

VARIANTE ALLA S.S. 1 "VIA AURELIA"
Viabilità di accesso all'hub portuale di La Spezia
Lavori di costruzione della variante alla S.S. 1 Via Aurelia - 3°Lotto
2° Stralcio Funzionale B dallo Svincolo di Buon Viaggio allo Svincolo di San Venerio
COMPLETAMENTO

PRECEDENTI LIVELLI DI PROGETTAZIONE DELL'APPALTO INTEGRATO ORIGINALE

PD n°1861 del 09/07/03 aggiornato al 10/12/08 - Delibera CIPE n°60 del 02/04/08

PE n° 103 del 14/07/2011 - D.A. CDG-103321-P del 20/07/11

PVT n°112 del 21/01/16 aggiornata al 28/10/16 - D.A. CDG-92950-P del 21/02/17

Progetto Esecutivo Cantierabile Opere da Completare

PROGETTO ESECUTIVO

COD. GE266

PROGETTAZIONE: ANAS - DIREZIONE PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE LAVORI

PROGETTISTA:

Dott. Ing. Antonio Scalamandrè
Ordine Ing. di Frosinone n. 1063

IL GEOLOGO

Dott. Geol. Flavio Capozucca
Ordine Geol. del Lazio n. 1599

COORDINATORE DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE

Geom. Emiliano Paiella

VISTO IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Dott. Ing. Fabrizio Cardone

PROTOCOLLO

DATA

OPERE MINORI
OPERE DI ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO - INALVEAZIONI
INALVEAZIONE 3 - ZONA GALLERIA ARTIFICIALE FELETTINO
TOMBINO SCATOLARE 2 X 2
RELAZIONE DI CALCOLO

CODICE PROGETTO

NOME FILE

T00OI01STRRE01A.DOCX

REVISIONE

SCALA

PROGETTO

LIV. PROG.

DPGE0266 E 20

CODICE
ELAB.

T00OI01STRRE01

A

--

D

C

B

A

Emissione

Luglio 2020

Ing.

Ing.

Ing.

REV.

DESCRIZIONE

DATA

REDATTO

VERIFICATO

APPROVATO

INDICE

1.	INTRODUZIONE	1
2.	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	2
2.1	Elaborati di progetto	2
2.2	Normativa	2
2.3	Programmi di calcolo	2
3.	SCHEMA DI CALCOLO DEL TOMBINO	3
3.1	Materiali	3
3.1.1	Terreno di rinterro / rilevato	3
3.1.2	Calcestruzzo	3
3.1.3	Acciaio di Armatura	4
4.	ANALISI DEI CARICHI	5
4.1	Permanenti portati, L ₁	5
4.2	Spinta delle terre, L ₂	5
4.3	Carichi mobili da traffico, L ₃ , L ₄	5
4.4	Analisi Sismica	6
4.4.1	Spinta inerziale (SLD), L ₅ , L ₆	6
4.4.2	Spinta sismica terreno (SLV), L ₇	6
5.	TOMBINO: MODELLO PER ANALISI FEM	7
5.1	Combinazioni di Carico	8
6.	RISULTATI MODELLO	9
6.1	SLU1	9
6.1.1	Diagramma delle forze assiali	9
6.1.2	Diagramma delle forze di taglio	9
6.1.3	Diagramma dei momenti flettenti	10
6.2	SLU_S	10
6.2.1	Diagramma delle forze assiali	10
6.2.2	Diagramma delle forze di taglio	11

Variante alla S.S.1 "Via Aurelia" Viabilità di accesso all'hub di La Spezia
Lavori di costruzione della variante alla S.S.1 Aurelia – 3° Lotto
2° Stralcio funzionale B dallo Svincolo di Buon Viaggio allo Svincolo di S. Venerio
Completamento – PE
Inalveazione 3 zona GA Felettino- Tombino scatolare 2x2 – Relazione di calcolo

II

6.2.3	Diagramma dei momenti flettenti	11
6.3	SLE_F1	12
6.3.1	Diagramma delle forze assiali	12
6.3.2	Diagramma delle forze di taglio	12
6.3.3	Diagramma dei momenti flettenti	13
6.4	SLE_QP	13
6.4.1	Diagramma delle forze assiali	13
6.4.2	Diagramma delle forze di taglio	14
6.4.3	Diagramma dei momenti flettenti	14
7.	VERIFICHE STRUTTURALI	15
7.1	Verifica a presso-flessione	15
7.2	Verifica a fessurazione	16
7.3	Verifica a taglio	16
7.3.1	Soletta inferiore	16
7.3.2	Soletta superiore	17
8.	MURI D'ALA: MODELLO PER ANALISI FEM	18
8.1	Sezione di calcolo	18
8.2	Analisi dei carichi	18
8.3	Modello per analisi agli elementi finiti	19
8.3.1	Spinta delle terre	19
8.3.2	Carichi mobili da traffico	20
8.3.3	Spinta inerziale e sismica terreno	20
8.3.4	Spinta passiva	21
9.	RISULTATI MODELLO	22
9.1.1	SLU1	22
9.1.2	SLU_S	25
9.1.3	SLE_F1	28
9.1.4	SLE_QP	31
10.	VERIFICHE STRUTTURALI	34
10.1.1	Armatura in direzione x	34

Variante alla S.S.1 "Via Aurelia" Viabilità di accesso all'hub di La Spezia
Lavori di costruzione della variante alla S.S.1 Aurelia – 3° Lotto
2° Stralcio funzionale B dallo Svincolo di Buon Viaggio allo Svincolo di S. Venerio
Completamento – PE
Inalveazione 3 zona GA Felettino- Tombino scatolare 2x2 – Relazione di calcolo

III

10.1.2	Armatatura in direzione y	34
10.1.3	Armatatura a Taglio	34
10.1.4	Verifica a presso-flessione	34
10.1.5	Verifica a fessurazione	35
10.1.6	Verifica a taglio	36

1. INTRODUZIONE

Il presente documento, facente parte del completamento del Progetto Esecutivo "Variante alla SS n. 1 Aurelia (Aurelia bis) - Viabilità di accesso all'hub portuale di La Spezia", riguarda le verifiche del Tombino scatolare 2x2 di "inalveazione 3", che consente a un piccolo corso d'acqua di sottopassare una stradina che passa sulla sommità del tratto intermedio in artificiale della galleria Filettino.

La relazione contiene le verifiche strutturali sia del tombino in sé che dei brevi muri d'ala che consentono il raccordo col piano di campagna all'uscita del tombino stesso.

Nel seguito, dopo un elenco dei documenti di riferimento al cap. 2, si riporta dunque:

- schema di calcolo del tombino (cap. 3);
- analisi dei carichi (cap. 4);
- descrizione sintetica del modello a elementi finiti utilizzato per il calcolo delle sollecitazioni nel tombino (cap. 5);
- risultati del modello FEM del tombino (cap. 6);
- verifiche strutturali del tombino (cap. 7);
- descrizione sintetica del modello a elementi finiti utilizzato per il calcolo delle sollecitazioni nei muri d'ala (cap. 8);
- risultati del modello FEM dei muri d'ala (cap. 9);
- verifiche strutturali dei muri d'ala (cap. 10).

Non sono riportate verifiche geotecniche in quanto uno scatolare rappresenta un alleggerimento rispetto al terreno che sostituisce e soggetta a carichi simmetrici sui due lati longitudinali (alternati in condizioni sismiche, ma comunque uguali nelle due direzioni), quindi le verifiche di capacità portante e scorrimento sono certamente soddisfatte; osservazioni analoghe possono essere svolte per i cedimenti, dal momento che le pressioni esercitate saranno simili a quelle preesistenti e il carico agisce su un terreno sovraconsolidato dagli scavi.

2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

2.1 Elaborati di progetto

- [1]. "Tombino scatolare 2x2 -Carpenteria, Pianta e Sezioni" T00OI01STRCP01
- [2]. "Tombino scatolare 2x2 -Armatura" T00OI01STRAR01A
- [3]. "Tombino scatolare 2x2 -Armatura muri d'ala" T00OI01STRAR02A

2.2 Normativa

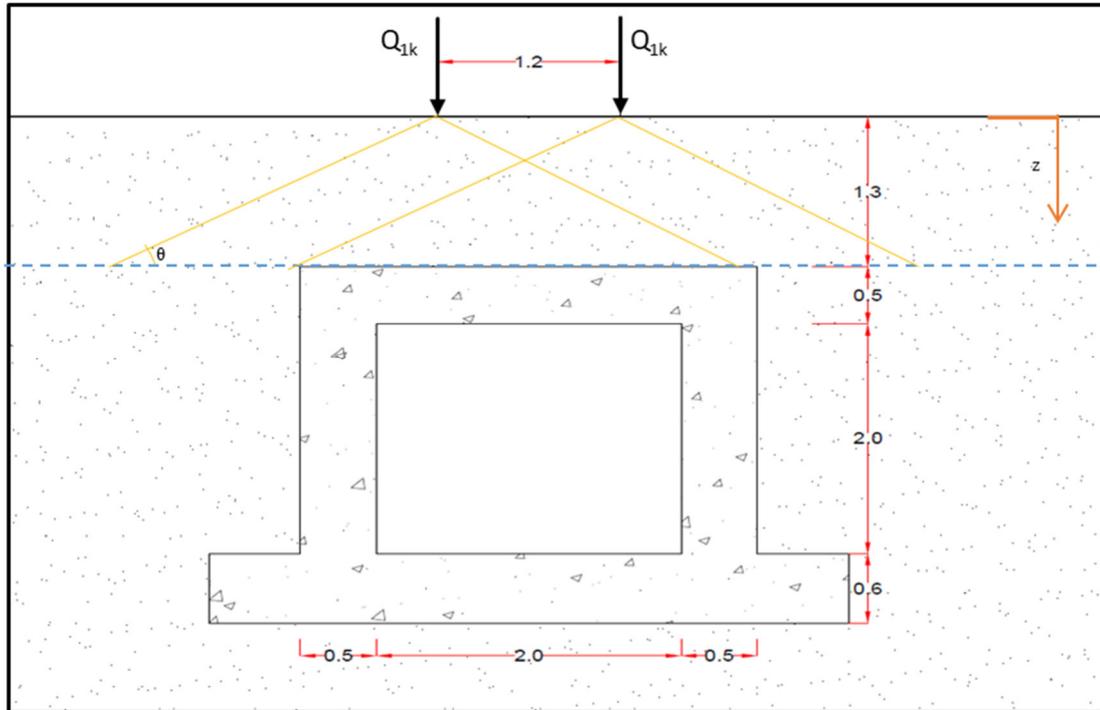
- [4]. D.M. 14.01.2008 "Norme Tecniche per le Costruzioni" Suppl. ord. n. 30 alla GU 4.02.2008, n. 29
- [5]. Circolare 2.02.2009, n. 617 – "Istruzioni per l'applicazione delle 'Nuove norme tecniche per le costruzioni' di cui al decreto ministeriale 14.01.2008". GU n.47 del 26.02.2009 - Suppl. Ord. n.27

2.3 Programmi di calcolo

- [6]. Midas Gen 2020; http://manual.midasuser.com/EN_Common/Gen/885/index.htm

3. SCHEMA DI CALCOLO DEL TOMBINO

La seguente figura rappresenta lo schema di calcolo adottato nelle verifiche presentate nel seguito.



Altezza Sovraccarico, H = 1.3 m

3.1 Materiali

3.1.1 Terreno di rinterro / rilevato

Peso Specifico, γ_{terra}	=	20	kN/m ³
Angolo di attrito del terreno, ϕ	=	30	°
k_0	=	0.5	

3.1.2 Calcestruzzo

Riferimenti Normativi: Norme Tecniche per le Costruzioni (Approvate con Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008)

Peso Specifico, γ_c	=	25	kN/m ³
Classe di resistenza	=	C30/37	
Resistenza cubica, R_{ck}	=	37	N/mm ²
Resistenza cilindrica caratteristica, f_{ck}	=	0.83 R_{ck}	
	=	30.71	N/mm ²
Resistenza cilindrica media, f_{cm}	=	$f_{ck}+8$	
	=	38.71	N/mm ²

Resistenza a trazione media, f_{ctm}	=	$0.30 (f_{ck})^{2/3}$	
	=	2.94	N/mm ²
Resistenza a traz. per flessione media, f_{cfm}	=	$1.20 f_{ctm}$	
	=	3.53	N/mm ²
Resistenza a traz. per flessione caratt., f_{ctk}	=	$0.70 f_{cfm}$	
	=	2.47	N/mm ²
Modulo elastico tra 0 e 0.40 f_{cm} , E_{cm}	=	$22000 (f_{cm}/10)^{0.3}$	
	=	33019	N/mm ²
Copriferro	=	40	mm
Tolleranza di posa del copriferro	=	0	mm
coefficiente di dilatazione termica, α_T	=	0.00001	°C ⁻¹

3.1.3 Acciaio di Armatura

Peso Specifico, γ_a	=	78.5	kN/m ³
Tipo	=	B450C	
Tensione nominale di snervamento, $f_{y,nom}$	=	450	N/mm ²
Tensione nominale di rottura, $f_{t,nom}$	=	540	N/mm ²
Minima tensione caratteristica di snervamento, $f_{yk,min}$	=	450	N/mm ²
Minima tensione caratteristica di rottura, $f_{tk,min}$	=	540	N/mm ²
Minimo rapporto tra i valori caratteristici, $(f_t/f_y)_{k,min}$	=	1.15	
Massimo rapporto tra i valori caratteristici, $(f_t/f_y)_{k,min}$	=	1.35	
Minimo rapporto tra i valori nominali, $(f_t/f_y)_{k,min}$	=	1.25	
modulo di elastico dell'acciaio, E	=	206000	N/mm ²
coefficiente di dilatazione termica, α_T	=	0.00001	°C ⁻¹

4. ANALISI DEI CARICHI

4.1 Permanenti portati, L_1

Comprendono il peso proprio della struttura, calcolato automaticamente dal programma di calcolo utilizzando $\gamma_{cls} = 25 \text{ kN/m}^3$; e il peso del terreno (rilevato stradale) di ricoprimento sopra la soletta superiore del tombino, avente altezza 1.3m e peso di volume $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$.

$$L_1 = \text{Pressione di Sovraccarico, } p_o = \boxed{26} \text{ kN/m}^2$$

4.2 Spinta delle terre, L_2

Le spinte sono calcolate secondo una condizione di spinta a riposo (k_0) in condizioni statiche, e di spinta attiva in condizioni sismiche, calcolata secondo la teoria di Mononobe-Okabe (k_{as}).

La seguente tabella fornisce le spinte alla sommità, alla base e in un punto intermedio del ritto del tombino, in condizioni statiche.

	z (m)	$\sigma_{0,t \text{ triang}} \text{ (kN/m}^2\text{)}$
z_1	1.55	15.50
z_2	2.8	28.00
z_3	4.1	41.00

La seguente tabella fornisce le spinte alla sommità, alla base e in un punto intermedio del ritto del tombino, in condizioni sismiche.

	z (m)	$\sigma_{0,t \text{ triang}} \text{ (kN/m}^2\text{)}$
z_1	1.55	13.73
z_2	2.8	24.81
z_3	4.1	36.33

4.3 Carichi mobili da traffico, L_3, L_4

I carichi da traffico sono stati calcolati considerando due impronte di carico (due assi) da 300kN ciascuna, secondo quanto dettagliato di seguito.

$$\begin{aligned}
 Q_{1k} &= \boxed{300} \text{ kN per asse} \\
 Q &= \boxed{600} \text{ kN} \\
 \text{Distanza tra gli assi} &= \boxed{1.2} \text{ m} \\
 \text{Angolo di diffusione, } \theta &= \boxed{30} \text{ }^\circ \\
 \\
 L &= \boxed{5.70} \text{ m} \\
 B &= \boxed{4.50} \text{ m} \\
 L_3 = q &= \boxed{23.36} \text{ kN/m}^2 \\
 L_4 = \sigma_{0,p} &= \boxed{11.68} \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

4.4 Analisi Sismica

4.4.1 Spinta inerziale (SLD), L_5 , L_6

accelerazione al suolo, a_g	=	0.061	g
coefficiente di amplificazione stratigrafica, S_s	=	1.2	
coefficiente di amplificazione topografica, S_t	=	1.0	
coefficiente di amplificazione, S	=	$S_s * S_t$	
	=	1.2	
coefficiente di spinta sismica, k_h	=	$a/g * S$	
	=	0.0732	

- Elemento 1 = Parete verticale

Volume elemento, V_1	=	1.0	m^3
Peso specifico elemento, γ_1	=	25.0	kN/m^3
spinta inerziale, L_5	=	1.83	kN

- Elemento 2 = Solettone Superiore

Volume elemento, V_2	=	2.5	m^3
Peso specifico elemento, γ_2	=	25.0	kN/m^3
spinta inerziale, L_6	=	4.61	kN

4.4.2 Spinta sismica terreno (SLV), L_7

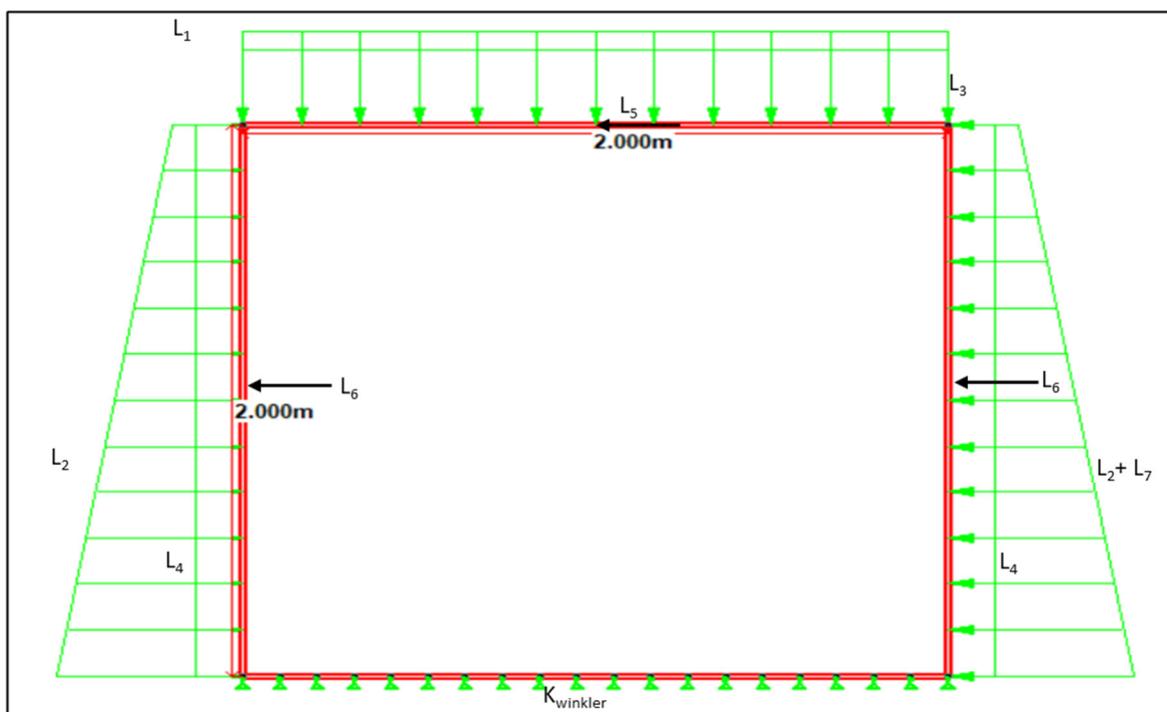
accelerazione al suolo, a_g	=	0.148	g
coefficiente di amplificazione stratigrafica, S_s	=	1.2	
coefficiente di amplificazione topografica, S_t	=	1.0	
coefficiente di amplificazione, S	=	1.2	
coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima, β_s	=	1.0	
coefficiente di spinta attiva sismica, k_{as}	=	0.443	

5. TOMBINO: MODELLO PER ANALISI FEM

Le analisi sono state condotte col programma Midas Gen, vers. 2020, specificamente pensato per l'analisi strutturale 3D anche di opere complesse; per ogni dettaglio in merito alle caratteristiche del programma, si faccia riferimento al doc. rif. [6].

Il sito web di Midas contiene anche collegamenti alle procedure di validazione condotte con specifico riferimento anche alla normativa italiana, sia le NTC 2008 che le più recenti NTC 2018: si rimanda a tali pagine web in ottemperanza a quanto richiesto dalle normative stesse.

La seguente figura rappresenta uno schema della sezione analizzata, e soprattutto dei carichi imposti su di essa nel modello di calcolo.



I vincoli sono rappresentati da 1 vincolo traslazionale in direzione trasversale e un letto di molle verticali poste in corrispondenza della soletta inferiore del tombino e di rigidezza pari a:

$$K_{\text{winkler},v} = 20000 \text{ kN/m}^2 \quad \text{rigidezza verticale}$$

$$K_{\text{winkler},h} = 1/3 k_v = 7000 \text{ kN/m}^2 \quad \text{rigidezza orizzontale (approssimata per difetto)}$$

Di seguito sono riportate le combinazioni di carico imposte sulla struttura.

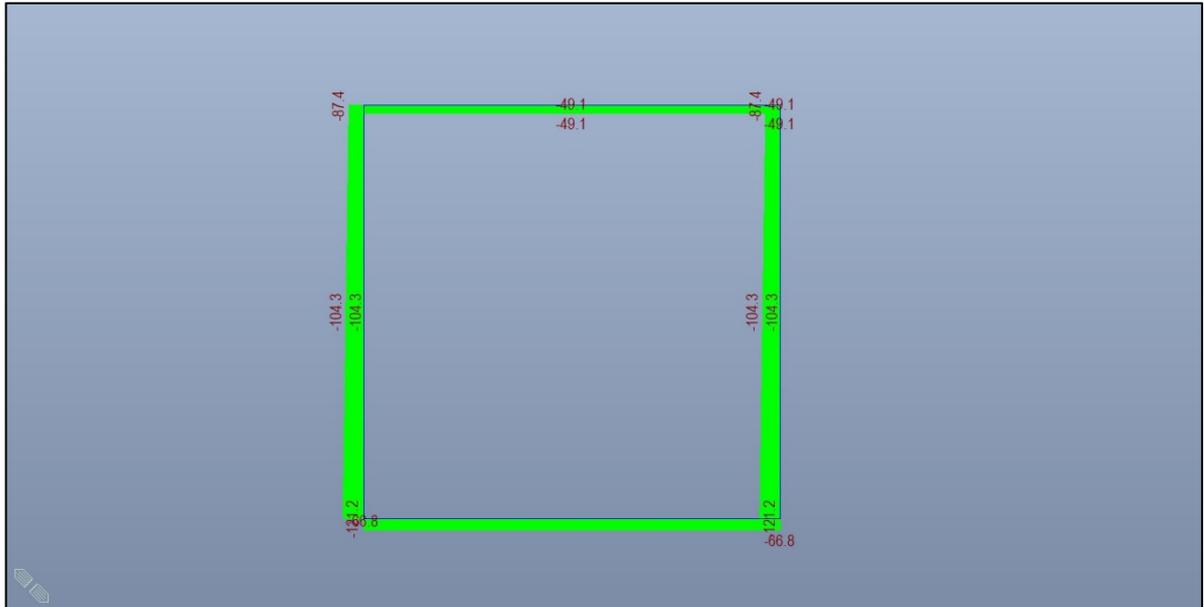
5.1 Combinazioni di Carico

	Peso Proprio			Permanenti (L ₁ , L ₂)			Traffico (L ₃ , L ₄)			Sisma (L ₅ , L ₆ , L ₇)		
	ψ	γ	$\psi^*\gamma$	ψ	γ	$\psi^*\gamma$	ψ	γ	$\psi^*\gamma$	ψ	γ	$\psi^*\gamma$
SLU1	1.00	1.35	1.35	1.00	1.50	1.50	1.00	1.35	1.35	0.00	0.00	0.00
SLU_S	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00
SLE_F1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.75	1.00	0.75	0.00	0.00	0.00
SLE_QP	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00

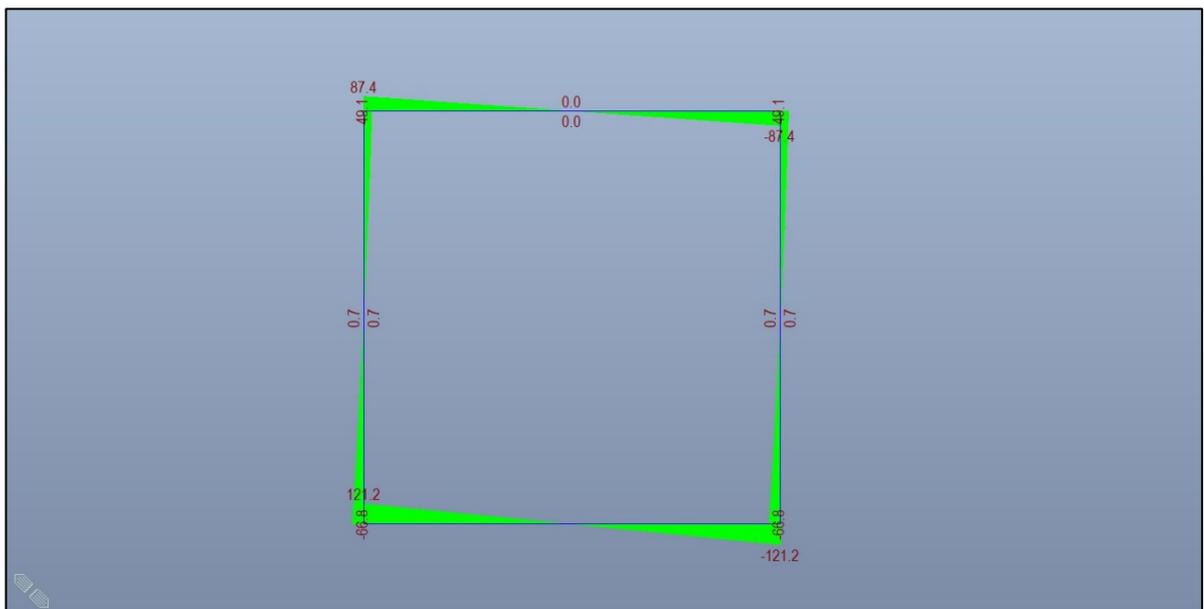
6. RISULTATI MODELLO

6.1 SLU1

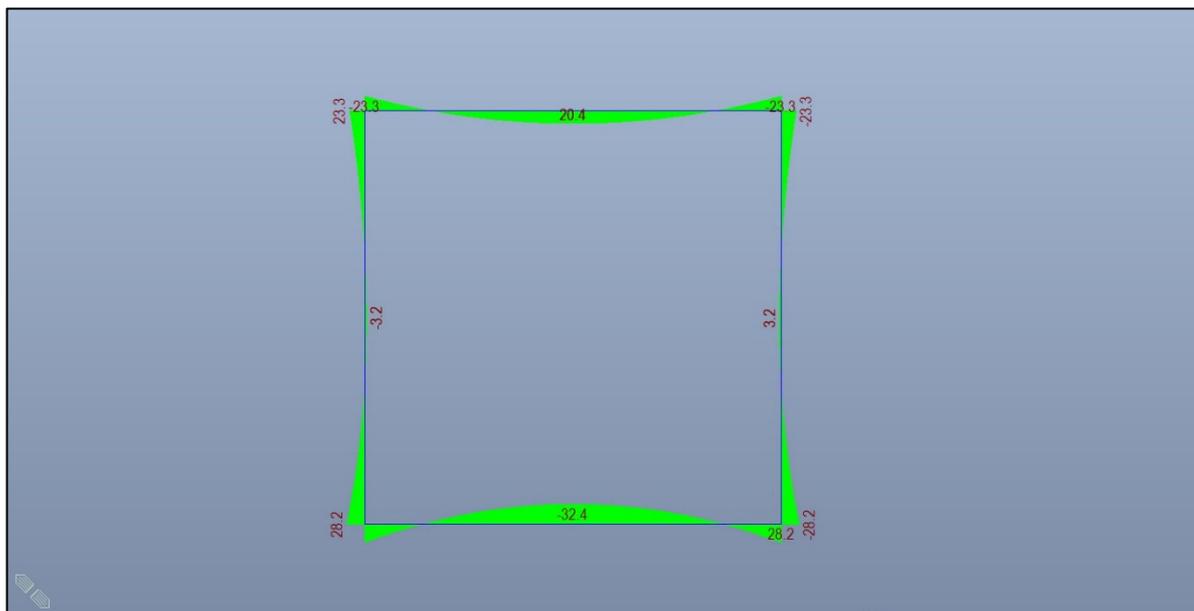
6.1.1 Diagramma delle forze assiali



6.1.2 Diagramma delle forze di taglio

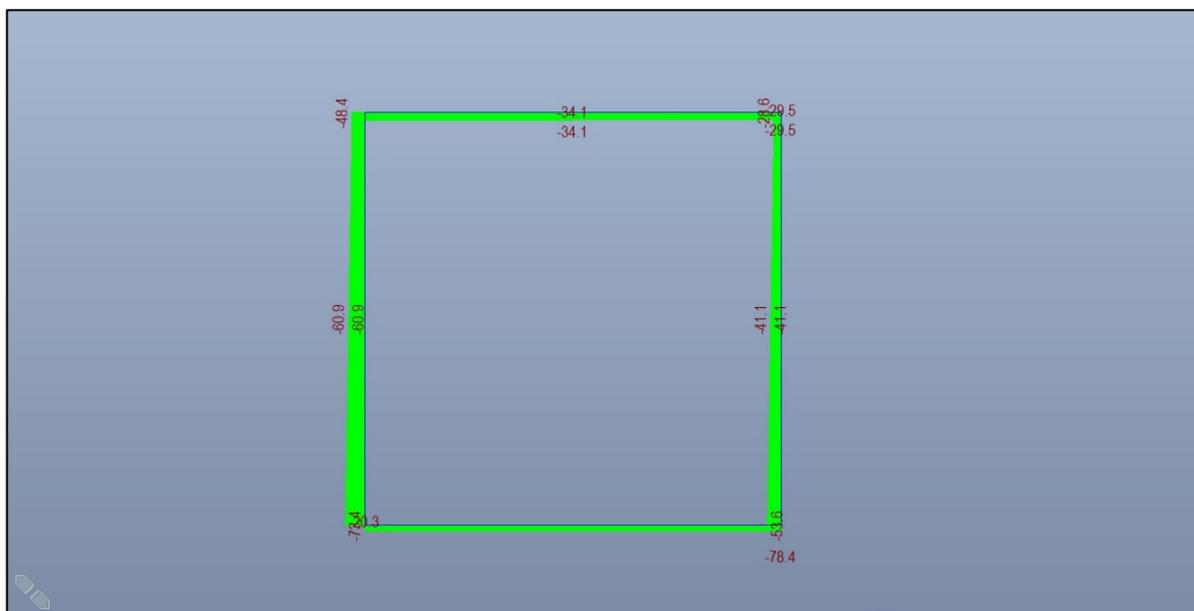


6.1.3 Diagramma dei momenti flettenti

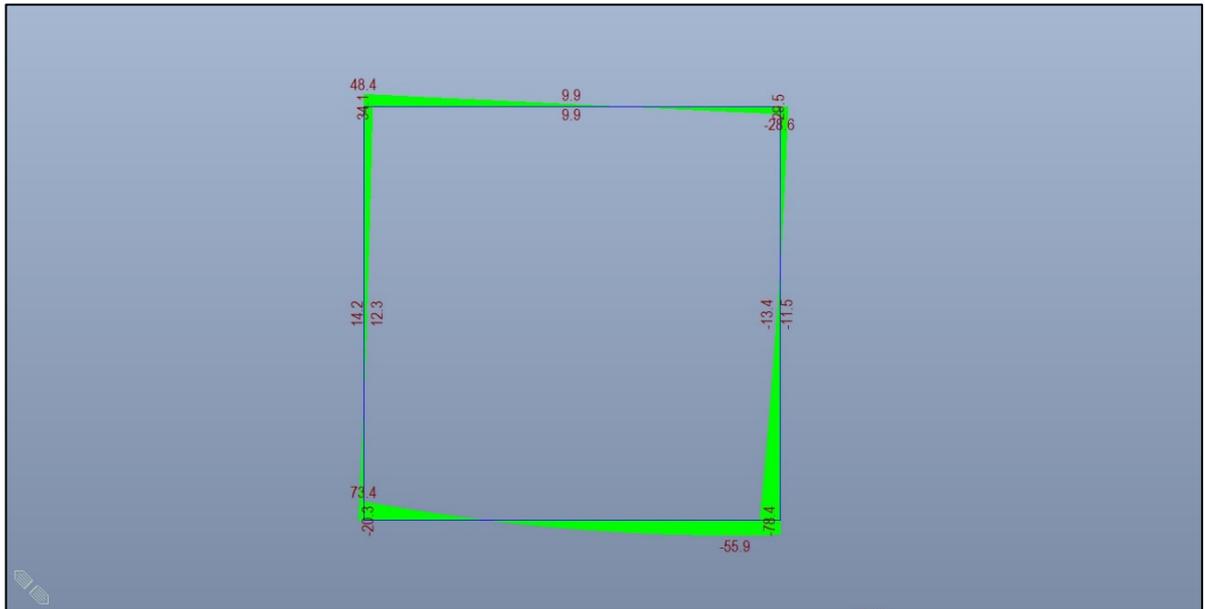


6.2 SLU_S

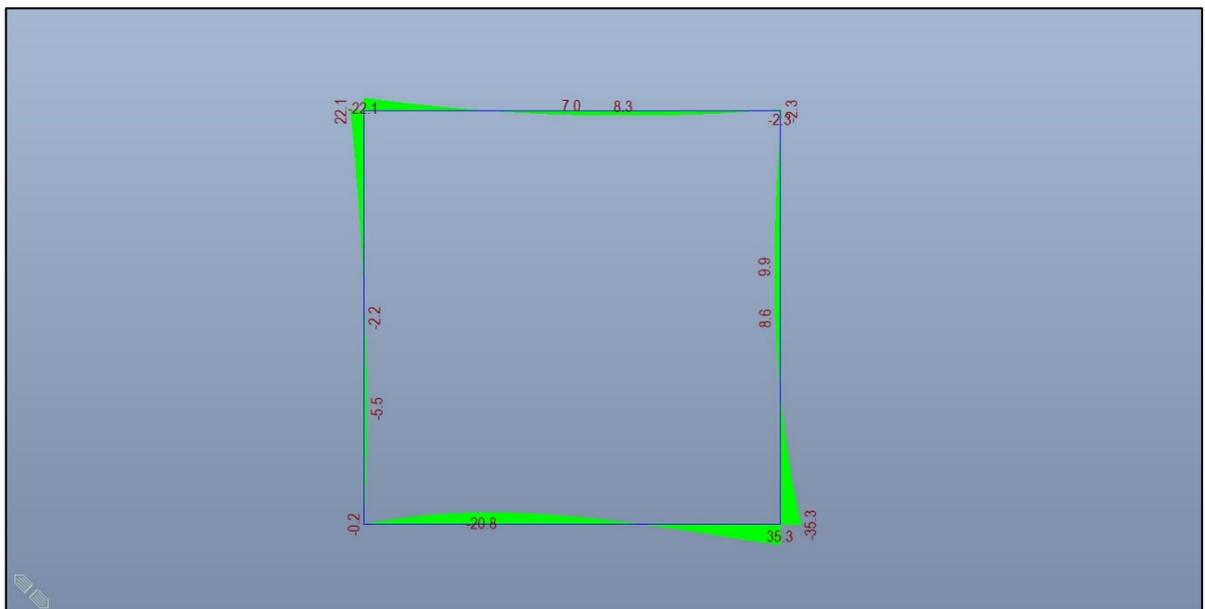
6.2.1 Diagramma delle forze assiali



6.2.2 *Diagramma delle forze di taglio*

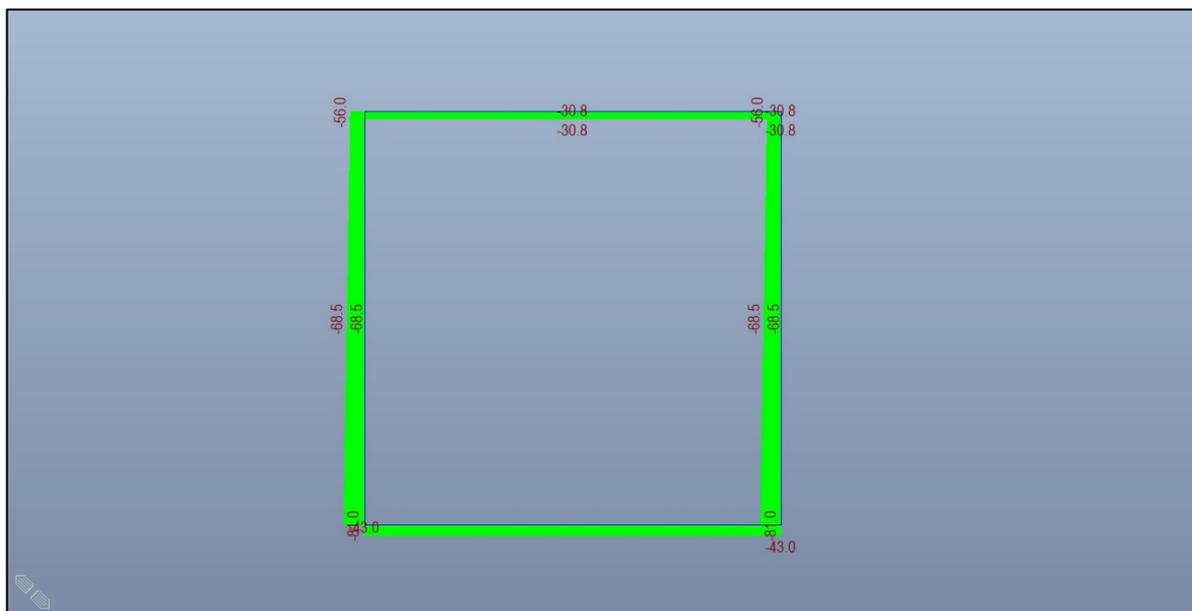


6.2.3 *Diagramma dei momenti flettenti*

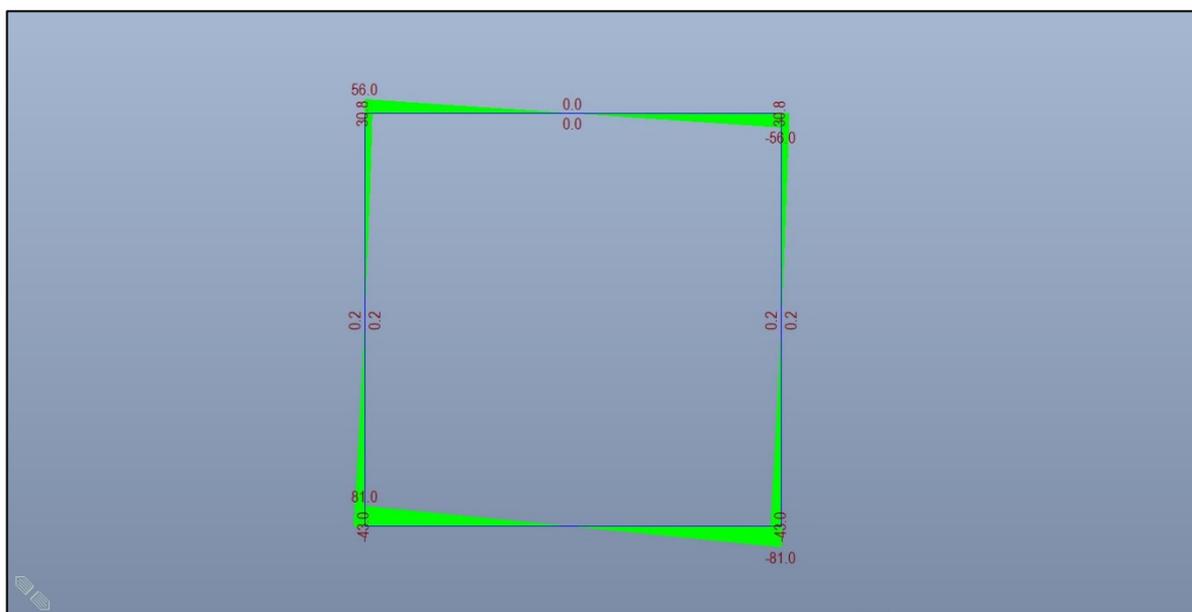


6.3 SLE_F1

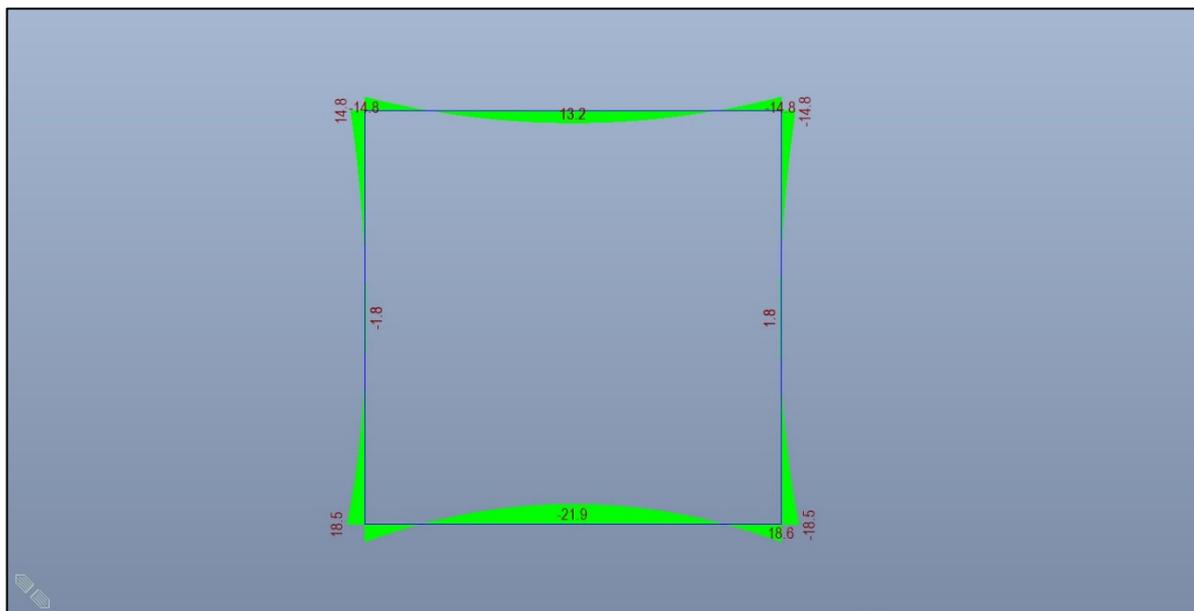
6.3.1 Diagramma delle forze assiali



6.3.2 Diagramma delle forze di taglio

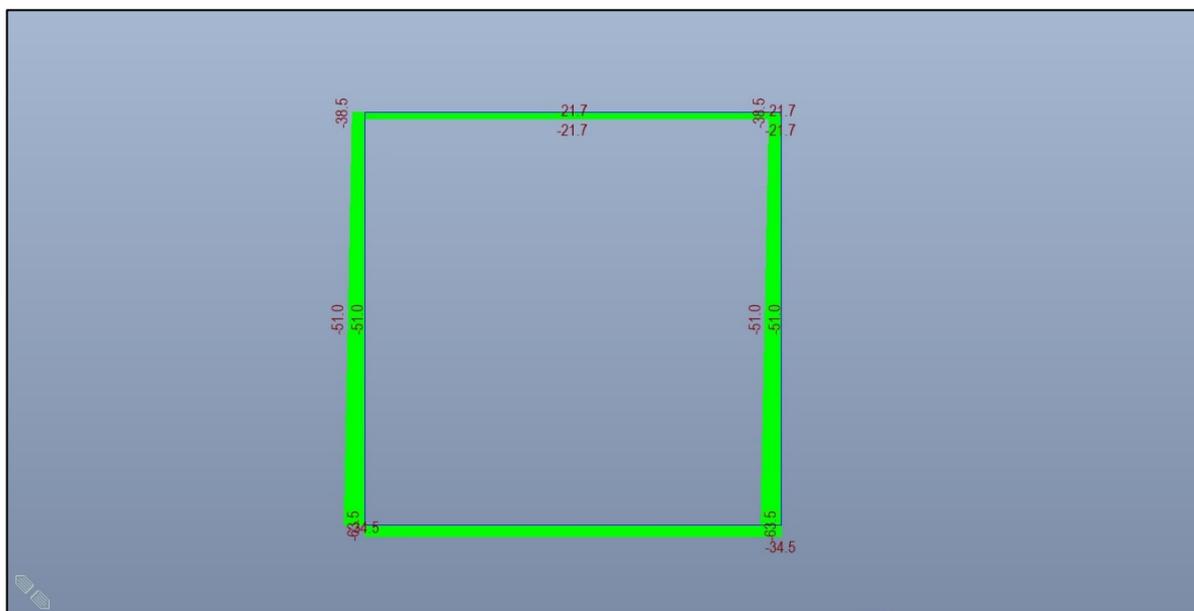


6.3.3 Diagramma dei momenti flettenti

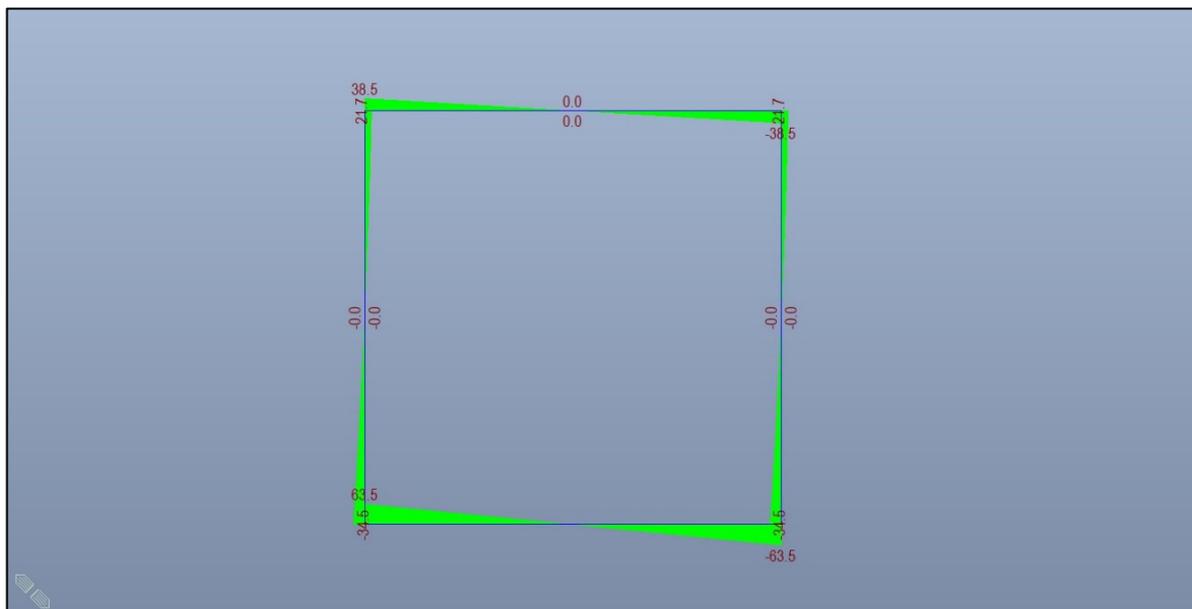


6.4 SLE_QP

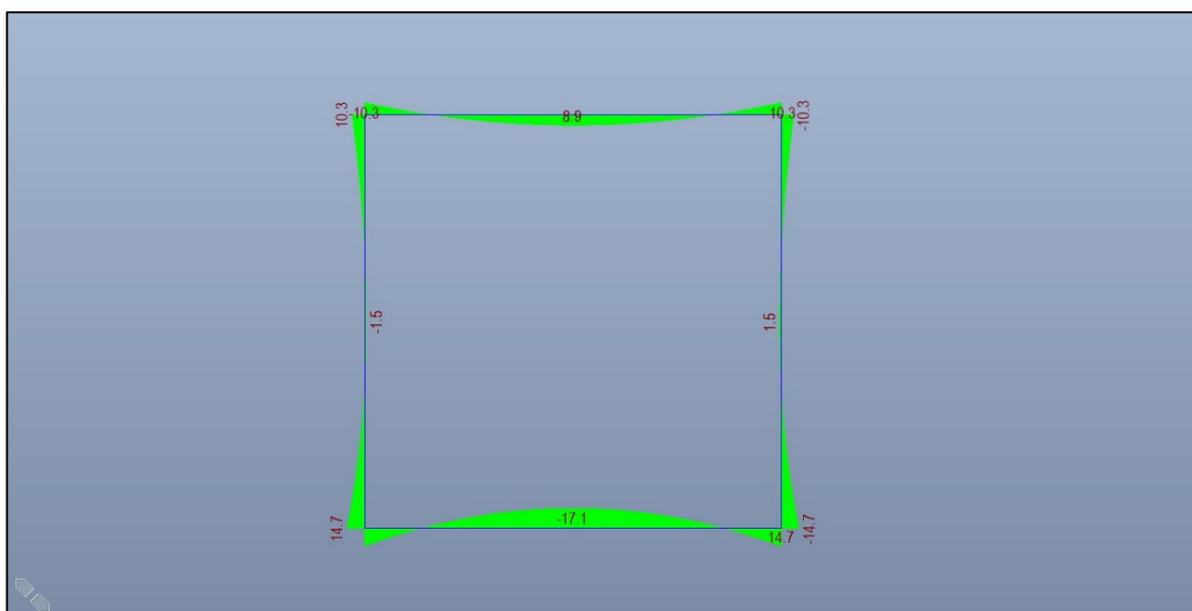
6.4.1 Diagramma delle forze assiali



6.4.2 *Diagramma delle forze di taglio*



6.4.3 *Diagramma dei momenti flettenti*



7. VERIFICHE STRUTTURALI

Di seguito si riportano i principali risultati delle verifiche strutturali relative a: Presso-flessione, Fessurazione e Taglio.

L'armatura considerata, rispettosa dei minimi di Normativa, e la seguente:

Armatura Trasversale

- Soletta Superiore: $\phi 12/20$ sup. + $\phi 12/20$ inf.
- Soletta Inferiore: $\phi 12/20$ sup. + $\phi 12/20$ inf.
- Piedritti: $\phi 12/20$ int. + $\phi 12/20$ est.

Armatura Longitudinale

- $\phi 12/20$ correnti

Armatura a Taglio

- Soletta Superiore: Spilli $\phi 8/40/40$
- Soletta Inferiore: Spilli $\phi 8/40/40$
- Piedritti: Spilli $\phi 8/40/40$

7.1 Verifica a presso-flessione

SLU1			Coeff. Sicurezza
	P (kN)	M _z (kNm)	
sol inf	66.80	-32.40	3.60
	66.80	28.20	4.14
piedr sx	87.40	-3.20	37.81
	121.20	28.20	4.53
piedr dx	87.40	-28.20	4.29
	121.20	3.20	39.96
sol sup	49.10	-23.30	4.84
	49.10	20.40	5.53
SLU_S			Coeff. Sicurezza
	P (kN)	M _z (kNm)	
sol inf	20.30	-20.80	5.16
	78.40	35.30	3.36
piedr sx	48.40	-5.50	20.52
	73.40	22.10	5.33
piedr dx	29.50	-35.30	3.06
	53.60	9.90	11.43
sol sup	29.50	-22.10	4.92
	34.10	8.30	13.22

7.2 Verifica a fessurazione

SLE_F1			Verif. Fessurazione
	P (kN)	M3 (kNm)	
sol inf	43.00	-21.90	NON FESSURATA
	43.00	18.60	NON FESSURATA
pedr sx	56.00	-1.80	NON FESSURATA
	81.00	18.50	NON FESSURATA
pedr dx	56.00	-18.50	NON FESSURATA
	81.00	1.80	NON FESSURATA
sol sup	30.80	-14.80	NON FESSURATA
	30.80	13.20	NON FESSURATA

SLE_QP			Verif. Fessurazione
	P (kN)	M3 (kNm)	
sol inf	34.50	-17.10	NON FESSURATA
	34.50	14.70	NON FESSURATA
pedr sx	38.50	-1.50	NON FESSURATA
	63.50	14.70	NON FESSURATA
pedr dx	38.50	-14.70	NON FESSURATA
	63.50	1.50	NON FESSURATA
sol sup	21.70	8.90	NON FESSURATA
	21.70	-10.30	NON FESSURATA

7.3 Verifica a taglio

$$\gamma_c = 1.5$$

$$b_w = 1000 \text{ mm}$$

7.3.1 Soletta inferiore

$$V_{cd} = 121.2 \text{ kN}$$

$$V_{rd} = [0.18k(100\rho_1f_{ck})^{1/3}/\gamma_c + 0.15\sigma_{cp}]b_wd$$

$$= 188.92 \text{ kN} \geq$$

$$(v_{\min}+0.15\sigma_{cp})b_wd = 199.93 \text{ kN}$$

$$\rightarrow V_{rd} = 199.93 \text{ kN}$$

dove:

$$d_{cs} = 500 \text{ mm}$$

$$d = 460 \text{ mm}$$

$$k = 1+(200/d)^{1/2}$$

$$= 1.66$$

$$v_{\min} = 0.035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$$

$$= 0.41$$

$$A_{sl} = 1130.97 \text{ mm}^2$$

$$\rho_1 = A_{sl}/(b_w d)$$

$$\begin{aligned}
 &= 0.002459 \\
 N_{ed} &= 66.800 \text{ kN} \\
 A_c &= 500000 \text{ mm}^2 \\
 \sigma_{cp} &= N_{ed}/A_c \\
 &= 0.133600 \text{ N/mm}^2 \\
 V_{rd} &> V_{cd} \quad \text{Non necessaria armatura specifica a taglio}
 \end{aligned}$$

Inserisco un'armatura a taglio pari a: Spilli ϕ 8/40/40

7.3.2 Soletta superiore

$$\begin{aligned}
 V_{cd} &= 87.4 \text{ kN} \\
 V_{rd} &= [0.18k(100\rho_1f_{ck})^{1/3}/\gamma_c + 0.15\sigma_{cp}]b_wd \\
 &= 186.47 \text{ kN} \quad \geq \\
 (v_{\min}+0.15\sigma_{cp})b_wd &= 197.49 \text{ kN} \\
 \rightarrow V_{rd} &= 197.49 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

dove:

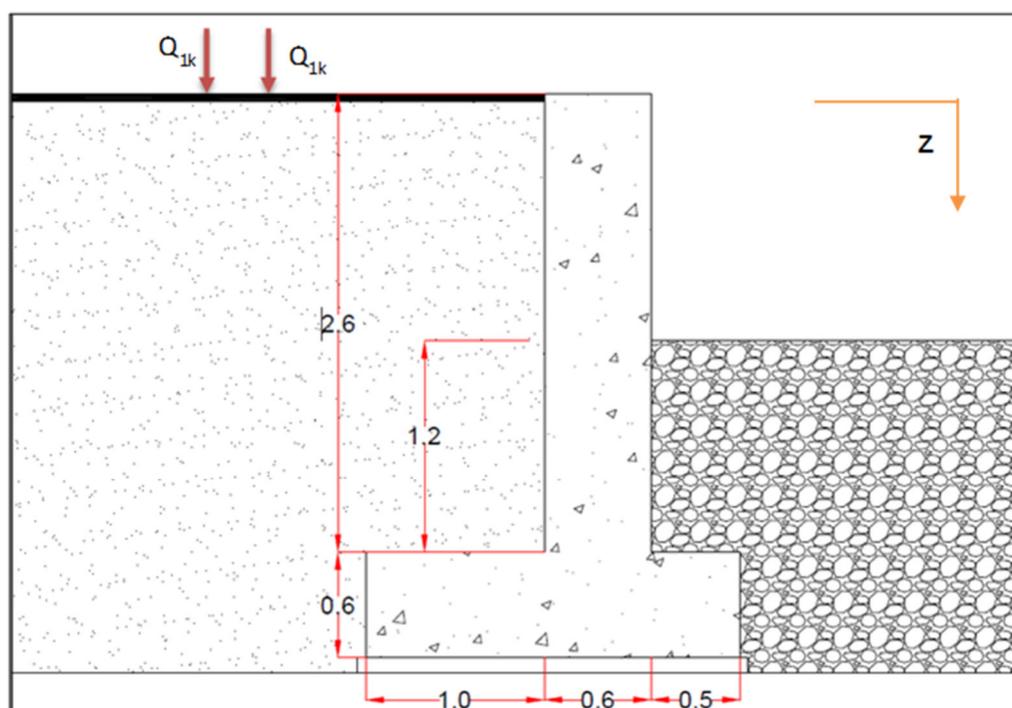
$$\begin{aligned}
 d_{cs} &= 500 \text{ mm} \\
 d &= 460 \text{ mm} \\
 k &= 1+(200/d)^{1/2} \\
 &= 1.66 \\
 v_{\min} &= 0.035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} \\
 &= 0.41 \\
 A_{sl} &= 1130.97 \text{ mm}^2 \\
 \rho_1 &= A_{sl}/(b_w d) \\
 &= 0.002459 \\
 N_{ed} &= 49.1 \text{ kN} \\
 A_c &= 500000 \text{ mm}^2 \\
 \sigma_{cp} &= N_{ed}/A_c \\
 &= 0.098200 \text{ N/mm}^2 \\
 V_{rd} &> V_{cd} \quad \text{Non necessaria armatura specifica a taglio}
 \end{aligned}$$

Inserisco un'armatura a taglio pari a: Spilli ϕ 8/40/40

8. MURI D'ALA: MODELLO PER ANALISI FEM

8.1 Sezione di calcolo

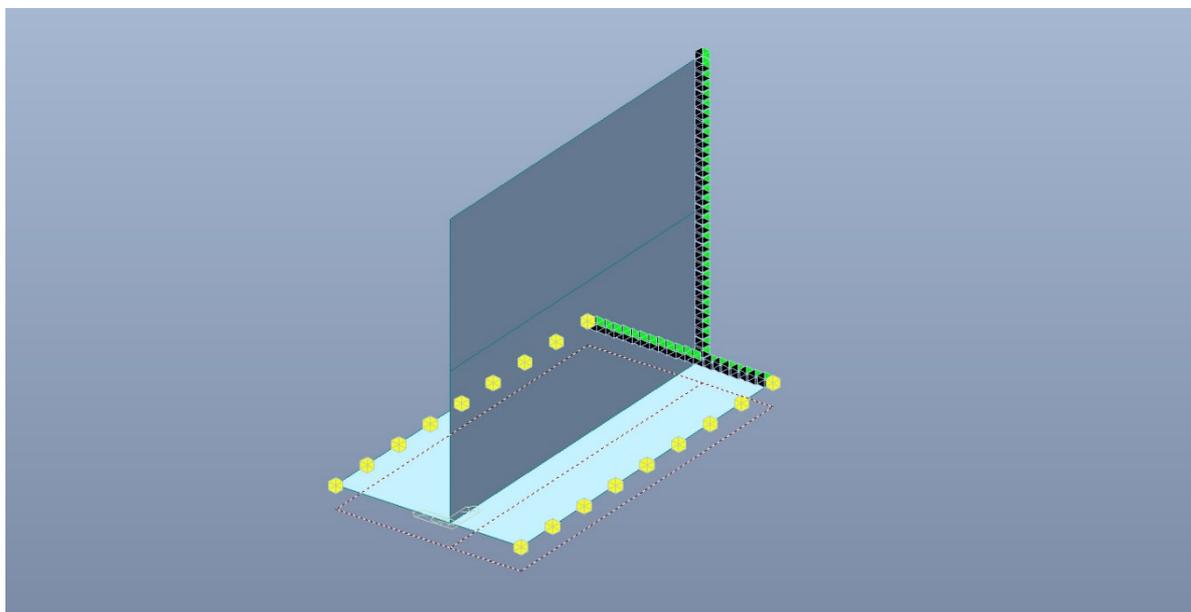
È stato analizzato il muro d'ala sul lato Ovest dell'uscita Sud del tombino, che rappresenta le condizioni di carico più gravose in quanto corre all'incirca lungo il ciglio della stradina, coi carichi da traffico a ridosso.



8.2 Analisi dei carichi

I carichi agenti sono, in generale, gli stessi già considerati per il tombino e vengono calcolati nello stesso modo descritto nella sezione 4.

8.3 Modello per analisi agli elementi finiti

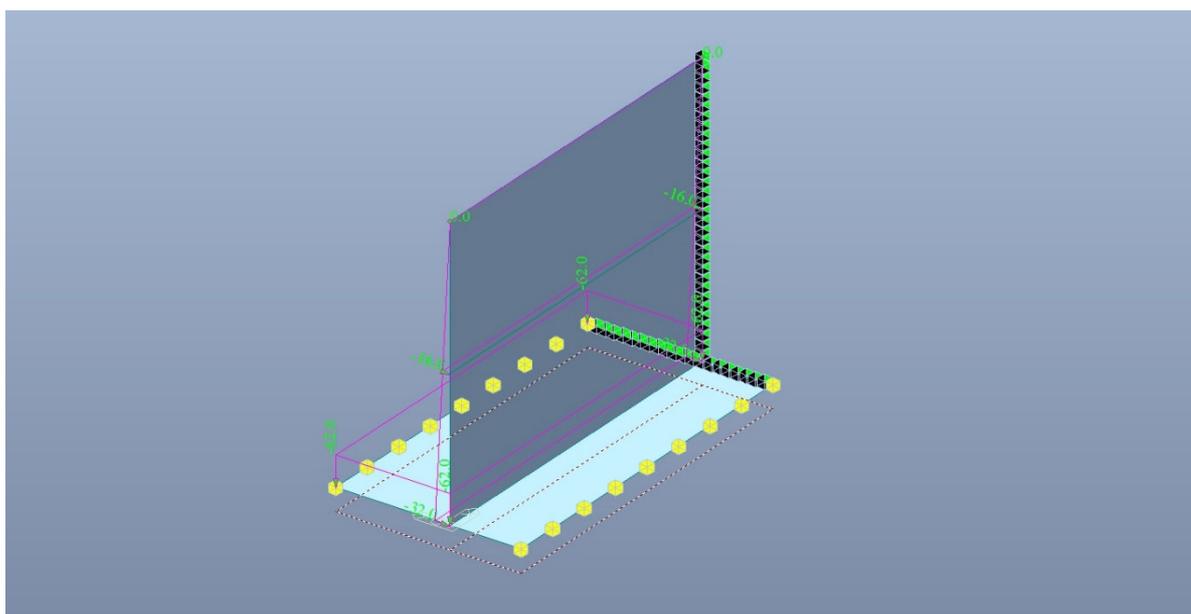


I vincoli sono rappresentati da 1 vincolo traslazionale in direzione trasversale e un letto di molle verticali poste in corrispondenza della fondazione del muro e di rigidezza pari a:

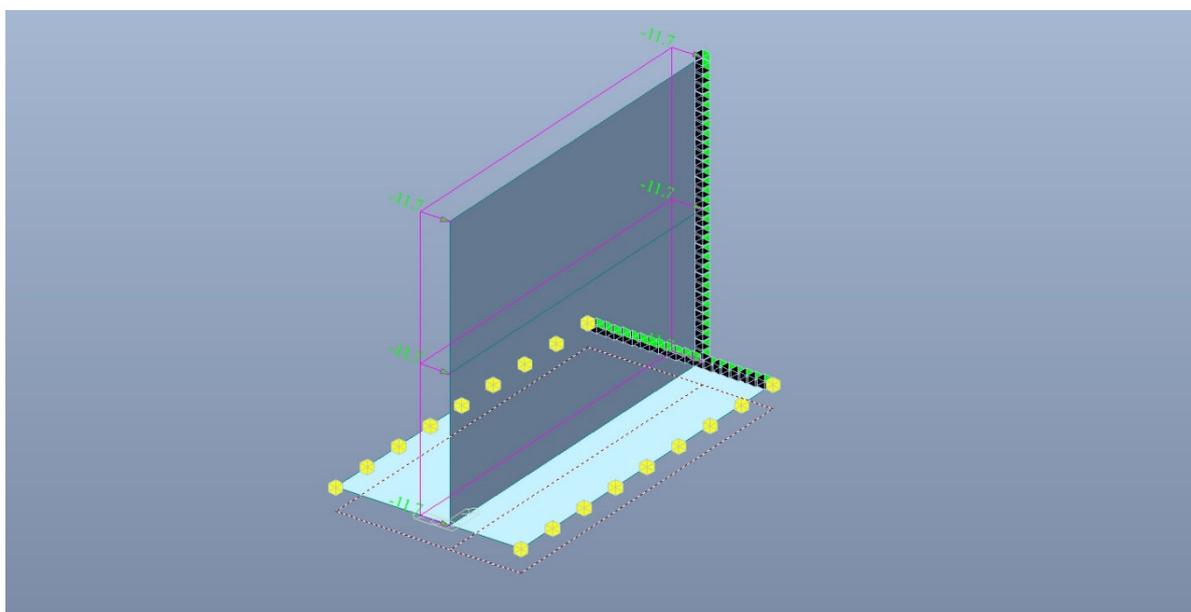
$$K_{\text{winkler},v} = 20000 \text{ kN/m}^2 \quad \text{rigidezza verticale}$$

$$K_{\text{winkler},h} = 1/3 k_v = 7000 \text{ kN/m}^2 \quad \text{rigidezza orizzontale (approssimata per difetto)}$$

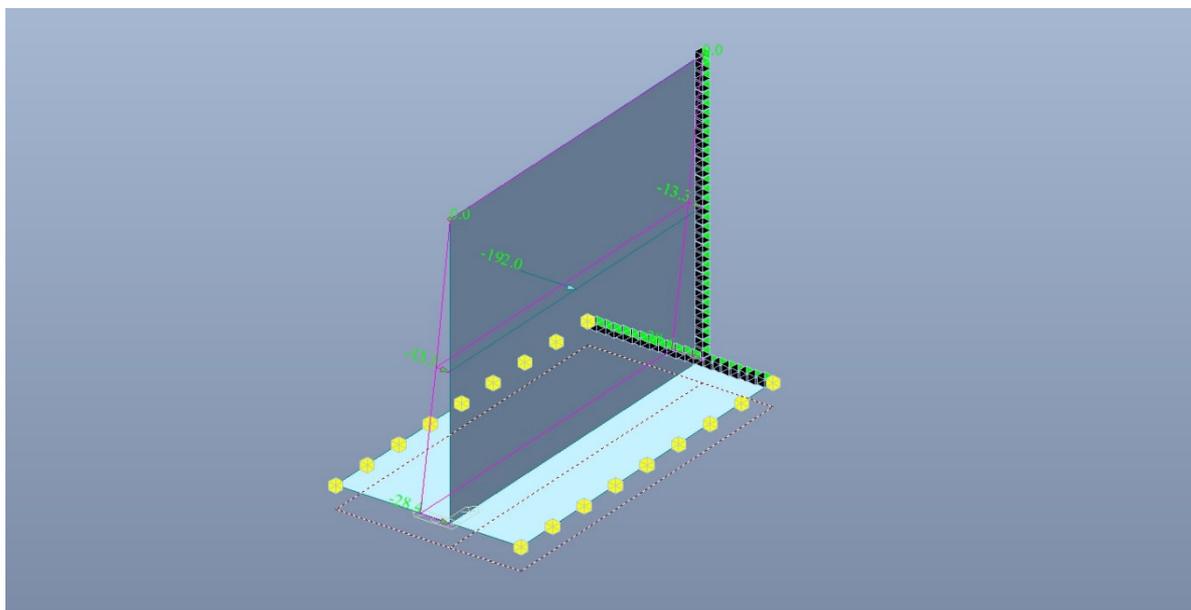
8.3.1 Spinta delle terre



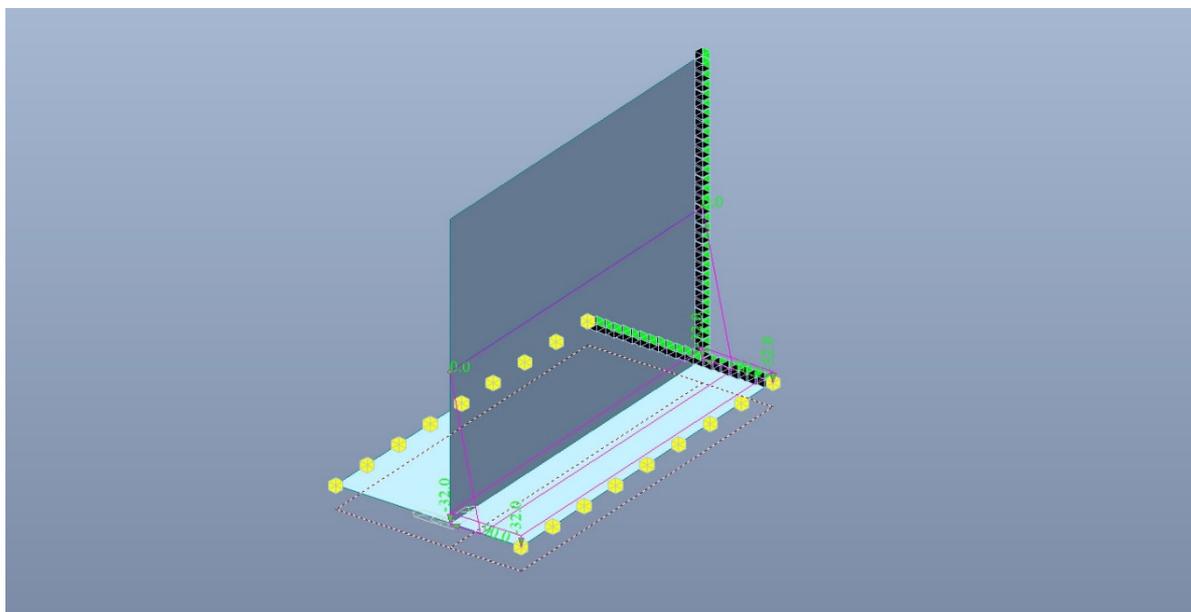
8.3.2 Carichi mobili da traffico



8.3.3 Spinta inerziale e sismica terreno



8.3.4 Spinta passiva



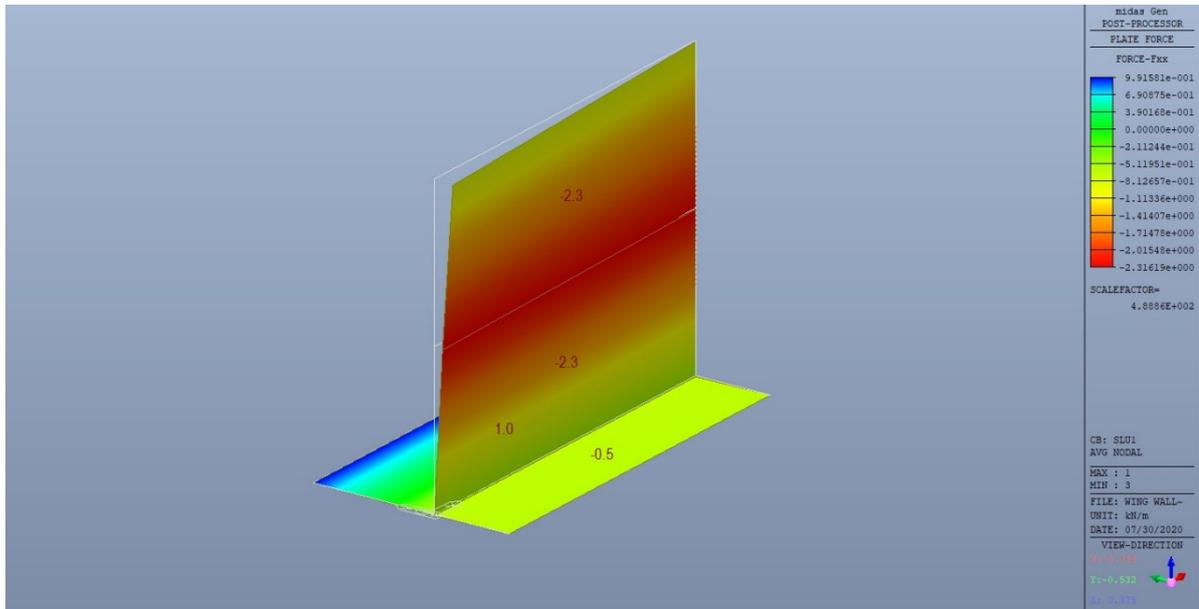
Nel caso specifico si è tenuto conto della spinta passiva del terreno a valle del muro, dal momento che questo non è costituito da un generico rinterro di spessore limitato all'altezza della zattera di fondazione del muro, bensì da un intervento di protezione spondale con massi rocciosi adeguatamente selezionati e disposti in modo da costituire un elemento stabile e costantemente presente, di altezza crescente fino a raggiungere la sommità stessa del muro nell'arco di pochissimi metri (lo sviluppo dei muri d'ala è dell'ordine di 4m al massimo, o meno).

Nel calcolo della spinta passiva si è comunque considerata un'altezza pari alla metà di quella massima del terreno a valle, ciò che recepisce anche le indicazioni di normativa.

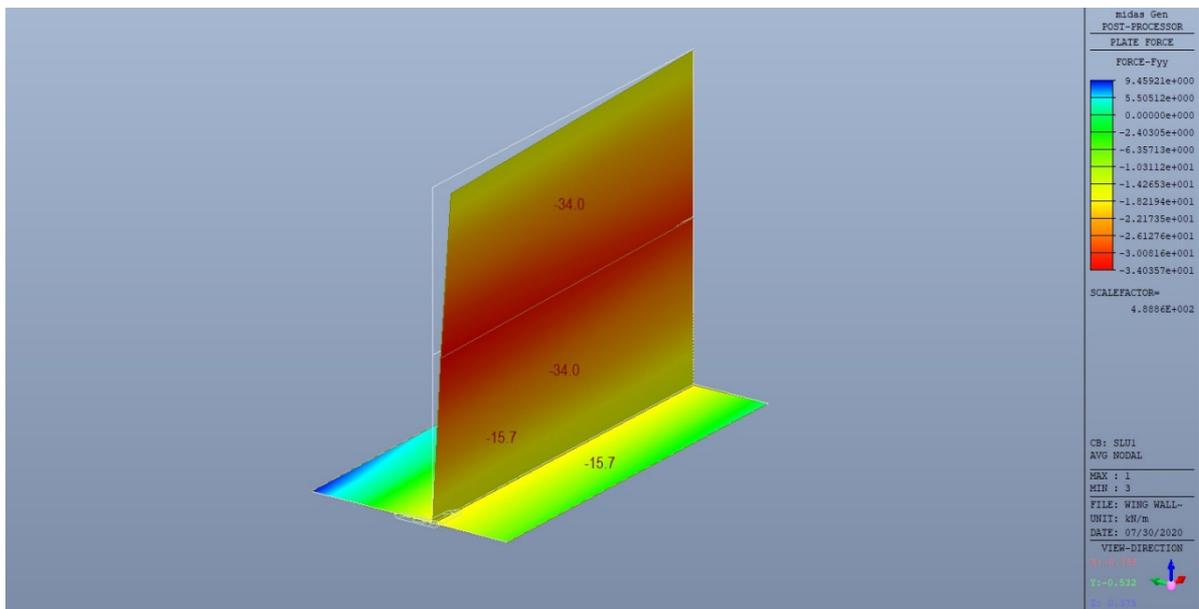
9. RISULTATI MODELLO

9.1.1 SLU1

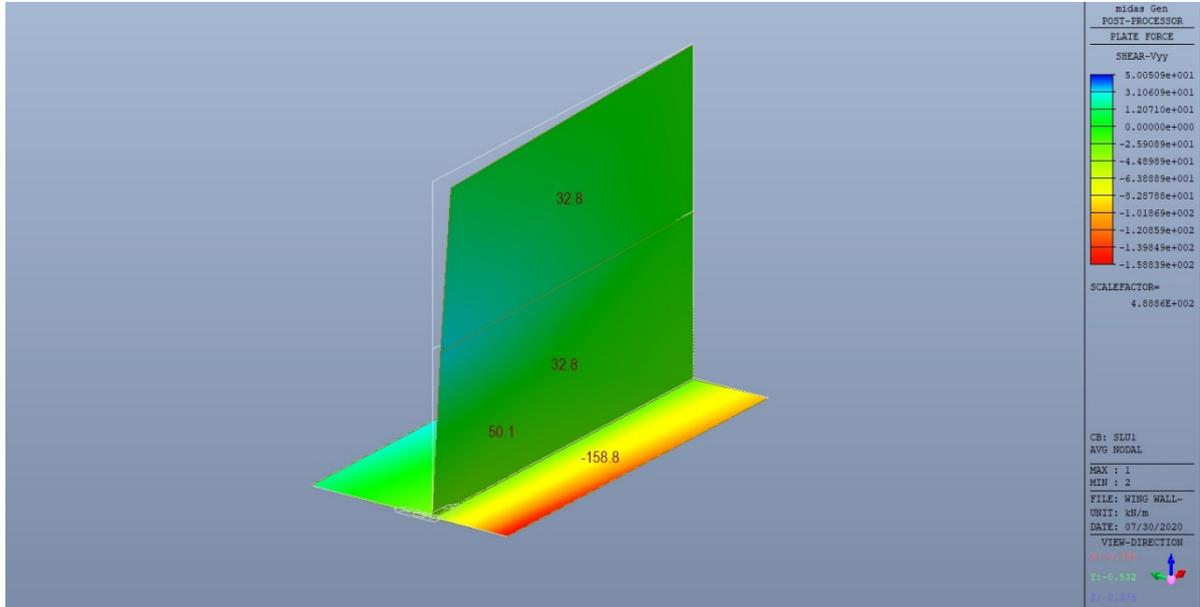
- Diagramma delle forze assiali - Fxx



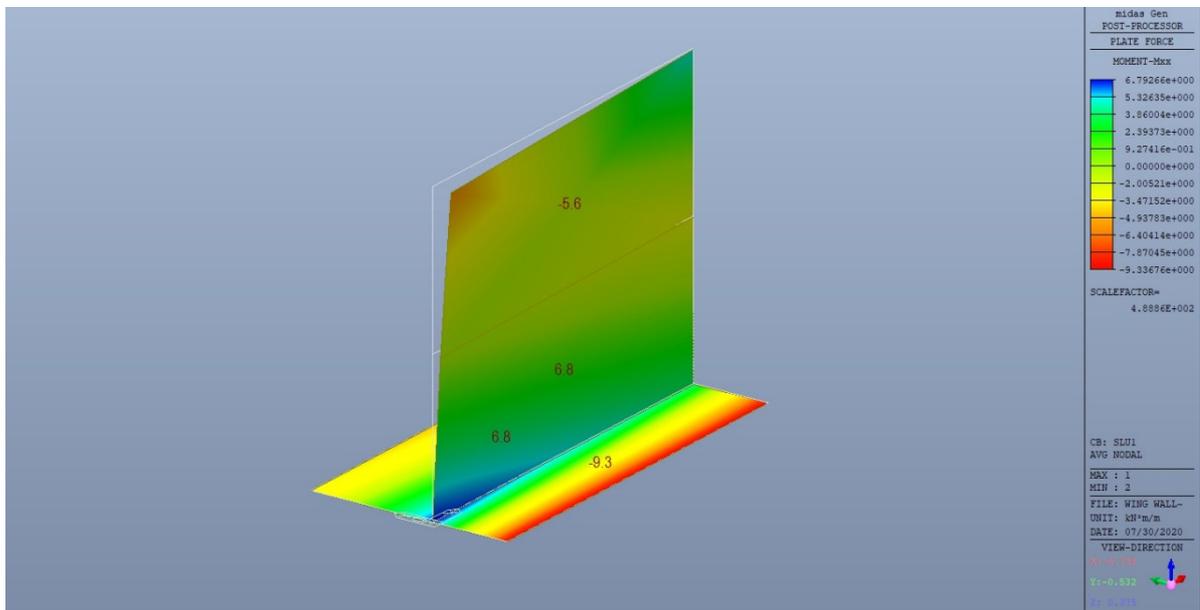
- Diagramma delle forze assiali - Fyy



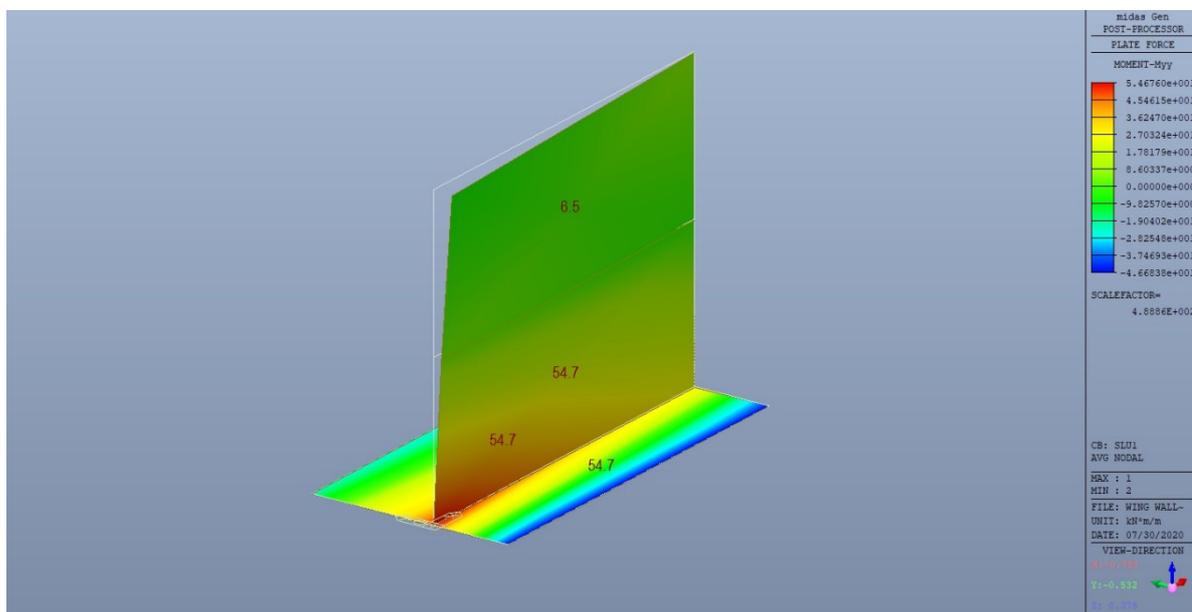
- Diagramma delle forze di taglio



- Diagramma dei momenti flettenti - Mxx

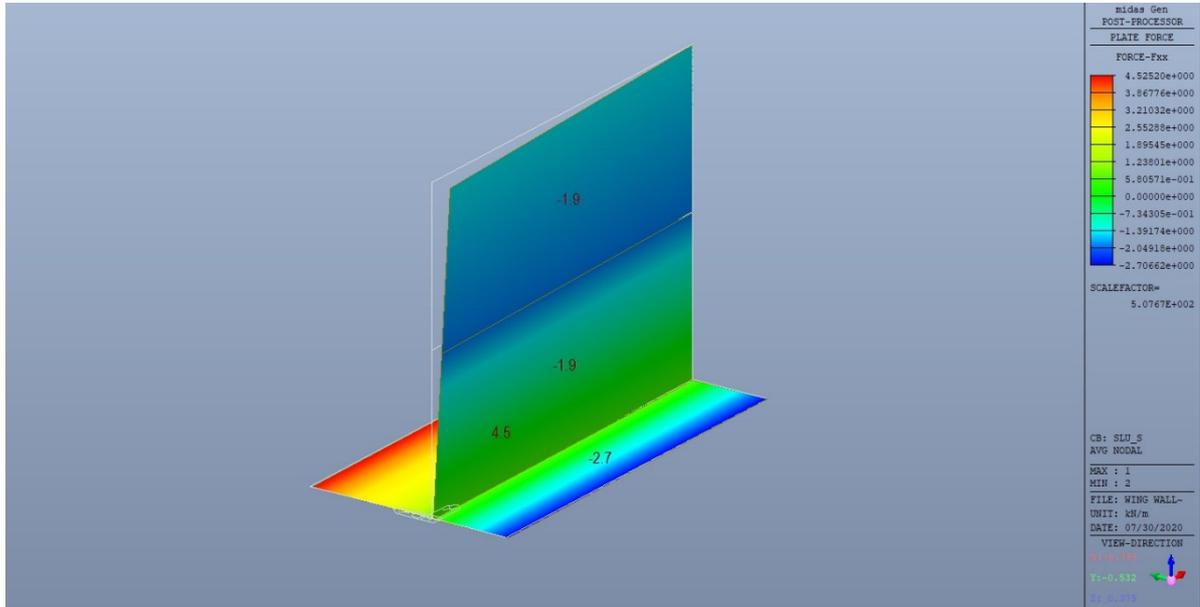


- Diagramma dei momenti flettenti - Myy

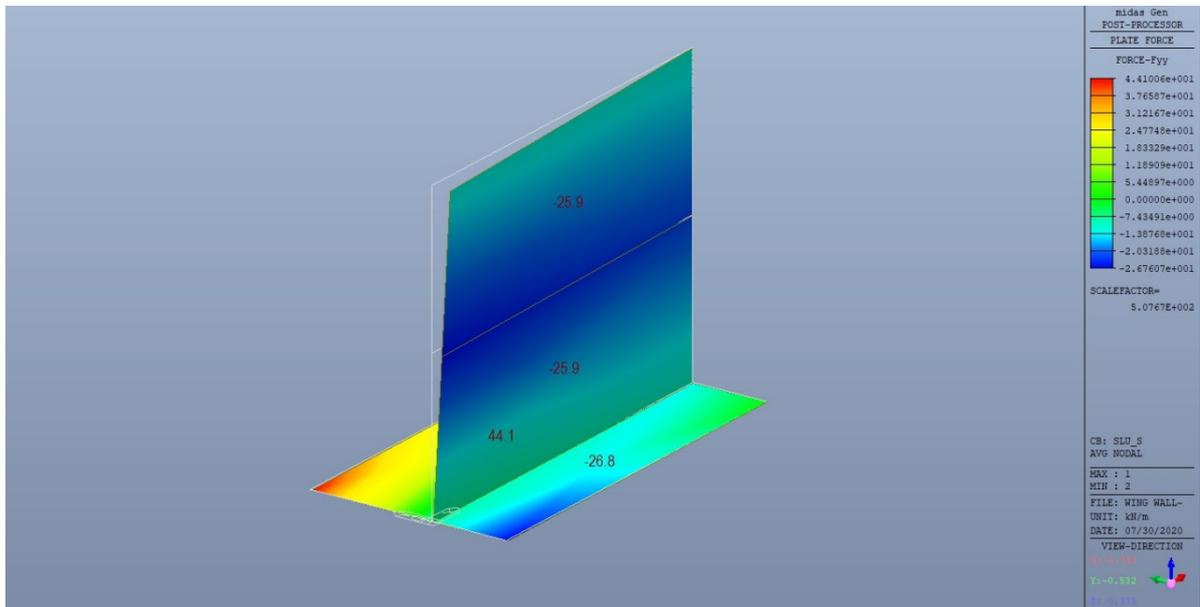


9.1.2 SLU_S

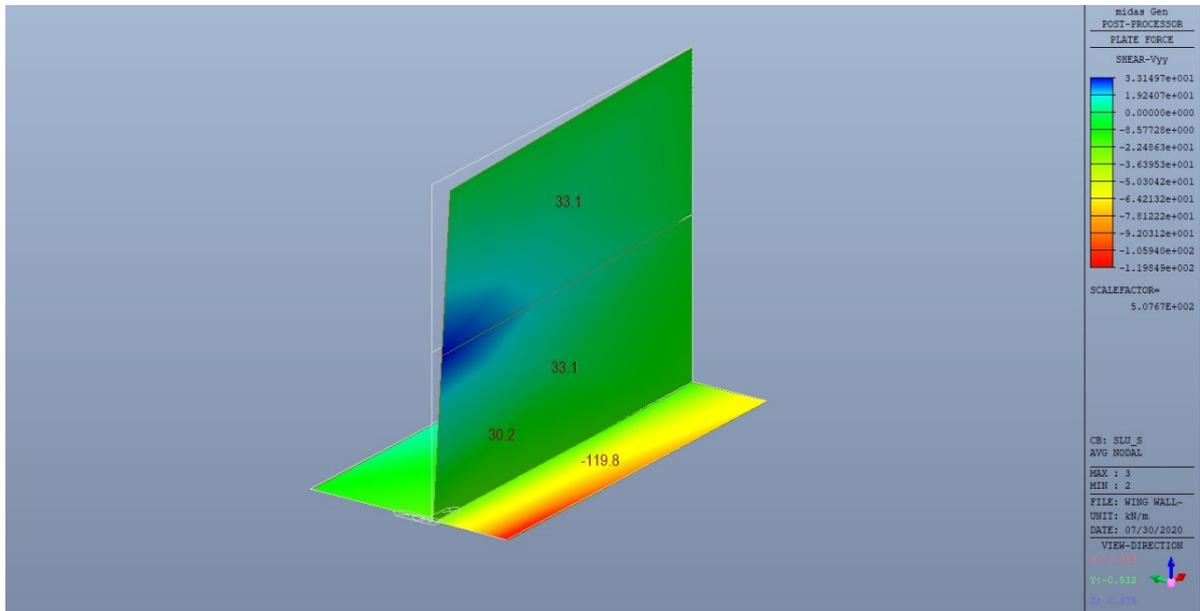
- Diagramma delle forze assiali - Fxx



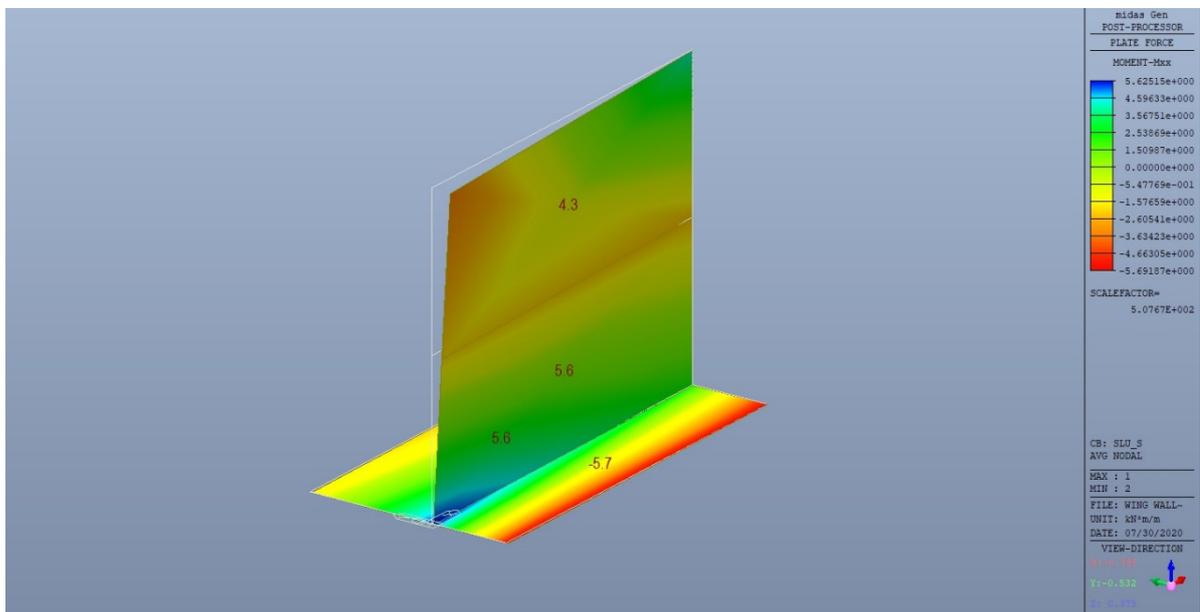
- Diagramma delle forze assiali - Fyy



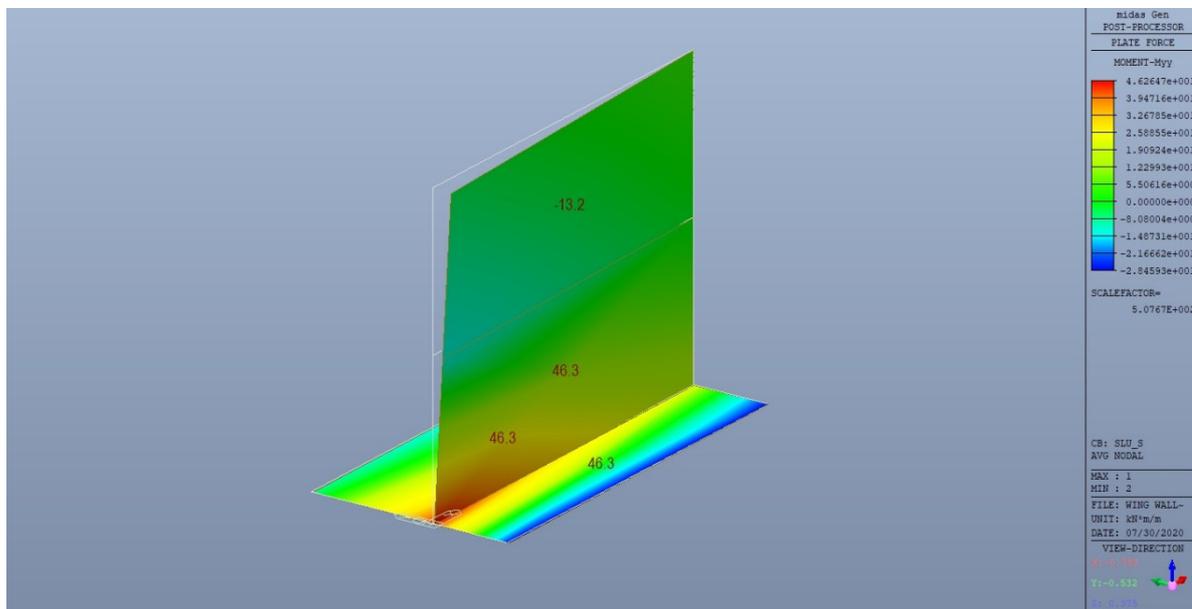
- Diagramma delle forze di taglio



- Diagramma dei momenti flettenti - Mxx

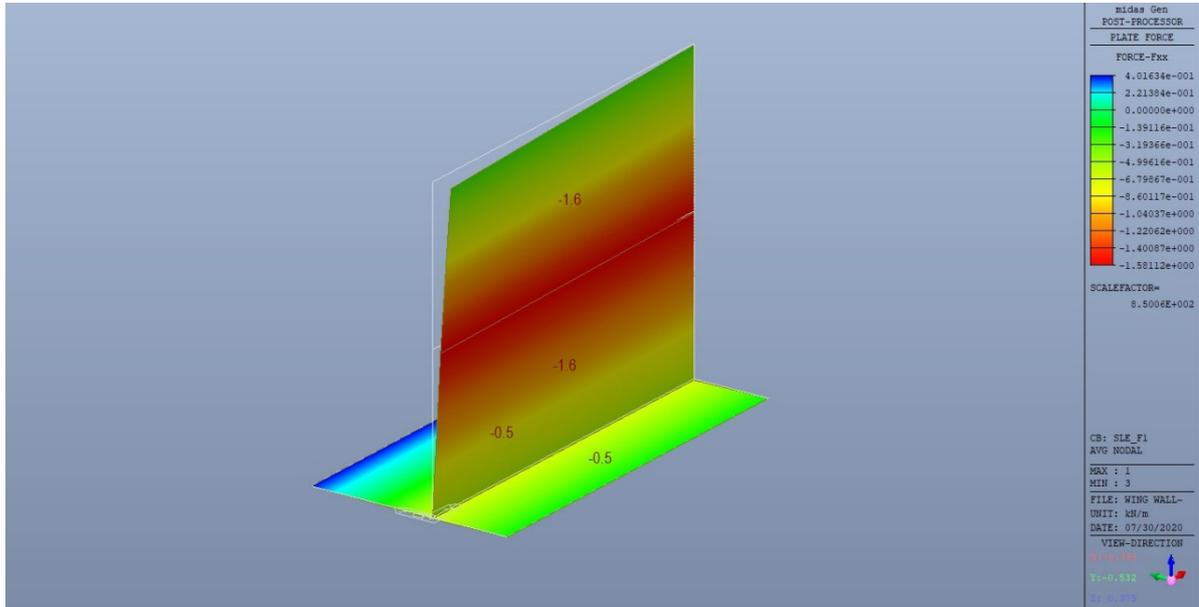


- Diagramma dei momenti flettenti - Myy

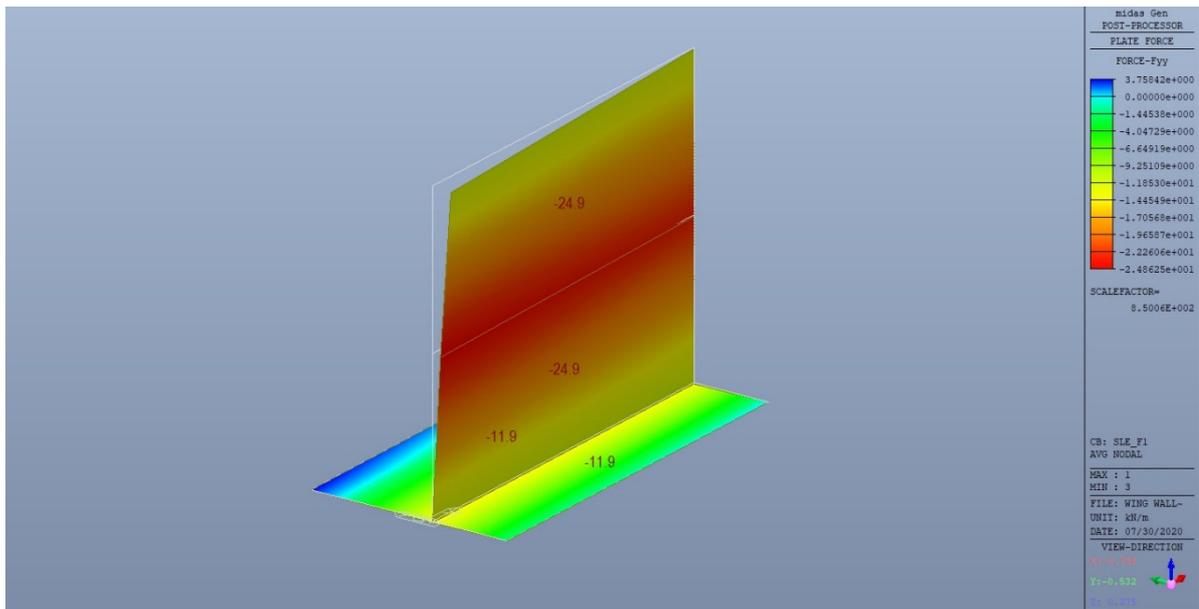


9.1.3 SLE_F1

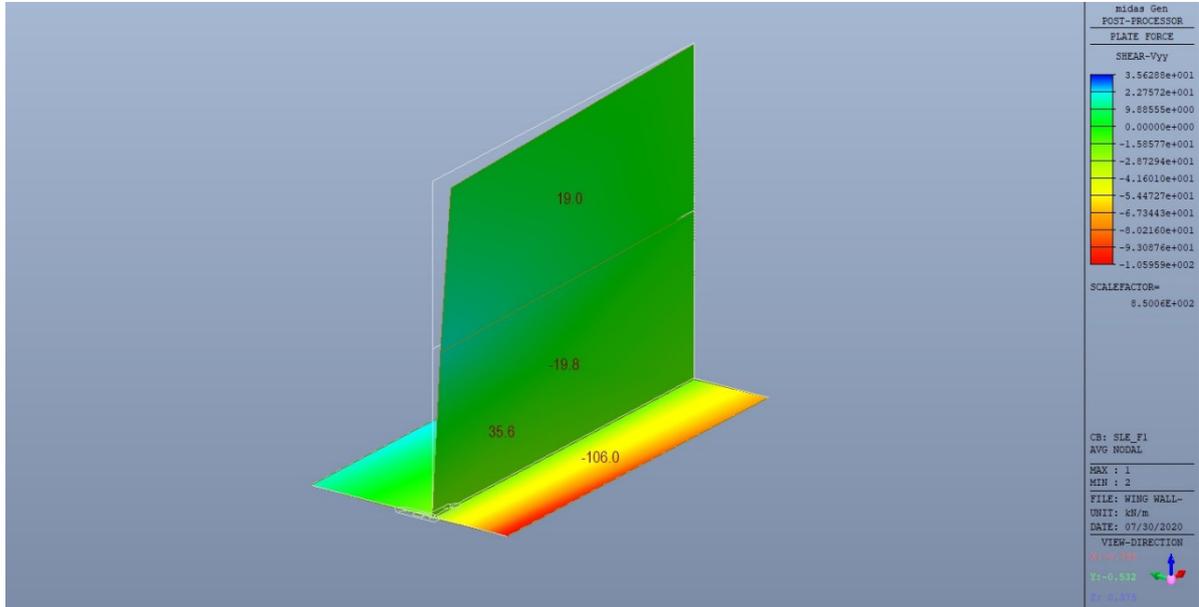
- Diagramma delle forze assiali - Fxx



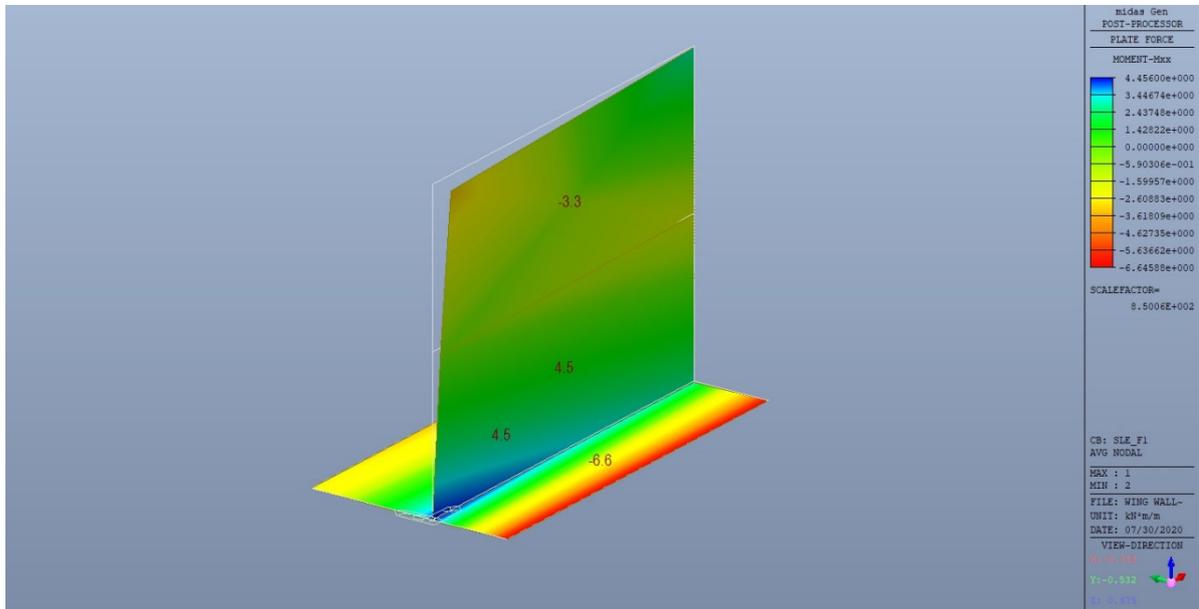
- Diagramma delle forze assiali - Fyy



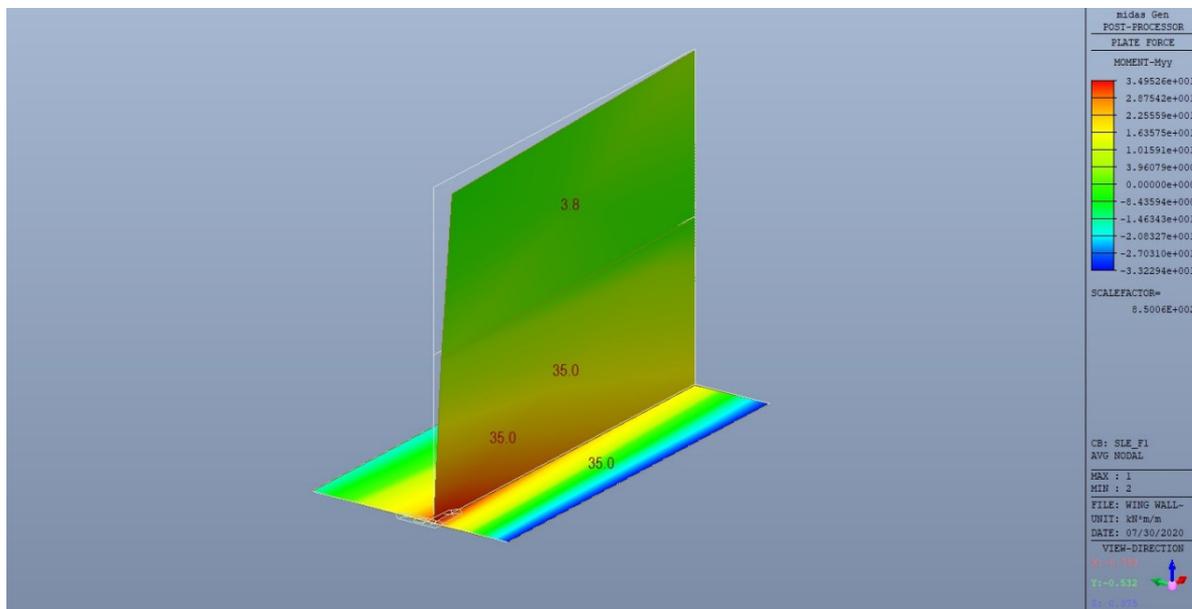
- Diagramma delle forze di taglio



- Diagramma dei momenti flettenti - Mxx

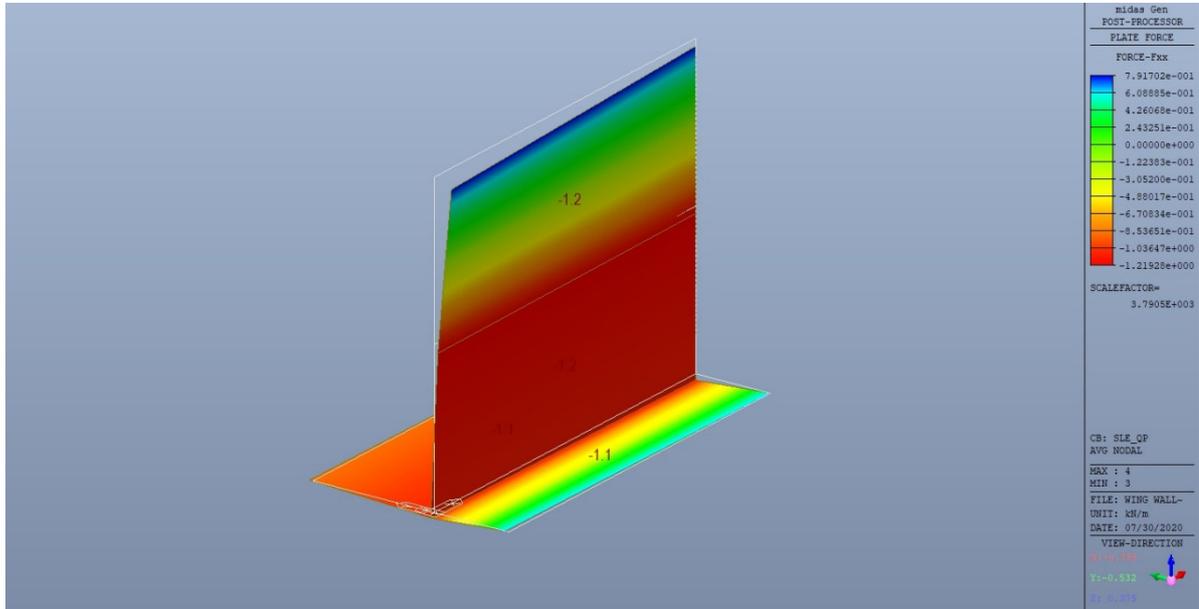


- Diagramma dei momenti flettenti - Myy

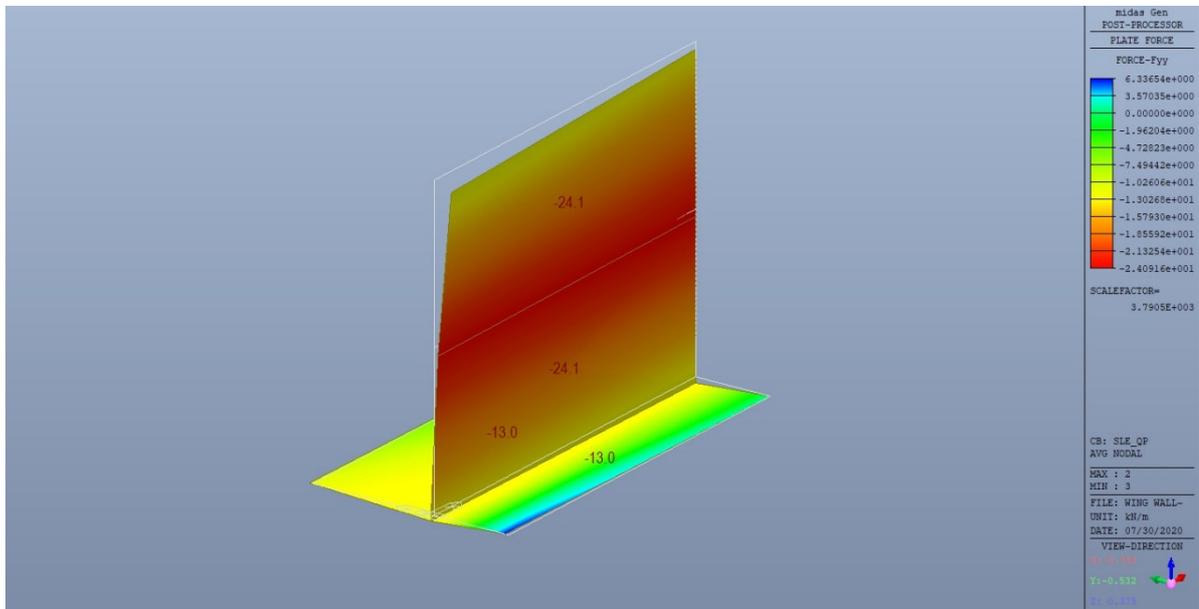


9.1.4 SLE_QP

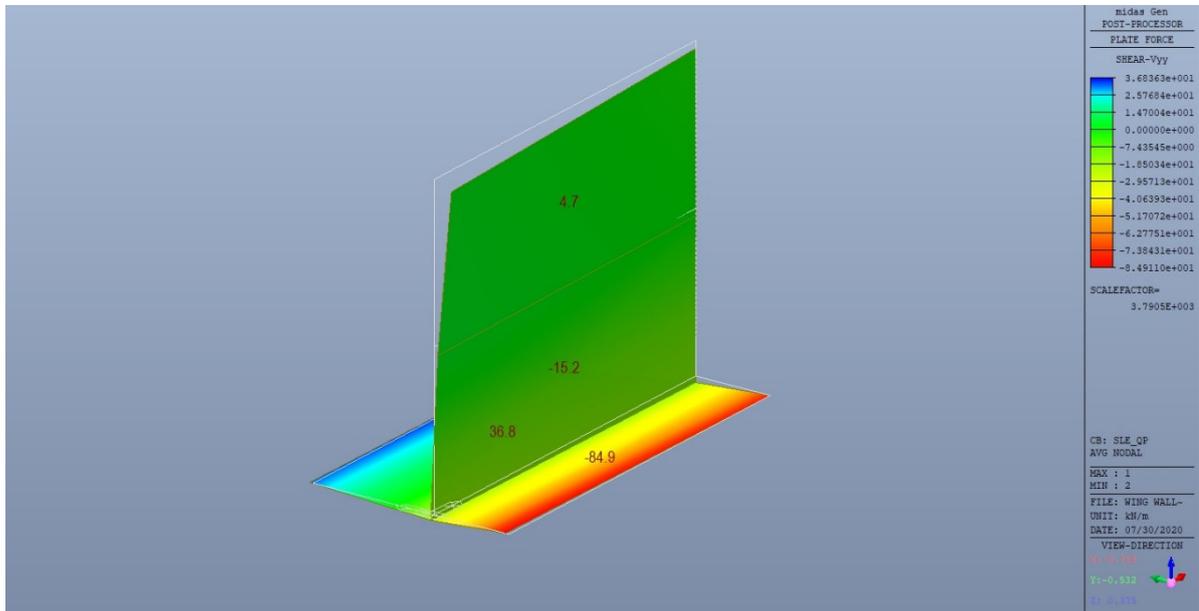
- Diagramma delle forze assiali - Fxx



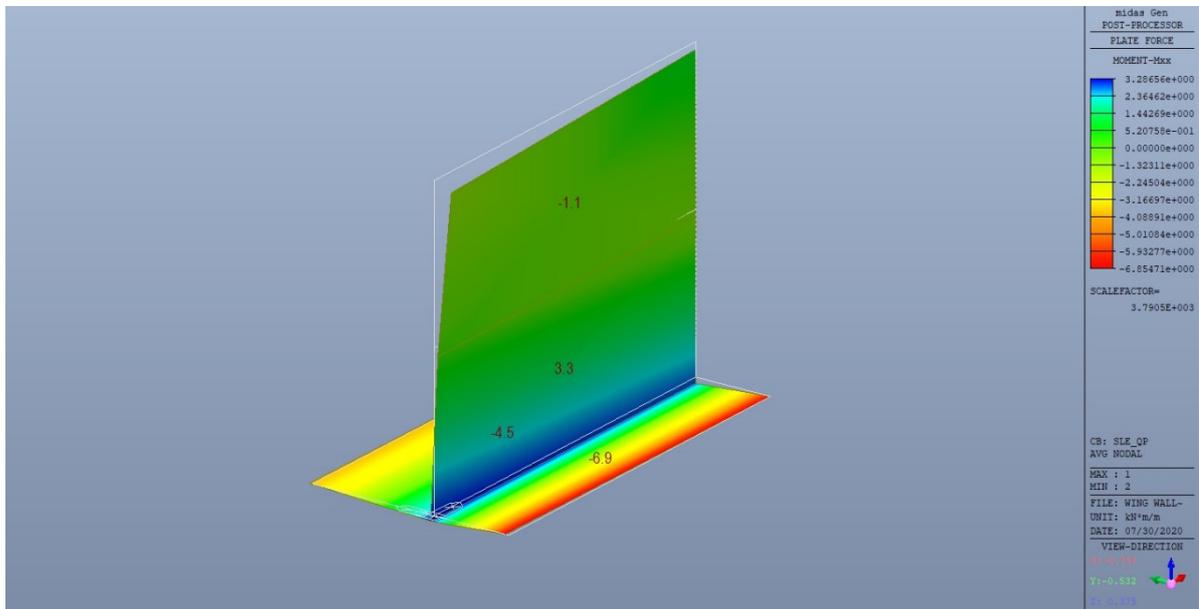
- Diagramma delle forze assiali - Fyy



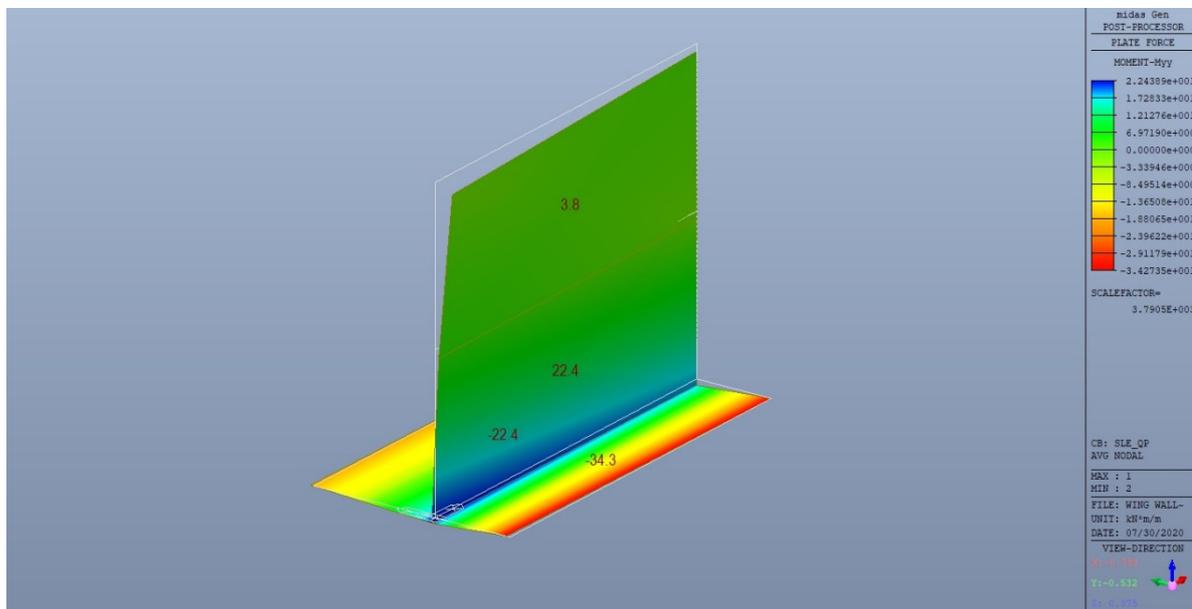
- Diagramma delle forze di taglio



- Diagramma dei momenti flettenti - Mxx



- Diagramma dei momenti flettenti - Myy



10. VERIFICHE STRUTTURALI

Di seguito si riportano i principali risultati delle verifiche strutturali relative a: Presso-flessione, Fessurazione e Taglio. L'armatura considerata, rispettosa dei minimi di Normativa, e la seguente:

10.1.1 Armatura in direzione x

- Muro Superiore: $\phi 12/20$ sup. + $\phi 12/20$ inf.
- Muro Inferiore: $\phi 12/20$ sup. + $\phi 12/20$ inf.
- Fondazione destra: $\phi 12/20$ sup. + $\phi 12/20$ inf
- Fondazione sinistra: $\phi 12/20$ sup. + $\phi 12/20$ inf.

10.1.2 Armatura in direzione y

- Muro Superiore: $\phi 12/20$ sup. + $\phi 12/20$ inf.
- Muro Inferiore: $\phi 12/20$ sup. + $\phi 12/20$ inf.
- Fondazione destra: $\phi 12/20$ sup. + $\phi 12/20$ inf
- Fondazione sinistra: $\phi 12/20$ sup. + $\phi 12/20$ inf.

10.1.3 Armatura a Taglio

- Muro Superiore: Spilli $\phi 8/40/40$
- Muro Inferiore: Spilli $\phi 8/40/40$
- Fondazione destra: Spilli $\phi 8/40/40$
- Fondazione sinistra: Spilli $\phi 8/40/40$

10.1.4 Verifica a presso-flessione

	SLU1				Coeff. Sicurezza
	F_{xx} (kN)	F_{yy} (kN)	M_{xx} (kN)	M_{yy} (kNm)	
muro sup	2.30	34.00	-5.60	6.50	20.54
muro inf	2.30	34.00	6.80	54.70	2.44
fondazione dx	0.50	15.70	-9.30	54.70	2.35
fondazione sx	-1.00	15.70	6.80	54.70	2.35

Variante alla S.S.1 "Via Aurelia" Viabilità di accesso all'hub di La Spezia
 Lavori di costruzione della variante alla S.S.1 Aurelia – 3° Lotto
 2° Stralcio funzionale B dallo Svincolo di Buon Viaggio allo Svincolo di S. Venerio
 Completamento – PE
 Inalveazione 3 zona GA Felettino- Tombino scatolare 2x2 – Relazione di calcolo

35

SLU_S					Coeff. Sicurezza
	F _{xx} (kN)	F _{yy} (kN)	M _{xx} (kN)	M _{yy} (kNm)	
muro sup	1.90	25.90	4.30	-13.20	9.47
muro inf	1.90	25.90	5.60	46.30	2.70
fondazione dx	2.70	26.80	-5.70	46.30	2.70
fondazione sx	-4.50	-44.10	5.60	46.30	2.43

10.1.5 Verifica a fessurazione

SLE_F1					Verif. Fessurazione
	F _{xx} (kN)	F _{yy} (kN)	M _{xx} (kN)	M _{yy} (kNm)	
muro sup	1.60	24.90	-3.30	3.80	NON FESSURATA
muro inf	1.60	24.90	4.50	35.00	NON FESSURATA
fondazione dx	0.50	11.90	-6.60	35.00	NON FESSURATA
fondazione sx	0.50	11.90	4.50	35.00	NON FESSURATA

SLE_QP					Verif. Fessurazione
	F _{xx} (kN)	F _{yy} (kN)	M _{xx} (kN)	M _{yy} (kNm)	
muro sup	1.20	24.10	-1.10	3.80	NON FESSURATA
muro inf	1.20	24.10	3.30	22.40	NON FESSURATA
fondazione dx	1.10	13.00	-6.90	-34.30	NON FESSURATA
fondazione sx	1.10	13.00	-4.50	-22.40	NON FESSURATA

10.1.6 Verifica a taglio

- Fondazione Dx

$$\begin{aligned}
 \gamma_c &= 1.5 \\
 b_w &= 1000 \text{ mm} \\
 V_{cd} &= 158.8 \text{ kN} \\
 V_{rd} &= [0.18k(100\rho_1f_{ck})^{1/3}/\gamma_c + 0.15\sigma_{cp}]b_wd \\
 &= 199.45 \text{ kN} \quad \geq \\
 (v_{\min}+0.15\sigma_{cp})b_wd &= 221.53 \text{ kN} \\
 \rightarrow V_{rd} &= 221.53 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

dove:

$$\begin{aligned}
 d_{cs} &= 600 \text{ mm} \\
 d &= 560 \text{ mm} \\
 k &= 1+(200/d)^{1/2} \\
 &= 1.60 \\
 v_{\min} &= 0.035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} \\
 &= 0.39 \\
 A_{sl} &= 1130.97 \text{ mm}^2 \\
 \rho_1 &= A_{sl}/(b_w d) \\
 &= 0.002020 \\
 N_{ed} &= 15.700 \text{ kN} \\
 A_c &= 600000 \text{ mm}^2 \\
 \sigma_{cp} &= N_{ed}/A_c \\
 &= 0.026167 \text{ N/mm}^2 \\
 V_{rd} &> V_{cd} \quad \text{Non necessaria armatura specifica a taglio}
 \end{aligned}$$

Si inserisce un'armatura a taglio pari a: Spilli ϕ 8/40/40