

S.S. 389 TRONCO VILLANOVA – LANUSEI – TORTOLÌ LOTTO BIVIO VILLAGRANDE – SVINCOLO DI ARZANA DAL Km 51+100,00 DELLA S.S. 389 VAR AL Km 177+930,00 DELLA S.S. 389

PROGETTO DEFINITIVO

COD. CA22

PROGETTAZIONE: ANAS – DIREZIONE PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE LAVORI

PROGETTISTA E RESPONSABILE INTEGRATORE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE

Ing. M. RASIMELLI
Ordine Ingegneri Provincia di Perugia n. A632

GRUPPO DI PROGETTAZIONE

Ing. D. BONADIES Ing. M. PROCACCI
Ing. P. LOSPENNATO Ing. R. CERQUIGLINI
Ing. S. PELLEGRINI Ing. M. CARAFFINI
Ing. A. POLLI Geom. M. BINAGLIA
Ing. M. MARELLI
Ing. A. LUCIA

IL RESPONSABILE DEL S.I.A.

Arch. E. RASIMELLI

IL GEOLOGO

Dott. S. PIAZZOLI

COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE

Ing. L. IOVINE

VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO

Ing. F. RUGGIERI

PROTOCOLLO

DATA:

IL GRUPPO DI PROGETTAZIONE:



MANDATARIA



MANDANTE



MANDANTE

GALLERIA ARTIFICIALE GA03 - RELAZIONE DI CALCOLO

CODICE PROGETTO

PROGETTO LIV. PROG. N. PROG.
D P C A 2 2 D 2 0 0 2

NOME FILE
T00_GA03_OST_RE01_A

CODICE ELAB. T 0 0 G A 0 3 O S T R E 0 1

REVISIONE

PAG.

A

1 di 67

D

C

B

A

PRIMA EMISSIONE

AGOSTO 2020

A.DIANIN

M.MARELLI

RASIMELLI

REV.

DESCRIZIONE

DATA

REDATTO

VERIFICATO

APPROVATO

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 389 TRONCO VILLANOVA – LANUSEI – TORTOLÌ</p> <p>LOTTO BIVIO VILLAGRANDE – SVINCOLO DI ARZANA</p> <p>DAL Km 51+100,00 DELLA S.S. 389 VAR AL Km 177+930,00 DELLA S.S. 389</p> <p>Galleria artificiale GA03 - Relazione di calcolo</p>	<p>File: T00_GA03_OST_RE01_A</p> <p>Data: Agosto 2020</p> <p>Pag. 2 di 67</p>
---	---

1	INTRODUZIONE	8
1.1	OGGETTO E SCOPO	9
1.2	BREVE DESCRIZIONE DEL PROGETTO	10
2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	11
2.1	RIFERIMENTI NORMATIVI	11
2.2	DOCUMENTAZIONE DI PROGETTO	12
2.3	BIBLIOGRAFIA	13
2.4	SOFTWARE DI CALCOLO	13
3	MATERIALI	14
3.1	CONGLOMERATO CEMENTIZIO PER SOTTOFONDAZIONI	14
3.2	CONGLOMERATO CEMENTIZIO STRUTTURALE PER SOLETTA FONDAZIONE	14
3.3	CONGLOMERATO CEMENTIZIO STRUTTURALE PER PARETI E SOLETTA COPERTURA	14
3.4	ACCIAIO PER CEMENTO ARMATO	15
3.5	COPRIFERRO MINIMO E COPRIFERRO NOMINALE	15
4	ANALISI NUMERICHE	16
4.1	CRITERI DI CALCOLO	16
4.1.1.	Combinazioni di carico	16
4.1.2.	Programma di calcolo	17
4.2	PARAMETRI GEOTECNICI PER IL CALCOLO DELLE STRUTTURE	19
4.3	GEOMETRIA DELLA SEZIONE TIPO	22
4.3.1.	Modellazione adottata	25
4.4	ANALISI DEI CARICHI	28
4.4.1.	Peso proprio strutturale	28
4.4.2.	Carico permanente portato	28
4.4.3.	Spinte sulle pareti laterali e sulle solette	28
4.4.4.	Ritiro e viscosità	33
4.4.5.	Carico termico giornaliero	34
4.4.6.	Carico termico stagionale	35
4.4.7.	Caratterizzazione sismica del sito	37
5	VERIFICHE	41

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 389 TRONCO VILLANOVA – LANUSEI – TORTOLÌ</p> <p>LOTTO BIVIO VILLAGRANDE – SVINCOLO DI ARZANA</p> <p>DAL Km 51+100,00 DELLA S.S. 389 VAR AL Km 177+930,00 DELLA S.S. 389</p> <p>Galleria artificiale GA03 - Relazione di calcolo</p>	<p>File: T00_GA03_OST_RE01_A</p> <p>Data: Agosto 2020</p> <p>Pag. 3 di 67</p>
---	---

<u>5.1</u>	<u>CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI E VERIFICHE NEGLI SCATOLARI</u>	<u>41</u>
5.1.1.	Combinazioni di calcolo	41
5.1.2.	Sezione Tipo 1	42
5.1.3.	Sezione Tipo 2 finestrata	51
<u>5.2</u>	<u>VERIFICHE DI STABILITÀ DELLE PARETI CHIODATE</u>	<u>61</u>
<u>6</u>	<u>CONCLUSIONE E INCIDENZE</u>	<u>62</u>
<u>7</u>	<u>ALLEGATI DI CALCOLO</u>	<u>66</u>

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 389 TRONCO VILLANOVA – LANUSEI – TORTOLI</p> <p>LOTTO BIVIO VILLAGRANDE – SVINCOLO DI ARZANA</p> <p>DAL Km 51+100,00 DELLA S.S. 389 VAR AL Km 177+930,00 DELLA S.S. 389</p> <p>Galleria artificiale GA03 - Relazione di calcolo</p>	<p>File: T00_GA03_OST_RE01_A</p> <p>Data: Agosto 2020</p> <p>Pag. 4 di 67</p>
---	---

INDICE DELLE FIGURE

<i>Figura 1: Corografia generale con inquadramento dell'opera</i>	<i>8</i>
<i>Figura 2: Inquadramento geografico del sito</i>	<i>10</i>
<i>Figura 3-Pianta della GA03.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 4- Sezione longitudinale della GA03</i>	<i>23</i>
<i>Figura 5- Sezione A-A.....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 6- Sezione B-B, la medesima usata per lo scatolare di tipo 1 nel calcolo</i>	<i>24</i>
<i>Figura 7- Sezione C-C, simile a quella usata per lo scatolare di tipo 2 nel calcolo.....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 8- Posizione del sistema di riferimento globale e locale utilizzato</i>	<i>25</i>
<i>Figura 9- Scatolare tipo 1</i>	<i>26</i>
<i>Figura 10- Sottovia Tipo 2 finestrato</i>	<i>27</i>
<i>Figura 11- Carico permanente portato G_solettone fondazione.....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 12- Spinta statica del terreno del tratto tipo 1</i>	<i>29</i>
<i>Figura 13- Carico tipico da ritombamento per la sezione tipo 1</i>	<i>30</i>
<i>Figura 14- Carico dell'acqua per la sezione tipo 1</i>	<i>31</i>
<i>Figura 15- Carico dell'acqua per la sezione tipo 2 finestrato</i>	<i>31</i>
<i>Figura 16- Carico veicolare superiore Q_strad sup (a sinistra) e rico veicolare interno Q_veic_int (a destra)</i>	<i>32</i>
<i>Figura 17- Carico del ritiro e viscosità.....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 18- Carico termico giornaliero $\pm 5^{\circ}\text{C}$ sullo spessore del rivestimento</i>	<i>35</i>
<i>Figura 19- Carico termico stagionale $\pm 10^{\circ}\text{C}$</i>	<i>36</i>
<i>Figura 20- Carico sismico del terreno da sinistra.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 21- Carico sismico del terreno da sinistra.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 22- Carico sismico del terreno di ritombamento</i>	<i>39</i>
<i>Figura 23- Carico sismico inerziale in direzione orizzontale da sinistra.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 24- Carico sismico inerziale in direzione orizzontale da destra</i>	<i>40</i>
<i>Figura 25- Carico sismico inerziale in direzione verticale</i>	<i>40</i>
<i>Figura 26- M involucro SLU-SLV.....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 27- V involucro SLU-SLV.....</i>	<i>42</i>

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 389 TRONCO VILLANOVA – LANUSEI – TORTOLÌ</p> <p>LOTTO BIVIO VILLAGRANDE – SVINCOLO DI ARZANA</p> <p>DAL Km 51+100,00 DELLA S.S. 389 VAR AL Km 177+930,00 DELLA S.S. 389</p> <p>Galleria artificiale GA03 - Relazione di calcolo</p>	<p>File: T00_GA03_OST_RE01_A</p> <p>Data: Agosto 2020</p> <p>Pag. 5 di 67</p>
---	---

Figura 28- N involuppo SLU-SLV.....	43
Figura 29- M involuppo SLE_F.....	43
Figura 30- N involuppo SLE_F	44
Figura 31- M involuppo SLE_QP.....	44
Figura 32- N involuppo SLE_QP.....	45
Figura 33- M involuppo SLE_R	45
Figura 34- N involuppo SLE_R	46
Figura 35- M involuppo SLU-SLV.....	46
Figura 36- V involuppo SLU-SLV.....	47
Figura 37- N involuppo SLU-SLV.....	47
Figura 38- M involuppo SLE_F.....	48
Figura 39- N involuppo SLE_F	48
Figura 40- M involuppo SLE_QP.....	49
Figura 41- N involuppo SLE_QP.....	49
Figura 42- M involuppo SLE_R	50
Figura 43- N involuppo SLE_R	50
Figura 44- M involuppo SLU-SLV.....	51
Figura 45- V involuppo SLU-SLV.....	51
Figura 46- N involuppo SLU-SLV.....	52
Figura 47- M involuppo SLE_R	52
Figura 48- N involuppo SLE_R	53
Figura 49- M involuppo SLE_F.....	53
Figura 50- N involuppo SLE_F	54
Figura 51- M involuppo SLE_QP.....	54
Figura 52- N involuppo SLE_QP.....	55
Figura 53- M involuppo SLU-SLV.....	56
Figura 54- V involuppo SLU-SLV.....	56
Figura 55- N involuppo SLU-SLV.....	57

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 389 TRONCO VILLANOVA – LANUSEI – TORTOLI</p> <p>LOTTO BIVIO VILLAGRANDE – SVINCOLO DI ARZANA</p> <p>DAL Km 51+100,00 DELLA S.S. 389 VAR AL Km 177+930,00 DELLA S.S. 389</p> <p>Galleria artificiale GA03 - Relazione di calcolo</p>	<p>File: T00_GA03_OST_RE01_A</p> <p>Data: Agosto 2020</p> <p>Pag. 6 di 67</p>
---	---

Figura 56- M involuppo SLE_R57

Figura 57- N involuppo SLE_R58

Figura 58- M involuppo SLE_F.....58

Figura 59- N involuppo SLE_F59

Figura 60- M involuppo SLE_QP.....59

Figura 61- N involuppo SLE_QP.....60

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 389 TRONCO VILLANOVA – LANUSEI – TORTOLÌ</p> <p>LOTTO BIVIO VILLAGRANDE – SVINCOLO DI ARZANA</p> <p>DAL Km 51+100,00 DELLA S.S. 389 VAR AL Km 177+930,00 DELLA S.S. 389</p> <p>Galleria artificiale GA03 - Relazione di calcolo</p>	<p>File: T00_GA03_OST_RE01_A</p> <p>Data: Agosto 2020</p> <p>Pag. 7 di 67</p>
---	---

INDICE DELLE TABELLE

<i>Tabella 1- Rigidezza delle molle sulla soletta di fondazione del Tratto 1 non finestrato</i>	<i>20</i>
<i>Tabella 2- Rigidezza delle molle sui piedritti del Tratto 1 non finestrato</i>	<i>20</i>
<i>Tabella 3- Rigidezza delle molle sulla soletta di fondazione del Tratto 2 finestrato</i>	<i>21</i>
<i>Tabella 4- Rigidezza delle molle sui piedritti del Tratto 2 finestrato</i>	<i>21</i>
<i>Tabella 5- Spinta del terreno</i>	<i>29</i>
<i>Tabella 6-Parametri sismici</i>	<i>37</i>
<i>Tabella 7-Coefficienti utilizzati per le sollecitazioni SLU, SLV e SLE</i>	<i>41</i>
<i>Tabella 8-Incidenze armature degli scatolari GA03-tratto 1</i>	<i>65</i>
<i>Tabella 9-Incidenze armature degli scatolari GA03-tratto 2 finestrato</i>	<i>65</i>

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 389 TRONCO VILLANOVA – LANUSEI – TORTOLI</p> <p>LOTTO BIVIO VILLAGRANDE – SVINCOLO DI ARZANA</p> <p>DAL Km 51+100,00 DELLA S.S. 389 VAR AL Km 177+930,00 DELLA S.S. 389</p> <p>Galleria artificiale GA03 - Relazione di calcolo</p>	<p>File: T00_GA03_OST_RE01_A</p> <p>Data: Agosto 2020</p> <p>Pag. 8 di 67</p>
---	---

1 INTRODUZIONE

Il progetto in oggetto rientra nei lavori della nuova SS389 della quale sono stati già realizzati i tratti a nord dello svincolo di Villagrande Strisaili.

L'intervento prevede una variante della SS389 nel tratto tra Villagrande Strisaili e Arzana, a due corsie (categoria C ex DM 05.11.2001) per un'estensione di circa 6 Km. La variante si sviluppa nell'ambito del corridoio già interessato dalla statale esistente, e prevede la realizzazione di diversi viadotti ed opere di sostegno, oltre a svincoli di allaccio alla statale esistente. L'opera migliora le caratteristiche geometriche della strada statale, che presenta attualmente elevata tortuosità, incrementando il livello di sicurezza in esercizio.

Il presente elaborato tratta gli aspetti strutturali e geotecnici della Galleria Artificiale GA03.

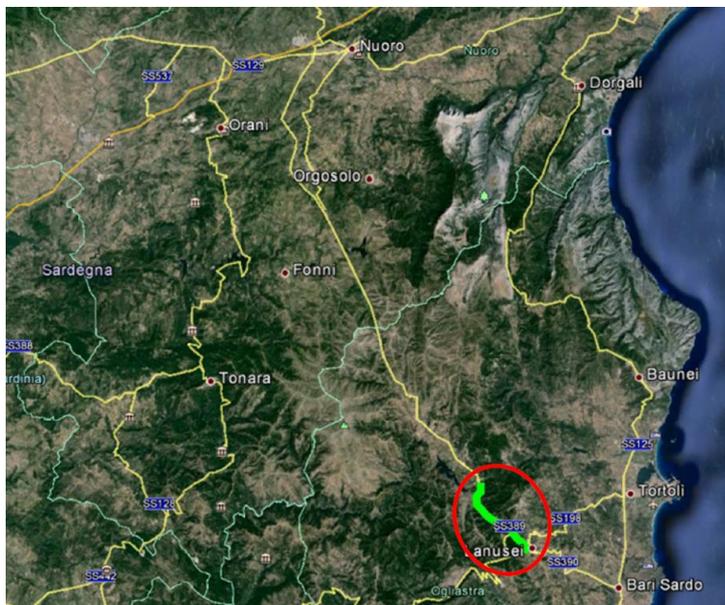


Figura 1: Corografia generale con inquadramento dell'opera

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 389 TRONCO VILLANOVA – LANUSEI – TORTOLÌ</p> <p>LOTTO BIVIO VILLAGRANDE – SVINCOLO DI ARZANA</p> <p>DAL Km 51+100,00 DELLA S.S. 389 VAR AL Km 177+930,00 DELLA S.S. 389</p> <p>Galleria artificiale GA03 - Relazione di calcolo</p>	<p><i>File:</i> T00_GA03_OST_RE01_A</p> <p><i>Data:</i> Agosto 2020</p> <p><i>Pag.</i> 9 di 67</p>
---	--

1.1 **Oggetto e scopo**

L'oggetto della presente relazione è il dimensionamento geotecnico e strutturale della galleria artificiale GA03, realizzata con scatolari in c.a. Nella presente relazione sono riportate le verifiche geotecniche e strutturali di tali opere condotte ai sensi della normativa vigente. Il documento è articolato come segue:

1. Introduzione: presenta sinteticamente le opere di progetto,
2. Documenti di riferimento: elenca i documenti correlati al documento in oggetto, le normative, la bibliografia di riferimento ed il software di calcolo utilizzato,
3. Materiali: riporta i materiali previsti per il progetto,
4. Analisi numeriche: contenente i criteri di calcolo, la geometria di calcolo e l'analisi dei carichi,
5. Verifiche: strutturali e geotecniche
6. Conclusione: riassume i risultati delle analisi e verifiche effettuate,
7. Allegati di calcolo: riporta gli output del software e dei fogli di calcolo utilizzati.

Gli scatolari sono previsti con sezioni di calcolo differenti e saranno adagiati su un letto di calcestruzzo a basso dosaggio "magrone".

La presente relazione di calcolo prende in considerazione le azioni tipiche di una struttura interrata con le aggiunte delle azioni di tipo stradale, con applicazione della Normativa sui ponti stradali D. M. Min. II. TT. del 17 gennaio 2018 – Norme tecniche per le costruzioni.

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 389 TRONCO VILLANOVA – LANUSEI – TORTOLÌ</p> <p>LOTTO BIVIO VILLAGRANDE – SVINCOLO DI ARZANA</p> <p>DAL Km 51+100,00 DELLA S.S. 389 VAR AL Km 177+930,00 DELLA S.S. 389</p> <p>Galleria artificiale GA03 - Relazione di calcolo</p>	<p>File: T00_GA03_OST_RE01_A</p> <p>Data: Agosto 2020</p> <p>Pag. 10 di 67</p>
---	--

1.2 Breve descrizione del progetto

L'area interessata dal progetto fa parte dei Comuni di Villagrande Strisaili e Arzana (Figura 2). Il progetto in oggetto rientra nei lavori della nuova S.S. 389 della quale sono stati già realizzati i tratti a nord dello svincolo di Villagrande Strisaili. L'intervento prevede una variante della S.S. 389 nel tratto tra Villagrande Strisaili e Arzana, a due corsie (categoria C ex DM 05.11.2001) per una lunghezza di circa 6 km. La variante si sviluppa nell'ambito del corridoio già interessato dalla statale esistente, e prevede la realizzazione di diversi **viadotti** ed **opere di sostegno**, oltre a **svincoli** di allaccio alla statale esistente. L'opera migliora le caratteristiche geometriche della strada statale, che presenta attualmente elevata tortuosità, incrementando il livello di sicurezza in esercizio.

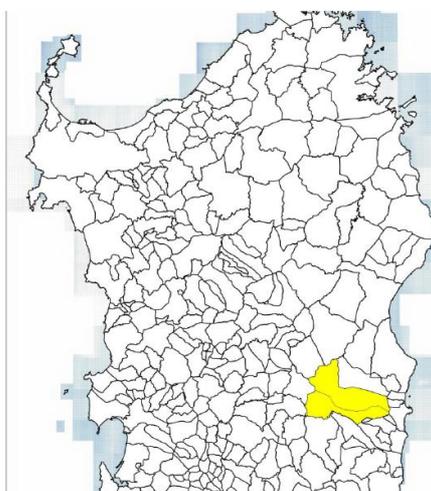


Figura 2: Inquadramento geografico del sito

Il tracciato si sviluppa per una lunghezza di circa 6 km e collega l'incrocio tra la S.S. 389 con la strada comunale per Villagrande Strisaili con l'incrocio tra la stessa statale e la strada comunale per Arzana.

La piattaforma stradale è relativa alle strade extraurbane di tipo C1. Nei punti di raccordo con la strada comunale per Villagrande Strisaili e la strada comunale per Arzana di raccordo con la vecchia S.S. 389, è prevista la realizzazione di svincoli stradali in accordo con la normativa vigente. Il tracciato si sviluppa lungo il medesimo percorso dell'attuale sede stradale che verrà interferita nei tratti di incrocio e sono previste opere d'arte maggiori e minori con funzioni di scavalco, deflusso delle acque e passaggio della fauna.

Nello specifico, il tracciato presentato ad ANAS nella Relazione Descrittiva del 19.12.2019 prevede:

- la realizzazione di 7 viadotti di luce;
- la realizzazione di 3 tratti in galleria artificiale;
- realizzazione di due intersezioni a raso con rotonda.

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 389 TRONCO VILLANOVA – LANUSEI – TORTOLÌ</p> <p>LOTTO BIVIO VILLAGRANDE – SVINCOLO DI ARZANA</p> <p>DAL Km 51+100,00 DELLA S.S. 389 VAR AL Km 177+930,00 DELLA S.S. 389</p> <p>Galleria artificiale GA03 - Relazione di calcolo</p>	<p>File: T00_GA03_OST_RE01_A</p> <p>Data: Agosto 2020</p> <p>Pag. 11 di 67</p>
---	--

2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

2.1 Riferimenti normativi

- [1] D. M. Min. II. TT. del 17 gennaio 2018– Norme tecniche per le costruzioni;
- [2] CIRCOLARE 21 gennaio 2019, n. 7 “Istruzione per l’applicazione delle «Norme tecniche per le costruzioni» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018;
- [3] UNI EN 1990 (Eurocodice 0) – Aprile 2006: “Criteri generali di progettazione strutturale”;
- [4] UNI EN 1991-2-4 (Eurocodice 1) – Agosto 2004 – Azioni in generale: “Pesi per unità di volume, pesi propri e sovraccarichi per gli edifici”;
- [5] UNI EN 1991-1-1 (Eurocodice 1) – Agosto 2004 – Azioni in generale- Parte 1-1: “Pesi per unità di volume, pesi propri e sovraccarichi per gli edifici”;
- [6] UNI EN 1991-2 (Eurocodice 1) – Marzo 2005 – Azioni sulle strutture- Parte 2: “Carico da traffico sui ponti”;
- [7] UNI EN 1992-1-1 (Eurocodice 2) – Novembre 2005: “Progettazione delle strutture di calcestruzzo – Parte 1-1: “Regole generali e regole per gli edifici”;
- [8] UNI EN 1992-2 (Eurocodice 2) – Gennaio 2006: “Progettazione delle strutture di calcestruzzo – Parte 2: “Ponti in calcestruzzo - progettazione e dettagli costruttivi”;
- [9] UNI EN 1993-1-1 (Eurocodice 3) – Ottobre 1993: “Progettazione delle strutture in acciaio – Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici”;
- [10] UNI EN 1997-1 (Eurocodice 7) – Febbraio 2005: “Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali”;
- [11] UNI EN 1998-1 (Eurocodice 8) – Marzo 2005: “Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 1: Regole generali – Azioni sismiche e regole per gli edifici”;
- [12] UNI EN 1998-2 (Eurocodice 8) – Febbraio 2006: “Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 2: Ponti”;
- [13] UNI EN 1998-5 (Eurocodice 8) – Gennaio 2005: “Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 2: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici”;
- [14] Linee guida sul calcestruzzo strutturale - Presidenza del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici - Servizio Tecnico Centrale;
- [15] UNI EN 197-1 giugno 2001 – “Cemento: composizione, specificazioni e criteri di conformità per cementi comuni”;
- [16] UNI EN 11104 marzo 2004 – “Calcestruzzo: specificazione, prestazione, produzione e conformità”, Istruzioni complementari per l’applicazione delle EN 206-1;
- [17] UNI EN 206-1 ottobre 2006 – “Calcestruzzo: specificazione, prestazione, produzione e conformità”.
- [18] CNR 10024/86 – Analisi mediante elaboratore: impostazione e redazione delle relazioni di calcolo.

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 389 TRONCO VILLANOVA – LANUSEI – TORTOLI</p> <p>LOTTO BIVIO VILLAGRANDE – SVINCOLO DI ARZANA</p> <p>DAL Km 51+100,00 DELLA S.S. 389 VAR AL Km 177+930,00 DELLA S.S. 389</p> <p>Galleria artificiale GA03 - Relazione di calcolo</p>	<p>File: T00_GA03_OST_RE01_A</p> <p>Data: Agosto 2020</p> <p>Pag. 12 di 67</p>
---	--

2.2 DOCUMENTAZIONE DI PROGETTO

OPERE D'ARTE MAGGIORI											
T	0	0	EG	0	0	STR	RE	0	1	A	Relazione descrittiva delle scelte progettuali

Opere d'arte maggiori - Gallerie artificiali											
T	0	0	GA	0	0	STR	DT	0	1	A	Tabella materiali e incidenze

Galleria Artificiale GA03											
T	0	0	GA	0	3	OST	RE	0	1	A	Galleria Artificiale GA03 - Relazione di calcolo
T	0	0	GA	0	3	OST	PL	0	1	A	Galleria Artificiale GA03 - Planimetria generale, scavi e profilo
T	0	0	GA	0	3	OST	DC	0	1	A	Galleria Artificiale GA03 - Sezioni e dettagli
T	0	0	GA	0	3	OST	SZ	0	1	A	Galleria Artificiale GA03 - Sezioni trasversali
T	0	0	GA	0	3	OST	FG	0	1	A	Galleria Artificiale GA03 - Profilo geotecnico

OPERE D'ARTE MAGGIORI											
T	0	0	EG	0	0	STR	RE	0	1	A	Relazione descrittiva delle scelte progettuali

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 389 TRONCO VILLANOVA – LANUSEI – TORTOLI</p> <p>LOTTO BIVIO VILLAGRANDE – SVINCOLO DI ARZANA</p> <p>DAL Km 51+100,00 DELLA S.S. 389 VAR AL Km 177+930,00 DELLA S.S. 389</p> <p>Galleria artificiale GA03 - Relazione di calcolo</p>	<p>File: T00_GA03_OST_RE01_A</p> <p>Data: Agosto 2020</p> <p>Pag. 13 di 67</p>
---	--

2.3 Bibliografia

- [19] Bustamante M. et Doix B., “Une méthode pour le calcul des tirants et des *micropieux injectés*”, Bulletin liaison LCPC, Nov. - Dec. 1985.
- [20] Caquot A., Kerisel J. [1948] "Tables for the calculation of passive pressure, active pressure and bearing capacity of foundations" Gautiers-Villars, Paris.
- [21] Lancellotta R. (2007), “Lower Bound approach for seismic passive earth resistance”, Geotechnique, Technical Note, 57, 1-3.
- [22] Mueller-Breslau (1906), “Erddruck anf Stuetzmaern” Kroener.
- [23] Mononobe N. (1929) "Earthquake-proof construction of masonry dams", Proc. of World Engineering Conference, vol.9, p.275.
- [24] NAVFAC (1982), “Foundations and earth Structures. Design manual 7.2”. Department of the Navy, Naval Facilities Engineering Command.
- [25] Seed, H.B. and Whitman, R.V. (1970). Design of earth retaining structures for dynamic loads. *Proceedings*, ASCE Specialty Conference on Lateral Stresses in the Ground and Design of Earth Retaining Structures. 103-147.
- [26] Taylor, D.W. (1948). Fundamental of soil mechanics. John Wiley, New York

2.4 Software di calcolo

- [27] CSI - Sap 2000, ver. 21
- [28] CeAS - ParatiePlus ver. 20.0
- [29] GeoStru-RC-SEC, ver.2021.11.0.1006

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 389 TRONCO VILLANOVA – LANUSEI – TORTOLÌ</p> <p>LOTTO BIVIO VILLAGRANDE – SVINCOLO DI ARZANA</p> <p>DAL Km 51+100,00 DELLA S.S. 389 VAR AL Km 177+930,00 DELLA S.S. 389</p> <p>Galleria artificiale GA03 - Relazione di calcolo</p>	<p>File: T00_GA03_OST_RE01_A</p> <p>Data: Agosto 2020</p> <p>Pag. 14 di 67</p>
---	--

3 MATERIALI

3.1 Conglomerato cementizio per sottofondazioni

Tipo calcestruzzo	C12/15
Rck (MPa)	15
fck=0.83*Rck (MPa)	12.45
Classe di esposizione	-
Classe di consistenza	S4/S5
Copriferro minimo (mm)	-
Contenuto minimo di cemento (kg/m ³)	150.00

3.2 Conglomerato cementizio strutturale per soletta fondazione

Tipo calcestruzzo	C25/30
Rck (MPa)	30
fck=0.83*Rck (MPa)	24.9
fcd=αcc* fck/γc (MPa)	14.1
fctm=0.3*fck ^{2/3} (MPa)	2.56
fctk,0.05=0.7*fctm (MPa)	1.79
fctd=fctk,0.05/γc (MPa)	1.19
σc,rara=0.6*fck (MPa)	14.9
σc,q.p.=0.45*fck (MPa)	11.1
Classe di esposizione	XC2
Classe di consistenza	S4
Copriferro minimo (mm)	40
Diametro massimo aggregato (mm)	25

3.3 Conglomerato cementizio strutturale per pareti e soletta copertura

Tipo calcestruzzo	C32/40
Rck (MPa)	40.0
fck=0.83*Rck (MPa)	33.2
fcd=αcc* fck/γc (MPa)	18.8
fctm=0.3*fck ^{2/3} (MPa)	3.1
fctk,0.05=0.7*fctm (MPa)	2.2
fctd=fctk,0.05/γc (MPa)	1.45
σc,rara=0.6*fck (MPa)	19.9
σc,q.p.=0.45*fck (MPa)	14.9
Classe di esposizione	XC4

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 389 TRONCO VILLANOVA – LANUSEI – TORTOLI</p> <p>LOTTO BIVIO VILLAGRANDE – SVINCOLO DI ARZANA</p> <p>DAL Km 51+100,00 DELLA S.S. 389 VAR AL Km 177+930,00 DELLA S.S. 389</p> <p>Galleria artificiale GA03 - Relazione di calcolo</p>	<p>File: T00_GA03_OST_RE01_A</p> <p>Data: Agosto 2020</p> <p>Pag. 15 di 67</p>
---	--

Classe di consistenza	S4
Copriferro minimo (mm)	40
Diametro massimo aggregato (mm)	25

3.4 Acciaio per cemento armato

Tipo acciaio	B450C
f_{yk} (MPa)	450
f_{tk} (MPa)	540
γ_s (-)	1.15
$f_{yd}=f_{yk}/\gamma_s$ (MPa)	391

3.5 Copriferro minimo e copriferro nominale

Ai fini 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 nominale c_{nom} è somma di due contributi, il copriferro minimo c_{min} e la tolleranza di posizionamento h . Vale pertanto: $c_{nom} = c_{min} + h$.

La tolleranza di posizionamento delle armature h , per le strutture gettate in opera, può essere assunta pari a 10 mm. Considerata la classe di esposizione ambientale dell'opera, si adotta un copriferro minimo pari a 30 mm, pertanto $c_{nom}=40$ mm, valore assunto come valido per tutte le parti di struttura.

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 389 TRONCO VILLANOVA – LANUSEI – TORTOLI</p> <p>LOTTO BIVIO VILLAGRANDE – SVINCOLO DI ARZANA</p> <p>DAL Km 51+100,00 DELLA S.S. 389 VAR AL Km 177+930,00 DELLA S.S. 389</p> <p>Galleria artificiale GA03 - Relazione di calcolo</p>	<p>File: T00_GA03_OST_RE01_A</p> <p>Data: Agosto 2020</p> <p>Pag. 16 di 67</p>
---	--

4 ANALISI NUMERICHE

4.1 CRITERI DI CALCOLO

In ottemperanza al D.M. del 17.01.2018 (Norme tecniche per le costruzioni), i calcoli sono condotti con il metodo semiprobabilistico agli Stati Limite.

4.1.1. Combinazioni di carico

Le combinazioni di carico, considerate ai fini delle verifiche, sono stabilite in modo da garantire la sicurezza in conformità a quanto prescritto al Cap. 2 delle NTC. Gli stati limite ultimi delle opere interraste si riferiscono allo sviluppo di meccanismi di collasso, determinati dalla mobilitazione della resistenza del terreno, e al raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali che compongono l'opera.

I carichi sono denominati:

- Gk valore caratteristico del carico permanente, costituito dai pesi propri e dalla pressione del terreno,
- Qk valore caratteristico di carichi accidentali di tipo stradale,
- E azione sismica.

Come già anticipato, le verifiche sono tutte effettuate nei riguardi degli stati limite ultimi SLU, sismici SLV e di esercizio SLE. Gli stati limite introducono dei coefficienti moltiplicativi γ sulle azioni di calcolo, generalmente maggiori dell'unità.

Parimenti per le resistenze dei materiali si introducono dei coefficienti riduttivi applicati alle resistenze dei materiali.

Combinazione fondamentale agli SLU

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \sum_{i>1} \psi_{0i} \cdot Q_{ki}$$

Combinazione sismica SLV

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

Combinazione agli SLE

Ai fini delle verifiche degli stati limite di esercizio (fessurazione/stato tensionale) si definiscono le seguenti combinazioni:

$$\text{Frequente} \Rightarrow G_1 + G_2 + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \sum_i \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$$

$$\text{Quasi permanente} \Rightarrow G_1 + G_2 + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \sum_i \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$$

$$\text{Rara} \Rightarrow G_1 + G_2 + Q_{k1} + \sum_i \psi_{0i} \cdot Q_{ki}$$

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 389 TRONCO VILLANOVA – LANUSEI – TORTOLÌ</p> <p>LOTTO BIVIO VILLAGRANDE – SVINCOLO DI ARZANA</p> <p>DAL Km 51+100,00 DELLA S.S. 389 VAR AL Km 177+930,00 DELLA S.S. 389</p> <p>Galleria artificiale GA03 - Relazione di calcolo</p>	<p>File: T00_GA03_OST_RE01_A</p> <p>Data: Agosto 2020</p> <p>Pag. 17 di 67</p>
---	--

4.1.2. Programma di calcolo

L'analisi strutturale è stata svolta con il programma di calcolo Sap2000 v.21 della CSI, un software agli elementi finiti per l'analisi strutturale che permette di eseguire analisi lineari e non lineari di strutture bidimensionali e tridimensionali.

Il software prevede 5 fasi per il calcolo delle strutture:

1. definizione della geometria,
2. definizione ed assegnazione dei materiali e proprietà degli elementi strutturali,
3. applicazione dei carichi e creazione della loro combinazione,
4. esecuzione dell'analisi,
5. rappresentazione dei risultati.

Viene analizzata ciascun'opera, al fine di analizzare la differente geometria e copertura di terreno presente. La struttura viene simulata secondo un modello ad elementi finiti bidimensionale costituito da elementi beam, definiti sulla linea d'asse della carpenteria di rivestimento, di spessore pari allo spessore corrente nella sezione. La discretizzazione utilizzata comporta elementi di lunghezza approssimativamente 0.4-0.5 m in funzione della geometria dello scatolare in oggetto, in modo da ottenere un nodo nella mezzera di ciascun beam.

Per la modellazione del terreno si utilizzano:

- molle non lineari reagenti a sola compressione, applicate agli elementi beam di soletta inferiore e piedritti,
- molle lineari lungo la soletta inferiore (per evitare spostamenti orizzontali in quanto la struttura è confinata dal terreno) di modulo di rigidezza pari a 3300 kN/m³ (dimensione arbitraria successivamente verificata valutando che le forze generate sulla struttura siano inferiori a tale valore).

Un attento esame preliminare della documentazione a corredo del software ha consentito di valutarne l'affidabilità e soprattutto l'idoneità al caso specifico. La documentazione, fornita dal produttore e distributore del software, contiene una esauriente descrizione delle basi teoriche e degli algoritmi impiegati, l'individuazione dei campi d'impiego, nonché casi prova interamente risolti e commentati, corredati dei file di input necessari a riprodurre l'elaborazione. CSI (Computers and Structures, Inc.), quale produttore del software, ha verificato l'affidabilità e la robustezza del codice di calcolo attraverso un numero significativo di casi prova in cui i risultati dell'analisi numerica sono stati confrontati con soluzioni teoriche. E' possibile reperire la documentazione contenente alcuni dei più significativi casi trattati al seguente link: <http://www.csi-italia.eu/software/sap2000/manuali-in-italiano>.

L'analisi strutturale viene effettuata con il metodo degli elementi finiti. Il metodo sopraindicato si basa sulla schematizzazione della struttura in elementi connessi solo in corrispondenza di un numero prefissato di punti denominati nodi. I nodi sono definiti dalle tre coordinate cartesiane in un sistema di riferimento globale. Le incognite del problema (nell'ambito del metodo degli spostamenti) sono le componenti di spostamento dei nodi riferite al sistema di riferimento globale (traslazioni secondo X, Y, Z, rotazioni attorno X, Y, Z). La soluzione del problema si ottiene con un sistema di equazioni algebriche lineari i cui termini noti sono costituiti dai carichi agenti sulla struttura opportunamente concentrati ai nodi:

$$K * u = F$$

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 389 TRONCO VILLANOVA – LANUSEI – TORTOLÌ</p> <p>LOTTO BIVIO VILLAGRANDE – SVINCOLO DI ARZANA</p> <p>DAL Km 51+100,00 DELLA S.S. 389 VAR AL Km 177+930,00 DELLA S.S. 389</p> <p>Galleria artificiale GA03 - Relazione di calcolo</p>	<p>File: T00_GA03_OST_RE01_A</p> <p>Data: Agosto 2020</p> <p>Pag. 18 di 67</p>
---	--

dove K = matrice di rigidezza, u = vettore spostamenti nodali e F = vettore forze nodali.

Dagli spostamenti ottenuti con la risoluzione del sistema vengono quindi dedotte le sollecitazioni e/o le tensioni di ogni elemento, riferite generalmente ad una terna locale all'elemento stesso. Il sistema di riferimento utilizzato è costituito da una terna cartesiana destrorsa XYZ. Si assume l'asse Z verticale ed orientato verso l'alto.

Modalità di presentazione dei risultati

La presente relazione illustra in modo esaustivo i dati in ingresso e i risultati delle analisi in forma tabellare seguendo tale ordine:

1. modello solido della struttura,
2. geometria 2D e numerazione degli elementi,
3. configurazioni di carico statiche,
4. configurazioni di carico sismiche,
5. combinazioni di carico,
6. diagrammi e involucri delle sollecitazioni,
7. verifica degli elementi,
8. Incidenza delle armature previste.

Informazioni generali sull'elaborazione e giudizio motivato di accettabilità dei risultati

I risultati delle elaborazioni sono stati sottoposti a controlli che ne comprovano l'attendibilità attraverso:

- il contro calcolo manuale delle situazioni elementari approssimabili a quelle modellate,
- il confronto con i risultati di progetti simili.

Inoltre, sulla base di considerazioni riguardanti gli stati tensionali e deformativi determinati, si è valutata la validità delle scelte operate in sede di schematizzazione e di modellazione della struttura e delle azioni.

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 389 TRONCO VILLANOVA – LANUSEI – TORTOLÌ</p> <p>LOTTO BIVIO VILLAGRANDE – SVINCOLO DI ARZANA</p> <p>DAL Km 51+100,00 DELLA S.S. 389 VAR AL Km 177+930,00 DELLA S.S. 389</p> <p>Galleria artificiale GA03 - Relazione di calcolo</p>	<p>File: T00_GA03_OST_RE01_A</p> <p>Data: Agosto 2020</p> <p>Pag. 19 di 67</p>
---	--

4.2 PARAMETRI GEOTECNICI PER IL CALCOLO DELLE STRUTTURE

Per quanto riguarda l'inquadramento generale dei terreni interessati dall'opera in oggetto, il quadro delle indagini geotecniche eseguite e la stratigrafia di progetto, si rimanda al documento "Relazione Geotecnica Generale".

Per le caratteristiche geo-meccaniche del terreno si sono assunte le seguenti quantità:

- Peso proprio terreno $\gamma_t = 20 \text{ KN/m}^3$,
- Angolo di attrito interno $\phi = 35^\circ$,
- Coesione $c = 0 \text{ kPa}$,
- Modulo di Young:
 - Sopra la fondazione pari a 30 MPa,
 - Sotto la fondazione pari a 1250 MPa.

Il coefficiente di spinta a riposo usato per il calcolo delle spinte del terreno vale: $K_0 = 1 - \sin\phi = 0.426$

Il modello del terreno di fondazione si assume essere secondo la teoria di Winkler e si considera la seguente metodologia per il calcolo dei valori del modulo di sottofondo:

- per la soletta superiore ed i paramenti verticali $k = \frac{E'}{B(1-v^2)} i$
- per la soletta inferiore $k = \frac{E'}{B(1-v^2)c_t} i$

con:

B = lunghezza del tratto rettilineo di carpenteria. Per l'arco rovescio è pari alla dimensione trasversale totale, trascurandone la curvatura

i = interasse tra le bielle

v = coefficiente di Poisson

E' = modulo elastico del mezzo di contorno

c_t = coefficiente di forma della fondazione; relazioni cfr. Bowles (1960), con L = lato maggiore della fondazione:

$$\text{Fondazione rettangolare con } L/B \leq 10 \quad c_t = 0.853 + 0.534 \ln\left(\frac{L}{B}\right)$$

$$\text{Fondazione rettangolare con } L/B > 10 \quad c_t = 2 + 0.0089 \frac{L}{B}$$

Per L si intende il lato maggiore, longitudinale; B il lato minore, trasversale. Per i piedritti, di altezza B , si considera una altezza pari a $B/2$, per considerare la presenza di spinte non uniformi e tendenzialmente triangolari.

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 389 TRONCO VILLANOVA – LANUSEI – TORTOLÌ</p> <p>LOTTO BIVIO VILLAGRANDE – SVINCOLO DI ARZANA</p> <p>DAL Km 51+100,00 DELLA S.S. 389 VAR AL Km 177+930,00 DELLA S.S. 389</p> <p>Galleria artificiale GA03 - Relazione di calcolo</p>	<p>File: T00_GA03_OST_RE01_A</p> <p>Data: Agosto 2020</p> <p>Pag. 20 di 67</p>
---	--

Tratto 1 NON finestrato

Lunghezza fondazione	L =	52.00 m
Larghezza fondazione	B =	19.78 m
Lunghezza piedritto	L =	52.00 m
Altezza piedritto	B =	10.88 m

RIGIDEZZE MOLLE	
E sotto fondazione (MPa)	1250
v	0.2
L (m)	52.00
B (m)	19.78
L/B	2.63
ct	1.37
$k_{sol.inf} = E / (B \cdot c_t \cdot (1 - v^2))$ (kN/m ³)	48'080

Tabella 1- Rigidezza delle molle sulla soletta di fondazione del Tratto 1 non finestrato

RIGIDEZZE MOLLE	
E sotto fondazione (MPa)	30.00
v	0.30
L (m)	52.00
B (m)	10.88
L/B	-
ct	-
$k_{piedritti} = E / (B/2 \cdot (1 - v^2))$ (Mpa)	6060.00

Tabella 2- Rigidezza delle molle sui piedritti del Tratto 1 non finestrato

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 389 TRONCO VILLANOVA – LANUSEI – TORTOLÌ</p> <p>LOTTO BIVIO VILLAGRANDE – SVINCOLO DI ARZANA</p> <p>DAL Km 51+100,00 DELLA S.S. 389 VAR AL Km 177+930,00 DELLA S.S. 389</p> <p>Galleria artificiale GA03 - Relazione di calcolo</p>	<p>File: T00_GA03_OST_RE01_A</p> <p>Data: Agosto 2020</p> <p>Pag. 21 di 67</p>
---	--

Tratto 2 – finestrato

Lunghezza fondazione	L =	19.78 m*
Larghezza fondazione	B =	12.00 m*
Lunghezza piedritto	L =	12.00 m
Altezza piedritto di valle	B =	10.88 m
Altezza piedritto di monte (rinterrato)	B =	4.00 m
Larghezza del modello	b =	6.00 m

L deve sempre essere il maggiore fra L e B; in questo caso la lunghezza è inferiore alla larghezza)

RIGIDENZE MOLLE	
E sotto fondazione (MPa)	1250
v	0.2
L (m)	19.78
B (m)	12
L/B	1.65
ct	1.12
b (m)	6.00
$k \text{ sol.inf} = E / (B * c_t * (1 - v^2)) \text{ (kN/m}^3\text{)}$	96890.00
$k \text{ sol.inf}' = E / (B * c_t * (1 - v^2)) \text{ (kN/m}^3\text{)} * b$	581'340

Tabella 3- Rigidezza delle molle sulla soletta di fondazione del Tratto 2 finestrato

RIGIDENZE MOLLE PIEDRITTI monte		RIGIDENZE MOLLE PIEDRITTI valle	
E sopra fondazione (MPa)	30.00	E sopra fondazione (MPa)	30.00
v	0.30	v	0.30
L (m)	12.00	L (m)	12.00
B (m)	10.88	B (m)	4.00
b(m)	6.00	b(m)	6.00
L/B	-	L/B	-
ct	-	ct	-
$k \text{ piedritti} = E / (B / 2 * (1 - v^2)) \text{ (kN/m}^3\text{)}$	6060.00	$k \text{ piedritti} = E / (B / 2 * (1 - v^2)) \text{ (kN/m}^3\text{)}$	16480.00
$k \text{ piedritti}' = E / (B / 2 * (1 - v^2)) * b \text{ (kN/mq)}$	36'360	$k \text{ piedritti}' = E / (B / 2 * (1 - v^2)) * b \text{ (kN/mq)}$	98'880

Tabella 4- Rigidezza delle molle sui piedritti del Tratto 2 finestrato

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 389 TRONCO VILLANOVA – LANUSEI – TORTOLÌ</p> <p>LOTTO BIVIO VILLAGRANDE – SVINCOLO DI ARZANA</p> <p>DAL Km 51+100,00 DELLA S.S. 389 VAR AL Km 177+930,00 DELLA S.S. 389</p> <p>Galleria artificiale GA03 - Relazione di calcolo</p>	<p>File: T00_GA03_OST_RE01_A</p> <p>Data: Agosto 2020</p> <p>Pag. 22 di 67</p>
---	--

4.3 GEOMETRIA DELLA SEZIONE TIPO

La galleria artificiale GA03 è lunga 70 m ed è caratterizzata da 2 sezioni tipo (Figura 3 e Figura 4):

- Sezione tipo 1-1: è una sezione piena, su una lunghezza di 52 m,
- Sezione tipo 2-2: è una sezione finestrata su un lato, su una lunghezza di 12 m nella parte con due finestre e 6 m in quella con una finestra (totale 18 m).

La sezione tipo 1 sarà modellata considerando una larghezza unitaria degli elementi trave e pilastro; per la sezione tipo 2, invece, il modello di calcolo sarà fatto valutando una larghezza tale da contemplare un intero modulo di setto (centrale) + finestra; il setto centrale ha larghezza 2.00m, la finestra 4.00m, pertanto il modello ha una profondità totale di 6.00m.

Le seguenti figure presentano le varie geometrie di progetto (Figura 5, Figura 6, , Figura 7).

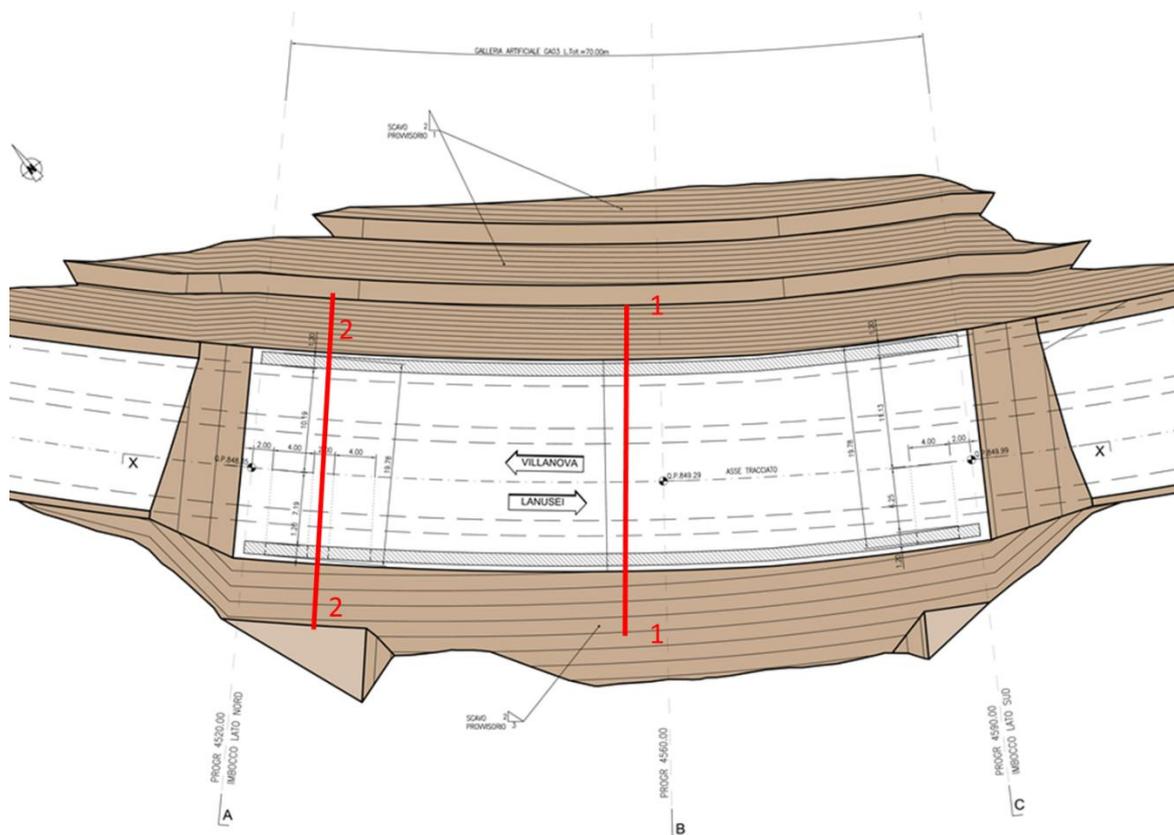


Figura 3-Pianta della GA03

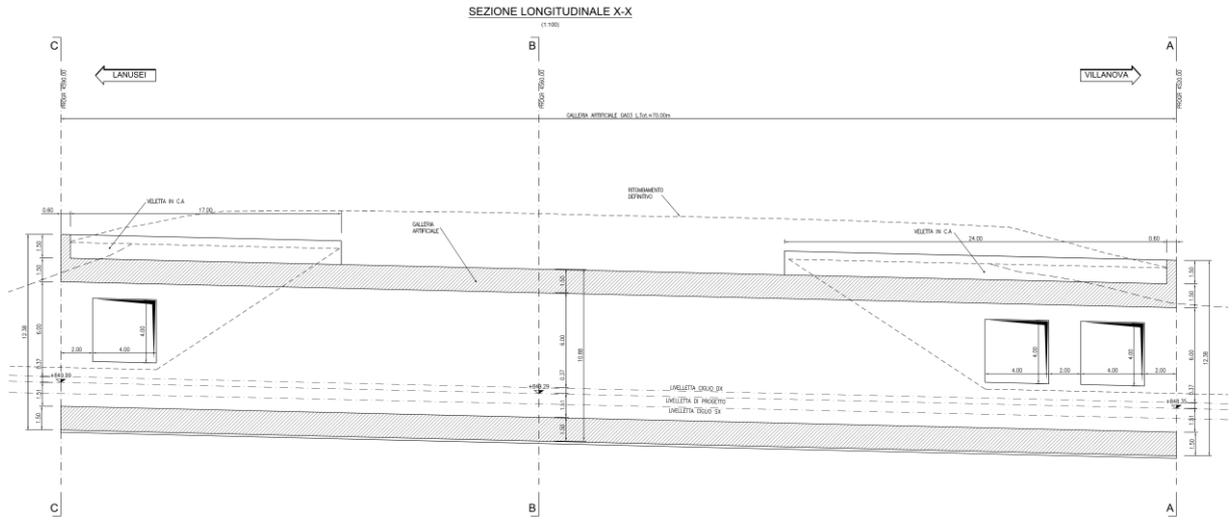


Figura 4- Sezione longitudinale della GA03

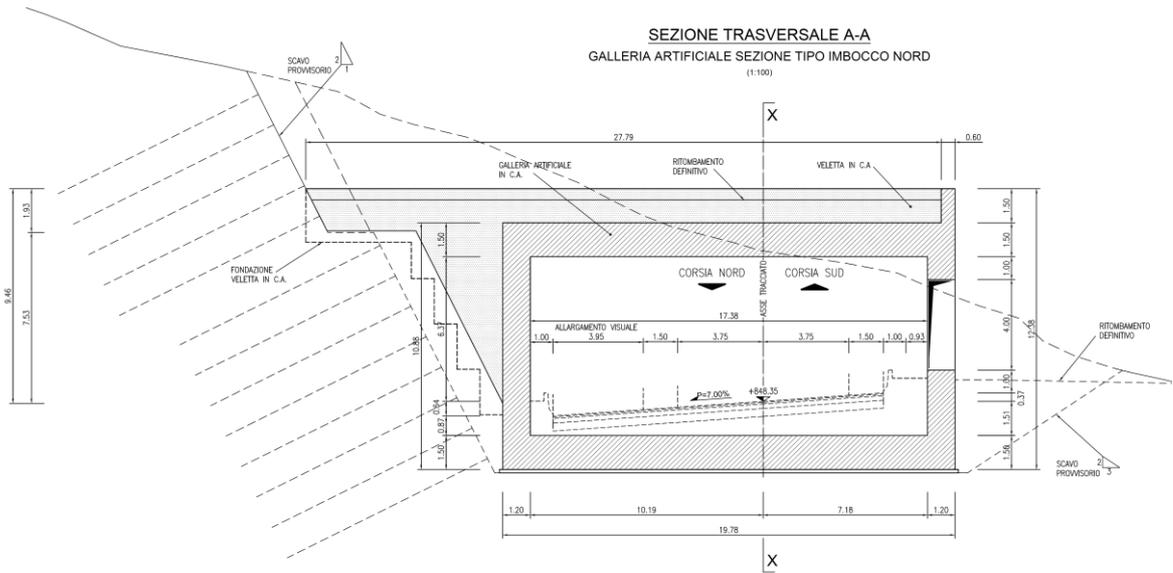


Figura 5- Sezione A-A

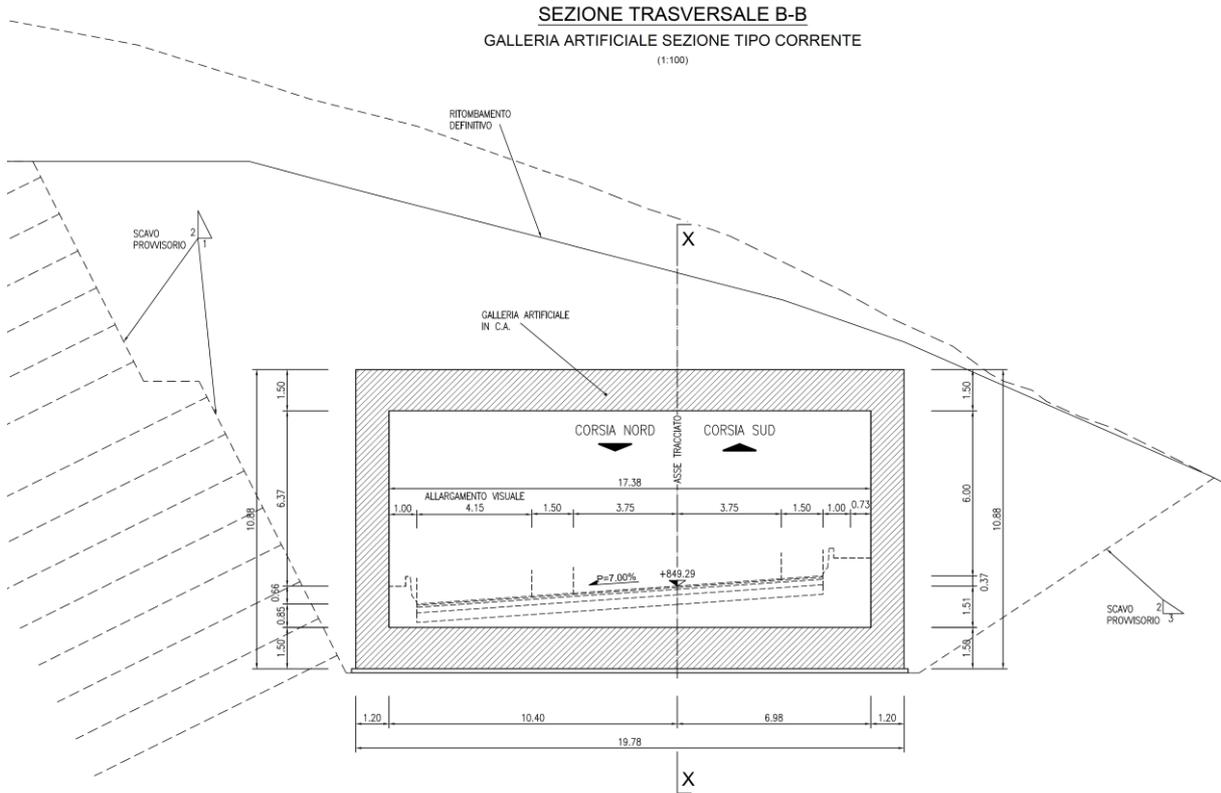


Figura 6- Sezione B-B, la medesima usata per lo scatolare di tipo 1 nel calcolo

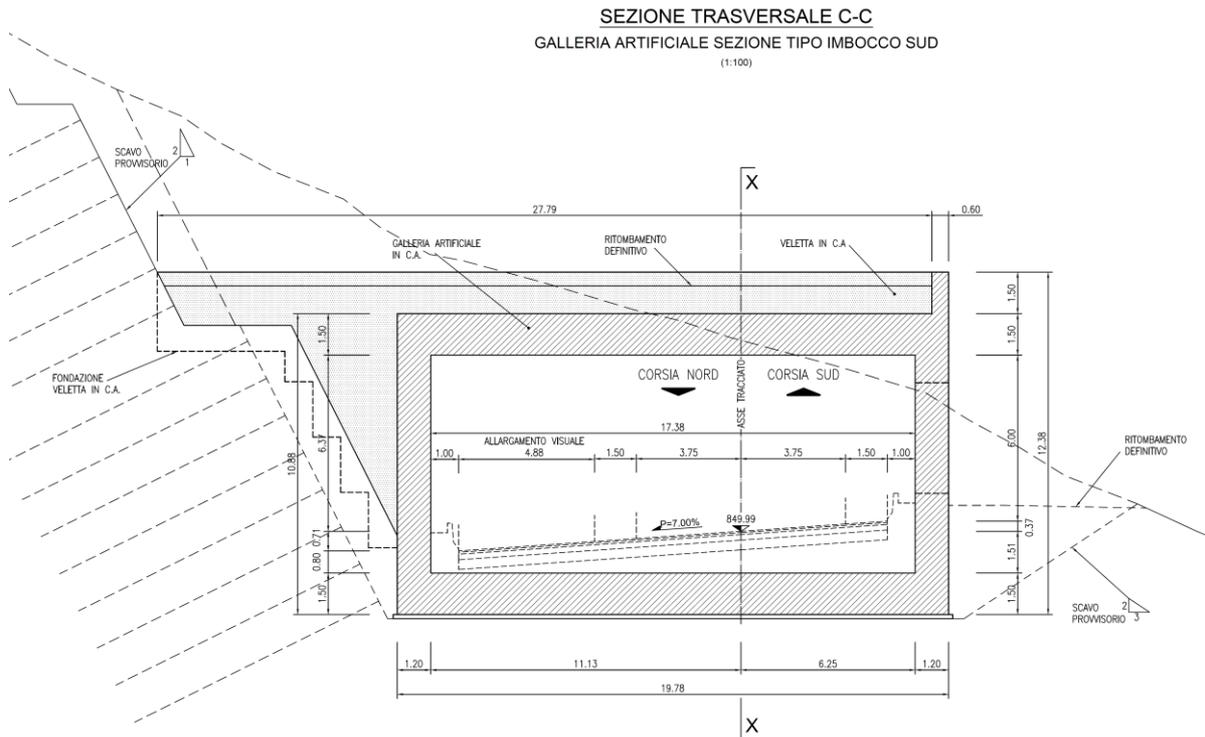


Figura 7- Sezione C-C, simile a quella usata per lo scatolare di tipo 2 nel calcolo

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 389 TRONCO VILLANOVA – LANUSEI – TORTOLI</p> <p>LOTTO BIVIO VILLAGRANDE – SVINCOLO DI ARZANA</p> <p>DAL Km 51+100,00 DELLA S.S. 389 VAR AL Km 177+930,00 DELLA S.S. 389</p> <p>Galleria artificiale GA03 - Relazione di calcolo</p>	<p>File: T00_GA03_OST_RE01_A</p> <p>Data: Agosto 2020</p> <p>Pag. 25 di 67</p>
---	--

4.3.1. Modellazione adottata

Il sistema di riferimento globale del modello viene assunto con origine degli assi in corrispondenza del centro geometrico della struttura in 2D. Gli assi del sistema di riferimento locale degli elementi beam sono rispettivamente:

- X, quello rappresentato in rosso in Figura 8,
- Z, quello rappresentato in verde ed è sempre rivolto:
 - Per la soletta superiore, verso l'esterno della struttura,
 - Per i piedritti, verso l'interno della struttura,
 - Per la soletta inferiore, verso l'interno della struttura.

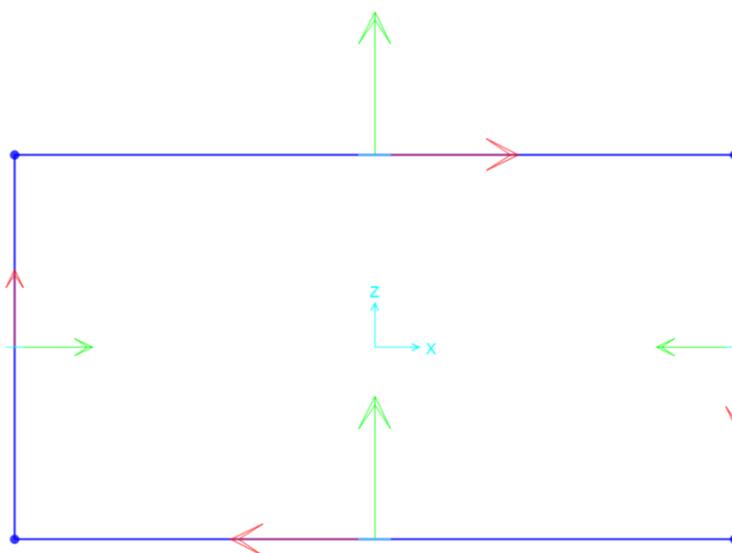


Figura 8- Posizione del sistema di riferimento globale e locale utilizzato

La modellazione strutturale è stata effettuata adottando elementi beam su una profondità di 1 metro.

Si riportano le immagini (Figura 9 e Figura 10) della modellazione adottata con analisi agli elementi finiti.

ANAS S.p.A.

S.S. 389 TRONCO VILLANOVA – LANUSEI – TORTOLI

LOTTO BIVIO VILLAGRANDE – SVINCOLO DI ARZANA

DAL Km 51+100,00 DELLA S.S. 389 VAR AL Km 177+930,00 DELLA S.S. 389

Galleria artificiale GA03 - Relazione di calcolo

File:

T00_GA03_OST_RE01_A

Data: Agosto 2020

Pag. 26 di 67

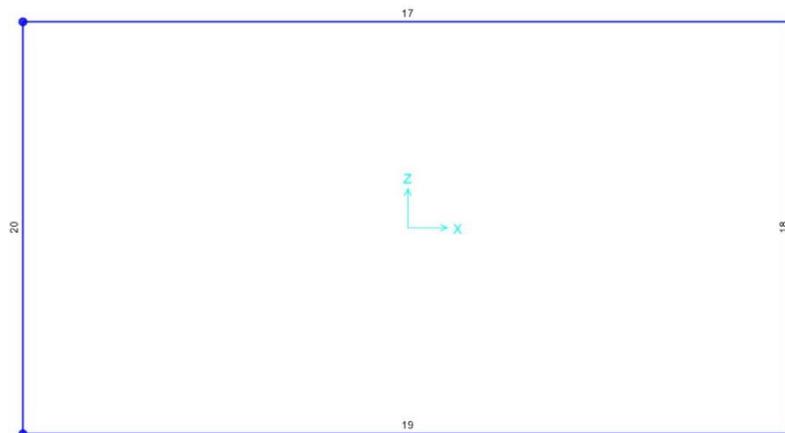
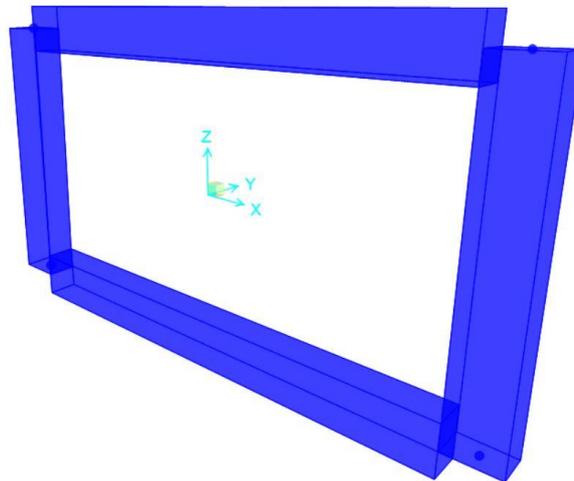


Figura 9- Scatolare tipo 1

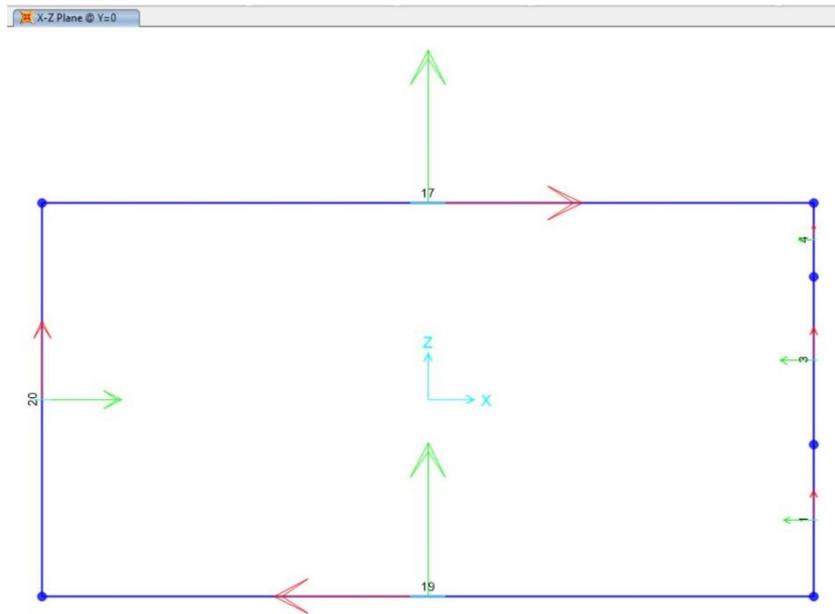
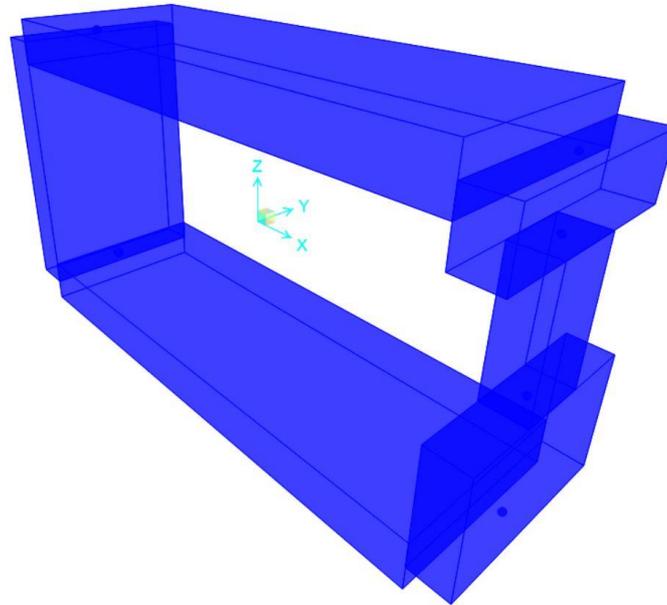


Figura 10- Sottovia Tipo 2 finestrato

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 389 TRONCO VILLANOVA – LANUSEI – TORTOLÌ</p> <p>LOTTO BIVIO VILLAGRANDE – SVINCOLO DI ARZANA</p> <p>DAL Km 51+100,00 DELLA S.S. 389 VAR AL Km 177+930,00 DELLA S.S. 389</p> <p>Galleria artificiale GA03 - Relazione di calcolo</p>	<p>File: T00_GA03_OST_RE01_A</p> <p>Data: Agosto 2020</p> <p>Pag. 28 di 67</p>
---	--

4.4 ANALISI DEI CARICHI

I nomi dei casi di carico vengono indicati di volta in volta nei sotto capitoli seguenti. I valori dei carichi indicati corrispondono ai valori caratteristici.

4.4.1. *Peso proprio strutturale*

Caso di carico: G_{pp}

Il peso proprio strutturale viene calcolato automaticamente dal programma secondo il seguente valore del peso specifico del materiale: $\gamma=25 \text{ kN/m}^3$.

4.4.2. *Carico permanente portato*

Caso di carico: $G_{\text{solettone fondazione}}$

Si è posto un carico di 20 kN/m sul solettone di fondazione pari a 1 m di materiale sopra di esso avente un $\gamma=20 \text{ kN/m}^3$.

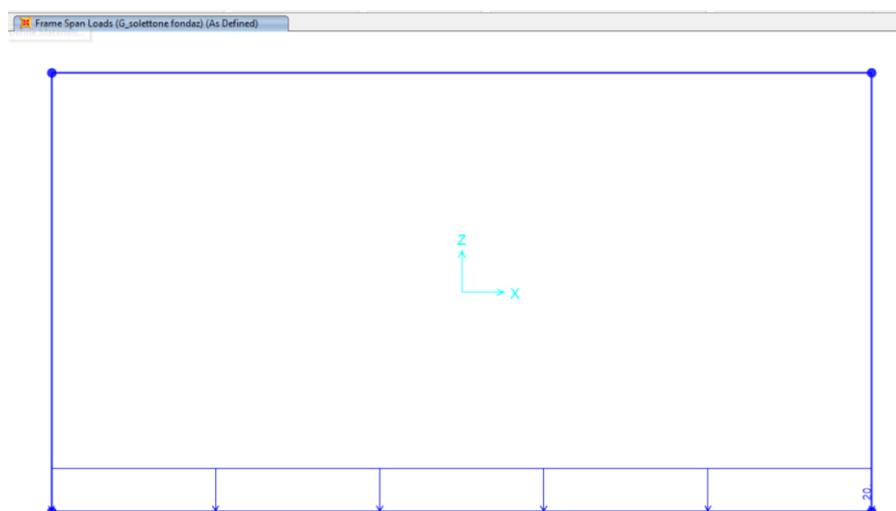


Figura 11- Carico permanente portato $G_{\text{solettone fondazione}}$

4.4.3. *Spinte sulle pareti laterali e sulle solette*

Si hanno rispettivamente la spinta del terreno e la spinta dovuta al sovraccarico stradale.

4.4.3.1 *Spinta terreno*

Caso di carico: $G_{sp \text{ terr}}$

La pressione, alla generica quota H, viene calcolata con la seguente formula: $P_z = \gamma_{\tau} * H * K_a * 1 \text{ m}$

La

Tabella 5 e la Figura 12 mostrano i risultati ottenuti. Ai fini delle combinazioni di calcolo, tale spinta viene considerata come carico permanente portato.

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 389 TRONCO VILLANOVA – LANUSEI – TORTOLÌ</p> <p>LOTTO BIVIO VILLAGRANDE – SVINCOLO DI ARZANA</p> <p>DAL Km 51+100,00 DELLA S.S. 389 VAR AL Km 177+930,00 DELLA S.S. 389</p> <p>Galleria artificiale GA03 - Relazione di calcolo</p>	<p>File: T00_GA03_OST_RE01_A</p> <p>Data: Agosto 2020</p> <p>Pag. 29 di 67</p>
---	--

pk scatolare (m)	Tipo 1	Tipo 2 finestrato
z rit.=z1 (m)	5.75	5
k0=1-sin(φ) (-)	0.426	0.426
Srit=γ *z rit*b m (kN/m)	100	600 (sx) e 120 (dx)
h (m)	9.38	9.35
CASO CON FALDA DALL'ASSE SOLETTA SUP.		
G_sp terr,1=γ *z rit*k0*b m (kN/m)	49	295 (lato non fin)
G_sp terr,2=γ *z2*k0*b m (kN/m)	89	684 (lato non fin)
CASO SENZA FALDA.		
G_sp terr,1=γ *z rit*k0*1 m (kN/m)	49	295 (lato non fin)
G_sp terr,2=γ *z2*k0*1 m (kN/m)	130	780 (lato non fin)

Tabella 5- Spinta del terreno

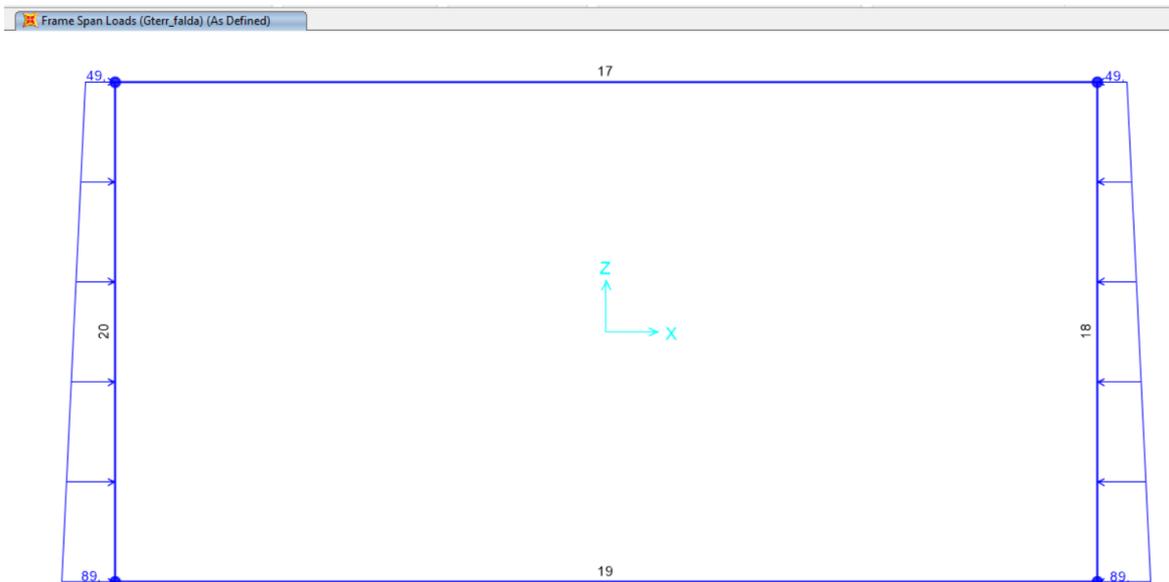


Figura 12- Spinta statica del terreno del tratto tipo 1

4.4.3.2 Peso ritombamento

Caso di carico: G_ritomb

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 389 TRONCO VILLANOVA – LANUSEI – TORTOLI</p> <p>LOTTO BIVIO VILLAGRANDE – SVINCOLO DI ARZANA</p> <p>DAL Km 51+100,00 DELLA S.S. 389 VAR AL Km 177+930,00 DELLA S.S. 389</p> <p>Galleria artificiale GA03 - Relazione di calcolo</p>	<p>File: T00_GA03_OST_RE01_A</p> <p>Data: Agosto 2020</p> <p>Pag. 30 di 67</p>
---	--

Si sono considerati i seguenti ricoprimenti:

- Scatolare di tipo 1: 6 m,
- Scatolare di tipo 2 finestrato: 5 m lato monte (non finestrato) e 1 m lato valle (finestrato).

Il carico nel modello nella Figura 13.

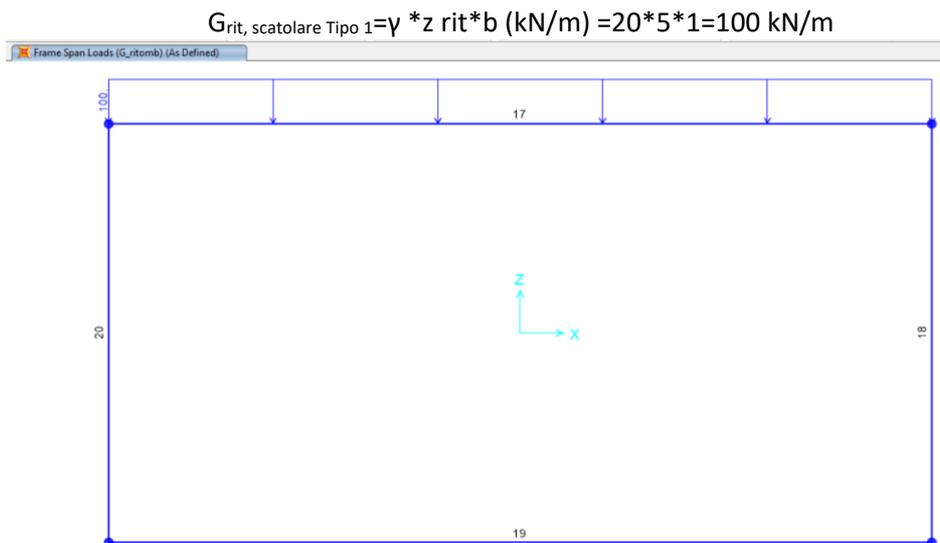


Figura 13- Carico tipico da ritombamento per la sezione tipo 1

Per lo scatolare finestrato si considera pertanto un carico triangolare, con valore massimo in corrispondenza del piedritto di monte. Come già descritto in precedenza, il modello di calcolo è relativo ad una profondità di 6.0m di galleria; pertanto i carichi applicati sui frame del modello di calcolo vengono amplificati per 6.

$$G_{rit, \text{scatolare Tipo 2 finestrato, max}} = \gamma * z_{rit} * b \text{ (kN/m)} = 20 * 5 * 6 = 600 \text{ kN/m}$$

$$G_{rit, \text{scatolare Tipo 2 finestrato, min}} = \gamma * z_{rit} * b \text{ (kN/m)} = 20 * 1 * 6 = 120 \text{ kN/m}$$

4.4.3.3 Spinte e sotto-spinta idraulica

La falda risulta a livelli diversi su ciascuna sezione di calcolo:

- Tipo 1: a fine di sicurezza è stata posta a livello dell'asse della soletta superiore (Figura 14),
- Tipo 2 finestrato: a fine di sicurezza è stata posta a livello dell'apertura inferiore della finestra (Figura 15).

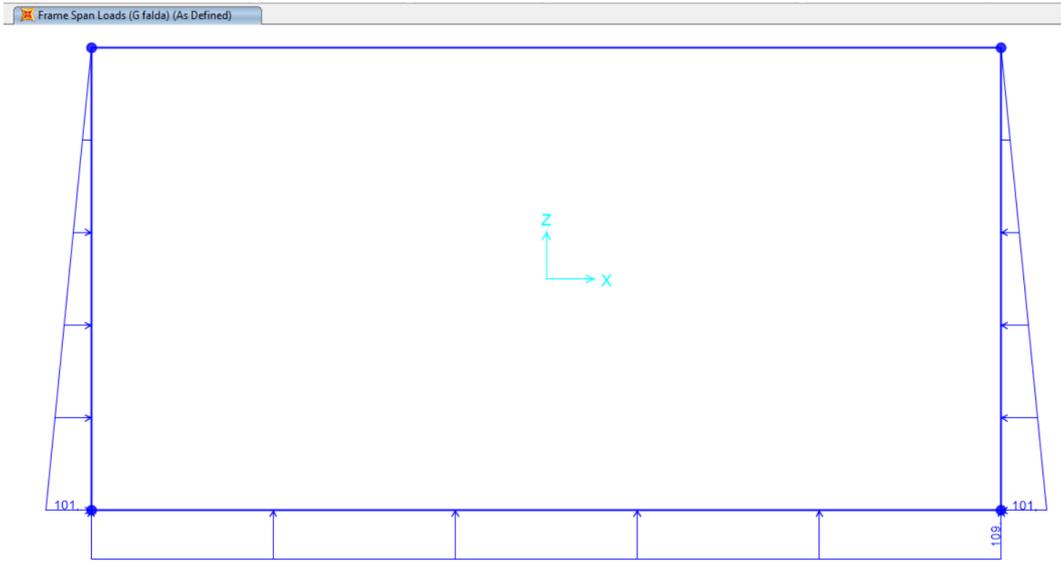


Figura 14- Carico dell'acqua per la sezione tipo 1

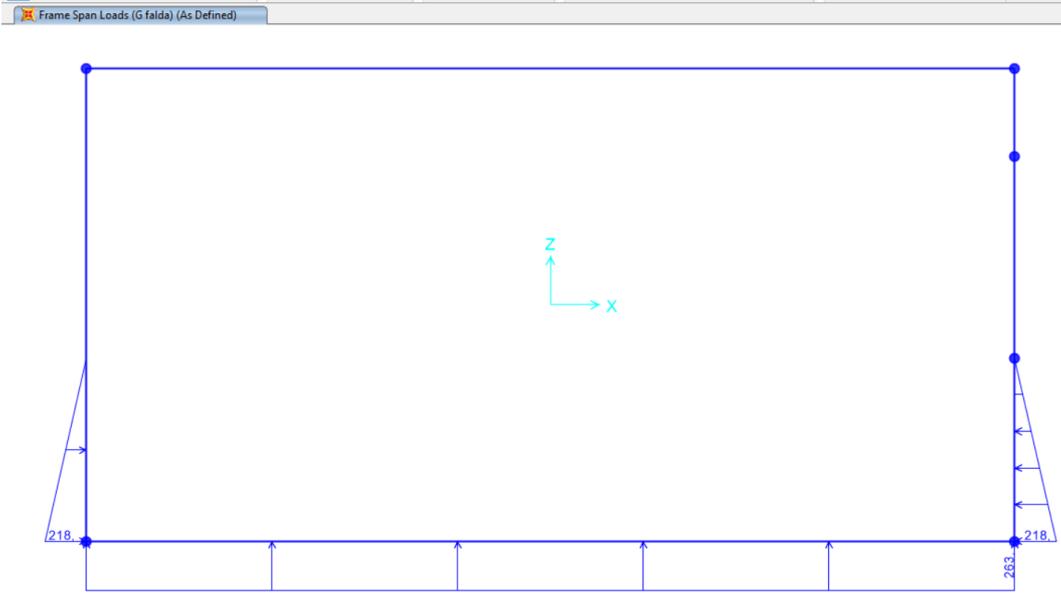


Figura 15- Carico dell'acqua per la sezione tipo 2 fenestrato

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 389 TRONCO VILLANOVA – LANUSEI – TORTOLÌ</p> <p>LOTTO BIVIO VILLAGRANDE – SVINCOLO DI ARZANA</p> <p>DAL Km 51+100,00 DELLA S.S. 389 VAR AL Km 177+930,00 DELLA S.S. 389</p> <p>Galleria artificiale GA03 - Relazione di calcolo</p>	<p>File: T00_GA03_OST_RE01_A</p> <p>Data: Agosto 2020</p> <p>Pag. 32 di 67</p>
---	--

4.4.3.4 Sovraccarico stradale

4.4.3.5 Sovraccarico stradale sulle solette

Casi di carico: Qstrad, sol e Qveic int

Sono stati applicati i carichi veicolari:

- Sulla soletta superiore: Q_strada sup di 10 kN/m
- Sulla soletta inferiore: Q_veic di 20 kN/m

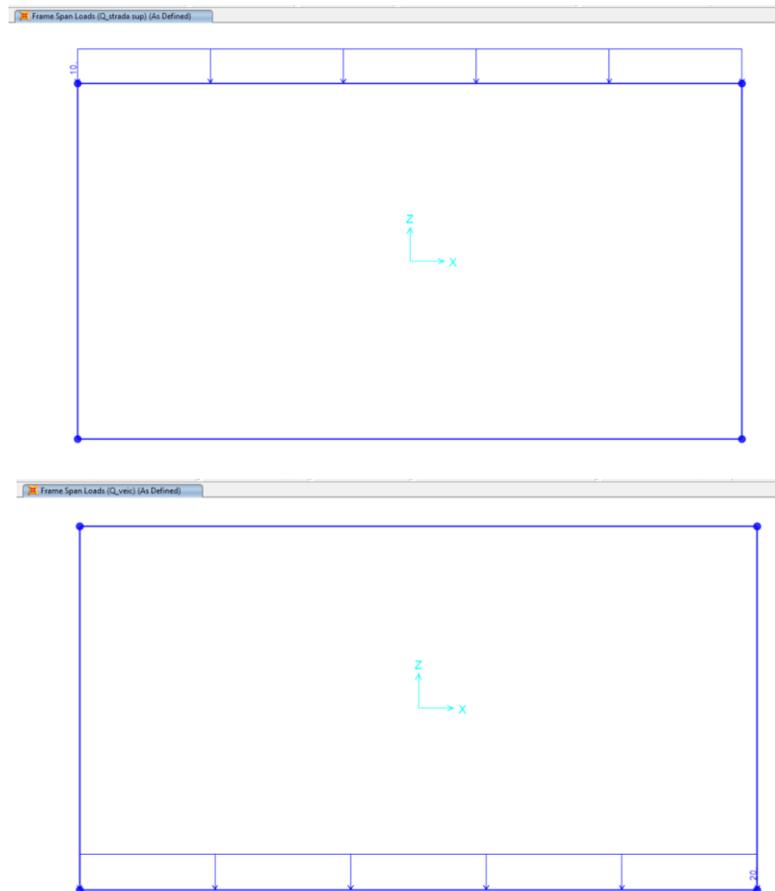


Figura 16- Carico veicolare superiore Q_strad sup (a sinistra) e rico veicolare interno Q_veic_int (a destra)

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 389 TRONCO VILLANOVA – LANUSEI – TORTOLI</p> <p>LOTTO BIVIO VILLAGRANDE – SVINCOLO DI ARZANA</p> <p>DAL Km 51+100,00 DELLA S.S. 389 VAR AL Km 177+930,00 DELLA S.S. 389</p> <p>Galleria artificiale GA03 - Relazione di calcolo</p>	<p>File: T00_GA03_OST_RE01_A</p> <p>Data: Agosto 2020</p> <p>Pag. 33 di 67</p>
---	--

4.4.4. Ritiro e viscosità

Caso di carico: G1_ritiro

Il carico viene applicato alla sola soletta di copertura che, gettata in una seconda fase rispetto alla parte inferiore dell'edificio, avendo deformazione impedita dai muri, è soggetta a coazioni di trazione dovute al ritiro.

Il fenomeno viene modellato attraverso l'applicazione di un carico termico negativo uniforme che fornisce il medesimo stato di coazione dovuto al fenomeno di ritiro. Si applica quindi un carico termico equivalente pari a: $\Delta T_{eq} = \frac{\varepsilon_{cs}}{\alpha_T}$

con : $\varepsilon_{cs}(t, t_0) = \varepsilon_{cd} + \varepsilon_{ca}$ = deformazione da ritiro finale, ovvero autogeno e di essiccamento (a lungo termine)

$$\alpha_T = \text{coefficiente di dilatazione termica del calcestruzzo} = 10^{-5}$$

Secondo quanto indicato nel §4.1.1.1 delle NTC 2018, per la determinazione degli effetti del ritiro e delle azioni termiche si considerano rigidzze ridotte per tener conto in modo approssimato della fessurazione. In particolare, per gli SLU si assume che la rigidzza della sezione fessurata sia il 50% di quella interamente reagente; per gli SLE, una rigidzza pari al 75% di quella piena.

Conviene ridurre la rigidzza in modo equivalente applicando il coefficiente riduttivo sopra indicato al delta termico invece che al modulo elastico, in quanto il comportamento è lineare. Ciò nel seguito viene implementato tramite i coefficienti di combinazione.

L'analisi delle sollecitazioni viene svolta per una striscia di larghezza unitaria assumendo:

$$h_0 = 2 \times A/u \text{ (m)}$$

dove h0 rappresenta la dimensione fittizia ai fini della valutazione.

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 389 TRONCO VILLANOVA – LANUSEI – TORTOLÌ</p> <p>LOTTO BIVIO VILLAGRANDE – SVINCOLO DI ARZANA</p> <p>DAL Km 51+100,00 DELLA S.S. 389 VAR AL Km 177+930,00 DELLA S.S. 389</p> <p>Galleria artificiale GA03 - Relazione di calcolo</p>	<p>File: T00_GA03_OST_RE01_A</p> <p>Data: Agosto 2020</p> <p>Pag. 34 di 67</p>
---	--

Deformazione da ritiro:

calcestruzzo: C30/37

umidità relativa: U.R. = 60%

$$k_h=0.7$$

$$\varepsilon_{cd}(t=0) = \varepsilon_{cd,0} = 0.51 \text{ ‰}$$

$$\varepsilon_{cd}(t=\infty) = k_h * \varepsilon_{cd,0} = 0.7 \times 0.51 \text{ ‰} = 0.35 \text{ ‰}$$

$$\varepsilon_{ca}(t=\infty) = 2.5 (f_{ck} - 10) * 10^{-6} = 2.5 \times (0.83 \times 30 - 10) \times 10^{-6} = 0.052 \text{ ‰}$$

$$\varepsilon_{cs} = \varepsilon_{ca} + \varepsilon_{cd} = 0.406 \text{ ‰}$$

$$\Phi(\infty, t_0) = \text{media}(\Phi_{3 \text{ giorni}}, \Phi_{7 \text{ giorni}}) = \text{media}(2.55; 2.8) = 2.55$$

Il ritiro viene considerato nel calcolo delle sollecitazioni come un'azione termica applicata alla soletta superiore di intensità (Figura 17) pari a:

$$G_{ritiro} = \Delta T = - \varepsilon_{cs} / (\alpha_T * (1 + \Phi)) = - 0.406 \text{ ‰} / [10^{-5} * (1 + 2.55)] \approx -11 \text{ °C}$$



Figura 17- Carico del ritiro e viscosità

4.4.5. Carico termico giornaliero

Caso di carico: Qgio_+5 e Qgio_-5

Si considera una variazione termica giornaliera $\Delta T = \pm 5 \text{ °C}$, applicata tra intradosso ed estradosso della sezione nei piedritti e nella soletta superiore. In SAP2000 il gradiente termico viene applicato in funzione dello spessore dell'elemento frame. Pertanto, per ottenere un ΔT giornaliero pari a $\pm 5 \text{ °C}$ (Figura 18) e considerando le sezioni degli elementi in oggetto di spessore minore, ovvero i piedritti, pari a 1.2 m, si è applicato un gradiente:

$$\Delta T^* = \Delta T / s = \pm 5 / 1.2 = \pm 4.2 \text{ °C/m}$$

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 389 TRONCO VILLANOVA – LANUSEI – TORTOLÌ</p> <p>LOTTO BIVIO VILLAGRANDE – SVINCOLO DI ARZANA</p> <p>DAL Km 51+100,00 DELLA S.S. 389 VAR AL Km 177+930,00 DELLA S.S. 389</p> <p>Galleria artificiale GA03 - Relazione di calcolo</p>	<p>File: T00_GA03_OST_RE01_A</p> <p>Data: Agosto 2020</p> <p>Pag. 35 di 67</p>
---	--

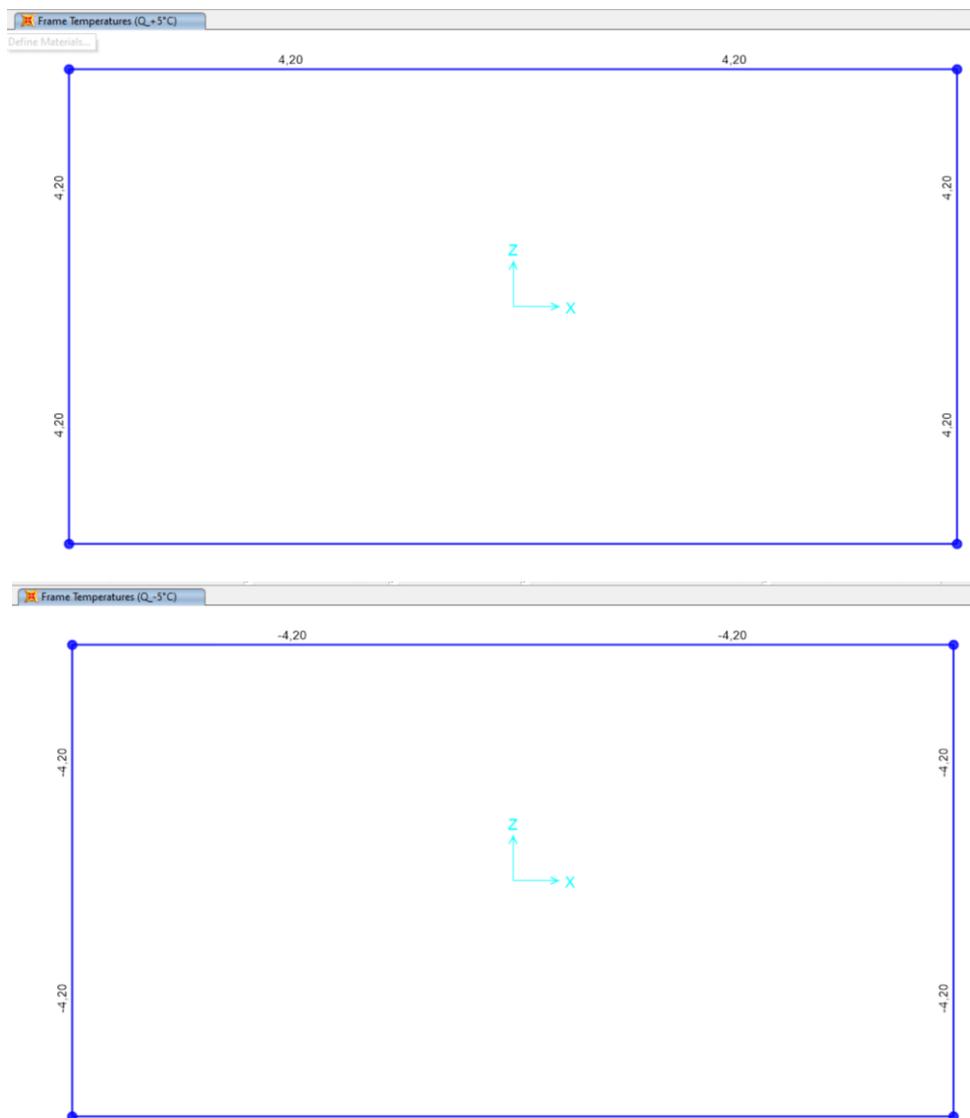


Figura 18- Carico termico giornaliero $\pm 5^{\circ}\text{C}$ sullo spessore del rivestimento

4.4.6. Carico termico stagionale

Caso di carico: Q_{stag_+10} e Q_{stag_-10}

Si fa riferimento alle NTC 2018 – § 3.5.5 “Azioni termiche sugli edifici”. Si tiene conto della sola componente uniforme dell’azione termica, ricavata dalla Tab. 3.5.II.

Per quanto riguarda la variazione stagionale, si considera un carico termico uniforme $T = \pm 10^{\circ}\text{C}$ (Figura 19).



Figura 19- Carico termico stagionale $\pm 10^{\circ}\text{C}$

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 389 TRONCO VILLANOVA – LANUSEI – TORTOLÌ</p> <p>LOTTO BIVIO VILLAGRANDE – SVINCOLO DI ARZANA</p> <p>DAL Km 51+100,00 DELLA S.S. 389 VAR AL Km 177+930,00 DELLA S.S. 389</p> <p>Galleria artificiale GA03 - Relazione di calcolo</p>	<p>File: T00_GA03_OST_RE01_A</p> <p>Data: Agosto 2020</p> <p>Pag. 37 di 67</p>
---	--

4.4.7. Caratterizzazione sismica del sito

Sulla base dell'andamento dei valori della velocità delle onde di taglio ricavati dai risultati delle prove "down – hole" effettuate nei primi 30 m dal p.c., si ottiene una categoria di sottosuolo B. I parametri sismici sono calcolati con le formule da normativa ed i risultati sono visibili nella Tabella 6.

Vita nominale per costruzioni con livelli di prestazione ordinari V_N (anni)	50
Coefficiente d'uso C_U (-)	2
Periodo di riferimento: $V_R = V_N \times C_U$ (anni)	100
Stato limite ultimo sismico utilizzato	SLV
Probabilità di superamento associata allo stato limite sismico	10%
Periodo di ritorno: $TR = - V_R / \ln(1 - PVR)$ (anni)	949
$V_{s,30}$ (m/s)	440
Categoria di sottosuolo	B
a_g (g)	0.0599
F_0 (-)	2.976
T_c^* (s)	0.371
S_s (-)	1.2
Categoria topografica	T1
S_t (-)	1
$a_{max}/g = a_g/g * S_s * S_t$ (-)	0.07
k_h (-)	0.07
k_v (-)	0.04

Tabella 6-Parametri sismici

Il sisma è stato valutato tramite il metodo di Wood:

$$\Delta p = a_g/g * \gamma * H$$

Applicata come forza distribuita lungo la paratia.

Si ha:

$$\Delta p_h = 0.072 * 20 * 10 = 14.5 \text{ kN/mq}$$

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 389 TRONCO VILLANOVA – LANUSEI – TORTOLÌ</p> <p>LOTTO BIVIO VILLAGRANDE – SVINCOLO DI ARZANA</p> <p>DAL Km 51+100,00 DELLA S.S. 389 VAR AL Km 177+930,00 DELLA S.S. 389</p> <p>Galleria artificiale GA03 - Relazione di calcolo</p>	<p>File: T00_GA03_OST_RE01_A</p> <p>Data: Agosto 2020</p> <p>Pag. 38 di 67</p>
---	--

4.4.7.1 Carico sismico del terreno da sinistra

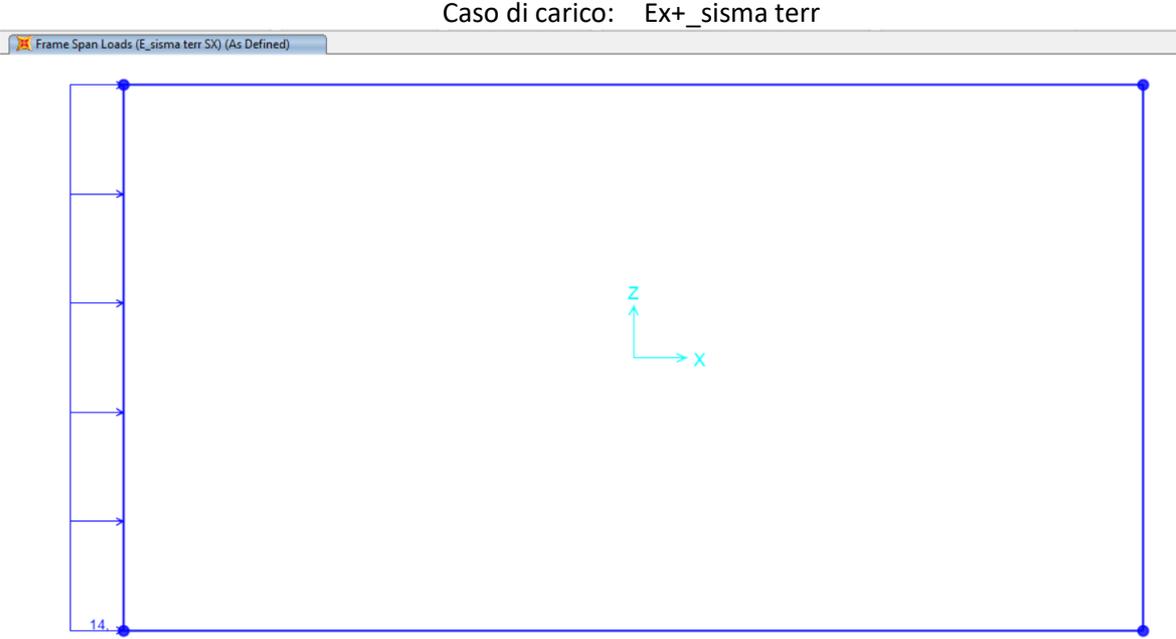


Figura 20- Carico sismico del terreno da sinistra

4.4.7.2 Carico sismico del terreno da destra

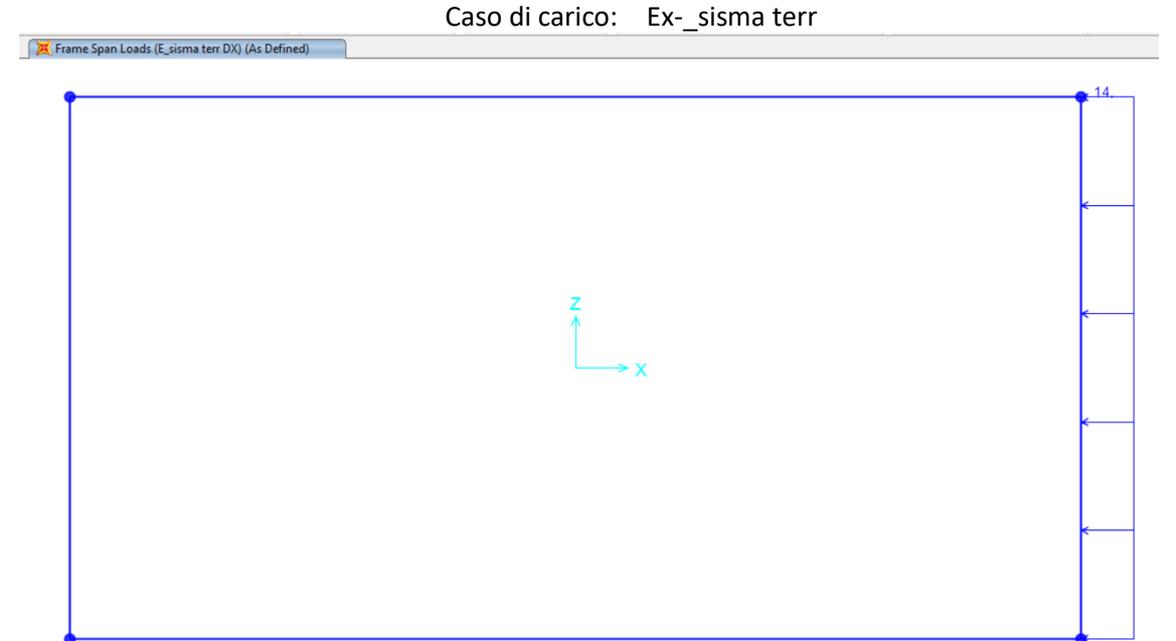


Figura 21- Carico sismico del terreno da sinistra

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 389 TRONCO VILLANOVA – LANUSEI – TORTOLÌ</p> <p>LOTTO BIVIO VILLAGRANDE – SVINCOLO DI ARZANA</p> <p>DAL Km 51+100,00 DELLA S.S. 389 VAR AL Km 177+930,00 DELLA S.S. 389</p> <p>Galleria artificiale GA03 - Relazione di calcolo</p>	<p>File: T00_GA03_OST_RE01_A</p> <p>Data: Agosto 2020</p> <p>Pag. 39 di 67</p>
---	--

4.4.7.3 Carico sismico del terreno di ritombamento

Caso di carico: Ex-_sisma rit

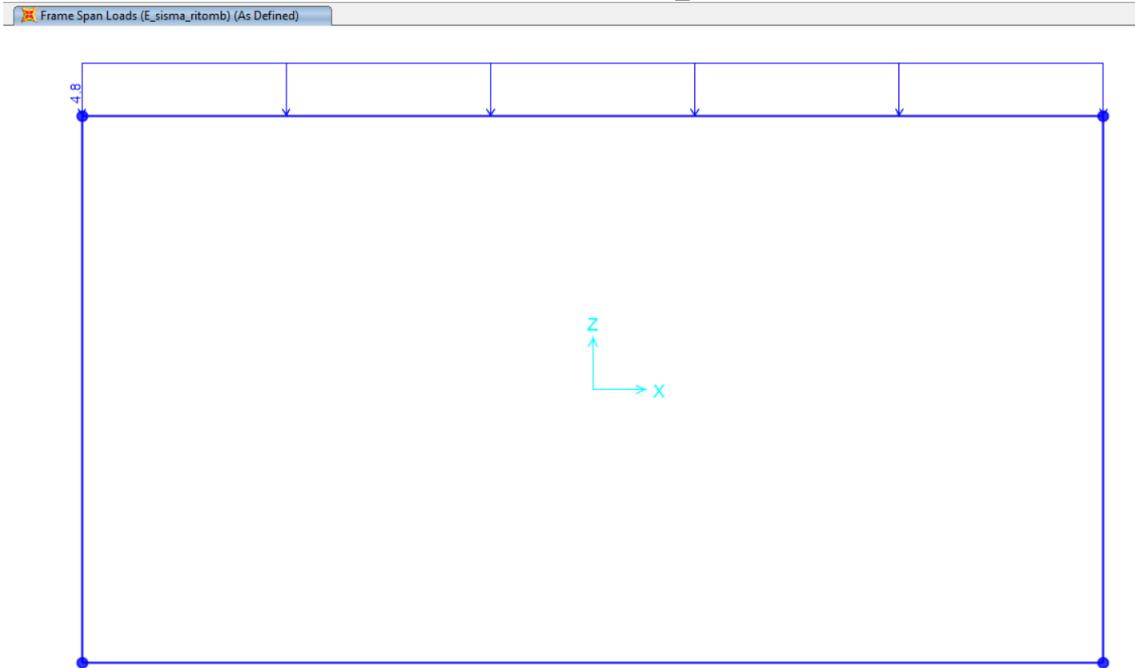


Figura 22- Carico sismico del terreno di ritombamento

4.4.7.4 Carico sismico orizzontale inerziale delle strutture (da sinistra)

Caso di carico: Ex-_sisma inerz

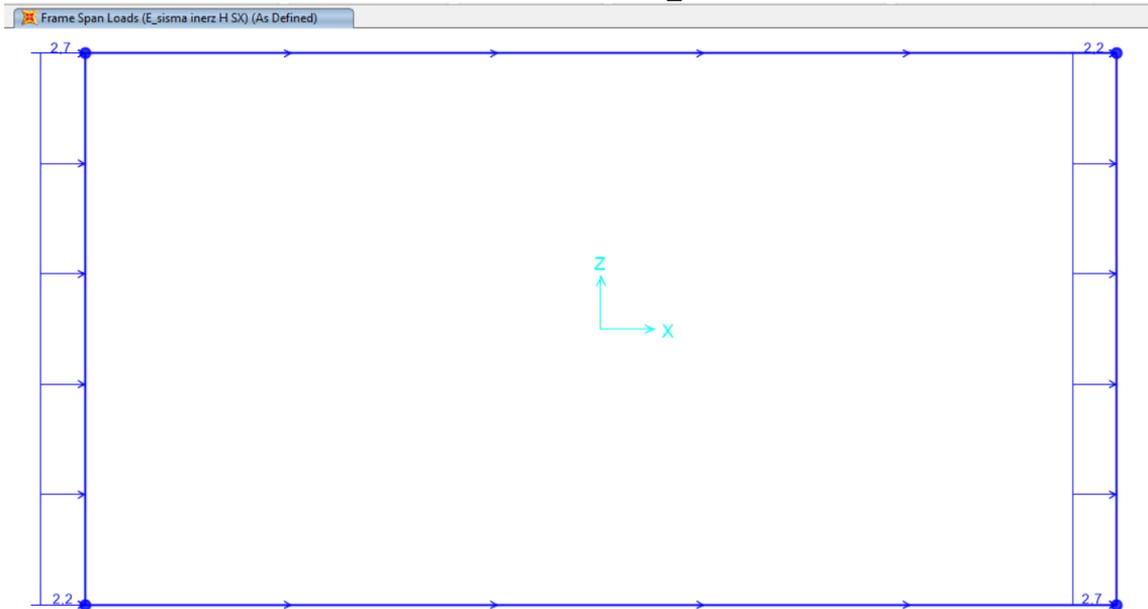


Figura 23- Carico sismico inerziale in direzione orizzontale da sinistra

$$p_{,sis,inerz} = p_p * k_h$$

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 389 TRONCO VILLANOVA – LANUSEI – TORTOLÌ</p> <p>LOTTO BIVIO VILLAGRANDE – SVINCOLO DI ARZANA</p> <p>DAL Km 51+100,00 DELLA S.S. 389 VAR AL Km 177+930,00 DELLA S.S. 389</p> <p>Galleria artificiale GA03 - Relazione di calcolo</p>	<p>File: T00_GA03_OST_RE01_A</p> <p>Data: Agosto 2020</p> <p>Pag. 40 di 67</p>
---	--

4.4.7.5 Carico sismico orizzontale inerziale delle strutture (da destra)

Caso di carico: Ex+_sisma inerz

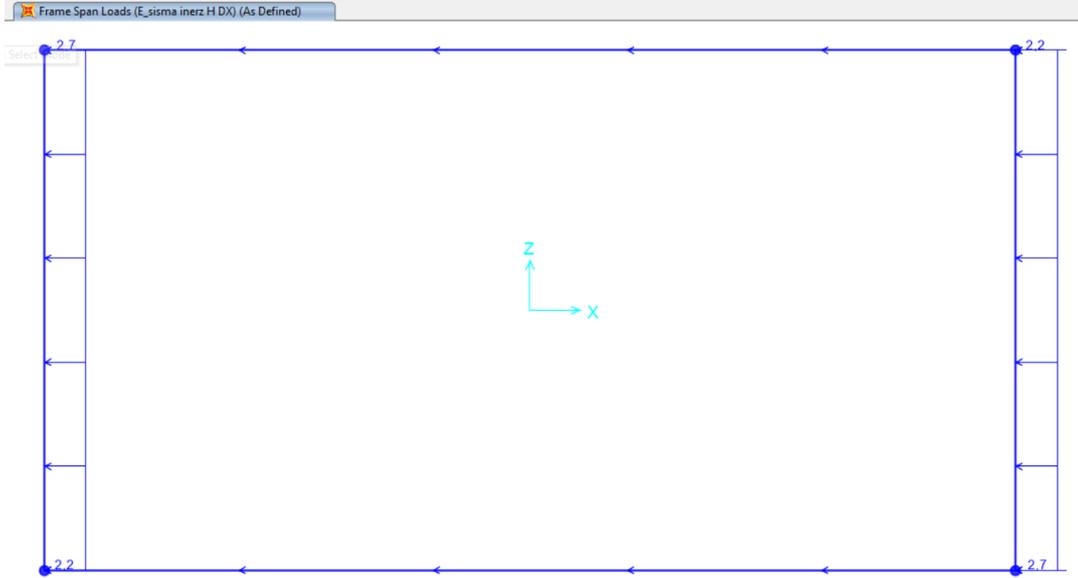


Figura 24- Carico sismico inerziale in direzione orizzontale da destra

4.4.7.6 Carico sismico verticale inerziale delle strutture

Caso di carico: Ex-_sisma rit

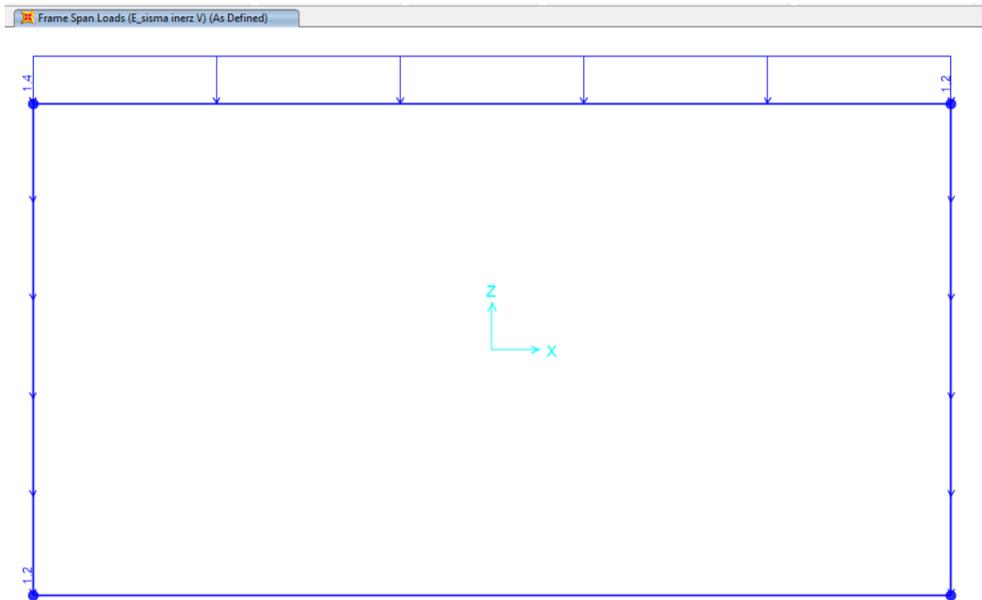


Figura 25- Carico sismico inerziale in direzione verticale

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 389 TRONCO VILLANOVA – LANUSEI – TORTOLÌ</p> <p>LOTTO BIVIO VILLAGRANDE – SVINCOLO DI ARZANA</p> <p>DAL Km 51+100,00 DELLA S.S. 389 VAR AL Km 177+930,00 DELLA S.S. 389</p> <p>Galleria artificiale GA03 - Relazione di calcolo</p>	<p>File: T00_GA03_OST_RE01_A</p> <p>Data: Agosto 2020</p> <p>Pag. 41 di 67</p>
---	--

5 VERIFICHE

5.1 CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI E VERIFICHE NEGLI SCATOLARI

5.1.1. Combinazioni di calcolo

Nella Tabella 7 si riportano i coefficienti utilizzati nelle combinazioni SLU, SLV e SLE.

NOME	TIPO	G_pp	G_solettone fondazione	G_ritomb	G_sp terr	Gfalda	Gritiro	Ex+ sisma terr	Ex- sisma terr	Ez_ sisma rit	Ex+ sisma str	Ex- sisma str	Ez_str	Qstag +10	Qstag -10	Qgio_+5	Qgio_-5	Q_veic, int	Q_strad, sup
SLU_1	SLU	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.2	0	0	0	0	0	0	1.5	0	1.5	0	1.3	0
SLU_2	SLU	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.2	0	0	0	0	0	0	1.5	0	1.5	0	1.3	0
SLU_3	SLU	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.2	0	0	0	0	0	0	1.5	0	1.5	0	1.3	0
SLU_4	SLU	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.2	0	0	0	0	0	0	1.5	0	1.5	0	1.3	0
SLU_5	SLU	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.2	0	0	0	0	0	0	1.5	0	1.5	0	1.3	0
SLU_6	SLU	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.2	0	0	0	0	0	0	1.5	0	1.5	0	1.3	0
SLU_7	SLU	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.2	0	0	0	0	0	0	1.5	0	1.5	0	1.3	0
SLU_8	SLU	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.2	0	0	0	0	0	0	1.5	0	1.5	0	1.3	0
SLU_9	SLU	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.2	0	0	0	0	0	0	1.5	0	1.5	0	1.3	1.3
SLU_10	SLU	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.2	0	0	0	0	0	0	1.5	0	1.5	0	1.3	1.3
SLU_11	SLU	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.2	0	0	0	0	0	0	1.5	0	1.5	0	1.3	1.3
SLU_12	SLU	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.2	0	0	0	0	0	0	1.5	0	1.5	0	1.3	1.3
SLU_13	SLU	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.2	0	0	0	0	0	0	1.5	0	1.5	0	1.3	1.3
SLU_14	SLU	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.2	0	0	0	0	0	0	1.5	0	1.5	0	1.3	1.3
SLU_15	SLU	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.2	0	0	0	0	0	0	1.5	0	1.5	0	1.3	1.3
SLU_16	SLU	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.2	0	0	0	0	0	0	1.5	0	1.5	0	1.3	1.3
SLV_1	SLV	1	1	1	1	1	1	1	0	0.3	1	0	0.3	0	0	0	0	0.3	0.3
SLV_2	SLV	1	1	1	1	1	1	1	0	-0.3	1	0	-0.3	0	0	0	0	0.3	0.3
SLV_3	SLV	1	1	1	1	1	1	0.3	0	1	0.3	0	1	0	0	0	0	0.3	0.3
SLV_4	SLV	1	1	1	1	1	1	0.3	0	-1	0.3	0	-1	0	0	0	0	0.3	0.3
SLV_5	SLV	1	1	1	1	1	1	0	1	0.3	0	1	0.3	0	0	0	0	0.3	0.3
SLV_6	SLV	1	1	1	1	1	1	0	1	-0.3	0	1	-0.3	0	0	0	0	0.3	0.3
SLV_7	SLV	1	1	1	1	1	1	0	0.3	1	0	0.3	1	0	0	0	0	0.3	0.3
SLV_8	SLV	1	1	1	1	1	1	0	0.3	-1	0	0.3	-1	0	0	0	0	0.3	0.3
SLE_QP_1	SLE_QP	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SLE_F_1	SLE_F	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0.5	0	0.3	0.3
SLE_F_2	SLE_F	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0.5	0.3	0.3
SLE_F_3	SLE_F	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0	0.5	0.3	0.3
SLE_F_4	SLE_F	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.5	0	0.3	0.3
SLE_F_5	SLE_F	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.75	0.75
SLE_R_1	SLE_R	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0.75	0.75
SLE_R_2	SLE_R	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0.75	0.75
SLE_R_3	SLE_R	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0.75	0.75
SLE_R_4	SLE_R	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0.75	0.75
SLE_R_5	SLE_R	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0.6	0	0.6	0	1	1
SLE_R_6	SLE_R	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0.6	0	0.6	1	1
SLE_R_7	SLE_R	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0.6	0	0	0.6	1	1
SLE_R_8	SLE_R	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0.6	0.6	0	1	1

Tabella 7-Coefficienti utilizzati per le sollecitazioni SLU, SLV e SLE

5.1.2. Sezione Tipo 1

5.1.2.1 *Involuppi SLU-SLV e SLE con falda*

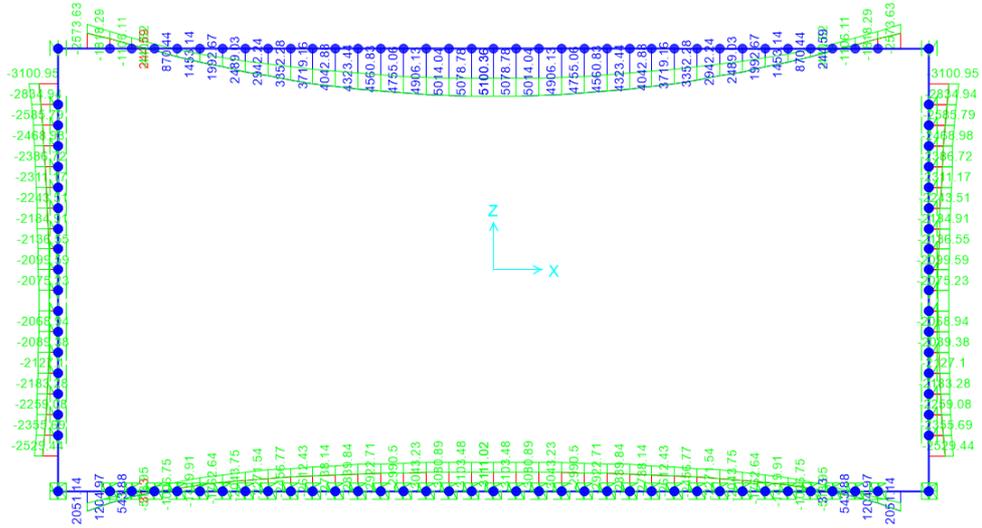


Figura 26- M involuppo SLU-SLV

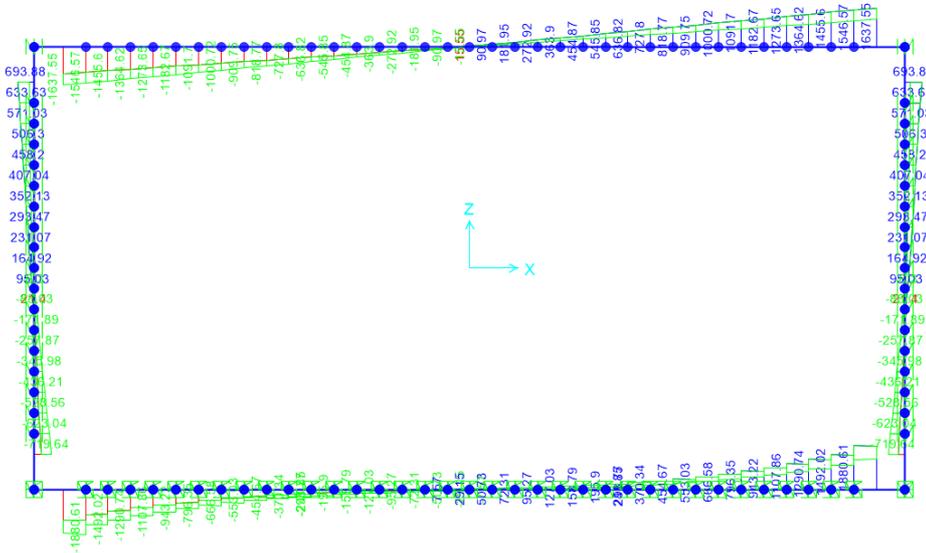


Figura 27- V involuppo SLU-SLV

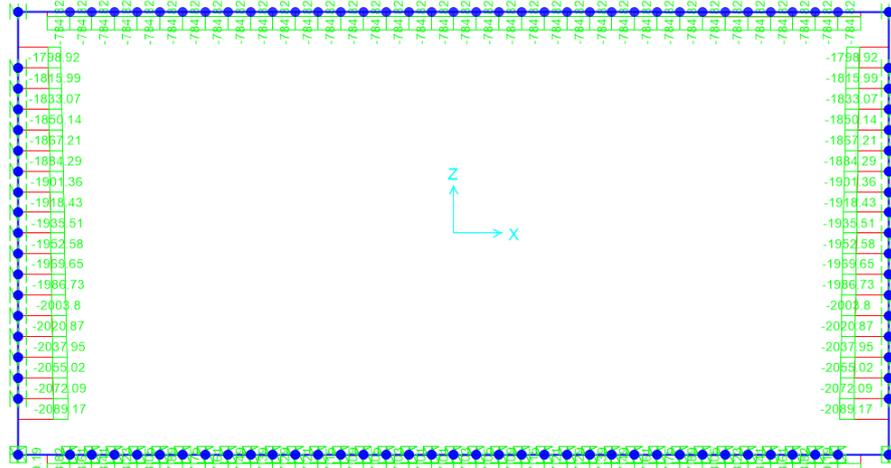


Figura 28- N involucro SLU-SLV

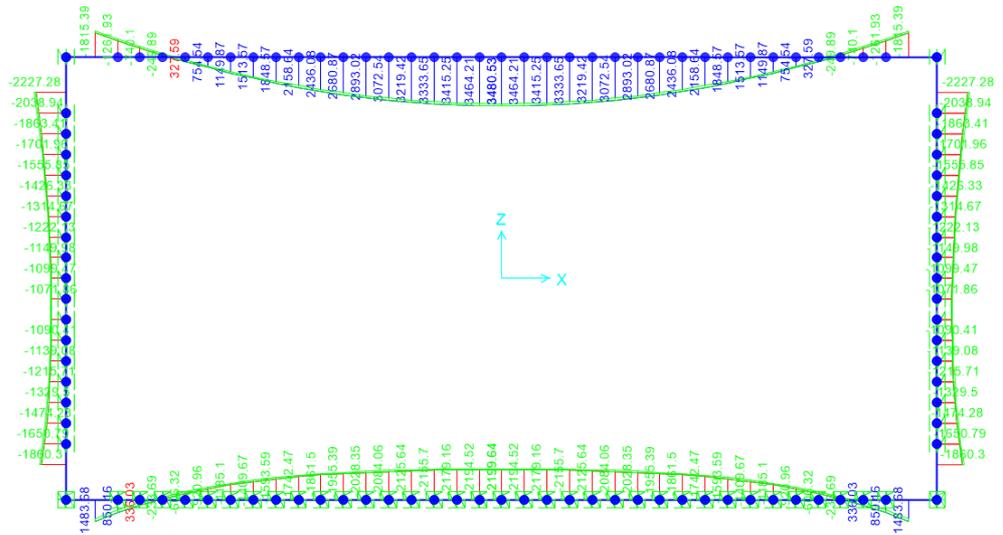


Figura 29- M involucro SLE_F

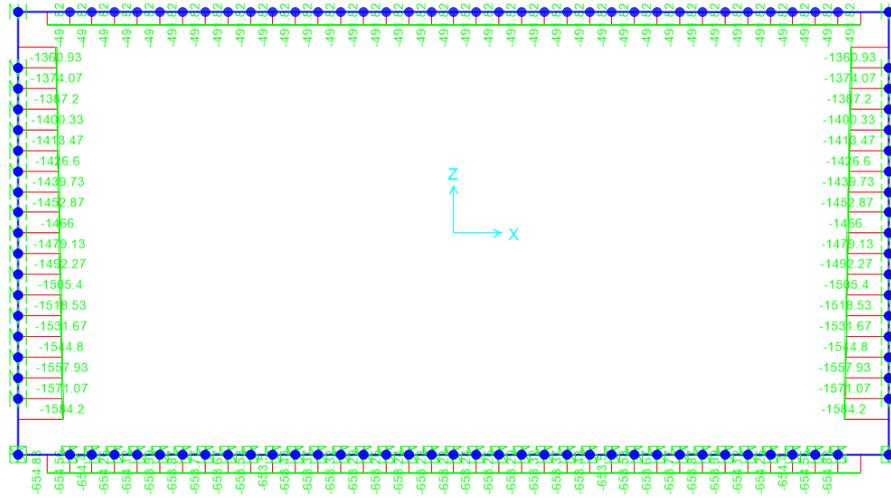


Figura 30- N involucro SLE_F

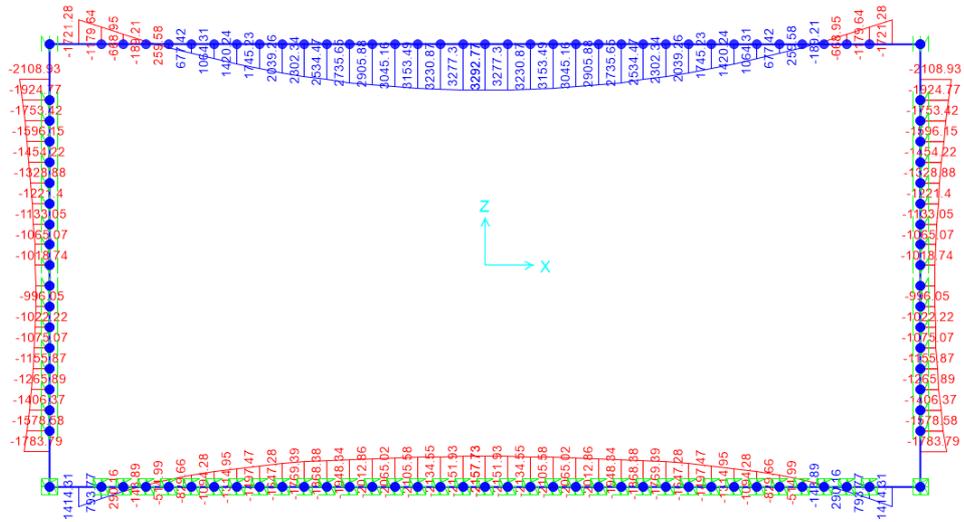


Figura 31- M involucro SLE_QP

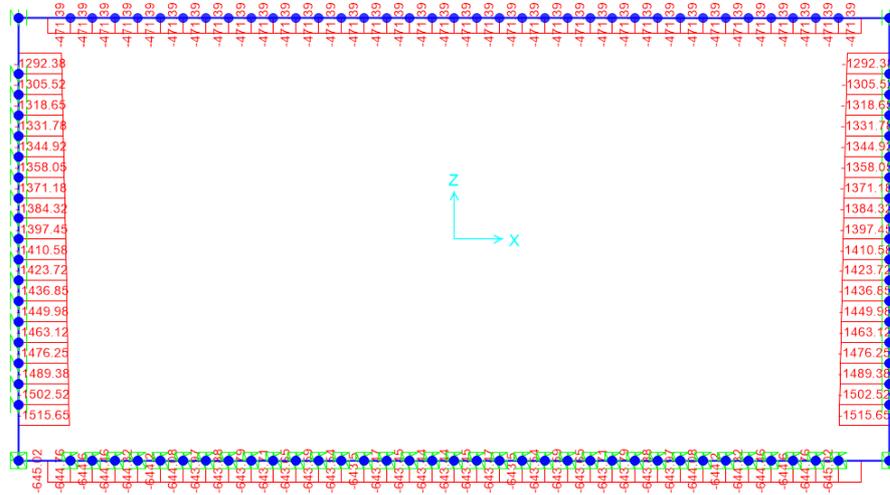


Figura 32- N involucro SLE_QP

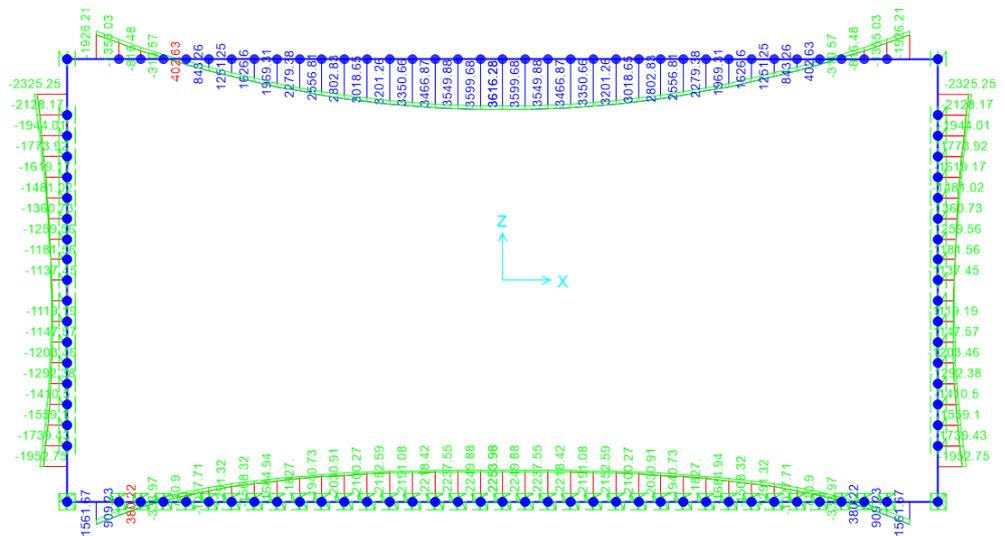


Figura 33- M involucro SLE_R

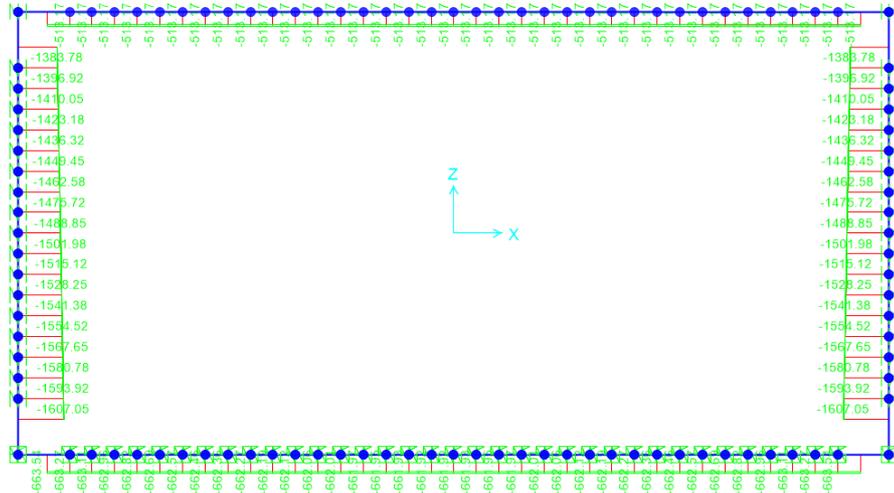


Figura 34- N involucro SLE_R

5.1.2.2 Involuppi SLU-SLV e SLE senza falda

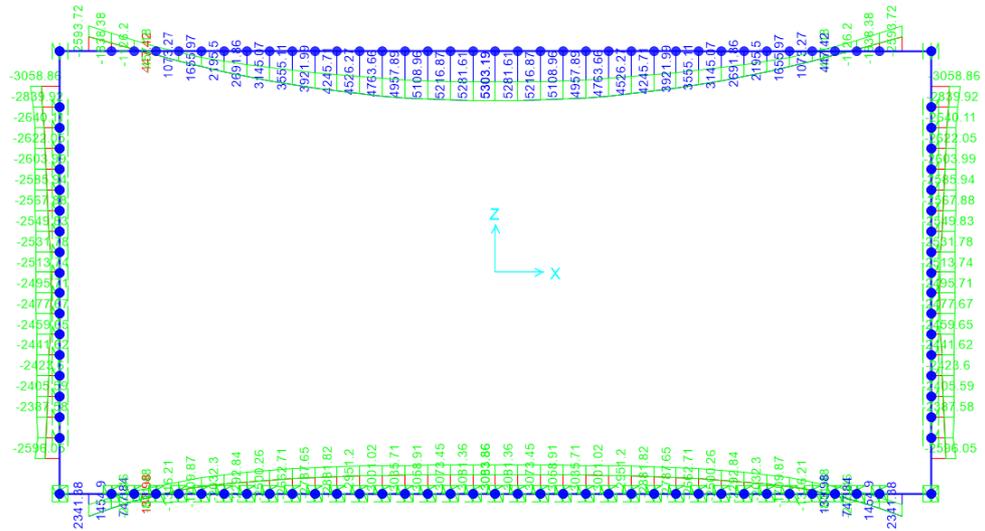


Figura 35- M involucro SLU-SLV

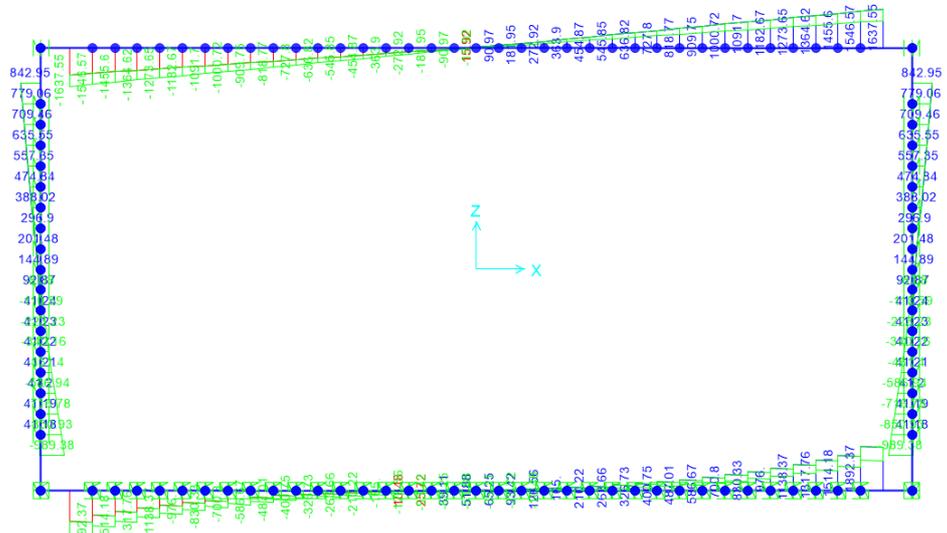


Figura 36- V inviluppo SLU-SLV

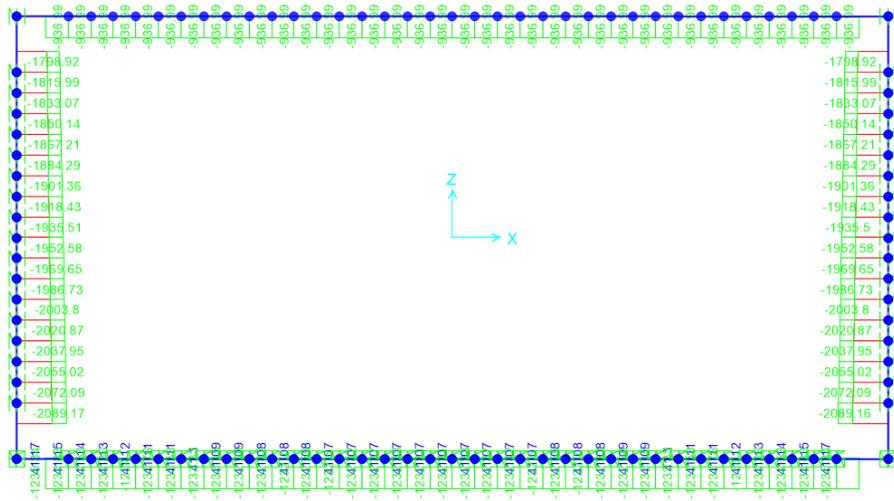


Figura 37- N inviluppo SLU-SLV

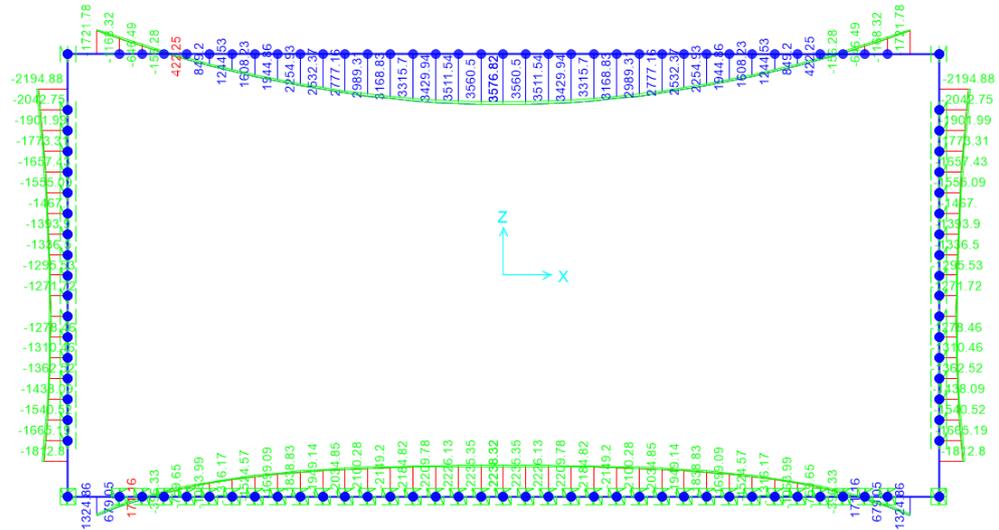


Figura 38- M inviluppo SLE_F

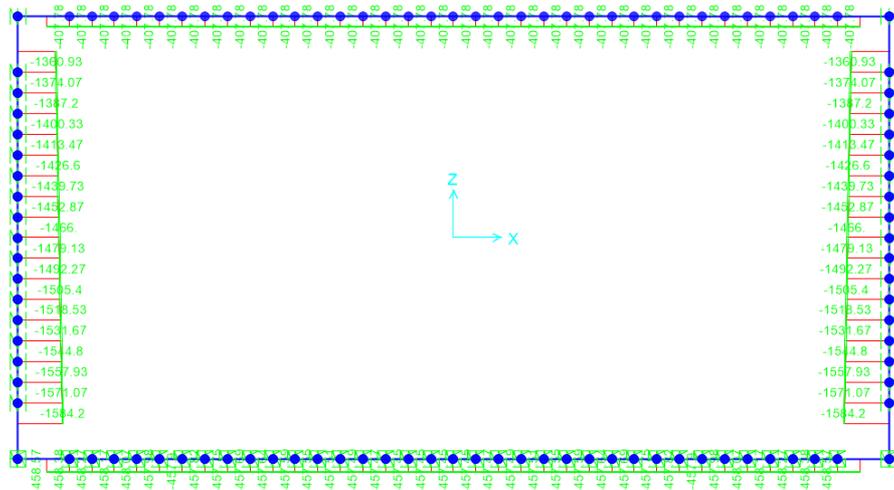


Figura 39- N inviluppo SLE_F

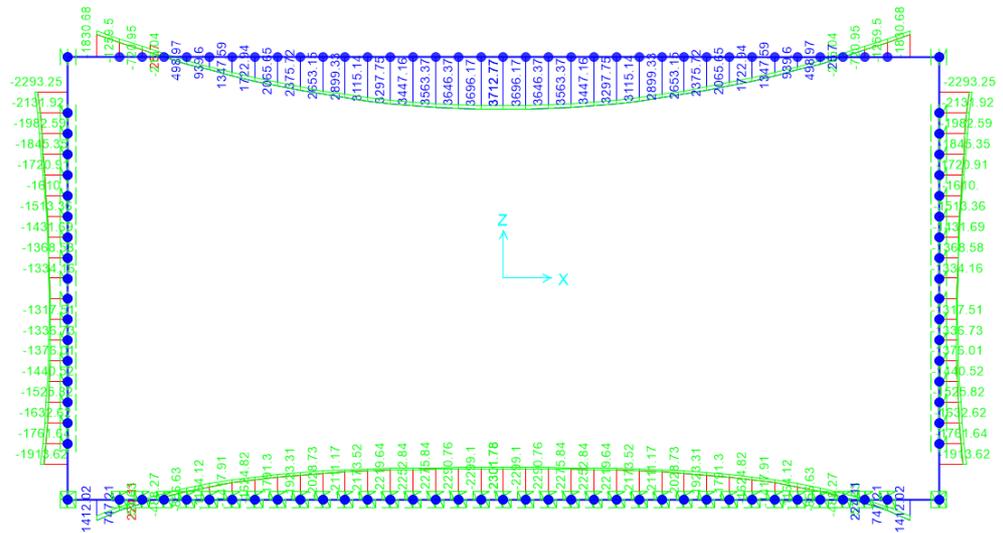


Figura 42- M involucro SLE_R

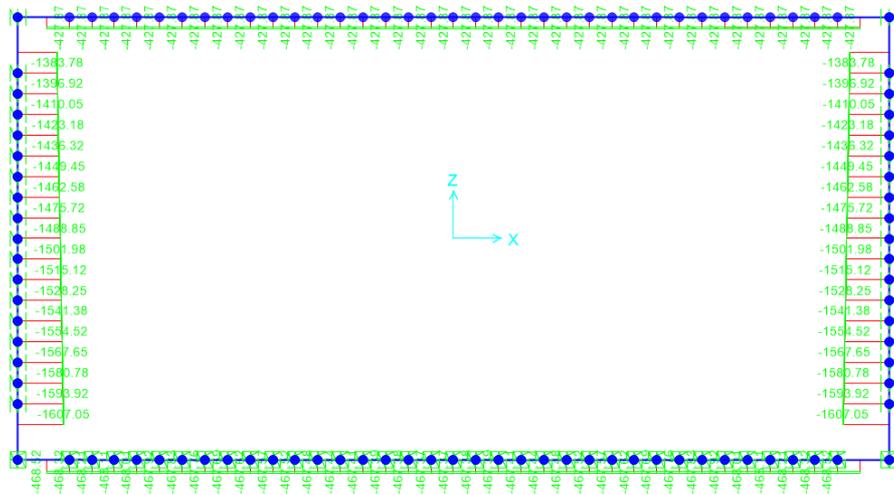


Figura 43- N involucro SLE_R

5.1.2.3 Verifiche strutturali

Vedi allegati di calcolo a fine relazione.

5.1.3. Sezione Tipo 2 finestrata

5.1.3.1 Involuppi SLU-SLV e SLE con falda

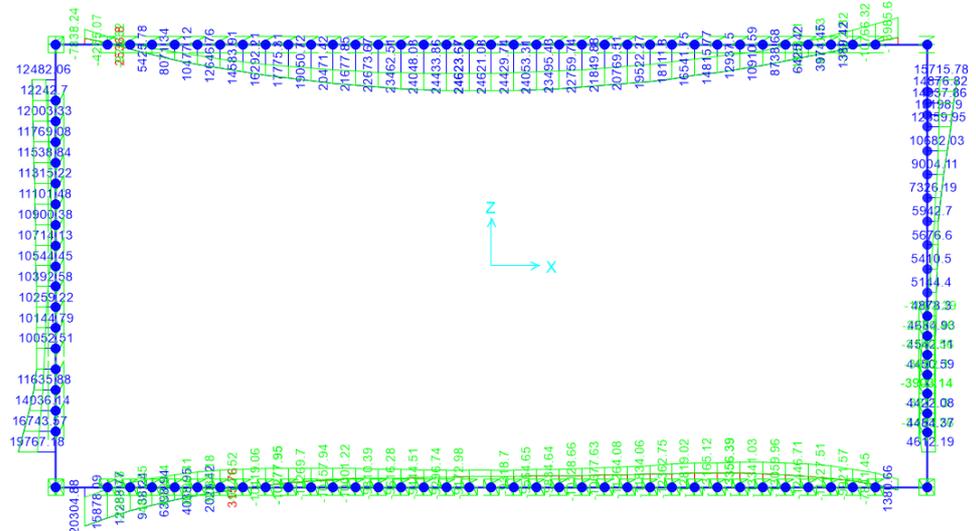


Figura 44- M involucro SLU-SLV

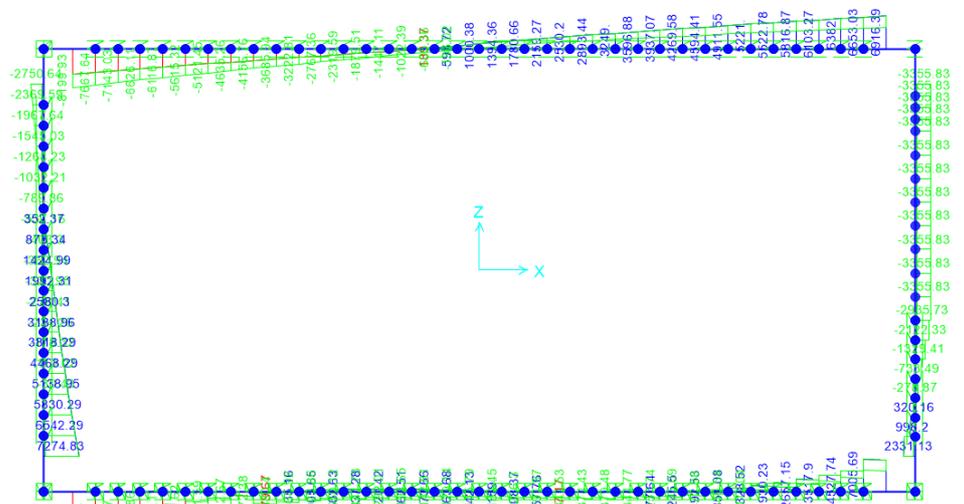


Figura 45- V involucro SLU-SLV

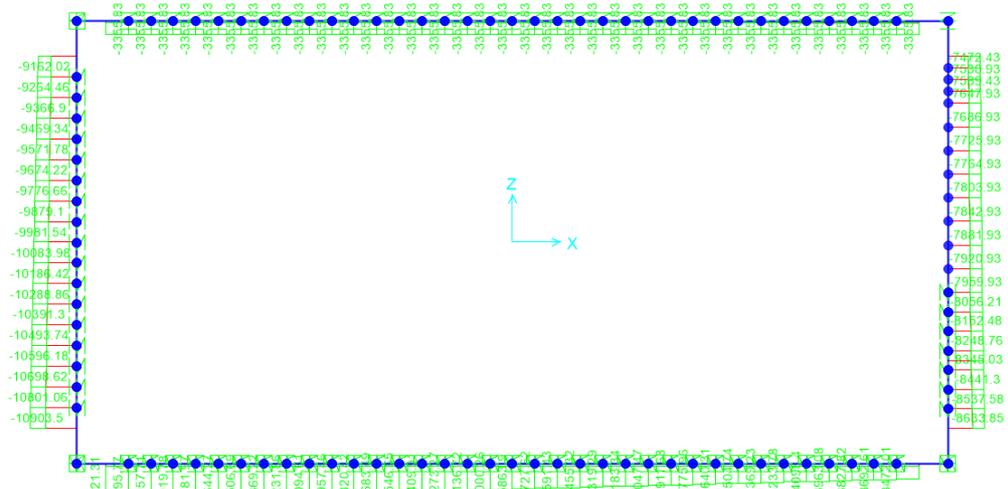


Figura 46- N involucro SLU-SLV

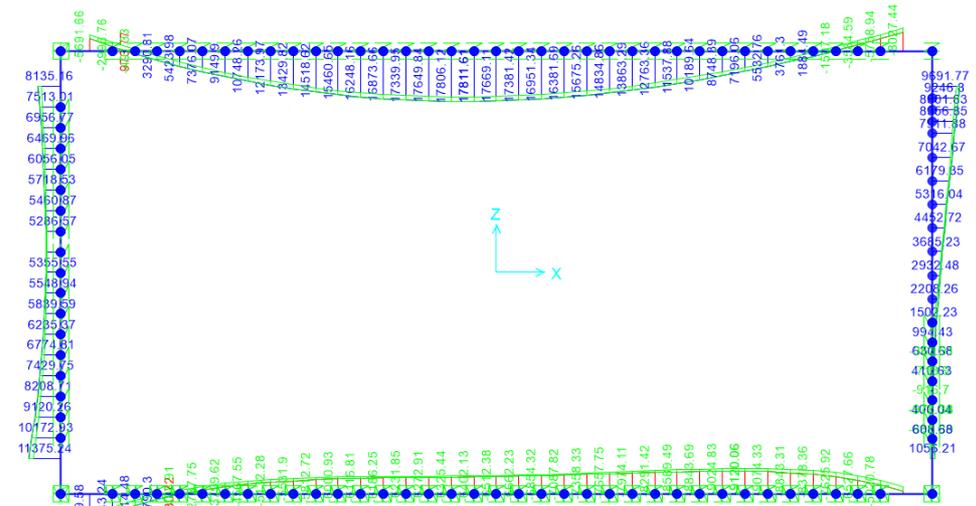


Figura 47- M involucro SLE_R

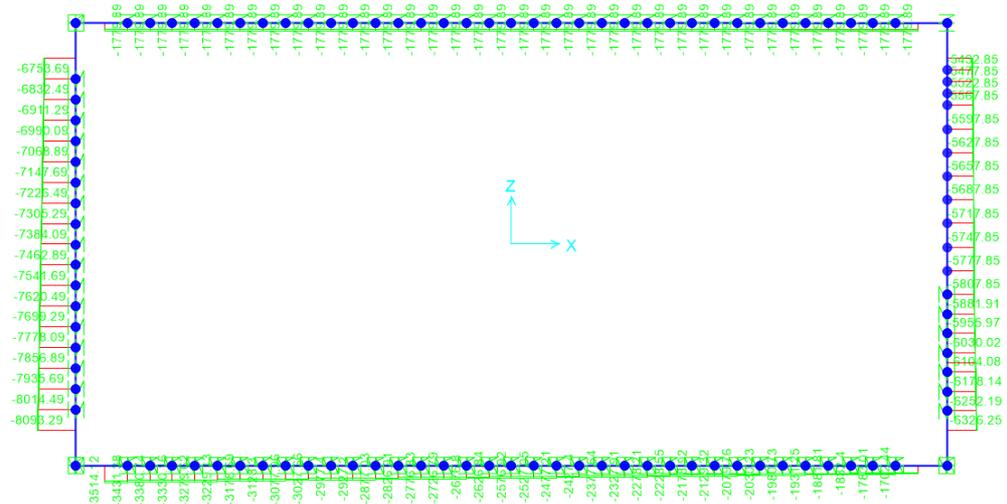


Figura 48- N inviluppo SLE_R

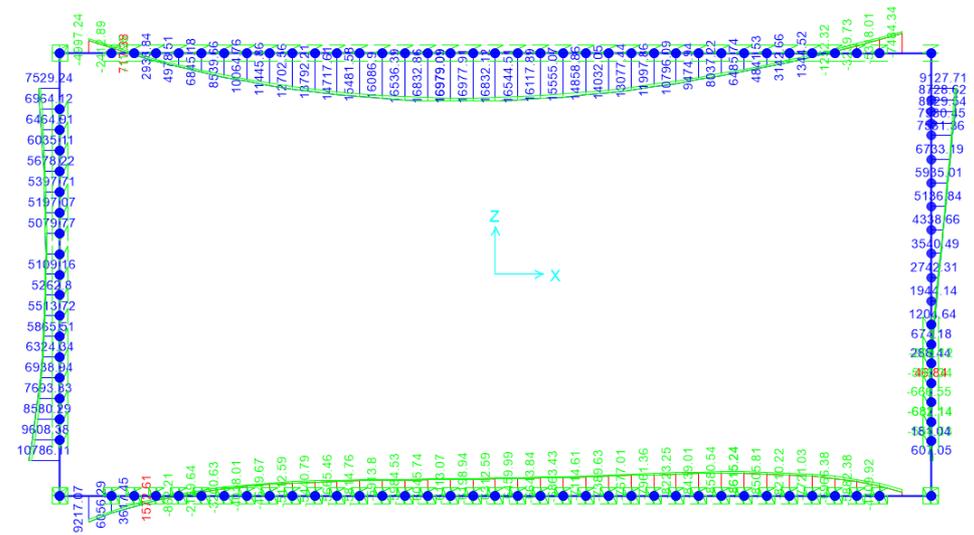


Figura 49- M inviluppo SLE_F

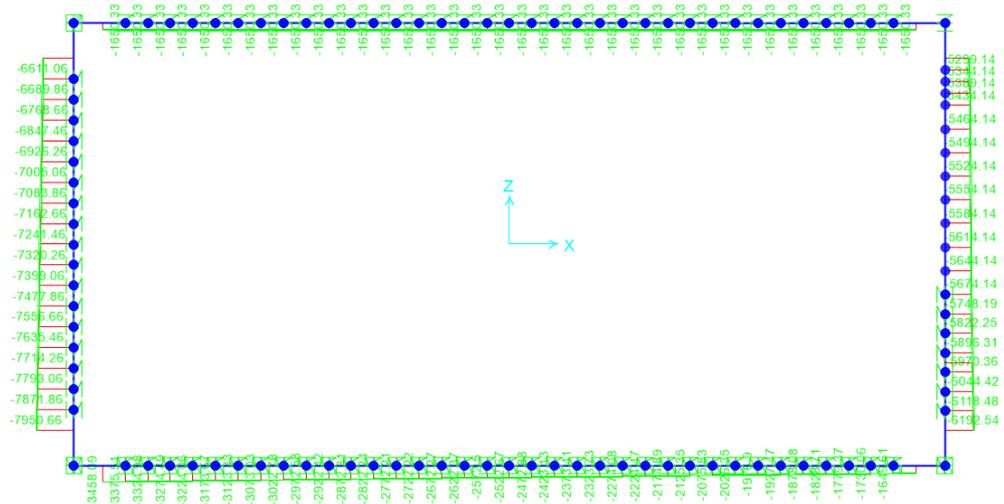


Figura 50- N inviluppo SLE_F

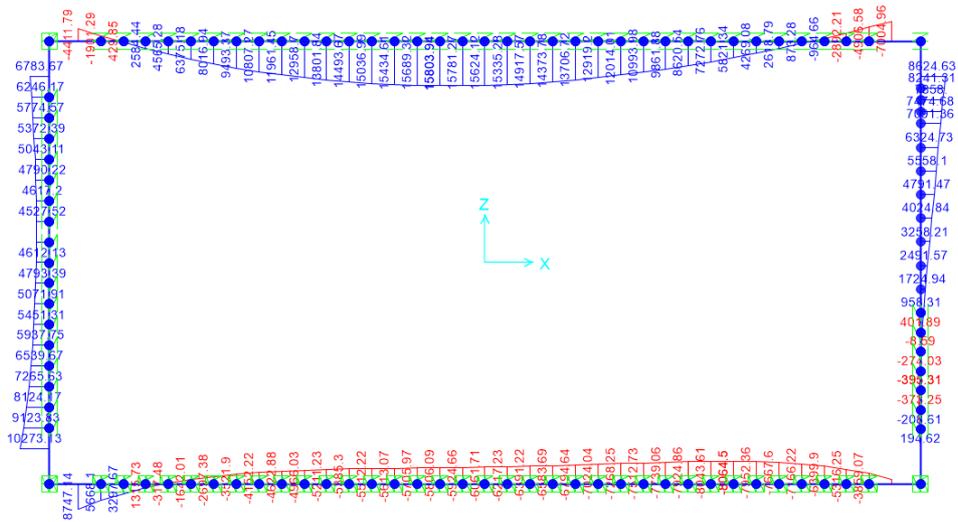


Figura 51- M inviluppo SLE_QP

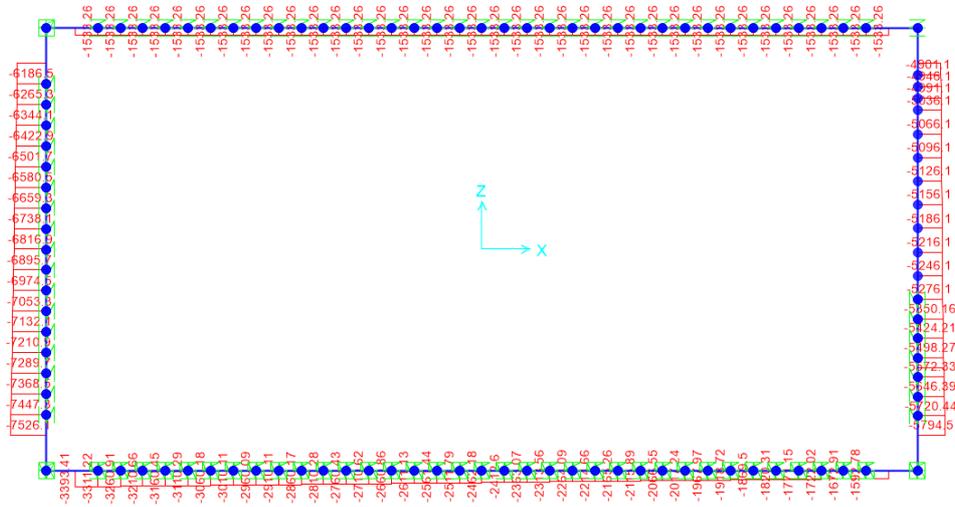


Figura 52- N inviluppo SLE_QP

5.1.3.2 Involuppi SLU-SLV e SLE senza falda

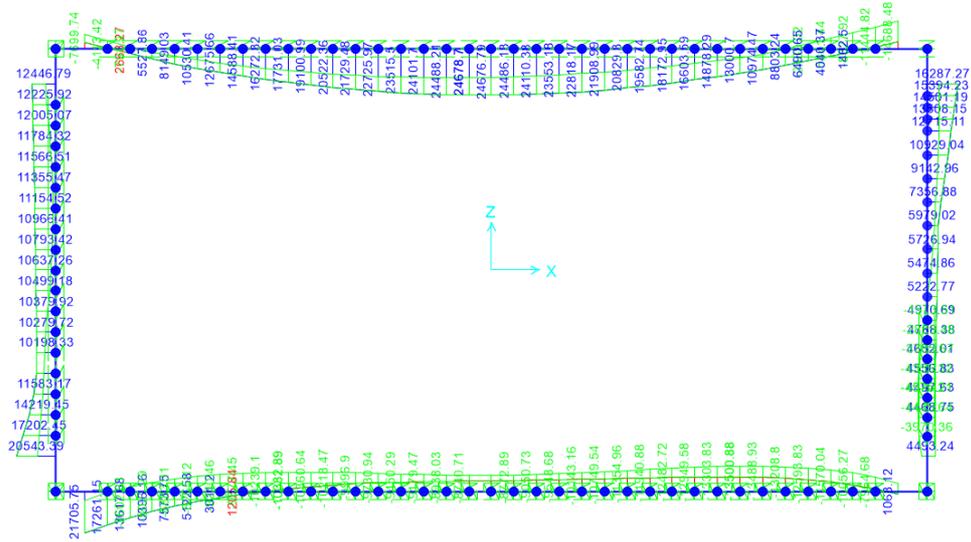


Figura 53- M involucro SLU-SLV

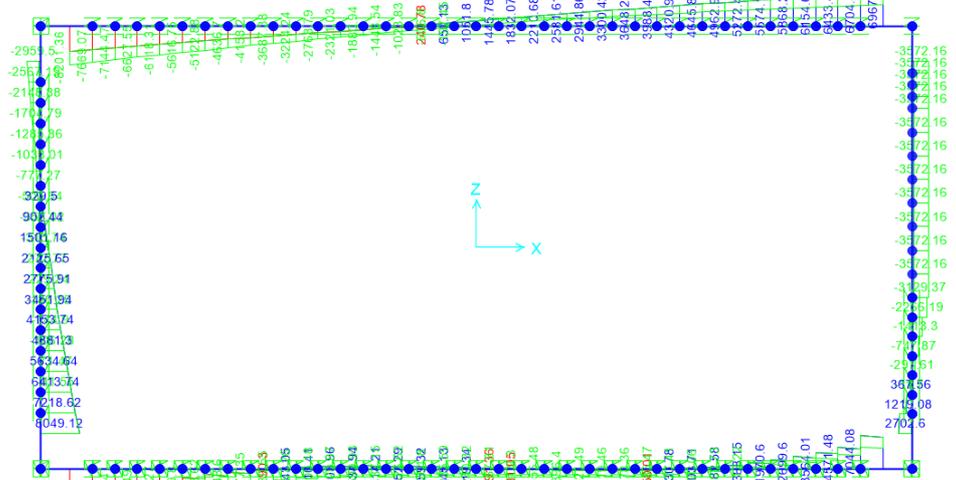


Figura 54- V involucro SLU-SLV

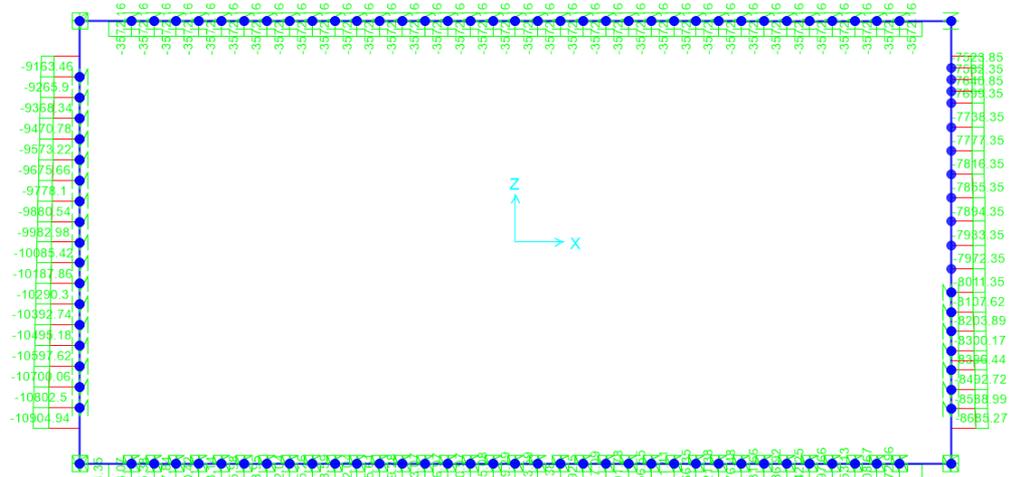


Figura 55- N involucro SLU-SLV

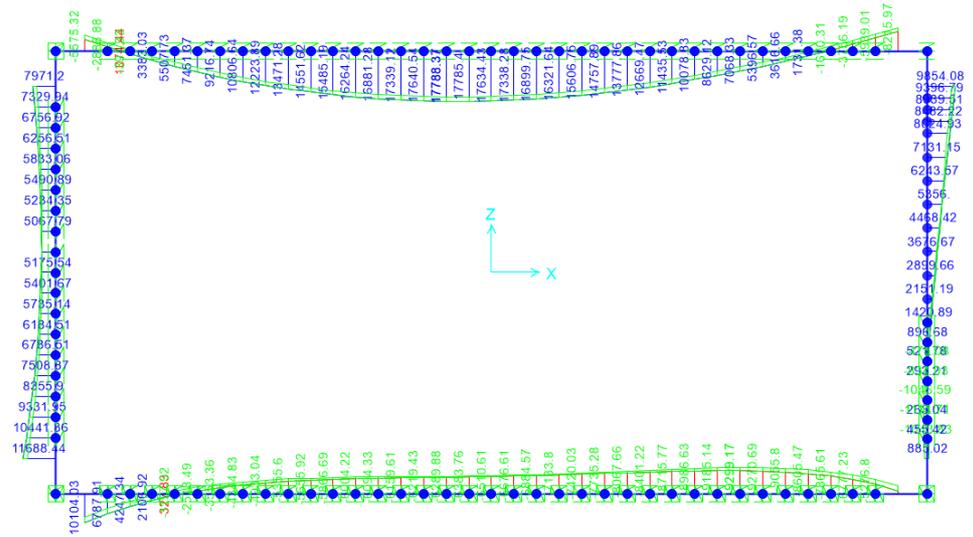


Figura 56- M involucro SLE_R

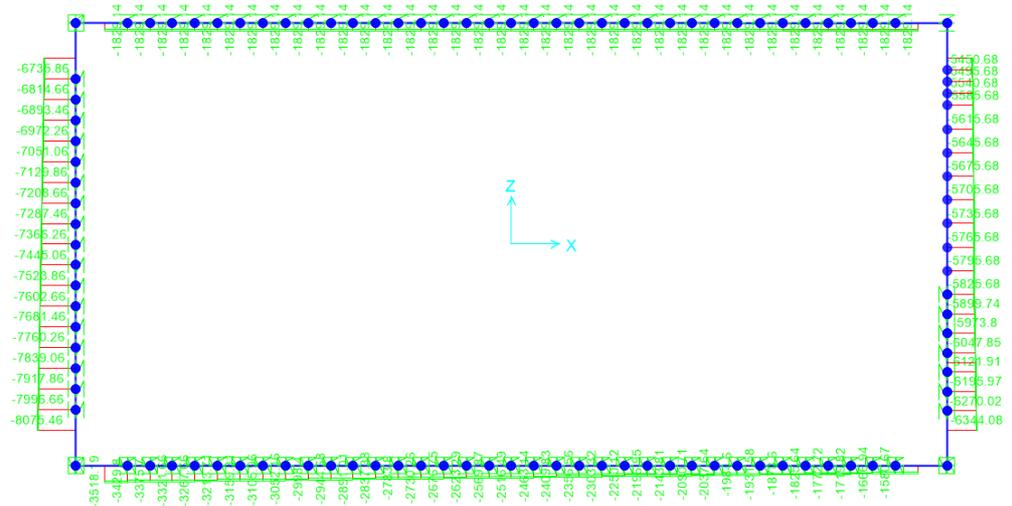


Figura 57- N involucro SLE_R

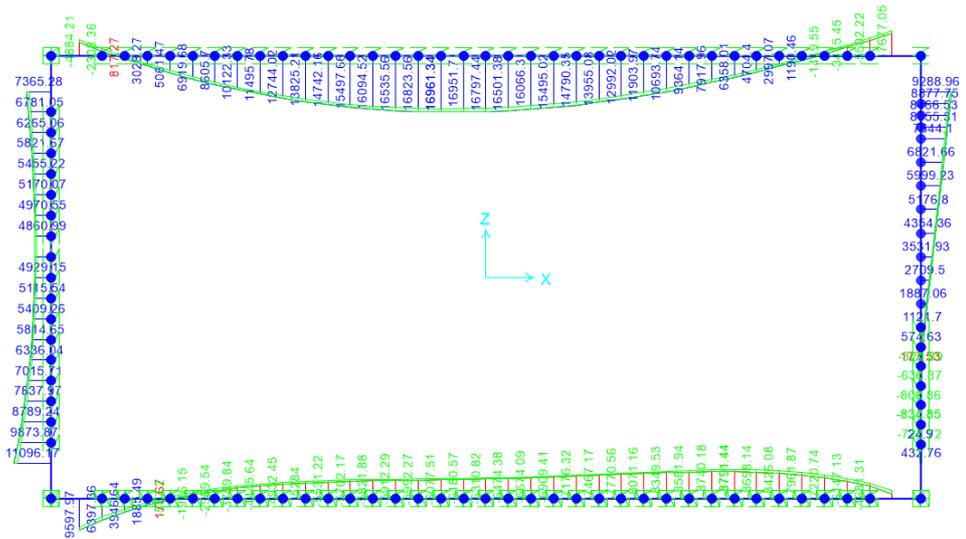
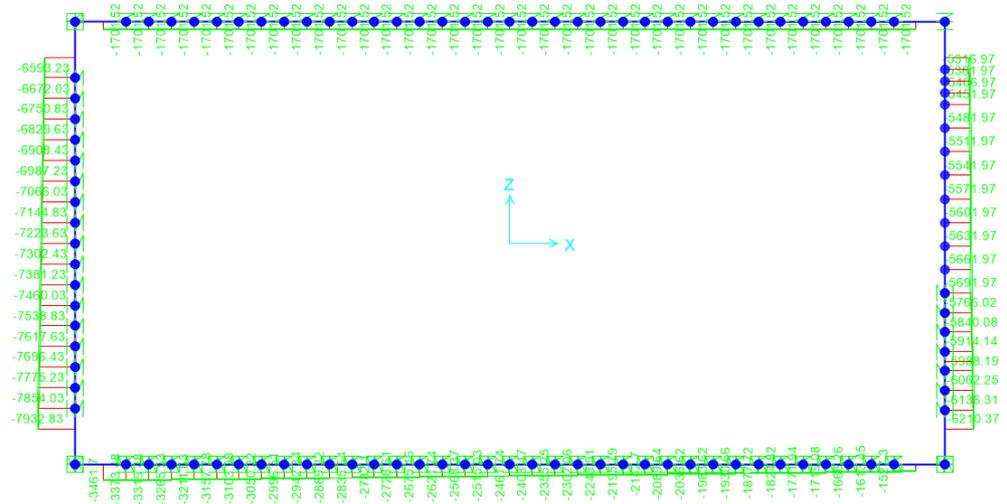


Figura 58- M involucro SLE_F



<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 389 TRONCO VILLANOVA – LANUSEI – TORTOLI</p> <p>LOTTO BIVIO VILLAGRANDE – SVINCOLO DI ARZANA</p> <p>DAL Km 51+100,00 DELLA S.S. 389 VAR AL Km 177+930,00 DELLA S.S. 389</p> <p>Galleria artificiale GA03 - Relazione di calcolo</p>	<p>File: T00_GA03_OST_RE01_A</p> <p>Data: Agosto 2020</p> <p>Pag. 61 di 67</p>
---	--

5.2 Verifiche di stabilità delle pareti chiodate

Per le verifiche di stabilità si veda il documento:

T	0	0	GE	0	1	GET	RE	0	2	A	Relazione tecnica e di calcolo pareti chiodate
---	---	---	----	---	---	-----	----	---	---	---	--

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 389 TRONCO VILLANOVA – LANUSEI – TORTOLÌ</p> <p>LOTTO BIVIO VILLAGRANDE – SVINCOLO DI ARZANA</p> <p>DAL Km 51+100,00 DELLA S.S. 389 VAR AL Km 177+930,00 DELLA S.S. 389</p> <p>Galleria artificiale GA03 - Relazione di calcolo</p>	<p>File: T00_GA03_OST_RE01_A</p> <p>Data: Agosto 2020</p> <p>Pag. 62 di 67</p>
---	--

6 CONCLUSIONE E INCIDENZE

Si riportano i risultati principali delle verifiche effettuate e dettagliate negli allegati.

Tratto 1 NON finestrato

	Armatura long.		COMB	SLU		
	inf	sup		N	M	FS
	[--]	[--]		[kN]	[kNm]	[--]
SOL. FONDAZIONE INC DX	10φ30	5φ30	28	1235	2341	1.97
SOL. FONDAZIONE INC SX	10φ30	5φ30	28	1235	2341	1.97
SOL. FONDAZIONE MEZZERIA	5φ30	10φ30	30	41	3083	1.24
PIEDRITTO INC BASE	10φ30	5φ30	28	2089	2596	1.52
PIEDRITTO INC SUP	10φ30	5φ30	25	1781	2059	1.26
PIEDRITTO MEZZERIA	10φ30	5φ30	26	1935	2513	1.55
SOLETTA INC DX	5φ30	10φ30	13	674	2566	1.67
SOLETTA INC SX	5φ30	10φ30	13	674	2566	1.67
SOLETTA MEZZERIA	10+10φ30	5φ30	30	29	5303	1.37

	Armatura long.		COMB	SLE-Freq	
	inf	sup		wk	wlim
	[--]	[--]		[mm]	[mm]
SOL. FONDAZIONE INC DX	30φ30	30φ30	2	0.122	0.4
SOL. FONDAZIONE INC SX	10φ30	5φ30	2	0.122	0.4
SOL. FONDAZIONE MEZZERIA	5φ30	10φ30	10	0.27	0.4
PIEDRITTO INC BASE	10φ30	5φ30	2	0.192	0.4
PIEDRITTO INC SUP	10φ30	5φ30	1	0.284	0.4
PIEDRITTO MEZZERIA	10φ30	5φ30	10	0.09	0.4
SOLETTA INC DX	5φ30	10φ30	5	0.193	0.4
SOLETTA INC SX	5φ30	10φ30	5	0.193	0.4
SOLETTA MEZZERIA	10+10φ30	5φ30	10	0.216	0.4

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 389 TRONCO VILLANOVA – LANUSEI – TORTOLÌ</p> <p>LOTTO BIVIO VILLAGRANDE – SVINCOLO DI ARZANA</p> <p>DAL Km 51+100,00 DELLA S.S. 389 VAR AL Km 177+930,00 DELLA S.S. 389</p> <p>Galleria artificiale GA03 - Relazione di calcolo</p>	<p>File: T00_GA03_OST_RE01_A</p> <p>Data: Agosto 2020</p> <p>Pag. 63 di 67</p>
---	--

	Armatura long.		COMB	SLE-Qperm	
	inf	sup		wk	wlim
	[--]	[--]		[mm]	[mm]
SOL. FONDAZIONE INC DX	30φ30	30φ30	1	0.135	0.3
SOL. FONDAZIONE INC SX	10φ30	5φ30	1	0.135	0.3
SOL. FONDAZIONE MEZZERIA	5φ30	10φ30	2	0.275	0.3
PIEDRITTO INC BASE	10φ30	5φ30	1	0.201	0.3
PIEDRITTO INC SUP	10φ30	5φ30	1	0.289	0.3
PIEDRITTO MEZZERIA	10φ30	5φ30	2	0.092	0.3
SOLETTA INC DX	5φ30	10φ30	1	0.202	0.3
SOLETTA INC SX	5φ30	10φ30	1	0.202	0.3
SOLETTA MEZZERIA	10+10φ30	5φ30	2	0.217	0.3

Tratto 2 finestrato

	Armatura long.		COMB	SLU		
	inf	sup		N	M	FS
	[--]	[--]		[kN]	[kNm]	[--]
SOL. FONDAZIONE INC DX	30φ30	30φ30	12	3472	4585	3.07
SOL. FONDAZIONE INC SX	30+30φ30	30φ30	28	9364	21705	1.31
SOL. FONDAZIONE MEZZERIA	30φ30	30+30φ30	14	511	9073	2.54
PIEDRITTO DX INC BASE (0.75)	30φ30	30φ30	14	7839	4612	2.91
PIEDRITTO DX INC BASE (3.63)	30φ30	30φ30	10	7166	4827	2.7
PIEDRITTO DX INC SUP	60φ30	30φ30	28	7465	16287	1.33
PIEDRITTO DX MEZZERIA	20+20φ30	20φ30	28	7699	12715	1.18
PIEDRITTO SX INC BASE	60+30φ30	30φ30	28	10057	20543	1.46
PIEDRITTO SX INC SUP	45φ30	30φ30	30	9061	12446	1.47
PIEDRITTO SX MEZZERIA	30φ30	30φ30	30	9982	10637	1.37
SOLETTA MEZZERIA	30+30φ30	30φ30	26	504	24676	1.38
SOLETTA INC DX	30φ30	60φ30	28	3572	14688	1.73
SOLETTA INC SX	30φ30	30φ30	10	547	7768	1.55

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 389 TRONCO VILLANOVA – LANUSEI – TORTOLÌ</p> <p>LOTTO BIVIO VILLAGRANDE – SVINCOLO DI ARZANA</p> <p>DAL Km 51+100,00 DELLA S.S. 389 VAR AL Km 177+930,00 DELLA S.S. 389</p> <p>Galleria artificiale GA03 - Relazione di calcolo</p>	<p>File: T00_GA03_OST_RE01_A</p> <p>Data: Agosto 2020</p> <p>Pag. 64 di 67</p>
---	--

	Armatura long.		COMB	SLE-Freq	
	inf	sup		wk	wlim
	[--]	[--]		[mm]	[mm]
SOL. FONDAZIONE INC DX	30φ30	30φ30	6	0.084	0.4
SOL. FONDAZIONE INC SX	30+30φ30	30φ30	7	0.174	0.4
SOL. FONDAZIONE MEZZERIA	30φ30	30+30φ30	10	0.113	0.4
PIEDRITTO DX INC BASE (0.75)	30φ30	30φ30	–	0	0.3
PIEDRITTO DX INC BASE (3.63)	30φ30	30φ30	–	0	0.3
PIEDRITTO DX INC SUP	60φ30	30φ30	6	0.185	0.3
PIEDRITTO DX MEZZERIA	20+20φ30	20φ30	6	0.199	0.3
PIEDRITTO SX INC BASE	60+30φ30	30φ30	7	0.13	0.4
PIEDRITTO SX INC SUP	45φ30	30φ30	5	0.161	0.4
PIEDRITTO SX MEZZERIA	30φ30	30φ30	5	0.131	0.4
SOLETTA MEZZERIA	30+30φ30	30φ30	5	0.237	0.4
SOLETTA INC DX	30φ30	60φ30	6	0.122	0.4
SOLETTA INC SX	30φ30	30φ30	5	0.21	0.4

	Armatura long.		COMB	SLE-Qperm	
	inf	sup		wk	wlim
	[--]	[--]		[mm]	[mm]
SOL. FONDAZIONE INC DX	30φ30	30φ30	2	0.057	0.3
SOL. FONDAZIONE INC SX	30+30φ30	30φ30	2	0.191	0.3
SOL. FONDAZIONE MEZZERIA	30φ30	30+30φ30	1	0.106	0.3
PIEDRITTO DX INC BASE (0.75)	30φ30	30φ30	–	0	0.2
PIEDRITTO DX INC BASE (3.63)	30φ30	30φ30	–	0	0.2
PIEDRITTO DX INC SUP	60φ30	30φ30	2	0.194	0.2
PIEDRITTO DX MEZZERIA	20+20φ30	20φ30	2	0.2	0.2
PIEDRITTO SX INC BASE	60+30φ30	30φ30	2	0.138	0.3
PIEDRITTO SX INC SUP	45φ30	30φ30	1	0.164	0.3
PIEDRITTO SX MEZZERIA	30φ30	30φ30	1	0.112	0.3
SOLETTA MEZZERIA	30+30φ30	30φ30	1	0.235	0.3
SOLETTA INC DX	30φ30	60φ30	2	0.133	0.3
SOLETTA INC SX	30φ30	30φ30	1	0.183	0.3

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 389 TRONCO VILLANOVA – LANUSEI – TORTOLÌ</p> <p>LOTTO BIVIO VILLAGRANDE – SVINCOLO DI ARZANA</p> <p>DAL Km 51+100,00 DELLA S.S. 389 VAR AL Km 177+930,00 DELLA S.S. 389</p> <p>Galleria artificiale GA03 - Relazione di calcolo</p>	<p>File: T00_GA03_OST_RE01_A</p> <p>Data: Agosto 2020</p> <p>Pag. 65 di 67</p>
---	--

Le verifiche SLU, SLV e SLE risultano verificate per tutte le sezioni analizzate. Si prevedono le incidenze di armatura riportate in:

- Tabella 8, per la sezione tipo del tratto 1,
- Tabella 9, per la sezione tipo del tratto 2 finestrato.

	INCIDENZA (kg/m³)
SOLETTA SUPERIORE	110.00
PIEDRITTI	110.00
FONDAZIONE	85.00

Tabella 8-Incidenze armature degli scatolari GA03-tratto 1

	INCIDENZA (kg/m³)
SOLETTA SUPERIORE	115.00
PIEDRITTO SINISTRA	110.00
PIEDRITTO DESTRA DA 6 M	95.00
PIEDRITTO DESTRA DA 2 M	205.00
FONDAZIONE	95.00

Tabella 9-Incidenze armature degli scatolari GA03-tratto 2 finestrato

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 389 TRONCO VILLANOVA – LANUSEI – TORTOLI</p> <p>LOTTO BIVIO VILLAGRANDE – SVINCOLO DI ARZANA</p> <p>DAL Km 51+100,00 DELLA S.S. 389 VAR AL Km 177+930,00 DELLA S.S. 389</p> <p>Galleria artificiale GA03 - Relazione di calcolo</p>	<p>File: T00_GA03_OST_RE01_A</p> <p>Data: Agosto 2020</p> <p>Pag. 66 di 67</p>
---	--

7 ALLEGATI DI CALCOLO

OUTPUT RC-SEC SEZIONE TIPO 1

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 389 TRONCO VILLANOVA – LANUSEI – TORTOLI</p> <p>LOTTO BIVIO VILLAGRANDE – SVINCOLO DI ARZANA</p> <p>DAL Km 51+100,00 DELLA S.S. 389 VAR AL Km 177+930,00 DELLA S.S. 389</p> <p>Galleria artificiale GA03 - Relazione di calcolo</p>	<p><i>File:</i> T00_GA03_OST_RE01_A</p> <p><i>Data:</i> Agosto 2020</p> <p><i>Pag.</i> 67 di 67</p>
---	---

OUTPUT RC-SEC

SEZIONE TIPO 2 FINESTRATA