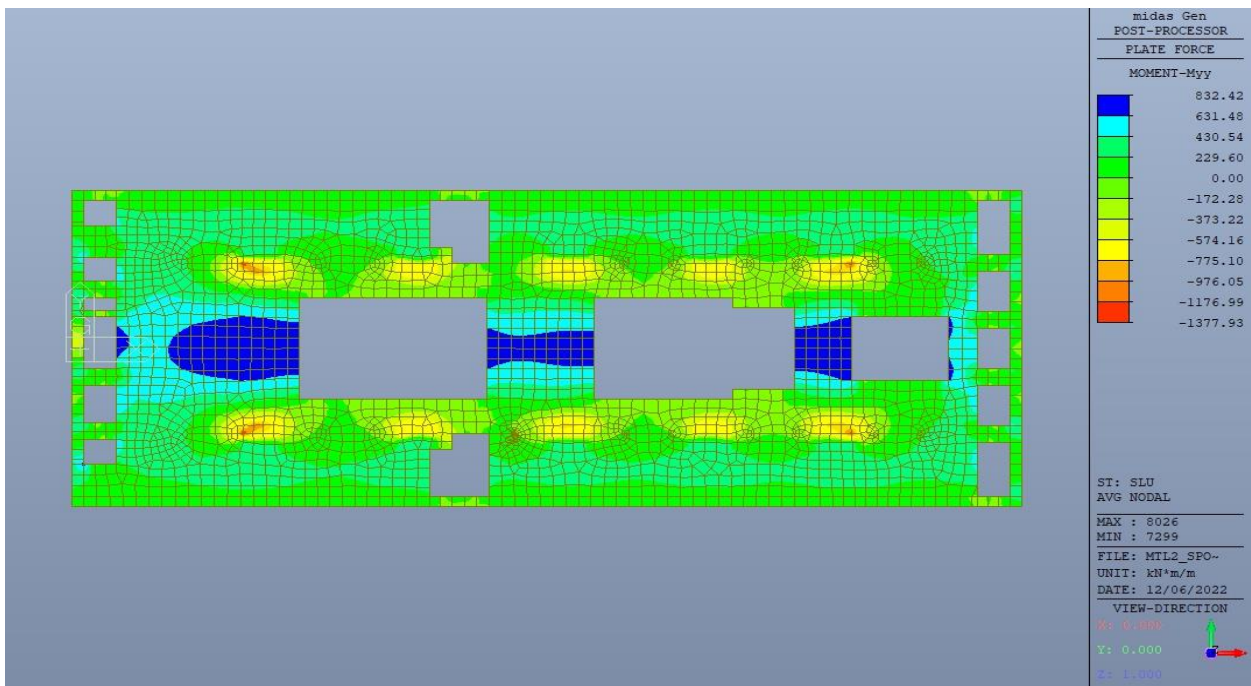


Figura 172. Mezzanino (-2) – Involuppo momento flettente  $M_{yy}$  – Direzione Y – Tempo zero



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

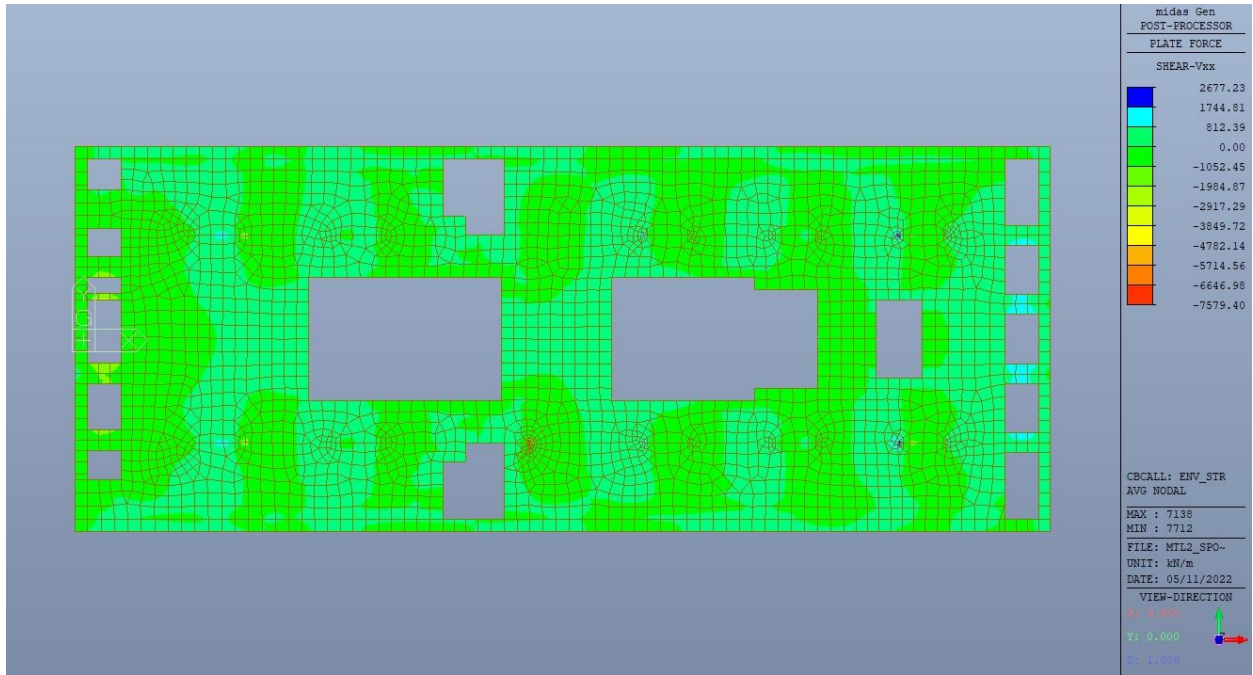


Figura 173. Mezzanino (-2) – Involuppo taglio  $V_{xx}$  – Direzione X – Tempo infinito

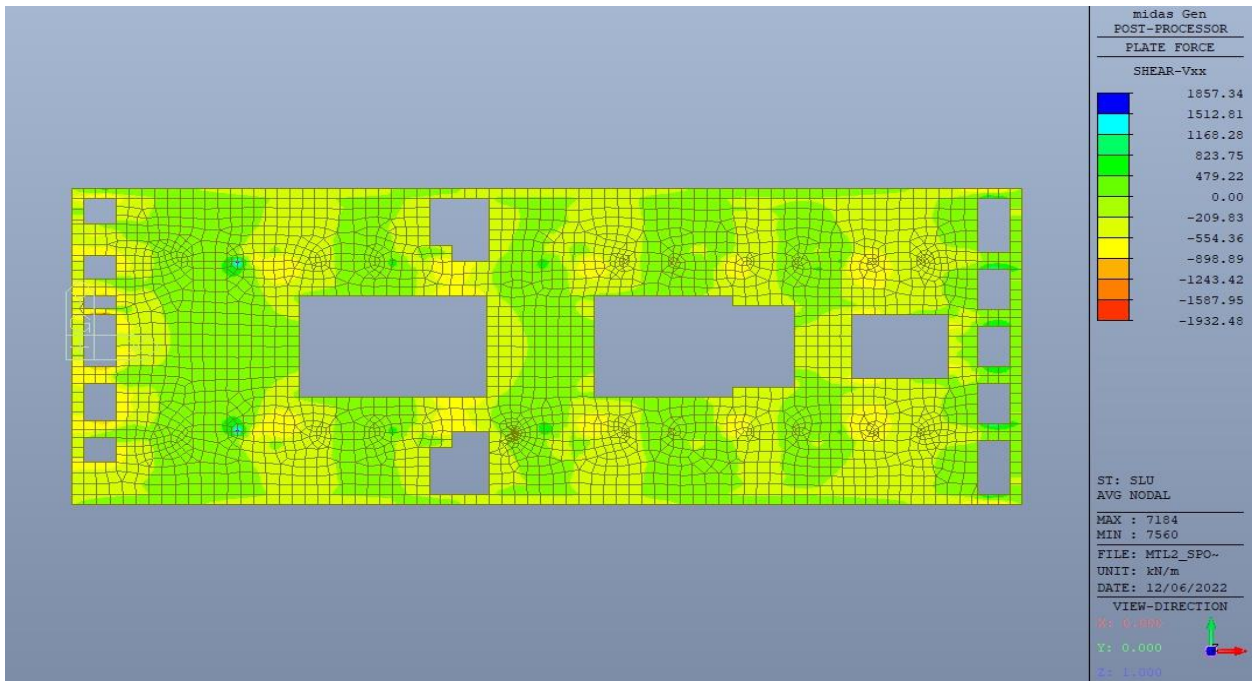


Figura 174. Mezzanino (-2) – Involuppo taglio  $V_{xx}$  – Direzione X – Tempo infinito – Tempo zero

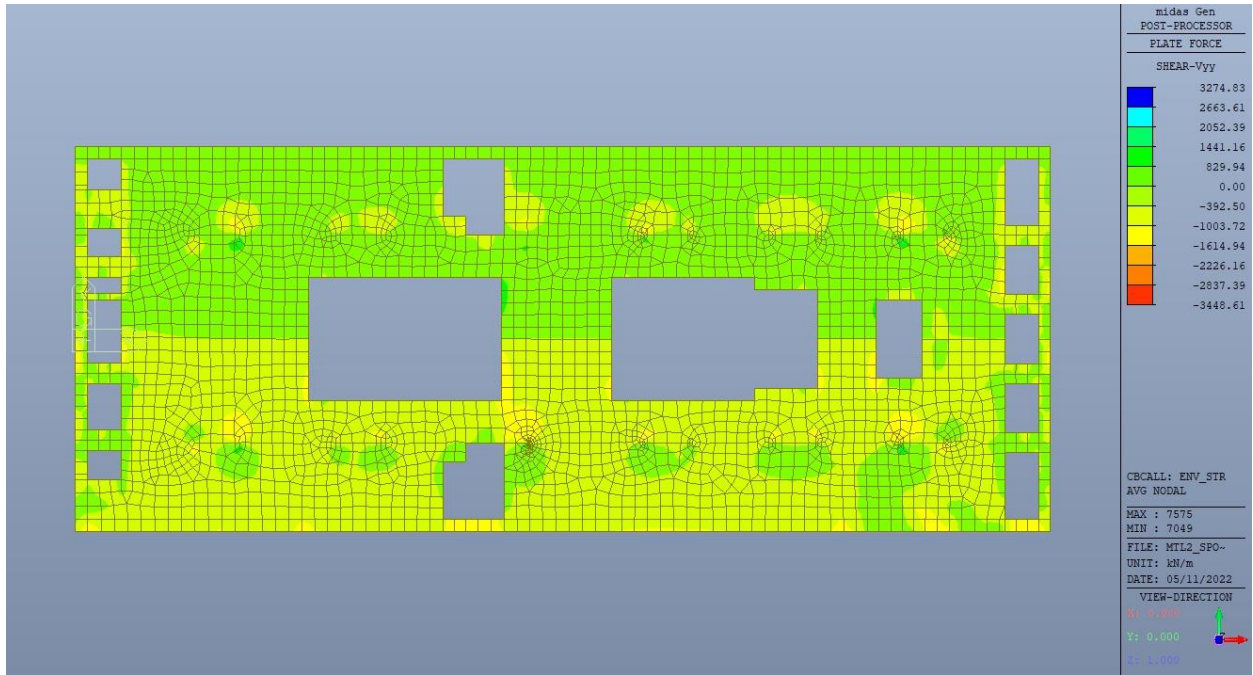


Figura 175. Mezzanino (-2) – Involuppo taglio  $V_{yy}$  – Direzione Y – Tempo infinito

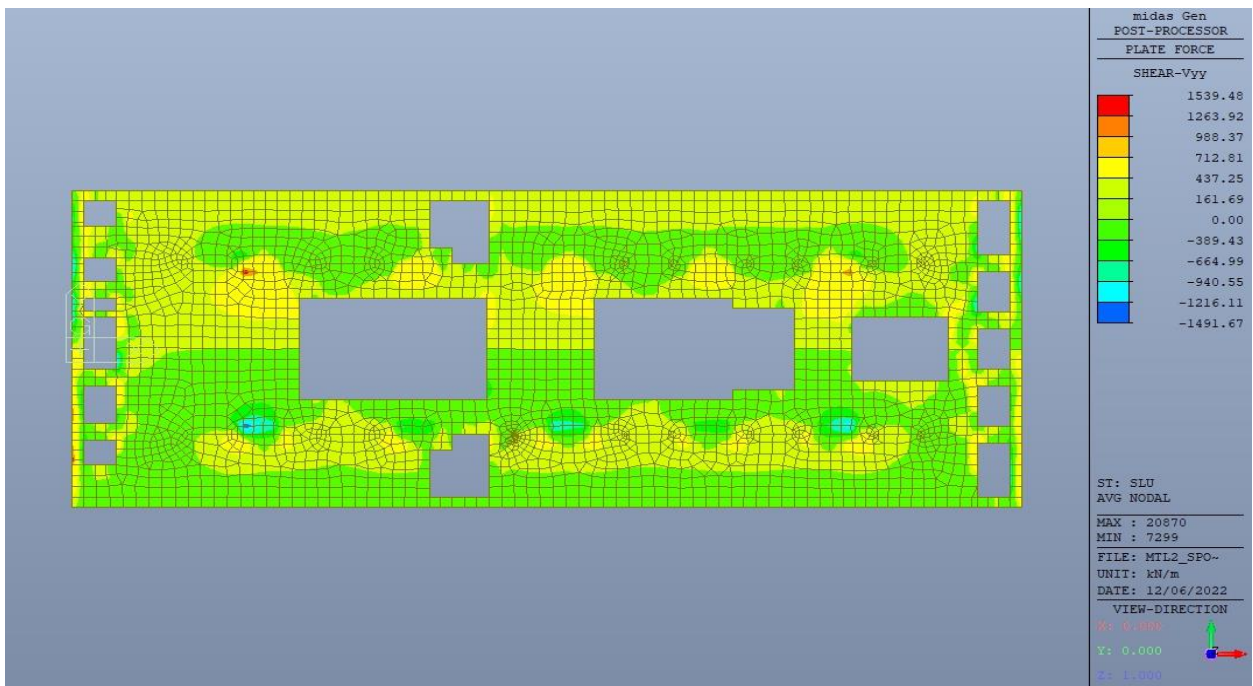


Figura 176. Mezzanino (-2) – Involuppo taglio  $V_{yy}$  – Direzione Y – Tempo zero



### 14.1.2 Verifiche strutturali

Trattandosi di struttura a comportamento non dissipativo, la capacità delle membrature e dei collegamenti deve essere valutata in accordo con le regole di cui al par. 4.1 delle citate norme, senza nessun requisito aggiuntivo.

Come valore minimo dell'armatura longitudinale si è considerato quanto riportato nel par. 4.1.6 delle NTC2018, ossia il quantitativo minimo riportato per le travi pari a

$$A_{s,min} = 0.26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot h$$

dove:

- $f_{ctm}$  è il valore medio della resistenza a trazione del cls;
- $f_{yk}$  è il valore caratteristico della resistenza a trazione dell'armatura;
- $b_t$  è la larghezza media della zona tesa;
- $h$  è l'altezza della sezione.

**Tabella 32. Armatura minima**

				D1 - TOP			D1 - BOTTOM		
Tipologia	b [cm]	h [cm]	A <sub>c</sub> [cm <sup>2</sup> ]	A <sub>s</sub> [cm <sup>2</sup> ]	A <sub>smin</sub> [cm <sup>2</sup> ]	CK	A <sub>s</sub> [cm <sup>2</sup> ]	A <sub>smin</sub> [cm <sup>2</sup> ]	CK
Solettone H100	100	100	10000	18.08	16.73	OK	18.08	16.73	OK
				D2 - TOP			D2 - BOTTOM		
Tipologia	b [cm]	h [cm]	A <sub>c</sub> [cm <sup>2</sup> ]	A <sub>s</sub> [cm <sup>2</sup> ]	A <sub>smin</sub> [cm <sup>2</sup> ]	CK	A <sub>s</sub> [cm <sup>2</sup> ]	A <sub>smin</sub> [cm <sup>2</sup> ]	CK
Solettone H100	100	100	10000	22.6	16.73	OK	22.6	16.73	OK

Nelle immagini seguenti sono riportate le armature superiori e inferiori nelle due direzioni D1 e D2.

Le verifiche a tempo zero si ritengono automaticamente soddisfatte in quanto le sollecitazioni ottenute risultano essere sempre inferiori a quelle a tempo infinito.





CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

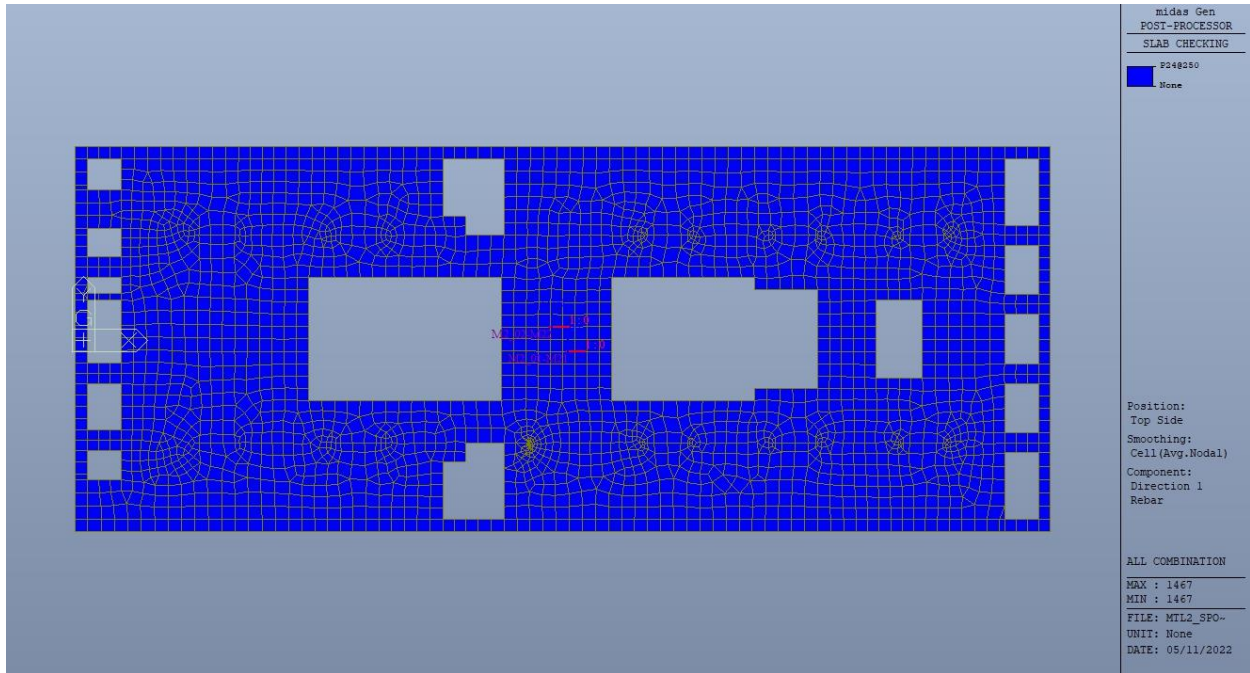


Figura 177. Piano mezzanino (-2) – Armatura superiore direzione D1

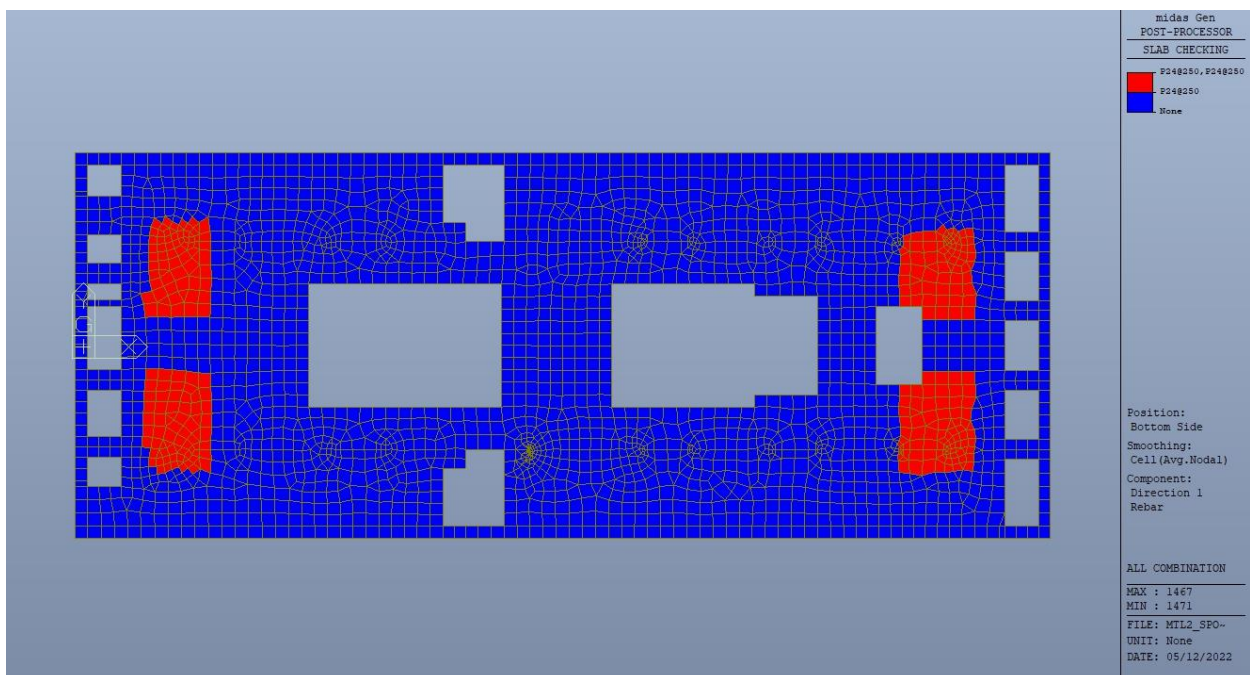


Figura 178. Piano mezzanino (-2) – Armatura inferiore direzione D1



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

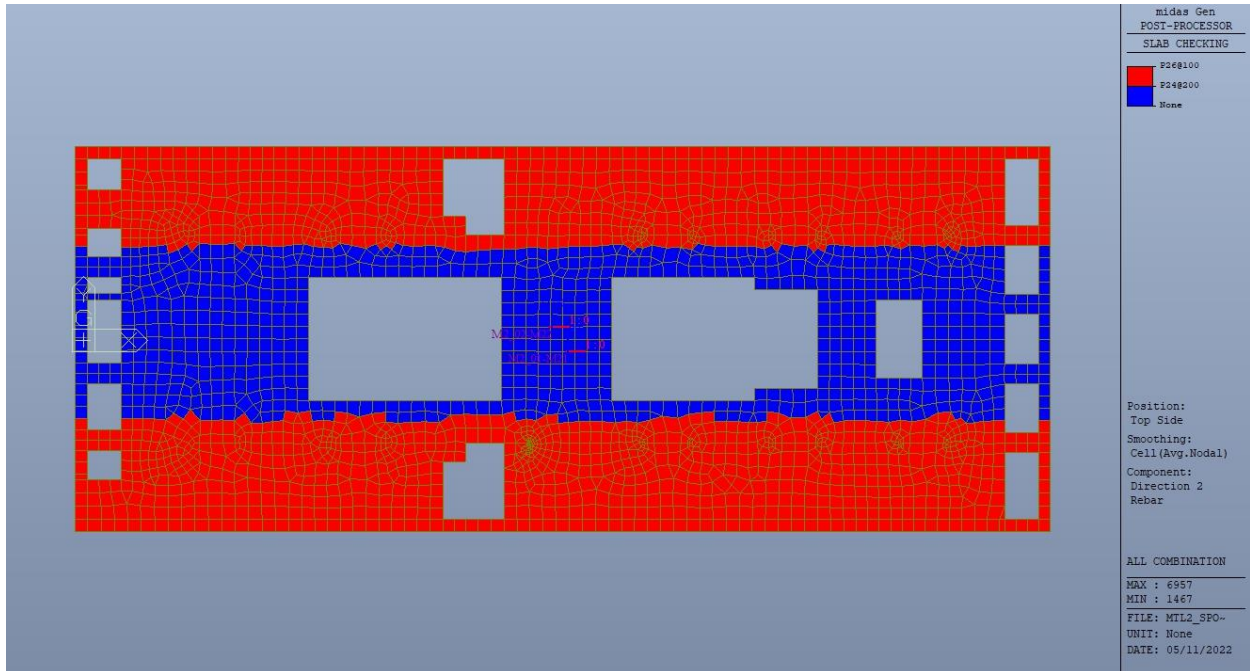


Figura 179. Piano mezzanino (-2) – Armatura superiore direzione D2

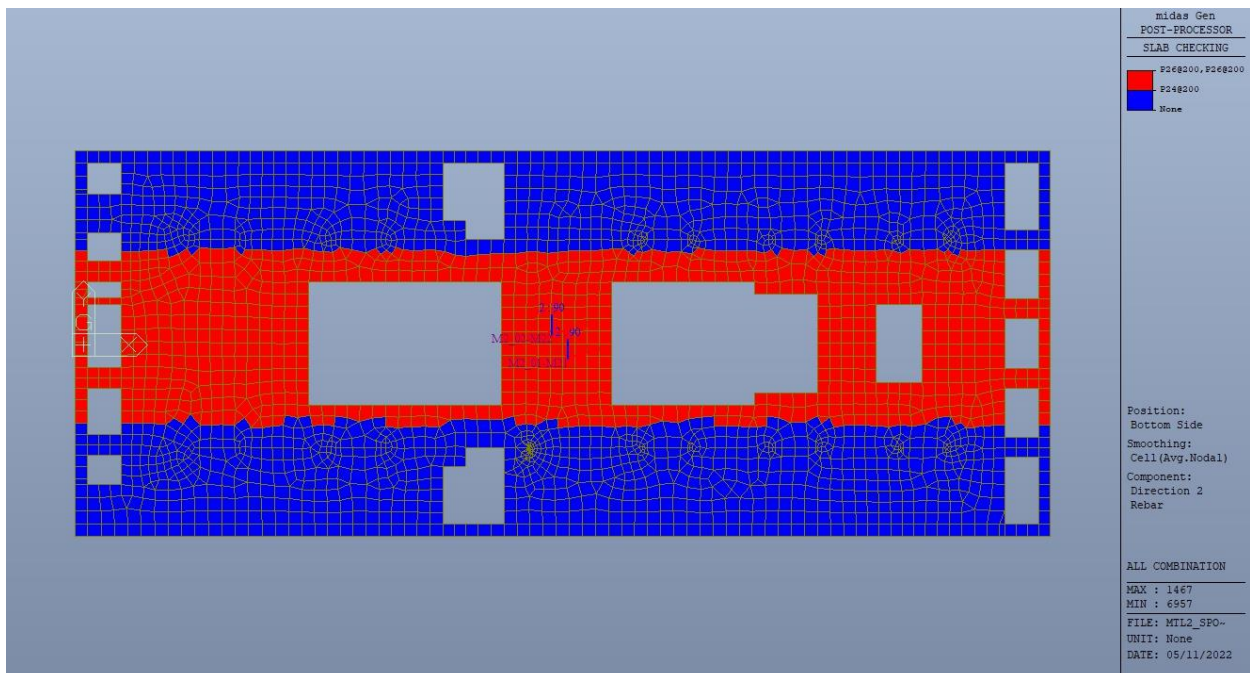


Figura 180. Piano mezzanino (-2) – Armatura inferiore direzione D2

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

Nelle seguenti immagini vengono riportati i massimi tassi di lavoro a flessione e taglio dei singoli elementi strutturali nelle due direzioni D1 e D2 evidenziando, nel caso, quelli con un valore superiore all'unità indicatore che la verifica in oggetto non è soddisfatta.



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

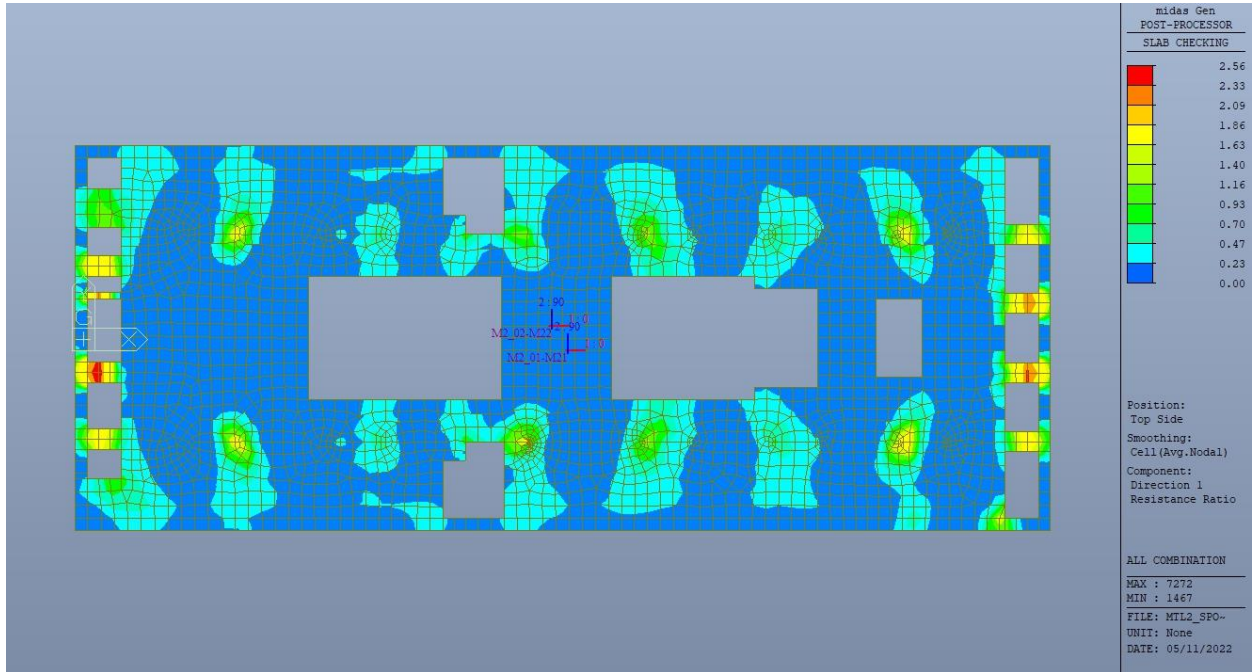


Figura 181. Piano mezzanino (-2) – Tasso di lavoro faccia superiore – Direzione D1

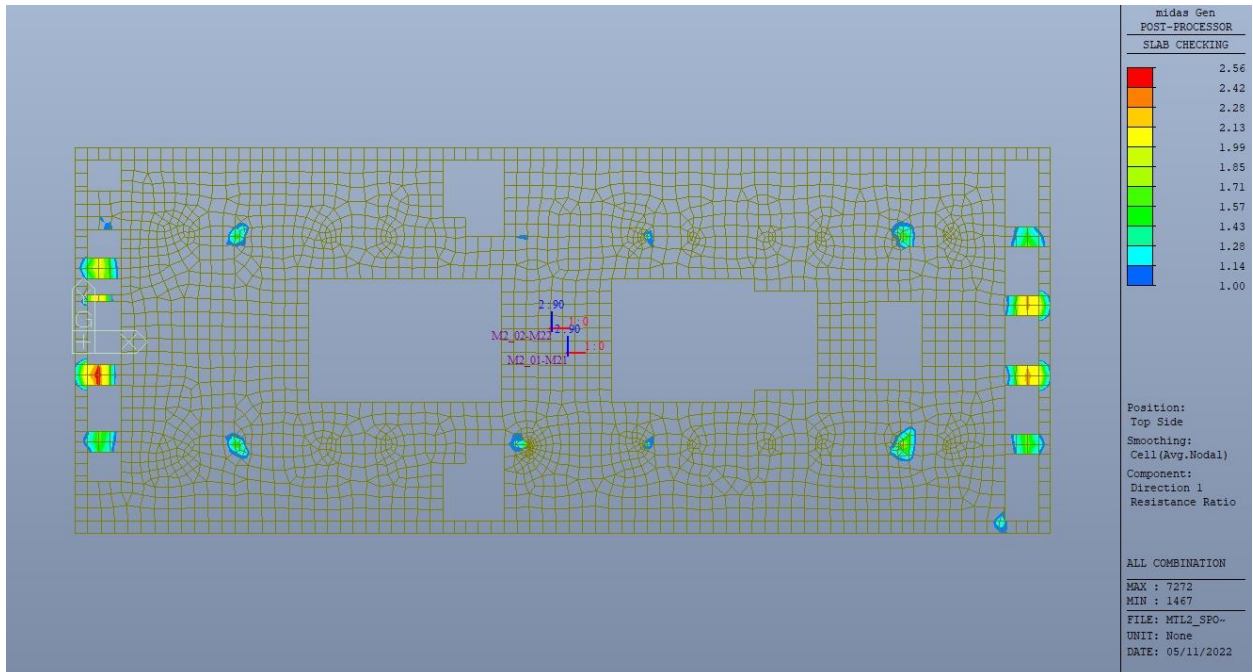


Figura 182. Piano mezzanino (-2) – Tasso di lavoro faccia superiore – Direzione D1 – Zone > 1



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

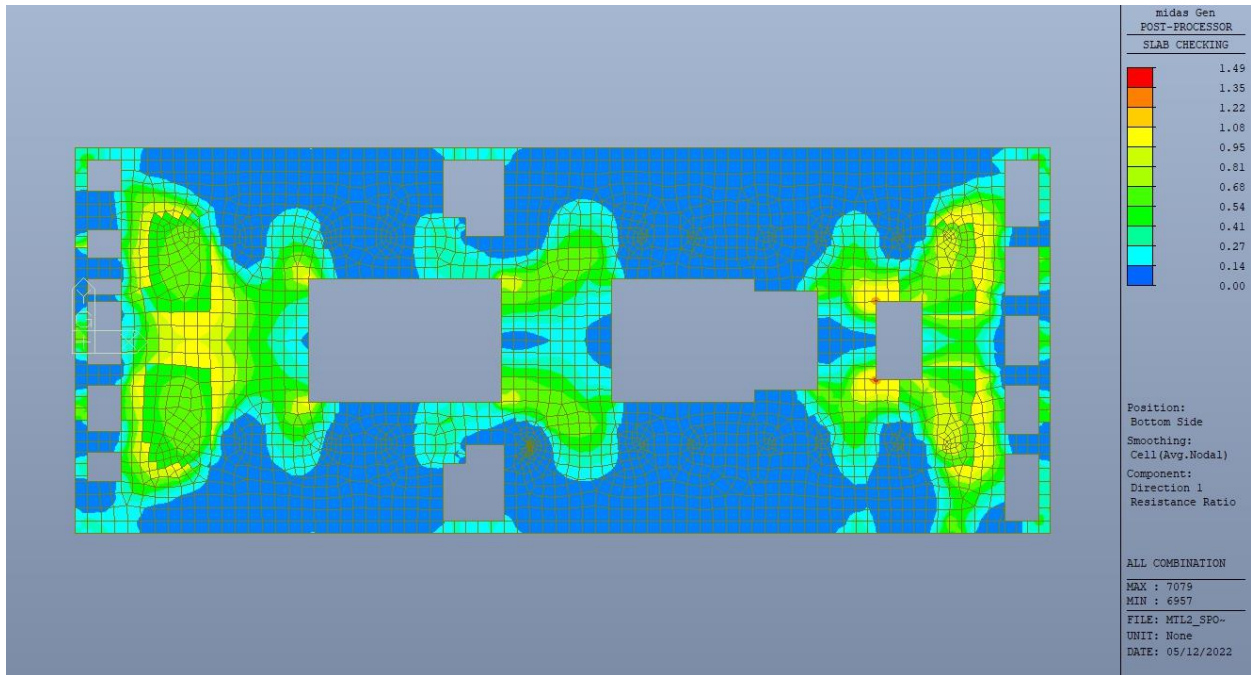


Figura 183. Piano mezzanino (-2) – Tasso di lavoro faccia inferiore – Direzione D1

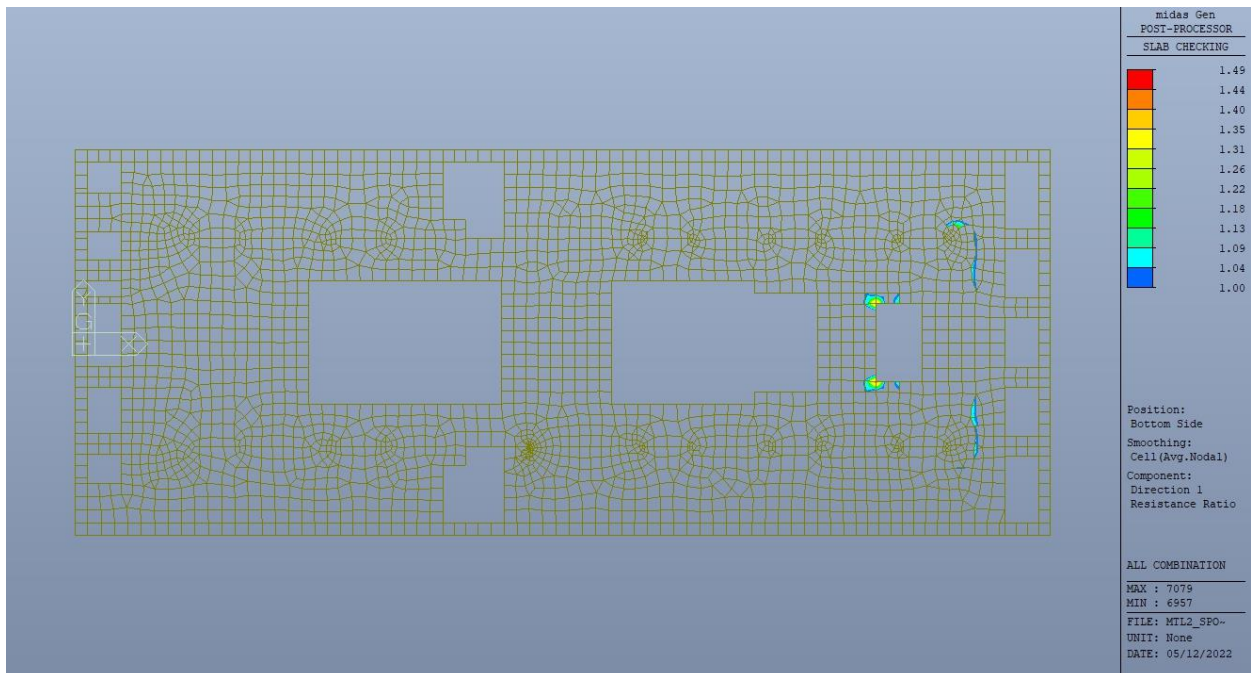


Figura 184. Piano mezzanino (-2) – Tasso di lavoro faccia inferiore – Direzione D1 – Zone > 1



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

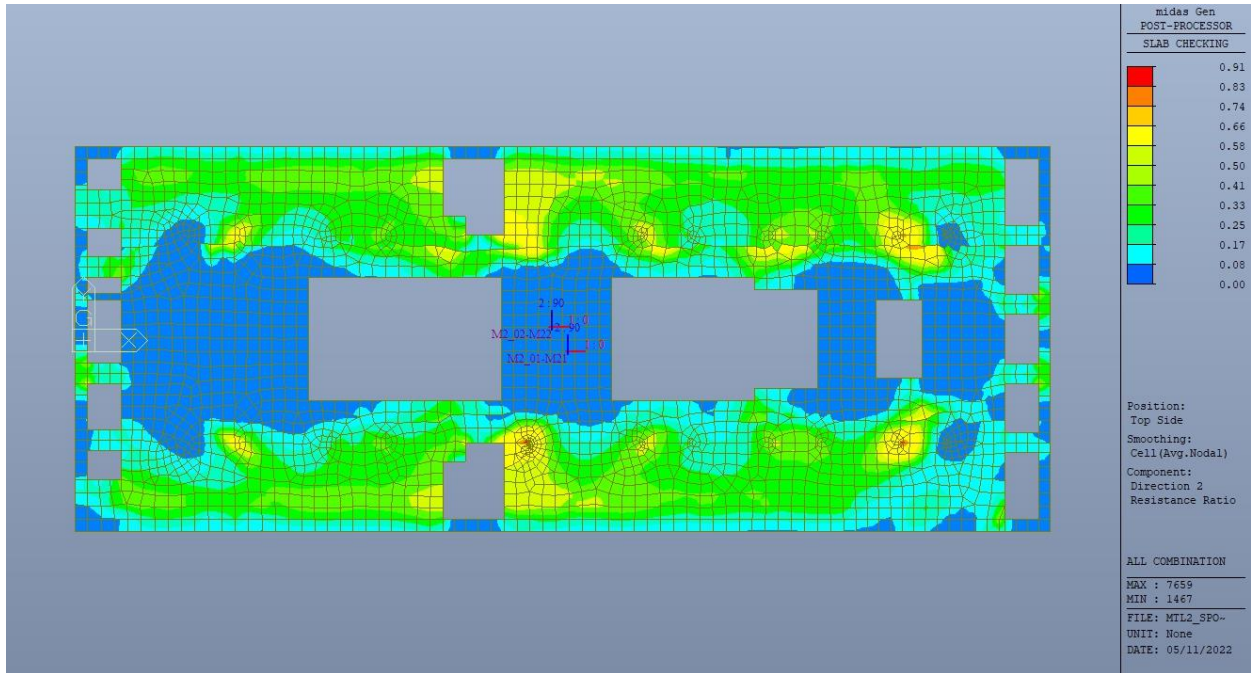


Figura 185. Piano mezzanino (-2) – Tasso di lavoro faccia superiore – Direzione D2



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

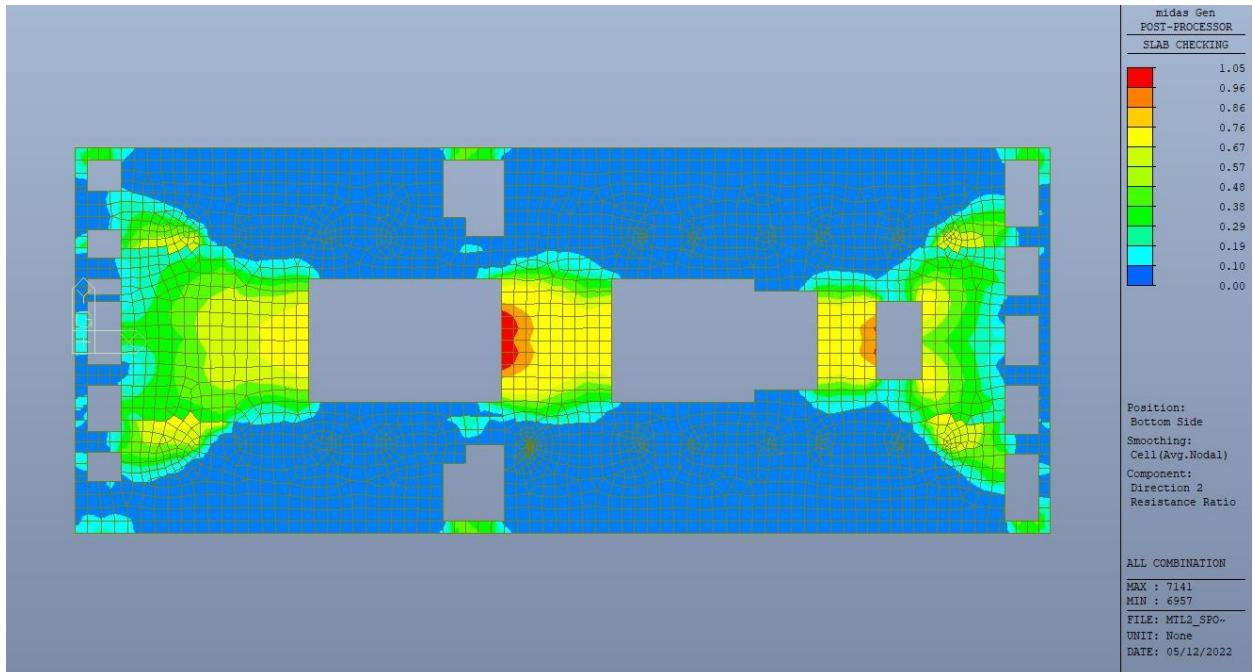


Figura 186. Piano mezzanino (-2) – Tasso di lavoro faccia inferiore – Direzione D2

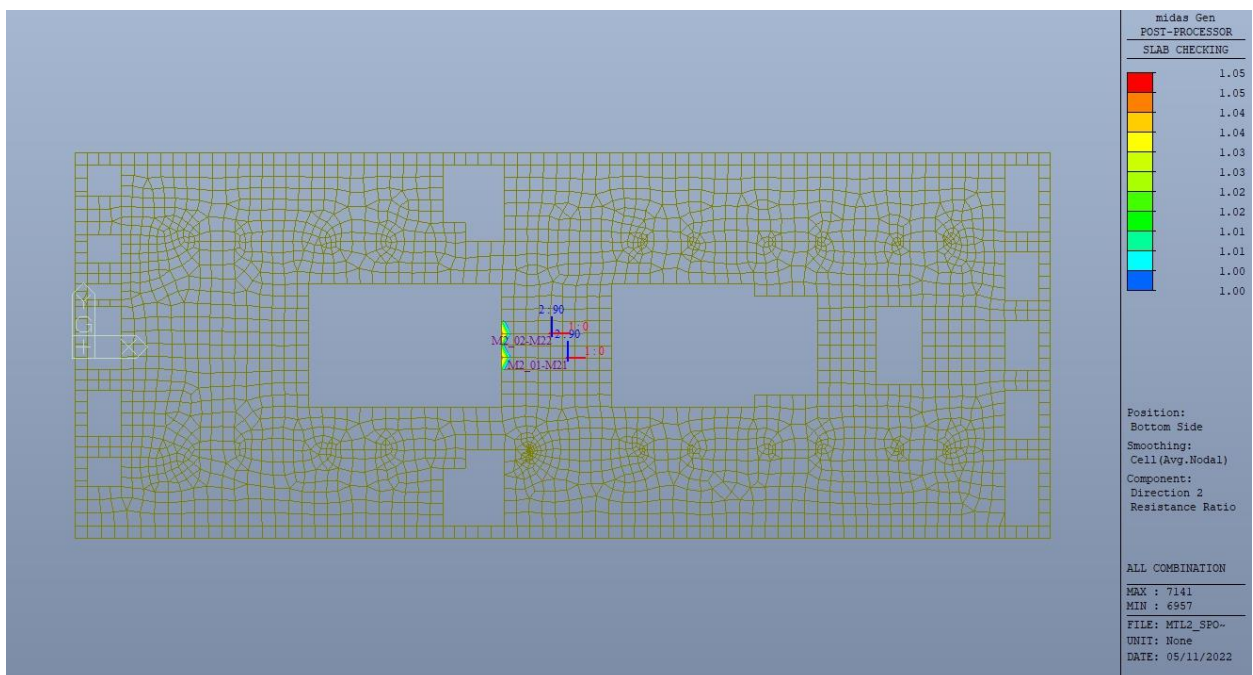


Figura 187. Piano mezzanino (-2) – Tasso di lavoro faccia inferiore – Direzione D2 – Zone > 1

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

Per entrambe le direzioni, le zone con tasso di lavoro superiore all'unità sono localizzate e in numero ridotto rispetto alla totalità degli elementi, si può considerare la verifica soddisfatta.

Resistenza a taglio di progetto in direzione X e Y – valore per unità di lunghezza.

**Tabella 33. Verifica taglio – Piano mezzanino (-2)**

CLS	C30/37		tipologia calcestruzzo
Acciaio	B450C		tipologia acciaio
$f_{yk}$	450	N/mm <sup>2</sup>	valore caratteristico della resistenza a trazione acciaio
$f_{ck}$	30.71	N/mm <sup>2</sup>	valore caratteristico della resistenza a compressione del cls
$\gamma_c$	1.5		coefficiente di sicurezza
c	100	mm	copriferro
d	900	mm	altezza utile sezione
k	1.47		
$\rho_1$	0.20%		rapporto geometrico di armatura longitudinale
$v_{min}$	0.346		
$V_{Rd}$	291.45	kN	
$V_{Rd,min}$	311.56	kN	
<b><math>V_{Rd,c}</math></b>	<b>311.56</b>	<b>kN</b>	resistenza a taglio NO armatura
NB	4		numero bracci
D	20	mm	diametro armatura a taglio
$A_b$	3.14	cm <sup>2</sup>	area barra armatura a taglio
$A_{st}$	12.56	cm <sup>2</sup>	area complessiva staffe
st	200	mm	passo staffe
$\gamma_s$	1.15		
$\alpha$	90	°	
cotg teta	1		
$V_{Rsd}$	1990.49	kN	resistenza di progetto a taglio - lato acciaio
$\alpha_c$	1		
v	0.5		
$f_{cd}$	17.40	N/mm <sup>2</sup>	
$V_{Rcd}$	3523.97	kN	resistenza di progetto a taglio - lato calcestruzzo
<b><math>VRd</math></b>	<b>1990.49</b>	<b>kN</b>	resistenza a taglio CON armatura

Come riportato dalle immagini successive, le zone in cui la resistenza di progetto a taglio per elementi con armatura dedicata è inferiore al taglio agente sono localizzate e in numero ridotto rispetto alla totalità degli elementi, si può considerare la verifica soddisfatta per entrambe le direzioni.





CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

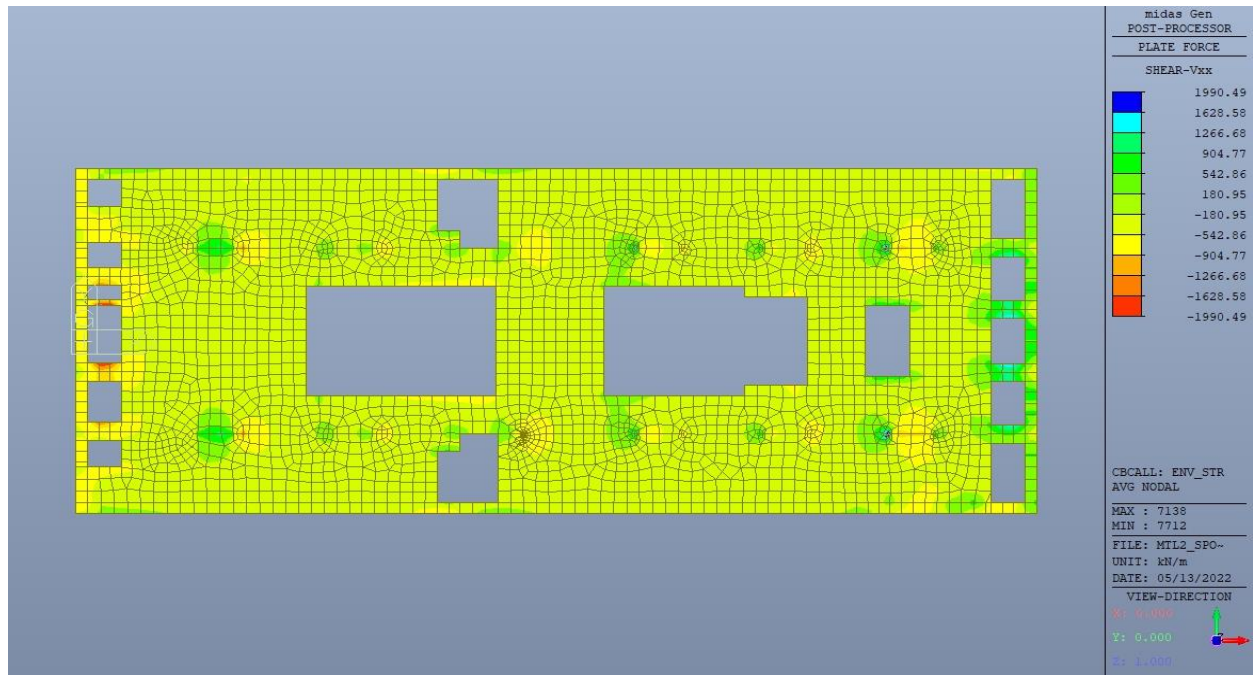


Figura 188. Piano mezzanino (-2) – Resistenza a taglio Direzione X

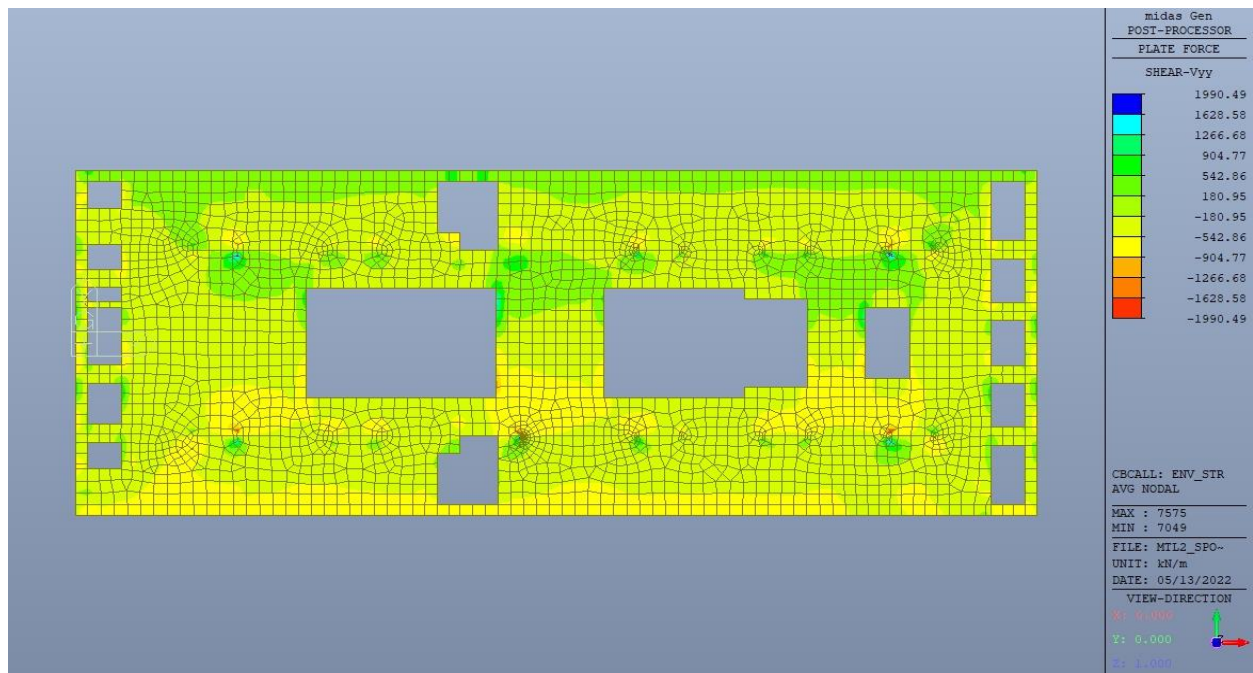


Figura 189. Piano mezzanino (-2) – Resistenza a taglio Direzione Y



## 14.2 Verifica Stati Limite di Esercizio - SLE

Si deve verificare il rispetto dei seguenti stati limite:

- deformazione;
- fessurazione;
- limitazione delle tensioni di esercizio.

### 14.2.1 Stato limite di deformazione

I limiti di deformabilità devono essere congruenti con le prestazioni richieste alla struttura anche in relazione alla destinazione d'uso, con riferimento alle esigenze statiche, funzionali ed estetiche.

Si può considerare la deformazione massima a pieno carico pari a 1/250 della luce di calcolo.

$L = 28.60 \text{ m}$  (tra diaframmi esterni)

$$\delta_{\max} = 114.4\text{mm}$$

Di seguito si riporta la deformata calcolata, a favore di sicurezza, in condizione di creep (effetti a lungo termine dovuti al fluage) con un modulo elastico del cls  $E_c$  ridotto di un valore pari a 2.75.

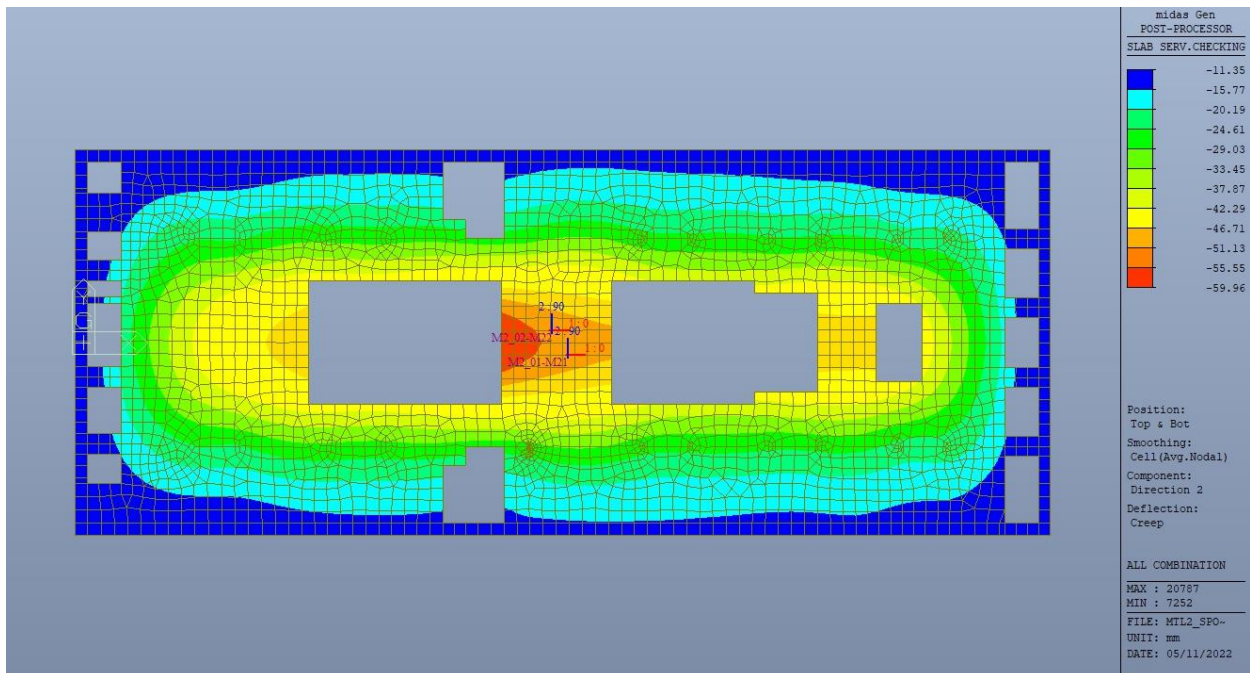


Figura 190. Piano mezzanino (-2) – Massima deformazione

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

Il massimo valore dell'abbassamento relativo in combinazione RARA è pari a 48.61mm, inferiore al valore massimo e compatibile con le prestazioni richieste.

La verifica è soddisfatta.

#### 14.2.2 Stato limite di fessurazione

Ai fini della protezione contro la corrosione delle armature metalliche e della protezione contro il degrado del calcestruzzo, in funzione della classe di esposizione scelta si determina la condizione ambientale:

- ordinarie;
- aggressive;
- molto aggressive.

Stabilito la classe ambientale, in funzione della tipologia di armatura, se sensibile o poco sensibile alla corrosione, si determina il valore limite di apertura delle fessure.

In questo caso:

- classe di esposizione XC3;
- classe ambientale ordinaria;
- armatura poco sensibile;
- valore limite apertura delle fessure  $w_3$  (0.4mm) combinazioni SLE Frequente;
- valore limite apertura delle fessure  $w_2$  (0.3mm) combinazioni SLE Quasi Permanente.

Nelle seguenti immagini vengono riportati il ratio tra il valore di apertura delle fessure e il relativo valore limite nelle due direzioni di armatura; evidenziando, nel caso, le zone con un valore superiore all'unità indicatore che la verifica in oggetto non è soddisfatta.



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

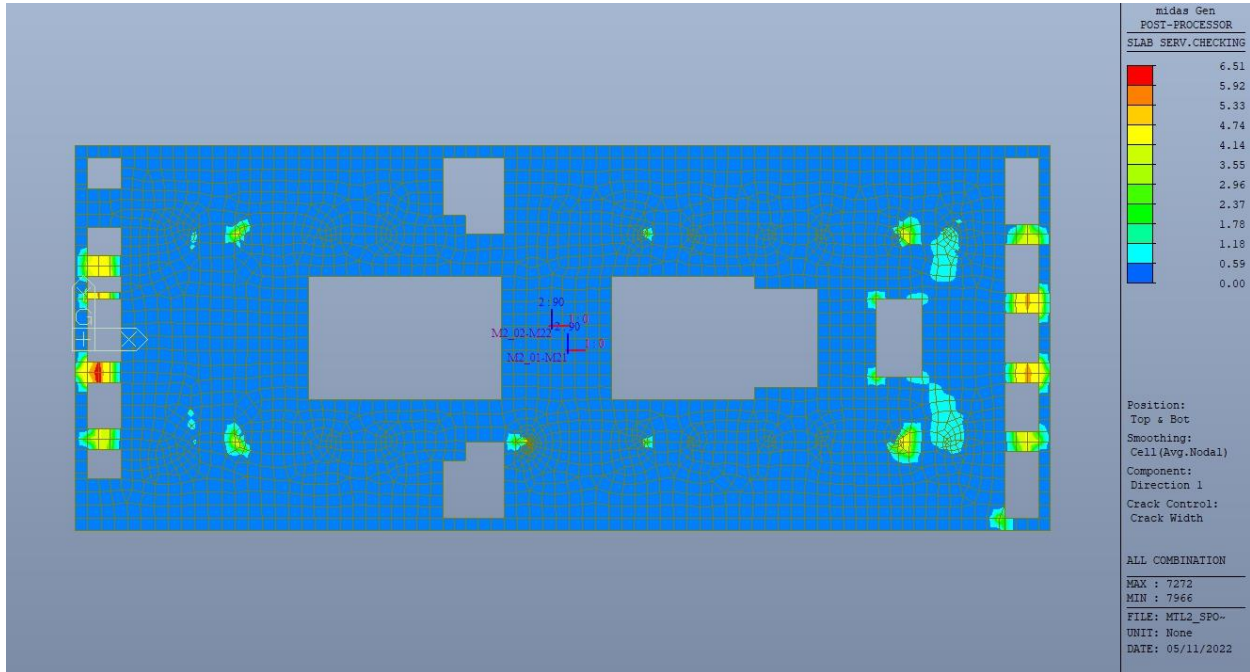


Figura 191. Piano mezzanino (-2) – Apertura delle fessure - Ratio Direzione 1

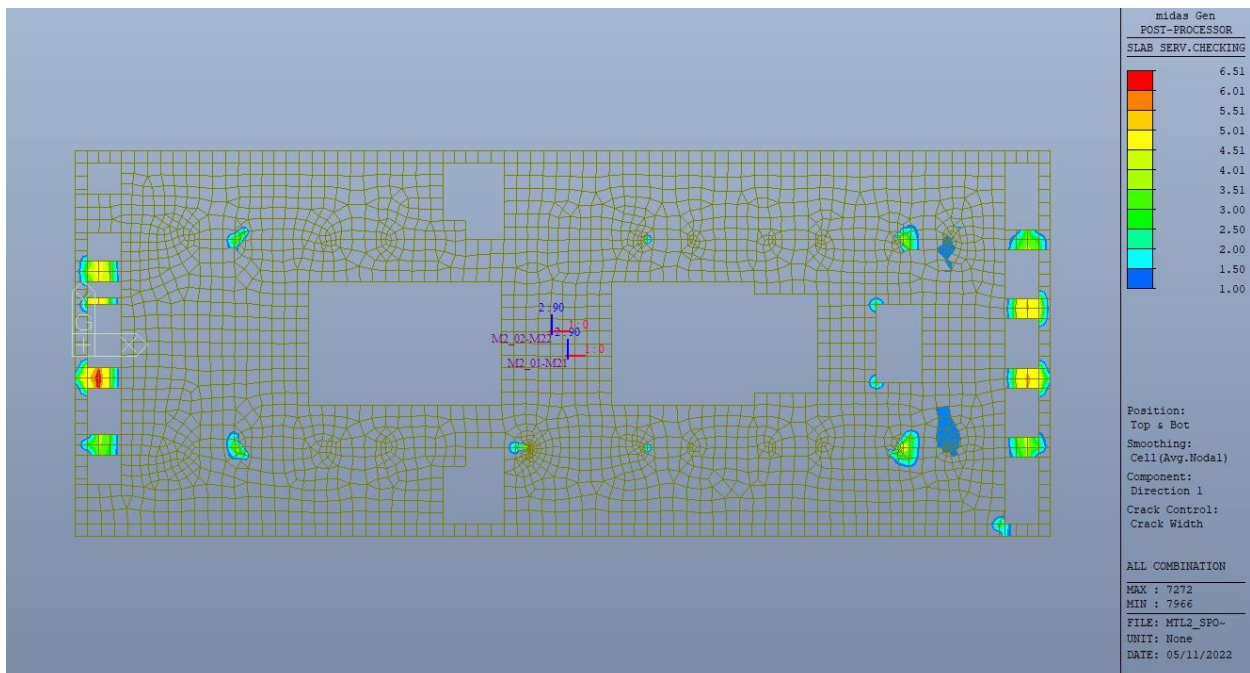


Figura 192. Piano mezzanino (-2) – Apertura delle fessure - Ratio Direzione 1 – Zone > 1



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

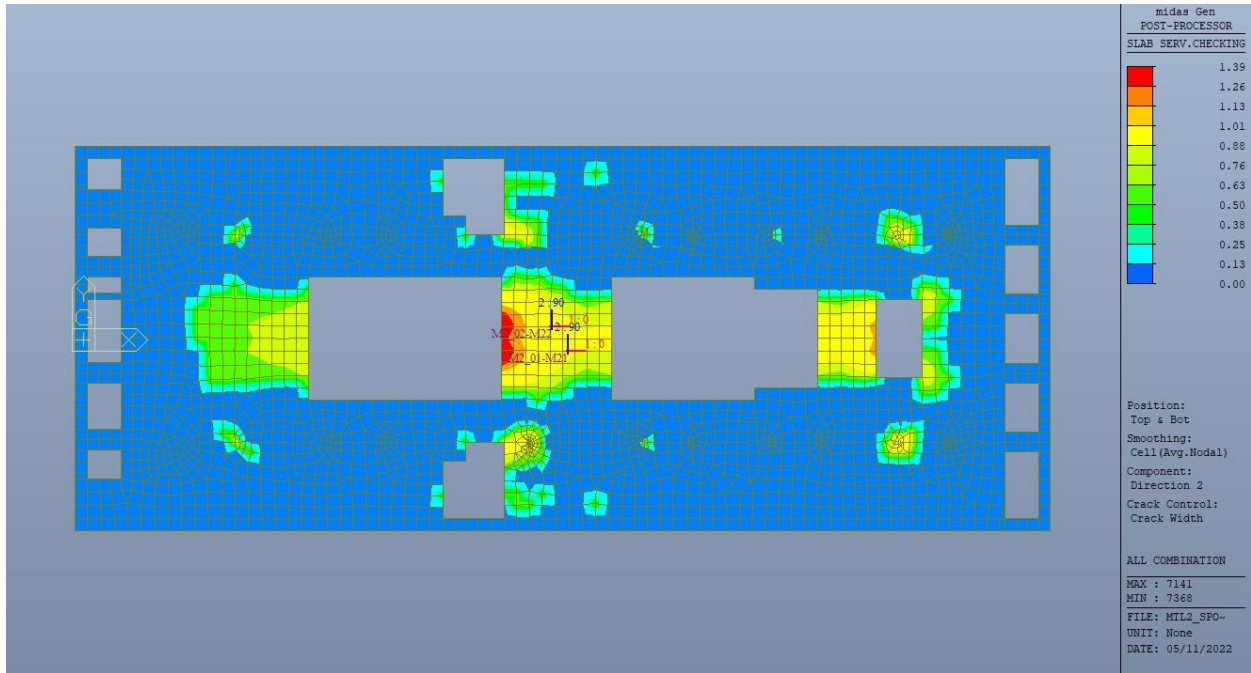


Figura 193. Piano mezzanino (-2) – Apertura delle fessure - Ratio Direzione 2

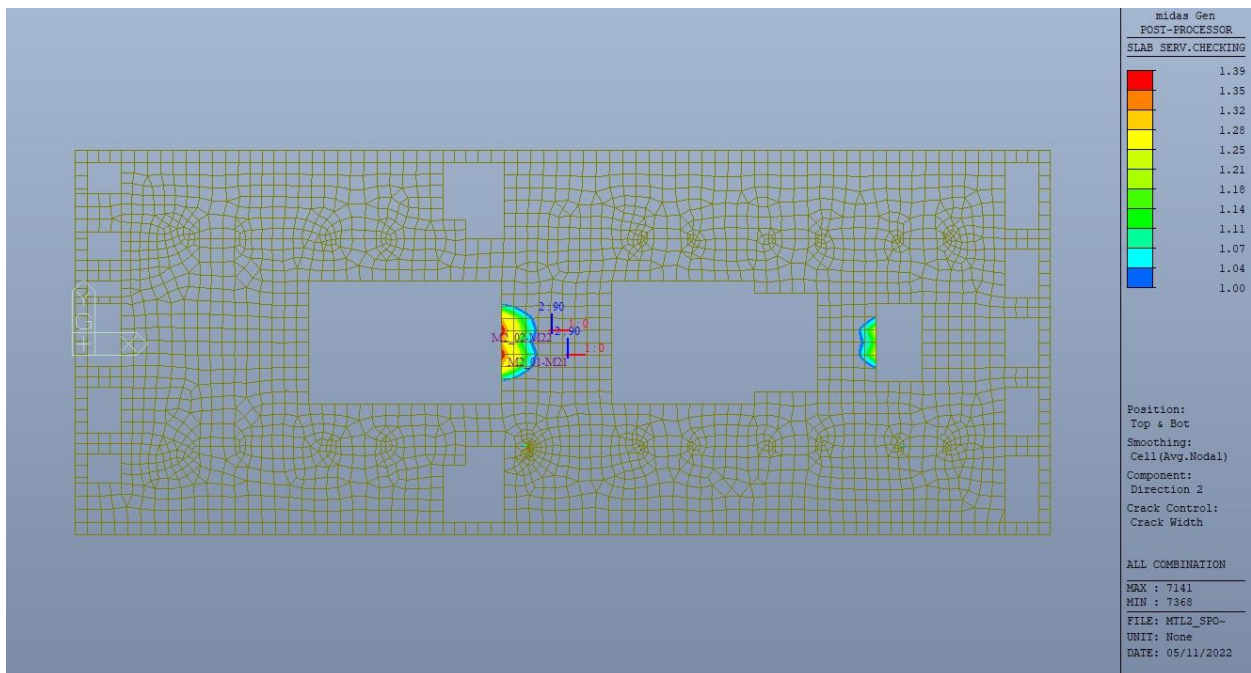



Figura 194. Piano mezzanino (-2) – Apertura delle fessure - Ratio Direzione 2 – Zone > 1

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

Come si evince, le zone in cui il ratio è maggiore di uno, sono localizzate ed in numero limitato rispetto alle dimensioni complessive del solettone; si può ritenere la verifica soddisfatta.

### 14.2.3 Stato limite di limitazione delle tensioni in esercizio

Si deve verificare che nelle varie parti della struttura le massime tensioni, sia nel calcestruzzo sia nelle armature, dovute alle combinazioni caratteristiche e quasi permanente delle azioni siano inferiori ai massimi valori consentiti:

- $\sigma_{c,max} \leq 0.60 f_{ck}$  per la combinazione caratteristica;
- $\sigma_{c,max} \leq 0.45 f_{ck}$  per la combinazione quasi permanente;
- $\sigma_{s,max} \leq 0.80 f_{yk}$  per la combinazione caratteristica.

Nelle seguenti immagini vengono riportati il ratio tra la tensione massima (cls e armatura) e il relativo valore limite nelle due direzioni di armatura; evidenziando, nel caso, le zone con un valore superiore all'unità indicatore che la verifica in oggetto non è soddisfatta.



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

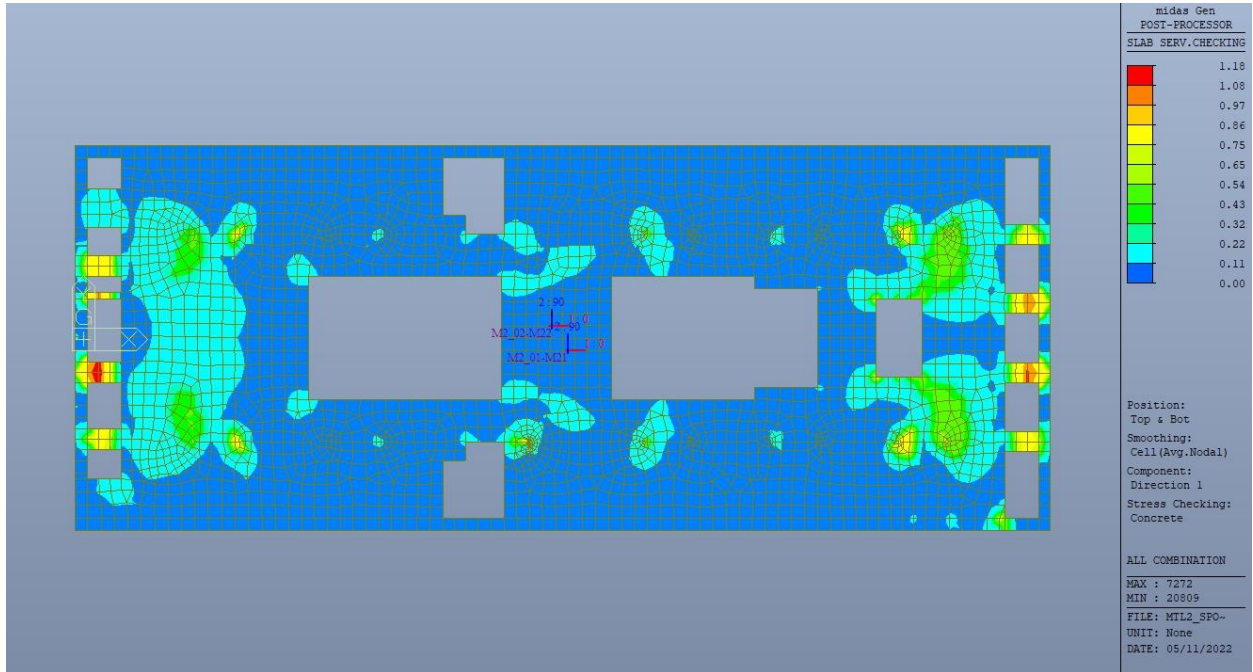


Figura 195. Piano mezzanino (-2) – Tensioni calcestruzzo - Ratio Direzione 1

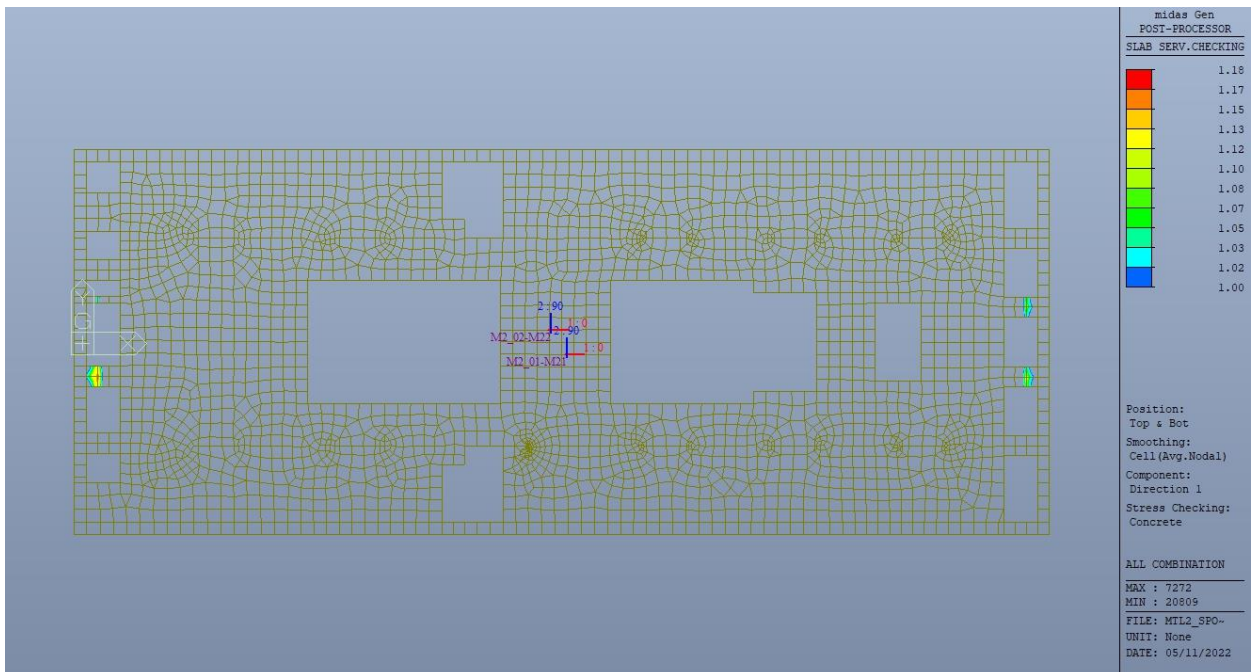


Figura 196. Piano mezzanino (-2) – Tensioni calcestruzzo - Ratio Direzione 1 – Zone > 1



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

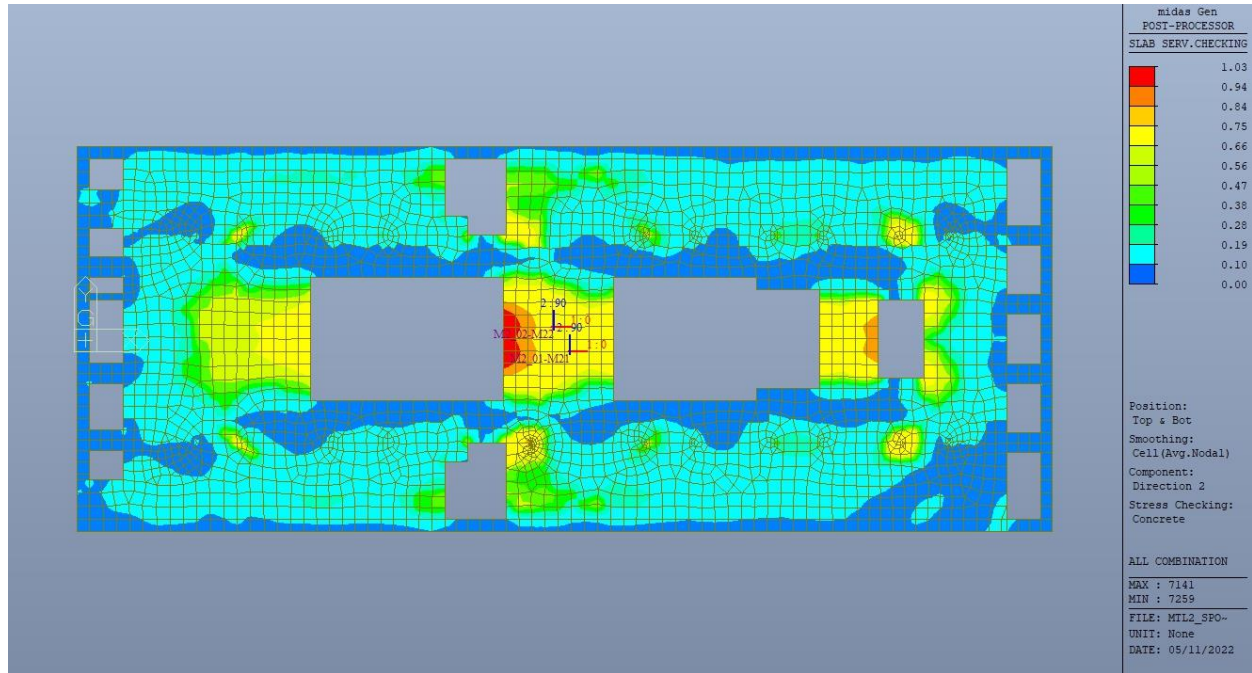


Figura 197. Piano mezzanino (-2) – Tensioni calcestruzzo - Ratio Direzione 2

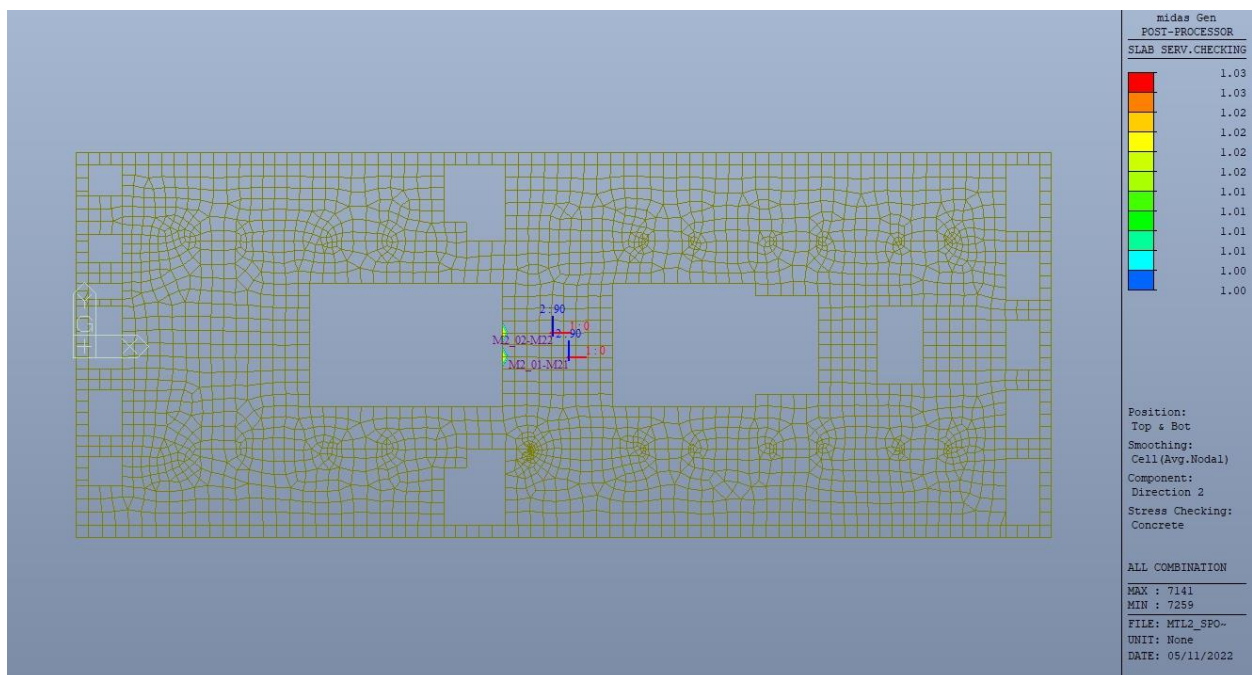


Figura 198. Piano mezzanino (-2) – Tensioni calcestruzzo - Ratio Direzione 2 – Zone > 1





CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

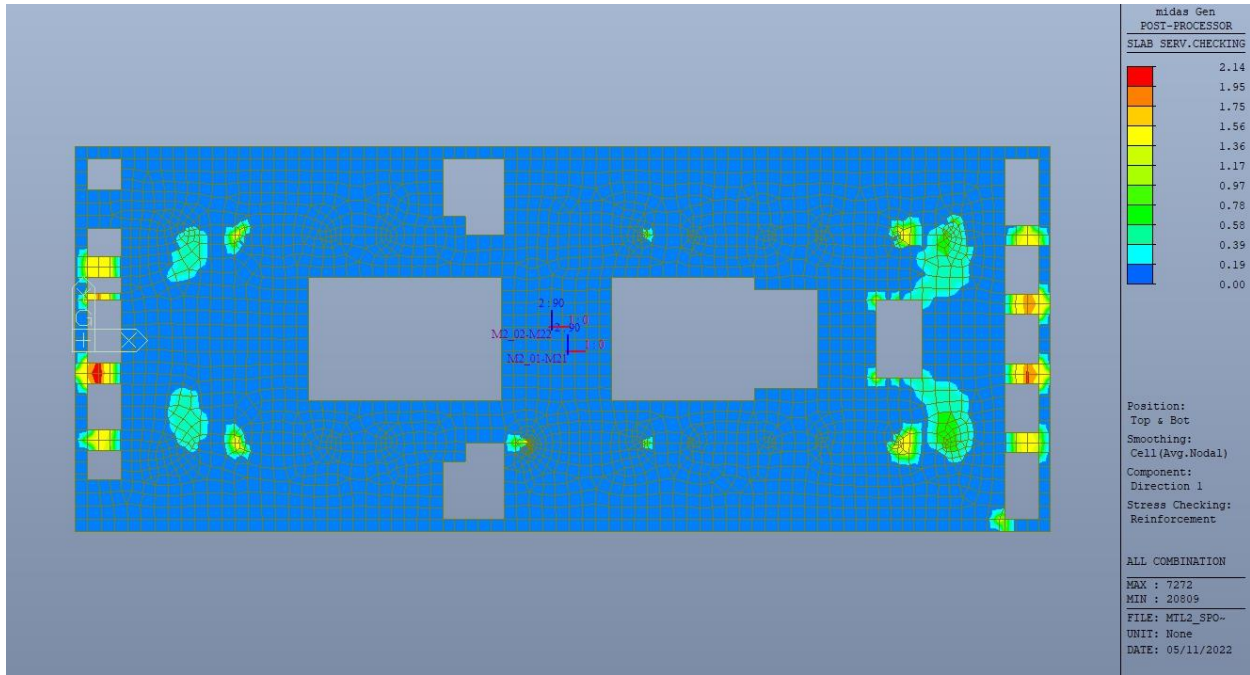


Figura 199. Piano mezzanino (-2) – Tensioni armatura - Ratio Direzione 1

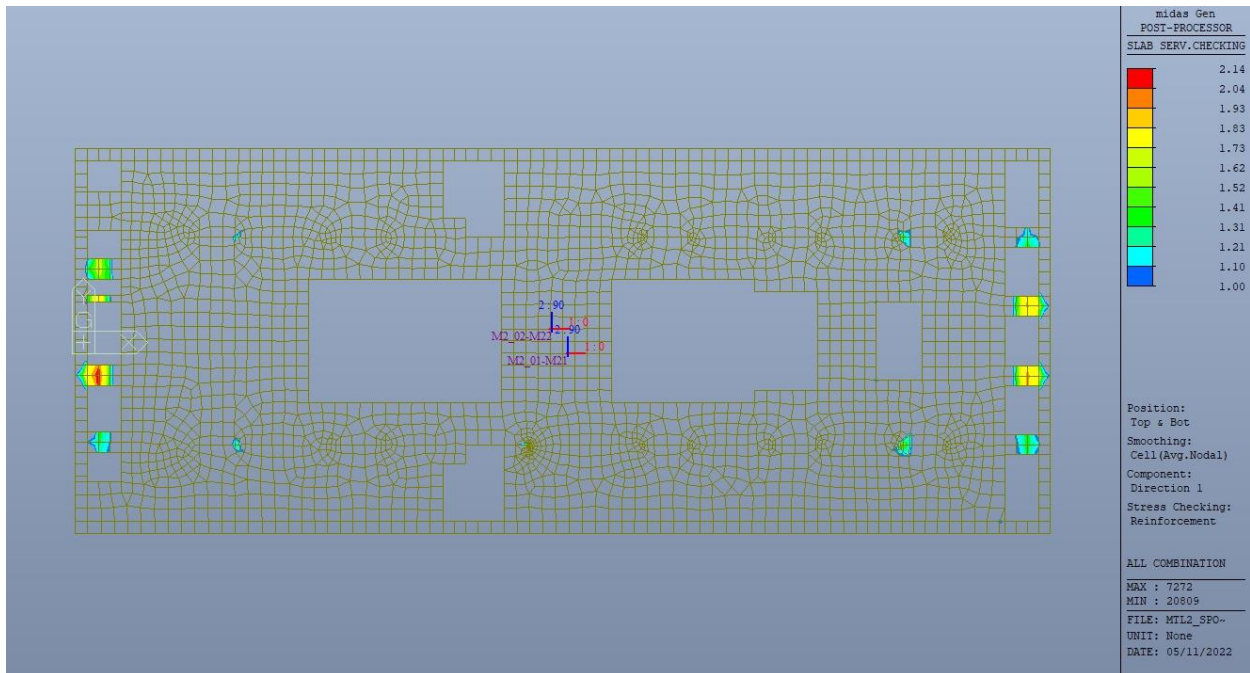


Figura 200. Piano mezzanino (-2) – Tensioni armatura - Ratio Direzione 1 – Zone > 1

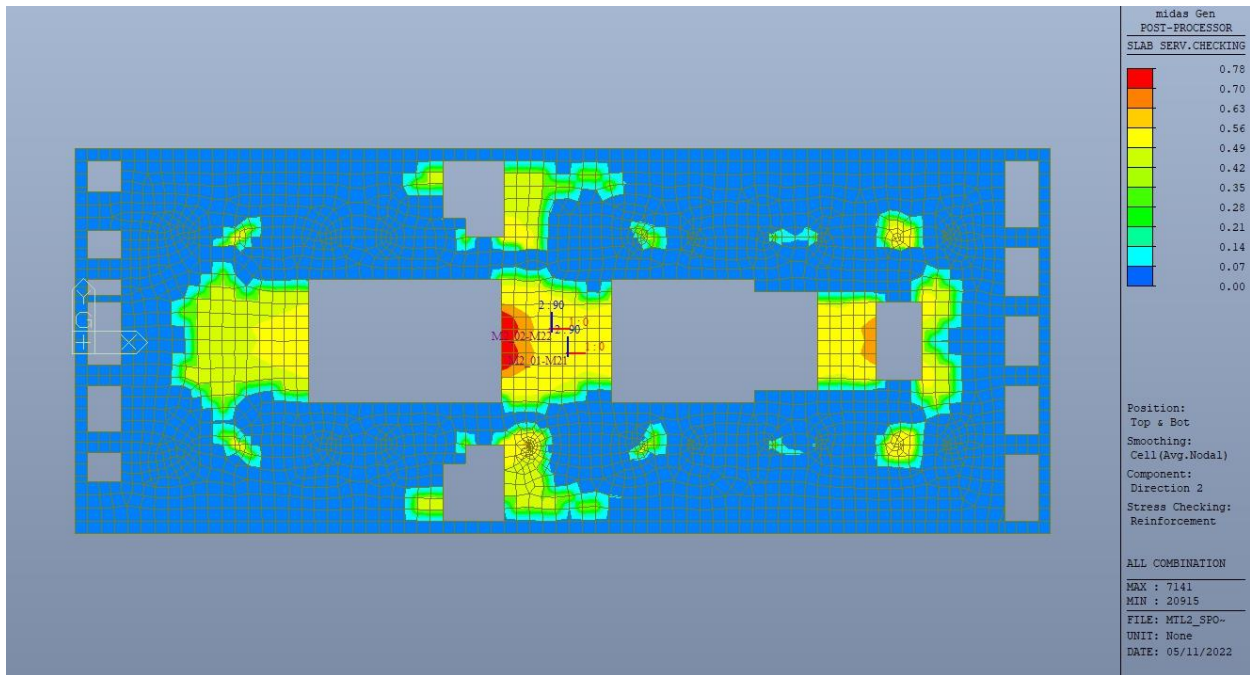


Figura 201. Piano mezzanino (-2) – Tensioni armatura - Ratio Direzione 2

Come si evince, le zone in cui il ratio è maggiore di uno, sono localizzate ed in numero limitato rispetto alle dimensioni della soletta di piano.

Si può ritenere la verifica soddisfatta.

## 15. VERIFICA PIANO MEZZANINO (-3)

### 15.1 Verifica Stati Limite Ultimi – SLU e SLV

Si deve verificare che i singoli elementi strutturali e la struttura nel suo insieme possiedano una capacità in resistenza sufficiente a soddisfare la domanda sia allo SLV che allo SLU.

Nel seguito si riportano sinteticamente i principali risultati delle analisi.

#### 15.1.1 Sollecitazioni

Le immagini successive riportano gli involuipi delle sollecitazioni per gli Stati Limite SLU e SLV nelle due direzioni X e Y.



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

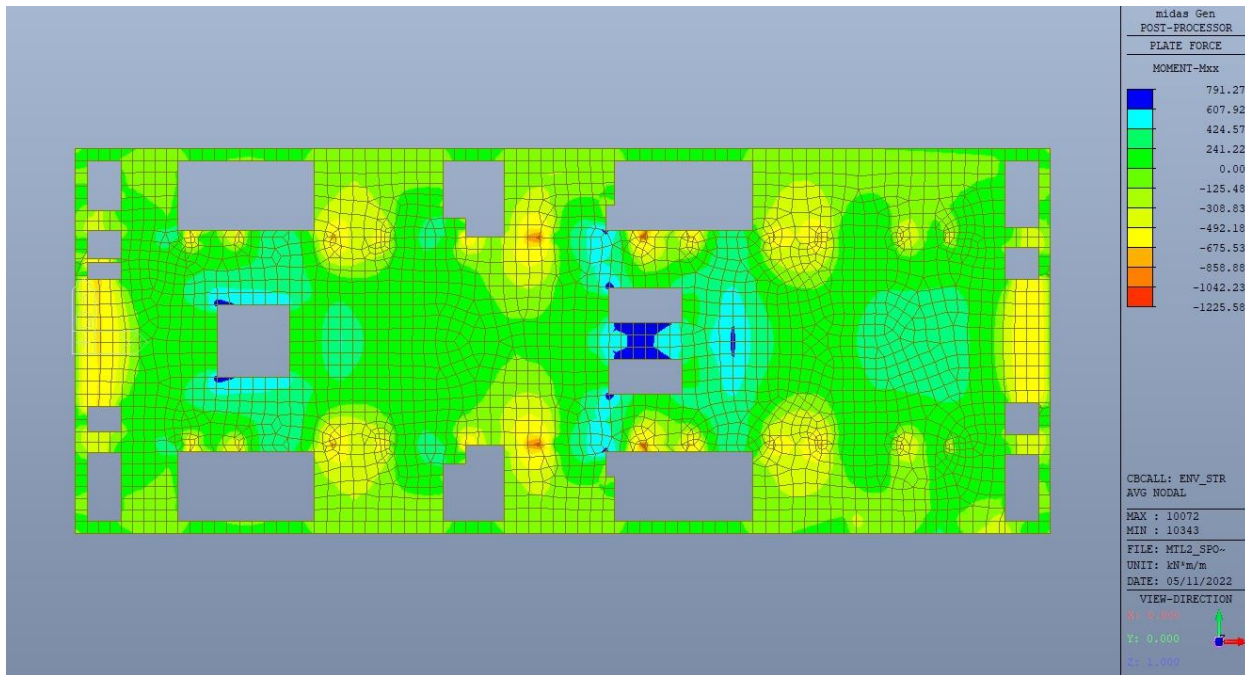


Figura 202. Piano mezzanino (-3) – Inviluppo momento flettente  $M_{xx}$  – Direzione X

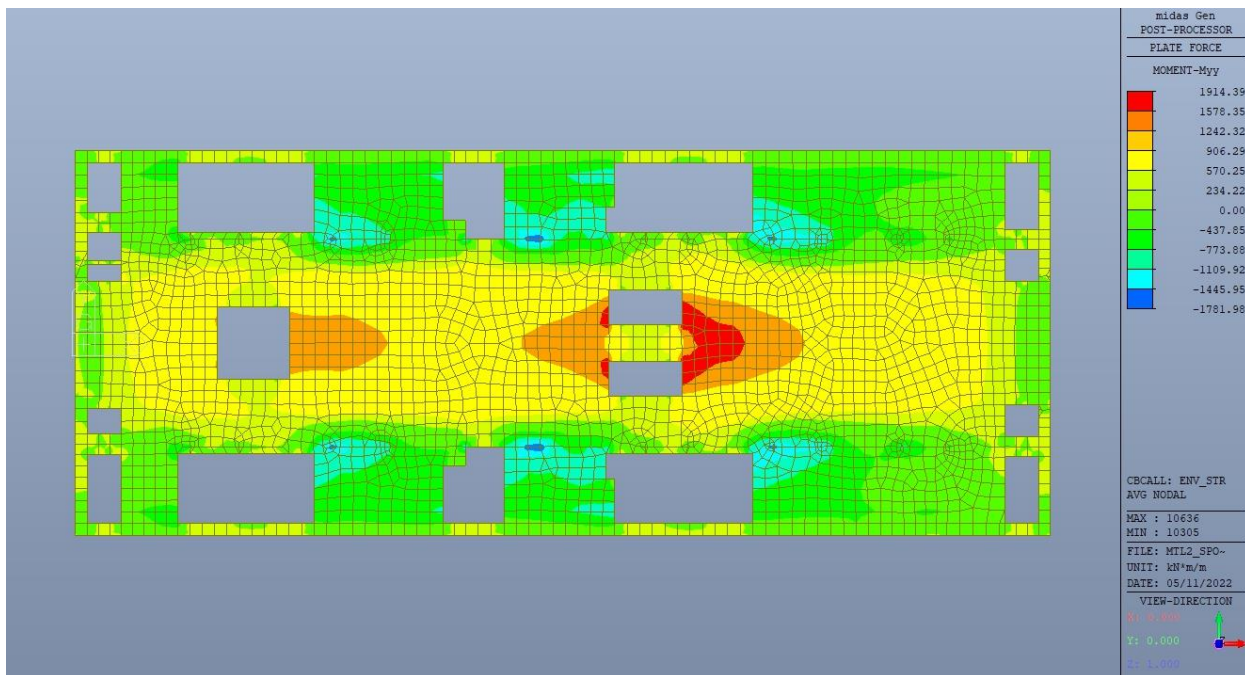


Figura 203. Piano mezzanino (-3) – Inviluppo momento flettente  $M_{yy}$  – Direzione Y

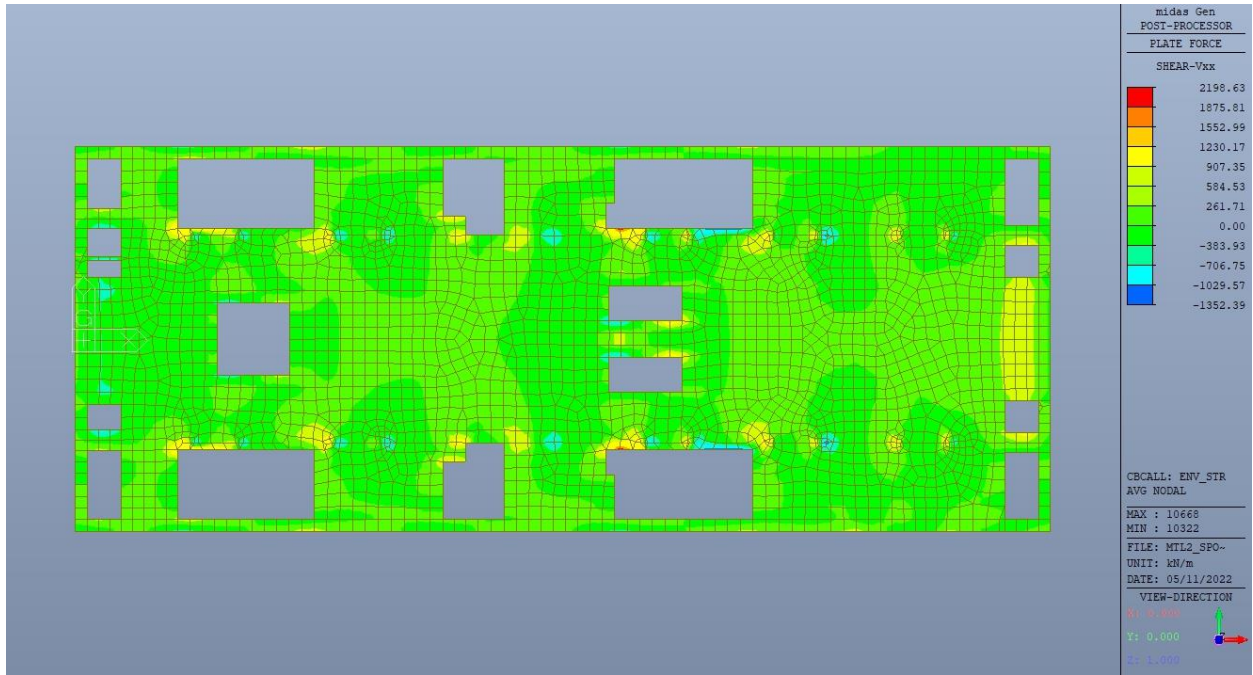


Figura 204. Piano mezzanino (-3) – Involuppo taglio  $V_{xx}$  – Direzione X

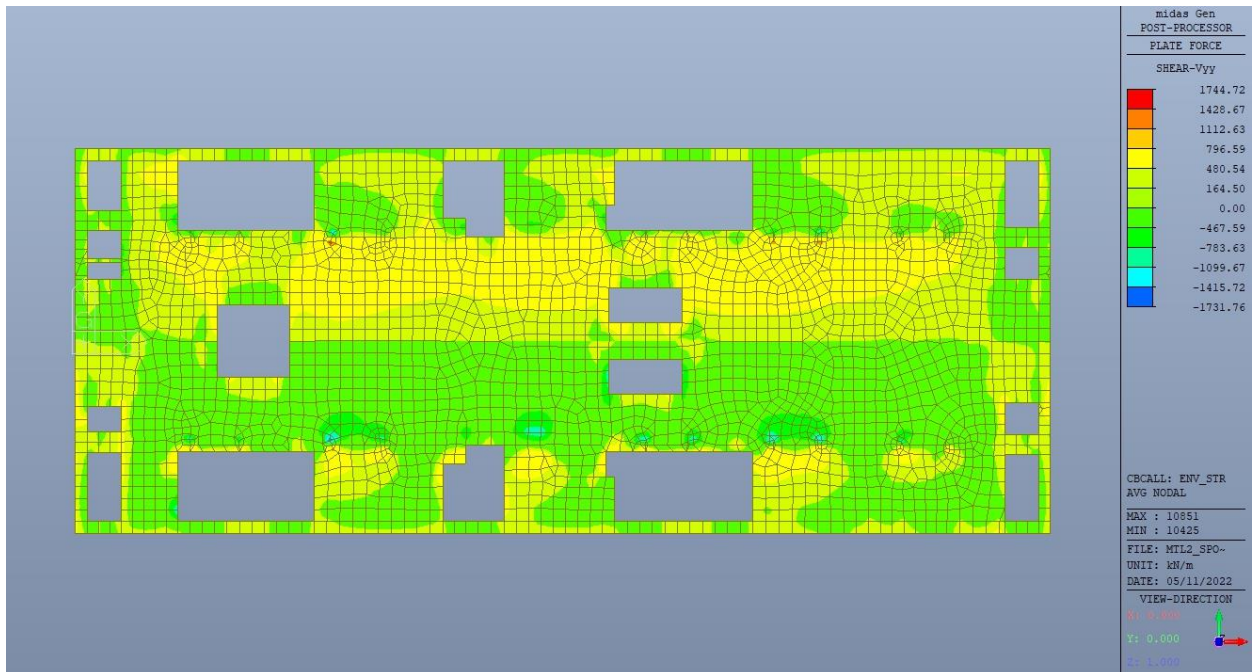


Figura 205. Piano mezzanino (-3) – Involuppo taglio  $V_{yy}$  – Direzione Y



### 15.1.2 Verifiche strutturali

Trattandosi di struttura a comportamento non dissipativo, la capacità delle membrature e dei collegamenti deve essere valutata in accordo con le regole di cui al par. 4.1 delle citate norme, senza nessun requisito aggiuntivo.

Come valore minimo dell'armatura longitudinale si è considerato quanto riportato nel par. 4.1.6 delle NTC2018, ossia il quantitativo minimo riportato per le travi pari a

$$A_{s,min} = 0.26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot h$$

dove:

- $f_{ctm}$  è il valore medio della resistenza a trazione del cls;
- $f_{yk}$  è il valore caratteristico della resistenza a trazione dell'armatura;
- $b_t$  è la larghezza media della zona tesa;
- $h$  è l'altezza della sezione.

**Tabella 34. Armatura minima**

				D1 - TOP			D1 - BOTTOM		
Tipologia	b [cm]	h [cm]	A <sub>c</sub> [cm <sup>2</sup> ]	A <sub>s</sub> [cm <sup>2</sup> ]	A <sub>smin</sub> [cm <sup>2</sup> ]	CK	A <sub>s</sub> [cm <sup>2</sup> ]	A <sub>smin</sub> [cm <sup>2</sup> ]	CK
Solettone H100	100	100	10000	18.08	16.73	OK	18.08	16.73	OK
				D2 - TOP			D2 - BOTTOM		
Tipologia	b [cm]	h [cm]	A <sub>c</sub> [cm <sup>2</sup> ]	A <sub>s</sub> [cm <sup>2</sup> ]	A <sub>smin</sub> [cm <sup>2</sup> ]	CK	A <sub>s</sub> [cm <sup>2</sup> ]	A <sub>smin</sub> [cm <sup>2</sup> ]	CK
Solettone H100	100	100	10000	22.6	16.73	OK	22.6	16.73	OK

Nelle immagini seguenti sono riportate le armature superiori e inferiori nelle due direzioni D1 e D2.



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

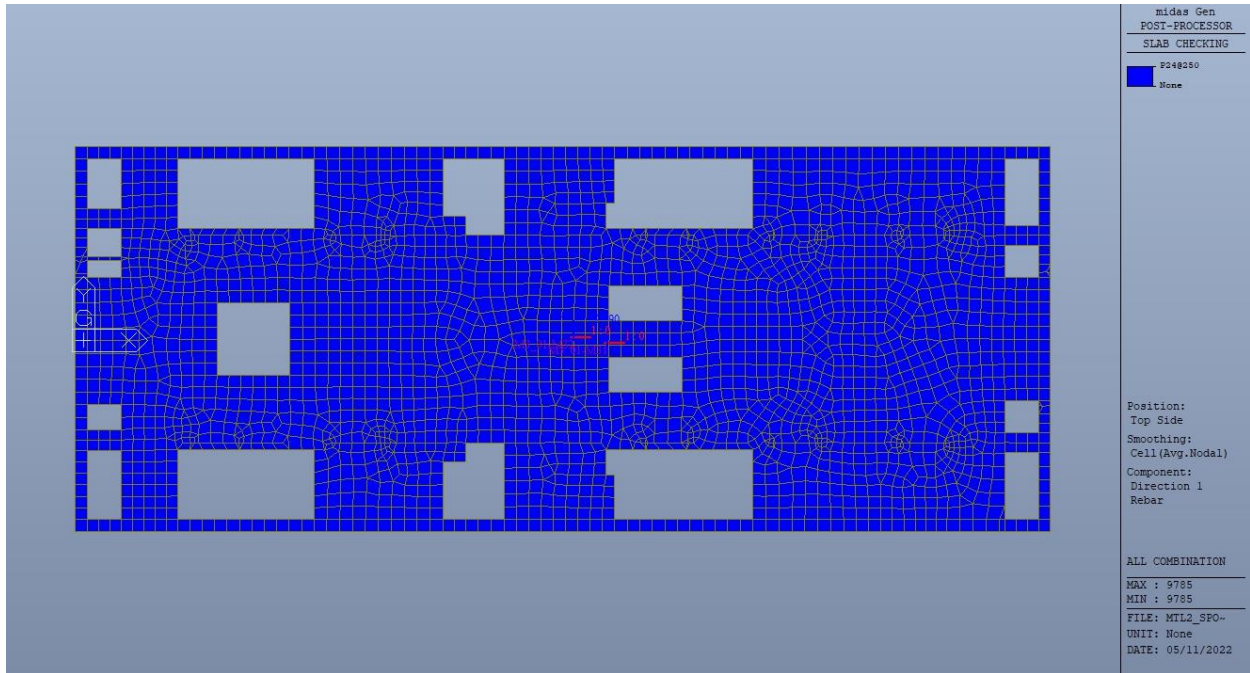


Figura 206. Piano mezzanino (-3) – Armatura superiore direzione D1

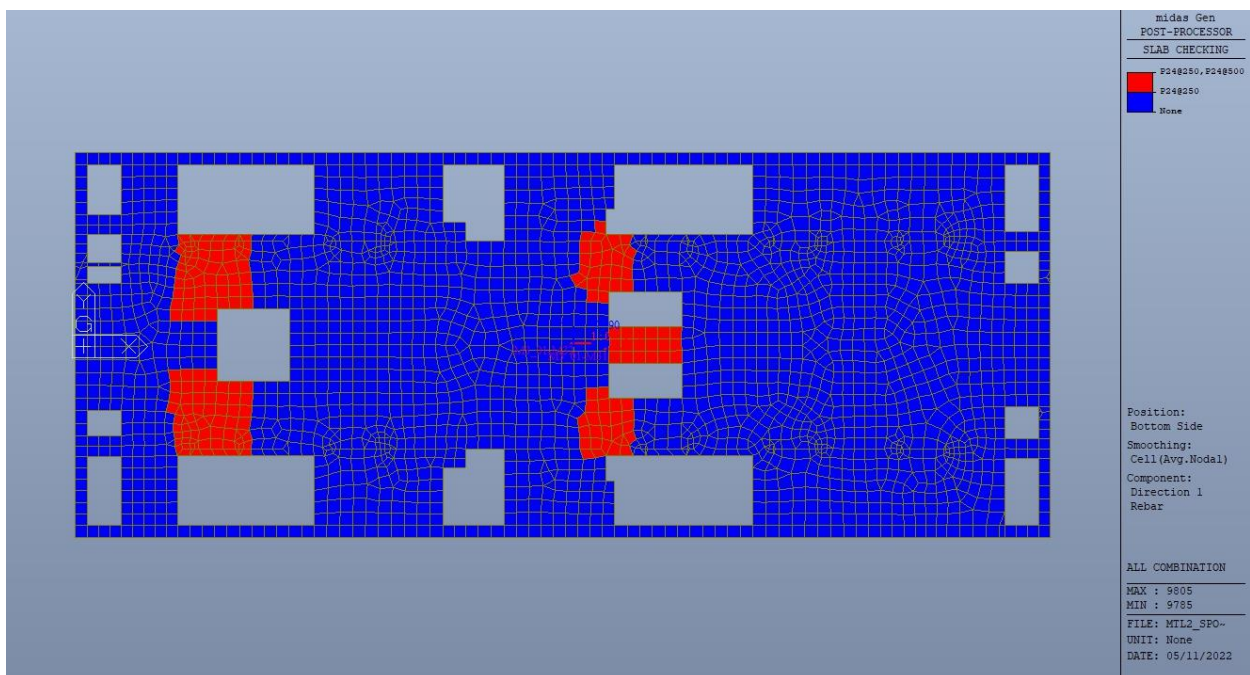


Figura 207. Piano mezzanino (-3) – Armatura inferiore direzione D1



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

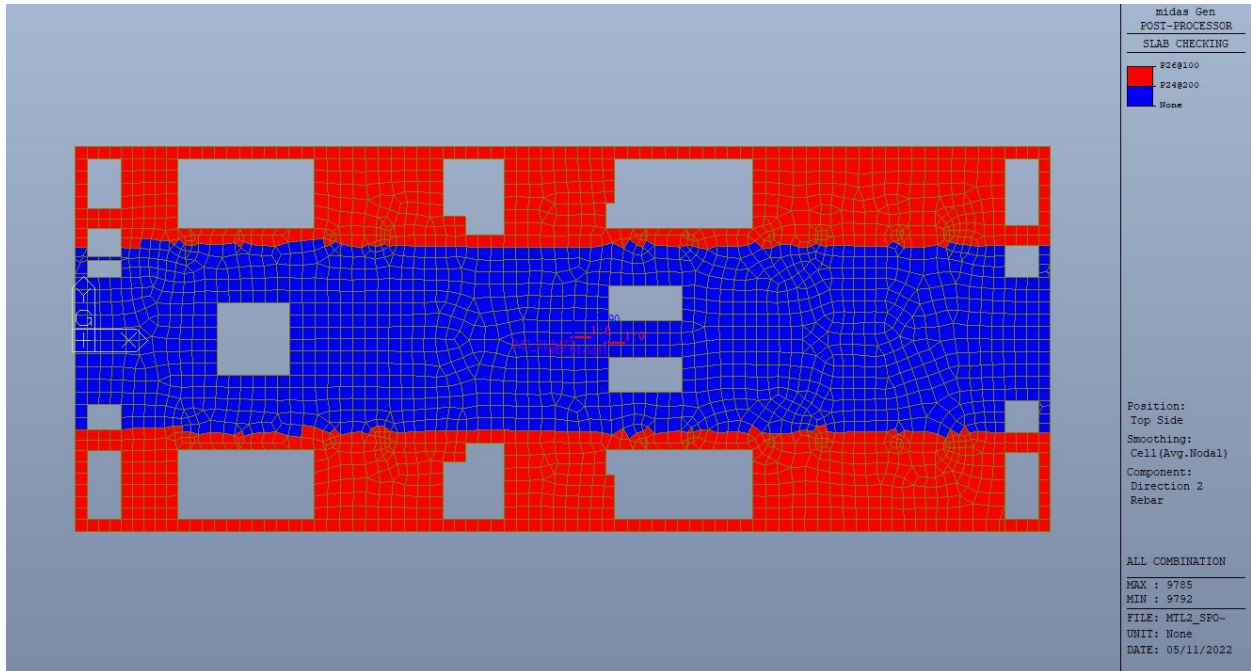


Figura 208. Piano mezzanino (-3) – Armatura superiore direzione D2

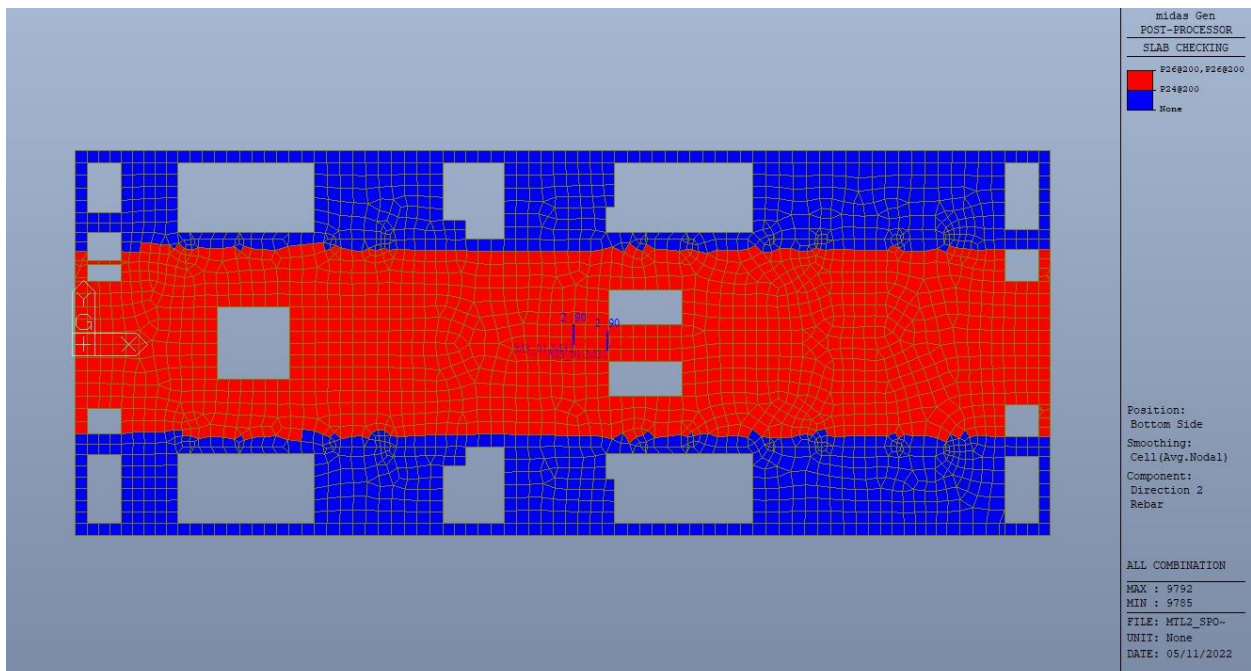


Figura 209. Piano mezzanino (-3) – Armatura inferiore direzione D2

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

Nelle seguenti immagini vengono riportati i massimi tassi di lavoro a flessione e taglio dei singoli elementi strutturali nelle due direzioni D1 e D2 evidenziando, nel caso, quelli con un valore superiore all'unità indicatore che la verifica in oggetto non è soddisfatta.





CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

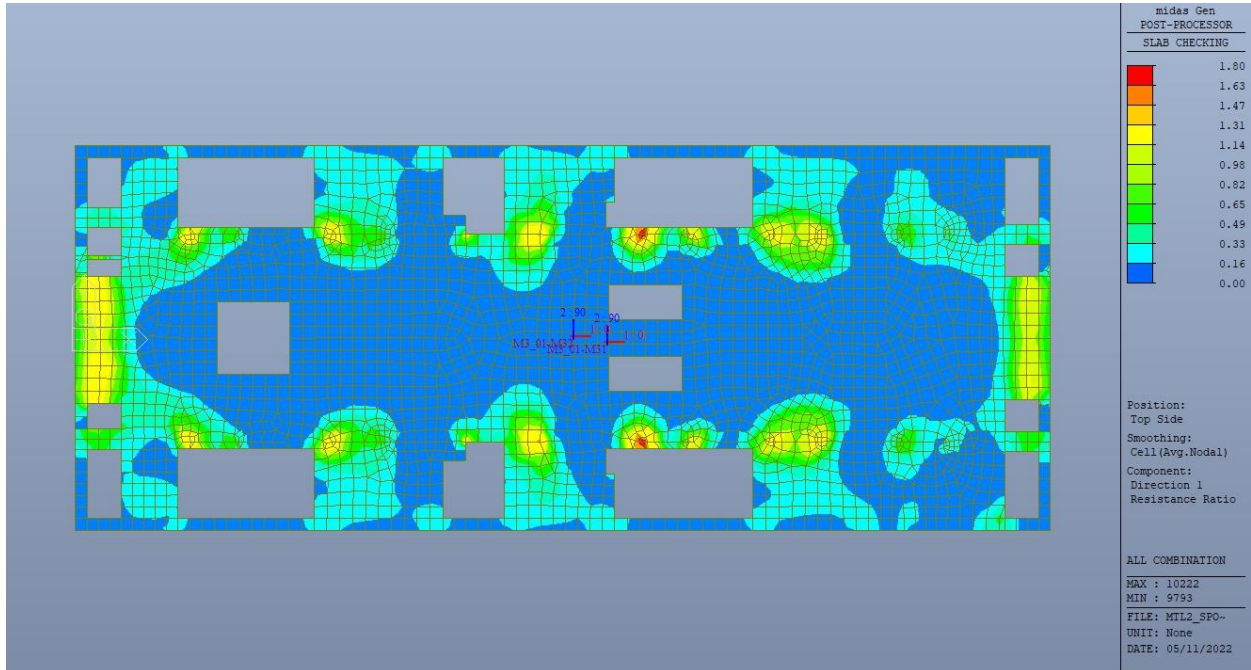


Figura 210. Piano mezzanino (-3) – Tasso di lavoro faccia superiore – Direzione D1

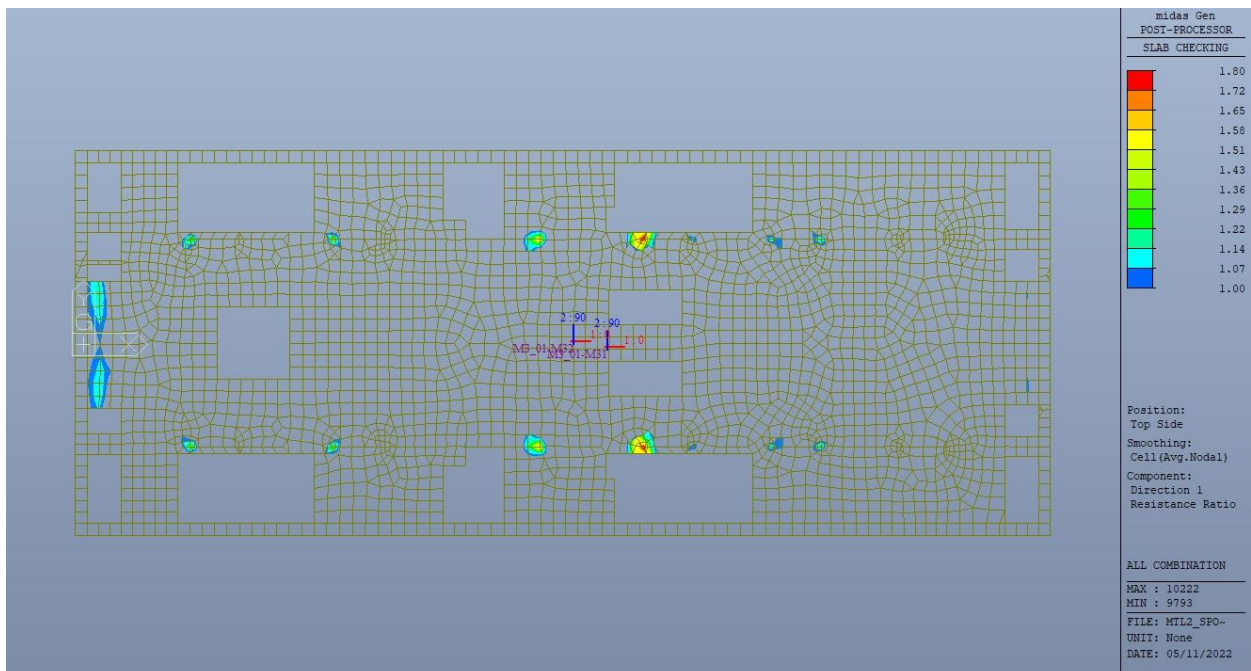


Figura 211. Piano mezzanino (-3) – Tasso di lavoro faccia superiore – Direzione D1 – Zone > 1



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

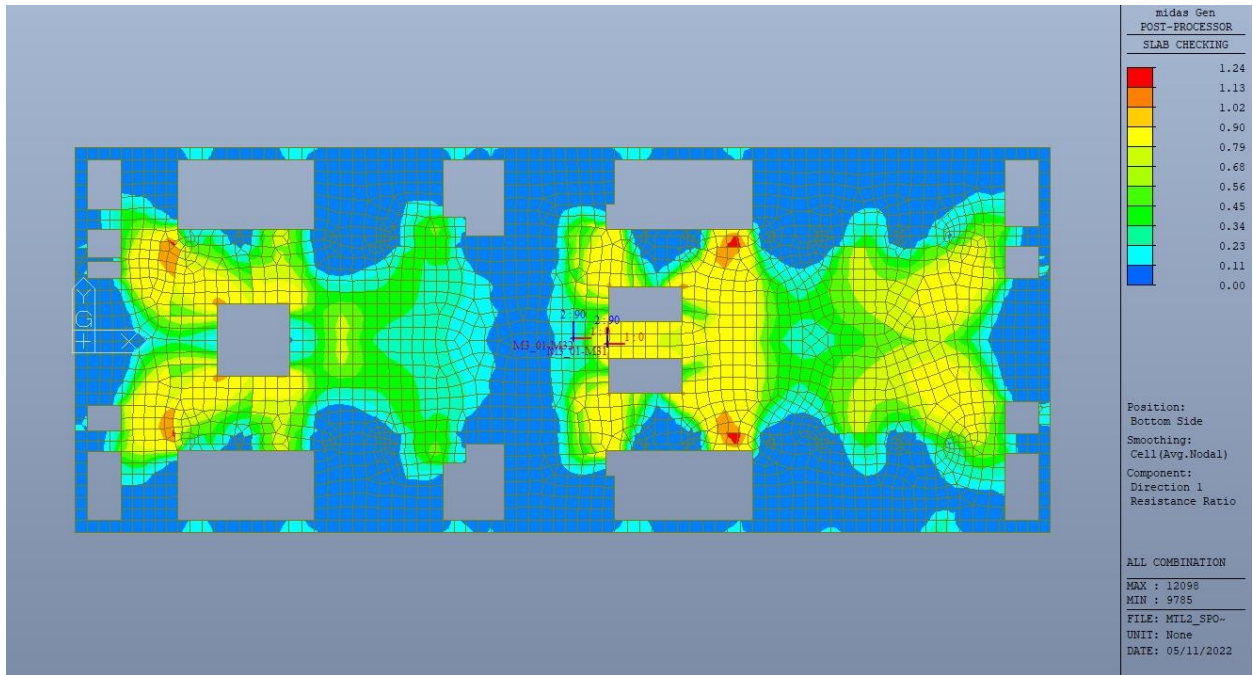


Figura 212. Piano mezzanino (-3) – Tasso di lavoro faccia inferiore – Direzione D1

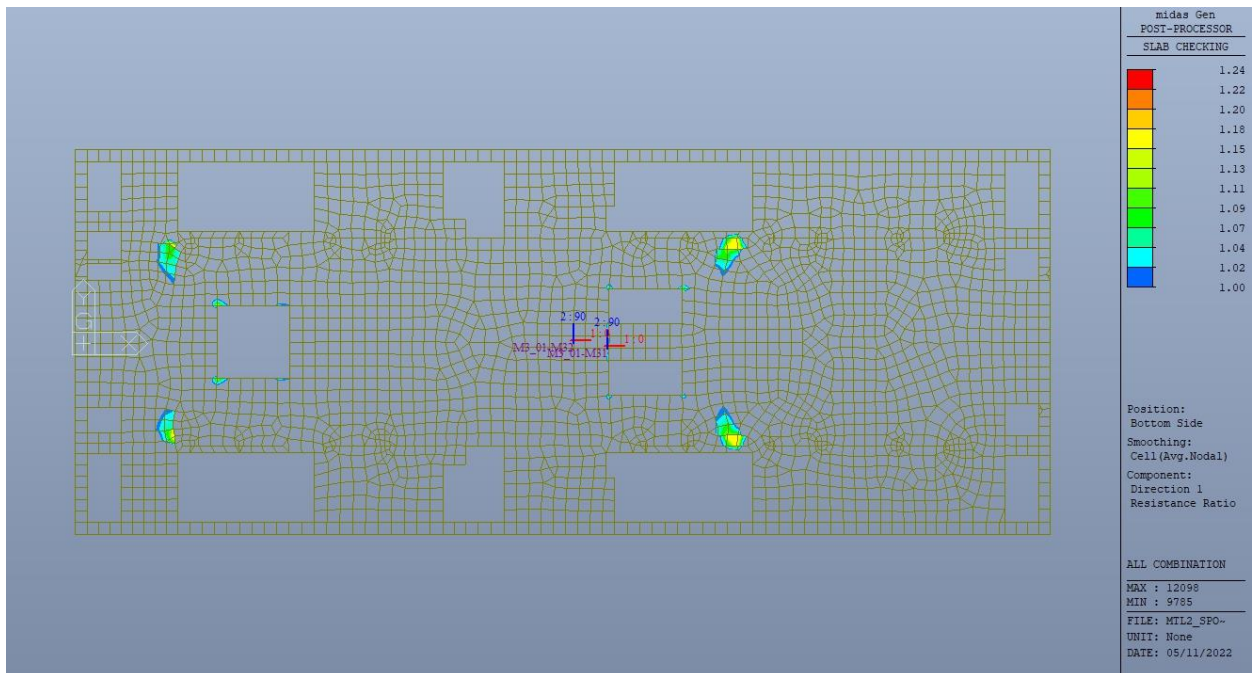


Figura 213. Piano mezzanino (-3) – Tasso di lavoro faccia inferiore – Direzione D1 – Zone > 1



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

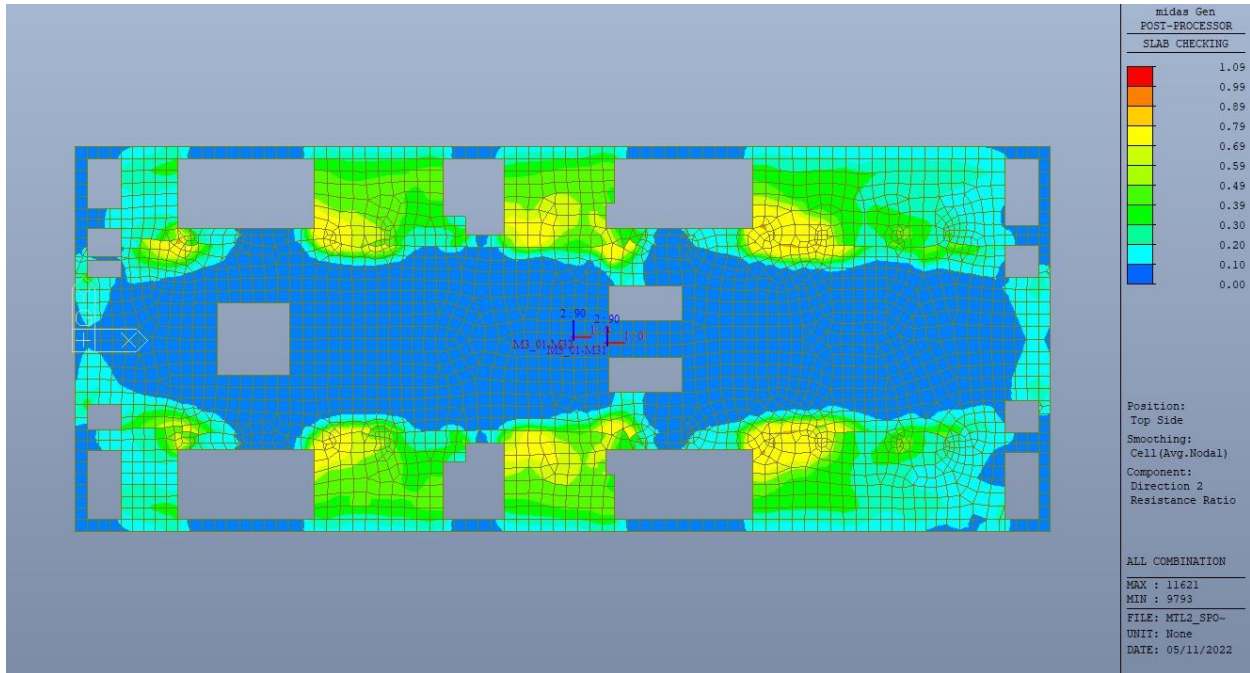


Figura 214. Piano mezzanino (-2) – Tasso di lavoro faccia superiore – Direzione D2

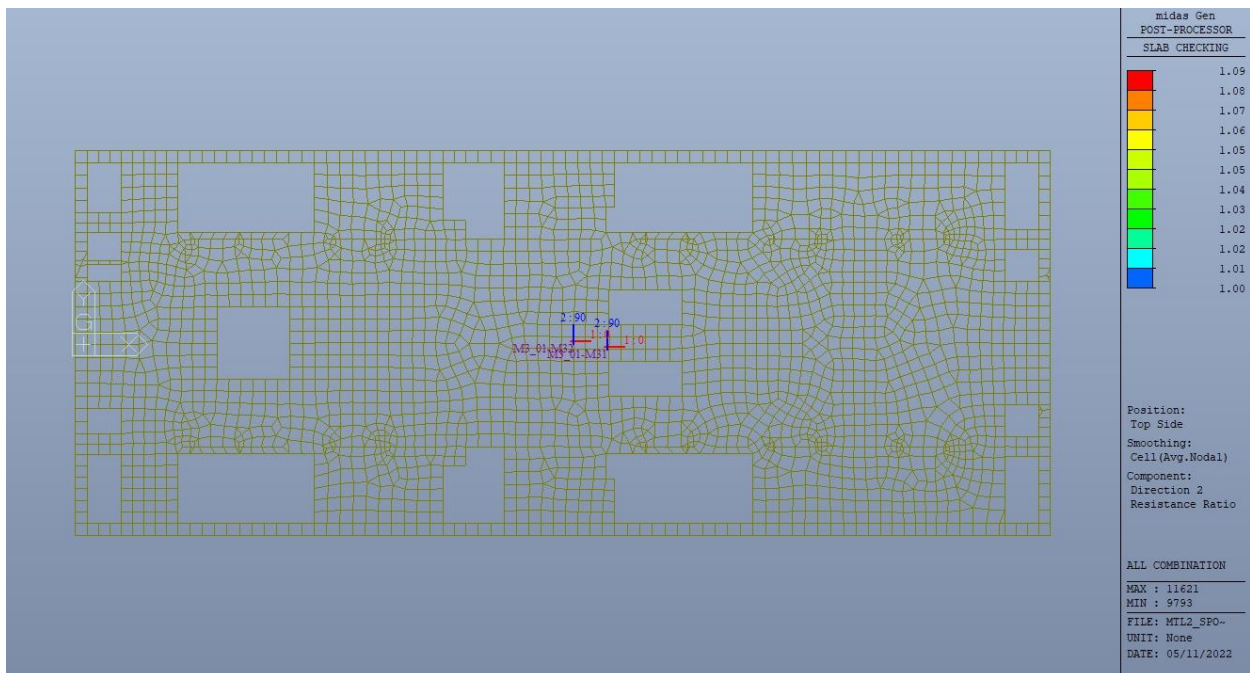


Figura 215. Piano mezzanino (-3) – Tasso di lavoro faccia superiore – Direzione D2 – Zone > 1



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

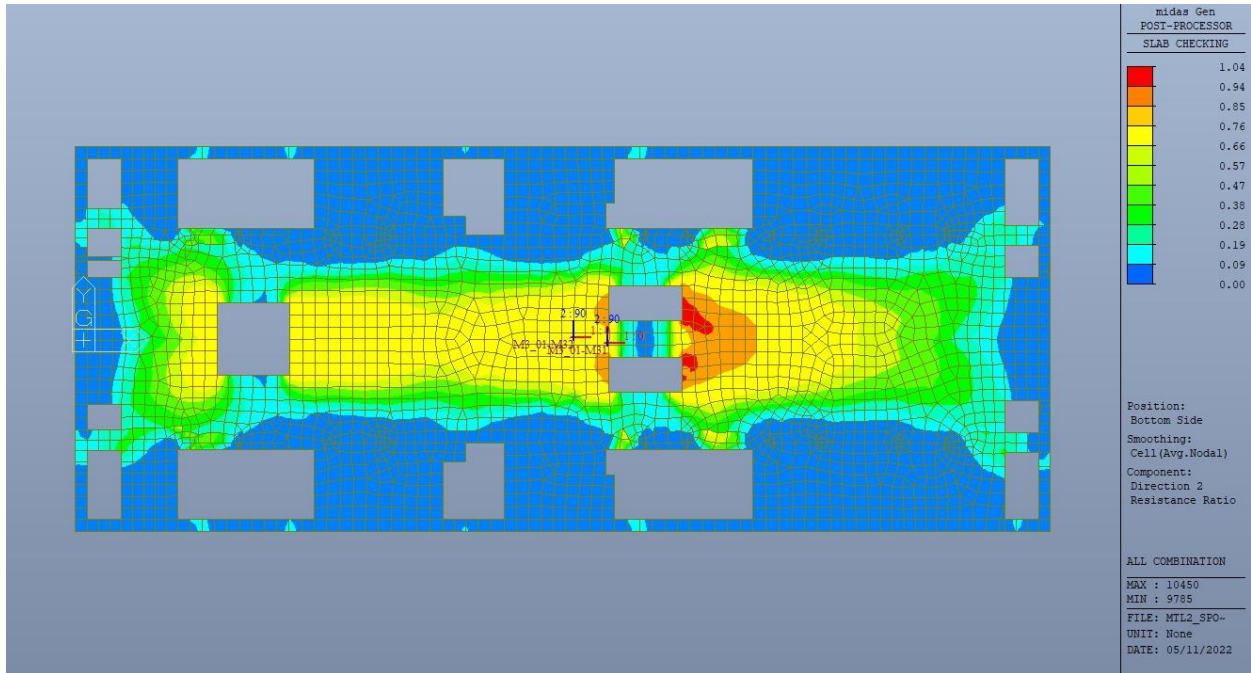


Figura 216. Piano mezzanino (-3) – Tasso di lavoro faccia inferiore – Direzione D2

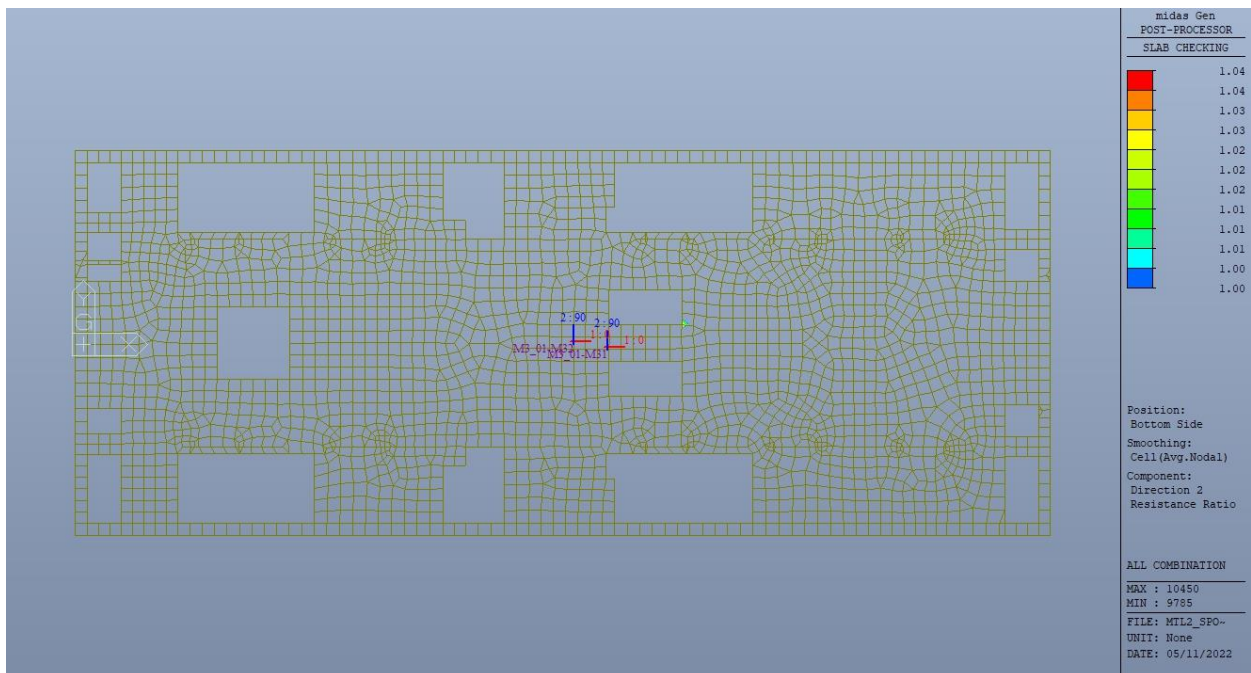


Figura 217. Piano mezzanino (-3) – Tasso di lavoro faccia inferiore – Direzione D2 – Zone > 1

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

Per entrambe le direzioni, le zone con tasso di lavoro superiore all'unità sono localizzate e in numero ridotto rispetto alla totalità degli elementi, si può considerare la verifica soddisfatta.

Resistenza a taglio di progetto in direzione X e Y – valore per unità di lunghezza.

**Tabella 35. Verifica taglio – Piano mezzanino (-3)**

CLS	C30/37		tipologia calcestruzzo
Acciaio	B450C		tipologia acciaio
$f_{yk}$	450	N/mm <sup>2</sup>	valore caratteristico della resistenza a trazione acciaio
$f_{ck}$	30.71	N/mm <sup>2</sup>	valore caratteristico della resistenza a compressione del cls
$\gamma_c$	1.5		coefficiente di sicurezza
c	100	mm	copriferro
d	900	mm	altezza utile sezione
k	1.47		
$\rho_1$	0.20%		rapporto geometrico di armatura longitudinale
$v_{min}$	0.346		
$V_{Rd}$	291.45	kN	
$V_{Rd,min}$	311.56	kN	
<b><math>V_{Rd,c}</math></b>	<b>311.56</b>	<b>kN</b>	resistenza a taglio NO armatura
NB	4		numero bracci
D	20	mm	diametro armatura a taglio
$A_b$	3.14	cm <sup>2</sup>	area barra armatura a taglio
$A_{st}$	12.56	cm <sup>2</sup>	area complessiva staffe
st	200	mm	passo staffe
$\gamma_s$	1.15		
$\alpha$	90	°	
cotg teta	1		
$V_{Rsd}$	1990.49	kN	resistenza di progetto a taglio - lato acciaio
$\alpha_c$	1		
v	0.5		
$f_{cd}$	17.40	N/mm <sup>2</sup>	
$V_{Rcd}$	3523.97	kN	resistenza di progetto a taglio - lato calcestruzzo
<b>VRd</b>	<b>1990.49</b>	<b>kN</b>	resistenza a taglio CON armatura

Come riportato dalle immagini successive, le zone in cui la resistenza di progetto a taglio per elementi con armatura dedicata è inferiore al taglio agente  $V_{xx}$  sono localizzate e in numero ridotto rispetto alla totalità degli elementi; per il taglio  $V_{yy}$  il taglio resistente è sempre maggiore del taglio agente.

Si può considerare la verifica soddisfatta per entrambe le direzioni.



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

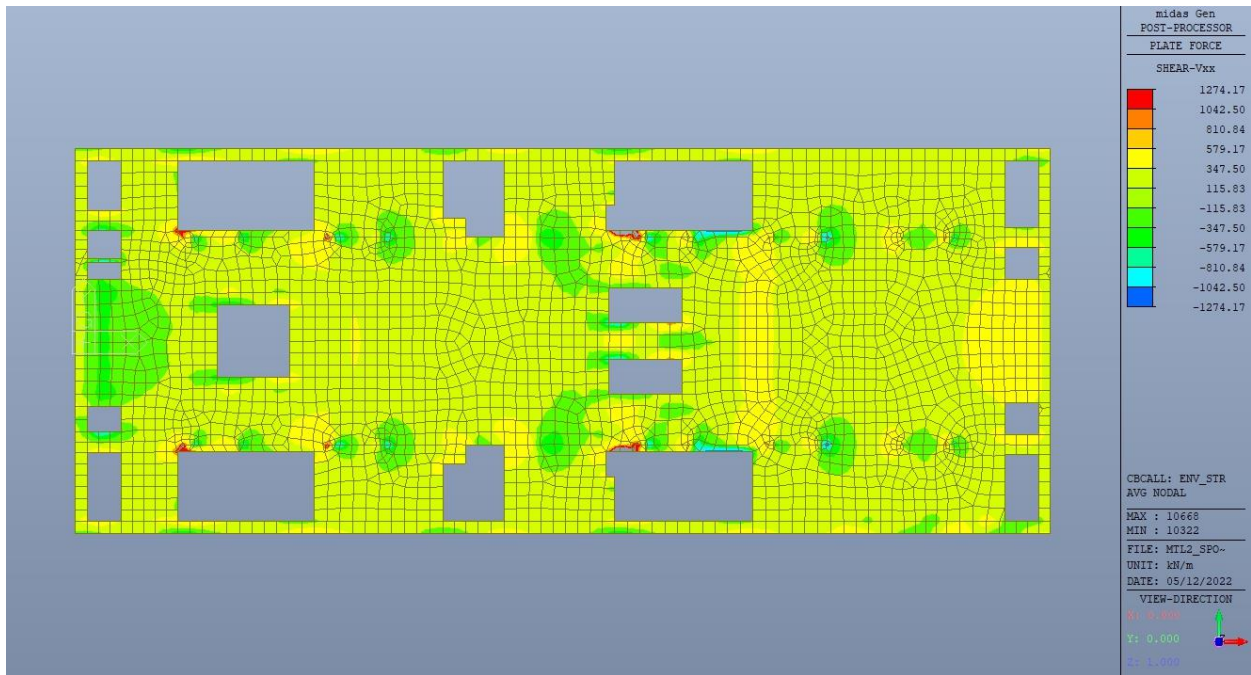


Figura 218. Piano mezzanino (-3) – Resistenza a taglio Direzione X

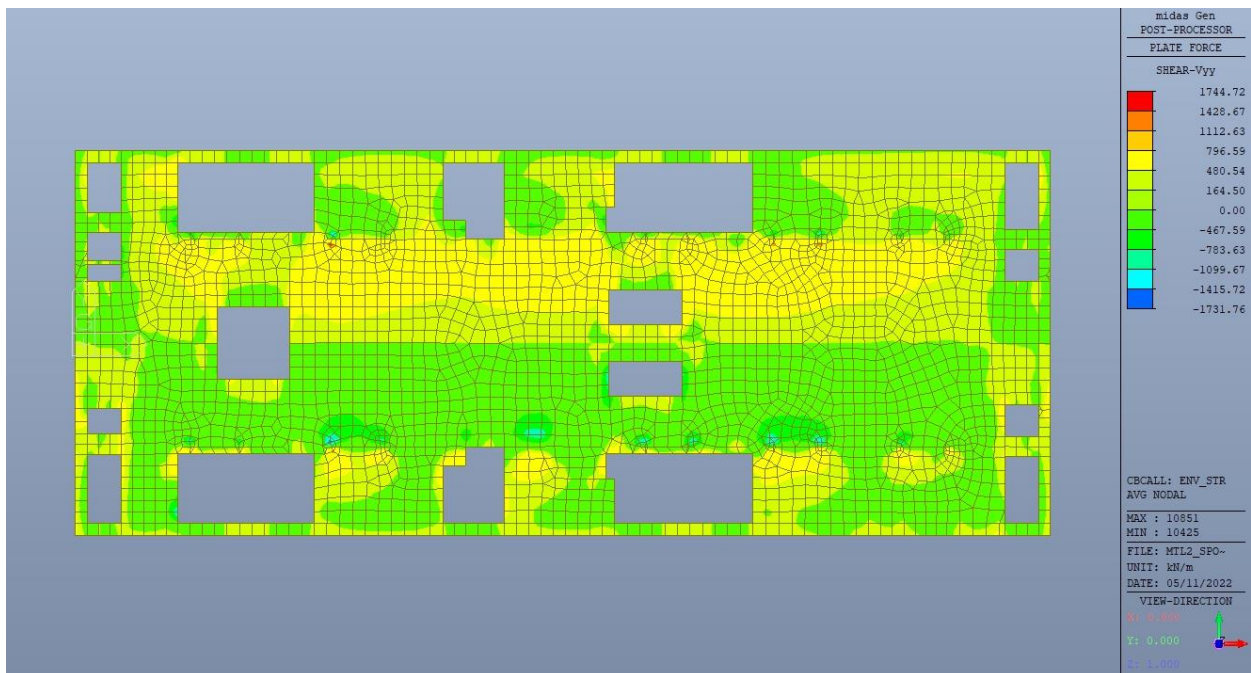


Figura 219. Piano mezzanino (-3) – Resistenza a taglio Direzione Y

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

## 15.2 Verifica Stati Limite di Esercizio - SLE

Si deve verificare il rispetto dei seguenti stati limite:

- deformazione;
- fessurazione;
- limitazione delle tensioni di esercizio.

### 15.2.1 Stato limite di deformazione

I limiti di deformabilità devono essere congruenti con le prestazioni richieste alla struttura anche in relazione alla destinazione d'uso, con riferimento alle esigenze statiche, funzionali ed estetiche.

Si può considerare la deformazione massima a pieno carico pari a 1/250 della luce di calcolo.

$L = 28.60 \text{ m}$  (tra diaframmi esterni)

$\delta_{\max} = 114.4\text{mm}$

Di seguito si riporta la deformata calcolata, a favore di sicurezza, in condizione di creep (effetti a lungo termine dovuti al fluage) con un modulo elastico del cls  $E_c$  ridotto di un valore pari a 2.75.

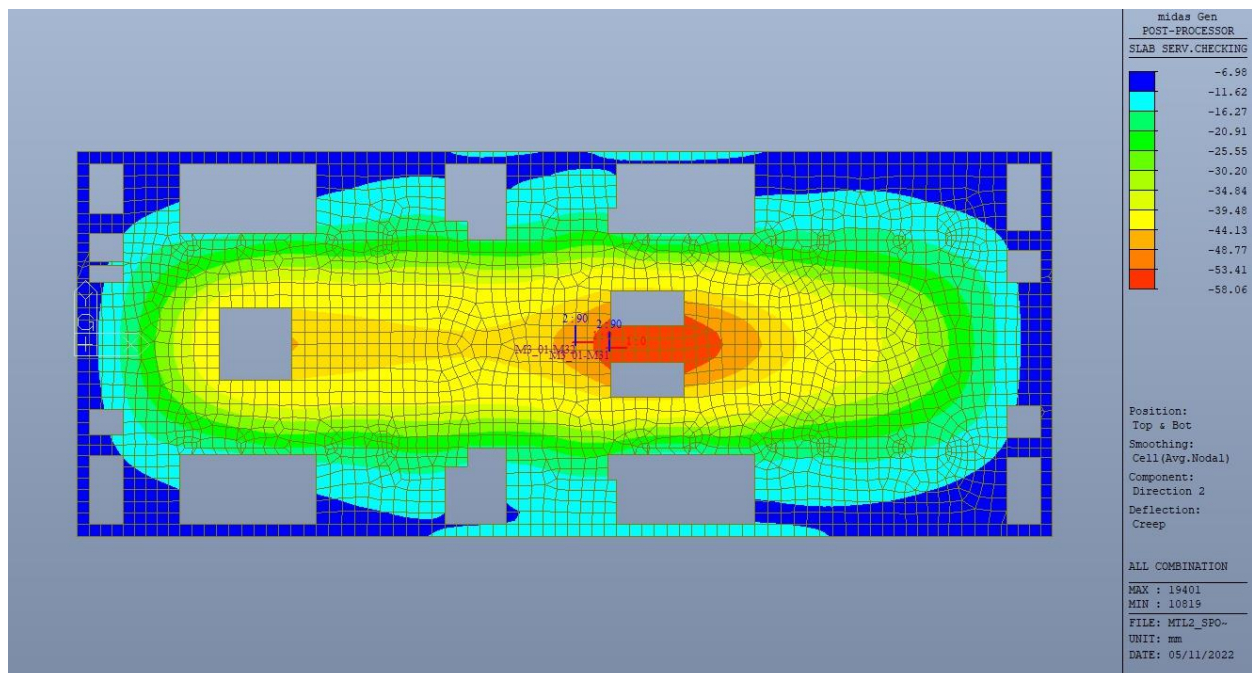


Figura 220. Piano mezzanino (-3) – Massima deformazione

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

Il massimo valore dell'abbassamento relativo in combinazione RARA è pari a 51.08mm, inferiore al valore massimo e compatibile con le prestazioni richieste.

La verifica è soddisfatta.

### 15.2.2 Stato limite di fessurazione

Ai fini della protezione contro la corrosione delle armature metalliche e della protezione contro il degrado del calcestruzzo, in funzione della classe di esposizione scelta si determina la condizione ambientale:

- ordinarie;
- aggressive;
- molto aggressive.

Stabilito la classe ambientale, in funzione della tipologia di armatura, se sensibile o poco sensibile alla corrosione, si determina il valore limite di apertura delle fessure.

In questo caso:

- classe di esposizione XC3;
- classe ambientale ordinaria;
- armatura poco sensibile;
- valore limite apertura delle fessure  $w_3$  (0.4mm) combinazioni SLE Frequente;
- valore limite apertura delle fessure  $w_2$  (0.3mm) combinazioni SLE Quasi Permanente.

Nelle seguenti immagini vengono riportati il ratio tra il valore di apertura delle fessure e il relativo valore limite nelle due direzioni di armatura; evidenziando, nel caso, le zone con un valore superiore all'unità indicatore che la verifica in oggetto non è soddisfatta.



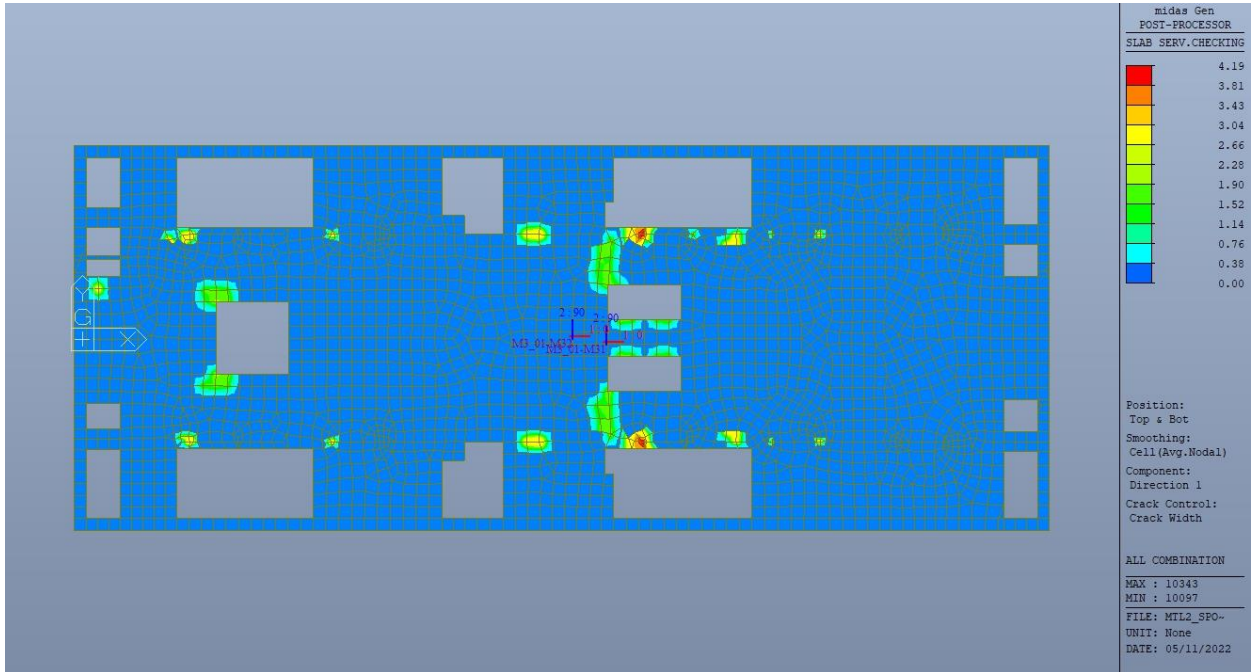


Figura 221. Piano mezzanino (-3) – Apertura delle fessure - Ratio Direzione 1

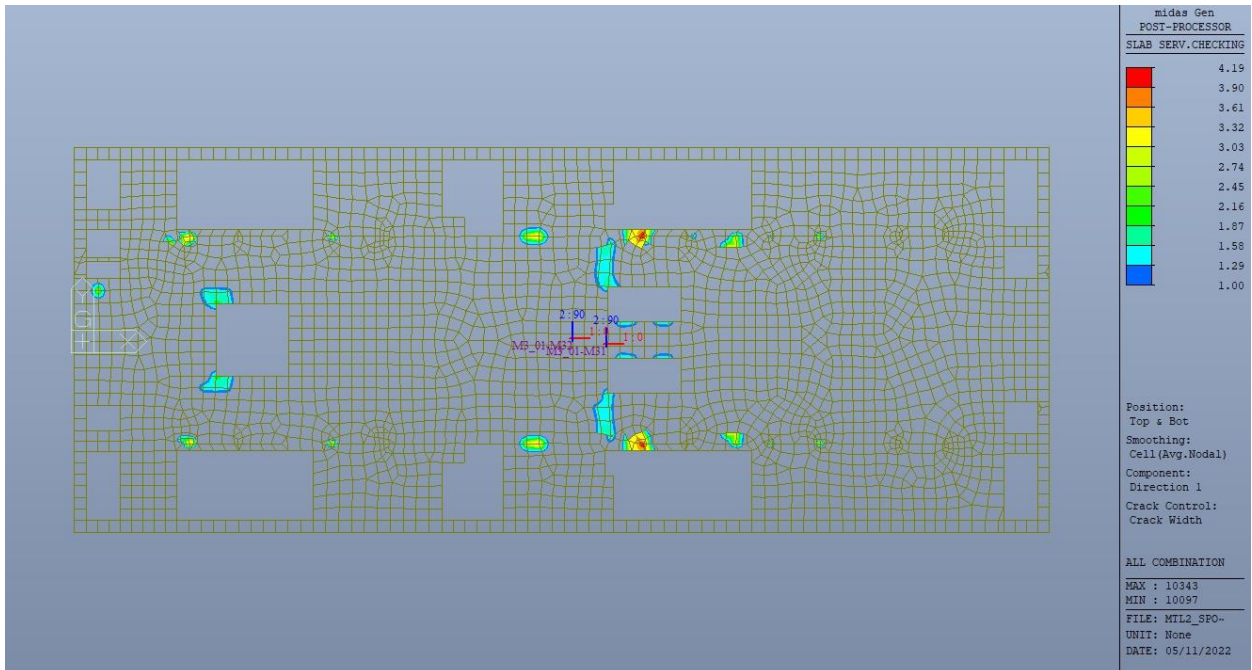


Figura 222. Piano mezzanino (-3) – Apertura delle fessure - Ratio Direzione 1 – Zone > 1



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

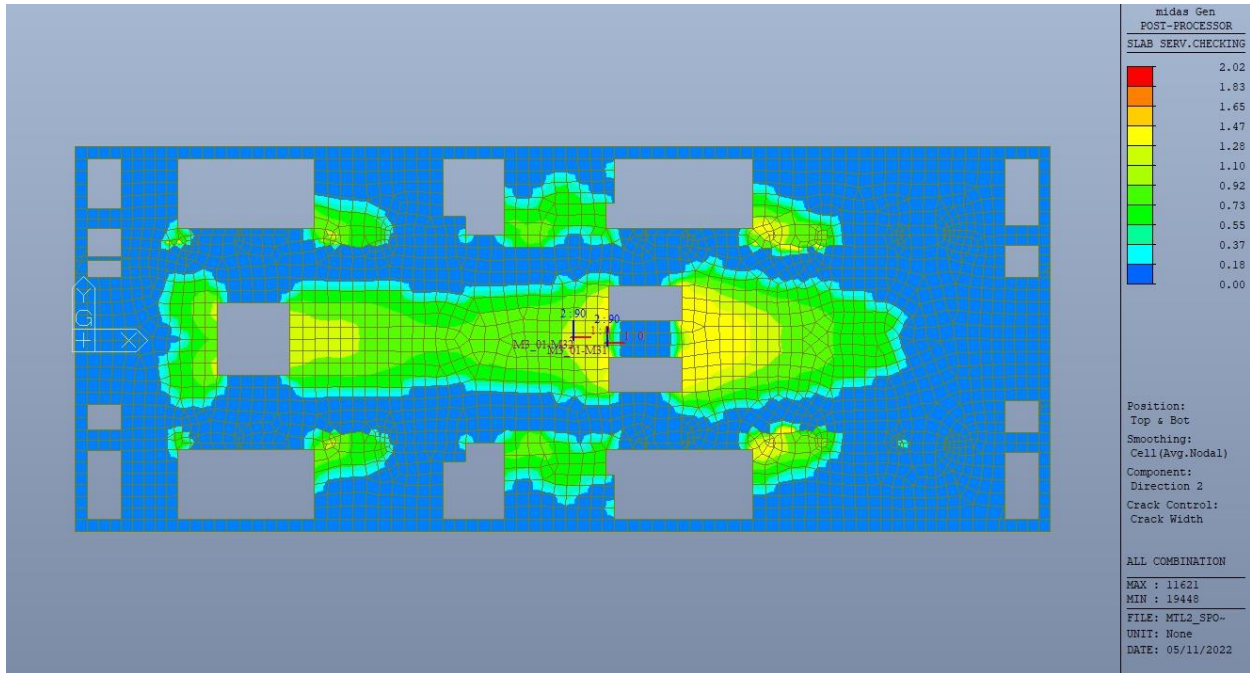


Figura 223. Piano mezzanino (-3) – Apertura delle fessure - Ratio Direzione 2

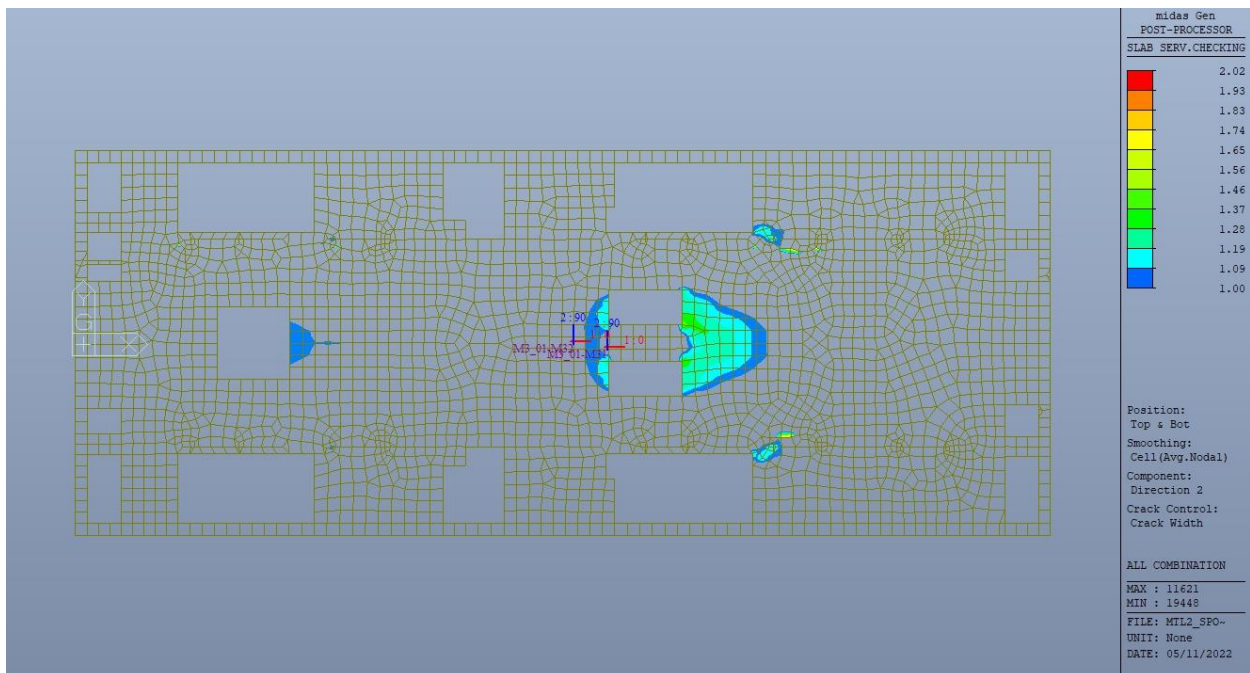


Figura 224. Piano mezzanino (-3) – Apertura delle fessure - Ratio Direzione 2 – Zone > 1

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

Come si evince, le zone in cui il ratio è maggiore di uno, sono localizzate ed in numero limitato rispetto alle dimensioni complessive del solettone; si può ritenere la verifica soddisfatta.

### 15.2.3 Stato limite di limitazione delle tensioni in esercizio

Si deve verificare che nelle varie parti della struttura le massime tensioni, sia nel calcestruzzo sia nelle armature, dovute alle combinazioni caratteristiche e quasi permanente delle azioni siano inferiori ai massimi valori consentiti:

- $\sigma_{c,max} \leq 0.60 f_{ck}$  per la combinazione caratteristica;
- $\sigma_{c,max} \leq 0.45 f_{ck}$  per la combinazione quasi permanente;
- $\sigma_{s,max} \leq 0.80 f_{yk}$  per la combinazione caratteristica.

Nelle seguenti immagini vengono riportati il ratio tra la tensione massima (cls e armatura) e il relativo valore limite nelle due direzioni di armatura; evidenziando, nel caso, le zone con un valore superiore all'unità indicatore che la verifica in oggetto non è soddisfatta.



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

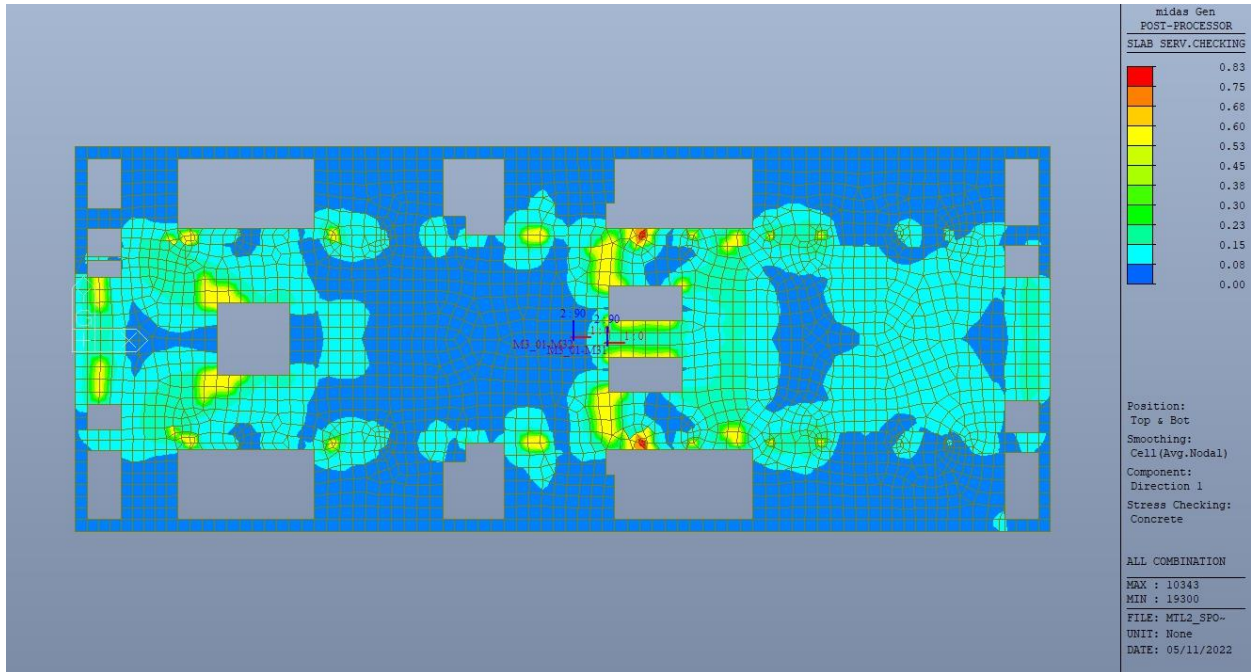


Figura 225. Piano mezzanino (-3) – Tensioni calcestruzzo - Ratio Direzione 1



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

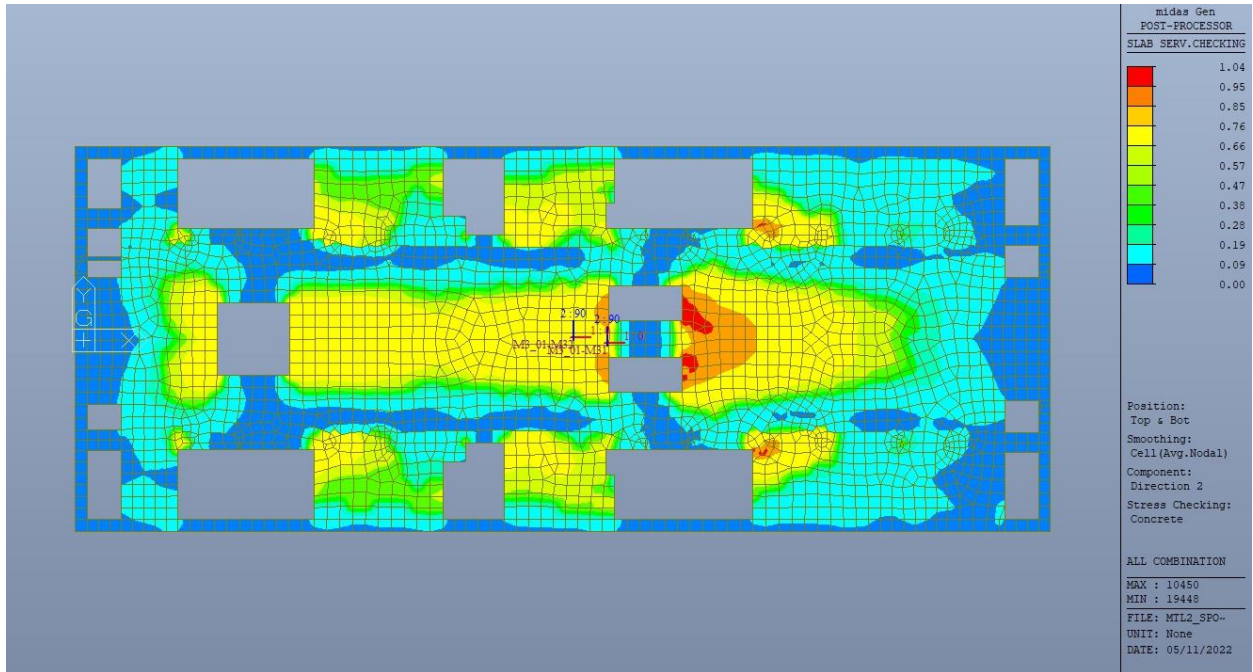


Figura 226. Piano mezzanino (-3) – Tensioni calcestruzzo - Ratio Direzione 2

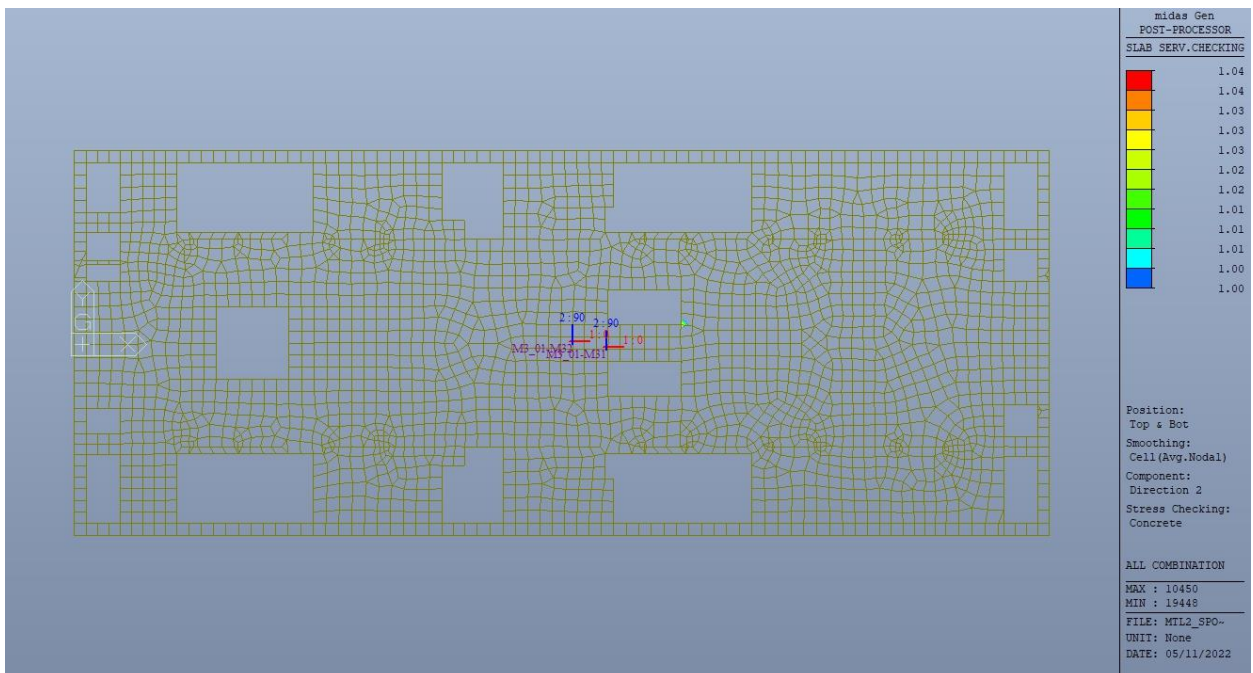


Figura 227. Piano mezzanino (-3) – Tensioni calcestruzzo - Ratio Direzione 2 – Zone > 1



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

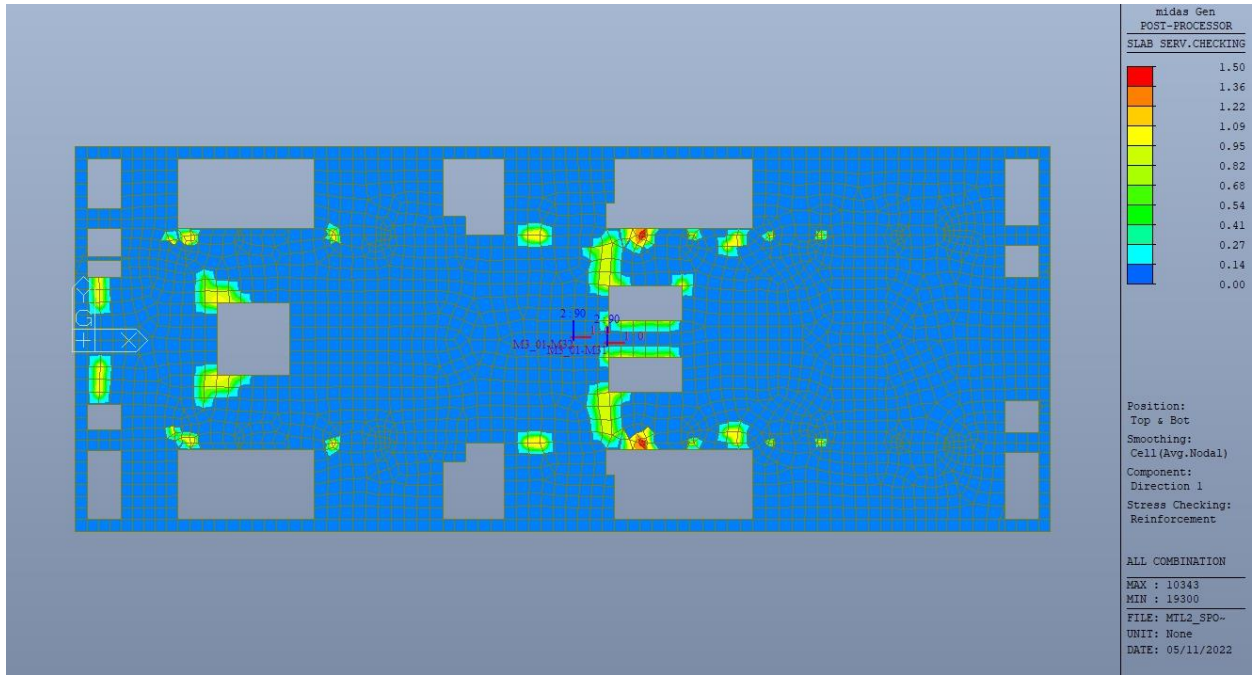


Figura 228. Piano mezzanino (-3) – Tensioni armatura - Ratio Direzione 1

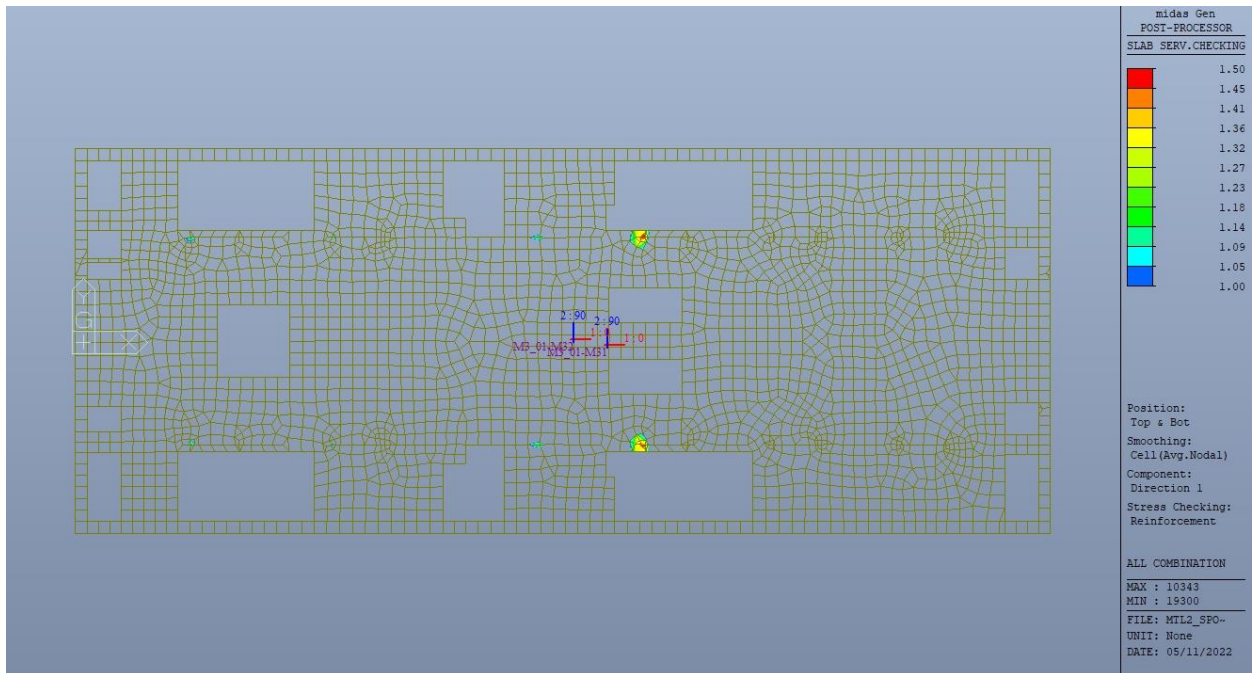


Figura 229. Piano mezzanino (-3) – Tensioni armatura - Ratio Direzione 1 – Zone > 1



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

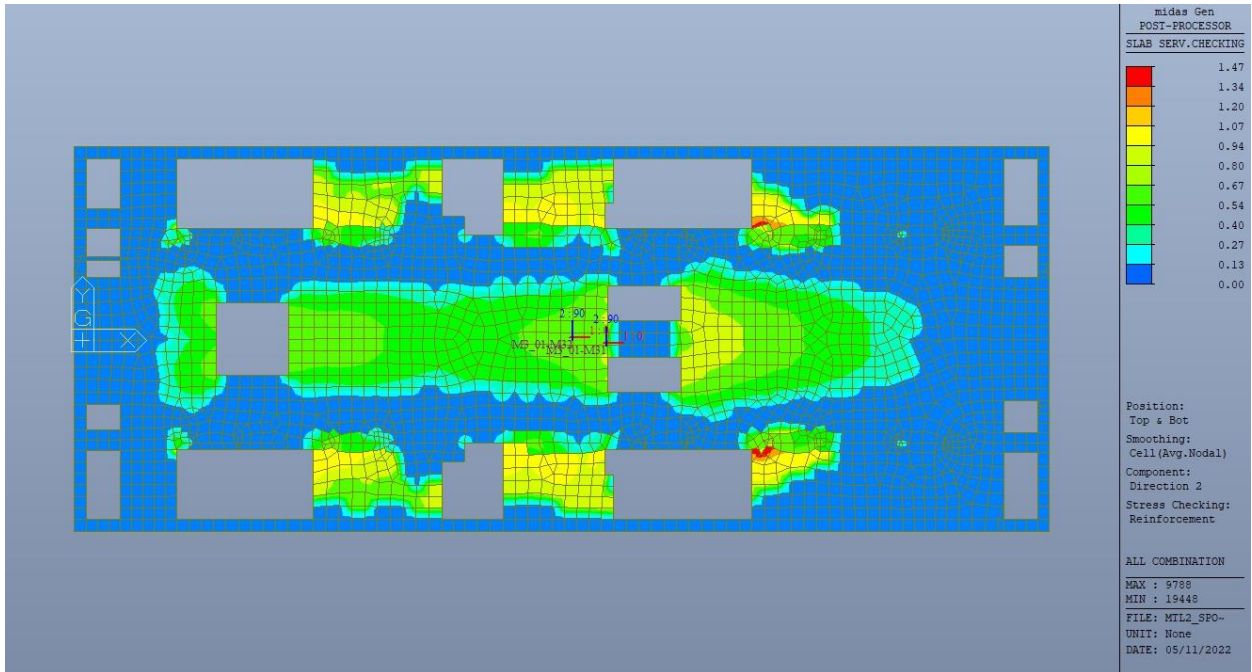


Figura 230. Piano mezzanino (-2) – Tensioni armatura - Ratio Direzione 2

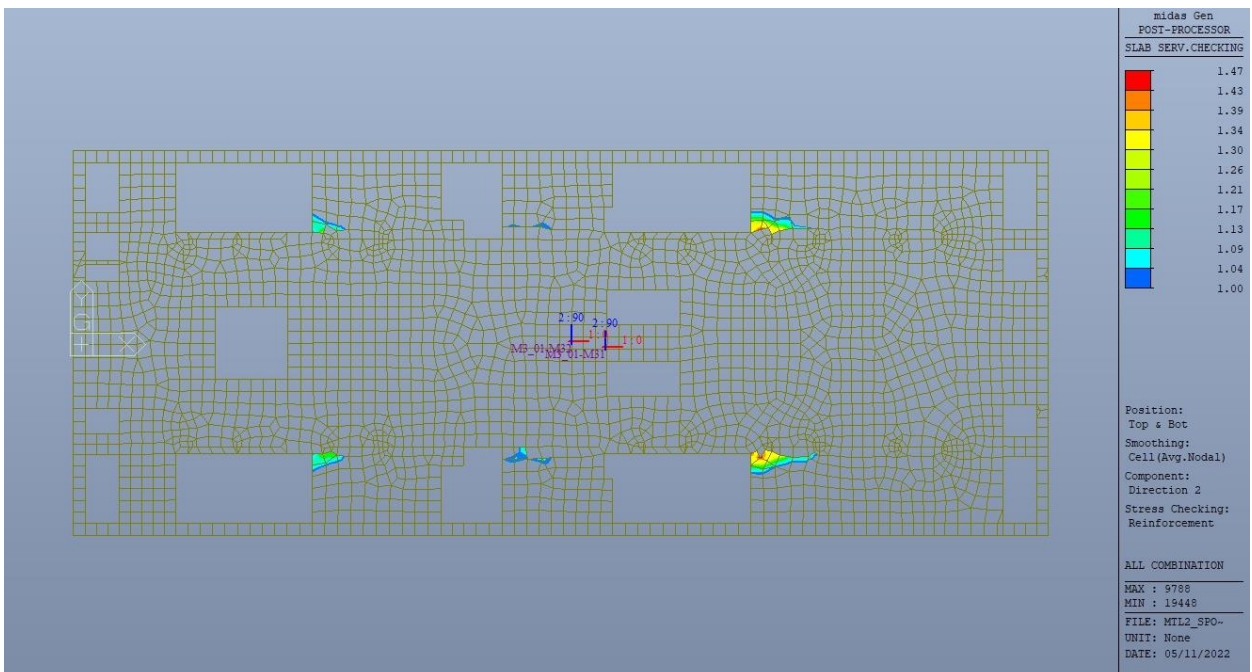


Figura 231. Piano mezzanino (-3) – Tensioni armatura - Ratio Direzione 2 – Zone > 1

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

Come si evince, le zone in cui il ratio è maggiore di uno, sono localizzate ed in numero limitato rispetto alle dimensioni della soletta di piano.

Si può ritenere la verifica soddisfatta.

## 16. VERIFICA PIANO BANCHINA

### 16.1 Verifica Stati Limite Ultimi – SLU e SLV

Si deve verificare che i singoli elementi strutturali e la struttura nel suo insieme possiedano una capacità in resistenza sufficiente a soddisfare la domanda sia allo SLV che allo SLU.

Nel seguito si riportano sinteticamente i principali risultati delle analisi.

#### 16.1.1 Sollecitazioni

Le immagini successive riportano gli involuppi delle sollecitazioni per gli Stati Limite SLU e SLV nelle due direzioni X e Y.





CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

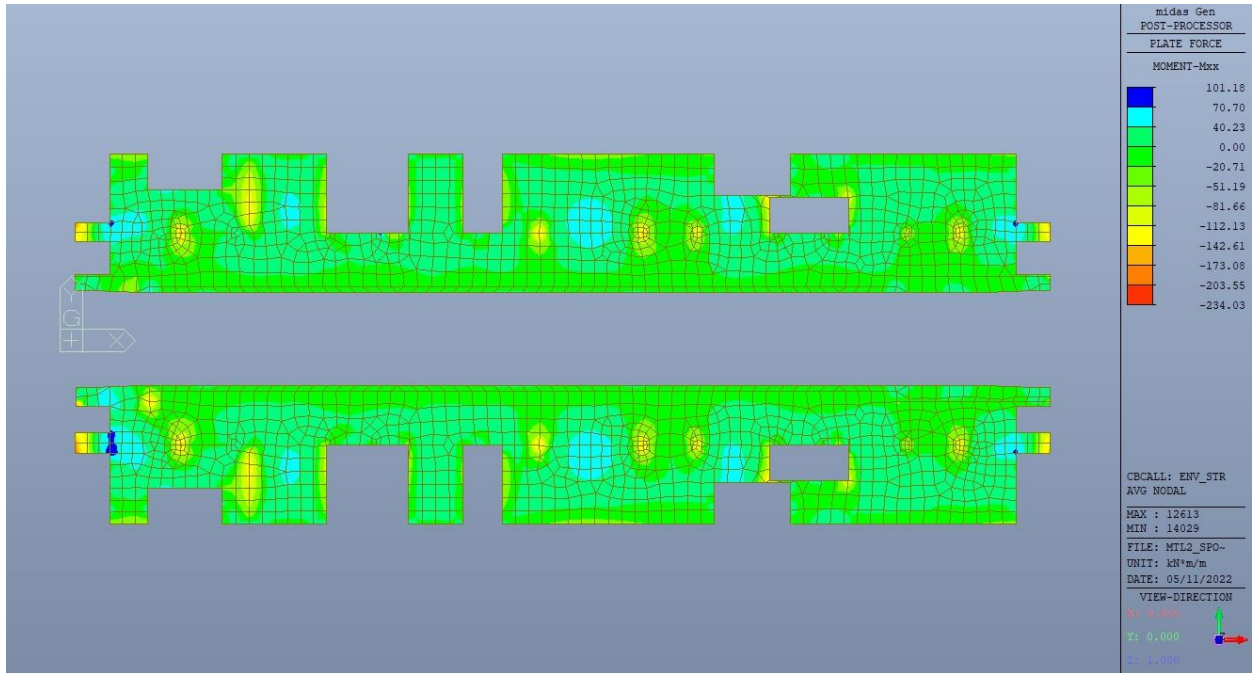


Figura 232. Piano banchina – Involuppo momento flettente  $M_{xx}$  – Direzione X

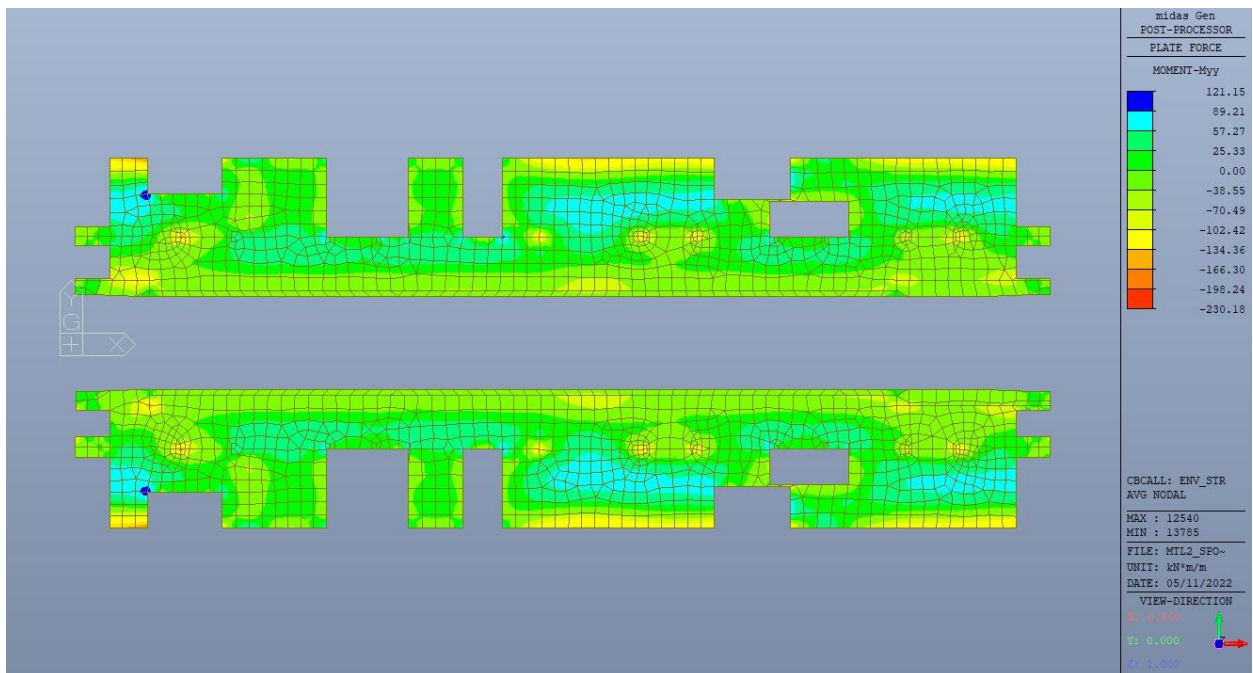


Figura 233. Piano banchina – Involuppo momento flettente  $M_{yy}$  – Direzione Y

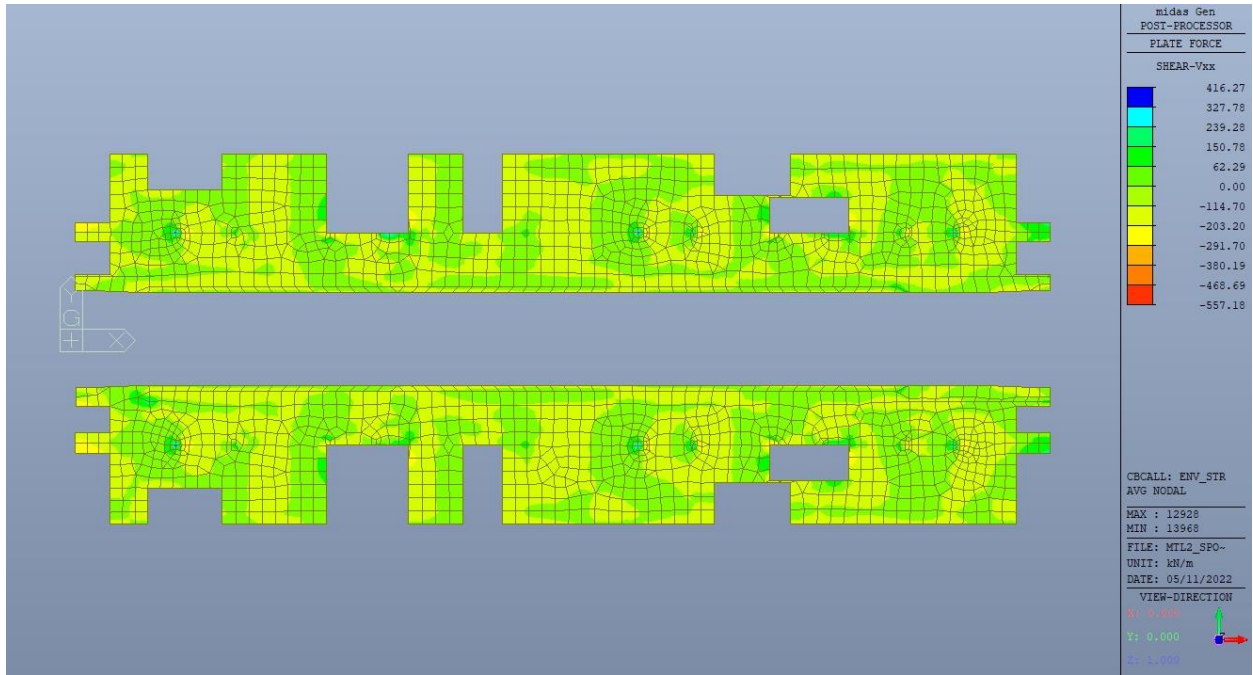


Figura 234. Piano banchina – Involuppo taglio  $V_{xx}$  – Direzione X

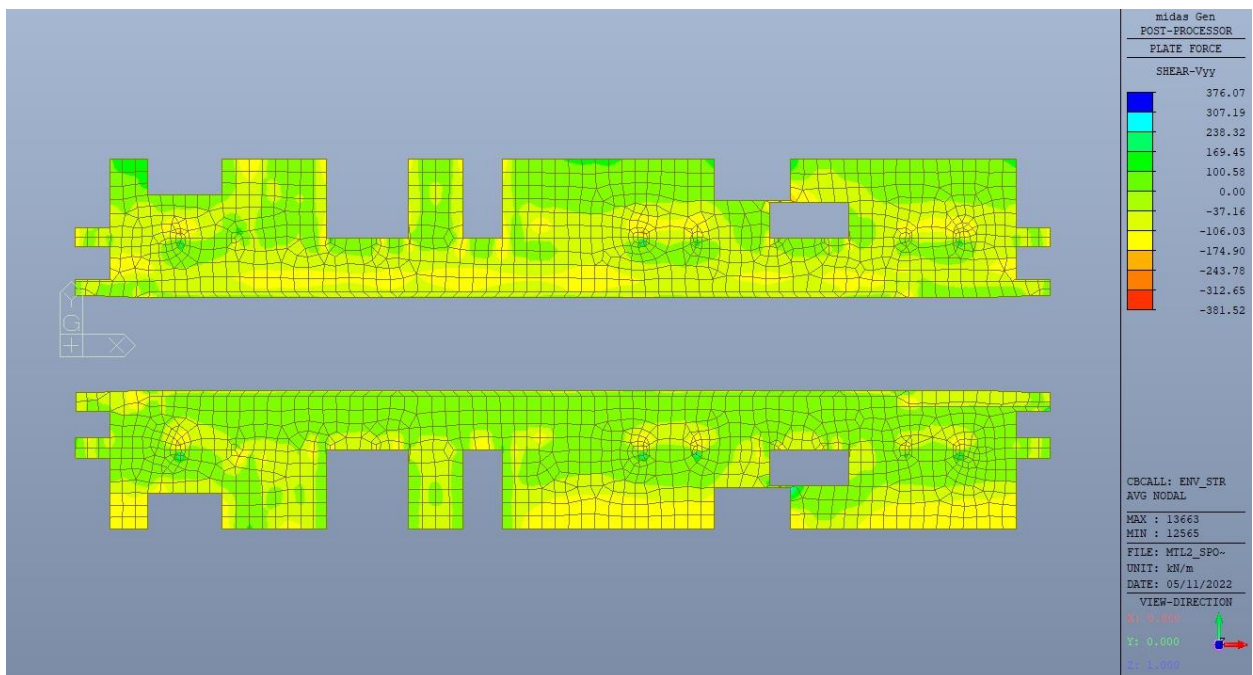


Figura 235. Piano banchina – Involuppo taglio  $V_{yy}$  – Direzione Y



### 16.1.2 Verifiche strutturali

Trattandosi di struttura a comportamento non dissipativo, la capacità delle membrature e dei collegamenti deve essere valutata in accordo con le regole di cui al par. 4.1 delle citate norme, senza nessun requisito aggiuntivo.

Come valore minimo dell'armatura longitudinale si è considerato quanto riportato nel par. 4.1.6 delle NTC2018, ossia il quantitativo minimo riportato per le travi pari a

$$A_{s,min} = 0.26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot h$$

dove:

- $f_{ctm}$  è il valore medio della resistenza a trazione del cls;
- $f_{yk}$  è il valore caratteristico della resistenza a trazione dell'armatura;
- $b_t$  è la larghezza media della zona tesa;
- $h$  è l'altezza della sezione.

Tabella 36. Armatura minima

				D1 - TOP			D1 - BOTTOM		
Tipologia	b [cm]	h [cm]	A <sub>c</sub> [cm <sup>2</sup> ]	A <sub>s</sub> [cm <sup>2</sup> ]	A <sub>smin</sub> [cm <sup>2</sup> ]	CK	A <sub>s</sub> [cm <sup>2</sup> ]	A <sub>smin</sub> [cm <sup>2</sup> ]	CK
Banchina H30	100	30	3000	10.05	5.02	OK	10.05	5.02	OK
				D2 - TOP			D2 - BOTTOM		
Tipologia	b [cm]	h [cm]	A <sub>c</sub> [cm <sup>2</sup> ]	A <sub>s</sub> [cm <sup>2</sup> ]	A <sub>smin</sub> [cm <sup>2</sup> ]	CK	A <sub>s</sub> [cm <sup>2</sup> ]	A <sub>smin</sub> [cm <sup>2</sup> ]	CK
Banchina H30	100	30	3000	10.05	5.02	OK	10.05	5.02	OK

Nelle immagini seguenti sono riportate le armature superiori e inferiori nelle due direzioni D1 e D2.



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

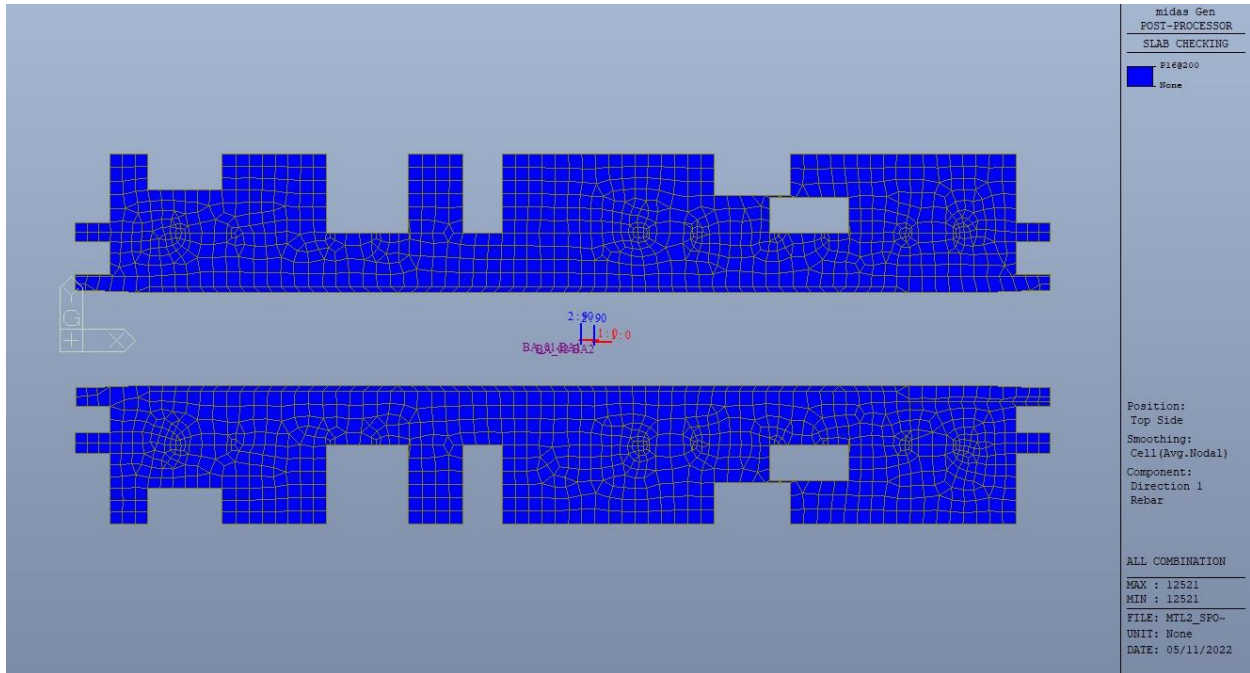


Figura 236. Piano banchina – Armatura superiore direzione D1

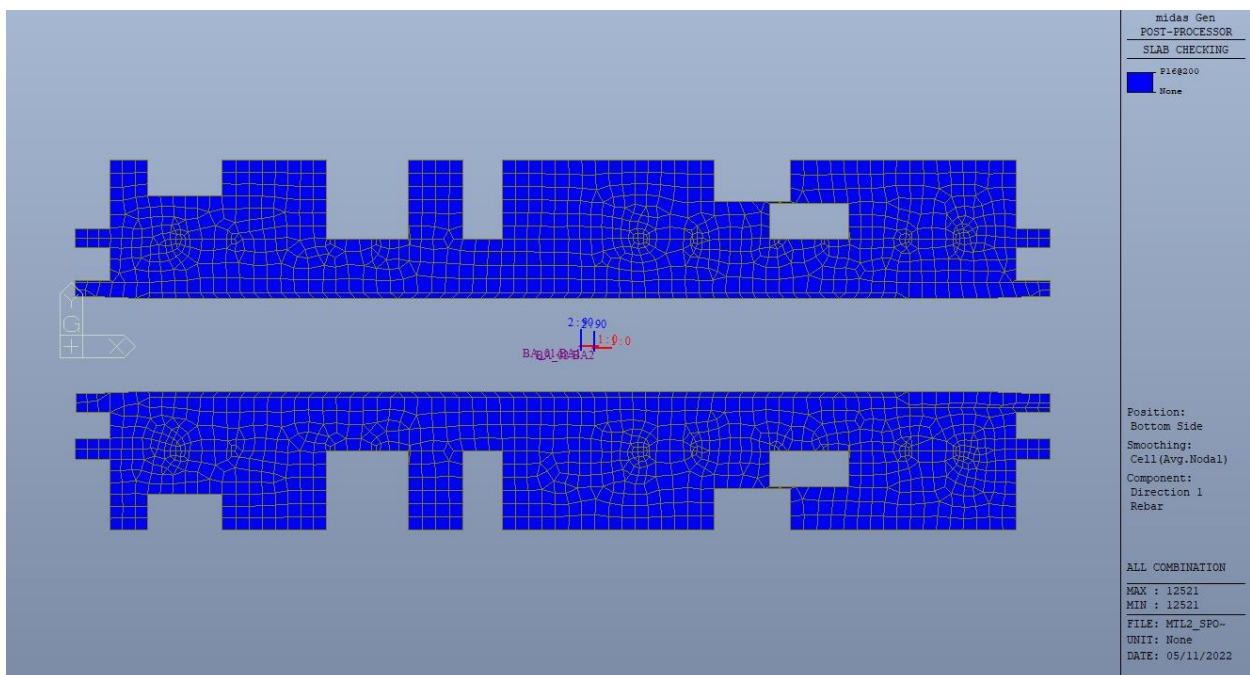


Figura 237. Piano banchina – Armatura inferiore direzione D1



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

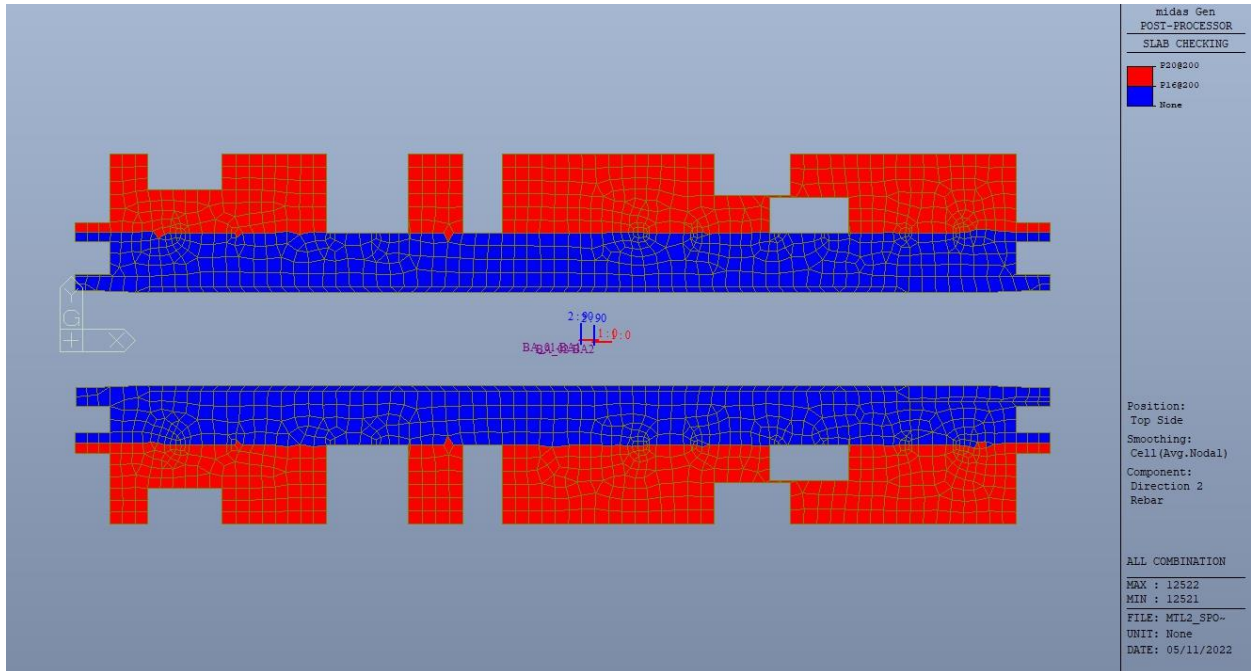


Figura 238. Piano banchina – Armatura superiore direzione D2

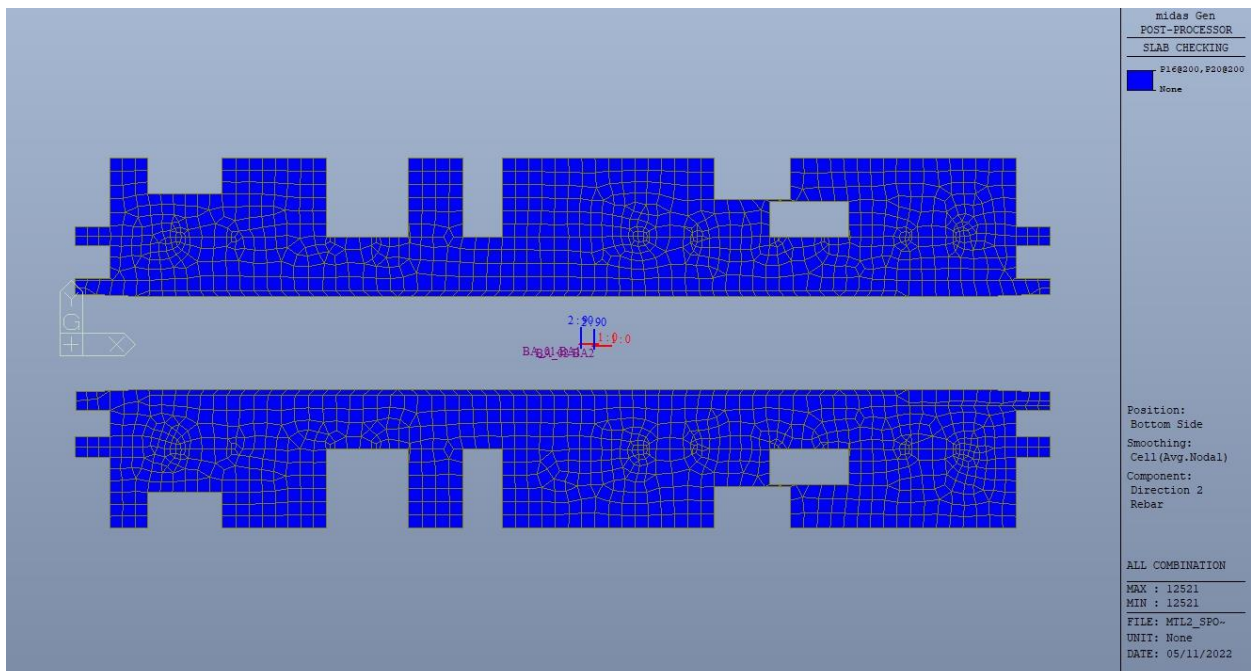


Figura 239. Piano banchina – Armatura inferiore direzione D2

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

Nelle seguenti immagini vengono riportati i massimi tassi di lavoro a flessione e taglio dei singoli elementi strutturali nelle due direzioni D1 e D2 evidenziando, nel caso, quelli con un valore superiore all'unità indicatore che la verifica in oggetto non è soddisfatta.



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

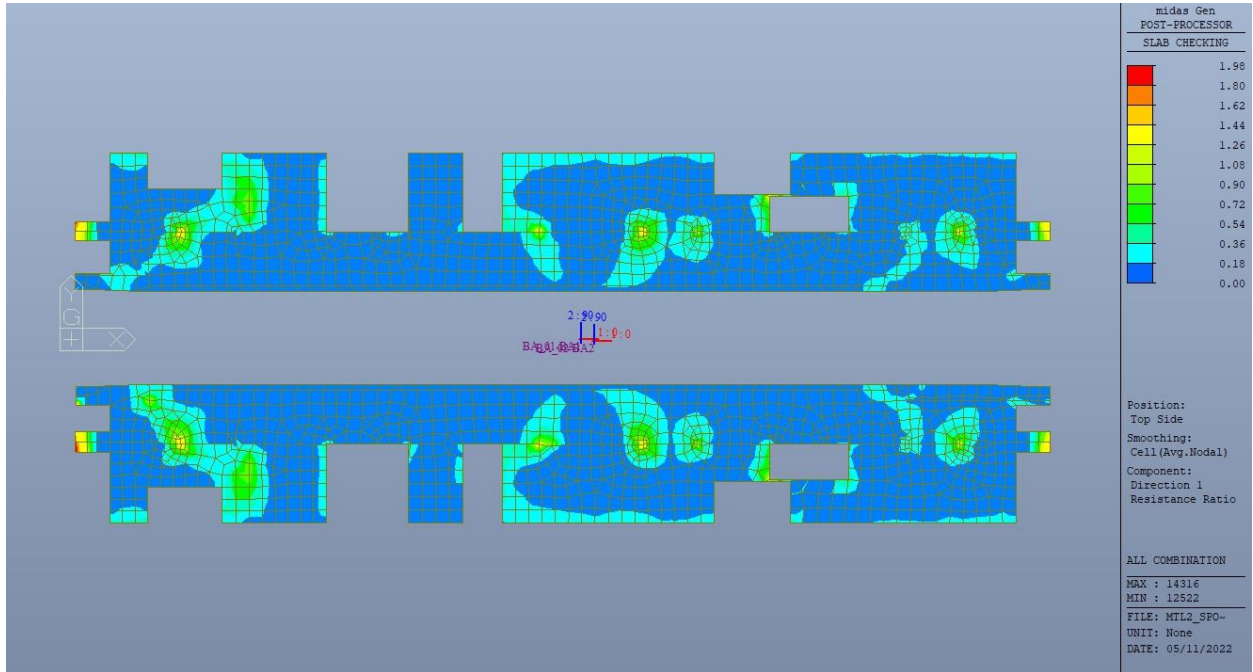


Figura 240. Piano banchina – Tasso di lavoro faccia superiore – Direzione D1

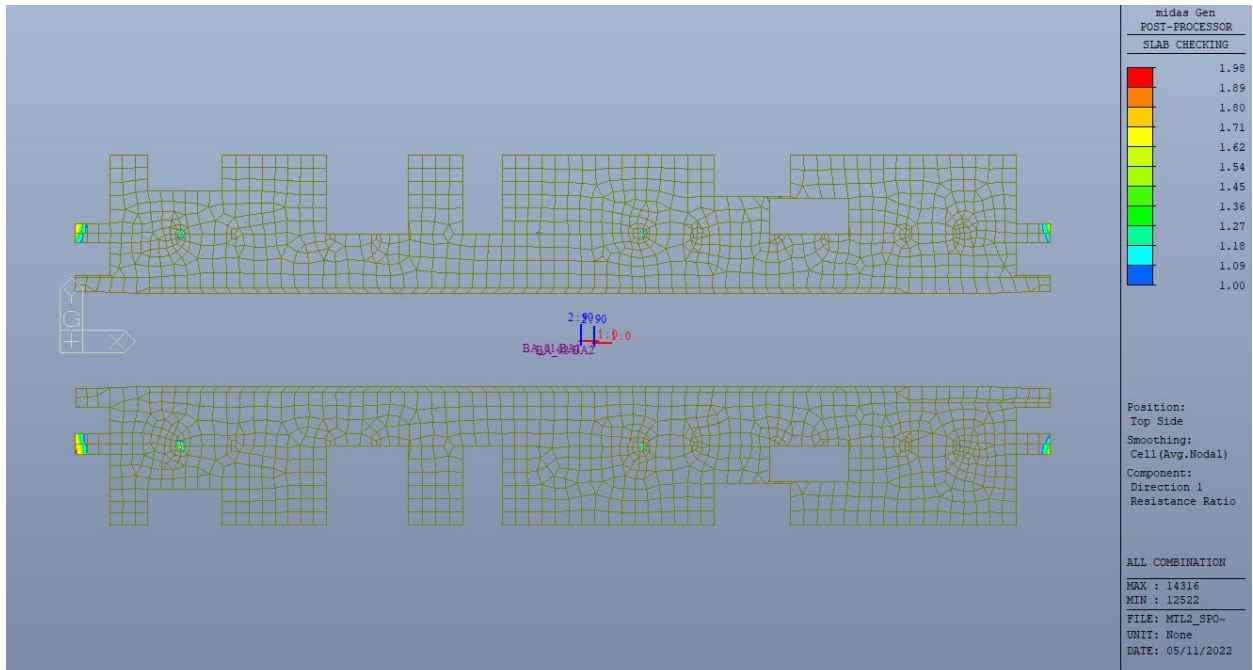


Figura 241. Piano banchina – Tasso di lavoro faccia superiore – Direzione D1 – Zone > 1



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

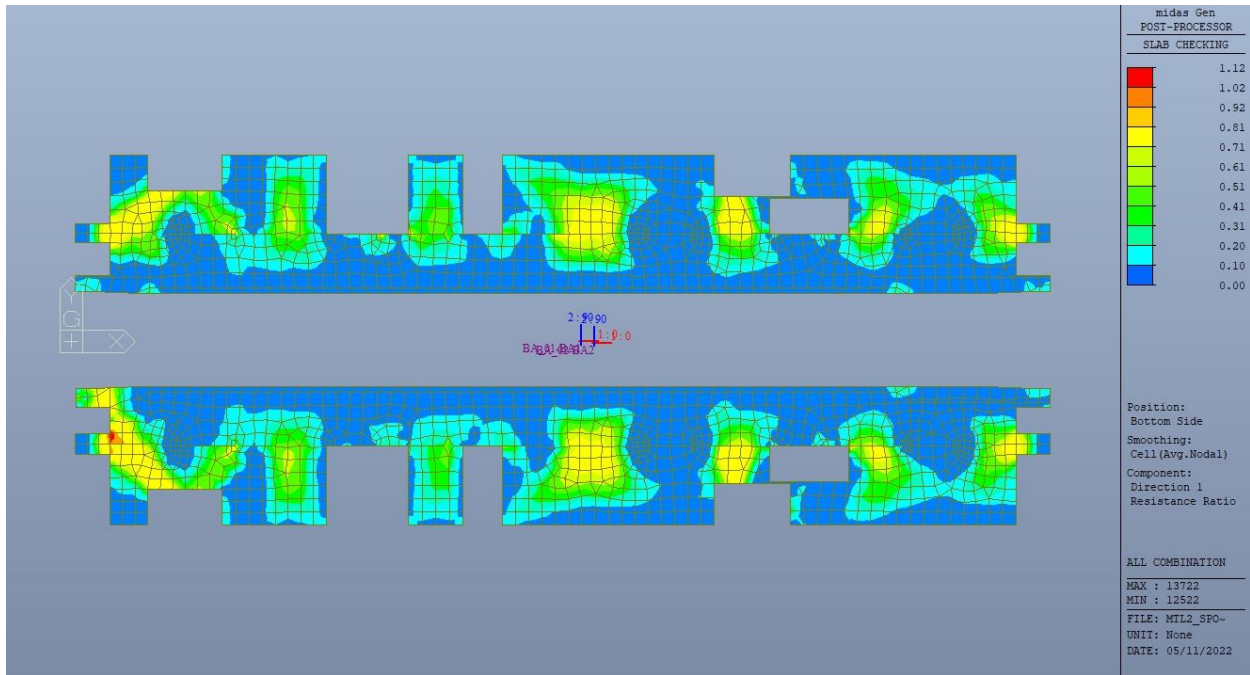


Figura 242. Piano banchina – Tasso di lavoro faccia inferiore – Direzione D1

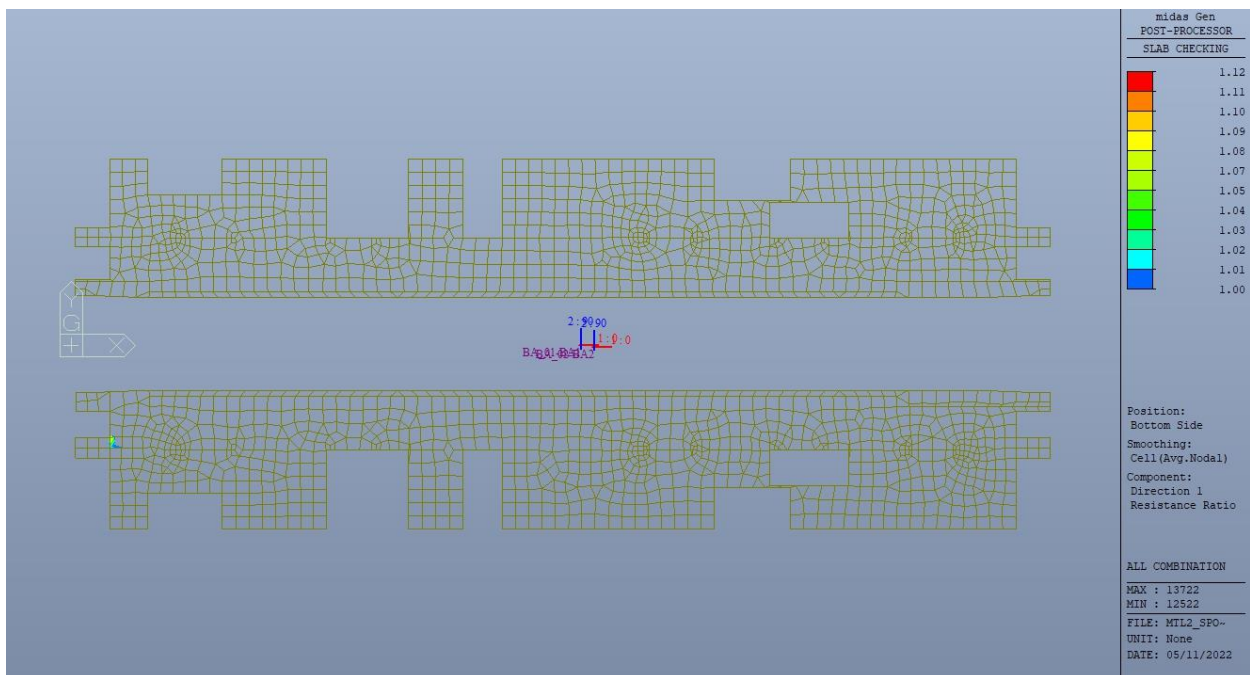


Figura 243. Piano banchina – Tasso di lavoro faccia inferiore – Direzione D1 – Zone > 1





CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

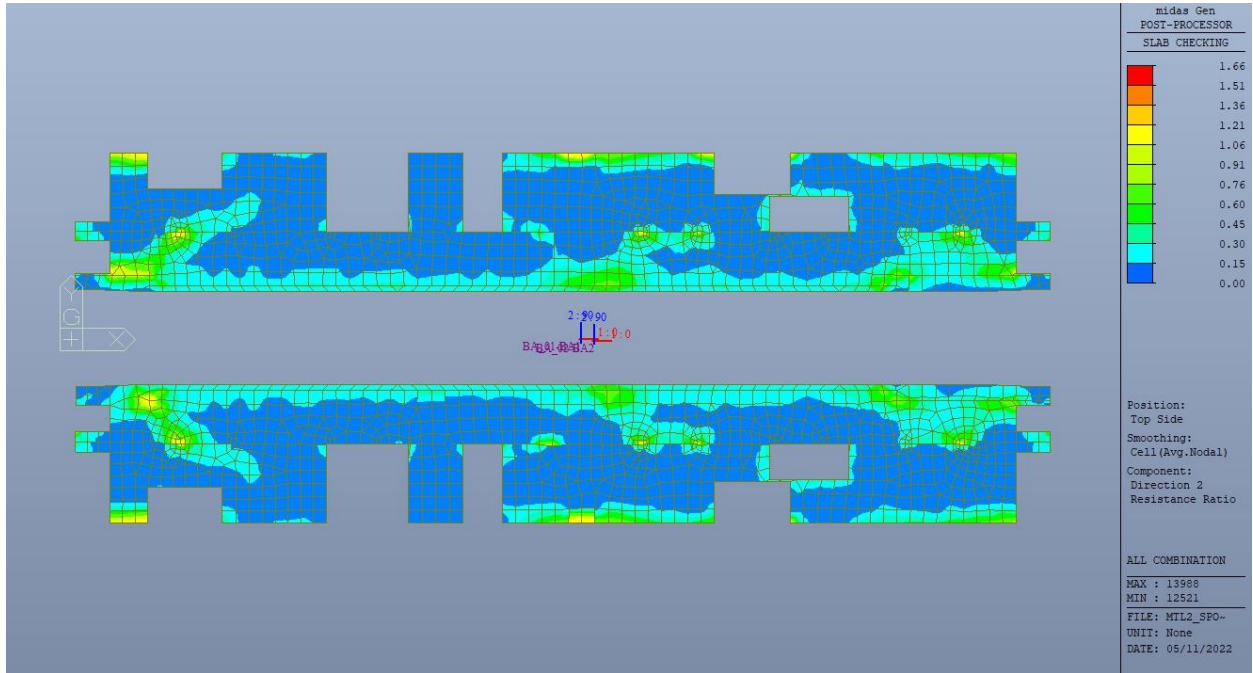


Figura 244. Piano banchina – Tasso di lavoro faccia superiore – Direzione D2

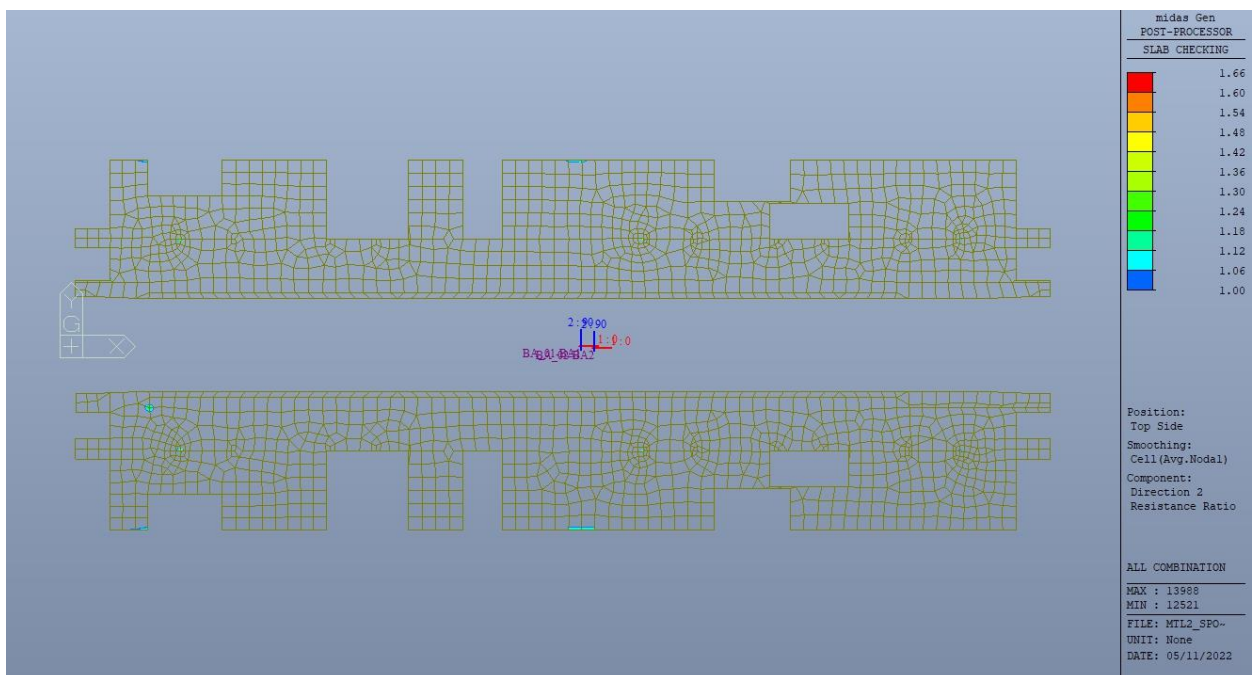


Figura 245. Piano banchina – Tasso di lavoro faccia superiore – Direzione D2 – Zone > 1



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

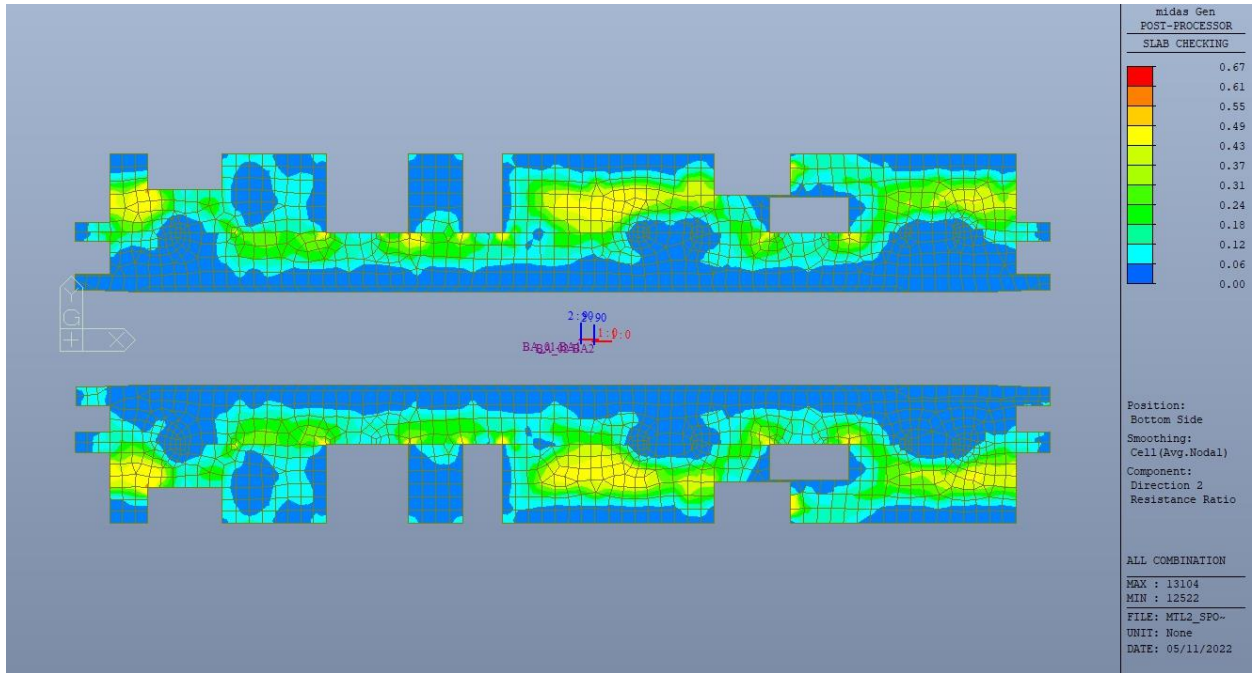


Figura 246. Piano banchina – Tasso di lavoro faccia inferiore – Direzione D2

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

Per entrambe le direzioni, le zone con tasso di lavoro superiore all'unità sono localizzate e in numero ridotto rispetto alla totalità degli elementi, si può considerare la verifica soddisfatta.

Resistenza a taglio di progetto in direzione X e Y – valore per unità di lunghezza.

**Tabella 37. Verifica taglio – Piano banchina**

CLS	C30/37		tipologia calcestruzzo
Acciaio	B450C		tipologia acciaio
$f_{yk}$	450	N/mm <sup>2</sup>	valore caratteristico della resistenza a trazione acciaio
$f_{ck}$	30.71	N/mm <sup>2</sup>	valore caratteristico della resistenza a compressione del cls
$\gamma_c$	1.5		coefficiente di sicurezza
c	40	mm	copriferro
d	260	mm	altezza utile sezione
k	1.88		
$\rho_1$	0.39%		rapporto geometrico di armatura longitudinale
$v_{min}$	0.499		
$V_{Rd}$	133.59	kN	
$V_{Rd,min}$	129.69	kN	
<b><math>V_{Rd,c}</math></b>	<b>133.59</b>	<b>kN</b>	resistenza a taglio NO armatura
NB	2.5		numero bracci
D	8	mm	diametro armatura a taglio
$A_b$	0.50	cm <sup>2</sup>	area barra armatura a taglio
$A_{st}$	1.25	cm <sup>2</sup>	area complessiva staffe
st	400	mm	passo staffe
$\gamma_s$	1.15		
$\alpha$	90	°	
cotg teta	1		
$V_{Rsd}$	28.61	kN	resistenza di progetto a taglio - lato acciaio
$\alpha_c$	1		
v	0.5		
$f_{cd}$	17.40	N/mm <sup>2</sup>	
$V_{Rcd}$	1018.04	kN	resistenza di progetto a taglio - lato calcestruzzo
<b>VRd</b>	<b>28.61</b>	<b>kN</b>	resistenza a taglio CON armatura

Come riportato dalle immagini successive, le zone in cui la resistenza di progetto a taglio per elementi senza armatura dedicata è inferiore al taglio agente sono localizzate e in numero ridotto rispetto alla totalità degli elementi, si può considerare la verifica soddisfatta per entrambe le direzioni.

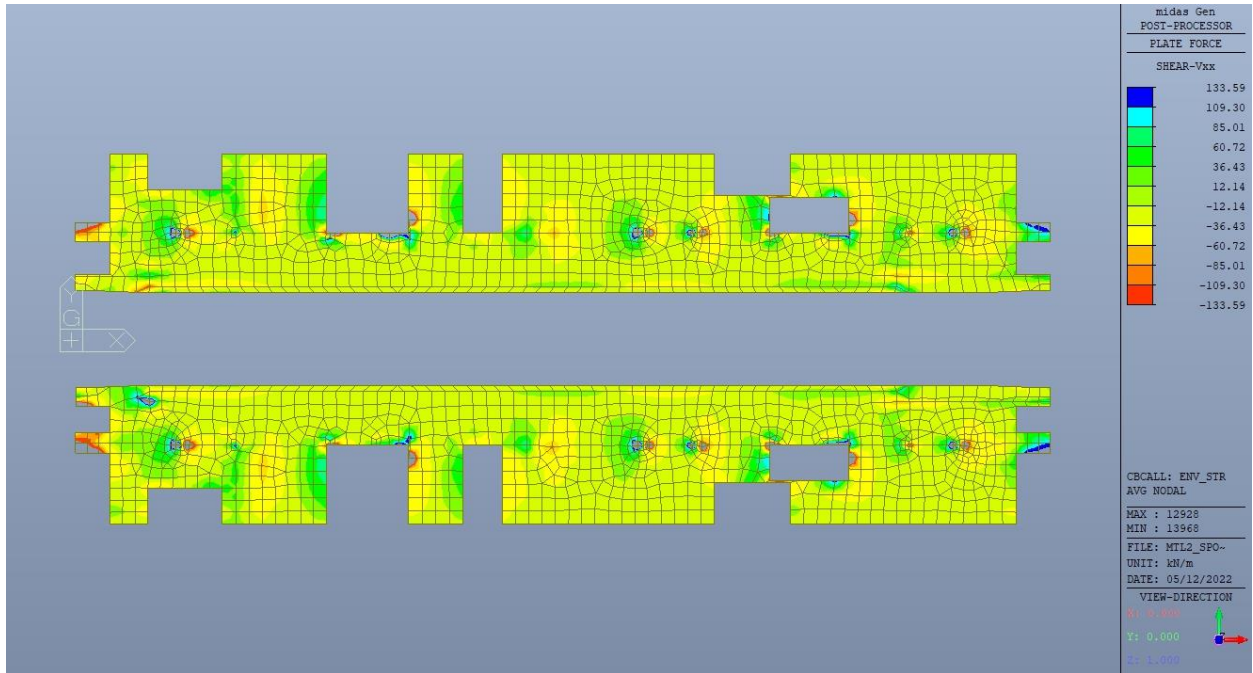


Figura 247. Piano banchina – Resistenza a taglio Direzione X

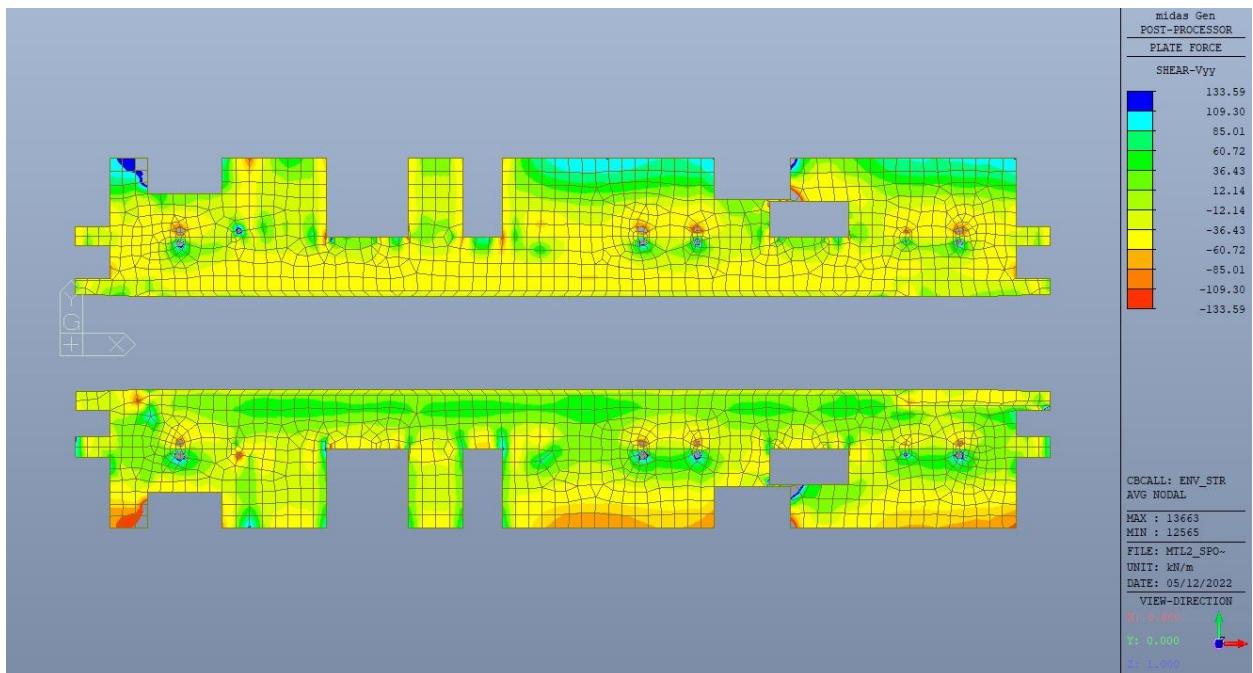


Figura 248. Piano banchina – Resistenza a taglio Direzione Y



## 16.2 Verifica Stati Limite di Esercizio - SLE

Si deve verificare il rispetto dei seguenti stati limite:

- deformazione;
- fessurazione;
- limitazione delle tensioni di esercizio.

### 16.2.1 Stato limite di deformazione

I limiti di deformabilità devono essere congruenti con le prestazioni richieste alla struttura anche in relazione alla destinazione d'uso, con riferimento alle esigenze statiche, funzionali ed estetiche.

Si può considerare la deformazione massima a pieno carico pari a 1/250 della luce di calcolo.

$L = 9.60$  m (tra fodera perimetrale e muretto via di corsa)

$$\delta_{max} = 38.4\text{mm}$$

Di seguito si riporta la deformata calcolata, a favore di sicurezza, in condizione di creep (effetti a lungo termine dovuti al fluage) con un modulo elastico del cls  $E_c$  ridotto di un valore pari a 2.75.

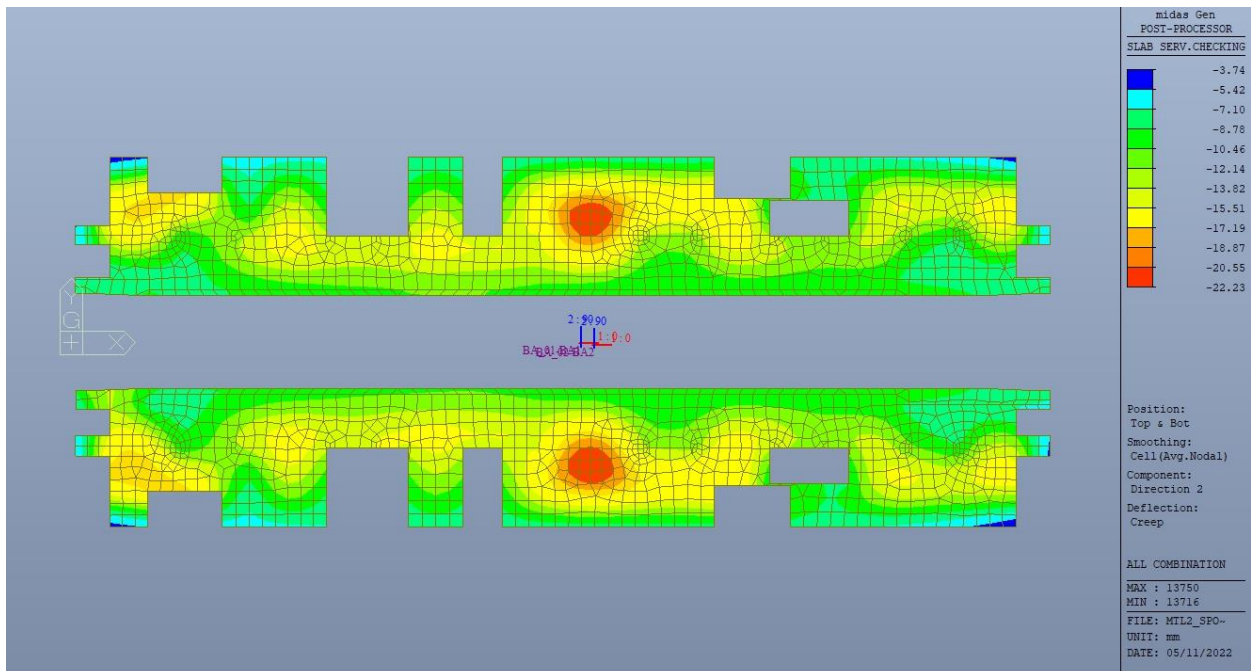


Figura 249. Piano banchina – Massima deformazione

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

Il massimo valore dell'abbassamento relativo in combinazione RARA è pari a 18.49mm, inferiore al valore massimo e compatibile con le prestazioni richieste.

La verifica è soddisfatta.

### 16.2.2 Stato limite di fessurazione

Ai fini della protezione contro la corrosione delle armature metalliche e della protezione contro il degrado del calcestruzzo, in funzione della classe di esposizione scelta si determina la condizione ambientale:

- ordinarie;
- aggressive;
- molto aggressive.

Stabilito la classe ambientale, in funzione della tipologia di armatura, se sensibile o poco sensibile alla corrosione, si determina il valore limite di apertura delle fessure.

In questo caso:

- classe di esposizione XC3;
- classe ambientale ordinaria;
- armatura poco sensibile;
- valore limite apertura delle fessure  $w_3$  (0.4mm) combinazioni SLE Frequente;
- valore limite apertura delle fessure  $w_2$  (0.3mm) combinazioni SLE Quasi Permanente.

Nelle seguenti immagini vengono riportati il ratio tra il valore di apertura delle fessure e il relativo valore limite nelle due direzioni di armatura; evidenziando, nel caso, le zone con un valore superiore all'unità indicatore che la verifica in oggetto non è soddisfatta.



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

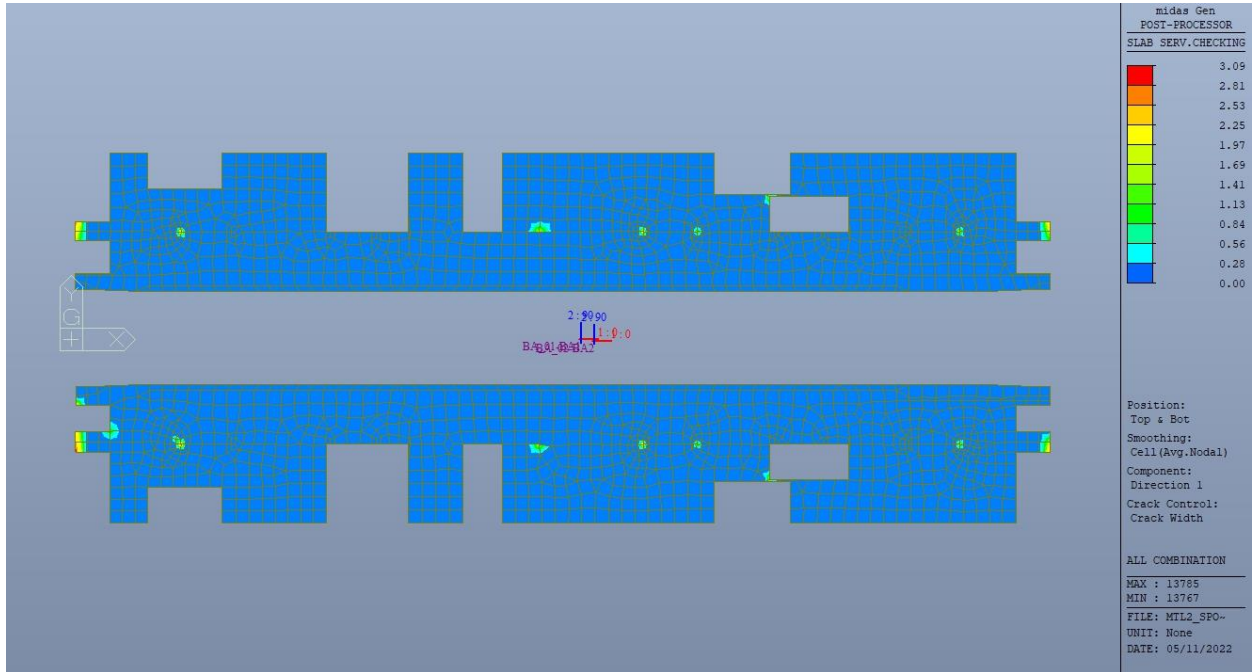


Figura 250. Piano banchina – Apertura delle fessure - Ratio Direzione 1

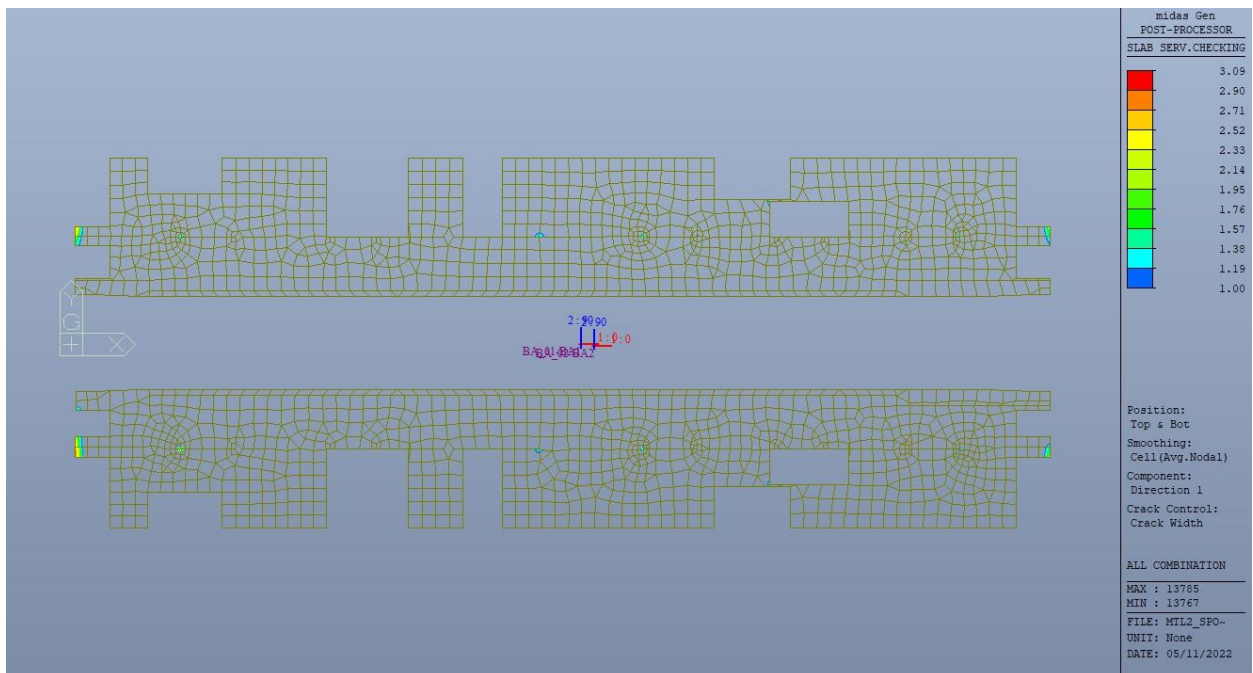


Figura 251. Piano banchina – Apertura delle fessure - Ratio Direzione 1 – Zone > 1



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

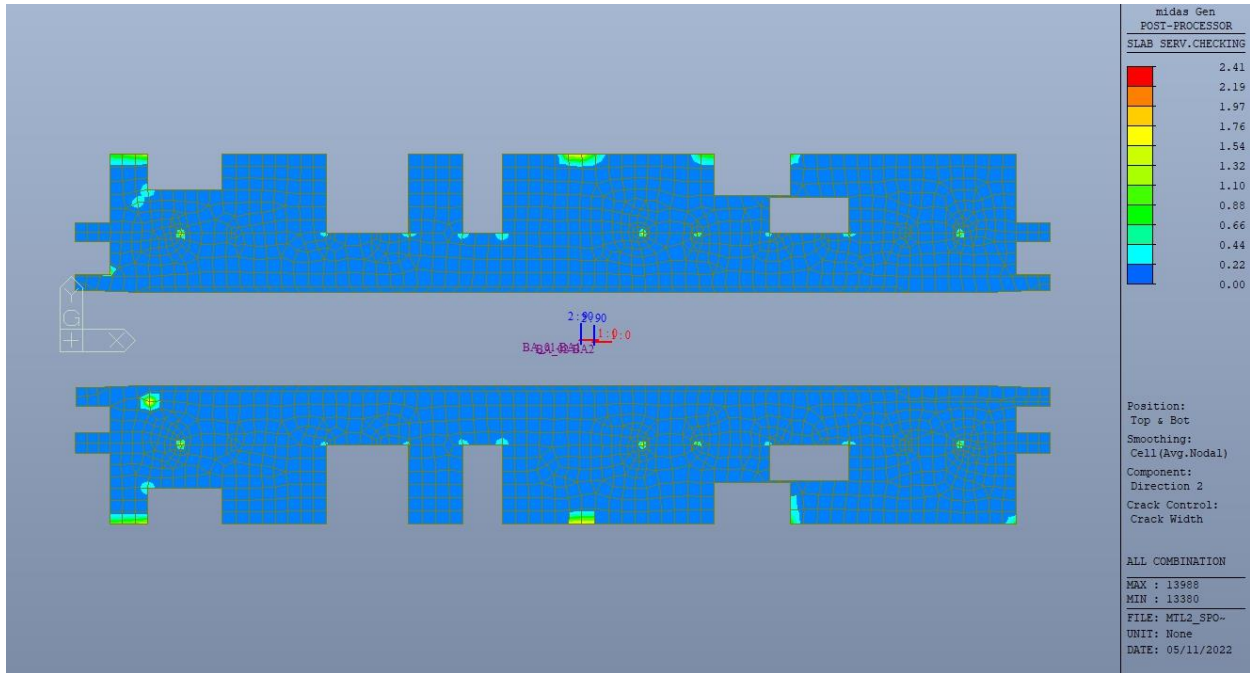


Figura 252. Piano banchina – Apertura delle fessure - Ratio Direzione 2

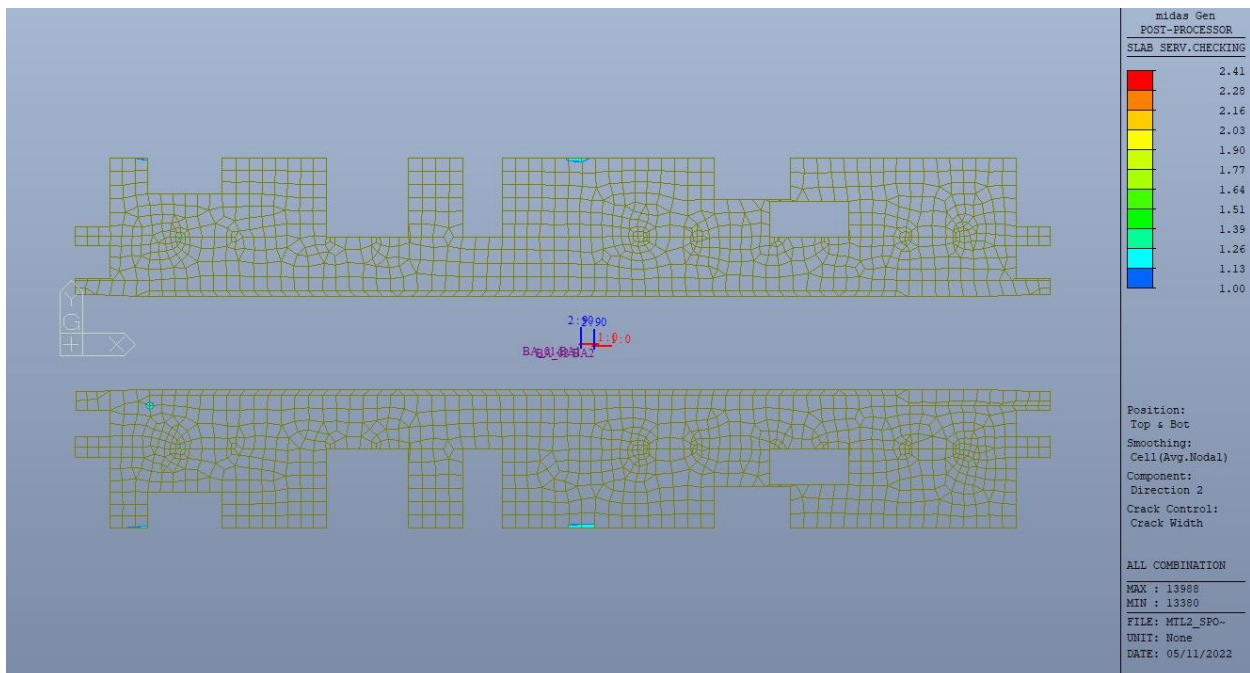


Figura 253. Piano banchina – Apertura delle fessure - Ratio Direzione 2 – Zone > 1



 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

Come si evince, le zone in cui il ratio è maggiore di uno, sono localizzate ed in numero limitato rispetto alle dimensioni complessive delle solette di piano; si può ritenere la verifica soddisfatta.

### 16.2.3 Stato limite di limitazione delle tensioni in esercizio

Si deve verificare che nelle varie parti della struttura le massime tensioni, sia nel calcestruzzo sia nelle armature, dovute alle combinazioni caratteristiche e quasi permanente delle azioni siano inferiori ai massimi valori consentiti:

- $\sigma_{c,max} \leq 0.60 f_{ck}$  per la combinazione caratteristica;
- $\sigma_{c,max} \leq 0.45 f_{ck}$  per la combinazione quasi permanente;
- $\sigma_{s,max} \leq 0.80 f_{yk}$  per la combinazione caratteristica.

Nelle seguenti immagini vengono riportati il ratio tra la tensione massima (cls e armatura) e il relativo valore limite nelle due direzioni di armatura; evidenziando, nel caso, le zone con un valore superiore all'unità indicatore che la verifica in oggetto non è soddisfatta.



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

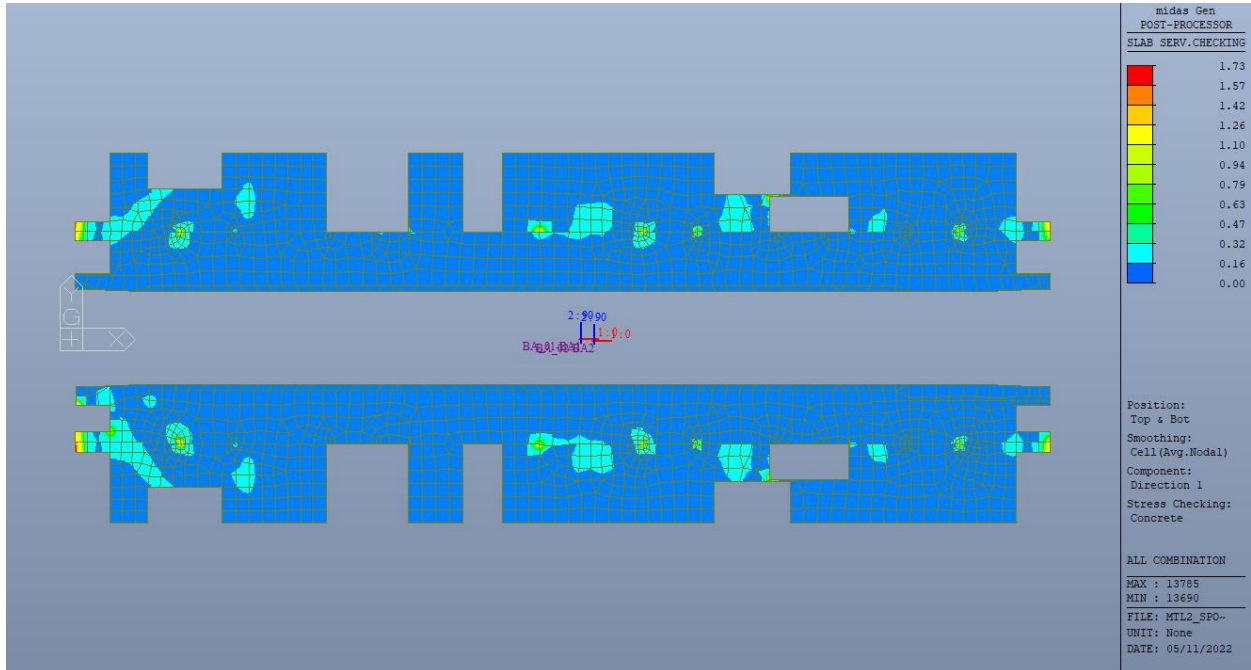


Figura 254. Piano banchina – Tensioni calcestruzzo - Ratio Direzione 1

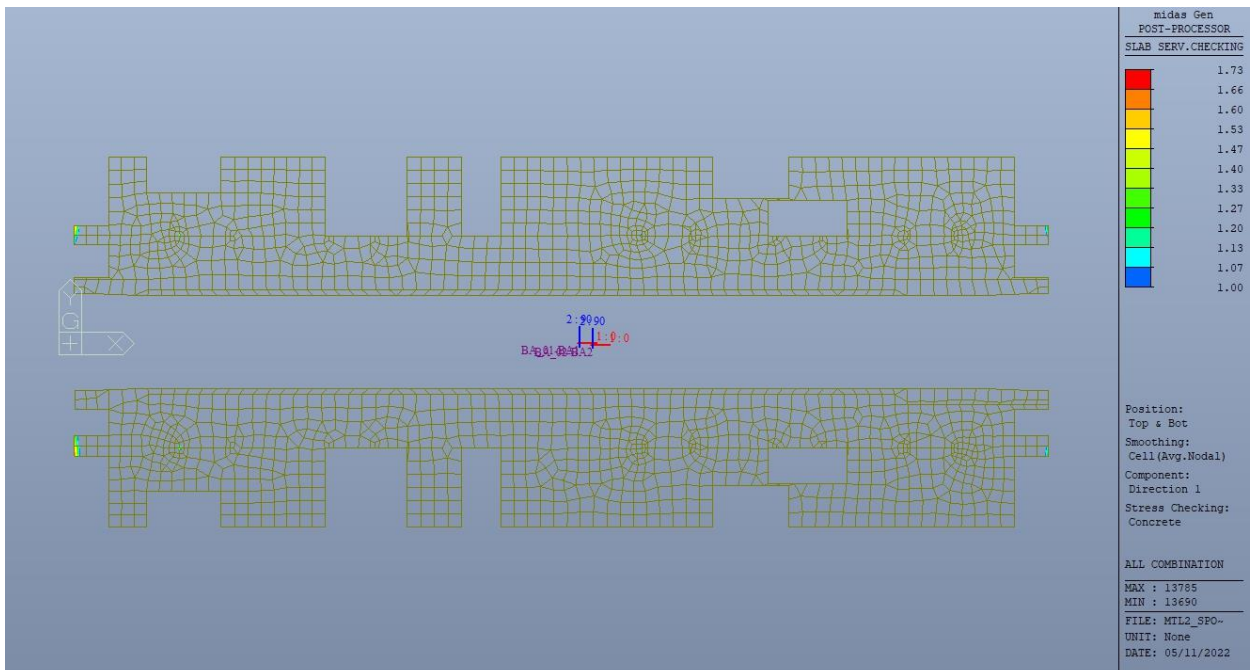


Figura 255. Piano banchina – Tensioni calcestruzzo - Ratio Direzione 1 – Zone > 1



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

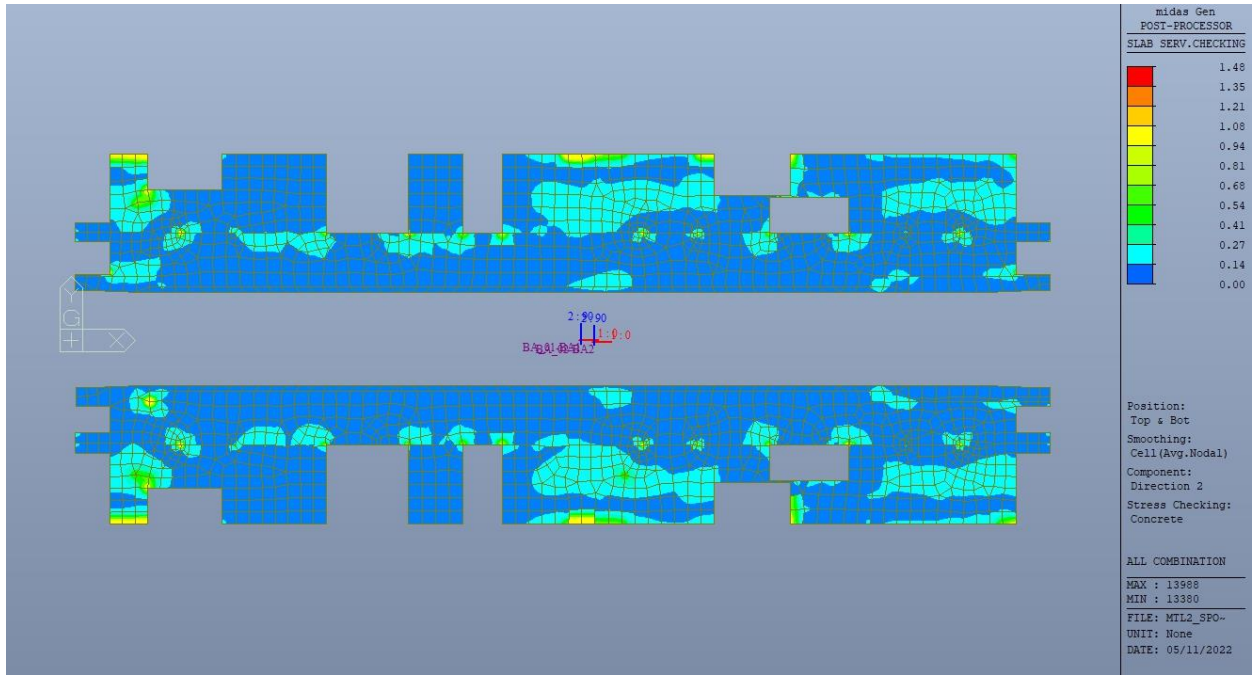


Figura 256. Piano banchina – Tensioni calcestruzzo - Ratio Direzione 2

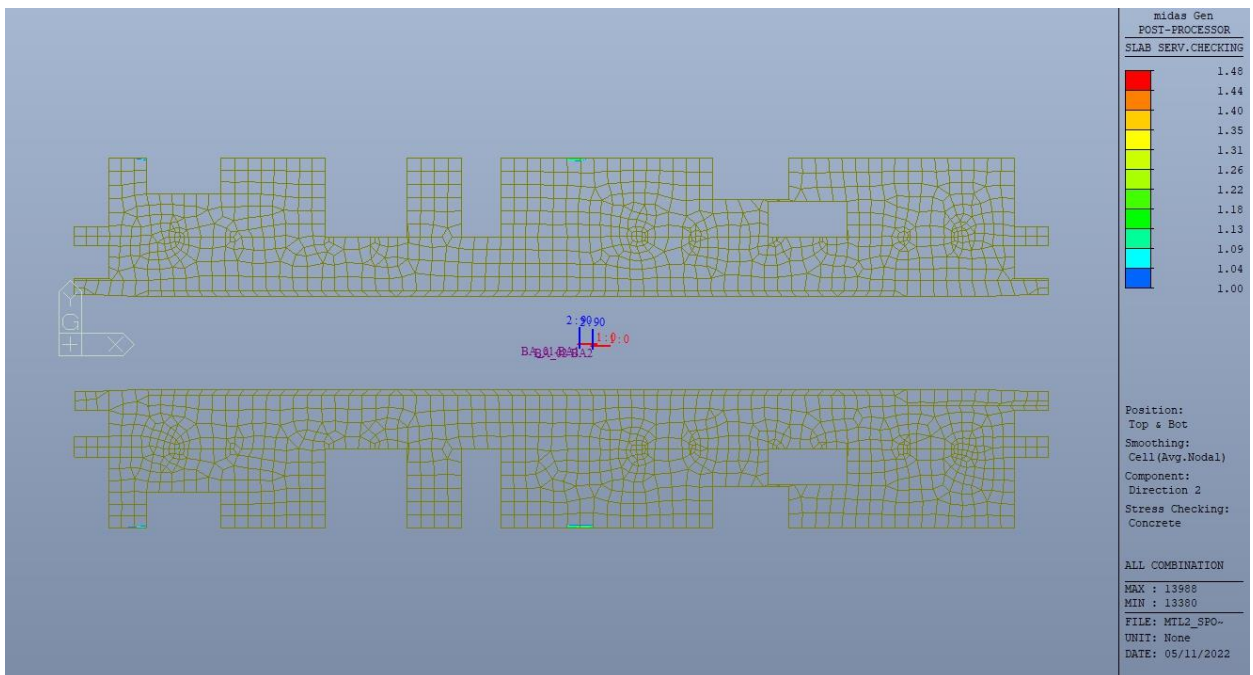


Figura 257. Piano banchina – Tensioni calcestruzzo - Ratio Direzione 2 – Zone > 1



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

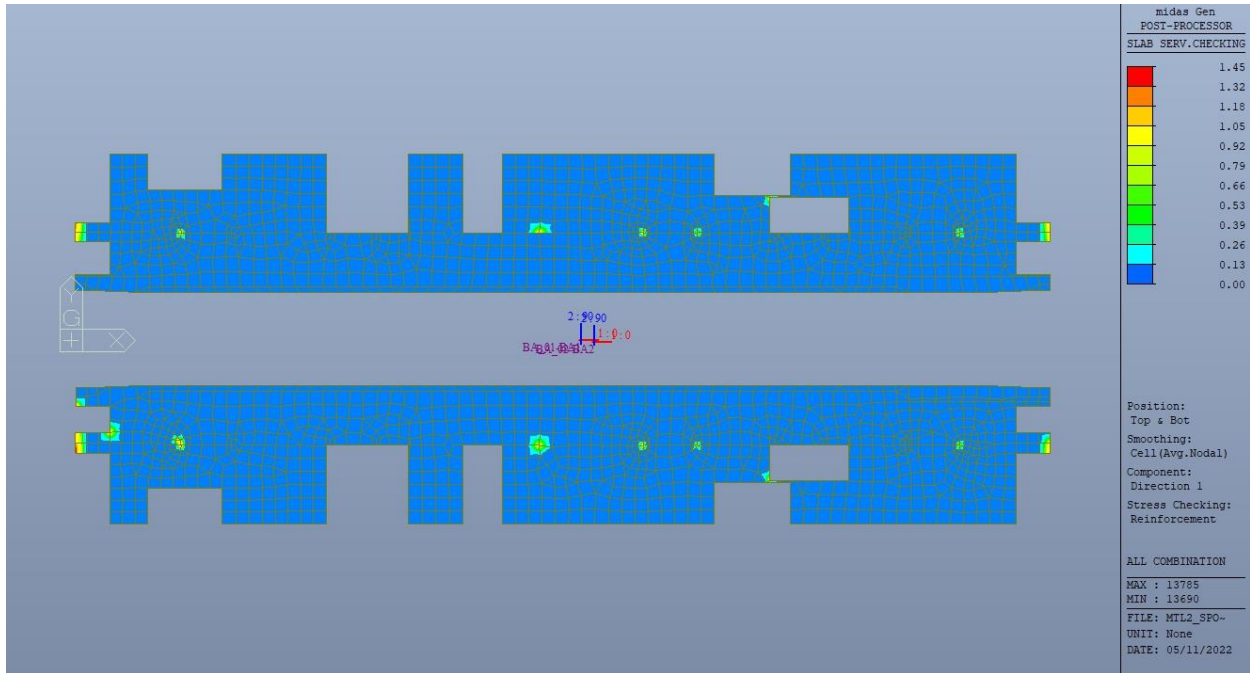


Figura 258. Piano banchina – Tensioni armatura - Ratio Direzione 1

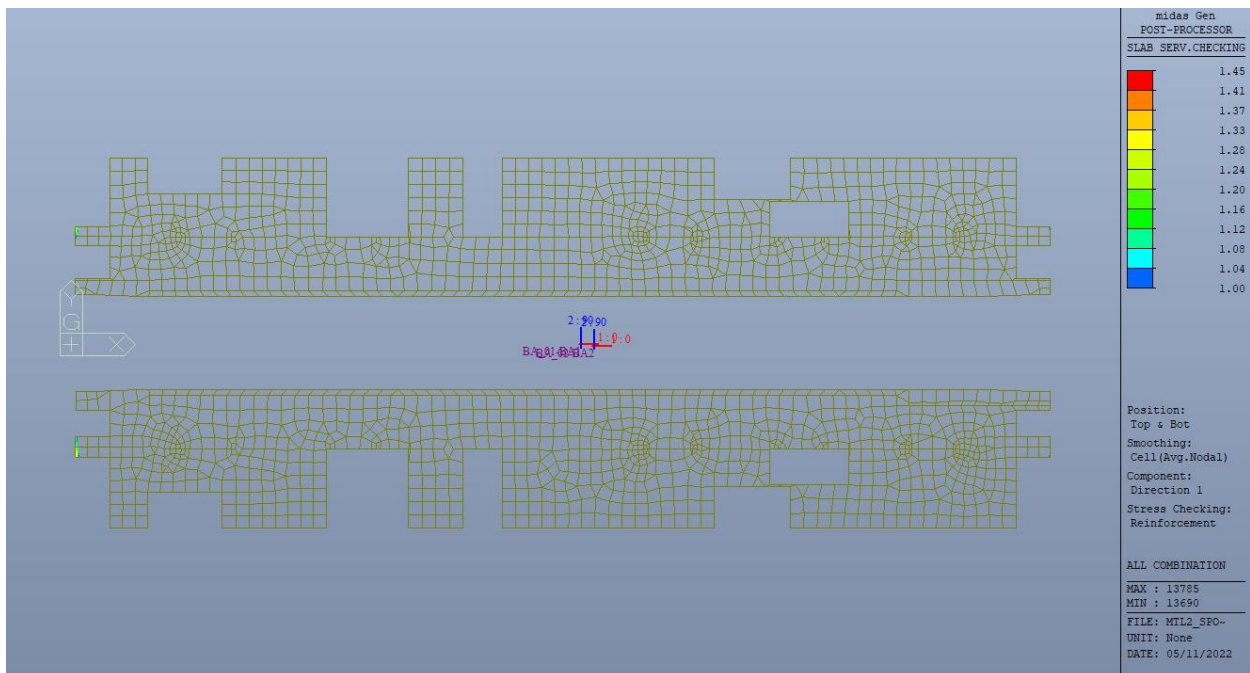


Figura 259. Piano banchina – Tensioni armatura - Ratio Direzione 1 – Zone > 1



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

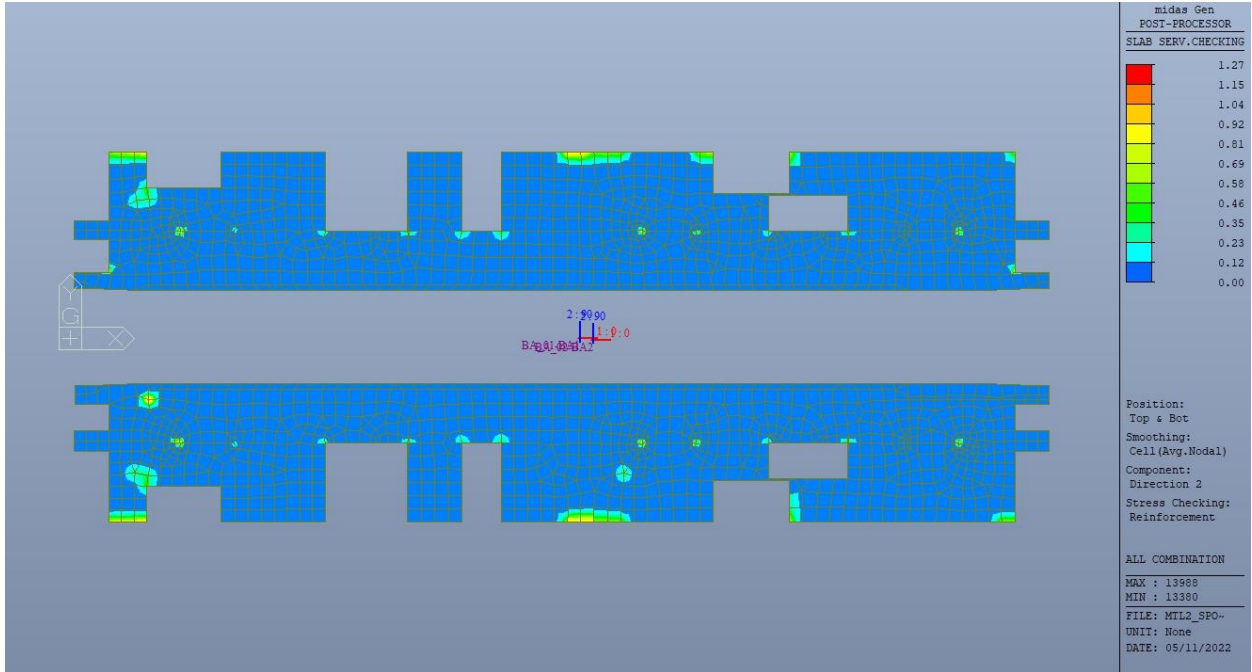


Figura 260. Piano banchina – Tensioni armatura - Ratio Direzione 2

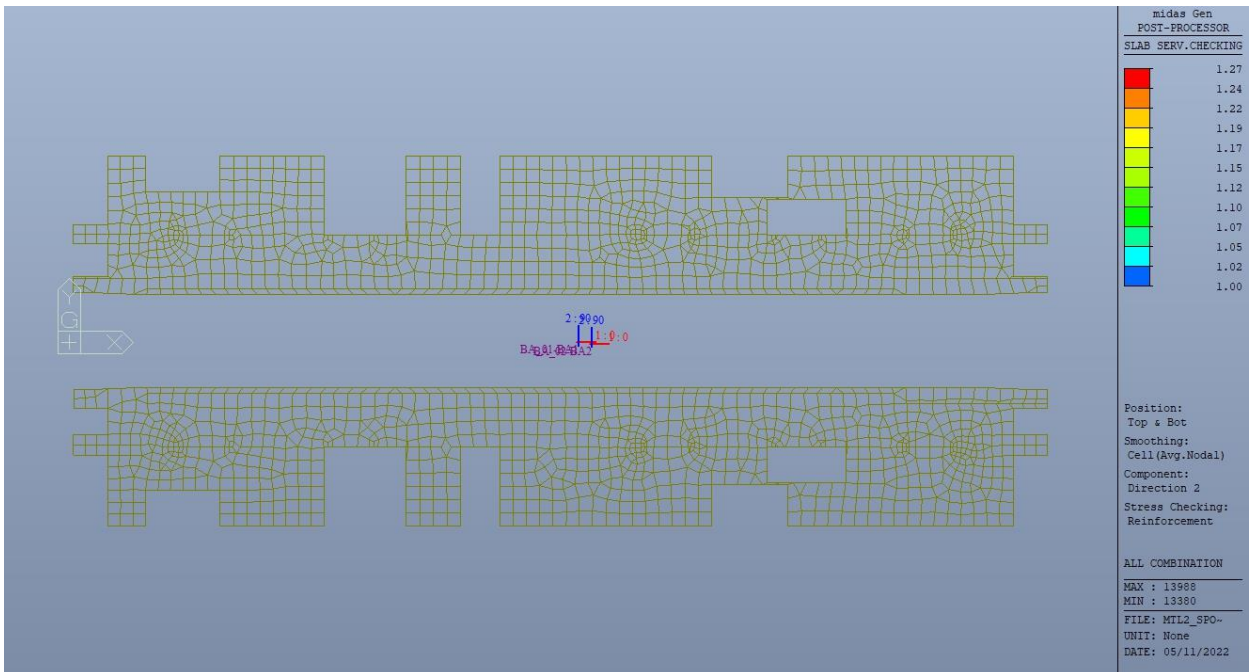



Figura 261. Piano banchina – Tensioni armatura - Ratio Direzione 2 – Zone > 1

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

Come si evince, le zone in cui il ratio è maggiore di uno, sono localizzate ed in numero limitato rispetto alle dimensioni della soletta di piano.

Si può ritenere la verifica soddisfatta.

## 17. VERIFICA PLATEA

### 17.1 Verifica Stati Limite Ultimi – SLU e SLV

Si deve verificare che i singoli elementi strutturali e la struttura nel suo insieme possiedano una capacità in resistenza sufficiente a soddisfare la domanda sia allo SLV che allo SLU.

Nel seguito si riportano sinteticamente i principali risultati delle analisi.

#### 17.1.1 Sollecitazioni

Le immagini successive riportano gli involuppi delle sollecitazioni per gli Stati Limite SLU e SLV nelle due direzioni X e Y.



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

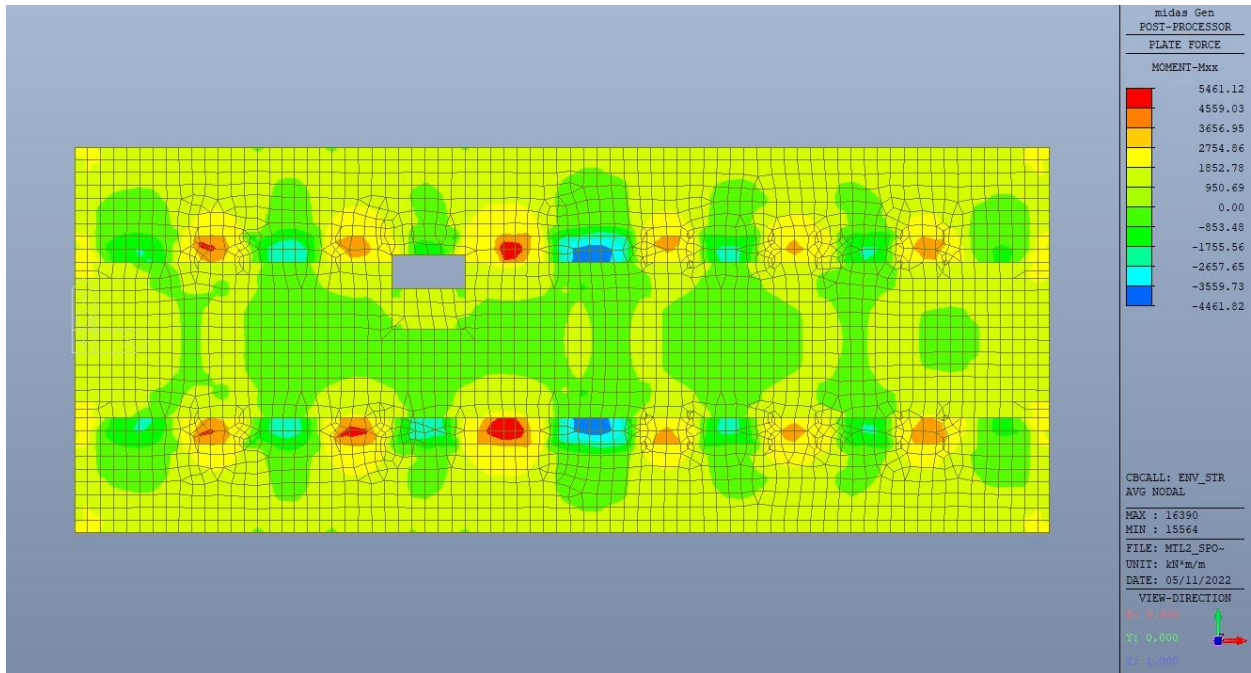


Figura 262. Platea – Involuppo momento flettente  $M_{xx}$  – Direzione X



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

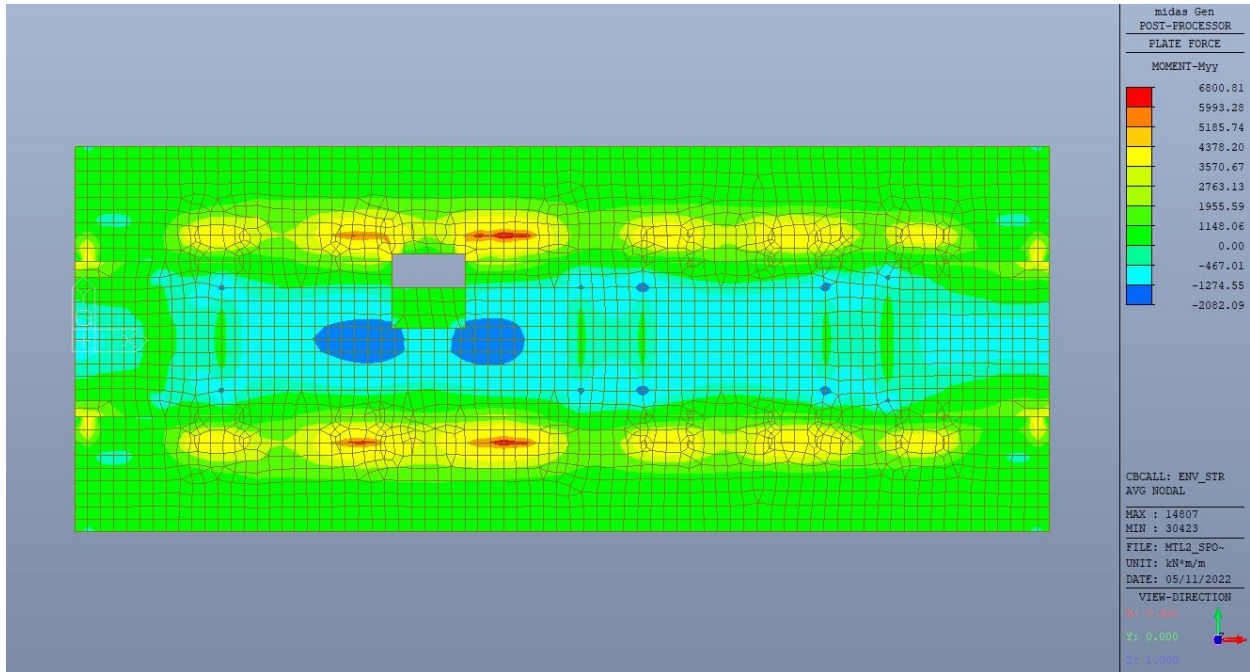
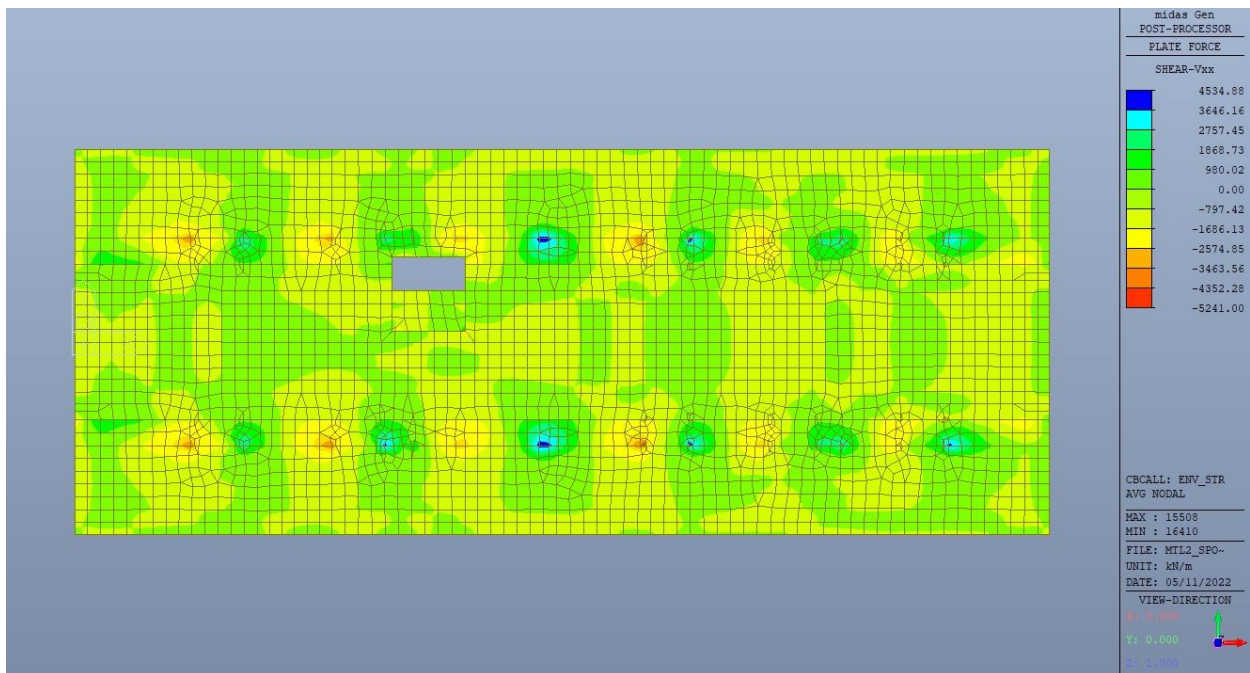


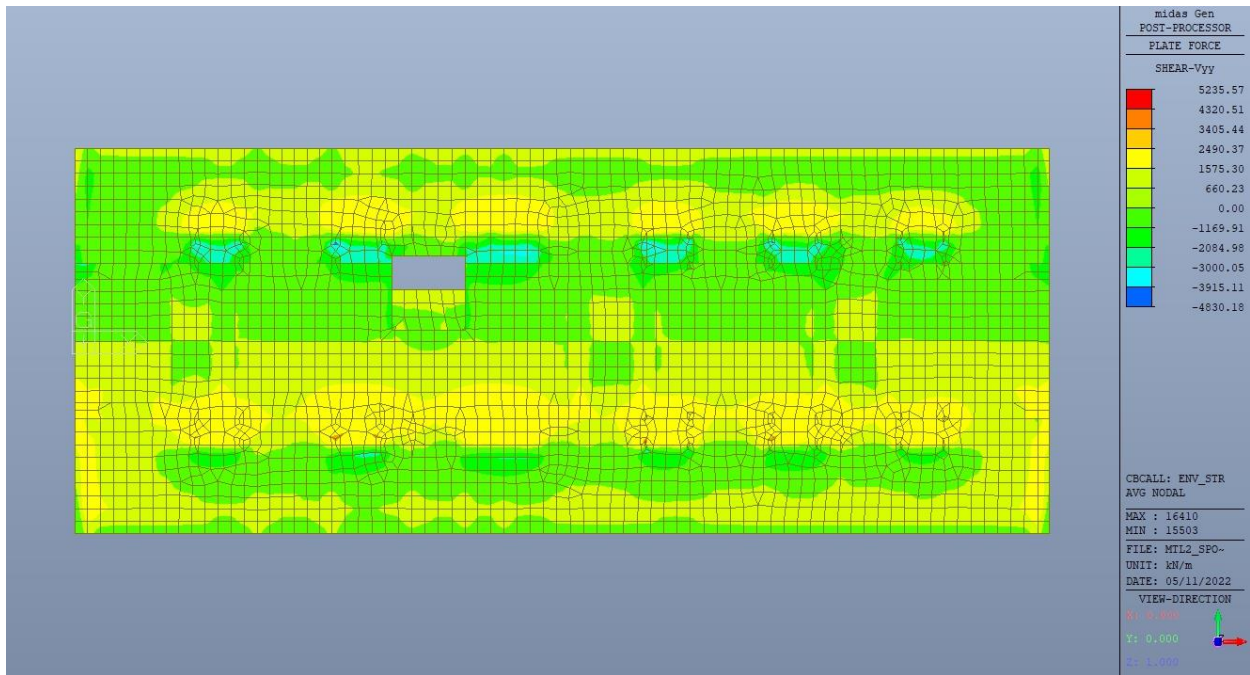
Figura 263. Platea – Involuppo momento flettente  $M_{yy}$  – Direzione Y





 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

**Figura 264. Platea – Involuppo taglio  $V_{xx}$  – Direzione X**



**Figura 265. Platea – Involuppo taglio  $V_{yy}$  – Direzione Y – Tempo infinito**



### 17.1.2 Verifiche strutturali

Trattandosi di struttura a comportamento non dissipativo, la capacità delle membrature e dei collegamenti deve essere valutata in accordo con le regole di cui al par. 4.1 delle citate norme, senza nessun requisito aggiuntivo.

Come valore minimo dell'armatura longitudinale si è considerato quanto riportato nel par. 7.2.5 delle NTC2018, ossia una percentuale non inferiore allo 0.1% dell'area della sezione trasversale della platea, sia inferiormente sia superiormente, nelle due direzioni ortogonali e per l'intera estensione

Tabella 38. Armatura minima

				D1 - TOP			D1 -BOTTOM		
Tipologia	b [cm]	h [cm]	A <sub>c</sub> [cm <sup>2</sup> ]	A <sub>s</sub> [cm <sup>2</sup> ]	A <sub>smin</sub> [cm <sup>2</sup> ]	CK	A <sub>s</sub> [cm <sup>2</sup> ]	A <sub>smin</sub> [cm <sup>2</sup> ]	CK
Platea H180	100	180	18000	26.55	18.00	OK	26.55	18.00	OK
				D2 - TOP			D2 -BOTTOM		
Tipologia	b [cm]	h [cm]	A <sub>c</sub> [cm <sup>2</sup> ]	A <sub>s</sub> [cm <sup>2</sup> ]	A <sub>smin</sub> [cm <sup>2</sup> ]	CK	A <sub>s</sub> [cm <sup>2</sup> ]	A <sub>smin</sub> [cm <sup>2</sup> ]	CK
Platea H180	100	180	18000	53.1	18.00	OK	53.1	18.00	OK

Nelle immagini seguenti sono riportate le armature superiori e inferiori nelle due direzioni D1 e D2.



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

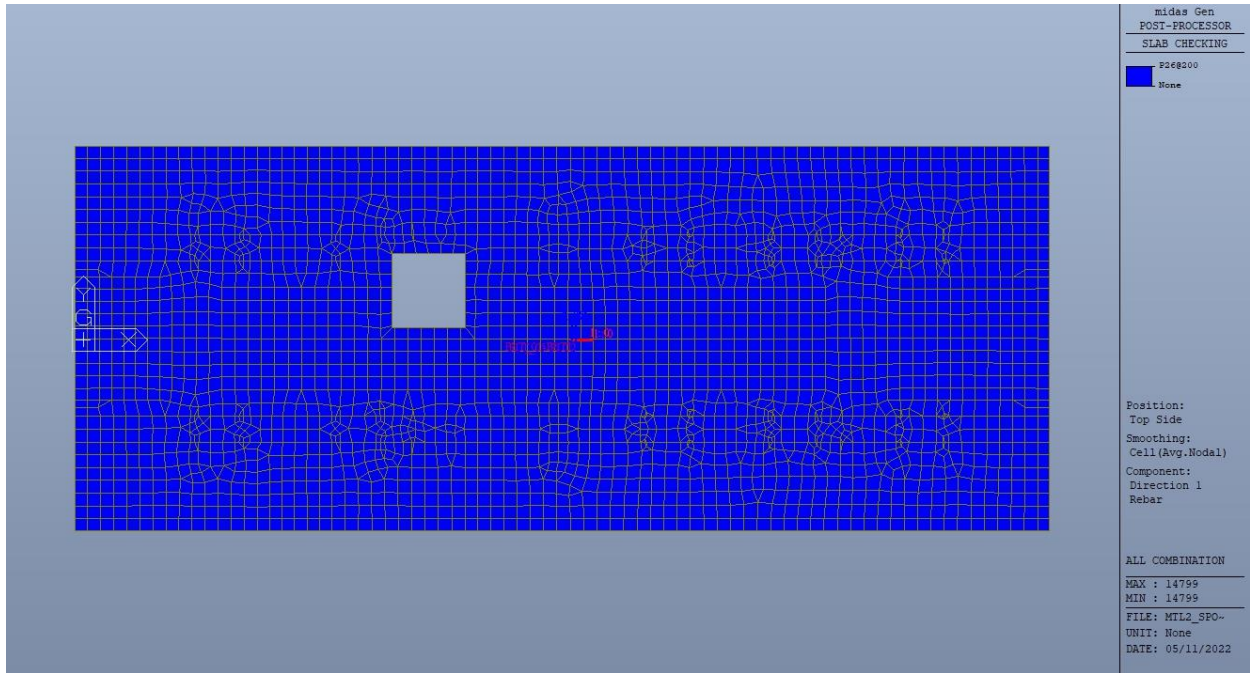


Figura 267. Platea – Armatura superiore direzione D1

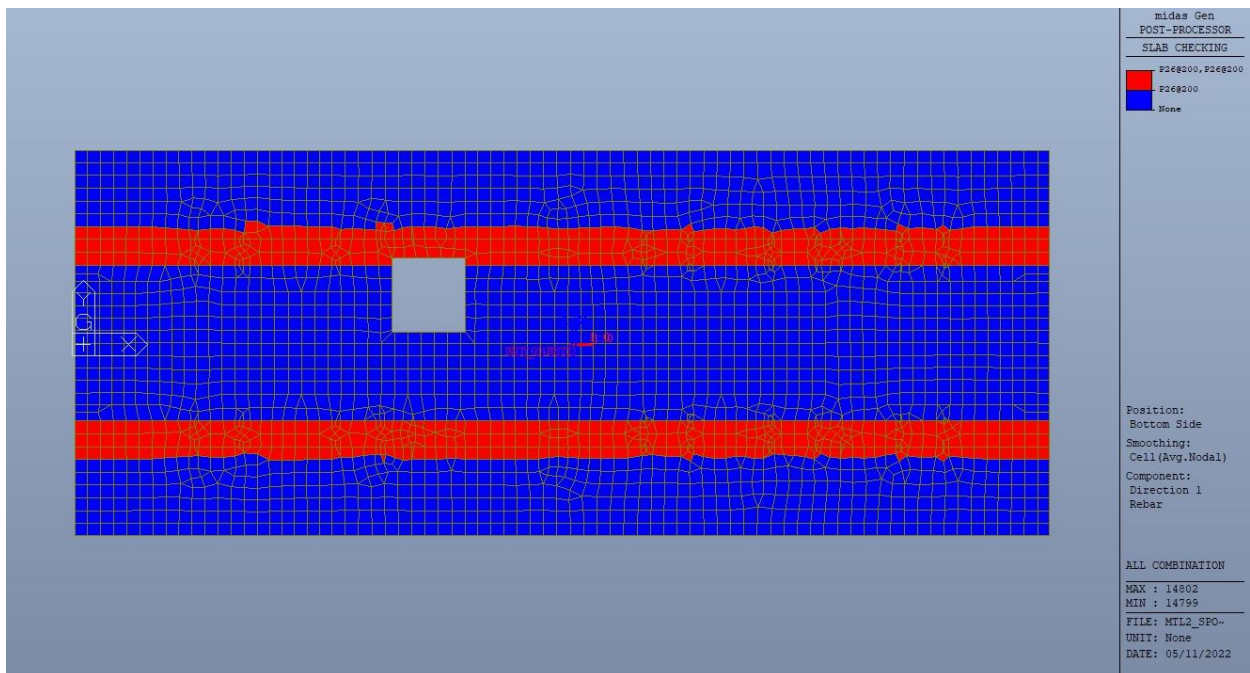


Figura 268. Platea – Armatura inferiore direzione D1



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

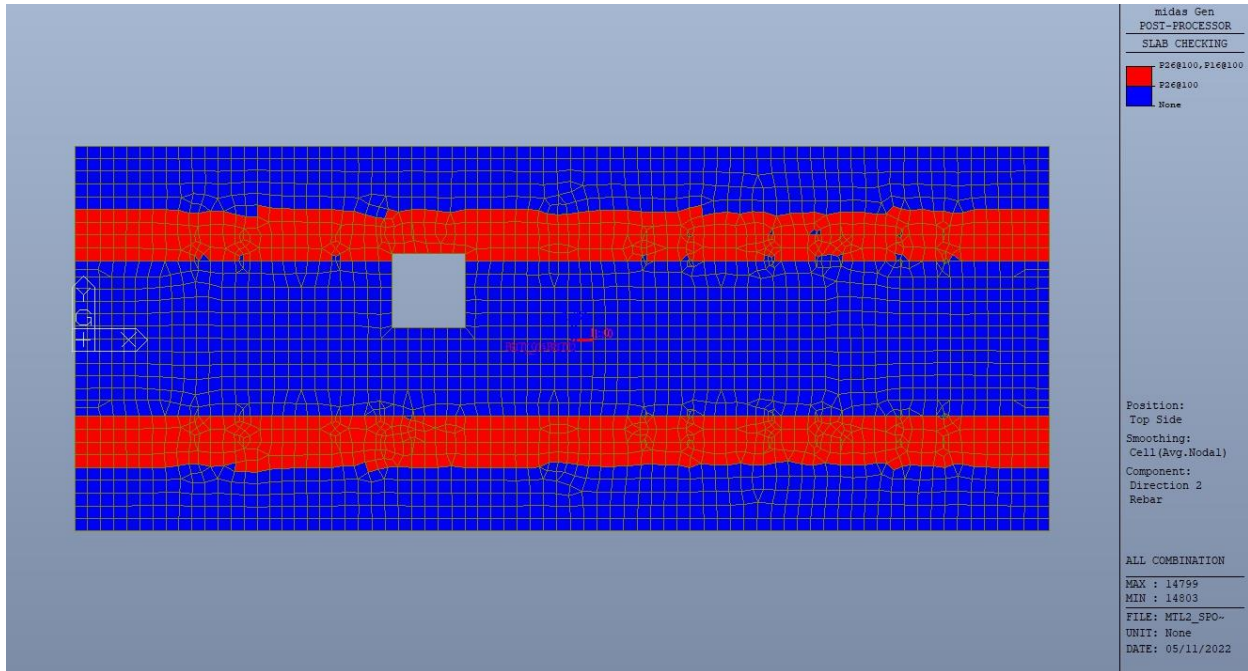


Figura 269. Platea – Armatura superiore direzione D2

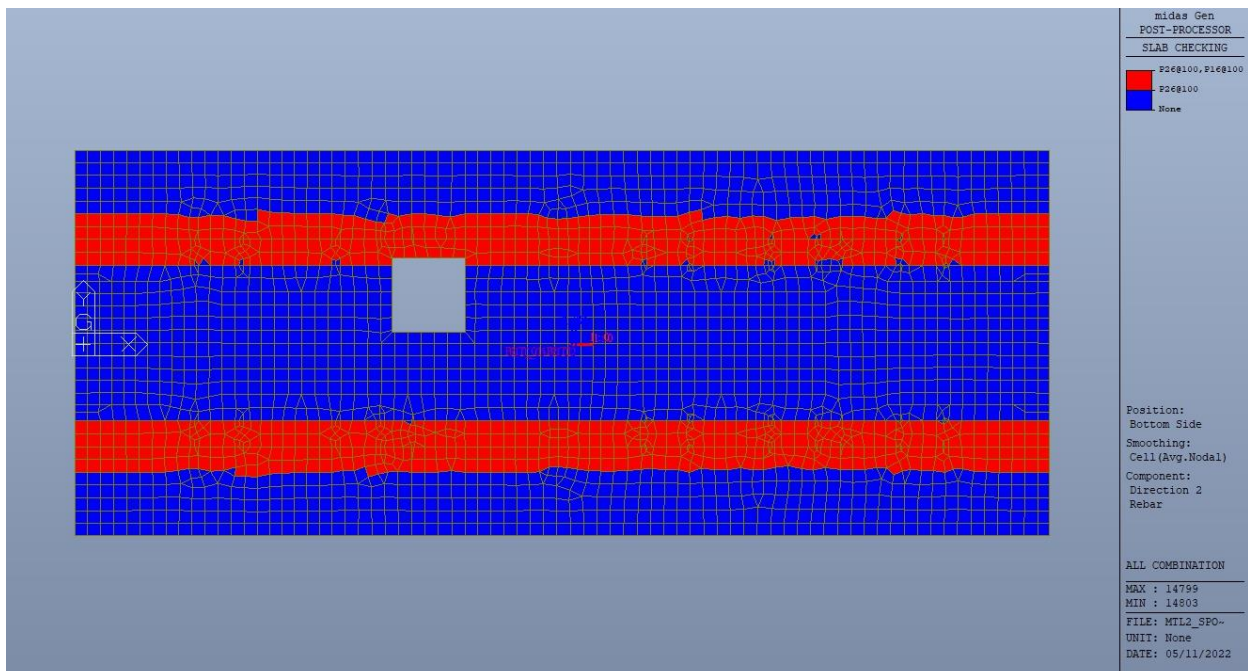


Figura 270. Platea – Armatura inferiore direzione D2

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

Nelle seguenti immagini vengono riportati i massimi tassi di lavoro dei singoli elementi strutturali nelle due direzioni D1 e D2 evidenziando, nel caso, quelli con un valore superiore all'unità indicatore che la verifica in oggetto non è soddisfatta.



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

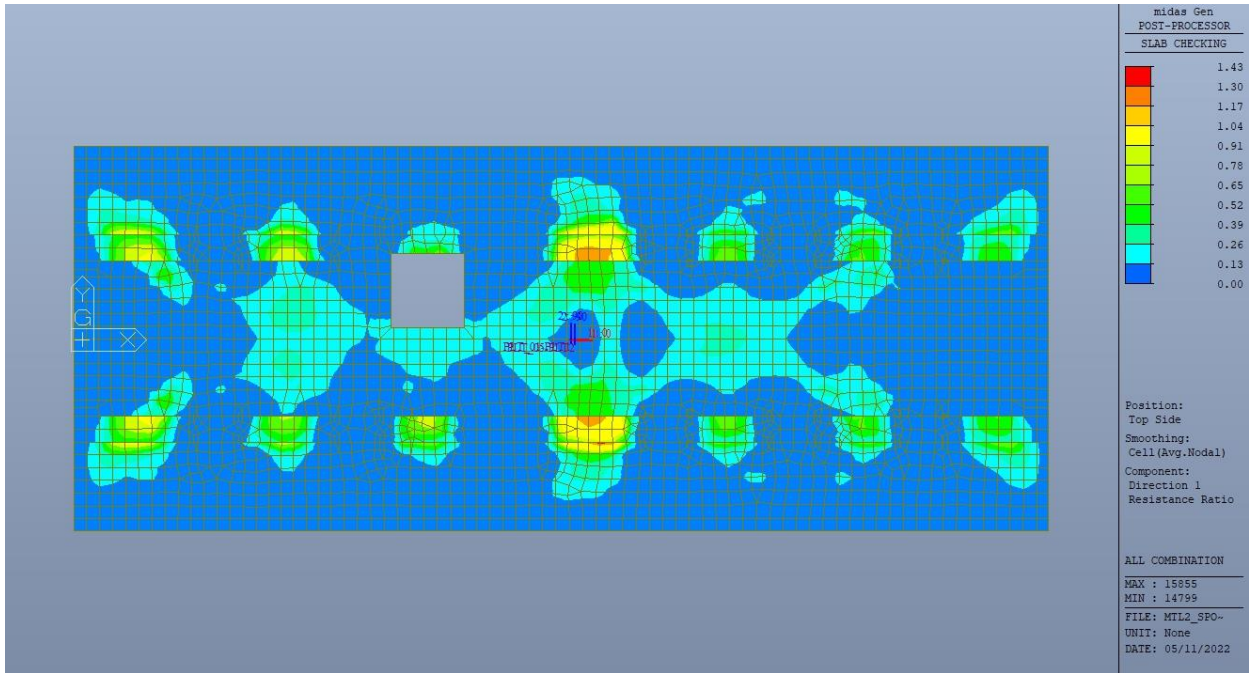


Figura 271. Platea – Tasso di lavoro faccia superiore – Direzione D1

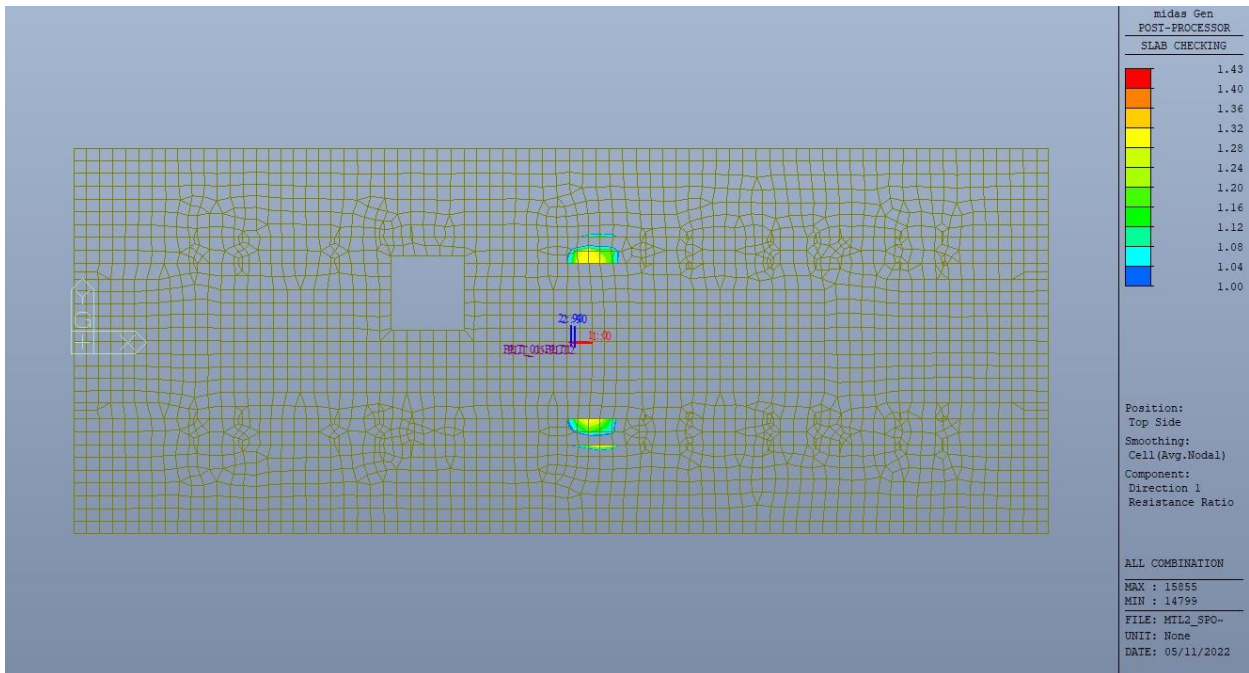


Figura 272. Platea – Tasso di lavoro faccia superiore – Direzione D1 – Zone > 1



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

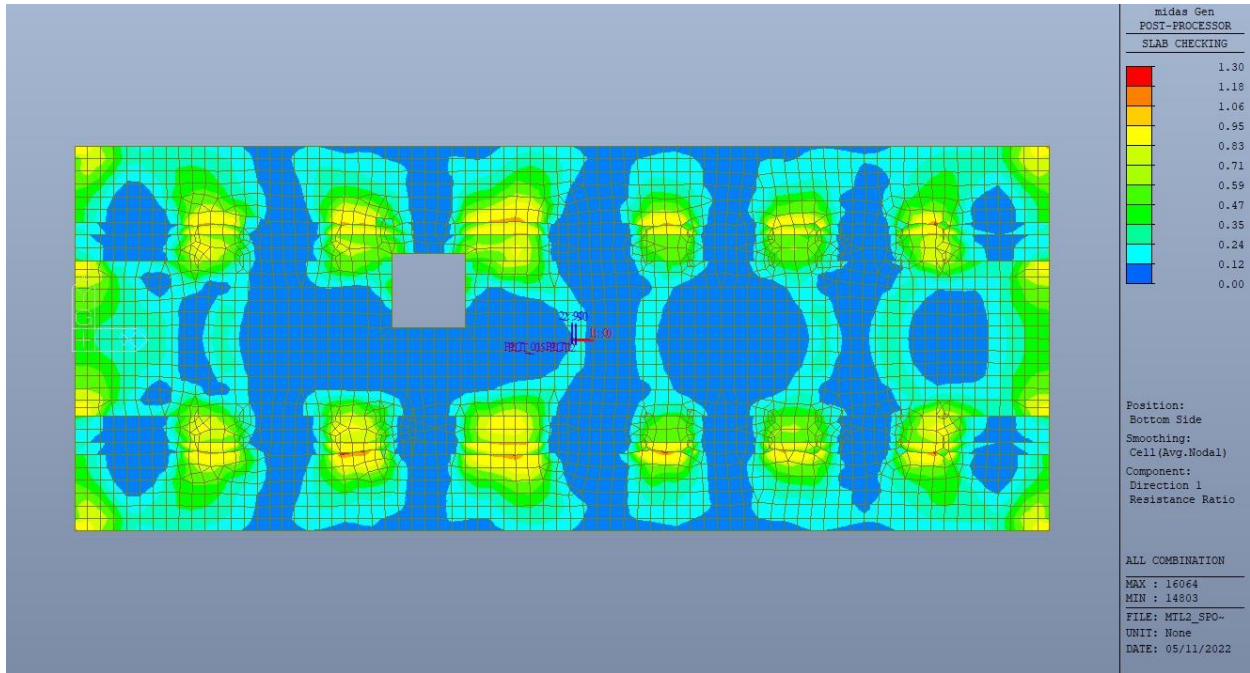


Figura 273. Platea – Tasso di lavoro faccia inferiore – Direzione D1

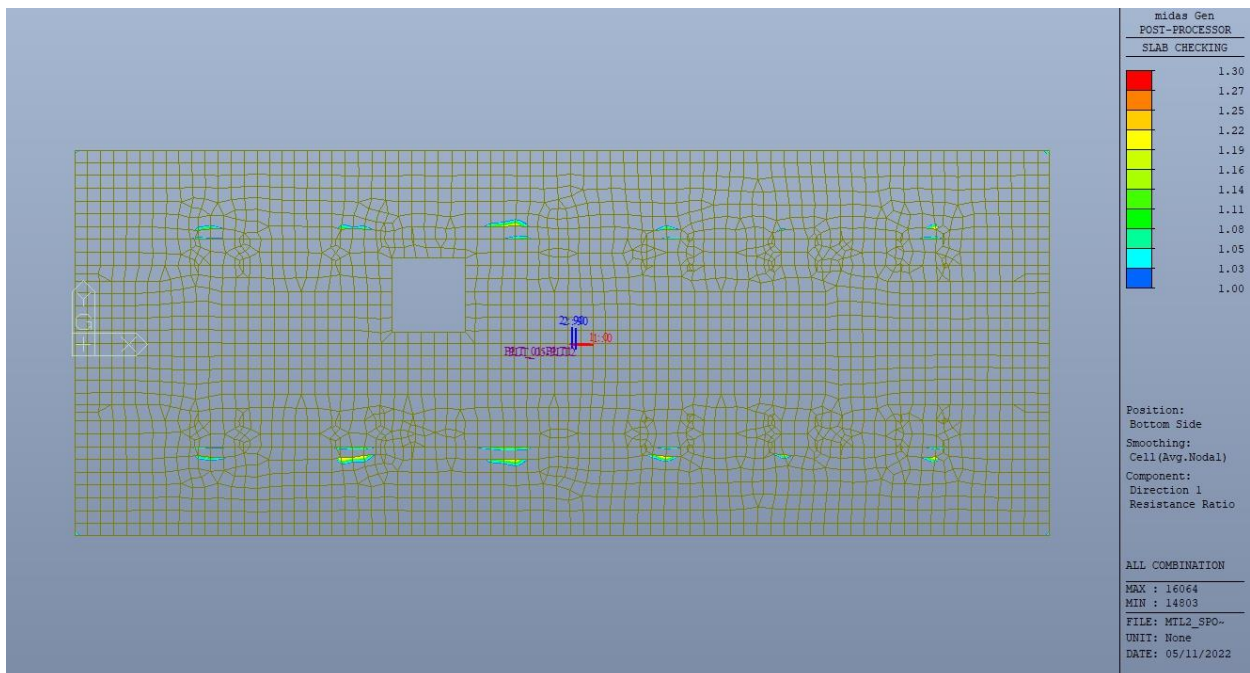


Figura 274. Platea – Tasso di lavoro faccia inferiore – Direzione D1 – Zone > 1



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

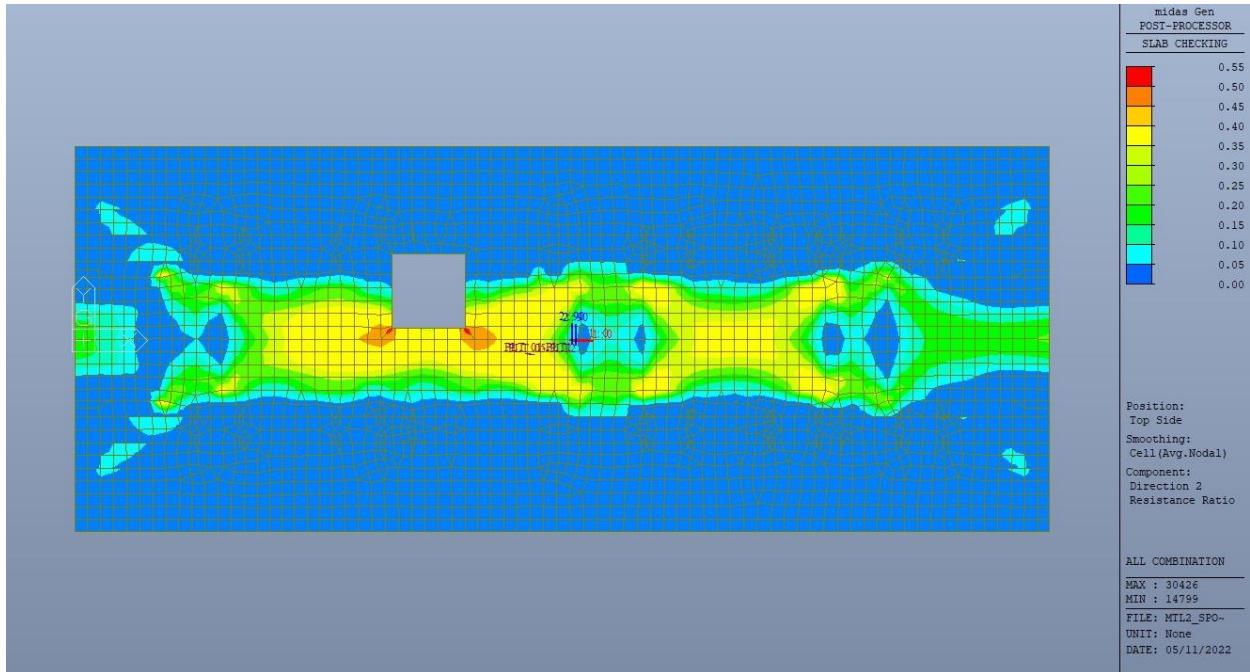


Figura 275. Platea – Tasso di lavoro faccia superiore – Direzione D2





CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

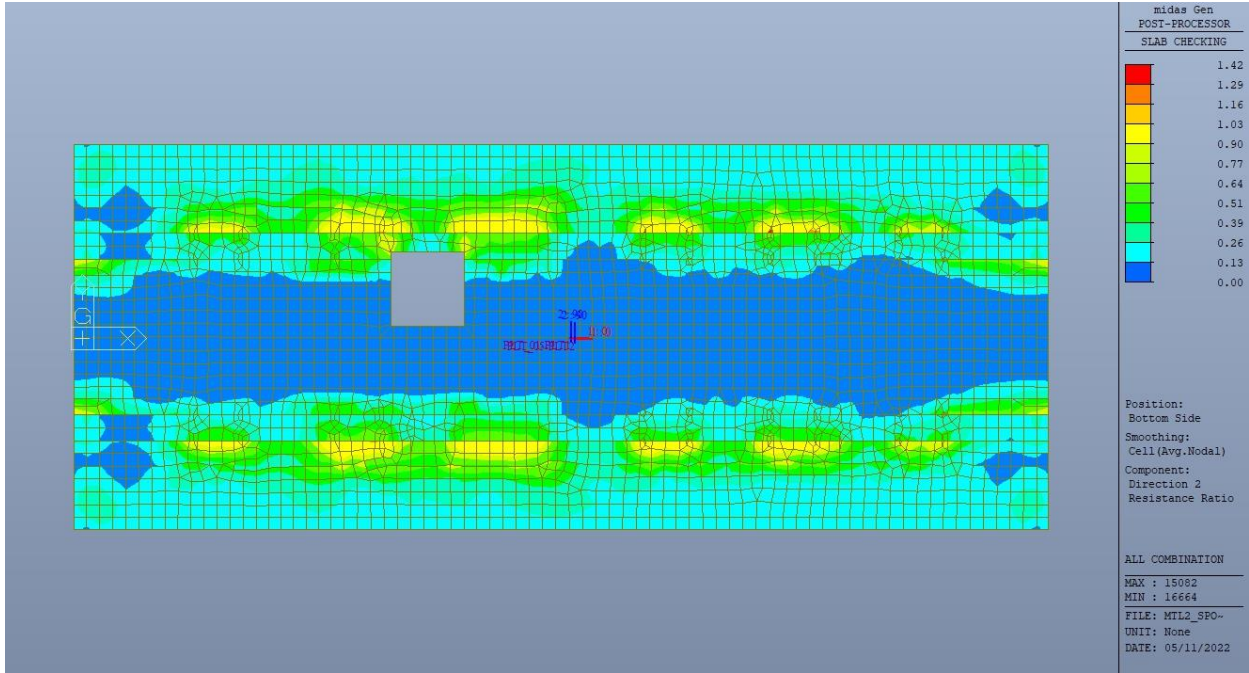


Figura 276. Platea – Tasso di lavoro faccia inferiore – Direzione D2

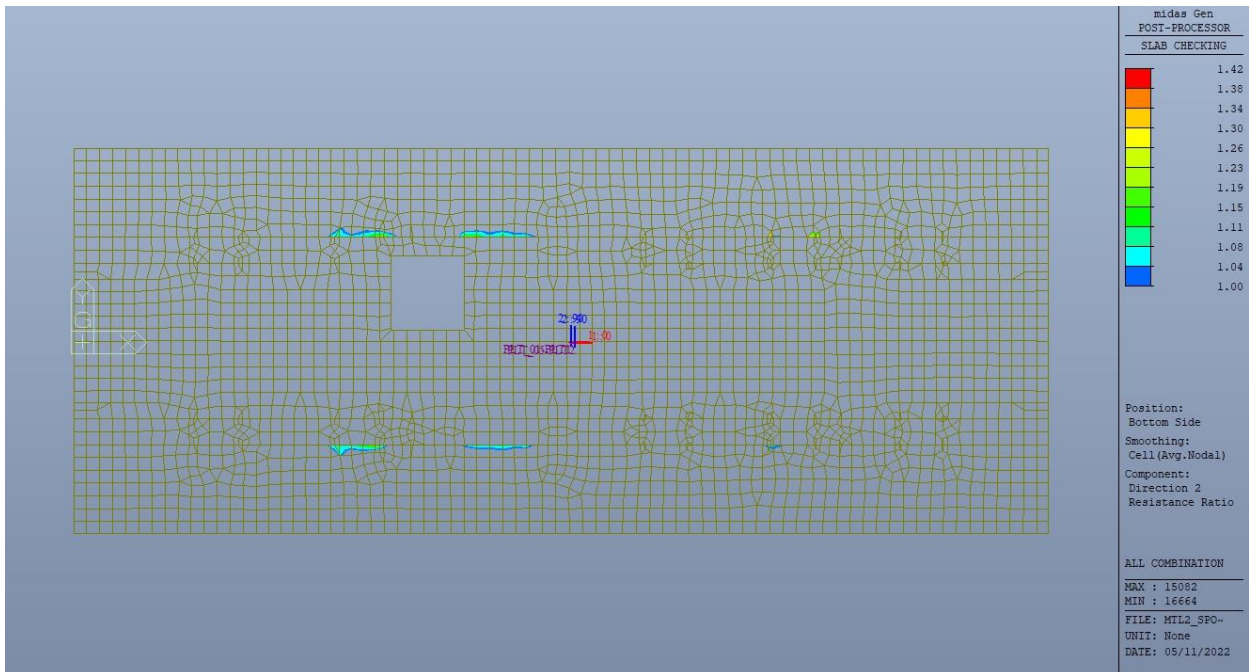


Figura 277. Platea – Tasso di lavoro faccia inferiore – Direzione D2 – Zone > 1

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

Per entrambe le direzioni, le zone con tasso di lavoro superiore all'unità sono localizzate e in numero ridotto rispetto alla totalità degli elementi, si può considerare la verifica soddisfatta.

Resistenza a taglio di progetto in direzione X e Y – valore per unità di lunghezza.

**Tabella 39. Verifica a taglio – Platea di fondazione**

CLS	C30/37		tipologia calcestruzzo
Acciaio	B450C		tipologia acciaio
$f_{yk}$	450	N/mm <sup>2</sup>	valore caratteristico della resistenza a trazione acciaio
$f_{ck}$	30.71	N/mm <sup>2</sup>	valore caratteristico della resistenza a compressione del cls
$\gamma_c$	1.5		coefficiente di sicurezza
c	100	mm	copriferro
d	1700	mm	altezza utile sezione
k	1.46		
$\rho_1$	0.16%		rapporto geometrico di armatura longitudinale
$v_{min}$	0.302		
$V_{Rd}$	462.03	kN	
$V_{Rd,min}$	513.18	kN	
<b><math>V_{Rd,c}</math></b>	<b>513.18</b>	<b>kN</b>	resistenza a taglio NO armatura
NB	5		numero bracci
D	20	mm	diametro armatura a taglio
$A_b$	3.14	cm <sup>2</sup>	area barra armatura a taglio
$A_{st}$	15.70	cm <sup>2</sup>	area complessiva staffe
st	200	mm	passo staffe
$\gamma_s$	1.15		
$\alpha$	90	°	
cotg teta	1		
$V_{Rsd}$	4699.76	kN	resistenza di progetto a taglio - lato acciaio
$\alpha_c$	1		
v	0.5		
$f_{cd}$	17.40	N/mm <sup>2</sup>	
$V_{Rcd}$	6656.392	kN	resistenza di progetto a taglio - lato calcestruzzo
<b><math>VRd</math></b>	<b>4699.76</b>	<b>kN</b>	resistenza a taglio CON armatura

Come riportato dalle immagini successive, la resistenza a taglio per elementi con armatura dedicata è superiore al taglio agente in ogni parte della platea di fondazione per entrambe le direzioni, fatta eccezione per zone localizzate e in numero ridotto.

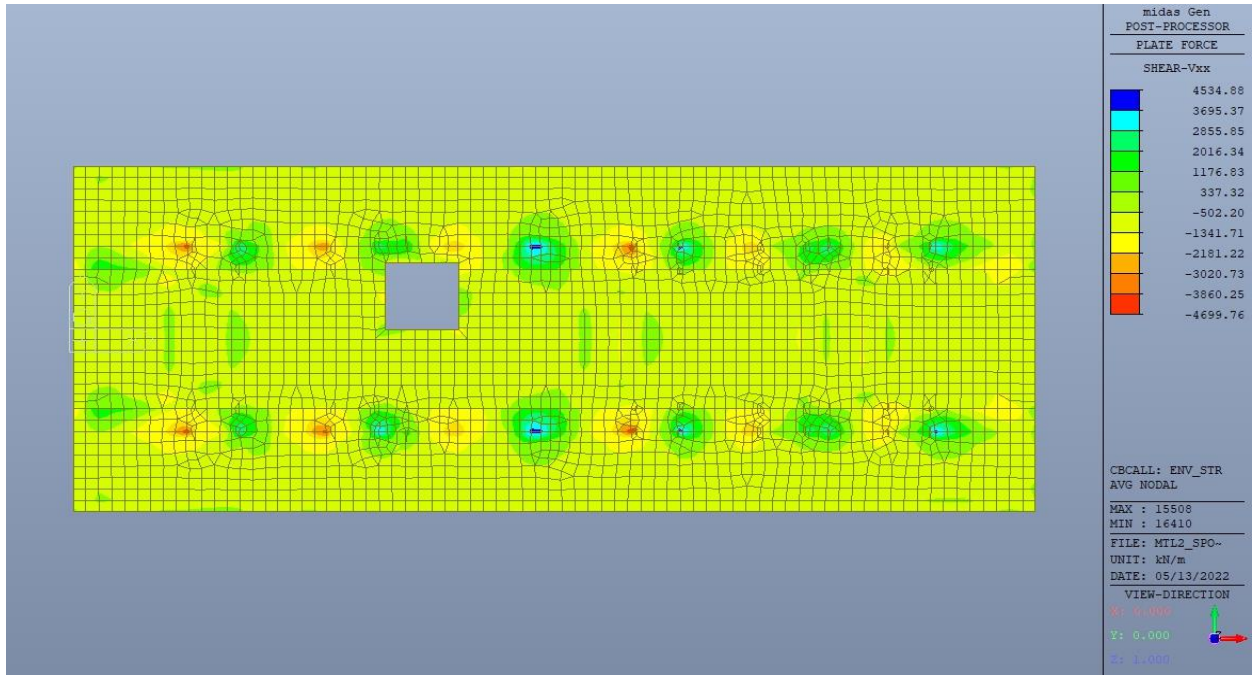


Figura 278. Platea – Resistenza a taglio Direzione X

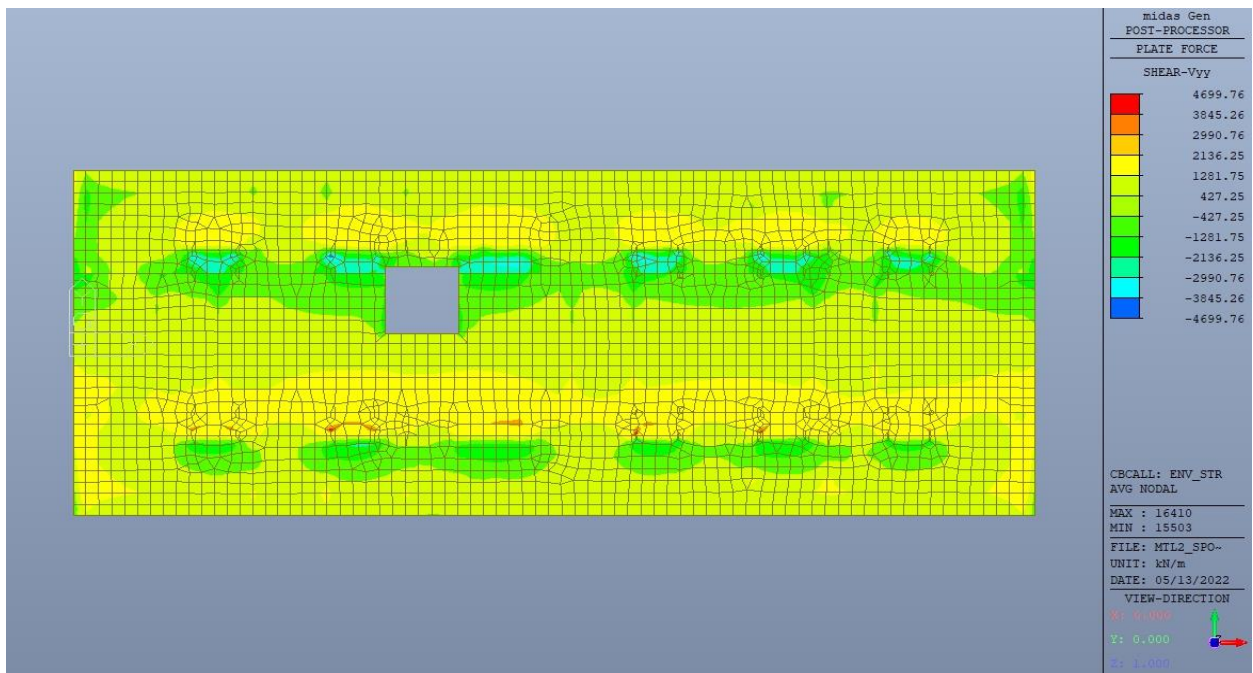


Figura 279. Platea – Resistenza a taglio Direzione Y

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

## 17.2 Verifica Stati Limite di Esercizio - SLE

Si deve verificare il rispetto dei seguenti stati limite:

- deformazione;
- fessurazione;
- limitazione delle tensioni di esercizio.

### 17.2.1 Stato limite di deformazione

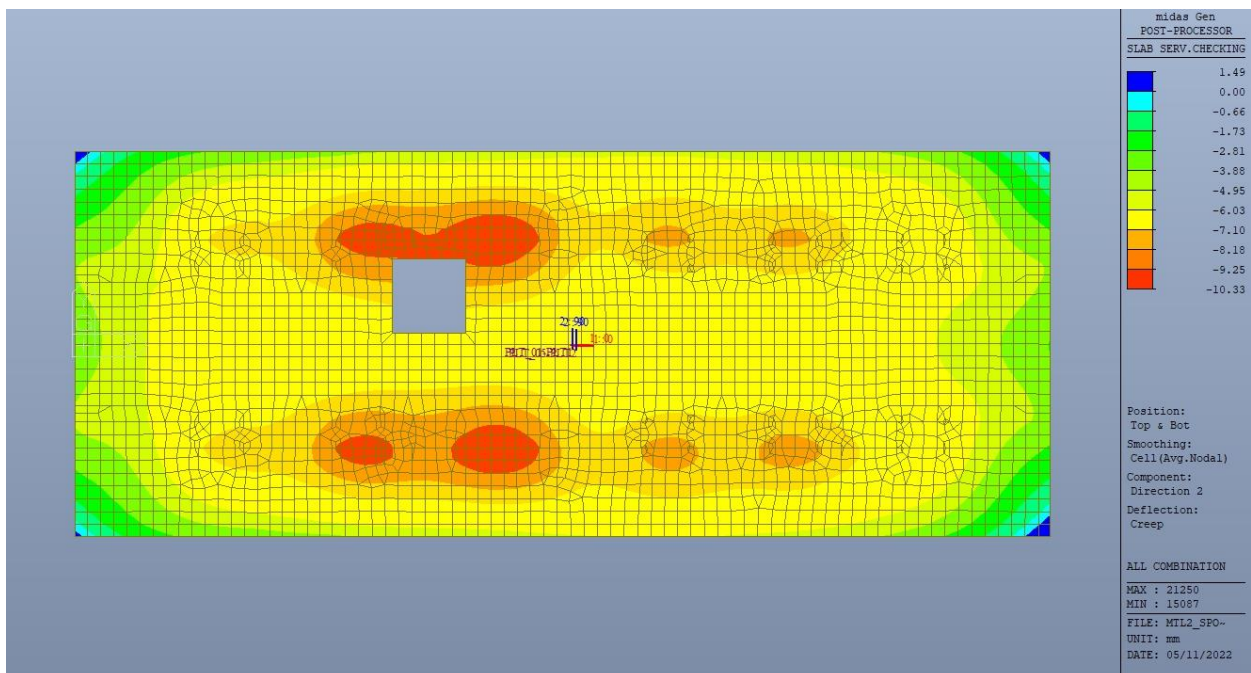
I limiti di deformabilità devono essere congruenti con le prestazioni richieste alla struttura anche in relazione alla destinazione d'uso, con riferimento alle esigenze statiche, funzionali ed estetiche.

Si può considerare la deformazione massima a pieno carico pari a 1/500 della luce di calcolo.

$L = 6.60 \text{ m}$  (tra diaframmi esterni e diaframmi interni)

$\delta_{\max} = 13.2\text{mm}$

Di seguito si riporta la deformata calcolata, a favore di sicurezza, in condizione di creep (effetti a lungo termine dovuti al fluage) con un modulo elastico del cls  $E_c$  ridotto di un valore pari a 2.75.



**Figura 280. Platea – Massima deformazione**

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

Il massimo cedimento differenziale risulta essere di 11.82mm inferiore al valore limite sopra indicato e compatibile con le prestazioni richieste.

La verifica è soddisfatta.

### 17.2.2 Stato limite di fessurazione

Ai fini della protezione contro la corrosione delle armature metalliche e della protezione contro il degrado del calcestruzzo, in funzione della classe di esposizione scelta si determina la condizione ambientale:

- ordinarie;
- aggressive;
- molto aggressive.

Stabilito la classe ambientale, in funzione della tipologia di armatura, se sensibile o poco sensibile alla corrosione, si determina il valore limite di apertura delle fessure.

In questo caso:

- classe di esposizione XC3;
- classe ambientale ordinaria;
- armatura poco sensibile;
- valore limite apertura delle fessure  $w_3$  (0.4mm) combinazioni SLE Frequente;
- valore limite apertura delle fessure  $w_2$  (0.3mm) combinazioni SLE Quasi Permanente.

Nelle seguenti immagini vengono riportati il ratio tra il valore di apertura delle fessure e il relativo valore limite nelle due direzioni di armatura; evidenziando, nel caso, le zone con un valore superiore all'unità indicatore che la verifica in oggetto non è soddisfatta.



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

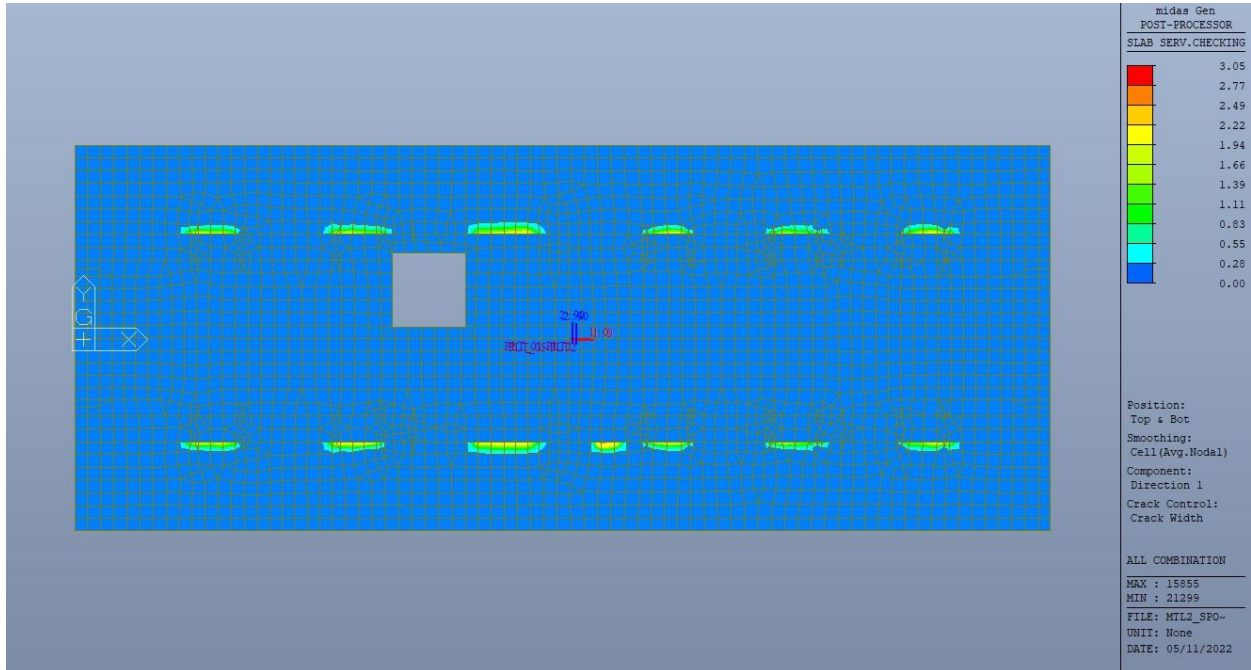


Figura 281. Platea – Apertura delle fessure - Ratio Direzione 1

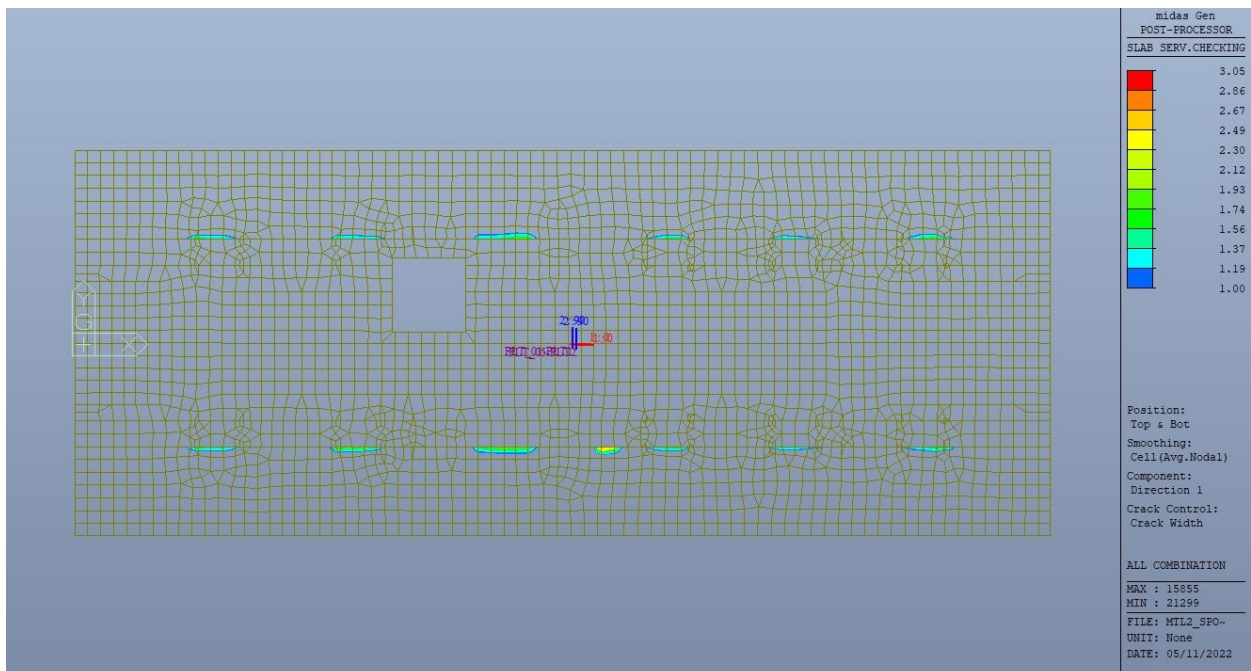


Figura 282. Platea – Apertura delle fessure - Ratio Direzione 1 – Zone > 1



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

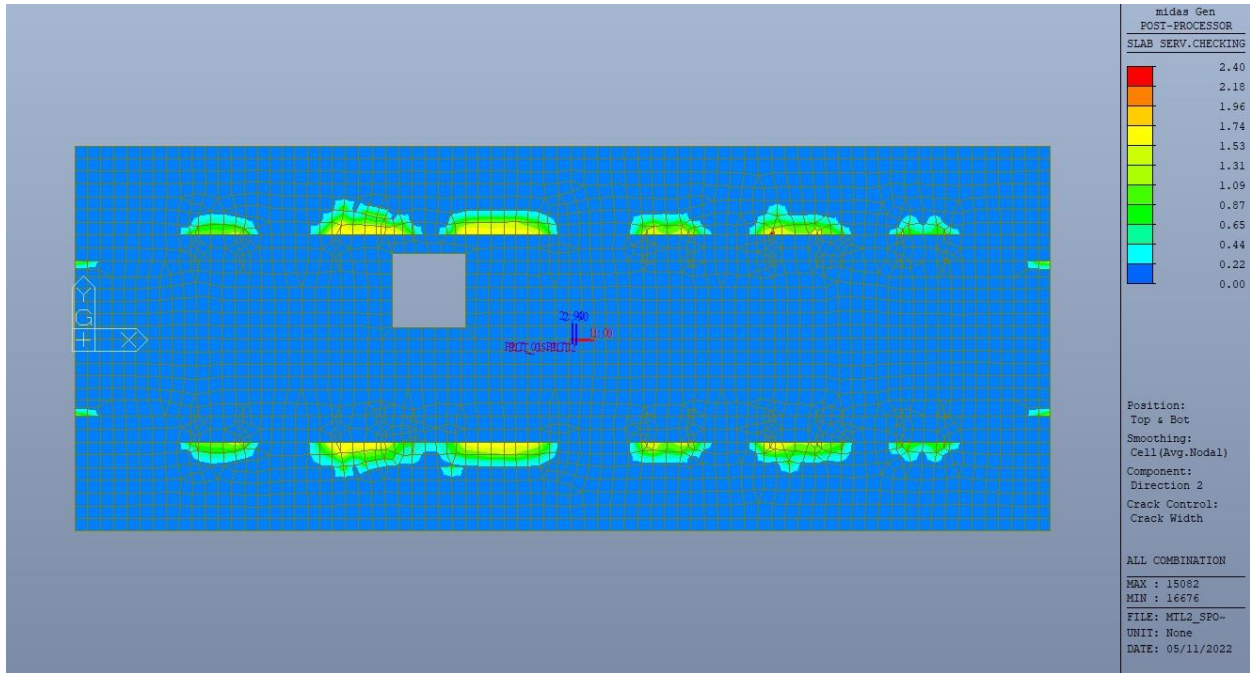


Figura 283. Platea – Apertura delle fessure - Ratio Direzione 2

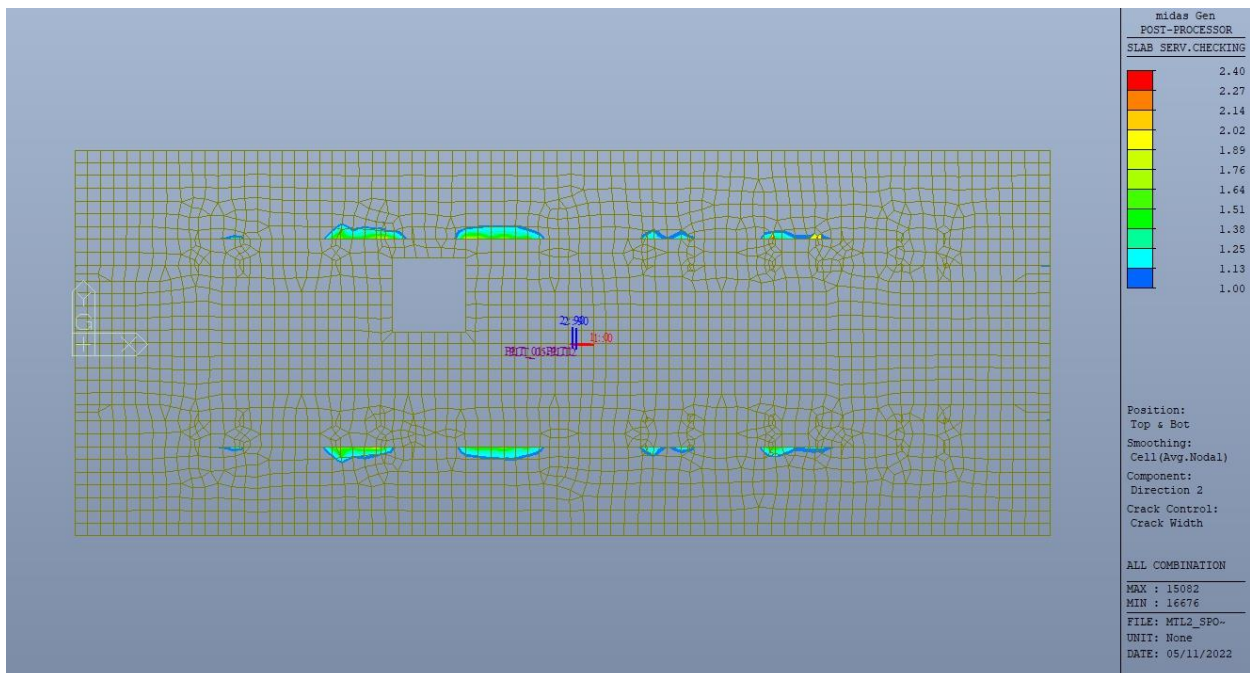


Figura 284. Platea – Apertura delle fessure - Ratio Direzione 2 – Zone > 1

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

Come si evince, le zone in cui il ratio è maggiore di uno, sono localizzate ed in numero limitato rispetto alle dimensioni complessive del solettone di copertura.

Si può ritenere la verifica soddisfatta.

### 17.2.3 Stato limite di limitazione delle tensioni in esercizio

Si deve verificare che nelle varie parti della struttura le massime tensioni, sia nel calcestruzzo sia nelle armature, dovute alle combinazioni caratteristiche e quasi permanente delle azioni siano inferiori ai massimi valori consentiti:

- $\sigma_{c,max} \leq 0.60 f_{ck}$  per la combinazione caratteristica;
- $\sigma_{c,max} \leq 0.45 f_{ck}$  per la combinazione quasi permanente;
- $\sigma_{s,max} \leq 0.80 f_{yk}$  per la combinazione caratteristica.

Nelle seguenti immagini vengono riportati il ratio tra la tensione massima (cls e armatura) e il relativo valore limite nelle due direzioni di armatura; evidenziando, nel caso, le zone con un valore superiore all'unità indicatore che la verifica in oggetto non è soddisfatta.





CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

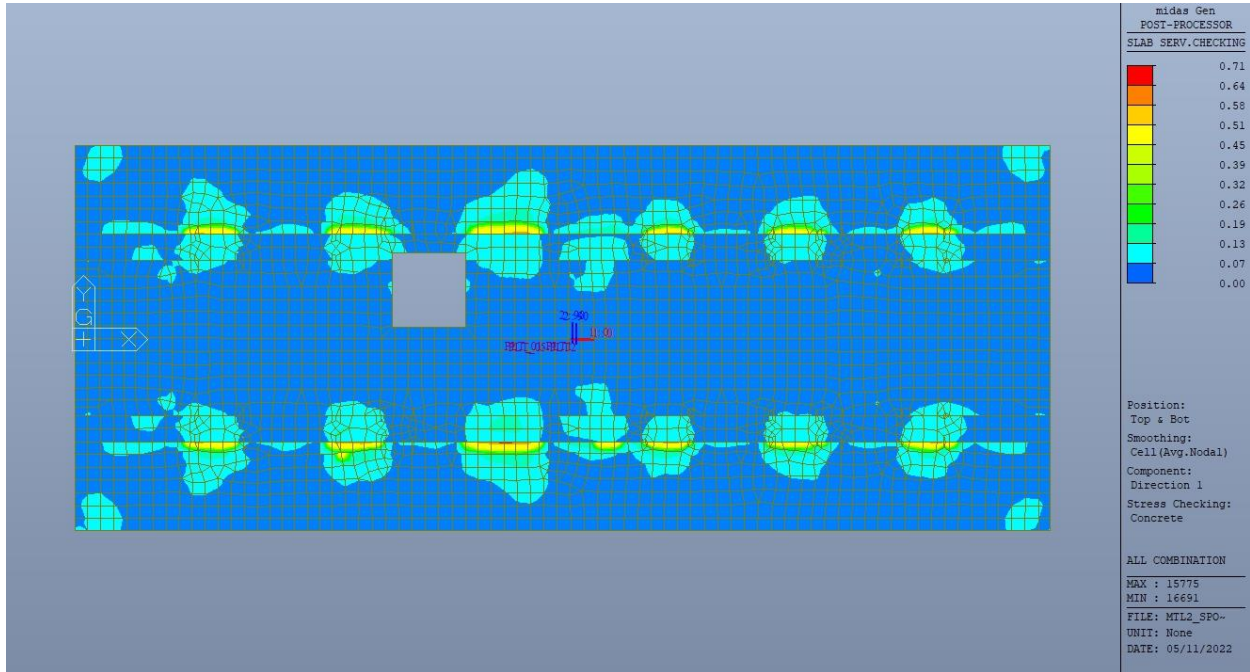


Figura 285. Platea – Tensioni calcestruzzo - Ratio Direzione 1

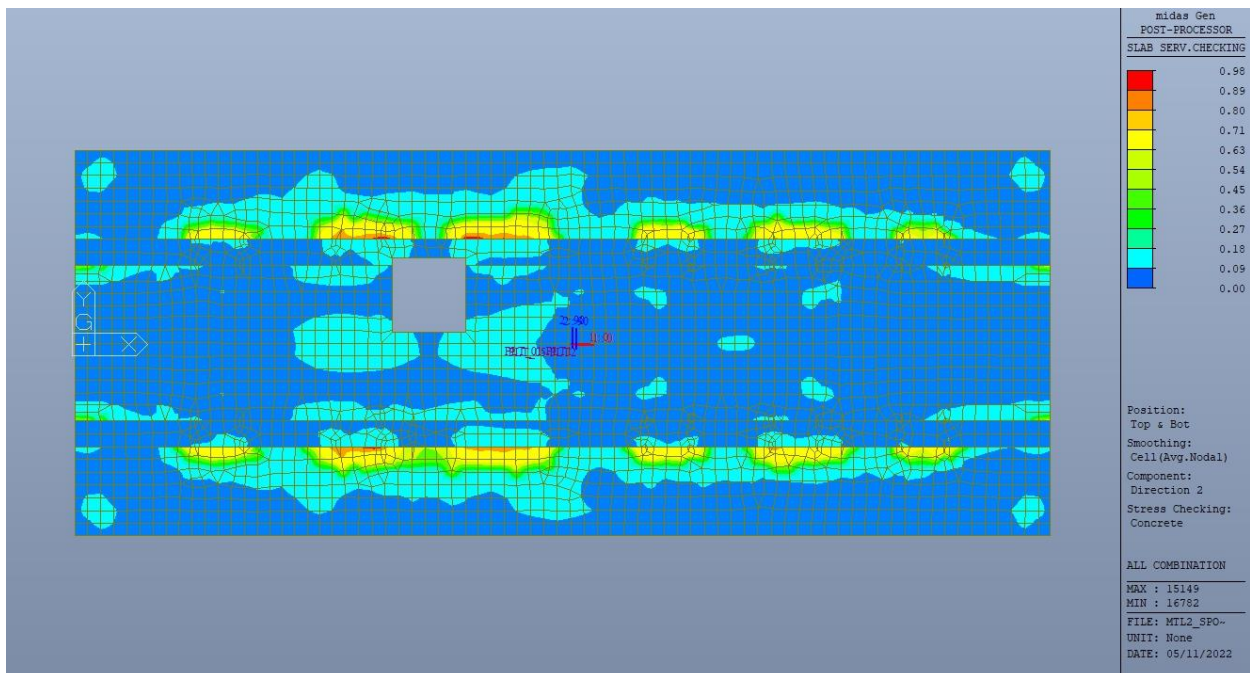


Figura 286. Platea – Tensioni calcestruzzo - Ratio Direzione 2



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

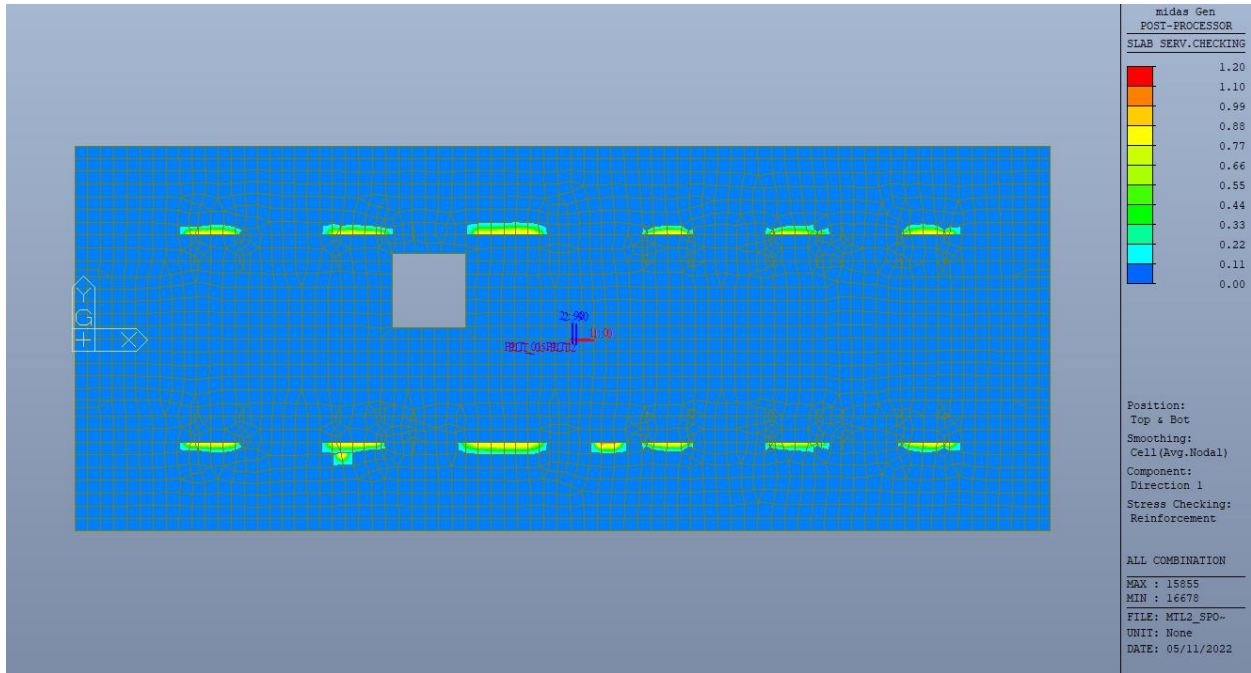


Figura 287. Platea – Tensioni armatura - Ratio Direzione 1

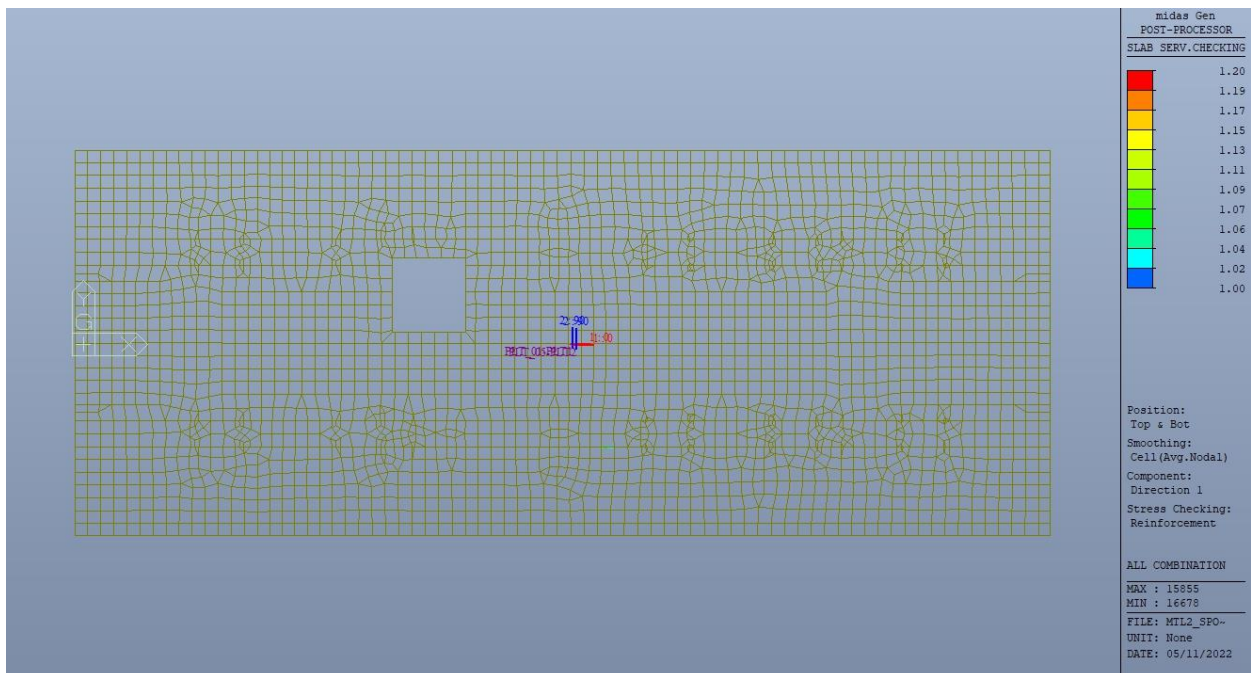


Figura 288. Platea – Tensioni armatura - Ratio Direzione 1 – Zone > 1



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

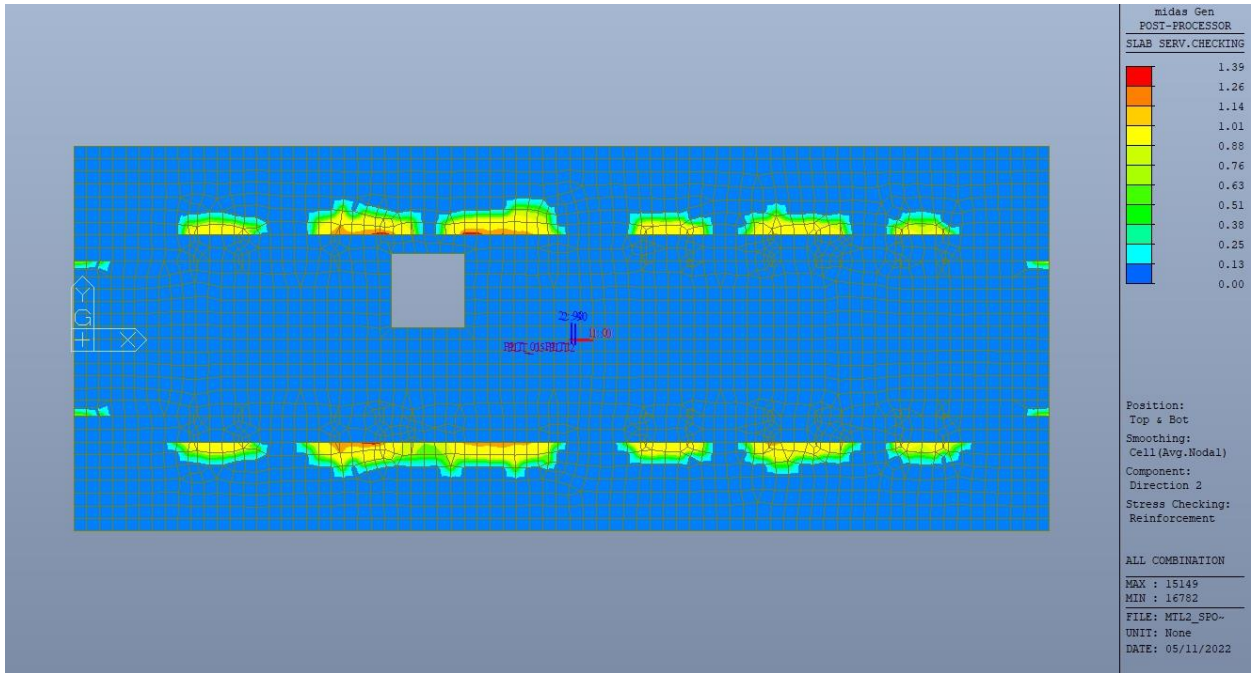


Figura 289. Platea – Tensioni armatura - Ratio Direzione 2

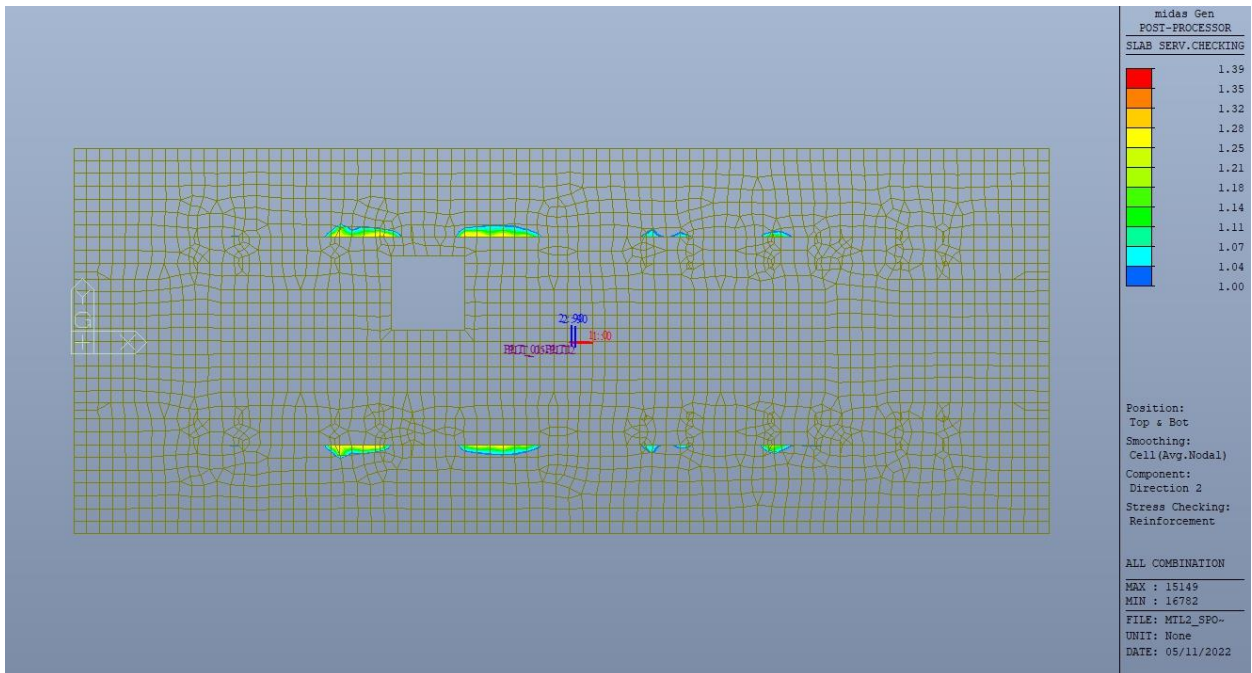


Figura 290. Platea – Tensioni armatura - Ratio Direzione 2 – Zone > 1

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

Come si evince, le zone in cui il ratio è maggiore di uno, sono localizzate ed in numero limitato rispetto alle dimensioni della soletta di copertura.

Si può ritenere la verifica soddisfatta.

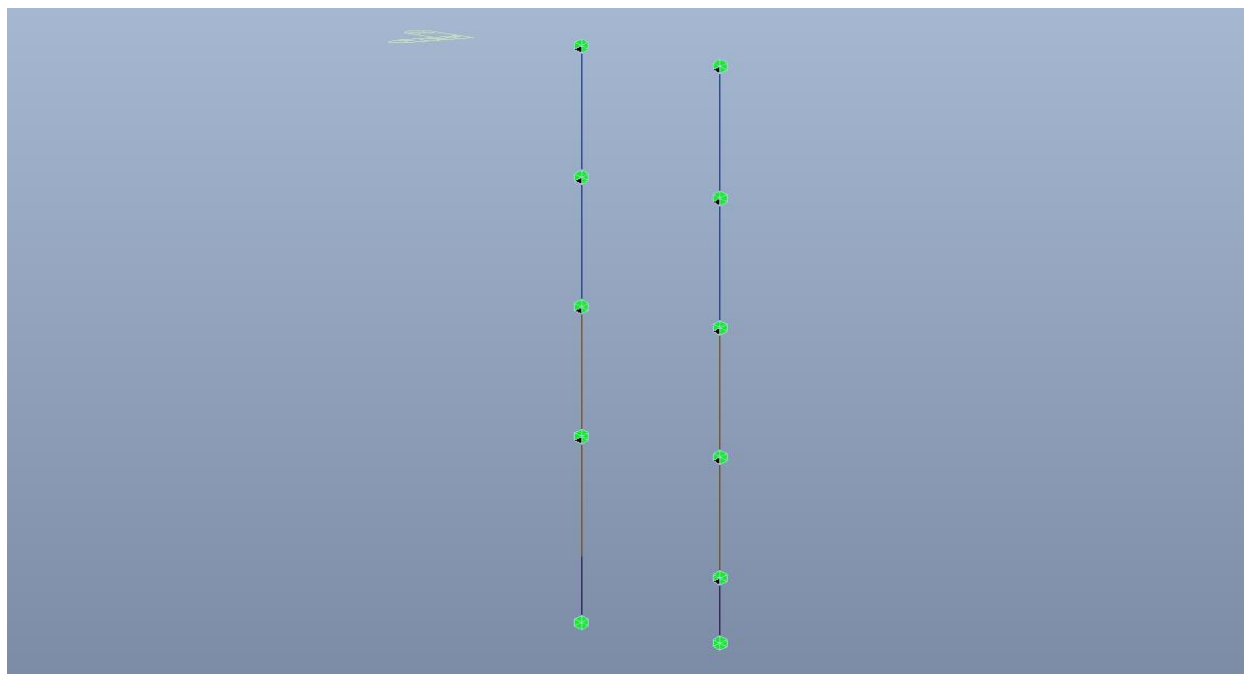
## 18. VERIFICA FODERE

Si deve verificare che i singoli elementi strutturali e la struttura nel suo insieme possiedano una capacità in resistenza sufficiente a soddisfare la domanda sia allo SLV che allo SLU.

Considerando che le fodere vengono realizzate successivamente alla costruzione dei primi tre solai (solettone di copertura, piano atrio e mezzanino -2) si è optato, a favore di sicurezza, di utilizzare per le verifiche strutturali delle porzioni tra i singoli orizzontamenti uno schema statico cerniera-cerniera.

Dara la presenza del piano banchina, sono stati realizzati due differenti modelli di calcolo per simulare l'interazione della fodera con l'orizzontamento:

- Vincolo orizzontale perfetto;
- Assenza totale di vincolo orizzontale.



**Figura 291. Fodere – Schema statico – Tipologico**

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

Nel seguito si riportano sinteticamente i principali risultati delle analisi.

### **18.1 Sollecitazioni**

Le immagini successive riportano gli involuipi delle sollecitazioni per gli Stati Limite SLU e SLV per momento flettente e taglio



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

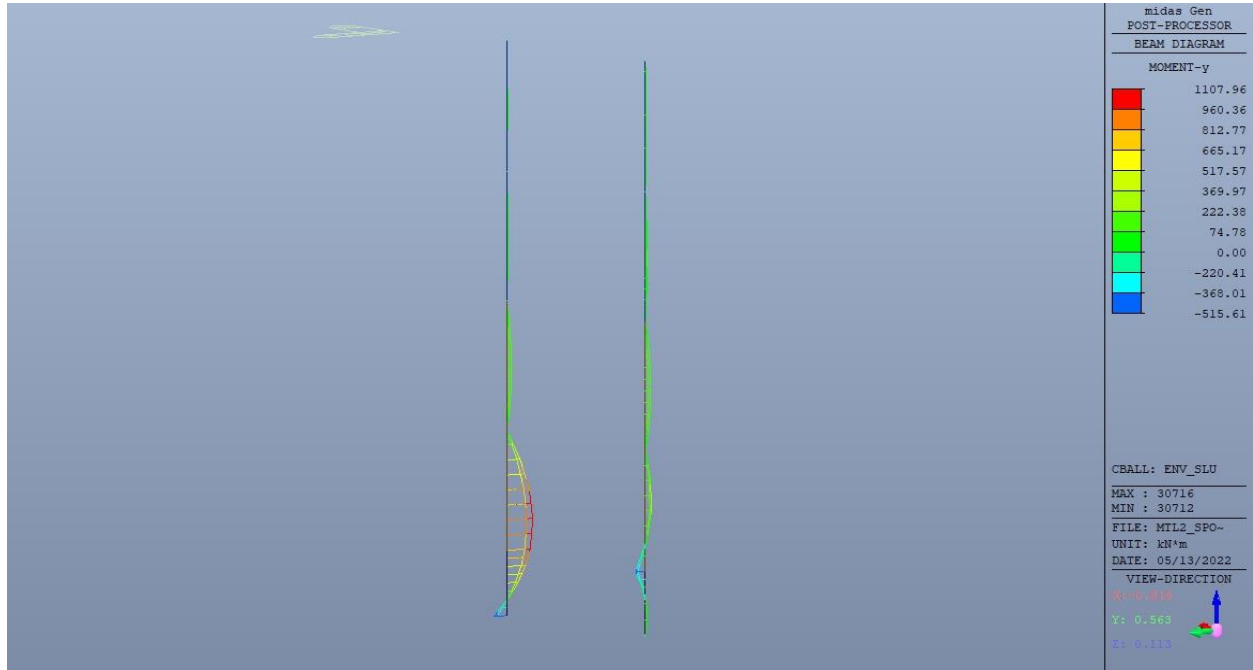


Figura 292. Fodere longitudinali – Involuppo momento flettente  $M_y$  – Tipologico

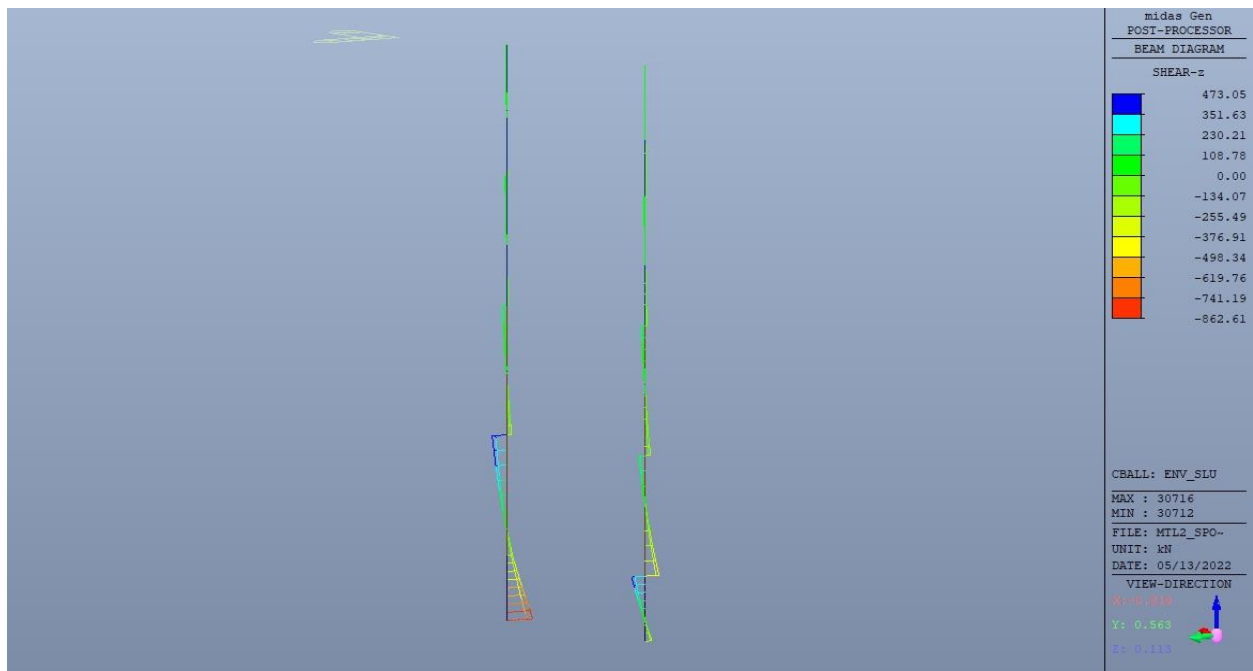


Figura 293. Fodere longitudinali – Involuppo taglio  $V_z$  – Tipologico

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

## 18.2 Verifiche strutturali

Trattandosi di struttura a comportamento non dissipativo, la capacità delle membrature e dei collegamenti deve essere valutata in accordo con le regole di cui al par. 4.1 delle citate norme, senza nessun requisito aggiuntivo.

Come valore minimo dell'armatura verticale si è considerato quanto riportato nel par. 4.1.6 delle NTC2018, ossia il quantitativo minimo riportato per i pilastri pari a

$$A_{s,min} = 0.003 \cdot A_c$$

- $A_c$  è l'area di cls.

Le fodere hanno tre spessori differenti:

- 100 cm tra platea di fondazione e piano banchina;
- 80 cm tra piano banchina e piano mezzanino -2;
- 60 cm tra piano mezzanino -2 e solettone di copertura.

**Tabella 40. Armatura minima**

Tipologia	b [cm]	h [cm]	$A_c$ [cm <sup>2</sup> ]	VERTICALE			ORIZZONTALE		
				$A_s$ [cm <sup>2</sup> ]	$A_{s,min}$ [cm <sup>2</sup> ]	CK	$A_s$ [cm <sup>2</sup> ]	$A_{s,min}$ [cm <sup>2</sup> ]	CK
Fodera 100	100	100	10000	53.1	30.00	OK	15.7	-	-
Fodera 80	100	80	8000	26.55	24.00	OK	2.825	-	-
Fodera 60	100	60	6000	22.6	18.00	OK	1.25	-	-

Nelle seguenti immagini vengono riportati i tassi di lavoro a flessione e taglio dei singoli elementi strutturali evidenziando, nel caso, quelli con un valore superiore all'unità indicatore che la verifica in oggetto non è soddisfatta.



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

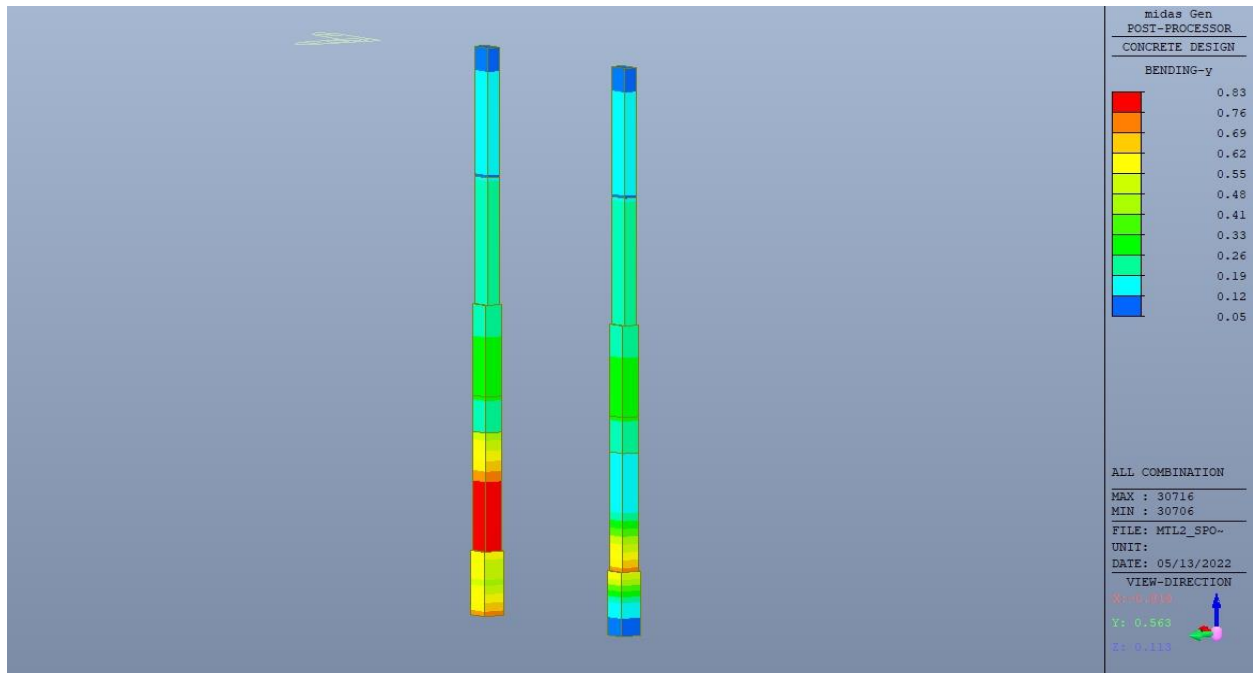


Figura 294. Fodere longitudinali – Tasso di lavoro  $M_y$  – Tipologico

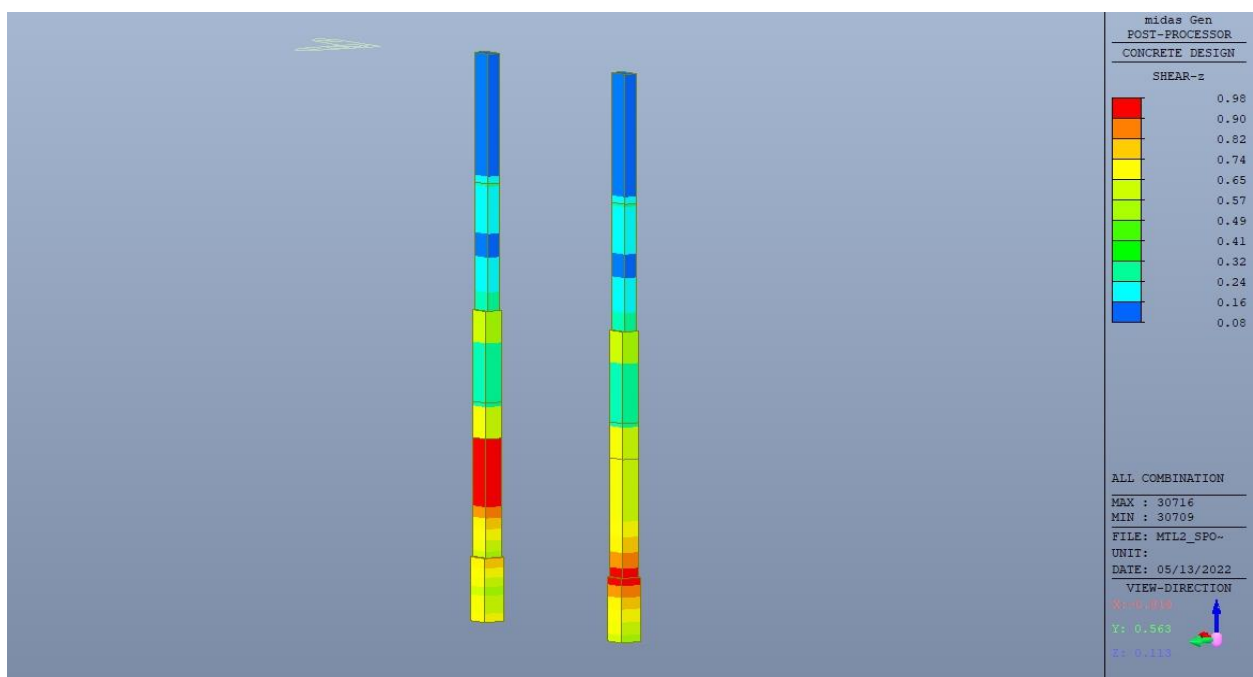


Figura 295. Fodere longitudinali – Tasso di lavoro  $V_z$  – Tipologico





CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

Eurocode2:04 RC-Beam Checking Result Dialog

Code : EC2:04.NTC2018 Unit : kN , m

Sorted by  Member  Property Results  Strength  Serviceability Primary Sorting Option  SECT  MEMB

MEMB	SECT	Section			fck	POS	CHK	Rebar		Negative Moment Strength				Positive Moment Strength				Shear Strength							
		Bc	Hc	fyk				AsTop	AsBot	N(-) M_Ed	LCB	x/d	N(-) M_Rd	Rat-N	P(+) M_Ed	LCB	x/d	P(+) M_Rd	Rat-P	V_Ed	LCB	V_Rdc	V_Rds	Rat-Vc	Rat-Vs
0		F600	30000.0	I	OK	0.0010	0.0016	0.00000	41	0.14	223.590	0.00	62.8018	7	0.14	312.118	0.20	59.3053	7	206.860	44.0217	0.29	1.35	0.29	
5	<input type="checkbox"/>	1.000	0.600	450000	M	OK	0.0010	0.0016	0.00000	41	0.14	223.590	0.00	80.7373	7	0.14	312.118	0.26	28.1150	7	206.860	44.0217	0.14	0.64	0.14
5.9500		0.000	0.000	450000	J	OK	0.0010	0.0016	0.00000	41	0.14	223.590	0.00	58.3042	7	0.14	312.118	0.19	51.1046	7	206.860	44.0217	0.25	1.16	0.25
0		F800	30000.0	I	OK	0.0020	0.0053	400.590	9	0.13	548.668	0.73	1107.96	9	0.19	1327.38	0.83	347.998	41	365.279	619.386	0.95	0.56	0.95	
6	<input type="checkbox"/>	1.000	0.800	450000	M	OK	0.0020	0.0053	0.00000	41	0.13	548.668	0.00	1107.96	9	0.19	1327.38	0.83	353.136	9	365.279	619.386	0.97	0.57	0.97
5.8500		0.000	0.000	450000	J	OK	0.0020	0.0053	0.00000	41	0.13	548.668	0.00	563.941	7	0.19	1327.38	0.42	359.419	41	365.279	619.386	0.98	0.58	0.98
0		F1000	30000.0	I	OK	0.0020	0.0053	515.608	9	0.10	704.912	0.73	82.6711	9	0.14	1733.05	0.05	862.609	9	414.140	1244.05	2.08	0.69	0.69	
7	<input type="checkbox"/>	1.000	1.000	450000	M	OK	0.0020	0.0053	122.605	7	0.10	704.912	0.17	801.220	9	0.14	1733.05	0.46	302.254	9	414.140	1244.05	0.73	0.24	0.73
2.9500		0.000	0.000	450000	J	OK	0.0020	0.0053	400.590	9	0.10	704.912	0.57	998.087	9	0.14	1733.05	0.58	395.203	33	414.140	1244.05	0.95	0.32	0.95

Connect Model View

Select All Unselect All Re-calculation

Graphic... Detail... Summary... <<

Option for Detail Print Position  End I.  Mid.  End J. Close

Result View Option  All  OK  NG

Copy Table

Figura 296. Fodere longitudinali – Tabella riassuntiva verifiche

Di seguito si riporta la verifica per esteso per l'elemento più sollecitato.

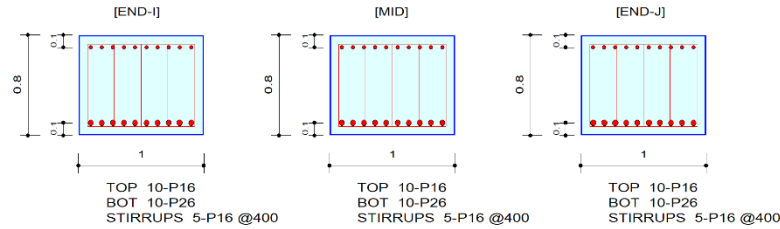


**midas Gen RC Beam Strength Checking Result**

	Company		Project Title	
	Author		File Name	D:\...\Fodere\MTL2_SPO_FOD_00.mgb

**1. Design Information**

Design Code	Eurocode2:04 & NTC2018	Unit System	kN, m
Material Data	fck = 30000, fyk = 450000, fyw = 450000 KPa		
Section Property	F800 (No : 6)	Beam Span	5.85m



**2. Bending Moment Capacity**

	END-I	MID	END-J
(-) Load Combination No.	9	41	41
Moment (M_Ed)	400.59	0.00	0.00
Factored Strength (M_Rd)	548.67	548.67	548.67
Check Ratio (M_Ed/M_Rd)	0.7301	0.0000	0.0000
Neutral Axis (x/d)	0.1279	0.1279	0.1279
(+) Load Combination No.	9	9	7
Moment (M_Ed)	1107.96	1107.96	563.94
Factored Strength (M_Rd)	1327.38	1327.38	1327.38
Check Ratio (M_Ed/M_Rd)	0.8347	0.8347	0.4249
Neutral Axis (x/d)	0.1865	0.1865	0.1865
Using Rebar Top (As_top)	0.0020	0.0020	0.0020
Using Rebar Bot (As_bot)	0.0053	0.0053	0.0053

**3. Shear Capacity**

	END-I	MID	END-J
Load Combination No.	41	9	41
Factored Shear Force (V_Ed)	348.00	353.14	359.42
V_Rdc	365.28	365.28	365.28
V_Rds	619.39	619.39	619.39
V_Rdmax	2677.50	2677.50	2677.50
Using Shear Reinf. (Asw)	0.0025	0.0025	0.0025
Using Stirrups Spacing	5-P16 @400	5-P16 @400	5-P16 @400
V_Ed / V_Rdc	0.9527	0.9668	0.9840
V_Ed / min(V_Rds, V_Rdmax)	0.5618	0.5701	0.5803
Check Ratio	0.9527	0.9668	0.9840

**Figura 297. Fodere longitudinali – Verifica fodera sp. 80cm**



## 19. VERIFICA PILASTRI PIANO ATRIO

Si deve verificare che i singoli elementi strutturali e la struttura nel suo insieme possiedano una capacità in resistenza sufficiente a soddisfare la domanda sia allo SLV che allo SLU.

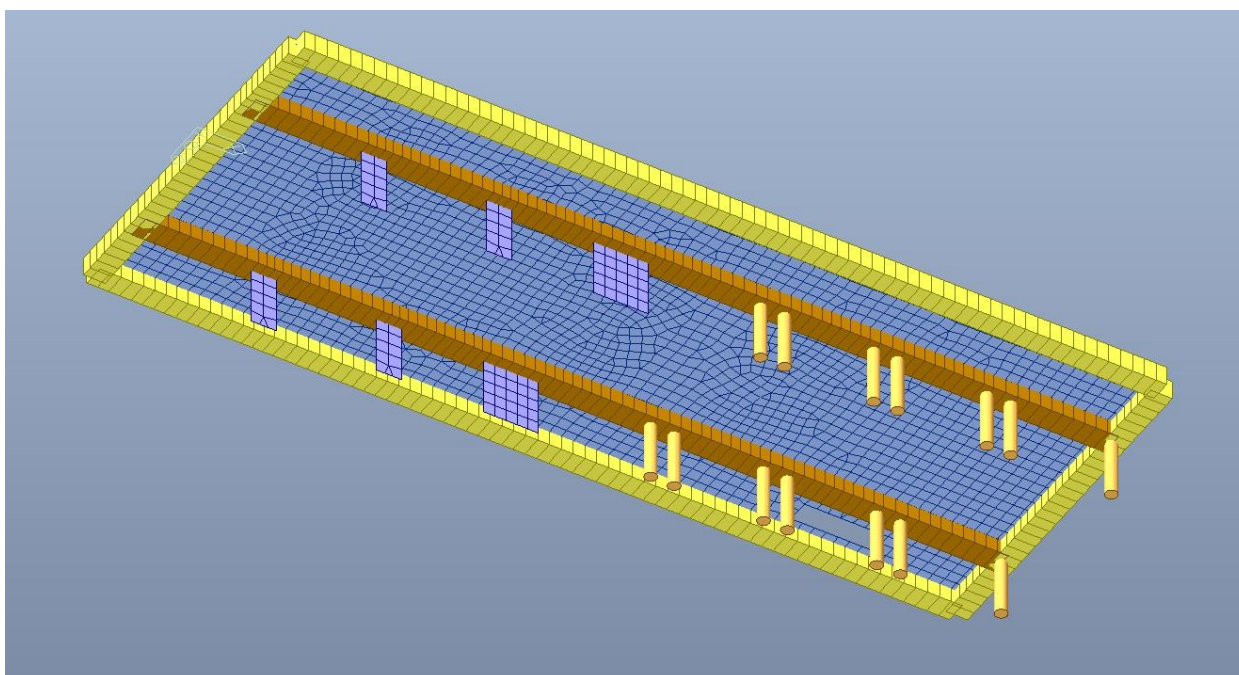


Figura 298. Pilastri – Vista 3D

Nel seguito si riportano sinteticamente i principali risultati delle analisi.

### 19.1 Sollecitazioni

Le immagini successive riportano gli involuipi delle sollecitazioni per gli Stati Limite SLU e SLV per momento flettente e taglio



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

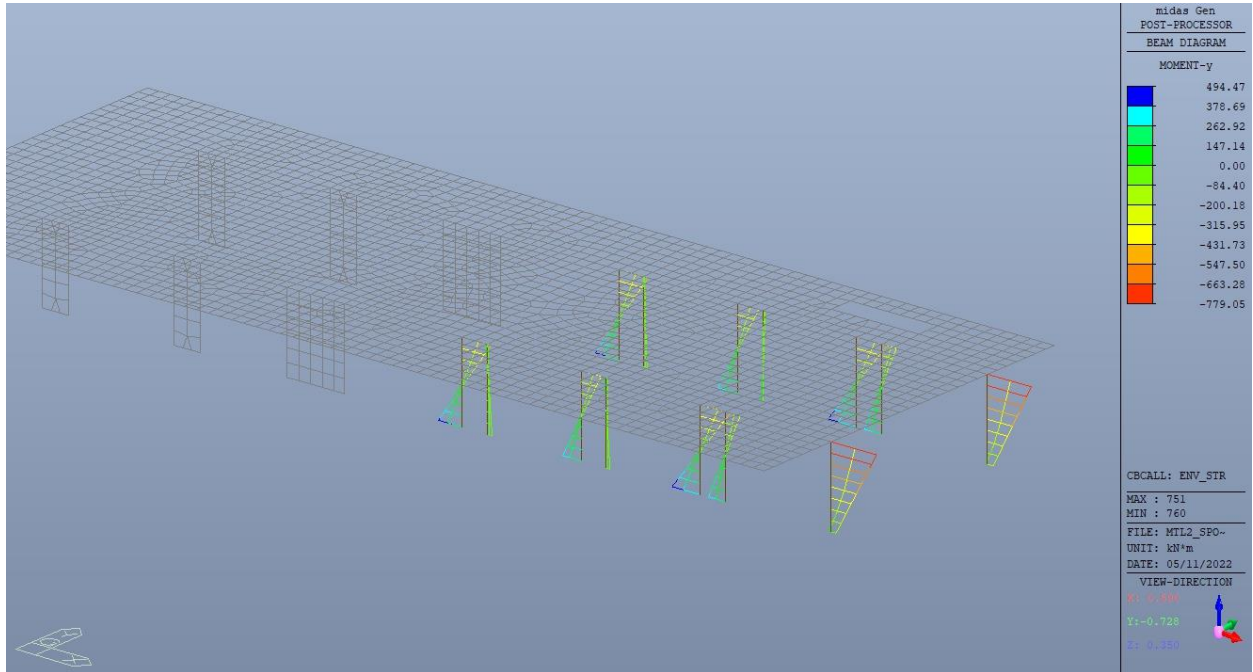


Figura 299. Pilastri – Involuppo momento flettente  $M_y$

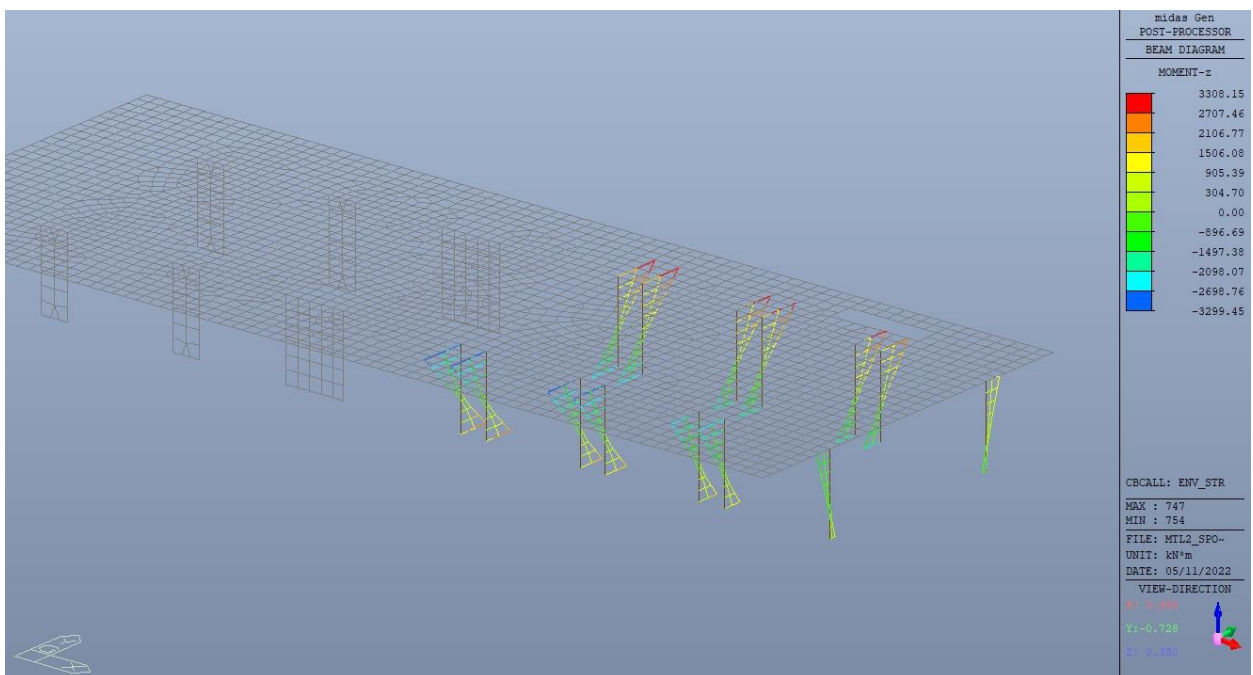


Figura 300. Pilastri – Involuppo momento flettente  $M_z$



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

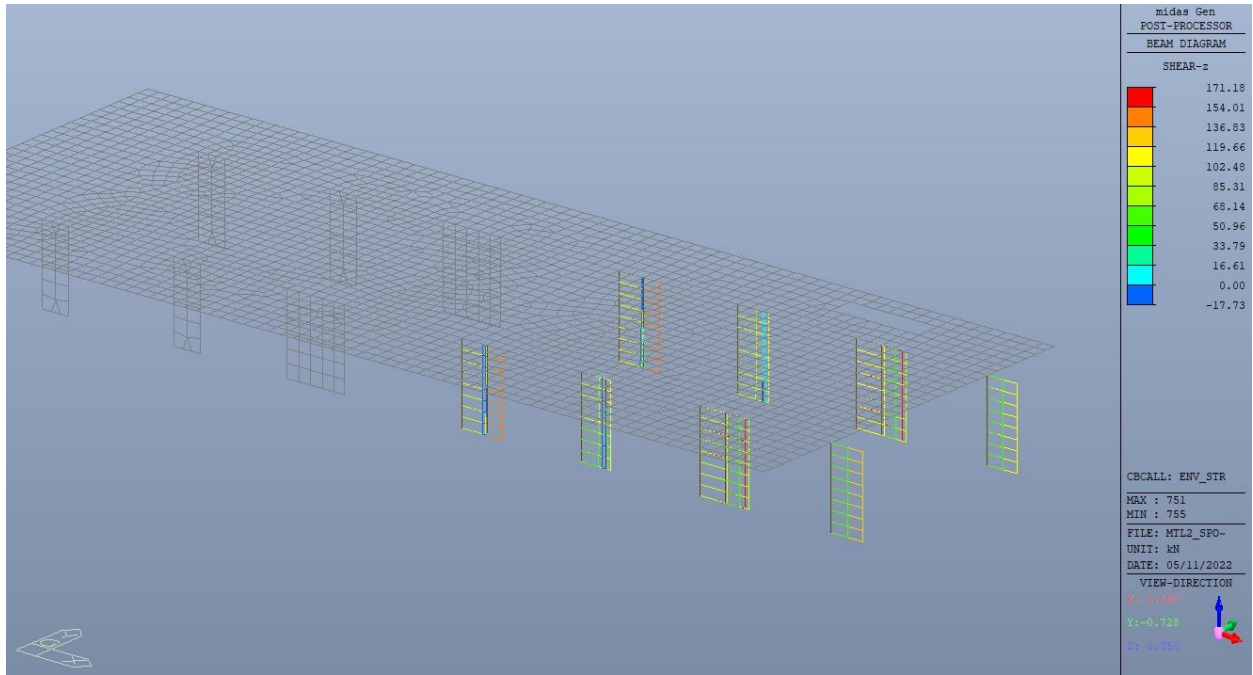


Figura 301. Pilastri – Involuppo taglio  $V_z$

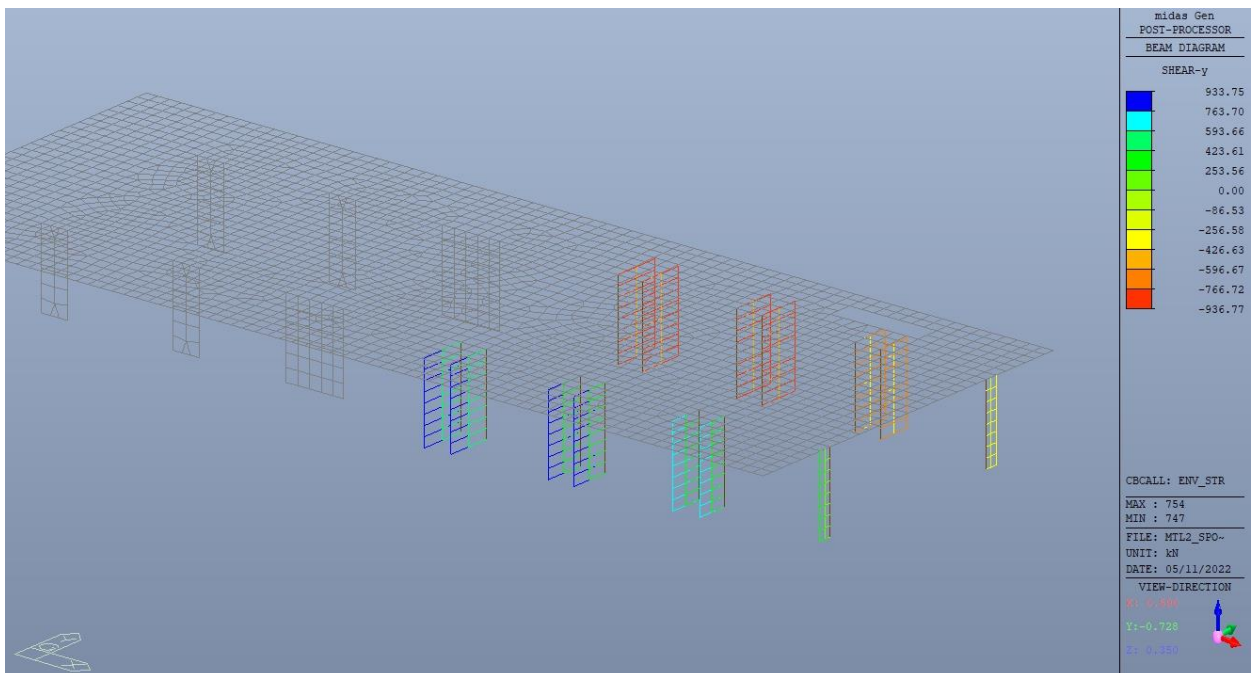


Figura 302. Pilastri – Involuppo taglio  $V_y$



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

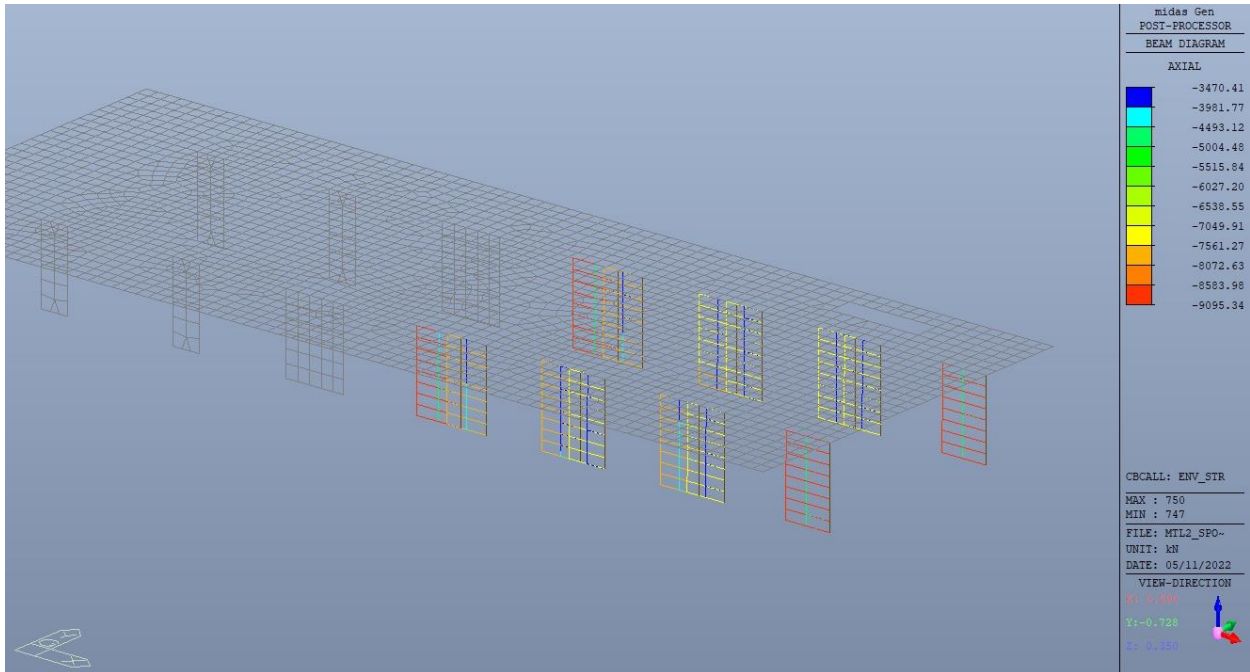


Figura 303. Pilastri – Involuppo sforzo normale N



### 19.2 Verifiche strutturali

Trattandosi di struttura a comportamento non dissipativo, la capacità delle membrature e dei collegamenti deve essere valutata in accordo con le regole di cui al par. 4.1 delle citate norme, senza nessun requisito aggiuntivo.

A favore di sicurezza sono stati adottati, comunque, i dettagli costruttivi per le strutture a comportamento dissipativo, in particolare le limitazioni geometriche e di armatura per la classe di duttilità B, come riportato nel par. 7.4.6 delle NTC2018.

Tipologia	D [cm]	A <sub>c</sub> [cm <sup>2</sup> ]	A <sub>s</sub> [cm <sup>2</sup> ]	ρ [%]	ρ <sub>min</sub> [%]	ρ <sub>max</sub> [%]	CK	ρ ST [cm]	ρ <sub>min</sub> ST [cm]	CK
PIL D100	100	7850	138.06	1.76%	1.0%	4.0%	OK	15	17.5	OK

Di seguito si riporta la verifica a flessione eseguita alla sezione di testa del pilastro, ossia alla sezione di attacco con la trave ribassata del solettone di copertura.

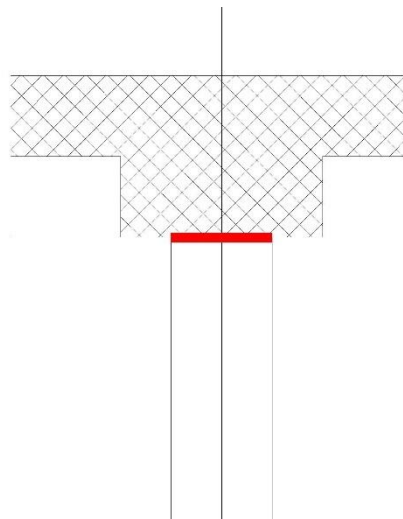


Figura 304. Pilastri – Sezione di verifica



Verifica C.A. S.L.U. - File: MTL2\_SPO\_PIL\_D100\_STAZIONE

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

TITOLO: PIL\_D100 - STAZIONE

Sezione circolare cava

- Raggio esterno: 50 [cm]
- Raggio interno: 0 [cm]
- N° barre uguali: 26
- Diametro barre: 2.6 [cm]
- Copriferro (baric.): 8 [cm]

N° barre: 0 Zoom

Tipo Sezione

- Rettan.re
- Trapezi
- a T
- Circolare
- Rettangoli
- Coord.

Sollecitazioni

S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub>: 4531 kN

M<sub>xEd</sub>: 2184 kNm

M<sub>yEd</sub>: 319 kNm

P.to applicazione N

- Centro
- Baricentro cls
- Coord.[cm]

xN: 0 yN: 0

Tipo rottura

Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Materiali

B450C C30/37

ε<sub>su</sub>: 67.5 ‰ ε<sub>c2</sub>: 2 ‰

f<sub>yd</sub>: 391.3 N/mm<sup>2</sup> ε<sub>cu</sub>: 3.5 ‰

E<sub>s</sub>: 200'000 N/mm<sup>2</sup> f<sub>cd</sub>: 17 N/mm<sup>2</sup>

E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub>: 15 f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub>: 0.8

ε<sub>syd</sub>: 1.957 ‰ σ<sub>c,adm</sub>: 11.5 N/mm<sup>2</sup>

σ<sub>s,adm</sub>: 255 N/mm<sup>2</sup> τ<sub>co</sub>: 0.6933

τ<sub>c1</sub>: 2.029

M<sub>xRd</sub>: 2'576 kNm

M<sub>yRd</sub>: 409.7 kNm

σ<sub>c</sub>: -17 N/mm<sup>2</sup>

σ<sub>s</sub>: 391.3 N/mm<sup>2</sup>

ε<sub>c</sub>: 3.5 ‰

ε<sub>s</sub>: 3.264 ‰

d: 91.83 cm

x: 47.51 x/d: 0.5174

δ: 1

Metodo di calcolo

- S.L.U. +
- S.L.U. -
- Metodo n

Tipo flessione

- Retta
- Deviata

Vertici: 50 N° rett.: 100

Calcola MRd Dominio Mx-My

angolo asse neutro θ°: 351

Precompresso

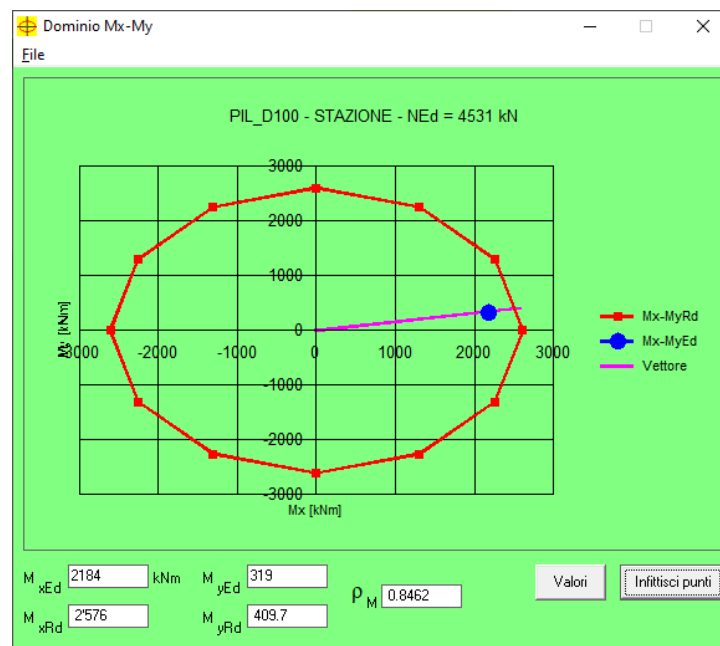


Figura 305. Pilastri – Verifica sezione più sollecitata





Per la verifica a taglio si considera un pilastro a sezione quadrata di area equivalente avente lato L pari a 88cm, e barre di armatura distribuite sui quattro lati in modo uniforme.

Resistenza a taglio di progetto in direzione X e Y – valore per unità di lunghezza.

**Tabella 41. Verifica a taglio – Platea di fondazione**

CLS	C30/37		tipologia calcestruzzo
Acciaio	B450C		tipologia acciaio
$f_{yk}$	450	N/mm <sup>2</sup>	valore caratteristico della resistenza a trazione acciaio
$f_{ck}$	30.71	N/mm <sup>2</sup>	valore caratteristico della resistenza a compressione del cls
$\gamma_c$	1.5		coefficiente di sicurezza
c	80	mm	copriferro
d	800	mm	altezza utile sezione
k	1.50		
$\rho_1$	0.45%		rapporto geometrico di armatura longitudinale
$v_{min}$	0.356		
$V_{Rd}$	304.67	kN	
$V_{Rd,min}$	250.85	kN	
<b><math>V_{Rd,c}</math></b>	<b>304.67</b>	<b>kN</b>	resistenza a taglio NO armatura
NB	2		numero bracci
D	16	mm	diametro armatura a taglio
$A_b$	2.01	cm <sup>2</sup>	area barra armatura a taglio
$A_{st}$	4.02	cm <sup>2</sup>	area complessiva staffe
st	150	mm	passo staffe
$\gamma_s$	1.15		
$\alpha$	90	°	
cotg teta	1		
$V_{Rsd}$	1132.59	kN	resistenza di progetto a taglio - lato acciaio
$\alpha_c$	1		
v	0.5		
$f_{cd}$	17.40	N/mm <sup>2</sup>	
$V_{Rcd}$	2756.53	kN	resistenza di progetto a taglio - lato calcestruzzo
<b><math>V_{Rd}</math></b>	<b>1132.59</b>	<b>kN</b>	resistenza a taglio CON armatura

Come riportato dalle immagini precedenti, la resistenza a taglio per elementi con armatura dedicata è superiore al taglio agente in ogni elemento. Si può ritenere la verifica soddisfatta.



## 20. VERIFICA DIAFRAMMI INTERNI PROVVISORI

Si deve verificare che i singoli elementi strutturali e la struttura nel suo insieme possiedano una capacità in resistenza sufficiente a soddisfare la domanda sia allo SLV che allo SLU.

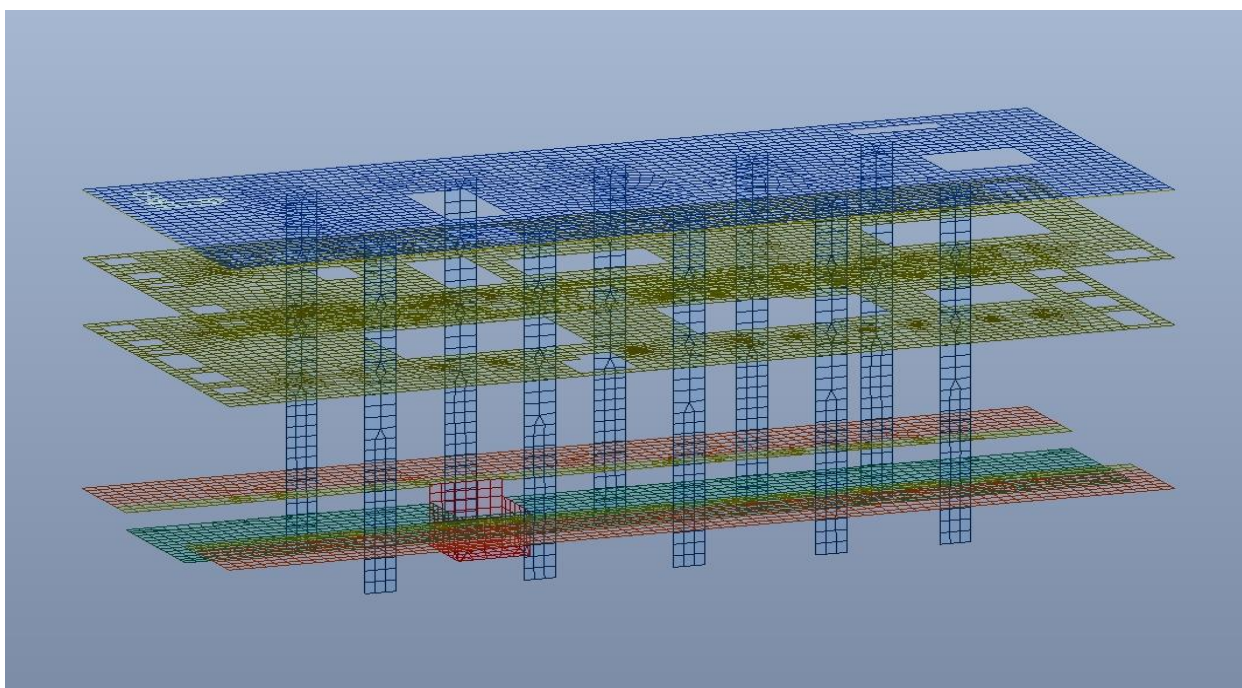


Figura 306. Diaframmi interni provvisori – Vista 3D

Nel seguito si riportano sinteticamente i principali risultati delle analisi.

### 20.1 Sollecitazioni

Le immagini successive riportano le sollecitazioni per gli Stati Limite SLU per momento flettente, taglio e sforno normale.

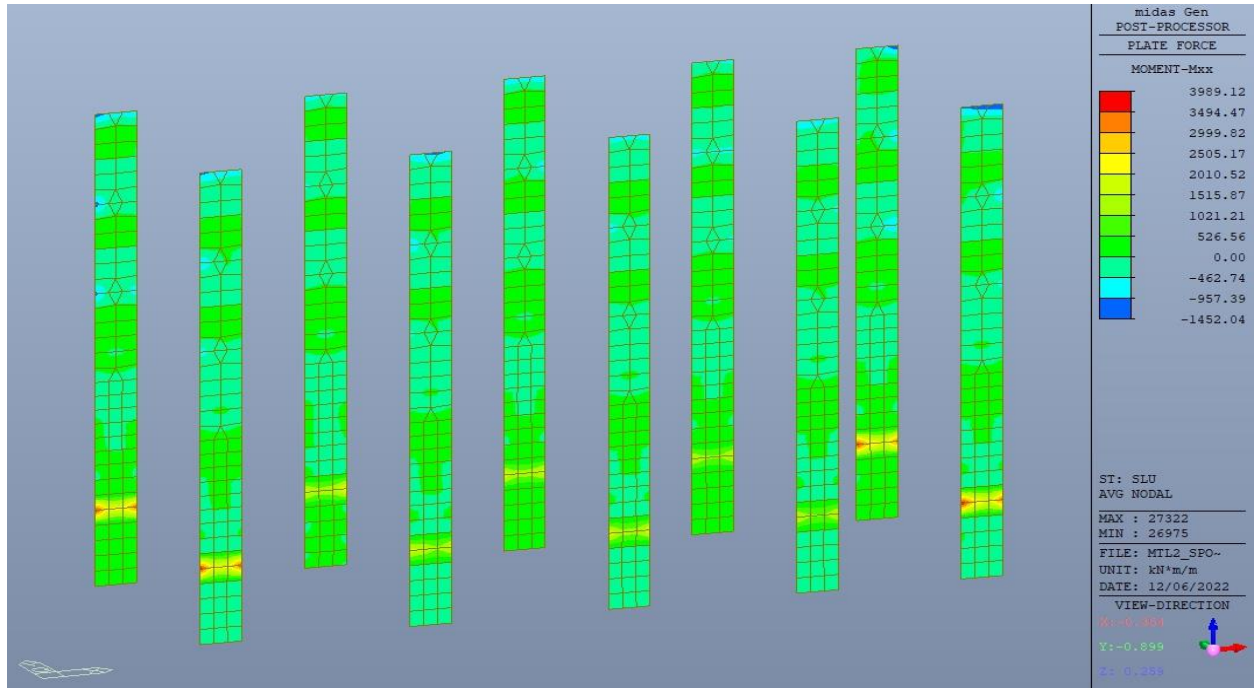


Figura 307. Diaframmi – Momento flettente  $M_{xx}$

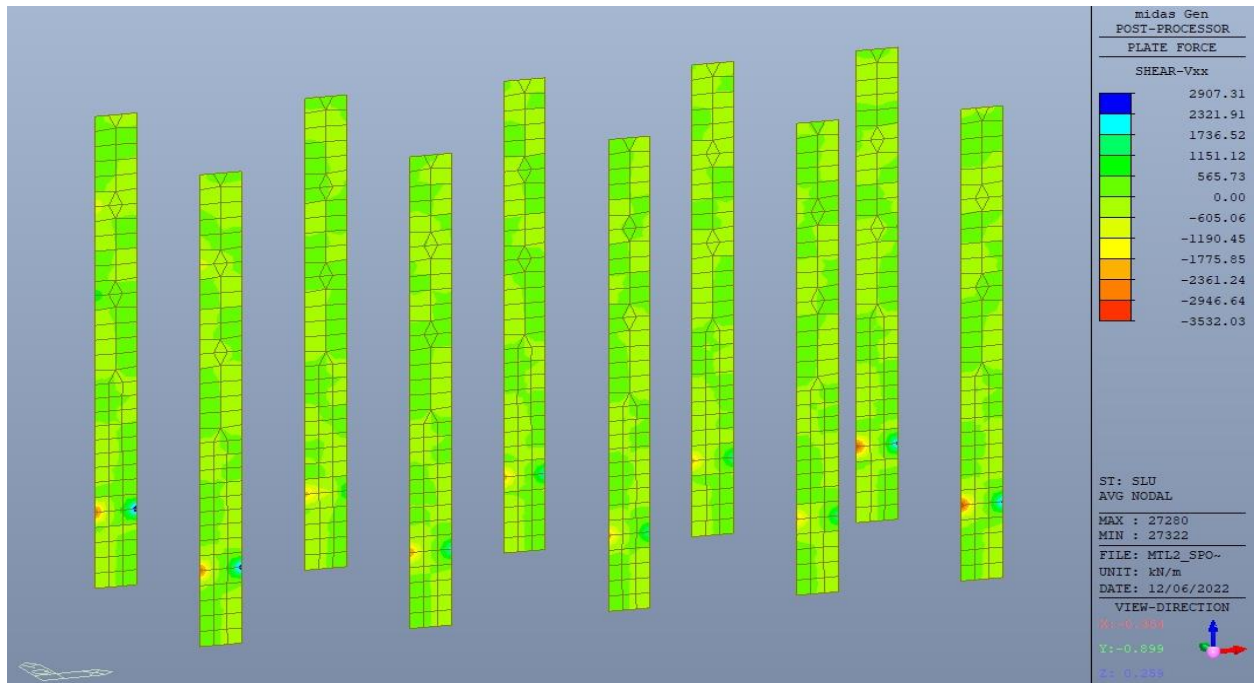


Figura 308. Diaframmi – Taglio agente  $V_{xx}$



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

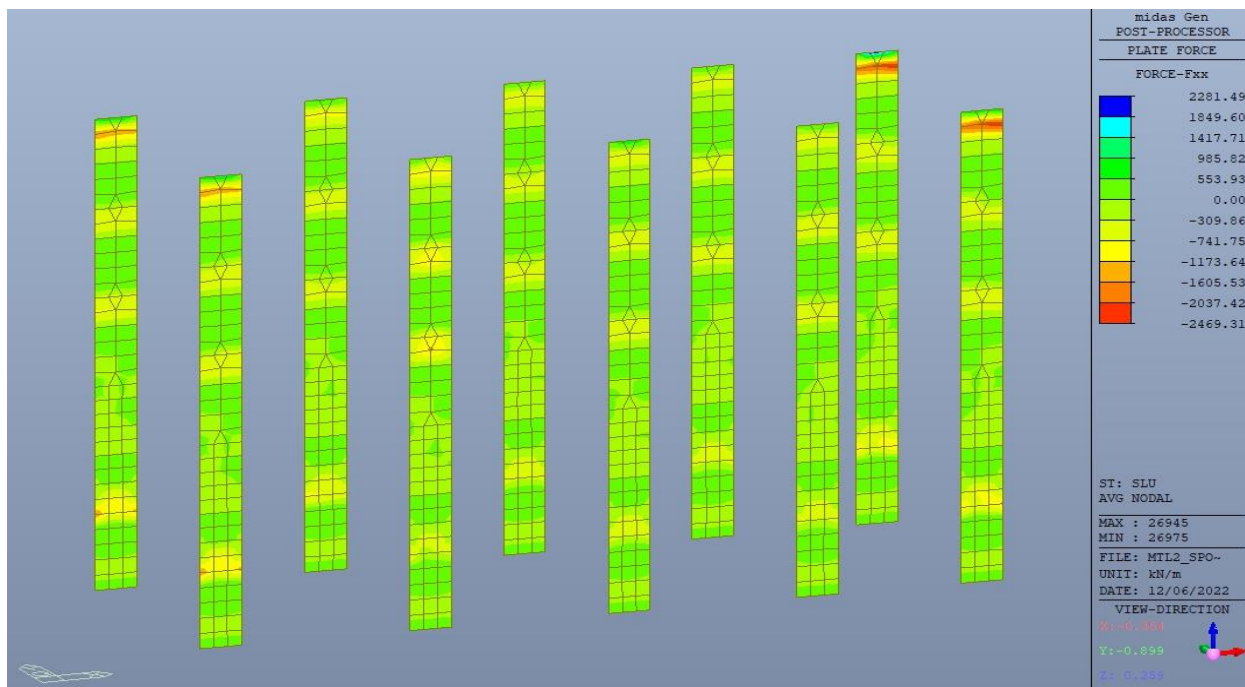


Figura 309. Diaframmi – Sforzo normale  $F_{xx}$

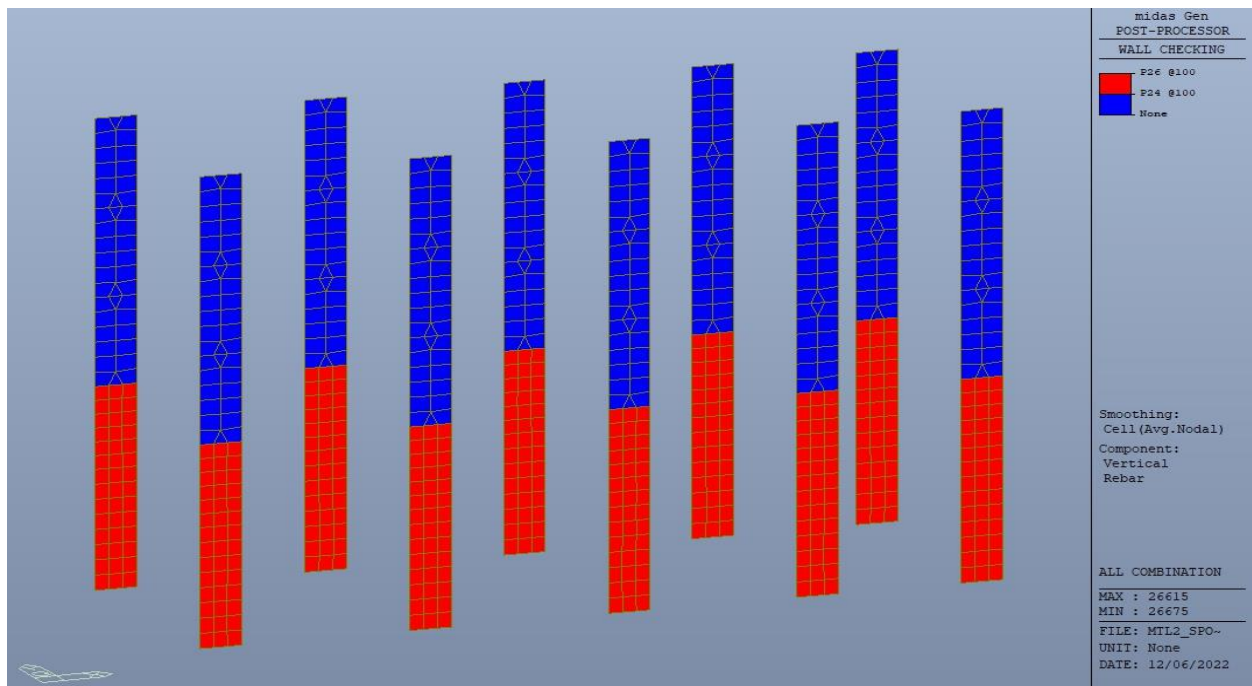
 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

## 20.2 Verifiche strutturali

Trattandosi di struttura a comportamento non dissipativo, la capacità delle membrature e dei collegamenti deve essere valutata in accordo con le regole di cui al par. 4.1 delle citate norme, senza nessun requisito aggiuntivo.

Tipologia	b [cm]	h [cm]	Ac [cm <sup>2</sup> ]	VERTICALE			ORIZZONTALE		
				As [cm <sup>2</sup> ]	Asmin [cm <sup>2</sup> ]	CK	As [cm <sup>2</sup> ]	Asmin [cm <sup>2</sup> ]	CK
Diaframma provvisorio	100	120	12000	116.82 99.44	-	-	31.40 31.40	-	-

Nelle immagini seguenti sono riportate le armature verticali e orizzontali



**Figura 310. Diaframmi – Armatura verticale**

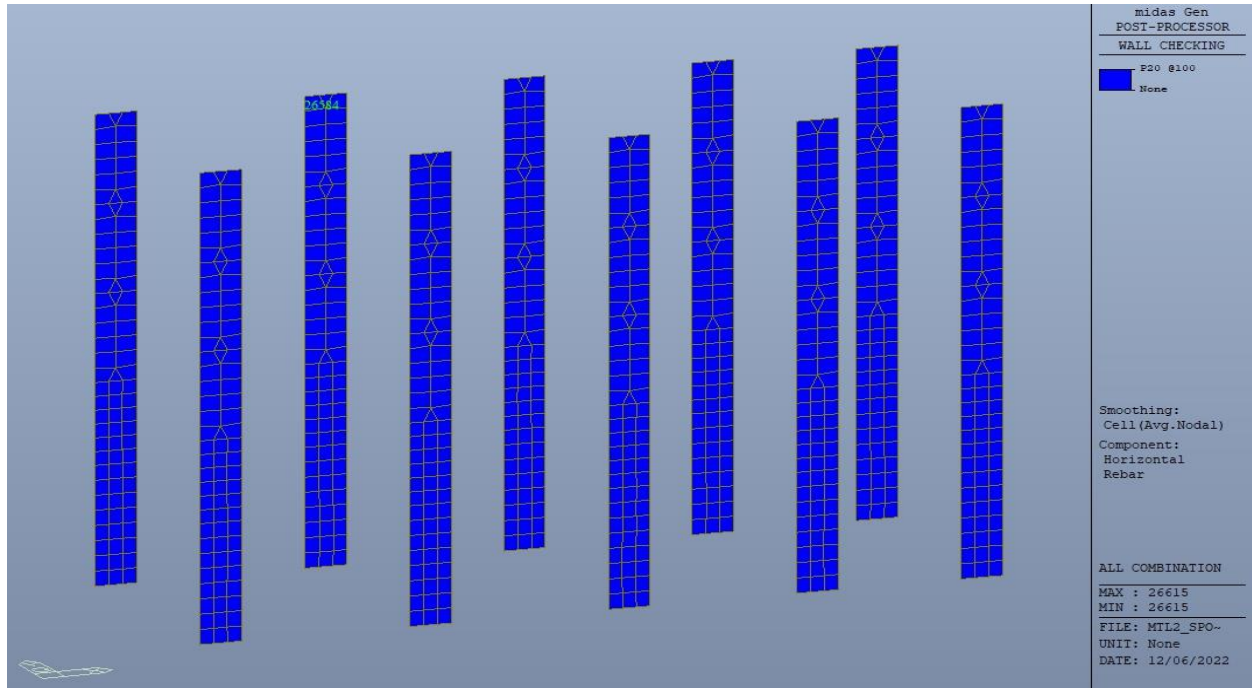


CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX



**Figura 311. Diaframmi – Armatura orizzontale**

Nelle seguenti immagini vengono riportati i massimi tassi di lavoro a flessione e taglio dei singoli elementi strutturali nelle due direzioni verticale e orizzontale evidenziando, nel caso, quelli con un valore superiore all'unità indicatore che la verifica in oggetto non è soddisfatta.



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

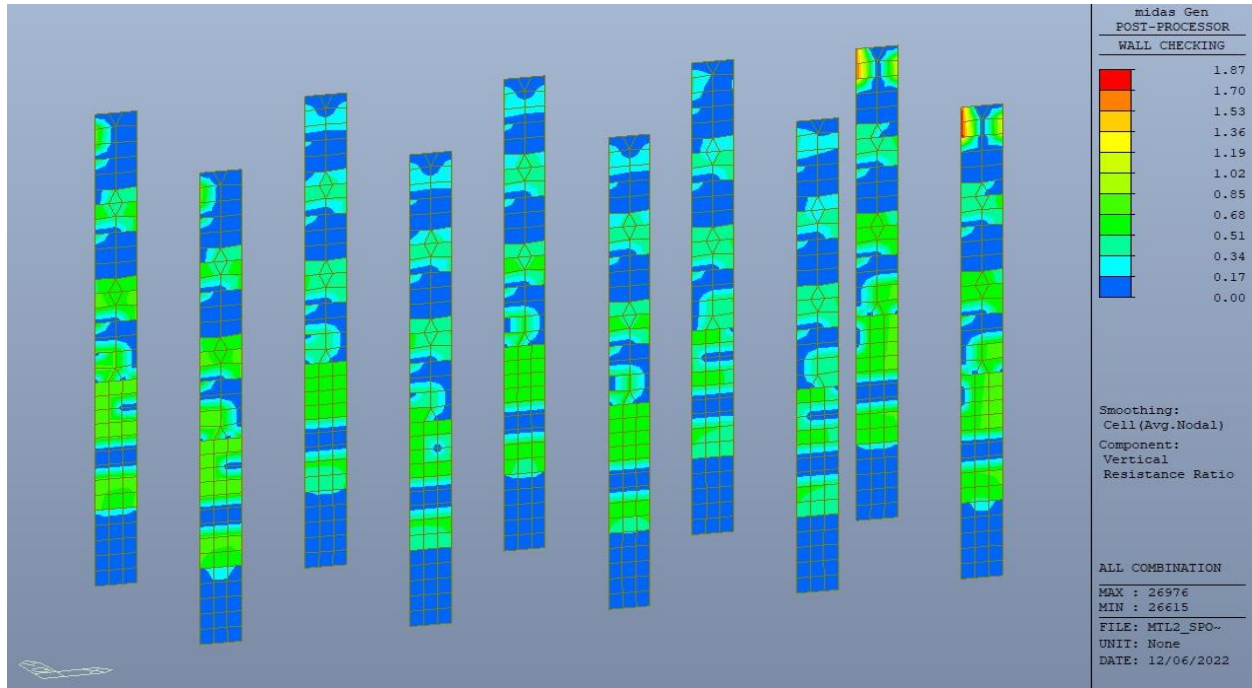


Figura 312. Diaframmi – Tasso di lavoro armatura verticale

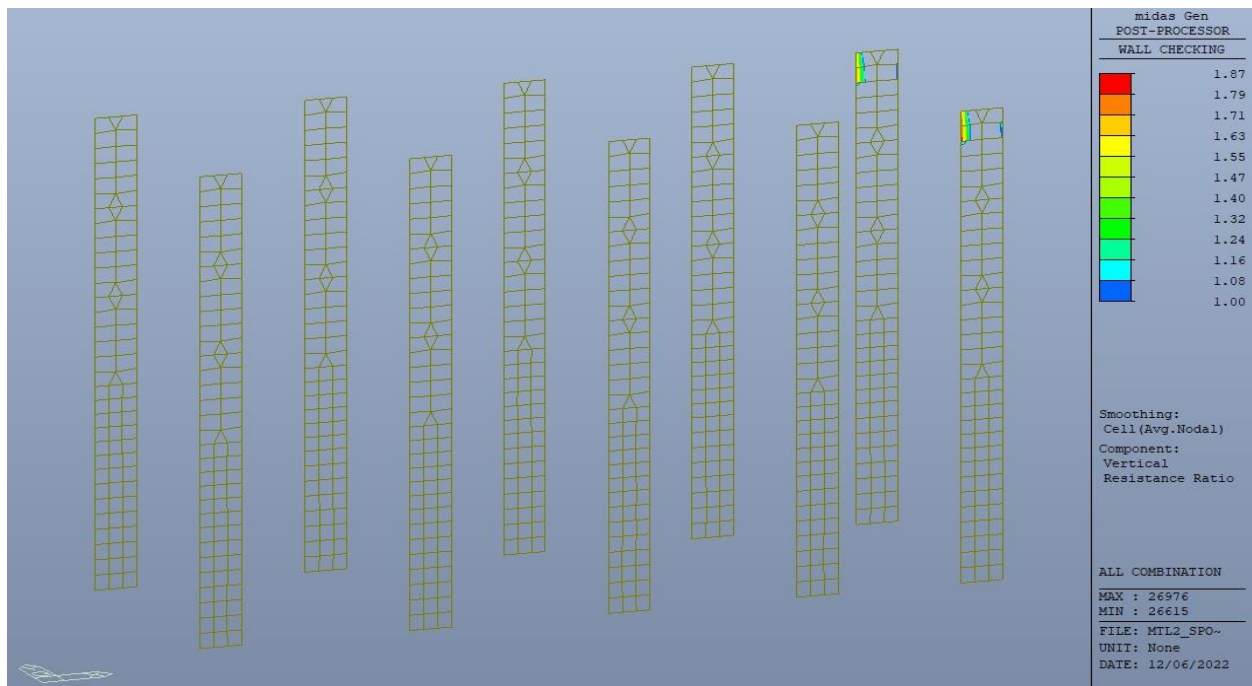


Figura 313. Diaframmi – Tasso di lavoro armatura verticale – Zone > 1



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

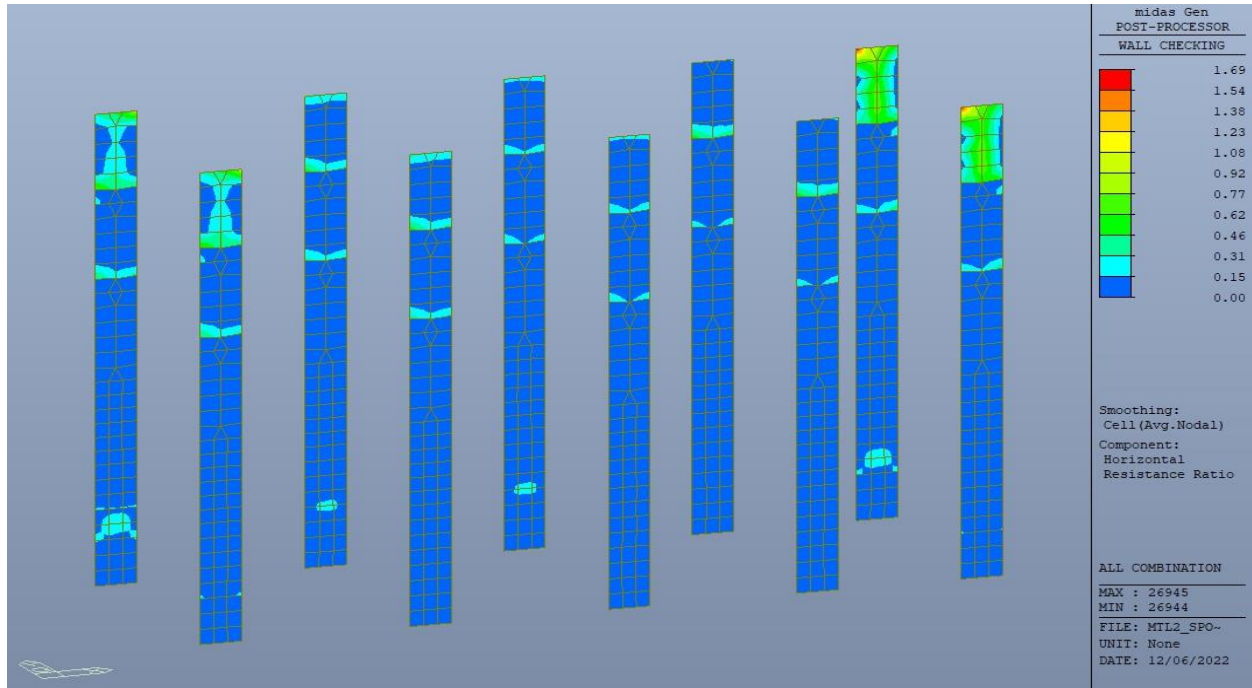


Figura 314. Diaframmi – Tasso di lavoro armatura orizzontale

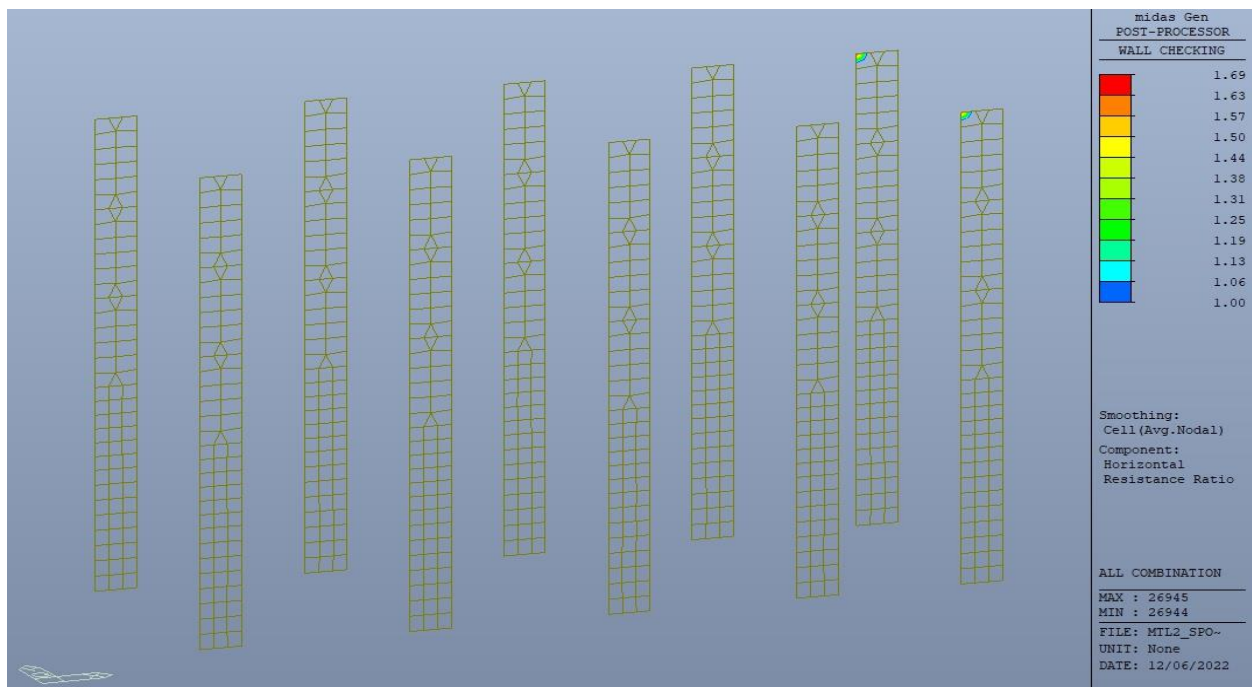


Figura 315. Diaframmi – Tasso di lavoro armatura orizzontale – Zone > 1



 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

Per entrambe le direzioni, le zone con tasso di lavoro superiore all'unità sono localizzate e in numero ridotto rispetto alla totalità degli elementi, si può considerare la verifica soddisfatta.

Di seguitosi riportano il massimo sforzo normale in combinazione SLU da utilizzare per la verifica della capacità portante: 2541 kN.



## 21. VERIFICA SCALONE DI ACCESSO PASSEGGERI

Lo scalone di accesso passeggeri è a pianta rettilinea avente larghezza 2.40m e caratterizzata da sei rampe e cinque pianerottoli intermedi di riposo; realizzata con soletta piena in c.a. dello spessore di 30 cm, data la sua lunghezza sono stati previsti tre appoggi intermedi.

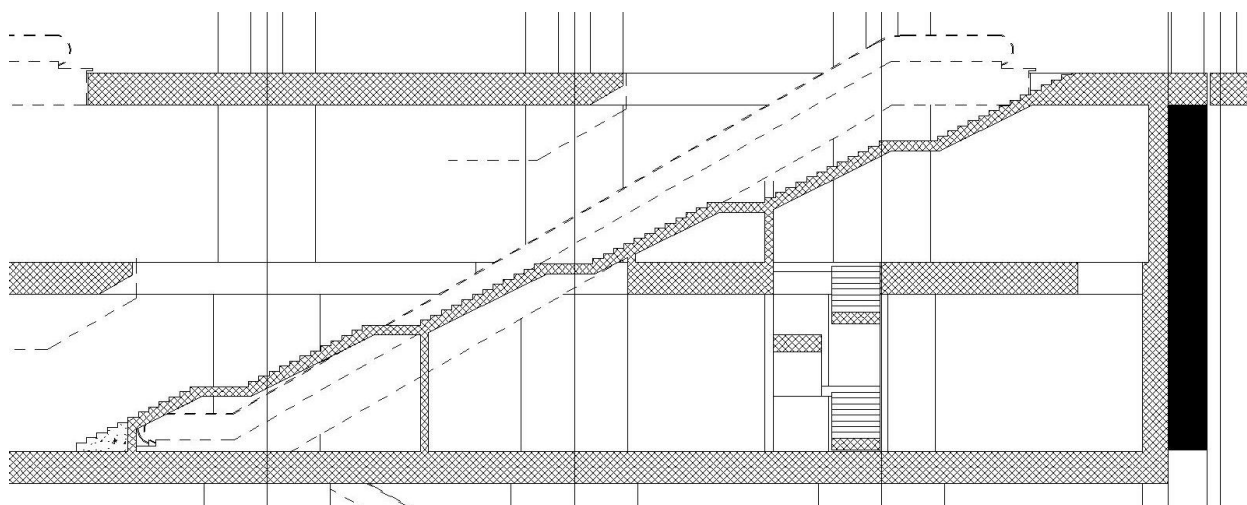


Figura 316. Scalone di accesso passeggeri - Sezione

Nel seguito si riportano sinteticamente i principali risultati delle analisi.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

## 21.1 Sollecitazioni



**Figura 317. Scalone di accesso passeggeri – Schema statico**

Le immagini successive riportano gli involuipi delle sollecitazioni per gli Stati Limite SLU.



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX



Figura 318. Scalone di accesso passeggeri – Involuppo momento  $M_y$  - SLU

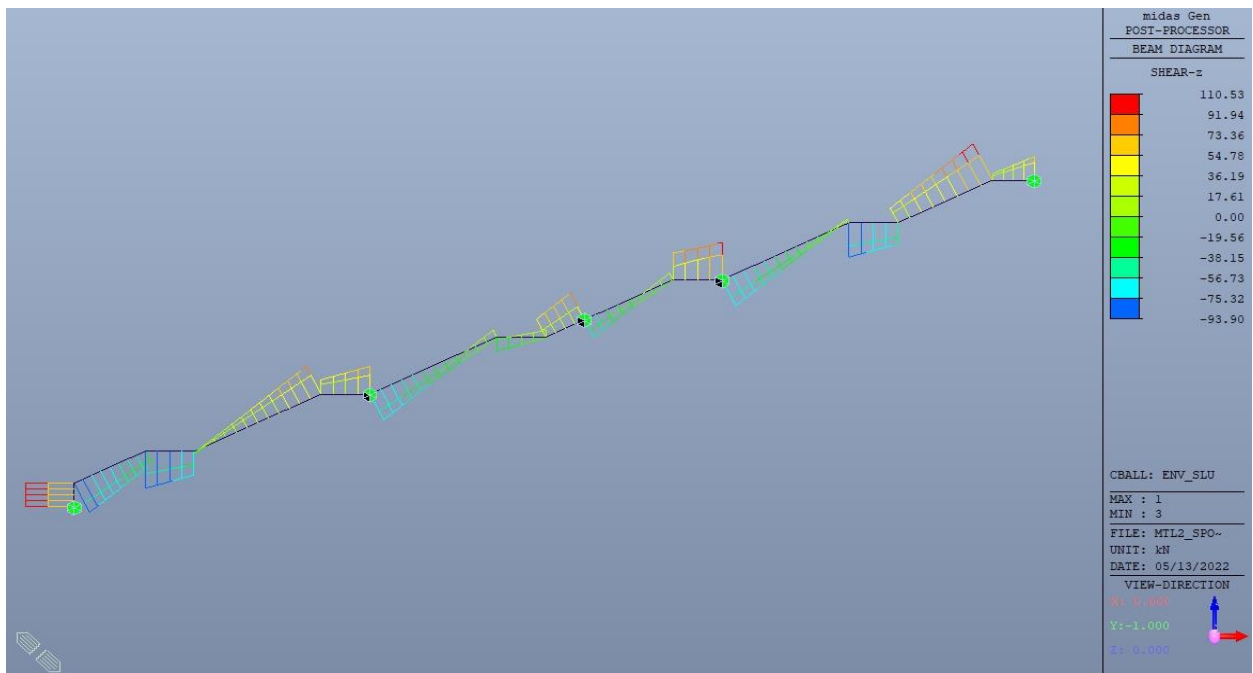


Figura 319. Scalone di accesso passeggeri – Involuppo taglio  $V_z$  - SLU



Figura 320. Scalone di accesso passeggeri – Involucro sforzo normale N - SLU

## 21.2 Verifiche strutturali

Trattandosi di struttura a comportamento non dissipativo, la capacità delle membrature e dei collegamenti deve essere valutata in accordo con le regole di cui al par. 4.1 delle citate norme, senza nessun requisito aggiuntivo.

Come valore minimo dell'armatura longitudinale si è considerato quanto riportato nel par. 4.1.6 delle NTC2018, ossia il quantitativo minimo riportato per le travi pari a

$$A_{s,min} = 0.26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot h$$

dove:

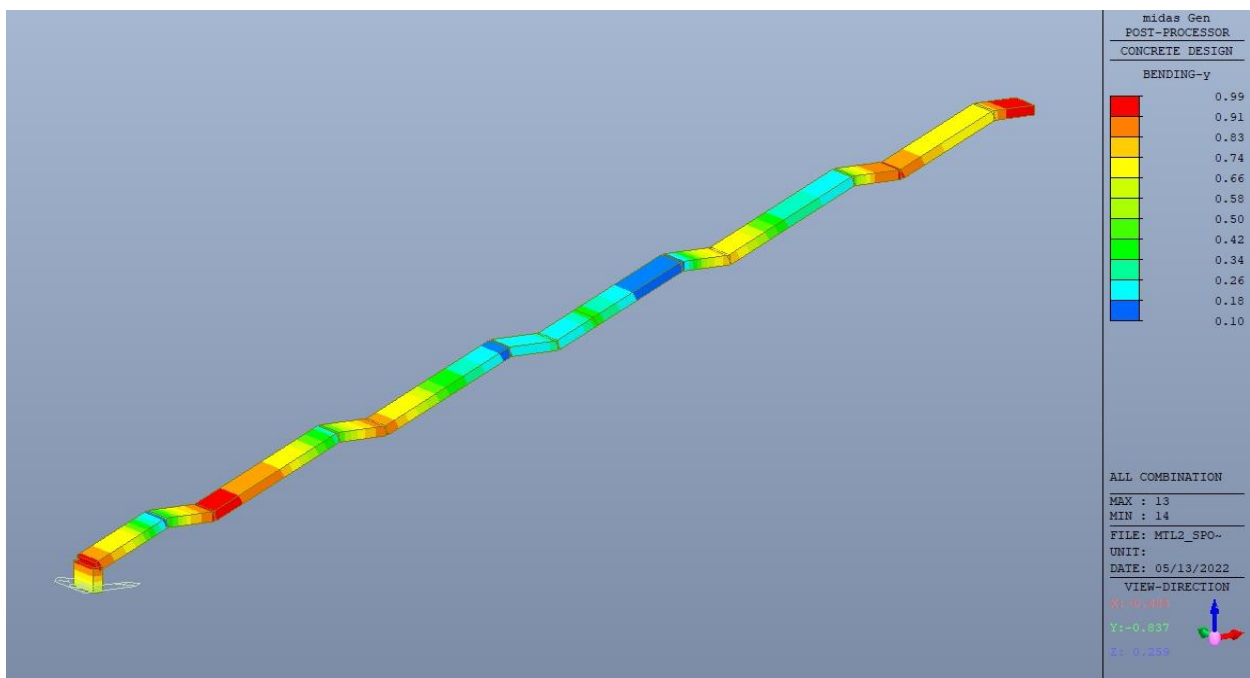
- $f_{ctm}$  è il valore medio della resistenza a trazione del cls;
- $f_{yk}$  è il valore caratteristico della resistenza a trazione dell'armatura;
- $b_t$  è la larghezza media della zona tesa;
- $h$  è l'altezza della sezione.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

**Tabella 42. Armatura minima**

Tipologia	b [cm]	h [cm]	A <sub>c</sub> [cm <sup>2</sup> ]	A <sub>s</sub> [cm <sup>2</sup> ]	A <sub>smin</sub> [cm <sup>2</sup> ]	CK
Soletta H30	100	30	3000	13.40	5.02	OK

La verifica è stata condotta su una striscia di larghezza unitaria.



**Figura 321. Scalone di accesso passeggeri – Tasso di lavoro flessione  $M_y$  – SLU**



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

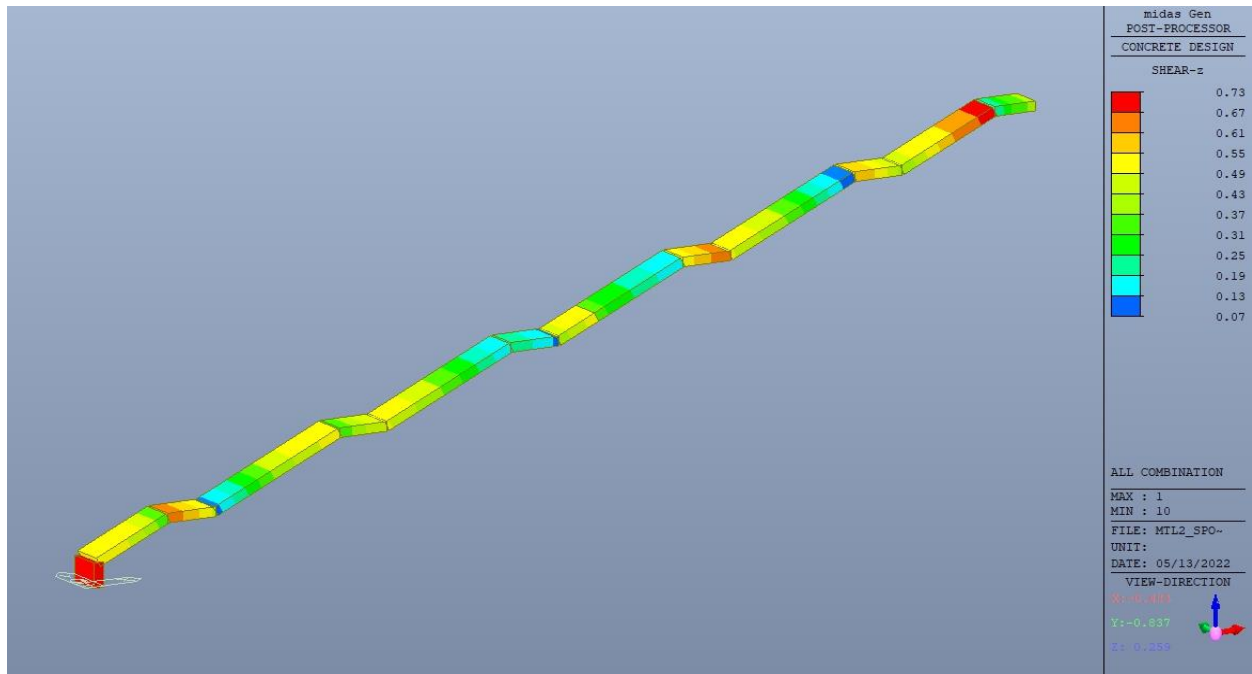


Figura 322. Scalone di accesso passeggeri – Tasso di lavoro taglio  $V_z$  – SLU

Eurocode2:04 RC-Beam Checking Result Dialog

Code : EC2:04,NTC2018 Unit : kN , m Primary Sorting Option

Sorted by  Member  Property Results  Strength  Serviceability  SECT  MEMB

MEMB	SECT	Section		fck	POS	CHK	Rebar		Negative Moment Strength				Positive Moment Strength				Shear Strength								
		Bc	Hc				AsTop	AsBot	N(-) M_Ed	LCB	x/d	N(-) M_Rd	Rat-N	P(+) M_Ed	LCB	x/d	P(+) M_Rd	Rat-P	V_Ed	LCB	V_Rdc	V_Rds	Rat-Vc	Rat-Vs	Rat-V
Span	SEL	bf	hf	fyw																					
0		RAMPA		30000.0	I	OK	0.0016	0.0016	134.710	8	0.19	144.879	0.93	132.217	9	0.19	144.879	0.91	110.528	8	152.436	2.28913	0.73	48.28	0.73
1	<input type="checkbox"/>	1.000	0.300	450000	M	OK	0.0016	0.0014	113.021	8	0.19	144.879	0.78	113.327	8	0.18	128.835	0.88	110.528	8	152.436	2.28913	0.73	48.28	0.73
4.2832		0.000	0.000	450000	J	OK	0.0016	0.0016	142.856	14	0.19	144.879	0.99	132.217	9	0.19	144.879	0.91	110.528	8	152.436	2.28913	0.73	48.28	0.73

Connect Model View  
    
     
Option for Detail Print Position  
 End I.  Mid.  End J.

Figura 323. Scalone di accesso passeggeri – Tabella riassuntiva verifiche – SLU



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture interne stazione

3\_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

Eurocode2:04 RC-Beam Checking Result Dialog

Code : EC2:04.NTC2018      Unit : kN , m      Primary Sorting Option  
 SECT     MEMB

Sorted by     Member      Results     Strength  
 Property       Serviceability

MEMB	SECT	Section		fck	POS	CHK	Stress Control								Crack Control				Deflection Control		
		Bc	Hc				fyk	Concrete				reinforcement				Top-w	Top-wa	Bot-w	Bot-wa	Def	Defa
								Top-s	Top-sa	Bot-s	Bot-sa	Top-s	Top-sa	Bot-s	Bot-sa						
0		RAMPA		30000.0	I	OK	9995.01	13500.0	9311.95	13500.0	273578	360000	274670	360000	0.0003	0.0004	0.0003	0.0004			
1	<input type="checkbox"/>	1.000	0.300	450000	M	OK	9831.79	13500.0	8861.90	13500.0	290003	360000	261395	360000	0.0003	0.0004	0.0003	0.0004	0.0016	0.0171	
4.2832		0.000	0.000	450000	J	OK	10570.8	13500.0	9311.95	13500.0	289338	360000	274670	360000	0.0003	0.0004	0.0003	0.0004			

Connect Model View

Select All    Unselect All    Re-calculation    Result View Option  
 All     OK     NG

Graphic...    Detail...    Summary...    <<    Copy Table

Option for Detail Print Position  
 End I.     Mid.     End J.    Close

Figura 324. Scalone di accesso passeggeri – Tabella riassuntiva verifiche – SLE



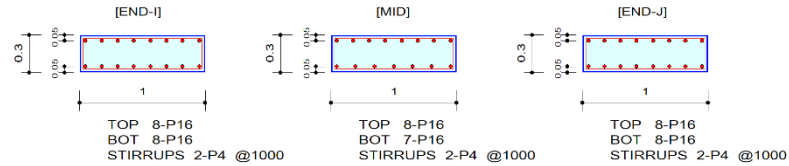


midas Gen **RC Beam Strength Checking Result**

	Company		Project Title	
	Author	Ing. Luca Sampietro	File Name	D:\...\MTL2_SPO_Scalone_00.mgb

1. Design Information

Design Code	Eurocode2:04 & NTC2018	Unit System	kN, m
Material Data	fck = 30000, fyk = 450000, fyw = 450000 KPa		
Section Property	RAMPA (No : 1)	Beam Span	4.28315m



2. Bending Moment Capacity

	END-I	MID	END-J
(-) Load Combination No.	8	8	14
Moment (M_Ed)	134.71	113.02	142.86
Factored Strength (M_Rd)	144.88	144.88	144.88
Check Ratio (M_Ed/M_Rd)	0.9298	0.7801	0.9860
Neutral Axis (x/d)	0.1934	0.1934	0.1934
(+) Load Combination No.	9	8	9
Moment (M_Ed)	132.22	113.33	132.22
Factored Strength (M_Rd)	144.88	128.84	144.88
Check Ratio (M_Ed/M_Rd)	0.9126	0.8796	0.9126
Neutral Axis (x/d)	0.1934	0.1846	0.1934
Using Rebar Top (As_top)	0.0016	0.0016	0.0016
Using Rebar Bot (As_bot)	0.0016	0.0014	0.0016

3. Shear Capacity

	END-I	MID	END-J
Load Combination No.	8	8	8
Factored Shear Force (V_Ed)	110.53	110.53	110.53
V_Rdc	152.44	152.44	152.44
V_Rds	2.29	2.29	2.29
V_Rdmax	956.25	956.25	956.25
Using Shear Reinf. (Asw)	0.0000	0.0000	0.0000
Using Stirrups Spacing	2-P4 @1000	2-P4 @1000	2-P4 @1000
V_Ed / V_Rdc	0.7251	0.7251	0.7251
V_Ed / min(V_Rds, V_Rdmax)	48.2839	48.2839	48.2839
Check Ratio	0.7251	0.7251	0.7251

Figura 325. Scalone di accesso passeggeri – Verifica soletta

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

## 22. ROBUSTEZZA STRUTTURALE

Le azioni eccezionali sono quelle che si presentano in occasione di eventi quali incendi, esplosioni ed urti.

È opportuno che le costruzioni possiedano un grado adeguato di robustezza, in funzione dell'uso previsto della costruzione, individuando gli scenari di rischio e le azioni eccezionali rilevanti ai fini della sua progettazione

### 22.1 Incendio

Per incendio, si intende la combustione autoalimentata ed incontrollata di materiali combustibili presenti in un compartimento.

Ai fini della presente norma si fa riferimento ad un incendio convenzionale di progetto definito attraverso una curva di incendio che rappresenta l'andamento, in funzione del tempo, della temperatura media dei gas di combustione nell'intorno della superficie degli elementi strutturali. La curva di incendio di progetto può essere:

- nominale: curva adottata per la classificazione delle costruzioni e per le verifiche di resistenza al fuoco di tipo convenzionale;
- naturale: curva determinata in base a modelli d'incendio e a parametri fisici che definiscono le variabili di stato all'interno del compartimento.

Le prestazioni di resistenza al fuoco dei prodotti e degli elementi costruttivi possono essere determinate in base ai risultati di:

- a) prove;
- b) calcoli;
- c) confronti con tabelle.

In accordo con la Committenza, è stata fissata una classe di resistenza al fuoco delle strutture pari a R120.

In tale fase di progettazione viene applicato il metodo tabellare nel quale si verifica che le seguenti grandezze dimensionate con il calcolo a freddo

la distanza  $a$  delle armature dallo strato esterno (copriferro);

lo spessore minimo  $s$  dell'elemento strutturale;

siano uguali o maggiori dei valori minimi ritenuti sufficienti per la classificazione di elementi costruttivi resistenti al fuoco e riportati nelle successive tabelle.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

Dette condizioni non costituiscono un obbligo qualora si proceda alla determinazione delle prestazioni di resistenza al fuoco secondo gli altri metodi. I valori contenuti nelle tabelle sono il risultato di campagne sperimentali e di elaborazioni numeriche e si riferiscono alle tipologie costruttive e ai materiali di maggior impiego. Detti valori pur essendo cautelativi, non consentono estrapolazioni o interpolazioni tra gli stessi ovvero modifiche delle condizioni di utilizzo.

L'uso delle tabelle è strettamente limitato alla classificazione di elementi costruttivi per i quali è richiesta la resistenza al fuoco nei confronti della curva temperatura-tempo standard e delle altre azioni meccaniche previste in caso di incendio.

### SOLETTE PIENE E SOLAI ALLEGGERITI

La tabella seguente riporta i valori minimi (mm) dello spessore totale H di solette e solai, della distanza a dall'asse delle armature alla superficie esposta sufficienti a garantire il requisito R per le classi indicate.

**Tabella 43. Resistenza al fuoco – Solette piene/solai**

Classe	30	60	90	120	180	240
Solette piene con armatura monodirezionale	H = 80 / a = 10	120 / 20	120 / 30	160 / 40	200 / 55	240 / 65
Solai misti di lamiera di acciaio con riempimento di calcestruzzo <sup>(1)</sup>	H = 80 / a = 10	120 / 20	120 / 30	160 / 40	200 / 55	240 / 65
Solai a travetti con alleggerimento <sup>(2)</sup>	H = 160 / a = 15	200 / 30	240 / 35	240 / 45	300 / 60	300 / 75
Solai a lastra con alleggerimento <sup>(3)</sup>	H = 160 / a = 15	200 / 30	240 / 35	240 / 45	300 / 60	300 / 75

I valori di a devono essere non inferiori ai minimi di regolamento per le opere di c.a. e c.a.p. In caso di armatura pre-tesa aumentare i valori di a di 15 mm. In presenza di intonaco i valori di H e a ne devono tenere conto nella seguente maniera: 10 mm di intonaco normale (definizione in D.4.1) equivale a 10 mm di calcestruzzo; 10 mm di intonaco protettivo antincendio (definizione in D.4.1) equivale a 20 mm di calcestruzzo. Per ricoprimenti di calcestruzzo superiori a 50 mm prevedere una armatura diffusa aggiuntiva che assicuri la stabilità del ricoprimento.

<sup>(1)</sup> In caso di lamiera grecata H rappresenta lo spessore medio della soletta. Il valore di a non comprende lo spessore della lamiera. La lamiera ha unicamente funzione di cassero. In caso contrario la lamiera va protetta secondo quanto indicato in D.7.1

<sup>(2)</sup> Deve essere sempre presente uno strato di intonaco normale di spessore non inferiore a 20 mm ovvero uno strato di intonaco isolante di spessore non inferiore a 10 mm.

<sup>(3)</sup> In caso di alleggerimento in polistirene o materiali affini prevedere opportuni sfoghi delle sovrappressioni.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

### TRAVI IN CALCESTRUZZO ARMATO ORDINARIO E PRECOMPRESSO

La tabella seguente riporta i valori minimi (mm) della larghezza  $b$  della sezione, della distanza  $a$  dall'asse delle armature alla superficie esposta e della larghezza d'anima  $b_w$  di travi con sezione a larghezza variabile sufficienti a garantire il requisito  $R$  per le classi indicate di travi semplicemente appoggiate. Per travi con sezione a larghezza variabile  $b$  è la larghezza in corrispondenza della linea media delle armature tese.

**Tabella 44. Resistenza al fuoco – Travi**

Classe	combinazioni possibili di $b$ e $a$				$b_w$
30	$b = 80 / a = 25$	120 / 20	160 / 15	200 / 15	80
60	$b = 120 / a = 40$	160 / 35	200 / 30	300 / 25	100
90	$b = 150 / a = 55$	200 / 45	300 / 40	400 / 35	100
120	$b = 200 / a = 65$	240 / 60	300 / 55	500 / 50	120
180	$b = 240 / a = 80$	300 / 70	400 / 65	600 / 60	140
240	$b = 280 / a = 90$	350 / 80	500 / 75	700 / 70	160

I valori di  $a$  devono essere non inferiore ai minimi di regolamento per le opere di c.a. e c.a.p. In caso di armature pre-tese aumentare i valori di  $a$  di 15 mm. In presenza di intonaco i valori di  $b$  e  $a$  ne possono tenere conto nella maniera indicata nella tabella D.5.1 Per ricoprimenti di calcestruzzo superiori a 50 mm prevedere una armatura diffusa aggiuntiva che assicuri la stabilità del ricoprimento.

### PILASTRI IN CALCESTRUZZO ARMATO ORDINARIO E PRECOMPRESSO

La tabella seguente riporta i valori minimi (mm) del lato più piccolo  $b$  di pilastri a sezione rettangolare ovvero del diametro di pilastri a sezione circolare e della distanza  $a$  dell'asse delle armature alla superficie esposta sufficienti a garantire il requisito  $R$  per le classi indicate di pilastri esposti su uno o più lati che rispettano le seguenti limitazioni:

lunghezza effettiva del pilastro (da nodo a nodo)  $\leq 6$  m (per pilastri di piani intermedi) ovvero  $\leq 4,5$  m (per pilastri dell'ultimo piano)

area complessiva di armatura  $A_s \leq 0,04 A_c$  area efficace della sezione trasversale del pilastro.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

**Tabella 45. Resistenza al fuoco – Pilastri**

Classe	Esposto su più lati		Esposto su un lato
30	B = 200 / a = 30	300 / 25-	160 / 25
60	B = 250 / a = 45	350 / 40	160 / 25
90	B = 300 / a = 50	450 / 40	160 / 25
120	B = 350 / a = 60	450 / 50	180 / 35
180	B = 450 / a = 70	-	230 / 55
240	-	-	300 / 70

I valori di a devono essere non inferiore ai minimi di regolamento per le opere di c.a. e c.a.p. In caso di armatura pre-tesa aumentare i valori di a di 15 mm. In presenza di intonaco i valori di a ne possono tenere conto nella maniera indicata nella tabella D.5.1. Per ricoprimenti di calcestruzzo superiori a 50 mm prevedere una armatura diffusa aggiuntiva che assicuri la stabilità del ricoprimento.

#### PARETI IN CALCESTRUZZO ARMATO ORDINARIO E PRECOMPRESSO

La tabella seguente riporta i valori minimi (mm) dello spessore s e della distanza a dall'asse delle armature alla superficie esposta sufficienti a garantire il requisito REI per le classi indicate di pareti portanti esposte su uno o due lati che rispettano le seguenti limitazioni:

altezza effettiva della parete (da nodo a nodo)  $\leq 6$  m (per pareti di piani intermedi) ovvero  $\leq 4,5$  m (per pareti dell'ultimo piano);

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

**Tabella 46. Resistenza al fuoco – Pareti/Setti**

Classe	Esposto su un lato	Esposto su due lati
30	s = 120 / a = 10	120 / 10
60	s = 130 / a = 10	140 / 10
90	s = 140 / a = 25	170 / 25
120	s = 160 / a = 35	220 / 35
180	s = 210 / a = 50	270 / 55
240	s = 270 / a = 60	350 / 60

I valori di a devono essere non inferiore ai minimi di regolamento per le opere di c.a. e c.a.p. In caso di armatura pre-tesa aumentare i valori di a di 15 mm. In presenza di intonaco i valori di a ne possono tenere conto nella maniera indicata nella tabella D.5.1. Per ricoprimenti di calcestruzzo superiori a 50 mm prevedere una armatura diffusa aggiuntiva che assicuri la stabilità del ricoprimento.

Come si evince dalla tabella seguente, tutti i copriferri prescritti per il calcolo a freddo risultano maggiori dei valori minimi per la classe di resistenza R120 richiesta.

**Tabella 47. Copriferri a freddo**

Elemento	Copriferro minimo (mm)
DIAFRAMMI	75
FONDAZIONE E STRUTTURE INTERNE	40
PILASTRI	45

Eventuali analisi di resistenza al fuoco più approfondite potranno essere eseguite in fase di stesura del progetto esecutivo di dettaglio.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

## 22.2 Sovraresistenza

Per garantire che la struttura posseda il grado di robustezza desiderato è necessario progettare adeguati dettagli costruttivi capaci di assorbire una significativa energia di deformazione senza giungere alla rottura, in modo da aumentare la sopravvivenza della struttura dopo un evento eccezionale.

Ciò è possibile realizzando una sufficiente iperstaticità della struttura per facilitare il trasferimento delle azioni sfruttando percorsi di carico alternativi, ossia dotare la struttura di un "serbatoio di resistenza" (sovreresistenza) a cui possa attingere durante un evento eccezionale.

Per la porzione interrata della stazione, tale iperstaticità è stata realizzata nel collegamento tra gli orizzontamenti e i diaframmi esterni in quanto:

- in fase di verifica dei solettoni i vincoli con i diaframmi laterali sono stati modellati come cerniere in modo da massimizzare i momenti positivi nella porzione tra i diaframmi laterali e i diaframmi interni;
- in fase di verifica dei diaframmi il vincolo in testa è stato modellato come cerniera in modo da massimizzare il momento positivo lungo l'asse dell'elemento;
- è stata comunque prevista un'armatura al negativo in corrispondenza del collegamento solettone/diaframma esterno in grado di resistere ad un momento di incastro perfetto.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture interne stazione	3_MTL2T1A2DSTRSPOR003-0-1.DOCX

## 23. GIUDIZIO MOTIVATO DI ACCETTABILITA' DEI RISULTATI

In accordo al §10.2.1 delle NTC18, nel seguente capitolo si riporta la valutazione dell'accettabilità dei risultati ottenuti mediante il programma ad elementi finiti Midas Gen.

Tale valutazione ha compreso il confronto con i risultati di semplici calcoli, eseguiti con metodi tradizionali. Inoltre, sulla base di considerazioni riguardanti gli stati tensionali e deformativi determinati, si è valutata la validità delle scelte operate in sede di schematizzazione e di modellazione della struttura e delle azioni.

In particolare sono state condotte verifiche di equilibrio tra reazioni vincolari e carichi applicati, comparando, per i diversi casi di carico statici, le reazioni vincolari verticali ( $R_z$ ) ottenute dall'analisi e dalle valutazioni semplificate.

**Tabella 48. Confronto reazioni vincolari**

CARICHI	$R_{z1}$ [kN]	$R_{z2}$ [kN]	$\Delta$ [%]
SW	428088	406684	95%
G2	131059	135333	103%
QE	58660	57550	98%
QC5	15295	15601	102%
QVC	61721	62130	101%

Dove:

- SW è il peso proprio delle strutture modellate;
- G2 sono i carichi permanenti portati (vedere cap. 7.4);
- QE è il carico variabile di cat.E (vedere cap. 7.4);
- QC5 è il carico variabile di cat.C5 (vedere cap. 7.4);
- QVC sono i carichi veicolari (vedere cap. 7.4);
- $R_{z1}$  è la somma di tutte le reazioni vincolari dell'analisi;
- $R_{z2}$  è la somma di tutte le reazioni vincolari della valutazione semplificata;
- $\Delta$  è la differenza tra i due valori.

Come si evince dalla tabella precedente, le differenze sono contenute all'interno del range  $\pm 4\%$ .

Si ritiene pertanto che tale confronto dimostri la robustezza e validità delle analisi effettuate.