



RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE DELLE STRUTTURE

REALIZZAZIONE PARCHEGGIO INTERRATO

PIAZZA VITTORIO VENETO, 10044 PIANEZZA (TO)



Indice

1. Premessa
2. Descrizione opera
3. Dati generali relativi alla struttura
4. Riferimenti legislativi
5. Parametri dei materiali utilizzati
6. Azioni e carichi sulla struttura
7. Dati Azione sismica
8. Principali risultati dell'analisi
 - 8.1 Spostamenti nodali blocco A
 - 8.2 Spostamenti nodali blocco B
9. Verifica deformazioni zone pilastri in falso
10. Caratteristiche dell'analisi di calcolo
11. Conclusione

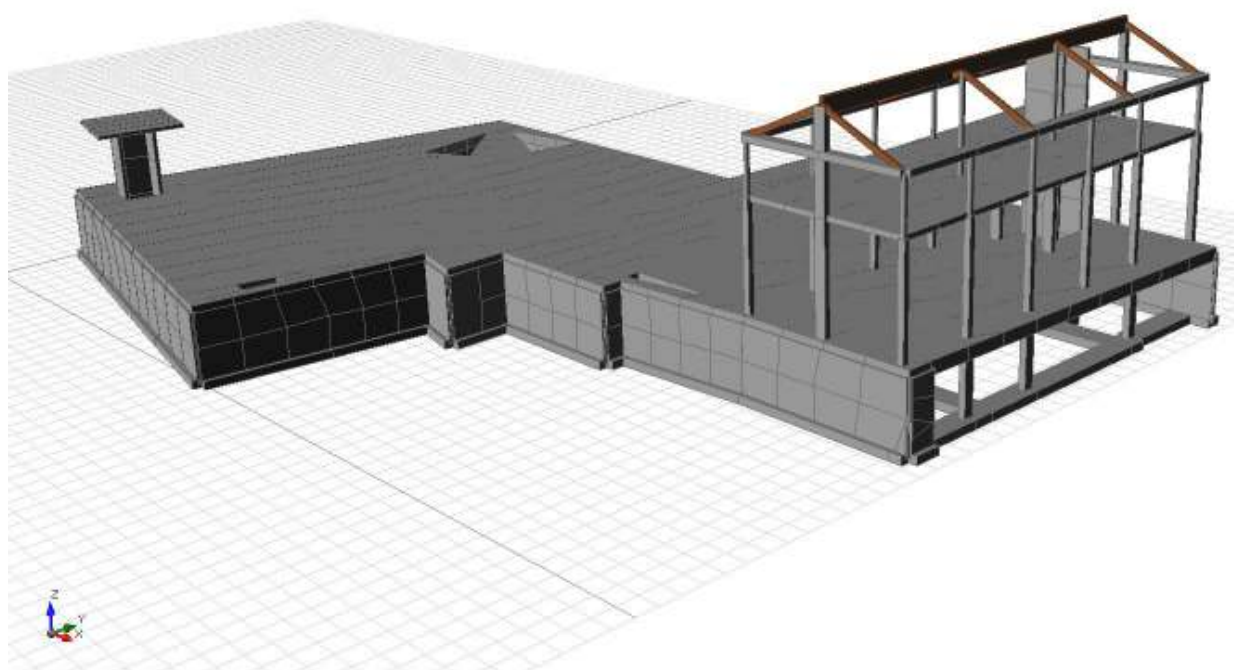
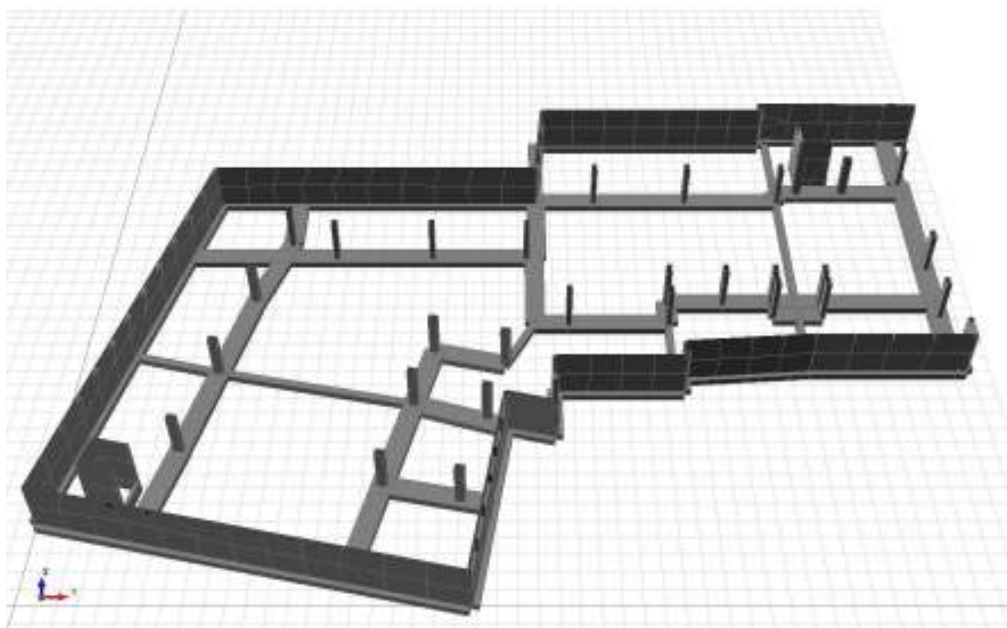
1. Premessa

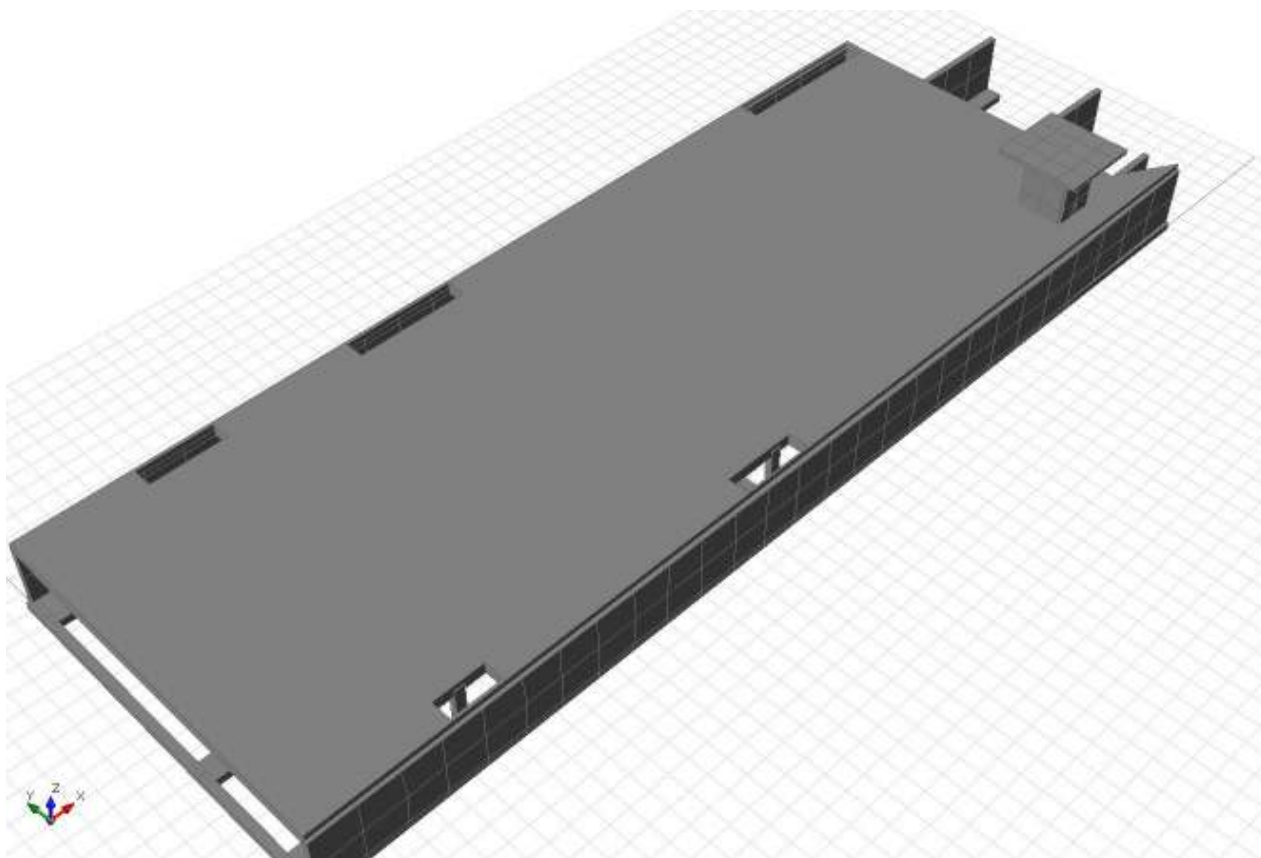
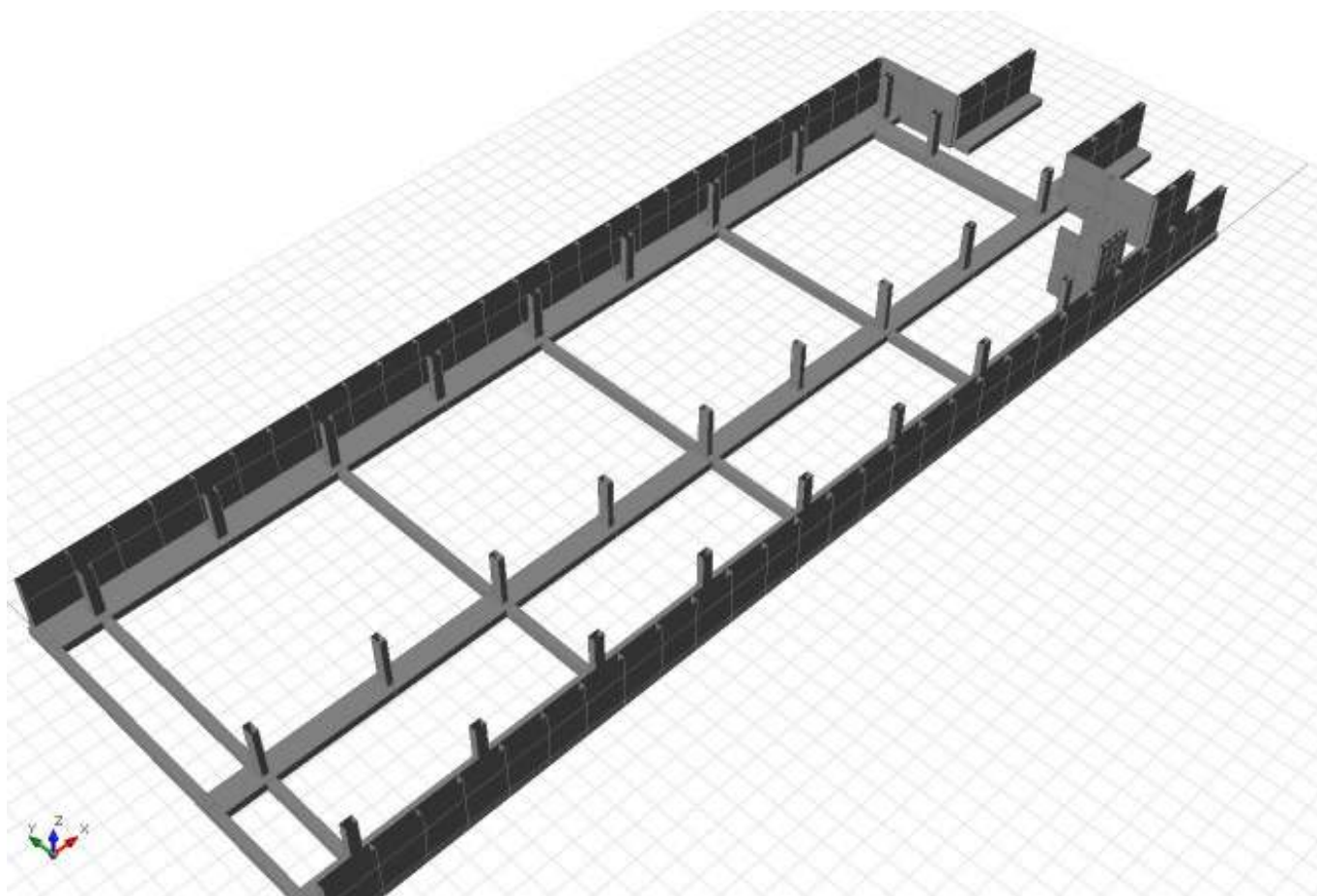
Il presente elaborato costituisce la relazione di calcolo strutturale, comprensiva di una descrizione generale dell'opera e dei criteri generali di analisi e verifica, in accordo con le prescrizioni contenute nel paragrafo 10.1 delle "Norme Tecniche" per le Costruzioni. Relativamente al progetto in oggetto il documento descrive in particolare le modalità operative di applicazione della normativa vigente. Le fasi di progetto, analisi, calcolo e verifica sono state svolte a "regola d'arte" dal progettista, secondo i dettami della scienza e tecnica delle costruzioni. Per verificare gli elementi strutturali e le sezioni sollecitate dalle azioni di modello ed al fine di garantire la sicurezza della costruzione è stato utilizzato il metodo agli stati limite, rispettando le prescrizioni previste dalle normative di riferimento elencate nel documento. Si riporta di seguito in proposito l'insieme delle verifiche strutturali, atte a garantire la resistenza ed il comportamento della struttura sia in condizioni di esercizio che sotto l'azione di eventi di carico straordinari APPROFONDITO A LIVELLO DI PROGETTO DEFINITIVO. Secondo le indicazioni delle Norme Tecniche per le Costruzioni la relazione di calcolo riporta infine una sezione relativa alle analisi svolte con l'ausilio di codici di calcolo automatico, al fine di facilitare l'interpretazione e la verifica dei calcoli svolti e di consentire elaborazioni indipendenti da parte di soggetti diversi dal redattore del documento.

2. Descrizione dell'opera

Oggetto di questa analisi è una struttura costituita da un corpo di fabbrica, un piano interrato

La struttura portante è in calcestruzzo armato con fondazioni a trave continua e solaio realizzato con una piastra in calcestruzzo alleggerito. Gli elementi di fondazione sono realizzati in cemento armato e sono collegati fra loro.





3 Dati generali

In questo paragrafo si riportano le caratteristiche generali relative all'opera, alla località di ubicazione ed i dati anagrafici dei soggetti coinvolti nell'intervento.

3.1 Caratteristiche

Nome Progetto:	PARCHEGGIO INTERRATO PIAZZA VITTORIO VENETO		
Tipologia opera:	PARCHEGGIO INTERRATO	Tipologia di intervento:	Nuova costruzione
Normativa di riferimento:	Stati limite Norme Tecniche 2018		
Tipo di analisi:	ANALISI SISMICA	Classe d'uso dell'edificio:	III
Costante di Winkler:	4,50 kg/cm3		

3.2 Località

Comune:	PIANEZZA	Provincia:	TO
Longitudine:	7,5445 °	Latitudine:	45,1068 °
Altitudine:	325		
Indirizzo:	PIAZZA VITTORIO VENETO		

3.3 Dati per analisi sismica

Vita nominale della struttura: 50 anni

Zona Sismica: 4

3.4 Soggetti coinvolti

Progettista strutture: ING. MARCO TRUCCERO, VIA IV NOVEMBRE 2BIS, 10044 PIANEZZA (TO)

Progettista opera: ARCH. ROBERTO DROCCO

Impresa: DA DEFINIRE

Proprietà: COMUNE DI PIANEZZA

Progettista architettonico: ARCH. ROBERTO DROCCO

Direttore Lavori: DA DEFINIRE

Committente: COMUNE DI PIANEZZA

Collaudatore: DA DEFINIRE

4. Riferimenti normativi

I calcoli della presente relazione fanno riferimento alla normativa vigente ed in particolare:

Normativa nazionale

- *Decreto Ministeriale 17 Gennaio 2018*

“Norme Tecniche per le Costruzioni 2018”

- *Decreto Ministeriale 16 gennaio 1996.*

“Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche. (G.U. 5-2-1996, N. 29)”

- *Circolare 10 aprile 1997, n. 65/AA.GG.*

“Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche" di cui al decreto ministeriale 16 gennaio 1996”

- *Decreto Ministeriale 9 Gennaio 1996*

“Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche. (Da utilizzarsi nel calcolo col metodo degli stati limite) (G.U. 5-2-1996, N. 29)”

- *Circolare 15 ottobre 1996, n. 252 AA.GG./S.T.C.*

“Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche" di cui al decreto ministeriale 9 gennaio 1996. (G.U. 26-11-1996, n. 277 - suppl.)”

- *Decreto Ministeriale 20 novembre 1987*

“Norme tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo degli edifici in muratura e per il loro consolidamento. (Suppl. Ord. alla G.U. 5-12-1987, n. 285)”

Eurocodici

- *UNI EN 1992-1-1: 2005*

“Eurocodice 2 - Progettazione delle strutture di calcestruzzo - Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici”.

- *UNI EN 1992-1-2: 2005*

“Eurocodice 2 - Progettazione delle strutture di calcestruzzo - Parte 1-2: Regole generali - Progettazione strutturale contro l'incendio”.

5. I materiali

I materiali ed i prodotti ad uso strutturale, utilizzati nelle opere oggetto della presente relazione, rispondono ai requisiti indicati dal capitolo 11 delle "Norme Tecniche per le Costruzioni". Questi sono stati identificati univocamente dal produttore, qualificati sotto la sua responsabilità ed accettati dal direttore dei lavori mediante acquisizione e verifica della documentazione di qualificazione, nonché mediante eventuali prove sperimentali di accettazione.

Sulla base delle verifiche effettuate in sito ed in conformità alle disposizioni normative vigenti si prevede per la realizzazione del progetto in analisi l'adozione dei materiali di seguito descritti.

Calcestruzzo

Nome: **C28/35**

Tipologia del materiale: calcestruzzo

Classe di resistenza: C28/35

Descrizione:

Caratteristiche del calcestruzzo

Densità ρ : 24,525 kN/m³

Resistenza caratteristica cubica a compressione R_{ck} :

35,0 N/mm²

Resistenza caratteristica cilindrica a compressione f_{ck} :

29,1 N/mm²

Resistenza cilindrica media f_{cm} : 37,1 N/mm²

Resistenza media a trazione semplice f_{ctm} : 2,8 N/mm²

Resistenza media a flessione f_{cfm} : 3,4 N/mm²

Resistenza caratt. trazione semplice, frattile 5% $f_{ctk,5}$:

2,0 N/mm²

Resistenza caratt. trazione semplice, frattile 95%

$f_{ctk,95}$: 3,7 N/mm²

Modulo Elastico E_{cm} : 32.452,4 N/mm²

Coefficiente di Poisson ν : 0,20

Coefficiente di dilatazione termica lineare α_t : 1E-05

Coefficiente correttivo per la resistenza a compressione α_{cc} : 0,85

Coefficiente parziale di sicurezza per il calcestruzzo γ_c	Resistenza a compressione di progetto f_{cd} : 16,5
: 1,5	N/mm ²
Resistenza a trazione di progetto, frattile 5% $f_{ctd,5}$: 1,3	Resistenza a trazione di progetto, frattile 95% $f_{ctd,95}$:
N/mm ²	2,5 N/mm ²

Acciaio per cemento armato

Nome: B450C

Tipologia del materiale: acciaio per cemento armato

Descrizione:

Caratteristiche dell'acciaio

Tensione caratteristica di snervamento f_{yk} : 450,0	Coefficiente parziale di sicurezza per l'acciaio γ_s :
N/mm ²	1,15
Modulo elastico ES : 206.000,0 N/mm ²	Densità ρ : 76,5 kN/m ³
Allungamento sotto carico massimo A_{gt} : 67,5 ‰	Tensione ammissibile σ_s : 260,0 N/mm ²
Coefficiente di omogeneizzazione n: 15	

6. Azioni e Carichi sulla struttura

Con riferimento al paragrafo 2.5.1.3 delle NTC, le azioni che investono la struttura sono classificate in relazione alla durata della loro presenza nell'arco della vita di progetto come:

- *permanenti* (G): azioni con sufficiente approssimazione costanti nel tempo, tra le quali:
 - peso proprio di tutti gli elementi strutturali; peso proprio del terreno, quando pertinente; forze indotte dal terreno (esclusi gli effetti di carichi variabili applicati al terreno);
 - peso proprio di tutti gli elementi non strutturali;
 - spostamenti e deformazioni imposti, previsti dal progetto e realizzati all'atto della costruzione;
- *variabili* (Q): azioni sulla struttura o sull'elemento strutturale con valori istantanei che possono risultare sensibilmente diversi fra loro nel tempo:
 - di lunga durata: agiscono con un'intensità significativa, anche non continuativamente, per un tempo non trascurabile rispetto alla vita nominale della struttura;
 - di breve durata: azioni che agiscono per un periodo di tempo breve rispetto alla vita nominale della struttura;
- *eccezionali* (A): azioni che si verificano eccezionalmente:
 - incendi
 - esplosioni
 - urti ed impatti
- *sismiche* (E): azioni derivanti dai terremoti.

L'effetto delle azioni viene valutato ai fini delle verifiche con l'approccio semiprobabilistico agli stati limite, secondo diverse combinazioni:

- **Combinazione fondamentale** dei carichi, impiegata per gli stati limite ultimi (nei risultati SLU statica)

$$\gamma G1 \cdot G1 + \gamma G2 \cdot G2 + \gamma P \cdot P + \gamma Q1 \cdot Qk1 + \gamma Q2 \cdot \psi 02 \cdot Qk2 + \gamma Q3 \cdot \psi 03 \cdot Qk3 + \dots$$

- **Combinazione caratteristica rara**, impiegata per gli stati limite di esercizio irreversibili (nei risultati SLE rara)

$$G1 + G2 + P + Qk1 + \psi_{02} \cdot Qk2 + \psi_{03} \cdot Qk3 + \dots$$

- **Combinazione frequente**, impiegata per gli stati limite di esercizio reversibili (nei risultati SLE frequente)

$$G1 + G2 + P + \psi_{11} \cdot Qk1 + \psi_{22} \cdot Qk2 + \psi_{23} \cdot Qk3 + \dots$$

- **Combinazione quasi permanente**, impiegata per gli effetti a lungo termine (nei risultati SLE quasi permanente)

$$G1 + G2 + P + \psi_{21} \cdot Qk1 + \psi_{22} \cdot Qk2 + \psi_{23} \cdot Qk3 + \dots$$

- **Combinazione eccezionale**, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali A

$$G1 + G2 + P + Ad + \psi_{21} \cdot Qk1 + \psi_{22} \cdot Qk2 + \dots$$

- **Combinazione sismica**, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E (nei risultati SLU sisma)

$$E + G1 + G2 + P + \psi_{21} \cdot Qk1 + \psi_{22} \cdot Qk2 + \dots$$

Dettagli per la combinazione sismica

La valutazione dell'azione sismica E è condotta secondo le specifiche del capitolo 3.2 e in accordo con le prescrizioni del capitolo 7.3.3 delle NTC per i tipi di analisi sismica lineare sia dinamica che statica.

I risultati così ottenuti per ciascuna direzione, X e Y (eventualmente anche Z), vengono poi combinati secondo le indicazioni del capitolo 7.3.5 delle NTC, ovvero vengono sommati i contributi secondo il seguente criterio:

$$E1 = 1,00 \times Ex + 0,30 \times Ey + 0,30 \times Ez$$

$$E2 = 0,30 \times Ex + 1,00 \times Ey + 0,30 \times Ez$$

$$E3 = 0,30 \times Ex + 0,30 \times Ey + 1,00 \times Ez$$

la rotazione dei coefficienti moltiplicativi permette l'individuazione degli effetti più gravosi, la direzione Z è opzionale in virtù delle prescrizioni al paragrafo 7.2.2 delle NTC.

Nella verifica allo stato limite ultimo si distinguono le combinazioni **EQU**, **STR** e **GEO** (cfr NTC § 2.6.1), rispettivamente definite come:

stato limite di equilibrio EQU, che considera la struttura ed il terreno come corpi rigidi; stato limite di resistenza della struttura STR, da riferimento per tutti gli elementi strutturali, e stato limite di resistenza del terreno GEO.

Nelle verifiche STR, per la progettazione di elementi strutturali, si adottano i coefficienti della colonna A1. Nelle verifiche STR e GEO che coinvolgono azioni di tipo geotecnico possono essere adottati in alternativa, due diversi approcci progettuali. Per l'approccio 1 si considerano due diverse combinazioni di gruppi di coefficienti di sicurezza parziali per le azioni, per i materiali e per la resistenza complessiva, nell'approccio 2 si definisce un'unica combinazione per le azioni, per la resistenza dei materiali e per la resistenza globale.

Approccio 1, combinazione 1: si utilizzano per le azioni i coefficienti della colonna A1

Approccio 1, combinazione 2: si utilizzano per le azioni i coefficienti della colonna A2

Approccio 2: si utilizzano per le azioni i coefficienti della colonna A1

Coefficienti parziali per le azioni [cfr. NTC 2018 Tabella 2.6.I]

		Coefficiente γ_f	EQU	A1	A2
Carichi permanenti	Favorevoli	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali	Favorevoli	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Carichi variabili	Favorevoli	γ_{Qi}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

	li				
--	----	--	--	--	--

Le Norme Tecniche prescrivono i valori dei coefficienti ψ in dipendenza dalle caratteristiche della funzione di ripartizione di ciascuna azione: si ammette infatti che, assieme alle azioni permanenti, esistano combinazioni di azioni in cui una sola azione è presente al valore caratteristico mentre le altre hanno intensità ridotte $\psi_0 Q_k$.

Le categorie di azioni variabili ed i rispettivi coefficienti di combinazione utilizzati nell'applicazione dei carichi al modello sono riportati nella tabella seguente:

Destinazione d'uso/azione	ψ_0	ψ_1	ψ_2

Dettagli per le combinazioni di calcolo.

Per il progetto e la verifica degli elementi strutturali vengono distinti i risultati dell'analisi in condizione statica da quelli dell'analisi sismica.

Progetto e verifica in condizione statica

La verifica degli elementi è condotta considerando i risultati di ciascuna combinazione delle azioni di calcolo in condizione statica, ovvero vengono considerati ed involuppati i risultati massimi e minimi delle seguenti combinazioni:

- Combinazione fondamentale SLU
- Combinazione SLE caratteristica rara
- Combinazione SLE frequente
- Combinazione SLE quasi permanente

Per ciascuna combinazione elencata vengono valutate le distinte configurazioni di carico distinguendo i diversi gruppi di carico e considerando tutte le possibili varianti secondo i metodi del calcolo combinatorio ottenendo così $2^n + 1$ combinazioni, dove 'n' coincide con il numero di carichi accidentali considerati nell'analisi, qui di seguito un esempio esplicativo.

Carico permanente	P
Carico accidentale residenziale	A

Le combinazioni dedotte sono:

P	solo carico permanente
P A	carico permanente + carico accidentale A

Inoltre per le combinazioni SLU e SLE caratteristica vengono individuate in aggiunta le permutazioni di tali configurazioni aventi di volta in volta un carico accidentale principale differente fra quelli considerati, qui di seguito un esempio esplicativo.

Carico permanente	P
Carico accidentale residenziale	A1
Carico accidentale tipo neve	A2
Carico accidentale tipo vento	A3

Le combinazioni dedotte sono:

P	solo carico permanente
P A1	carico permanente + carico accidentale A1
P A2	carico permanente + carico accidentale A2
P A3	carico permanente + carico accidentale A3
P A1 A2	carico permanente + carico accidentale A1 (principale) + carico accidentale A2
P A2 A1	carico permanente + carico accidentale A1 + carico accidentale A2 (principale)
P A1 A3	carico permanente + carico accidentale A1 (principale) + carico accidentale A3
P A3 A1	carico permanente + carico accidentale A1 + carico accidentale A3 (principale)
P A2 A3	carico permanente + carico accidentale A2 (principale) + carico accidentale A3

P A3 A2 carico permanente + carico accidentale A2 + carico accidentale A3 (principale)

P A1 A2 A3 carico permanente + carico accidentale A1 (principale) + carico accidentale A2 + carico accidentale A3

P A2 A1 A3 carico permanente + carico accidentale A1 + carico accidentale A2 (principale) + carico accidentale A3

P A3 A1 A2 carico permanente + carico accidentale A1 + carico accidentale A2 + carico accidentale A3 (principale)

Le effettive combinazioni generate per i diversi stati limite sono riportate nei paragrafi seguenti.

Per gli elementi trave e pilastro, e in generale gli elementi 'asta, vengono involuppati i risultati di ciascuna combinazione e vengono individuati i valori massimi e minimi dando luogo alle seguenti sollecitazioni:

- massima e minima per l'azione assiale N,
- massima e minima per le azioni di flessione attorno agli assi principali di inerzia di ciascun elemento M_z e M_y ,
- massima e minima per le azioni taglianti lungo gli assi principali d'inerzia T_z e T_y .

Nella verifica di travi e pilastri, e in generale gli elementi 'asta, queste 6 sollecitazioni (N^+ , N^- , M_z^+ , M_z^- , M_y^+ , M_y^-) vengono considerate in condizione di pressoflessione deviata e vengono ulteriormente combinate tra di loro in modo da garantire la copertura delle condizioni più gravose, dando luogo alle seguenti 8 combinazioni:

- N^+ , M_z^+ , M_y^+
- N^+ , M_z^+ , M_y^-
- N^+ , M_z^- , M_y^+
- N^+ , M_z^- , M_y^-
- N^- , M_z^+ , M_y^+
- N^- , M_z^+ , M_y^-
- N^- , M_z^- , M_y^+
- N^- , M_z^- , M_y^-

Per la verifica delle sezioni a taglio vengono individuati i valori massimi in modulo per ciascuna direzione principale scegliendo tra i valori involuppati di progetto (T_z^+ , T_z^- , T_y^+ , T_y^-).

Per gli elementi shell vengono individuati i seguenti valori di verifica:

- massimi e minimi per le tensioni membranali σ_x e σ_y ,
- massimi e minimi per le tensioni membranali τ_{xy} ,
- massimi e minimi per le azioni flessionali M_x , M_y e M_{xy} ,
- massimi e minimi per le azioni taglianti T_{zx} e T_{zy} .

La verifica degli elementi shell di tipo piastra è condotta valutando i valori massimi e minimi delle azioni involupate di flessione M_x , M_y e M_{xy} . Gli elementi bidimensionali a comportamento membranale vengono progettati combinando le sollecitazioni involupate in un calcolo sezionale indipendente.

Progetto e verifica in condizione sismica

Le verifiche effettuate in condizione statica vengono integrate con i risultati della combinazione sismica (anche SLU sisma) e secondo le specifiche delle Norme Tecniche per le Costruzioni.

I risultati dell'azione sismica E danno luogo a sollecitazioni involupate e prive di segno in accordo con la combinazione quadratica completa (CQC, § C7.3.3 della Circolare Ministeriale 617 del 2009) necessarie per considerare le correlazioni tra i massimi contributi modali. La combinazione dei risultati nelle diverse direzioni, attraverso gli opportuni coefficienti di interazione, dà luogo alla combinazione sismica più gravosa (E1, E2, E3).

Per la verifica di travi e pilastri, e in generale degli elementi 'asta', la componente E della combinazione sismica individuata viene considerata positiva e negativa; la combinazione sismica dà luogo quindi alle sollecitazioni di progetto le quali vengono considerate in condizione di pressoflessione deviata (NE^+ , NE^- , $ME1^+$, $ME1^-$, $ME2^+$, $ME2^-$) e vengono ulteriormente combinate tra di loro in modo da garantire la copertura delle condizioni più gravose, dando luogo alle seguenti 8 combinazioni:

- NE^+ , MEz^+ , MEy^+
- NE^+ , MEz^+ , MEy^-
- NE^+ , MEz^- , MEy^+
- NE^+ , MEz^- , MEy^-

- NE^-, MEz^+, MEy^+
- NE^-, MEz^+, MEy^-
- NE^-, MEz^-, MEy^+
- NE^-, MEz^-, MEy^-

Per la verifica delle sezioni a taglio vengono individuati i valori massimi in modulo per ciascuna direzione principale scegliendo tra i valori involuppati di progetto (TEz^+ , TEz^- , TEy^+ , TEy^-).

Per gli elementi shell vengono individuati i seguenti valori di verifica:

- massimi e minimi per le tensioni membranali σ_x e σ_y ,
- massimi e minimi per le tensioni membranali τ_{xy} ,
- massimi e minimi per le azioni flessionali M_x , M_y e M_{xy} ,
- massimi e minimi per le azioni taglianti T_{zx} e T_{zy} .

La verifica degli elementi shell di tipo piastra è condotta valutando i valori massimi e minimi delle azioni involupate di flessione M_x , M_y e M_{xy} . Gli elementi bidimensionali a comportamento membranale vengono progettati combinando le sollecitazioni involupate in un calcolo sezionale indipendente.

6.1 Combinazioni SLU statica

$1,3 \cdot \text{Permanenti} + 0,8 \cdot \text{Permanenti non strutturali} | \text{PERMANENTE NON STRUTTURALE} + 1,5 \cdot \text{Categoria G - Veicoli con peso} > 30 \text{ kN} | \text{VARIABILE}$

$1,3 \cdot \text{Permanenti} + 1,5 \cdot \text{Permanenti non strutturali} | \text{PERMANENTE NON STRUTTURALE} + 1,5 \cdot \text{Categoria G - Veicoli con peso} > 30 \text{ kN} | \text{VARIABILE}$

$1 \cdot \text{Permanenti} + 1,5 \cdot \text{Permanenti non strutturali} | \text{PERMANENTE NON STRUTTURALE} + 1,5 \cdot \text{Categoria G - Veicoli con peso} > 30 \text{ kN} | \text{VARIABILE}$

$1,3 \cdot \text{Permanenti} + 0,8 \cdot \text{Permanenti non strutturali} | \text{PERMANENTE NON STRUTTURALE}$

$1 \cdot \text{Permanenti} + 1,5 \cdot \text{Permanenti non strutturali} | \text{PERMANENTE NON STRUTTURALE}$

$1 \cdot \text{Permanenti} + 0,8 \cdot \text{Permanenti non strutturali} | \text{PERMANENTE NON STRUTTURALE}$

$1,3 \cdot \text{Permanenti} + 0,8 \cdot \text{Permanenti non strutturali}$

$1,3 \cdot \text{Permanenti} + 1,5 \cdot \text{Permanenti non strutturali}$

$1 \cdot \text{Permanenti} + 1,5 \cdot \text{Permanenti non strutturali}$

$1 \cdot \text{Permanenti} + 0,8 \cdot \text{Permanenti non strutturali}$

6.2 Combinazioni SLE caratteristica

$1 \cdot \text{Permanenti} + 1 \cdot \text{Permanenti non strutturali} | \text{PERMANENTE NON STRUTTURALE} + 1 \cdot \text{Categoria G - Veicoli con peso} > 30 \text{ kN} | \text{VARIABILE}$

1*Permanenti+1*Permanenti non strutturali|PERMANENTE NON STRUTTURALE

1*Permanenti+1*Permanenti non strutturali

6.3 Combinazioni SLE frequente

1*Permanenti+1*Permanenti non strutturali|PERMANENTE NON STRUTTURALE+0,5*Categoria G - Veicoli con peso > 30kN|VARIABILE

1*Permanenti+1*Permanenti non strutturali|PERMANENTE NON STRUTTURALE

1*Permanenti+1*Permanenti non strutturali

6.4 Combinazioni SLE quasi permanente

1*Permanenti+1*Permanenti non strutturali|PERMANENTE NON STRUTTURALE+0,3*Categoria G - Veicoli con peso > 30kN|VARIABILE

1*Permanenti+1*Permanenti non strutturali|PERMANENTE NON STRUTTURALE

1*Permanenti+0,3*Categoria G - Veicoli con peso > 30kN|VARIABILE

1*Permanenti

La struttura è soggetta oltre che ai pesi propri anche a carichi esterni dovuti alla presenza di elementi non strutturali ed alla distribuzione di carichi permanenti e variabili legati alla funzione stessa dell'opera. Tra i carichi variabili inoltre vengono considerate le azioni del vento e della neve. Di seguito, in dettaglio la composizione delle azioni e la loro applicazione sulla struttura in esame.

CARICO PERMANENTE NON STRUTTURALE SU SOLAIO PIAZZA 4 kN/m²

Il carico è stato così definito:

Peso proprio pavimentazione in marmette autobloccanti : 140 kg/m²

Peso sabbia/massetto di posa: 160 kg/m²

Tot. 300 kg/m²

Questo carico, a titolo cautelativo, è stato incrementato a 400 kg/m² nel caso in cui negli anni si opti per pavimentazioni più pesanti, come ad esempio una pavimentazione in pietra o altro:

Peso proprio lastre pietra sp.8 cm: 220 kg/m²

Peso sabbia/massetto di posa: 160 kg/m²

Tot. 380 kg/m² -----> 400 kg/m²

CARICO VARIABILE SU SOLAIO PIAZZA 16 kN/m²

Il carico variabile su piazza è stato definito partendo dall'ipotesi che sul solaio dell'autorimessa possa transitare 1 o più mezzi pesanti, come ad esempio un autobetoniera o un mezzo dei VVF il cui peso viene stimato in 400 kN su di un'impronta pari a 10x2,5 m²= 25m², per cui dividendo 400 kN/ 25 m² = 16 kN/m²

CARICO VARIABILE NEVE 1,5 kN/m²

Il carico neve sulla copertura è stato incrementato a 1,5 kN/m² poiché capita spesso che durante i periodi invernali parte della neve venga accumulata, pertanto si è imposto un carico prudenziale pari a 1,5 kN/m².

PESO PROPRIO SOLAIO SP. 60 CM 12 kN/m²

Tale carico viene fornito dal fornitore del sistema ed è in linea con altri sistemi simili.

PESO PROPRIO SOLAIO SP 25 CM 4.8 kN/m²

Tale carico viene fornito dal fornitore del sistema ed è in linea con altri sistemi simili.

PESO STATUA : 150 kN

PRESSIONE VENTO : 0.64 N/m²

6.6 Carichi variabili da vento

Vengono qui di seguito riportati i parametri utilizzati per la valutazione della pressione del vento in conformità a quanto descritto nel paragrafo 3.3 delle NTC:

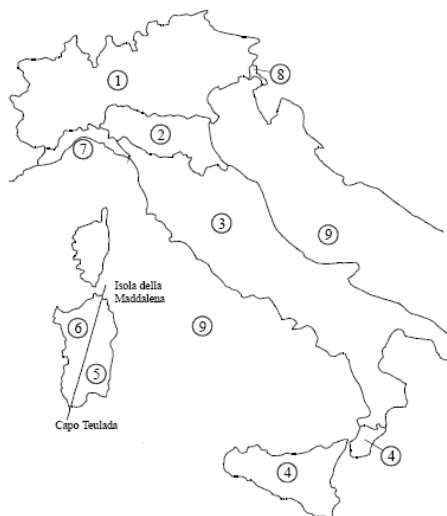
$$p = q_r C_e C_p C_d$$

con

$q_r = \frac{1}{2} \rho \cdot v_r^2$	pressione cinetica di riferimento
$v_r = v_b c_r$	velocità di riferimento
v_b	velocità base di riferimento
$c_r = 0,75 \{1 - 0,2 \ln[-\ln(1-1/T_r)]\}^{1/2}$	coefficiente di ritorno
c_e	coefficiente di esposizione
c_p	coefficiente di forma
c_d	coefficiente dinamico

Per il sito e la struttura in esame si individuano i seguenti requisiti

Altitudine s.l.m.	as	320 m
Zona di vento		1



Mapa delle zone in cui è suddiviso il territorio italiano

essendo

$$v_b = v_{b,0} \cdot c_a$$

$$c_a = 1 \quad \text{per } a_s \leq a_0$$

$$c_a = 1 + k_s (a_s/a_0 - 1) \quad \text{per } a_0 < a_s \leq 1500 \text{ m}$$

Zona	Descrizione	$v_{b,0}$ [m/s]	a_0 [m]	k_s
1	Valle d'Aosta, Piemonte, Lombardia, Trentino Alto Adige, Veneto, Friuli Venezia Giulia (con l'eccezione della provincia di Trieste)	25	1000	0,40
2	Emilia Romagna	25	750	0,45
3	Toscana, Marche, Umbria, Lazio, Abruzzo, Molise, Puglia, Campania, Basilicata, Calabria (esclusa la provincia di Reggio Calabria)	27	500	0,37
4	Sicilia e provincia di Reggio Calabria	28	500	0,36
5	Sardegna (zona a oriente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)	28	750	0,40
6	Sardegna (zona a occidente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)	28	500	0,36
7	Liguria	28	1000	0,54
8	Provincia di Trieste	30	1500	0,50
9	Isole (con l'eccezione di Sicilia e Sardegna) e mare aperto	31	500	0,32

Valori dei parametri $v_{b,0}$, a_0 , k_s

velocità di riferimento v_b 25 m/s

pressione cinetica di riferimento q_b 285,56 N/m²

ZONE 1,2,3,4,5						
A	--	IV	IV	V	V	V
B	--	III	III	IV	IV	IV
C	--	*	III	III	IV	IV
D	I	II	II	II	III	**
* Categoria II in zona 1,2,3,4 Categoria III in zona 5						
** Categoria III in zona 2,3,4,5 Categoria IV in zona 1						

ZONA 9		
A	--	I
B	--	I
C	--	I
D	I	I

ZONA 6					
A	--	III	IV	V	V
B	--	II	III	IV	IV
C	--	II	III	III	IV
D	I	I	II	II	III

ZONE 7,8			
A	--	--	IV
B	--	--	IV
C	--	--	III
D	I	II	*
* Categoria II in zona 8 Categoria III in zona 7			

Definizione delle categorie di esposizione

classe di rugosità del terreno A

categoria di esposizione del sito III

altezza dal suolo di calcolo

z 12

Categoria di esposizione del sito	K_e	z_0 [m]	z_{min} [m]
I	0,17	0,01	2
II	0,19	0,05	4
III	0,20	0,10	5
IV	0,22	0,30	8
V	0,23	0,70	12

Mappa delle zone in cui è suddiviso il territorio italiano

essendo poi

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

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

coefficiente di esposizione ce 2.257

coefficiente di forma cp 1

pressione del vento p 0,64 N/m²

6.7 Carichi variabili da neve

Vengono qui di seguito riportati i parametri utilizzati per la valutazione della pressione della neve in conformità a quanto descritto nel paragrafo 3.4 delle NTC:

$$q_s = q_{sk} \mu_i c_E c_t$$

con

q_{sk} carico neve sulla copertura

μ_i coefficiente di forma della copertura

q_{sk} valore caratteristico di riferimento del carico neve al suolo [kN/m²] per un periodo di ritorno di 50 anni

c_E coefficiente di esposizione

c_t coefficiente termico

angolo della falda	α	28
--------------------	----------	----

Coefficiente di forma	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
μ_i	0,8	$0,8 \cdot \frac{(60 - \alpha)}{30}$	0,0

Valori del coefficiente di forma

coefficiente di forma della copertura μ_i 0.80

7. Dati azione sismica

Nei seguenti paragrafi vengono riportati i parametri utilizzati per la valutazione dell'azione sismica sulla struttura in esame, in accordo alle specifiche definite al capitolo 3.2 e 7.3 delle Norme Tecniche per le Costruzioni. In particolare gli spettri elastici considerati si basano sui dati e le correlazioni definite per il reticolo di riferimento così come definito nell'allegato alle Norme Tecniche per le Costruzioni.

7. Dati azione sismica

Nei seguenti paragrafi vengono riportati i parametri utilizzati per la valutazione dell'azione sismica sulla struttura in esame, in accordo alle specifiche definite al capitolo 3.2 e 7.3 delle Norme Tecniche per le Costruzioni. In particolare gli spettri elastici considerati si basano sui dati e le correlazioni definite per il reticolo di riferimento così come definito nell'allegato alle Norme Tecniche per le Costruzioni.

7.1. Caratteristiche del sito

Comune: pianezza	Provincia: TO
Longitudine: 7,5445 °	Latitudine: 45,1068 °
Categoria di sottosuolo: C	Amplificazione topografica: T1

7.2. Caratteristiche dell'edificio

Vita nominale V_n : 50 anni	Classe d'uso: III
Coefficiente d'uso C_u : 1,5	Periodo di riferimento V_R : 75,00 anni

	PVR	TR	ag	F0	TC*
Stato Limite di Operatività	81 %	45,00	0,31	2,55	0,20
Stato Limite di Danno	63 %	75,00	0,37	2,60	0,22
Stato Limite di Salvaguardia della Vita	10 %	712,00	0,73	2,73	0,28
Stato Limite di Prevenzione del Collasso	5 %	1462,00	0,88	2,75	0,29

7.3. Parametri sismici

Componente orizzontale

Coefficiente di amplificazione topografica ST : 1	Fattore di utilizzazione dello spettro elastico η : 1
---	--

	SS	S	CC	TB	TC	TD
Stato Limite di Operatività	1,50	1,50	1,78	0,12	0,36	1,72
Stato Limite di Danno	1,50	1,50	1,74	0,13	0,38	1,75
Stato Limite di Salvaguardia della Vita	1,50	1,50	1,60	0,15	0,44	1,89
Stato Limite di Prevenzione del Collasso	1,50	1,50	1,58	0,15	0,46	1,95

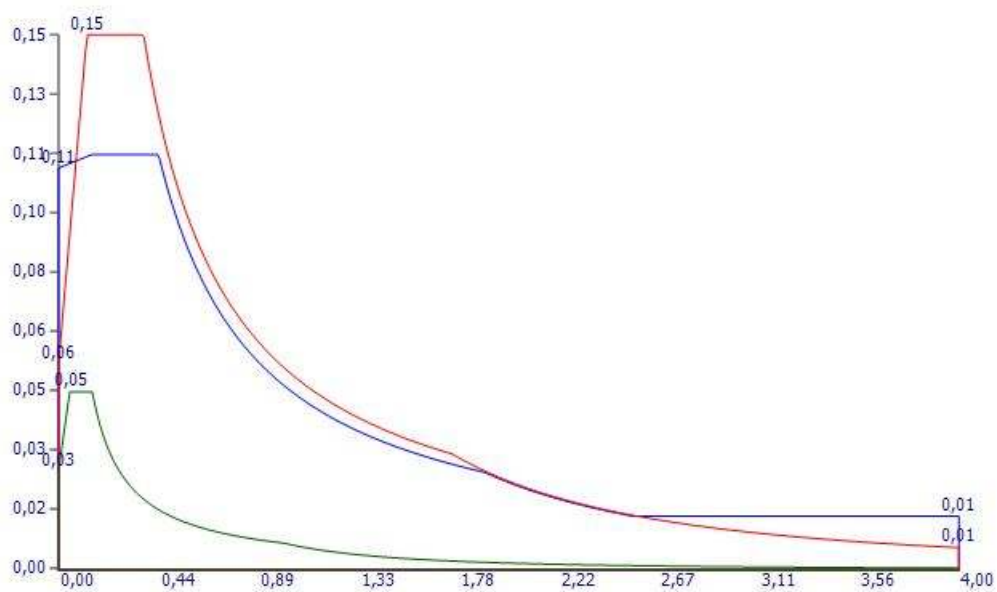
Componente verticale

	SS	S	TB	TC	TD	Fv
Parametri dello spettro di risposta elastico verticale	1,0	1,50	0,05	0,15	1,0	3,15

con SS coefficiente di amplificazione stratigrafica
S coefficiente di amplificazione topografica e stratigrafica
Fo fattore di amplificazione spettrale massima su sito rigido orizzontale
Fv fattore di amplificazione spettrale massima
TC periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro, in [s]
TB periodo di inizio del tratto ad accelerazione costante dello spettro, in [s]
TD periodo di inizio del tratto a spostamento costante dello spettro, in [s]

7.4.B Spettro di risposta in accelerazione

Direzione X

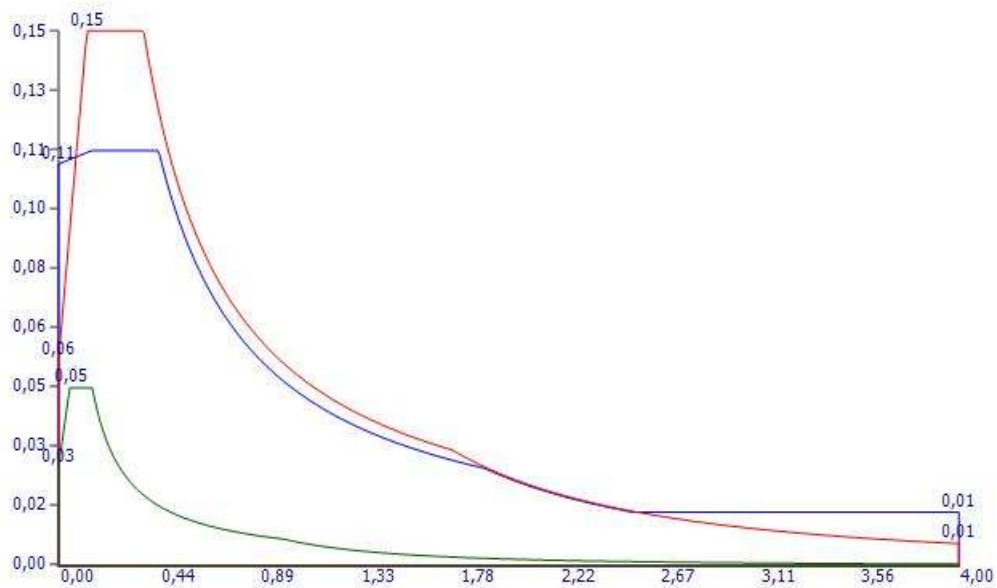


Spettro di risposta di progetto orizzontale per SLU

Spettro di risposta elastico orizzontale per SLE

Spettro di risposta di progetto verticale per SLU

Direzione Y



Spettro di risposta di progetto orizzontale per SLU

Spettro di risposta elastico orizzontale per SLE

Spettro di risposta di progetto verticale per SLU

7.5.B Fattore di struttura (NTC §7.3.1)

Qui di seguito vengono riportati i parametri utilizzati per stimare il valore del fattore di struttura 'q' adottato nel calcolo.

Tale parametro è espressione della presenza di sistemi strutturali dissipativi e dalla loro valutazione agli stati limite ultimi per ciascuna direzione dell'azione sismica, in funzione della tipologia strutturale, del grado di iperstaticità e dai criteri di progettazione adottati e prende in conto le non linearità del materiale.

L'espressione più generica per il calcolo del fattore di struttura è:

$$q = q_0 K_R K_W$$

Parametri di calcolo	
Classe di duttilità: CD 'B'	Regolarità in pianta: Regolare
Tipologia di modello strutturale: Edifici a telai di un piano	Rapporto di sovrarresistenza α_u/α_1 : 1,1
Tipologia strutturale: Strutture a telaio, a pareti accoppiate, miste	Fattore di struttura massimo q_0 : 3,3
Regolarità in altezza: Edifici non regolari	Fattore riduttivo K_R : 0,8
Rapporto tra altezza a larghezza delle pareti α_0 : -	Fattore correttivo k_w : 1
Fattore di struttura	
Fattore di struttura q_x – componente orizzontale in direzione X: 2,64	
Fattore di struttura q_y – componente orizzontale in direzione Y: 2,64	
Fattore di struttura q – componente verticale: 1,5	
Coefficiente di amplificazione	
Coefficiente di amplificazione dell'azione sismica in direzione X: 1	
Coefficiente di amplificazione dell'azione sismica in direzione Y: 1	

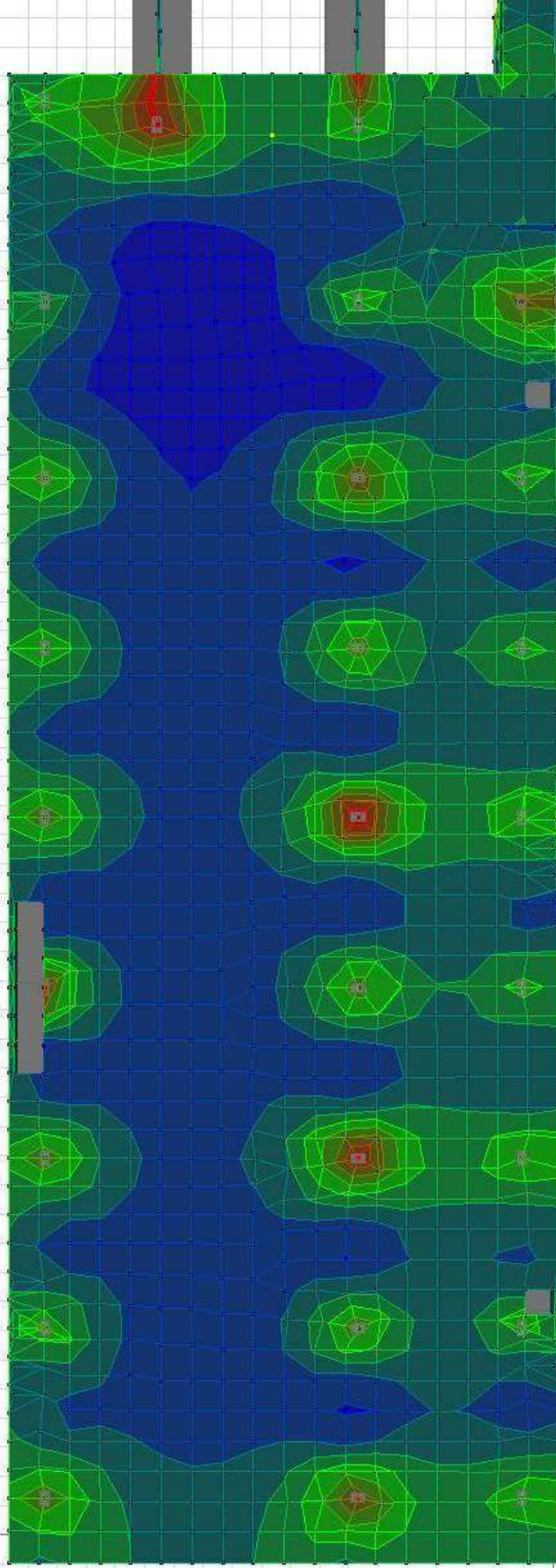
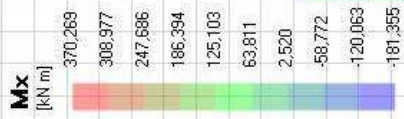
BLOCCO A

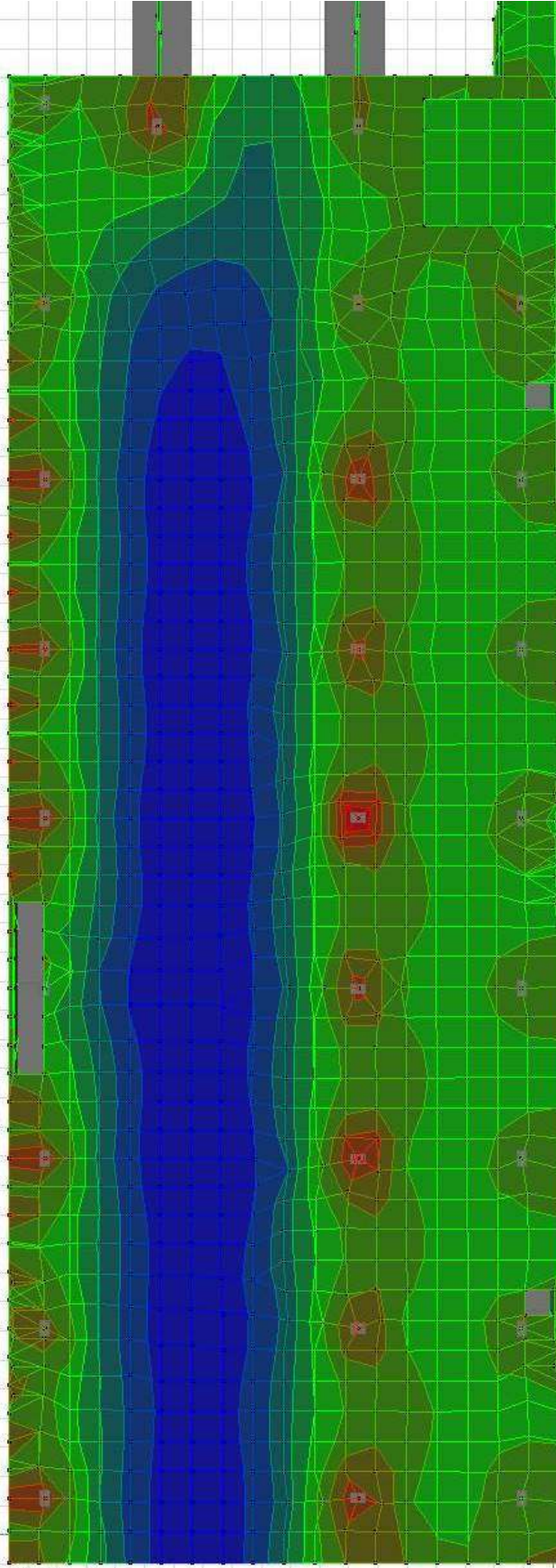
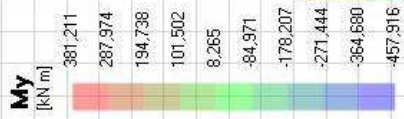
Diagrammi SLU

BLOCCO A Modi di vibrare e percentuale di massa partecipante					
	f [Hz]	T [s]	X [%]	Y [%]	Z [%]
1	6,62	0,151	1,64	26,78	25,04
2	7,39	0,135	1,95	12,77	20,24
3	7,55	0,132	1,55	17,56	5,06
4	8,36	0,120	0,27	0,05	4,28
5	9,65	0,104	15,07	11,93	1,21
6	9,71	0,103	0,80	0,31	1,76
7	10,75	0,093	0,33	0,04	11,94
8	11,17	0,089	0,34	0,66	1,93
9	11,58	0,086	0,09	0,25	0,00
10	12,13	0,082	3,87	2,26	0,74
11	12,78	0,078	0,06	0,34	14,51
12	13,24	0,076	0,83	0,36	4,50
13	13,51	0,074	2,29	0,29	0,25
14	14,10	0,071	1,56	0,05	0,43
15	14,49	0,069	1,36	0,09	0,39
16	14,93	0,067	0,08	0,08	0,30
17	15,48	0,065	0,09	0,1	0,00
18	16,52	0,061	0,09	0,04	0,28
19	16,78	0,060	0,11	0,21	0,02
20	17,36	0,058	4,58	0,26	0,00
21	17,62	0,057	0,61	0,06	0,97
22	18,42	0,054	4,80	0,09	0,13
23	18,84	0,053	3,42	0,29	0,40
24	19,22	0,052	1,57	0,1	0,12
25	19,87	0,050	0,43	0,04	0,01
26	20,83	0,048	1,09	0,15	0,28
27	21,53	0,046	15,10	0,14	0,40
28	21,94	0,046	1,25	0,04	0,46
29	22,14	0,045	3,61	0,04	0,23
30	22,79	0,044	0,49	0,39	0,48
31	23,66	0,042	0,24	0,04	0,01
32	24,50	0,041	0,80	0,05	0,06
33	25,57	0,039	0,45	0,08	0,15
34	26,09	0,038	0,23	0,04	0,53
35	26,81	0,037	0,17	0,05	0,00
36	27,14	0,037	0,30	0,05	0,03
37	28,08	0,036	0,68	0,05	0,23
38	28,53	0,035	1,14	0,1	0,58
39	28,78	0,035	0,11	0,05	0,39
40	29,14	0,034	0,43	0,07	0,04
41	29,87	0,033	0,55	0,22	0,11
42	30,51	0,033	0,17	0,13	0,01
43	31,12	0,032	0,11	0,06	0,03

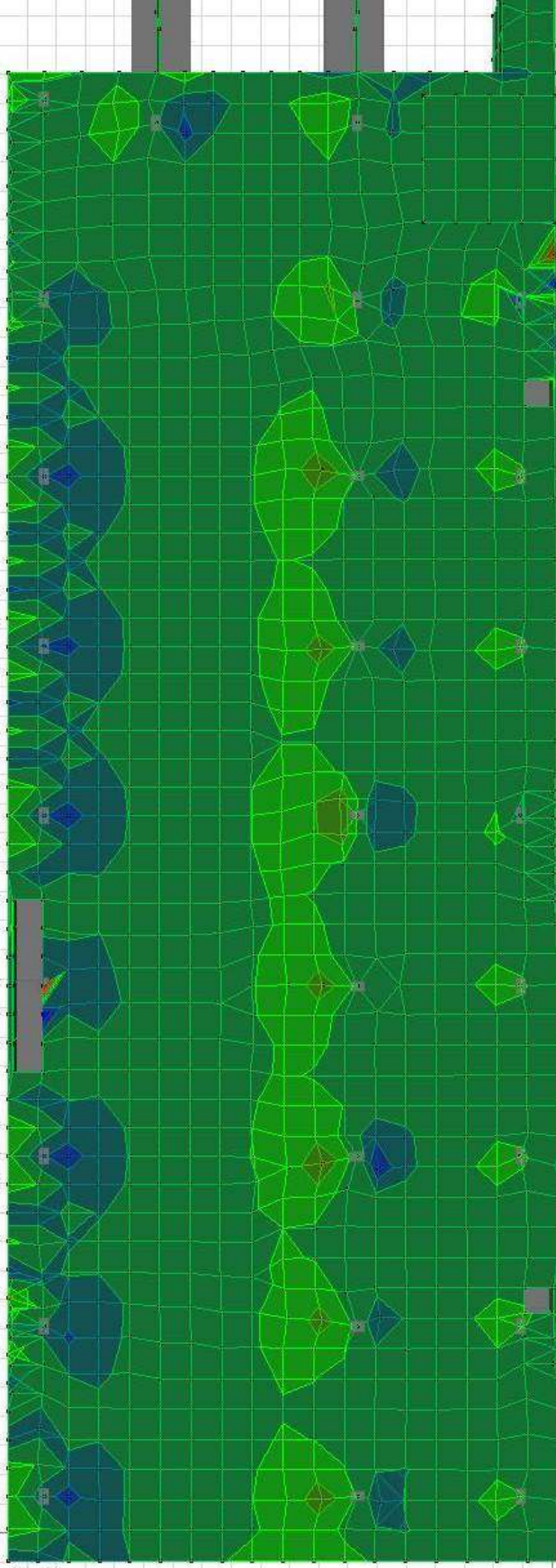
44	31,81	0,031	0,19	0,32	0,01
45	32,28	0,031	0,34	0,05	0,02
46	32,68	0,031	0,09	0,05	0,10
47	33,58	0,030	0,06	0,12	0,00
48	34,42	0,029	0,21	0,04	0,01
49	35,24	0,028	0,09	0,04	0,01
50	35,59	0,028	0,39	0,16	0,00
51	36,24	0,028	0,37	0,09	0,00
52	36,44	0,027	0,12	0,04	0,00
53	36,61	0,027	0,07	0,09	0,00
54	38,01	0,026	0,06	0,07	0,03
55	38,42	0,026	0,06	1,58	0,00
56	38,51	0,026	0,06	0,13	0,00
57	38,66	0,026	0,06	0,04	0,00
58	38,86	0,026	0,08	0,21	0,00
59	38,93	0,026	0,06	0,2	0,00
60	38,93	0,026	0,06	0,13	0,00
61	39,11	0,026	0,07	0,08	0,01
62	39,13	0,026	0,06	0,13	0,00
63	39,42	0,025	0,08	0,09	0,00
64	39,74	0,025	0,07	0,04	0,00
65	40,18	0,025	0,08	0,25	0,04
66	40,27	0,025	0,06	0,46	0,05
67	40,60	0,025	0,06	0,21	0,01
68	40,91	0,024	0,14	0,13	0,07
69	41,24	0,024	0,10	0,05	0,01
70	41,34	0,024	0,12	0,13	0,03
71	41,75	0,024	0,09	0,07	0,00
72	42,29	0,024	0,25	0,06	0,00
73	42,35	0,024	0,47	0,08	0,00
74	43,26	0,023	0,17	0,08	0,01
75	43,61	0,023	0,07	0,11	0,00
76	43,90	0,023	0,21	0,05	0,04
77	44,27	0,023	0,06	0,04	0,00
78	44,78	0,022	0,06	0,04	0,03
79	45,03	0,022	0,08	0,04	0,02
80	45,80	0,022	0,06	0,18	0,00
81	45,86	0,022	0,06	0,08	0,00
82	46,12	0,022	0,09	0,04	0,02
83	46,19	0,022	0,06	0,13	0,01
84	46,34	0,022	0,07	0,26	0,00
85	46,73	0,021	0,09	0,15	0,00
86	46,87	0,021	0,16	0,04	0,02
87	47,45	0,021	0,11	0,08	0,08
88	47,53	0,021	0,14	0,05	0,01
89	48,00	0,021	0,07	0,04	0,00
90	48,21	0,021	0,13	0,04	0,00
91	48,93	0,020	0,08	0,08	0,05
92	49,25	0,020	0,08	0,04	0,02
93	50,10	0,020	0,12	0,1	0,00
94	50,28	0,020	0,09	0,04	0,00
95	50,64	0,020	0,49	0,23	0,00
96	50,94	0,020	0,11	0,05	0,01
97	51,23	0,020	0,32	0,04	0,01

98	52,05	0,019	0,09	0,04	0,00
99	52,24	0,019	0,07	0,04	0,00
100	52,47	0,019	0,12	0,05	0,01
101	52,96	0,019	0,18	0,04	0,00
102	53,04	0,019	0,16	0,1	0,00
103	53,87	0,019	0,09	0,26	0,00
104	53,90	0,019	0,06	0,04	0,00
105	53,98	0,019	0,11	0,07	0,00
106	54,01	0,019	0,07	0,09	0,00
107	54,24	0,018	0,10	0,04	0,00
108	54,51	0,018	0,06	0,09	0,00
109	54,62	0,018	0,07	0,06	0,00
110	54,87	0,018	0,06	0,04	0,00
111	55,00	0,018	0,07	0,18	0,00
112	55,21	0,018	0,06	0,04	0,00
113	55,31	0,018	0,07	0,07	0,00
114	55,51	0,018	0,07	0,04	0,00
115	56,21	0,018	0,08	0,05	0,01
116	56,25	0,018	0,08	0,05	0,00
117	56,41	0,018	0,11	0,06	0,00
118	56,50	0,018	0,06	0,07	0,00
119	56,66	0,018	0,06	0,04	0,00
120	56,97	0,018	0,06	0,09	0,01
121	57,19	0,017	0,06	1,02	0,00
122	57,32	0,017	0,06	0,18	0,00
123	57,53	0,017	0,06	0,04	0,00
124	57,68	0,017	0,07	0,16	0,00
125	58,24	0,017	0,07	0,04	0,00
126	58,49	0,017	0,07	0,04	0,00
127	58,51	0,017	0,06	0,08	0,00
128	59,14	0,017	0,07	0,13	0,00
129	59,71	0,017	0,06	0,08	0,03
130	59,86	0,017	0,06	0,2	0,00
131	59,95	0,017	0,07	0,05	0,01
132	60,22	0,017	0,07	0,72	0,00
133	60,69	0,016	0,08	0,1	0,02
134	61,13	0,016	0,07	0,12	0,00
135	61,72	0,016	0,06	0,11	0,00
136	61,85	0,016	0,39	0,05	0,01
137	62,02	0,016	0,06	0,04	0,00
138	62,98	0,016	0,06	0,16	0,01
139	63,28	0,016	0,09	0,05	0,01
140	63,36	0,016	0,06	0,07	0,00
141	63,81	0,016	0,15	0,07	0,00
142	64,22	0,016	0,06	0,04	0,00
143	64,37	0,016	0,08	0,04	0,00
144	64,53	0,015	0,16	0,05	0,00
145	65,56	0,015	0,22	0,07	0,02
146	65,81	0,015	0,12	0,06	0,01
147	66,28	0,015	0,12	0,05	0,00
148	67,14	0,015	0,06	0,04	0,00
149	67,75	0,015	0,06	0,04	0,00
150	68,50	0,015	0,07	0,05	0,00
	Totale		86,8	89,53	99,42

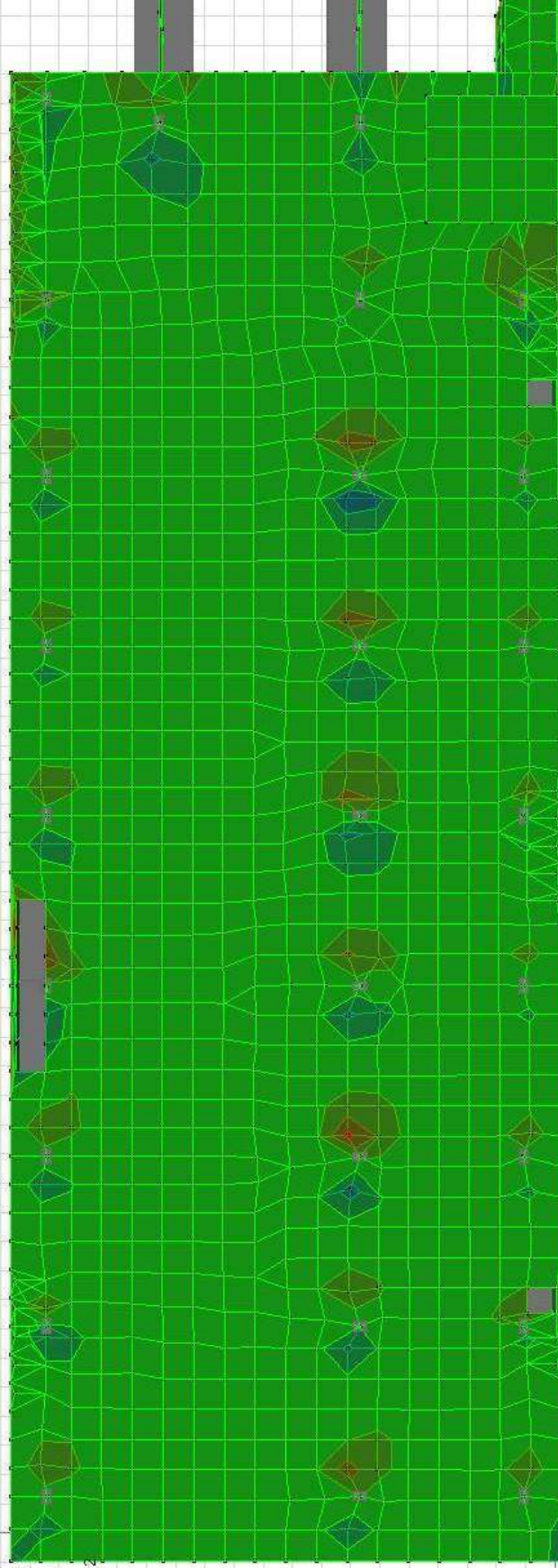


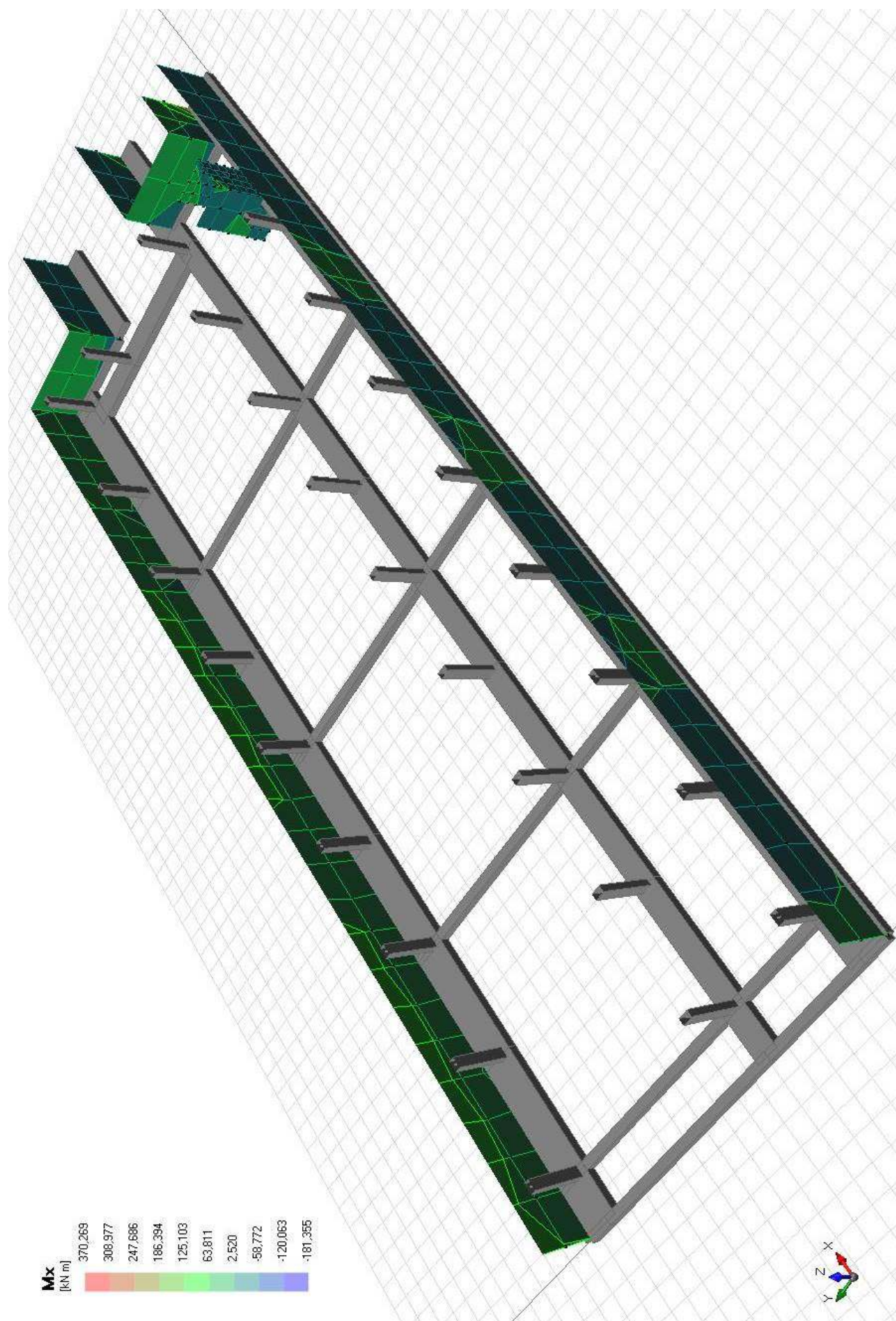


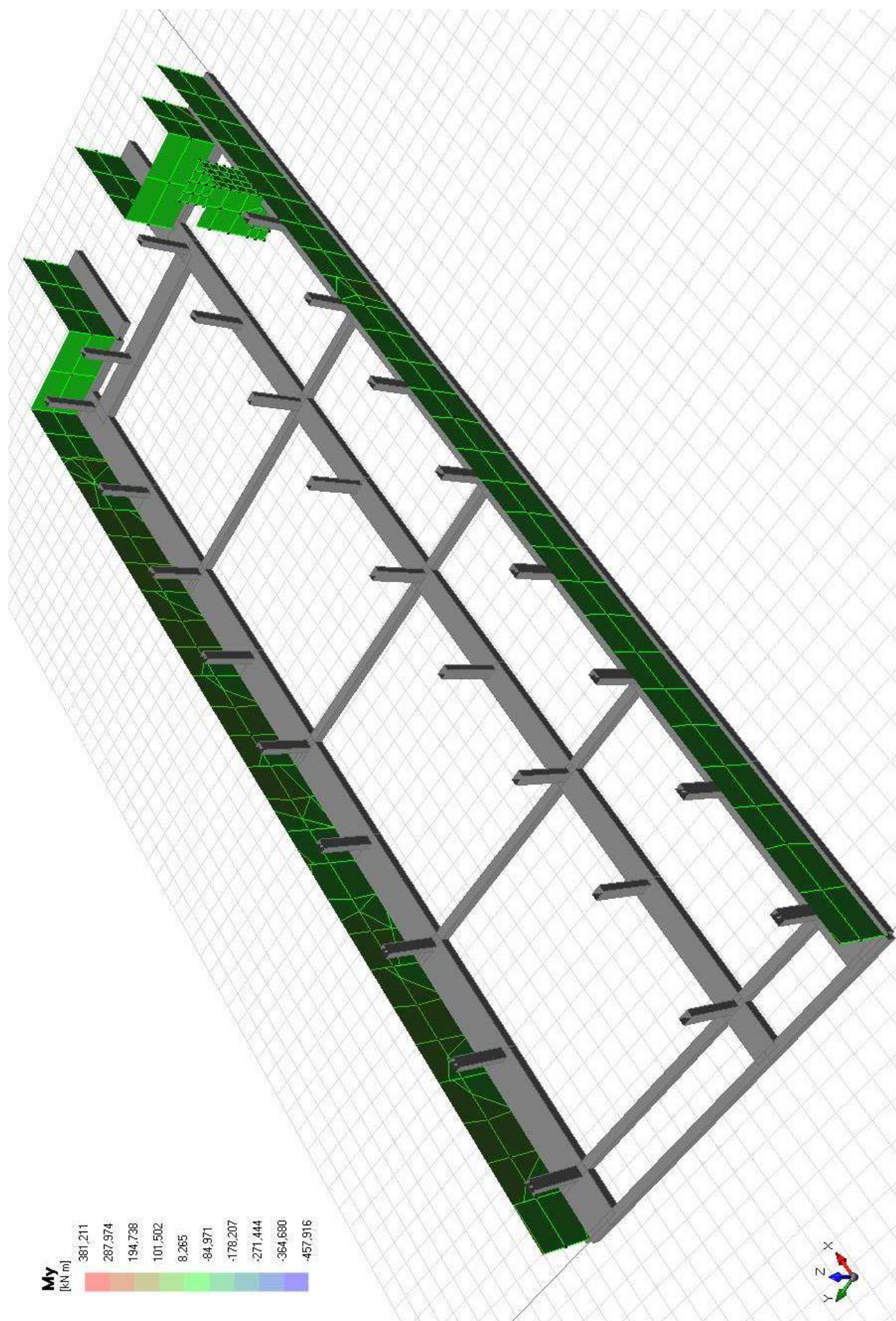
Txz
[kN]

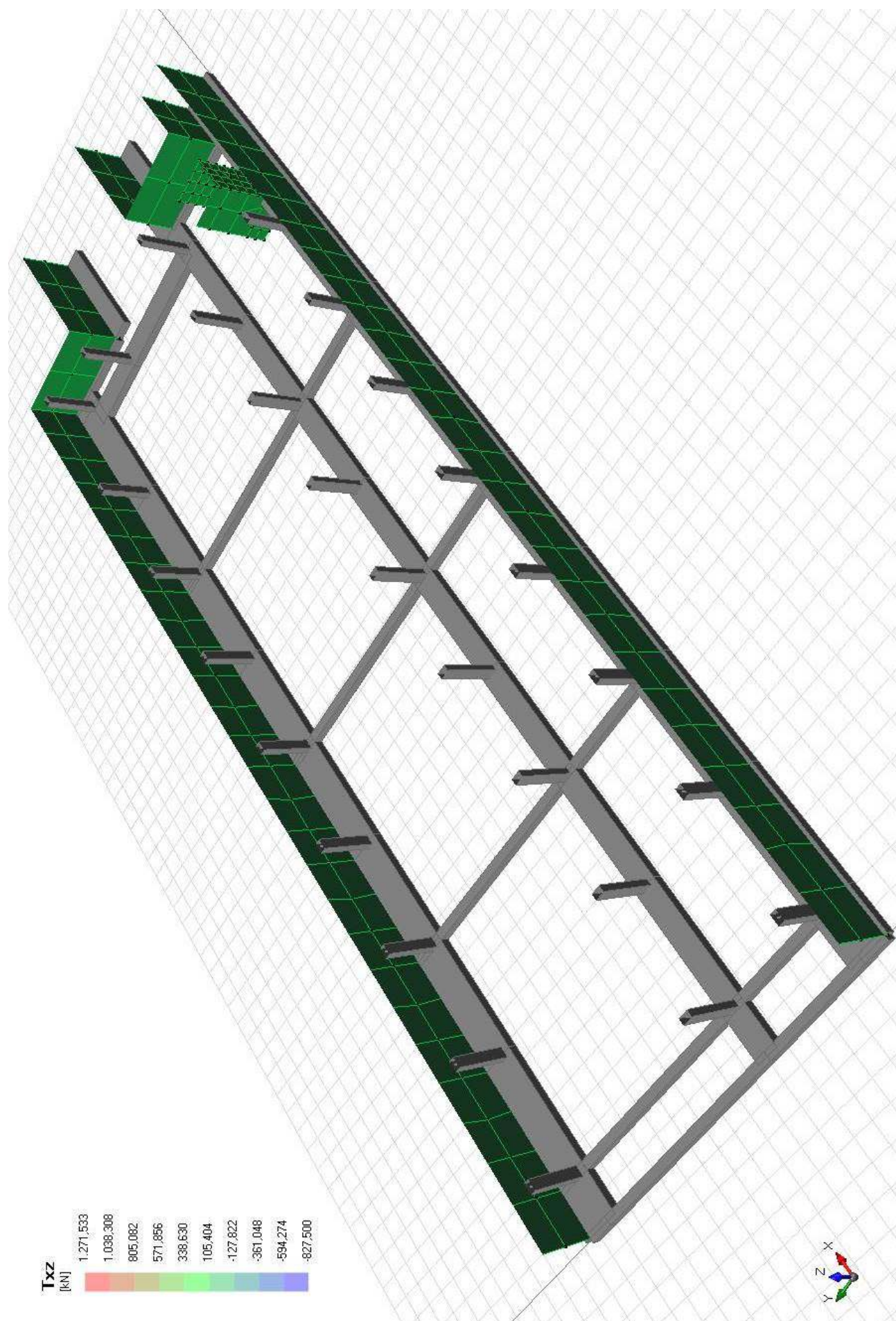


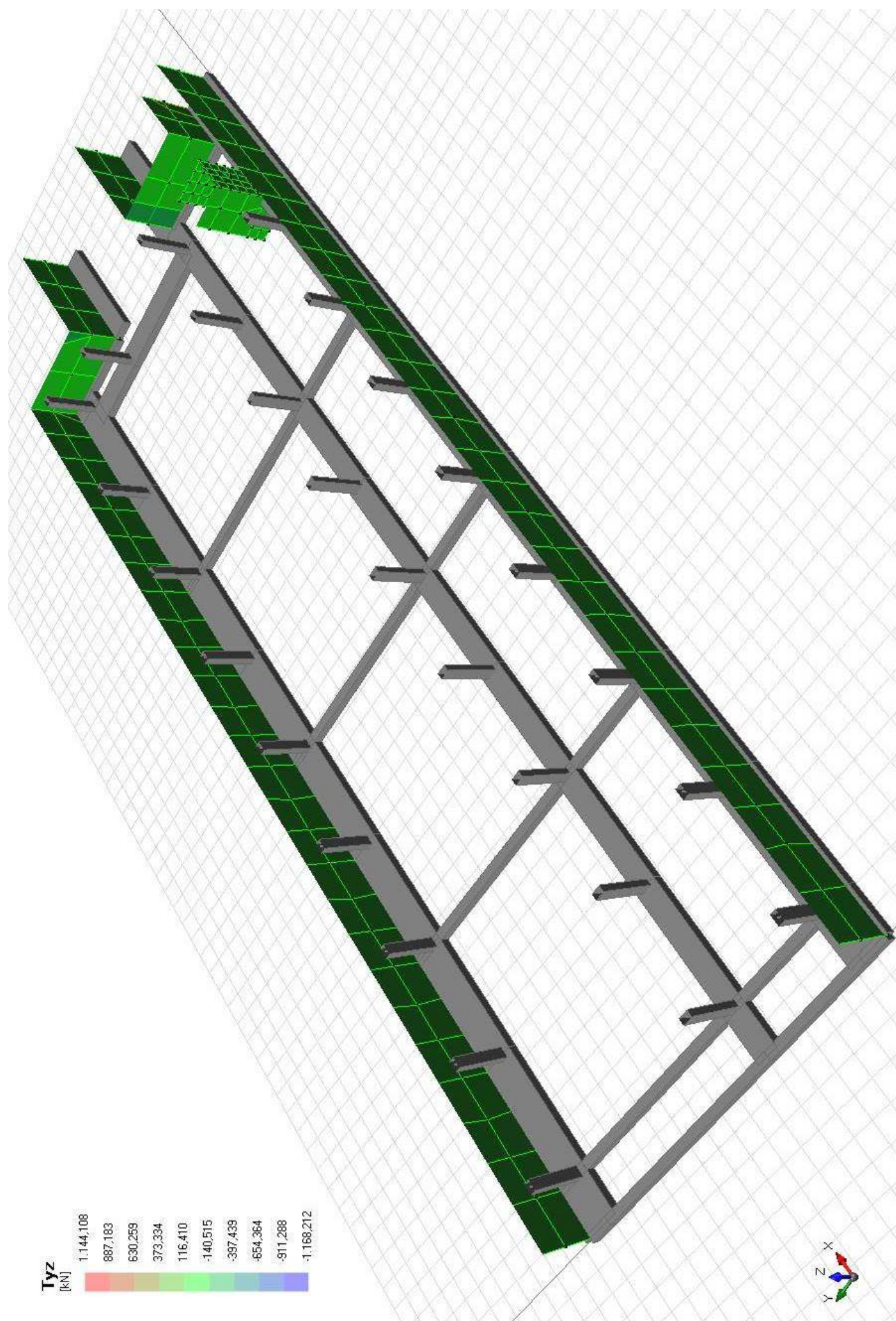
Tyz
[kN]

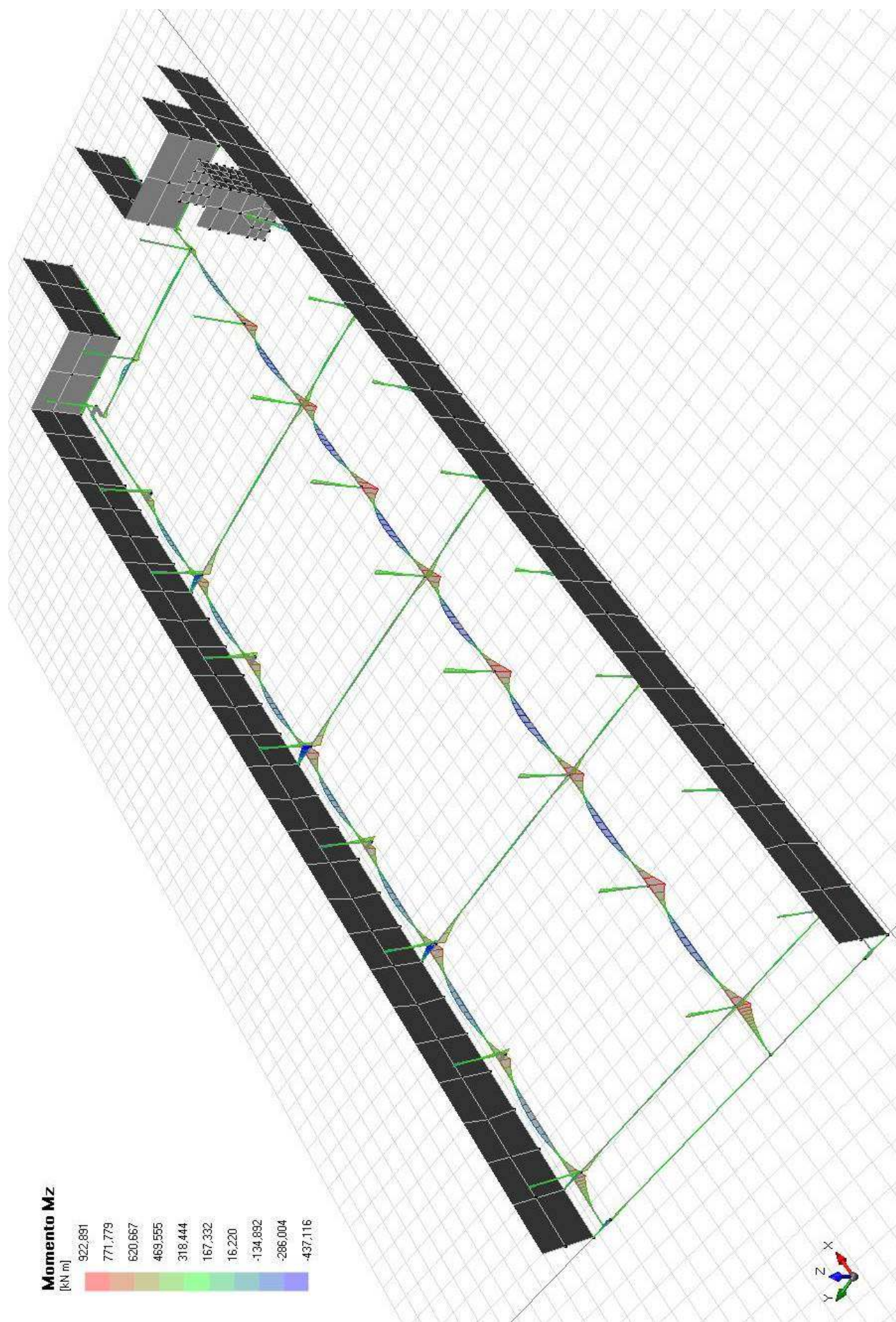


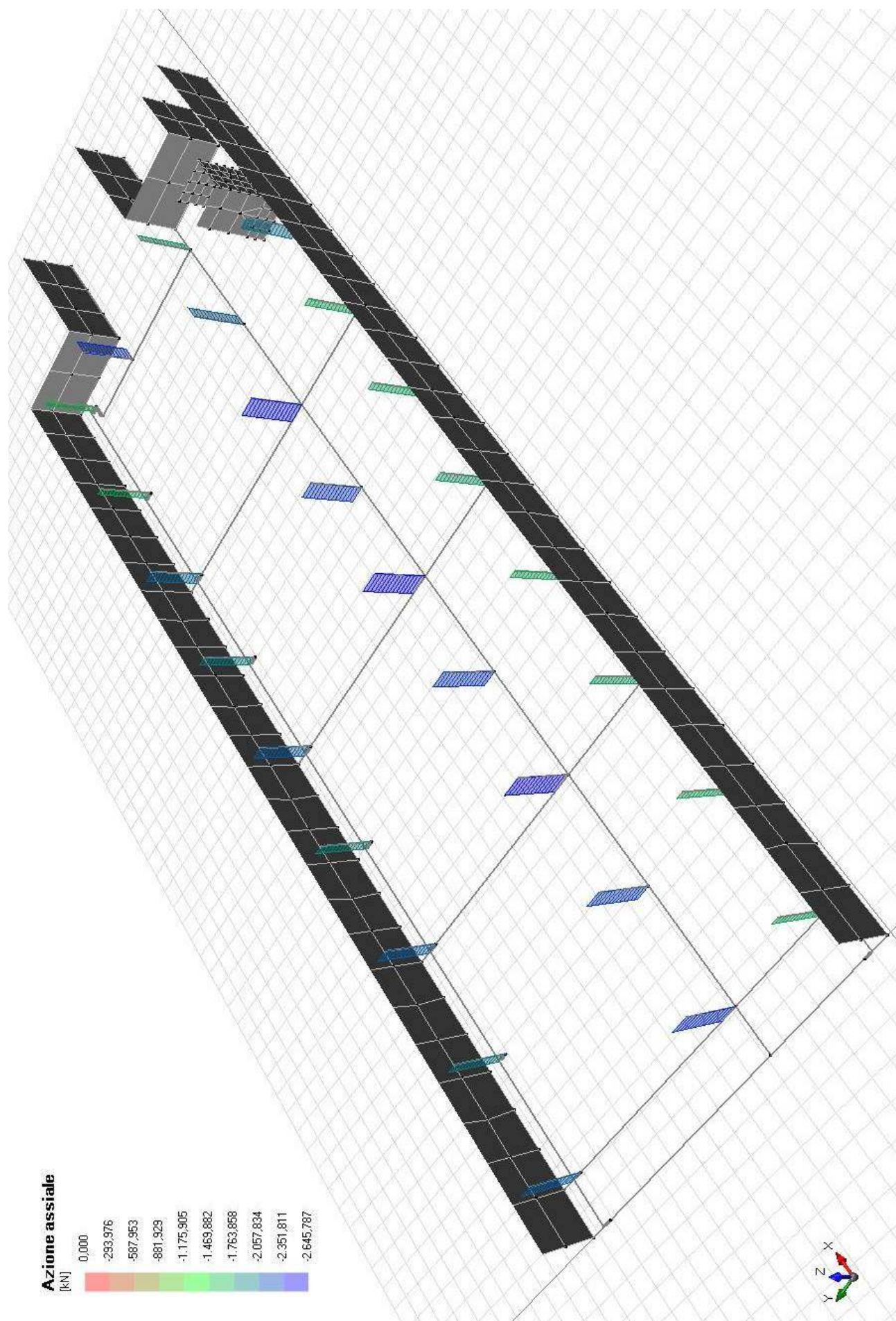










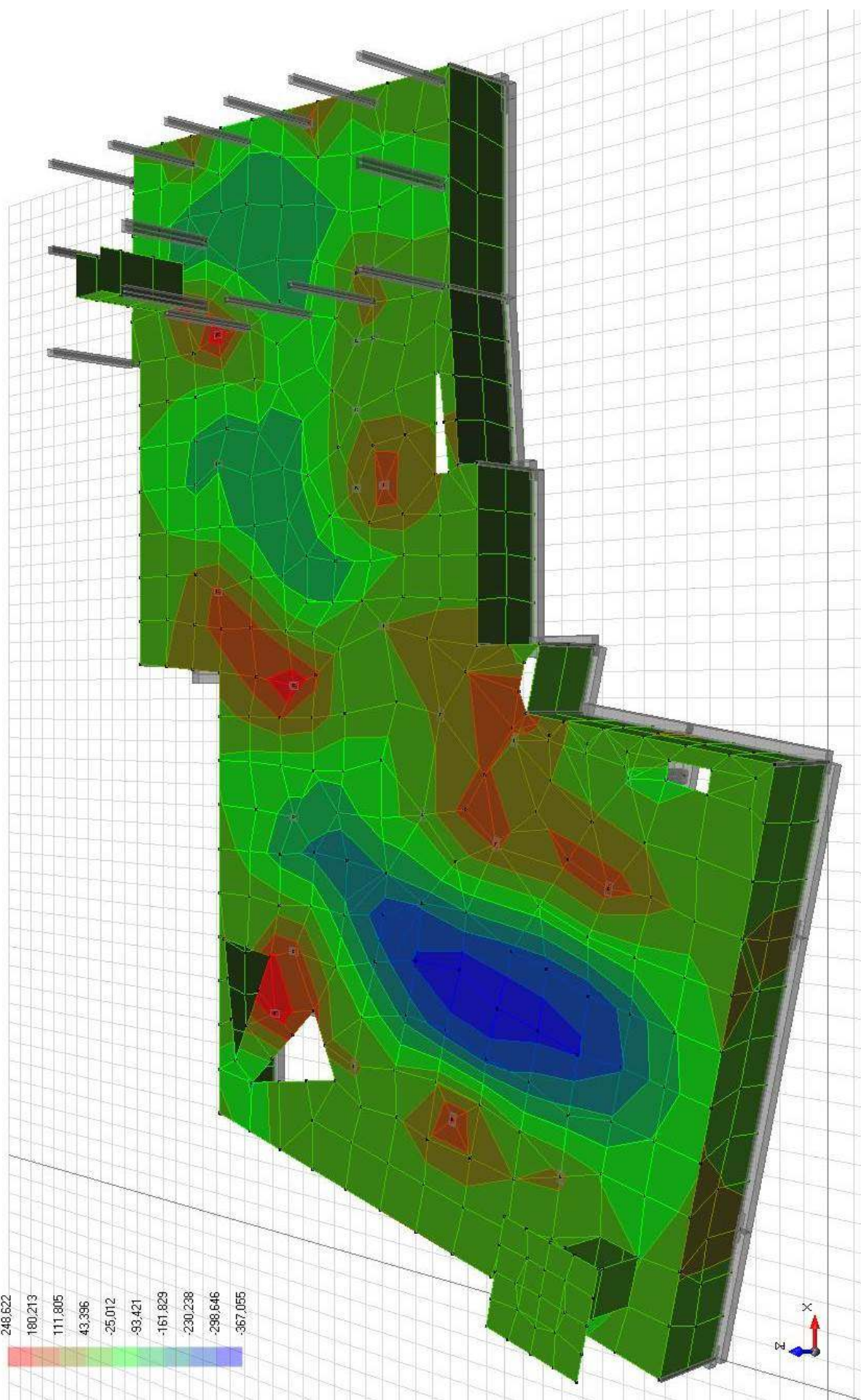


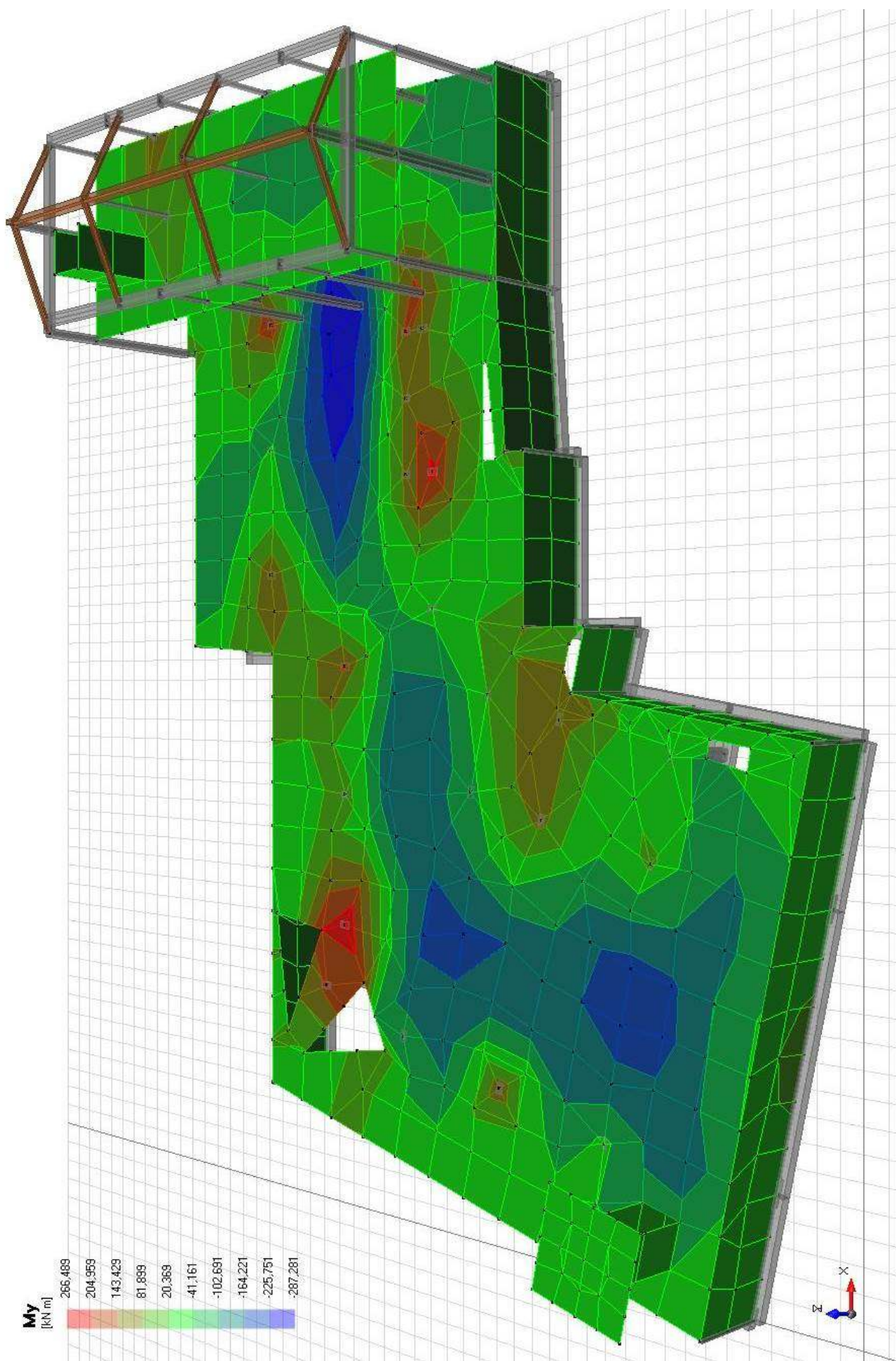
BLOCCO B

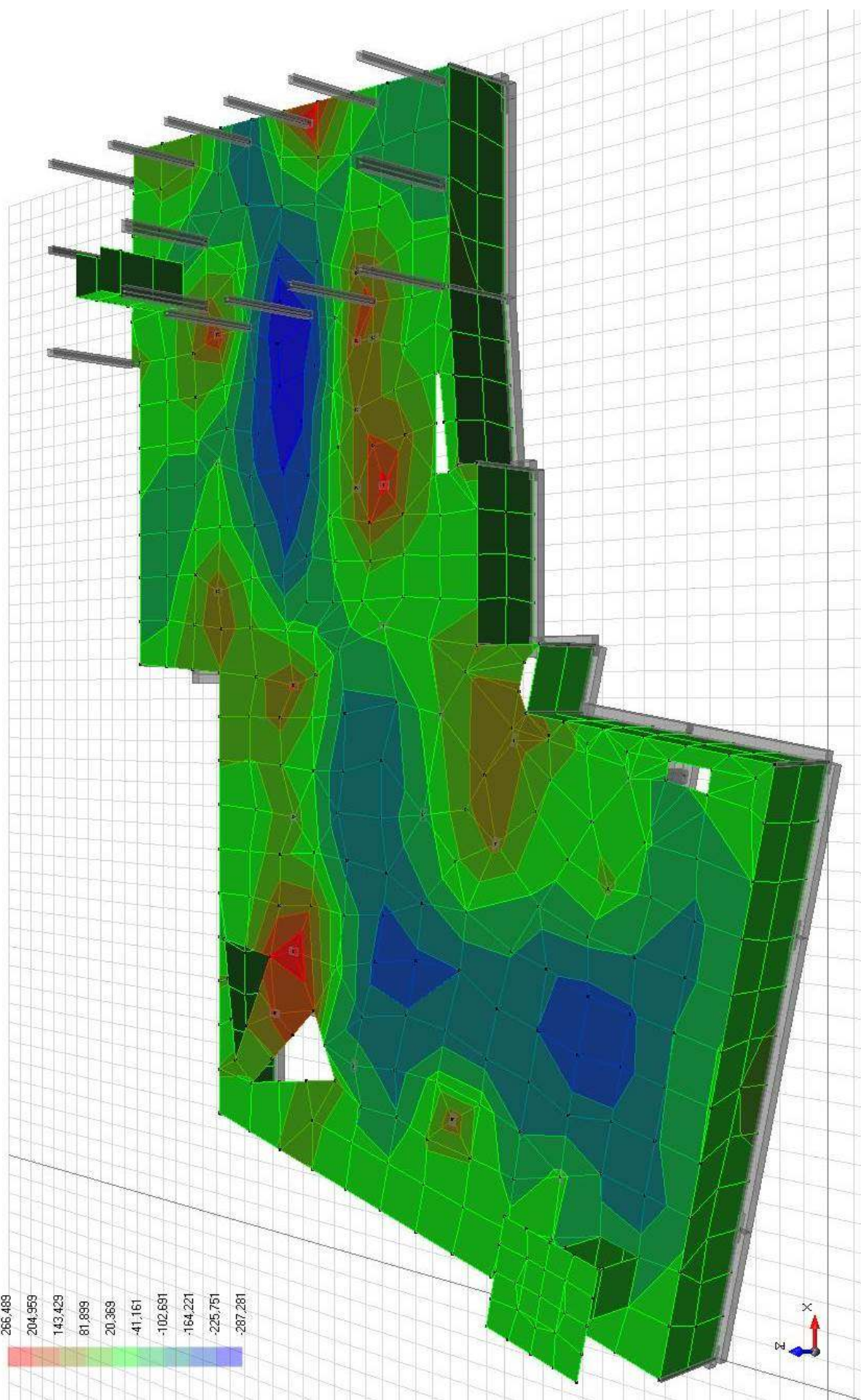
Diagrammi SLU

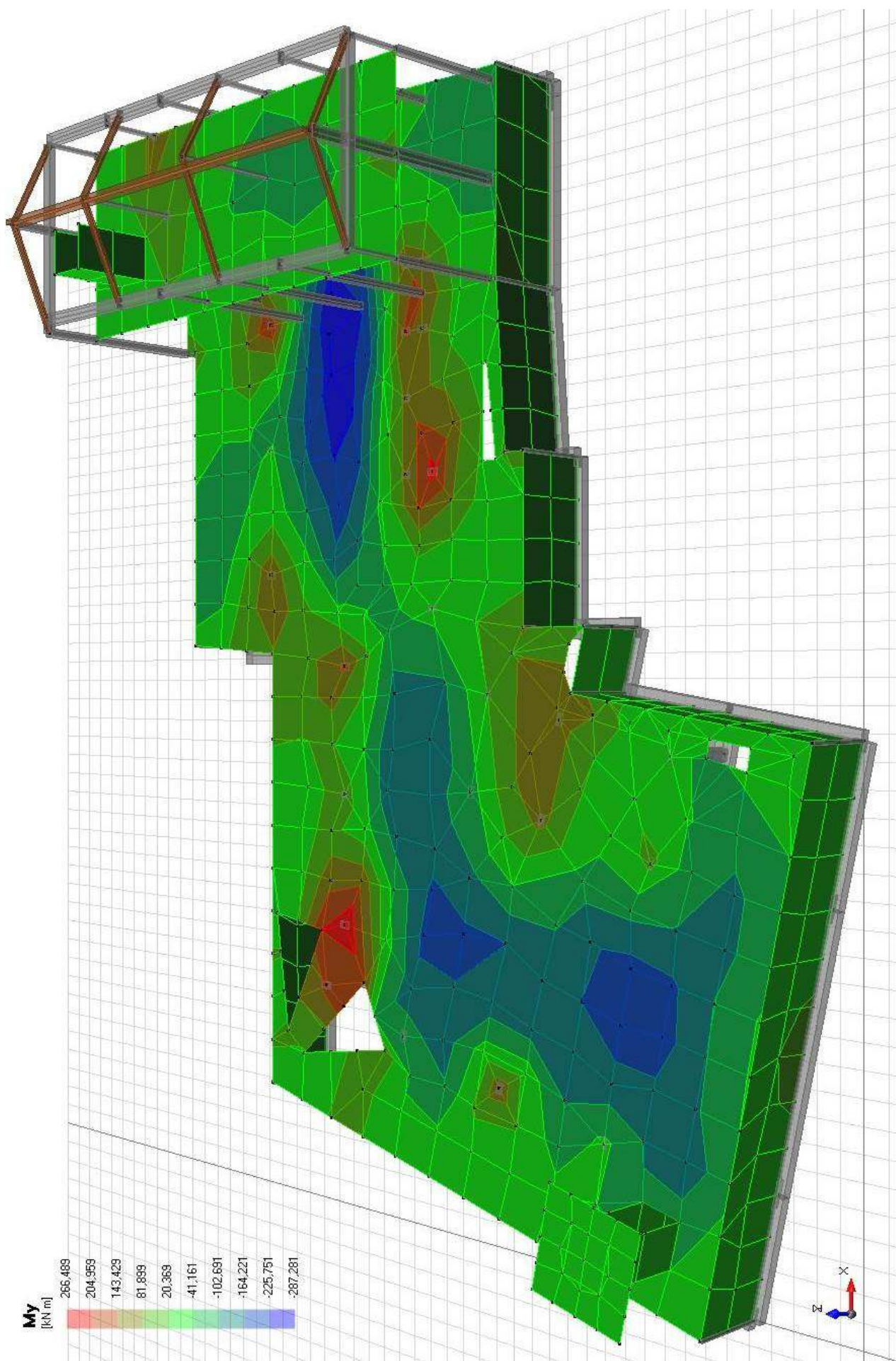
BLOCCO B - Modi di vibrare e percentuale massa partecipante.					
	f [Hz]	T [s]	X [%]	Y [%]	Z [%]
1	1,69	0,592	2,56	1,32	0,01
2	2,15	0,465	0,89	1,79	0,00
3	3,19	0,314	0,06	0,17	2,17
4	3,59	0,278	0,32	0,00	0,01
5	3,68	0,272	0,08	0,15	0,00
6	3,77	0,265	2,64	0,37	0,03
7	4,85	0,206	0,11	9,21	0,26
8	5,52	0,181	0,02	0,00	0,07
9	5,95	0,168	0,00	0,40	0,03
10	6,18	0,162	0,92	0,12	0,06
11	6,56	0,153	0,01	1,25	25,44
12	6,58	0,152	0,00	0,00	0,03
13	6,66	0,150	0,02	0,03	0,06
14	6,70	0,149	0,29	0,05	0,02
15	7,57	0,132	0,37	20,78	0,04
16	7,77	0,129	0,69	0,41	0,01
17	8,10	0,124	0,84	0,02	0,57
18	8,73	0,114	0,02	0,69	14,59
19	9,20	0,109	1,45	16,46	4,44
20	9,82	0,102	0,08	0,11	5,78
21	10,04	0,100	1,04	0,03	0,99
22	10,16	0,098	6,13	1,79	0,00
23	10,33	0,097	0,72	6,62	8,34
24	10,44	0,096	1,06	0,14	0,04
25	10,60	0,094	1,34	0,31	0,15
26	10,69	0,094	0,18	0,01	0,09
27	11,20	0,089	0,16	0,62	6,48
28	11,44	0,087	1,45	0,69	0,89
29	11,80	0,085	0,06	0,59	1,10
30	12,34	0,081	1,50	0,65	1,46
31	12,71	0,079	0,00	0,01	0,09
32	13,29	0,075	0,21	0,25	0,46
33	13,43	0,074	0,02	1,57	0,32
34	13,80	0,072	0,02	0,02	0,10
35	13,89	0,072	0,52	0,06	4,75
36	14,02	0,071	1,32	0,14	0,00
37	14,38	0,070	0,17	0,03	0,04
38	14,55	0,069	0,05	1,01	0,91
39	14,99	0,067	0,07	0,00	0,06
40	15,16	0,066	0,00	0,00	0,00
41	15,29	0,065	1,47	0,26	0,00
42	15,42	0,065	0,07	0,01	0,06
43	15,60	0,064	0,63	0,47	1,09
44	15,77	0,063	0,07	0,21	0,01
45	15,84	0,063	0,02	0,01	0,01
46	15,90	0,063	0,05	0,09	0,00
47	15,95	0,063	0,03	0,00	1,84

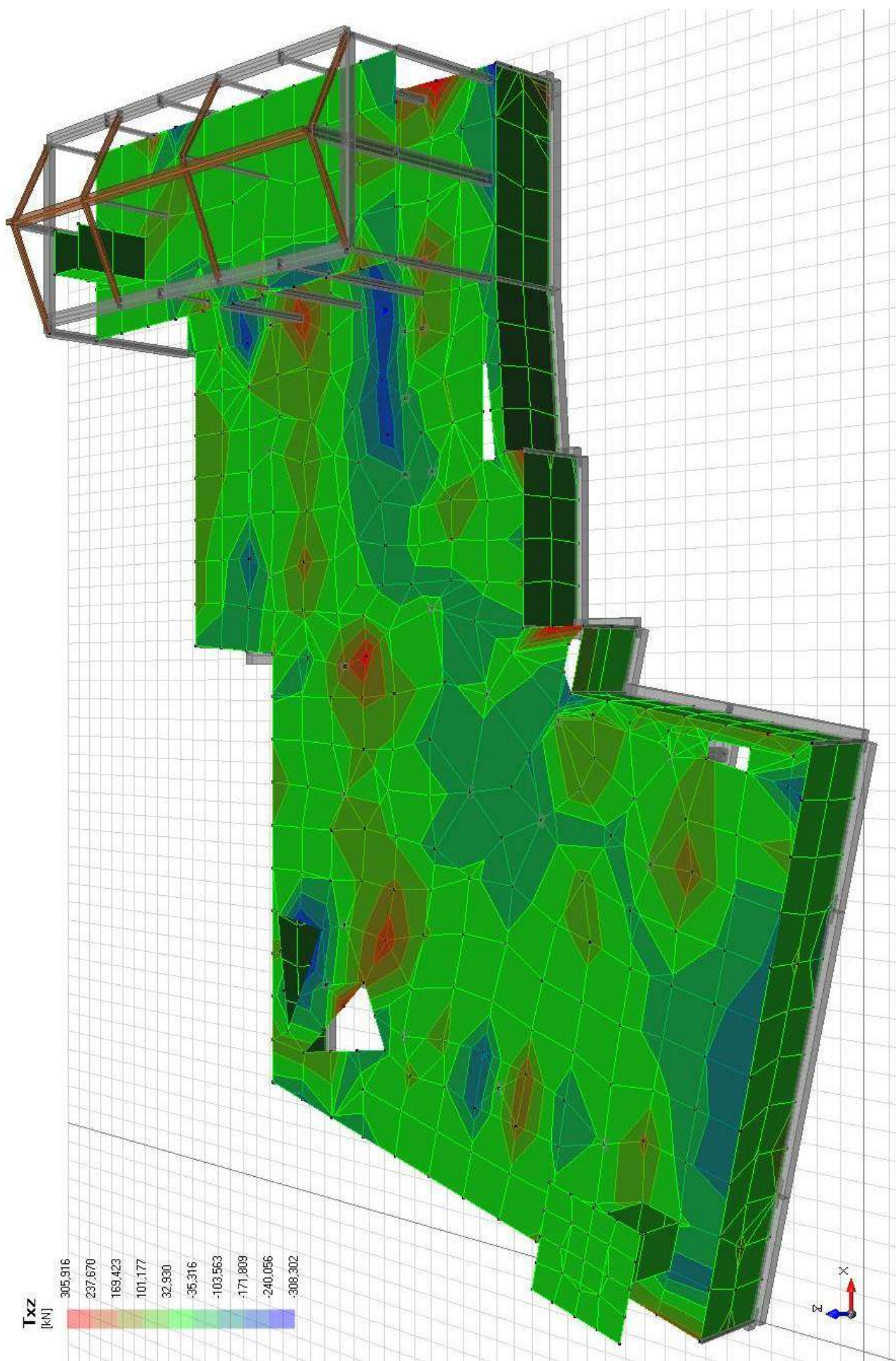
48	16,12	0,062	0,00	0,05	0,06
49	16,33	0,061	0,07	0,15	0,01
50	16,72	0,060	0,06	0,00	0,04
51	17,03	0,059	0,43	0,11	0,91
52	17,46	0,057	1,54	0,39	0,05
53	17,52	0,057	0,01	0,01	0,23
54	17,67	0,057	0,17	0,31	0,55
55	18,12	0,055	2,71	0,36	0,35
56	18,52	0,054	2,68	0,53	0,01
57	18,54	0,054	4,00	0,50	0,66
58	18,57	0,054	0,18	0,00	0,55
59	18,73	0,053	0,11	0,03	0,33
60	18,78	0,053	0,49	0,00	0,01
61	19,07	0,052	0,00	0,00	0,00
62	19,22	0,052	0,28	0,35	0,12
63	19,37	0,052	5,93	1,64	1,76
64	19,83	0,050	1,59	0,30	0,07
65	20,10	0,050	20,37	1,56	0,83
66	20,42	0,049	4,87	0,30	0,37
67	20,73	0,048	1,30	0,03	0,32
68	20,79	0,048	0,53	0,23	0,43
69	20,95	0,048	0,01	0,24	0,01
70	21,25	0,047	1,07	0,50	0,95
71	21,51	0,046	3,13	0,97	0,00
72	21,83	0,046	0,00	2,93	0,02
73	22,36	0,045	0,69	2,05	0,00
74	22,51	0,044	0,09	0,40	0,00
75	23,14	0,043	0,03	0,01	0,06
76	23,21	0,043	0,13	0,34	0,42
77	23,72	0,042	0,02	0,00	0,66
78	24,02	0,042	0,22	0,00	0,25
79	24,32	0,041	0,00	0,17	0,02
80	24,43	0,041	0,28	0,07	0,00
81	24,68	0,041	0,00	0,00	0,02
82	24,72	0,040	0,04	0,08	0,28
83	24,88	0,040	0,92	0,00	0,22
84	25,08	0,040	0,20	0,02	0,20
85	25,19	0,040	0,28	0,11	0,47
86	25,82	0,039	0,04	0,00	0,03
87	25,88	0,039	0,05	0,01	0,07
88	26,03	0,038	0,13	0,11	0,06
89	26,24	0,038	0,11	0,10	0,16
90	26,43	0,038	0,00	0,03	0,18
91	26,62	0,038	0,11	0,29	0,35
92	26,94	0,037	0,03	0,18	0,20
93	27,30	0,037	0,78	0,42	0,01
94	27,39	0,037	0,01	0,01	0,11
95	28,03	0,036	0,00	0,02	0,05
96	28,23	0,035	0,42	0,02	0,03
97	28,33	0,035	0,12	0,28	0,07
98	28,83	0,035	0,04	0,49	0,31
99	28,97	0,035	0,41	0,37	0,05
100	29,32	0,034	0,21	0,09	0,01
	Totale		86,63	86,10	95,80

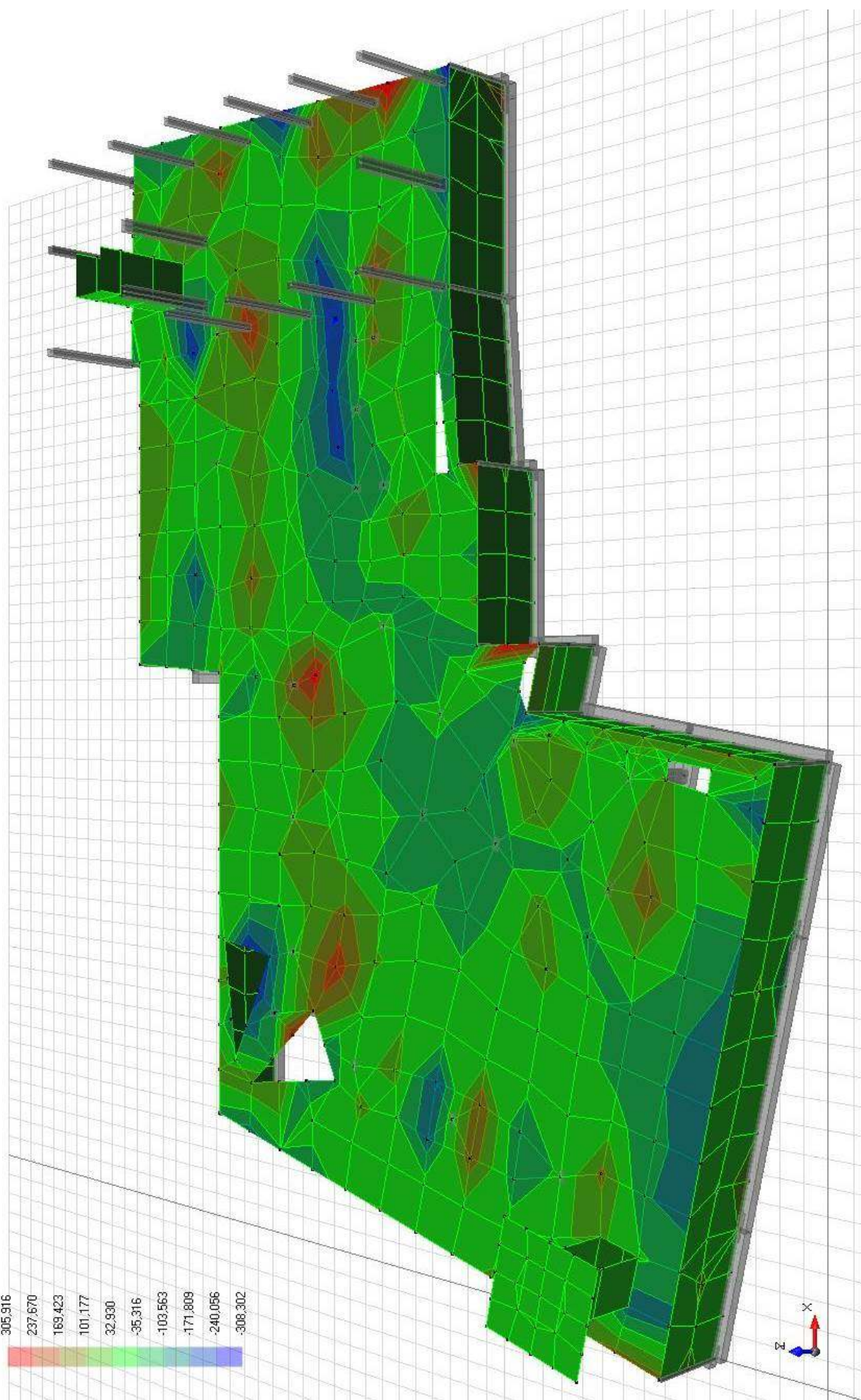


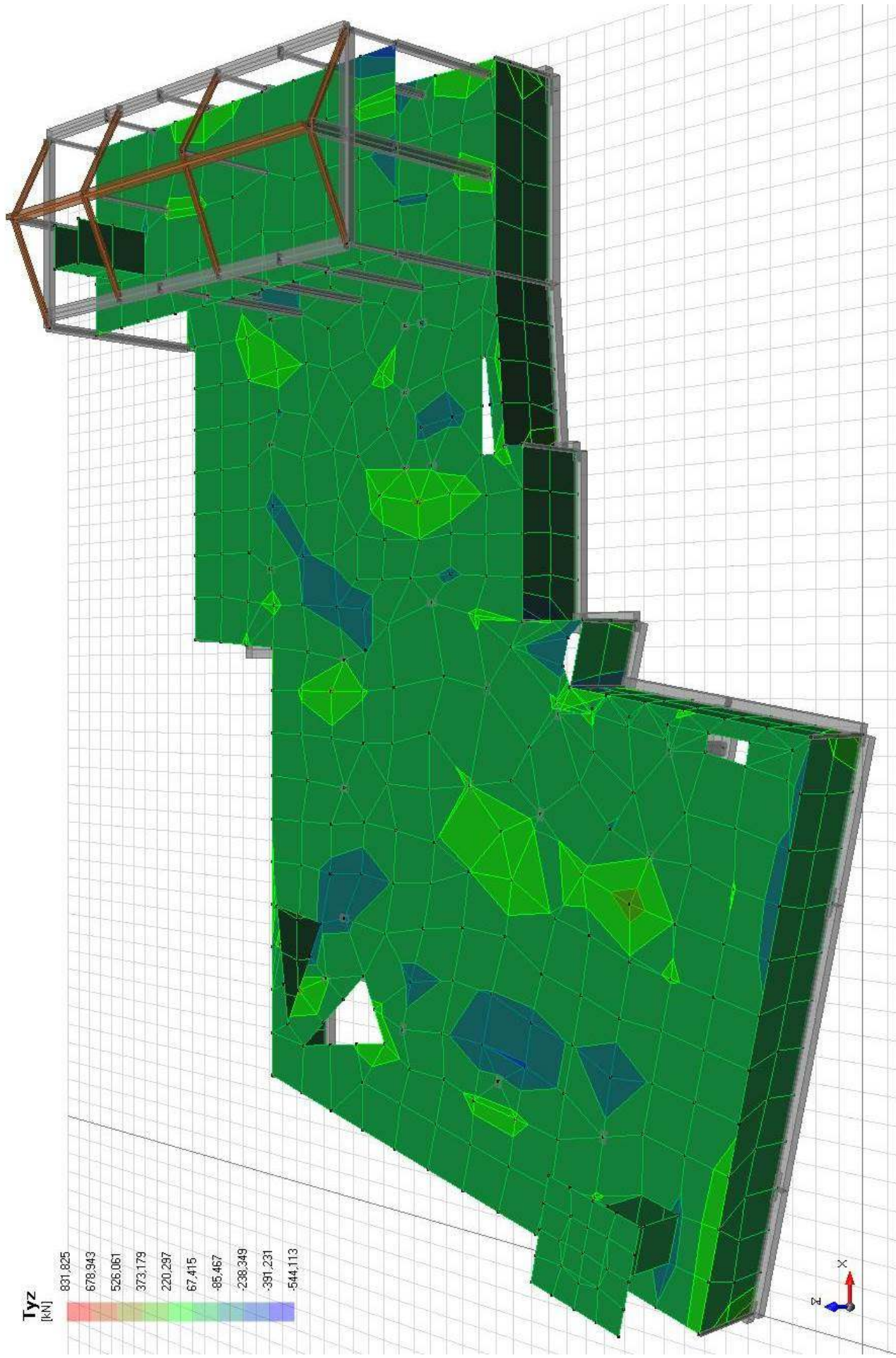


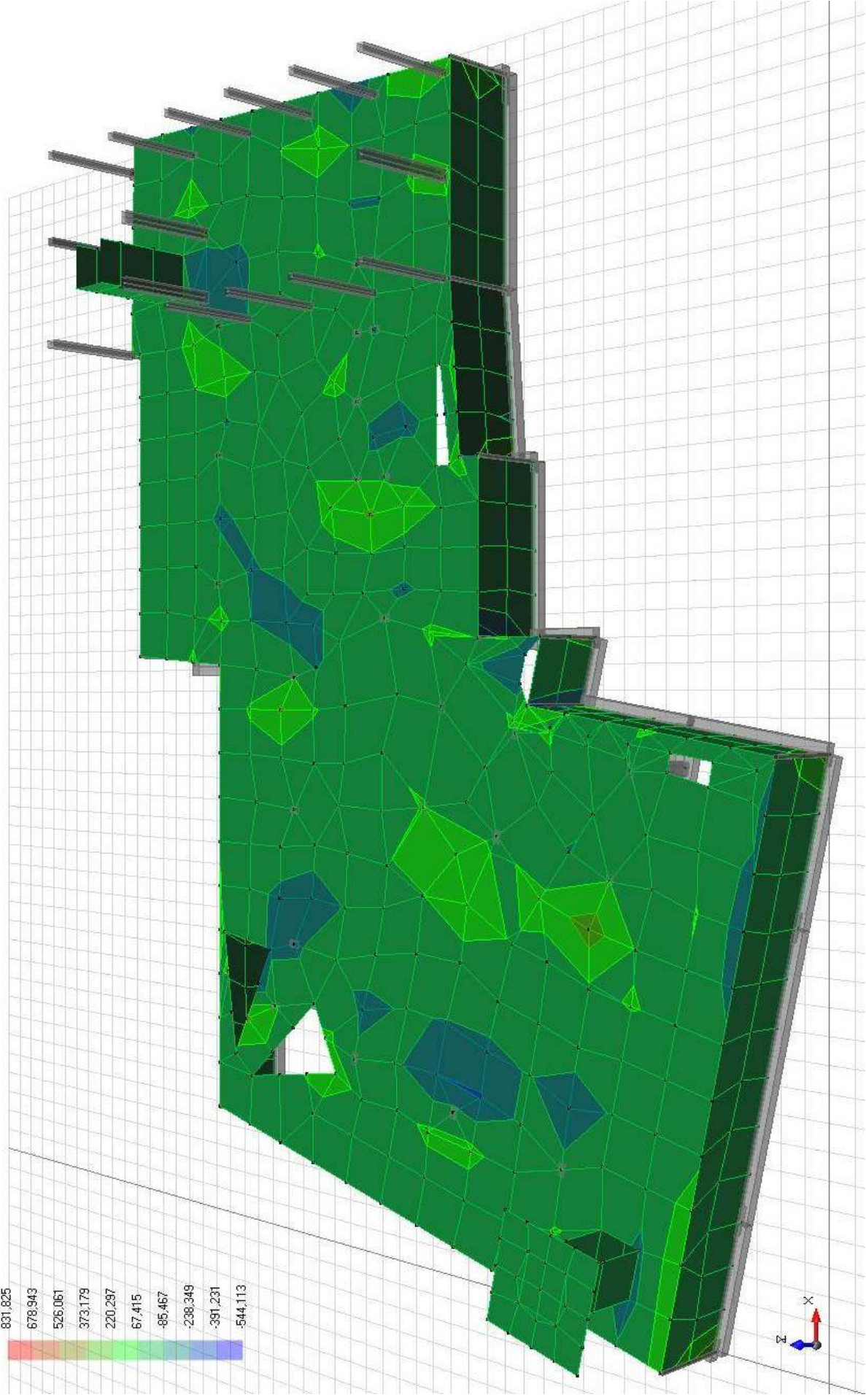


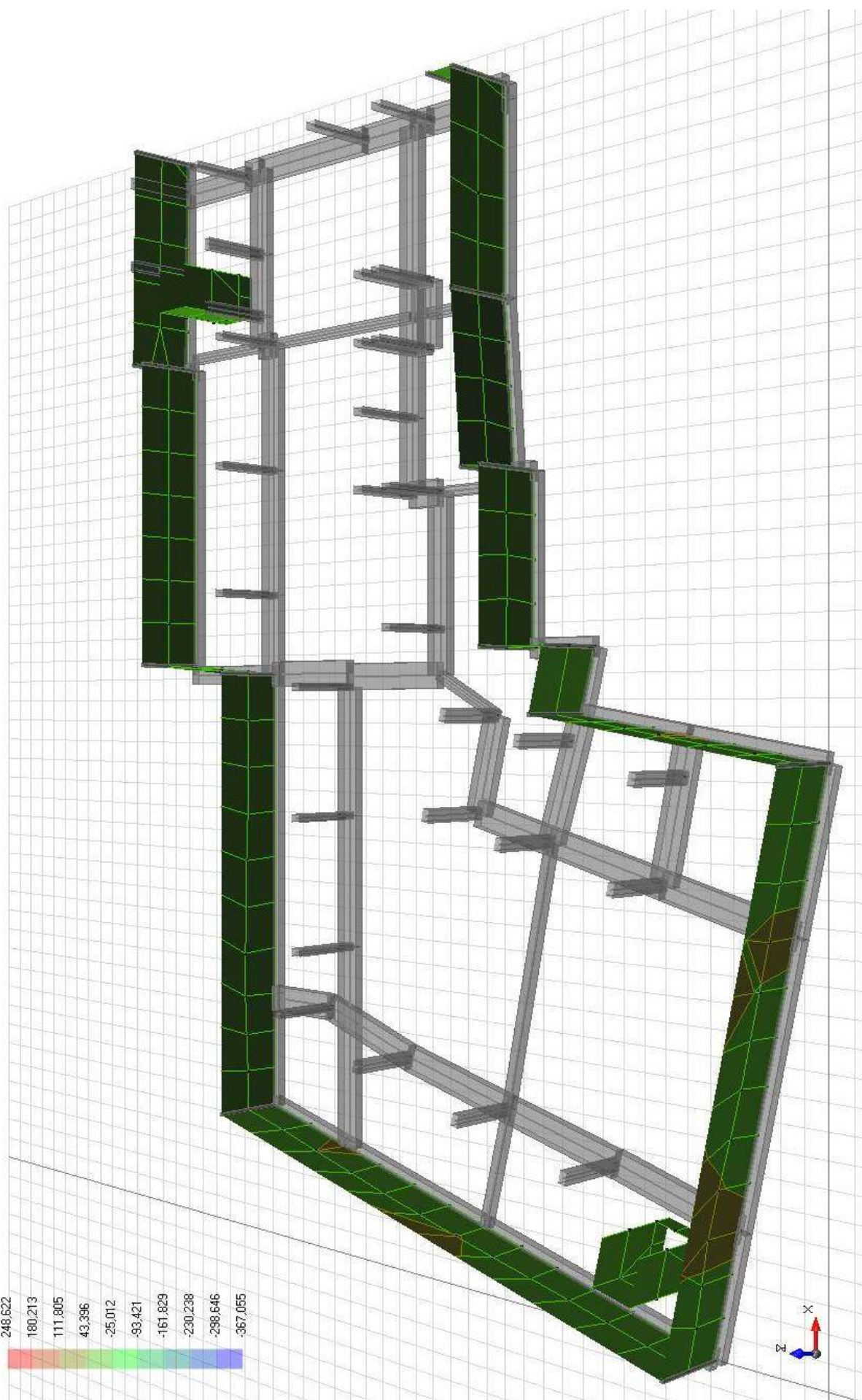


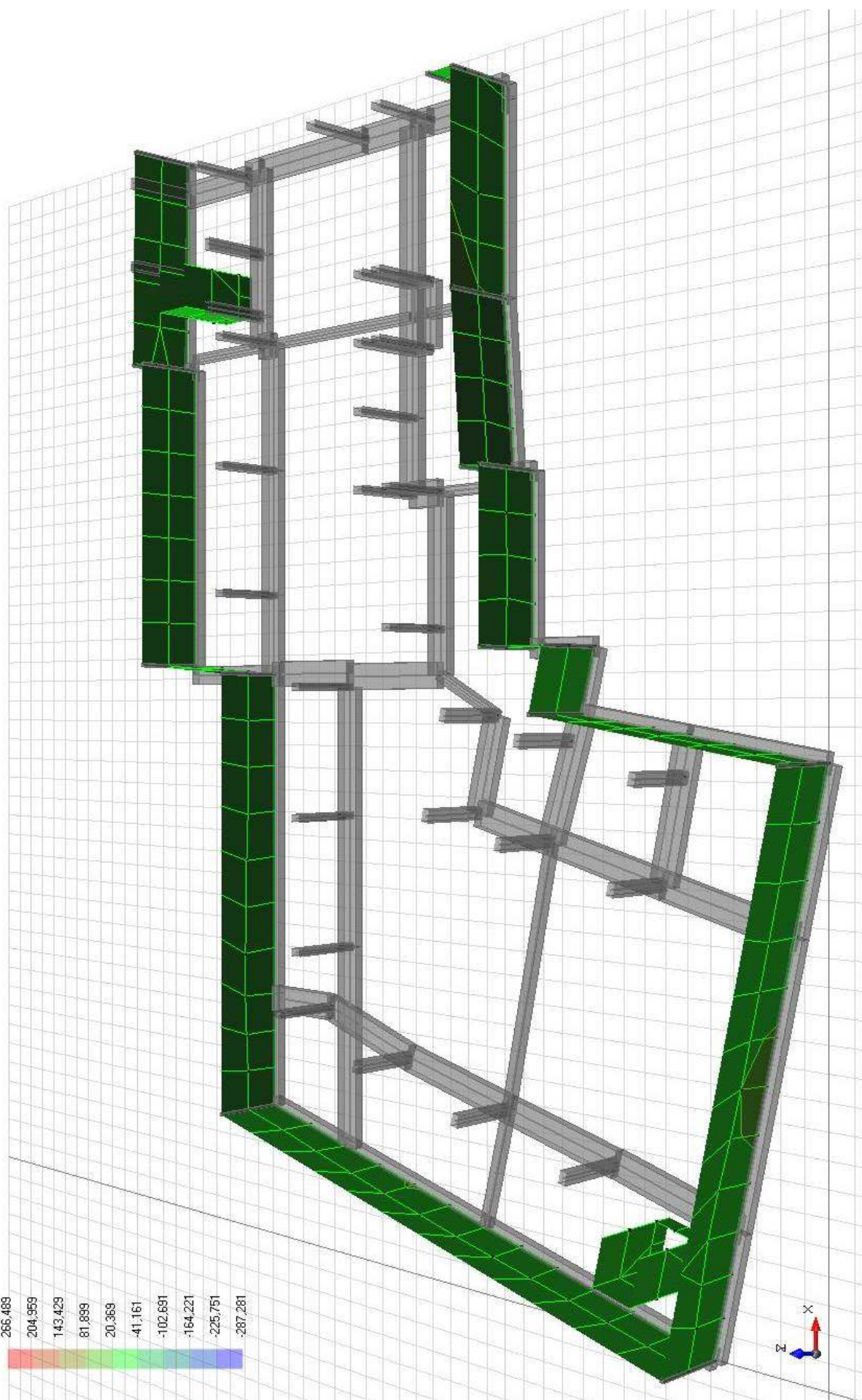


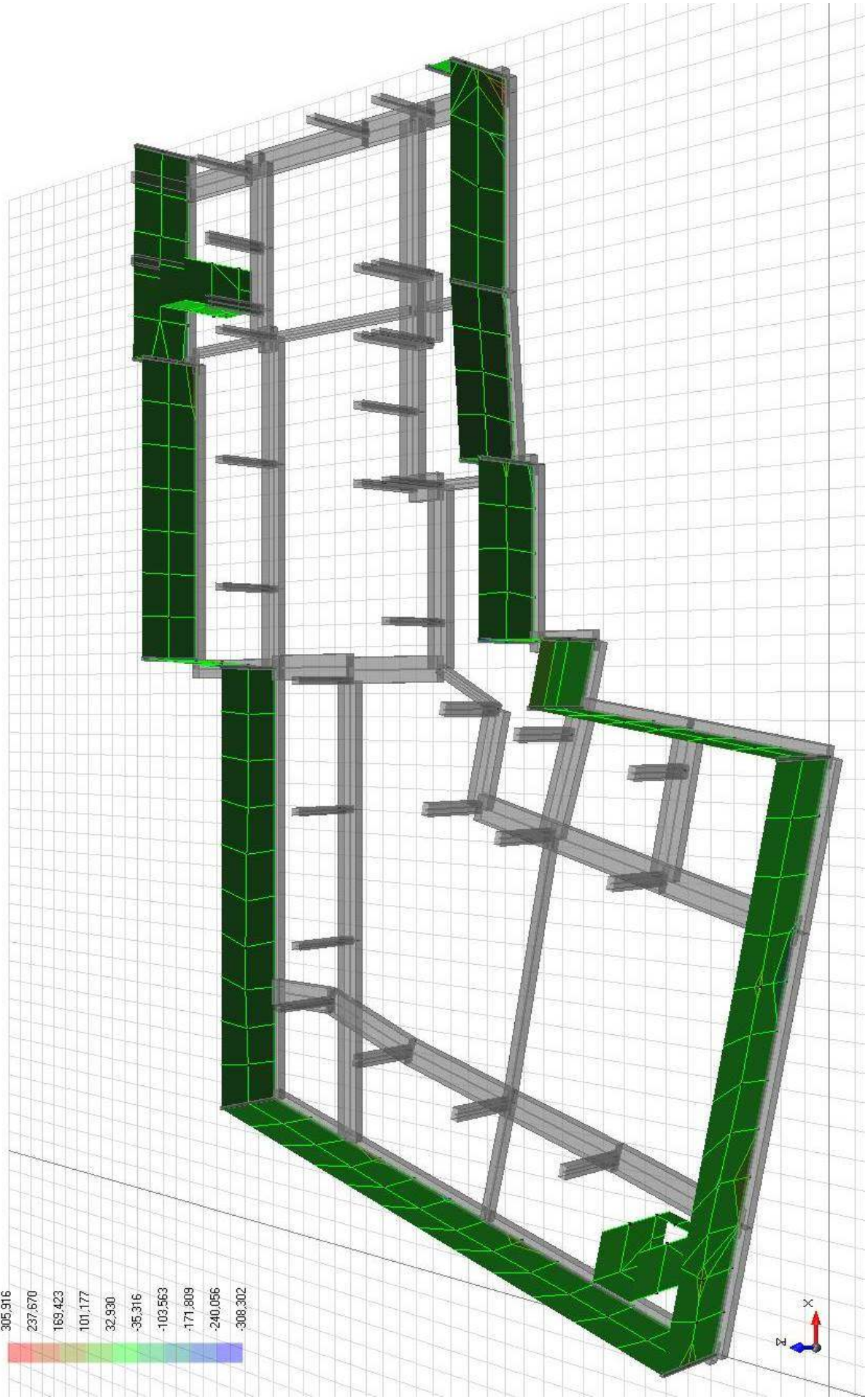


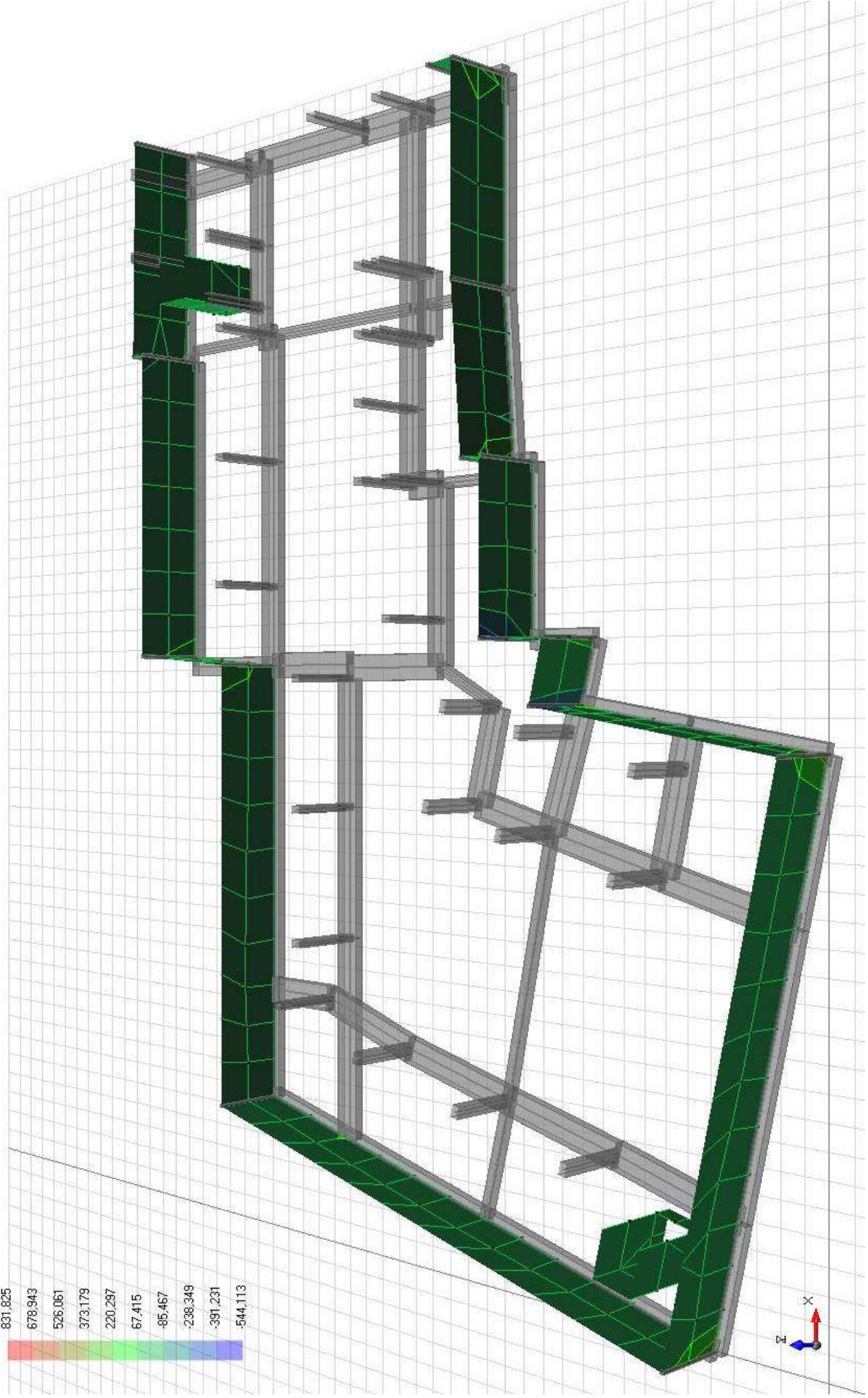




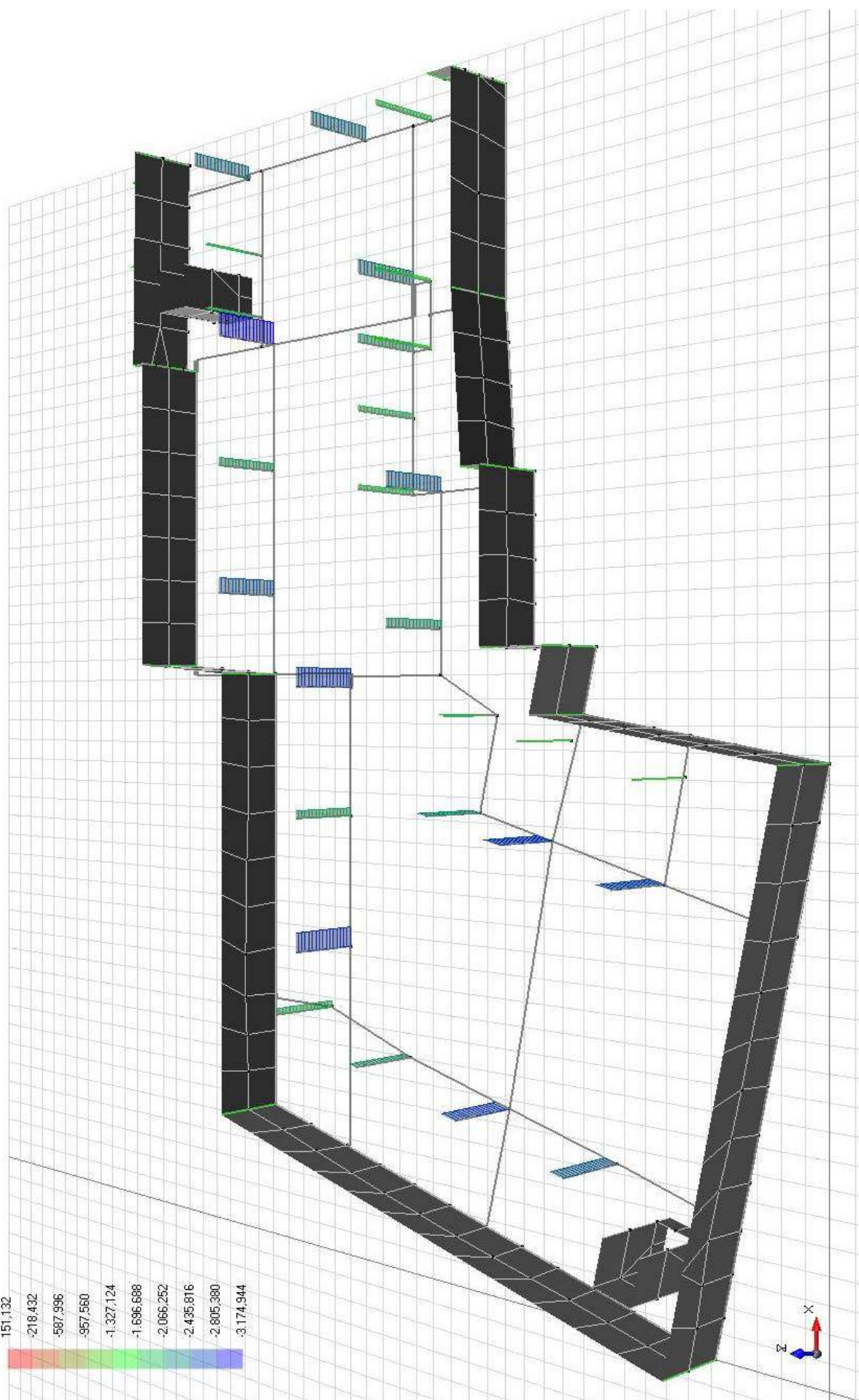






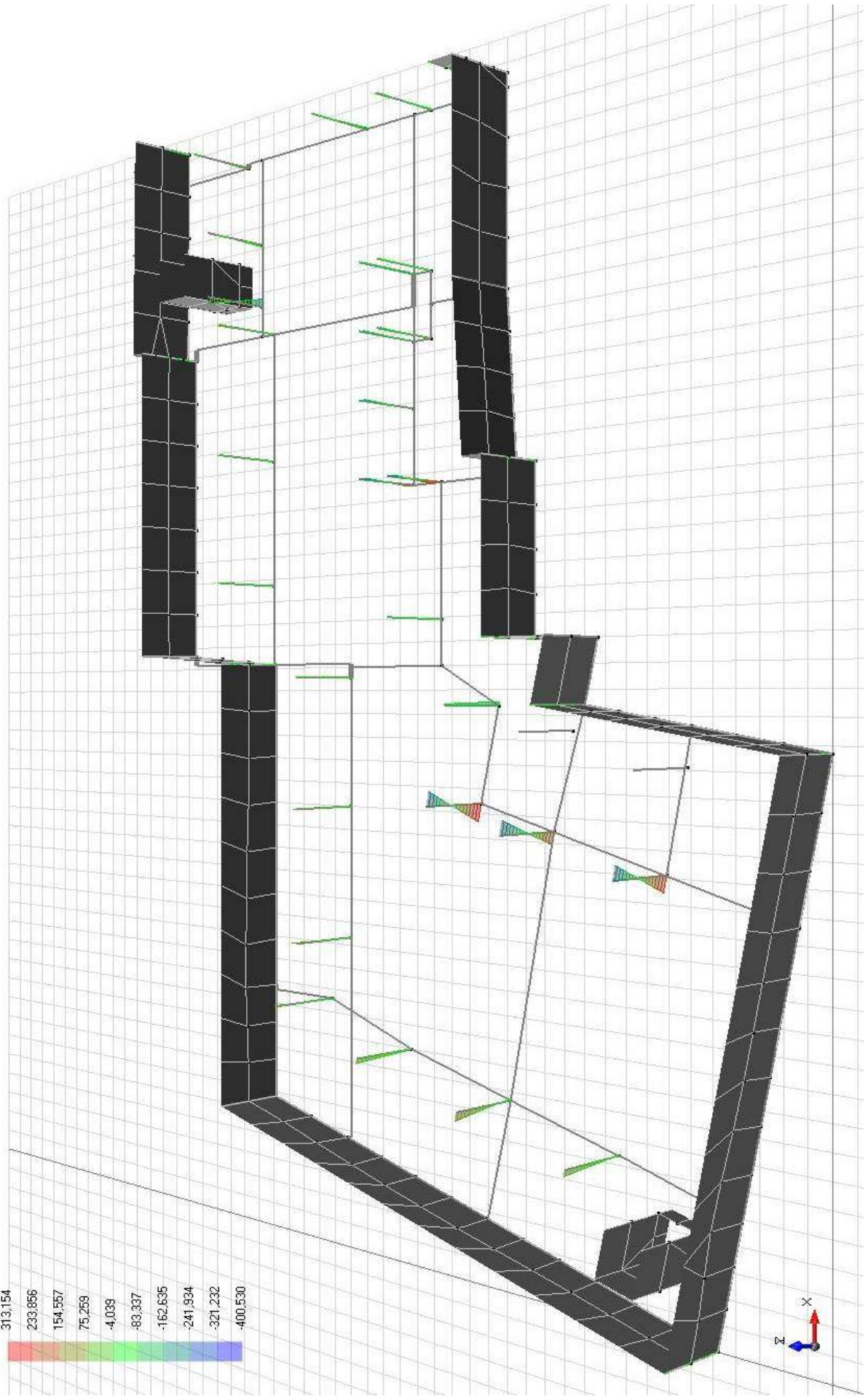


Azione assiale
[kN]



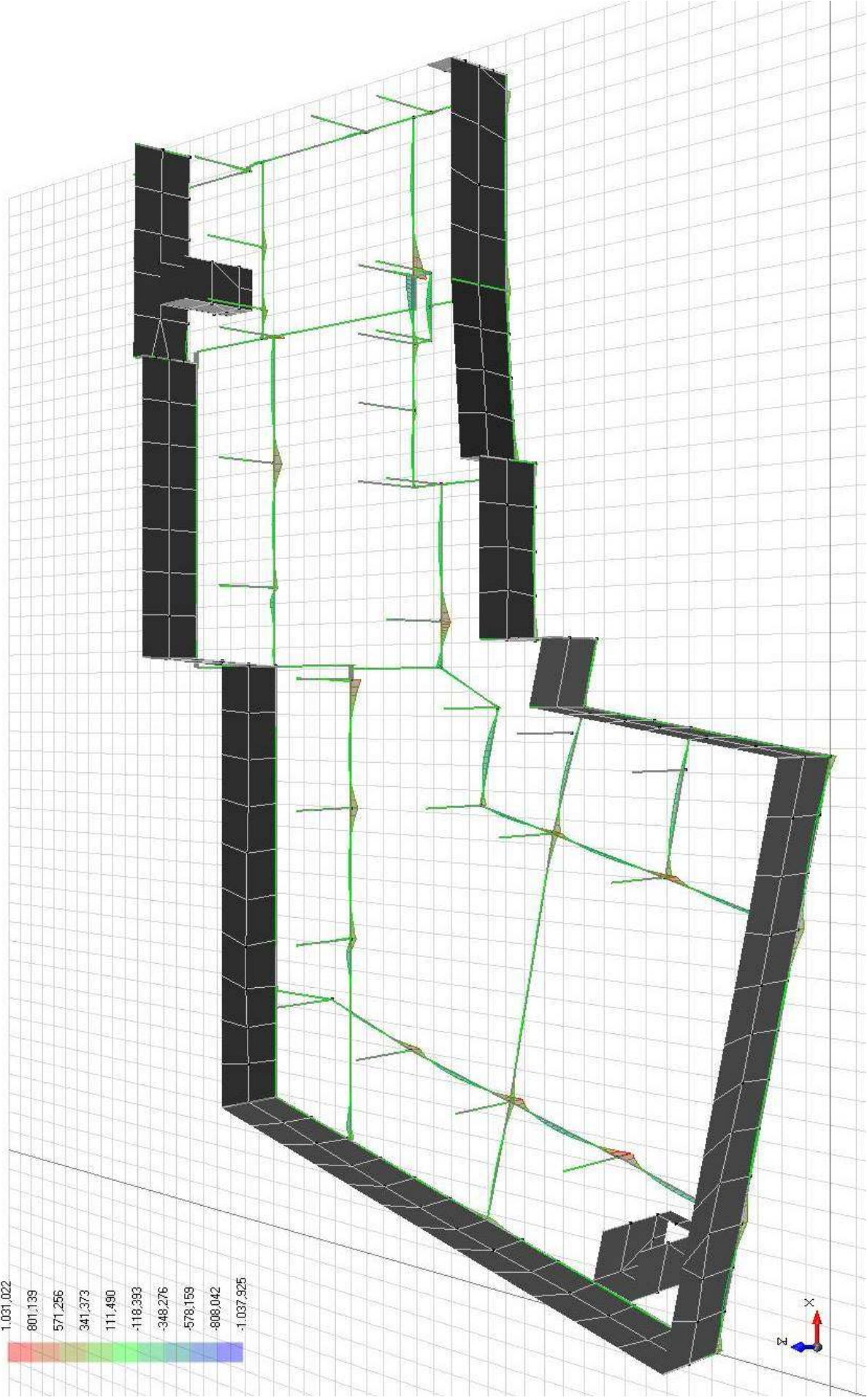
Momento My
[kN m]

313,154
233,856
154,557
75,259
-4,039
-83,337
-162,635
-241,934
-321,232
-400,530



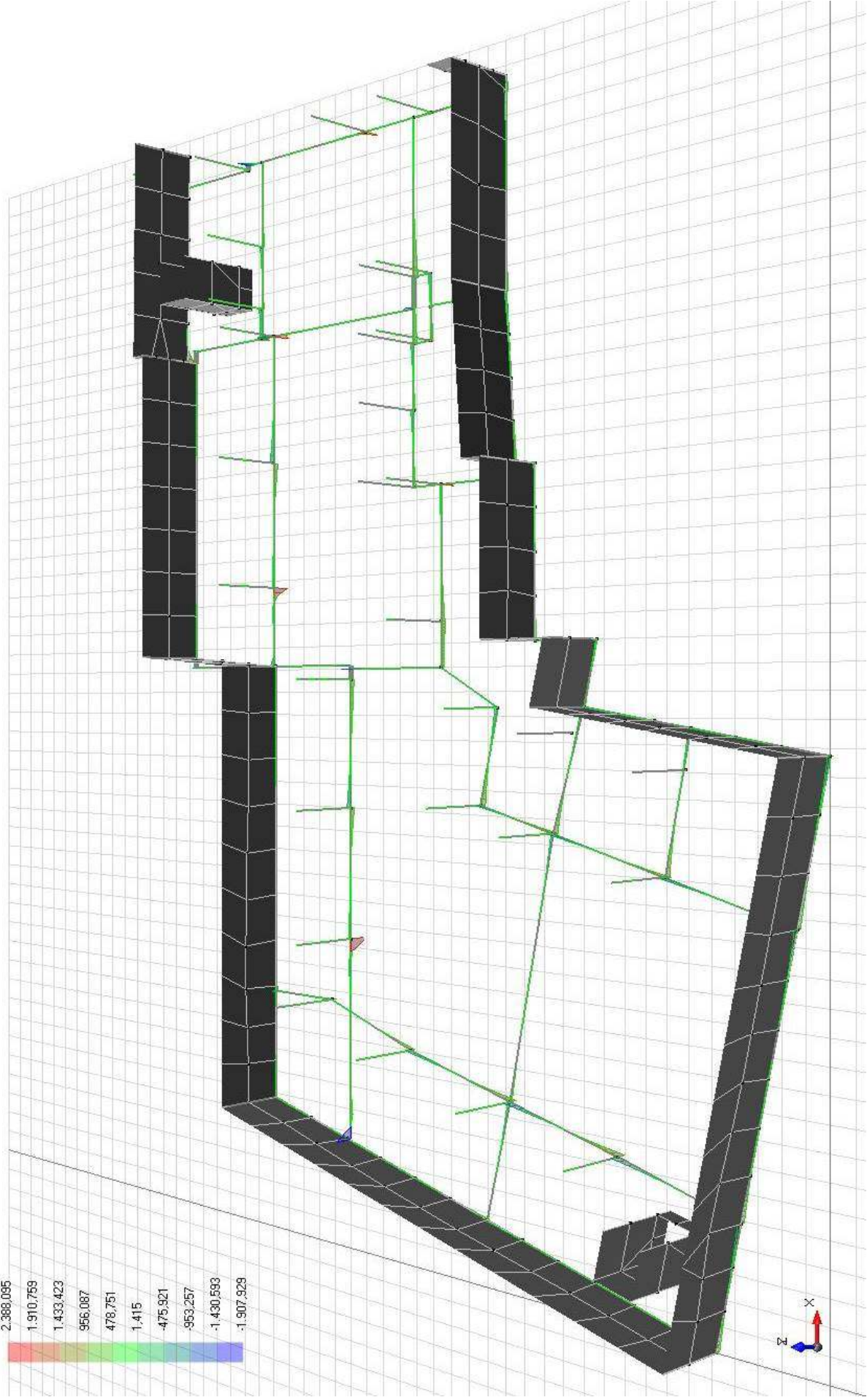
Momento Mz
[kN m]

1,031,022
801,139
571,256
341,373
111,490
-118,393
-348,276
-578,159
-808,042
-1,037,925



Taglio Ty
[kN]

2.388,095
1.910,759
1.433,423
956,087
478,751
1,415
-475,921
-953,257
-1.430,593
-1.907,929



La verifica di stabilità all'equilibrio limite è stata effettuata in ipotesi di bidimensionalità mediante le procedure numeriche proposte da Janbu (metodo di Janbu semplificato), considerando lo stato attuale dell'intorno dell'area e lo stato di progetto relativo allo scavo del parcheggio, lungo il profilo dell'area interessata dalla messa in opera del reticolo di micropali a sostegno dello scavo. Tali procedure analizzano una serie di superfici limite di tentativo circolari, con ipotesi di rottura in considerazione dei litotipi presenti, al fine di individuare la condizione di equilibrio limite.

Per una data geometria, il calcolo individua un rapporto fra la resistenza al taglio ultima e la resistenza al taglio media, mobilizzata lungo la superficie di rottura analizzata. In altre parole, viene espresso il rapporto tra le forze resistenti (ovvero quelle forze che si oppongono al movimento) e le forze mobilizzanti; l'equilibrio limite si avrà di conseguenza quando detto rapporto, che esprime il coefficiente di sicurezza, risulterà essere uguale all'unità.

La verifica riguarda la stabilità dello scavo rappresentato dalla sezione trasversale in corrispondenza delle opere in progetto. In questa unica sezione analizzata è stata evidenziata la superficie planare di più probabile rottura ed il fattore di sicurezza che le compete.

Relativamente al sottosuolo, sono stati utilizzati i parametri geotecnici ottenuti dalle prove penetrometriche allegate alla relazione geologica.

La verifica è stata condotta in condizioni estremamente cautelative, in ragione della limitata potenza della coltre di copertura, adottando valori massimi del peso di volume e minimi dell'angolo di attrito interno.

Sono stati considerati come trascurabili i valori delle pressioni neutre in sito.

Il tratto in oggetto è stato verificato in condizioni modificate dalle opere in progetto.

Condizioni di progetto

L'equilibrio del sistema di forze è rappresentato dal rapporto tra la resistenza al taglio lungo la superficie di rottura e tali risultanti soddisfacendo le equazioni cardinali della statica, nel caso in cui gli sforzi risultino uguali saremmo in presenza di condizioni di equilibrio limite dove poche variazioni al sistema provocherebbero il movimento lungo la superficie.

Per questo motivo la normativa in materia prevede che l'analisi di stabilità consideri un fattore di sicurezza cautelativo rispetto all'equilibrio limite pari a 1,3, nella valutazione del fattore di sicurezza sono stati quindi considerati i valori più bassi di resistenza al taglio a vantaggio della sicurezza per varie ipotesi di rottura.

Le superfici di scorrimento verificate evidenziano alcuni valori del fattore di sicurezza F_s superiore a 1,3, confermando un grado di apparente stabilità dell'area indagata, che allo stato attuale non rivela tracce di dissesto in atto o potenziali.

I carichi distribuiti applicati si riferiscono agli edifici presenti in prossimità degli scavi.

Nella figura 1.1 è rappresentata la superficie di rottura con il minimo F_s individuato > 1.3 mentre in figura 1.2 sono rappresentate le superfici di rottura calcolate.

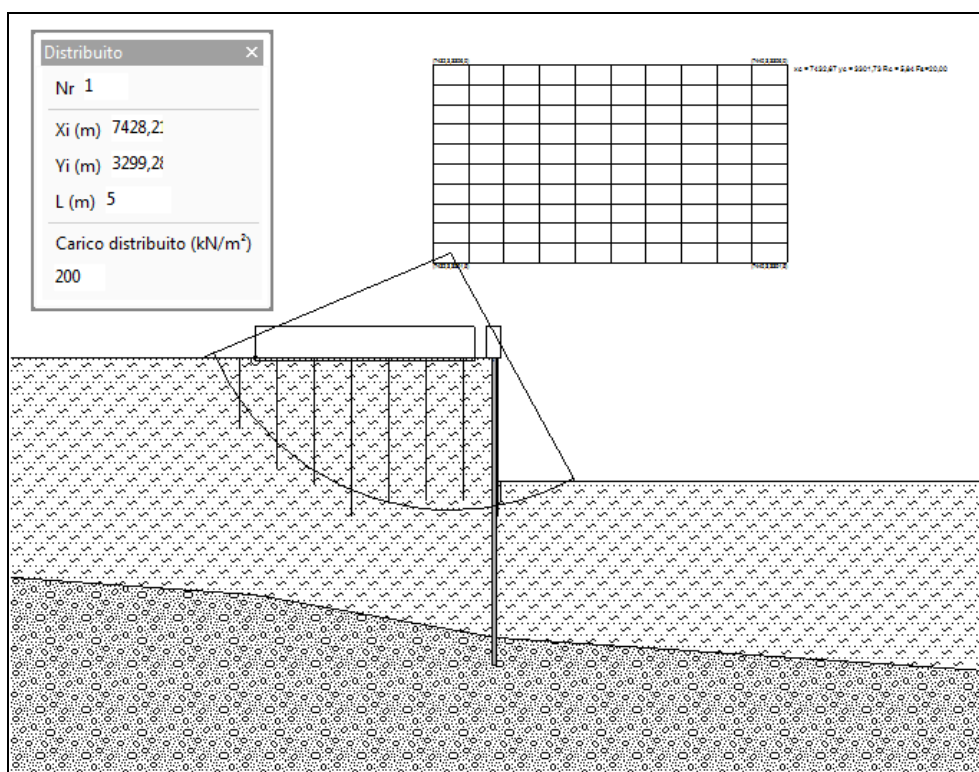


Fig. 1: Analisi di stabilità in condizioni di progetto

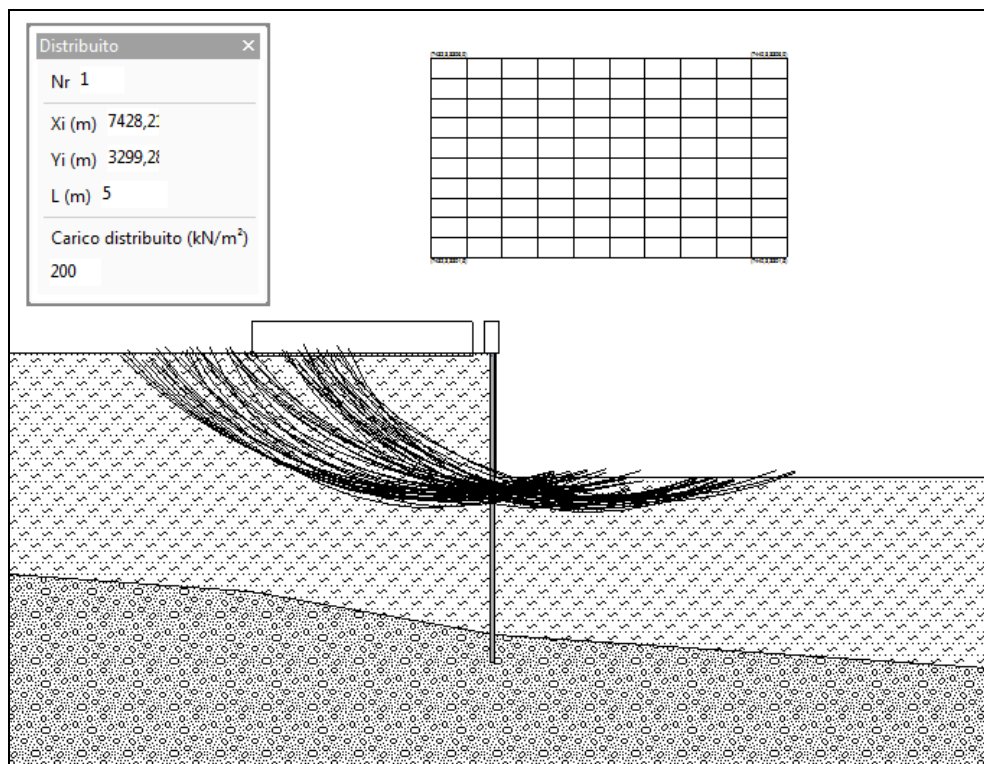


Fig. 1.2: Analisi di stabilità in condizioni di progetto – Superfici di rottura calcolate

È pertanto estremamente importante ricordare che la presenza di acque circolanti e/o di infiltrazione, per esempio in occasione di eventi piovosi particolari, potrebbe portare a situazioni sfavorevoli, portando il coefficiente di sicurezza F_s a valori inferiori.

10. Caratteristiche dell'Analisi e del Codice di Calcolo

L'analisi strutturale del progetto e le relative verifiche effettuate sono state condotte con l'ausilio di un codice di calcolo automatico. In conformità con quanto richiesto dalle NTC § 10.2 si riportano di seguito le caratteristiche riguardanti la tipologia di analisi svolta ed il codice di calcolo utilizzato.

utilizzato.

10.1 Analisi svolta

L'analisi condotta per la valutazione dell'azione sismica è di tipo lineare, in particolare è stata eseguita un'analisi dinamica modale.

10.2 Metodo di verifica

Le verifiche condotte si basano sul metodo degli Stati Limite sia per le condizioni ultime che di esercizio della struttura, così come definito al capitolo 4 e 7 delle Norme Tecniche per le Costruzioni.

10.3 Origine e Caratteristiche del Codice di Calcolo

Software	TRAVILOG TITANIUM 5 21
Autore, produttore e distributore	Logical Soft s.r.l – via Garibaldi 253, 20832 Desio (MB)
Metodo numerico adottato	Metodo di calcolo agli elementi finiti
Solutore ad elementi finiti adottato	Xfinest di Harpaceas

La licenza di utilizzo del codice di calcolo è concessa da Logical Soft s.r.l a:

Marco Truccero, Codice Cliente: 24708

via IV Novembre 2bis, 10044, Pianezza - TO

Numero di serie: 5420 Chiave HARDWARE

Codice di abilitazione: 5YGP 65UE 8E8B RHCS GPVG FVQF YX7Y U2PU

10.4 Caratteristiche dell'Elaboratore

Sistema Operativo	Sistema Operativo Nome: Microsoft Windows 7 Home Premium Versione: 6.1.7601.65536 RAM: 6135 MByte
Processore	Processore computer Tipo CPU: Intel(R) Core(TM) i3 CPU 540 @ 3.07GHz Intel64 Family 6 Model 37 Stepping 2 Velocità CPU: 1196 MHz
Scheda Video	Scheda grafica Descrizione: NVIDIA GeForce GT 710 Versione Driver: 25.21.14.1881 Modalità video: 1920 x 1080 x 4294967296 colori Processore video: GeForce GT 710 Accelerazione: sconosciuta RAM: 2.048 MByte

(cfr. NTC - § 10.2)

In questo paragrafo si fornisce un inquadramento teorico relativo alle metodologie di calcolo ed all'impostazione generale impiegata nel software di calcolo ad elementi finiti *TRAVILOG*, utilizzato nella modellazione della struttura.

Codice di calcolo

Il codice di *TRAVILOG* è stato sviluppato da Logical Soft s.r.l. in linguaggio Visual Studio 2015 e .Net Framework 4.5 e non può essere modificato o manipolato dall'utente. In allegato alla relazione si accludono alcuni test effettuati al fine di certificare l'affidabilità del codice di calcolo relativamente ad alcuni semplici casi prova, riportando analisi teorica, soluzione fornita da *TRAVILOG* ed altro codice di calcolo di confronto. Il solutore a elementi finiti utilizzato dal programma è XFinest 8.5, prodotto da Harpaceas s.r.l. La bontà del solutore è certificata direttamente da CEAS s.r.l., produttore di XFinest 8.5. Per maggiori dettagli in merito si consiglia di consultare le specifiche relative al solutore di calcolo.

Metodo numerico adottato

Il software esegue l'analisi della struttura tramite **metodo di calcolo agli elementi finiti**, ovvero mediante la costruzione di un modello matematico costituito da un numero definito di elementi discreti, per ognuno dei quali è stata definita analiticamente una relazione tra forze e spostamenti. Da queste relazioni il programma assembla quindi la matrice di rigidezza e calcola la risposta dell'intera struttura.

Caratteristiche del modello

Ogni telaio, realizzato con materiali caratterizzati da comportamento perfettamente elastico, è modellato con 2 tipologie di elemento finito:

- **Tipo asta**, adatto per elementi aventi proprietà riconducibili ad un comportamento unidirezionale.

L'elemento asta è calcolato mediante funzioni di forma cubiche. Le matrici di rigidezza e di massa associate all'elemento sono costituite sulla base della teoria delle travi snelle, tipo Eulero – Bernoulli. Il programma mostra i diagrammi delle azioni interne discretizzando l'elemento in 17 punti di calcolo.

Se l'asta ha proprietà di suolo elastico, il software valuta le azioni interne e le pressioni sul terreno secondo la teoria delle travi su suolo elastico alla Winkler.

L'elemento finito di XFinest, al cui manuale si rimanda per maggiori dettagli, è l'elemento MBEAM.

- **Tipo shell** (elemento finito tipo QF46) per elementi aventi proprietà riconducibili ad un comportamento

bidimensionale.

Il tipo di elemento utilizzato può lavorare in regime membranale e flessionale e, grazie alla linearità del sistema, i due effetti possono essere considerati separatamente.

L'elemento finito QF46 utilizzato è isoparametrico, basato sulla teoria dei gusci secondo Mindlin – Reissner. E' adatto sia per gusci spessi che sottili, non contiene modi spuri, consente di valutare i tagli fuori piano e può degenerare in un triangolo. Tutte le componenti del tensore delle deformazioni sono integrate nel piano medio con ordine di integrazione gaussiana 2 x 2. Per maggiori dettagli si può fare riferimento al manuale di XFinest.

Tipologie di analisi svolte dal software

La scelta del metodo di analisi è effettuata dal progettista a seconda delle prescrizioni previste dalla normativa. Tali prescrizioni dipendono in generale dalla destinazione d'utilizzo della struttura, dalla forma in pianta e dallo sviluppo in altezza della stessa, nonché dalla zona sismica di riferimento. Il software esegue i seguenti metodi di analisi:

- **Analisi statica.** La struttura è soggetta a carichi statici, distribuiti o concentrati, applicati alle aste, ai nodi o agli elementi shell. L'equazione risolvibile in tal caso ha la seguente forma:

$$F = K x$$

dove:

F è il vettore dei carichi agenti sulla struttura

K è la matrice di rigidezza

x è il vettore di spostamenti e rotazioni (gradi di libertà del sistema).

- **Analisi sismica statica.** Se la struttura possiede le caratteristiche previste dalla normativa, l'azione del sisma può essere modellata con un sistema di forze di piano equivalenti, valutate e assegnate in funzione della rigidezza degli elementi. La precedente diventa pertanto:

$$F + F_s = K x$$

dove:

F_s è il vettore dei carichi sismici equivalenti agenti sulla struttura, valutati in base alle relative norme di riferimento.

- **Analisi sismica dinamica modale.** In questo caso il programma valuta un comportamento inerziale della struttura, attribuendo un'accelerazione al sistema di riferimento terreno, secondo uno spettro sismico previsto dalla normativa in funzione della classificazione del territorio e altri parametri.

$$M \ddot{x} + K x = - M \ddot{u}$$

dove:

M è la matrice di massa della struttura

K è la matrice di rigidezza

u è il vettore delle accelerazioni imposte

Gli effetti dinamici dovuti al comportamento inerziale della struttura e l'effetto dei carichi statici vengono successivamente combinati, secondo opportuni coefficienti stabiliti dalla norma.

Formulazione del metodo

Il software esegue il calcolo ad elementi finiti formulando un'**analisi di tipo lineare**. In questo caso la matrice di rigidezza non varia durante lo sviluppo dell'analisi, considerando l'approssimazione per piccoli spostamenti. Sotto tali ipotesi valgono i seguenti benefici:

- Vale il principio di sovrapposizione degli effetti.
- Non influisce la sequenza di applicazione dei carichi sulla struttura.
- La precedente storia di carico della struttura non ha alcuna influenza, pertanto gli sforzi residui possono essere trascurati.

L'applicazione del principio di sovrapposizione degli effetti permette di considerare indipendentemente le ipotesi di carico elementari, per poi combinarle secondo opportuni coefficienti di partecipazione. In questo modo è possibile calcolare la risposta come una combinazione lineare di carichi elementari, rendendo il processo di analisi estremamente efficiente. Le non linearità trascurate in questo tipo di analisi sono le seguenti:

- Non linearità dovuta a effetti geometrici. Grandi spostamenti e rotazioni possono introdurre significativi cambiamenti di forma e orientamento, variando drasticamente la rigidezza totale della struttura.
- Non linearità delle caratteristiche dei materiali, legate al legame costitutivo o a eventuali anisotropie.
- Non linearità delle condizioni di vincolo.
- Non linearità dei carichi. La direzione di applicazione può variare in funzione della deformata della struttura.

Metodo di risoluzione del problema dinamico

La risoluzione del problema dinamico a n gradi di libertà si basa su un **metodo di sovrapposizione modale**. Tale metodo permette di trasformare un sistema di equazioni accoppiate a un sistema di equazioni disaccoppiate, utilizzando le proprietà di ortogonalità di autovalori e autovettori, ovvero i modi di vibrare della struttura. Lo studio della struttura non necessita dell'estrazione di tutti gli autovalori, ma solo di una parte significativa di essi, secondo limiti previsti dalle norme. Il metodo utilizzato dal software per l'estrazione degli autovalori è il metodo di *Lanczos*, adatto anche per matrici non simmetriche a termini complessi. Nel calcolo della risposta sismica i contributi derivanti dai singoli modi sono combinati secondo il metodo CQC, che consente di tener conto delle singole

componenti modali X_k , ottenute da una combinazione quadratica delle componenti X_{kj} secondo opportuni coefficienti.

Metodi di verifica svolti dal software

TRAVILOG è in grado di eseguire analisi di sezioni e di verificare il comportamento delle strutture secondo due metodi principali di verifica:

- **Tensioni ammissibili.** I carichi sono applicati alla struttura con il loro valore nominale. Le tensioni caratteristiche dei materiali vengono divise per opportuni coefficienti ottenendo delle tensioni massime a cui potranno lavorare i materiali stessi. Tali tensioni risultano al di sotto del limite elastico convenzionale.
- **Stati limite.** Le tensioni caratteristiche dei materiali vengono divise per dei coefficienti di sicurezza ottenendo dei valori limite in campo plastico. I carichi di esercizio, accidentali o permanenti vengono incrementati secondo opportuni coefficienti definiti dalla normativa (vedi in seguito). Il programma valuta diverse condizioni di stato limite:
 - **Stato limite ultimo.** La normativa prevede in questo caso che la struttura sia soggetta in condizioni straordinarie a carichi che possano causare il collasso della stessa, quali ad esempio l'evento sismico.
 - **Stato limite di esercizio.** Anche in questo caso il calcolo della struttura è effettuato incrementando i carichi secondo opportuni coefficienti. A differenza del caso precedente però la struttura è soggetta a carichi in condizioni di esercizio, sotto l'azione dei quali devono prodursi deformazioni controllate, che non impediscano il funzionamento previsto. Esistono tre diverse condizioni di esercizio: **Rara, Frequente, Quasi permanente.**
 - **Stato limite di danno.** E' il caso in cui la struttura è soggetta a forze di natura sismica. La verifica al danno è da effettuarsi sugli spostamenti.

La scelta dell'uno o dell'altro metodo dipende dalle prescrizioni previste dalle normative vigenti.

Sistemi di riferimento

Il programma possiede 2 diversi tipi di sistema di riferimento:

- **Riferimento globale.**

Il sistema di riferimento è definito da una terna cartesiana destrorsa, valido per tutti gli elementi della struttura e non dipende dal particolare orientamento di parti di essa.

I vincoli esterni, le reazioni vincolari e gli spostamenti nodali calcolati sono riferiti alla terna globale



La terna di riferimento globale

- **Riferimento locale.**

In questo caso il sistema di riferimento è ancora definito da una terna cartesiana destrorsa, l'orientamento del quale varia elemento per elemento. Le azioni interne sono sempre riferite alla terna locale

- **Riferimento locale per le Aste.** Per l'elemento asta la direzione x è coincidente con l'asse baricentrico dell'asta stessa, mentre y e z sono perpendicolari ad x e diretti secondo gli assi principali d'inerzia della sezione assegnata all'asta. Secondo l'impostazione di default y è diretto secondo la direzione di azione del peso, a meno di rotazioni assegnate alla sezione. Selezionando un'asta TRAVILOG mostra la terna locale: asse locale X rosso, asse locale Y verde, asse locale Z blu.



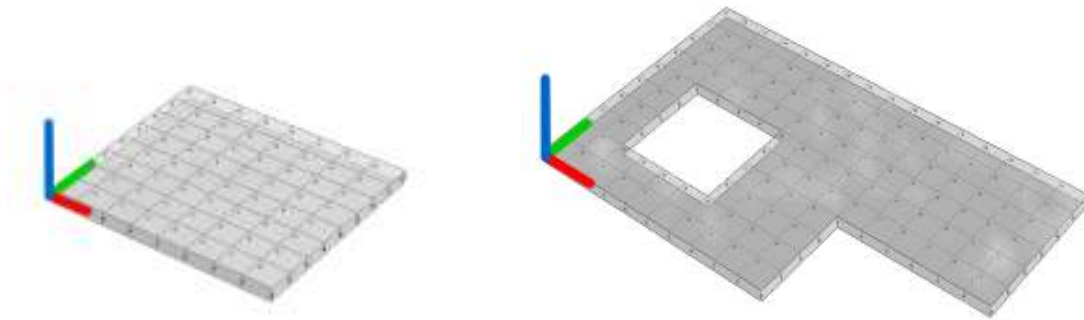
Terne locali dell'elemento asta (trave e pilastro)

- **Riferimento locale per gli elementi shell.** Per gli elementi bidimensionali TRAVILOG trasforma le azioni interne in un unico sistema di riferimento.

Il riferimento adottato dipende da come vengono costruiti i macro elementi dai quali verrà generata automaticamente la mesh di calcolo:

Elemento poligonale. Si tratta di un macro elemento poligonale o quadrangolare a mesh regolare. La terna locale è così definita:

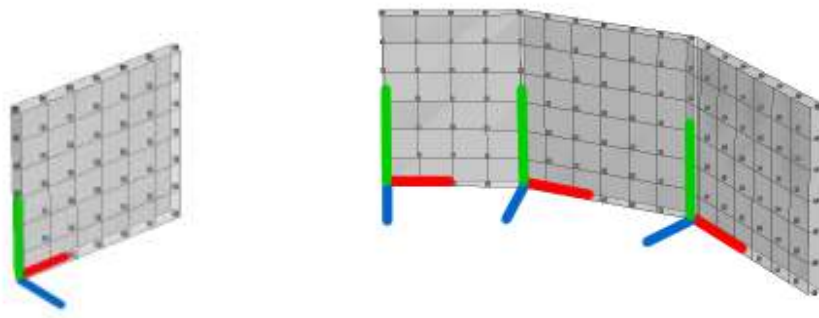
asse X locale (rosso) con origine nel primo nodo cliccato e in direzione primo nodo – secondo nodo. Asse Y locale (verde) ortogonale a X locale, complanare all'elemento ed in direzione del terzo nodo. Asse Z locale (blu) ortogonale al macro elemento. Per questo tipo di elemento è anche possibile definire fori poligonali. La mesh può essere generata manualmente (solo per elementi quadrangolari) o automaticamente.



Esempi terna locale elemento poligonale ed elemento quadrangolare

Elemento estruso (Muro o Nucleo):

Si tratta di un macro elemento a mesh regolare generato per estrusione in direzione delle forze peso a partire da una traccia. Per ciascuna faccia piana la terna locale è definita nel seguente modo: Asse locale X (rosso) lungo i nodi della traccia. Asse locale Y (verde) diretto come la direzione di estrusione. Asse locale Z (blu) ortogonale alla faccia a formare una terna destra con X e Y.



Esempio terne locali elementi estrusi

11 Conclusione

Nel rispetto di quanto richiesto nel capitolo 10 dalle Norme Tecniche per le Costruzioni 2008 ed al fine di fornire un giudizio motivato di accettabilità dei valori raggiunti, alla luce delle verifiche e dei calcoli effettuati, di cui è data spiegazione nel presente documento, il progettista strutturale ritiene che i risultati ottenuti relativamente al progetto in oggetto siano conformi a quanto previsto dai regolamenti e dalle leggi vigenti in materia.

A supporto di tale affermazione il progettista dichiara di aver controllato accuratamente i tabulati ottenuti mediante codice di calcolo, di aver preliminarmente esaminato il software di calcolo, ritenendolo affidabile ed idoneo alla struttura in oggetto, di aver confrontato i risultati ottenuti da analisi computazionale con semplici calcoli di massima svolti dallo stesso progettista e di aver infine esaminato gli stati tensionali e deformativi, ritenendoli consistenti e coerenti con la modellazione della struttura analizzata.