

**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 ACCESSI STAZIONE</b>												
		ELABORATO						REV.		SCALA	DATA			
BIM MANAGER Geom. L. D'Accardi		MT	L2	T1	A2	D	STR	SPO	R	002	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>2</td> <td>MTL2T1A2D</td> <td>STRSPOR002</td> </tr> </table>						LOTTO 2	CARTELLA	9.3.1	2	MTL2T1A2D	STRSPOR002	<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	2	MTL2T1A2D	STRSPOR002													

 <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 accessi stazione	2_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.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 accessi stazione	2_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

## INDICE

<b>1.</b>	<b>PREMESSA</b>	<b>14</b>
<b>2.</b>	<b>DOCUMENTI E NORMATIVE DI RIFERIMENTO</b>	<b>15</b>
<b>2.1</b>	<b>NORMATIVE DI RIFERIMENTO</b>	<b>15</b>
<b>2.2</b>	<b>PROGRAMMI DI CALCOLO</b>	<b>18</b>
<b>3.</b>	<b>CARATTERISTICHE DEI MATERIALI</b>	<b>19</b>
<b>3.1</b>	<b>CALCESTRUZZO PER DIAFRAMMI: C25/30</b>	<b>19</b>
<b>3.2</b>	<b>STRUTTURE INTERNE: C30/37</b>	<b>19</b>
<b>3.3</b>	<b>ACCIAIO DA CEMENTO ARMATO: B450C</b>	<b>19</b>
<b>3.4</b>	<b>COPRIFERRO MINIMO E COPRIFERRO NOMINALE: DIAFRAMMI</b>	<b>20</b>
<b>3.5</b>	<b>COPRIFERRO MINIMO E COPRIFERRO NOMINALE: STRUTTURE INTERNE</b>	<b>21</b>
<b>3.6</b>	<b>ACCIAIO PER CARPENTERIA: S355J0 – (STRUTTURE PROVVISORIALI)</b>	<b>23</b>
<b>3.7</b>	<b>BARRE IN VETRORESINA</b>	<b>23</b>
<b>4.</b>	<b>DESCRIZIONE DELLE OPERE</b>	<b>24</b>
<b>5.</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA</b>	<b>28</b>
<b>5.1</b>	<b>CONTESTO GEOLOGICO E IDROGEOLOGICO</b>	<b>28</b>
<b>5.2</b>	<b>PARAMETRI GEOTECNICI DI RIFERIMENTO</b>	<b>31</b>
<b>6.</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE SISMICA</b>	<b>33</b>
<b>6.1</b>	<b>VALUTAZIONE DELL’AZIONE SISMICA DI BASE</b>	<b>33</b>
<b>6.2</b>	<b>FATTORE DI AMPLIFICAZIONE DELLO SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO</b>	<b>34</b>
<b>6.3</b>	<b>CATEGORIA DI SOTTOSUOLO</b>	<b>34</b>
<b>6.4</b>	<b>VALUTAZIONE DELL’AZIONE SISMICA DI PROGETTO</b>	<b>35</b>
<b>7.</b>	<b>CRITERI DI CALCOLO DELLE OPERE</b>	<b>37</b>
<b>7.1</b>	<b>CENNI NORMATIVI</b>	<b>37</b>
<b>7.2</b>	<b>CRITERI DI ANALISI DELLA SICUREZZA</b>	<b>39</b>
<b>7.3</b>	<b>ORIGINE DEL CODICE DI CALCOLO E SUA VALIDAZIONE</b>	<b>40</b>



<b>7.4</b>	<b>CARICHI APPLICATI ALLE STRUTTURE</b>	<b>46</b>
7.4.1	PESO PROPRIO	46
7.4.2	PERMANENTI PORTATI STRUTTURALI $G_1$	46
7.4.3	PERMANENTI PORTATI NON STRUTTURALI $G_2$	46
7.4.4	SPINTA DEL TERRENO	47
7.4.5	SPINTA DELL'ACQUA	48
7.4.6	AZIONI VARIABILI Q	48
<b>7.5</b>	<b>AZIONE SISMICA E</b>	<b>49</b>
7.5.1	SPINTA DEL TERRENO IN FASE SISMICA	53
<b>7.6</b>	<b>AZIONI TERMICHE</b>	<b>54</b>
<b>7.7</b>	<b>EFFETTI DOVUTI AL RITIRO</b>	<b>54</b>
<b>7.8</b>	<b>MODELLAZIONE DELLE AZIONI</b>	<b>56</b>
<b>7.9</b>	<b>INTERAZIONE TERRENO-STRUTTURA</b>	<b>61</b>
<b>8.</b>	<b>STRUTTURA ATRIO</b>	<b>62</b>
<b>8.1</b>	<b>MODELLAZIONE DELLA STRUTTURA</b>	<b>62</b>
<b>8.2</b>	<b>MODELLAZIONE DELLE AZIONI – TEMPO INFINITO</b>	<b>67</b>
8.2.1	SOLETTONE DI COPERTURA	68
8.2.2	PIANO ATRIO (PLATEA DI FONDAZIONE)	69
8.2.3	CARICHI ORIZZONTALI	71
8.2.4	RITIRO	73
<b>8.3</b>	<b>MODELLAZIONE DELLE AZIONI – TEMPO ZERO</b>	<b>73</b>
<b>9.</b>	<b>VERIFICA DI RIGIDEZZA – SLO</b>	<b>76</b>
<b>10.</b>	<b>VERIFICA DI RESISTENZA – SLD</b>	<b>80</b>
<b>11.</b>	<b>VERIFICA SOLETTONE DI COPERTURA – SOL1</b>	<b>80</b>
<b>11.1</b>	<b>VERIFICA STATI LIMITE ULTIMI – SLU E SLV</b>	<b>80</b>
11.1.1	SOLLECITAZIONI	80
11.1.2	VERIFICHE STRUTTURALI	85
<b>11.2</b>	<b>VERIFICA STATI LIMITE DI ESERCIZIO - SLE</b>	<b>99</b>
11.2.1	STATO LIMITE DI DEFORMAZIONE	99
11.2.2	STATO LIMITE DI FESSURAZIONE	100
11.2.3	STATO LIMITE DI LIMITAZIONE DELLE TENSIONI IN ESERCIZIO	103
<b>12.</b>	<b>VERIFICA SOLETTONE DI COPERTURA – SOL2</b>	<b>109</b>
<b>12.1</b>	<b>VERIFICA STATI LIMITE ULTIMI – SLU E SLV</b>	<b>109</b>
12.1.1	SOLLECITAZIONI	109

 <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 accessi stazione	2_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

12.1.2	VERIFICHE STRUTTURALI	112
<b>12.2</b>	<b>VERIFICA STATI LIMITE DI ESERCIZIO - SLE</b>	<b>122</b>
12.2.1	STATO LIMITE DI DEFORMAZIONE	122
12.2.2	STATO LIMITE DI FESSURAZIONE	123
12.2.3	STATO LIMITE DI LIMITAZIONE DELLE TENSIONI IN ESERCIZIO	126
<b>13.</b>	<b>VERIFICA TRAVI RIBASSATE</b>	<b>132</b>
<b>13.1</b>	<b>SOLLECITAZIONI</b>	<b>133</b>
<b>13.2</b>	<b>VERIFICHE STRUTTURALI</b>	<b>138</b>
13.2.1	TRAVI 100X160	138
13.2.2	TRAVI 100X140	142
<b>14.</b>	<b>VERIFICA PILASTRI PIANO ATRIO</b>	<b>146</b>
<b>14.1</b>	<b>SOLLECITAZIONI</b>	<b>146</b>
<b>14.2</b>	<b>VERIFICHE STRUTTURALI</b>	<b>150</b>
<b>15.</b>	<b>VERIFICA PLATEA</b>	<b>153</b>
<b>15.1</b>	<b>VERIFICA STATI LIMITE ULTIMI – SLU E SLV</b>	<b>153</b>
15.1.1	SOLLECITAZIONI	153
15.1.2	VERIFICHE STRUTTURALI	156
<b>15.2</b>	<b>VERIFICA STATI LIMITE DI ESERCIZIO - SLE</b>	<b>166</b>
15.2.1	STATO LIMITE DI DEFORMAZIONE	166
15.2.2	STATO LIMITE DI FESSURAZIONE	167
15.2.3	STATO LIMITE DI LIMITAZIONE DELLE TENSIONI IN ESERCIZIO	170
<b>16.</b>	<b>VERIFICA FODERE</b>	<b>176</b>
<b>16.1</b>	<b>SOLLECITAZIONI</b>	<b>176</b>
<b>16.2</b>	<b>VERIFICHE STRUTTURALI</b>	<b>178</b>
<b>17.</b>	<b>VERIFICA DIAFRAMMI INTERNI PROVVISORI</b>	<b>182</b>
<b>17.1</b>	<b>SOLLECITAZIONI</b>	<b>182</b>
<b>17.2</b>	<b>VERIFICHE STRUTTURALI</b>	<b>185</b>
<b>18.</b>	<b>ROBUSTEZZA STRUTTURALE</b>	<b>190</b>
<b>18.1</b>	<b>INCENDIO</b>	<b>190</b>
<b>18.2</b>	<b>SOVRARESISTENZA</b>	<b>195</b>
<b>19.</b>	<b>GIUDIZIO MOTIVATO DI ACCETTABILITA' DEI RISULTATI</b>	<b>196</b>

 <p>CITTA' DI TORINO</p>	<p><b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b></p>
Relazione di calcolo strutture accessi stazione	2_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.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 accessi stazione	2_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

## INDICE DELLE FIGURE

Figura 1.	Key-plan linea 2 della Metropolitana di Torino	14
Figura 2.	Stazione "Politecnico" – estratto Google Maps	15
Figura 3.	Dimensioni minime spessore muro e copriferro in caso di incendio (UNI EN 1992-1-2:2005)	21
Figura 4.	Planimetria piano Banchina	25
Figura 5.	Planimetria piano Mezzanino (-3)	25
Figura 6.	Planimetria piano Mezzanino (-2)	26
Figura 7.	Planimetria piano Atrio	26
Figura 8.	Sezione longitudinale	27
Figura 9.	Sezione trasversale	27
Figura 10.	Quadro strutturale tratto dal progetto CARG (Fonte: Forno M.G., 2012)	28
Figura 11.	Sezione geotecnica – Estratto elaborato MTL2T1A0DGEOSPOT 001	31
Figura 12.	Individuazione del sito	50
Figura 13.	Individuazione dei parametri di progettazione	50
Figura 14.	Spettro SLV	51
Figura 15.	Spettro SLD	51
Figura 16.	Spettro SLO	52
Figura 17.	Atrio – Modello FEM Vista 1	63
Figura 18.	Atrio – Modello FEM Vista 2	63
Figura 19.	Atrio – Struttura interna	64
Figura 20.	Atrio – Vincoli con il mondo esterno – Sezione trasversale	65
Figura 21.	Atrio – Vincoli con il mondo esterno – Sezione longitudinale	66
Figura 22.	Atrio – Dettaglio – Molle compression-only X/Y e Z	66
Figura 23.	Solettone di copertura Atrio – Carichi permanenti NON strutturali G <sub>2</sub>	68
Figura 24.	Solettone di copertura Atrio – Carico variabile veicolare	68
Figura 25.	Piano atrio (Platea) – Carichi permanenti NON strutturali G <sub>2</sub>	69
Figura 26.	Piano atrio (Platea) – Carico variabile Q cat.E – Zona Locali Tecnici	69
Figura 27.	Piano atrio (Platea) – Carico variabile Q cat.C5 – Zona viaggiatori	70
Figura 28.	Spinta statica del terreno (31% del totale) – Tipologico	71
Figura 29.	Spinta sovraccarico stradale (31% del totale) – Tipologico	71
Figura 30.	Sovrappinta sismica terreno (31% del totale) – Tipologico	72
Figura 31.	Azione termica per effetto del ritiro	73
Figura 32.	Solettone SOL1 – Tempo infinito	74
Figura 33.	Solettone SOL1 – Tempo zero	74
Figura 34.	Solettone di copertura Atrio – Carico variabile di cantiere	75
Figura 35.	Solettone di copertura Atrio – Massimo spostamento XY SLO	77
Figura 36.	Solettone di copertura Atrio – Minimo spostamento XY SLO	77
Figura 37.	Piano atrio (Platea) – Massimo spostamento XY SLO	78
Figura 38.	Piano atrio (Platea) – Minimo spostamento XY SLO	78
Figura 39.	Solettone SOL1 – Involuppo momento flettente M <sub>xx</sub> – Direzione X – Tempo infinito	81



Figura 40. Solettone SOL1 – Inviluppo momento flettente  $M_{xx}$  – Direzione X – Tempo zero 81

Figura 41. Solettone SOL1 – Inviluppo momento flettente  $M_{yy}$  – Direzione Y – Tempo infinito 82

Figura 42. Solettone SOL1 – Inviluppo momento flettente  $M_{yy}$  – Direzione Y – Tempo zero 82

Figura 43. Solettone SOL1 – Inviluppo taglio  $V_{xx}$  – Direzione X – Tempo infinito 83

Figura 44. Solettone SOL1 – Inviluppo taglio  $V_{xx}$  – Direzione X – Tempo zero 83

Figura 45. Solettone SOL1 – Inviluppo taglio  $V_{yy}$  – Direzione Y – Tempo infinito 84

Figura 46. Solettone SOL1 – Inviluppo taglio  $V_{yy}$  – Direzione Y – Tempo zero 84

Figura 47. Solettone SOL1 – Armatura superiore direzione D1 86

Figura 48. Solettone SOL1 – Armatura inferiore direzione D1 86

Figura 49. Solettone SOL1 – Armatura superiore direzione D2 87

Figura 50. Solettone SOL1 – Armatura inferiore direzione D2 87

Figura 51. Solettone SOL1 – Tasso di lavoro faccia superiore – Direzione D1 89

Figura 52. Solettone SOL1 – Tasso di lavoro faccia superiore – Direzione D1 – Zone > 1 89

Figura 53. Solettone SOL1 – Tasso di lavoro faccia inferiore – Direzione D1 90

Figura 54. Solettone SOL1 – Tasso di lavoro faccia inferiore – Direzione D1 – Zone > 1 90

Figura 55. Solettone SOL1 – Tasso di lavoro faccia superiore – Direzione D2 91

Figura 56. Solettone SOL1 – Tasso di lavoro faccia superiore – Direzione D2 – Zone > 1 91

Figura 57. Solettone SOL1 – Tasso di lavoro faccia inferiore – Direzione D2 92

Figura 58. Solettone SOL1 – Tasso di lavoro faccia inferiore – Direzione D2 – Zone > 1 92

Figura 59. Solettone SOL1 – Tasso di lavoro faccia superiore – Direzione D1 94

Figura 60. Solettone SOL1 – Tasso di lavoro faccia inferiore – Direzione D1 94

Figura 61. Solettone SOL1 – Tasso di lavoro faccia superiore – Direzione D2 95

Figura 62. Solettone SOL1 – Tasso di lavoro faccia inferiore – Direzione D2 95

Figura 63. Solettone SOL1 – Resistenza a taglio Direzione X 97

Figura 64. Solettone SOL1 – Resistenza a taglio Direzione Y 97

Figura 65. Solettone SOL1 – Resistenza a taglio Direzione X 98

Figura 66. Solettone SOL1 – Resistenza a taglio Direzione Y 98

Figura 67. Solettone SOL1 – Massima deformazione 99

Figura 68. Solettone SOL1 – Apertura delle fessure - Ratio Direzione 1 101

Figura 69. Solettone SOL1 – Apertura delle fessure - Ratio Direzione 2 102

Figura 70. Solettone SOL1 – Apertura delle fessure - Ratio Direzione 2 – Zone > 1 102

Figura 71. Solettone SOL1 – Tensioni calcestruzzo - Ratio Direzione 1 104

Figura 72. Solettone SOL1 – Tensioni calcestruzzo - Ratio Direzione 1 – Zone > 1 104

Figura 73. Solettone SOL1 – Tensioni calcestruzzo - Ratio Direzione 2 105

Figura 74. Solettone SOL1 – Tensioni calcestruzzo - Ratio Direzione 2 – Zone > 1 105

Figura 75. Solettone SOL1 – Tensioni armatura - Ratio Direzione 1 106

Figura 76. Solettone SOL1 – Tensioni armatura - Ratio Direzione 1 – Zone > 1 106

Figura 77. Solettone SOL1 – Tensioni armatura - Ratio Direzione 2 107

Figura 78. Solettone SOL1 – Tensioni armatura - Ratio Direzione 2 – Zone > 1 107

Figura 79. Solettone SOL2 – Inviluppo momento flettente  $M_{xx}$  – Direzione X 110

Figura 80. Solettone SOL2 – Inviluppo momento flettente  $M_{yy}$  – Direzione Y 110

Figura 81. Solettone SOL2 – Inviluppo taglio  $V_{xx}$  – Direzione X 111

 <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 accessi stazione	2_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

Figura 82. Solettone SOL2 – Inviluppo taglio $V_{yy}$ – Direzione Y	111
Figura 83. Solettone SOL2 – Armatura superiore direzione D1	113
Figura 84. Solettone SOL2 – Armatura inferiore direzione D1	113
Figura 85. Solettone SOL2 – Armatura superiore direzione D2	114
Figura 86. Solettone SOL2 – Armatura inferiore direzione D2	114
Figura 87. Solettone SOL2 – Tasso di lavoro faccia superiore – Direzione D1	116
Figura 88. Solettone SOL2 – Tasso di lavoro faccia superiore – Direzione D1 – Zone > 1	116
Figura 89. Solettone SOL2 – Tasso di lavoro faccia inferiore – Direzione D1	117
Figura 90. Solettone SOL2 – Tasso di lavoro faccia superiore – Direzione D2	118
Figura 91. Solettone SOL2 – Tasso di lavoro faccia superiore – Direzione D2 – Zone > 1	118
Figura 92. Solettone SOL2 – Tasso di lavoro faccia inferiore – Direzione D2	119
Figura 93. Solettone SOL2 – Resistenza a taglio Direzione X	121
Figura 94. Solettone SOL2 – Resistenza a taglio Direzione Y	121
Figura 95. Solettone SOL2 – Massima deformazione	122
Figura 96. Solettone SOL2 – Apertura delle fessure - Ratio Direzione 1	124
Figura 97. Solettone SOL2 – Apertura delle fessure - Ratio Direzione 1 – Zone > 1	124
Figura 98. Solettone SOL2 – Apertura delle fessure - Ratio Direzione 2	125
Figura 99. Solettone SOL2 – Apertura delle fessure - Ratio Direzione 2 – Zone > 1	125
Figura 100. Solettone SOL2 – Tensioni calcestruzzo - Ratio Direzione 1	127
Figura 101. Solettone SOL2 – Tensioni calcestruzzo - Ratio Direzione 1 – Zone > 1	127
Figura 102. Solettone SOL2 – Tensioni calcestruzzo - Ratio Direzione 2	128
Figura 103. Solettone SOL2 – Tensioni calcestruzzo - Ratio Direzione 2 – Zone > 1	128
Figura 104. Solettone SOL2 – Tensioni armatura - Ratio Direzione 1	129
Figura 105. Solettone SOL2 – Tensioni armatura - Ratio Direzione 1 – Zone > 1	129
Figura 106. Solettone SOL2 – Tensioni armatura - Ratio Direzione 2	130
Figura 107. Solettone SOL2 – Tensioni armatura - Ratio Direzione 2 – Zone > 1	130
Figura 108. Travi ribassate solettone di copertura – Tempo infinito	132
Figura 109. Travi ribassate solettone di copertura – Tempo zero	133
Figura 110. Travi ribassate 100x160 – Inviluppo $M_y$ tempo infinito	134
Figura 111. Travi ribassate 100x160 – Inviluppo $M_y$ tempo zero	134
Figura 112. Travi ribassate 100x160 – Inviluppo $V_z$ tempo infinito	135
Figura 113. Travi ribassate 100x160 – Inviluppo $V_z$ tempo zero	135
Figura 114. Travi ribassate 100x140 – Inviluppo $M_y$ tempo infinito	136
Figura 115. Travi ribassate 100x140 – Inviluppo $M_y$ tempo zero	136
Figura 116. Travi ribassate 100x140 – Inviluppo $V_z$ tempo infinito	137
Figura 117. Travi ribassate 100x140 – Inviluppo $V_z$ tempo zero	137
Figura 118. Travi ribassate – Verifica trave TR100x160 MAX $M_{NEG}$	139
Figura 119. Travi ribassate – Verifica trave TR100x160 MAX $M_{POS}$	140
Figura 120. Travi ribassate – Verifica trave TR100x140 MAX $M_{NEG}$	143
Figura 121. Travi ribassate – Verifica trave TR100x140 MAX $M_{POS}$	144
Figura 122. Pilastri – Vista 3D	146
Figura 123. Pilastri – Inviluppo momento flettente $M_y$	147

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture accessi stazione	2_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

Figura 124. Pilastri – Inviluppo momento flettente $M_z$	147
Figura 125. Pilastri – Inviluppo taglio $V_z$	148
Figura 126. Pilastri – Inviluppo taglio $V_y$	148
Figura 127. Pilastri – Inviluppo sforzo normale N	149
Figura 128. Pilastri – Sezione di verifica	150
Figura 129. Pilastri – Verifica sezione più sollecitata	151
Figura 130. Platea – Inviluppo momento flettente $M_{xx}$ – Direzione X	154
Figura 131. Platea – Inviluppo momento flettente $M_{yy}$ – Direzione Y	154
Figura 132. Platea – Inviluppo taglio $V_{xx}$ – Direzione X	155
Figura 133. Platea – Inviluppo taglio $V_{yy}$ – Direzione Y	155
Figura 134. Platea – Armatura superiore direzione D1	157
Figura 135. Platea – Armatura inferiore direzione D1	157
Figura 136. Platea – Armatura superiore direzione D2	158
Figura 137. Platea – Armatura inferiore direzione D2	158
Figura 138. Platea – Tasso di lavoro faccia superiore – Direzione D1	160
Figura 139. Platea – Tasso di lavoro faccia inferiore – Direzione D1	161
Figura 140. Platea – Tasso di lavoro faccia inferiore – Direzione D1 – Zone > 1	161
Figura 141. Platea – Tasso di lavoro faccia superiore – Direzione D2	162
Figura 142. Platea – Tasso di lavoro faccia inferiore – Direzione D2	163
Figura 143. Platea – Tasso di lavoro faccia inferiore – Direzione D2 – Zone > 1	163
Figura 144. Platea – Resistenza a taglio Direzione X	165
Figura 145. Platea – Resistenza a taglio Direzione Y	165
Figura 146. Platea – Massima deformazione	166
Figura 147. Platea – Apertura delle fessure - Ratio Direzione 1	168
Figura 148. Platea – Apertura delle fessure - Ratio Direzione 1 – Zone > 1	168
Figura 149. Platea – Apertura delle fessure - Ratio Direzione 2	169
Figura 150. Platea – Apertura delle fessure - Ratio Direzione 2 – Zone > 1	169
Figura 151. Platea – Tensioni calcestruzzo - Ratio Direzione 1	171
Figura 152. Platea – Tensioni calcestruzzo - Ratio Direzione 1 – Zone > 1	171
Figura 153. Platea – Tensioni calcestruzzo - Ratio Direzione 2	172
Figura 154. Platea – Tensioni calcestruzzo - Ratio Direzione 2 – Zone > 1	172
Figura 155. Platea – Tensioni armatura - Ratio Direzione 1	173
Figura 156. Platea – Tensioni armatura - Ratio Direzione 1 – Zone > 1	173
Figura 157. Platea – Tensioni armatura - Ratio Direzione 2	174
Figura 158. Platea – Tensioni armatura - Ratio Direzione 2 – Zone > 1	174
Figura 159. Fodere – Schema statico – Tipologico	176
Figura 160. Fodere – Inviluppo momento flettente $M_y$ – Tipologico	177
Figura 161. Fodere – Inviluppo taglio $V_z$ – Tipologico	177
Figura 162. Fodere longitudinali – Tasso di lavoro $M_y$ – Tipologico	179
Figura 163. Fodere longitudinali – Tasso di lavoro $V_z$ – Tipologico	179
Figura 164. Fodere longitudinali – Tabella riassuntiva verifiche	180
Figura 165. Fodere – Verifica fodera sp. 60cm	181

 <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 accessi stazione	2_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

Figura 166. Diaframmi interni provvisori – Vista 3D	182
Figura 167. Diaframmi – Momento flettente $M_{xx}$	183
Figura 168. Diaframmi – Taglio agente $V_{xx}$	183
Figura 169. Diaframmi – Sforzo normale $F_{xx}$	184
Figura 170. Diaframmi – Armatura verticale	185
Figura 171. Diaframmi – Armatura orizzontale	186
Figura 172. Diaframmi – Tasso di lavoro armatura verticale	187
Figura 173. Diaframmi – Tasso di lavoro armatura verticale – Zone > 1	187
Figura 174. Diaframmi – Tasso di lavoro armatura orizzontale	188
Figura 175. Diaframmi – Tasso di lavoro armatura orizzontale – Zone > 1	188
Figura 176. Diaframmi – Massimo sforzo assiale	189

 <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 accessi stazione	2_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

## INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1. Classi di esposizione e copriferro impiegati	22
Tabella 2. Parametri di resistenza e deformabilità per le unità geotecniche di riferimento	30
Tabella 3. Modello geotecnico	31
Tabella 4. Parametri geotecnici caratteristici	32
Tabella 5. Parametri Jet Grouting caratteristici	32
Tabella 6. Sintesi dei parametri di pericolosità sismica di base	35
Tabella 7. Sintesi delle azioni sismiche di progetto	36
Tabella 8. Rispetto dei requisiti nei confronti degli SL	37
Tabella 9. Coefficienti parziali per le azioni	38
Tabella 10. Tipi di analisi	41
Tabella 11. Tipologia di elementi finiti disponibili	42
Tabella 12. Tipologia di materiali e sezioni disponibili	43
Tabella 13. Tipologia di vincoli disponibili	44
Tabella 14. Tipologia di condizioni di carico disponibili	45
Tabella 15. Rigidezze Diaframmi/Fodere	47
Tabella 16. Spinta orizzontale terreno	47
Tabella 17. Spinta orizzontale sovraccarico stradale	49
Tabella 18. Sovrappinta sismica orizzontale terreno	53
Tabella 19. Deformazione da ritiro per essiccamento	54
Tabella 20. Casi di carico CDC - Atrio	56
Tabella 21. Coefficienti combinazioni di carico CMB - Atrio	59
Tabella 22. Tipologia combinazioni	60
Tabella 23. Caratteristiche modello FEM	62
Tabella 24. Caratteristiche sezioni modello FEM	67
Tabella 25. Armatura minima	85
Tabella 26. Verifica taglio – Solettone di copertura SOL1	96
Tabella 27. Armatura minima	112
Tabella 28. Verifica taglio – Solettone di copertura SOL2	120
Tabella 29. Controllo armatura minima e passo minimo staffe - Travi	138
Tabella 30. Verifica taglio – TR100x160	141
Tabella 31. Verifica taglio – TR180x160	145
Tabella 32. Verifica a taglio – Platea di fondazione	152
Tabella 33. Armatura minima	156
Tabella 34. Verifica a taglio – Platea di fondazione	164
Tabella 35. Armatura minima	178
Tabella 36. Resistenza al fuoco – Solette piene/solai	191
Tabella 37. Resistenza al fuoco – Travi	192
Tabella 38. Resistenza al fuoco – Pilastrini	193
Tabella 39. Resistenza al fuoco – Pareti/Setti	194

 <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 accessi stazione	2_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

Tabella 40. Copriferri a freddo	194
Tabella 41. Confronto reazioni vincolari	196



# 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).

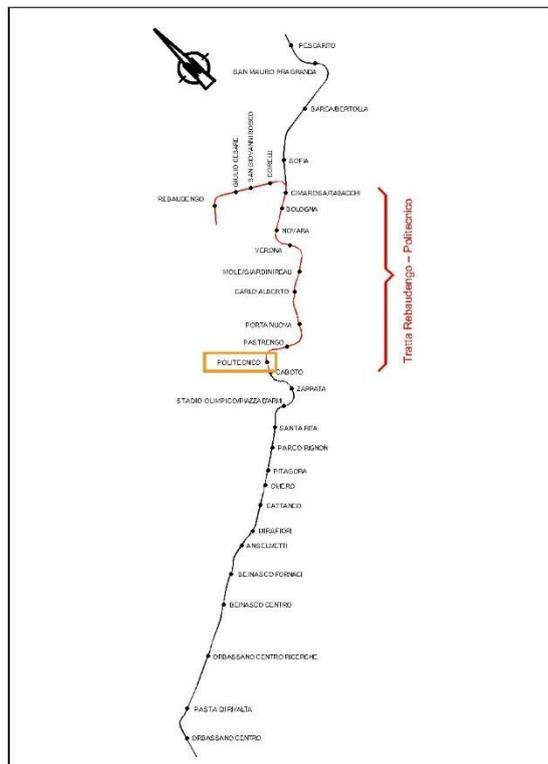


Figura 1. Key-plan linea 2 della Metropolitana di Torino

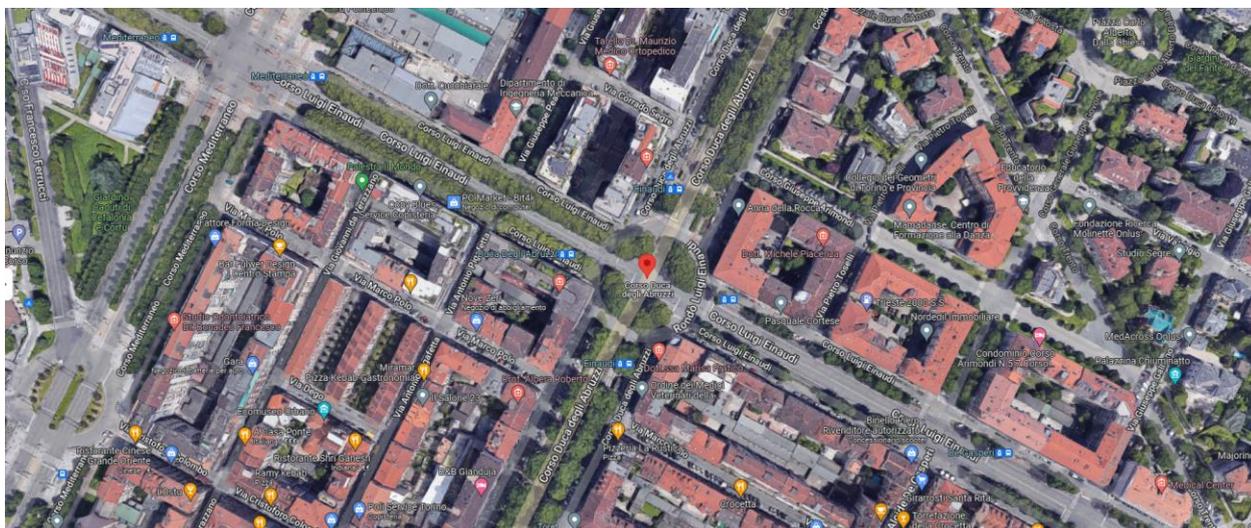


Figura 2. Stazione "Politecnico" – estratto Google Maps

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 accessi stazione	2_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.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: "Presenza 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 accessi stazione	2_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.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 accessi stazione	2_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.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 accessi stazione	2_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.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 accessi stazione	2_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.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 accessi stazione	2_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.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 accessi stazione	2_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.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 XC2 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 accessi stazione	2_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.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  $\rho = 1.9 \text{ g/cm}^3$

Contenuto in vetro  $\Delta_g = 70\%$

Resistenza a trazione caratteristica:  $f_{tk} > 850 \text{ MPa}$

 <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 accessi stazione	2_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

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".

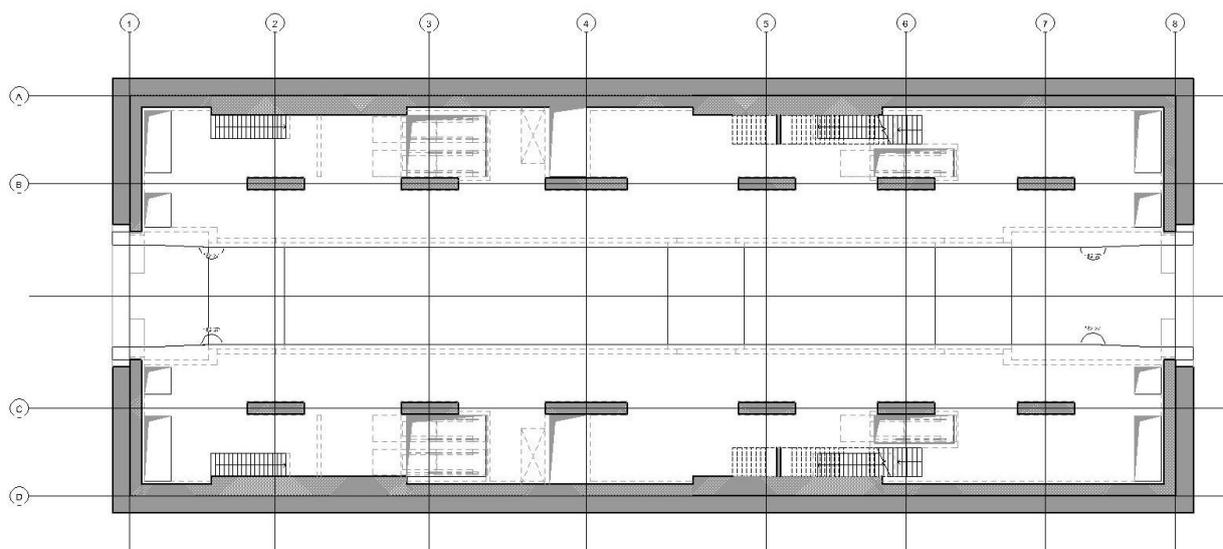


Figura 4. Planimetria piano Banchina

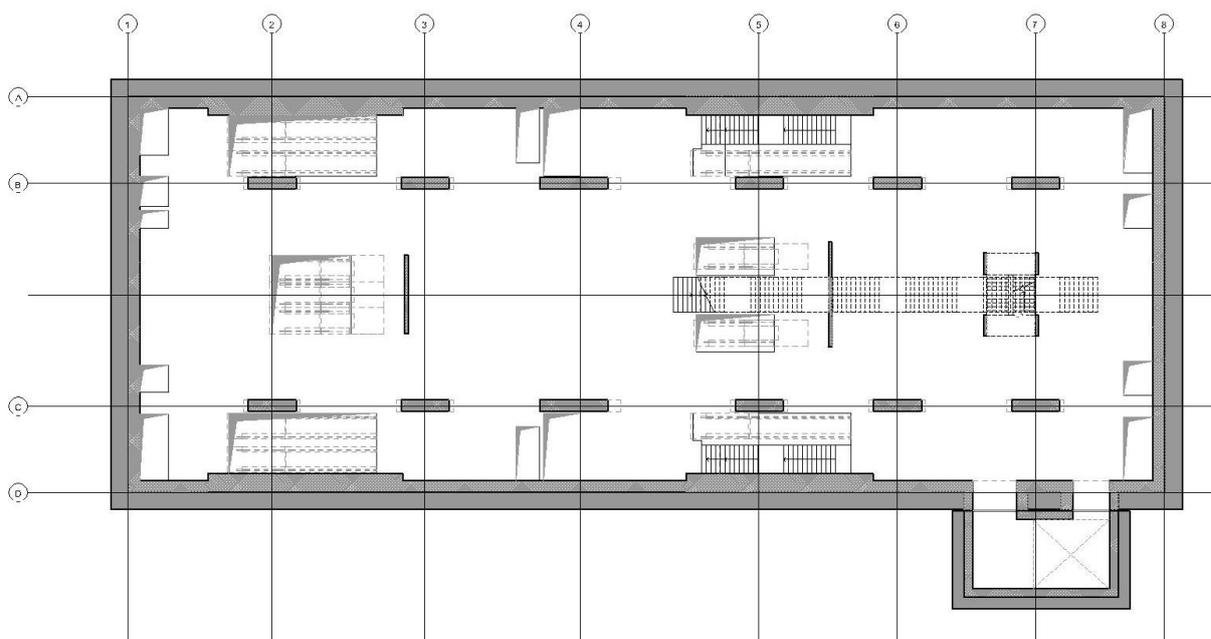


Figura 5. Planimetria piano Mezzanino (-3)

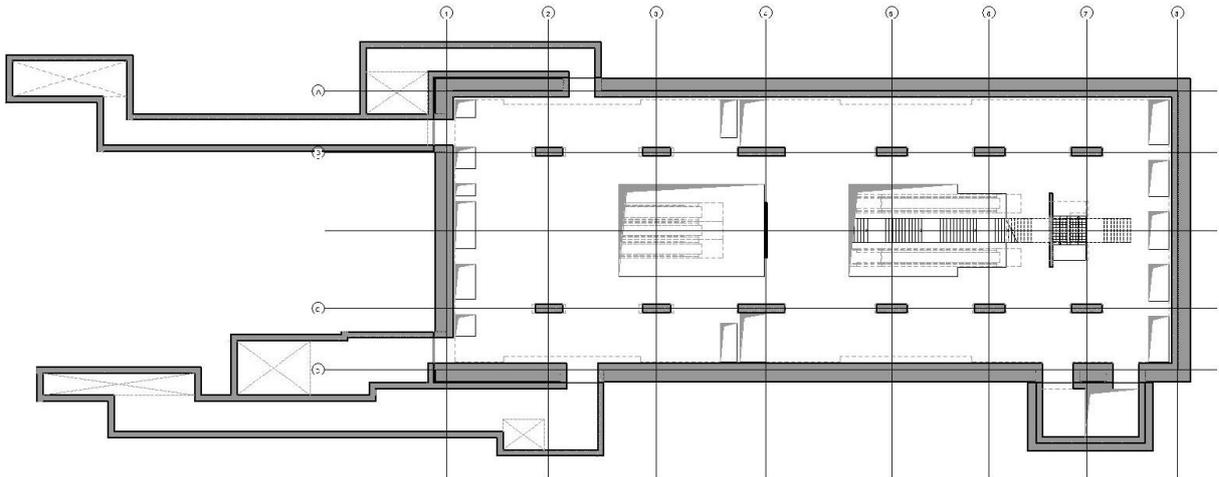


Figura 6. Planimetria piano Mezzanino (-2)

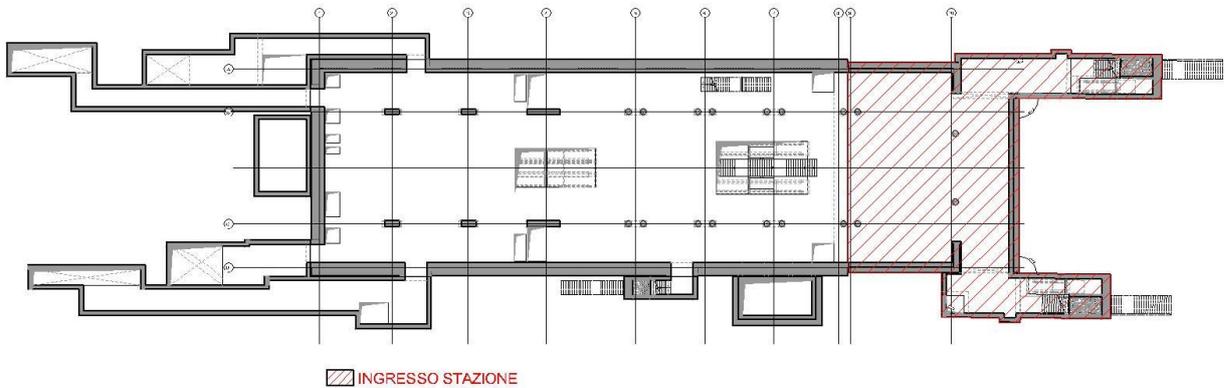


Figura 7. Planimetria piano Atrio

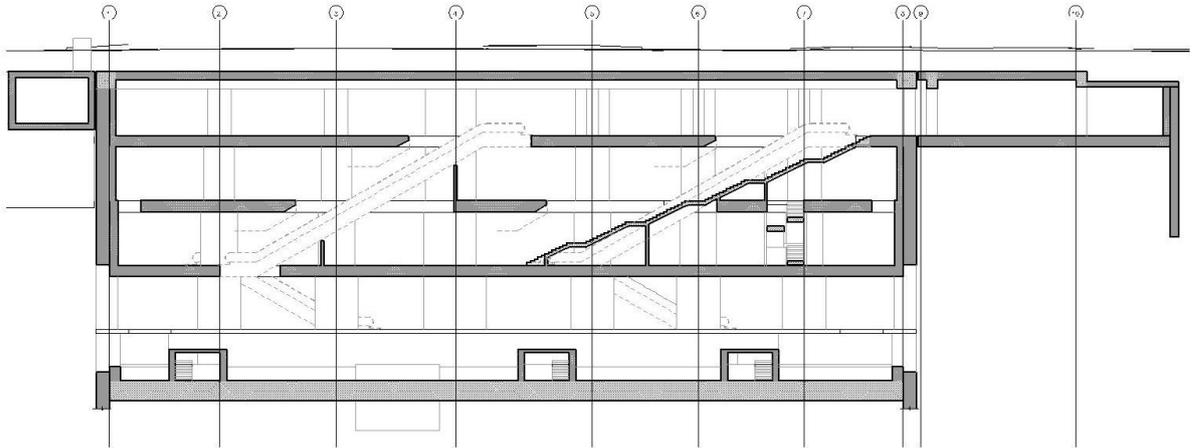


Figura 8. Sezione longitudinale

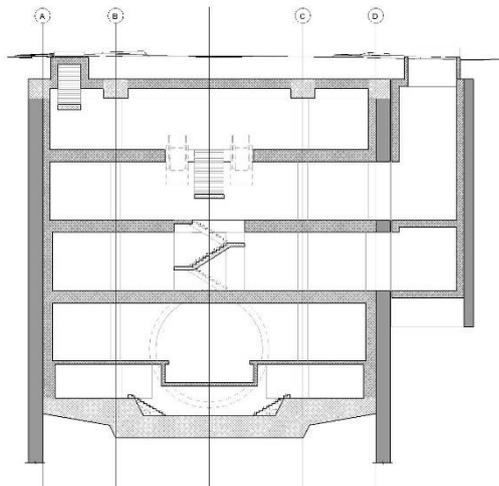


Figura 9. Sezione trasversale

 <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 accessi stazione	2_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

## 5. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

### 5.1 Contesto geologico e idrogeologico

L'area lungo la quale si realizzerà la linea 2 della Metropolitana di Torino si ubica nella cosiddetta "pianura piemontese settentrionale" delimitata a Nord-Ovest dalle Alpi e verso Sud-Est dai rilievi collinari della Collina di Torino e del Monferrato. Tale struttura è caratterizzata da una potente serie di età pliocenico superiore - olocenica formata dagli apporti successivi di due ampi conoidi fluvio-glaciali appartenenti al fiume Dora Riparia e torrente Stura di Lanzo. All'interno dei depositi fluvio-glaciali, si rinvencono termini litologici legati ai litotipi del bacino idrografico di alimentazione, per esempio serpentiniti e ultrabasiti del Massiccio Ultrabasico di Lanzo, gneiss e quarziti del Complesso del Dora Maira. I materiali di natura continentale sono sovrapposti ad una serie marina pliocenica composta da depositi sabbiosi, sabbioso-limosi fino a totalmente limosi. Ad ulteriore profondità si rinvencono 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 rinvencono localmente ciottoli silicatici, silicei e calcarei. I ciottoli possono avere dimensioni molto variabili (fino a pluridecimetriche, in media di 10-30 cm), e generalmente sono composti da quarziti, gneiss, serpentiniti e metagabbri. A minori profondità si possono incontrare lenti limoso-argillose attribuibili al fiume Po. La caratteristica principale dei depositi pleistocenici di origine fluvio-glaciale è la presenza in forma discontinua e localizzata, di orizzonti e livelli con grado di cementazione (e/o addensamento) variabile. I livelli conglomeratici, dotati di maggior cementazione, sono caratteristici del sottosuolo di Torino e sono conosciuti con il nome di "puddinghe". I depositi fluvio-glaciali possono presentare caratteristiche notevolmente variabili in termini di resistenza e deformabilità geotecnica in funzione del grado di cementazione ma anche dal punto di vista granulometrico.

 <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 accessi stazione	2_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

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

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

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

- Complesso ghiaioso-sabbioso, sede dell'acquifero libero principale, è formato dai depositi grossolani del Quaternario (ciottoli, ghiaie, e sabbie in matrice sabbioso-limoso) con potenza tra i 30-40 m. In genere i depositi quaternari possono essere caratterizzati da una permeabilità maggiore a  $1.0E-04$  m/s (permeabilità da media 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

 <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 accessi stazione	2_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

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:

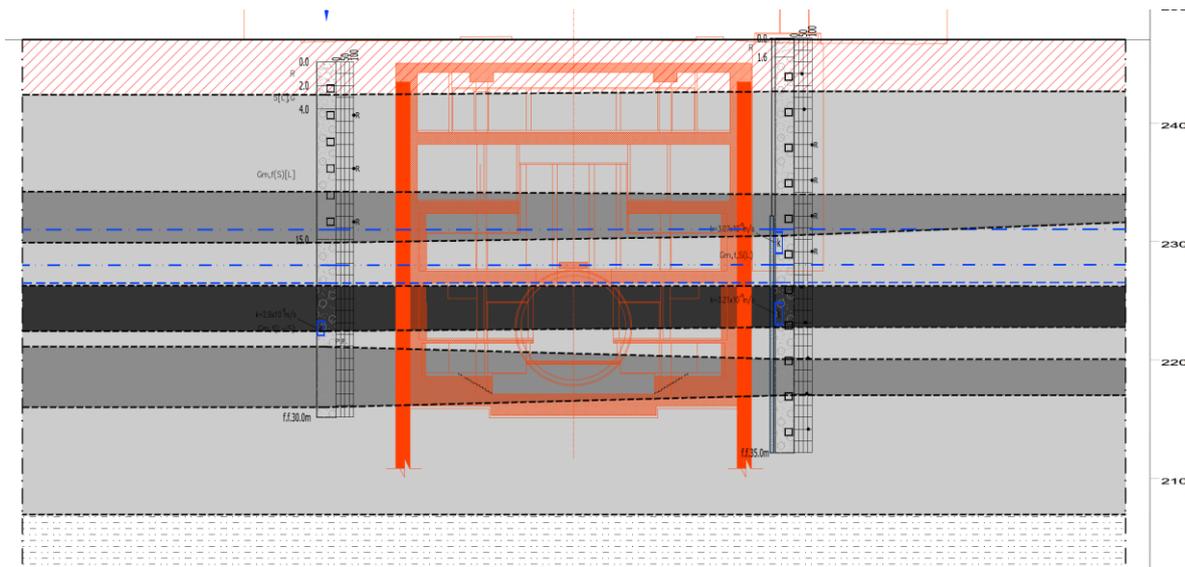


Figura 11. Sezione geotecnica – Estratto elaborato MTL2T1A0DGEOSPOT 001

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 accessi stazione	2_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.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. MTL2T1A0DGEOGENR002) 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 accessi stazione	2_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.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 accessi stazione	2_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.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 accessi stazione	2_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.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 Cu: 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°**

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 ( $P_{VR}$ )	%	81	63	10
Tempo di ritorno ( $T_R$ )	anni	90	151	1424
Accelerazione orizzontale massima su suolo rigido ( $a_g$ )	g	0.035	0.040	0.070
Fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale ( $F_0$ )	-	2.647	2.677	2.851
Tempo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale ( $T^*c$ )	s	0.232	0.233	0.289

 <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 accessi stazione	2_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

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

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

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

**Tabella 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

 <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 accessi stazione	2_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

## 7. CRITERI DI CALCOLO DELLE OPERE

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

**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:

 <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 accessi stazione	2_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

- 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):

**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:

 <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 accessi stazione	2_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

- 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 (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:

$$\mathbf{K} * \mathbf{u} = \mathbf{F} \quad \text{dove} \quad \begin{aligned} \mathbf{K} &= \text{matrice di rigidità} \\ \mathbf{u} &= \text{vettore spostamenti nodali} \\ \mathbf{F} &= \text{vettore forze nodali} \end{aligned}$$

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 accessi stazione	2_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.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	✓	✓	✓	✓	✓ 3),4)	✓ 3),4)	✓	✓ 3)	✓	✓
Construction Stage (Linear)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Construction Stage (Nonlinear)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
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>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 accessi stazione

2\_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.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 accessi stazione	2_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.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>
  - Rinterro (sp.2.70m) 54.00 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>

 <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 accessi stazione	2_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.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
CORPO STAZIONE	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
ATRIO	DIAFRAMMA	C25/30	31476	1	1000	800	42666666667	1.34298E+15	0.69
	FODERA	C30/37	32837	1	1000	600	18000000000	5.91066E+14	0.31

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
CORPO STAZIONE	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
ATRIO	Solettone di copertura	2.2	20.27		0.31		6.28
	Piano Atrio (-1)	8.15	75.09	0.31		23.28	

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

 <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 accessi stazione	2_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

#### 7.4.5 Spinta dell'acqua

Il livello di falda interessa le opere strutturali in oggetto.

A favore di sicurezza, per i calcoli a lungo periodo, si trascura la presenza delle opere provvisionali 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.

 <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 accessi stazione	2_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

**Tabella 17. Spinta orizzontale sovraccarico stradale**

	FLOOR	Q [m]	$\sigma_{HQ}$	rapporto inerzia		$\sigma_{HQ}$ [kN/m2]	
			kN/m2	UP	DOWN	UP	DOWN
CORPO STAZIONE	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
ATRIO	Solettone di copertura	2.2	9.40		0.31		2.91
	Piano Atrio (-1)	8.15	9.40	0.31		2.91	

Valutazione dei carichi (fase di cantiere)

- Solettone: 20.00 kN/m<sup>2</sup>
- Platea di fondazione: 10.00 kN/m<sup>2</sup>

### 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.



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture accessi stazione

2\_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

### FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate      LONGITUDINE: 7.6761      LATITUDINE: 45.0781

Ricerca per comune      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

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

### FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

Vita nominale della costruzione (in anni) -  $V_N$ :  info

Coefficiente d'uso della costruzione -  $c_U$ :  info

Valori di progetto

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) -  $V_R$ :  info

Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) -  $T_R$ : info

Stati limite di esercizio - SLE:  $\left\{ \begin{array}{l} \text{SLO} - P_{VR} = 81\% \rightarrow 90 \\ \text{SLD} - P_{VR} = 63\% \rightarrow 151 \end{array} \right.$

Stati limite ultimi - SLU:  $\left\{ \begin{array}{l} \text{SLV} - P_{VR} = 10\% \rightarrow 1424 \\ \text{SLC} - P_{VR} = 5\% \rightarrow 2475 \end{array} \right.$

Elaborazioni:  
 Grafici parametri azione  
 Grafici spettri di risposta  
 Tabella parametri azione

Strategia di progettazione

LEGENDA GRAFICO  
 --- Strategia per costruzioni ordinarie  
 --- Strategia scelta

INTRO      FASE 1      **FASE 2**      FASE 3

Figura 13. Individuazione dei parametri di progettazione



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture accessi stazione

2\_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

SLV

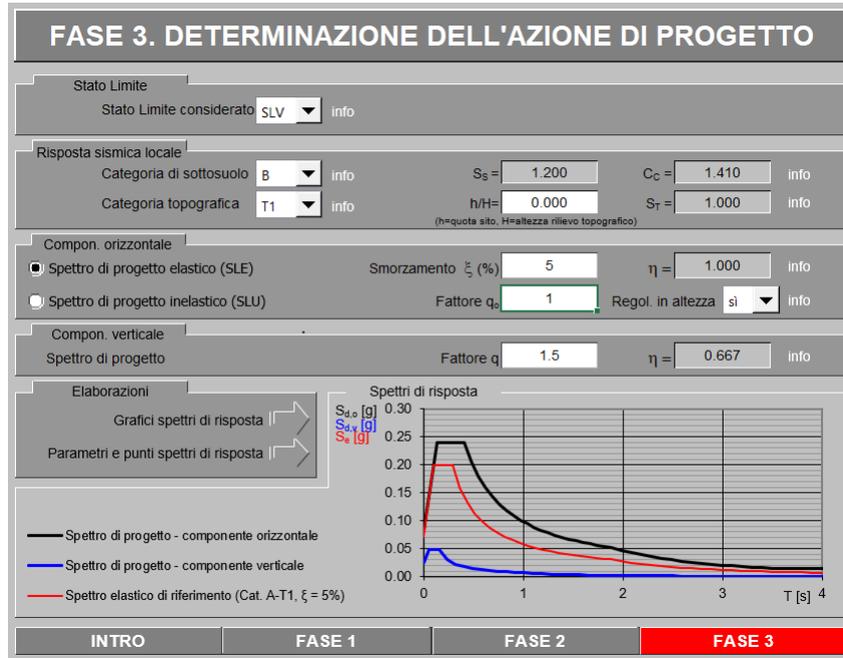


Figura 14. Spettro SLV

SLD

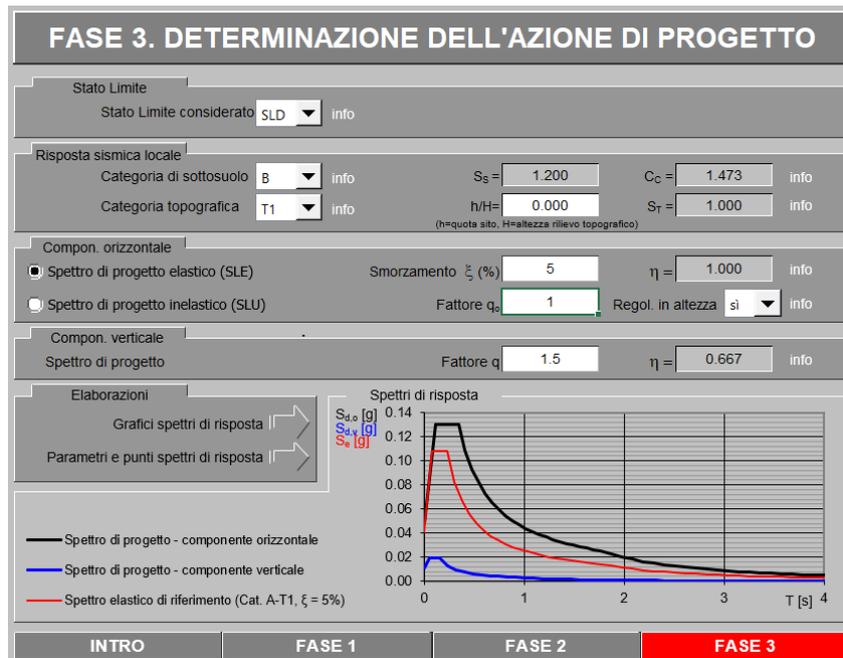


Figura 15. Spettro SLD



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture accessi stazione

2\_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

SLO

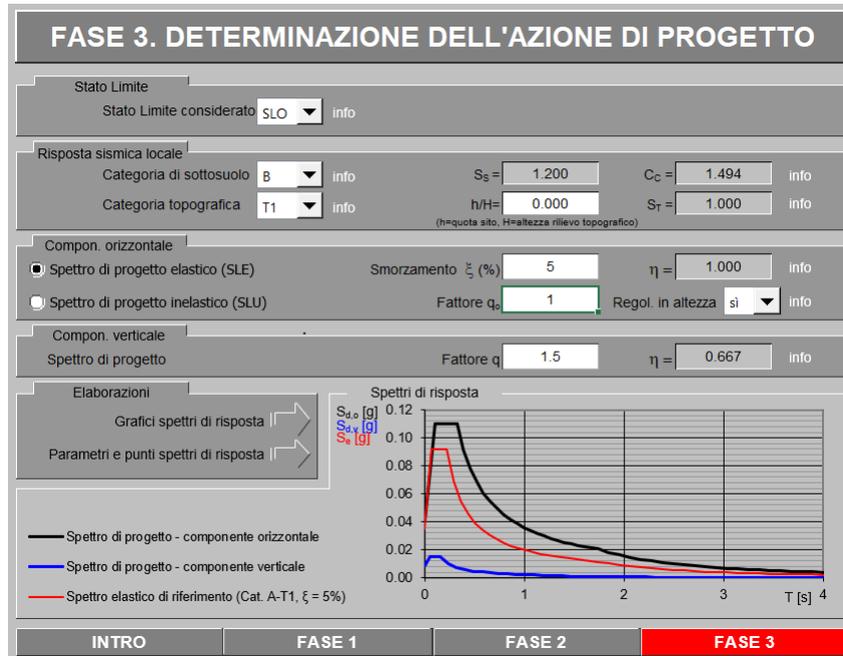


Figura 16. Spettro SLO

 <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 accessi stazione	2_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

### 7.5.1 Spinta del terreno in fase sismica

Per la determinazione dell'incremento di spinta sismica da applicare sulle strutture interrato 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 rigidità 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
CORPO STAZIONE	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	
ATRIO	Solettone di copertura	2.2	3.62		0.31		1.12
	Piano Atrio (-1)	8.15	13.42	0.31		4.16	

 <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 accessi stazione	2_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

## 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.

## 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

 <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 accessi stazione	2_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

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

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‰

**CORPO STAZIONE**

- $\varepsilon_{cd(t)}$                     -0.0956‰
- $\varepsilon_{cs(t)}$                     -0.147‰

**ATRIO**

- $\varepsilon_{cd(t)}$                     -0.1216‰
- $\varepsilon_{cs(t)}$                     -0.1733‰

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

- Corpo stazione:            -15°C
- Atrio:                         -18 °C

 <b>CITTA DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture accessi stazione	2_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

## 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 - Atrio**

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

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**

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

**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...)			



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture accessi stazione

2\_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

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 accessi stazione

2\_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

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

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



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

Relazione di calcolo strutture accessi stazione

2\_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

CMB	NAME	ACTIVE	TYPE	SW	G2	RTR	TR	CS_X-	CS_Y+	CS_Y-	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-	QE	QC5
SLO	gLCB57	Active	Add	1	1	1	1	0	0	-0.06	0.2	-1	0	0	-0.3					-1			-0.3	0.8	0.6
SLO	gLCB58	Active	Add	1	1	1	1	0	0	0.06	0.2	-1	0	0	0.3					-1			0.3	0.8	0.6
SLO	gLCB59	Active	Add	1	1	1	1	-0.2	-0.06	0	0.2	0	-1	-0.3	0						-1		-0.3	0.8	0.6
SLO	gLCB60	Active	Add	1	1	1	1	-0.2	0.06	0	0.2	0	-1	0.3	0						-1		0.3	0.8	0.6
SLO	gLCB61	Active	Add	1	1	1	1	-0.2	0	-0.06	0.2	0	-1	0	-0.3						-1		-0.3	0.8	0.6
SLO	gLCB62	Active	Add	1	1	1	1	-0.2	0	0.06	0.2	0	-1	0	0.3						-1		0.3	0.8	0.6
SLO	gLCB63	Active	Add	1	1	1	1	0	-0.2	0	0.2	-0.3	0	-1	0						-0.3		-1	0.8	0.6
SLO	gLCB64	Active	Add	1	1	1	1	0	-0.2	0	0.2	0.3	0	-1	0						0.3		-1	0.8	0.6
SLO	gLCB65	Active	Add	1	1	1	1	-0.06	-0.2	0	0.2	0	-0.3	-1	0						-0.3		-1	0.8	0.6
SLO	gLCB66	Active	Add	1	1	1	1	0.06	-0.2	0	0.2	0	0.3	-1	0						0.3		-1	0.8	0.6
SLO	gLCB67	Active	Add	1	1	1	1	0	0	-0.2	0.2	-0.3	0	0	-1						-0.3		-1	0.8	0.6
SLO	gLCB68	Active	Add	1	1	1	1	0	0	-0.2	0.2	0.3	0	0	-1						0.3		-1	0.8	0.6
SLO	gLCB69	Active	Add	1	1	1	1	-0.06	0	-0.2	0.2	0	-0.3	0	-1						-0.3		-1	0.8	0.6
SLO	gLCB70	Active	Add	1	1	1	1	0.06	0	-0.2	0.2	0	0.3	0	-1						0.3		-1	0.8	0.6
SLE_R	gLCB71	Active	Add	1	1	1	1	0.75	0.75	0.75	0.75													1	0.7
SLE_R	gLCB72	Active	Add	1	1	1	1	0.75	0.75	0.75	0.75													1	1
SLE_R	gLCB73	Active	Add	1	1	1	1	1	0.75	0.75	0.75													1	0.7
SLE_R	gLCB74	Active	Add	1	1	1	1	0.75	1	0.75	0.75													1	0.7
SLE_R	gLCB75	Active	Add	1	1	1	1	0.75	0.75	1	0.75													1	0.7
SLE_R	gLCB76	Active	Add	1	1	1	1	0.75	0.75	0.75	1													1	0.7
SLE_F	gLCB77	Active	Add	1	1	1	1																	0.9	0.6
SLE_F	gLCB78	Active	Add	1	1	1	1																	0.8	0.6
SLE_F	gLCB79	Active	Add	1	1	1	1	0.75																0.8	0.6
SLE_F	gLCB80	Active	Add	1	1	1	1		0.75															0.8	0.6
SLE_F	gLCB81	Active	Add	1	1	1	1			0.75														0.8	0.6
SLE_F	gLCB82	Active	Add	1	1	1	1				0.75													0.8	0.6
SLE_QP	gLCB83	Active	Add	1	1	1	1																	0.8	0.6

**Tabella 22. Tipologia combinazioni**

ID	Name	Tipo	Sigla Id
1-6	gLCB1-gLCB6	SLU	Combinazione SLU
7-38	gLCB7-gLCB38	SLV	Combinazione SLU sismica
39-70	gLCB39-gLCB70	SLO	Combinazione SLE sismica
71-83	gLCB71-gLCB83	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 accessi stazione	2_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.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 perimetrali
  - o Solettone di copertura: 12704.26 kN/m
  - o Piano Atrio (-1): 2741671.30 kN/m
- Rigidezza verticale diaframmi perimetrali
  - o Solettone di copertura: 77639.75 kN/m<sup>3</sup>
  - o Piano Atrio (-1): 155279.50 kN/ m<sup>3</sup>
- Rigidezza verticale diaframmi interni provvisori
  - o Piano Atrio (-1): 155279.50 kN/ m<sup>3</sup>
- Rigidezza verticale platea di fondazione
  - o Platea di fondazione: 120723.5 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:

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

$L$  è la lunghezza 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 accessi stazione	2_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

$\zeta$  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 rigidità

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

## 8. STRUTTURA ATRIO

### 8.1 Modellazione della struttura

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

**Tabella 23. Caratteristiche modello FEM**

Modellazione della geometria e proprietà meccaniche:	
nodi	7820
elementi D2	128
elementi D3 (per pareti, platee, gusci...)	7653
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
Orizzontamenti:	
Solai con la proprietà piano rigido	NO
Solai senza la proprietà piano rigido	NO
Tipo di vincoli:	
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 accessi stazione

2\_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

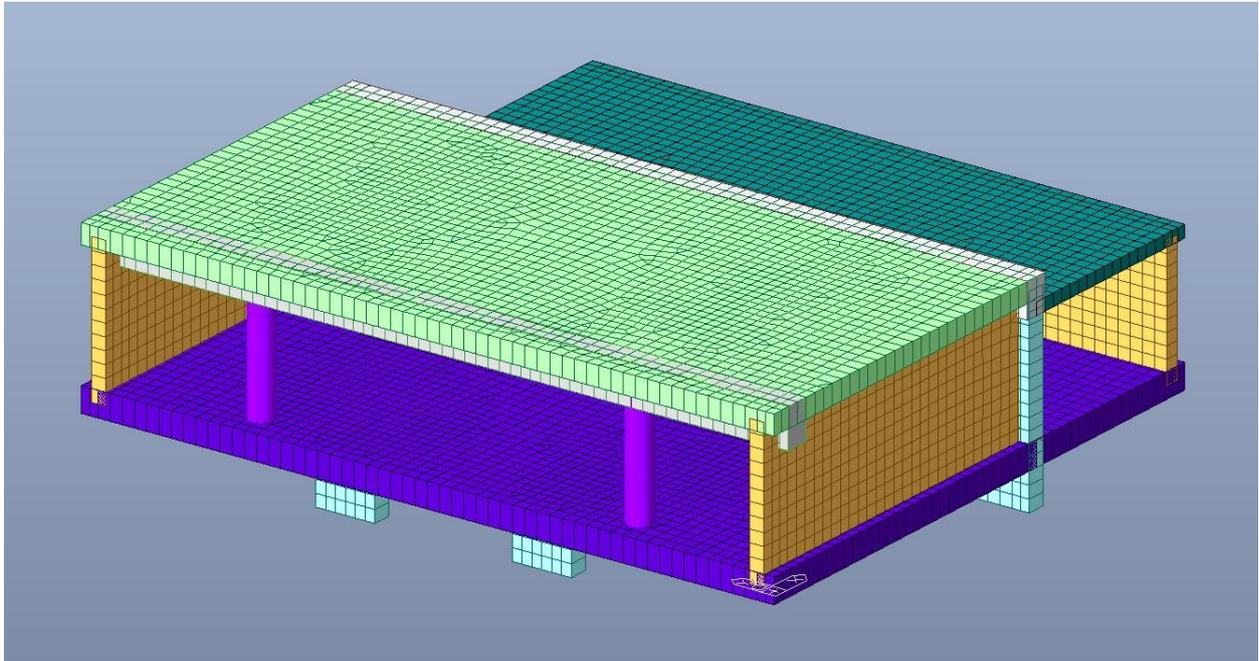


Figura 17. Atrio – Modello FEM Vista 1

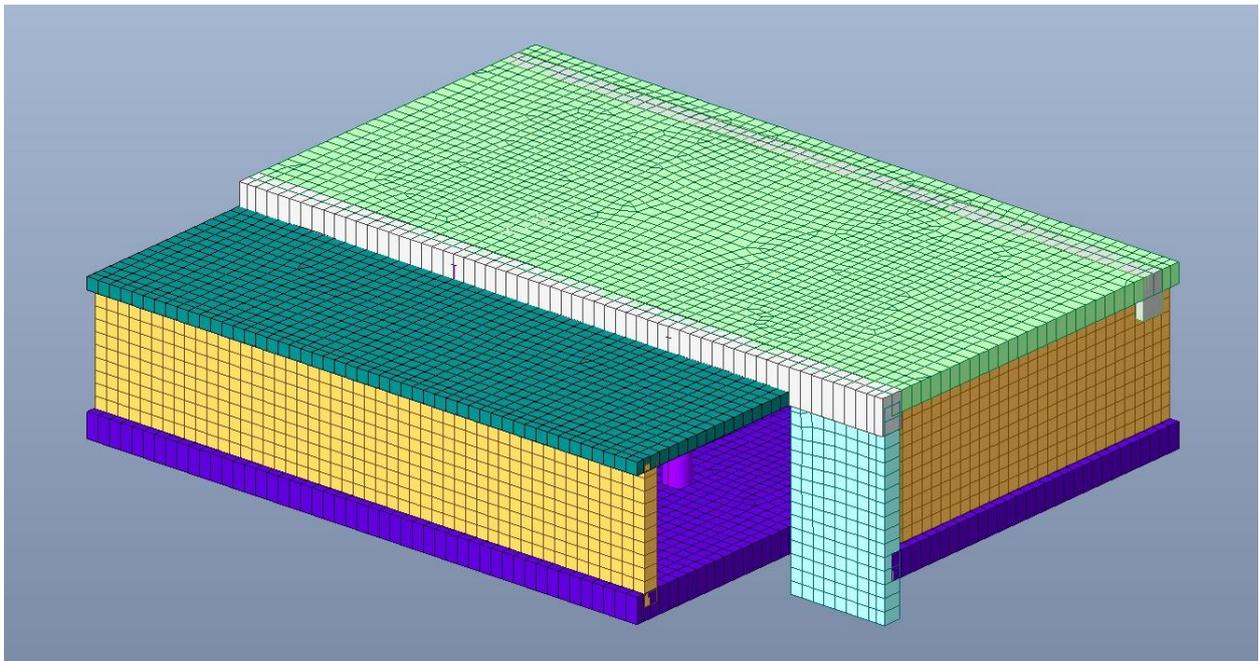
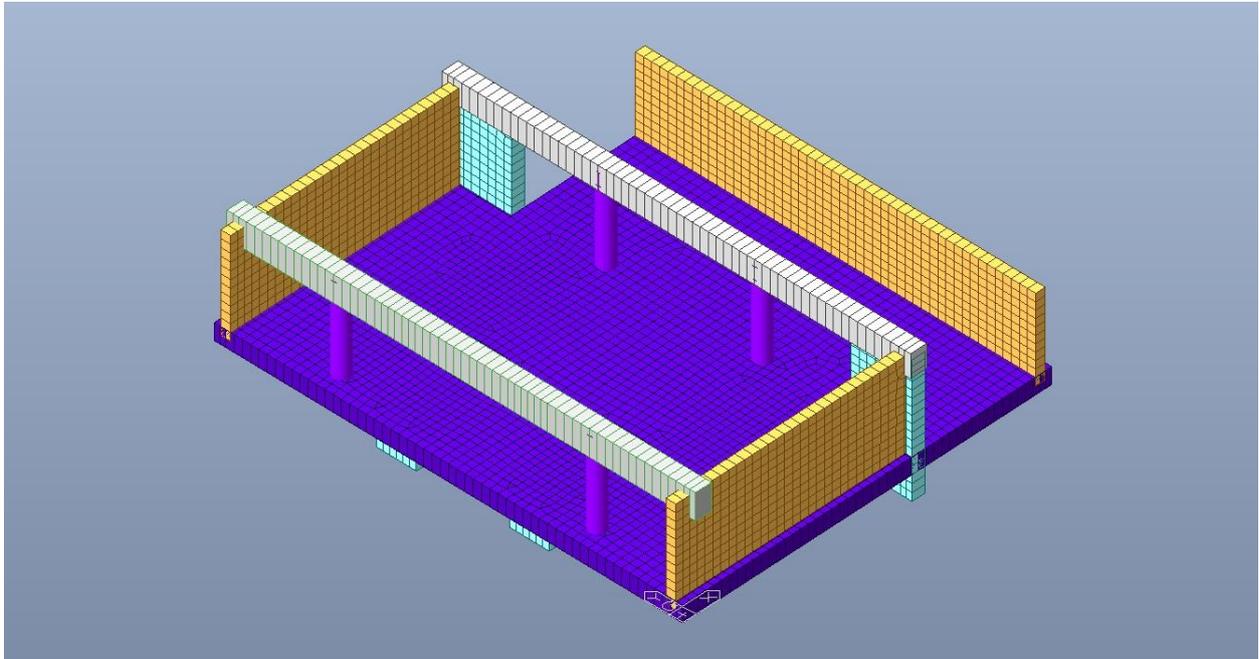


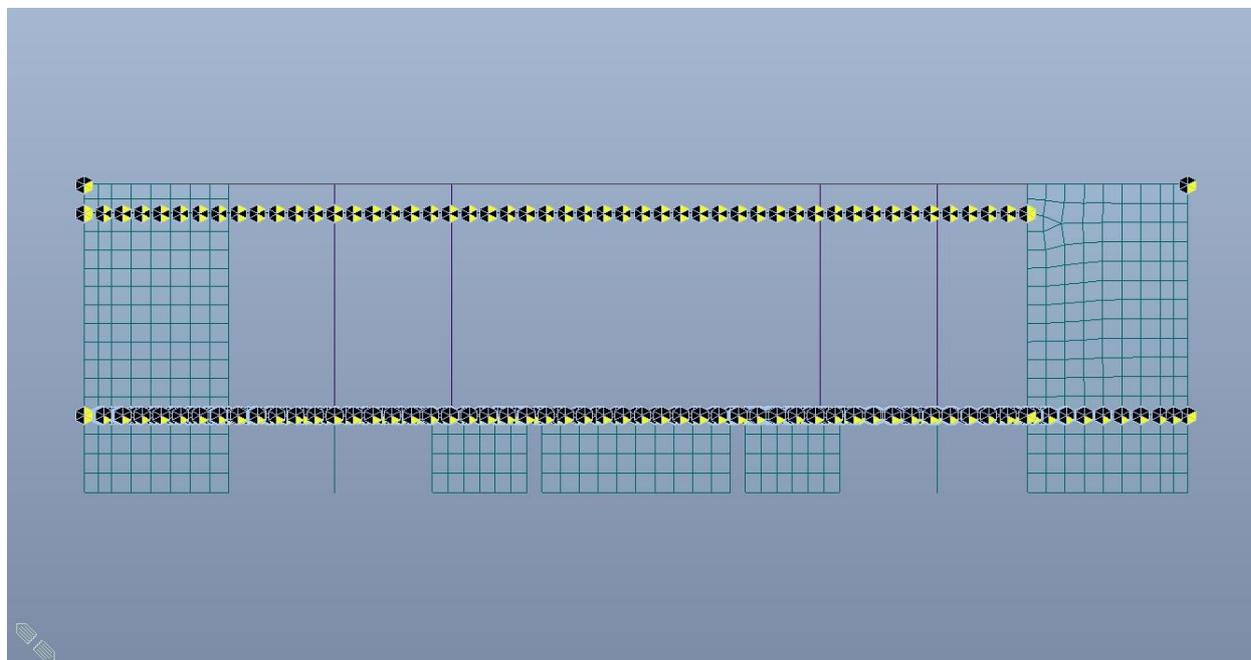
Figura 18. Atrio – Modello FEM Vista 2



**Figura 19. Atrio – Struttura interna**

Vincoli:

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



**Figura 20. Atrio – Vincoli con il mondo esterno – Sezione trasversale**

I diaframmi esterni longitudinali NON sono stati modellati in quanto non oggetto della presente relazione (sono stati modellati solamente i diaframmi trasversali che danno appoggio alla trave ribassata); 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 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.

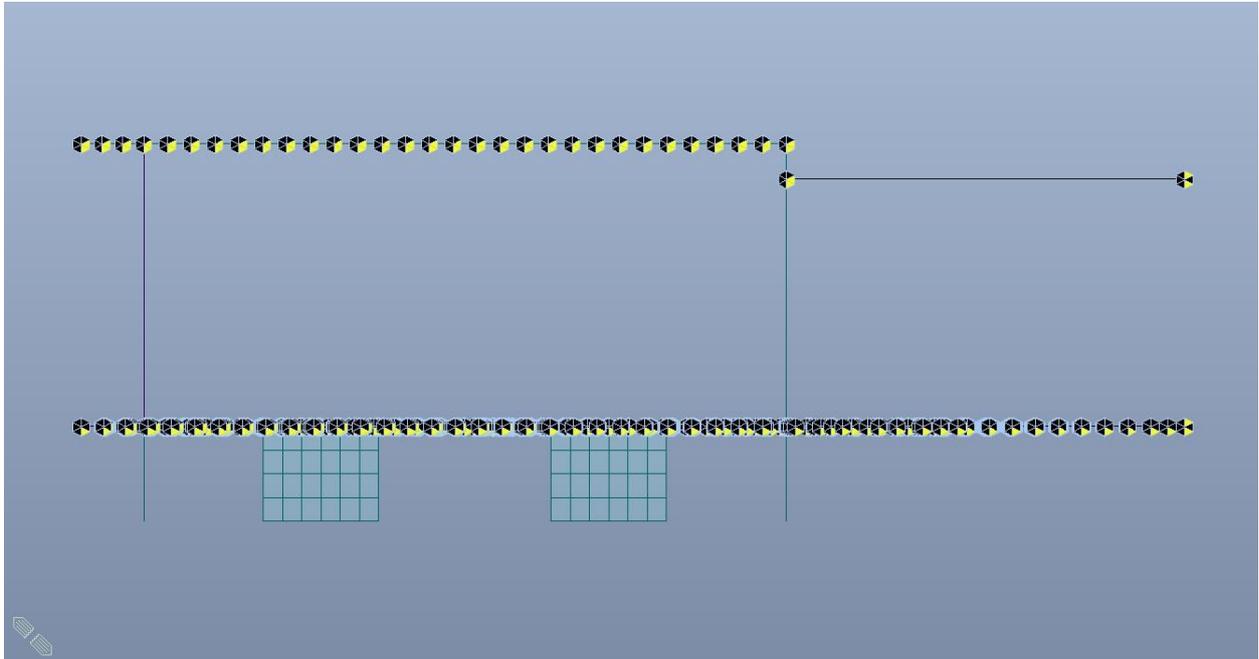


Figura 21. Atrio – Vincoli con il mondo esterno – Sezione longitudinale

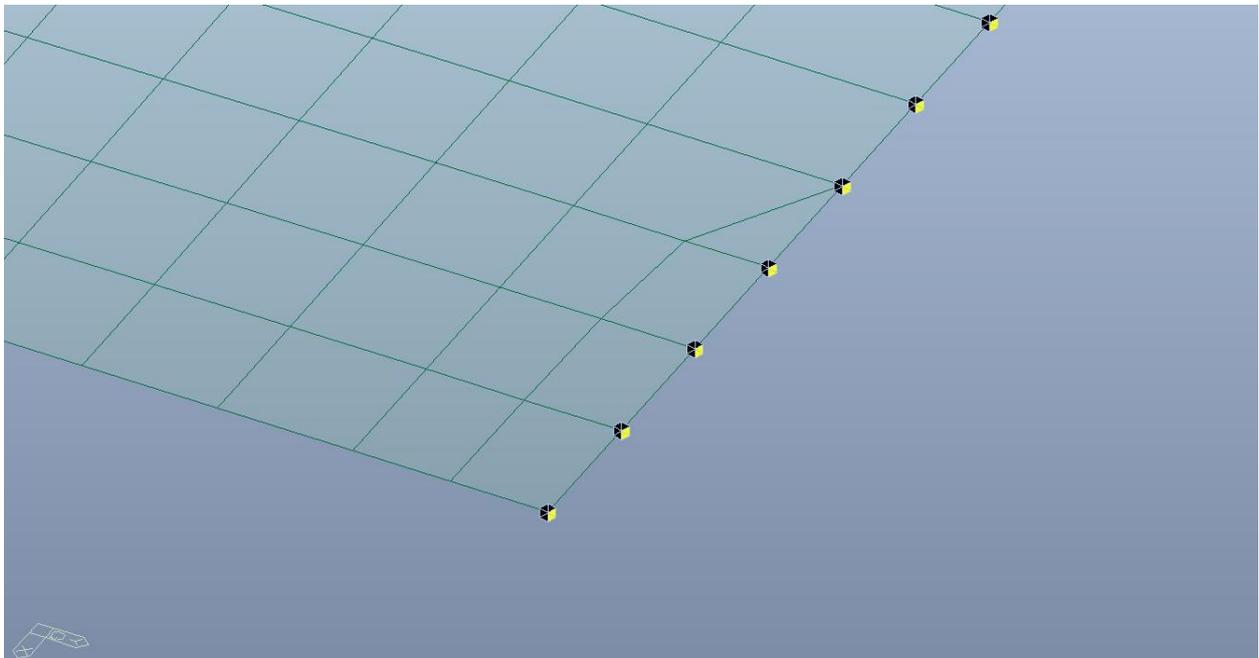


Figura 22. Atrio – Dettaglio – Molle compression-only X/Y e Z

 <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 accessi stazione	2_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

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

**Tabella 24. Caratteristiche sezioni modello FEM**

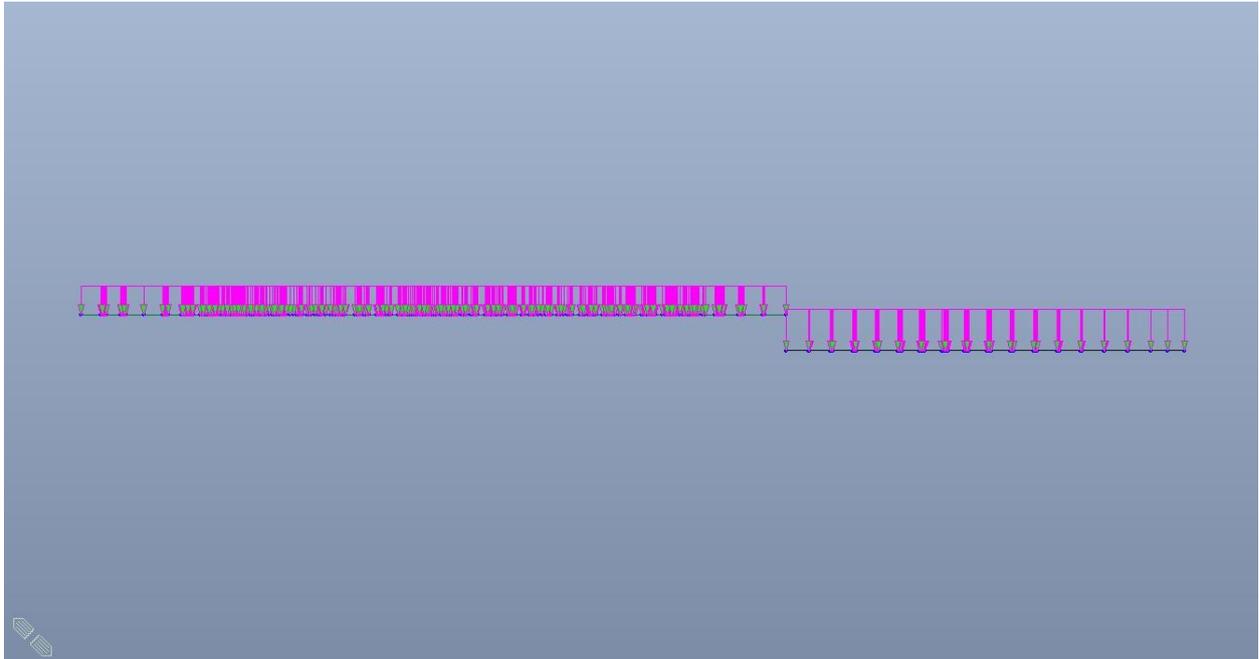
NAME	TYPE	IN-OUT	THICK-IN [cm]
Solettone di copertura	Value	Yes	80/50
Diaframmi_INT	Value	Yes	80
Fodere	Value	Yes	60
Platea	Value	Yes	100

## 8.2 Modellazione delle azioni – Tempo infinito

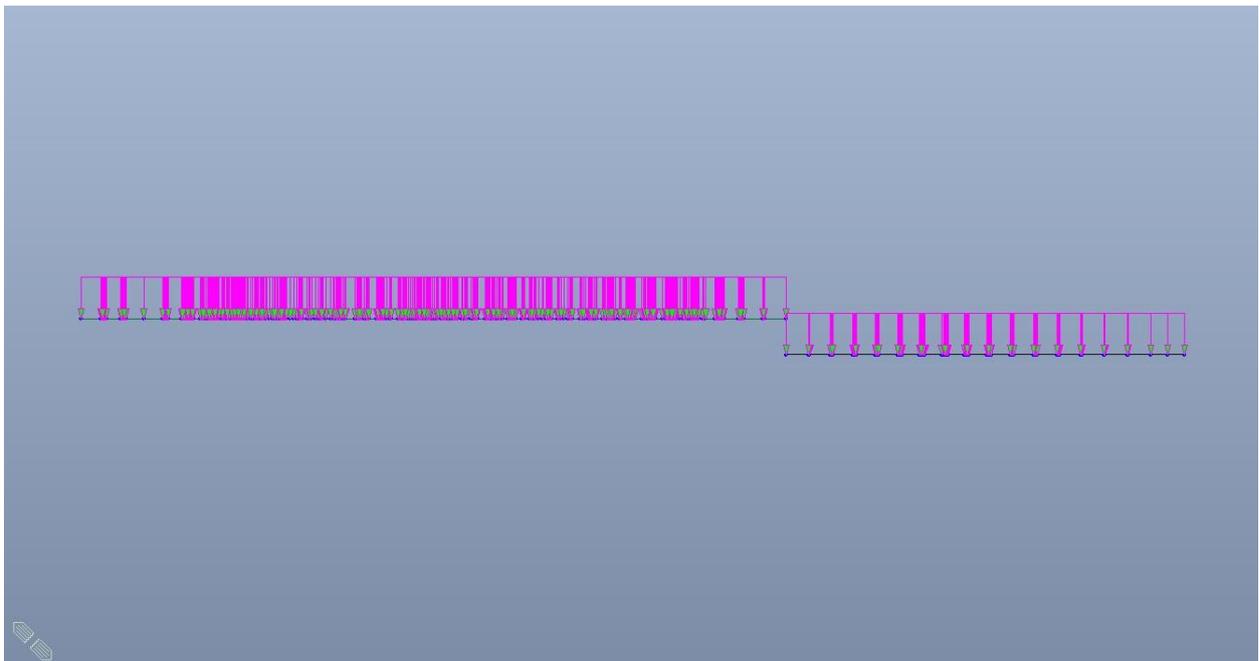
Di seguito si riportano i carichi applicati sul modello FEM realizzato per i diversi orizzontamenti

 <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 accessi stazione	2_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

### 8.2.1 Solettone di copertura



**Figura 23. Solettone di copertura Atrio – Carichi permanenti NON strutturali  $G_2$**



**Figura 24. Solettone di copertura Atrio – Carico variabile veicolare**



### 8.2.2 Piano atrio (Platea di fondazione)

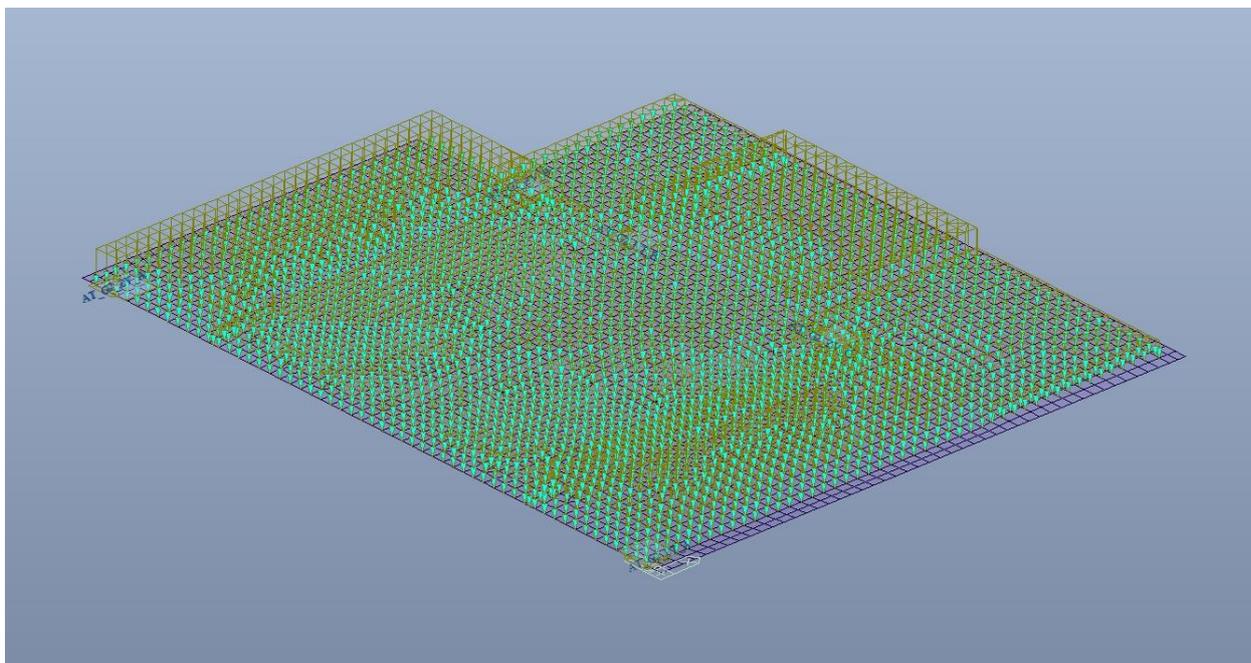


Figura 25. Piano atrio (Platea) – Carichi permanenti NON strutturali  $G_2$

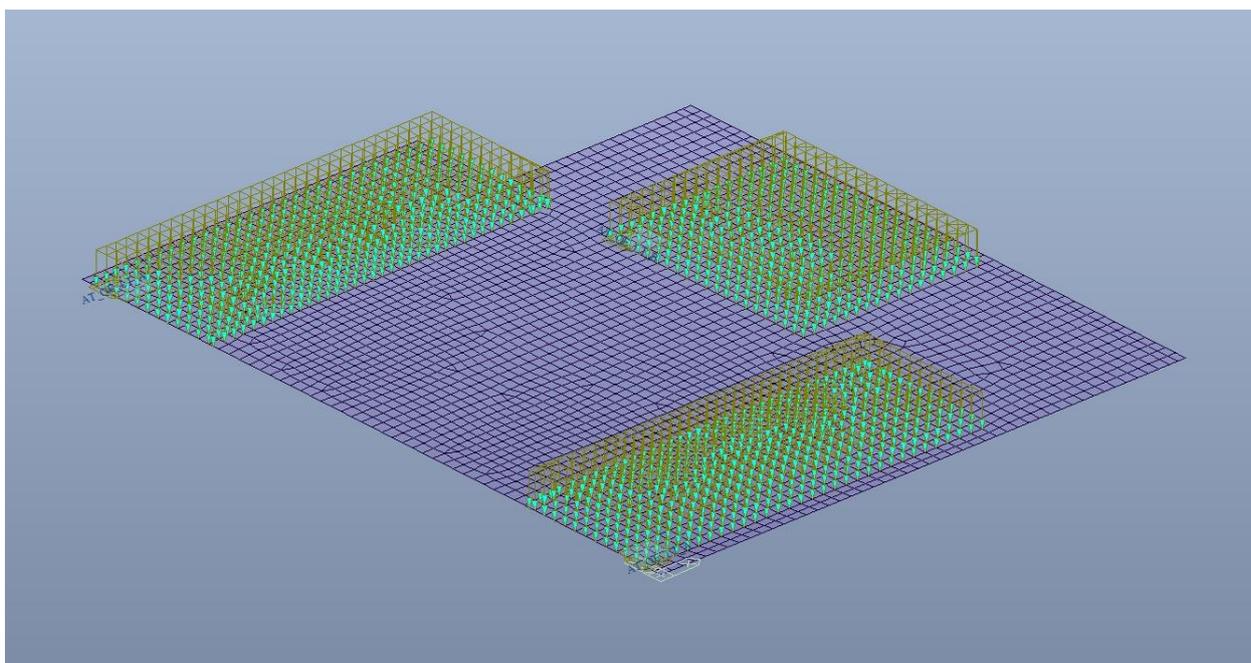


Figura 26. Piano atrio (Platea) – Carico variabile Q cat.E – Zona Locali Tecnici



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture accessi stazione

2\_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

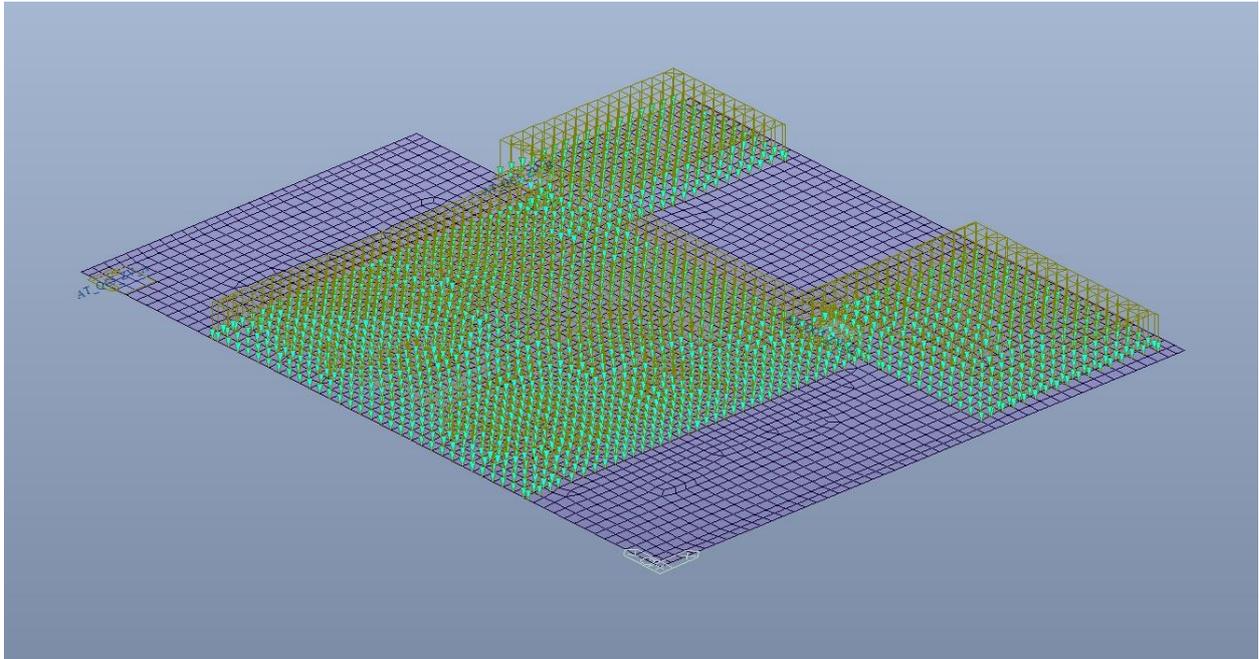


Figura 27. Piano atrio (Platea) – Carico variabile Q cat.C5 – Zona viaggiatori



### 8.2.3 Carichi orizzontali

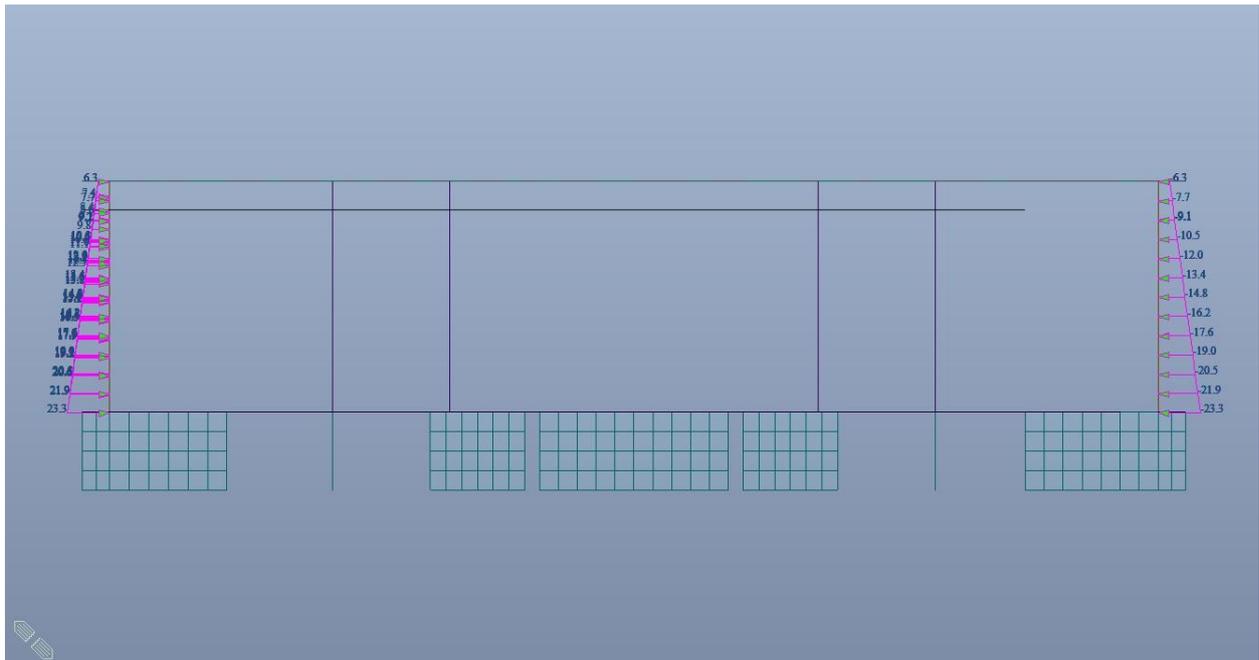


Figura 28. Spinta statica del terreno (31% del totale) – Tipologico

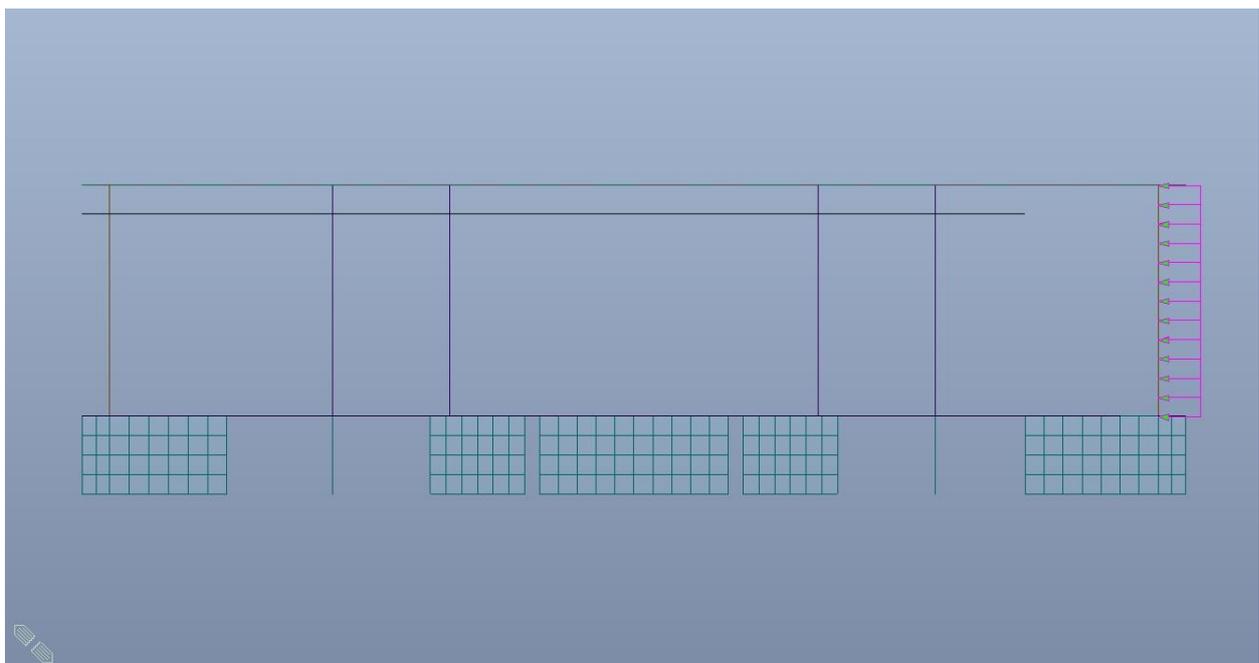
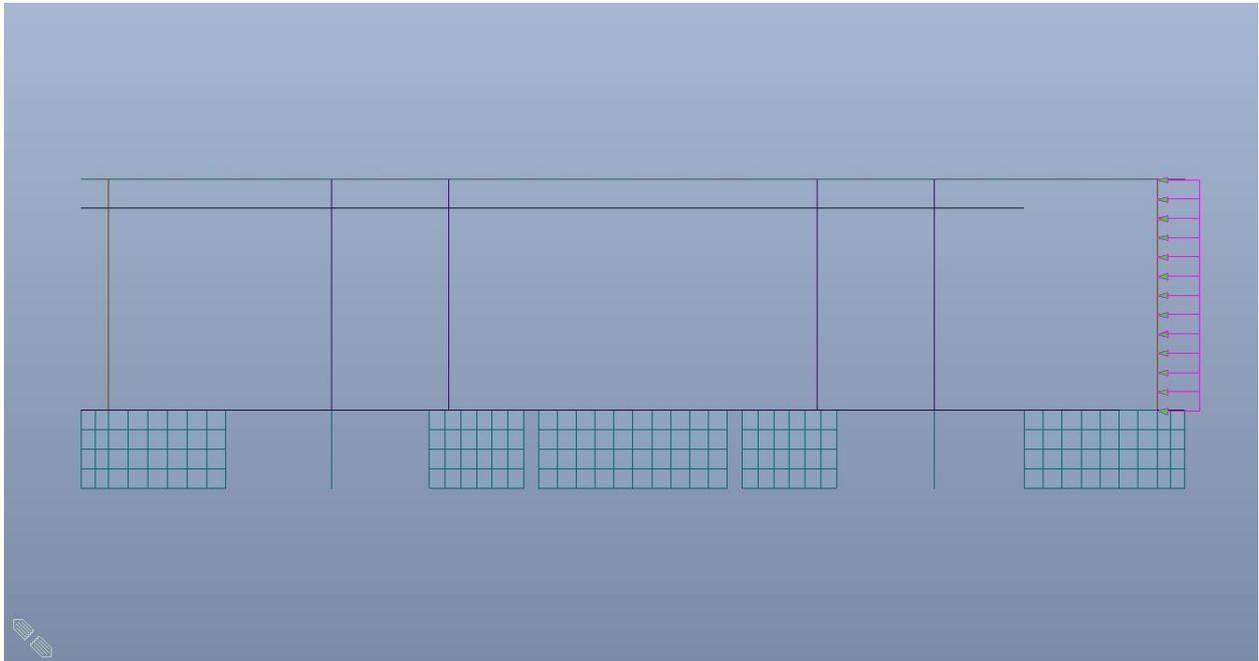


Figura 29. Spinta sovraccarico stradale (31% del totale) – Tipologico

 <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 accessi stazione	2_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

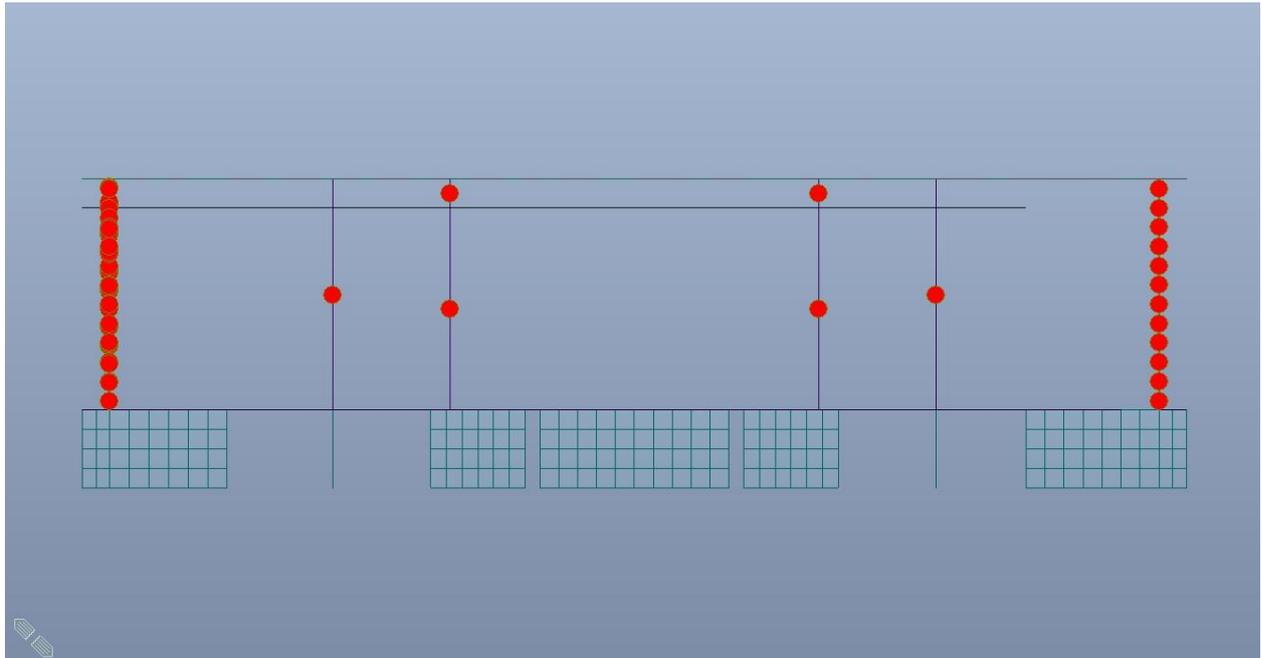


**Figura 30. Sovrappinta sismica terreno (31% del totale) – Tipologico**

 <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 accessi stazione	2_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

### 8.2.4 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 31. Azione termica per effetto del ritiro**

### 8.3 Modellazione delle azioni – Tempo zero

Come si evince dalle immagini seguenti, le strutture verticali a sostegno del solettone 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.

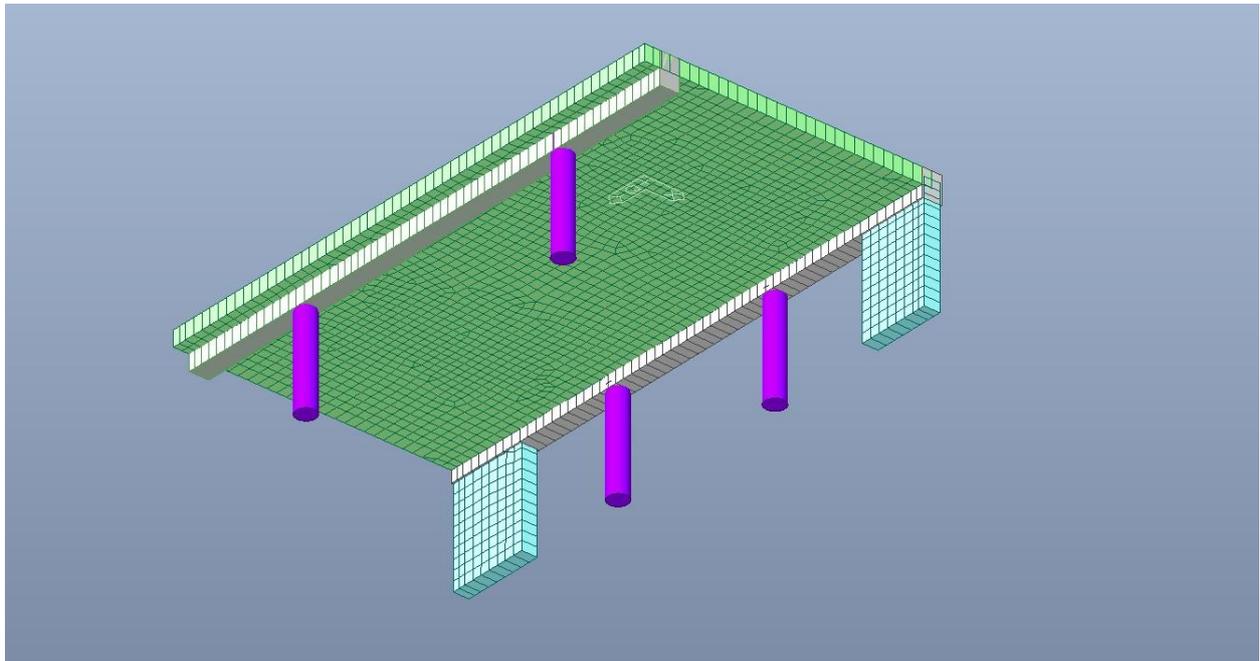


Figura 32. Solettone SOL1 – Tempo infinito

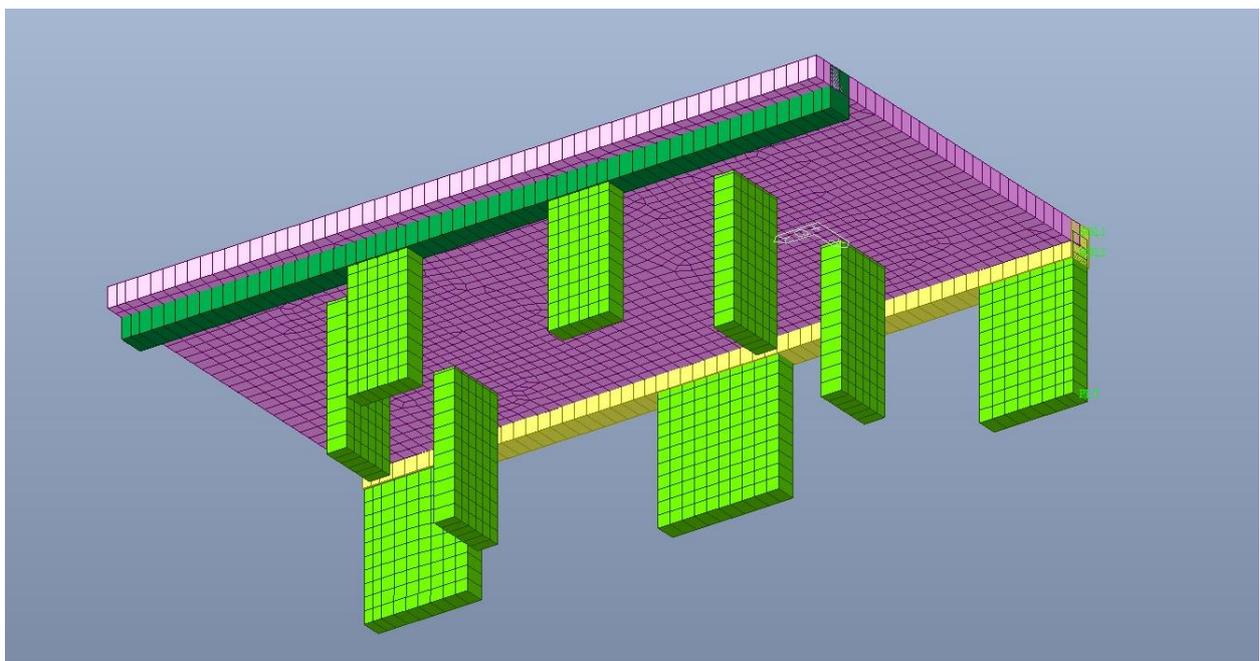
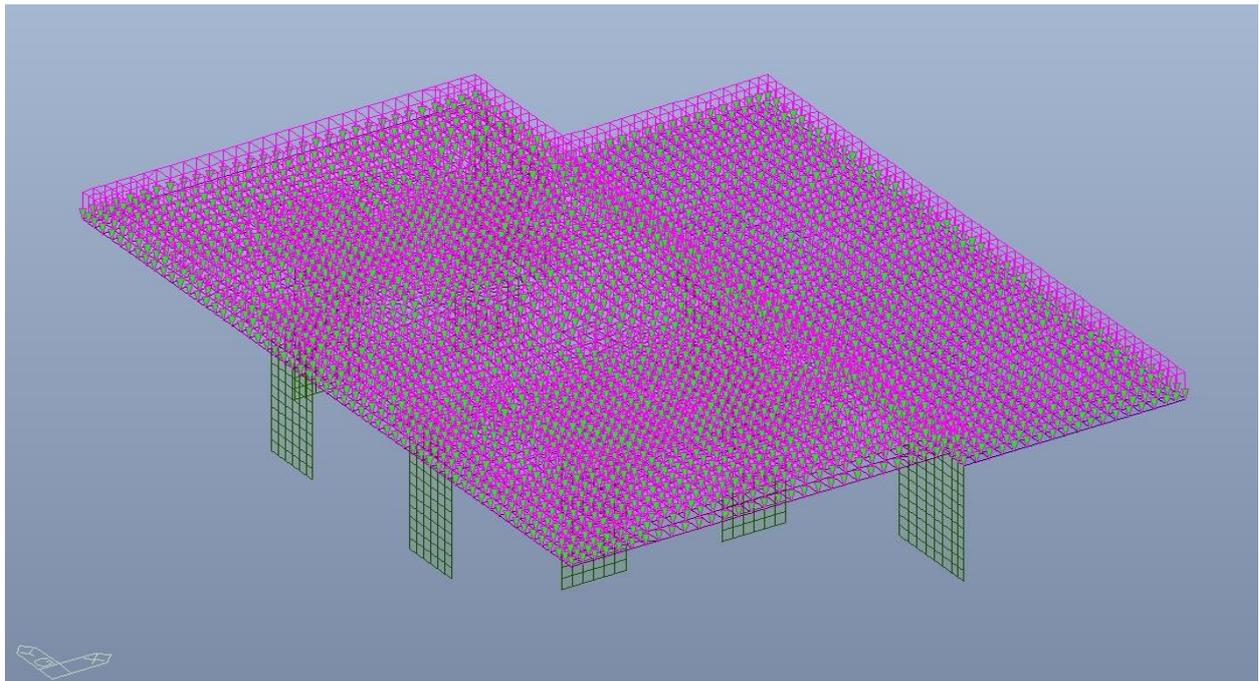


Figura 33. Solettone SOL1 – Tempo zero

 <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 accessi stazione	2_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

Di seguito si riportano i carichi a tempo zero applicati sul modello FEM realizzato, per la sola analisi del solettone di copertura.



**Figura 34. Solettone di copertura Atrio – 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 accessi stazione	2_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.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<sub>r</sub> è il massimo spostamento relativo;
- h è l'altezza di interpiano.



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

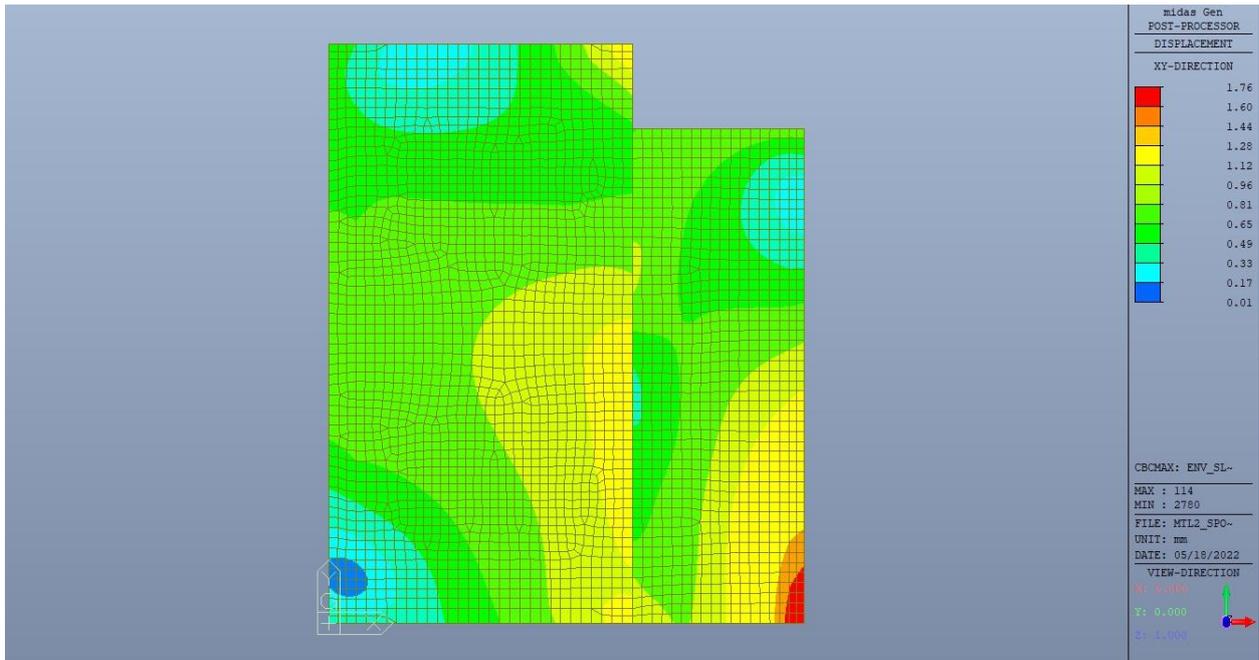


Figura 35. Solettone di copertura Atrio – Massimo spostamento XY SLO

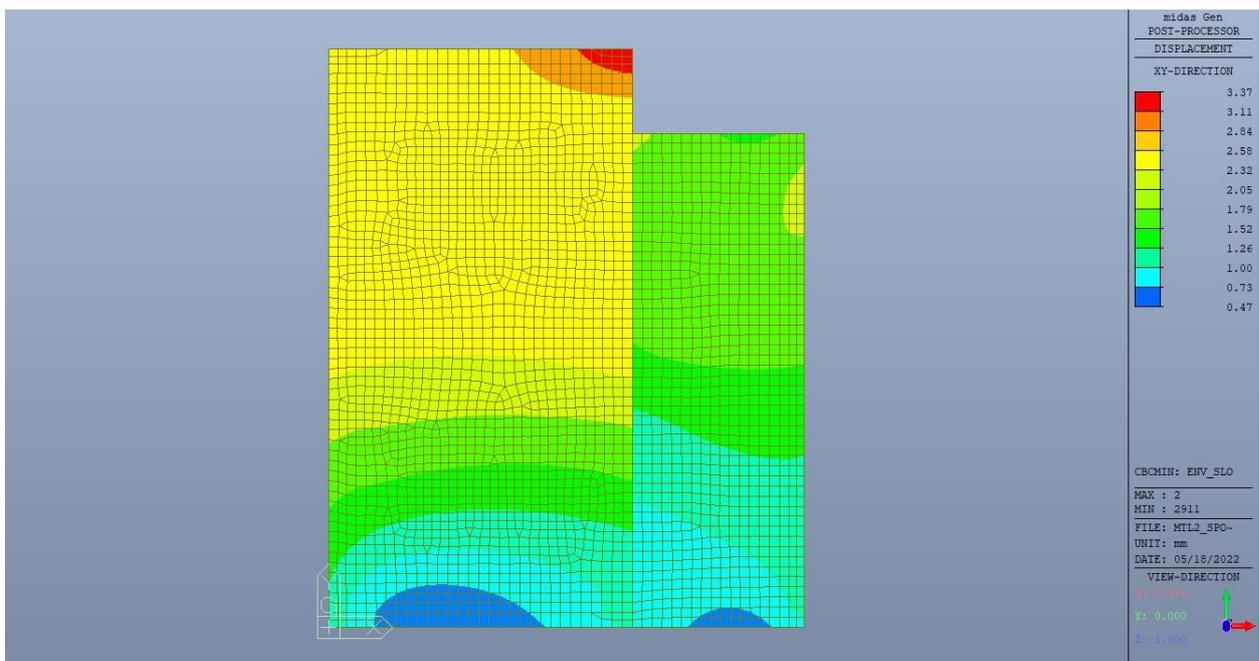


Figura 36. Solettone di copertura Atrio – Minimo spostamento XY SLO



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture accessi stazione

2\_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

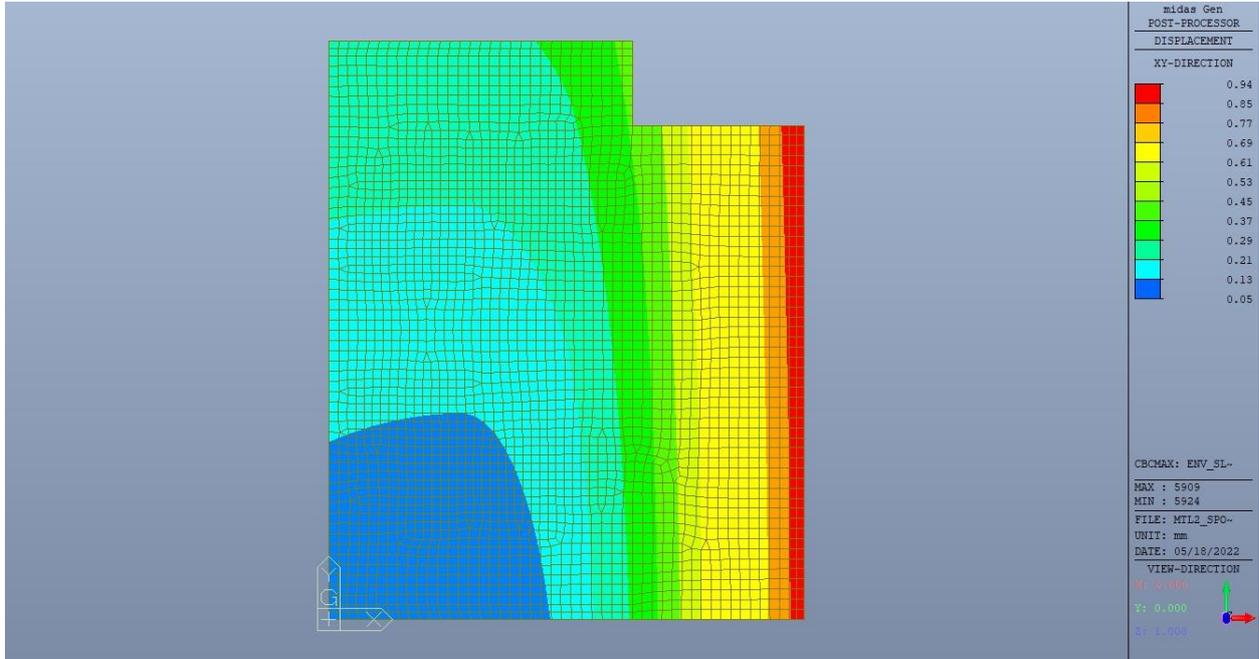


Figura 37. Piano atrio (Platea) – Massimo spostamento XY SLO

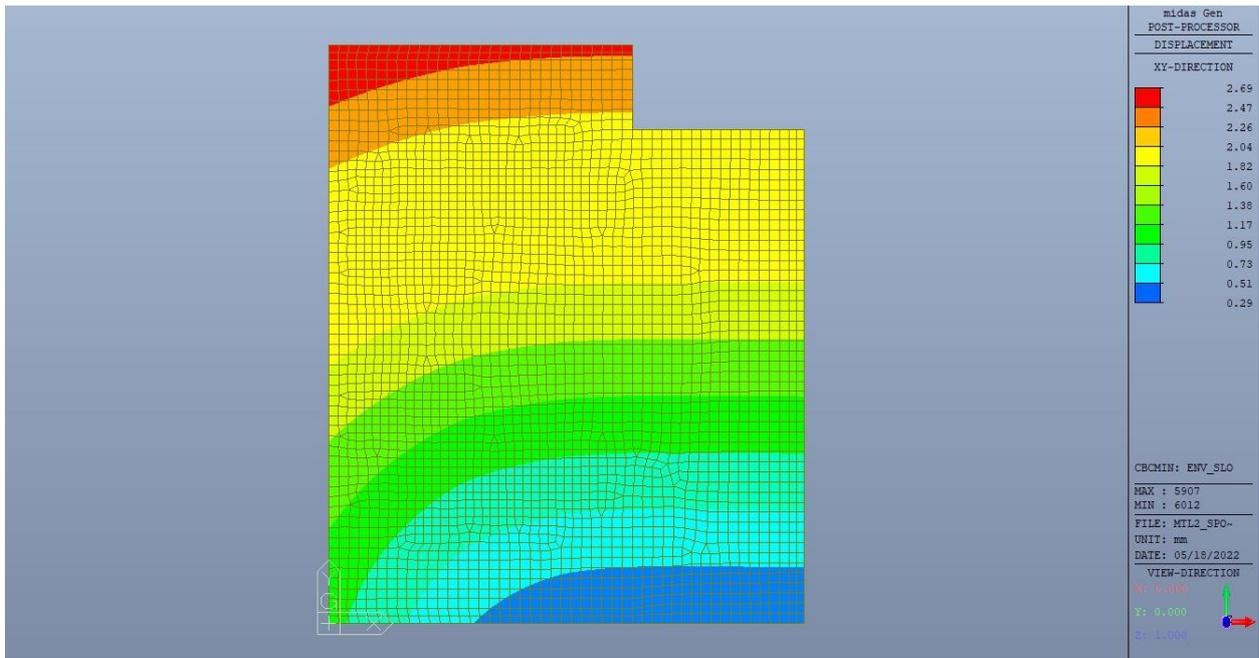


Figura 38. Piano atrio (Platea) – Minimo spostamento XY SLO



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture accessi stazione

2\_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

FLOOR	D <sub>xy</sub> [mm]		H [m]	dr [mm]	limite [mm]	CK
	MAX	MIN				
Solettone di copertura	1.76	3.37	5.95	0.82	19.83	OK
Piano atrio	0.94	2.69				

Si può ritenere la verifica di rigidezza 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 accessi stazione	2_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.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 – SOL1

Come evidenziato nel cap. 8, le strutture verticali a sostegno del solettone 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.

Si procede alla verifica del solettone sia a tempo infinito che a tempo zero.

### 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 involucri 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 accessi stazione

2\_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

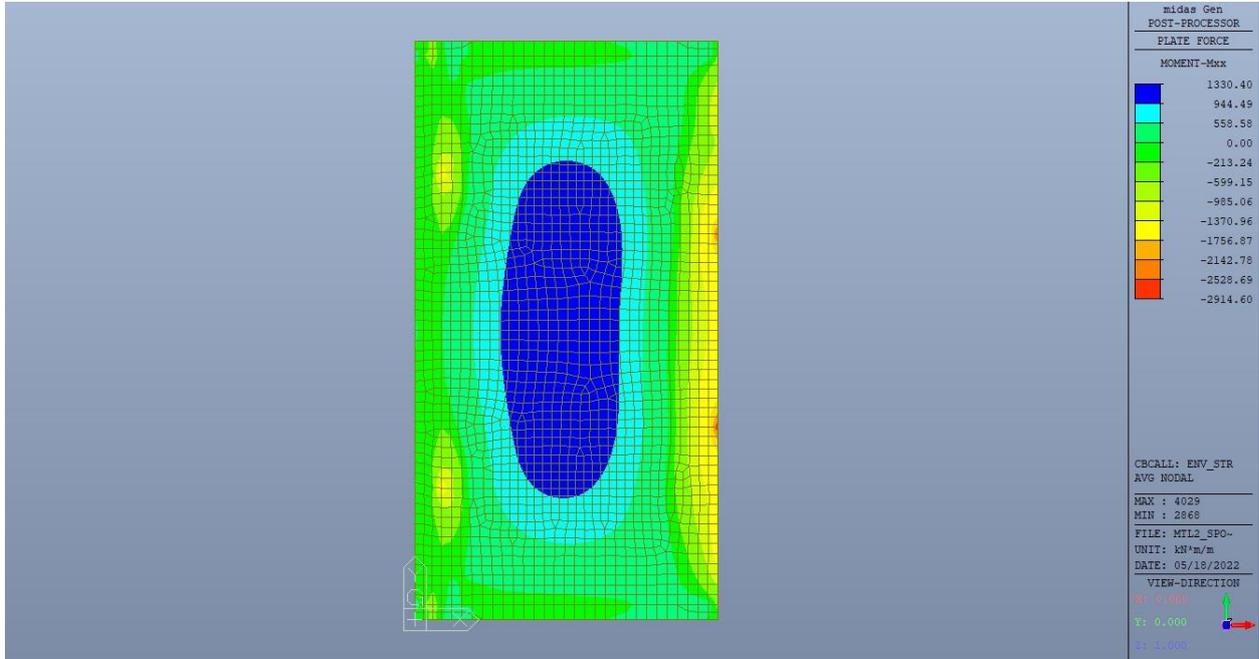


Figura 39. Solettone SOL1 – Involuppo momento flettente  $M_{xx}$  – Direzione X – Tempo infinito

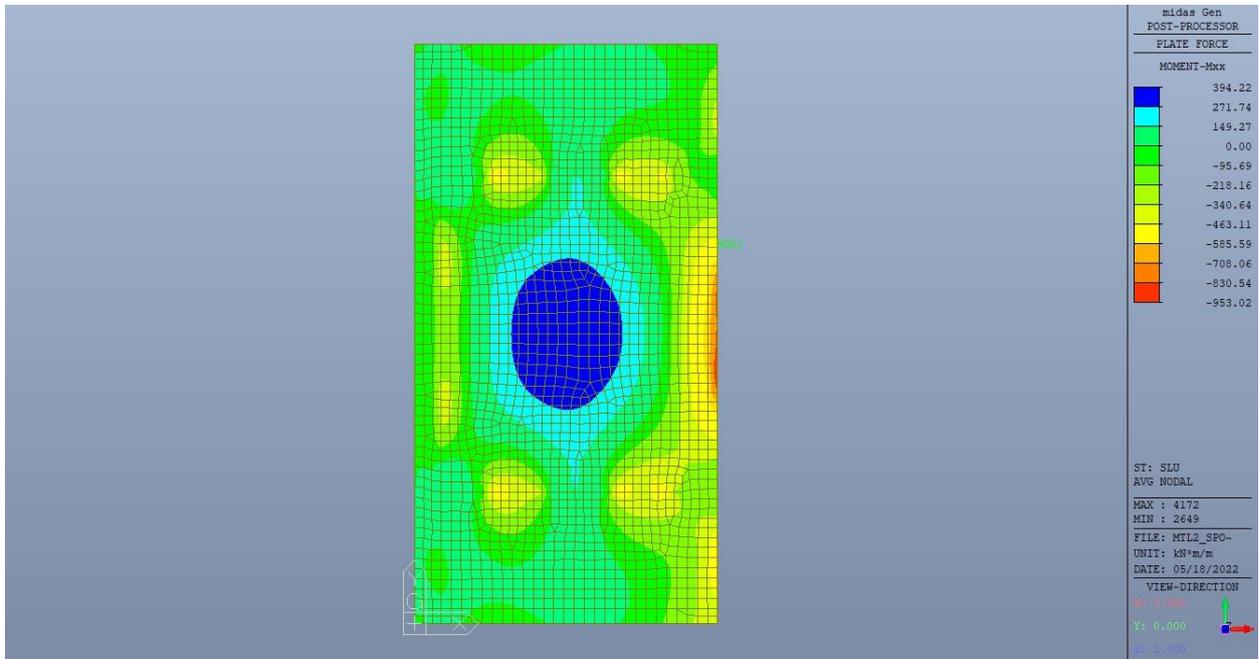


Figura 40. Solettone SOL1 – Involuppo momento flettente  $M_{xx}$  – Direzione X – Tempo zero



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture accessi stazione

2\_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

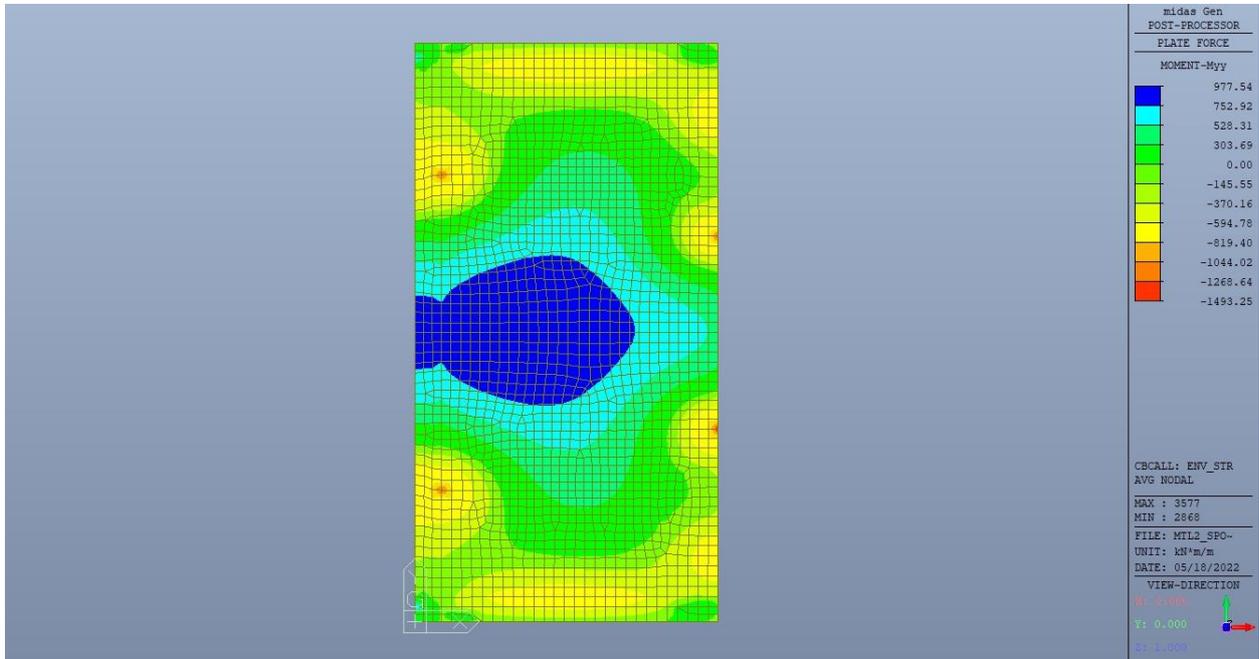


Figura 41. Solettone SOL1 – Involuppo momento flettente  $M_{yy}$  – Direzione Y – Tempo infinito

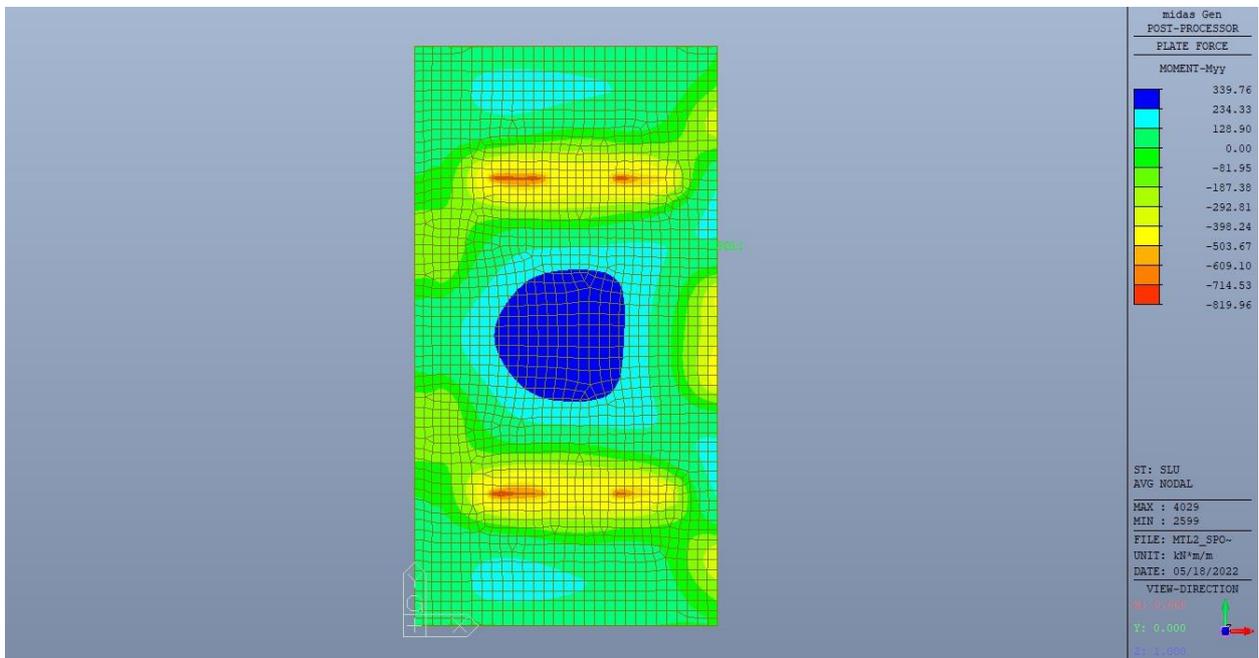


Figura 42. Solettone SOL1 – Involuppo momento flettente  $M_{yy}$  – Direzione Y – Tempo zero

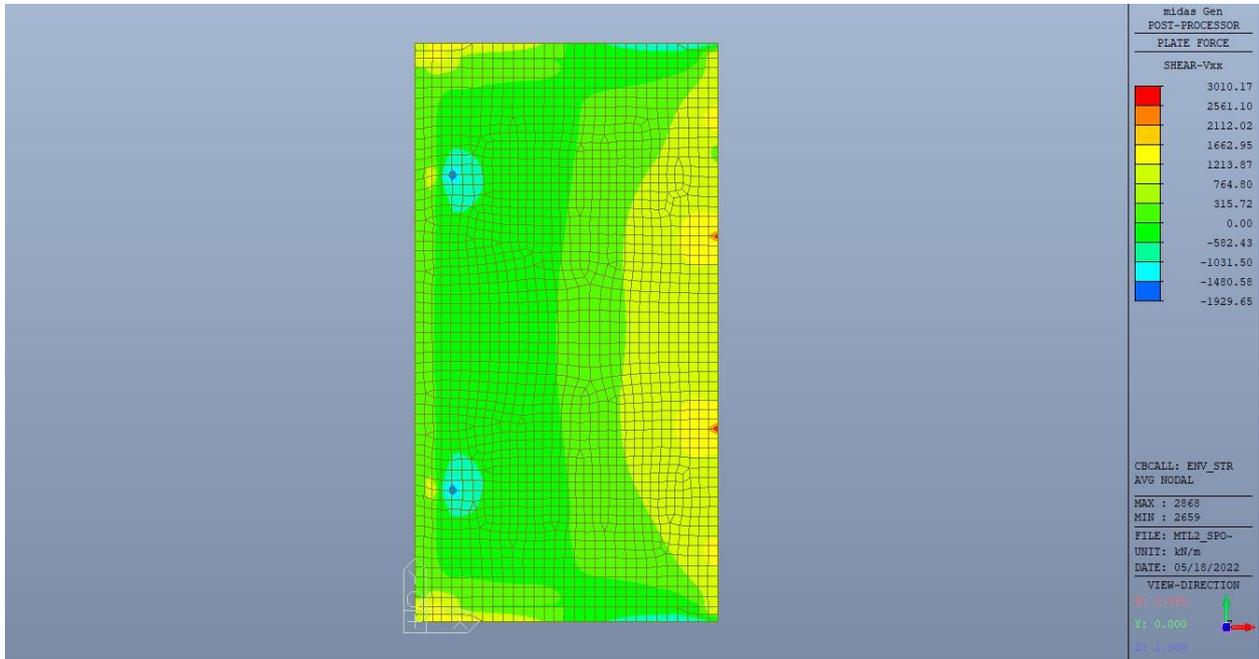


Figura 43. Solettone SOL1 – Involuppo taglio  $V_{xx}$  – Direzione X – Tempo infinito

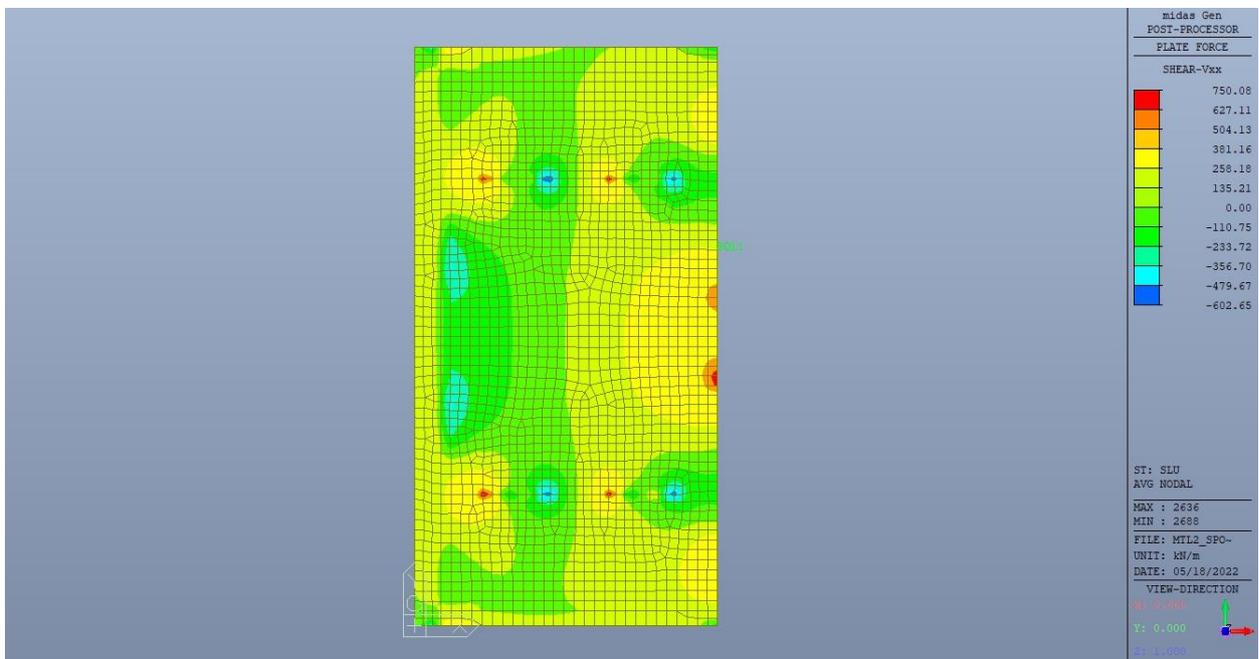


Figura 44. Solettone SOL1 – Involuppo taglio  $V_{xx}$  – Direzione X – Tempo zero

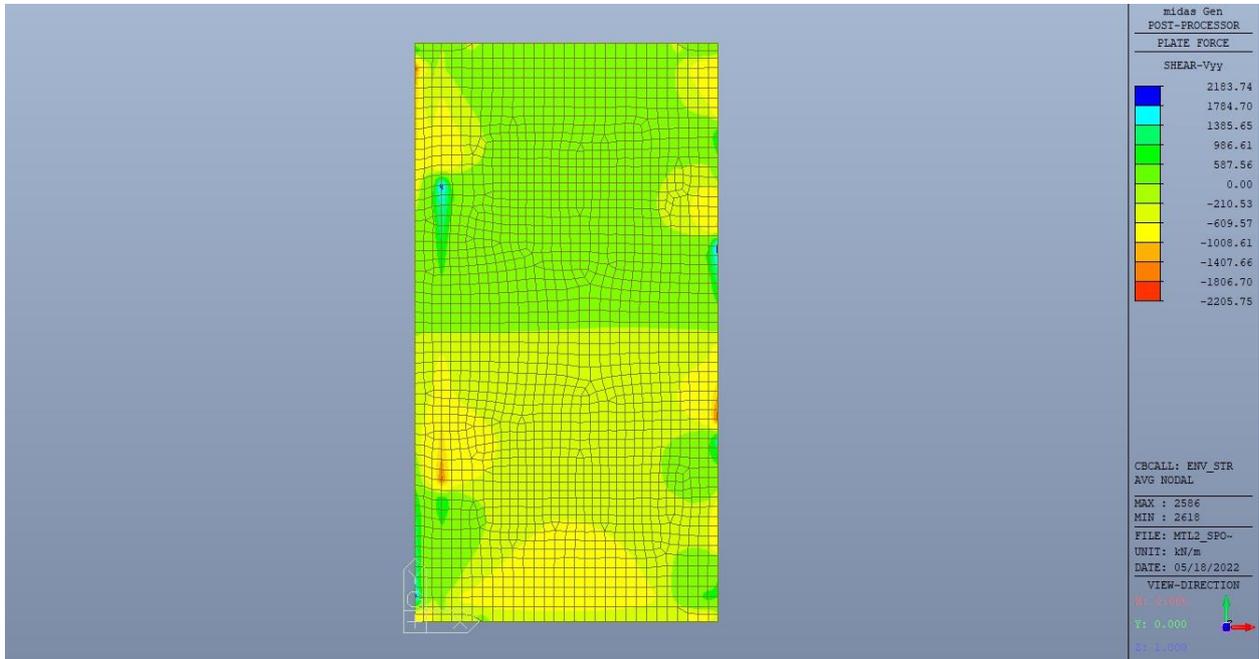


Figura 45. Solettone SOL1 – Involuppo taglio  $V_{yy}$  – Direzione Y – Tempo infinito

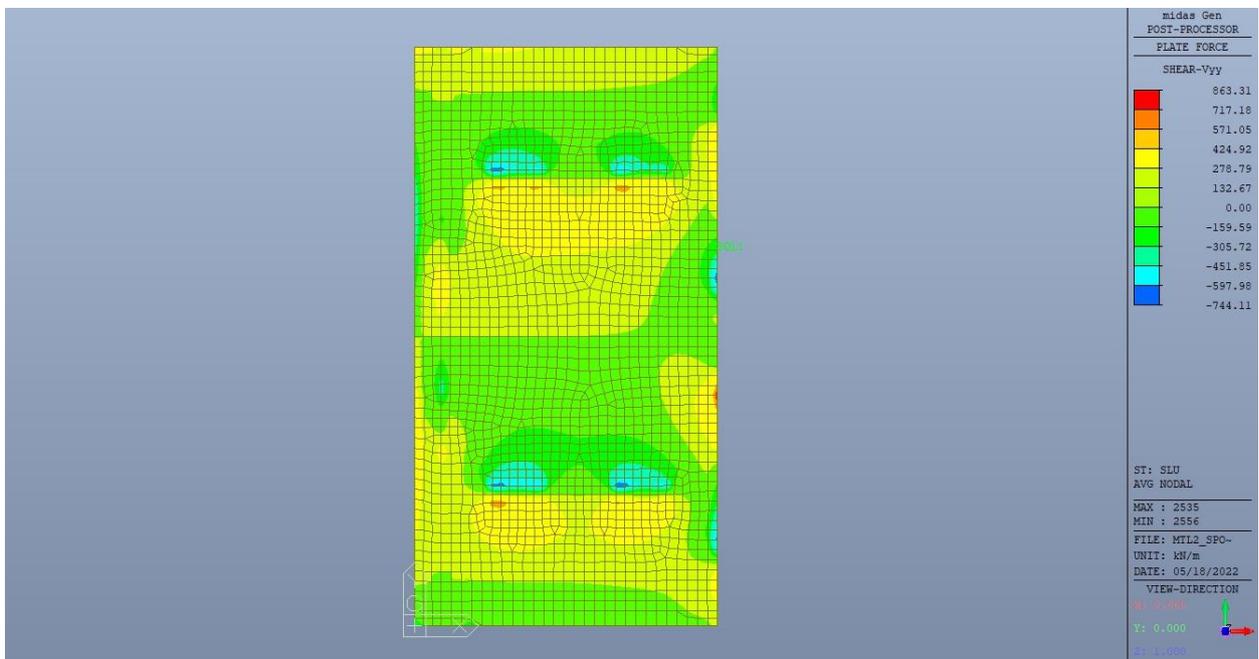


Figura 46. Solettone SOL1 – Involuppo taglio  $V_{yy}$  – Direzione Y – Tempo zero



### 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:

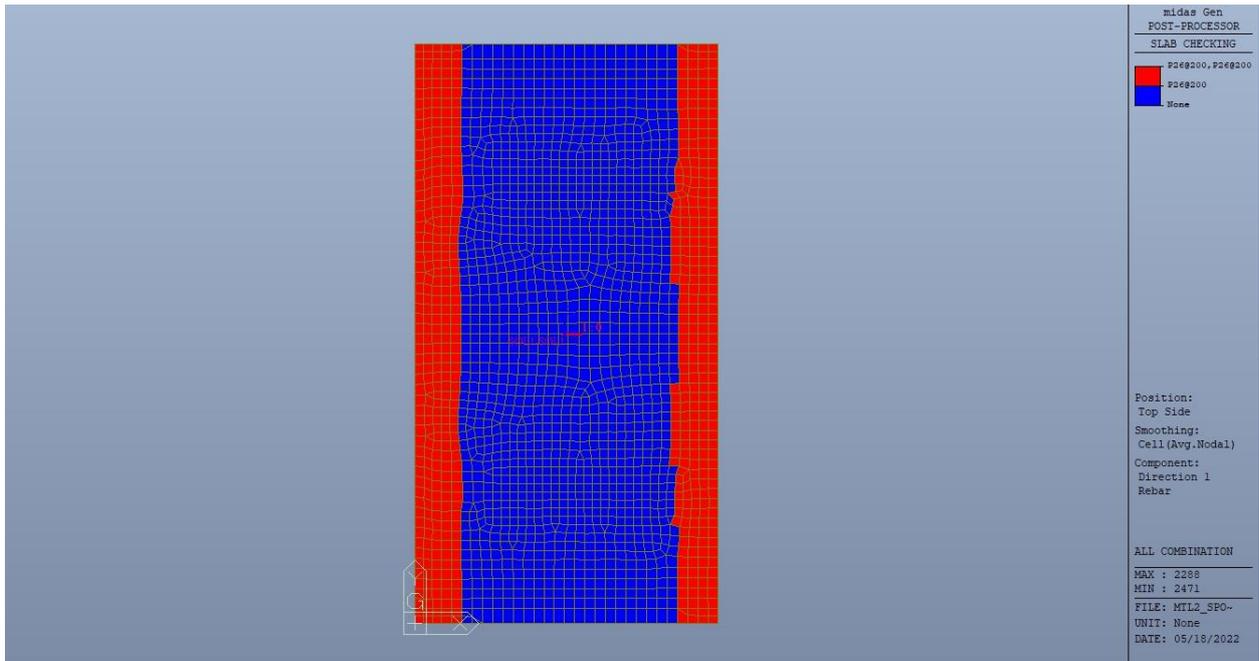
- $f_{ctm}$  è il valore medio della resistenza a trazione del cls;
- $f_{yk}$  è il valore caratteristico della resistenza a trazione dell'armatura;
- $b_t$  è la larghezza media della zona tesa;
- $h$  è l'altezza della sezione.

**Tabella 25. Armatura minima**

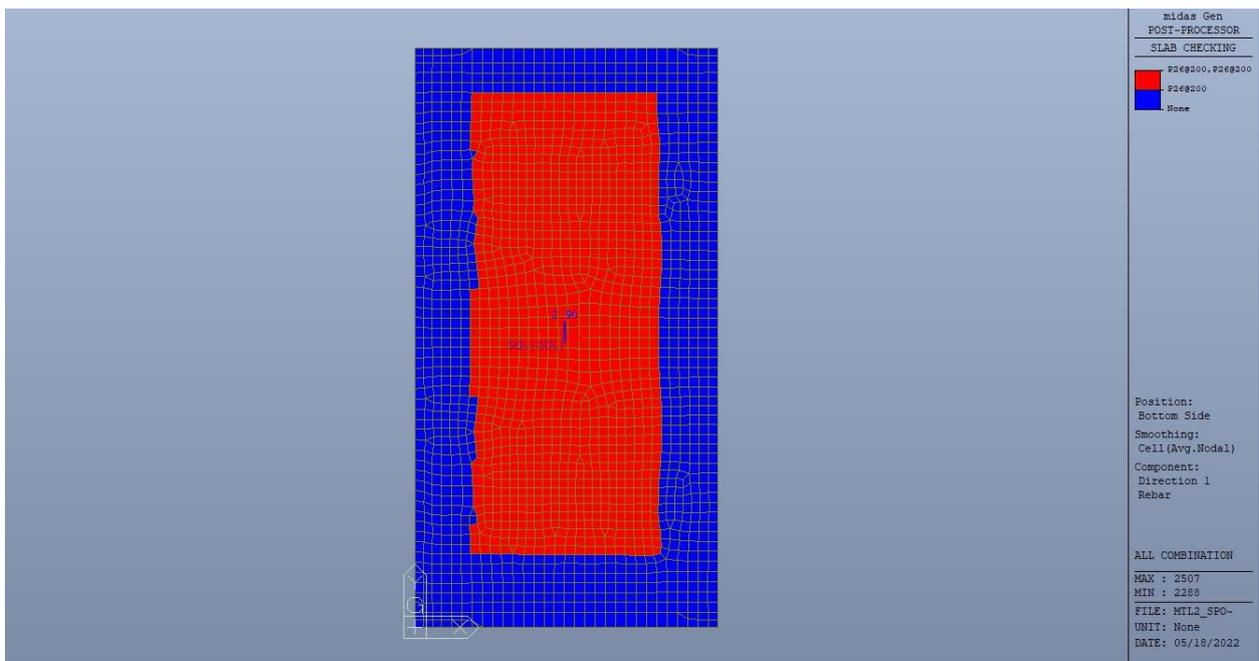
				D1 - TOP			D1 - BOTTOM		
Tipologia	b [cm]	h [cm]	A <sub>c</sub> [cm <sup>2</sup> ]	A <sub>s</sub> [cm <sup>2</sup> ]	A <sub>smin</sub> [cm <sup>2</sup> ]	CK	A <sub>s</sub> [cm <sup>2</sup> ]	A <sub>smin</sub> [cm <sup>2</sup> ]	CK
Solettone H80	100	80	8000	26.53	13.39	OK	26.53	13.39	OK
				D2 - TOP			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	80	8000	18.08	13.39	OK	18.08	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 accessi stazione	2_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

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

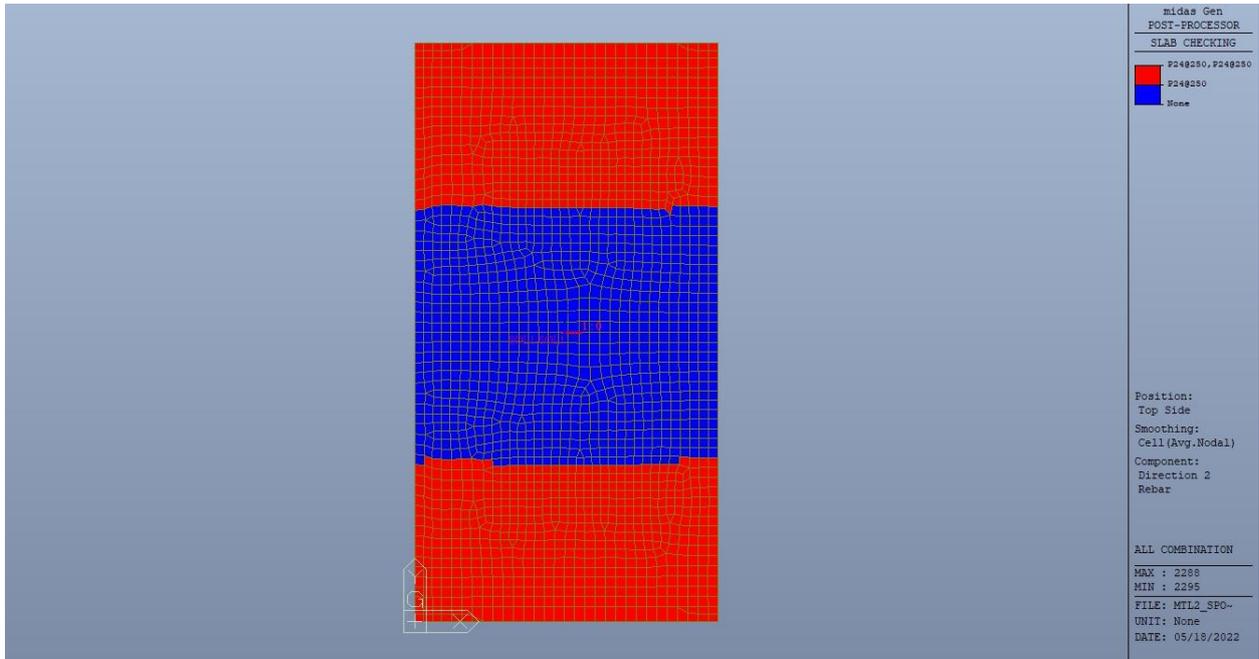


**Figura 47. Solettone SOL1 – Armatura superiore direzione D1**

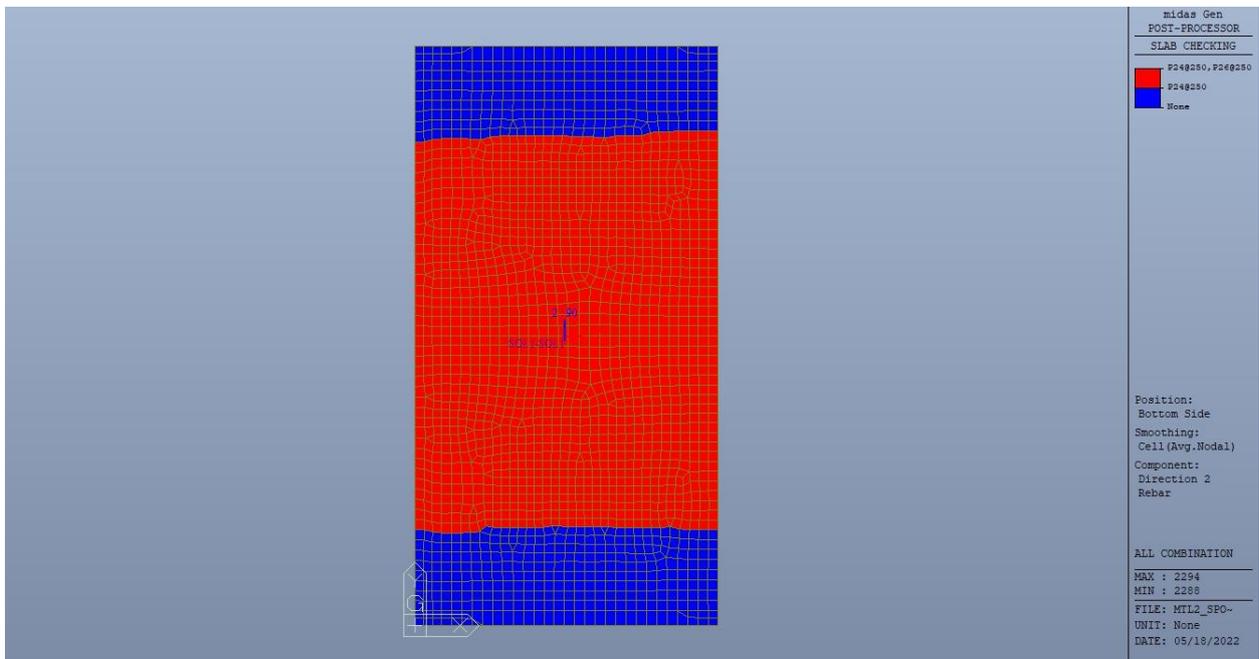


**Figura 48. Solettone SOL1 – Armatura inferiore direzione D1**

 <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 accessi stazione	2_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX



**Figura 49. Solettone SOL1 – Armatura superiore direzione D2**



**Figura 50. Solettone SOL1 – 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 accessi stazione	2_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.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 accessi stazione

2\_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

TEMPO INFINITO

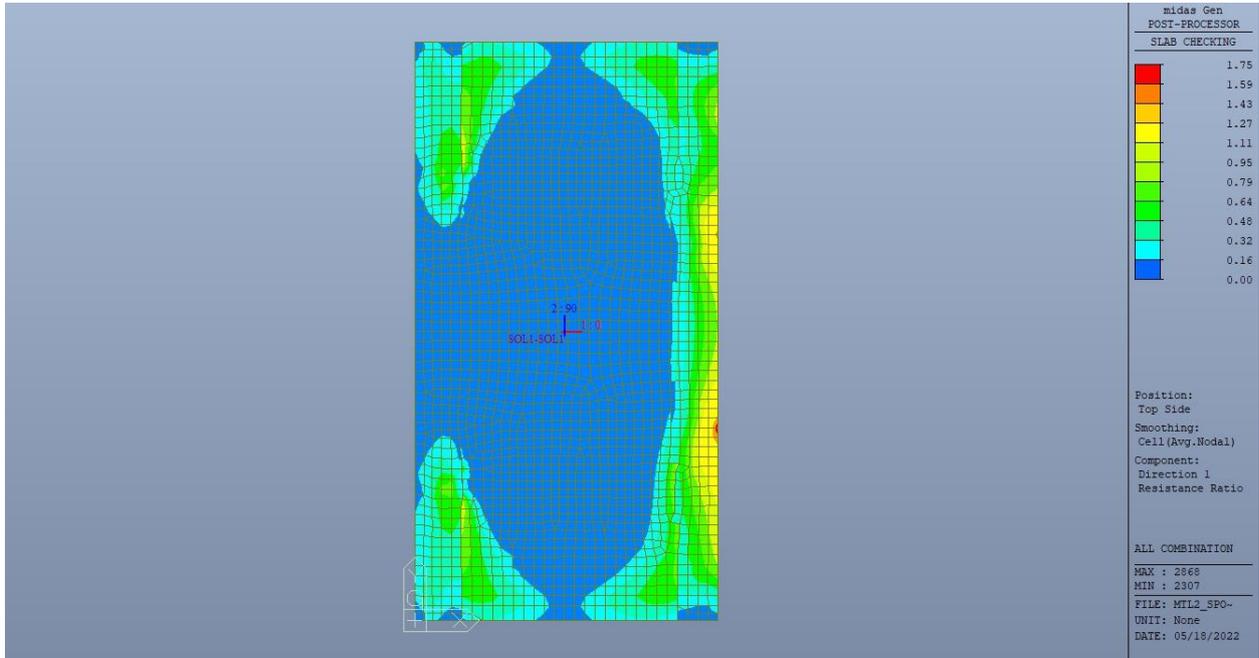


Figura 51. Solettone SOL1 – Tasso di lavoro faccia superiore – Direzione D1

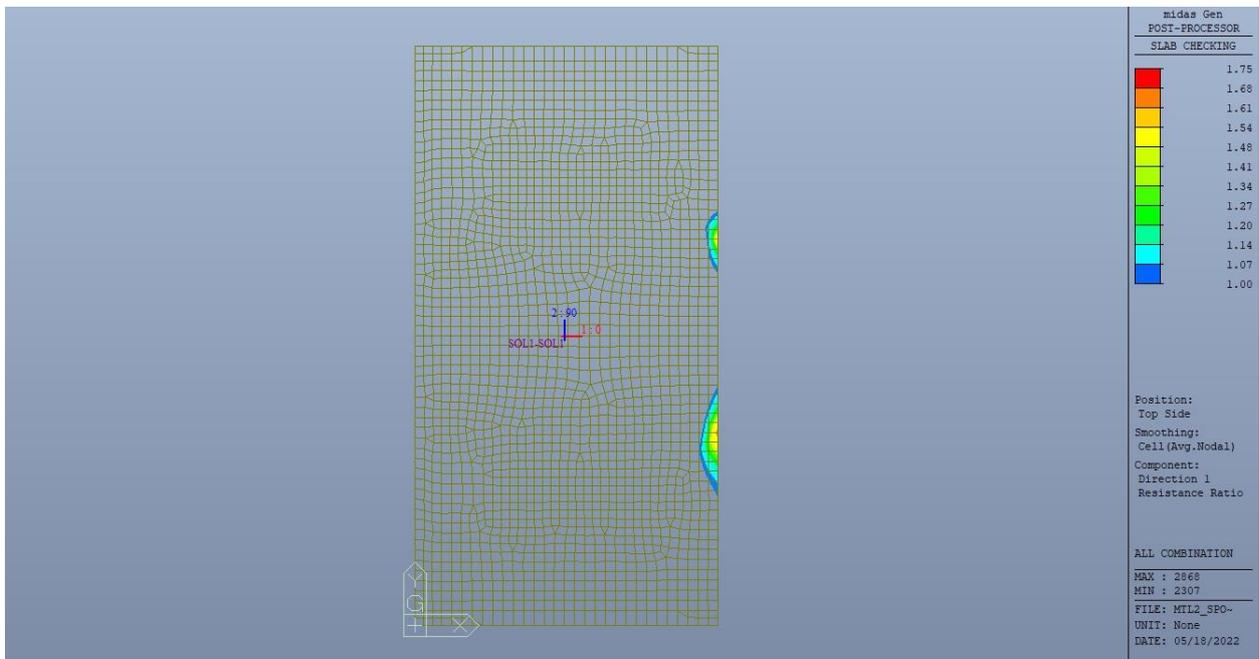


Figura 52. Solettone SOL1 – Tasso di lavoro faccia superiore – Direzione D1 – Zone > 1



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture accessi stazione

2\_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

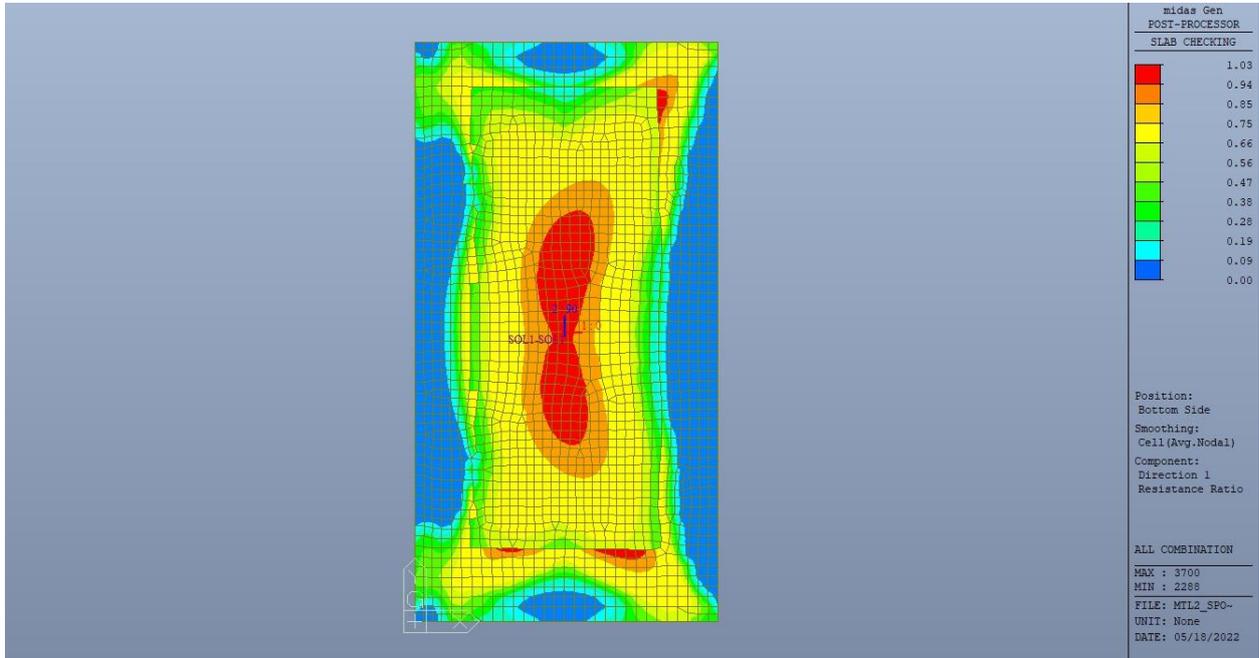


Figura 53. Solettone SOL1 – Tasso di lavoro faccia inferiore – Direzione D1

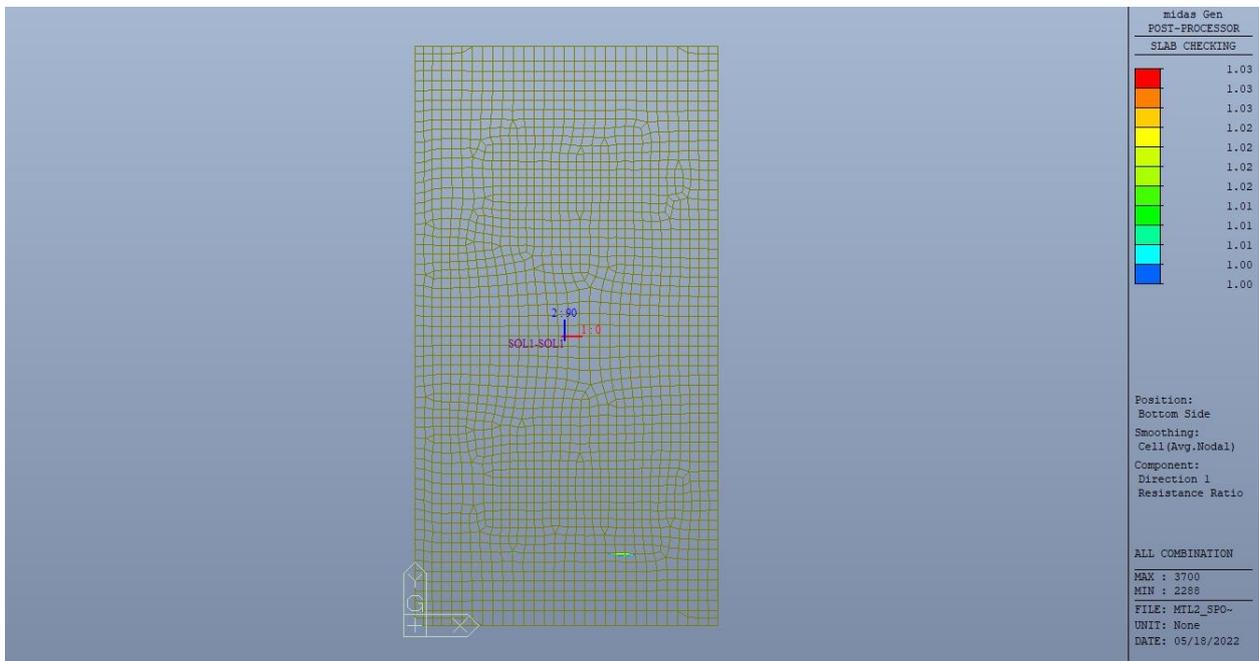


Figura 54. Solettone SOL1 – Tasso di lavoro faccia inferiore – Direzione D1 – Zone > 1



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture accessi stazione

2\_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

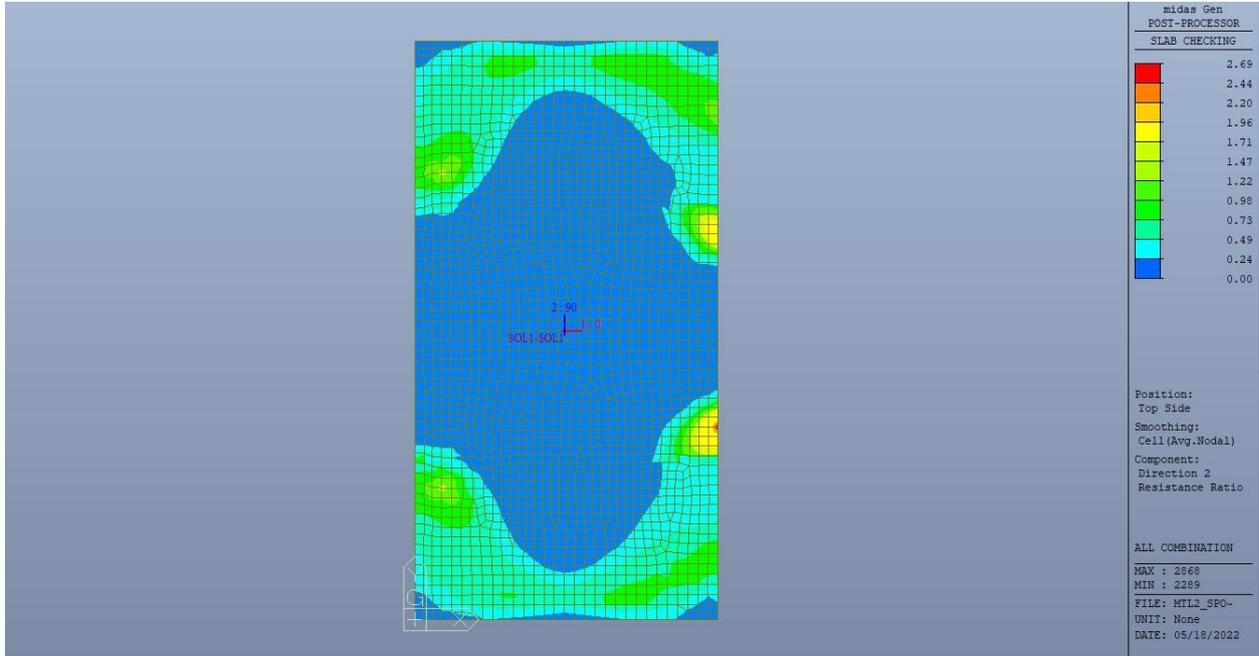


Figura 55. Solettone SOL1 – Tasso di lavoro faccia superiore – Direzione D2

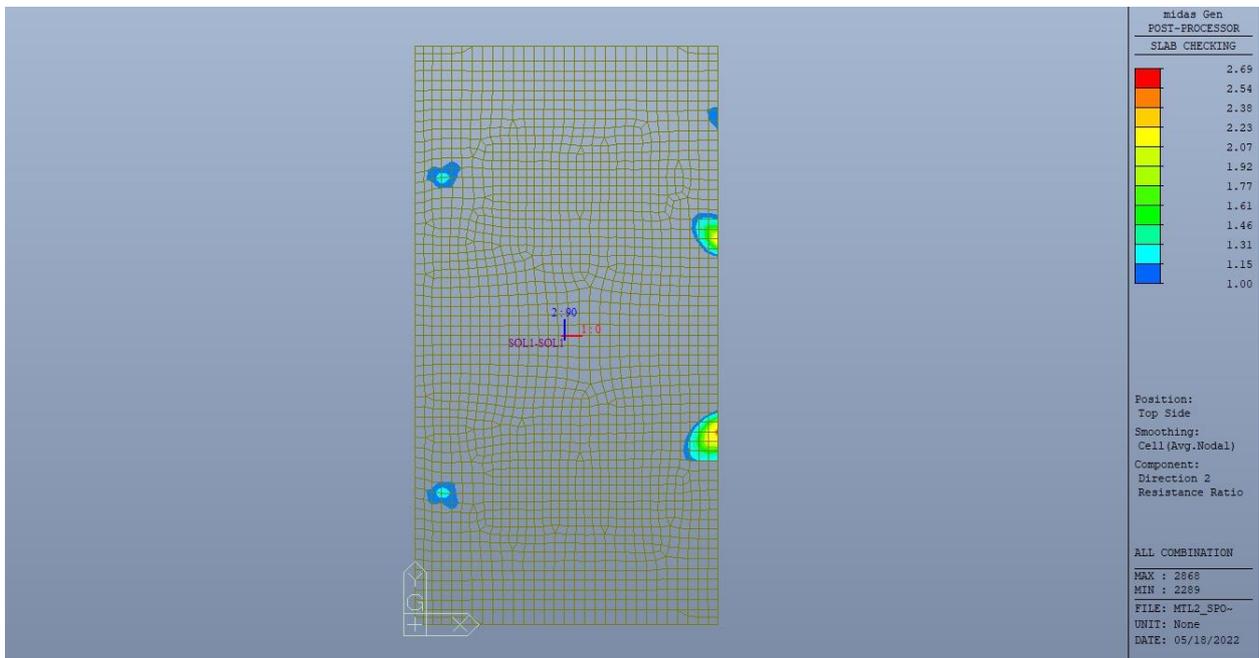


Figura 56. Solettone SOL1 – Tasso di lavoro faccia superiore – Direzione D2 – Zone > 1



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture accessi stazione

2\_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

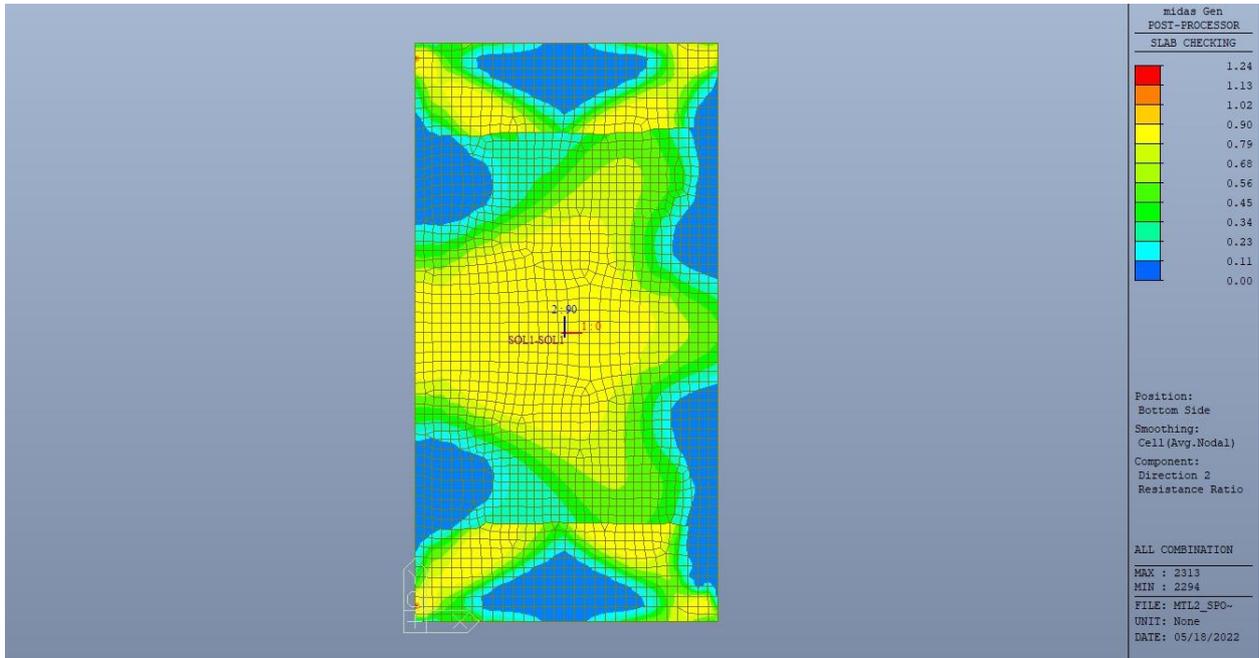


Figura 57. Solettone SOL1 – Tasso di lavoro faccia inferiore – Direzione D2

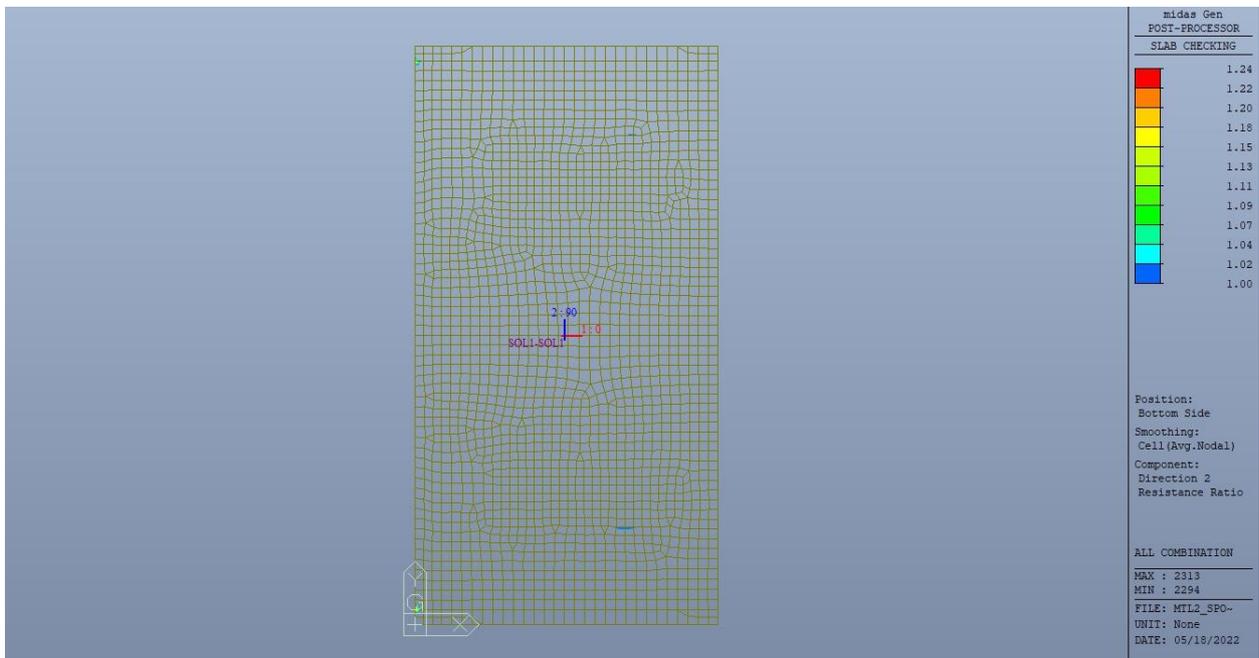


Figura 58. Solettone SOL1 – Tasso di lavoro faccia inferiore – Direzione D2 – Zone > 1

 <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 accessi stazione	2_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

Per entrambe le direzioni, le zone con tasso di lavoro superiore all'unita 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 accessi stazione

2\_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

TEMPO ZERO

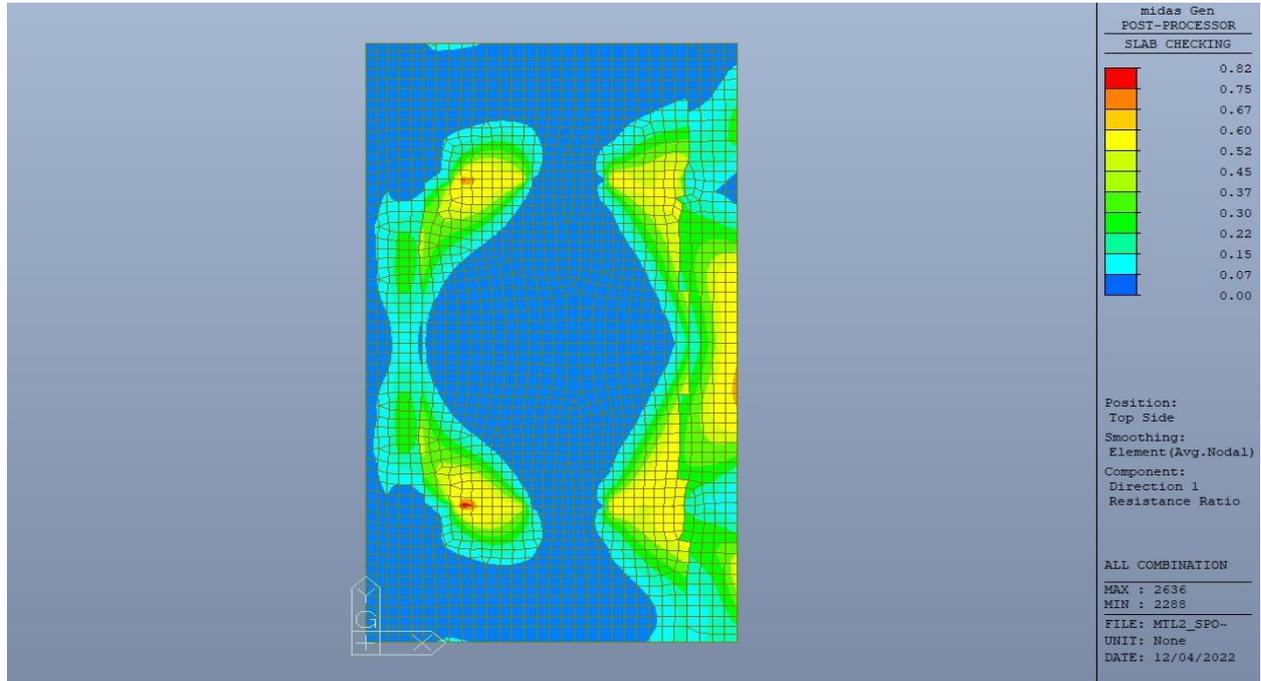


Figura 59. Solettone SOL1 – Tasso di lavoro faccia superiore – Direzione D1

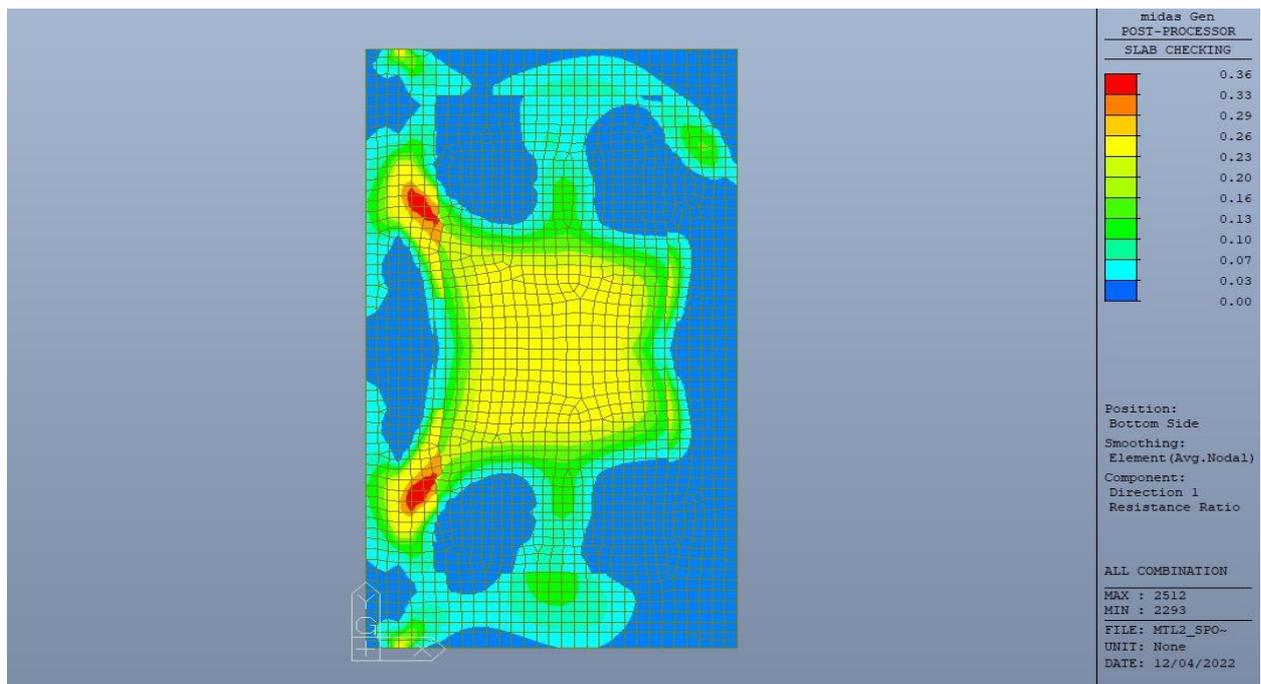


Figura 60. Solettone SOL1 – Tasso di lavoro faccia inferiore – Direzione D1



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture accessi stazione

2\_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

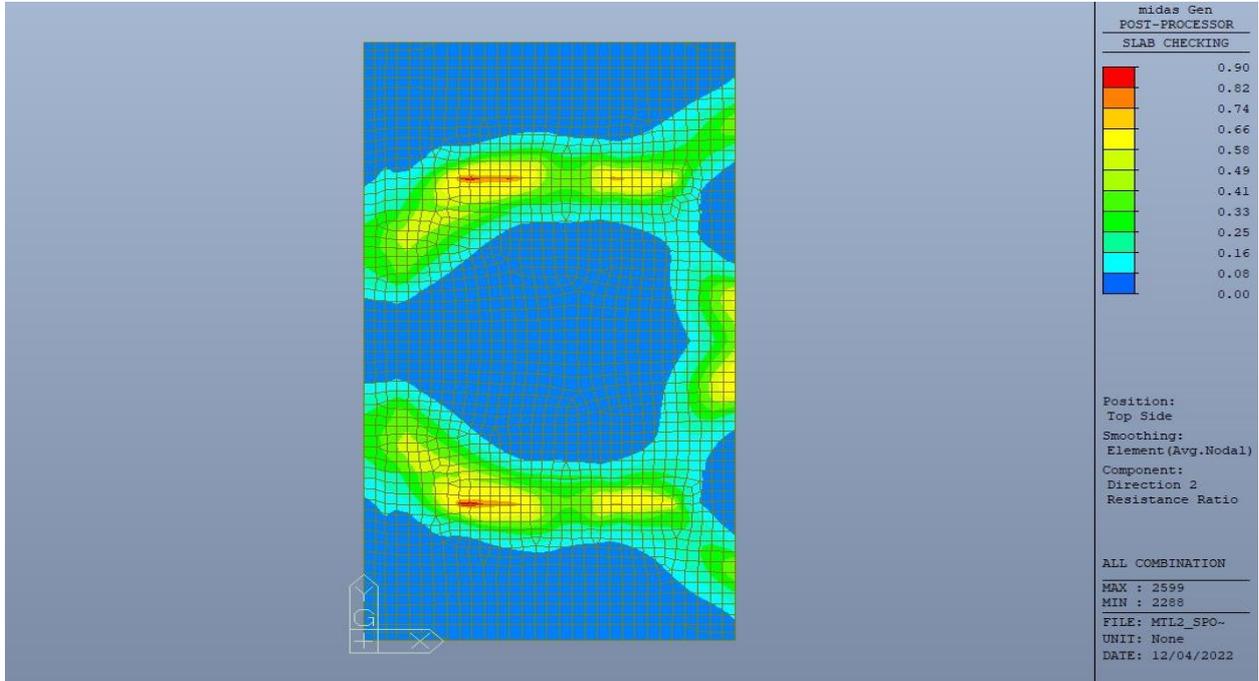


Figura 61. Solettone SOL1 – Tasso di lavoro faccia superiore – Direzione D2

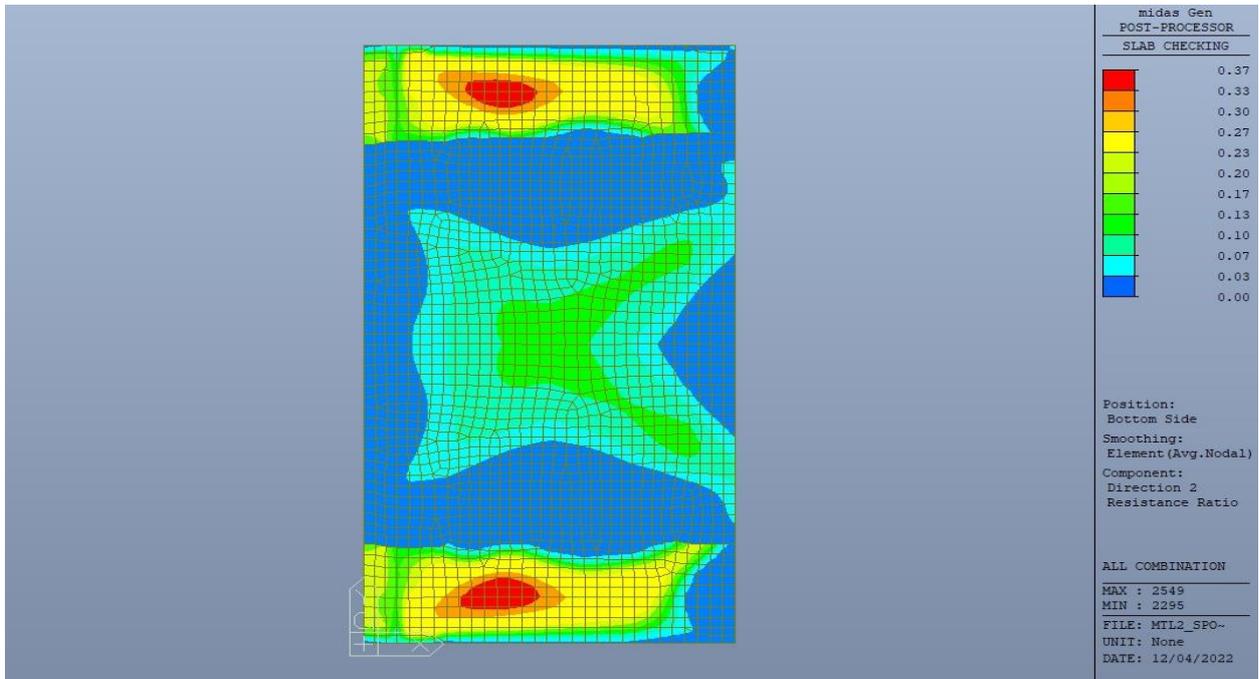


Figura 62. Solettone SOL1 – Tasso di lavoro faccia inferiore – Direzione D2



Al tempo zero, il tasso di lavoro risulta ovunque inferiore all'unità, si può ritenere la verifica soddisfatta.

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

**Tabella 26. Verifica taglio – Solettone di copertura SOL1**

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>VRd</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 e per entrambi i limiti temporali.



TEMPO INFINITO

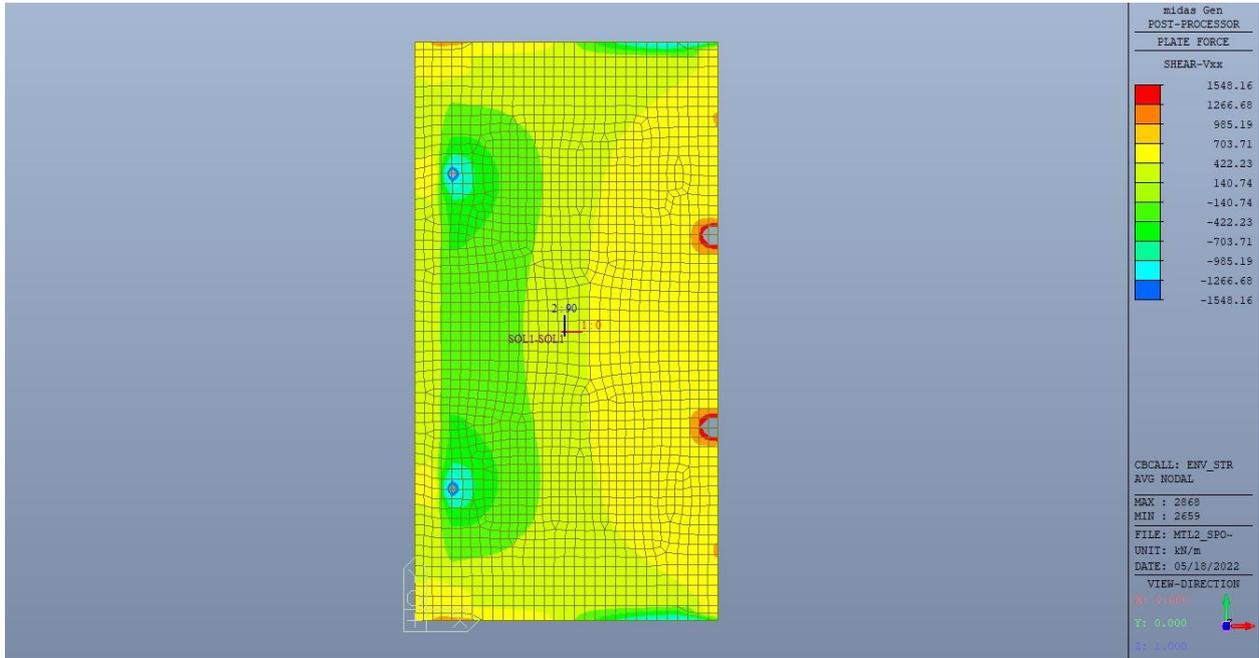


Figura 63. Solettone SOL1 – Resistenza a taglio Direzione X

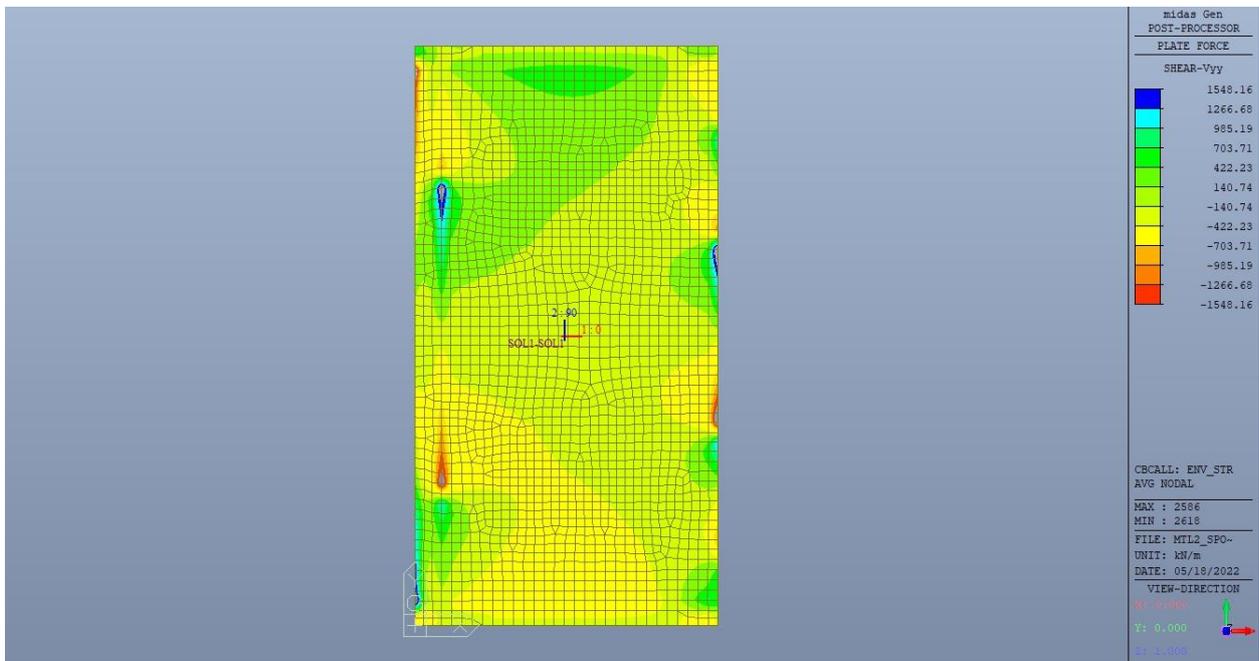


Figura 64. Solettone SOL1 – Resistenza a taglio Direzione Y



TEMPO ZERO

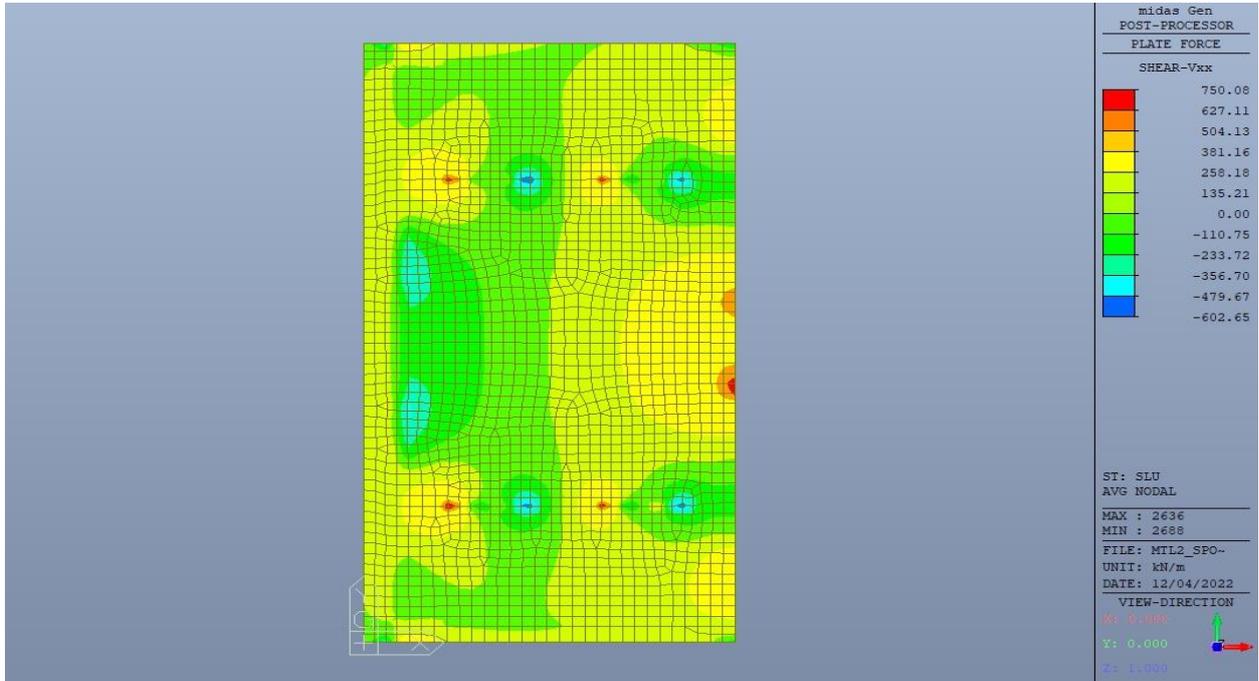


Figura 65. Solettone SOL1 – Resistenza a taglio Direzione X

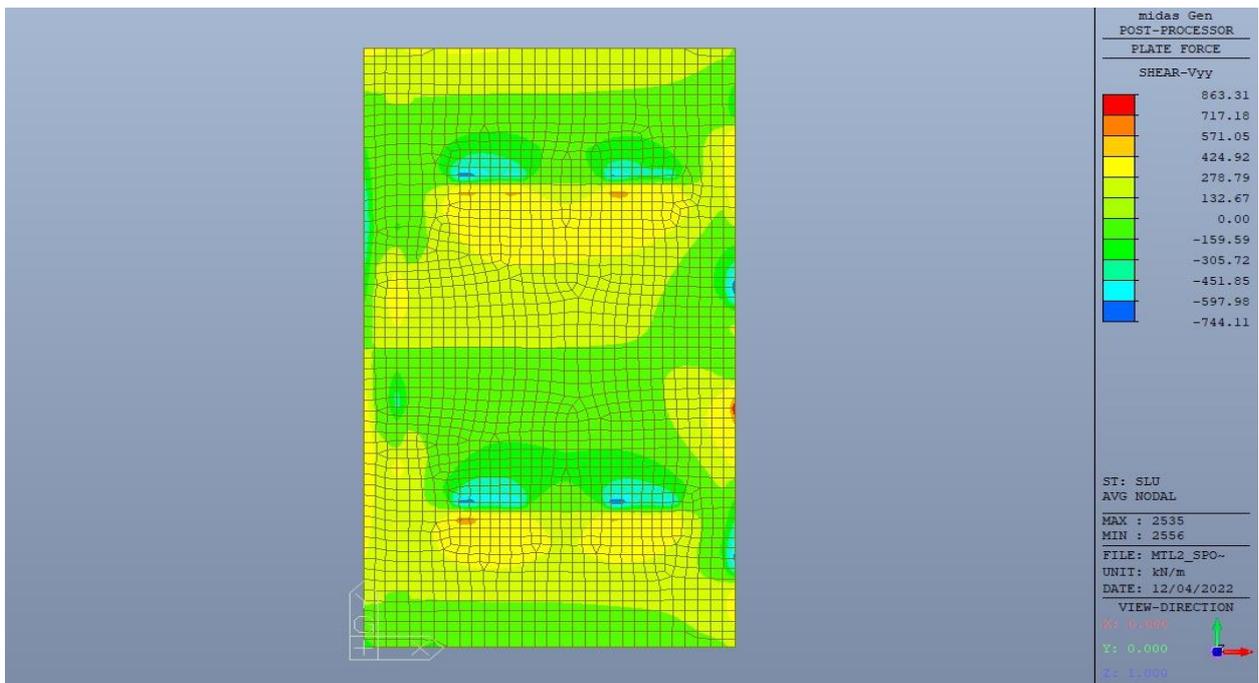


Figura 66. Solettone SOL1 – Resistenza a taglio Direzione Y

 <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 accessi stazione	2_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.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

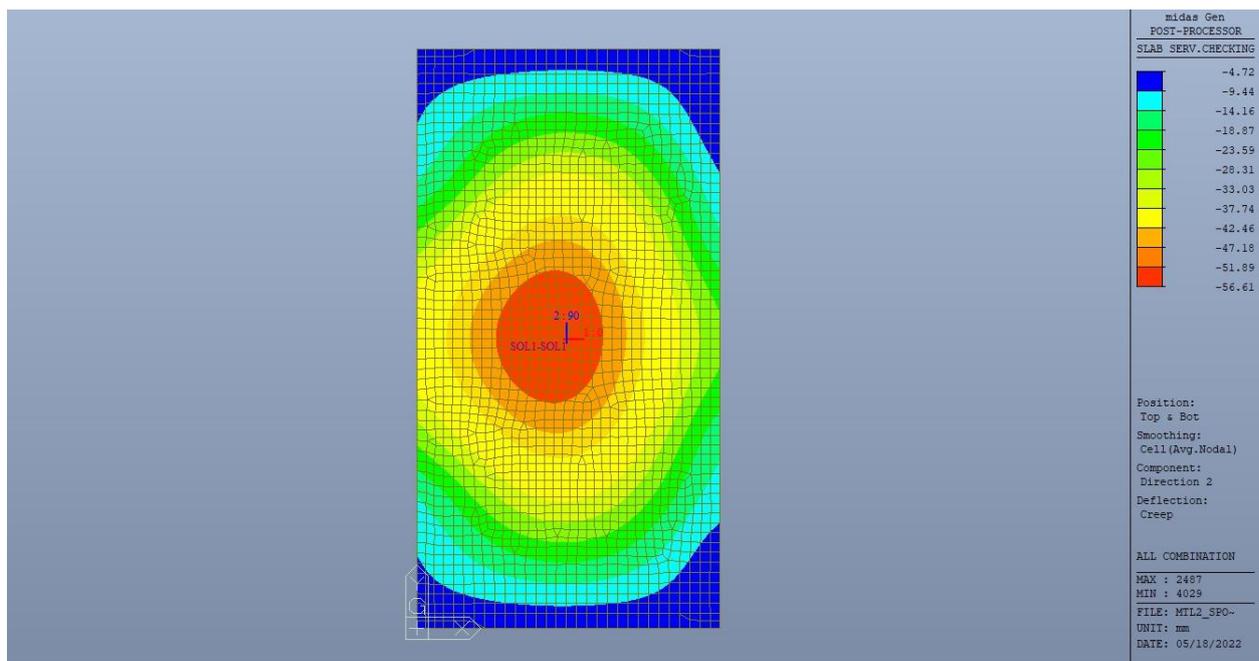
I limiti di deformabilità devono essere congruenti con le prestazioni richieste alla struttura anche in relazione alla destinazione d'uso, con riferimento alle esigenze statiche, funzionali ed estetiche.

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

$L = 13.40$  m (tra travi rialzate interne)

$\delta_{max} = 53.6$ 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 67. Solettone SOL1 – 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 accessi stazione	2_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

Il massimo valore dell'abbassamento relativo in combinazione RARA è pari a 56.61mm, di poco superiore al valore massimo ma ancora 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 accessi stazione

2\_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

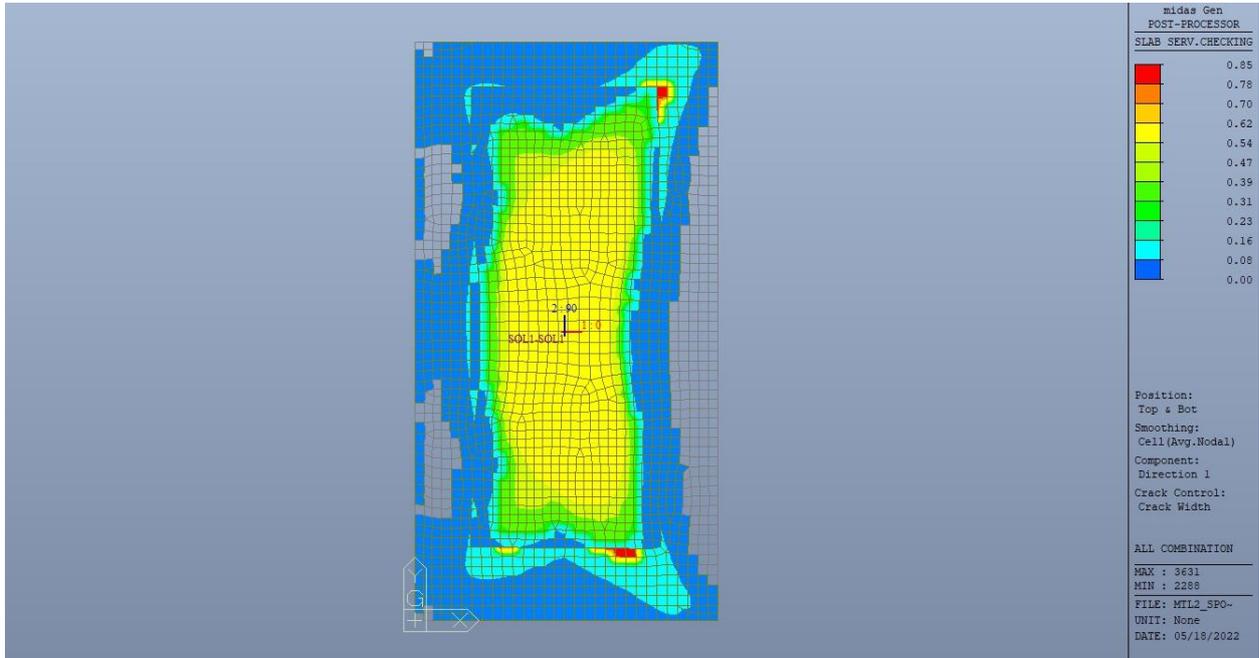


Figura 68. Solettone SOL1 – Apertura delle fessure - Ratio Direzione 1



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture accessi stazione

2\_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

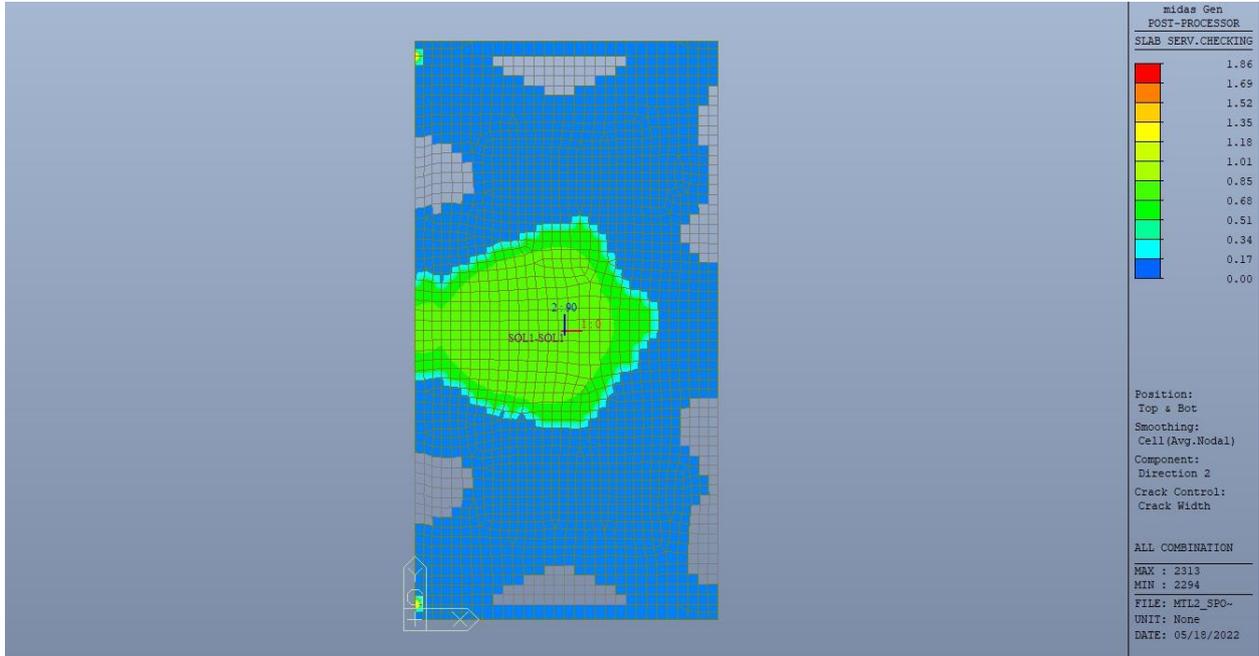


Figura 69. Solettone SOL1 – Apertura delle fessure - Ratio Direzione 2

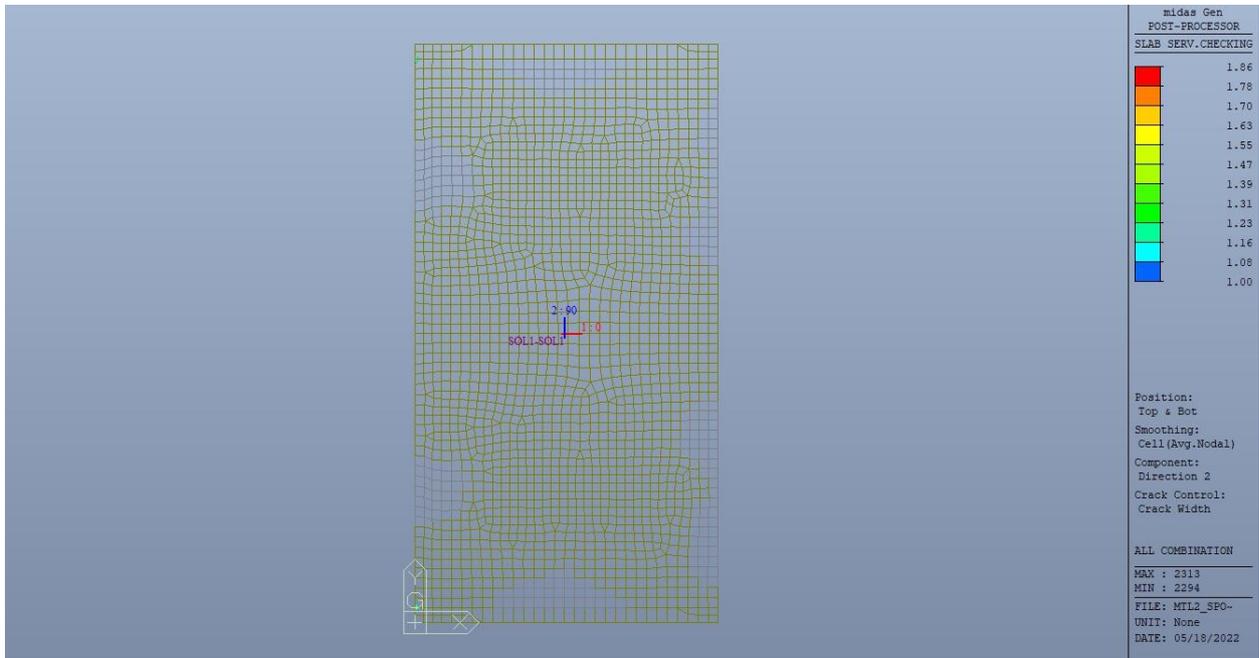


Figura 70. Solettone SOL1 – Apertura delle fessure - Ratio Direzione 2 – Zone > 1

 <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 accessi stazione	2_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.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.

### 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 accessi stazione

2\_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

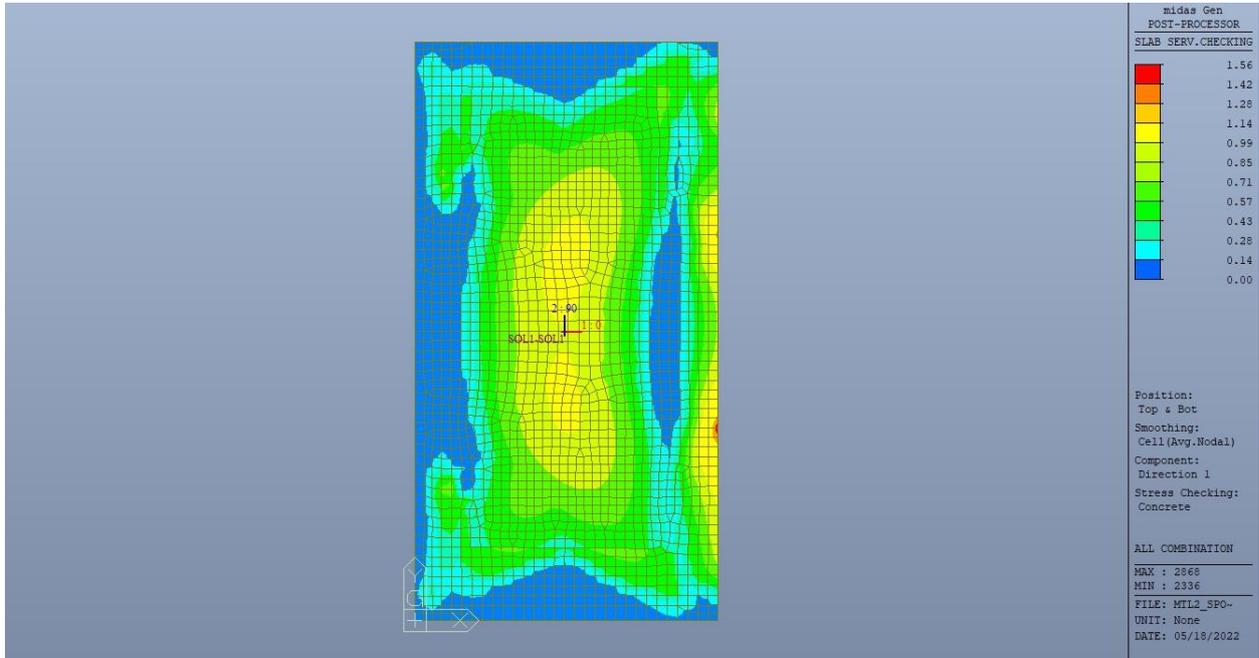


Figura 71. Solettone SOL1 – Tensioni calcestruzzo - Ratio Direzione 1

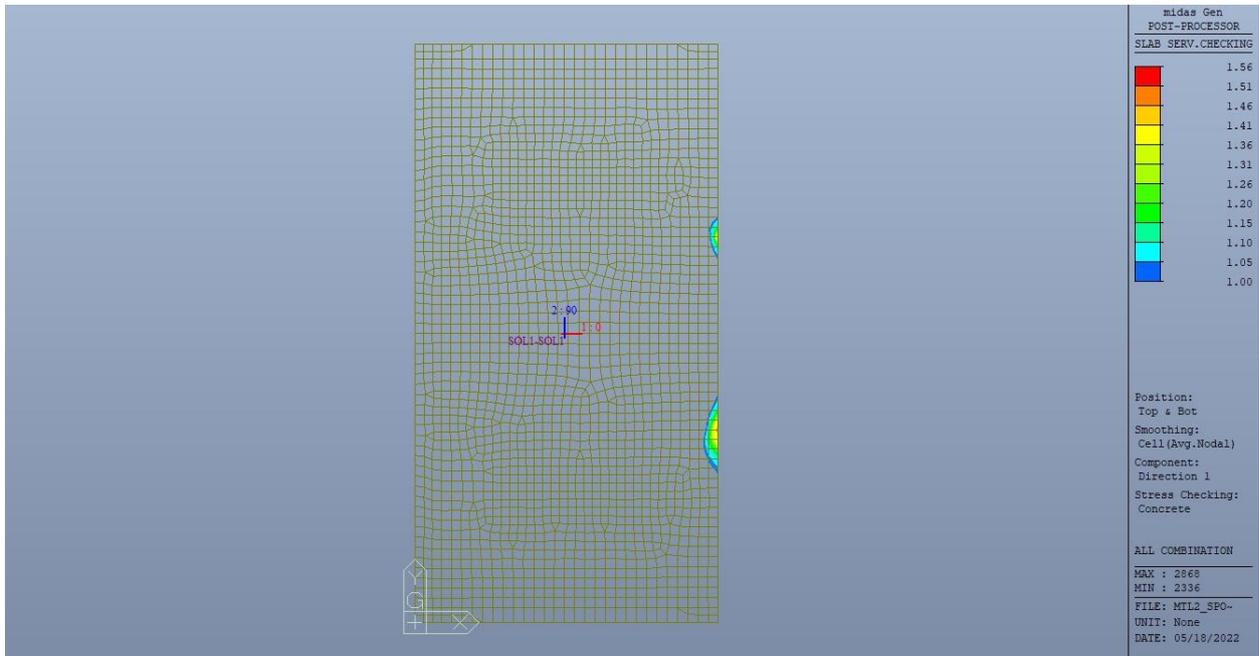


Figura 72. Solettone SOL1 – Tensioni calcestruzzo - Ratio Direzione 1 – Zone > 1



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture accessi stazione

2\_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

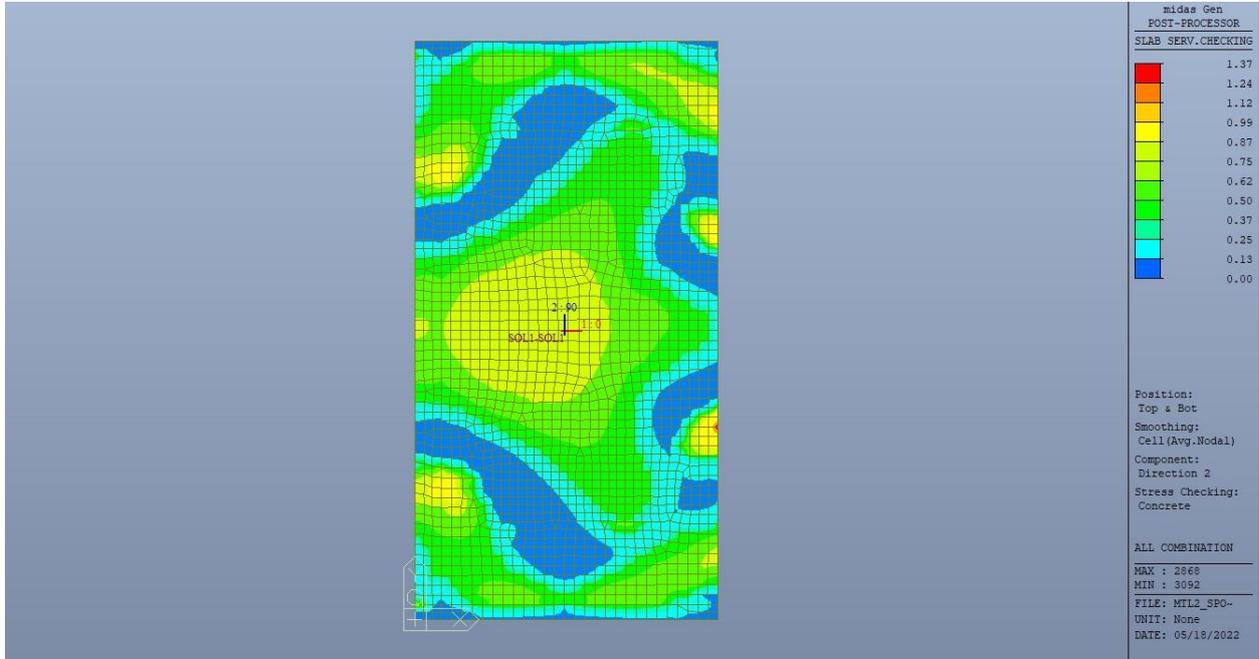


Figura 73. Solettone SOL1 – Tensioni calcestruzzo - Ratio Direzione 2

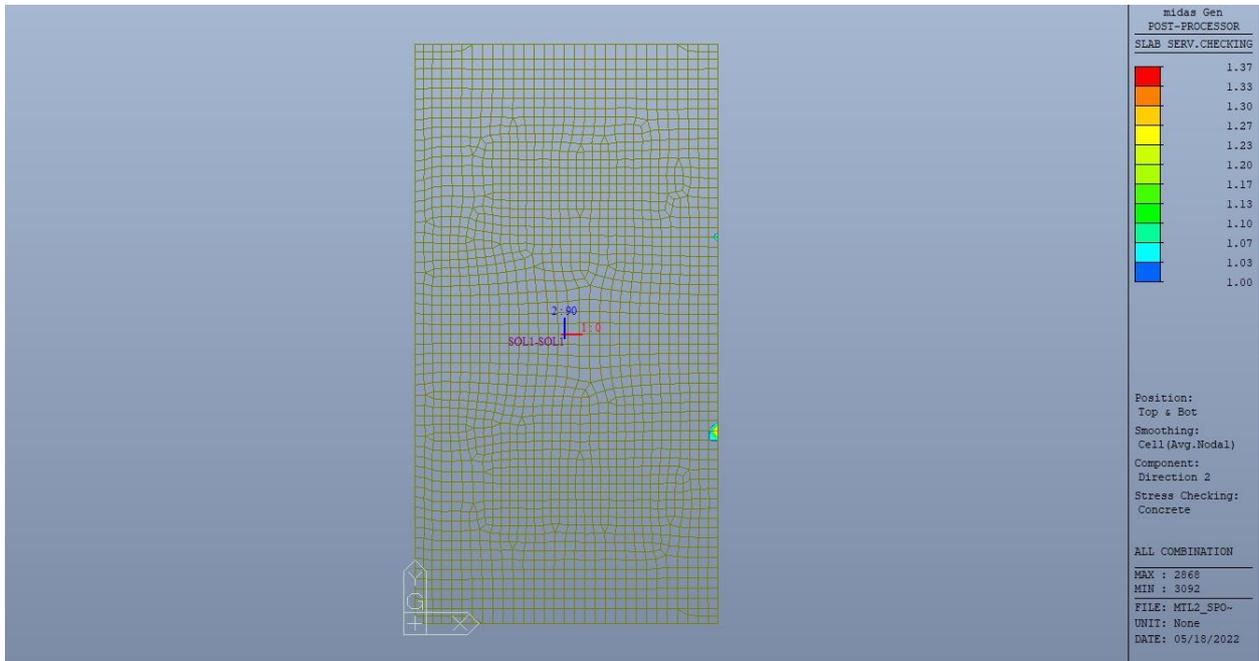


Figura 74. Solettone SOL1 – Tensioni calcestruzzo - Ratio Direzione 2 – Zone > 1



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture accessi stazione

2\_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

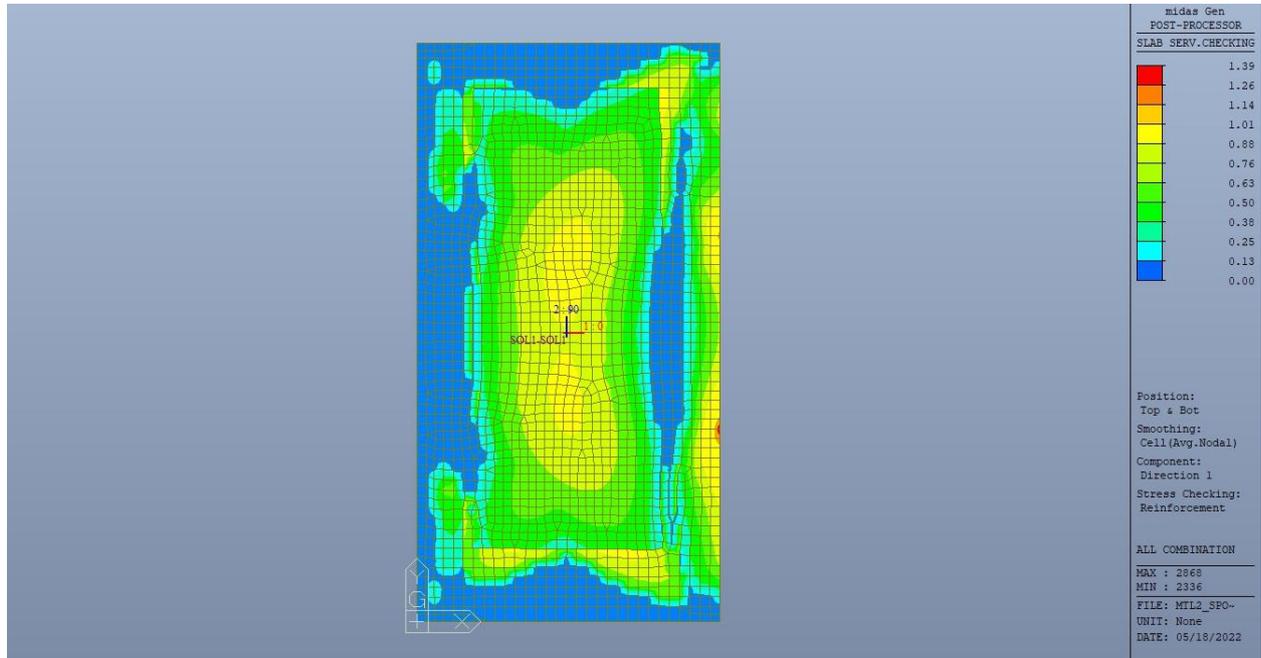


Figura 75. Solettone SOL1 – Tensioni armatura - Ratio Direzione 1

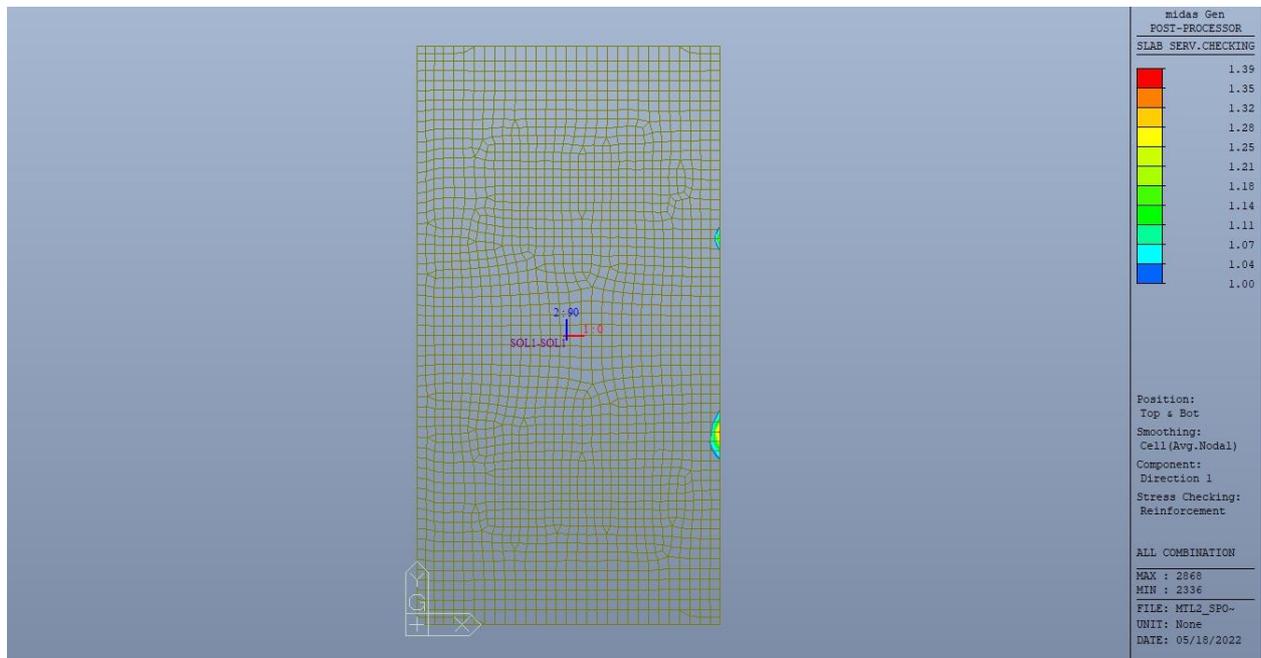


Figura 76. Solettone SOL1 – Tensioni armatura - Ratio Direzione 1 – Zone > 1



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture accessi stazione

2\_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

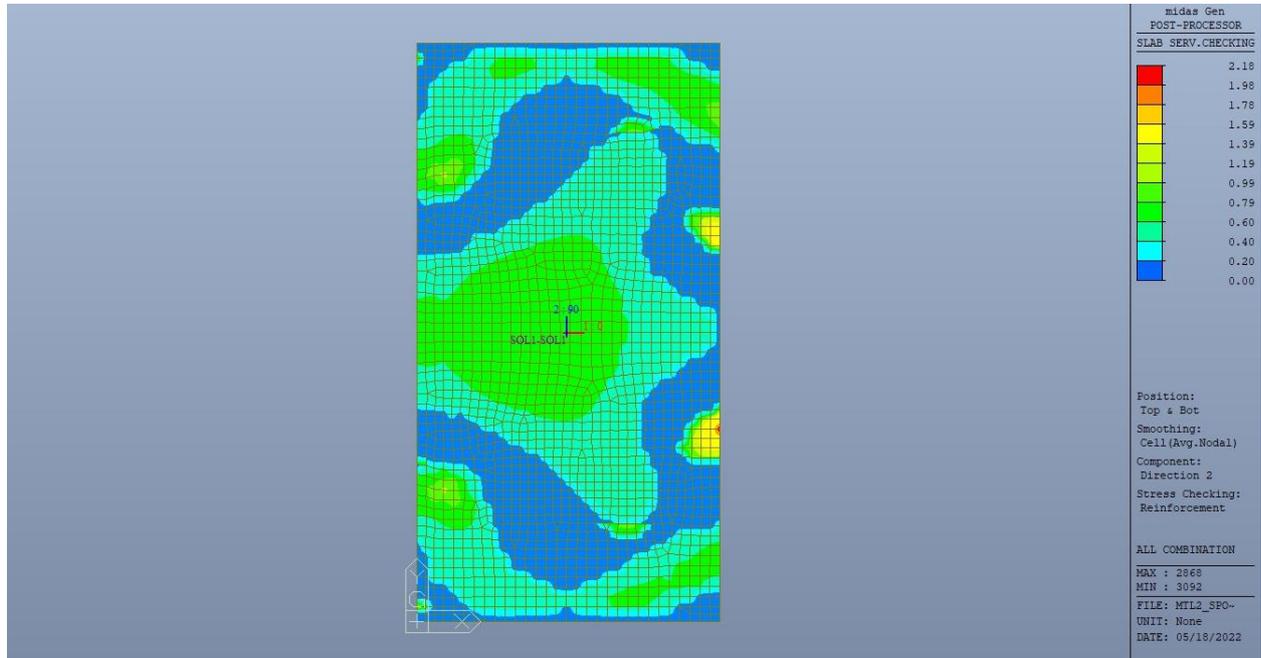


Figura 77. Solettone SOL1 – Tensioni armatura - Ratio Direzione 2

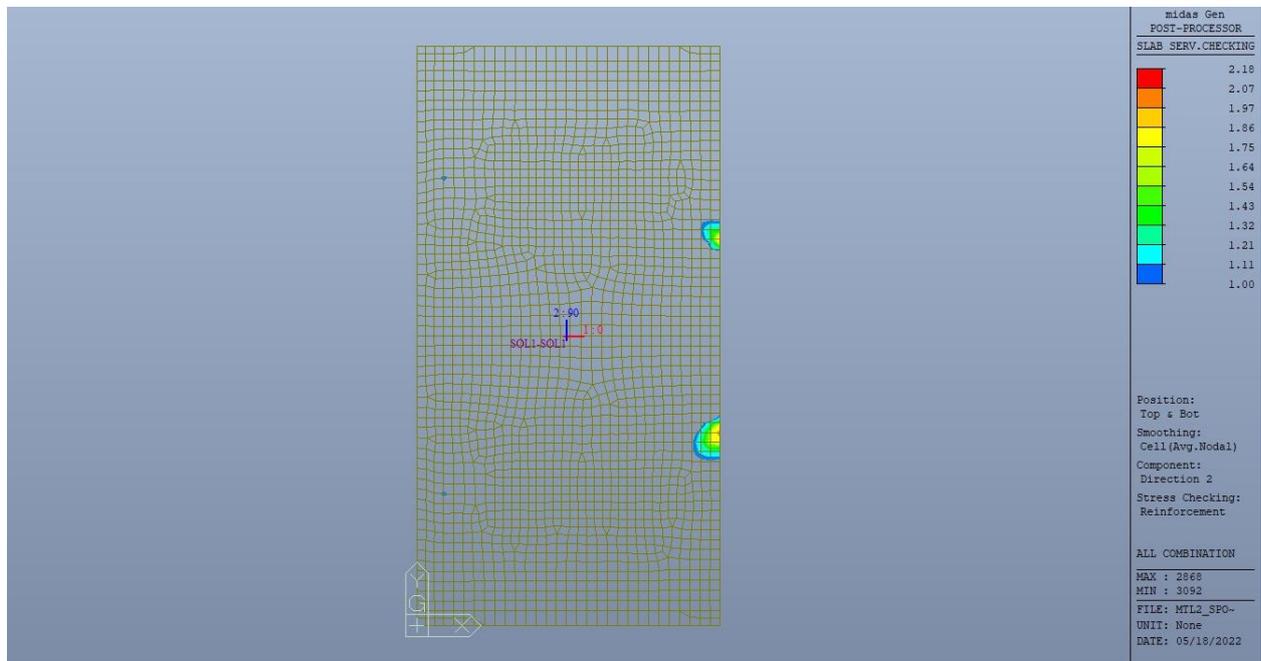


Figura 78. Solettone SOL1 – Tensioni armatura - Ratio Direzione 2 – Zone > 1

 <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 accessi stazione	2_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.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.

 <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 accessi stazione	2_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

## 12. VERIFICA SOLETTONE DI COPERTURA – SOL2

### 12.1 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.

#### 12.1.1 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 accessi stazione

2\_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

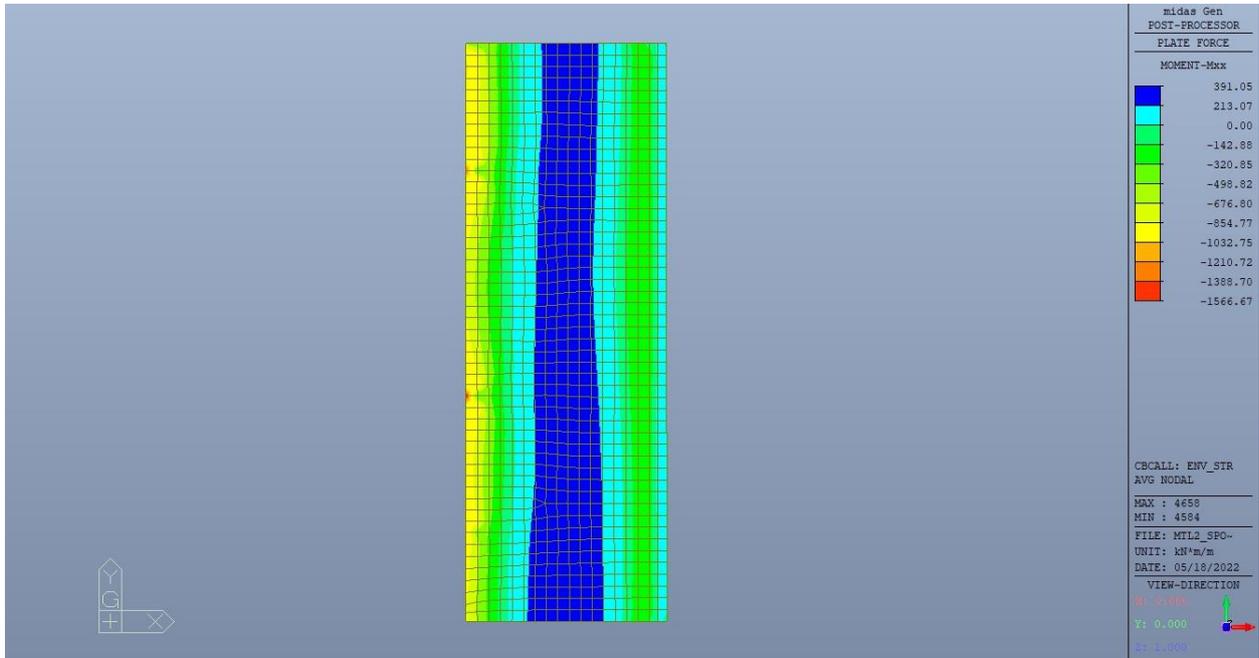


Figura 79. Solettone SOL2 – Involuppo momento flettente  $M_{xx}$  – Direzione X

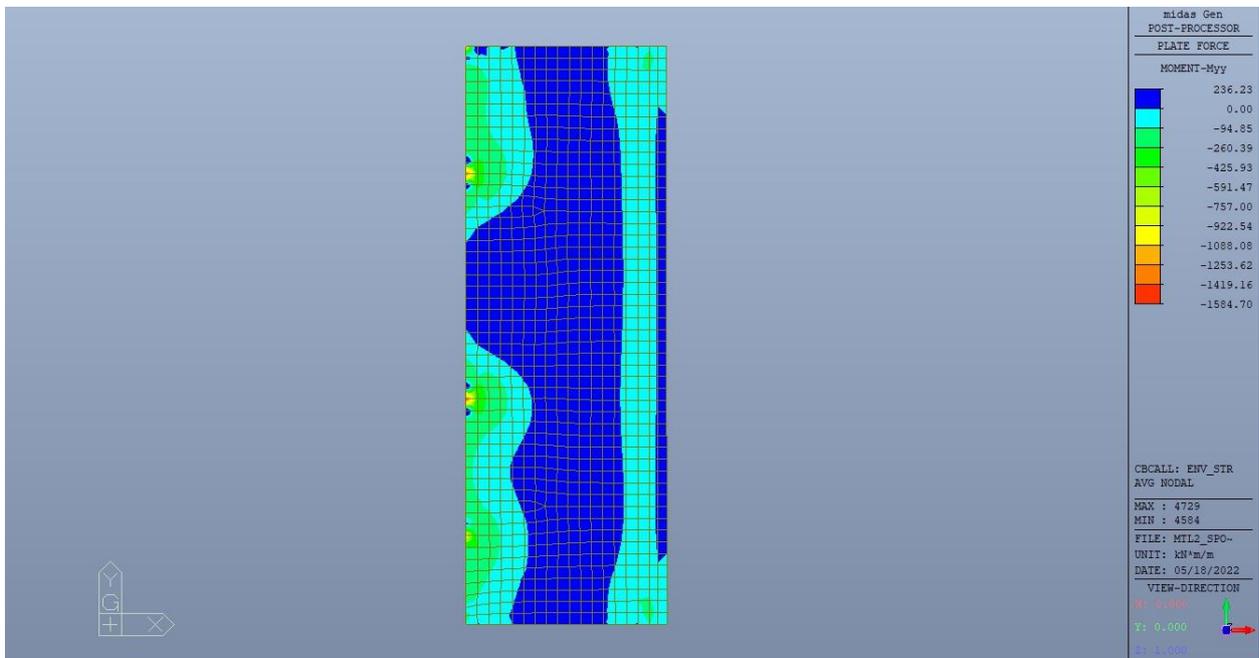


Figura 80. Solettone SOL2 – Involuppo momento flettente  $M_{yy}$  – Direzione Y



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture accessi stazione

2\_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

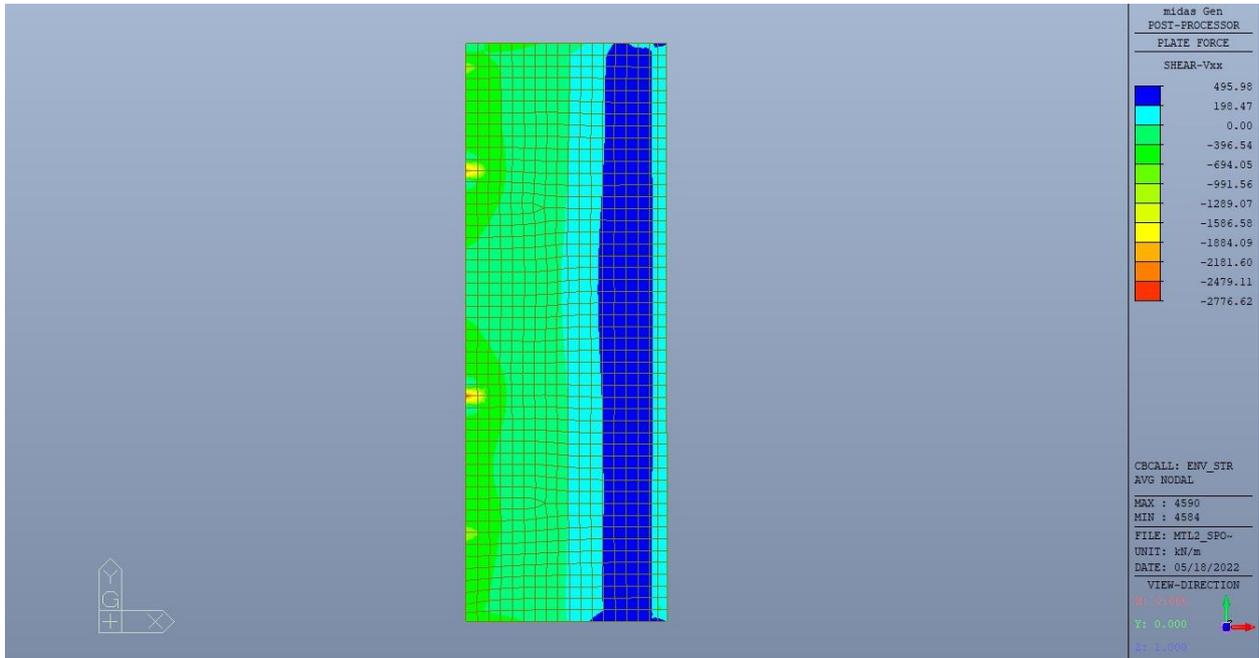


Figura 81. Solettone SOL2 – Involuppo taglio  $V_{xx}$  – Direzione X

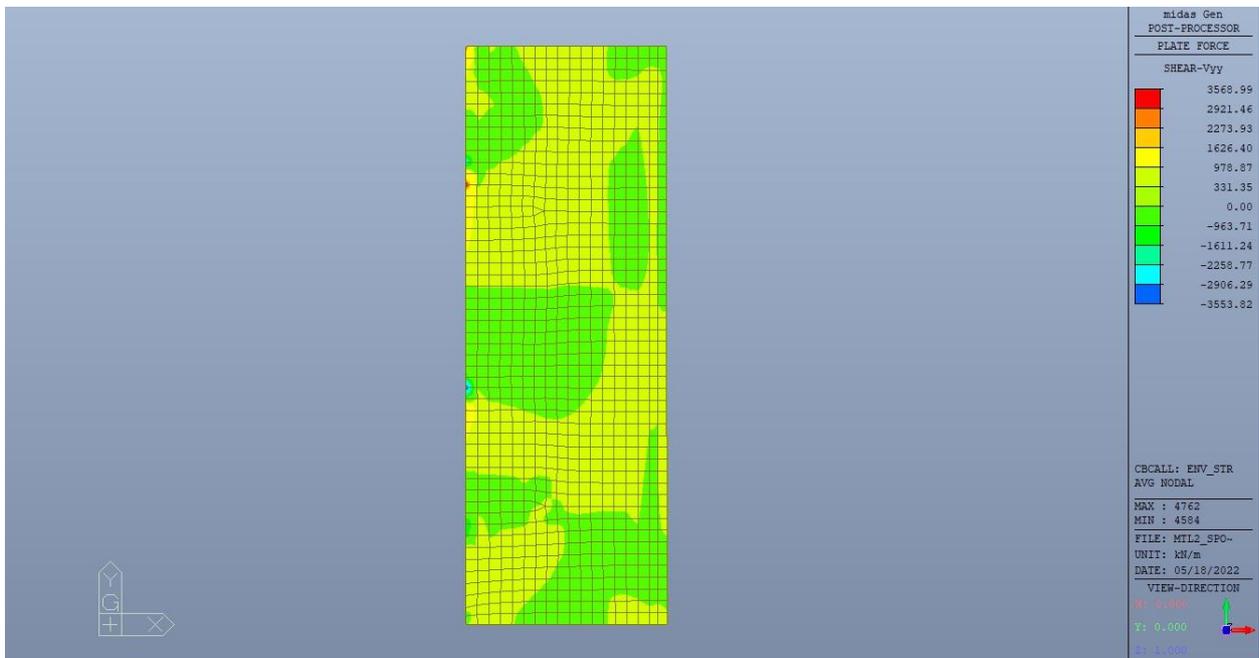


Figura 82. Solettone SOL2 – Involuppo taglio  $V_{yy}$  – Direzione Y

 <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 accessi stazione	2_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

### 12.1.2 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:

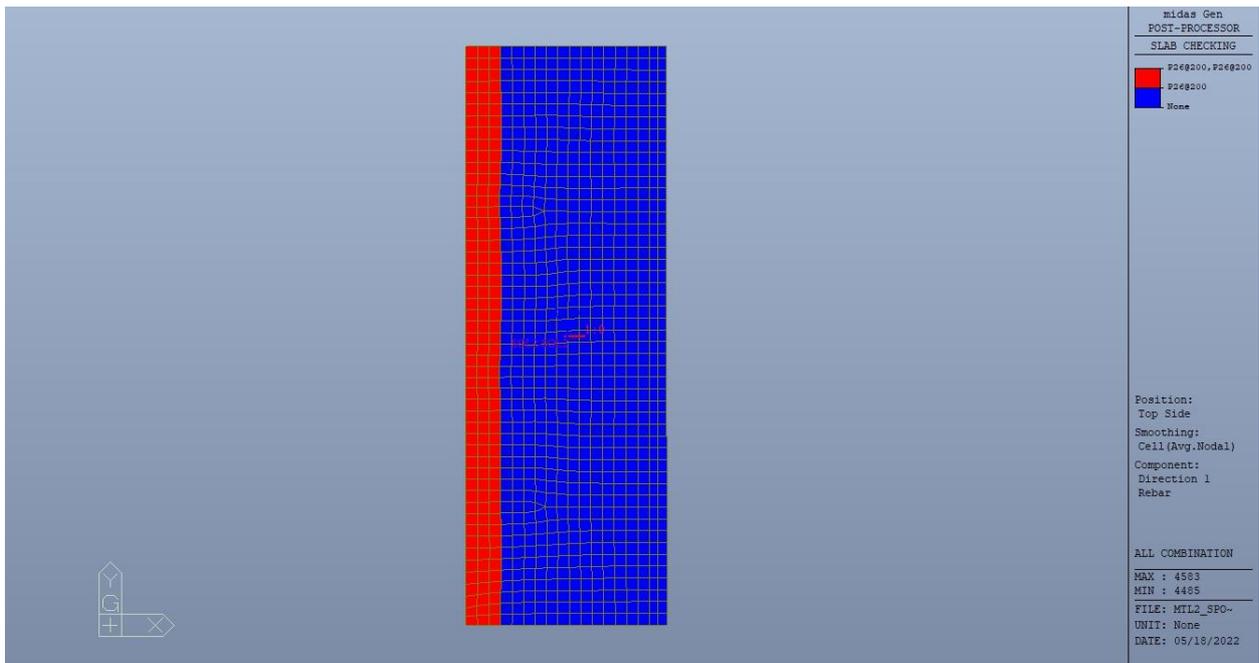
- $f_{ctm}$  è il valore medio della resistenza a trazione del cls;
- $f_{yk}$  è il valore caratteristico della resistenza a trazione dell'armatura;
- $b_t$  è la larghezza media della zona tesa;
- $h$  è l'altezza della sezione.

**Tabella 27. Armatura minima**

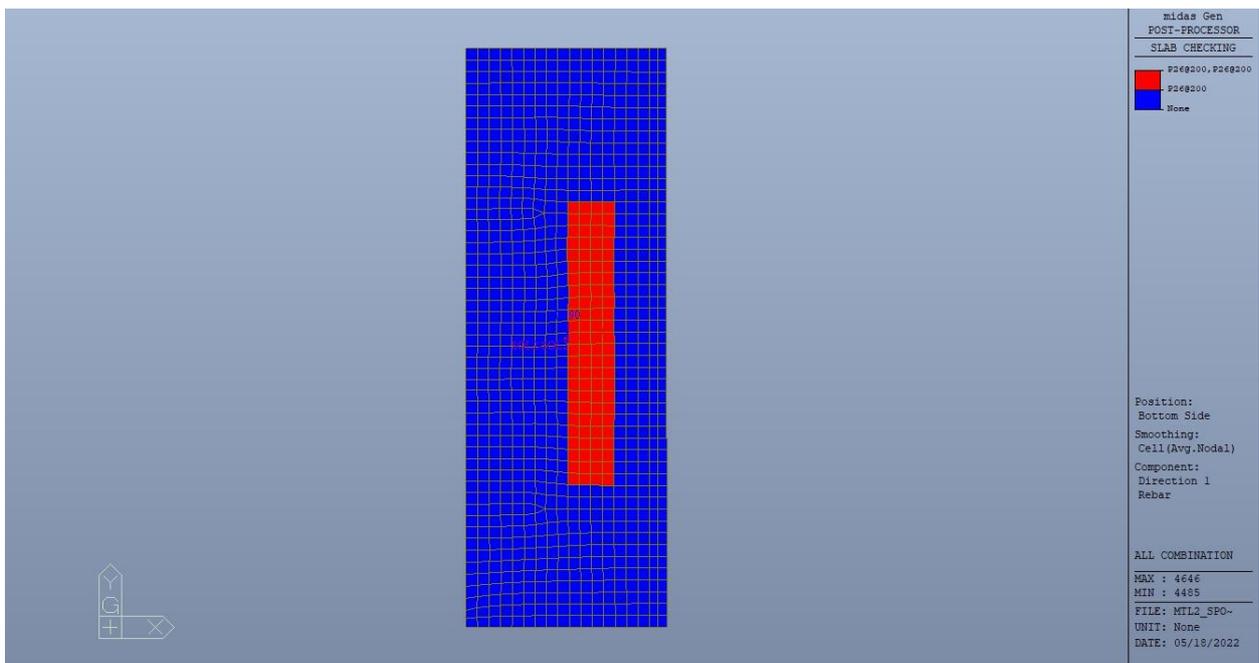
				D1 - TOP			D1 - BOTTOM		
Tipologia	b [cm]	h [cm]	A <sub>c</sub> [cm <sup>2</sup> ]	A <sub>s</sub> [cm <sup>2</sup> ]	A <sub>smin</sub> [cm <sup>2</sup> ]	CK	A <sub>s</sub> [cm <sup>2</sup> ]	A <sub>smin</sub> [cm <sup>2</sup> ]	CK
Solettone H50	100	50	5000	26.53	8.37	OK	26.53	8.37	OK
				D2 - TOP			D2 - 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 H50	100	50	5000	18.08	8.37	OK	18.08	8.37	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 accessi stazione	2_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

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

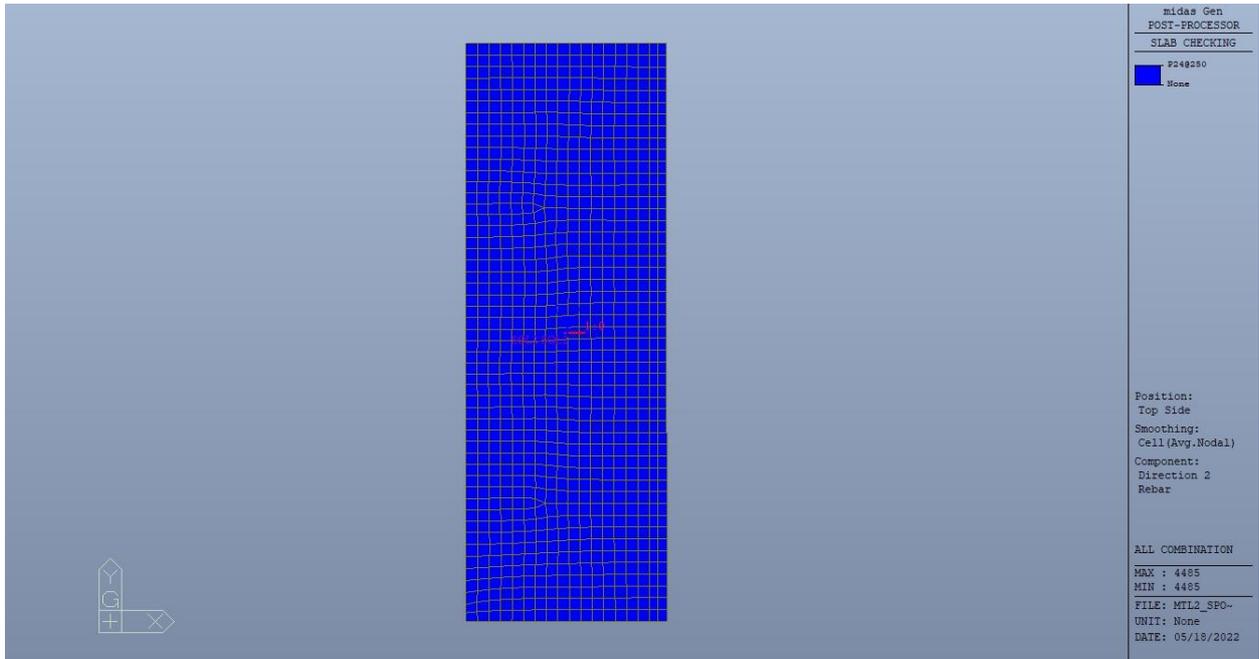


**Figura 83. Solettone SOL2 – Armatura superiore direzione D1**

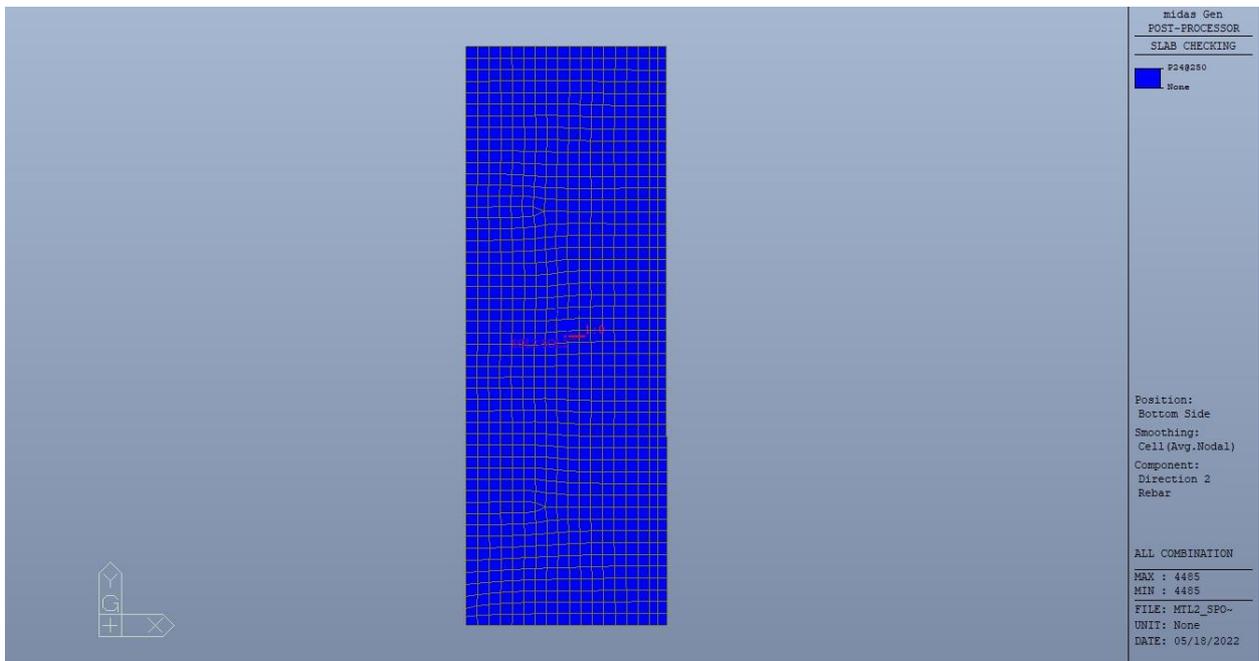


**Figura 84. Solettone SOL2 – Armatura inferiore direzione D1**

 <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 accessi stazione	2_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX



**Figura 85. Solettone SOL2 – Armatura superiore direzione D2**



**Figura 86. Solettone SOL2 – 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 accessi stazione	2_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.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 accessi stazione

2\_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

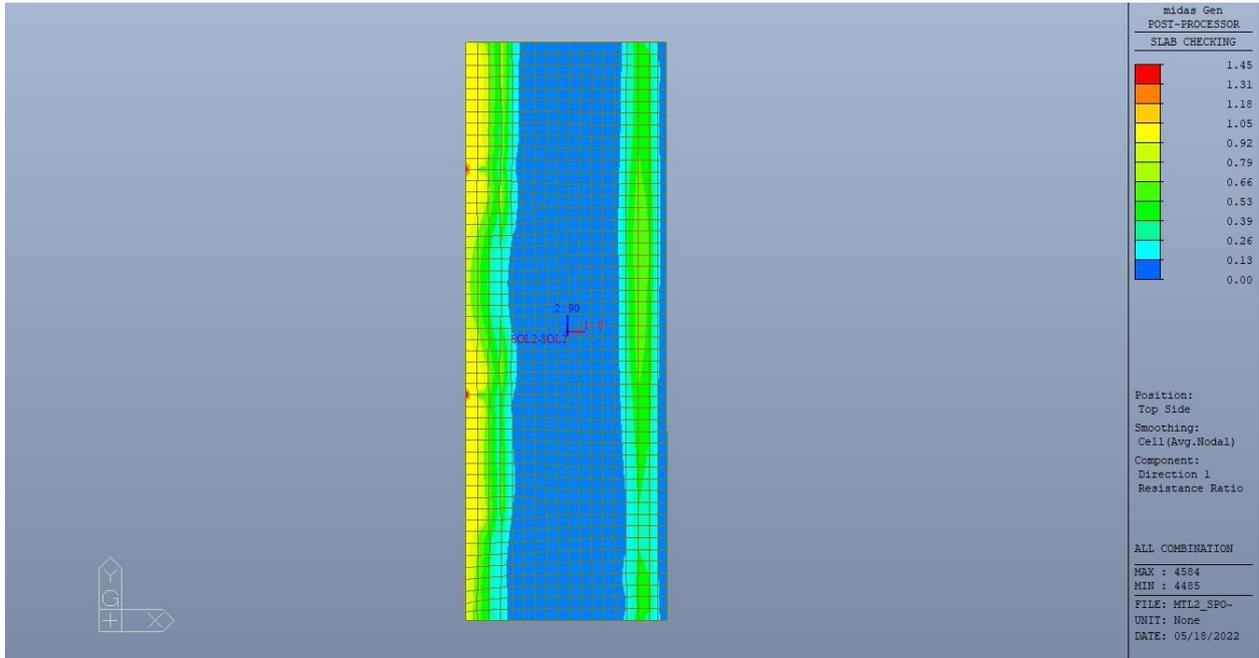


Figura 87. Solettone SOL2 – Tasso di lavoro faccia superiore – Direzione D1

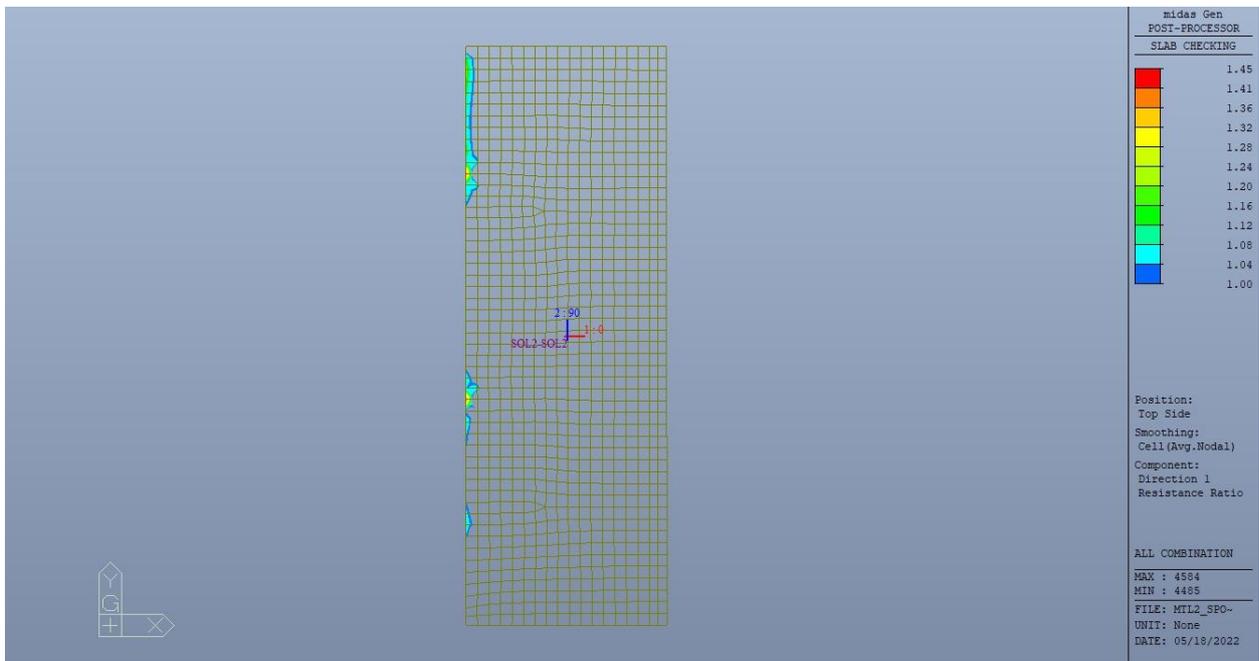


Figura 88. Solettone SOL2 – Tasso di lavoro faccia superiore – Direzione D1 – Zone > 1



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture accessi stazione

2\_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

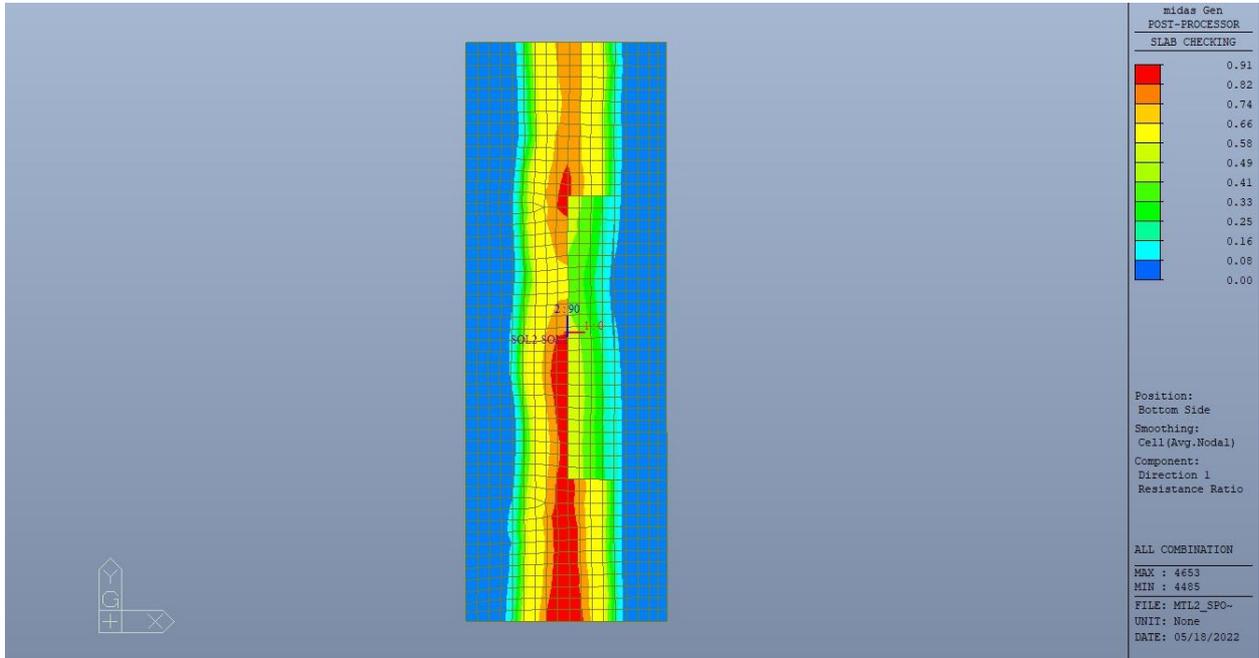


Figura 89. Solettone SOL2 – Tasso di lavoro faccia inferiore – Direzione D1



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture accessi stazione

2\_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

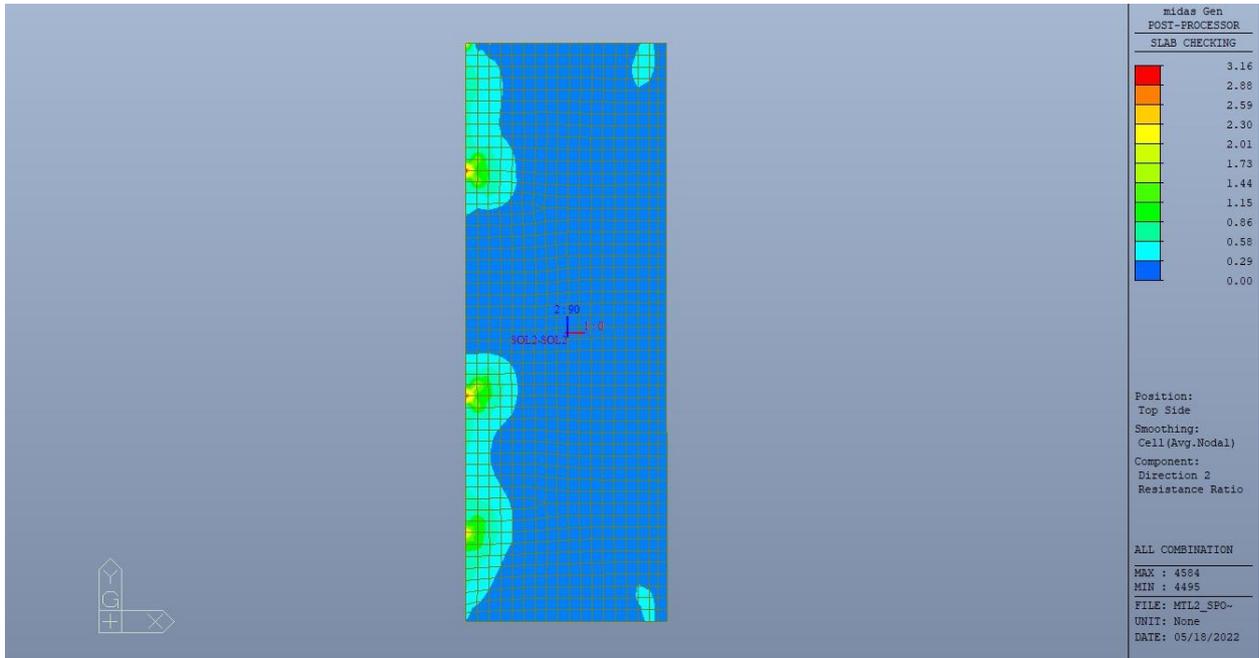


Figura 90. Solettone SOL2 – Tasso di lavoro faccia superiore – Direzione D2

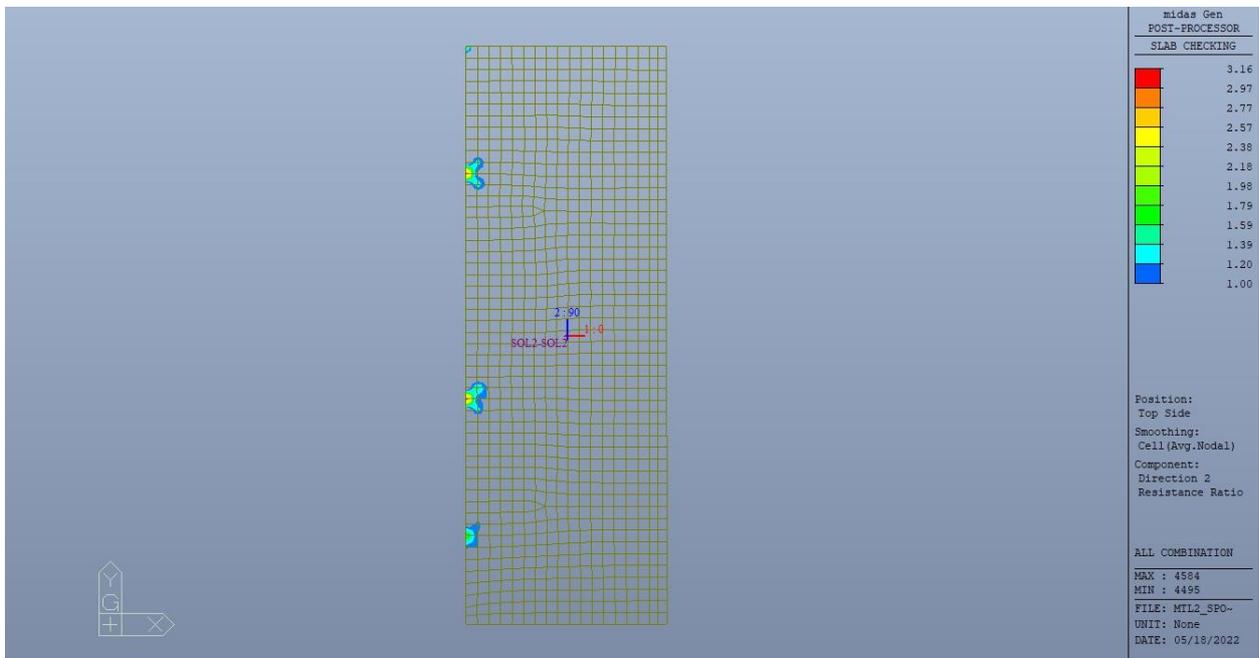
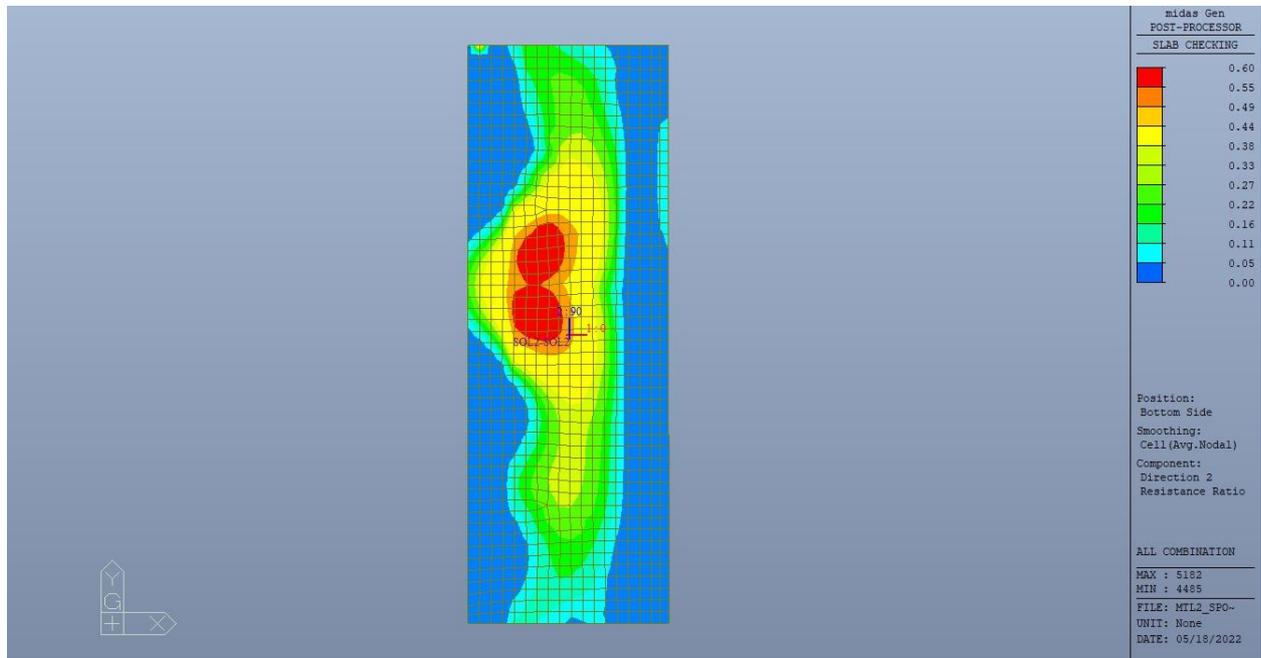


Figura 91. Solettone SOL2 – Tasso di lavoro faccia superiore – Direzione D2 – Zone > 1

 <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 accessi stazione	2_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX



**Figura 92. Solettone SOL2 – Tasso di lavoro faccia inferiore – Direzione D2**

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 28. Verifica taglio – Solettone di copertura SOL2**

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	400	mm	altezza utile sezione
k	1.71		
$\rho_1$	0.45%		rapporto geometrico di armatura longitudinale
$v_{min}$	0.433		
$V_{Rd}$	196.93	kN	
$V_{Rd,min}$	173.04	kN	
<b><math>V_{Rd,c}</math></b>	<b>196.93</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		
$V_{Rsd}$	884.66	kN	resistenza di progetto a taglio - lato acciaio
$\alpha_c$	1		
v	0.5		
$f_{cd}$	17.40	N/mm <sup>2</sup>	
$V_{Rcd}$	1566.21	kN	resistenza di progetto a taglio - lato calcestruzzo
<b><math>V_{Rd}</math></b>	<b>884.66</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.



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture accessi stazione

2\_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

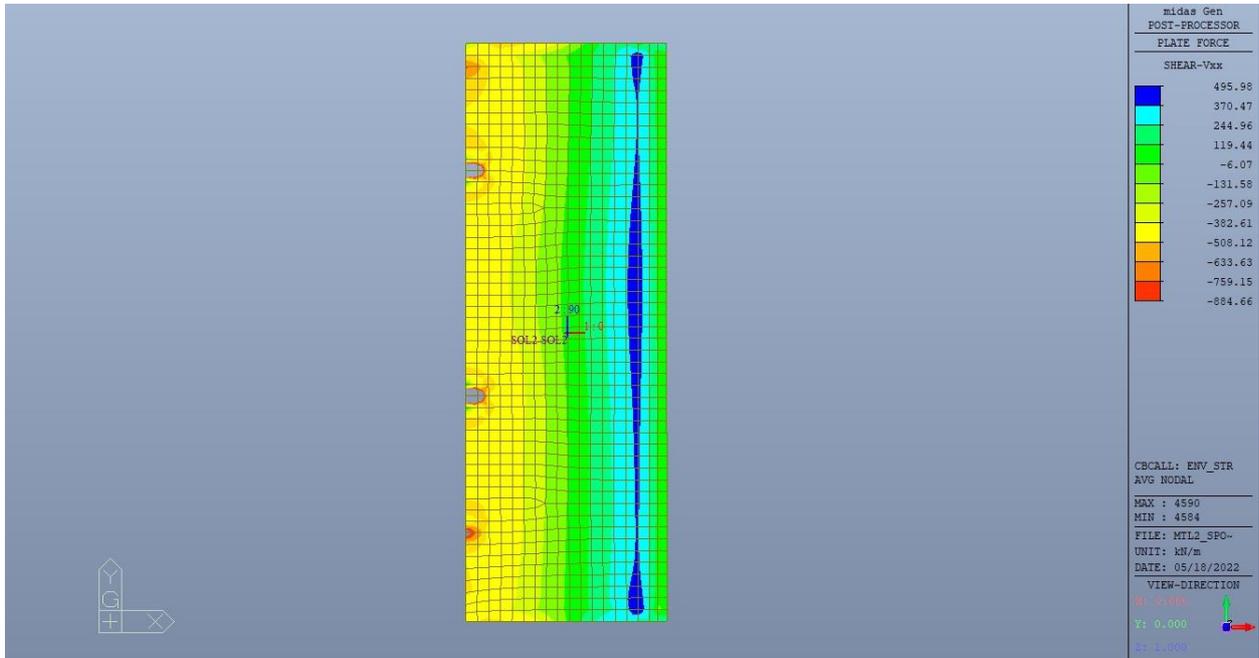


Figura 93. Solettone SOL2 – Resistenza a taglio Direzione X

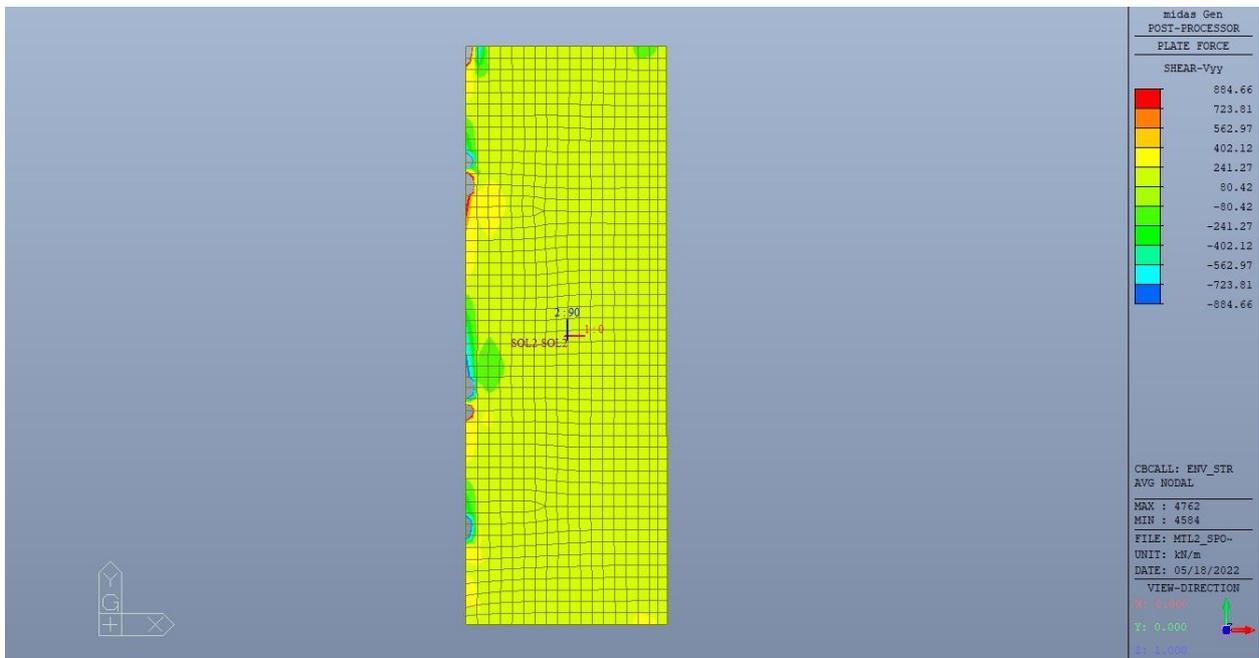


Figura 94. Solettone SOL2 – Resistenza a taglio Direzione Y

 <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 accessi stazione	2_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

## 12.2 Verifica Stati Limite di Esercizio - SLE

Si deve verificare il rispetto dei seguenti stati limite:

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

### 12.2.1 Stato limite di deformazione

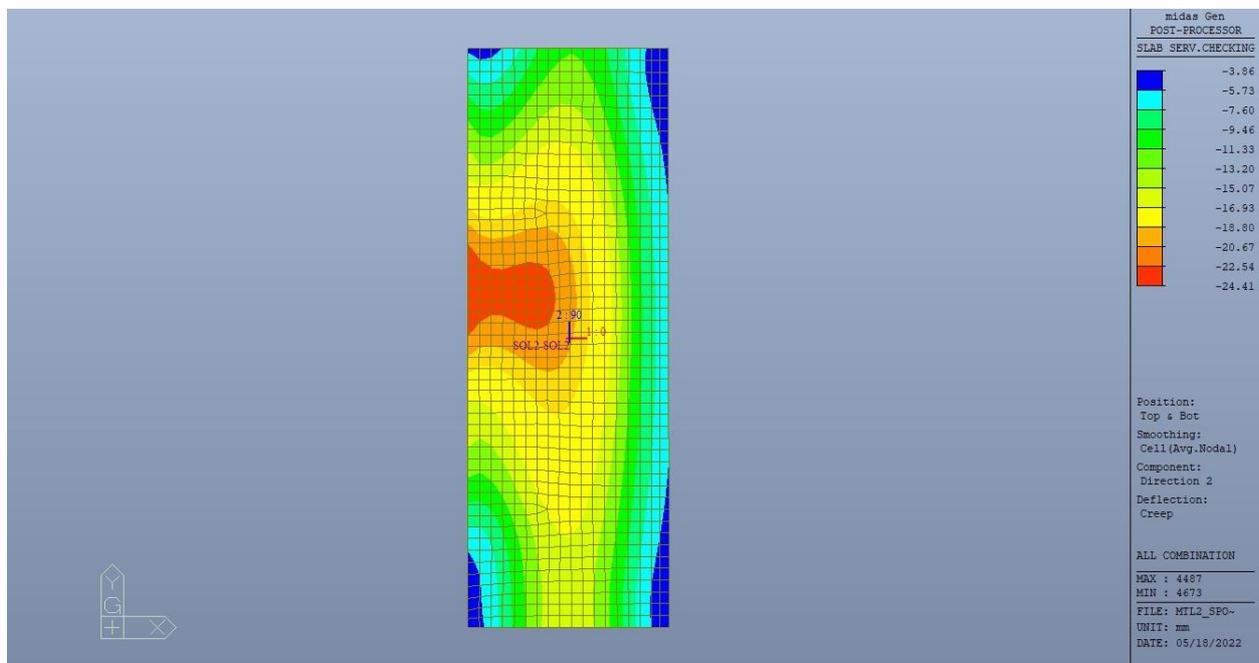
I limiti di deformabilità devono essere congruenti con le prestazioni richieste alla struttura anche in relazione alla destinazione d'uso, con riferimento alle esigenze statiche, funzionali ed estetiche.

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

$L = 7.60$  m (tra travi rialzate interne)

$\delta_{max} = 30.4$ 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 95. Solettone SOL2 – 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 accessi stazione	2_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

Il massimo valore dell'abbassamento relativo in combinazione RARA è pari a 24.41mm, di poco superiore al valore massimo ma ancora compatibile con le prestazioni richieste.

La verifica è soddisfatta.

### 12.2.2 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.

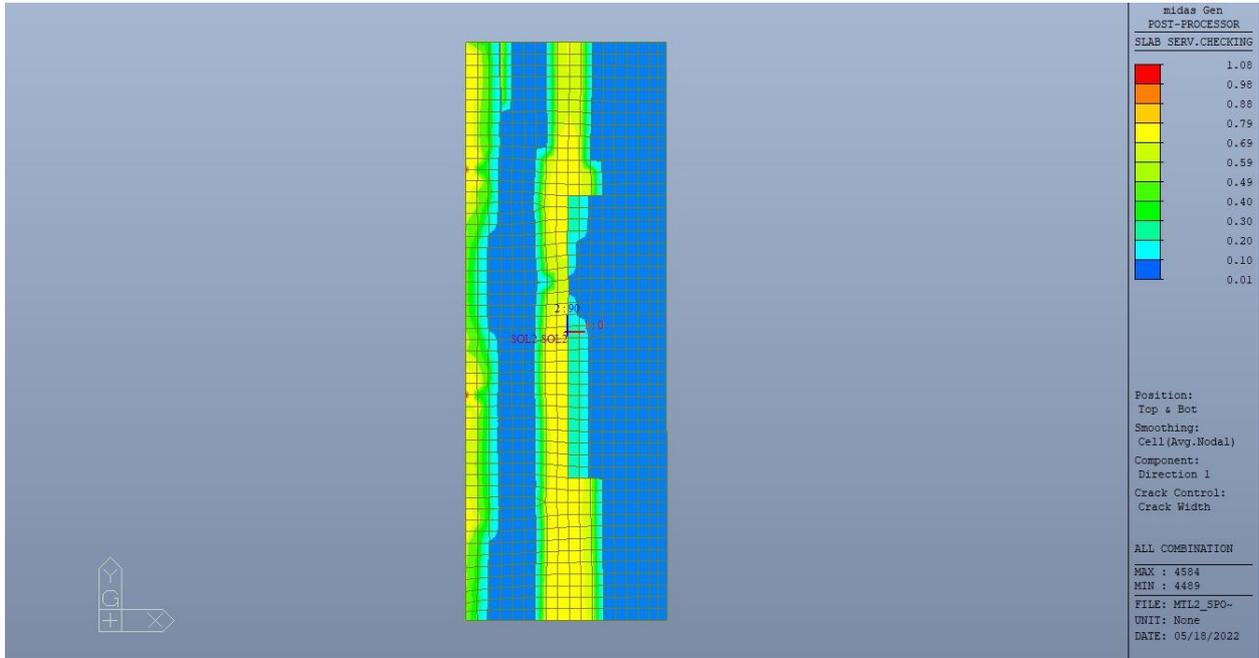
Stabilito la classe ambientale, in funzione della tipologia di armatura, se sensibile o poco sensibile alla corrosione, si determina il valore limite di apertura delle fessure.

In questo caso:

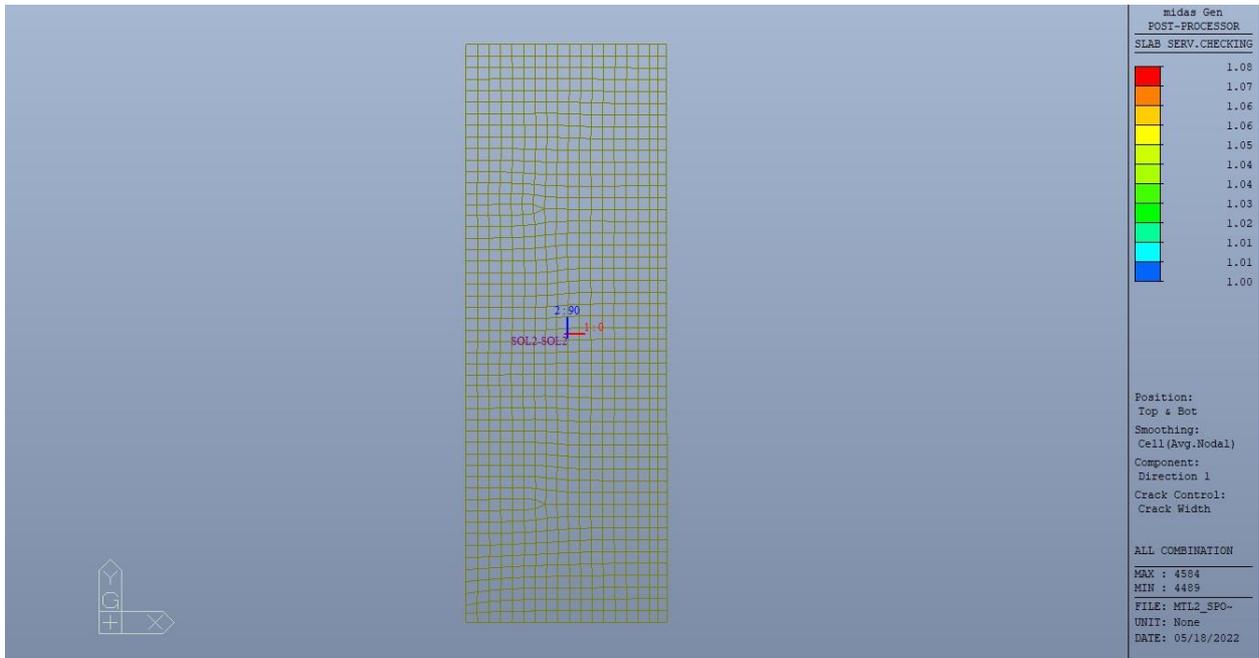
- classe di esposizione XC3;
- classe ambientale ordinaria;
- armatura poco sensibile;
- valore limite apertura delle fessure  $w_3$  (0.4mm) combinazioni SLE Frequente;
- valore limite apertura delle fessure  $w_2$  (0.3mm) combinazioni SLE Quasi Permanente.

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.

 <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 accessi stazione	2_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX



**Figura 96. Solettone SOL2 – Apertura delle fessure - Ratio Direzione 1**



**Figura 97. Solettone SOL2 – 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 accessi stazione

2\_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

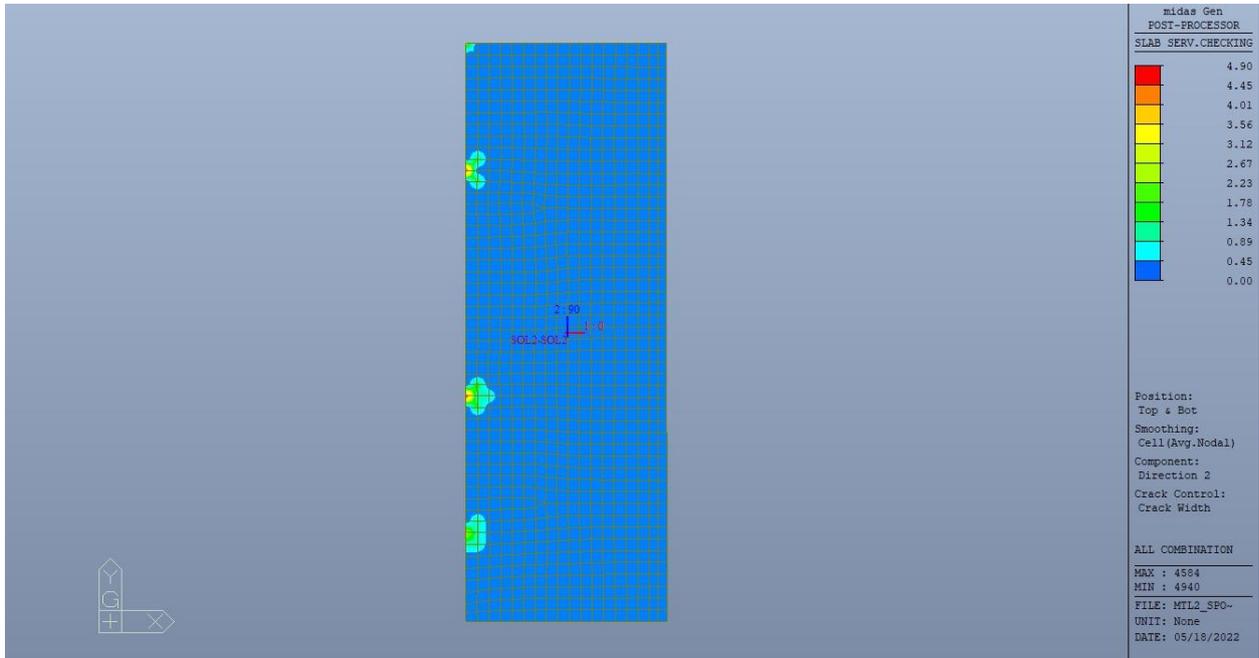


Figura 98. Solettone SOL2 – Apertura delle fessure - Ratio Direzione 2

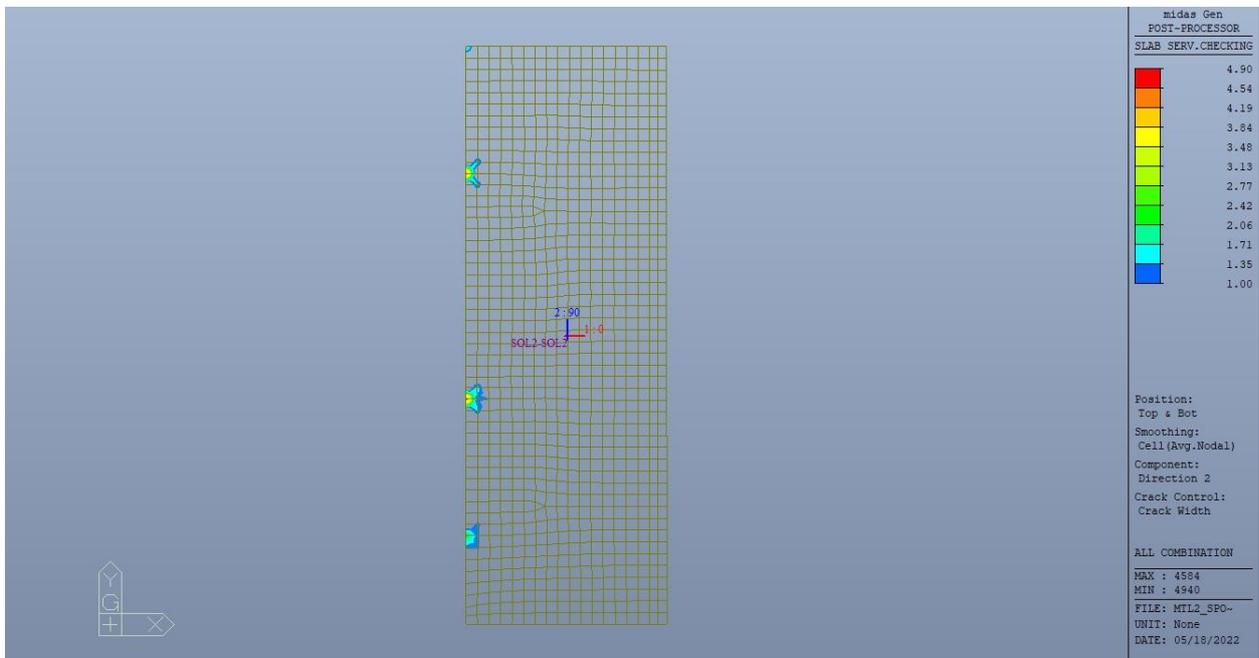


Figura 99. Solettone SOL2 – Apertura delle fessure - Ratio Direzione 2 – Zone > 1

 <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 accessi stazione	2_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.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.

### 12.2.3 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 accessi stazione

2\_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

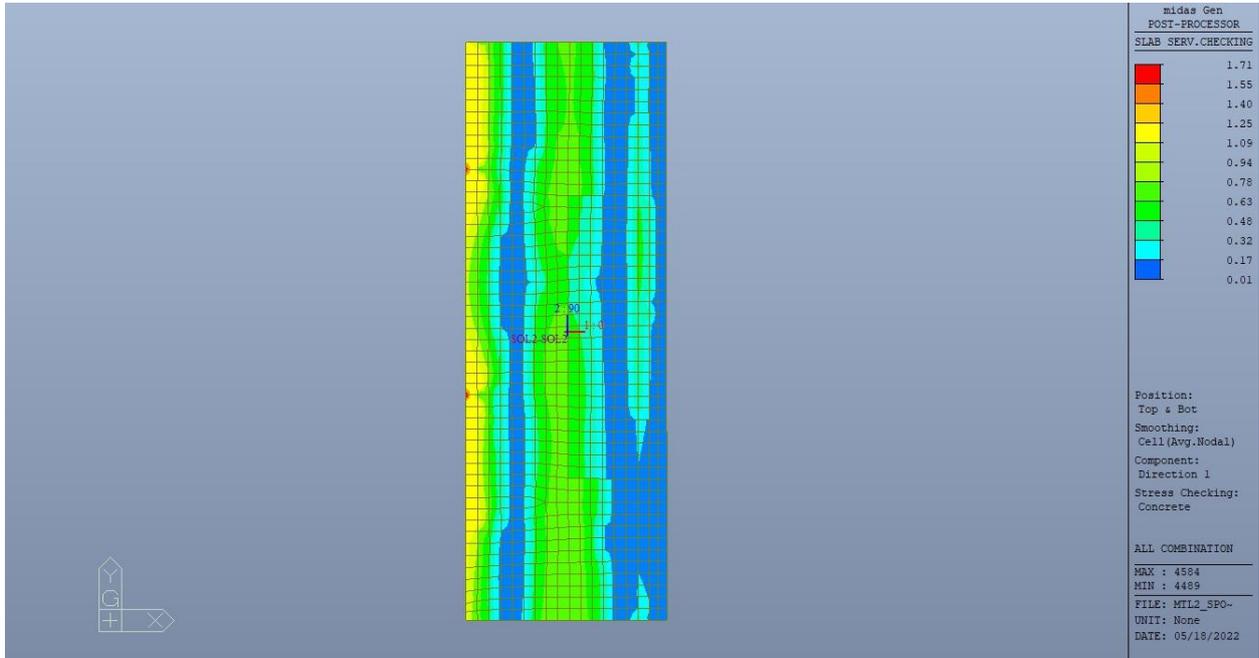


Figura 100. Solettone SOL2 – Tensioni calcestruzzo - Ratio Direzione 1

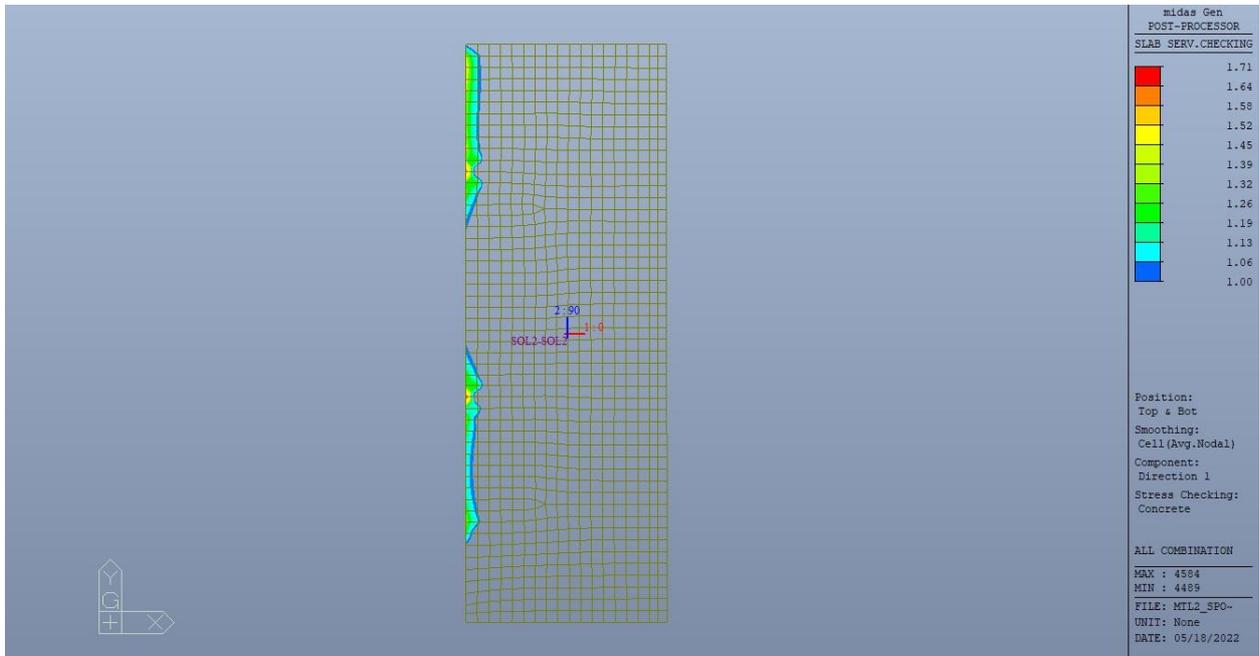


Figura 101. Solettone SOL2 – Tensioni calcestruzzo - Ratio Direzione 1 – Zone > 1



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture accessi stazione

2\_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

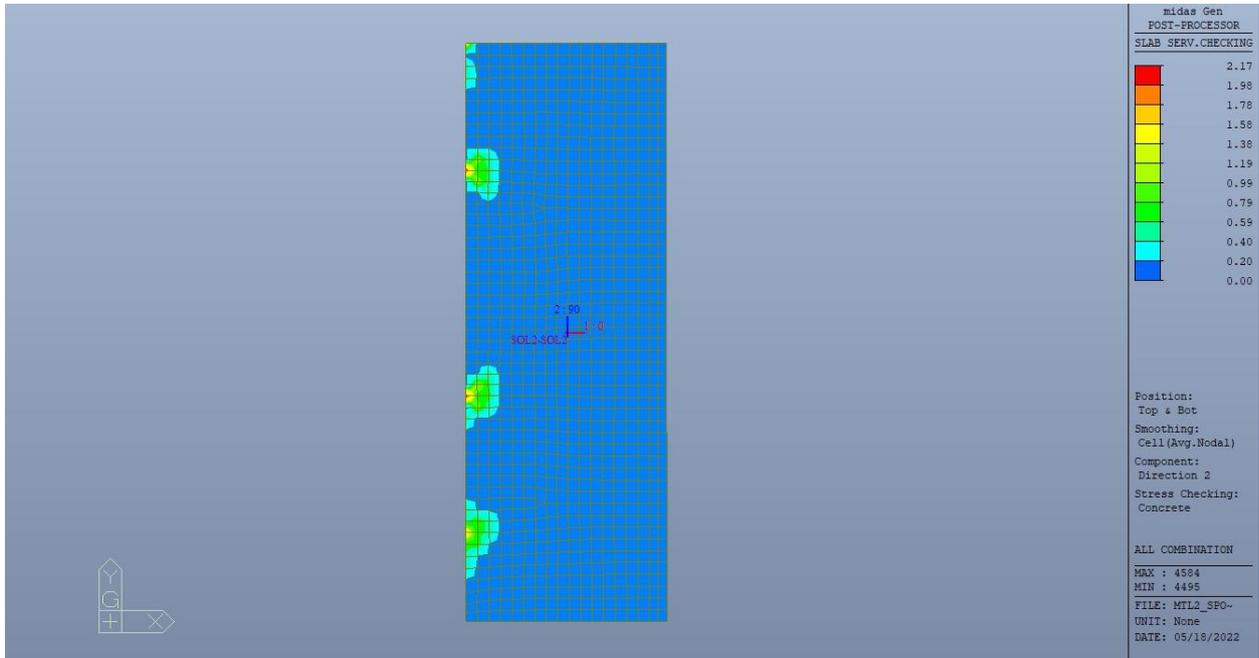


Figura 102. Solettone SOL2 – Tensioni calcestruzzo - Ratio Direzione 2

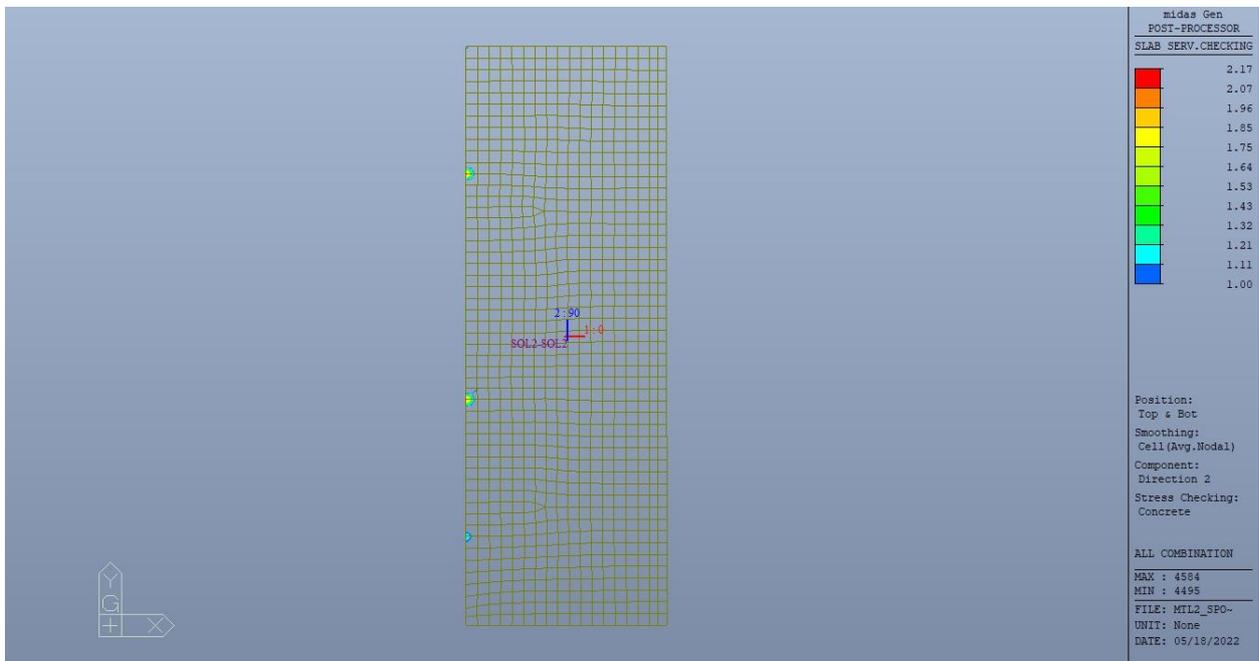


Figura 103. Solettone SOL2 – Tensioni calcestruzzo - Ratio Direzione 2 – Zone > 1



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture accessi stazione

2\_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

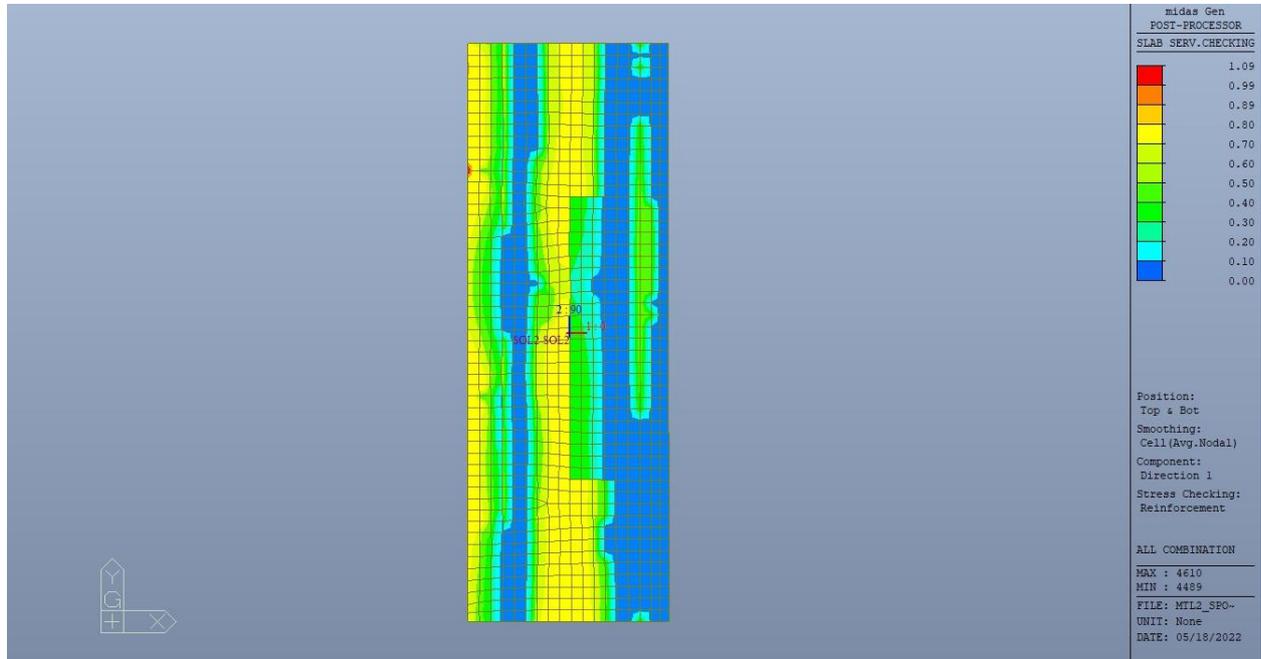


Figura 104. Solettone SOL2 – Tensioni armatura - Ratio Direzione 1

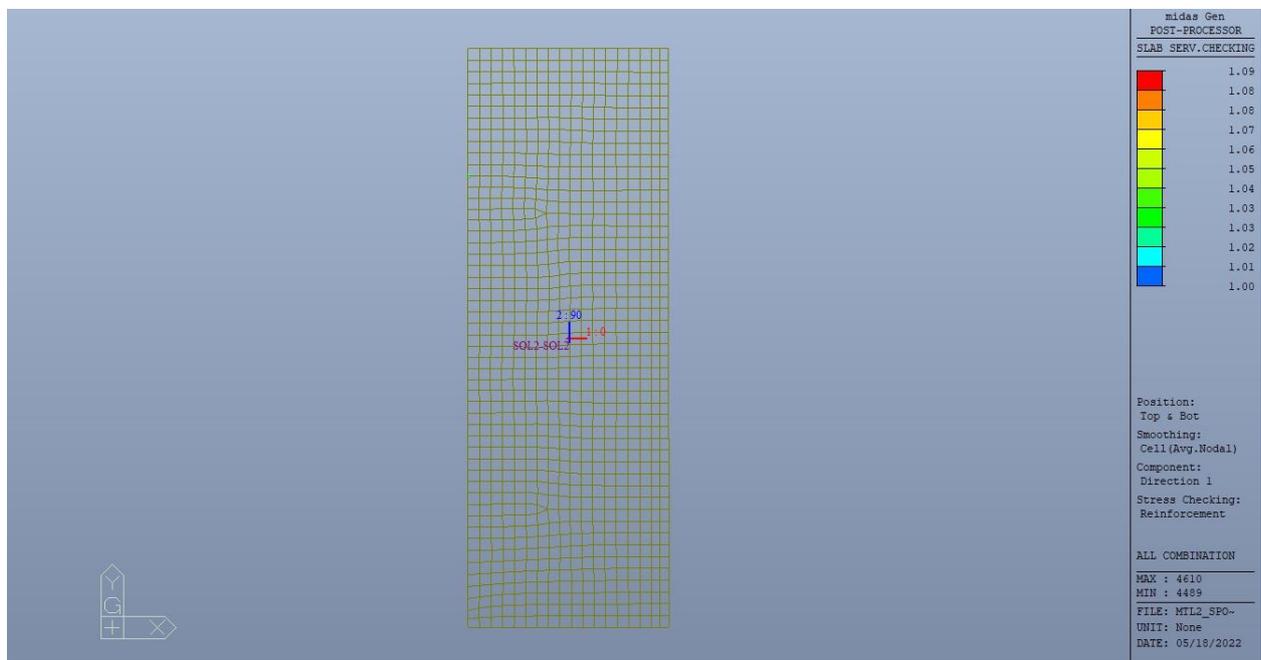


Figura 105. Solettone SOL2 – Tensioni armatura - Ratio Direzione 1 – Zone > 1



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture accessi stazione

2\_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

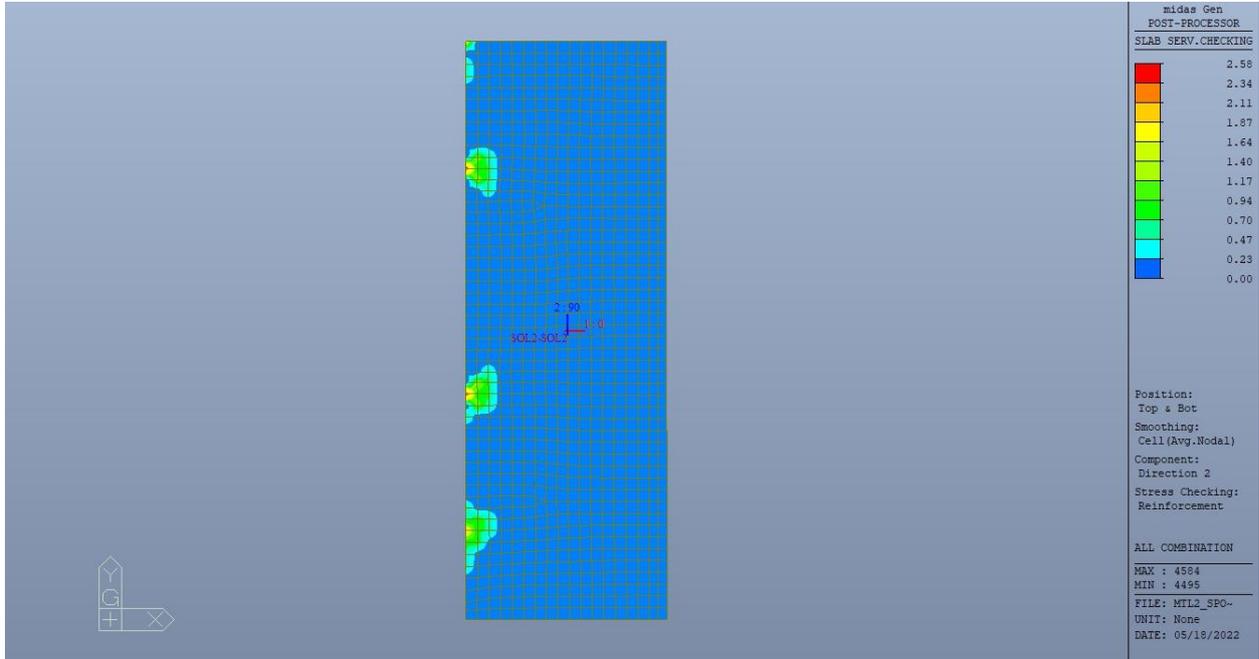


Figura 106. Solettone SOL2 – Tensioni armatura - Ratio Direzione 2

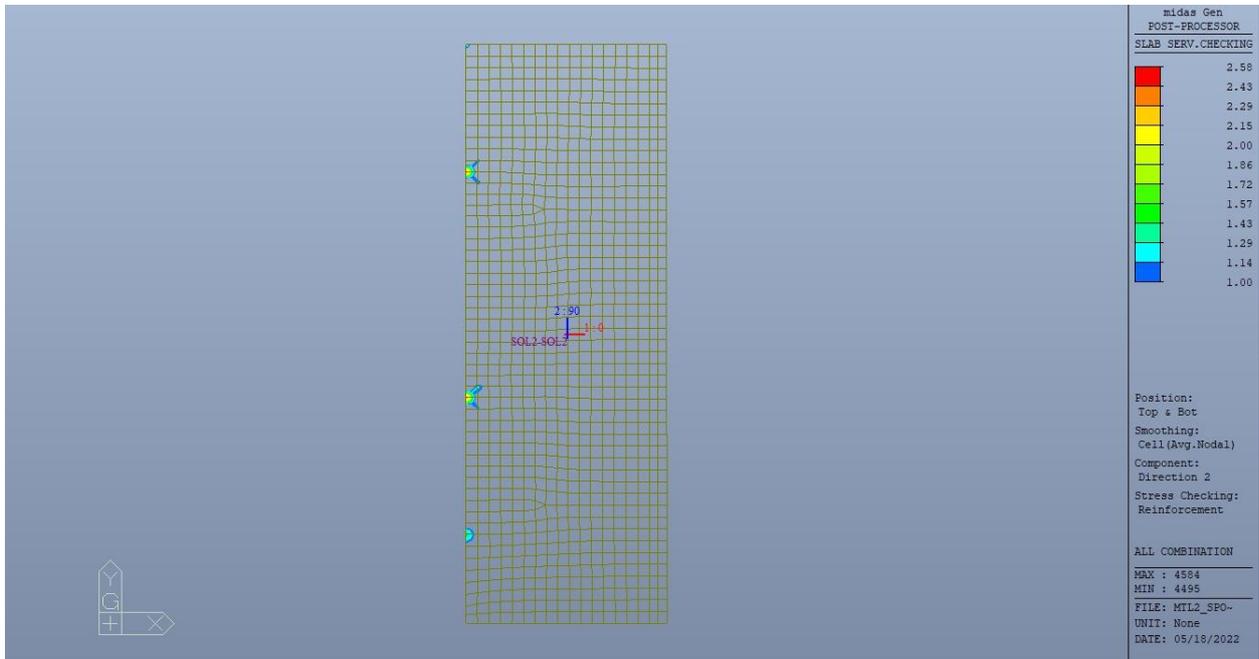


Figura 107. Solettone SOL2 – Tensioni armatura - Ratio Direzione 2 – Zone > 1

 <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 accessi stazione	2_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.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.



### 13. VERIFICA TRAVI RIBASSATE

Le travi ribassate hanno le seguenti sezioni:

- Travi perimetrali 100x160cm;
- Travi centrali 100x140cm.

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.

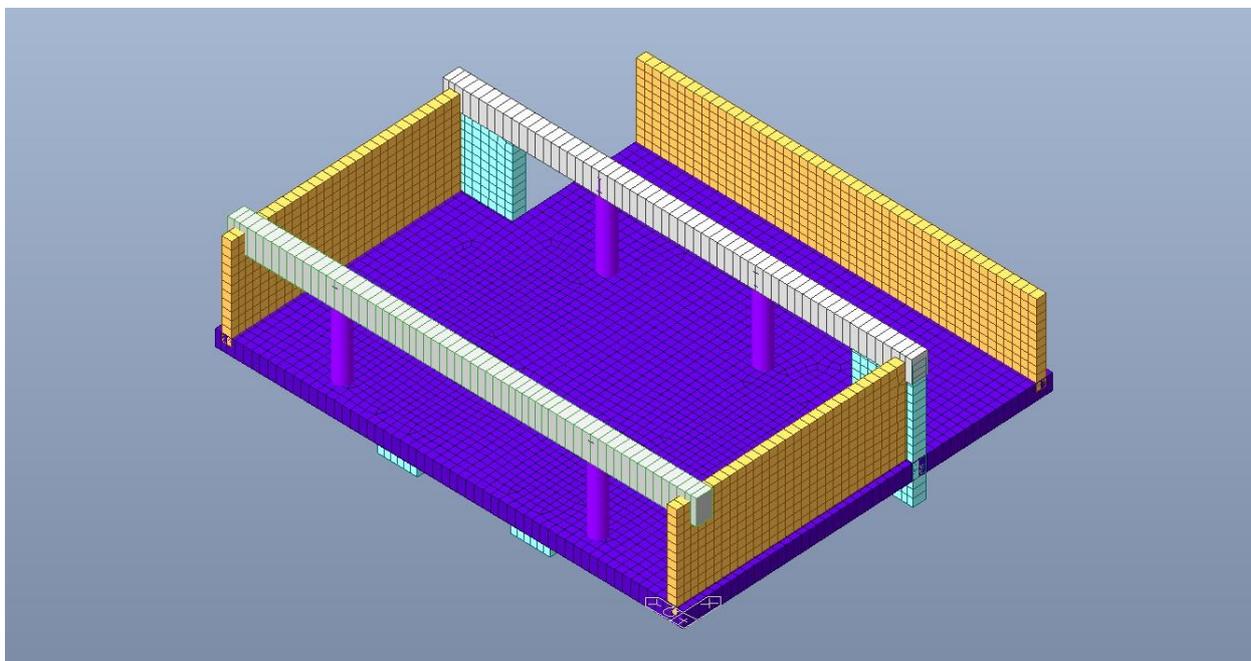
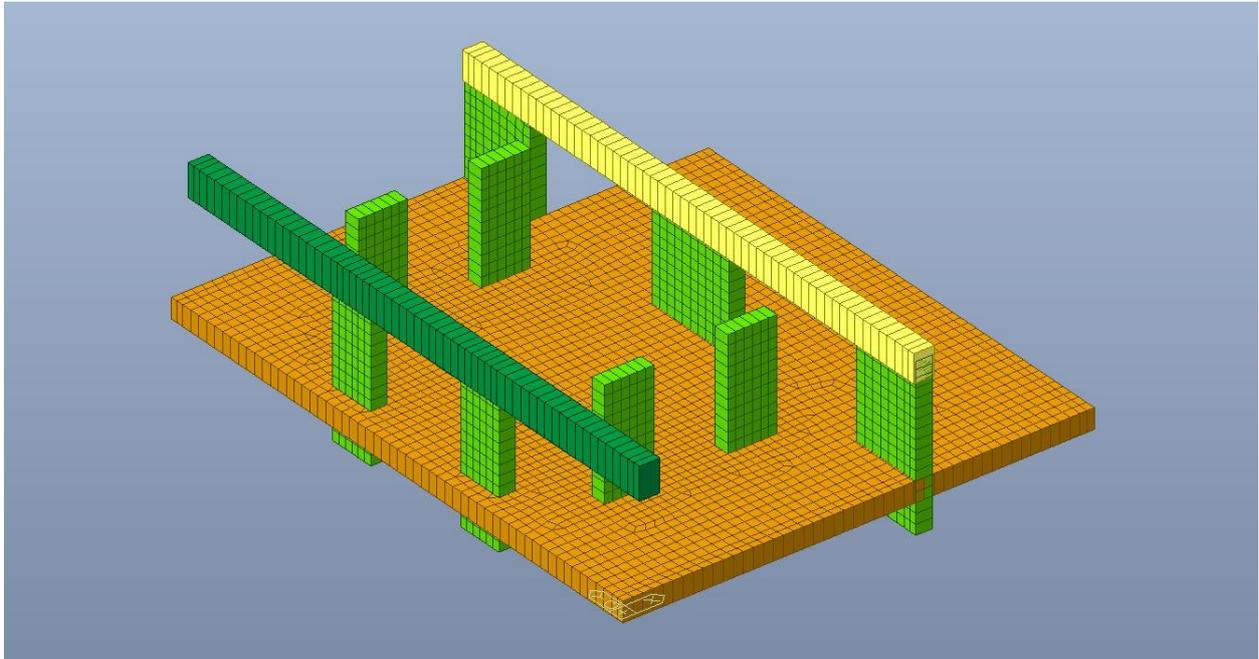


Figura 108. Travi ribassate solettone di copertura – Tempo infinito



**Figura 109. 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.

### 13.1 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 accessi stazione

2\_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

Travi 100x160

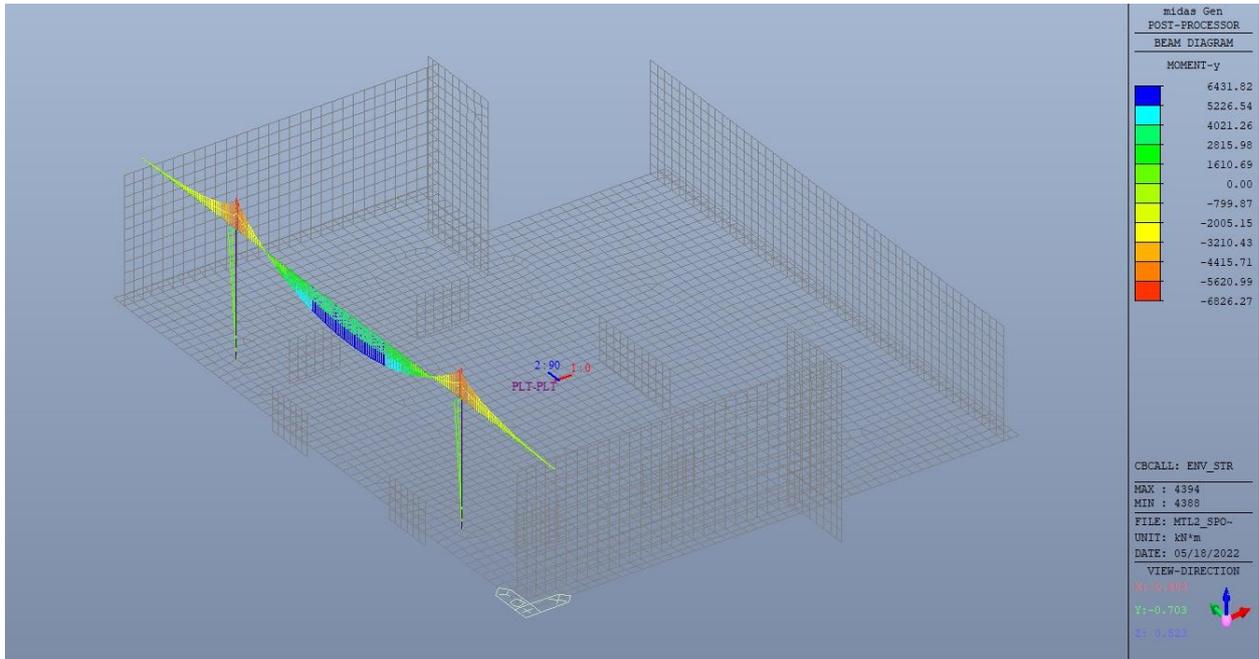


Figura 110. Travi ribassate 100x160 – Inviluppo  $M_y$  tempo infinito

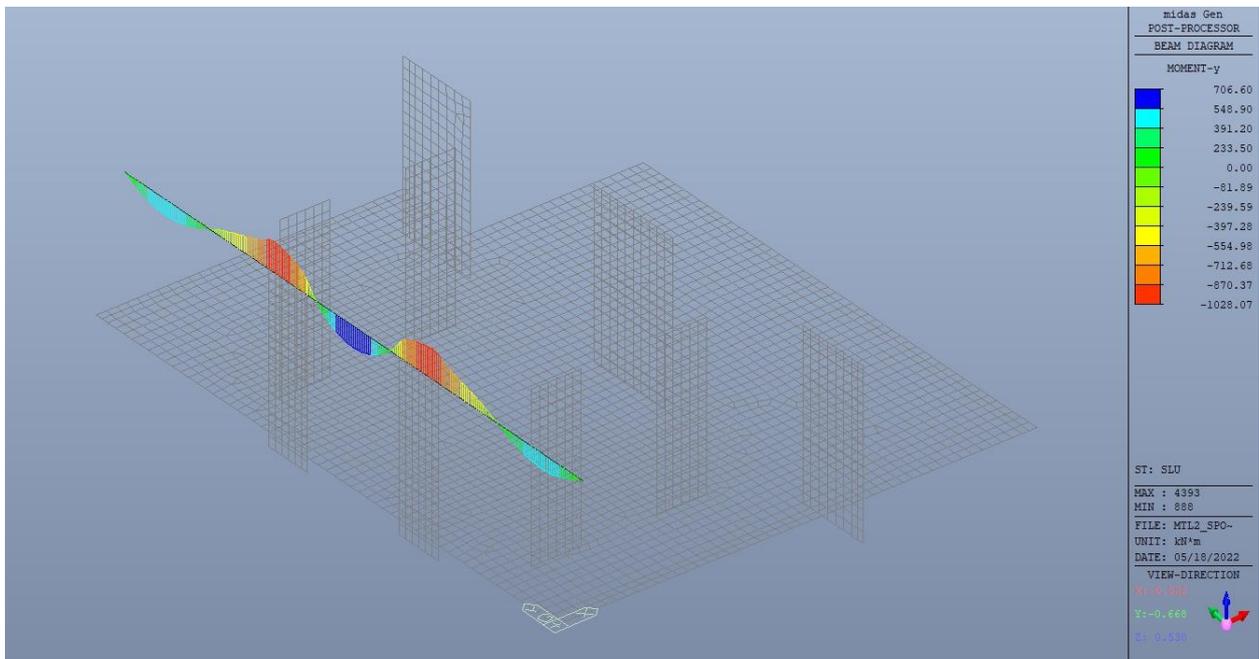


Figura 111. Travi ribassate 100x160 – Inviluppo  $M_y$  tempo zero



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture accessi stazione

2\_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

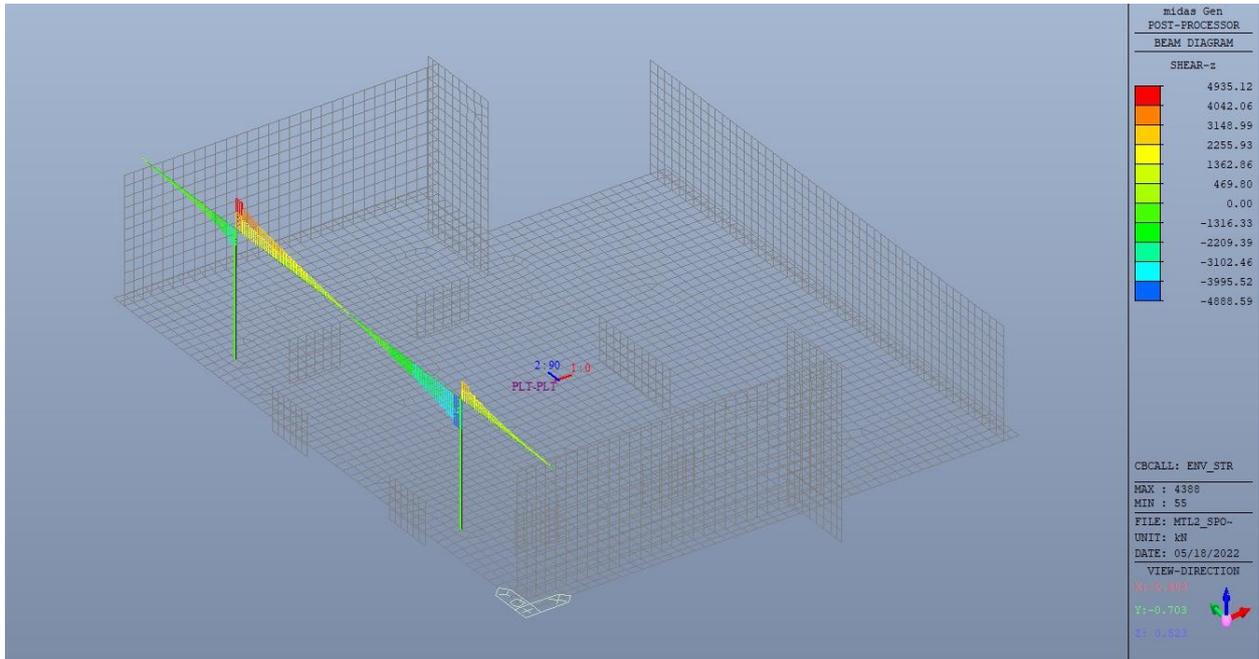


Figura 112. Travi ribassate 100x160 – Involuppo  $V_z$  tempo infinito

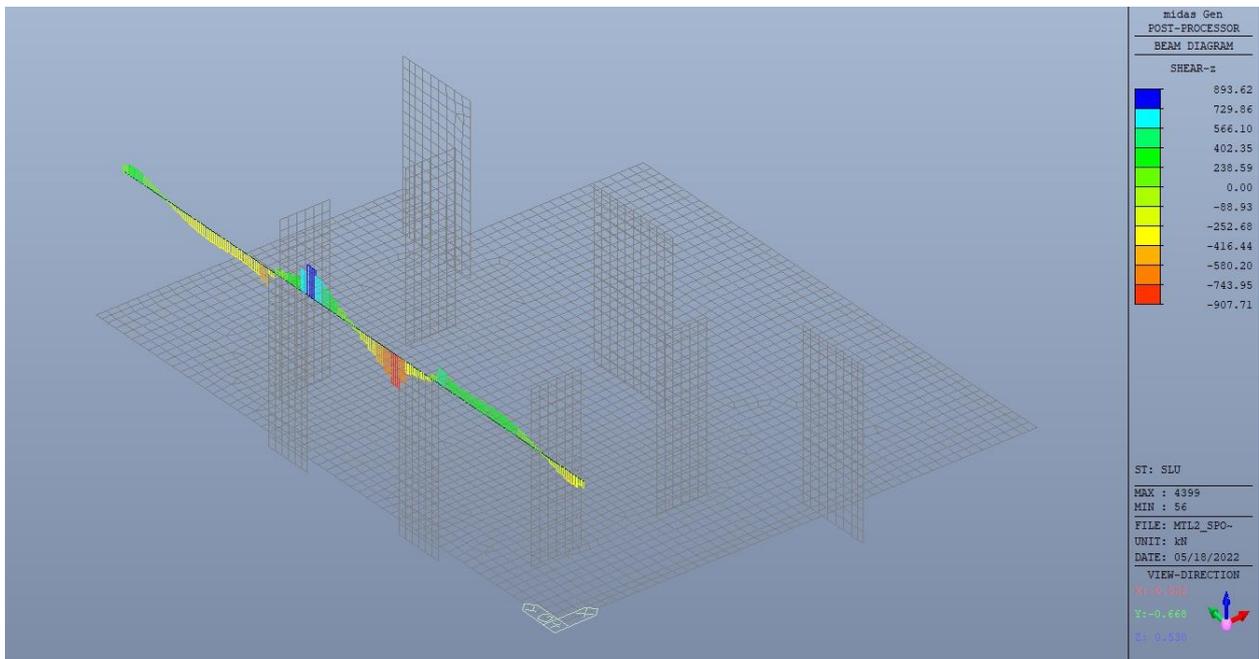


Figura 113. Travi ribassate 100x160 – Involuppo  $V_z$  tempo zero



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture accessi stazione

2\_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

Travi 100x140

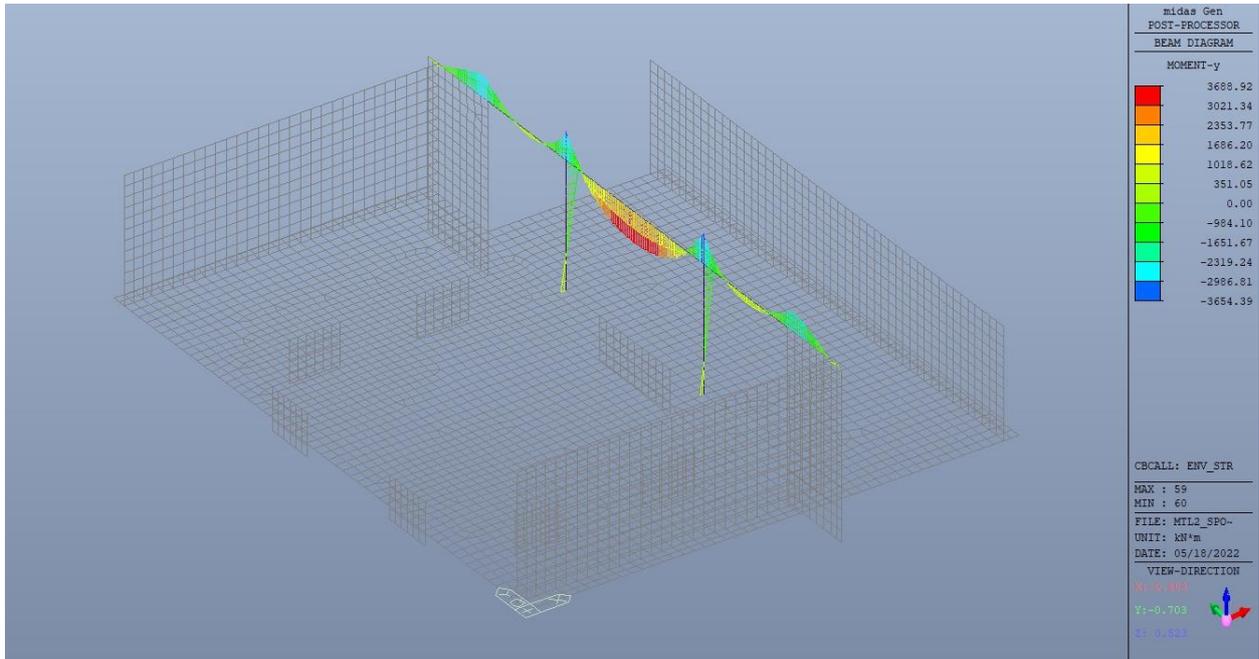


Figura 114. Travi ribassate 100x140 – Inviluppo  $M_y$  tempo infinito

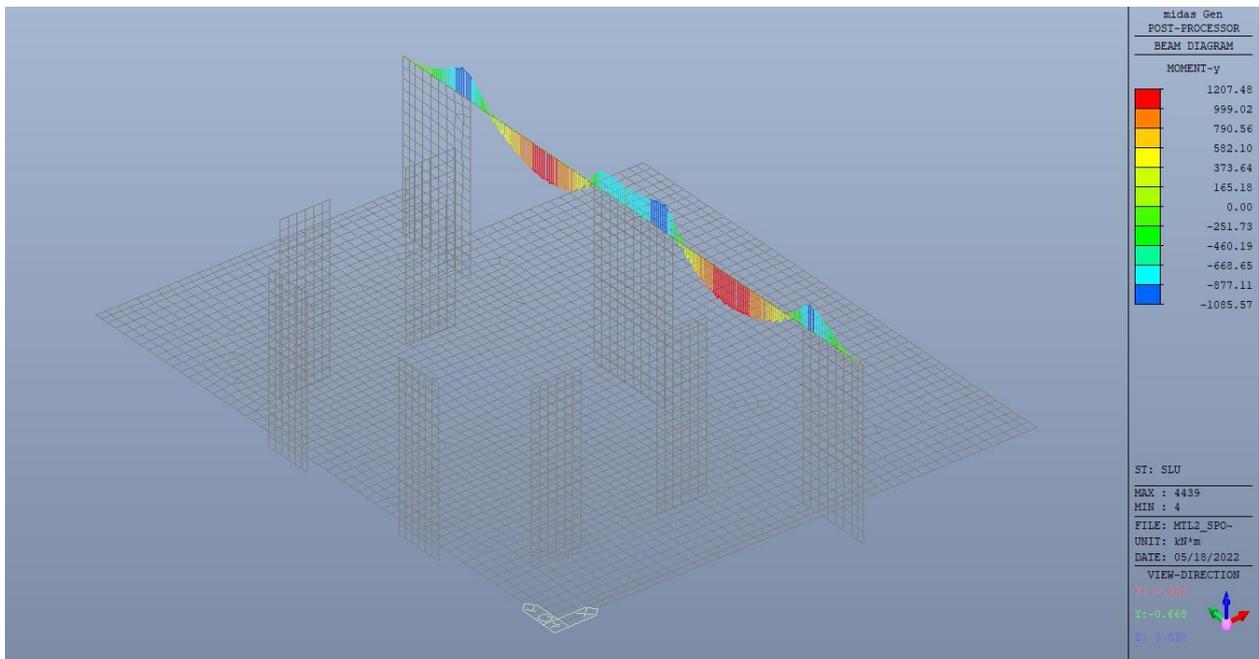


Figura 115. Travi ribassate 100x140 – Inviluppo  $M_y$  tempo zero



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture accessi stazione

2\_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

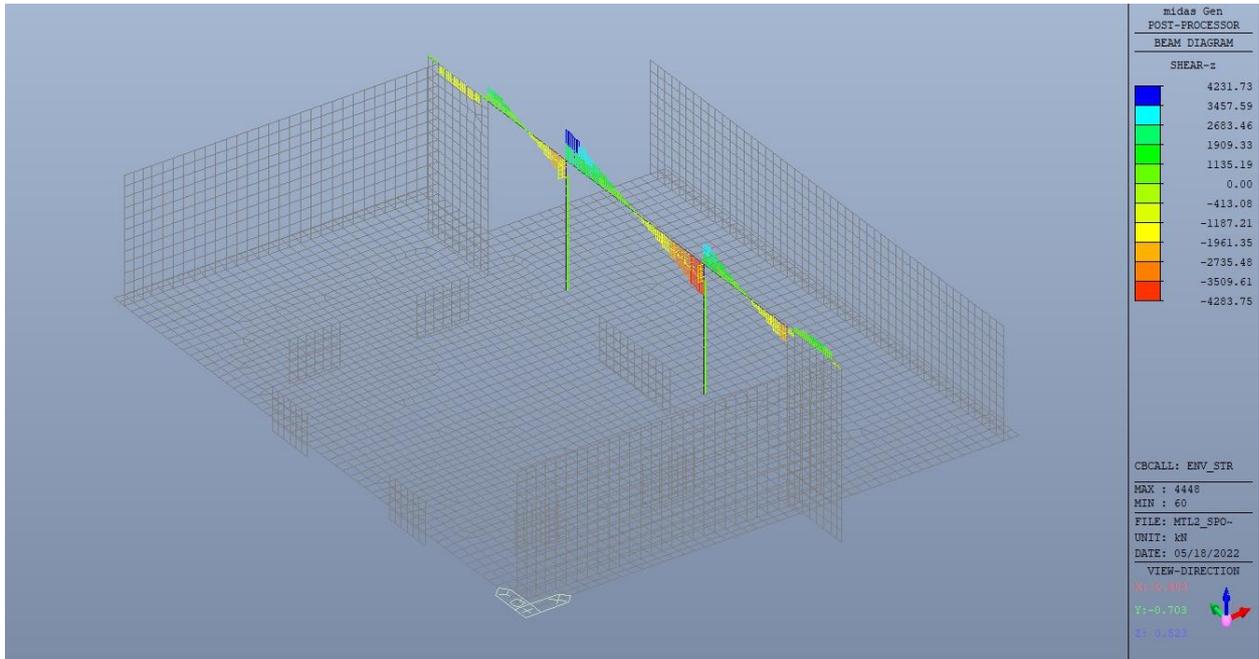


Figura 116. Travi ribassate 100x140 – Involuppo  $V_z$  tempo infinito

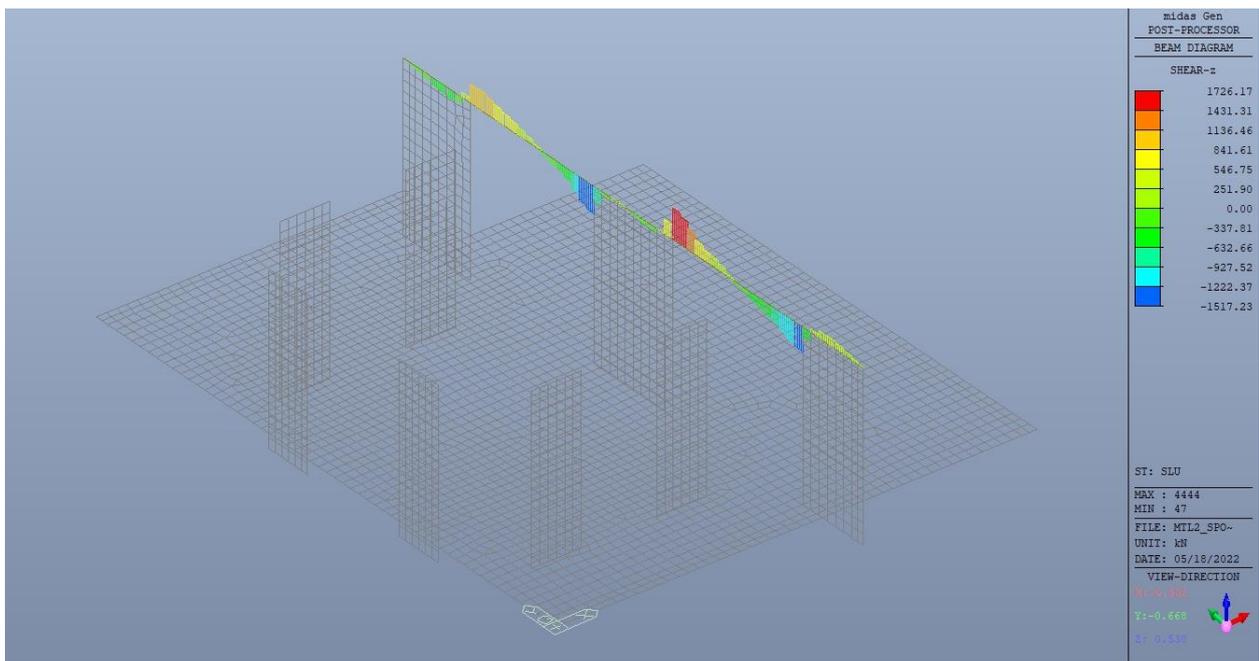


Figura 117. Travi ribassate 100x140 – Involuppo  $V_z$  tempo zero



### 13.2 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 29. Controllo armatura minima e passo minimo staffe - Travi**

Tipologia	b [cm]	h [cm]	A <sub>c</sub> [cm <sup>2</sup> ]	A <sub>i</sub> [cm <sup>2</sup> ]	A <sub>s</sub> [cm <sup>2</sup> ]	ρ [%]	ρ <sub>comp</sub> [%]	ρ <sub>min</sub> [%]	ρ <sub>max</sub> [%]	CK	ρ ST [cm]	ρ <sub>min</sub> ST [cm]	CK
TR 100x160	100	160	16000	53.1	53.1	0.33%	0.33%	0.31%	1.11%	OK	15	20.8	OK
TR 100x140	100	140	14000	53.1	53.1	0.38%	0.38%	0.31%	1.16%	OK	14	20.8	OK

#### 13.2.1 Travi 100x160

Di seguito si riporta la verifica a flessione per le sezioni maggiormente sollecitate della trave ribassata 100x160cm, considerando l'involuppo delle sollecitazioni a tempo zero e tempo infinito:

- Massimo momento negativo:
  - Superiore
    - 1° strato superiore 9d26
    - 2° strato superiore 9d26
    - 3° strato superiore 9d16
  - Inferiore
    - 1° strato inferiore 9d16
    - 2° strato inferiore 9d16
- Massimo momento positivo:
  - Superiore
    - 1° strato superiore 9d26
    - 2° strato superiore 9d26
  - Inferiore
    - 1° strato inferiore 9d16
    - 2° strato inferiore 9d16
    - 3° strato inferiore 9d16



Verifica C.A. S.L.U. - File: MTL2\_SPO\_TR100X160\_TINF\_MNEG\_01

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2018 ?

TITOLO: TR\_100x160 - ATRIO - T INF -- MNEG

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

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	160

N°	As [cm²]	d [cm]
1	47.78	150
2	47.78	142
3	47.78	26
4	47.78	18
5	47.78	10

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

Sollecitazioni  
 S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> 0 0 kN  
 M<sub>xEd</sub> -6826 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  
 E<sub>su</sub> 67.5 ‰ E<sub>c2</sub> 2 ‰  
 f<sub>yd</sub> 391.3 N/mm² E<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 ?  
 E<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> -7.371 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> 19.89 ‰  
 d 150 cm  
 x 22.45 x/d 0.1496  
 δ 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>o</sub> 0 cm Col. modello  
 M-curvatura  
 Precompresso

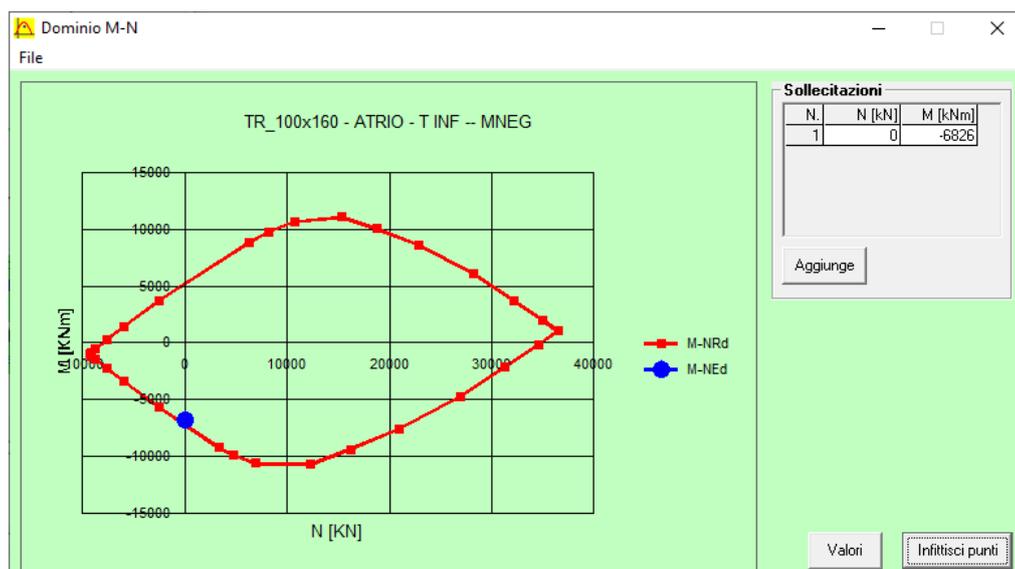


Figura 118. Travi ribassate – Verifica trave TR100x160 MAX M<sub>NEG</sub>



Verifica C.A. S.L.U. - File: MTL2\_SPO\_TR100x160\_TINF\_MPOS\_01

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2018 ?

TITOLO : TR\_100x160 - ATRIO - T INF -- MPOS

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

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	160	1	47,78	10
			2	47,78	18
			3	47,78	134
			4	47,78	142
			5	47,78	150

Tipologia sezione:  Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.  
 DXF

Diagramma della sezione rettangolare con barre di armatura.

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> 0 kN  
M<sub>xEd</sub> 6432 kNm  
M<sub>yEd</sub> 0 kNm

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

Tipologia 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> 7,371 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> 19,89 ‰  
d 150 cm  
x 22,45 x/d 0,1496  
δ 0,7

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

Tipologia flessione:  Retta  Deviate

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

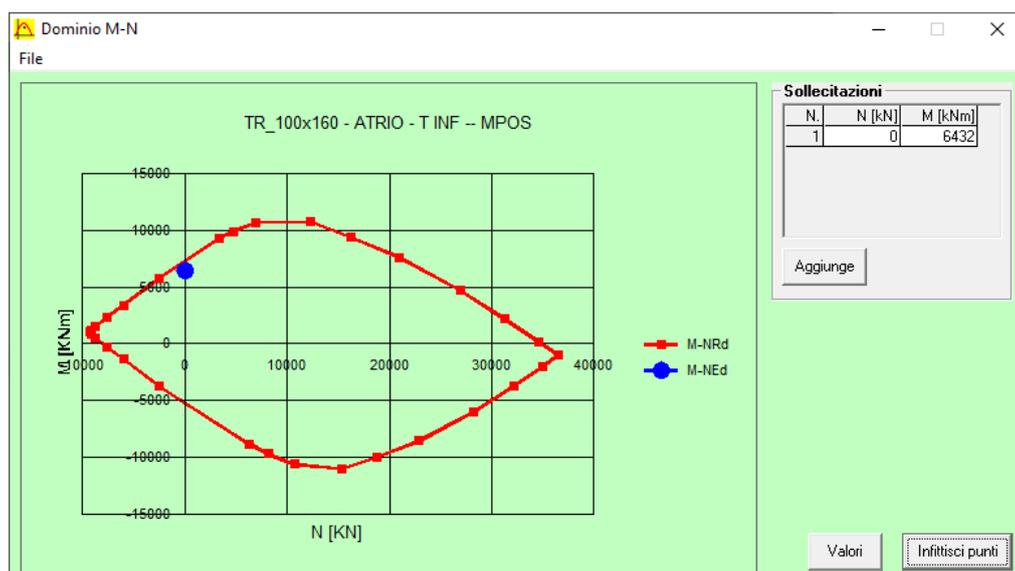


Figura 119. Travi ribassate – Verifica trave TR100x160 MAX M<sub>Pos</sub>



Resistenza a taglio di progetto.

**Tabella 30. Verifica taglio – TR100x160**

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
b	1000	mm	base trave
c	100	mm	copriferro
d	1500	mm	altezza utile sezione
k	1.37		
$\rho_1$	0.35	%	rapporto geometrico di armatura longitudinale
$v_{min}$	0.309		
$V_{Rd}$	544.35	kN	
$V_{Rd,min}$	464.05	kN	
<b><math>V_{Rd,c}</math></b>	<b>544.35</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	150	mm	passo staffe
$\gamma_s$	1.15		
$\alpha$	90	°	
cotg teta	1		
$V_{Rsd}$	4423.30	kN	resistenza di progetto a taglio - lato acciaio
$\alpha_c$	1		
v	0.5		
$f_{cd}$	17.40	N/mm <sup>2</sup>	
$V_{Rcd}$	5873.29	kN	resistenza di progetto a taglio - lato calcestruzzo
<b><math>V_{Rd}</math></b>	<b>4423.30</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 a filo pilastro, pari a 3978 kN.

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 accessi stazione	2_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

### 13.2.2 Travi 100x140

Di seguito si riporta la verifica a flessione per le sezioni maggiormente sollecitate della trave ribassata 100x140cm, considerando l'involuppo delle sollecitazioni a tempo zero e tempo infinito:

- Massimo momento negativo:
  - Superiore                    1° strato esterno 9d26  
    2° strato interno 9d26
  - Inferiore                     1° strato esterno 9d26
  
- Massimo momento positivo:
  - Superiore                    1° strato esterno 9d26
  - Inferiore                     1° strato esterno 9d26  
    2° strato interno 9d26



Verifica C.A. S.L.U. - File: MTL2\_SPO\_TR100X140\_TINF\_MNEG\_01

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2018 ?

TITOLO : TR\_100x140 - ATRIO - T INF -- MNEG

N° figure elementari 1 Zoom N° strati barre 3 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	140

N°	As [cm²]	d [cm]
1	47,78	10
2	47,78	18
3	47,78	130

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> 0 kN  
M<sub>xEd</sub> -3654 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> -4.405 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> 23,14 ‰  
d 130 cm  
x 17,08 x/d 0,1314  
δ 0,7

Metodo di calcolo 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  
M-curvatura  
Precompresso

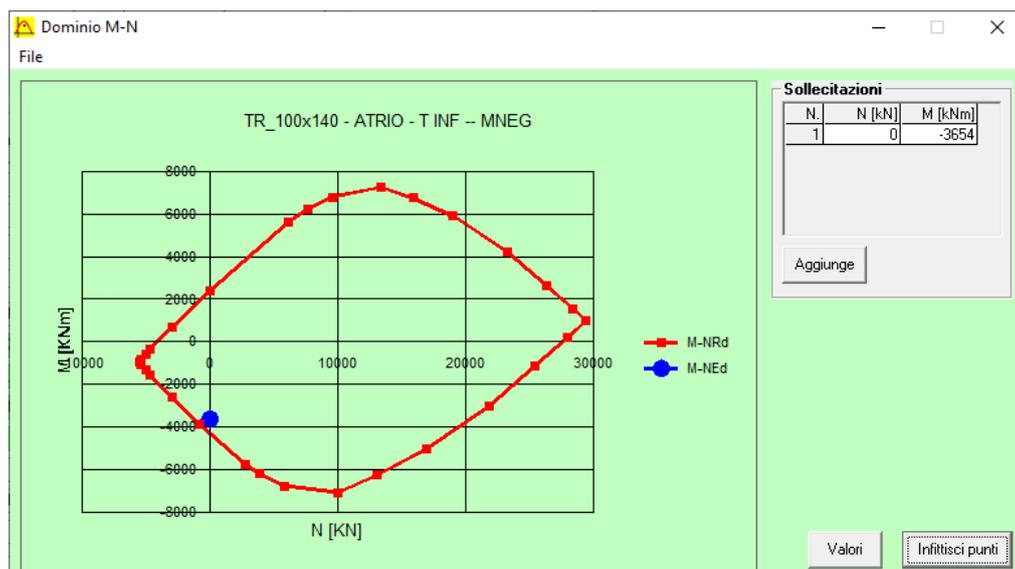


Figura 120. Travi ribassate – Verifica trave TR100x140 MAX M<sub>NEG</sub>



Verifica C.A. S.L.U. - File: MTL2\_SPO\_TR100X140\_TINF\_MPOS\_01

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2018 ?

TITOLO : TR\_100x140 - ATRIO - T INF -- MPOS

N° figure elementari 1 Zoom N° strati barre 3 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	140	1	47.78	10
			2	47.78	122
			3	47.78	130

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> 0 0 kN  
M<sub>xEd</sub> 3689 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

$\epsilon_{su}$  67.5 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰  
 $f_{yd}$  391.3 N/mm²  $\epsilon_{cu}$  3.5 ‰  
 $E_s$  200.000 N/mm²  $f_{cd}$  17  
 $E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  0.8 ?  
 $\epsilon_{syd}$  1.957 ‰  $\sigma_{c,adm}$  11.5  
 $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm²  $\tau_{co}$  0.6933  
 $\tau_{c1}$  2.029

M<sub>xRd</sub> 4.405 kN m  
 $\sigma_c$  -17 N/mm²  
 $\sigma_s$  391.3 N/mm²  
 $\epsilon_c$  3.5 ‰  
 $\epsilon_s$  23.14 ‰  
d 130 cm  
x 17.08 x/d 0.1314  
 $\delta$  0.7

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

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  
M-curvatura  
 Precompresso

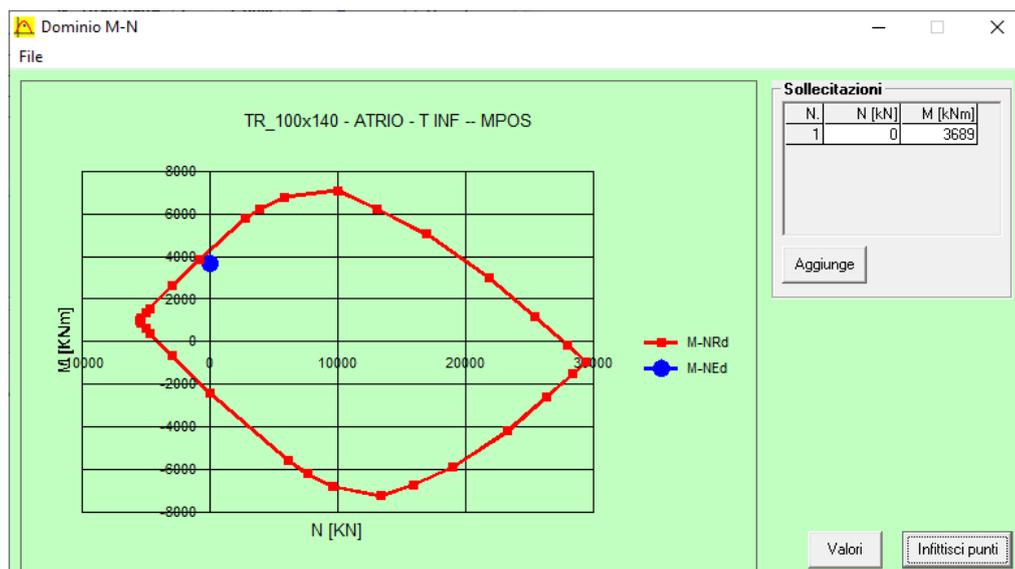


Figura 121. Travi ribassate – Verifica trave TR100x140 MAX M<sub>Pos</sub>



Resistenza a taglio di progetto.

**Tabella 31. 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
b	1000	mm	base trave
c	100	mm	copriferro
d	1300	mm	altezza utile sezione
k	1.39		
$\rho_1$	0.410	%	rapporto geometrico di armatura longitudinale
$v_{min}$	0.319		
$V_{Rd}$	504.64	kN	
$V_{Rd,min}$	414.21	kN	
<b><math>V_{Rd,c}</math></b>	<b>1135.31</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	140	mm	passo staffe
$\gamma_s$	1.15		
$\alpha$	90	°	
cotg teta	1		
$V_{Rsd}$	4107.35	kN	resistenza di progetto a taglio - lato acciaio
$\alpha_c$	1		
v	0.5		
$f_{cd}$	17.40	N/mm <sup>2</sup>	
$V_{Rcd}$	5090.18	kN	resistenza di progetto a taglio - lato calcestruzzo
<b><math>V_{Rd}</math></b>	<b>4107.35</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.



## 14. 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.

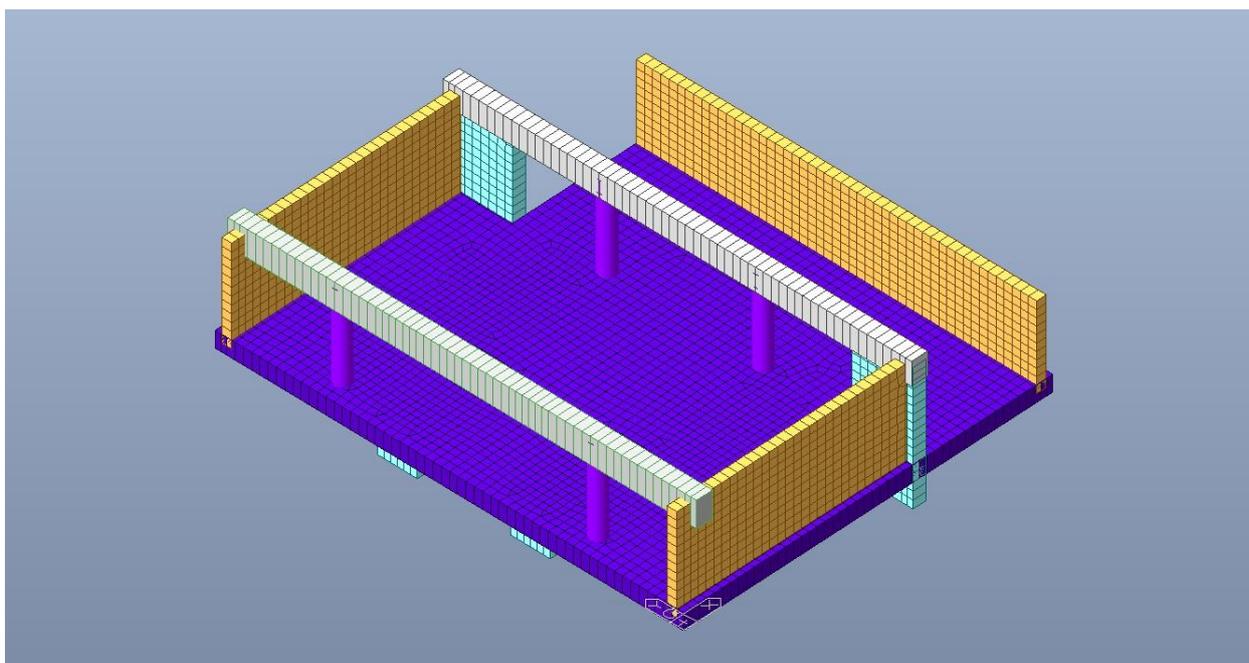


Figura 122. Pilastri – Vista 3D

Nel seguito si riportano sinteticamente i principali risultati delle analisi.

### 14.1 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 accessi stazione

2\_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

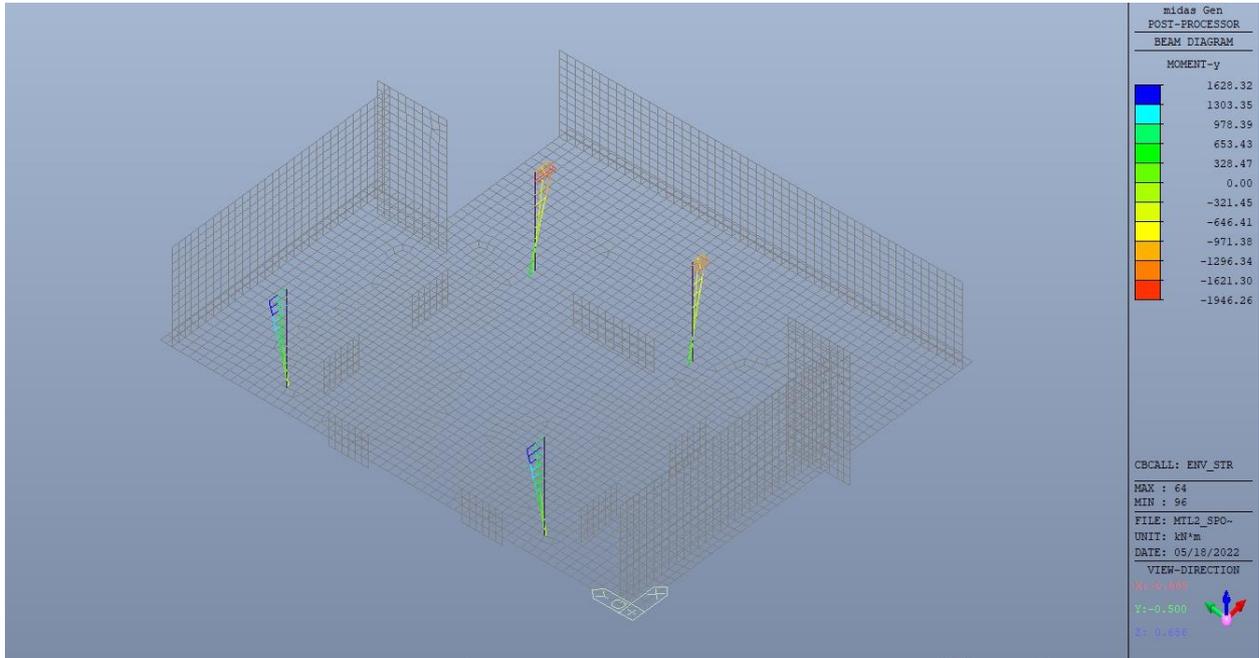


Figura 123. Pilastri – Involuppo momento flettente  $M_y$

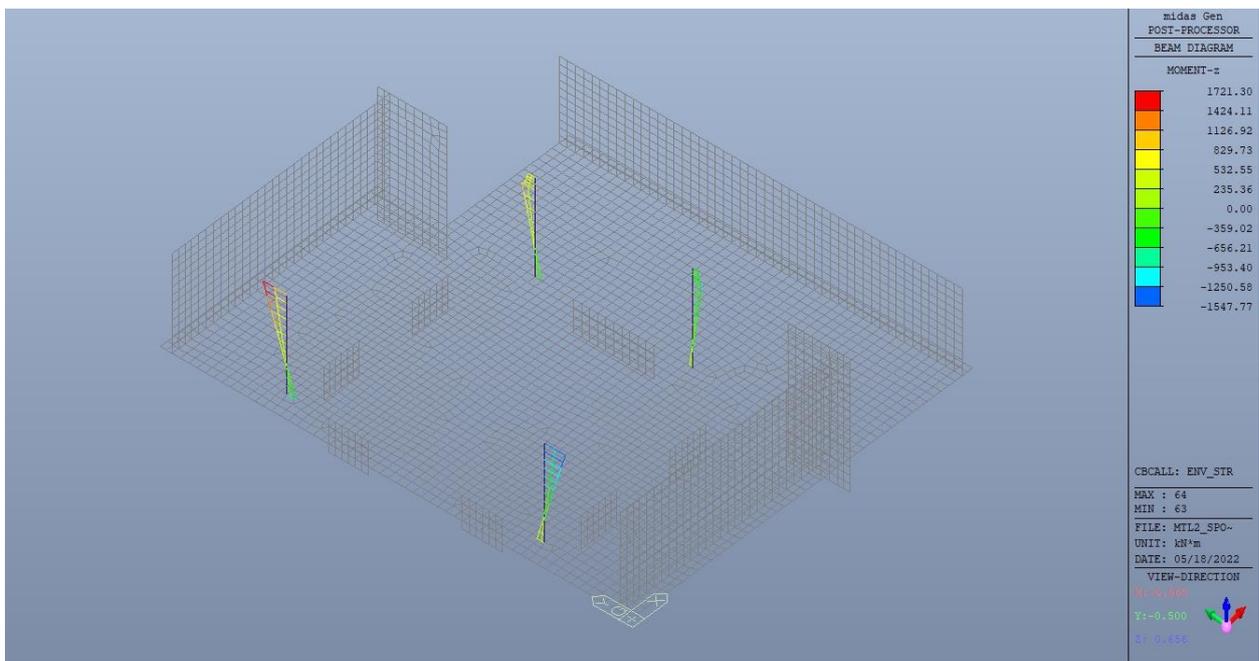


Figura 124. Pilastri – Involuppo momento flettente  $M_z$



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture accessi stazione

2\_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

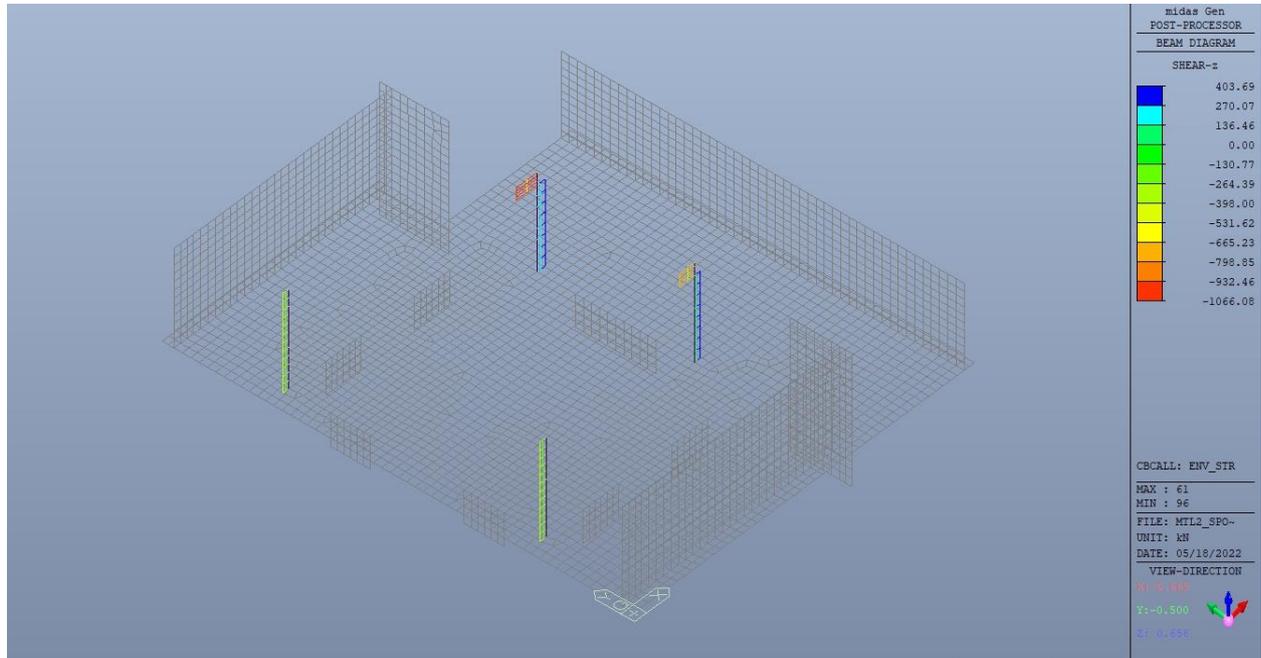


Figura 125. Pilastri – Involuppo taglio  $V_z$

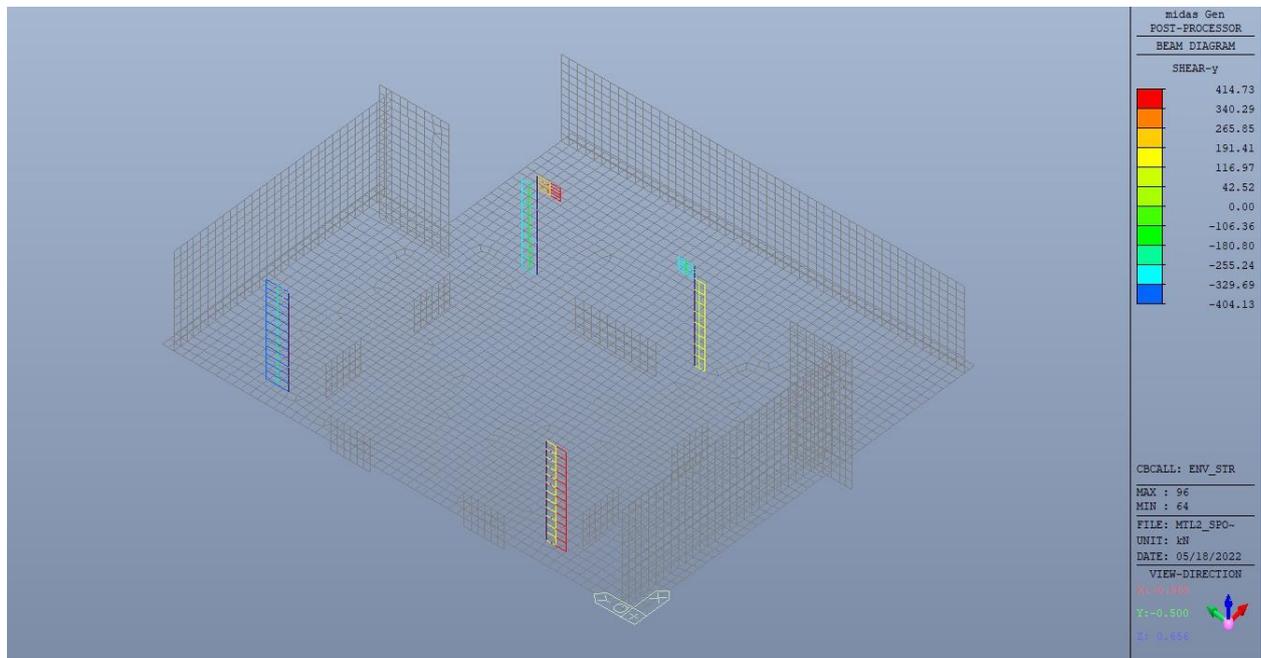


Figura 126. Pilastri – Involuppo taglio  $V_y$



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture accessi stazione

2\_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

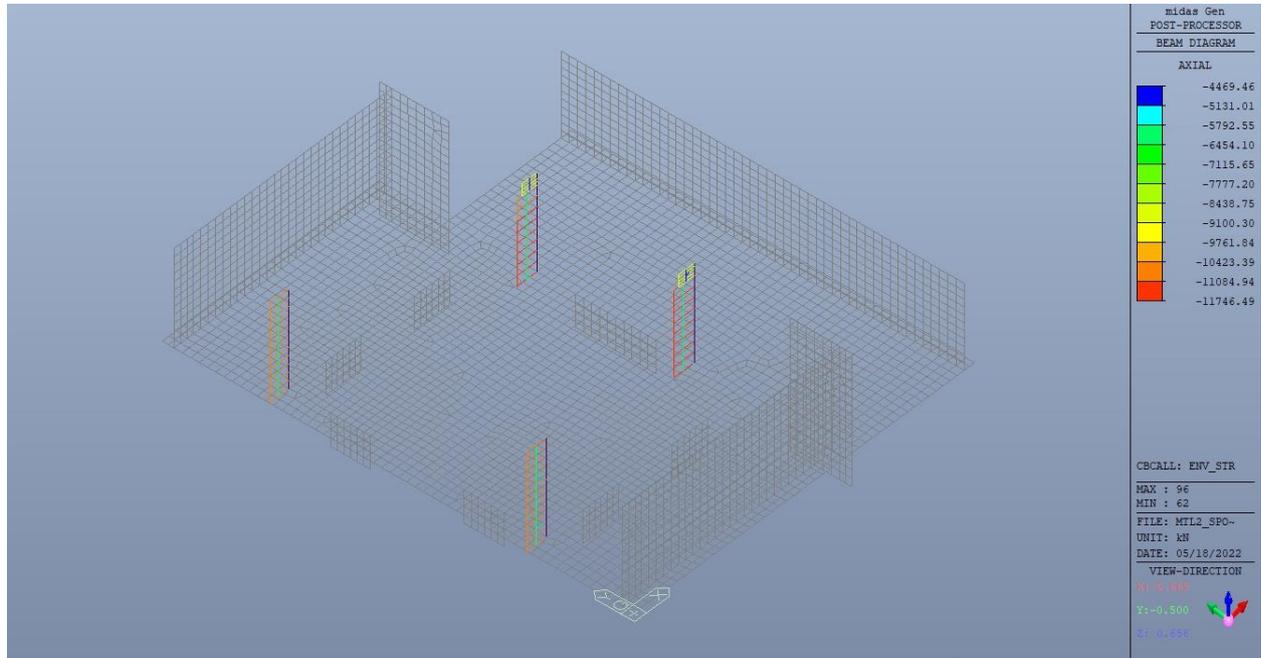


Figura 127. Pilastri – Involuppo sforzo normale N



### 14.2 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.

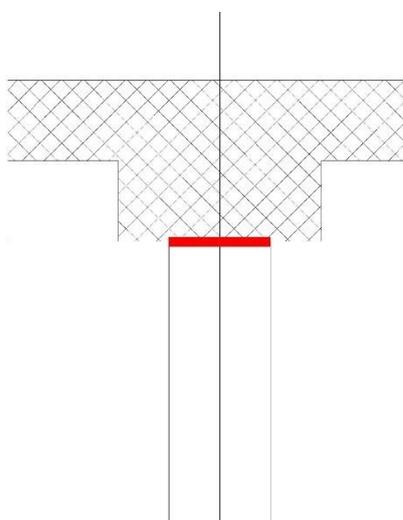


Figura 128. Pilastri – Sezione di verifica



Verifica C.A. S.L.U. - File: MTL2\_SPO\_PIL\_D100\_ATRIO\_00

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

TITOLO: PIL\_D100 - ATRIO

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>: 4484 [kN]

M<sub>xEd</sub>: 1258 [kNm]

M<sub>yEd</sub>: 1294 [kNm]

P.to applicazione N

- Centro
- Baricentro cls
- Coord.[cm]

xN: 0 yN: 0

Tipo rottura

Lato calcestruzzo - Acciaio svernato

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
- 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/mm<sup>2</sup>
- τ<sub>co</sub>: 0,6933
- τ<sub>c1</sub>: 2,029

M<sub>xRd</sub>: 1.844 [kNm]

M<sub>yRd</sub>: 1.841 [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>: 3,297 ‰

d: 91,9 [cm]

x: 47,32 x/d: 0,515

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°: 315

Precompresso

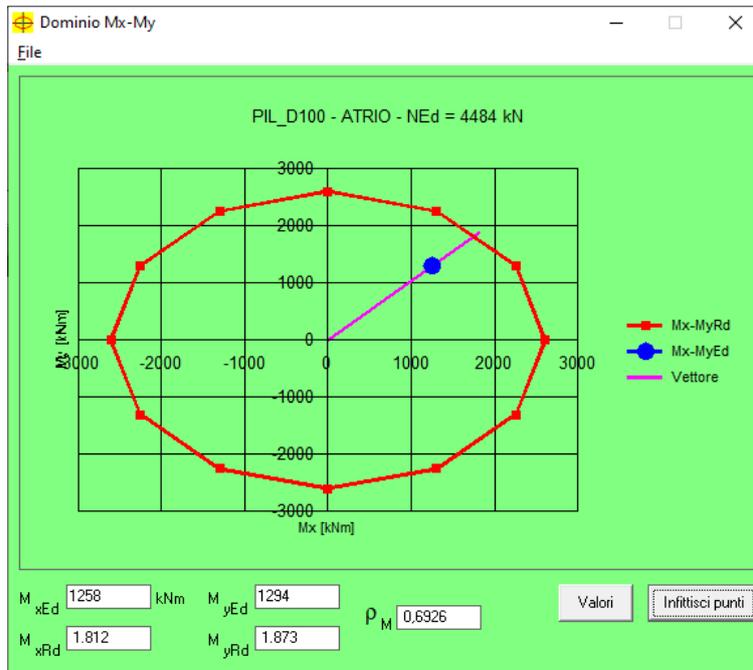


Figura 129. Pilastri – Verifica sezione più sollecitata



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 32. 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>VRd</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.

 <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 accessi stazione	2_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

## 15. VERIFICA PLATEA

### 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 accessi stazione

2\_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

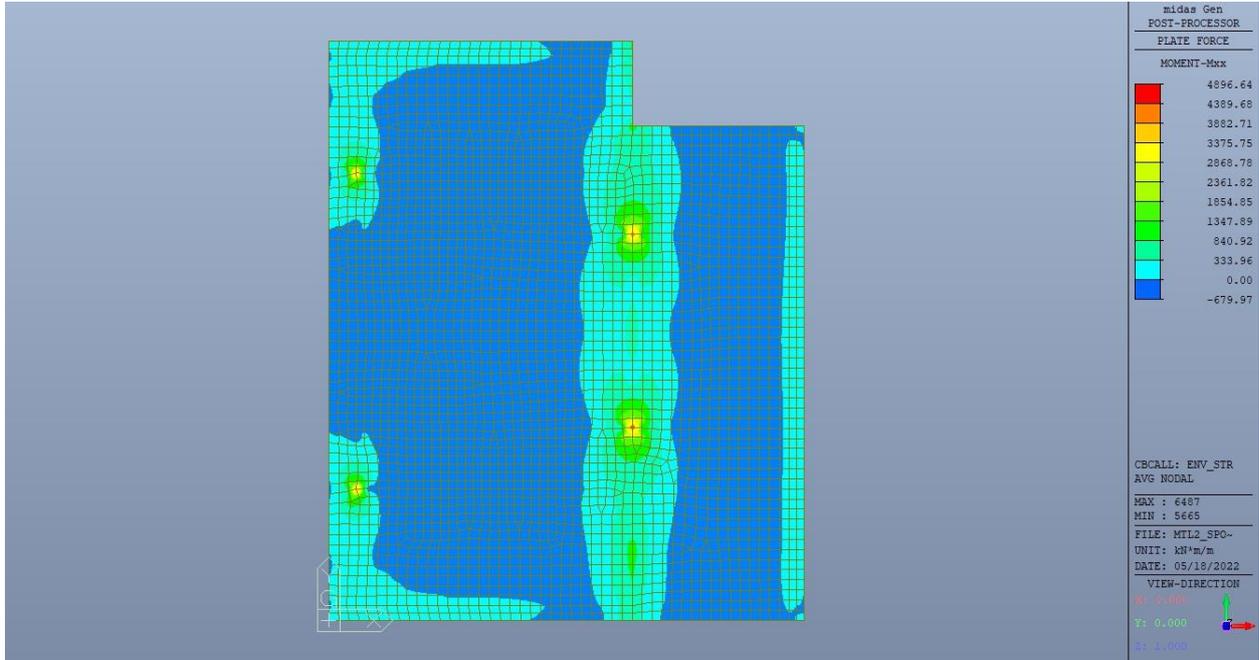


Figura 130. Platea – Involuppo momento flettente  $M_{xx}$  – Direzione X

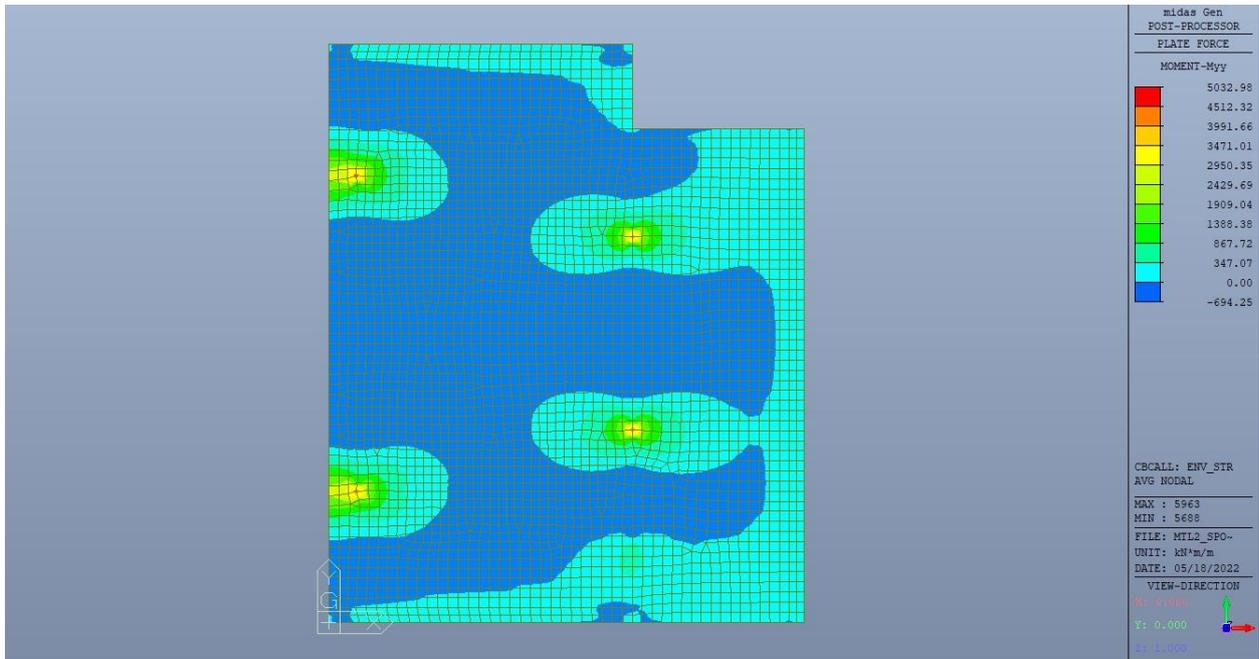


Figura 131. Platea – Involuppo momento flettente  $M_{yy}$  – Direzione Y

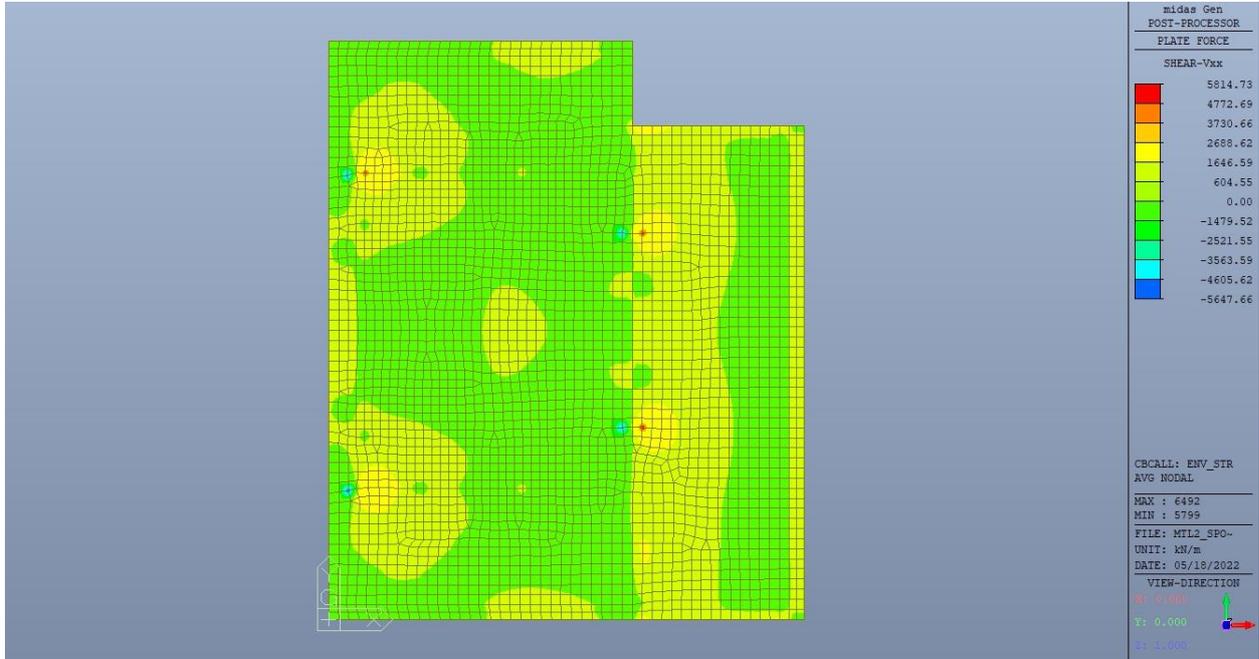


Figura 132. Platea – Involuppo taglio  $V_{xx}$  – Direzione X

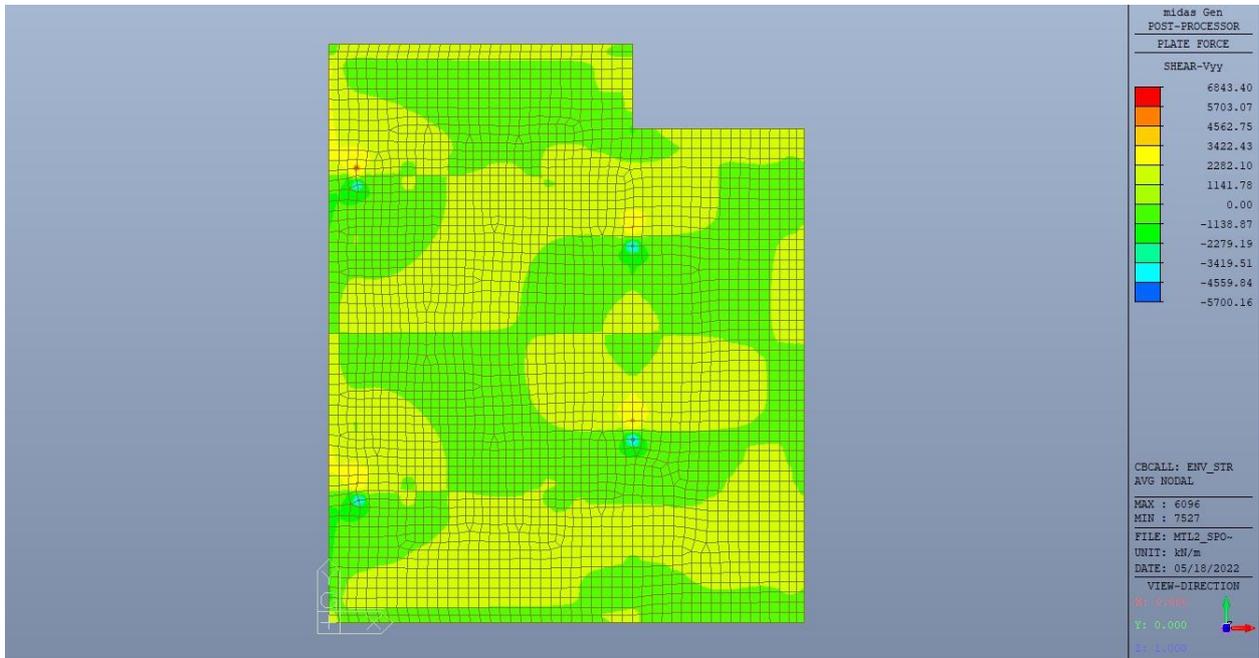


Figura 133. Platea – Involuppo taglio  $V_{yy}$  – Direzione Y

 <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 accessi stazione	2_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

### 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. 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 33. 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 H100	100	100	10000	26.55	10.00	OK	26.55	10.00	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 H100	100	100	10000	26.55	10.00	OK	26.55	10.00	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 accessi stazione

2\_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

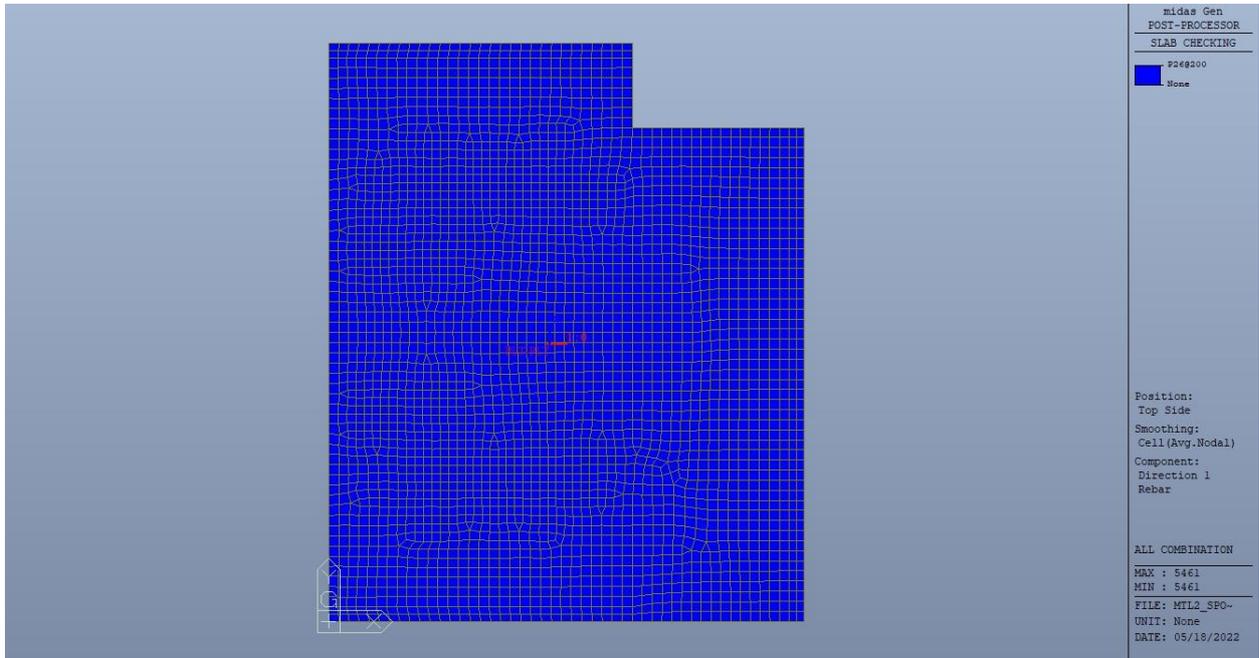


Figura 134. Platea – Armatura superiore direzione D1

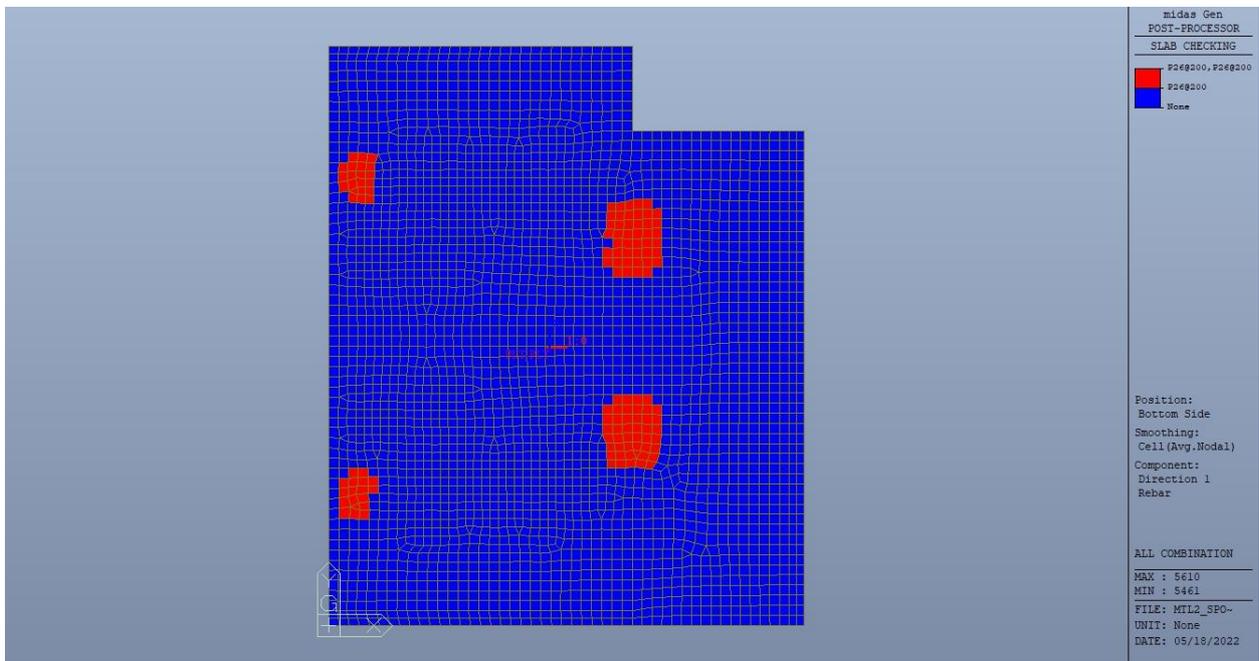


Figura 135. Platea – Armatura inferiore direzione D1



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture accessi stazione

2\_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

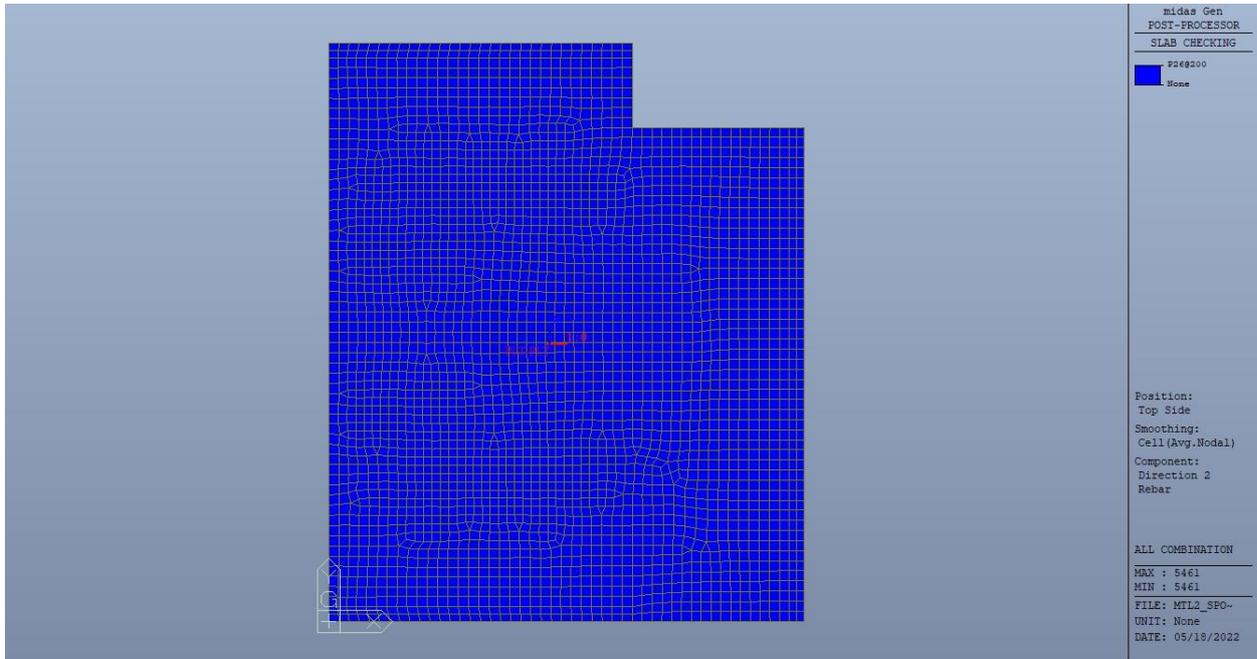


Figura 136. Platea – Armatura superiore direzione D2

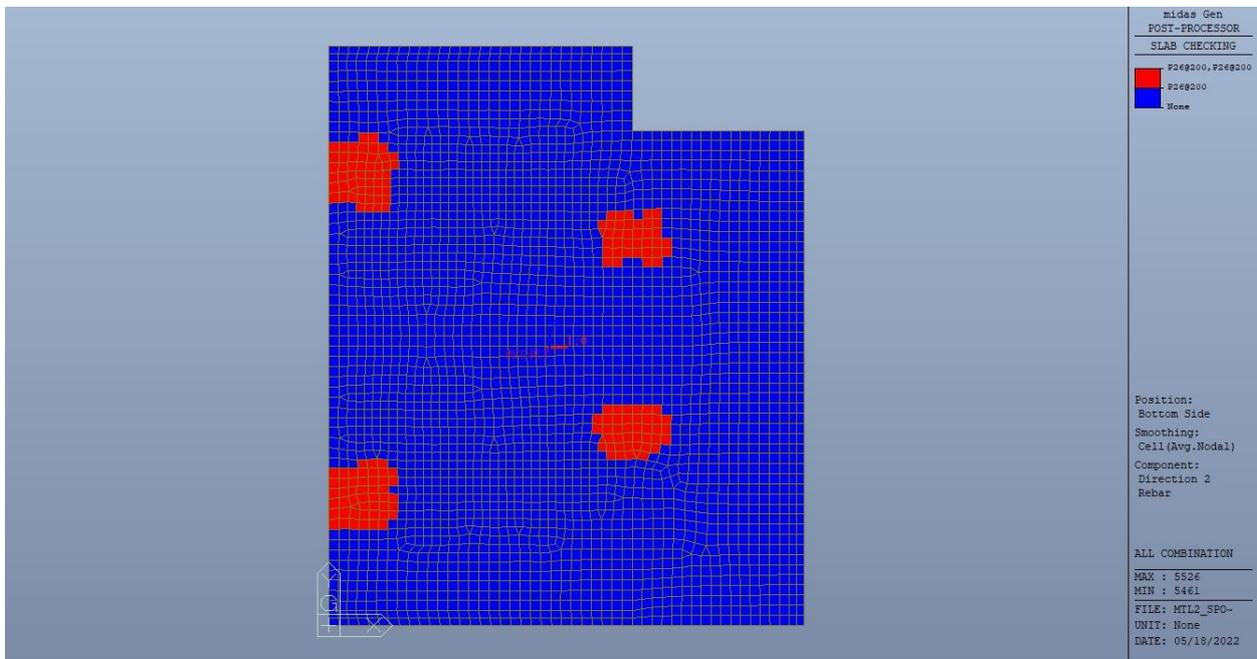


Figura 137. Platea – Armatura inferiore direzione D2

 <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 accessi stazione	2_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.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 accessi stazione

2\_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

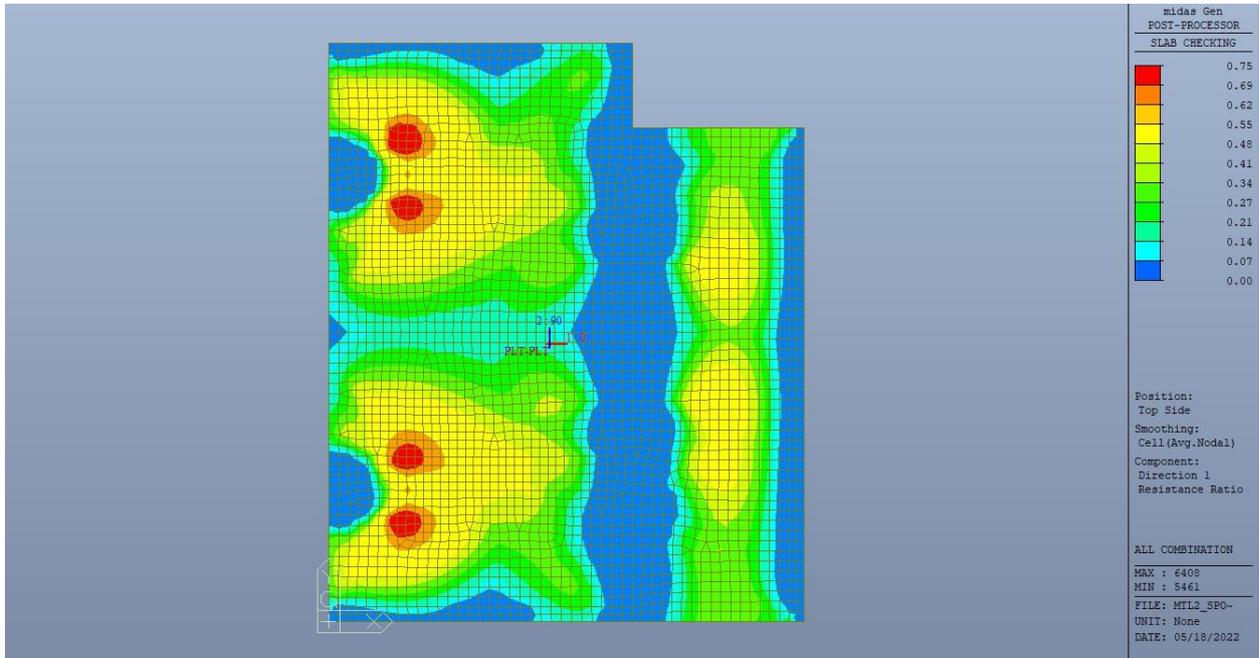


Figura 138. Platea – Tasso di lavoro faccia superiore – Direzione D1



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture accessi stazione

2\_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

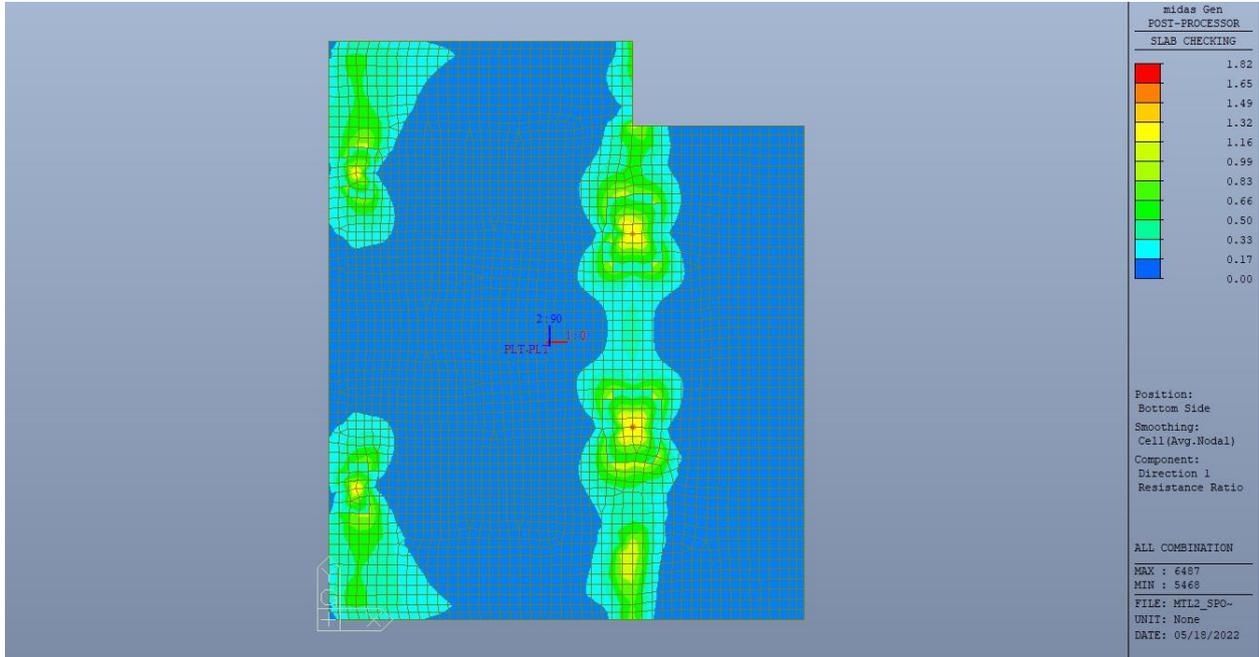


Figura 139. Platea – Tasso di lavoro faccia inferiore – Direzione D1

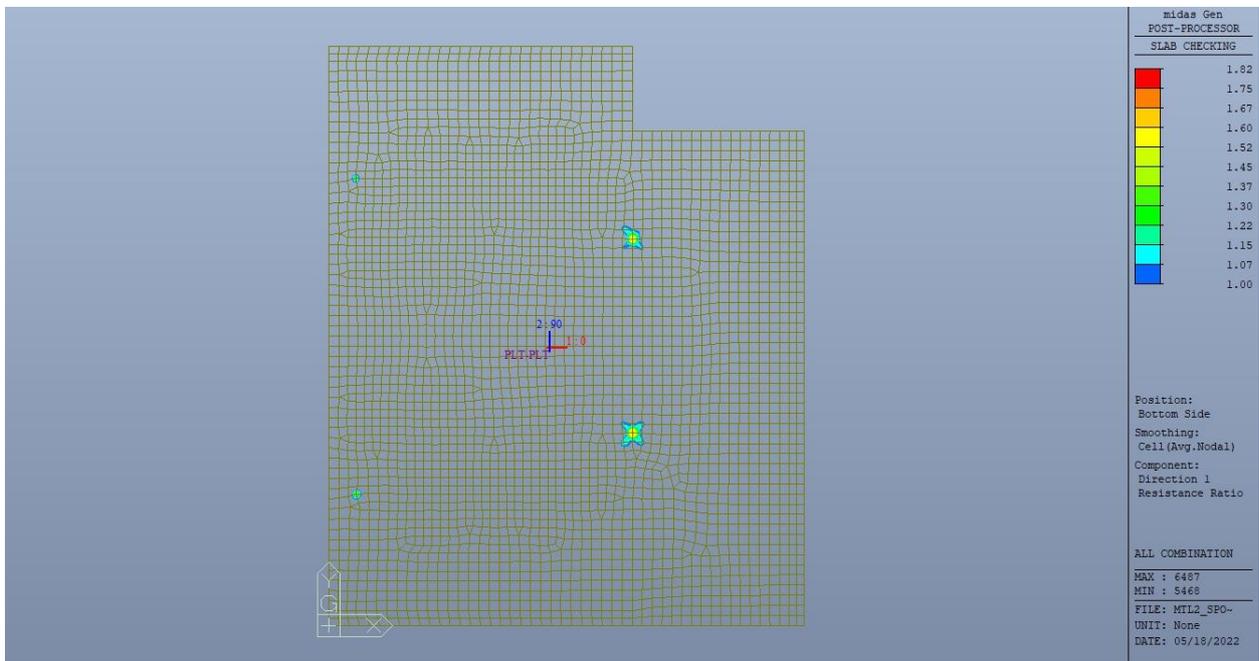


Figura 140. Platea – Tasso di lavoro faccia inferiore – Direzione D1 – Zone > 1



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture accessi stazione

2\_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

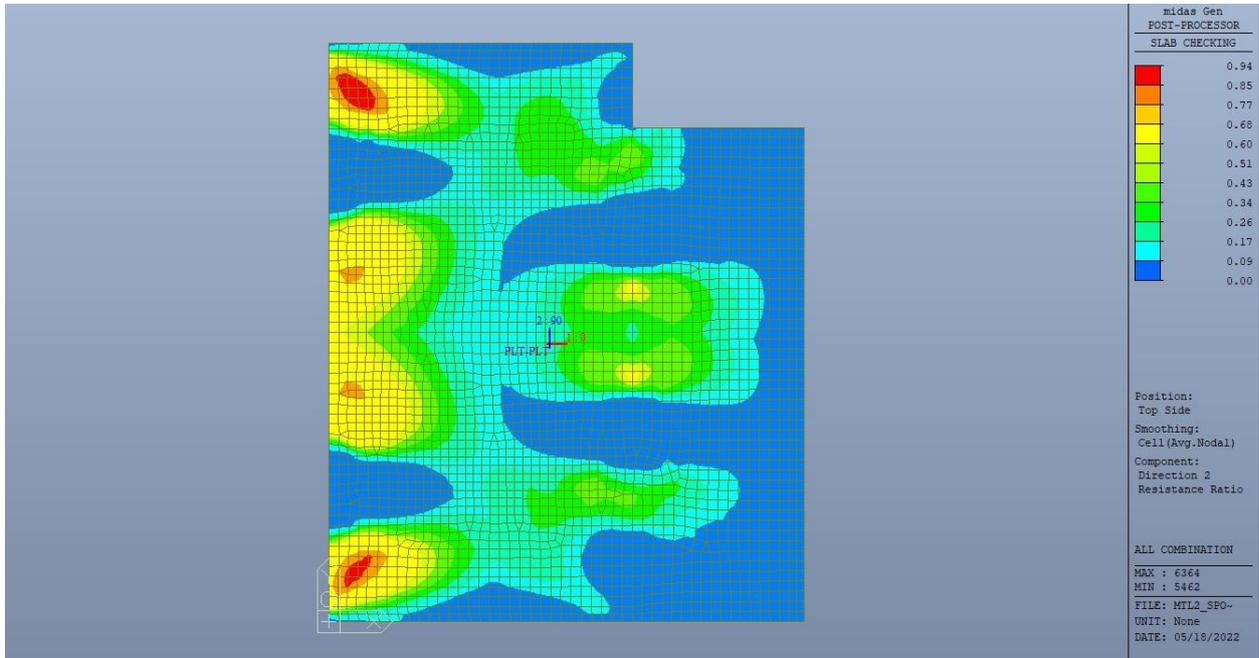


Figura 141. Platea – Tasso di lavoro faccia superiore – Direzione D2



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture accessi stazione

2\_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

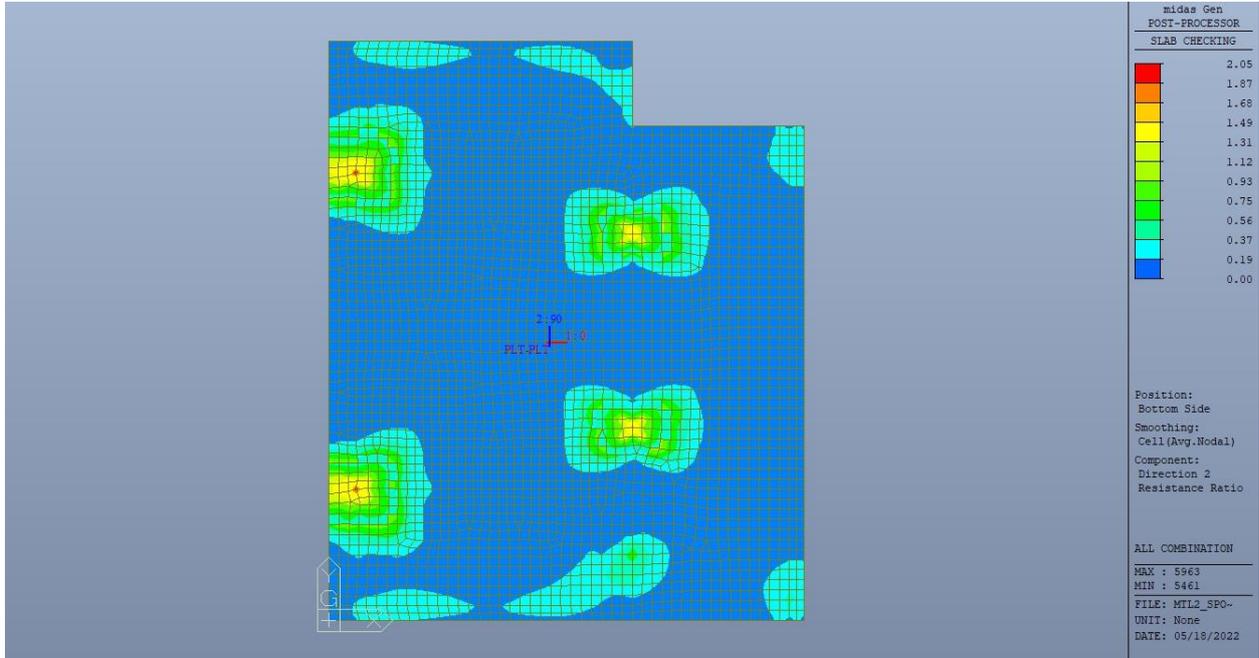


Figura 142. Platea – Tasso di lavoro faccia inferiore – Direzione D2

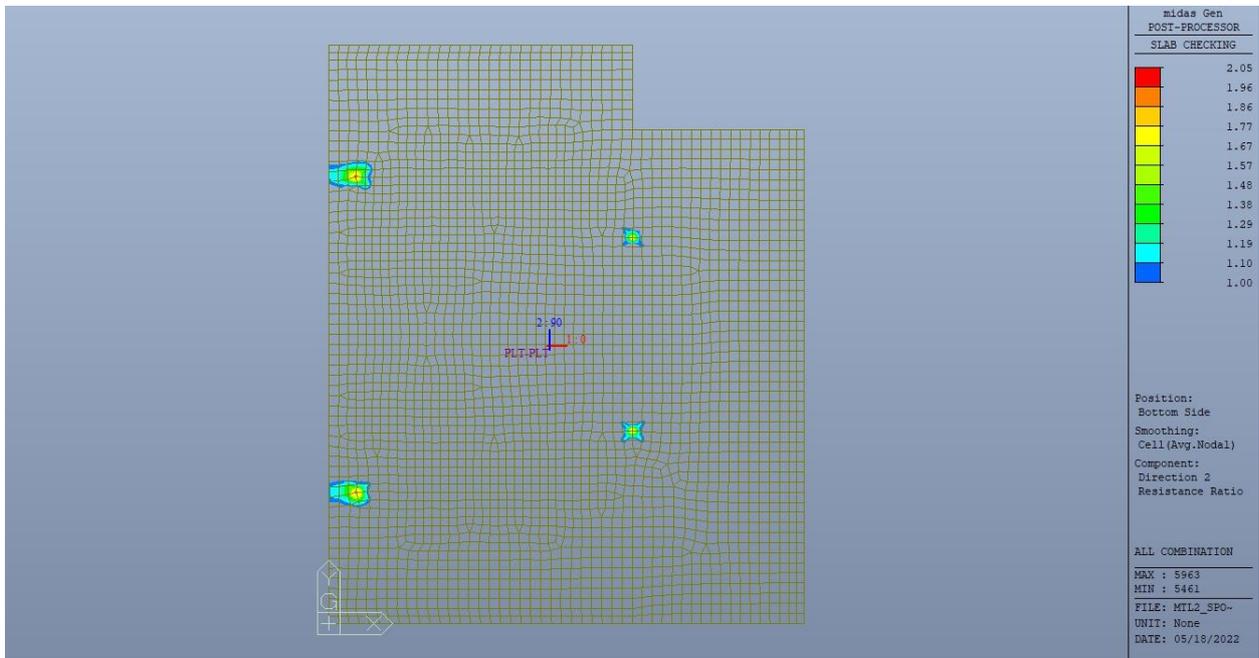


Figura 143. Platea – Tasso di lavoro faccia inferiore – Direzione D2 – Zone > 1

 <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 accessi stazione	2_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.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 34. 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
b	1000	mm	base trave
c	100	mm	copriferro
d	900	mm	altezza utile sezione
k	1.47		
$\rho_1$	0.30	%	rapporto geometrico di armatura longitudinale
$v_{min}$	0.346		
$V_{Rd}$	331.28	kN	
$V_{Rd,min}$	311.56	kN	
<b><math>V_{Rd,c}</math></b>	<b>331.28</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		
$V_{Rsd}$	2488.11	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>V_{Rd}</math></b>	<b>2488.11</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.

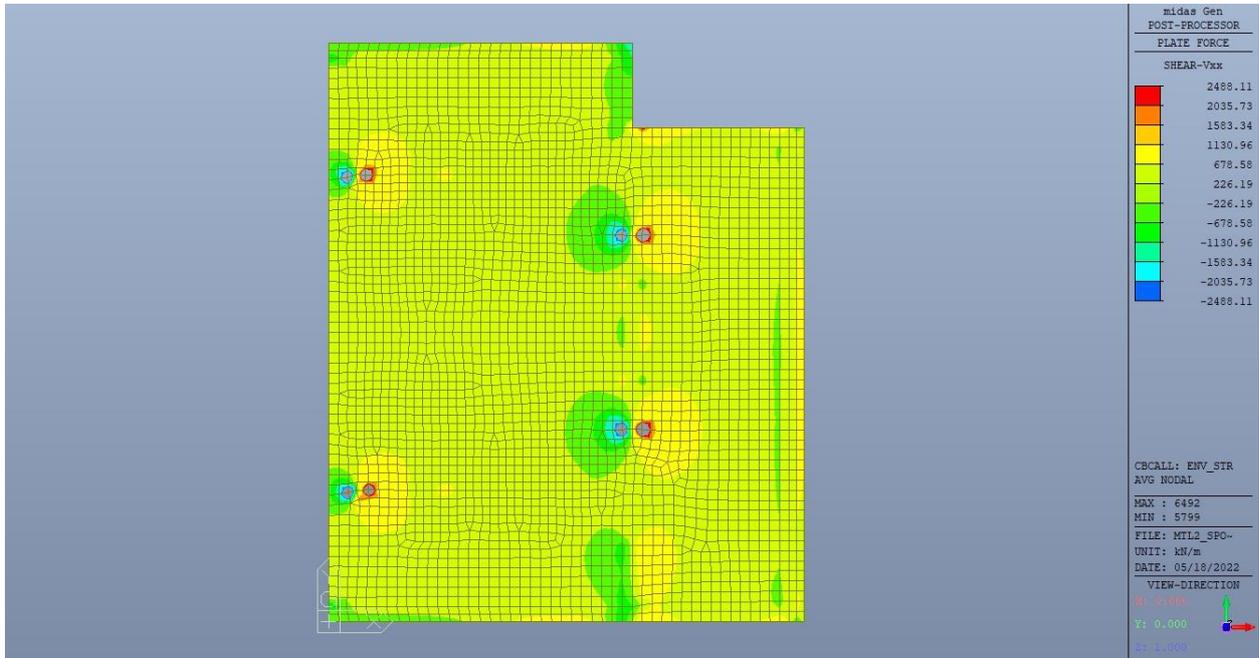


Figura 144. Platea – Resistenza a taglio Direzione X

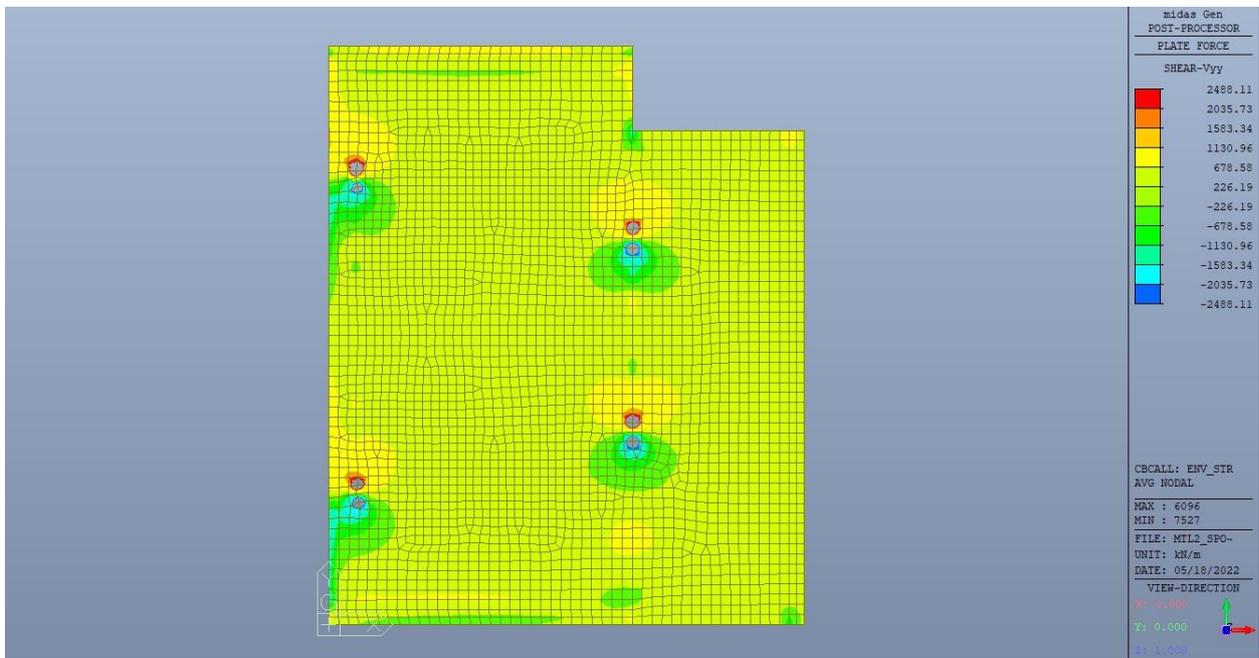


Figura 145. Platea – Resistenza a taglio Direzione Y

 <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 accessi stazione	2_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.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

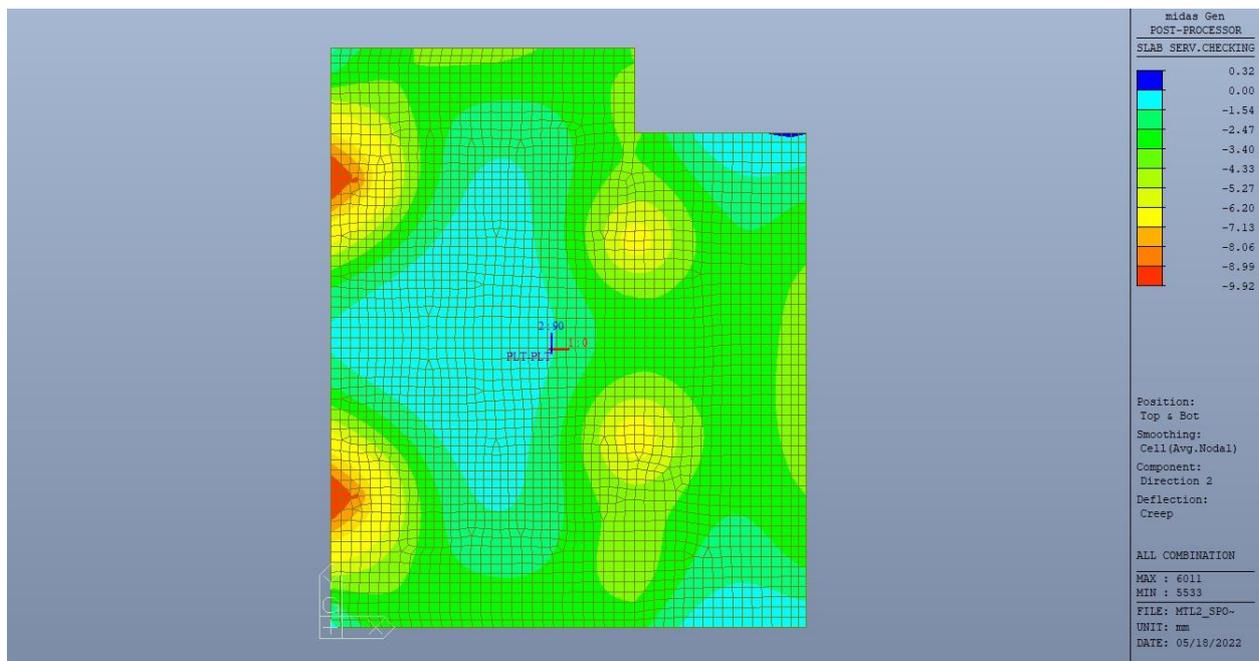
I limiti di deformabilità devono essere congruenti con le prestazioni richieste alla struttura anche in relazione alla destinazione d'uso, con riferimento alle esigenze statiche, funzionali ed estetiche.

Si può considerare la deformazione massima a pieno carico pari a 1/500 della luce di calcolo.

$L = 13.40 \text{ m}$  (tra diaframmi esterni e diaframmi interni)

$\delta_{\max} = 26.28\text{mm}$

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 146. 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 accessi stazione	2_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.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.

### 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.



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture accessi stazione

2\_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

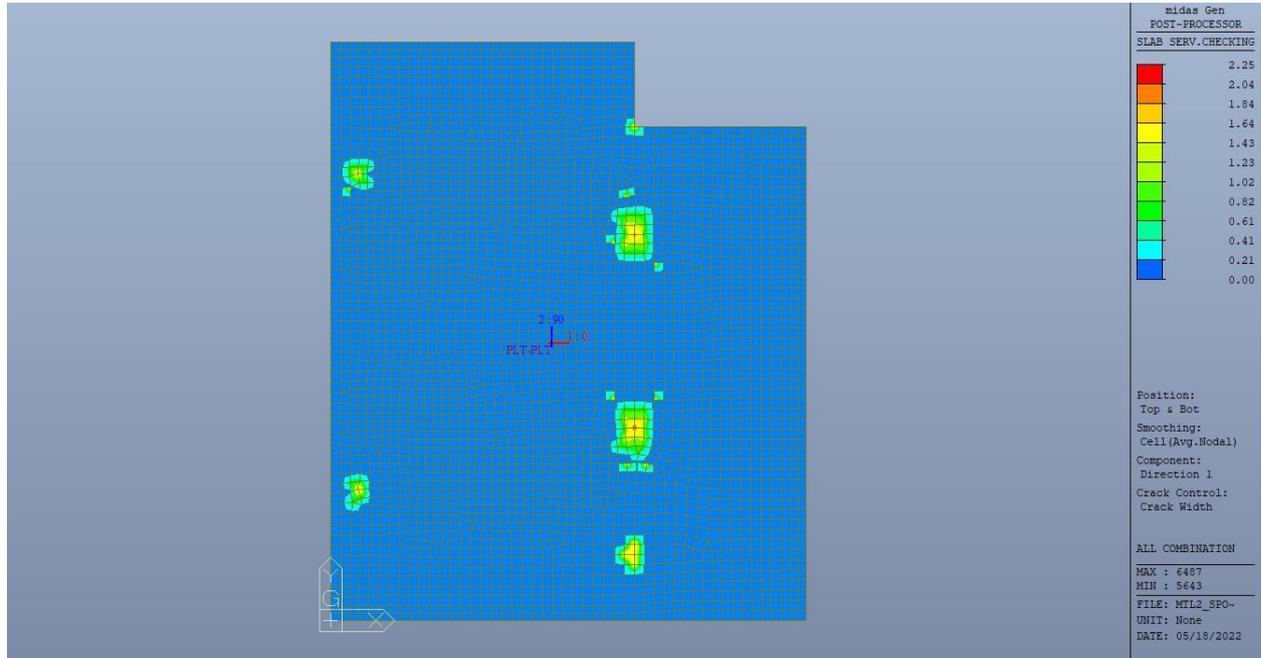


Figura 147. Platea – Apertura delle fessure - Ratio Direzione 1

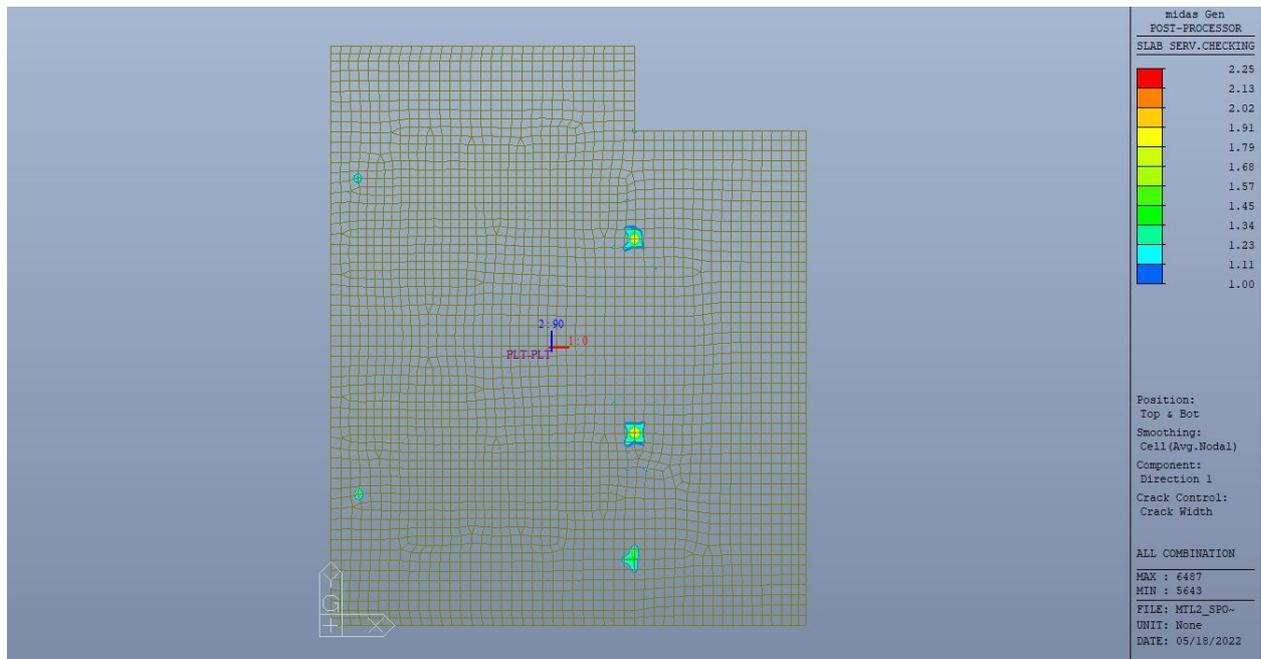


Figura 148. Platea – Apertura delle fessure - Ratio Direzione 1 – Zone > 1



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture accessi stazione

2\_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

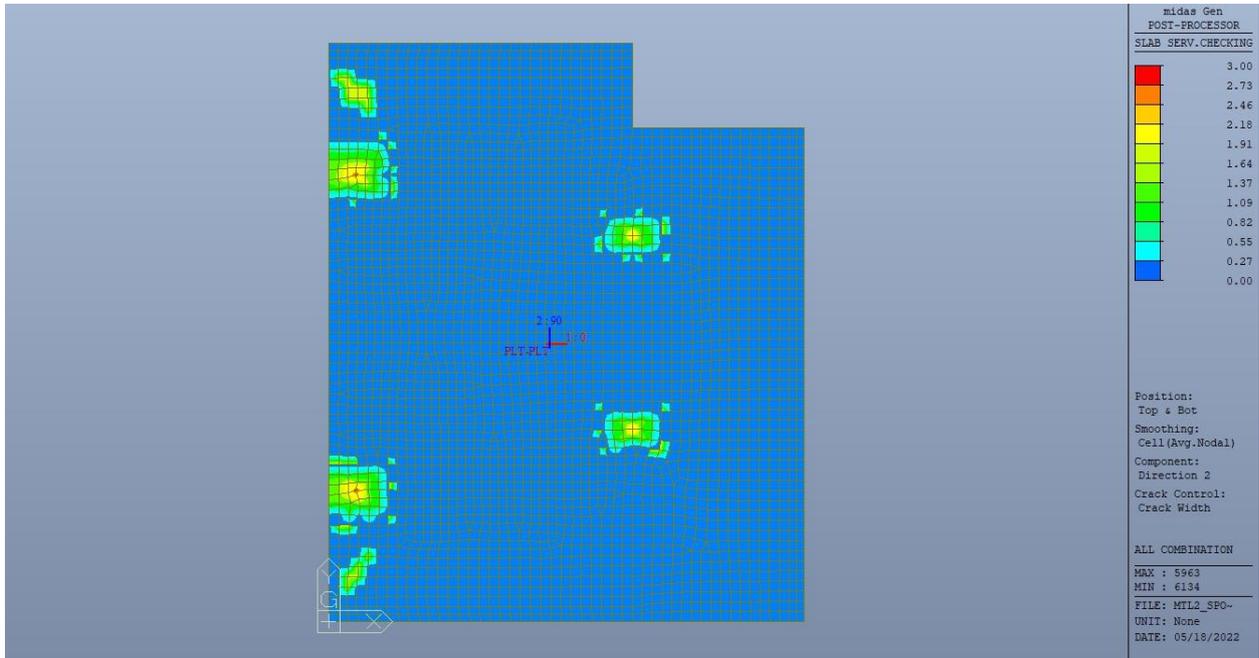


Figura 149. Platea – Apertura delle fessure - Ratio Direzione 2

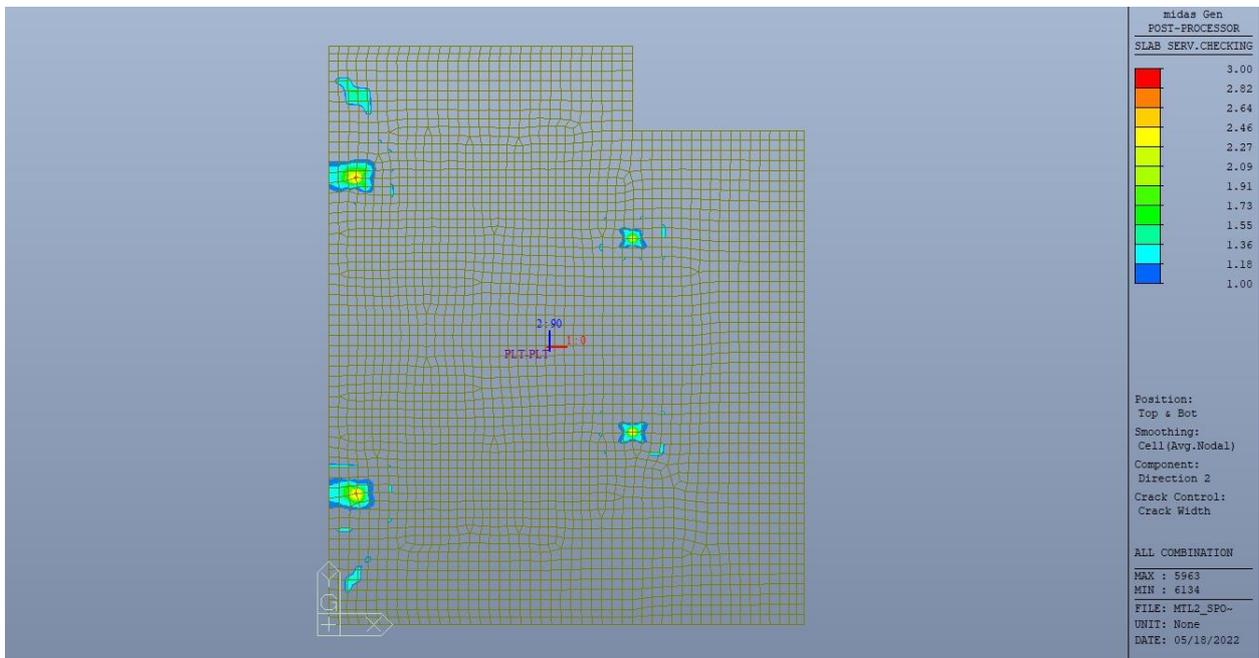


Figura 150. Platea – Apertura delle fessure - Ratio Direzione 2 – Zone > 1

 <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 accessi stazione	2_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

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

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 accessi stazione

2\_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

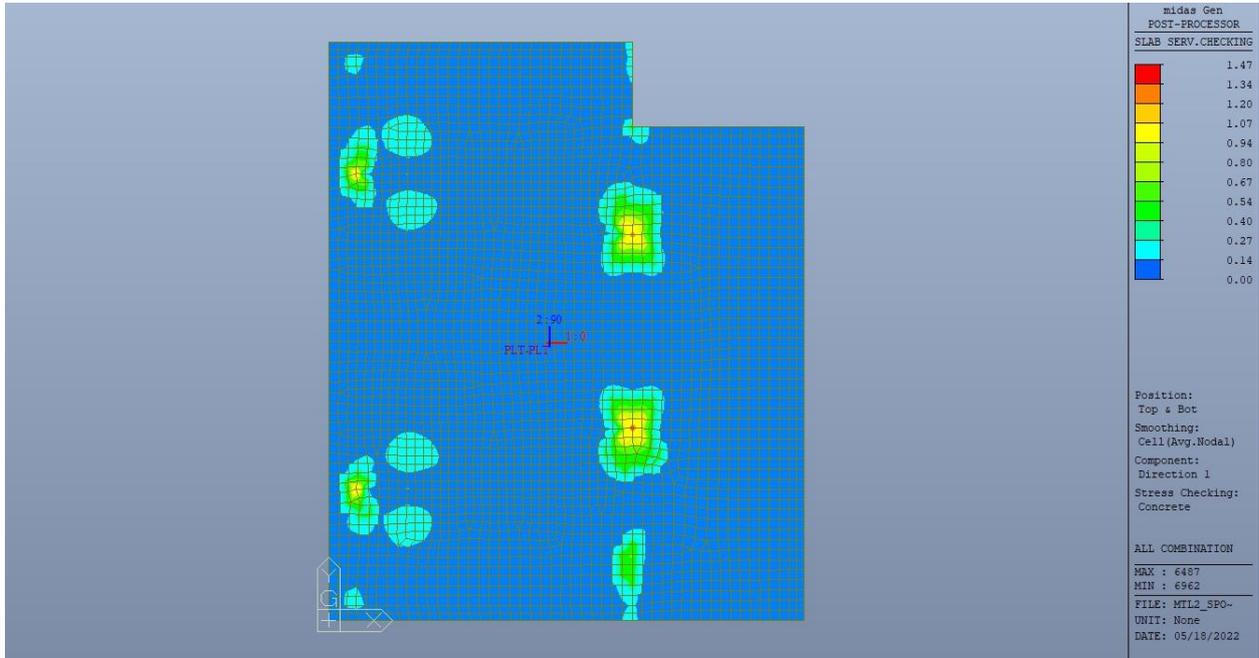


Figura 151. Platea – Tensioni calcestruzzo - Ratio Direzione 1

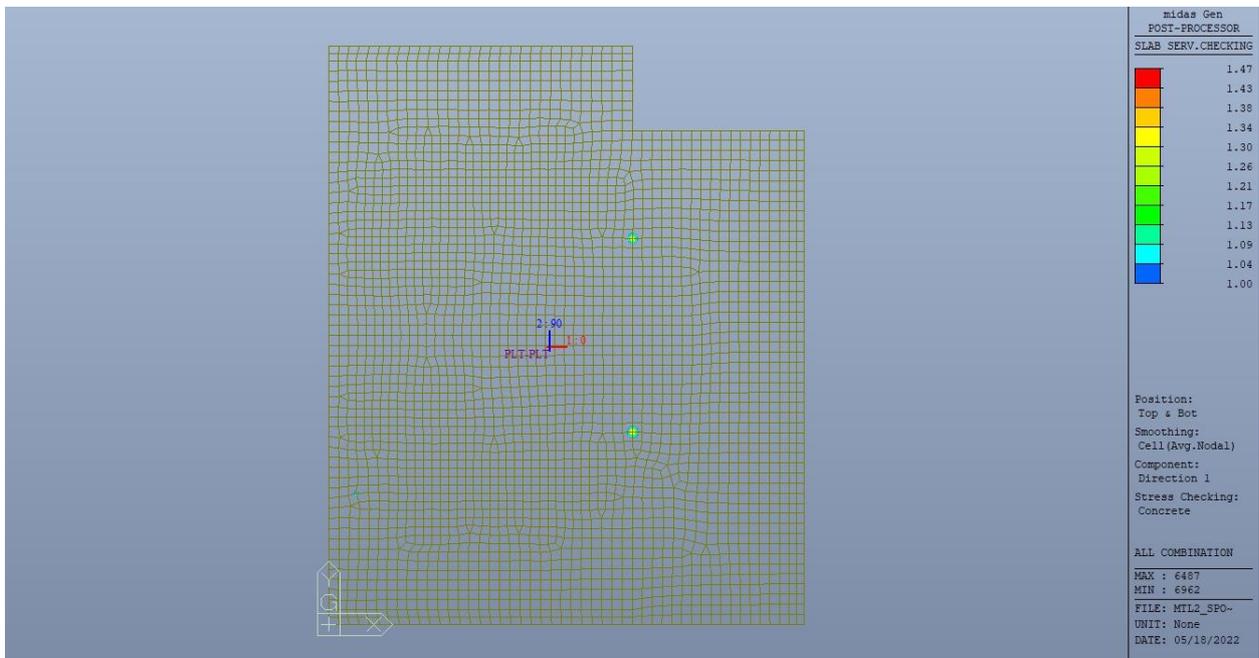


Figura 152. Platea – Tensioni calcestruzzo - Ratio Direzione 1 – Zone > 1



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture accessi stazione

2\_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

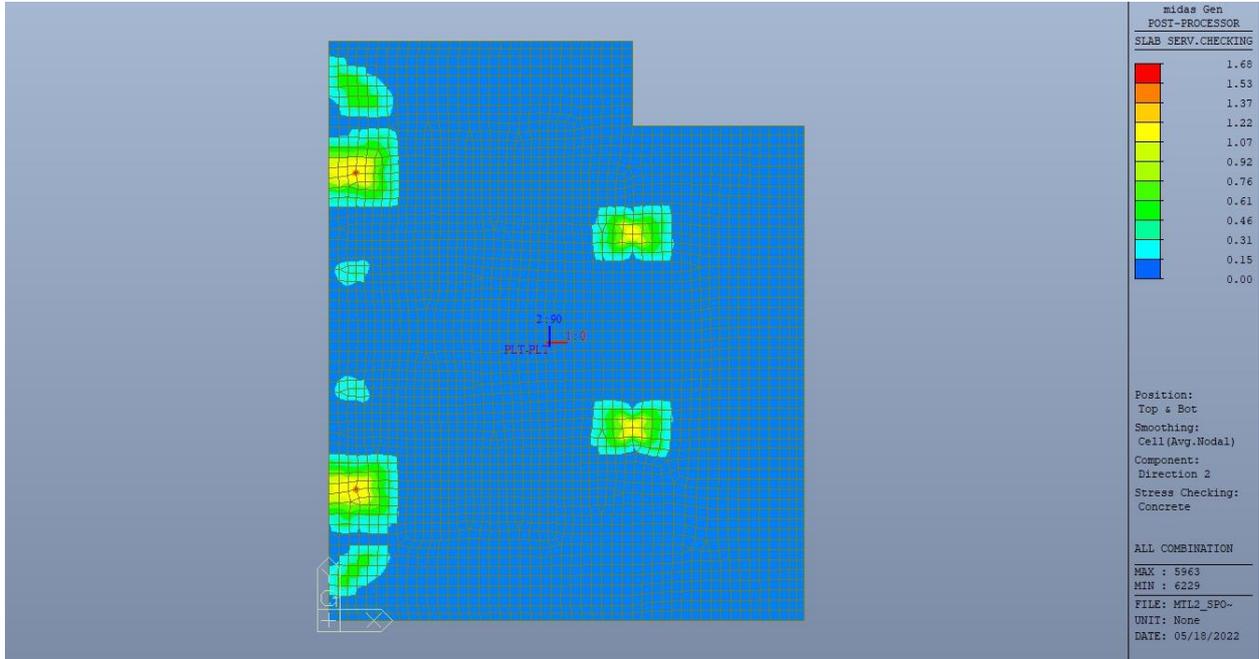


Figura 153. Platea – Tensioni calcestruzzo - Ratio Direzione 2

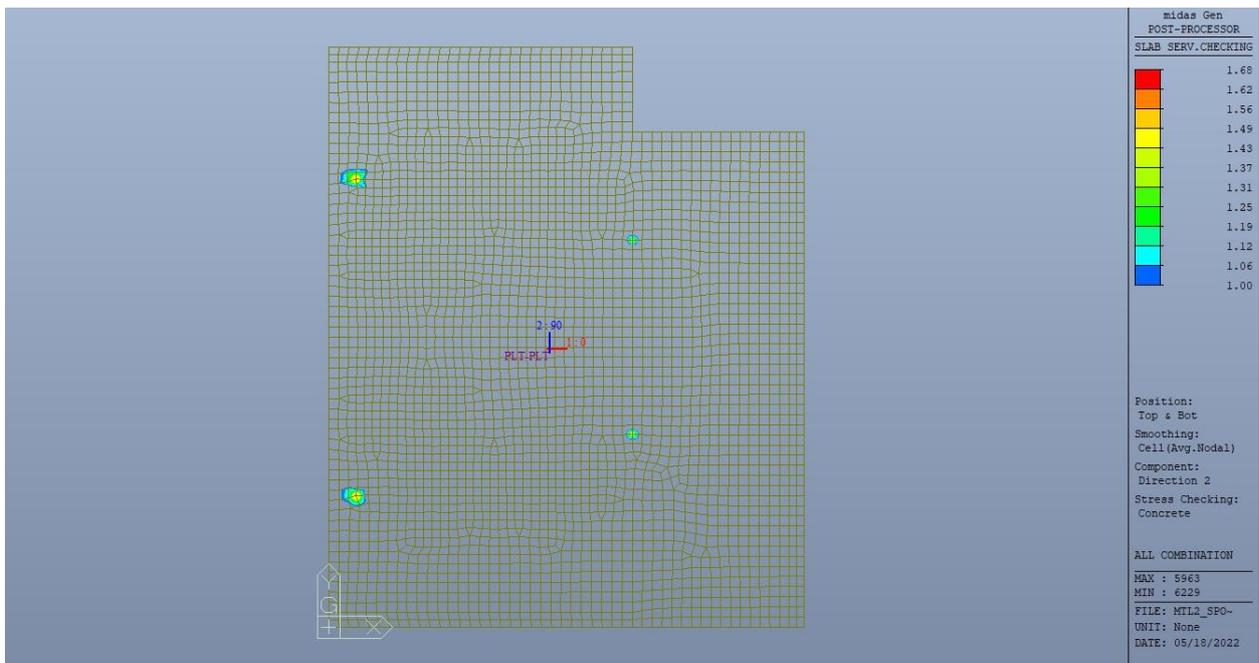


Figura 154. Platea – Tensioni calcestruzzo - Ratio Direzione 2 – Zone > 1

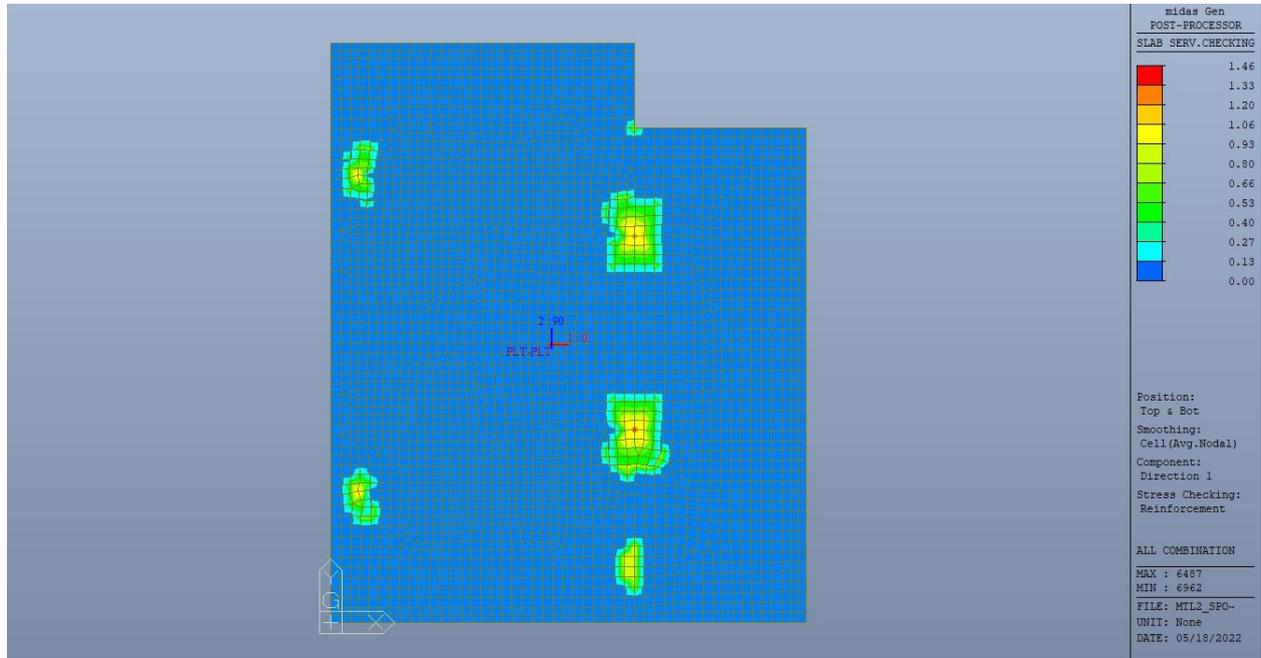


Figura 155. Platea – Tensioni armatura - Ratio Direzione 1

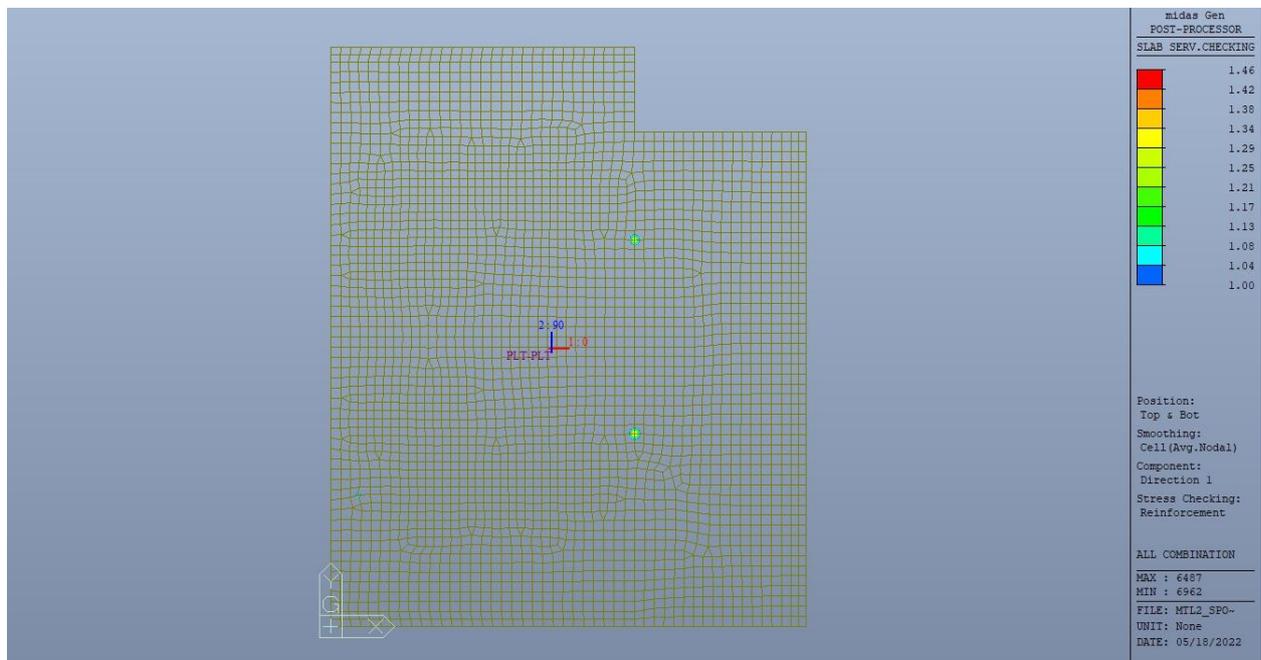


Figura 156. Platea – Tensioni armatura - Ratio Direzione 1 – Zone > 1



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture accessi stazione

2\_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

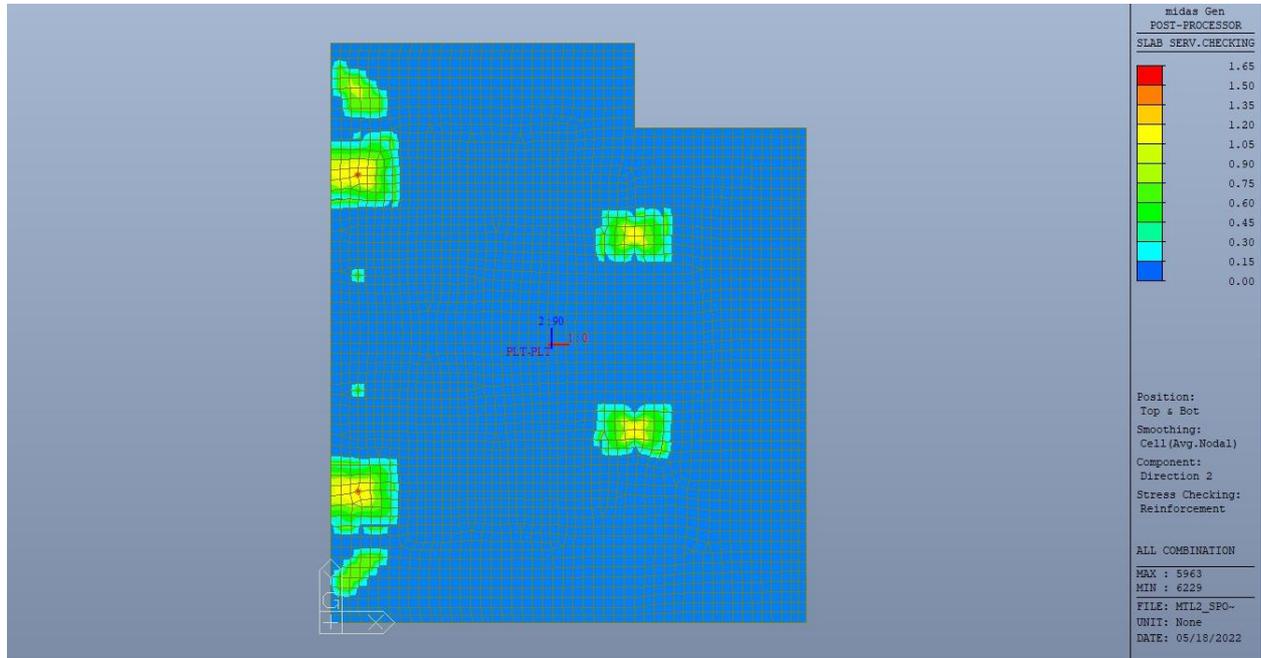


Figura 157. Platea – Tensioni armatura - Ratio Direzione 2

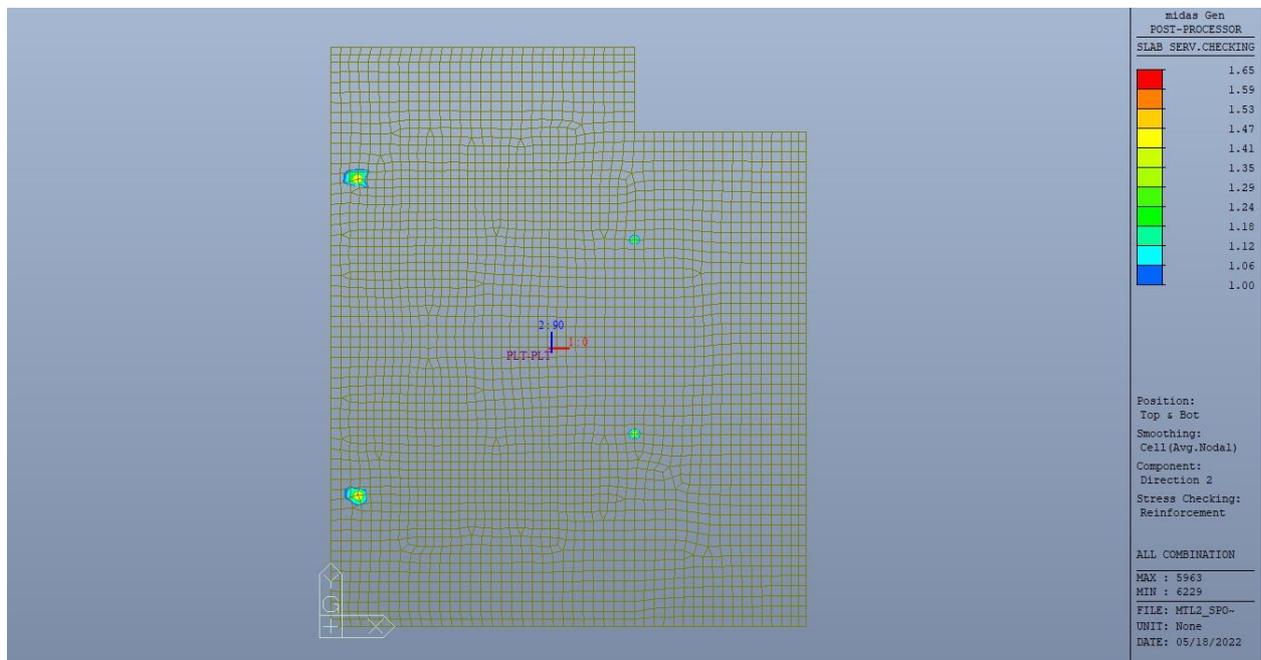


Figura 158. Platea – Tensioni armatura - Ratio Direzione 2 – Zone > 1

 <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 accessi stazione	2_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.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.

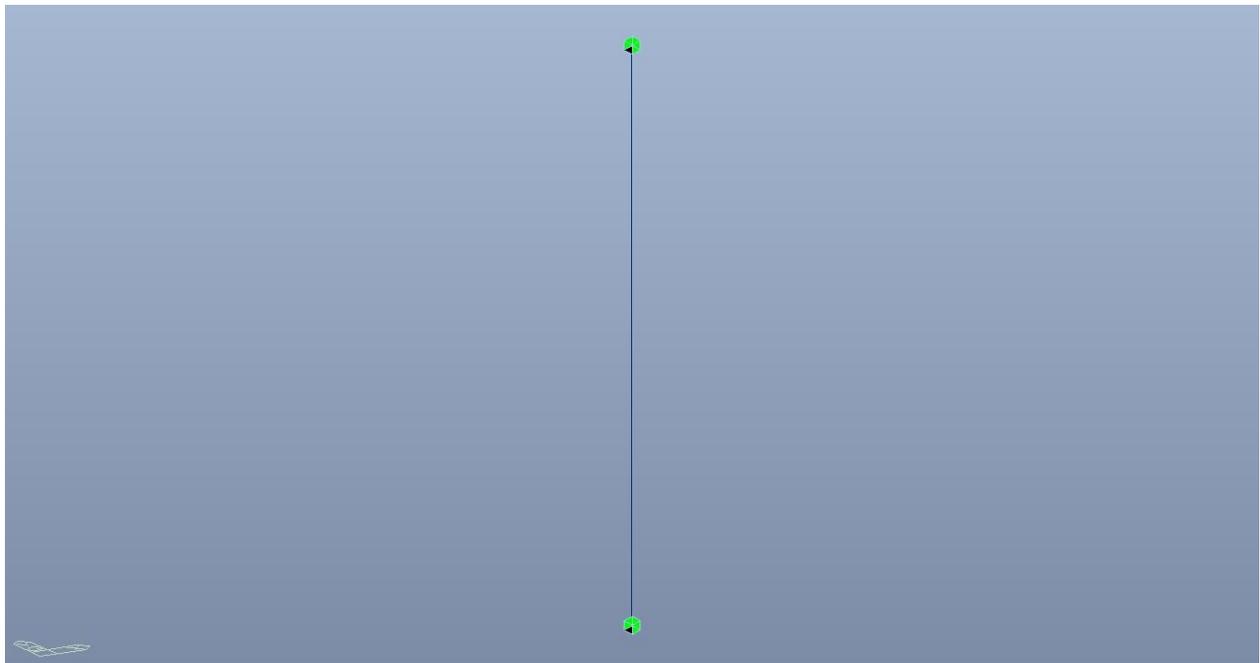
Si può ritenere la verifica soddisfatta.

 <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 accessi stazione	2_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

## 16. 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 realizzare successivamente alla costruzione dei solettoni di chiusura e della platea di fondazione, si è optato, a favore di sicurezza, di utilizzare per le relative verifiche strutturali uno schema statico cerniera-cerniera.



**Figura 159. Fodere – Schema statico – Tipologico**

Nel seguito si riportano sinteticamente i principali risultati delle analisi.

### 16.1 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 accessi stazione

2\_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

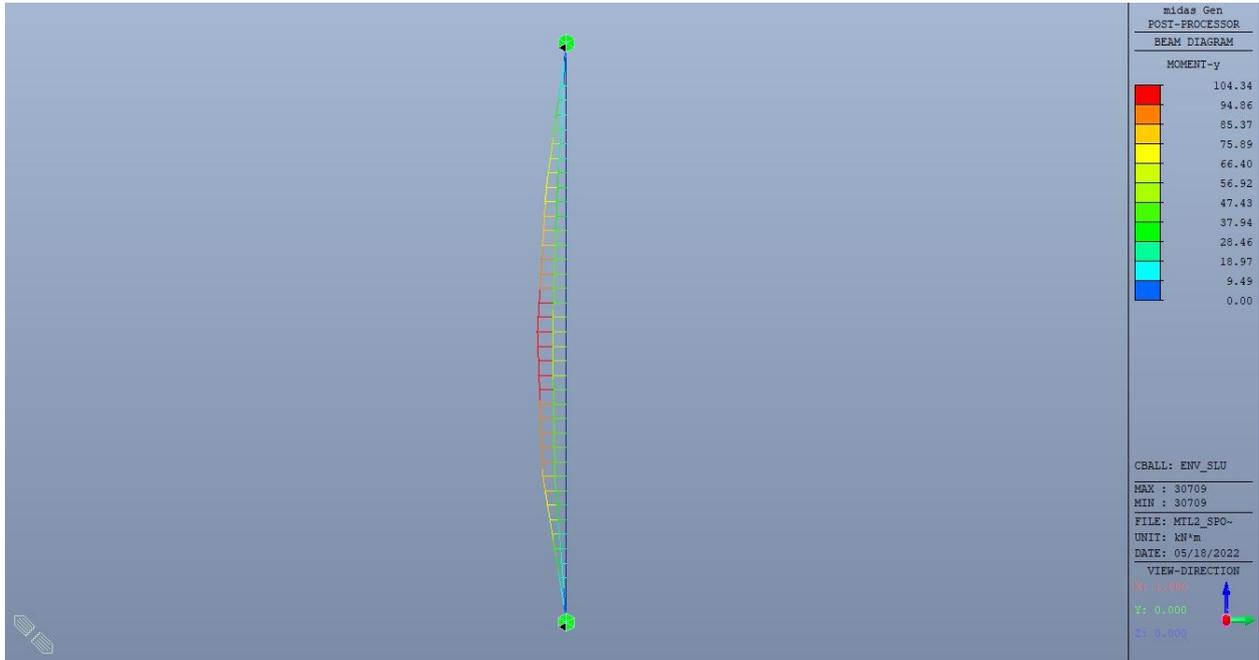


Figura 160. Fodere – Involuppo momento flettente  $M_y$  – Tipologico

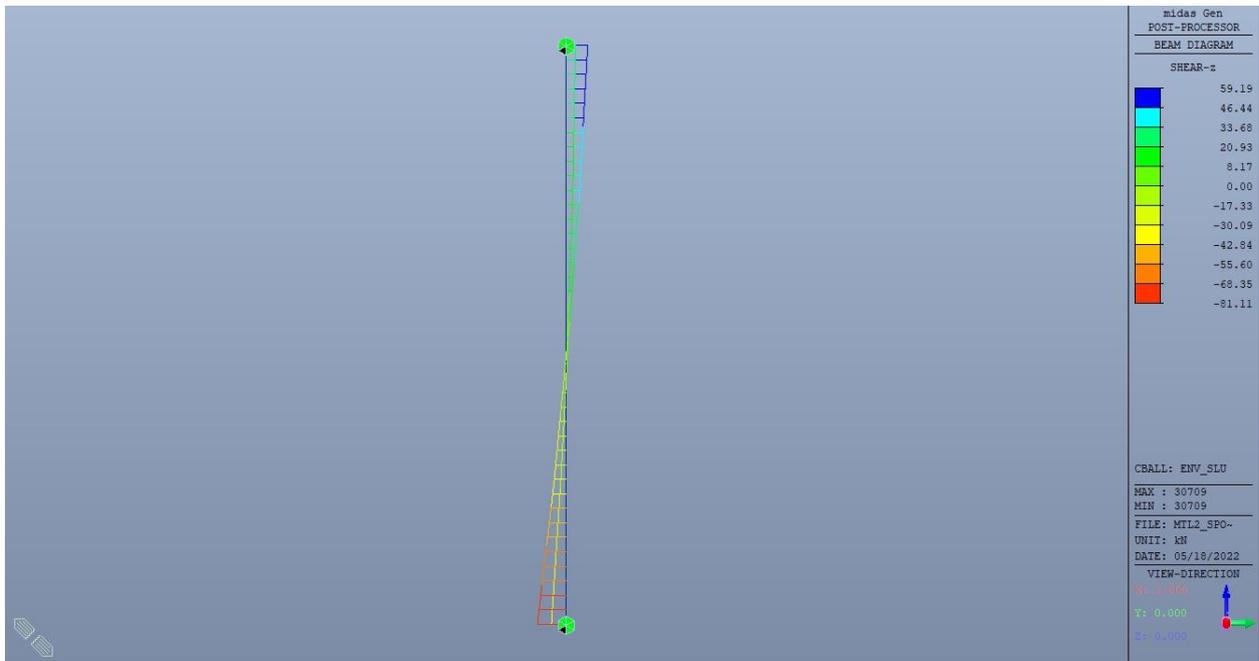


Figura 161. Fodere – Involuppo taglio  $V_z$  – Tipologico

 <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 accessi stazione	2_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

## 16.2 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 35. 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 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 accessi stazione

2\_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

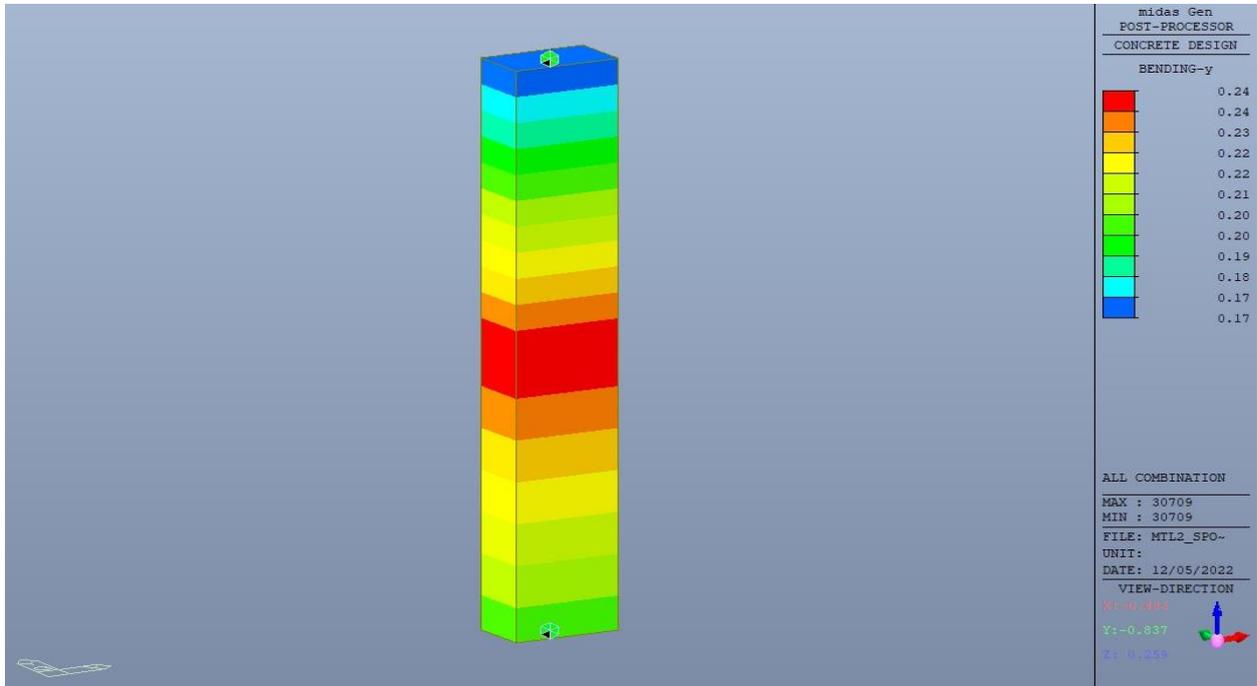


Figura 162. Fodere longitudinali – Tasso di lavoro  $M_y$  – Tipologico

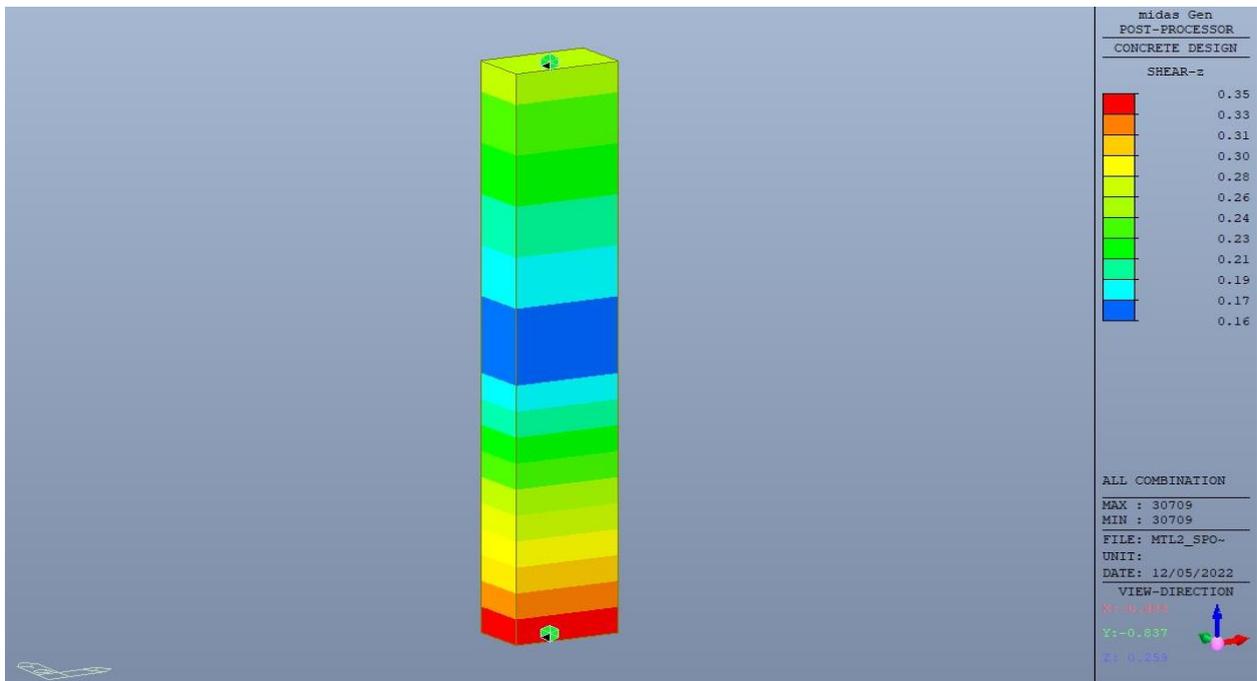


Figura 163. Fodere longitudinali – Tasso di lavoro  $V_z$  – Tipologico



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture accessi stazione

2\_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

Eurocode2:04 RC-Beam Checking Result Dialog

Code : EC2:04,NTC2018 Unit : kN , m Primary Sorting Option

Sorted by  Member Results  Strength  SECT  MEMB

Property  Serviceability

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	0.0023	0.0023	0.00000	41	0.17	430.022	0.00	84.3708	7	0.17	430.022	0.20	81.1054	7	233.568	44.0217	0.35	1.84	0.35
5	<input type="checkbox"/>	1.000	0.600	450000	M	OK	0.0023	0.0023	0.00000	41	0.17	430.022	0.00	104.344	7	0.17	430.022	0.24	36.4435	7	233.568	44.0217	0.16	0.83	0.16
5.9500		0.000	0.000	450000	J	OK	0.0023	0.0023	0.00000	41	0.17	430.022	0.00	72.1459	7	0.17	430.022	0.17	59.1896	7	233.568	44.0217	0.25	1.34	0.25

Connect Model View

Select All Unselect All Re-calculation

Graphic... Detail... Summary... <<

Result View Option  All  OK  NG

Option for Detail Print Position  End I.  Mid.  End J.

Copy Table Close

Figura 164. Fodere longitudinali – Tabella riassuntiva verifiche

Di seguito si riporta la verifica per esteso per l'elemento più sollecitato.

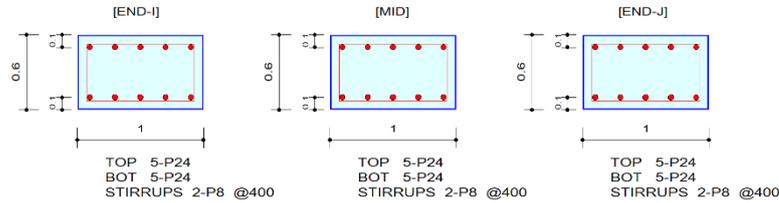


midas Gen RC Beam Strength Checking Result

	Company		Project Title	
	Author		File Name	MTL2_SPO_ATRIO_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	F600 (No : 5)	Beam Span	5.95m



2. Bending Moment Capacity

	END-I	MID	END-J
(-) Load Combination No.	41	41	41
Moment (M_Ed)	0.00	0.00	0.00
Factored Strength (M_Rd)	430.02	430.02	430.02
Check Ratio (M_Ed/M_Rd)	0.0000	0.0000	0.0000
Neutral Axis (x/d)	0.1704	0.1704	0.1704
(+) Load Combination No.	7	7	7
Moment (M_Ed)	84.37	104.34	72.15
Factored Strength (M_Rd)	430.02	430.02	430.02
Check Ratio (M_Ed/M_Rd)	0.1962	0.2426	0.1678
Neutral Axis (x/d)	0.1704	0.1704	0.1704
Using Rebar Top (As_top)	0.0023	0.0023	0.0023
Using Rebar Bot (As_bot)	0.0023	0.0023	0.0023

3. Shear Capacity

	END-I	MID	END-J
Load Combination No.	7	7	7
Factored Shear Force (V_Ed)	81.11	36.44	59.19
V_Rdc	233.57	233.57	233.57
V_Rds	44.02	44.02	44.02
V_Rdmax	1912.50	1912.50	1912.50
Using Shear Reinf. (Asw)	0.0003	0.0003	0.0003
Using Stirrups Spacing	2-P8 @400	2-P8 @400	2-P8 @400
V_Ed / V_Rdc	0.3472	0.1560	0.2534
V_Ed / min(V_Rds, V_Rdmax)	1.8424	0.8279	1.3446
Check Ratio	0.3472	0.1560	0.2534

Figura 165. Fodere – Verifica foderi sp. 60cm



## 17. 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.

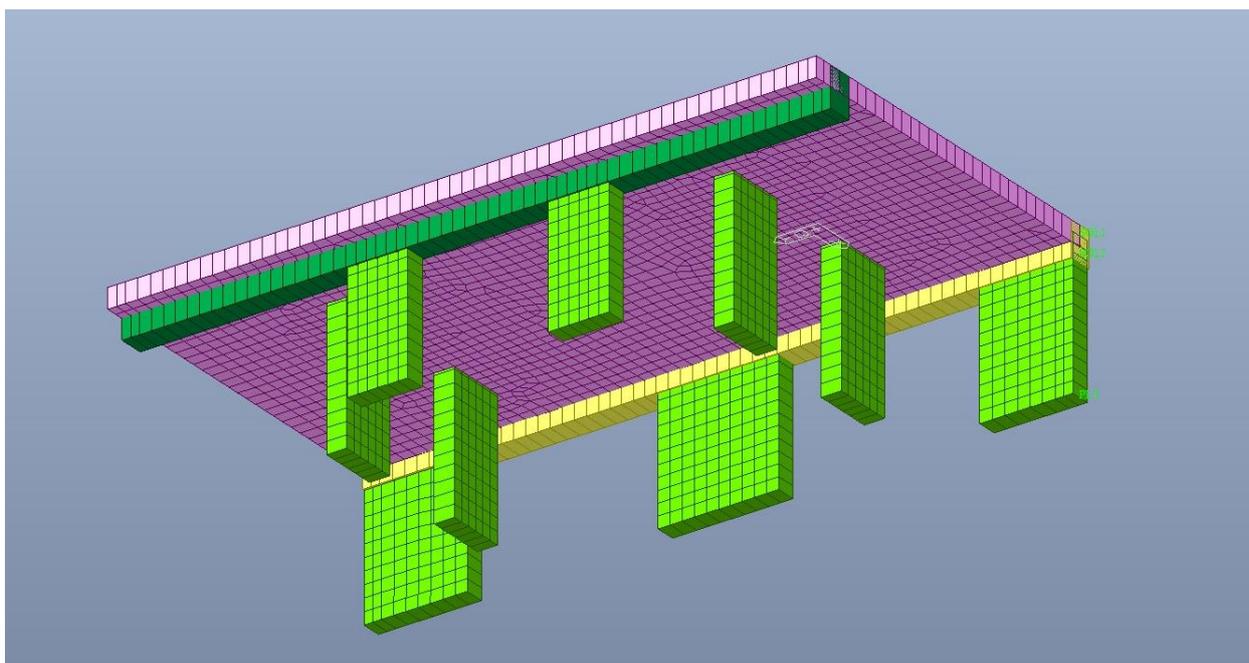


Figura 166. Diaframmi interni provvisori – Vista 3D

Nel seguito si riportano sinteticamente i principali risultati delle analisi.

### 17.1 Sollecitazioni

Le immagini successive riportano le sollecitazioni per gli Stati Limite SLU per momento flettente, taglio e sforno normale.

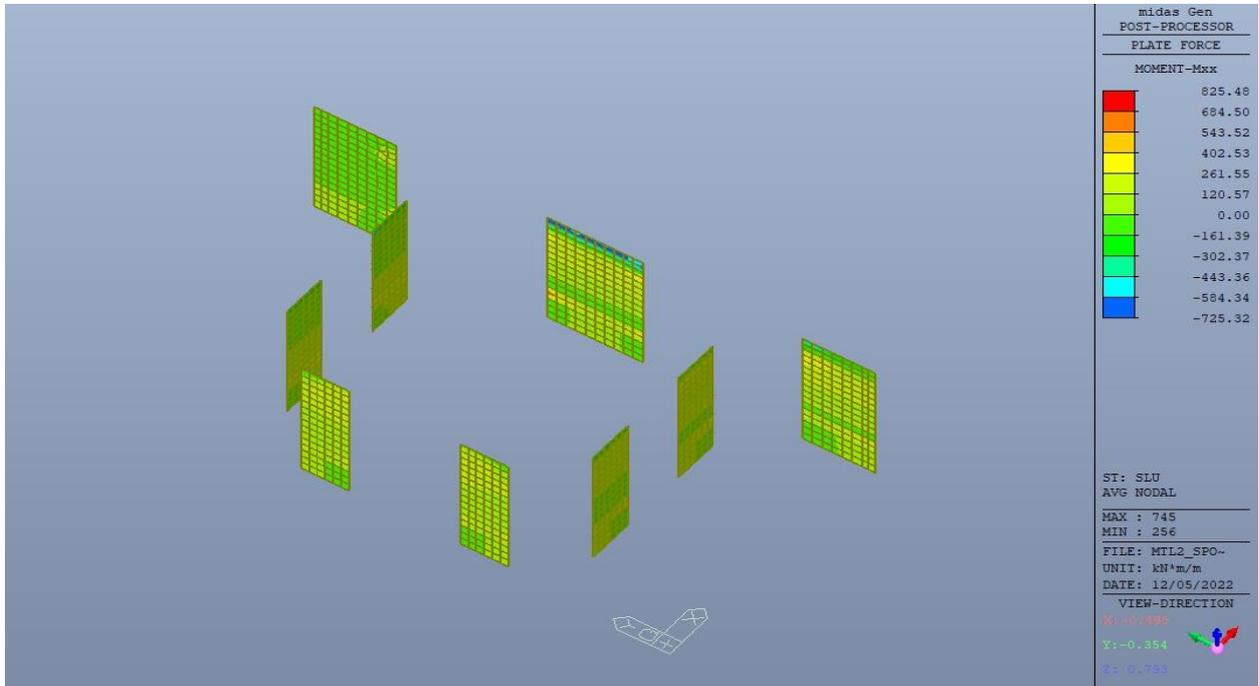


Figura 167. Diaframmi – Momento flettente  $M_{xx}$

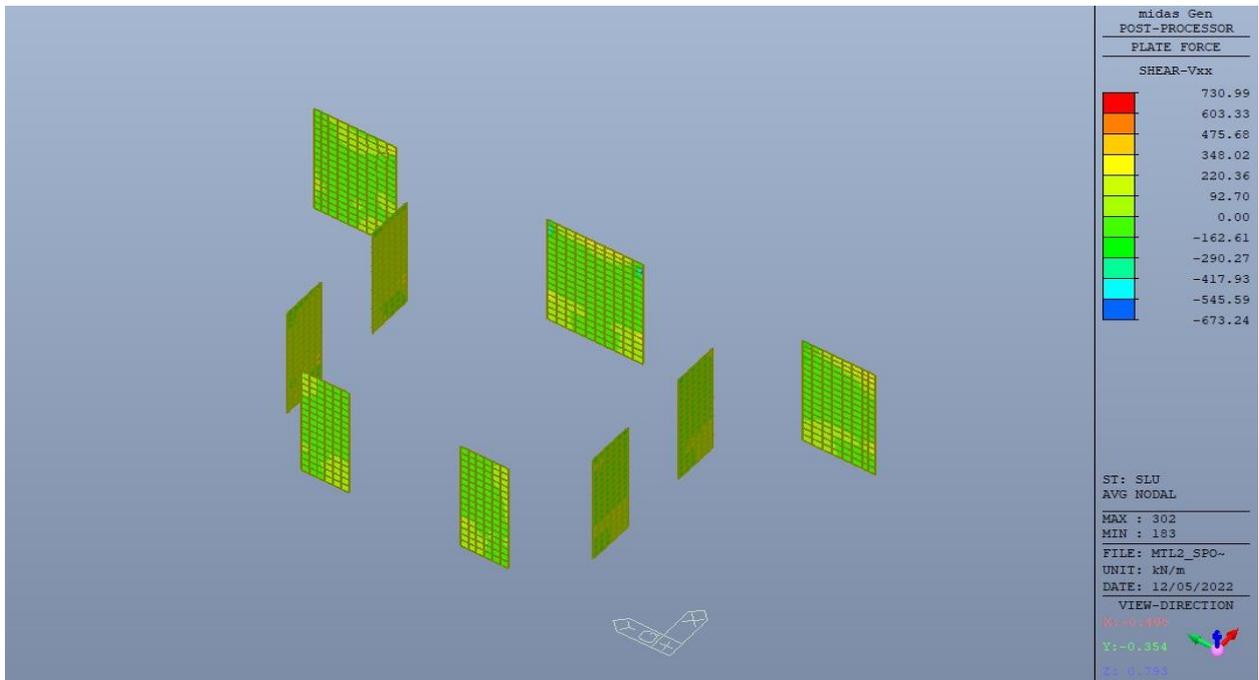


Figura 168. Diaframmi – Taglio agente  $V_{xx}$



CITTA' DI TORINO

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

Relazione di calcolo strutture accessi stazione

2\_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

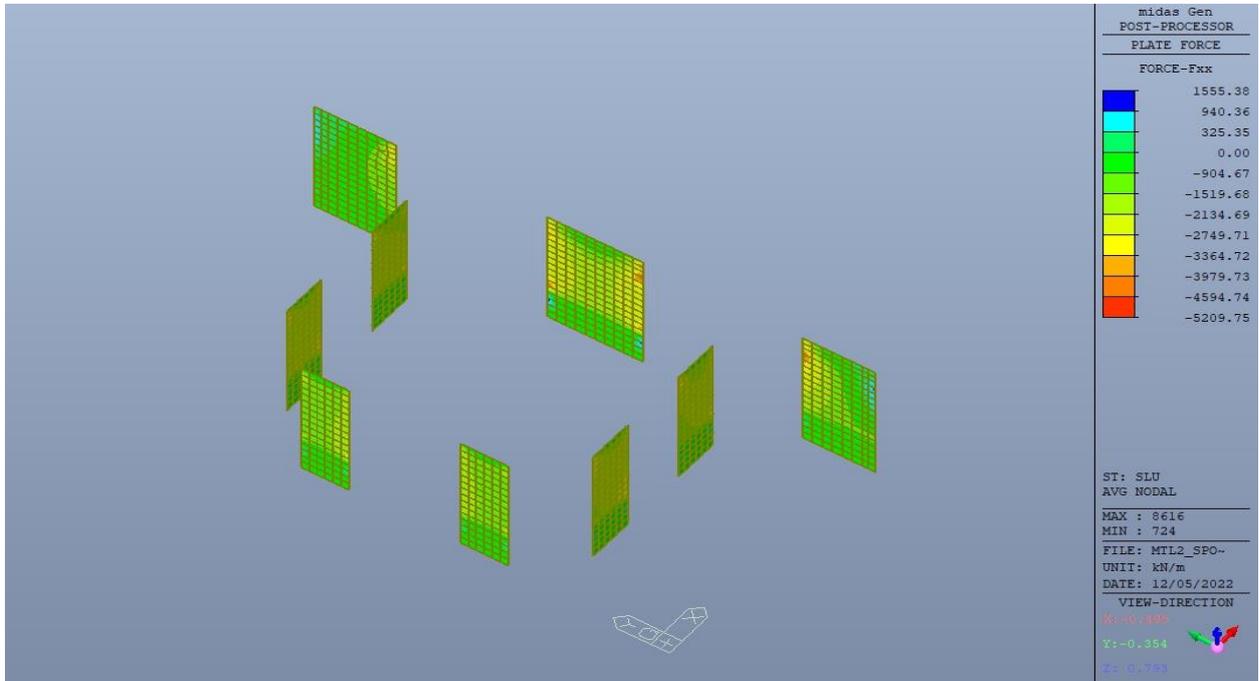


Figura 169. Diaframmi – Sforzo normale  $F_{xx}$

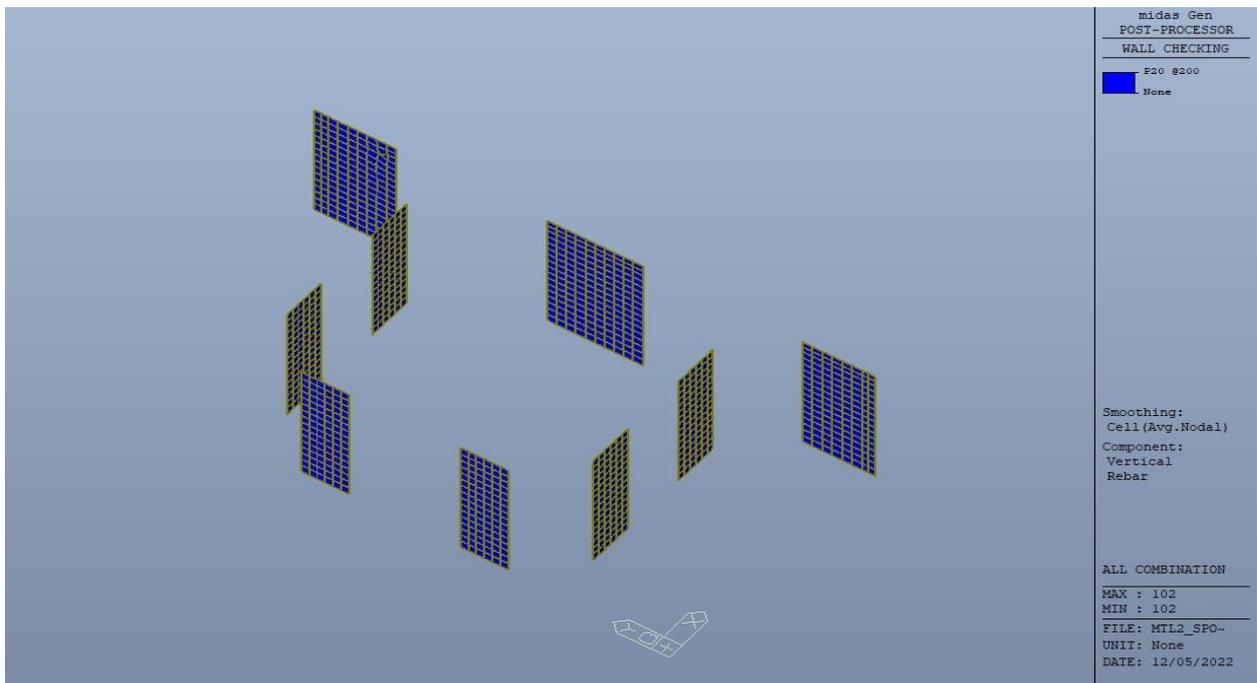
 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico - Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico</b> <b>Stazione Politecnico</b>
Relazione di calcolo strutture accessi stazione	2_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

## 17.2 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.

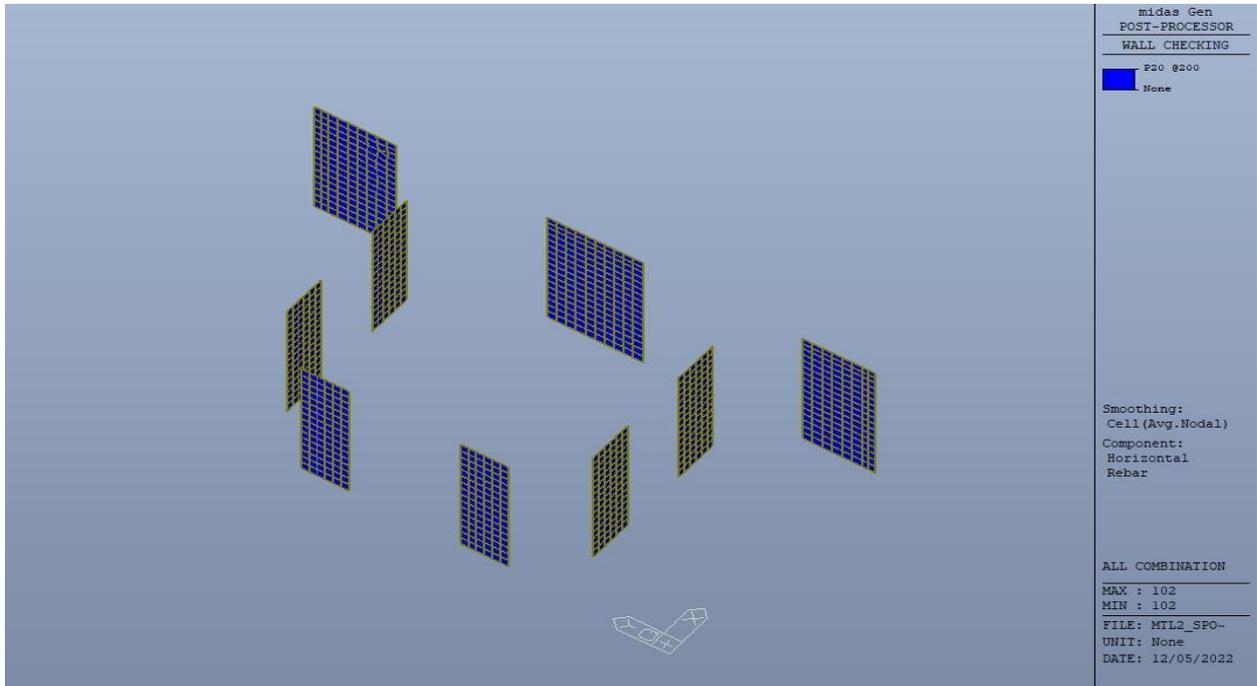
Tipologia	b [cm]	h [cm]	Ac [cm <sup>2</sup> ]	VERTICALE			ORIZZONTALE		
				As [cm <sup>2</sup> ]	Asmin [cm <sup>2</sup> ]	CK	As [cm <sup>2</sup> ]	Asmin [cm <sup>2</sup> ]	CK
Diaframma provvisorio	100	80	8000	15.70	-	-	15.70	-	-

Nelle immagini seguenti sono riportate le armature verticali e orizzontali



**Figura 170. Diaframmi – Armatura verticale**

 <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 accessi stazione	2_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX



**Figura 171. 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.

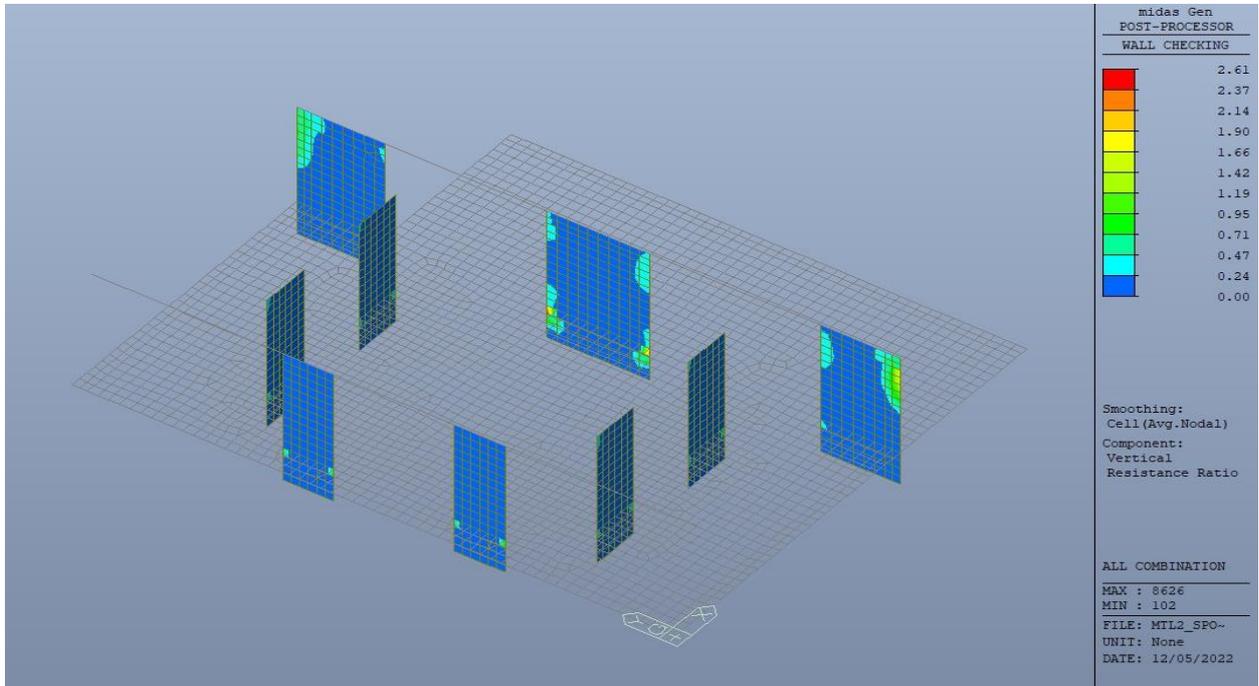


Figura 172. Diaframmi – Tasso di lavoro armatura verticale

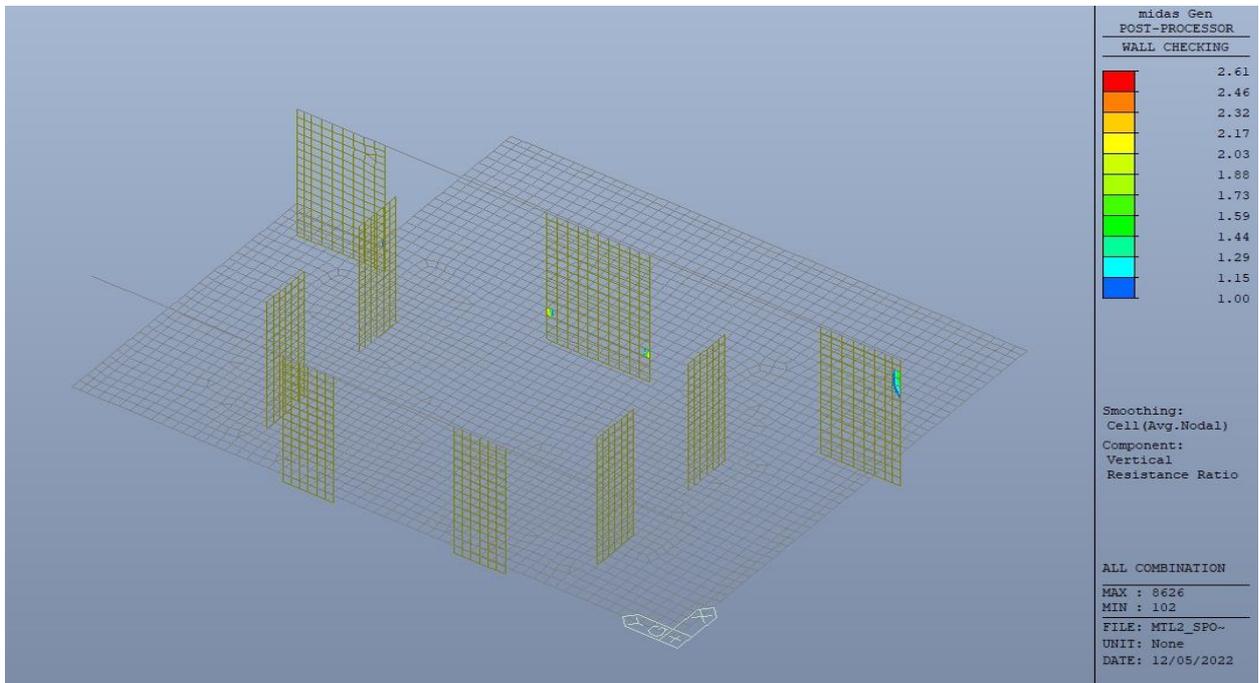


Figura 173. Diaframmi – Tasso di lavoro armatura verticale – Zone > 1

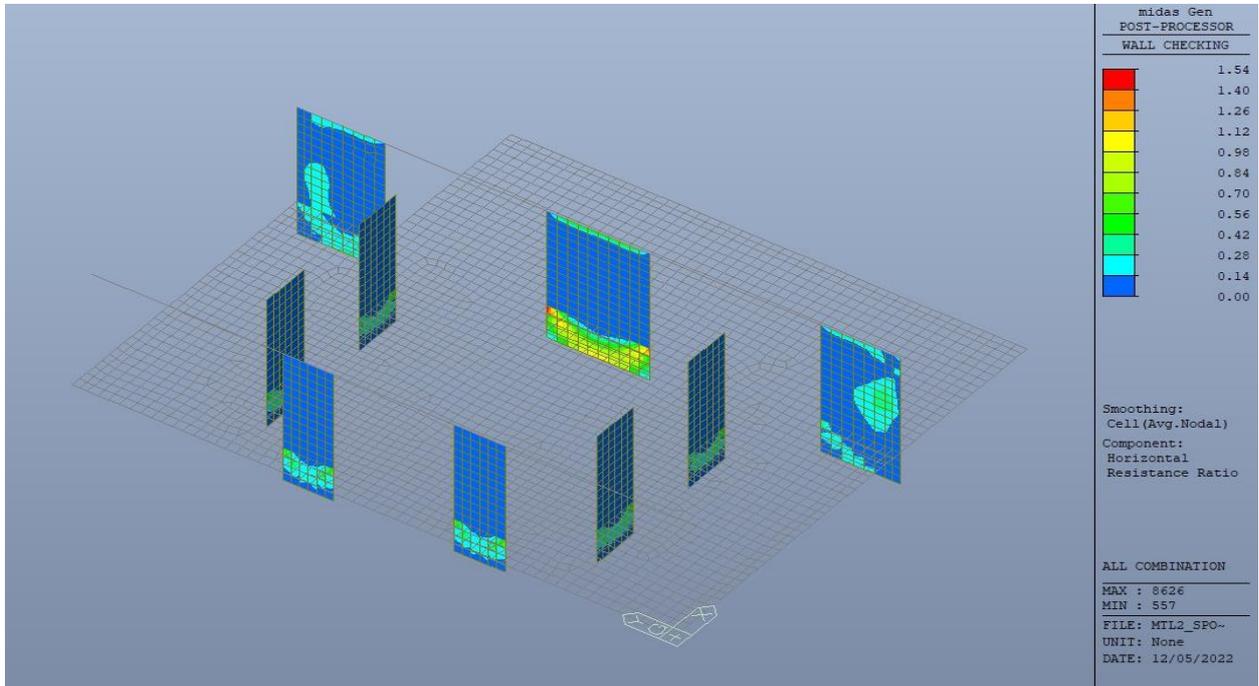


Figura 174. Diaframmi – Tasso di lavoro armatura orizzontale

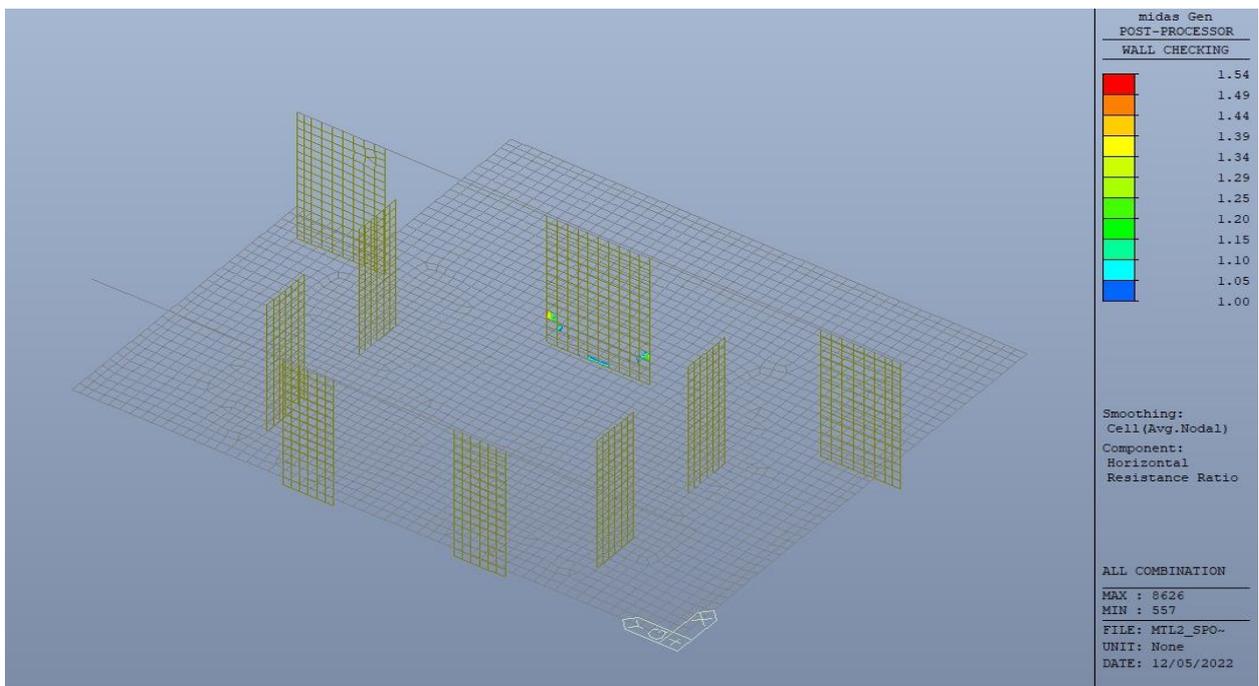


Figura 175. Diaframmi – Tasso di lavoro armatura orizzontale – Zone > 1



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 i massimi valori di sforzo normale in combinazione SLU da utilizzare per la verifica della capacità portante.

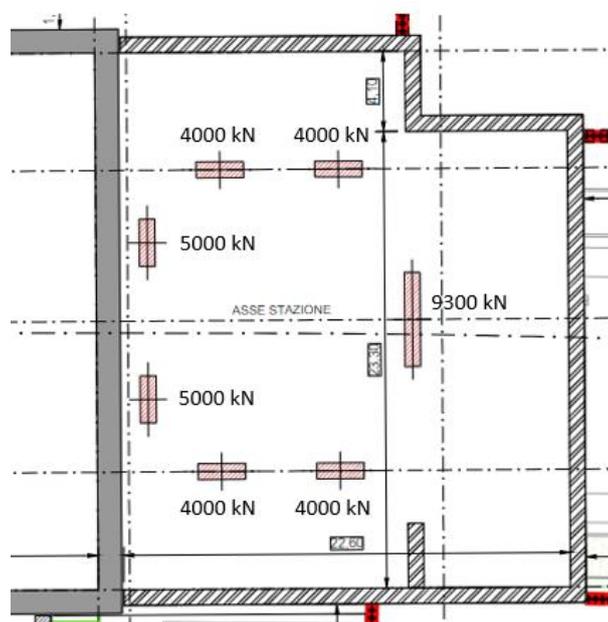


Figura 176. Diaframmi – Massimo sforzo assiale

 <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 accessi stazione	2_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

## 18. 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

### 18.1 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 accessi stazione	2_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.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 36. 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.



### 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 37. 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 accessi stazione	2_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

**Tabella 38. 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 accessi stazione	2_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

**Tabella 39. 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 40. 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 accessi stazione	2_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

## 18.2 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 accessi stazione	2_MTL2T1A2DSTRSPOR002-0-1.DOCX

## 19. 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 41. Confronto reazioni vincolari**

CARICHI	$R_{z1}$ [kN]	$R_{z2}$ [kN]	$\Delta$ [%]
SW	35250	36660	104%
G2	31260	31215	100%
QVC	18437	18420	100%
QE	2390	2390	100%
QC5	1664	1660	100%

Dove:

- SW è il peso proprio delle strutture modellate;
- G2 sono i carichi permanenti portati (vedere cap. 7.4);
- QVC sono i carichi veicolari (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);
- $R_{z1}$  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.