

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



**COMUNE DI TORINO**



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

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


<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		 <b>INFRA.TO</b> <i>infrastrutture per la mobilità</i>										<b>INFRATRASPORTI S.r.l.</b>		
<b>DIRETTORE PROGETTAZIONE</b> Responsabile integrazione discipline specialistiche	<b>IL PROGETTISTA</b>													
<b>Ing. R. Crova</b> Ordine degli Ingegneri della Provincia di Torino n. 60385	<b>Ing. F. Rizzo</b> Ordine degli Ingegneri della Provincia di Torino n. 9337K	<b>DEPOSITO OFFICINA REBAUDENGO STRUTTURALE – EDIFICIO IN ELEVAZIONE RELAZIONE DI CALCOLO</b>												
		<b>ELABORATO</b>								<b>REV.</b>		<b>SCALA</b>	<b>DATA</b>	
		<b>Int.</b>	<b>Est.</b>											
<b>BIM MANAGER Geom. L. D'Accardi</b>		<b>MT</b>	<b>L2</b>	<b>T1</b>	<b>A1</b>	<b>D</b>	<b>STR</b>	<b>DRB</b>	<b>R</b>	<b>003</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>21/06/2023</b>


AGGIORNAMENTI

Fg. 1 di 1

REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	CONTROLLATO	APPROVATO	VISTO
0	EMISSIONE	28/02/22	SOS	PBA	FRI	RCR
1	Emissione finale a seguito di verifica preventiva	30/11/22	SOS	PBA	FRI	RCR
2	Emissione finale a seguito di verifica preventiva	21/06/23	SOS	ECA	FRI	RCR
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-


<b>STAZIONE APPALTANTE</b>											
DIRETTORE DI DIVISIONE INFRASTRUTTURE E MOBILITÀ Ing. R. Bertasio											
RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO Ing. A. Strozzi											
<table border="1" data-bbox="118 1839 852 1899"><tr><td>LOTTO 1</td><td>CARTELLA</td><td>9.5.1</td><td>1</td><td>MTL2T1A1D</td><td>STRDRBR003</td></tr></table>						LOTTO 1	CARTELLA	9.5.1	1	MTL2T1A1D	STRDRBR003
LOTTO 1	CARTELLA	9.5.1	1	MTL2T1A1D	STRDRBR003						

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Opere di sostegno – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR003-0-2.DOCX


 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta Costruttivo 1: Politecnico – Rebaudengo</b>
Piano di gestione della Progettazione	MTL2T1A1DSTRDRBR003-0-2.DOCX

## INDICE

<b>1.</b>	<b>INTRODUZIONE</b>	<b>10</b>
<b>2.</b>	<b>NORMATIVA E CODICI DI CALCOLO UTILIZZATI</b>	<b>12</b>
<b>2.1</b>	<b>NORMATIVE DI RIFERIMENTO</b>	<b>12</b>
<b>2.2</b>	<b>CODICI DI CALCOLO</b>	<b>14</b>
<b>3.</b>	<b>CARATTERISTICHE DEI MATERIALI</b>	<b>15</b>
<b>3.1</b>	<b>CALCESTRUZZO PER STRUTTURE: C30/37</b>	<b>15</b>
<b>3.2</b>	<b>ACCIAIO PER LE BARRE DI ARMATURA: B450C</b>	<b>15</b>
<b>3.3</b>	<b>ACCIAIO PER CARPENTERIA: S355</b>	<b>15</b>
<b>3.4</b>	<b>COPRIFERRO MINIMO E COPRIFERRO NOMINALE</b>	<b>16</b>
<b>3.5</b>	<b>COPRIFERRO MINIMO E COPRIFERRO NOMINALE: SOVRASTRUTTURA</b>	<b>16</b>
<b>4.</b>	<b>IPOTESI DI PROGETTO</b>	<b>17</b>
<b>4.1</b>	<b>VITA UTILE</b>	<b>17</b>
<b>4.2</b>	<b>CLASSE D'USO</b>	<b>17</b>
<b>4.3</b>	<b>FATTORE DI COMPORTAMENTO</b>	<b>17</b>
<b>4.4</b>	<b>STRUTTURA SISMO RESISTENTE</b>	<b>17</b>
<b>5.</b>	<b>ANALISI DEI CARICHI</b>	<b>18</b>
<b>5.1</b>	<b>CARICHI PERMANENTI</b>	<b>18</b>
<b>5.2</b>	<b>CARICO ACCIDENTALE DA NEVE</b>	<b>18</b>
<b>5.3</b>	<b>AZIONE DEL VENTO</b>	<b>19</b>
<b>5.4</b>	<b>AZIONE TERMICA</b>	<b>20</b>
<b>5.5</b>	<b>AZIONE SISMICA</b>	<b>20</b>
<b>6.</b>	<b>COMBINAZIONI DI CARICO</b>	<b>22</b>
<b>7.</b>	<b>ANALISI E VERIFICA DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI</b>	<b>33</b>
<b>7.1</b>	<b>SEZIONI ELEMENTI STRUTTURALI</b>	<b>34</b>
<b>7.2</b>	<b>MODELLAZIONE DELLE AZIONI</b>	<b>35</b>
<b>7.3</b>	<b>RISULTATI ANALISI MODALE</b>	<b>37</b>
<b>7.4</b>	<b>VERIFICHE STATICHE DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI</b>	<b>39</b>
7.4.1	SOLLECITAZIONI DI PROGETTO	41

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Opere di sostegno – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR003-0-2.DOCX

7.4.2	VERIFICHE	43
7.4.3	VERIFICHE A STATO LIMITE DI ESERCIZIO	46
7.4.4	VERIFICHE TENSIONALI E APERTURA DELLE FESSURE	48
<b>7.5</b>	<b>VERIFICHE SISMICHE DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI</b>	<b>52</b>
7.5.1	VERIFICHE DI RIGIDEZZA SLO	52
<b>7.6</b>	<b>REAZIONI VINCOLARI ALLA BASE DELL'EDIFICIO</b>	<b>53</b>
<b>7.7</b>	<b>VERIFICA DEI SOLAI ALVEOLARI</b>	<b>56</b>
<b>7.8</b>	<b>VERIFICA DELLE SCALE</b>	<b>60</b>
7.8.1	ANALISI DEI CARICHI	60
7.8.2	COMBINAZIONE DEI CARICHI	62
7.8.3	SOLLECITAZIONI E VERIFICHE	62
<b>8.</b>	<b>URTO DA TRAFFICO VEICOLARE</b>	<b>66</b>
<b>9.</b>	<b>DIMENSIONAMENTO E VERIFICHE CABINA ELETTRICA E SUE FONDAZIONI</b>	<b>71</b>
<b>9.1</b>	<b>STRUTTURA IN ELEVAZIONE</b>	<b>71</b>
9.1.1	SOLLECITAZIONI DI PROGETTO	74
9.1.2	VERIFICHE SLU	77
9.1.3	VERIFICHE SLE	78
9.1.4	VERIFICHE SOLAIO DI COPERTURA	81
<b>9.2</b>	<b>CABINA ELETTRICA - FONDAZIONE SUPERFICIALE</b>	<b>83</b>
9.2.1	VERIFICHE STRUTTURALI	83
9.2.2	VERIFICHE GEOTECNICHE	86
<b>10.</b>	<b>DIMENSIONAMENTO E VERIFICHE DEI TORRINI DI ESPULSIONE DEI FUMI</b>	<b>89</b>
<b>10.1</b>	<b>DESCRIZIONE DELLA STRUTTURA</b>	<b>89</b>
<b>10.2</b>	<b>SOLLECITAZIONI E VERIFICHE</b>	<b>90</b>
10.2.1	MODELLO AD ELEMENTI FINITI	95
10.2.2	SOLLECITAZIONI	98
10.2.3	VERIFICHE	104
<b>11.</b>	<b>GIUDIZIO MOTIVATO DI ACCETTABILITÀ DEI RISULTATI</b>	<b>107</b>

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Opere di sostegno – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR003-0-2.DOCX

## INDICE DELLE FIGURE

Figura 1.	Deposito Officina Rebaudengo	10
Figura 2.	Key-plan della Linea 2 della Metropolitana di Torino	11
Figura 3.	Spettri elastici orizzontali	21
Figura 4.	Spettri orizzontali [SLV]	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figura 5.	Coefficienti parziali di sicurezza	22
Figura 6.	Coefficienti di combinazione	23
Figura 7.	Combinazioni di carico	32
Figura 8.	Modello FEM dell'edificio – Vista 1	33
Figura 9.	Modello FEM dell'edificio – Vista 2	33
Figura 10.	Sezioni degli elementi strutturali	34
Figura 11.	Carico di piano G2	36
Figura 12.	Carico di piano Variazione termica	36
Figura 13.	Carico del vento	37
Figura 14.	Modo traslazionale Uy T=1.001 s	38
Figura 15.	Modo traslazionale Ux T=0.544 s	39
Figura 16.	Rispetto dei requisiti nei confronti degli SL	40
Figura 17.	Inviluppo sforzo assiale N (SLU_15)	41
Figura 18.	Inviluppo sforzo di taglio Vz (SLU_15)	41
Figura 19.	Inviluppo Momento My (SLU_15)	42
Figura 20.	Inviluppo sforzo assiale N (SLV_01)	42
Figura 21.	Inviluppo sforzo di taglio Vz (SLV_01)	43
Figura 22.	Inviluppo Momento My (SLV_01)	43
Figura 23.	Spostamenti agli stati limite di esercizio (SLE_rara_15)	47
Figura 24.	Verifiche tensionali a stato limite di esercizio	51
Figura 25.	Verifiche a stato limite di apertura delle fessure	51
Figura 26.	Definizione della tipologia dello schema di rinforzo	57
Figura 27.	Caratteristiche della tipologia dello schema di rinforzo	58
Figura 28.	Verifica Solaio 1 H32+5	58
Figura 29.	Verifica Solaio 2 – H26+5	59
Figura 30.	Struttura metallica di sostegno della passerella	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figura 31.	Azione parallela alla direzione di marcia (Posizione 1)	67
Figura 32.	Azione ortogonale alla direzione di marcia (Posizione 1)	68
Figura 33.	Azione parallela alla direzione di marcia (Posizione 2)	68
Figura 34.	Azione ortogonale alla direzione di marcia (Posizione 2)	69
Figura 35.	Modello 3D in SAP2000 della cabina elettrica	71
Figura 36.	Identificazione delle sezioni delle travi	72
Figura 37.	Identificazione delle sezioni dei pilastri	72
Figura 38.	Modello 3D in SAP2000 con carichi applicati: strutturale (sx) e variabile (dx)	73
Figura 39.	Edificio cabina elettrica – Azione Assiale [kN] SLU	74



 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Opere di sostegno – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR003-0-2.DOCX

Figura 40. Edificio cabina elettrica – Taglio [kN] SLU	74
Figura 41. Edificio cabina elettrica – Momento flettente [kNm] SLU	75
Figura 42. Edificio cabina elettrica – Azione Assiale [kN] Inviluppo SLV	75
Figura 43. Edificio cabina elettrica – Taglio [kN] Inviluppo SLV: Vx (sx) e Vy (dx)	76
Figura 44. Edificio cabina elettrica – Momento flettente [kNm] Inviluppo SLV: Mx (sx) e My (dx)	76
Figura 45. Spostamenti SLE	78
Figura 46. Verifiche tensionali a stato limite di esercizio	80
Figura 47. Verifiche a stato limite di apertura delle fessure	81
Figura 48. Edificio cabina elettrica – modello FEM con soletta di fondazione	84
Figura 49. Fondazione cabina elettrica – Massimi momenti [kNm/m]: (a) SLU e (b) SLV	84
Figura 50. Fondazione cabina elettrica – Massimi tagli [kN/m]: (a) SLU e (b) SLV	85
Figura 51. Fondazione cabina elettrica – Massimi momenti [kNm/m] a SLE	85

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Opere di sostegno – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR003-0-2.DOCX

## INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1. Carichi permanenti	18
Tabella 2. Dati di progetto per la valutazione dell'azione del vento	19
Tabella 3. Coefficienti assunti per la valutazione dei carichi da vento	20
Tabella 4. Parametri sismici	20
Tabella 5. Parametri degli spettri elastici	21
Tabella 6. Sezioni travi	35
Tabella 7. Sezioni Pilastrri	35
Tabella 8. Sezioni Setti	35
Tabella 9. Modi propri di vibrare	37
Tabella 10. Verifica dei pilastrri a flessione (SLU)	44
Tabella 11. Verifica dei pilastrri a taglio (SLU)	44
Tabella 12. Verifica delle travi a flessione (SLU)	45
Tabella 13. Verifica delle travi a taglio (SLU)	45
Tabella 14. Verifica dei setti a flessione (SLU)	46
Tabella 15. Verifica dei setti a taglio (SLU)	46
Tabella 16. Verifica tensioni a SLE (travi)	49
Tabella 17. Verifica a fessurazione (travi)	49
Tabella 18. Verifica delle tensioni (pilastrri)	50
Tabella 19. Verifica a fessurazione (pilastrri)	51
Tabella 20. Verifica dei pilastrri a flessione (SLD)	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabella 21. Verifica dei pilastrri a taglio (SLD)	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabella 22. Verifica delle travi a flessione (SLD)	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabella 23. Verifica delle travi a taglio (SLD)	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabella 24. Verifica dei setti a flessione (SLD)	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabella 25. Verifica dei setti a taglio (SLD)	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabella 26. Verifica dei pilastrri a flessione (SLV)	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabella 27. Verifica dei pilastrri a taglio (SLV)	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabella 28. Verifica delle travi a flessione (SLV)	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabella 29. Verifica delle travi a taglio (SLV)	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabella 30. Verifica dei setti a flessione (SLV)	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabella 31. Verifica dei setti a taglio (SLV)	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabella 32. Calcolo dei carichi di design	57
Tabella 33. Verifica delle solette	59
Tabella 34. Forze statiche equivalenti agli urti di veicoli	67
Tabella 35. Verifiche a Pressoflessione	69
Tabella 36. Verifiche a Taglio	70
Tabella 37. Verifica dei pilastrri a flessione	77
Tabella 38. Verifica dei pilastrri a taglio	77
Tabella 39. Verifica delle travi a flessione	77


 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Opere di sostegno – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR003-0-2.DOCX

Tabella 40. Verifica delle travi a taglio	78
Tabella 41. Verifica tensioni a SLE (travi)	79
Tabella 42. Verifica a fessurazione (travi)	79
Tabella 43. Verifica delle tensioni (pilastri)	79
Tabella 44. Verifica a fessurazione (pilastri)	80
Tabella 45. Fondazione cabina elettrica – verifiche flessionali a SLU	85
Tabella 46. Fondazione cabina elettrica – verifiche a taglio SLU	85
Tabella 47. Fondazione cabina elettrica – verifiche a fessurazione SLE	85
Tabella 48. Tabella 9.1 -Fondazione cabina elettrica – verifiche tensionali a SLE	86
Tabella 49. Carichi a estradosso fondazione nel baricentro	86
Tabella 50. Riepilogo risultati verifiche di capacità portante platea di fondazione	87
Tabella 51. Riepilogo risultati verifiche di scorrimento platea di fondazione	87
Tabella 52. Riepilogo cedimenti platea di fondazione cabina elettrica	88
Figura 10.1 Dimensioni geometriche dei torrini di espulsione fumi	89
Tabella 10.1 Dimensioni geometriche della sezione HE160A	90
Figura 10.2 Modello tridimensionale del torrino	90
Tabella 10.2 Tabella riassuntiva della struttura di copertura	91
Tabella 10.3 Tabella riassuntiva dei parametri per la quantificazione dell'azione del vento	92
Tabella 10.4 Tabella riassuntiva del parametro cp e la corrispettiva azione del vento	92
Tabella 10.5 Parametri sismici utilizzati	92
Figura 10.3 Grafici degli spettri di risposta elastici	93
Figura 10.4 Coefficienti parziali di sicurezza	94
Figura 10.5 Coefficienti di combinazione	94
Figura 10.6 Modello ad elementi finiti ottenuto	95
Figura 10.7 Vento agente sulla facciata sopravvento	95
Figura 10.8 Vento agente sulla facciata sottovento	96
Figura 10.9 Vento agente sulle facce laterali	96
Figura 10.10 Vento agente sulla copertura	97
Figura 10.11 Azione del carico neve	97
Figura 10.12 Azione del carico della copertura	98
Figura 10.13 Risultato in termini di azione assiale	100
Figura 10.14 Risultati in termini di momento lungo l'asse locale 2 degli elementi	101
Figura 10.15 Risultato in termini di momento flettente lungo l'asse locale 3 degli elementi	102
Figura 10.16 Risultato in termini di taglio lungo l'asse locale 2 degli elementi	103
Figura 10.17 Risultato in termini di taglio lungo l'asse locale 3 degli elementi	104
Figura 10.18 Orientamento delle sezioni per i pilastri	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figura 10.19 Orientamento delle sezioni delle travi	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figura 10.20 Risultati per le verifiche di resistenza	105
Figura 10.21 Verifiche di stabilità	105
Figura 10.22 Verifiche di stabilità	106
Tabella 10.6 Tabella riassuntiva delle verifiche allo stato limite d'esercizio (SLE)	106





 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Opere di sostegno – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR003-0-2.DOCX

Tabella 10.7 Tabelle riassuntive dei limiti normativi in termini di spostamenti verticali e orizzontali

107

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Opere di sostegno – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR003-0-2.DOCX

## 1. INTRODUZIONE

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


Architettonicamente il nuovo edificio è a pianta rettangolare, con una superficie di 790 mc ed è composto da quattro piani sopraelevati. La destinazione d'uso principale risulta essere quella di uffici. Mentre, nel piano copertura verranno posizionati i frighi ed i pannelli fotovoltaici da una parte e la zona U.T.A dall'altra. Le altezze di interpiano sono di circa 5 m ciascuno, mentre il piano terra di 6 m.

Strutturalmente l'edificio è realizzato secondo uno schema statico "telaiο – pareti". Le pareti, assieme ai pilastri del piano terra disposti a "V", costituiscono l'ossatura portante atta ad equilibrare la prevalenza delle azioni orizzontali di natura sismica, mentre ai telai bidirezionali è demandato principalmente il compito di sostenere le azioni gravitazionali. Gli orizzontamenti sono costituiti da elementi precompressi di spessore 26 cm e soletta collaborante in c.a. di spessore 5 cm, per uno spessore complessivo pari a 31 cm. Mentre, nella zona sottostante la zona frigo e la zona U.T.A è previsto un solaio di spessore 32 cm con una soletta collaborante di spessore 5 cm.

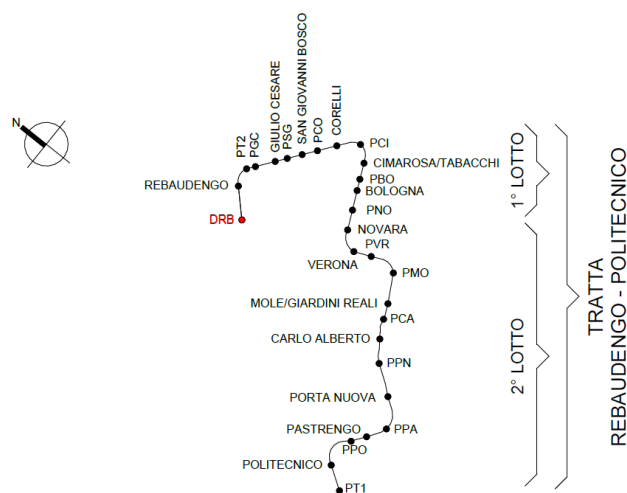
I setti hanno tutti spessore pari a 40 cm e lunghezze pari a 200 cm e 400 cm. I pilastri, che partono principalmente dal punto dell'arrivo dei pilastri a "V" del piano terra, sono a pianta rettangolare avente dimensioni 100 x 50 cm. Le travi hanno dimensioni a "T" e ad "L" aventi, a seconda delle aree d'influenza dimensioni 40x80 cm al netto della larghezza delle ali di appoggio degli alveolari. Le travi del secondo piano hanno dimensioni maggiore a cause delle grandi luci presenti nella sala di controllo ed al carico eccessivo della zona frigoriferi.



**Figura 1. Deposito Officina Rebaudengo**

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Opere di sostegno – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR003-0-2.DOCX


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



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

Nella presente relazione saranno trattati i seguenti argomenti:

- documenti e normative di riferimento per la progettazione definitiva dell'edificio;
- descrizione delle opere e delle caratteristiche dei materiali impiegati per la realizzazione;
- caratterizzazione dei carichi di normativa;
- criteri di calcolo delle opere, dimensionamento e verifica delle stesse.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Opere di sostegno – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR003-0-2.DOCX

## 2. NORMATIVA E CODICI DI CALCOLO UTILIZZATI


### 2.1 NORMATIVE DI RIFERIMENTO

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


- [1] Legge n. 1086 del 05/11/1971: "Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica".
- [2] DM 17 gennaio 2018: Aggiornamento delle "Norme Tecniche per le costruzioni" - NTC2018 - (GU n.42 del 20/02/2018).
- [3] Circolare esplicativa del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti del 21 gennaio 2019, n.7 del Consiglio superiore dei Lavori Pubblici recante "Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni, di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018" (GU Serie Generale n.35 del 11-02-2019 - Suppl. Ordinario n. 5).
- [4] D.M. 21/10/2015: "Approvazione della regola tecnica di prevenzione incendi per la progettazione, costruzione ed esercizio delle metropolitane"..
- [5] Legge nr. 64 del 02/02/1974
- [6] DGR n.6-887 del 30.12.2019
- [7] DGR n.10-4161 del 26.11.2021

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

- [8] Eurocode 0 - Criteri generali di progettazione strutturale
- [9] UNI EN 1990:2006 Criteri generali di progettazione strutturale
- [10] Eurocodice 1 – Azioni sulle strutture
- [11] UNI EN 1991-1-1:2004 Parte 1-1: Azioni in generale - Pesi per unità di volume, pesi propri e sovraccarichi per gli edifici
- [12] UNI EN 1991-1-2:2004 Parte 1-2: Azioni in generale - Azioni sulle strutture esposte al fuoco
- [13] UNI EN 1991-1-3:2015 Parte 1-3: Azioni in generale - Carichi da neve
- [14] UNI EN 1991-1-4:2010 Parte 1-4: Azioni in generale - Azioni del vento
- [15] UNI EN 1991-1-5:2004 Parte 1-5: Azioni in generale - Azioni termiche
- [16] UNI EN 1991-1-6:2005 Parte 1-6: Azioni in generale - Azioni durante la costruzione
- [17] UNI EN 1991-1-7:2014 Parte 1-7: Azioni in generale - Azioni eccezionali
- [18] UNI EN 1991-2:2005 Parte 2: Carichi da traffico sui ponti
- [19] UNI EN 1991-3:2006 Parte 3: Azioni indotte da gru e da macchinari
- [20] UNI EN 1991-4:2006 Parte 4: Azioni su silos e serbatoi
- [21] Eurocodice 2 – Progettazione delle strutture in calcestruzzo

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Opere di sostegno – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR003-0-2.DOCX

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


 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Opere di sostegno – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR003-0-2.DOCX

- [53] UNI EN 1995-1-2:2005 Parte 1-2: Regole generali - Progettazione strutturale contro l'incendio
- [54] UNI EN 1995-2:2005 Parte 2: Ponti
- [55] Eurocodice 6 – Progettazione delle strutture in muratura
- [56] UNI EN 1996-1-1:2013 Parte 1-1: Regole generali per strutture di muratura armata e non armata
- [57] UNI EN 1996-1-2:2005 Parte 1-2: Regole generali - Progettazione strutturale contro l'incendio
- [58] UNI EN 1996-2:2006 Parte 2: Considerazioni progettuali, selezione dei materiali ed esecuzione delle murature
- [59] UNI EN 1996-3:2006 Parte 3: Metodi di calcolo semplificato per strutture di muratura non armata
- [60] Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica
- [61] UNI EN 1997-1:2013 Parte 1: Regole generali
- [62] UNI EN 1997-2:2007 Parte 2: Indagini e prove nel sottosuolo
- [63] Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica
- [64] UNI EN 1998-1:2013 Parte 1: Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici
- [65] UNI EN 1998-2:2011 Parte 2: Ponti
- [66] UNI EN 1998-3:2005 Parte 3: Valutazione e adeguamento degli edifici
- [67] UNI EN 1998-4:2006 Parte 4: Silos, serbatoi e condotte
- [68] UNI EN 1998-5:2005 Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici
- [69] UNI EN 1998-6:2005 Parte 6: Torri, pali e camini

## 2.2 CODICI DI CALCOLO

L'elaborazione dei modelli numerici è stata condotta mediante l'ausilio del software agli elementi finiti SAP2000 v23 sviluppato e distribuito da Computers&Structures; il software ha consentito l'elaborazione del modello di calcolo dell'edificio in esame. Per le verifiche degli elementi strutturali è stato adottato VIS v13 che è un post processore di SAP 2000.

In aggiunta agli strumenti di calcolo su menzionati, si è fatto ricorso a fogli di calcolo Excel prodotti in-house per la verifica della sicurezza di specifici componenti strutturali. Tutti i fogli di calcolo impiegati sono stati sottoposti a previa validazione mediante casi studio reperiti in bibliografia.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Opere di sostegno – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR003-0-2.DOCX

### 3. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

#### 3.1 CALCESTRUZZO PER STRUTTURE: C30/37


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

#### 3.2 ACCIAIO PER LE BARRE DI ARMATURA: B450C

Tensione di rottura caratteristica	$f_{tk} \geq 540 \text{ MPa}$
Tensione di snervamento caratteristica	$f_{yk} \geq 450 \text{ MPa}$
Tensione di snervamento di calcolo	$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = f_{yk} / 1.15 = 391.3 \text{ MPa}$
Allungamento caratteristico	$\geq 7.5\%$
Modulo elastico	$E_s = 210000 \text{ Mpa}$

#### 3.3 ACCIAIO PER CARPENTERIA: S355

Tensione di rottura caratteristica	$f_{tk} \geq 510 \text{ MPa}$
Tensione di snervamento caratteristica	$f_{yk} \geq 355 \text{ MPa}$
Modulo elastico medio	$E_s = 210000 \text{ Mpa}$
Coefficienti di sicurezza	
Resistenza delle sezioni di Classe 1-2-3-4	$\gamma_{M0} = 1.05$
Resistenza all'instabilità delle membrature	$\gamma_{M1} = 1.05$

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Opere di sostegno – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR003-0-2.DOCX

### 3.4 COPRIFERRO MINIMO E COPRIFERRO NOMINALE

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

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

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

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

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

in cui:

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

### 3.5 COPRIFERRO MINIMO E COPRIFERRO NOMINALE: SOVRASTRUTTURA


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

Sulla base della classe di esposizione XC3 considerata si assume un copriferro minimo pari a 20 mm, a tale valore va aggiunta la tolleranza di posa pari a 10 mm e, dato che la struttura ha vita nominale di 100 anni, si aggiungono ulteriormente altri 10 mm. Pertanto, il  $c_{min}$  risulta essere pari a:

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

Nel caso in esame sarà adottato un copriferro nominale pari a **45 mm** per elementi verticali ed orizzontali.



 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Opere di sostegno – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR003-0-2.DOCX

## 4. IPOTESI DI PROGETTO

### 4.1 VITA UTILE

La vita Nominale di Progetto  $V_N$  di un'opera è convenzionalmente definita come il numero di anni nel quale è previsto che l'opera, purché soggetta alla necessaria manutenzione, mantenga specifici livelli prestazionali.

Come specificato nel par. 2.4.1 delle NTC2018 per la struttura in esame si adotta una vita nominale  $V_N \geq 100$  anni, trattandosi di una costruzione con livelli di prestazione elevati.

### 4.2 CLASSE D'USO

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in diverse classi d'uso secondo la vigente normativa: l'edificio oggetto della presente relazione ricade nella classe d'uso III, costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente - Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso. Le azioni sismiche sulle costruzioni sono valutate in relazione ad un periodo di riferimento  $V_R$  che si determina, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicando la vita nominale di progetto  $V_N$  per il coefficiente  $C_U$ :

$$V_R = V_N \times C_U = 100 \text{ anni} \times 1.5 = 150 \text{ anni}$$


Il valore del coefficiente  $C_U$  è definito al variare della classe d'uso  $C_N$  (in questo caso  $C_U=1.5$ ).

### 4.3 FATTORE DI COMPORTAMENTO

Per l'edificio viene assunto un fattore di comportamento pari a 1.33, che corrisponde al valore predisposto dalle NTC2018.

### 4.4 STRUTTURA SISMO RESISTENTE

Durante il sisma di progetto la struttura distribuisce uniformemente le sollecitazioni attraverso il piano rigido costituito dal solaio ai setti sismo resistenti distribuiti nell'edificio, pertanto è giustificata la scelta di cui al paragrafo sopra. Inoltre, i pilastri al piano terra avendo una disposizione a "V", dal punto di vista sismico, sono da considerarsi come elementi controventati e partecipanti nella risposta all'azione dinamica eccezionale.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Opere di sostegno – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR003-0-2.DOCX

## 5. ANALISI DEI CARICHI

### 5.1 CARICHI PERMANENTI

La struttura in oggetto è stata progettata in relazione ai seguenti carichi permanenti e carichi variabili che variano in base alla destinazione d'uso delle relative aree caricate (Tab. 3.1.11 D.M. 17/01/2018). Per quanto riguarda il peso proprio, esso è considerato in automatico dal programma di calcolo in funzione del materiale scelto e delle dimensioni della sezione.

**Tabella 1. Carichi permanenti**

Carichi	kN/m <sup>2</sup>
Carichi permanenti strutturali (G1) [spessore 26 cm]	4.25
Carichi permanenti strutturali (G1) [spessore 32 cm]	5.00
Carichi permanenti non strutturali (G2)	2.50
Carichi permanenti non strutturali (G2) – zona frighi e U.T.A	12.50
Accidentali (Cat. B1 - Uffici)	3.00
Accidentali (Cat. H – Coperture accessibili per la sola manutenzione)	0.50
Accidentali (Cat. C - Aree con tavoli quali caffè)	3.00
Accidentali (Cat. C – Balconi e Ballatoi)	4.00

### 5.2 CARICO ACCIDENTALE DA NEVE

Il carico variabile da neve è valutato, in accordo a quanto riportato in D.M. 17/01/2018, secondo la formula:

$$q_s = \mu_i * q_{sk} * C_E * C_t = 0.8 * 1.5 * 1 * 1 = 1.2 \text{ kN/m}^2$$


dove:

- $q_s$  è il carico neve sulla copertura;
- $\mu_i$  è il coefficiente di forma della copertura;
- $q_{sk}$  è il valore caratteristico di riferimento del carico neve al suolo [kN/m<sup>2</sup>], per un periodo di ritorno di 50 anni;
- $C_E$  è il coefficiente di esposizione;
- $C_t$  è il coefficiente termico.

per il Comune di Torino, zona I Alpina:

$$q_{sk} = 1,20 \text{ kN/m}^2$$

$$C_E = 1, C_t = 1, \mu_i = 0.8 \text{ (inclinazione della copertura } 0 \leq \alpha \leq 30^\circ \text{ )}$$

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Opere di sostegno – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR003-0-2.DOCX

### 5.3 AZIONE DEL VENTO

L'azione del vento è definita al capitolo 3.3 delle NTC2018. Il vento si considera agire in direzione orizzontale ed esercita sulle costruzioni azioni che variano nel tempo e nello spazio provocando solitamente effetti dinamici. Per le costruzioni usuali tali azioni sono convenzionalmente ricondotte alle azioni statiche equivalenti definite al § 3.3.3 delle NTC.

**Tabella 2. Dati di progetto per la valutazione dell'azione del vento**

DATI DI PROGETTO			
<i>Provincia</i>	TO	<i>Quota s.l.m (as)</i>	240 m
<i>Zona</i>	I	<i>Categoria rugosità</i>	B
<i>Categoria suolo</i>	B	<i>Categoria di esposizione</i>	IV
<i>vb,0</i>	25 m/s	<i>a0</i>	1000
<i>cr</i>	1	<i>vb</i>	25 m/s
<i>ρ</i>	1.25 kg/m <sup>3</sup>	<i>qr</i>	390.63 N/m <sup>2</sup>

La pressione del vento è data dall'espressione:  $p = q_r \times c_e \times c_p \times c_d$

Dove:


- $q_r$  è la pressione cinetica di riferimento valutata come riportato sopra;
- $c_e$  è il coefficiente di esposizione (par. 3.3.7 NTC18) dipende dall'altezza  $z$  sul suolo del punto considerato, dalla topografia del terreno e dalla categoria di esposizione del sito ove sorge la costruzione. In assenza di analisi specifiche che tengano in conto la direzione di provenienza del vento e l'effettiva scabrezza e topografia del terreno che circonda la costruzione, per altezze sul suolo non maggiori di  $z = 200$  m, esso è dato dalla formula:

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

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

- $c_p$  è il coefficiente di pressione (par. 3.3.8 NTC 2018) dipende dalla tipologia e dalla geometria della costruzione e dal suo orientamento rispetto alla direzione del vento.
- $c_d$  è il coefficiente dinamico (par. 3.3.9 NTC 2018) tiene conto degli effetti riduttivi associati alla non contemporaneità delle massime pressioni locali e degli effetti amplificativi dovuti alla risposta dinamica della struttura.

I valori assunti per i coefficienti citati sopra sono riportati nella seguente tabella.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Opere di sostegno – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR003-0-2.DOCX

**Tabella 3. Coefficienti assunti per la valutazione dei carichi da vento**

<b>Coefficienti di pressione</b>			
<b>Direzione Y</b>		<b>Direzione X</b>	
<b>Sopravento</b>	0.80	<b>Sopravento</b>	0.74
<b>Sottovento</b>	-0.51	<b>Sottovento</b>	--0.39
<b>Laterali</b>	-0.90	<b>Laterali</b>	-0.86
<b>Coefficiente dinamico</b>	1	<b>vb</b>	25 m/s

## 5.4 AZIONE TERMICA


L'azione termica è stata valutata con riferimento al capitolo 3.5 del D.M. 17/01/18 ed in particolare in accordo con la tabella 3.5.II. In questo caso, dato che la temperatura non costituisce azione fondamentale per la sicurezza o per la efficienza funzionale della struttura, la componente  $\Delta T_u$  viene assunta direttamente dalla tabella assumendo un valore di 10°C per gli elementi interni e di 15°C per gli elementi esterni.

## 5.5 AZIONE SISMICA

L'azione sismica è stata valutata con riferimento al capitolo 3.2 del D.M. 17/01/2018. Di seguito si riportano i parametri sismici ed i parametri degli spettri elastici.

**Tabella 4. Parametri sismici**

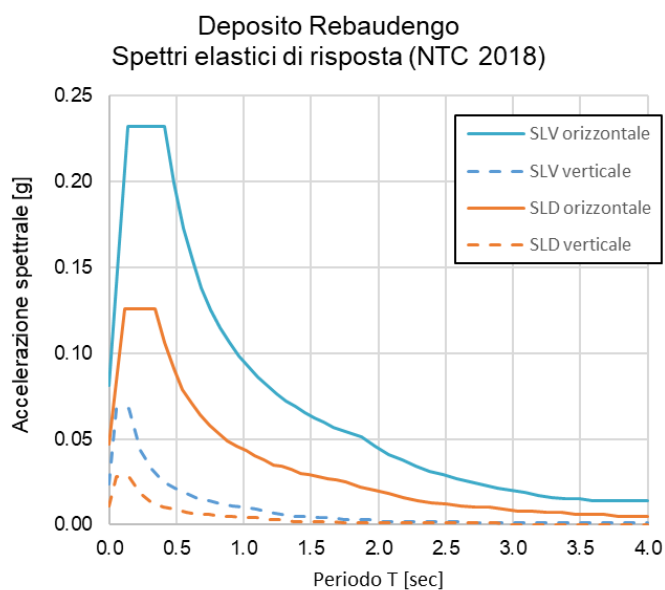
<b>PARAMETRI SISMICI</b>			
<b>Longitudine (Grd)</b>	7.688	<b>Latitudine (Grd)</b>	45.1004
<b>Vita Nominale <math>V_N</math> (anni)</b>	100	<b>Classe d'uso</b>	III
<b>Coefficiente d'uso</b>	1.5	<b>Periodo di riferimento <math>V_r</math> (anni)</b>	150
<b>Categoria Suolo</b>	B	<b>Categoria topografica</b>	T1
<b>Fattore di comportamento <math>q_{SLD}</math></b>	1	<b>Fattore di comportamento <math>q_{SLV}</math></b>	1.33

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Opere di sostegno – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR003-0-2.DOCX


**Tabella 5. Parametri degli spettri elastici**

PARAMETRI SPETTRI ELASTICI					
SL	Pv [%]	Tr	ag	F <sub>0</sub>	T*c
SLD	63	151	0.039	2.679	0.232
SLV	20	1424	0.068	2.853	0.290

SL	T <sub>B</sub> [s]	T <sub>c</sub> [s]	T <sub>D</sub> [s]
SLD	0.114	0.342	1.757
SLV	0.136	0.409	1.872



**Figura 3. Spettri elastici di risposta**

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Opere di sostegno – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR003-0-2.DOCX

## 6. COMBINAZIONI DI CARICO

Secondo quanto riportato al paragrafo 2.5.3 delle NTC2018, ai fini delle verifiche degli stati limite, si definiscono le seguenti combinazioni delle azioni:

Simbolicamente le combinazioni di carico sono rappresentate da:

### Combinazione fondamentale - SLU

$$\sum(\gamma_{Gj} G_{kj}) + \gamma_{Q1} Q_{k1} + \sum(\gamma_{qi} \psi_{0i} Q_{ki})$$

(fattore di struttura con  $j \geq 1; i > 2$ )

### Combinazione frequente - SLE

$$\sum(G_{kj}) + \gamma_{11} Q_{k1} + \sum(\psi_{2i} Q_{ki}) \text{ (con } i > 2)$$

### Combinazione quasi permanente - SLE

$$\sum(G_{kj}) + \gamma_{21} Q_{k1} + \sum(\psi_{2i} Q_{ki}) \text{ (con } i > 2)$$

### Combinazione sismica

$$\sum(G_{kj}) + E_d + \sum(\psi_{2i} Q_{ki}) \text{ (con } j \geq 1; i \geq 1)$$

dove:

$Q_{k1}$  = valore caratteristico dell'azione variabile dominante nella combinazione

$G_{kj}$  = valore caratteristico delle azioni permanenti ( $j = 1 \div 3$ )

$Q_{ki}$  = valore caratteristico delle azioni variabili.


$E_d$  = valore di progetto dell'azione sismica (comprende  $\gamma_i$ ).

$\gamma_{Gj}$  e  $\gamma_{Qi}$  = coefficiente parziale di sicurezza per le azioni permanenti e variabili, definiti nella tabella seguente.

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

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

**Figura 4. Coefficienti parziali di sicurezza**

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Opere di sostegno – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR003-0-2.DOCX

$\Psi_{0i,1i,2i}$  = coefficienti di combinazione, definiti nella tabella seguente.

I coefficienti di combinazione vengono riportati di seguito:

Categoria/Azione variabile	$\Psi_{0j}$	$\Psi_{1j}$	$\Psi_{2j}$
Categoria A - Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B - Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C - Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D - Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E – Aree per immagazzinamento, uso commerciale e uso industriale Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F - Rimesse , parcheggi ed aree per il traffico di veicoli (per autoveicoli di peso $\leq 30$ kN)	0,7	0,7	0,6
Categoria G – Rimesse, parcheggi ed aree per il traffico di veicoli (per autoveicoli di peso $> 30$ kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H - Coperture accessibili per sola manutenzione	0,0	0,0	0,0
Categoria I – Coperture praticabili	da valutarsi caso per caso		
Categoria K – Coperture per usi speciali (impianti, eliporti, ...)			
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota $\leq 1000$ m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota $> 1000$ m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

**Figura 5. Coefficienti di combinazione**

Le combinazioni applicate all'interno del modello FEM dell'edificio sono le seguenti:



 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Opere di sostegno – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR003-0-2.DOCX

TABLE:									
ComboName	ComboType	AutoDesign	CaseName	ModeNumber	ScaleFactor	SteelDesign	ConcDesign	AlumDesign	ColdDesign
SLU_01	Linear Add	No	DEAD		1,3	None	None	None	None
SLU_01			G1		1,3				
SLU_01			G2		1,3				
SLU_01			Q_copertura		1,5				
SLU_01			Q_ufficio		1,5				
SLU_01			Q_balcone		1,5				
SLU_01			Snow		0,75				
SLU_01			W_casoA		0,9				
SLU_01			Delta piu		0,9				
SLU_02	Linear Add	No	DEAD		1,3	None	None	None	None
SLU_02			G1		1,3				
SLU_02			G2		1,3				
SLU_02			Q_copertura		1,5				
SLU_02			Q_ufficio		1,5				
SLU_02			Q_balcone		1,5				
SLU_02			Snow		0,75				
SLU_02			W_casoA		0,9				
SLU_02			Delta meno		0,9				
SLU_03	Linear Add	No	DEAD		1,3	None	None	None	None
SLU_03			G1		1,3				
SLU_03			G2		1,3				
SLU_03			Q_copertura		1,5				
SLU_03			Q_ufficio		1,5				
SLU_03			Q_balcone		1,5				
SLU_03			Snow		0,75				
SLU_03			W_casoB		0,9				
SLU_03			Delta piu		0,9				
SLU_04	Linear Add	No	DEAD		1,3	None	None	None	None
SLU_04			G1		1,3				
SLU_04			G2		1,3				
SLU_04			Q_copertura		1,5				
SLU_04			Q_ufficio		1,5				
SLU_04			Q_balcone		1,5				
SLU_04			Snow		0,75				
SLU_04			W_casoB		0,9				
SLU_04			Delta meno		0,9				






SLU_05	Linear Add	No	DEAD		1,3	None	Strength	None	None
SLU_05			G1		1,3				
SLU_05			G2		1,3				
SLU_05			Q_balcone		1,05				
SLU_05			Q_ufficio		1,05				
SLU_05			Q_copertura		0				
SLU_05			<b>Snow</b>		1,5				
SLU_05			W_casoA		0,9				
SLU_05			<i>Delta piu</i>		0,9				
SLU_06	Linear Add	No	DEAD		1,3	None	Strength	None	None
SLU_06			G1		1,3				
SLU_06			G2		1,3				
SLU_06			Q_balcone		1,05				
SLU_06			Q_ufficio		1,05				
SLU_06			Q_copertura		0				
SLU_06			<b>Snow</b>		1,5				
SLU_06			W_casoA		0,9				
SLU_06			<i>Delta meno</i>		0,9				
SLU_07	Linear Add	No	DEAD		1,3	None	Strength	None	None
SLU_07			G1		1,3				
SLU_07			G2		1,3				
SLU_07			Q_balcone		1,05				
SLU_07			Q_ufficio		1,05				
SLU_07			Q_copertura		0				
SLU_07			<b>Snow</b>		1,5				
SLU_07			W_casoB		0,9				
SLU_07			<i>Delta piu</i>		0,9				
SLU_08	Linear Add	No	DEAD		1,3	None	Strength	None	None
SLU_08			G1		1,3				
SLU_08			G2		1,3				
SLU_08			Q_balcone		1,05				
SLU_08			Q_ufficio		1,05				
SLU_08			Q_copertura		0				
SLU_08			<b>Snow</b>		1,5				
SLU_08			W_casoB		0,9				
SLU_08			<i>Delta meno</i>		0,9				

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Opere di sostegno – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR003-0-2.DOCX


SLU_09	Linear Add	No	DEAD	1,3	None	Strength	None	None
SLU_09			G1	1,3				
SLU_09			G2	1,3				
SLU_09			Q_balcone	1,05				
SLU_09			Q_ufficio	1,05				
SLU_09			Q_copertura	0				
SLU_09			Snow	0,75				
SLU_09			<b>W casoA</b>	1,5				
SLU_09			<b>Delta piu</b>	0,9				
SLU_10	Linear Add	No	DEAD	1,3	None	Strength	None	None
SLU_10			G1	1,3				
SLU_10			G2	1,3				
SLU_10			Q_balcone	1,05				
SLU_10			Q_ufficio	1,05				
SLU_10			Q_copertura	0				
SLU_10			Snow	0,75				
SLU_10			<b>W casoA</b>	1,5				
SLU_10			<b>Delta meno</b>	0,9				
SLU_11	Linear Add	No	DEAD	1,3	None	Strength	None	None
SLU_11			G1	1,3				
SLU_11			G2	1,3				
SLU_11			Q_balcone	1,05				
SLU_11			Q_ufficio	1,05				
SLU_11			Q_copertura	0				
SLU_11			Snow	0,75				
SLU_11			<b>W casoB</b>	1,5				
SLU_11			<b>Delta piu</b>	0,9				
SLU_12	Linear Add	No	DEAD	1,3	None	Strength	None	None
SLU_12			G1	1,3				
SLU_12			G2	1,3				
SLU_12			Q_balcone	1,05				
SLU_12			Q_ufficio	1,05				
SLU_12			Q_copertura	0				
SLU_12			Snow	0,75				
SLU_12			<b>W casoB</b>	1,5				
SLU_12			<b>Delta meno</b>	0,9				

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Opere di sostegno – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR003-0-2.DOCX


SLU_13	Linear Add	No	DEAD	1,3	None	Strength	None	None
SLU_13			G1	1,3				
SLU_13			G2	1,3				
SLU_13			Q_balcone	1,05				
SLU_13			Q_ufficio	1,05				
SLU_13			Q_copertura	0				
SLU_13			Snow	0,75				
SLU_13			<b>W casoA</b>	0,9				
SLU_13			<b>Delta piu</b>	1,5				
SLU_14	Linear Add	No	DEAD	1,3	None	Strength	None	None
SLU_14			G1	1,3				
SLU_14			G2	1,3				
SLU_14			Q_balcone	1,05				
SLU_14			Q_ufficio	1,05				
SLU_14			Q_copertura	0				
SLU_14			Snow	0,75				
SLU_14			<b>W casoB</b>	0,9				
SLU_14			<b>Delta piu</b>	1,5				
SLU_15	Linear Add	No	DEAD	1,3	None	Strength	None	None
SLU_15			G1	1,3				
SLU_15			G2	1,3				
SLU_15			Q_balcone	1,05				
SLU_15			Q_ufficio	1,05				
SLU_15			Q_copertura	0				
SLU_15			Snow	0,75				
SLU_15			<b>W casoB</b>	0,9				
SLU_15			<b>Delta meno</b>	1,5				
SLU_16	Linear Add	No	DEAD	1,3	None	Strength	None	None
SLU_16			G1	1,3				
SLU_16			G2	1,3				
SLU_16			Q_balcone	1,05				
SLU_16			Q_ufficio	1,05				
SLU_16			Q_copertura	0				
SLU_16			Snow	0,75				
SLU_16			<b>W casoB</b>	0,9				
SLU_16			<b>Delta meno</b>	1,5				



SLV_01	Linear Add	No	DEAD	1	None	None	None	None
SLV_01			G1	1				
SLV_01			G2	1				
SLV_01			Q_ufficio	0,6				
SLV_01			Q_balcone	0,3				
SLV_01			Ex_SLV	1				
SLV_01			Ey_SLV	0,3				
SLV_02	Linear Add	No	DEAD	1	None	None	None	None
SLV_02			G1	1				
SLV_02			G2	1				
SLV_02			Q_balcone	0,3				
SLV_02			Q_ufficio	0,6				
SLV_02			Ex_SLV	0,3				
SLV_02			Ey_SLV	1				
SLD_01	Linear Add	No	DEAD	1	None	None	None	None
SLD_01			G1	1				
SLD_01			G2	1				
SLD_01			Q_ufficio	0,6				
SLD_01			Q_balcone	0,3				
SLD_01			Ex_SLD	1				
SLD_01			Ey_SLD	0,3				
SLD_02	Linear Add	No	DEAD	1	None	None	None	None
SLD_02			G1	1				
SLD_02			G2	1				
SLD_02			Q_balcone	0,3				
SLD_02			Q_ufficio	0,6				
SLD_02			Ex_SLD	0,3				
SLD_02			Ey_SLD	1				
SLO_01	Linear Add	No	DEAD	1	None	None	None	None
SLO_01			G1	1				
SLO_01			G2	1				
SLO_01			Q_ufficio	0,6				
SLO_01			Q_balcone	0,3				
SLO_01			Ex_SLD	1				
SLO_01			Ey_SLD	0,3				
SLO_02	Linear Add	No	DEAD	1	None	None	None	None
SLO_02			G1	1				
SLO_02			G2	1				
SLO_02			Q_balcone	0,3				
SLO_02			Q_ufficio	0,6				
SLO_02			Ex_SLD	0,3				
SLO_02			Ey_SLD	1				

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Opere di sostegno – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR003-0-2.DOCX


SLE_Q.p._1	Linear Add	No	DEAD	1	None	None	None	None
SLE_Q.p._1			G1	1				
SLE_Q.p._1			G2	1				
SLE_Q.p._1			Q_balcone	0,3				
SLE_Q.p._1			Q_ufficio	0,6				
SLE_freq1	Linear Add	No	DEAD	1	None	Strength	None	None
SLE_freq1			G1	1				
SLE_freq1			G2	1				
SLE_freq1			Q_balcone	0,5				
SLE_freq1			Q_ufficio	0,5				
SLE_freq1			Q_copertura	0				
SLE_freq2	Linear Add	No	DEAD	1	None	Strength	None	None
SLE_freq2			G1	1				
SLE_freq2			G2	1				
SLE_freq2			Q_balcone	0,6				
SLE_freq2			Q_ufficio	0,3				
SLE_freq2			Q_copertura	0				
SLE_freq2			Snow	0,2				
SLE_freq3	Linear Add	No	DEAD	1	None	Strength	None	None
SLE_freq3			G1	1				
SLE_freq3			G2	1				
SLE_freq3			Q_depositi	0,8				
SLE_freq3			Q_balcone	0,6				
SLE_freq3			Q_ufficio	0,3				
SLE_freq3			Q_copertura	0				
SLE_freq3			W_casoA	0,2				
SLE_freq4	Linear Add	No	DEAD	1	None	Strength	None	None
SLE_freq4			G1	1				
SLE_freq4			G2	1				
SLE_freq4			Q_depositi	0,8				
SLE_freq4			Q_balcone	0,6				
SLE_freq4			Q_ufficio	0,3				
SLE_freq4			Q_copertura	0				
SLE_freq4			W_casoB	0,2				

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Opere di sostegno – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR003-0-2.DOCX

SLE_freq5	Linear Add	No	DEAD	1	None	Strength	None	None
SLE_freq5			G1	1				
SLE_freq5			G2	1				
SLE_freq5			Q_balcone	0,6				
SLE_freq5			Q_ufficio	0,3				
SLE_freq5			Q_copertura	0				
SLE_freq5			Delta piu	0,5				
SLE_freq6	Linear Add	No	DEAD	1	None	Strength	None	None
SLE_freq6			G1	1				
SLE_freq6			G2	1				
SLE_freq6			Q_balcone	0,6				
SLE_freq6			Q_ufficio	0,3				
SLE_freq6			Q_copertura	0				
SLE_freq6			Delta meno	0,5				
SLE_rara_01	Linear Add	No	DEAD	1	None	None	None	None
SLE_rara_01			G1	1				
SLE_rara_01			G2	1				
SLE_rara_01			Q_copertura	1				
SLE_rara_01			Q_ufficio	1				
SLE_rara_01			Q_balcone	1				
SLE_rara_01			Snow	0,5				
SLE_rara_01			W_casoA	0,6				
SLE_rara_01			Delta piu	0,6				
SLE_rara_02	Linear Add	No	DEAD	1	None	None	None	None
SLE_rara_02			G1	1				
SLE_rara_02			G2	1				
SLE_rara_02			Q_copertura	1				
SLE_rara_02			Q_ufficio	1				
SLE_rara_02			Q_balcone	1				
SLE_rara_02			Snow	0,5				
SLE_rara_02			W_casoA	0,6				
SLE_rara_02			Delta meno	0,6				
SLE_rara_03	Linear Add	No	DEAD	1	None	None	None	None
SLE_rara_03			G1	1				
SLE_rara_03			G2	1				
SLE_rara_03			Q_copertura	1				
SLE_rara_03			Q_ufficio	1				
SLE_rara_03			Q_balcone	1				
SLE_rara_03			Snow	0,5				
SLE_rara_03			W_casoB	0,6				
SLE_rara_03			Delta piu	0,6				




SLE_rara_04	Linear Add	No	DEAD	1	None	None	None	None
SLE_rara_04			G1	1				
SLE_rara_04			G2	1				
SLE_rara_04			Q_copertura	1				
SLE_rara_04			Q_ufficio	1				
SLE_rara_04			Q_balcone	1				
SLE_rara_04			Snow	0,5				
SLE_rara_04			W_casoB	0,6				
SLE_rara_04			Delta_meno	0,6				
SLE_rara_05	Linear Add	No	DEAD	1	None	Strength	None	None
SLE_rara_05			G1	1				
SLE_rara_05			G2	1				
SLE_rara_05			Q_balcone	0,7				
SLE_rara_05			Q_ufficio	0,7				
SLE_rara_05			Q_copertura	0				
SLE_rara_05			Snow	1				
SLE_rara_05			W_casoA	0,6				
SLE_rara_05			Delta_piu	0,6				
SLE_rara_06	Linear Add	No	DEAD	1	None	Strength	None	None
SLE_rara_06			G1	1				
SLE_rara_06			G2	1				
SLE_rara_06			Q_balcone	0,7				
SLE_rara_06			Q_ufficio	0,7				
SLE_rara_06			Q_copertura	0				
SLE_rara_06			Snow	1				
SLE_rara_06			W_casoA	0,6				
SLE_rara_06			Delta_meno	0,6				
SLE_rara_07	Linear Add	No	DEAD	1	None	Strength	None	None
SLE_rara_07			G1	1				
SLE_rara_07			G2	1				
SLE_rara_07			Q_balcone	0,7				
SLE_rara_07			Q_ufficio	0,7				
SLE_rara_07			Q_copertura	0				
SLE_rara_07			Snow	1				
SLE_rara_07			W_casoB	0,6				
SLE_rara_07			Delta_piu	0,6				

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Opere di sostegno – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR003-0-2.DOCX

SLE_rara_08	Linear Add	No	DEAD		1	None	Strength	None	None
SLE_rara_08			G1		1				
SLE_rara_08			G2		1				
SLE_rara_08			Q_balcone		0,7				
SLE_rara_08			Q_ufficio		0,7				
SLE_rara_08			Q_copertura		0				
SLE_rara_08			<b>Snow</b>		1				
SLE_rara_08			W_casoB		0,6				
SLE_rara_08			<b>Delta_meno</b>		0,6				
SLE_rara_09	Linear Add	No	DEAD		1	None	Strength	None	None
SLE_rara_09			G1		1				
SLE_rara_09			G2		1				
SLE_rara_09			Q_balcone		0,7				
SLE_rara_09			Q_ufficio		0,7				
SLE_rara_09			Q_copertura		0				
SLE_rara_09			Snow		0,6				
SLE_rara_09			<b>W_casoA</b>		1				
SLE_rara_09			<b>Delta_piu</b>		0,6				
SLE_rara_10	Linear Add	No	DEAD		1	None	Strength	None	None
SLE_rara_10			G1		1				
SLE_rara_10			G2		1				
SLE_rara_10			Q_balcone		0,7				
SLE_rara_10			Q_ufficio		0,7				
SLE_rara_10			Q_copertura		0				
SLE_rara_10			Snow		0,6				
SLE_rara_10			<b>W_casoA</b>		1				
SLE_rara_10			<b>Delta_meno</b>		0,6				
SLE_rara_11	Linear Add	No	DEAD		1	None	Strength	None	None
SLE_rara_11			G1		1				
SLE_rara_11			G2		1				
SLE_rara_11			Q_balcone		0,7				
SLE_rara_11			Q_ufficio		0,7				
SLE_rara_11			Q_copertura		0				
SLE_rara_11			Snow		0,6				
SLE_rara_11			<b>W_casoB</b>		1				
SLE_rara_11			<b>Delta_piu</b>		0,6				
SLE_rara_12	Linear Add	No	DEAD		1	None	Strength	None	None
SLE_rara_12			G1		1				
SLE_rara_12			G2		1				
SLE_rara_12			Q_balcone		0,7				
SLE_rara_12			Q_ufficio		0,7				
SLE_rara_12			Q_copertura		0				
SLE_rara_12			Snow		0,6				
SLE_rara_12			<b>W_casoB</b>		1				
SLE_rara_12			<b>Delta_meno</b>		0,6				

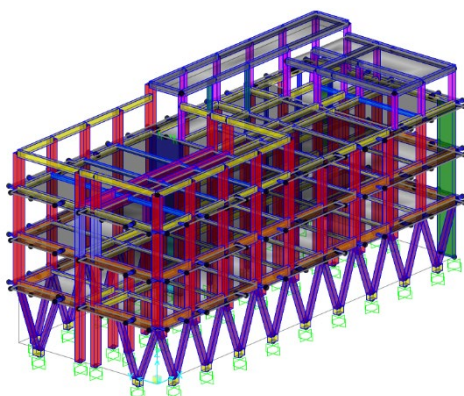
**Figura 6. Combinazioni di carico**



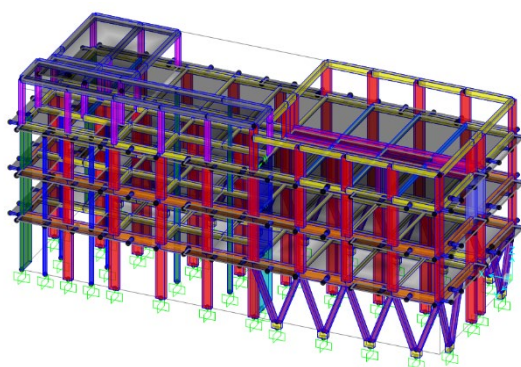
 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Opere di sostegno – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR003-0-2.DOCX

## 7. ANALISI E VERIFICA DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI

Per le verifiche della struttura è stato creato un modello 3D con l'utilizzo del software ad elementi finiti SAP 2000 e del post processore VIS v13. Il fine del modello agli elementi finiti è quello di cogliere nel modo più realistico possibile il comportamento statico e dinamico della struttura. In particolare, è stato creato un modello globale dell'edificio complessivo per la definizione e la verifica della struttura sopraelevata. La modellazione viene eseguita tramite elementi monodimensionali lineari di tipo "trave" (beam) ed elementi bidimensionali di tipo "shell". I solai alveolari, modellati come dei piani rigidi, sono utilizzati per l'implementazione dei carichi agenti sugli elementi strutturali e per la corretta ripartizione delle forze orizzontali agenti nel proprio piano. Le fondazioni non sono state esplicitamente modellate poiché il modello è stato incastrato alla base dei pilastri del piano terra.




**Figura 7. Modello FEM dell'edificio – Vista 1**



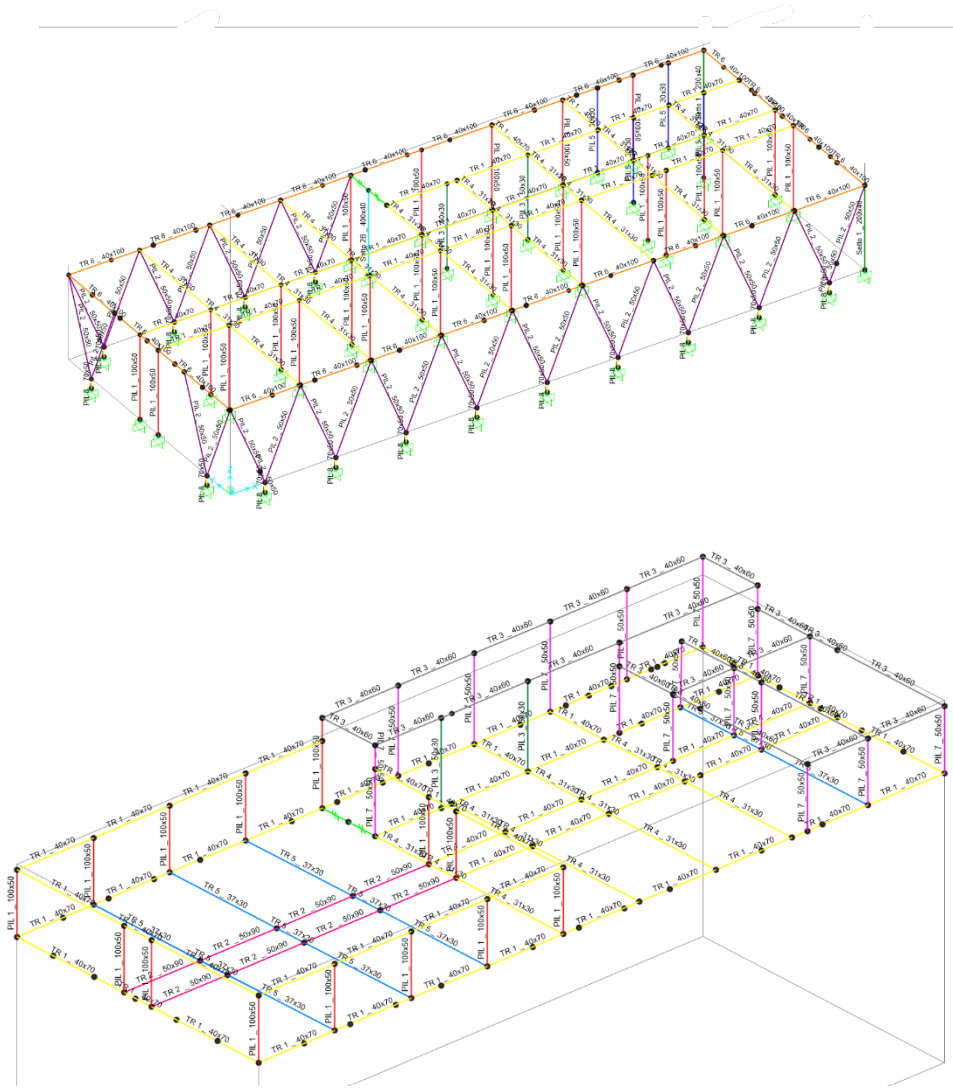
**Figura 8. Modello FEM dell'edificio – Vista 2**

Come metodo di analisi strutturale viene effettuata un'analisi dinamica modale. Per tali analisi vengono utilizzati gli spettri di progetto, come definito in §3.2.3 delle NTC2018, riducendo le ordinate degli spettri elastici del fattore di struttura  $q$  (pari a 1.5).

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Opere di sostegno – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR003-0-2.DOCX


### 7.1 SEZIONI ELEMENTI STRUTTURALI

Si riportano di seguito le sezioni e le armature degli elementi strutturali adottati:



**Figura 9. Sezioni degli elementi strutturali**

Section	B (cm)	H (cm)	CLS	Acciaio	As_sup [mm <sup>2</sup> ]	As_inf [mm <sup>2</sup> ]	φ [mm] Staffe	Passo Staffe [cm]
TR 1_40x70	40	70	C30/37	B450C	5428,67	5428,67	10	200
TR 2_50x90	50	90	C30/37	B450C	7433,01	7433,01	12	150

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

TR 3 _ 40x60	40	60	C30/37	B450C	4561,59	4561,59	8	200
TR 4 _ 31x30	30	31	C30/37	B450C	1520,53	1520,53	8	200
TR 5 _ 37x30	30	37	C30/37	B450C	1520,53	1520,53	8	200

**Tabella 6. Sezioni travi**

Section	B (cm)	H (cm)	CLS	Acciaio	As_asse 3 [mm <sup>2</sup> ]	As_asse 2 [mm <sup>2</sup> ]	φ [mm] Staffe	Passo Staffe [cm]
PIL 1 _ 100x50	100	50	C30/37	B450C	3041,06	1520,53	8	200
PIL 2 _ 50x50	50	50	C30/37	B450C	1256,64	1256,64	8	20
PIL 5 _ 100x100	100	100	C30/37	B450C	804,25	804,25	8	200
PIL 6 _ 100x50	100	50	C30/37	B450C	3801,33	1520,53	8	200
PIL 7 _ 50x50	50	50	C30/37	B450C	1272,35	1272,35	8	200
PIL 8 _ 70x50	70	50	C30/37	B450C	2513,27	2513,27	12	200

**Tabella 7. Sezioni Pilastri**

Section	B (cm)	H (cm)	CLS	Acciaio	As_asse 3 [mm <sup>2</sup> ]	As_asse 2 [mm <sup>2</sup> ]	φ [mm] Staffe	Passo Staffe [cm]
Setto 1_ 200x40	200	40	C30/37	B450C	5321,86	1520,53	10	150
Setto 2_ 400x40	400	40	C30/37	B450C	9883,45	1520,53	10	150
Setto 2B_ 400x40	400	40	C30/37	B450C	15205,31	1520,53	10	150

**Tabella 8. Sezioni Setti**

## 7.2 MODELLAZIONE DELLE AZIONI

Si riportano di seguito alcuni carichi applicati sul Modello FEM.

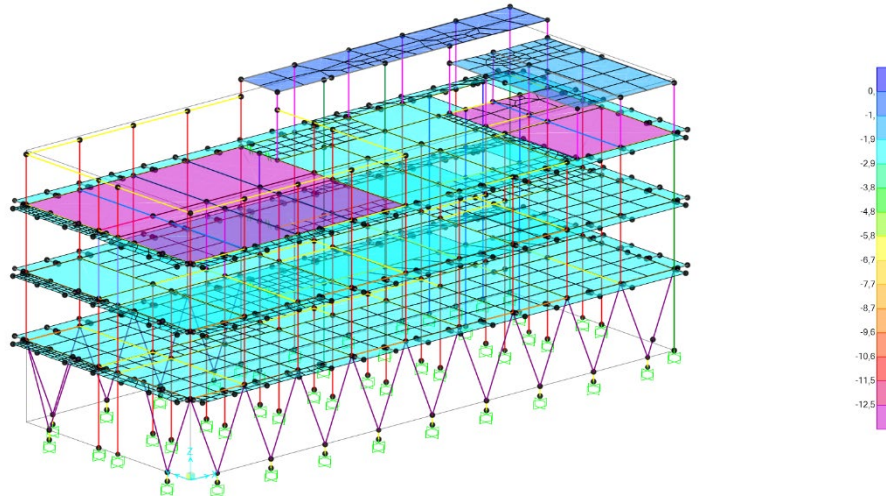


Figura 10. Carico di piano G2

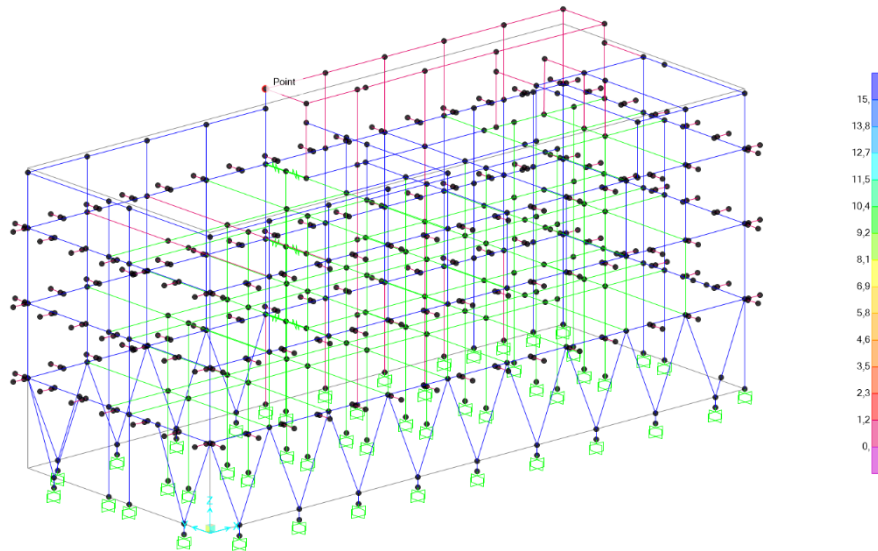

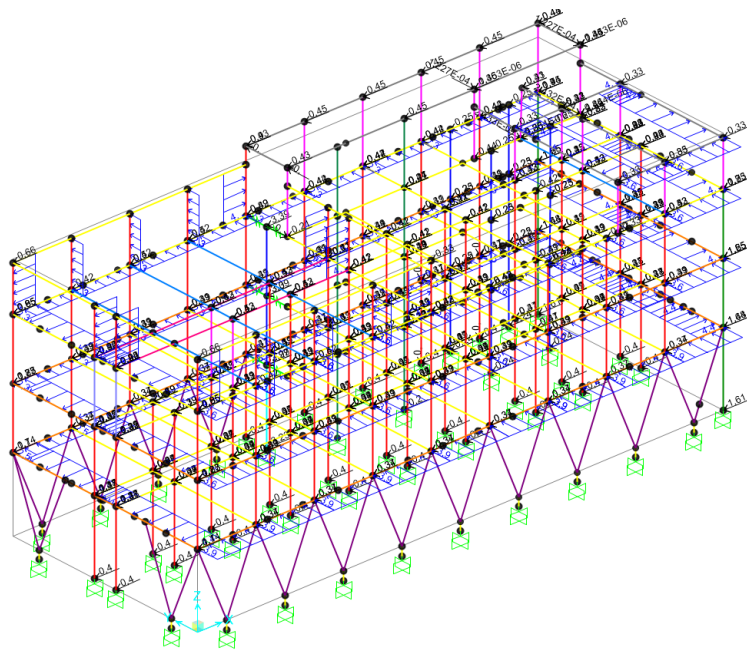


Figura 11. Carico di piano Variazione termica

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Opere di sostegno – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR003-0-2.DOCX




**Figura 12. Carico del vento**

**7.3 RISULTATI ANALISI MODALE**

I modi propri di vibrare della struttura sono stati determinati in modo tale che la percentuale di massa eccitata di ciascuna struttura fosse almeno pari all'90% del totale per ogni direzione fondamentale in accordo con quanto enunciato nel D.M. 17/01/2018. Si riportano nel seguito i risultati principali dell'analisi per l'edificio in esame.

**Tabella 9. Modi propri di vibrare**

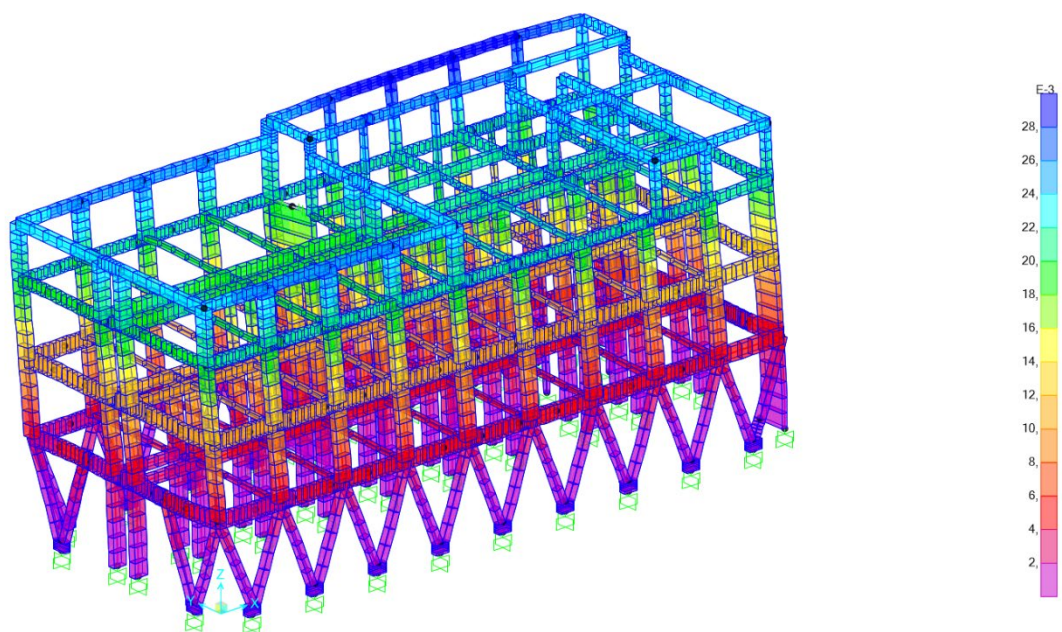
OutputCase	StepType	StepNum	Period [sec]	UX	UY	RZ
MODAL	Mode	1	0,955785	0,02%	78,14%	0,05%
MODAL	Mode	2	0,645162	1,28%	0,02%	70,81%
MODAL	Mode	3	0,492205	69,41%	0,00%	0,75%
MODAL	Mode	4	0,374252	0,00%	0,62%	0,52%
MODAL	Mode	5	0,343891	0,05%	0,61%	0,16%
MODAL	Mode	6	0,2591	0,16%	0,06%	0,43%
MODAL	Mode	7	0,229681	0,48%	5,39%	0,74%
MODAL	Mode	8	0,223763	2,14%	2,53%	0,47%
MODAL	Mode	9	0,201008	0,38%	5,19%	2,33%
MODAL	Mode	10	0,191125	0,03%	0,60%	4,22%

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Opere di sostegno – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR003-0-2.DOCX

<b>MODAL</b>	Mode	11	0,189772	0,43%	0,07%	0,25%
<b>MODAL</b>	Mode	12	0,171043	0,32%	0,20%	1,93%
<b>MODAL</b>	Mode	13	0,160714	0,06%	3,11%	0,27%
<b>MODAL</b>	Mode	14	0,155846	2,54%	0,00%	1,47%
<b>MODAL</b>	Mode	15	0,143073	2,77%	0,23%	0,21%
<b>MODAL</b>	Mode	16	0,12976	3,64%	0,04%	1,99%
<b>MODAL</b>	Mode	17	0,127043	2,98%	0,04%	0,03%
<b>MODAL</b>	Mode	18	0,11792	0,66%	0,05%	1,25%
<b>MODAL</b>	Mode	19	0,092232	0,04%	2,26%	0,80%
<b>MODAL</b>	Mode	20	0,088581	0,16%	0,31%	0,00%
<b>MODAL</b>	Mode	21	0,07987	11,21%	0,01%	0,31%
<b>MODAL</b>	Mode	22	0,062796	0,80%	0,13%	2,15%
<b>MODAL</b>	Mode	23	0,058457	0,22%	0,03%	0,42%
<b>MODAL</b>	Mode	24	0,051753	0,13%	0,26%	0,05%
<b>MODAL</b>	Mode	25	0,038206	0,00%	0,00%	0,00%
				<b>99.91%</b>	<b>99.89%</b>	<b>91.63%</b>

Come si può notare la somma delle masse partecipanti, riferite a ciascun modo supera ampiamente il valore limite dell'85% della massa complessiva, in conformità a quanto previsto nel paragrafo C7.3.3.1 della Circolare Ministeriale N.7 del 21/01/19.

Di seguito si riportano i modi principali di vibrare:



**Figura 13. Modo traslazionale Uy T=0.956 s**

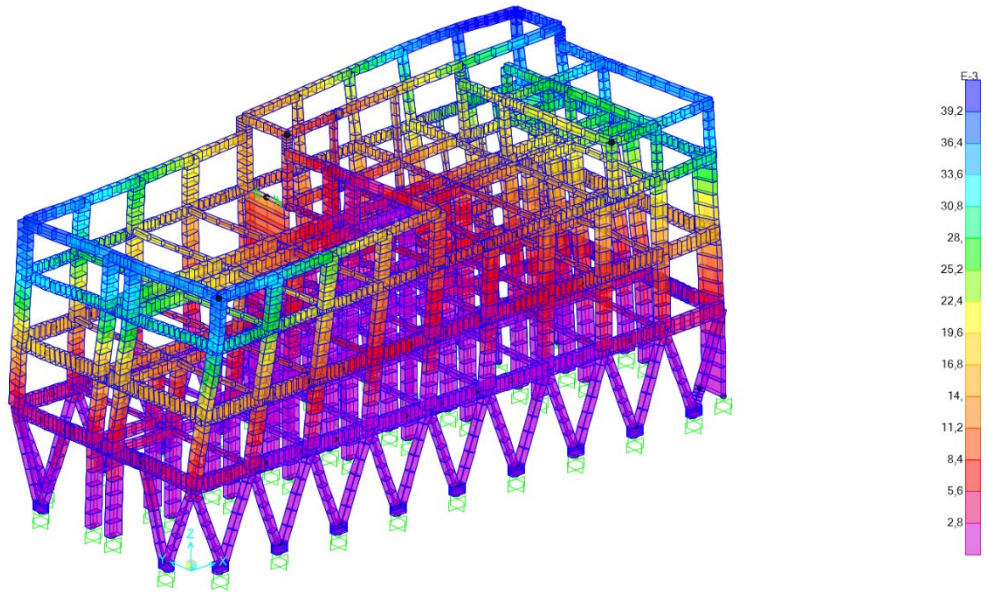


Figura 14. Modo rotazione Rz T=0.645 s

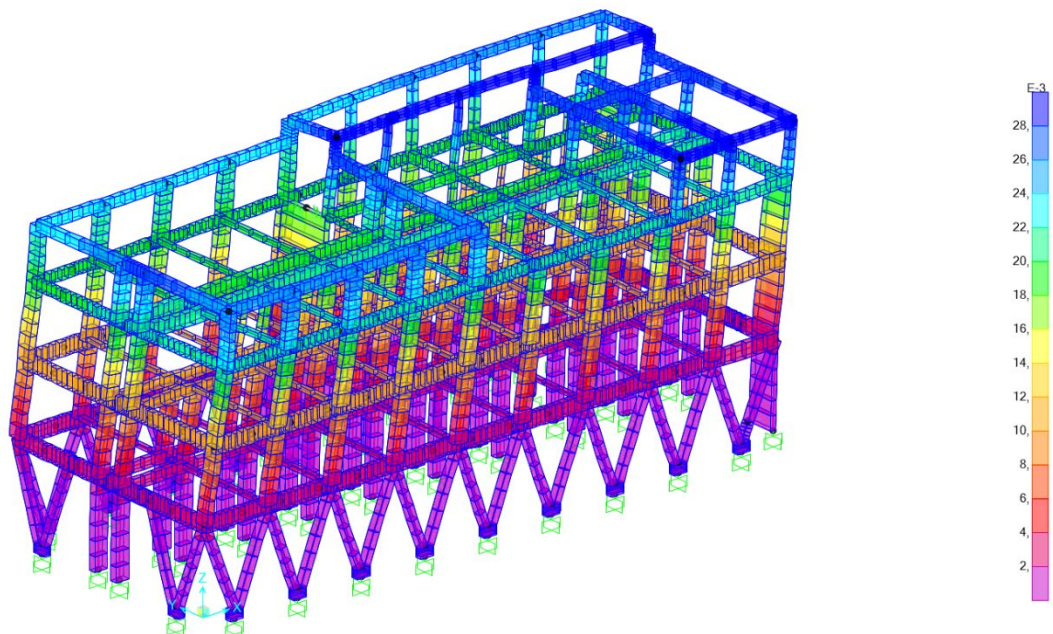



Figura 15. Modo traslazionale Ux T=0.492 s

## 7.4 VERIFICHE STATICHE DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI

Le verifiche di sicurezza relative agli stati limite ultimi (SLU) e le analisi relative alle condizioni di esercizio (SLE) sono state effettuate nel rispetto dei criteri delle NTC2018 (Tab. 7.3.III).

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Opere di sostegno – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR003-0-2.DOCX

In generale, le analisi degli stati limite di esercizio (SLE) sono utilizzate per ottenere informazioni circa gli spostamenti attesi sotto i carichi di esercizio e per verificarne l'ammissibilità nei confronti della funzionalità dell'opera e degli effetti a lungo termine. Le analisi agli stati limite ultimi (SLU) sono impiegate per le verifiche di resistenza degli elementi strutturali.

Per le verifiche sismiche nei vari stati limite si fa riferimento ai seguenti requisiti della NTC2018.

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


STATI LIMITE		CU I	CU II			CU III e IV		
		ST	ST	NS	IM	ST	NS	IM <sup>(9)</sup>
SLE	SLO					RIG		FUN
	SLD	RIG	RIG			RES		
SLU	SLV	RES	RES	STA	STA	RES	STA	STA
	SLC		DUT <sup>(10)</sup>			DUT <sup>(10)</sup>		

**Figura 16. Rispetto dei requisiti nei confronti degli SL**

Per tenere conto degli eventuali cedimenti e del ritiro le analisi saranno effettuate assumendo:

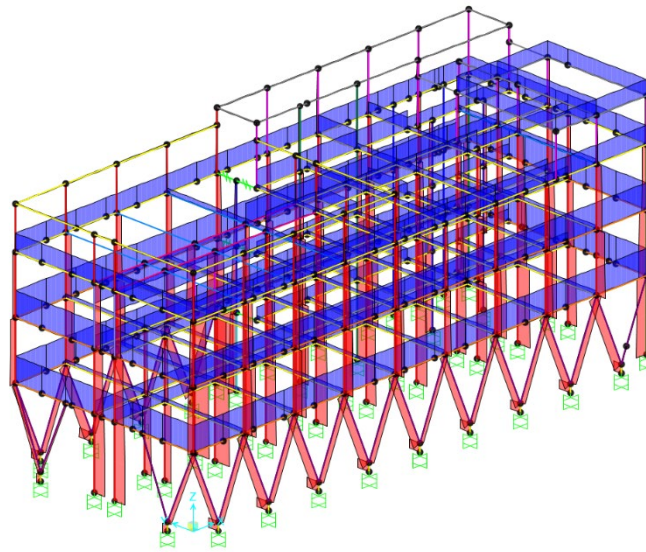
- Per gli stati limite ultimi, viene considerata una rigidità delle sezioni fessurate pari alla metà della rigidità delle sezioni interamente reagenti.
- Per gli stati limite di esercizio, viene considerata una rigidità delle sezioni fessurate pari al 75% della rigidità delle sezioni interamente reagenti.



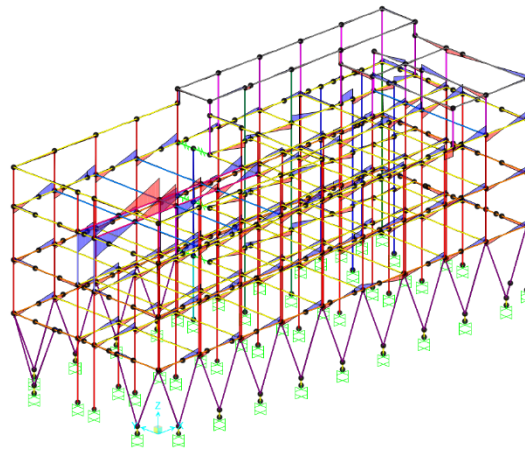
 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Opere di sostegno – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR003-0-2.DOCX

### 7.4.1 SOLLECITAZIONI DI PROGETTO

Si riportano di seguito dei diagrammi le sollecitazioni principali di carico relativi alle combinazioni di carico SLU e SLV.



**Figura 17. Involuppo sforzo assiale N (SLU\_15)**



**Figura 18. Involuppo sforzo di taglio Vz (SLU\_15)**

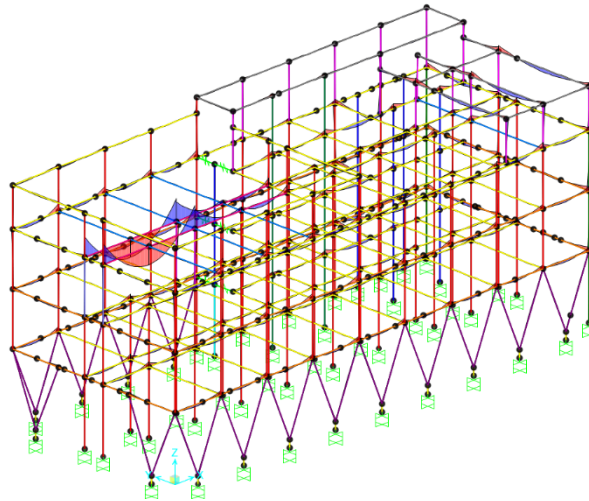


Figura 19. Inviluppo Momento  $M_y$  (SLU\_15)

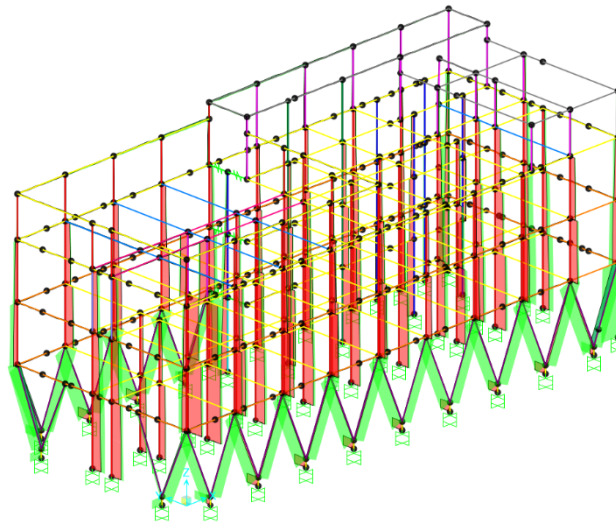

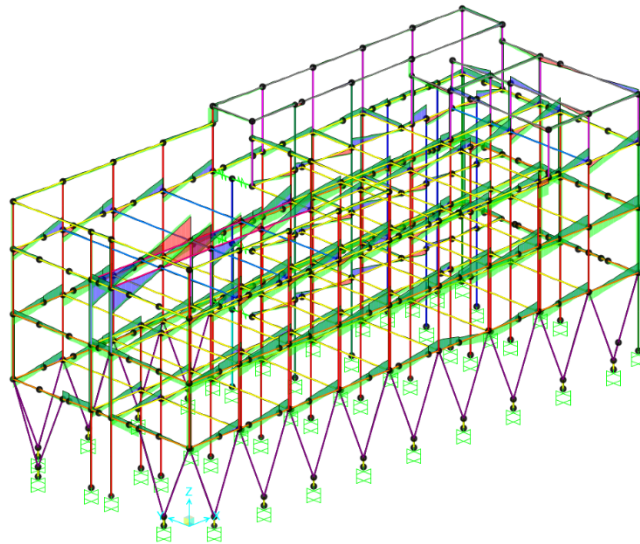
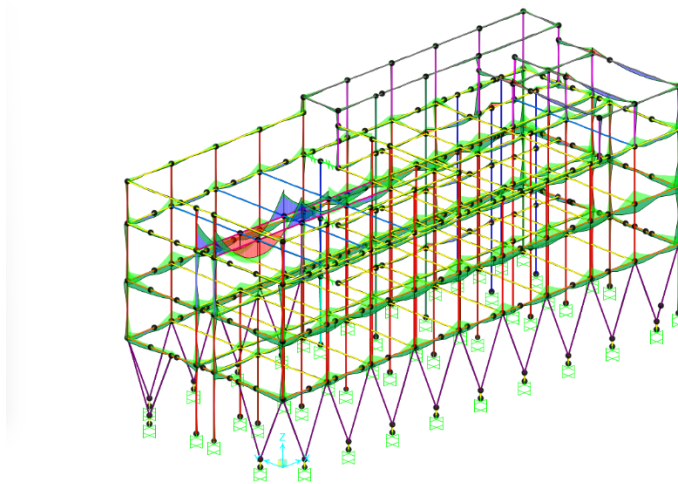


Figura 20. Inviluppo sforzo assiale N (SLV\_01)

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Opere di sostegno – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR003-0-2.DOCX




**Figura 21. Inviluppo sforzo di taglio Vz (SLV\_01)**



**Figura 22. Inviluppo Momento My (SLV\_01)**

#### **7.4.2 VERIFICHE**

Si riportano di seguito le verifiche a SLU e SLV dei pilastri, travi e setti dell'edificio.

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

### VERIFICA A FLESSIONE e PRESSOFLESSIONE (PILASTRI)


N°	Section	Combination	N [kN]	M2 [kNm]	M3 [kNm]	D/C
94	PIL 1 _ 100x50	SLV_02	-130,5	200,2	-249,3	<b>0,622</b>
95	PIL 2 _ 50x50	SLV_02	930,0	37,2	.30,4	<b>0,727</b>
348	PIL 3 _ 50x30	SLV_02#4	-1113,8	22,3	-34,6	<b>0,685</b>
210	PIL 5 _ 30x30	SLV_02#3	-621,3	-45,3	-15,5	<b>0,869</b>
75	PIL 6 _ 100x50	SLV_02	-395,6	-659,6	259,0	<b>0,919</b>
223	PIL 7 _ 50x50	SLV_01	-78,8	68,5	150,1	<b>0,748</b>
708	PIL 8 _ 70x50	SLV_02	157,9	331,5	53,75	<b>0,495</b>

**Tabella 10. Verifica dei pilastri a flessione (SLU/SLV)**

### VERIFICA A TAGLIO (PILASTRI)

N°	Section	Dir 2				Dir 3			
		Combination	V [kN]	Aw [cm <sup>2</sup> /cm]	D/C	Combination	V [kN]	Aw [cm <sup>2</sup> /cm]	D/C
113	PIL 1 _ 100x50	SLV_01	-124,3	0,050	<b>0,629</b>	SLV_02	60,4	0,050	<b>0,152</b>
458	PIL 2 _ 50x50	SLV_02	27,5	0,050	<b>0,125</b>	SLU_10	-4,2	0,050	<b>0,100</b>
350	PIL 3 _ 50x30	SLV_02	11,0	0,050	<b>0,125</b>	SLV_01	19,7	0,050	<b>0,101</b>
226	PIL 5 _ 30x30	SLU_11	9,2	0,050	<b>0,086</b>	SLV_02	7,7	0,050	<b>0,080</b>
21	PIL 6 _ 100x50	SLV_02	-114,5	0,105	<b>0,286</b>	SLV_01	-77,4	0,105	<b>0,091</b>
298	PIL 7 _ 50x50	SLV_01	-28,7	0,050	<b>0,143</b>	SLV_02	-97,6	0,050	<b>0,487</b>
708	PIL 8 _ 70x50	SLU_02	14,1	0,157	<b>0,005</b>	SLV_02	640	0,118	<b>0,716</b>

**Tabella 11. Verifica dei pilastri a taglio (SLU/SLV)**

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

### VERIFICA A FLESSIONE e PRESSOFLESSIONE (TRAVI)


N°	Section	Combination	N [kN]	M2 [kNm]	M3 [kNm]	As top [cm <sup>2</sup> ]	As bottom [cm <sup>2</sup> ]	D/C
222	TR 1_40x70	SLU_15	2069,25	7,09	-333,24	54,28	54,28	<b>0,747</b>
54	TR 2_50x90	SLU_15	2215,49	0,83	956,53	74,33	74,33	<b>0,790</b>
526	TR 3_40x60	SLU_15	1773,90	6,63	-230,01	45,62	45,62	<b>0,751</b>
364	TR 4_31x30	SLU_15	458,26	3,28	-47,20	12,57	12,57	<b>0,881</b>
49	TR 5_37x30	SLU_15	546,95	0,98	-27,00	12,57	12,57	<b>0,738</b>
800	TR 6_40x100	SLU_15	2956,23	-7,09	-378,56	54,29	54,29	<b>0,893</b>
607	TR 7_30x30	SLU_01	0,00	-0,26	-28,08	9,42	9,42	<b>0,351</b>
612	TR 8_30x15	SLU_01	0,00	-0,14	-16,18	9,42	9,42	<b>0,662</b>

**Tabella 12. Verifica delle travi a flessione (SLU/SLV)**

### VERIFICA A TAGLIO (TRAVI)

N°	Section	Dir 2				Dir 3			
		Combination	V [kN]	Aw [cm <sup>2</sup> /cm]	D/C	Combination	V [kN]	Aw [cm <sup>2</sup> /cm]	D/C
222	TR 1_40x70	SLU_03	340,21	0,078	<b>0,757</b>	SLV_01	1,01018E-13	0,078	<b>0,000</b>
52	TR 2_50x90	SLU_08	-687,70	0,151	<b>0,612</b>	SLV_02	-1,49	0,151	<b>0,003</b>
526	TR 3_40x60	SLU_06	197,54	0,050	<b>0,812</b>	SLU_10	8,50	0,050	<b>0,057</b>
294	TR 4_31x30	SLV_02	-58,11	0,105	<b>0,265</b>	SLU_12	0,99	0,105	<b>0,005</b>
368	TR 5_37x30	SLV_02	77,93	0,050	<b>0,550</b>	SLU_09	-1,29	0,050	<b>0,012</b>
717	TR 6_40x100	SLV_02	-306,66	0,079	<b>0,467</b>	SLU_12	-20,56	0,079	<b>0,088</b>
607	TR 7_30x30	SLU_03	-45,27	0,050	<b>0,409</b>	SLV_01	-1,85	0,050	<b>0,017</b>
438	TR 8_30x15	SLU_01	-34,07	0,050	<b>0,760</b>	SLV_01	-0,84	0,050	<b>0,008</b>

**Tabella 13. Verifica delle travi a taglio (SLU/SLV)**

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Opere di sostegno – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR003-0-2.DOCX

#### VERIFICA A FLESSIONE e PRESSOFLESSIONE (SETTI)

N°	Section	Combination	N [kN]	M2 [kNm]	M3 [kNm]	D/C
98	Setto 1_200x40	SLV_02	183,3	-1954,7	22,3	<b>0,843</b>
454	Setto 2_400x40	SLV_02	-258,0	-5395,9	-34,5	<b>0,626</b>
153	Setto2B_400x40	SLV_02	-449,0	-9449,6	27,9	<b>0,774</b>

**Tabella 14. Verifica dei setti a flessione (SLU/SLV)**


#### VERIFICA A TAGLIO (SETTI)

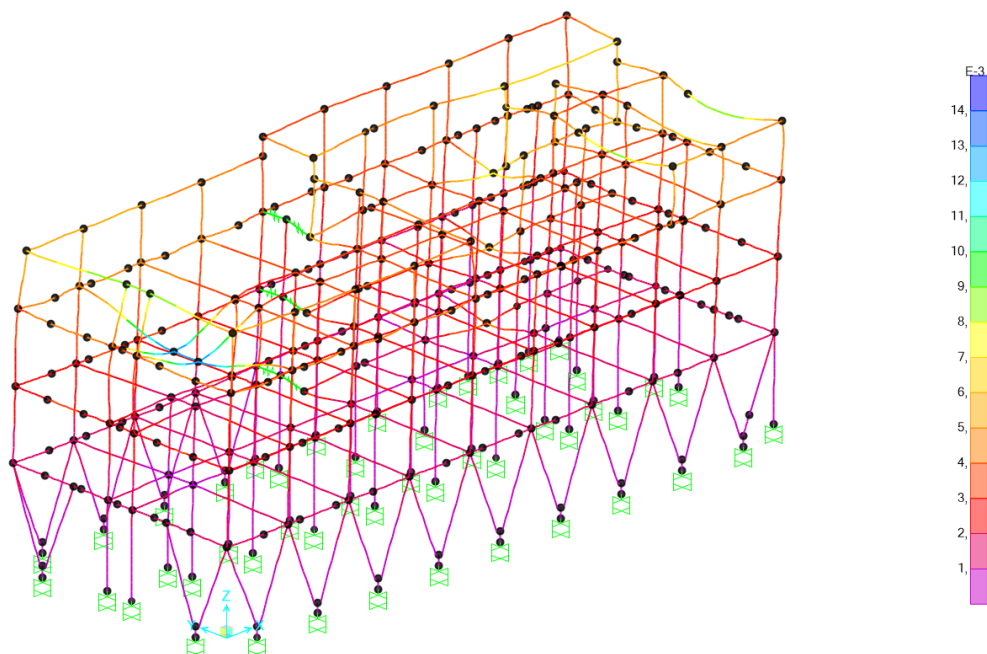
N°	Section	Dir 2				Dir 3			
		Combination	V [kN]	Aw [cm <sup>2</sup> /cm]	D/C	Combination	V [kN]	Aw [cm <sup>2</sup> /cm]	D/C
98	Setto 1_200x40	SLU_10	25,6	0,314	<b>0,026</b>	SLV_02	-382,6	0,157	<b>0,183</b>
454	Setto 2_400x40	SLU_12	43,4	0,419	<b>0,034</b>	SLV_02	946,0	0,105	<b>0,290</b>
153	Setto2B_400x40	SLU_10	-35,0	0,419	<b>0,027</b>	SLV_02	875,8	0,105	<b>0,272</b>

**Tabella 15. Verifica dei setti a taglio (SLU/SLV)**

### **7.4.3 VERIFICHE A STATO LIMITE DI ESERCIZIO**

Le verifiche a Stato Limite di Esercizio in termini di controllo delle deformazioni sono state attuate considerando forfettariamente gli effetti reologici di lungo termine amplificando per 2.0 gli spostamenti in combinazione Rara e per 2.5 quelli in combinazione Quasi Permanente.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Opere di sostegno – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR003-0-2.DOCX



**Figura 23. Spostamenti agli stati limite di esercizio (SLE\_rara\_15)**

Spostamento massimo in combinazione rara:

$$\Delta_{\max,rara} = 12,45 \text{ mm}$$

Spostamento massimo in combinazione quasi permanente:

$$\Delta_{\max,q.p.} = 9,84 \text{ mm}$$

Spostamento massimo in combinazione RARA tenendo conto degli effetti a lungo termine:

$$\Delta_{\max,rara, \text{lungo termine}} = \Delta_{\max,rara} \cdot 2 = 24,90 \text{ mm}$$


Spostamento massimo in combinazione QUASI PERMANENTE tenendo conto degli effetti a lungo termine:

$$\Delta_{\max,q.p., \text{lungo termine}} = \Delta_{\max,q.p.} \cdot 2,50 = 24,60 \text{ mm}$$

Verifica:

$$L_{\text{trave}} = 7.80 \text{ m} \rightarrow \Delta_{\text{limite}} = \frac{L_{\text{trave}}}{250} = 31,20 \text{ mm} \rightarrow \text{VERIFICA SODDISFATTA}$$

Per quanto riguarda il ballatoio che corre all'esterno dell'edificio viene verificata l'integrità delle finiture ed il comfort umano.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Opere di sostegno – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR003-0-2.DOCX

Spostamento massimo in combinazione rara:

$$\Delta_{\max,rara} = 0,6 \text{ mm}$$

Spostamento massimo in combinazione quasi permanente:

$$\Delta_{\max,q.p.} = 0,3 \text{ mm}$$

Spostamento massimo in combinazione RARA tenendo conto degli effetti a lungo termine:

$$\Delta_{\max,rara, \text{lungo termine}} = \Delta_{\max,rara} \cdot 2 = 1,20 \text{ mm}$$

Spostamento massimo in combinazione QUASI PERMANENTE tenendo conto degli effetti a lungo termine:

$$\Delta_{\max,q.p., \text{lungo termine}} = \Delta_{\max,q.p.} \cdot 2 = 0,75 \text{ mm}$$

Verifica:

$$L_{\text{trave}} = 1,20 \text{ m} \rightarrow \Delta_{\text{limite}} = \frac{L_{\text{trave}}}{250} = 2,40 \text{ mm} \rightarrow \text{VERIFICA SODDISFATTA}$$


#### 7.4.4 VERIFICHE TENSIONALI E APERTURA DELLE FESSURE

Di seguito vengono riportate le verifiche di controllo tensionale per le combinazioni Rare e Quasi Permanente e le verifiche di apertura delle fessure per le combinazioni Frequenti e Quasi Permanenti. Considerando i seguenti valori massimo ammissibili di ampiezza delle fessure:

- $w_{\text{frequente}} = 0.4 \text{ mm}$
- $w_{\text{QP}} = 0.3 \text{ mm}$

N°	Segmento	CHR			QP		
		$\sigma_c$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_s$ [N/mm <sup>2</sup> ]	D/C	$\sigma_c$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_s$ [N/mm <sup>2</sup> ]	D/C
75	1	-10,68	203,90	0,593	-9,73	191,50	0,720
76	1	-11,55	219,50	0,642	-9,59	189,60	0,711
165	3	-7,96	-101,80	0,442	-7,22	-102,10	0,535
165	1	-7,80	-100,90	0,434	-6,76	-98,40	0,501
364	3	-7,720	252,061	0,700	-5,372	112,848	0,398
613	1	-12,505	138,741	0,695	-6,942	77,040	0,514
614	1	-12,505	138,741	0,695	-6,942	77,040	0,514



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


555	1	-12,502	138,708	0,695	-6,942	77,040	0,514
556	1	-12,502	138,708	0,695	-6,942	77,040	0,514
440	1	-12,497	138,658	0,694	-6,942	77,040	0,514
447	1	-12,497	138,658	0,694	-6,942	77,040	0,514
361	1	-5,755	245,086	0,681	-2,208	46,380	0,164

**Tabella 16. Verifica tensioni a SLE (travi)**

N°	Segmento	Crack opening (FREQ)	Crack opening (QP)
612	1	OK	OK
554	1	OK	OK
438	1	OK	OK
364	1	OK	OK
364	3	OK	OK
613	1	OK	OK
614	1	OK	OK
555	1	OK	OK
556	1	OK	OK
440	1	OK	OK
447	1	OK	OK
361	1	OK	OK

**Tabella 17. Verifica a fessurazione (travi)**


N°	Segmento	CHR			QP		
		$\sigma$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_s$ [N/mm <sup>2</sup> ]	D/C	$\sigma$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_s$ [N/mm <sup>2</sup> ]	D/C
438	1	-14,19	157,40	0,788	-7,84	87,04	0,581
364	1	-8,33	263,60	0,732	-6,04	126,80	0,447

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Opere di sostegno – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR003-0-2.DOCX

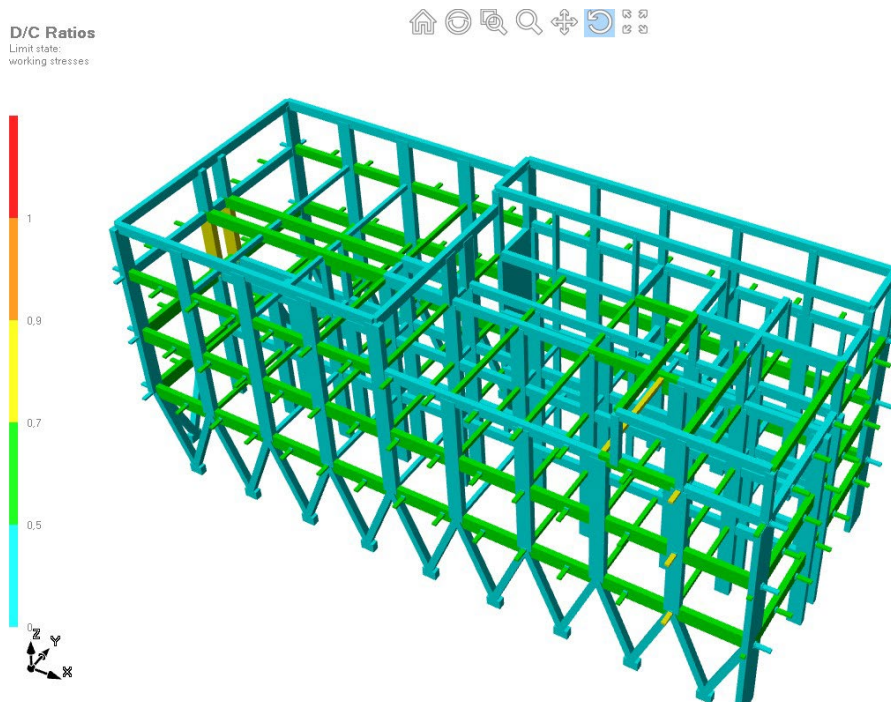
364	3	-7,72	252,00	0,700	-5,38	112,90	0,398
440	1	-12,50	138,70	0,694	-6,94	77,04	0,514
210	1	-7,953	-90,781	0,442	-6,470	-86,276	0,479
165	2	-7,170	-96,471	0,398	-6,458	-95,290	0,478
210	3	-7,518	-86,557	0,418	-6,379	-84,920	0,473
223	1	-8,458	159,784	0,470	-5,711	101,441	0,423
529	3	-8,391	157,000	0,466	-4,859	101,094	0,360
50	3	-7,438	-86,911	0,413	-6,258	-83,121	0,464
41	3	-7,716	-88,164	0,429	-6,163	-82,008	0,457
497	3	-8,057	149,838	0,448	-5,834	114,490	0,432

**Tabella 18. Verifica delle tensioni (pilastri)**

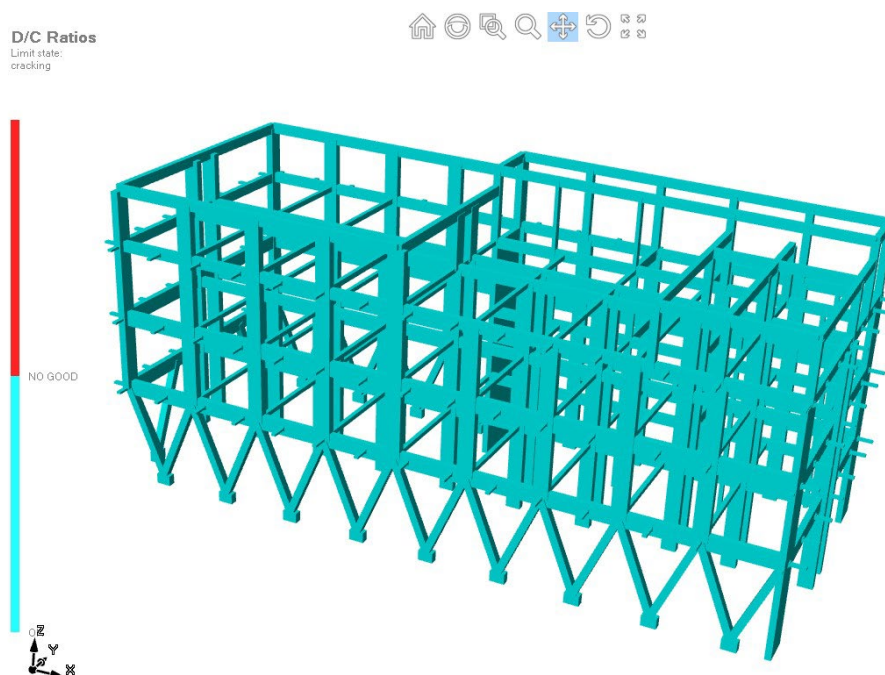
N°	Segmento	Crack opening (FREQ)	Crack opening (QP)
75	1	OK	OK
76	1	OK	OK
165	3	OK	OK
165	1	OK	OK
210	1	OK	OK
165	2	OK	OK
210	3	OK	OK
223	1	OK	OK
529	3	OK	OK
50	3	OK	OK
41	3	OK	OK
497	3	OK	OK

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Opere di sostegno – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR003-0-2.DOCX


**Tabella 19. Verifica a fessurazione (pilastri)**



**Figura 24. Verifiche tensionali a stato limite di esercizio**



**Figura 25. Verifiche a stato limite di apertura delle fessure**

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Opere di sostegno – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR003-0-2.DOCX

## 7.5 VERIFICHE SISMICHE DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI

### 7.5.1 VERIFICHE DI RIGIDEZZA SLO

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

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

$$qd_r \leq 0.0050 \cdot h$$

dove:

- $q$  è il fattore di struttura per il relativo Stato;
- $d_r$  è il massimo spostamento relativo;
- $h$  è l'altezza di interpiano.
- Le immagini seguenti riportano i massimi/minimi spostamenti XY.

In questo caso:

$$q = 1$$

$$d_{r,max/min} = 8,00 \text{ mm}$$

$$h = 5000 \text{ mm}$$

$$1 \cdot 8,00 \leq \frac{2}{3} \cdot 0,0050 \cdot 5000 = 16,60 \text{ mm} \rightarrow \text{VERIFICA SODDISFATTA}$$

## 7.6 REAZIONI VINCOLARI ALLA BASE DELL'EDIFICIO

Si riportano di seguito i valori delle reazioni vincolari considerando l'involuppo massimo delle combinazioni di carico SLU e SLV.

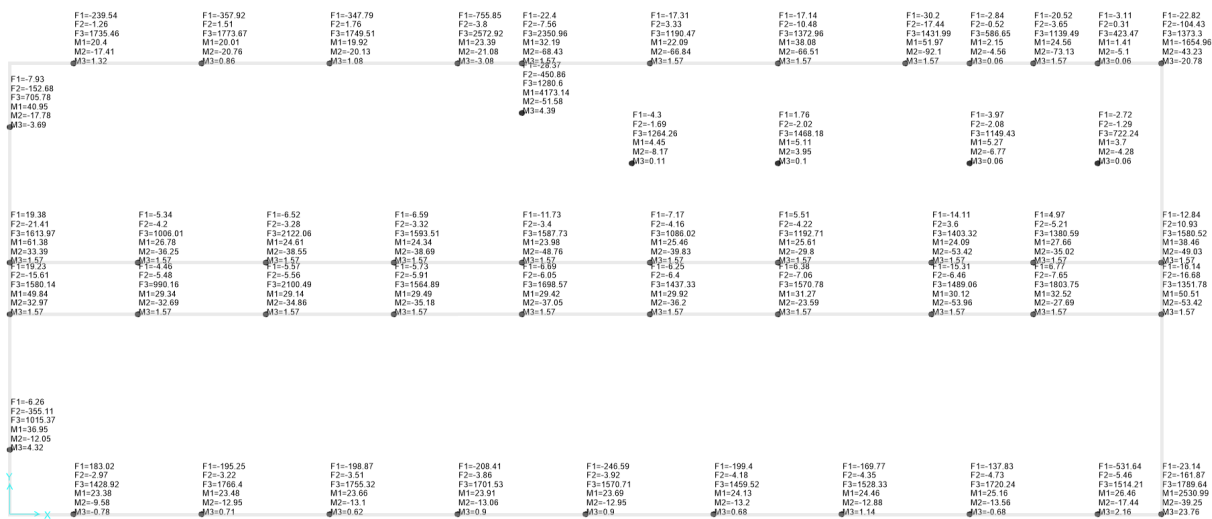


Figura 26. Reazioni vincolari edificio allo SLU

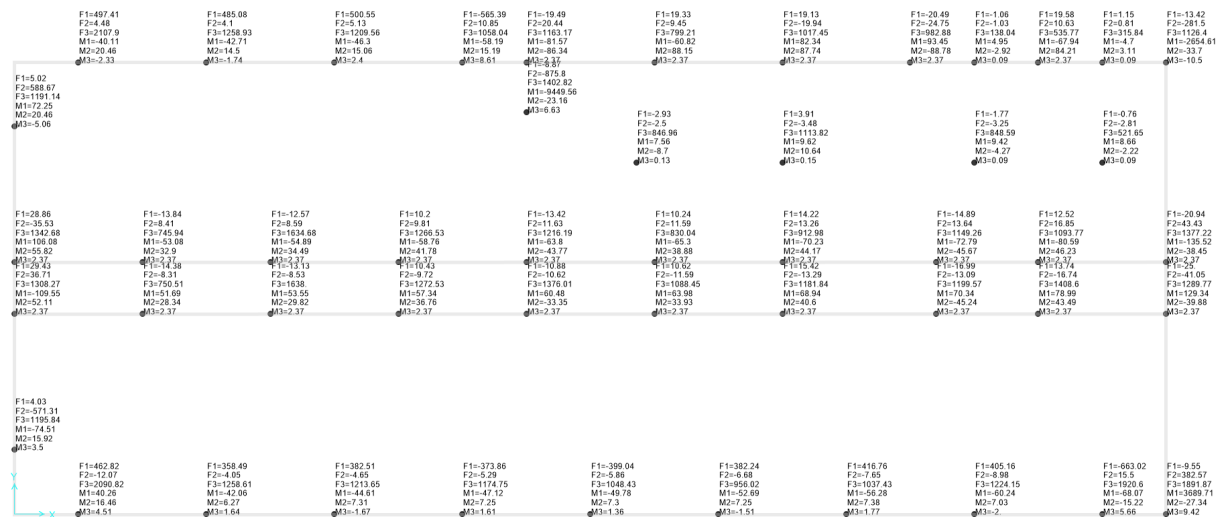




Figura 27. Reazioni vincolari edificio allo SLV

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Opere di sostegno – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR003-0-2.DOCX


Di seguito si riportano i medesimi risultati in forma tabellare.

**Tabella 20. Reazioni vincolari edificio a SLU e SLV**

Joint	OutputCase	CaseType	StepType	X	Y	Z	F1	F2	F3	M1	M2	M3
				m	m	m	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
143	Env_SLU	Combination	Max	0.0	7.8	0.0	19	2	<b>1580</b>	<b>50</b>	33	2
143	Env_SLV	Combination	Max	0.0	7.8	0.0	29	37	<b>1308</b>	<b>99</b>	52	2
144	Env_SLU	Combination	Max	0.0	9.8	0.0	19	0	<b>1614</b>	<b>61</b>	33	2
144	Env_SLV	Combination	Max	0.0	9.8	0.0	29	33	<b>1343</b>	<b>106</b>	56	2
145	Env_SLU	Combination	Max	24.3	13.7	0.0	-2	-1	<b>1264</b>	<b>4</b>	-4	0
145	Env_SLV	Combination	Max	24.3	13.7	0.0	2	1	<b>847</b>	<b>8</b>	7	0
149	Env_SLU	Combination	Max	25.0	17.6	0.0	-1	3	<b>1190</b>	<b>22</b>	-7	2
149	Env_SLV	Combination	Max	25.0	17.6	0.0	19	9	<b>799</b>	<b>56</b>	88	2
150	Env_SLU	Combination	Max	45.0	0.0	0.0	-15	74	<b>1790</b>	<b>2531</b>	-26	24
150	Env_SLV	Combination	Max	45.0	0.0	0.0	0	383	<b>1892</b>	<b>3690</b>	10	9
151	Env_SLU	Combination	Max	30.0	17.6	0.0	1	0	<b>1373</b>	<b>38</b>	-3	2
151	Env_SLV	Combination	Max	30.0	17.6	0.0	19	15	<b>1017</b>	<b>82</b>	88	2
153	Env_SLU	Combination	Max	45.0	17.6	0.0	-7	59	<b>1373</b>	<b>-656</b>	-8	-7
153	Env_SLV	Combination	Max	45.0	17.6	0.0	12	281	<b>1126</b>	<b>878</b>	31	9
156	Env_SLU	Combination	Max	20.0	15.7	0.0	-15	22	<b>1281</b>	<b>4173</b>	-20	4
156	Env_SLV	Combination	Max	20.0	15.7	0.0	8	846	<b>1403</b>	<b>9230</b>	23	7
159	Env_SLU	Combination	Max	35.0	17.6	0.0	2	-6	<b>1432</b>	<b>52</b>	-3	2
159	Env_SLV	Combination	Max	35.0	17.6	0.0	15	10	<b>983</b>	<b>93</b>	80	2
161	Env_SLU	Combination	Max	30.0	13.7	0.0	2	0	<b>1468</b>	<b>5</b>	4	0
161	Env_SLV	Combination	Max	30.0	13.7	0.0	4	2	<b>1114</b>	<b>10</b>	11	0
163	Env_SLU	Combination	Max	40.0	17.6	0.0	1	3	<b>1139</b>	<b>25</b>	-2	2
163	Env_SLV	Combination	Max	40.0	17.6	0.0	20	11	<b>536</b>	<b>66</b>	84	2
165	Env_SLU	Combination	Max	5.0	9.8	0.0	0	1	<b>1006</b>	<b>27</b>	-4	2
165	Env_SLV	Combination	Max	5.0	9.8	0.0	14	8	<b>746</b>	<b>49</b>	33	2
166	Env_SLU	Combination	Max	5.0	7.8	0.0	0	-1	<b>990</b>	<b>29</b>	-5	2
166	Env_SLV	Combination	Max	5.0	7.8	0.0	14	7	<b>751</b>	<b>52</b>	28	2
167	Env_SLU	Combination	Max	10.0	9.8	0.0	0	2	<b>2122</b>	<b>25</b>	-4	2
167	Env_SLV	Combination	Max	10.0	9.8	0.0	12	9	<b>1635</b>	<b>50</b>	34	2
168	Env_SLU	Combination	Max	10.0	7.8	0.0	0	-1	<b>2100</b>	<b>29</b>	-5	2
168	Env_SLV	Combination	Max	10.0	7.8	0.0	13	7	<b>1638</b>	<b>54</b>	30	2
169	Env_SLU	Combination	Max	15.0	9.8	0.0	1	2	<b>1594</b>	<b>24</b>	-2	2
169	Env_SLV	Combination	Max	15.0	9.8	0.0	10	10	<b>1267</b>	<b>53</b>	42	2
170	Env_SLU	Combination	Max	15.0	7.8	0.0	1	-1	<b>1565</b>	<b>29</b>	-3	2

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

170	Env_SLV	Combination	Max	15.0	7.8	0.0	10	8	<b>1273</b>	<b>57</b>	37	2
171	Env_SLU	Combination	Max	20.0	9.8	0.0	-4	2	<b>1588</b>	<b>24</b>	-13	2
171	Env_SLV	Combination	Max	20.0	9.8	0.0	7	12	<b>1216</b>	<b>57</b>	32	2
172	Env_SLU	Combination	Max	20.0	7.8	0.0	0	-1	<b>1699</b>	<b>29</b>	-6	2
172	Env_SLV	Combination	Max	20.0	7.8	0.0	10	9	<b>1376</b>	<b>60</b>	33	2
173	Env_SLU	Combination	Max	25.0	9.8	0.0	0	2	<b>1086</b>	<b>25</b>	-4	2
173	Env_SLV	Combination	Max	25.0	9.8	0.0	10	12	<b>830</b>	<b>61</b>	39	2
174	Env_SLU	Combination	Max	25.0	7.8	0.0	0	-1	<b>1437</b>	<b>30</b>	-5	2
174	Env_SLV	Combination	Max	25.0	7.8	0.0	11	9	<b>1088</b>	<b>64</b>	34	2
175	Env_SLU	Combination	Max	30.0	9.8	0.0	6	3	<b>1193</b>	<b>26</b>	6	2
175	Env_SLV	Combination	Max	30.0	9.8	0.0	14	13	<b>913</b>	<b>65</b>	44	2
176	Env_SLU	Combination	Max	30.0	7.8	0.0	6	0	<b>1571</b>	<b>31</b>	8	2
176	Env_SLV	Combination	Max	30.0	7.8	0.0	15	11	<b>1182</b>	<b>69</b>	41	2
179	Env_SLU	Combination	Max	40.0	9.8	0.0	5	4	<b>1381</b>	<b>28</b>	5	2
179	Env_SLV	Combination	Max	40.0	9.8	0.0	13	17	<b>1094</b>	<b>76</b>	46	2
180	Env_SLU	Combination	Max	40.0	7.8	0.0	7	1	<b>1804</b>	<b>33</b>	8	2
180	Env_SLV	Combination	Max	40.0	7.8	0.0	14	15	<b>1409</b>	<b>79</b>	43	2
181	Env_SLU	Combination	Max	45.0	9.8	0.0	-4	11	<b>1581</b>	<b>38</b>	-14	2
181	Env_SLV	Combination	Max	45.0	9.8	0.0	9	43	<b>1377</b>	<b>121</b>	18	2
182	Env_SLU	Combination	Max	45.0	7.8	0.0	-8	5	<b>1352</b>	<b>51</b>	-24	2
182	Env_SLV	Combination	Max	45.0	7.8	0.0	7	39	<b>1290</b>	<b>129</b>	6	2
200	Env_SLU	Combination	Max	2.5	0.0	0.0	183	0	<b>1429</b>	<b>23</b>	-2	0
200	Env_SLV	Combination	Max	2.5	0.0	0.0	463	11	<b>2091</b>	<b>40</b>	16	5
201	Env_SLU	Combination	Max	7.5	0.0	0.0	-72	-1	<b>1766</b>	<b>23</b>	-6	1
201	Env_SLV	Combination	Max	7.5	0.0	0.0	358	4	<b>1259</b>	<b>41</b>	6	2
202	Env_SLU	Combination	Max	12.5	0.0	0.0	-72	-1	<b>1755</b>	<b>24</b>	-6	1
202	Env_SLV	Combination	Max	12.5	0.0	0.0	383	4	<b>1214</b>	<b>44</b>	7	1
203	Env_SLU	Combination	Max	17.5	0.0	0.0	-97	-1	<b>1702</b>	<b>24</b>	-6	1
203	Env_SLV	Combination	Max	17.5	0.0	0.0	361	5	<b>1175</b>	<b>47</b>	7	2
204	Env_SLU	Combination	Max	22.5	0.0	0.0	-109	-1	<b>1571</b>	<b>24</b>	-6	1
204	Env_SLV	Combination	Max	22.5	0.0	0.0	351	5	<b>1048</b>	<b>49</b>	7	1
205	Env_SLU	Combination	Max	27.5	0.0	0.0	-70	-1	<b>1460</b>	<b>24</b>	-6	1
205	Env_SLV	Combination	Max	27.5	0.0	0.0	382	6	<b>956</b>	<b>52</b>	7	1
206	Env_SLU	Combination	Max	32.5	0.0	0.0	-40	0	<b>1528</b>	<b>24</b>	-5	1
206	Env_SLV	Combination	Max	32.5	0.0	0.0	417	7	<b>1037</b>	<b>56</b>	7	2
233	Env_SLU	Combination	Max	37.5	0.0	0.0	-25	1	<b>1720</b>	<b>25</b>	-6	1
233	Env_SLV	Combination	Max	37.5	0.0	0.0	405	9	<b>1224</b>	<b>59</b>	7	2
234	Env_SLU	Combination	Max	42.5	0.0	0.0	-231	2	<b>1514</b>	<b>26</b>	-10	2

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

234	Env_SLV	Combination	Max	42.5	0.0	0.0	351	15	<b>1921</b>	<b>67</b>	11	6
239	Env_SLU	Combination	Max	17.5	17.6	0.0	181	3	<b>2573</b>	<b>23</b>	-4	3
239	Env_SLV	Combination	Max	17.5	17.6	0.0	336	11	<b>1058</b>	<b>54</b>	15	9
240	Env_SLU	Combination	Max	12.5	17.6	0.0	-81	2	<b>1750</b>	<b>20</b>	-6	1
240	Env_SLV	Combination	Max	12.5	17.6	0.0	501	5	<b>1210</b>	<b>44</b>	15	2
241	Env_SLU	Combination	Max	7.5	17.6	0.0	-63	2	<b>1774</b>	<b>20</b>	-5	1
241	Env_SLV	Combination	Max	7.5	17.6	0.0	485	4	<b>1259</b>	<b>41</b>	14	2
242	Env_SLU	Combination	Max	2.5	17.6	0.0	47	1	<b>1735</b>	<b>20</b>	-1	1
242	Env_SLV	Combination	Max	2.5	17.6	0.0	497	4	<b>2108</b>	<b>38</b>	20	2
248	Env_SLU	Combination	Max	0.0	15.1	0.0	-3	132	<b>706</b>	<b>41</b>	-4	-1
248	Env_SLV	Combination	Max	0.0	15.1	0.0	5	589	<b>1191</b>	<b>72</b>	20	1
249	Env_SLU	Combination	Max	0.0	2.5	0.0	-2	-113	<b>1015</b>	<b>37</b>	-2	4
249	Env_SLV	Combination	Max	0.0	2.5	0.0	4	354	<b>1196</b>	<b>70</b>	16	3
272	Env_SLU	Combination	Max	36.0	9.8	0.0	-7	4	<b>1403</b>	<b>24</b>	-19	2
272	Env_SLV	Combination	Max	36.0	9.8	0.0	5	14	<b>1149</b>	<b>66</b>	28	2
273	Env_SLU	Combination	Max	36.0	7.8	0.0	-9	1	<b>1489</b>	<b>30</b>	-22	2
273	Env_SLV	Combination	Max	36.0	7.8	0.0	4	11	<b>1200</b>	<b>70</b>	22	2
275	Env_SLU	Combination	Max	37.5	13.7	0.0	-2	-1	<b>1149</b>	<b>5</b>	-4	0
275	Env_SLV	Combination	Max	37.5	13.7	0.0	0	2	<b>849</b>	<b>9</b>	1	0
276	Env_SLU	Combination	Max	37.5	17.6	0.0	-1	0	<b>587</b>	<b>2</b>	-2	0
276	Env_SLV	Combination	Max	37.5	17.6	0.0	1	1	<b>138</b>	<b>5</b>	3	0
278	Env_SLU	Combination	Max	42.5	13.7	0.0	-1	0	<b>722</b>	<b>4</b>	-2	0
278	Env_SLV	Combination	Max	42.5	13.7	0.0	1	2	<b>522</b>	<b>9</b>	2	0
279	Env_SLU	Combination	Max	42.5	17.6	0.0	-1	0	<b>423</b>	<b>1</b>	-1	0
279	Env_SLV	Combination	Max	42.5	17.6	0.0	1	1	<b>316</b>	<b>4</b>	3	0
343	Env_SLU	Combination	Max	20.0	17.6	0.0	-5	6	<b>2351</b>	<b>32</b>	-26	2
343	Env_SLV	Combination	Max	20.0	17.6	0.0	13	20	<b>1163</b>	<b>74</b>	76	2


## 7.7 VERIFICA DEI SOLAI ALVEOLARI

Di seguito si riporta la verifica relativa ai solai alveolari. Due diversi tipi di solai sono stati definiti, come rappresentativi:

1. Solaio 1, spesso con spessore di 37cm, identificato di seguito come H32+5. Composto da elementi prefabbricati da 32cm più 5cm di soletta collaborante.
2. Solaio 2, spesso con spessore di 31cm, identificato di seguito come H26+5. Composto da elementi prefabbricati da 26cm più 5cm di soletta collaborante.

Tali dimensioni sono state ridimensionare sulla base della luce massima, pari a 8m, e dei carichi applicati:



 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Opere di sostegno – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR003-0-2.DOCX

1.  $G_{1,k} = 5.00 \text{ kN/m}^2$ ,  $G_{2,k} = 12.50 \text{ kN/m}^2$  e  $Q_k = 1.20 \text{ kN/m}^2$ .
2.  $G_{1,k} = 4.25 \text{ kN/m}^2$ ,  $G_{2,k} = 2.50 \text{ kN/m}^2$  e  $Q_k = 3.00 \text{ kN/m}^2$ .

Partendo da queste informazioni si può definire il valore del sovraccarico agente sulla soletta tramite:

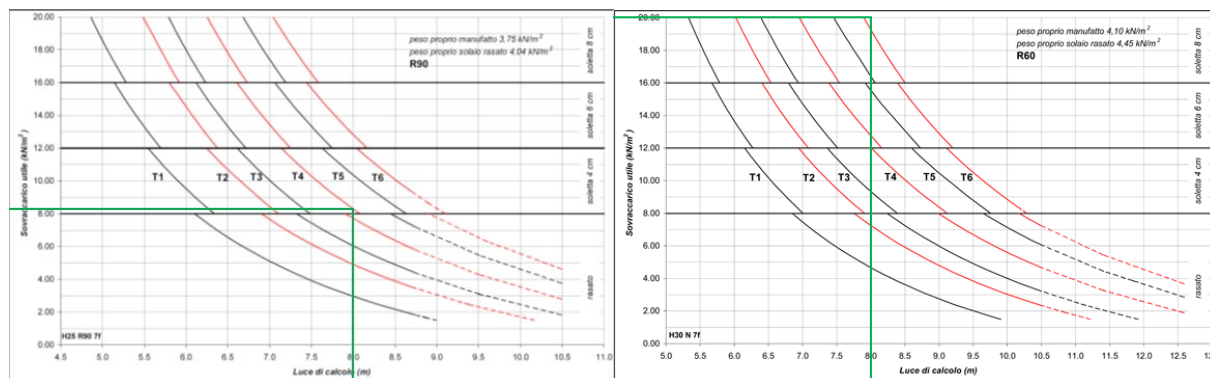
$$P_{tot} = G_{1,k} \cdot 1.3 + (G_{2,k} \cdot 1.5 + Q_k \cdot 1.5) = G_{1,D} + P_{sovr}$$

In tabella vengono riportati i valori dei carichi e sovraccarichi, per entrambe le solette

	Solaio 1	Solaio 2
$G_{1,d} \text{ [kN/m}^2\text{]}$	6.50	5.53
$P_{tot} \text{ [kN/m}^2\text{]}$	27.05	13.78
$P_{sovr} \text{ [kN/m}^2\text{]}$	20.55	8.25

**Tabella 21. Calcolo dei carichi di design**

Le tipologie di armatura vengono predefinite sulla base dei seguenti abachi.



**Figura 28. Definizione della tipologia dello schema di rinforzo**

CARATTERISTICHE DEL MANUFATTO - Serie NORMALE (riferite all'interasse pannello)								CARATTERISTICHE DEL MANUFATTO - Serie NORMALE (riferite all'interasse pannello)											
H25 N 7f		Tipo	T1	T2	T3	T4	T5	T6	H30 N 7f		Tipo	T1	T2	T3	T4	T5	T6		
Armatura di precompressione	tracce superiori		2 3x3	2 3x3	2 3x3	2 3/8"	2 3/8"	2 3/8"	Armatura di precompressione	tracce superiori		2 3x3	2 3x3	2 3x3	2 3/8"	2 3/8"	2 3/8"		
	Area	mm <sup>2</sup>	42	42	42	104	104	104		Area	mm <sup>2</sup>	42	42	42	104	104	104		
	tracce inferiori		8 3/8" - 2 3x3	8 3/8" - 2 3x3	10 3/8"	12 3/8"	14 3/8"	16 3/8"		tracce inferiori		8 3/8" - 2 3x3	8 3/8" - 2 3x3	10 3/8"	12 3/8"	14 3/8"	16 3/8"		
	Area	mm <sup>2</sup>	354	458	520	624	728	832		Area	mm <sup>2</sup>	354	458	520	624	728	832		
Area ideale		A <sub>i</sub>	mm <sup>2</sup>	188756	189380	189749	190743	191367	191991	Area ideale		A <sub>i</sub>	mm <sup>2</sup>	204491	205115	205484	206478	207102	207726
Dist. baricentro lembo sup.		y <sub>s</sub>	mm	121	121	121	121	122	122	Dist. baricentro lembo sup.		y <sub>s</sub>	mm	145	145	145	146	146	146
Momento d'inerzia		J	mm <sup>4</sup>	1335547540	1341063113	1344312923	1351663597	1357102156	1362505363	Momento d'inerzia		J	mm <sup>4</sup>	2180677752	2189669125	2194969032	2207254264	2216130763	2224953933
Tensioni di precompressione e cariche esaurite	lembo superiore	σ <sub>sp</sub>	N/mm <sup>2</sup>	0.72	1.08	1.29	0.85	1.19	1.51	Tensioni di precompressione e cariche esaurite	lembo superiore	σ <sub>sp</sub>	N/mm <sup>2</sup>	0.69	1.04	1.24	0.82	1.15	1.46
	lembo inferiore	σ <sub>sp</sub>	N/mm <sup>2</sup>	-5.62	-7.24	-8.19	-9.66	-11.17	-12.50		lembo inferiore	σ <sub>sp</sub>	N/mm <sup>2</sup>	-5.23	-6.74	-7.63	-8.98	-10.44	-11.71

**Figura 29. Caratteristiche della tipologia dello schema di rinforzo**

Di seguito si riporta la verifica dei due solai.

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

N° figure elementari  Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	120	10
2	0	22
3	120	5

N° strati barre  Zoom

**Tipologia Sezione**

Rettan.re  Trapezi

a T  Circolare

Rettangoli  Coord.

**Armatura Precompressione**

N° strati cavi  Zoom

N°	As [cm <sup>2</sup> ]	d [cm]	σ <sub>sp</sub> [MPa]
1	1.04	7.5	-1.46
2	8.32	34.5	11.71

**Sollecitazioni**

S.L.U.  Metodo n

N<sub>Ed</sub>  kN

M<sub>xEd</sub>  kNm

M<sub>yEd</sub>  kNm

**P.to applicazione N**

Centro  Baricentro cls

Coord.[cm] xN  yN

**Tipologia rottura**

Lato calcestruzzo - Cavo snervato

S.L.U.+  S.L.U.-

Metodo n

**Tipologia flessione**

Retta  Deviato

Calcola MRd  Dominio M-N

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

Precompresso

**Materiali**

**Trefolo** **C45/55**

ε<sub>su</sub>  ‰ ε<sub>c2</sub>  ‰

f<sub>yd</sub>  N/mm<sup>2</sup> ε<sub>cu</sub>  ‰

E<sub>s</sub>  N/mm<sup>2</sup> f<sub>cd</sub>  ‰

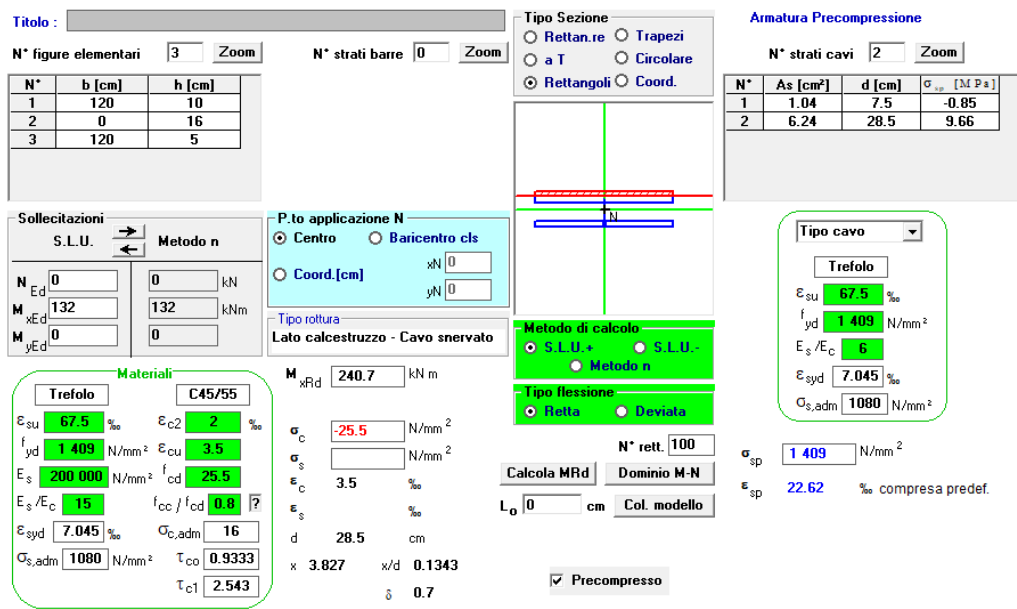
E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub>  f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub>  [?]

ε<sub>syd</sub>  ‰ σ<sub>c,adm</sub>  ‰

σ<sub>s,adm</sub>  N/mm<sup>2</sup> τ<sub>co</sub>  ‰

τ<sub>c1</sub>  ‰


**Figura 30. Verifica Solai 1 H32+5**



**Figura 31. Verifica Solaio 2 – H26+5**

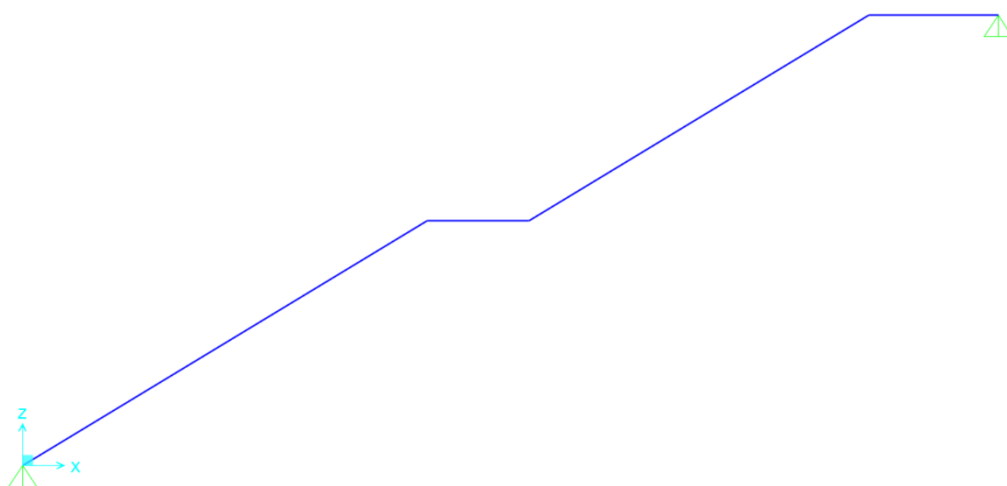
		Solaio 1	Solaio 2
		H32+5	H26+5
Armatura superiore	ID	H32+5	H26+5
	trecce'	2 3/8"	2 3/8"
	As' [cm <sup>2</sup> ]	1.04	1.04
	σ'cp [MPa]	1.46	0.85
Armatura inferiore	d' [cm]	7.5	7.5
	trecce	12 3/8"	16 3/8"
	As [cm <sup>2</sup> ]	8.32	6.24
	σcp [MPa]	-11.71	-9.66
Verifica	d [cm]	34.5	28.5
	Mrd [kNm]	382.7	240.7
	Med [kNm]	259.68	132.24
	FS	1.47	1.82

**Tabella 22. Verifica delle solette**

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Opere di sostegno – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR003-0-2.DOCX

## 7.8 VERIFICA DELLE SCALE

Le scale fisse sono costituite da una soletta inclinata di spessore 0,30 m, con gradini di 0,32x0,16 m. La Figura 7.1 mostra lo schema del modello strutturale adottato per la rampa di larghezza pari a 1,25 m.




**Figura 7.1 Schema strutturale delle scale**

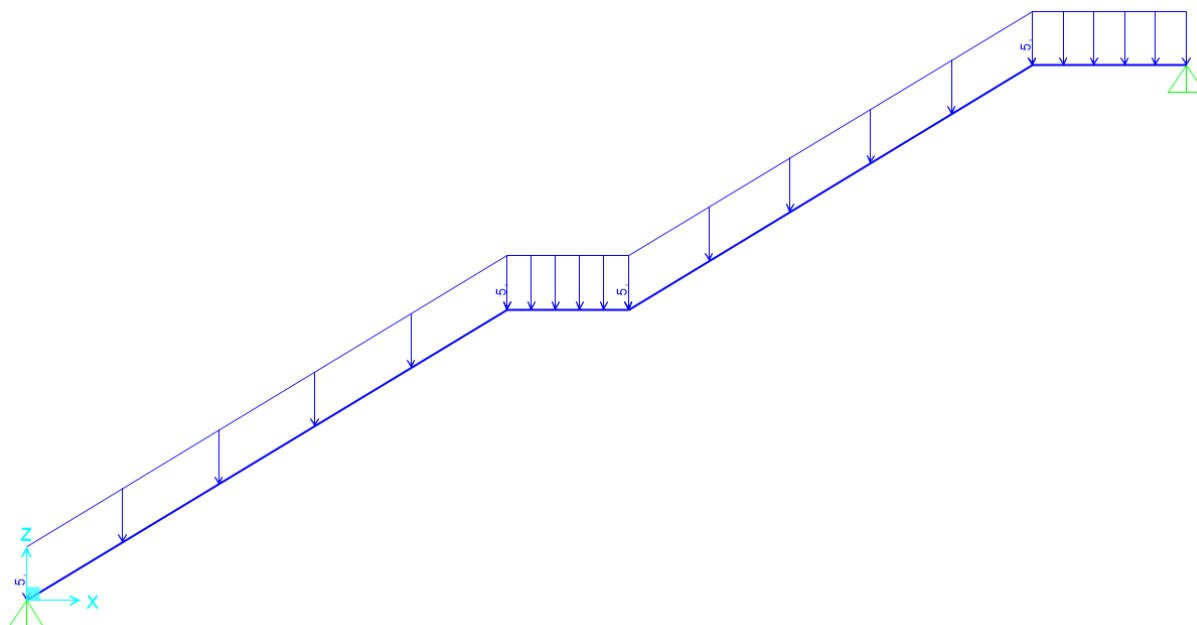
### 7.8.1 ANALISI DEI CARICHI

La scala è soggetta ai seguenti carichi:

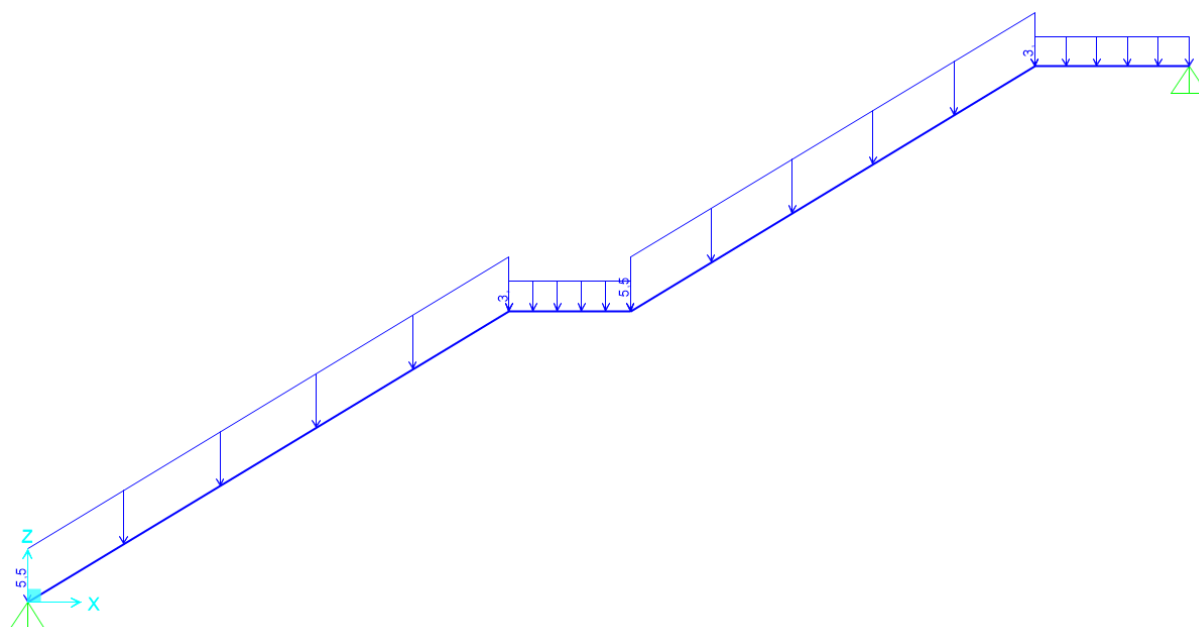
- Carichi permanenti:
  - Peso proprio della struttura portante ( $G_1$ ): esso è calcolato automaticamente dal software in funzione delle dimensioni geometriche;
  - Carico dei gradini ( $G_2$ ):  $\frac{1}{2} \cdot 0,16 \text{ m} \cdot 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot 1,25 \text{ m} = 5 \text{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

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

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Opere di sostegno – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR003-0-2.DOCX




**Figura 7.2 Sovraccarico d'esercizio**



**Figura 7.3 Carichi permanenti**

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

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Opere di sostegno – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR003-0-2.DOCX

### 7.8.2 COMBINAZIONE DEI CARICHI

La verifica strutturale è stata condotta secondo due stati limite:

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

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

- Stato limite ultimo (SLU):  

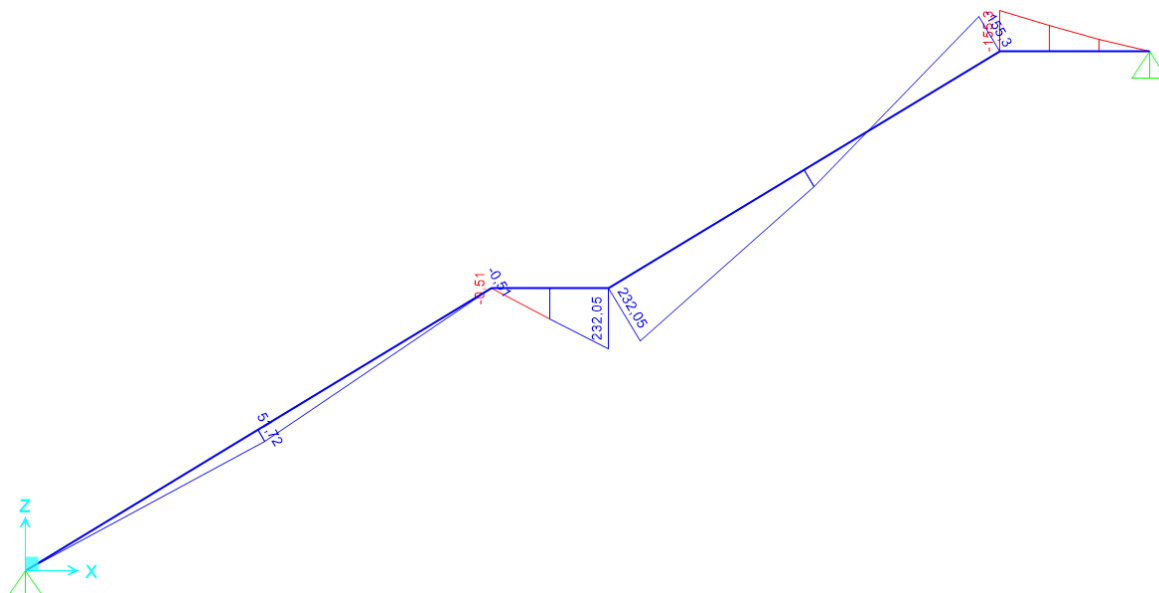
$$\gamma_{G_1} \cdot G_1 + \gamma_{G_2} \cdot G_2 + \gamma_Q \cdot Q_k = 1,30 \cdot G_1 + 1,50 \cdot G_2 + 1,50 \cdot Q_k$$
- Stato limite d'esercizio (SLE):
  - Combinazione quasi permanente:  

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


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

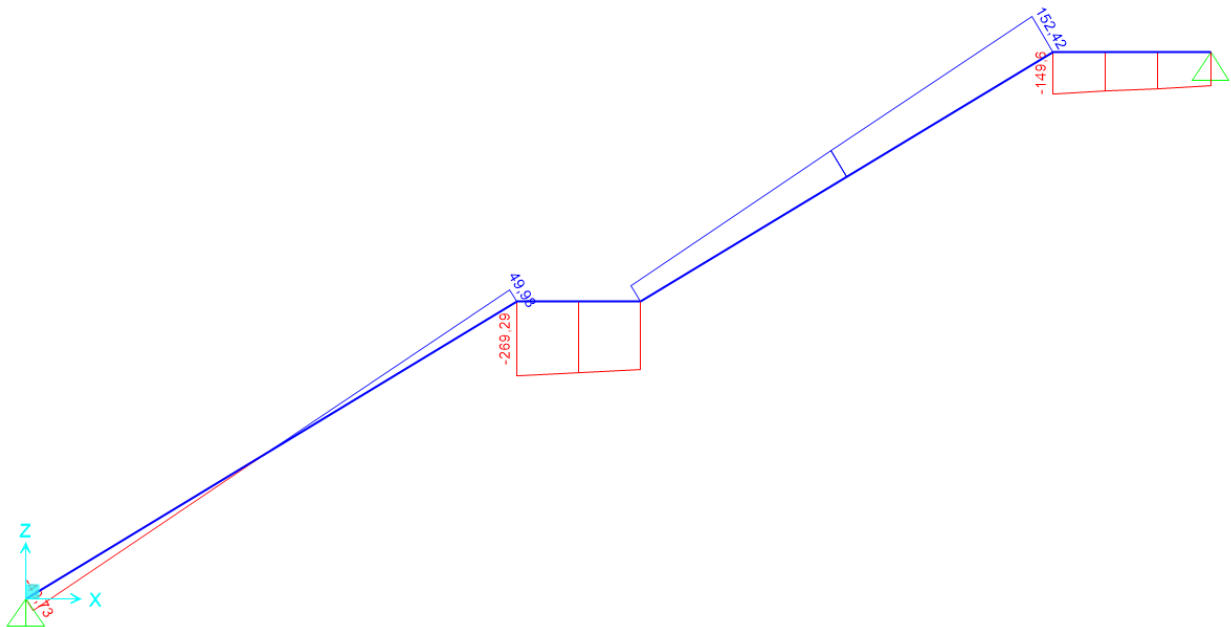
### 7.8.3 SOLLECITAZIONI E VERIFICHE

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

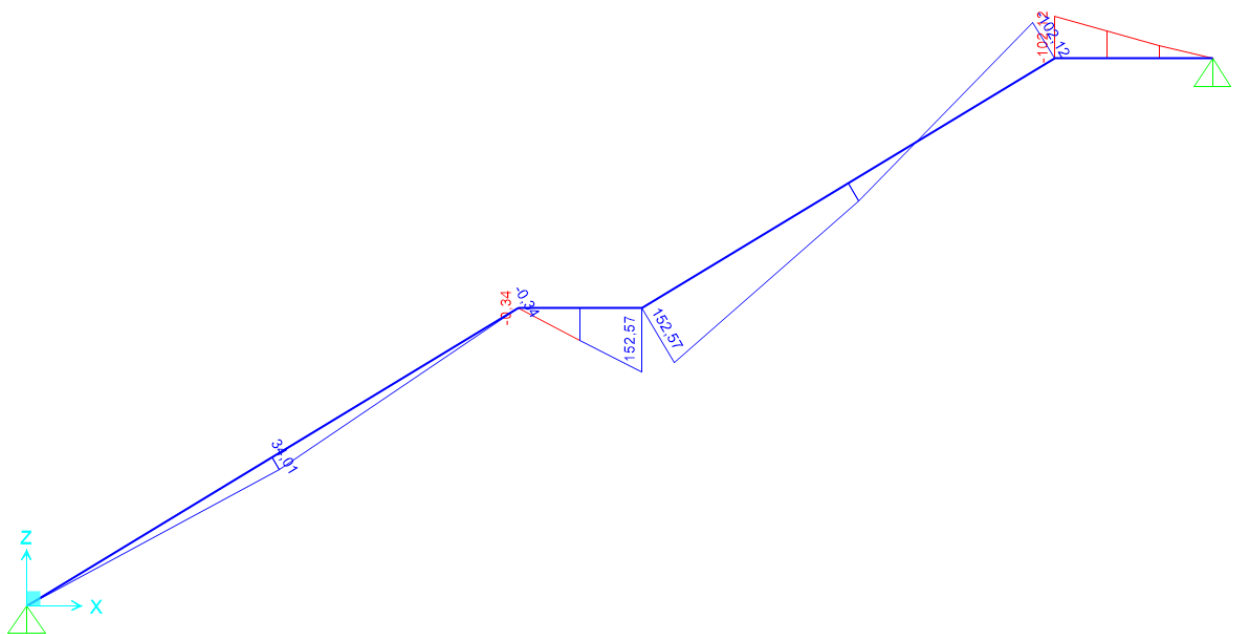


**Figura 7.4 Diagramma momenti flettenti allo stato limite ultimo (SLU)**


 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Opere di sostegno – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR003-0-2.DOCX

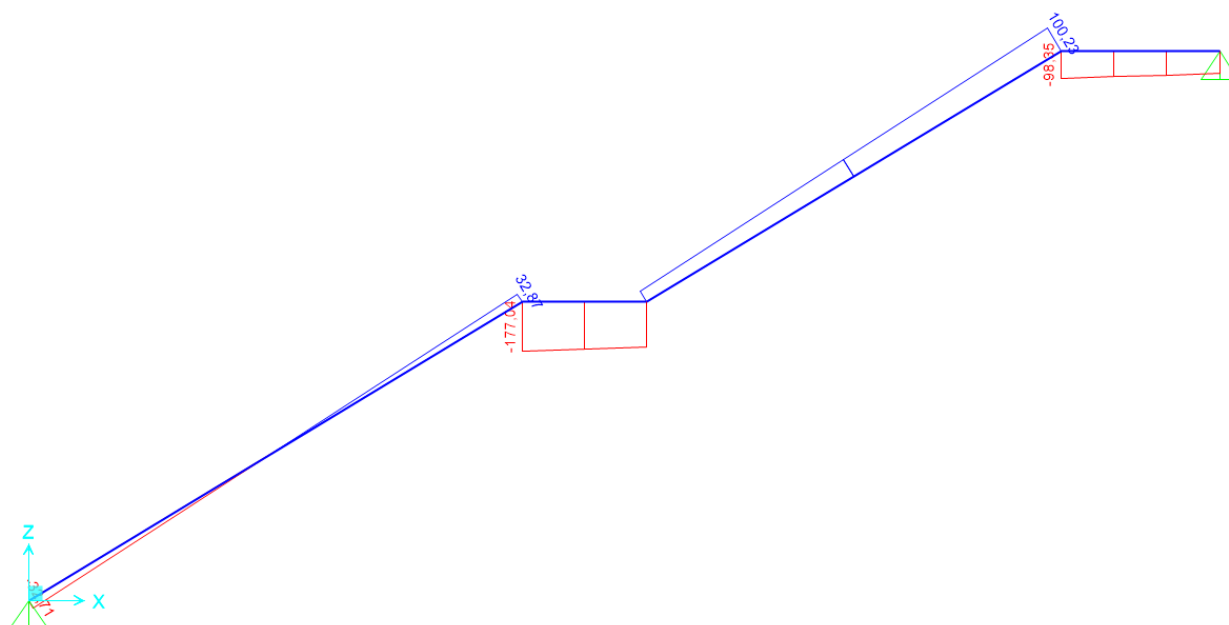


**Figura 7.5 Diagramma taglio allo stato limite ultimo (SLU)**



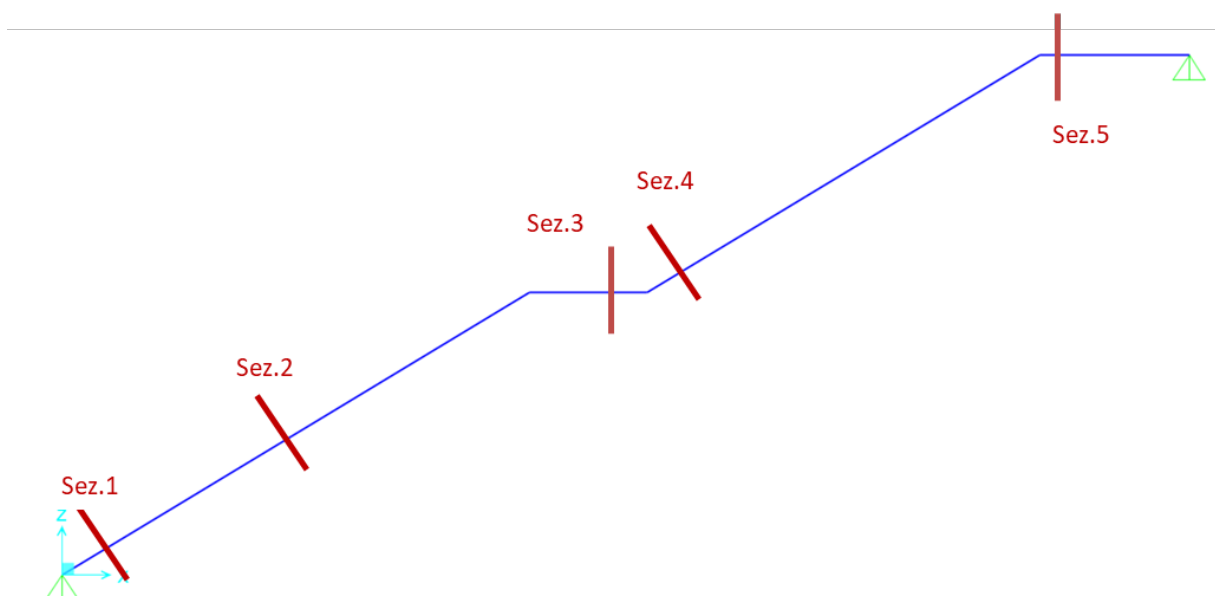
**Figura 7.6 Diagramma momento flettente allo stato limite d'esercizio (SLE)**

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Opere di sostegno – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR003-0-2.DOCX




**Figura 7.7 Diagramma taglio allo stato limite d'esercizio (SLE)**

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



**Figura 7.8 Sezioni analizzate**



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

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

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

**Tabella 7.1 Risultati delle verifiche a pressoflessione allo stato limite ultimo (SLU)**


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

**Tabella 7.2 Risultati delle verifiche a taglio allo stato limite ultimo (SLU)**

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

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

**Tabella 7.3 Risultati delle verifiche a fessurazione allo stato limite d'esercizio (SLE)**

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

SLE - controllo tensioni							
Scala							
	Comb	$\sigma_c$ [MPa]	$\sigma_s$ [MPa]	Armature	$\sigma_{c,lim}$ [MPa]	$\sigma_{s,lim}$ [MPa]	Stato
SEZIONE 1-1	SLE_frequente	0,9	0,0	12 $\Phi$ 18/10	<b>13,50</b>	<b>360,00</b>	verificato
SEZIONE 2-2	SLE_frequente	2,6	1,3	12 $\Phi$ 18/10	<b>13,50</b>	<b>360,00</b>	verificato
SEZIONE 3-3	SLE_frequente	11,6	199,3	12 $\Phi$ 18/10	<b>13,50</b>	<b>360,00</b>	verificato
SEZIONE 4-4	SLE_frequente	11,6	194,0	12 $\Phi$ 18/10	<b>13,50</b>	<b>360,00</b>	verificato
SEZIONE 5-5	SLE_frequente	7,8	114,4	12 $\Phi$ 18/10	<b>13,50</b>	<b>360,00</b>	verificato

**Tabella 7.4 Risultati delle verifiche di controllo delle tensioni allo stato limite d'esercizio (SLE)**

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

**Tabella 7.5 Risultati delle verifiche a deformazioni allo stato limite d'esercizio (SLE)**

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

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


## 8. URTO DA TRAFFICO VEICOLARE

La verifica viene condotta simulando l'urto di un veicolo su uno dei pilastri perimetrali a "V" del piano terra. Le azioni di urto hanno direzione parallela a quella del moto del veicolo al momento dell'impatto.

Nelle verifiche si possono considerare, non simultaneamente, due azioni nelle direzioni parallela ( $F_{d,x}$ ) e ortogonale ( $F_{d,y}$ ) alla direzione di marcia normale con

$$F_{d,y} = 0.50 F_{d,x}$$

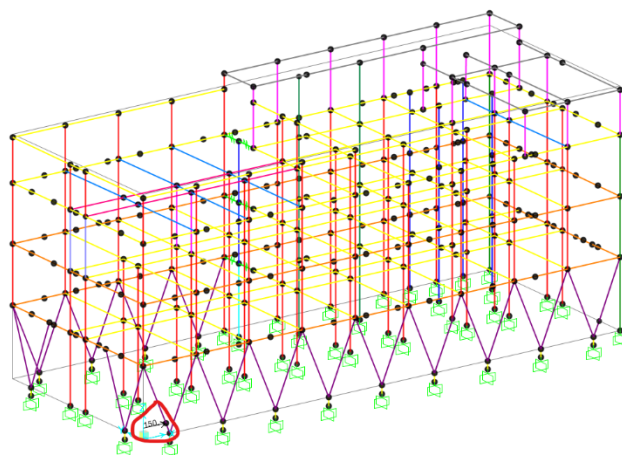
In questo caso vengono adottate le seguenti forze statiche equivalenti, riportate in Tab. 3.6.III delle NTC2018.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Opere di sostegno – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR003-0-2.DOCX


Tipo di strada	Tipo di veicolo	Forza $F_{d,x}$ [kN]
Autostrade, strade extraurbane	-	1000
Strade locali	-	750
Strade urbane	-	500
Aree di parcheggio e autorimesse	Automobili	50
	Veicoli destinati al trasporto di merci, aventi massa massima superiore a 3,5 t	150

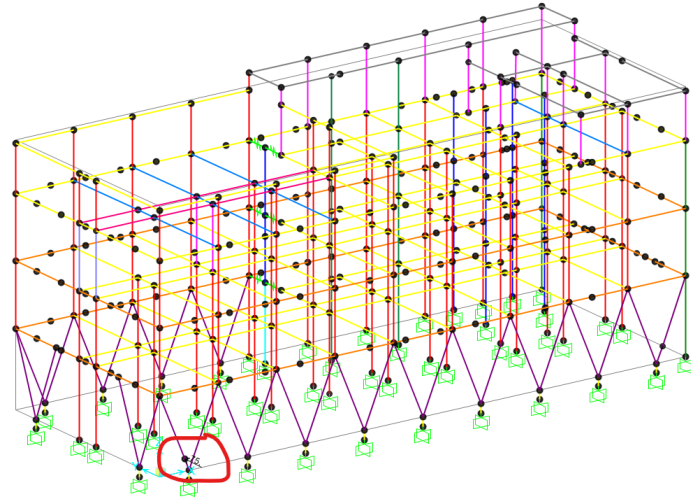
**Tabella 23. Forze statiche equivalenti agli urti di veicoli**

Per urti sulle membrature verticali, la forza risultante di collisione  $F$  deve essere applicata sulla struttura 1,25 m al di sopra della superficie di marcia. Considerando il percorso veicolare, sono state assunte due possibili posizioni di urto alla struttura.

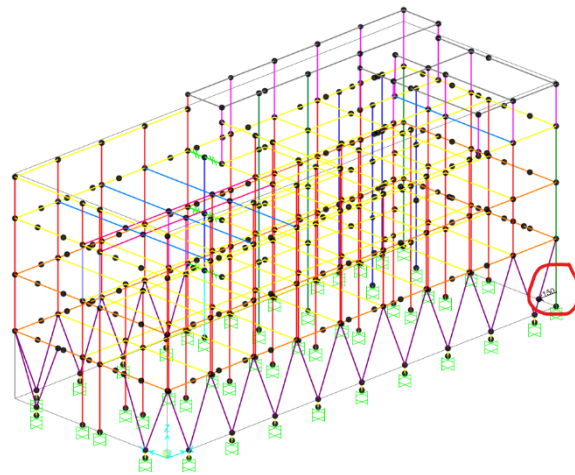


**Figura 32. Azione parallela alla direzione di marcia (Posizione 1)**


 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Opere di sostegno – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR003-0-2.DOCX

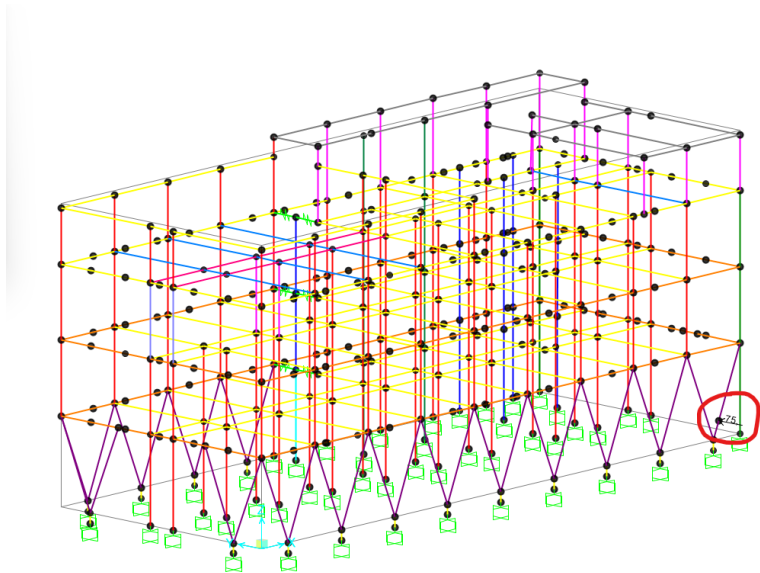


**Figura 33. Azione ortogonale alla direzione di marcia (Posizione 1)**



**Figura 34. Azione parallela alla direzione di marcia (Posizione 2)**

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Opere di sostegno – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR003-0-2.DOCX




**Figura 35. Azione ortogonale alla direzione di marcia (Posizione 2)**

Di seguito si riportano le verifiche degli elementi strutturali principali coinvolti nell'azione di urto.


Progetto travi   Progetto pilastri   Progetto setti   Verifica PMM travi   Verifica PMM pilastri   Verifica V travi   Verifica V pilastri   Verifica PMM setti   Verifica V setti										
Trave	Segmento	Sezione	Combinazione	N [kN]	M2 [kNm]	M3 [kNm]	As sup. [cm <sup>2</sup> ]	As inf. [cm <sup>2</sup> ]	D/C	
199	1	PIL 2 _ 50x50	Urto_x	-52.34	-0.04296	116.8	18.85	18.85		<b>0.354</b>
95	1	PIL 2 _ 50x50	Urto_x_1	-50.57	0.01764	116.5	18.85	18.85		<b>0.354</b>
100	1	PIL 2 _ 50x50	Urto_x_1	7.12	0.01848	-45.62	18.85	18.85		<b>0.155</b>
209	1	PIL 2 _ 50x50	Urto_x	5.352	-0.02847	-45.5	18.85	18.85		<b>0.153</b>
95	3	PIL 2 _ 50x50	Urto_x_1	-50.57	0.01848	-45.62	18.85	18.85		<b>0.124</b>
199	3	PIL 2 _ 50x50	Urto_x	-52.34	-0.02847	-45.5	18.85	18.85		<b>0.123</b>
95	2	PIL 2 _ 50x50	Urto_x	-52.34	-0.03572	35.66	18.85	18.85		<b>0.092</b>
100	2	PIL 2 _ 50x50	Urto_x_1	-50.57	0.01806	35.46	18.85	18.85		<b>0.092</b>
209	3	PIL 2 _ 50x50	Urto_x_1	7.12	0.02182	25.78	18.85	18.85		<b>0.090</b>
100	3	PIL 2 _ 50x50	Urto_x	5.352	0.0295	25.17	18.85	18.85		<b>0.086</b>
209	2	PIL 2 _ 50x50	Urto_x_1	7.12	0.02015	-9.921	18.85	18.85		<b>0.037</b>
457	2	PIL 2 _ 50x50	Urto_x	5.352	0.0005135	-10.16	18.85	18.85		<b>0.037</b>
457	3	PIL 2 _ 50x50	Urto_x	-2.192	3.705	0.04415	18.85	18.85		<b>0.011</b>

**Tabella 24. Verifiche a Pressoflessione**

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Opere di sostegno – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR003-0-2.DOCX

Progetto travi	Progetto pilastri	Progetto setti	Verifica PMM travi	Verifica PMM pilastri	Verifica V travi	Verifica V pilastri	Verifica PMM setti	Verifica V setti		
Trave	Segmento	Sezione	Direzione 2				Direzione 3			
			Combinazione	V [kN]	Aw [cm²/cm]	D/C	Combinazione	V [kN]	Aw [cm²/cm]	D/C
199	1	PIL 2_50x50	Urto_x	124.9	0.05027	<b>0.627</b>	Urto_y	67.39	0.05027	<b>0.338</b>
	2	PIL 2_50x50	Urto_x	124.9	0.05027	<b>0.627</b>	Urto_y	67.39	0.05027	<b>0.338</b>
	3	PIL 2_50x50	Urto_x	124.9	0.05027	<b>0.627</b>	Urto_y	67.39	0.05027	<b>0.338</b>
95	1	PIL 2_50x50	Urto_x_1	124.7	0.05027	<b>0.626</b>	Urto_y_1	-67.19	0.05027	<b>0.337</b>
	2	PIL 2_50x50	Urto_x_1	124.7	0.05027	<b>0.626</b>	Urto_y_1	-67.19	0.05027	<b>0.337</b>
	3	PIL 2_50x50	Urto_x_1	124.7	0.05027	<b>0.626</b>	Urto_y_1	-67.19	0.05027	<b>0.337</b>
100	1	PIL 2_50x50	Urto_x_1	-13.73	0.05027	<b>0.069</b>	Urto_y_1	7.811	0.05027	<b>0.039</b>
	2	PIL 2_50x50	Urto_x_1	-13.73	0.05027	<b>0.069</b>	Urto_y_1	7.811	0.05027	<b>0.039</b>
	3	PIL 2_50x50	Urto_x_1	-13.73	0.05027	<b>0.069</b>	Urto_y_1	7.811	0.05027	<b>0.039</b>
209	1	PIL 2_50x50	Urto_x	-13.59	0.05027	<b>0.068</b>	Urto_y	-7.605	0.05027	<b>0.038</b>
	2	PIL 2_50x50	Urto_x	-13.59	0.05027	<b>0.068</b>	Urto_y	-7.605	0.05027	<b>0.038</b>
	3	PIL 2_50x50	Urto_x	-13.59	0.05027	<b>0.068</b>	Urto_y	-7.605	0.05027	<b>0.038</b>

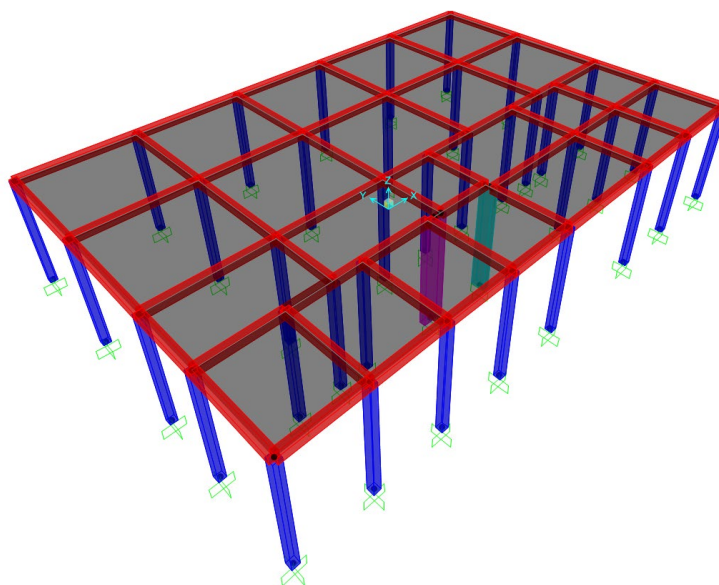
**Tabella 25. Verifiche a Taglio**

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Opere di sostegno – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR003-0-2.DOCX

## 9. DIMENSIONAMENTO E VERIFICHE CABINA ELETTRICA E SUE FONDAZIONI

### 9.1 STRUTTURA IN ELEVAZIONE


La cabina elettrica è stata modellata con il software ad elementi finiti SAP2000. Il posizionamento dei pilastri è stato definito sulla base delle possibili interferenze con l'impiantistica presente, di conseguenza lo schema di posizionamento dei pilastri risulta essere variabile.



**Figura 36. Modello 3D in SAP2000 della cabina elettrica**

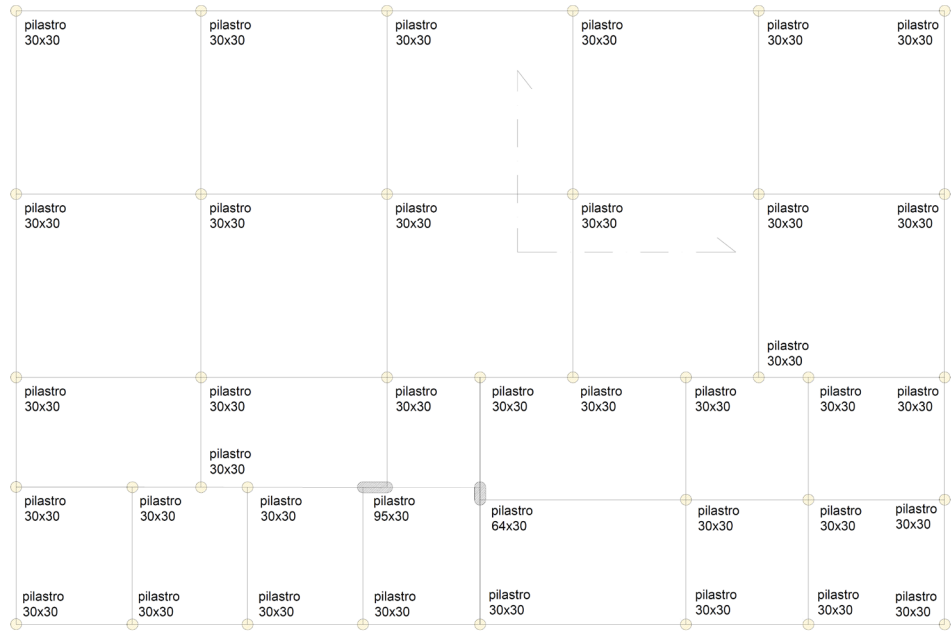
A causa della complessità dello schema statico di seguito vengono riportati le diverse sezioni adottate per tutti gli elementi strutturali:

- Trave 30x30: All'incastro presenta 3 $\Phi$ 26 al lembo superiore, 3 $\Phi$ 22 al lembo inferiore e staffe  $\Phi$ 12/20; mentre in mezzera vengono inseriti 3 $\Phi$ 22 al lembo superiore, 3 $\Phi$ 22 al lembo inferiore e staffe  $\Phi$ 12/40.
- Trave 30x30t: questa tipologia di sezione viene definita per tutte le aste corte, per cui non viene previsto un cambio di sezione lungo l'asse longitudinale. Per tutta la sua lunghezza presenta 3 $\Phi$ 26 al lembo superiore, 3 $\Phi$ 22 al lembo inferiore e staffe  $\Phi$ 12/20.
- Pilastro 30x30 armata con 8 $\Phi$ 20 e staffe  $\Phi$ 12/40.
- Pilastro 64x30 armata con 12 $\Phi$ 20 e staffe  $\Phi$ 12/40.
- Pilastro 95x30 armata con 18 $\Phi$ 20 e staffe  $\Phi$ 12/40.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Opere di sostegno – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR003-0-2.DOCX




**Figura 37. Identificazione delle sezioni delle travi**



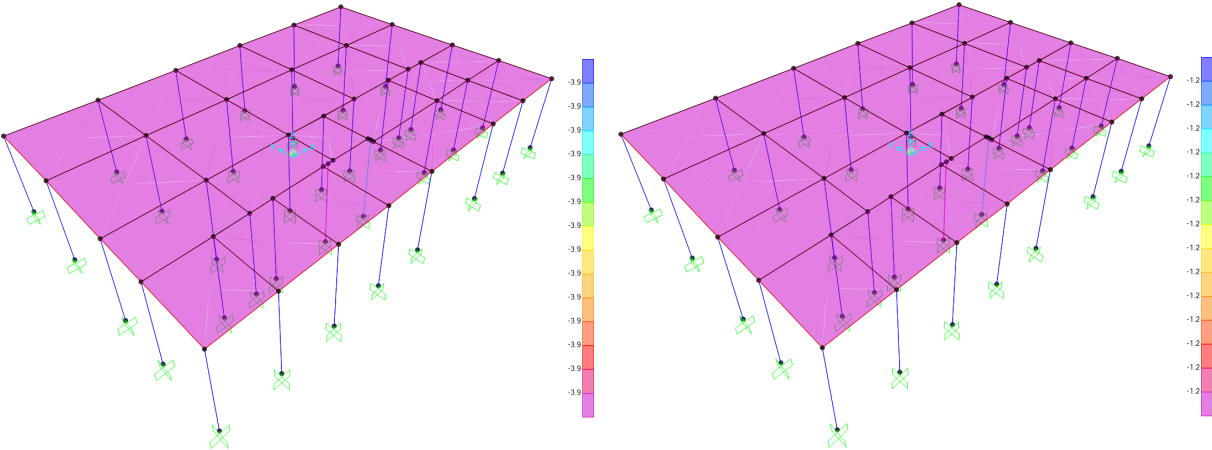
**Figura 38. Identificazione delle sezioni dei pilastri**



 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Opere di sostegno – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR003-0-2.DOCX

I carichi considerati per la verifica di questi elementi sono i seguenti:


1. Peso proprio della struttura.
2. Carico strutturale del pacchetto di copertura assunto pari a  
 $G=6.25 \text{ kN/m}^2$
3. Carico variabile da neve assunto pari a:  
 $Q=1.2 \text{ kN/m}^2$
4. Sisma: il sisma è stato considerato cautelativamente per mezzo di una analisi pseudostatica in cui le accelerazioni applicate sono pari ai valori massimi dello spettro di risposta elastico:  
 $acc_h=0.232g \quad acc_v=0.068g$



**Figura 39. Modello 3D in SAP2000 con carichi applicati: strutturale (sx) e variabile (dx)**

Per le verifiche sono stati considerati i seguenti coefficienti:

	Peso proprio	Permanenti copertura	Neve	Sisma X	Sisma Y	Sisma Z
SLE	1	1	1	0	0	0
SLU	1.3	1.3	1.5	0	0	0
SLV_x	1	1	0	1	0.3	0.3
SLV_y	1	1	0	0.3	1	0.3
SLV_z	1	1	0	0.3	0.3	1

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Opere di sostegno – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR003-0-2.DOCX

### 9.1.1 SOLLECITAZIONI DI PROGETTO

Si riportano di seguito dei diagrammi le sollecitazioni principali di carico relativi alle combinazioni di carico SLU e SLV.

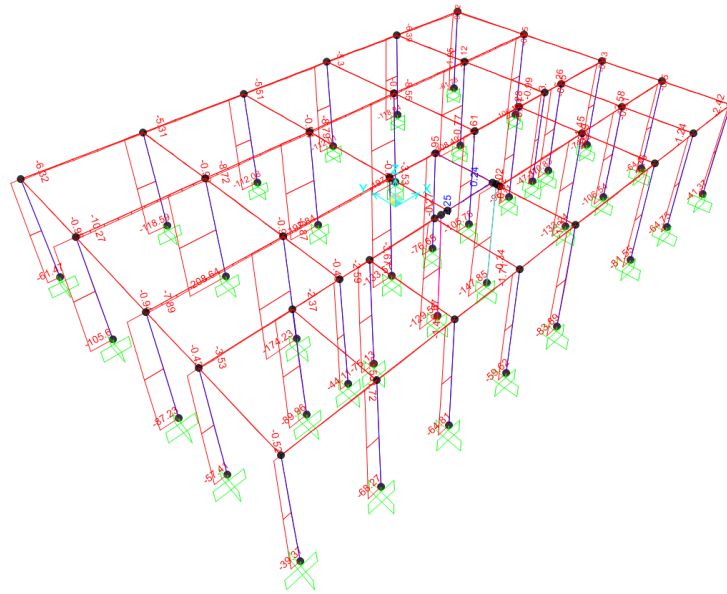


Figura 40. Edificio cabina elettrica – Azione Assiale [kN] SLU

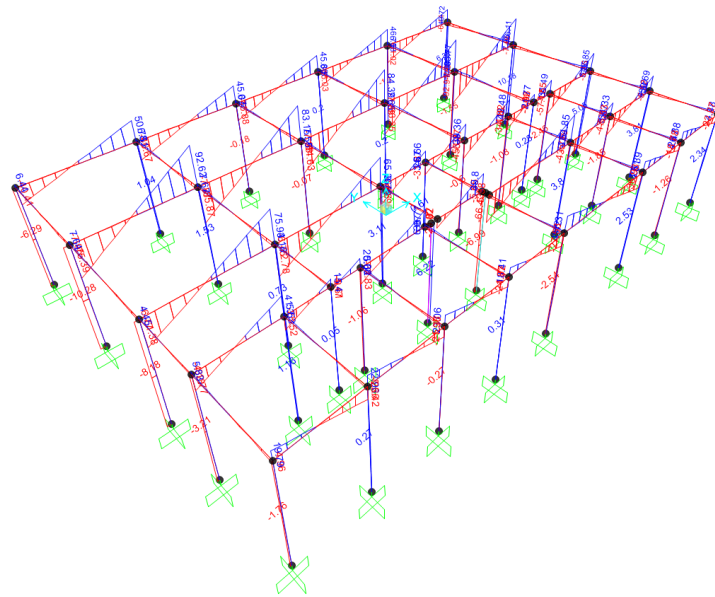
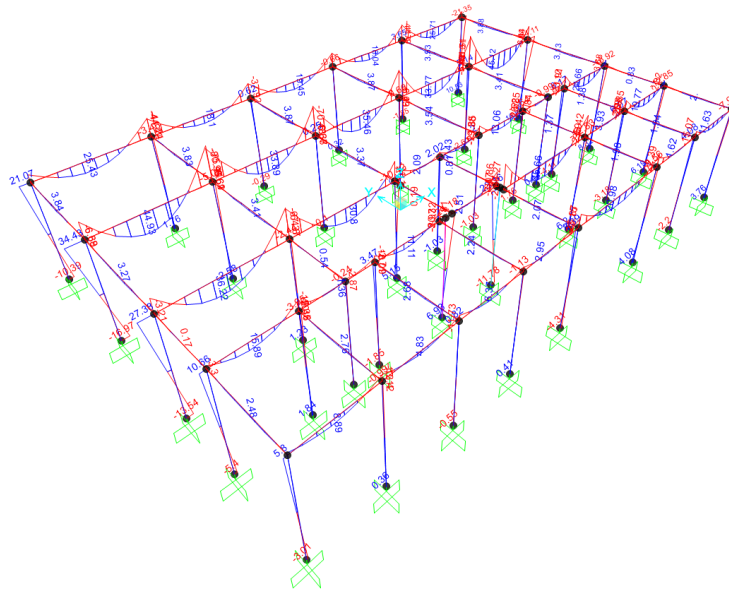
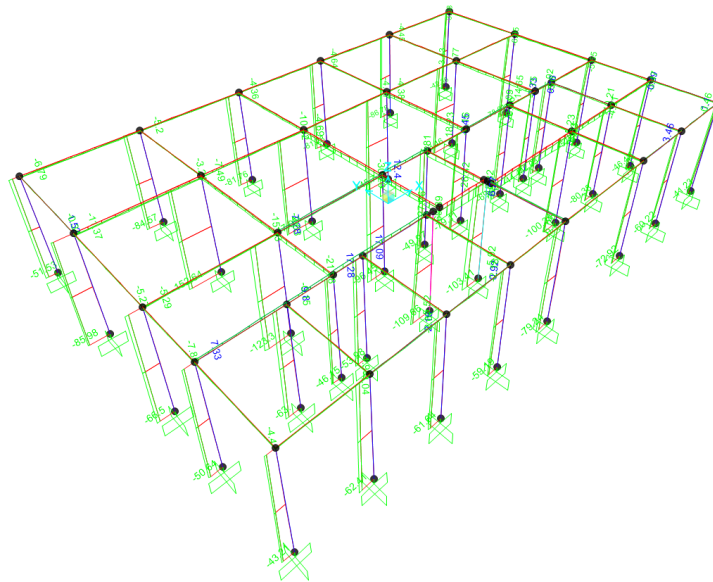


Figura 41. Edificio cabina elettrica – Taglio [kN] SLU

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Opere di sostegno – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR003-0-2.DOCX

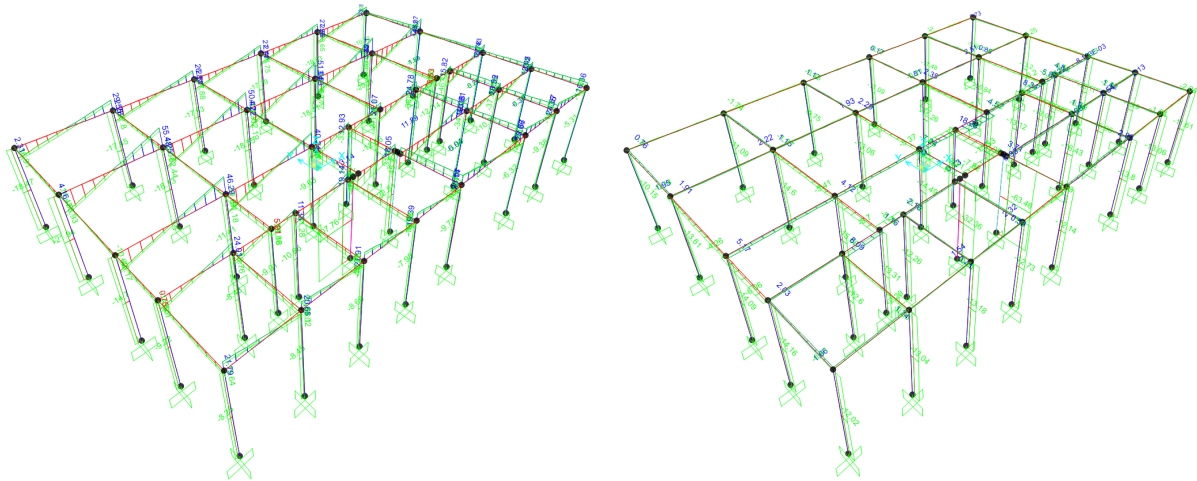


**Figura 42. Edificio cabina elettrica – Momento flettente [kNm] SLU**

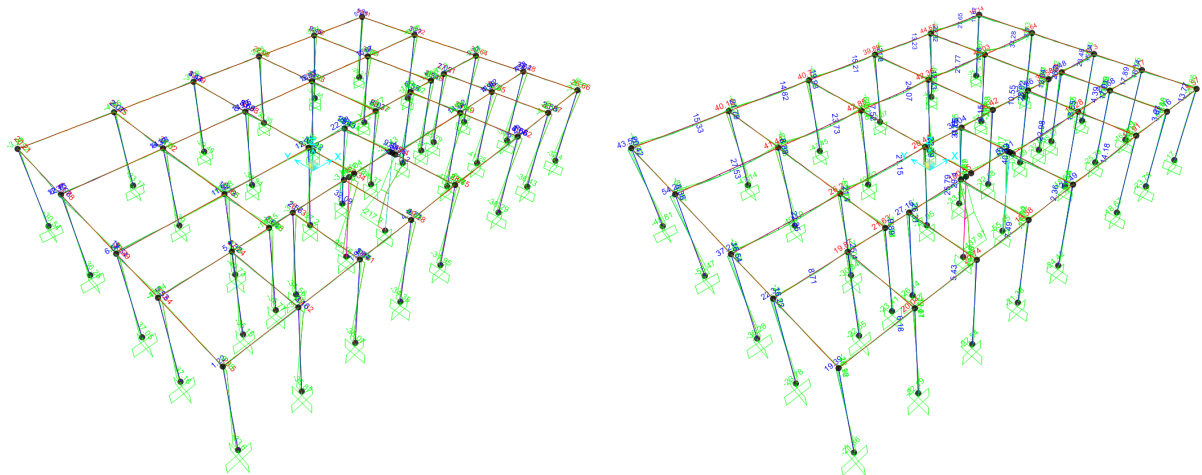


**Figura 43. Edificio cabina elettrica – Azione Assiale [kN] Involuppo SLV**


 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Opere di sostegno – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR003-0-2.DOCX



**Figura 44. Edificio cabina elettrica – Taglio [kN] Involuppo SLV:  $V_x$  (sx) e  $V_y$  (dx)**



**Figura 45. Edificio cabina elettrica – Momento flettente [kNm] Involuppo SLV:  $M_x$  (sx) e  $M_y$  (dx)**

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Opere di sostegno – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR003-0-2.DOCX

### 9.1.2 VERIFICHE SLU

Si riportano di seguito le verifiche a SLU dei pilastri e delle travi della struttura, nelle tabelle seguenti vengo riportate le verifiche associate solamente agli elementi più critici per ogni tipologia di sezione.

Nelle tabelle vengono riportati i valori delle sollecitazioni agenti per le diverse combinazioni e il rapporto domanda / capacità (D/C). Le verifiche si ritengono soddisfatte qualora  $D/C < 1$ .

#### VERIFICA A FLESSIONE e PRESSOFLESSIONE (PILASTRI)

Column	Section	Combination	N [kN]	M2 [kNm]	M3 [kNm]	D/C
7	pilastro 30x30	SLV-X	-86.0	-14.6	-55.5	<b>0.929</b>
97	pilastro 64x30	SLV-Y	-101.8	-217.9	-21.5	<b>0.864</b>
96	pilastro 95x30	SLV-X	-109.7	-32.6	-438.0	<b>0.746</b>

**Tabella 26. Verifica dei pilastri a flessione**

#### VERIFICA A TAGLIO (PILASTRI)

Beam	Section	Dir 2			Dir 3				
		Combination	V [kN]	Aw [cm <sup>2</sup> /cm]	D/C	Combination	V [kN]	Aw [cm <sup>2</sup> /cm]	D/C
7	pilastro 30x30	SLV-X	-21.9	0.057	<b>0.184</b>	SLV-Y	-13.6	0.057	<b>0.114</b>
97	pilastro 64x30	SLV-X	-22.5	0.057	<b>0.188</b>	SLV-Y	-63.5	0.057	<b>0.220</b>
96	pilastro 95x30	SLV-X	-107.8	0.057	<b>0.257</b>	SLV-Y	-32.4	0.057	<b>0.263</b>


**Tabella 27. Verifica dei pilastri a taglio**

#### VERIFICA A FLESSIONE e PRESSOFLESSIONE (TRAVI)

Column	Section	Combination	N [kN]	M2 [kNm]	M3 [kNm]	As top [cm <sup>2</sup> ]	As bottom [cm <sup>2</sup> ]	D/C
60	trave 30x30 incastro	SLV-X	-1.0	1.8	-75.9	15.93	11.40	<b>0.706</b>

**Tabella 28. Verifica delle travi a flessione**

#### VERIFICA A TAGLIO (TRAVI)

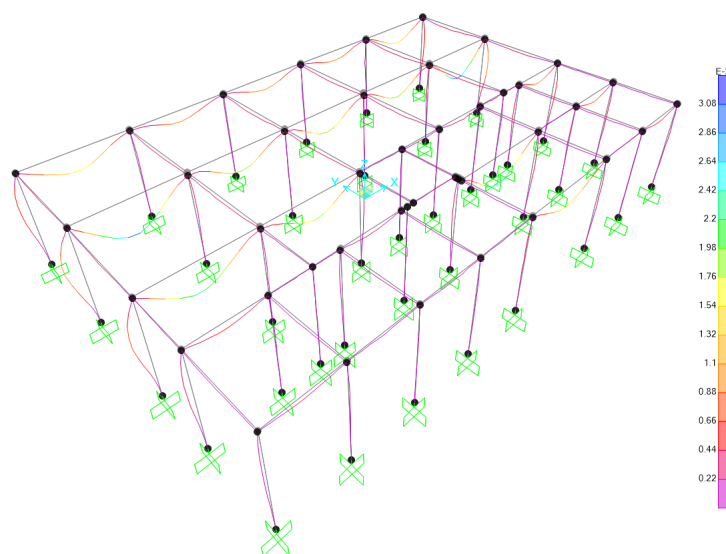
 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
	Deposito Officina Rebaudengo – Opere di sostegno – Relazione di calcolo

Beam	Section	Dir 2				Dir 3			
		Combinati on	V [kN]	Aw [cm <sup>2</sup> /c m]	D/C	Combination	V [kN]	Aw [cm <sup>2</sup> /cm]	D/C
60	trave 30x30 incastro	SLU	-92.9	0.127	0.411	SLV-Y	-1.4	0.127	0.006

**Tabella 29. Verifica delle travi a taglio**

### 9.1.3 VERIFICHE SLE

Prima di mostrare i risultati delle verifiche allo stato limite di esercizio si riportano di seguito le deformate della struttura per SLE.




**Figura 46. Spostamenti SLE**

Lo spostamento massimo verticale SLE è pari a 3mm in campata delle travi con luce maggiore.

Di seguito vengono riportate le verifiche di controllo tensionale per le combinazioni Rare e Quasi Permanente e le verifiche di apertura delle fessure per le combinazioni Frequenti e Quasi Permanenti. Considerando i seguenti valori massimo ammissibili di ampiezza delle fessure:

- $w_{\text{frequente}} = 0.3 \text{ mm}$
- $w_{\text{QP}} = 0.2 \text{ mm}$

Di seguito si riportano i valori relativi alle 5 sezioni più critiche.

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

Beam	Segmento	CHR			QP		
		$\sigma_c$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_s$ [N/mm <sup>2</sup> ]	D/C	$\sigma_c$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_s$ [N/mm <sup>2</sup> ]	D/C
60	1	-10.7	178.2	0.596	-10.7	178.2	0.794
56	3	-10.6	176.9	0.591	-10.6	176.9	0.788
57	1	-9.9	164.4	0.549	-9.9	164.4	0.732
59	3	-9.9	164.3	0.548	-9.9	164.3	0.731
58	1	-9.3	154.0	0.514	-9.3	154.0	0.686


**Tabella 30. Verifica tensioni a SLE (travi)**

Beam	Segmento	Crack opening (FREQ)	Crack opening (QP)
7	3	OK	OK
14	3	OK	OK
8	3	OK	OK
6	3	OK	OK
1	3	OK	OK
7	3	OK	OK

**Tabella 31. Verifica a fessurazione (travi)**

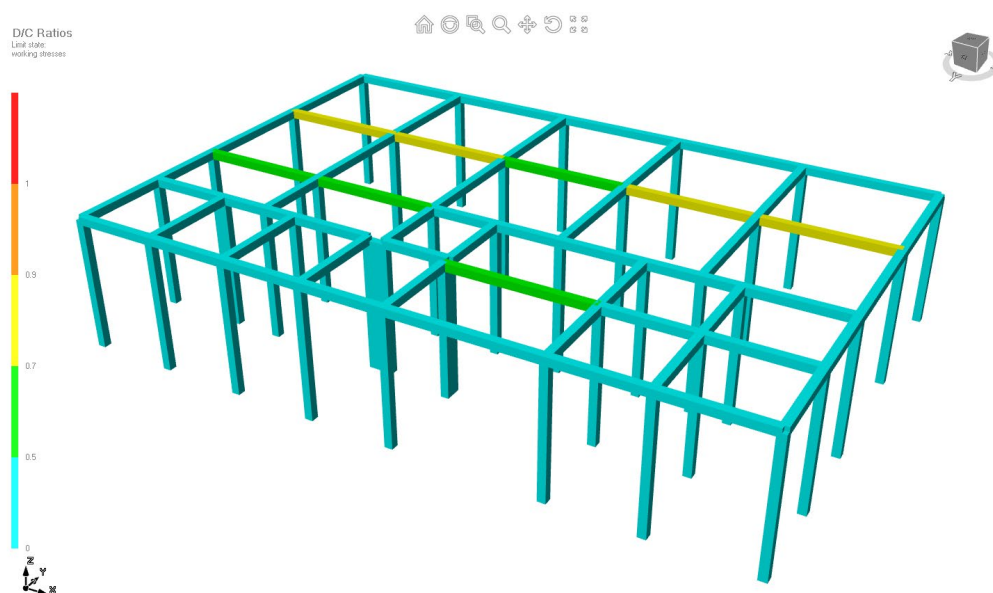
Column	Segmento	CHR			QP		
		$\sigma_c$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_s$ [N/mm <sup>2</sup> ]	D/C	$\sigma_c$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_s$ [N/mm <sup>2</sup> ]	D/C
7	3	-6.46	91.36	0.359	-6.46	91.36	0.479
14	3	-6.45	90.53	0.359	-6.45	90.53	0.478
8	3	-5.42	75.23	0.301	-5.42	75.23	0.402
6	3	-4.69	66.18	0.261	-4.69	66.18	0.348
1	3	-4.65	65.42	0.258	-4.65	65.42	0.345
7	3	-6.46	91.36	0.359	-6.46	91.36	0.479

**Tabella 32. Verifica delle tensioni (pilastri)**

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Opere di sostegno – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR003-0-2.DOCX


Beam	Segmento	Crack opening (FREQ)	Crack opening (QP)
7	3	OK	OK
14	3	OK	OK
8	3	OK	OK
6	3	OK	OK
1	3	OK	OK
7	3	OK	OK

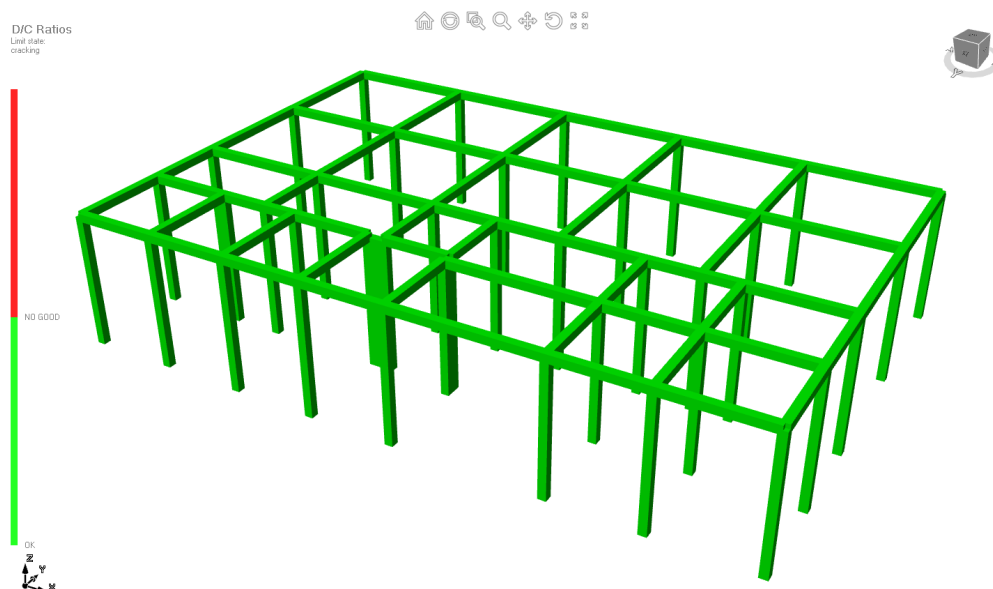
**Tabella 33. Verifica a fessurazione (pilastri)**



**Figura 47. Verifiche tensionali a stato limite di esercizio**



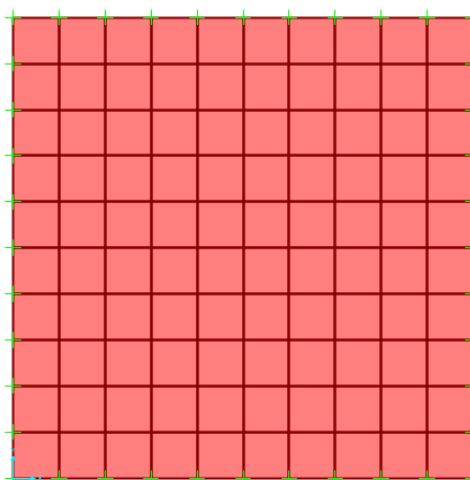
 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Opere di sostegno – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR003-0-2.DOCX



**Figura 48. Verifiche a stato limite di apertura delle fessure**


### 9.1.4 VERIFICHE SOLAIO DI COPERTURA

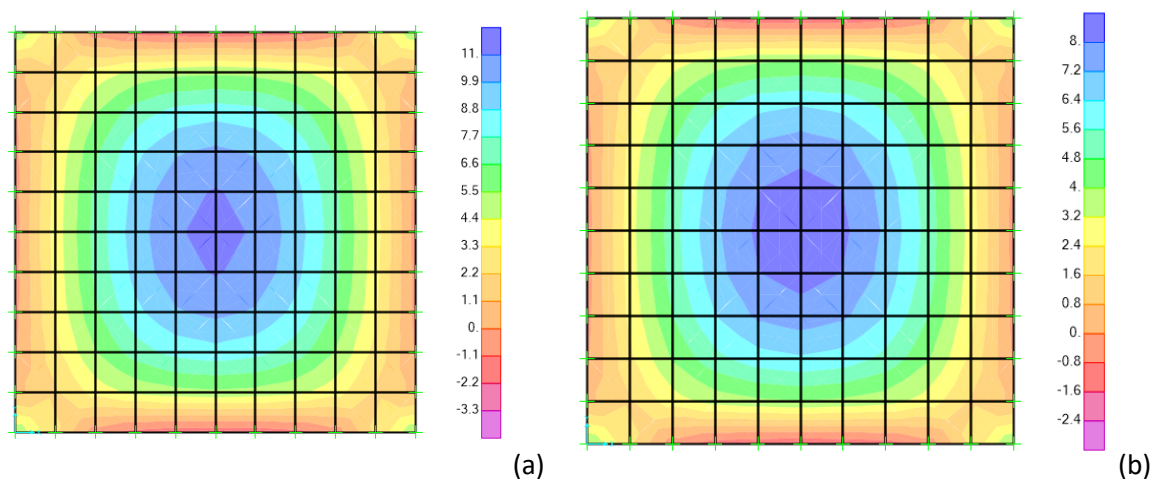
L'ultima verifica riguardante la parte in elevazione della cabina elettrica, fa riferimento alla soletta di copertura. Tale soletta viene modellata tramite un modello piano in SAP2000. La soletta è stata modellata come elemento *shell* avente dimensioni pari alla massima luce presente, 5.0m x 5.0m con spessore pari a 25cm.



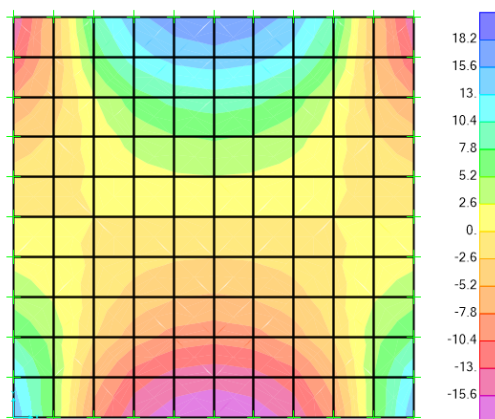
**Figura 49. Modello SAP2000 della soletta della cabina elettrica**

Di seguito si riportano i risultati dell'analisi agli SLU e SLE.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Opere di sostegno – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR003-0-2.DOCX



**Figura 50. Soletta di copertura cabina elettrica – Momento resistente [kNm]: (a) SLU e (b) SLE**



**Figura 51. Soletta di copertura cabina elettrica – Azione tagliante [kN] SLU**

I carichi applicati a tale modello sono desunti a partire dal modello generale della cabina elettrica presentato nel capitolo precedente.


Di seguito si riportano le verifiche SLU e SLE.

**Tabella 34. Soletta di copertura cabina elettrica – verifiche flessionali SLU**

Statica							
	HSEZ [mm]	Comb	N <sub>Ed</sub> [kN]	M <sub>Ed</sub> [kNm]	Armature	M <sub>Rd</sub> [kNm]	Stato
A	250	SLU	0	12	Φ16/20	77	verificato

**Tabella 35. Soletta di copertura cabina elettrica – verifiche a taglio SLU**

Statica							
	HSEZ [mm]	Comb	N <sub>Ed</sub> [kN]	V <sub>Ed</sub> [kNm]	Armature	V <sub>Rd</sub> [kNm]	Stato

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Opere di sostegno – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR003-0-2.DOCX

A      250      SLU      0      18       $\Phi 8/40 \times 40$       **55**      verificato

**Tabella 36. Soletta di copertura cabina elettrica – verifiche a fessurazione SLE**

SLE								
	H <sub>SEZ</sub> [mm]	Comb	N <sub>Ed</sub> [kN]	M <sub>Ed</sub> [kNm]	Armature	w <sub>k</sub> [mm]	w <sub>1</sub> [mm]	Stato
A	250	SLE	0	9	$\Phi 16/20$	<b>0.06</b>	<b>0.20</b>	verificato

**Tabella 37. Soletta di copertura cabina elettrica – verifiche tensionali SLE**

SLE								
	H <sub>SEZ</sub> [mm]	Comb	$\sigma_c$ [MPa]	$\sigma_s$ [MPa]	Armature	$\sigma_{c,lim}$ [MPa]	$\sigma_{s,lim}$ [MPa]	Stato
A	250	SLE	2.00	56.00	$\Phi 16/20$	<b>13.50</b>	<b>360.00</b>	verificato

Come si può vedere dalle tabelle riassuntive la sezione viene armata con una fila di  $\Phi 16/20$  lato interno ed esterno, mentre per il taglio vengono inseriti degli spilli  $\Phi 8$  con passo  $40 \times 40$  cm.


## 9.2 CABINA ELETTRICA - FONDAZIONE SUPERFICIALE

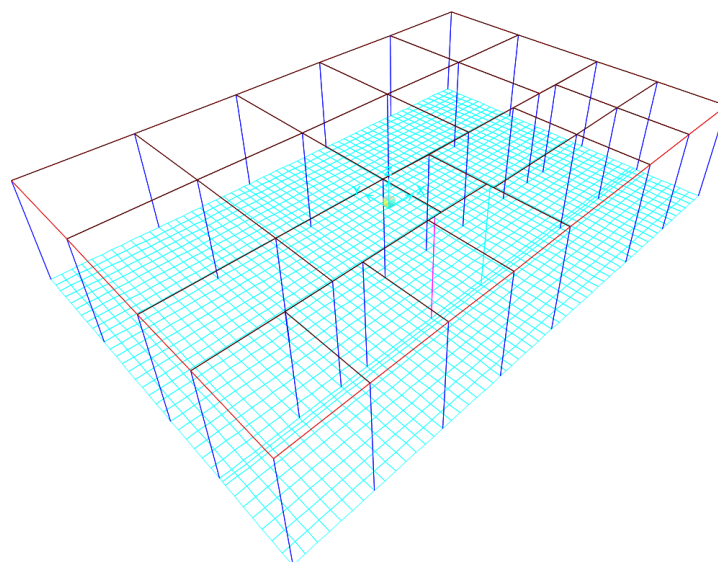
Il locale contenente gli impianti elettrici è fondato su una struttura in calcestruzzo armato avente dimensione in pianta  $16.50 \times 25$  m. La fondazione presenta uno spessore di 70 cm.

### 9.2.1 VERIFICHE STRUTTURALI

La verifica strutturale della fondazione è stata sviluppata avvalendosi dello stesso modello già utilizzato per la struttura in elevazione. È stata inserita una platea di fondazione di spessore 70 cm in cui l'interazione terreno struttura è stata simulata inserendo molle standard con un comportamento no-tension e una rigidità di  $5000 \text{ kN/m}^3$ . Tale rigidità è stata valutata considerando un valore cautelativo di modulo del terreno compattato pari a 80 MPa.

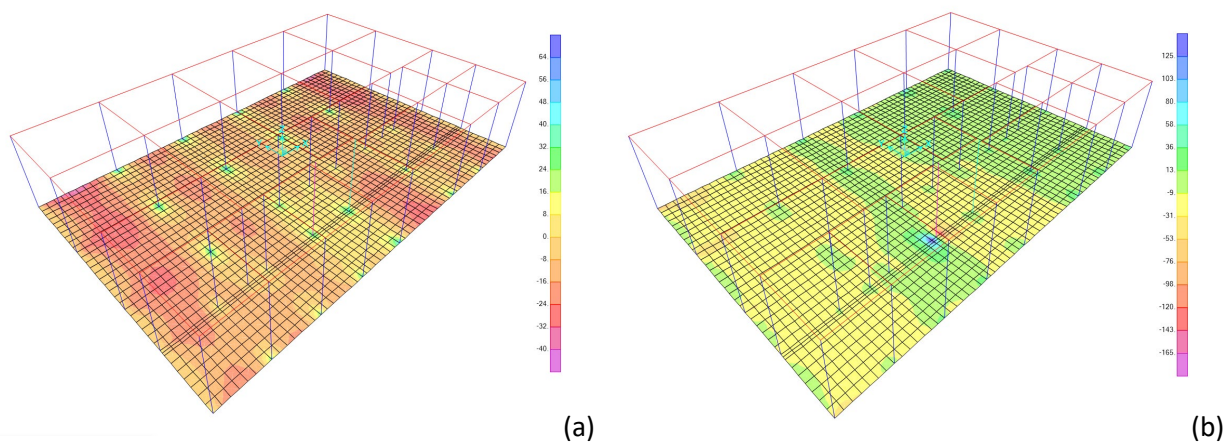
Rispetto ai carichi della struttura sovrastante sulla soletta è stato aggiunto un carico distribuito di 2 kPa per considerare la presenza di tramezzi non strutturali e di 10 kPa per considerare le apparecchiature elettriche contenute all'interno della cabina.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Opere di sostegno – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR003-0-2.DOCX




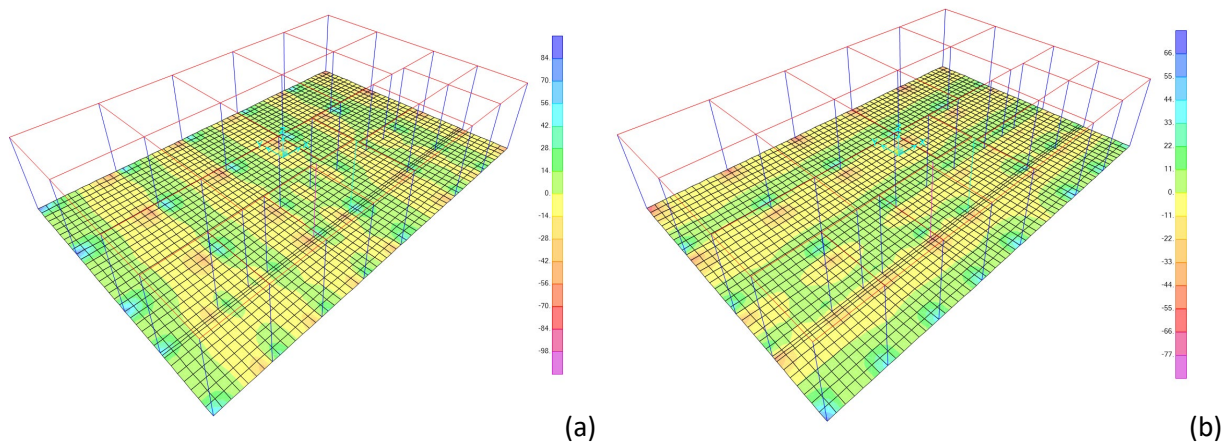
**Figura 52. Edificio cabina elettrica – modello FEM con soletta di fondazione**

Si riportano in seguito le sollecitazioni ottenute per la soletta di fondazione.

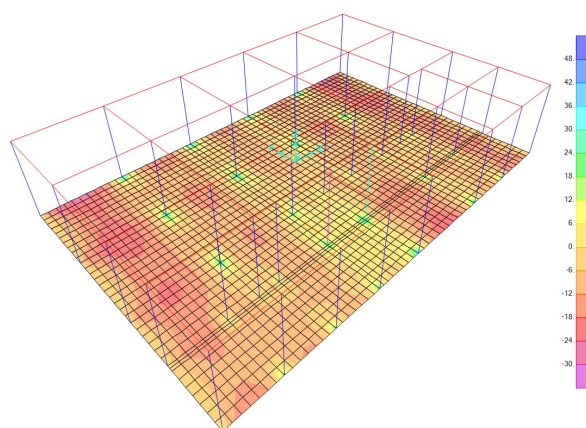


**Figura 53. Fondazione cabina elettrica – Massimi momenti [kNm/m]: (a) SLU e (b) SLV**

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Opere di sostegno – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR003-0-2.DOCX



**Figura 54. Fondazione cabina elettrica – Massimi tagli [kN/m]: (a) SLU e (b) SLV**



**Figura 55. Fondazione cabina elettrica – Massimi momenti [kNm/m] a SLE**

Si riportano in seguito le verifiche condotte per la soletta di fondazione.

**Tabella 38. Fondazione cabina elettrica – verifiche flessionali a SLU**


	Comb	$N_{Ed}$ [kN]	$M_{Ed}$ [kNm]	Armature	$M_{Rd}$ [kNm]	Stato
Fondazione	SLU	0	165	$\Phi 20/20$	385	verificato

**Tabella 39. Fondazione cabina elettrica – verifiche a taglio SLU**

	Comb	$N_{Ed}$ [kN]	$V_{Ed}$ [kNm]	Armature	$V_{Rd}$ [kNm]	Stato
Fondazione	SLU	0	65	$\Phi 12/40 \times 40$	404	verificato

**Tabella 40. Fondazione cabina elettrica – verifiche a fessurazione SLE**

	Comb	$N_{Ed}$ [kN]	$M_{Ed}$ [kNm]	Armature	$w_k$ [mm]	$w_1$ [mm]	Stato
Fondazione	SLE	0	35	$\Phi 20/20$	0.06	0.20	verificato

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Opere di sostegno – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR003-0-2.DOCX

**Tabella 41. Tabella 9.1 -Fondazione cabina elettrica – verifiche tensionali a SLE**

	Comb	$\sigma_c$ [MPa]	$\sigma_s$ [MPa]	Armature	$\sigma_{c,lim}$ [MPa]	$\sigma_{s,lim}$ [MPa]	Stato
Fondazione	SLE	0.70	37.00	$\Phi 20/20$	<b>13.50</b>	<b>360.00</b>	verificato

Come si può vedere dalle tabelle riassuntive la fondazione risulta armata con  $\Phi 20/20$  in entrambe le direzioni e legature  $\Phi 12/40 \times 40$ .

## 9.2.2 VERIFICHE GEOTECNICHE

### CAPACITÀ PORTANTE E VERIFICA ALLO SCORRIMENTO

Per quanto riguarda le azioni trasmesse a estradosso fondazione, si fa riferimento al calcolo delle azioni massime determinate come indicato nei paragrafi precedenti.

Di seguito si riportano le combinazioni di carico a cui corrispondono i valori massimi delle azioni, per i diversi stati limite, all'estradosso fondazione:

**Tabella 42. Carichi a estradosso fondazione nel baricentro**


OutputCase	P	V2	V3	M2	M3	
Text	kN	KN	KN	KN-m	KN-m	
SLU	<b>-9403</b>	0.00	0.00	-460	0.00	
SLVx	<b>-7005</b>	474	142	-1028	2202	
SLVy	<b>-7005</b>	142	474		-2570	656
SLERARA	<b>-6531</b>	0.00	0.00	-708	0.00	

Il programma calcola automaticamente il peso proprio della platea di fondazione che verrà considerato nelle verifiche geotecniche.

Si riportano di seguito i risultati delle verifiche geotecniche di capacità portante e scorrimento, che sono soddisfatte in tutti i casi.

CAPACITÀ PORTANTE - Simbologia adottata:

Ic	Indice combinazione
N	Carico verticale trasmesso al terreno, espresso in [kN]
Np	Carico verticale trasmesso ai pali, espresso in [kN]
Qu	Portanza ultima, espressa in [kN]

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Opere di sostegno – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR003-0-2.DOCX

Qup	Portanza ultima dei pali, espressa in [kN]. Solo per fondazione mista
Qd	Portanza di progetto $((Q_u+Q_{up})/\eta)$ , espressa in [kN]
Nt	Carico totale verticale $(N+N_p)$ , espresso in [kN]
FS	Fattore di sicurezza a carico limite $(P_d/N_t)$

**Tabella 43. Riepilogo risultati verifiche di capacità portante platea di fondazione**

Ic	N [kN]	Np [kN]	Qu [kN]	Qup [kN]	Qd [kN]	Nt [kN]	FS
1	18606,07	0,00	616006,54	0,00	267828,93	0,00	14.395
2	14084,29	0,00	649101,80	0,00	282218,17	0,00	20.038
3	14084,29	0,00	649101,80	0,00	282218,17	0,00	20.038

SCORRIMENTO - Simbologia adottata

T	Carico orizzontale trasferito al terreno, espresso in [kN]
Ru	Resistenza ultima allo scorrimento del terreno, espresso in [kN]
Rup	Resistenza ultima allo scorrimento dei pali, espresso in [kN]
Td	Resistenza allo scorrimento di progetto $((R_u+R_{up})/h)$ , espressa in [kN]
Tt	Carico orizzontale totale, espresso in [kN]
FS	Fattore di sicurezza allo scorrimento (rapporto tra Td/Tt)

**Tabella 44. Riepilogo risultati verifiche di scorrimento platea di fondazione**


Ic	T [kN]	Ru [kN]	Rup [kN]	Rd [kN]	Tt [kN]	FS
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100.000
2	494,81	8213,62	0,00	7466,92	494,81	15.090
3	494,81	8423,06	0,00	7657,33	494,81	15.475

## VALUTAZIONE DEI CEDIMENTI

Le verifiche di sicurezza agli SLE riguarda la stima dei cedimenti delle fondazioni che non devono eccedere i valori limite al fine di garantire una corretta funzionalità e durabilità della struttura.

Si riporta di seguito il calcolo dei cedimenti eseguito mediante il software API++. La verifica viene eseguita schematizzando la dimensioni delle fondazioni e considerando le pressioni trasmesse al terreno dovute alle sovrastrutture.

La platea di fondazione ha dimensioni in pianta 16.50 m x 25.00 m e spessore di 0.70 m, ai fini del calcolo, si riportano i valori dei cedimenti in corrispondenza degli spigoli e del centro della fondazione.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Opere di sostegno – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR003-0-2.DOCX

Simbologia adottata

Oggetto                    Oggetto al quale appartiene il punto di calcolo

X, Y                        Coordinate punto in cui è stato calcolato il cedimento, espresso in [m]

w                            Cedimento, espresso in [m]


Ic                            Indice combinazione

**Tabella 45. Riepilogo cedimenti platea di fondazione cabina elettrica**

<b>Oggetto</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>w</b>	<b>Ic</b>
	<i>[m]</i>	<i>[m]</i>	<i>[cm]</i>	-
Piastra n° 1	0,00	0,00	2,3645	4
Piastra n° 1	25,00	0,00	2,3762	4
Piastra n° 1	25,00	16,50	2,4064	4
Piastra n° 1	0,00	16,50	2,4176	4
Piastra n° 1	12,50	8,25	2,4880	4

Si ottiene un cedimento massimo pari a 2.5 cm che risulta inferiore rispetto ai valori limite di progetto prefissati, descritti nel precedente capitolo relativo alle metodologie di calcolo; pertanto, tali cedimenti risultano accettabili.



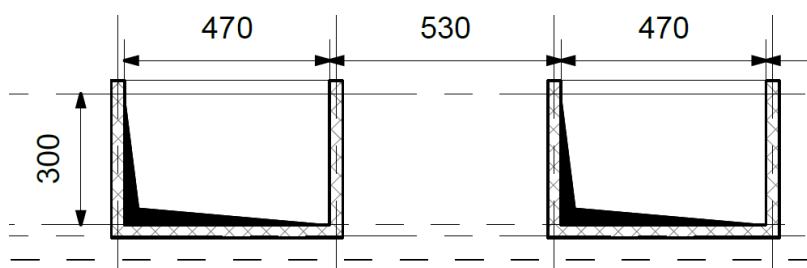
 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Opere di sostegno – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR003-0-2.DOCX

## 10. DIMENSIONAMENTO E VERIFICHE DEI TORRINI DI ESPULSIONE DEI FUMI

### 10.1 DESCRIZIONE DELLA STRUTTURA

I torrini di espulsione dei fumi sono una struttura situata al di sopra della soletta di copertura dell'edificio interrato. Dall'estradosso della soletta verrà realizzato un collare in calcestruzzo armato di altezza pari a 1.3m. A partire da questo collare si prevede di realizzare una struttura in acciaio costituita da quattro profili metallici che si sviluppano verticalmente e che poi vadano a sostenere una copertura in lamiera autoportante.

I torrini sono associati ad aperture nella soletta caratterizzate dalle seguenti dimensioni geometriche:




**Figura 10.1 Dimensioni geometriche dei torrini di espulsione fumi**

Come si può notare dalla precedente figura, sono state riportate le dimensioni interne delle forometrie. Lo spessore del torrino è pari a 0,30 m. L'altezza del torrino, dall'estradosso del collare in c.a. all'intradosso della copertura, essa è pari a 4 metri.

Ai quattro piedritti del torrino, ed alle quattro travi presenti, è stata assegnata una sezione di acciaio coincidente a HE140A ed un acciaio S235. La sezione scelta è caratterizzata dalle seguenti caratteristiche geometriche:

Dimensioni geometriche sezione			
	Descrizione	Valore	
b	base	140	mm
h	altezza	133	mm
t <sub>f</sub>	spessore ali	8,5	mm
r	raggio di curvatura	12	mm
t <sub>w</sub>	spessore anima	5,5	mm
h <sub>w</sub>	altezza anima	116	mm
A	area sezione	3142	mm <sup>2</sup>
W <sub>pl,y</sub>	Modulo di resistenza plastico asse forte	173,50	cm <sup>3</sup>
W <sub>pl,z</sub>	Modulo di resistenza plastico asse debole	84,85	cm <sup>3</sup>

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Opere di sostegno – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR003-0-2.DOCX

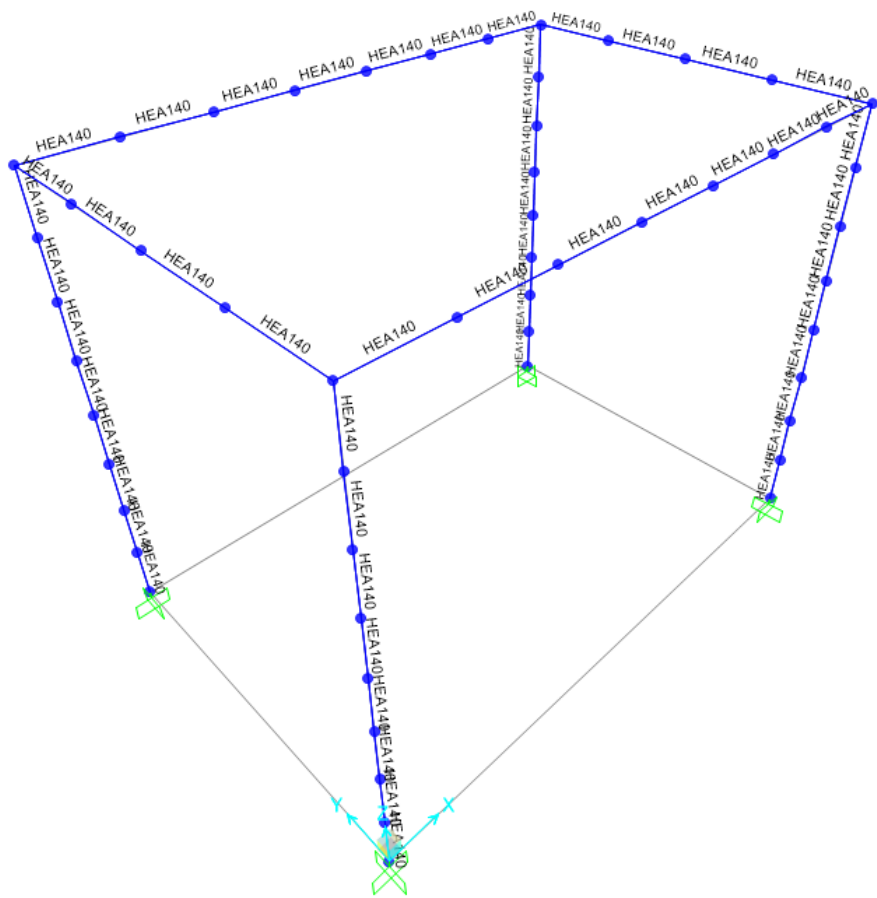
$I_y$	Momento d'inerzia attorno asse forte	1033	cm <sup>4</sup>
$I_z$	Momento d'inerzia attorno asse debole	389,30	cm <sup>4</sup>
$A_{yz}$	Area resistente a taglio nel piano dell'anima	10,12	cm <sup>2</sup>
$A_{zy}$	Area resistente a taglio nel piano delle ali	25,04	cm <sup>2</sup>

**Tabella 10.1 Dimensioni geometriche della sezione HE140A**


La sezione può essere definita come una sezione di classe 1.

## 10.2 SOLLECITAZIONI E VERIFICHE

La struttura dei torrini è stata studiata attraverso l'utilizzo del software SAP2000, ed in particolare è stato realizzato un modello tridimensionale:



**Figura 10.2 Modello tridimensionale del torrino**

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Opere di sostegno – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR003-0-2.DOCX

Come si può vedere, sia agli elementi verticali che orizzontali, è stata assegnata una sezione coincidente ad una HE140A.

Il modello, appena riportato, è stato utilizzato per studiare la struttura secondo lo stato limite ultimo (SLU), stato limite di salvaguardia della vita (SLV) e secondo lo stato limite d'esercizio (SLE). Per poter condurre le analisi appena nominate si sono analizzati i seguenti carichi:

- Peso proprio della struttura metallica;
- Peso proprio della struttura di copertura;
- Carico dovuto dalla neve;
- Carico dovuto dall'azione del vento;
- Azione sismica orizzontale.

Il peso proprio della struttura metallica è considerato in maniera automatica dal software SAP2000, invece, per il peso proprio della struttura di copertura, si è condotto uno studio dettagliato in funzione alle tipologie di copertura presenti in commercio e in funzione delle luci che caratterizzano l'opera. Si è scelta una struttura di copertura con le seguenti caratteristiche:

Spessore Pannello [mm]	Peso [kg/m <sup>2</sup> ]	Distanza massima degli appoggi [m]	Carico massimo uniformemente distribuito [kg/m <sup>2</sup> ]
80	12,13	3,50	225

**Tabella 10.2 Tabella riassuntiva della struttura di copertura**

La scelta è stata fatta in funzione dell'orientamento della copertura e in funzione dei carichi agenti su di essa. Infatti, considerando un carico neve pari a 1.23 kN/m<sup>2</sup> e un peso proprio pari a 12.13 kg/m<sup>2</sup> si ottiene un carico pari a 1.34 kN/m<sup>2</sup>, il quale risulta ampiamente inferiore al carico massimo uniformemente distribuito definito dal produttore.


Il carico neve è stato calcolato, secondo la normativa italiana NTC18, utilizzando i seguenti valori numerici dei coefficienti:

- $q_{sk}$  è il valore di riferimento del carico della neve al suolo (pari a 1.54 kN/m<sup>2</sup>);
- $\mu_i$  è il coefficiente di forma della copertura, ed essendo piana è stato assunto pari a 0.8;
- $c_e$  è il coefficiente di esposizione, assunto pari a 1;
- $c_t$  è il coefficiente termico, assunto pari a 1;

In questo modo è possibile ottenere un carico provocato dalla neve pari a:

$$q_s = q_{sk} \cdot \mu_i \cdot c_e \cdot c_t = 1,54 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 1 = 1,23 \text{ kN/m}^2$$

Successivamente si è analizzato il carico dovuto all'azione del vento. I valori numerici dei singoli parametri utilizzati sono i seguenti:

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Opere di sostegno – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR003-0-2.DOCX

Carico dovuto dall'azione del vento		
Parametro	Valore	Unità di misura
$V_{b0}$	25,00	m/s
$a_s$	240	m
$a_0$	1000	m
$k_s$	0,40	-
$c_a$	1,00	-
$V_b$	25,00	m/s
$T_R$	50	Anni
$C_R$	1,00	-
$V_b$	25,00	m/s
$\rho$	1,25	kg/m <sup>3</sup>
$q_r$	0,39	kN/m <sup>2</sup>
$C_t$	1,00	-
$z_0$	0,30	C
$Z_{min}$	8	m
$K_r$	0,22	-
$\rho_{cinetica}$	0,6384	kN/m <sup>2</sup>

**Tabella 10.3 Tabella riassuntiva dei parametri per la quantificazione dell'azione del vento**

All'interno della precedente tabella (Tabella 10.3) non è stato riportato il coefficiente di pressione ( $c_p$ ) poiché esso assume valori diversi in funzione della direzione rispetto a cui agisce il vento. Di conseguenza la pressione che agisce su ciascuna parete varierà a causa del coefficiente di pressione. Nel caso in esame, i valori numerici del coefficiente di pressione e i valori assunti dalla pressione del vento sono i seguenti:


Carico dovuto dall'azione del vento		
Facciata	$c_p$	$F_{vento}$ [kN/m <sup>2</sup> ]
Sopravento	0,80	0,51
Sottovento	-0,51	-0,33
Laterale	-0,90	-0,57
Copertura	-0,80	-0,50

**Tabella 10.4 Tabella riassuntiva del parametro  $c_p$  e la corrispettiva azione del vento**

Infine, ma non per importanza è stata valutata l'azione sismica. Essa è stata valutata utilizzando i seguenti parametri:

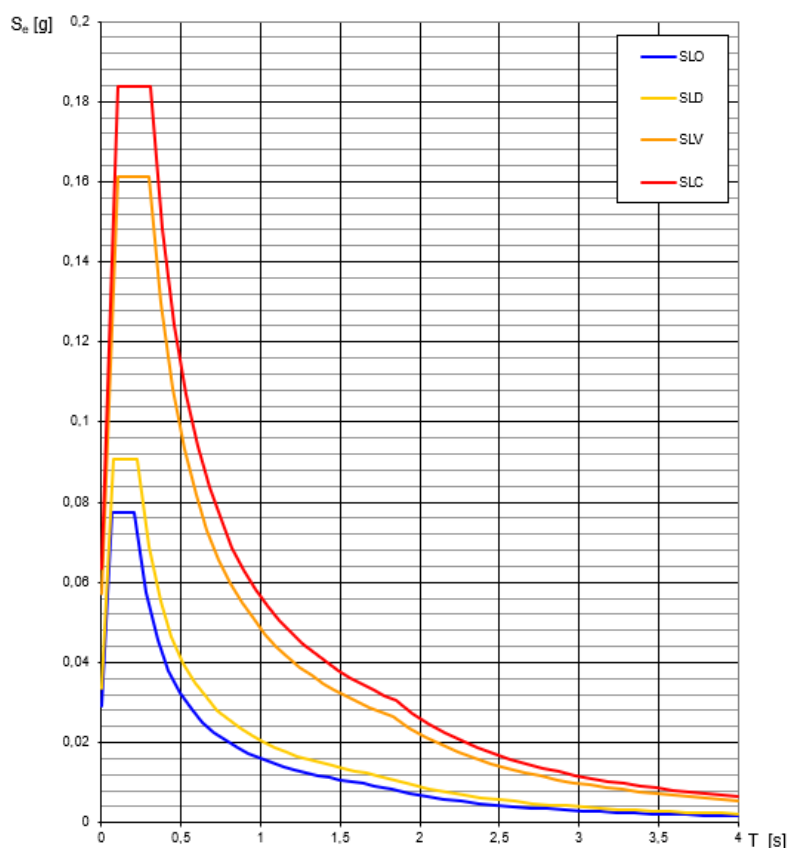
PARAMETRI SISMICI			
Longitudine (Grd)	7.688	Latitudine (Grd)	45.1004
Vita Nominale $V_N$ (anni)	100	Classe d'uso	III
Coefficiente d'uso	1.5	Periodo di riferimento $V_r$ (anni)	150
Categoria Suolo	B	Categoria topografica	T1

**Tabella 10.5 Parametri sismici utilizzati**

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Opere di sostegno – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR003-0-2.DOCX

E, di conseguenza, si sono ottenuti i seguenti spettri di risposta elastici:

**Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite**



**Figura 10.3 Grafici degli spettri di risposta elastici**

A questo punto, per evitare di svolgere un'analisi modale della struttura, si è scelto di utilizzare un valore di accelerazione orizzontale pari al valore massimo dello spettro di risposta elastico allo stato limite di salvaguardia della vita (SLV). Quindi si è utilizzato un valore pari a 0,16 g.

Secondo quanto riportato al paragrafo 2.5.3 delle NTC2018, ai fini delle verifiche degli stati limite, si definiscono le seguenti combinazioni delle azioni:


- Combinazione fondamentale - SLU

$$\sum \gamma_{Gkj} \cdot G_{kj} + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \sum \gamma_{Qi} \cdot \psi_{0i} \cdot Q_{ki} \quad (\text{fattore di struttura con } j \geq 1; i > 2)$$

- Combinazione caratteristica - SLE

$$\sum G_{kj} + Q_{k1} + \sum \psi_{0i} \cdot Q_{ki} \quad (\text{con } i \geq 2)$$

- Combinazione sismica

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Opere di sostegno – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR003-0-2.DOCX

$$\sum G_{kj} + E_d + \sum \psi_{2i} \cdot Q_{ki} \quad (\text{con } j \geq 1; i \geq 1)$$

dove:

- $Q_{k1}$  valore caratteristico dell'azione variabile dominante nella combinazione;
- $G_{kj}$  valore caratteristico delle azioni permanenti;
- $Q_{kj}$  valore caratteristico delle azioni variabili;
- $E_d$  valore di progetto dell'azione sismica;
- $\gamma_{Gj}$  e  $\gamma_{Qi}$  coefficiente parziale di sicurezza per le azioni permanenti e variabili;
- $\psi_{0i,1i,2i}$  coefficienti di combinazione.

I coefficienti  $\gamma_{Gj}$ ,  $\gamma_{Qi}$  e  $\psi_{0i,1i,2i}$  sono definiti attraverso l'utilizzo delle seguenti tabelle:

		Coefficiente	EQU	A1	A2
		$\gamma_F$			
Carichi permanenti $G_1$	Favorevoli	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali $G_2^{(1)}$	Favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevoli	$\gamma_{Q1}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

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

**Figura 10.4 Coefficienti parziali di sicurezza**

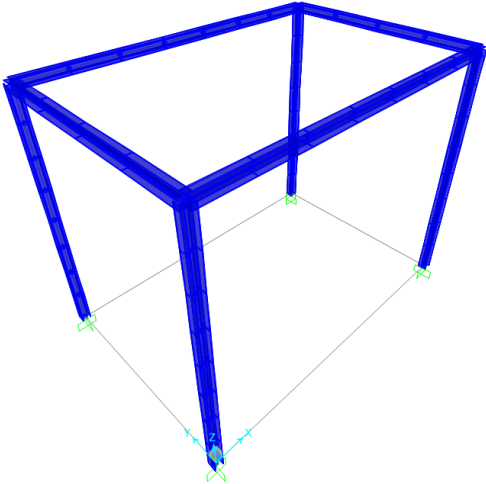
Categoria/Azione variabile	$\psi_{0i}$	$\psi_{1i}$	$\psi_{2i}$
Categoria A - Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B - Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C - Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D - Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E - Aree per immagazzinamento, uso commerciale e uso industriale Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F - Rimesse, parcheggi ed aree per il traffico di veicoli (per autoveicoli di peso $\leq 30$ kN)	0,7	0,7	0,6
Categoria G - Rimesse, parcheggi ed aree per il traffico di veicoli (per autoveicoli di peso $> 30$ kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H - Coperture accessibili per sola manutenzione	0,0	0,0	0,0
Categoria I - Coperture praticabili	da valutarsi caso per caso		
Categoria K - Coperture per usi speciali (impianti, eliporti, ...)			
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota $\leq 1000$ m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota $> 1000$ m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

**Figura 10.5 Coefficienti di combinazione**

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Opere di sostegno – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR003-0-2.DOCX

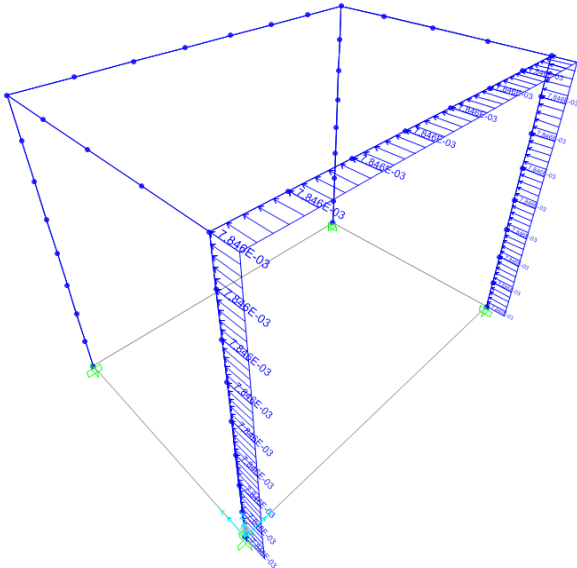
**10.2.1 MODELLO AD ELEMENTI FINITI**

Attraverso tutto quello descritto nel precedente paragrafo, il modello ad elementi finiti ottenuto è il seguente:




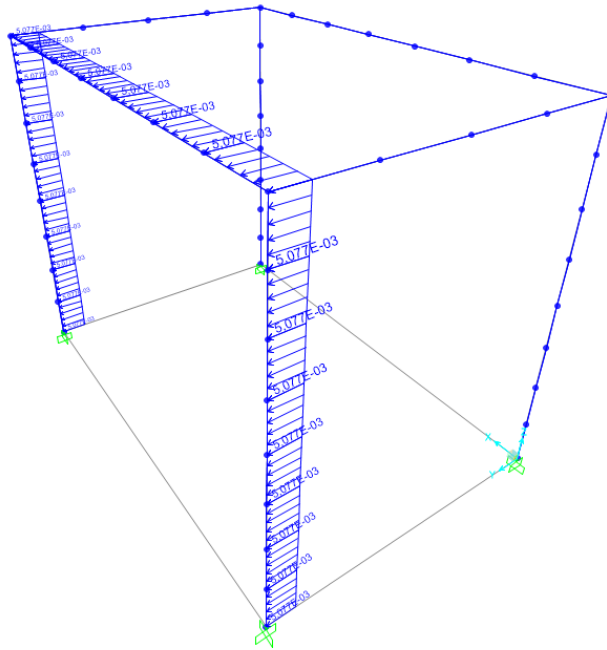
**Figura 10.6 Modello ad elementi finiti ottenuto**

Prima di mostrare le azioni applicate al modello, è importante precisare che tutti i carichi per unità di superficie sono stati distribuiti sulle travi presenti sulla faccia considerata. Vengono riportati di seguito tutte le azioni implementate:

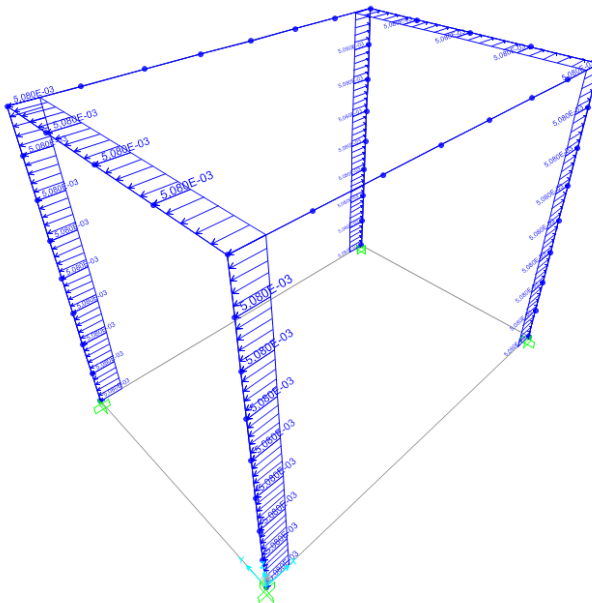


**Figura 10.7 Vento agente sulla facciata sopravvento**

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Opere di sostegno – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR003-0-2.DOCX




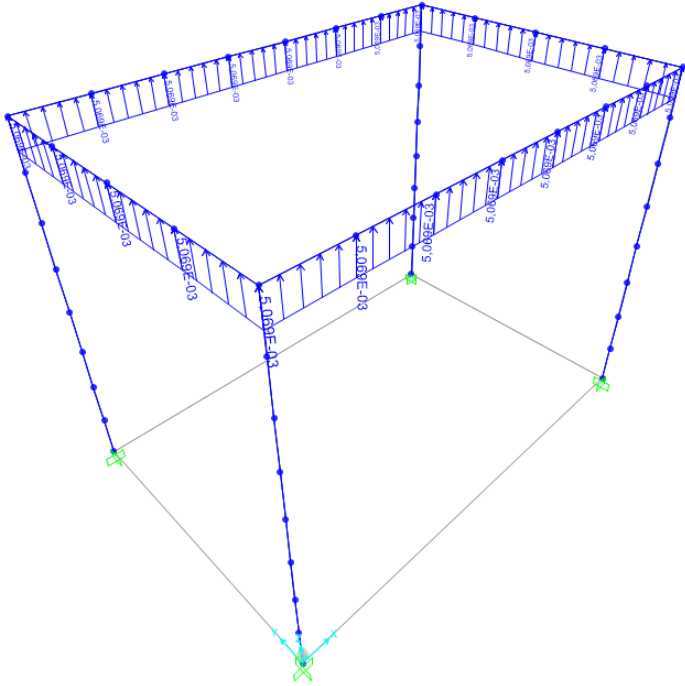
**Figura 10.8 Vento agente sulla facciata sottovento**



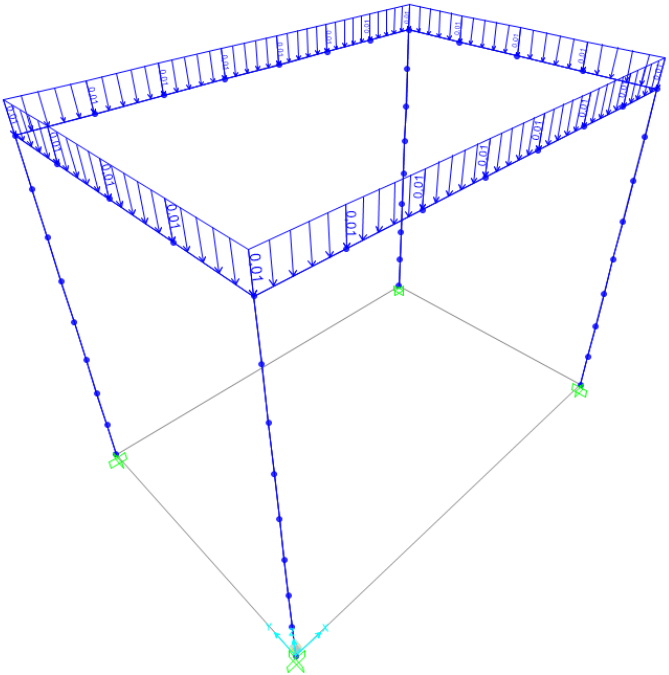
**Figura 10.9 Vento agente sulle facce laterali**




 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Opere di sostegno – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR003-0-2.DOCX

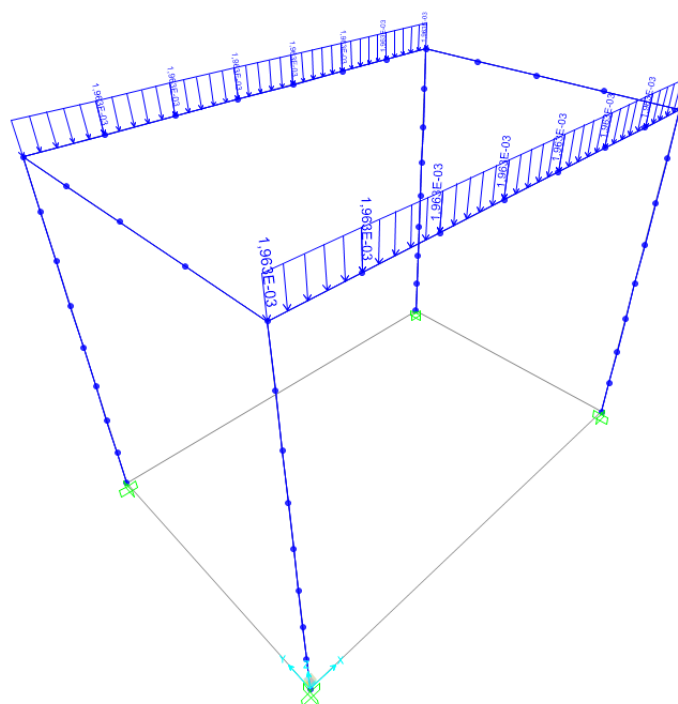


**Figura 10.10 Vento agente sulla copertura**



**Figura 10.11 Azione del carico neve**

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Opere di sostegno – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR003-0-2.DOCX



**Figura 10.12 Azione del carico della copertura**


È importante precisare che la figura appena riportata (Fig. 10.12) mostra il carico di copertura applicato solo sulle travi di lunghezza di 5,00 metri. Questa scelta è motivata dal fatto che si è scelto di orientare la copertura in maniera tale che la sua luce sia pari alla dimensione minore del torrino, ovvero pari a 3,30 m.

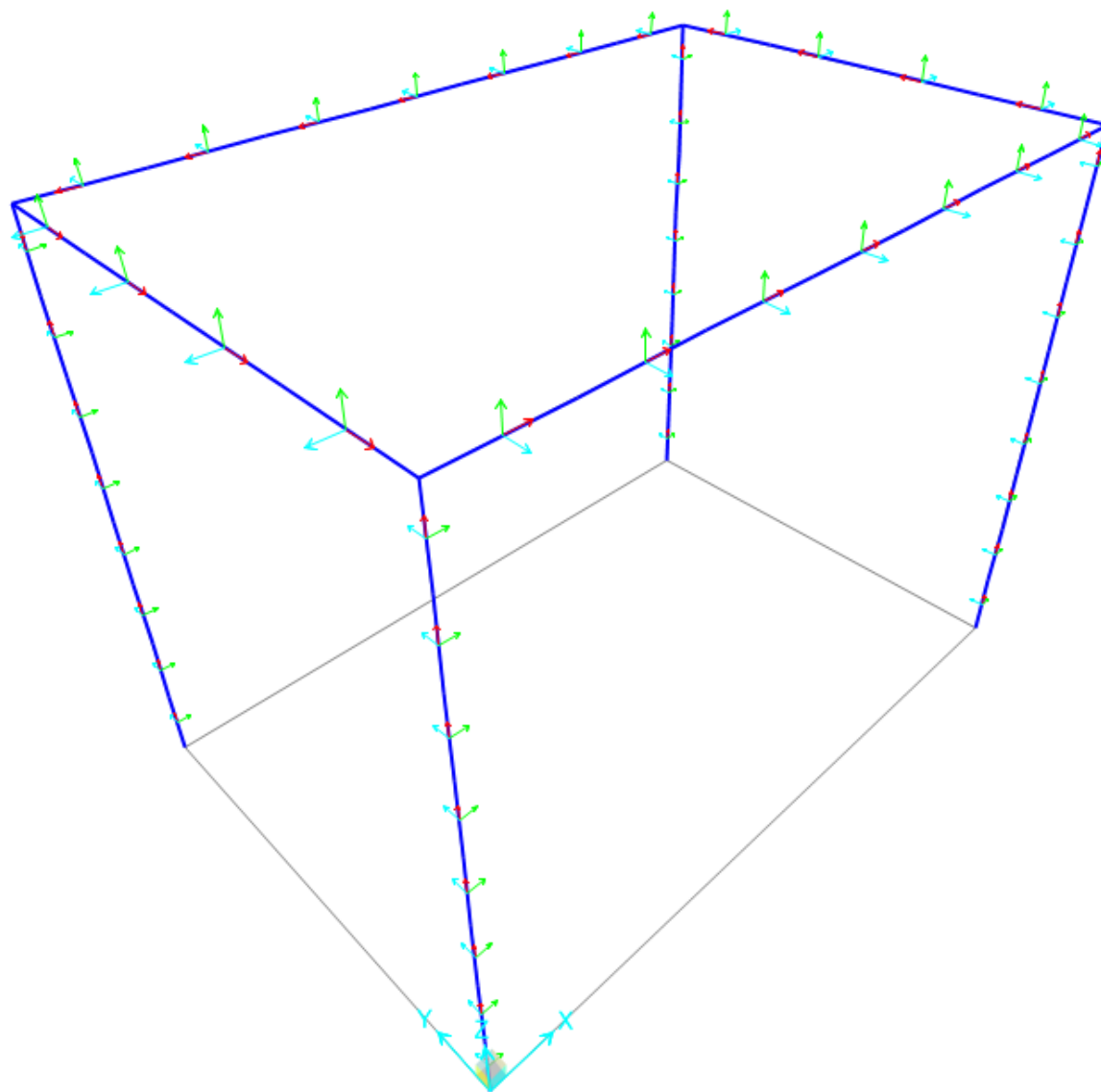
### 10.2.2 SOLLECITAZIONI

Prima di riportare i risultati è importante soffermarsi sugli assi locali degli elementi. Il software SAP2000 utilizza i seguenti colori per distinguere i tre assi locali:

- Asse 1 → colore rosso;
- Asse 2 → colore verde;
- Asse 3 → colore ciano.

La direzione degli assi locali impostata per ciascuna trave e pilastro è la seguente:

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Opere di sostegno – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR003-0-2.DOCX



**Figura 10.13 Direzione degli assi locali**

Questa illustrazione risulta essere importante per interpretare i risultati in termini di momenti flettenti.

Attraverso l'analisi e i carichi appena descritti, le sollecitazioni, attraverso un involucro dello stato limite ultimo (SLU) e stato limite di salvaguardia alla vita (SLV), ottenute sono le seguenti:

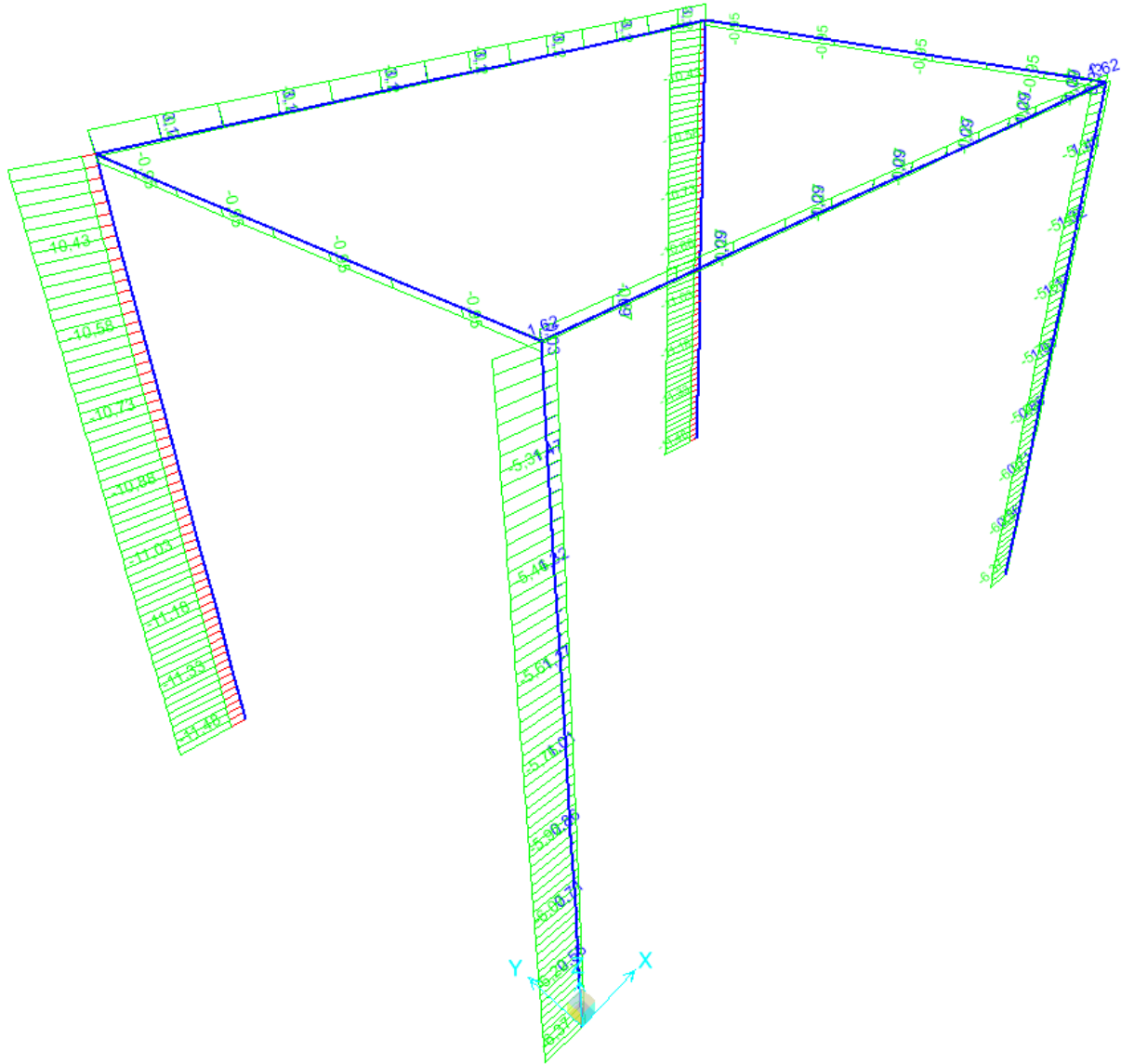


Figura 10.14 Risultato in termini di azione assiale

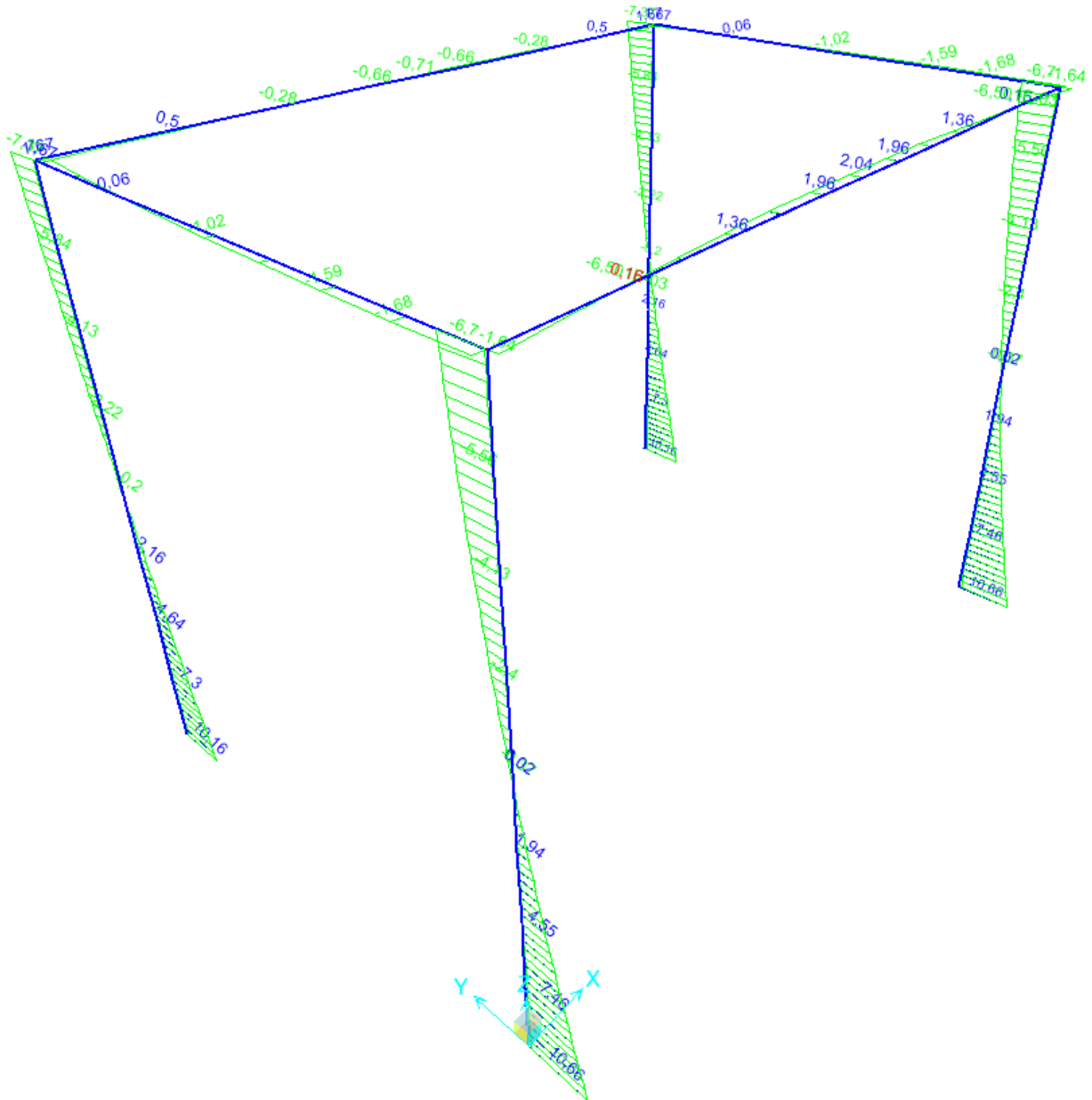

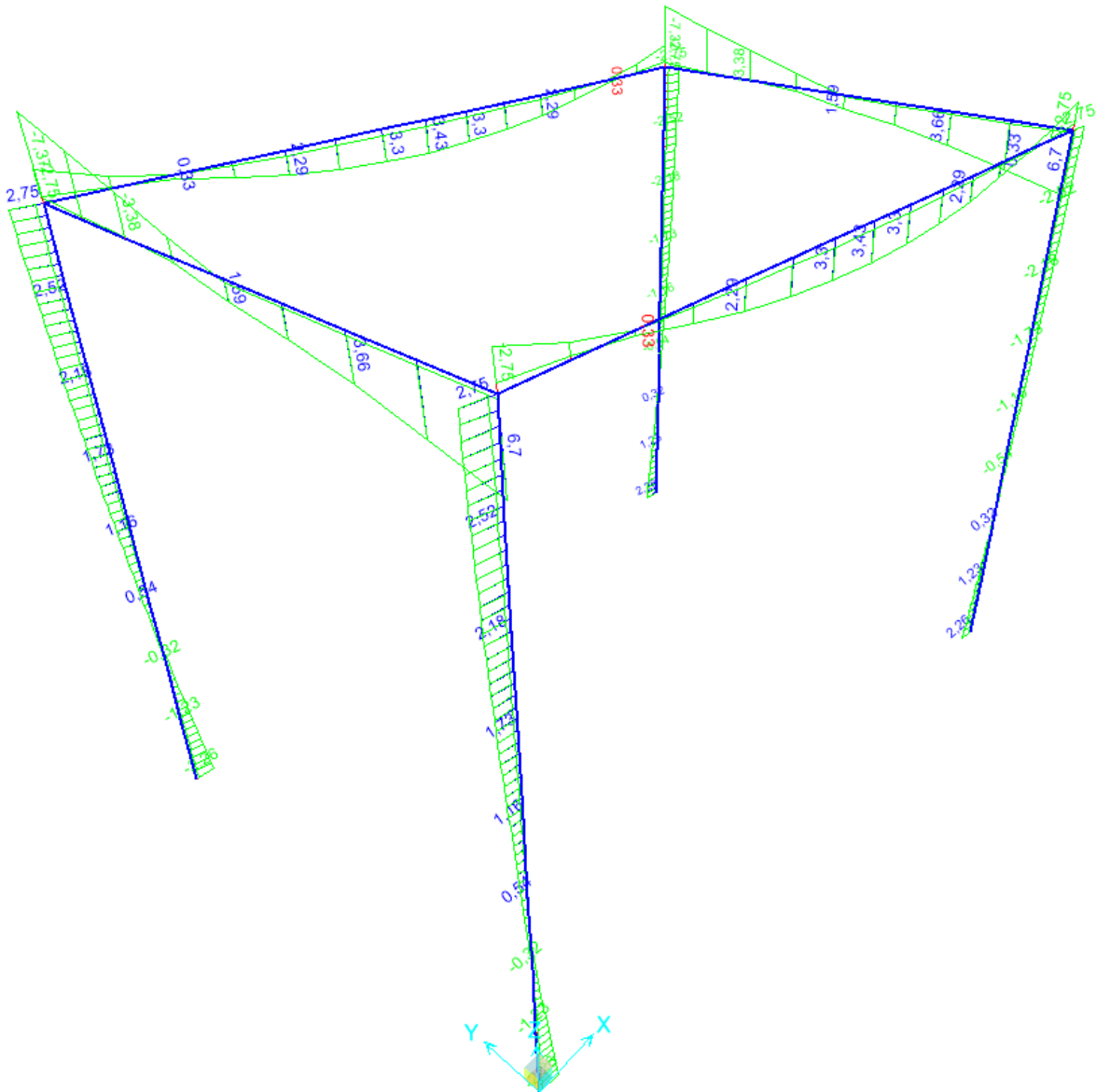



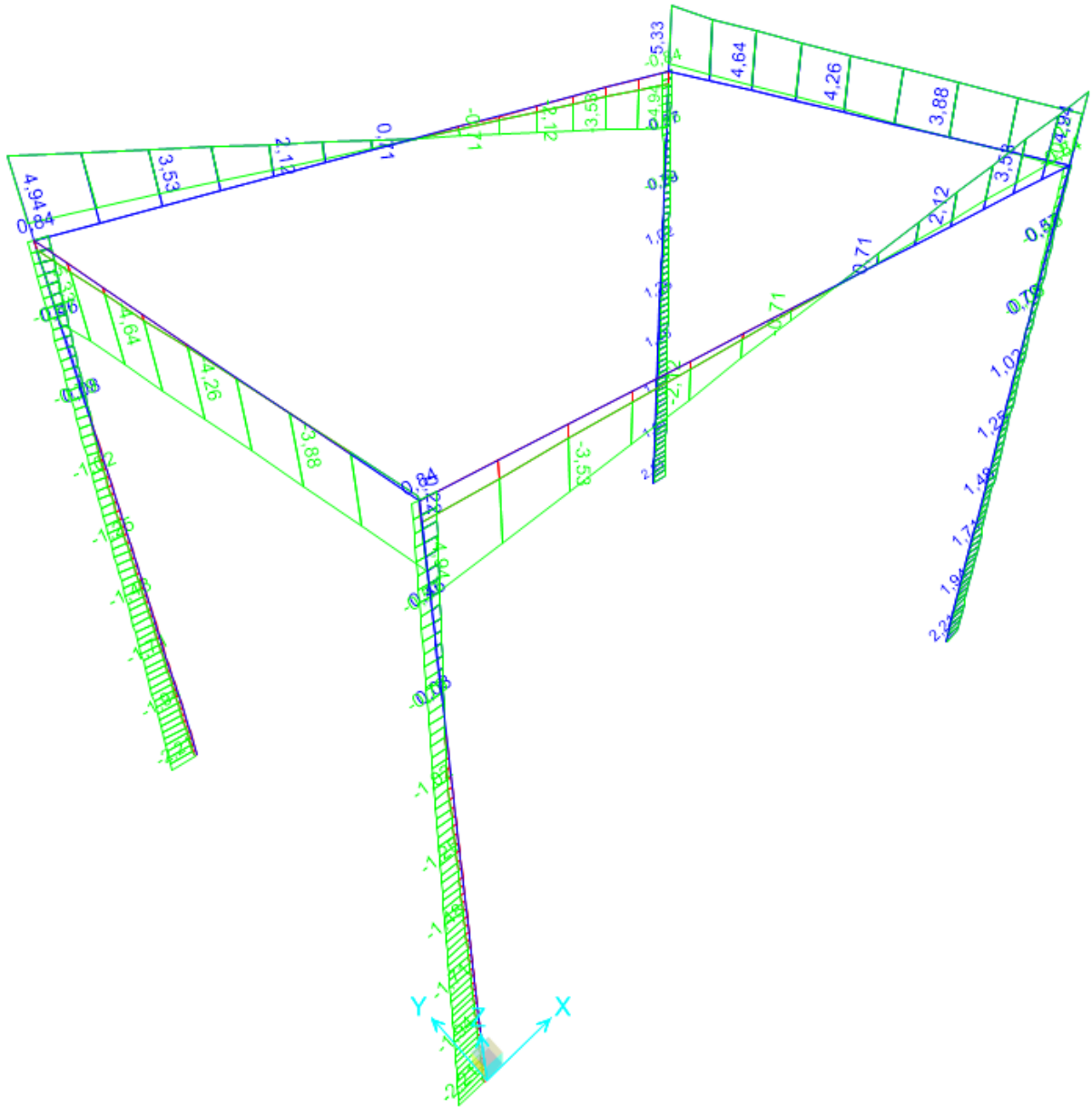
Figura 10.15 Risultati in termini di momento lungo l'asse locale 2 degli elementi

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta:          Politecnico – Rebaudengo – Lotto          Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Opere di sostegno – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR003-0-2.DOCX




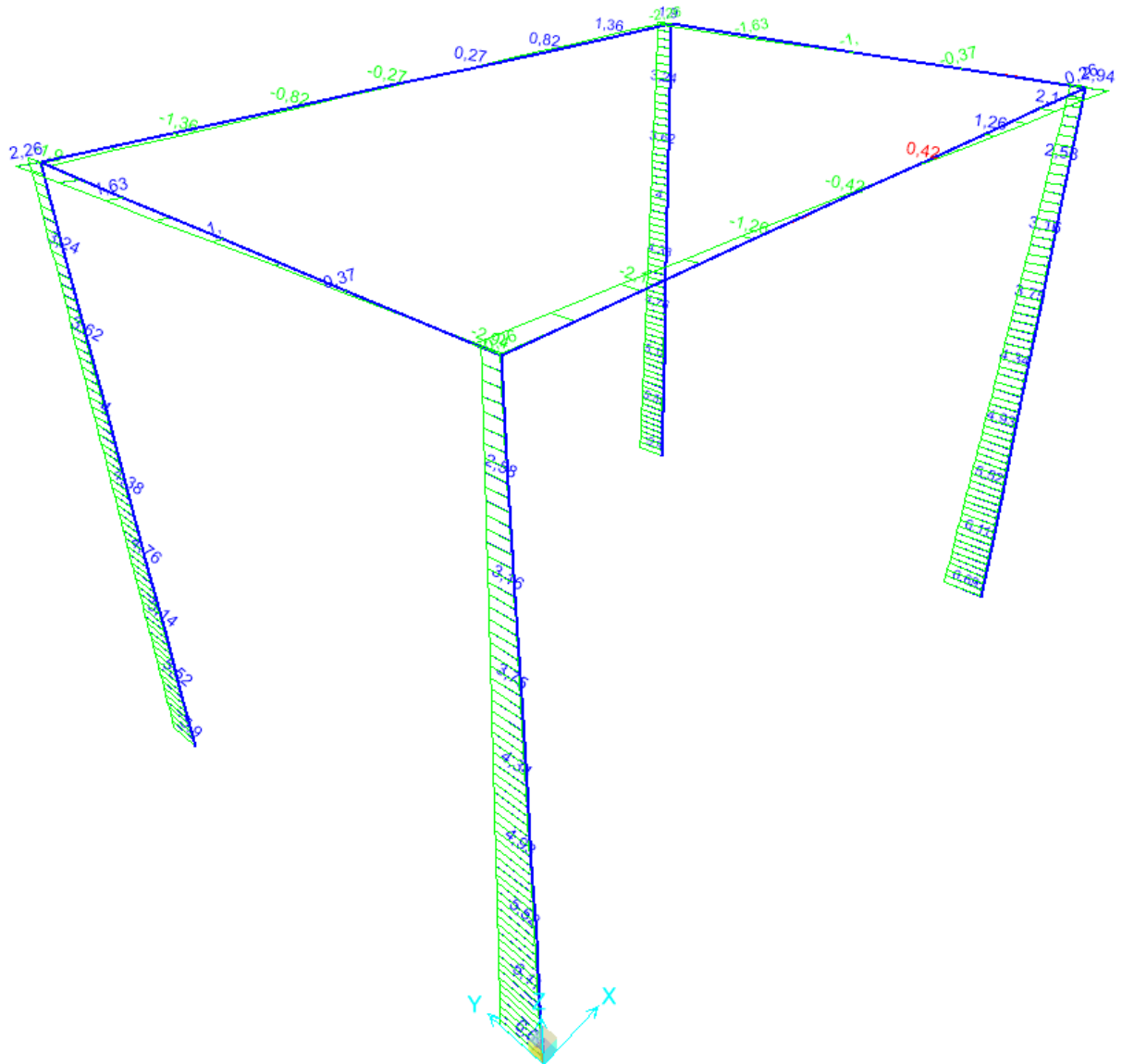
**Figura 10.16 Risultato in termini di momento flettente lungo l'asse locale 3 degli elementi**

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Opere di sostegno – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR003-0-2.DOCX



**Figura 10.17 Risultato in termini di taglio lungo l'asse locale 2 degli elementi**

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Opere di sostegno – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR003-0-2.DOCX




**Figura 10.18 Risultato in termini di taglio lungo l'asse locale 3 degli elementi**

### 10.2.3 VERIFICHE

Le verifiche che sono state condotte sono sostanzialmente due:

- Verifiche di resistenza a flessione semplice e a taglio semplice;
- Verifiche di stabilità del pilastro;
- Verifiche in termini di spostamento secondo lo stato limite d'esercizio con condizione caratteristica o rara.



 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Opere di sostegno – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR003-0-2.DOCX

Le verifiche di resistenza a flessione sono state condotte secondo la normativa italiana (NTC2018), mentre le verifiche di stabilità del pilastro sono state condotte con il metodo generale dell'Eurocodice 3 (UNI ENV 1993-1:1992).

Le verifiche sono state condotte sia nel caso in cui il momento massimo agisce lungo l'asse forte della sezione, sia ruotate di 180°. Queste due situazioni consentono di considerare tutte le situazioni che si possono riscontrare durante la vita dell'opera (variabilità dell'azione sismica e dell'azione del vento).

A questo punto si riportano i risultati per le verifiche di resistenza:

	Verifica Momento			Verifica Taglio		
	$M_{Ed}$ [kNm]	$M_{Rd}$ [kNm]	Stato	$V_{Ed}$ [kN]	$V_{Rd}$ [kN]	Stato
Base pilastro asse forte	10,7	38,8	verificato	6,7	130,8	verificato
Altezza pilastro asse forte	-7,5	38,8	verificato	3,2	130,8	verificato
Base pilastro asse debole	10,7	19,0	verificato	6,7	323,6	verificato
Altezza pilastro asse debole	-7,5	19,0	verificato	3,2	323,6	verificato
Estremo sx Trave	6,6	38,8	verificato	-4,9	130,8	verificato
Mezzeria Trave	3,4	38,8	verificato	4,9	130,8	verificato

**Figura 10.19 Risultati per le verifiche di resistenza**

Dalla precedente figura (Figura 10.19) è possibile notare che le verifiche sono soddisfatte in tutti i casi. A questo punto, passando alle verifiche di stabilità dei pilastri, si è condotta una verifica preliminare utilizzando la teoria di Eulero:

	Verifica Instabilità					
	Comb.	$N_{Ed}$ [kN]	$N_{cr,z}$ [kN]	$N_{cr,y}$ [kN]	Stato lungo z	Stato lungo y
Base pilastro	SLU	12,000	387,999	1029,547	verificato	verificato
Altezza pilastro	SLU	11,000	387,999	1029,547	verificato	verificato

**Tabella 10.6 Risultati della verifica di stabilità con la teoria di Eulero**


Successivamente si è considerata anche la copresenza di altre azioni agenti, come i momenti flettenti. I risultati ottenuti sono i seguenti:

- Supponendo che il momento massimo agisca lungo la direzione forte:

Momento massimo agente lungo l'asse forte		
	Verifica Instabilità	
	Coefficiente	Stato
Base pilastro	0,421	verificato
Altezza pilastro	0,330	verificato

**Figura 10.20 Verifiche di stabilità**

- Supponendo che il momento massimo agisca lungo la direzione debole:

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Opere di sostegno – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR003-0-2.DOCX

Momento massimo agente lungo l'asse debole		
	Verifica Instabilità	
	<b>Coefficiente</b>	Stato
Base pilastro	<b>0,613</b>	verificato
Altezza pilastro	<b>0,453</b>	verificato

**Figura 10.21 Verifiche di stabilità**

Considerando la copresenza delle azioni si sono condotti due casi studi, ciascuno per un diverso orientamento della sezione. Anche in questo caso tutte le verifiche sono soddisfatte.

Invece, per quello che riguarda le verifiche in termini di spostamento, secondo lo stato limite d'esercizio (combinazione caratteristica o rara) si è confrontato lo spostamento ottenuto dal software SAP2000 con il valore limite fissato da normativa (NTC2018):

	<b>Spostamento verticale SAP2000 [mm]</b>	<b>Spostamento orizzontale SAP2000 [mm]</b>	<b>Spostamento limite verticale [mm]</b>	<b>Spostamento limite orizzontale [mm]</b>	Stato
Altezza pilastro	-	21,60	-	26,66	verificato
Mezzeria Trave	-2,50	-	-25,00	-	verificato


**Tabella 10.7 Tabella riassuntiva delle verifiche allo stato limite d'esercizio (SLE)**

Lo spostamento limite è stato calcolato sulla base delle indicazioni normative (NTC18):

*Tab. 4.2.XII - Limiti di deformabilità per gli elementi di impalcato delle costruzioni ordinarie*

Elementi strutturali	Limiti superiori per gli spostamenti verticali	
	$\frac{\delta_{max}}{L}$	$\frac{\delta_2}{L}$
Coperture in generale	$\frac{1}{200}$	$\frac{1}{250}$
Coperture praticabili	$\frac{1}{250}$	$\frac{1}{300}$
Solai in generale	$\frac{1}{250}$	$\frac{1}{300}$
Solai o coperture che reggono intonaco o altro materiale di finitura fragile o tramezzi non flessibili	$\frac{1}{250}$	$\frac{1}{350}$
Solai che supportano colonne	$\frac{1}{400}$	$\frac{1}{500}$
Nei casi in cui lo spostamento può compromettere l'aspetto dell'edificio	$\frac{1}{250}$	

*In caso di specifiche esigenze tecniche e/o funzionali tali limiti devono essere opportunamente ridotti.*

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna</b>
Deposito Officina Rebaudengo – Opere di sostegno – Relazione di calcolo	MTL2T1A1DSTRDRBR003-0-2.DOCX

Tab. 4.2.XIII - Limiti di deformabilità per costruzioni ordinarie soggette ad azioni orizzontali

Tipologia dell'edificio	Limiti superiori per gli spostamenti orizzontali	
	$\frac{\delta}{h}$	$\frac{\Delta}{H}$
Edifici industriali monopiano senza carro-ponte	$\frac{1}{150}$	/
Altri edifici monopiano	$\frac{1}{300}$	/
Edifici multipiano	$\frac{1}{300}$	$\frac{1}{500}$

*In caso di specifiche esigenze tecniche e/o funzionali tali limiti devono essere opportunamente ridotti.*

### Tabella 10.8 Tabelle riassuntive dei limiti normativi in termini di spostamenti verticali e orizzontali

Come è possibile notare dalla Tabella 10.6 anche le verifiche allo stato limite d'esercizio sono soddisfatte.

## 11. GIUDIZIO MOTIVATO DI ACCETTABILITÀ DEI RISULTATI

Il software utilizzato ha permesso di modellare analiticamente il comportamento fisico della struttura utilizzando la libreria disponibile di elementi finiti. Le funzioni di visualizzazione ed interrogazione sul modello hanno consentito di controllare sia la coerenza geometrica che l'adeguatezza delle azioni applicate rispetto alla realtà fisica. Inoltre, l'analisi dei risultati ottenuti dal modello, quali: sollecitazioni, tensioni, deformazioni, spostamenti e reazioni vincolari, hanno permesso un immediato controllo di tali valori con i risultati ottenuti mediante schemi semplificati della struttura stessa.

Si è inoltre riscontrato che le reazioni vincolari sono in equilibrio con i carichi applicati, e che i valori dei taglianti di base delle azioni sismiche sono confrontabili con gli omologhi valori ottenuti da modelli semplificati.

Da quanto sopra esposto si possono quindi ritenere validi e accettabili i calcoli derivanti dal codice di calcolo numerico adottato.