

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



COMUNE DI TORINO



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

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

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

AGGIORNAMENTI

Fg. 1 di 1

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

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

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Verona - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1

INDICE

1	GENERALITA'	8
2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	16
2.1	NORMATIVE DI RIFERIMENTO	16
3	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	17
3.1	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	17
4	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	19
5	OPERE TEMPORANEE	22
5.1	MODELLO DI CALCOLO	22
5.1.1	CRITERI DI MODELLAZIONE	22
5.1.2	ANALISI DEI CARICHI	26
5.2	RISULTATI DELL'ANALISI E VERIFICHE	27
5.2.1	RISULTATI ANALISI NUMERICA	27
5.2.1.1	Schema A	27
5.2.1.2	Schema B	27
5.2.1.3	Schema C	28
5.2.1.4	Schema D	29
5.2.1.5	Schema E	30
5.2.2	VERIFICHE SLU-STR DELLA PARATIA	31
5.2.3	VERIFICHE SLU-GEO COLLASSO DELL'INSIEME TERRENO-OPERA	31
5.2.4	VERIFICA SLU-STR DEL PUNTONE	32
5.2.5	VERIFICA SLU-STR DEL CORDOLO DI SUPERFICIE	33
5.2.6	VERIFICA SLU-STR DELLA TRAVE DI RIPARTIZIONE	33
5.2.7	VERIFICA DEFORMAZIONI MASSIME DELLE STRUTTURE DI SOSTEGNO	34
6	RIVESTIMENTI DEFINITIVI	38
6.1	PRINCIPALI ASSUNZIONI DELLA PROGETTAZIONE	38
6.1.1	MODELLAZIONE NUMERICA E SCHEMATIZZAZIONE STRUTTURALE DEL MODELLO	38
6.1.2	CARATTERIZZAZIONE SISMICA	39
6.1.3	COMBINAZIONI DI CARICO	40
6.1.4	RIGIDENZE DEL SUOLO ADOTTATE NEI MODELLI NUMERICI	41
6.2	ANALISI NUMERICA E VERIFICHE STRUTTURALI	42
6.2.1	ACCESSO A SBALZO	42
6.2.1.1	Carichi	42

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Verona - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1

6.2.1.2	Risultati dell'analisi e verifiche strutturali	46
6.2.2	ACCESSO CHIUSO	47
6.2.2.1	Carichi	48
6.2.2.2	Risultati dell'analisi e verifiche strutturali	53
6.2.3	VASCA DI ACCUMULO	55
6.2.3.1	Carichi	55
6.2.3.2	Risultati dell'analisi e verifiche strutturali	60
APPENDICE A		65
APPENDICE B		75
APPENDICE C		79
APPENDICE D		82
APPENDICE E		88
APPENDICE F		99
APPENDICE G		109
APPENDICE H		113
APPENDICE I		119
APPENDICE J		127
APPENDICE K		135
APPENDICE L		154

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1.	Schema A	9
Figura 2.	Schema B	10
Figura 3.	Schema C	11
Figura 4.	Schema D	12
Figura 5.	Schema E	13
Figura 6.	Disposizione in pianta diversi schemi di calcolo	14
Figura 7.	Modello 3D della stazione (in blu le strutture interferenti con la falda – schema E)	15

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Verona - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1

Figura 8. Modello di calcolo PLAXIS (Schema C)	23
Figura 9. Modello costitutivo Hardening Soil	23
Figura 10. Schema A - Mesh di calcolo Plaxis	27
Figura 11. Schema B - Mesh di calcolo Plaxis	28
Figura 12. Schema C - Mesh di calcolo Plaxis	28
Figura 13. Schema D - Mesh di calcolo Plaxis	29
Figura 14. Schema E - Mesh di calcolo Plaxis	30
Figura 15. Particolare armatura trave di testa	33
Figura 16. Spostamenti Totali - Schema A	34
Figura 17. Spostamenti Totali - Schema B	35
Figura 18. Spostamenti Totali - Schema C	35
Figura 19. Spostamenti Totali - Schema D	36
Figura 20. Spostamenti Totali - Schema E	36
Figura 21. Schematizzazione metodo di Wood	39
Figura 22. Modello numerico – Accesso schema a sbalzo	42
Figura 23. Peso proprio – Accesso schema a sbalzo	43
Figura 24. Spinta orizzontale del terreno – Accesso schema a sbalzo	43
Figura 25. Pavimentazione – Accesso schema a sbalzo	44
Figura 26. Folla – Accesso schema a sbalzo	44
Figura 27. Traffico -Accesso schema a sbalzo	45
Figura 28. Spinta sismica Direzione X – Accesso schema a sbalzo	45
Figura 29. Schema di distribuzione dell’armatura principale – Accesso schema a sbalzo	46
Figura 30. Schema di distribuzione dell’armatura a taglio – Accesso schema a sbalzo	46
Figura 31. Modello numerico – Accesso schema chiuso	48
Figura 32. Peso proprio – Accesso schema chiuso	48
Figura 33. Spinta orizzontale del terreno – Accesso schema chiuso	49
Figura 34. Spinta idrostatica – Accesso schema chiuso	50
Figura 35. Ritombamento – Accesso schema chiuso	50
Figura 36. Pavimentazione – Accesso schema chiuso	51
Figura 37. Folla – Accesso schema chiuso	51
Figura 38. Traffico – Accesso schema chiuso	52
Figura 39. Spinta sismica direzione X – Accesso schema chiuso	52
Figura 40. Schema di distribuzione dell’armatura principale – Accesso schema chiuso	53
Figura 41. Schema di distribuzione dell’armatura a taglio – Accesso schema chiuso	53
Figura 42. Modello numerico – Vasca di accumulo antincendio	55
Figura 43. Peso proprio – Vasca di accumulo antincendio	55
Figura 44. Spinta orizzontale del terreno – Vasca di accumulo antincendio	56
Figura 45. Spinta idrostatica – Vasca di accumulo antincendio	56
Figura 46. Ritombamento – Vasca di accumulo antincendio	57
Figura 47. Pavimentazione – Vasca di accumulo antincendio	57
Figura 48. Traffico – Vasca di accumulo antincendio	58

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Verona - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1

Figura 49. Spinta sismica direzione X – Vasca di accumulo antincendio	59
Figura 50. Spinta sismica direzione Y – Vasca di accumulo antincendio	59
Figura 51. Schema di distribuzione dell’armatura principale solette – Vasca di accumulo antincendio	60
Figura 52. Schema di distribuzione dell’armatura principale muri – Vasca di accumulo antincendio	61
Figura 53. Schema di distribuzione dell’armatura a taglio solette – Vasca di accumulo antincendio	61
Figura 54. Schema di distribuzione dell’armatura a taglio muri – Vasca di accumulo antincendio	62
Figura 55. Output PLAXIS: Inviluppo dello sforzo assiale, del taglio e del momento flettente - Schema A	67
Figura 56. Output PLAXIS: Inviluppo dello sforzo assiale, del taglio e del momento flettente – Schema B	69
Figura 57. Output PLAXIS: Inviluppo dello sforzo assiale, del taglio e del momento flettente – Schema C	70
Figura 58. Output PLAXIS: Inviluppo dello sforzo assiale, del taglio e del momento flettente – Schema D	72
Figura 59. Output PLAXIS: Inviluppo dello sforzo assiale, del taglio e del momento flettente – Schema E	74
Figura 60. Spostamenti orizzontali parete di micropali – Schema A	76
Figura 61. Spostamenti orizzontali parete di micropali – Schema B	76
Figura 62. Spostamenti orizzontali parete di micropali – Schema C	77
Figura 63. Spostamenti orizzontali parete di micropali – Schema D	77
Figura 64. Spostamenti orizzontali parete di micropali – Schema E	78
Figura 65. Sforzo assiale, taglio e momento di progetto per i diversi stage di calcolo – Schema A	83
Figura 66. Tensione di verifica secondo NTC - tensione a snervamento acciaio – Schema A	83
Figura 67. Sforzo assiale, taglio e momento di progetto per i diversi stage di calcolo – Schema B	84
Figura 68. Tensione di verifica secondo NTC - tensione a snervamento acciaio – Schema B	84
Figura 69. Sforzo assiale, taglio e momento di progetto per i diversi stage di calcolo – Schema C	85
Figura 70. Tensione di verifica secondo NTC - tensione a snervamento acciaio – Schema C	85
Figura 71. Sforzo assiale, taglio e momento di progetto per i diversi stage di calcolo – Schema D	86
Figura 72. Tensione di verifica secondo NTC - tensione a snervamento acciaio – Schema D	86
Figura 73. Sforzo assiale, taglio e momento di progetto per i diversi stage di calcolo – Schema E	87
Figura 74. Tensione di verifica secondo NTC - tensione a snervamento acciaio – Schema E	87
Figura 75. Rapporto tra tensione tangenziale massima e tensione tangenziale mobilitata – Schema A	89

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Verona - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1

Figura 76. Tensioni orizzontali efficaci paratia - Lato monte e valle – Schema A	90
Figura 77. Confronto tensioni limite attive e passive con tensioni orizzontali Plaxis – Schema A	90
Figura 78. Rapporto tra tensione tangenziale massima e tensione tangenziale mobilitata – Schema B	91
Figura 79. Tensioni orizzontali efficaci paratia - Lato monte e valle – Schema B	92
Figura 80. Confronto tensioni limite attive e passive con tensioni orizzontali Plaxis – Schema B	92
Figura 81. Rapporto tra tensione tangenziale massima e tensione tangenziale mobilitata – Schema C	93
Figura 82. Tensioni orizzontali efficaci paratia - Lato monte e valle – Schema C	94
Figura 83. Confronto tensioni limite attive e passive con tensioni orizzontali Plaxis – Schema C	94
Figura 84. Rapporto tra tensione tangenziale massima e tensione tangenziale mobilitata – Schema D	95
Figura 85. Tensioni orizzontali efficaci paratia - Lato monte e valle – Schema D	96
Figura 86. Confronto tensioni limite attive e passive con tensioni orizzontali Plaxis – Schema D	96
Figura 87. Rapporto tra tensione tangenziale massima e tensione tangenziale mobilitata – Schema E	97
Figura 88. Tensioni orizzontali efficaci paratia - Lato monte e valle – Schema D	98
Figura 89. Confronto tensioni limite attive e passive con tensioni orizzontali Plaxis – Schema D	98
Figura 90. Verifica Puntone – Schema B	101
Figura 91. Verifica Puntone – Schema C	102
Figura 92. Verifica Puntone – Schema D	104
Figura 93. Verifica Puntone – Schema D	105
Figura 94. Verifica Puntone – Schema D	107
Figura 95. Particolare armature trave di testa	110
Figura 96. Particolare armature trave di testa	112
Figura 97. Momento flettente M3-3	120
Figura 98. Taglio combinato	120
Figura 99. Momento flettente M3-3	121
Figura 100. Taglio combinato	121
Figura 101. Momento flettente M3-3	122
Figura 102. Taglio combinato	122
Figura 103. Momento flettente M3-3	123
Figura 104. Taglio combinato	123
Figura 105. Momento flettente M3-3	124
Figura 106. Taglio combinato	124
Figura 107. Momento flettente M3-3	128

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Verona - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1

Figura 108. Taglio combinato	128
Figura 109. Momento flettente M3-3	129
Figura 110. Taglio combinato	129
Figura 111. Momento flettente M3-3	130
Figura 112. Taglio combinato	130
Figura 113. Momento flettente M3-3	131
Figura 114. Taglio combinato	131
Figura 115. Momento flettente M3-3	132
Figura 116. Taglio combinato	132
Figura 117. Momento flettente MXX Lembo superiore e MXX Lembo inferiore	136
Figura 118. Momento flettente MYY Lembo superiore e MYY Lembo inferiore	136
Figura 119. Taglio combinato	136
Figura 120. Momento flettente MXX Lembo superiore e MXX Lembo inferiore	137
Figura 121. Momento flettente MYY Lembo superiore e MYY Lembo inferiore	137
Figura 122. Taglio combinato	137
Figura 123. Momento flettente MXX Lembo superiore e MXX Lembo inferiore	138
Figura 124. Momento flettente MYY Lembo superiore e MYY Lembo inferiore	138
Figura 125. Taglio combinato	138
Figura 126. Momento flettente MXX Lembo superiore e MXX Lembo inferiore	139
Figura 127. Momento flettente MYY Lembo superiore e MYY Lembo inferiore	139
Figura 128. Taglio combinato	139
Figura 129. Momento flettente MXX Lembo superiore e MXX Lembo inferiore	140
Figura 130. Momento flettente MYY Lembo superiore e MYY Lembo inferiore	140
Figura 131. Taglio combinato	140
Figura 132. Momento flettente MXX Lembo superiore e MXX Lembo inferiore	141
Figura 133. Momento flettente MYY Lembo superiore e MYY Lembo inferiore	141
Figura 134. Taglio combinato	141
Figura 135. Momento flettente MXX Lembo superiore e MXX Lembo inferiore	142
Figura 136. Momento flettente MYY Lembo superiore e MYY Lembo inferiore	142
Figura 137. Taglio combinato	142
Figura 138. Momento flettente MXX Lembo superiore e MXX Lembo inferiore	143
Figura 139. Momento flettente MYY Lembo superiore e MYY Lembo inferiore	143
Figura 140. Taglio combinato	143
Figura 141. Momento flettente MXX Lembo superiore e MXX Lembo inferiore	144
Figura 142. Momento flettente MYY Lembo superiore e MYY Lembo inferiore	144
Figura 143. Taglio combinato	144
Figura 144. Momento flettente MXX Lembo Superiore e MXX Lembo Inferiore	145
Figura 145. Momento flettente MYY Lembo Superiore e MYY Lembo Inferiore	145
Figura 146. Taglio combinato	145
Figura 147. Momento flettente MXX Lembo Esterno e MXX Lembo Interno	146
Figura 148. Momento flettente MYY Lembo Esterno e MYY Lembo Interno	146

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Verona - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1

Figura 149. Taglio combinato	146
Figura 150. Momento flettente MXX Lembo Superiore e MXX Lembo Inferiore	147
Figura 151. Momento flettente MYY Lembo Superiore e MYY Lembo Inferiore	147
Figura 152. Taglio combinato	147
Figura 153. Momento flettente MXX Lembo Superiore e MXX Lembo Inferiore	148
Figura 154. Momento flettente MYY Lembo Superiore e MYY Lembo Inferiore	148
Figura 155. Taglio combinato	148
Figura 156. Momento flettente MXX Lembo Esterno e MXX Lembo Interno	149
Figura 157. Momento flettente MYY Lembo Esterno e MYY Lembo Interno	149
Figura 158. Taglio combinato	149
Figura 159. Momento flettente MXX Lembo Superiore e MXX Lembo Inferiore	150
Figura 160. Momento flettente MYY Lembo Superiore e MYY Lembo Inferiore	150
Figura 161. Taglio combinato	150

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Verona - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1

1 GENERALITA'

La presente relazione si inserisce nell'ambito della progettazione definitiva della Metropolitana Automatica di Torino – Linea2. In particolare, il presente elaborato descrive i calcoli e le verifiche relative alle opere provvisorie di sostegno per lo scavo degli accessi, delle ventilazioni e della vasca di accumulo della stazione di Verona, così come i rivestimenti definitivi delle stesse strutture appena elencate.

Le opere provvisorie sono caratterizzate da cortine di micropali tipo ODEX iniettati in fori di 220 mm con tubo di acciaio del diametro di 193.7 mm spessore 8.0 mm. L'interasse tra i pali è di 0.40 m e risultano collegati in testa per mezzo di una trave di coronamento in calcestruzzo armato.

Dove necessario, sono previsti livelli di puntone tipo 219.1/8 e 298.5/8 messi in contrasto alla trave di coronamento o, mediante trave di ripartizione, al diaframma di stazione.

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

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

- **Schema A:** micropali di lunghezza 6 metri a sostegno di uno scavo di 3 metri
Tale schema è impiegato negli accessi in stazione e per gli scavi necessari per la realizzazione dei diaframmi del corpo stazione.
- **Schema B:** micropali di lunghezza 8 metri con un livello di puntone a sostegno di 6 metri di scavo. Il puntone è posizionato rispettivamente in testa in corrispondenza dell'asse del cordolo di testata.
- **Schema C:** micropali di lunghezza 13 metri con due livelli di puntone a sostegno di 10 metri di scavo. I due puntone sono posizionati rispettivamente uno in testa e l'altro ad una distanza di 5 m dal cordolo di testata.
- **Schema D:** micropali di lunghezza 13 metri con due livelli di puntone a sostegno di 10 metri di scavo. I due puntone sono posizionati rispettivamente uno in testa e l'altro ad una distanza di 5 m dal cordolo di testata.
- **Schema E:** micropali di lunghezza 17 metri con due livelli di puntone a sostegno di 14 metri di scavo. I tre puntone sono posizionati rispettivamente uno in testa e l'altro ad una distanza di 4 m dal cordolo di testata. Nel caso della stazione in esame, il fondo scavo è stato consolidato in quanto lo scavo risulta interferente con la falda.

Nel caso della stazione in oggetto gli schemi utilizzati sono A, B, C e D, E (si vedano figure seguenti).

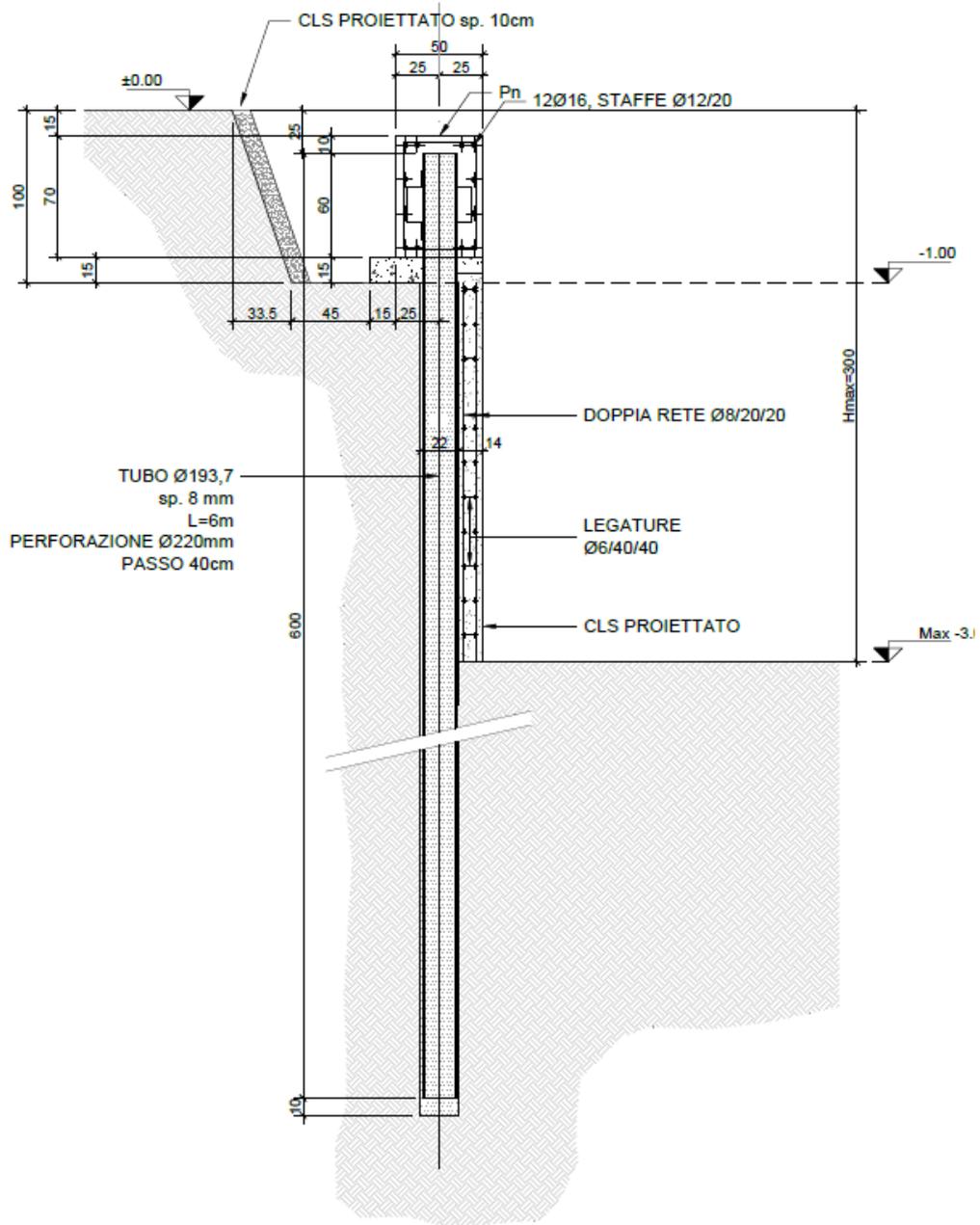


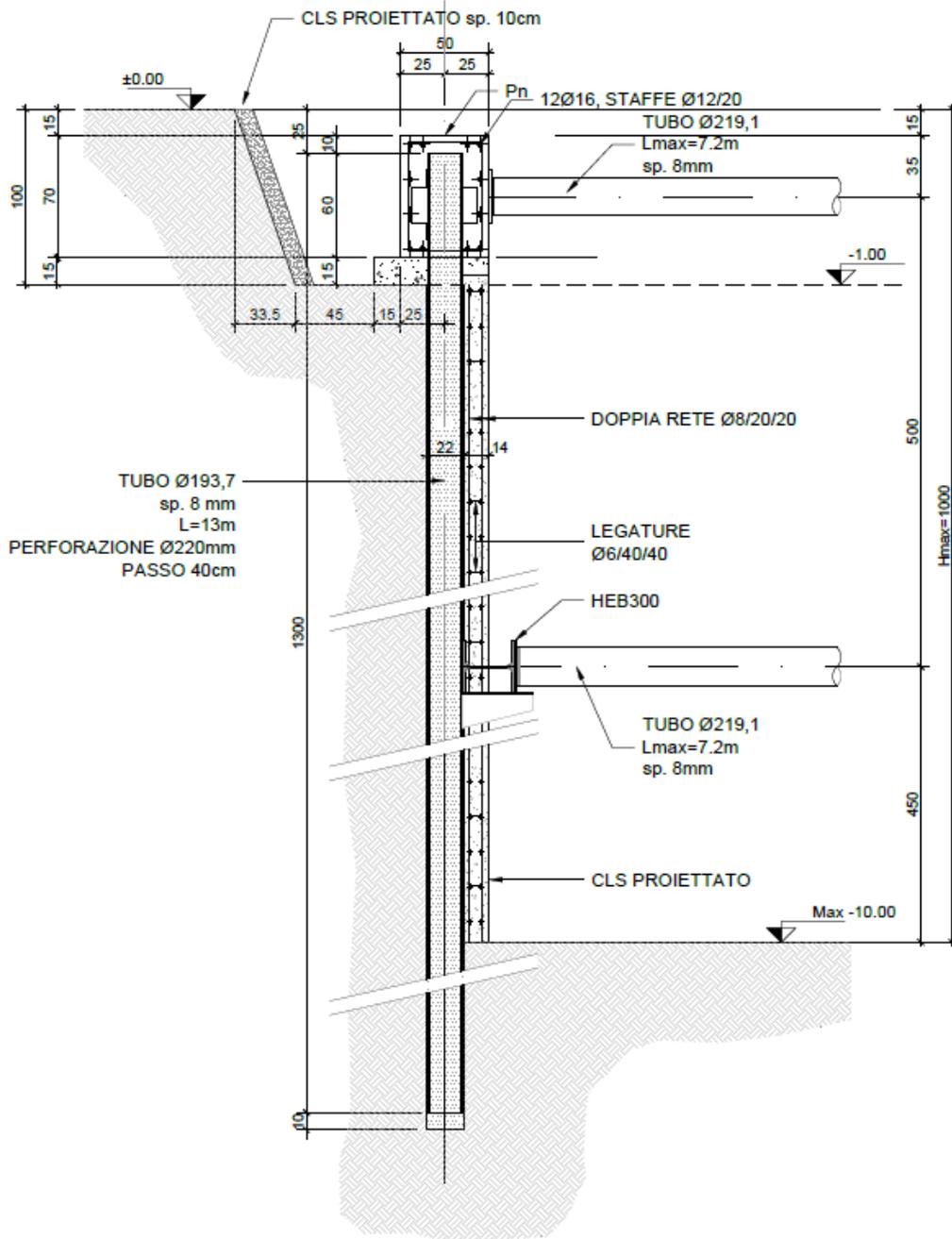
CITTA' DI TORINO

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

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

MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1





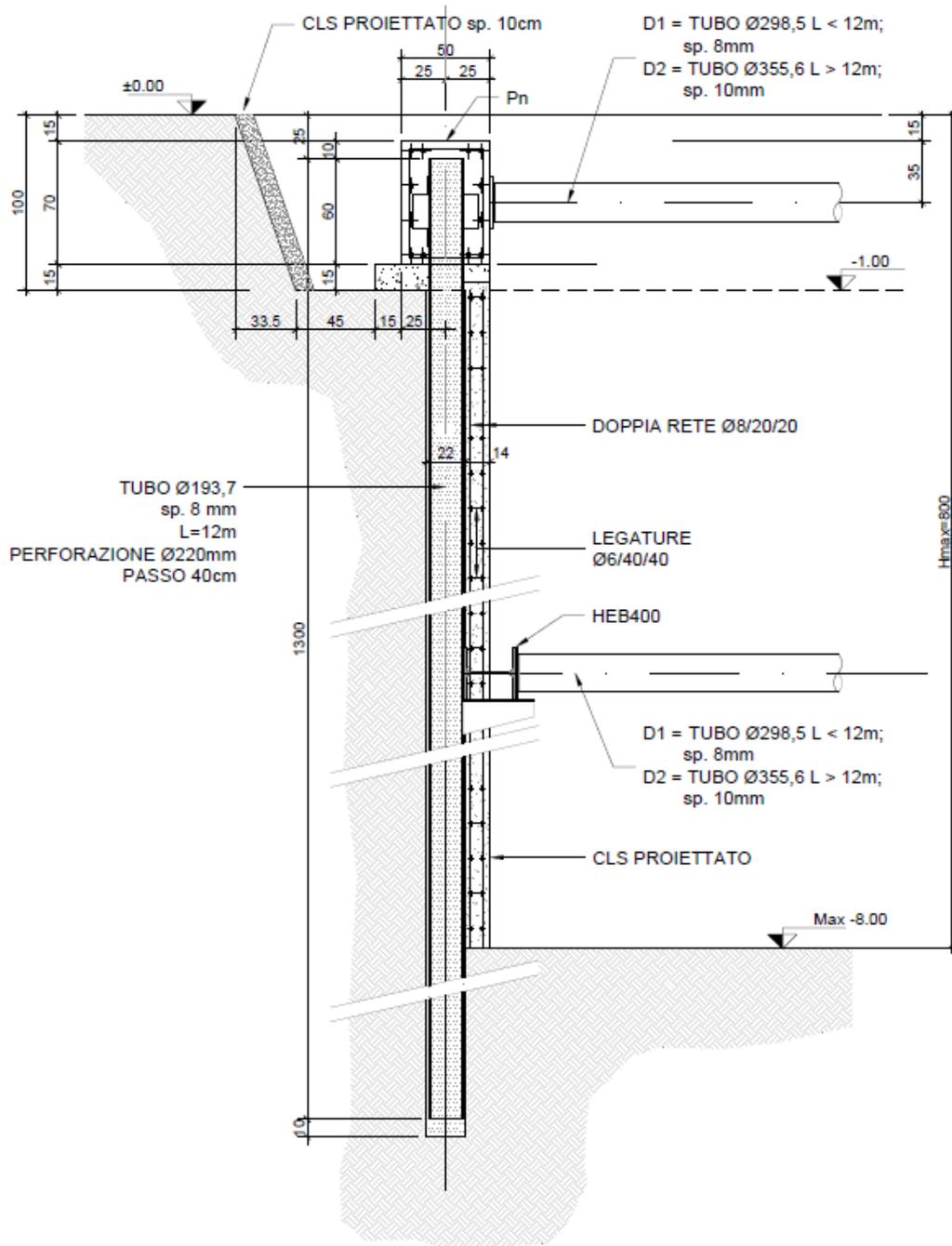


CITTA' DI TORINO

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

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

MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1



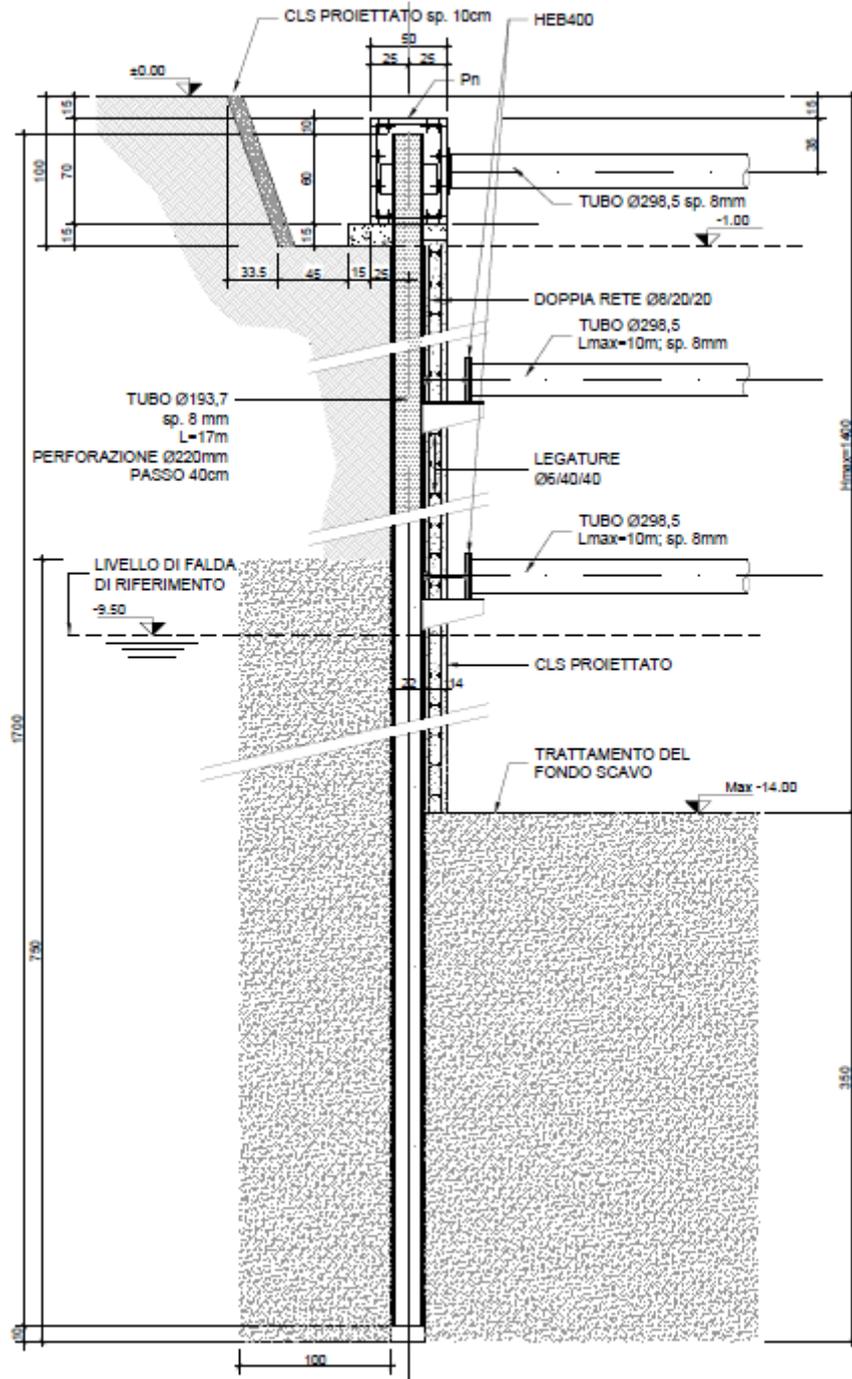


CITTA' DI TORINO

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

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

MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1

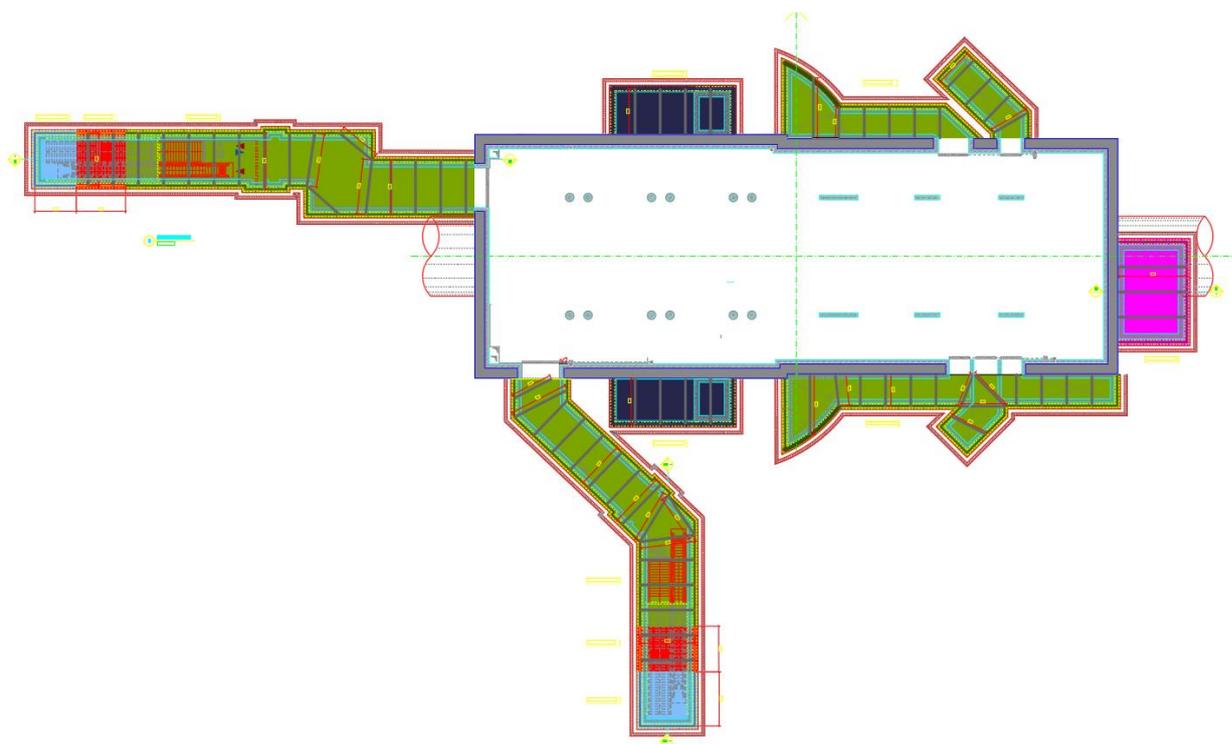


 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Verona - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1

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

- Accesso a sbalzo: Parte più superficiale degli accessi, schema strutturale di una parete a sbalzo alta 5.5m con soletta di fondazione, entrambi con spessore 60cm;
- Accesso chiuso: Parte più profonda degli accessi, schema strutturale di uno scatolare continuo di altezza 6.5m con soletta di fondazione e copertura, tutti con spessore 60cm;
- Vasca di accumulo: Struttura scatolare chiuso di dimensioni definite 12 m x 8m.

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



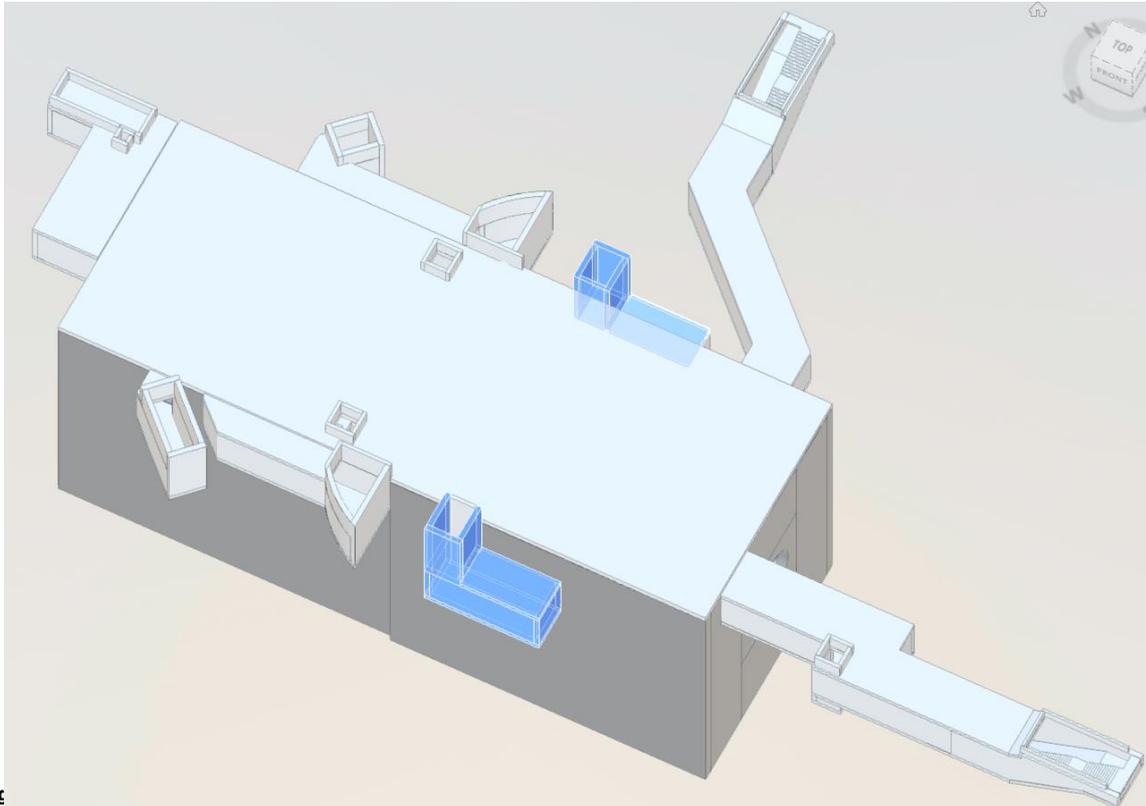


CITTA' DI TORINO

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

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

MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1



Fig

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Verona - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1

2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

2.1 Normative di riferimento

Le analisi strutturali e le verifiche di sicurezza sono state effettuate in accordo con le prescrizioni delle seguenti normative.

1. Legge n°1086 del 05/11/1971: "Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica"
2. DM 17 gennaio 2018: Aggiornamento delle "Norme Tecniche per le costruzioni" (GU n.42 del 20/02/2018);
3. Circolare 21 gennaio 2019 n.7: Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"»
4. D.M. 21/10/2015: "Approvazione della regola tecnica di prevenzione incendi per la progettazione, costruzione ed esercizio delle metropolitane";
5. D.M. 16/02/2007 – Classificazione di resistenza al fuoco di prodotti ed elementi costruttivi di opere da costruzione.
6. UNI 9502-2001: "Procedimento analitico per valutare la resistenza al fuoco degli elementi costruttivi di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso".
7. UNI 9503-2007: "Procedimento analitico per valutare la resistenza al fuoco degli elementi costruttivi in acciaio".
8. UNI EN 206-1:2016, "Calcestruzzo – Parte 1: specificazione, prestazione, produzione e conformità".
9. UNI 11104-2016, "Calcestruzzo – Parte 1: specificazione, prestazione, produzione e conformità - Istruzioni complementari per l'applicazione della EN 206-1".
10. Legge 2 febbraio 1974, n. 64: "Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche"
11. D.G.R. 30 Dicembre 2019, n. 6-887: "Preso d'atto e approvazione dell'aggiornamento della classificazione sismica del territorio della Regione Piemonte"

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Verona - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1

12. D.G.R. 26 Novembre 2021, n. 10-4161: "Approvazione delle nuove procedure di semplificazione attuative di gestione e controllo delle attività urbanistico-edilizie ai fini della prevenzione del rischio sismico".

3 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

3.1 Caratteristiche dei materiali

Con riferimento ai materiali utilizzati nell'ambito del progetto, si riportano nel seguito le principali caratteristiche utilizzate nel dimensionamento strutturale.

- **Calcestruzzo**

Calcestruzzo utilizzato per cordoli di testata

Tipo:	C25/30
Modulo di deformazione:	$E_c=31400$ MPa
Resistenza caratteristica cubica:	$R_{ck}=30$ MPa
Resistenza caratteristica cilindrica:	$f_{ck}=25$ MPa
Peso per unità di volume:	$\gamma=25$ KN/m ³

Malta di iniezione per micropali

Tipo:	C20/25
Modulo di deformazione:	$E_c=30000$ MPa
Resistenza caratteristica cubica:	$R_{ck}=25$ MPa
Resistenza caratteristica cilindrica:	$f_{ck}=20$ MPa
Peso per unità di volume:	$\gamma=25$ KN/m ³

Calcestruzzo utilizzato per i solai di stazione e strutture interne

Tipo:	C30/37
-------	--------

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Verona - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1

Modulo di deformazione:	$E_c=32000$ MPa
Resistenza caratteristica cubica:	$R_{ck}=37$ MPa
Resistenza caratteristica cilindrica:	$f_{ck}=30$ MPa
Peso per unità di volume:	$\gamma=25$ KN/m ³
Classe di Esposizione	XC3 (Calcestruzzo all'interno di edifici con umidità dell'aria moderata oppure elevata / Calcestruzzo esposto all'esterno protetto dalla pioggia)

- **Acciaio di armatura**

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

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

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

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Verona - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1

- **Saldature**

Le saldature dovranno essere in accordo alla UNI 5132 (elettrodi di classe 2,3,4) e dovranno essere realizzate a cordoni esterni.

4 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

La campagna di indagine ha portato alla determinazione dei seguenti parametri geotecnici per la stazione in oggetto:

Unità geologica	Profondità da p.c. [m]	γ [kN/m ³]	c' [kPa]	ϕ' [°]	E [MPa]	ν' [-]
U1	0-5.5	19	0	29	15	0.3
U2	5.5-30	19	10	36	150	0.3

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

	m da p.c	
Livello piezometrico 2021 (MTL2T1A0DGEOSVRT001)	-11.5	+211.89
Livello piezometrico 2018	-9.5	+213.89
B T (+1.5 da livello piezometrico di riferimento) - Fase costruttiva	-8.0	+215.89
L T (+3 da breve termine) - Ultimo stage	-5.0	+218.89

Allo scopo di validare un tipologico valido per le varie condizioni di falda delle stazioni, per le strutture interne degli accessi e la vasca di accumulo è stato ipotizzato un livello di falda di lungo periodo pari a -3.0m da piano campagna.

A seconda della verifica che si intende effettuare, verranno utilizzati coefficienti che riducono i parametri meccanici di resistenza del terreno o coefficienti che amplificano gli effetti delle azioni. In particolare, seguendo quanto prescritto al punto 6.2.3 delle Norme Tecniche per le Costruzioni, si sono considerati i seguenti approcci di verifica:

- Verifiche SLU-GEO: $A_1 - C_2$
- Verifiche SLU-STR: $A_1 - C_1$

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Verona - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1

Tab. 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni

	Effetto	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E)	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti G_1	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	γ_{Qi}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

⁽¹⁾ Per i carichi permanenti G_2 si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti γ_{G1}

Tabella 4 Coefficienti riduttivi dei parametri di resistenza del terreno secondo NTC

Tab. 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ_γ	γ_γ	1,0	1,0

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

Verifica	Coefficiente parziale (R3)
Capacità portante della fondazione	$\gamma_R = 1,4$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,1$
Ribaltamento	$\gamma_R = 1,15$
Resistenza del terreno a valle	$\gamma_R = 1,4$



CITTA' DI TORINO

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

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

MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1

Unità geologica	γ [kN/m ³]	c_k' [kPa]	ϕ_k' [°]	K0 [-]
U1 Tabella 6 Riassunto parametri utilizzati nel calcolo	19	0	29	0.5152
U2	19	10	36	0.4122

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Verona - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1

5 OPERE TEMPORANEE

5.1 Modello di calcolo

Le analisi strutturali e geotecniche sono state effettuate mediante il software di calcolo agli elementi finiti PLAXIS2D, bidimensionale. Tale software di calcolo fa uso del metodo degli elementi finiti per simulare il comportamento del terreno soggetto a modifiche nel suo stato tensionale. Mediante tale programma FEM è stato possibile simulare tutte le fasi di lavoro portando in conto il comportamento non lineare del terreno.

I modelli di calcolo sono stati generati con una maglia di elementi triangolari a 15 nodi impostando la posizione dei bordi in maniera tale che nessun disturbo venga indotto alla soluzione numerica.

Tutte le strutture sono state modellate mediante elementi già implementati nella libreria del software. In particolare, si è utilizzato:

- per le pareti di micropali: elementi "plate"
- per i puntoni di rinforzo: elementi "node to node anchor";

Le travi di ripartizione non sono state simulate in questa fase di analisi.

Nel seguito verranno presentati i criteri di modellazione ed i risultati per tutte le lavorazioni descritte. Per quanto riguarda l'accesso speciale per maggiori dettagli relativi alla modellazione numerica si rimanda al paragrafo successivo della presente relazione.

5.1.1 Criteri di modellazione

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

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

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

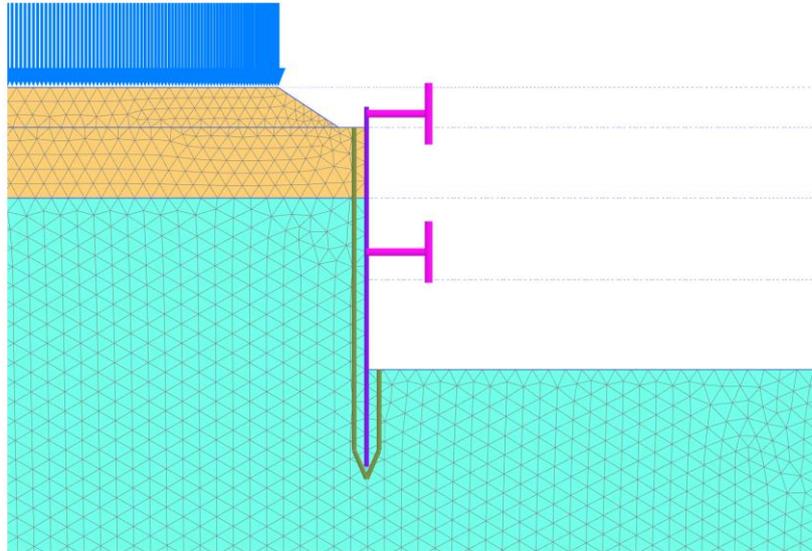
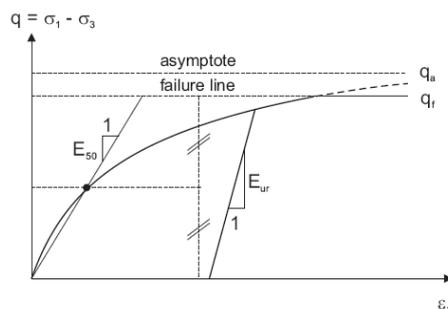


Figura 8. Modello di calcolo PLAXIS (Schema C)

Per il terreno è stato utilizzato un modello costitutivo elasto-plastico incrudente tipo "Hardening Soil". In tale modello, esattamente come in quello di Mohr Coulomb, la legge di resistenza è di tipo attritivo scandita dalla coesione c' e dall'angolo di attrito ϕ' . L'angolo di dilatanza ψ è posto uguale 0° . Attraverso il modello "Hardening Soil" è possibile descrivere con maggiore dettaglio il comportamento del terreno lontano dalle condizioni di rottura attraverso l'impostazione di tre parametri: E_{50} , modulo di deformabilità secante al 50% del carico di rottura, modulo edometrico E_{oed} e modulo di scarico e ricarico E_{ur} .



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

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

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

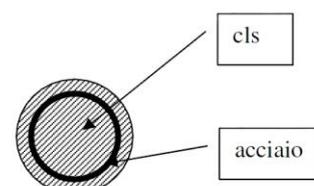
L'attrito tra parete e terreno è stato simulato nel software mediante l'introduzione di una interfaccia. L'attrito è stato posto pari al 50% della resistenza al taglio del terreno.

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

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Verona - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1

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

- diametro esterno palo in acciaio	$D_A=193.7 \text{ mm}$
- spessore palo in acciaio	$t=8\text{mm}$
- momento di inerzia palo in acciaio	$I_S=1.814e7 \text{ mm}^4$
- modulo elasticità acciaio	$E_S=210000 \text{ MPa}$
- diametro di perforazione palo	$D_P=220.0 \text{ mm}$
- momento di inerzia area malta	$I_C=9.483e7 \text{ mm}^4$
- modulo di elasticità malta	$E_C=22000 \text{ MPa}$
- interasse tra i pali	$i=400 \text{ mm}$

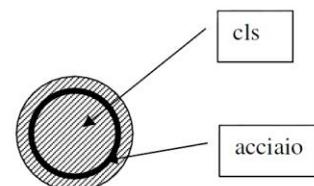


L'inerzia equivalente, scegliendo il calcestruzzo come materiale rispetto al quale omogeneizzare la sezione, risulta:

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

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

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



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

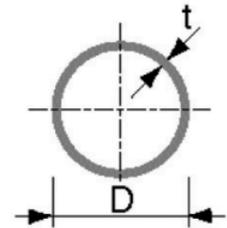
$$I_{EQ} = (E_C I_C + E_S I_S) / (i \times E_C) = 4.53e-3 \text{ m}^4 \quad h_{EQ} = (12 \times I_{EQ})^{1/3} = 0.379 \text{ m}$$

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



• Tipologia di puntone 1

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



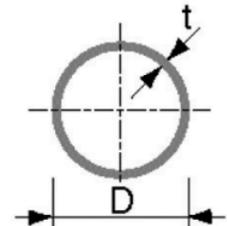
La rigidezza del puntone a metro lineare risulta dunque:

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

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

• Tipologia di puntone 2

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



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

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

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Verona - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1

Schema A	Schema B
<u>Stage 1</u> Inizializzazione tensioni geostatiche; <u>Stage 2</u> Pre-scavo ed inizializzazione del carico variabile a tergo della parete; <u>Stage 3</u> Installazione parete di micropali; <u>Stage 4</u> Scavo sino alla quota di fondo scavo.	<u>Stage 1</u> Inizializzazione tensioni geostatiche; <u>Stage 2</u> Pre-scavo ed inizializzazione del carico variabile a tergo della parete; <u>Stage 3</u> Installazione parete di micropali e puntone di testa; <u>Stage 4</u> Scavo sino alla quota di fondo scavo.
Schema C	Schema D
<u>Stage 1</u> Inizializzazione tensioni geostatiche; <u>Stage 2</u> Pre-scavo ed inizializzazione del carico variabile a tergo della parete; <u>Stage 3</u> Installazione parete di micropali e puntone di testa; <u>Stage 4</u> Scavo sino alla quota di installazione del secondo livello di puntoni; <u>Stage 5</u> Installazione secondo livello di puntoni <u>Stage 6</u> Scavo sino alla quota di fondo scavo.	<u>Stage 1</u> Inizializzazione tensioni geostatiche; <u>Stage 2</u> Pre-scavo ed inizializzazione del carico variabile a tergo della parete; <u>Stage 3</u> Installazione parete di micropali e puntone di testa; <u>Stage 4</u> Scavo sino alla quota di installazione del secondo livello di puntoni; <u>Stage 5</u> Installazione secondo livello di puntoni <u>Stage 6</u> Scavo sino alla quota di fondo scavo.

5.1.2 Analisi dei carichi

Per quanto riguarda i carichi utilizzati nell'analisi numerica, si possono distinguere:

Peso proprio

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

Spinta del terreno

Le spinte sono state valutate automaticamente dal software, a seconda dell'analisi effettuata, nota la stratigrafia di cui al paragrafo 4 della presente.

Spinta idrostatica

La falda non interviene nel calcolo in quanto situata per l'intero tratto a profondità di molto superiori rispetto a quelle di interesse.

Carichi variabili – traffico

Un carico variabile pari a 20 kN/m² uniformemente distribuito è applicato a tergo della parete in tutte le fasi di calcolo.

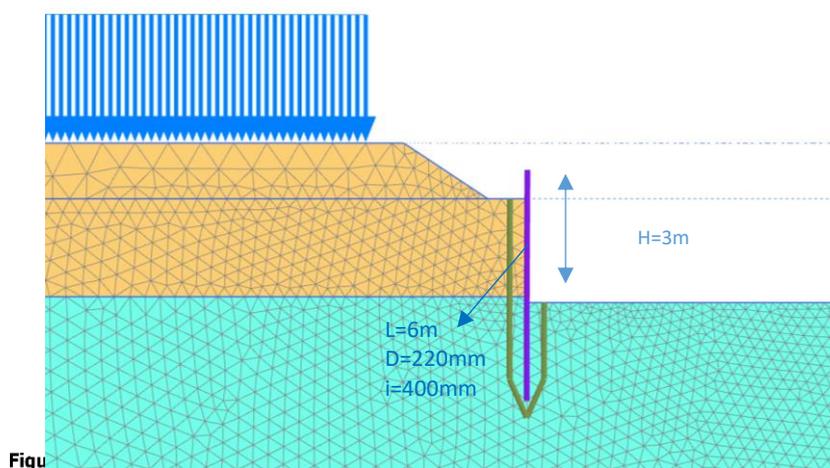
 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Verona - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1

5.2 RISULTATI DELL'ANALISI E VERIFICHE

5.2.1 Risultati analisi numerica

5.2.1.1 Schema A

Lo schema A è caratterizzato da micropali di lunghezza 6 metri a sostegno di uno scavo di 3 metri. Tale schema è impiegato negli accessi in stazione nella sezione più superficiale.



Figura

5.2.1.2 Schema B

Lo Schema B è caratterizzato da micropali di lunghezza 8 metri con un livello di vincolo in testa a sostegno di uno scavo di 6 metri. Tale schema è impiegato per lo scavo degli accessi in sezione di altezza intermedia.

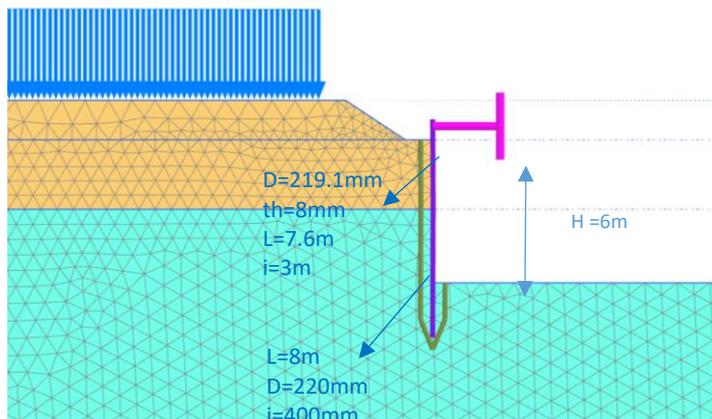
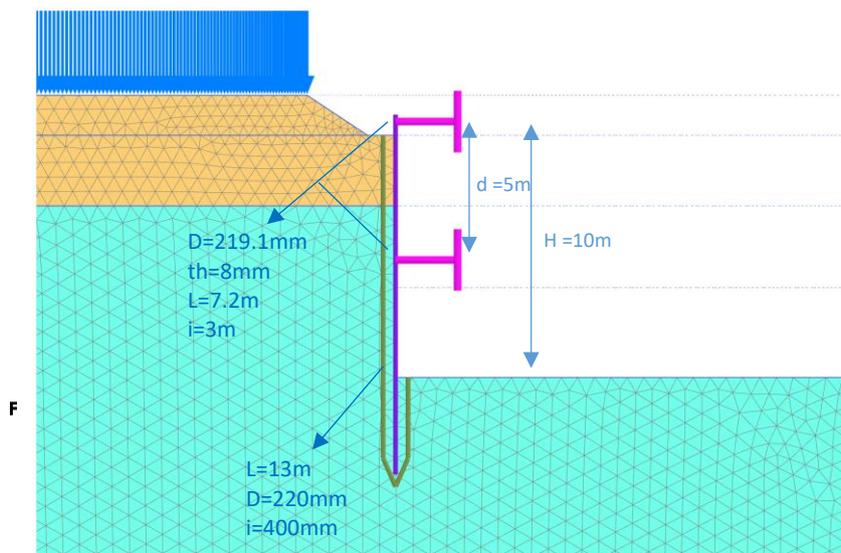


Figura 11. Schema B - Mesh di calcolo Plaxis

5.2.1.3 Schema C

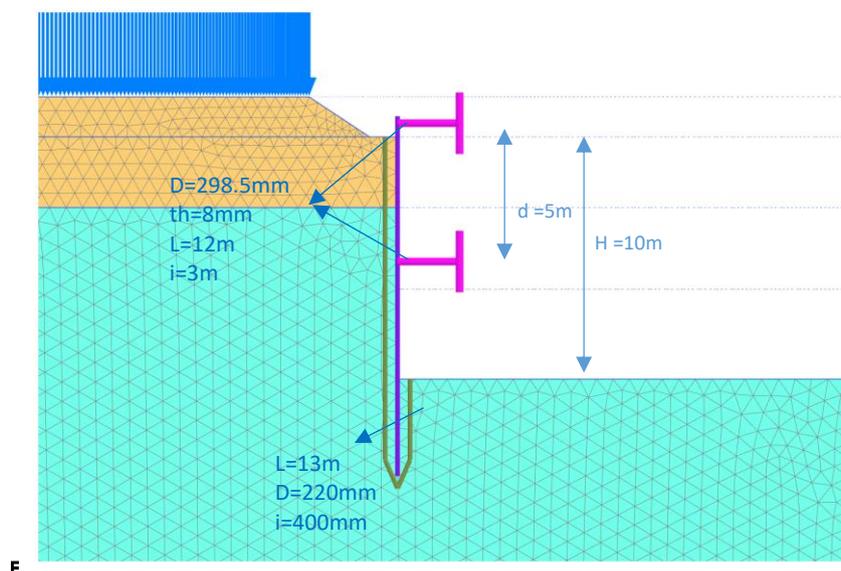
Lo Schema C è caratterizzato da micropali di lunghezza 13 metri con due livelli di vincolo, uno in testa e un altro posto successivamente 5m sotto, a sostegno di uno scavo totale di 10 metri. Tale schema è impiegato per lo scavo e la realizzazione degli accessi così come delle ventilazioni in sezione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





5.2.1.4 Schema D

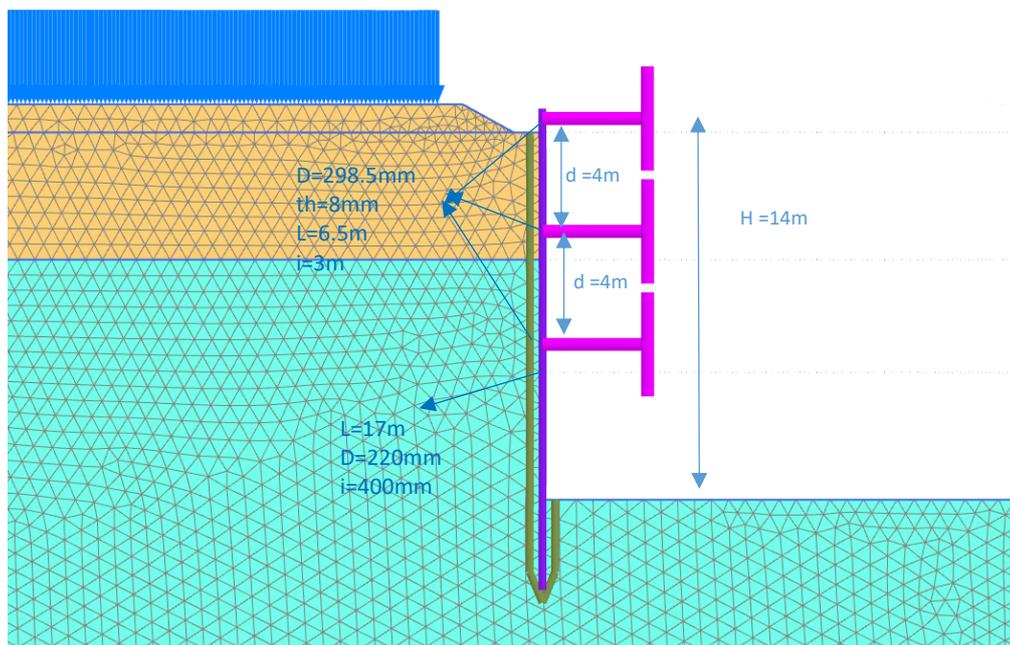
Lo Schema D è caratterizzato da micropali di lunghezza 13 metri con due livelli di vincolo, uno in testa e un altro posto successivamente 5m sotto, a sostegno di uno scavo totale di 10 metri. Tale schema è impiegato per lo scavo e la realizzazione delle vasche di accumulo antincendio.





5.2.1.5 Schema E

Lo Schema E è caratterizzato da micropali di lunghezza 17 metri con due livelli di vincolo, uno in testa e un altro posto successivamente 4m sotto, a sostegno di uno scavo totale di 14 metri.



 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Verona - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1

5.2.2 Verifiche SLU-STR della paratia

Dall'analisi di interazione terreno-struttura mediante il software PLAXIS, si ottengono i valori caratteristici delle sollecitazioni sui micropali. Per le verifiche si provvederà ad amplificare tali azioni secondo l'approccio normativo A1 C1 mediante i coefficienti parziali del gruppo A₁+M₁+R₁. Le sollecitazioni sulla parete sono state amplificate, in via cautelativa, non operando una distinzione in termini di azioni "permanenti" (terreno a tergo della parete) ed azioni "variabili" (sovraccarico di 10 kPa).

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

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

$$E_d \geq R_d$$

con

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

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

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

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

La verifica è stata condotta secondo l'approccio A₁-C₂ utilizzando i coefficienti del gruppo A₂+M₂+R₂ in accordo con le NTC18, ipotizzando un meccanismo globale di collasso. In particolare, è stato realizzato un modello Plaxis riducendo i parametri di resistenza del terreno secondo i coefficienti del gruppo M₂.

Al fine di scongiurare l'attivazione di un meccanismo plastico, in questa analisi la parete di micropali ed i puntoni presentano comportamento elasto-plastico; le soglie di plasticizzazione sono scandite, rispettivamente, dal momento di plasticizzazione e dal carico critico di

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Verona - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1

compressione. Il soddisfacimento della verifica SLU-GEO si traduce nel garantire che le strutture rimangano in campo elastico e che non siano totalmente mobilitate le resistenze a monte e a valle della parete.

Terreno	γ (KN/m ³)	Φ_d' (°)	c_d' (kPa)
Terreni di riporto - U1	19	23.9	0
Ghiaia e sabbie - U2	19	30.2	8

Le spinte ottenute mediante l'analisi Plaxis con i parametri di resistenza ridotti sono state messe a confronto con le spinte teoriche limite sulla parete al fine di stabilire un coefficiente di sicurezza nei riguardi di un collasso generalizzato. Le spinte teoriche limite del terreno sono state calcolate cautelativamente mediante le relazioni di Rankine trascurando l'effetto legato all'attrito del terreno:

$$K_A = \frac{1 - \text{sen}\varphi_d}{1 + \text{sen}\varphi_d} \qquad K_P = \frac{1 + \text{sen}\varphi_d}{1 - \text{sen}\varphi_d}$$

5.2.4 Verifica SLU-STR del puntone

Per quanto riguarda le verifiche del puntone compresso, le sollecitazioni caratteristiche ottenute dall'analisi numerica sono state incrementate per il fattore pari a 1.5.

Il massimo carico assiale nel puntone deve essere tale da non produrre l'instabilità del profilo. La verifica di instabilità del profilo in acciaio è stata condotta secondo quanto prescritto al §4.2.4.1.3 della Normativa tecnica:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_{yk}}} = 0.81$$

$$\text{Classe 1 } \frac{d}{t} \leq 50\varepsilon^2$$

$$\text{Classe 2 } \frac{d}{t} \leq 70\varepsilon^2$$

$$\text{Classe 3 } \frac{d}{t} \leq 90\varepsilon^2$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M1}}$$

$$N_{CR} = \frac{\pi^2 EI}{l_0^2}$$

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Verona - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1

con:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A' f_{yk}}{N_{CR}}} \quad \Phi = 0.5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2] \quad \chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = 0.15$$

Si riporta nel seguito la verifica per il puntone maggiormente caricato.

5.2.5 Verifica SLU-STR del cordolo di superficie

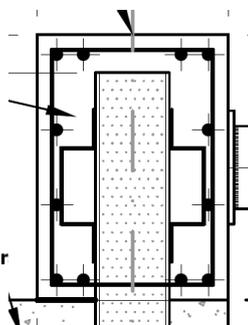
Per il dimensionamento del cordolo in cemento armato in testa alla parete di micropali si utilizza lo schema di trave su più appoggi uniformemente caricata dagli scarichi dei puntoni per unità di lunghezza. In via cautelativa, la trave è stata verificata ipotizzando un momento massimo pari a:

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

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

La sezione risulta verificata con una armatura di 12Φ16 disposti come da figura. Il copriferro è di 5 cm. L'armatura a taglio è costituita da Φ12/20.

Figura 15. Particolare armatur



5.2.6 Verifica SLU-STR della trave di ripartizione

Per il dimensionamento della trave di ripartizione del secondo livello di puntoni, si utilizza lo schema di trave su più appoggi uniformemente caricata dagli scarichi dei puntoni per unità di lunghezza.

La trave è stata verificata ipotizzando un momento ed un taglio massimo pari a:

$$M_{Max} = \frac{1}{10} q l^2 \quad V_{Max} = 0.6 q l$$

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Verona - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1

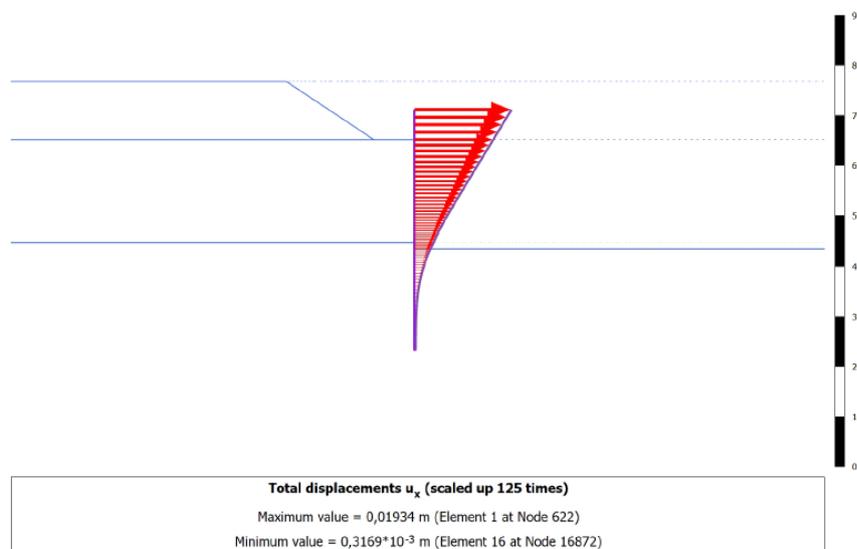
Dove q rappresenta la reazione del puntone ed L il loro interasse.

La trave di ripartizione è costituita da una HEB300. La verifica è stata condotta secondo quanto prescritto al punto 4.2.4.1.2 delle NTC.

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

5.2.7 Verifica deformazioni massime delle strutture di sostegno

Lo spostamento massimo ammissibile stabilito dalle NTC218 paragrafo 7.11.6.3 è pari a $u_s=0.005H$ dove H è l'altezza complessiva della paratia.





CITTA' DI TORINO

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

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

MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1

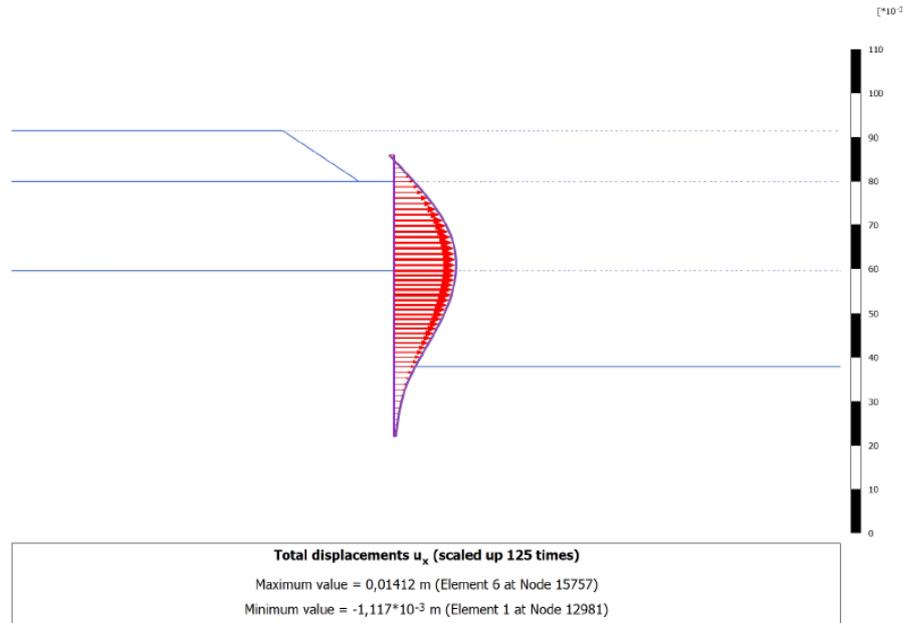
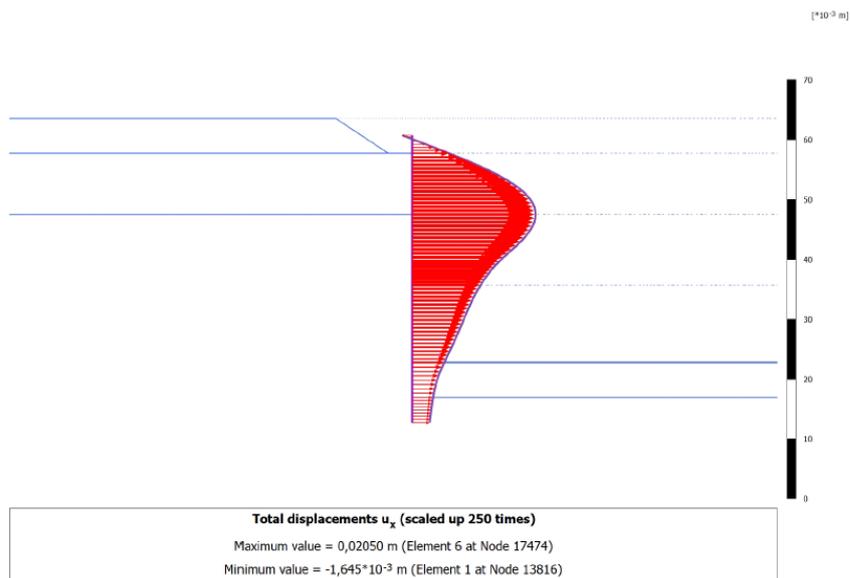


Figura 17. Spostamenti Totali - Schema B





CITTA' DI TORINO

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

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

MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1

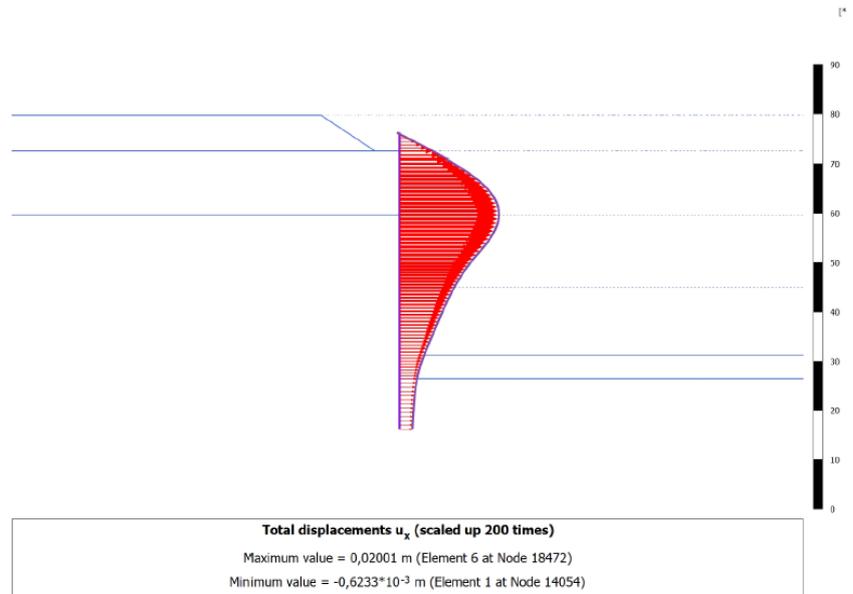
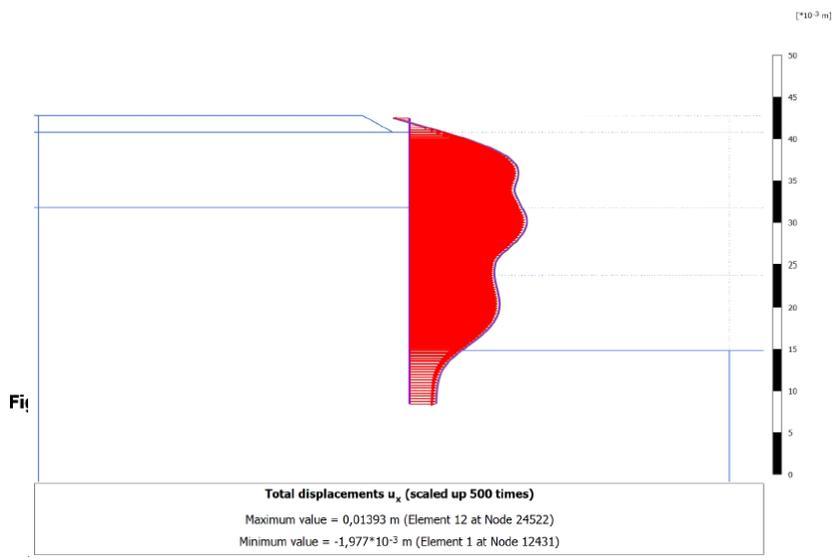


Figura 19. Spostamenti Totali - Schema D



 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Verona - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1

Tipologia di scavo	us (mm)	H(m)	0.005H (mm)	$u_s \leq 0.005H$
Schema A <small>Tabella 9 – Verifica delle deformazioni massime delle paratie di micropali</small>	19.34	6	30	✓
Schema B	14.12	8	40	✓
Schema C	20.50	13	65	✓
Schema D	20.01	13	65	✓
Schema E	13.93	17	85	✓

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Verona - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1

6 RIVESTIMENTI DEFINITIVI

6.1 PRINCIPALI ASSUNZIONI DELLA PROGETTAZIONE

6.1.1 Modellazione numerica e schematizzazione strutturale del modello

L'analisi e la progettazione strutturale delle strutture interne definitive degli accessi, vasche di accumulo e griglie di ventilazione, è stata schematizzata utilizzando diversi modelli strutturali rappresentativi dei principali componenti costituenti la struttura.

Gli accessi sono stati analizzati in due sezioni principali, la prima posta nella parte più superficiale dell'accesso dove non è presente la soletta di copertura ma in corrispondenza dell'altezza massima, risultando quindi in una struttura a sbalzo composta dalle pareti e la soletta di fondazione. La seconda sezione di calcolo posta dove l'accesso ha raggiunto il piano di atrio, collocandosi all'altezza massima dell'accesso quindi con presenza della soletta di copertura, per cui il modello risulta come uno scatolare continuo chiuso.

Le vasche d'accumulo sono rappresentate invece da uno scatolare chiuso sia da soletta di copertura, sia dalla soletta di fondazione di dimensioni definite.

L'analisi strutturale è stata condotta mediante programma di calcolo automatico ad elementi finiti Autodesk Robot Structural Analysis Professional. La struttura è stata schematizzata attraverso elementi finiti quadrangolari e triangolari di dimensioni 30cmx30cm tipo "plate-shell".

La struttura è vincolata alla base tramite un letto di molle con coefficiente di Winkler per tutte le superfici a contatto col terreno, mentre dei vincoli rigidi in direzione longitudinale per gli elementi simulati continui.

Per la verifica strutturale degli stati limite ultimo (SLU) e di esercizio (SLE), vengono utilizzati i fattori e le combinazioni dei carichi, nonché i coefficienti di sicurezza dei materiali indicati nelle NTC2018. I metodi di analisi utilizzati sono di tipo statico non lineare.

Negli elementi shell le sollecitazioni di calcolo sono state ricavate con il metodo di Wood & Armer (1968) secondo gli assi locali.

- $M_{xx} (+)$ = Momenti flettenti (W&A) che tende le fibre superiori in direzione x
- $M_{xx} (-)$ = Momenti flettenti (W&A) che tende le fibre inferiori in direzione x
- $M_{yy} (+)$ = Momenti flettenti (W&A) che tende le fibre superiori in direzione y
- $M_{yy} (-)$ = Momenti flettenti (W&A) che tende le fibre inferiori in direzione y
- $Q (1-2)$ = Sollecitazione di taglio combinato
- UZ = Spostamenti in direzione z

Per lo stato limite di esercizio (SLE) vengono verificate le larghezze delle fessure e le tensioni nei materiali.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Verona - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1

6.1.2 Caratterizzazione sismica

Con riferimento al capitolato, le azioni sismiche verranno prese in conto considerando un valore dell'accelerazione massima orizzontale del sito pari a:

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

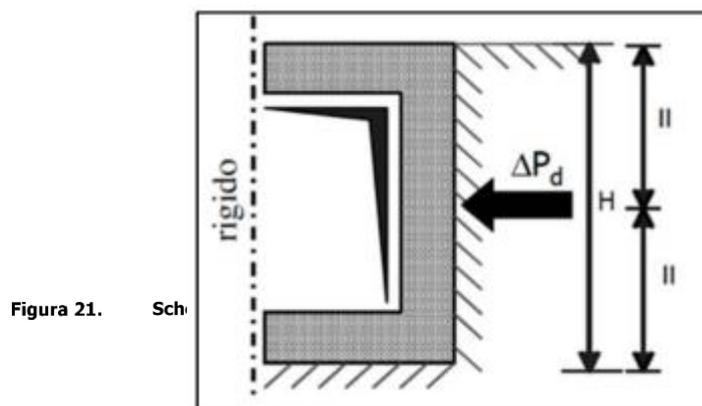
Vi saranno effetti amplificativi dovuti alla stratigrafia ed alla topografia del suolo, tenuti in conto con i seguenti coefficienti:

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

Di conseguenza il valore dell'accelerazione orizzontale massima in superficie è:

$$a_{max} / g = S_s \cdot S_T \cdot a_g / g = 1.2 \cdot 1 \cdot 0.067 = 0.0804$$

Assimilando l'opera come una struttura scatolare non in grado di spostarsi, le spinte delle terre sono calcolate in regime di spinta a riposo che comporta il calcolo delle spinte sismiche in tali condizioni; l'incremento dinamico di spinta del terreno è determinato calcolato secondo la teoria di (WOOD 1973), che fornisce la sovraspinta sismica del terreno su una parete interrata.



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

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

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Verona - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1

In cui g è il peso specifico del terreno supposto uniforme, dove $\frac{a_g}{g}$ è l'accelerazione orizzontale massima in superficie ($\frac{a_{max}}{g}$). Poiché tale risultante ha il punto di applicazione a metà dell'altezza H del muro, è possibile considerare una pressione uniforme di entità pari a:

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

6.1.3 Combinazioni di carico

In accordo con le NTC2018 le combinazioni di carico considerate e verificate nel seguito sono:

- Stato limite di servizio SLE
- Stato limite ultimo verifiche STR: Combinazione A1+M1 SLU1
- Stato limite ultimo verifiche GEO: Combinazione A2+M2 SLU2
- Sisma verifiche STR: Combinazione A1 (unitari)+M1 SISMA STR
- Sisma verifiche GEO: Combinazione A2 (unitari)+M2 SISMA GEO

A seconda della verifica che si intende effettuare, verranno utilizzati coefficienti che riducono i parametri meccanici di resistenza del terreno o coefficienti che amplificano gli effetti delle azioni; così è stato possibile quindi definire le diverse combinazioni di carico di seguito elencate:

Tabella 10 Combinazioni dei carichi SLU per verifiche strutturali

CARICHI		A1+M1+R1	SISMA STR_X	SISMA STR_Y
Perm. strutturali	Peso proprio	1.3	1	1
Perm. non strutturali	Spinta laterale del terreno_STR	1.5	1	1
	Spinta laterale del terreno_GEO	0	0	0
	Ricarica terreno	1.5	1	1
	Pavimentazione	1.5	1	1
Variabili	Folla	1.5	0.6	0.6
	Traffico	1.5	0.6	0.6
Azioni sismiche	Sovrappinta del sisma in direzione X	0	1	0
	Sovrappinta del sisma in direzione Y	0	0	1
Coeff. Parziali geotecnici del terreno	Peso dell'unità del volume	1	1	1
	Coesione efficace	1	1	1
	Tangente dell'angolo della resistenza a taglio	1	1	1

Tabella 11 Combinazioni dei carichi SLU per verifiche geotecniche

CARICHI		A2+M2+R2	SISMA GEO_X	SISMA GEO_Y
Perm. strutturali	Peso proprio	1	1	1
Perm. non strutturali	Spinta laterale del terreno_STR	0	1	1

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Verona - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1

	Spinta laterale del terreno_GEO	1.3	0	0
	Ricarica terreno	1.3	1	1
	Pavimentazione	1.3	1	1
Variabili	Folla	1.3	0.6	0.6
	Traffico	1.3	0.6	0.6
Azioni sismiche	Sovrappinta del sisma in direzione X	0	1	0
	Sovrappinta del sisma in direzione Y	0	0	1
Coeff. Parziali geotecnici del terreno	Peso dell'unità del volume	1	1	1
	Coesione efficace	1	1	1
	Tangente dell'angolo della resistenza a taglio	1.25	1.25	1.25

Tabella 12 Combinazioni dei carichi SLE per verifiche strutturali

CARICHI		SLE RARA	SLE FREQ	SLE QP
Perm. strutturali	Peso proprio	1	1	1
Perm. non strutturali	Spinta laterale del terreno_STR	1	1	1
	Spinta laterale del terreno_GEO	0	0	0
	Ricarica terreno	1	1	1
	Pavimentazione	1	1	1
Variabili	Folla	1	0.7	0.6
	Traffico	1	0.7	0.6
Azioni sismiche	Sovrappinta del sisma in direzione X	0	1	0
	Sovrappinta del sisma in direzione Y	0	0	1
Coeff. Parziali geotecnici del terreno	Peso dell'unità del volume	1	1	1
	Coesione efficace	1	1	1
	Tangente dell'angolo della resistenza a taglio	1	1	1

6.1.4 Rigidezze del suolo adottate nei modelli numerici

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

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

Dove: I_w : Fattore di forma base

B : Larghezza base

E_s : Modulo di Young del suolo

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Verona - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1

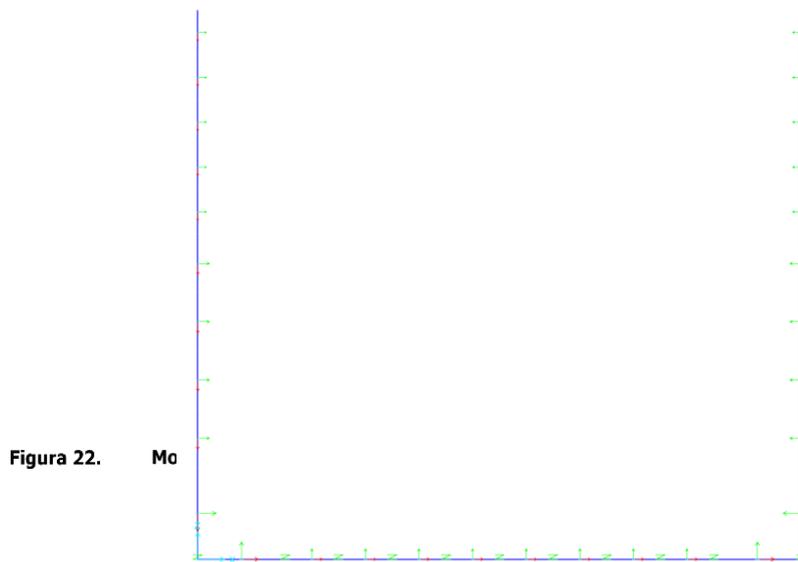
Tabella 12 – Valori di rigidezza utilizzate nei principali modelli di calcolo

Modello numerico / struttura	Ks (kN/m/m ²)
Accesso sezione a sbalzo / sezione chiusa	27470
Vasca di accumulo	12450

6.2 Analisi numerica e verifiche strutturali

6.2.1 Accesso a Sbalzo

Le strutture interne dell'accesso nella parte più superficiale sono costituite dalle sole pareti e la soletta di fondazione. Tutti gli elementi hanno uno spessore di 60cm.



6.2.1.1 Carichi

Carichi permanenti strutturali

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

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Verona - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1



Figura 23. Peso proprio – Accesso schema a sbalzo

Carichi permanenti non strutturali

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

- per le verifiche strutturali e stato utilizzato

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

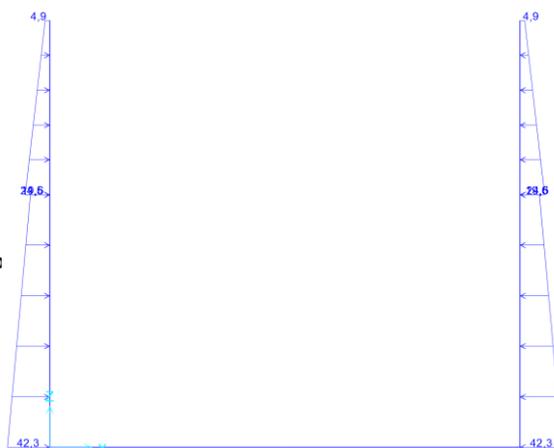
$$k_0 = 1 - \sin 36^\circ \quad 5.5 - 30 \text{ m}$$

- per le verifiche geotecniche e stato utilizzato

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

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

Figura 24. Spinta orizzonta





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

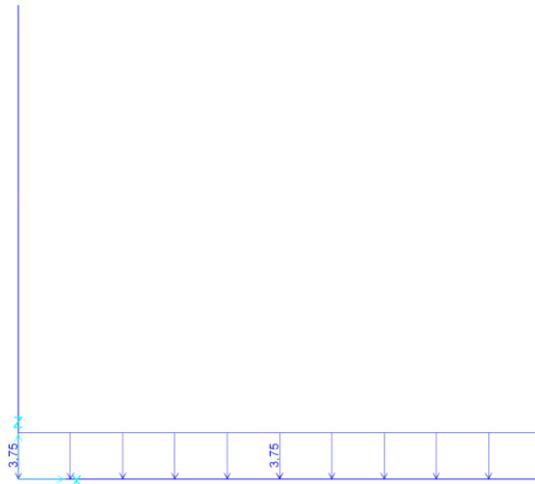


Figura 25. Pavimentazione – Accesso schema a sbalzo

Carichi variabili

Risultano applicati i seguenti carichi:

Folla $q_{folla} = 5 \text{ kN/m}^2$

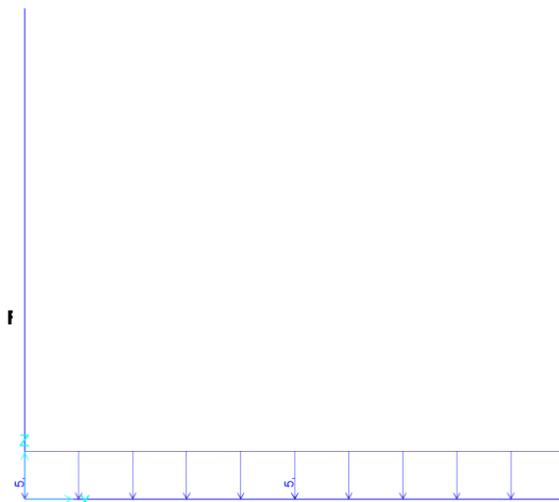
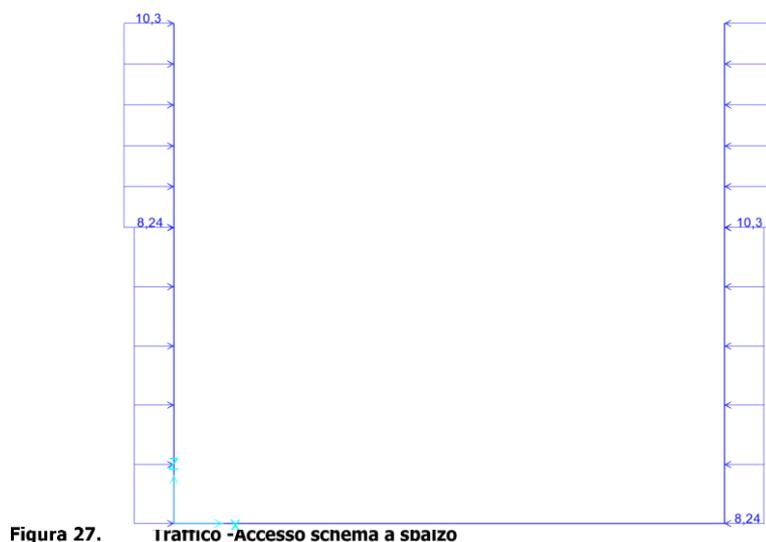


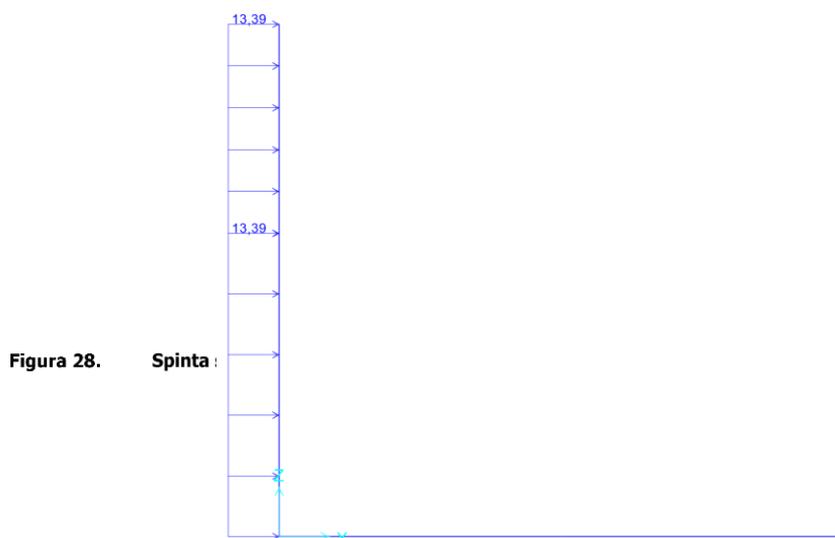
Figura 26. F

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Verona - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1

Traffico è stato preso in considerazione il traffico direttamente sopra la stazione e nelle vicinanze, quest'ultimo è stato quindi riportato come carico orizzontale uniformemente distribuito sulle pareti utilizzando la formula $k_0 \cdot 20kN$ con k_0 variabile seguendo le indicazioni riportate nella condizione di carico di spinta del terreno.



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



 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Verona - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1

6.2.1.2 Risultati dell'analisi e verifiche strutturali

I risultati dell'analisi e le successive verifiche strutturali hanno portato alla definizione della seguente armatura per gli elementi che compongono l'accesso a sbalzo. Inoltre, sono state individuate delle zone particolari che richiedono un maggior quantitativo di armatura, per cui il rinforzo è stato disposto seguendo gli schemi riportati sotto:

Armatura Principale

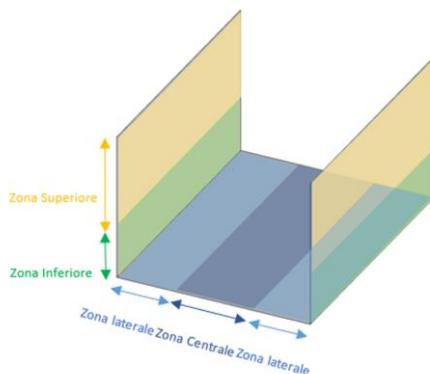


Figura 29. Schema di distribuzione

Armatura a Taglio

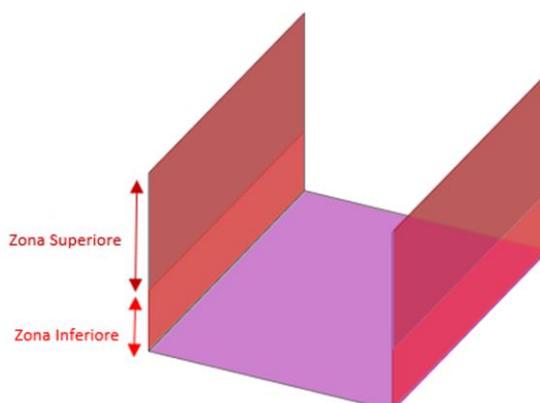


Figura 30. Schema di distribi

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Verona - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1

Tabella 13 Armatura Muri – Accesso schema a sbalzo

	Posizione	Armatura			
		Principale			Staffe
Muri	Zona Superiore	Trasversale	Esterno	Ø24/200	Ø10/200/200
			Interno	Ø24/200	
		Longitudinale	Esterno	Ø20/200	
			Interno	Ø20/200	
Zona Inferiore	Zona Inferiore	Trasversale	Esterno	Ø24/100	Ø10/200/200
			Interno	Ø24/200	
		Longitudinale	Esterno	Ø20/200	
			Interno	Ø20/200	

Tabella 14 Armatura Soletta di fondo – Accesso schema a sbalzo

	Posizione	Armatura			
		Armatura principale			Staffe
Soletta di fondo	Zona Laterale	Trasversale	Superiore	Ø24/200	Ø10/200/200
			Inferiore	Ø24/00	
		Longitudinale	Superiore	Ø20/200	
			Inferiore	Ø20/200	
	Zona Centrale	Trasversale	Superiore	Ø24/200	
			Inferiore	Ø24/200	
Longitudinale		Superiore	Ø20/200		
		Inferiore	Ø20/200		

6.2.2 Accesso Chiuso

Le strutture interne dell'accesso nella parte più profonda sono costituite dalle pareti, la soletta di fondo e la soletta di copertura. Tutti gli elementi hanno uno spessore di 60cm.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Verona - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1

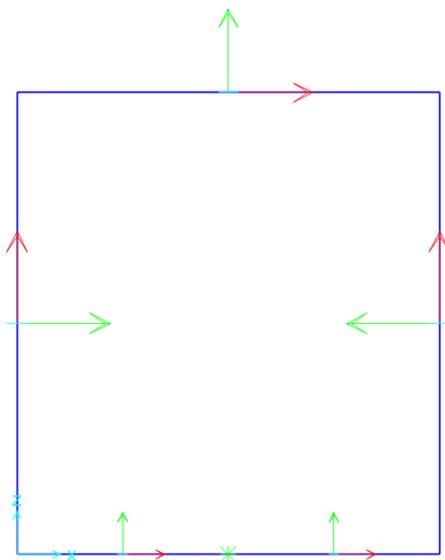


Figura 31. Modello numerico – Accesso schema chiuso

6.2.2.1 Carichi

Carichi permanenti strutturali

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

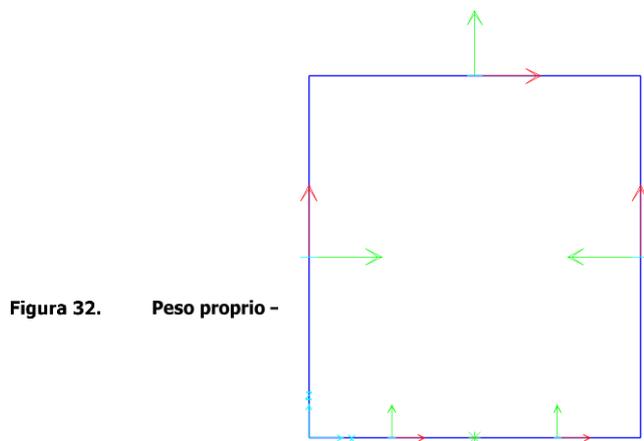


Figura 32. Peso proprio -

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Verona - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1

Carichi permanenti non strutturali

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

- per le verifiche strutturali e stato utilizzato:

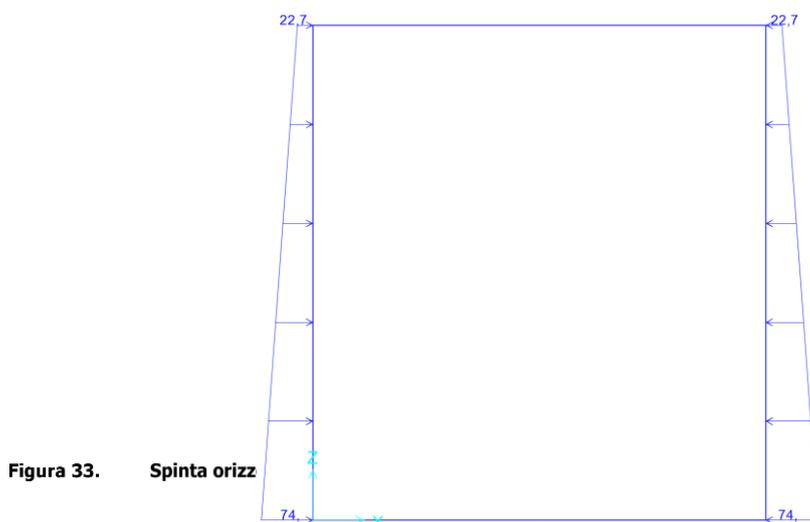
$$k_0 = 1 - \sin 29^\circ \quad 0-5.5\text{m}$$

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

- per le verifiche geotecniche e stato utilizzato

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

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



Spinta idraulica considerata come carico distribuito triangolare pari a $k_0 \cdot \gamma_w \cdot h_w$:

Con h_w **-2m** da piano campagna cautelativamente per la stazione in esame.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Verona - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1

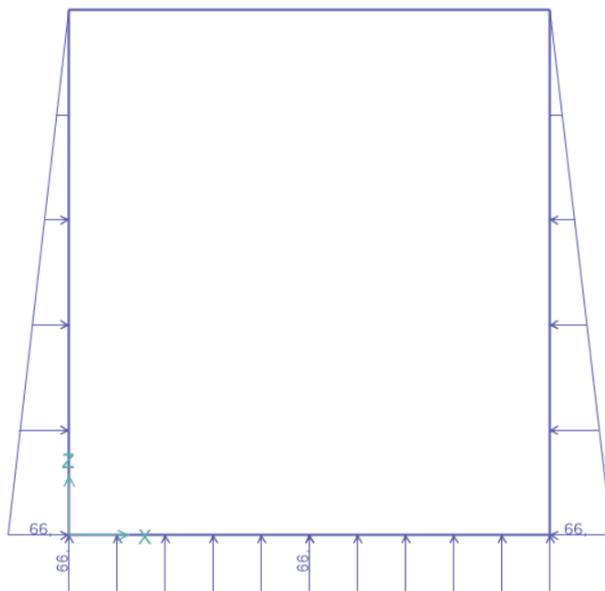


Figura 34. Spinta idrostatica – Accesso schema chiuso

Ritombamento è stato considerato del materiale di riporto da ricoprire l'accesso fino ad arrivare a quota piano campagna, per cui è stato applicato un carico finale $H \cdot \gamma$ con $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$.

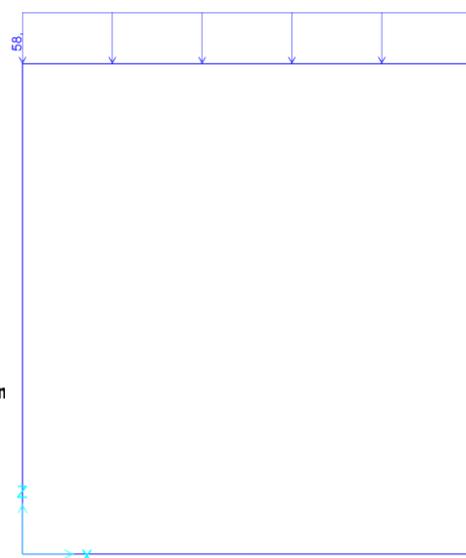


Figura 35. Ritomban

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

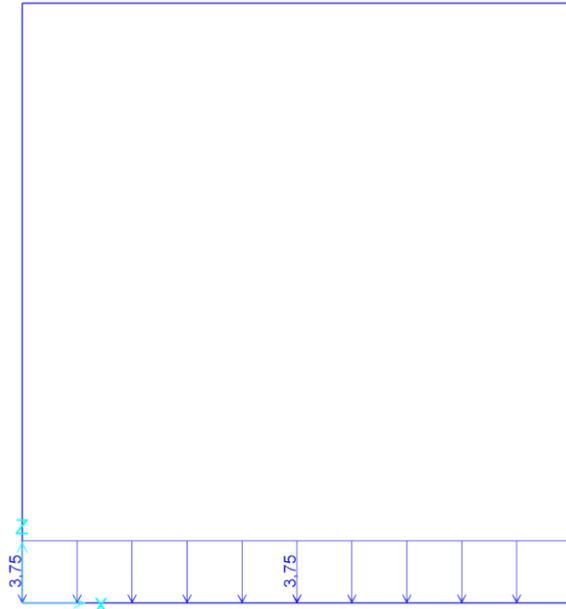


Figura 36. Pavimentazione – Accesso schema chiuso

Carichi variabili

Risultano applicati i seguenti carichi:

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

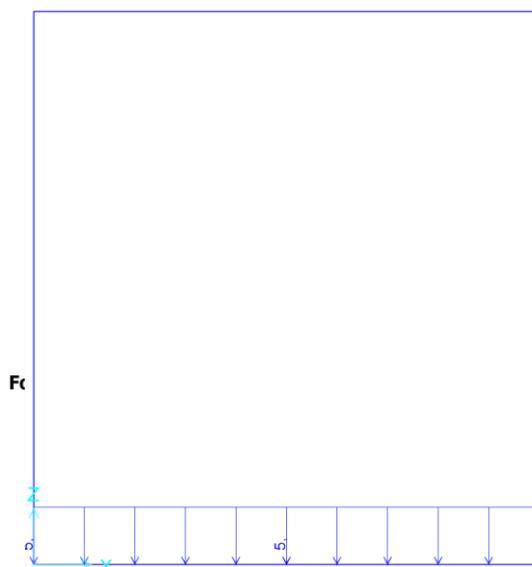
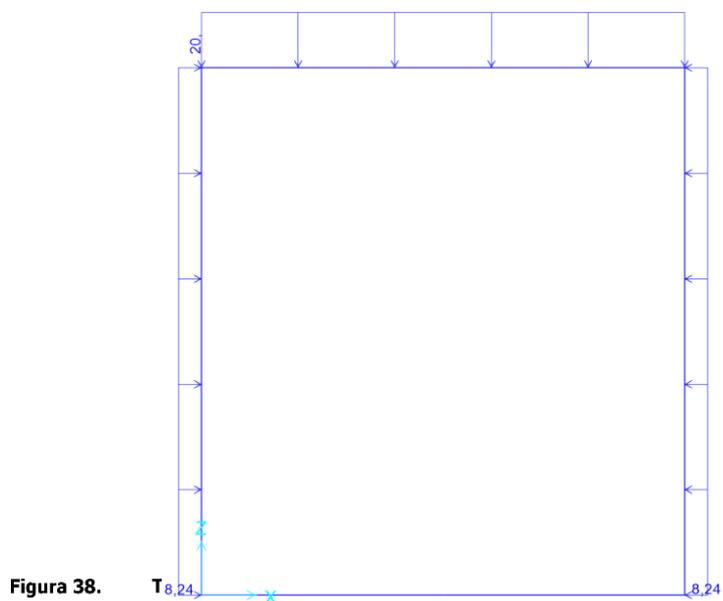


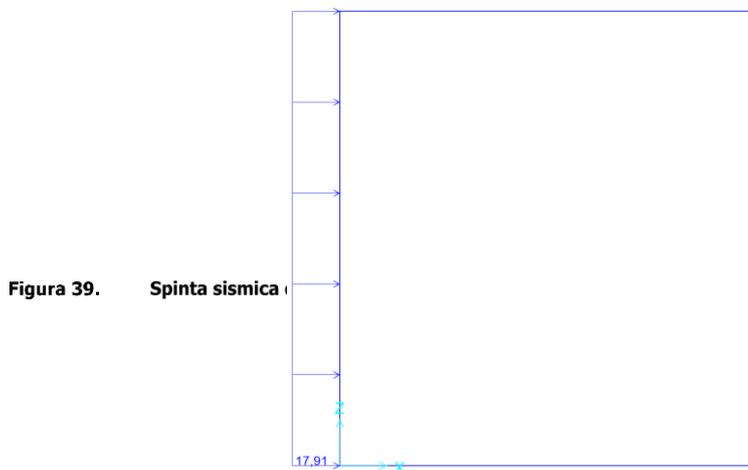
Figura 37. Fc

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Verona - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1

Traffico è stato preso in considerazione il traffico direttamente sopra la stazione e nelle vicinanze, quest'ultimo è stato quindi riportato come carico orizzontale uniformemente distribuito sulle pareti utilizzando la formula $k_0 \cdot 20kN$ con k_0 variabile seguendo le indicazioni riportate nella condizione di carico di spinta del terreno.



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



 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Verona - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1

6.2.2.2 Risultati dell'analisi e verifiche strutturali

I risultati dell'analisi e le successive verifiche strutturali hanno portato alla definizione della seguente armatura per gli elementi che compongono l'accesso chiuso, inoltre sono state individuate delle zone particolari che richiedono un maggior quantitativo di armatura, per cui il rinforzo è stato disposto seguendo gli schemi riportati sotto:

Armatura Principale

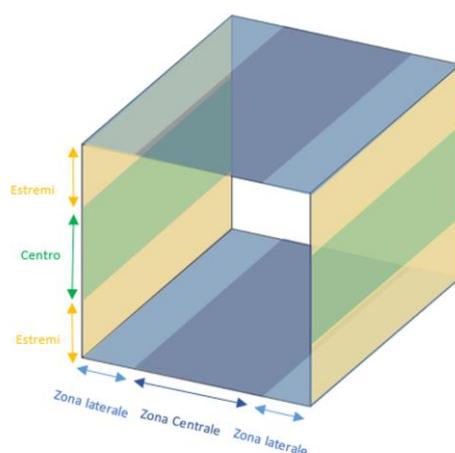


Figura 40. Schema di distribuzione c

Armatura a Taglio

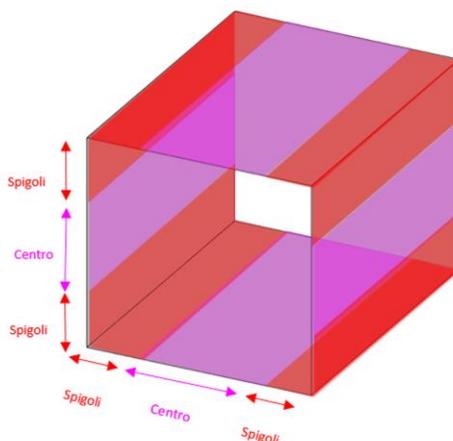


Figura 41. Schema di distribuzio

Tabella 15 Armatura principale Soletta di copertura – Accesso schema chiuso

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Verona - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1

Tabella 16 Armatura principale Soletta di copertura – Accesso schema chiuso

	Posizione	Armatura		
		Soletta di copertura	Zona Laterale	Trasversale
Inferiore	Ø24/200			
Longitudinale	Superiore		Ø18/200	
	Inferiore		Ø18/200	
Zona Centrale	Trasversale	Superiore	Ø24/200	
		Inferiore	Ø24/200	
	Longitudinale	Superiore	Ø18/200	
		Inferiore	Ø18/200	

Tabella 17 Armatura principale Muri – Accesso schema chiuso

	Posizione	Armatura			
		Principale			Staffe
Muri	Zona Superiore	Trasversale	Esterno	Ø24/200	Ø10/200/200
			Interno	Ø24/200	
		Longitudinale	Esterno	Ø20/200	
			Interno	Ø20/200	
	Zona Inferiore	Trasversale	Esterno	Ø24/100	Ø10/200/200
			Interno	Ø24/200	
		Longitudinale	Esterno	Ø20/200	
			Interno	Ø20/200	

Tabella 18 Armatura principale Soletta di fondo – Accesso schema chiuso

	Posizione	Armatura		
		Soletta di fondo	Zona Laterale	Trasversale
Inferiore	Ø24/200			
Longitudinale	Superiore		Ø18/200	
	Inferiore		Ø18/200	
Zona Centrale	Trasversale	Superiore	Ø24/200	
		Inferiore	Ø24/200	
	Longitudinale	Superiore	Ø18/200	
		Inferiore	Ø18/200	

Tabella 19 Armatura a taglio – Accesso schema chiuso

Posizione	Staffe
Spigoli	Ø10/200/200
Centro	Ø10/200/200

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Verona - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1

6.2.3 Vasca di accumulo

Le strutture interne della vasca d'accumulo antincendio sono costituite dalle pareti, la soletta di fondo e la soletta di copertura. Tutti gli elementi hanno uno spessore di 60cm.

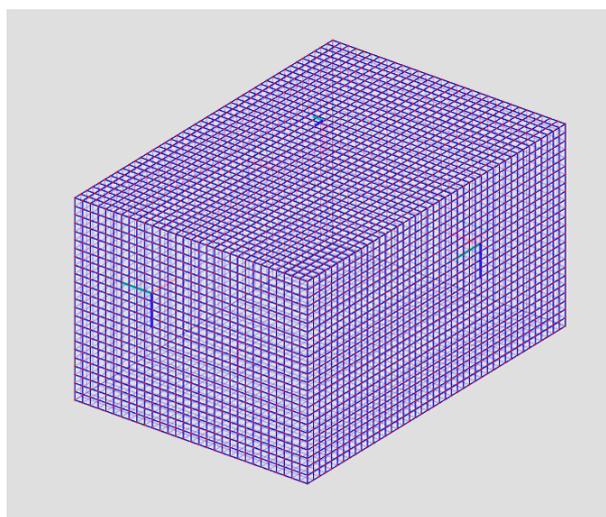


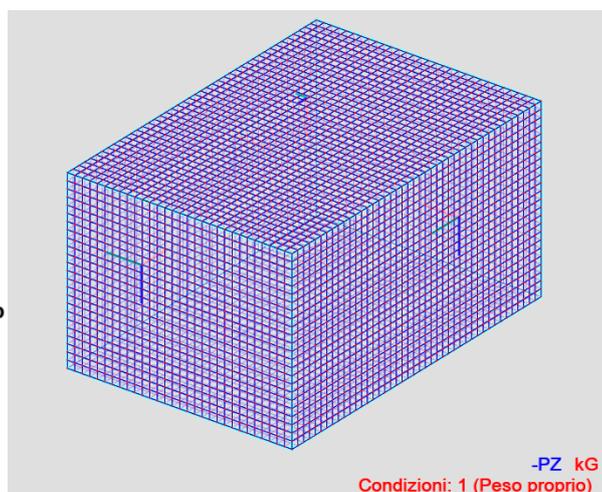
Figura 42. Modello numerico – Vasca di accumulo antincendio

6.2.3.1 Carichi

Carichi permanenti strutturali

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

Figura 43. Peso



 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Verona - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1

Carichi permanenti non strutturali

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

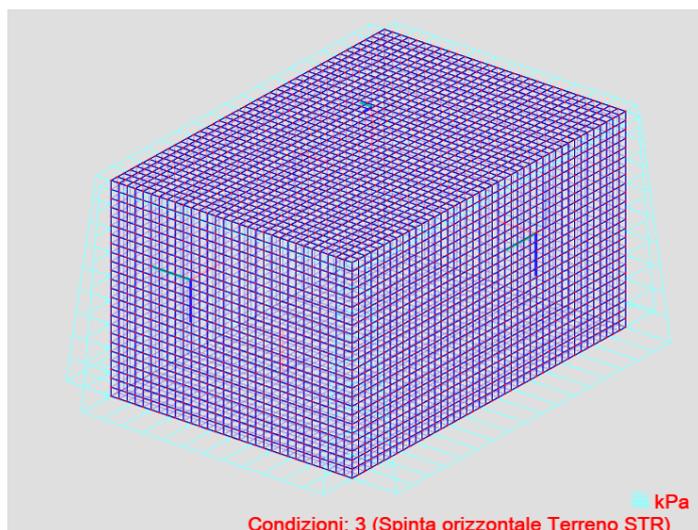


Figura 44. Spinta orizzontale del terreno – Vasca di accumulo antincendio

Spinta idraulica considerata come carico distribuito triangolare pari a $k_0 \cdot \gamma_w \cdot h_w$:

Con h_w **-2m** da piano campagna cautelativamente per la stazione in esame.

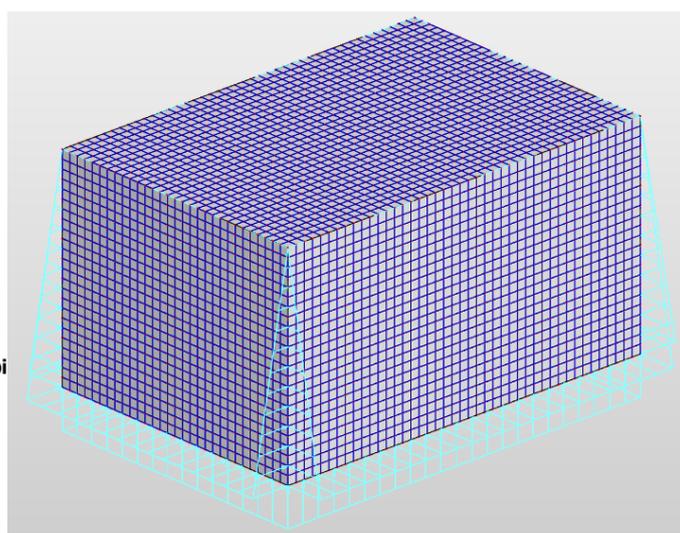


Figura 45. Spi

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Verona - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1

Ritombamento è stato considerato del materiale di riporto da ricoprire l'accesso fino ad arrivare a quota piano campagna, per cui è stato applicato un carico finale $H \cdot \gamma$ con $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$.

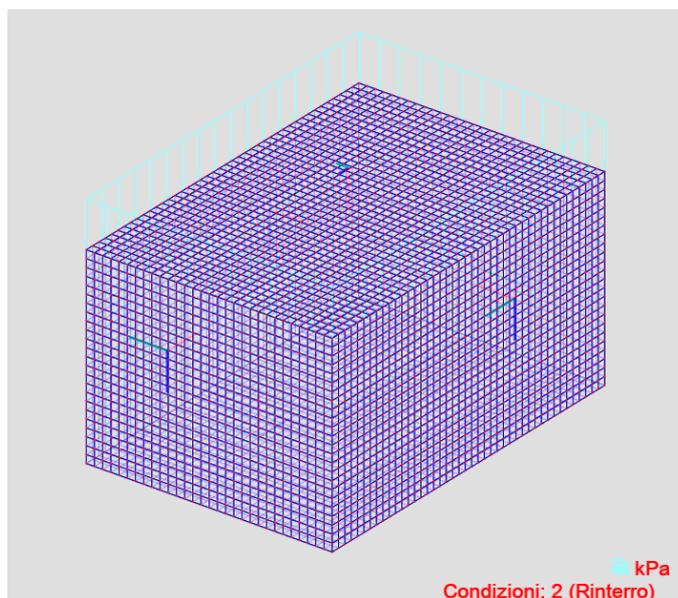


Figura 46. Ritombamento – Vasca di accumulo antincendio

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

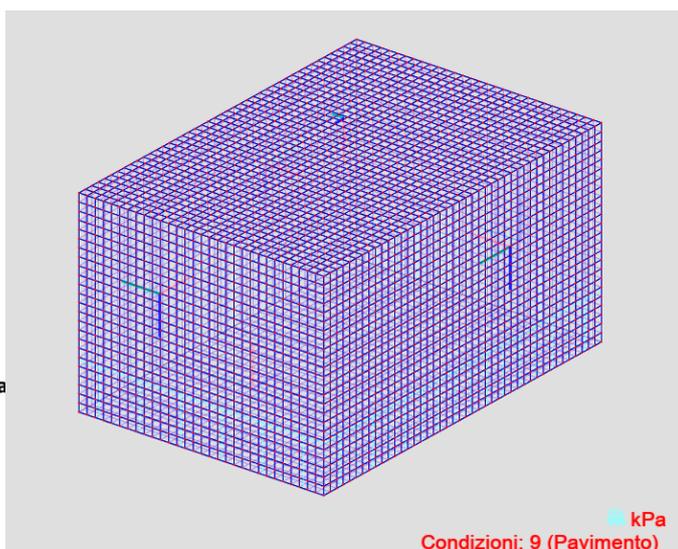


Figura 47. Pa

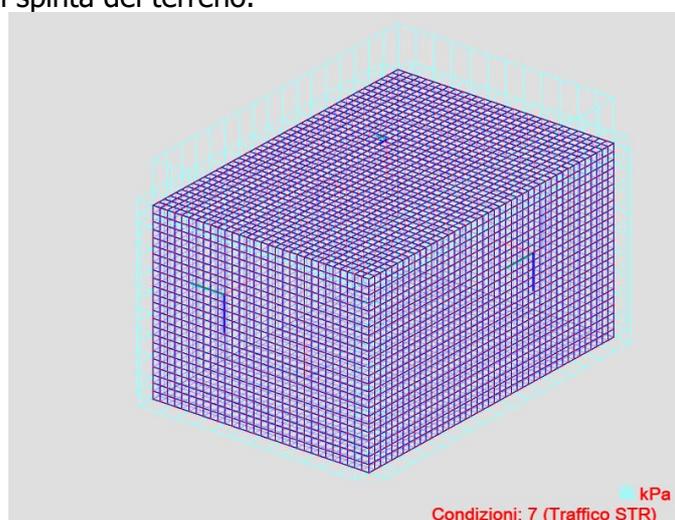
 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Verona - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1

Carichi variabili

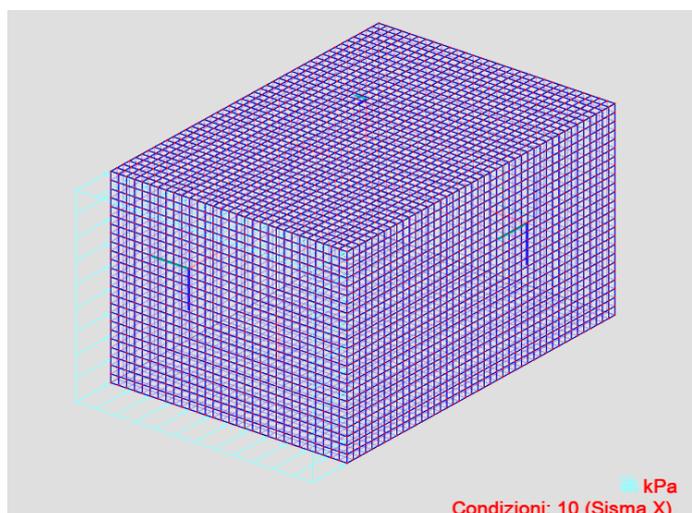
Risultano applicati i seguenti carichi:

Traffico: è stato preso in considerazione il traffico direttamente sopra la stazione e nelle vicinanze, quest'ultimo è stato riportato come carico orizzontale uniformemente distribuito sulle pareti utilizzando la formula $k_0 \cdot 20kN$ con k_0 variabile seguendo le indicazioni riportate nella condizione di carico di spinta del terreno.

Figura 48.



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





CITTA' DI TORINO

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

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

MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1

Figura 49. Spinta

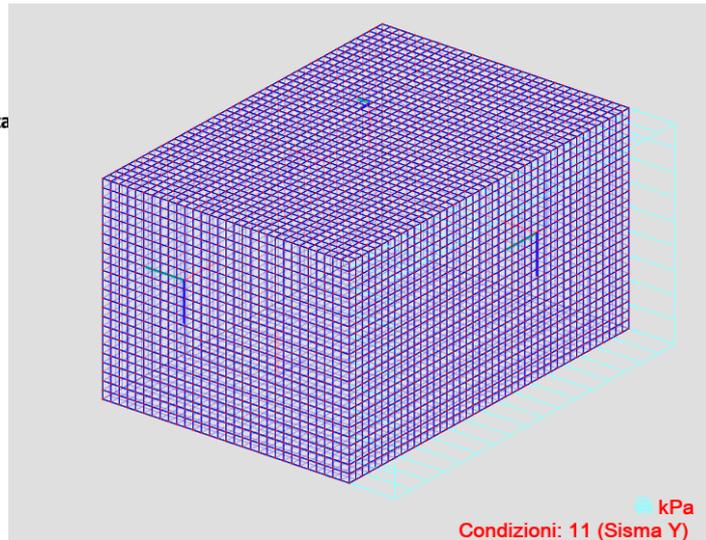


Figura 50. Spinta sismica direzione Y – Vasca di accumulo antincendio



6.2.3.2 Risultati dell'analisi e verifiche strutturali

I risultati dell'analisi e le successive verifiche strutturali hanno portato alla definizione della seguente armatura per gli elementi che compongono l'accesso chiuso, inoltre sono state individuate delle zone particolari che richiedono un maggior quantitativo di armatura, per cui il rinforzo è stato disposto seguendo gli schemi riportati sotto:

Armatura Principale

Solette

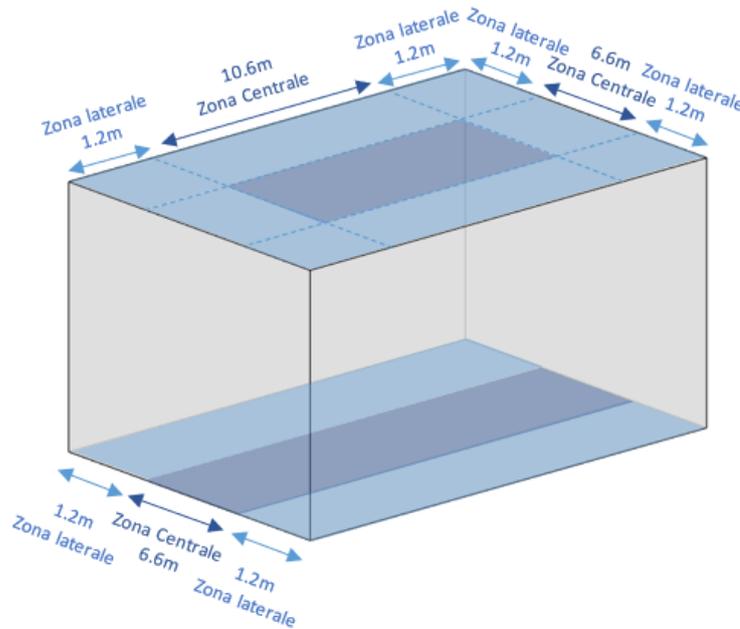


Figura 51. Schema

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Verona - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1

Muri

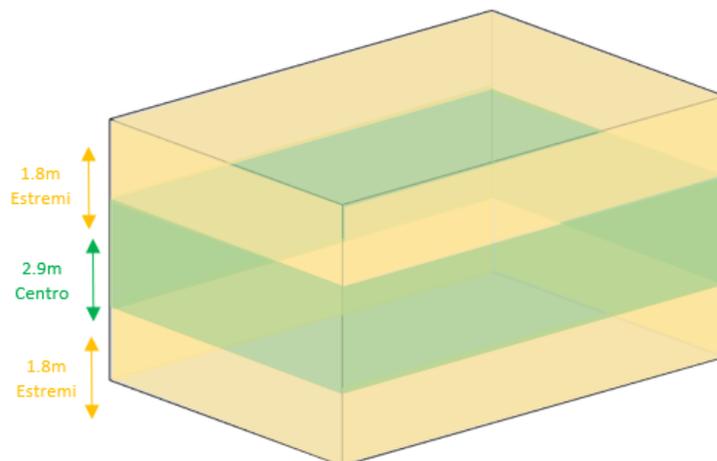


Figura 52. Schema di distribuzione dell'armatura principale muri – Vasca di accumulo antincendio

Armatura a taglio

Solette

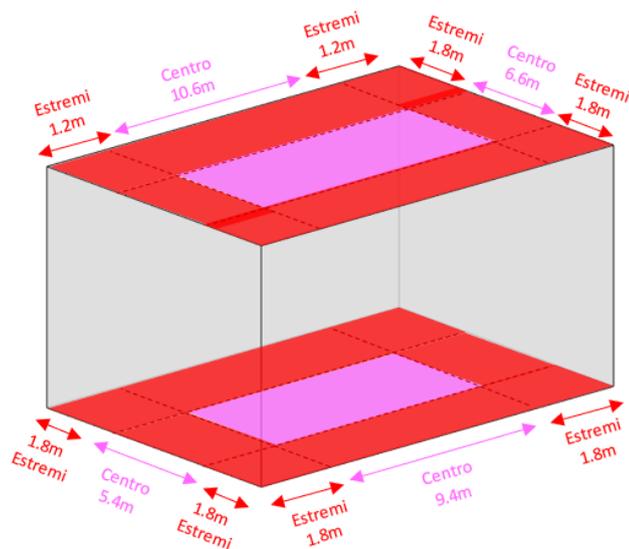


Figura 53. Schema di distribu:

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Verona - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1

Muri

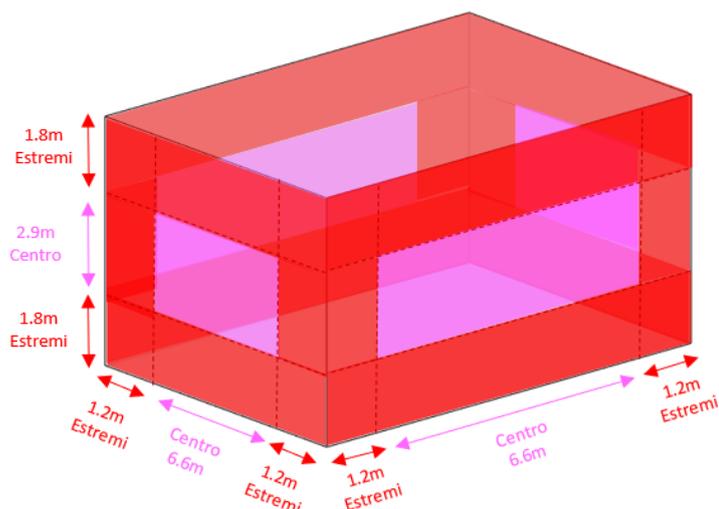


Figura 54. Schema di distribuzione dell'armatura a taglio muri – Vasca di accumulo antincendio

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

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

Tabella 21 Armatura a taglio Soletta di copertura – Vasca di accumulo antincendio

Soletta di copertura Vasca	Posizione	Staffe
	Estremi	Ø10/150/150
	Centro	Ø10/150/300

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Verona - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1

Tabella 22 Armatura principale Muri – Vasca di accumulo antincendio

Muri	Posizione	Armatura		
		Estremi	Trasversale	Esterno
Interno	Ø20/150			
Longitudinale	Esterno		Ø20/150	
	Interno		Ø20/150	
Centro	Trasversale	Esterno	Ø20/150	
		Interno	Ø20/150	
	Longitudinale	Esterno	Ø18/150	
		Interno	Ø18/150	

Tabella 23 Armatura a taglio Muri – Vasca di accumulo antincendio

Muri Vasca	Posizione	Staffe
	Estremi	Ø8/150/150
	Centro	Ø8/150/300

Tabella 24 Armatura principale Soletta di fondo – Vasca di accumulo antincendio

Soletta di fondo	Direzione	Armatura		
		Zona Laterale	Trasversale	Superiore
Inferiore	Ø20/150			
Longitudinale	Superiore		Ø26/150	
	Inferiore		Ø20/150	
Zona Centrale	Trasversale	Superiore	Ø20/150	
		Inferiore	Ø20/150	
	Longitudinale	Superiore	Ø20/150	
		Inferiore	Ø20/150	

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Verona - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1

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

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

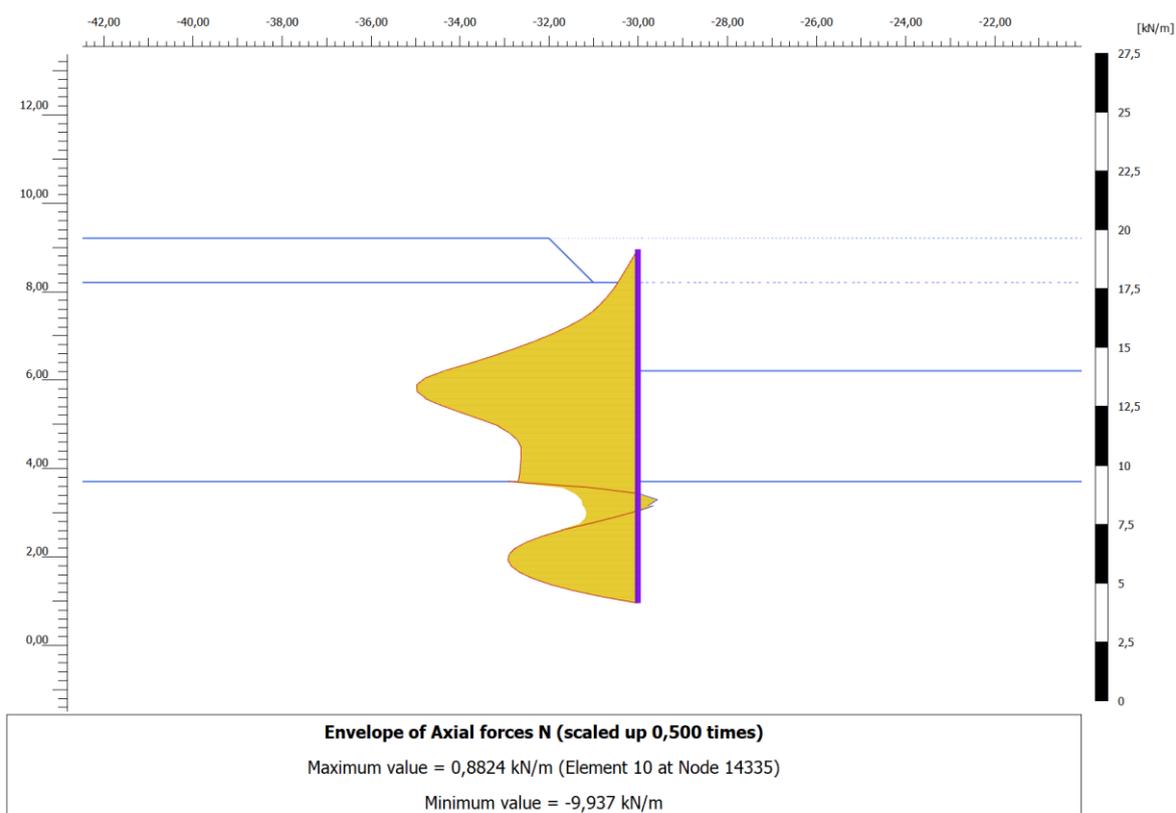
 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Verona - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1

APPENDICE A

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Verona - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1

Di seguito sono riportati i risultati ottenuti dalle analisi numeriche per i diversi schemi di opere di supporto degli accessi della linea 2 Metro Torino in termini di involuipi di sforzo assiale, taglio e momento flettente sulla parete.

- **Schema A**



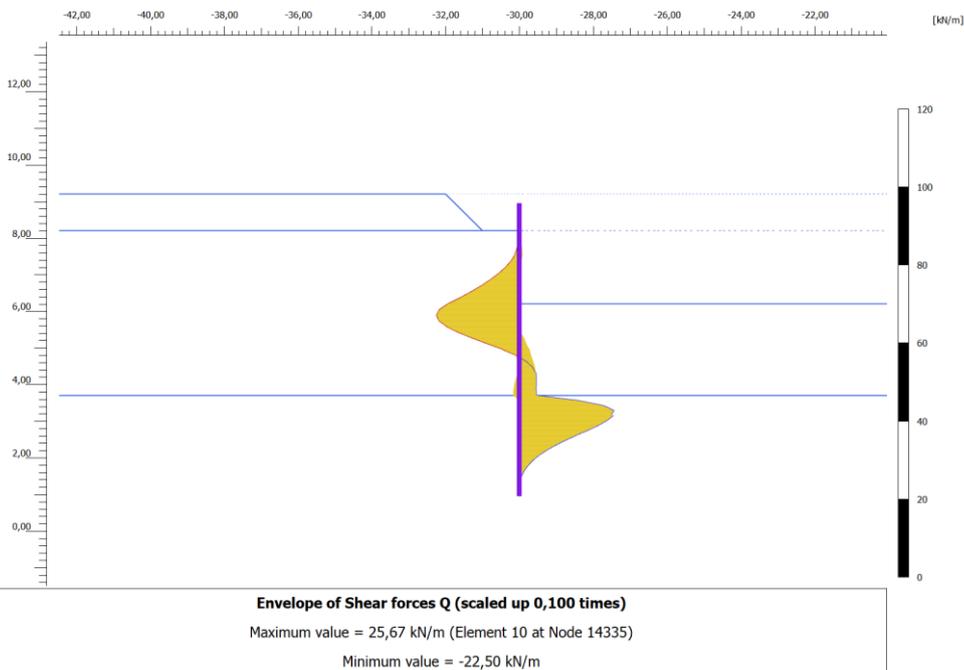
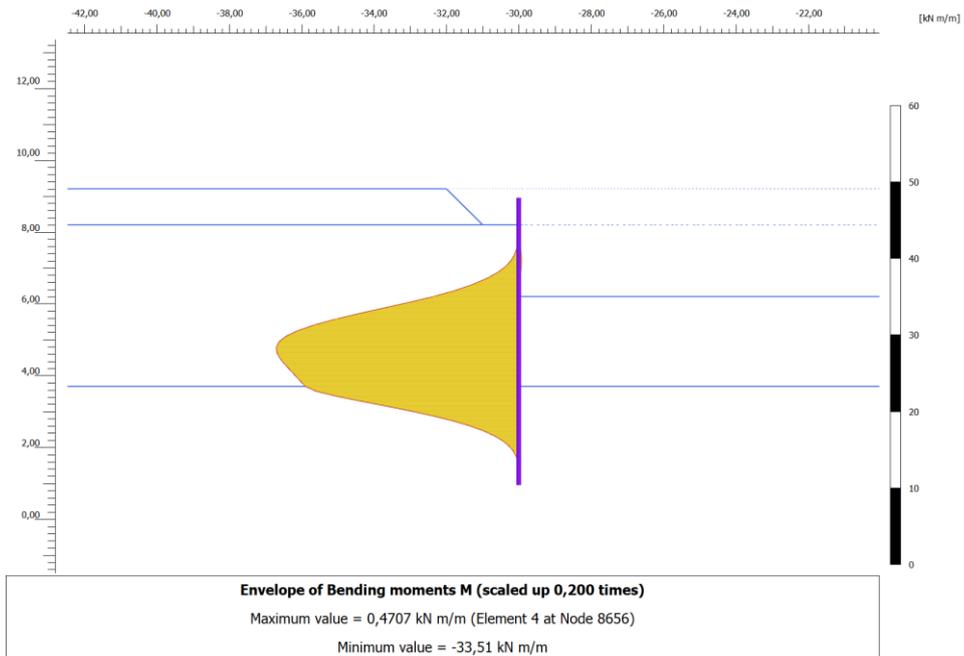
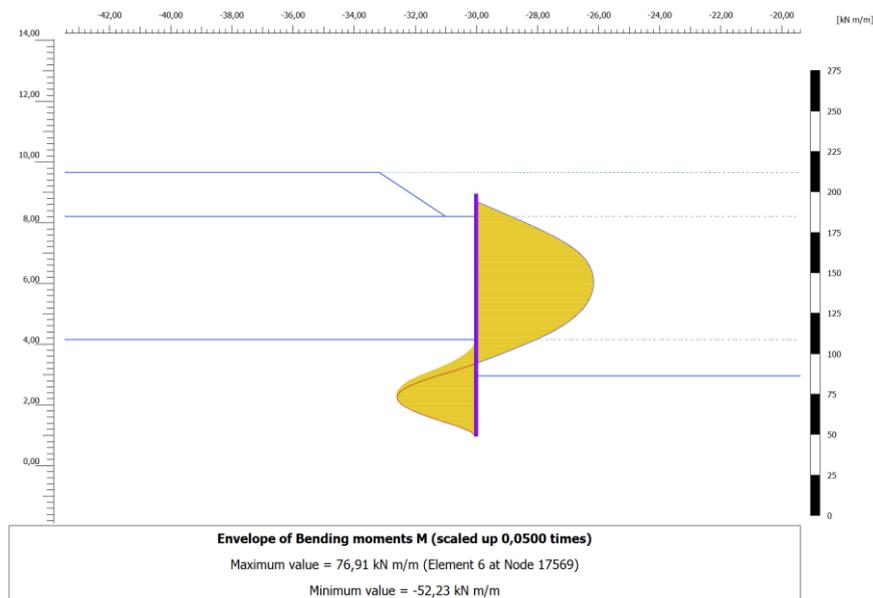
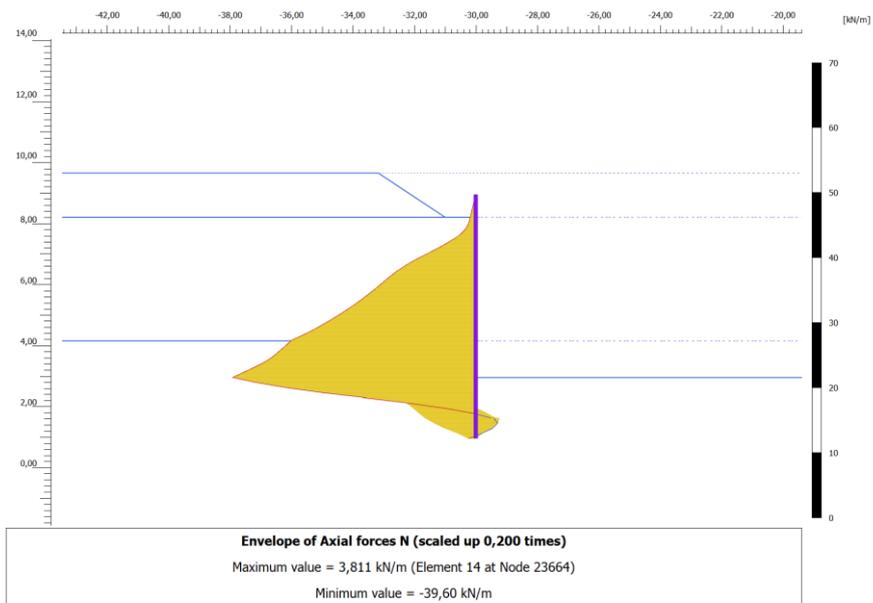


Figura 55.



• **Schema B**



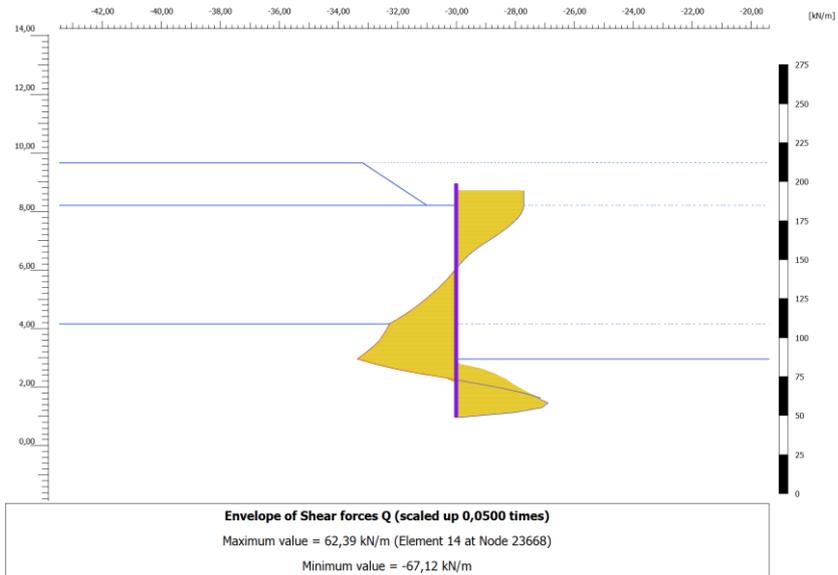
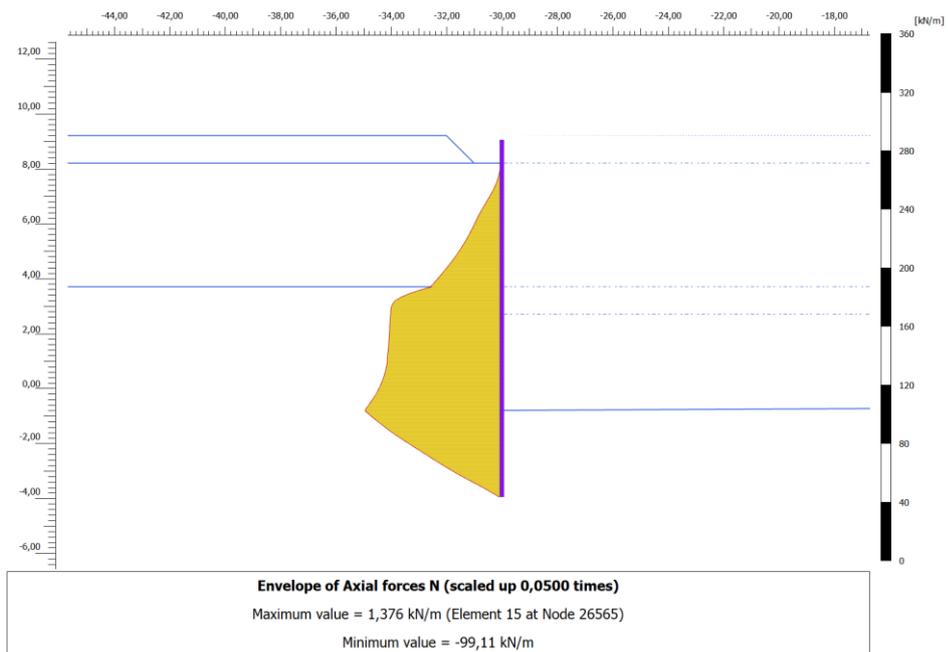


Figura 56. Output PLAXIS: Involuppo dello sforzo assiale, del taglio e del momento flettente – Schema B

• Schema C



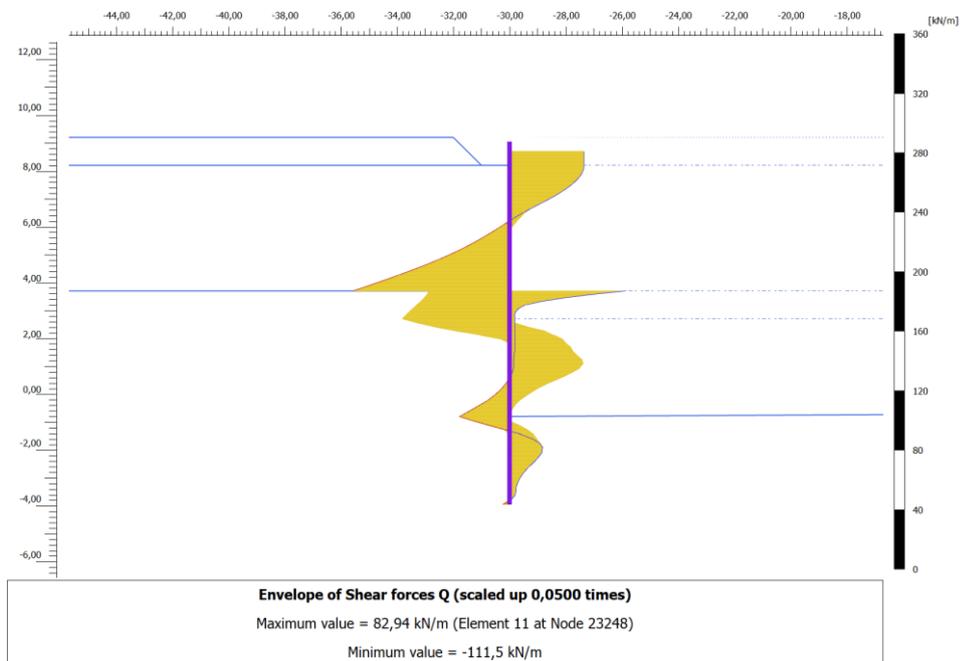
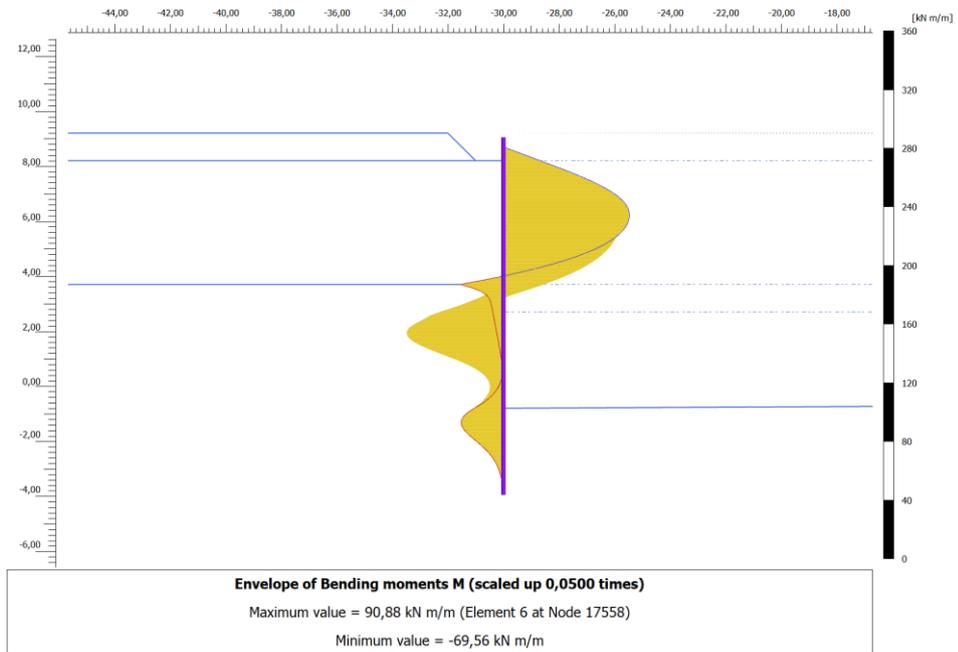
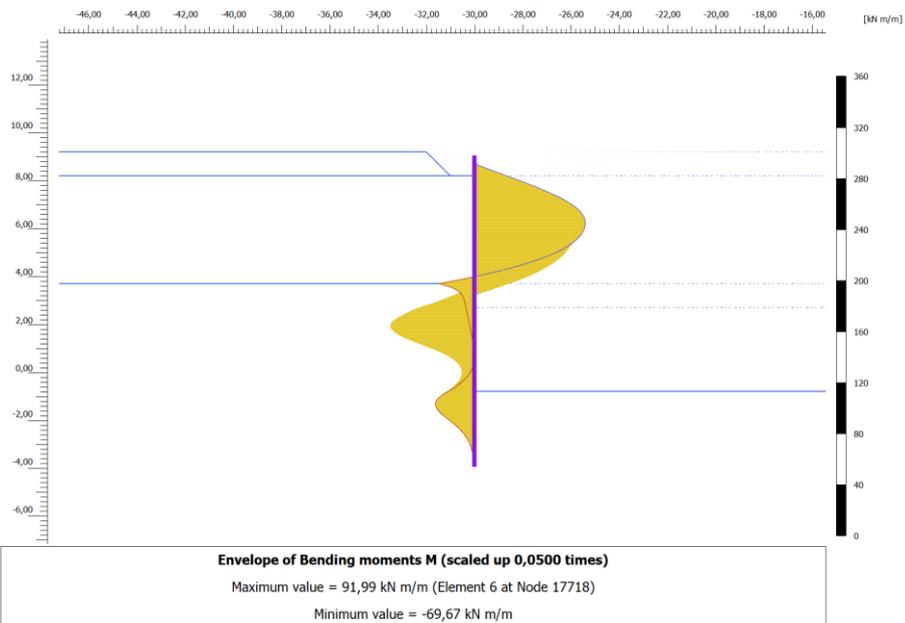
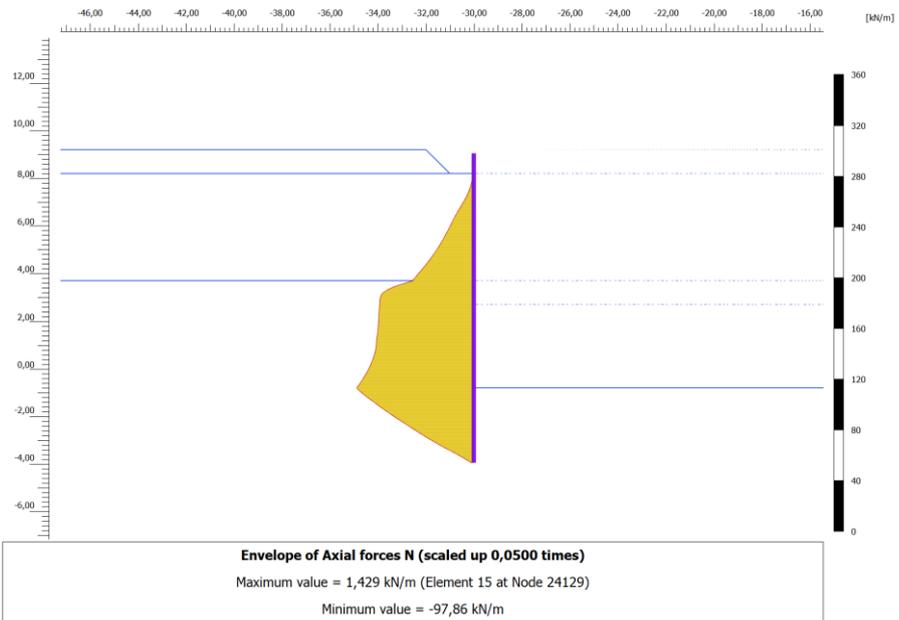
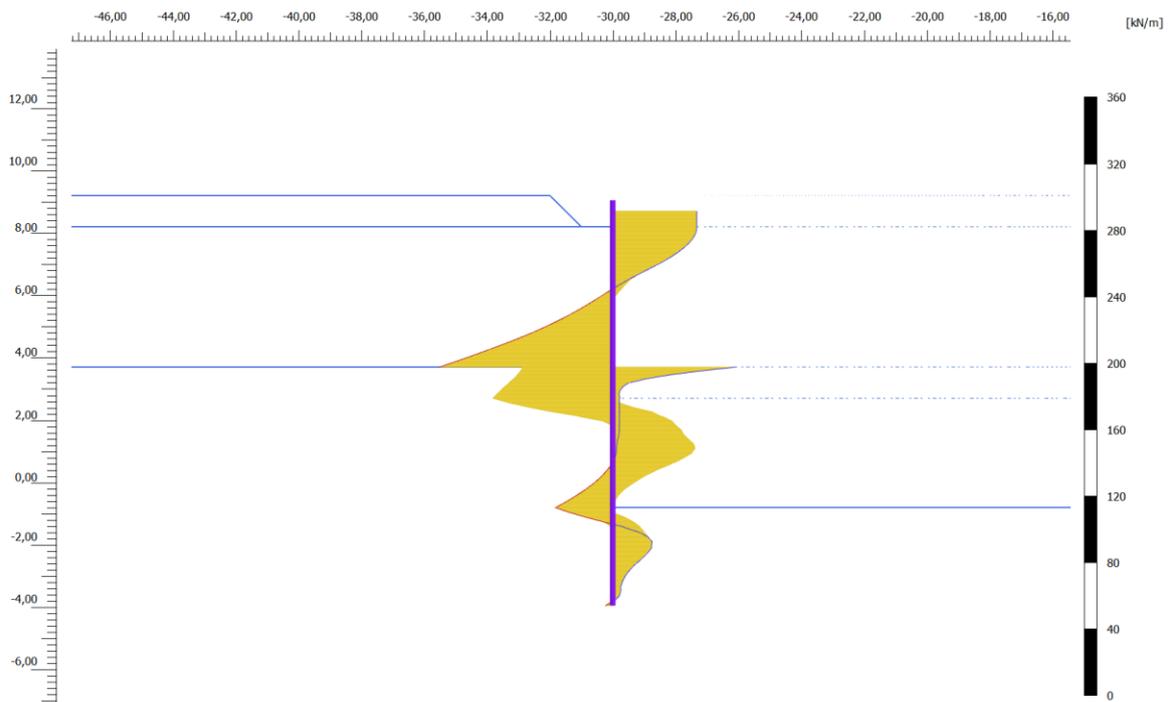


Figura 57. Output



• Schema D





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

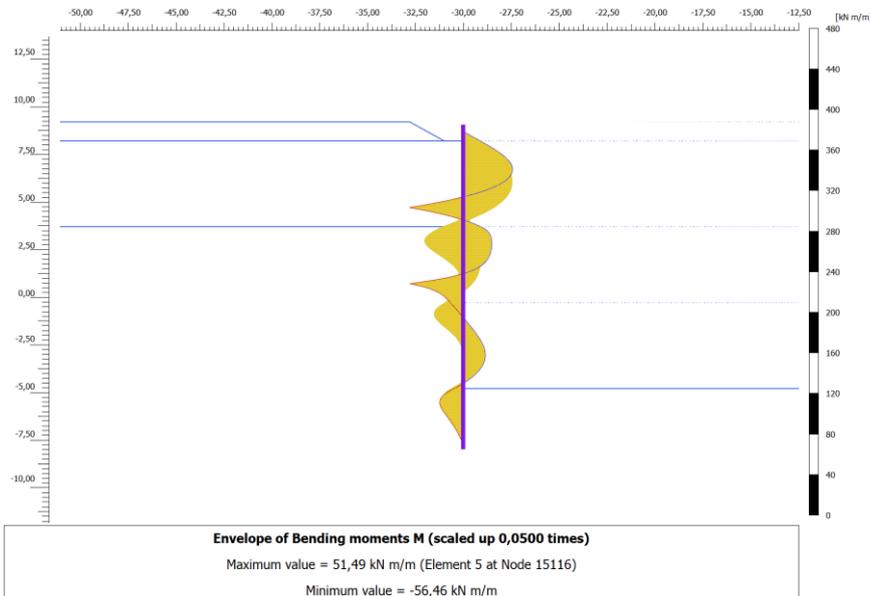
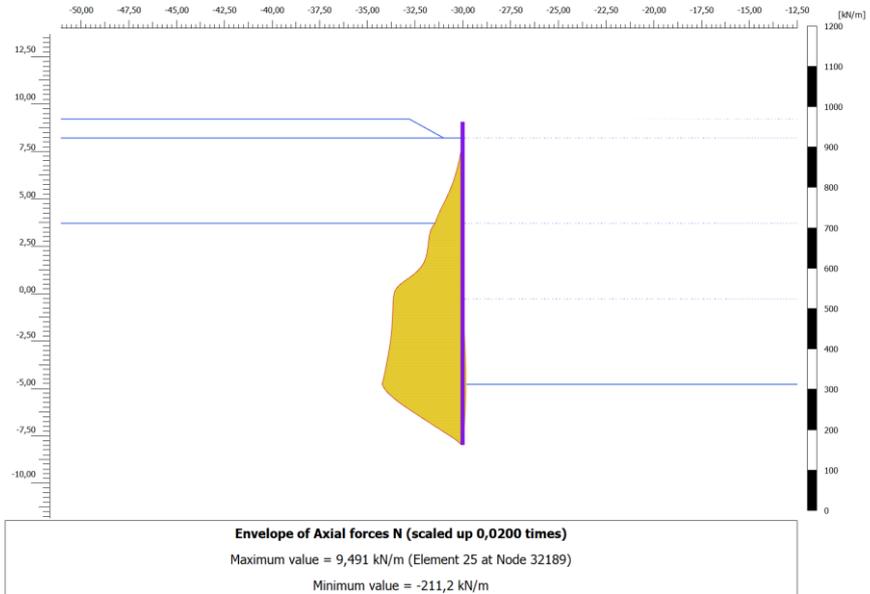
Maximum value = 79,09 kN/m (Element 11 at Node 21396)

Minimum value = -110,4 kN/m

Fig



• Schema E



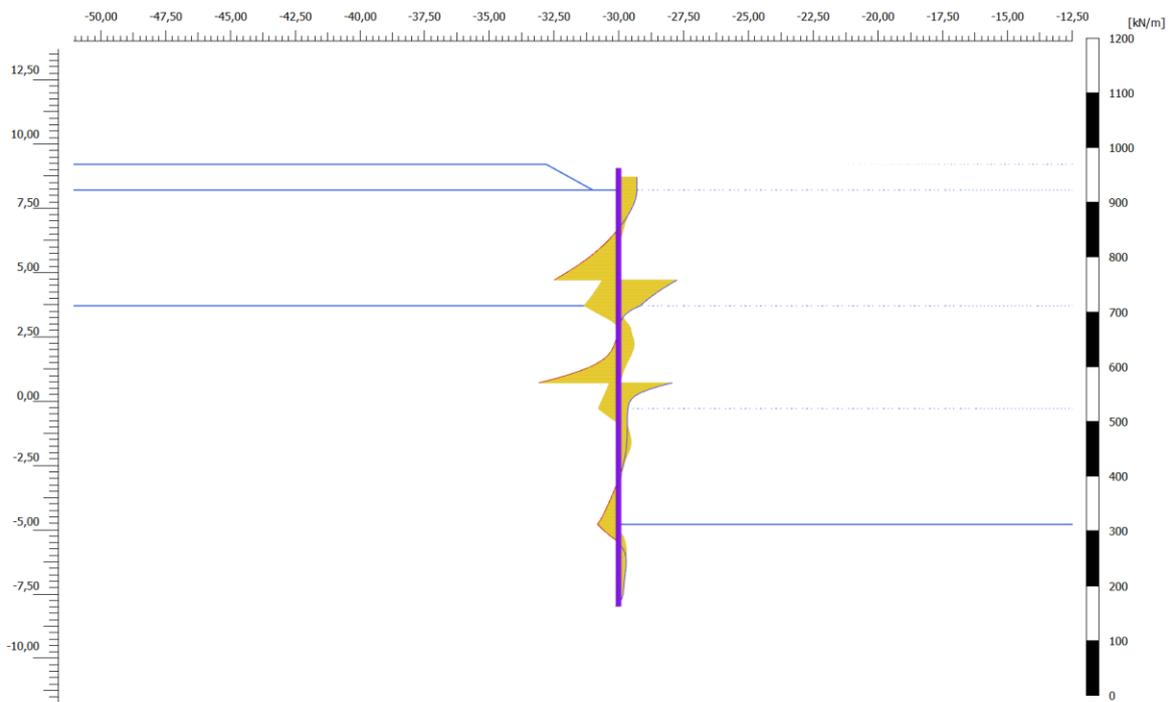


CITTA' DI TORINO

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

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

MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1



Envelope of Shear forces Q (scaled up 0,0200 times)

Maximum value = 112,9 kN/m (Element 9 at Node 21372)

Minimum value = -154,1 kN/m

Fig

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Verona - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1

APPENDICE B

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Verona - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1

Di seguito sono riportati i risultati ottenuti dalle analisi numeriche per i diversi schemi di opere di supporto degli accessi della linea 2 Metro Torino in termini di spostamenti orizzontali della parete.

- **Schema A**

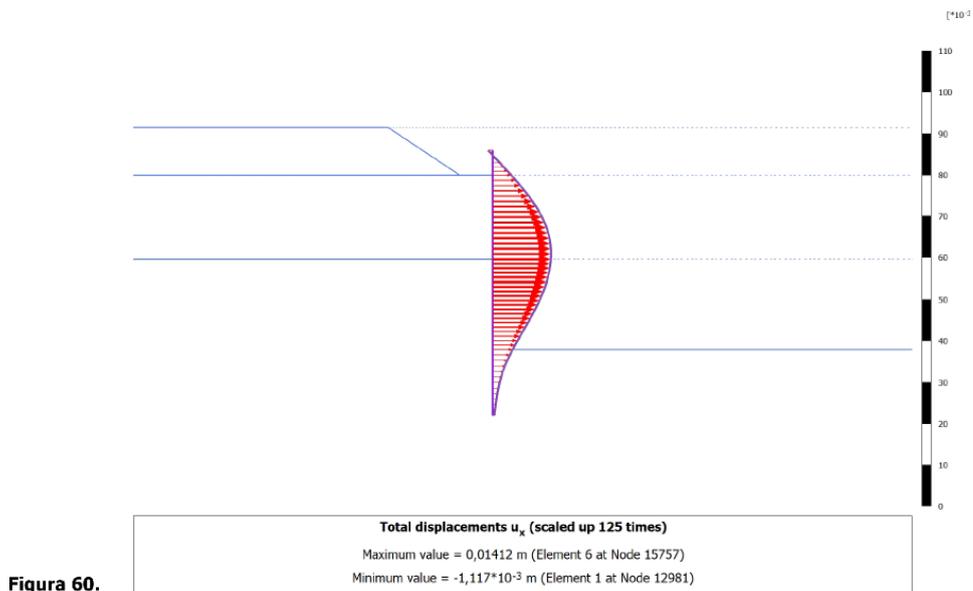


Figura 60.

- **Schema B**

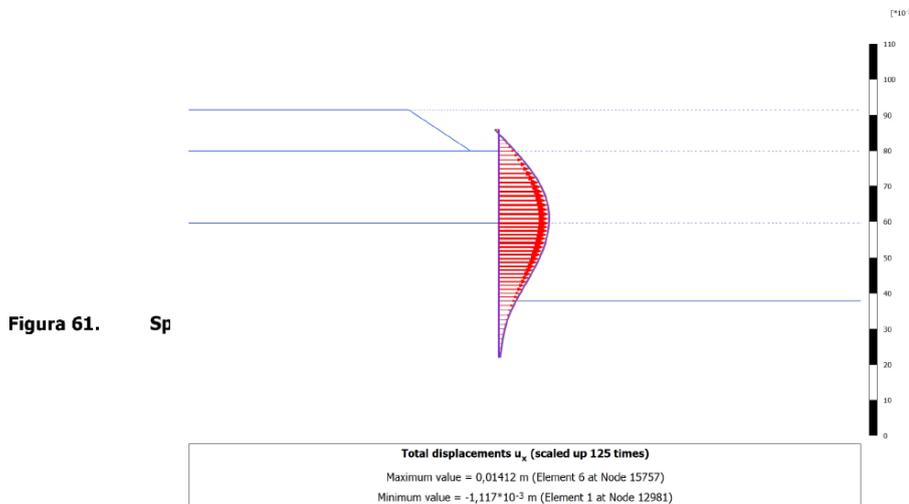


Figura 61. Sp



• Schema C

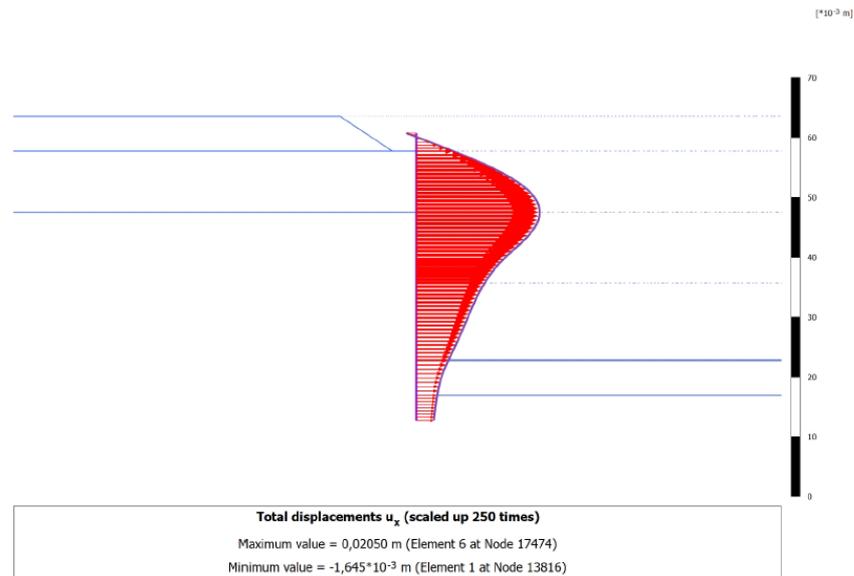


Figura 62. Spostamenti orizzontali parete di micropali – Schema C

• Schema D

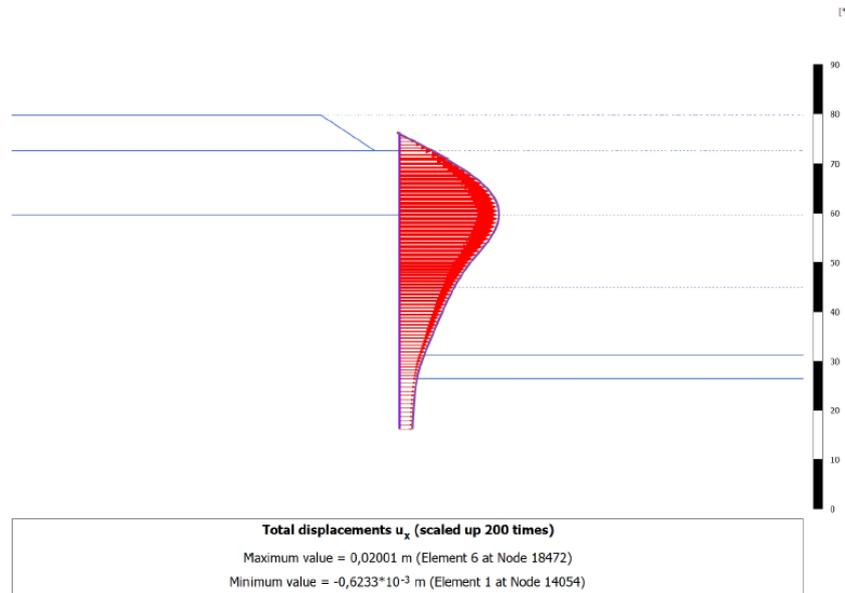


Figura 63.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Verona - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1

- **Schema E**

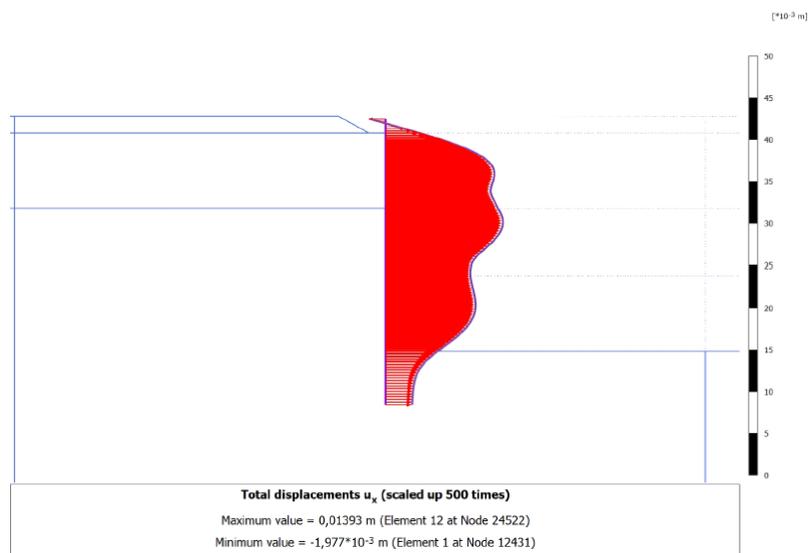


Figura 64. Spostamenti orizzontali parete di micropali – Schema E

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Verona - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1

APPENDICE C

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Verona - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1

Di seguito sono riportati i risultati ottenuti dalle analisi numeriche per i diversi schemi di opere di supporto degli accessi della linea 2 Metro Torino in termini di sforzo assiale agente sui puntone per le sezioni di calcolo in cui essi sono presenti.

- **Schema B**

Structural element ▲	Node ▲	Local number ▲	X ▲ [m]	Y ▲ [m]	N ▲ [kN]	N _{min} ▲ [kN]	N _{max} ▲ [kN]	Φ _z ▲ [°]	Length ▲ [m]
FixedEndAnchor_1_1	14099	1	-30,000	8,700	-137,622	-137,622	0,000	0,000	1,000

- **Schema C**

Tabella 27 Output Plaxis: Sforzo assiale sui puntone – Schema C
Primo puntone

Structural element ▲	Node ▲	Local number ▲	X ▲ [m]	Y ▲ [m]	N ▲ [kN]	N _{min} ▲ [kN]	N _{max} ▲ [kN]	Φ _z ▲ [°]	Length ▲ [m]
FixedEndAnchor_1_1	12778	1	-30,000	8,700	-159,032	-159,032	0,000	0,000	1,000

Secondo puntone

Structural element ▲	Node ▲	Local number ▲	X ▲ [m]	Y ▲ [m]	N ▲ [kN]	N _{min} ▲ [kN]	N _{max} ▲ [kN]	Φ _z ▲ [°]	Length ▲ [m]
FixedEndAnchor_2_1	23248	1	-30,000	3,700	-576,938	-576,938	0,000	0,000	1,000

- **Schema D**

Primo puntone

Structural element ▲	Node ▲	Local number ▲	X ▲ [m]	Y ▲ [m]	N ▲ [kN]	N _{min} ▲ [kN]	N _{max} ▲ [kN]	Φ _z ▲ [°]	Length ▲ [m]
FixedEndAnchor_1_1	13008	1	-30,000	8,700	-160,685	-160,685	0,000	0,000	1,000

Secondo puntone

Structural element ▲	Node ▲	Local number ▲	X ▲ [m]	Y ▲ [m]	N ▲ [kN]	N _{min} ▲ [kN]	N _{max} ▲ [kN]	Φ _z ▲ [°]	Length ▲ [m]
FixedEndAnchor_2_1	21396	1	-30,000	3,700	-562,326	-562,326	0,000	0,000	1,000



• **Schema E**

Primo puntone

Structural element ▲	Node ▲	Local number ▲	X ▲ [m]	Y ▲ [m]	N ▲ [kN]	N _{min} ▲ [kN]	N _{max} ▲ [kN]	Φ _z ▲ [°]	Length ▲ [m]
FixedEndAnchor_1_1	13375	1	-30,000	8,700	-106,565	-106,565	0,000	0,000	1,000

Secondo puntone

Structural element ▲	Node ▲	Local number ▲	X ▲ [m]	Y ▲ [m]	N ▲ [kN]	N _{min} ▲ [kN]	N _{max} ▲ [kN]	Φ _z ▲ [°]	Length ▲ [m]
FixedEndAnchor_2_1	21372	1	-30,000	4,700	-711,452	-711,452	0,000	0,000	1,000

Terzo puntone

Structural element ▲	Node ▲	Local number ▲	X ▲ [m]	Y ▲ [10 ⁻³ m]	N ▲ [kN]	N _{min} ▲ [kN]	N _{max} ▲ [kN]	Φ _z ▲ [°]	Length ▲ [m]
FixedEndAnchor_3_1	30316	1	-30,000	700,000	-771,114	-771,114	0,000	0,000	1,000

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Verona - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1

APPENDICE D



Di seguito sono riportate le verifiche SLU-STR della paratia di micropali per i diversi schemi di supporto analizzati per la Linea 2 di Metro Torino. È possibile osservare i diagrammi di sforzo assiale, taglio e momento oltre alle tensioni combinate confrontate con la tensione a snervamento di progetto, seguendo quanto descritto al Capitolo 5.2.2:

• **Schema A**

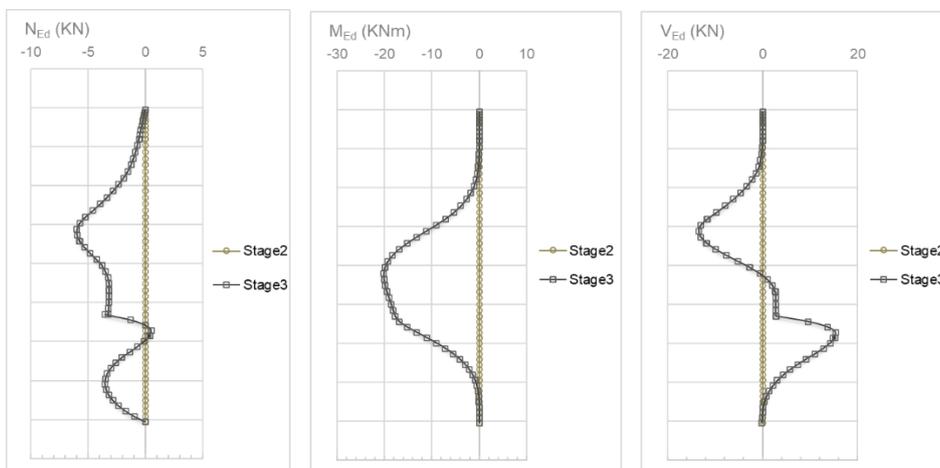


Figura 65. Sforzo assiale, taglio e momento di progetto per i diversi stage di calcolo – Schema A

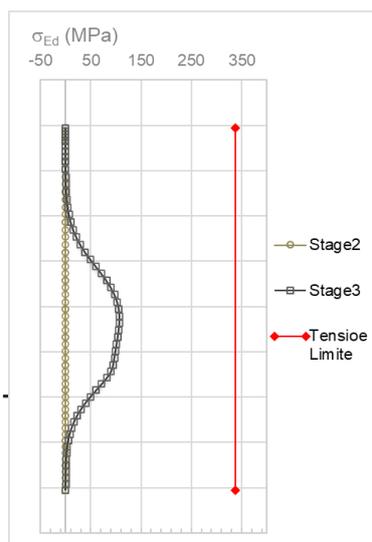


Figura 66. Tensione di verifica secondo NTC - Schema A

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



• Schema B

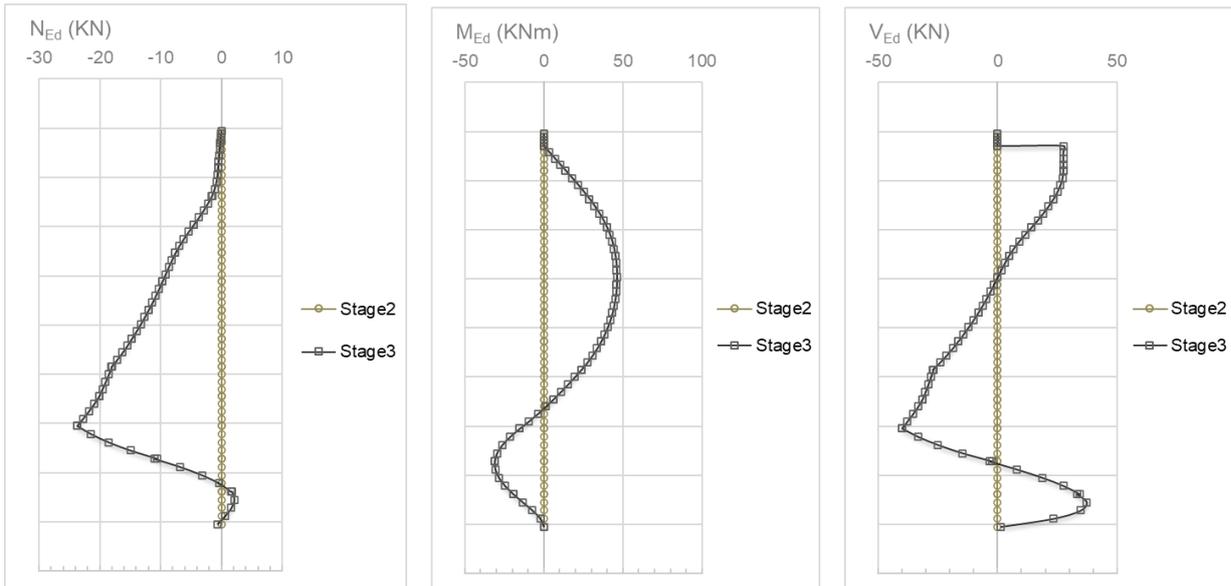


Figura 67. Sforzo assiale, taglio e momento di progetto per i diversi stage di calcolo – Schema B

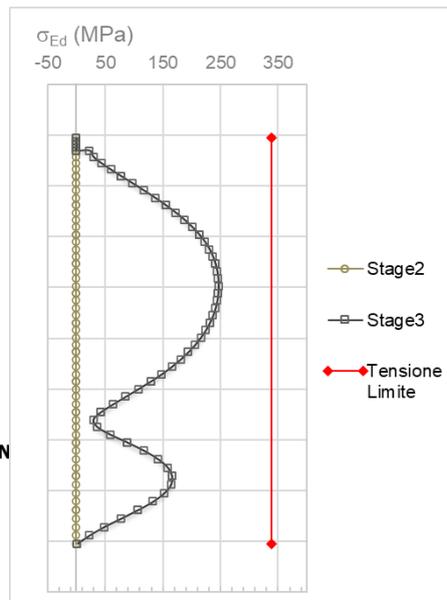


Figura 68. Tensione di verifica secondo N

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



• **Schema C**

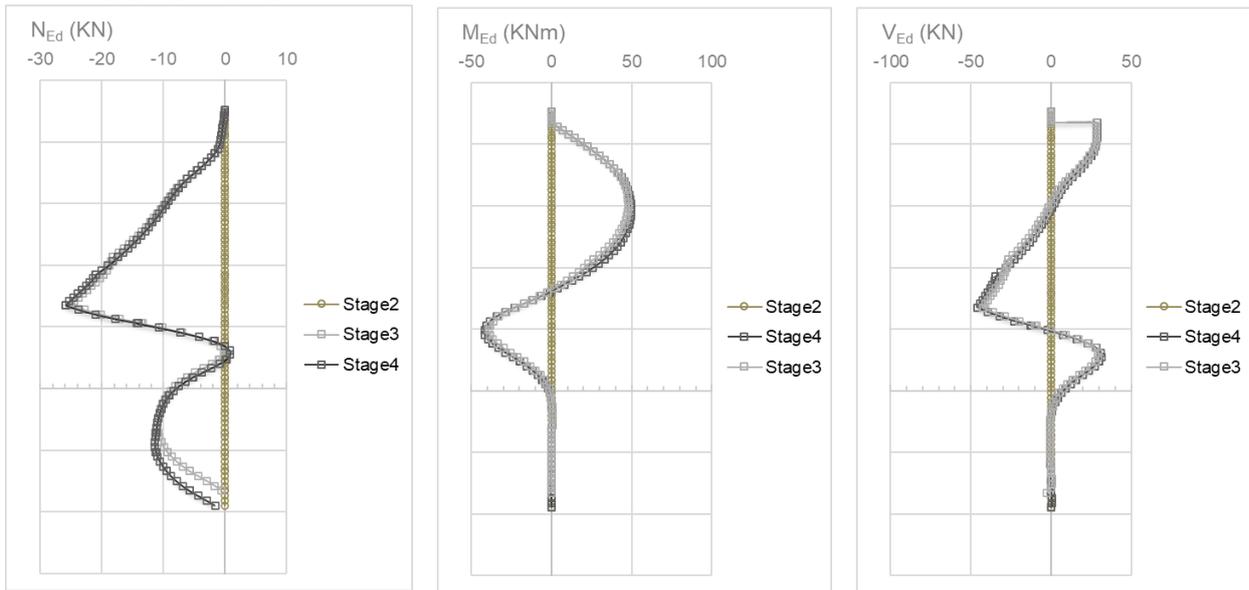


Figura 69. Sforzo assiale, taglio e momento di progetto per i diversi stage di calcolo – Schema C

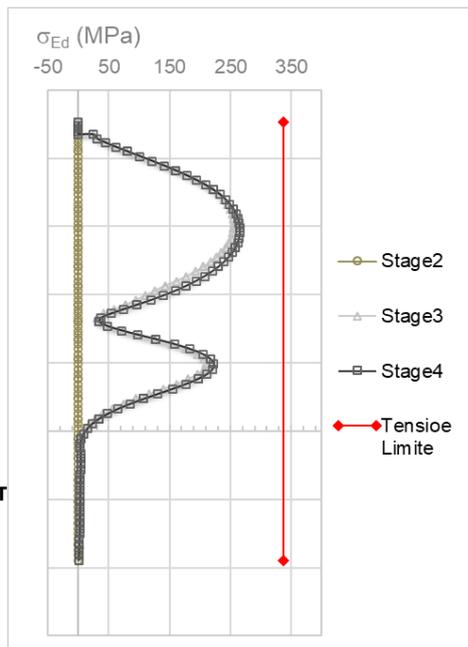


Figura 70. Tensione di verifica secondo NT

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



• **Schema D**

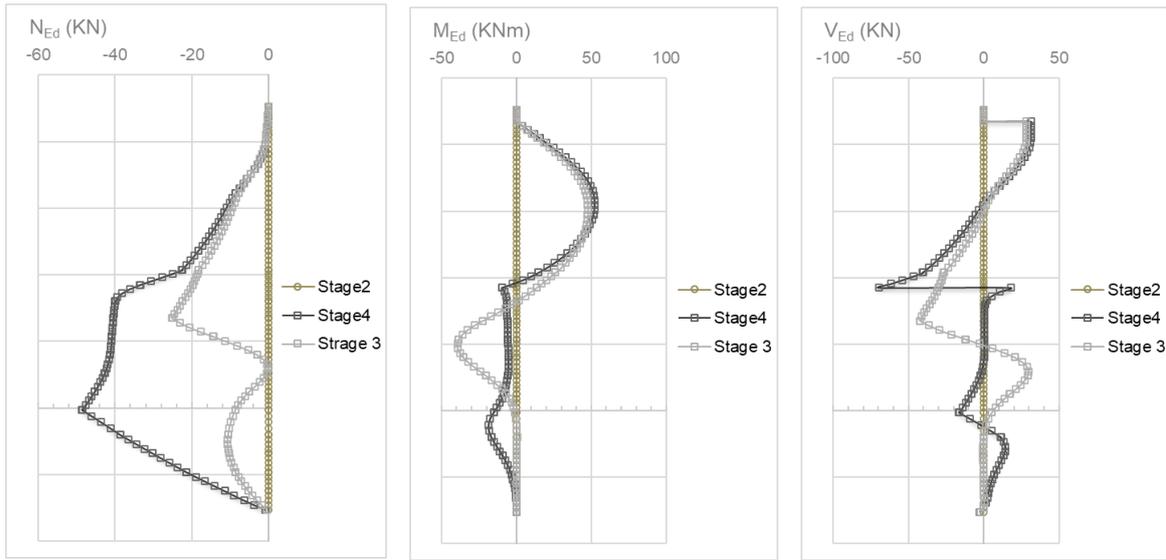


Figura 71. Sforzo assiale, taglio e momento di progetto per i diversi stage di calcolo – Schema D

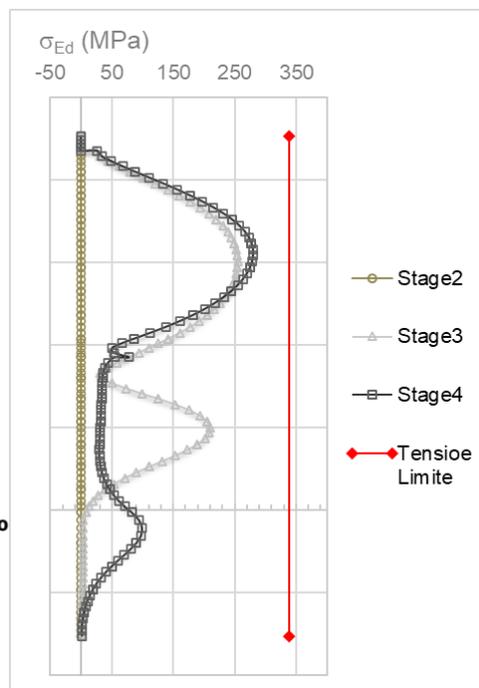


Figura 72. Tensione di verifica secondo

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



• **Schema E**

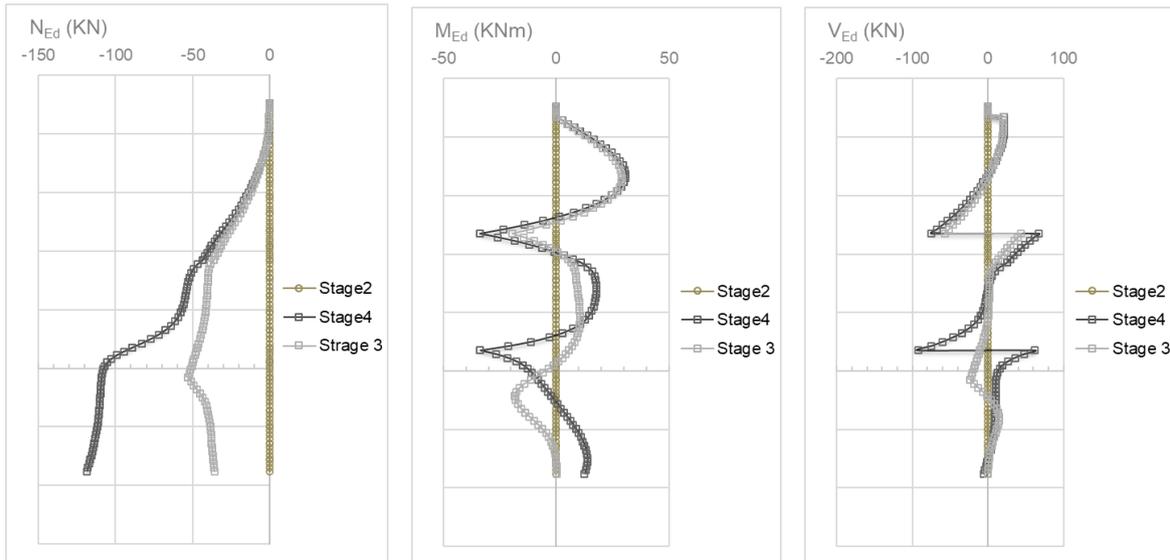


Figura 73. Sforzo assiale, taglio e momento di progetto per i diversi stage di calcolo – Schema E

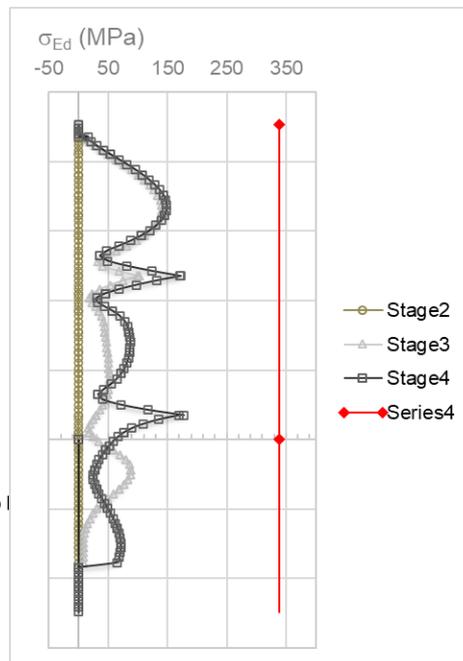


Figura 74. Tensione di verifica secondo l

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

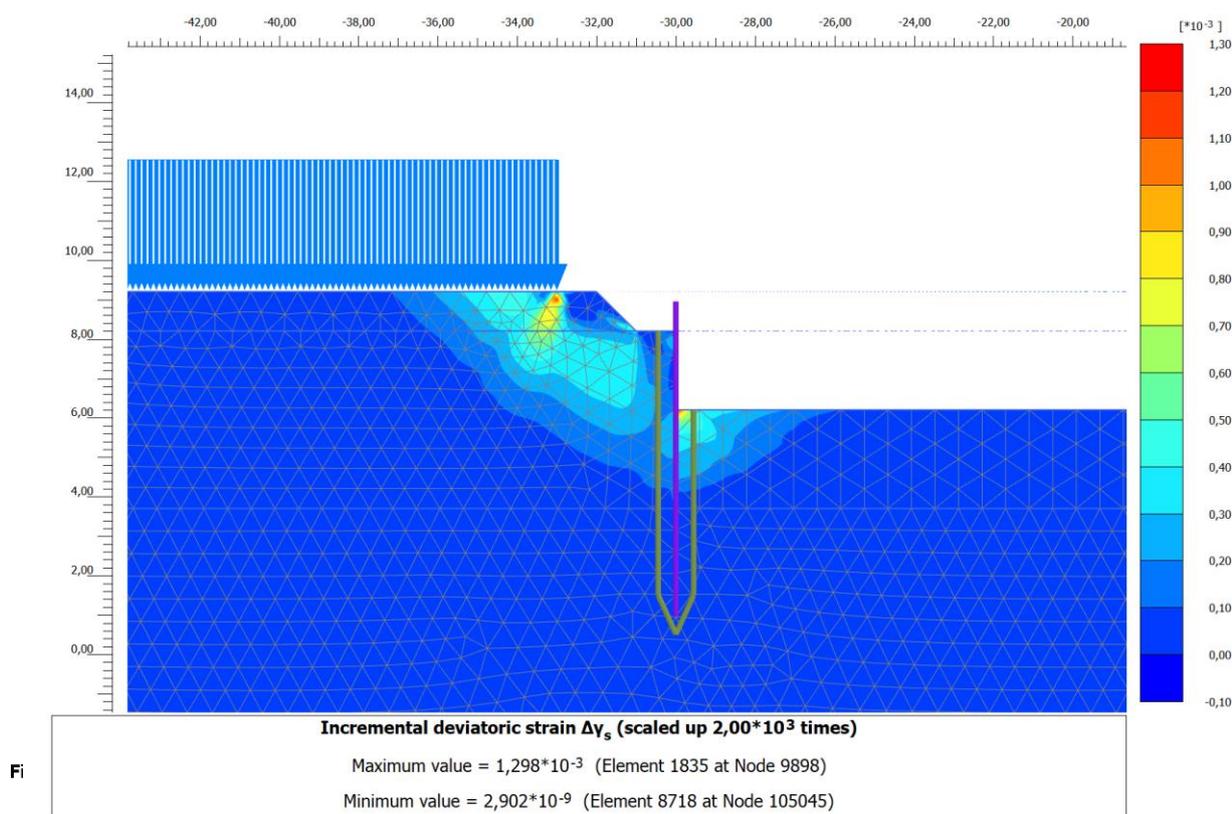
 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Verona - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1

APPENDICE E

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Verona - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1

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

- **Schema A**



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

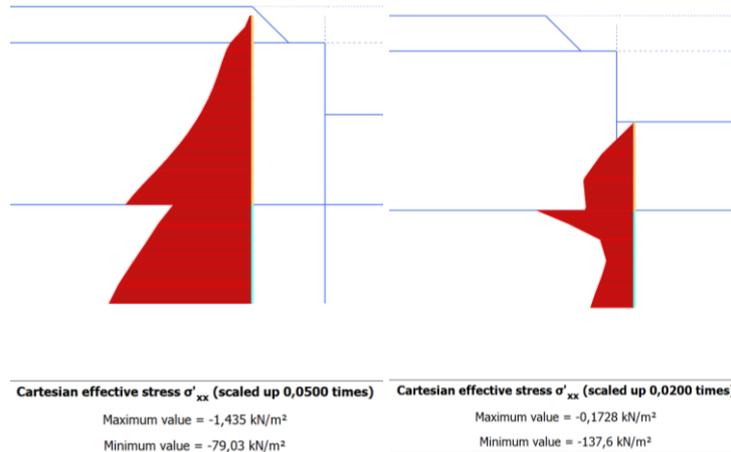


Figura 76. Tensioni orizzontali efficaci paratia - Lato monte e valle – Schema A

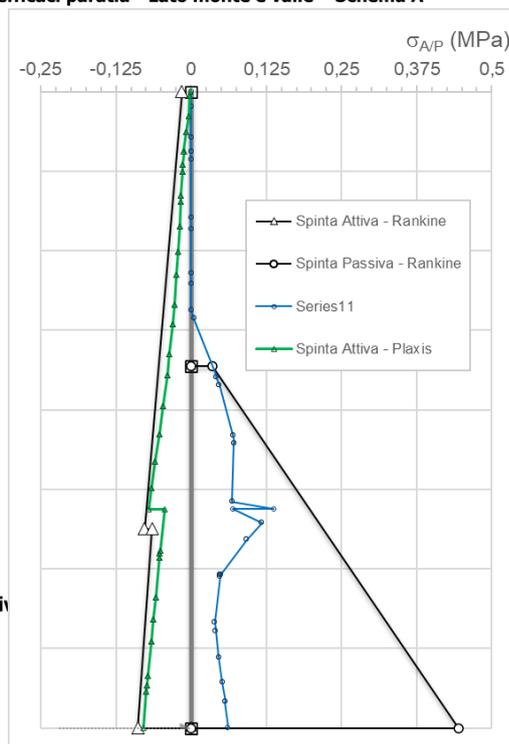


Figura 77. Confronto tensioni limite attive

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



- **Schema B**

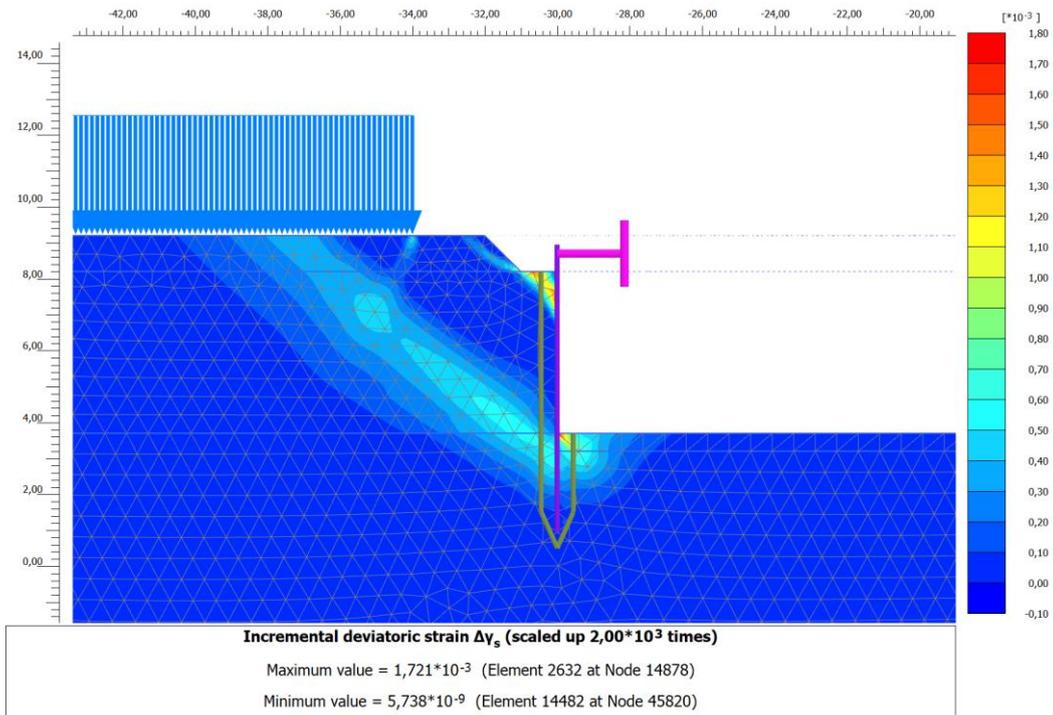
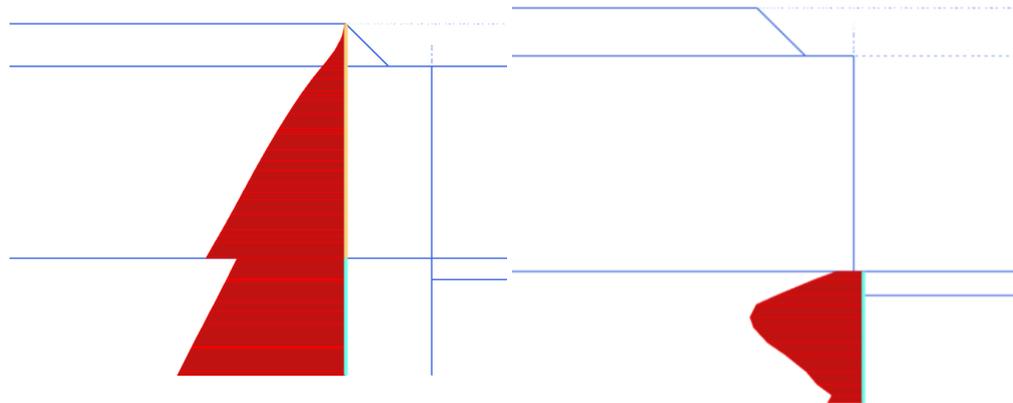


Figura 78

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



Cartesian total stress σ_{xx} (scaled up 0,0500 times)

Maximum value = -0,3139 kN/m²

Minimum value = -78,31 kN/m²

Cartesian effective stress σ'_{xx} (scaled up 0,0200 times)

Maximum value = -27,51 kN/m²

Minimum value = -117,2 kN/m²

Figura 79. Tensioni orizzontali efficaci paratia - Lato monte e valle – Schema B

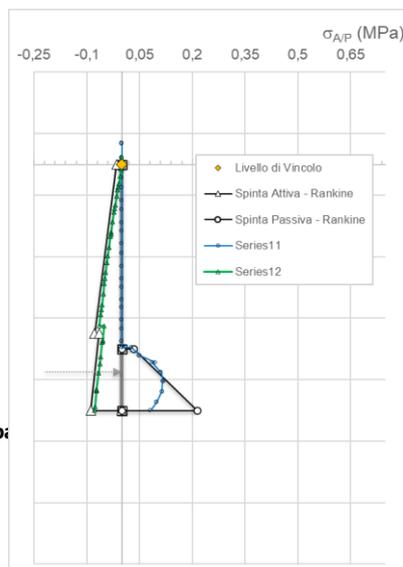
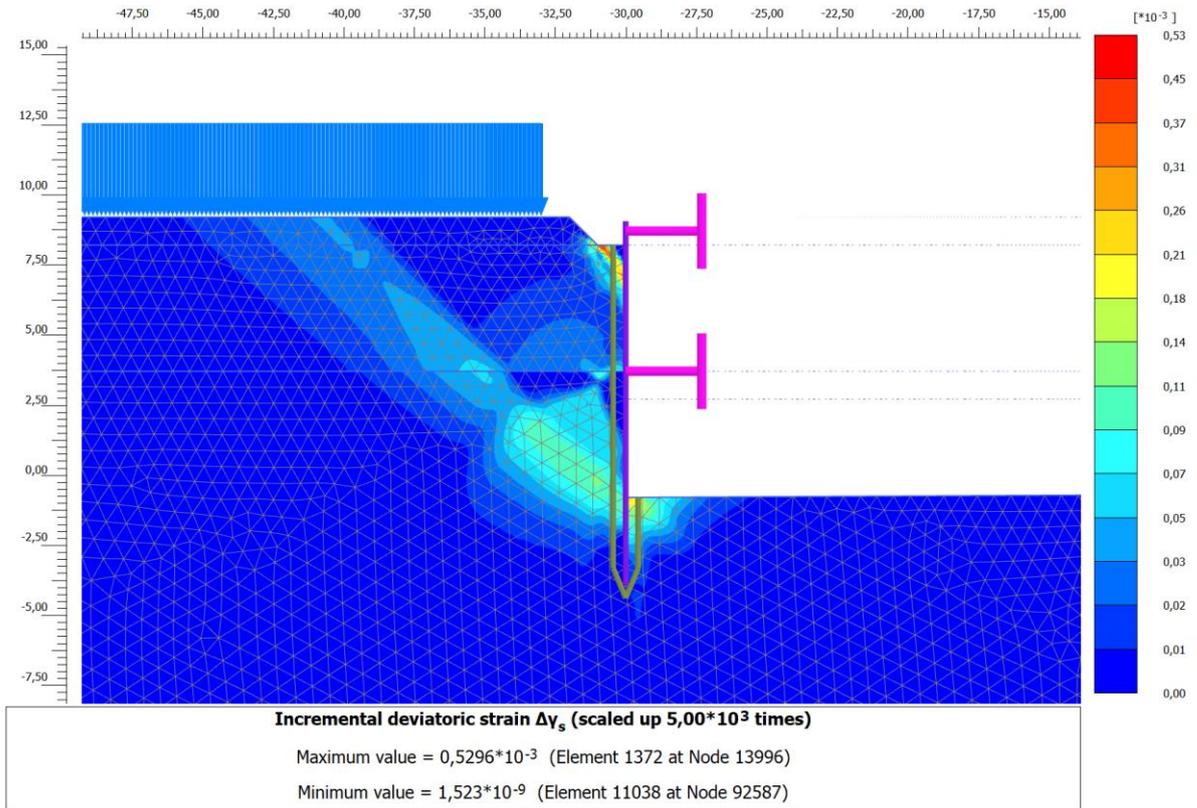


Figura 80. Confronto tensioni limite attive e passive - Lato monte e valle – Schema B

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

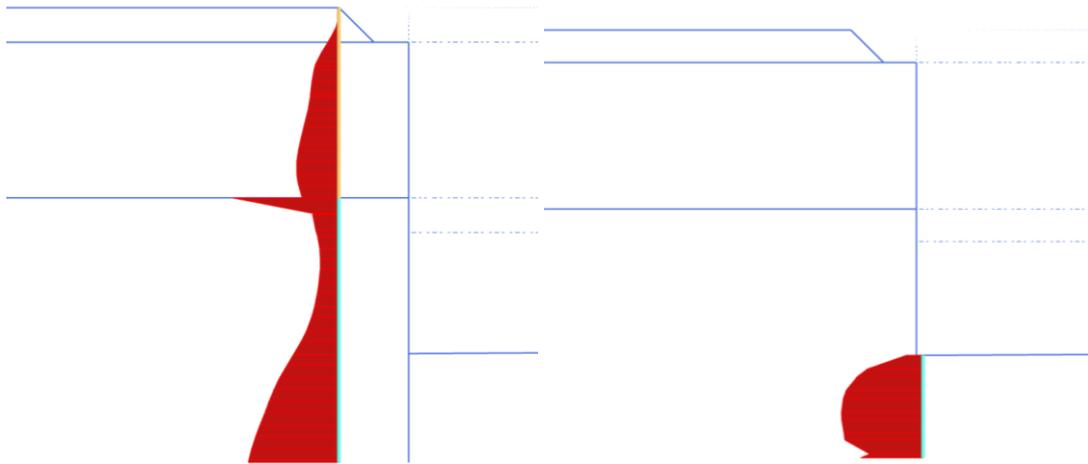


• Schema C



Figura

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



Cartesian effective stress σ'_{xx} (scaled up 0,0200 times)

Maximum value = -0,7191 kN/m²

Minimum value = -153,2 kN/m²

Cartesian effective stress σ'_{xx} (scaled up 0,0200 times)

Maximum value = -25,59 kN/m²

Minimum value = -124,4 kN/m²

Figura 82. Tensioni orizzontali efficaci paratia - Lato monte e valle – Schema C

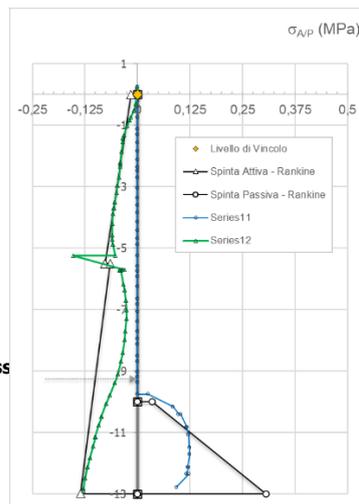


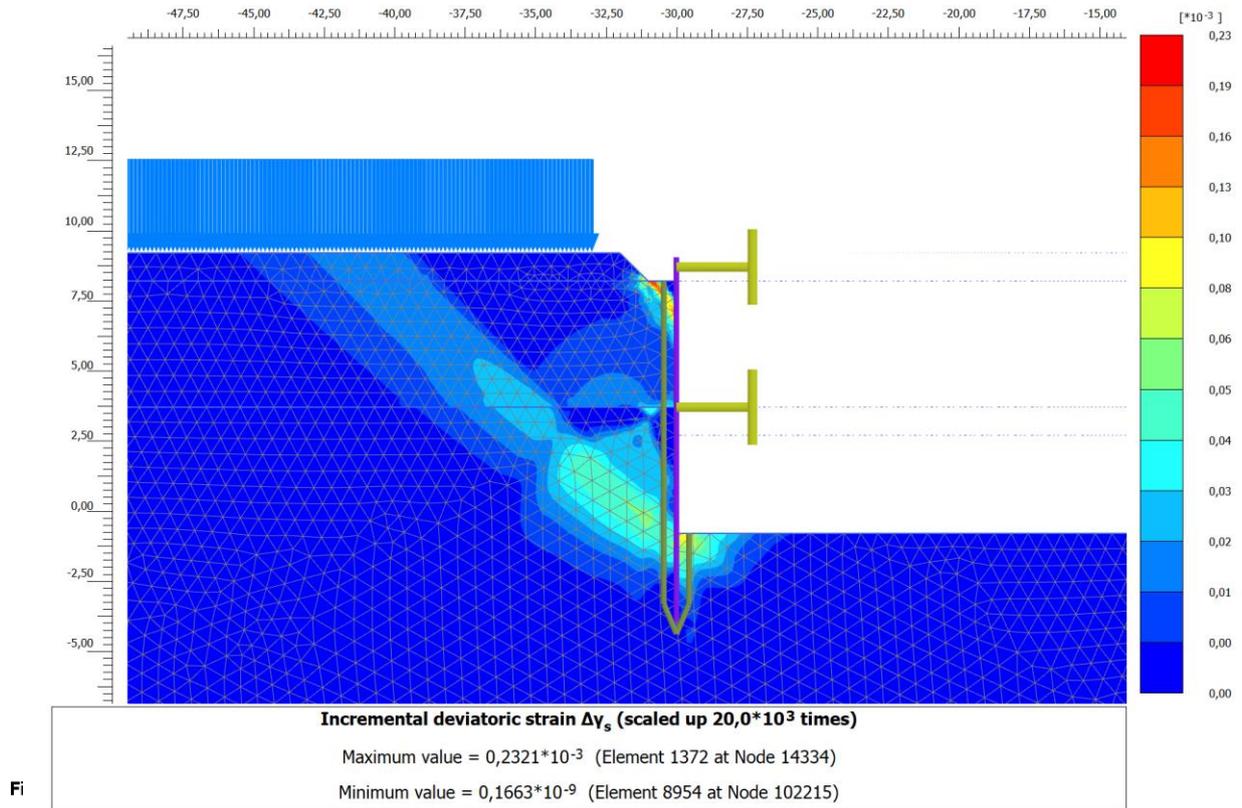
Figura 83. Confronto tensioni limite attive e pass

ema C

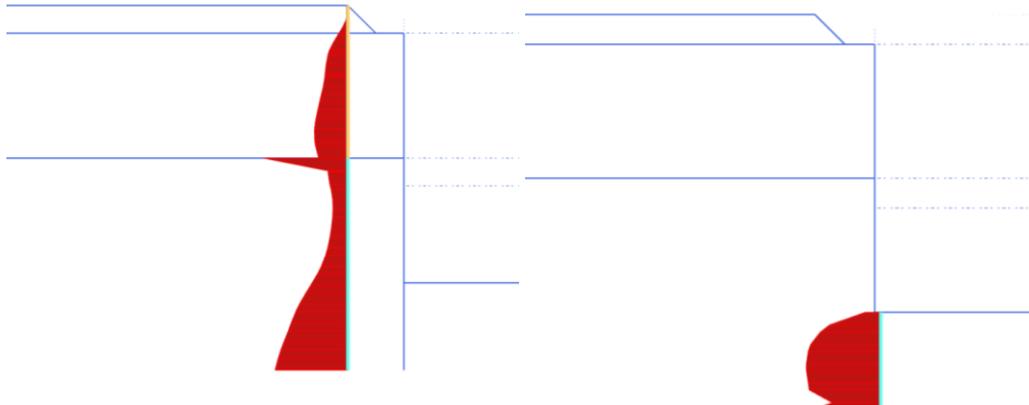
E' possibile osservare come, oltre al margine di sicurezza garantito dall'aver eseguito una analisi con i parametri di resistenza ridotti del fattore 1.25, la resistenza passiva a monte risulta attivata in una percentuale largamente inferiore al 50% rispetto alla spinta calcolabile con Rankine. Ciò garantisce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



• Schema D



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



Cartesian effective stress σ'_{xx} (scaled up 0,0200 times)

Maximum value = -0,7094 kN/m²

Minimum value = -151,5 kN/m²

Cartesian effective stress σ'_{xx} (scaled up 0,0200 times)

Maximum value = -26,07 kN/m²

Minimum value = -124,0 kN/m²

Figura 85. Tensioni orizzontali efficaci paratia - Lato monte e valle – Schema D

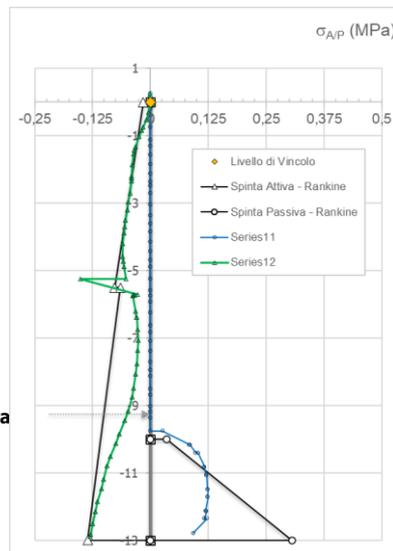
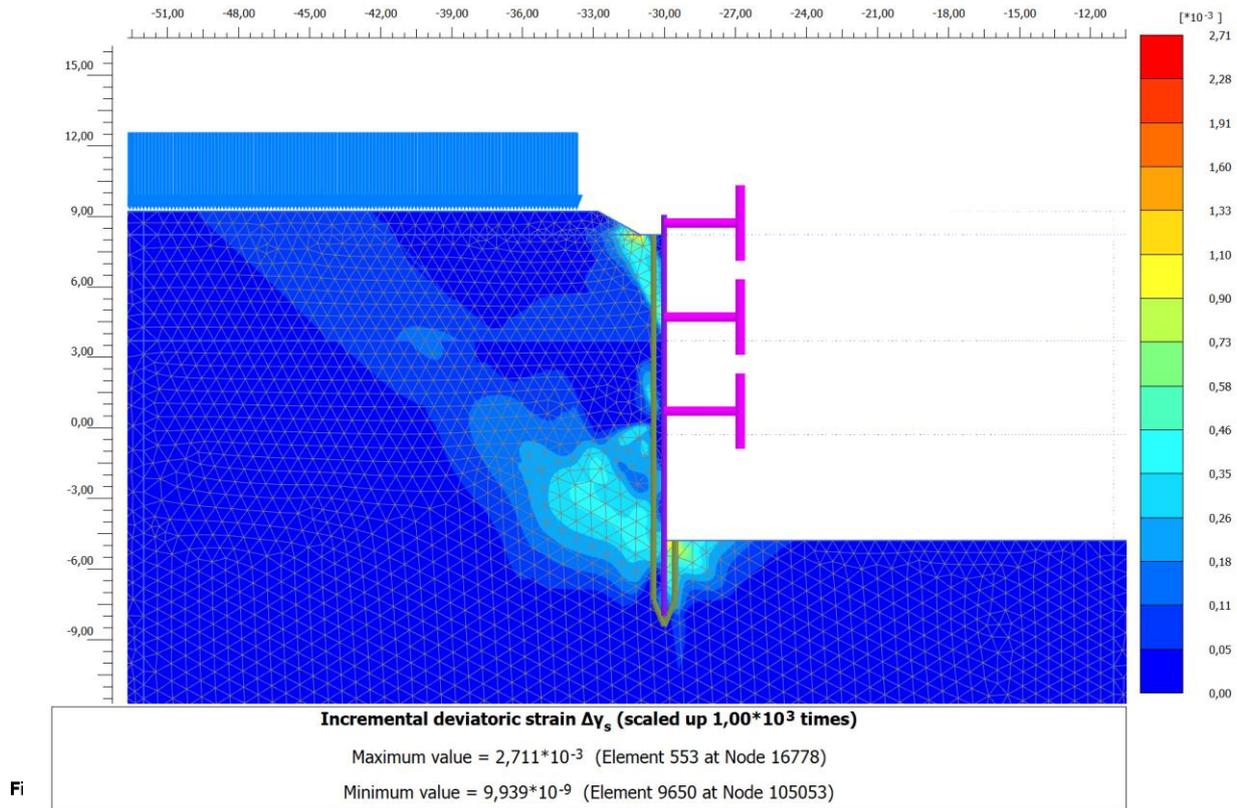


Figura 86. Confronto tensioni limite attive e passive - Lato monte e valle – Schema D

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



• Schema E



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

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Verona - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1

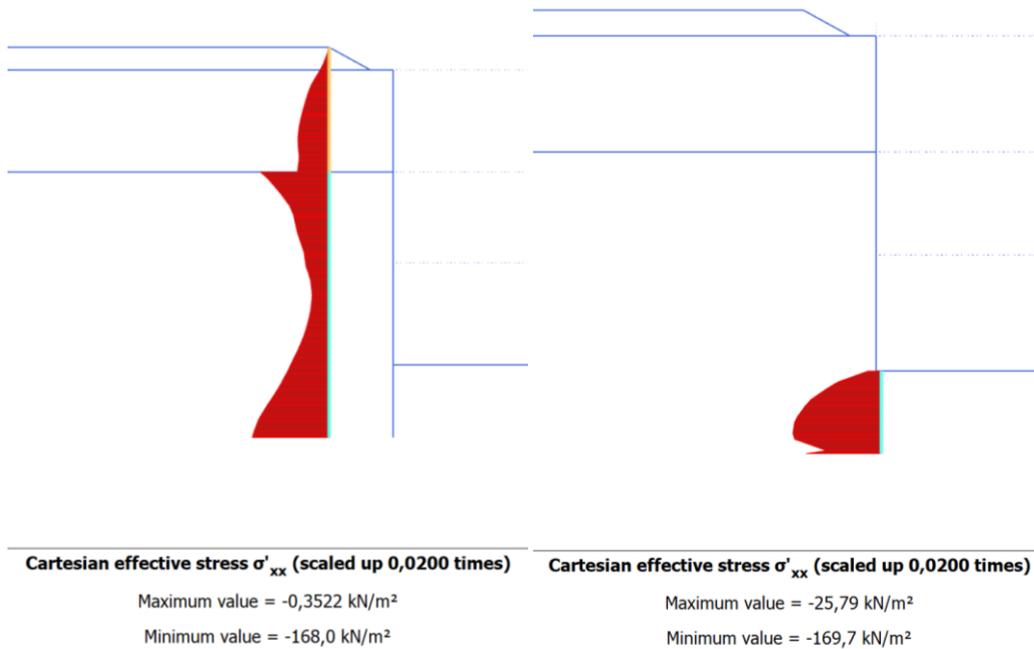


Figura 88. Tensioni orizzontali efficaci paratia - Lato monte e valle – Schema D

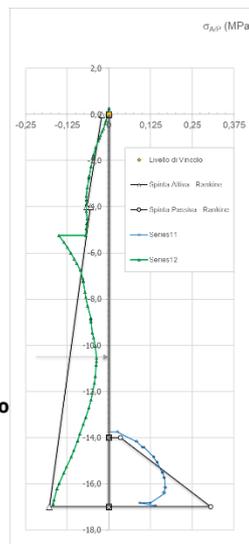


Figura 89. Confronto tensioni limite attive e passive co – Schema D

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

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Verona - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1

APPENDICE F

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Verona - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1

Di seguito sono riportate le caratteristiche dei puntone che sono stati utilizzati per i diversi schemi di calcolo B, C e D, E; inoltre sono riportate le verifiche SLU-STR relative ad ogni tipologia di puntone, presentando solo il caso in cui il puntone risulta maggiormente caricato.

- **Schema B**

Dalle verifiche strutturali di seguito riportate è stato possibile adottare un puntone con le seguenti caratteristiche:

Tabella 30 Caratteristiche geometriche puntone adottato - Schema B

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

Tabella 31 Sollecitazioni di progetto puntone – Schema B

Puntone	Y [m]	N_K [kN]	$N_{K,MIN}$ [kN]	$N_{D,MIN}$ [kN]
FixedEndAnchor_1_1	8.7	-137.62	-137.62	-206.4

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Verona - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1

VERIFICA PUNTONE PARATIA		
Tipo Tubo (mm)		219,1
		8
Interasse Tubo (m)		3
Lunghezza Tubo (m)		7,6
Diametro esterno	D _{Ext} (m)	0,2191
Diametro interno	D _{Int} (m)	0,2031
Area Palo acciaio	A (m ²)	0,005305522
Momento Inerzia Palo acciaio	I (m ⁴)	2,95963E-05
Modulo di resistenza	W _{EL} (mm ³)	0,000270163
Modulo di Young Acciaio	E (kPa)	210000000
Acciaio di costruzione	Tipo	S355
Tensione caratteristica a snervamento	f _{yk} (MPa)	355
Coefficiente materiali	γ (-)	1,05
Tensione di progetto a snervamento	f _{yd} (MPa)	338,1
INSTABILITA' PUNTONE		
ε	(-)	0,813616513
d/t	(-)	27,3875
CLASSE SEZIONE	(-)	1
Azione sollecitante Output	(KN/m)	45,8740293
Azione Per Verifica	(KN)	206,4
N _{CR}	KN	1062,0
λ	-	1,3317
α	-	0,21
Φ	-	1,506
χ	-	0,453
N _{D,Rd}	KN	812,4

Figura 90.

• Schema C

Dalle verifiche strutturali di seguito riportate è stato possibile adottare la stessa tipologia di puntoni su entrambi i livelli con le seguenti caratteristiche:

	Primo livello	Secondo livello
Diametro esterno puntone (tubo di acciaio)	D _p =219.1 mm	D _p =219.1 mm
Spessore puntone (tubo di acciaio)	t=8.0 mm	t=8.0 mm
Lunghezza	L=7.2m	L=7.2m
Interasse	i=3m	i=3m

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Verona - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1

	Puntone	Y [m]	N _k [kN]	N _{k,MIN} [kN]	N _{D,MIN} [kN]
Primo puntone	FixedEndAnchor_1_1	8.7	-159.0	-159.0	-213.5
Secondo puntone	FixedEndAnchor_2_1	3.7	-576.9	-576.9	-865.4

Dato che è stato possibile applicare la stessa tipologia di puntone per entrambi i livelli dello schema C, di seguito è riportata la verifica del puntone che risulta caricato maggiormente; quindi, si va riferimento alle sollecitazioni ottenute per il secondo livello di puntone:

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

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Verona - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1

- **Schema D**

Dalle verifiche strutturali di seguito riportate è stato necessario adottare due tipologie diverse di puntone ad ogni livello con le seguenti caratteristiche:

Tabella 34 Caratteristiche geometriche puntone adottati - Schema D

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

Tabella 35 Sollecitazioni di progetto puntone – Schema D

	Puntone	Y [m]	N_k [kN]	$N_{k,MIN}$ [kN]	$N_{D,MIN}$ [kN]
Primo puntone	FixedEndAnchor_1_1	8.7	-160.7	-160.7	-241.0
Secondo puntone	FixedEndAnchor_2_1	3.7	-562.3	-562.3	-843.5

Dato che sono stati applicati due tipi di puntone per ogni livello dello schema D, di seguito sono riportate le verifiche di ciascuno considerando la fase in cui risultano caricati maggiormente:



CITTA' DI TORINO

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

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

MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1

○ Primo livello

VERIFICA PUNTONE PARATIA		
Tipo Tubo (mm)		298,5
		8
Interasse Tubo (m)		3
Lunghezza Tubo (m)		12
Diametro esterno	D_{Ext} (m)	0,2985
Diametro interno	D_{Int} (m)	0,2825
Area Palo acciaio	A (m ²)	0,007301061
Momento Inerzia Palo acciaio	I (m ⁴)	7,70757E-05
Modulo di resistenza	W_{EL} (mm ³)	0,00051642
Modulo di Young Acciaio	E (kPa)	210000000
Acciaio di costruzione	Tipo	S355
Tensione caratteristica a snervamento	f_{yk} (MPa)	355
Coefficiente materiali	γ (-)	1,05
Tensione di progetto a snervamento	f_{yd} (MPa)	338,1
INSTABILITA' PUNTONE		
ϵ	(-)	0,813616513
d/t	(-)	37,3125
CLASSE SEZIONE	(-)	1
Azione sollecitante Output	(KN/m)	53,56
Azione Per Verifica	(KN)	241,0
N_{CR}	KN	1109,4
λ	-	1,5285
α	-	0,21
Φ	-	1,808
χ	-	0,361
$N_{b,Rd}$	KN	890,3

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Verona - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1

○ Secondo livello

VERIFICA PUNTONE PARATIA		
Tipo Tubo (mm)		298,5
		8
Interasse Tubo (m)		3
Lunghezza Tubo (m)		12
Diametro esterno	D _{Ext} (m)	0,2985
Diametro interno	D _{Int} (m)	0,2825
Area Palo acciaio	A (m ²)	0,007301061
Momento Inerzia Palo acciaio	I (m ⁴)	7,70757E-05
Modulo di resistenza	W _{EL} (mm ³)	0,00051642
Modulo di Young Acciaio	E (kPa)	210000000
Acciaio di costruzione	Tipo	S355
Tensione caratteristica a snervamento	f _{yk} (MPa)	355
Coefficiente materiali	γ (-)	1,05
Tensione di progetto a snervamento	f _{yd} (MPa)	338,1
INSTABILITA' PUNTONE		
ε	(-)	0,813616513
d/t	(-)	37,3125
CLASSE SEZIONE	(-)	1
Azione sollecitante Output	(KN/m)	187,44333
Azione Per Verifica	(KN)	843,5
N _{CR}	KN	1109,4
λ _L	-	1,5285
α	-	0,21
Φ	-	1,808
χ	-	0,361
N _{b,Rd}	KN	890,3

Figur

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Verona - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1

- **Schema E**

Dalle verifiche strutturali di seguito riportate è stato necessario adottare due tipologie diverse di puntone ad ogni livello con le seguenti caratteristiche:

Tabella 36 Caratteristiche geometriche puntone adottati - **Schema E**

	Primo livello	Secondo livello	Terzo livello
Diametro esterno puntone (tubo di acciaio)	$D_p=298.5$ mm	$D_p=298.5$ mm	$D_p=298.5$ mm
Spessore puntone (tubo di acciaio)	$t=8.0$ mm	$t=8.0$ mm	$t=8.0$ mm
Lunghezza	$L=6.5$ m	$L=6.5$ m	$L=6.5$ m
Interasse	$i=3$ m	$i=3$ m	$i=3$ m

Tabella 37 Sollecitazioni di progetto puntone – Schema E

	Puntone	Y [m]	N_k [kN]	$N_{k,MIN}$ [kN]	$N_{d,MIN}$ [kN]
Primo puntone	FixedEndAnchor_1_1	8.7	-106.5	-106.5	-158.3
Secondo puntone	FixedEndAnchor_2_1	4.7	-711.45	-711.45	-1067.17
Terzo puntone	FixedEndAnchor_3_1	0.7	-771.1	-771.1	-1156.7

Dato che sono stati applicati due tipi di puntone per ogni livello dello schema E, di seguito sono riportate le verifiche di ciascuno considerando la fase in cui risultano caricati maggiormente:



CITTA' DI TORINO

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

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

MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1

○ Terzo livello

VERIFICA PUNTONE PARATIA		
Tipo Tubo (mm)		298,5
		8
Interasse Tubo (m)		3
Lunghezza Tubo (m)		6,5
Diametro esterno	D_{Ext} (m)	0,2985
Diametro interno	D_{Int} (m)	0,2825
Area Palo acciaio	A (m ²)	0,007301061
Momento Inerzia Palo acciaio	I (m ⁴)	7,70757E-05
Modulo di resistenza	W_{EL} (mm ³)	0,00051642
Modulo di Young Acciaio	E (kPa)	210000000
Acciaio di costruzione	Tipo	S355
Tensione caratteristica a snervamento	f_{yk} (MPa)	355
Coefficiente materiali	γ (-)	1,05
Tensione di progetto a snervamento	f_{yd} (MPa)	338,1
INSTABILITA' PUNTONE		
ϵ	(-)	0,813616513
d/t	(-)	37,3125
CLASSE SEZIONE	(-)	1
Azione sollecitante Output	(KN/m)	257,03800
Azione Per Verifica	(KN)	1156,7
N_{CR}	KN	3781,0
λ	-	0,8279
α	-	0,21
Φ	-	0,909
χ	-	0,779
$N_{b,Rd}$	KN	1923,8

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Verona - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Verona - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1

APPENDICE G

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Verona - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1

- **Cordolo di testa per Accessi e Ventilazioni**

Seguendo quanto riportato in capitolo 5.2.5 è stata eseguita la verifica del cordolo di testa della paratia di micropali da essere applicata negli accessi e griglie di ventilazione; cioè per gli schemi di calcolo A, B e C. Utilizzando lo schema di trave su più appoggi uniformemente caricata dagli scarichi dei puntoni per unità di lunghezza

In via cautelativa, la trave è stata verificata ipotizzando un momento massimo pari a:

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

Dove q rappresenta la reazione del puntone in testa che risulta maggiormente caricato tra le sezioni analizzate ed L rappresenta il loro interasse.

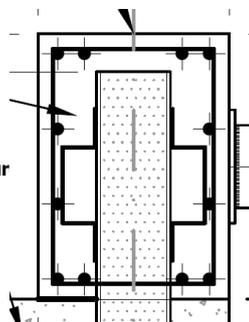
Considerando quindi lo sforzo normale massimo relativo ottenuto sul puntone di testa dallo schema C, si ha:

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

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

Utilizzando un'armatura longitudinale di 12Φ16, un'armatura a taglio costituita da Φ12/20 e copriferro pari a 5cm; i valori di resistenza della sezione di calcestruzzo armato del cordolo di testa sono confrontati con le sollecitazioni di progetto:

Figura 95. Particolare armatur



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

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

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Verona - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1

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

La verifica risulta soddisfatta.

- **Cordolo di testa per Vasche di accumulo antincendio**

Seguendo quanto riportato in capitolo 5.2.5 è stata eseguita la verifica del cordolo di testa della paratia di micropali da essere applicata alle vasche di accumulo; cioè per lo schema di calcolo D. Utilizzando lo schema di trave su più appoggi uniformemente caricata dagli scarichi dei puntoni per unità di lunghezza.

In via cautelativa, la trave è stata verificata ipotizzando un momento massimo pari a:

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

Dove q rappresenta la reazione del puntone in testa della sezione d'interesse ed L rappresenta il loro interesse.

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

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

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

Utilizzando un'armatura longitudinale di 12Φ16, un'armatura a taglio costituita da Φ12/20 e copriferro pari a 5cm; i valori di resistenza della sezione di calcestruzzo armato del cordolo di testa sono confrontati con le sollecitazioni di progetto:

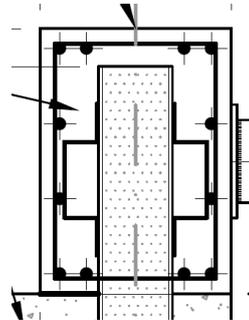


Figura 96. Particolare armature trave di testa

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

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

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

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

La verifica risulta soddisfatta.

E' possibile quindi adottare un'unica tipologia di cordolo di coronamento su tutte le paratie di micropali studiate nella presente relazione di calcolo.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Verona - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1

APPENDICE H

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Verona - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1

- **Trave di ripartizione per Accessi e Ventilazioni**

Seguendo quanto riportato in capitolo 5.2.6 è stata eseguita la verifica della trave di ripartizione per il secondo livello di puntone da essere applicata negli accessi e griglie di ventilazione; cioè per lo schema di calcolo C. Utilizzando lo schema di trave su più appoggi uniformemente caricata dagli scarichi dei puntone per unità di lunghezza.

In via cautelativa, la trave è stata verificata ipotizzando un momento massimo pari a:

$$M_{Max} = \frac{1}{10} q l^2 \qquad V_{Max} = 0.6 q l$$

Dove q rappresenta la reazione del puntone posto al secondo livello dello schema C nel caso in esame, ed L rappresenta il loro interasse.

Considerando quindi lo sforzo normale massimo relativo ottenuto, si ha:

$$M_{Max} = \frac{1}{10} q l^2 = \frac{1}{10} \cdot 288.47 \text{ kN/m} \cdot (3\text{m})^2 = 259.62 \text{ KNm}$$

$$V_{Max} = 0.6 \cdot 288.47 \text{ kN/m} \cdot 3\text{m} = 519.25 \text{ KN}$$

Ipotizzando una trave di ripartizione HEB300 con le seguenti caratteristiche:

Tipo di Trave	HE 300B
Acciaio S	355
$f_{y,d}$ (MPa)	338.10
A (m ²)	1.49E-02
A _{taglio} (m ²)	4.74E-03
W _{El} (m ³)	1.68E-03

E' possibile procedere a realizzare la verifica secondo quanto prescritto al punto 4.2.4.1.2 delle NTC e utilizzando l'espressione:

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Verona - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1

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

Verifica	
σ_N (MPa)	0,00
σ_M (MPa)	154,75
τ (MPa)	109,48
σ_d (MPa)	244,76
$f_{y,d}$ (MPa)	338,10

Verifica Soddisfatta

La verifica risulta soddisfatta con una trave di ripartizione HEB300 sul secondo livello di puntoni per gli accessi e griglie di ventilazioni.

• Trave di ripartizione per Vasche di accumulo antincendio

Seguendo quanto riportato in capitolo 5.2.6 è stata eseguita la verifica della trave di ripartizione per il secondo livello di puntoni da essere applicata alle vasche di accumulo; cioè per lo schema di calcolo D. Utilizzando lo schema di trave su più appoggi uniformemente caricata dagli scarichi dei puntoni per unità di lunghezza.

In via cautelativa, la trave è stata verificata ipotizzando un momento massimo pari a:

$$M_{Max} = \frac{1}{10}ql^2 \qquad V_{Max} = 0.6ql$$

Dove q rappresenta la reazione del puntone posto al secondo livello dello schema D nel caso in esame, ed L rappresenta il loro interasse.

Considerando quindi lo sforzo normale massimo relativo ottenuto, si ha:

$$M_{Max} = \frac{1}{10}ql^2 = \frac{1}{10} \cdot 281.17 \text{ kN/m} \cdot (3\text{m})^2 = 253.05 \text{ KNm}$$

$$V_{Max} = 0.6 \cdot 281.17 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot 3.5\text{m} = 506.11 \text{ KN}$$

Ipotizzando una trave di ripartizione HEB400 con le seguenti caratteristiche:

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Verona - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1

Tipo di Trave	HE 400B
Acciaio S	355
f_{y,d} (MPa)	338.10
A (m²)	1.98E-02
A_{taglio} (m²)	7.00E-03
W_{El} (m³)	2.88E-03

E' possibile procedere a realizzare la verifica secondo quanto prescritto al punto 4.2.4.1.2 delle NTC e utilizzando l'espressione:

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

Verifica	
σ _N (MPa)	0,00
σ _M (MPa)	87,74
τ (MPa)	72,32
σ _d (MPa)	152,94
f _{y,d} (MPa)	338,10

Verifica Soddisfatta

La verifica risulta soddisfatta con una trave di ripartizione HEB400 sul secondo livello di puntoni per le vasche di accumulo antincendio.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Verona - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1

- **Trave di ripartizione per Schema E**

Seguendo quanto riportato in capitolo 5.2.6 è stata eseguita la verifica della trave di ripartizione per il secondo livello di puntoni da essere applicata alle vasche di accumulo; cioè per lo schema di calcolo D. Utilizzando lo schema di trave su più appoggi uniformemente caricata dagli scarichi dei puntoni per unità di lunghezza.

In via cautelativa, la trave è stata verificata ipotizzando un momento massimo pari a:

$$M_{Max} = \frac{1}{10} q l^2 \qquad V_{Max} = 0.6 q l$$

Dove q rappresenta la reazione del puntone posto al terzo livello dello schema E nel caso in esame, ed L rappresenta il loro interasse.

Considerando quindi lo sforzo normale massimo relativo ottenuto, si ha:

$$M_{Max} = \frac{1}{10} q l^2 = \frac{1}{10} \cdot 385.57 \text{ kN/m} \cdot (3\text{m})^2 = 347.01 \text{ KNm}$$

$$V_{Max} = 0.6 \cdot 385.57 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot 3\text{m} = 694.03 \text{ KN}$$

Ipotizzando una trave di ripartizione HEB400 con le seguenti caratteristiche:

Tipo di Trave	HE 400B
Acciaio S	355
$f_{y,d}$ (MPa)	338.10
A (m ²)	1.98E-02
A _{taglio} (m ²)	7.00E-03
W _{El} (m ³)	2.88E-03

E' possibile procedere a realizzare la verifica secondo quanto prescritto al punto 4.2.4.1.2 delle NTC e utilizzando l'espressione:

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Verona - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1

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

Verifica	
σ_N (MPa)	0,00
σ_M (MPa)	120,32
τ (MPa)	99,17
σ_d (MPa)	209,72
$f_{y,d}$ (MPa)	338,10

Verifica Soddisfatta

La verifica risulta soddisfatta con una trave di ripartizione HEB400 sul Terzo livello di puntoni per la schema E.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Verona - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1

APPENDICE I



Di seguito sono riportati i risultati delle analisi dello schema dell'accesso a sbalzo in termini di sollecitazioni per unità di lunghezza: M_{xx} , M_{yy} , $Q(1-2)$:

SLU STR A1+M1+R1

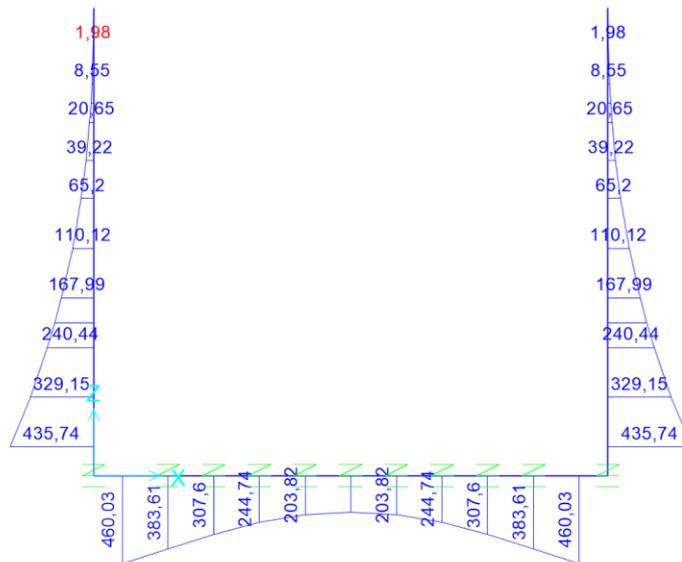


Figura 27. Momento flessione M_{xx}

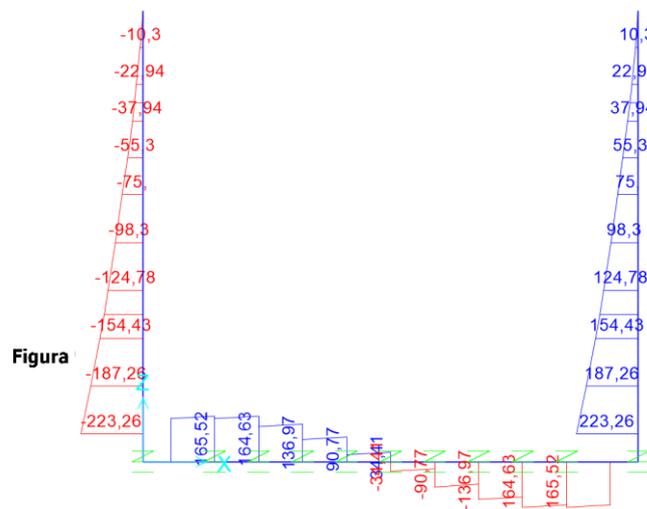


Figura 28. Momento flessione M_{yy}



CITTA' DI TORINO

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

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

MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1

SLU STR SISMA X

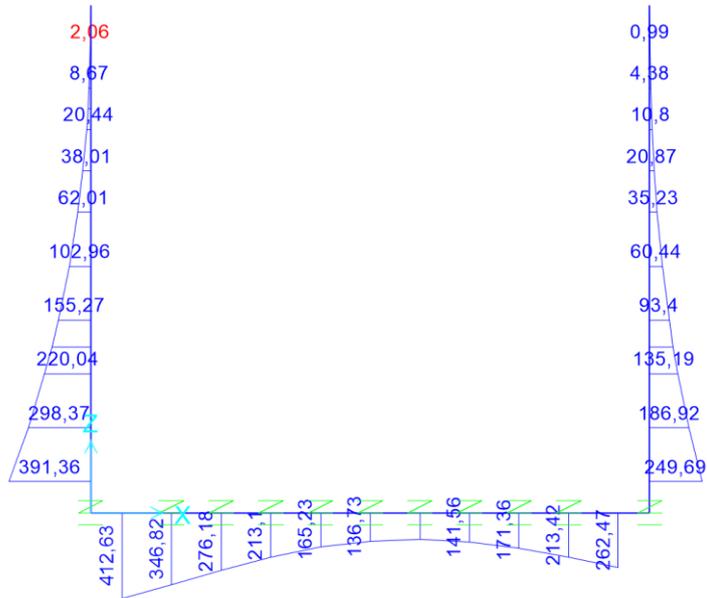
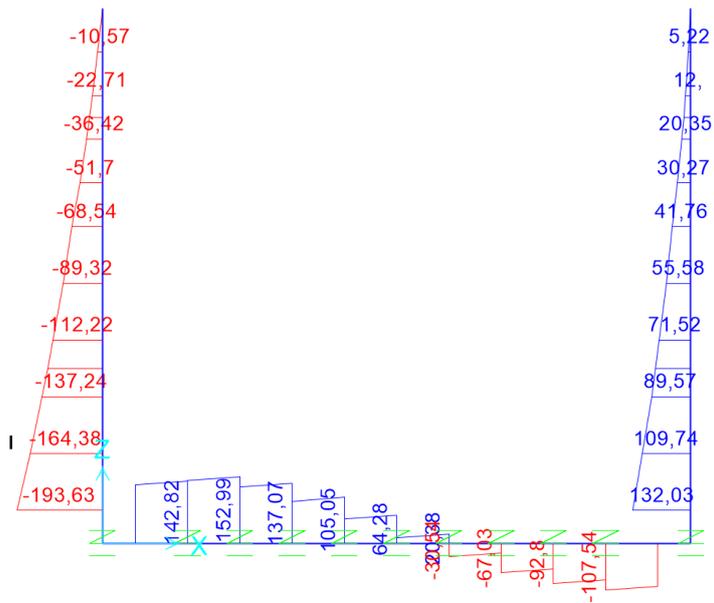


Figura 99. Momento flettente M3-3





SLE RARA

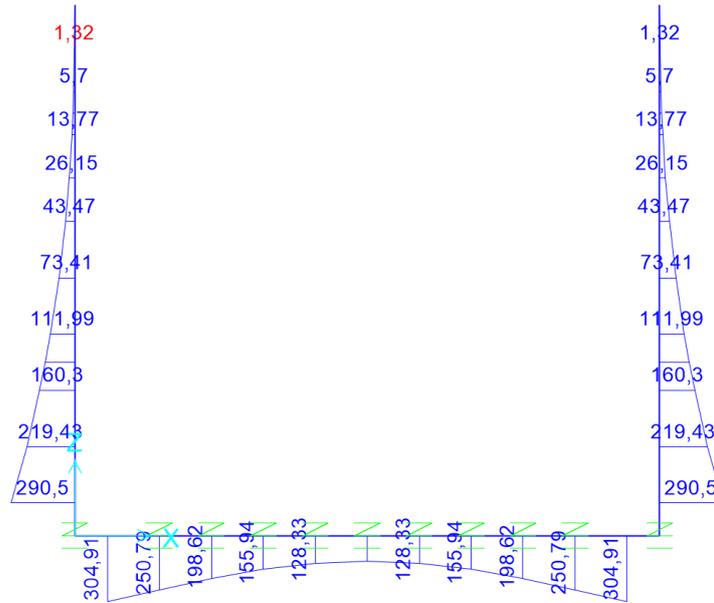
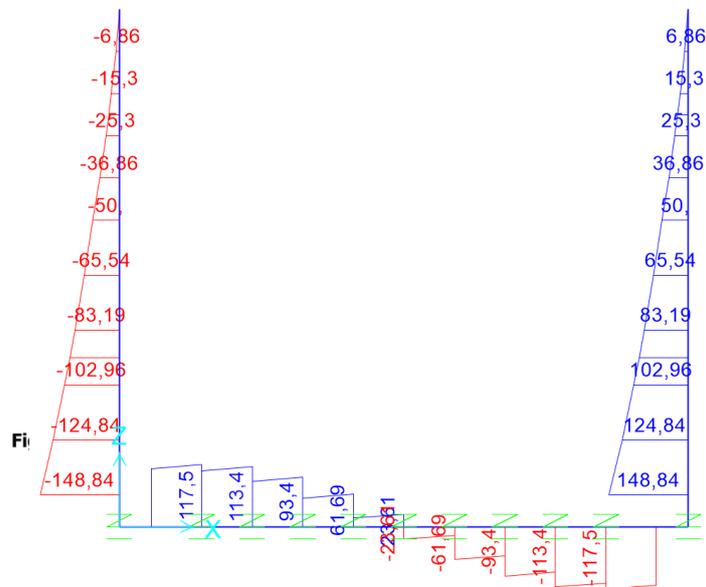


Figura 101. Momento flettente M3-3



SLE FREQUENTE



CITTA' DI TORINO

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

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

MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1

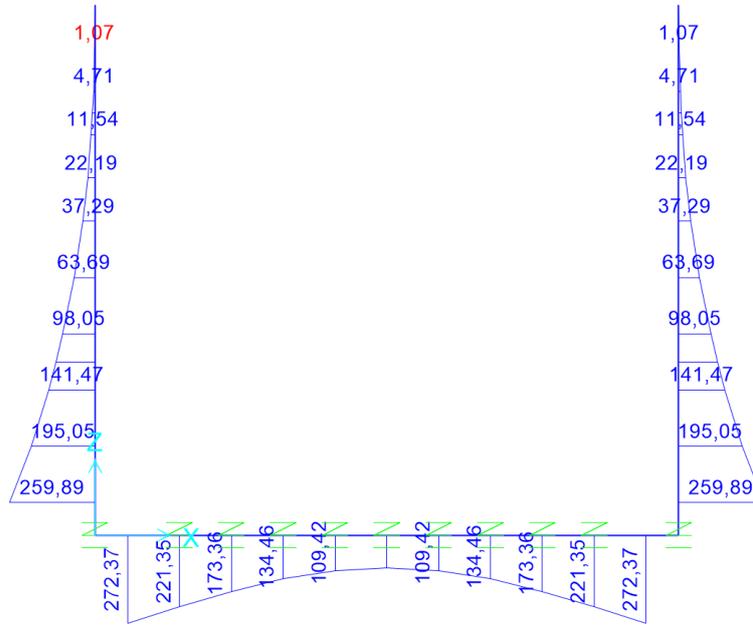
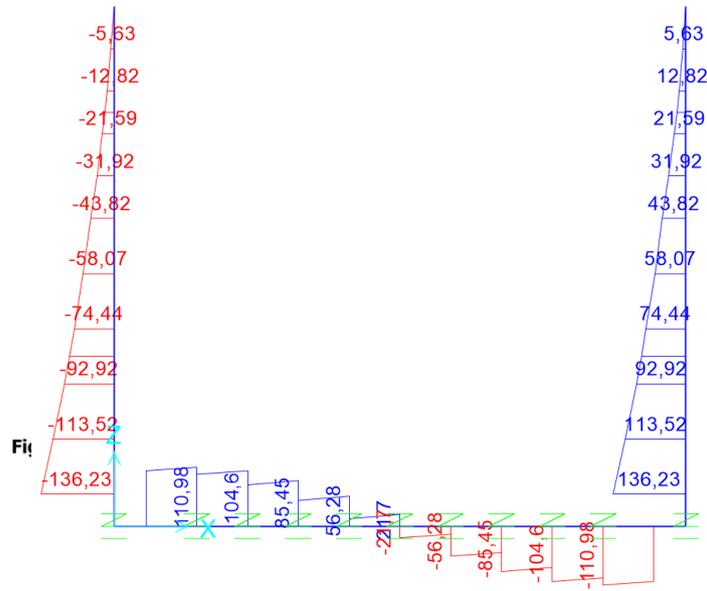


Figura 103. Momento flettente M3-3





SLE QUASI PERMANENTE

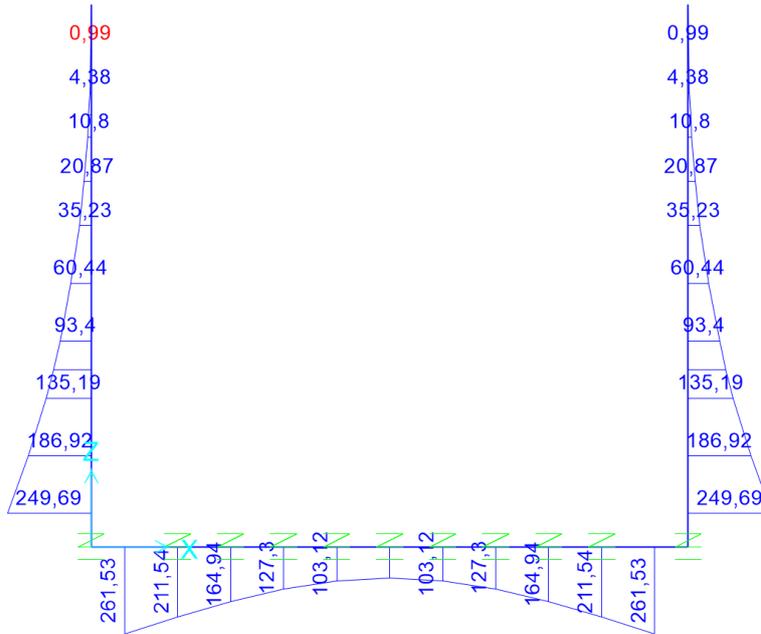
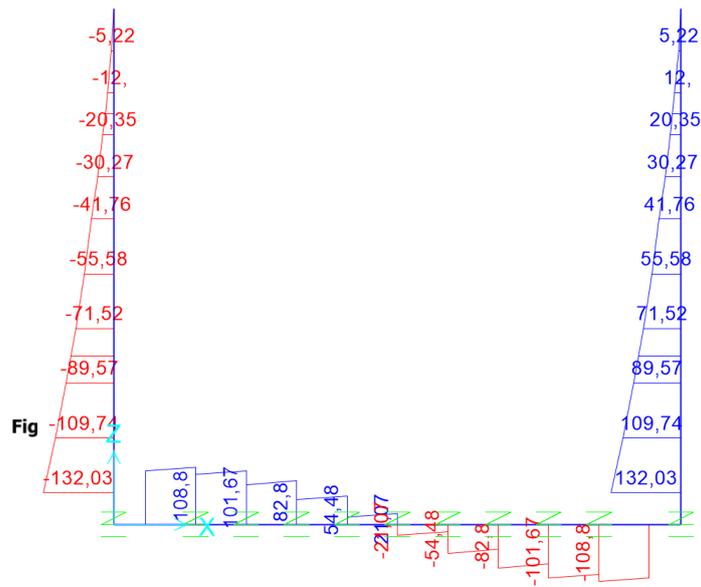


Figura 105. Momento flettente M3-3



 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Verona - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1

Verifiche strutturali

Di seguito sono riportate le verifiche strutturali allo Stato Limite Ultimo, così come le verifiche allo Stato Limite di Esercizio considerando i rispettivi inviluppi di sollecitazioni appena mostrati. In entrambi i casi sono stati depurati i valori di picco e sono stati presi in considerazione i valori di momento negativo e taglio sulle facce degli elementi e non sull'asse neutro.

Nel caso delle verifiche allo Stato Limite di Esercizio sono stati utilizzati per la verifica delle tensioni in esercizio, controllo della fessurazione e deformazione i valori limiti per la combinazione quasi permanente; il momento resistente il M_{lim} nella condizione dello stato limite di esercizio (SLE) è determinato dalla seguente condizione:

$$M_{lim} = \min [M_{0.30} ; M_{s_c} ; M_{s_s}]$$

Dove,

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

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

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

Tabella 38 Capacità delle sezioni tipologiche

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

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

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

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Verona - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1

Accesso a sbalzo	Staffe	STATO LIMITE ULTIMO		
		$V_{Rd,s,ULS}$	$V_{Ed,ULS}$	Verifica
	Ø10/200/200	628	224	OK

Si osserva quindi che dal confronto dei momenti flettenti massimi allo SLU di ciascuna sezione, si verifica che $M_{Rd,ULS} < M_{Ed,ULS}$; così come per il taglio $V_{Rd,ULS} < V_{Ed,ULS}$.

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

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Verona - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1

APPENDICE J



Di seguito sono riportati i risultati delle analisi dello schema dell'accesso chiuso in termini di sollecitazioni per unità di lunghezza: M_{xx} , M_{yy} , $Q(1-2)$:

SLU STR A1+M1+R1

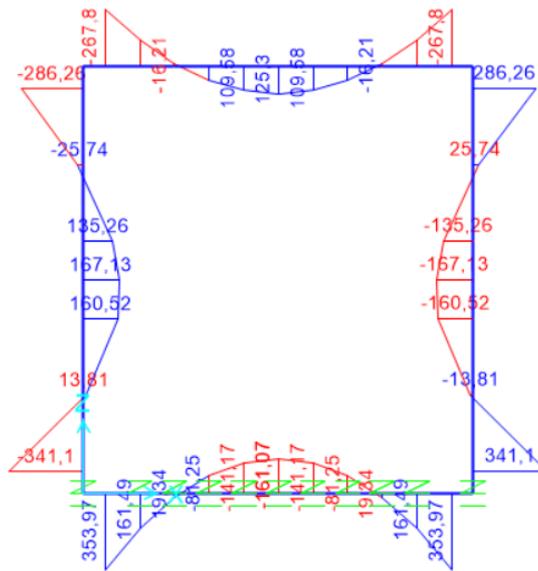


Figura 107.

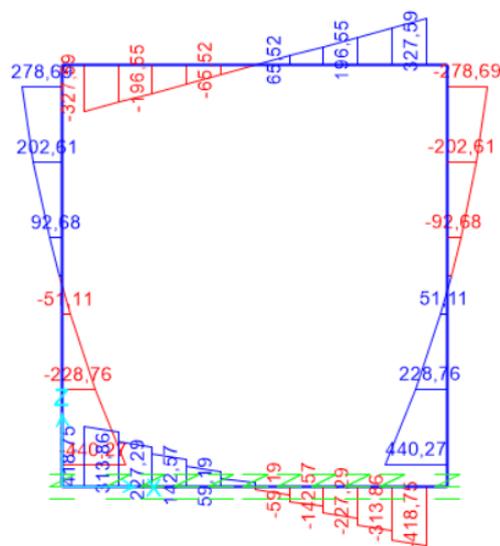


Figura 108.



SLU STR SISMA X

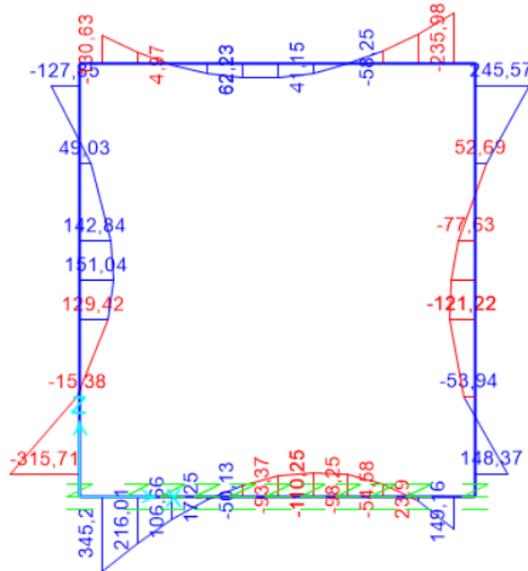


Figura 109. Momento flettente M3-3

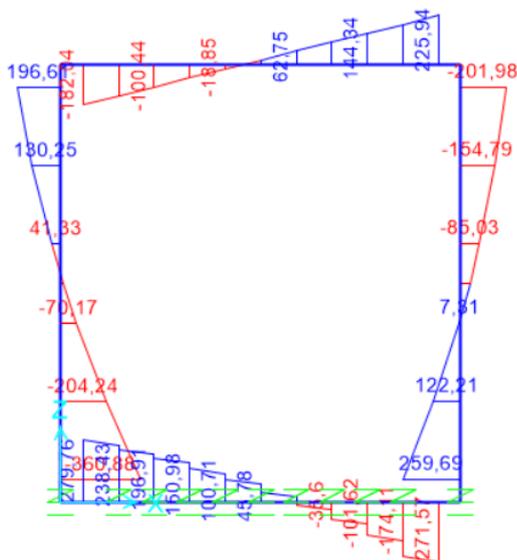


Figura 110



SLE RARA

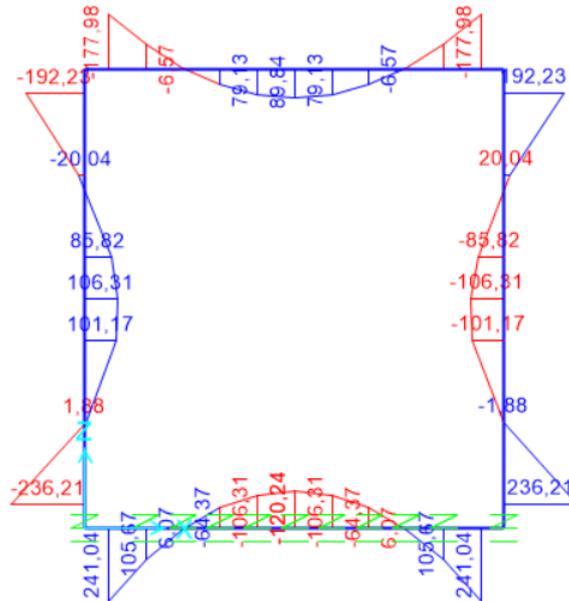


Figura 111. Momento flettente M3-3

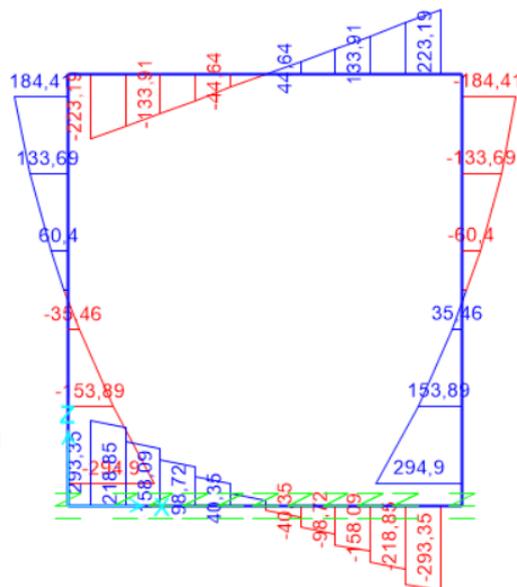


Figura 112



SLE FREQUENTE

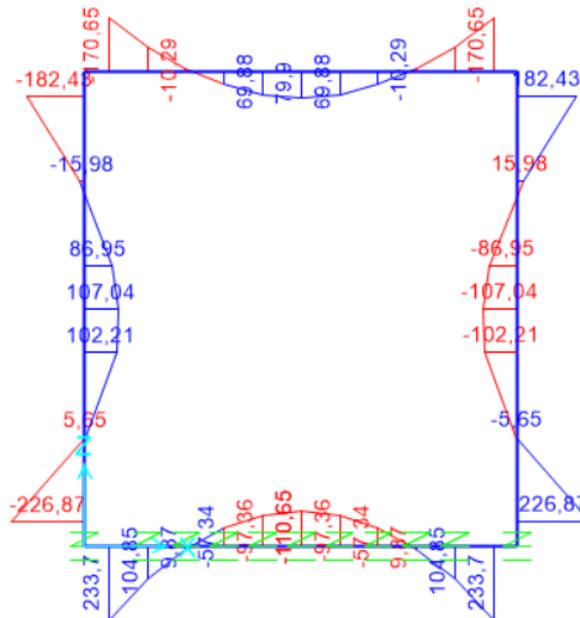


Figura 113. momento frequente M-kN

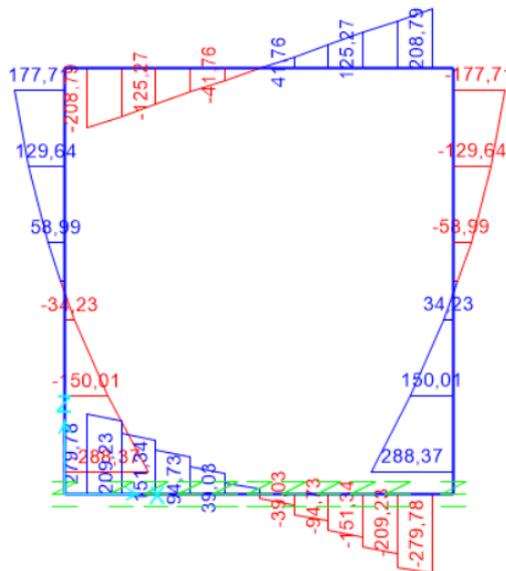


Figura 114



SLE QUASI PERMANENTE

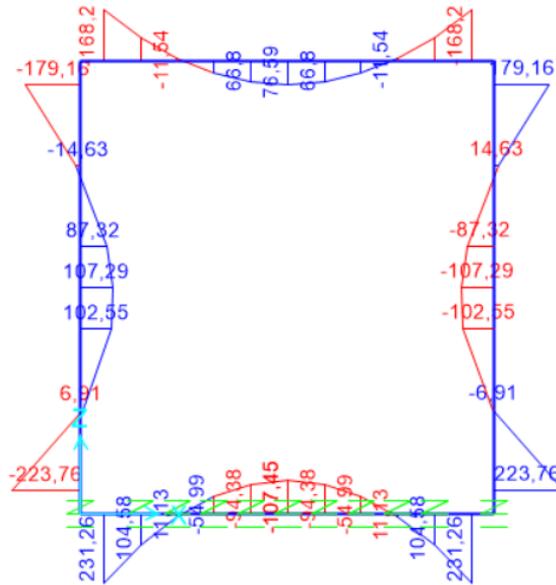


Figura 115. Momento flettente M3-3

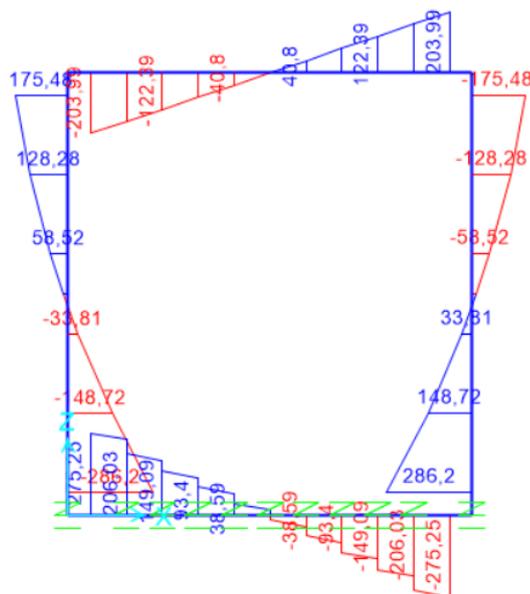


Figura 11

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Verona - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1

Verifiche strutturali

Di seguito sono riportate le verifiche strutturali allo Stato Limite Ultimo, così come le verifiche allo Stato Limite di Esercizio considerando i rispettivi involucri di sollecitazioni appena mostrati. In entrambi i casi sono stati depurati i valori di picco e sono stati presi in considerazione i valori di momento negativo e taglio sulle facce degli elementi e non sull'asse neutro.

Nel caso delle verifiche allo Stato Limite di Esercizio sono stati utilizzati per la verifica delle tensioni in esercizio, controllo della fessurazione e deformazione i valori limiti per la combinazione quasi permanente; il momento resistente limite M_{lim} nella condizione dello stato limite di esercizio (SLE) è determinato dalla seguente condizione:

$$M_{lim} = \min [M_{0.30} ; M_{s_c} ; M_{s_s}]$$

Dove,

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

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

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

Tabella 39 Capacità delle sezioni tipologiche

Sezione	H (cm)	d (cm)	As (cm ² /m)	As' (cm ² /m)	M _{lim} (kN.m/m)	M _{Rd} (kN.m/m)
Muro-Zona superiore	60	52.5	φ24/200	φ24/200	175	442.75
Muro-Zona Inferiore	60	52.5	φ24/100	φ24/200	415	842.55
Soletta di fondo-Laterale	60	52.5	φ24/100	φ24/200	415	842.55
Soletta di fondo-Centrale	60	52.5	φ24/200	φ24/200	175	442.75
Soletta di copertura-Laterale	60	52.5	φ24/200	φ24/200	175	442.75
Soletta di copertura-Centrale	60	52.5	φ24/200	φ24/200	175	442.75

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

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Verona - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1

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

Accesso chiuso	Staffe	STATO LIMITE ULTIMO		
		$V_{Rd,s, ULS}$	$V_{Ed, ULS}$	Verifica
	Ø10/200/200	628	440	OK

Si osserva quindi che dal confronto dei momenti flettenti massimi allo SLU di ciascuna sezione, si verifica che $M_{Rd, ULS} < M_{Ed, ULS}$; così come per il taglio $V_{Rd, ULS} < V_{Ed, ULS}$.

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

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Verona - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1

APPENDICE K



Di seguito sono riportati i risultati delle analisi della vasca d'accumulo antincendio in termini di sollecitazioni per unità di lunghezza: M_{xx} , M_{yy} , $Q(1-2)$:

SLU STR A1+M1+R1

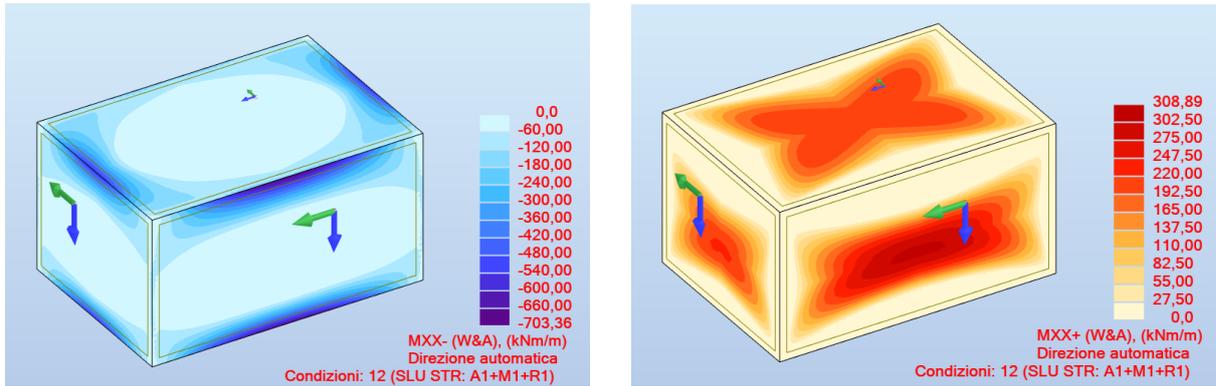
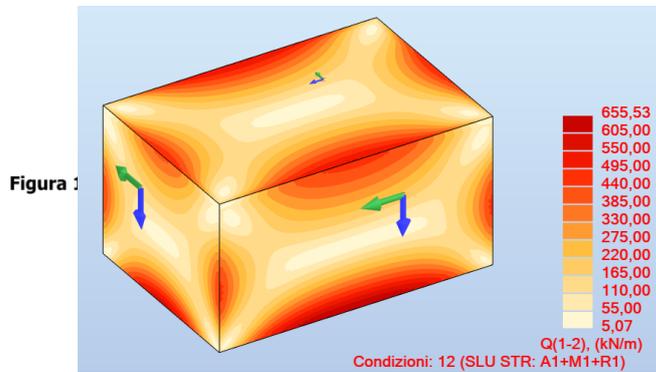
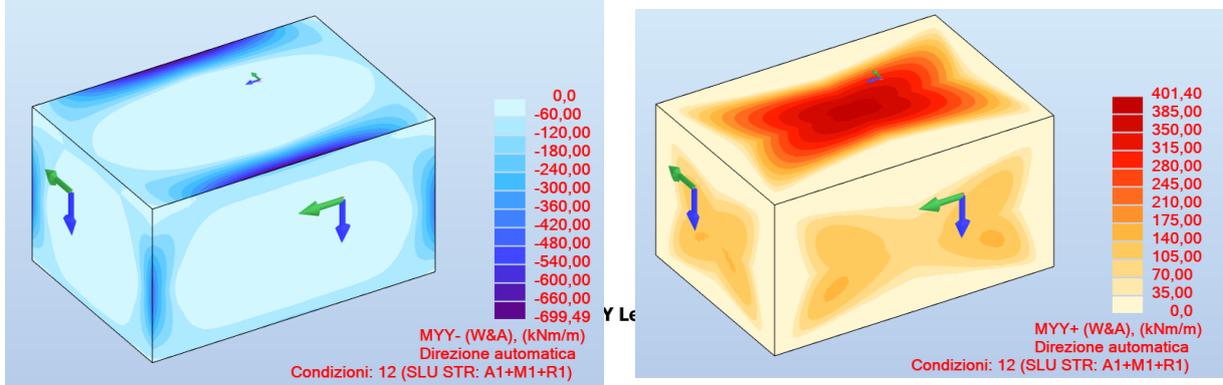


Figura 117. Momento flettente M_{XX} Lembo superiore e M_{XX} Lembo inferiore





SLU GEO A2+M2+R2

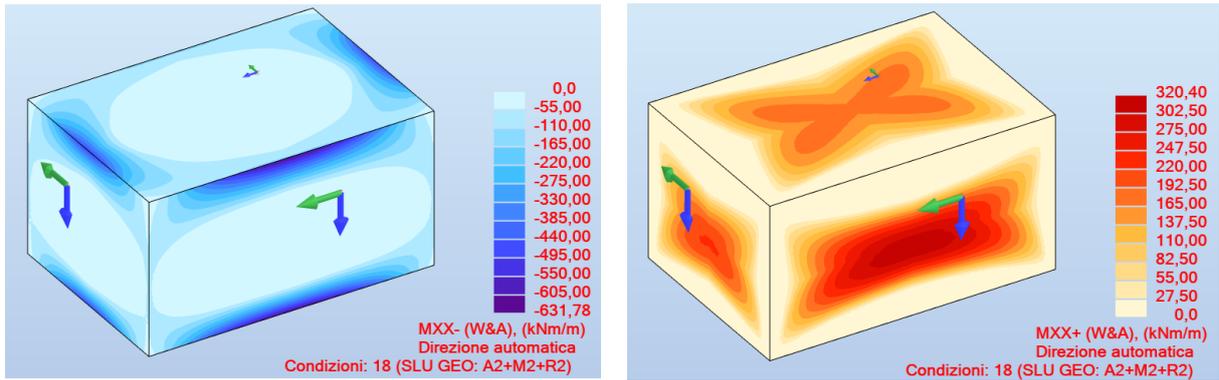
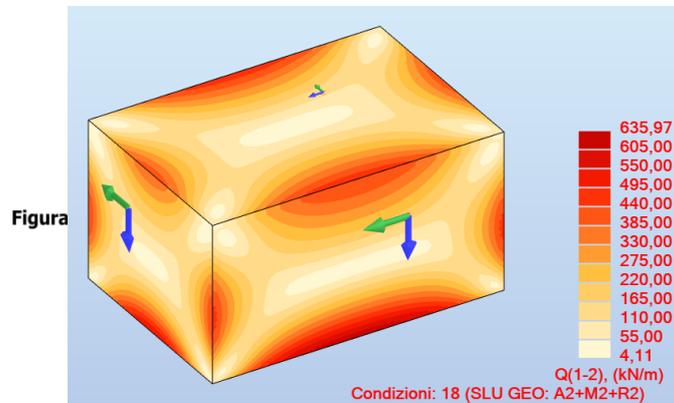
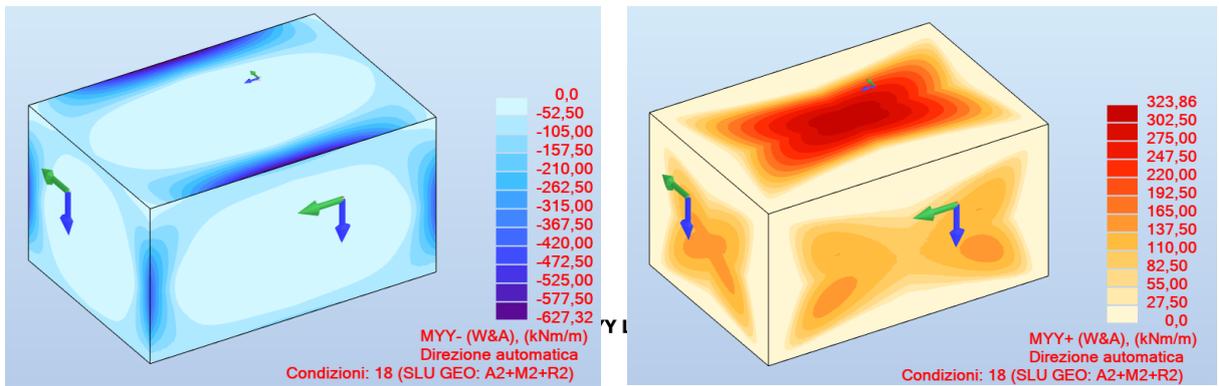


Figura 120. Momento flettente MXX Lembo superiore e MXX Lembo inferiore





SLU STR SISMA X

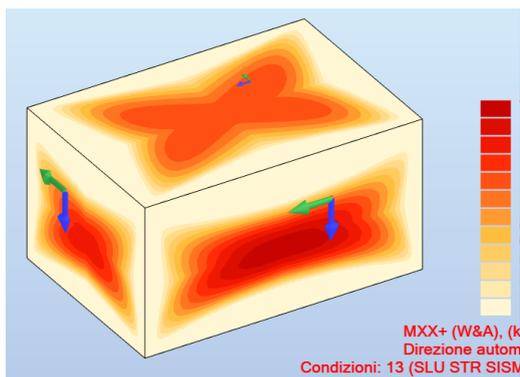
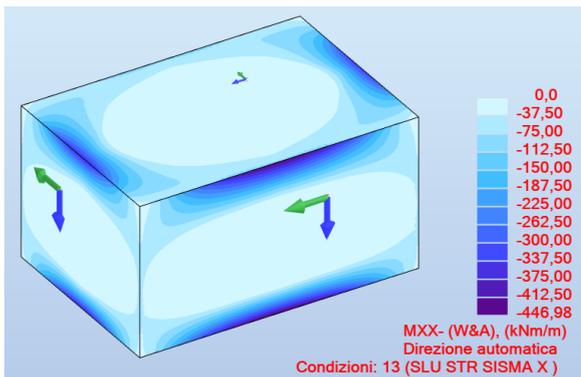
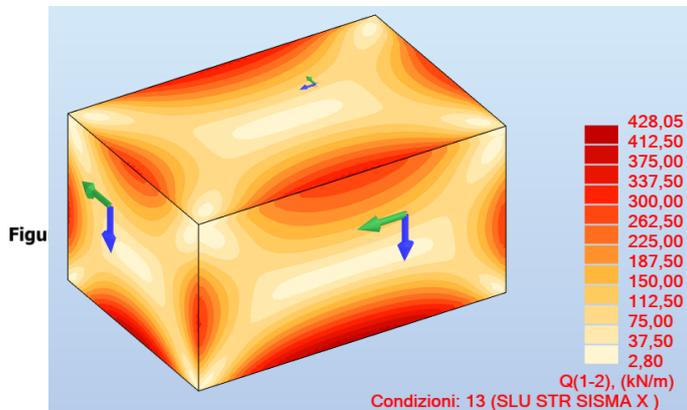
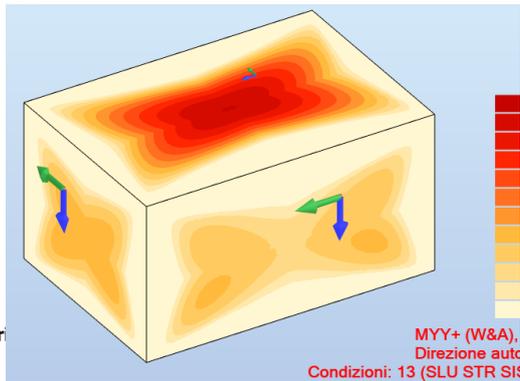
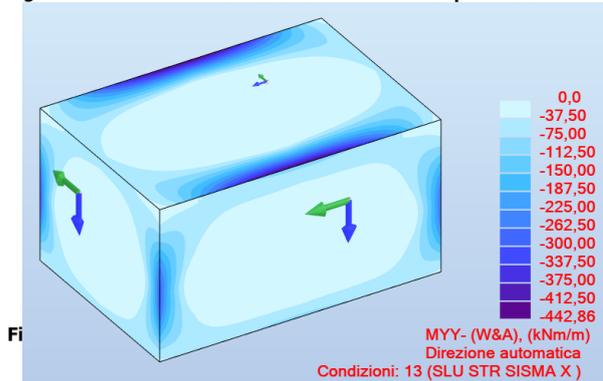


Figura 123. Momento flettente MXX Lembo superiore e MXX Lembo inferiore





SLU STR SISMA Y

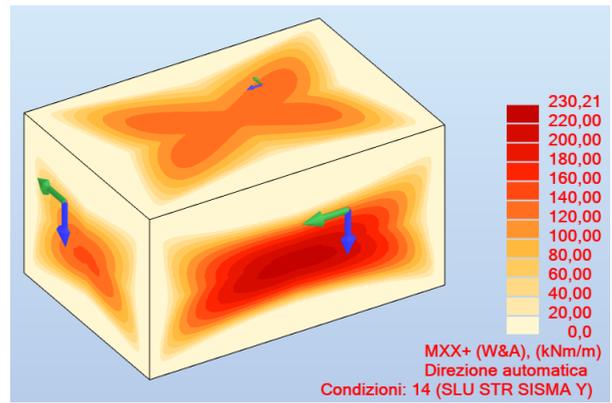
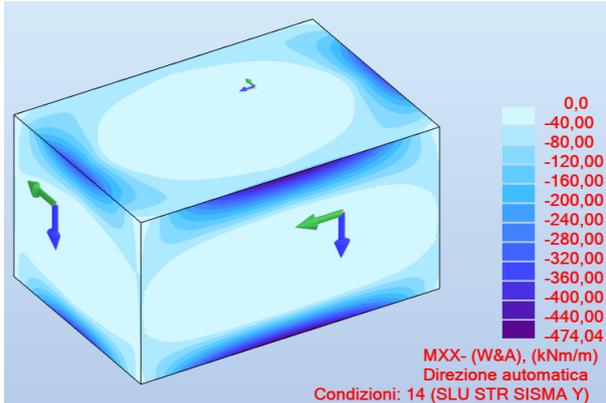
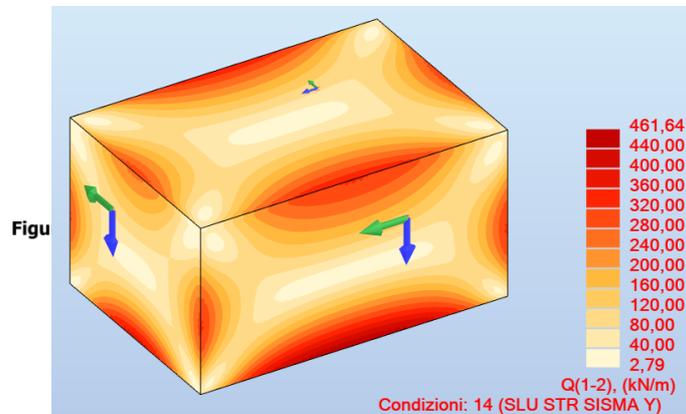
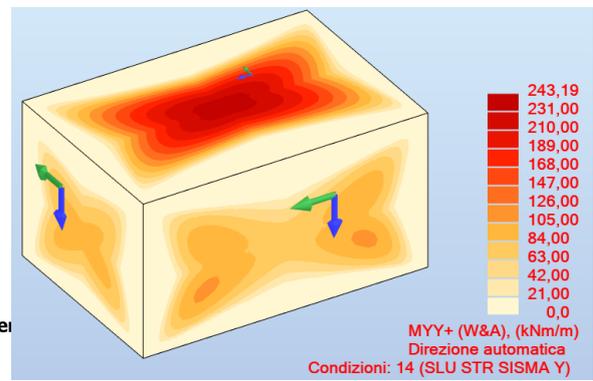
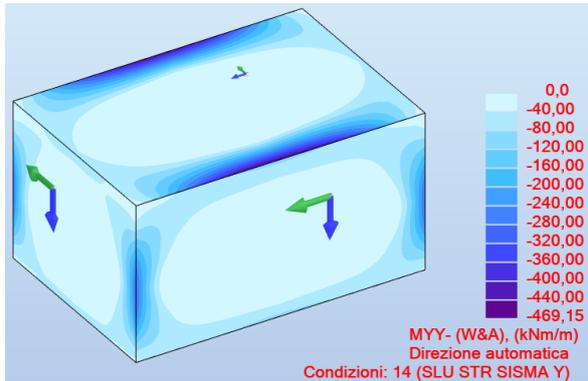


Figura 126. Momento flettente MXX Lembo superiore e MXX Lembo inferiore





SLU GEO SISMA X

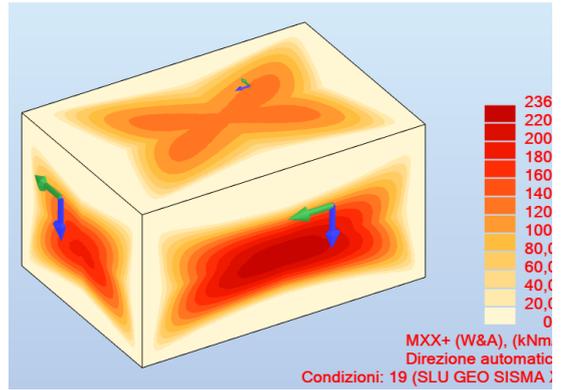
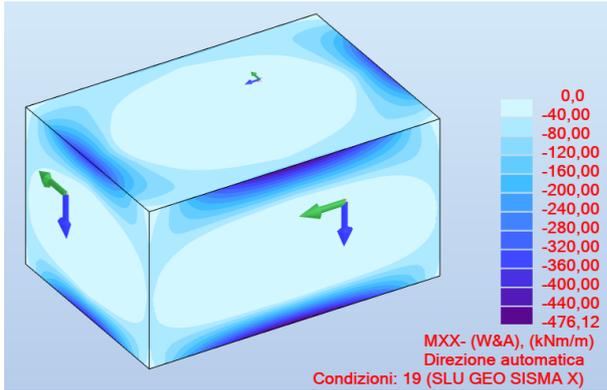
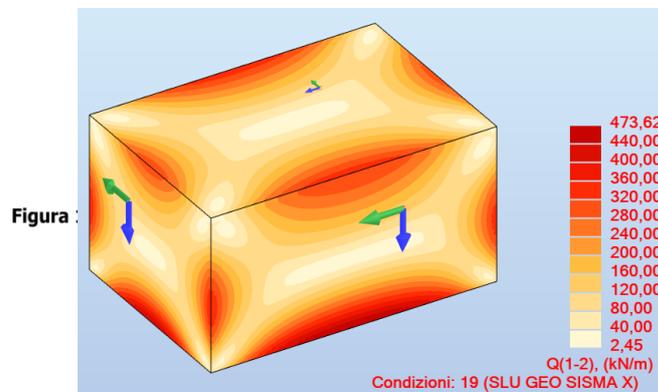
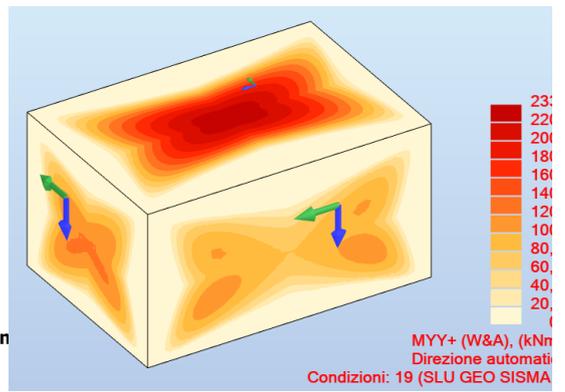
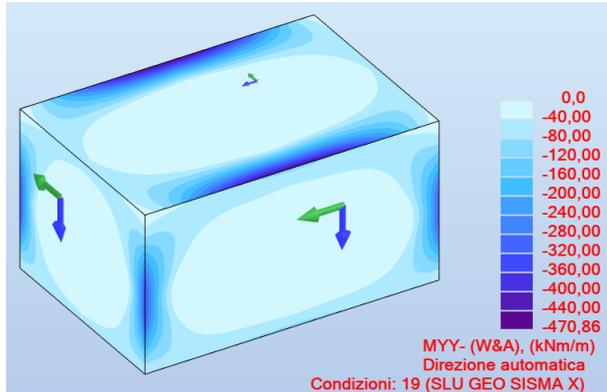


Figura 129. Momento flettente MXX Lembo superiore e MXX Lembo inferiore





SLU GEO SISMA Y

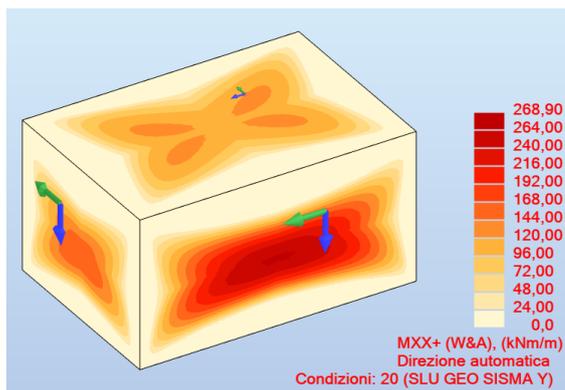
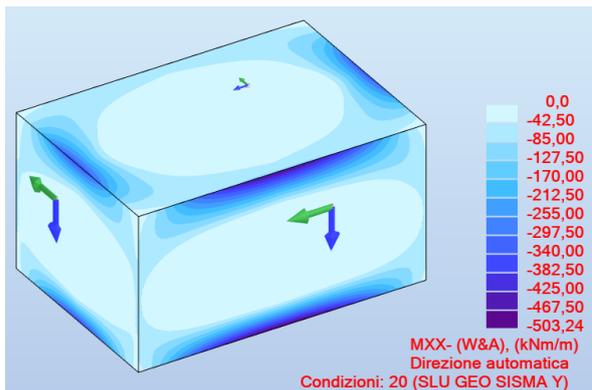
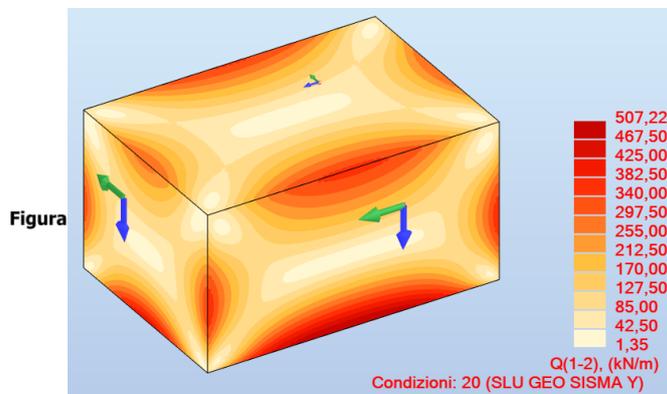
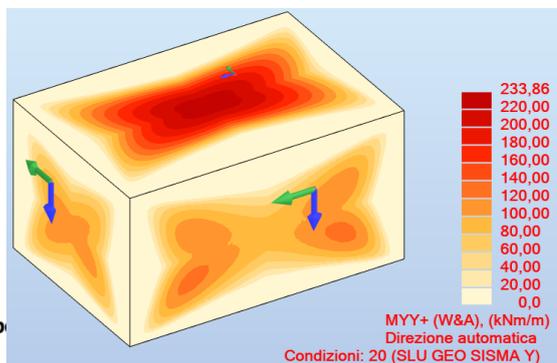
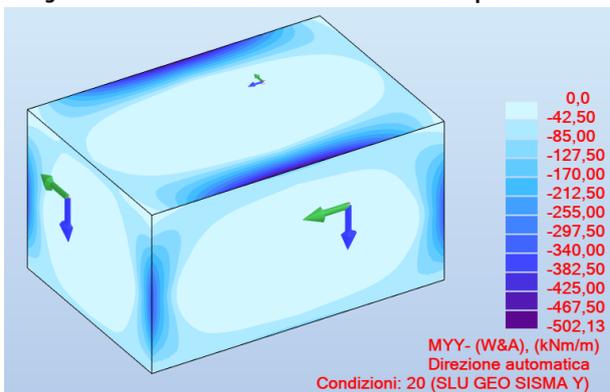


Figura 132. Momento flettente MXX Lembo superiore e MXX Lembo inferiore





SLE RARA

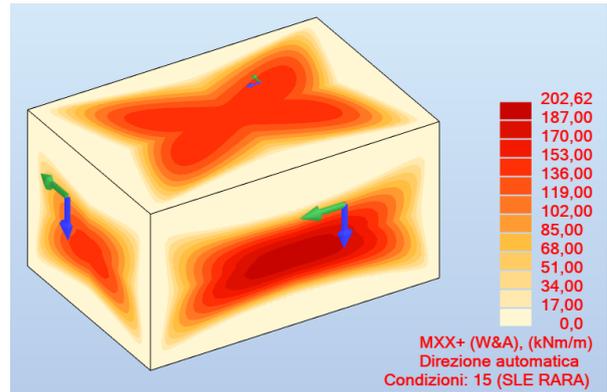
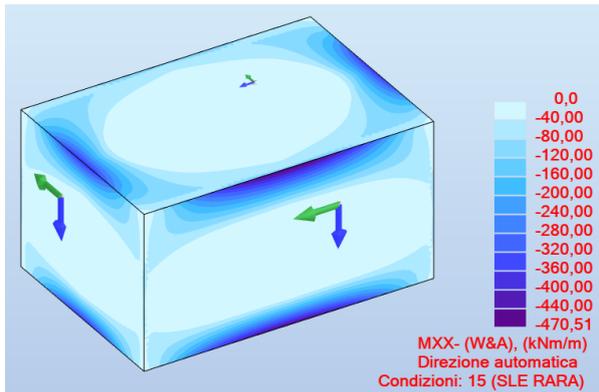


Figura 135. Momento flettente MXX Lembo superiore e MXX Lembo inferiore

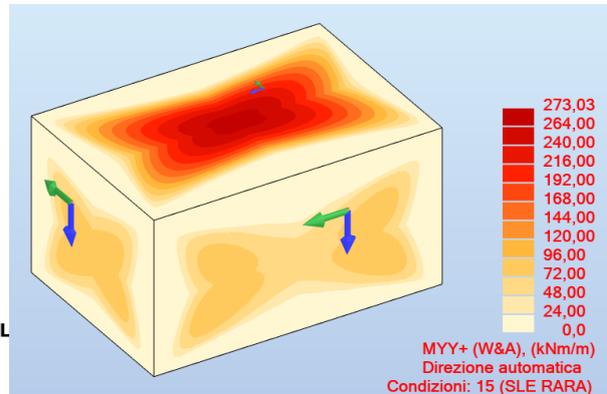
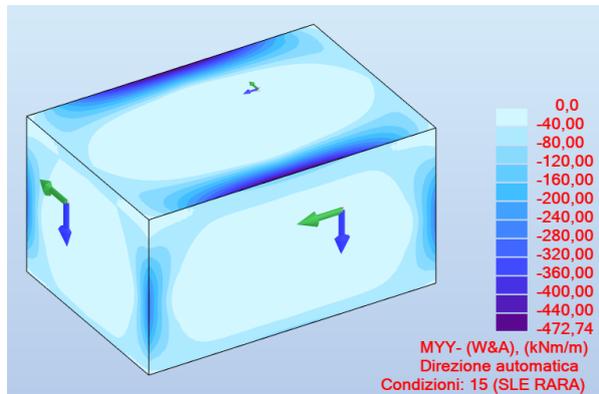
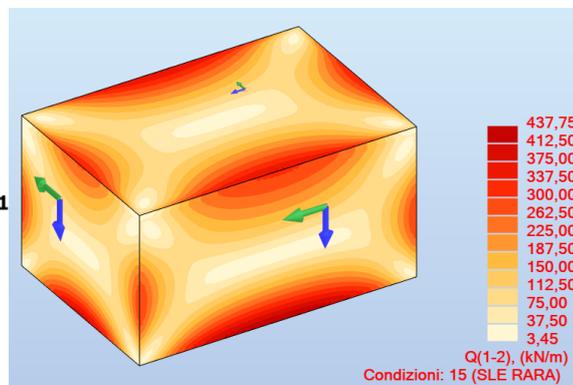


Figura 1





SLE FREQUENTE

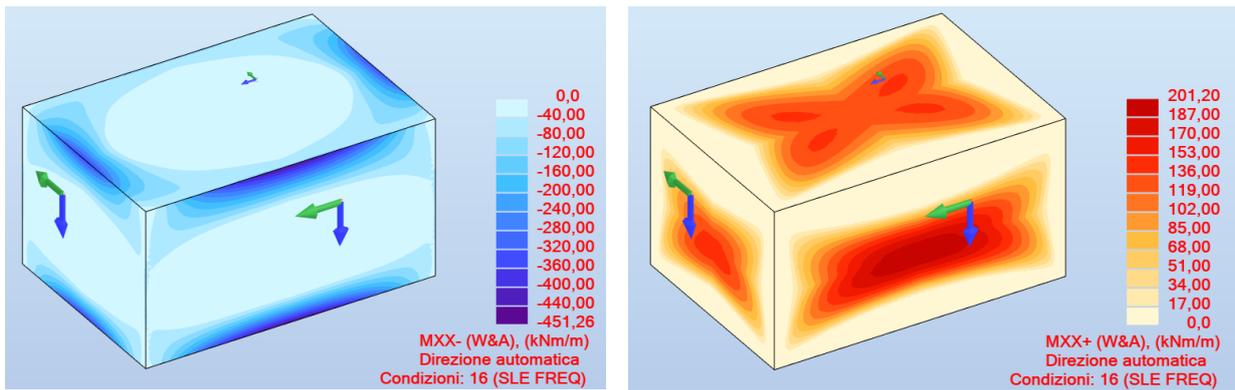


Figura 138. Momento flettente MXX Lembo superiore e MXX Lembo inferiore

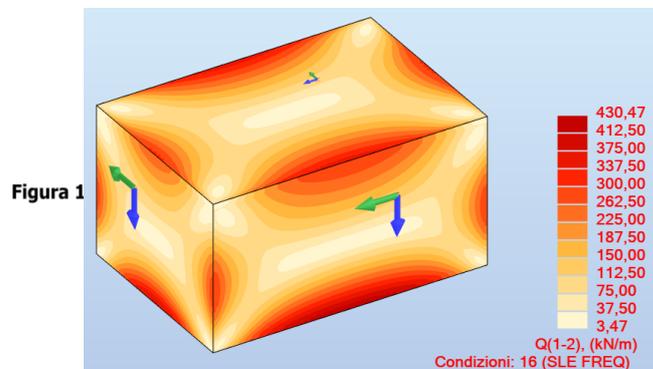
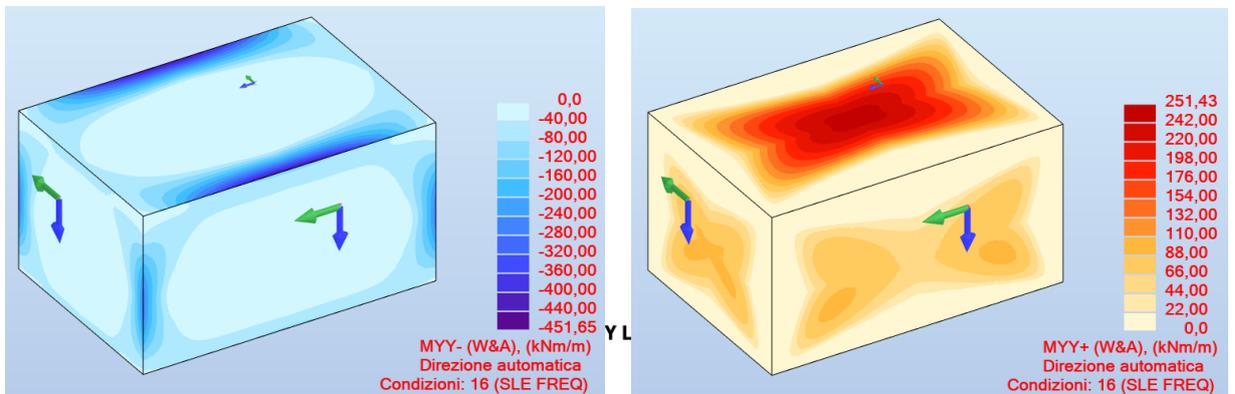


Figura 1



SLE QUASI PERMANENTE

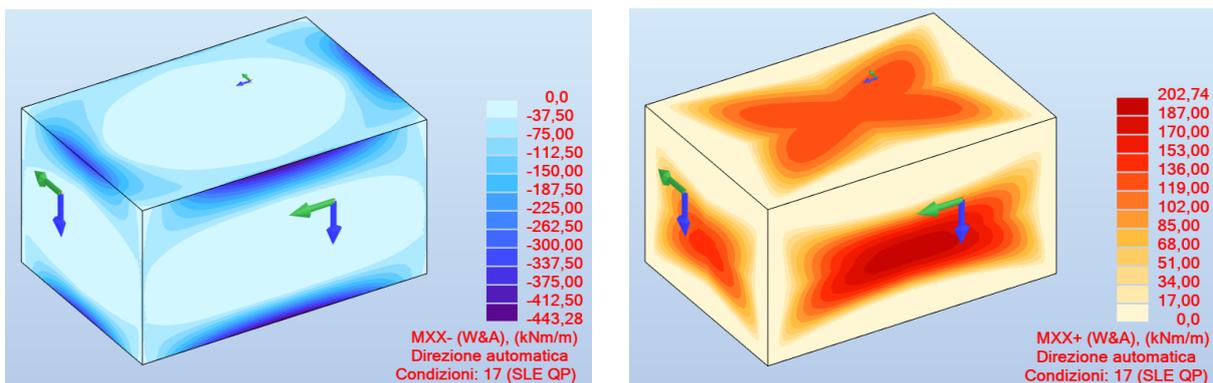
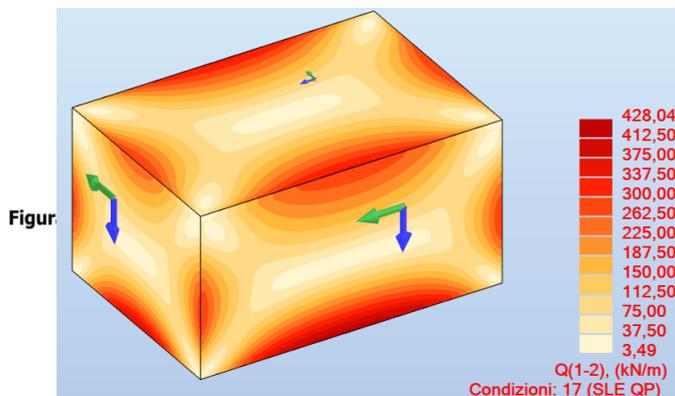
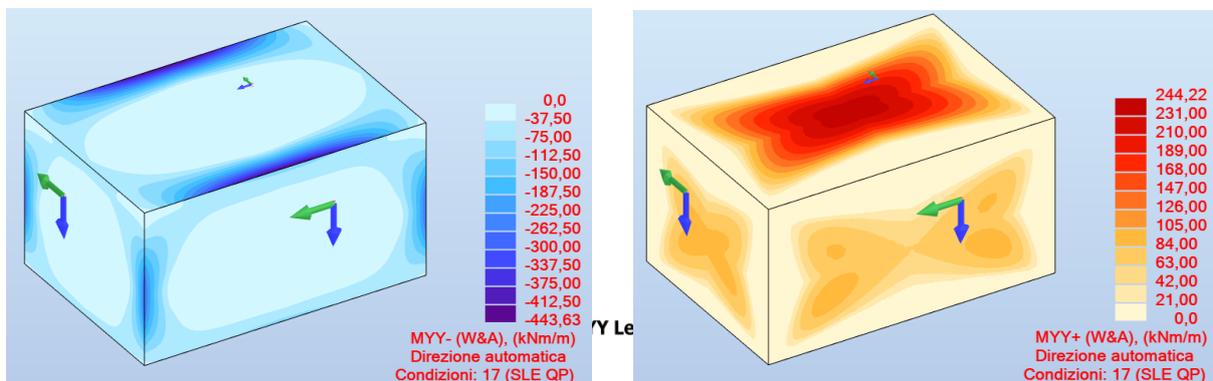


Figura 141. Momento flettente MXX Lembo superiore e MXX Lembo inferiore





INVILUPPO SLU SOLETTA DI COPERTURA

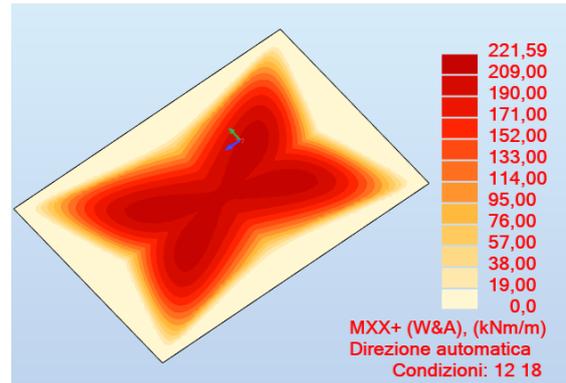
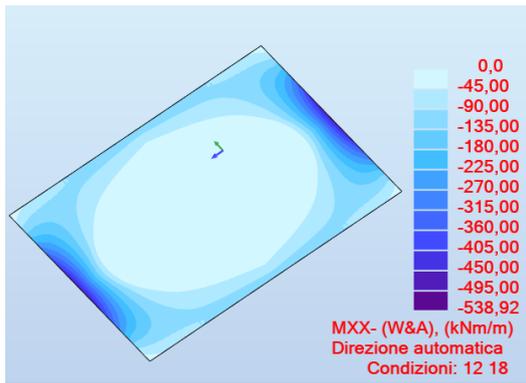
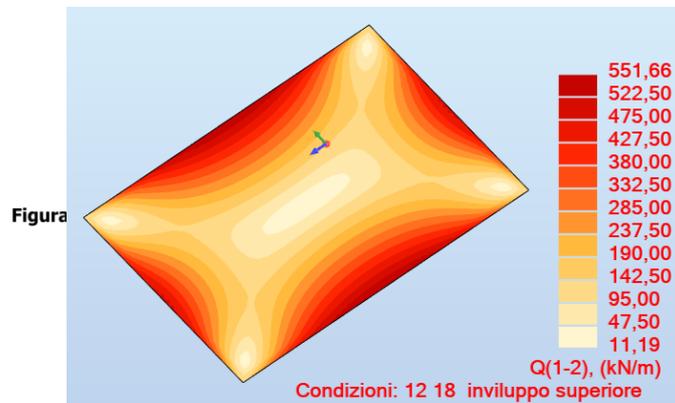
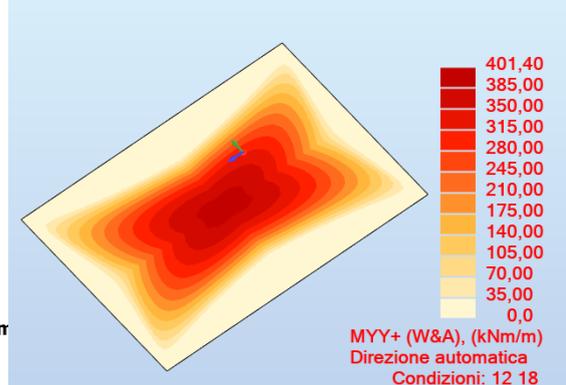
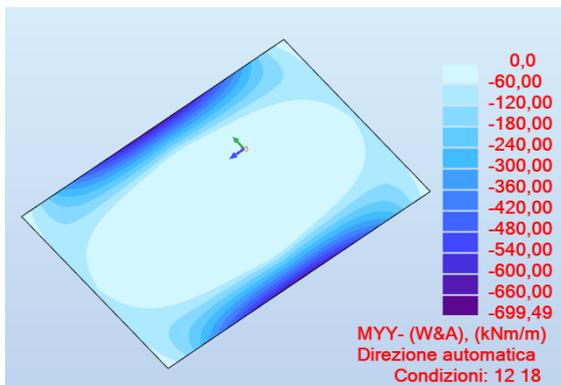


Figura 144. Momento flettente MXX Lembo Superiore e MXX Lembo Inferiore





INVILUPPO SLU PARETI

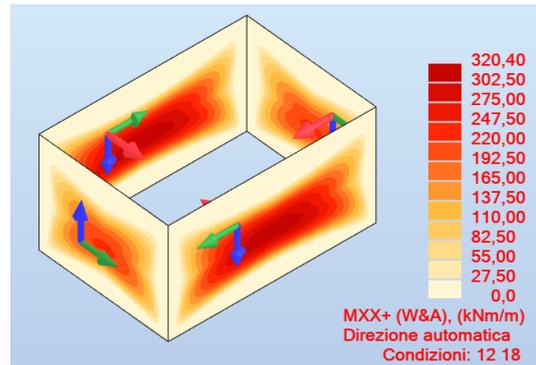
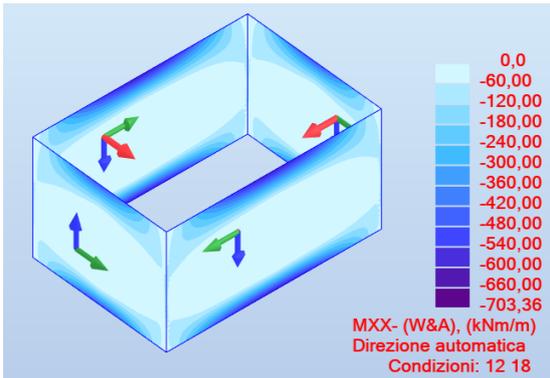
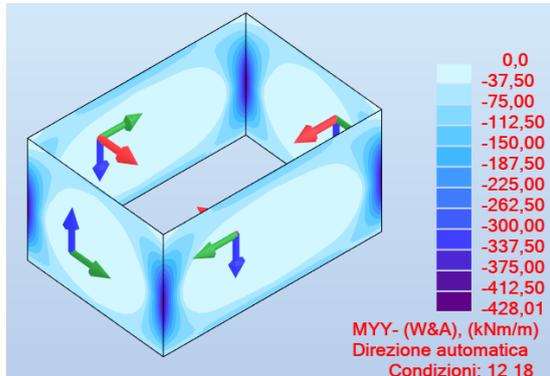
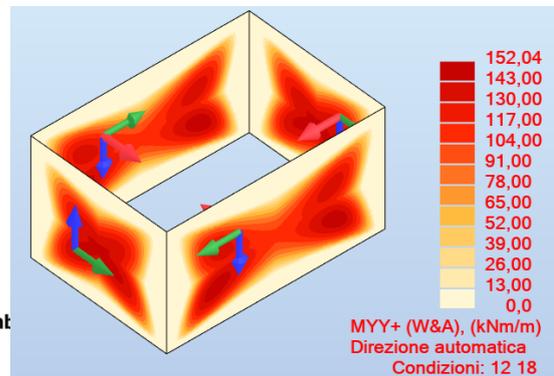


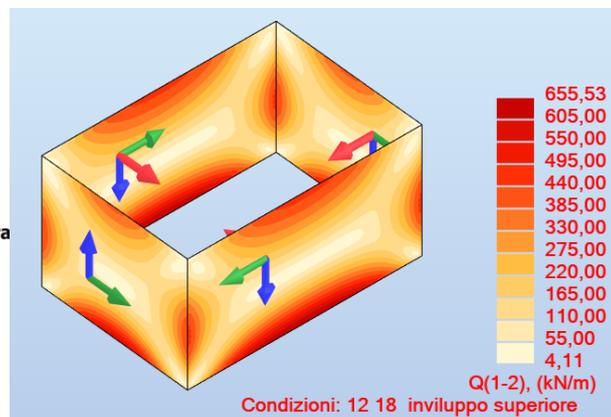
Figura 147. Momento flettente MXM Lembo Esterno e MXM Lembo Interno



MYM Lembo



Figura





INVILUPPO SLU SOLETTA DI FONDO

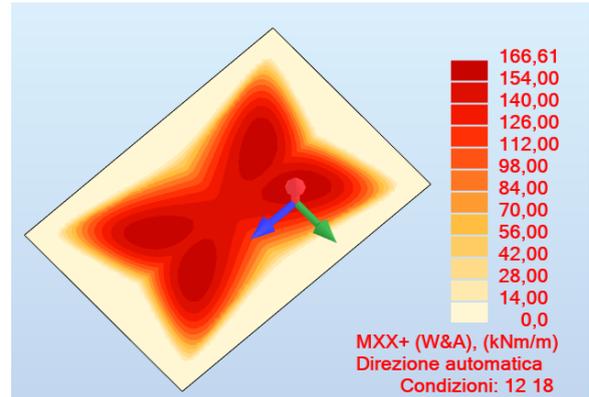
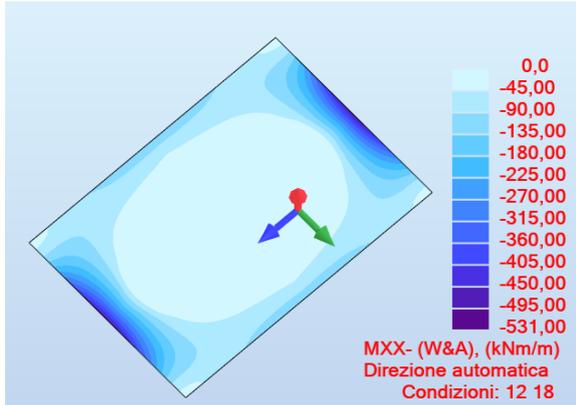


Figura 150. Momento flettente MXX Lembo Superiore e MXX Lembo Inferiore

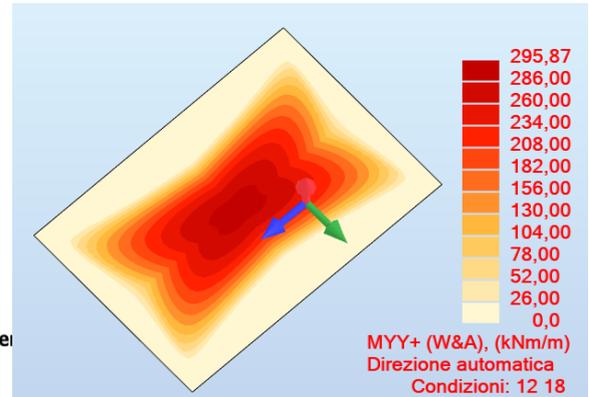
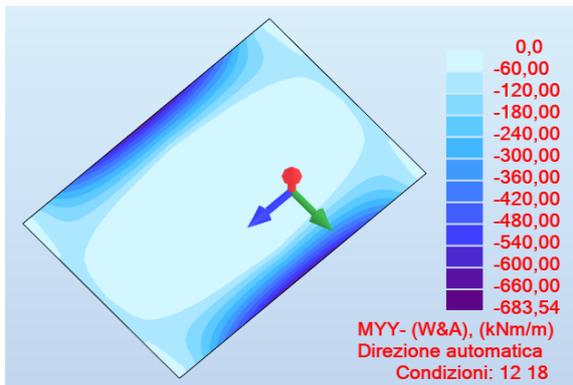
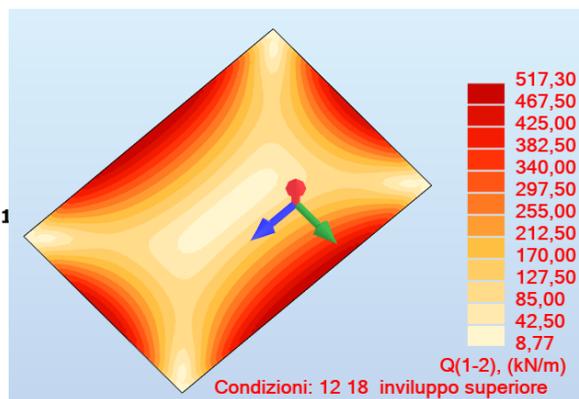


Figura 1





INVILUPPO SLE SOLETTA DI COPERTURA

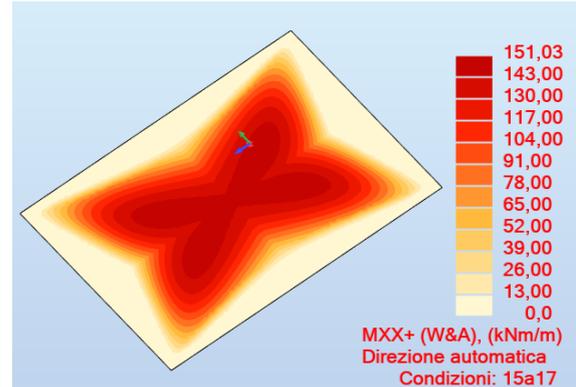
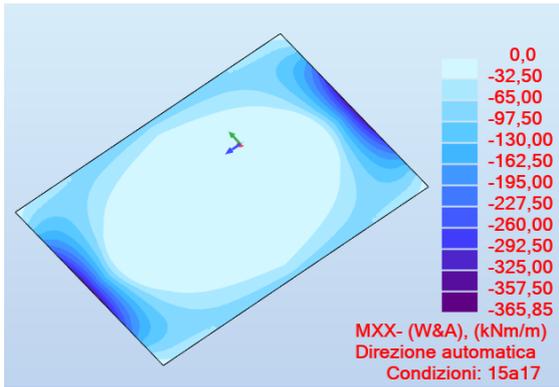
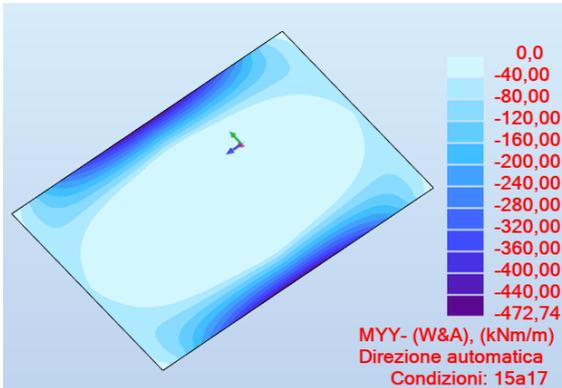


Figura 153. Momento flettente MXX Lembo Superiore e MXX Lembo Inferiore



YY Lem

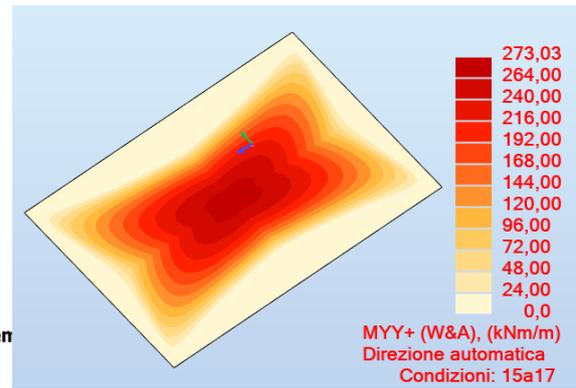
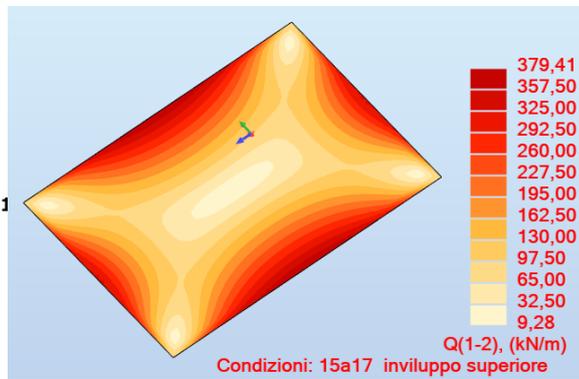


Figura 1





INVILUPPO SLE PARETI

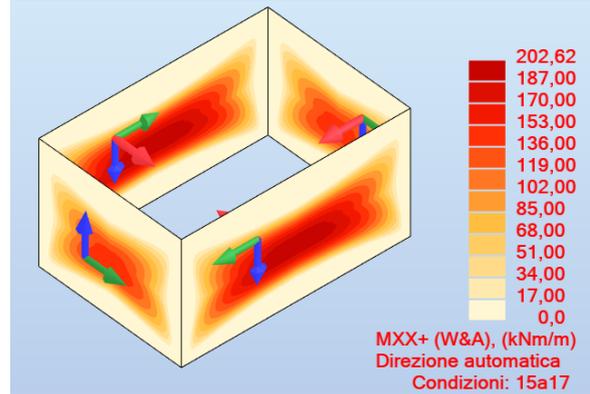
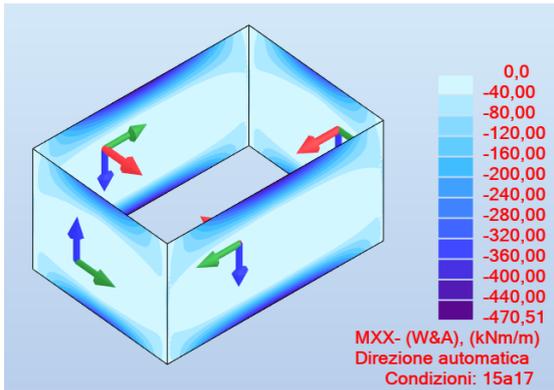
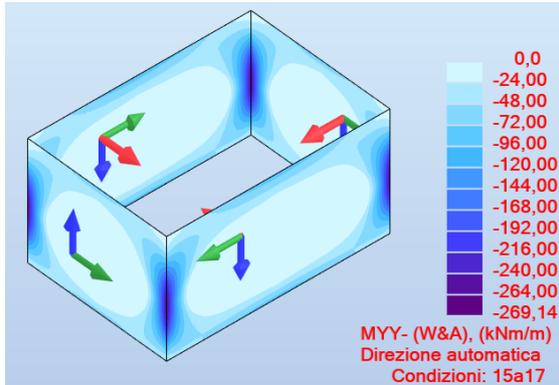
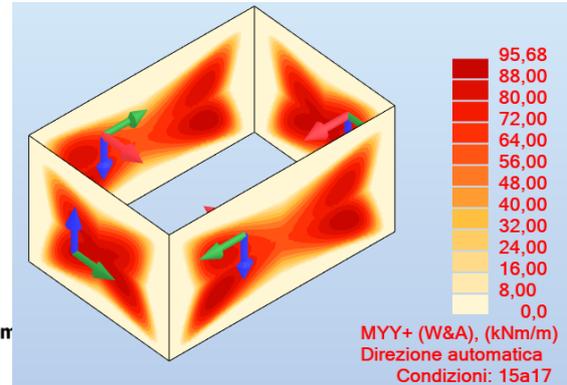


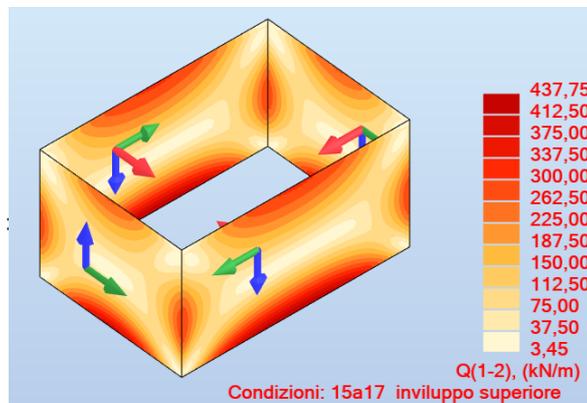
Figura 156. Momento flettente MXX Lembo Esterno e MXX Lembo Interno



YYY Lem



Figura





INVILUPPO SLE SOLETTA DI FONDO

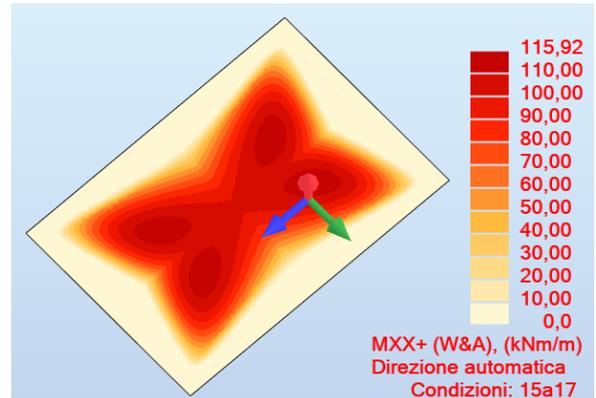
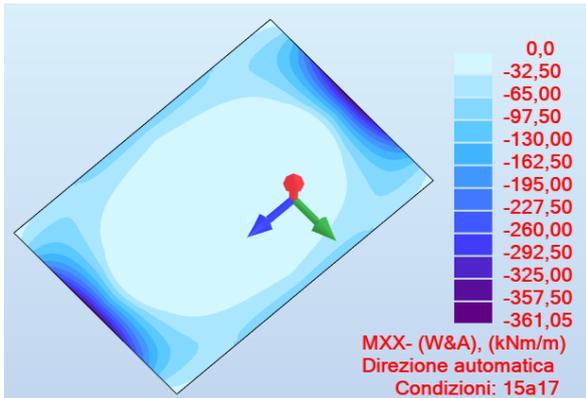
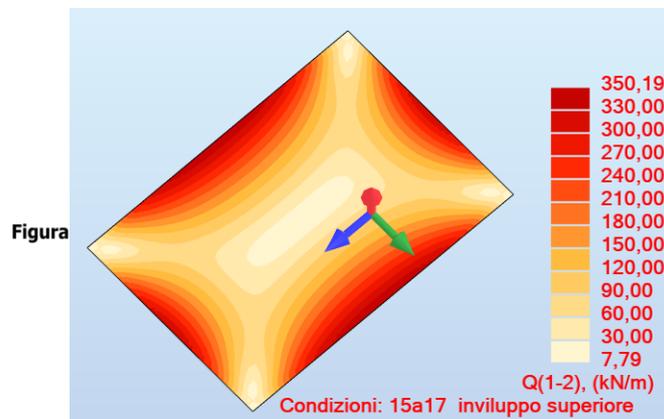
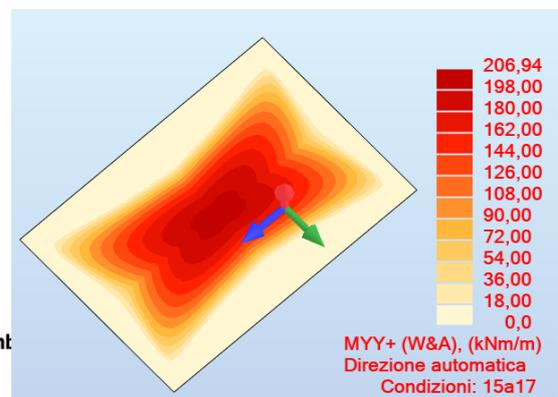
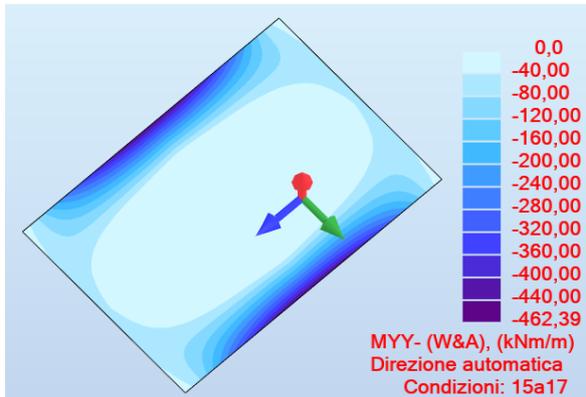


Figura 159. Momento flettente MXX Lembo Superiore e MXX Lembo Inferiore



 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Verona - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1

Verifiche strutturali

Di seguito sono riportate le verifiche strutturali allo Stato Limite Ultimo, così come le verifiche allo Stato Limite di Esercizio considerando i rispettivi involucri di sollecitazioni appena mostrati. In entrambi i casi sono stati depurati i valori di picco e sono stati presi in considerazione i valori di momento negativo e taglio sulle facce degli elementi e non sull'asse neutro.

Per la verifica a taglio, l'angolo d'inclinazione della biella compressa è stata posta pari a 35°.

Nel caso delle verifiche allo Stato Limite di Esercizio sono stati utilizzati per la verifica delle tensioni in esercizio, controllo della fessurazione e deformazione i valori limiti per la combinazione quasi permanente; il momento resistente limite M_{lim} nella condizione dello stato limite di esercizio (SLE) è determinato dalla seguente condizione:

$$M_{lim} = \min [M_{0.30} ; M_{Sc} ; M_{Ss}]$$

Dove,

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

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

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

Tabella 40 Verifiche strutturali armatura principale Soletta di copertura – Vasca antincendio

	Posizione	Armatura			STATO LIMITE ULTIMO			STATO LIMITE DI ESERCIZIO		
					$M_{Rd,ULS}$	$M_{Ed,ULS}$	Verifica	$M_{Rd,lim SLE}$	$M_{Ed,SLS}$	Verifica
Soletta di copertura	Zona laterale	Longitudinale	Superiore	Ø26/150	-708	-539	OK	-395	-315	OK
			Inferiore	Ø20/150						
		Trasversale	Superiore	Ø26/150	-708	-520	OK	-395	-360	OK
			Inferiore	Ø20/150						
	Zona centrale	Longitudinale	Superiore	Ø20/150	435	222	OK	235	151	OK
			Inferiore	Ø20/150						
		Trasversale	Superiore	Ø26/150	708	401	OK	602	273	OK
			Inferiore	Ø20/150						

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Verona - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1

Tabella 41 Verifiche strutturali armatura principale Muri – Vasca antincendio

	Posizione	Armatura			STATO LIMITE ULTIMO			STATO LIMITE DI ESERCIZIO		
					M _{Rd,ULS}	M _{Ed,ULS}	Verifica	M _{Rd,lim SLE}	M _{Ed,SLS}	Verifica
Muri	Estremi	Longitudinale	Superiore	Ø26/150	-708	-590	OK	-395	-375	OK
			Inferiore	Ø20/150						
		Trasversale	Superiore	Ø20/150	-435	-350	OK	-235	-185	OK
			Inferiore	Ø20/150						
	Centro	Longitudinale	Superiore	Ø20/150	435	309	OK	235	203	OK
			Inferiore	Ø20/150						
		Trasversale	Superiore	Ø18/150	355	147	OK	170	96	OK
			Inferiore	Ø18/150						

Tabella 42 Verifiche strutturali armatura principale Soletta di fondo – Vasca antincendio

	Posizione	Armatura			STATO LIMITE ULTIMO			STATO LIMITE DI ESERCIZIO		
					M _{Rd,ULS}	M _{Ed,ULS}	Verifica	M _{Rd,lim SLE}	M _{Ed,SLS}	Verifica
Soletta di fondo	Zona laterale	Longitudinale	Superiore	Ø26/150	-708	-435	OK	-395	-295	OK
			Inferiore	Ø20/150						
		Trasversale	Superiore	Ø26/150	-708	-580	OK	-395	-365	OK
			Inferiore	Ø20/150						
	Zona centrale	Longitudinale	Superiore	Ø20/150	435	167	OK	235	116	OK
			Inferiore	Ø20/150						
		Trasversale	Superiore	Ø20/150	435	296	OK	235	207	OK
			Inferiore	Ø20/150						

Tabella 43 Verifiche strutturali armatura a taglio Soletta di copertura – Vasca antincendio

Soletta di copertura	Posizione	Staffe	STATO LIMITE ULTIMO		
			V _{Rd,ULS}	V _{Ed,ULS}	Verifica
	Angoli	Ø10/150/150	968	552	OK
	Centro	Ø10/150/300	416	275	OK

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Verona - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1

Tabella 44 Verifiche strutturali armatura a taglio Muri – Vasca antincendio

Muri	Posizione	Staffe	STATO LIMITE ULTIMO		
			$V_{Rd,ULS}$	$V_{Ed,ULS}$	Verifica
	Angoli	Ø8/150/150	621	610	OK
	Centro	Ø8/150/300	266	247	OK

Tabella 45 Verifiche strutturali armatura a taglio Soletta di fondo – Vasca antincendio

Soletta di fondo	Posizione	Staffe	STATO LIMITE ULTIMO		
			$V_{Rd,ULS}$	$V_{Ed,ULS}$	Verifica
	Angoli	Ø8/150/150	621	571	OK
	Centro	Ø8/150/300	266	253	OK

Si osserva quindi che dal confronto dei momenti flettenti massimi allo SLU di ciascuna sezione, si verifica che $M_{Rd,ULS} < M_{Ed,ULS}$; così come per il taglio $V_{Rd,ULS} < V_{Ed,ULS}$.

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

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Verona - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1

APPENDICE L

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino - Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Stazione Verona - Relazione di calcolo opere di sostegno e strutture accessi stazione	MTL2T1A2DSTRSVRR003-0-1

VALIDAZIONE DEI MODELLI DI CALCOLO

Nella presenta nota tecnica si presentano le verifiche sintetiche atte a consentire il giudizio di accettabilità dei risultati così come previsto dal §10.2.1 del D.M. 17/01/2018, ricostruendo le sollecitazioni di momento flettente massimo in condizioni statiche confrontando i risultati provenienti dai due software utilizzati per il dimensionamento delle strutture definitive (SAP2000 e Autodesk Robot) con i valori di momento determinati mediante soluzioni in forma chiusa (*Calcolo di lastre e piastre con la teoria elastica lineare*, R. Bares).

Nella tabella sottostante sono riportati i confronti per la struttura a titolo rappresentativo delle analisi eseguite.

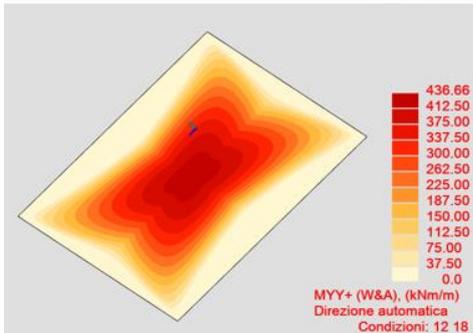
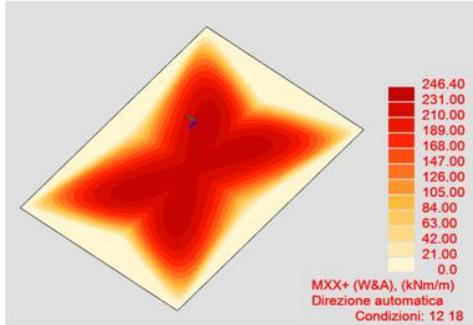
Tabella 1. Risultati estratti dai modelli e confronti

STUTTURA	Momento massimo mezzeria [kNm]		Differenza (%)
	Modellazione Comb. SLE	Metodo analitico	
Vasca – soletta di copertura (Modello Robot)	Mx=247	Mx=242	5.0
	My=437	My=416	5.0

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

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

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



Tab. 1.12

$\mu = 0,15$

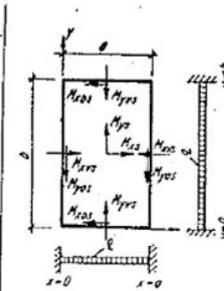
$\gamma = \frac{a}{b}$

$M_{x0x} = M_{x0y}$

$M_{y0y} = M_{y0x}$

$M_{x0x} = \mu M_{y0y}$

$M_{y0y} = \mu M_{x0x}$



a	9	m
b	13	m
γ	0.7	

q	88	kN/m ²
qa ²	7128	
qb ²	14872	

Mx	242	kNm
My	416	kNm

γ	w_s	M_{xx}	M_{xy}	M_{yy}	M_{yx}
0,50	0,0296	0,0405	0,0833	0,0024	0,0143
0,55	0,0286	0,0394	0,0817	0,0033	0,0172
0,60	0,0275	0,0378	0,0794	0,0046	0,0206
0,65	0,0261	0,0360	0,0767	0,0061	0,0242
0,70	0,0246	0,0339	0,0737	0,0079	0,0280
f. m.	$\frac{qa^4}{Eh^3}$	qa^2	qa^2	qb^2	qb^2

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