

**NUOVA LINEA TORINO LIONE - NOUVELLE LIGNE LYON TURIN  
PARTE COMUNE ITALO-FRANCESE - PARTIE COMMUNE FRANCO-ITALIENNE**

**LOTTO COSTRUTTIVO 1 / LOT DE CONSTRUCTION 1  
CANTIERE OPERATIVO 02C/CHANTIER DE CONSTRUCTION 02C  
RILOCALIZZAZIONE DELL'AUTOPORTO DI SUSÀ  
DEPLACEMENT DE L'AUTOPORTO DE SUSE  
PROGETTO ESECUTIVO - ETUDES D'EXECUTION  
CUP C11J05000030001 - CIG 682325367F**

**SOVRAPPASSO RAMPA DI INGRESSO –  
RELAZIONE DI CALCOLO SULLE SOTTOSTRUTTURE**

| Indice | Date/ Data | Modifications / Modifiche   | Etabli par / Concepito da | Vérifié par / Controllato da | Autorisé par / Autorizzato da |
|--------|------------|---|---------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| 0      | 30/04/2017 | Première diffusion / Prima emissione                                      | G.MARTUSCELLI (-)         | L.BARBERIS (MUSINET Eng.)    | F.D'AMBRA (MUSINET Eng.)      |
| A      | 31/08/2017 | Révision suite aux commentaires TELT<br>Revisione a seguito commenti TELT | G.MARTUSCELLI (-)         | L.BARBERIS (MUSINET Eng.)    | F.D'AMBRA (MUSINET Eng.)      |
| B      | 30/04/2018 | Recepimento istruttoria validazione RINA Check                            | P.LESCCE (MUSINET Eng.)   | P.D'ALOISIO (MUSINET Eng.)   | L.BARBERIS (MUSINET Eng.)     |
|        |            |   |                           |                              |                               |
|        |            |   |                           |                              |                               |

|                      |   |          |                   |          |          |          |              |          |                   |                 |          |          |          |          |          |
|----------------------|---|----------|-------------------|----------|----------|----------|--------------|----------|-------------------|-----------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| <b>1</b>             | <b>0</b>  | <b>2</b> | <b>C</b>          | <b>C</b> | <b>1</b> | <b>6</b> | <b>1</b>     | <b>6</b> | <b>7</b>          | <b>N</b>        | <b>V</b> | <b>A</b> | <b>0</b> | <b>W</b> | <b>G</b> |
| Lot Cos.<br>Lot.Con. | Cantiere operativo/<br>Chantier de construction |          | Contratto/Contrat |          |          |          | Opera/Oeuvre |          | Tratto<br>Tronçon | Parte<br>Partie |          |          |          |          |          |

|               |                                    |                   |          |  |          |          |                 |          |          |
|---------------|------------------------------------|-------------------|----------|--|----------|----------|-----------------|----------|----------|
| <b>E</b>      | <b>G</b>                           | <b>C</b>          | <b>R</b> | <b>E</b>                               | <b>0</b> | <b>2</b> | <b>0</b>        | <b>2</b> | <b>B</b> |
| Fase<br>Phase | Tipo documento<br>Type de document | Oggetto<br>Object |          | Numero documento<br>Numéro de document |          |          | Indice<br>Index |          |          |

**INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE/  
/INTÉGRATION SPÉCIALISTE**



Dott. Ing. Piero D'ALOISIO  
Albo di Torino  
N° 5193 S



**SCALA / ÉCHELLE**

-

**IL PROGETTISTA/LE DESIGNER**



Dott. Arch. Corrado GIOVANNETTI  
Albo di Torino  
N° 2736

**L'APPALTATORE/L'ENTREPRENEUR**

**IL DIRETTORE DEI LAVORI/LE MAÎTRE D'ŒUVRE**

## SOMMAIRE / INDICE

|  |    |
|--|----|
| 1. PREMESSA .....  | 11 |
| 2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....   | 11 |
| 3. DESCRIZIONE DELLE STRUTTURE .....   | 12 |
| 3.1 Impalcati .....  | 14 |
| 3.2 Sottostrutture.....  | 15 |
| 3.3 Isolatori e giunti.....  | 17 |
| 4. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI .....                                       | 18 |
| 4.1 Calcestruzzi.....  | 18 |
| 4.1.1 Conglomerato per sottofondazioni C12/15 .....                          | 18 |
| 4.1.2 Conglomerato per opere provvisionali e pali di fondazione C28/35 ..... | 18 |
| 4.1.3 Conglomerato per plinti di fondazione C28/35.....                      | 18 |
| 4.1.4 Conglomerato per opere in elevazione C32/40.....                       | 19 |
| 4.1.5 Conglomerato per baggioli e cordoli C35/45.....                        | 19 |
| 4.1.6 Conglomerato per solette C35/45 .....                                  | 19 |
| 4.1.7 Malta per micropali C28/35 .....                                       | 19 |
| 4.2 Acciaio d'armatura .....   | 20 |
| 4.2.1 Acciaio da c.a. tipo B450C saldabile .....                             | 20 |
| 4.3 Acciaio da carpenteria metallica.....                                    | 20 |
| 4.3.1 Acciaio per impalcati S355 J2 (Rif. UNI EN 10025-2).....               | 20 |
| 4.3.2 Acciaio per micropali S355 JR (Rif. UNI EN 10025-2).....               | 20 |
| 4.3.3 Bulloni di classe 10.9 e dadi classe 10.....                           | 20 |
| 4.3.4 Collegamenti in unioni saldate.....                                    | 21 |
| 4.4 Trattamenti protettivi .....   | 21 |
| 4.4.1 Verniciatura carpenteria metallica .....                               | 21 |
| 4.4.2 Trattamento velette .....  | 21 |
| 4.4.3 Trattamento calcestruzzi .....   | 21 |
| 4.5 Misto cementato.....   | 21 |
| 5. MODELLAZIONE DELLA STRUTTURA.....   | 22 |
| 5.1 Descrizione del modello di calcolo globale.....                          | 22 |
| 6. AZIONI DI PROGETTO .....  | 25 |
| 6.1 <i>Peso proprio elementi strutturali</i> .....                           | 25 |
| 6.2 <i>Peso proprio elementi non strutturali</i> .....                       | 25 |
| 6.3 Azioni variabili da traffico.....  | 25 |
| 6.4 Azioni longitudinale di frenamento o di accelerazione ( $q_3$ ) .....    | 29 |
| 6.5 Azione centrifuga $q_4$ .....  | 29 |
| 6.6 Azione del vento $q_5$ .....   | 30 |
| Vento a ponte scarico .....  | 31 |
| Vento a ponte carico.....  | 31 |
| 6.7 Resistenze passive dei vincoli $q_7$ .....                               | 32 |
| 6.8 Urto di veicolo in svio $q_8$ .....                                      | 32 |
| 6.9 Variazioni termiche .....  | 32 |
| 6.10 Spinta del terreno.....   | 33 |
| 6.11 Azioni sismiche .....   | 33 |
| 6.11.1 Analisi strutturale .....   | 41 |

|         |   |     |
|---------|---|-----|
| 6.11.2  | Incremento di spinta in condizioni sismiche .....                                     | 50  |
| 6.11.3  | Inerzia sismica del terreno contenuto nelle spalle .....                              | 50  |
| 7.      | CONDIZIONI E COMBINAZIONI DI CARICO .....   | 51  |
| 7.1     | Condizioni elementari di carico .....   | 51  |
| 7.2     | Combinazioni delle azioni agli Stati Limite Ultimi.....                               | 52  |
| 7.3     | Combinazioni delle azioni agli Stati Limite di Esercizio .....                        | 52  |
| 8.      | CRITERI DI VERIFICA .....   | 56  |
| 8.1     | Criteri di verifica agli stati limite ultimi (SLU) per gli elementi in c.a. ....      | 56  |
| 8.1.1   | Criteri di verifica per elementi soggetti a flessione e/o sforzo normale .....        | 56  |
| 8.1.2   | Criteri di verifica per elementi soggetti a taglio .....                              | 58  |
| 8.1.2.1 | Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio .....                         | 58  |
| 8.1.2.2 | Elementi con armature trasversali resistenti a taglio .....                           | 58  |
| 8.1.2.3 | Resistenza di elementi tozzi, nelle zone diffusive e nei nodi.....                    | 59  |
| 8.1.2.4 | Resistenza nei confronti di sollecitazioni torcenti .....                             | 59  |
| 8.2     | Criteri di verifica agli stati limite di esercizio (SLE) per gli elementi in c.a..... | 61  |
| 8.2.1   | Verifiche a fessurazione.....   | 61  |
| 8.2.2   | Verifiche tensionali .....  | 61  |
| 8.3     | Criteri di analisi e verifica delle strutture di fondazione .....                     | 61  |
| 8.3.1   | Verifiche geotecniche dei pali.....   | 63  |
| 8.3.2   | Verifiche strutturali dei pali .....  | 66  |
| 9.      | ANALISI E VERIFICA DELLE PILE .....   | 67  |
| 9.1     | Sollecitazioni .....  | 67  |
| 9.2     | Scarichi in fondazione Pile .....   | 72  |
| 9.3     | Verifica dei plinti .....   | 73  |
| 9.3.1   | Verifiche SLU .....   | 73  |
| 9.3.1.1 | Verifiche di resistenza.....  | 73  |
| 9.4     | Verifica del fusto .....  | 74  |
| 9.4.1   | Verifiche SLU .....   | 74  |
| 9.4.1.1 | Verifiche a pressoflessione deviata.....  | 74  |
| 9.4.1.2 | Verifiche a taglio.....   | 88  |
| 9.4.2   | Verifiche SLE .....   | 89  |
| 9.4.2.1 | Verifiche a fessurazione.....   | 89  |
| 9.4.2.2 | Verifiche tensionali .....  | 90  |
| 9.5     | Verifica del pulvino .....  | 91  |
| 9.5.1   | Verifiche SLU.....  | 91  |
| 9.5.1.1 | Verifiche di resistenza.....  | 91  |
| 9.5.2   | Verifiche SLE .....   | 92  |
| 9.5.2.1 | Verifiche a fessurazione.....   | 92  |
| 9.5.2.2 | Verifiche tensionali .....  | 92  |
| 9.6     | Verifica dei baggioli .....   | 93  |
| 9.6.1.1 | Verifiche di resistenza.....  | 93  |
| 10.     | ANALISI E VERIFICA DELLE SPALLE .....   | 94  |
| 10.1    | Sollecitazioni Spalla S3 .....  | 95  |
| 10.2    | Sollecitazioni Spalla S4 .....  | 112 |
| 10.3    | Scarichi in fondazione Spalle S3/S4.....  | 128 |
| 10.4    | Verifica della zattera fondazione – Spalla S3 .....                                   | 129 |
| 10.4.1  | Verifiche SLU.....  | 129 |

|           |  |     |
|-----------|--|-----|
| 10.4.1.1  | Verifiche a flessione.....                         | 129 |
| 10.4.1.2  | Verifiche di resistenza.....                       | 130 |
| 10.4.2    | Verifiche SLE .....                                | 131 |
| 10.4.2.1  | Verifiche a fessurazione.....                      | 131 |
| 10.4.2.2  | Verifiche tensionali .....                         | 132 |
| 10.5      | Verifica della zattera fondazione – Spalla S4..... | 133 |
| 10.5.1    | Verifiche SLU.....                                 | 133 |
| 10.5.1.1  | Verifiche a flessione.....                         | 133 |
| 10.5.1.2  | Verifiche di resistenza.....                       | 134 |
| 10.5.2    | Verifiche SLE .....                                | 135 |
| 10.5.2.1  | Verifiche a fessurazione.....                      | 135 |
| 10.5.2.2  | Verifiche tensionali .....                         | 136 |
| 10.6      | Verifica del paramento – Spalla S3 .....           | 137 |
| 10.6.1    | Verifiche SLU.....                                 | 137 |
| 10.6.1.1  | Verifiche a flessione.....                         | 137 |
| 10.6.1.2  | Verifiche a taglio.....                            | 138 |
| 10.6.2    | Verifiche SLE .....                                | 139 |
| 10.6.2.1  | Verifiche a fessurazione.....                      | 139 |
| 10.6.2.2  | Verifiche tensionali .....                         | 140 |
| 10.7      | Verifica del paramento – Spalla S4 .....           | 141 |
| 10.7.1    | Verifiche SLU.....                                 | 141 |
| 10.7.1.1  | Verifiche a flessione.....                         | 141 |
| 10.7.1.2  | Verifiche a taglio.....                            | 142 |
| 10.7.2    | Verifiche SLE .....                                | 143 |
| 10.7.2.1  | Verifiche a fessurazione.....                      | 143 |
| 10.7.2.2  | Verifiche tensionali .....                         | 144 |
| 10.8      | Verifica del muro paraghiaia – Spalla S3 .....     | 145 |
| 10.8.1    | Verifiche SLU.....                                 | 145 |
| 10.8.1.1  | Verifiche a flessione.....                         | 145 |
| 10.8.1.2  | Verifiche a taglio.....                            | 146 |
| 10.8.2    | Verifiche SLE .....                                | 147 |
| 10.8.2.1  | Verifiche a fessurazione.....                      | 147 |
| 10.8.2.2  | Verifiche tensionali .....                         | 149 |
| 10.9      | Verifica del muro paraghiaia – Spalla S4 .....     | 150 |
| 10.9.1    | Verifiche SLU.....                                 | 150 |
| 10.9.1.1  | Verifiche a flessione.....                         | 150 |
| 10.9.1.2  | Verifiche a taglio.....                            | 151 |
| 10.9.2    | Verifiche SLE .....                                | 152 |
| 10.9.2.1  | Verifiche a fessurazione.....                      | 152 |
| 10.9.2.2  | Verifiche tensionali .....                         | 154 |
| 10.10     | Verifica dei muri andatori – Spalla S3 .....       | 155 |
| 10.10.1   | Verifiche SLU.....                                 | 155 |
| 10.10.1.1 | Verifiche a flessione.....                         | 155 |
| 10.10.1.2 | Verifiche a taglio.....                            | 157 |
| 10.10.2   | Verifiche SLE .....                                | 159 |
| 10.10.2.1 | Verifiche a fessurazione.....                      | 159 |
| 10.10.2.2 | Verifiche tensionali .....                         | 161 |
| 10.11     | Verifica dei muri andatori – Spalla S4 .....       | 162 |
| 10.11.1   | Verifiche SLU.....                                 | 162 |

|           |  |     |
|-----------|--|-----|
| 10.11.1.1 | Verifiche a flessione.....               | 162 |
| 10.11.1.2 | Verifiche a taglio.....                  | 164 |
| 10.11.2   | Verifiche SLE .....                      | 166 |
| 10.11.2.1 | Verifiche a fessurazione.....            | 166 |
| 10.11.2.2 | Verifiche tensionali .....               | 168 |
| 10.12     | Verifica dei baggioli – Spalla S3 .....  | 169 |
| 10.12.1   | Verifiche SLU .....                      | 169 |
| 10.12.1.1 | Verifiche di resistenza.....             | 169 |
| 10.13     | Verifica dei baggioli – Spalla S4 .....  | 170 |
| 10.13.1   | Verifiche SLU .....                      | 170 |
| 10.13.1.1 | Verifiche di resistenza.....             | 170 |
| 11.       | SCARICHI SUGLI ISOLATORI.....            | 171 |
| 12.       | VERIFICA DEL SISTEMA DI ISOLAMENTO ..... | 182 |
| 12.1      | VERIFICA DEI GIUNTI .....                | 184 |
| 12.2      | RITEGNI TRASVERSALI SULLE SPALLE .....   | 185 |
| 13.       | VERIFICA DEI PALI DELLE PILE .....       | 186 |
| 13.1.1    | Verifiche SLU.....                       | 195 |
| 13.1.1.1  | Verifiche a pressoflessione .....        | 196 |
| 13.1.1.2  | Verifiche a taglio.....                  | 197 |
| 13.1.2    | Verifiche SLE .....                      | 197 |
| 13.1.2.1  | Verifiche a fessurazione.....            | 198 |
| 13.1.2.2  | Verifiche tensionali .....               | 199 |
| 13.1.3    | Verifiche GEO .....                      | 199 |
| 13.1.3.1  | Capacità portante dei pali.....          | 199 |
| 13.1.3.2  | Carico limite orizzontale dei pali ..... | 202 |
| 14.       | VERIFICA DEI PALI DELLE SPALLE .....     | 203 |
| 14.1.1    | Verifiche SLU.....                       | 208 |
| 14.1.1.1  | Verifiche a flessione.....               | 209 |
| 14.1.1.2  | Verifiche a taglio.....                  | 210 |
| 14.1.2    | Verifiche SLE .....                      | 210 |
| 14.1.2.1  | Verifiche a fessurazione.....            | 211 |
| 14.1.2.2  | Verifiche tensionali .....               | 212 |
| 14.1.3    | Verifiche GEO .....                      | 212 |
| 14.1.3.1  | Capacità portante dei pali.....          | 212 |
| 14.1.3.2  | Carico limite orizzontale dei pali ..... | 214 |
| 15.       | CALCOLO DEI CEDIMENTI.....               | 215 |

### LISTE DES FIGURES / INDICE DELLE FIGURE

|                 |   |    |
|-----------------|---|----|
| <b>Figura 1</b> | – Sovrappasso di ingresso - planimetria .....             | 13 |
| <b>Figura 2</b> | – Sovrappasso di ingresso - profilo longitudinale .....   | 13 |
| <b>Figura 3</b> | – Impalcato-sezione trasversale tipo.....                 | 15 |
| <b>Figura 4</b> | – Pila .....  | 16 |
| <b>Figura 5</b> | – Vista 3D pile .....                                     | 22 |
| <b>Figura 6</b> | – Vista 3D spalla.....                                    | 22 |
| <b>Figura 7</b> | – Vista assonometrica del modello di calcolo globale..... | 23 |
| <b>Figura 8</b> | – Vista in pianta del modello di calcolo globale.....     | 23 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 9</b> – Vista dal basso del modello unifilare e dei vincoli alla base.....       | 23 |
| <b>Figura 10</b> – Vista unifilare collegamento pila-impalcato.....                        | 24 |
| <b>Figura 11</b> – Moving load case 1 [C1-C2].....   | 27 |
| <b>Figura 12</b> – Moving load case 2 [C3-C4].....   | 27 |
| <b>Figura 13</b> – Massimazione del momento flettente in campata pile P9-P10.....          | 28 |
| <b>Figura 14</b> – Massimazione del momento flettente negativo sull'appoggio pila P8.....  | 28 |
| <b>Figura 15</b> – Massimazione dello sforzo normale massimo su un palo della pila P9..... | 29 |
| <b>Figura 16</b> – Spinta statica.....   | 33 |
| <b>Figura 17</b> – Diagramma tensione – deformazione di progetto del calcestruzzo.....     | 56 |
| <b>Figura 18</b> – Vista Pile – Sovrappasso di Ingresso.....                               | 67 |
| <b>Figura 19</b> – Sforzo Normale SLU – Fx.....  | 67 |
| <b>Figura 20</b> – Taglio SLU – Fy.....  | 68 |
| <b>Figura 21</b> – Taglio SLU – Fz.....  | 68 |
| <b>Figura 22</b> – Momento Flettente SLU - My.....   | 68 |
| <b>Figura 23</b> – Momento Flettente SLU - Mz.....   | 69 |
| <b>Figura 24</b> – Momento Torcente – Mx.....  | 69 |
| <b>Figura 25</b> – Sforzo Normale SLE R - Fx.....  | 69 |
| <b>Figura 26</b> – Momento Flettente SLE R - My.....                                       | 70 |
| <b>Figura 27</b> – Momento Flettente SLE R - Mz.....                                       | 70 |
| <b>Figura 28</b> – Sforzo Normale SLE F - Fx.....  | 70 |
| <b>Figura 29</b> – Momento Flettente SLE F - My.....                                       | 71 |
| <b>Figura 30</b> – Momento Flettente SLE F - Mz.....                                       | 71 |
| <b>Figura 31</b> – Scarichi in fondazione.....   | 72 |
| <b>Figura 32</b> – Verifica Tirante Puntone Plinti Pile.....                               | 73 |
| <b>Figura 33</b> – Verifica a Taglio – Fy.....   | 88 |
| <b>Figura 34</b> – Verifica a Taglio – Fz.....   | 88 |
| <b>Figura 35</b> – Verifica a fessurazione.....  | 89 |
| <b>Figura 36</b> – Verifica tensionale.....  | 90 |
| <b>Figura 37</b> – Verifica Tirante Puntone Pulvini.....                                   | 91 |
| <b>Figura 38</b> – Verifica a fessurazione.....  | 92 |
| <b>Figura 39</b> – Verifica tensionale.....  | 92 |
| <b>Figura 40</b> – Verifica Tirante Puntone Baggioli Pile.....                             | 93 |
| <b>Figura 41</b> – Modello 3D Spalla S3 – Vista anteriore e posteriore.....                | 94 |
| <b>Figura 42</b> – Modello 3D Spalla S4 – Vista anteriore e posteriore.....                | 94 |
| <b>Figura 43</b> – Sforzo Normale SLU – Fxx.....   | 95 |
| <b>Figura 44</b> – Taglio SLU – Vxx.....   | 95 |
| <b>Figura 45</b> – Taglio SLU – Vyy.....   | 95 |
| <b>Figura 46</b> – Momento Flettente SLU – Mxx.....  | 96 |
| <b>Figura 47</b> – Momento Flettente SLU – Myy.....  | 96 |
| <b>Figura 48</b> – Sforzo Normale SLE – Fxx.....   | 96 |
| <b>Figura 49</b> – Momento Flettente SLE – Mxx.....  | 97 |
| <b>Figura 50</b> – Momento Flettente SLE – Myy.....  | 97 |
| <b>Figura 51</b> – Taglio – Vxx.....   | 97 |
| <b>Figura 52</b> – Taglio – Vyy.....   | 98 |
| <b>Figura 53</b> – Momento Flettente – Mxx.....  | 98 |
| <b>Figura 54</b> – Momento Flettente – Myy.....  | 98 |
| <b>Figura 55</b> – Momento Flettente – Mxx.....  | 99 |
| <b>Figura 56</b> – Momento Flettente – Myy.....  | 99 |
| <b>Figura 57</b> – Sforzo Normale – Fxx.....   | 99 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>Figura 58</b> – Taglio – $V_{xx}$ .....                | 100 |
| <b>Figura 59</b> – Taglio – $V_{yy}$ .....                | 100 |
| <b>Figura 60</b> – Momento Flettente – $M_{xx}$ .....     | 100 |
| <b>Figura 61</b> – Momento Flettente – $M_{yy}$ .....     | 101 |
| <b>Figura 62</b> – Sforzo Normale – $F_{xx}$ .....        | 101 |
| <b>Figura 63</b> – Momento Flettente – $M_{xx}$ .....     | 101 |
| <b>Figura 64</b> – Momento Flettente – $M_{yy}$ .....     | 102 |
| <b>Figura 65</b> – Sforzo Normale – $F_{xx}$ .....        | 103 |
| <b>Figura 66</b> – Taglio – $V_{xx}$ .....                | 103 |
| <b>Figura 67</b> – Taglio – $V_{yy}$ .....                | 104 |
| <b>Figura 68</b> – Momento Flettente – $M_{xx}$ .....     | 104 |
| <b>Figura 69</b> – Momento Flettente – $M_{yy}$ .....     | 104 |
| <b>Figura 70</b> – Sforzo Normale – $F_{xx}$ .....        | 105 |
| <b>Figura 71</b> – Momento Flettente – $M_{xx}$ .....     | 105 |
| <b>Figura 72</b> – Momento Flettente – $M_{yy}$ .....     | 105 |
| <b>Figura 73</b> – Sforzo Normale – $F_{xx}$ .....        | 106 |
| <b>Figura 74</b> – Taglio – $V_{xx}$ .....                | 106 |
| <b>Figura 75</b> – Taglio – $V_{yy}$ .....                | 106 |
| <b>Figura 76</b> – Momento Flettente – $M_{xx}$ .....     | 107 |
| <b>Figura 77</b> – Momento Flettente – $M_{yy}$ .....     | 107 |
| <b>Figura 78</b> – Sforzo Normale – $F_{xx}$ .....        | 107 |
| <b>Figura 79</b> – Momento Flettente – $M_{xx}$ .....     | 108 |
| <b>Figura 80</b> – Momento Flettente – $M_{yy}$ .....     | 108 |
| <b>Figura 81</b> – Sforzo Normale – $F_{xx}$ .....        | 108 |
| <b>Figura 82</b> – Taglio – $V_{xx}$ .....                | 109 |
| <b>Figura 83</b> – Taglio – $V_{yy}$ .....                | 109 |
| <b>Figura 84</b> – Momento Flettente – $M_{xx}$ .....     | 109 |
| <b>Figura 85</b> – Momento Flettente – $M_{yy}$ .....     | 110 |
| <b>Figura 86</b> – Sforzo Normale – $F_{xx}$ .....        | 110 |
| <b>Figura 87</b> – Momento Flettente – $M_{xx}$ .....     | 110 |
| <b>Figura 88</b> – Momento Flettente – $M_{yy}$ .....     | 111 |
| <b>Figura 89</b> – Sforzo Normale SLU – $F_{xx}$ .....    | 112 |
| <b>Figura 90</b> – Taglio SLU – $V_{xx}$ .....            | 112 |
| <b>Figura 91</b> – Taglio SLU – $V_{yy}$ .....            | 112 |
| <b>Figura 92</b> – Momento Flettente SLU – $M_{xx}$ ..... | 113 |
| <b>Figura 93</b> – Momento Flettente SLU – $M_{yy}$ ..... | 113 |
| <b>Figura 94</b> – Sforzo Normale SLE – $F_{xx}$ .....    | 113 |
| <b>Figura 95</b> – Momento Flettente SLE – $M_{xx}$ ..... | 114 |
| <b>Figura 96</b> – Momento Flettente SLE – $M_{yy}$ ..... | 114 |
| <b>Figura 97</b> – Taglio – $V_{xx}$ .....                | 114 |
| <b>Figura 98</b> – Taglio – $V_{yy}$ .....                | 115 |
| <b>Figura 99</b> – Momento Flettente – $M_{xx}$ .....     | 115 |
| <b>Figura 100</b> – Momento Flettente – $M_{yy}$ .....    | 115 |
| <b>Figura 101</b> – Momento Flettente – $M_{xx}$ .....    | 116 |
| <b>Figura 102</b> – Momento Flettente – $M_{yy}$ .....    | 116 |
| <b>Figura 103</b> – Sforzo Normale – $F_{xx}$ .....       | 116 |
| <b>Figura 104</b> – Taglio – $V_{xx}$ .....               | 117 |
| <b>Figura 105</b> – Taglio – $V_{yy}$ .....               | 117 |
| <b>Figura 106</b> – Momento Flettente – $M_{xx}$ .....    | 117 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Figura 107</b> – Momento Flettente – $M_{xx}$ .....                             | 118 |
| <b>Figura 108</b> – Sforzo Normale – $F_{xx}$ .....                                | 118 |
| <b>Figura 109</b> – Momento Flettente – $M_{xx}$ .....                             | 118 |
| <b>Figura 110</b> – Momento Flettente – $M_{yy}$ .....                             | 119 |
| <b>Figura 111</b> – Sforzo Normale – $F_{xx}$ .....                                | 120 |
| <b>Figura 112</b> – Taglio – $V_{xx}$ .....  | 120 |
| <b>Figura 113</b> – Taglio – $V_{yy}$ .....  | 121 |
| <b>Figura 114</b> – Momento Flettente – $M_{xx}$ .....                             | 121 |
| <b>Figura 115</b> – Momento Flettente – $M_{yy}$ .....                             | 121 |
| <b>Figura 116</b> – Sforzo Normale – $F_{xx}$ .....                                | 122 |
| <b>Figura 117</b> – Momento Flettente – $M_{xx}$ .....                             | 122 |
| <b>Figura 118</b> – Momento Flettente – $M_{yy}$ .....                             | 122 |
| <b>Figura 119</b> – Sforzo Normale – $F_{xx}$ .....                                | 123 |
| <b>Figura 120</b> – Taglio – $V_{xx}$ .....  | 123 |
| <b>Figura 121</b> – Taglio – $V_{yy}$ .....  | 123 |
| <b>Figura 122</b> – Momento Flettente – $M_{xx}$ .....                             | 124 |
| <b>Figura 123</b> – Momento Flettente – $M_{yy}$ .....                             | 124 |
| <b>Figura 124</b> – Sforzo Normale – $F_{xx}$ .....                                | 124 |
| <b>Figura 125</b> – Momento Flettente – $M_{xx}$ .....                             | 125 |
| <b>Figura 126</b> – Momento Flettente – $M_{yy}$ .....                             | 125 |
| <b>Figura 127</b> – Sforzo Normale – $F_{xx}$ .....                                | 125 |
| <b>Figura 128</b> – Taglio – $V_{xx}$ .....  | 126 |
| <b>Figura 129</b> – Taglio – $V_{yy}$ .....  | 126 |
| <b>Figura 130</b> – Momento Flettente – $M_{xx}$ .....                             | 126 |
| <b>Figura 131</b> – Momento Flettente – $M_{yy}$ .....                             | 127 |
| <b>Figura 132</b> – Sforzo Normale – $F_{xx}$ .....                                | 127 |
| <b>Figura 133</b> – Momento Flettente – $M_{xx}$ .....                             | 127 |
| <b>Figura 134</b> – Momento Flettente – $M_{yy}$ .....                             | 128 |
| <b>Figura 135</b> – Scarichi in fondazione .....                                   | 128 |
| <b>Figura 136</b> – Verifica a Flessione – $M_{xx}$ .....                          | 129 |
| <b>Figura 137</b> – Verifica a Flessione – $M_{yy}$ .....                          | 129 |
| <b>Figura 138</b> – Verifica Tirante Puntone Zattera di Fondazione Spalla S3 ..... | 130 |
| <b>Figura 139</b> – Verifica a fessurazione – $M_{xx}$ .....                       | 131 |
| <b>Figura 140</b> – Verifica a fessurazione – $M_{yy}$ .....                       | 131 |
| <b>Figura 141</b> – Verifica tensionale – $M_{xx}$ .....                           | 132 |
| <b>Figura 142</b> – Verifica tensionale – $M_{yy}$ .....                           | 132 |
| <b>Figura 143</b> – Verifica a Flessione – $M_{xx}$ .....                          | 133 |
| <b>Figura 144</b> – Verifica a Flessione – $M_{yy}$ .....                          | 133 |
| <b>Figura 145</b> – Verifica Tirante Puntone Zattera di Fondazione Spalla S4 ..... | 134 |
| <b>Figura 146</b> – Verifica a fessurazione – $M_{xx}$ .....                       | 135 |
| <b>Figura 147</b> – Verifica a fessurazione – $M_{yy}$ .....                       | 135 |
| <b>Figura 148</b> – Verifica tensionale – $M_{xx}$ .....                           | 136 |
| <b>Figura 149</b> – Verifica tensionale – $M_{yy}$ .....                           | 136 |
| <b>Figura 150</b> – Verifica a Flessione – $M_{xx}$ .....                          | 137 |
| <b>Figura 151</b> – Verifica a Flessione – $M_{yy}$ .....                          | 137 |
| <b>Figura 152</b> – Verifica a Taglio – $V_{xx}$ .....                             | 138 |
| <b>Figura 153</b> – Verifica a Taglio – $V_{yy}$ .....                             | 138 |
| <b>Figura 154</b> – Verifica a fessurazione – $M_{xx}$ .....                       | 139 |
| <b>Figura 155</b> – Verifica a fessurazione – $M_{yy}$ .....                       | 139 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Figura 156</b> – Verifica tensionale – $M_{xx}$ .....                     | 140 |
| <b>Figura 157</b> – Verifica tensionale – $M_{yy}$ .....                     | 140 |
| <b>Figura 158</b> – Verifica a Flessione – $M_{xx}$ .....                    | 141 |
| <b>Figura 159</b> – Verifica a Flessione – $M_{yy}$ .....                    | 141 |
| <b>Figura 160</b> – Verifica a Taglio – $V_{xx}$ .....                       | 142 |
| <b>Figura 161</b> – Verifica a Taglio – $V_{yy}$ .....                       | 142 |
| <b>Figura 162</b> – Verifica a fessurazione – $M_{xx}$ .....                 | 143 |
| <b>Figura 163</b> – Verifica a fessurazione – $M_{yy}$ .....                 | 143 |
| <b>Figura 164</b> – Verifica tensionale – $M_{xx}$ .....                     | 144 |
| <b>Figura 165</b> – Verifica tensionale – $M_{yy}$ .....                     | 144 |
| <b>Figura 166</b> – Verifica a Flessione – $M_{xx}$ .....                    | 145 |
| <b>Figura 167</b> – Verifica a Flessione – $M_{yy}$ .....                    | 145 |
| <b>Figura 168</b> – Verifica a Taglio – $V_{xx}$ .....                       | 146 |
| <b>Figura 169</b> – Verifica a Taglio – $V_{yy}$ .....                       | 146 |
| <b>Figura 170</b> – Verifica a fessurazione – $M_{xx}$ .....                 | 147 |
| <b>Figura 171</b> – Verifica a fessurazione – $M_{yy}$ .....                 | 148 |
| <b>Figura 172</b> – Verifica tensionale – $M_{xx}$ .....                     | 149 |
| <b>Figura 173</b> – Verifica tensionale – $M_{yy}$ .....                     | 149 |
| <b>Figura 174</b> – Verifica a Flessione – $M_{xx}$ .....                    | 150 |
| <b>Figura 175</b> – Verifica a Flessione – $M_{yy}$ .....                    | 150 |
| <b>Figura 176</b> – Verifica a Taglio – $V_{xx}$ .....                       | 151 |
| <b>Figura 177</b> – Verifica a Taglio – $V_{yy}$ .....                       | 151 |
| <b>Figura 178</b> – Verifica a fessurazione – $M_{xx}$ .....                 | 152 |
| <b>Figura 179</b> – Verifica a fessurazione – $M_{yy}$ .....                 | 153 |
| <b>Figura 180</b> – Verifica tensionale – $M_{xx}$ .....                     | 154 |
| <b>Figura 181</b> – Verifica tensionale – $M_{yy}$ .....                     | 154 |
| <b>Figura 182</b> – Verifica a Flessione parte inferiore – $M_{xx}$ .....    | 155 |
| <b>Figura 183</b> – Verifica a Flessione parte inferiore – $M_{yy}$ .....    | 155 |
| <b>Figura 184</b> – Verifica a Flessione parte superiore – $M_{xx}$ .....    | 156 |
| <b>Figura 185</b> – Verifica a Flessione parte superiore – $M_{yy}$ .....    | 156 |
| <b>Figura 186</b> – Verifica a Taglio parte inferiore – $V_{xx}$ .....       | 157 |
| <b>Figura 187</b> – Verifica a Taglio parte inferiore – $V_{yy}$ .....       | 157 |
| <b>Figura 188</b> – Verifica a Taglio parte superiore – $V_{xx}$ .....       | 158 |
| <b>Figura 189</b> – Verifica a Taglio parte superiore – $V_{yy}$ .....       | 158 |
| <b>Figura 190</b> – Verifica a fessurazione parte inferiore – $M_{xx}$ ..... | 159 |
| <b>Figura 191</b> – Verifica a fessurazione parte inferiore – $M_{yy}$ ..... | 159 |
| <b>Figura 192</b> – Verifica a fessurazione parte superiore – $M_{xx}$ ..... | 160 |
| <b>Figura 193</b> – Verifica a fessurazione parte superiore – $M_{yy}$ ..... | 160 |
| <b>Figura 194</b> – Verifica tensionale parte inferiore – $M_{xx}$ .....     | 161 |
| <b>Figura 195</b> – Verifica tensionale parte inferiore – $M_{yy}$ .....     | 161 |
| <b>Figura 196</b> – Verifica tensionale parte superiore – $M_{xx}$ .....     | 161 |
| <b>Figura 197</b> – Verifica tensionale parte superiore – $M_{yy}$ .....     | 161 |
| <b>Figura 198</b> – Verifica a Flessione parte inferiore – $M_{xx}$ .....    | 162 |
| <b>Figura 199</b> – Verifica a Flessione parte inferiore – $M_{yy}$ .....    | 162 |
| <b>Figura 200</b> – Verifica a Flessione parte superiore – $M_{xx}$ .....    | 163 |
| <b>Figura 201</b> – Verifica a Flessione parte superiore – $M_{yy}$ .....    | 163 |
| <b>Figura 202</b> – Verifica a Taglio parte inferiore – $V_{xx}$ .....       | 164 |
| <b>Figura 203</b> – Verifica a Taglio parte inferiore – $V_{yy}$ .....       | 164 |
| <b>Figura 204</b> – Verifica a Taglio parte superiore – $V_{xx}$ .....       | 165 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Figura 205</b> – Verifica a Taglio parte superiore – $V_{yy}$ .....                         | 165 |
| <b>Figura 206</b> – Verifica a fessurazione parte inferiore – $M_{xx}$ .....                   | 166 |
| <b>Figura 207</b> – Verifica a fessurazione parte inferiore – $M_{yy}$ .....                   | 166 |
| <b>Figura 208</b> – Verifica a fessurazione parte superiore – $M_{xx}$ .....                   | 167 |
| <b>Figura 209</b> – Verifica a fessurazione parte superiore – $M_{yy}$ .....                   | 167 |
| <b>Figura 210</b> – Verifica tensionale parte inferiore – $M_{xx}$ .....                       | 168 |
| <b>Figura 211</b> – Verifica tensionale parte inferiore – $M_{yy}$ .....                       | 168 |
| <b>Figura 212</b> – Verifica tensionale parte superiore – $M_{xx}$ .....                       | 168 |
| <b>Figura 213</b> – Verifica tensionale parte superiore – $M_{yy}$ .....                       | 168 |
| <b>Figura 214</b> – Verifica Tirante Puntone Baggioli Spalla S3.....                           | 169 |
| <b>Figura 215</b> – Verifica Tirante Puntone Baggioli Spalla S4.....                           | 170 |
| <b>Figura 216</b> – Numerazione general link.....  | 171 |
| <b>Figura 217</b> – Spostamenti massimi SLC .....  | 182 |
| <b>Figura 218</b> – Spostamento massimo in X allo SLU .....                                    | 183 |
| <b>Figura 219</b> – Spostamento massimo in Y allo SLU .....                                    | 183 |
| <b>Figura 220</b> – Dettaglio ritegno su spalla .....  | 185 |
| <b>Figura 221</b> – Resistenza del ritegno .....   | 185 |
| <b>Figura 222</b> – Numerazione nodi.....  | 186 |
| <b>Figura 223</b> – Momento Flettente e Taglio – SLU ( $F_{XY}$ Max).....                      | 195 |
| <b>Figura 224</b> – Momento Flettente e Taglio – SLU ( $F_z$ Min).....                         | 195 |
| <b>Figura 225</b> – Verifica a Pressoflessione ( $F_{XY}$ Max).....                            | 196 |
| <b>Figura 226</b> – Verifica a Pressoflessione ( $F_z$ Min).....                               | 196 |
| <b>Figura 227</b> – Verifica a Taglio ( $F_{XY}$ Max).....                                     | 197 |
| <b>Figura 228</b> – Momento Flettente - SLER.....  | 197 |
| <b>Figura 229</b> – Momento Flettente - SLEF .....   | 198 |
| <b>Figura 230</b> – Verifica a fessurazione .....  | 198 |
| <b>Figura 231</b> – Verifica tensionale .....  | 199 |
| <b>Figura 232</b> – Carico limite orizzontale.....   | 202 |
| <b>Figura 233</b> – Numerazione nodi.....  | 203 |
| <b>Figura 234</b> – Momento Flettente e Taglio – SLU ( $F_{XY}$ Max).....                      | 208 |
| <b>Figura 235</b> – Momento Flettente e Taglio – SLU ( $F_z$ Min).....                         | 208 |
| <b>Figura 236</b> – Verifica a Pressoflessione ( $F_{X/Y}$ Max).....                           | 209 |
| <b>Figura 237</b> – Verifica a Pressoflessione ( $F_z$ Min).....                               | 209 |
| <b>Figura 238</b> – Verifica a Taglio ( $F_{X/Y}$ Max).....                                    | 210 |
| <b>Figura 239</b> – Momento Flettente - SLER.....  | 210 |
| <b>Figura 240</b> – Momento Flettente - SLEF .....   | 211 |
| <b>Figura 241</b> – Verifica a fessurazione .....  | 211 |
| <b>Figura 242</b> – Verifica tensionale .....  | 212 |
| <b>Figura 243</b> – Carico limite orizzontale.....   | 214 |
| <b>Figura 244</b> – Modello di calcolo caricato con i carichi permanenti di seconda fase ..... | 218 |
| <b>Figura 245</b> – Modello di calcolo con numerazione nodi.....                               | 218 |

## 1. PREMESSA

La presente relazione è relativa al calcolo delle sottostrutture del Sovrappasso di Ingresso da realizzare sull' Autostrada A32 Torino-Bardonecchia nell'ambito del Progetto Esecutivo della "Rilocalizzazione dell'Autoporto di Susa", nel comune di San Didero. Per sottostrutture si intendono tutte le opere strutturali del sovrappasso ad esclusione dell'imalcato, oggetto di specifica relazione.

Dal punto di vista delle analisi strutturali il documento è stato redatto in osservanza delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al DM 14/01/2008, utilizzando la metodologia di verifica agli Stati Limite.

## 2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Nella stesura della presente relazione si sono seguite le indicazioni contenute nella normativa vigente. In particolare si sono considerate le seguenti normative:

**Legge 5 Novembre 1971 n. 1086** – *“Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio, normale e precompresso ed a struttura metallica”*.

**Circolare LL.PP. 14 Febbraio 1974 n. 11951** – *“Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio, normale e precompresso ed a struttura metallica – Istruzioni per l'applicazione”*.

**D.M. LL.PP. 14 Gennaio 2008** - *“Norme tecniche per le costruzioni”*.

**Circolare LL.PP. 2 Febbraio 2009 n. 617-** *Istruzioni per l'applicazione delle “Norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 14 gennaio 2008.*

### 3. DESCRIZIONE DELLE STRUTTURE

Per la realizzazione del nuovo svincolo sull'autostada A32 Torino-Bardonecchia sono stati progettati due Sovrappassi: il “Sovrappasso di Uscita” o “Sovrappasso BA-SV” ovvero il sovrappasso che consente l'uscita dall'A32 per i veicoli provenienti lato Bardonecchia e conduce all'Autoporto ed il “Sovrappasso di Ingresso” o “Sovrappasso SV-TO” ovvero il sovrappasso che consente ai veicoli provenienti dall'Autoporto di immettersi sull'A32 in direzione Torino.

Oggetto della presente relazione è il Sovrappasso di Ingresso, che presenta una forma a “cappio” di sviluppo complessivo 217m. L'impalcato è in struttura mista acciaio-calcestruzzo, con schema statico di trave continua su più appoggi. Più in dettaglio, l'impalcato è suddiviso in sette campate e poggia alle due estremità sulle due spalle S3 ed S4 e al centro su appoggi intermedi costituiti dalle pile P7, P8, P9, P10, P11 e P12. La lunghezza delle campate in asse impalcato è così distribuita: 27+30+30+42+30+30+27m, oltre ai due retro trave da 0.50m. Planimetricamente il sovrappasso presenta andamento curvilineo, con tratto centrale a curvatura costante pari a 51.60m (in asse impalcato), e curvatura decrescente avvicinandosi verso le due spalle. La carreggiata presenta larghezza minima di 6.50 m (in corrispondenza delle spalle) ed allargamenti in curva a 7.80, nella zona a curvatura costante. Esternamente alla carreggiata sono previsti cordoli da 0.75m che ospitano le barriere H4 bordo ponte, integrate con parasassi in rete lungo tutto lo sviluppo dell'opera, ad eccezione delle 3 campate centrali, che presentano una protezione in rete e lamiera nella parte inferiore alta circa 1.0m.

### SOVRAPPASSO DI INGRESSO PIANTA IMPALCATO

scala 1:500

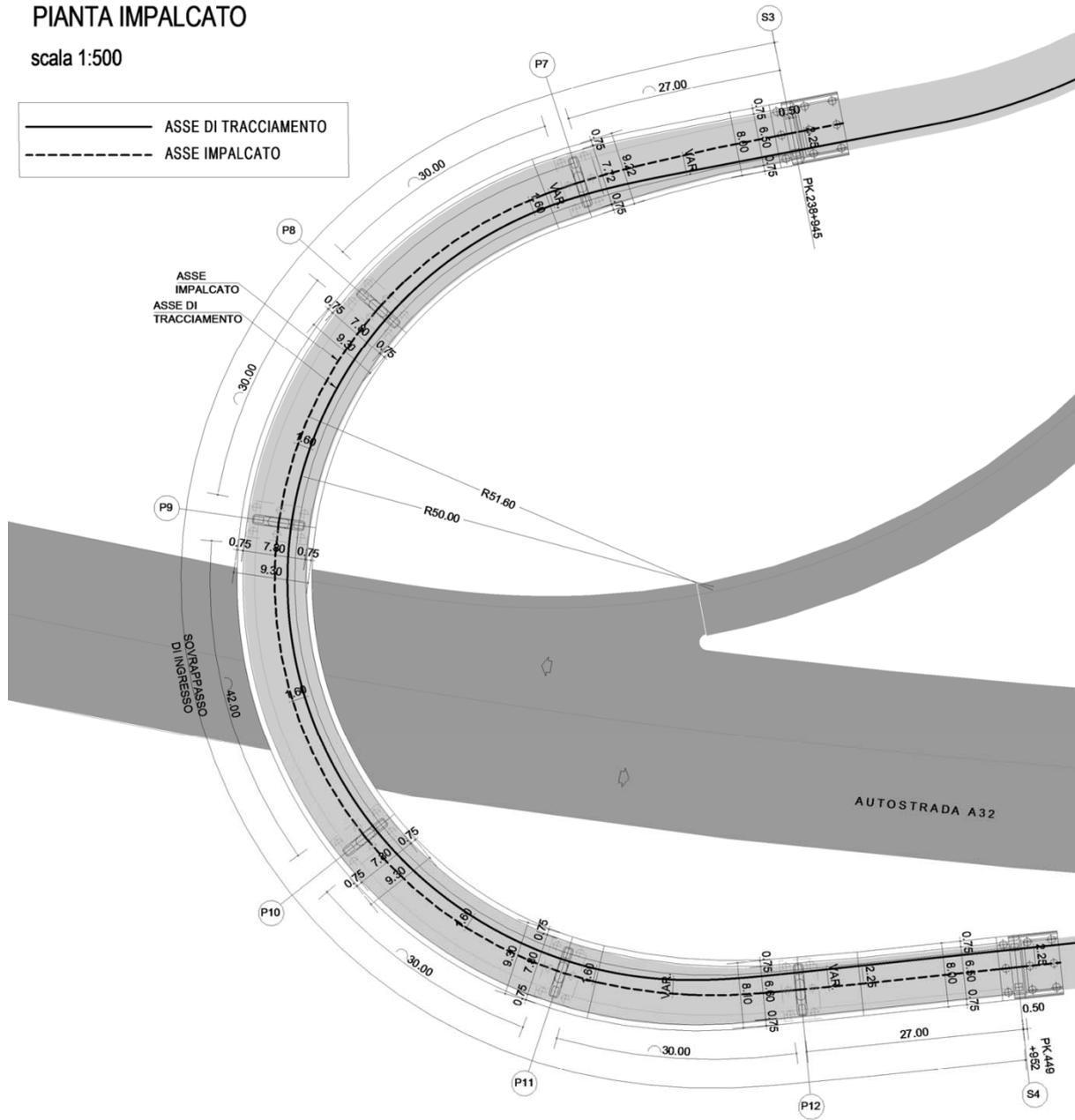


Figura 1 – Sovrappasso di ingresso - planimetria

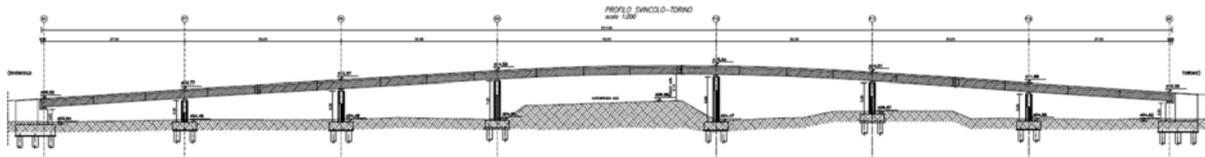


Figura 2 – Sovrappasso di ingresso - profilo longitudinale

### 3.1 Impalcati

Gli impalcati a struttura mista sono costituiti da due travi metalliche principali in profili saldati ad anime verticali, poste ad un interasse di 5.00m, e da una soletta superiore in c.a. di spessore pari a 0.24 m. La collaborazione tra le travi in acciaio e la sovrastante soletta è realizzata mediante connettori di tipo *Nelson*, saldati all'estradosso delle piattabande superiori delle travi principali.

E' previsto inoltre l'impiego di predalles tralicciate in acciaio da 4 mm di spessore poste all'estradosso delle piattabande superiori delle travi principali, con funzione di cassaforma a perdere in fase di getto. Una volta disposte le predalles si provvede alla posa dell'armatura longitudinale ed al completamento di quella trasversale, per poi procedere con il getto della soletta fino agli spessori di progetto.

La soletta in c.a. ha una larghezza di 8.00 m nelle zone prossime alle spalle, di 9.30 m nelle campate centrali e variabile nei restanti tratti dell'impalcato.

Le ali superiori sono collegate da controventi di montaggio di tipo reticolare. Le ali inferiori sono collegate da controventi di torsione.

Trasversalmente le travi principali sono collegate da diaframmi, del tipo a parete piena in corrispondenza di spalle e pile e del tipo reticolare per quelli intermedi. In corrispondenza delle spalle il diaframma è collegato alla soletta mediante pioli in acciaio.

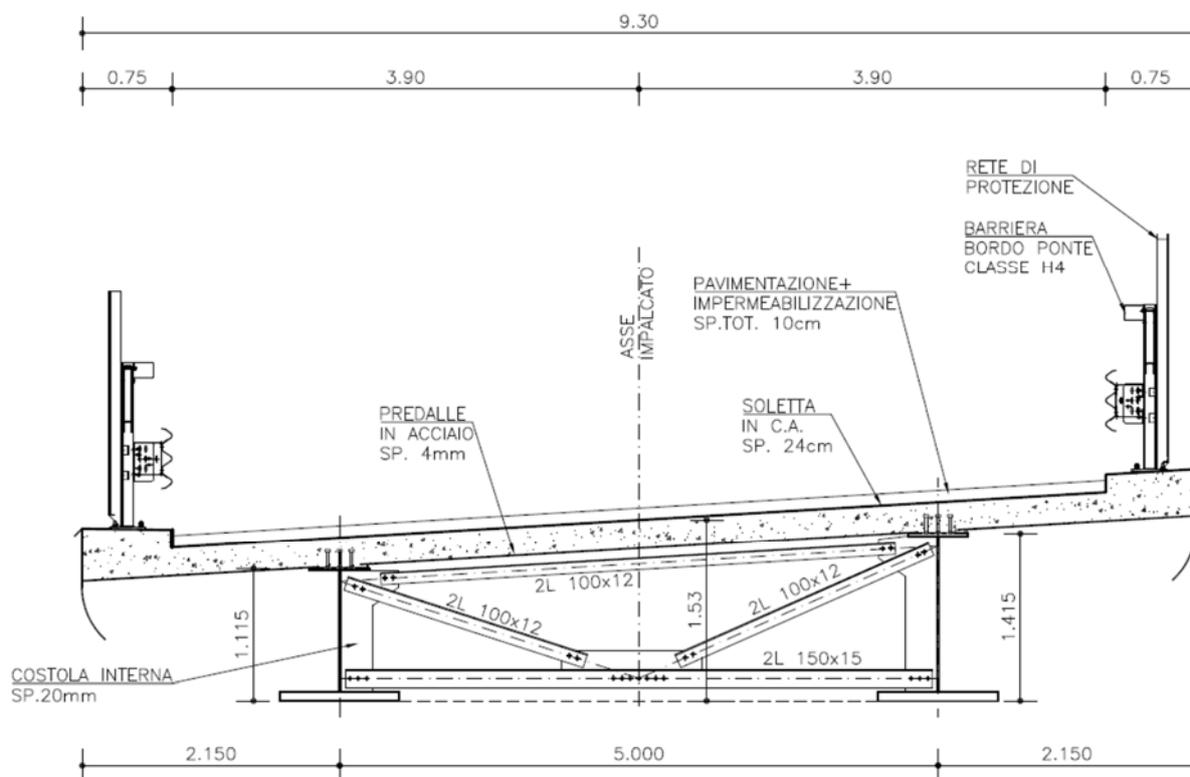
Al fine di permettere agevolmente il montaggio in opera dell'impalcato, il profilo della rampa è stato suddiviso in ventuno conci di lunghezza teorica in asse pari a 9.0 o 12.0m. In corrispondenza di ogni giunto, le travi principali sono collegate attraverso unioni saldate a piena penetrazione.

L'impalcato presenta sia pendenza longitudinale che pendenza trasversale. Quest'ultima è pari al 6% nel tratto centrale a curvatura costante ed è invece variabile sul resto dell'impalcato, con inversione di pendenza nei tratti di estremità. La quota di intradosso delle due travi principali, in trasversale è la stessa per entrambe e l'altezza complessiva dell'impalcato in asse, tra estradosso soletta ed intradosso travi è stata tenuta costante lungo tutto lo sviluppo dell'opera e pari a 1.53m. Ne deriva che nel tratto a curvatura costante la trave interno curva è alta 1.115 m mentre quella esterno curva è alta 1.415 m. Nelle zone di estremità, a pendenza trasversale minore, le differenze di altezza tra le due travi si vanno a ridurre.

Avendo l'opera un raggio di curvatura molto stretto, si è deciso di impiegare travi ad anima calandrata e piattabande curve, sia per ragioni estetiche, sia per evitare di avere un elevato numero di conci che potessero ben approssimare con una spezzata l'andamento curvilineo del ponte. Avere travi curve, inoltre semplifica notevolmente la realizzazione di predalles e solette, avendo interasse delle asole sempre costante e lunghezze dei due sbalzi sempre uguali tra loro. La curvatura di ogni concio di trave è costante lungo il suo sviluppo, come indicato negli elaborati di progetto, per cui lo sviluppo della travata avviene secondo archi di cerchio (conci) e tratti rettilinei nelle zone di estremità.

Il varo degli impalcati avverrà dal basso per mezzo di autogru di adeguata portata e sbraccio. Ogni sovrappasso è stato suddiviso in 5 blocchi, costituito ognuno da un numero di 4 o 5 conci. Ogni blocco viene assemblato a terra in apposite aree prossime alla zona di ubicazione finale e varato sulle pile definitive e su apposite pile provvisorie da rimuovere dopo aver compiuto le operazioni di collegamento tra le membrature metalliche dei blocchi contigui. Per limitare le operazioni da eseguire in quota sul sedime autostradale, il blocco centrale verrà varato provvisto di predalles, velette e parapetti di sicurezza. Per varare i suddetti blocchi occorrerà

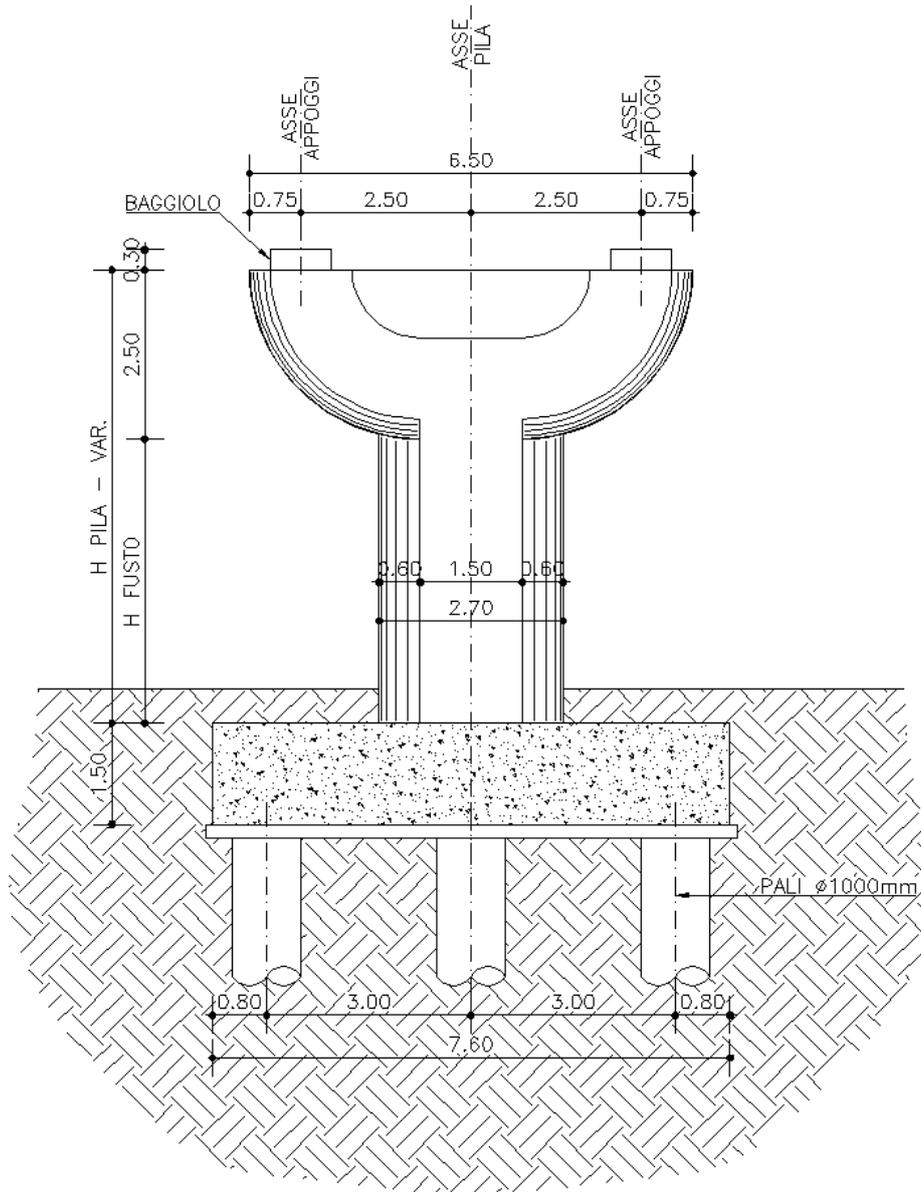
operare simultaneamente con due gru che solleveranno il blocco alle due estremità. Ognuna di esse dovrà avere una portata di circa 100 ton con sbraccio da 28m. Operando in tal modo si potrà interdire il transito autostradale solo durante le operazioni di varo.



**Figura 3** – Impalcato-sezione trasversale tipo

### 3.2 Sottostrutture

Le sottostrutture sono costituite, come accennato, da 2 spalle e 6 pile per ogni sovrappasso. Le spalle, in c.a., presentano altezza del paramento di altezza 3.00m(S3) e 3.50m (S4) e muri andatori di lunghezza 5.25m(S3) e 4.25m(S4). I muri andatori sono rivestiti esternamente con un pannello prefabbricato rivestito in pietra, il quale funge anche da cassero a perdere. Le pile, in c.a., presentano geometrie arrotondate con fusto di sezione 2.70x1.20m e pulvino largo 6.50m ed alto 2.50m. Le fondazioni sono del tipo profondo, costituito da pali di grande diametro  $\phi 1000$  di lunghezza pari a 25.0m, tali da attestarsi all'interno dell'unità geotecnica UG3 costituita da ghiaia in matrice sabbioso-limosa.



**Figura 4 – Pila**

### 3.3 Isolatori e giunti

Data la forma a “cappio” della struttura, l’adozione di uno schema degli appoggi con dispositivi di tipo fisso, uni-direzionale e multi-direzionale comporta una serie di incertezze relative al reale comportamento della struttura nei confronti delle azioni orizzontali, soprattutto con riferimento alle azioni sismiche. Si è scelto pertanto di isolare la struttura mediante isolatori a pendolo scorrevole. Essi sono caratterizzati dalle seguenti proprietà peculiari:

- permettono lo spostamento relativo della struttura rispetto alle fondazioni secondo superfici sferiche;
- il raggio di curvatura della o delle superfici sferiche determina il periodo proprio di vibrazione della struttura;
- il periodo proprio è praticamente indipendente dalla massa della struttura;
- l’attrito della superficie di scorrimento determina lo smorzamento viscoso equivalente;
- al termine dell’evento sismico il dispositivo si ricentra automaticamente grazie alla curvatura delle superfici di scorrimento.

Utilizzando tali dispositivi si ha una distribuzione omogenea delle dilatazioni termiche sulla struttura, senza l’insorgere di forze parassite di elevata entità ed una fortissima riduzione delle azioni di natura sismica trasferite alle sottostrutture. Sono stati disposti due isolatori a doppia superficie di scorrimento da  $\pm 250\text{mm}$  ed a basso attrito in corrispondenza di ogni struttura di supporto (pila o spalla) per un totale di 16 isolatori per sovrappasso. Fuori calcolo, come ulteriore elemento di sicurezza, sono stati disposti sulle spalle, degli elementi di ritegno in c.a. con cuscinetto elasomerico, in posizione di fine corsa dell’isolatore.

I giunti elastomerici di dilatazione posti in corrispondenza delle spalle consentiranno sia escursioni in direzione longitudinale ( $\pm 200\text{mm}$ ), che trasversale ( $\pm 250\text{mm}$ ).

## 4. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

### 4.1 Calcestruzzi

#### 4.1.1 Conglomerato per sottofondazioni C12/15

(cls magro di livellamento)

|  |                  |     |
|--|------------------|-----|
| Resistenza caratt. cubica a compressione     | $R_{ck} = 15$    | MPa |
| Resistenza caratt. cilindrica a compressione | $f_{ck} = 12.45$ | MPa |

#### 4.1.2 Conglomerato per opere provvisionali e pali di fondazione C28/35

(per travi testa paratia, fondazione di pile provvisorie, pali di fondazione)

|  |                  |     |
|--|------------------|-----|
| Resistenza caratt. cubica a compressione     | $R_{ck} = 35$    | MPa |
| Resistenza caratt. cilindrica a compressione | $f_{ck} = 29.05$ | MPa |
| Classe di esposizione ambientale             | XC2              |     |
| Classe di consistenza Slump                  | S4               |     |
| Rapporto A/C                                 | $\leq 0.60$      |     |
| Dimensione massima inerte                    | 32               | mm  |

#### 4.1.3 Conglomerato per plinti di fondazione C28/35

(zattere e plinti di pile e spalle)

|  |                  |     |
|--|------------------|-----|
| Resistenza caratt. cubica a compressione     | $R_{ck} = 35$    | MPa |
| Resistenza caratt. cilindrica a compressione | $f_{ck} = 29.05$ | MPa |
| Classe di esposizione ambientale             | XC2              |     |
| Classe di consistenza Slump                  | S4               |     |
| Rapporto A/C                                 | $\leq 0.60$      |     |
| Dimensione massima inerte                    | 25               | mm  |

**4.1.4 Conglomerato per opere in elevazione C32/40***(per fusti e pulvini delle pile, elevazioni spalle)*

|  |                     |
|--|---------------------|
| Resistenza caratt. cubica a compressione     | $R_{ck} = 40$ MPa   |
| Resistenza caratt. cilindrica a compressione | $f_{ck} = 33.2$ MPa |
| Classe di esposizione ambientale             | XF1+XC4             |
| Classe di consistenza Slump                  | S4                  |
| Rapporto A/C                                 | $\leq 0.50$         |
| Dimensione massima inerte                    | 22 mm               |

**4.1.5 Conglomerato per baggioli e cordoli C35/45***(per baggioli su pile e spalle e cordoli su impalcato e spalle)*

|  |                      |
|--|----------------------|
| Resistenza caratt. cubica a compressione     | $R_{ck} = 45$ MPa    |
| Resistenza caratt. cilindrica a compressione | $f_{ck} = 37.35$ MPa |
| Classe di esposizione ambientale             | XF4+XC4+XD3          |
| Classe di consistenza Slump                  | S4                   |
| Rapporto A/C                                 | $\leq 0.50$          |
| Dimensione massima inerte                    | 22 mm                |

**4.1.6 Conglomerato per solette C35/45***(per solette d'impalcato)*

|  |                      |
|--|----------------------|
| Resistenza caratt. cubica a compressione     | $R_{ck} = 45$ MPa    |
| Resistenza caratt. cilindrica a compressione | $f_{ck} = 37.35$ MPa |
| Classe di esposizione ambientale             | XF1+XC3              |
| Classe di consistenza Slump                  | S4                   |
| Rapporto A/C                                 | $\leq 0.50$          |
| Dimensione massima inerte                    | 22 Mm                |

**4.1.7 Malta per micropali C28/35***(malta per micropali da eseguire come opere provvisionali a protezione degli scavi)*

|  |                      |
|--|----------------------|
| Resistenza caratt. cubica a compressione     | $R_{ck} = 35$ MPa    |
| Resistenza caratt. cilindrica a compressione | $f_{ck} = 29.05$ MPa |

## 4.2 Acciaio d'armatura

### 4.2.1 Acciaio da c.a. tipo B450C saldabile

(per barre e reti di diametro  $6.0 \text{ mm} \leq \varnothing \leq 40.0 \text{ mm}$ )

|  |                       |     |
|--|-----------------------|-----|
| Coefficiente parziale di sicurezza     | $\gamma_s = 1.15$     |     |
| Tensione caratteristica di snervamento | $f_{yk} \geq 450$     | MPa |
| Tensione caratteristica di rottura     | $f_{tk} \geq 540$     | MPa |
| Allungamento                           | $A_{gtk} \geq 7.5 \%$ |     |
| Resistenza di calcolo                  | $f_{yd} = 391$        | MPa |

## 4.3 Acciaio da carpenteria metallica

### 4.3.1 Acciaio per impalcati S355 J2 (Rif. UNI EN 10025-2)

(per travi principali, profili e piastre)

|                                 |                |                                |
|---------------------------------|----------------|--------------------------------|
| Modulo elastico (convenzionale) | $E_s = 210000$ | MPa                            |
| Modulo elasticità trasversale   | $G = 80769$    | MPa                            |
| Coefficiente di Poisson         | $\nu = 0.30$   |                                |
| Tensione di snervamento         | $f_{yk} = 355$ | MPa per $t \leq 40 \text{ mm}$ |
|                                 | $f_{yk} = 335$ | MPa per $t > 40 \text{ mm}$    |
| Tensione di rottura             | $f_{tk} = 510$ | MPa per $t \leq 40 \text{ mm}$ |
|                                 | $f_{yk} = 470$ | MPa per $t > 40 \text{ mm}$    |

### 4.3.2 Acciaio per micropali S355 JR (Rif. UNI EN 10025-2)

(per micropali delle opere provvisorie)

|                                 |                |                                |
|---------------------------------|----------------|--------------------------------|
| Modulo elastico (convenzionale) | $E_s = 210000$ | MPa                            |
| Modulo elasticità trasversale   | $G = 80769$    | MPa                            |
| Coefficiente di Poisson         | $\nu = 0.30$   |                                |
| Tensione di snervamento         | $f_{yk} = 355$ | MPa per $t \leq 40 \text{ mm}$ |
| Tensione di rottura             | $f_{tk} = 510$ | MPa per $t \leq 40 \text{ mm}$ |

### 4.3.3 Bulloni di classe 10.9 e dadi classe 10

|                                    |                 |     |
|------------------------------------|-----------------|-----|
| Tensione di rottura (UNI 3740)     | $f_{tb} = 1000$ | MPa |
| Tensione di snervamento (UNI 3740) | $f_{yb} = 900$  | MPa |

#### **4.3.4 Collegamenti in unioni saldate**

Le saldature di elementi in acciaio devono essere effettuate con uno dei procedimenti all'arco elettrico codificati secondo la norma UNI EN ISO 4063/2001. Tutti i procedimenti di saldatura, (manuali, semiautomatici, automatici o robotizzati) dovranno essere qualificati secondo la norma UNI EN ISO 15614-1/2005. Nell'esecuzione delle saldature dovranno inoltre essere rispettate le norme UNI EN 1011/2005 parti 1 e 2 per gli acciai ferritici e della parte 3 per gli acciai inossidabili. La preparazione dei lembi dovrà essere eseguita secondo la norma UNI EN ISO 9692-1/2005.

#### **4.4 Trattamenti protettivi**

##### **4.4.1 Verniciatura carpenteria metallica**

Per l'acciaio da carpenteria metallica si prevede trattamento di verniciatura secondo uno dei cicli indicati nel prospetto A.4 della UNI 12944-5, per classe di corrosività "C4" e "Alta Durabilità" con strato di finitura in smalto effetto acciaio corten.

##### **4.4.2 Trattamento velette**

Per le velette in acciaio, oltre alla verniciatura di cui al punto precedente è prevista anche la zincatura a caldo.

##### **4.4.3 Trattamento calcestruzzi**

Per le superfici delle elevazioni in cls si prevede trattamento con vernice protettiva traspirante tipo Mapei Elastocolor o equivalente.

#### **4.5 Misto cementato**

*(misto cementato per la realizzazione delle zone di transizione a tergo delle spalle)*

Misto cementato costituito da

- inerte calcareo di frantoio, rispondente alle norme CNR BU N.29 con fuso di tipo A1 e cemento in ragione del 3% e 4% in massa dell'inerte secco;
- acqua di impasto in ragione del 6% circa della massa secca dell'inerte.

La resistenza a compressione con provini cilindrici, compattati a 7 giorni di stagionatura, deve essere compresa tra 30 e 70 daN/cm<sup>2</sup>.

La resistenza a trazione, determinata con il metodo brasiliano, non deve essere inferiore a 2 daN/cm<sup>2</sup> su provini cilindrici stagionati a 7 giorni.

Il misto cementato dovrà essere costipato alla densità non inferiore al 95% di quella ottenuta in laboratorio, con le modalità previste al punto 2 delle norme CNR BU N.29.

## 5. MODELLAZIONE DELLA STRUTTURA

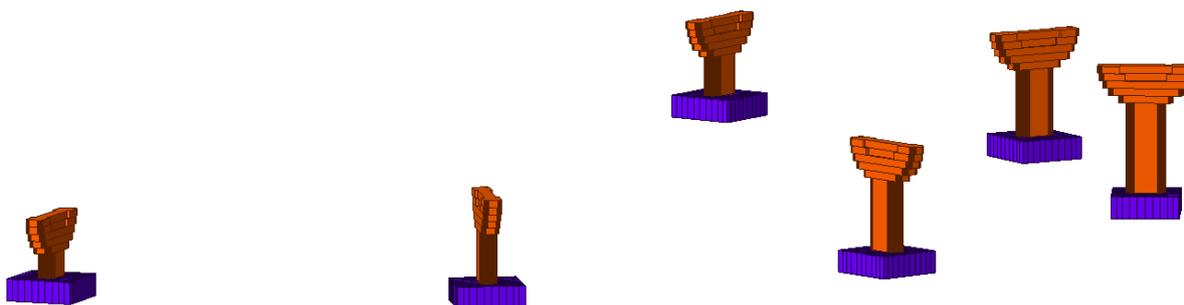
Si descrive di seguito il modello agli elementi finiti utilizzati per valutare il campo delle sollecitazioni ed il campo delle deformazioni delle strutture assoggettate ai carichi di progetto. I modelli sono stati realizzati con il Programma “MIDAS GEN 2011 (v2.1)”, prodotto da Midas Information Technology Co., Ltd. I risultati ottenuti sono stati validati con verifiche manuali e confronti con risultati ottenuti su modelli semplificati.

I tabulati di calcolo relativi alla modellazione completa e ai risultati delle analisi, dato l’elevato numero di pagine, vengono forniti su supporto informatico.

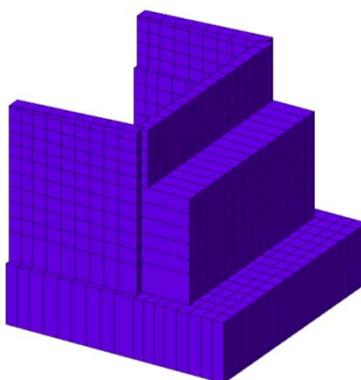
E’ stato realizzato un modello di calcolo globale comprensivo di impalcato e sottostrutture. Il modello relativo al solo impalcato è oggetto di altra Relazione.

### 5.1 Descrizione del modello di calcolo globale

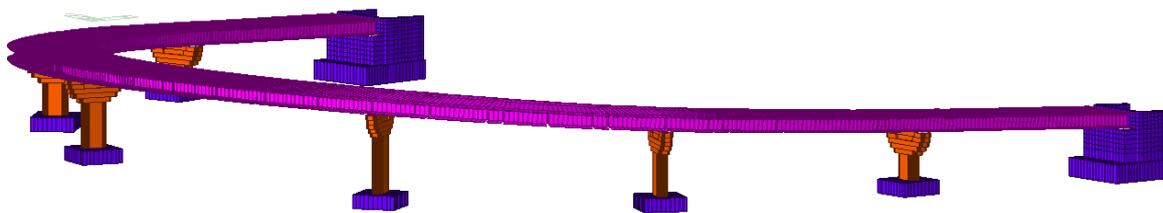
Le pile sono state modellate mediante elementi monodimensionale tipo *beam* a sezione rettangolare con lato corto a semicirconferenza e con il pulvino modellato con elementi di apposita sezione di dimensioni crescenti verso l’alto. Anche l’impalcato è modellato con elementi monodimensionale di tipo *beam* a cui sono state attribuite le caratteristiche geometriche ed inerziali della sezione trasversale mista acciaio-clc. Le spalle, come anche i plinti delle pile, sono state modellate con elementi bidimensionali tipo *shell*. Nelle zone di nodo sono stati inseriti elementi caratterizzati da rigidità praticamente infinita e peso nullo.



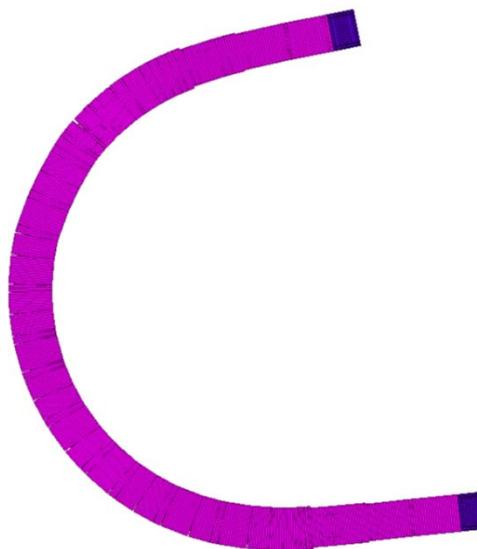
*Figura 5 – Vista 3D pile*



*Figura 6 – Vista 3D spalla*

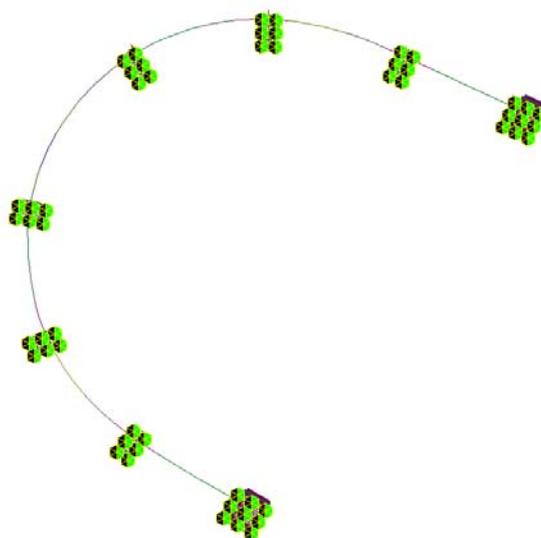


*Figura 7 – Vista assometrica del modello di calcolo globale*



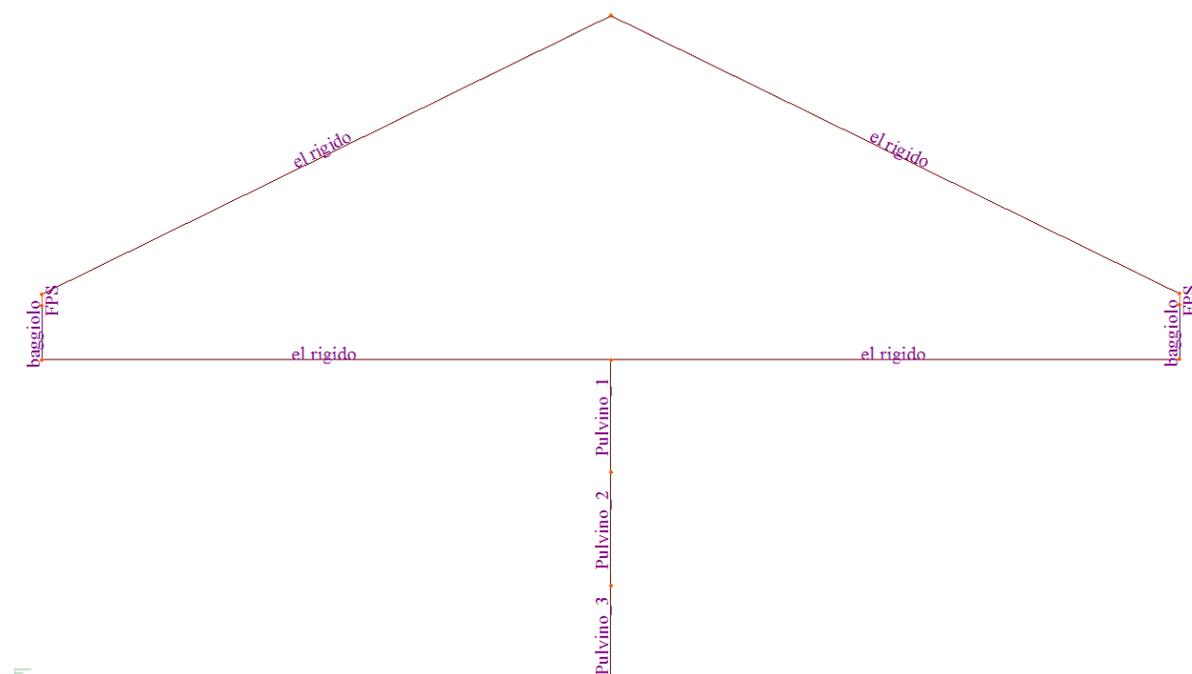
*Figura 8 – Vista in pianta del modello di calcolo globale*

Per modellare il sistema dei vincoli esterni sono stati inseriti degli elementi rigidi che collegano il baricentro degli elementi *shell* delle fondazioni a dei nodi, posti in corrispondenza delle teste dei pali, vincolati alla traslazione nelle tre direzioni.



*Figura 9 – Vista dal basso del modello unifilare e dei vincoli alla base*

Per il collegamento dell'impalcato alle sottostrutture, sono stati inseriti degli elementi rigidi, che collegano il baricentro dell'impalcato ai due nodi posti in corrispondenza degli intradossi delle travi principali. Anche in testa alle pile sono stati inseriti due elementi rigidi che collegano l'estradosso del pulvino (in asse) ai due nodi posti in corrispondenza dell'intradosso dei baggioli. Questi ultimi sono stati modellati con elementi beam verticali. I nodi di sommità di questi ed i nodi posti al lembo inferiore delle piattabande delle travi di impalcato sono stati collegati mediante *General links*, i quali simulano esattamente il comportamento del dispositivo di isolamento a doppio pendolo scorrevole.



**Figura 10** – Vista unilaterale collegamento pila-impalcato

Attraverso il comando *Change General Link Property*, sono stati considerati due diversi comportamenti per ciascun *General Link*. Infatti per quanto riguarda il comportamento in condizioni sismiche va considerato il comportamento del dispositivo, sia con riferimento alla rigidità orizzontale dovuta al carico ed alla curvatura della superficie, sia con riferimento alla capacità dissipativa offerta dall'attrito. Per quanto riguarda le azioni orizzontali di natura non sismica, invece, come prescritto dalla normativa UNI EN 15129, il contributo offerto dall'attrito va trascurato, a vantaggio di sicurezza nel calcolo dello spostamento massimo che il dispositivo può subire.

## 6. AZIONI DI PROGETTO

I valori delle azioni di seguito assunti, sono stati considerati come valori caratteristici nelle verifiche agli stati limite. Si riportano di seguito le analisi dei carichi unitari applicati alle membrature costituenti la struttura.

Le azioni di progetto, in accordo con quanto prescritto dal D.M. 18.01.2008, vengono di seguito elencate:

### 6.1 *Peso proprio elementi strutturali*

|                                  |  |
|----------------------------------|--|
| Calcestruzzo ordinario armato    | 25.00 kN/m <sup>3</sup> in generale    |
|                                  | 26.00 kN/m <sup>3</sup> per le solette |
| Acciaio da carpenteria metallica | 78.50 kN/m <sup>3</sup>                |

Nel dettaglio, i carichi per peso proprio sono automaticamente determinati dal programma di analisi strutturale in funzione delle geometrie degli elementi e del peso specifico del materiale ad essi associato.

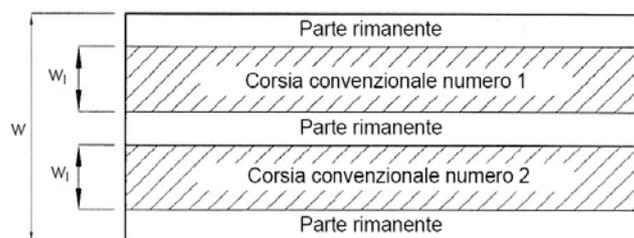
### 6.2 *Peso proprio elementi non strutturali*

I carichi permanenti portati sono dovuti al peso della pavimentazione, dei cordoli e delle barriere di protezione.

|  |                        |
|--|------------------------|
| Pavimentazione                                     | 3.00 kN/m <sup>2</sup> |
| Cordoli (sp. 0.15m)                                | 3.75 kN/m <sup>2</sup> |
| Barriera + rete di protezione + veletta + condotte | 1.80 kN/m.             |

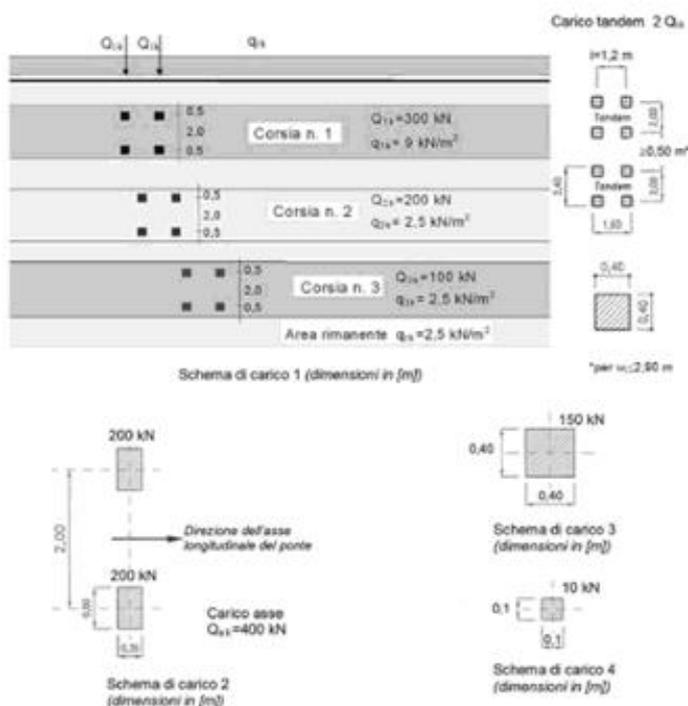
### 6.3 Azioni variabili da traffico

Ai fini della determinazione degli effetti prodotti dalle azioni variabili da traffico, l'asse viario di 1<sup>a</sup> Categoria è stato suddiviso in 2 corsie convenzionali di larghezza pari a 3 m, e un'area rimanente.



Schema corsie convenzionali

La posizione e la numerazione delle corsie è stata determinata in modo da indurre le più sfavorevoli condizioni di progetto. I carichi da considerare per ponti di 1<sup>a</sup> Categoria sono quelli indicati dalla normativa vigente e schematizzati nel modo seguente:



Schemi di azioni variabili da traffico

Tramite la generazione automatica prevista dal codice di calcolo, è possibile definire:

- trasversalmente all'impalcato le corsie in qualsiasi posizione sulla carreggiata;
- i relativi carichi veicolari (tandem + distribuiti) secondo NTC08, viaggianti longitudinalmente lungo le corsie stesse, al fine di ottenere le relative linee di influenza e le massime azioni necessarie al dimensionamento.

Sono stati applicati i carichi definiti dallo Schema di carico 1 così come indicato al par. 5.1.3.3.3 del D.M. 14/01/2008:

Gli schemi adottati per le verifiche globali sono i seguenti:

| Corsia         | Carico asse $Q_{ik}$<br>[kN] | Numero assi | Carico distribuito $q_{ik}$<br>[kN/m <sup>2</sup> ] |
|----------------|------------------------------|-------------|---|
| 1              | 300                          | 2           | 9.00  |
| 2              | 200                          | 2           | 2.50  |
| Area rimanente | -                            | -           | 2.50  |

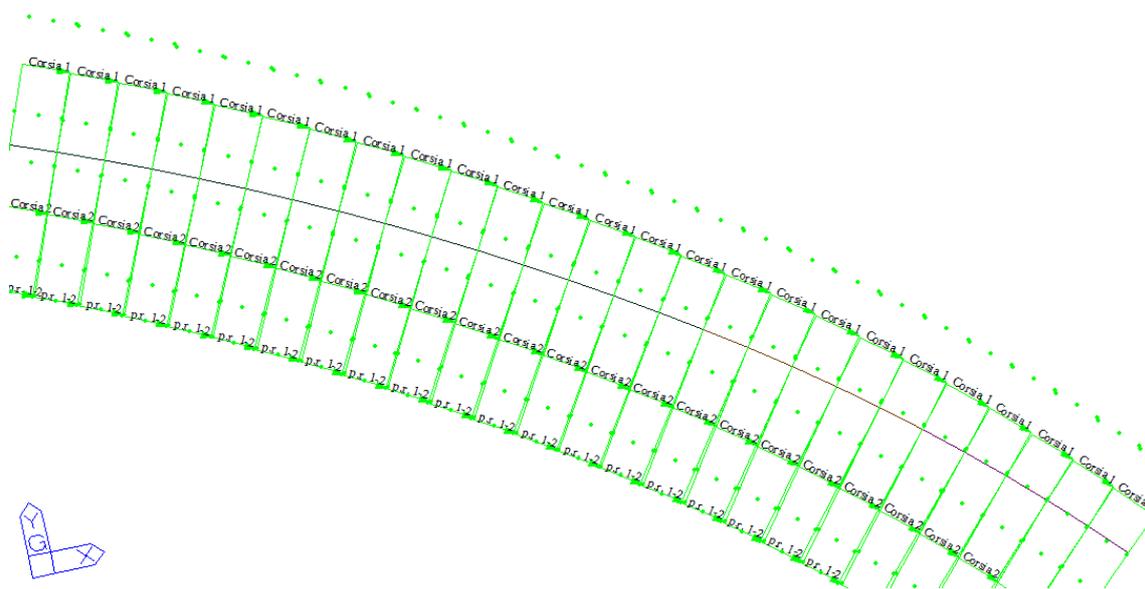
Tabella 1. Schema di carico 1

Più in dettaglio, per lo schema di carico 1 sono state definite due condizioni di carico:

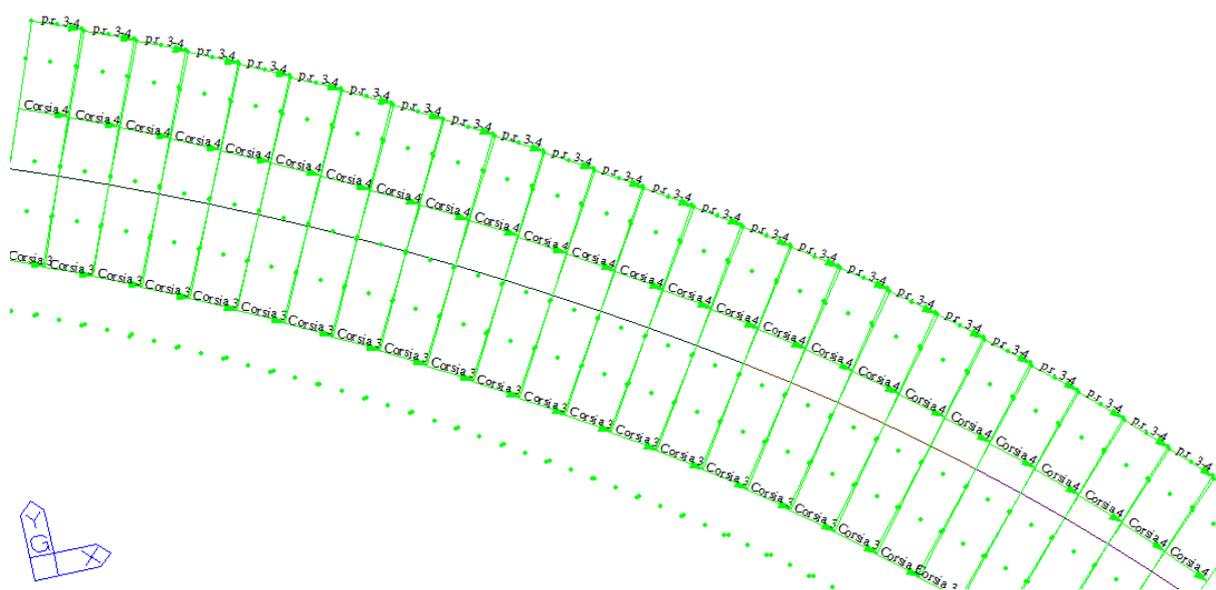
Moving load case 1 [C1-C2] in cui le corsie sono individuate a partire dal cordolo lato esterno curva;

Moving load case 2 [C3-C4] in cui le corsie sono individuate a partire dal cordolo lato interno curva.

Nelle immagini che seguono si mostra la definizione delle corsie convenzionali nelle due differenti condizioni di carico.

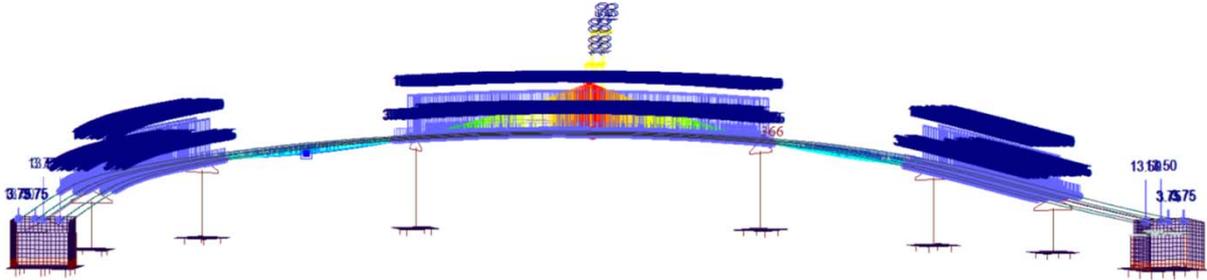


*Figura 11 – Moving load case 1 [C1-C2]*

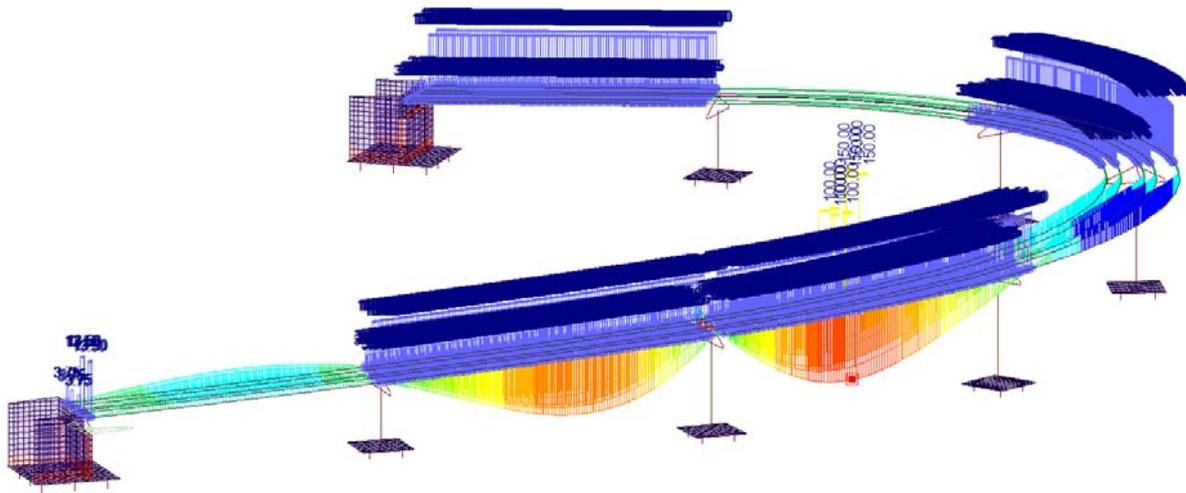


*Figura 12 – Moving load case 2 [C3-C4]*

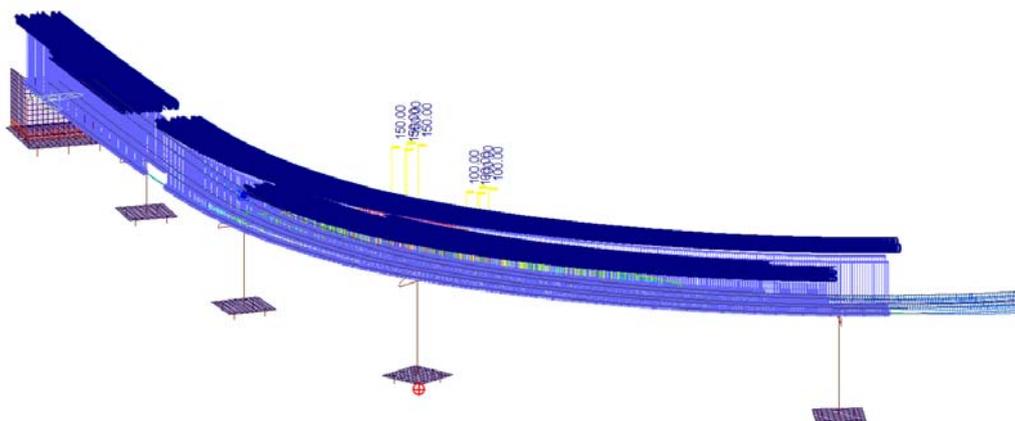
A titolo di esempio si riportano inoltre le immagini relative ai posizionamenti dei carichi da traffico che massimizzano alcune caratteristiche della sollecitazione in alcuni punti significativi dell'impalcato.



*Figura 13 – Massimazione del momento flettente in campata pile P9-P10*



*Figura 14 – Massimazione del momento flettente negativo sull'appoggio pila P8*



**Figura 15** – Massimazione dello sforzo normale massimo su un palo della pila P9

Per l'analisi del muro paraghiaia, è stato considerato, in accordo al par. C.5.1.3.3.7.1 dalla Circ. 617/2009, lo schema di carico 1 con carico tandem distribuito su una superficie 3.00x2.20m, con diffusione del carico di 30° all'interno del rilevato. Per l'analisi globale della spalla, invece, è stato considerato un sovraccarico di 20 kPa, distribuito su un semispazio indefinito. Questa seconda configurazione, infatti risulta più gravosa per gli effetti globali, in quanto non risente del beneficio della diffusione.

#### 6.4 Azioni longitudinale di frenamento o di accelerazione ( $q_3$ )

Per i ponti di 1<sup>a</sup> categoria, la forza di frenamento o di accelerazione è pari a:

$$180 \text{ kN} \leq q_3 = 0.6 (2Q_{1k}) + 0.10 q_{1k} w_1 L \leq 900 \text{ kN}$$

dove:

- $Q_{1k} = 300 \text{ kN}$  è il carico per asse sulla corsia convenzionale 1;
- $q_{1k} = 9 \text{ kN/m}^2$  è il carico distribuito sulla corsia convenzionale 1;
- $w_1 = 3 \text{ m}$  è la larghezza della corsia convenzionale 1;
- $L$  è la lunghezza della zona caricata, pari a 217.0 m

Pertanto risulta:

$$F = 900 \text{ kN};$$

$$f = 900/217 = 4.15 \text{ kN/m}.$$

Questa forza, applicata a livello della pavimentazione ed agente lungo l'asse della corsia convenzionale, è stata assunta uniformemente distribuita sulla lunghezza caricata.

Per la verifica della spalle e del muro paraghiaia è stata considerata un'azione orizzontale in testa a questo pari al 60% del del carico  $Q_{1k}$ .

#### 6.5 Azione centrifuga $q_4$

Nei tratti in cui le rampe si presentano ad asse curvo è stato considerato l'effetto dell'azione centrifuga. Essendo il raggio di curvatura  $R < 200 \text{ m}$ , l'azione centrifuga si valuta convenzionalmente come:

$$Q_4 = 0.2 Q_v \text{ [kN]}$$

in cui  $Q_v = \sum_i 2 Q_{ik}$  è il carico totale dovuto agli assi tandem dello schema di carico 1 agenti sul ponte.

Pertanto:

$$Q_4 = 200 \text{ kN}.$$

## 6.6 Azione del vento $q_5$

Le pressioni e le depressioni dovute all'azione del vento sono state calcolate nel rispetto delle indicazioni fornite dalle NTC 2008 di cui al D.M. 14.01.2008.

L'azione del vento viene convenzionalmente considerata mediante forze statiche agenti in direzione orizzontale.

I dati relativi all'opera in esame sono i seguenti:

*ZONA: 1*

$a_s = 415.00 \text{ m}$

$T_R = 200 \text{ anni}$

*Classe di rugosità del terreno: C*

*Categoria di esposizione del sito: III*

La pressione normale alle superfici investite dal vento è data dall'espressione:

$$p = q_b \cdot c_e \cdot c_p \cdot c_d$$

in cui

$q_b$  è la *pressione cinetica di riferimento*

$$q_b = \rho \cdot v_b^2 / 2$$

dove:

$\rho$  è la densità dell'aria assunta convenzionalmente costante e pari a  $1.25 \text{ kg/m}^3$ ;

$v_b$  è la velocità di riferimento del vento (che rappresenta il valore caratteristico a 10 m dal suolo su un terreno di categoria di esposizione II, mediata su 10 minuti e riferita ad un periodo di ritorno di 50 anni).

Nel caso in esame, per zona 1 (Piemonte),  $a_s = 415 \text{ m}$  e  $T_R = 200 \text{ anni}$ , si ha:

$$v_{b0} = 25 \text{ m/s};$$

$$v_b(T_R) = \alpha_R(T_R) \cdot v_{ref} = 1.076 * 25 = 26.91 \text{ m/s}.$$

La pressione cinetica di riferimento  $q_b$  vale quindi:

$$q_b = 1.25 * (26.91)^2 / 2 = 452.45 \text{ N/m}^2;$$

$c_e$  è il *coefficiente di esposizione*

$$c_e(z) = c_e(z_{min}) \quad \text{per } z < z_{min}$$

$$c_e(z) = k_r^2 \cdot c_t \cdot \ln(z/z_0) \cdot [7 + c_t \cdot \ln(z/z_0)] \quad \text{per } z \geq z_{min}$$

Nel caso in esame, essendo in zona 1, classe di rugosità del terreno C e quindi categoria di esposizione del sito III, si ha:

$$k_r = 0.20 ; z_0 = 0.10 \text{ m} ; z_{min} = 5 \text{ m}$$

avendo assunto  $c_t = 1$ .

$c_d$  è il *coefficiente dinamico*

In assenza di considerazioni di dettaglio inerenti i fenomeni di natura aeroelastica e di distacco dei vortici si assume cautelativamente un valore  $c_d = 1$ .

La pressione del vento, a meno del coefficiente  $c_p$ , al variare della quota  $z$  vale:

| <b>z</b><br>m | <b>C<sub>e</sub></b><br>(eq. 3.3.5) | <b>p</b><br>kN/m <sup>2</sup> |
|---------------|-------------------------------------|-------------------------------|
| 0.00          | 1.71                                | 0.773                         |
| 2.50          | 1.71                                | 0.773                         |
| 5.00          | 1.71                                | 0.773                         |
| 5.50          | 1.76                                | 0.798                         |
| 6.00          | 1.82                                | 0.822                         |
| 6.50          | 1.87                                | 0.844                         |
| 7.00          | 1.91                                | 0.865                         |
| 7.50          | 1.95                                | 0.884                         |
| 8.00          | 2.00                                | 0.903                         |
| 8.50          | 2.03                                | 0.920                         |
| 9.00          | 2.07                                | 0.937                         |
| 9.50          | 2.10                                | 0.952                         |
| 10.00         | 2.14                                | 0.967                         |

La quota  $z$  di riferimento viene assunta pari a circa 8.0 m.

L'azione del vento viene calcolata tenendo conto dell'effetto su travi multiple (*punto C3.3.10.4.2 - Circolare 02.02.2009 n. 617*). Avendo due travi disposte parallelamente ad una distanza non maggiore di 5 volte l'altezza, il valore della pressione del vento sulla trave successiva è pari a quello sulla trave precedente moltiplicato per un fattore di riduzione  $\mu$ . Tale fattore dipende dal coefficiente  $\varphi = S/S_p$  (pari a 1 nel caso in esame di travi piene) e dal rapporto tra la distanza  $d$  tra le travi e la loro altezza  $h$ .

### **Vento a ponte scarico**

L'azione del vento viene considerata agente su un'altezza comprensiva della trave, della soletta e della barriera.

Per la prima trave, il coefficiente  $c_{p,1}$  risulta pari a 1.4

Per la trave successiva, si assume invece  $c_{p,2}$  pari a  $\mu \cdot 1.4$ , con  $\mu = 0.3$  (avendo proceduto all'interpolazione lineare per  $2 < d/h < 5$ ).

Il carico a metro lineare vale:

$$q_{5, ps} = p \times (h_{ps,1} \times c_{p,1} + h_{ps,2} \times c_{p,2}) = 0.9 \times (3.07 \times 1.4 + 2.28 \times 0.3 \times 1.4) = 4.74 \text{ kN/m}$$

### **Vento a ponte carico**

L'azione del vento viene considerata agente su un'altezza comprensiva della trave, della soletta e del mezzo convenzionale.

Per la prima trave, il coefficiente  $c_{p,1}$  risulta pari a 1.4

Per la trave successiva, si assume invece  $c_{p,2}$  pari a  $\mu \cdot 1.4$ , con  $\mu = 0.2$

Il carico a metro lineare vale:

$$q_{5, pc} = p \times (h_{pc,1} \times c_{p,1} + h_{pc,2} \times c_{p,2}) = 0.9 \times (4.86 \times 1.4 + 2.28 \times 0.2 \times 1.4) = 6.70 \text{ kN/m}$$

### 6.7 Resistenze passive dei vincoli $q_7$

Si utilizzano dispositivi di isolamento a doppia superficie di scorrimento a basso attrito, caratterizzati da un coefficiente di attrito  $\mu$  pari a 2.5% riferito allo sforzo di progetto  $N_{Ed}$  e crescente al diminuire del carico secondo leggi di variazione fornite dal fornitore degli apparecchi.

### 6.8 Urto di veicolo in svio $q_8$

La barriera metallica laterale è di tipo bordo ponte classe H4, a tripla onda con montanti verticali costituiti da profili HEA 100 ad interasse 1.50 m. Considerando il modulo di resistenza plastico del profilo pari a  $W_{pl} = 83.01 \text{ cm}^3$  ed una tensione di rottura pari ad  $f_t = 430 \text{ MPa}$ , si ottiene un momento ultimo sul montante pari a:

$$M_u = 83.01 \times 430 / 1000 = 35.7 \text{ kNm.}$$

Considerando, a vantaggio di sicurezza che l'urto avvenga a 0.60m dalla base del montante, il taglio corrispondente al momento ultimo vale:

$$V = 35.7 / 0.60 = 59.5 \text{ kN.}$$

### 6.9 Variazioni termiche

Si prende in esame una variazione termica stagionale uniforme di  $\pm 25^\circ\text{C}$  rispetto alla temperatura media.

## 6.10 Spinta del terreno

La spinta del terreno sulle pareti della spalla ha un andamento crescente secondo una legge di tipo lineare dall'alto verso il basso. La pendenza del diagramma delle spinte, che risulta quindi di tipo triangolare, è pari al prodotto  $\gamma \cdot K_0$  avendo indicato con  $\gamma$  il peso dell'unità di volume del terreno ( $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$ ) e con  $K_0$  il coefficiente di spinta a riposo (per un angolo di attrito  $\varphi = 35^\circ$  risulta  $K_0 = 0.426$ ).

Inoltre, come già detto, si considera inoltre un sovraccarico stradale di  $20 \text{ kN/m}^2$  su semispazio infinito per l'analisi della spalla, mentre per l'analisi del muro paraghiaia si considera lo schema di carico 1 con carico tandem distribuito su una superficie  $3.00 \times 2.20 \text{ m}$ , con diffusione del carico di  $30^\circ$  all'interno del rilevato, in accordo al par. C.5.1.3.3.7.1 dalla Circ. 617/2009.

In particolare la spinta viene assegnata come *hydrostatic pressure loads* in direzione ortogonale a quella del paramento.

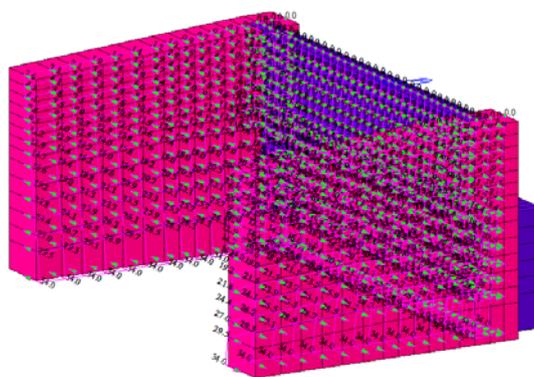


Figura 16 – Spinta statica

## 6.11 Azioni sismiche

- **Vita nominale e periodo di riferimento**

Per la struttura in oggetto, si assume una vita nominale pari a  $V_N = 100$  anni.

Ai fini della valutazione delle azioni sismiche, e con riferimento alle conseguenze di un'improvvisa interruzione di operatività o di un eventuale collasso, la struttura in esame rientra nella *classe d'uso IV* a cui corrisponde un coefficiente d'uso  $C_U = 2.0$ .

Ne consegue che il periodo di riferimento per l'azione sismica è  $V_R = V_N \times C_U = 200$  anni.

Le probabilità di superamento  $P_{VR}$  nel periodo di riferimento  $V_R$ , sono stabilite dalla norma in funzione dei differenti stati limite.

In funzione dei valori del periodo di riferimento  $V_R$  e della probabilità di superamento  $P_{VR}$ , si definisce il periodo di ritorno  $T_R$  mediante la relazione:

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})}$$

La struttura in oggetto ricade nel comune di San Didero (TO).

Dalla mappatura di microzonazione sismica si ricavano i valori dei parametri di pericolosità sismica  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T^*_c$  relativi a ciascuno stato limite analizzato.

- **Caratterizzazione sismica dei terreni**

Con riferimento al sottosuolo nell'area di progetto, la caratterizzazione ai fini della valutazione della risposta sismica locale è stata effettuata in fase di progettazione mediante indagini geofisiche in grado di stimare la distribuzione delle onde di taglio nei primi 30 m. In particolare, come ampiamente descritto nella Relazione geologico-geotecnica, sono state effettuate indagini di tipo Down-hole e MASW e che hanno permesso di classificare il sottosuolo come di categoria B, ossia *“Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s,30}$  compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero  $N_{SPT,30} > 50$  nei terreni a grana grossa e  $C_u > 250$  kPa nei terreni a grana fina)”*.

Dato l'andamento clivometrico della zona, essa si classifica come categoria topografica **TI**, caratterizzata da superfici pianeggianti o rilevati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$ .

- **Spettri di progetto**

Lo spettro di risposta elastico della componente orizzontale è definito dalle espressioni seguenti:

$$\begin{array}{ll}
 0 \leq T < T_B & S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \\
 T_B \leq T < T_C & S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \\
 T_C \leq T < T_D & S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right) \\
 T_D \leq T & S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C T_D}{T^2} \right)
 \end{array}$$

Lo spettro di progetto  $S_d(T)$  da utilizzare per le componenti orizzontali è lo spettro elastico corrispondente riferito alla probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{VR}$  considerata.

Si riportano nel seguito gli spettri di progetto calcolati.

**Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite SLV****Parametri indipendenti**

| STATO LIMITE | SLV     |
|--------------|---------|
| $a_g$        | 0.201 g |
| $F_0$        | 2.525   |
| $T_C^*$      | 0.279 s |
| $S_s$        | 1.197   |
| $C_D$        | 1.420   |
| $S_T$        | 1.000   |
| $q$          | 1.000   |

**Parametri dipendenti**

|        |         |
|--------|---------|
| $S$    | 1.197   |
| $\eta$ | 1.000   |
| $T_B$  | 0.132 s |
| $T_C$  | 0.396 s |
| $T_D$  | 2.404 s |

**Espressioni dei parametri dipendenti**

$$S = S_s \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5 + \xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_D \cdot T_C^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

**Espressioni dello spettro di risposta** (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_\xi(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_\xi(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_\xi(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_\xi(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto  $S_d(T)$  per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico  $S_\xi(T)$  sostituendo  $\eta$  con  $1/q$ , dove  $q$  è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

**Punti dello spettro di risposta**

|                  | T [s] | Se [g] |
|------------------|-------|--------|
|                  | 0.000 | 0.241  |
| $T_B \leftarrow$ | 0.132 | 0.608  |
| $T_C \leftarrow$ | 0.396 | 0.608  |
|                  | 0.492 | 0.490  |
|                  | 0.587 | 0.410  |
|                  | 0.683 | 0.352  |
|                  | 0.779 | 0.309  |
|                  | 0.874 | 0.275  |
|                  | 0.970 | 0.248  |
|                  | 1.065 | 0.226  |
|                  | 1.161 | 0.207  |
|                  | 1.257 | 0.192  |
|                  | 1.352 | 0.178  |
|                  | 1.448 | 0.166  |
|                  | 1.544 | 0.156  |
|                  | 1.639 | 0.147  |
|                  | 1.735 | 0.139  |
|                  | 1.831 | 0.131  |
|                  | 1.926 | 0.125  |
|                  | 2.022 | 0.119  |
|                  | 2.117 | 0.114  |
|                  | 2.213 | 0.109  |
|                  | 2.309 | 0.104  |
| $T_D \leftarrow$ | 2.404 | 0.100  |
|                  | 2.480 | 0.094  |
|                  | 2.556 | 0.089  |
|                  | 2.632 | 0.084  |
|                  | 2.708 | 0.079  |
|                  | 2.784 | 0.075  |
|                  | 2.860 | 0.071  |
|                  | 2.936 | 0.067  |
|                  | 3.012 | 0.064  |
|                  | 3.088 | 0.061  |
|                  | 3.164 | 0.058  |
|                  | 3.240 | 0.055  |
|                  | 3.316 | 0.053  |
|                  | 3.392 | 0.050  |
|                  | 3.468 | 0.048  |
|                  | 3.544 | 0.046  |
|                  | 3.620 | 0.044  |
|                  | 3.696 | 0.042  |
|                  | 3.772 | 0.041  |
|                  | 3.848 | 0.040  |
|                  | 3.924 | 0.040  |
|                  | 4.000 | 0.040  |

**Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limite: SLV****Parametri indipendenti**

| STATO LIMITE | SLV     |
|--------------|---------|
| $a_{nv}$     | 0.122 g |
| $S_s$        | 1.000   |
| $S_T$        | 1.000   |
| $q$          | 1.000   |
| $T_B$        | 0.050 s |
| $T_C$        | 0.150 s |
| $T_D$        | 1.000 s |

**Parametri dipendenti**

|        |       |
|--------|-------|
| $F_v$  | 1.529 |
| $S$    | 1.000 |
| $\eta$ | 1.000 |

**Espressioni dei parametri dipendenti**

$$S = S_s \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 §. 3.2.3.5})$$

$$F_v = 1,35 \cdot F_0 \cdot \left( \frac{a_g}{g} \right)^{0,5} \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.11})$$

**Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.10)**

$$0 \leq T < T_B \quad S_\xi(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

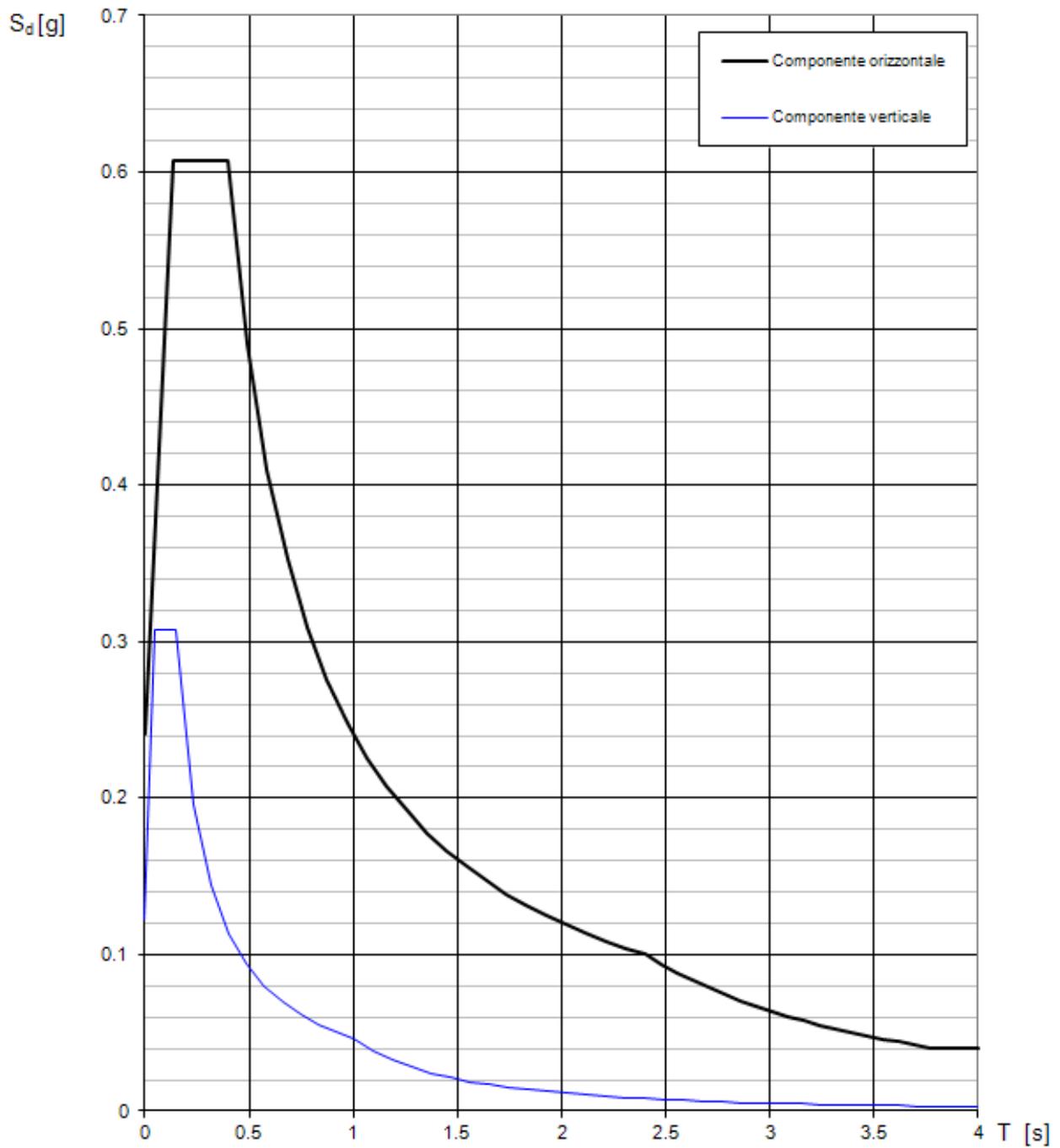
$$T_B \leq T < T_C \quad S_\xi(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_\xi(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_\xi(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left( \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

**Punti dello spettro di risposta**

|                  | T [s] | Se [g] |
|------------------|-------|--------|
|                  | 0.000 | 0.122  |
| $T_B \leftarrow$ | 0.050 | 0.307  |
| $T_C \leftarrow$ | 0.150 | 0.307  |
|                  | 0.235 | 0.196  |
|                  | 0.320 | 0.144  |
|                  | 0.405 | 0.114  |
|                  | 0.490 | 0.094  |
|                  | 0.575 | 0.080  |
|                  | 0.660 | 0.070  |
|                  | 0.745 | 0.062  |
|                  | 0.830 | 0.056  |
|                  | 0.915 | 0.050  |
| $T_D \leftarrow$ | 1.000 | 0.046  |
|                  | 1.094 | 0.039  |
|                  | 1.188 | 0.033  |
|                  | 1.281 | 0.028  |
|                  | 1.375 | 0.024  |
|                  | 1.469 | 0.021  |
|                  | 1.563 | 0.019  |
|                  | 1.656 | 0.017  |
|                  | 1.750 | 0.015  |
|                  | 1.844 | 0.014  |
|                  | 1.938 | 0.012  |
|                  | 2.031 | 0.011  |
|                  | 2.125 | 0.010  |
|                  | 2.219 | 0.009  |
|                  | 2.313 | 0.009  |
|                  | 2.406 | 0.008  |
|                  | 2.500 | 0.007  |
|                  | 2.594 | 0.007  |
|                  | 2.688 | 0.006  |
|                  | 2.781 | 0.006  |
|                  | 2.875 | 0.006  |
|                  | 2.969 | 0.005  |
|                  | 3.063 | 0.005  |
|                  | 3.156 | 0.005  |
|                  | 3.250 | 0.004  |
|                  | 3.344 | 0.004  |
|                  | 3.438 | 0.004  |
|                  | 3.531 | 0.004  |
|                  | 3.625 | 0.004  |
|                  | 3.719 | 0.003  |
|                  | 3.813 | 0.003  |
|                  | 3.906 | 0.003  |
|                  | 4.000 | 0.003  |

**Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLV**

## Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite SLC

### Parametri indipendenti

| STATO LIMITE | SLC     |
|--------------|---------|
| $a_g$        | 0.217 g |
| $F_o$        | 2.541   |
| $T_C^*$      | 0.282 s |
| $S_s$        | 1.180   |
| $C_C$        | 1.416   |
| $S_T$        | 1.000   |
| $q$          | 1.000   |

### Parametri dipendenti

|        |         |
|--------|---------|
| $S$    | 1.180   |
| $\eta$ | 1.000   |
| $T_B$  | 0.133 s |
| $T_C$  | 0.400 s |
| $T_D$  | 2.467 s |

### Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_s \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5 + \xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_C \cdot T_C^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

### Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto  $S_d(T)$  per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico  $S_e(T)$  sostituendo  $\eta$  con  $1/q$ , dove  $q$  è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

### Punti dello spettro di risposta

|                  | T [s] | Se [g] |
|------------------|-------|--------|
|                  | 0.000 | 0.256  |
| $T_B \leftarrow$ | 0.133 | 0.650  |
| $T_C \leftarrow$ | 0.400 | 0.650  |
|                  | 0.499 | 0.521  |
|                  | 0.597 | 0.435  |
|                  | 0.695 | 0.374  |
|                  | 0.794 | 0.327  |
|                  | 0.892 | 0.291  |
|                  | 0.991 | 0.262  |
|                  | 1.089 | 0.239  |
|                  | 1.187 | 0.219  |
|                  | 1.286 | 0.202  |
|                  | 1.384 | 0.188  |
|                  | 1.483 | 0.175  |
|                  | 1.581 | 0.164  |
|                  | 1.680 | 0.155  |
|                  | 1.778 | 0.146  |
|                  | 1.876 | 0.139  |
|                  | 1.975 | 0.132  |
|                  | 2.073 | 0.125  |
|                  | 2.172 | 0.120  |
|                  | 2.270 | 0.114  |
|                  | 2.369 | 0.110  |
| $T_D \leftarrow$ | 2.467 | 0.105  |
|                  | 2.540 | 0.099  |
|                  | 2.613 | 0.094  |
|                  | 2.686 | 0.089  |
|                  | 2.759 | 0.084  |
|                  | 2.832 | 0.080  |
|                  | 2.905 | 0.076  |
|                  | 2.978 | 0.072  |
|                  | 3.051 | 0.069  |
|                  | 3.124 | 0.066  |
|                  | 3.197 | 0.063  |
|                  | 3.270 | 0.060  |
|                  | 3.343 | 0.057  |
|                  | 3.416 | 0.055  |
|                  | 3.489 | 0.053  |
|                  | 3.562 | 0.051  |
|                  | 3.635 | 0.049  |
|                  | 3.708 | 0.047  |
|                  | 3.781 | 0.045  |
|                  | 3.854 | 0.043  |
|                  | 3.927 | 0.043  |
|                  | 4.000 | 0.043  |

**Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limite: SLC****Parametri indipendenti**

| STATO LIMITE | SLC     |
|--------------|---------|
| $a_{nv}$     | 0.136 g |
| $S_S$        | 1.000   |
| $S_T$        | 1.000   |
| $q$          | 1.000   |
| $T_B$        | 0.050 s |
| $T_C$        | 0.150 s |
| $T_D$        | 1.000 s |

**Parametri dipendenti**

|        |       |
|--------|-------|
| $F_v$  | 1.597 |
| $S$    | 1.000 |
| $\eta$ | 1.000 |

**Punti dello spettro di risposta**

|                  | T [s] | Se [g] |
|------------------|-------|--------|
|                  | 0.000 | 0.136  |
| $T_B \leftarrow$ | 0.050 | 0.346  |
| $T_C \leftarrow$ | 0.150 | 0.346  |
|                  | 0.235 | 0.221  |
|                  | 0.320 | 0.162  |
|                  | 0.405 | 0.128  |
|                  | 0.490 | 0.106  |
|                  | 0.575 | 0.090  |
|                  | 0.660 | 0.079  |
|                  | 0.745 | 0.070  |
|                  | 0.830 | 0.063  |
|                  | 0.915 | 0.057  |
| $T_D \leftarrow$ | 1.000 | 0.052  |
|                  | 1.094 | 0.043  |
|                  | 1.188 | 0.037  |
|                  | 1.281 | 0.032  |
|                  | 1.375 | 0.027  |
|                  | 1.469 | 0.024  |
|                  | 1.563 | 0.021  |
|                  | 1.656 | 0.019  |
|                  | 1.750 | 0.017  |
|                  | 1.844 | 0.015  |
|                  | 1.938 | 0.014  |
|                  | 2.031 | 0.013  |
|                  | 2.125 | 0.011  |
|                  | 2.219 | 0.011  |
|                  | 2.313 | 0.010  |
|                  | 2.406 | 0.009  |
|                  | 2.500 | 0.008  |
|                  | 2.594 | 0.008  |
|                  | 2.688 | 0.007  |
|                  | 2.781 | 0.007  |
|                  | 2.875 | 0.006  |
|                  | 2.969 | 0.006  |
|                  | 3.063 | 0.006  |
|                  | 3.156 | 0.005  |
|                  | 3.250 | 0.005  |
|                  | 3.344 | 0.005  |
|                  | 3.438 | 0.004  |
|                  | 3.531 | 0.004  |
|                  | 3.625 | 0.004  |
|                  | 3.719 | 0.004  |
|                  | 3.813 | 0.004  |
|                  | 3.906 | 0.003  |
|                  | 4.000 | 0.003  |

**Espressioni dei parametri dipendenti**

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 §. 3.2.3.5})$$

$$F_v = 1,35 \cdot F_0 \cdot \left( \frac{a_g}{g} \right)^{0,5} \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.11})$$

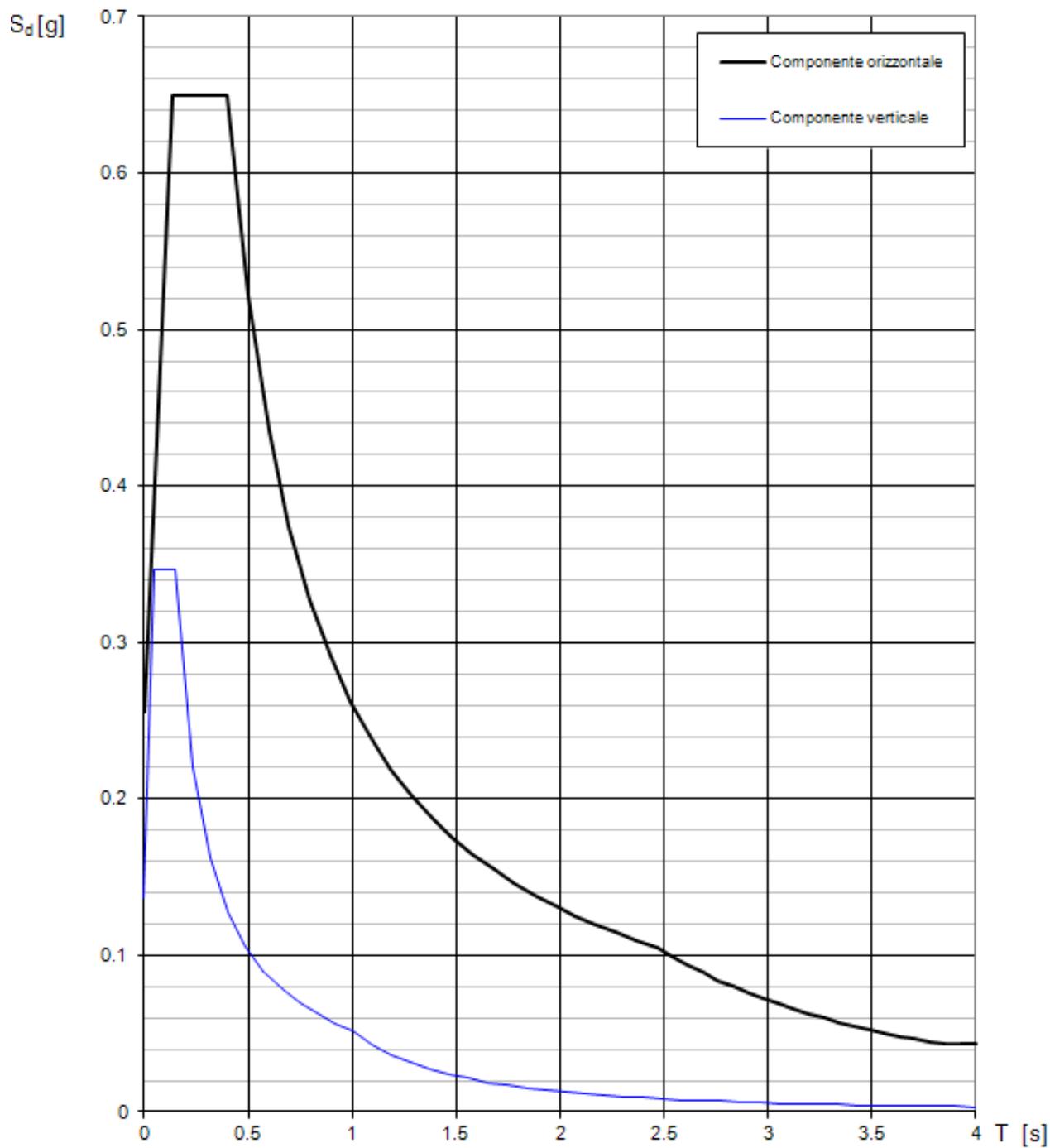
**Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.10)**

$$0 \leq T < T_B \quad S_s(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_s(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_s(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_s(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left( \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

**Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLC**

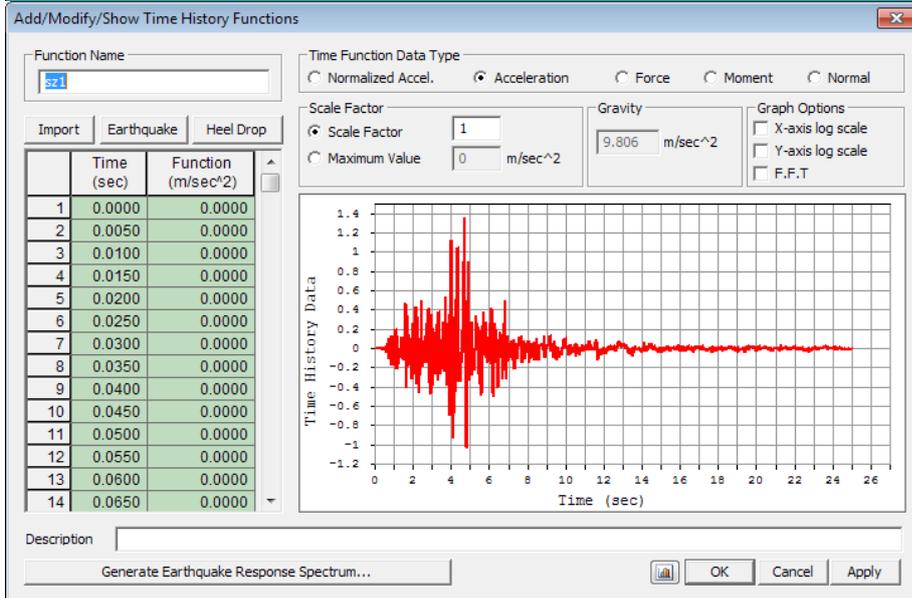
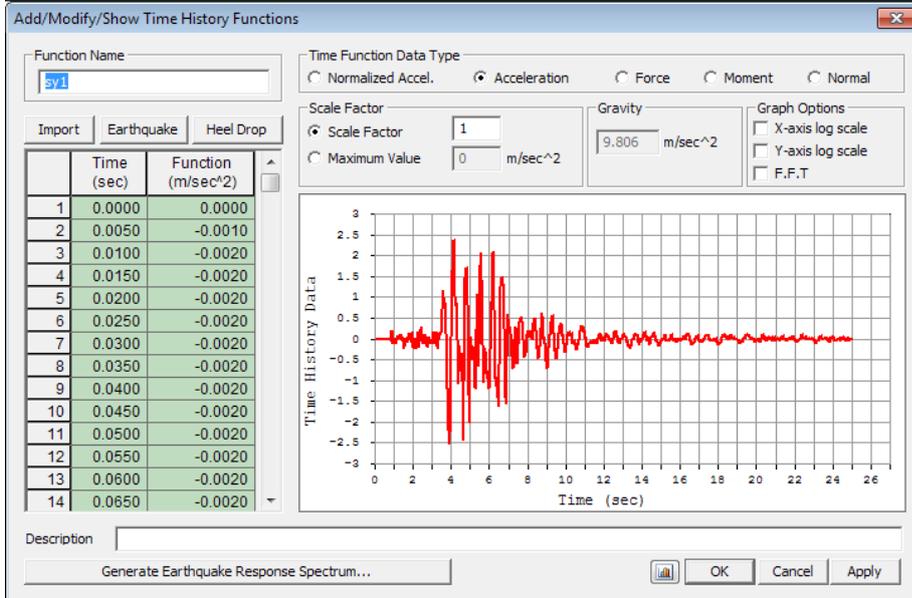
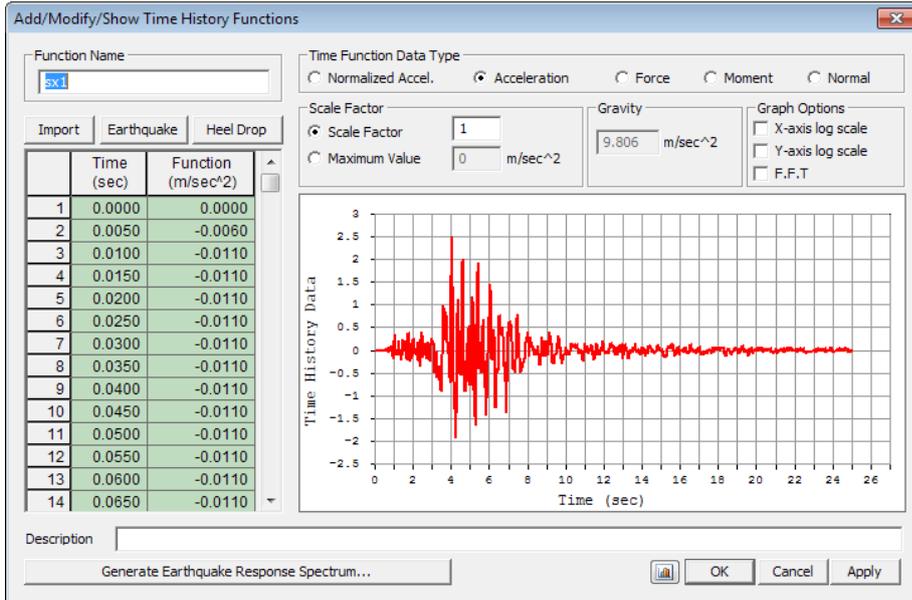
### 6.11.1 Analisi strutturale

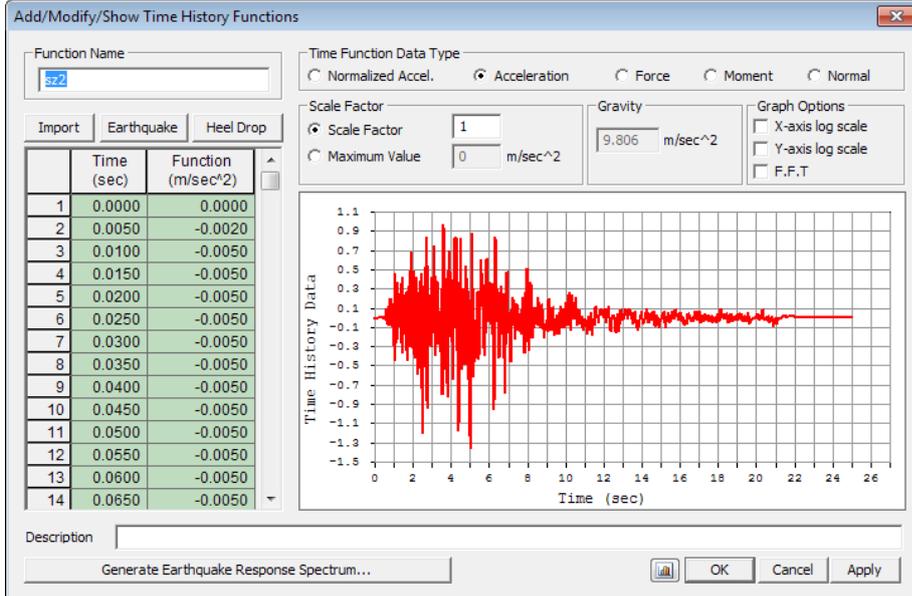
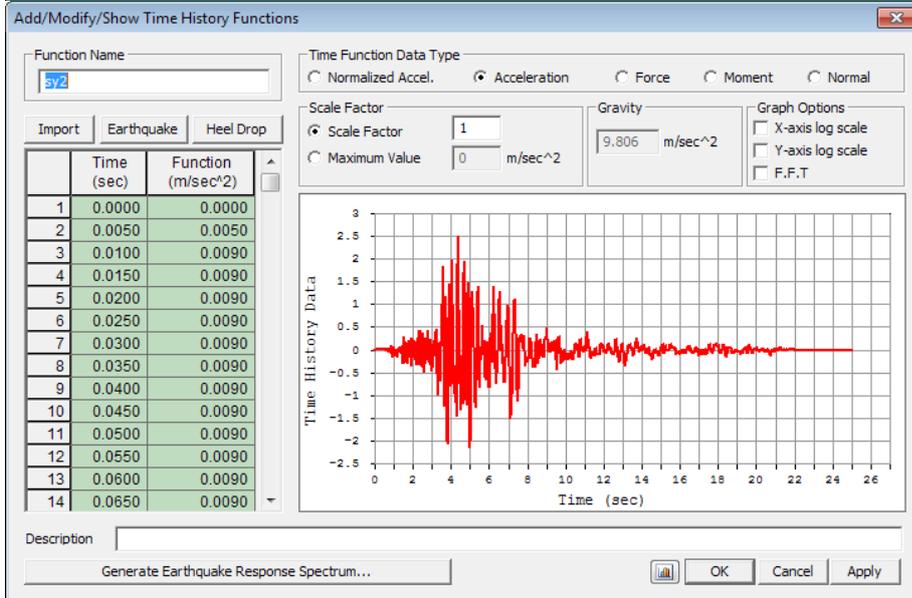
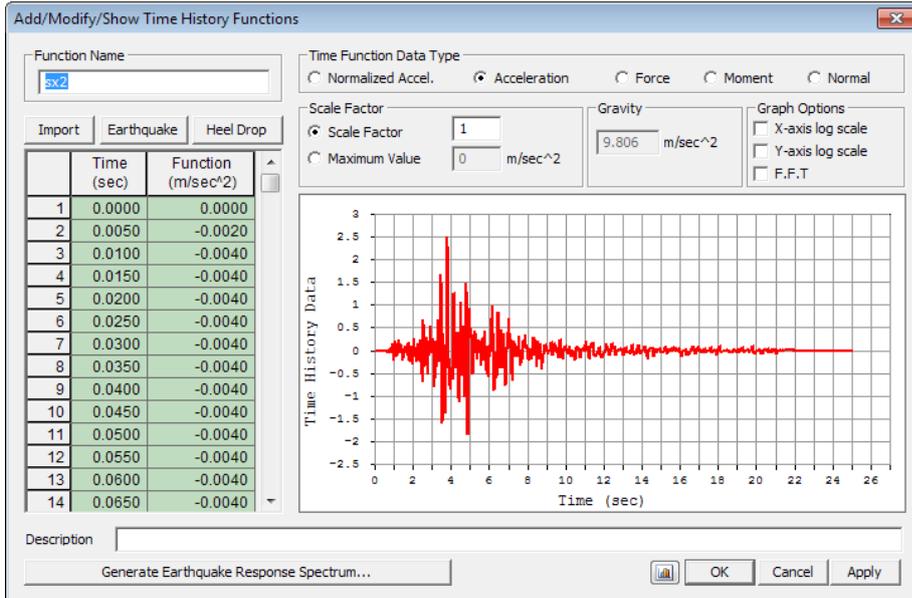
L' impalcato è posto su isolatori, per cui per l'analisi del comportamento strutturale in condizioni sismiche si è svolta un'analisi dinamica non lineare tipo *Time History* utilizzando 7 accelerogrammi spettro-compatibili secondo le modalità indicate ai par. 3.2.3.6 e 7.3.5 del DM 14.01.2008. Sono stati considerati accelerogrammi relativi allo SLC per il dimensionamento degli isolatori ed, a vantaggio di sicurezza, anche per la determinazione della azioni sulle sottostrutture (anzichè lo SLV). Sono stati considerati 7 gruppi di accelerogrammi spettro-compatibili, con riferimento alle tre componenti dell'azione sismica. Come indicato al par 7.3.5 del DM 14.01.2008, gli effetti sulla struttura sono rappresentati dai valori medi degli effetti più sfavorevoli ottenuti dalle analisi. Di seguito si riportano gli accelerogrammi impiegati, ottenuti mediante l'ausilio del software REXEL.

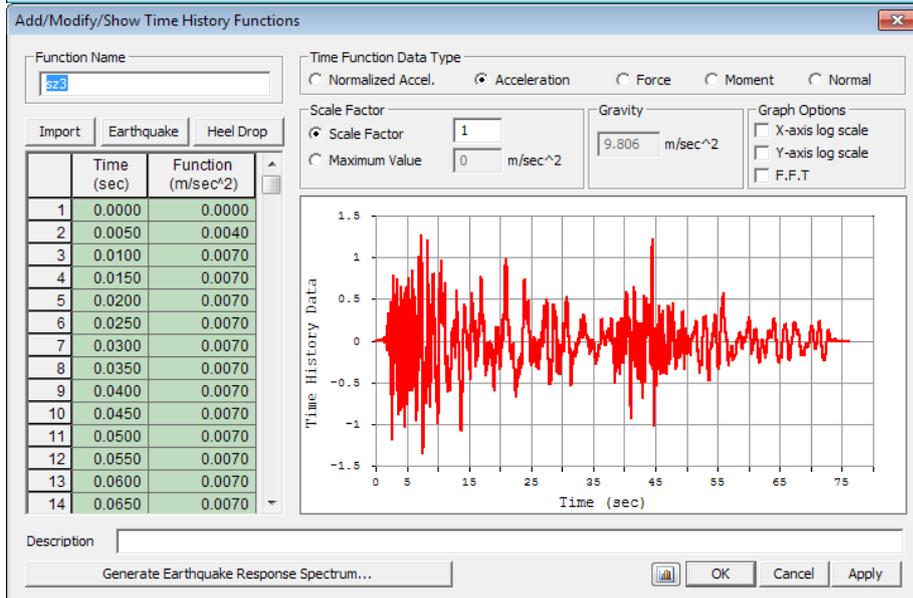
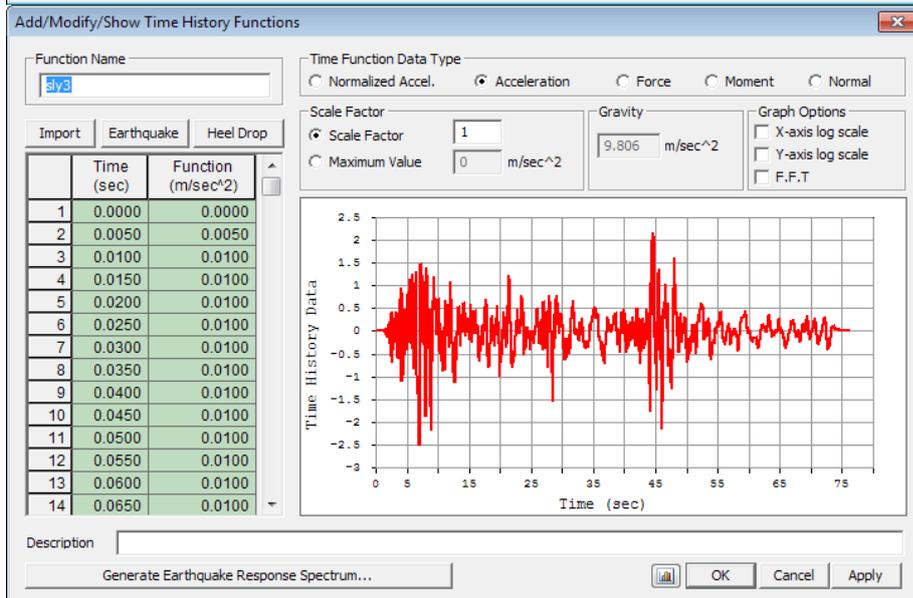
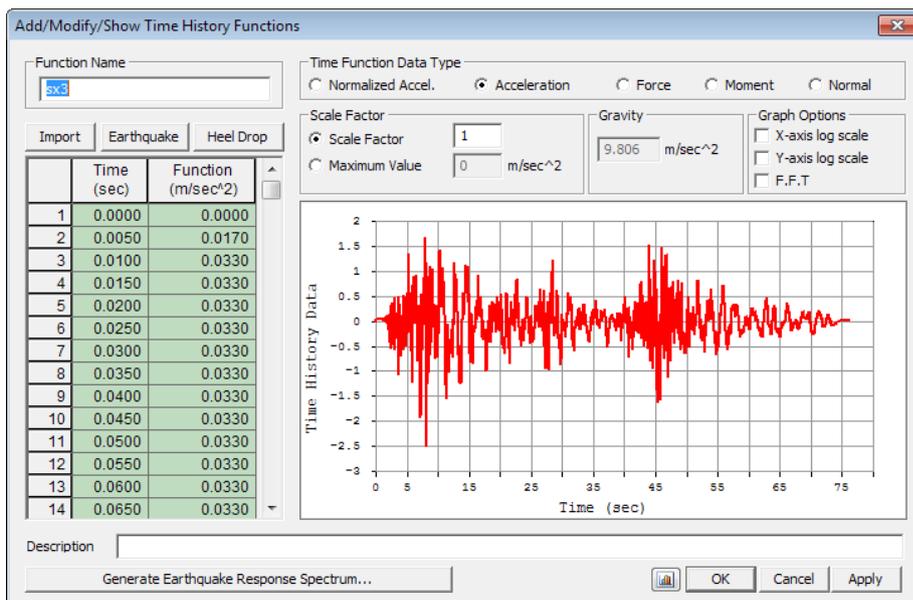
Gli eventi di riferimento sono i seguenti.

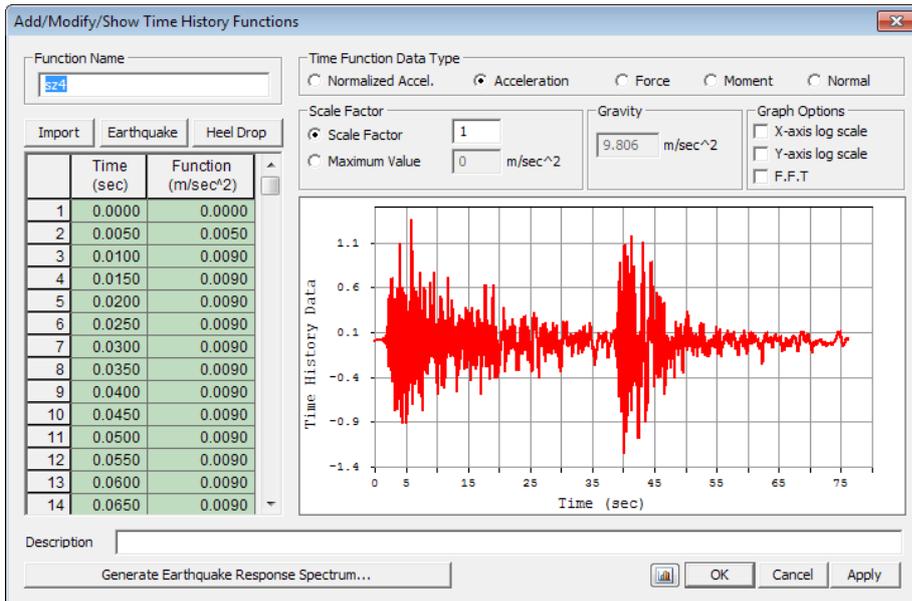
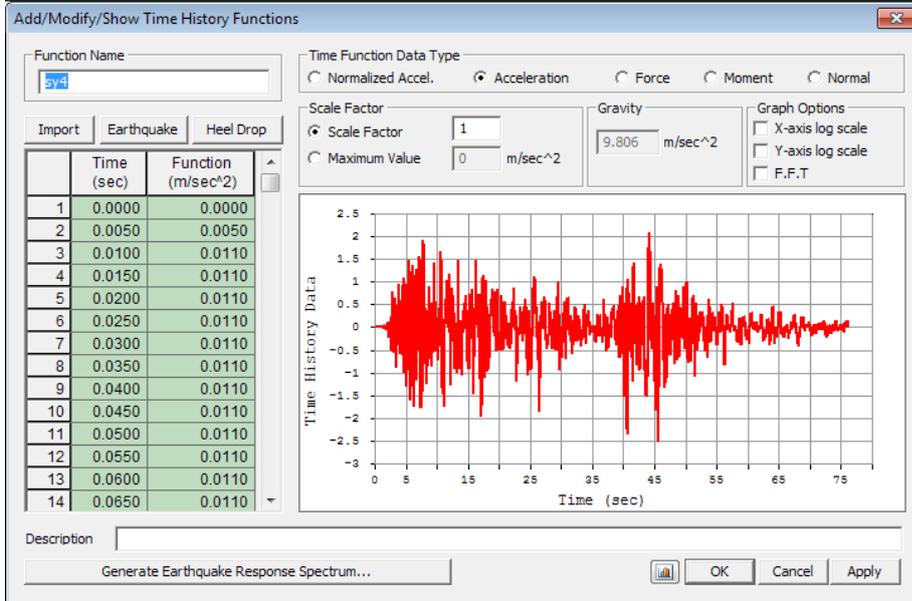
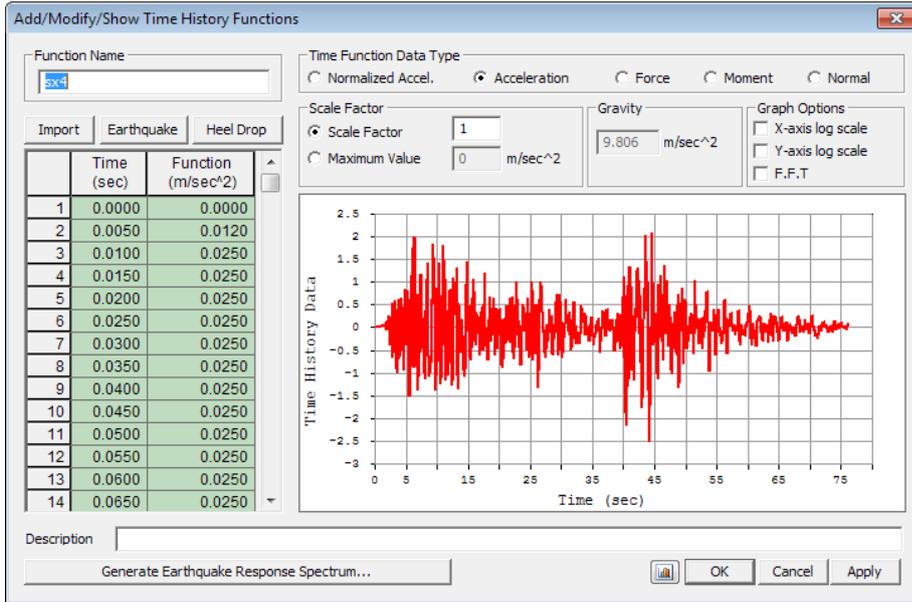
| Waveform ID | Earthquake ID | Station ID | Earthquake Name             | Date       | Mw          |
|-------------|---------------|------------|-----------------------------|------------|-------------|
| 650         | 158           | GLD        | MOLISE 2ND SHOCK            | 01/11/2002 | 5.7         |
| 14          | 4             | TLM1       | FRIULI EARTHQUAKE 1ST SHOCK | 06/05/1976 | 6.4         |
| 390         | 100           | NCR        | UMBRIA-MARCHE 2ND SHOCK     | 26/09/1997 | 6           |
| 89          | 25            | FRC        | FRIULI EARTHQUAKE 3RD SHOCK | 15/09/1976 | 5.9         |
| 363         | 99            | BVG        | UMBRIA-MARCHE 1ST SHOCK     | 26/09/1997 | 5.7         |
| 171         | 47            | CLT        | IRPINIA EARTHQUAKE          | 23/11/1980 | 6.9         |
| 169         | 47            | BSC        | IRPINIA EARTHQUAKE          | 23/11/1980 | 6.9         |
| mean:       |               |            |                             |            | 6.214285714 |

Seguono gli accelerogrammi considerati.

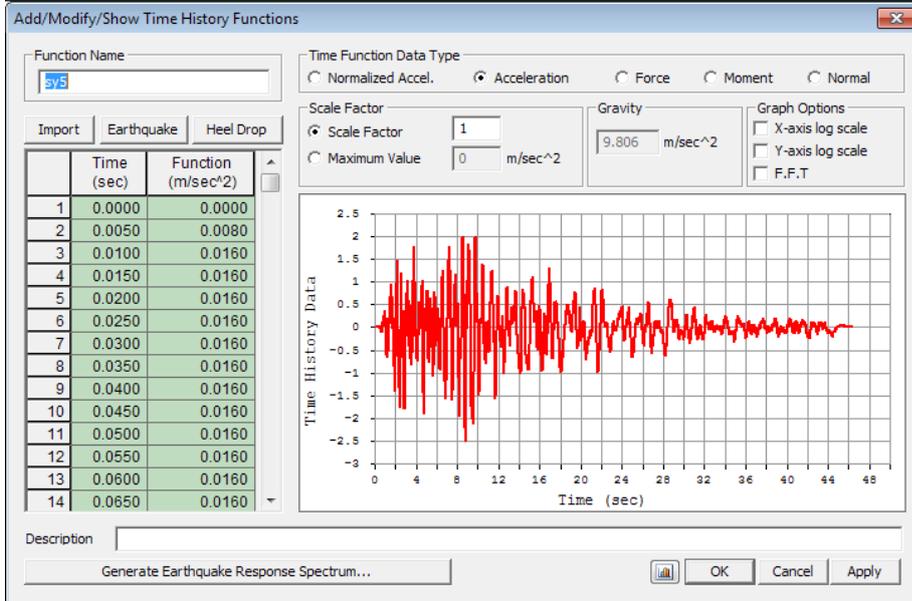
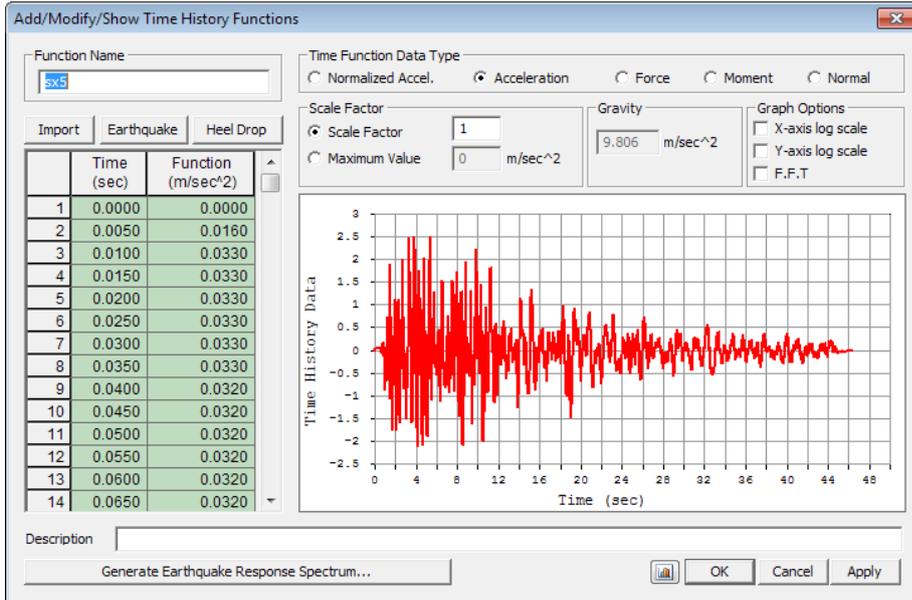




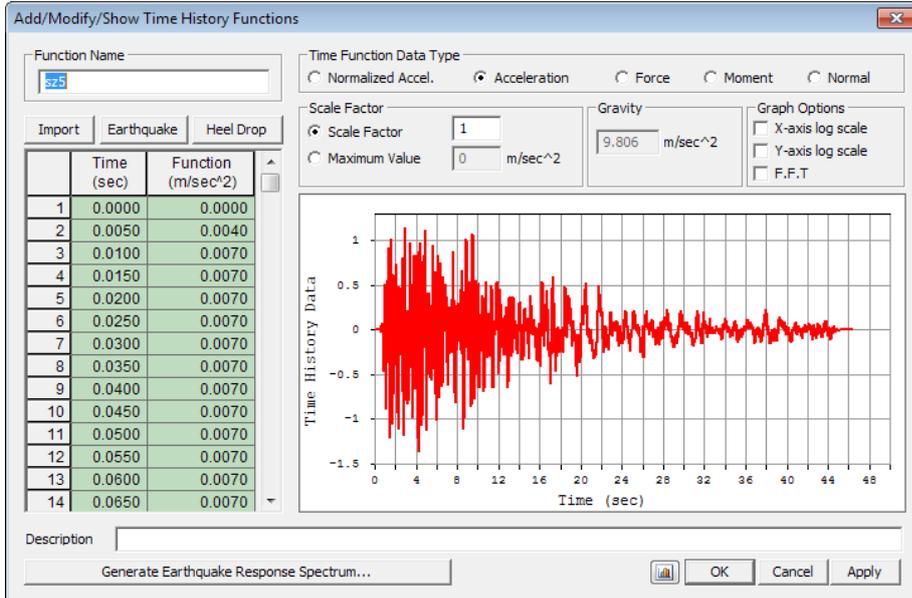


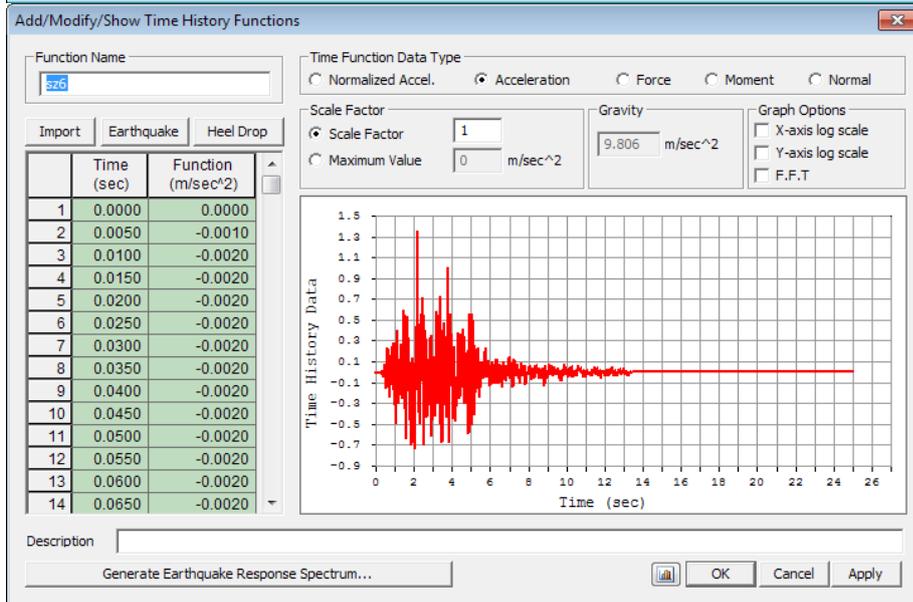
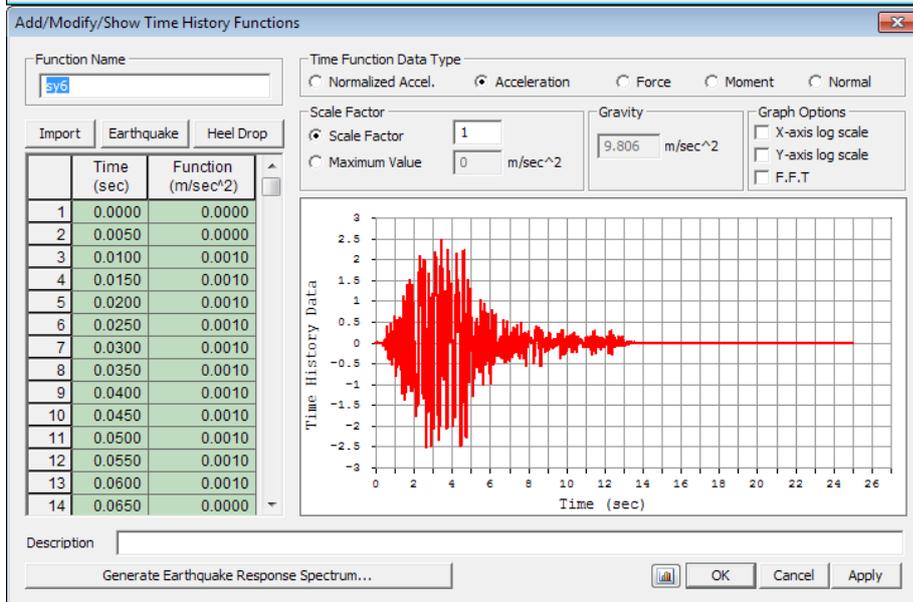
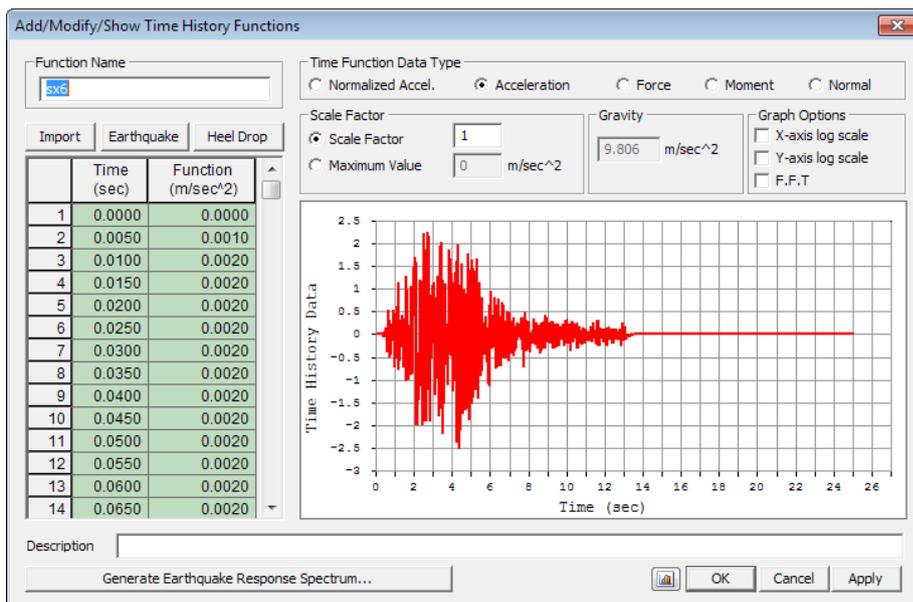


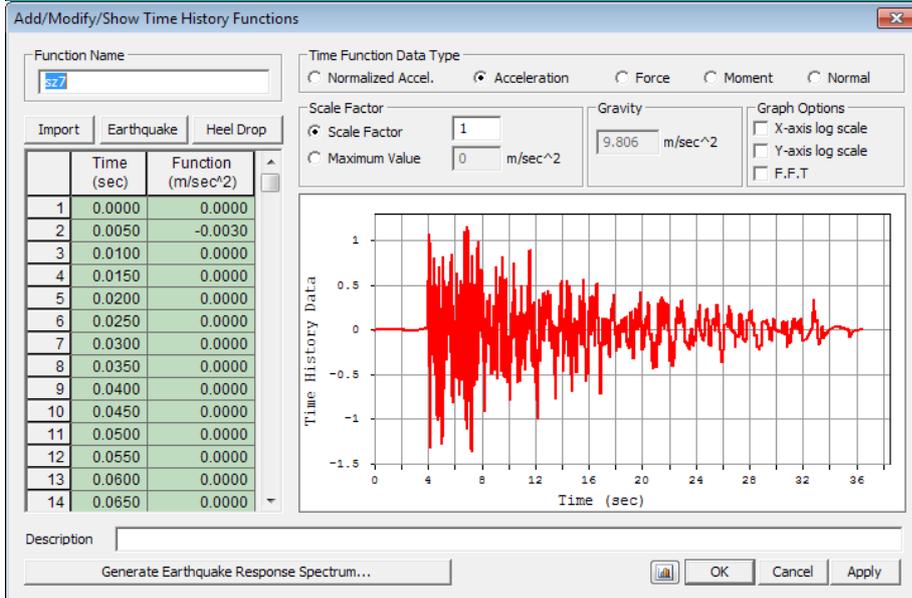
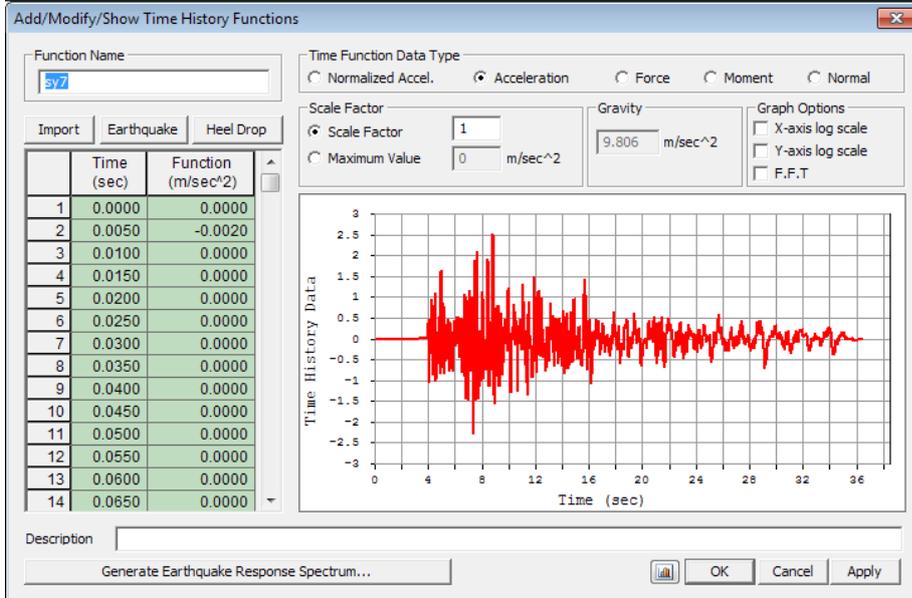
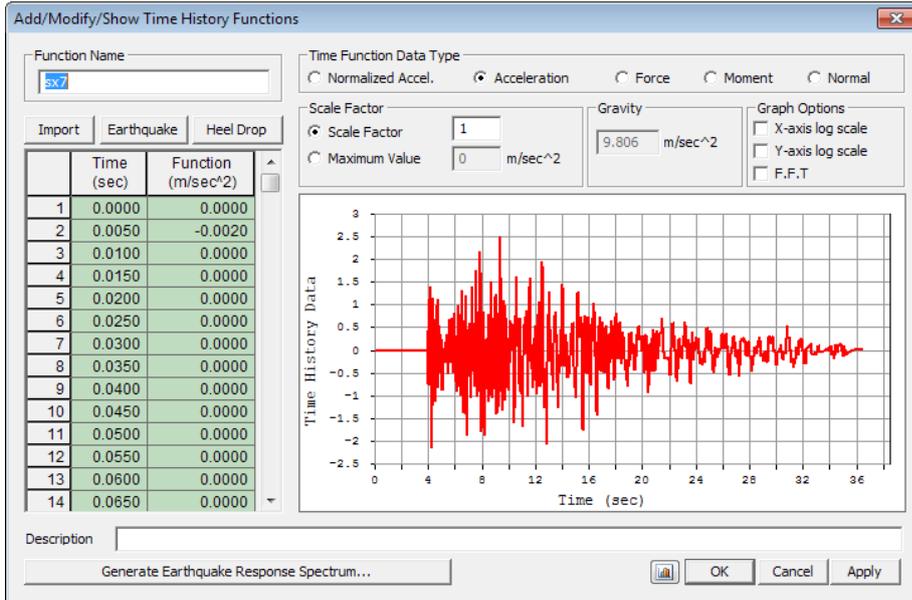
8



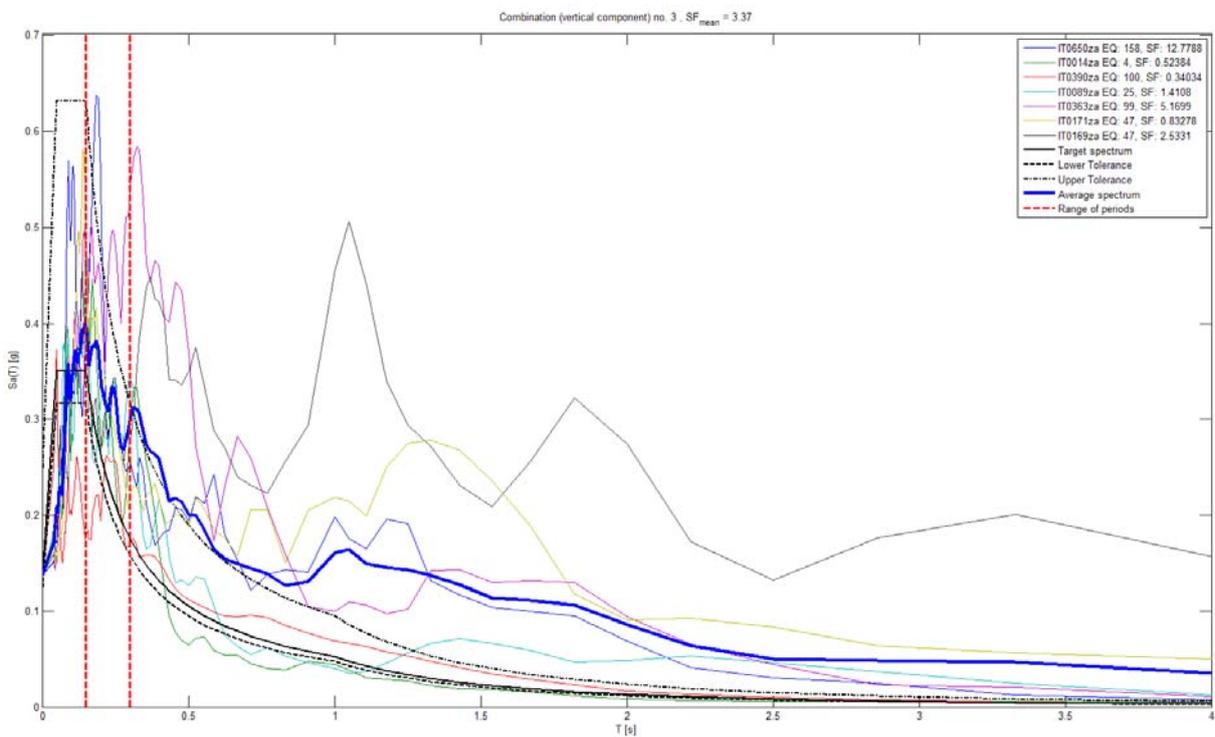
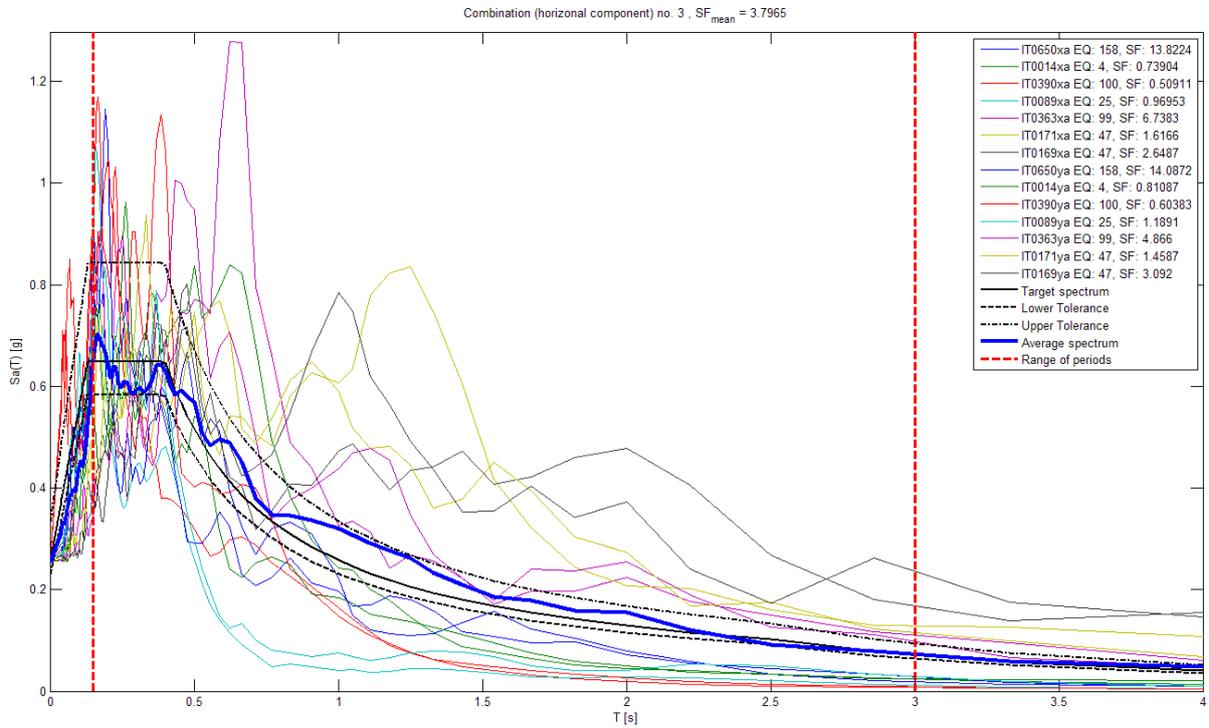
8







I diagrammi che seguono mostrano la coerenza tra lo spettro di risposta elastico medio degli accelerogrammi impiegati e lo spettro elastico di progetto, in accordo con le prescrizioni del DM 2008.



### 6.11.2 Incremento di spinta in condizioni sismiche

Oltre alla forze di inerzia dovute al peso degli elementi strutturali e del terreno interno alle spalle, è necessario, in condizioni sismiche, considerare anche un incremento della spinta del terreno rispetto a quella statica.

Le spinte in stato limite attivo e passivo in condizioni sismiche possono essere determinate con le seguenti formule:

$$S_{aE} = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot (1 - K_v) \cdot K_{aE}$$

$$S_{pE} = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot (1 - K_v) \cdot K_{pE}$$

in cui:

$K_v$  è il coefficiente sismico verticale pari a  $\pm 0.5 K_h$ ;

$K_h$  è il coefficiente sismico orizzontale da calcolare come (punto 7.11.6.2.1 del D.M. 14/01/2008):

$$K_h = \beta_m \cdot \frac{a_{\max}}{g}$$

dove:

$\beta_m$  è un coefficiente da assumere unitario per opere di sostegno che non siano in grado di subire spostamenti relativi rispetto al terreno;

$a_{\max}$  è l'accelerazione orizzontale massima attesa al sito da poter valutare come:

$$a_{\max} = S_S \cdot S_T \cdot a_g$$

Nel caso in esame risulta  $K_h = 0.241$

Ne consegue che  $K_v$  risulta pari a 0.121

$K_{aE}$  è il coefficiente di spinta attivo in condizioni sismiche;

Sulla base delle formulazioni fornite da Mononobe e Okabe, risulta, nel caso in esame,  $K_{aE} = 0.45$ .

L'incremento di spinta è quindi ottenuto come differenza tra la spinta in condizioni sismiche e quella applicata in condizioni statiche. Esso è rappresentato da un carico pseudo-statico di tipo lineare.

La direzione dell'incremento di spinta segue le direzioni ortogonali secondo cui si considera

### 6.11.3 Inerzia sismica del terreno contenuto nelle spalle

Viene considerata anche la forza inerziale del terreno contenuto all'interno della spalla, applicando alla sua massa, l'accelerazione di progetto.

## 7. CONDIZIONI E COMBINAZIONI DI CARICO

### 7.1 Condizioni elementari di carico

In base alla modellazione delle azioni adottata, sono state considerate le seguenti condizioni elementari di carico:

G1 = peso proprio

G2 = carichi permanenti portati

Q3 = frenamento

Q5\_pc (X) = vento a ponte carico

Q5\_pc (Y) = vento a ponte carico

Q5\_ps (X) = vento a ponte scarico

Q5\_ps (Y) = vento a ponte scarico

T = variazione termica uniforme

Qk sisma = Carichi mobili uniformemente distribuiti

Q4 = azione centrifuga

S-Peso terreno = Peso terreno nella spalla

S-Spinta terreno = Spinta statica terreno nella spalla

S-Carico mobile = Effetti dei carichi mobili sulla spalla

S-Frenamento = Frenamento su paraghiaia

S-Increm spinta +x = Incremento di spinta in cond sismica +x

S-Increm spinta -x = Incremento di spinta in cond sismica -x

S-Increm spinta y = Incremento di spinta in cond sismica y

S-Inerzia sismica +x = Inerzia sismica del terreno nella spalla

S-Inerzia sismica -x = Inerzia sismica del terreno nella spalla

S-Inerzia sismica y = Inerzia sismica del terreno nella spalla dir y

Pesi seconda fase = Pesi che intervengono per il calcolo del cedimento differenziale

SLC(i) = Analisi sismica per ciascuno dei 7 gruppi di accelerogrammi considerati

Nel seguito della presente si riportano le diverse combinazioni di carico adottate in relazione allo stato limite considerato.

## 7.2 Combinazioni delle azioni agli Stati Limite Ultimi

In base alla vigente normativa, per la definizione delle azioni di calcolo agli stati limite ultimi, a partire dalle condizioni di carico elementari, sono state considerate le seguenti combinazioni delle azioni:

- Combinazioni delle azioni per le verifiche agli stati limite ultimi secondo lo schema indicato in tabella 5.1.IV delle “Norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 14.01.2008:

$$F_d = \gamma_{g1} \cdot G_1 + \gamma_{g2} \cdot G_2 + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \sum_{i=2}^n (\gamma_{Qi} \cdot \psi_{0i} \cdot Q_{ki})$$

- Combinazione sismica:

$$F_d = E + G_1 + G_2 + \sum_{i=1}^n (\psi_{2i} \cdot Q_{ki})$$

avendo assunto per i coefficienti  $\gamma_{g,1}$ ,  $\gamma_{g,2}$  e  $\gamma_{q,i}$  e per i coefficienti di combinazione  $\Psi_{0i}$ ,  $\Psi_{1i}$  e  $\Psi_{2i}$  i valori previsti dalle norme e riportati rispettivamente nelle tabella 5.1.V e 5.1.VI delle “Norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 14.01.2008.

## 7.3 Combinazioni delle azioni agli Stati Limite di Esercizio

Per la definizione delle azioni di calcolo agli Stati Limite di Esercizio, le condizioni di carico elementari sono state cumulate in modo tale da risultare più sfavorevoli, mediante l'espressione:

- combinazioni caratteristiche rare:  $F_d = G_1 + G_2 + Q_{k1} + \sum_{i=2}^n (\psi_{0i} \cdot Q_{ki})$
- combinazioni frequenti:  $F_d = G_1 + G_2 + \gamma_{11} \cdot Q_{k1} + \sum_{i=2}^n (\psi_{2i} \cdot Q_{ki})$
- combinazioni quasi permanenti:  $F_d = G_1 + G_2 + \sum_{i=1}^n (\psi_{2i} \cdot Q_{ki})$

La combinazione di calcolo rara è stata utilizzata per la verifica dello stato limite di tensione in esercizio, la combinazione frequente per le verifiche a fessurazione e la quasi permanente per il controllo della deformabilità.

Si riporta di seguito un riepilogo delle combinazioni SLU SLE ed SLV delle azioni considerate nelle analisi strutturali in cui sono esplicitati i valori dei coefficienti parziali per le azioni  $\gamma$  utilizzati:

## Sovrappasso rampa di ingresso – Relazione di calcolo sulle sottostrutture

| NUM | NAME        | ACTIVE<br>LOADCASE (FACTOR) +  | TYPE     | LOADCASE (FACTOR) +  | LOADCASE (FACTOR)   |
|-----|-------------|--|----------|--|---|
| 1   | DEAD        | Active<br>G1( 1.000) +   | Add      | G2( 1.000) +   | Qk sisma( 0.200)  |
| 2   | Q1K         | Active<br>C1+C2( 1.000) +  | Envelope | C3+C4( 1.000)  |   |
| 3   | Q1F         | Active<br>C1+C2 F( 1.000) +  | Envelope | C3+C4 F( 1.000)  |   |
| 4   | FRENAMENTO  | Active<br>Q3( 1.000) +   | Envelope | S-Frenamento( 1.000)   |   |
| 5   | Q5_pc -X    | Active<br>Q5_pc (X)(-1.000)  | Add      |  |   |
| 6   | Q5_pc -Y    | Active<br>Q5_pc (Y)(-1.000)  | Add      |  |   |
| 7   | Q5_ps -X    | Active<br>Q5_ps (X)(-1.000)  | Add      |  |   |
| 8   | Q5_ps -Y    | Active<br>Q5_ps (Y)(-1.000)  | Add      |  |   |
| 9   | DT-         | Active<br>T(-1.000)  | Add      |  |   |
| 10  | DT          | Active<br>T( 1.000) +  | Envelope | DT-( 1.000)  |   |
| 11  | VENTO PC    | Active<br>Q5_pc (X)( 1.000) +<br>+ Q5_pc -Y( 1.000)                            | Envelope | Q5_pc (Y)( 1.000) +  | Q5_pc -X( 1.000)  |
| 12  | VENTO PS    | Active<br>Q5_ps (X)( 1.000) +<br>+ Q5_ps -Y( 1.000)                            | Envelope | Q5_ps (Y)( 1.000) +  | Q5_ps -X( 1.000)  |
| 13  | SLU1        | Active<br>G1( 1.350) +<br>+ VENTO PC( 0.900) +<br>+ S-Spinta terreno( 1.350) + | Add      | G2( 1.350) +<br>DT( 0.720) +<br>S-Carico mobile( 1.350)          | Q1K( 1.350)<br>S-Peso terreno( 1.350)                       |
| 14  | SLU2        | Active<br>G1( 1.350) +<br>+ DT( 0.720) +<br>+ S-Carico mobile( 1.000) +        | Add      | G2( 1.350) +<br>S-Peso terreno( 1.350) +<br>Q1F( 1.350)          | VENTO PC( 1.500)<br>S-Spinta terreno( 1.350)                |
| 15  | SLU3        | Active<br>G1( 1.350) +<br>+ DT( 1.200) +<br>+ S-Carico mobile( 1.000) +        | Add      | G2( 1.350) +<br>S-Peso terreno( 1.350) +<br>Q1F( 1.350)          | VENTO PC( 0.900)<br>S-Spinta terreno( 1.350)                |
| 16  | SLU4        | Active<br>G1( 1.350) +<br>+ DT( 0.720) +<br>+ S-Carico mobile( 1.000) +        | Add      | G2( 1.350) +<br>S-Peso terreno( 1.350) +<br>FRENAMENTO( 1.500) + | VENTO PC( 0.900)<br>S-Spinta terreno( 1.350)<br>Q1F( 1.350) |
| 17  | SLU5        | Active<br>G1( 1.350) +<br>+ DT( 0.720) +<br>+ S-Carico mobile( 1.000) +        | Add      | G2( 1.350) +<br>S-Peso terreno( 1.350) +<br>Q4( 1.500) +         | VENTO PC( 0.900)<br>S-Spinta terreno( 1.350)<br>Q1F( 1.350) |
| 18  | SLU6        | Active<br>G1( 1.000) +<br>+ DT( 0.720) +                                       | Add      | G2( 1.000) +<br>S-Peso terreno( 1.000) +                         | VENTO PS( 1.500)<br>S-Spinta terreno( 1.000)                |
| 19  | INCR SPINTA | Active<br>S-Increm spinta +x( 1.000) +   | Envelope | S-Increm spinta -x( 1.000) +                                     | S-Increm spinta y( 1.000)                                   |

## Sovrappasso rampa di ingresso – Relazione di calcolo sulle sottostrutture

|    |   |                            |          |                            |                          |
|----|---|----------------------------|----------|----------------------------|--------------------------|
| 20 | INERZIA TERRENO   | Active                     | Envelope |                            |                          |
|    | S-Inerzia sismica +x( 1.000) + S-Inerzia sismica -x( 1.000) + S-Inerzia sismica y( 1.000) |                            |          |                            |                          |
| 21 | SLC TOT   | Active                     | Add      |                            |                          |
|    |   | SLC1( 0.143) +             |          | SLC2( 0.143) +             | SLC3( 0.143)             |
| +  |   | SLC4( 0.143) +             |          | SLC5( 0.143) +             | SLC6( 0.143)             |
| +  |   | SLC7( 0.143) +             |          | DT( 0.500)                 |                          |
| 22 | INV SLV   | Active                     | Add      |                            |                          |
|    |   | INCR SPINTA( 1.000) +      |          | INERZIA TERRENO( 1.000) +  | SLC TOT( 1.000)          |
| +  |   | S-Peso terreno( 1.000) +   |          | S-Spinta terreno( 1.000) + | S-Carico mobile( 0.200)  |
| 23 | INV SLU   | Active                     | Envelope |                            |                          |
|    |   | SLU1( 1.000) +             |          | SLU2( 1.000) +             | SLU3( 1.000)             |
| +  |   | SLU4( 1.000) +             |          | SLU5( 1.000) +             | SLU6( 1.000)             |
| 24 | INV TOT   | Active                     | Envelope |                            |                          |
|    |   | INV SLU( 1.000) +          |          | INV SLV( 1.000)            |                          |
| 25 | SLE R1  | Active                     | Add      |                            |                          |
|    |   | G1( 1.000) +               |          | G2( 1.000) +               | Q1K( 1.000)              |
| +  |   | VENTO PC( 0.600) +         |          | DT( 0.600) +               | S-Peso terreno( 1.000)   |
| +  |   | S-Spinta terreno( 1.000) + |          | S-Carico mobile( 1.000)    |                          |
| 26 | SLE R2  | Active                     | Add      |                            |                          |
|    |   | G1( 1.000) +               |          | G2( 1.000) +               | VENTO PC( 1.000)         |
| +  |   | DT( 0.600) +               |          | S-Peso terreno( 1.000) +   | S-Spinta terreno( 1.000) |
| +  |   | S-Carico mobile( 0.750) +  |          | Q1F( 1.000)                |                          |
| 27 | SLE R3  | Active                     | Add      |                            |                          |
|    |   | G1( 1.000) +               |          | G2( 1.000) +               | VENTO PC( 0.600)         |
| +  |   | DT( 1.000) +               |          | S-Peso terreno( 1.000) +   | S-Spinta terreno( 1.000) |
| +  |   | S-Carico mobile( 0.750) +  |          | Q1F( 1.000)                |                          |
| 28 | SLE R4  | Active                     | Add      |                            |                          |
|    |   | G1( 1.000) +               |          | G2( 1.000) +               | VENTO PC( 0.600)         |
| +  |   | DT( 0.600) +               |          | S-Peso terreno( 1.000) +   | S-Spinta terreno( 1.000) |
| +  |   | S-Carico mobile( 0.750) +  |          | FRENAMENTO( 1.000) +       | Q1F( 1.000)              |
| 29 | SLE R5  | Active                     | Add      |                            |                          |
|    |   | G1( 1.000) +               |          | G2( 1.000) +               | VENTO PC( 0.600)         |
| +  |   | DT( 0.600) +               |          | S-Peso terreno( 1.000) +   | S-Spinta terreno( 1.000) |
| +  |   | S-Carico mobile( 0.750) +  |          | Q4( 1.000) +               | Q1F( 1.000)              |
| 30 | SLE R6  | Active                     | Add      |                            |                          |
|    |   | G1( 1.000) +               |          | G2( 1.000) +               | VENTO PS( 1.000)         |
| +  |   | DT( 0.600) +               |          | S-Peso terreno( 1.000) +   | S-Spinta terreno( 1.000) |
| 31 | INV SLER  | Active                     | Envelope |                            |                          |
|    |   | SLE R1( 1.000) +           |          | SLE R2( 1.000) +           | SLE R3( 1.000)           |
| +  |   | SLE R4( 1.000) +           |          | SLE R5( 1.000) +           | SLE R6( 1.000)           |
| 32 | SLE F1  | Active                     | Add      |                            |                          |
|    |   | G1( 1.000) +               |          | G2( 1.000) +               | DT( 0.500)               |
| +  |   | S-Peso terreno( 1.000) +   |          | S-Spinta terreno( 1.000) + | S-Carico mobile( 0.750)  |
| +  |   | Q1F( 1.000)                |          |                            |                          |
| 33 | SLE F2  | Active                     | Add      |                            |                          |
|    |   | G1( 1.000) +               |          | G2( 1.000) +               | VENTO PS( 0.200)         |
| +  |   | DT( 0.500) +               |          | S-Peso terreno( 1.000) +   | S-Spinta terreno( 1.000) |
| 34 | SLEF3   | Active                     | Add      |                            |                          |
|    |   | G1( 1.000) +               |          | G2( 1.000) +               | DT( 0.600)               |
| +  |   | S-Peso terreno( 1.000) +   |          | S-Spinta terreno( 1.000)   |                          |
| 35 | INV SLE-F   | Active                     | Envelope |                            |                          |
|    |   | SLE F1( 1.000) +           |          | SLE F2( 1.000) +           | SLEF3( 1.000)            |
| 36 | SLE QP  | Active                     | Add      |                            |                          |
|    |   | G1( 1.000) +               |          | G2( 1.000) +               | DT( 0.500)               |
| +  |   | S-Spinta terreno( 1.000) + |          | S-Peso terreno( 1.000)     |                          |
| 37 | DZ perm2  | Active                     | Add      |                            |                          |
|    |   | pesi seconda fase( 2.170)  |          |                            |                          |

38 DZ Q1 Active Add  
Q1K( 2.170)

---

## 8. CRITERI DI VERIFICA

### 8.1 Criteri di verifica agli stati limite ultimi (SLU) per gli elementi in c.a.

#### 8.1.1 Criteri di verifica per elementi soggetti a flessione e/o sforzo normale

Per la valutazione della resistenza ultima delle sezioni di elementi monodimensionali in c.a. nei confronti di flessione e sforzo normale, si adottano le seguenti ipotesi:

- conservazione delle sezioni piane;
- perfetta aderenza acciaio-calcestruzzo;
- resistenza a trazione del calcestruzzo trascurabile;
- rottura del calcestruzzo determinata dal raggiungimento della sua capacità deformativa ultima a compressione;
- rottura dell'armatura tesa determinata dal raggiungimento della sua capacità deformativa ultima;

Le tensioni nel calcestruzzo e nell'armatura sono dedotte, a partire dalle deformazioni, utilizzando i rispettivi diagrammi tensione-deformazione.

Per il calcestruzzo si adopera un diagramma di calcolo tensione-deformazione di tipo parabola-rettangolo.

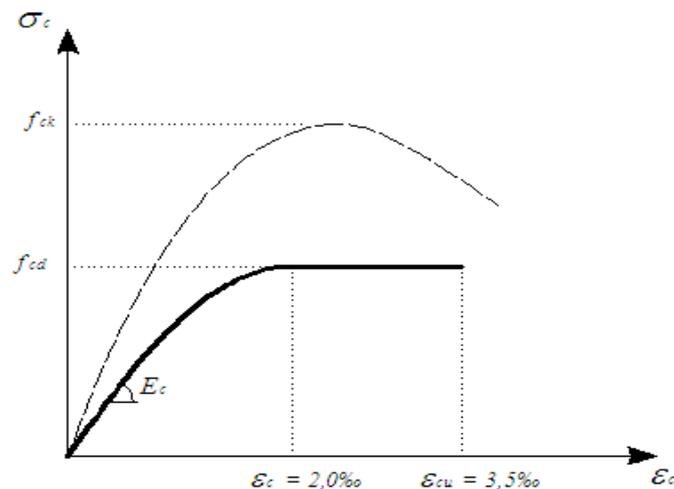


Figura 17 – Diagramma tensione – deformazione di progetto del calcestruzzo

La resistenza di calcolo a compressione del calcestruzzo  $f_{cd}$  è:

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

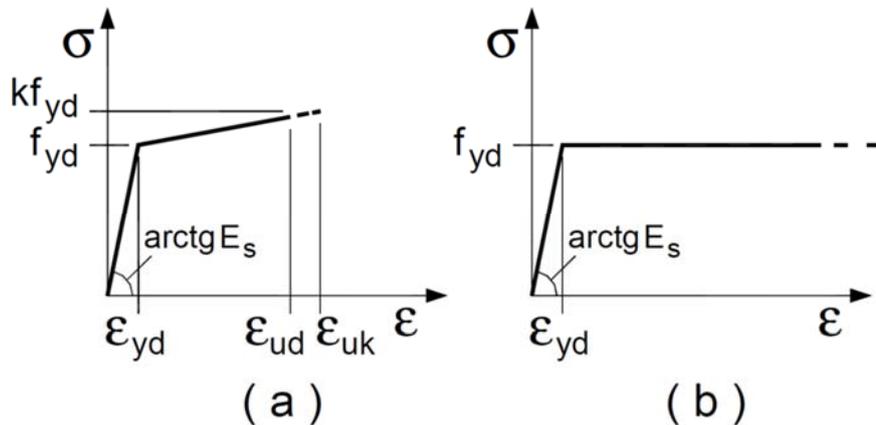
in cui:

$\alpha_{cc}$  è il coefficiente riduttivo per le resistenze di lunga durata ed è pari a 0.85;

$f_{ck}$  è la resistenza caratteristica cilindrica a compressione del calcestruzzo a 28 giorni;

$\gamma_c$  è il coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo ed è pari a 1.5.

Per le armature in acciaio si assume un diagramma di calcolo tensione-deformazione bilineare finito con incrudimento (a), o (b) elastico-perfettamente plastico indefinito.



La resistenza di calcolo a trazione dell'acciaio  $f_{yd}$  è:

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s}$$

in cui:

$f_{yk}$  è la tensione caratteristica di snervamento dell'acciaio;

$\gamma_s$  è il coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio ed assume il valore 1.15.

Con riferimento alla sezione soggetta a sforzo normale e momento flettente, la verifica di resistenza (SLU) si esegue controllando che:

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

dove:

$M_{Rd}$  è il valore di calcolo del momento resistente corrispondente a  $N_{Ed}$ ;

$N_{Ed}$  è il valore di calcolo della componente assiale (sforzo normale) dell'azione;

$M_{Ed}$  è il valore di calcolo della componente flettente dell'azione.

## 8.1.2 Criteri di verifica per elementi soggetti a taglio

### 8.1.2.1 Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio

Per elementi sprovvisti di armature trasversali resistenti a taglio, la resistenza a taglio  $V_{Rd}$  viene valutata sulla base della resistenza a trazione del calcestruzzo.

La verifica di resistenza (SLU) si pone con:

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

dove  $V_{Rd}$  è il valore di calcolo dello sforzo di taglio agente.

Con riferimento l'elemento fessurato da momento flettente, la resistenza al taglio si valuta con:

$$V_{Rd} = \left\{ \frac{0.18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}}}{\gamma_c} + 0.15 \cdot \sigma_{cp} \right\} \cdot b_w \cdot d \geq (v_{\min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

con:

$$k = 1 + \left( \frac{200}{d} \right)^{\frac{1}{2}} \leq 2;$$

$$v_{\min} = 0.035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}};$$

e dove:

$d$  è l'altezza utile della sezione;

$\rho_l = \frac{A_{sl}}{(b_w \cdot d)}$  è il rapporto geometrico di armatura longitudinale;

$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c}$  è la tensione media di compressione della sezione;

$b_w$  è la larghezza minima della sezione (in mm).

In corrispondenza degli appoggi, è necessario disporre un quantitativo di armatura longitudinale a cui affidare l'assorbimento degli sforzi provocati dal taglio dovuti all'inclinazione (assunta pari a 45°) delle fessure rispetto all'asse della trave.

### 8.1.2.2 Elementi con armature trasversali resistenti a taglio

La resistenza a taglio  $V_{Rd}$  di elementi strutturali dotati di specifica armatura a taglio viene valutata sulla base di un'adeguata schematizzazione a traliccio. La verifica di resistenza (SLU) si pone con:

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

dove

$V_{Ed}$  è il valore di calcolo dello sforzo di taglio agente;

$V_{Rd}$  è il valore della resistenza a taglio dell'elemento assunto pari al minore tra la resistenza di calcolo a "taglio trazione" e la resistenza di calcolo a "taglio compressione".

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

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

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

Con riferimento al calcestruzzo d'anima, la resistenza di calcolo a "taglio compressione" si calcola con:

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

dove:

$A_{sw}$  è l'area dell'armatura trasversale;

$s$  è l'interasse tra due armature trasversali consecutive;

$\alpha$  è l'angolo di inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave;

$\theta$  è l'inclinazione dei puntoni compressi in cls rispetto all'asse della trave e deve essere tale da rispettare i seguenti limiti:

$$1 \leq \operatorname{cotg} \theta \leq 2.5$$

$f'_{cd}$  è la resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo d'anima ( $f'_{cd} = 0.5 \cdot f_{cd}$ )

$\alpha_c$  è un coefficiente maggiorativo pari ad 1 per membrature non compresse.

### 8.1.2.3 Resistenza di elementi tozzi, nelle zone diffuse e nei nodi

Il D.M. 2008 al punto 4.1.2.1.5 precisa che le verifiche di sicurezza possono essere condotte con riferimento a schematizzazioni basate sull'individuazione di tiranti e puntoni.

Le verifiche di sicurezza dovranno necessariamente essere condotte nei riguardi di:

- resistenza dei tiranti costituiti dalle sole armature ( $R_s$ );
- resistenza dei puntoni di calcestruzzo compresso ( $R_c$ );
- ancoraggio delle armature ( $R_b$ );
- resistenza dei nodi ( $R_n$ );

Si rimanda ai paragrafi relativi a tali specifiche verifiche per i necessari riferimenti normativi (par. C.4.1.2.1.5 Circ. 617/2009).

### 8.1.2.4 Resistenza nei confronti di sollecitazioni torcenti

Per la verifica di elementi strutturali soggetti a sollecitazioni torcenti deve risultare:

$$T_{Rd} \geq T_{Ed}$$

in cui:

$T_{Ed}$  rappresenta il valore di calcolo del momento torcente;

$T_{Rd}$  rappresenta la resistenza di calcolo alla torsione.

Per elementi prismatici sottoposti a torsione semplice o combinata con altre sollecitazioni, che abbiano sezione piena o cava, lo schema resistente è costituito da un traliccio

periferico in cui gli sforzi di trazione sono affidati alle armature longitudinali e trasversali ivi contenute e gli sforzi di compressione sono affidati alle bielle di calcestruzzo.

Per questo schema resistente la resistenza di calcolo alla torsione può essere definita come la minore tra le resistenze valutate rispettivamente con riferimento al calcestruzzo, all'armatura trasversale e all'armatura longitudinale:

$$T_{Rd} = \min(T_{Rcd}; T_{Rsd}; T_{Rld})$$

*-Verifica a torsione \_ compressione del conglomerato*

Con riferimento al calcestruzzo, la resistenza di calcolo si definisce come:

$$T_{Rcd} = 2 \cdot A \cdot t \cdot f'_{cd} \cdot ctg\theta / (1 + ctg^2\theta)$$

dove  $A$  è l'area racchiusa dalla fibra media del profilo periferico;

$t$  è lo spessore del profilo periferico che, per sezioni piene, si assume pari al rapporto tra l'area della sezione  $A_c$  ed il suo perimetro  $u$ .

*-Verifica a torsione – trazione dell'armatura trasversale*

Con riferimento all'armatura trasversale, la resistenza di calcolo si definisce come:

$$T_{Rsd} = 2 \cdot A \cdot \frac{A_s}{s} \cdot f_{yd} \cdot ctg\theta$$

dove  $A_s$  è l'area dell'armatura trasversale (staffe);  
 $s$  è il passo delle staffe.

*-Verifica a torsione – trazione dell'armatura longitudinale*

Con riferimento all'armatura longitudinale, la resistenza di calcolo si definisce come:

$$T_{Rld} = 2 \cdot A \cdot \frac{\sum A_l}{u_m} \cdot f_{yd} / ctg\theta$$

dove  $\sum A_l$  è l'area complessiva delle barre longitudinali;  
 $u_m$  è il perimetro medio del nucleo resistente.

L'inclinazione delle bielle compresse di calcestruzzo rispetto all'asse della trave deve rispettare i limiti seguenti:

$$0.4 \leq ctg\theta \leq 2.5$$

Nel caso in cui si riscontri la presenza di azioni torcenti significative ai fini della stabilità e del collasso di parti dell'opera, è necessario integrare le armature longitudinali, derivanti dalle verifiche di presso flessione, con le barre derivanti dal calcolo a torsione.

Per quanto riguarda la crisi lato calcestruzzo, nel caso di presenza simultanea di sollecitazioni taglianti e torcenti, si dovrà verificare che:

$$\frac{T_{Ed}}{T_{Rd}} + \frac{V_{Ed}}{V_{Rd}} \leq 1$$

al fine di limitare lo stato di lavoro delle bielle compresse.

## 8.2 Criteri di verifica agli stati limite di esercizio (SLE) per gli elementi in c.a.

### 8.2.1 Verifiche a fessurazione

. Per lo Stato Limite di Fessurazione occorre verificare che, nel caso in cui venga superato lo stato limite di formazione delle fessure, l'apertura di queste rispetti i seguenti limiti:

Per opere in fondazione:

$w_d < w_3 = 0.4\text{mm}$       allo Stato Limite di Esercizio in condizioni Frequenti;

$w_d < w_2 = 0.3\text{mm}$       allo Stato Limite di Esercizio in condizioni Quasi Permanenti.

Per opere in elevazione:

$w_d < w_3 = 0.3\text{mm}$       allo Stato Limite di Esercizio in condizioni Frequenti;

$w_d < w_2 = 0.2\text{mm}$       allo Stato Limite di Esercizio in condizioni Quasi Permanenti.

### 8.2.2 Verifiche tensionali

Per lo Stato Limite Tensionale occorre verificare che:

$\sigma_c < 0.60 f_{ck}$       allo Stato Limite di Esercizio in condizioni Rare;  
(17.43MPa C28/35; 19.92MPa C35/40; 22.41MPa C40/45);

$\sigma_c < 0.45 f_{ck}$       allo Stato Limite di Esercizio in condizioni Quasi Permanenti;  
(13.07MPa C28/35; 14.94MPa C35/40; 16.81MPa C40/45);

$\sigma_s < 0.8 f_{yk}$       allo Stato Limite di Esercizio in condizioni Rare.  
(360 MPa B450C).

## 8.3 Criteri di analisi e verifica delle strutture di fondazione

Gli stati limite ultimi delle fondazioni su pali si riferiscono allo sviluppo di meccanismi di collasso determinati dalla mobilitazione della resistenza del terreno e al raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali che compongono la fondazione stessa.

Per ogni stato limite ultimo deve essere verificata la condizione:

$$E_d \leq R_d$$

dove  $E_d$  rappresenta l'insieme amplificato delle azioni agenti, ed  $R_d$  l'insieme delle resistenze, queste ultime corrette in funzione della tipologia del metodo di approccio al calcolo

eseguito, della geometria del sistema e delle proprietà meccaniche dei materiali e dei terreni in uso.

Nelle verifiche del complesso terreno – fondazione è stato perseguito l'approccio progettuale di tipo 2, che prevede un'unica combinazione di gruppi di coefficienti (**A1+M1+R3**) da adottare sia nelle verifiche strutturali sia in quelle geotecniche.

Per le azioni agenti sulla struttura sono stati quindi utilizzati i seguenti coefficienti parziali:

| Carichi               | Coefficiente parziale<br>$\gamma_F$ (o $\gamma_E$ ) | (A1)<br>STR |
|-----------------------|---|-------------|
| Permanenti            | $\gamma_{G1}$                                       | 1.0÷1.35    |
| Perm. non strutturali | $\gamma_{G2}$                                       | 0.0÷1.35    |
| Variabili             | $\gamma_{Q,i}$                                      | 0.0÷1.5     |
| Variabili da traffico | $\gamma_Q$  | 0.0÷1.35    |

**Tabella 2.** Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni

Ai fini delle resistenze, in funzione del tipo di verifica da eseguire, il valore di progetto può ricavarsi in base alle indicazioni innanzi riportate:

| Parametro                                    | Parametro di riferimento | Coefficiente parziale<br>$\gamma_M$ | (M1) |
|--|--------------------------|-------------------------------------|------|
| Tangente dell'angolo di resistenza al taglio | $\tan \varphi'_k$        | $\gamma_{\varphi'}$                 | 1.0  |
| Coesione efficace                            | $c'_k$                   | $\gamma_{c'}$                       | 1.0  |
| Resistenza non drenata                       | $c_{uk}$                 | $\gamma_{cu}$                       | 1.0  |
| Peso dell'unità di volume                    | $\gamma$                 | $\gamma_\gamma$                     | 1.0  |

**Tabella 3.** Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Le verifiche, riportate nel seguito della presente, sono state effettuate nei confronti dei seguenti stati limite:

*SLU di tipo geotecnico (GEO)*

- collasso per carico limite della palificata nei riguardi dei carichi assiali;
- collasso per carico limite della palificata nei riguardi dei carichi trasversali;
- collasso per carico limite di sfilamento nei riguardi dei carichi assiali di trazione;

*SLU di tipo strutturale (STR)*

- raggiungimento della resistenza dei pali;
- raggiungimento della resistenza della struttura di collegamento dei pali.

La stratigrafia considerata, ed i relativi parametri, coerentemente a quanto indicato nella relazione geologico-geotecnica, sono riportati nella seguente tabella.

| Strato | Spessore | Tipo di terreno | Parametri del terreno |         |
|--------|----------|-----------------|-----------------------|---------|
|        |          |                 | $\gamma$              | $\phi'$ |
| (-)    | (m)      |                 | (kN/m <sup>3</sup> )  | (°)     |
| 1      | 1.00     | UG1             | 18.00                 | 25.0    |
| 2      | 7.50     | UG3             | 21.00                 | 35.0    |
| 3      | 5.90     | UG2             | 19.00                 | 30.0    |
| 4      | 0.60     | UG4             | 19.00                 | 25.0    |
| 5      | 5.10     | UG3             | 21.00                 | 35.0    |
| 6      | 2.00     | UG4             | 19.00                 | 25.0    |
| 7      | 5.90     | UG3             | 21.00                 | 35.0    |

*Tabella 4. Stratigrafia del terreno*

La falda è posta a -3.40m dal piano campagna.

### 8.3.1 Verifiche geotecniche dei pali

*Carico limite del singolo palo di fondazione per azioni verticali*

La capacità portante di un palo è data dalla somma dei contributi dovuti alla resistenza alla punta ( $R_P$ ) e alla resistenza laterale lungo il fusto del palo ( $R_L$ ).

$$Q_{lim} = R_P + R_L$$

La resistenza laterale  $R_L$  è data da:

$$R_L = \pi d_s L_s s$$

dove:

$d_s$  è il diametro palo;

$L_s$  è lunghezza del palo;

$s$  è la resistenza tangenziale all'interfaccia fra palo e terreno.

La tensione tangenziale minima  $s$  si assume pari a :

$$s = a + k \cdot \sigma'_{v0} \cdot \mu$$

dove:

$a$  è un termine coesivo assunto nullo nel caso in esame;

$k$  è coefficiente empirico che dipende dalla tipologia di palo e dalle proprietà del terreno;

$\mu$  è il coefficiente di attrito posto pari a  $tg\phi$ ;

$\sigma'_{v0}$  è la tensione effettiva litostatica verticale alla profondità  $z$ .

La resistenza alla punta  $R_P$  può essere assunta pari a:

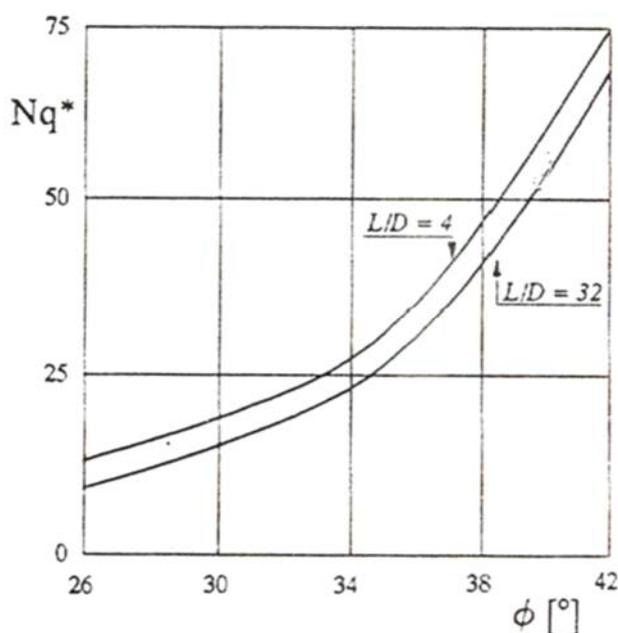
$$R_P = N_q \cdot \sigma'_{vL} + N_c \cdot c$$

dove:

$\sigma'_{vL}$  è la tensione litostatica verticale alla base del palo;

$N_c \cdot c$  è il termine coesivo assunto nullo nel caso in esame

Per pali di grande diametro va tenuto in conto il noto fenomeno per il quale la resistenza alla punta si mobilita, totalmente, per spostamenti molto elevati, spesso incompatibili con la sovrastante struttura. La valutazione della resistenza alla punta, pertanto deve essere basata essenzialmente su considerazioni relative alla limitazione dei cedimenti e quindi con riferimento agli stati limite di esercizio. Il problema è stato affrontato da Berezantev (1965), il quale propose di utilizzare nel progetto il valore di sforzo alla punta in corrispondenza del quale si verificano nel terreno le prime deformazioni plastiche. Tale valore può essere calcolato utilizzando nella precedente formula, anziché il valore  $N_q$  corrispondente alla completa plasticizzazione, un valore significativamente ridotto pari a  $N_q^*$  riportato nella seguente tabella (Viggiani 1991).



Ai fini della determinazione del valore di progetto  $R_{vert}$  della resistenza del singolo palo di fondazione, è necessario considerare, in funzione della tipologia di approccio progettuale prescelto, il coefficiente parziale di sicurezza definito dalla normativa, secondo la tabella riportata di seguito:

| Resistenza                               | Simbolo<br>$\gamma_R$ | Pali<br>trivellati<br>(R3) |
|--|-----------------------|----------------------------|
| Resistenza alla punta                    | $\gamma_P$            | 1.35                       |
| Resistenza laterale (in<br>compressione) | $\gamma_L$            | 1.15                       |
| Resistenza laterale (in<br>trazione)     | $\gamma_{LT}$         | 1.25                       |

*Tabella 5. Coefficienti parziali da applicare alle resistenze caratteristiche*

Dati i coefficienti parziali di sicurezza, la portata verticale, in condizioni di palo compresso allo stato limite ultimo ( $R_{vert}$ ) ed in condizione di palo teso ( $R_{vert,T}$ ) con i coefficienti  $A1+M1+R3$  è data da:

$$R_{vert} = \frac{R_P}{\gamma_P} + \frac{R_L}{\gamma_L} = \frac{R_P}{1.35} + \frac{R_L}{1.15}$$

$$R_{vert,T} = \frac{R_L}{\gamma_{LT}} = \frac{R_L}{1.25}$$

I valori caratteristici delle resistenze sono ottenuti riducendo quelli calcolati, tramite il corrispondente “coefficiente di correlazione”, definito in funzione del numero di verticali indagate. Più in dettaglio le resistenze caratteristiche a compressione ( $R_{vert,k}$ ) e a trazione ( $R_{vert,T,k}$ ) si valutano come:

$$R_{vert,k} = \text{Min} (R_{vert,media}/\xi_3 ; R_{vert,min}/\xi_4)$$

$$R_{vert,T,k} = \text{Min} (R_{vert,T,media}/\xi_3 ; R_{vert,T,min}/\xi_4)$$

In funzione del numero di verticali indagate, si è assunto  $\xi_3 = 1.60$  e  $\xi_4 = 1.48$ .

#### *Carico limite del singolo palo di fondazione per azioni orizzontali*

I valori di progetto  $R_{orizz,d}$  della resistenza si ottengono dal valore caratteristico  $R_{orizz,k}$ , determinato utilizzando la teoria di Broms. Si assume, in pratica, che il comportamento dell'interfaccia palo-terreno sia rigido-perfettamente plastico, e cioè che la resistenza del terreno si mobiliti interamente per un qualsiasi valore non nullo dello spostamento e rimanga poi costante al crescere dello spostamento stesso. Si assume, inoltre, che la forma della sezione trasversale sia ininfluente, e che il valore della reazione del terreno  $p$  sia determinato solo dalla dimensione  $d$  della sezione del palo misurata normalmente alla direzione dello spostamento. Per terreni incoerenti, si assume che la resistenza del terreno vari linearmente con la profondità  $z$  secondo la legge:

$$p = 3 \cdot k_p \cdot \gamma \cdot z \cdot d$$

- $k_p = (1+\text{sen}\phi)/(1-\text{sen}\phi)$  è il coefficiente di spinta passiva che compete allo strato attraversato;
- $d$  è il diametro del palo;
- $\gamma$  il peso per unità di volume dello strato attraversato.

Ai fini della determinazione del valore di progetto  $R_{orizz,d}$  della resistenza del singolo palo di fondazione, è necessario considerare, in funzione della tipologia di approccio progettuale prescelto, il coefficiente parziale di sicurezza definito dalla normativa, secondo la tabella riportata di seguito:

| Resistenza                        | Simbolo<br>$\gamma$ | Pali<br>trivellati<br>(R3) |
|-----------------------------------|---------------------|----------------------------|
| Resistenza ai carichi trasversali | $\gamma_T$          | 1.3                        |

**Tabella 6.** Coefficienti parziali da applicare alle resistenze caratteristiche

Dall'equilibrio alla traslazione si ottiene il valore della forza orizzontale limite  $T_{lim}$  sopportabile dal palo. Il valore di progetto si ottiene riducendo quest'ultimo sia attraverso il coefficiente  $\gamma_T$  della colonna R3 della precedente tabella, sia mediante il corrispondente "coefficiente di correlazione" scelto in funzione del numero di verticali indagate.

$$T_{lim,d} = \min \left( \frac{T_{lim,media}}{\gamma_T \cdot \xi_3}; \frac{T_{lim,min}}{\gamma_T \cdot \xi_4} \right)$$

Nel caso in esame il palo si comporta come palo lungo e che quindi il valore limite della forza orizzontale sopportabile dal palo possa essere calcolato come:

$$T_{lim} = k_p \cdot \gamma \cdot d^3 \cdot \sqrt[3]{\left( 3.676 \cdot \frac{M_y}{k_p \cdot \gamma \cdot d^4} \right)^2}$$

dove  $M_y$  è il momento di plasticizzazione del palo.

### 8.3.2 Verifiche strutturali dei pali

#### *Calcolo delle sollecitazioni sui pali*

Per un palo vincolato in testa ad una fondazione, che ne consenta lo spostamento orizzontale ma ne impedisca la rotazione, il momento flettente massimo, che si registra nella sezione di attacco con la fondazione stessa, può essere calcolato come:

$$M_{max} = C_M \cdot T \cdot \lambda$$

in cui:

$C_M$  un coefficiente che dipende dal rapporto  $L / \lambda$  ;

$T$  il taglio agente in testa al palo;

$\lambda$  è la lunghezza libera di inflessione del palo da valutare come:

$$\lambda = \sqrt[5]{\frac{E_p \cdot I}{n_h}}$$

dove:

$E_p$  è il modulo di Young del calcestruzzo costituente il palo (C28/35);

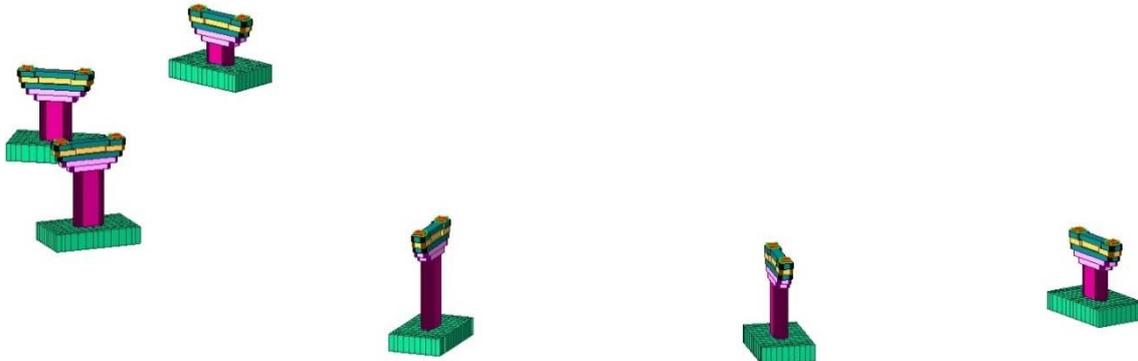
$I$  è il momento di inerzia della sezione trasversale del palo ( $d = 1$  m);

$n_h$  è un parametro che dipende dal tipo di terreno e dal suo stato di addensamento.

I criteri di verifica per tali elementi strutturali, relativamente alla flessione ed al taglio, risultano essere gli stessi di quelli descritti per gli elementi in c.a. riportati nei paragrafi precedenti.

## 9. ANALISI E VERIFICA DELLE PILE

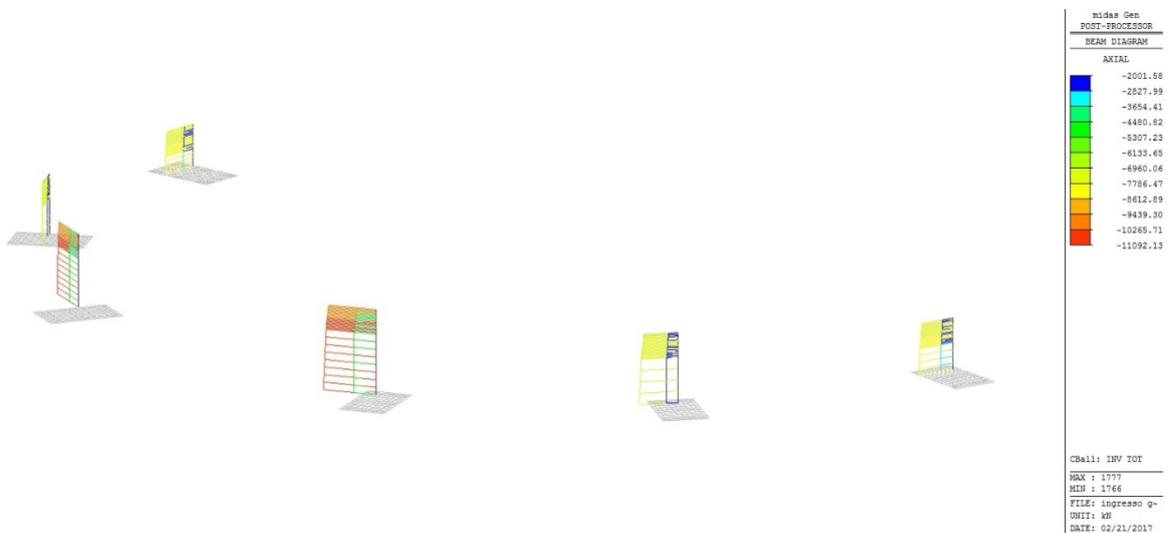
Le pile, in c.a., presentano geometrie arrotondate con fusto di sezione 2.70x1.20m e pulvino largo 6.50m ed alto 2.50m.



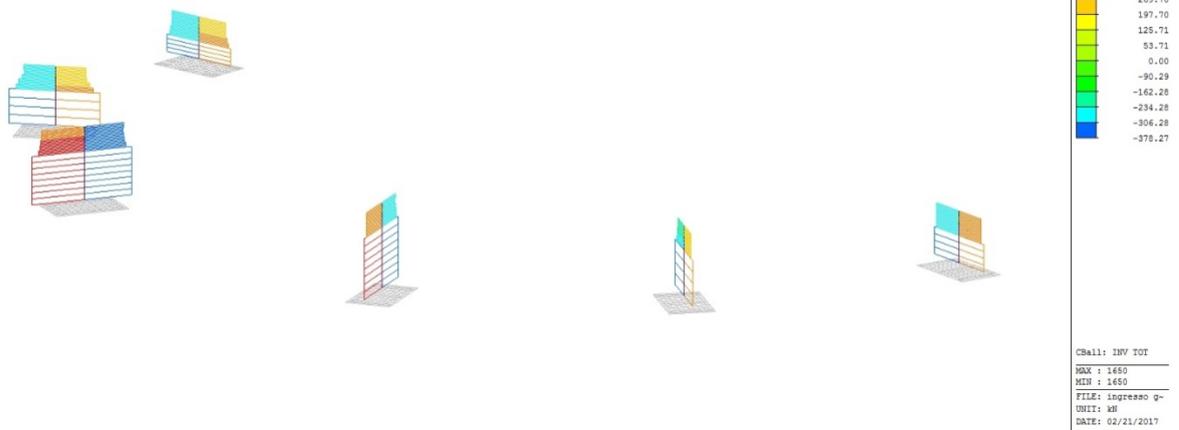
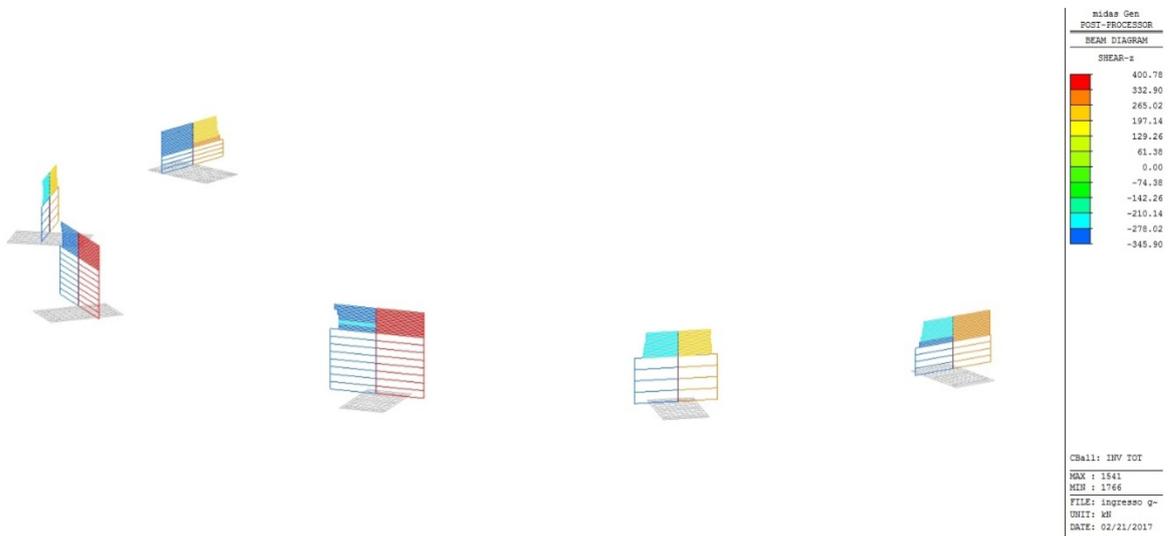
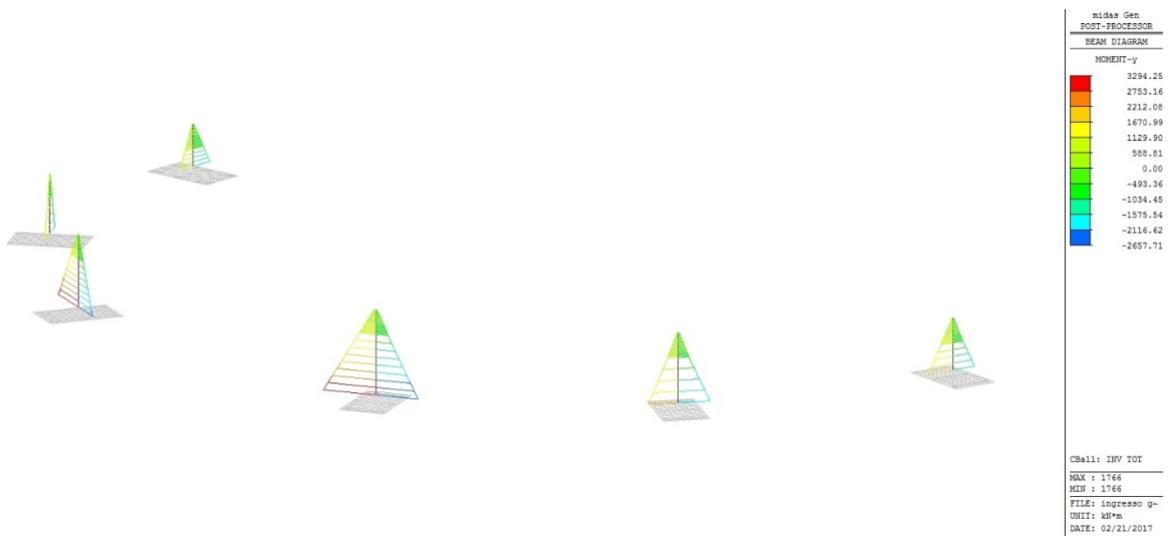
*Figura 18 – Vista Pile – Sovrappasso di Ingresso*

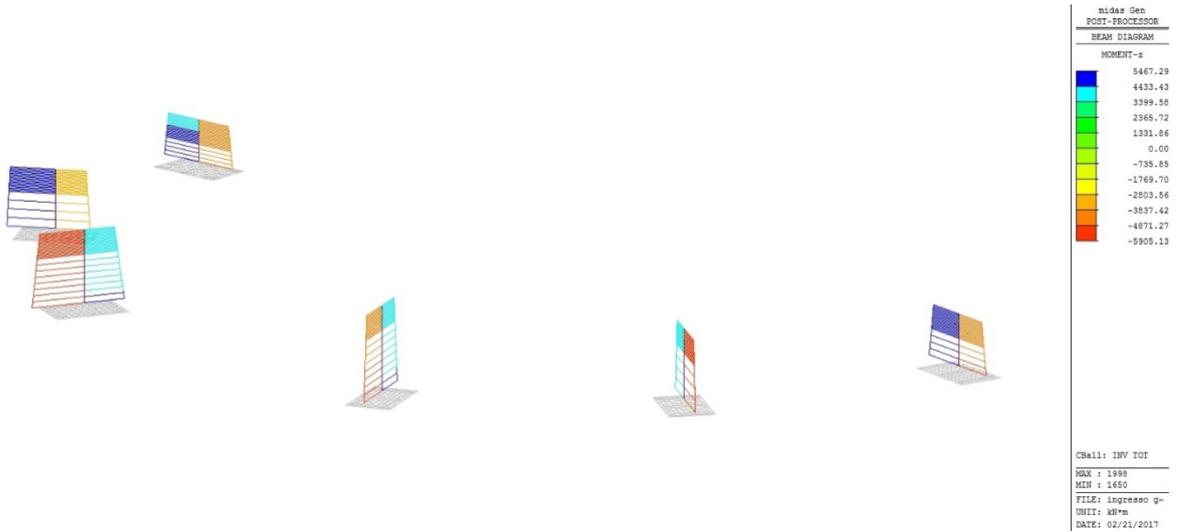
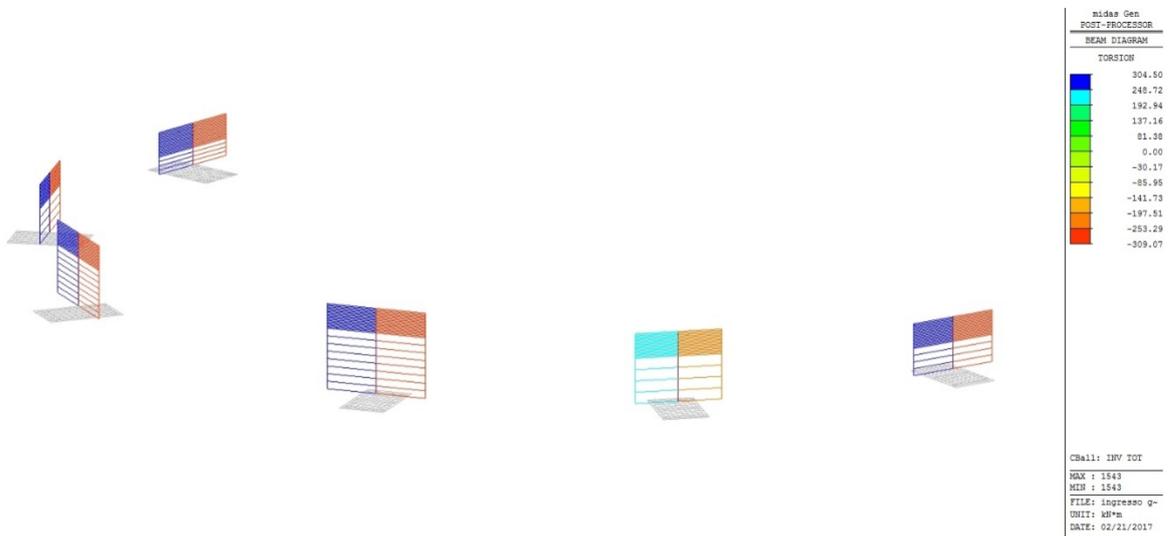
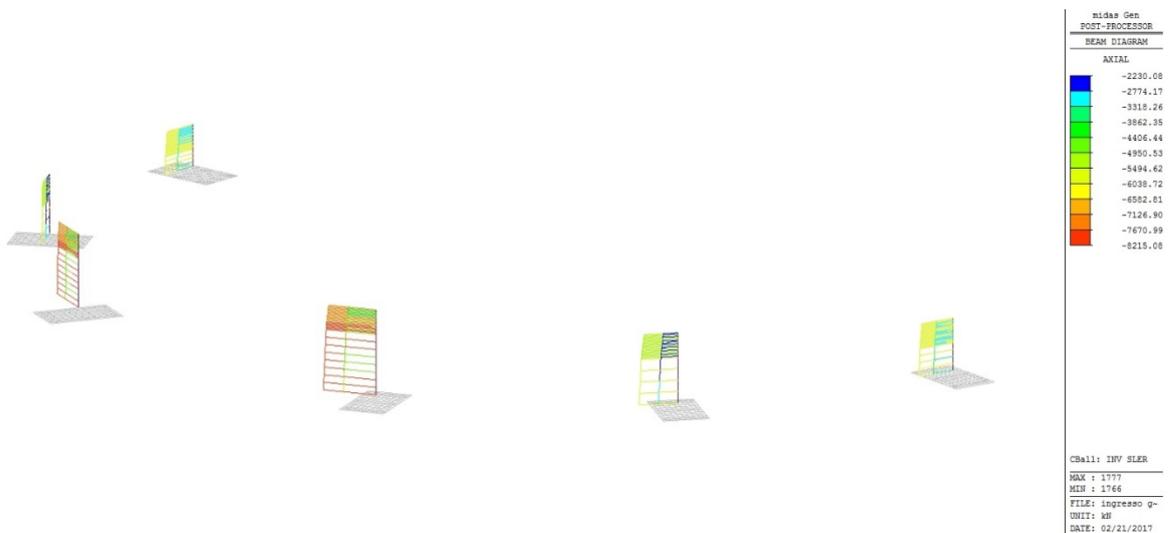
### 9.1 Sollecitazioni

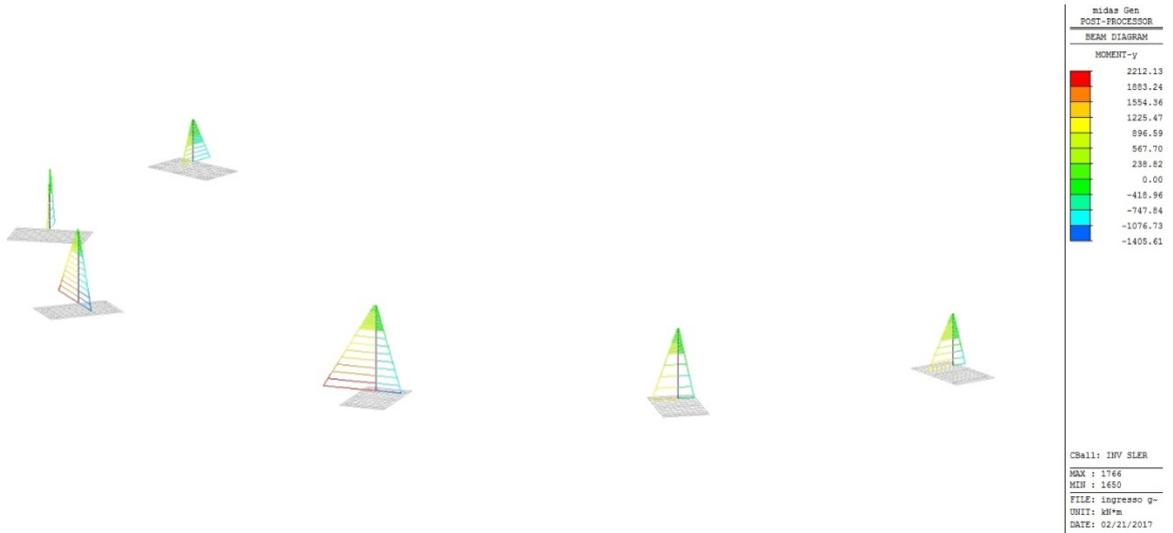
Si riportano di seguito, le sollecitazioni più gravose allo stato limite ultimo SLU ed agli stati limite di esercizio SLE utilizzate nelle verifiche degli elementi strutturali costituenti le pile.



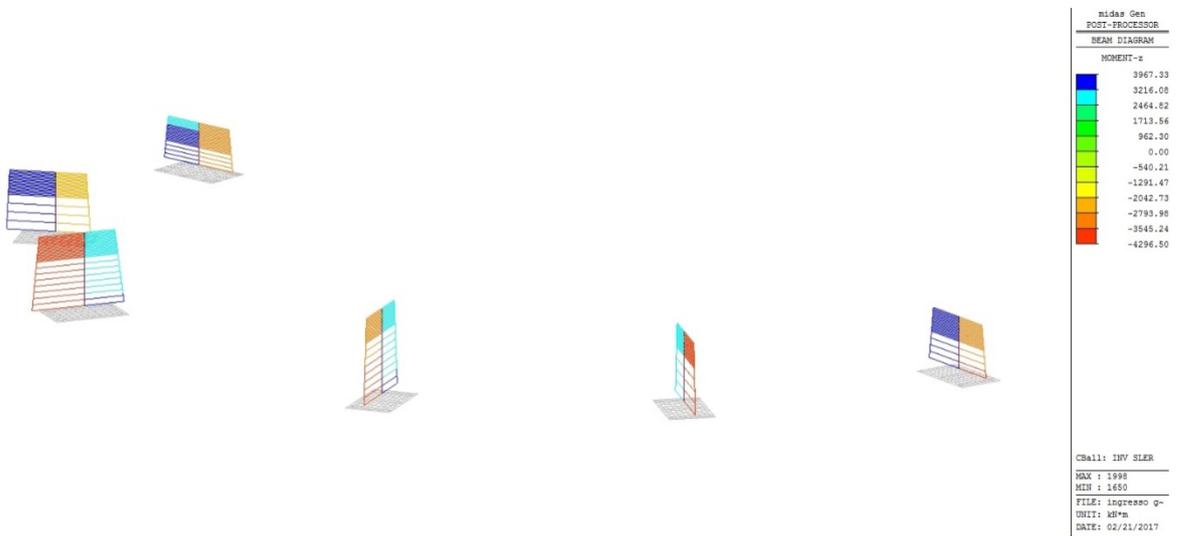
*Figura 19 – Sforzo Normale SLU – Fx*

Figura 20 – Taglio SLU –  $F_y$ Figura 21 – Taglio SLU –  $F_z$ Figura 22 – Momento Flettente SLU -  $M_y$

Figura 23 – Momento Flettente SLU -  $M_z$ Figura 24 – Momento Torcente –  $M_x$ Figura 25 – Sforzo Normale SLE R -  $F_x$



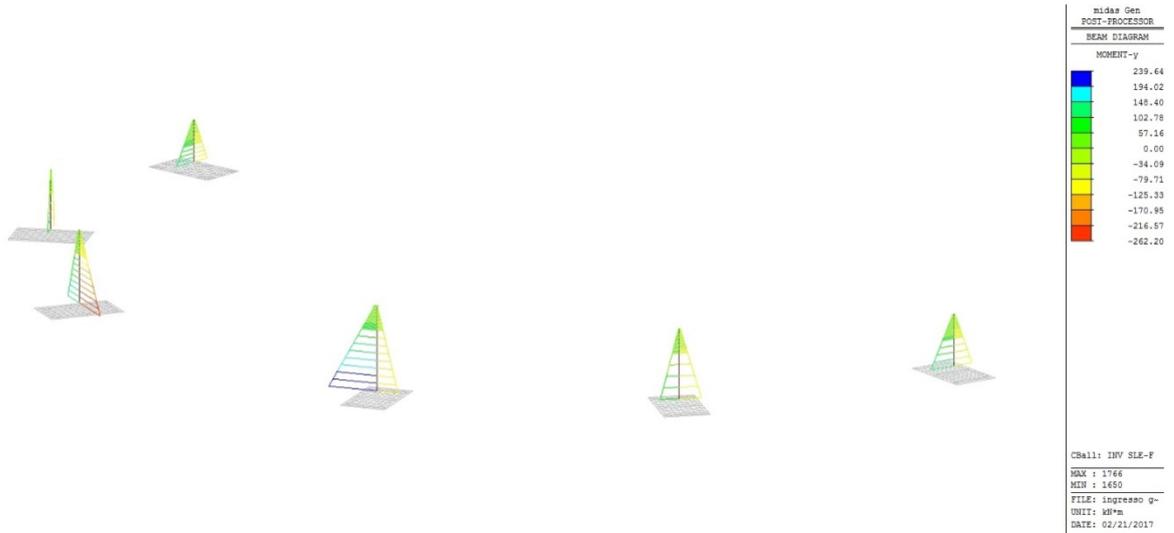
**Figura 26 – Momento Flettente SLE R - My**



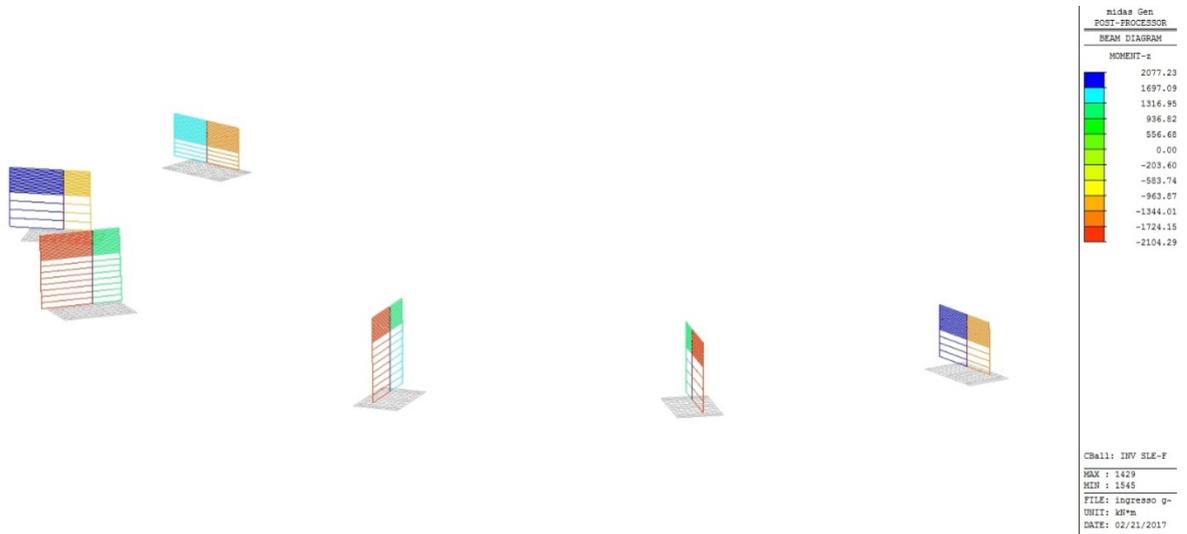
**Figura 27 – Momento Flettente SLE R - Mz**



**Figura 28 – Sforzo Normale SLE F - Fx**



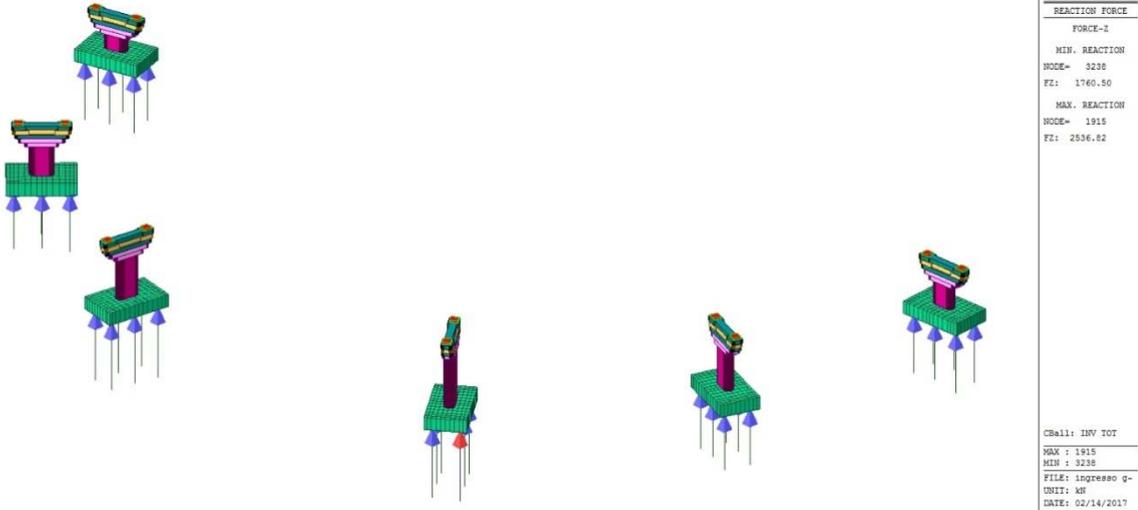
**Figura 29** – Momento Flettente SLE F - My



**Figura 30** – Momento Flettente SLE F - Mz

## 9.2 Scarichi in fondazione Pile

Si riportano, di seguito, gli scarichi in fondazione degli elementi strutturali costituenti le Pile del Sovrappasso di Ingresso.



**Figura 31** – Scarichi in fondazione

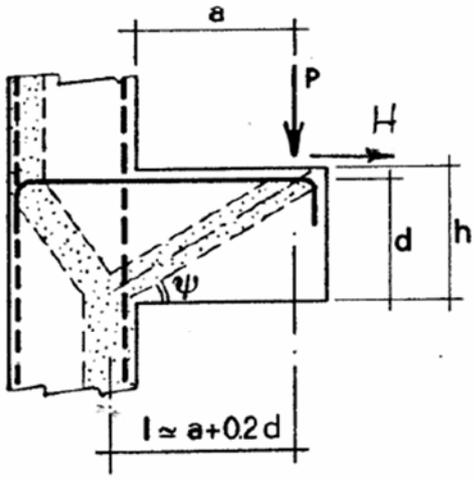
### 9.3 Verifica dei plinti

Si riportano di seguito i risultati delle verifiche più gravose dei plinti delle Pile, condotte nelle sezioni maggiormente sollecitate con i criteri di verifica precedentemente riportati.

#### 9.3.1 Verifiche SLU

##### 9.3.1.1 Verifiche di resistenza

La verifica viene eseguita facendo riferimento ai modelli fatti di tiranti e puntone descritti al §4.1.2.1.5 delle NTC; Il meccanismo resistente è costituito da un tirante orizzontale inferiore, corrispondente all'armatura tesa realizzata mediante  $\Phi 26/10$  sia nella direzione trasversale che nella direzione longitudinale e da un puntone di calcestruzzo inclinato.

| Resistenza di elementi tozzi, nelle zone diffusive e nei nodi - C4.1.2.1.5         |            |                            |
|--|------------|----------------------------|
|  | $P_{Ed}$   | 2536.82 [kN]               |
|  | $H_{Ed}$   | 0 [kN]                     |
|  | a          | 2.1 [m]                    |
|  | b          | 2.3 [m]                    |
|  | h          | 1.5 [m]                    |
|  | c          | 0.07 [m]                   |
|  | d          | 1.43 [m]                   |
|  | l          | 2.386 [m]                  |
|  | $\lambda$  | 1.85 [-]                   |
|  | $\phi$     | 26 [mm]                    |
|  | $n_{\phi}$ | 23 [-]                     |
|  | $A_s$      | 12211.4 [mm <sup>2</sup> ] |
|  | $f_{yd}$   | 391.30 [MPa]               |
|  | $f_{cd}$   | 15.87 [MPa]                |
|  | c          | 1 [-]                      |
| $P_{Ed}$   | ≤          | $P_{Rs}$ 2577.43 [kN]      |
|  |            | ≤                          |
|  |            | $P_{Rc}$ 4704.54 [kN]      |

|                       |                            |                        |                            |
|-----------------------|----------------------------|------------------------|----------------------------|
| $A_{s\text{long}}$    | 10123.7 [mm <sup>2</sup> ] | $A_{s\text{trasv}}$    | 6828.51 [mm <sup>2</sup> ] |
| $\phi_{\text{long}}$  | 26 [mm]                    | $\phi_{\text{trasv}}$  | 26 [mm]                    |
| $n_{\phi\text{long}}$ | 23 [-]                     | $n_{\phi\text{trasv}}$ | 23 [-]                     |
| $A_{s\text{long},d}$  | 12211.4 [mm <sup>2</sup> ] | $A_{s\text{itrasv},d}$ | 12211.4 [mm <sup>2</sup> ] |

Figura 32 – Verifica Tirante Puntone Plinti Pile

## 9.4 Verifica del fusto

Si riportano di seguito, i risultati delle verifiche più gravose agli SLU e SLE dei fusti delle pile, condotte nelle sezioni maggiormente sollecitate con i criteri di verifica precedentemente riportati.

### 9.4.1 Verifiche SLU

#### 9.4.1.1 Verifiche a pressoflessione deviata

Per ciascuna pila sono state considerate tutte le permutazioni possibili relative ai valori di sforzo normale e momento flettente nelle due direzioni, con riferimento ai 6 involucri SLU statici ed all' involuppo SLV in condizioni sismiche. Le sollecitazioni indotte dalle forze d'attrito degli isolatori, in condizioni sismiche sono già contemplate nei risultati dell' analisi non lineare svolta, mentre, per le combinazioni statiche, sono state calcolate manualmente e sommate alle sollecitazioni derivanti dal modello di calcolo. La tabella seguente riporta tutte le terne di sollecitazione considerate per le verifiche a pressoflessione deviata.

|      | Elem |                  | COMB  | Axial (kN) | Moment-y (kN*m) | Moment-z (kN*m) |
|------|------|------------------|-------|------------|-----------------|-----------------|
| SLV  | 1418 | Nmin,Mymax,Mzmax | P7 1  | 2858.2     | 1165            | 1457            |
|      | 1418 | Nmax,Mymin,Mzmin | P7 2  | 5015.2     | -1143           | -1347           |
|      | 1418 | Nmin,Mymax,Mzmin | P7 3  | 2858.2     | 1165            | -1347           |
|      | 1418 | Nmin,Mymin,Mzmax | P7 4  | 2858.2     | -1143           | 1457            |
|      | 1418 | Nmin,Mymin,Mzmin | P7 5  | 2858.2     | -1143           | -1347           |
|      | 1418 | Nmax,Mymax,Mzmax | P7 6  | 5015.2     | 1165            | 1457            |
|      | 1418 | Nmax,Mymax,Mzmin | P7 7  | 5015.2     | 1165            | -1347           |
|      | 1418 | Nmax,Mymin,Mzmax | P7 8  | 5015.2     | -1143           | 1457            |
| SLU1 | 1418 | Nmin,Mymax,Mzmax | P7 9  | 4613.3     | 1334            | 4885            |
|      | 1418 | Nmax,Mymin,Mzmin | P7 10 | 8159.0     | -1292           | -4797           |
|      | 1418 | Nmin,Mymax,Mzmin | P7 11 | 4613.3     | 1334            | -4797           |
|      | 1418 | Nmin,Mymin,Mzmax | P7 12 | 4613.3     | -1292           | 4885            |
|      | 1418 | Nmin,Mymin,Mzmin | P7 13 | 4613.3     | -1292           | -4797           |
|      | 1418 | Nmax,Mymax,Mzmax | P7 14 | 8159.0     | 1334            | 4885            |
|      | 1418 | Nmax,Mymax,Mzmin | P7 15 | 8159.0     | 1334            | -4797           |
|      | 1418 | Nmax,Mymin,Mzmax | P7 16 | 8159.0     | -1292           | 4885            |
| SLU2 | 1418 | Nmin,Mymax,Mzmax | P7 17 | 4749.3     | 1609            | 3670            |
|      | 1418 | Nmax,Mymin,Mzmin | P7 18 | 6721.2     | -1572           | -3607           |
|      | 1418 | Nmin,Mymax,Mzmin | P7 19 | 4749.3     | 1609            | -3607           |
|      | 1418 | Nmin,Mymin,Mzmax | P7 20 | 4749.3     | -1572           | 3670            |
|      | 1418 | Nmin,Mymin,Mzmin | P7 21 | 4749.3     | -1572           | -3607           |
|      | 1418 | Nmax,Mymax,Mzmax | P7 22 | 6721.2     | 1609            | 3670            |
|      | 1418 | Nmax,Mymax,Mzmin | P7 23 | 6721.2     | 1609            | -3607           |
|      | 1418 | Nmax,Mymin,Mzmax | P7 24 | 6721.2     | -1572           | 3670            |
| SLU3 | 1418 | Nmin,Mymax,Mzmax | P7 25 | 4751.6     | 1325            | 3145            |
|      | 1418 | Nmax,Mymin,Mzmin | P7 26 | 6718.9     | -1288           | -3082           |
|      | 1418 | Nmin,Mymax,Mzmin | P7 27 | 4751.6     | 1325            | -3082           |
|      | 1418 | Nmin,Mymin,Mzmax | P7 28 | 4751.6     | -1288           | 3145            |
|      | 1418 | Nmin,Mymin,Mzmin | P7 29 | 4751.6     | -1288           | -3082           |
|      | 1418 | Nmax,Mymax,Mzmax | P7 30 | 6718.9     | 1325            | 3145            |
|      | 1418 | Nmax,Mymax,Mzmin | P7 31 | 6718.9     | 1325            | -3082           |
|      | 1418 | Nmax,Mymin,Mzmax | P7 32 | 6718.9     | -1288           | 3145            |
| SLU4 | 1418 | Nmin,Mymax,Mzmax | P7 33 | 4742.3     | 1291            | 3203            |
|      | 1418 | Nmax,Mymin,Mzmin | P7 34 | 6719.2     | -2201           | -3034           |
|      | 1418 | Nmin,Mymax,Mzmin | P7 35 | 4742.3     | 1291            | -3034           |
|      | 1418 | Nmin,Mymin,Mzmax | P7 36 | 4742.3     | -2201           | 3203            |

|      |      |                  |       |        |       |       |
|------|------|------------------|-------|--------|-------|-------|
|      | 1418 | Nmin,Mymin,Mzmin | P7 37 | 4742.3 | -2201 | -3034 |
|      | 1418 | Nmax,Mymax,Mzmax | P7 38 | 6719.2 | 1291  | 3203  |
|      | 1418 | Nmax,Mymin,Mzmin | P7 39 | 6719.2 | 1291  | -3034 |
|      | 1418 | Nmax,Mymin,Mzmax | P7 40 | 6719.2 | -2201 | 3203  |
| SLU5 | 1418 | Nmin,Mymin,Mzmax | P7 41 | 4748.1 | 1137  | 3239  |
|      | 1418 | Nmax,Mymin,Mzmin | P7 42 | 6713.3 | -1411 | -2891 |
|      | 1418 | Nmin,Mymin,Mzmin | P7 43 | 4748.1 | 1137  | -2891 |
|      | 1418 | Nmin,Mymin,Mzmax | P7 44 | 4748.1 | -1411 | 3239  |
|      | 1418 | Nmin,Mymin,Mzmin | P7 45 | 4748.1 | -1411 | -2891 |
|      | 1418 | Nmax,Mymin,Mzmax | P7 46 | 6713.3 | 1137  | 3239  |
|      | 1418 | Nmax,Mymin,Mzmin | P7 47 | 6713.3 | 1137  | -2891 |
|      | 1418 | Nmax,Mymin,Mzmax | P7 48 | 6713.3 | -1411 | 3239  |
| SLU6 | 1418 | Nmin,Mymin,Mzmax | P7 49 | 3672.7 | 1315  | 1005  |
|      | 1418 | Nmax,Mymin,Mzmin | P7 50 | 3683.3 | -1288 | -972  |
|      | 1418 | Nmin,Mymin,Mzmin | P7 51 | 3672.7 | 1315  | -972  |
|      | 1418 | Nmin,Mymin,Mzmax | P7 52 | 3672.7 | -1288 | 1005  |
|      | 1418 | Nmin,Mymin,Mzmin | P7 53 | 3672.7 | -1288 | -972  |
|      | 1418 | Nmax,Mymin,Mzmax | P7 54 | 3683.3 | 1315  | 1005  |
|      | 1418 | Nmax,Mymin,Mzmin | P7 55 | 3683.3 | 1315  | -972  |
|      | 1418 | Nmax,Mymin,Mzmax | P7 56 | 3683.3 | -1288 | 1005  |
| SLV  | 1534 | Nmin,Mymin,Mzmax | P8 1  | 2442.8 | 1492  | 2280  |
|      | 1534 | Nmax,Mymin,Mzmin | P8 2  | 4672.5 | -1391 | -1300 |
|      | 1534 | Nmin,Mymin,Mzmin | P8 3  | 2442.8 | 1492  | -1300 |
|      | 1534 | Nmin,Mymin,Mzmax | P8 4  | 2442.8 | -1391 | 2280  |
|      | 1534 | Nmin,Mymin,Mzmin | P8 5  | 2442.8 | -1391 | -1300 |
|      | 1534 | Nmax,Mymin,Mzmax | P8 6  | 4672.5 | 1492  | 2280  |
|      | 1534 | Nmax,Mymin,Mzmin | P8 7  | 4672.5 | 1492  | -1300 |
|      | 1534 | Nmax,Mymin,Mzmax | P8 8  | 4672.5 | -1391 | 2280  |
| SLU1 | 1534 | Nmin,Mymin,Mzmax | P8 9  | 3874.5 | 1396  | 5266  |
|      | 1534 | Nmax,Mymin,Mzmin | P8 10 | 7772.5 | -1408 | -3677 |
|      | 1534 | Nmin,Mymin,Mzmin | P8 11 | 3874.5 | 1396  | -3677 |
|      | 1534 | Nmin,Mymin,Mzmax | P8 12 | 3874.5 | -1408 | 5266  |
|      | 1534 | Nmin,Mymin,Mzmin | P8 13 | 3874.5 | -1408 | -3677 |
|      | 1534 | Nmax,Mymin,Mzmax | P8 14 | 7772.5 | 1396  | 5266  |
|      | 1534 | Nmax,Mymin,Mzmin | P8 15 | 7772.5 | 1396  | -3677 |
|      | 1534 | Nmax,Mymin,Mzmax | P8 16 | 7772.5 | -1408 | 5266  |
| SLU2 | 1534 | Nmin,Mymin,Mzmax | P8 17 | 4201.9 | 1627  | 3858  |
|      | 1534 | Nmax,Mymin,Mzmin | P8 18 | 6349.8 | -1638 | -2464 |
|      | 1534 | Nmin,Mymin,Mzmin | P8 19 | 4201.9 | 1627  | -2464 |
|      | 1534 | Nmin,Mymin,Mzmax | P8 20 | 4201.9 | -1638 | 3858  |
|      | 1534 | Nmin,Mymin,Mzmin | P8 21 | 4201.9 | -1638 | -2464 |
|      | 1534 | Nmax,Mymin,Mzmax | P8 22 | 6349.8 | 1627  | 3858  |
|      | 1534 | Nmax,Mymin,Mzmin | P8 23 | 6349.8 | 1627  | -2464 |
|      | 1534 | Nmax,Mymin,Mzmax | P8 24 | 6349.8 | -1638 | 3858  |
| SLU3 | 1534 | Nmin,Mymin,Mzmax | P8 25 | 4205.6 | 1368  | 3484  |
|      | 1534 | Nmax,Mymin,Mzmin | P8 26 | 6346.1 | -1379 | -2091 |
|      | 1534 | Nmin,Mymin,Mzmin | P8 27 | 4205.6 | 1368  | -2091 |
|      | 1534 | Nmin,Mymin,Mzmax | P8 28 | 4205.6 | -1379 | 3484  |
|      | 1534 | Nmin,Mymin,Mzmin | P8 29 | 4205.6 | -1379 | -2091 |
|      | 1534 | Nmax,Mymin,Mzmax | P8 30 | 6346.1 | 1368  | 3484  |
|      | 1534 | Nmax,Mymin,Mzmin | P8 31 | 6346.1 | 1368  | -2091 |
|      | 1534 | Nmax,Mymin,Mzmax | P8 32 | 6346.1 | -1379 | 3484  |
| SLU4 | 1534 | Nmin,Mymin,Mzmax | P8 33 | 4195.0 | 1352  | 3546  |
|      | 1534 | Nmax,Mymin,Mzmin | P8 34 | 6344.7 | -2231 | -2040 |
|      | 1534 | Nmin,Mymin,Mzmin | P8 35 | 4195.0 | 1352  | -2040 |
|      | 1534 | Nmin,Mymin,Mzmax | P8 36 | 4195.0 | -2231 | 3546  |
|      | 1534 | Nmin,Mymin,Mzmin | P8 37 | 4195.0 | -2231 | -2040 |

|      |      |                  |       |         |       |       |
|------|------|------------------|-------|---------|-------|-------|
|      | 1534 | Nmax,Mymax,Mzmax | P8 38 | 6344.7  | 1352  | 3546  |
|      | 1534 | Nmax,Mymax,Mzmin | P8 39 | 6344.7  | 1352  | -2040 |
|      | 1534 | Nmax,Mymin,Mzmax | P8 40 | 6344.7  | -2231 | 3546  |
| SLU5 | 1534 | Nmin,Mymax,Mzmax | P8 41 | 4201.4  | 1184  | 3445  |
|      | 1534 | Nmax,Mymin,Mzmin | P8 42 | 6341.1  | -1531 | -2027 |
|      | 1534 | Nmin,Mymax,Mzmin | P8 43 | 4201.4  | 1184  | -2027 |
|      | 1534 | Nmin,Mymin,Mzmax | P8 44 | 4201.4  | -1531 | 3445  |
|      | 1534 | Nmin,Mymin,Mzmin | P8 45 | 4201.4  | -1531 | -2027 |
|      | 1534 | Nmax,Mymax,Mzmax | P8 46 | 6341.1  | 1184  | 3445  |
|      | 1534 | Nmax,Mymax,Mzmin | P8 47 | 6341.1  | 1184  | -2027 |
|      | 1534 | Nmax,Mymin,Mzmax | P8 48 | 6341.1  | -1531 | 3445  |
| SLU6 | 1534 | Nmin,Mymax,Mzmax | P8 49 | 3401.5  | 1369  | 1240  |
|      | 1534 | Nmax,Mymin,Mzmin | P8 50 | 3416.2  | -1377 | -300  |
|      | 1534 | Nmin,Mymax,Mzmin | P8 51 | 3401.5  | 1369  | -300  |
|      | 1534 | Nmin,Mymin,Mzmax | P8 52 | 3401.5  | -1377 | 1240  |
|      | 1534 | Nmin,Mymin,Mzmin | P8 53 | 3401.5  | -1377 | -300  |
|      | 1534 | Nmax,Mymax,Mzmax | P8 54 | 3416.2  | 1369  | 1240  |
|      | 1534 | Nmax,Mymax,Mzmin | P8 55 | 3416.2  | 1369  | -300  |
|      | 1534 | Nmax,Mymin,Mzmax | P8 56 | 3416.2  | -1377 | 1240  |
| SLV  | 1650 | Nmin,Mymax,Mzmax | P9 1  | 4577.6  | 2175  | 2081  |
|      | 1650 | Nmax,Mymin,Mzmin | P9 2  | 6488.9  | -2261 | -2913 |
|      | 1650 | Nmin,Mymax,Mzmin | P9 3  | 4577.6  | 2175  | -2913 |
|      | 1650 | Nmin,Mymin,Mzmax | P9 4  | 4577.6  | -2261 | 2081  |
|      | 1650 | Nmin,Mymin,Mzmin | P9 5  | 4577.6  | -2261 | -2913 |
|      | 1650 | Nmax,Mymax,Mzmax | P9 6  | 6488.9  | 2175  | 2081  |
|      | 1650 | Nmax,Mymax,Mzmin | P9 7  | 6488.9  | 2175  | -2913 |
|      | 1650 | Nmax,Mymin,Mzmax | P9 8  | 6488.9  | -2261 | 2081  |
| SLU1 | 1650 | Nmin,Mymax,Mzmax | P9 9  | 6715.0  | 2975  | 4559  |
|      | 1650 | Nmax,Mymin,Mzmin | P9 10 | 10951.7 | -3173 | -5905 |
|      | 1650 | Nmin,Mymax,Mzmin | P9 11 | 6715.0  | 2975  | -5905 |
|      | 1650 | Nmin,Mymin,Mzmax | P9 12 | 6715.0  | -3173 | 4559  |
|      | 1650 | Nmin,Mymin,Mzmin | P9 13 | 6715.0  | -3173 | -5905 |
|      | 1650 | Nmax,Mymax,Mzmax | P9 14 | 10951.7 | 2975  | 4559  |
|      | 1650 | Nmax,Mymax,Mzmin | P9 15 | 10951.7 | 2975  | -5905 |
|      | 1650 | Nmax,Mymin,Mzmax | P9 16 | 10951.7 | -3173 | 4559  |
| SLU2 | 1650 | Nmin,Mymax,Mzmax | P9 17 | 6940.0  | 3686  | 3717  |
|      | 1650 | Nmax,Mymin,Mzmin | P9 18 | 9247.5  | -3866 | -4866 |
|      | 1650 | Nmin,Mymax,Mzmin | P9 19 | 6940.0  | 3686  | -4866 |
|      | 1650 | Nmin,Mymin,Mzmax | P9 20 | 6940.0  | -3866 | 3717  |
|      | 1650 | Nmin,Mymin,Mzmin | P9 21 | 6940.0  | -3866 | -4866 |
|      | 1650 | Nmax,Mymax,Mzmax | P9 22 | 9247.5  | 3686  | 3717  |
|      | 1650 | Nmax,Mymax,Mzmin | P9 23 | 9247.5  | 3686  | -4866 |
|      | 1650 | Nmax,Mymin,Mzmax | P9 24 | 9247.5  | -3866 | 3717  |
| SLU3 | 1650 | Nmin,Mymax,Mzmax | P9 25 | 6953.7  | 2938  | 2991  |
|      | 1650 | Nmax,Mymin,Mzmin | P9 26 | 9233.8  | -3119 | -4140 |
|      | 1650 | Nmin,Mymax,Mzmin | P9 27 | 6953.7  | 2938  | -4140 |
|      | 1650 | Nmin,Mymin,Mzmax | P9 28 | 6953.7  | -3119 | 2991  |
|      | 1650 | Nmin,Mymin,Mzmin | P9 29 | 6953.7  | -3119 | -4140 |
|      | 1650 | Nmax,Mymax,Mzmax | P9 30 | 9233.8  | 2938  | 2991  |
|      | 1650 | Nmax,Mymax,Mzmin | P9 31 | 9233.8  | 2938  | -4140 |
|      | 1650 | Nmax,Mymin,Mzmax | P9 32 | 9233.8  | -3119 | 2991  |
| SLU4 | 1650 | Nmin,Mymax,Mzmax | P9 33 | 6943.8  | 4842  | 2884  |
|      | 1650 | Nmax,Mymin,Mzmin | P9 34 | 9233.0  | -3104 | -4139 |
|      | 1650 | Nmin,Mymax,Mzmin | P9 35 | 6943.8  | 4842  | -4139 |
|      | 1650 | Nmin,Mymin,Mzmax | P9 36 | 6943.8  | -3104 | 2884  |
|      | 1650 | Nmin,Mymin,Mzmin | P9 37 | 6943.8  | -3104 | -4139 |
|      | 1650 | Nmax,Mymax,Mzmax | P9 38 | 9233.0  | 4842  | 2884  |

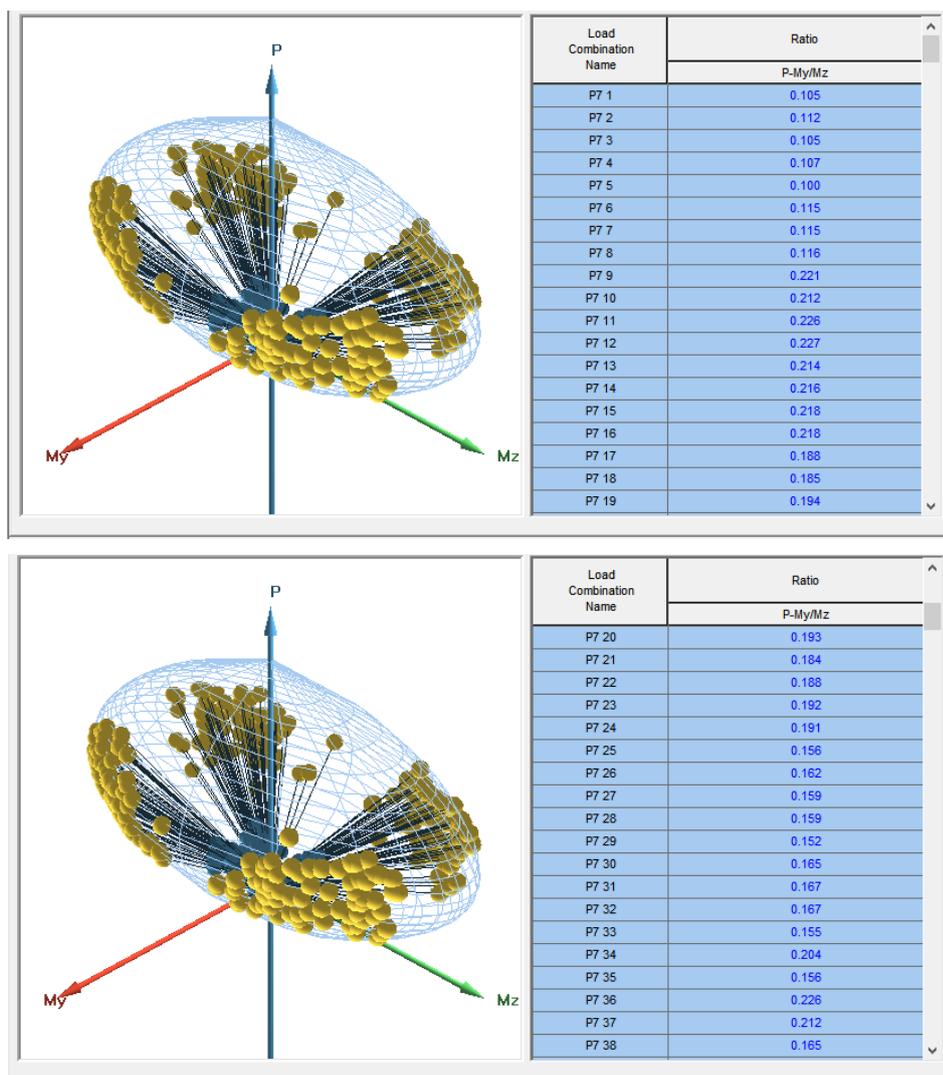
|      |      |                  |        |         |       |       |
|------|------|------------------|--------|---------|-------|-------|
|      | 1650 | Nmax,Mymax,Mzmin | P9 39  | 9233.0  | 4842  | -4139 |
|      | 1650 | Nmax,Mymin,Mzmax | P9 40  | 9233.0  | -3104 | 2884  |
| SLU5 | 1650 | Nmin,Mymax,Mzmax | P9 41  | 6961.4  | 3218  | 3128  |
|      | 1650 | Nmax,Mymin,Mzmin | P9 42  | 9239.4  | -2810 | -3785 |
|      | 1650 | Nmin,Mymax,Mzmin | P9 43  | 6961.4  | 3218  | -3785 |
|      | 1650 | Nmin,Mymin,Mzmax | P9 44  | 6961.4  | -2810 | 3128  |
|      | 1650 | Nmin,Mymin,Mzmin | P9 45  | 6961.4  | -2810 | -3785 |
|      | 1650 | Nmax,Mymax,Mzmax | P9 46  | 9239.4  | 3218  | 3128  |
|      | 1650 | Nmax,Mymax,Mzmin | P9 47  | 9239.4  | 3218  | -3785 |
|      | 1650 | Nmax,Mymin,Mzmax | P9 48  | 9239.4  | -2810 | 3128  |
| SLU6 | 1650 | Nmin,Mymax,Mzmax | P9 49  | 5362.0  | 3136  | 1170  |
|      | 1650 | Nmax,Mymin,Mzmin | P9 50  | 5402.7  | -3259 | -1898 |
|      | 1650 | Nmin,Mymax,Mzmin | P9 51  | 5362.0  | 3136  | -1898 |
|      | 1650 | Nmin,Mymin,Mzmax | P9 52  | 5362.0  | -3259 | 1170  |
|      | 1650 | Nmin,Mymin,Mzmin | P9 53  | 5362.0  | -3259 | -1898 |
|      | 1650 | Nmax,Mymax,Mzmax | P9 54  | 5402.7  | 3136  | 1170  |
|      | 1650 | Nmax,Mymax,Mzmin | P9 55  | 5402.7  | 3136  | -1898 |
|      | 1650 | Nmax,Mymin,Mzmax | P9 56  | 5402.7  | -3259 | 1170  |
| SLV  | 1766 | Nmin,Mymax,Mzmax | P10 1  | 4647.3  | 2718  | 2287  |
|      | 1766 | Nmax,Mymin,Mzmin | P10 2  | 6543.5  | -2658 | -2676 |
|      | 1766 | Nmin,Mymax,Mzmin | P10 3  | 4647.3  | 2718  | -2676 |
|      | 1766 | Nmin,Mymin,Mzmax | P10 4  | 4647.3  | -2658 | 2287  |
|      | 1766 | Nmin,Mymin,Mzmin | P10 5  | 4647.3  | -2658 | -2676 |
|      | 1766 | Nmax,Mymax,Mzmax | P10 6  | 6543.5  | 2718  | 2287  |
|      | 1766 | Nmax,Mymax,Mzmin | P10 7  | 6543.5  | 2718  | -2676 |
|      | 1766 | Nmax,Mymin,Mzmax | P10 8  | 6543.5  | -2658 | 2287  |
| SLU1 | 1766 | Nmin,Mymax,Mzmax | P10 9  | 6869.8  | 3346  | 4605  |
|      | 1766 | Nmax,Mymin,Mzmin | P10 10 | 11092.1 | -3133 | -5210 |
|      | 1766 | Nmin,Mymax,Mzmin | P10 11 | 6869.8  | 3346  | -5210 |
|      | 1766 | Nmin,Mymin,Mzmax | P10 12 | 6869.8  | -3133 | 4605  |
|      | 1766 | Nmin,Mymin,Mzmin | P10 13 | 6869.8  | -3133 | -5210 |
|      | 1766 | Nmax,Mymax,Mzmax | P10 14 | 11092.1 | 3346  | 4605  |
|      | 1766 | Nmax,Mymax,Mzmin | P10 15 | 11092.1 | 3346  | -5210 |
|      | 1766 | Nmax,Mymin,Mzmax | P10 16 | 11092.1 | -3133 | 4605  |
| SLU2 | 1766 | Nmin,Mymax,Mzmax | P10 17 | 7091.9  | 3927  | 3661  |
|      | 1766 | Nmax,Mymin,Mzmin | P10 18 | 9383.9  | -3732 | -4168 |
|      | 1766 | Nmin,Mymax,Mzmin | P10 19 | 7091.9  | 3927  | -4168 |
|      | 1766 | Nmin,Mymin,Mzmax | P10 20 | 7091.9  | -3732 | 3661  |
|      | 1766 | Nmin,Mymin,Mzmin | P10 21 | 7091.9  | -3732 | -4168 |
|      | 1766 | Nmax,Mymax,Mzmax | P10 22 | 9383.9  | 3927  | 3661  |
|      | 1766 | Nmax,Mymax,Mzmin | P10 23 | 9383.9  | 3927  | -4168 |
|      | 1766 | Nmax,Mymin,Mzmax | P10 24 | 9383.9  | -3732 | 3661  |
| SLU3 | 1766 | Nmin,Mymax,Mzmax | P10 25 | 7103.9  | 3285  | 3061  |
|      | 1766 | Nmax,Mymin,Mzmin | P10 26 | 9371.9  | -3090 | -3568 |
|      | 1766 | Nmin,Mymax,Mzmin | P10 27 | 7103.9  | 3285  | -3568 |
|      | 1766 | Nmin,Mymin,Mzmax | P10 28 | 7103.9  | -3090 | 3061  |
|      | 1766 | Nmin,Mymin,Mzmin | P10 29 | 7103.9  | -3090 | -3568 |
|      | 1766 | Nmax,Mymax,Mzmax | P10 30 | 9371.9  | 3285  | 3061  |
|      | 1766 | Nmax,Mymax,Mzmin | P10 31 | 9371.9  | 3285  | -3568 |
|      | 1766 | Nmax,Mymin,Mzmax | P10 32 | 9371.9  | -3090 | 3061  |
| SLU4 | 1766 | Nmin,Mymax,Mzmax | P10 33 | 7104.9  | 5393  | 3020  |
|      | 1766 | Nmax,Mymin,Mzmin | P10 34 | 9383.0  | -3080 | -3450 |
|      | 1766 | Nmin,Mymax,Mzmin | P10 35 | 7104.9  | 5393  | -3450 |
|      | 1766 | Nmin,Mymin,Mzmax | P10 36 | 7104.9  | -3080 | 3020  |
|      | 1766 | Nmin,Mymin,Mzmin | P10 37 | 7104.9  | -3080 | -3450 |
|      | 1766 | Nmax,Mymax,Mzmax | P10 38 | 9383.0  | 5393  | 3020  |
|      | 1766 | Nmax,Mymax,Mzmin | P10 39 | 9383.0  | 5393  | -3450 |

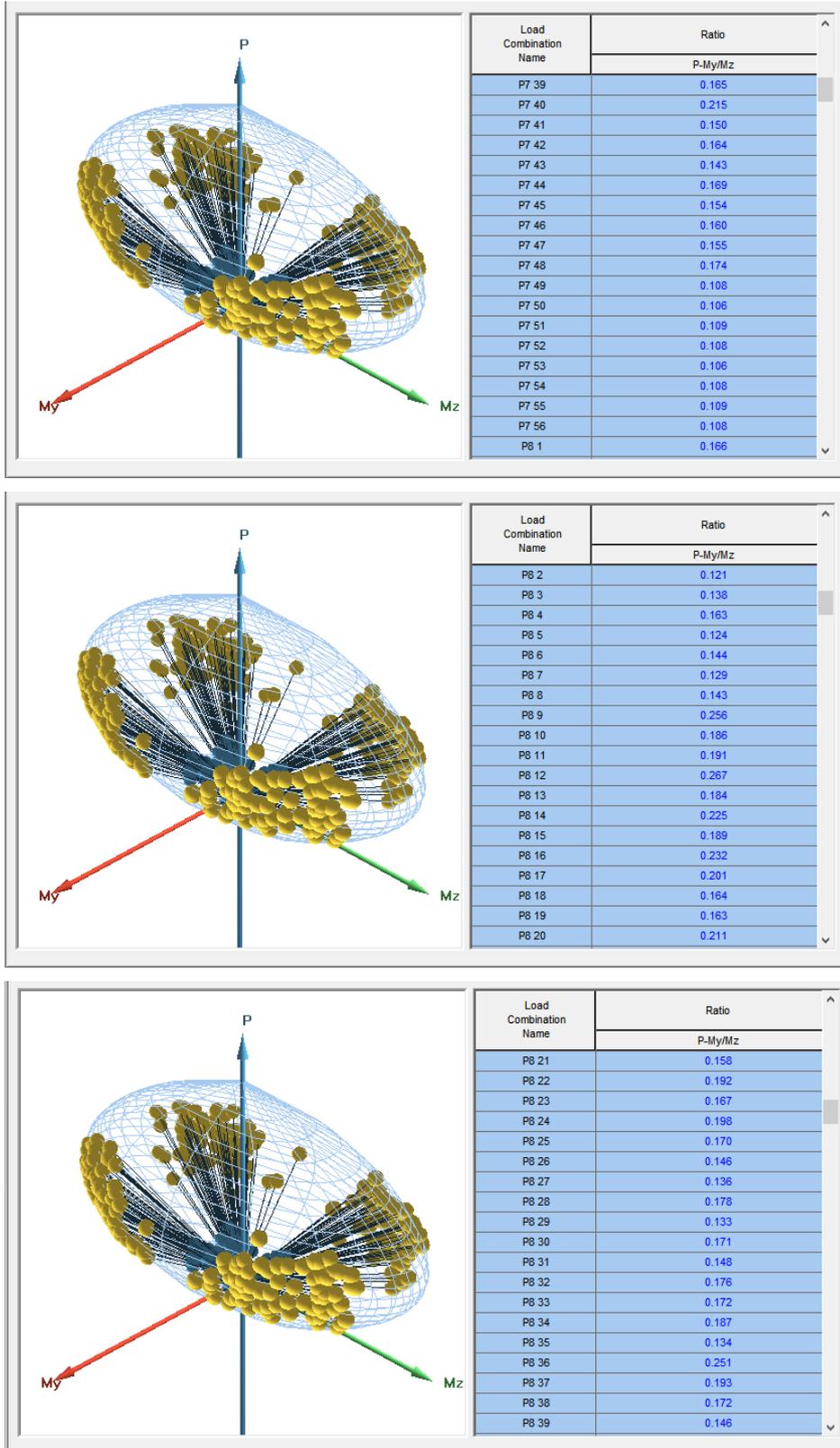
|      |      |                  |        |        |       |       |
|------|------|------------------|--------|--------|-------|-------|
|      | 1766 | Nmax,Mymin,Mzmax | P10 40 | 9383.0 | -3080 | 3020  |
| SLU5 | 1766 | Nmin,Mymax,Mzmax | P10 41 | 7113.5 | 3251  | 3494  |
|      | 1766 | Nmax,Mymin,Mzmin | P10 42 | 9380.0 | -3100 | -2903 |
|      | 1766 | Nmin,Mymax,Mzmin | P10 43 | 7113.5 | 3251  | -2903 |
|      | 1766 | Nmin,Mymin,Mzmax | P10 44 | 7113.5 | -3100 | 3494  |
|      | 1766 | Nmin,Mymin,Mzmin | P10 45 | 7113.5 | -3100 | -2903 |
|      | 1766 | Nmax,Mymax,Mzmax | P10 46 | 9380.0 | 3251  | 3494  |
|      | 1766 | Nmax,Mymax,Mzmin | P10 47 | 9380.0 | 3251  | -2903 |
|      | 1766 | Nmax,Mymin,Mzmax | P10 48 | 9380.0 | -3100 | 3494  |
| SLU6 | 1766 | Nmin,Mymax,Mzmax | P10 49 | 5463.2 | 3385  | 1206  |
|      | 1766 | Nmax,Mymin,Mzmin | P10 50 | 5508.9 | -3252 | -1526 |
|      | 1766 | Nmin,Mymax,Mzmin | P10 51 | 5463.2 | 3385  | -1526 |
|      | 1766 | Nmin,Mymin,Mzmax | P10 52 | 5463.2 | -3252 | 1206  |
|      | 1766 | Nmin,Mymin,Mzmin | P10 53 | 5463.2 | -3252 | -1526 |
|      | 1766 | Nmax,Mymax,Mzmax | P10 54 | 5508.9 | 3385  | 1206  |
|      | 1766 | Nmax,Mymax,Mzmin | P10 55 | 5508.9 | 3385  | -1526 |
|      | 1766 | Nmax,Mymin,Mzmax | P10 56 | 5508.9 | -3252 | 1206  |
| SLV  | 1882 | Nmin,Mymax,Mzmax | P11 1  | 2468.1 | 1789  | 1401  |
|      | 1882 | Nmax,Mymin,Mzmin | P11 2  | 4709.0 | -1907 | -2405 |
|      | 1882 | Nmin,Mymax,Mzmin | P11 3  | 2468.1 | 1789  | -2405 |
|      | 1882 | Nmin,Mymin,Mzmax | P11 4  | 2468.1 | -1907 | 1401  |
|      | 1882 | Nmin,Mymin,Mzmin | P11 5  | 2468.1 | -1907 | -2405 |
|      | 1882 | Nmax,Mymax,Mzmax | P11 6  | 4709.0 | 1789  | 1401  |
|      | 1882 | Nmax,Mymax,Mzmin | P11 7  | 4709.0 | 1789  | -2405 |
|      | 1882 | Nmax,Mymin,Mzmax | P11 8  | 4709.0 | -1907 | 1401  |
| SLU1 | 1882 | Nmin,Mymax,Mzmax | P11 9  | 3968.7 | 1667  | 4427  |
|      | 1882 | Nmax,Mymin,Mzmin | P11 10 | 7879.5 | -1694 | -5666 |
|      | 1882 | Nmin,Mymax,Mzmin | P11 11 | 3968.7 | 1667  | -5666 |
|      | 1882 | Nmin,Mymin,Mzmax | P11 12 | 3968.7 | -1694 | 4427  |
|      | 1882 | Nmin,Mymin,Mzmin | P11 13 | 3968.7 | -1694 | -5666 |
|      | 1882 | Nmax,Mymax,Mzmax | P11 14 | 7879.5 | 1667  | 4427  |
|      | 1882 | Nmax,Mymax,Mzmin | P11 15 | 7879.5 | 1667  | -5666 |
|      | 1882 | Nmax,Mymin,Mzmax | P11 16 | 7879.5 | -1694 | 4427  |
| SLU2 | 1882 | Nmin,Mymax,Mzmax | P11 17 | 4290.9 | 1965  | 3587  |
|      | 1882 | Nmax,Mymin,Mzmin | P11 18 | 6463.1 | -1989 | -4678 |
|      | 1882 | Nmin,Mymax,Mzmin | P11 19 | 4290.9 | 1965  | -4678 |
|      | 1882 | Nmin,Mymin,Mzmax | P11 20 | 4290.9 | -1989 | 3587  |
|      | 1882 | Nmin,Mymin,Mzmin | P11 21 | 4290.9 | -1989 | -4678 |
|      | 1882 | Nmax,Mymax,Mzmax | P11 22 | 6463.1 | 1965  | 3587  |
|      | 1882 | Nmax,Mymax,Mzmin | P11 23 | 6463.1 | 1965  | -4678 |
|      | 1882 | Nmax,Mymin,Mzmax | P11 24 | 6463.1 | -1989 | 3587  |
| SLU3 | 1882 | Nmin,Mymax,Mzmax | P11 25 | 4299.5 | 1639  | 2827  |
|      | 1882 | Nmax,Mymin,Mzmin | P11 26 | 6454.5 | -1663 | -3919 |
|      | 1882 | Nmin,Mymax,Mzmin | P11 27 | 4299.5 | 1639  | -3919 |
|      | 1882 | Nmin,Mymin,Mzmax | P11 28 | 4299.5 | -1663 | 2827  |
|      | 1882 | Nmin,Mymin,Mzmin | P11 29 | 4299.5 | -1663 | -3919 |
|      | 1882 | Nmax,Mymax,Mzmax | P11 30 | 6454.5 | 1639  | 2827  |
|      | 1882 | Nmax,Mymax,Mzmin | P11 31 | 6454.5 | 1639  | -3919 |
|      | 1882 | Nmax,Mymin,Mzmax | P11 32 | 6454.5 | -1663 | 2827  |
| SLU4 | 1882 | Nmin,Mymax,Mzmax | P11 33 | 4298.9 | 2624  | 2892  |
|      | 1882 | Nmax,Mymin,Mzmin | P11 34 | 6463.6 | -1647 | -3860 |
|      | 1882 | Nmin,Mymax,Mzmin | P11 35 | 4298.9 | 2624  | -3860 |
|      | 1882 | Nmin,Mymin,Mzmax | P11 36 | 4298.9 | -1647 | 2892  |
|      | 1882 | Nmin,Mymin,Mzmin | P11 37 | 4298.9 | -1647 | -3860 |
|      | 1882 | Nmax,Mymax,Mzmax | P11 38 | 6463.6 | 2624  | 2892  |
|      | 1882 | Nmax,Mymax,Mzmin | P11 39 | 6463.6 | 2624  | -3860 |
|      | 1882 | Nmax,Mymin,Mzmax | P11 40 | 6463.6 | -1647 | 2892  |

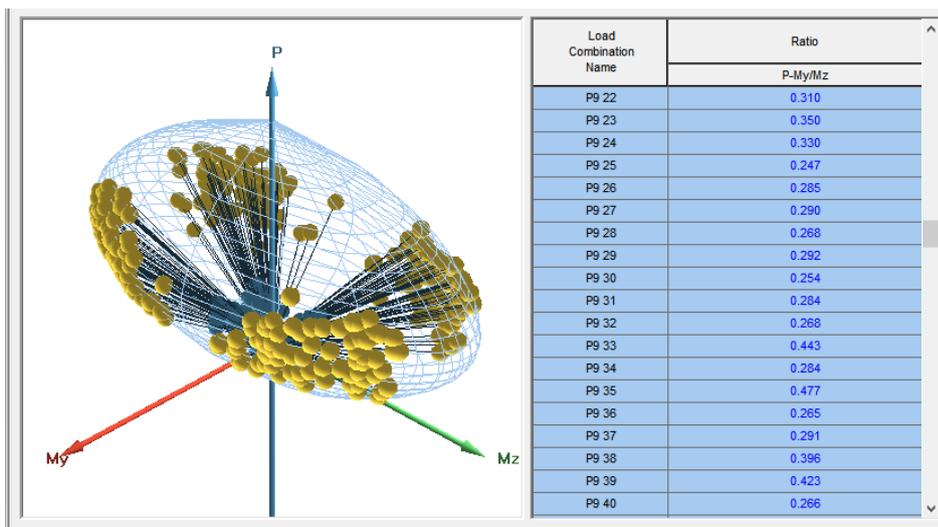
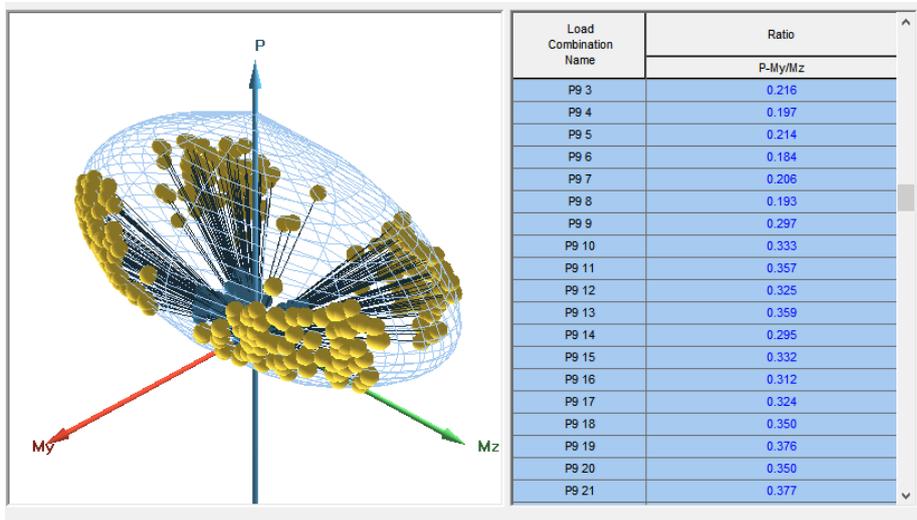
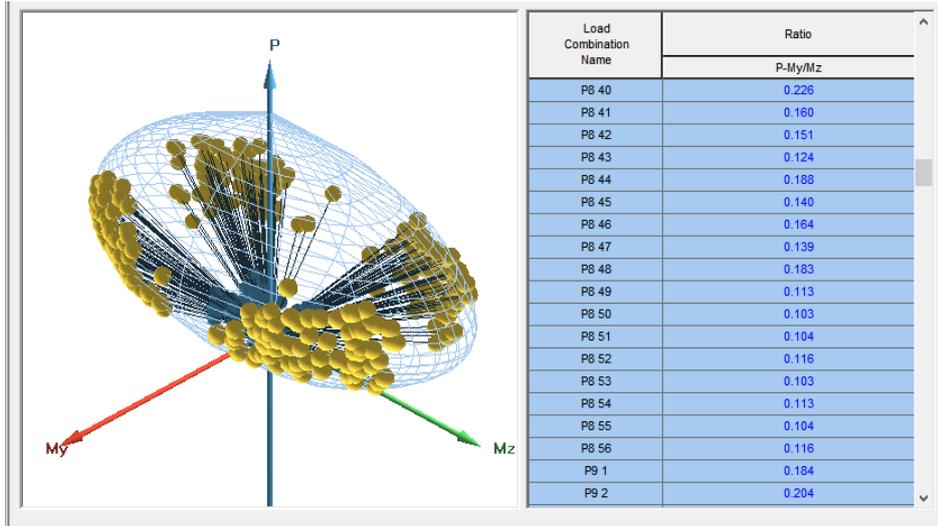
|      |      |                  |        |        |       |       |
|------|------|------------------|--------|--------|-------|-------|
| SLU5 | 1882 | Nmin,Mymax,Mzmax | P11 41 | 4300.4 | 1473  | 3026  |
|      | 1882 | Nmax,Mymin,Mzmin | P11 42 | 6454.5 | -1794 | -3606 |
|      | 1882 | Nmin,Mymax,Mzmin | P11 43 | 4300.4 | 1473  | -3606 |
|      | 1882 | Nmin,Mymin,Mzmax | P11 44 | 4300.4 | -1794 | 3026  |
|      | 1882 | Nmin,Mymin,Mzmin | P11 45 | 4300.4 | -1794 | -3606 |
|      | 1882 | Nmax,Mymax,Mzmax | P11 46 | 6454.5 | 1473  | 3026  |
|      | 1882 | Nmax,Mymax,Mzmin | P11 47 | 6454.5 | 1473  | -3606 |
|      | 1882 | Nmax,Mymin,Mzmax | P11 48 | 6454.5 | -1794 | 3026  |
| SLU6 | 1882 | Nmin,Mymax,Mzmax | P11 49 | 3472.6 | 1653  | 983   |
|      | 1882 | Nmax,Mymin,Mzmin | P11 50 | 3496.9 | -1669 | -1725 |
|      | 1882 | Nmin,Mymax,Mzmin | P11 51 | 3472.6 | 1653  | -1725 |
|      | 1882 | Nmin,Mymin,Mzmax | P11 52 | 3472.6 | -1669 | 983   |
|      | 1882 | Nmin,Mymin,Mzmin | P11 53 | 3472.6 | -1669 | -1725 |
|      | 1882 | Nmax,Mymax,Mzmax | P11 54 | 3496.9 | 1653  | 983   |
|      | 1882 | Nmax,Mymax,Mzmin | P11 55 | 3496.9 | 1653  | -1725 |
|      | 1882 | Nmax,Mymin,Mzmax | P11 56 | 3496.9 | -1669 | 983   |
| SLV  | 1998 | Nmin,Mymax,Mzmax | P12 1  | 2914.0 | 1505  | 1906  |
|      | 1998 | Nmax,Mymin,Mzmin | P12 2  | 5017.7 | -1547 | -1400 |
|      | 1998 | Nmin,Mymax,Mzmin | P12 3  | 2914.0 | 1505  | -1400 |
|      | 1998 | Nmin,Mymin,Mzmax | P12 4  | 2914.0 | -1547 | 1906  |
|      | 1998 | Nmin,Mymin,Mzmin | P12 5  | 2914.0 | -1547 | -1400 |
|      | 1998 | Nmax,Mymax,Mzmax | P12 6  | 5017.7 | 1505  | 1906  |
|      | 1998 | Nmax,Mymax,Mzmin | P12 7  | 5017.7 | 1505  | -1400 |
|      | 1998 | Nmax,Mymin,Mzmax | P12 8  | 5017.7 | -1547 | 1906  |
| SLU1 | 1998 | Nmin,Mymax,Mzmax | P12 9  | 4704.0 | 1523  | 5467  |
|      | 1998 | Nmax,Mymin,Mzmin | P12 10 | 8242.7 | -1475 | -5008 |
|      | 1998 | Nmin,Mymax,Mzmin | P12 11 | 4704.0 | 1523  | -5008 |
|      | 1998 | Nmin,Mymin,Mzmax | P12 12 | 4704.0 | -1475 | 5467  |
|      | 1998 | Nmin,Mymin,Mzmin | P12 13 | 4704.0 | -1475 | -5008 |
|      | 1998 | Nmax,Mymax,Mzmax | P12 14 | 8242.7 | 1523  | 5467  |
|      | 1998 | Nmax,Mymax,Mzmin | P12 15 | 8242.7 | 1523  | -5008 |
|      | 1998 | Nmax,Mymin,Mzmax | P12 16 | 8242.7 | -1475 | 5467  |
| SLU2 | 1998 | Nmin,Mymax,Mzmax | P12 17 | 4841.4 | 1776  | 4459  |
|      | 1998 | Nmax,Mymin,Mzmin | P12 18 | 6810.1 | -1734 | -4038 |
|      | 1998 | Nmin,Mymax,Mzmin | P12 19 | 4841.4 | 1776  | -4038 |
|      | 1998 | Nmin,Mymin,Mzmax | P12 20 | 4841.4 | -1734 | 4459  |
|      | 1998 | Nmin,Mymin,Mzmin | P12 21 | 4841.4 | -1734 | -4038 |
|      | 1998 | Nmax,Mymax,Mzmax | P12 22 | 6810.1 | 1776  | 4459  |
|      | 1998 | Nmax,Mymax,Mzmin | P12 23 | 6810.1 | 1776  | -4038 |
|      | 1998 | Nmax,Mymin,Mzmax | P12 24 | 6810.1 | -1734 | 4459  |
| SLU3 | 1998 | Nmin,Mymax,Mzmax | P12 25 | 4844.4 | 1517  | 3703  |
|      | 1998 | Nmax,Mymin,Mzmin | P12 26 | 6807.2 | -1475 | -3282 |
|      | 1998 | Nmin,Mymax,Mzmin | P12 27 | 4844.4 | 1517  | -3282 |
|      | 1998 | Nmin,Mymin,Mzmax | P12 28 | 4844.4 | -1475 | 3703  |
|      | 1998 | Nmin,Mymin,Mzmin | P12 29 | 4844.4 | -1475 | -3282 |
|      | 1998 | Nmax,Mymax,Mzmax | P12 30 | 6807.2 | 1517  | 3703  |
|      | 1998 | Nmax,Mymax,Mzmin | P12 31 | 6807.2 | 1517  | -3282 |
|      | 1998 | Nmax,Mymin,Mzmax | P12 32 | 6807.2 | -1475 | 3703  |
| SLU4 | 1998 | Nmin,Mymax,Mzmax | P12 33 | 4846.3 | 2624  | 3685  |
|      | 1998 | Nmax,Mymin,Mzmin | P12 34 | 6817.3 | -1432 | -3232 |
|      | 1998 | Nmin,Mymax,Mzmin | P12 35 | 4846.3 | 2624  | -3232 |
|      | 1998 | Nmin,Mymin,Mzmax | P12 36 | 4846.3 | -1432 | 3685  |
|      | 1998 | Nmin,Mymin,Mzmin | P12 37 | 4846.3 | -1432 | -3232 |
|      | 1998 | Nmax,Mymax,Mzmax | P12 38 | 6817.3 | 2624  | 3685  |
|      | 1998 | Nmax,Mymax,Mzmin | P12 39 | 6817.3 | 2624  | -3232 |
|      | 1998 | Nmax,Mymin,Mzmax | P12 40 | 6817.3 | -1432 | 3685  |
| SLU5 | 1998 | Nmin,Mymax,Mzmax | P12 41 | 4842.6 | 1218  | 3791  |

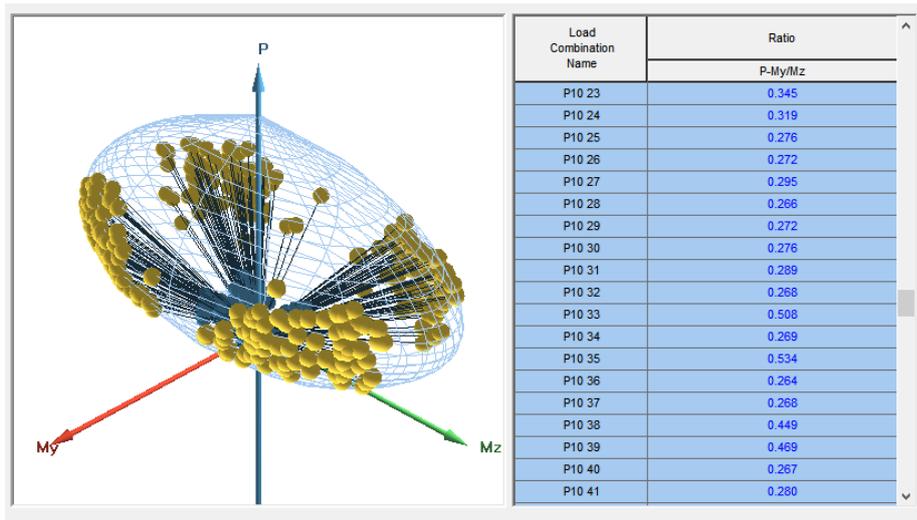
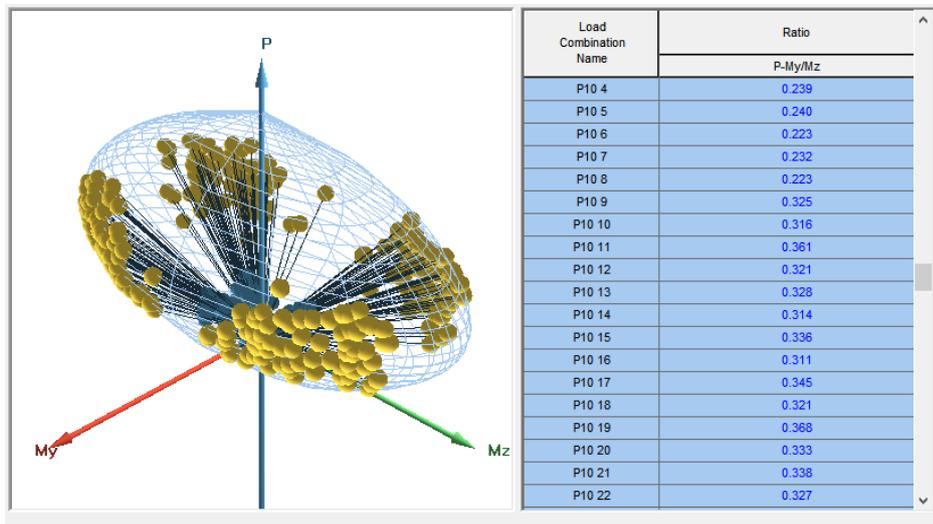
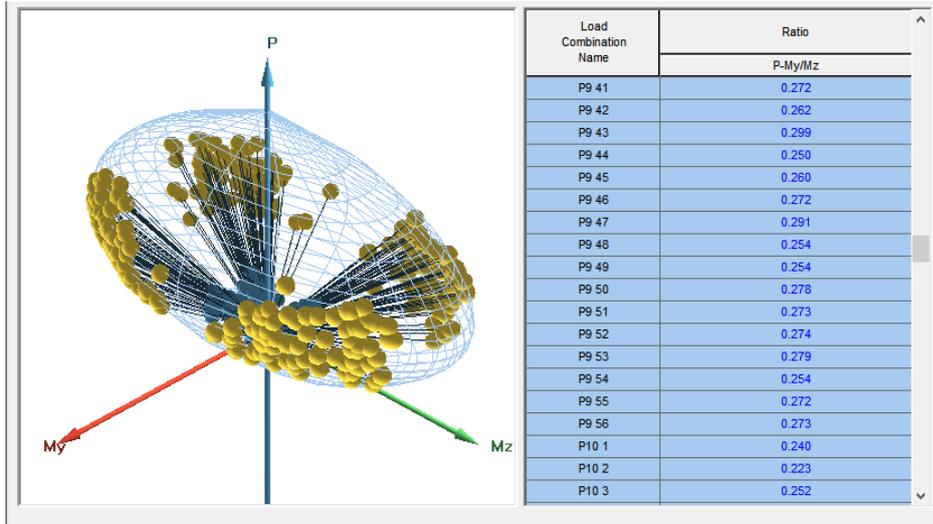
|      |                  |                  |        |        |       |      |
|------|------------------|------------------|--------|--------|-------|------|
| 1998 | Nmax,Mymin,Mzmin | P12 42           | 6804.3 | -1683  | -3087 |      |
| 1998 | Nmin,Mymax,Mzmin | P12 43           | 4842.6 | 1218   | -3087 |      |
| 1998 | Nmin,Mymin,Mzmax | P12 44           | 4842.6 | -1683  | 3791  |      |
| 1998 | Nmin,Mymin,Mzmin | P12 45           | 4842.6 | -1683  | -3087 |      |
| 1998 | Nmax,Mymax,Mzmax | P12 46           | 6804.3 | 1218   | 3791  |      |
| 1998 | Nmax,Mymax,Mzmin | P12 47           | 6804.3 | 1218   | -3087 |      |
| 1998 | Nmax,Mymin,Mzmax | P12 48           | 6804.3 | -1683  | 3791  |      |
| SLU6 | 1998             | Nmin,Mymax,Mzmax | P12 49 | 3741.4 | 1474  | 1483 |
| 1998 | Nmax,Mymin,Mzmin | P12 50           | 3755.3 | -1445  | -1179 |      |
| 1998 | Nmin,Mymax,Mzmin | P12 51           | 3741.4 | 1474   | -1179 |      |
| 1998 | Nmin,Mymin,Mzmax | P12 52           | 3741.4 | -1445  | 1483  |      |
| 1998 | Nmin,Mymin,Mzmin | P12 53           | 3741.4 | -1445  | -1179 |      |
| 1998 | Nmax,Mymax,Mzmax | P12 54           | 3755.3 | 1474   | 1483  |      |
| 1998 | Nmax,Mymax,Mzmin | P12 55           | 3755.3 | 1474   | -1179 |      |
| 1998 | Nmax,Mymin,Mzmax | P12 56           | 3755.3 | -1445  | 1483  |      |

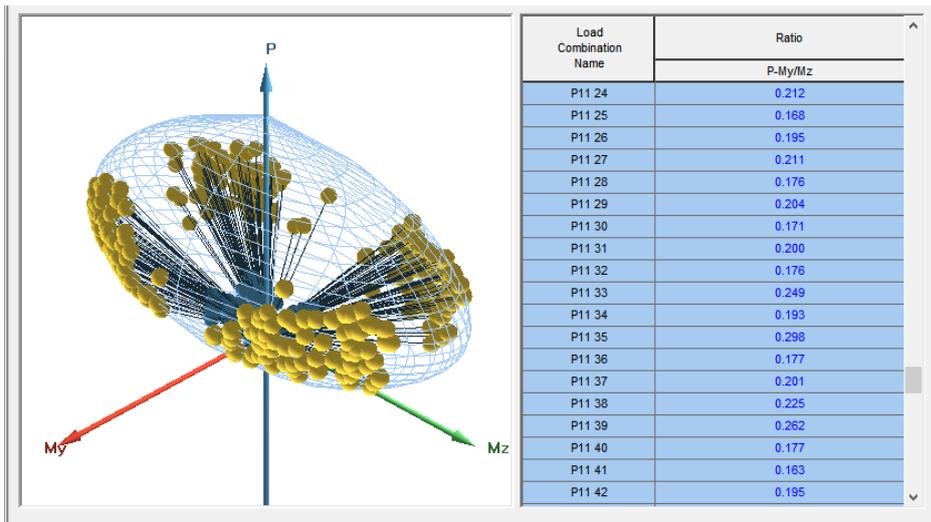
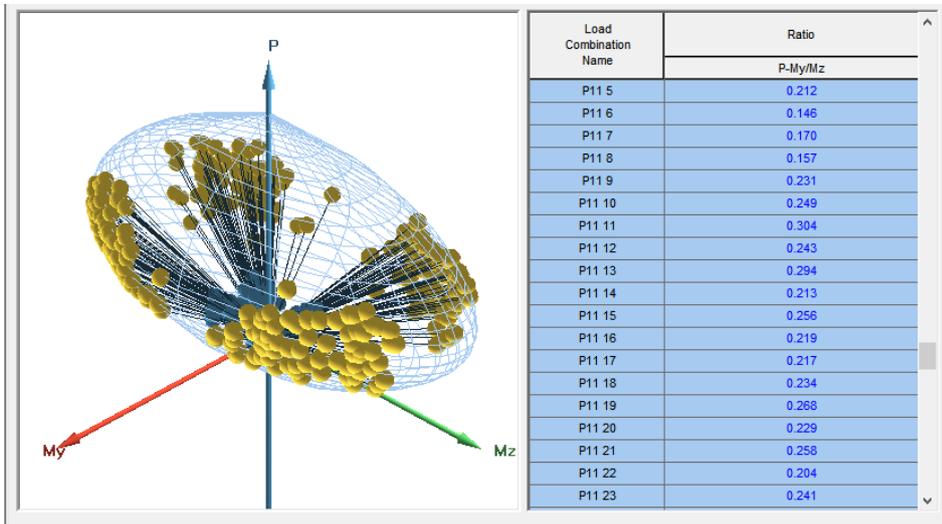
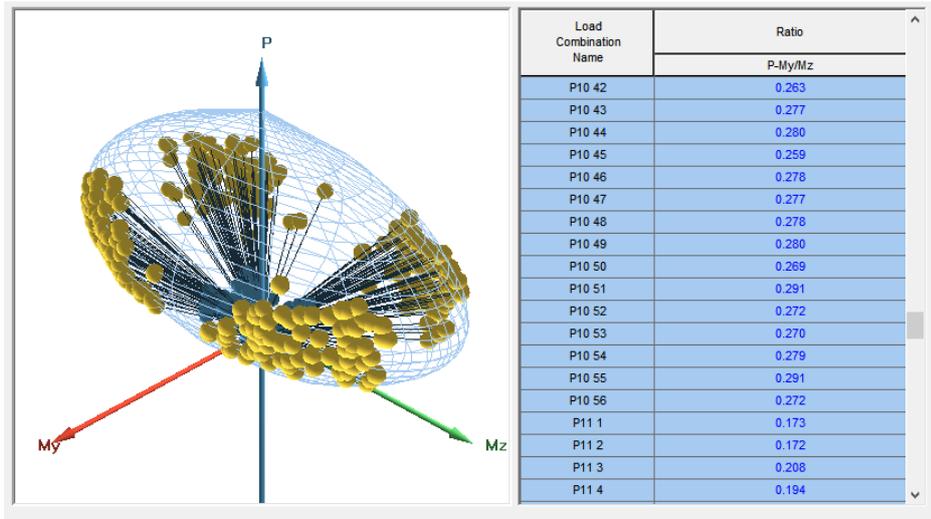
Le verifiche sono state condotte con l'ausilio del software MIDAS GSD. Considerando l'armatura disposta costituita da 32  $\Phi 36$ , i risultati delle verifiche sono i seguenti.

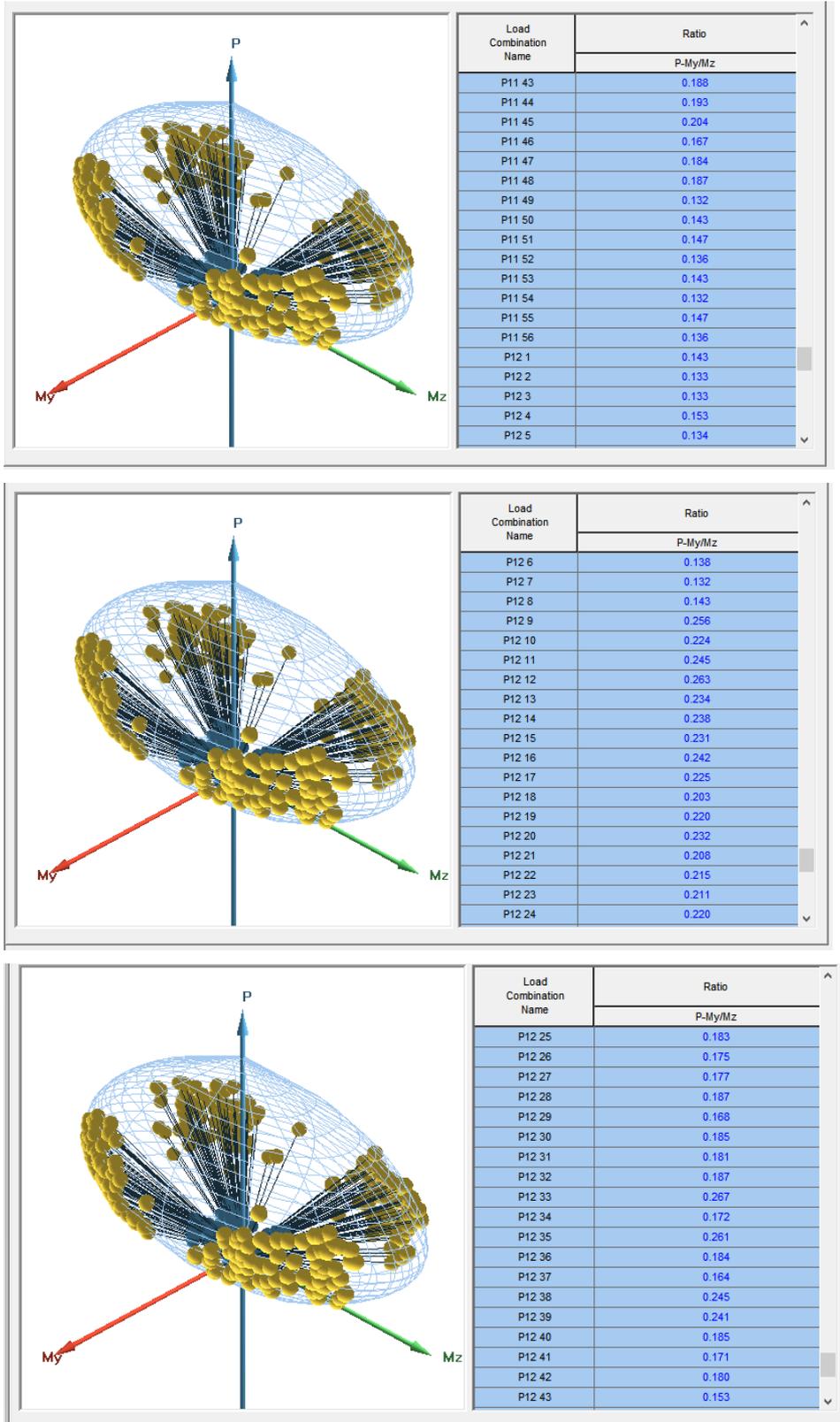


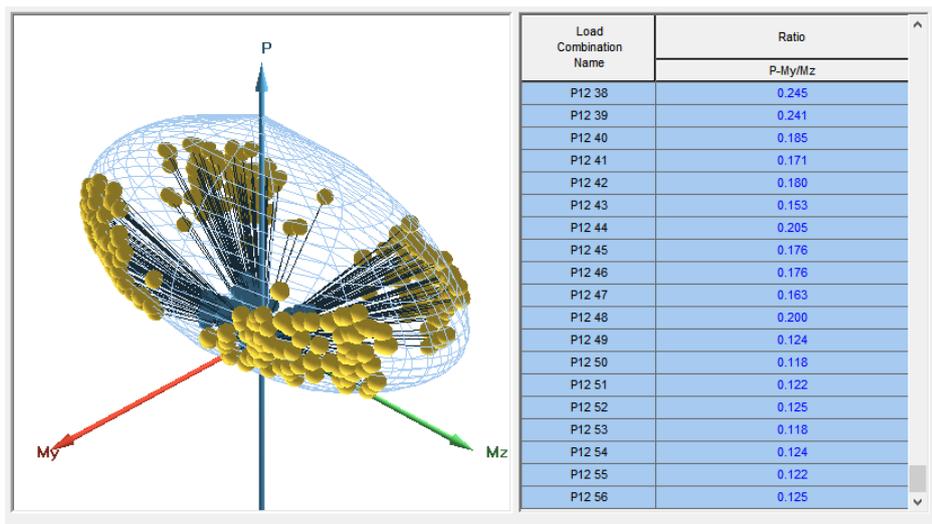






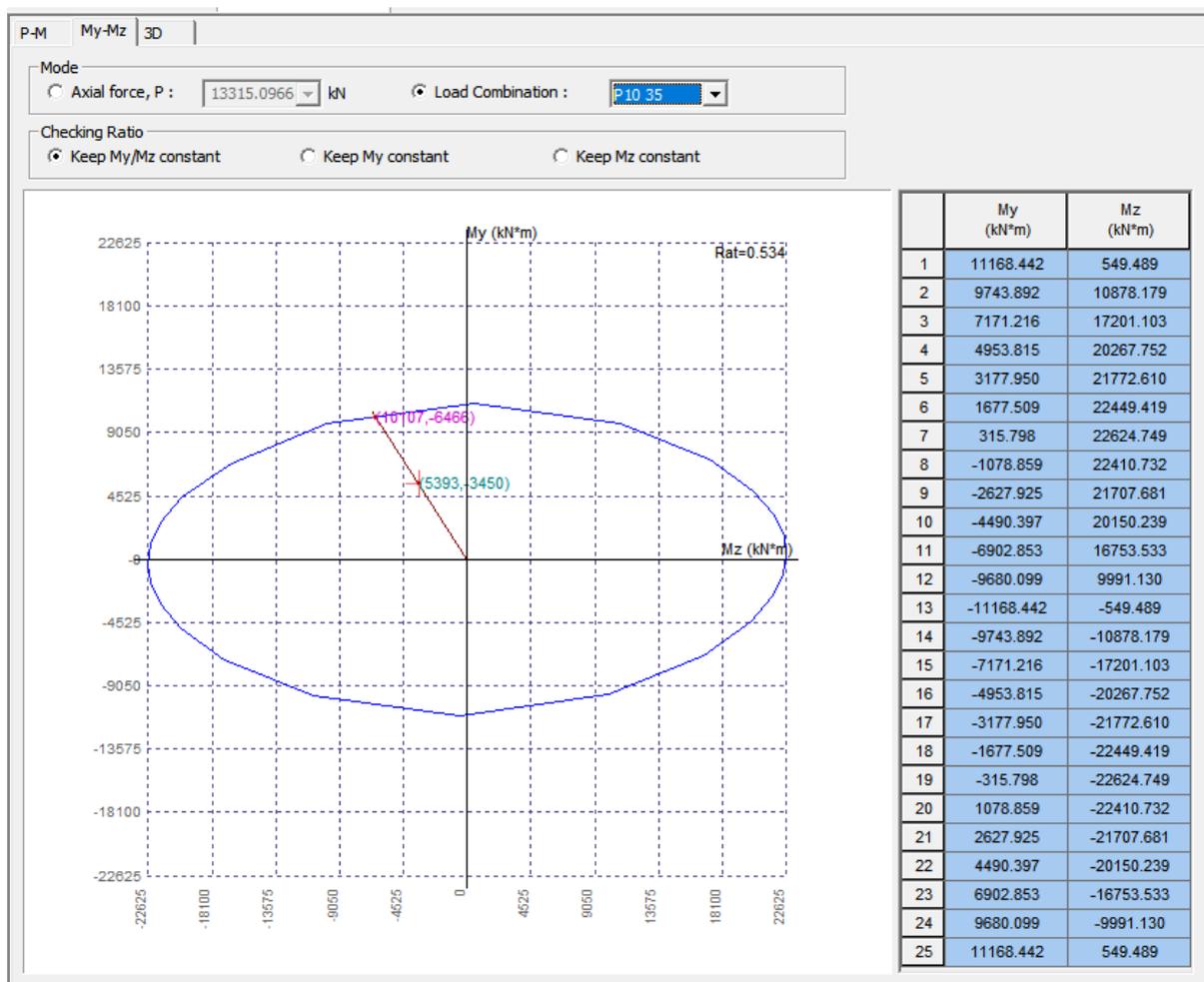


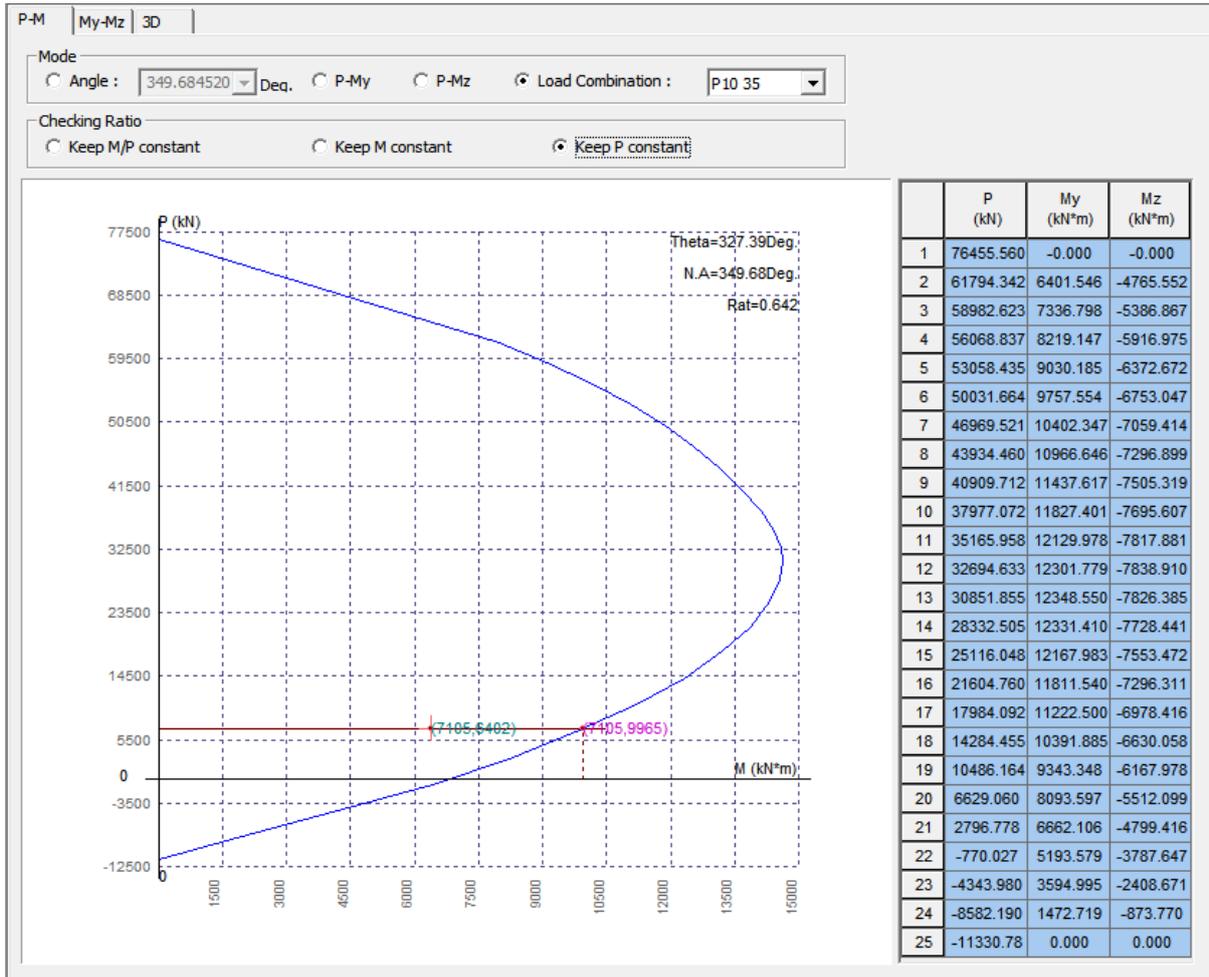




La verifica più gravosa è risultata essere la “P10 35” relativa alla pila P10 nella combinazione SLU4. Si riportano di seguito le immagini dei domini di resistenza relativi a tale verifica.

### My/Mz costante



N costante

### 9.4.1.2 Verifiche a taglio

Si considera un'armatura costituita da staffe  $\Phi 16/200$  ed una sezione rettangolare equivalente alla sezione del fusto delle pile. La verifica viene eseguita considerando l'azione di taglio massima tra le combinazioni considerate lungo le due direzioni principali.

| Verifiche a taglio - D.M. 14-01-2008 |   |
|--------------------------------------|---|
| <b>Materiali</b>                     | <b>Geometria sezione</b>                  |
| <b>Calcestruzzo</b>                  | b [mm] 1200                               |
| Rek [Mpa] 40                         | h [mm] 2442.5                             |
| fck [Mpa] 33.2                       | c [mm] 70                                 |
| fcd [Mpa] 18.8                       | d [mm] 2372.5                             |
| <b>Acciaio</b>                       | <b>Armatura longitudinale</b>             |
| fyk [Mpa] 450                        | n° barre 32                               |
| fyd [Mpa] 391.3                      | diametro 26                               |
|                                      | Area [mm <sup>2</sup> ] 16981.12          |
|                                      | <b>Armatura trasversale</b>               |
|                                      | Staffe $\Phi$ 16                          |
|                                      | n° bracci 2                               |
|                                      | A <sub>sw</sub> [mm <sup>2</sup> ] 401.92 |
|                                      | s [mm] 200                                |
|                                      | <b>Sollecitazioni di calcolo</b>          |
|                                      | N <sub>Ed</sub> [kN] 0                    |
|                                      | V <sub>Ed</sub> [kN] 413.69               |
|                                      | <b>VERIFICA</b>                           |
|                                      | <b>Sezione non armata a taglio</b>        |
|                                      | V <sub>Rd</sub> [kN] 1192.65              |
|                                      | Verificato                                |
|                                      | <b>Sezione armata a taglio</b>            |
|                                      | <b>Crisi armatura a taglio</b>            |
|                                      | V <sub>Rsd</sub> [kN] 4197.72             |
|                                      | V <sub>Red</sub> [kN] 8311.28             |
|                                      | V <sub>Rd</sub> [kN] 4197.72              |
|                                      | Verificato                                |

Figura 33 – Verifica a Taglio – Fy

| Verifiche a taglio - D.M. 14-01-2008 |   |
|--------------------------------------|---|
| <b>Materiali</b>                     | <b>Geometria sezione</b>                  |
| <b>Calcestruzzo</b>                  | b [mm] 2442.5                             |
| Rek [Mpa] 40                         | h [mm] 1200                               |
| fck [Mpa] 33.2                       | c [mm] 70                                 |
| fcd [Mpa] 18.8                       | d [mm] 1130                               |
| <b>Acciaio</b>                       | <b>Armatura longitudinale</b>             |
| fyk [Mpa] 450                        | n° barre 32                               |
| fyd [Mpa] 391.3                      | diametro 26                               |
|                                      | Area [mm <sup>2</sup> ] 16981.12          |
|                                      | <b>Armatura trasversale</b>               |
|                                      | Staffe $\Phi$ 16                          |
|                                      | n° bracci 2                               |
|                                      | A <sub>sw</sub> [mm <sup>2</sup> ] 401.92 |
|                                      | s [mm] 200                                |
|                                      | <b>Sollecitazioni di calcolo</b>          |
|                                      | N <sub>Ed</sub> [kN] 0                    |
|                                      | V <sub>Ed</sub> [kN] 413.69               |
|                                      | <b>VERIFICA</b>                           |
|                                      | <b>Sezione non armata a taglio</b>        |
|                                      | V <sub>Rd</sub> [kN] 1286.26              |
|                                      | Verificato                                |
|                                      | <b>Sezione armata a taglio</b>            |
|                                      | <b>Crisi armatura a taglio</b>            |
|                                      | V <sub>Rsd</sub> [kN] 1999.33             |
|                                      | V <sub>Red</sub> [kN] 8057.37             |
|                                      | V <sub>Rd</sub> [kN] 1999.33              |
|                                      | Verificato                                |

Figura 34 – Verifica a Taglio – Fz

## 9.4.2 Verifiche SLE

### 9.4.2.1 Verifiche a fessurazione

Si riporta nel seguito la verifica a fessurazione eseguita in corrispondenza della sezione maggiormente sollecitata nella combinazione frequente.

Verifica C.A. S.L.U. - File: Fessurazione Pila Ingresso-rev1

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

Titolo : Verifica Fessurazione Fusto Pila

N° Vertici  Zoom N° barre  Zoom

| N° | x [cm] | y [cm] | N° | As [cm²] | x [cm]  | y [cm] |
|----|--------|--------|----|----------|---------|--------|
| 1  | 75     | 60     | 26 | 10.18    | -123.93 | 20.45  |
| 2  | 97.96  | 55.43  | 27 | 10.18    | -112.24 | 37.71  |
| 3  | 117.73 | 42.43  | 28 | 10.18    | -94.81  | 49.13  |
| 4  | 130.43 | 22.96  | 29 | 10.18    | -80     | 52.07  |
| 5  | 135    | 0      | 30 | 10.18    | -60     | 53.2   |
| 6  | 130.43 | -22.96 | 31 | 10.18    | -40     | 53.2   |

Tipologia Sezione:  
 Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

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

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

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

Sollecitazioni:  
 S.L.U. Metodo n  
 N<sub>Ed</sub>  5168.1 kN  
 M<sub>xEd</sub>  262.2 kNm  
 M<sub>yEd</sub>  2086.2

Materiali:  
 B450C C32/40  
 ε<sub>su</sub>  ‰ ε<sub>c2</sub>  ‰  
 f<sub>yd</sub>  N/mm<sup>2</sup> ε<sub>cu</sub>  ‰  
 E<sub>s</sub>  N/mm<sup>2</sup> f<sub>cd</sub>   
 E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub>  f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub>  ?  
 ε<sub>syd</sub>  ‰ σ<sub>c,adm</sub>   
 σ<sub>s,adm</sub>  N/mm<sup>2</sup> τ<sub>co</sub>   
 τ<sub>c1</sub>

σ<sub>c</sub>  N/mm<sup>2</sup>  
 σ<sub>c</sub>  N/mm<sup>2</sup>  
 ε<sub>s</sub>  ‰

Verifica

Precompresso

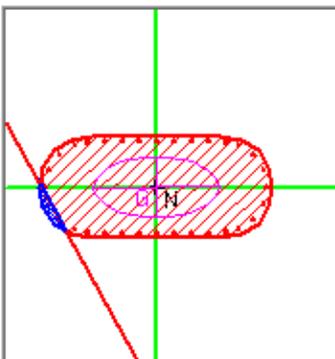


Figura 35 – Verifica a fessurazione

Come si vede,  $\sigma_c < f_{ctm}/1.2$ , per cui la sezione è verificata nei confronti dello stato limite di formazione delle fessure.

### 9.4.2.2 Verifiche tensionali

Le verifiche tensionali vengono eseguite in corrispondenza della sezione maggiormente sollecitata considerando la combinazione rara e controllando che le relative tensioni non superino i limiti posti dalla normativa:

$$(\sigma_c < 0.60 f_{ck} = 19.92 \text{ MPa} ; \sigma_s < 0.8 f_{yk} = 360 \text{ MPa})$$

Verifica C.A. S.L.U. - File: Tensione PilalIngresso-rev2

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

Titolo: Verifica Tensionale Fusto Pila

N° Vertici: 18 Zoom N° barre: 32 Zoom

| N° | x [cm] | y [cm] | N° | As [cm²] | x [cm]  | y [cm] |
|----|--------|--------|----|----------|---------|--------|
| 1  | 75     | 60     | 26 | 10.18    | -123.93 | 20.45  |
| 2  | 97.96  | 55.43  | 27 | 10.18    | -112.24 | 37.71  |
| 3  | 117.73 | 42.43  | 28 | 10.18    | -94.81  | 49.13  |
| 4  | 130.43 | 22.96  | 29 | 10.18    | -80     | 52.07  |
| 5  | 135    | 0      | 30 | 10.18    | -60     | 53.2   |
| 6  | 130.43 | -22.96 | 31 | 10.18    | -40     | 53.2   |

Tipologia Sezione:  
 Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub>: 0 5264.2 kN  
M<sub>xEd</sub>: 0 3766.1 kNm  
M<sub>yEd</sub>: 0 2168.1

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

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

Materiali: B450C C32/40

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>: 18.13  
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>: 12.25  
σ<sub>s,adm</sub>: 255 N/mm² τ<sub>co</sub>: 0.7333  
τ<sub>c1</sub>: 2.114

σ<sub>c</sub>: -10.25 N/mm²  
σ<sub>s</sub>: 158.2 N/mm²  
ε<sub>s</sub>: 0.7912 ‰  
d: 132.1 cm  
x: 65.08 x/d: 0.4927  
δ: 1

Verifica N° iterazioni: 4

Precompresso

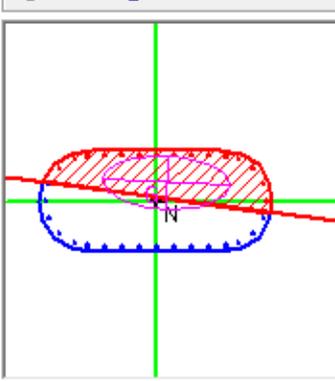


Figura 36 – Verifica tensionale

## 9.5 Verifica del pulvino

Si riportano di seguito, i risultati delle verifiche più gravose agli SLU e SLE dei pulvini, condotte nelle sezioni maggiormente sollecitate con i criteri di verifica precedentemente riportati.

### 9.5.1 Verifiche SLU

#### 9.5.1.1 Verifiche di resistenza

La verifica viene eseguita considerando l'azione trasmessa all'elemento strutturale dal sovrastante baggiolo e facendo riferimento ai modelli fatti di tiranti e puntone descritti al §4.1.2.1.5 delle NTC; Il meccanismo resistente è costituito da un tirante orizzontale superiore, corrispondente all'armatura tesa realizzata mediante 20Φ30 disposti su doppio registro, e da un puntone di calcestruzzo inclinato.

L'azione sollecitante  $P_{Ed}$  utilizzata per la verifica dell'elemento strutturale in oggetto è comprensiva della massima reazione derivante dal modello dell'impalcato del peso della zona a sbalzo del pulvino e del peso del baggiolo.

$$P_{\text{impalcato}} = 6704 \text{ kN};$$

$$P_{\text{sbalzo pulvino}} = 4.102 \text{ m}^3 \times 25 \times 1.35 = 138.44 \text{ kN};$$

$$P_{\text{baggiolo+isolatore}} = 0.9 \times 0.9 \times 0.24 \times 25 \times 1.35 + 3.3 \times 1.5 = 11.51 \text{ kN};$$

$$P_{Ed} = 6704 + 138.44 + 11.51 = 6853.95 \text{ kN}.$$

| Resistenza di elementi tozzi, nelle zone diffuse e nei nodi - C4.1.2.1.5 |         |                    |                |
|--|---------|--------------------|----------------|
| $P_{Ed}$   | 6853.95 | [kN]               |                |
| $H_{Ed}$   | 183     | [kN]               |                |
| $a$  | 1.15    | [m]                |                |
| $b$  | 0.8     | [m]                |                |
| $h$  | 2.5     | [m]                |                |
| $c$  | 0.12    | [m]                |                |
| $d$  | 2.38    | [m]                |                |
| $l$  | 1.626   | [m]                |                |
| $\lambda$  | 0.76    | [-]                |                |
| $\phi$   | 30      | [mm]               |                |
| $n_o$  | 20      | [-]                |                |
| $A_s$  | 14137.2 | [mm <sup>2</sup> ] |                |
| $f_{yd}$   | 391.30  | [MPa]              |                |
| $f_{cd}$   | 18.13   | [MPa]              |                |
| $c$  | 1       | [-]                |                |
| $P_{Ed}$   | ≤       | $P_{Rs}$           | 7046.38 [kN] ≤ |
|  |         | $P_{Rc}$           | 8761.59 [kN]   |

Figura 37 – Verifica Tirante Puntone Pulvini

## 9.5.2 Verifiche SLE

### 9.5.2.1 Verifiche a fessurazione

Si riporta nel seguito la verifica a fessurazione del pulvino eseguita, a vantaggio di sicurezza, considerando le sollecitazioni massime agenti in asse all'elemento strutturale e non sulla sezione di attacco della mensola nella combinazione frequente.

| Tipo di combinazione SLE                                    |                            |  |                            |
|---|----------------------------|--|----------------------------|
| <b>Comb.</b>  | <b>Frequente</b>           |  |                            |
| Materiali   |                            |  |                            |
| <b>Cls</b>  | <b>C32/40</b>              | $f_{ctk} = f_{ctm} / 1,2$                            | 2.58 MPa $f_{ck}$ 33.2 MPa |
| <b>Acciaio</b>  | <b>B450C</b>               | $f_{yk}$   | 450 MPa                    |
| Sollecitazioni e caratteristiche della sezione              |                            |  |                            |
| <b><math>M_{Ed}</math></b>                                  | 1722.12 kNm                | Sollecitazione flettente                             |                            |
| <b><math>N_{Ed}</math></b>                                  | 0 kN                       | Sforzo normale ( <b>negativo</b> se di compressione) |                            |
| <b><math>c</math></b>                                       | 120 mm                     | Distanza dell'asse delle armature tese dal bordo     |                            |
| <b><math>H</math></b>                                       | 2400 mm                    | Altezza totale della sezione                         |                            |
| <b><math>B</math></b>                                       | 1200 mm                    | Base della sezione                                   |                            |
| <b><math>d</math></b>                                       | 2280 mm                    | Altezza utile della sezione                          |                            |
| <b><math>A_s</math></b>                                     | 14130 mm <sup>2</sup>      | Armatura tesa  |                            |
| <b><math>A'_s</math></b>                                    | 1205.76 mm <sup>2</sup>    | Armatura compressa                                   |                            |
| <b><math>n</math></b>                                       | 15                         | Omogeneizzazione acciaio/clc compr.                  |                            |
| <b><math>y</math></b>                                       | 1200 mm                    | Posizione del baricentro                             |                            |
| Calcolo del momento di fessurazione (sezione non fessurata) |                            |  |                            |
| <b><math>A^*</math></b>                                     | 3110036.4 mm <sup>2</sup>  | Area omogeneizzata                                   |                            |
| <b><math>I^*</math></b>                                     | 1.6507E+12 mm <sup>4</sup> | Inerzia omogeneizzata                                |                            |
| <b><math>M_{fess}</math></b>                                | <b>3552.41</b> kNm         | Momento di prima fessurazione >MEd                   |                            |
| <b>SEZIONE NON FESSURATA</b>                                |                            |  |                            |

Figura 38 – Verifica a fessurazione

### 9.5.2.2 Verifiche tensionali

Si riporta nel seguito la verifica tensionale del pulvino eseguite, a vantaggio di sicurezza, considerando le sollecitazioni massime agenti in asse all'elemento strutturale e non sulla sezione di attacco della mensola nella combinazione rara.

| Calcolo delle tensioni nel caso di flessione semplice (sezione fessurata) |                            |                            |                        |
|---|----------------------------|----------------------------|------------------------|
| <b><math>x_c</math></b>   | 728 mm                     | Posizione dell'asse neutro |                        |
| <b><math>I_{ci}</math></b>  | 6.7154E+11 mm <sup>4</sup> | Inerzia omogeneizzata      |                        |
| <b><math>f</math></b>   | 192 mm                     |                            |                        |
| <b><math>h_o</math></b>   | 2110 mm                    |                            |                        |
| <b><math>\sigma_{tmax}</math></b>   | 107.51 MPa                 | Tensione nell'acciaio      | Verifica tensionale OK |
| <b><math>\sigma_{cmax}</math></b>   | 3.36 MPa                   | Tensione nel calcestruzzo  | Verifica tensionale OK |
| <b><math>M_y</math></b>   | 12981 kNm                  | Momento allo snervamento   |                        |

Figura 39 – Verifica tensionale

## 9.6 Verifica dei baggioli

Si riportano di seguito, i risultati delle verifiche più gravose dei baggioli, condotte nelle sezioni maggiormente sollecitate con i criteri di verifica precedentemente riportati.

### 9.6.1.1 Verifiche di resistenza

La verifica viene eseguita facendo riferimento ai modelli fatti di tiranti e puntoni descritti al §4.1.2.1.5 delle NTC; Il meccanismo resistente è costituito da un tirante orizzontale superiore, corrispondente all'armatura tesa realizzata mediante  $4\Phi 12$  e da un puntone di calcestruzzo inclinato.

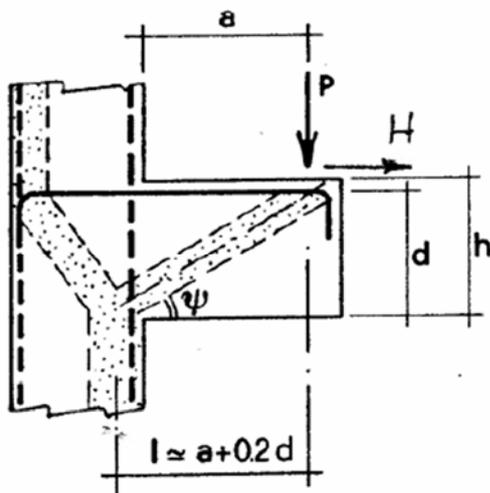
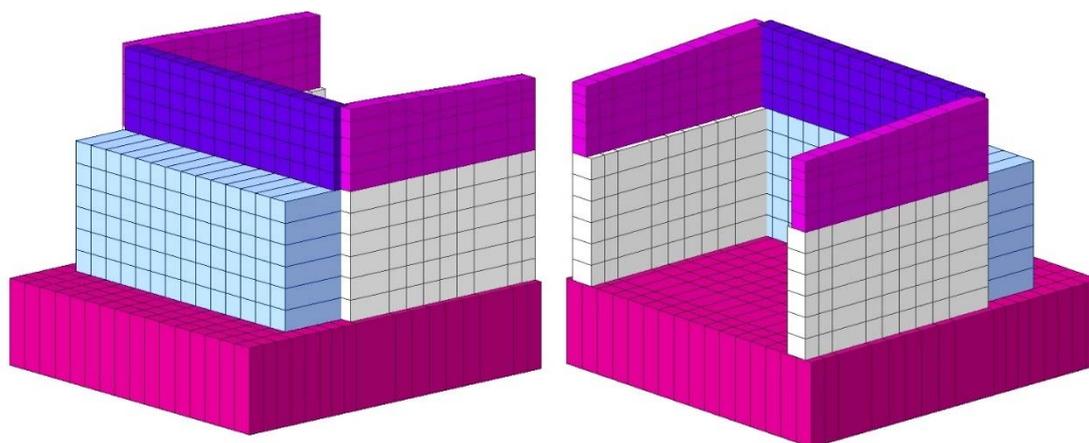
| Resistenza di elementi tozzi, nelle zone diffuse e nei nodi - C4.1.2.1.5           |           |          |                    |
|--|-----------|----------|--------------------|
|  | $P_{Ed}$  | 183      | [KN]               |
|  | $H_{Ed}$  | 0        | [KN]               |
|  | a         | 0.3      | [m]                |
|  | b         | 0.9      | [m]                |
|  | h         | 0.9      | [m]                |
|  | c         | 0.07     | [m]                |
|  | d         | 0.83     | [m]                |
|  | l         | 0.466    | [m]                |
|  | $\lambda$ | 0.62     | [-]                |
|  | $\phi$    | 12       | [mm]               |
|  | $n_o$     | 4        | [-]                |
|  | $A_s$     | 452.389  | [mm <sup>2</sup> ] |
|  | $f_{yd}$  | 391.30   | [MPa]              |
|  | $f_{cd}$  | 19.83    | [MPa]              |
|  | c         | 1.5      | [-]                |
| $P_{Ed}$   | $\leq$    | $P_{Rs}$ | 283.767 [KN]       |
|  |           |          | $\leq$             |
|  |           | $P_{Rc}$ | 6399.04 [KN]       |

Figura 40 – Verifica Tirante Puntone Baggioli Pile

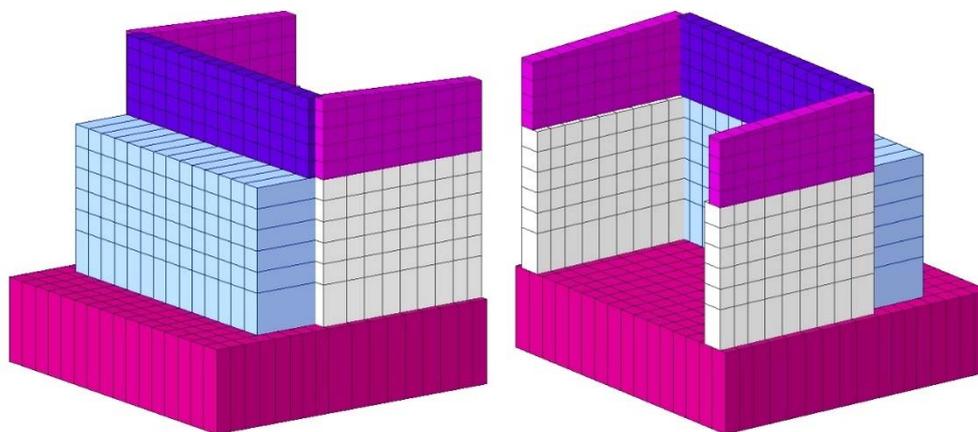
## 10. ANALISI E VERIFICA DELLE SPALLE

Le spalle, in c.a., presentano paramento di altezza 3.00m o 3.50m (S4) e muri andatori di lunghezza 4.25m o 5.25m (S3). I muri andatori sono rivestiti esternamente con un pannello prefabbricato rivestito in pietra, il quale funge anche da cassero a perdere.

Si riporta, di seguito, vista anteriore e posteriore del modello di calcolo delle strutture in oggetto:



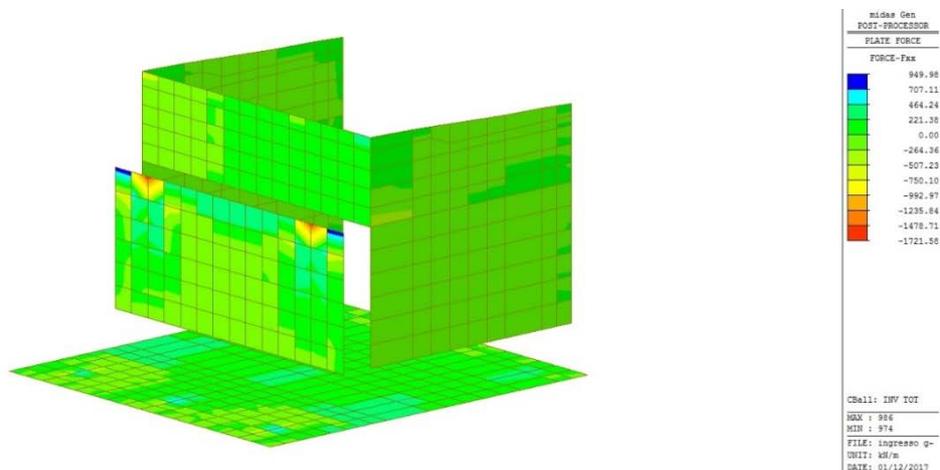
*Figura 41 – Modello 3D Spalla S3 – Vista anteriore e posteriore*



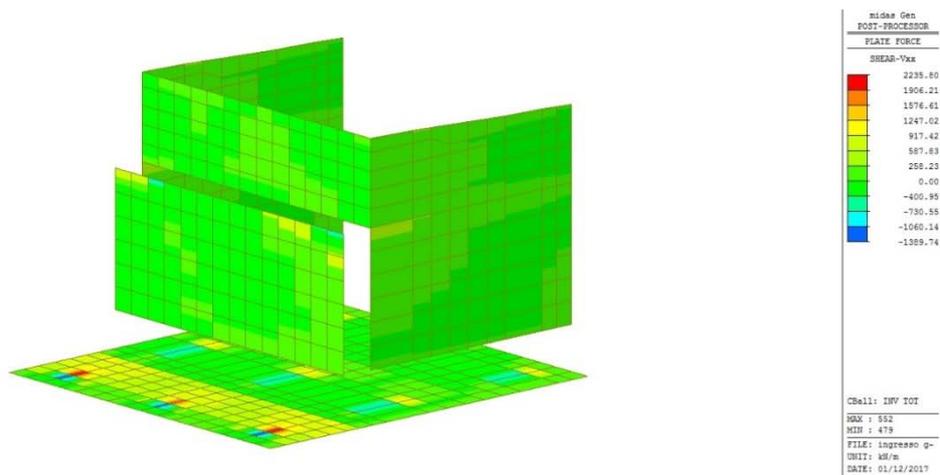
*Figura 42 – Modello 3D Spalla S4 – Vista anteriore e posteriore*

### 10.1 Sollecitazioni Spalla S3

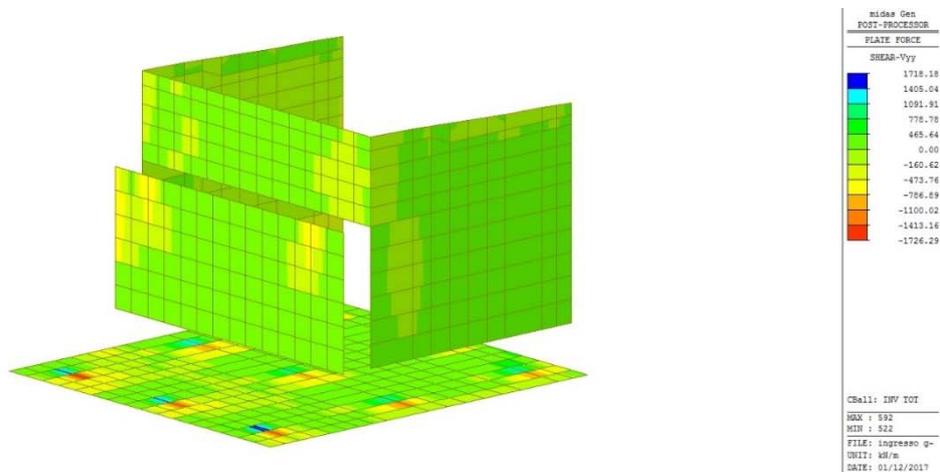
Si riportano di seguito, le sollecitazioni più gravose allo stato limite ultimo SLU ed allo stato limite di esercizio SLE utilizzate nelle verifiche degli elementi strutturali costituenti la spalla S3.



**Figura 43 – Sforzo Normale SLU – Fxx**



**Figura 44 – Taglio SLU – Vxx**



**Figura 45 – Taglio SLU – Vyy**

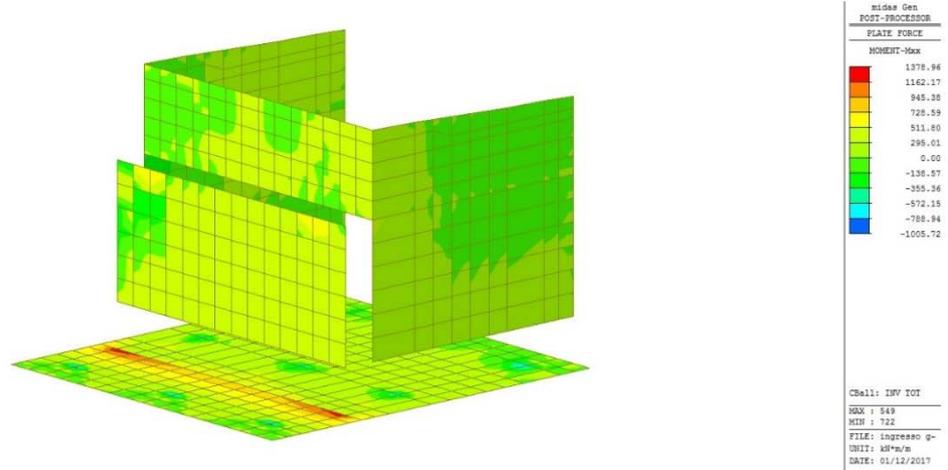


Figura 46 – Momento Flettente SLU – Mxx

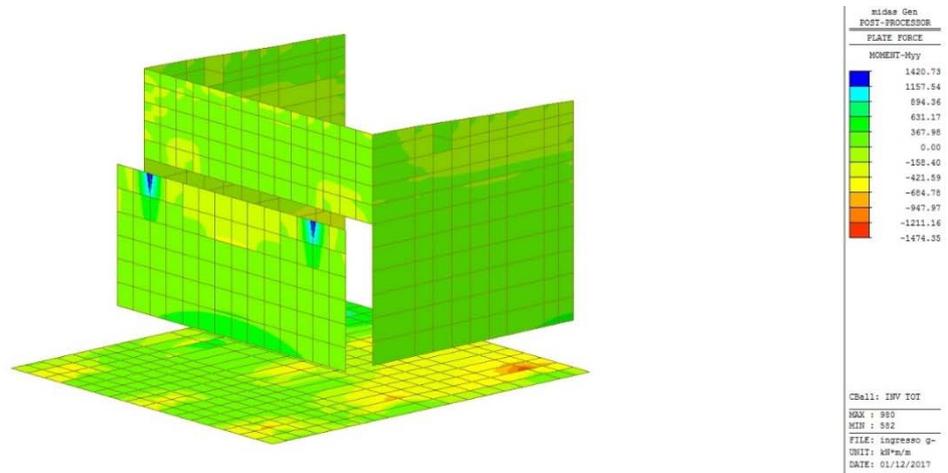


Figura 47 – Momento Flettente SLU – Myy

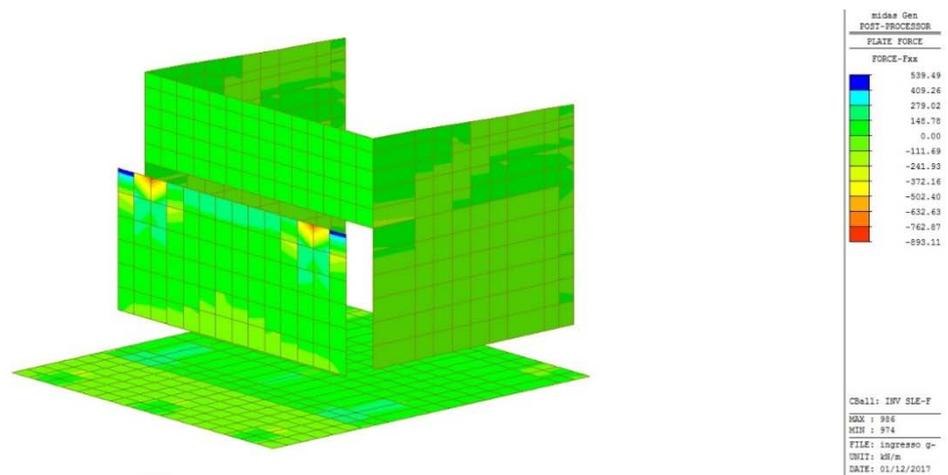
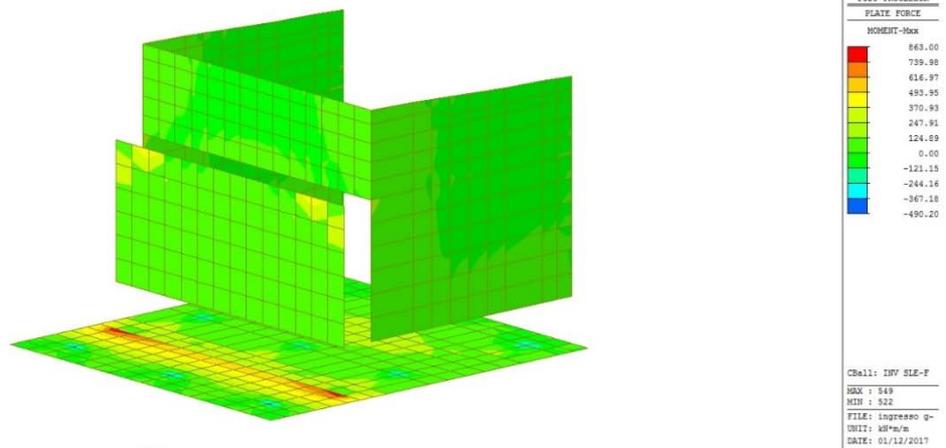
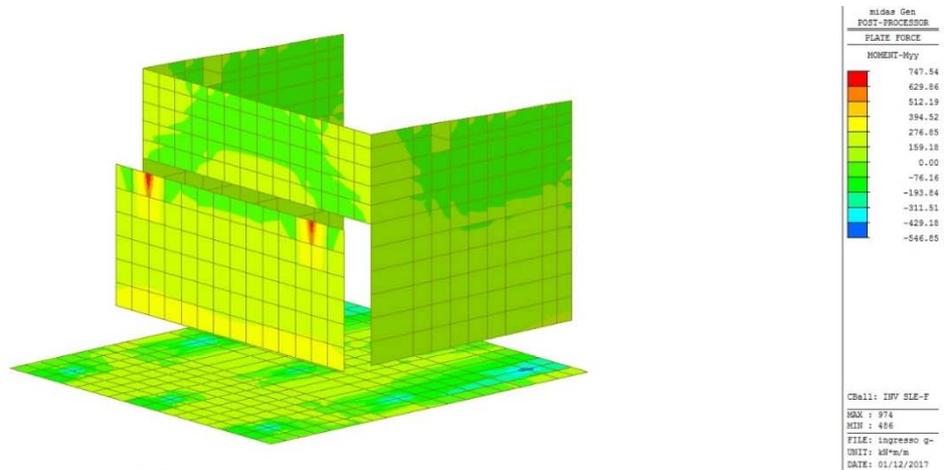
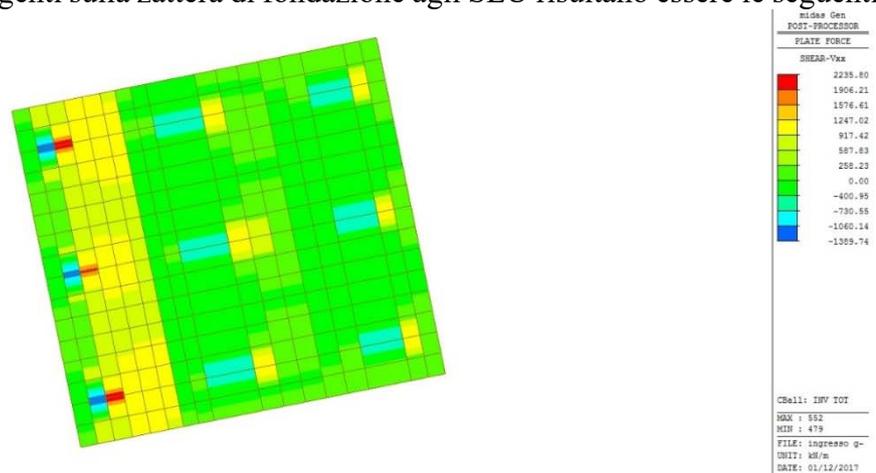


Figura 48 – Sforzo Normale SLE – Fxx

Figura 49 – Momento Flettente SLE –  $M_{xx}$ Figura 50 – Momento Flettente SLE –  $M_{yy}$ 

Le sollecitazioni agenti sulla zattera di fondazione agli SLU risultano essere le seguenti:

Figura 51 – Taglio –  $V_{xx}$

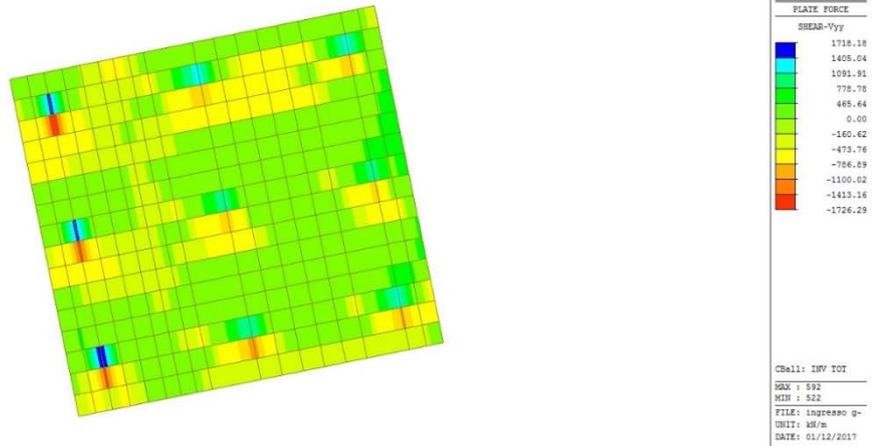


Figura 52 – Taglio – Vyy

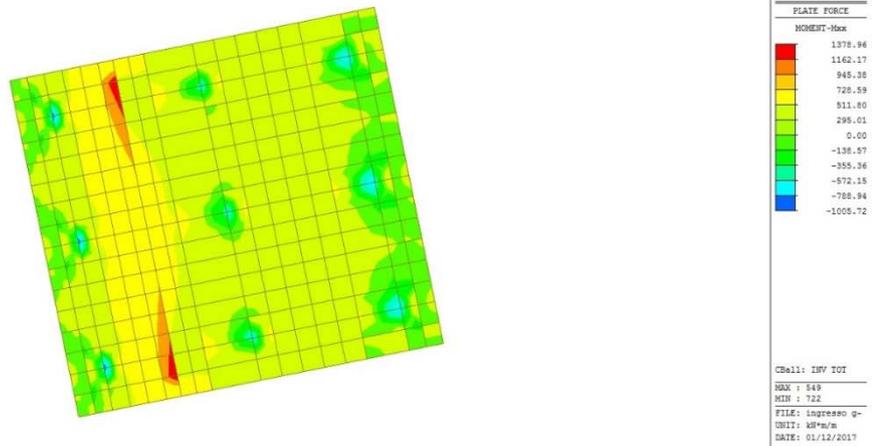


Figura 53 – Momento Flettente – Mxx

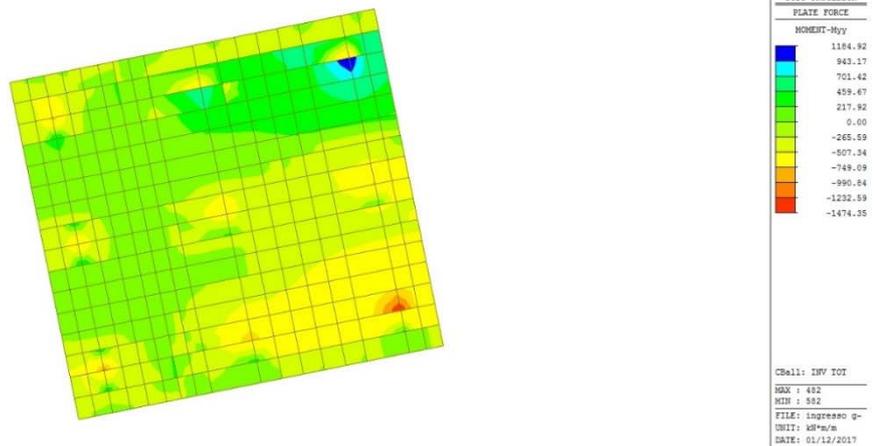
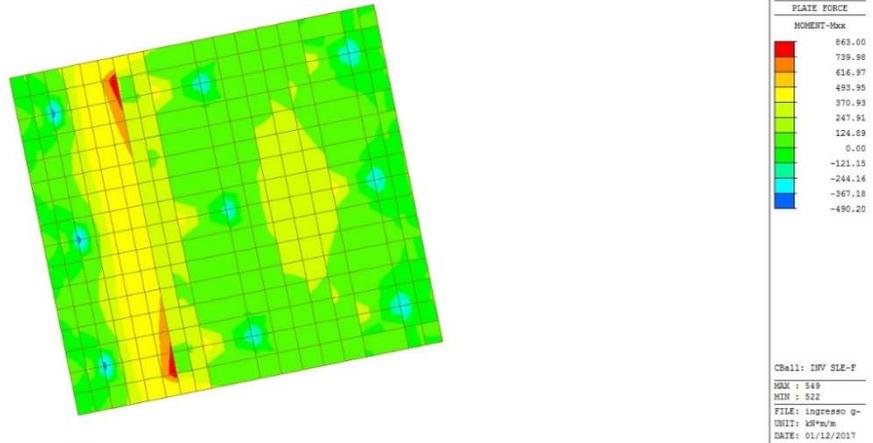
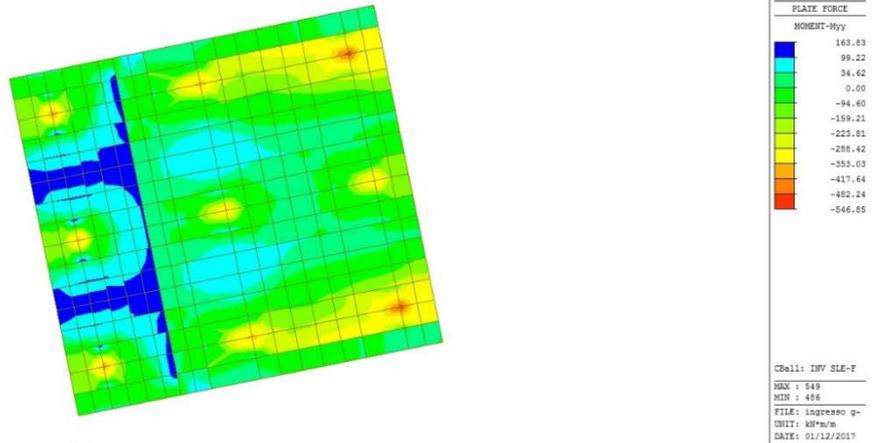


Figura 54 – Momento Flettente – Myy

Le sollecitazioni agenti sulla zattera di fondazione agli SLE risultano essere le seguenti:

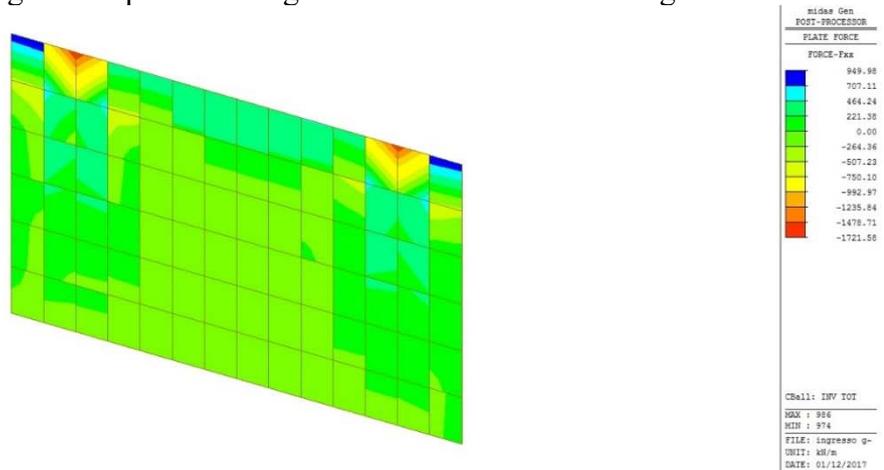


**Figura 55 – Momento Flettente –  $M_{xx}$**

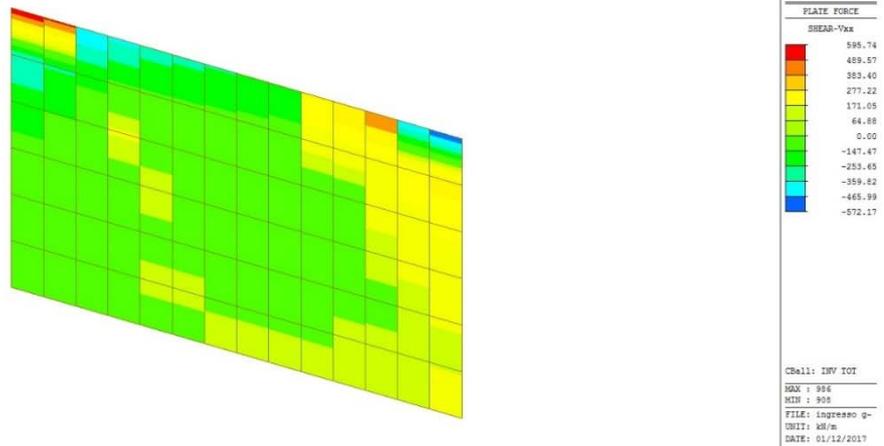
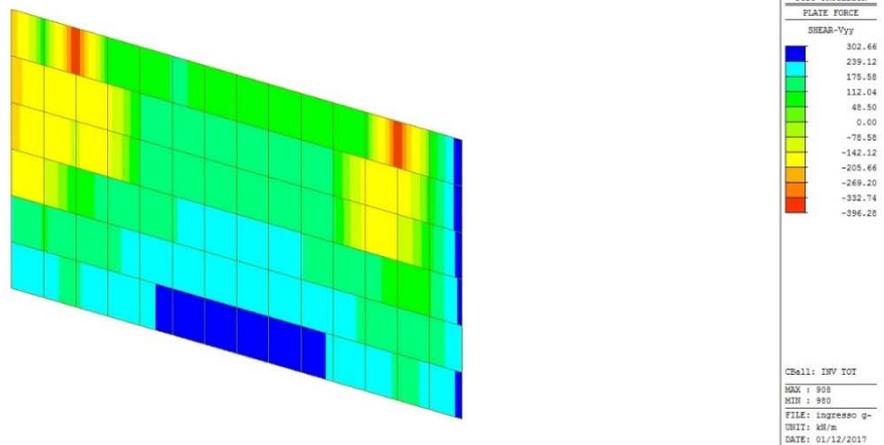
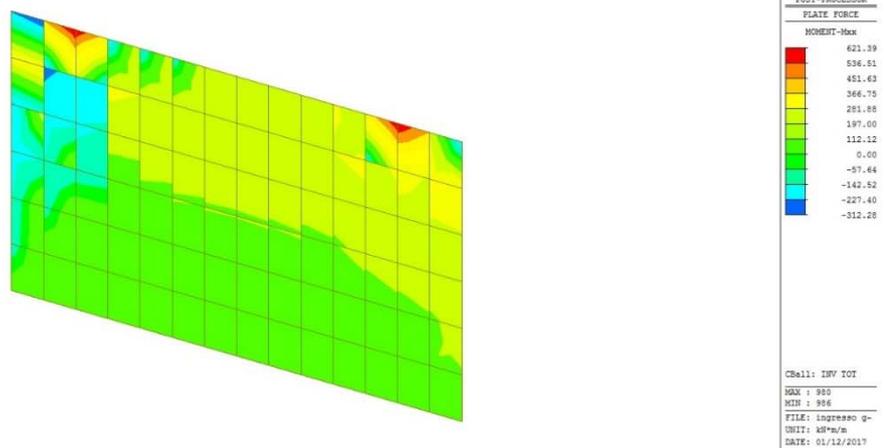


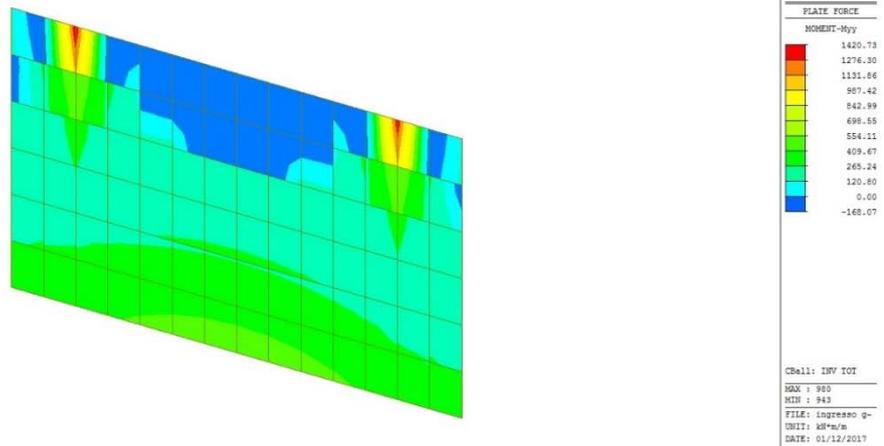
**Figura 56 – Momento Flettente –  $M_{yy}$**

Le sollecitazioni agenti sul paramento agli SLU risultano essere le seguenti:



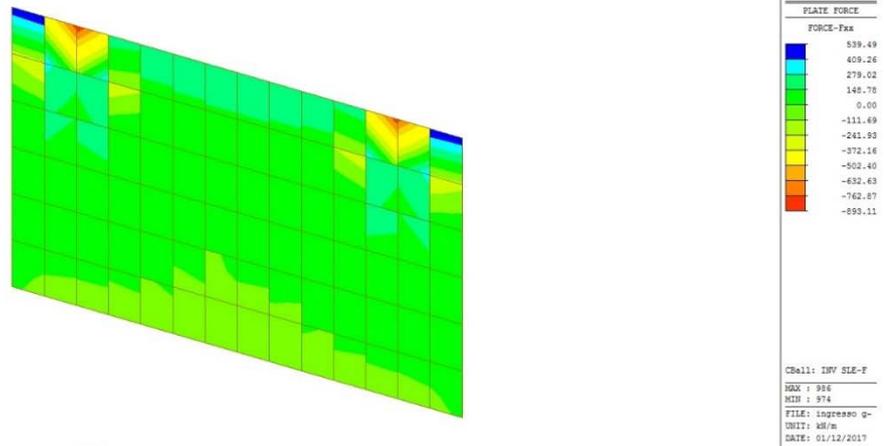
**Figura 57 – Sforzo Normale –  $F_{xx}$**

Figura 58 – Taglio –  $V_{xx}$ Figura 59 – Taglio –  $V_{yy}$ Figura 60 – Momento Flettente –  $M_{xx}$

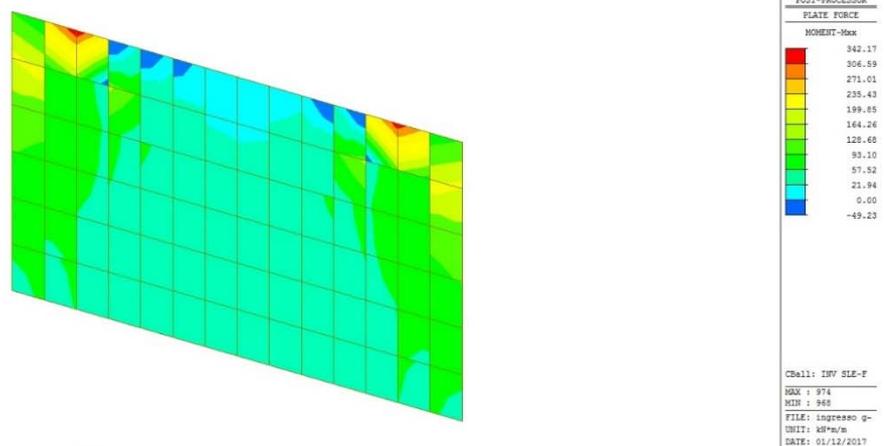


**Figura 61 – Momento Flettente – Myy**

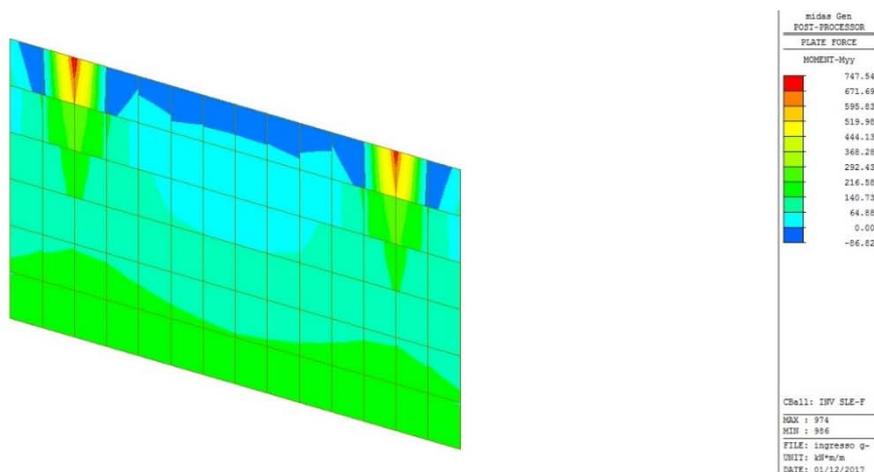
Le sollecitazioni agenti sul paramento agli SLE risultano essere le seguenti:



**Figura 62 – Sforzo Normale – Fxx**



**Figura 63 – Momento Flettente – Mxx**

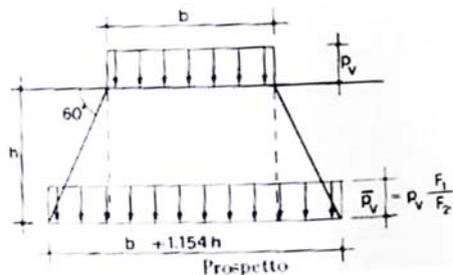


**Figura 64** – Momento Flettente – Myy

Come già detto, per l'analisi del muro paraghiaia, è stato considerato, in accordo con il par. C.5.1.3.3.7.1 dalla Circ. 617/2009, lo schema di carico 1 con carico tandem distribuito su una superficie 3.00x2.20m, con diffusione del carico di 30° all'interno del rilevato.

Di seguito si riportano le sollecitazioni agenti sul muro paraghiaia, ottenute dall'analisi locale, in particolare considerando due combinazioni di carico, la prima GR1- SLU che considera il carico verticale massimo a tergo del muro e la seconda GR2-SLU, che considera l'azione di frenamento caratteristica e il carico verticale frequente:

| Carichi sulla carreggiata |   |                  |                            | Carichi su marciapiedi e piste ciclabili |                        |   |
|---------------------------|---|------------------|----------------------------|--|------------------------|---|
| Carichi verticali         |   |                  |                            | Carichi orizzontali                      |                        | Carichi verticali   |
| Gruppo di azioni          | Modello principale (Schemi di carico 1, 2, 3, 4, 6) | Veicoli speciali | Folla (Schema di carico 5) | Frenatura $q_3$                          | Forza centrifuga $q_4$ | Carico uniformemente distribuito                                    |
| 1                         | Valore caratteristico                               |                  |                            |  |                        | Schema di carico 5 con valore di combinazione 2,5 kN/m <sup>2</sup> |
| 2 a                       | Valore frequente                                    |                  |                            | Valore caratteristico                    |                        |   |

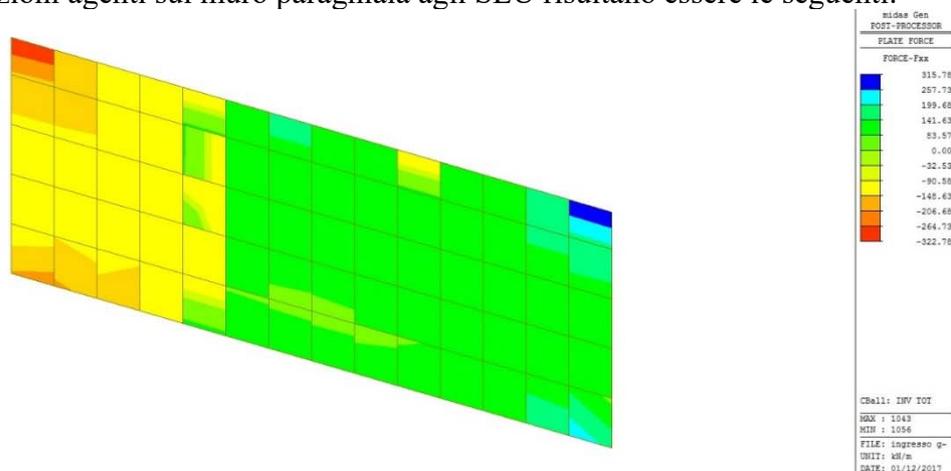


Inoltre si riporta anche la caratteristica dell'asollecitazione in combinazione SLE rara e frequente.

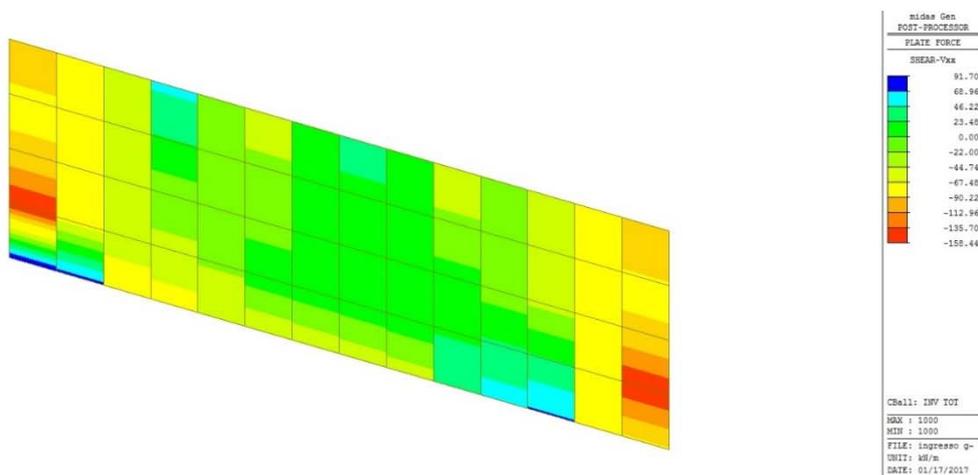
| COMBINAZIONE<br>DI CARICO | <b>M</b>    | <b>V</b> |
|---------------------------|-------------|----------|
|                           | [kN<br>m/m] | [kN /m]  |
| <b>GR1 - SLU</b>          | 96.0        | 94.6     |
| <b>GR2 - SLU</b>          | 147.6       | 109.7    |
| <b>GR2 - SLE-rara</b>     | 109.4       | 81.3     |
| <b>GR1 - SLE-freq.</b>    | 53.1        | 53.1     |

Per le verifiche si farà riferimento al valore massimo di sollecitazione ottenuto tra i valori sopra riportati, ottenuti dall'analisi locale ed i risultati ottenuti sul modello globale di seguito illustrati.

Le sollecitazioni agenti sul muro paraghiaia agli SLU risultano essere le seguenti:



*Figura 65 – Sforzo Normale –  $F_{xx}$*



*Figura 66 – Taglio –  $V_{xx}$*

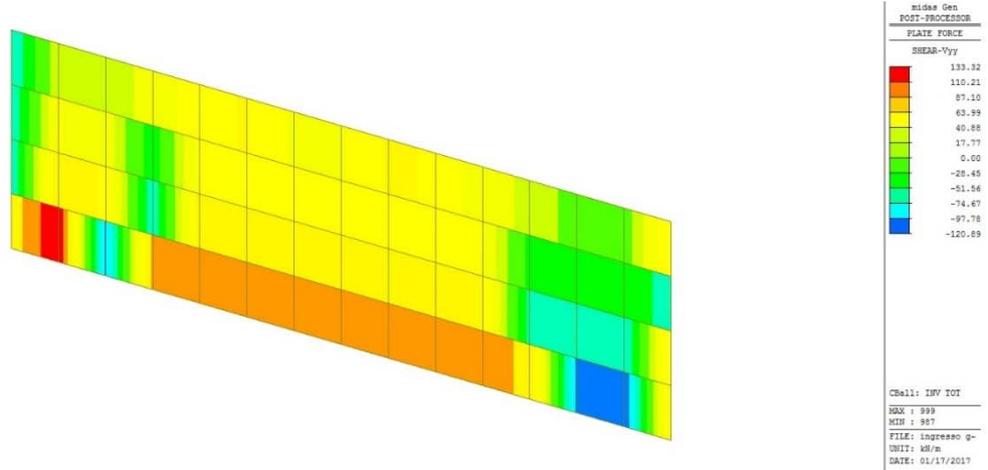


Figura 67 – Taglio – Vyy

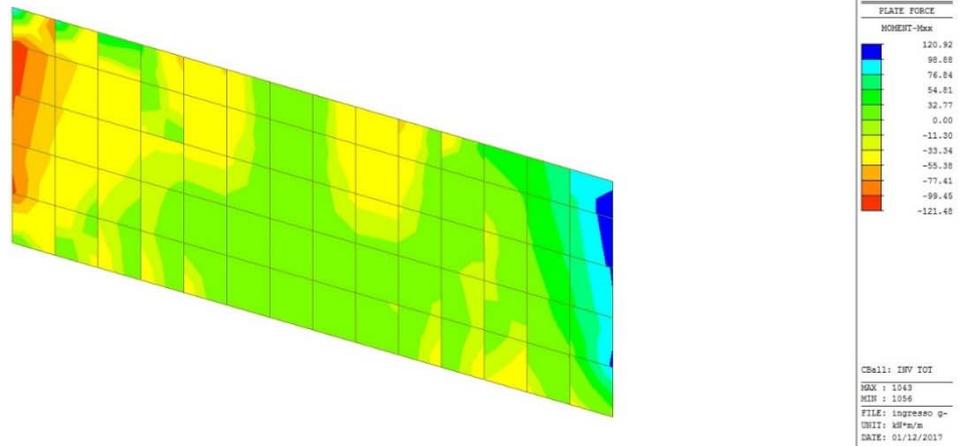


Figura 68 – Momento Flettente – Mxx

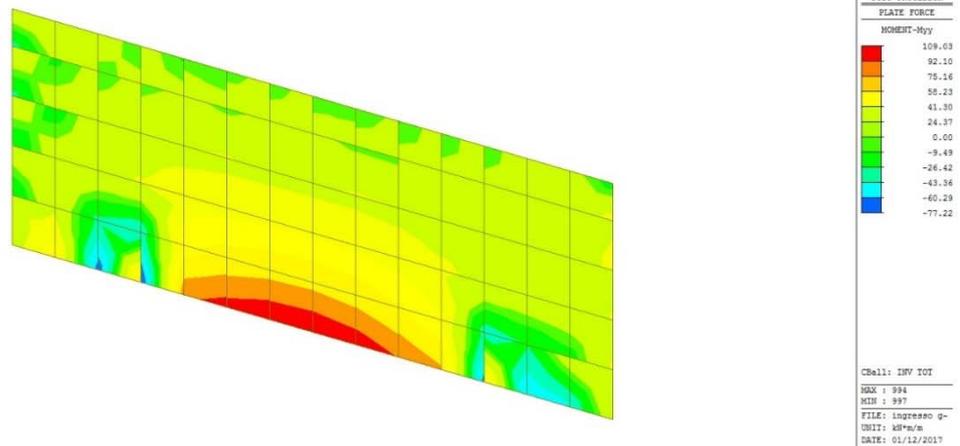
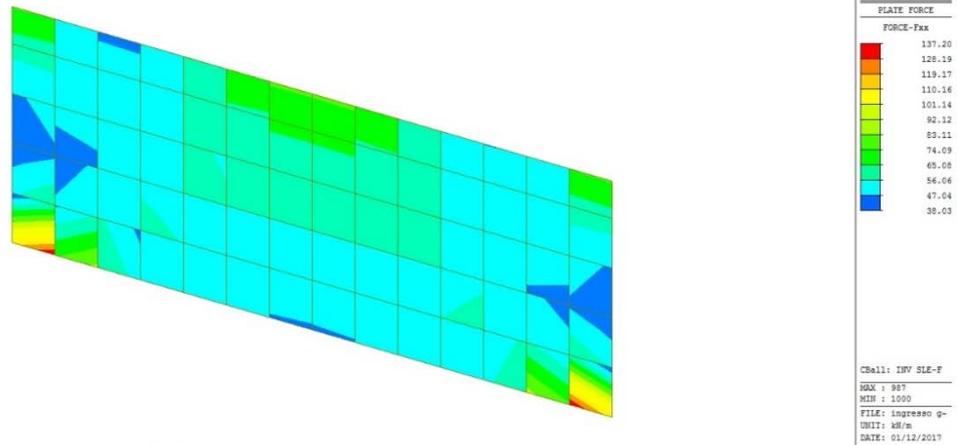
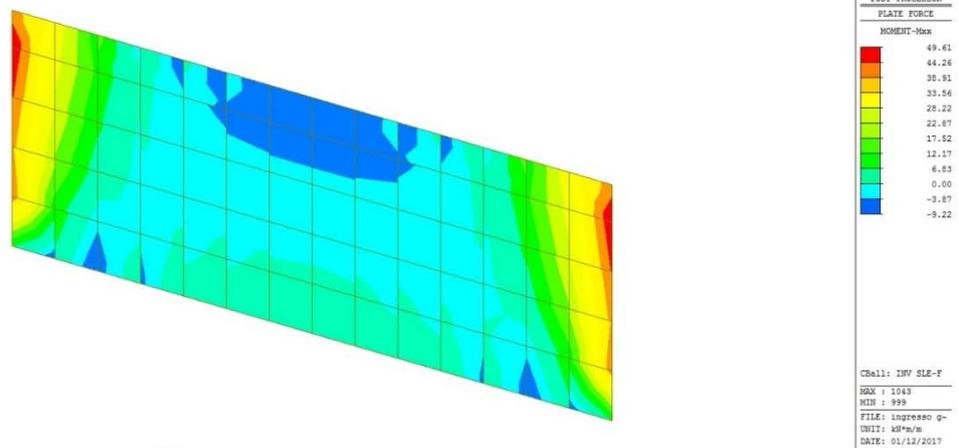


Figura 69 – Momento Flettente – Myy

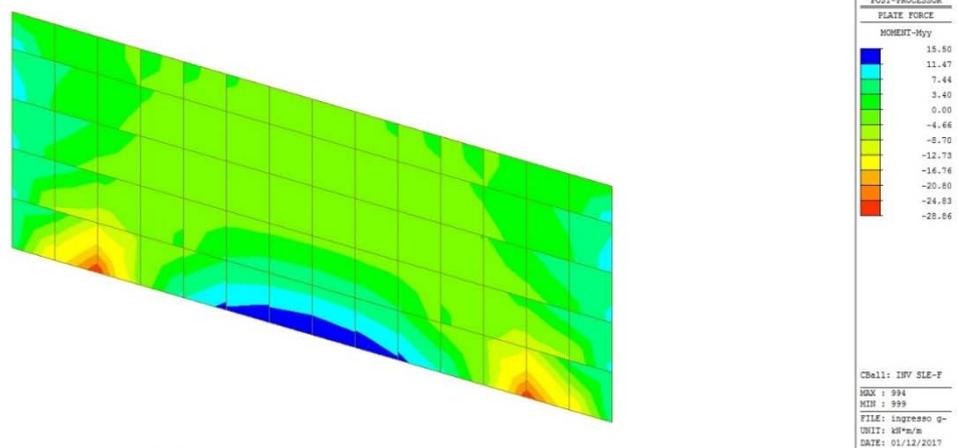
Le sollecitazioni agenti sul muro paraghiaia agli SLE risultano essere le seguenti:



**Figura 70 – Sforzo Normale – Fxx**

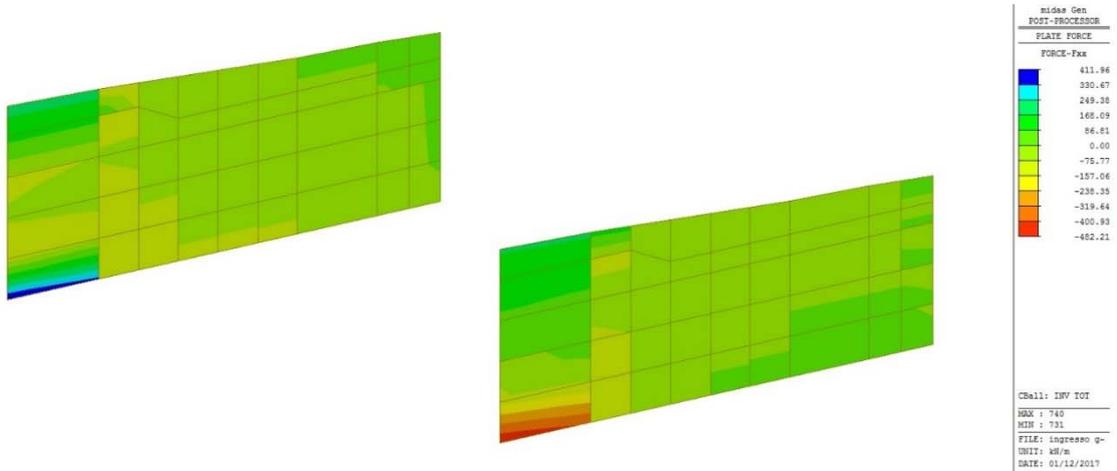


**Figura 71 – Momento Flettente – Mxx**

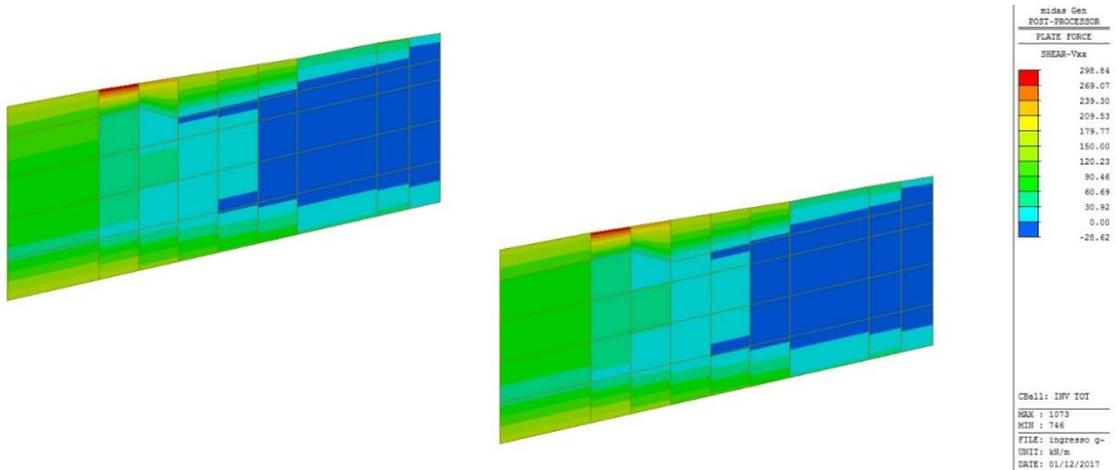


**Figura 72 – Momento Flettente – Myy**

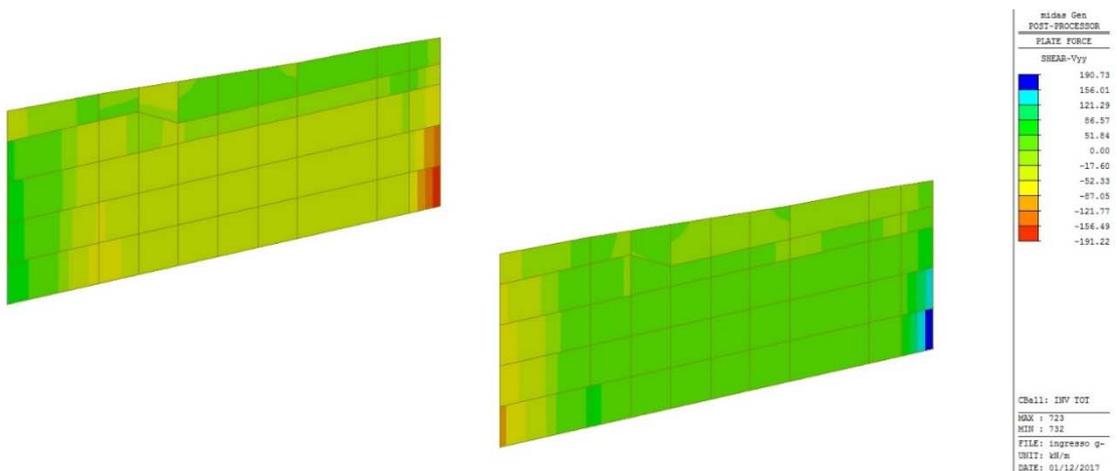
Le sollecitazioni agenti sulla parte superiore dei muri andatori agli SLU risultano essere le seguenti:



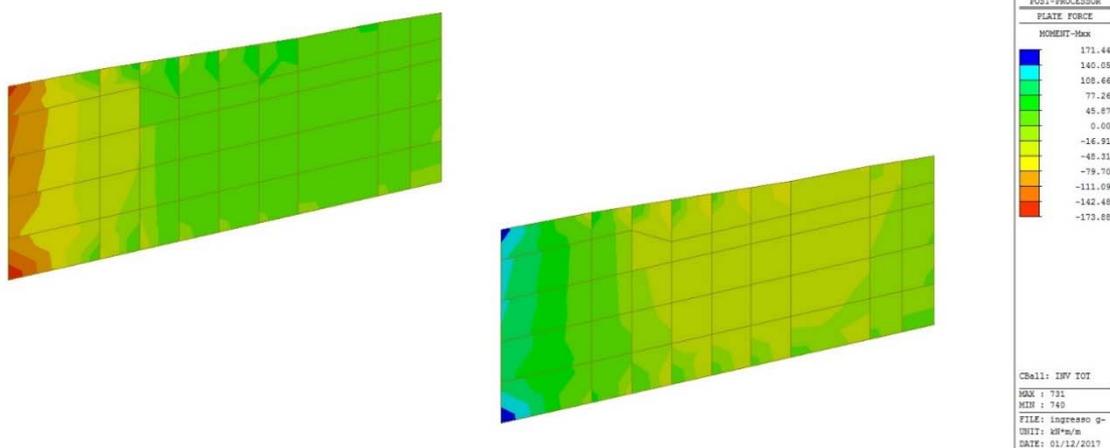
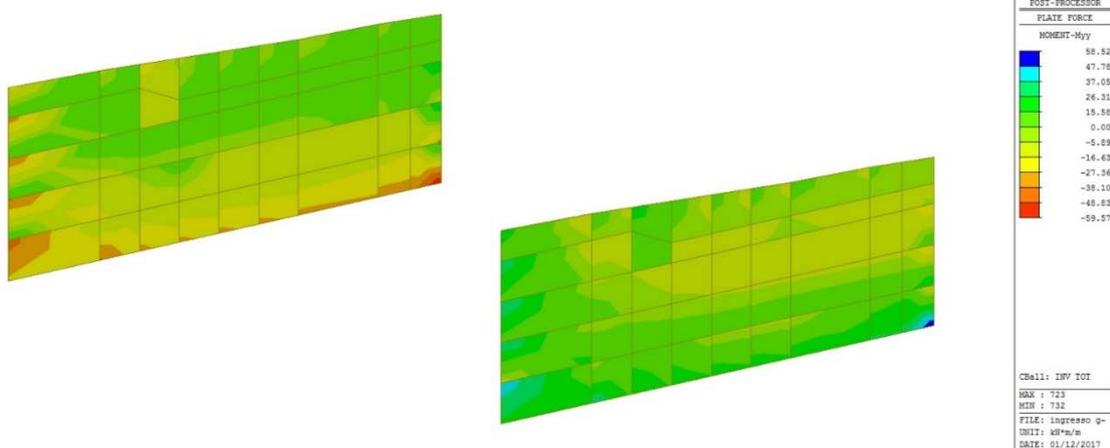
**Figura 73 – Sforzo Normale – Fxx**



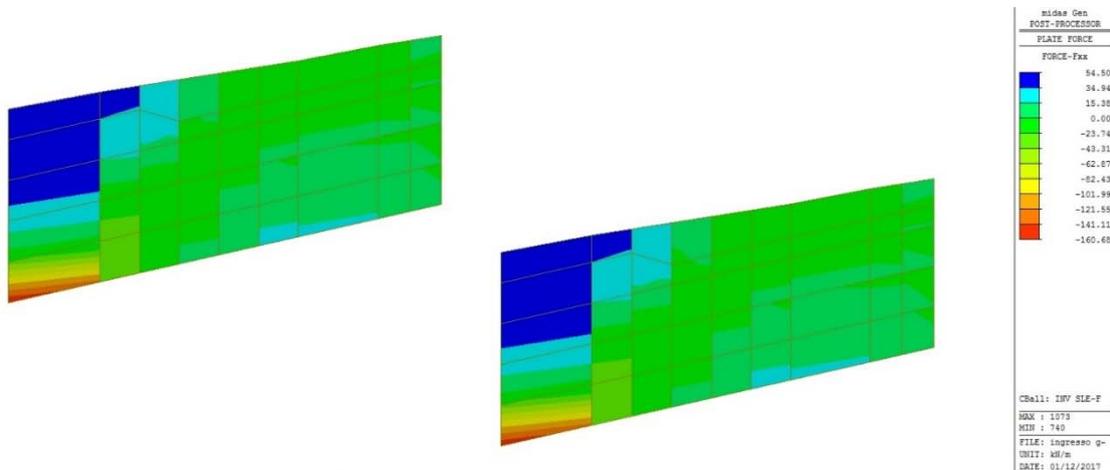
**Figura 74 – Taglio – Vxx**



**Figura 75 – Taglio – Vyy**

Figura 76 – Momento Flettente –  $M_{xx}$ Figura 77 – Momento Flettente –  $M_{yy}$ 

Le sollecitazioni agenti sulla parte superiore dei muri andatori agli SLE risultano essere le seguenti:

Figura 78 – Sforzo Normale –  $F_{xx}$

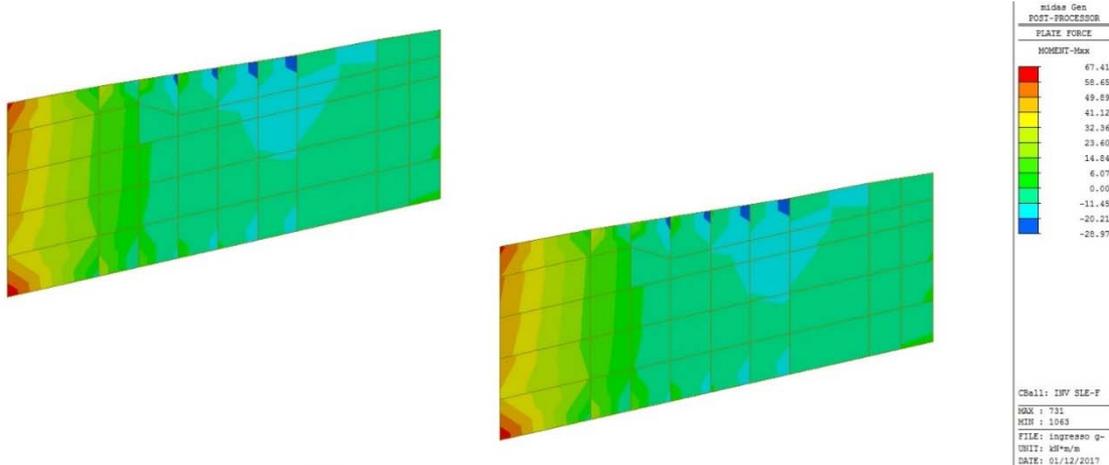


Figura 79 – Momento Flettente – Mxx

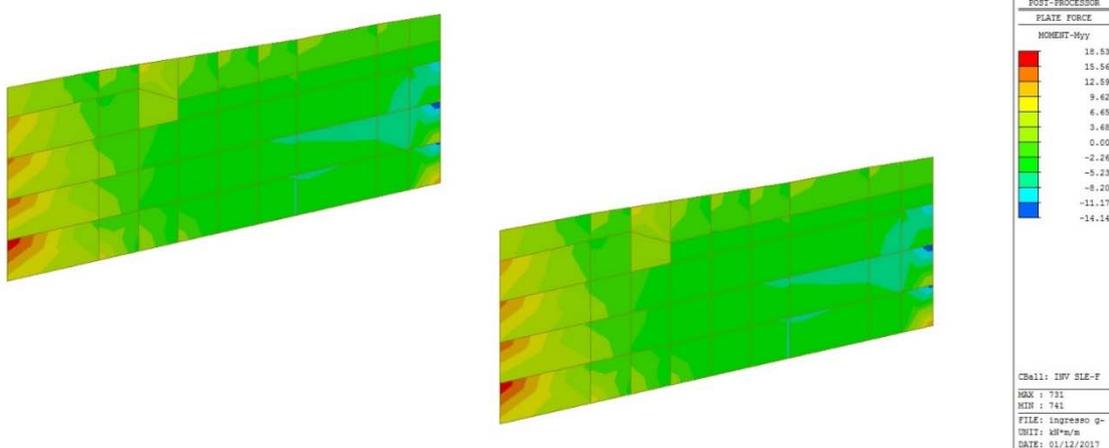


Figura 80 – Momento Flettente – Myy

Le sollecitazioni agenti sulla parte inferiore dei muri andatori agli SLU risultano essere le seguenti:

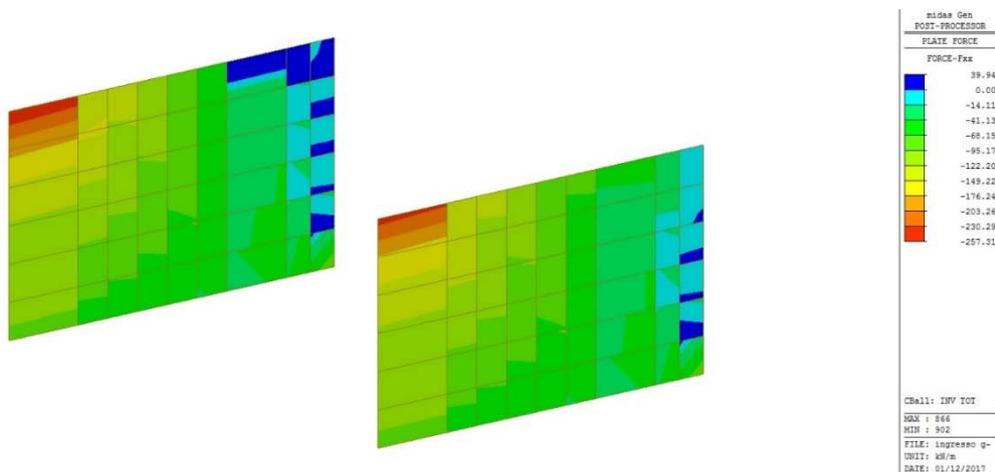
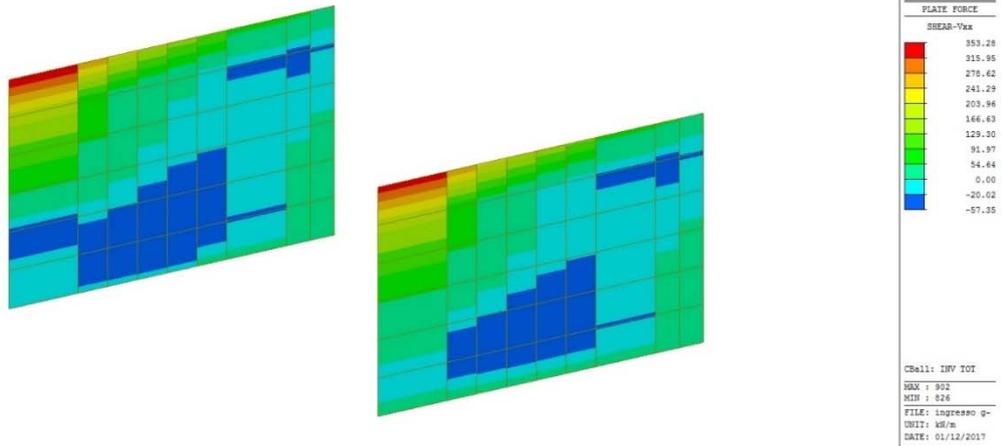
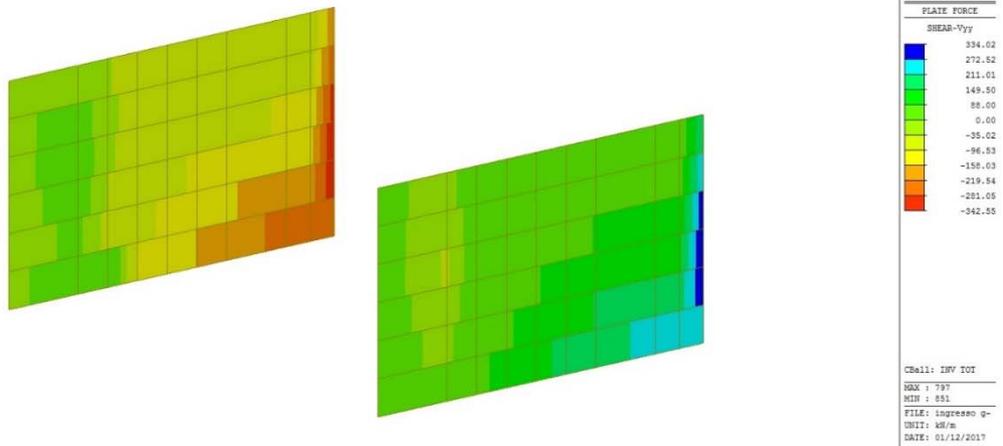
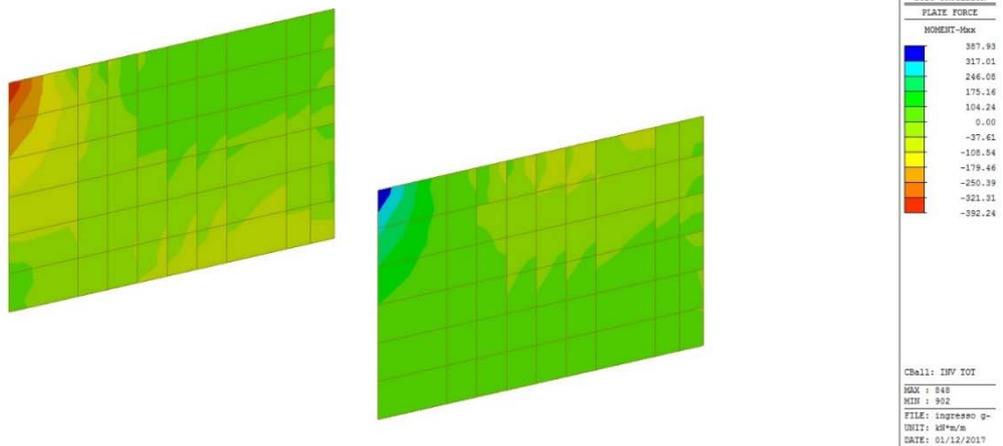


Figura 81 – Sforzo Normale – Fxx

Figura 82 – Taglio –  $V_{xx}$ Figura 83 – Taglio –  $V_{yy}$ Figura 84 – Momento Flettente –  $M_{xx}$

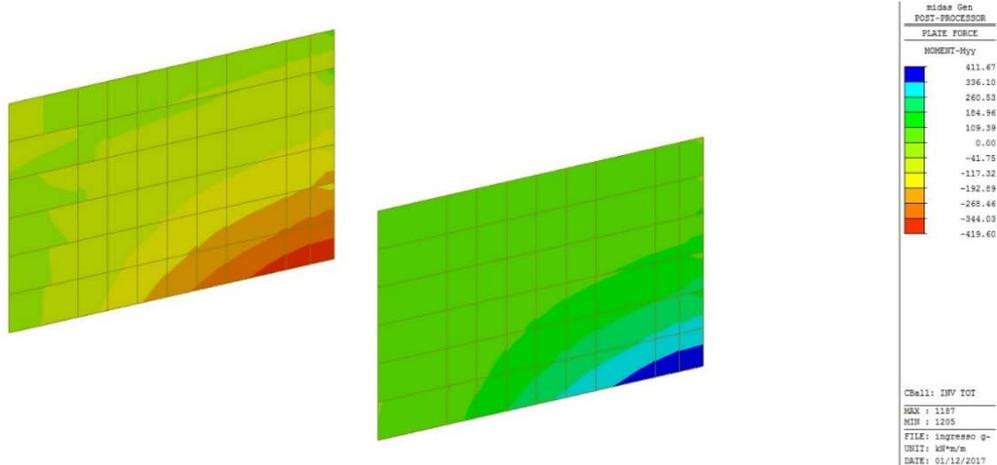


Figura 85 – Momento Flettente – Myy

Le sollecitazioni agenti sulla parte inferiore dei muri andatori agli SLE risultano essere le seguenti:

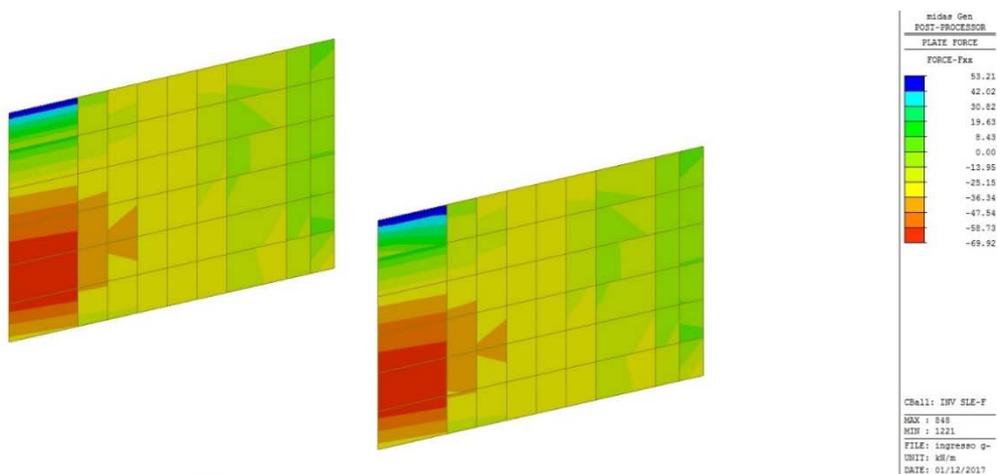


Figura 86 – Sforzo Normale – Fxx

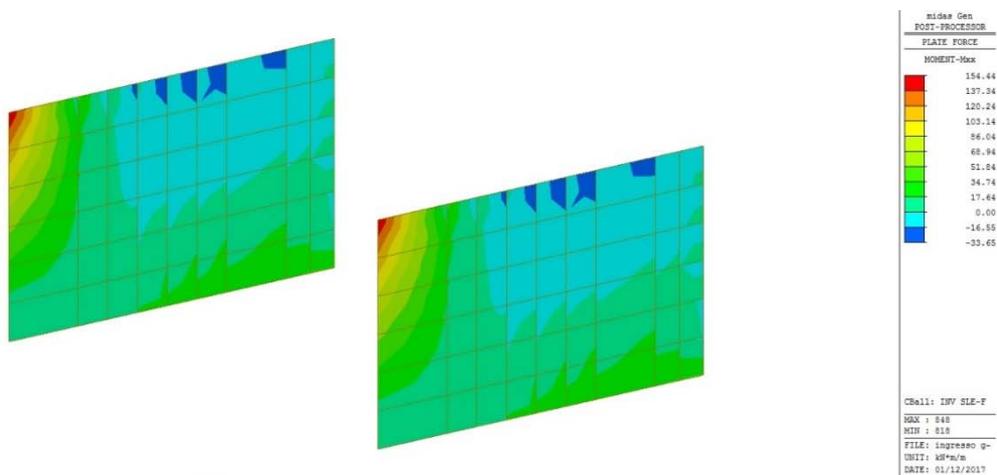
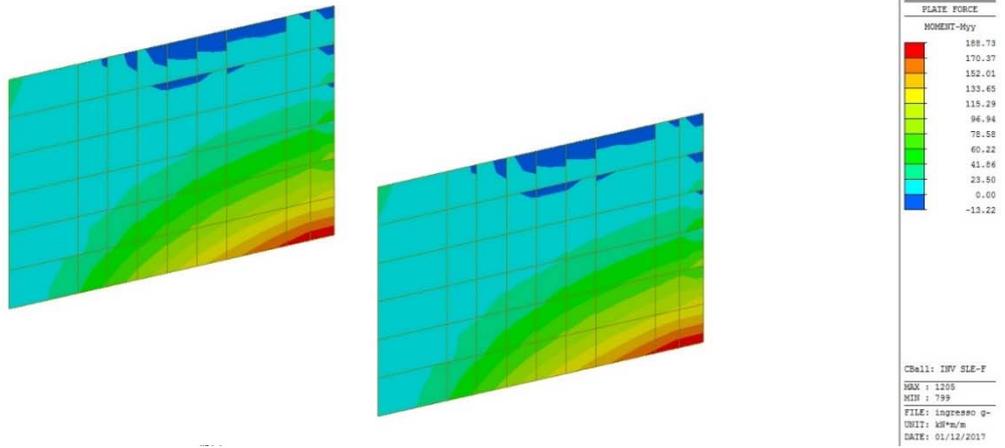


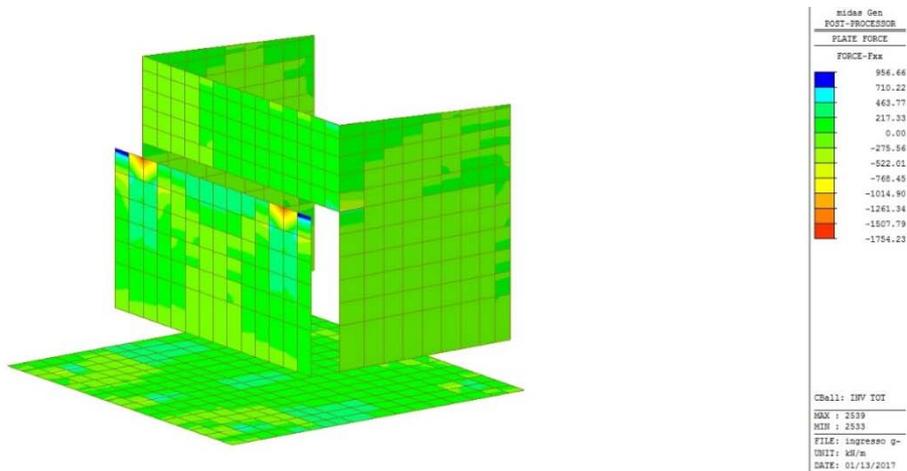
Figura 87 – Momento Flettente – Mxx



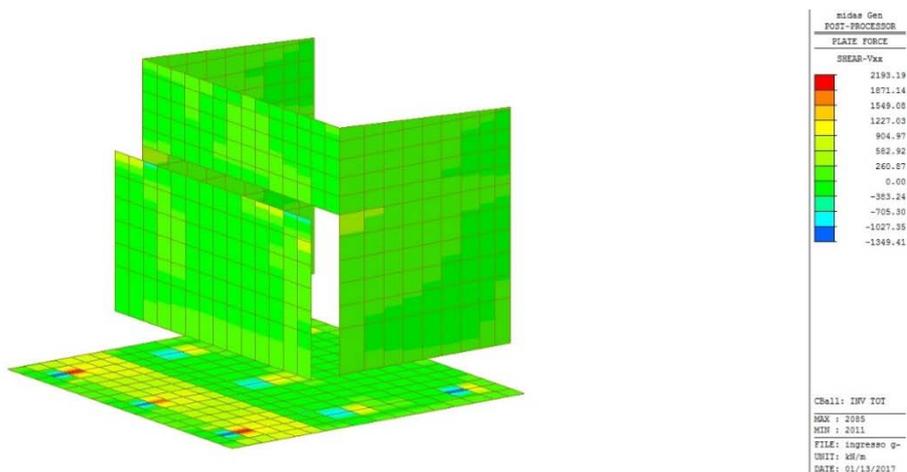
**Figura 88** – *Momento Flettente – Myy*

## 10.2 Sollecitazioni Spalla S4

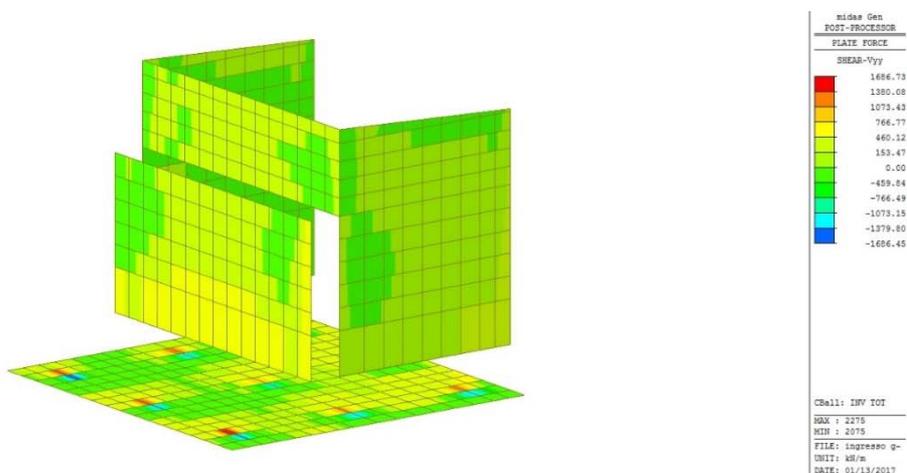
Si riportano di seguito, le sollecitazioni più gravose allo stato limite ultimo SLU ed allo stato limite di esercizio SLE utilizzate nelle verifiche degli elementi strutturali costituenti la spalla S4.



**Figura 89 – Sforzo Normale SLU – Fxx**



**Figura 90 – Taglio SLU – Vxx**



**Figura 91 – Taglio SLU – Vyy**

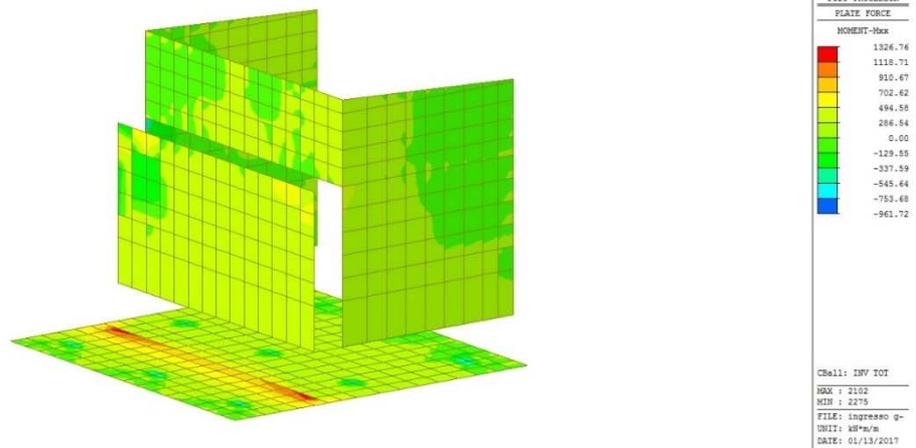


Figura 92 – Momento Flettente SLU – Mxx

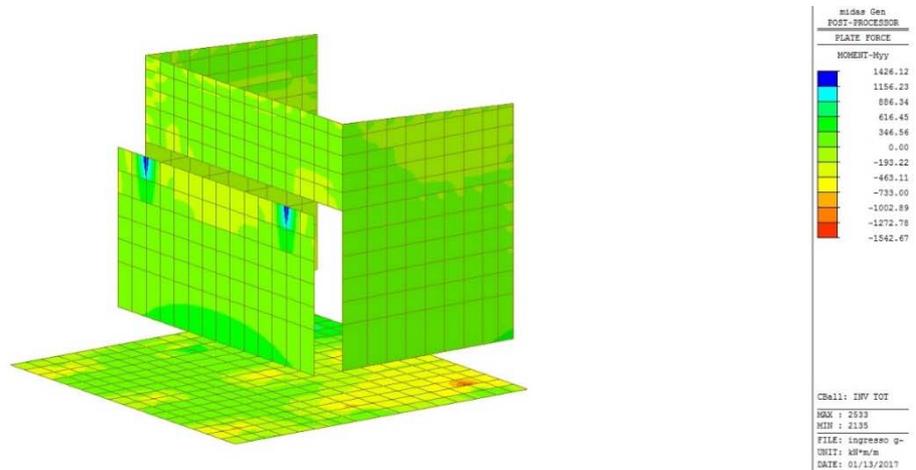


Figura 93 – Momento Flettente SLU – Myy

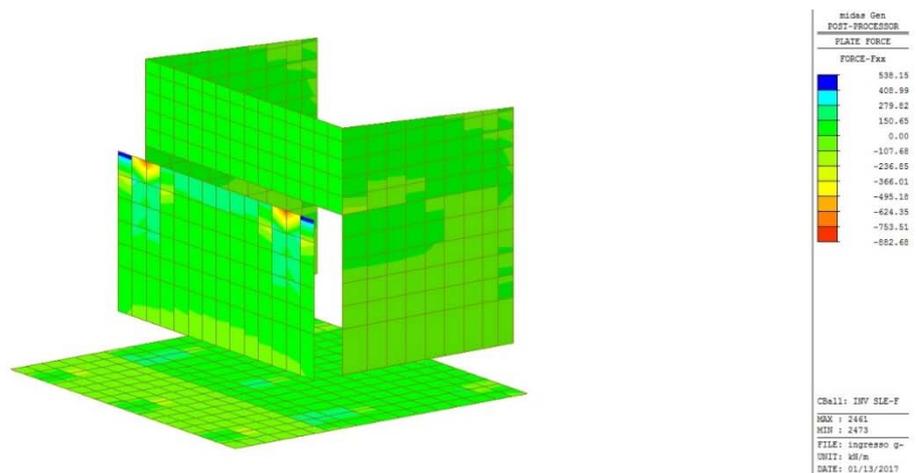


Figura 94 – Sforzo Normale SLE – Fxx

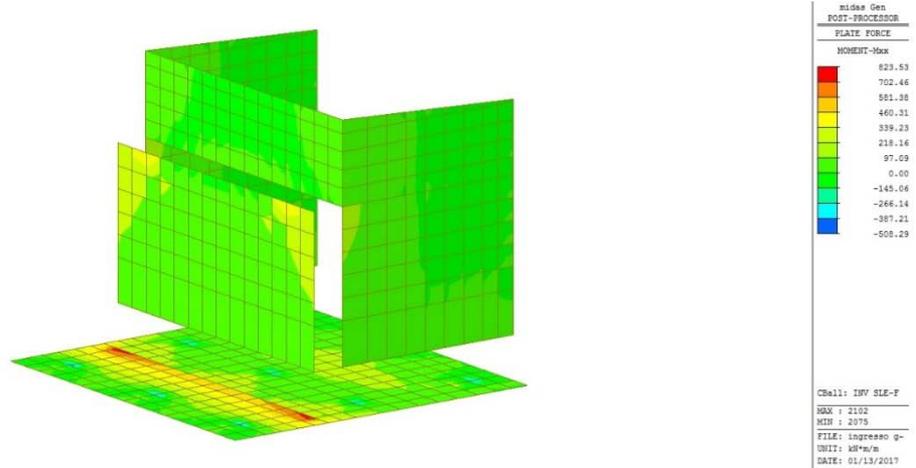


Figura 95 – Momento Flettente SLE – Mxx

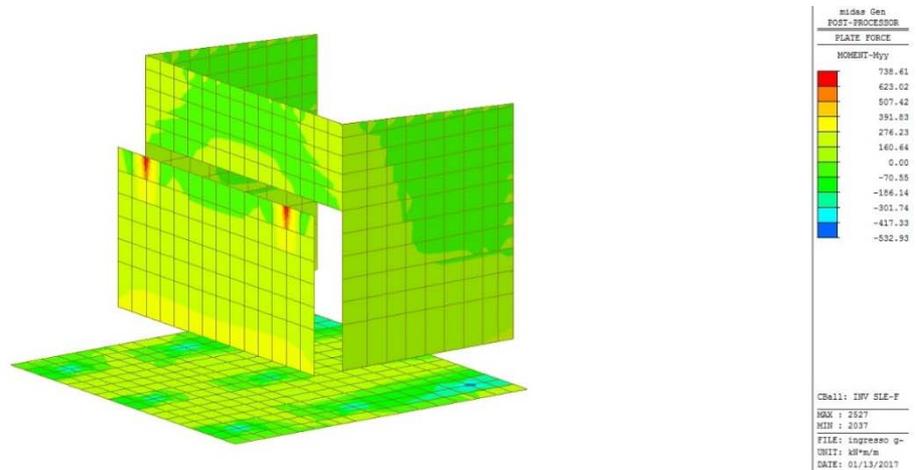


Figura 96 – Momento Flettente SLE – Myy

Le sollecitazioni agenti sulla zattera di fondazione agli SLU risultano essere le seguenti:

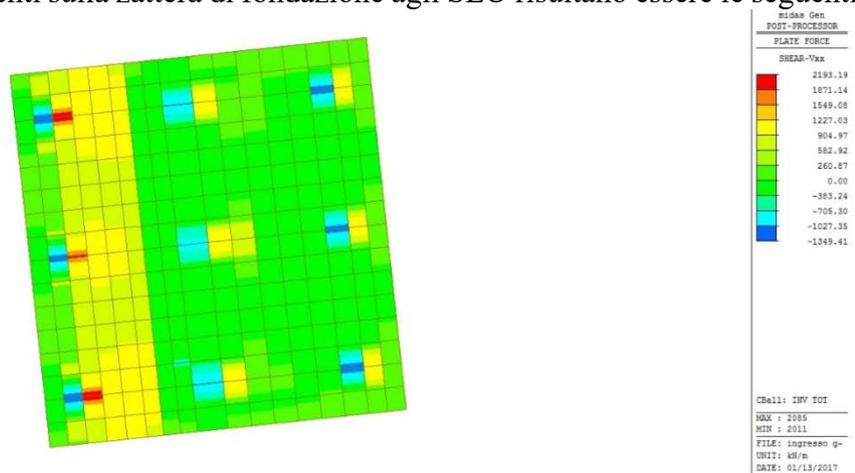


Figura 97 – Taglio – Vxx

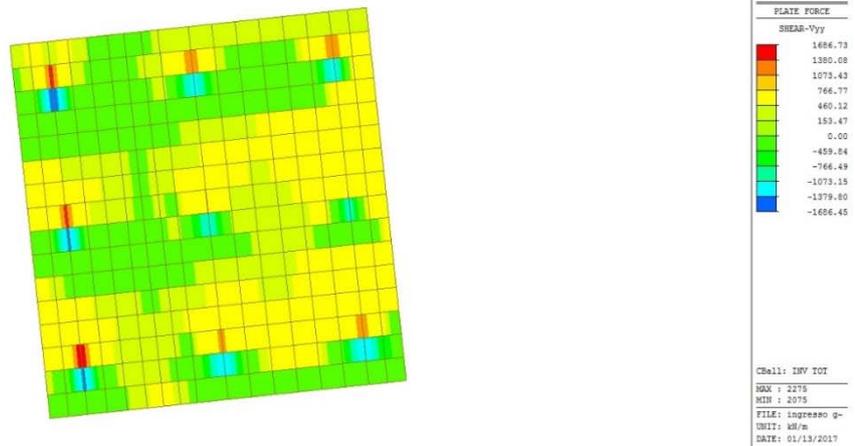


Figura 98 – Taglio – Vyy

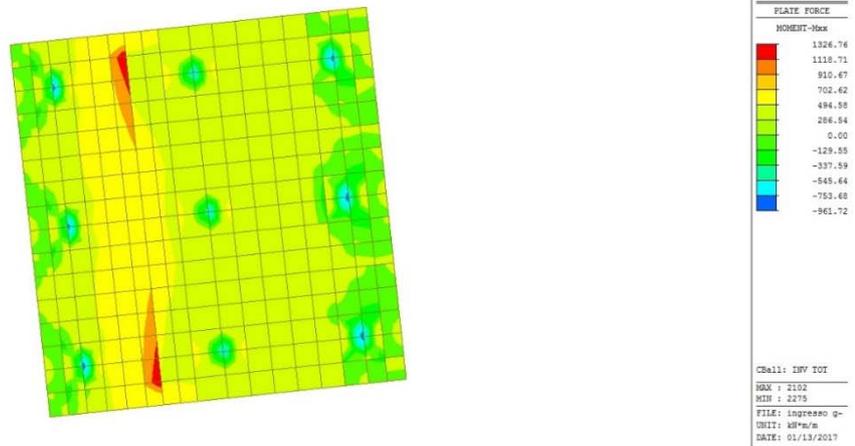


Figura 99 – Momento Flettente – Mxx

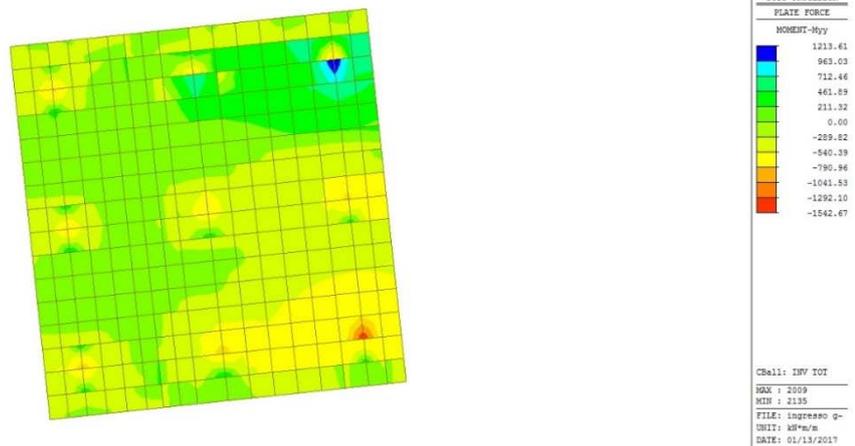
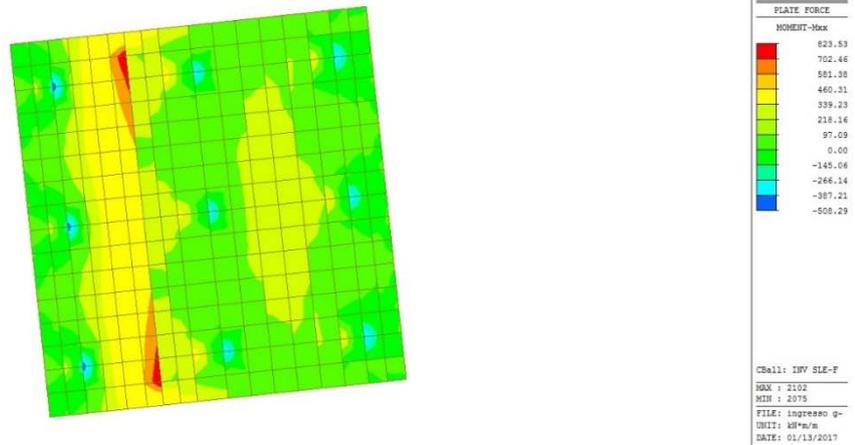
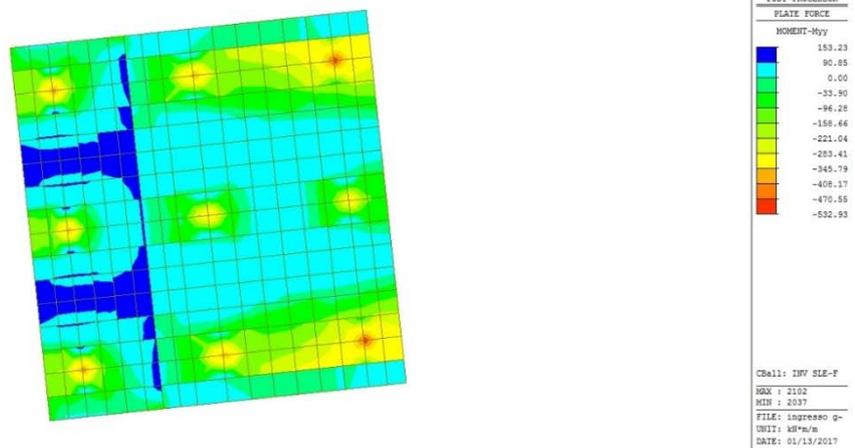


Figura 100 – Momento Flettente – Myy

Le sollecitazioni agenti sulla zattera di fondazione agli SLE risultano essere le seguenti:

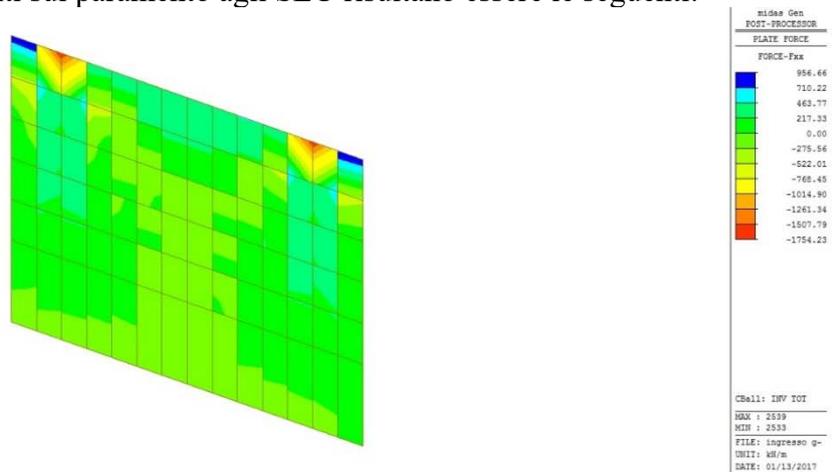


**Figura 101 – Momento Flettente –  $M_{xx}$**

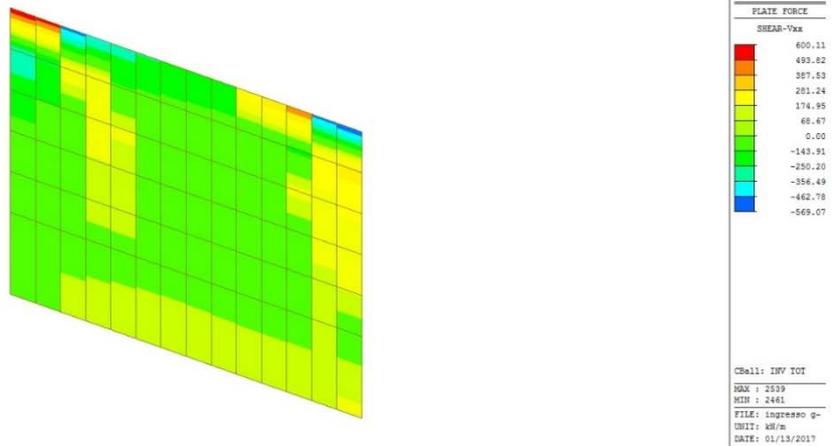
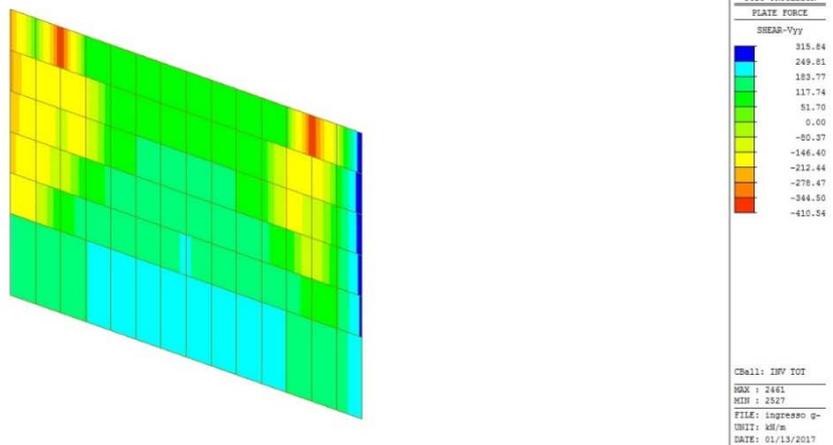
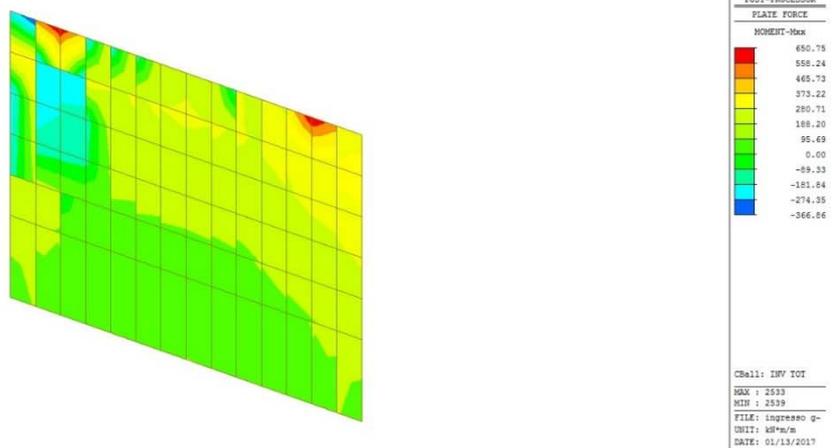


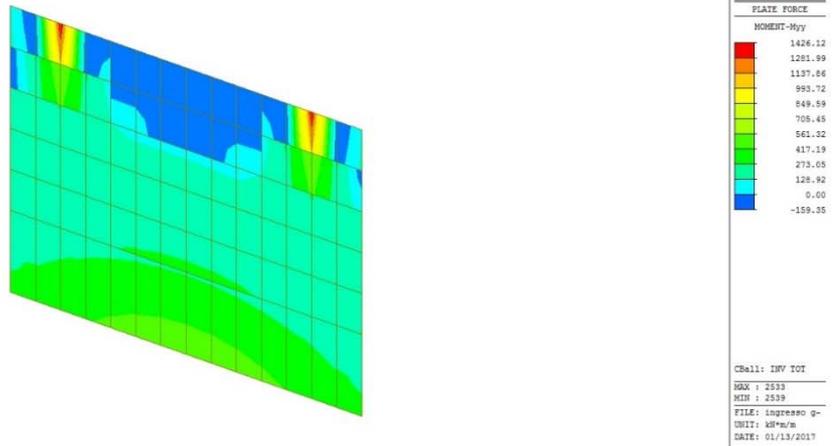
**Figura 102 – Momento Flettente –  $M_{yy}$**

Le sollecitazioni agenti sul paramento agli SLU risultano essere le seguenti:



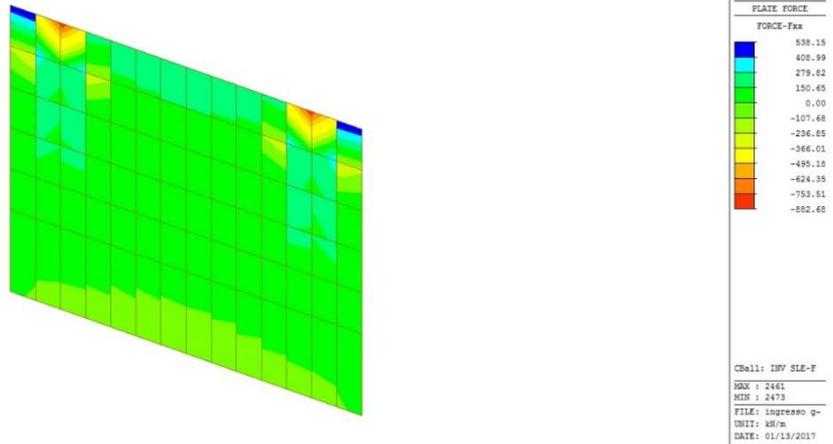
**Figura 103 – Sforzo Normale –  $F_{xx}$**

Figura 104 – Taglio –  $V_{xx}$ Figura 105 – Taglio –  $V_{yy}$ Figura 106 – Momento Flettente –  $M_{xx}$

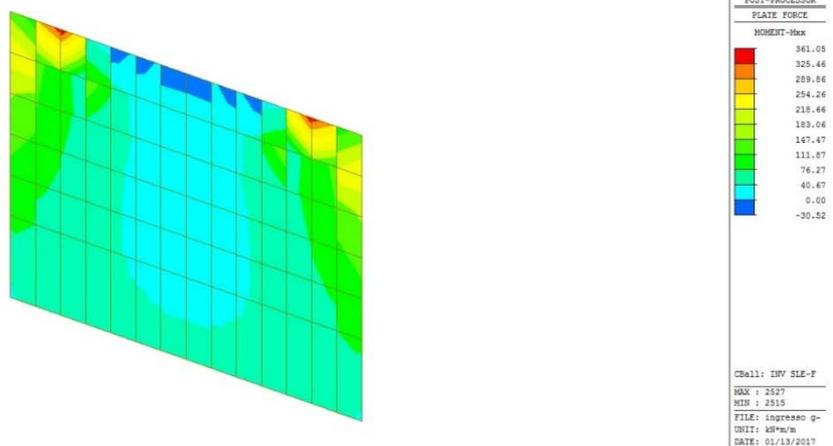


**Figura 107 – Momento Flettente –  $M_{xx}$**

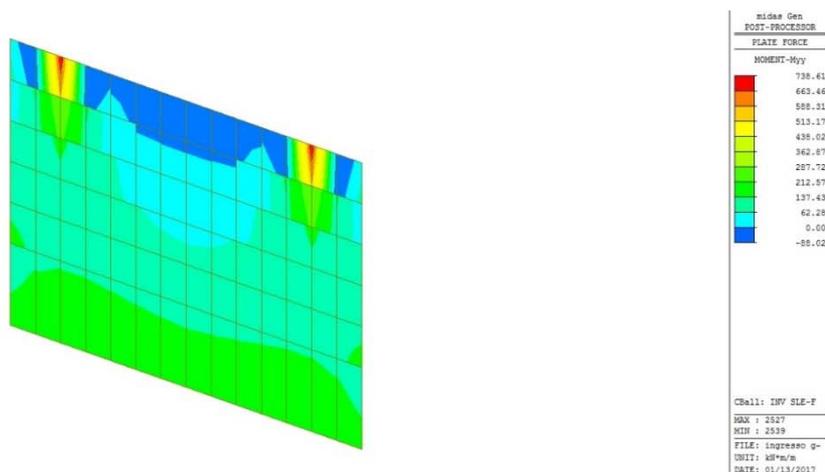
Le sollecitazioni agenti sul paramento agli SLE risultano essere le seguenti:



**Figura 108 – Sforzo Normale –  $F_{xx}$**



**Figura 109 – Momento Flettente –  $M_{xx}$**

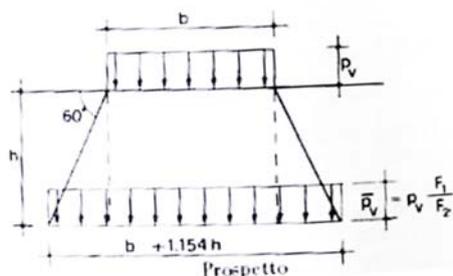


**Figura 110 – Momento Flettente – Myy**

Come già detto, per l'analisi del muro paraghiaia, è stato considerato, in accordo con il par. C.5.1.3.3.7.1 dalla Circ. 617/2009, lo schema di carico 1 con carico tandem distribuito su una superficie 3.00x2.20m, con diffusione del carico di 30° all'interno del rilevato.

Di seguito si riportano le sollecitazioni agenti sul muro paraghiaia, ottenute dall'analisi locale, in particolare considerando due combinazioni di carico, la prima GR1- SLU che considera il carico verticale massimo a tergo del muro e la seconda GR2-SLU, che considera l'azione di frenamento caratteristica e il carico verticale frequente:

| Gruppo di azioni | Carichi sulla carreggiata                           |                  |                            |                       | Carichi su marciapiedi e piste ciclabili |   |
|------------------|---|------------------|----------------------------|-----------------------|--|---|
|                  | Carichi verticali                                   |                  |                            | Carichi orizzontali   |  | Carichi verticali   |
|                  | Modello principale (Schemi di carico 1, 2, 3, 4, 6) | Veicoli speciali | Folla (Schema di carico 5) | Frenatura $q_3$       | Forza centrifuga $q_4$                   | Carico uniformemente distribuito                                    |
| 1                | Valore caratteristico                               |                  |                            |                       |  | Schema di carico 5 con valore di combinazione 2,5 kN/m <sup>2</sup> |
| 2 a              | Valore frequente                                    |                  |                            | Valore caratteristico |  |   |

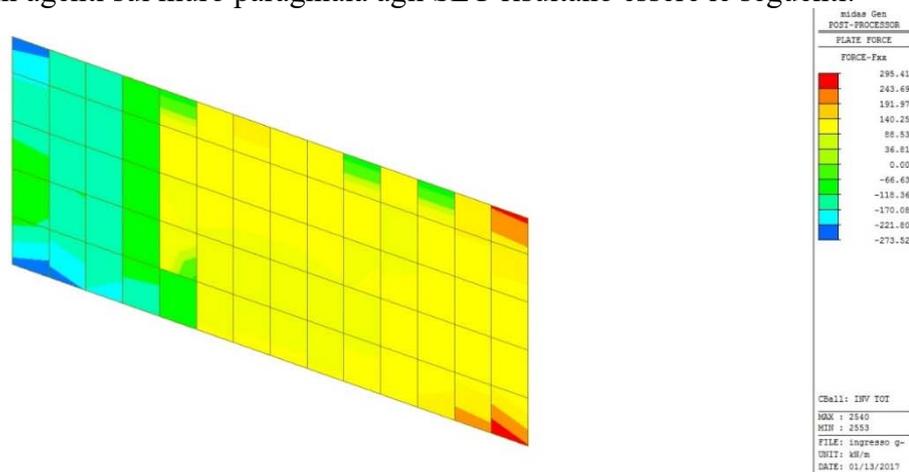


Inoltre si riporta anche la caratteristica dell'asollecitazione in combinazione SLE rara e frequente.

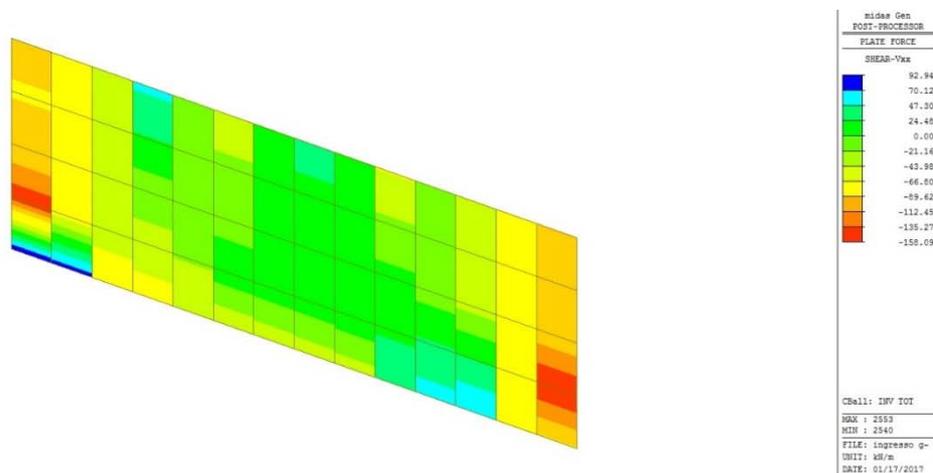
| COMBINAZIONE<br>DI CARICO | <b>M</b>    | <b>V</b> |
|---------------------------|-------------|----------|
|                           | [kN<br>m/m] | [kN /m]  |
| <b>GR1 - SLU</b>          | 96.0        | 94.6     |
| <b>GR2 - SLU</b>          | 147.6       | 109.7    |
| <b>GR2 - SLE-rara</b>     | 109.4       | 81.3     |
| <b>GR1 - SLE-freq.</b>    | 53.1        | 53.1     |

Per le verifiche si farà riferimento al valore massimo di sollecitazione ottenuto tra i valori sopra riportati, ottenuti dall'analisi locale ed i risultati ottenuti sul modello globale di seguito illustrati.

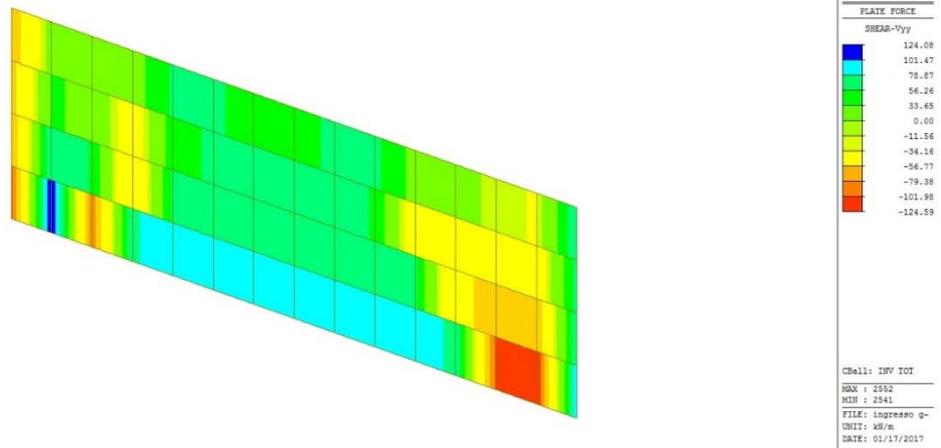
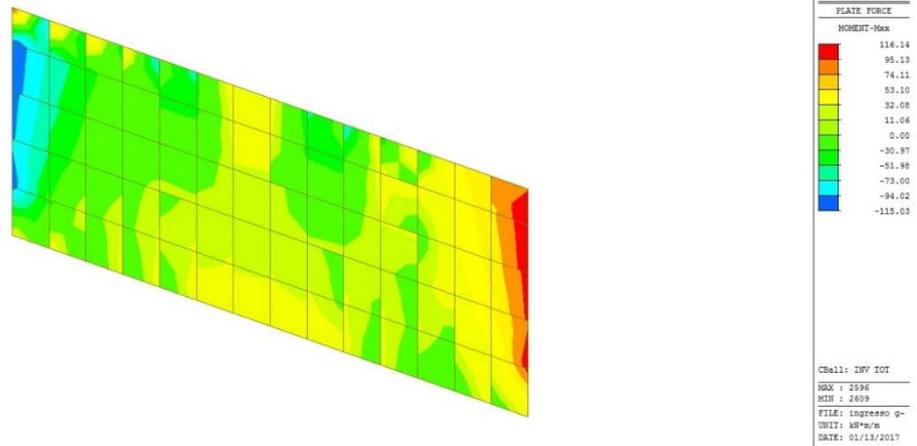
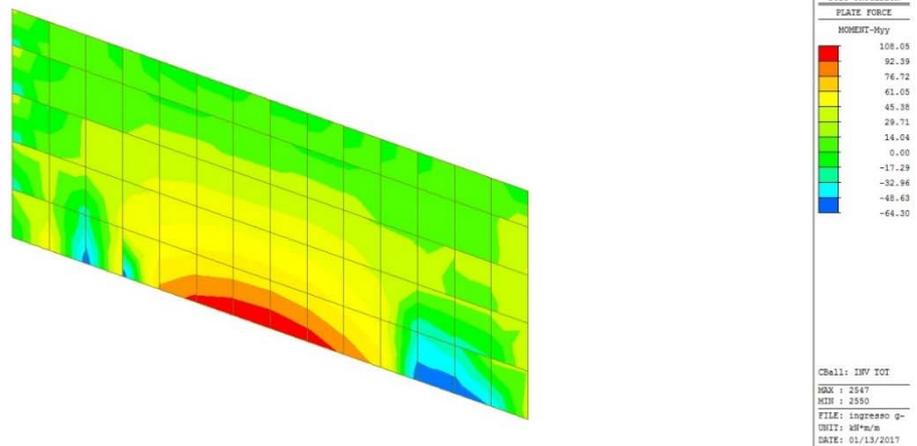
Le sollecitazioni agenti sul muro paraghiaia agli SLU risultano essere le seguenti:



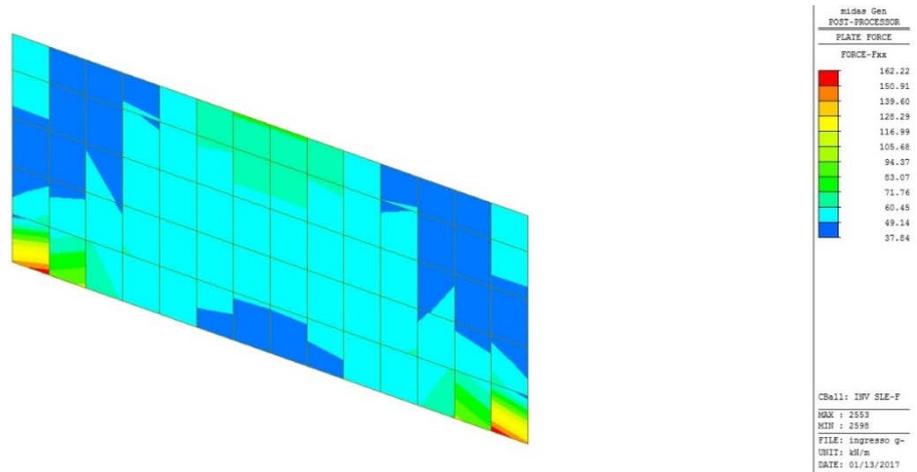
**Figura 111 – Sforzo Normale – Fxx**



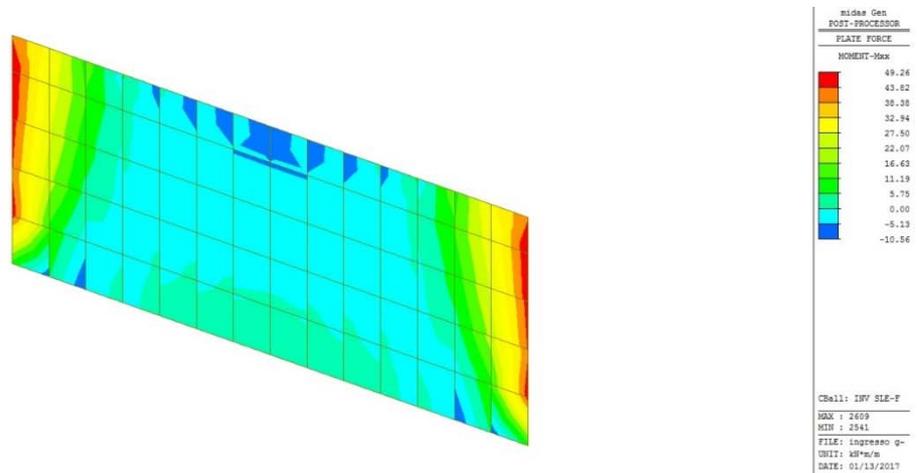
**Figura 112 – Taglio – Vxx**

Figura 113 – Taglio –  $V_{yy}$ Figura 114 – Momento Flettente –  $M_{xx}$ Figura 115 – Momento Flettente –  $M_{yy}$

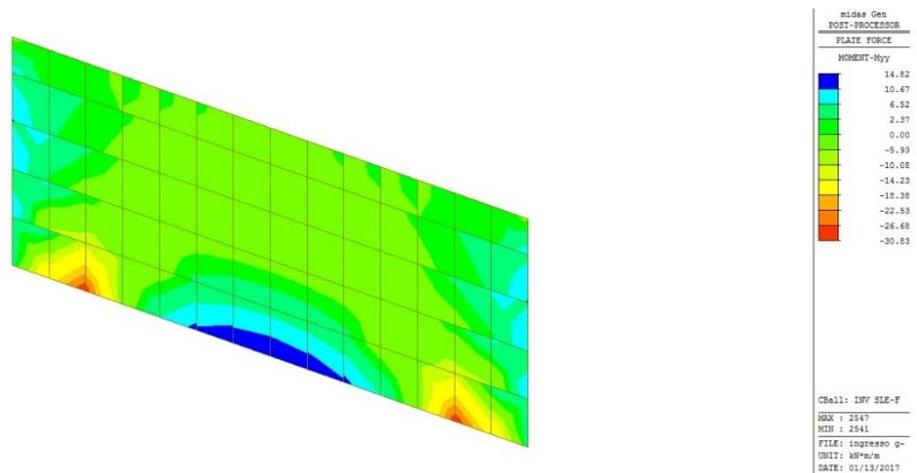
Le sollecitazioni agenti sul muro paraghiaia agli SLE risultano essere le seguenti:



**Figura 116 – Sforzo Normale – Fxx**

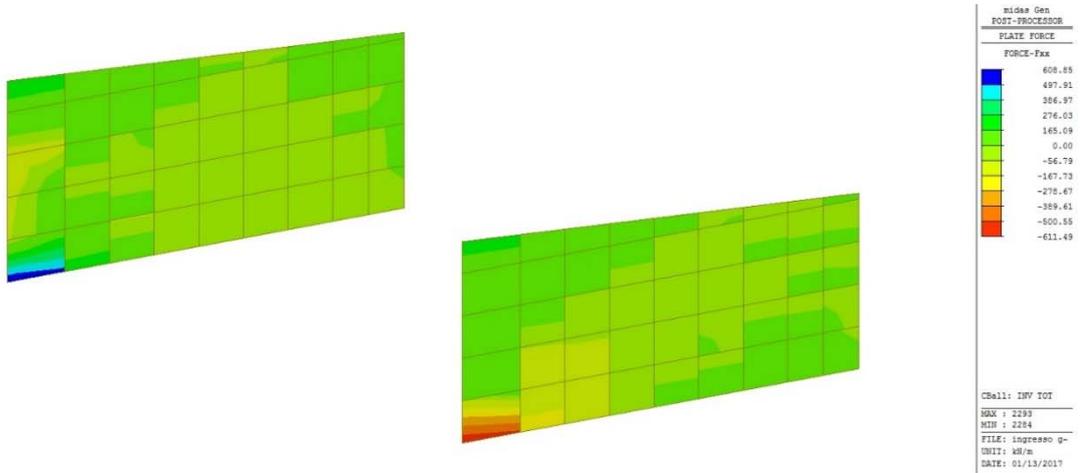


**Figura 117 – Momento Flettente – Mxx**

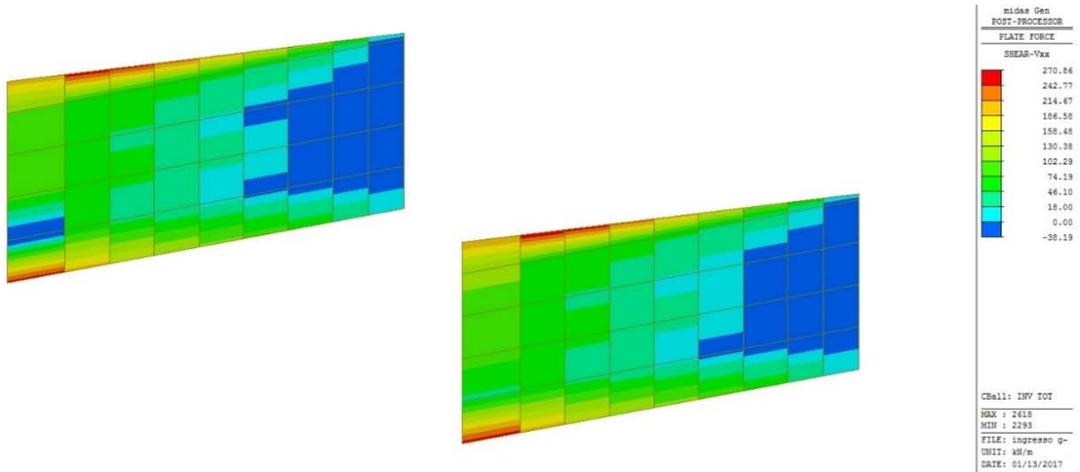


**Figura 118 – Momento Flettente – Myy**

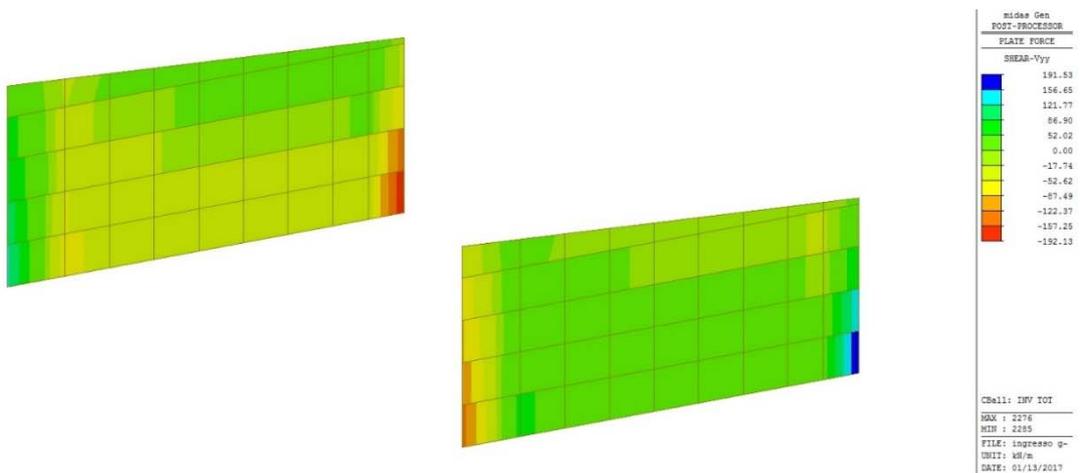
Le sollecitazioni agenti sulla parte superiore dei muri andatori agli SLU risultano essere le seguenti:



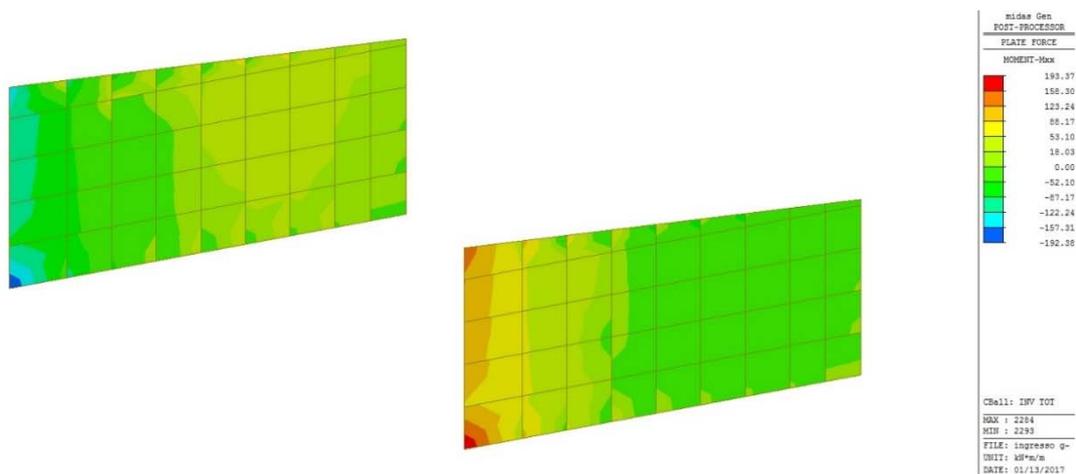
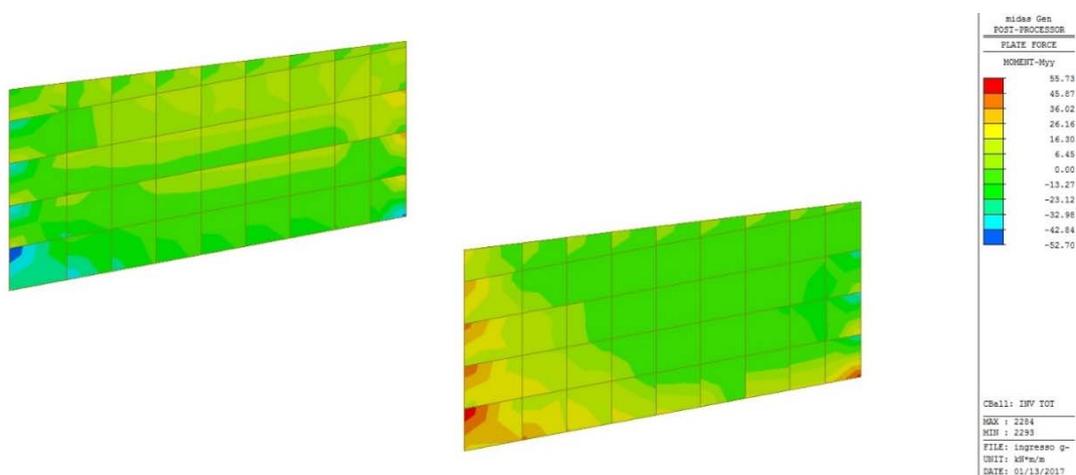
**Figura 119 – Sforzo Normale –  $F_{xx}$**



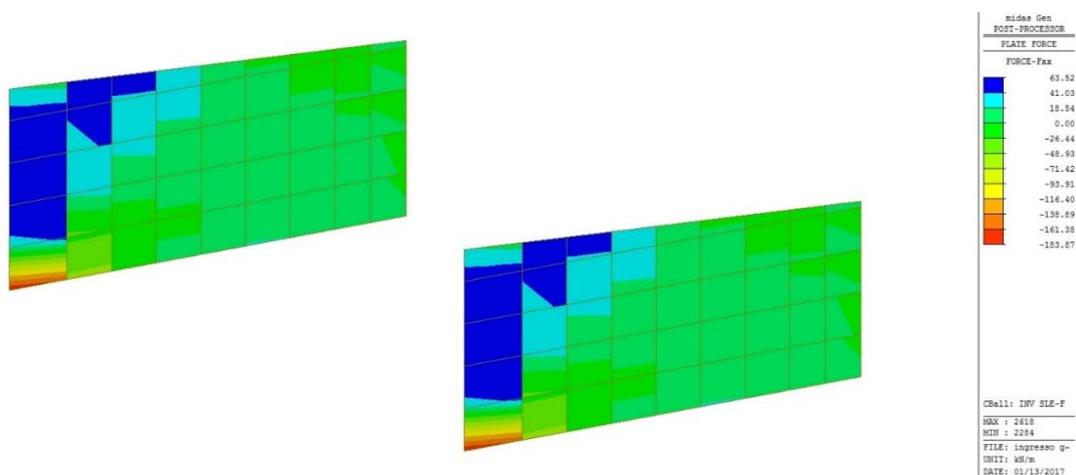
**Figura 120 – Taglio –  $V_{xx}$**

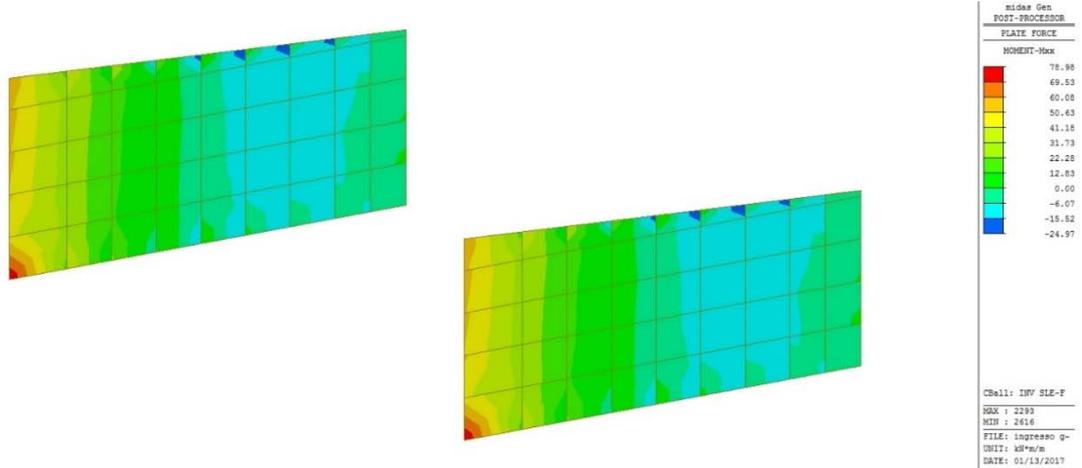
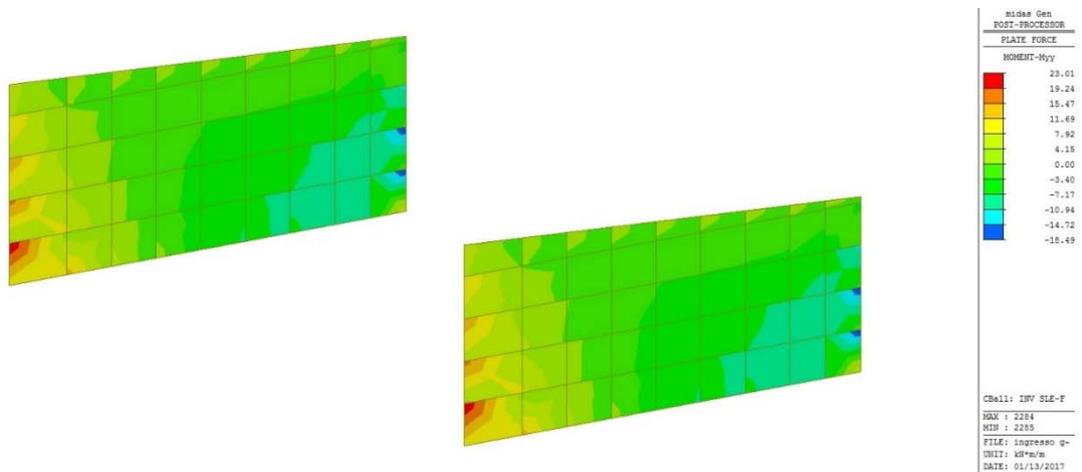


**Figura 121 – Taglio –  $V_{yy}$**

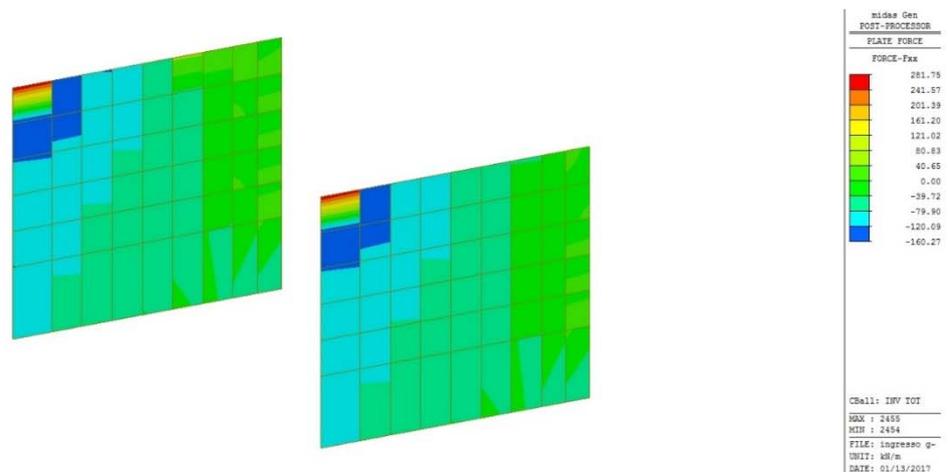
Figura 122 – Momento Flettente –  $M_{xx}$ Figura 123 – Momento Flettente –  $M_{yy}$ 

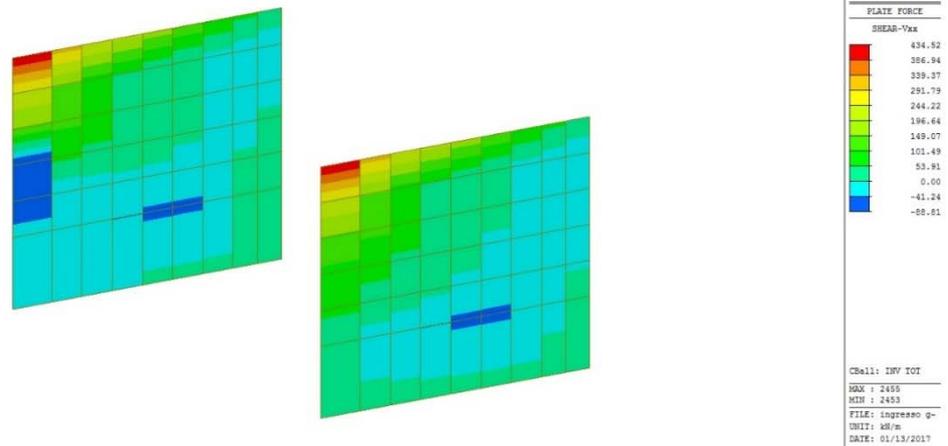
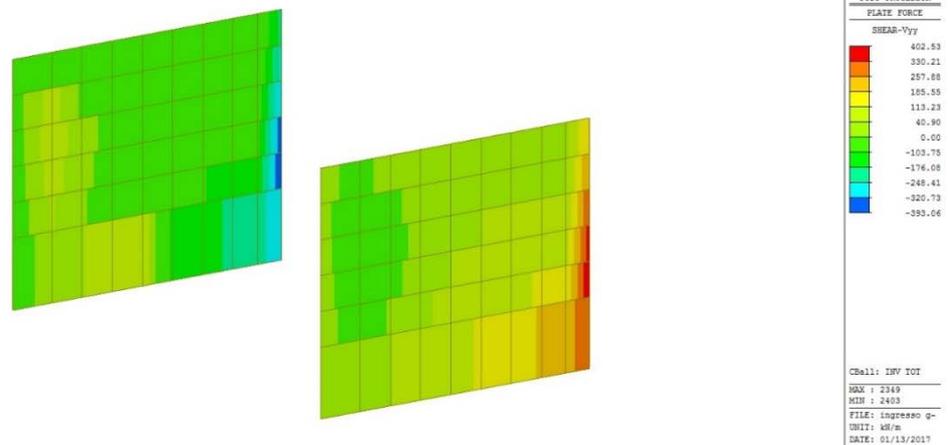
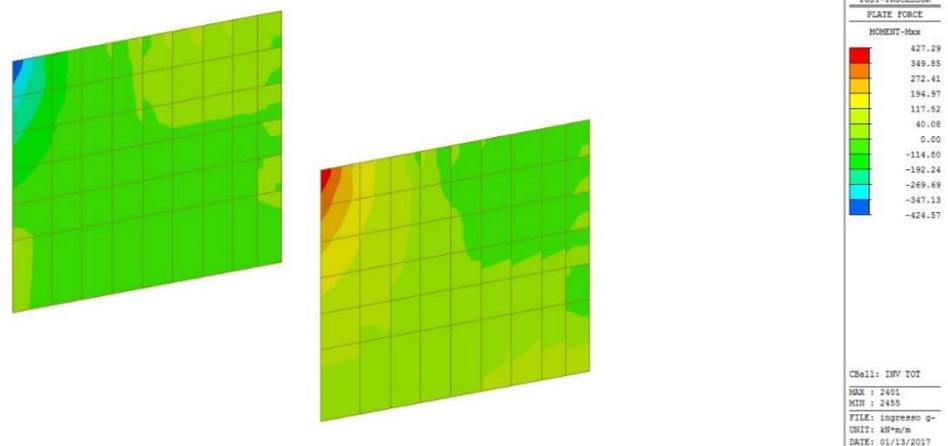
Le sollecitazioni agenti sulla parte superiore dei muri andatori agli SLE risultano essere le seguenti:

Figura 124 – Sforzo Normale –  $F_{xx}$

Figura 125 – Momento Flettente –  $M_{xx}$ Figura 126 – Momento Flettente –  $M_{yy}$ 

Le sollecitazioni agenti sulla parte inferiore dei muri andatori agli SLU risultano essere le seguenti:

Figura 127 – Sforzo Normale –  $F_{xx}$

Figura 128 – Taglio –  $V_{xx}$ Figura 129 – Taglio –  $V_{yy}$ Figura 130 – Momento Flettente –  $M_{xx}$

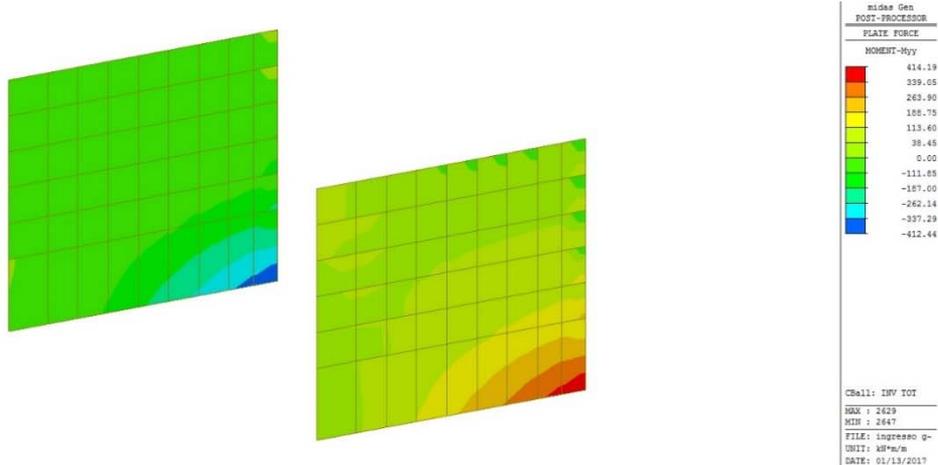


Figura 131 – Momento Flettente – Myy

Le sollecitazioni agenti sulla parte inferiore dei muri andatori agli SLE risultano essere le seguenti:

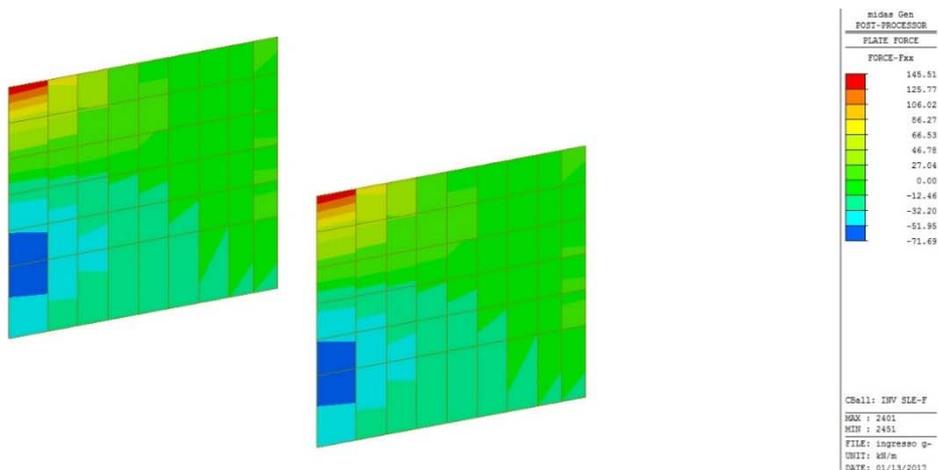


Figura 132 – Sforzo Normale – Fxx

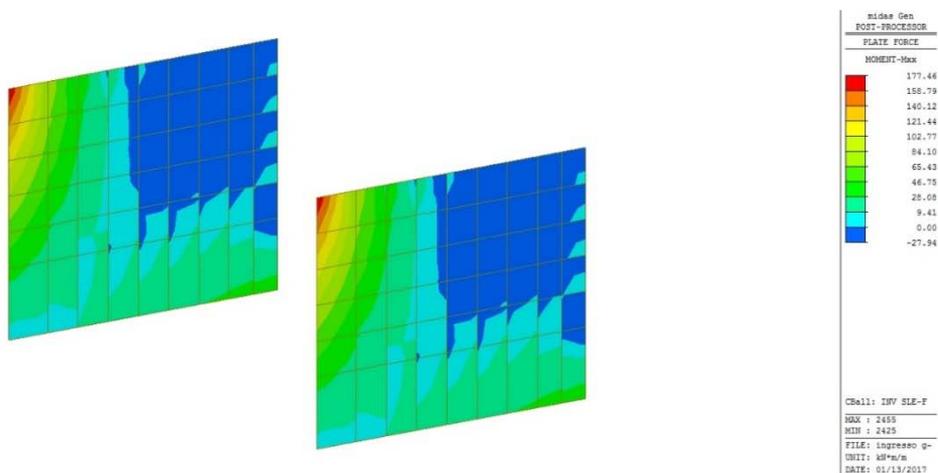
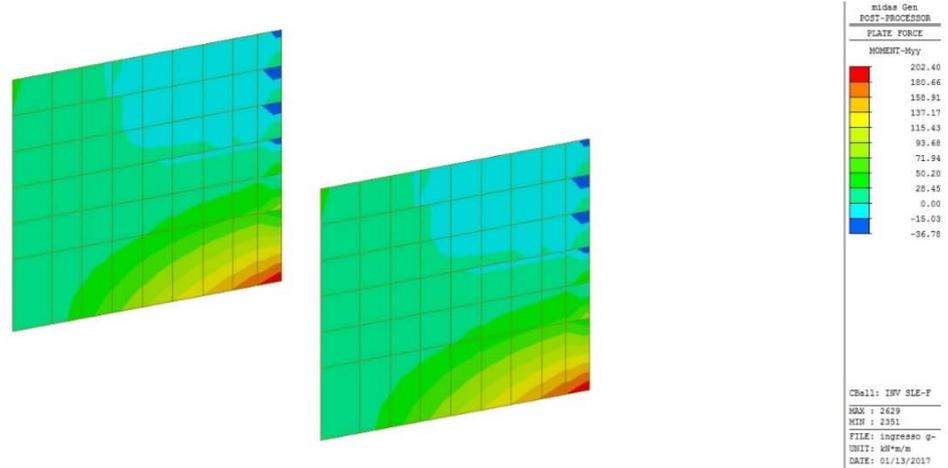


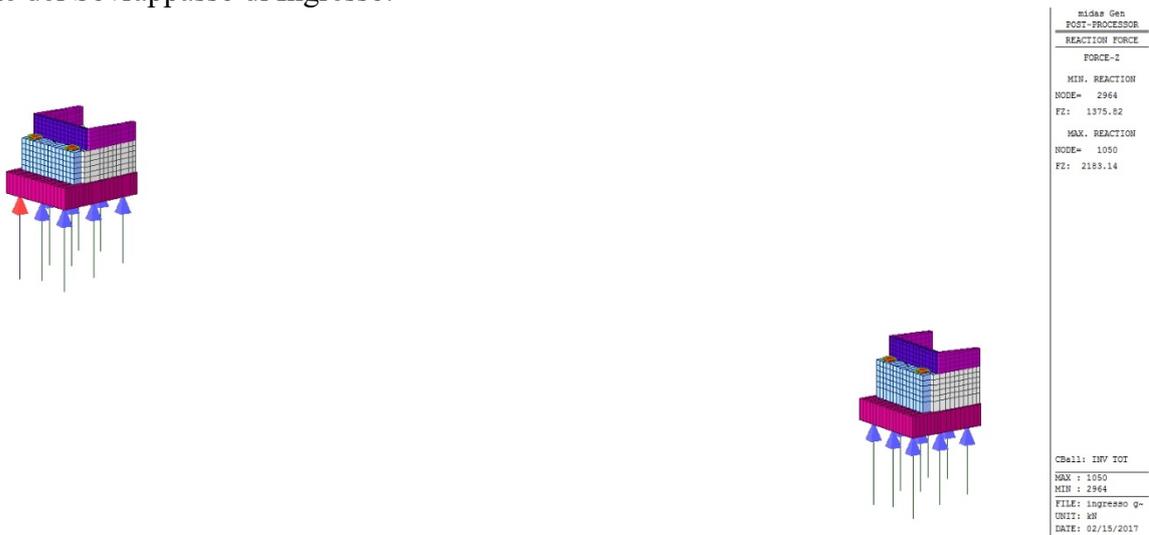
Figura 133 – Momento Flettente – Mxx



**Figura 134 – Momento Flettente – Myy**

### 10.3 Scarichi in fondazione Spalle S3/S4

Si riportano, di seguito, gli scarichi in fondazione degli elementi strutturali costituenti le Spalle del Sovrappasso di Ingresso.



**Figura 135 – Scarichi in fondazione**

## 10.4 Verifica della zattera fondazione – Spalla S3

Si riportano in questo paragrafo le verifiche relative alla zattera di fondazione della Spalla S3 del Sovrappasso di Ingresso dell'opera in oggetto.

### 10.4.1 Verifiche SLU

#### 10.4.1.1 Verifiche a flessione

Si considera un'armatura, lungo le due direzioni orizzontali principali, costituita da  $\Phi 32/20$  superiore ed inferiore.

**Titolo :** \_\_\_\_\_

N° strati barre  Zoom

| N° | b [cm] | h [cm] | N° | As [cm²] | d [cm] |
|----|--------|--------|----|----------|--------|
| 1  | 100    | 200    | 1  | 40.21    | 6      |
|    |        |        | 2  | 40.21    | 194    |

**Tipologia Sezione**  
 Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

**Sollecitazioni**  
 S.L.U.  Metodo n

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

**Tipologia rottura**  
 Lato acciaio - Acciaio snervato

**Materiali**  
 B450C C28/35  
 $\epsilon_{su}$  67.5 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰  
 $f_{yd}$  391.3 N/mm²  $\epsilon_{cu}$  3.5 ‰  
 $E_s$  200,000 N/mm²  $f_{cd}$  15.87  
 $E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  0.8  
 $\epsilon_{syd}$  1.957 ‰  $\sigma_{c,adm}$  11  
 $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm²  $\tau_{co}$  0.6667  
 $\tau_{c1}$  1.971

$M_{xRd}$  2,985 kN m  
 $\sigma_c$  -15.87 N/mm²  
 $\sigma_s$  391.3 N/mm²  
 $\epsilon_c$  2.904 ‰  
 $\epsilon_s$  67.5 ‰  
 d 194 cm  
 x 8.003 x/d 0.04125  
 $\delta$  0.7

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

**Tipologia flessione**  
 Retta  Deviata

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

Precompresso

Figura 136 – Verifica a Flessione – Mxx

**Titolo :** \_\_\_\_\_

N° strati barre  Zoom

| N° | b [cm] | h [cm] | N° | As [cm²] | d [cm] |
|----|--------|--------|----|----------|--------|
| 1  | 100    | 200    | 1  | 40.21    | 6      |
|    |        |        | 2  | 40.21    | 194    |

**Tipologia Sezione**  
 Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

**Sollecitazioni**  
 S.L.U.  Metodo n

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

**Tipologia rottura**  
 Lato acciaio - Acciaio snervato

**Materiali**  
 B450C C28/35  
 $\epsilon_{su}$  67.5 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰  
 $f_{yd}$  391.3 N/mm²  $\epsilon_{cu}$  3.5 ‰  
 $E_s$  200,000 N/mm²  $f_{cd}$  15.87  
 $E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  0.8  
 $\epsilon_{syd}$  1.957 ‰  $\sigma_{c,adm}$  11  
 $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm²  $\tau_{co}$  0.6667  
 $\tau_{c1}$  1.971

$M_{yRd}$  2,985 kN m  
 $\sigma_c$  -15.87 N/mm²  
 $\sigma_s$  391.3 N/mm²  
 $\epsilon_c$  2.904 ‰  
 $\epsilon_s$  67.5 ‰  
 d 194 cm  
 x 8.003 x/d 0.04125  
 $\delta$  0.7

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

**Tipologia flessione**  
 Retta  Deviata

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

Precompresso

Figura 137 – Verifica a Flessione – Myy

### 10.4.1.2 Verifiche di resistenza

Le verifiche di sicurezza della zattera di fondazione possono essere, inoltre, condotte con riferimento a schematizzazioni basate sull'individuazione di tiranti e puntoni.

Il meccanismo resistente è costituito da un tirante orizzontale inferiore, corrispondente all'armatura tesa, e da un puntone di calcestruzzo inclinato.

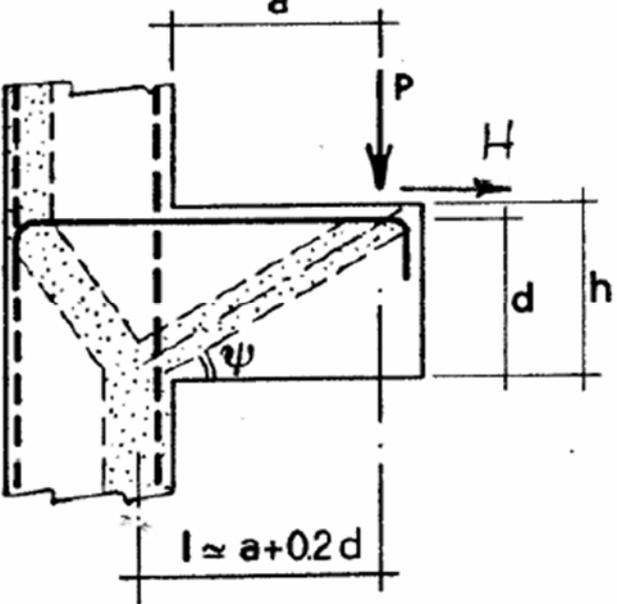
| Resistenza di elementi tozzi, nelle zone diffuse e nei nodi - C4.1.2.1.5           |            |                            |
|--|------------|----------------------------|
|  | $P_{Ed}$   | 2183.84 [kN]               |
|  | $H_{Ed}$   | 0 [kN]                     |
|  | $a$        | 0.7 [m]                    |
|  | $b$        | 3 [m]                      |
|  | $h$        | 2 [m]                      |
|  | $c$        | 0.06 [m]                   |
|  | $d$        | 1.94 [m]                   |
|  | $l$        | 1.088 [m]                  |
|  | $\lambda$  | 0.62 [-]                   |
|  | $\phi$     | 32 [mm]                    |
|  | $n_{\phi}$ | 15 [-]                     |
|  | $A_s$      | 12063.7 [mm <sup>2</sup> ] |
|  | $f_{yd}$   | 391.30 [MPa]               |
|  | $f_{cd}$   | 15.87 [MPa]                |
|  | $c$        | 1 [-]                      |
| $P_{Ed}$   | $\leq$     | $P_{Rs}$ 7575.5 [kN]       |
|  |            | $\leq$                     |
|  |            | $P_{Rc}$ 26606.3 [kN]      |

Figura 138 – Verifica Tirante Puntone Zattera di Fondazione Spalla S3

## 10.4.2 Verifiche SLE

### 10.4.2.1 Verifiche a fessurazione

Si riportano nel seguito le verifiche a fessurazione eseguite sulla zattera di fondazione della Spalla S3 nella combinazione frequente.

| Tipo di combinazione SLE                                    |                            |  |                    |
|---|----------------------------|--|--------------------|
| <b>Comb.</b>  | Frequente                  |  |                    |
| Materiali   |                            |  |                    |
| <b>Cls</b>  | C28/35                     | $f_{ctk}=f_{ctm}/1,2$ 2.36 MPa                       | $f_{ck}$ 29.05 MPa |
| <b>Acciaio</b>  | B450C                      | $f_{yk}$ 450 MPa                                     |                    |
| Sollecitazioni e caratteristiche della sezione              |                            |  |                    |
| $M_{Ed}$  | 863 kNm                    | Sollecitazione flettente                             |                    |
| $N_{ed}$  | 0 kN                       | Sforzo normale ( <b>negativo</b> se di compressione) |                    |
| $c$   | 60 mm                      | Distanza dell'asse delle armature tese dal bordo     |                    |
| $H$   | 2000 mm                    | Altezza totale della sezione                         |                    |
| $B$   | 1000 mm                    | Base della sezione                                   |                    |
| $d$   | 1940 mm                    | Altezza utile della sezione                          |                    |
| $A_s$   | 4021 mm <sup>2</sup>       | Armatura tesa  |                    |
| $A'_s$  | 4021 mm <sup>2</sup>       | Armatura compressa                                   |                    |
| $n$   | 15                         | Omogeneizzazione acciaio/cls compr.                  |                    |
| $y$   | 1000 mm                    | Posizione del baricentro                             |                    |
| Calcolo del momento di fessurazione (sezione non fessurata) |                            |  |                    |
| $A^*$   | 2120630 mm <sup>2</sup>    | Area omogeneizzata                                   |                    |
| $I^*$   | 7.7326E+11 mm <sup>4</sup> | Inerzia omogeneizzata                                |                    |
| $M_{fess}$  | <b>1826.81</b> kNm         | Momento di prima fessurazione >MEd                   |                    |
| SEZIONE NON FESSURATA                                       |                            |  |                    |

Figura 139 – Verifica a fessurazione – Mxx

| Tipo di combinazione SLE                                    |                            |  |                    |
|---|----------------------------|--|--------------------|
| <b>Comb.</b>  | Frequente                  |  |                    |
| Materiali   |                            |  |                    |
| <b>Cls</b>  | C28/35                     | $f_{ctk}=f_{ctm}/1,2$ 2.36 MPa                       | $f_{ck}$ 29.05 MPa |
| <b>Acciaio</b>  | B450C                      | $f_{yk}$ 450 MPa                                     |                    |
| Sollecitazioni e caratteristiche della sezione              |                            |  |                    |
| $M_{Ed}$  | 565.85 kNm                 | Sollecitazione flettente                             |                    |
| $N_{ed}$  | 0 kN                       | Sforzo normale ( <b>negativo</b> se di compressione) |                    |
| $c$   | 60 mm                      | Distanza dell'asse delle armature tese dal bordo     |                    |
| $H$   | 2000 mm                    | Altezza totale della sezione                         |                    |
| $B$   | 1000 mm                    | Base della sezione                                   |                    |
| $d$   | 1940 mm                    | Altezza utile della sezione                          |                    |
| $A_s$   | 4021 mm <sup>2</sup>       | Armatura tesa  |                    |
| $A'_s$  | 4021 mm <sup>2</sup>       | Armatura compressa                                   |                    |
| $n$   | 15                         | Omogeneizzazione acciaio/cls compr.                  |                    |
| $y$   | 1000 mm                    | Posizione del baricentro                             |                    |
| Calcolo del momento di fessurazione (sezione non fessurata) |                            |  |                    |
| $A^*$   | 2120630 mm <sup>2</sup>    | Area omogeneizzata                                   |                    |
| $I^*$   | 7.7326E+11 mm <sup>4</sup> | Inerzia omogeneizzata                                |                    |
| $M_{fess}$  | <b>1826.81</b> kNm         | Momento di prima fessurazione >MEd                   |                    |
| SEZIONE NON FESSURATA                                       |                            |  |                    |

Figura 140 – Verifica a fessurazione – Myy

### 10.4.2.2 Verifiche tensionali

Si riportano nel seguito le verifiche tensionali eseguite sulla zattera di fondazione della Spalla S3 nella combinazione rara.

| Calcolo delle tensioni nel caso di flessione semplice (sezione fessurata) |                            |                            |                        |
|---|----------------------------|----------------------------|------------------------|
| $x_c$   | 385 mm                     | Posizione dell'asse neutro |                        |
| $I_{ci}$  | 1.7124E+11 mm <sup>4</sup> | Inerzia omogeneizzata      |                        |
| $f$   | 121 mm                     |                            |                        |
| $h_o$   | 1000 mm                    |                            |                        |
| $\sigma_{tmax}$   | 138.65 MPa                 | Tensione nell'acciaio      | Verifica tensionale OK |
| $\sigma_{cmax}$   | 2.29 MPa                   | Tensione nel calcestruzzo  | Verifica tensionale OK |
| $M_y$   | 3304 kNm                   | Momento allo snervamento   |                        |

Figura 141 – Verifica tensionale – Mxx

| Calcolo delle tensioni nel caso di flessione semplice (sezione fessurata) |                            |                            |                        |
|---|----------------------------|----------------------------|------------------------|
| $x_c$   | 385 mm                     | Posizione dell'asse neutro |                        |
| $I_{ci}$  | 1.7124E+11 mm <sup>4</sup> | Inerzia omogeneizzata      |                        |
| $f$   | 121 mm                     |                            |                        |
| $h_o$   | 1000 mm                    |                            |                        |
| $\sigma_{tmax}$   | 82.81 MPa                  | Tensione nell'acciaio      | Verifica tensionale OK |
| $\sigma_{cmax}$   | 1.37 MPa                   | Tensione nel calcestruzzo  | Verifica tensionale OK |
| $M_y$   | 3304 kNm                   | Momento allo snervamento   |                        |

Figura 142 – Verifica tensionale – Myy

## 10.5 Verifica della zattera fondazione – Spalla S4

Si riportano in questo paragrafo le verifiche relative alla zattera di fondazione della Spalla S4 del Sovrappasso di Ingresso dell'opera in oggetto.

### 10.5.1 Verifiche SLU

#### 10.5.1.1 Verifiche a flessione

Si considera un'armatura, lungo le due direzioni orizzontali principali, costituita da  $\Phi 32/20$  superiore ed inferiore.

Titolo : \_\_\_\_\_

N° strati barre 2 Zoom

| N° | b [cm] | h [cm] | N° | As [cm <sup>2</sup> ] | d [cm] |
|----|--------|--------|----|-----------------------|--------|
| 1  | 100    | 200    | 1  | 40.21                 | 6      |
|    |        |        | 2  | 40.21                 | 194    |

Tipologia Sezione:  
 Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

Diagramma della sezione trasversale con armatura.

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> 0 kN  
M<sub>xEd</sub> 1326.76 kNm  
M<sub>yEd</sub> 0 kNm

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

Tipologia rottura Lato acciaio - Acciaio snervato

M<sub>xRd</sub> 2,985 kNm

Materiali: B450C C28/35

$\epsilon_{su}$  67.5 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰  
 $f_{yd}$  391.3 N/mm<sup>2</sup>  $\epsilon_{cu}$  3.5 ‰  
 $E_s$  200,000 N/mm<sup>2</sup>  $f_{cd}$  15.87 ‰  
 $E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  0.8  
 $\epsilon_{syd}$  1.957 ‰  $\sigma_{c,adm}$  11  
 $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm<sup>2</sup>  $\tau_{co}$  0.6667  
 $\tau_{c1}$  1.971

$\sigma_c$  -15.87 N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_s$  391.3 N/mm<sup>2</sup>  
 $\epsilon_c$  2.904 ‰  
 $\epsilon_s$  67.5 ‰  
d 194 cm  
x 8.003 x/d 0.04125  
 $\delta$  0.7

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

Tipologia flessione:  
 Retta  Deviata

N° rett. 100

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

Precompresso

Figura 143 – Verifica a Flessione – M<sub>xx</sub>

Titolo : \_\_\_\_\_

N° strati barre 2 Zoom

| N° | b [cm] | h [cm] | N° | As [cm <sup>2</sup> ] | d [cm] |
|----|--------|--------|----|-----------------------|--------|
| 1  | 100    | 200    | 1  | 40.21                 | 6      |
|    |        |        | 2  | 40.21                 | 194    |

Tipologia Sezione:  
 Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

Diagramma della sezione trasversale con armatura.

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> 0 kN  
M<sub>xEd</sub> 1542.67 kNm  
M<sub>yEd</sub> 0 kNm

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

Tipologia rottura Lato acciaio - Acciaio snervato

M<sub>xRd</sub> 2,985 kNm

Materiali: B450C C28/35

$\epsilon_{su}$  67.5 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰  
 $f_{yd}$  391.3 N/mm<sup>2</sup>  $\epsilon_{cu}$  3.5 ‰  
 $E_s$  200,000 N/mm<sup>2</sup>  $f_{cd}$  15.87 ‰  
 $E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  0.8  
 $\epsilon_{syd}$  1.957 ‰  $\sigma_{c,adm}$  11  
 $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm<sup>2</sup>  $\tau_{co}$  0.6667  
 $\tau_{c1}$  1.971

$\sigma_c$  -15.87 N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_s$  391.3 N/mm<sup>2</sup>  
 $\epsilon_c$  2.904 ‰  
 $\epsilon_s$  67.5 ‰  
d 194 cm  
x 8.003 x/d 0.04125  
 $\delta$  0.7

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

Tipologia flessione:  
 Retta  Deviata

N° rett. 100

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

Precompresso

Figura 144 – Verifica a Flessione – M<sub>yy</sub>

### 10.5.1.2 Verifiche di resistenza

Le verifiche di sicurezza della zattera di fondazione possono essere, inoltre, condotte con riferimento a schematizzazioni basate sull'individuazione di tiranti e puntoni.

Il meccanismo resistente è costituito da un tirante orizzontale inferiore, corrispondente all'armatura tesa, e da un puntone di calcestruzzo inclinato.

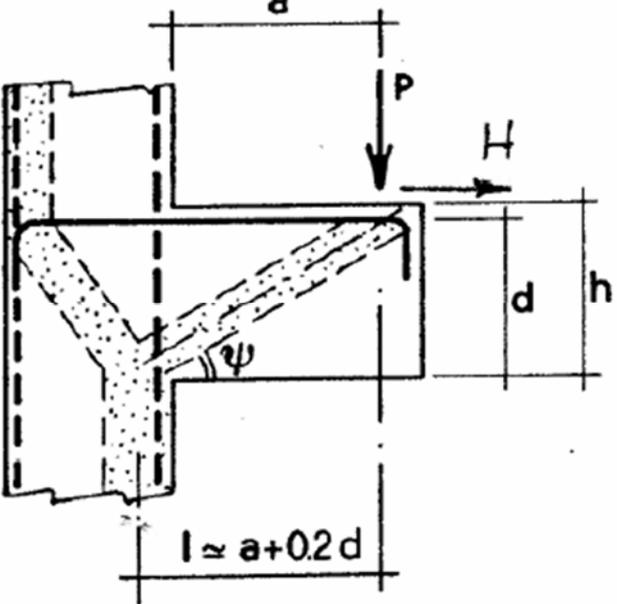
| Resistenza di elementi tozzi, nelle zone diffuse e nei nodi - C4.1.2.1.5           |            |                            |
|--|------------|----------------------------|
|  | $P_{Ed}$   | 2126.73 [KN]               |
|  | $H_{Ed}$   | 0 [KN]                     |
|  | $a$        | 0.7 [m]                    |
|  | $b$        | 3 [m]                      |
|  | $h$        | 2 [m]                      |
|  | $c$        | 0.06 [m]                   |
|  | $d$        | 1.94 [m]                   |
|  | $l$        | 1.088 [m]                  |
|  | $\lambda$  | 0.62 [-]                   |
|  | $\phi$     | 32 [mm]                    |
|  | $n_{\phi}$ | 15 [-]                     |
|  | $A_s$      | 12063.7 [mm <sup>2</sup> ] |
|  | $f_{yd}$   | 391.30 [MPa]               |
|  | $f_{cd}$   | 15.87 [MPa]                |
|  | $c$        | 1 [-]                      |
| $P_{Ed}$   | $\leq$     | $P_{Rs}$ 7575.5 [KN]       |
|  | $\leq$     | $P_{Rc}$ 26606.3 [KN]      |

Figura 145 – Verifica Tirante Puntone Zattera di Fondazione Spalla S4

## 10.5.2 Verifiche SLE

### 10.5.2.1 Verifiche a fessurazione

Si riportano nel seguito le verifiche a fessurazione eseguite sulla zattera di fondazione della Spalla S4 nella combinazione frequente.

| Tipo di combinazione SLE                                    |                            |  |                    |
|---|----------------------------|--|--------------------|
| <b>Comb.</b>  | Frequente                  |  |                    |
| Materiali   |                            |  |                    |
| <b>Cls</b>  | C28/35                     | $f_{ctk}=f_{ctm}/1,2$ 2.36 MPa                       | $f_{ck}$ 29.05 MPa |
| <b>Acciaio</b>  | B450C                      | $f_{yk}$ 450 MPa                                     |                    |
| Sollecitazioni e caratteristiche della sezione              |                            |  |                    |
| $M_{Ed}$  | 823.53 kNm                 | Sollecitazione flettente                             |                    |
| $N_{ed}$  | 0 kN                       | Sforzo normale ( <b>negativo</b> se di compressione) |                    |
| $c$   | 60 mm                      | Distanza dell'asse delle armature tese dal bordo     |                    |
| $H$   | 2000 mm                    | Altezza totale della sezione                         |                    |
| $B$   | 1000 mm                    | Base della sezione                                   |                    |
| $d$   | 1940 mm                    | Altezza utile della sezione                          |                    |
| $A_s$   | 4021 mm <sup>2</sup>       | Armatura tesa  |                    |
| $A's$   | 4021 mm <sup>2</sup>       | Armatura compressa                                   |                    |
| $n$   | 15                         | Omogeneizzazione acciaio/cls compr.                  |                    |
| $y$   | 1000 mm                    | Posizione del baricentro                             |                    |
| Calcolo del momento di fessurazione (sezione non fessurata) |                            |  |                    |
| $A^*$   | 2120630 mm <sup>2</sup>    | Area omogeneizzata                                   |                    |
| $I^*$   | 7.7326E+11 mm <sup>4</sup> | Inerzia omogeneizzata                                |                    |
| $M_{fess}$  | <b>1826.81</b> kNm         | Momento di prima fessurazione >MEd                   |                    |
| SEZIONE NON FESSURATA                                       |                            |  |                    |

Figura 146 – Verifica a fessurazione – Mxx

| Tipo di combinazione SLE                                    |                            |  |                    |
|---|----------------------------|--|--------------------|
| <b>Comb.</b>  | Frequente                  |  |                    |
| Materiali   |                            |  |                    |
| <b>Cls</b>  | C28/35                     | $f_{ctk}=f_{ctm}/1,2$ 2.36 MPa                       | $f_{ck}$ 29.05 MPa |
| <b>Acciaio</b>  | B450C                      | $f_{yk}$ 450 MPa                                     |                    |
| Sollecitazioni e caratteristiche della sezione              |                            |  |                    |
| $M_{Ed}$  | 532.93 kNm                 | Sollecitazione flettente                             |                    |
| $N_{ed}$  | 0 kN                       | Sforzo normale ( <b>negativo</b> se di compressione) |                    |
| $c$   | 60 mm                      | Distanza dell'asse delle armature tese dal bordo     |                    |
| $H$   | 2000 mm                    | Altezza totale della sezione                         |                    |
| $B$   | 1000 mm                    | Base della sezione                                   |                    |
| $d$   | 1940 mm                    | Altezza utile della sezione                          |                    |
| $A_s$   | 4021 mm <sup>2</sup>       | Armatura tesa  |                    |
| $A's$   | 4021 mm <sup>2</sup>       | Armatura compressa                                   |                    |
| $n$   | 15                         | Omogeneizzazione acciaio/cls compr.                  |                    |
| $y$   | 1000 mm                    | Posizione del baricentro                             |                    |
| Calcolo del momento di fessurazione (sezione non fessurata) |                            |  |                    |
| $A^*$   | 2120630 mm <sup>2</sup>    | Area omogeneizzata                                   |                    |
| $I^*$   | 7.7326E+11 mm <sup>4</sup> | Inerzia omogeneizzata                                |                    |
| $M_{fess}$  | <b>1826.81</b> kNm         | Momento di prima fessurazione >MEd                   |                    |
| SEZIONE NON FESSURATA                                       |                            |  |                    |

Figura 147 – Verifica a fessurazione – Myy

### 10.5.2.2 Verifiche tensionali

Si riportano nel seguito le verifiche tensionali eseguite sulla zattera di fondazione della Spalla S4 nella combinazione rara.

| Calcolo delle tensioni nel caso di flessione semplice (sezione fessurata) |                            |                            |                        |
|---|----------------------------|----------------------------|------------------------|
| $x_c$   | 385 mm                     | Posizione dell'asse neutro |                        |
| $I_{ci}$  | 1.7124E+11 mm <sup>4</sup> | Inerzia omogeneizzata      |                        |
| $f$   | 121 mm                     |                            |                        |
| $h_o$   | 1000 mm                    |                            |                        |
| $\sigma_{tmax}$   | 133.48 MPa                 | Tensione nell'acciaio      | Verifica tensionale OK |
| $\sigma_{cmax}$   | 2.20 MPa                   | Tensione nel calcestruzzo  | Verifica tensionale OK |
| $M_y$   | 3304 kNm                   | Momento allo snervamento   |                        |

Figura 148 – Verifica tensionale – Mxx

| Calcolo delle tensioni nel caso di flessione semplice (sezione fessurata) |                            |                            |                        |
|---|----------------------------|----------------------------|------------------------|
| $x_c$   | 385 mm                     | Posizione dell'asse neutro |                        |
| $I_{ci}$  | 1.7124E+11 mm <sup>4</sup> | Inerzia omogeneizzata      |                        |
| $f$   | 121 mm                     |                            |                        |
| $h_o$   | 1000 mm                    |                            |                        |
| $\sigma_{tmax}$   | 81.72 MPa                  | Tensione nell'acciaio      | Verifica tensionale OK |
| $\sigma_{cmax}$   | 1.35 MPa                   | Tensione nel calcestruzzo  | Verifica tensionale OK |
| $M_y$   | 3304 kNm                   | Momento allo snervamento   |                        |

Figura 149 – Verifica tensionale – Myy

## 10.6 Verifica del paramento – Spalla S3

Si riportano in questo paragrafo le verifiche relative al paramento della Spalla S3 del Sovrappasso di Ingresso dell'opera in oggetto.

### 10.6.1 Verifiche SLU

#### 10.6.1.1 Verifiche a flessione

Si considera, per la flessione agente lungo il piano orizzontale, un'armatura costituita da  $\Phi 20/20$  sul lato interno e  $\Phi 20/20$  sul lato esterno; viceversa, per la flessione agente lungo il piano verticale, si considera un'armatura costituita da  $\Phi 24/20$  sul lato interno e  $\Phi 20/20$  sul lato esterno.

**Titolo:** Verifica a flessione Paramento - Mxx

N° figure elementari 1 Zoom N° strati barre 2 Zoom

| N° | b [cm] | h [cm] | N° | As [cm²] | d [cm] |
|----|--------|--------|----|----------|--------|
| 1  | 100    | 185    | 1  | 15,71    | 4      |
|    |        |        | 2  | 15,71    | 181    |

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> 0 kN  
M<sub>xEd</sub> 621,39 kNm  
M<sub>yEd</sub> 0 kNm

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

Tipo rottura Lato acciaio - Acciaio snervato

M<sub>xRd</sub> 1 100 kNm

Materiali

| B450C                      | C32/40                 |
|----------------------------|------------------------|
| $\epsilon_{su}$ 67,5 ‰     | $\epsilon_{c2}$ 2 ‰    |
| $f_{yd}$ 391,3 N/mm²       | $\epsilon_{cu}$ 3,5 ‰  |
| $E_s$ 200 000 N/mm²        | $f_{cd}$ 18,13         |
| $E_s/E_c$ 15               | $f_{cc}/f_{cd}$ 0,8    |
| $\epsilon_{syd}$ 1,957 ‰   | $\sigma_{c,adm}$ 12,25 |
| $\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm² | $\tau_{co}$ 0,7333     |
|                            | $\tau_{c1}$ 2,114      |

$\sigma_c$  -17,91 N/mm²  
 $\sigma_s$  391,3 N/mm²  
 $\epsilon_c$  1,782 ‰  
 $\epsilon_s$  67,5 ‰  
d 181 cm  
x 4,655 x/d 0,02572  
 $\delta$  0,7

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

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

Tipo flessione  
 Retta  Deviala

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

Precompresso

Figura 150 – Verifica a Flessione – Mxx

**Titolo:** Verifica a flessione Paramento - Myy

N° figure elementari 1 Zoom N° strati barre 2 Zoom

| N° | b [cm] | h [cm] | N° | As [cm²] | d [cm] |
|----|--------|--------|----|----------|--------|
| 1  | 100    | 185    | 1  | 15,71    | 4      |
|    |        |        | 2  | 22,62    | 181    |

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> 0 kN  
M<sub>xEd</sub> 1420,73 kNm  
M<sub>yEd</sub> 0 kNm

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

Tipo rottura Lato acciaio - Acciaio snervato

M<sub>xRd</sub> 1 579 kNm

Materiali

| B450C                      | C32/40                 |
|----------------------------|------------------------|
| $\epsilon_{su}$ 67,5 ‰     | $\epsilon_{c2}$ 2 ‰    |
| $f_{yd}$ 391,3 N/mm²       | $\epsilon_{cu}$ 3,5 ‰  |
| $E_s$ 200 000 N/mm²        | $f_{cd}$ 18,13         |
| $E_s/E_c$ 15               | $f_{cc}/f_{cd}$ 0,8    |
| $\epsilon_{syd}$ 1,957 ‰   | $\sigma_{c,adm}$ 12,25 |
| $\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm² | $\tau_{co}$ 0,7333     |
|                            | $\tau_{c1}$ 2,114      |

$\sigma_c$  -18,13 N/mm²  
 $\sigma_s$  391,3 N/mm²  
 $\epsilon_c$  2,129 ‰  
 $\epsilon_s$  67,5 ‰  
d 181 cm  
x 5,534 x/d 0,03058  
 $\delta$  0,7

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

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

Tipo flessione  
 Retta  Deviala

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

Precompresso

Figura 151 – Verifica a Flessione – Myy

### 10.6.1.2 Verifiche a taglio

Le verifiche vengono eseguite considerando la presenza di legature  $\Phi 14/40 \times 40$ .

| Verifiche a taglio - D.M. 14-01-2008 |       |                              |        |                               |        |                                    |            |
|--------------------------------------|-------|------------------------------|--------|-------------------------------|--------|------------------------------------|------------|
| <b>Materiali</b>                     |       | <b>Geometria sezione</b>     |        | <b>Armatura longitudinale</b> |        | <b>Sollecitazioni di calcolo</b>   |            |
| <b>Calcestruzzo</b>                  |       | b [mm]                       | 1000   | n° barre                      | 5      | $N_{Ed}$ [kN]                      | 0          |
| Rck [Mpa]                            | 40    | h [mm]                       | 1850   | diámetro                      | 20     | $V_{Ed}$ [kN]                      | 595.74     |
| fck [Mpa]                            | 33.2  | c [mm]                       | 40     | Area [mm <sup>2</sup> ]       | 1570   |                                    |            |
| fcd [Mpa]                            | 18.8  | d [mm]                       | 1810   |                               |        |                                    |            |
| <b>Acciaio</b>                       |       | <b>Parametri di verifica</b> |        | <b>Armatura trasversale</b>   |        | <b>VERIFICHE</b>                   |            |
| fyk [Mpa]                            | 450   | k                            | 1.33   | Staffe $\Phi$                 | 14     | <b>Sezione non armata a taglio</b> |            |
| fyd [Mpa]                            | 391.3 | $v_{min}$                    | 0.31   | n° bracci                     | 2.5    | $V_{Rd}$ [kN]                      | 561.40     |
|                                      |       | $\rho_l$                     | 0.0009 | $A_{sw}$ [mm <sup>2</sup> ]   | 384.65 |                                    | Armare!!!  |
|                                      |       | $\sigma_{cp}$                | 0.0000 | s [mm]                        | 400    |                                    |            |
|                                      |       | v                            | 0.5    |                               |        | <b>Sezione armata a taglio</b>     |            |
|                                      |       | $(\sigma_{cp})^*$            | 0      |                               |        | <b>Crisi armatura a taglio</b>     |            |
|                                      |       | $\alpha_c$                   | 1.000  |                               |        | $V_{Rsd}$ [kN]                     | 1532.43    |
|                                      |       | $\omega_{sw}$                | 0.020  |                               |        | $V_{Rcd}$ [kN]                     | 5283.95    |
|                                      |       | cotg $\theta$                | 4.899  |                               |        |                                    |            |
|                                      |       | cotg $\theta^*$              | 2.500  |                               |        | $V_{Rd}$ [kN]                      | 1532.43    |
|                                      |       |                              |        |                               |        |                                    | Verificato |

Figura 152 – Verifica a Taglio –  $V_{xx}$

| Verifiche a taglio - D.M. 14-01-2008 |       |                              |        |                               |        |                                    |            |
|--------------------------------------|-------|------------------------------|--------|-------------------------------|--------|------------------------------------|------------|
| <b>Materiali</b>                     |       | <b>Geometria sezione</b>     |        | <b>Armatura longitudinale</b> |        | <b>Sollecitazioni di calcolo</b>   |            |
| <b>Calcestruzzo</b>                  |       | b [mm]                       | 1000   | n° barre                      | 5      | $N_{Ed}$ [kN]                      | 0          |
| Rck [Mpa]                            | 40    | h [mm]                       | 1850   | diámetro                      | 20     | $V_{Ed}$ [kN]                      | 396.28     |
| fck [Mpa]                            | 33.2  | c [mm]                       | 40     | Area [mm <sup>2</sup> ]       | 1570   |                                    |            |
| fcd [Mpa]                            | 18.8  | d [mm]                       | 1810   |                               |        |                                    |            |
| <b>Acciaio</b>                       |       | <b>Parametri di verifica</b> |        | <b>Armatura trasversale</b>   |        | <b>VERIFICHE</b>                   |            |
| fyk [Mpa]                            | 450   | k                            | 1.33   | Staffe $\Phi$                 | 14     | <b>Sezione non armata a taglio</b> |            |
| fyd [Mpa]                            | 391.3 | $v_{min}$                    | 0.31   | n° bracci                     | 2.5    | $V_{Rd}$ [kN]                      | 561.40     |
|                                      |       | $\rho_l$                     | 0.0009 | $A_{sw}$ [mm <sup>2</sup> ]   | 384.65 |                                    | Verificato |
|                                      |       | $\sigma_{cp}$                | 0.0000 | s [mm]                        | 400    |                                    |            |
|                                      |       | v                            | 0.5    |                               |        | <b>Sezione armata a taglio</b>     |            |
|                                      |       | $(\sigma_{cp})^*$            | 0      |                               |        | <b>Crisi armatura a taglio</b>     |            |
|                                      |       | $\alpha_c$                   | 1.000  |                               |        | $V_{Rsd}$ [kN]                     | 1532.43    |
|                                      |       | $\omega_{sw}$                | 0.020  |                               |        | $V_{Rcd}$ [kN]                     | 5283.95    |
|                                      |       | cotg $\theta$                | 4.899  |                               |        |                                    |            |
|                                      |       | cotg $\theta^*$              | 2.500  |                               |        | $V_{Rd}$ [kN]                      | 1532.43    |
|                                      |       |                              |        |                               |        |                                    | Verificato |

Figura 153 – Verifica a Taglio –  $V_{yy}$

## 10.6.2 Verifiche SLE

### 10.6.2.1 Verifiche a fessurazione

Si riportano nel seguito le verifiche a fessurazione eseguite sul paramento della Spalla S3 nella combinazione frequente.

| Tipo di combinazione SLE   |                            |  |                   |
|--|----------------------------|--|-------------------|
| <b>Comb.</b>   | Frequente                  |  |                   |
| <b>Materiali</b>   |                            |  |                   |
| <b>Cls</b>   | C32/40                     | $f_{ctk}=f_{ctm}/1,2$ 2.58 MPa                       | $f_{ck}$ 33.2 MPa |
| <b>Acciaio</b>   | B450C                      | $f_{yk}$ 450 MPa                                     |                   |
| <b>Sollecitazioni e caratteristiche della sezione</b>              |                            |  |                   |
| $M_{Ed}$   | 342.17 kNm                 | Sollecitazione flettente                             |                   |
| $N_{ed}$   | 0 kN                       | Sforzo normale ( <b>negativo</b> se di compressione) |                   |
| $c$  | 40 mm                      | Distanza dell'asse delle armature tese dal bordo     |                   |
| $H$  | 1850 mm                    | Altezza totale della sezione                         |                   |
| $B$  | 1000 mm                    | Base della sezione                                   |                   |
| $d$  | 1810 mm                    | Altezza utile della sezione                          |                   |
| $A_s$  | 1570 mm <sup>2</sup>       | Armatura tesa  |                   |
| $A's$  | 1570 mm <sup>2</sup>       | Armatura compressa                                   |                   |
| $n$  | 15                         | Omogeneizzazione acciaio/cls compr.                  |                   |
| $y$  | 925 mm                     | Posizione del baricentro                             |                   |
| <b>Calcolo del momento di fessurazione (sezione non fessurata)</b> |                            |  |                   |
| $A^*$  | 1897100 mm <sup>2</sup>    | Area omogeneizzata                                   |                   |
| $I^*$  | 5.6453E+11 mm <sup>4</sup> | Inerzia omogeneizzata                                |                   |
| $M_{fess}$   | <b>1576.06</b> kNm         | Momento di prima fessurazione >MEd                   |                   |
| SEZIONE NON FESSURATA  |                            |  |                   |

Figura 154 – Verifica a fessurazione – Mxx

| Tipo di combinazione SLE   |                            |  |                   |
|--|----------------------------|--|-------------------|
| <b>Comb.</b>   | Frequente                  |  |                   |
| <b>Materiali</b>   |                            |  |                   |
| <b>Cls</b>   | C32/40                     | $f_{ctk}=f_{ctm}/1,2$ 2.58 MPa                       | $f_{ck}$ 33.2 MPa |
| <b>Acciaio</b>   | B450C                      | $f_{yk}$ 450 MPa                                     |                   |
| <b>Sollecitazioni e caratteristiche della sezione</b>              |                            |  |                   |
| $M_{Ed}$   | 747.54 kNm                 | Sollecitazione flettente                             |                   |
| $N_{ed}$   | 0 kN                       | Sforzo normale ( <b>negativo</b> se di compressione) |                   |
| $c$  | 40 mm                      | Distanza dell'asse delle armature tese dal bordo     |                   |
| $H$  | 1850 mm                    | Altezza totale della sezione                         |                   |
| $B$  | 1000 mm                    | Base della sezione                                   |                   |
| $d$  | 1810 mm                    | Altezza utile della sezione                          |                   |
| $A_s$  | 2260.8 mm <sup>2</sup>     | Armatura tesa  |                   |
| $A's$  | 1570 mm <sup>2</sup>       | Armatura compressa                                   |                   |
| $n$  | 15                         | Omogeneizzazione acciaio/cls compr.                  |                   |
| $y$  | 925 mm                     | Posizione del baricentro                             |                   |
| <b>Calcolo del momento di fessurazione (sezione non fessurata)</b> |                            |  |                   |
| $A^*$  | 1907462 mm <sup>2</sup>    | Area omogeneizzata                                   |                   |
| $I^*$  | 5.7264E+11 mm <sup>4</sup> | Inerzia omogeneizzata                                |                   |
| $M_{fess}$   | <b>1598.72</b> kNm         | Momento di prima fessurazione >MEd                   |                   |
| SEZIONE NON FESSURATA  |                            |  |                   |

Figura 155 – Verifica a fessurazione – Myy

### 10.6.2.2 Verifiche tensionali

Si riportano nel seguito le verifiche tensionali eseguite sul paramento della Spalla S3 nella combinazione rara.

| Calcolo delle tensioni nel caso di flessione semplice (sezione fessurata) |                            |                            |                        |
|---|----------------------------|----------------------------|------------------------|
| $x_c$   | 258 mm                     | Posizione dell'asse neutro |                        |
| $I_{ci}$  | 6.3166E+10 mm <sup>4</sup> | Inerzia omogeneizzata      |                        |
| $f$   | 39 mm                      |                            |                        |
| $h_o$   | 1119 mm                    |                            |                        |
| $\sigma_{tmax}$   | 168.72 MPa                 | Tensione nell'acciaio      | Verifica tensionale OK |
| $\sigma_{cmax}$   | 1.87 MPa                   | Tensione nel calcestruzzo  | Verifica tensionale OK |
| $M_y$   | 1221 kNm                   | Momento allo snervamento   |                        |

Figura 156 – Verifica tensionale – Mxx

| Calcolo delle tensioni nel caso di flessione semplice (sezione fessurata) |                            |                            |                        |
|---|----------------------------|----------------------------|------------------------|
| $x_c$   | 300 mm                     | Posizione dell'asse neutro |                        |
| $I_{ci}$  | 8.7915E+10 mm <sup>4</sup> | Inerzia omogeneizzata      |                        |
| $f$   | 57 mm                      |                            |                        |
| $h_o$   | 1085 mm                    |                            |                        |
| $\sigma_{tmax}$   | 270.26 MPa                 | Tensione nell'acciaio      | Verifica tensionale OK |
| $\sigma_{cmax}$   | 3.58 MPa                   | Tensione nel calcestruzzo  | Verifica tensionale OK |
| $M_y$   | 1747 kNm                   | Momento allo snervamento   |                        |

Figura 157 – Verifica tensionale – Myy

## 10.7 Verifica del paramento – Spalla S4

Si riportano in questo paragrafo le verifiche relative al paramento della Spalla S4 del Sovrappasso di Ingresso dell'opera in oggetto.

### 10.7.1 Verifiche SLU

#### 10.7.1.1 Verifiche a flessione

Si considera, per la flessione agente lungo il piano orizzontale, un'armatura costituita da  $\Phi 20/20$  sul lato interno e  $\Phi 20/20$  sul lato esterno; viceversa, per la flessione agente lungo il piano verticale, si considera un'armatura costituita da  $\Phi 24/20$  sul lato interno e  $\Phi 20/20$  sul lato esterno.

**Titolo:** Verifica a flessione Paramento - Mxx

N° figure elementari  Zoom N° strati barre  Zoom

| N° | b [cm] | h [cm] | N° | As [cm²] | d [cm] |
|----|--------|--------|----|----------|--------|
| 1  | 100    | 185    | 1  | 15,71    | 4      |
|    |        |        | 2  | 15,71    | 181    |

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> 0 kN  
M<sub>xEd</sub> 650,75 kNm  
M<sub>yEd</sub> 0 kNm

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

Tipo rottura Lato acciaio - Acciaio snervato

M<sub>xRd</sub> 1 100 kNm

Materiali

| B450C                      | C32/40                 |
|----------------------------|------------------------|
| $\epsilon_{su}$ 67,5 ‰     | $\epsilon_{c2}$ 2 ‰    |
| $f_{yd}$ 391,3 N/mm²       | $\epsilon_{cu}$ 3,5 ‰  |
| $E_s$ 200 000 N/mm²        | $f_{cd}$ 18,13         |
| $E_s/E_c$ 15               | $f_{cc}/f_{cd}$ 0,8    |
| $\epsilon_{syd}$ 1,957 ‰   | $\sigma_{c,adm}$ 12,25 |
| $\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm² | $\tau_{co}$ 0,7333     |
|                            | $\tau_{c1}$ 2,114      |

$\sigma_c$  -17,91 N/mm²  
 $\sigma_s$  391,3 N/mm²  
 $\epsilon_c$  1,782 ‰  
 $\epsilon_s$  67,5 ‰  
d 181 cm  
x 4,655 w/d 0,02572  
 $\delta$  0,7

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

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

Tipo flessione  
 Retta  Deviata

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

Figura 158 – Verifica a Flessione – Mxx

**Titolo:** Verifica a flessione Paramento - Myy

N° figure elementari  Zoom N° strati barre  Zoom

| N° | b [cm] | h [cm] | N° | As [cm²] | d [cm] |
|----|--------|--------|----|----------|--------|
| 1  | 100    | 185    | 1  | 15,71    | 4      |
|    |        |        | 2  | 22,62    | 181    |

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> 0 kN  
M<sub>xEd</sub> 1426,12 kNm  
M<sub>yEd</sub> 0 kNm

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

Tipo rottura Lato acciaio - Acciaio snervato

M<sub>xRd</sub> 1 579 kNm

Materiali

| B450C                      | C32/40                 |
|----------------------------|------------------------|
| $\epsilon_{su}$ 67,5 ‰     | $\epsilon_{c2}$ 2 ‰    |
| $f_{yd}$ 391,3 N/mm²       | $\epsilon_{cu}$ 3,5 ‰  |
| $E_s$ 200 000 N/mm²        | $f_{cd}$ 18,13         |
| $E_s/E_c$ 15               | $f_{cc}/f_{cd}$ 0,8    |
| $\epsilon_{syd}$ 1,957 ‰   | $\sigma_{c,adm}$ 12,25 |
| $\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm² | $\tau_{co}$ 0,7333     |
|                            | $\tau_{c1}$ 2,114      |

$\sigma_c$  -18,13 N/mm²  
 $\sigma_s$  391,3 N/mm²  
 $\epsilon_c$  2,129 ‰  
 $\epsilon_s$  67,5 ‰  
d 181 cm  
x 5,534 w/d 0,03058  
 $\delta$  0,7

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

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

Tipo flessione  
 Retta  Deviata

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

Figura 159 – Verifica a Flessione – Myy

### 10.7.1.2 Verifiche a taglio

Le verifiche vengono eseguite considerando la presenza di legature  $\Phi 14/40 \times 40$ .

| Verifiche a taglio - D.M. 14-01-2008 |       |                              |        |                               |        |                                    |            |
|--------------------------------------|-------|------------------------------|--------|-------------------------------|--------|------------------------------------|------------|
| <b>Materiali</b>                     |       | <b>Geometria sezione</b>     |        | <b>Armatura longitudinale</b> |        | <b>Sollecitazioni di calcolo</b>   |            |
| <b>Calcestruzzo</b>                  |       | b [mm]                       | 1000   | n° barre                      | 5      | $N_{Ed}$ [kN]                      | 0          |
| Rck [Mpa]                            | 40    | h [mm]                       | 1850   | diámetro                      | 20     | $V_{Ed}$ [kN]                      | 600.11     |
| fck [Mpa]                            | 33.2  | c [mm]                       | 40     | Area [mm <sup>2</sup> ]       | 1570   |                                    |            |
| fcd [Mpa]                            | 18.8  | d [mm]                       | 1810   |                               |        |                                    |            |
| <b>Acciaio</b>                       |       | <b>Parametri di verifica</b> |        | <b>Armatura trasversale</b>   |        | <b>VERIFICHE</b>                   |            |
| fyk [Mpa]                            | 450   | k                            | 1.33   | Staffe $\Phi$                 | 14     | <b>Sezione non armata a taglio</b> |            |
| fyd [Mpa]                            | 391.3 | $v_{min}$                    | 0.31   | n° bracci                     | 2.5    | $V_{Rd}$ [kN]                      | 561.40     |
|                                      |       | $\rho_l$                     | 0.0009 | $A_{sw}$ [mm <sup>2</sup> ]   | 384.65 |                                    | Armare!!!  |
|                                      |       | $\sigma_{cp}$                | 0.0000 | s [mm]                        | 400    | <b>Sezione armata a taglio</b>     |            |
|                                      |       | v                            | 0.5    |                               |        | <b>Crisi armatura a taglio</b>     |            |
|                                      |       | $(\sigma_{cp})^*$            | 0      |                               |        | $V_{Rsd}$ [kN]                     | 1532.43    |
|                                      |       | $\alpha_c$                   | 1.000  |                               |        | $V_{Rcd}$ [kN]                     | 5283.95    |
|                                      |       | $\omega_{sw}$                | 0.020  |                               |        |                                    |            |
|                                      |       | cotg $\theta$                | 4.899  |                               |        | $V_{Rd}$ [kN]                      | 1532.43    |
|                                      |       | cotg $\theta^*$              | 2.500  |                               |        |                                    | Verificato |

Figura 160 – Verifica a Taglio –  $V_{xx}$

| Verifiche a taglio - D.M. 14-01-2008 |       |                              |        |                               |        |                                    |            |
|--------------------------------------|-------|------------------------------|--------|-------------------------------|--------|------------------------------------|------------|
| <b>Materiali</b>                     |       | <b>Geometria sezione</b>     |        | <b>Armatura longitudinale</b> |        | <b>Sollecitazioni di calcolo</b>   |            |
| <b>Calcestruzzo</b>                  |       | b [mm]                       | 1000   | n° barre                      | 5      | $N_{Ed}$ [kN]                      | 0          |
| Rck [Mpa]                            | 40    | h [mm]                       | 1850   | diámetro                      | 20     | $V_{Ed}$ [kN]                      | 410.54     |
| fck [Mpa]                            | 33.2  | c [mm]                       | 40     | Area [mm <sup>2</sup> ]       | 1570   |                                    |            |
| fcd [Mpa]                            | 18.8  | d [mm]                       | 1810   |                               |        |                                    |            |
| <b>Acciaio</b>                       |       | <b>Parametri di verifica</b> |        | <b>Armatura trasversale</b>   |        | <b>VERIFICHE</b>                   |            |
| fyk [Mpa]                            | 450   | k                            | 1.33   | Staffe $\Phi$                 | 14     | <b>Sezione non armata a taglio</b> |            |
| fyd [Mpa]                            | 391.3 | $v_{min}$                    | 0.31   | n° bracci                     | 2.5    | $V_{Rd}$ [kN]                      | 561.40     |
|                                      |       | $\rho_l$                     | 0.0009 | $A_{sw}$ [mm <sup>2</sup> ]   | 384.65 |                                    | Verificato |
|                                      |       | $\sigma_{cp}$                | 0.0000 | s [mm]                        | 400    | <b>Sezione armata a taglio</b>     |            |
|                                      |       | v                            | 0.5    |                               |        | <b>Crisi armatura a taglio</b>     |            |
|                                      |       | $(\sigma_{cp})^*$            | 0      |                               |        | $V_{Rsd}$ [kN]                     | 1532.43    |
|                                      |       | $\alpha_c$                   | 1.000  |                               |        | $V_{Rcd}$ [kN]                     | 5283.95    |
|                                      |       | $\omega_{sw}$                | 0.020  |                               |        |                                    |            |
|                                      |       | cotg $\theta$                | 4.899  |                               |        | $V_{Rd}$ [kN]                      | 1532.43    |
|                                      |       | cotg $\theta^*$              | 2.500  |                               |        |                                    | Verificato |

Figura 161 – Verifica a Taglio –  $V_{yy}$

## 10.7.2 Verifiche SLE

### 10.7.2.1 Verifiche a fessurazione

Si riportano nel seguito le verifiche a fessurazione eseguite sul paramento della Spalla S4 nella combinazione frequente.

| Tipo di combinazione SLE   |                            |  |                   |
|--|----------------------------|--|-------------------|
| <b>Comb.</b>   | Frequente                  |  |                   |
| <b>Materiali</b>   |                            |  |                   |
| <b>Cls</b>   | C32/40                     | $f_{ctk}=f_{ctm}/1,2$ 2.58 MPa                       | $f_{ck}$ 33.2 MPa |
| <b>Acciaio</b>   | B450C                      | $f_{yk}$ 450 Mpa                                     |                   |
| <b>Sollecitazioni e caratteristiche della sezione</b>              |                            |  |                   |
| $M_{Ed}$   | 361.05 kNm                 | Sollecitazione flettente                             |                   |
| $N_{ed}$   | 0 kN                       | Sforzo normale ( <b>negativo</b> se di compressione) |                   |
| $c$  | 40 mm                      | Distanza dell'asse delle armature tese dal bordo     |                   |
| $H$  | 1850 mm                    | Altezza totale della sezione                         |                   |
| $B$  | 1000 mm                    | Base della sezione                                   |                   |
| $d$  | 1810 mm                    | Altezza utile della sezione                          |                   |
| $A_s$  | 1570 mm <sup>2</sup>       | Armatura tesa  |                   |
| $A's$  | 1570 mm <sup>2</sup>       | Armatura compressa                                   |                   |
| $n$  | 15                         | Omogeneizzazione acciaio/cls compr.                  |                   |
| $y$  | 925 mm                     | Posizione del baricentro                             |                   |
| <b>Calcolo del momento di fessurazione (sezione non fessurata)</b> |                            |  |                   |
| $A^*$  | 1897100 mm <sup>2</sup>    | Area omogeneizzata                                   |                   |
| $I^*$  | 5.6453E+11 mm <sup>4</sup> | Inerzia omogeneizzata                                |                   |
| $M_{fess}$   | <b>1576.06</b> kNm         | Momento di prima fessurazione >MEd                   |                   |
| SEZIONE NON FESSURATA  |                            |  |                   |

Figura 162 – Verifica a fessurazione – Mxx

| Tipo di combinazione SLE   |                            |  |                   |
|--|----------------------------|--|-------------------|
| <b>Comb.</b>   | Frequente                  |  |                   |
| <b>Materiali</b>   |                            |  |                   |
| <b>Cls</b>   | C32/40                     | $f_{ctk}=f_{ctm}/1,2$ 2.58 MPa                       | $f_{ck}$ 33.2 MPa |
| <b>Acciaio</b>   | B450C                      | $f_{yk}$ 450 MPa                                     |                   |
| <b>Sollecitazioni e caratteristiche della sezione</b>              |                            |  |                   |
| $M_{Ed}$   | 738.61 kNm                 | Sollecitazione flettente                             |                   |
| $N_{ed}$   | 0 kN                       | Sforzo normale ( <b>negativo</b> se di compressione) |                   |
| $c$  | 40 mm                      | Distanza dell'asse delle armature tese dal bordo     |                   |
| $H$  | 1850 mm                    | Altezza totale della sezione                         |                   |
| $B$  | 1000 mm                    | Base della sezione                                   |                   |
| $d$  | 1810 mm                    | Altezza utile della sezione                          |                   |
| $A_s$  | 2260.8 mm <sup>2</sup>     | Armatura tesa  |                   |
| $A's$  | 1570 mm <sup>2</sup>       | Armatura compressa                                   |                   |
| $n$  | 15                         | Omogeneizzazione acciaio/cls compr.                  |                   |
| $y$  | 925 mm                     | Posizione del baricentro                             |                   |
| <b>Calcolo del momento di fessurazione (sezione non fessurata)</b> |                            |  |                   |
| $A^*$  | 1907462 mm <sup>2</sup>    | Area omogeneizzata                                   |                   |
| $I^*$  | 5.7264E+11 mm <sup>4</sup> | Inerzia omogeneizzata                                |                   |
| $M_{fess}$   | <b>1598.72</b> kNm         | Momento di prima fessurazione >MEd                   |                   |
| SEZIONE NON FESSURATA  |                            |  |                   |

Figura 163 – Verifica a fessurazione – Myy

### 10.7.2.2 Verifiche tensionali

Si riportano nel seguito le verifiche tensionali eseguite sul paramento della Spalla S4 nella combinazione rara.

| Calcolo delle tensioni nel caso di flessione semplice (sezione fessurata) |                            |                            |                        |
|---|----------------------------|----------------------------|------------------------|
| $x_c$   | 258 mm                     | Posizione dell'asse neutro |                        |
| $I_{ci}$  | 6.3166E+10 mm <sup>4</sup> | Inerzia omogeneizzata      |                        |
| $f$   | 39 mm                      |                            |                        |
| $h_o$   | 1119 mm                    |                            |                        |
| $\sigma_{tmax}$   | 176.23 MPa                 | Tensione nell'acciaio      | Verifica tensionale OK |
| $\sigma_{cmax}$   | 1.95 MPa                   | Tensione nel calcestruzzo  | Verifica tensionale OK |
| $M_y$   | 1221 kNm                   | Momento allo snervamento   |                        |

**Figura 164** – Verifica tensionale –  $M_{xx}$

| Calcolo delle tensioni nel caso di flessione semplice (sezione fessurata) |                            |                            |                        |
|---|----------------------------|----------------------------|------------------------|
| $x_c$   | 300 mm                     | Posizione dell'asse neutro |                        |
| $I_{ci}$  | 8.7915E+10 mm <sup>4</sup> | Inerzia omogeneizzata      |                        |
| $f$   | 57 mm                      |                            |                        |
| $h_o$   | 1085 mm                    |                            |                        |
| $\sigma_{tmax}$   | 270.96 MPa                 | Tensione nell'acciaio      | Verifica tensionale OK |
| $\sigma_{cmax}$   | 3.59 MPa                   | Tensione nel calcestruzzo  | Verifica tensionale OK |
| $M_y$   | 1747 kNm                   | Momento allo snervamento   |                        |

**Figura 165** – Verifica tensionale –  $M_{yy}$

## 10.8 Verifica del muro paraghiaia – Spalla S3

Si riportano in questo paragrafo le verifiche relative al paraghiaia della Spalla S3 del Sovrappasso di Ingresso dell'opera in oggetto.

### 10.8.1 Verifiche SLU

#### 10.8.1.1 Verifiche a flessione

Si considera, per la flessione agente lungo il piano orizzontale, un'armatura costituita da  $\Phi 24/20$  sul lato interno e  $\Phi 16/20$  sul lato esterno; viceversa, per la flessione agente lungo il piano verticale, si considera un'armatura costituita da  $\Phi 24/20$  sul lato interno e  $\Phi 16/20$  sul lato esterno.

**Titolo:** Verifica a flessione Paraghiaia - Mxx

N° figure elementari 1 Zoom N° strati barre 2 Zoom

| N° | b [cm] | h [cm] | N° | As [cm²] | d [cm] |
|----|--------|--------|----|----------|--------|
| 1  | 100    | 30     | 1  | 10,05    | 4      |
|    |        |        | 2  | 22,62    | 26     |

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> 0 kN  
M<sub>xEd</sub> 121,48 kNm  
M<sub>yEd</sub> 0 kNm

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

Tipo rottura Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

M<sub>xRd</sub> 208,8 kN m

Materiali B450C C32/40

$\epsilon_{su}$  67,5 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰  
 $f_{yd}$  391,3 N/mm²  $\epsilon_{cu}$  3,5 ‰  
 $E_s$  200.000 N/mm²  $f_{cd}$  18,13 ‰  
 $E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  0,8 ‰  
 $\epsilon_{syd}$  1,957 ‰  $\sigma_{c,adm}$  12,25 N/mm²  
 $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm²  $\tau_{co}$  0,7333  
 $\tau_{c1}$  2,114

$\sigma_c$  -18,13 N/mm²  
 $\sigma_s$  391,3 N/mm²  
 $\epsilon_c$  3,5 ‰  
 $\epsilon_s$  14,56 ‰  
d 26 cm  
x 5,039 x/d 0,1938  
 $\delta$  0,7

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

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

Tipo flessione  
 Retta  Deviata

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

Precompresso

Figura 166 – Verifica a Flessione – Mxx

Verifica C.A. S.L.U. - File

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

**Titolo:** Verifica a flessione Paraghiaia - Myy

N° strati barre 2 Zoom

| N° | b [cm] | h [cm] | N° | As [cm²] | d [cm] |
|----|--------|--------|----|----------|--------|
| 1  | 100    | 30     | 1  | 10,05    | 5      |
|    |        |        | 2  | 22,62    | 25     |

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> 0 kN  
M<sub>xEd</sub> 147,6 kNm  
M<sub>yEd</sub> 0 kNm

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

Tipo rottura Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

M<sub>yRd</sub> 198,9 kN m

Materiali B450C C32/40

$\epsilon_{su}$  67,5 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰  
 $f_{yd}$  391,3 N/mm²  $\epsilon_{cu}$  3,5 ‰  
 $E_s$  200.000 N/mm²  $f_{cd}$  18,13 ‰  
 $E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  0,8 ‰  
 $\epsilon_{syd}$  1,957 ‰  $\sigma_{c,adm}$  12,25 N/mm²  
 $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm²  $\tau_{co}$  0,7333  
 $\tau_{c1}$  2,114

$\sigma_c$  -18,13 N/mm²  
 $\sigma_s$  391,3 N/mm²  
 $\epsilon_c$  3,5 ‰  
 $\epsilon_s$  12,26 ‰  
d 25 cm  
x 5,552 x/d 0,2221  
 $\delta$  0,7176

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

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

Tipo flessione  
 Retta  Deviata

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

Precompresso

Figura 167 – Verifica a Flessione – Myy

### 10.8.1.2 Verifiche a taglio

Le verifiche vengono eseguite considerando la presenza di legature  $\Phi 12/40 \times 40$ .

| Verifiche a taglio - D.M. 14-01-2008 |       |                              |        |                               |        |                                    |            |
|--------------------------------------|-------|------------------------------|--------|-------------------------------|--------|------------------------------------|------------|
| <b>Materiali</b>                     |       | <b>Geometria sezione</b>     |        | <b>Armatura longitudinale</b> |        | <b>Sollecitazioni di calcolo</b>   |            |
| <b>Calcestruzzo</b>                  |       | b [mm]                       | 1000   | n° barre                      | 5      | $N_{Ed}$ [kN]                      | 0          |
| Rck [Mpa]                            | 40    | h [mm]                       | 300    | diámetro                      | 16     | $V_{Ed}$ [kN]                      | 158.44     |
| fck [Mpa]                            | 33.2  | c [mm]                       | 40     | Area [mm <sup>2</sup> ]       | 1004.8 |                                    |            |
| fcd [Mpa]                            | 18.8  | d [mm]                       | 260    |                               |        |                                    |            |
| <b>Acciaio</b>                       |       | <b>Parametri di verifica</b> |        | <b>Armatura trasversale</b>   |        | <b>VERIFICHE</b>                   |            |
| fyk [Mpa]                            | 450   | k                            | 1.88   | Staffe $\Phi$                 | 12     | <b>Sezione non armata a taglio</b> |            |
| fyd [Mpa]                            | 391.3 | $v_{min}$                    | 0.52   | n° bracci                     | 2.5    | $V_{Rd}$ [kN]                      | 137.10     |
|                                      |       | $\rho_l$                     | 0.0039 | $A_{sw}$ [mm <sup>2</sup> ]   | 282.6  |                                    | Armare!!!  |
|                                      |       | $\sigma_{cp}$                | 0.0000 | s [mm]                        | 400    |                                    |            |
|                                      |       | v                            | 0.5    |                               |        | <b>Sezione armata a taglio</b>     |            |
|                                      |       | $(\sigma_{cp})^*$            | 0      |                               |        | <b>Crisi armatura a taglio</b>     |            |
|                                      |       | $\alpha_c$                   | 1.000  |                               |        | $V_{Rsd}$ [kN]                     | 161.73     |
|                                      |       | $\omega_{sw}$                | 0.015  |                               |        | $V_{Rcd}$ [kN]                     | 759.02     |
|                                      |       | cotg $\theta$                | 5.747  |                               |        | $V_{Rd}$ [kN]                      | 161.73     |
|                                      |       | cotg $\theta^*$              | 2.500  |                               |        |                                    | Verificato |

Figura 168 – Verifica a Taglio –  $V_{xx}$

| Verifiche a taglio - D.M. 14-01-2008 |       |                              |        |                               |        |                                    |            |
|--------------------------------------|-------|------------------------------|--------|-------------------------------|--------|------------------------------------|------------|
| <b>Materiali</b>                     |       | <b>Geometria sezione</b>     |        | <b>Armatura longitudinale</b> |        | <b>Sollecitazioni di calcolo</b>   |            |
| <b>Calcestruzzo</b>                  |       | b [mm]                       | 1000   | n° barre                      | 5      | $N_{Ed}$ [kN]                      | 0          |
| Rck [Mpa]                            | 40    | h [mm]                       | 300    | diámetro                      | 16     | $V_{Ed}$ [kN]                      | 133.32     |
| fck [Mpa]                            | 33.2  | c [mm]                       | 40     | Area [mm <sup>2</sup> ]       | 1004.8 |                                    |            |
| fcd [Mpa]                            | 18.8  | d [mm]                       | 260    |                               |        |                                    |            |
| <b>Acciaio</b>                       |       | <b>Parametri di verifica</b> |        | <b>Armatura trasversale</b>   |        | <b>VERIFICHE</b>                   |            |
| fyk [Mpa]                            | 450   | k                            | 1.88   | Staffe $\Phi$                 | 12     | <b>Sezione non armata a taglio</b> |            |
| fyd [Mpa]                            | 391.3 | $v_{min}$                    | 0.52   | n° bracci                     | 2.5    | $V_{Rd}$ [kN]                      | 137.10     |
|                                      |       | $\rho_l$                     | 0.0039 | $A_{sw}$ [mm <sup>2</sup> ]   | 282.6  |                                    | Verificato |
|                                      |       | $\sigma_{cp}$                | 0.0000 | s [mm]                        | 400    |                                    |            |
|                                      |       | v                            | 0.5    |                               |        | <b>Sezione armata a taglio</b>     |            |
|                                      |       | $(\sigma_{cp})^*$            | 0      |                               |        | <b>Crisi armatura a taglio</b>     |            |
|                                      |       | $\alpha_c$                   | 1.000  |                               |        | $V_{Rsd}$ [kN]                     | 161.73     |
|                                      |       | $\omega_{sw}$                | 0.015  |                               |        | $V_{Rcd}$ [kN]                     | 759.02     |
|                                      |       | cotg $\theta$                | 5.747  |                               |        | $V_{Rd}$ [kN]                      | 161.73     |
|                                      |       | cotg $\theta^*$              | 2.500  |                               |        |                                    | Verificato |

Figura 169 – Verifica a Taglio –  $V_{yy}$

## 10.8.2 Verifiche SLE

### 10.8.2.1 Verifiche a fessurazione

Si riportano nel seguito le verifiche a fessurazione eseguite sul paragonia della Spalla S3 nella combinazione frequente.

| Tipo di combinazione SLE  |  |   |                         |
|---|--|---|-------------------------|
| <b>Comb.</b>  | <b>Frequente</b>                                     |   |                         |
| Materiali   |  |   |                         |
| <b>Cls</b>  | <b>C32/40</b>  | $f_{ctk} = f_{ctm} / 1,2$ 2.58 MPa                        | $f_{ck}$ 33.2 MPa       |
| <b>Acciaio</b>  | <b>B450C</b>   | $f_{yk}$ 450 MPa  |                         |
| Sollecitazioni e caratteristiche della sezione                                      |  |   |                         |
| $M_{Ed}$  | 49.61 kNm  | Sollecitazione flettente                                  |                         |
| $N_{ed}$  | 0 kN   | Sforzo normale ( <b>negativo</b> se di compressione)      |                         |
| $c$   | 40 mm  | Distanza dell'asse delle armature tese dal bordo          |                         |
| $H$   | 300 mm   | Altezza totale della sezione                              |                         |
| $B$   | 1000 mm  | Base della sezione  |                         |
| $d$   | 260 mm   | Altezza utile della sezione                               |                         |
| $A_s$   | 2260.8 mm <sup>2</sup>                               | Armatura tesa   |                         |
| $A's$   | 1004.8 mm <sup>2</sup>                               | Armatura compressa  |                         |
| $n$   | 15   | Omogeneizzazione acciaio/cls compr.                       |                         |
| $y$   | 150 mm   | Posizione del baricentro                                  |                         |
| Calcolo del momento di fessurazione (sezione non fessurata)                         |  |   |                         |
| $A^*$   | 348984 mm <sup>2</sup>                               | Area omogeneizzata  |                         |
| $I^*$   | 2.8427E+09 mm <sup>4</sup>                           | Inerzia omogeneizzata                                     |                         |
| $M_{fess}$  | <b>48.94</b> kNm                                     | Momento di prima fessurazione <MEd                        |                         |
| <b>SEZIONE FESSURATA! DETERMINA L'ASSE NEUTRO E PASSA AL CALCOLO DELLE AMPIEZZE</b> |  |   |                         |
| Sollecitazioni e caratteristiche della sezione                                      |  |   |                         |
| $M_{Ed}$  | 49.61 kNm  | Sollecitazione flettente                                  |                         |
| $N_{ed}$  | 0 kN   | Sforzo normale ( <b>negativo</b> se di compressione)      |                         |
| $B$   | 1000 mm  | $d$   | 260 mm                  |
| $h$   | 300 mm   | $h_{c,eff}$   | 67.7 mm                 |
| $x$   | 97 mm  | $A_{c,eff}$   | 67748.8 mm <sup>2</sup> |
| $ricopr.$   | 28 mm  |   |                         |
| Caratteristiche dell'armatura tesa  |  |   |                         |
| <b>Spaziatura</b>   | <b>200</b> mm  | $A_s$   | 452.16 mm <sup>2</sup>  |
| <b>n. ferri</b>   | <b>1</b>   | $\rho_{eff}$  | 0.007                   |
| $\phi$  | 24 mm  | $\sigma_s$  | 96.86 MPa               |
| Calcolo della deformazione unitaria media delle barre                               |  |   |                         |
| $k_t$   | 0.4 coefficiente dipendente dalla durata dei carichi |   |                         |
| $\epsilon_{sm}$   | 0.0002767 deformazione unitaria media delle barre    |   |                         |
| Calcolo della distanza massima tra le fessure                                       |  |   |                         |
| $5(c + \phi / 2)$   | 200 mm   | < minore della spaziatura fra i ferri                     |                         |
| $k_1$   | 0.8  |   |                         |
| $k_2$   | <b>0.5</b>   | (<= 1 per trazione eccentrica; 0,5 nel caso di flessione) |                         |
| $k_3$   | 3.4  |   |                         |
| $k_4$   | 0.425  |   |                         |
| $\Delta_{smax}$   | 706.52 mm  | max(Eq. C.4.1.20; Eq. distanza massima fra le fessure)    |                         |
| Valore di calcolo dell'apertura delle fessure e verifica                            |  |   |                         |
| $w_d = \epsilon_{sm} \Delta_{smax}$   | 0.196 mm   | (Eq. C.4.1.15)  |                         |
| $w_{amm}$   | 0.300 mm   | > $w_d$ : LA VERIFICA E' SODDISFATTA                      |                         |

Figura 170 – Verifica a fessurazione – Mxx

| Tipo di combinazione SLE  |  |   |                                 |
|---|--|---|---------------------------------|
| <b>Comb.</b>  | Frequente  |   |                                 |
| <b>Materiali</b>  |  |   |                                 |
| <b>Cls</b>  | C32/40   | $f_{ctk} = f_{ctm} / 1,2$                                 | 2.58 MPa $f_{ck}$ 33.2 MPa      |
| <b>Acciaio</b>  | B450C  | $f_{yk}$  | 450 MPa                         |
| <b>Sollecitazioni e caratteristiche della sezione</b>                               |  |   |                                 |
| $M_{Ed}$  | 53.1 kNm   | Sollecitazione flettente                                  |                                 |
| $N_{ed}$  | 0 kN   | Sforzo normale ( <b>negativo</b> se di compressione)      |                                 |
| $c$   | 50 mm  | Distanza dell'asse delle armature tese dal bordo          |                                 |
| $H$   | 300 mm   | Altezza totale della sezione                              |                                 |
| $B$   | 1000 mm  | Base della sezione  |                                 |
| $d$   | 250 mm   | Altezza utile della sezione                               |                                 |
| $A_s$   | 2260.8 mm <sup>2</sup>                               | Armatura tesa   |                                 |
| $A's$   | 1004.8 mm <sup>2</sup>                               | Armatura compressa  |                                 |
| $n$   | 15   | Omogeneizzazione acciaio/cls compr.                       |                                 |
| $y$   | 150 mm   | Posizione del baricentro                                  |                                 |
| <b>Calcolo del momento di fessurazione (sezione non fessurata)</b>                  |  |   |                                 |
| $A^*$   | 348984 mm <sup>2</sup>                               | Area omogeneizzata  |                                 |
| $I^*$   | 2.7398E+09 mm <sup>4</sup>                           | Inerzia omogeneizzata                                     |                                 |
| $M_{fess}$  | 47.17 kNm  | Momento di prima fessurazione < $M_{Ed}$                  |                                 |
| <b>SEZIONE FESSURATA! DETERMINA L'ASSE NEUTRO E PASSA AL CALCOLO DELLE AMPIEZZE</b> |  |   |                                 |
| <b>Sollecitazioni e caratteristiche della sezione</b>                               |  |   |                                 |
| $M_{Ed}$  | 53.1 kNm   | Sollecitazione flettente                                  |                                 |
| $N_{ed}$  | 0 kN   | Sforzo normale ( <b>negativo</b> se di compressione)      |                                 |
| $B$   | 1000 mm  | $d$   | 250 mm                          |
| $h$   | 300 mm   | $h_{c,eff}$   | 68.2 mm                         |
| $x$   | 95 mm  | $A_{c,eff}$   | 68181.7 mm <sup>2</sup>         |
| $ricopr.$   | 38 mm  |   |                                 |
| <b>Caratteristiche dell'armatura tesa</b>   |  |   |                                 |
| <b>Spaziatura</b>   | 200 mm   | $A_s$   | 452.16 mm <sup>2</sup>          |
| <b>n. ferri</b>   | 1  | $\rho_{eff}$  | 0.007                           |
| $\phi$  | 24 mm  | $\sigma_s$  | 108.84 MPa                      |
| <b>Calcolo della deformazione unitaria media delle barre</b>                        |  |   |                                 |
| $k_t$   | 0.4 coefficiente dipendente dalla durata dei carichi |   |                                 |
| $\epsilon_{sm}$   | 0.0003110 deformazione unitaria media delle barre    |   |                                 |
| <b>Calcolo della distanza massima tra le fessure</b>                                |  |   |                                 |
| $5(c + \phi / 2)$   | 250 mm   | > della spaziatura fra i ferri                            |                                 |
| $k_1$   | 0.8  |   |                                 |
| $k_2$   | 0.5  | (<= 1 per trazione eccentrica; 0,5 nel caso di flessione) |                                 |
| $k_3$   | 3.4  |   |                                 |
| $k_4$   | 0.425  |   |                                 |
| $\Delta_{smax}$   | 744.43 mm  | (Eq. C.4.1.17)  | distanza massima fra le fessure |
| <b>Valore di calcolo dell'apertura delle fessure e verifica</b>                     |  |   |                                 |
| $w_d = \epsilon_{sm} \Delta_{smax}$   | 0.231 mm   | (Eq. C.4.1.15)  |                                 |
| $w_{amm}$   | 0.300 mm   | > $w_d$ : LA VERIFICA E' SODDISFATTA                      |                                 |

Figura 171 – Verifica a fessurazione –  $M_{yy}$

### 10.8.2.2 Verifiche tensionali

Si riportano nel seguito le verifiche tensionali eseguite sul paraghiaia della Spalla S3 nella combinazione rara.

| Calcolo delle tensioni nel caso di flessione semplice (sezione fessurata) |                            |                            |                        |
|---|----------------------------|----------------------------|------------------------|
| $x_c$   | 84 mm                      | Posizione dell'asse neutro |                        |
| $I_{ci}$  | 9.5621E+08 mm <sup>4</sup> | Inerzia omogeneizzata      |                        |
| $f$   | 39 mm                      |                            |                        |
| $h_o$   | 174 mm                     |                            |                        |
| $\sigma_{tmax}$   | 204.25 MPa                 | Tensione nell'acciaio      | Verifica tensionale OK |
| $\sigma_{cmax}$   | 6.46 MPa                   | Tensione nel calcestruzzo  | Verifica tensionale OK |
| $M_y$   | 163 kNm                    | Momento allo snervamento   |                        |

Figura 172 – Verifica tensionale –  $M_{xx}$

| Calcolo delle tensioni nel caso di flessione semplice (sezione fessurata) |                            |                            |                        |
|---|----------------------------|----------------------------|------------------------|
| $x_c$   | 95 mm                      | Posizione dell'asse neutro |                        |
| $I_{ci}$  | 1.1310E+09 mm <sup>4</sup> | Inerzia omogeneizzata      |                        |
| $f$   | 49 mm                      |                            |                        |
| $h_o$   | 188 mm                     |                            |                        |
| $\sigma_{tmax}$   | 224.23 MPa                 | Tensione nell'acciaio      | Verifica tensionale OK |
| $\sigma_{cmax}$   | 9.23 MPa                   | Tensione nel calcestruzzo  | Verifica tensionale OK |
| $M_y$   | 220 kNm                    | Momento allo snervamento   |                        |

Figura 173 – Verifica tensionale –  $M_{yy}$

## 10.9 Verifica del muro paragliaia – Spalla S4

Si riportano in questo paragrafo le verifiche relative al paragliaia della Spalla S4 del Sovrappasso di Ingresso dell'opera in oggetto.

### 10.9.1 Verifiche SLU

#### 10.9.1.1 Verifiche a flessione

Si considera, per la flessione agente lungo il piano orizzontale, un'armatura costituita da  $\Phi 24/20$  sul lato interno e  $\Phi 16/20$  sul lato esterno; viceversa, per la flessione agente lungo il piano verticale, si considera un'armatura costituita da  $\Phi 24/20$  sul lato interno e  $\Phi 16/20$  sul lato esterno.

**Titolo:** Verifica a flessione Paragliaia - Mxx

N° figure elementari 1 Zoom N° strati barre 2 Zoom

| N° | b [cm] | h [cm] | N° | As [cm²] | d [cm] |
|----|--------|--------|----|----------|--------|
| 1  | 100    | 30     | 1  | 10,05    | 4      |
|    |        |        | 2  | 22,62    | 26     |

**Sollecitazioni** S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> 0 kN  
M<sub>xEd</sub> 116,14 kNm  
M<sub>yEd</sub> 0 kNm

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

**Materiali**

| B450C                      | C32/40                 |
|----------------------------|------------------------|
| $\epsilon_{su}$ 67,5 ‰     | $\epsilon_{c2}$ 2 ‰    |
| $f_{yd}$ 391,3 N/mm²       | $\epsilon_{cu}$ 3,5 ‰  |
| $E_s$ 200 000 N/mm²        | $f_{cd}$ 18,13         |
| $E_s/E_c$ 15               | $f_{cc}/f_{cd}$ 0,8    |
| $\epsilon_{syd}$ 1,957 ‰   | $\sigma_{c,adm}$ 12,25 |
| $\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm² | $\tau_{co}$ 0,7333     |
|                            | $\tau_{c1}$ 2,114      |

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

**Tipo flessione**  
Retta Deviata

N° rett. 100

Calcola MRd Dominio M-N

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

Precompresso

**Calcoli:**  
M<sub>xRd</sub> 208,8 kN m  
 $\alpha_c$  -18,13 N/mm²  
 $\alpha_s$  391,3 N/mm²  
 $\epsilon_c$  3,5 ‰  
 $\epsilon_s$  14,56 ‰  
d 26 cm  
x 5,039 w/d 0,1938  
 $\delta$  0,7

Figura 174 – Verifica a Flessione – Mxx

**Titolo:** Verifica a flessione Paragliaia - Myy

N° figure elementari 1 Zoom N° strati barre 2 Zoom

| N° | b [cm] | h [cm] | N° | As [cm²] | d [cm] |
|----|--------|--------|----|----------|--------|
| 1  | 100    | 30     | 1  | 10,05    | 5      |
|    |        |        | 2  | 22,62    | 25     |

**Sollecitazioni** S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> 0 kN  
M<sub>xEd</sub> 147,6 kNm  
M<sub>yEd</sub> 0 kNm

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

**Materiali**

| B450C                      | C32/40                 |
|----------------------------|------------------------|
| $\epsilon_{su}$ 67,5 ‰     | $\epsilon_{c2}$ 2 ‰    |
| $f_{yd}$ 391,3 N/mm²       | $\epsilon_{cu}$ 3,5 ‰  |
| $E_s$ 200 000 N/mm²        | $f_{cd}$ 18,13         |
| $E_s/E_c$ 15               | $f_{cc}/f_{cd}$ 0,8    |
| $\epsilon_{syd}$ 1,957 ‰   | $\sigma_{c,adm}$ 12,25 |
| $\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm² | $\tau_{co}$ 0,7333     |
|                            | $\tau_{c1}$ 2,114      |

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

**Tipo flessione**  
Retta Deviata

N° rett. 100

Calcola MRd Dominio M-N

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

Precompresso

**Calcoli:**  
M<sub>yRd</sub> 198,9 kN m  
 $\alpha_c$  -18,13 N/mm²  
 $\alpha_s$  391,3 N/mm²  
 $\epsilon_c$  3,5 ‰  
 $\epsilon_s$  12,26 ‰  
d 25 cm  
x 5,552 w/d 0,2221  
 $\delta$  0,7176

Figura 175 – Verifica a Flessione – Myy

### 10.9.1.2 Verifiche a taglio

Le verifiche vengono eseguite considerando la presenza di legature  $\Phi 12/40 \times 40$ .

| Verifiche a taglio - D.M. 14-01-2008 |       |                              |        |                               |        |                                    |        |
|--------------------------------------|-------|------------------------------|--------|-------------------------------|--------|------------------------------------|--------|
| <b>Materiali</b>                     |       | <b>Geometria sezione</b>     |        | <b>Armatura longitudinale</b> |        | <b>Sollecitazioni di calcolo</b>   |        |
| <b>Calcestruzzo</b>                  |       | b [mm]                       | 1000   | n° barre                      | 5      | $N_{Ed}$ [kN]                      | 0      |
| Rck [Mpa]                            | 40    | h [mm]                       | 300    | diametro                      | 16     | $V_{Ed}$ [kN]                      | 158.09 |
| fck [Mpa]                            | 33.2  | c [mm]                       | 40     | Area [mm <sup>2</sup> ]       | 1004.8 |                                    |        |
| fcd [Mpa]                            | 18.8  | d [mm]                       | 260    |                               |        |                                    |        |
| <b>Acciaio</b>                       |       | <b>Parametri di verifica</b> |        | <b>Armatura trasversale</b>   |        | <b>VERIFICHE</b>                   |        |
| fyk [Mpa]                            | 450   | k                            | 1.88   | Staffe $\Phi$                 | 12     | <b>Sezione non armata a taglio</b> |        |
| fyd [Mpa]                            | 391.3 | $v_{min}$                    | 0.52   | n° bracci                     | 2.5    | $V_{Rd}$ [kN]                      | 137.10 |
|                                      |       | $\rho_l$                     | 0.0039 | $A_{sw}$ [mm <sup>2</sup> ]   | 282.6  | Armare!!!                          |        |
|                                      |       | $\sigma_{cp}$                | 0.0000 | s [mm]                        | 400    | <b>Sezione armata a taglio</b>     |        |
|                                      |       | v                            | 0.5    |                               |        | <b>Crisi armatura a taglio</b>     |        |
|                                      |       | $(\sigma_{cp})^*$            | 0      |                               |        | $V_{Rsd}$ [kN]                     | 161.73 |
|                                      |       | $\alpha_c$                   | 1.000  |                               |        | $V_{Rcd}$ [kN]                     | 759.02 |
|                                      |       | $\omega_{sw}$                | 0.015  |                               |        | $V_{Rd}$ [kN]                      | 161.73 |
|                                      |       | cotg $\theta$                | 5.747  |                               |        | Verificato                         |        |
|                                      |       | cotg $\theta^*$              | 2.500  |                               |        |                                    |        |

Figura 176 – Verifica a Taglio –  $V_{xx}$

| Verifiche a taglio - D.M. 14-01-2008 |       |                              |        |                               |        |                                    |        |
|--------------------------------------|-------|------------------------------|--------|-------------------------------|--------|------------------------------------|--------|
| <b>Materiali</b>                     |       | <b>Geometria sezione</b>     |        | <b>Armatura longitudinale</b> |        | <b>Sollecitazioni di calcolo</b>   |        |
| <b>Calcestruzzo</b>                  |       | b [mm]                       | 1000   | n° barre                      | 5      | $N_{Ed}$ [kN]                      | 0      |
| Rck [Mpa]                            | 40    | h [mm]                       | 300    | diametro                      | 16     | $V_{Ed}$ [kN]                      | 124.59 |
| fck [Mpa]                            | 33.2  | c [mm]                       | 40     | Area [mm <sup>2</sup> ]       | 1004.8 |                                    |        |
| fcd [Mpa]                            | 18.8  | d [mm]                       | 260    |                               |        |                                    |        |
| <b>Acciaio</b>                       |       | <b>Parametri di verifica</b> |        | <b>Armatura trasversale</b>   |        | <b>VERIFICHE</b>                   |        |
| fyk [Mpa]                            | 450   | k                            | 1.88   | Staffe $\Phi$                 | 12     | <b>Sezione non armata a taglio</b> |        |
| fyd [Mpa]                            | 391.3 | $v_{min}$                    | 0.52   | n° bracci                     | 2.5    | $V_{Rd}$ [kN]                      | 137.10 |
|                                      |       | $\rho_l$                     | 0.0039 | $A_{sw}$ [mm <sup>2</sup> ]   | 282.6  | Verificato                         |        |
|                                      |       | $\sigma_{cp}$                | 0.0000 | s [mm]                        | 400    | <b>Sezione armata a taglio</b>     |        |
|                                      |       | v                            | 0.5    |                               |        | <b>Crisi armatura a taglio</b>     |        |
|                                      |       | $(\sigma_{cp})^*$            | 0      |                               |        | $V_{Rsd}$ [kN]                     | 161.73 |
|                                      |       | $\alpha_c$                   | 1.000  |                               |        | $V_{Rcd}$ [kN]                     | 759.02 |
|                                      |       | $\omega_{sw}$                | 0.015  |                               |        | $V_{Rd}$ [kN]                      | 161.73 |
|                                      |       | cotg $\theta$                | 5.747  |                               |        | Verificato                         |        |
|                                      |       | cotg $\theta^*$              | 2.500  |                               |        |                                    |        |

Figura 177 – Verifica a Taglio –  $V_{yy}$

## 10.9.2 Verifiche SLE

### 10.9.2.1 Verifiche a fessurazione

Si riportano nel seguito le verifiche a fessurazione eseguite sul paragonia della Spalla S4 nella combinazione frequente.

| Tipo di combinazione SLE  |  |   |                            |
|---|--|---|----------------------------|
| <b>Comb.</b>  | <b>Frequente</b>                                     |   |                            |
| Materiali   |  |   |                            |
| <b>Cls</b>  | <b>C32/40</b>  | $f_{ctk} = f_{ctm} / 1,2$                                 | 2.58 MPa $f_{ck}$ 33.2 MPa |
| <b>Acciaio</b>  | <b>B450C</b>   | $f_{yk}$  | 450 MPa                    |
| Sollecitazioni e caratteristiche della sezione                                      |  |   |                            |
| $M_{Ed}$  | 49.26 kNm  | Sollecitazione flettente                                  |                            |
| $N_{ed}$  | 0 kN   | Sforzo normale ( <b>negativo</b> se di compressione)      |                            |
| $c$   | 40 mm  | Distanza dell'asse delle armature tese dal bordo          |                            |
| $H$   | 300 mm   | Altezza totale della sezione                              |                            |
| $B$   | 1000 mm  | Base della sezione  |                            |
| $d$   | 260 mm   | Altezza utile della sezione                               |                            |
| $A_s$   | 2260.8 mm <sup>2</sup>                               | Armatura tesa   |                            |
| $A's$   | 1004.8 mm <sup>2</sup>                               | Armatura compressa  |                            |
| $n$   | 15   | Omogeneizzazione acciaio/cls compr.                       |                            |
| $y$   | 150 mm   | Posizione del baricentro                                  |                            |
| Calcolo del momento di fessurazione (sezione non fessurata)                         |  |   |                            |
| $A^*$   | 348984 mm <sup>2</sup>                               | Area omogeneizzata  |                            |
| $I^*$   | 2.8427E+09 mm <sup>4</sup>                           | Inerzia omogeneizzata                                     |                            |
| $M_{fess}$  | <b>48.94</b> kNm                                     | Momento di prima fessurazione <MEd                        |                            |
| <b>SEZIONE FESSURATA! DETERMINA L'ASSE NEUTRO E PASSA AL CALCOLO DELLE AMPIEZZE</b> |  |   |                            |
| Sollecitazioni e caratteristiche della sezione                                      |  |   |                            |
| $M_{Ed}$  | 49.26 kNm  | Sollecitazione flettente                                  |                            |
| $N_{ed}$  | 0 kN   | Sforzo normale ( <b>negativo</b> se di compressione)      |                            |
| $B$   | 1000 mm  | $d$   | 260 mm                     |
| $h$   | 300 mm   | $h_{c,eff}$   | 67.7 mm                    |
| $x$   | 97 mm  | $A_{c,eff}$   | 67748.8 mm <sup>2</sup>    |
| $ricopr.$   | 28 mm  |   |                            |
| Caratteristiche dell'armatura tesa  |  |   |                            |
| <b>Spaziatura</b>   | <b>200</b> mm  | $A_s$   | 452.16 mm <sup>2</sup>     |
| <b>n. ferri</b>   | <b>1</b>   | $\rho_{eff}$  | 0.007                      |
| $\phi$  | 24 mm  | $\sigma_s$  | 96.18 MPa                  |
| Calcolo della deformazione unitaria media delle barre                               |  |   |                            |
| $k_t$   | 0.4 coefficiente dipendente dalla durata dei carichi |   |                            |
| $\epsilon_{sm}$   | 0.0002748 deformazione unitaria media delle barre    |   |                            |
| Calcolo della distanza massima tra le fessure                                       |  |   |                            |
| $5(c + \phi / 2)$   | 200 mm   | < minore della spaziatura fra i ferri                     |                            |
| $k_1$   | 0.8  |   |                            |
| $k_2$   | <b>0.5</b>   | (<= 1 per trazione eccentrica; 0,5 nel caso di flessione) |                            |
| $k_3$   | 3.4  |   |                            |
| $k_4$   | 0.425  |   |                            |
| $\Delta_{smax}$   | 706.52 mm  | max(Eq. C.4.1.20; Eq. distanza massima fra le fessure)    |                            |
| Valore di calcolo dell'apertura delle fessure e verifica                            |  |   |                            |
| $w_d = \epsilon_{sm} \Delta_{smax}$   | 0.194 mm   | (Eq. C.4.1.15)  |                            |
| $w_{amm}$   | 0.300 mm   | > $w_d$ : LA VERIFICA E' SODDISFATTA                      |                            |

Figura 178 – Verifica a fessurazione – Mxx

| Tipo di combinazione SLE  |                            |   |                                 |
|---|----------------------------|---|---------------------------------|
| <b>Comb.</b>  | Frequente                  |   |                                 |
| <b>Materiali</b>  |                            |   |                                 |
| <b>Cls</b>  | C32/40                     | $f_{ctk} = f_{ctm} / 1,2$                                 | 2.58 MPa $f_{ck}$ 33.2 MPa      |
| <b>Acciaio</b>  | B450C                      | $f_{yk}$  | 450 MPa                         |
| <b>Sollecitazioni e caratteristiche della sezione</b>                               |                            |   |                                 |
| $M_{Ed}$  | 53.1 kNm                   | Sollecitazione flettente                                  |                                 |
| $N_{ed}$  | 0 kN                       | Sforzo normale ( <b>negativo</b> se di compressione)      |                                 |
| $c$   | 50 mm                      | Distanza dell'asse delle armature tese dal bordo          |                                 |
| $H$   | 300 mm                     | Altezza totale della sezione                              |                                 |
| $B$   | 1000 mm                    | Base della sezione  |                                 |
| $d$   | 250 mm                     | Altezza utile della sezione                               |                                 |
| $A_s$   | 2260.8 mm <sup>2</sup>     | Armatura tesa   |                                 |
| $A's$   | 1004.8 mm <sup>2</sup>     | Armatura compressa  |                                 |
| $n$   | 15                         | Omogeneizzazione acciaio/cls compr.                       |                                 |
| $y$   | 150 mm                     | Posizione del baricentro                                  |                                 |
| <b>Calcolo del momento di fessurazione (sezione non fessurata)</b>                  |                            |   |                                 |
| $A^*$   | 348984 mm <sup>2</sup>     | Area omogeneizzata  |                                 |
| $I^*$   | 2.7398E+09 mm <sup>4</sup> | Inerzia omogeneizzata                                     |                                 |
| $M_{fess}$  | 47.17 kNm                  | Momento di prima fessurazione <MEd                        |                                 |
| <b>SEZIONE FESSURATA! DETERMINA L'ASSE NEUTRO E PASSA AL CALCOLO DELLE AMPIEZZE</b> |                            |   |                                 |
| <b>Sollecitazioni e caratteristiche della sezione</b>                               |                            |   |                                 |
| $M_{Ed}$  | 53.1 kNm                   | Sollecitazione flettente                                  |                                 |
| $N_{ed}$  | 0 kN                       | Sforzo normale ( <b>negativo</b> se di compressione)      |                                 |
| $B$   | 1000 mm                    | $d$   | 250 mm                          |
| $h$   | 300 mm                     | $h_{c,eff}$   | 68.2 mm                         |
| $x$   | 95 mm                      | $A_{c,eff}$   | 68181.7 mm <sup>2</sup>         |
| $ricopr.$   | 38 mm                      |   |                                 |
| <b>Caratteristiche dell'armatura tesa</b>   |                            |   |                                 |
| <b>Spaziatura</b>   | 200 mm                     | $A_s$   | 452.16 mm <sup>2</sup>          |
| <b>n. ferri</b>   | 1                          | $\rho_{eff}$  | 0.007                           |
| $\phi$  | 24 mm                      | $\sigma_s$  | 108.84 MPa                      |
| <b>Calcolo della deformazione unitaria media delle barre</b>                        |                            |   |                                 |
| $k_t$   | 0.4                        | coefficiente dipendente dalla durata dei carichi          |                                 |
| $\epsilon_{sm}$   | 0.0003110                  | deformazione unitaria media delle barre                   |                                 |
| <b>Calcolo della distanza massima tra le fessure</b>                                |                            |   |                                 |
| $5(c + \phi / 2)$   | 250 mm                     | > della spaziatura fra i ferri                            |                                 |
| $k_1$   | 0.8                        |   |                                 |
| $k_2$   | 0.5                        | (<= 1 per trazione eccentrica; 0,5 nel caso di flessione) |                                 |
| $k_3$   | 3.4                        |   |                                 |
| $k_4$   | 0.425                      |   |                                 |
| $\Delta_{smax}$   | 744.43 mm                  | (Eq. C.4.1.17)  | distanza massima fra le fessure |
| <b>Valore di calcolo dell'apertura delle fessure e verifica</b>                     |                            |   |                                 |
| $w_d = \epsilon_{sm} \Delta_{smax}$   | 0.231 mm                   | (Eq. C.4.1.15)  |                                 |
| $w_{amm}$   | 0.300 mm                   | > $w_d$ : LA VERIFICA E' SODDISFATTA                      |                                 |

Figura 179 – Verifica a fessurazione – Myy

### 10.9.2.2 Verifiche tensionali

Si riportano nel seguito le verifiche tensionali eseguite sul paraghiaia della Spalla S4 nella combinazione rara.

| Calcolo delle tensioni nel caso di flessione semplice (sezione fessurata) |                            |                            |                        |
|---|----------------------------|----------------------------|------------------------|
| $x_c$   | 84 mm                      | Posizione dell'asse neutro |                        |
| $I_{ci}$  | 9.5621E+08 mm <sup>4</sup> | Inerzia omogeneizzata      |                        |
| $f$   | 39 mm                      |                            |                        |
| $h_o$   | 174 mm                     |                            |                        |
| $\sigma_{tmax}$   | 208.73 MPa                 | Tensione nell'acciaio      | Verifica tensionale OK |
| $\sigma_{cmax}$   | 6.60 MPa                   | Tensione nel calcestruzzo  | Verifica tensionale OK |
| $M_y$   | 163 kNm                    | Momento allo snervamento   |                        |

Figura 180 – Verifica tensionale –  $M_{xx}$

| Calcolo delle tensioni nel caso di flessione semplice (sezione fessurata) |                            |                            |                        |
|---|----------------------------|----------------------------|------------------------|
| $x_c$   | 95 mm                      | Posizione dell'asse neutro |                        |
| $I_{ci}$  | 1.1310E+09 mm <sup>4</sup> | Inerzia omogeneizzata      |                        |
| $f$   | 49 mm                      |                            |                        |
| $h_o$   | 188 mm                     |                            |                        |
| $\sigma_{tmax}$   | 224.23 MPa                 | Tensione nell'acciaio      | Verifica tensionale OK |
| $\sigma_{cmax}$   | 9.23 MPa                   | Tensione nel calcestruzzo  | Verifica tensionale OK |
| $M_y$   | 220 kNm                    | Momento allo snervamento   |                        |

Figura 181 – Verifica tensionale –  $M_{yy}$

## 10.10 Verifica dei muri andatori – Spalla S3

Si riportano in questo paragrafo le verifiche relative ai muri andatori della Spalla S3 del Sovrappasso di Ingresso dell'opera in oggetto.

### 10.10.1 Verifiche SLU

#### 10.10.1.1 Verifiche a flessione

Si considera, per la flessione agente lungo il piano orizzontale, un'armatura costituita da  $\Phi 24/20$  sul lato interno e  $\Phi 20/20$  sul lato esterno sia per la parte inferiore che per la parte superiore; viceversa, per la flessione agente lungo il piano verticale, si considera un'armatura costituita da  $\Phi 24/10$  sul lato interno e  $\Phi 16/20$  sul lato esterno per la parte inferiore e  $\Phi 24/20$  sul lato interno e  $\Phi 16/20$  sul lato esterno per la parte superiore.

**Titolo:** Verifica a flessione Muri Andatori - Mxx

N° figure elementari: 1 Zoom N° strati barre: 2 Zoom

| N° | b [cm] | h [cm] | N° | As [cm²] | d [cm] |
|----|--------|--------|----|----------|--------|
| 1  | 100    | 60     | 1  | 15,71    | 4      |
|    |        |        | 2  | 22,62    | 56     |

**Sollecitazioni**  
S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> 0 kN  
M<sub>xEd</sub> 392,24 kNm  
M<sub>yEd</sub> 0 kNm

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

**Materiali**  
B450C C32/40  
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> 18,13 ‰  
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> 12,25 N/mm²  
σ<sub>s,adm</sub> 255 N/mm² τ<sub>co</sub> 0,7333  
τ<sub>c1</sub> 2,114

**M** M<sub>xRd</sub> 474,3 kNm  
σ<sub>c</sub> -18,13 N/mm²  
σ<sub>s</sub> 391,3 N/mm²  
ε<sub>c</sub> 3,5 ‰  
ε<sub>s</sub> 37,45 ‰  
d 56 cm  
x 4,786 x/d 0,08547  
δ 0,7

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

**Metodo di calcolo**  
S.L.U. S.L.U.  
Metodo n

**Tipo flessione**  
Retta Deviata

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

Precompresso

Figura 182 – Verifica a Flessione parte inferiore – Mxx

**Titolo:** Verifica a flessione Muri Andatori - Myy

N° figure elementari: 1 Zoom N° strati barre: 2 Zoom

| N° | b [cm] | h [cm] | N° | As [cm²] | d [cm] |
|----|--------|--------|----|----------|--------|
| 1  | 100    | 60     | 1  | 10,05    | 4      |
|    |        |        | 2  | 45,24    | 56     |

**Sollecitazioni**  
S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> 0 kN  
M<sub>xEd</sub> 419,60 kNm  
M<sub>yEd</sub> 0 kNm

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

**Materiali**  
B450C C32/40  
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> 18,13 ‰  
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> 12,25 N/mm²  
σ<sub>s,adm</sub> 255 N/mm² τ<sub>co</sub> 0,7333  
τ<sub>c1</sub> 2,114

**M** M<sub>xRd</sub> 921,8 kNm  
σ<sub>c</sub> -18,13 N/mm²  
σ<sub>s</sub> 391,3 N/mm²  
ε<sub>c</sub> 3,5 ‰  
ε<sub>s</sub> 17,41 ‰  
d 56 cm  
x 9,376 x/d 0,1674  
δ 0,7

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

**Metodo di calcolo**  
S.L.U. S.L.U.  
Metodo n

**Tipo flessione**  
Retta Deviata

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

Precompresso

Figura 183 – Verifica a Flessione parte inferiore – Myy



### 10.10.1.2 Verifiche a taglio

Le verifiche vengono eseguite considerando la presenza di legature  $\Phi 14/40 \times 40$ .

| Verifiche a taglio - D.M. 14-01-2008 |       |                                |        |                             |        |                                    |            |
|--------------------------------------|-------|--------------------------------|--------|-----------------------------|--------|------------------------------------|------------|
| Materiali                            |       | Geometria sezione              |        | Armatura longitudinale      |        | Sollecitazioni di calcolo          |            |
| <b>Calcestruzzo</b>                  |       | b [mm]                         | 1000   | n° barre                    | 5      | $N_{Ed}$ [kN]                      | 0          |
| Rck [Mpa]                            | 40    | h [mm]                         | 600    | diametro                    | 20     | $V_{Ed}$ [kN]                      | 353.28     |
| fck [Mpa]                            | 33.2  | c [mm]                         | 40     | Area [mm <sup>2</sup> ]     | 1570   |                                    |            |
| fcd [Mpa]                            | 18.8  | d [mm]                         | 560    |                             |        |                                    |            |
| <b>Acciaio</b>                       |       | <b>Parametri di verifica</b>   |        | <b>Armatura trasversale</b> |        | <b>VERIFICHE</b>                   |            |
| f <sub>yk</sub> [Mpa]                | 450   | k                              | 1.60   | Staffe $\Phi$               | 14     | <b>Sezione non armata a taglio</b> |            |
| f <sub>yd</sub> [Mpa]                | 391.3 | v <sub>min</sub>               | 0.41   | n° bracci                   | 2.5    | $V_{Rd}$ [kN]                      | 228.05     |
|                                      |       | $\rho_l$                       | 0.0028 | $A_{sw}$ [mm <sup>2</sup> ] | 384.65 |                                    | Armare!!!  |
|                                      |       | $\sigma_{cp}$                  | 0.0000 | s [mm]                      | 400    |                                    |            |
|                                      |       | v                              | 0.5    |                             |        | <b>Sezione armata a taglio</b>     |            |
|                                      |       | ( $\sigma_{cp}$ ) <sup>*</sup> | 0      |                             |        | <b>Crisi armatura a taglio</b>     |            |
|                                      |       | $\alpha_c$                     | 1.000  |                             |        | $V_{Rsd}$ [kN]                     | 474.12     |
|                                      |       | $\omega_{sw}$                  | 0.020  |                             |        | $V_{Rcd}$ [kN]                     | 1634.81    |
|                                      |       | cotg $\theta$                  | 4.899  |                             |        | $V_{Rd}$ [kN]                      | 474.12     |
|                                      |       | cotg $\theta^*$                | 2.500  |                             |        |                                    | Verificato |

Figura 186 – Verifica a Taglio parte inferiore –  $V_{xx}$

| Verifiche a taglio - D.M. 14-01-2008 |       |                                |        |                             |        |                                    |            |
|--------------------------------------|-------|--------------------------------|--------|-----------------------------|--------|------------------------------------|------------|
| Materiali                            |       | Geometria sezione              |        | Armatura longitudinale      |        | Sollecitazioni di calcolo          |            |
| <b>Calcestruzzo</b>                  |       | b [mm]                         | 1000   | n° barre                    | 5      | $N_{Ed}$ [kN]                      | 0          |
| Rck [Mpa]                            | 40    | h [mm]                         | 600    | diametro                    | 16     | $V_{Ed}$ [kN]                      | 342.55     |
| fck [Mpa]                            | 33.2  | c [mm]                         | 40     | Area [mm <sup>2</sup> ]     | 1004.8 |                                    |            |
| fcd [Mpa]                            | 18.8  | d [mm]                         | 560    |                             |        |                                    |            |
| <b>Acciaio</b>                       |       | <b>Parametri di verifica</b>   |        | <b>Armatura trasversale</b> |        | <b>VERIFICHE</b>                   |            |
| f <sub>yk</sub> [Mpa]                | 450   | k                              | 1.60   | Staffe $\Phi$               | 14     | <b>Sezione non armata a taglio</b> |            |
| f <sub>yd</sub> [Mpa]                | 391.3 | v <sub>min</sub>               | 0.41   | n° bracci                   | 2.5    | $V_{Rd}$ [kN]                      | 228.05     |
|                                      |       | $\rho_l$                       | 0.0018 | $A_{sw}$ [mm <sup>2</sup> ] | 384.65 |                                    | Armare!!!  |
|                                      |       | $\sigma_{cp}$                  | 0.0000 | s [mm]                      | 400    |                                    |            |
|                                      |       | v                              | 0.5    |                             |        | <b>Sezione armata a taglio</b>     |            |
|                                      |       | ( $\sigma_{cp}$ ) <sup>*</sup> | 0      |                             |        | <b>Crisi armatura a taglio</b>     |            |
|                                      |       | $\alpha_c$                     | 1.000  |                             |        | $V_{Rsd}$ [kN]                     | 474.12     |
|                                      |       | $\omega_{sw}$                  | 0.020  |                             |        | $V_{Rcd}$ [kN]                     | 1634.81    |
|                                      |       | cotg $\theta$                  | 4.899  |                             |        | $V_{Rd}$ [kN]                      | 474.12     |
|                                      |       | cotg $\theta^*$                | 2.500  |                             |        |                                    | Verificato |

Figura 187 – Verifica a Taglio parte inferiore –  $V_{yy}$

| Verifiche a taglio - D.M. 14-01-2008 |       |                                |        |                                    |         |                                    |           |
|--------------------------------------|-------|--------------------------------|--------|------------------------------------|---------|------------------------------------|-----------|
| <b>Materiali</b>                     |       | <b>Geometria sezione</b>       |        | <b>Armatura longitudinale</b>      |         | <b>Sollecitazioni di calcolo</b>   |           |
| <b>Calcestruzzo</b>                  |       |                                |        | b [mm] 1000                        |         | n° barre 5                         |           |
| Rck [Mpa]                            | 40    | h [mm]                         | 440    | diametro                           | 20      | Ne <sub>d</sub> [kN]               | 0         |
| fck [Mpa]                            | 33.2  | c [mm]                         | 40     | Area [mm <sup>2</sup> ]            | 1570    | Ve <sub>d</sub> [kN]               | 298.84    |
| gcd [Mpa]                            | 18.8  | d [mm]                         | 400    | <b>Armatura trasversale</b>        |         |                                    |           |
| <b>Acciaio</b>                       |       |                                |        | Staffe $\Phi$ 14                   |         | <b>VERIFICHE</b>                   |           |
| fyk [Mpa]                            | 450   | <b>Parametri di verifica</b>   |        | n° bracci                          | 2.5     | <b>Sezione non armata a taglio</b> |           |
| fyd [Mpa]                            | 391.3 | k                              | 1.71   | A <sub>sw</sub> [mm <sup>2</sup> ] | 384.65  | V <sub>Rd</sub> [kN]               | 192.82    |
|                                      |       | v <sub>min</sub>               | 0.45   | s [mm]                             | 400     |                                    | Armare!!! |
|                                      |       | $\rho_l$                       | 0.0039 | <b>Sezione armata a taglio</b>     |         |                                    |           |
|                                      |       | $\sigma_{cp}$                  | 0.0000 | <b>Crisi armatura a taglio</b>     |         |                                    |           |
|                                      |       | v                              | 0.5    | V <sub>Rsd</sub> [kN]              | 338.66  |                                    |           |
|                                      |       | ( $\sigma_{cp}$ ) <sup>*</sup> | 0      | V <sub>Rcd</sub> [kN]              | 1167.72 |                                    |           |
|                                      |       | $\alpha_c$                     | 1.000  | V <sub>Rd</sub> [kN]               | 338.66  | Verificato                         |           |
|                                      |       | $\omega_{sw}$                  | 0.020  |                                    |         |                                    |           |
|                                      |       | cotg $\theta$                  | 4.899  |                                    |         |                                    |           |
|                                      |       | cotg $\theta^*$                | 2.500  |                                    |         |                                    |           |

Figura 188 – Verifica a Taglio parte superiore – V<sub>xx</sub>

| Verifiche a taglio - D.M. 14-01-2008 |       |                                |        |                                    |         |                                    |           |
|--------------------------------------|-------|--------------------------------|--------|------------------------------------|---------|------------------------------------|-----------|
| <b>Materiali</b>                     |       | <b>Geometria sezione</b>       |        | <b>Armatura longitudinale</b>      |         | <b>Sollecitazioni di calcolo</b>   |           |
| <b>Calcestruzzo</b>                  |       |                                |        | b [mm] 1000                        |         | n° barre 5                         |           |
| Rck [Mpa]                            | 40    | h [mm]                         | 440    | diametro                           | 16      | Ne <sub>d</sub> [kN]               | 0         |
| fck [Mpa]                            | 33.2  | c [mm]                         | 40     | Area [mm <sup>2</sup> ]            | 1004.8  | Ve <sub>d</sub> [kN]               | 191.22    |
| gcd [Mpa]                            | 18.8  | d [mm]                         | 400    | <b>Armatura trasversale</b>        |         |                                    |           |
| <b>Acciaio</b>                       |       |                                |        | Staffe $\Phi$ 14                   |         | <b>VERIFICHE</b>                   |           |
| fyk [Mpa]                            | 450   | <b>Parametri di verifica</b>   |        | n° bracci                          | 2.5     | <b>Sezione non armata a taglio</b> |           |
| fyd [Mpa]                            | 391.3 | k                              | 1.71   | A <sub>sw</sub> [mm <sup>2</sup> ] | 384.65  | V <sub>Rd</sub> [kN]               | 179.92    |
|                                      |       | v <sub>min</sub>               | 0.45   | s [mm]                             | 400     |                                    | Armare!!! |
|                                      |       | $\rho_l$                       | 0.0025 | <b>Sezione armata a taglio</b>     |         |                                    |           |
|                                      |       | $\sigma_{cp}$                  | 0.0000 | <b>Crisi armatura a taglio</b>     |         |                                    |           |
|                                      |       | v                              | 0.5    | V <sub>Rsd</sub> [kN]              | 338.66  |                                    |           |
|                                      |       | ( $\sigma_{cp}$ ) <sup>*</sup> | 0      | V <sub>Rcd</sub> [kN]              | 1167.72 |                                    |           |
|                                      |       | $\alpha_c$                     | 1.000  | V <sub>Rd</sub> [kN]               | 338.66  | Verificato                         |           |
|                                      |       | $\omega_{sw}$                  | 0.020  |                                    |         |                                    |           |
|                                      |       | cotg $\theta$                  | 4.899  |                                    |         |                                    |           |
|                                      |       | cotg $\theta^*$                | 2.500  |                                    |         |                                    |           |

Figura 189 – Verifica a Taglio parte superiore – V<sub>yy</sub>

## 10.10.2 Verifiche SLE

### 10.10.2.1 Verifiche a fessurazione

Si riportano nel seguito le verifiche a fessurazione eseguite sui muri andatori della Spalla S3 nella combinazione frequente.

| Tipo di combinazione SLE   |                            |  |                   |
|--|----------------------------|--|-------------------|
| <b>Comb.</b>   | Frequente                  |  |                   |
| <b>Materiali</b>   |                            |  |                   |
| <b>Cls</b>   | C32/40                     | $f_{ctk}=f_{ctm}/1,2$ 2.58 MPa                       | $f_{ck}$ 33.2 MPa |
| <b>Acciaio</b>   | B450C                      | $f_{yk}$ 450 MPa                                     |                   |
| <b>Sollecitazioni e caratteristiche della sezione</b>              |                            |  |                   |
| $M_{Ed}$   | 154.44 kNm                 | Sollecitazione flettente                             |                   |
| $N_{ed}$   | 0 kN                       | Sforzo normale ( <b>negativo</b> se di compressione) |                   |
| $c$  | 40 mm                      | Distanza dell'asse delle armature tese dal bordo     |                   |
| $H$  | 600 mm                     | Altezza totale della sezione                         |                   |
| $B$  | 1000 mm                    | Base della sezione                                   |                   |
| $d$  | 560 mm                     | Altezza utile della sezione                          |                   |
| $A_s$  | 2260.8 mm <sup>2</sup>     | Armatura tesa  |                   |
| $A's$  | 1570 mm <sup>2</sup>       | Armatura compressa                                   |                   |
| $n$  | 15                         | Omogeneizzazione acciaio/cls compr.                  |                   |
| $y$  | 300 mm                     | Posizione del baricentro                             |                   |
| <b>Calcolo del momento di fessurazione (sezione non fessurata)</b> |                            |  |                   |
| $A^*$  | 657462 mm <sup>2</sup>     | Area omogeneizzata                                   |                   |
| $I^*$  | 2.1884E+10 mm <sup>4</sup> | Inerzia omogeneizzata                                |                   |
| $M_{fess}$   | <b>188.38</b> kNm          | Momento di prima fessurazione >MEd                   |                   |
| SEZIONE NON FESSURATA  |                            |  |                   |

Figura 190 – Verifica a fessurazione parte inferiore – Mxx

| Tipo di combinazione SLE   |                            |  |                   |
|--|----------------------------|--|-------------------|
| <b>Comb.</b>   | Frequente                  |  |                   |
| <b>Materiali</b>   |                            |  |                   |
| <b>Cls</b>   | C32/40                     | $f_{ctk}=f_{ctm}/1,2$ 2.58 MPa                       | $f_{ck}$ 33.2 MPa |
| <b>Acciaio</b>   | B450C                      | $f_{yk}$ 450 MPa                                     |                   |
| <b>Sollecitazioni e caratteristiche della sezione</b>              |                            |  |                   |
| $M_{Ed}$   | 188.73 kNm                 | Sollecitazione flettente                             |                   |
| $N_{ed}$   | 0 kN                       | Sforzo normale ( <b>negativo</b> se di compressione) |                   |
| $c$  | 40 mm                      | Distanza dell'asse delle armature tese dal bordo     |                   |
| $H$  | 600 mm                     | Altezza totale della sezione                         |                   |
| $B$  | 1000 mm                    | Base della sezione                                   |                   |
| $d$  | 560 mm                     | Altezza utile della sezione                          |                   |
| $A_s$  | 4521.6 mm <sup>2</sup>     | Armatura tesa  |                   |
| $A's$  | 1004.8 mm <sup>2</sup>     | Armatura compressa                                   |                   |
| $n$  | 15                         | Omogeneizzazione acciaio/cls compr.                  |                   |
| $y$  | 300 mm                     | Posizione del baricentro                             |                   |
| <b>Calcolo del momento di fessurazione (sezione non fessurata)</b> |                            |  |                   |
| $A^*$  | 682896 mm <sup>2</sup>     | Area omogeneizzata                                   |                   |
| $I^*$  | 2.3604E+10 mm <sup>4</sup> | Inerzia omogeneizzata                                |                   |
| $M_{fess}$   | <b>203.19</b> kNm          | Momento di prima fessurazione >MEd                   |                   |
| SEZIONE NON FESSURATA  |                            |  |                   |

Figura 191 – Verifica a fessurazione parte inferiore – Myy

| Tipo di combinazione SLE   |                            |  |                   |
|--|----------------------------|--|-------------------|
| <b>Comb.</b>   | Frequente                  |  |                   |
| <b>Materiali</b>   |                            |  |                   |
| <b>Cls</b>   | C32/40                     | $f_{ctk}=f_{ctm}/1,2$ 2.58 MPa                       | $f_{ck}$ 33.2 MPa |
| <b>Acciaio</b>   | B450C                      | $f_{yk}$ 450 MPa                                     |                   |
| <b>Sollecitazioni e caratteristiche della sezione</b>              |                            |  |                   |
| $M_{Ed}$   | 67.41 kNm                  | Sollecitazione flettente                             |                   |
| $N_{ed}$   | 0 kN                       | Sforzo normale ( <b>negativo</b> se di compressione) |                   |
| $c$  | 40 mm                      | Distanza dell'asse delle armature tese dal bordo     |                   |
| $H$  | 440 mm                     | Altezza totale della sezione                         |                   |
| $B$  | 1000 mm                    | Base della sezione                                   |                   |
| $d$  | 400 mm                     | Altezza utile della sezione                          |                   |
| $A_s$  | 2260.8 mm <sup>2</sup>     | Armatura tesa  |                   |
| $A's$  | 1570 mm <sup>2</sup>       | Armatura compressa                                   |                   |
| $n$  | 15                         | Omogeneizzazione acciaio/cls compr.                  |                   |
| $y$  | 220 mm                     | Posizione del baricentro                             |                   |
| <b>Calcolo del momento di fessurazione (sezione non fessurata)</b> |                            |  |                   |
| $A^*$  | 497462 mm <sup>2</sup>     | Area omogeneizzata                                   |                   |
| $I^*$  | 8.9604E+09 mm <sup>4</sup> | Inerzia omogeneizzata                                |                   |
| $M_{fess}$   | <b>105.18</b> kNm          | Momento di prima fessurazione >MEd                   |                   |
| SEZIONE NON FESSURATA  |                            |  |                   |

Figura 192 – Verifica a fessurazione parte superiore – Mxx

| Tipo di combinazione SLE   |                            |  |                   |
|--|----------------------------|--|-------------------|
| <b>Comb.</b>   | Frequente                  |  |                   |
| <b>Materiali</b>   |                            |  |                   |
| <b>Cls</b>   | C32/40                     | $f_{ctk}=f_{ctm}/1,2$ 2.58 MPa                       | $f_{ck}$ 33.2 MPa |
| <b>Acciaio</b>   | B450C                      | $f_{yk}$ 450 MPa                                     |                   |
| <b>Sollecitazioni e caratteristiche della sezione</b>              |                            |  |                   |
| $M_{Ed}$   | 18.53 kNm                  | Sollecitazione flettente                             |                   |
| $N_{ed}$   | 0 kN                       | Sforzo normale ( <b>negativo</b> se di compressione) |                   |
| $c$  | 40 mm                      | Distanza dell'asse delle armature tese dal bordo     |                   |
| $H$  | 440 mm                     | Altezza totale della sezione                         |                   |
| $B$  | 1000 mm                    | Base della sezione                                   |                   |
| $d$  | 400 mm                     | Altezza utile della sezione                          |                   |
| $A_s$  | 2260.8 mm <sup>2</sup>     | Armatura tesa  |                   |
| $A's$  | 1004.8 mm <sup>2</sup>     | Armatura compressa                                   |                   |
| $n$  | 15                         | Omogeneizzazione acciaio/cls compr.                  |                   |
| $y$  | 220 mm                     | Posizione del baricentro                             |                   |
| <b>Calcolo del momento di fessurazione (sezione non fessurata)</b> |                            |  |                   |
| $A^*$  | 488984 mm <sup>2</sup>     | Area omogeneizzata                                   |                   |
| $I^*$  | 8.6857E+09 mm <sup>4</sup> | Inerzia omogeneizzata                                |                   |
| $M_{fess}$   | <b>101.96</b> kNm          | Momento di prima fessurazione >MEd                   |                   |
| SEZIONE NON FESSURATA  |                            |  |                   |

Figura 193 – Verifica a fessurazione parte superiore – Myy

### 10.10.2.2 Verifiche tensionali

Si riportano nel seguito le verifiche tensionali eseguite sui muri andatori della Spalla S3 nella combinazione rara.

| Calcolo delle tensioni nel caso di flessione semplice (sezione fessurata) |                            |                            |                        |
|---|----------------------------|----------------------------|------------------------|
| $x_c$   | 150 mm                     | Posizione dell'asse neutro |                        |
| $I_{ci}$  | 7.1105E+09 mm <sup>4</sup> | Inerzia omogeneizzata      |                        |
| $f$   | 57 mm                      |                            |                        |
| $h_o$   | 347 mm                     |                            |                        |
| $\sigma_{tmax}$   | 150.98 MPa                 | Tensione nell'acciaio      | Verifica tensionale OK |
| $\sigma_{cmax}$   | 3.69 MPa                   | Tensione nel calcestruzzo  | Verifica tensionale OK |
| $M_y$   | 521 kNm                    | Momento allo snervamento   |                        |

Figura 194 – Verifica tensionale parte inferiore – Mxx

| Calcolo delle tensioni nel caso di flessione semplice (sezione fessurata) |                            |                            |                        |
|---|----------------------------|----------------------------|------------------------|
| $x_c$   | 207 mm                     | Posizione dell'asse neutro |                        |
| $I_{ci}$  | 1.1828E+10 mm <sup>4</sup> | Inerzia omogeneizzata      |                        |
| $f$   | 83 mm                      |                            |                        |
| $h_o$   | 465 mm                     |                            |                        |
| $\sigma_{tmax}$   | 93.63 MPa                  | Tensione nell'acciaio      | Verifica tensionale OK |
| $\sigma_{cmax}$   | 3.66 MPa                   | Tensione nel calcestruzzo  | Verifica tensionale OK |
| $M_y$   | 1005 kNm                   | Momento allo snervamento   |                        |

Figura 195 – Verifica tensionale parte inferiore – Myy

| Calcolo delle tensioni nel caso di flessione semplice (sezione fessurata) |                            |                            |                        |
|---|----------------------------|----------------------------|------------------------|
| $x_c$   | 122 mm                     | Posizione dell'asse neutro |                        |
| $I_{ci}$  | 3.3845E+09 mm <sup>4</sup> | Inerzia omogeneizzata      |                        |
| $f$   | 57 mm                      |                            |                        |
| $h_o$   | 252 mm                     |                            |                        |
| $\sigma_{tmax}$   | 104.82 MPa                 | Tensione nell'acciaio      | Verifica tensionale OK |
| $\sigma_{cmax}$   | 3.08 MPa                   | Tensione nel calcestruzzo  | Verifica tensionale OK |
| $M_y$   | 366 kNm                    | Momento allo snervamento   |                        |

Figura 196 – Verifica tensionale parte superiore – Mxx

| Calcolo delle tensioni nel caso di flessione semplice (sezione fessurata) |                            |                            |                        |
|---|----------------------------|----------------------------|------------------------|
| $x_c$   | 126 mm                     | Posizione dell'asse neutro |                        |
| $I_{ci}$  | 3.3242E+09 mm <sup>4</sup> | Inerzia omogeneizzata      |                        |
| $f$   | 49 mm                      |                            |                        |
| $h_o$   | 289 mm                     |                            |                        |
| $\sigma_{tmax}$   | 22.88 MPa                  | Tensione nell'acciaio      | Verifica tensionale OK |
| $\sigma_{cmax}$   | 0.70 MPa                   | Tensione nel calcestruzzo  | Verifica tensionale OK |
| $M_y$   | 364 kNm                    | Momento allo snervamento   |                        |

Figura 197 – Verifica tensionale parte superiore – Myy

## 10.11 Verifica dei muri andatori – Spalla S4

Si riportano in questo paragrafo le verifiche relative ai muri andatori della Spalla S4 del Sovrappasso di Ingresso dell'opera in oggetto.

### 10.11.1 Verifiche SLU

#### 10.11.1.1 Verifiche a flessione

Si considera, per la flessione agente lungo il piano orizzontale, un'armatura costituita da  $\Phi 24/20$  sul lato interno e  $\Phi 20/20$  sul lato esterno sia per la parte inferiore che per la parte superiore; viceversa, per la flessione agente lungo il piano verticale, si considera un'armatura costituita da  $\Phi 24/10$  sul lato interno e  $\Phi 16/20$  sul lato esterno per la parte inferiore e  $\Phi 24/20$  sul lato interno e  $\Phi 16/20$  sul lato esterno per la parte superiore.

**Titolo:** Verifica a flessione Muri Andatori - Mxx

N° figure elementari: 1 Zoom N° strati barre: 2 Zoom

| N° | b [cm] | h [cm] | N° | As [cm²] | d [cm] |
|----|--------|--------|----|----------|--------|
| 1  | 100    | 60     | 1  | 15,71    | 4      |
|    |        |        | 2  | 22,62    | 56     |

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub>: 0 kN  
M<sub>xEd</sub>: 427,29 kNm  
M<sub>yEd</sub>: 0 kNm

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

Tipo rottura: Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

M<sub>xRd</sub>: 474,3 kNm

Materiali: B450C C32/40

$\epsilon_{su}$ : 67,5‰  $\epsilon_{c2}$ : 2‰  
 $f_{yd}$ : 391,3 N/mm²  $\epsilon_{cu}$ : 3,5‰  
 $E_s$ : 200 000 N/mm²  $f_{cd}$ : 18,13  
 $E_s/E_c$ : 15  $f_{cc}/f_{cd}$ : 0,8  
 $\epsilon_{syd}$ : 1,957‰  $\sigma_{c,adm}$ : 12,25  
 $\sigma_{s,adm}$ : 255 N/mm²  $\tau_{co}$ : 0,7333  
 $\tau_{c1}$ : 2,114

$\sigma_c$ : -18,13 N/mm²  
 $\sigma_s$ : 391,3 N/mm²  
 $\epsilon_c$ : 3,5‰  
 $\epsilon_s$ : 37,45‰  
d: 56 cm  
x: 4,786 x/d: 0,08547  
 $\delta$ : 0,7

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

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

Tipo flessione: Retta Deviata

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

Precompresso

Figura 198 – Verifica a Flessione parte inferiore – Mxx

**Titolo:** Verifica a flessione Muri Andatori - Myy

N° figure elementari: 1 Zoom N° strati barre: 2 Zoom

| N° | b [cm] | h [cm] | N° | As [cm²] | d [cm] |
|----|--------|--------|----|----------|--------|
| 1  | 100    | 60     | 1  | 10,05    | 4      |
|    |        |        | 2  | 45,24    | 56     |

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub>: 0 kN  
M<sub>xEd</sub>: 414,19 kNm  
M<sub>yEd</sub>: 0 kNm

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

Tipo rottura: Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

M<sub>yRd</sub>: 921,8 kNm

Materiali: B450C C32/40

$\epsilon_{su}$ : 67,5‰  $\epsilon_{c2}$ : 2‰  
 $f_{yd}$ : 391,3 N/mm²  $\epsilon_{cu}$ : 3,5‰  
 $E_s$ : 200 000 N/mm²  $f_{cd}$ : 18,13  
 $E_s/E_c$ : 15  $f_{cc}/f_{cd}$ : 0,8  
 $\epsilon_{syd}$ : 1,957‰  $\sigma_{c,adm}$ : 12,25  
 $\sigma_{s,adm}$ : 255 N/mm²  $\tau_{co}$ : 0,7333  
 $\tau_{c1}$ : 2,114

$\sigma_c$ : -18,13 N/mm²  
 $\sigma_s$ : 391,3 N/mm²  
 $\epsilon_c$ : 3,5‰  
 $\epsilon_s$ : 17,41‰  
d: 56 cm  
x: 9,376 x/d: 0,1674  
 $\delta$ : 0,7

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

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

Tipo flessione: Retta Deviata

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

Precompresso

Figura 199 – Verifica a Flessione parte inferiore – Myy

**Titolo:** Verifica a flessione Muri Andatori - Mxx

N° figure elementari  Zoom      N° strati barre  Zoom

| N° | b [cm] | h [cm] | N° | As [cm²] | d [cm] |
|----|--------|--------|----|----------|--------|
| 1  | 100    | 44     | 1  | 15,71    | 4      |
|    |        |        | 2  | 22,62    | 40     |

Sollecitazioni: S.L.U. → Metodo n

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

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

Tipo rottura: Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Materiali: B450C C32/40

$\epsilon_{su}$  67,5 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰  
 $f_{yd}$  391,3 N/mm<sup>2</sup>  $\epsilon_{cu}$  3,5 ‰  
 $E_s$  200 000 N/mm<sup>2</sup>  $f_{cd}$  18,13 ‰  
 $E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  0,8 [7]  
 $\epsilon_{syd}$  1,957 ‰  $\sigma_{c,adm}$  12,25 ‰  
 $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm<sup>2</sup>  $\tau_{co}$  0,7333 ‰  
 $\tau_{c1}$  2,114 ‰

M<sub>xRd</sub>  kN m

$\sigma_c$  -18,13 N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_s$  391,3 N/mm<sup>2</sup>  
 $\epsilon_c$  3,5 ‰  
 $\epsilon_s$  25,73 ‰  
d 40 cm  
x 4,789 x/d 0,1197  
 $\delta$  0,7

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

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

Tipo flessione:  Retta  Deviata

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

Precompresso

Figura 200 – Verifica a Flessione parte superiore – Mxx

**Titolo:** Verifica a flessione Muri Andatori - Myy

N° figure elementari  Zoom      N° strati barre  Zoom

| N° | b [cm] | h [cm] | N° | As [cm²] | d [cm] |
|----|--------|--------|----|----------|--------|
| 1  | 100    | 44     | 1  | 10,05    | 4      |
|    |        |        | 2  | 22,62    | 40     |

Sollecitazioni: S.L.U. → Metodo n

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

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

Tipo rottura: Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Materiali: B450C C32/40

$\epsilon_{su}$  67,5 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰  
 $f_{yd}$  391,3 N/mm<sup>2</sup>  $\epsilon_{cu}$  3,5 ‰  
 $E_s$  200 000 N/mm<sup>2</sup>  $f_{cd}$  18,13 ‰  
 $E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  0,8 [7]  
 $\epsilon_{syd}$  1,957 ‰  $\sigma_{c,adm}$  12,25 ‰  
 $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm<sup>2</sup>  $\tau_{co}$  0,7333 ‰  
 $\tau_{c1}$  2,114 ‰

M<sub>xRd</sub>  kN m

$\sigma_c$  -18,13 N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_s$  391,3 N/mm<sup>2</sup>  
 $\epsilon_c$  3,5 ‰  
 $\epsilon_s$  24,29 ‰  
d 40 cm  
x 5,037 x/d 0,1259  
 $\delta$  0,7

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

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

Tipo flessione:  Retta  Deviata

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

Precompresso

Figura 201 – Verifica a Flessione parte superiore – Myy

### 10.11.1.2 Verifiche a taglio

Le verifiche vengono eseguite considerando la presenza di legature  $\Phi 14/40 \times 40$ .

| Verifiche a taglio - D.M. 14-01-2008 |       |                              |        |                               |        |                                    |            |
|--------------------------------------|-------|------------------------------|--------|-------------------------------|--------|------------------------------------|------------|
| <b>Materiali</b>                     |       | <b>Geometria sezione</b>     |        | <b>Armatura longitudinale</b> |        | <b>Sollecitazioni di calcolo</b>   |            |
| <b>Calcestruzzo</b>                  |       | b [mm]                       | 1000   | n° barre                      | 5      | $N_{Ed}$ [kN]                      | 0          |
| Rck [Mpa]                            | 40    | h [mm]                       | 600    | diámetro                      | 20     | $V_{Ed}$ [kN]                      | 434.52     |
| fck [Mpa]                            | 33.2  | c [mm]                       | 40     | Area [mm <sup>2</sup> ]       | 1570   |                                    |            |
| fcd [Mpa]                            | 18.8  | d [mm]                       | 560    |                               |        |                                    |            |
| <b>Acciaio</b>                       |       | <b>Parametri di verifica</b> |        | <b>Armatura trasversale</b>   |        | <b>VERIFICHE</b>                   |            |
| fyk [Mpa]                            | 450   | k                            | 1.60   | Staffe $\Phi$                 | 14     | <b>Sezione non armata a taglio</b> |            |
| fyd [Mpa]                            | 391.3 | $v_{min}$                    | 0.41   | n° bracci                     | 2.5    | $V_{Rd}$ [kN]                      | 228.05     |
|                                      |       | $\rho_l$                     | 0.0028 | $A_{sw}$ [mm <sup>2</sup> ]   | 384.65 |                                    | Armare!!!  |
|                                      |       | $\sigma_{cp}$                | 0.0000 | s [mm]                        | 400    | <b>Sezione armata a taglio</b>     |            |
|                                      |       | v                            | 0.5    |                               |        | <b>Crisi armatura a taglio</b>     |            |
|                                      |       | $(\sigma_{cp})^*$            | 0      |                               |        | $V_{Rsd}$ [kN]                     | 474.12     |
|                                      |       | $\alpha_c$                   | 1.000  |                               |        | $V_{Rcd}$ [kN]                     | 1634.81    |
|                                      |       | $\omega_{sw}$                | 0.020  |                               |        | $V_{Rd}$ [kN]                      | 474.12     |
|                                      |       | cotg $\theta$                | 4.899  |                               |        |                                    | Verificato |
|                                      |       | cotg $\theta^*$              | 2.500  |                               |        |                                    |            |

Figura 202 – Verifica a Taglio parte inferiore –  $V_{xx}$

| Verifiche a taglio - D.M. 14-01-2008 |       |                              |        |                               |        |                                    |            |
|--------------------------------------|-------|------------------------------|--------|-------------------------------|--------|------------------------------------|------------|
| <b>Materiali</b>                     |       | <b>Geometria sezione</b>     |        | <b>Armatura longitudinale</b> |        | <b>Sollecitazioni di calcolo</b>   |            |
| <b>Calcestruzzo</b>                  |       | b [mm]                       | 1000   | n° barre                      | 5      | $N_{Ed}$ [kN]                      | 0          |
| Rck [Mpa]                            | 40    | h [mm]                       | 600    | diámetro                      | 16     | $V_{Ed}$ [kN]                      | 402.53     |
| fck [Mpa]                            | 33.2  | c [mm]                       | 40     | Area [mm <sup>2</sup> ]       | 1004.8 |                                    |            |
| fcd [Mpa]                            | 18.8  | d [mm]                       | 560    |                               |        |                                    |            |
| <b>Acciaio</b>                       |       | <b>Parametri di verifica</b> |        | <b>Armatura trasversale</b>   |        | <b>VERIFICHE</b>                   |            |
| fyk [Mpa]                            | 450   | k                            | 1.60   | Staffe $\Phi$                 | 14     | <b>Sezione non armata a taglio</b> |            |
| fyd [Mpa]                            | 391.3 | $v_{min}$                    | 0.41   | n° bracci                     | 2.5    | $V_{Rd}$ [kN]                      | 228.05     |
|                                      |       | $\rho_l$                     | 0.0018 | $A_{sw}$ [mm <sup>2</sup> ]   | 384.65 |                                    | Armare!!!  |
|                                      |       | $\sigma_{cp}$                | 0.0000 | s [mm]                        | 400    | <b>Sezione armata a taglio</b>     |            |
|                                      |       | v                            | 0.5    |                               |        | <b>Crisi armatura a taglio</b>     |            |
|                                      |       | $(\sigma_{cp})^*$            | 0      |                               |        | $V_{Rsd}$ [kN]                     | 474.12     |
|                                      |       | $\alpha_c$                   | 1.000  |                               |        | $V_{Rcd}$ [kN]                     | 1634.81    |
|                                      |       | $\omega_{sw}$                | 0.020  |                               |        | $V_{Rd}$ [kN]                      | 474.12     |
|                                      |       | cotg $\theta$                | 4.899  |                               |        |                                    | Verificato |
|                                      |       | cotg $\theta^*$              | 2.500  |                               |        |                                    |            |

Figura 203 – Verifica a Taglio parte inferiore –  $V_{yy}$

| Verifiche a taglio - D.M. 14-01-2008 |       |                                 |        |                                    |        |                                    |            |
|--------------------------------------|-------|---------------------------------|--------|------------------------------------|--------|------------------------------------|------------|
| <b>Materiali</b>                     |       | <b>Geometria sezione</b>        |        | <b>Armatura longitudinale</b>      |        | <b>Sollecitazioni di calcolo</b>   |            |
| <b>Calcestruzzo</b>                  |       | b [mm]                          | 1000   | n° barre                           | 5      | N <sub>Ed</sub> [kN]               | 0          |
| R <sub>ck</sub> [Mpa]                | 40    | h [mm]                          | 440    | diametro                           | 20     | V <sub>Ed</sub> [kN]               | 270.86     |
| f <sub>ck</sub> [Mpa]                | 33.2  | c [mm]                          | 40     | Area [mm <sup>2</sup> ]            | 1570   |                                    |            |
| f <sub>cd</sub> [Mpa]                | 18.8  | d [mm]                          | 400    |                                    |        |                                    |            |
| <b>Acciaio</b>                       |       | <b>Parametri di verifica</b>    |        | <b>Armatura trasversale</b>        |        | <b>VERIFICHE</b>                   |            |
| fy <sub>k</sub> [Mpa]                | 450   | k                               | 1.71   | Staffe Φ                           | 14     | <b>Sezione non armata a taglio</b> |            |
| fy <sub>d</sub> [Mpa]                | 391.3 | v <sub>min</sub>                | 0.45   | n° bracci                          | 2.5    | V <sub>Rsd</sub> [kN]              | 192.82     |
|                                      |       | ρ <sub>i</sub>                  | 0.0039 | A <sub>sw</sub> [mm <sup>2</sup> ] | 384.65 |                                    | Armare!!!  |
|                                      |       | σ <sub>cp</sub>                 | 0.0000 | s [mm]                             | 400    | <b>Sezione armata a taglio</b>     |            |
|                                      |       | v                               | 0.5    |                                    |        | <b>Crisi armatura a taglio</b>     |            |
|                                      |       | (σ <sub>cp</sub> ) <sup>*</sup> | 0      |                                    |        | V <sub>Rsd</sub> [kN]              | 338.66     |
|                                      |       | α <sub>c</sub>                  | 1.000  |                                    |        | V <sub>Rcd</sub> [kN]              | 1167.72    |
|                                      |       | ω <sub>sw</sub>                 | 0.020  |                                    |        | V <sub>Rd</sub> [kN]               | 338.66     |
|                                      |       | cotgθ                           | 4.899  |                                    |        |                                    | Verificato |
|                                      |       | cotgθ <sup>*</sup>              | 2.500  |                                    |        |                                    |            |

Figura 204 – Verifica a Taglio parte superiore – V<sub>xx</sub>

| Verifiche a taglio - D.M. 14-01-2008 |       |                                 |        |                                    |        |                                    |            |
|--------------------------------------|-------|---------------------------------|--------|------------------------------------|--------|------------------------------------|------------|
| <b>Materiali</b>                     |       | <b>Geometria sezione</b>        |        | <b>Armatura longitudinale</b>      |        | <b>Sollecitazioni di calcolo</b>   |            |
| <b>Calcestruzzo</b>                  |       | b [mm]                          | 1000   | n° barre                           | 5      | N <sub>Ed</sub> [kN]               | 0          |
| R <sub>ck</sub> [Mpa]                | 40    | h [mm]                          | 440    | diametro                           | 16     | V <sub>Ed</sub> [kN]               | 192.13     |
| f <sub>ck</sub> [Mpa]                | 33.2  | c [mm]                          | 40     | Area [mm <sup>2</sup> ]            | 1004.8 |                                    |            |
| f <sub>cd</sub> [Mpa]                | 18.8  | d [mm]                          | 400    |                                    |        |                                    |            |
| <b>Acciaio</b>                       |       | <b>Parametri di verifica</b>    |        | <b>Armatura trasversale</b>        |        | <b>VERIFICHE</b>                   |            |
| fy <sub>k</sub> [Mpa]                | 450   | k                               | 1.71   | Staffe Φ                           | 14     | <b>Sezione non armata a taglio</b> |            |
| fy <sub>d</sub> [Mpa]                | 391.3 | v <sub>min</sub>                | 0.45   | n° bracci                          | 2.5    | V <sub>Rsd</sub> [kN]              | 179.92     |
|                                      |       | ρ <sub>i</sub>                  | 0.0025 | A <sub>sw</sub> [mm <sup>2</sup> ] | 384.65 |                                    | Armare!!!  |
|                                      |       | σ <sub>cp</sub>                 | 0.0000 | s [mm]                             | 400    | <b>Sezione armata a taglio</b>     |            |
|                                      |       | v                               | 0.5    |                                    |        | <b>Crisi armatura a taglio</b>     |            |
|                                      |       | (σ <sub>cp</sub> ) <sup>*</sup> | 0      |                                    |        | V <sub>Rsd</sub> [kN]              | 338.66     |
|                                      |       | α <sub>c</sub>                  | 1.000  |                                    |        | V <sub>Rcd</sub> [kN]              | 1167.72    |
|                                      |       | ω <sub>sw</sub>                 | 0.020  |                                    |        | V <sub>Rd</sub> [kN]               | 338.66     |
|                                      |       | cotgθ                           | 4.899  |                                    |        |                                    | Verificato |
|                                      |       | cotgθ <sup>*</sup>              | 2.500  |                                    |        |                                    |            |

Figura 205 – Verifica a Taglio parte superiore – V<sub>yy</sub>

## 10.11.2 Verifiche SLE

### 10.11.2.1 Verifiche a fessurazione

Si riportano nel seguito le verifiche a fessurazione eseguite sui muri andatori della Spalla S4 nella combinazione frequente.

| Tipo di combinazione SLE   |                            |  |                   |
|--|----------------------------|--|-------------------|
| <b>Comb.</b>   | Frequente                  |  |                   |
| <b>Materiali</b>   |                            |  |                   |
| <b>Cls</b>   | C32/40                     | $f_{ctk}=f_{ctm}/1,2$ 2.58 MPa                       | $f_{ck}$ 33.2 MPa |
| <b>Acciaio</b>   | B450C                      | $f_{yk}$ 450 MPa                                     |                   |
| <b>Sollecitazioni e caratteristiche della sezione</b>              |                            |  |                   |
| $M_{Ed}$   | 177.46 kNm                 | Sollecitazione flettente                             |                   |
| $N_{ed}$   | 0 kN                       | Sforzo normale ( <b>negativo</b> se di compressione) |                   |
| $c$  | 40 mm                      | Distanza dell'asse delle armature tese dal bordo     |                   |
| $H$  | 600 mm                     | Altezza totale della sezione                         |                   |
| $B$  | 1000 mm                    | Base della sezione                                   |                   |
| $d$  | 560 mm                     | Altezza utile della sezione                          |                   |
| $A_s$  | 2260.8 mm <sup>2</sup>     | Armatura tesa  |                   |
| $A'_s$   | 1570 mm <sup>2</sup>       | Armatura compressa                                   |                   |
| $n$  | 15                         | Omogeneizzazione acciaio/cls compr.                  |                   |
| $y$  | 300 mm                     | Posizione del baricentro                             |                   |
| <b>Calcolo del momento di fessurazione (sezione non fessurata)</b> |                            |  |                   |
| $A^*$  | 657462 mm <sup>2</sup>     | Area omogeneizzata                                   |                   |
| $I^*$  | 2.1884E+10 mm <sup>4</sup> | Inerzia omogeneizzata                                |                   |
| $M_{fess}$   | <b>188.38</b> kNm          | Momento di prima fessurazione >MEd                   |                   |
| SEZIONE NON FESSURATA  |                            |  |                   |

Figura 206 – Verifica a fessurazione parte inferiore – Mxx

| Tipo di combinazione SLE   |                            |  |                   |
|--|----------------------------|--|-------------------|
| <b>Comb.</b>   | Frequente                  |  |                   |
| <b>Materiali</b>   |                            |  |                   |
| <b>Cls</b>   | C32/40                     | $f_{ctk}=f_{ctm}/1,2$ 2.58 MPa                       | $f_{ck}$ 33.2 MPa |
| <b>Acciaio</b>   | B450C                      | $f_{yk}$ 450 MPa                                     |                   |
| <b>Sollecitazioni e caratteristiche della sezione</b>              |                            |  |                   |
| $M_{Ed}$   | 202.4 kNm                  | Sollecitazione flettente                             |                   |
| $N_{ed}$   | 0 kN                       | Sforzo normale ( <b>negativo</b> se di compressione) |                   |
| $c$  | 40 mm                      | Distanza dell'asse delle armature tese dal bordo     |                   |
| $H$  | 600 mm                     | Altezza totale della sezione                         |                   |
| $B$  | 1000 mm                    | Base della sezione                                   |                   |
| $d$  | 560 mm                     | Altezza utile della sezione                          |                   |
| $A_s$  | 4521.6 mm <sup>2</sup>     | Armatura tesa  |                   |
| $A'_s$   | 1004.8 mm <sup>2</sup>     | Armatura compressa                                   |                   |
| $n$  | 15                         | Omogeneizzazione acciaio/cls compr.                  |                   |
| $y$  | 300 mm                     | Posizione del baricentro                             |                   |
| <b>Calcolo del momento di fessurazione (sezione non fessurata)</b> |                            |  |                   |
| $A^*$  | 682896 mm <sup>2</sup>     | Area omogeneizzata                                   |                   |
| $I^*$  | 2.3604E+10 mm <sup>4</sup> | Inerzia omogeneizzata                                |                   |
| $M_{fess}$   | <b>203.19</b> kNm          | Momento di prima fessurazione >MEd                   |                   |
| SEZIONE NON FESSURATA  |                            |  |                   |

Figura 207 – Verifica a fessurazione parte inferiore – Myy

| Tipo di combinazione SLE   |                            |  |                            |
|--|----------------------------|--|----------------------------|
| <b>Comb.</b>   | Frequente                  |  |                            |
| <b>Materiali</b>   |                            |  |                            |
| <b>Cls</b>   | C32/40                     | $f_{ctk} = f_{ctm} / 1,2$                            | 2.58 MPa $f_{ck}$ 33.2 MPa |
| <b>Acciaio</b>   | B450C                      | $f_{yk}$   | 450 MPa                    |
| <b>Sollecitazioni e caratteristiche della sezione</b>              |                            |  |                            |
| $M_{Ed}$   | 78.98 kNm                  | Sollecitazione flettente                             |                            |
| $N_{ed}$   | 0 kN                       | Sforzo normale ( <b>negativo</b> se di compressione) |                            |
| $c$  | 40 mm                      | Distanza dell'asse delle armature tese dal bordo     |                            |
| $H$  | 440 mm                     | Altezza totale della sezione                         |                            |
| $B$  | 1000 mm                    | Base della sezione                                   |                            |
| $d$  | 400 mm                     | Altezza utile della sezione                          |                            |
| $A_s$  | 2260.8 mm <sup>2</sup>     | Armatura tesa  |                            |
| $A's$  | 1570 mm <sup>2</sup>       | Armatura compressa                                   |                            |
| $n$  | 15                         | Omogeneizzazione acciaio/cls compr.                  |                            |
| $y$  | 220 mm                     | Posizione del baricentro                             |                            |
| <b>Calcolo del momento di fessurazione (sezione non fessurata)</b> |                            |  |                            |
| $A^*$  | 497462 mm <sup>2</sup>     | Area omogeneizzata                                   |                            |
| $I^*$  | 8.9604E+09 mm <sup>4</sup> | Inerzia omogeneizzata                                |                            |
| $M_{fess}$   | 105.18 kNm                 | Momento di prima fessurazione >MEd                   |                            |
| SEZIONE NON FESSURATA  |                            |  |                            |

Figura 208 – Verifica a fessurazione parte superiore – Mxx

| Tipo di combinazione SLE   |                            |  |                            |
|--|----------------------------|--|----------------------------|
| <b>Comb.</b>   | Frequente                  |  |                            |
| <b>Materiali</b>   |                            |  |                            |
| <b>Cls</b>   | C32/40                     | $f_{ctk} = f_{ctm} / 1,2$                            | 2.58 MPa $f_{ck}$ 33.2 MPa |
| <b>Acciaio</b>   | B450C                      | $f_{yk}$   | 450 MPa                    |
| <b>Sollecitazioni e caratteristiche della sezione</b>              |                            |  |                            |
| $M_{Ed}$   | 23.01 kNm                  | Sollecitazione flettente                             |                            |
| $N_{ed}$   | 0 kN                       | Sforzo normale ( <b>negativo</b> se di compressione) |                            |
| $c$  | 40 mm                      | Distanza dell'asse delle armature tese dal bordo     |                            |
| $H$  | 440 mm                     | Altezza totale della sezione                         |                            |
| $B$  | 1000 mm                    | Base della sezione                                   |                            |
| $d$  | 400 mm                     | Altezza utile della sezione                          |                            |
| $A_s$  | 2260.8 mm <sup>2</sup>     | Armatura tesa  |                            |
| $A's$  | 1004.8 mm <sup>2</sup>     | Armatura compressa                                   |                            |
| $n$  | 15                         | Omogeneizzazione acciaio/cls compr.                  |                            |
| $y$  | 220 mm                     | Posizione del baricentro                             |                            |
| <b>Calcolo del momento di fessurazione (sezione non fessurata)</b> |                            |  |                            |
| $A^*$  | 488984 mm <sup>2</sup>     | Area omogeneizzata                                   |                            |
| $I^*$  | 8.6857E+09 mm <sup>4</sup> | Inerzia omogeneizzata                                |                            |
| $M_{fess}$   | 101.96 kNm                 | Momento di prima fessurazione >MEd                   |                            |
| SEZIONE NON FESSURATA  |                            |  |                            |

Figura 209 – Verifica a fessurazione parte superiore – Myy

### 10.11.2.2 Verifiche tensionali

Si riportano nel seguito le verifiche tensionali eseguite sui muri andatori della Spalla S4 nella combinazione rara.

| Calcolo delle tensioni nel caso di flessione semplice (sezione fessurata) |                            |                            |                        |
|---|----------------------------|----------------------------|------------------------|
| $x_c$   | 150 mm                     | Posizione dell'asse neutro |                        |
| $I_{ci}$  | 7.1105E+09 mm <sup>4</sup> | Inerzia omogeneizzata      |                        |
| $f$   | 57 mm                      |                            |                        |
| $h_o$   | 347 mm                     |                            |                        |
| $\sigma_{tmax}$   | 171.77 MPa                 | Tensione nell'acciaio      | Verifica tensionale OK |
| $\sigma_{cmax}$   | 4.20 MPa                   | Tensione nel calcestruzzo  | Verifica tensionale OK |
| $M_y$   | 521 kNm                    | Momento allo snervamento   |                        |

Figura 210 – Verifica tensionale parte inferiore – Mxx

| Calcolo delle tensioni nel caso di flessione semplice (sezione fessurata) |                            |                            |                        |
|---|----------------------------|----------------------------|------------------------|
| $x_c$   | 207 mm                     | Posizione dell'asse neutro |                        |
| $I_{ci}$  | 1.1828E+10 mm <sup>4</sup> | Inerzia omogeneizzata      |                        |
| $f$   | 83 mm                      |                            |                        |
| $h_o$   | 465 mm                     |                            |                        |
| $\sigma_{tmax}$   | 99.53 MPa                  | Tensione nell'acciaio      | Verifica tensionale OK |
| $\sigma_{cmax}$   | 3.89 MPa                   | Tensione nel calcestruzzo  | Verifica tensionale OK |
| $M_y$   | 1005 kNm                   | Momento allo snervamento   |                        |

Figura 211 – Verifica tensionale parte inferiore – Myy

| Calcolo delle tensioni nel caso di flessione semplice (sezione fessurata) |                            |                            |                        |
|---|----------------------------|----------------------------|------------------------|
| $x_c$   | 122 mm                     | Posizione dell'asse neutro |                        |
| $I_{ci}$  | 3.3845E+09 mm <sup>4</sup> | Inerzia omogeneizzata      |                        |
| $f$   | 57 mm                      |                            |                        |
| $h_o$   | 252 mm                     |                            |                        |
| $\sigma_{tmax}$   | 108.93 MPa                 | Tensione nell'acciaio      | Verifica tensionale OK |
| $\sigma_{cmax}$   | 3.20 MPa                   | Tensione nel calcestruzzo  | Verifica tensionale OK |
| $M_y$   | 366 kNm                    | Momento allo snervamento   |                        |

Figura 212 – Verifica tensionale parte superiore – Mxx

| Calcolo delle tensioni nel caso di flessione semplice (sezione fessurata) |                            |                            |                        |
|---|----------------------------|----------------------------|------------------------|
| $x_c$   | 126 mm                     | Posizione dell'asse neutro |                        |
| $I_{ci}$  | 3.3242E+09 mm <sup>4</sup> | Inerzia omogeneizzata      |                        |
| $f$   | 49 mm                      |                            |                        |
| $h_o$   | 289 mm                     |                            |                        |
| $\sigma_{tmax}$   | 28.41 MPa                  | Tensione nell'acciaio      | Verifica tensionale OK |
| $\sigma_{cmax}$   | 0.87 MPa                   | Tensione nel calcestruzzo  | Verifica tensionale OK |
| $M_y$   | 364 kNm                    | Momento allo snervamento   |                        |

Figura 213 – Verifica tensionale parte superiore – Myy

## 10.12 Verifica dei baggioli – Spalla S3

### 10.12.1 Verifiche SLU

Si riportano di seguito, i risultati delle verifiche più gravose dei baggioli, condotte nelle sezioni maggiormente sollecitate con i criteri di verifica precedentemente riportati.

#### 10.12.1.1 Verifiche di resistenza

La verifica viene eseguita facendo riferimento ai modelli fatti di tiranti e puntone descritti al §4.1.2.1.5 delle NTC; Il meccanismo resistente è costituito da un tirante orizzontale superiore, corrispondente all'armatura tesa realizzata mediante  $4\Phi 12$  e da un puntone di calcestruzzo inclinato.

| Resistenza di elementi tozzi, nelle zone diffuse e nei nodi - C4.1.2.1.5 |         |                              |                       |
|--|---------|------------------------------|-----------------------|
| $P_{Ed}$   | 108.39  | [KN]                         |                       |
| $H_{Ed}$   | 0       | [KN]                         |                       |
| $a$  | 0.3     | [m]                          |                       |
| $b$  | 0.9     | [m]                          |                       |
| $h$  | 0.9     | [m]                          |                       |
| $c$  | 0.07    | [m]                          |                       |
| $d$  | 0.83    | [m]                          |                       |
| $l$  | 0.466   | [m]                          |                       |
| $\lambda$  | 0.62    | [-]                          |                       |
| $\phi$   | 12      | [mm]                         |                       |
| $n_o$  | 4       | [-]                          |                       |
| $A_s$  | 452.389 | [mm <sup>2</sup> ]           |                       |
| $f_{yd}$   | 391.30  | [MPa]                        |                       |
| $f_{cd}$   | 19.83   | [MPa]                        |                       |
| $c$  | 1.5     | [-]                          |                       |
| $P_{Ed}$   | $\leq$  | $P_{Rs}$ 283.767 [KN] $\leq$ | $P_{Rc}$ 6399.04 [KN] |

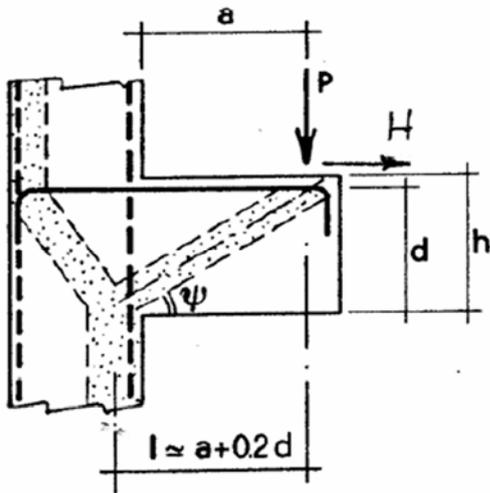


Figura 214 – Verifica Tirante Puntone Baggioli Spalla S3

## 10.13 Verifica dei baggioli – Spalla S4

### 10.13.1 Verifiche SLU

Si riportano di seguito, i risultati delle verifiche più gravose dei baggioli, condotte nelle sezioni maggiormente sollecitate con i criteri di verifica precedentemente riportati.

#### 10.13.1.1 Verifiche di resistenza

La verifica viene eseguita facendo riferimento ai modelli fatti di tiranti e puntoni descritti al §4.1.2.1.5 delle NTC; Il meccanismo resistente è costituito da un tirante orizzontale superiore, corrispondente all'armatura tesa realizzata mediante  $4\Phi 12$  e da un puntone di calcestruzzo inclinato.

| Resistenza di elementi tozzi, nelle zone diffuse e nei nodi - C4.1.2.1.5 |         |                       |                       |
|--|---------|-----------------------|-----------------------|
| $P_{Ed}$   | 111.74  | [KN]                  |                       |
| $H_{Ed}$   | 0       | [KN]                  |                       |
| a  | 0.3     | [m]                   |                       |
| b  | 0.9     | [m]                   |                       |
| h  | 0.9     | [m]                   |                       |
| c  | 0.07    | [m]                   |                       |
| d  | 0.83    | [m]                   |                       |
| l  | 0.466   | [m]                   |                       |
| $\lambda$  | 0.62    | [-]                   |                       |
| $\phi$   | 12      | [mm]                  |                       |
| $n_o$  | 4       | [-]                   |                       |
| $A_s$  | 452.389 | [mm <sup>2</sup> ]    |                       |
| $f_{yd}$   | 391.30  | [MPa]                 |                       |
| $f_{cd}$   | 19.83   | [MPa]                 |                       |
| c  | 1.5     | [-]                   |                       |
| $P_{Ed}$   | ≤       | $P_{Rs}$ 283.767 [KN] |                       |
|  |         | ≤                     | $P_{Rc}$ 6399.04 [KN] |

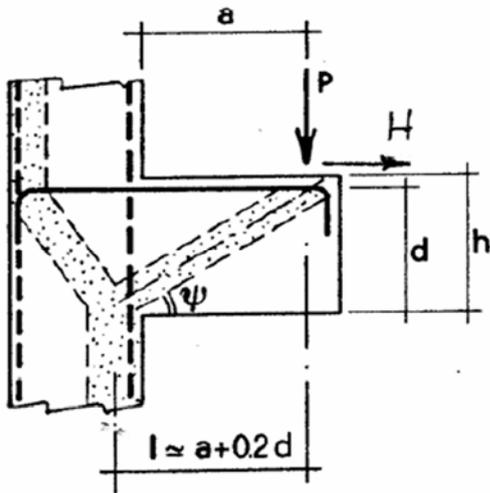
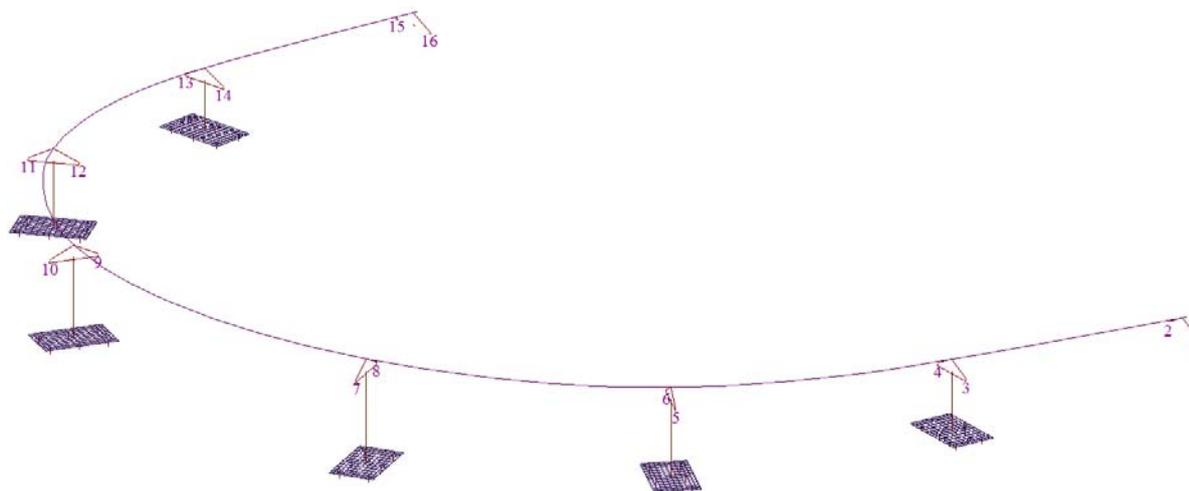


Figura 215 – Verifica Tirante Puntone Baggioli Spalla S4

## 11. SCARICHI SUGLI ISOLATORI

Si riportano di seguito le forze agenti sugli isolatori nelle diverse condizioni/combinazioni di carico. Per gli scarichi verticali i dati riportati sono indicativi. Per essi si faccia riferimento ai valori riportati nella relazione di calcolo dell' impalcato, derivanti da una modellazione più complessa e completa ai fini della determinazione degli sforzi assiali.



*Figura 216 – Numerazione general link*

| GENERAL LINK | Load | Node | Axial (kN) | Shear-y (kN) | Shear-z (kN) |
|--------------|------|------|------------|--------------|--------------|
| 1            | G1   | 2969 | -347.1     | -0.6         | 1.6          |
|              |      | 2    | -347.1     | -0.6         | 1.6          |
| 2            | G1   | 2967 | -347.3     | -0.6         | 1.5          |
|              |      | 1    | -347.3     | -0.6         | 1.5          |
| 3            | G1   | 2192 | -1120.7    | -0.8         | 1.0          |
|              |      | 31   | -1120.7    | -0.8         | 1.0          |
| 4            | G1   | 2191 | -1075.7    | -0.9         | 0.8          |
|              |      | 32   | -1075.7    | -0.9         | 0.8          |
| 5            | G1   | 2056 | -895.0     | 1.2          | -0.7         |
|              |      | 161  | -895.0     | 1.2          | -0.7         |
| 6            | G1   | 2055 | -1007.1    | 1.0          | -0.8         |
|              |      | 164  | -1007.1    | 1.0          | -0.8         |
| 7            | G1   | 1920 | -1692.8    | 4.4          | -0.5         |
|              |      | 268  | -1692.8    | 4.4          | -0.5         |
| 8            | G1   | 1919 | -1753.1    | 3.9          | -0.6         |
|              |      | 271  | -1753.1    | 3.9          | -0.6         |
| 9            | G1   | 1783 | -1777.6    | -3.3         | -2.8         |
|              |      | 266  | -1777.6    | -3.3         | -2.8         |
| 10           | G1   | 1784 | -1659.9    | -3.8         | -3.0         |
|              |      | 267  | -1659.9    | -3.8         | -3.0         |
| 11           | G1   | 2971 | -884.3     | -0.6         | -1.1         |
|              |      | 154  | -884.3     | -0.6         | -1.1         |
| 12           | G1   | 2970 | -1020.9    | -0.5         | -1.1         |
|              |      | 151  | -1020.9    | -0.5         | -1.1         |
| 13           | G1   | 1514 | -1097.9    | 0.1          | 1.2          |
|              |      | 18   | -1097.9    | 0.1          | 1.2          |
| 14           | G1   | 1513 | -1100.7    | 0.3          | 1.1          |
|              |      | 19   | -1100.7    | 0.3          | 1.1          |
| 15           | G1   | 1374 | -358.0     | 0.1          | 1.6          |
|              |      | 3    | -358.0     | 0.1          | 1.6          |

|    |    |      |        |       |       |
|----|----|------|--------|-------|-------|
| 16 | G1 | 1376 | -334.7 | 0.1   | 1.6   |
|    |    | 4    | -334.7 | 0.1   | 1.6   |
| 1  | G2 | 2969 | -146.2 | -0.2  | 0.7   |
|    |    | 2    | -146.2 | -0.2  | 0.7   |
| 2  | G2 | 2967 | -146.1 | -0.2  | 0.6   |
|    |    | 1    | -146.1 | -0.2  | 0.6   |
| 3  | G2 | 2192 | -492.5 | -0.3  | 0.5   |
|    |    | 31   | -492.5 | -0.3  | 0.5   |
| 4  | G2 | 2191 | -471.1 | -0.3  | 0.4   |
|    |    | 32   | -471.1 | -0.3  | 0.4   |
| 5  | G2 | 2056 | -408.8 | 0.5   | -0.3  |
|    |    | 161  | -408.8 | 0.5   | -0.3  |
| 6  | G2 | 2055 | -455.9 | 0.4   | -0.3  |
|    |    | 164  | -455.9 | 0.4   | -0.3  |
| 7  | G2 | 1920 | -585.8 | 1.5   | -0.4  |
|    |    | 268  | -585.8 | 1.5   | -0.4  |
| 8  | G2 | 1919 | -620.1 | 1.3   | -0.4  |
|    |    | 271  | -620.1 | 1.3   | -0.4  |
| 9  | G2 | 1783 | -629.3 | -1.0  | -1.2  |
|    |    | 266  | -629.3 | -1.0  | -1.2  |
| 10 | G2 | 1784 | -572.7 | -1.1  | -1.2  |
|    |    | 267  | -572.7 | -1.1  | -1.2  |
| 11 | G2 | 2971 | -403.2 | -0.3  | -0.4  |
|    |    | 154  | -403.2 | -0.3  | -0.4  |
| 12 | G2 | 2970 | -462.9 | -0.2  | -0.4  |
|    |    | 151  | -462.9 | -0.2  | -0.4  |
| 13 | G2 | 1514 | -483.1 | 0.0   | 0.6   |
|    |    | 18   | -483.1 | 0.0   | 0.6   |
| 14 | G2 | 1513 | -481.3 | 0.0   | 0.5   |
|    |    | 19   | -481.3 | 0.0   | 0.5   |
| 15 | G2 | 1374 | -150.7 | 0.0   | 0.7   |
|    |    | 3    | -150.7 | 0.0   | 0.7   |
| 16 | G2 | 1376 | -141.0 | 0.0   | 0.6   |
|    |    | 4    | -141.0 | 0.0   | 0.6   |
| 1  | Q3 | 2969 | -1.2   | -11.5 | 22.5  |
|    |    | 2    | -1.2   | -11.5 | 22.5  |
| 2  | Q3 | 2967 | -7.3   | -11.3 | 20.7  |
|    |    | 1    | -7.3   | -11.3 | 20.7  |
| 3  | Q3 | 2192 | -3.7   | -4.3  | 72.9  |
|    |    | 31   | -3.7   | -4.3  | 72.9  |
| 4  | Q3 | 2191 | -3.4   | -3.7  | 66.9  |
|    |    | 32   | -3.4   | -3.7  | 66.9  |
| 5  | Q3 | 2056 | -1.7   | 20.9  | 44.2  |
|    |    | 161  | -1.7   | 20.9  | 44.2  |
| 6  | Q3 | 2055 | -4.7   | 18.8  | 38.6  |
|    |    | 164  | -4.7   | 18.8  | 38.6  |
| 7  | Q3 | 1920 | 2.8    | 68.2  | 49.1  |
|    |    | 268  | 2.8    | 68.2  | 49.1  |
| 8  | Q3 | 1919 | -10.7  | 61.2  | 43.6  |
|    |    | 271  | -10.7  | 61.2  | 43.6  |
| 9  | Q3 | 1783 | 3.9    | 79.0  | -6.3  |
|    |    | 266  | 3.9    | 79.0  | -6.3  |
| 10 | Q3 | 1784 | 3.4    | 88.1  | -7.5  |
|    |    | 267  | 3.4    | 88.1  | -7.5  |
| 11 | Q3 | 2971 | 4.8    | 40.6  | -28.9 |
|    |    | 154  | 4.8    | 40.6  | -28.9 |
| 12 | Q3 | 2970 | 2.5    | 35.7  | -24.9 |
|    |    | 151  | 2.5    | 35.7  | -24.9 |

|    |           |      |       |       |       |
|----|-----------|------|-------|-------|-------|
| 13 | Q3        | 1514 | 5.6   | 29.1  | -67.9 |
|    |           | 18   | 5.6   | 29.1  | -67.9 |
| 14 | Q3        | 1513 | 1.3   | 27.0  | -61.5 |
|    |           | 19   | 1.3   | 27.0  | -61.5 |
| 15 | Q3        | 1374 | 2.5   | -1.9  | -24.1 |
|    |           | 3    | 2.5   | -1.9  | -24.1 |
| 16 | Q3        | 1376 | 4.7   | -2.3  | -22.1 |
|    |           | 4    | 4.7   | -2.3  | -22.1 |
| 1  | Q5_pc (X) | 2969 | 7.7   | -4.0  | -15.3 |
|    |           | 2    | 7.7   | -4.0  | -15.3 |
| 2  | Q5_pc (X) | 2967 | -1.6  | -3.9  | -15.6 |
|    |           | 1    | -1.6  | -3.9  | -15.6 |
| 3  | Q5_pc (X) | 2192 | 0.1   | -8.0  | -46.7 |
|    |           | 31   | 0.1   | -8.0  | -46.7 |
| 4  | Q5_pc (X) | 2191 | 5.8   | -7.9  | -47.6 |
|    |           | 32   | 5.8   | -7.9  | -47.6 |
| 5  | Q5_pc (X) | 2056 | -11.4 | -1.9  | -40.1 |
|    |           | 161  | -11.4 | -1.9  | -40.1 |
| 6  | Q5_pc (X) | 2055 | 26.5  | -2.2  | -40.8 |
|    |           | 164  | 26.5  | -2.2  | -40.8 |
| 7  | Q5_pc (X) | 1920 | -31.6 | 5.1   | -66.3 |
|    |           | 268  | -31.6 | 5.1   | -66.3 |
| 8  | Q5_pc (X) | 1919 | 10.3  | 4.1   | -67.1 |
|    |           | 271  | 10.3  | 4.1   | -67.1 |
| 9  | Q5_pc (X) | 1783 | 34.5  | 4.6   | -77.2 |
|    |           | 266  | 34.5  | 4.6   | -77.2 |
| 10 | Q5_pc (X) | 1784 | -59.1 | 5.5   | -77.3 |
|    |           | 267  | -59.1 | 5.5   | -77.3 |
| 11 | Q5_pc (X) | 2971 | -47.8 | 2.6   | -51.8 |
|    |           | 154  | -47.8 | 2.6   | -51.8 |
| 12 | Q5_pc (X) | 2970 | 52.0  | 2.3   | -51.6 |
|    |           | 151  | 52.0  | 2.3   | -51.6 |
| 13 | Q5_pc (X) | 1514 | -17.7 | 1.7   | -61.3 |
|    |           | 18   | -17.7 | 1.7   | -61.3 |
| 14 | Q5_pc (X) | 1513 | 23.2  | 1.7   | -61.1 |
|    |           | 19   | 23.2  | 1.7   | -61.1 |
| 15 | Q5_pc (X) | 1374 | -2.3  | 0.2   | -19.8 |
|    |           | 3    | -2.3  | 0.2   | -19.8 |
| 16 | Q5_pc (X) | 1376 | 11.5  | 0.2   | -19.8 |
|    |           | 4    | 11.5  | 0.2   | -19.8 |
| 1  | Q5_pc (Y) | 2969 | 61.2  | -32.7 | 4.6   |
|    |           | 2    | 61.2  | -32.7 | 4.6   |
| 2  | Q5_pc (Y) | 2967 | -65.0 | -32.6 | 4.0   |
|    |           | 1    | -65.0 | -32.6 | 4.0   |
| 3  | Q5_pc (Y) | 2192 | 72.9  | -90.2 | 15.4  |
|    |           | 31   | 72.9  | -90.2 | 15.4  |
| 4  | Q5_pc (Y) | 2191 | -78.3 | -90.0 | 13.2  |
|    |           | 32   | -78.3 | -90.0 | 13.2  |
| 5  | Q5_pc (Y) | 2056 | 76.3  | -66.4 | 12.7  |
|    |           | 161  | 76.3  | -66.4 | 12.7  |
| 6  | Q5_pc (Y) | 2055 | -74.6 | -66.9 | 11.0  |
|    |           | 164  | -74.6 | -66.9 | 11.0  |
| 7  | Q5_pc (Y) | 1920 | 15.8  | -88.0 | 13.0  |
|    |           | 268  | 15.8  | -88.0 | 13.0  |
| 8  | Q5_pc (Y) | 1919 | 4.7   | -89.9 | 11.6  |
|    |           | 271  | 4.7   | -89.9 | 11.6  |
| 9  | Q5_pc (Y) | 1783 | -21.2 | -85.9 | -6.7  |
|    |           | 266  | -21.2 | -85.9 | -6.7  |

|    |           |      |       |       |       |
|----|-----------|------|-------|-------|-------|
| 10 | Q5_pc (Y) | 1784 | 10.0  | -83.9 | -7.0  |
|    |           | 267  | 10.0  | -83.9 | -7.0  |
| 11 | Q5_pc (Y) | 2971 | -13.3 | -59.1 | -11.8 |
|    |           | 154  | -13.3 | -59.1 | -11.8 |
| 12 | Q5_pc (Y) | 2970 | 6.5   | -60.1 | -10.9 |
|    |           | 151  | 6.5   | -60.1 | -10.9 |
| 13 | Q5_pc (Y) | 1514 | -46.5 | -78.0 | -18.9 |
|    |           | 18   | -46.5 | -78.0 | -18.9 |
| 14 | Q5_pc (Y) | 1513 | 48.3  | -78.6 | -17.2 |
|    |           | 19   | 48.3  | -78.6 | -17.2 |
| 15 | Q5_pc (Y) | 1374 | -48.6 | -28.0 | -6.8  |
|    |           | 3    | -48.6 | -28.0 | -6.8  |
| 16 | Q5_pc (Y) | 1376 | 51.7  | -28.1 | -6.2  |
|    |           | 4    | 51.7  | -28.1 | -6.2  |
| 1  | Q5_ps (X) | 2969 | 4.8   | -2.6  | -10.3 |
|    |           | 2    | 4.8   | -2.6  | -10.3 |
| 2  | Q5_ps (X) | 2967 | -1.2  | -2.6  | -10.5 |
|    |           | 1    | -1.2  | -2.6  | -10.5 |
| 3  | Q5_ps (X) | 2192 | 0.2   | -5.2  | -31.7 |
|    |           | 31   | 0.2   | -5.2  | -31.7 |
| 4  | Q5_ps (X) | 2191 | 3.9   | -5.1  | -32.3 |
|    |           | 32   | 3.9   | -5.1  | -32.3 |
| 5  | Q5_ps (X) | 2056 | -6.5  | -1.2  | -27.9 |
|    |           | 161  | -6.5  | -1.2  | -27.9 |
| 6  | Q5_ps (X) | 2055 | 14.1  | -1.3  | -28.4 |
|    |           | 164  | 14.1  | -1.3  | -28.4 |
| 7  | Q5_ps (X) | 1920 | -7.2  | 3.7   | -48.8 |
|    |           | 268  | -7.2  | 3.7   | -48.8 |
| 8  | Q5_ps (X) | 1919 | -5.5  | 3.0   | -49.3 |
|    |           | 271  | -5.5  | 3.0   | -49.3 |
| 9  | Q5_ps (X) | 1783 | 6.7   | 3.6   | -56.6 |
|    |           | 266  | 6.7   | 3.6   | -56.6 |
| 10 | Q5_ps (X) | 1784 | -19.2 | 4.3   | -56.7 |
|    |           | 267  | -19.2 | 4.3   | -56.7 |
| 11 | Q5_ps (X) | 2971 | -22.7 | 1.7   | -36.4 |
|    |           | 154  | -22.7 | 1.7   | -36.4 |
| 12 | Q5_ps (X) | 2970 | 24.6  | 1.5   | -36.2 |
|    |           | 151  | 24.6  | 1.5   | -36.2 |
| 13 | Q5_ps (X) | 1514 | -9.6  | 0.5   | -42.5 |
|    |           | 18   | -9.6  | 0.5   | -42.5 |
| 14 | Q5_ps (X) | 1513 | 12.1  | 0.4   | -42.2 |
|    |           | 19   | 12.1  | 0.4   | -42.2 |
| 15 | Q5_ps (X) | 1374 | -1.6  | -0.3  | -13.6 |
|    |           | 3    | -1.6  | -0.3  | -13.6 |
| 16 | Q5_ps (X) | 1376 | 7.0   | -0.3  | -13.6 |
|    |           | 4    | 7.0   | -0.3  | -13.6 |
| 1  | Q5_ps (Y) | 2969 | 31.4  | -22.4 | 3.5   |
|    |           | 2    | 31.4  | -22.4 | 3.5   |
| 2  | Q5_ps (Y) | 2967 | -33.8 | -22.4 | 3.0   |
|    |           | 1    | -33.8 | -22.4 | 3.0   |
| 3  | Q5_ps (Y) | 2192 | 30.7  | -62.4 | 11.6  |
|    |           | 31   | 30.7  | -62.4 | 11.6  |
| 4  | Q5_ps (Y) | 2191 | -34.4 | -62.2 | 10.1  |
|    |           | 32   | -34.4 | -62.2 | 10.1  |
| 5  | Q5_ps (Y) | 2056 | 29.9  | -46.7 | 9.8   |
|    |           | 161  | 29.9  | -46.7 | 9.8   |
| 6  | Q5_ps (Y) | 2055 | -29.5 | -47.1 | 8.5   |
|    |           | 164  | -29.5 | -47.1 | 8.5   |

|    |           |      |         |       |        |
|----|-----------|------|---------|-------|--------|
| 7  | Q5_ps (Y) | 1920 | -8.3    | -65.1 | 10.4   |
|    |           | 268  | -8.3    | -65.1 | 10.4   |
| 8  | Q5_ps (Y) | 1919 | 22.7    | -66.6 | 9.2    |
|    |           | 271  | 22.7    | -66.6 | 9.2    |
| 9  | Q5_ps (Y) | 1783 | -11.5   | -63.1 | -5.3   |
|    |           | 266  | -11.5   | -63.1 | -5.3   |
| 10 | Q5_ps (Y) | 1784 | 2.9     | -61.4 | -5.5   |
|    |           | 267  | 2.9     | -61.4 | -5.5   |
| 11 | Q5_ps (Y) | 2971 | -8.8    | -41.1 | -9.2   |
|    |           | 154  | -8.8    | -41.1 | -9.2   |
| 12 | Q5_ps (Y) | 2970 | 4.3     | -41.9 | -8.5   |
|    |           | 151  | 4.3     | -41.9 | -8.5   |
| 13 | Q5_ps (Y) | 1514 | -21.4   | -53.6 | -14.5  |
|    |           | 18   | -21.4   | -53.6 | -14.5  |
| 14 | Q5_ps (Y) | 1513 | 23.7    | -54.0 | -13.2  |
|    |           | 19   | 23.7    | -54.0 | -13.2  |
| 15 | Q5_ps (Y) | 1374 | -25.0   | -19.2 | -5.1   |
|    |           | 3    | -25.0   | -19.2 | -5.1   |
| 16 | Q5_ps (Y) | 1376 | 27.1    | -19.3 | -4.7   |
|    |           | 4    | 27.1    | -19.3 | -4.7   |
| 1  | T         | 2969 | -3.4    | 1.2   | 5.5    |
|    |           | 2    | -3.4    | 1.2   | 5.5    |
| 2  | T         | 2967 | 1.9     | 1.2   | 5.3    |
|    |           | 1    | 1.9     | 1.2   | 5.3    |
| 3  | T         | 2192 | -3.3    | 8.2   | 9.7    |
|    |           | 31   | -3.3    | 8.2   | 9.7    |
| 4  | T         | 2191 | 2.1     | 8.2   | 9.1    |
|    |           | 32   | 2.1     | 8.2   | 9.1    |
| 5  | T         | 2056 | -4.8    | 7.0   | 0.5    |
|    |           | 161  | -4.8    | 7.0   | 0.5    |
| 6  | T         | 2055 | 5.6     | 6.6   | 0.2    |
|    |           | 164  | 5.6     | 6.6   | 0.2    |
| 7  | T         | 1920 | -5.1    | 8.8   | -8.3   |
|    |           | 268  | -5.1    | 8.8   | -8.3   |
| 8  | T         | 1919 | 6.8     | 8.5   | -8.3   |
|    |           | 271  | 6.8     | 8.5   | -8.3   |
| 9  | T         | 1783 | 9.0     | -3.5  | -11.8  |
|    |           | 266  | 9.0     | -3.5  | -11.8  |
| 10 | T         | 1784 | -6.8    | -3.8  | -11.9  |
|    |           | 267  | -6.8    | -3.8  | -11.9  |
| 11 | T         | 2971 | -4.8    | -6.6  | -3.1   |
|    |           | 154  | -4.8    | -6.6  | -3.1   |
| 12 | T         | 2970 | 5.7     | -6.1  | -3.2   |
|    |           | 151  | 5.7     | -6.1  | -3.2   |
| 13 | T         | 1514 | -3.4    | -11.9 | 4.5    |
|    |           | 18   | -3.4    | -11.9 | 4.5    |
| 14 | T         | 1513 | 1.4     | -11.7 | 3.9    |
|    |           | 19   | 1.4     | -11.7 | 3.9    |
| 15 | T         | 1374 | -2.9    | -3.1  | 4.1    |
|    |           | 3    | -2.9    | -3.1  | 4.1    |
| 16 | T         | 1376 | 2.1     | -3.1  | 3.9    |
|    |           | 4    | 2.1     | -3.1  | 3.9    |
| 1  | SLC2(all) | 2969 | -738.7  | -39.4 | 39.3   |
|    |           | 2    | -738.7  | -39.4 | 39.3   |
| 2  | SLC2(all) | 2967 | -736.9  | -45.8 | 36.4   |
|    |           | 1    | -736.9  | -45.8 | 36.4   |
| 3  | SLC2(all) | 2192 | -2205.5 | 86.6  | -110.8 |
|    |           | 31   | -2205.5 | 86.6  | -110.8 |

|    |           |      |         |        |        |
|----|-----------|------|---------|--------|--------|
| 4  | SLC2(all) | 2191 | -2145.9 | 89.1   | -116.7 |
|    |           | 32   | -2145.9 | 89.1   | -116.7 |
| 5  | SLC2(all) | 2056 | -1882.1 | 64.0   | 65.4   |
|    |           | 161  | -1882.1 | 64.0   | 65.4   |
| 6  | SLC2(all) | 2055 | -2093.9 | 76.6   | 78.8   |
|    |           | 164  | -2093.9 | 76.6   | 78.8   |
| 7  | SLC2(all) | 1920 | -2810.7 | 118.3  | -105.9 |
|    |           | 268  | -2810.7 | 118.3  | -105.9 |
| 8  | SLC2(all) | 1919 | -2965.4 | 135.1  | -129.8 |
|    |           | 271  | -2965.4 | 135.1  | -129.8 |
| 9  | SLC2(all) | 1783 | -3042.3 | -156.4 | -124.2 |
|    |           | 266  | -3042.3 | -156.4 | -124.2 |
| 10 | SLC2(all) | 1784 | -2771.0 | -127.7 | -107.9 |
|    |           | 267  | -2771.0 | -127.7 | -107.9 |
| 11 | SLC2(all) | 2971 | -1846.0 | -62.0  | -58.8  |
|    |           | 154  | -1846.0 | -62.0  | -58.8  |
| 12 | SLC2(all) | 2970 | -2134.6 | -74.8  | 70.2   |
|    |           | 151  | -2134.6 | -74.8  | 70.2   |
| 13 | SLC2(all) | 1514 | -2185.7 | -84.2  | 99.9   |
|    |           | 18   | -2185.7 | -84.2  | 99.9   |
| 14 | SLC2(all) | 1513 | -2181.8 | 98.4   | 110.0  |
|    |           | 19   | -2181.8 | 98.4   | 110.0  |
| 15 | SLC2(all) | 1374 | -747.7  | -41.3  | 38.8   |
|    |           | 3    | -747.7  | -41.3  | 38.8   |
| 16 | SLC2(all) | 1376 | -746.3  | -41.3  | 41.8   |
|    |           | 4    | -746.3  | -41.3  | 41.8   |
| 1  | SLC1(all) | 2969 | -687.0  | -40.2  | 38.6   |
|    |           | 2    | -687.0  | -40.2  | 38.6   |
| 2  | SLC1(all) | 2967 | -698.4  | -48.4  | -38.3  |
|    |           | 1    | -698.4  | -48.4  | -38.3  |
| 3  | SLC1(all) | 2192 | -2350.2 | -97.8  | -115.5 |
|    |           | 31   | -2350.2 | -97.8  | -115.5 |
| 4  | SLC1(all) | 2191 | -2217.9 | -109.7 | -118.9 |
|    |           | 32   | -2217.9 | -109.7 | -118.9 |
| 5  | SLC1(all) | 2056 | -1969.2 | 75.2   | -61.4  |
|    |           | 161  | -1969.2 | 75.2   | -61.4  |
| 6  | SLC1(all) | 2055 | -2136.4 | -89.5  | -75.9  |
|    |           | 164  | -2136.4 | -89.5  | -75.9  |
| 7  | SLC1(all) | 1920 | -2723.1 | -125.2 | 113.6  |
|    |           | 268  | -2723.1 | -125.2 | 113.6  |
| 8  | SLC1(all) | 1919 | -2935.8 | -152.3 | -135.3 |
|    |           | 271  | -2935.8 | -152.3 | -135.3 |
| 9  | SLC1(all) | 1783 | -2937.5 | -162.5 | -150.1 |
|    |           | 266  | -2937.5 | -162.5 | -150.1 |
| 10 | SLC1(all) | 1784 | -2716.8 | -135.2 | -118.0 |
|    |           | 267  | -2716.8 | -135.2 | -118.0 |
| 11 | SLC1(all) | 2971 | -1865.1 | -78.1  | -70.3  |
|    |           | 154  | -1865.1 | -78.1  | -70.3  |
| 12 | SLC1(all) | 2970 | -2192.2 | -93.0  | -84.0  |
|    |           | 151  | -2192.2 | -93.0  | -84.0  |
| 13 | SLC1(all) | 1514 | -2263.6 | -103.0 | -114.8 |
|    |           | 18   | -2263.6 | -103.0 | -114.8 |
| 14 | SLC1(all) | 1513 | -2288.5 | -109.7 | -121.2 |
|    |           | 19   | -2288.5 | -109.7 | -121.2 |
| 15 | SLC1(all) | 1374 | -712.7  | -45.1  | -38.9  |
|    |           | 3    | -712.7  | -45.1  | -38.9  |
| 16 | SLC1(all) | 1376 | -652.4  | -40.8  | 37.7   |
|    |           | 4    | -652.4  | -40.8  | 37.7   |

|    |           |      |         |        |        |
|----|-----------|------|---------|--------|--------|
| 1  | SLC3(all) | 2969 | -724.1  | 55.8   | 82.6   |
|    |           | 2    | -724.1  | 55.8   | 82.6   |
| 2  | SLC3(all) | 2967 | -733.3  | -61.6  | 80.3   |
|    |           | 1    | -733.3  | -61.6  | 80.3   |
| 3  | SLC3(all) | 2192 | -2221.1 | -163.9 | 236.6  |
|    |           | 31   | -2221.1 | -163.9 | 236.6  |
| 4  | SLC3(all) | 2191 | -2168.2 | -169.6 | 238.6  |
|    |           | 32   | -2168.2 | -169.6 | 238.6  |
| 5  | SLC3(all) | 2056 | -1888.9 | -125.7 | 176.8  |
|    |           | 161  | -1888.9 | -125.7 | 176.8  |
| 6  | SLC3(all) | 2055 | -2173.1 | -148.4 | 212.8  |
|    |           | 164  | -2173.1 | -148.4 | 212.8  |
| 7  | SLC3(all) | 1920 | -2877.0 | -222.5 | 306.0  |
|    |           | 268  | -2877.0 | -222.5 | 306.0  |
| 8  | SLC3(all) | 1919 | -3004.8 | -222.6 | 326.6  |
|    |           | 271  | -3004.8 | -222.6 | 326.6  |
| 9  | SLC3(all) | 1783 | -3031.6 | -238.1 | 342.9  |
|    |           | 266  | -3031.6 | -238.1 | 342.9  |
| 10 | SLC3(all) | 1784 | -2783.3 | -214.3 | 300.4  |
|    |           | 267  | -2783.3 | -214.3 | 300.4  |
| 11 | SLC3(all) | 2971 | -1843.5 | -136.6 | 166.8  |
|    |           | 154  | -1843.5 | -136.6 | 166.8  |
| 12 | SLC3(all) | 2970 | -2163.6 | -162.2 | 220.8  |
|    |           | 151  | -2163.6 | -162.2 | 220.8  |
| 13 | SLC3(all) | 1514 | -2186.1 | -175.9 | 220.9  |
|    |           | 18   | -2186.1 | -175.9 | 220.9  |
| 14 | SLC3(all) | 1513 | -2216.9 | -179.0 | 244.9  |
|    |           | 19   | -2216.9 | -179.0 | 244.9  |
| 15 | SLC3(all) | 1374 | -746.6  | -65.5  | 78.7   |
|    |           | 3    | -746.6  | -65.5  | 78.7   |
| 16 | SLC3(all) | 1376 | -687.7  | 56.3   | 80.2   |
|    |           | 4    | -687.7  | 56.3   | 80.2   |
| 1  | SLC4(all) | 2969 | -770.8  | 48.7   | -53.0  |
|    |           | 2    | -770.8  | 48.7   | -53.0  |
| 2  | SLC4(all) | 2967 | -712.0  | -49.8  | -56.9  |
|    |           | 1    | -712.0  | -49.8  | -56.9  |
| 3  | SLC4(all) | 2192 | -2241.8 | 136.3  | -149.5 |
|    |           | 31   | -2241.8 | 136.3  | -149.5 |
| 4  | SLC4(all) | 2191 | -2147.6 | 135.4  | -154.6 |
|    |           | 32   | -2147.6 | 135.4  | -154.6 |
| 5  | SLC4(all) | 2056 | -1862.2 | 96.3   | -114.1 |
|    |           | 161  | -1862.2 | 96.3   | -114.1 |
| 6  | SLC4(all) | 2055 | -2103.5 | -112.7 | -130.1 |
|    |           | 164  | -2103.5 | -112.7 | -130.1 |
| 7  | SLC4(all) | 1920 | -2892.0 | -172.5 | -194.8 |
|    |           | 268  | -2892.0 | -172.5 | -194.8 |
| 8  | SLC4(all) | 1919 | -3023.2 | -194.2 | -214.6 |
|    |           | 271  | -3023.2 | -194.2 | -214.6 |
| 9  | SLC4(all) | 1783 | -3062.5 | -203.3 | -236.2 |
|    |           | 266  | -3062.5 | -203.3 | -236.2 |
| 10 | SLC4(all) | 1784 | -2845.5 | -189.1 | -197.4 |
|    |           | 267  | -2845.5 | -189.1 | -197.4 |
| 11 | SLC4(all) | 2971 | -1857.4 | -105.3 | -111.6 |
|    |           | 154  | -1857.4 | -105.3 | -111.6 |
| 12 | SLC4(all) | 2970 | -2136.5 | -116.5 | -126.8 |
|    |           | 151  | -2136.5 | -116.5 | -126.8 |
| 13 | SLC4(all) | 1514 | -2178.2 | 133.4  | -150.3 |
|    |           | 18   | -2178.2 | 133.4  | -150.3 |

|    |           |      |         |        |        |
|----|-----------|------|---------|--------|--------|
| 14 | SLC4(all) | 1513 | -2250.0 | 149.7  | -155.1 |
|    |           | 19   | -2250.0 | 149.7  | -155.1 |
| 15 | SLC4(all) | 1374 | -711.2  | -49.6  | -58.5  |
|    |           | 3    | -711.2  | -49.6  | -58.5  |
| 16 | SLC4(all) | 1376 | -705.2  | 54.1   | -49.8  |
|    |           | 4    | -705.2  | 54.1   | -49.8  |
| 1  | SLC5(all) | 2969 | -785.4  | 47.0   | 53.1   |
|    |           | 2    | -785.4  | 47.0   | 53.1   |
| 2  | SLC5(all) | 2967 | -799.6  | -51.4  | 54.0   |
|    |           | 1    | -799.6  | -51.4  | 54.0   |
| 3  | SLC5(all) | 2192 | -2537.7 | 122.6  | -159.4 |
|    |           | 31   | -2537.7 | 122.6  | -159.4 |
| 4  | SLC5(all) | 2191 | -2395.2 | -128.5 | -160.4 |
|    |           | 32   | -2395.2 | -128.5 | -160.4 |
| 5  | SLC5(all) | 2056 | -2187.5 | 81.8   | -110.8 |
|    |           | 161  | -2187.5 | 81.8   | -110.8 |
| 6  | SLC5(all) | 2055 | -2463.5 | -97.4  | -125.5 |
|    |           | 164  | -2463.5 | -97.4  | -125.5 |
| 7  | SLC5(all) | 1920 | -3030.7 | 158.4  | -167.4 |
|    |           | 268  | -3030.7 | 158.4  | -167.4 |
| 8  | SLC5(all) | 1919 | -3234.0 | 193.9  | -196.3 |
|    |           | 271  | -3234.0 | 193.9  | -196.3 |
| 9  | SLC5(all) | 1783 | -3290.0 | 208.9  | -180.0 |
|    |           | 266  | -3290.0 | 208.9  | -180.0 |
| 10 | SLC5(all) | 1784 | -2960.7 | 174.4  | -155.9 |
|    |           | 267  | -2960.7 | 174.4  | -155.9 |
| 11 | SLC5(all) | 2971 | -2155.3 | -91.2  | -121.9 |
|    |           | 154  | -2155.3 | -91.2  | -121.9 |
| 12 | SLC5(all) | 2970 | -2516.3 | -108.4 | -144.7 |
|    |           | 151  | -2516.3 | -108.4 | -144.7 |
| 13 | SLC5(all) | 1514 | -2473.4 | 121.8  | -162.6 |
|    |           | 18   | -2473.4 | 121.8  | -162.6 |
| 14 | SLC5(all) | 1513 | -2474.4 | 135.0  | -171.8 |
|    |           | 19   | -2474.4 | 135.0  | -171.8 |
| 15 | SLC5(all) | 1374 | -798.1  | -47.4  | 56.6   |
|    |           | 3    | -798.1  | -47.4  | 56.6   |
| 16 | SLC5(all) | 1376 | -760.6  | 46.6   | 53.3   |
|    |           | 4    | -760.6  | 46.6   | 53.3   |
| 1  | SLC6(all) | 2969 | -717.9  | 40.7   | 39.9   |
|    |           | 2    | -717.9  | 40.7   | 39.9   |
| 2  | SLC6(all) | 2967 | -697.1  | -45.4  | 39.7   |
|    |           | 1    | -697.1  | -45.4  | 39.7   |
| 3  | SLC6(all) | 2192 | -2264.9 | -97.1  | -102.0 |
|    |           | 31   | -2264.9 | -97.1  | -102.0 |
| 4  | SLC6(all) | 2191 | -2108.7 | -109.5 | 108.6  |
|    |           | 32   | -2108.7 | -109.5 | 108.6  |
| 5  | SLC6(all) | 2056 | -1849.3 | 71.6   | 57.0   |
|    |           | 161  | -1849.3 | 71.6   | 57.0   |
| 6  | SLC6(all) | 2055 | -2068.8 | 80.3   | 70.6   |
|    |           | 164  | -2068.8 | 80.3   | 70.6   |
| 7  | SLC6(all) | 1920 | -2827.3 | 118.4  | -117.6 |
|    |           | 268  | -2827.3 | 118.4  | -117.6 |
| 8  | SLC6(all) | 1919 | -2934.7 | 134.9  | -142.3 |
|    |           | 271  | -2934.7 | 134.9  | -142.3 |
| 9  | SLC6(all) | 1783 | -2948.2 | -151.2 | -145.7 |
|    |           | 266  | -2948.2 | -151.2 | -145.7 |
| 10 | SLC6(all) | 1784 | -2777.5 | -126.1 | -122.0 |
|    |           | 267  | -2777.5 | -126.1 | -122.0 |

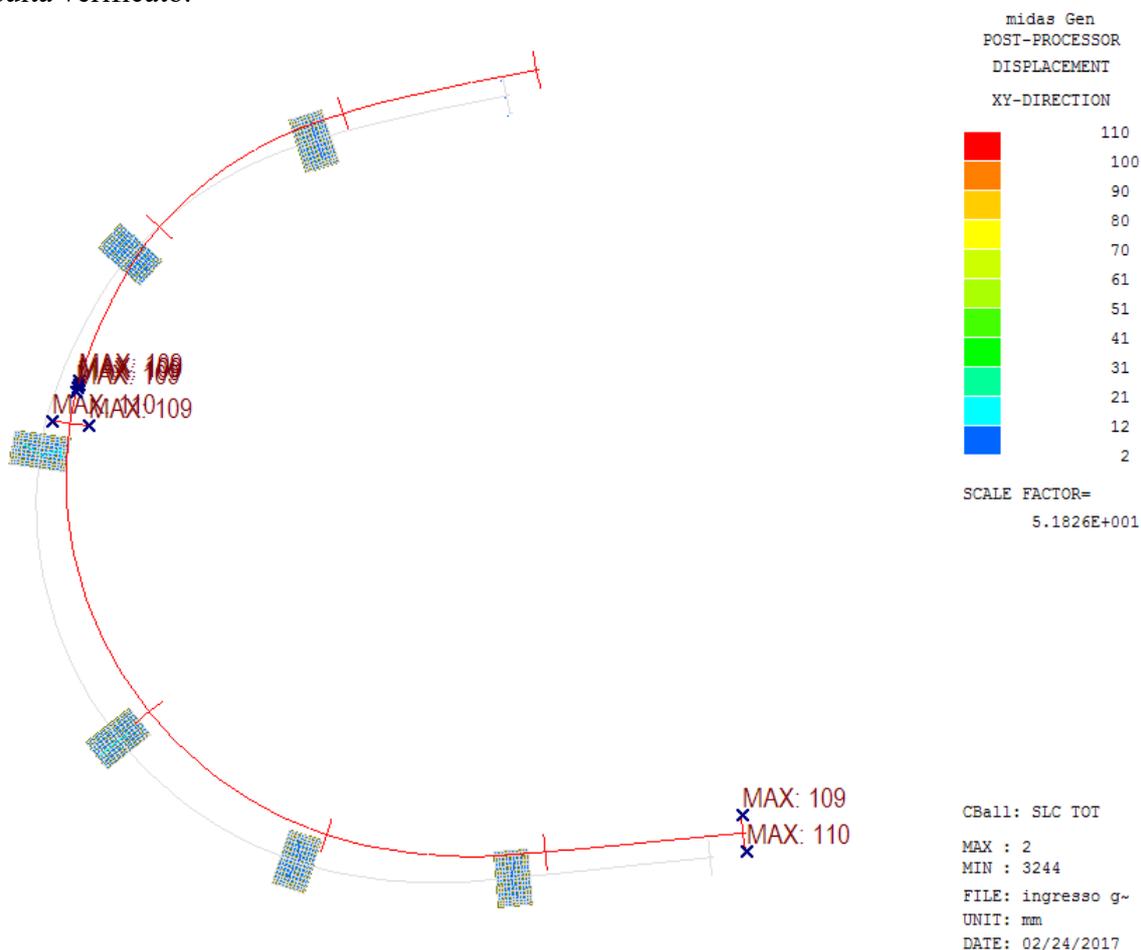
|    |            |      |         |        |        |
|----|------------|------|---------|--------|--------|
| 11 | SLC6(all)  | 2971 | -1824.1 | 67.7   | -60.1  |
|    |            | 154  | -1824.1 | 67.7   | -60.1  |
| 12 | SLC6(all)  | 2970 | -2079.1 | 85.4   | -72.5  |
|    |            | 151  | -2079.1 | 85.4   | -72.5  |
| 13 | SLC6(all)  | 1514 | -2167.4 | -101.9 | -101.5 |
|    |            | 18   | -2167.4 | -101.9 | -101.5 |
| 14 | SLC6(all)  | 1513 | -2195.5 | 104.0  | 112.2  |
|    |            | 19   | -2195.5 | 104.0  | 112.2  |
| 15 | SLC6(all)  | 1374 | -708.5  | -41.5  | 38.6   |
|    |            | 3    | -708.5  | -41.5  | 38.6   |
| 16 | SLC6(all)  | 1376 | -659.1  | 41.4   | 36.6   |
|    |            | 4    | -659.1  | 41.4   | 36.6   |
| 1  | SLC7(all)  | 2969 | -739.7  | 44.6   | 41.9   |
|    |            | 2    | -739.7  | 44.6   | 41.9   |
| 2  | SLC7(all)  | 2967 | -751.6  | -44.1  | 39.3   |
|    |            | 1    | -751.6  | -44.1  | 39.3   |
| 3  | SLC7(all)  | 2192 | -2220.2 | 98.9   | -106.2 |
|    |            | 31   | -2220.2 | 98.9   | -106.2 |
| 4  | SLC7(all)  | 2191 | -2137.3 | 99.8   | -112.1 |
|    |            | 32   | -2137.3 | 99.8   | -112.1 |
| 5  | SLC7(all)  | 2056 | -1867.0 | 69.1   | -68.2  |
|    |            | 161  | -1867.0 | 69.1   | -68.2  |
| 6  | SLC7(all)  | 2055 | -2096.0 | 77.4   | -80.1  |
|    |            | 164  | -2096.0 | 77.4   | -80.1  |
| 7  | SLC7(all)  | 1920 | -2807.2 | 119.7  | -121.3 |
|    |            | 268  | -2807.2 | 119.7  | -121.3 |
| 8  | SLC7(all)  | 1919 | -2973.4 | 144.7  | 138.6  |
|    |            | 271  | -2973.4 | 144.7  | 138.6  |
| 9  | SLC7(all)  | 1783 | -3026.0 | -156.7 | -137.7 |
|    |            | 266  | -3026.0 | -156.7 | -137.7 |
| 10 | SLC7(all)  | 1784 | -2749.5 | -129.4 | -115.7 |
|    |            | 267  | -2749.5 | -129.4 | -115.7 |
| 11 | SLC7(all)  | 2971 | -1843.4 | -69.1  | -66.1  |
|    |            | 154  | -1843.4 | -69.1  | -66.1  |
| 12 | SLC7(all)  | 2970 | -2144.7 | 85.7   | -81.3  |
|    |            | 151  | -2144.7 | 85.7   | -81.3  |
| 13 | SLC7(all)  | 1514 | -2183.7 | 93.1   | -104.9 |
|    |            | 18   | -2183.7 | 93.1   | -104.9 |
| 14 | SLC7(all)  | 1513 | -2217.7 | 108.3  | 113.4  |
|    |            | 19   | -2217.7 | 108.3  | 113.4  |
| 15 | SLC7(all)  | 1374 | -763.4  | -42.2  | 40.3   |
|    |            | 3    | -763.4  | -42.2  | 40.3   |
| 16 | SLC7(all)  | 1376 | -708.8  | 42.2   | 39.3   |
|    |            | 4    | -708.8  | 42.2   | 39.3   |
| 1  | C1+C2(all) | 2969 | -1123.3 | -2.6   | 2.9    |
|    |            | 2    | -1123.3 | -2.6   | 2.9    |
| 2  | C1+C2(all) | 2967 | -666.8  | -2.6   | 2.9    |
|    |            | 1    | -666.8  | -2.6   | 2.9    |
| 3  | C1+C2(all) | 2192 | -1670.1 | -8.0   | -6.9   |
|    |            | 31   | -1670.1 | -8.0   | -6.9   |
| 4  | C1+C2(all) | 2191 | -1121.0 | -8.1   | -6.7   |
|    |            | 32   | -1121.0 | -8.1   | -6.7   |
| 5  | C1+C2(all) | 2056 | -1578.1 | -5.9   | -5.1   |
|    |            | 161  | -1578.1 | -5.9   | -5.1   |
| 6  | C1+C2(all) | 2055 | -1160.8 | -5.6   | -4.8   |
|    |            | 164  | -1160.8 | -5.6   | -4.8   |
| 7  | C1+C2(all) | 1920 | -1780.2 | -6.8   | 7.8    |
|    |            | 268  | -1780.2 | -6.8   | 7.8    |

|    |              |      |         |       |       |
|----|--------------|------|---------|-------|-------|
| 8  | C1+C2(all)   | 1919 | -1337.1 | -6.7  | 7.7   |
|    |              | 271  | -1337.1 | -6.7  | 7.7   |
| 9  | C1+C2(all)   | 1783 | -1360.6 | -5.4  | 7.4   |
|    |              | 266  | -1360.6 | -5.4  | 7.4   |
| 10 | C1+C2(all)   | 1784 | -1765.6 | -6.0  | 7.5   |
|    |              | 267  | -1765.6 | -6.0  | 7.5   |
| 11 | C1+C2(all)   | 2971 | -1567.1 | 5.6   | 4.5   |
|    |              | 154  | -1567.1 | 5.6   | 4.5   |
| 12 | C1+C2(all)   | 2970 | -1173.4 | 5.3   | 4.5   |
|    |              | 151  | -1173.4 | 5.3   | 4.5   |
| 13 | C1+C2(all)   | 1514 | -1657.3 | 8.2   | -5.2  |
|    |              | 18   | -1657.3 | 8.2   | -5.2  |
| 14 | C1+C2(all)   | 1513 | -1136.9 | 8.1   | -5.1  |
|    |              | 19   | -1136.9 | 8.1   | -5.1  |
| 15 | C1+C2(all)   | 1374 | -1138.3 | 2.7   | 2.7   |
|    |              | 3    | -1138.3 | 2.7   | 2.7   |
| 16 | C1+C2(all)   | 1376 | -653.0  | 2.7   | 2.7   |
|    |              | 4    | -653.0  | 2.7   | 2.7   |
| 1  | C3+C4(all)   | 2969 | -661.1  | -2.6  | 3.7   |
|    |              | 2    | -661.1  | -2.6  | 3.7   |
| 2  | C3+C4(all)   | 2967 | -1129.2 | -2.6  | 3.6   |
|    |              | 1    | -1129.2 | -2.6  | 3.6   |
| 3  | C3+C4(all)   | 2192 | -1184.3 | 7.2   | 7.7   |
|    |              | 31   | -1184.3 | 7.2   | 7.7   |
| 4  | C3+C4(all)   | 2191 | -1599.5 | 7.2   | 7.5   |
|    |              | 32   | -1599.5 | 7.2   | 7.5   |
| 5  | C3+C4(all)   | 2056 | -1096.9 | 6.7   | 4.7   |
|    |              | 161  | -1096.9 | 6.7   | 4.7   |
| 6  | C3+C4(all)   | 2055 | -1604.3 | 6.3   | 4.5   |
|    |              | 164  | -1604.3 | 6.3   | 4.5   |
| 7  | C3+C4(all)   | 1920 | -1308.0 | 9.7   | -8.8  |
|    |              | 268  | -1308.0 | 9.7   | -8.8  |
| 8  | C3+C4(all)   | 1919 | -1752.7 | 9.3   | -8.8  |
|    |              | 271  | -1752.7 | 9.3   | -8.8  |
| 9  | C3+C4(all)   | 1783 | -1777.4 | -7.3  | -9.8  |
|    |              | 266  | -1777.4 | -7.3  | -9.8  |
| 10 | C3+C4(all)   | 1784 | -1288.4 | -7.5  | -10.0 |
|    |              | 267  | -1288.4 | -7.5  | -10.0 |
| 11 | C3+C4(all)   | 2971 | -1083.3 | -6.3  | -5.2  |
|    |              | 154  | -1083.3 | -6.3  | -5.2  |
| 12 | C3+C4(all)   | 2970 | -1616.3 | -6.0  | -5.2  |
|    |              | 151  | -1616.3 | -6.0  | -5.2  |
| 13 | C3+C4(all)   | 1514 | -1167.2 | -8.4  | 6.0   |
|    |              | 18   | -1167.2 | -8.4  | 6.0   |
| 14 | C3+C4(all)   | 1513 | -1600.3 | -8.2  | 5.9   |
|    |              | 19   | -1600.3 | -8.2  | 5.9   |
| 15 | C3+C4(all)   | 1374 | -676.6  | -2.4  | 3.5   |
|    |              | 3    | -676.6  | -2.4  | 3.5   |
| 16 | C3+C4(all)   | 1376 | -1112.8 | -2.4  | 3.3   |
|    |              | 4    | -1112.8 | -2.4  | 3.3   |
| 1  | SLC TOT(max) | 2969 | -360.8  | 45.3  | 52.3  |
|    |              | 2    | -360.8  | 45.3  | 52.3  |
| 2  | SLC TOT(max) | 2967 | -359.2  | 43.3  | 50.5  |
|    |              | 1    | -359.2  | 43.3  | 50.5  |
| 3  | SLC TOT(max) | 2192 | -1268.0 | 115.5 | 137.0 |
|    |              | 31   | -1268.0 | 115.5 | 137.0 |
| 4  | SLC TOT(max) | 2191 | -1219.9 | 116.4 | 143.8 |
|    |              | 32   | -1219.9 | 116.4 | 143.8 |

|    |              |      |         |        |        |
|----|--------------|------|---------|--------|--------|
| 5  | SLC TOT(max) | 2056 | -923.8  | 84.2   | 87.9   |
|    |              | 161  | -923.8  | 84.2   | 87.9   |
| 6  | SLC TOT(max) | 2055 | -1056.7 | 95.2   | 104.5  |
|    |              | 164  | -1056.7 | 95.2   | 104.5  |
| 7  | SLC TOT(max) | 1920 | -2015.5 | 148.1  | 157.2  |
|    |              | 268  | -2015.5 | 148.1  | 157.2  |
| 8  | SLC TOT(max) | 1919 | -2086.5 | 170.2  | 175.7  |
|    |              | 271  | -2086.5 | 170.2  | 175.7  |
| 9  | SLC TOT(max) | 1783 | -2087.1 | 175.8  | 173.6  |
|    |              | 266  | -2087.1 | 175.8  | 173.6  |
| 10 | SLC TOT(max) | 1784 | -1979.7 | 146.3  | 146.4  |
|    |              | 267  | -1979.7 | 146.3  | 146.4  |
| 11 | SLC TOT(max) | 2971 | -926.9  | 80.7   | 83.3   |
|    |              | 154  | -926.9  | 80.7   | 83.3   |
| 12 | SLC TOT(max) | 2970 | -1060.2 | 99.3   | 106.1  |
|    |              | 151  | -1060.2 | 99.3   | 106.1  |
| 13 | SLC TOT(max) | 1514 | -1239.7 | 113.1  | 129.5  |
|    |              | 18   | -1239.7 | 113.1  | 129.5  |
| 14 | SLC TOT(max) | 1513 | -1233.5 | 128.0  | 144.3  |
|    |              | 19   | -1233.5 | 128.0  | 144.3  |
| 15 | SLC TOT(max) | 1374 | -377.6  | 42.1   | 50.2   |
|    |              | 3    | -377.6  | 42.1   | 50.2   |
| 16 | SLC TOT(max) | 1376 | -350.5  | 47.2   | 49.9   |
|    |              | 4    | -350.5  | 47.2   | 49.9   |
| 1  | SLC TOT(min) | 2969 | -740.1  | -42.1  | -47.2  |
|    |              | 2    | -740.1  | -42.1  | -47.2  |
| 2  | SLC TOT(min) | 2967 | -734.4  | -50.1  | -47.8  |
|    |              | 1    | -734.4  | -50.1  | -47.8  |
| 3  | SLC TOT(min) | 2192 | -2295.6 | -112.8 | -139.4 |
|    |              | 31   | -2295.6 | -112.8 | -139.4 |
| 4  | SLC TOT(min) | 2191 | -2191.9 | -121.5 | -142.8 |
|    |              | 32   | -2191.9 | -121.5 | -142.8 |
| 5  | SLC TOT(min) | 2056 | -1933.8 | -81.7  | -88.8  |
|    |              | 161  | -1933.8 | -81.7  | -88.8  |
| 6  | SLC TOT(min) | 2055 | -2167.1 | -98.2  | -103.5 |
|    |              | 164  | -2167.1 | -98.2  | -103.5 |
| 7  | SLC TOT(min) | 1920 | -2858.0 | -146.8 | -155.2 |
|    |              | 268  | -2858.0 | -146.8 | -155.2 |
| 8  | SLC TOT(min) | 1919 | -3016.6 | -166.9 | -179.0 |
|    |              | 271  | -3016.6 | -166.9 | -179.0 |
| 9  | SLC TOT(min) | 1783 | -3055.8 | -182.2 | -185.3 |
|    |              | 266  | -3055.8 | -182.2 | -185.3 |
| 10 | SLC TOT(min) | 1784 | -2806.8 | -156.2 | -157.8 |
|    |              | 267  | -2806.8 | -156.2 | -157.8 |
| 11 | SLC TOT(min) | 2971 | -1895.0 | -89.5  | -92.0  |
|    |              | 154  | -1895.0 | -89.5  | -92.0  |
| 12 | SLC TOT(min) | 2970 | -2200.3 | -105.2 | -106.9 |
|    |              | 151  | -2200.3 | -105.2 | -106.9 |
| 13 | SLC TOT(min) | 1514 | -2238.0 | -120.0 | -135.2 |
|    |              | 18   | -2238.0 | -120.0 | -135.2 |
| 14 | SLC TOT(min) | 1513 | -2263.6 | -124.6 | -142.8 |
|    |              | 19   | -2263.6 | -124.6 | -142.8 |
| 15 | SLC TOT(min) | 1374 | -743.4  | -49.1  | -47.9  |
|    |              | 3    | -743.4  | -49.1  | -47.9  |
| 16 | SLC TOT(min) | 1376 | -704.6  | -45.1  | -44.1  |
|    |              | 4    | -704.6  | -45.1  | -44.1  |

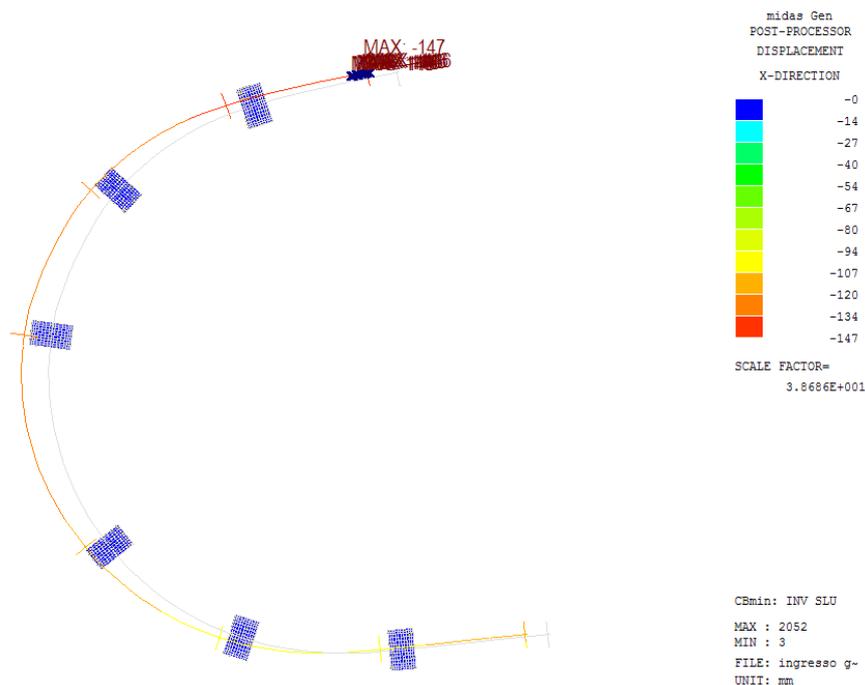
## 12. VERIFICA DEL SISTEMA DI ISOLAMENTO

La figura sottostante mostra gli spostamenti massimi orizzontali calcolati nella combinazione SLC. Come si può osservare lo spostamento massimo calcolato è pari a 110mm, a fronte di una capacità massima dell'isolatore di 250mm. Il sistema di isolamento, pertanto risulta verificato.

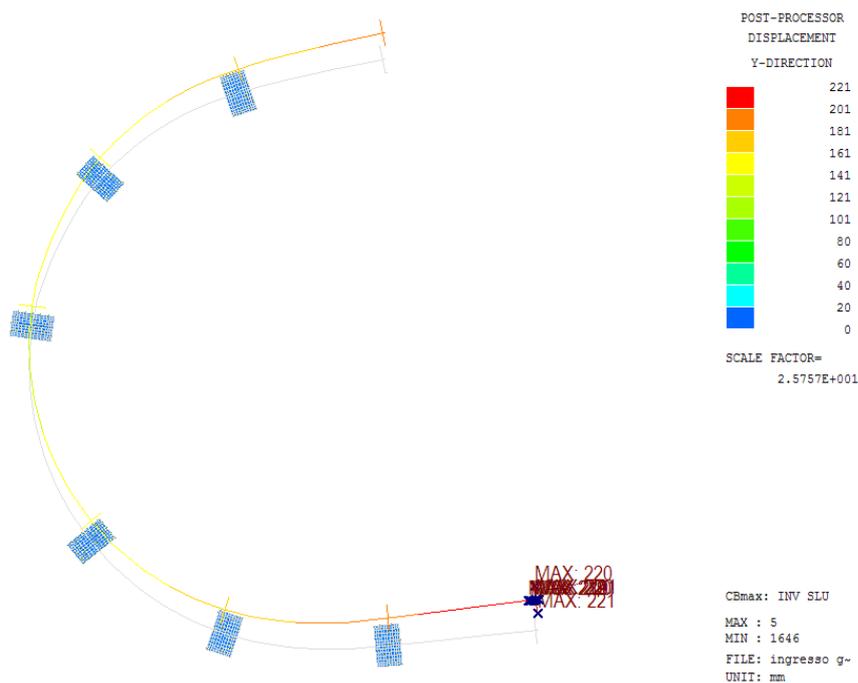


**Figura 217** – Spostamenti massimi SLC

Come già accennato, per quanto riguarda le azioni orizzontali di natura non sismica, la normativa UNI EN 15129, impone di trascurare il contributo offerto dall'attrito nel calcolo dello spostamento massimo che il dispositivo può subire. Pertanto nel modello è stato assegnato un *boundary change*, relativamente alle proprietà degli isolatori per poter calcolare gli spostamenti in condizioni non sismiche trascurando l'effetto dell' attrito. La figura seguente mostra il risultato ottenuto nella combinazione SLU più gravosa.



**Figura 218** – Spostamento massimo in X allo SLU



**Figura 219** – Spostamento massimo in Y allo SLU

Come si può notare, lo spostamento massimo richiesto, ottenuto per la combinazione SLU con vento a ponte carico in direzione Y, è pari a 220mm, a fronte di una capacità degli isolatori di 250mm. L'approccio di calcolo che trascurare totalmente l'effetto dell'attrito in condizioni statiche è stato valido e cautelativo ai fini del dimensionamento degli isolatori.

Tuttavia si vuole analizzare il comportamento della struttura, sotto l'azione del vento, anche nell'ipotesi in cui il contributo offerto dall'attrito non sia trascurato. Come già accennato,

il coefficiente d'attrito dell'isolatore è funzione del valore dello sforzo normale. La seguente tabella indica il calcolo della resistenza offerta dagli isolatori per effetto dell'attrito nelle due configurazioni di vento a ponte carico e vento a ponte scarico.

|               | N vento PS | N vento PC | NEd  | uf PS | uf PC | R attrito PS | R attrito PC |
|---------------|------------|------------|------|-------|-------|--------------|--------------|
| Isolatore     | (kN)       | (kN)       | (kN) | %     | %     | (kN)         | (kN)         |
| IS17          | 513        | 744        | 1500 | 6.12  | 4.49  | 31           | 33           |
| IS18          | 480        | 695        | 1500 | 6.47  | 4.75  | 31           | 33           |
| IS19          | 1586       | 2261       | 4000 | 5.41  | 4.02  | 86           | 91           |
| IS20          | 1590       | 2269       | 4000 | 5.40  | 4.01  | 86           | 91           |
| IS21          | 1291       | 1816       | 2500 | 4.34  | 3.26  | 56           | 59           |
| IS22          | 1487       | 2090       | 2500 | 3.86  | 2.90  | 57           | 61           |
| IS23          | 2238       | 2990       | 5000 | 4.89  | 3.84  | 109          | 115          |
| IS24          | 2412       | 3240       | 5000 | 4.59  | 3.59  | 111          | 116          |
| IS25          | 2284       | 3053       | 5000 | 4.81  | 3.77  | 110          | 115          |
| IS26          | 2378       | 3194       | 5000 | 4.65  | 3.63  | 110          | 116          |
| IS27          | 1308       | 2060       | 2500 | 4.29  | 2.94  | 56           | 61           |
| IS28          | 1466       | 1840       | 2500 | 3.90  | 3.23  | 57           | 59           |
| IS29          | 1619       | 2307       | 4000 | 5.32  | 3.96  | 86           | 91           |
| IS30          | 1554       | 2219       | 4000 | 5.50  | 4.09  | 85           | 91           |
| IS31          | 497        | 721        | 1500 | 6.28  | 4.61  | 31           | 33           |
| IS32          | 498        | 721        | 1500 | 6.27  | 4.61  | 31           | 33           |
| <b>TOTALI</b> |            |            |      |       |       | <b>1135</b>  | <b>1199</b>  |

La forza orizzontale totale dovuta al vento a ponte scarico è pari a 748 kN, il valore di resistenza offerto dall'attrito è di 1135 kN, si ha un coefficiente di sicurezza nei confronti del movimento dell'isolatore pari a *1.52*.

La forza orizzontale totale dovuta al vento a ponte carico è pari a 1058 kN, il valore di resistenza offerto dall'attrito è di 1199 kN, si ha un coefficiente di sicurezza nei confronti del movimento dell'isolatore pari a *1.13*.

## 12.1 VERIFICA DEI GIUNTI

Come sopra riportato, lo spostamento massimo complessivo, in corrispondenza dei giunti, calcolato nell'ipotesi molto cautelativa di attrito assente sugli isolatori, allo SLU è pari a:

$$\Delta s_{\text{long}} = 147 \text{ mm};$$

$$\Delta s_{\text{trasv}} = 221 \text{ mm}.$$

Si dispone, pertanto, in corrispondenza di entrambe le spalle un giunto capace di consentire spostamenti in entrambe le direzioni tipo "FIP RAN-P 400T" o equivalente, capace dei seguenti spostamenti:

$$\Delta s_{\text{long}} = \pm 200 \text{ mm};$$

$$\Delta s_{\text{trasv}} = \pm 250 \text{ mm}.$$

## 12.2 RITEGNI TRASVERSALI SULLE SPALLE

Come ulteriore elemento di sicurezza, oltre il fine corsa dell'isolatore, sulle spalle, in direzione trasversale, vengono disposti dei ritegni in c.a. protetti da un ciscinetto in neoprene armato. Essi si trovano ad una distanza dalla piattabanda inferiore della trave, tale da non dovere intervenire. Tale distanza, come mostra l'immagine seguente è di  $65-4-35=26\text{cm}$ , a fronte di uno spostamento massimo calcolato nelle ipotesi più sfavorevoli possibili di 23.8 cm. Pertanto i ritegni, disposti sulle spalle rappresentano solo un elemento di maggior cautela, da considerare fuori calcolo.

Volendo fare un confronto tra l'azione orizzontale massima calcolata sugli isolatori delle spalle allo SLC (54.1x2 kN) e la resistenza del ritegno, calcolata come mensola tozza, si ottiene un coefficiente di sicurezza di  $310.9/108.2=2.87$ .

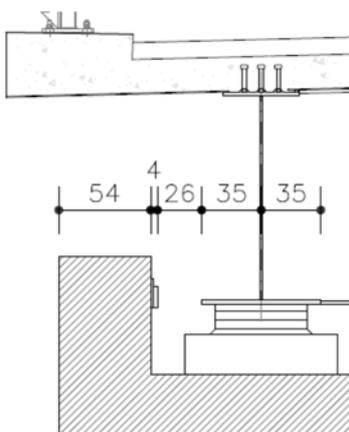


Figura 220 – Dettaglio ritegno su spalla

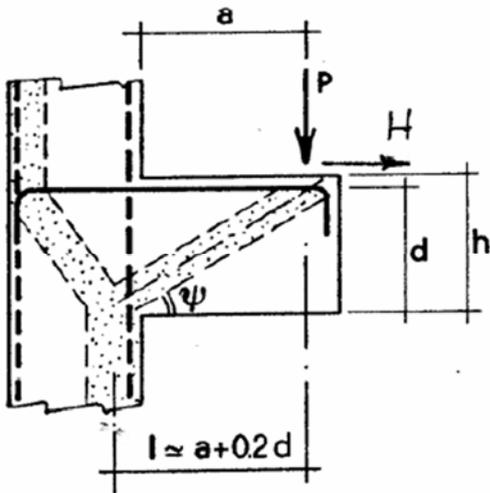
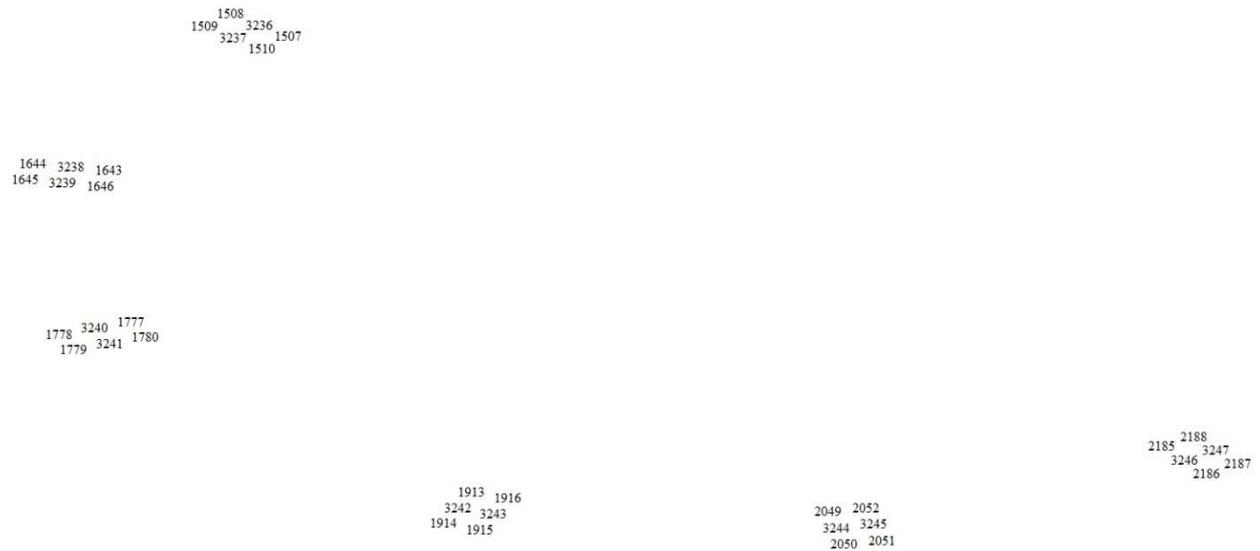
| Resistenza di elementi tozzi, nelle zone diffuse e nei nodi - C4.1.2.1.5            |           |          |                    |
|---|-----------|----------|--------------------|
|  | $P_{Ed}$  | 108.2    | [kN]               |
|   | $H_{Ed}$  | 0        | [kN]               |
|   | a         | 0.46     | [m]                |
|   | b         | 0.96     | [m]                |
|   | h         | 0.54     | [m]                |
|   | c         | 0.05     | [m]                |
|   | d         | 0.49     | [m]                |
|   | l         | 0.558    | [m]                |
|   | $\lambda$ | 1.27     | [-]                |
|   | $\phi$    | 16       | [mm]               |
|   | $n_0$     | 5        | [-]                |
|   | $A_s$     | 1005.31  | [mm <sup>2</sup> ] |
|   | $f_{yd}$  | 391.30   | [MPa]              |
|   | $f_{cd}$  | 18.13    | [MPa]              |
|   | c         | 1        | [-]                |
| $P_{Ed}$  | $\leq$    | $P_{Rs}$ | 310.899 [kN]       |
|   |           |          | $\leq$             |
|   |           |          | $P_{Rc}$           |
|   |           |          | 1311.79 [kN]       |

Figura 221 – Resistenza del ritegno

### 13. VERIFICA DEI PALI DELLE PILE

Nel presente paragrafo si riportano le reazioni, derivanti dal modello globale, rappresentative delle sollecitazioni sui pali di fondazione delle pile del Sovrappasso di ingresso e le relative verifiche eseguite mediante i criteri di analisi e verifica definiti precedentemente.



*Figura 222 – Numerazione nodi*

| Node | Load         | FX     | FY     | FXY   | FZ      |
|------|--------------|--------|--------|-------|---------|
|      |              | (kN)   | (kN)   | (kN)  | (kN)    |
| 1507 | INV SLU(min) | -39.16 | -34.57 | 52.24 | 701.52  |
| 1508 | INV SLU(min) | -31.56 | -56.47 | 64.69 | 686.09  |
| 1509 | INV SLU(min) | -29.25 | -55.06 | 62.35 | 695.34  |
| 1510 | INV SLU(min) | -35.76 | -33.74 | 49.17 | 684.68  |
| 1643 | INV SLU(min) | -37.36 | -27.17 | 46.19 | 664.71  |
| 1644 | INV SLU(min) | -20.42 | -42.22 | 46.90 | 576.16  |
| 1645 | INV SLU(min) | -19.50 | -39.55 | 44.10 | 589.66  |
| 1646 | INV SLU(min) | -34.82 | -25.77 | 43.32 | 657.01  |
| 1777 | INV SLU(min) | -59.55 | -47.31 | 76.05 | 933.50  |
| 1778 | INV SLU(min) | -26.62 | -51.48 | 57.96 | 824.70  |
| 1779 | INV SLU(min) | -26.26 | -47.31 | 54.11 | 853.75  |
| 1780 | INV SLU(min) | -58.29 | -43.50 | 72.74 | 870.67  |
| 1913 | INV SLU(min) | -56.61 | -59.31 | 81.99 | 809.42  |
| 1914 | INV SLU(min) | -34.43 | -36.18 | 49.94 | 854.61  |
| 1915 | INV SLU(min) | -36.34 | -34.77 | 50.29 | 795.00  |
| 1916 | INV SLU(min) | -62.42 | -55.44 | 83.49 | 901.70  |
| 2049 | INV SLU(min) | -34.30 | -48.16 | 59.12 | 653.24  |
| 2050 | INV SLU(min) | -30.63 | -26.32 | 40.39 | 632.48  |
| 2051 | INV SLU(min) | -32.92 | -26.38 | 42.19 | 590.38  |
| 2052 | INV SLU(min) | -37.95 | -47.27 | 60.62 | 691.42  |
| 2185 | INV SLU(min) | -50.03 | -61.95 | 79.63 | 693.34  |
| 2186 | INV SLU(min) | -54.76 | -38.49 | 66.94 | 661.41  |
| 2187 | INV SLU(min) | -57.75 | -38.94 | 69.66 | 723.63  |
| 2188 | INV SLU(min) | -52.69 | -62.93 | 82.08 | 638.55  |
| 3236 | INV SLU(min) | -36.45 | -44.96 | 57.88 | 796.39  |
| 3237 | INV SLU(min) | -30.60 | -42.81 | 52.62 | 794.31  |
| 3238 | INV SLU(min) | -28.87 | -35.61 | 45.84 | 765.05  |
| 3239 | INV SLU(min) | -24.86 | -31.01 | 39.74 | 767.28  |
| 3240 | INV SLU(min) | -41.90 | -51.00 | 66.01 | 1005.97 |
| 3241 | INV SLU(min) | -40.43 | -42.38 | 58.57 | 993.51  |
| 3242 | INV SLU(min) | -42.70 | -48.58 | 64.68 | 1042.87 |
| 3243 | INV SLU(min) | -49.85 | -42.06 | 65.23 | 1052.87 |
| 3244 | INV SLU(min) | -30.21 | -36.13 | 47.10 | 767.80  |
| 3245 | INV SLU(min) | -36.27 | -34.68 | 50.18 | 761.82  |
| 3246 | INV SLU(min) | -50.19 | -48.88 | 70.06 | 812.33  |
| 3247 | INV SLU(min) | -56.37 | -49.88 | 75.27 | 813.93  |

*Tabella 7. Sforzi Normali e Tagli Pile – INV SLU MIN*

| Node | Load         | FX    | FY    | FXY   | FZ      |
|------|--------------|-------|-------|-------|---------|
|      |              | (kN)  | (kN)  | (kN)  | (kN)    |
| 1507 | INV SLU(max) | 46.64 | 55.92 | 72.82 | 1937.77 |
| 1508 | INV SLU(max) | 56.30 | 33.77 | 65.65 | 1971.66 |
| 1509 | INV SLU(max) | 59.29 | 33.92 | 68.31 | 1951.33 |
| 1510 | INV SLU(max) | 48.24 | 56.76 | 74.49 | 1946.67 |
| 1643 | INV SLU(max) | 23.78 | 44.69 | 50.62 | 1957.31 |
| 1644 | INV SLU(max) | 40.61 | 33.33 | 52.54 | 1827.53 |
| 1645 | INV SLU(max) | 42.21 | 34.87 | 54.75 | 1826.59 |
| 1646 | INV SLU(max) | 23.42 | 48.54 | 53.89 | 1958.67 |
| 1777 | INV SLU(max) | 29.97 | 65.98 | 72.47 | 2483.42 |
| 1778 | INV SLU(max) | 62.70 | 65.47 | 90.65 | 2425.46 |
| 1779 | INV SLU(max) | 63.46 | 69.10 | 93.82 | 2376.89 |
| 1780 | INV SLU(max) | 30.13 | 70.60 | 76.77 | 2482.92 |
| 1913 | INV SLU(max) | 26.68 | 54.25 | 60.46 | 2522.40 |
| 1914 | INV SLU(max) | 53.37 | 76.79 | 93.51 | 2445.95 |
| 1915 | INV SLU(max) | 49.78 | 80.46 | 94.61 | 2536.82 |
| 1916 | INV SLU(max) | 24.73 | 54.46 | 59.81 | 2487.44 |
| 2049 | INV SLU(max) | 20.24 | 27.36 | 34.03 | 1974.02 |
| 2050 | INV SLU(max) | 27.11 | 48.16 | 55.26 | 1844.02 |
| 2051 | INV SLU(max) | 23.98 | 49.59 | 55.08 | 1875.20 |
| 2052 | INV SLU(max) | 18.11 | 28.10 | 33.43 | 1937.06 |
| 2185 | INV SLU(max) | 29.73 | 37.63 | 47.95 | 1935.17 |
| 2186 | INV SLU(max) | 27.31 | 61.36 | 67.16 | 2052.18 |
| 2187 | INV SLU(max) | 24.28 | 61.15 | 65.80 | 2005.99 |
| 2188 | INV SLU(max) | 26.76 | 38.07 | 46.54 | 1994.03 |
| 3236 | INV SLU(max) | 49.46 | 43.14 | 65.63 | 1851.21 |
| 3237 | INV SLU(max) | 54.73 | 44.81 | 70.74 | 1849.67 |
| 3238 | INV SLU(max) | 30.37 | 36.63 | 47.58 | 1760.50 |
| 3239 | INV SLU(max) | 33.33 | 41.91 | 53.55 | 1764.31 |
| 3240 | INV SLU(max) | 45.27 | 62.29 | 77.00 | 2444.03 |
| 3241 | INV SLU(max) | 46.46 | 70.99 | 84.84 | 2416.45 |
| 3242 | INV SLU(max) | 40.97 | 62.35 | 74.60 | 2415.75 |
| 3243 | INV SLU(max) | 35.00 | 68.27 | 76.72 | 2448.13 |
| 3244 | INV SLU(max) | 24.75 | 36.21 | 43.86 | 1794.57 |
| 3245 | INV SLU(max) | 19.25 | 38.34 | 42.90 | 1791.83 |
| 3246 | INV SLU(max) | 30.00 | 48.22 | 56.79 | 1862.79 |
| 3247 | INV SLU(max) | 23.65 | 47.98 | 53.50 | 1865.07 |

*Tabella 8. Sforzi Normali e Tagli Pile – INV SLU MAX (F<sub>Z</sub> Max)*

| Node | Load         | FX      | FY      | FXY    | FZ     |
|------|--------------|---------|---------|--------|--------|
|      |              | (kN)    | (kN)    | (kN)   | (kN)   |
| 1507 | INV SLV(min) | -117.65 | -103.05 | 156.40 | 537.41 |
| 1508 | INV SLV(min) | -110.65 | -118.29 | 161.97 | 502.38 |
| 1509 | INV SLV(min) | -109.27 | -117.50 | 160.46 | 499.42 |
| 1510 | INV SLV(min) | -115.79 | -102.36 | 154.55 | 558.85 |
| 1643 | INV SLV(min) | -112.79 | -112.46 | 159.28 | 486.73 |
| 1644 | INV SLV(min) | -100.15 | -122.14 | 157.95 | 410.73 |
| 1645 | INV SLV(min) | -100.36 | -119.73 | 156.22 | 415.63 |
| 1646 | INV SLV(min) | -112.02 | -111.09 | 157.77 | 520.96 |
| 1777 | INV SLV(min) | -118.69 | -103.23 | 157.30 | 729.56 |
| 1778 | INV SLV(min) | -96.45  | -103.17 | 141.23 | 634.80 |
| 1779 | INV SLV(min) | -97.53  | -100.11 | 139.76 | 678.32 |
| 1780 | INV SLV(min) | -119.83 | -100.31 | 156.27 | 720.79 |
| 1913 | INV SLV(min) | -102.22 | -120.46 | 157.98 | 651.86 |
| 1914 | INV SLV(min) | -84.40  | -106.66 | 136.01 | 664.26 |
| 1915 | INV SLV(min) | -86.94  | -104.03 | 135.58 | 709.76 |
| 1916 | INV SLV(min) | -103.60 | -118.22 | 157.19 | 641.48 |
| 2049 | INV SLV(min) | -100.01 | -119.52 | 155.84 | 462.25 |
| 2050 | INV SLV(min) | -96.15  | -104.03 | 141.66 | 407.15 |
| 2051 | INV SLV(min) | -97.80  | -104.05 | 142.80 | 390.50 |
| 2052 | INV SLV(min) | -102.19 | -118.81 | 156.71 | 453.19 |
| 2185 | INV SLV(min) | -100.77 | -117.48 | 154.78 | 474.99 |
| 2186 | INV SLV(min) | -102.48 | -100.81 | 143.76 | 563.51 |
| 2187 | INV SLV(min) | -104.70 | -100.77 | 145.32 | 523.85 |
| 2188 | INV SLV(min) | -102.62 | -117.19 | 155.77 | 475.16 |
| 3236 | INV SLV(min) | -114.78 | -110.79 | 159.53 | 639.31 |
| 3237 | INV SLV(min) | -111.04 | -109.36 | 155.85 | 663.65 |
| 3238 | INV SLV(min) | -106.65 | -117.97 | 159.03 | 559.83 |
| 3239 | INV SLV(min) | -105.12 | -114.57 | 155.49 | 591.06 |
| 3240 | INV SLV(min) | -107.01 | -104.06 | 149.27 | 872.74 |
| 3241 | INV SLV(min) | -107.70 | -97.79  | 145.47 | 906.70 |
| 3242 | INV SLV(min) | -91.18  | -113.54 | 145.62 | 865.29 |
| 3243 | INV SLV(min) | -95.59  | -108.77 | 144.81 | 860.20 |
| 3244 | INV SLV(min) | -96.95  | -111.42 | 147.70 | 557.64 |
| 3245 | INV SLV(min) | -100.84 | -110.42 | 149.54 | 541.68 |
| 3246 | INV SLV(min) | -99.61  | -108.87 | 147.56 | 645.21 |
| 3247 | INV SLV(min) | -103.88 | -108.91 | 150.51 | 620.48 |

**Tabella 9. Sforzi Normali e Tagli Pile – INV SLV MIN ( $F_z$  Min)**

| Node | Load         | FX     | FY     | FX <sub>Y</sub> | FZ      |
|------|--------------|--------|--------|-----------------|---------|
|      |              | (kN)   | (kN)   | (kN)            | (kN)    |
| 1507 | INV SLV(max) | 109.08 | 127.83 | 168.04          | 1236.24 |
| 1508 | INV SLV(max) | 113.93 | 112.90 | 160.40          | 1188.52 |
| 1509 | INV SLV(max) | 115.92 | 112.84 | 161.78          | 1175.85 |
| 1510 | INV SLV(max) | 110.81 | 128.02 | 169.31          | 1181.07 |
| 1643 | INV SLV(max) | 100.22 | 114.32 | 152.03          | 1201.04 |
| 1644 | INV SLV(max) | 112.43 | 106.33 | 154.75          | 1098.42 |
| 1645 | INV SLV(max) | 113.10 | 107.47 | 156.02          | 1127.53 |
| 1646 | INV SLV(max) | 100.36 | 116.51 | 153.78          | 1211.74 |
| 1777 | INV SLV(max) | 99.56  | 99.07  | 140.46          | 1619.28 |
| 1778 | INV SLV(max) | 122.13 | 95.72  | 155.17          | 1551.03 |
| 1779 | INV SLV(max) | 122.46 | 98.03  | 156.87          | 1515.77 |
| 1780 | INV SLV(max) | 100.28 | 101.91 | 142.97          | 1632.39 |
| 1913 | INV SLV(max) | 102.08 | 99.95  | 142.86          | 1641.69 |
| 1914 | INV SLV(max) | 116.18 | 115.28 | 163.67          | 1617.56 |
| 1915 | INV SLV(max) | 112.82 | 117.21 | 162.68          | 1641.21 |
| 1916 | INV SLV(max) | 97.50  | 101.34 | 140.63          | 1652.32 |
| 2049 | INV SLV(max) | 93.47  | 104.22 | 139.99          | 1245.52 |
| 2050 | INV SLV(max) | 97.19  | 117.83 | 152.74          | 1143.22 |
| 2051 | INV SLV(max) | 95.16  | 118.01 | 151.60          | 1171.72 |
| 2052 | INV SLV(max) | 91.63  | 104.10 | 138.68          | 1218.51 |
| 2185 | INV SLV(max) | 110.05 | 104.51 | 151.77          | 1240.41 |
| 2186 | INV SLV(max) | 105.28 | 119.82 | 159.50          | 1234.69 |
| 2187 | INV SLV(max) | 103.52 | 119.07 | 157.78          | 1299.90 |
| 2188 | INV SLV(max) | 108.11 | 103.54 | 149.70          | 1194.76 |
| 3236 | INV SLV(max) | 110.08 | 119.85 | 162.73          | 1253.25 |
| 3237 | INV SLV(max) | 114.09 | 120.53 | 165.96          | 1215.47 |
| 3238 | INV SLV(max) | 105.56 | 109.28 | 151.94          | 1205.29 |
| 3239 | INV SLV(max) | 107.27 | 112.34 | 155.33          | 1192.57 |
| 3240 | INV SLV(max) | 110.13 | 95.33  | 145.66          | 1665.80 |
| 3241 | INV SLV(max) | 111.08 | 100.94 | 150.10          | 1622.66 |
| 3242 | INV SLV(max) | 109.40 | 105.64 | 152.08          | 1691.40 |
| 3243 | INV SLV(max) | 103.15 | 109.87 | 150.70          | 1703.75 |
| 3244 | INV SLV(max) | 96.29  | 110.57 | 146.62          | 1229.80 |
| 3245 | INV SLV(max) | 92.29  | 111.18 | 144.49          | 1270.81 |
| 3246 | INV SLV(max) | 108.34 | 111.86 | 155.73          | 1264.37 |
| 3247 | INV SLV(max) | 104.32 | 110.82 | 152.19          | 1294.00 |

*Tabella 10. Sforzi Normali e Tagli Pile – INV SLV MAX (F<sub>XY</sub> Max)*

| Node | Load          | FX     | FY     | FXV   | FZ      |
|------|---------------|--------|--------|-------|---------|
|      |               | (kN)   | (kN)   | (kN)  | (kN)    |
| 1507 | INV SLER(min) | -26.81 | -22.93 | 35.28 | 635.07  |
| 1508 | INV SLER(min) | -21.21 | -39.17 | 44.54 | 593.97  |
| 1509 | INV SLER(min) | -19.48 | -38.16 | 42.85 | 662.81  |
| 1510 | INV SLER(min) | -24.32 | -22.34 | 33.02 | 659.93  |
| 1643 | INV SLER(min) | -25.80 | -18.04 | 31.48 | 589.11  |
| 1644 | INV SLER(min) | -13.28 | -29.19 | 32.07 | 504.14  |
| 1645 | INV SLER(min) | -12.57 | -27.27 | 30.02 | 545.97  |
| 1646 | INV SLER(min) | -23.96 | -16.98 | 29.37 | 612.80  |
| 1777 | INV SLER(min) | -41.48 | -31.93 | 52.35 | 796.44  |
| 1778 | INV SLER(min) | -17.10 | -35.08 | 39.02 | 715.08  |
| 1779 | INV SLER(min) | -16.83 | -32.01 | 36.16 | 823.17  |
| 1780 | INV SLER(min) | -40.59 | -29.10 | 49.95 | 847.13  |
| 1913 | INV SLER(min) | -39.10 | -40.75 | 56.48 | 699.49  |
| 1914 | INV SLER(min) | -22.37 | -23.75 | 32.63 | 734.31  |
| 1915 | INV SLER(min) | -23.80 | -22.61 | 32.83 | 780.39  |
| 1916 | INV SLER(min) | -43.17 | -37.94 | 57.47 | 870.83  |
| 2049 | INV SLER(min) | -23.08 | -33.33 | 40.54 | 562.76  |
| 2050 | INV SLER(min) | -20.17 | -17.20 | 26.50 | 546.76  |
| 2051 | INV SLER(min) | -21.87 | -17.19 | 27.81 | 537.23  |
| 2052 | INV SLER(min) | -25.72 | -32.66 | 41.58 | 630.28  |
| 2185 | INV SLER(min) | -33.69 | -42.75 | 54.43 | 593.46  |
| 2186 | INV SLER(min) | -37.04 | -25.34 | 44.88 | 583.52  |
| 2187 | INV SLER(min) | -39.25 | -25.66 | 46.90 | 681.74  |
| 2188 | INV SLER(min) | -35.69 | -43.40 | 56.19 | 608.97  |
| 3236 | INV SLER(min) | -24.84 | -30.67 | 39.47 | 706.90  |
| 3237 | INV SLER(min) | -20.50 | -29.12 | 35.61 | 771.44  |
| 3238 | INV SLER(min) | -19.56 | -24.32 | 31.21 | 656.45  |
| 3239 | INV SLER(min) | -16.60 | -20.93 | 26.71 | 704.12  |
| 3240 | INV SLER(min) | -28.47 | -34.75 | 44.93 | 880.45  |
| 3241 | INV SLER(min) | -27.40 | -28.37 | 39.44 | 971.51  |
| 3242 | INV SLER(min) | -28.72 | -32.94 | 43.70 | 889.73  |
| 3243 | INV SLER(min) | -33.91 | -28.09 | 44.03 | 1030.94 |
| 3244 | INV SLER(min) | -20.00 | -24.51 | 31.63 | 662.89  |
| 3245 | INV SLER(min) | -24.46 | -23.40 | 33.85 | 696.53  |
| 3246 | INV SLER(min) | -33.77 | -33.11 | 47.30 | 707.36  |
| 3247 | INV SLER(min) | -38.36 | -33.81 | 51.13 | 787.78  |

*Tabella 11. Sforzi Normali e Tagli Pile – INV SLER MIN*

| Node | Load          | FX    | FY    | FX <sub>Y</sub> | FZ      |
|------|---------------|-------|-------|-----------------|---------|
|      |               | (kN)  | (kN)  | (kN)            | (kN)    |
| 1507 | INV SLER(max) | 30.94 | 38.75 | 49.59           | 1428.49 |
| 1508 | INV SLER(max) | 37.93 | 22.35 | 44.02           | 1454.65 |
| 1509 | INV SLER(max) | 40.15 | 22.51 | 46.03           | 1438.69 |
| 1510 | INV SLER(max) | 32.19 | 39.39 | 50.87           | 1436.06 |
| 1643 | INV SLER(max) | 15.53 | 30.62 | 34.33           | 1441.57 |
| 1644 | INV SLER(max) | 27.91 | 22.01 | 35.55           | 1346.06 |
| 1645 | INV SLER(max) | 29.12 | 23.15 | 37.20           | 1344.81 |
| 1646 | INV SLER(max) | 15.41 | 33.35 | 36.74           | 1443.36 |
| 1777 | INV SLER(max) | 19.57 | 44.10 | 48.25           | 1829.98 |
| 1778 | INV SLER(max) | 43.83 | 43.44 | 61.70           | 1785.67 |
| 1779 | INV SLER(max) | 44.38 | 46.13 | 64.01           | 1750.50 |
| 1780 | INV SLER(max) | 19.73 | 47.48 | 51.42           | 1828.51 |
| 1913 | INV SLER(max) | 17.48 | 35.98 | 40.00           | 1853.39 |
| 1914 | INV SLER(max) | 37.20 | 52.59 | 64.42           | 1800.17 |
| 1915 | INV SLER(max) | 34.62 | 55.27 | 65.21           | 1863.60 |
| 1916 | INV SLER(max) | 15.99 | 36.32 | 39.69           | 1831.39 |
| 2049 | INV SLER(max) | 13.48 | 17.93 | 22.43           | 1453.48 |
| 2050 | INV SLER(max) | 18.59 | 33.37 | 38.20           | 1358.88 |
| 2051 | INV SLER(max) | 16.29 | 34.38 | 38.05           | 1380.23 |
| 2052 | INV SLER(max) | 11.89 | 18.46 | 21.96           | 1427.85 |
| 2185 | INV SLER(max) | 20.46 | 24.73 | 32.10           | 1428.35 |
| 2186 | INV SLER(max) | 18.71 | 42.28 | 46.23           | 1509.04 |
| 2187 | INV SLER(max) | 16.46 | 42.11 | 45.21           | 1480.94 |
| 2188 | INV SLER(max) | 18.26 | 24.99 | 30.95           | 1465.87 |
| 3236 | INV SLER(max) | 32.97 | 29.33 | 44.13           | 1366.59 |
| 3237 | INV SLER(max) | 36.92 | 30.60 | 47.95           | 1365.52 |
| 3238 | INV SLER(max) | 20.40 | 24.59 | 31.95           | 1299.97 |
| 3239 | INV SLER(max) | 22.68 | 28.44 | 36.38           | 1302.97 |
| 3240 | INV SLER(max) | 30.97 | 41.31 | 51.63           | 1798.97 |
| 3241 | INV SLER(max) | 31.87 | 47.73 | 57.39           | 1778.86 |
| 3242 | INV SLER(max) | 28.09 | 42.02 | 50.55           | 1780.20 |
| 3243 | INV SLER(max) | 23.69 | 46.48 | 52.17           | 1803.65 |
| 3244 | INV SLER(max) | 16.86 | 24.56 | 29.79           | 1324.59 |
| 3245 | INV SLER(max) | 12.79 | 26.11 | 29.07           | 1322.17 |
| 3246 | INV SLER(max) | 20.70 | 32.63 | 38.64           | 1375.91 |
| 3247 | INV SLER(max) | 15.99 | 32.41 | 36.14           | 1377.48 |

*Tabella 12. Sforzi Normali e Tagli Pile – INV SLER MAX (F<sub>XY</sub> Max)*

| Node | Load          | FX     | FY     | FXY   | FZ      |
|------|---------------|--------|--------|-------|---------|
|      |               | (kN)   | (kN)   | (kN)  | (kN)    |
| 1507 | INV SLEF(min) | -7.20  | 1.32   | 7.32  | 783.48  |
| 1508 | INV SLEF(min) | -2.71  | -12.89 | 13.17 | 762.27  |
| 1509 | INV SLEF(min) | -0.95  | -12.29 | 12.32 | 765.15  |
| 1510 | INV SLEF(min) | -5.38  | 1.80   | 5.67  | 771.32  |
| 1643 | INV SLEF(min) | -8.30  | -0.05  | 8.30  | 740.46  |
| 1644 | INV SLEF(min) | 2.10   | -9.34  | 9.57  | 671.09  |
| 1645 | INV SLEF(min) | 3.16   | -8.06  | 8.66  | 675.94  |
| 1646 | INV SLEF(min) | -7.04  | 1.22   | 7.15  | 742.12  |
| 1777 | INV SLEF(min) | -15.26 | -6.07  | 16.42 | 1057.72 |
| 1778 | INV SLEF(min) | 5.86   | -9.11  | 10.83 | 1007.64 |
| 1779 | INV SLEF(min) | 6.23   | -6.55  | 9.04  | 995.08  |
| 1780 | INV SLEF(min) | -14.73 | -3.51  | 15.15 | 1036.22 |
| 1913 | INV SLEF(min) | -11.91 | -11.93 | 16.86 | 1038.15 |
| 1914 | INV SLEF(min) | 4.84   | 1.88   | 5.19  | 1028.24 |
| 1915 | INV SLEF(min) | 3.31   | 3.75   | 5.00  | 1039.60 |
| 1916 | INV SLEF(min) | -13.71 | -9.83  | 16.88 | 1059.91 |
| 2049 | INV SLEF(min) | -2.88  | -10.86 | 11.23 | 748.76  |
| 2050 | INV SLEF(min) | 1.32   | 2.67   | 2.98  | 693.86  |
| 2051 | INV SLEF(min) | -0.30  | 3.12   | 3.14  | 687.21  |
| 2052 | INV SLEF(min) | -4.65  | -10.28 | 11.28 | 745.96  |
| 2185 | INV SLEF(min) | -2.47  | -13.31 | 13.54 | 765.59  |
| 2186 | INV SLEF(min) | -3.89  | 1.73   | 4.25  | 787.96  |
| 2187 | INV SLEF(min) | -5.81  | 1.53   | 6.01  | 783.79  |
| 2188 | INV SLEF(min) | -4.29  | -13.52 | 14.18 | 778.70  |
| 3236 | INV SLEF(min) | -5.86  | -6.02  | 8.41  | 853.52  |
| 3237 | INV SLEF(min) | -2.19  | -4.87  | 5.34  | 851.45  |
| 3238 | INV SLEF(min) | -3.49  | -5.46  | 6.48  | 779.51  |
| 3239 | INV SLEF(min) | -1.11  | -2.82  | 3.03  | 785.39  |
| 3240 | INV SLEF(min) | -4.60  | -8.96  | 10.07 | 1161.42 |
| 3241 | INV SLEF(min) | -3.74  | -3.49  | 5.12  | 1142.98 |
| 3242 | INV SLEF(min) | -2.41  | -6.04  | 6.50  | 1162.52 |
| 3243 | INV SLEF(min) | -5.95  | -1.71  | 6.19  | 1181.32 |
| 3244 | INV SLEF(min) | 0.19   | -4.11  | 4.12  | 799.48  |
| 3245 | INV SLEF(min) | -3.28  | -3.03  | 4.46  | 792.17  |
| 3246 | INV SLEF(min) | -2.12  | -5.68  | 6.06  | 862.28  |
| 3247 | INV SLEF(min) | -6.00  | -6.06  | 8.53  | 863.81  |

*Tabella 13. Sforzi Normali e Tagli Pile – INV SLEF MIN*

| Node | Load          | FX    | FY    | FXY   | FZ      |
|------|---------------|-------|-------|-------|---------|
|      |               | (kN)  | (kN)  | (kN)  | (kN)    |
| 1507 | INV SLEF(max) | -0.21 | 12.40 | 12.40 | 1115.32 |
| 1508 | INV SLEF(max) | 4.44  | -1.69 | 4.75  | 1130.75 |
| 1509 | INV SLEF(max) | 6.21  | -1.17 | 6.32  | 1118.37 |
| 1510 | INV SLEF(max) | 1.52  | 13.00 | 13.09 | 1120.40 |
| 1643 | INV SLEF(max) | -2.31 | 7.57  | 7.91  | 1107.79 |
| 1644 | INV SLEF(max) | 7.93  | -1.59 | 8.09  | 1026.82 |
| 1645 | INV SLEF(max) | 9.12  | -0.44 | 9.13  | 1025.31 |
| 1646 | INV SLEF(max) | -1.12 | 8.97  | 9.04  | 1112.56 |
| 1777 | INV SLEF(max) | -3.64 | 3.51  | 5.06  | 1445.54 |
| 1778 | INV SLEF(max) | 17.46 | 0.45  | 17.46 | 1392.38 |
| 1779 | INV SLEF(max) | 17.92 | 2.89  | 18.16 | 1370.83 |
| 1780 | INV SLEF(max) | -3.17 | 6.16  | 6.93  | 1432.50 |
| 1913 | INV SLEF(max) | -2.51 | -0.03 | 2.51  | 1424.84 |
| 1914 | INV SLEF(max) | 14.30 | 13.42 | 19.62 | 1404.54 |
| 1915 | INV SLEF(max) | 12.53 | 15.59 | 20.01 | 1426.78 |
| 1916 | INV SLEF(max) | -4.22 | 1.87  | 4.62  | 1439.17 |
| 2049 | INV SLEF(max) | 0.98  | -2.23 | 2.43  | 1114.19 |
| 2050 | INV SLEF(max) | 5.27  | 11.21 | 12.39 | 1047.06 |
| 2051 | INV SLEF(max) | 3.62  | 11.76 | 12.30 | 1047.79 |
| 2052 | INV SLEF(max) | -0.74 | -1.71 | 1.87  | 1108.54 |
| 2185 | INV SLEF(max) | 4.92  | -2.20 | 5.39  | 1118.97 |
| 2186 | INV SLEF(max) | 3.57  | 12.82 | 13.31 | 1145.50 |
| 2187 | INV SLEF(max) | 1.69  | 12.64 | 12.75 | 1159.25 |
| 2188 | INV SLEF(max) | 3.04  | -2.42 | 3.89  | 1113.71 |
| 3236 | INV SLEF(max) | 1.15  | 4.96  | 5.10  | 1125.19 |
| 3237 | INV SLEF(max) | 4.78  | 6.14  | 7.78  | 1123.14 |
| 3238 | INV SLEF(max) | 2.30  | 2.10  | 3.11  | 1069.77 |
| 3239 | INV SLEF(max) | 4.71  | 4.73  | 6.68  | 1072.97 |
| 3240 | INV SLEF(max) | 6.74  | 0.43  | 6.75  | 1463.44 |
| 3241 | INV SLEF(max) | 7.59  | 5.90  | 9.61  | 1446.20 |
| 3242 | INV SLEF(max) | 6.79  | 5.42  | 8.69  | 1464.45 |
| 3243 | INV SLEF(max) | 3.18  | 9.80  | 10.30 | 1482.76 |
| 3244 | INV SLEF(max) | 4.03  | 4.27  | 5.87  | 1087.13 |
| 3245 | INV SLEF(max) | 0.57  | 5.37  | 5.40  | 1082.99 |
| 3246 | INV SLEF(max) | 5.22  | 5.22  | 7.38  | 1137.20 |
| 3247 | INV SLEF(max) | 1.34  | 4.85  | 5.03  | 1139.35 |

**Tabella 14.** Sforzi Normali e Tagli Pile – INV SLEF MAX ( $F_{XY}$  Max)

Le verifiche vengono eseguite, a vantaggio di sicurezza, considerando le combinazioni delle azioni che generano le sollecitazioni più gravose per gli elementi strutturali in oggetto, ovvero le combinazioni contenenti il taglio massimo e lo sforzo normale minimo ricavabili dalle precedenti tabelle.

### 13.1.1 Verifiche SLU

Le verifiche allo SLU vengono eseguite considerando le combinazioni relative all'azione orizzontale massima ed allo sforzo normale minimo ricavando, in funzione di esse, le massime sollecitazioni agenti sul palo la cui rappresentazione grafica e di seguito riportata.

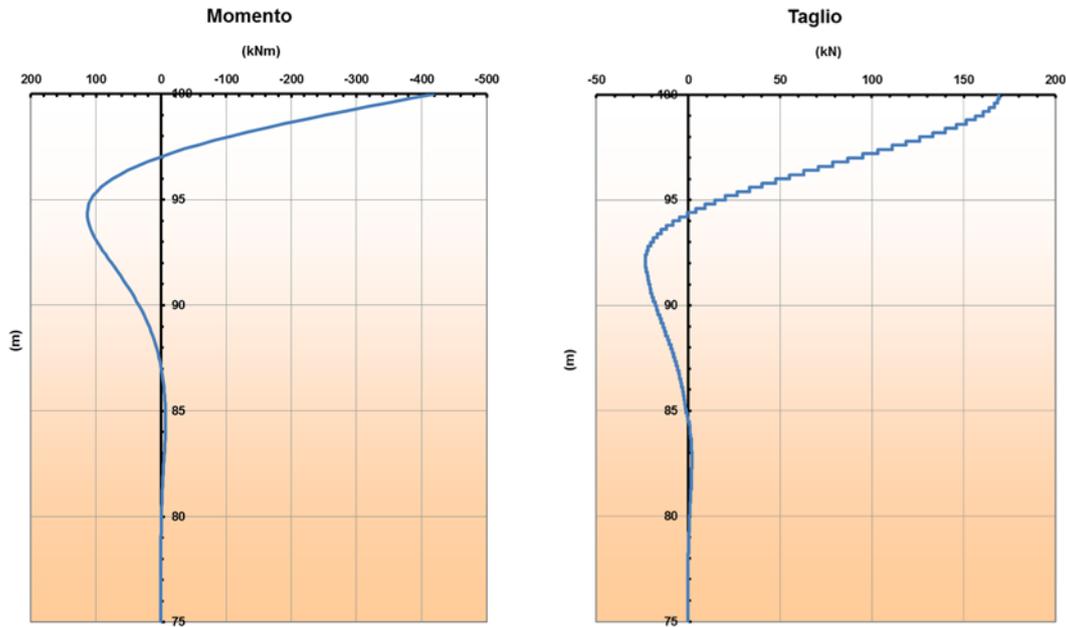


Figura 223 – Momento Flettente e Taglio – SLU ( $F_{xy}$  Max)

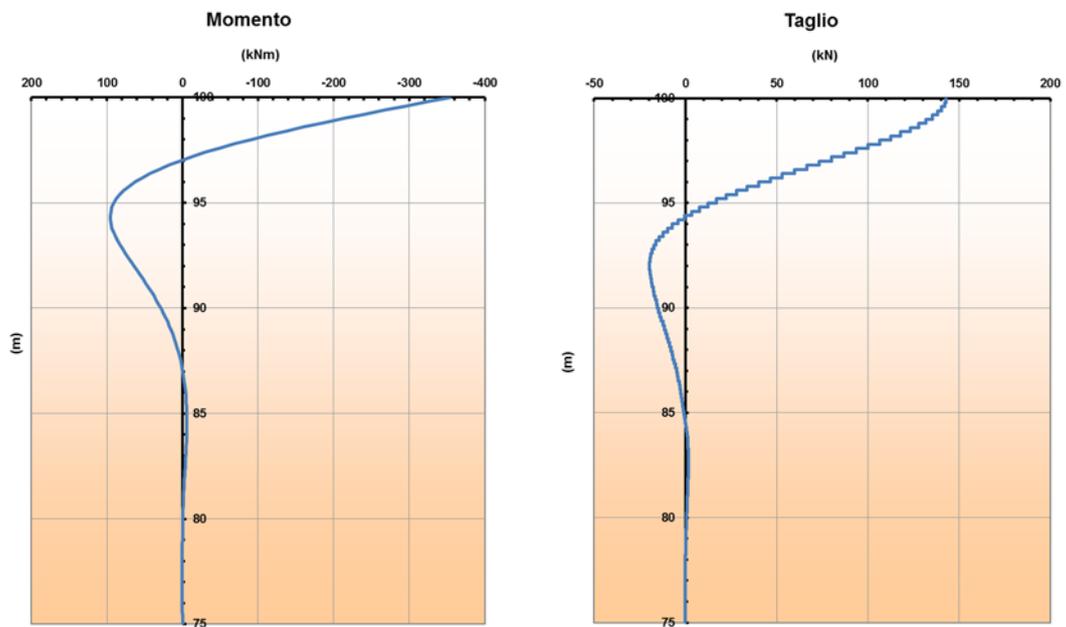


Figura 224 – Momento Flettente e Taglio – SLU ( $F_z$  Min)

### 13.1.1.1 Verifiche a pressoflessione

Si considera un'armatura costituita da 16 $\Phi$ 16. La verifica viene eseguita considerando le sollecitazioni derivanti dalle combinazioni relative all'azione orizzontale massima ed allo sforzo normale minimo, ovvero le coppie N-M piú gravose, trascurando a vantaggio di sicurezza il peso del terreno di ricoprimento.

**Titolo:** Verifica a Pressoflessione

**Sezione circolare cava**

Raggio esterno: 50 [cm]  
 Raggio interno: 0 [cm]  
 N° barre uguali: 16  
 Diametro barre: 2.6 [cm]  
 Coprifero (baric.): 5.8 [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>: 1181.07 [kN]  
 M<sub>xEd</sub>: 418.52 [kNm]  
 M<sub>yEd</sub>: 0 [kNm]

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

Tipo rottura: Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

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

Tipo flessione:  
 Retta  Deviata

Vertici: 52 N° rett.: 100  
 Calcola MRD Dominio M-N  
 L<sub>0</sub>: 0 cm Col. modello

Precompresso

**Materiali**

B450C C28/35

$\epsilon_{su}$ : 67.5 ‰  $\epsilon_{c2}$ : 2 ‰  
 $f_{yd}$ : 391.3 N/mm<sup>2</sup>  $\epsilon_{cu}$ : 3.5 ‰  
 $E_s$ : 200,000 N/mm<sup>2</sup>  $f_{cd}$ : 15.87 ‰  
 $E_s/E_c$ : 15  $f_{cc}/f_{cd}$ : 0.8 [?]  
 $\epsilon_{syd}$ : 1.957 ‰  $\sigma_{c,adm}$ : 11  
 $\sigma_{s,adm}$ : 255 N/mm<sup>2</sup>  $\tau_{co}$ : 0.6667  
 $\tau_{c1}$ : 1.971

M<sub>xRd</sub>: 1,593 kN m  
 $\sigma_c$ : -15.87 N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_s$ : 391.3 N/mm<sup>2</sup>  
 $\epsilon_c$ : 3.5 ‰  
 $\epsilon_s$ : 7.794 ‰  
 d: 94.2 cm  
 x: 29.19 x/d: 0.3099  
 $\delta$ : 0.8274

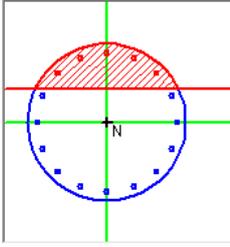


Figura 225 – Verifica a Pressoflessione ( $F_{XY}$  Max)

Verifica C.A. S.L.U. - File: Verifica Pressoflessione - Ingresso - Fz Min\_rev02

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

**Titolo:** Verifica a Pressoflessione

**Sezione circolare cava**

Raggio esterno: 50 [cm]  
 Raggio interno: 0 [cm]  
 N° barre uguali: 16  
 Diametro barre: 2.6 [cm]  
 Coprifero (baric.): 5.8 [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>: 390.50 [kN]  
 M<sub>xEd</sub>: 352.99 [kNm]  
 M<sub>yEd</sub>: 0 [kNm]

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

Tipo rottura: Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

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

Tipo flessione:  
 Retta  Deviata

Vertici: 52 N° rett.: 100  
 Calcola MRD Dominio M-N  
 L<sub>0</sub>: 0 cm Col. modello

Precompresso

**Materiali**

B450C C28/35

$\epsilon_{su}$ : 67.5 ‰  $\epsilon_{c2}$ : 2 ‰  
 $f_{yd}$ : 391.3 N/mm<sup>2</sup>  $\epsilon_{cu}$ : 3.5 ‰  
 $E_s$ : 200,000 N/mm<sup>2</sup>  $f_{cd}$ : 15.87 ‰  
 $E_s/E_c$ : 15  $f_{cc}/f_{cd}$ : 0.8 [?]  
 $\epsilon_{syd}$ : 1.957 ‰  $\sigma_{c,adm}$ : 11  
 $\sigma_{s,adm}$ : 255 N/mm<sup>2</sup>  $\tau_{co}$ : 0.6667  
 $\tau_{c1}$ : 1.971

M<sub>xRd</sub>: 1,389 kN m  
 $\sigma_c$ : -15.87 N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_s$ : 391.3 N/mm<sup>2</sup>  
 $\epsilon_c$ : 3.5 ‰  
 $\epsilon_s$ : 10.09 ‰  
 d: 94.2 cm  
 x: 24.26 x/d: 0.2576  
 $\delta$ : 0.762

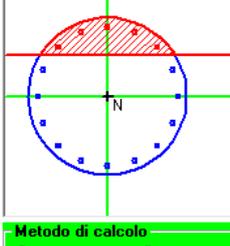


Figura 226 – Verifica a Pressoflessione ( $F_Z$  Min)

### 13.1.1.2 Verifiche a taglio

Si considera un'armatura costituita da una spirale realizzata mediante  $\Phi 10/150$  ed una sezione rettangolare equivalente alla sezione circolare. La verifica viene eseguita considerando l'azione di taglio massima tra le combinazioni considerate.

| Verifiche a taglio - D.M. 14-01-2008 |                                    |
|--------------------------------------|------------------------------------|
| <b>Materiali</b>                     | <b>Geometria sezione</b>           |
| <b>Calcestruzzo</b>                  | b [mm] 886                         |
| Rck [Mpa] 35                         | h [mm] 886                         |
| fck [Mpa] 29.1                       | c [mm] 50                          |
| fcđ [Mpa] 16.5                       | d [mm] 836                         |
| <b>Acciaio</b>                       | <b>Parametri di verifica</b>       |
| fyk [Mpa] 450                        | k 1.49                             |
| fyđ [Mpa] 391.3                      | $v_{min}$ 0.34                     |
|                                      | $\rho_l$ 0.0043                    |
|                                      | $\sigma_{cp}$ 0.0000               |
|                                      | v 0.5                              |
|                                      | $(\sigma_{cp})^*$ 0                |
|                                      | $\alpha_c$ 1.000                   |
|                                      | $\omega_{sw}$ 0.028                |
|                                      | cotg $\theta$ 4.099                |
|                                      | cotg $\theta^*$ 2.500              |
|                                      | <b>Armatura longitudinale</b>      |
|                                      | n° barre 16                        |
|                                      | diámetro 16                        |
|                                      | Area [mm <sup>2</sup> ] 3215.36    |
|                                      | <b>Armatura trasversale</b>        |
|                                      | Staffe $\Phi$ 10                   |
|                                      | n° bracci 2                        |
|                                      | $A_{sw}$ [mm <sup>2</sup> ] 157    |
|                                      | s [mm] 150                         |
|                                      | <b>Sollecitazioni di calcolo</b>   |
|                                      | $N_{Ed}$ [kN] 0                    |
|                                      | $V_{Ed}$ [kN] 169.31               |
|                                      | <b>VERIFICHE</b>                   |
|                                      | <b>Sezione non armata a taglio</b> |
| $V_{Rd}$ [kN]                        | 308.08                             |
|                                      | Verificato                         |
|                                      | <b>Sezione armata a taglio</b>     |
|                                      | <b>Crisi armatura a taglio</b>     |
| $V_{Rsd}$ [kN]                       | 770.39                             |
| $V_{Rcd}$ [kN]                       | 1892.03                            |
| $V_{Rd}$ [kN]                        | 770.39                             |
|                                      | Verificato                         |

Figura 227 – Verifica a Taglio ( $F_{xy}$  Max)

### 13.1.2 Verifiche SLE

Le verifiche allo SLE vengono eseguite considerando l'azione tagliante massima nelle combinazioni Rara e Frequente, rispettivamente per le verifiche tensionali e per le verifiche a fessurazione, e ricavando, in funzione di esse, le massime sollecitazioni agenti sul palo.

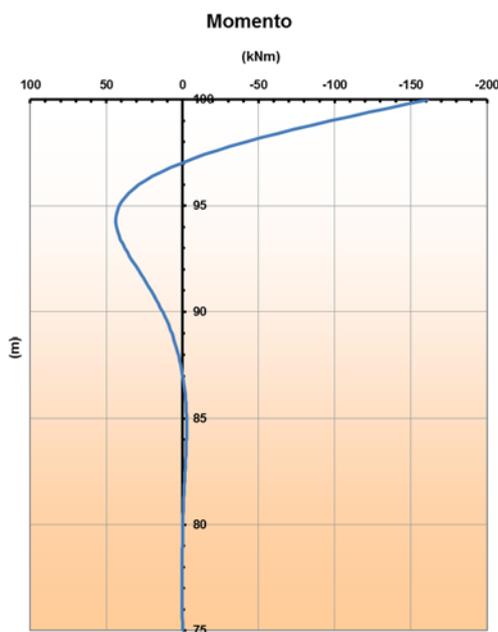


Figura 228 – Momento Flettente - SLER

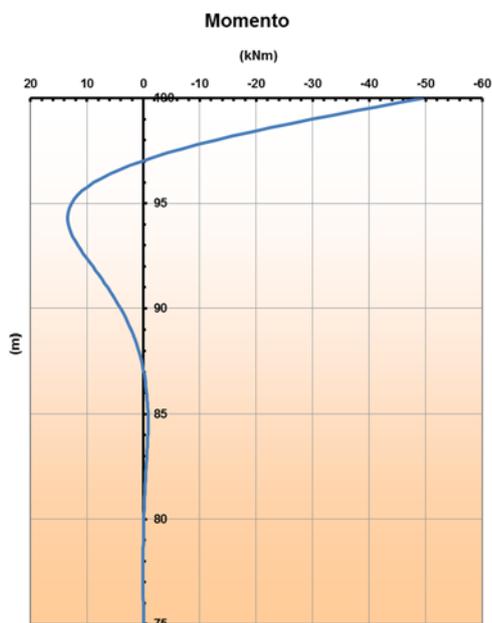


Figura 229 – Momento Flettente - SLEF

### 13.1.2.1 Verifiche a fessurazione

La verifica a fessurazione viene eseguita per via indiretta, così come ammesso nel punto 4.1.2.2.4.6 delle NTC, facendo riferimento ai limiti di tensione nell'acciaio d'armatura definiti nelle Tabelle C4.1.II e C4.1.III.

Occorre, pertanto, verificare che la massima tensione sulle armature, costituite da barre  $\Phi 16$  sia inferiore a 240 MPa come riportato nelle tabelle citate.

Si trascura, a vantaggio di sicurezza, lo sforzo normale corrispondente all'azione flettente considerata.

| Titolo : Verifica a Fessurazione       |                         | Tipo Sezione                              |  |
|--|-------------------------|---|--|
| Sezione circolare cava                 |                         | <input type="radio"/> Rettan.re           | <input type="radio"/> Trapezi              |
| Raggio esterno                         | 50 [cm]                 | <input type="radio"/> a T                 | <input checked="" type="radio"/> Circolare |
| Raggio interno                         | 0 [cm]                  | <input type="radio"/> Rettangoli          | <input type="radio"/> Coord.               |
| N° barre uguali                        | 16                      |   |  |
| Diametro barre                         | 2.6 [cm]                |   |  |
| Copriferro [baric.]                    | 5.8 [cm]                |   |  |
| Solllecitazioni                        |                         | P.to applicazione N                       |  |
| S.L.U.                                 | Metodo n                | <input checked="" type="radio"/> Centro   | <input type="radio"/> Baricentro cls       |
| N <sub>Ed</sub>                        | 0 kN                    | <input type="radio"/> Coord.[cm]          | xN 0                                       |
| M <sub>xEd</sub>                       | 49.46 kNm               |   | yN 0                                       |
| M <sub>yEd</sub>                       | 0                       |   |  |
| Materiali                              |                         | Metodo di calcolo                         |  |
| B450C                                  | C28/35                  | <input type="radio"/> S.L.U.+             | <input type="radio"/> S.L.U.-              |
| $\epsilon_{su}$ 67.5 ‰                 | $\epsilon_{c2}$ 2 ‰     | <input checked="" type="radio"/> Metodo n |  |
| $f_{yd}$ 391.3 N/mm <sup>2</sup>       | $\epsilon_{cu}$ 3.5 ‰   |   |  |
| $E_s$ 200.000 N/mm <sup>2</sup>        | $f_{cd}$ 15.87          |   |  |
| $E_s/E_c$ 15                           | $f_{cc}/f_{cd}$ 0.8 [?] |   |  |
| $\epsilon_{syd}$ 1.957 ‰               | $\sigma_{c,adm}$ 11     |   |  |
| $\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm <sup>2</sup> | $\tau_{co}$ 0.6667      |   |  |
|  | $\tau_{c1}$ 1.971       |   |  |
| $\sigma_c$ -0.6889 N/mm <sup>2</sup>   |                         | Vertici: 52                               |  |
| $\sigma_s$ 21.75 N/mm <sup>2</sup>     |                         | Verifica                                  |  |
| $\epsilon_s$ 0.1088 ‰                  |                         | N° iterazioni: 4                          |  |
| d 94.2 cm                              |                         | <input type="checkbox"/> Precompresso     |  |
| x 30.34                                | w/d 0.322               |   |  |
|  | $\delta$ 0.8426         |   |  |

Figura 230 – Verifica a fessurazione

### 13.1.2.2 Verifiche tensionali

Le verifiche tensionali vengono eseguite, trascurando a vantaggio di sicurezza lo sforzo normale corrispondente alla relativa azione flettente, considerando la combinazione rara e controllando che le relative tensioni non superino i limiti posti dalla normativa:

$$(\sigma_c < 0.60 f_{ck} = 17.43 \text{ MPa} ; \sigma_s < 0.8 f_{yk} = 360 \text{ MPa}).$$

**Titolo:** Verifica Tensionale

**Sezione circolare cava**

Raggio esterno: 50 [cm]  
 Raggio interno: 0 [cm]  
 N° barre uguali: 16  
 Diametro barre: 2.6 [cm]  
 Copriferro (baric.): 5.8 [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>: 0 kN  
 M<sub>xEd</sub>: 0 kNm  
 M<sub>yEd</sub>: 0 kNm

**P.to applicazione N**

Centro  Baricentro cls  
 Coord.[cm]

xN: 0  
 yN: 0

**Materiali**

**B450C** **C28/35**

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>: 15.87  
 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  
 σ<sub>s,adm</sub>: 255 N/mm<sup>2</sup> τ<sub>co</sub>: 0.6667  
 τ<sub>c1</sub>: 1.971

σ<sub>c</sub>: -2.245 N/mm<sup>2</sup>  
 σ<sub>s</sub>: 70.89 N/mm<sup>2</sup>

ε<sub>s</sub>: 0.3545 ‰  
 d: 94.2 cm  
 x: 30.34 w/d: 0.322  
 δ: 0.8426

**Metodo di calcolo**

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

Vertici: 52  
 Verifica  
 N° iterazioni: 4  
 Precompresso

Figura 231 – Verifica tensionale

### 13.1.3 Verifiche GEO

#### 13.1.3.1 Capacità portante dei pali

Le verifiche vengono eseguite valutando la capacità portante del palo nelle due condizioni di carico più gravose, di cui:

- N<sub>MAX</sub> corrispondente ad un ricoprimento del plinto di 0.50m;
- N<sub>MAX</sub> corrispondente ad un ricoprimento del plinto di 3.00m per effetto della presenza del rilavato autostradale;

Condizione 1

Si considerano:

- $N_e = 2222$  KN      sforzo normale di esercizio, comprensivo del peso del palo e del sovrastante terreno di ricoprimento;
- $N_d = 3020$  KN      sforzo normale, comprensivo del peso del palo e del sovrastante terreno di ricoprimento, amplificato in funzione dei coefficienti allo Stato Limite Ultimo.

La testa del palo è posta a -2.00m dal piano campagna.

| Strato | Spessore | Tipo di terreno | $R_{Li}$ | $Nq^*$ | $Nc$ | $q_p$  | $R_p$  |
|--------|----------|-----------------|----------|--------|------|--------|--------|
| (-)    | (m)      |                 | (kN)     | (-)    | (-)  | (kPa)  | (kN)   |
| 1      | 1.00     | UG1             | 38.1     |        |      |        |        |
| 2      | 7.50     | UG3             | 697.5    |        |      |        |        |
| 3      | 5.90     | UG2             | 893.8    |        |      |        |        |
| 4      | 0.60     | UG4             | 99.6     |        |      |        |        |
| 5      | 5.10     | UG3             | 1086.2   |        |      |        |        |
| 6      | 2.00     | UG4             | 446.8    |        |      |        |        |
| 7      | 2.90     | UG3             | 786.3    | 28.01  | 0.00 | 8541.9 | 6708.8 |

**CAPACITA' PORTANTE DI CALCOLO (al netto dei coefficienti riduttivi)**

base             $R_{P;cal} = 6708.8$  (kN)  
 laterale         $R_{L;cal} = 4048.3$  (kN)  
 totale          $R_{T;cal} = 10757.1$  (kN)

**CAPACITA' PORTANTE CARATTERISTICA**

$R_{P,k} = R_{P,cal} / \xi_3 = 4193.0$  (kN)  
 $R_{L,k} = R_{L,cal} / \xi_3 = 2530.2$  (kN)  
 $R_{T,k} = R_{P,k} + R_{L,k} = 6723.2$  (kN)

**CAPACITA' PORTANTE DI PROGETTO**

$R_{T,d} = R_{Pk}/\gamma_b + R_{Lk}/\gamma_s$   
 $R_{T,d} = 5306.1$  (kN)

Come si vede, riferendoci ai valori caratteristici, la resistenza laterale (2530 KN) risulta maggiore dell'intero carico sul palo in condizioni di esercizio (2222 KN).

Riferendoci ai valori combinati con i coefficienti allo Stato Limite Ultimo, la resistenza laterale disponibile è pari a  $2530/1.15=2200$  KN. La resistenza richiesta alla punta, pertanto, è pari a  $3020-2200=820$  KN, valore corrispondente al 12.2% della resistenza alla punta di calcolo.

Condizione 2

Si considerano:

- $N_e = 2491$  KN      sforzo normale di esercizio, comprensivo del peso del palo e del sovrastante terreno di ricoprimento;
- $N_d = 3383$  KN      sforzo normale, comprensivo del peso del palo e del sovrastante terreno di ricoprimento, amplificato in funzione dei coefficienti allo Stato Limite Ultimo.

La testa del palo è posta a -4.50m dal piano campagna.

| Strato | Spessore | Tipo di terreno | $R_{Li}$ | $Nq^*$ | $Nc$ | $q_p$  | $R_p$  |
|--------|----------|-----------------|----------|--------|------|--------|--------|
| (-)    | (m)      |                 | (kN)     | (-)    | (-)  | (kPa)  | (kN)   |
| 1      | 1.00     | UG1             | 79.7     |        |      |        |        |
| 2      | 7.50     | UG3             | 1047.0   |        |      |        |        |
| 3      | 5.90     | UG2             | 1159.6   |        |      |        |        |
| 4      | 0.60     | UG4             | 124.8    |        |      |        |        |
| 5      | 5.10     | UG3             | 1323.8   |        |      |        |        |
| 6      | 2.00     | UG4             | 530.8    |        |      |        |        |
| 7      | 2.90     | UG3             | 921.4    | 28.01  | 0.00 | 9933.2 | 7801.5 |

**CAPACITA' PORTANTE DI CALCOLO (al netto dei coefficienti riduttivi)**

base             $R_{P;cal} = 7801.5$  (kN)  
 laterale         $R_{L;cal} = 5187.2$  (kN)  
 totale          $R_{T;cal} = 12988.7$  (kN)

**CAPACITA' PORTANTE CARATTERISTICA**

$R_{P,k} = R_{P,cal} / \xi_3 = 4875.9$  (kN)  
 $R_{L,k} = R_{L,cal} / \xi_3 = 3242.0$  (kN)  
 $R_{T,k} = R_{P,k} + R_{L,k} = 8117.9$  (kN)

**CAPACITA' PORTANTE DI PROGETTO**

$R_{T,d} = R_{Pk}/\gamma_b + R_{Lk}/\gamma_s$   
 $R_{T,d} = 6430.9$  (kN)

Come si vede, riferendoci ai valori caratteristici, la resistenza laterale (3242 KN) risulta maggiore dell'intero carico sul palo in condizioni di esercizio (2491 KN).

Riferendoci ai valori combinati con i coefficienti allo Stato Limite Ultimo, la resistenza laterale disponibile è pari a  $3242/1.15=2819$  KN. La resistenza richiesta alla punta, pertanto, è pari a  $3383-2819=564$  KN, valore corrispondente al 7.2% della resistenza alla punta di calcolo.

### 13.1.3.2 Carico limite orizzontale dei pali

Il carico limite orizzontale dei pali viene determinato considerando l'azione di taglio massimo, individuabile mediante le tabelle riportate precedentemente.

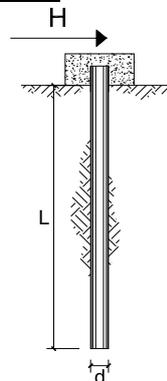
#### CARICO LIMITE ORIZZONTALE DI UN PALO IN TERRENI INCOERENTI PALI CON ROTAZIONE IN TESTA IMPEDITA

OPERA: Autoporto

#### TEORIA DI BASE:

(Broms, 1964)

| coefficienti parziali    |          | A                        |                         | M                | R          |
|--------------------------|----------|--------------------------|-------------------------|------------------|------------|
|                          |          | permanenti<br>$\gamma_G$ | variabili<br>$\gamma_Q$ | $\gamma_{\phi'}$ | $\gamma_T$ |
| SUD                      | A1+M1+R1 | 1.30                     | 1.50                    | 1.00             | 1.00       |
|                          | A2+M1+R2 | 1.00                     | 1.30                    | 1.00             | 1.60       |
|                          | A1+M1+R3 | 1.30                     | 1.50                    | 1.00             | 1.30       |
|                          | SISMA    | 1.00                     | 1.00                    | 1.00             | 1.30       |
| DM88                     |          | 1.00                     | 1.00                    | 1.00             | 1.00       |
| definiti dal progettista |          | 1.00                     | 1.00                    | 1.00             | 1.30       |



| n       | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 7    | ≥10  | T.A. | prog. |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| $\xi_3$ | 1.70 | 1.65 | 1.60 | 1.55 | 1.50 | 1.45 | 1.40 | 1.00 | 1.00  |
| $\xi_4$ | 1.70 | 1.55 | 1.48 | 1.42 | 1.34 | 1.28 | 1.21 | 1.00 | 1.00  |

Palo corto: 
$$H = 1.5 k_p \gamma d^3 \left( \frac{L}{d} \right)^2$$

Palo intermedio: 
$$H = \frac{1}{2} k_p \gamma d^3 \left( \frac{L}{d} \right)^2 + \frac{M_y}{L}$$

Palo lungo: 
$$H = k_p \gamma d^3 \sqrt[3]{3.676 \frac{M_y}{k_p \gamma d^4}}$$

#### DATI DI INPUT:

|  |                   |        |                      |                   |           |
|--|-------------------|--------|----------------------|-------------------|-----------|
| Lunghezza del palo   | L =               | 25.00  | (m)                  |                   |           |
| Diametro del palo  | d =               | 1.00   | (m)                  |                   |           |
| Momento di plasticizzazione della sezione                                | $M_y =$           | 530.00 | (kN m)               |                   |           |
| Angolo di attrito del terreno  | $\phi'_{med} =$   | 35.00  | (°)                  | $\phi'_{min} =$   | 35.00 (°) |
| Angolo di attrito di calcolo del terreno                                 | $\phi'_{med,d} =$ | 35.00  | (°)                  | $\phi'_{min,d} =$ | 35.00 (°) |
| Coeff. di spinta passiva ( $k_p = (1 + \sin \phi') / (1 - \sin \phi')$ ) | $k_{p,med} =$     | 3.69   | (-)                  | $k_{p,min} =$     | 3.69 (-)  |
| Peso di unità di volume (con falda $\gamma = \gamma'$ )                  | $\gamma =$        | 11.00  | (kN/m <sup>3</sup> ) |                   |           |
| Carico Assiale Permanente (G):   | G =               | 169    | (kN)                 |                   |           |
| Carico Assiale variabile (Q):  | Q =               | 0      | (kN)                 |                   |           |

#### Palo corto:

$$H1_{med} = 38054.90 \text{ (kN)} \quad H1_{min} = 38054.90 \text{ (kN)}$$

#### Palo intermedio:

$$H2_{med} = 12706.17 \text{ (kN)} \quad H2_{min} = 12706.17 \text{ (kN)}$$

#### Palo lungo:

$$H3_{med} = 536.10 \text{ (kN)} \quad H3_{min} = 536.10 \text{ (kN)}$$

$$H_{med} = 536.10 \text{ (kN)} \quad \text{palo lungo} \quad H_{min} = 536.10 \text{ (kN)} \quad \text{palo lungo}$$

$$H_k = \text{Min}(H_{med}/\xi_3 ; R_{min}/\xi_4) = 335.06 \text{ (kN)}$$

$$H_d = H_k / \gamma_T = 257.74 \text{ (kN)}$$

$$F_d = G \cdot \gamma_G + Q \cdot \gamma_Q = 169.00 \text{ (kN)}$$

$$FS = H_d / F_d = 1.53$$

Figura 232 – Carico limite orizzontale

## 14. VERIFICA DEI PALI DELLE SPALLE

Nel presente paragrafo si riportano le reazioni, derivanti dal modello globale, rappresentative delle sollecitazioni sui pali di fondazione delle spalle del Sovrappasso di ingresso e le relative verifiche eseguite mediante i criteri di analisi e verifica definiti precedentemente.

*Figura 233 – Numerazione nodi*

| Node | Load         | FX    | FY    | FZ      |
|------|--------------|-------|-------|---------|
|      |              | (kN)  | (kN)  | (kN)    |
| 1048 | INV SLU(min) | 71.04 | 11.93 | 1008.47 |
| 1049 | INV SLU(min) | 72.08 | 8.38  | 1039.53 |
| 1050 | INV SLU(min) | 74.07 | 5.14  | 1047.22 |
| 1051 | INV SLU(min) | 73.56 | 5.77  | 1063.03 |
| 1052 | INV SLU(min) | 70.60 | 12.35 | 1001.50 |
| 1053 | INV SLU(min) | 71.51 | 9.38  | 1030.34 |
| 1054 | INV SLU(min) | 73.31 | 6.51  | 1035.71 |
| 1055 | INV SLU(min) | 70.55 | 12.03 | 1020.43 |
| 1056 | INV SLU(min) | 71.83 | 8.86  | 1064.16 |
| 2957 | INV SLU(min) | 92.34 | -0.87 | 999.54  |
| 2958 | INV SLU(min) | 92.19 | -0.52 | 1023.33 |
| 2959 | INV SLU(min) | 91.81 | -0.09 | 992.27  |
| 2960 | INV SLU(min) | 90.18 | 2.61  | 956.32  |
| 2961 | INV SLU(min) | 90.78 | 2.37  | 992.15  |
| 2962 | INV SLU(min) | 90.23 | 2.16  | 956.48  |
| 2963 | INV SLU(min) | 89.47 | 5.57  | 901.08  |
| 2964 | INV SLU(min) | 89.84 | 5.29  | 921.96  |
| 2965 | INV SLU(min) | 89.13 | 5.15  | 893.57  |

*Tabella 15. Sforzi Normali e Tagli Spalle – INV SLU MIN*

| Node | Load         | FX     | FY    | FZ      |
|------|--------------|--------|-------|---------|
|      |              | (kN)   | (kN)  | (kN)    |
| 1048 | INV SLU(max) | 175.52 | 37.36 | 1684.56 |
| 1049 | INV SLU(max) | 176.71 | 42.53 | 1949.35 |
| 1050 | INV SLU(max) | 179.71 | 47.98 | 2183.14 |
| 1051 | INV SLU(max) | 177.83 | 47.14 | 2012.22 |
| 1052 | INV SLU(max) | 173.02 | 34.39 | 1668.15 |
| 1053 | INV SLU(max) | 174.09 | 40.20 | 1928.61 |
| 1054 | INV SLU(max) | 176.76 | 46.38 | 2163.26 |
| 1055 | INV SLU(max) | 173.76 | 35.88 | 1488.18 |
| 1056 | INV SLU(max) | 175.36 | 41.37 | 1763.86 |
| 2957 | INV SLU(max) | 208.12 | 34.47 | 2123.94 |
| 2958 | INV SLU(max) | 206.21 | 34.06 | 1958.50 |
| 2959 | INV SLU(max) | 205.39 | 33.65 | 2126.73 |
| 2960 | INV SLU(max) | 202.71 | 28.74 | 1828.07 |
| 2961 | INV SLU(max) | 203.92 | 29.46 | 1647.52 |
| 2962 | INV SLU(max) | 205.88 | 30.10 | 1831.51 |
| 2963 | INV SLU(max) | 201.74 | 24.33 | 1503.95 |
| 2964 | INV SLU(max) | 202.65 | 25.06 | 1327.48 |
| 2965 | INV SLU(max) | 205.30 | 25.53 | 1513.23 |

**Tabella 16.** Sforzi Normali e Tagli Spalle – INV SLU MAX ( $F_z$  Max)

| Node | Load         | FX      | FY      | FZ     |
|------|--------------|---------|---------|--------|
|      |              | (kN)    | (kN)    | (kN)   |
| 1048 | INV SLV(min) | -339.05 | -298.29 | 266.33 |
| 1049 | INV SLV(min) | -338.35 | -334.58 | 409.39 |
| 1050 | INV SLV(min) | -336.44 | -370.85 | 272.11 |
| 1051 | INV SLV(min) | -340.67 | -364.79 | 518.63 |
| 1052 | INV SLV(min) | -348.65 | -288.45 | 271.09 |
| 1053 | INV SLV(min) | -350.56 | -322.33 | 628.92 |
| 1054 | INV SLV(min) | -350.52 | -357.80 | 331.19 |
| 1055 | INV SLV(min) | -342.02 | -294.12 | 443.90 |
| 1056 | INV SLV(min) | -341.90 | -328.83 | 931.29 |
| 2957 | INV SLV(min) | -269.22 | -328.70 | 170.03 |
| 2958 | INV SLV(min) | -270.86 | -326.46 | 404.70 |
| 2959 | INV SLV(min) | -274.40 | -323.33 | 262.61 |
| 2960 | INV SLV(min) | -275.85 | -298.71 | 549.52 |
| 2961 | INV SLV(min) | -272.36 | -301.57 | 866.31 |
| 2962 | INV SLV(min) | -270.98 | -303.71 | 330.31 |
| 2963 | INV SLV(min) | -276.10 | -274.41 | 101.17 |
| 2964 | INV SLV(min) | -273.11 | -277.36 | 272.66 |
| 2965 | INV SLV(min) | -271.74 | -278.60 | 93.40  |

**Tabella 17.** Sforzi Normali e Tagli Spalle – INV SLV MIN ( $F_z$  Min)

| Node | Load         | FX     | FY     | FZ      |
|------|--------------|--------|--------|---------|
|      |              | (kN)   | (kN)   | (kN)    |
| 1048 | INV SLV(max) | 495.83 | 437.24 | 1816.87 |
| 1049 | INV SLV(max) | 496.66 | 432.70 | 1583.05 |
| 1050 | INV SLV(max) | 498.01 | 428.71 | 1915.02 |
| 1051 | INV SLV(max) | 499.46 | 429.76 | 1713.39 |
| 1052 | INV SLV(max) | 500.11 | 437.10 | 1843.38 |
| 1053 | INV SLV(max) | 503.05 | 432.97 | 1771.90 |
| 1054 | INV SLV(max) | 506.23 | 429.81 | 1907.91 |
| 1055 | INV SLV(max) | 495.65 | 438.68 | 1607.74 |
| 1056 | INV SLV(max) | 497.63 | 433.51 | 1266.19 |
| 2957 | INV SLV(max) | 469.76 | 385.15 | 1935.72 |
| 2958 | INV SLV(max) | 469.19 | 387.09 | 1715.47 |
| 2959 | INV SLV(max) | 471.15 | 388.04 | 1919.25 |
| 2960 | INV SLV(max) | 469.23 | 401.59 | 1696.60 |
| 2961 | INV SLV(max) | 467.99 | 401.16 | 1180.10 |
| 2962 | INV SLV(max) | 468.36 | 399.42 | 1505.22 |
| 2963 | INV SLV(max) | 467.99 | 415.49 | 1804.10 |
| 2964 | INV SLV(max) | 466.90 | 415.96 | 1569.30 |
| 2965 | INV SLV(max) | 467.87 | 413.40 | 1742.23 |

**Tabella 18.** Sforzi Normali e Tagli Spalle – INV SLV MAX ( $F_{X/Y}$  Max)

| Node | Load          | FX    | FY    | FZ      |
|------|---------------|-------|-------|---------|
|      |               | (kN)  | (kN)  | (kN)    |
| 1048 | INV SLER(min) | 72.51 | 13.21 | 945.36  |
| 1049 | INV SLER(min) | 73.57 | 10.80 | 1049.15 |
| 1050 | INV SLER(min) | 75.59 | 8.70  | 1056.76 |
| 1051 | INV SLER(min) | 75.20 | 9.14  | 1066.03 |
| 1052 | INV SLER(min) | 72.31 | 13.21 | 930.93  |
| 1053 | INV SLER(min) | 73.24 | 11.39 | 1040.16 |
| 1054 | INV SLER(min) | 75.10 | 9.67  | 1045.70 |
| 1055 | INV SLER(min) | 72.14 | 13.12 | 1019.36 |
| 1056 | INV SLER(min) | 73.44 | 11.09 | 1064.47 |
| 2957 | INV SLER(min) | 93.67 | 2.45  | 1010.19 |
| 2958 | INV SLER(min) | 93.50 | 2.77  | 1026.53 |
| 2959 | INV SLER(min) | 93.30 | 3.18  | 1005.54 |
| 2960 | INV SLER(min) | 91.66 | 5.02  | 968.03  |
| 2961 | INV SLER(min) | 92.07 | 4.89  | 992.36  |
| 2962 | INV SLER(min) | 91.70 | 4.79  | 968.44  |
| 2963 | INV SLER(min) | 90.92 | 7.00  | 795.42  |
| 2964 | INV SLER(min) | 91.12 | 6.84  | 880.09  |
| 2965 | INV SLER(min) | 90.71 | 6.79  | 799.19  |

**Tabella 19.** Sforzi Normali e Tagli Spalle – INV SLER MIN

| Node | Load          | FX     | FY    | FZ      |
|------|---------------|--------|-------|---------|
|      |               | (kN)   | (kN)  | (kN)    |
| 1048 | INV SLER(max) | 127.86 | 27.22 | 1246.14 |
| 1049 | INV SLER(max) | 128.77 | 30.71 | 1442.06 |
| 1050 | INV SLER(max) | 130.99 | 34.41 | 1615.09 |
| 1051 | INV SLER(max) | 129.68 | 33.85 | 1490.15 |
| 1052 | INV SLER(max) | 126.17 | 25.12 | 1233.67 |
| 1053 | INV SLER(max) | 126.97 | 29.09 | 1426.64 |
| 1054 | INV SLER(max) | 128.96 | 33.34 | 1600.60 |
| 1055 | INV SLER(max) | 126.63 | 26.17 | 1101.87 |
| 1056 | INV SLER(max) | 127.84 | 29.91 | 1306.50 |
| 2957 | INV SLER(max) | 152.06 | 24.45 | 1571.35 |
| 2958 | INV SLER(max) | 150.78 | 24.18 | 1450.39 |
| 2959 | INV SLER(max) | 150.30 | 23.91 | 1572.61 |
| 2960 | INV SLER(max) | 148.32 | 20.57 | 1351.74 |
| 2961 | INV SLER(max) | 149.09 | 21.08 | 1220.35 |
| 2962 | INV SLER(max) | 150.37 | 21.52 | 1354.21 |
| 2963 | INV SLER(max) | 147.58 | 17.61 | 1112.23 |
| 2964 | INV SLER(max) | 148.14 | 18.11 | 981.37  |
| 2965 | INV SLER(max) | 149.91 | 18.44 | 1118.18 |

**Tabella 20.** Sforzi Normali e Tagli Spalle – INV SLER MAX ( $F_{XY}$  Max)

| Node | Load          | FX    | FY    | FZ      |
|------|---------------|-------|-------|---------|
|      |               | (kN)  | (kN)  | (kN)    |
| 1048 | INV SLEF(min) | 74.76 | 15.21 | 1000.86 |
| 1049 | INV SLEF(min) | 75.87 | 14.61 | 1064.33 |
| 1050 | INV SLEF(min) | 77.93 | 14.30 | 1072.02 |
| 1051 | INV SLEF(min) | 77.75 | 14.43 | 1070.64 |
| 1052 | INV SLEF(min) | 74.98 | 14.56 | 994.18  |
| 1053 | INV SLEF(min) | 75.96 | 14.56 | 1055.70 |
| 1054 | INV SLEF(min) | 77.90 | 14.64 | 1061.30 |
| 1055 | INV SLEF(min) | 74.60 | 14.82 | 1029.46 |
| 1056 | INV SLEF(min) | 75.95 | 14.58 | 1064.97 |
| 2957 | INV SLEF(min) | 95.70 | 8.46  | 1026.78 |
| 2958 | INV SLEF(min) | 95.49 | 8.55  | 1031.38 |
| 2959 | INV SLEF(min) | 95.56 | 8.70  | 1026.66 |
| 2960 | INV SLEF(min) | 93.89 | 8.86  | 986.59  |
| 2961 | INV SLEF(min) | 94.03 | 8.91  | 992.69  |
| 2962 | INV SLEF(min) | 93.94 | 8.96  | 987.42  |
| 2963 | INV SLEF(min) | 93.14 | 9.29  | 869.42  |
| 2964 | INV SLEF(min) | 93.05 | 9.32  | 930.99  |
| 2965 | INV SLEF(min) | 93.13 | 9.40  | 871.17  |

**Tabella 21.** Sforzi Normali e Tagli Spalle – INV SLEF MIN

| Node | Load          | FX     | FY    | FZ      |
|------|---------------|--------|-------|---------|
|      |               | (kN)   | (kN)  | (kN)    |
| 1048 | INV SLEF(max) | 104.60 | 22.16 | 1160.43 |
| 1049 | INV SLEF(max) | 105.74 | 22.39 | 1298.69 |
| 1050 | INV SLEF(max) | 108.01 | 22.92 | 1413.77 |
| 1051 | INV SLEF(max) | 107.55 | 22.87 | 1345.60 |
| 1052 | INV SLEF(max) | 104.57 | 21.00 | 1149.30 |
| 1053 | INV SLEF(max) | 105.58 | 21.88 | 1287.28 |
| 1054 | INV SLEF(max) | 107.67 | 22.89 | 1403.79 |
| 1055 | INV SLEF(max) | 104.18 | 21.56 | 1078.31 |
| 1056 | INV SLEF(max) | 105.61 | 22.13 | 1226.12 |
| 2957 | INV SLEF(max) | 128.88 | 14.07 | 1372.48 |
| 2958 | INV SLEF(max) | 128.81 | 14.08 | 1307.88 |
| 2959 | INV SLEF(max) | 129.26 | 14.12 | 1369.53 |
| 2960 | INV SLEF(max) | 127.32 | 13.61 | 1209.89 |
| 2961 | INV SLEF(max) | 127.14 | 13.79 | 1143.65 |
| 2962 | INV SLEF(max) | 127.00 | 13.94 | 1211.06 |
| 2963 | INV SLEF(max) | 126.48 | 13.46 | 1031.42 |
| 2964 | INV SLEF(max) | 126.07 | 13.61 | 960.86  |
| 2965 | INV SLEF(max) | 126.20 | 13.69 | 1030.96 |

**Tabella 22.** Sforzi Normali e Tagli Spalle – INV SLEF MAX ( $F_{XY}$  Max)

Le verifiche vengono eseguite, a vantaggio di sicurezza, considerando le combinazioni delle azioni che generano le sollecitazioni più gravose per gli elementi strutturali in oggetto, ovvero le combinazioni contenenti il taglio massimo e lo sforzo normale minimo ricavabili dalle precedenti tabelle, tenendo conto dell'angolo di inclinazione dell'azione sollecitante il generico palo delle Spalle S3 / S4.

### 14.1.1 Verifiche SLU

Le verifiche allo SLU vengono eseguite considerando le combinazioni relative all'azione orizzontale massima ed allo sforzo normale minimo ricavando, in funzione di esse, le massime sollecitazioni agenti sul palo la cui rappresentazione grafica e di seguito riportata.

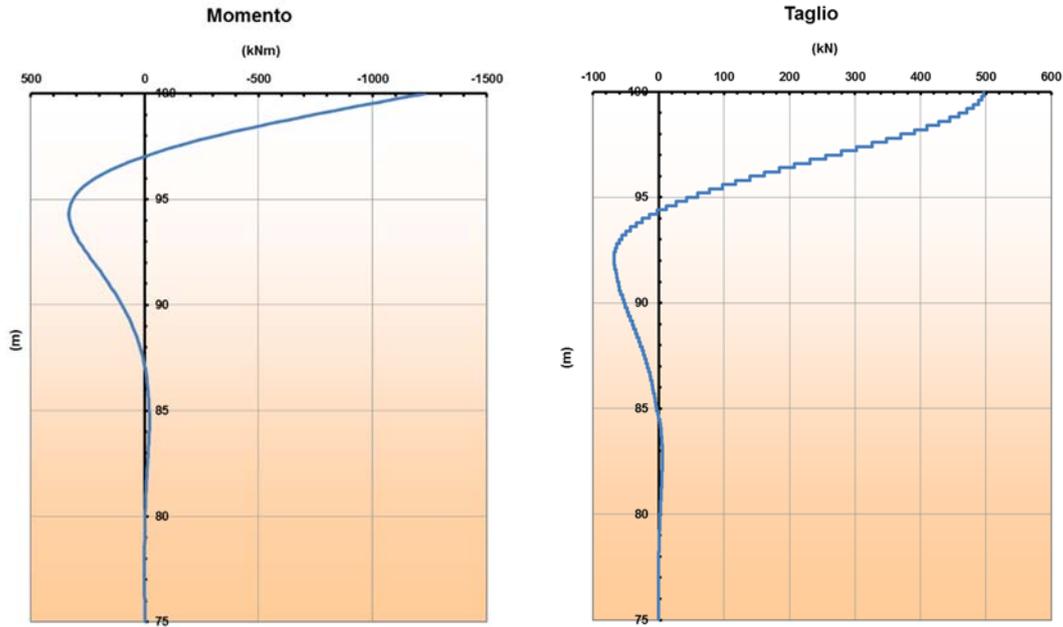


Figura 234 – Momento Flettente e Taglio – SLU ( $F_{xy}$  Max)

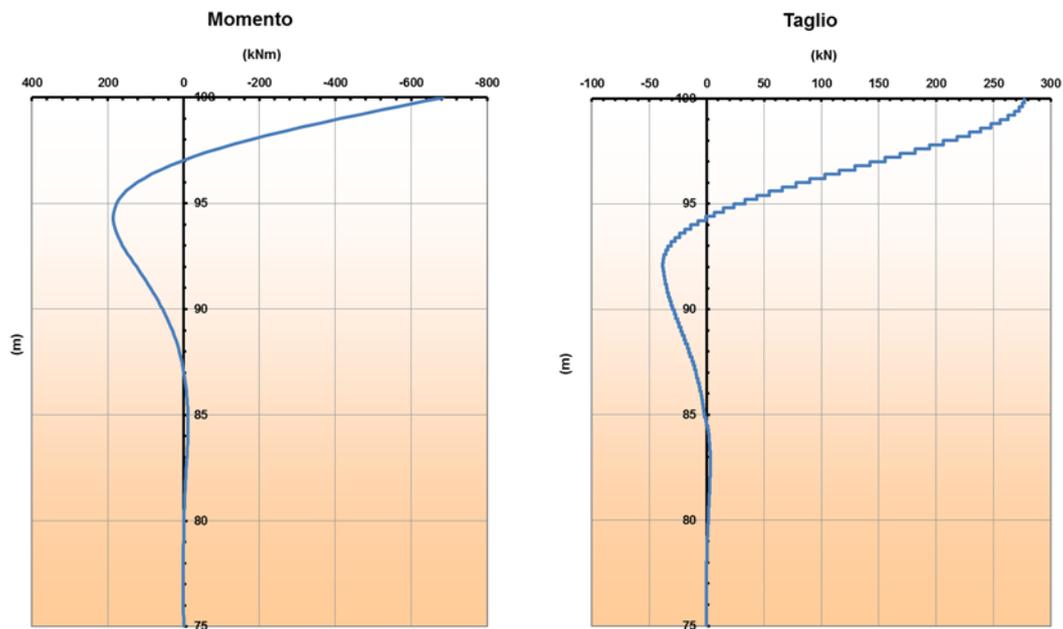


Figura 235 – Momento Flettente e Taglio – SLU ( $F_z$  Min)

### 14.1.1.1 Verifiche a flessione

Si considera un'armatura costituita da 20 $\Phi$ 30. La verifica viene eseguita considerando le sollecitazioni derivanti dalle combinazioni relative all'azione orizzontale massima ed allo sforzo normale minimo, ovvero le coppie N-M piú gravose, trascurando a vantaggio di sicurezza il peso del terreno di ricoprimento.

**Titolo:** Verifica a Pressoflessione

**Sezione circolare cava**

Raggio esterno: 50 [cm]  
 Raggio interno: 0 [cm]  
 N° barre uguali: 20  
 Diametro barre: 3 [cm]  
 Copriferro (baric.): 6 [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>: 1907,91 [kN]  
 M<sub>xEd</sub>: 1228,37 [kNm]  
 M<sub>yEd</sub>: 0 [kNm]

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

**Tipo rottura**

Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

M<sub>xRd</sub>: 2,387 [kNm]

**Materiali**

B450C C28/35

$\epsilon_{cu}$ : 67,5 ‰  $\epsilon_{c2}$ : 2 ‰  
 $f_{yd}$ : 391,3 N/mm<sup>2</sup>  $\epsilon_{cu}$ : 3,5 ‰  
 $E_s$ : 200.000 N/mm<sup>2</sup>  $f_{cd}$ : 15,87 ‰  
 $E_s/E_c$ : 15  $f_{cc}/f_{cd}$ : 0,8 [?]  
 $\epsilon_{syd}$ : 1,957 ‰  $\sigma_{c,adm}$ : 11  
 $\sigma_{s,adm}$ : 255 N/mm<sup>2</sup>  $\tau_{co}$ : 0,6667  
 $\tau_{c1}$ : 1,971

$\sigma_c$ : -15,87 N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_s$ : 391,3 N/mm<sup>2</sup>  
 $\epsilon_c$ : 3,5 ‰  
 $\epsilon_s$ : 5,574 ‰  
 d: 94 cm  
 x: 36,26 x/d: 0,3857  
 $\delta$ : 0,9222

**Metodo di calcolo**

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

**Tipo flessione**

Retta  Deviata

Vertici: 52 N° rett.: 100  
 Calcola MRd Dominio M-N  
 L<sub>0</sub>: 0 cm Col. modello

Precompresso

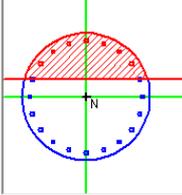


Figura 236 – Verifica a Pressoflessione ( $F_{X/Y}$  Max)

**Titolo:** Verifica a Pressoflessione

**Sezione circolare cava**

Raggio esterno: 50 [cm]  
 Raggio interno: 0 [cm]  
 N° barre uguali: 20  
 Diametro barre: 3 [cm]  
 Copriferro (baric.): 6 [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>: 93,4 [kN]  
 M<sub>xEd</sub>: 684,92 [kNm]  
 M<sub>yEd</sub>: 0 [kNm]

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

**Tipo rottura**

Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

M<sub>xRd</sub>: 2,021 [kNm]

**Materiali**

B450C C28/35

$\epsilon_{cu}$ : 67,5 ‰  $\epsilon_{c2}$ : 2 ‰  
 $f_{yd}$ : 391,3 N/mm<sup>2</sup>  $\epsilon_{cu}$ : 3,5 ‰  
 $E_s$ : 200.000 N/mm<sup>2</sup>  $f_{cd}$ : 15,87 ‰  
 $E_s/E_c$ : 15  $f_{cc}/f_{cd}$ : 0,8 [?]  
 $\epsilon_{syd}$ : 1,957 ‰  $\sigma_{c,adm}$ : 11  
 $\sigma_{s,adm}$ : 255 N/mm<sup>2</sup>  $\tau_{co}$ : 0,6667  
 $\tau_{c1}$ : 1,971

$\sigma_c$ : -15,87 N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_s$ : 391,3 N/mm<sup>2</sup>  
 $\epsilon_c$ : 3,5 ‰  
 $\epsilon_s$ : 8,556 ‰  
 d: 94 cm  
 x: 27,29 x/d: 0,2903  
 $\delta$ : 0,8029

**Metodo di calcolo**

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

**Tipo flessione**

Retta  Deviata

Vertici: 52 N° rett.: 100  
 Calcola MRd Dominio M-N  
 L<sub>0</sub>: 0 cm Col. modello

Precompresso

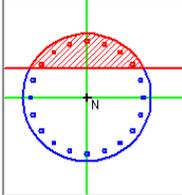


Figura 237 – Verifica a Pressoflessione ( $F_z$  Min)

### 14.1.1.2 Verifiche a taglio

Si considera un'armatura costituita da una spirale realizzata mediante  $\Phi 10/150$  ed una sezione rettangolare equivalente alla sezione circolare. La verifica viene eseguita considerando l'azione di taglio massima tra le combinazioni considerate.

| Materiali           |       | Geometria sezione            |        | Armatura longitudinale      |       | Sollecitazioni di calcolo          |            |
|---------------------|-------|------------------------------|--------|-----------------------------|-------|------------------------------------|------------|
| <b>Calcestruzzo</b> |       | b [mm]                       | 886    | n° barre                    | 20    | $N_{Ed}$ [kN]                      | 0          |
| Rck [Mpa]           | 35    | h [mm]                       | 886    | diametro                    | 30    | $V_{Ed}$ [kN]                      | 496.93     |
| fck [Mpa]           | 29.1  | c [mm]                       | 50     | Area [mm <sup>2</sup> ]     | 14130 |                                    |            |
| fcid [Mpa]          | 16.5  | d [mm]                       | 836    |                             |       |                                    |            |
| <b>Acciaio</b>      |       | <b>Parametri di verifica</b> |        | <b>Armatura trasversale</b> |       | <b>VERIFICHE</b>                   |            |
| fyk [Mpa]           | 450   | k                            | 1.49   | Staffe $\Phi$               | 10    | <b>Sezione non armata a taglio</b> |            |
| fyd [Mpa]           | 391.3 | $v_{min}$                    | 0.34   | n° bracci                   | 2     | $V_{Rd}$ [kN]                      | 504.62     |
|                     |       | $\rho_l$                     | 0.0191 | $A_{sw}$ [mm <sup>2</sup> ] | 157   |                                    | Verificato |
|                     |       | $\sigma_{cp}$                | 0.0000 | s [mm]                      | 150   | <b>Sezione armata a taglio</b>     |            |
|                     |       | v                            | 0.5    |                             |       | <b>Crisi armatura a taglio</b>     |            |
|                     |       | $(\sigma_{cp})^*$            | 0      |                             |       | $V_{Rsd}$ [kN]                     | 770.39     |
|                     |       | $\alpha_c$                   | 1.000  |                             |       | $V_{Rcd}$ [kN]                     | 1892.03    |
|                     |       | $\omega_{sw}$                | 0.028  |                             |       | $V_{Rd}$ [kN]                      | 770.39     |
|                     |       | cotg $\theta$                | 4.099  |                             |       |                                    | Verificato |
|                     |       | cotg $\theta^*$              | 2.500  |                             |       |                                    |            |

Figura 238 – Verifica a Taglio ( $F_{X/Y}$  Max)

### 14.1.2 Verifiche SLE

Le verifiche allo SLE vengono eseguite considerando l'azione tagliante massima nelle combinazioni Rara e Frequente, rispettivamente per le verifiche tensionali e per le verifiche a fessurazione, e ricavando, in funzione di esse, le massime sollecitazioni agenti sul palo.

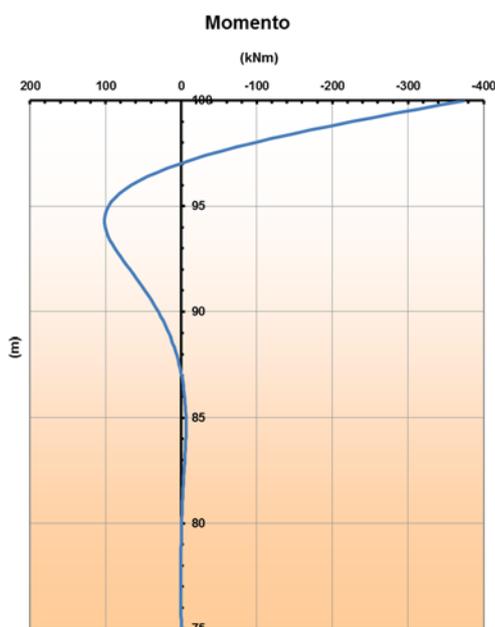


Figura 239 – Momento Flettente - SLER

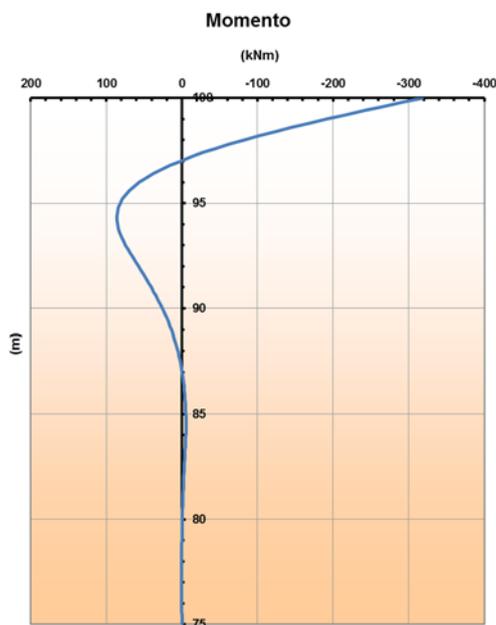


Figura 240 – Momento Flettente - SLEF

#### 14.1.2.1 Verifiche a fessurazione

La verifica a fessurazione viene eseguita per via indiretta, così come ammesso nel punto 4.1.2.2.4.6 delle NTC, facendo riferimento ai limiti di tensione nell'acciaio d'armatura definiti nelle Tabelle C4.1.II e C4.1.III.

Occorre, pertanto, verificare che la massima tensione sulle armature, costituite da barre  $\Phi 30$  sia inferiore a 160 MPa come riportato nelle tabelle citate.

Si trascura, a vantaggio di sicurezza, lo sforzo normale corrispondente all'azione flettente considerata.

**Titolo:** Verifica a Fessurazione

**Sezione circolare cava**

Raggio esterno: 50 [cm]  
 Raggio interno: 0 [cm]  
 N° barre uguali: 20  
 Diametro barre: 3 [cm]  
 Copriferro (baric.): 6 [cm]

N° barre: 0 Zoom

**Tipo Sezione**

Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

**Sollecitazioni**

S.L.U. Metodo n

$N_{Ed}$ : 0 kN  
 $M_{xEd}$ : 0 kNm  
 $M_{yEd}$ : 0 kNm

**P.to applicazione N**

Centro  Baricentro cls  
 Coord.[cm] xN: 0 yN: 0

**Metodo di calcolo**

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

**Materiali**

**B450C** **C28/35**

$\epsilon_{su}$ : 67,5 ‰  $\epsilon_{c2}$ : 2 ‰  
 $f_{yd}$ : 391,3 N/mm<sup>2</sup>  $\epsilon_{cu}$ : 3,5 ‰  
 $E_s$ : 200.000 N/mm<sup>2</sup>  $f_{cd}$ : 15,87  
 $E_s/E_c$ : 15  $f_{cc}/f_{cd}$ : 0,8  
 $\epsilon_{syd}$ : 1,957 ‰  $\sigma_{c,adm}$ : 11  
 $\sigma_{s,adm}$ : 255 N/mm<sup>2</sup>  $\tau_{co}$ : 0,6667  
 $\tau_{c1}$ : 1,971

$\sigma_c$ : -3,346 N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_s$ : 87,76 N/mm<sup>2</sup>  
 $\epsilon_s$ : 0,4388 ‰  
 d: 94 cm  
 x: 34,2 x/d: 0,3639  
 $\delta$ : 0,8948

Vertici: 52  
 Verifica  
 N° iterazioni: 4  
 Precompresso

Figura 241 – Verifica a fessurazione

### 14.1.2.2 Verifiche tensionali

Le verifiche tensionali vengono eseguite, trascurando a vantaggio di sicurezza lo sforzo normale corrispondente alla relativa azione flettente, considerando la combinazione rara e controllando che le relative tensioni non superino i limiti posti dalla normativa:

$$(\sigma_c < 0.60 f_{ck} = 17.43 \text{ MPa} ; \sigma_s < 0.8 f_{yk} = 360 \text{ MPa}).$$

**Titolo:** Verifica Tensionale

**Sezione circolare cava**

Raggio esterno: 50 [cm]  
 Raggio interno: 0 [cm]  
 N° barre uguali: 20  
 Diametro barre: 3 [cm]  
 Copriferro (baric.): 6 [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>: 0 kN  
 M<sub>xEd</sub>: 0 kNm  
 M<sub>yEd</sub>: 0 kNm

**P.to applicazione N**

Centro  Baricentro cls  
 Coord.[cm] xN: 0 yN: 0

**Metodo di calcolo**

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

**Materiali**

B450C C28/35

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>: 15.87  
 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  
 σ<sub>s,adm</sub>: 255 N/mm<sup>2</sup> τ<sub>co</sub>: 0.6667  
 τ<sub>c1</sub>: 1.971

σ<sub>c</sub>: -3.936 N/mm<sup>2</sup>  
 σ<sub>s</sub>: 103.2 N/mm<sup>2</sup>  
 ε<sub>s</sub>: 0.5162 ‰  
 d: 94 cm  
 x: 34.2 w/d: 0.3639  
 δ: 0.8948

Vertici: 52  
 N° iterazioni: 4  
 Precompresso

**Verifica**

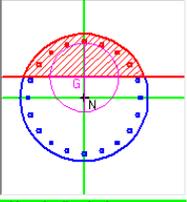


Figura 242 – Verifica tensionale

### 14.1.3 Verifiche GEO

#### 14.1.3.1 Capacità portante dei pali

Le verifiche vengono eseguite valutando la capacità portante nella condizione di carico più gravosa, considerando il palo soggetto alla massima azione verticale N<sub>MAX</sub> ed al corrispondente peso del terreno di ricoprimento;

Si considerano:

- $N_e = 1959 \text{ KN}$  sforzo normale di esercizio, comprensivo del peso del palo e del sovrastante terreno di ricoprimento;
- $N_d = 2647 \text{ KN}$  sforzo normale, comprensivo del peso del palo e del sovrastante terreno di ricoprimento, amplificato in funzione dei coefficienti allo Stato Limite Ultimo.

La testa del palo è posta a -2.50m dal piano campagna.

| Strato | Spessore | Tipo di terreno | $R_{Li}$ | $Nq^*$ | $Nc$ | $q_p$  | $R_p$  |
|--------|----------|-----------------|----------|--------|------|--------|--------|
| (-)    | (m)      |                 | (kN)     | (-)    | (-)  | (kPa)  | (kN)   |
| 1      | 1.00     | UG1             | 45.7     |        |      |        |        |
| 2      | 7.50     | UG3             | 760.8    |        |      |        |        |
| 3      | 5.90     | UG2             | 942.0    |        |      |        |        |
| 4      | 0.60     | UG4             | 104.2    |        |      |        |        |
| 5      | 5.10     | UG3             | 1129.3   |        |      |        |        |
| 6      | 2.00     | UG4             | 462.0    |        |      |        |        |
| 7      | 2.90     | UG3             | 810.8    | 28.01  | 0.00 | 8794.0 | 6906.8 |

#### CAPACITA' PORTANTE DI CALCOLO (al netto dei coefficienti riduttivi)

base  $R_{P;cal} = 6906.8 \text{ (kN)}$   
 laterale  $R_{L;cal} = 4254.7 \text{ (kN)}$   
 totale  $R_{T;cal} = 11161.5 \text{ (kN)}$

#### CAPACITA' PORTANTE CARATTERISTICA

$R_{P,k} = R_{P,cal} / \xi_3 = 4316.7 \text{ (kN)}$   
 $R_{L,k} = R_{L,cal} / \xi_3 = 2659.2 \text{ (kN)}$   
 $R_{T,k} = R_{P,k} + R_{L,k} = 6975.9 \text{ (kN)}$

#### CAPACITA' PORTANTE DI PROGETTO

$R_{T,d} = R_{Pk}/\gamma_b + R_{Lk}/\gamma_s$   
 $R_{T,d} = 5509.9 \text{ (kN)}$

Come si vede, riferendoci ai valori caratteristici, la resistenza laterale (2659 kN) risulta maggiore dell'intero carico sul palo in condizioni di esercizio (1959 kN).

Riferendoci ai valori combinati con i coefficienti allo Stato Limite Ultimo, la resistenza laterale disponibile è pari a  $2659/1.15=2312 \text{ KN}$ . La resistenza richiesta alla punta, pertanto, è pari a  $2647-2312=335 \text{ KN}$ , valore corrispondente al 4.8% della resistenza alla punta di calcolo.

### 14.1.3.2 Carico limite orizzontale dei pali

Il carico limite orizzontale dei pali viene determinato considerando l'azione di taglio massimo.

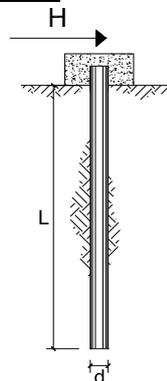
#### CARICO LIMITE ORIZZONTALE DI UN PALO IN TERRENI INCOERENTI PALI CON ROTAZIONE IN TESTA IMPEDITA

OPERA: Autoporto

#### TEORIA DI BASE:

(Broms, 1964)

| coefficienti parziali    |                          |                          | A                        |                         | M                | R          |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|------------------|------------|
| Metodo di calcolo        |                          |                          | permanenti<br>$\gamma_G$ | variabili<br>$\gamma_Q$ | $\gamma_\varphi$ | $\gamma_T$ |
| SUD                      | A1+M1+R1                 | <input type="checkbox"/> | 1.30                     | 1.50                    | 1.00             | 1.00       |
|                          | A2+M1+R2                 | <input type="checkbox"/> | 1.00                     | 1.30                    | 1.00             | 1.60       |
|                          | A1+M1+R3                 | <input type="checkbox"/> | 1.30                     | 1.50                    | 1.00             | 1.30       |
|                          | SISMA                    | <input type="checkbox"/> | 1.00                     | 1.00                    | 1.00             | 1.30       |
| DM88                     | <input type="checkbox"/> | 1.00                     | 1.00                     | 1.00                    | 1.00             |            |
| definiti dal progettista | <input type="checkbox"/> | 1.00                     | 1.00                     | 1.00                    | 1.30             |            |



| n       | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 7    | ≥10  | T.A. | prog. |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| $\xi_3$ | 1.70 | 1.65 | 1.60 | 1.55 | 1.50 | 1.45 | 1.40 | 1.00 | 1.00  |
| $\xi_4$ | 1.70 | 1.55 | 1.48 | 1.42 | 1.34 | 1.28 | 1.21 | 1.00 | 1.00  |

Palo corto: 
$$H = 1.5 k_p \gamma d^3 \left( \frac{L}{d} \right)^2$$

Palo intermedio: 
$$H = \frac{1}{2} k_p \gamma d^3 \left( \frac{L}{d} \right)^2 + \frac{M_y}{L}$$

Palo lungo: 
$$H = k_p \gamma d^3 \sqrt[3]{3.676 \frac{M_y}{k_p \gamma d^4}}$$

#### DATI DI INPUT:

|   |                      |         |                      |                      |           |
|---|----------------------|---------|----------------------|----------------------|-----------|
| Lunghezza del palo  | L =                  | 25.00   | (m)                  |                      |           |
| Diametro del palo   | d =                  | 1.00    | (m)                  |                      |           |
| Momento di plasticizzazione della sezione                                   | $M_y =$              | 2002.00 | (kN m)               |                      |           |
| Angolo di attrito del terreno   | $\varphi'_{med} =$   | 35.00   | (°)                  | $\varphi'_{min} =$   | 35.00 (°) |
| Angolo di attrito di calcolo del terreno                                    | $\varphi'_{med,d} =$ | 35.00   | (°)                  | $\varphi'_{min,d} =$ | 35.00 (°) |
| Coeff. di spinta passiva ( $k_p = (1 + \sin \varphi')(1 - \sin \varphi')$ ) | $k_{p,med} =$        | 3.69    | (-)                  | $k_{p,min} =$        | 3.69 (-)  |
| Peso di unità di volume (con falda $\gamma = \gamma'$ )                     | $\gamma =$           | 11.00   | (kN/m <sup>3</sup> ) |                      |           |
| Carico Assiale Permanente (G):  | G =                  | 497     | (kN)                 |                      |           |
| Carico Assiale variabile (Q):   | Q =                  | 0       | (kN)                 |                      |           |

#### Palo corto:

$H1_{med} = 38054.90$  (kN)  $H1_{min} = 38054.90$  (kN)

#### Palo intermedio:

$H2_{med} = 12765.05$  (kN)  $H2_{min} = 12765.05$  (kN)

#### Palo lungo:

$H3_{med} = 1300.29$  (kN)  $H3_{min} = 1300.29$  (kN)

$H_{med} = 1300.29$  (kN) palo lungo  $H_{min} = 1300.29$  (kN) palo lungo

$H_k = \text{Min}(H_{med}/\xi_3 ; R_{min}/\xi_4) = 812.68$  (kN)

$H_d = H_k/\gamma_T = 625.14$  (kN)

$F_d = G \cdot \gamma_G + Q \cdot \gamma_Q = 497.00$  (kN)

$FS = H_d / F_d = 1.26$

Figura 243 – Carico limite orizzontale

## 15. CALCOLO DEI CEDIMENTI

L'impalcato, come descritto, presenta schema statico di trave continua su 8 appoggi. L'iperstaticità della struttura rende necessaria una valutazione del cedimento in corrispondenza di ogni appoggio (pila o spalla), al fine di stabilire se l'entità delle deformazioni differenziali è tale da indurre sulla struttura dell'impalcato azioni tollerabili dalla struttura stessa. In particolare, data la specificità dell'opera, si evidenzia che i carichi dovuti al peso proprio delle sottostrutture (pile e spalle) e della carpenteria metallica dell'impalcato intervengono sul sistema fondale prima del collegamento dei vari blocchi, per cui il cedimento dovuto a tali sollecitazioni, avendo un decorso molto rapido, non induce azioni di natura distorsiva sulla travata. La struttura viene resa iperstatica prima dell'esecuzione della soletta in c.a., per cui le azioni da tenere in conto per il calcolo dei cedimenti differenziali sono:

1. Peso proprio della soletta in c.a.;
2. Pesi permanenti non strutturali sulla carreggiata;
3. Peso del terreno di ricoprimento dei plinti (operazione che avverrà a impalcato continuo, data la presenza delle pile provvisorie);
4. Carichi mobili stradali.

Nel modello globale dell'impalcato è stata creata una apposita condizione di carico, contenente le prime tre azioni, denominati nel seguito *carichi permanenti di seconda fase*, ed è stata eseguita la *moving load analysis*, per valutare il cedimento massimo in corrispondenza di ogni punto di appoggio.

E' stato inserito, in corrispondenza di ogni palo, un vincolo cedevole, al quale è stata assegnata una rigidità calcolata in funzione del sistema di fondazione adottato e delle caratteristiche fisiche dei terreni.

Come indicato nella relazione geologico-tecnica, in modo cautelativo, la stratigrafia che verrà considerata è relativa al sondaggio SC4, il quale, tra i sondaggi eseguiti nell'area, ha intercettato le più ampie porzioni di terreno dalle caratteristiche fisiche e meccaniche più scadenti. La stratigrafia è riportata nella seguente tabella.

| Unità Geotecnica                          | Soggiacenza Unità Geotecniche dalla quota del piano campagna attuale [m] |
|---|--|
| “UG1” – terreno di riporto                | Da piano campagna fino a -3,0 m  |
| “UG3” – ghiaia in matrice sabbioso-limosa | Da -3,0 m fino a -10,5 m   |
| “UG2” – sabbia con ghiaia                 | Da -10,5 m fino a -16,4 m  |
| “UG4” – limi sabbiosi con ghiaia          | Da -16,4 m fino a -17,0 m  |
| “UG3” – ghiaia in matrice sabbioso-limosa | Da -17,0 m fino a -22,1 m  |
| “UG4” – limi sabbiosi con ghiaia          | Da -22,1 m fino a -24,1 m  |
| “UG3” – ghiaia in matrice sabbioso-limosa | Da -24,1 m fino a -30,0 m  |
| <b>FALDA</b>                              | -3,4 m dal piano campagna attuale  |

Nella stessa relazione sono riportati i seguenti valori del modulo di taglio iniziale  $G_0$  e del coefficiente di Poisson.

$$\text{UG1: } G_0=30-40 \text{ MPa, } \nu=0.35;$$

$$\text{UG2: } G_0=30-40 \text{ MPa, } \nu=0.35;$$

$$\text{UG3: } G_0=50-100 \text{ MPa, } \nu=0.35;$$

$$\text{UG4: } G_0=30-60 \text{ MPa, } \nu=0.30.$$

Tali valori risultano ampiamente cautelativi rispetto ai dati misurati durante le prove in sito. Nonostante ciò, in modo assolutamente prudenziale si adottano i valori minimi indicati, trascurando anche l'incremento di rigidezza che si ha all'aumentare della profondità. Per passare dal modulo di taglio iniziale  $G_0$  al modulo elastico iniziale  $E_0$ , viene applicata la nota formula :

$$E_0 = G_0 \times 2(1 + \nu).$$

Come riportato nella relazione geologico-tecnica: “nel caso specifico il modulo di Young “operativo” può essere assunto pari a 1/5 di quello iniziale con un criterio ampiamente cautelativo”, per cui si ricava:

$$\text{UG1: } E_0=81 \text{ MPa} \rightarrow E_{op}=16.2 \text{ MPa};$$

$$\text{UG2: } E_0=81 \text{ MPa} \rightarrow E_{op}=16.2 \text{ MPa};$$

$$\text{UG3: } E_0=135 \text{ MPa} \rightarrow E_{op}=27 \text{ MPa};$$

$$\text{UG4: } E_0=78 \text{ MPa} \rightarrow E_{op}=15.6 \text{ MPa}.$$

L'unità geotecnica prevalente è l'unità UG3, che rappresenta anche l'unità in cui si vanno ad ammorsare le teste dei pali. Ai fini del calcolo del cedimento dei pali viene utilizzato un valore di  $E_{op}'$  pari alla media pesata dei valori di  $E_{op}$  relativi a ciascuno strato.

$$E_{op}' = (16.2 \times 6.4 + 15.6 \times 2.6 + 27 \times 16) / 25 = 23 \text{ MPa}.$$

### *Cedimento del singolo palo*

Il calcolo del cedimento del palo isolato viene eseguito con il metodo di Poulos e Davis, secondo la formula:

$$\rho = P \times I_0 \times R_k \times R_h \times R_v / (E_s \times d);$$

dove:

$\rho$  è il cedimento del palo isolato;

$P$  è il crico verticale in testa al palo;

$E_s$  è il modulo elastico del terreno ( $E_{op}'$ );

$d$  è il diametro del palo;

$I_0$ ,  $R_k$ ,  $R_h$ ,  $R_v$  sono coefficienti forniti dagli autori sotto forma di abachi in funzione di  $d$ ,  $L$  (lunghezza del palo),  $E_s$ ,  $E_p$  (modulo elastico del palo),  $h$  (altezza dello strato deformabile).

Nel caso in esame si ha:

$$I_0 = 0.075;$$

$$R_k = 1.08;$$

$$R_h = 1;$$

$$R_v = 0.94.$$

Il carico massimo  $P$  in esercizio è relativo ad un palo della pila P3 ed è pari a :

$$P_{\max} = 2196 \text{ kN.}$$

Si ricava:

$$\rho = 7.3 \text{ mm.}$$

La cedevolezza del palo isolato è pari a:

$$k_{v \text{ is}} = 2196/0.0073 \approx 300000 \text{ kN/m.}$$

### *Effetto gruppo*

Il cedimento della palificata deve tener conto dell'interazione tra pali adiacenti attraverso il fenomeno denominato "effetto di gruppo". Il carico da considerare per il cedimento della palificata, non è il valore di  $P_{\max}$  sopra riportato, in quanto esso è relativo ad una condizione di carico con carico mobile disposto in posizione tale da massimizzare l'effetto su un singolo palo, mentre gli altri tre risultano molto meno sollecitati. Il calcolo del cedimento massimo della palificata, invece dovrà tener conto di una distribuzione uniforme del carico su tutti i pali che la compongono.

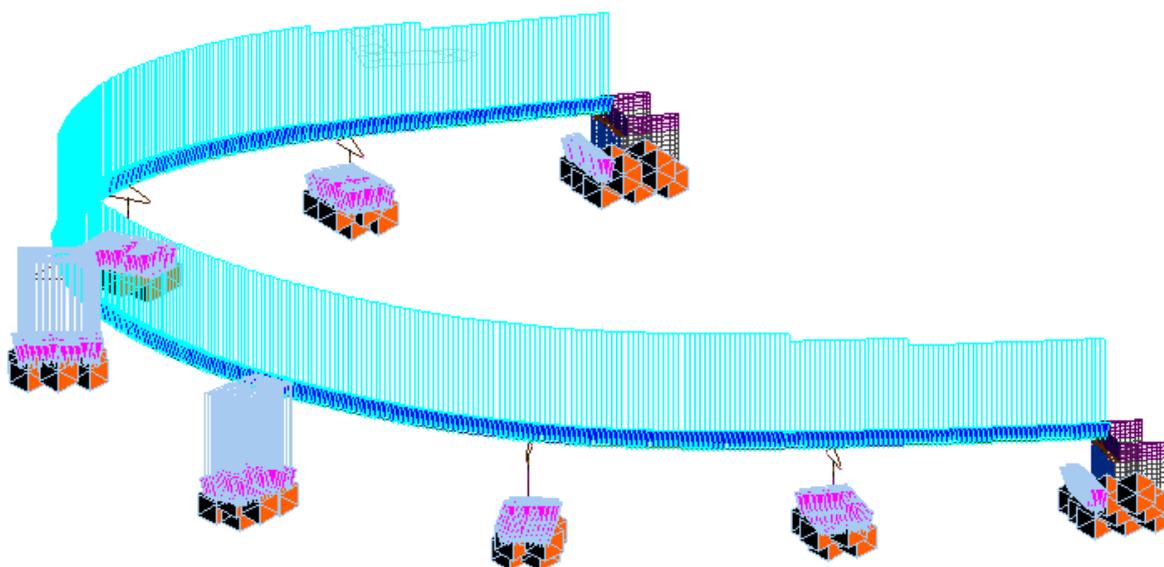
Pertanto, al fine del calcolo del cedimento della palificata, che tenga conto anche dell'effetto gruppo, come anticipato, è stato inserito, nel modello di calcolo agli elementi finiti, in corrispondenza di ogni palo, un vincolo cedevole, al quale è stata assegnata una rigidezza verticale che tiene conto della cedevolezza del palo, tenendo in conto anche l'effetto gruppo.

Esso viene considerato, applicando al cedimento del palo un coefficiente di amplificazione  $R_s$ , legato alla geometria della fondazione. Nel caso in esame per le pile si ha un plinto a 6 pali ( $n=6$ ) posti ad interasse 3m; secondo le formulazioni di Viggiani, Mandolini, Russo 2012, si ottiene:

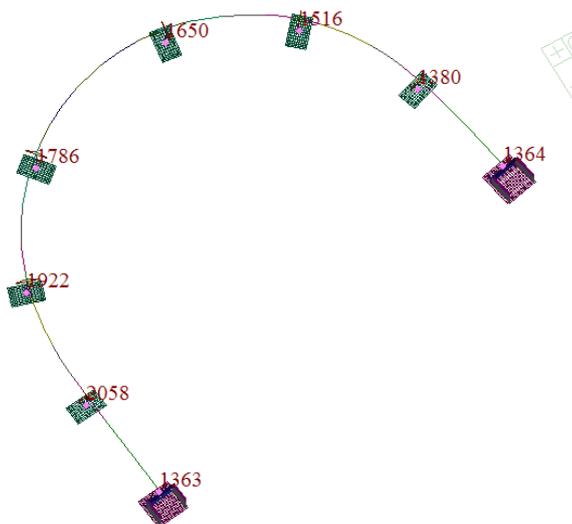
$$R_s = 2.17.$$

### *Calcolo del cedimento differenziale*

Di seguito si riportano alcune immagini relative al modello di calcolo utilizzato per il calcolo del cedimento differenziale.



*Figura 244 – Modello di calcolo caricato con i carichi permanenti di seconda fase*



*Figura 245 – Modello di calcolo con numerazione nodi*

I risultati ottenuti dall'analisi sono riportati nella seguente tabella.

|           | Node | Load     | DZ (mm) |
|-----------|------|----------|---------|
| Spalla S3 | 1364 | DZ perm2 | -1.2    |
| Spalla S4 | 1363 | DZ perm2 | -1.1    |
| Pila P7   | 1380 | DZ perm2 | -4.3    |
| Pila P8   | 1516 | DZ perm2 | -3.9    |
| Pila P9   | 1650 | DZ perm2 | -6.8    |
| Pila P10  | 1786 | DZ perm2 | -6.8    |
| Pila P11  | 1992 | DZ perm2 | -3.9    |
| Pila P12  | 2058 | DZ perm2 | -4.3    |
| Spalla S3 | 1364 | DZ Q1    | -1.9    |
| Spalla S4 | 1363 | DZ Q1    | -1.8    |
| Pila P7   | 1380 | DZ Q1    | -3.3    |
| Pila P8   | 1516 | DZ Q1    | -3.3    |
| Pila P9   | 1650 | DZ Q1    | -3.8    |
| Pila P10  | 1786 | DZ Q1    | -3.8    |
| Pila P11  | 1992 | DZ Q1    | -3.3    |
| Pila P12  | 2058 | DZ Q1    | -3.3    |

Il massimo cedimento differenziale si ha tra la pila P10 e la pila P11 e vale: 6.7mm.

Come anticipato, il cedimento dovuto al carico mobile Q1k, non avviene simultaneamente su tutte le sottostrutture, in quanto dovuto a diverse disposizioni del carico viaggiante. Per cui, i valori calcolati per i carichi permanenti di seconda fase sono stati inseriti nel modello di calcolo dell'impalcato, come cedimento agli appoggi, in una condizione di carico, mentre gli 8 valori del cedimento dovuto al carico Q1k, sono stati contemplati da 8 distinte condizioni di carico, per poi considerare l'involuppo delle stesse.

Come si vedrà nella suddetta relazione di calcolo, anche assumendo le ipotesi estremamente cautelative innanzi decritte, i cedimenti calcolati risultano compatibili con la struttura dell'impalcato.