Comune

GENOVA

Provincia

GENOVA

Titolo del progetto

REALIZZAZIONE DEL NUOVO IMPIANTO DI DEPURAZIONE AREA CENTRALE DI GENOVA - D.A.C.

Livello di progettazione	Settore di business	Disciplina
D - DEFINITIVO	I2 - DEPURAZIONE	STR - STRUTTURALE

Numero	Titolo	Scala
RT−009	RELAZIONE OPERE STRUTTURALI DEI MANUFATTI E DEI FABBRICATI	-

ID Progetto	Titolo sintetico (nome file di stampa)	Codifica WBS
2016GESI0025-00	2016GESI0025-00-D-I2-STR-RT-009-00.pdf	C10I2-L058-01-0004

Rev.	Data	Descrizione	Redatto	Controllato	Approvato
00	Dicembre 2017	Emissione	AS	CP	CC

Redatto:

ing. Angelo Schiavone - LS

Verificato:

ing. Cosimo Parabita - IRETI

Approvato:

ing. Claudio Casale - IRETI

IRETI

Funzione Ingegneria e Realizzazioni

IRETI.S.p.A - Società con socio unico IREN S.p.A

Sottoposta a direzione e coordinamento di IREN S.p.A

Sede legale : S.P. 95 per Castelnuovo Scrivia - 15057 Tortona (AL)

cod.fisc e P.IVA n° 01791490343 pec:ireti@pec.ireti.it

LS ingegneria srls

LS INGEGNERIA s.r.l.s

Via Dante Alighieri n.11

74015 Martina Franca (TA)

lsingegneria@pec.it

C.fisc.-P.IVA 03000270735

PROGETTISTA :

Ing. Angelo Schiavone iscritto all'ordine degli ingegneri di Torino con n. 4310

Ing. ANGELO SCHIAVONE n. 4310

I N D I C E

1. CONSIDERAZIONI PRELIMINARI 3
2. PARAMETRI DI VERIFICA 7
   - 2.1 INQUADRAMENTO SISMICO DEL SITO 7
   - 2.2 AZIONE SISMICA E DUTTILITA' DELLE STRUTTURE 7
   - 2.3 NORMATIVA APPLICATA 8
   - 2.4 AZIONI STATICHE SULLE COSTRUZIONI 9
   - 2.5 AZIONI SISMICHE SULLE COSTRUZIONI 11
   - 2.6 VERIFICHE SULLE COSTRUZIONI 14
3. PRESCRIZIONI SUI MATERIALI 17
   - 3.1 CALCESTRUZZO ARMATO 17
   - 3.2 CARPENTERIA METALLICA 18
   - 3.3 MURATURA DI TAMPONAMENTO 19
4. CARATTERISTICHE DEL CODICE DI CALCOLO 20
   - 4.1 AZIONI DI PROGETTO SULLA COSTRUZIONE 20
   - 4.2 MODELLO NUMERICO 21
   - 4.3 MODELLAZIONE DELLE AZIONI 22
   - 4.4 COMBINAZIONI E/O PERCORSI DI CARICO 22
   - 4.5 PRINCIPALI RISULTATI 23
5. PRETRATTAMENTI PRIMARI 25
   - 5.1 FABBRICATO PRETRATTAMENTI 25
   - 5.2 VASCHE PRETRATTAMENTI 39
6. TRATTAMENTO BIOLOGICO E MBR 75
   - 6.1 VASCHE BIOLOGICO 75
   - 6.2 FABBRICATO MBR 93
7. ISPESSIMENTO E DISIDRATAZIONE 120
8. DIGESTIONE ANAEROBICA 135
   - 8.1 BASAMENTO DIGESTORE 135
   - 8.2 STRUTTURA PASSERELLE E SCALA 142
   - 8.3 BASAMENTO GASOMETRO 155
9. CONCLUSIONI 161

1. CONSIDERAZIONI PRELIMINARI

– La presente relazione di calcolo riguarda il dimensionamento delle opere strutturali edili previste tra le opere per la realizzazione del nuovo impianto di depurazione sito nel comune di Genova, area ex ILVA di Cornigliano. Questa relazione contiene una descrizione delle opere, i principali parametri adottati ed una sintesi dei risultati delle analisi e della progettazione svolti per i singoli comparti.

  I tabulati con i dati inseriti, i risultati delle analisi e del progetto sono raccolti in relazioni specifiche, una per ciascun comparto in cui è suddiviso l'impianto.

  Le fondazioni sono oggetto di una specifica relazione.

– Il nuovo impianto è suddiviso in 4 comparti strutturalmente indipendenti fra loro, ciascuno dei quali contiene differenti elementi con specifiche funzioni.

  - **Pretrattamenti primari**: è costituito da un fabbricato con struttura in C.A. prefabbricata, con dimensioni planimetriche 51 m x 23 m e altezza 15 m circa, e da 3 manufatti interni strutturalmente indipendenti dal fabbricato. La grigliatura, la dissabbiatura e la sedimentazione sono essenzialmente vasche in C.A. e solette per il sostegno dei macchinari. Gli oggetti principali sono:

    - vasca innesco sifone e sollevamento, dim. 10,9 m x 9,5 m h = 8,6 m (piano interrato);
    - 3 canali grigliatura, dim. 2,4 m x 1,9 m (piano primo);
    - soletta copertura grigliatura per appoggi attrezzature 11,9 m x 15,8 m (piano secondo);
    - solette quadri 6 m x 5,6 m (piano primo e piano secondo);
    - 4 vasche dissabbiatura dim. 5 m x 21 m h = 8,7 m (piano terra);
    - copertura dissabbiatura realizzata con 2 strisce da 3 m e 2 strisce da 2 m (piano primo);
    - vasca fanghi primari dim. 7 m x 7,3 m h = 5 m (piano terra);
    - soletta sedimentatori per appoggi attrezzature 9 m x 21 m (piano primo).

    La struttura portante del fabbricato è composta da:
    - plinti gettati in opera con bicchiere, su palo di diametro 100 cm;
    - pilastri prefabbricati 70 x 70 cm e 60 x 70 cm;
    - travi prefabbricate ad altezza variabile in copertura, con lunghezza 22 m circa;
    - tegoli prefabbricati di copertura, con lunghezza 10 m circa;
    - tamponamento in pannelli prefabbricati in C.A. di tipo orizzontale, fissati ai pilastri.

    La struttura portante delle vasche è composta da:
    - platea di spessore 70 cm;
    - muri di spessore vario (50 cm, 40 cm, 30 cm e 25 cm);
    - solette di spessore vario (45 cm, 30 cm e 25 cm)
    - pilastri di sezione varia (50 cm x 50 cm, 30 cm x 40 cm e 30 cm x 30 cm);

- travi ribassate per rinforzo solette di sezione varia (30 cm x 55 cm, 40 cm x 130 cm);
- canalette di vario genere realizzate con elementi spessi 25 cm o 30 cm.

L'accesso ai vari livelli avviene con una scala in C.A. larga 100 cm, a rampe contrapposte, posizionata nella zona della grigliatura e vicino alle solette quadri.

- **Trattamento biologico ed MBR**: è costituito da 5 coppie di vasche con dimensioni 34,7 m x 8 m la nitrificazione e 18,3 m x 8 m la denitrificazione, aventi altezza 7,5 m e da un fabbricato adiacente ma strutturalmente indipendente. Le vasche di nitrificazione, che sono più lunghe, hanno un giunto strutturale trasversale.

  Il fabbricato ha struttura in C.A. prefabbricata e alcuni pilastri gettati in opera sulla sommità delle vasche, con dimensioni planimetriche 20 m x 44 m e altezza 16 m circa, contiene alcune vasche per le attività di filtrazione ed un soppalco metallico.

  Nelle due campate longitudinali sono previsti dei carriponte con portata 3000 daN.

  La fondazione del fabbricato e degli oggetti contenuti è comune ed è una platea con dei ringrossi in corrispondenza dei bicchieri per i pilastri prefabbricati.

  Gli oggetti principali sono:
  - 2 vasche accumulo permeato, dim. 8,8 m x 4,6 m e 9,6 m x 4,6 h = 8,8 m (piano terra);
  - 12 vasche MBR, dim. 8,8 m x 2,9 m h = 3,4 m circa (piano primo);
  - soletta copertura accumulo e passerelle di manutenzione (piano secondo);
  - soppalco compressori in struttura metallica

  La struttura portante delle vasche biologico è composta da:
  - platea di spessore 70 cm;
  - muri di spessore 70 cm;
  - copertura in tegoli prefabbricati in C.A.P

  La struttura portante del fabbricato è composta da:
  - platea di spessore 70 cm;
  - pilastri prefabbricati 60 x 70 cm e gettati in opera con sezioni varie;
  - travi prefabbricate in copertura, con lunghezza 9,5 m e 10 m circa;
  - copertura in tegoli prefabbricati in C.A.P;
  - tamponamento in pannelli prefabbricati in C.A. di tipo orizzontale, fissati ai pilastri.

  La struttura portante delle vasche accumulo è composta da:
  - platea di spessore 70 cm;
  - muri di spessore 50 cm;
  - solette copertura di spessore 25 cm;

La struttura portante delle vasche MBR è composta da:

- platea di spessore 70 cm;
- muri di spessore 50 cm e setti sezione 50 cm x 100 cm;
- soletta fondo di spessore 30 cm;
- pareti di spessore 30 cm;
- passerelle fra le vasche di spessore 25 cm;
- passerella longitudinale di accesso di spessore 30 cm.

La struttura portante del soppalco compressori è composto da:

- platea di spessore 70 cm;
- telai trasversali realizzati con profilo HEA240;
- travi longitudinali ed intermedie con profilo HEA340;
- controvento di piano realizzato con corrente IPE200 e crociere L80x8;
- controventatura con crociere realizzate con UPN140;
- piano di calpestio in grigliato metallico.

L'accesso ai vari livelli, posto sul lato opposto rispetto alle vasche di accumulo, avviene con una scala metallica larga 90 cm, a rampe contrapposte, che prima fornisce accesso al soppalco compressori e poi consente di salire sulla sommità delle vasche MBR.

- **Ispessimento e disidratazione**: è costituito da un fabbricato su due piani con struttura in C.A. prefabbricata, con dimensioni planimetriche 14,8 m x 41,6 m e altezza 11 m circa, che contiene i macchinari per il trattamento, spogliatoi e uffici.

  Nell'area degli ispessitori è previsto un carroponte con portata 3000 daN.

  La struttura portante del fabbricato è composta da:

  - platea di spessore 70 cm;
  - pilastri prefabbricati 60 x 60 cm;
  - travi prefabbricate 1° piano, con lunghezza 7 m circa;
  - solaio in tegoli prefabbricati in C.A.P;
  - travi prefabbricate in copertura, con lunghezza 7 m circa;
  - copertura in tegoli prefabbricati in C.A.P;
  - tamponamenti interni realizzati con muratura intelaiata in blocchi di cls sp. 25 cm;
  - tamponamento in pannelli prefabbricati in C.A. di tipo orizzontale, fissati ai pilastri.

- **Digestione anaerobica**: è costituito da 4 vasche metalliche cilindriche per i digestori, con diametro oltre 18 m e altezza 18,8 m circa, le passerelle con scala e montacarichi in struttura metallica al servizio dei digestori, ed una vasca metallica cilindrica per il gasometro, con diametro oltre 18 m e altezza 8 m circa.

  La struttura portante dei digestori è composta da:

  - platea di spessore 100 cm su pali diametro 80 cm;
  - serbatoio cilindrico con pareti metalliche di vario spessore.

  La struttura portante del gasometro è composta da:

  - platea di spessore 70 cm su pali diametro 50 cm;
  - serbatoio cilindrico con pareti metalliche di vario spessore.

  La struttura portante delle passerelle metalliche, con scala e montacarichi, è composta da:

  - plinto di fondazione del nucleo scala su pali diametro 80 cm;
  - montacarichi con colonne in profilo HEB240, traversi HEB200 e diagonali HEA160;
  - colonne scale e passerelle con profili HEB240 e HEB280;
  - travi di piano con profili IPE220, HEB200, HEA240 e HEA260;
  - crociere di controvento di piano con profili UPN80.

2. PARAMETRI DI VERIFICA

Di seguito si riassumono i dati assunti nel calcolo e nelle verifiche svolte sulle strutture portanti dei quattro comparti che costituiscono l'impianto di depurazione.

2.1 INQUADRAMENTO SISMICO DEL SITO

- Secondo la D.G.R. Liguria del 17 marzo 2017 n. 216 il comune di Genova è classificato in **zona 3**.

- Secondo la D.G.R. Liguria n° 1384/2003 gli **impianti di depurazione** sono nell'elenco ELENCO B *"Categorie di edifici e di opere infrastrutturali di competenza regionale che possono assumere rilevanza in relazione alle conseguenze di un eventuale collasso"*.

- D.M. 14/01/2008 "Norme tecniche per le costruzioni"

  tipo di costruzione: **3 -** opere infrastrutturali di importanza strategica – vita nominale $V_N = 100$ anni

  classe d'uso: **IV -** costruzioni con funzioni strategiche importanti – $C_U = 2,0$

  periodo di riferimento per l'azione sismica: $\mathbf{V_R} = V_N \cdot C_U =$ **200 anni**

  categoria del suolo da relazione geologica: **C**

  categoria topografica: **T1**

- Per quanto riguarda le caratteristiche geologiche e geotecniche del terreno su cui insiste l'impianto di depurazione, si rimanda alla relazione specifica sulle fondazioni.

2.2 AZIONE SISMICA E DUTTILITA' DELLE STRUTTURE

- Sulla base dell'interpolazione dei parametri sismici nei nodi della maglia di riferimento si trova che nel sito interessato con Long. 8,872 e Lat. 44,410 si ricava:

Id nodo	Longitudine	Latitudine	Distanza
			Km
Loc.	8.872	44.410	
16917	8.872	44.395	1.662
16918	8.942	44.398	5.700
16696	8.938	44.448	6.710
16695	8.868	44.445	3.892

SL	Pver	Tr	ag	Fo	T*c
		Anni	g		sec
SLO	81.0	120.0	0.040	2.540	0.250
SLD	63.0	201.0	0.049	2.530	0.270
SLV	10.0	1898.0	0.105	2.540	0.310
SLC	5.0	2475.0	0.115	2.540	0.310

SL	ag	S	Fo	Fv	Tb	Tc	Td
	g				sec	sec	sec
SLO	0.040	1.500	2.540	0.689	0.138	0.415	1.762
SLD	0.049	1.500	2.530	0.758	0.146	0.437	1.797
SLV	0.105	1.500	2.540	1.111	0.160	0.479	2.020
SLC	0.115	1.500	2.540	1.161	0.160	0.479	2.059

– Per il progetto delle strutture portanti si applicano le regole valide per le strutture soggette all'azione sismica (§7 del D.M. 14/01/2008) adottando un fattore di struttura q indicato in ogni struttura ed applicando le regole per le strutture in bassa duttilità CD"B".

2.3 NORMATIVA APPLICATA

D. M. INFRASTRUTTURE 14 gennaio 2008

"Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni";

Circ. M. INFRASTRUTTURE E TRASPORTI 2 febbraio 2009 n. 617 C.S.LL.PP.

Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008.

D.G.R. Liguria n° 1384/2003

"Ordinanza n. 3274/2003. Articolo2, comma 4 . Rischio sismico. Approvazione elenco edifici di interesse strategico e delle opere infrastrutturali e del Programma temporale delle verifiche"

D.G.R. Liguria del 17 marzo 2017 n. 216

"OPCM 3519/2006. Aggiornamento classificazione sismica del territorio della Regione Liguria"

2.4 AZIONI STATICHE SULLE COSTRUZIONI

– Le azioni generali agenti sugli elementi costituenti i singoli comparti sono:

- **Permanenti**

Peso proprio delle strutture cls armato	2500 daN/m^3
Peso proprio massetto di pendenza	1600 daN/m^3
Peso tamponamenti interni in muratura di cls	1200 daN/m^3
Peso tamponamenti esterni prefabbricati	300 daN/m^2
Peso del liquido nelle vasche	1050 daN/m^3

- **Variabili**

Variabile **NEVE** (DM 14/01/2008):

Zona Neve = II a_s = 19 m s.l.m

Ce (coeff. di esposizione al vento) = 1.00

Valore caratteristico del carico al suolo (qsk Ce) = 100 daN/m^2

<u>Copertura a due falde:</u>

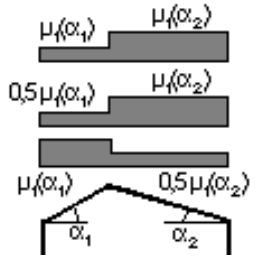
Angolo di inclinazione della falda $\alpha 1$ = 0.0°

$\mu 1(\alpha 1)$ = 0.80 => Q1 = 80 daN/m^2

Angolo di inclinazione della falda $\alpha 2$ = 0.0°

$\mu 1(\alpha 2)$ = 0.80 => Q2 = 80 daN/m^2

Schema di carico:



Variabile **VENTO** (DM 14/01/2008):

Zona vento = 7 (Vb.o = 28 m/s; Ao = 1000 m; Ka = 0.015 1/s)

Classe di rugosità del terreno: B [Aree urbane (non di classe A), suburbane, industriali e boschive]

Categoria esposizione: tipo IV (Kr = 0.22; Zo = 0.30 m; Zmin = 8 m)

Velocità di riferimento = 28.00 m/s
Pressione cinetica di riferimento (qb) = 49 daN/m^2

Coefficiente di forma (Cp) = 1.00

Coefficiente dinamico (Cd) = 1.00

Coefficiente di esposizione (Ce) = 2.35

Coefficiente di esposizione topografica (Ct) = 1.00

Altezza dell'edificio = 22.00 m

Pressione del vento (p = qb Ce Cp Cd) = 115 daN/m^2

pareti sopravento	c_p = 0,8	p ≅ 92 daN/m²
pareti sottovento	c_p = -0,4	p ≅ -46 daN/m²

– Le azioni agenti sui singoli elementi portanti cambiano in base alla destinazione delle aree costituenti il manufatto in oggetto e possono essere riassunte come segue:

- **Pretrattamenti primari**:

- fondo vasca innesco sifone e sollevamento (piano interrato): p=5800 daN/m^2;
- fondo canali grigliatura (piano primo): p=1600 daN/m^2;
- soletta copertura grigliatura (piano secondo): q=500 daN/m²;
- solette quadri grigliatura (piano primo e secondo): q=500 daN/m²;

- fondo vasche dissabbiatura (piano terreno): g= 4000 daN/m^2 p=6300 / 8400 daN/m^2;
- soletta copertura dissabbiatura (piano secondo): q=500 daN/m²;

- fondo vasca fanghi (piano terreno): g= 0.0 / 3200 daN/m^2 p=4700 daN/m^2;
- soletta sedimentatori (piano primo): q=1000 daN/m²;

- pavimento (piano terreno): q= 1000 daN/m^2
- solaio copertura fabbricato: g + p=150 daN/m² q=200 daN/m² (compresa neve)

- **Trattamento biologico ed MBR**:

- fondo vasche biologico (piano terra): p=7000 daN/m^2;
- solaio copertura vasche: g + p=540 daN/m² q=300 daN/m² (compresa neve)
- vasche di accumulo (piano terra): p=8710 daN/m^2;
- vasche MBR (piano primo): p=3360 daN/m^2;
- soletta copertura vasche e passerelle (piano secondo): q=300 daN/m²;

- solaio soppalco compressori: g + p = 250 daN/m² q = 500 daN/m²

- pavimento (piano terreno): q= 1000 daN/m^2
- solaio copertura fabbricato: g=540 daN/m² p=200 daN/m² q=200 daN/m² (compresa neve)

- carriponte N_{max} = 4200 daN N_{min} = 820 daN eccentricità da asse pilastro e = 55 cm

- **Ispessimento e disidratazione**:

- pavimento (piano terreno): q= 1000 daN/m^2
- solaio primo piano: g = 540 daN/m² q = 1000 daN/m²
- solaio copertura fabbricato: g=540 daN/m² p=200 daN/m² q=500 daN/m² (compresa neve)

- **Digestione anaerobica**:

- fondo vasche digestori (piano terra): p = 20000 daN/m^2;

- fondo vasca gasometro (piano terra): p = 7500 daN/m^2;

- scala accesso passerelle: p = 100 daN/m^2 q = 400 daN/m^2;
- passerelle digestori: p = 100 daN/m^2 q = 300 daN/m^2;

2.5 AZIONI SISMICHE SULLE COSTRUZIONI

– Le azioni sismiche agenti sulle strutture dovute ai pesi propri ed ai carichi applicati su di esse sono determinate automaticamente dal programma di calcolo ed applicate ai nodi della struttura.

– Le azioni sismiche dovute al liquido contenuto nelle vasche sono calcolati con il metodo di seguito descritto ed applicati alle pareti delle vasche come carichi esterni.

VASCHE RETTANGOLARI CONTENENTI LIQUIDO

La verifica sismica viene condotta considerando interamente presente il liquido in esse contenuto. Il comportamento antisismico è positivo per l'effetto del mutuo contenimento fra le pareti ortogonali sia delle pareti esterne sia degli elementi di separazione interni.

Esaminando il comportamento sismico di tali strutture, si possono fare le seguenti considerazioni:

a) Le pareti possono certamente essere considerate rigide, quindi la variazione spazio-temporale (z,t) della pressione totale è formata dal contributo rigido impulsivo p_i e da quello convettivo p_c (Punto A.4.1 dell'EC8-4).

b) Si adotta un modello meccanico equivalente al comportamento del liquido nel serbatoio costituito da una massa m_0, detta massa impulsiva, rigidamente collegata alle pareti e da una massa m_1, detta massa convettiva, elasticamente collegata alle pareti. Il fenomeno detto sloshing è proprio dovuto al moto di questa parte di liquido che, non essendo vincolato alla pareti, durante il moto sismico è costretto a spostarsi verticalmente dando origine a delle onde.

c) Il parametro che influenza la quantità di liquido che partecipa al moto rigido è il rapporto di forma della vasca H / L, dove H è l'altezza del liquido nella vasca ed L è la semilunghezza della vasca nella direzione del sisma.

Si possono ricavare le masse m_0 ed m_1, con i relativi punti di applicazione, h_0 per la parte impulsiva e h_1 per la parte convettiva, riferiti all'altezza del liquido H mediante l'impiego di espressioni ricavate da norme straniere di comprovata validità (Raccomandazioni neozelandesi NZSEE e norme americane ACI 350.3-06):

$$\frac{m_0}{m} = \frac{\tanh\left(\sqrt{3}\, L/H\right)}{\sqrt{3}\, L/H}$$

$$\frac{m_1}{m} = \frac{1}{3}\sqrt{\frac{5}{2}}\frac{L}{H}\tanh\left(\sqrt{\frac{5}{2}}\frac{H}{L}\right)$$

$$\frac{h_0}{H} = \frac{3}{8} \qquad \text{se } 2L/H \geq 1.333$$

$$\frac{h_0}{H} = 0{,}5 - 0{,}09375\frac{2L}{H} \qquad \text{se } 2L/H < 1.333$$

$$\frac{h_1}{H} = 1 - \frac{\cosh\left(\sqrt{\frac{5}{2}}\frac{H}{L}\right) - 1}{\sqrt{\frac{5}{2}}\frac{H}{L}\sinh\left(\sqrt{\frac{5}{2}}\frac{H}{L}\right)}$$

d) Il periodo proprio del moto impulsivo per serbatoi rettangolari può essere ottenuto con la seguente espressione:

$$T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{d_f}{g}}$$

dove d_f è lo spostamento della parete ortogonale al sisma, nel punto di applicazione della massa impulsiva, sotto l'azione impulsiva stessa pari a m_0 g / (4 B H), determinato nell'appropriato schema statico.

e) Il periodo proprio del moto convettivo, per serbatoi rettangolari di lunghezza 2L nella direzione parallela al sisma, può essere ottenuto con la seguente espressione:

$$T_1 = \frac{2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}}{\sqrt{\frac{\pi}{2}\tanh\left(\frac{\pi H}{2L}\right)}}$$

f) L'altezza dell'onda può essere determinata con la seguente espressione consigliata dalle norme neozelandesi:

$$d_{\max} = L\frac{S_d(T_1)}{g}$$

g) Il periodo proprio del moto impulsivo verticale si assume pari a 0,3 s, come suggerito dalle norme neozelandesi.

h) Considerando che il periodo proprio del moto impulsivo è basso (inferiore ad 1 s) mentre il periodo proprio del moto convettivo è alto (oltre 4 s), gli effetti della pressione impulsiva e della pressione convettiva si combinano con la regola della radice quadrata della somma dei quadrati (SRSS) consigliata dalle ACI e dalle NZSEE, ottenendo così la componente orizzontale E_h dovuta al sisma.

i) Gli andamenti delle pressioni sulle pareti risultano non lineari e quindi di difficile applicazione nei calcoli strutturali. Si procede quindi alla linearizzazione dei diagrammi di pressione dovuti alla componente impulsiva ed a quella convettiva imponendo l'equilibrio alla traslazione ed alla rotazione.

Si sono così ottenuti i diagrammi di pressione di seguito riportati ed utilizzati nel calcolo delle sollecitazioni agenti nelle varie pareti.

2.6 VERIFICHE SULLE COSTRUZIONI

– Verifiche di resistenza

Vengono effettuate secondo il metodo semiprobabilistico agli stati limite. Per tenere conto delle incertezze sui dati disponibili il metodo semiprobabilistico comporta l'assunzione di valori caratteristici sia per l'entità delle azioni, sia per le resistenze dei materiali; tali valori caratteristici vengono poi trasformati in valori di calcolo mediante l'applicazione di opportuni coefficienti.

In particolare, l'entità delle azioni variabili e delle azione i permanenti non compiutamente definite si determina maggiorandole con il coefficiente 1,5.
Nel caso delle vasche, essendo l'effetto del liquido contenuto e dell'eventuale terreno circostante determinabili con certezza e presenti per la maggior parte del tempo, si considerano azioni permanenti e si applica un coefficiente 1,3.

Per quanto riguarda le resistenze di calcolo dei materiali, si applica la formula:

$$f_d = f_k/\gamma_m$$

dove f_k è la resistenza caratteristica del materiale considerato e γ_m è un coefficiente riduttivo che vale:

1,5	per il calcestruzzo
1,15	per acciaio in condizioni sismiche.
1,30	per acciaio in condizioni statiche (contenimento della fessurazione).

In particolare, la resistenza di calcolo del calcestruzzo risulta:

$$f_{ck} = 0{,}83\ R_{ck}$$

$$f_{cd} = 0{,}85\ f_{ck}/\gamma_c$$

$$f_{ctm} = 0{,}30\ \sqrt[3]{f_{ck}^2}$$

$$f_{ctk} = 0{,}7\ \ f_{ctm}$$

$$f_{cfm} = 1{,}2\ \ f_{ctm}$$

e per $R_{ck} = 40$ N/mm^2 si ha $f_{cd} = 18{,}8$ N/mm^2 $f_{cfm} = 3{,}7$ N/mm^2 $f_{ctd} = 1{,}45$ N/mm^2 .

La resistenza di calcolo dell'acciaio risulta:

$$f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s = 450/1{,}15 = 391 \text{ N/mm}^2 \text{ (condizioni sismiche)}$$

$$f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s = 450/1{,}30 = 346 \text{ N/mm}^2 \text{ (condizioni statiche)}$$

per acciaio B 450 C.

– Fessurazione delle pareti

Non è possibile evitare totalmente l'apertura di fessure in strutture in cemento armato, se non con precompressione, a seconda dei casi, bi- o tri-assiale. E' invece possibile limitarne l'apertura teorica entro limiti prefissati, con una disposizione appropriata dei ferri di armatura. Nei casi usuali è sufficiente limitare l'apertura al disotto degli 0,2 mm per evitare la filtrazione dell'acqua attraverso la parete.

Facendo riferimento al §C4.1.2.2.4 della Circ. 2009, applicando la procedura del D.M. 09/01/1996 descritta nella Circ. 15/10/1996 § B.6.6, l'apertura media delle fessure in strutture in calcestruzzo armato si può valutare con l'espressione:

$$w_m = s_{rm} \cdot \varepsilon_{sm}$$

nella quale:

a) s_{rm} = distanza media (in mm) fra le fessure uguale a :

$$s_m = 2\left(c + \frac{s}{10}\right) + K_1 K_2 \phi / \rho_r$$

dove :

c = ricoprimento delle armature

s = distanza tra le barre di armatura tesa, se $s>14\phi$ si adotta $s = 14\phi$

K_1 = parametro che caratterizza la qualità di aderenza dell'acciaio (0,4 per barre ad aderenza migliorata e 0,8 per barre lisce)

K_2 = coefficiente che rappresenta l'influenza della forma del diagramma delle tensioni (0,1255 in presenza diagramma triangolare di flessione e pressoflessione, 0,250 nel caso di trazione pura)

ϕ = diametro delle barre

ρ_r = rapporto di armatura efficace pari a $A_s / A_{C\,eff}$, dove $A_{C\,eff}$ è l'area efficace di cls teso che circonda le armature. Posto n = numero di strati dell'armatura tesa, risulta che d_{eff} è uguale a:

$d_{eff} = c + 7.5\phi \leq (h-x)/2$ se n = 1 o elementi di forte spessore

$d_{eff} = c + s + 7.5\phi$ se $n \neq 1$ e la distanza tra gli strati $< 14\phi$

b) ε_{sm} = allungamento medio dell'acciaio uguale a :

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s}{E_s}\left[1 - \beta_1 \beta_2 \left(\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_r}\right)^2\right] \geq 0.4\frac{\sigma_S}{E_S}$$

dove :

$ß_1$ = coefficiente che caratterizza l'aderenza dell'acciaio (pari a 1 per barre ad aderenza migliorata, a 0.5 per barre lisce)

$ß_2$ = coefficiente che rappresenta l'influenza della durata di applicazione o della ripetitività dei carichi (pari a 1 per un carico di breve durata, pari a 0,5 per carichi di lunga durata

o per molti cicli di carico)

σ_s = tensione nell'armatura tesa calcolata nella sezione fessurata

σ_{sr} = tensione nell'armatura tesa calcolata nella sezione fessurata sotto la condizione di carico che induce la prima fessura (f_{ctm} nella fibra di calcestruzzo più sollecitata in sezione interamente reagente)

E_s = 2.100.000 daN/cm² modulo elastico acciaio

Il valore w_m così determinato, viene moltiplicato per il coefficiente $\beta = 1,7$ al fine di tenere conto della dispersione dei risultati reali nell'apertura delle fessure.

Si ottiene così il valore caratteristico di calcolo, che risulta quindi pari a :

$$w_k = 1,7\ w_m$$

valore di confronto che deve risultare inferiore a 0,2 mm (corrispondente a w_1 in ambiente aggressivo, armature con sufficiente copriferro, azioni quasi permanenti).

– Predimensionamento armatura strutture

Il predimensionamento, secondo il metodo semiprobabilistico agli stati limite, dell'armatura nelle sezioni inflesse con semplice armatura viene eseguito facendo riferimento alla sollecitazione flettente di progetto, alle resistenze di progetto di calcestruzzo e acciaio:

M_{sd}	sollecitazione flettente di progetto;
f_{cd}	resistenza a compressione di progetto del calcestruzzo;
f_{yd}	resistenza a snervamento di progetto dell'acciaio;

e alle caratteristiche geometriche della sezione resistente:

B	ampiezza della base;
h	altezza utile;

con l'impiego delle seguenti grandezze:

μ	momento flettente ridotto;
ω	rapporto meccanico dell'armatura As;

che hanno le seguenti espressioni:

$$\mu = M_{sd} / (B\ h^2\ f_{cd})$$

$$\omega = A_s\ f_{yd} / (\ B\ h\ f_{cd})$$

Il rapporto meccanico dell'armatura As può essere ricavato con la formula semplificata

$\omega = \mu\ (\ 1 + \mu)$ valida quando $\mu < 0,285$

invertendo il quale si ricava l'armatura As necessaria.

3. PRESCRIZIONI SUI MATERIALI

3.1 CALCESTRUZZO ARMATO

Acciai per armatura di conglomerati:

- Armatura lenta: B 450 C

  f_{yk} = 450 N/mm^2 tensione caratteristica di snervamento
  f_{tk} = 540 N/mm^2 tensione caratteristica di rottura
  f_{yd} = 391,3 N/mm^2 snervamento di progetto

  In merito a quanto disposto nel punto 11.3.2.1. *Acciaio per cemento armato B 450 C* del D.M. 14/01/2008 sugli acciai impiegati in progetto si dichiarano i seguenti limiti dei rapporti:

  $(f_y / f_{y,nom})_k \leq 1,25$ $1,15 \leq (f_t / f_y)_k < 1,35$

  dove:
  f_y = singolo valore di snervamento
  $f_{y,nom}$ = valore nominale di riferimento
  f_t = singolo valore della tensione di rottura.

Conglomerato cementizio:

Si seguono le indicazioni della UNI 11104 "Calcestruzzo – Specificazione, prestazione, produzione e conformità – Istruzioni complementari per l'applicazione della EN 206-1".

- resistenza a compressione richiesta (strutture in opera):
  C32/40 (R_{ck} = 40 N/mm^2) f_{cd} = 18,8 N/mm^2
- classe di esposizione ambientale XC2 – XA1 – XS1
- classe di consistenza S4
- rapporto a/c < 0,45
- dimensione massima inerti: 16 mm
- copriferro minimo: 40 mm

Per le strutture prefabbricate:

strutture: C 45/55 (R_{ck} = 55 N/mm^2)
f_{cd} = 25,9 N/mm^2
classe di esposizione XC2, XS1

tamponamenti: C 28/35 (R_{ck} = 35 N/mm^2)
f_{cd} = 16,5 N/mm^2
classe di esposizione XC2, XS1

Additivi: l'uso è previsto con adeguate precauzioni e nella misura in cui si può provare sperimentalmente che il prodotto aggiunto non altera le qualità richieste al calcestruzzo e non danneggia le armature; si consente l'uso di additivi fluidificanti per diminuire la quantità di

acqua occorrente per l'impasto e conseguentemente il successivo ritiro (lavorabilità S4 – fluida).

Gli additivi per migliorare le caratteristiche del calcestruzzo potranno essere impiegati secondo le prescrizioni del produttore, sulla base di prove di laboratorio ufficiale che attestino la conformità del prodotto alle disposizioni vigenti e ne garantiscano la qualità e la costanza di caratteristiche nel tempo.

3.2 CARPENTERIA METALLICA

Per i lavori in oggetto dovranno essere impiegati esclusivamente prodotti in acciaio conformi al D.M. 14/01/2008.

Acciaio classe S 275 JR

$f_{yk} = 275$ N/mm^2	tensione caratteristica di snervamento
$f_{tk} = 430$ N/mm^2	tensione caratteristica di rottura
$f_{yd} = 261{,}9$ N/mm^2	snervamento di progetto

Si prevede l'esecuzione di tutte le lavorazioni in conformità con quanto disposto dal D.M. 14/01/2008 e dalle norme in esso richiamate.

Non saranno ammessi fori e tagli con mezzi termici.

Saldature:

In conformità con quanto disposto dal D.M. 14/01/2008, in particolare ai punti 4.2.8.2 e 11.3.4.5, nonché dalle norme in esso richiamate.

In generale l'altezza di gola delle saldature d'angolo deve essere non inferiore a 0,8 volte lo spessore dell'elemento più sottile da collegare.

Le saldature finite dovranno risultare di sezione costante, continue, esenti da fessurazioni, solchi ai bordi del cordone, inclusioni di particelle eterogenee, soffiature per bolle gas, incollature per sovrapposizioni fredde, frastagliature, sfioriture, punture di spillo, tracce di ossidazione ed altre irregolarità e difetti.

Bullonature:

In conformità con quanto disposto dal D.M. 14/01/2008 in particolare ai punti 4.2.8.1 e 11.3.4.6, nonché dalle norme in esso richiamate, impiegando bulloni con diametro minimo di 12 mm e di classe 8.8. Non è ammesso l'uso di bulloni con il gambo interamente filettato.

Eseguire i fori rispettando le prescrizioni del D.M. 14/01/2008.

Le bullonature sono dimensionate esclusivamente a taglio, non sono ammesse giunzioni ad attrito.

Tutte le bullonature saranno realizzate con utilizzo di controdado oppure di dado antisvitamento di sicurezza contro le vibrazioni.

3.3 MURATURA DI TAMPONAMENTO

Le murature di tamponamento interne, di separazione fra i locali principali, sono realizzate in blocchi di calcestruzzo spessi 25 cm ed irrigidite con nervature (inserimento di armature e riempimento dei fori dei blocchi con calcestruzzo) sia orizzontali sia verticali, con interasse tipico di circa 3 m.

Il perimetro del pannello murario deve essere sempre armato, vengono inoltre riempiti i fori verticali a lato delle aperture ed utilizzati pezzi speciali per ricavare delle travi orizzontali sopra e sotto le eventuali aperture.

Le nervature verticali sono armate tipicamente con staffe ϕ8/20 e 4ϕ16 longitudinali. Quelle orizzontali sono armate tipicamente con staffe ϕ8/20 e 4ϕ16 longitudinali, salvo necessità particolari nel caso di portoni.

Il collegamento con le travi ed i pilastri della struttura portante, perimetrali al pennello murario, sono realizzati con inghisaggio di bolzoni in tondino ϕ 20 mm con l'uso di resina idonea all'impiego in zona sismica.

4. CARATTERISTICHE DEL CODICE DI CALCOLO

4.1 AZIONI DI PROGETTO SULLA COSTRUZIONE

Nei capitoli "**modellazione delle azioni**" **e "schematizzazione dei casi di carico**" sono indicate le azioni sulla costruzioni.

Nel prosieguo si indicano tipo di analisi strutturale condotta (statico, dinamico, lineare o non lineare) e il metodo adottato per la risoluzione del problema strutturale nonché le metodologie seguite per la verifica o per il progetto-verifica delle sezioni. Si riportano le combinazioni di carico adottate e, nel caso di calcoli non lineari, i percorsi di carico seguiti; le configurazioni studiate per la struttura in esame ***sono risultate effettivamente esaustive per la progettazione-verifica.***
La verifica della sicurezza degli elementi strutturali avviene con i metodi della scienza delle costruzioni. L'analisi strutturale è condotta con il metodo degli spostamenti per la valutazione dello stato tensodeformativo indotto da carichi statici. L'analisi strutturale è condotta con il metodo dell'analisi modale e dello spettro di risposta in termini di accelerazione per la valutazione dello stato tensodeformativo indotto da carichi dinamici (tra cui quelli di tipo sismico).
L'analisi strutturale viene effettuata con il metodo degli elementi finiti. Il metodo sopraindicato si basa sulla schematizzazione della struttura in elementi connessi solo in corrispondenza di un numero prefissato di punti denominati nodi. I nodi sono definiti dalle tre coordinate cartesiane in un sistema di riferimento globale. Le incognite del problema (nell'ambito del metodo degli spostamenti) sono le componenti di spostamento dei nodi riferite al sistema di riferimento globale (traslazioni secondo X, Y, Z, rotazioni attorno X, Y, Z). La soluzione del problema si ottiene con un sistema di equazioni algebriche lineari i cui termini noti sono costituiti dai carichi agenti sulla struttura opportunamente concentrati ai nodi:

K * u = F dove **K** = matrice di rigidezza
u = vettore spostamenti nodali
F = vettore forze nodali

Dagli spostamenti ottenuti con la risoluzione del sistema vengono quindi dedotte le sollecitazioni e/o le tensioni di ogni elemento, riferite generalmente ad una terna locale all'elemento stesso.
Il sistema di riferimento utilizzato è costituito da una terna cartesiana destrorsa XYZ. Si assume l'asse Z verticale ed orientato verso l'alto.
Gli elementi utilizzati per la modellazione dello schema statico della struttura sono i seguenti:

- Elemento tipo ***TRUSS*** (biella-D2)
- Elemento tipo ***BEAM*** (trave-D2)
- Elemento tipo ***MEMBRANE*** (membrana-D3)
- Elemento tipo ***PLATE*** (piastra-guscio-D3)
- Elemento tipo ***SOLAIO*** (macro elemento composto da più membrane)

4.2 MODELLO NUMERICO

In questa parte viene descritto il modello numerico utilizzato per l'analisi della struttura.

Tipo di analisi strutturale	
Statica lineare	SI
Statica non lineare	NO
Sismica statica lineare	NO
Sismica dinamica lineare	SI

Di seguito si indicano l'origine e le caratteristiche dei codici di calcolo utilizzati riportando titolo, produttore e distributore, versione, estremi della licenza d'uso:

Informazioni sul codice di calcolo	
Titolo:	PRO_SAP PROfessional Structural Analysis Program
Versione:	PROFESSIONAL (build 2017-04-177)
Produttore-Distributore:	2S.I. Software e Servizi per l'Ingegneria s.r.l., Ferrara
Dati utente finale:	ESSEPIESSE – Torino via campana n.7
Codice Licenza:	Licenza dsi2280

Un attento esame preliminare della documentazione a corredo del software ***ha consentito di valutarne l'affidabilità e soprattutto l'idoneità al caso specifico***. La documentazione, fornita dal produttore e distributore del software, contiene una esauriente descrizione delle basi teoriche e degli algoritmi impiegati, l'individuazione dei campi d'impiego, nonché casi prova interamente risolti e commentati, corredati dei file di input necessari a riprodurre l'elaborazione:

Affidabilità dei codici utilizzati
2S.I. ha verificato l'affidabilità e la robustezza del codice di calcolo attraverso un numero significativo di casi prova in cui i risultati dell'analisi numerica sono stati confrontati con soluzioni teoriche. E' possibile reperire la documentazione contenente alcuni dei più significativi casi trattati al seguente link: http://www.2si.it/Software/Affidabilità.htm

4.3 MODELLAZIONE DELLE AZIONI

Si veda il capitolo **"Schematizzazione dei casi di carico"** per le informazioni necessarie alla comprensione ed alla ricostruzione delle azioni applicate al modello numerico, coerentemente con quanto indicato nella parte "*2.6. Azioni di progetto sulla costruzione*".

4.4 COMBINAZIONI E/O PERCORSI DI CARICO

Si veda il capitolo **"Definizione delle combinazioni"** in cui sono indicate le combinazioni di carico adottate e, nel caso di calcoli non lineari, i percorsi di carico seguiti.

Combinazioni dei casi di carico	
APPROCCIO PROGETTUALE	Approccio 2
Tensioni ammissibili	NO
SLU	SI
SLV (SLU con sisma)	SI
SLC	NO
SLD	SI
SLO	NO
SLU GEO A2 (per approccio 1)	NO
SLU EQU	NO
Combinazione caratteristica (rara)	SI
Combinazione frequente	NO
Combinazione quasi permanente (SLE)	NO

4.5 PRINCIPALI RISULTATI

Risultati dell'analisi modale

Viene riportato il tipo di analisi modale condotta, restituiti i risultati della stessa e valutate le informazioni desumibili in merito al comportamento della struttura.

Deformate e sollecitazioni per condizioni di carico

Vengono riportati i principali risultati atti a descrivere il comportamento della struttura, in termini di stati di sollecitazione e di deformazione generalizzata, distinti per condizione elementare di carico o per combinazioni omogenee delle stesse.

Inviluppo delle sollecitazioni maggiormente significative.

L'analisi e la restituzione degli inviluppi (nelle combinazioni considerate agli SLU e agli SLE) delle caratteristiche di sollecitazione sono finalizzate alla progettazione ed alla valutazione dello stato di sollecitazione nei diversi elementi della struttura.

Reazioni vincolari

Vengono riportate le reazioni dei vincoli nelle singole condizioni di carico e/o nelle combinazioni considerate.

Altri risultati significativi

Nella presente parte vengono riportati tutti gli altri risultati che il progettista ritiene di interesse per la descrizione e la comprensione del/i modello/i e del comportamento della struttura.

Nella presente relazione sono riportati i dati ed i risultati più significativi per ogni blocco; nelle appendici relative a ciascun blocco sono illustrati in modo esaustivo i dati in ingresso, i risultati delle analisi e del progetto dei vari elementi in forma tabellare.

Sono inoltre riportate una serie di immagini:
per i dati in ingresso:

- modello solido della struttura
- numerazione di nodi e ed elementi
- configurazioni di carico statiche

per le combinazioni più significative (statisticamente più gravose per la struttura)

- configurazioni deformate
- diagrammi e inviluppi delle azioni interne
- mappe delle pressioni sul terreno

per il progetto-verifica degli elementi

- diagrammi di armatura
- percentuali di sfruttamento
- mappe delle verifiche più significative per i vari stati limite

INFORMAZIONI GENERALI SULL'ELABORAZIONE E GIUDIZIO MOTIVATO DI ACCETTABILITÀ DEI RISULTATI

Il programma prevede una serie di controlli automatici (check) che consentono l'individuazione di errori di modellazione. Al termine dell'analisi un controllo automatico identifica la presenza di spostamenti o rotazioni abnormi. Si può pertanto asserire che l' elaborazione sia corretta e completa.
I risultati delle elaborazioni sono stati sottoposti a controlli che ne comprovano l'attendibilità. Tale valutazione ha compreso il confronto con i risultati di semplici calcoli, eseguiti con metodi tradizionali e adottati, anche in fase di primo proporzionamento della struttura.
Inoltre, sulla base di considerazioni riguardanti gli stati tensionali e deformativi determinati, si è valutata la validità delle scelte operate in sede di schematizzazione e di modellazione della struttura e delle azioni.

5. PRETRATTAMENTI PRIMARI

Il comparto pretrattamenti primari è composto dal fabbricato e dalle vasche in esso contenute che risultano strutturalmente indipendenti. Sono pertanto stati realizzati due distinti modelli di calcolo agli elementi finiti.

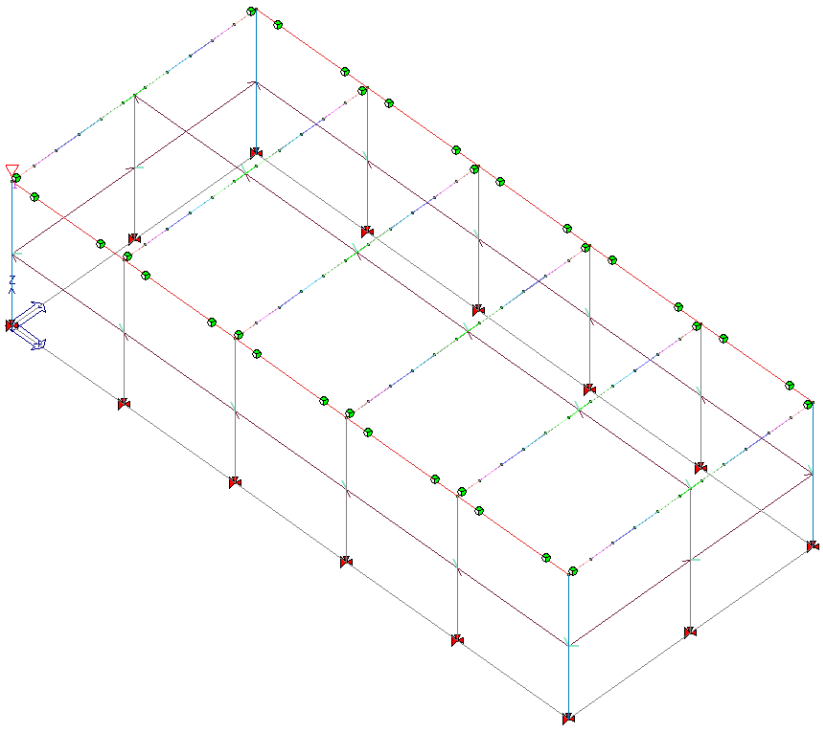
5.1 FABBRICATO PRETRATTAMENTI

La struttura portante del fabbricato è composta da colonne isostatiche incastrate alla base (sezione 70 cm x 70 cm e 60 cm x 70 cm) e travi isostatiche semplicemente appoggiate agli estremi, ad altezza variabile. La copertura è realizzata con tegoli precompressi schematizzati con elementi solaio al solo scopo di applicare i carichi alle travi, senza alcun piano rigido.

Le colonne sono fissate alla base sui plinti su pali, realizzati in opera, in cui è prevista la realizzazione dell'apposito bicchiere. Nel modello i vincoli sono schematizzati come incastri.

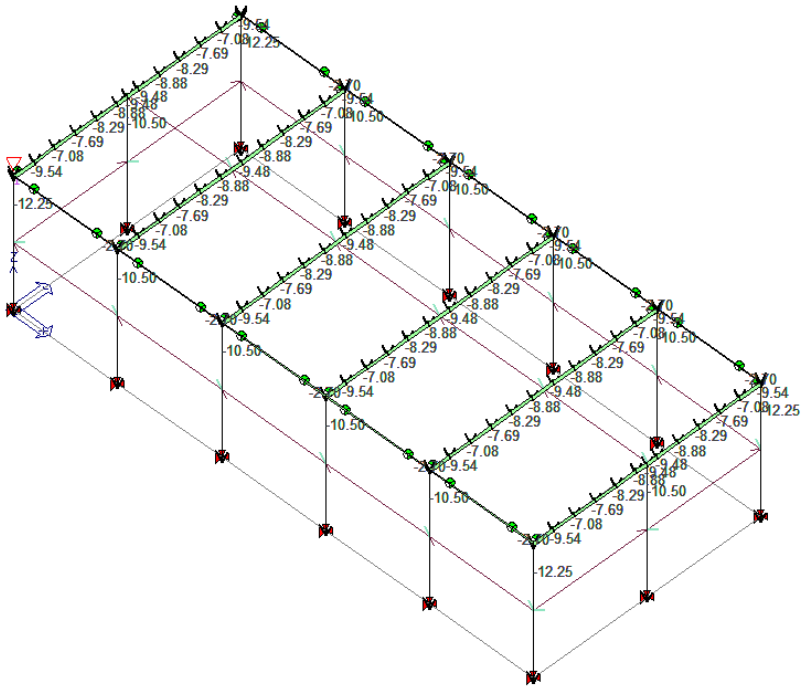
Il tamponamento è realizzato con pannelli prefabbricati orizzontali fissati ai pilastri che sono schematizzati elementi pannello al solo scopo di applicare i pesi e le masse in modo il più possibile aderente alla realtà.

Di seguito si riporta l'immagine unifilare del modello agli elementi finiti.

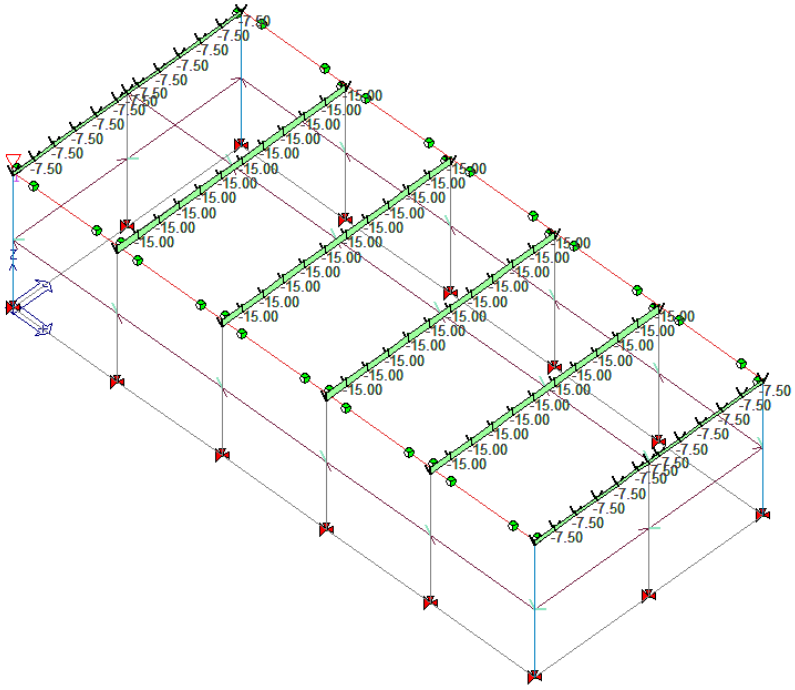


CASI DI CARICO

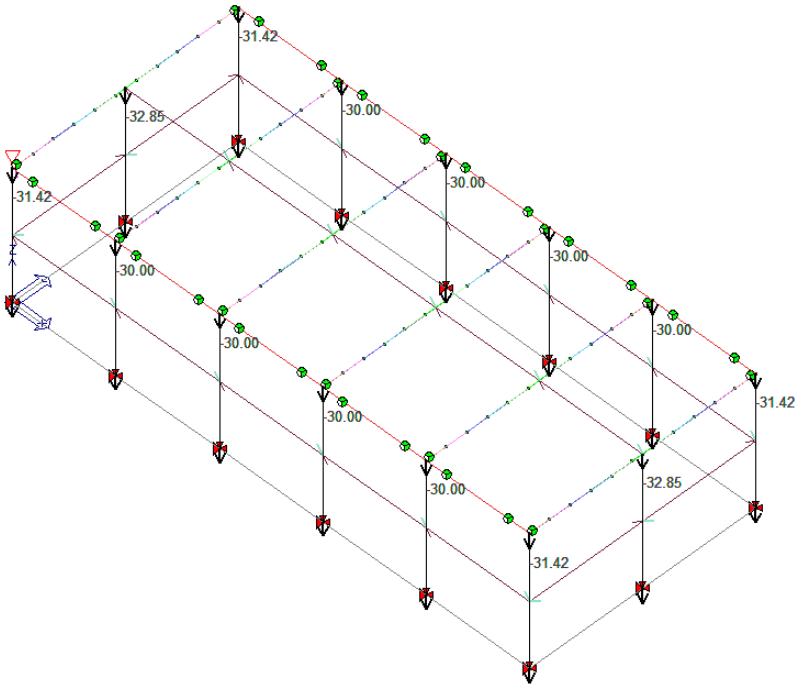
1 - Pesi propri



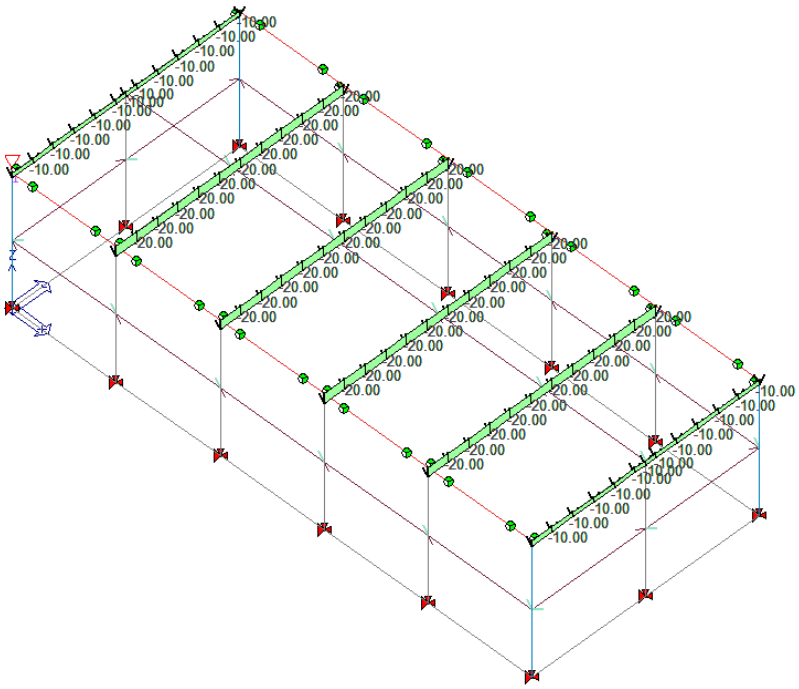
2 – Permanente coperture



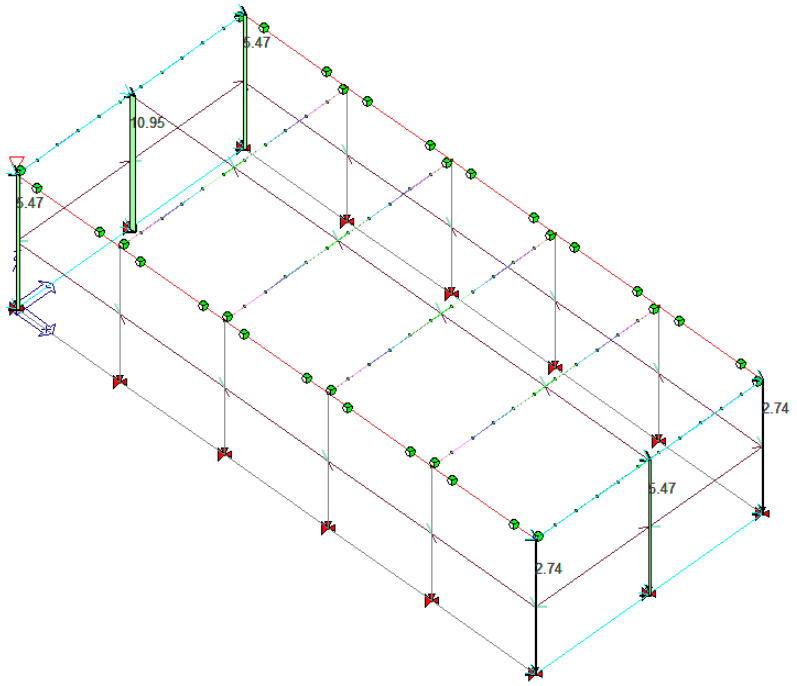
3 – Permanente pannelli pareti n.c.d.



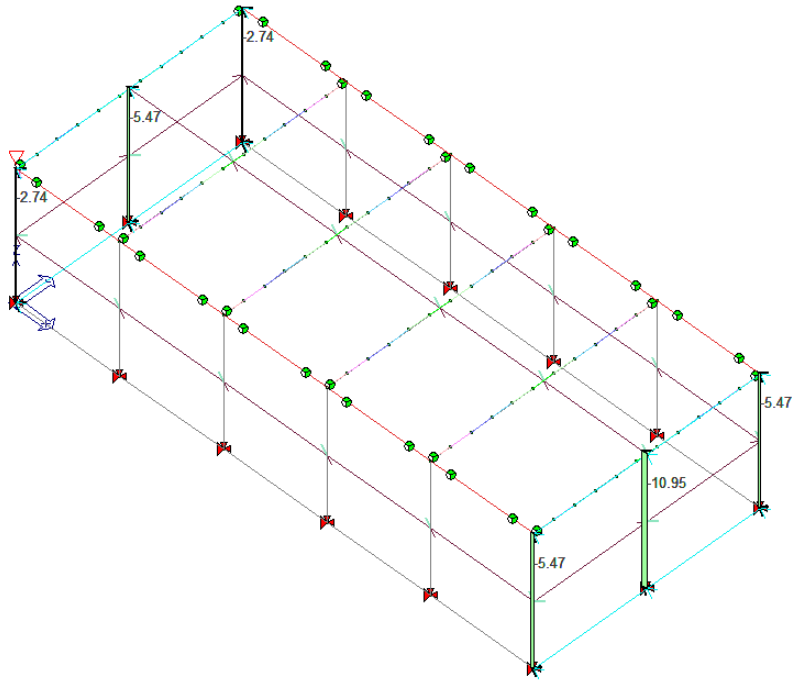
4 – Variabile copertura



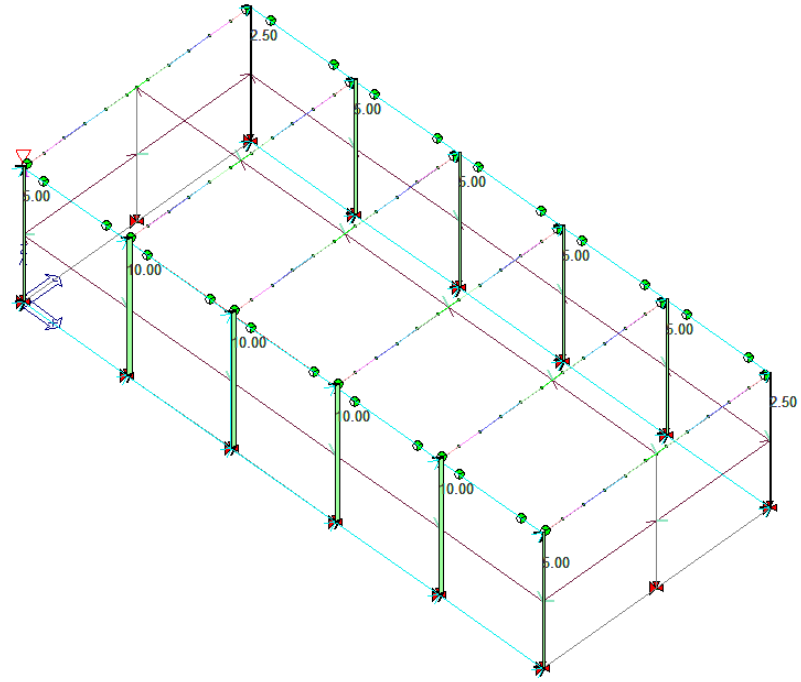
13 – Vento +x



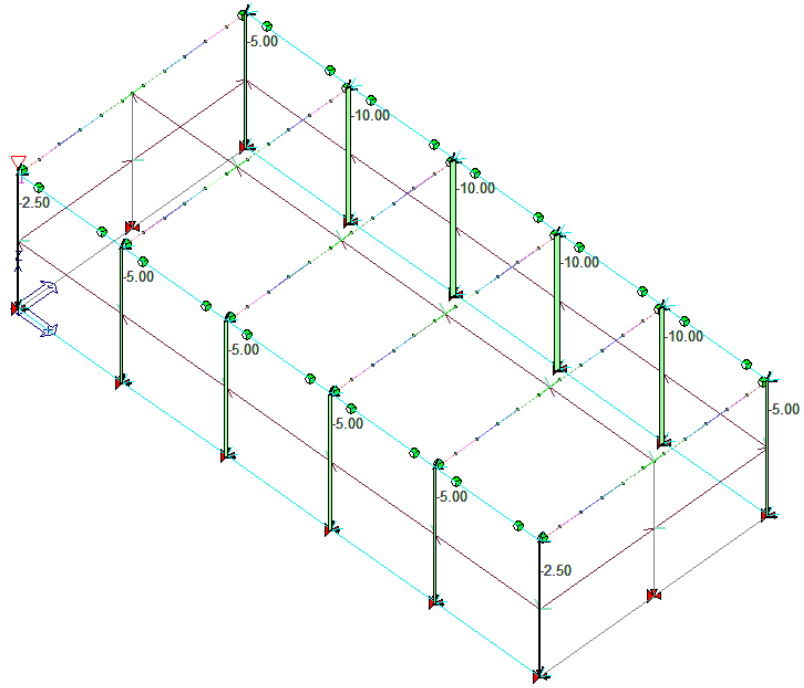
14 – Vento -x



15 – Vento +y

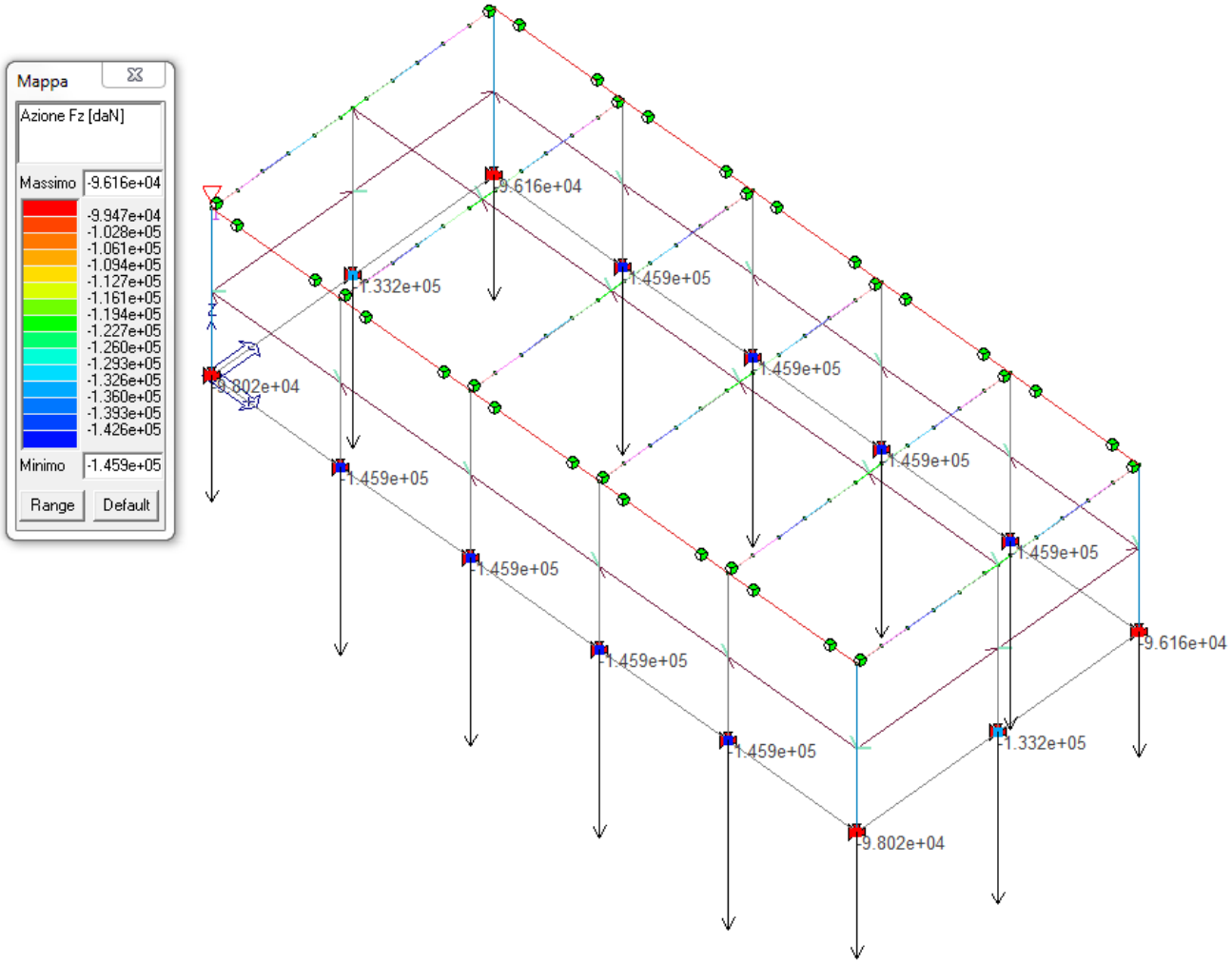


16 – Vento -y



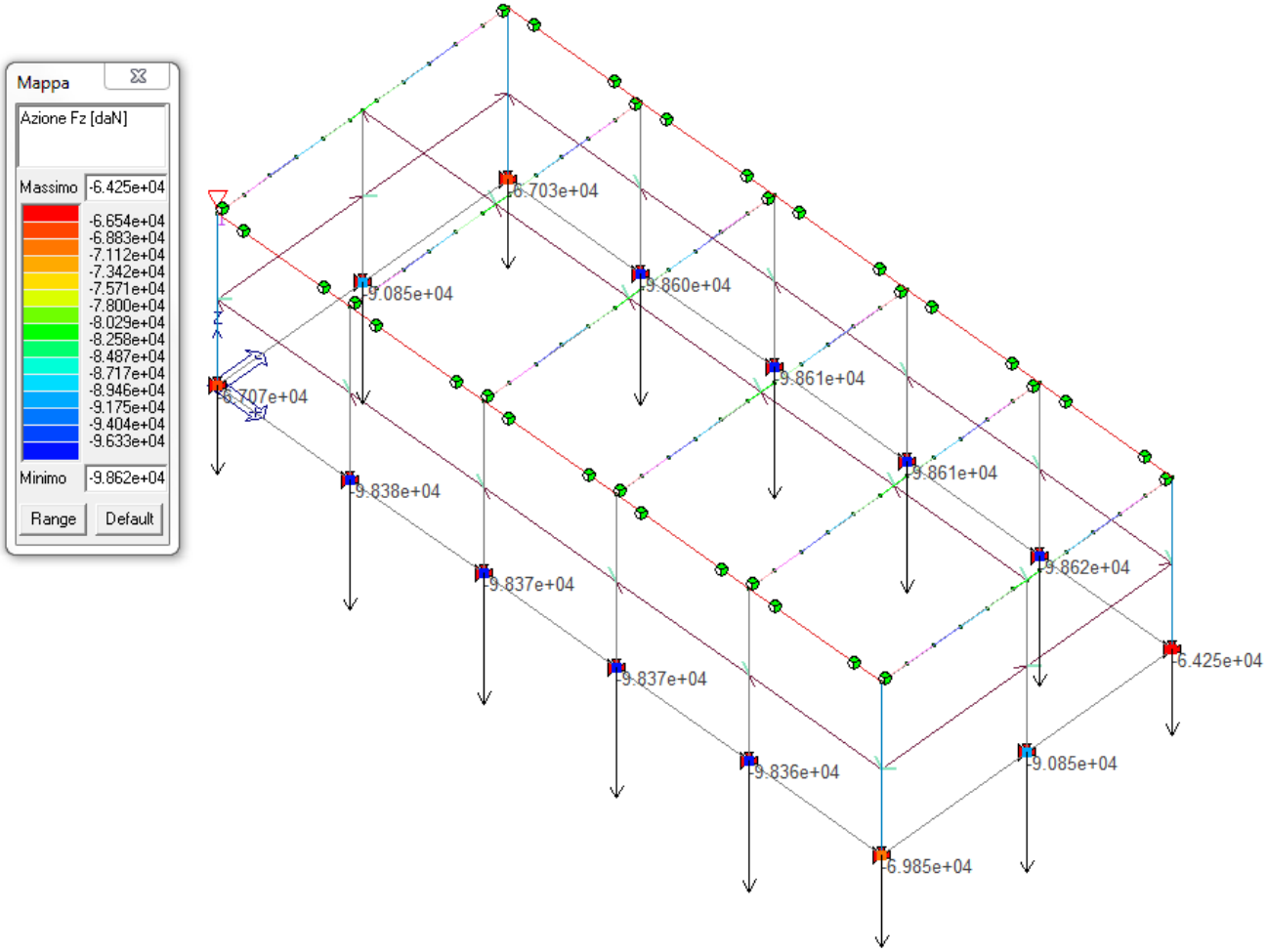
AZIONI VERTICALI VINCOLI

Azione massima combinazioni SLU STR A1 (CMB 30)



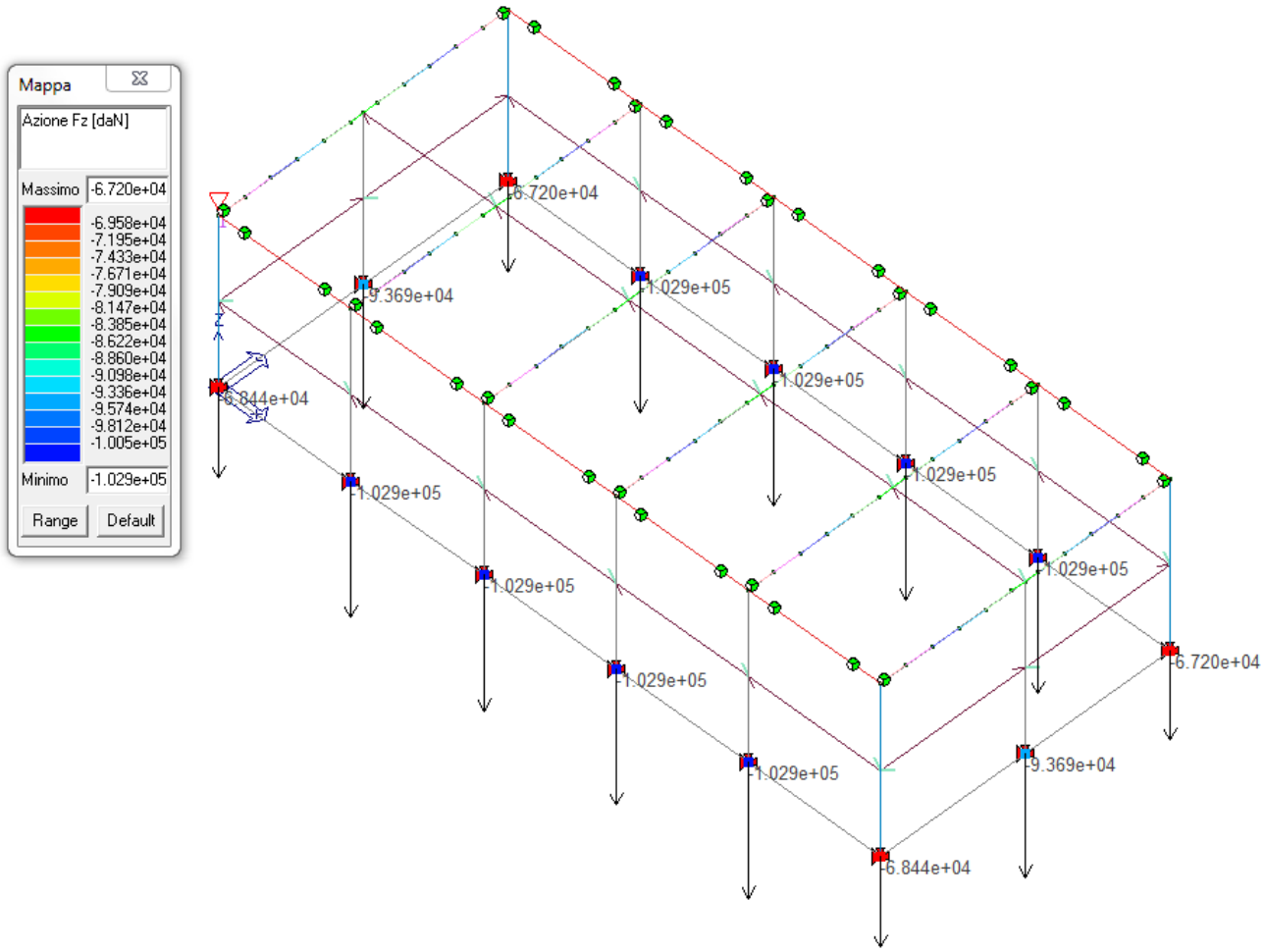
Azione massima 145900 daN

Azione massima combinazioni SLV sismiche (CMB 60)



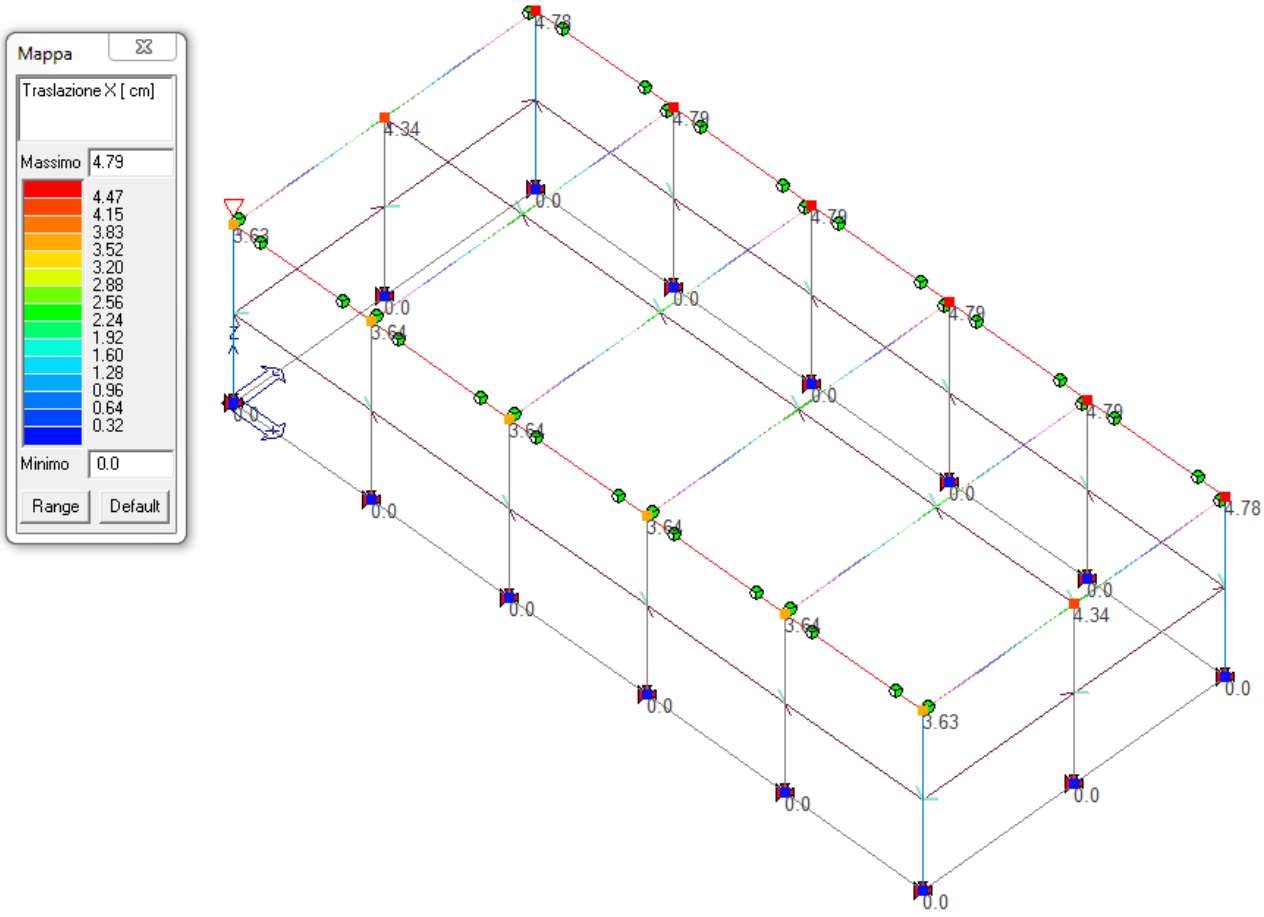
Azione massima 98620 daN

Azione massima combinazioni SLE (rara) (CMB 116)



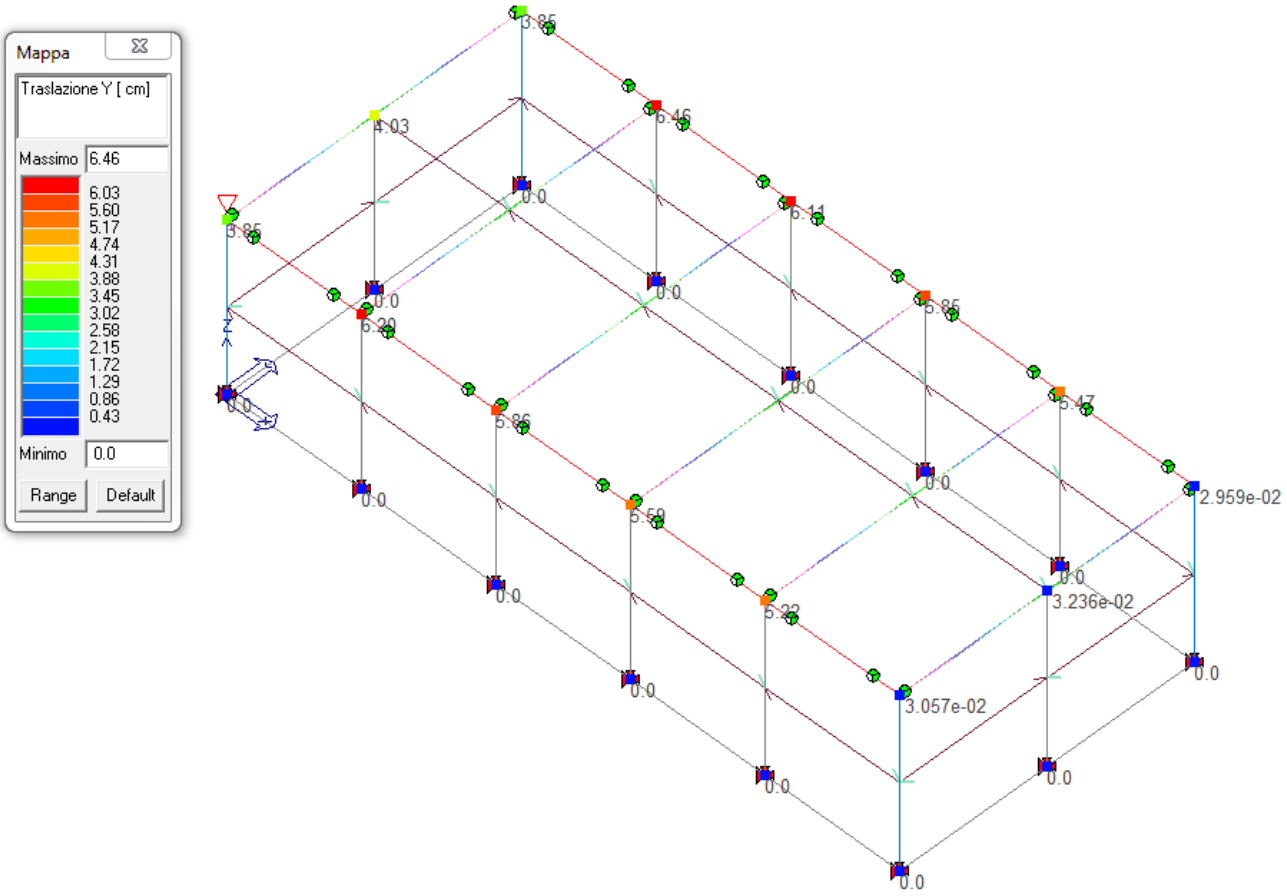
Azione massima 102900 daN

SPOSTAMENTI SISMICI SLV (CMB 45)



Massimo spostamento in direzione x è 4,8 x 1,5 = 7,2 cm

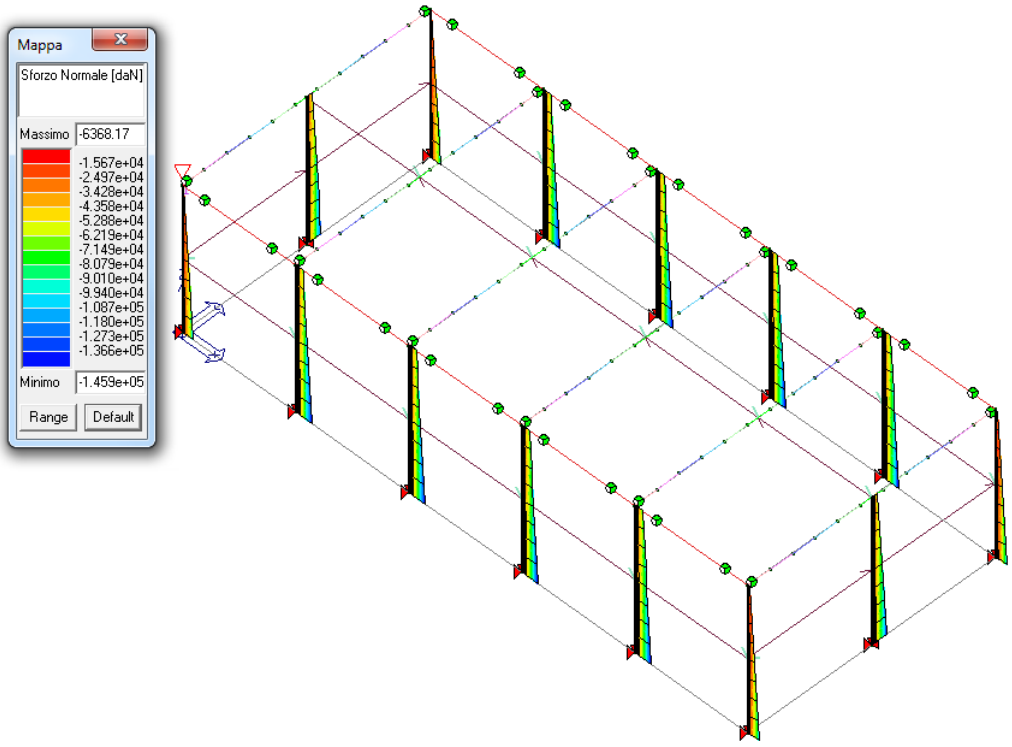
SPOSTAMENTI SISMICI SLV (CMB 65)



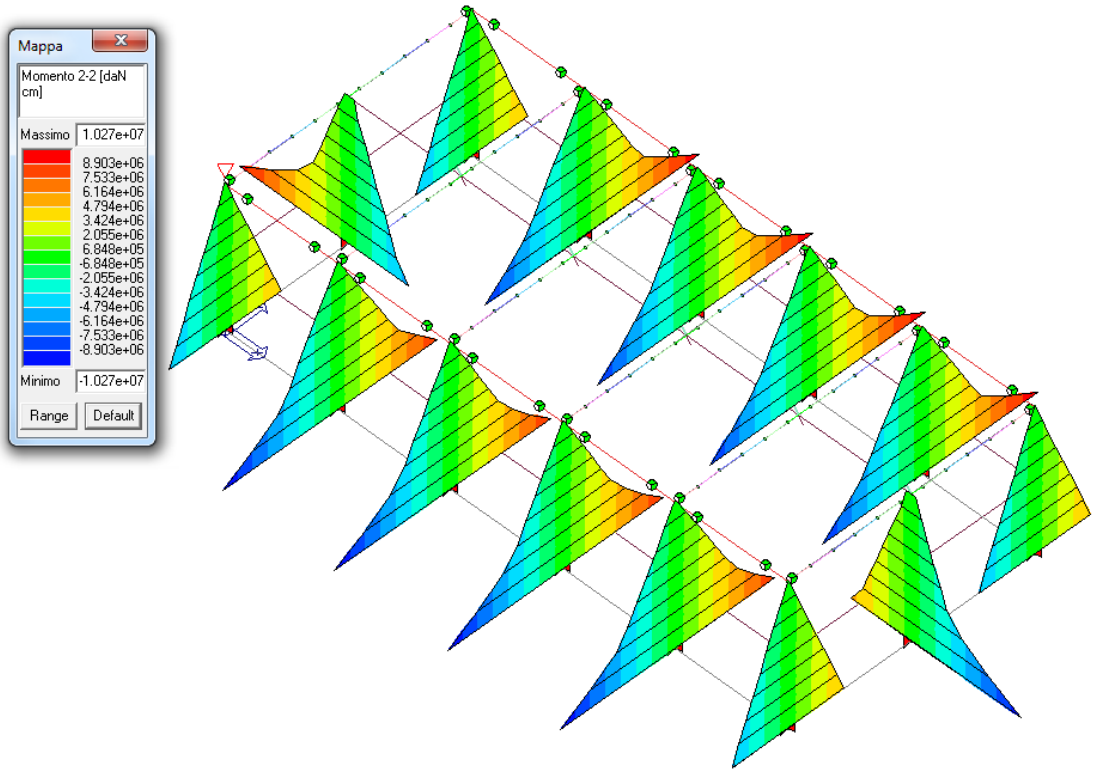
Massimo spostamento in direzione y è 6,46 x 1,5 = 9,69 cm

INVILUPPO SOLLECITAZIONI NEI PILASTRI

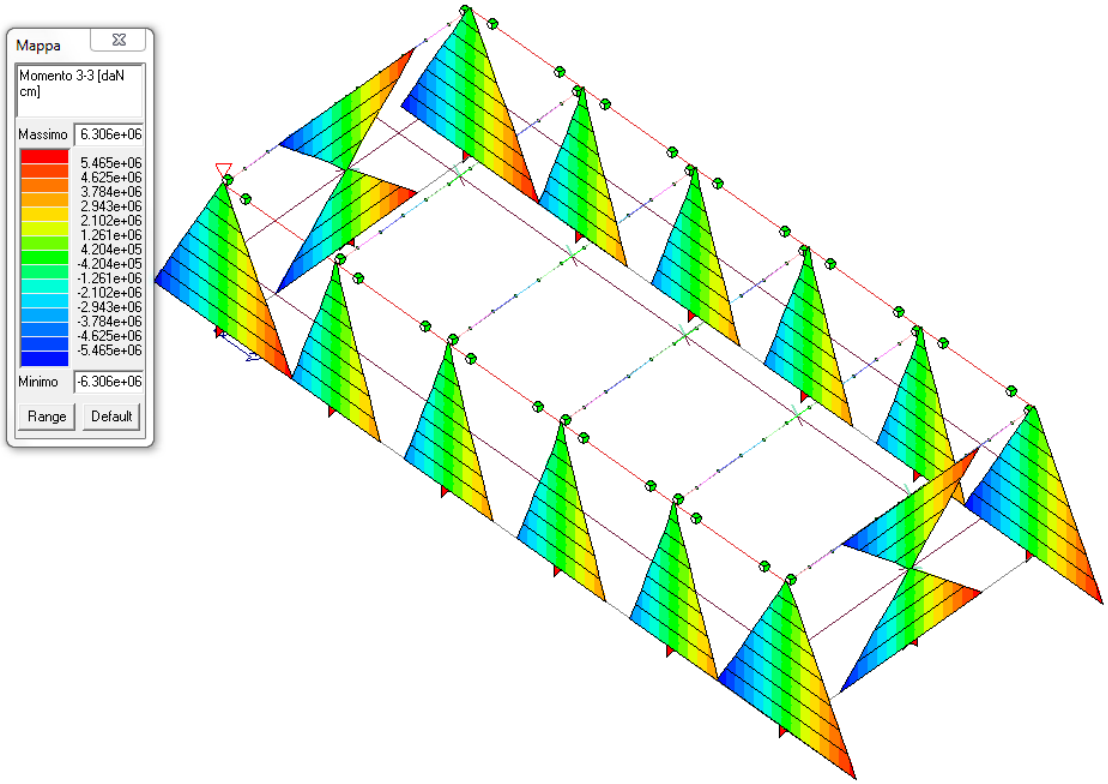
Sforzo normale



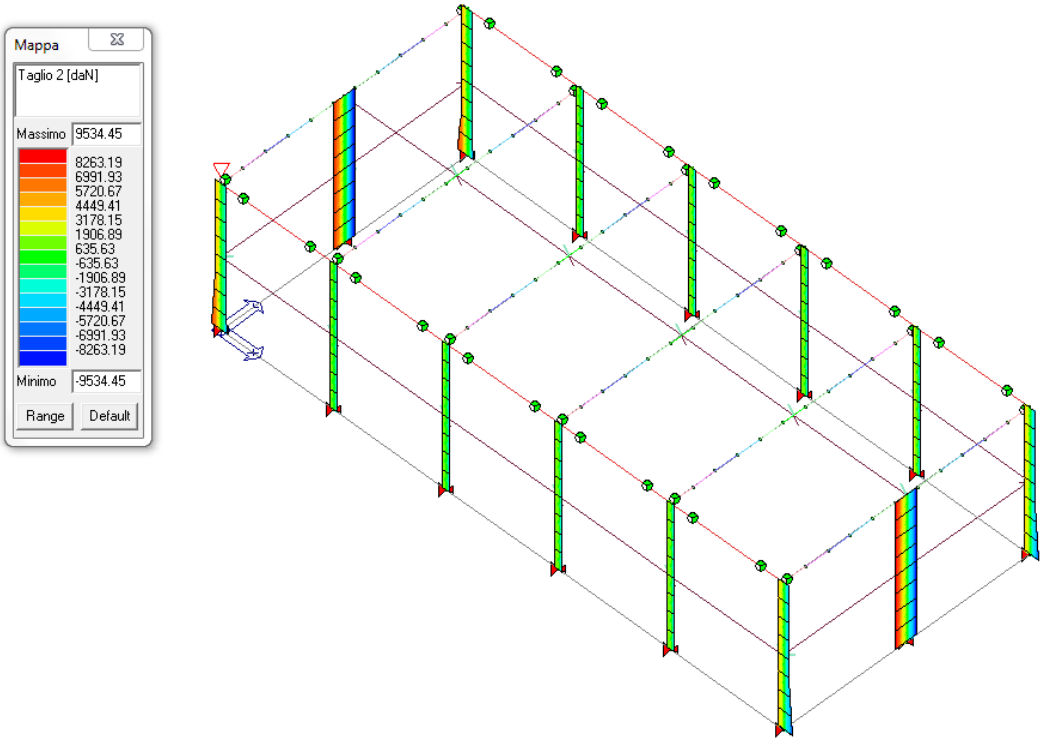
Momenti flettenti M22



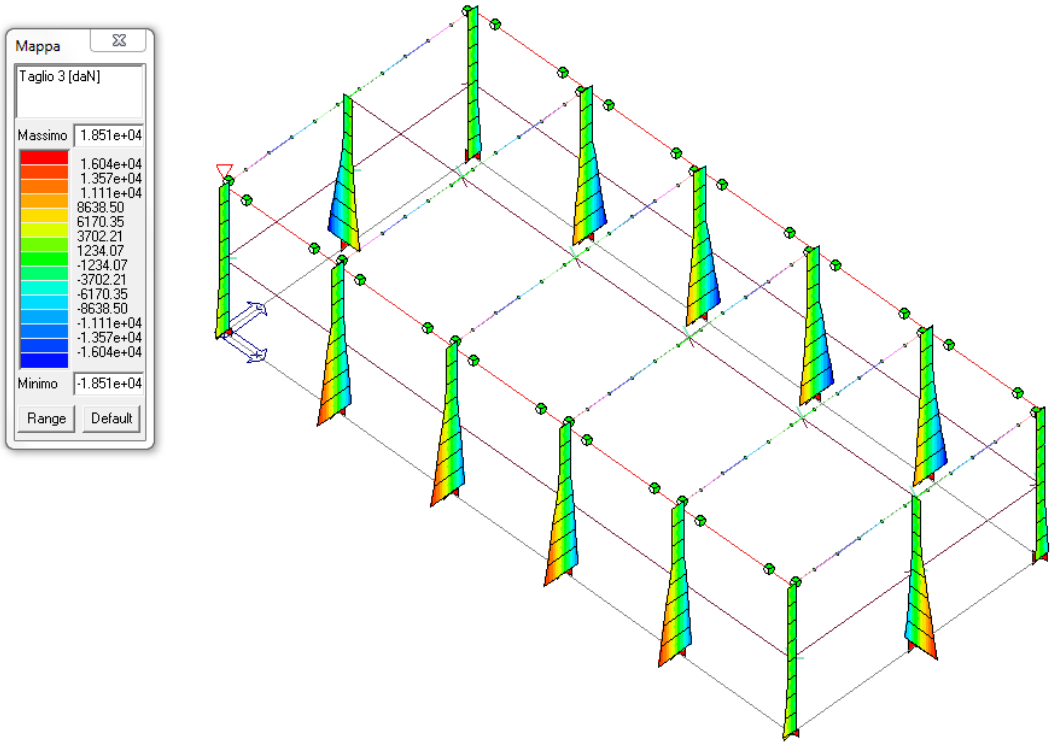
Momenti flettenti M33



Tagli V22

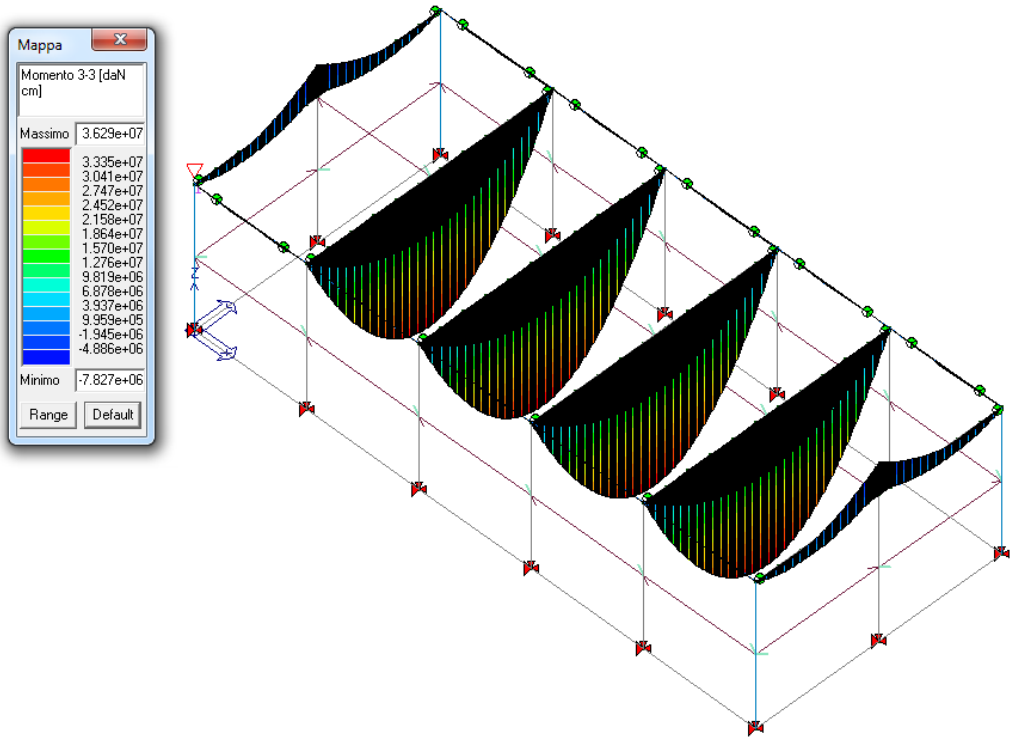


Tagli V33

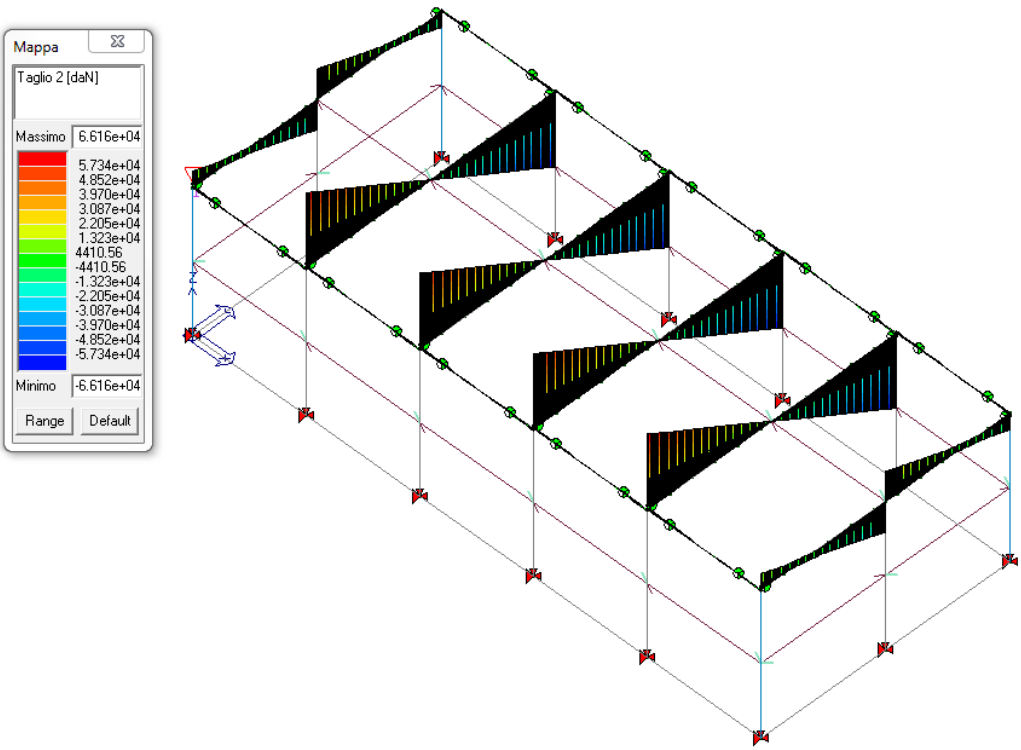


INVILUPPO SOLLECITAZIONI NELLE TRAVI

Momenti flettenti M33



Taglio V22



5.2 VASCHE PRETRATTAMENTI

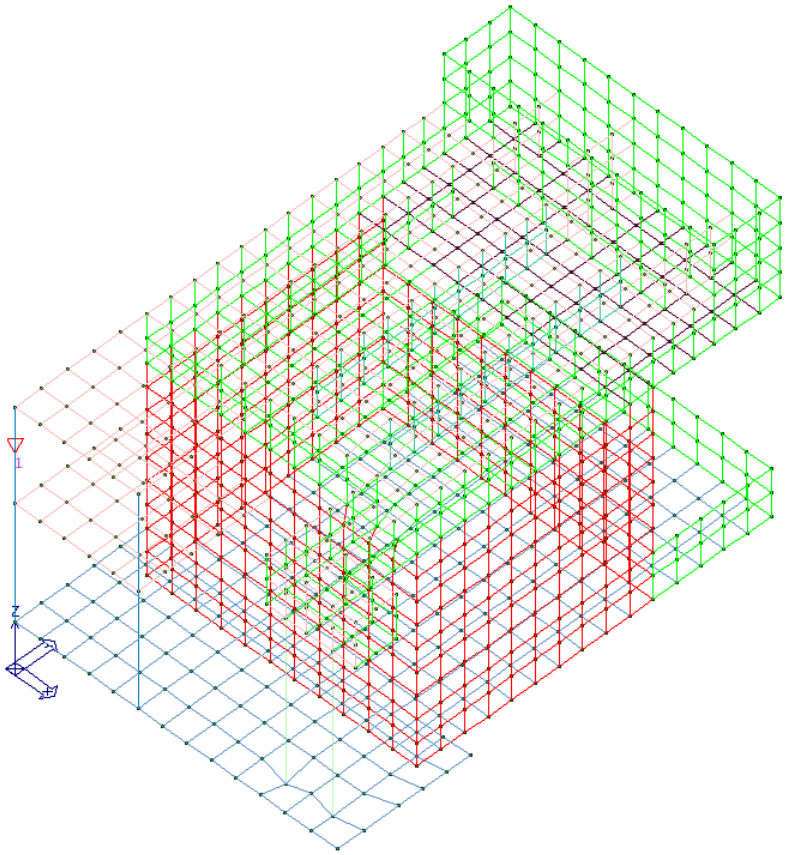
La vasca innesco sifone e sollevamento ha dimensioni 10,9 m x 9,5 m h = 8,6 m, ha una platea di fondo di spessore 70 cm, pareti spesse 50 cm e soletta di chiusura spessa 30 cm. La soletta è irrigidita da due travi ribassate trasversali di sezione 40 cm x 130 cm che hanno il compito di sostenere i canali di grigliatura superiori.

I 3 canali grigliatura hanno sezione 2,4 m x 1,9 m e sono affiancati da un canale di bypass di sezione 1,6 m x 1.9 m, le pareti hanno spessori vari (fungono da trave parete per il sostegno della soletta superiore). La soletta di copertura della grigliatura ha dimensioni 11,9 m x 15,8 m e spessore 25 cm, dovrà sopportare l'appoggio delle attrezzature.

Il canale di arrivo in grigliatura, posto a sbalzo oltre la parete della vasca inferiore, ha soletta di fondo spessa 45 cm, pareti spesse 30 cm ed alte 4 m.

Vi sono poi due zone quadri con dimensioni 6 m x 5,6 m, realizzate con solette di spessore 25 cm sostenute da travi perimetrali ribassate di sezione 30 cm x 55 cm, a loro volta fisate alla parete della vasca e sostenute da pilastri di sezione 50 cm x 50 cm.

Di seguito si riporta l'immagine unifilare del modello agli elementi finiti di questa zona.

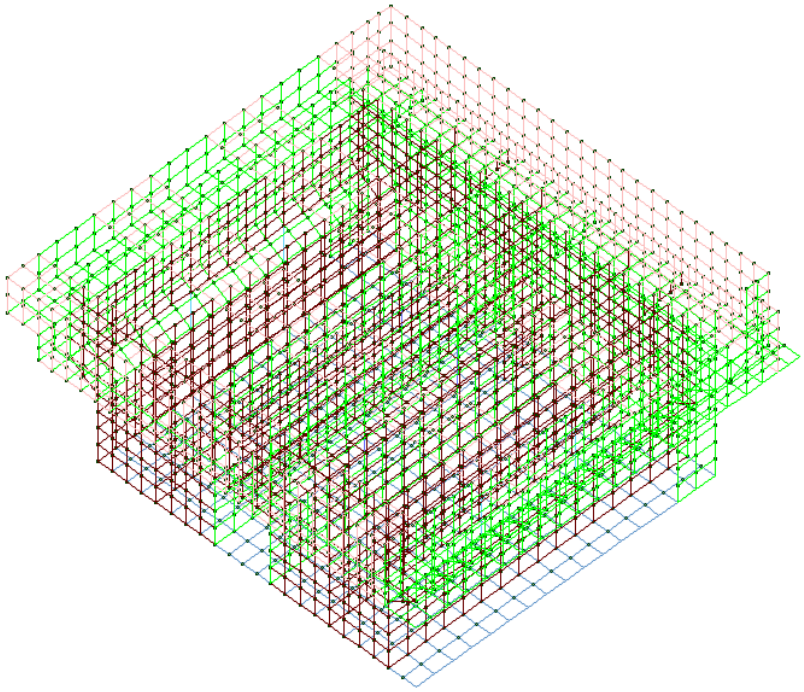


Le quattro 4 vasche di dissabbiatura hanno dimensione 5 m x 21 m h = 8,7 m, la platea ha spessore 70 cm, le pareti variamente inclinate e sagomate hanno spessori 30 cm e 40 cm.

La copertura delle vasche di dissabbiatura realizzata con 2 strisce di larghezza 3 m e 2 strisce di larghezza 2 m, alternate con coperture in PRFV removibili, hanno spessore 25 cm;

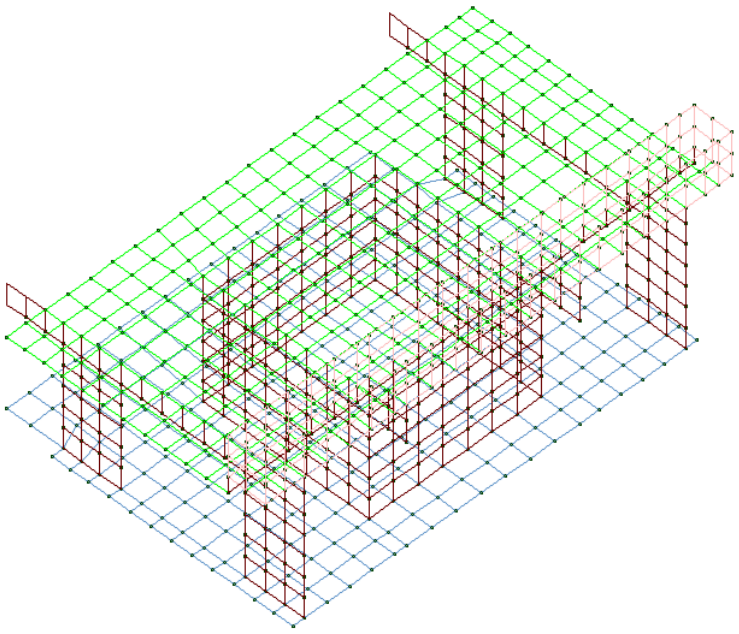
Sul perimetro delle vasche vi sono delle canalette con fondo di spessore 30 cm e pareti di spessore 25 cm.

Di seguito si riporta l'immagine unifilare del modello agli elementi finiti di questa zona.



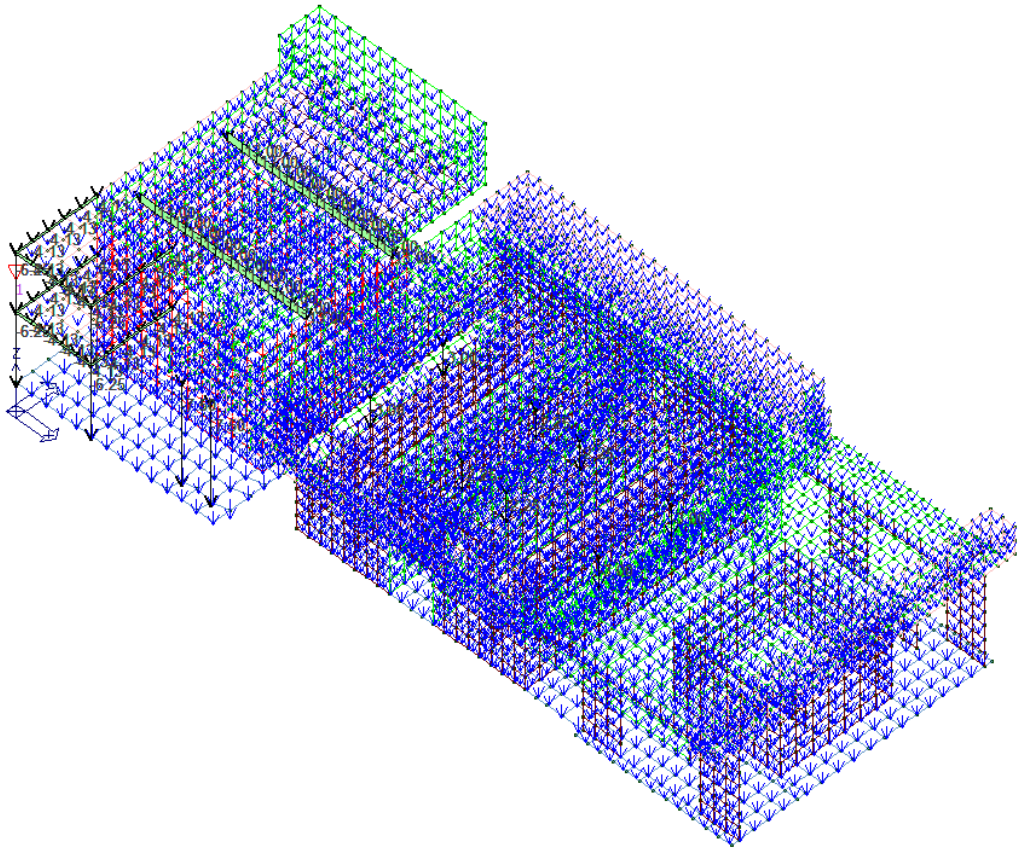
La vasca fanghi primari ha dimensioni 7 m x 7,3 m h = 5 m, platea spessa 70 cm e pareti spesse 40 cm. La soletta sedimentatori ha dimensioni 9 m x 21 m, è posta sopra la vasca e sborda fino a raggiungere le pareti del fabbricato e la vasca dissabbiatura a fianco, ha spessore 30 ed è sostenuta da 4 setti posti vicino alle pareti longitudinali del fabbricato. All'estremo del comparo vi è una canaletta di raccolta, posta a quota superiore rispetto alla soletta precedente, realizzata con un fondo spesso 30 cm e pareti spesse 25 cm.

Di seguito si riporta l'immagine unifilare del modello agli elementi finiti di questa zona.

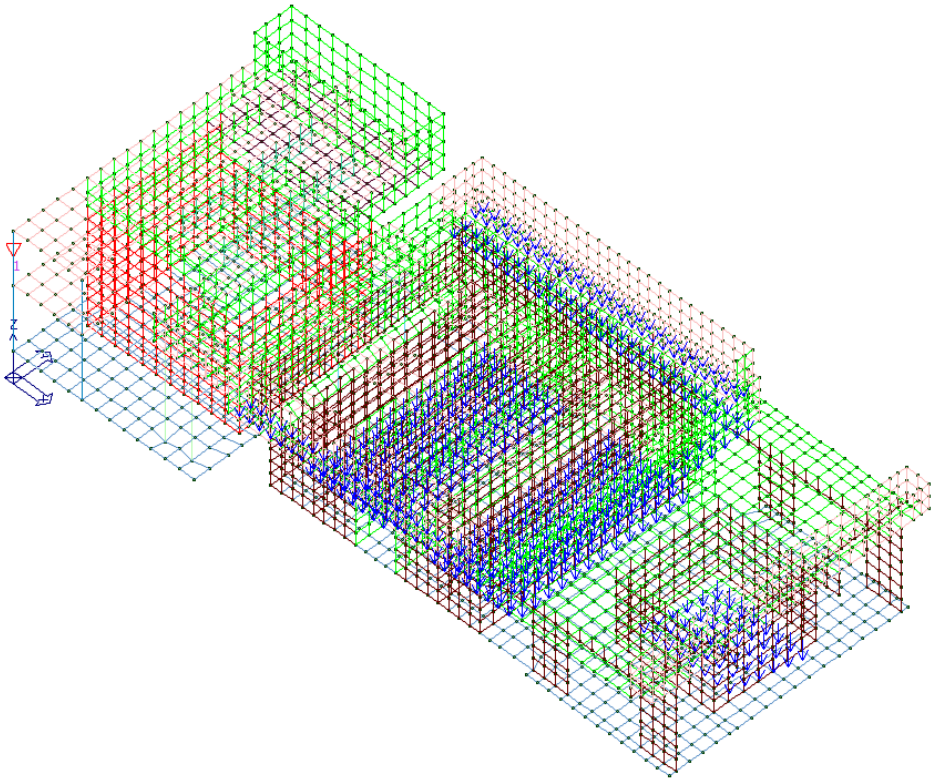


CASI DI CARICO

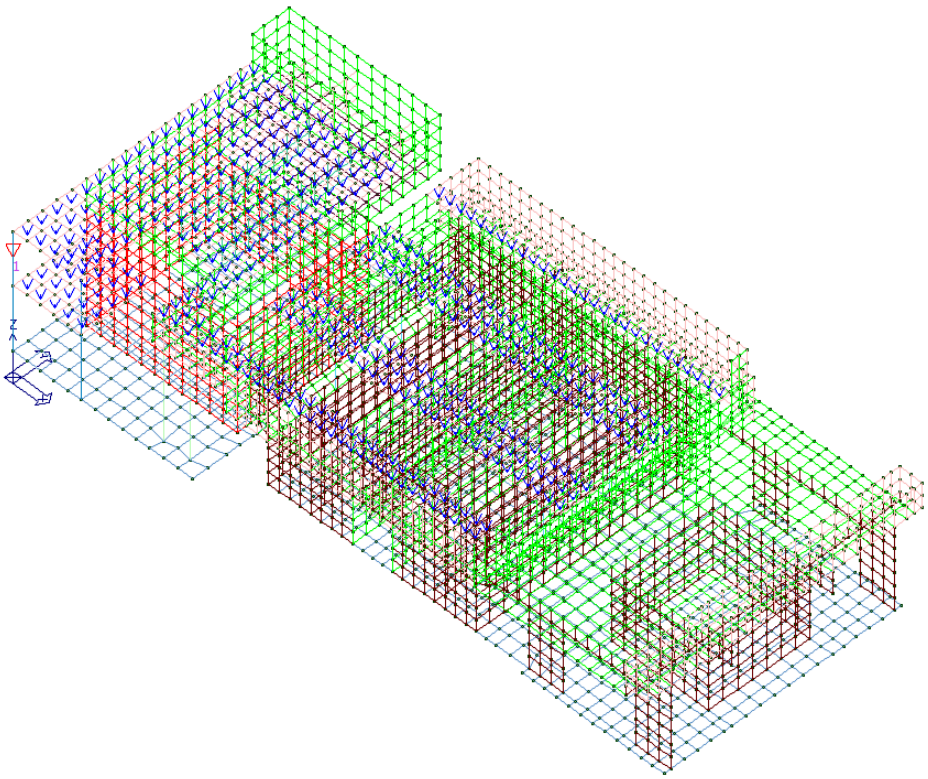
1 - Pesi propri



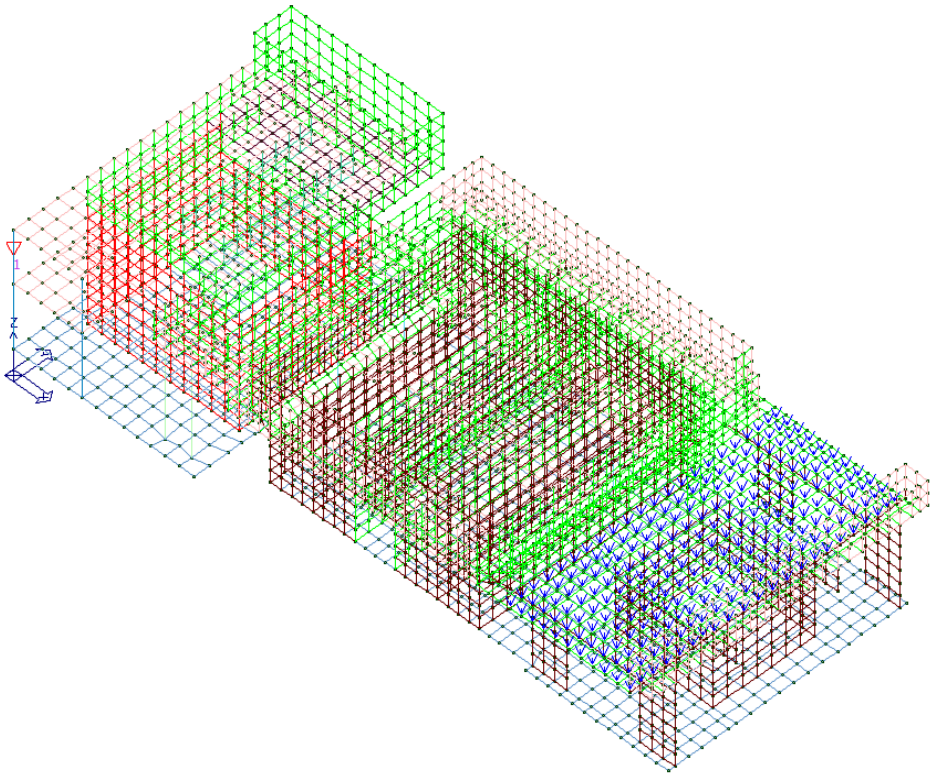
2 – Permanente riempimenti (profilatura pendenze vasche e canalette)



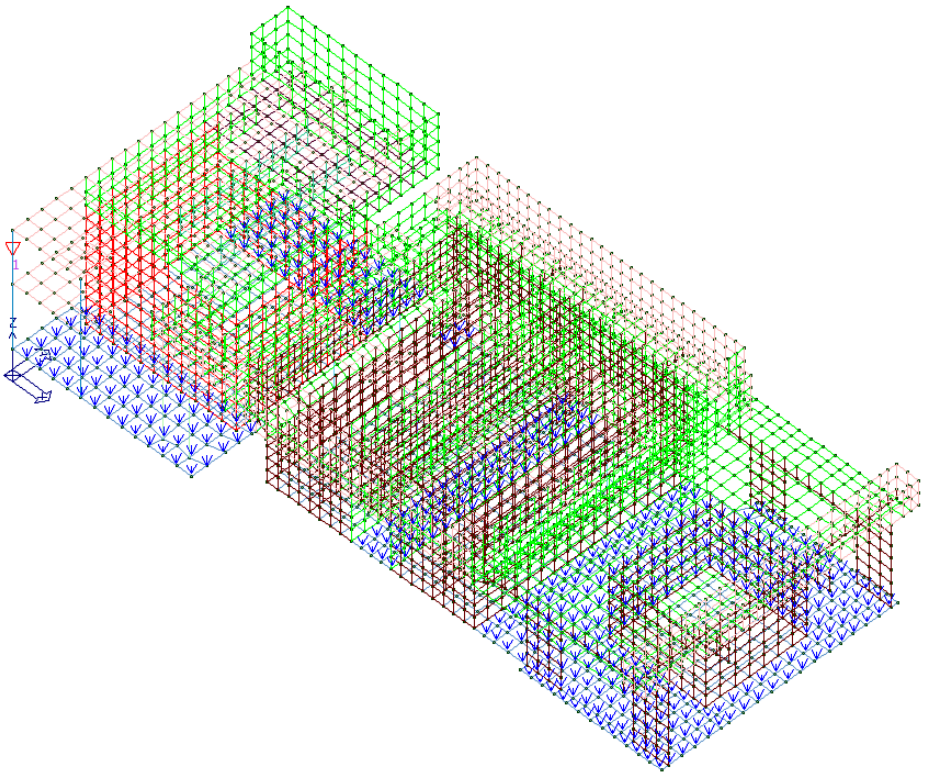
3 – Variabile sommità vasche



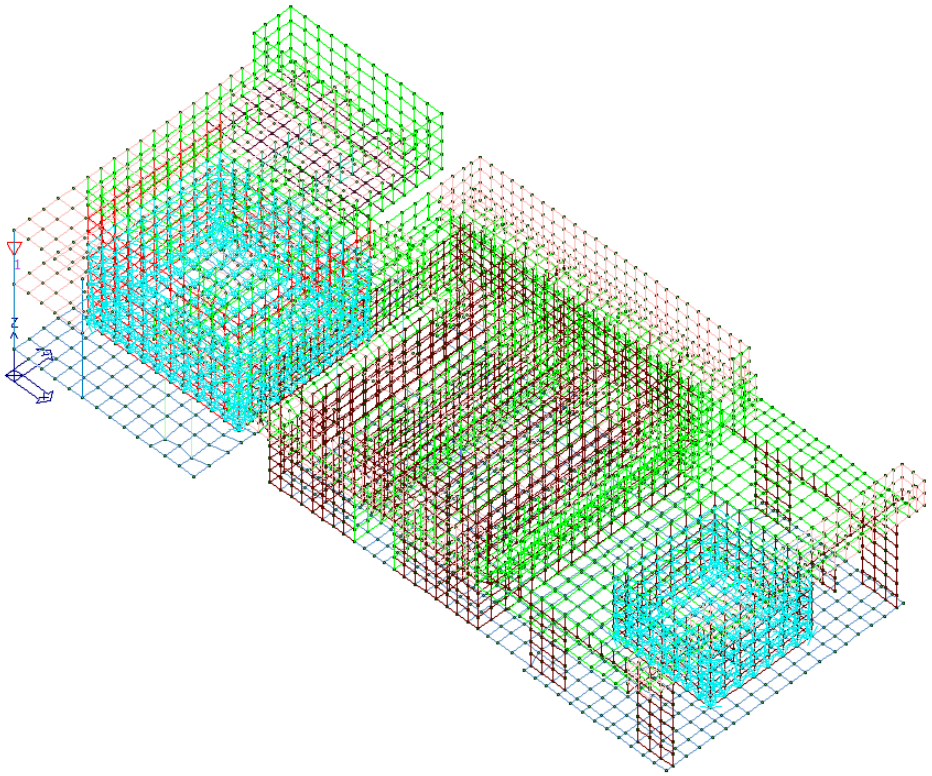
4 – Variabile soletta sedimentatori



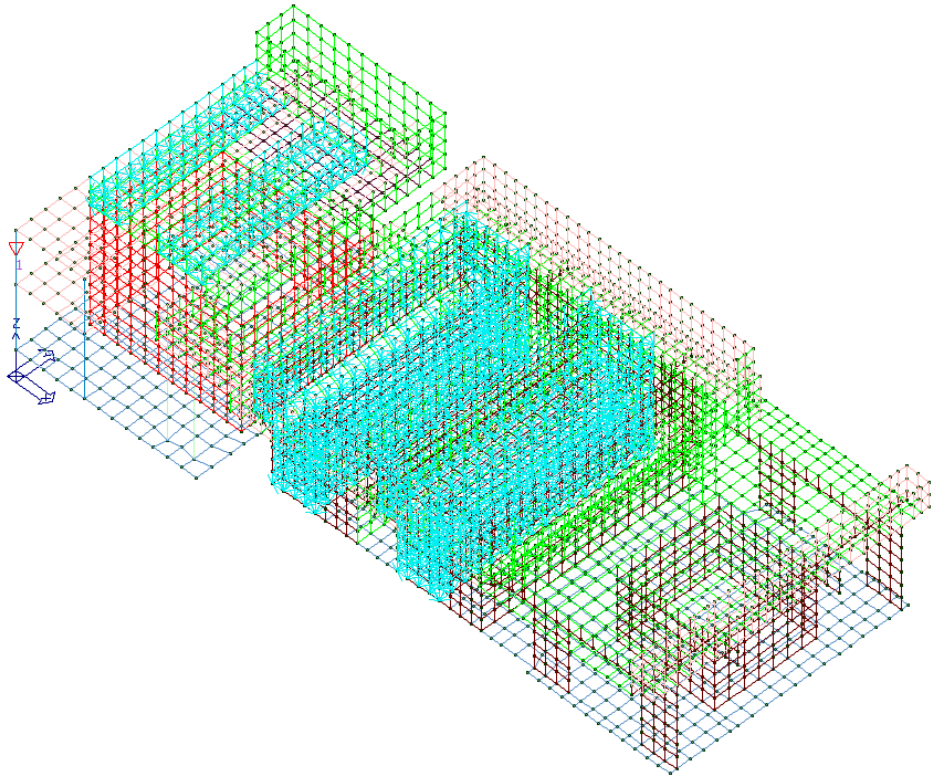
5 – Variabile platea



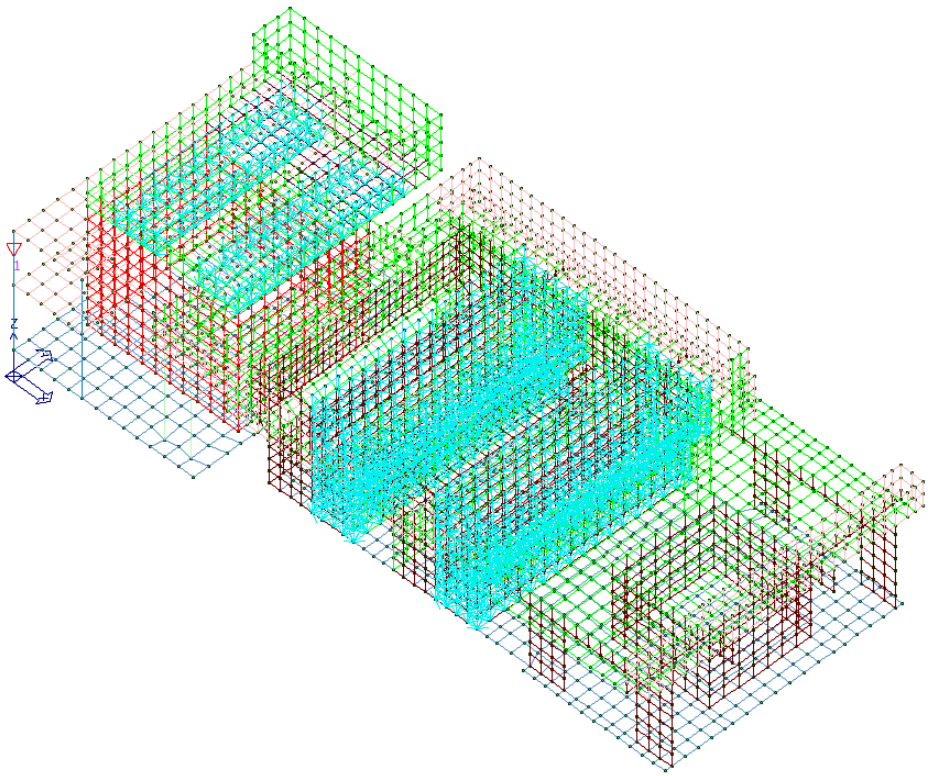
14 – Permanente vasche 1



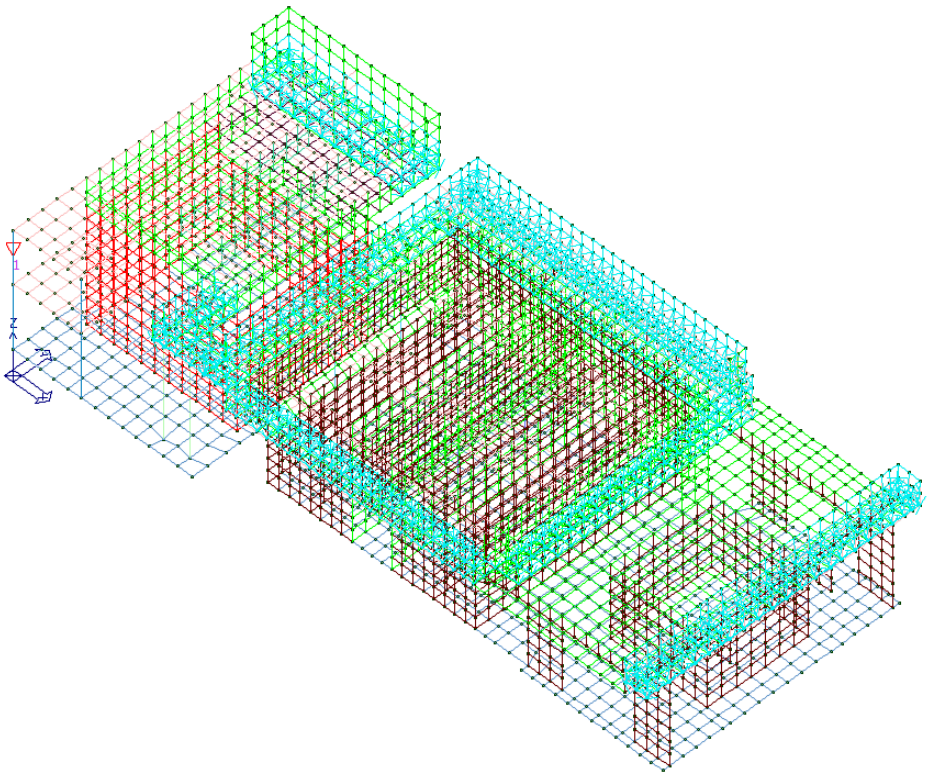
15 – Permanente vasche 2



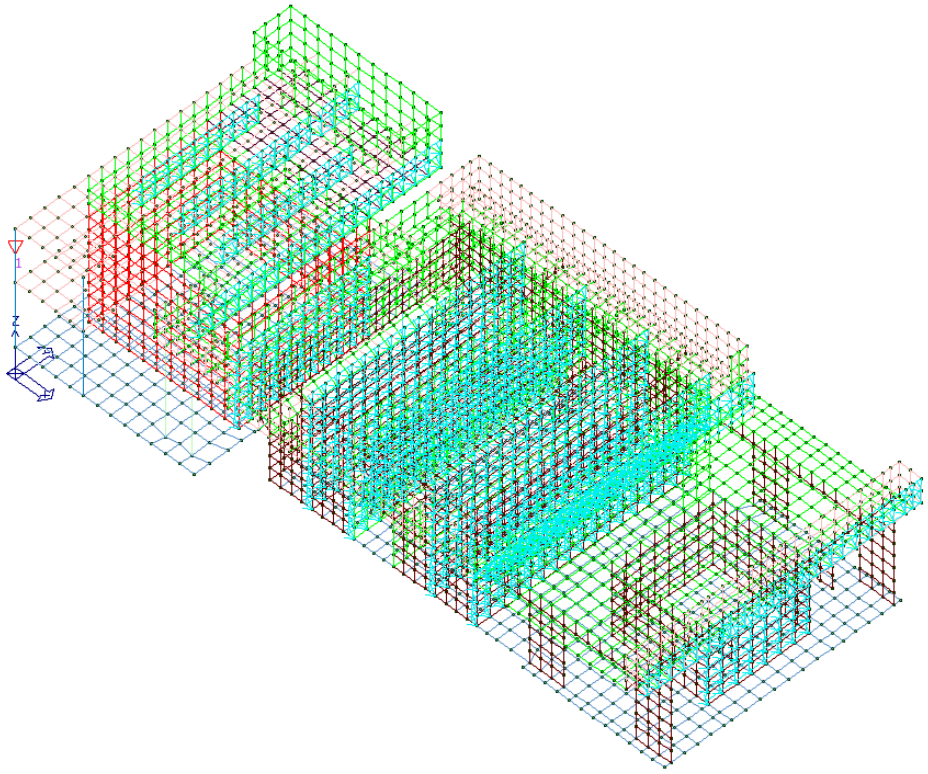
16 – Permanente vasche 3



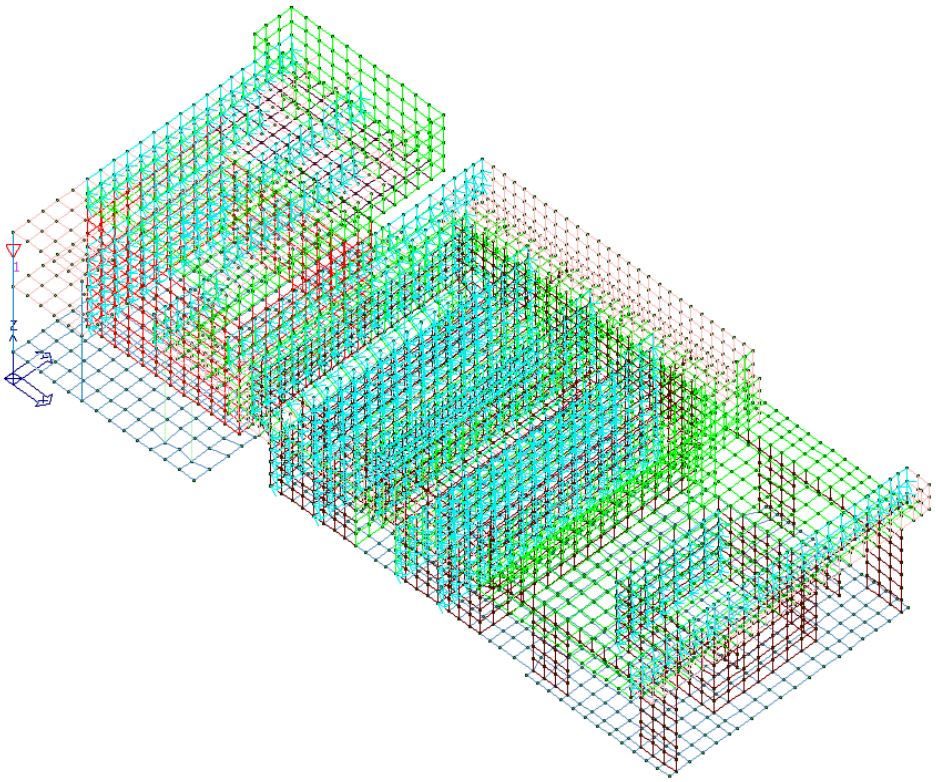
17 – Permanente canalette



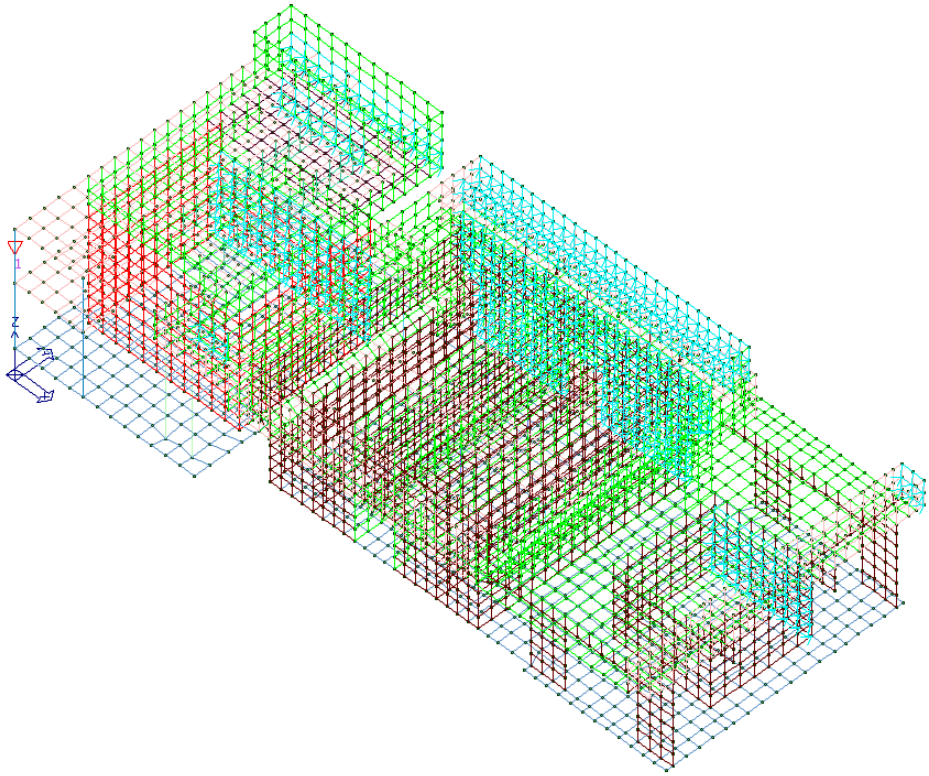
18 – Sisma acqua +x



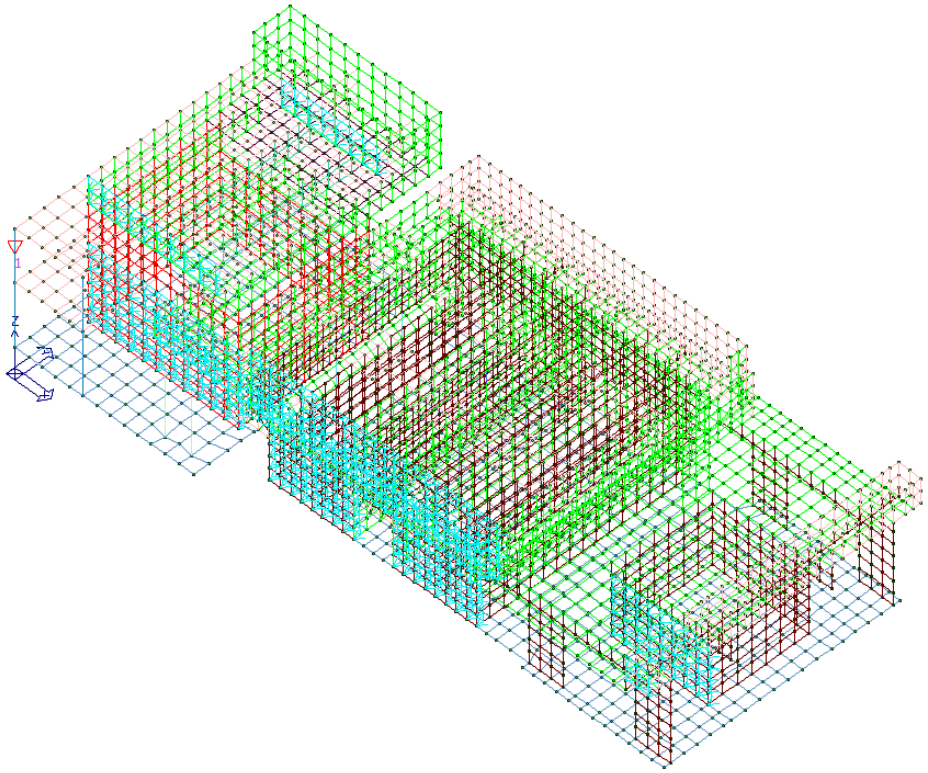
19 – Sisma acqua -x



20 – Sisma acqua +y

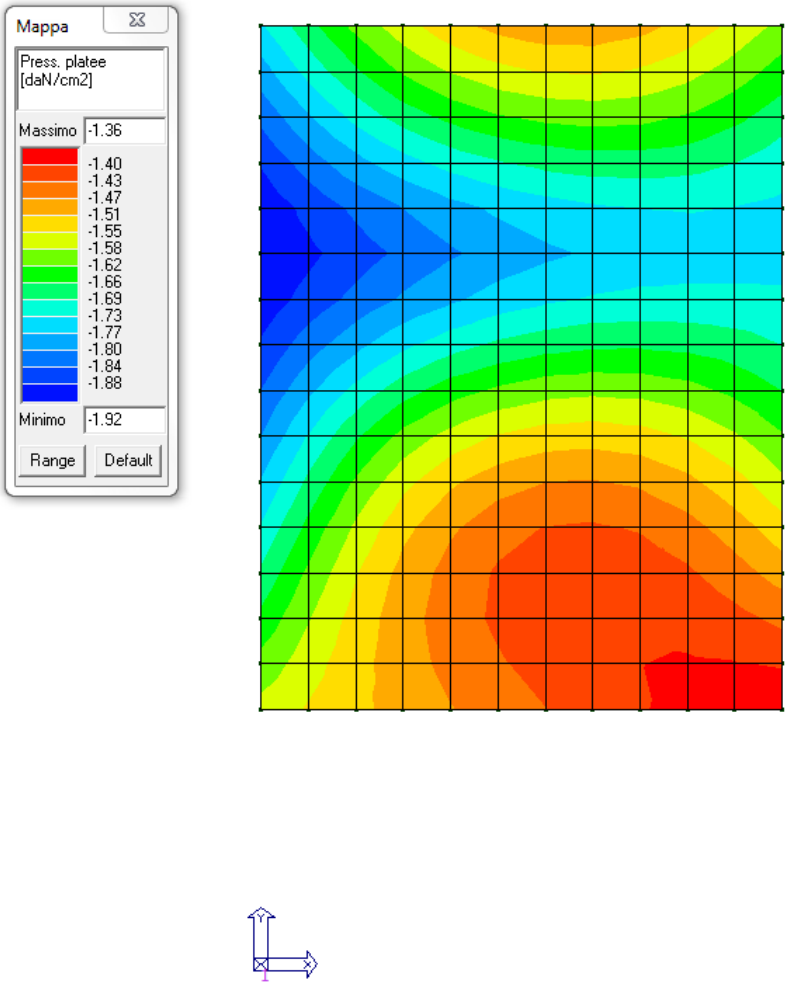


21 – Sisma acqua -y

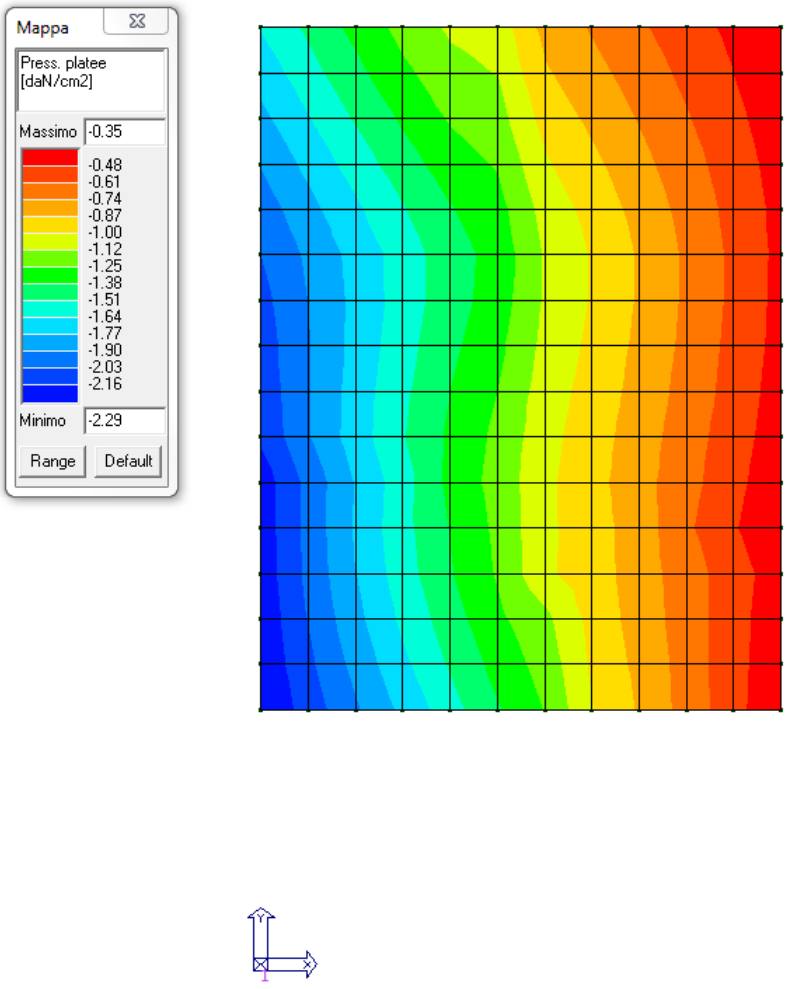


PRESSIONE PLATEA PROFONDA

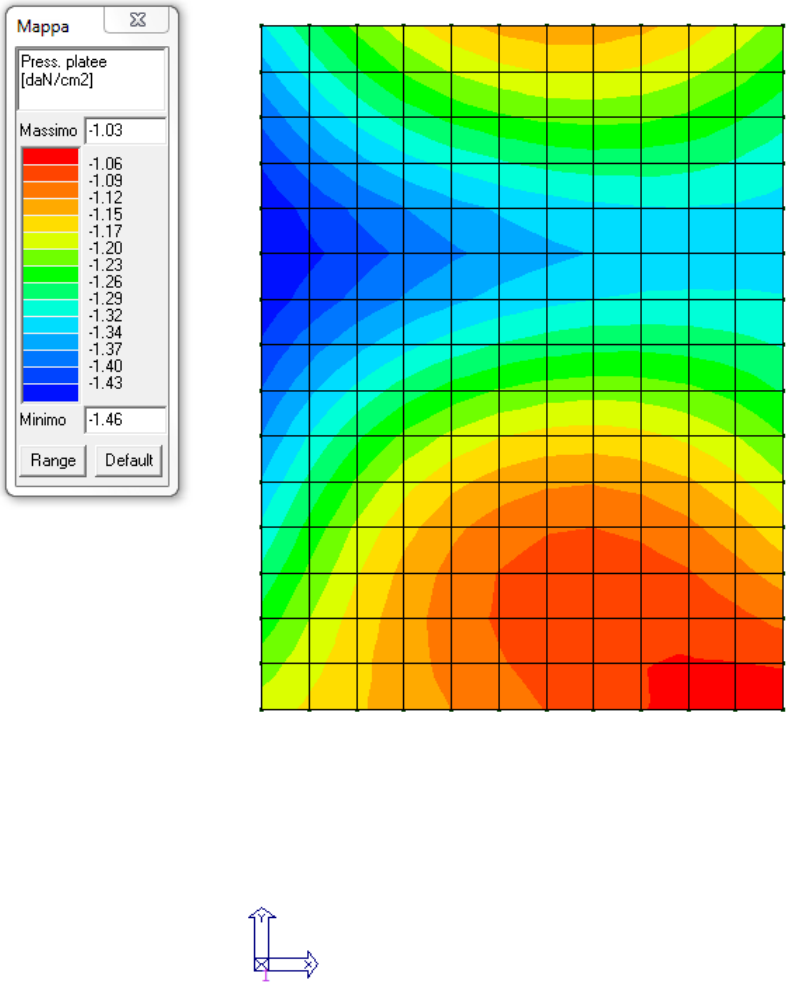
Pressione massima combinazioni SLU STR A1 (CMB 18)



Pressione massima combinazioni SLV sismiche (CMB 34)

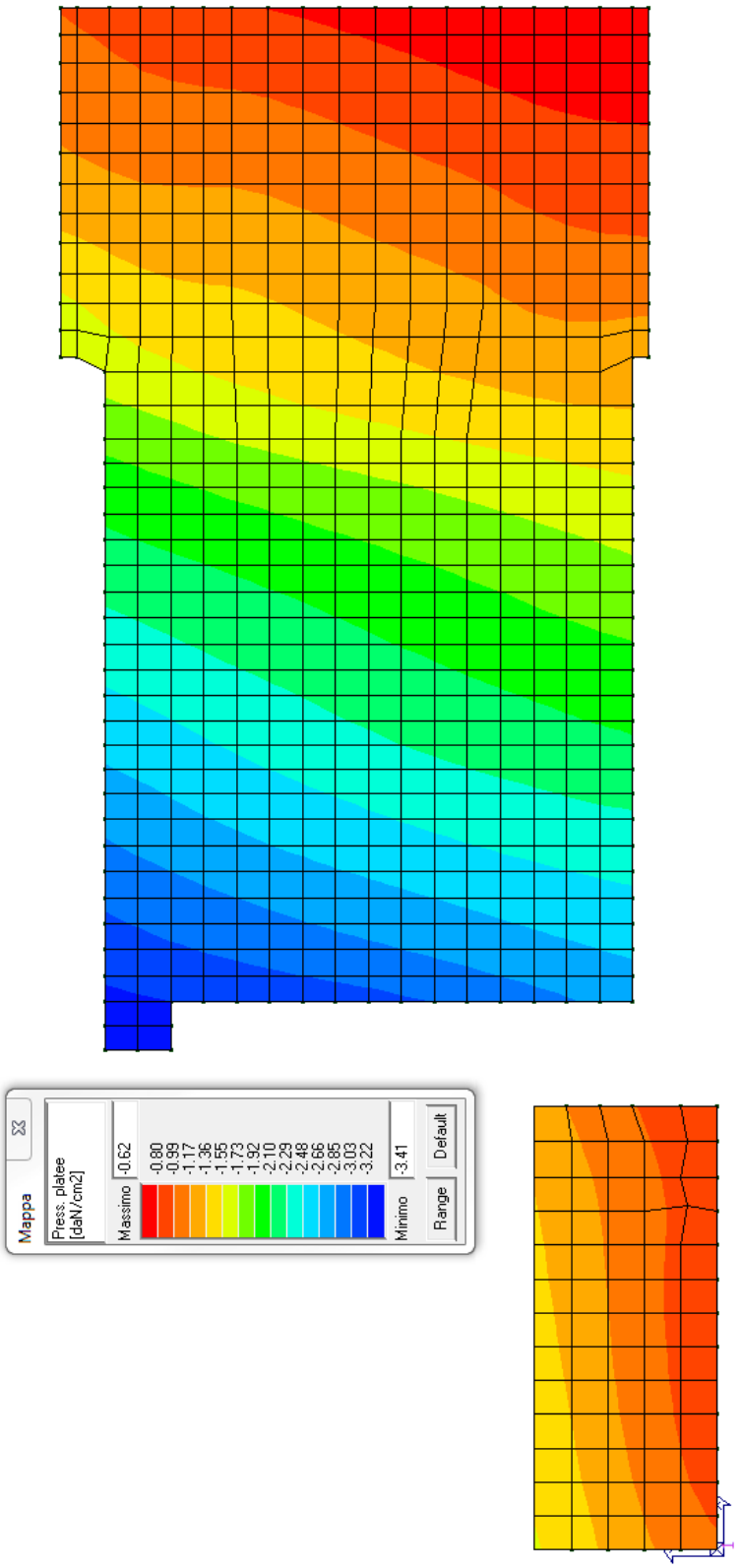


Pressione massima combinazioni SLE (rara) (CMB 96)

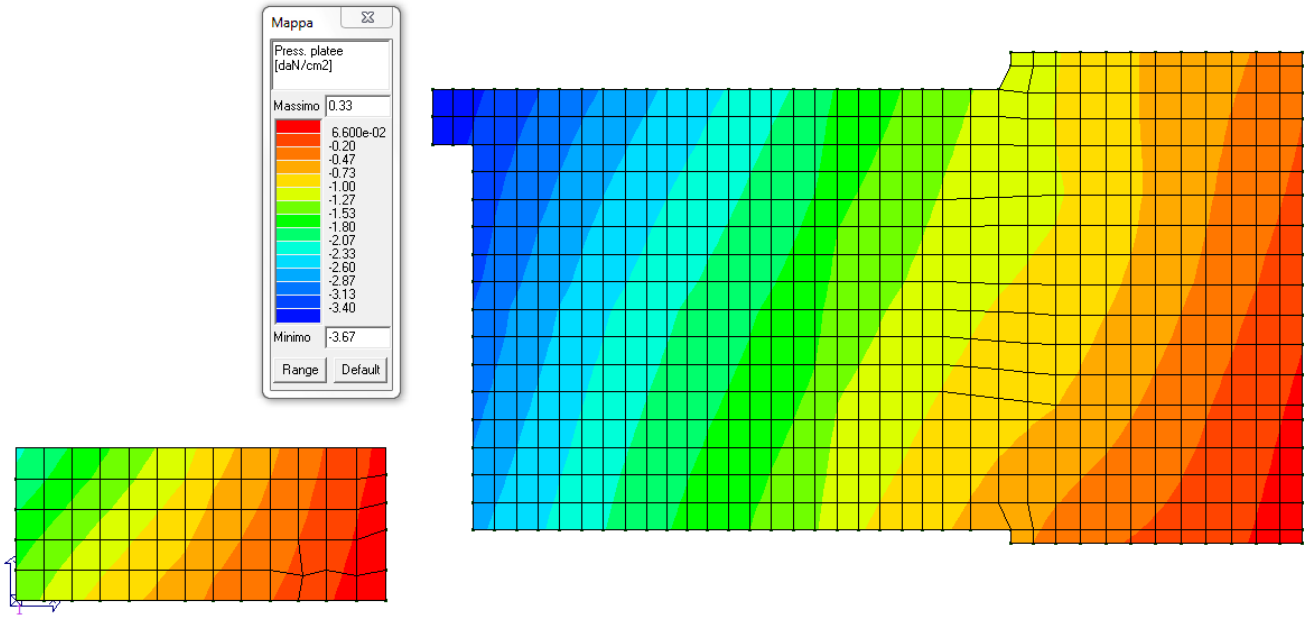


PRESSIONE PLATEA SUPERFICIALE

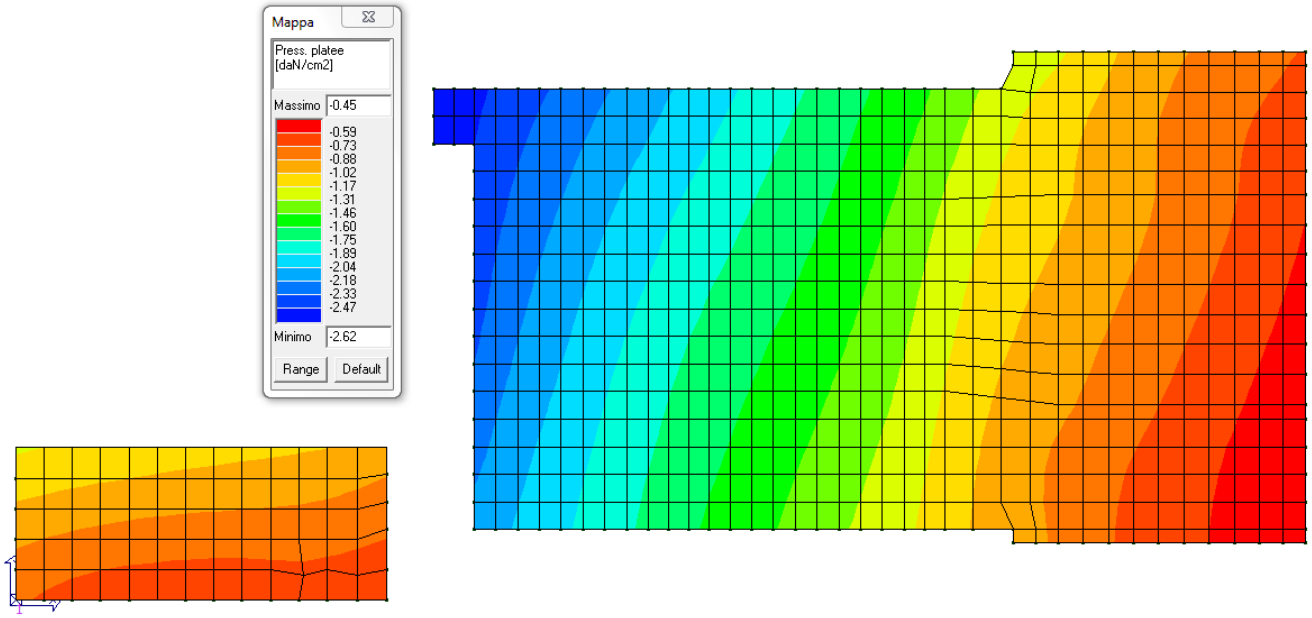
Pressione massima combinazioni SLU STR A1 (CMB 18)



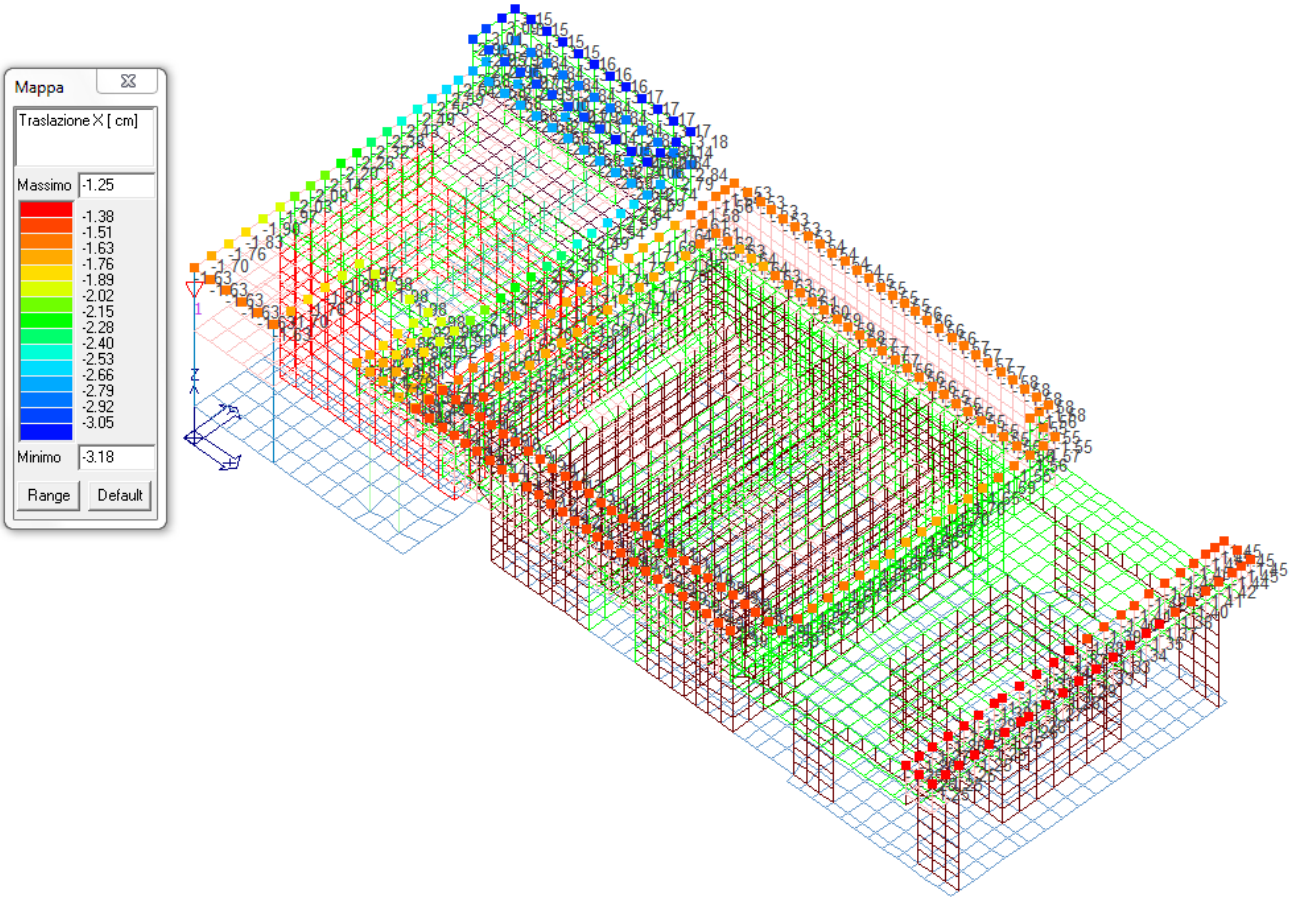
Pressione massima combinazioni SLV sismiche (CMB 33)



Pressione massima combinazioni SLE (rara) (CMB 96)

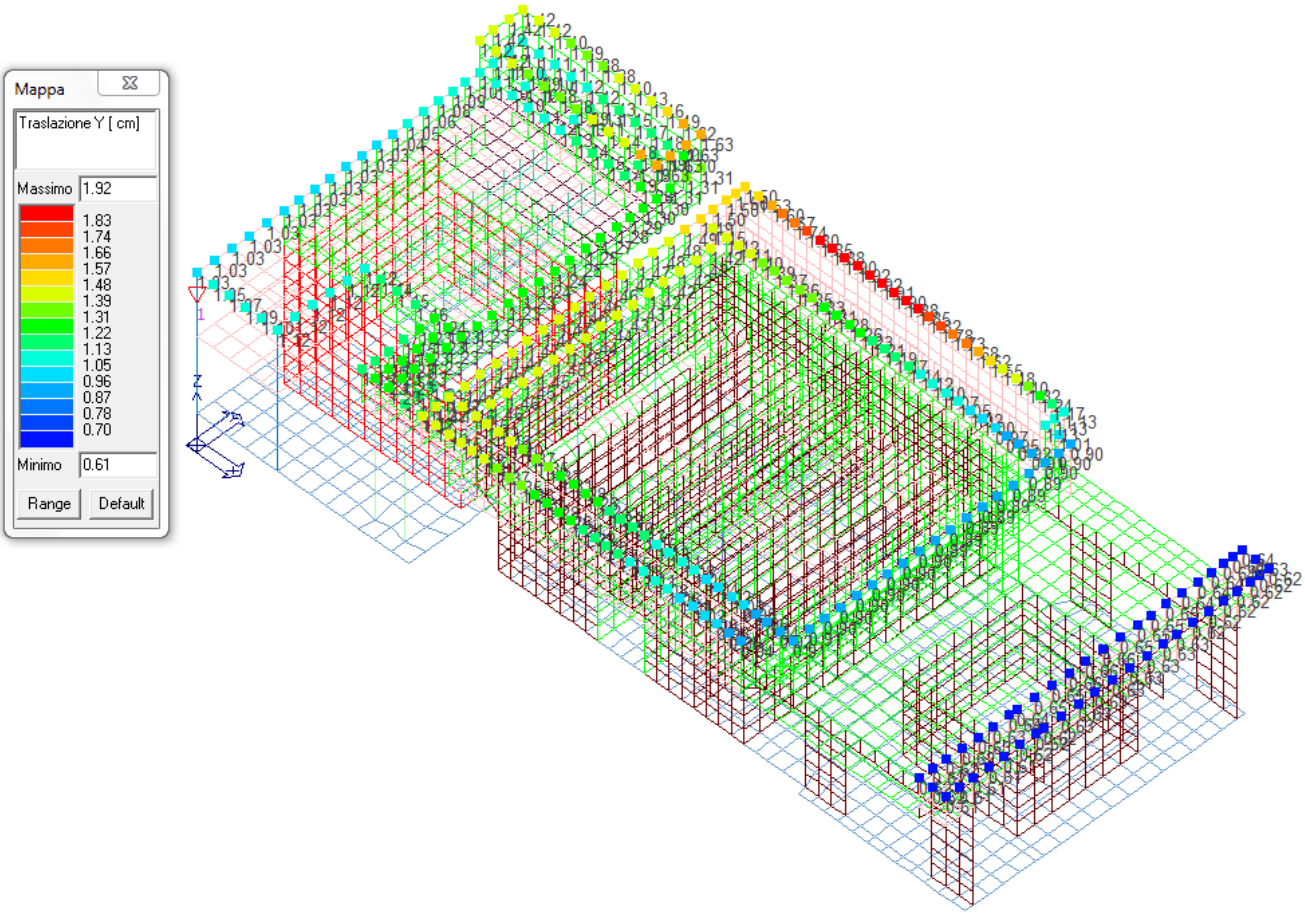


SPOSTAMENTI SISMICI SLV (CMB 34)



Massimo spostamento in direzione x è 3,18 x 1,0 = 3,18 cm

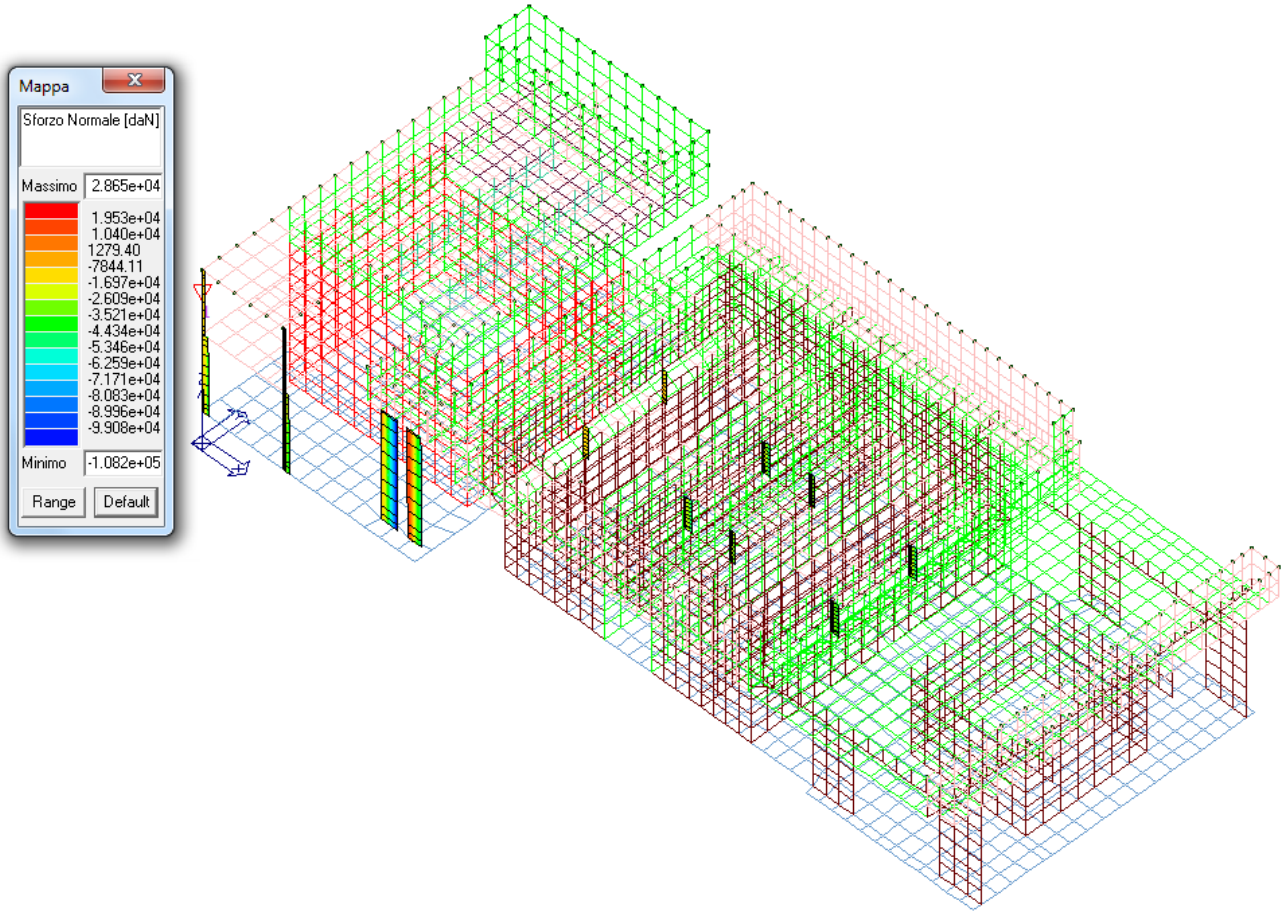
SPOSTAMENTI SISMICI SLV (CMB 45)



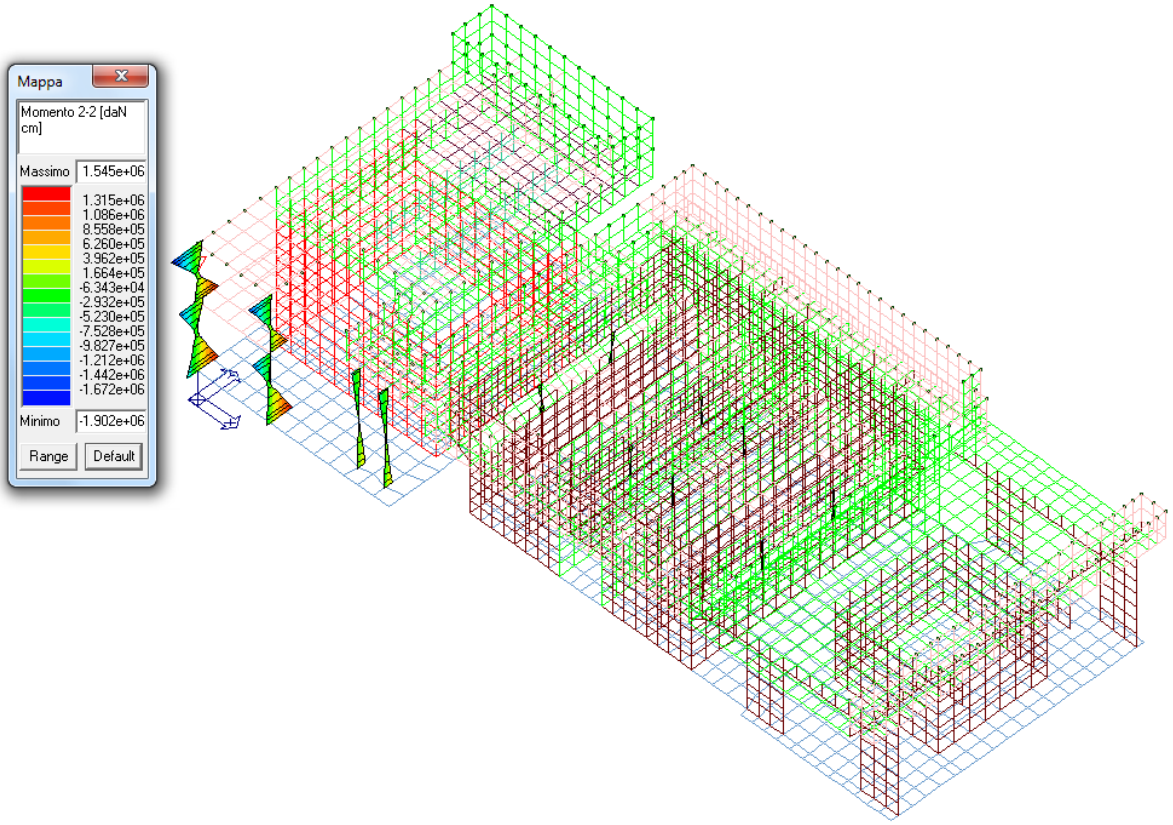
Massimo spostamento in direzione y è 1,92 x 1,0 = 1,92 cm

INVILUPPO SOLLECITAZIONI NEI PILASTRI

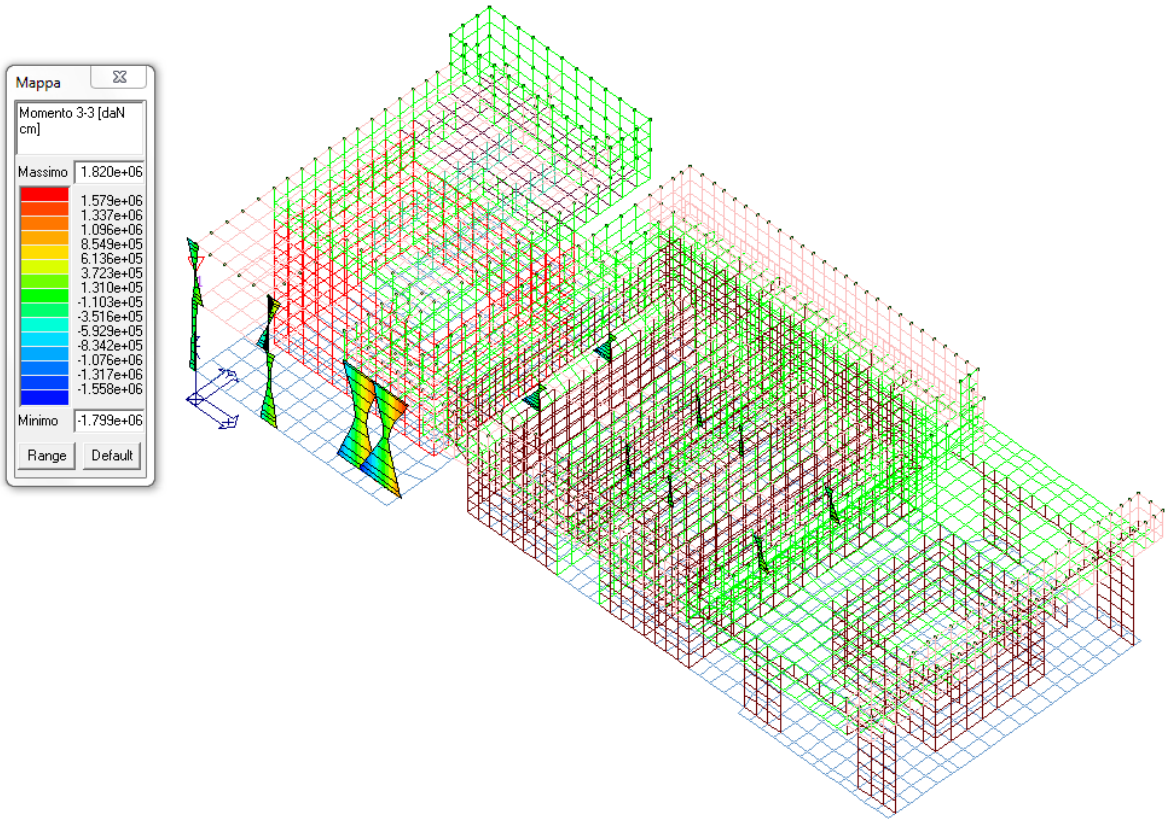
Sforzo normale



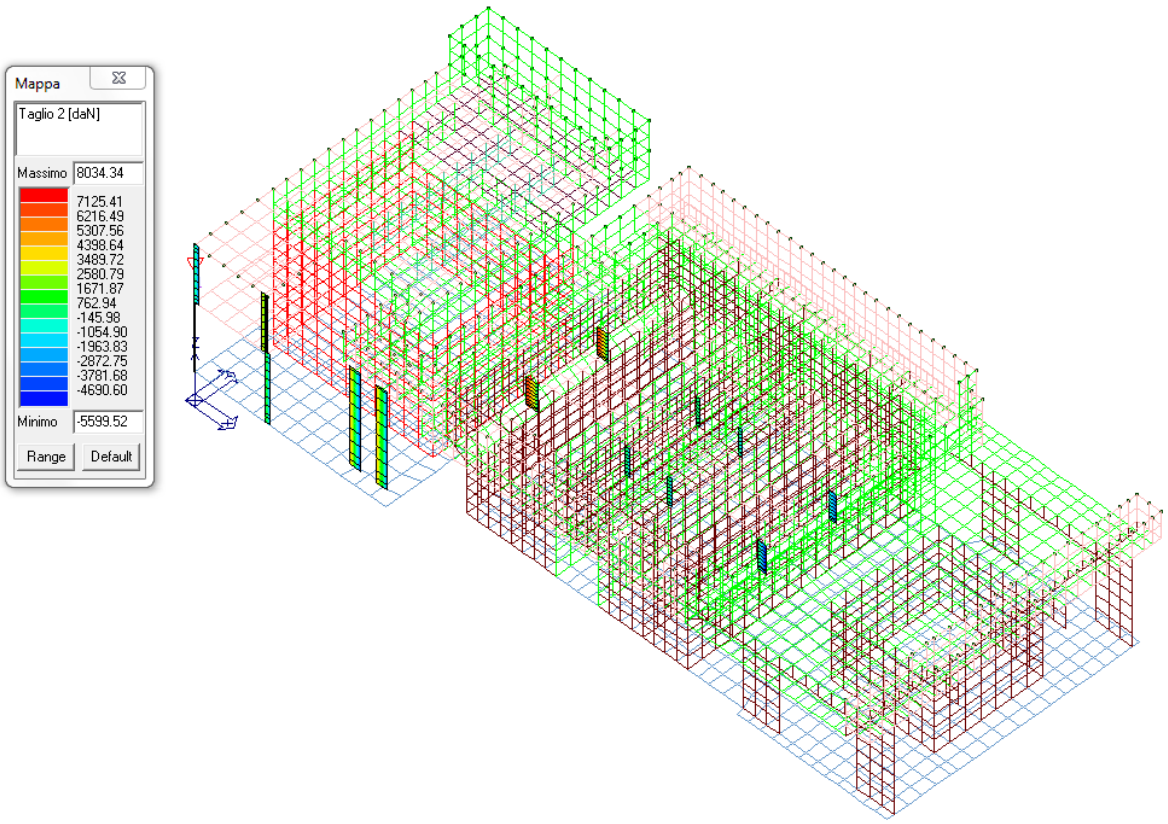
Momenti flettenti M22



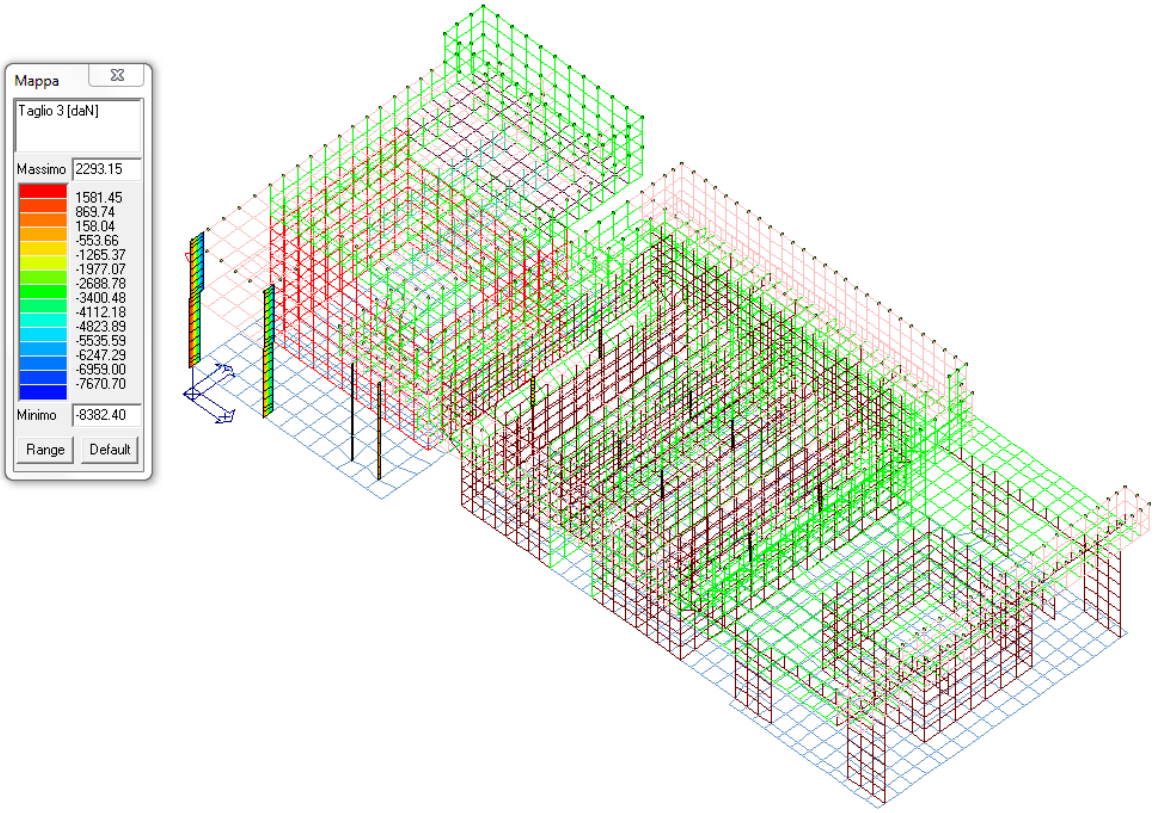
Momenti flettenti M33



Taglio V22

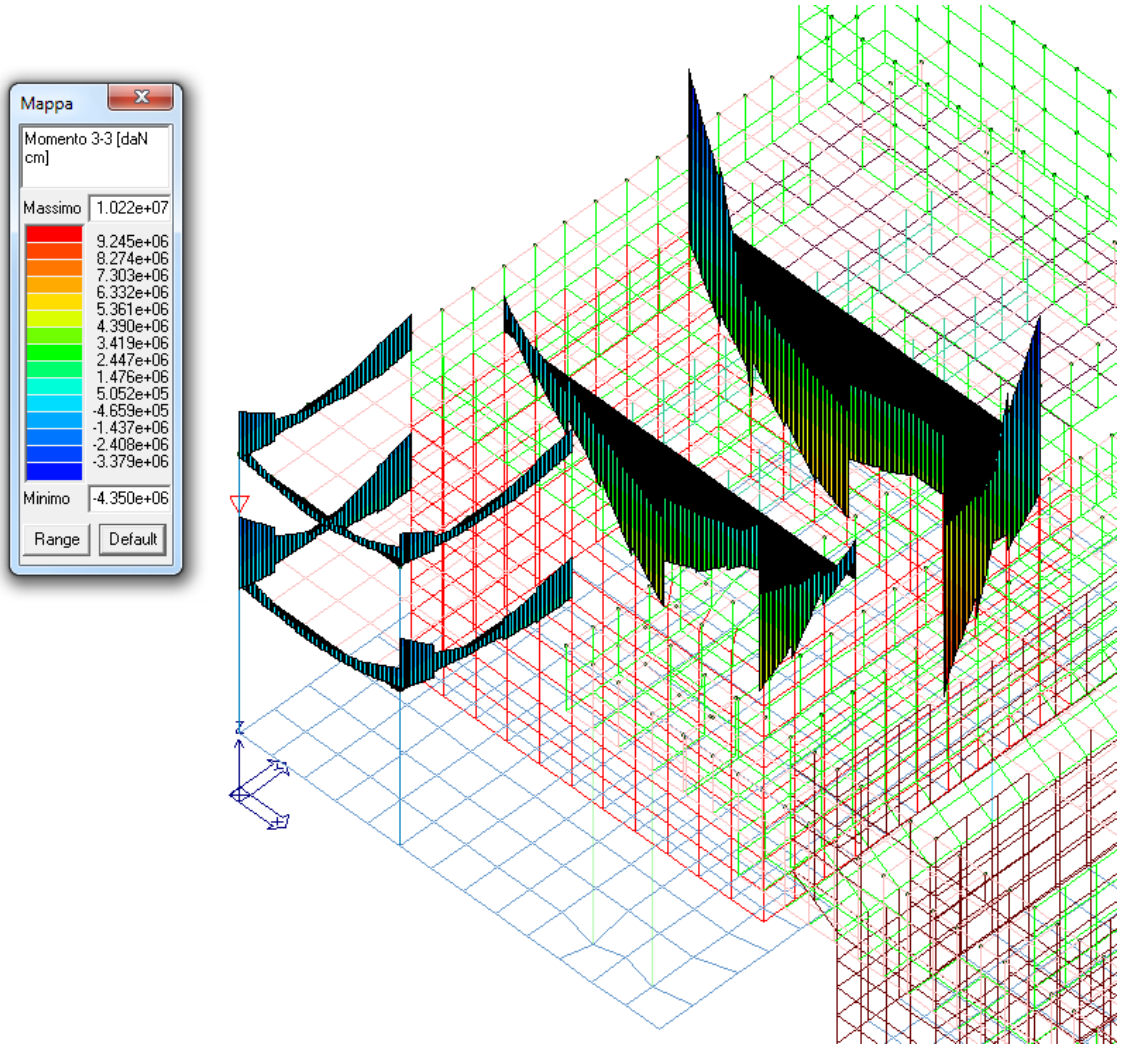


Taglio V33

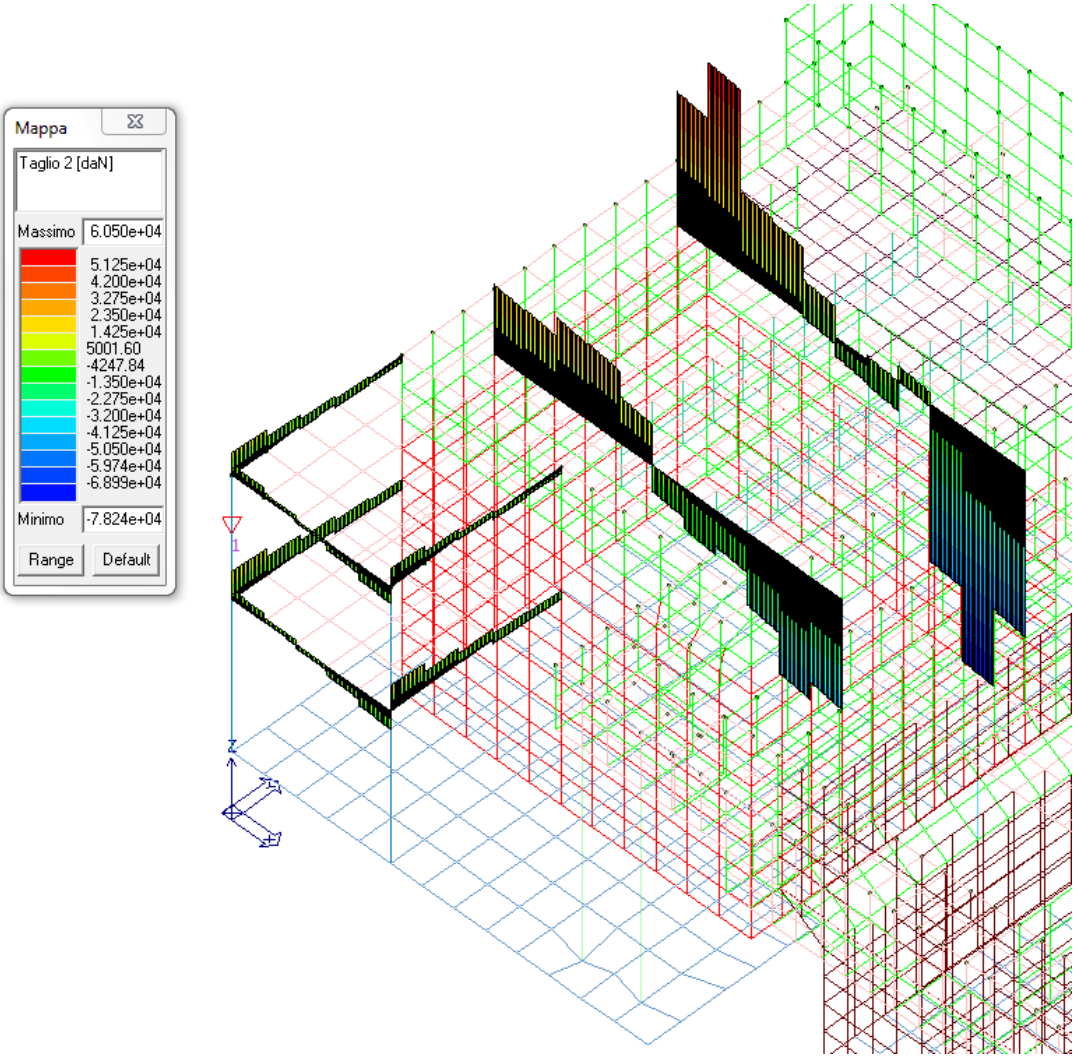


INVILUPPO SOLLECITAZIONI NELLE TRAVI

Momenti flettenti M33

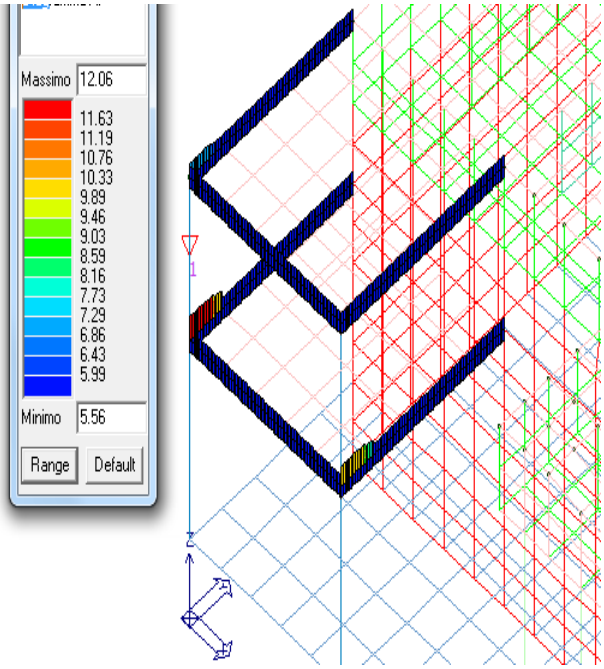


Taglio V22

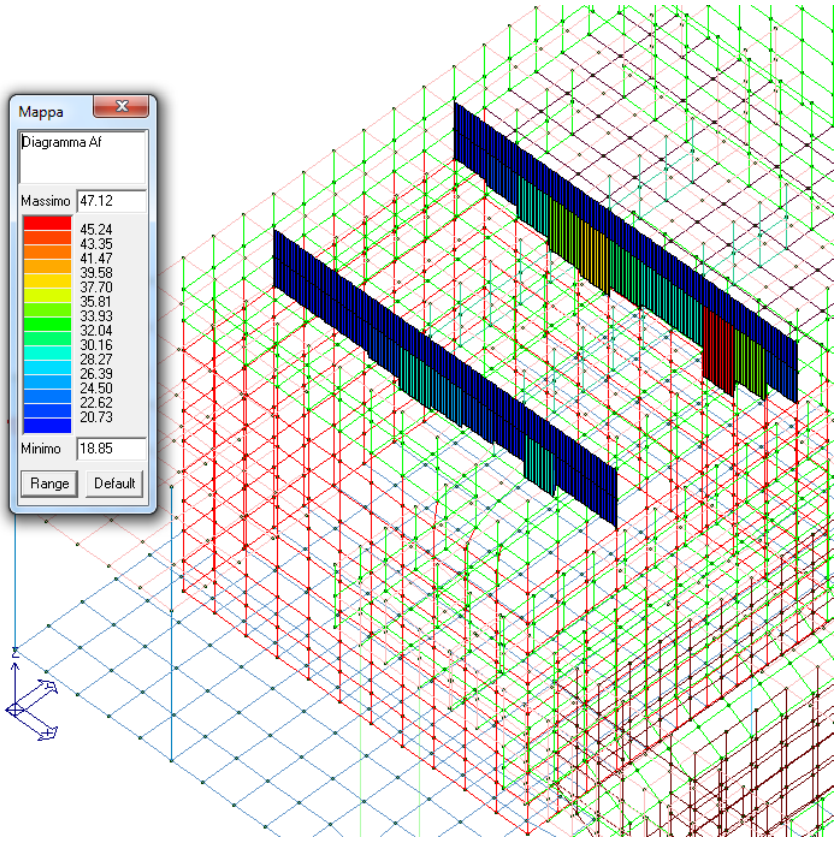

Mappa
Taglio 2 [daN]
Massimo 6.050e+04
5.125e+04
4.200e+04
3.275e+04
2.350e+04
1.425e+04
5001.60
-4247.84
-1.350e+04
-2.275e+04
-3.200e+04
-4.125e+04
-5.050e+04
-5.974e+04
-6.899e+04
Minimo -7.824e+04
Range
Default
Z

ARMATURE NELLE TRAVI

Armatura travi solette quadri

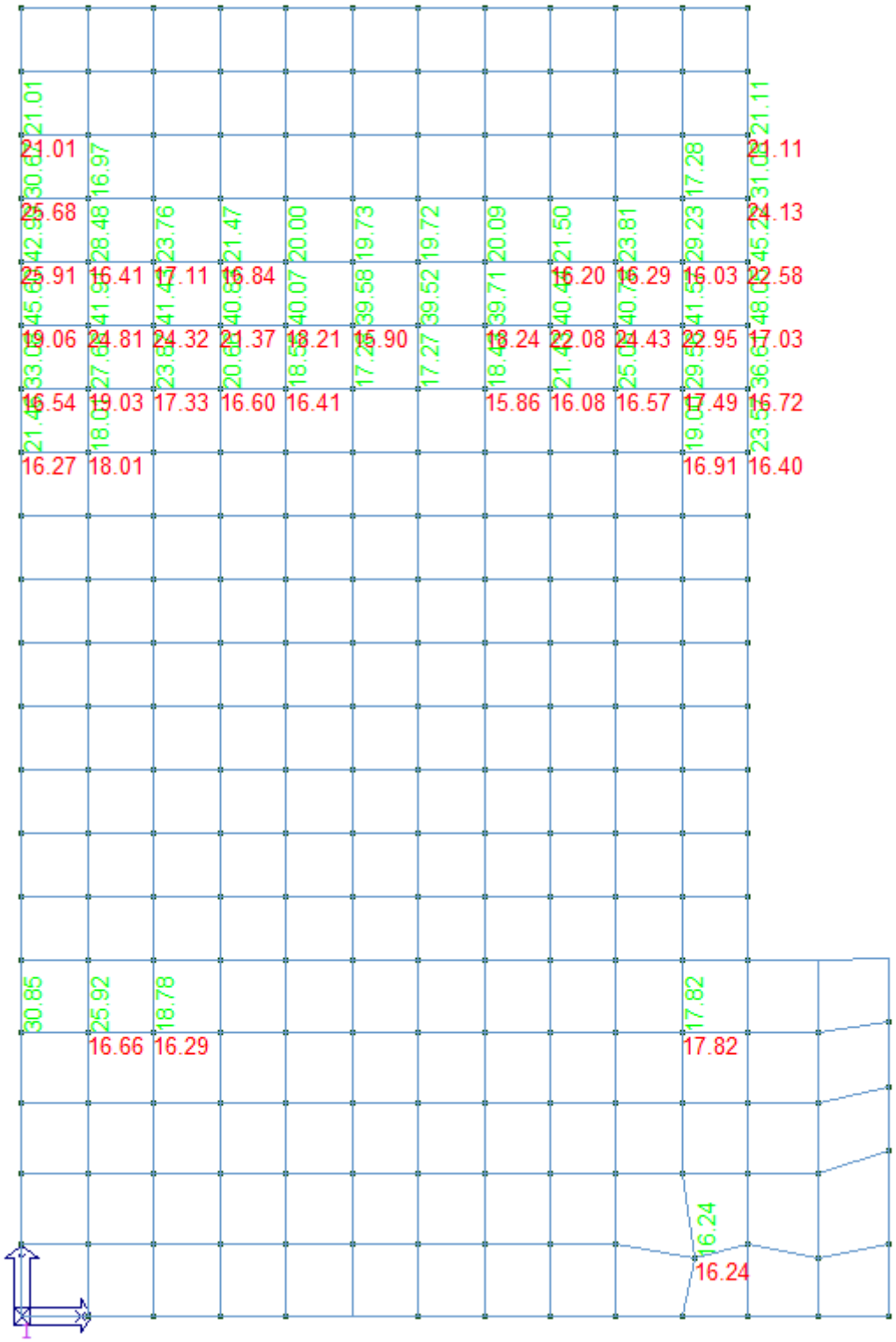


Armatura travi soletta grigliatura

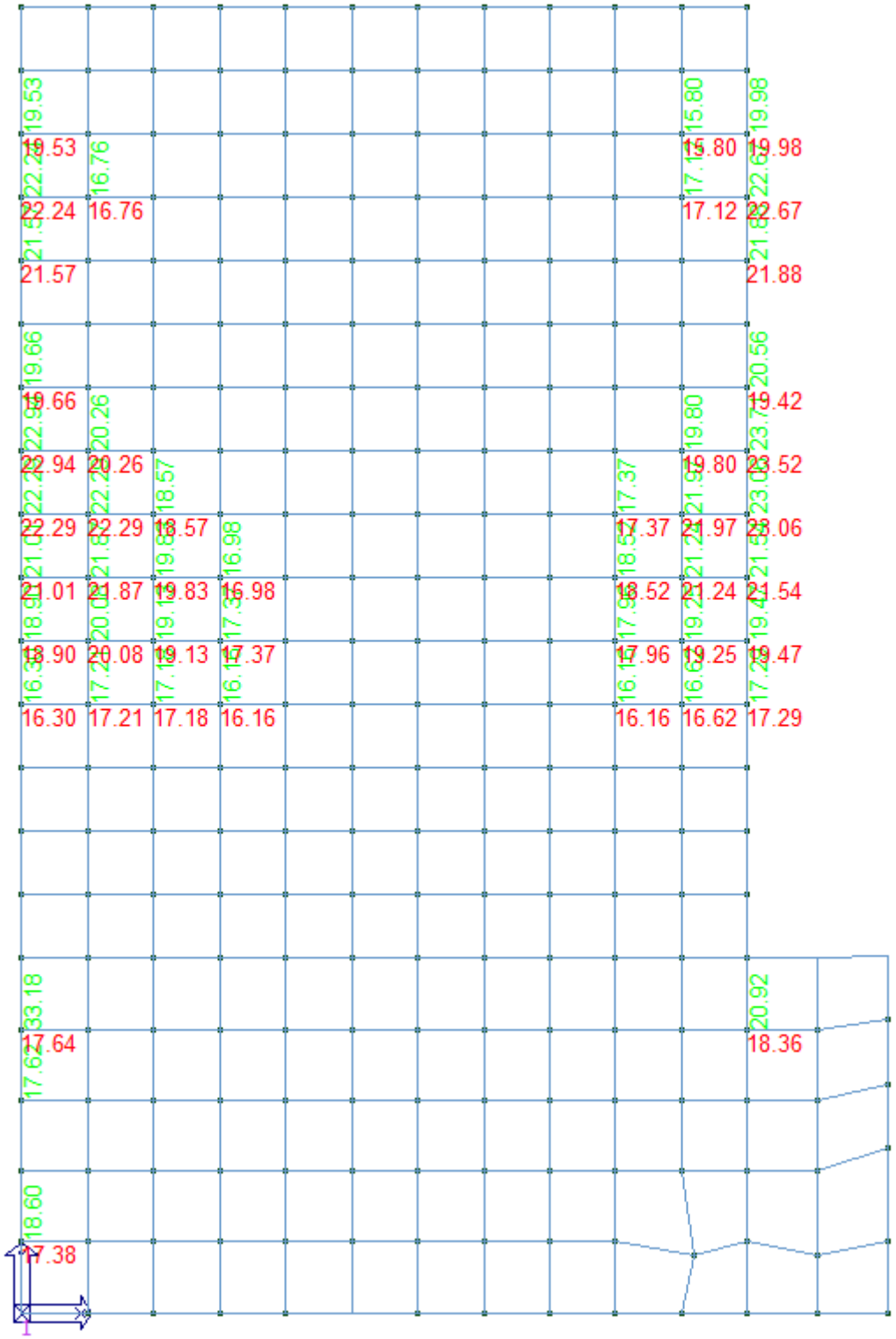


ARMATURE NELLE PLATEE GRIGLIATURA

Nodi con armatura inferiore maggiore di ϕ20/20

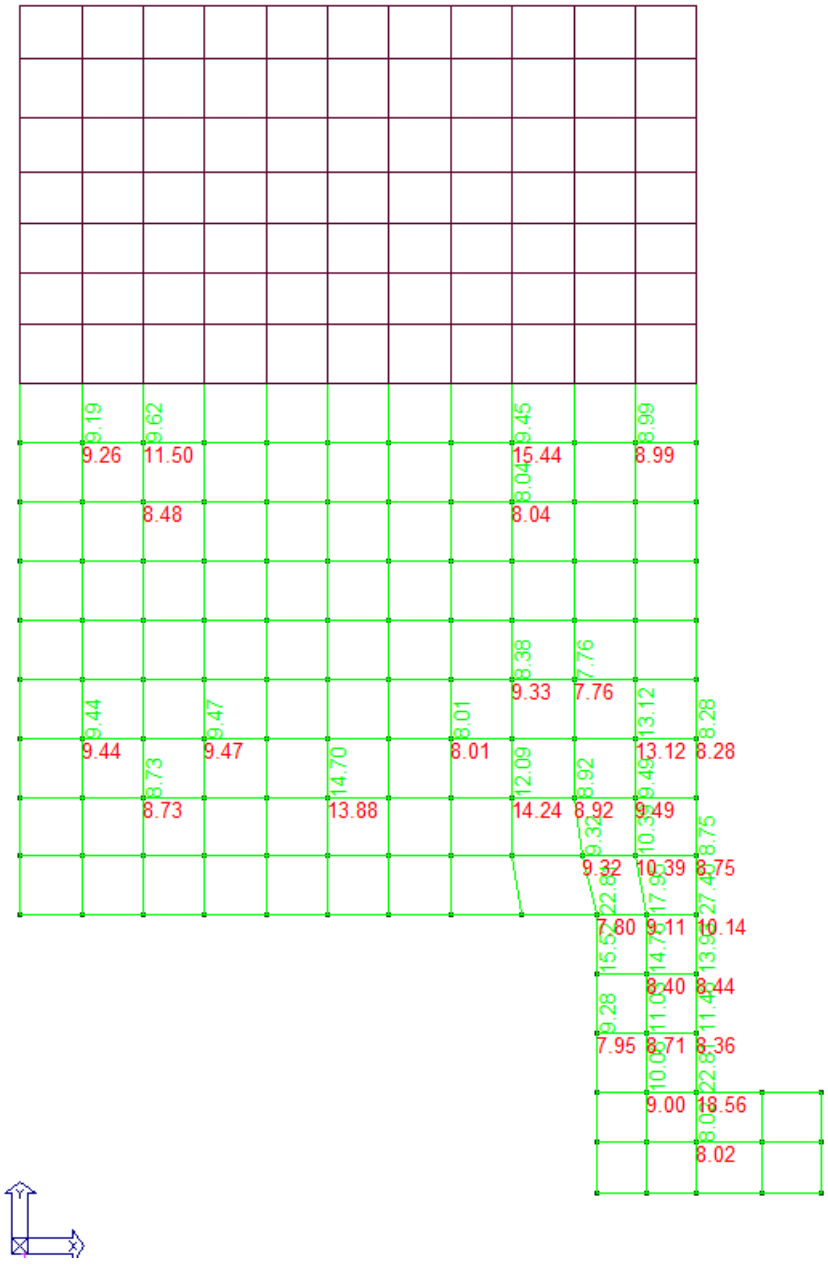


Nodi con armatura superiore maggiore di ϕ20/20

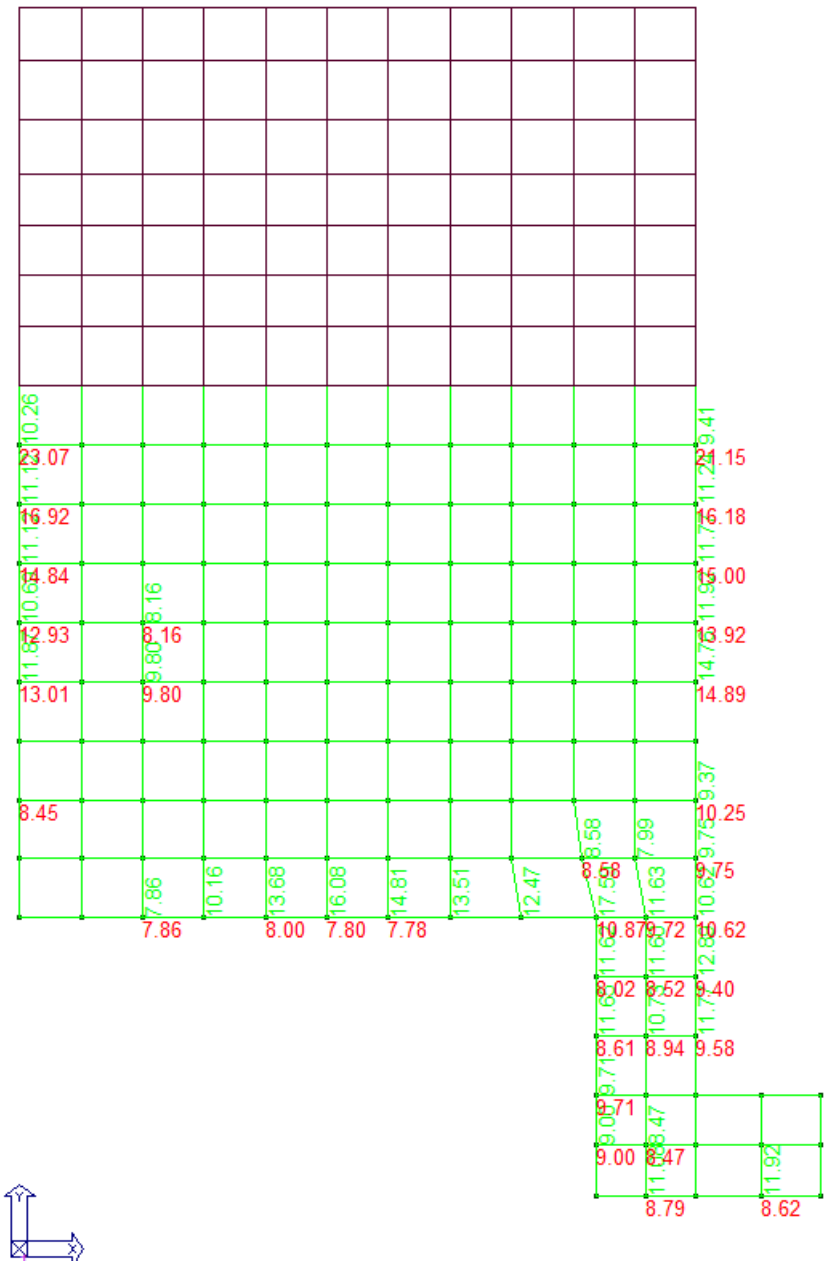


ARMATURE NELLA SOLETTA GRIGLIATURA sp.30 cm

Nodi con armatura inferiore maggiore di ϕ14/20

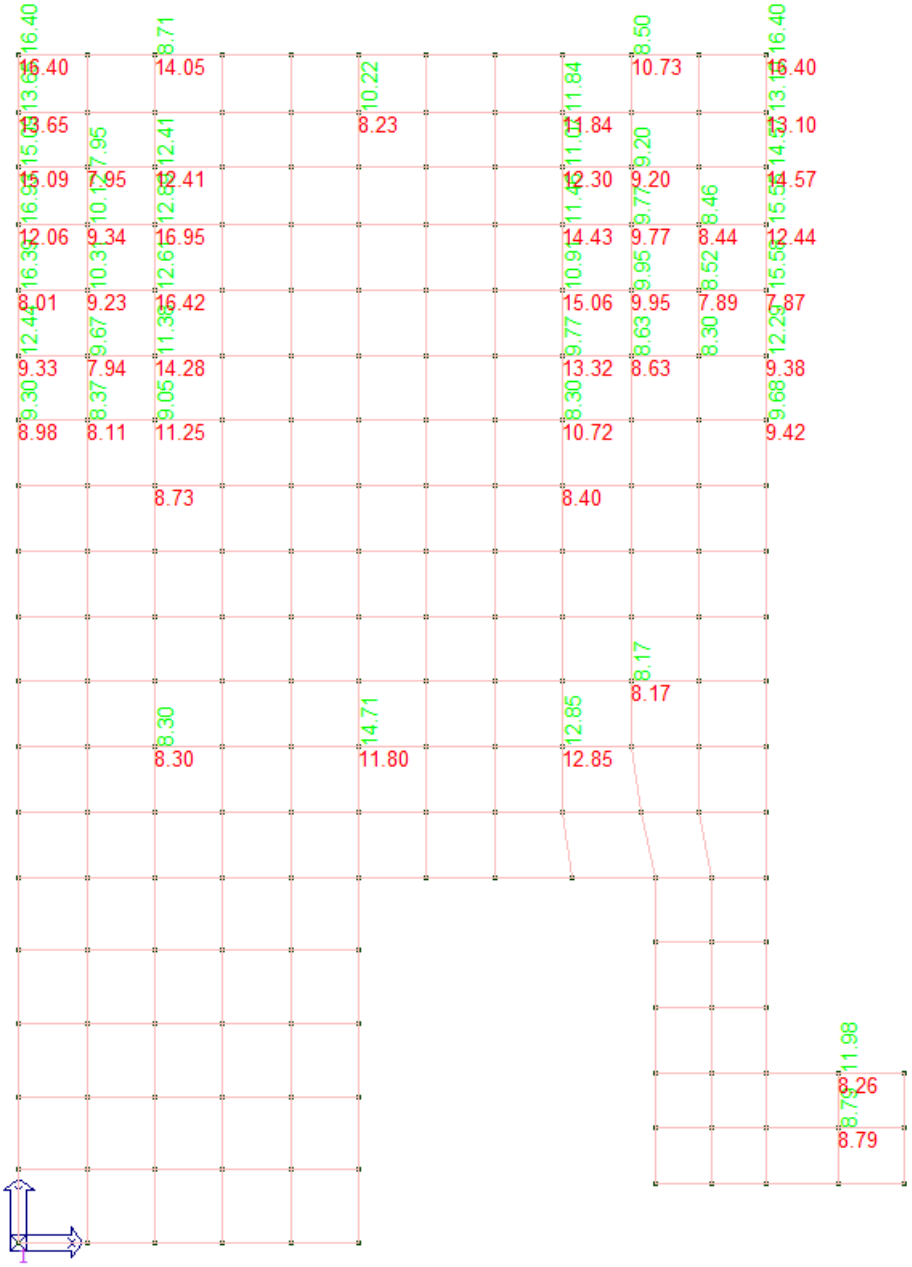


Nodi con armatura superiore maggiore di ϕ14/20

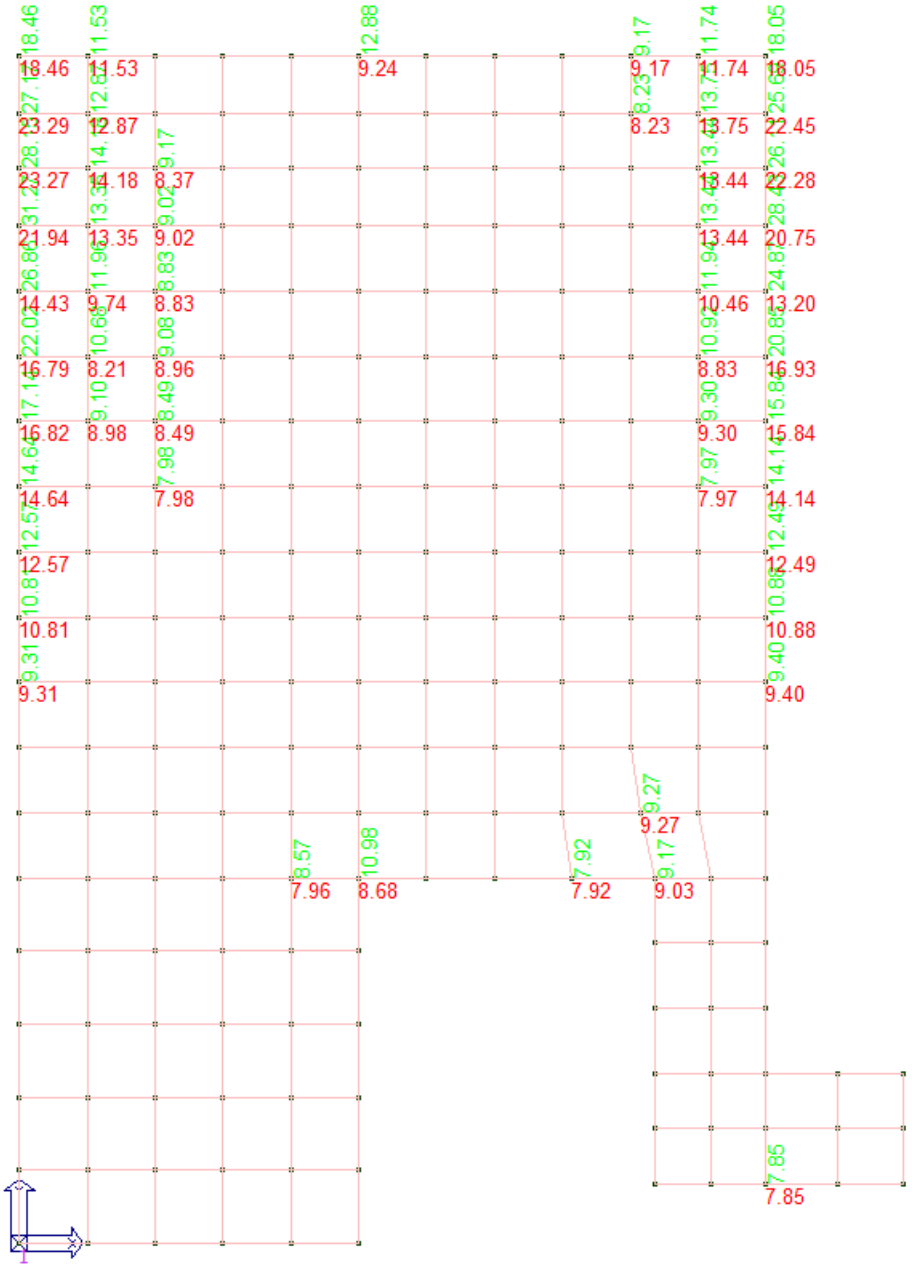


ARMATURE NELLA SOLETTA SOMMITA' sp.25 cm

Nodi con armatura inferiore maggiore di ϕ14/20

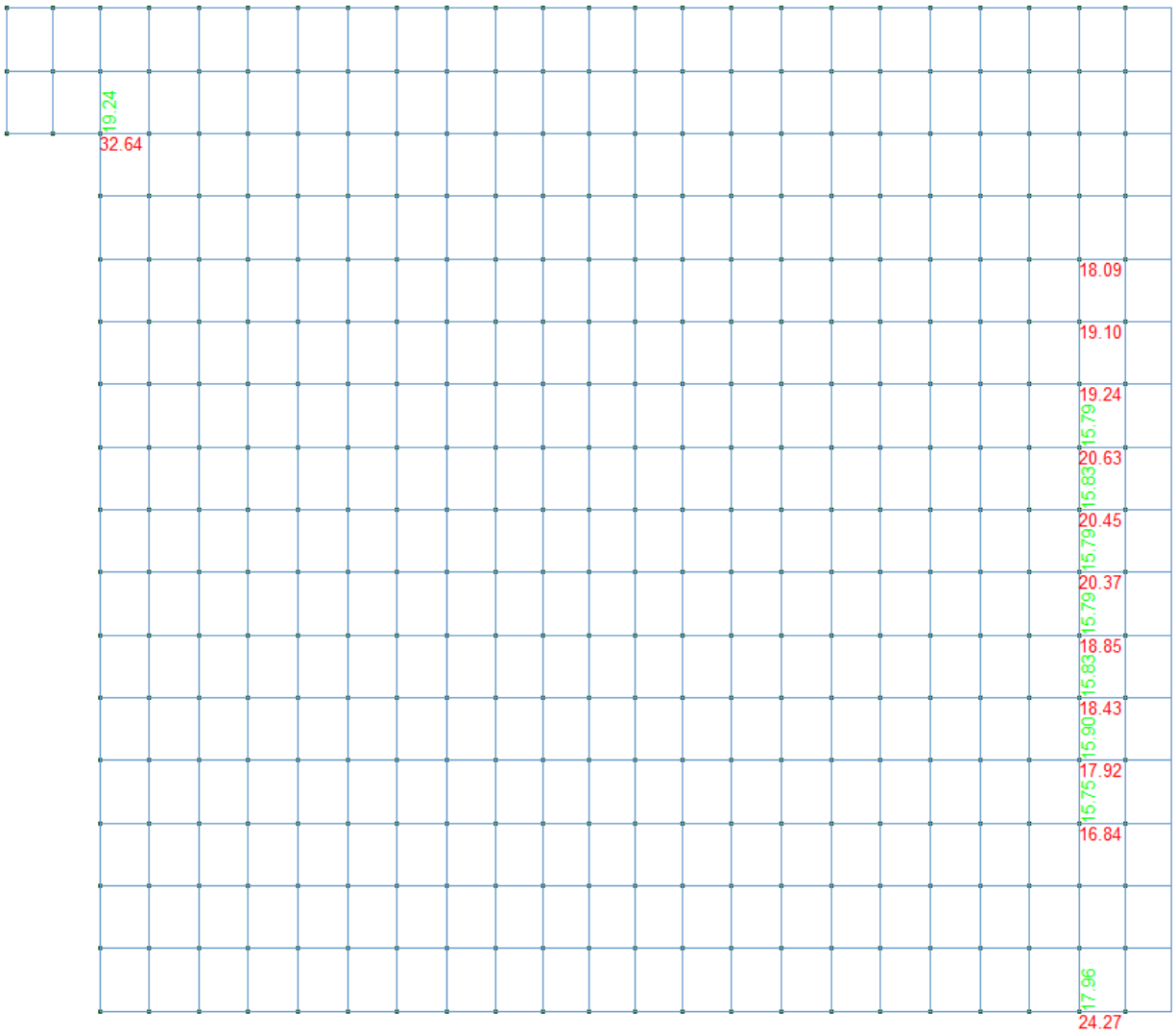


Nodi con armatura superiore maggiore di ϕ14/20

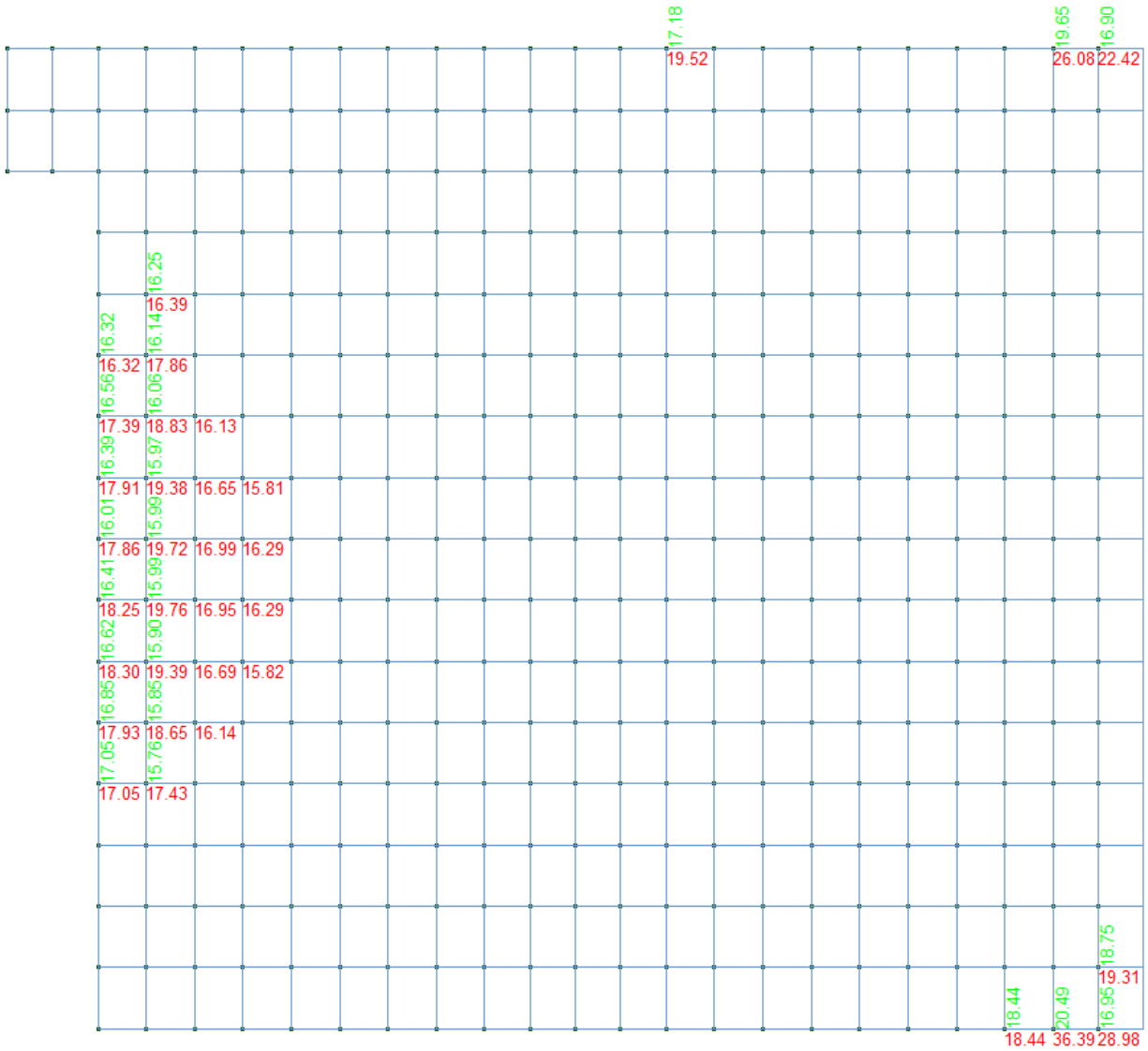


ARMATURE NELLA PLATEA DISSABBIATURA

Nodi con armatura inferiore maggiore di ϕ20/20

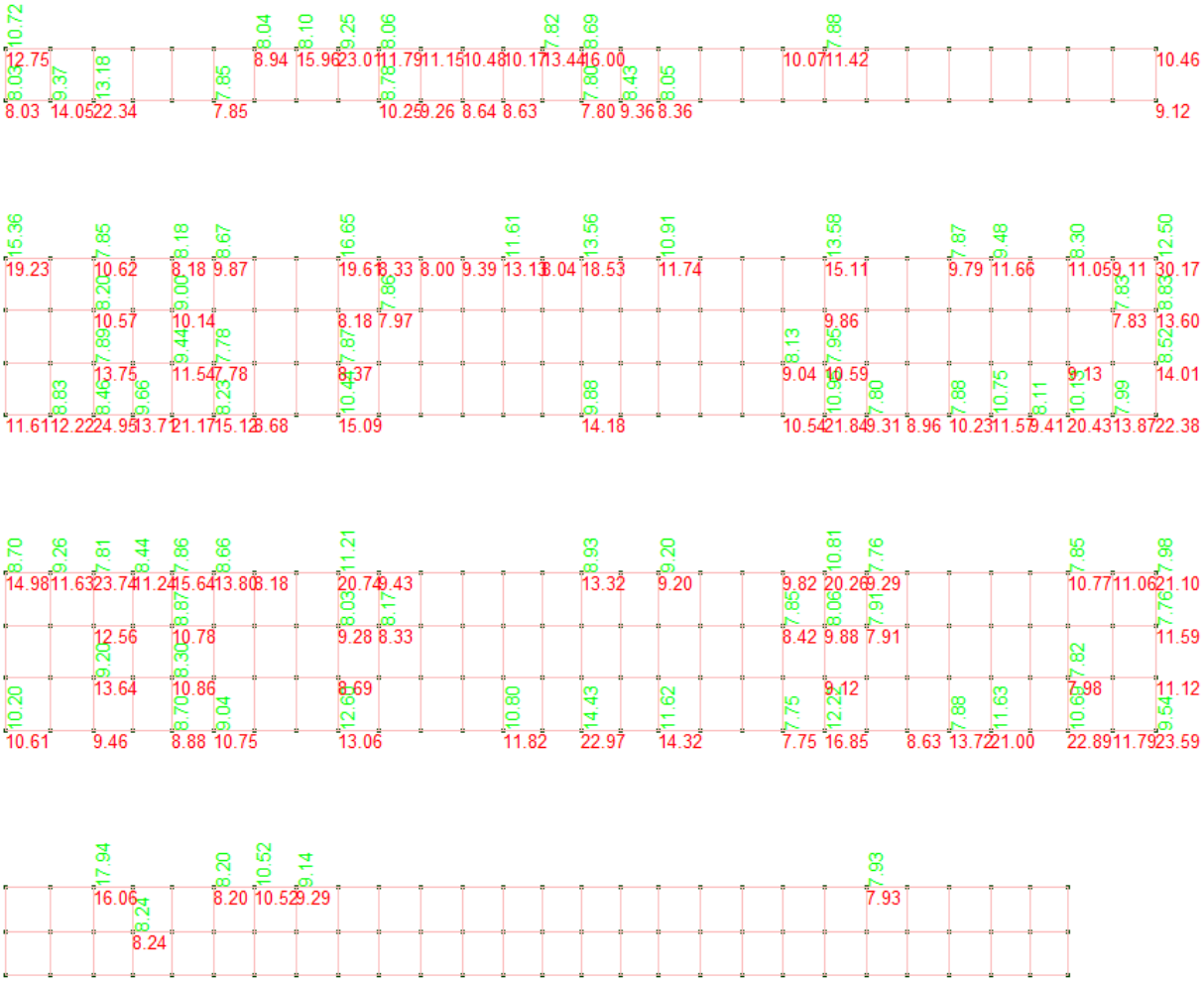


Nodi con armatura superiore maggiore di ϕ20/20

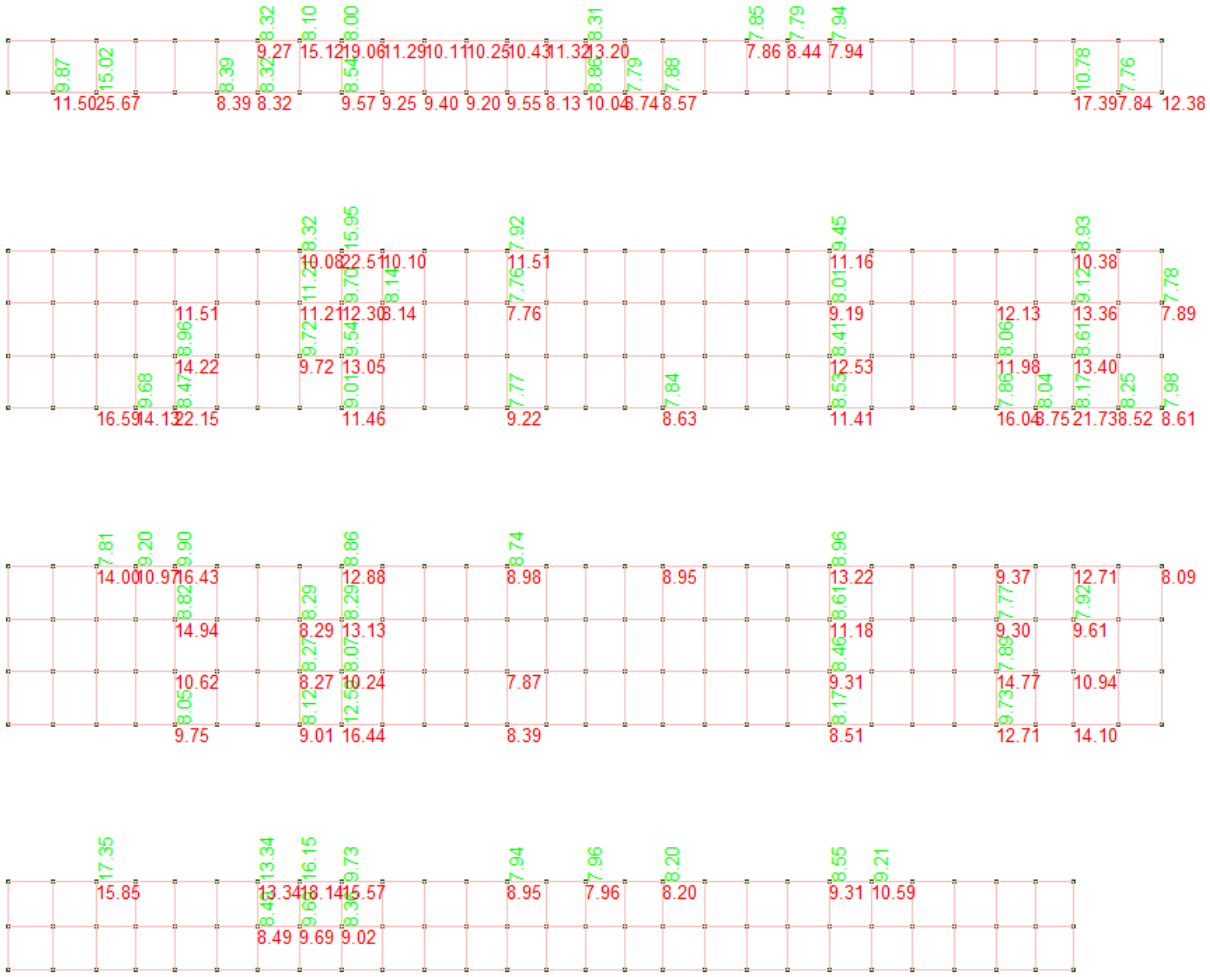


ARMATURE NELLA SOLETTA SOMMITA' sp.25 cm

Nodi con armatura inferiore maggiore di ϕ14/20

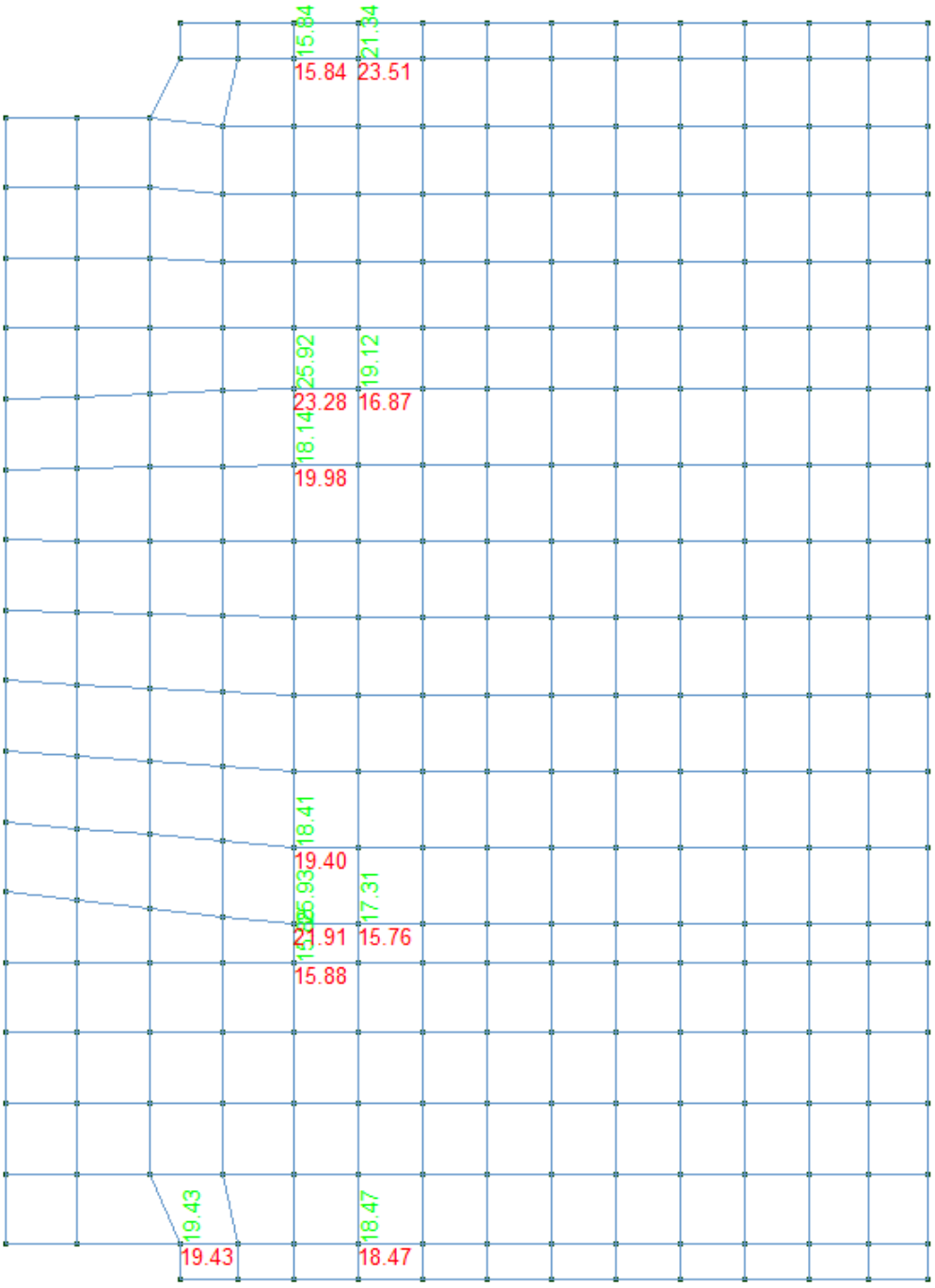


Nodi con armatura superiore maggiore di ϕ14/20

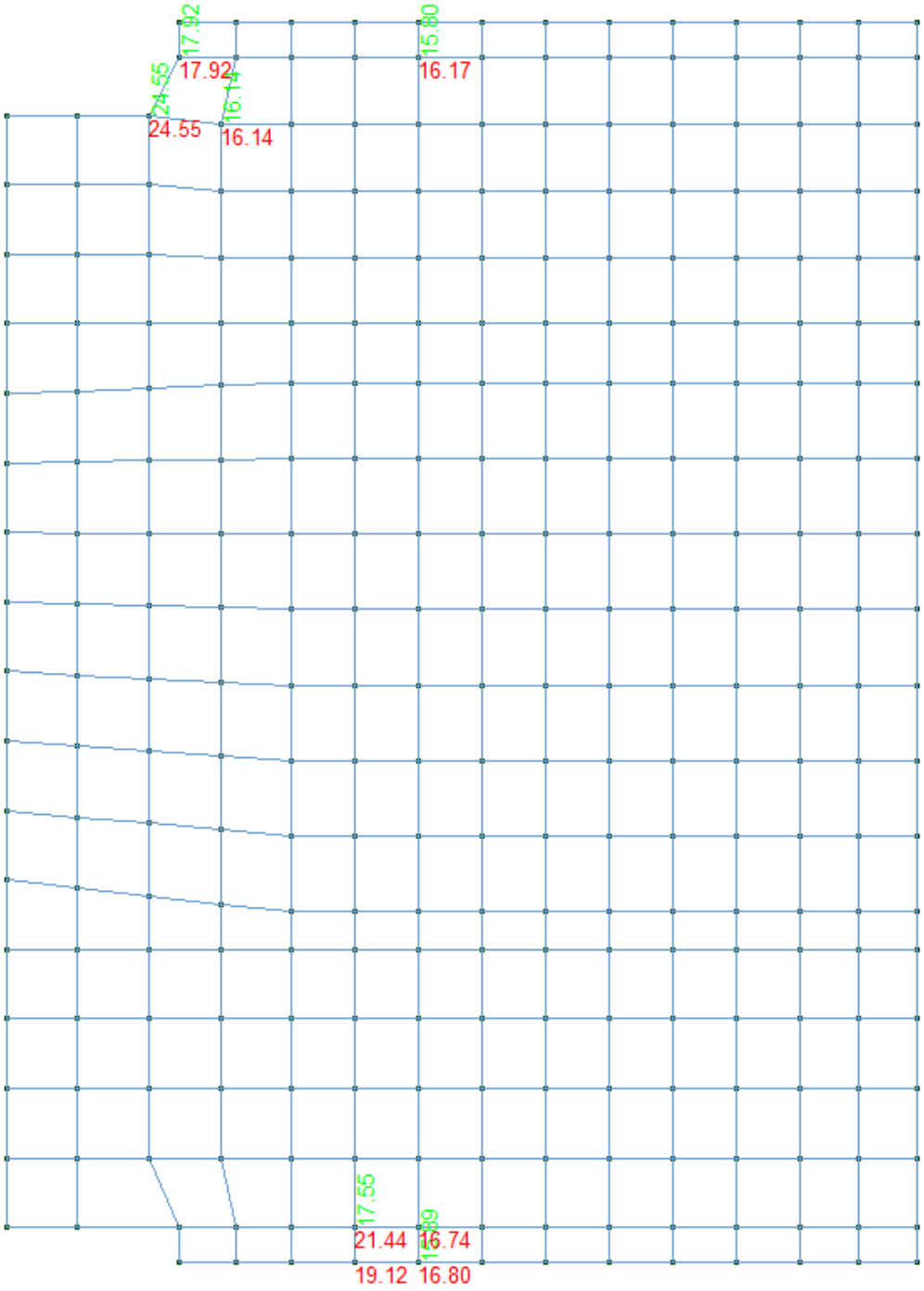


ARMATURE NELLA PLATEA FANGHI

Nodi con armatura inferiore maggiore di ϕ20/20

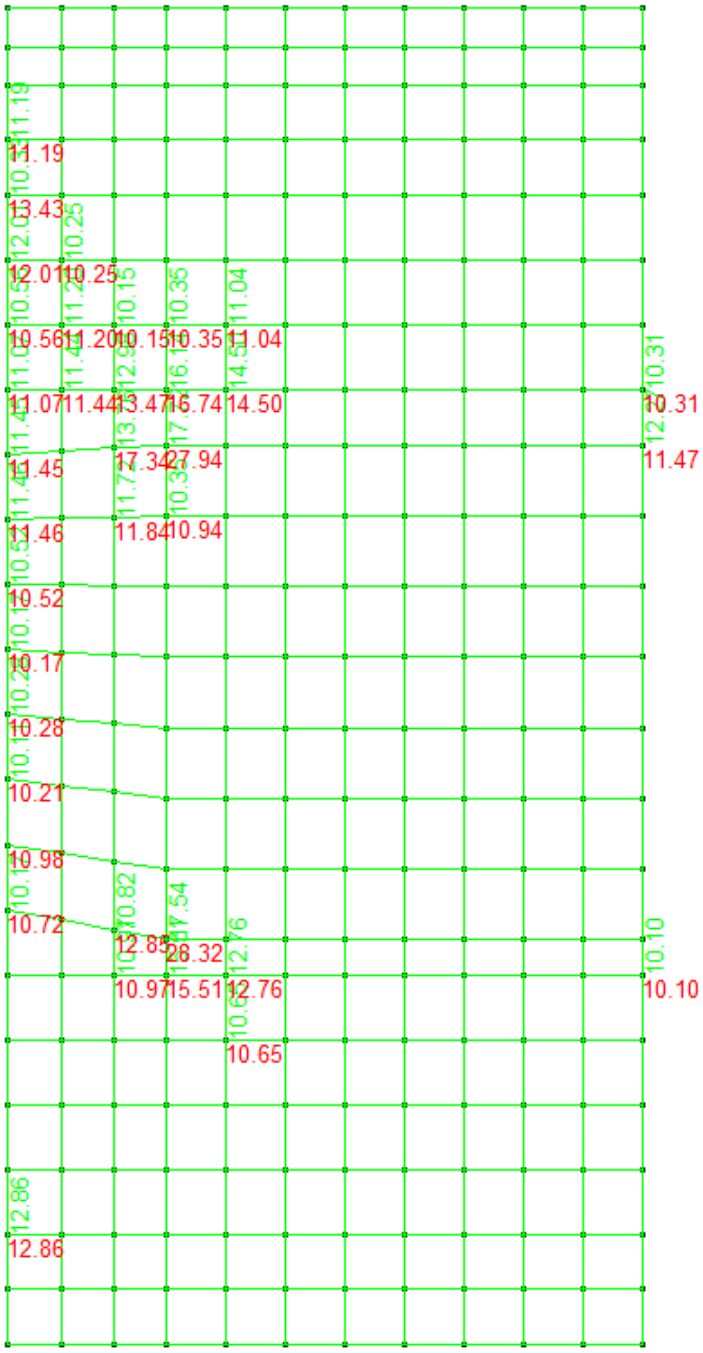


Nodi con armatura superiore maggiore di ϕ20/20

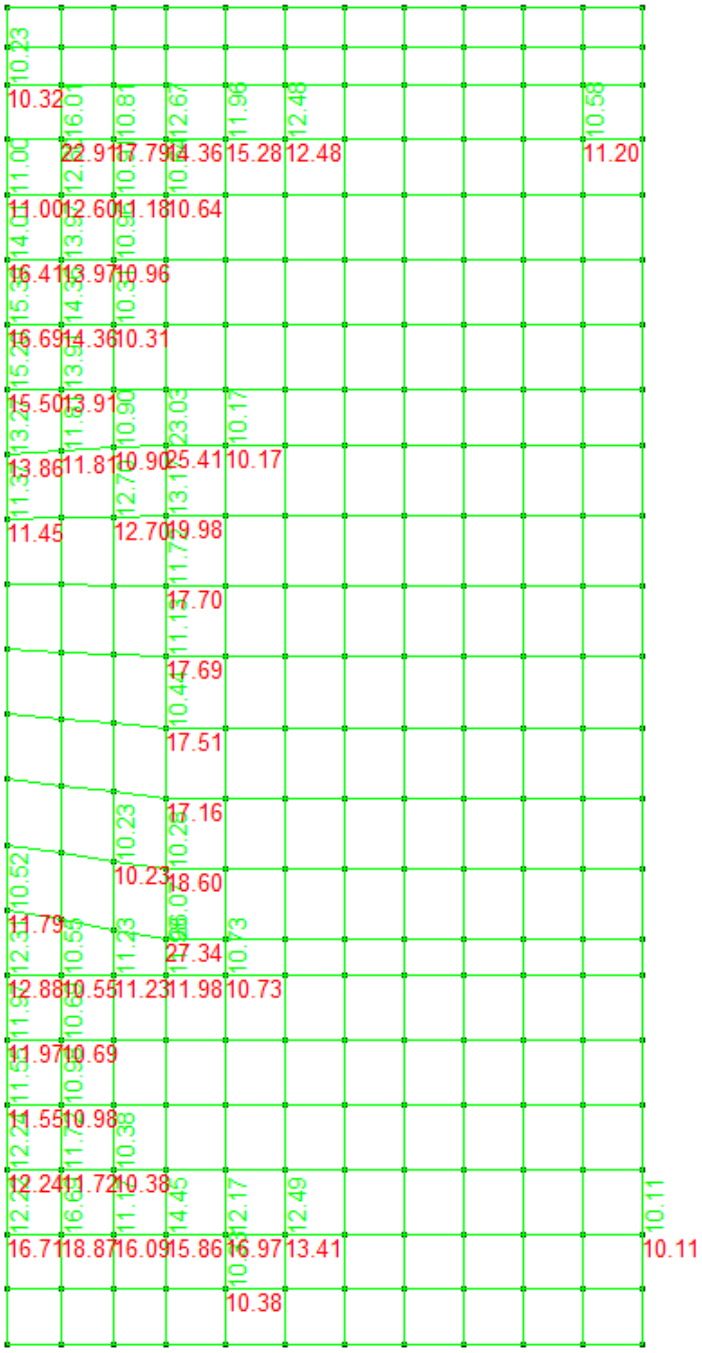


ARMATURE NELLA SOLETTA SEDIMENTATORI sp.30 cm

Nodi con armatura inferiore maggiore di ϕ16/20



Nodi con armatura superiore maggiore di ϕ16/20



6. TRATTAMENTO BIOLOGICO E MBR

Il comparto trattamento biologico ed MBR è composto dal fabbricato MBR e dalle vasche ad esso adiacenti che risultano strutturalmente indipendenti. Sono pertanto sono stati realizzati due distinti modelli di calcolo agli elementi finiti.

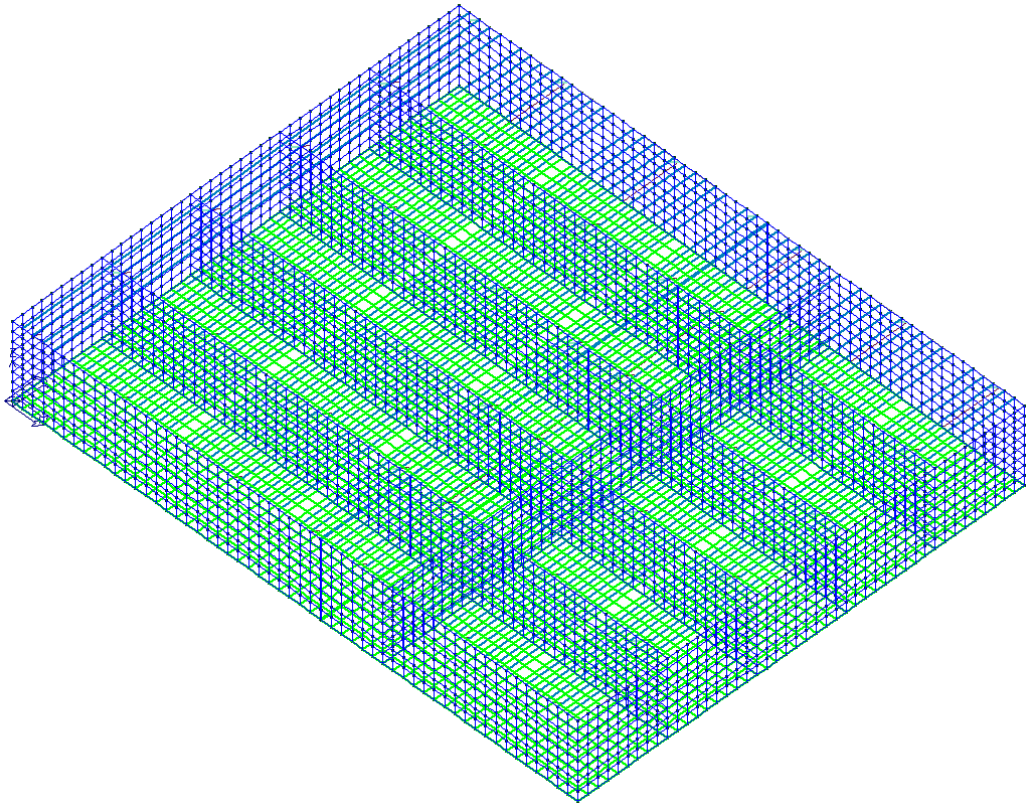
6.1 VASCHE BIOLOGICO

Vi sono 5 coppie di vasche con dimensioni planimetriche 34,7 m x 8 m la nitrificazione e 18,3 m x 8 m la denitrificazione, aventi platea di fondazione spessa 70 cm, pareti altezza 7,5 m e spesse 70 cm, con copertura in tegoli prefabbricati in C.A.P schematizzata con elementi solaio che applicano i carichi sulla sommità delle pareti.

Per limitare le dimensioni del manufatto, si è inserito un giunto strutturale a circa 30 m nella vasca di nitrificazione, più lunga.

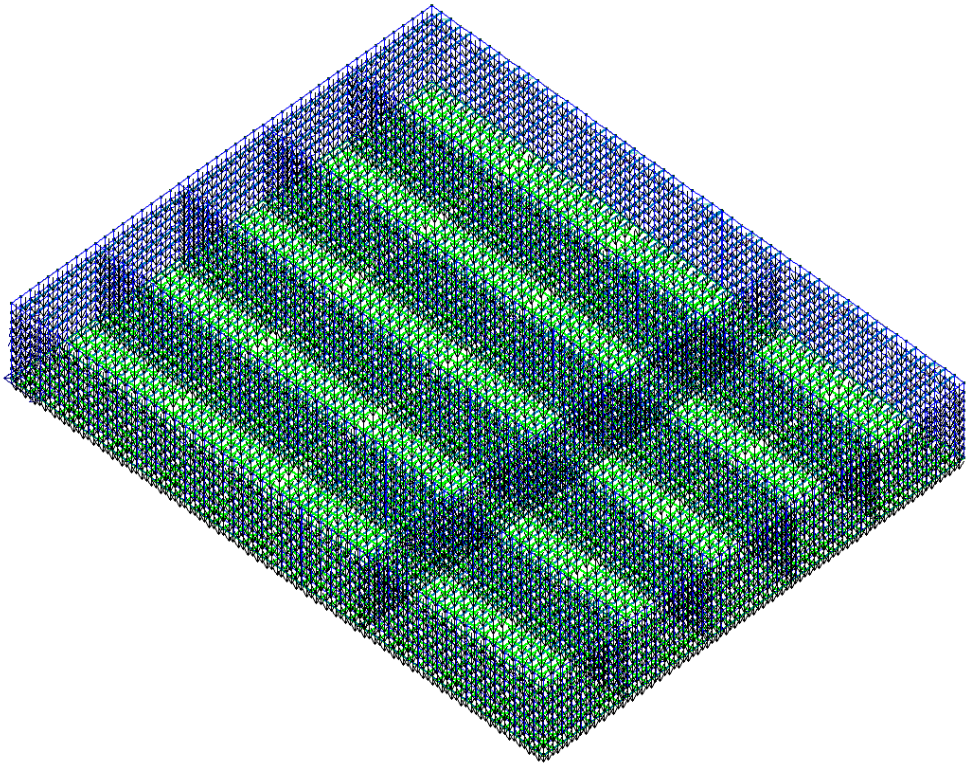
Per tenere conto del collegamento realizzato fra le sommità delle pareti si sono applicati dei tiranti in acciaio al fine di valutare le sollecitazioni in essi agenti.

Di seguito si riporta l'immagine unifilare del modello agli elementi finiti.

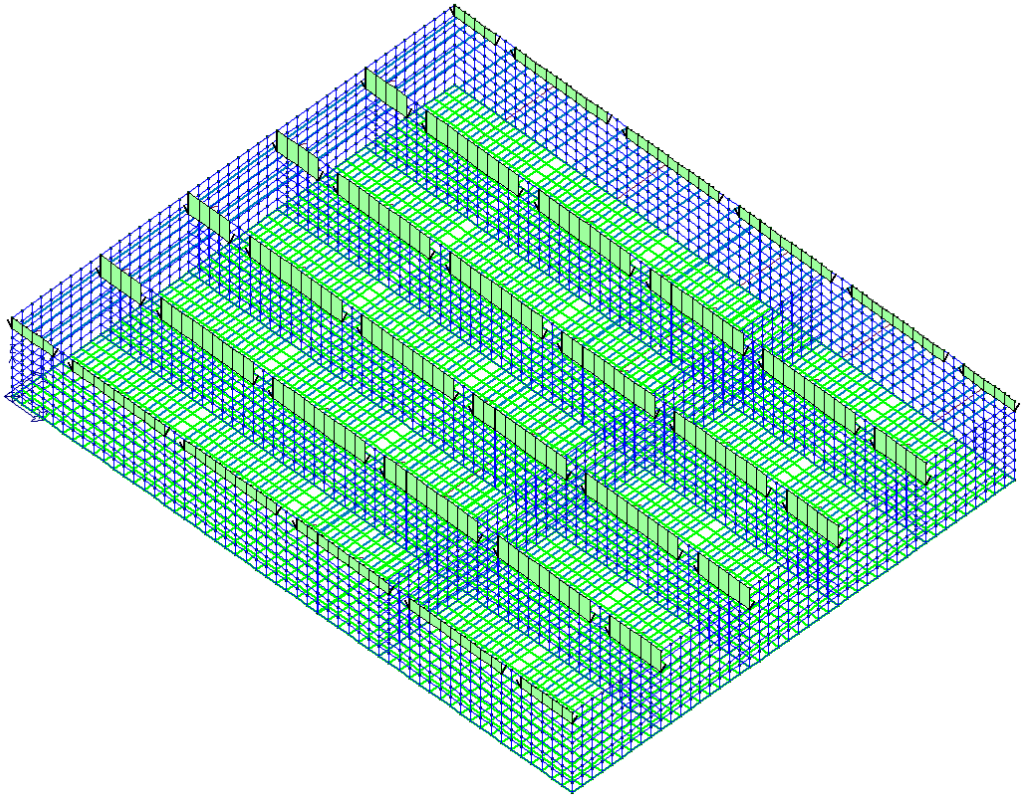


CASI DI CARICO

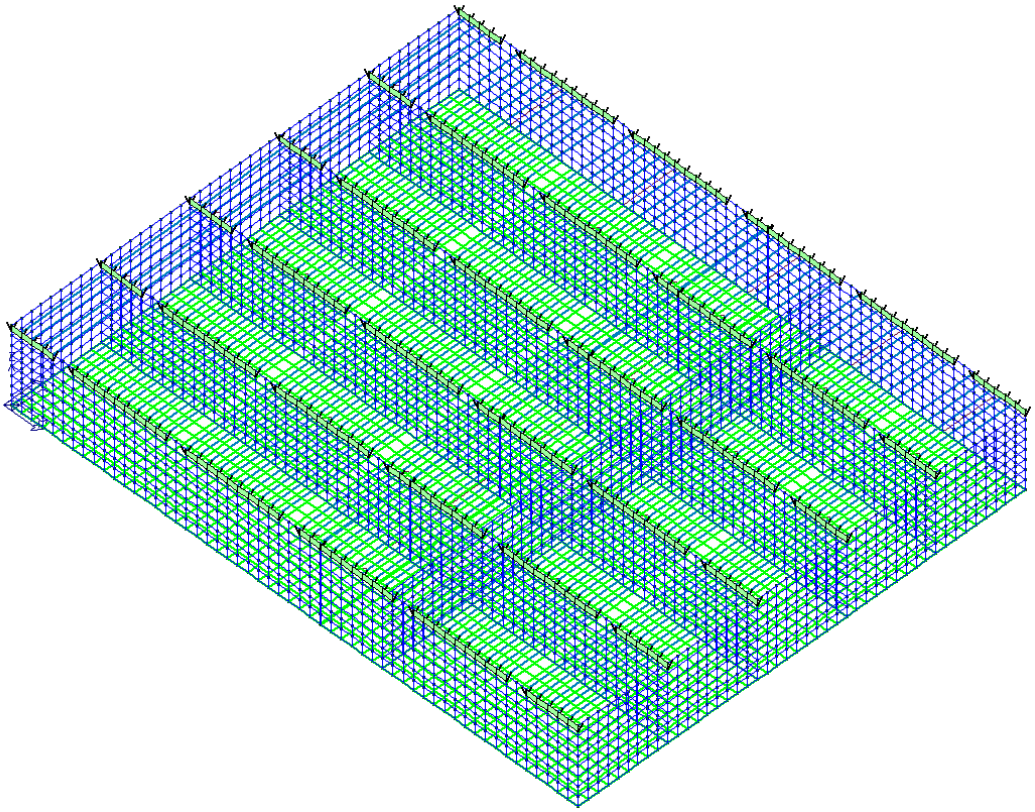
1 - Pesi propri



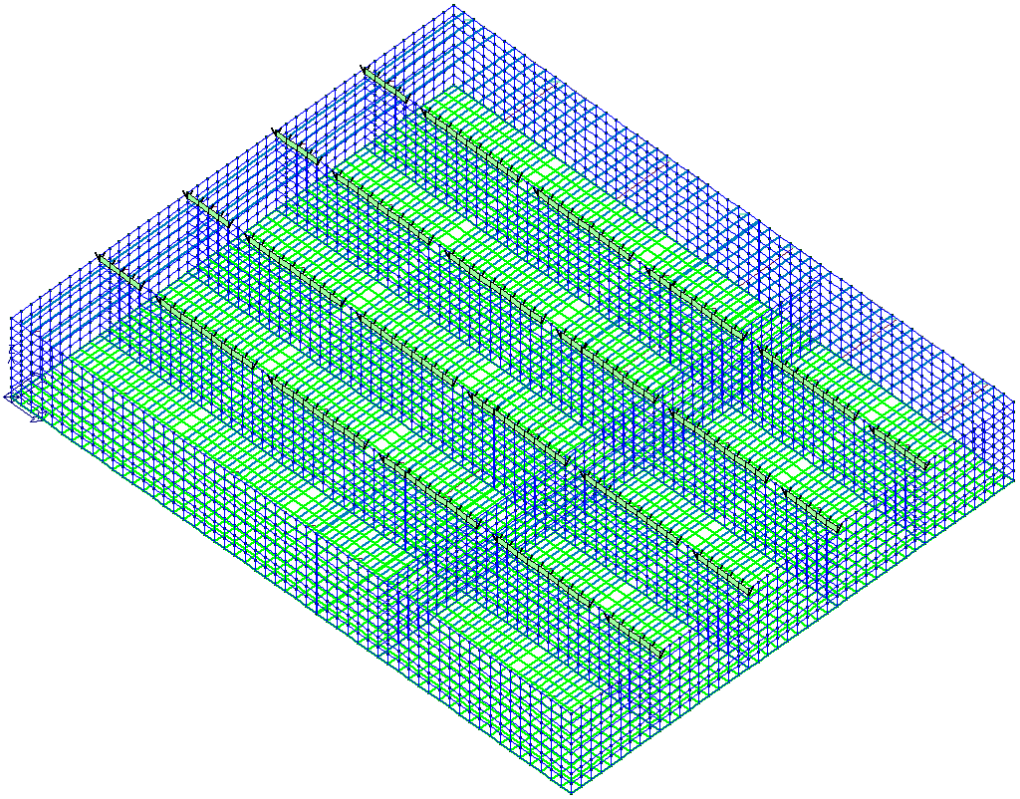
2 – Permanente copertura



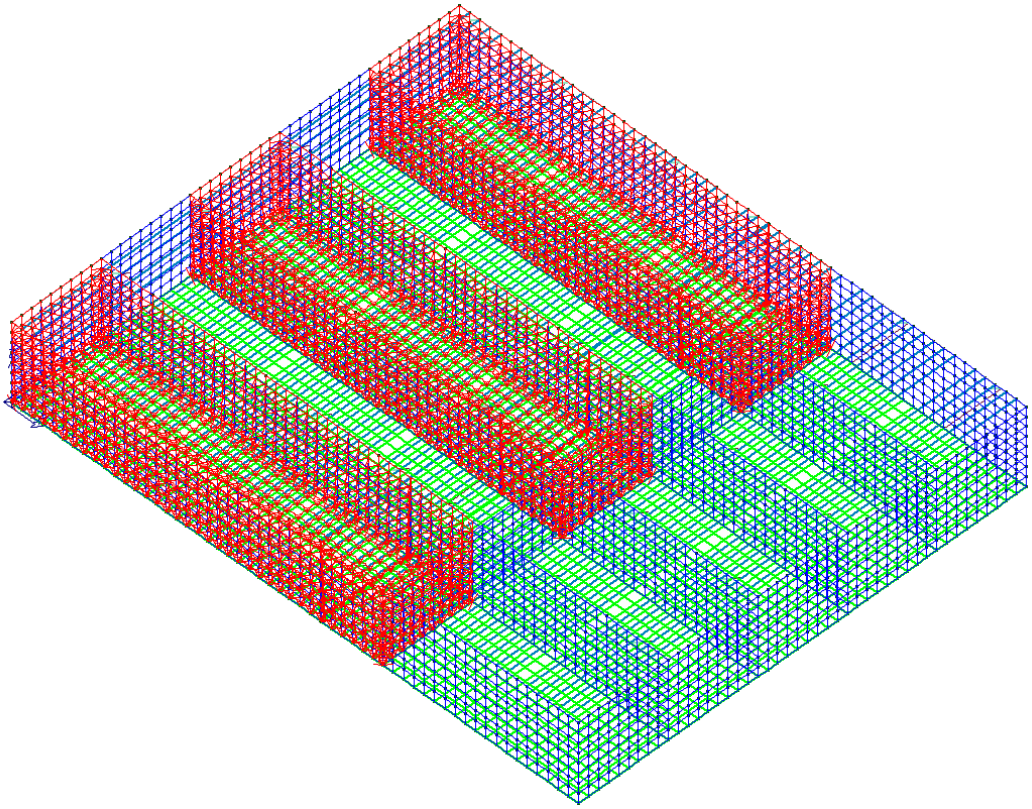
3 – Variabile solai 1 (vasche dispari)



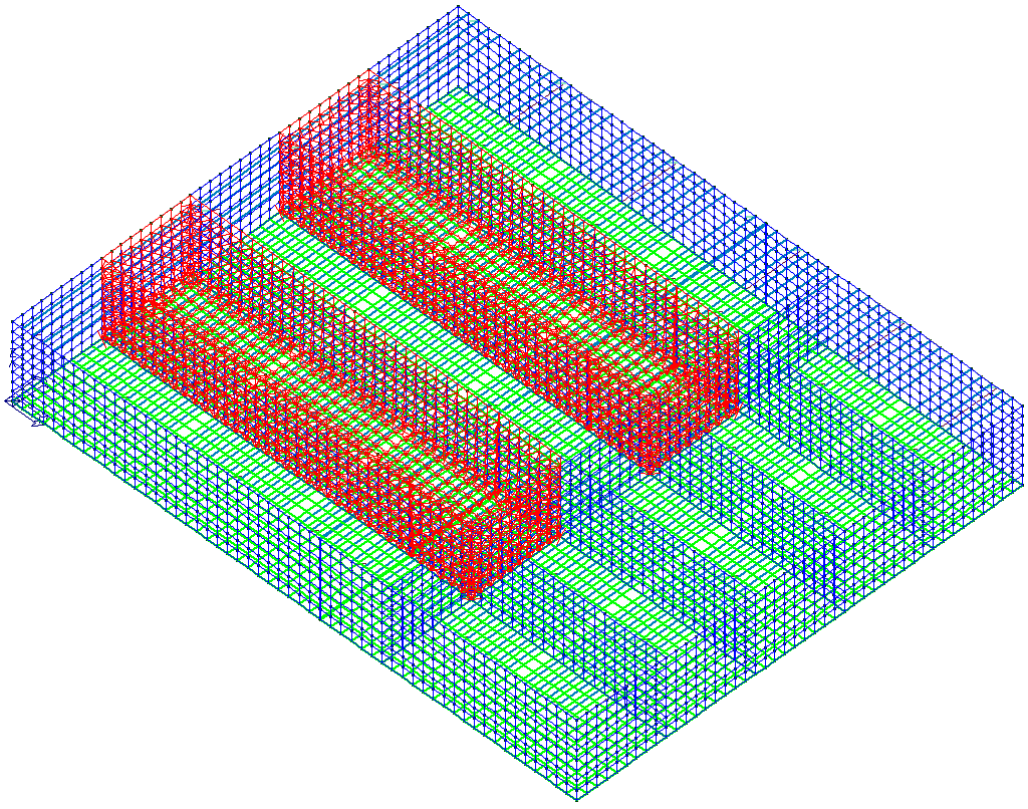
4 – Variabile solai 2 (vasche pari)



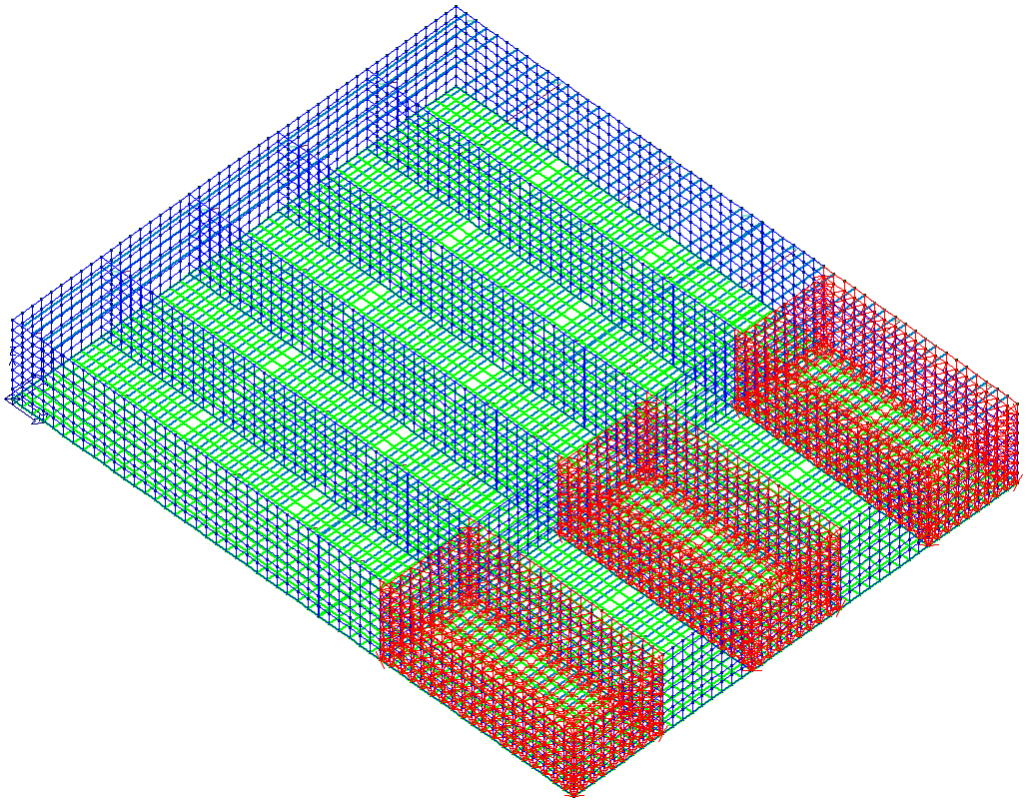
13 – Permanente vasche 1



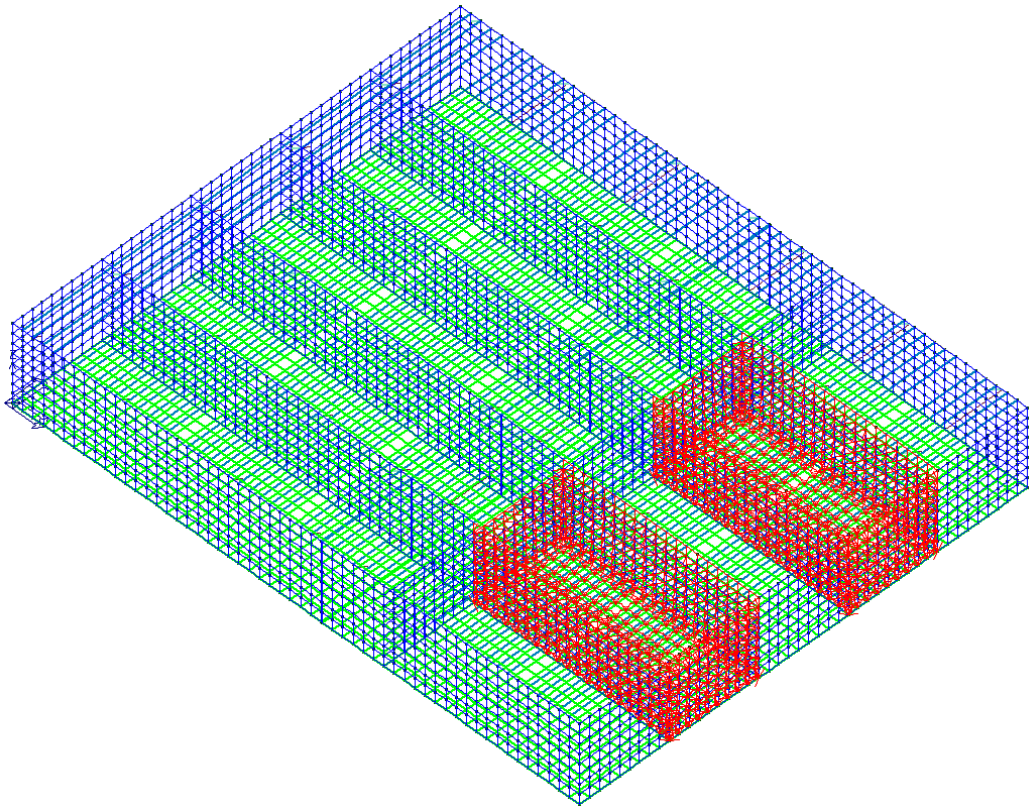
14 – Permanente vasche 2



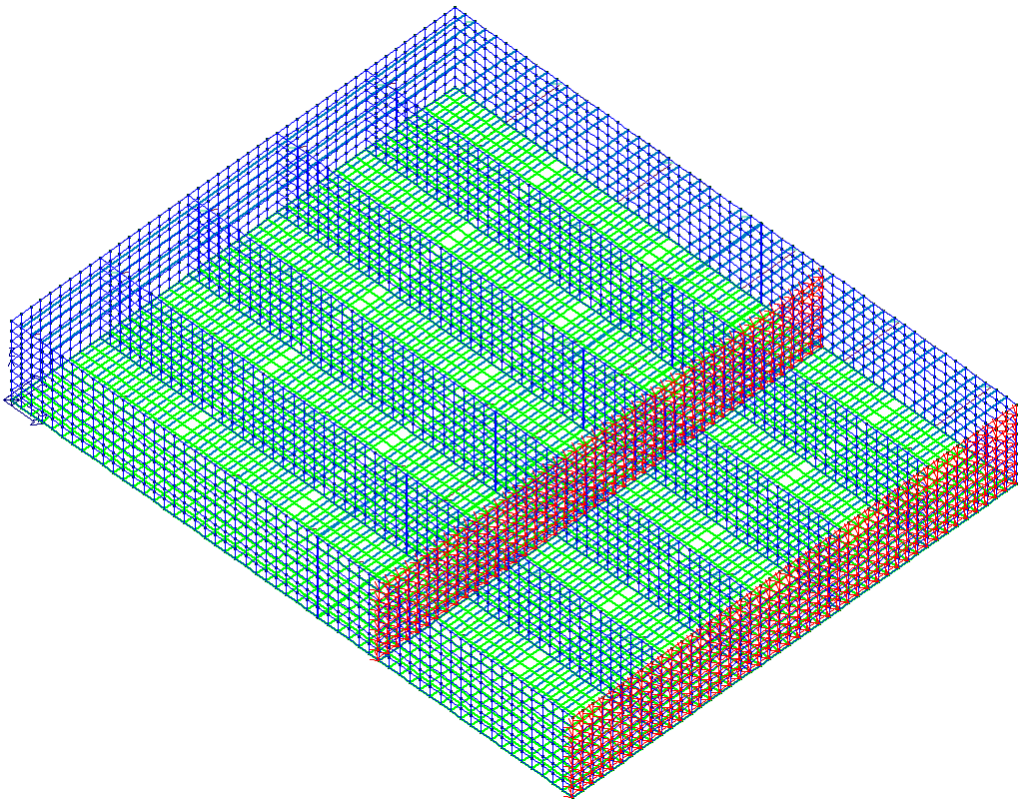
15 – Permanente vasche 3



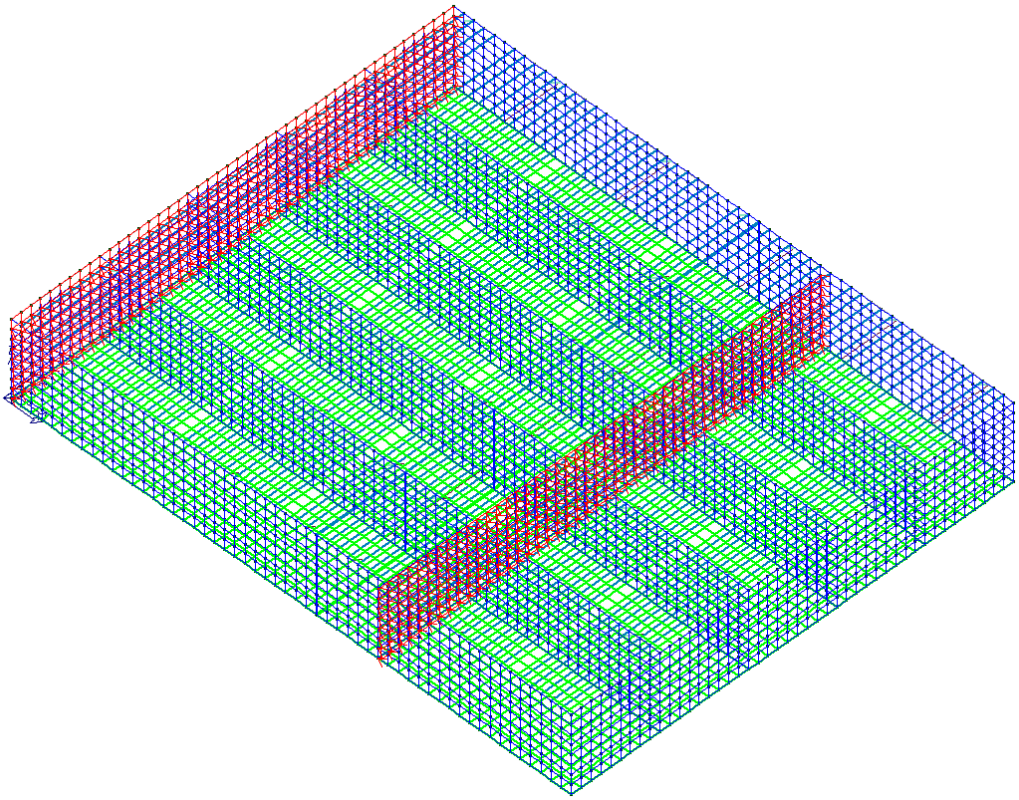
16 – Permanente vasche 4



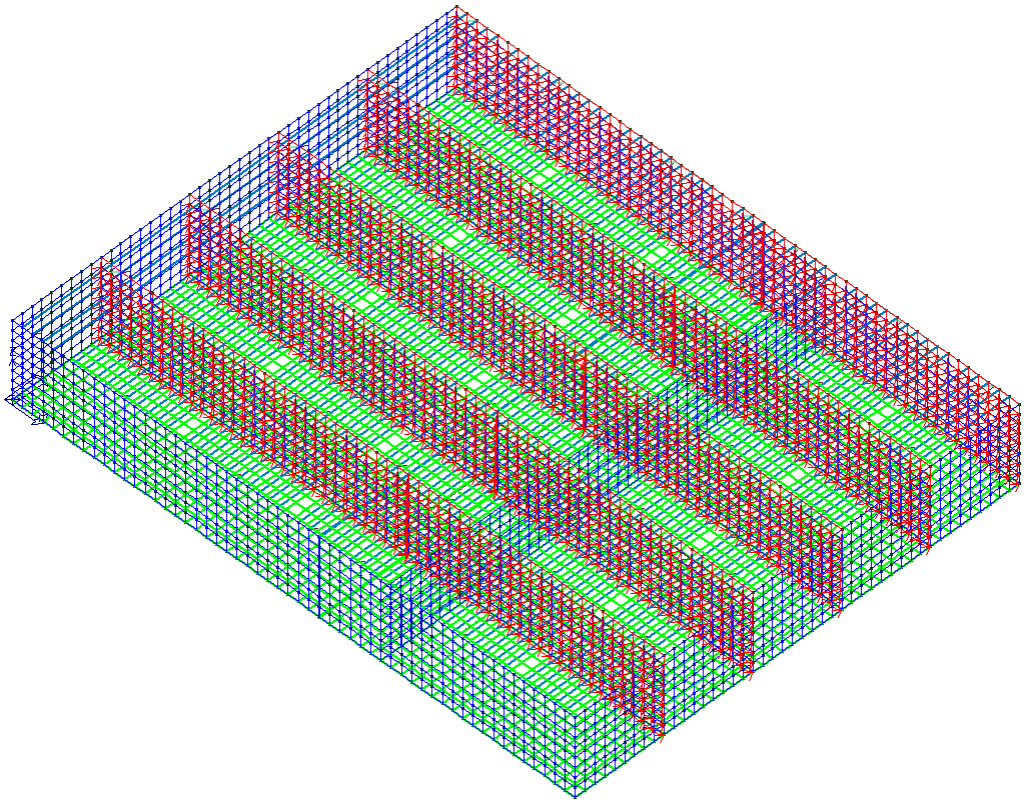
17 – Sisma acqua +x



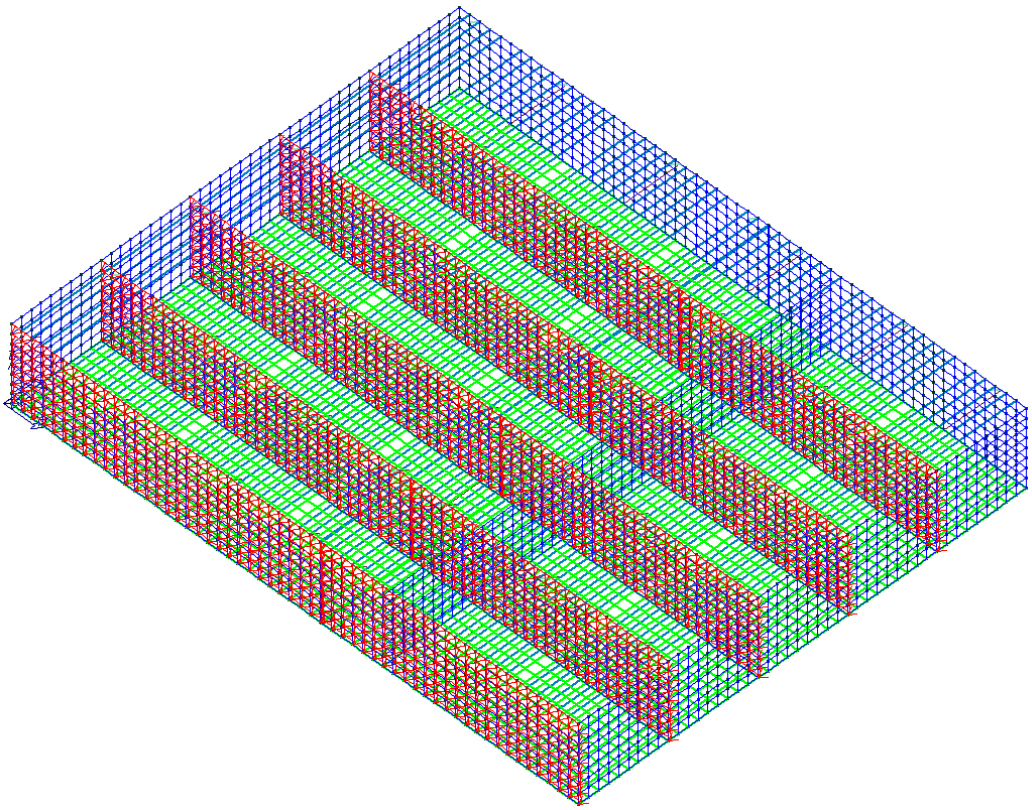
18 – Sisma acqua -x



19 – Sisma acqua +y

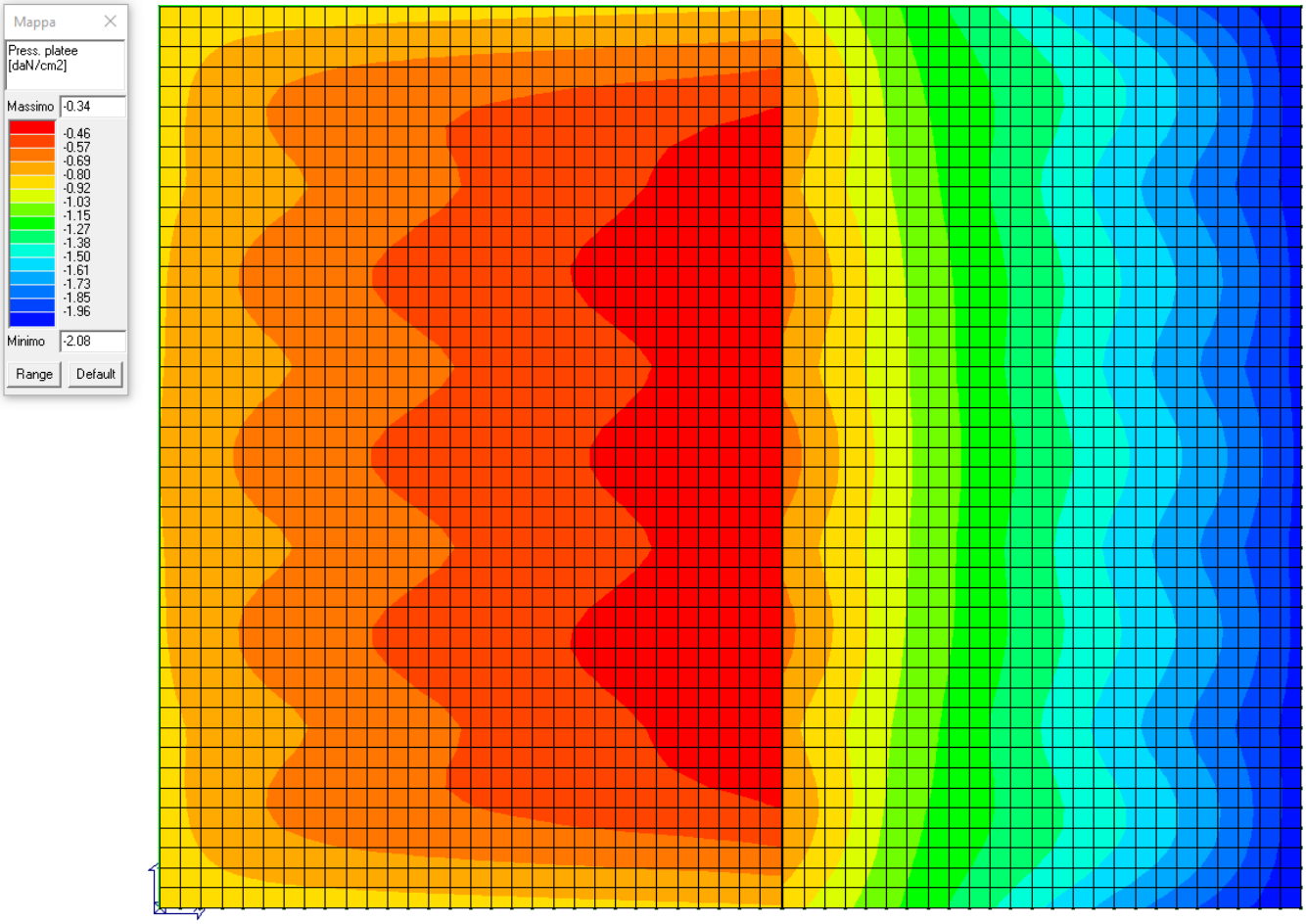


20 – Sisma acqua -y

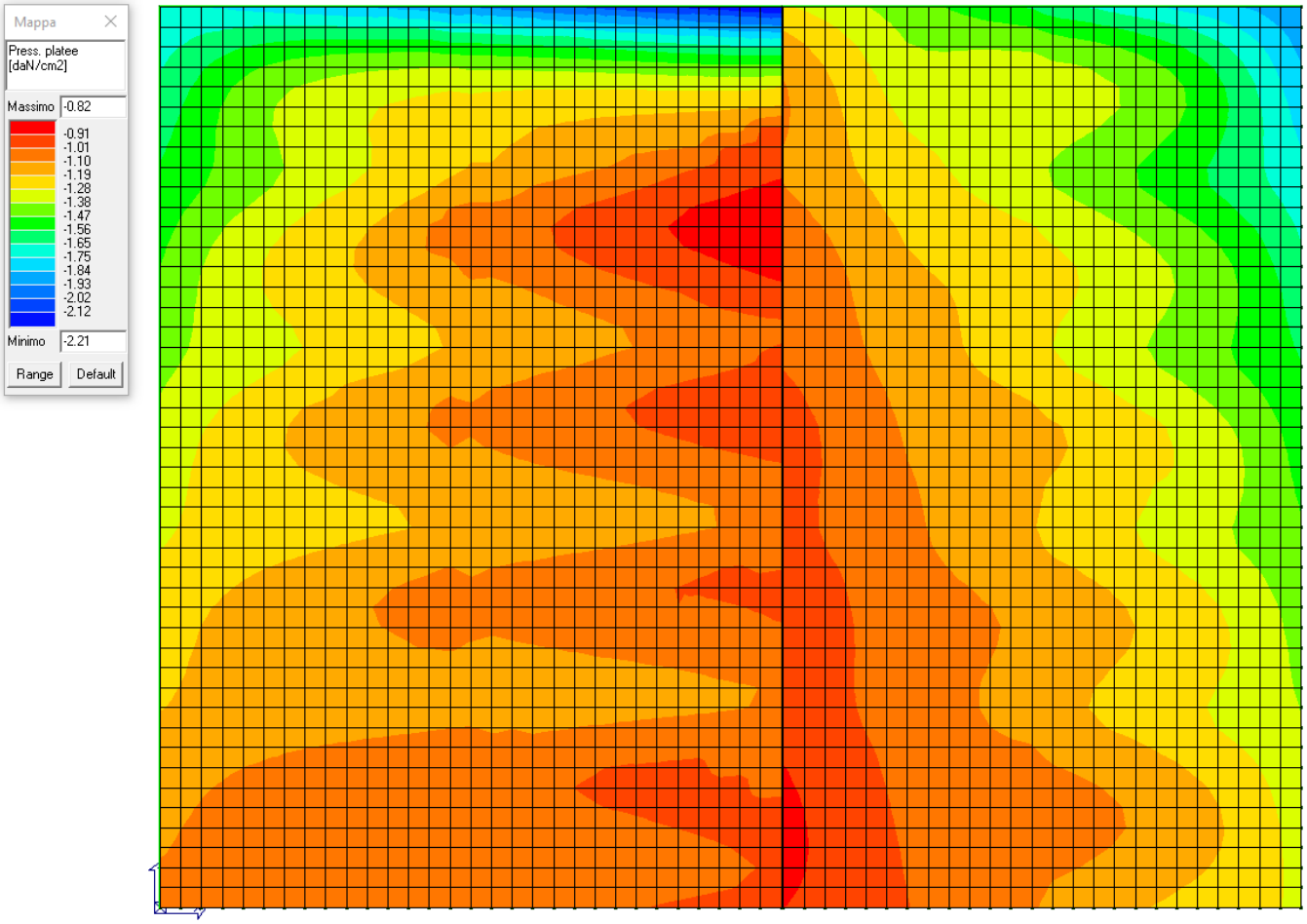


PRESSIONE PLATEA

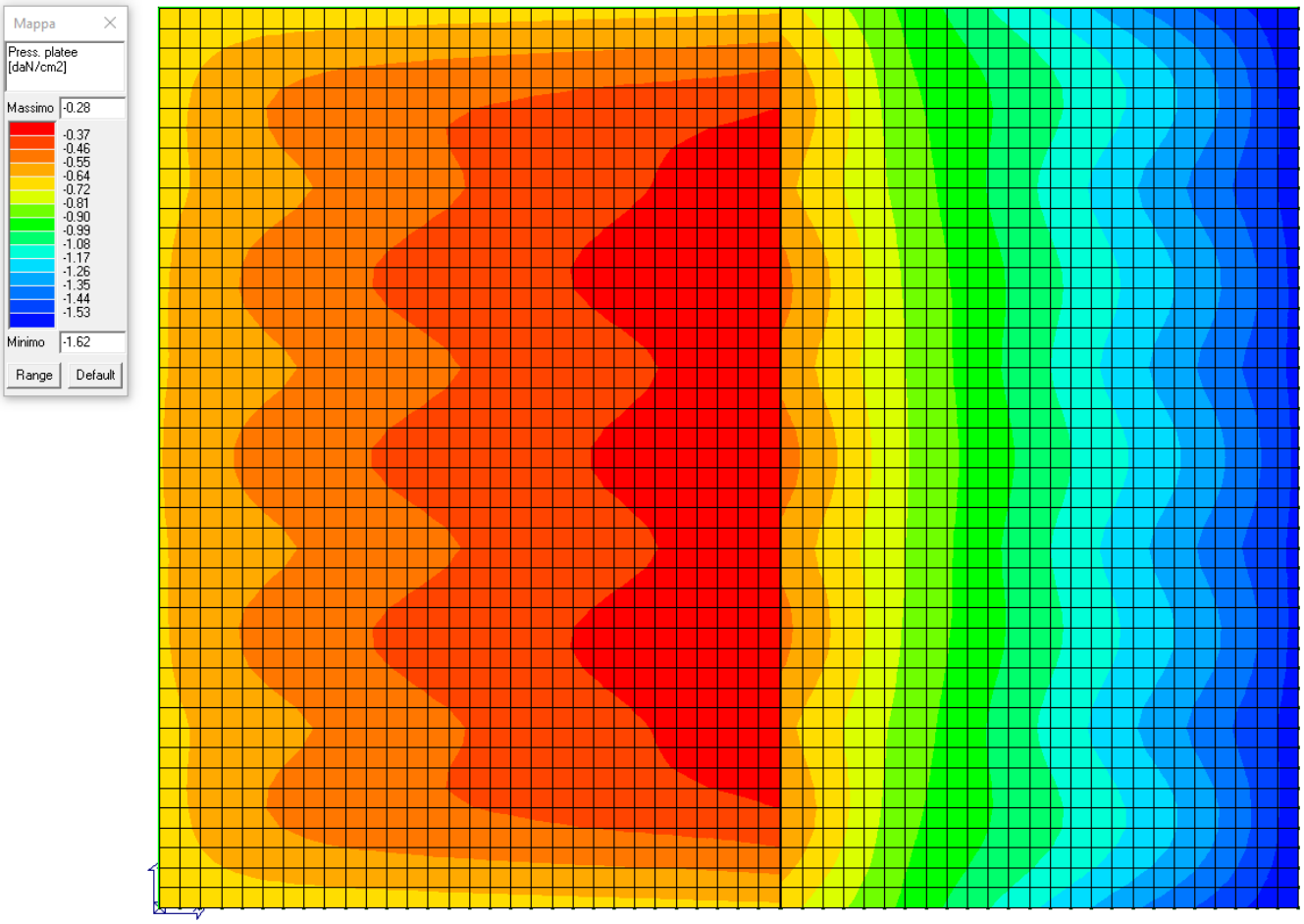
Pressione massima combinazioni SLU STR A1 (CMB 12)



Pressione massima combinazioni SLV sismiche (CMB 42)



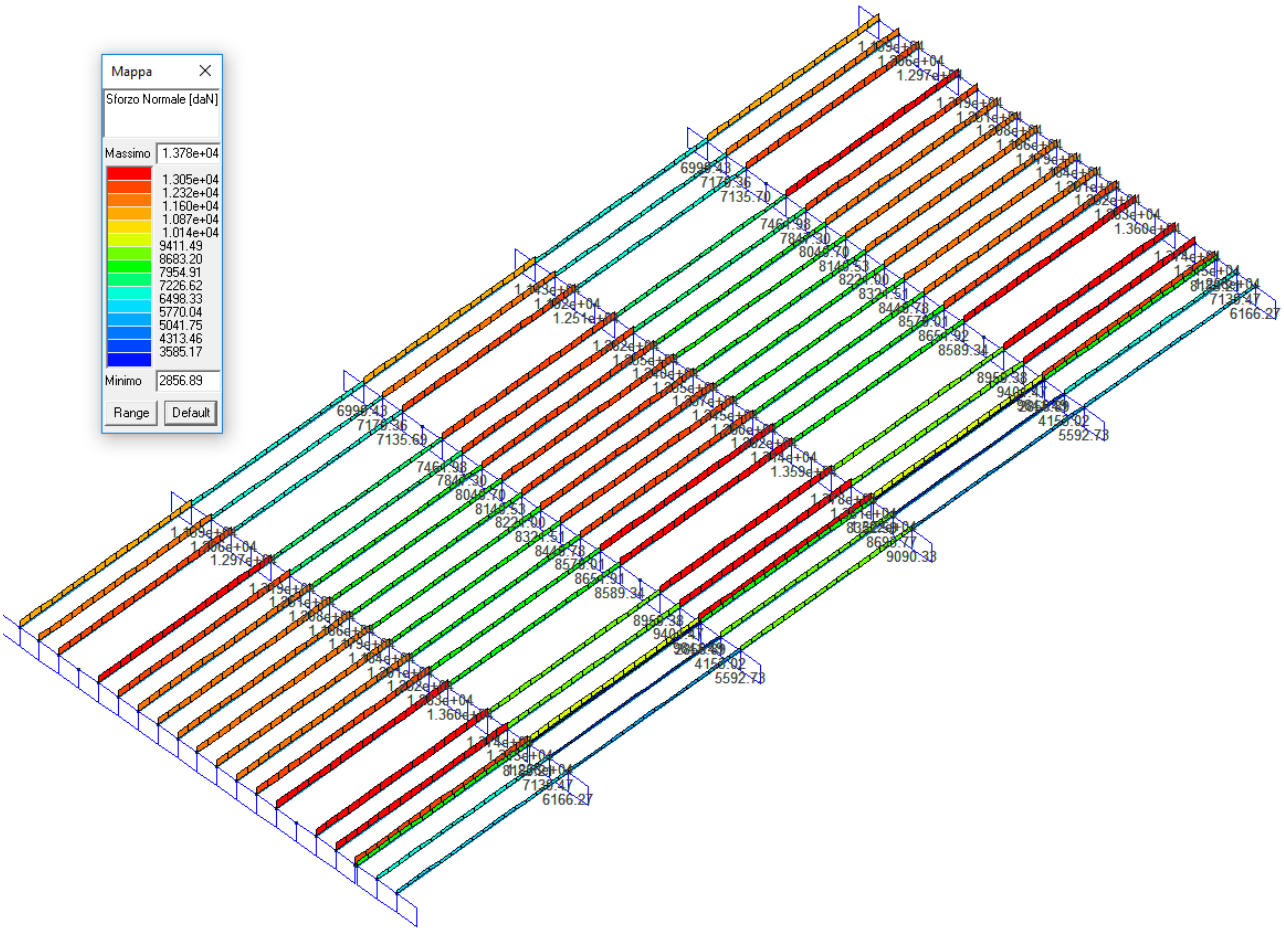
Pressione massima combinazioni SLE (rara) (CMB 97)



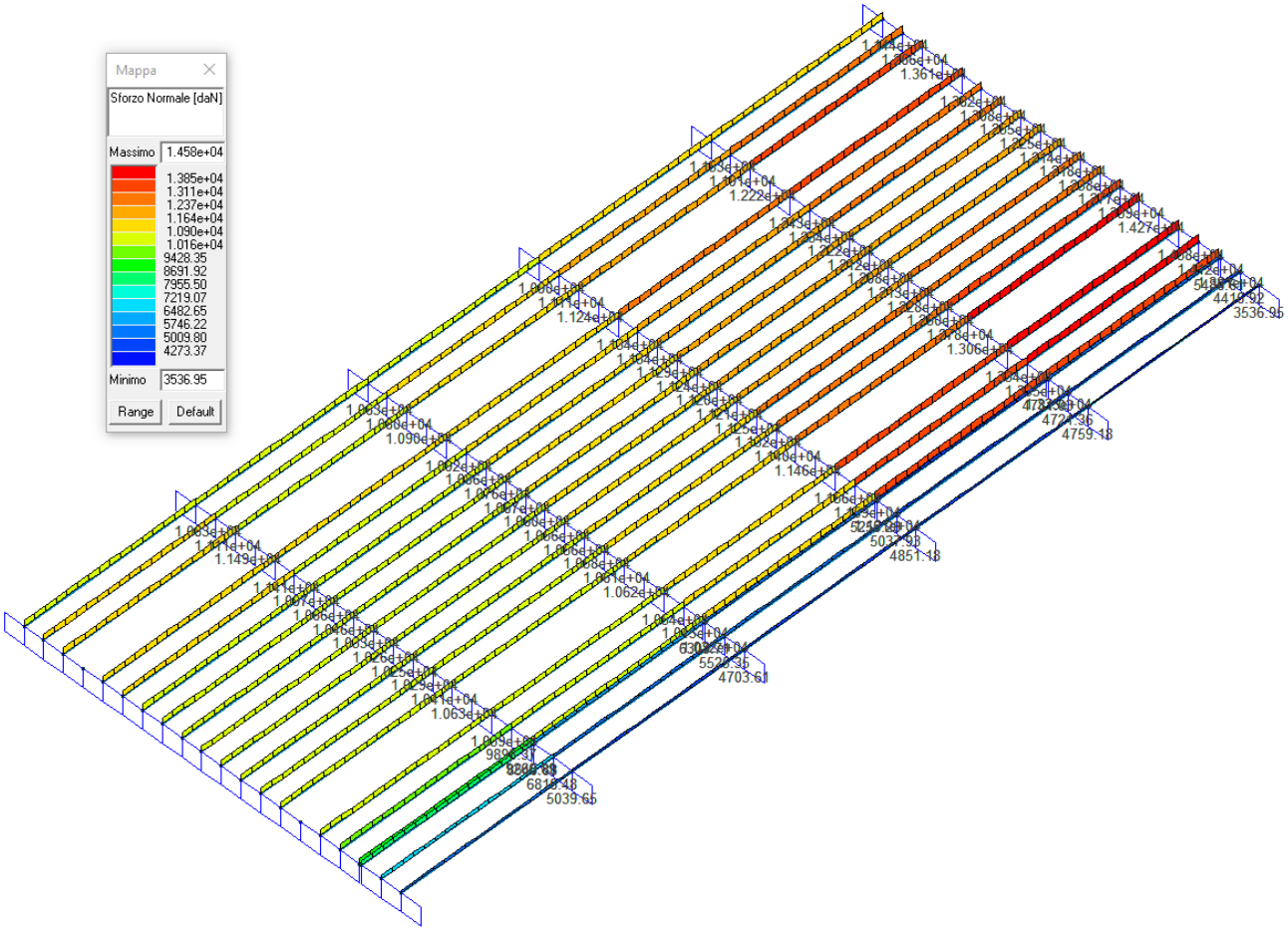
SFORZO ASSIALE NELLA COPERTURA

Per valutare l'azione assiale indotta nella copertura delle vasche sono stati inserite delle aste in acciaio ad interasse 10 (dimensione shell parete). Le sollecitazioni massime sono ai lati delle aperture e nella zona di giunto.

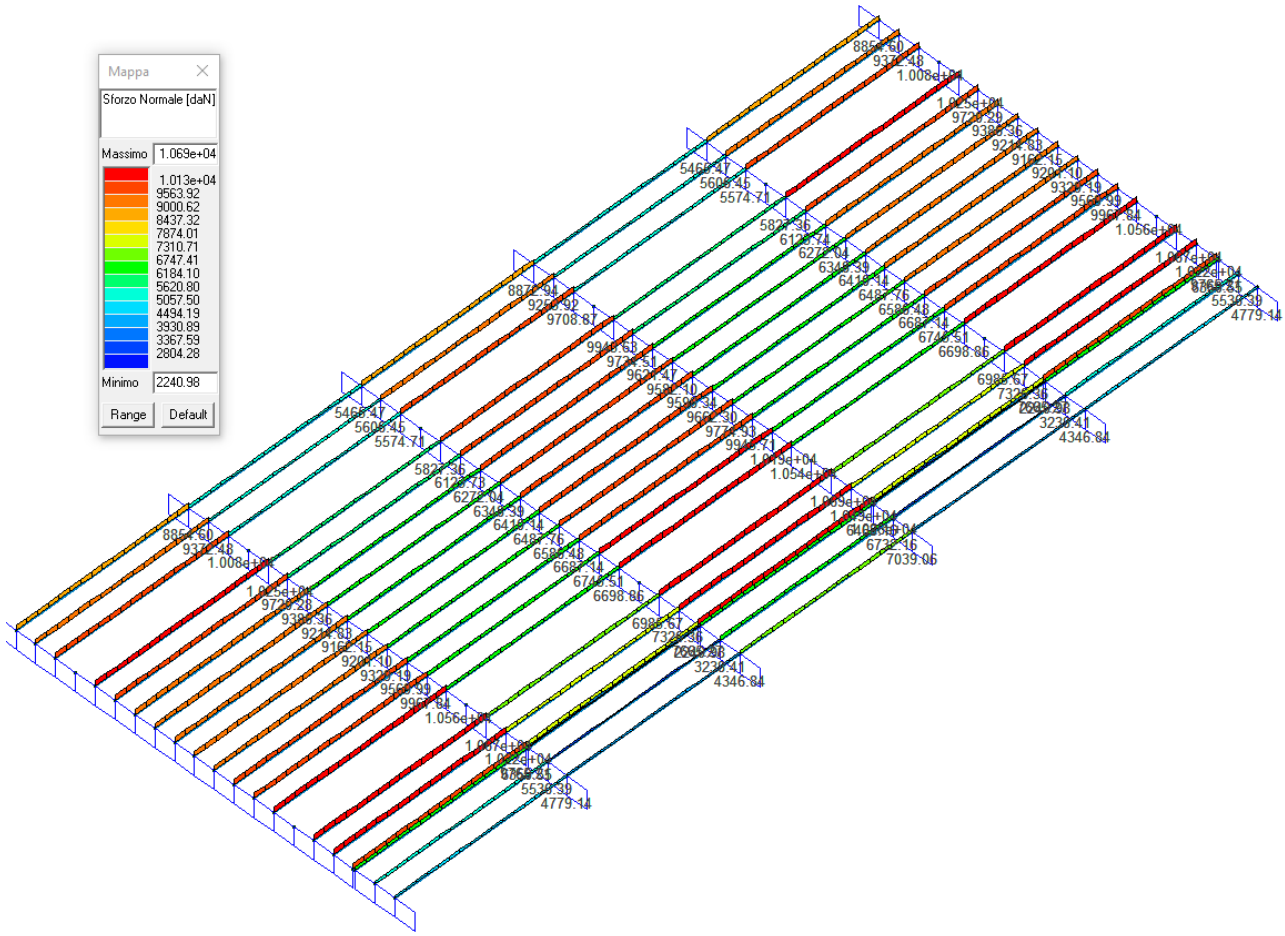
Sforzo normale massimo SLU STR A1 (CMB 9)



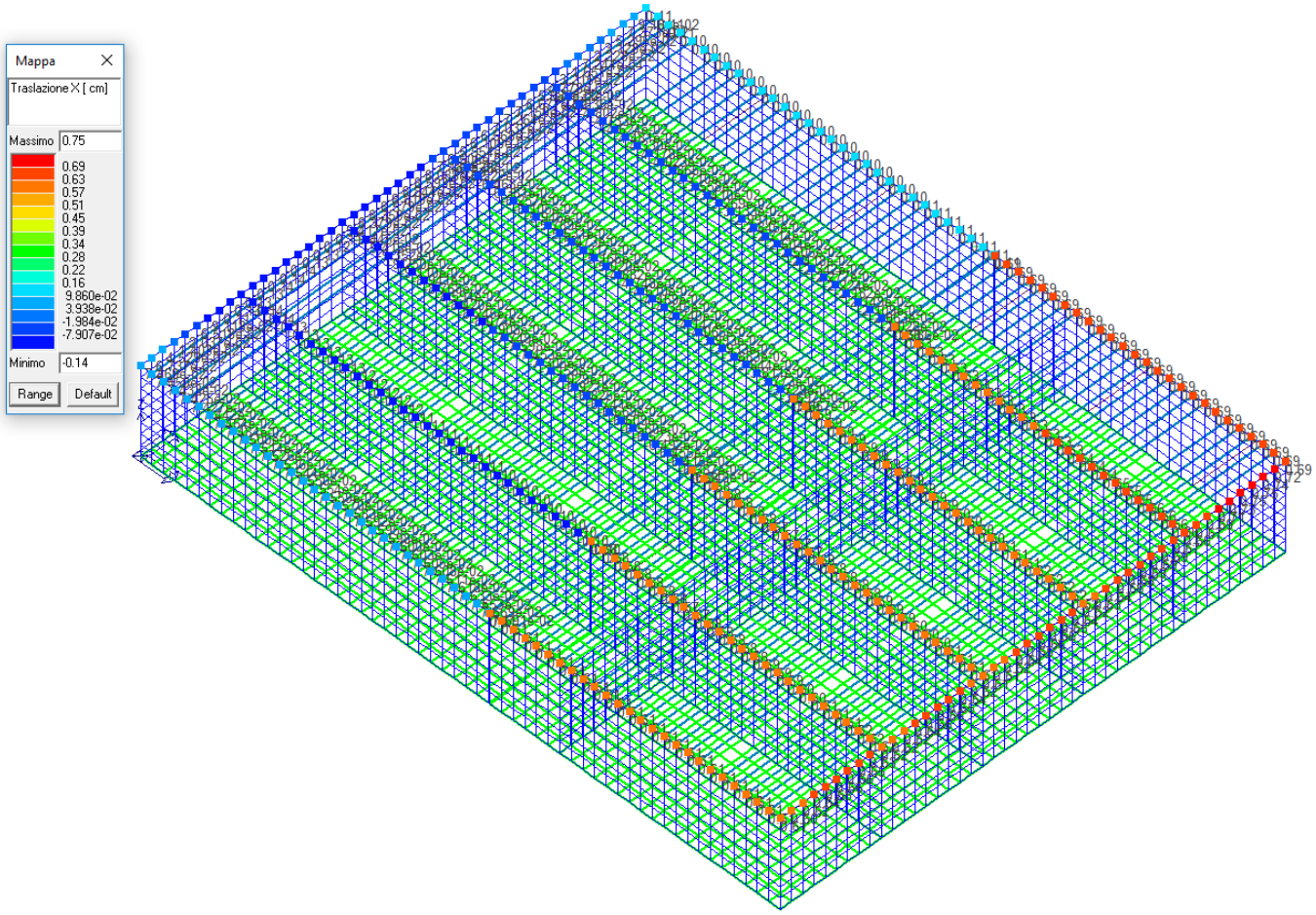
Sforzo normale massimo combinazioni SLV sismiche (CMB 42)



Sforzo normale massimo combinazioni SLE (rara) (CMB 94)

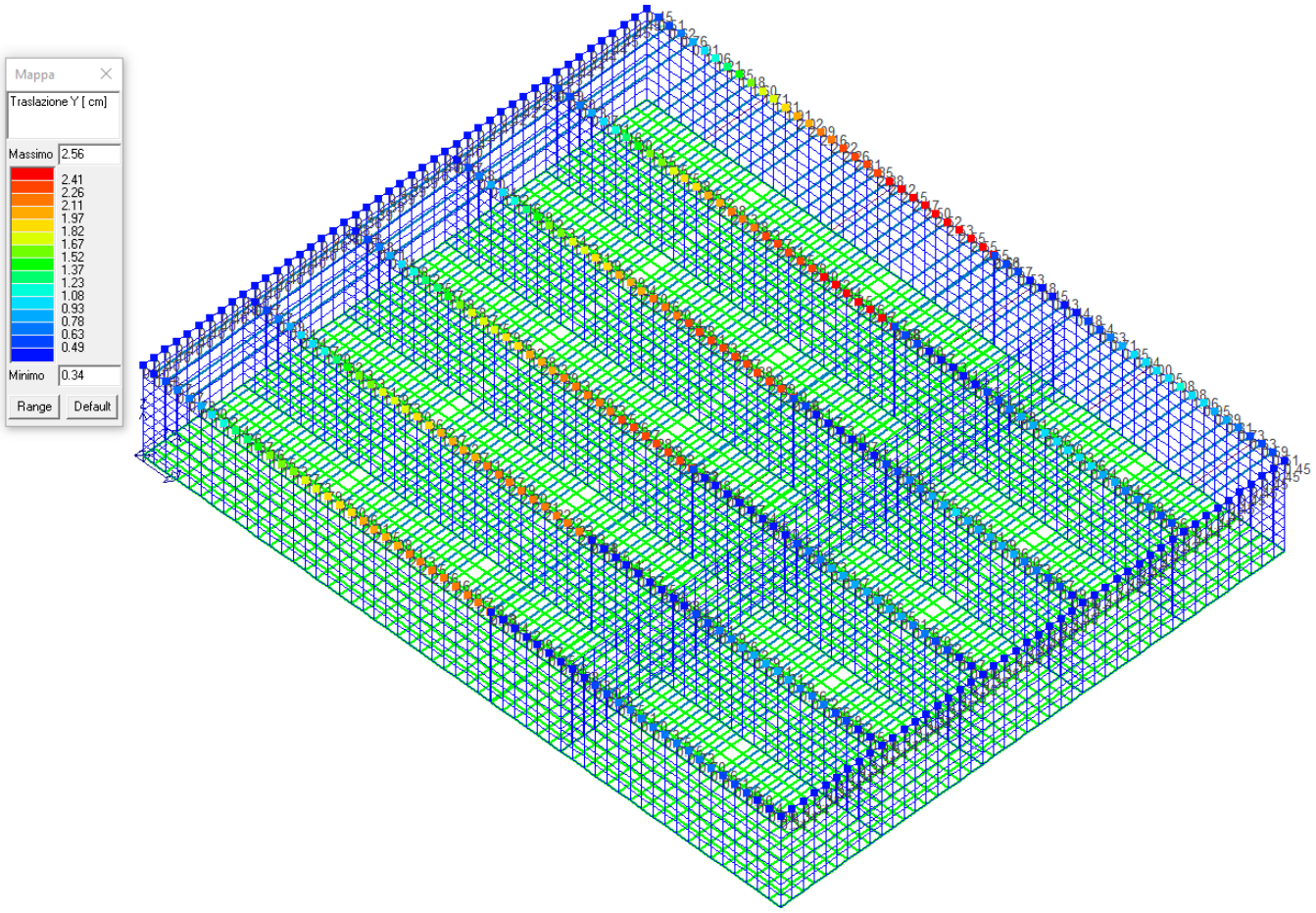


SPOSTAMENTI SISMICI SLV (CMB 23)



Massimo spostamento in direzione x è 0,75 x 1,0 = 0,75 cm

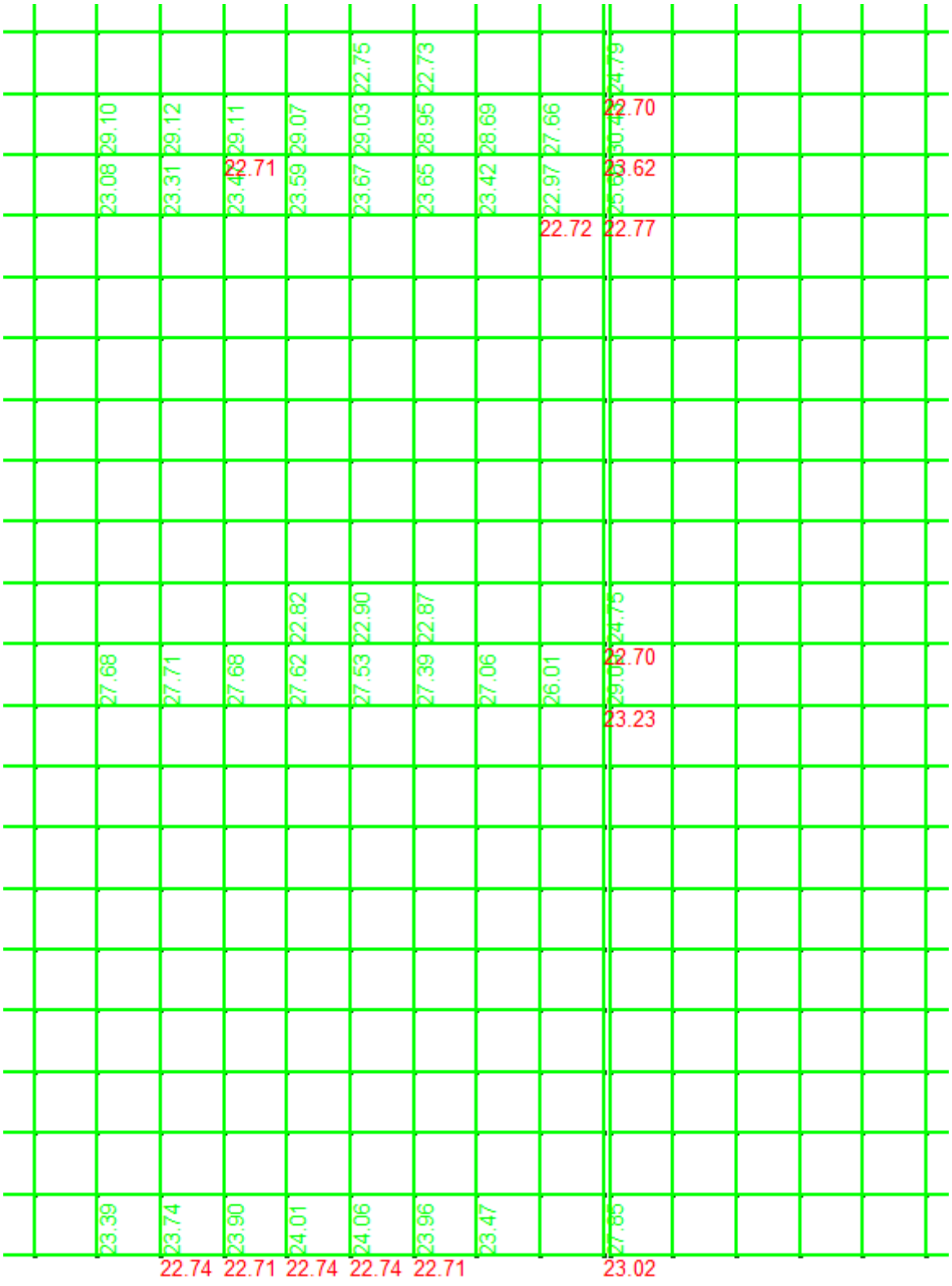
SPOSTAMENTI SISMICI SLV (CMB 38)



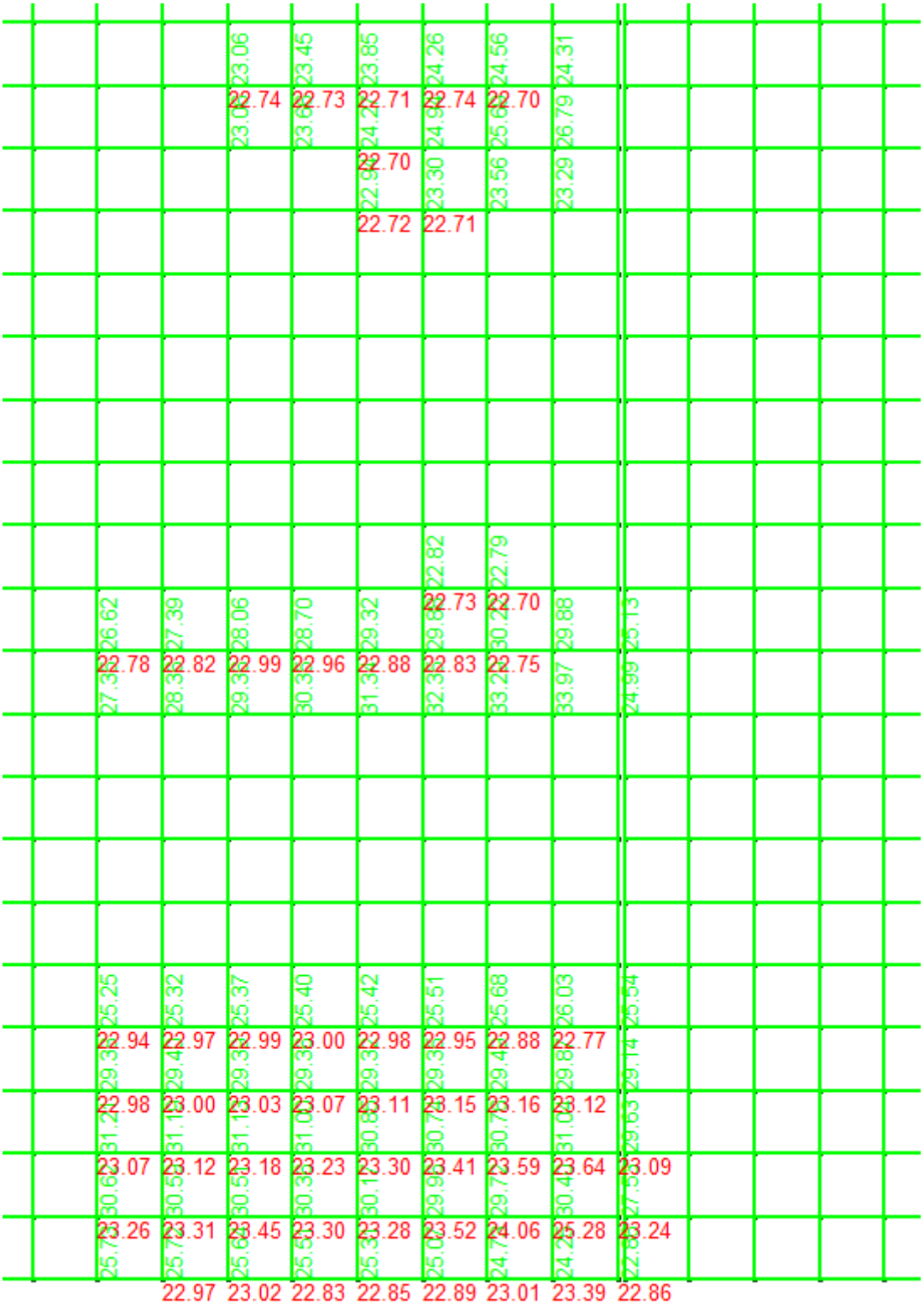
Massimo spostamento in direzione y è 2,56 x 1,0 = 2,56 cm

ARMATURE NELLA PLATEA – tratto vicino al giunto di due vasche laterali

Nodi con armatura inferiore maggiore di ϕ24/20

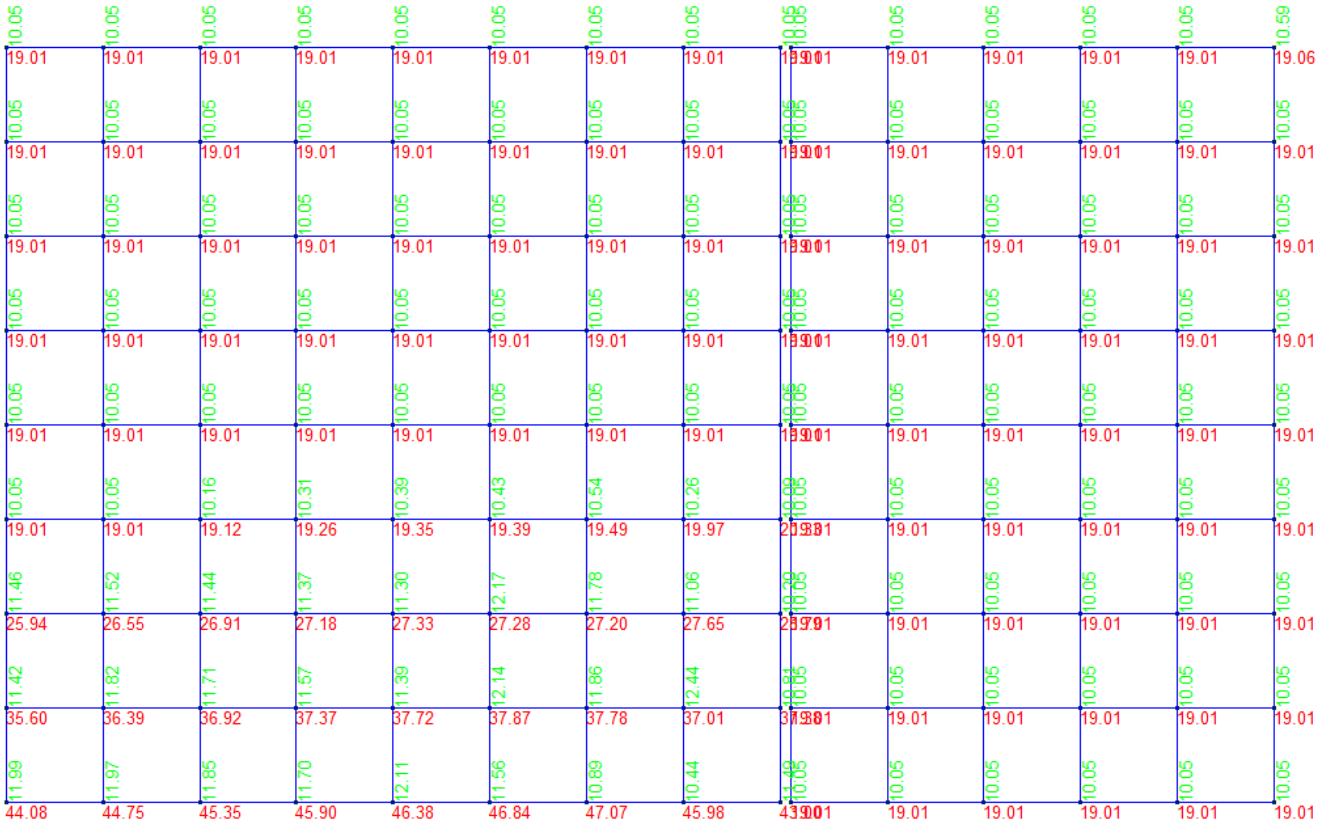


Nodi con armatura superiore maggiore di ϕ24/20



ARMATURE NELLE PARETI – tratto vicino al giunto di una parete interna

Nodi con armatura base di ϕ22/20 Vert. e ϕ16/20 Orizz.



In rosso l’armatura verticale e in verde l’armatura orizzontale.

6.2 FABBRICATO MBR

La struttura portante del fabbricato è composta da 3 file di colonne isostatiche incastrate alla base (sezione 60 cm x 70 cm) e pilastri sulla sommità delle vasche (sezione 50 cm x 50 cm e 60 cm x 70 cm), travi isostatiche semplicemente appoggiate agli estremi su ciascuna campata, ad altezza costante. La copertura è realizzata con tegoli precompressi schematizzati con elementi solaio allo scopo di applicare i carichi alle travi ed inserire un piano rigido (soletta collaborante gettata in opera).

Le colonne sono fissate alla base in bicchieri ricavati da ringrossi nella platea di fondazione.

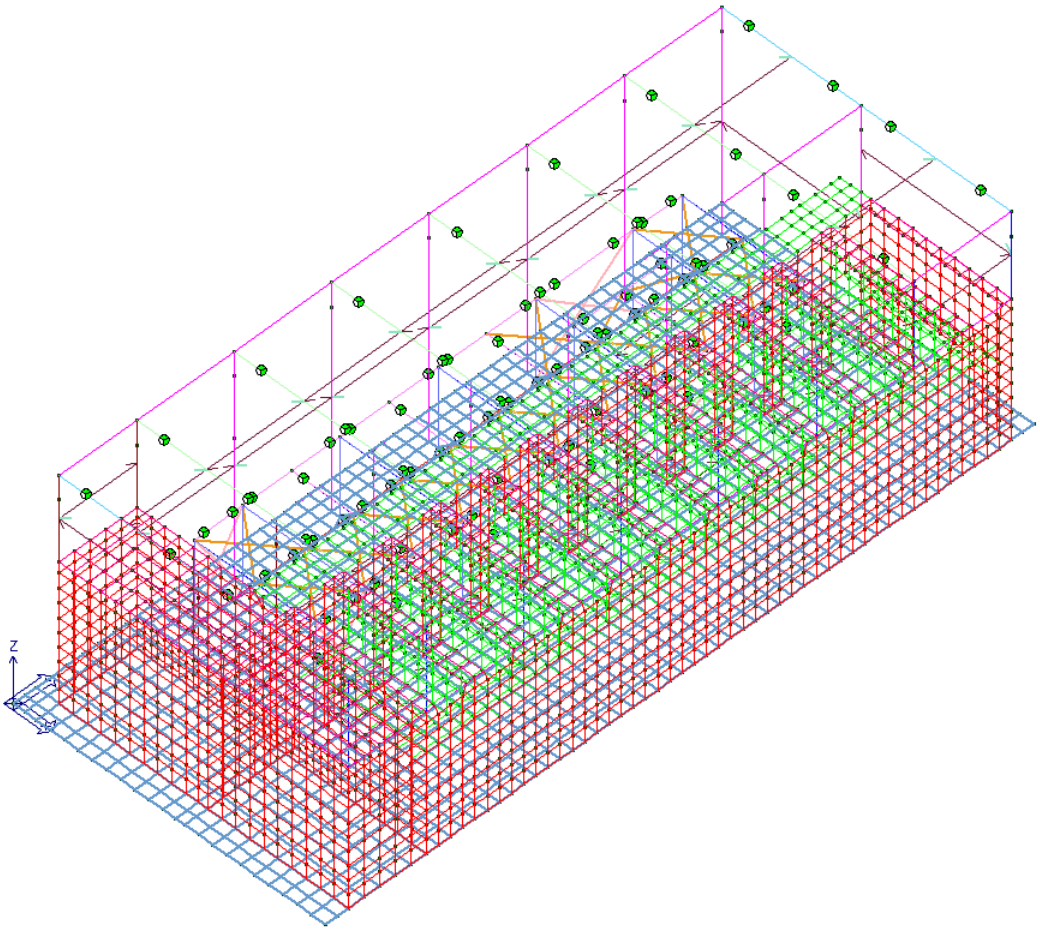
Il tamponamento è realizzato con pannelli prefabbricati orizzontali fissati ai pilastri che sono schematizzati elementi pannello al solo scopo di applicare i pesi e le masse in modo il più possibile aderente alla realtà.

Vi sono due vasche di accumulo con platea di fondo spessa 70 cm, pareti spesse 50 cm e soletta di copertura spessa 25 cm.

Le 12 vasche MBR hanno fondo spesso 30 cm, sostenuto da un muro perimetrale spesso 50 cm e setti al centro del fabbricato di sezione 50 cm x 100 cm che diventano muro di testa delle vasche stesse, pareti laterali spesse 30 cm e passerelle d'ispezione realizzate con solette spesse 25 cm.

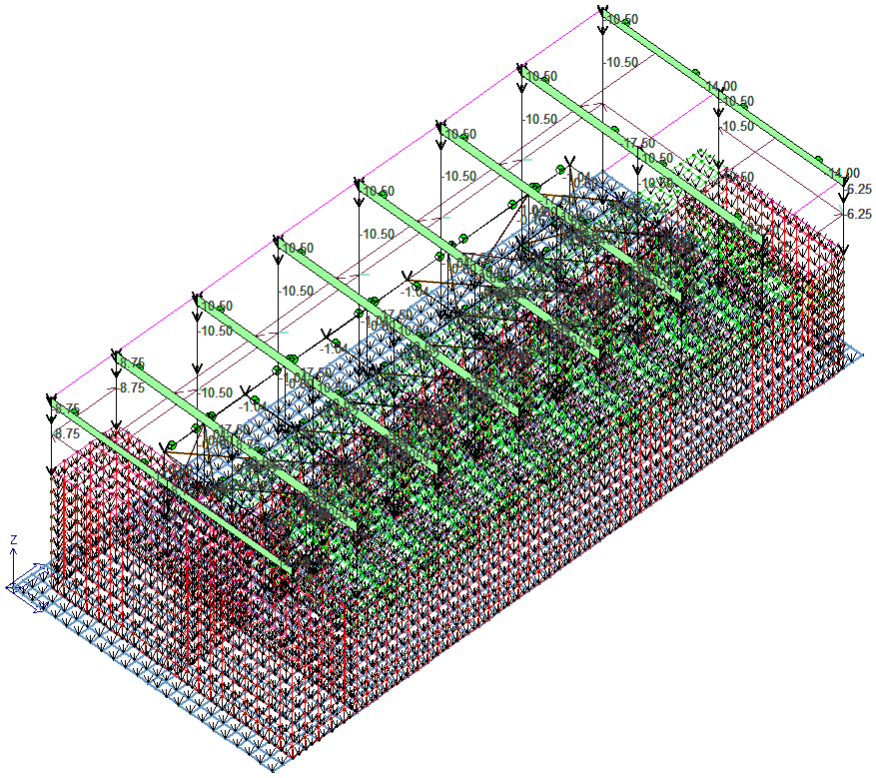
Una passerella a mensola, spessa 30 cm e fissata alla sommità della parete interna delle vasche MBR, consente l'accesso alla sommità delle vasche.

Di seguito si riporta l'immagine unifilare del modello agli elementi finiti.

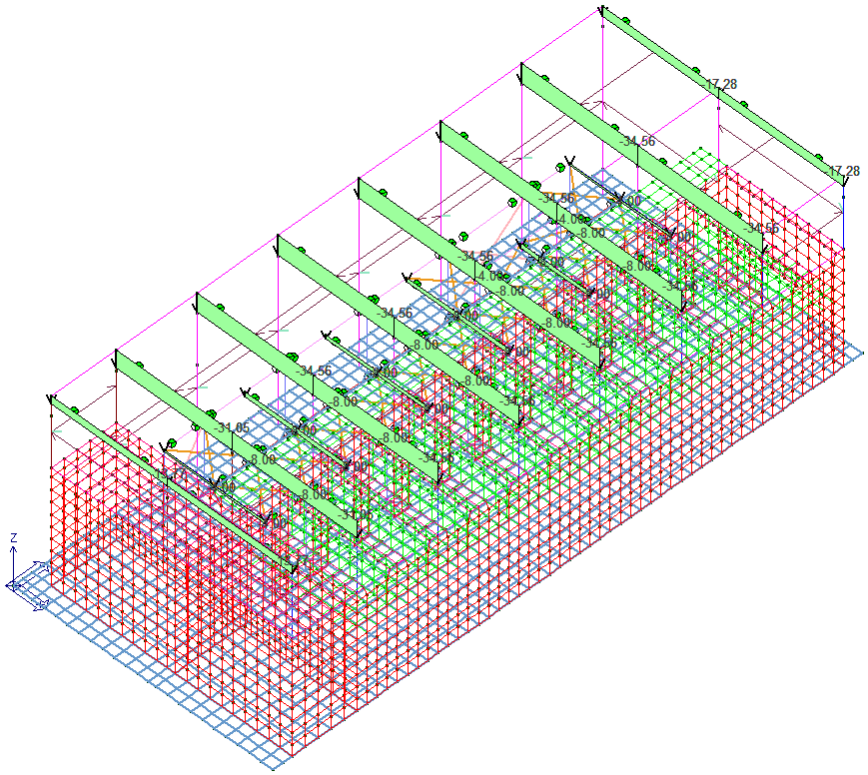


CASI DI CARICO

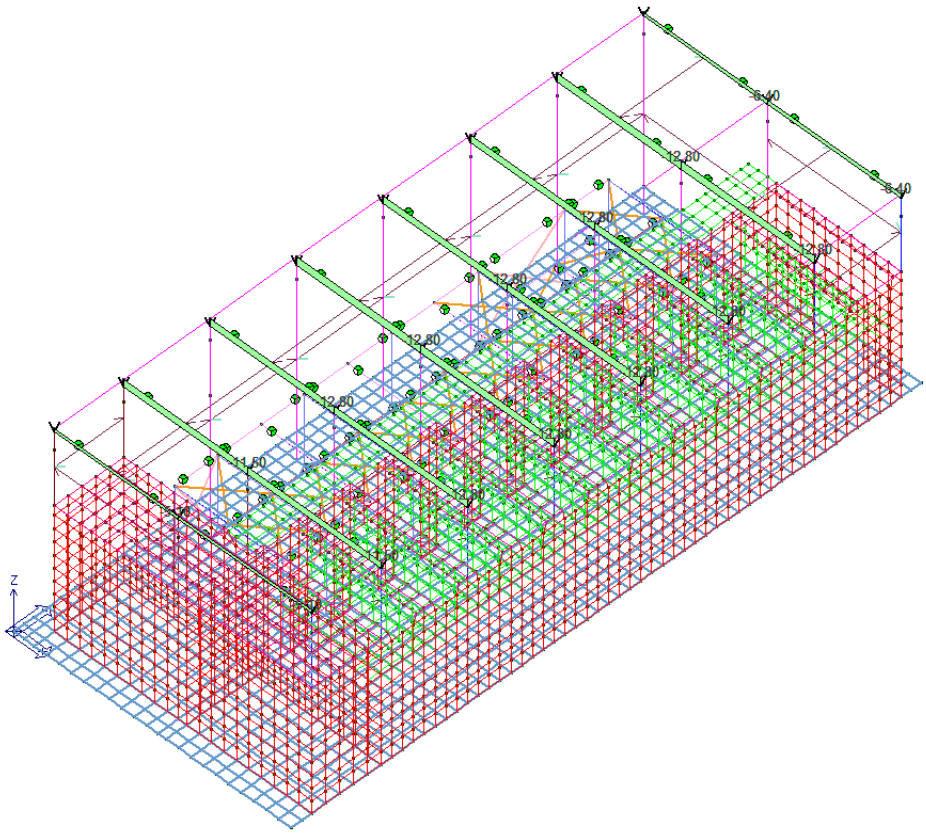
1 - Pesi propri



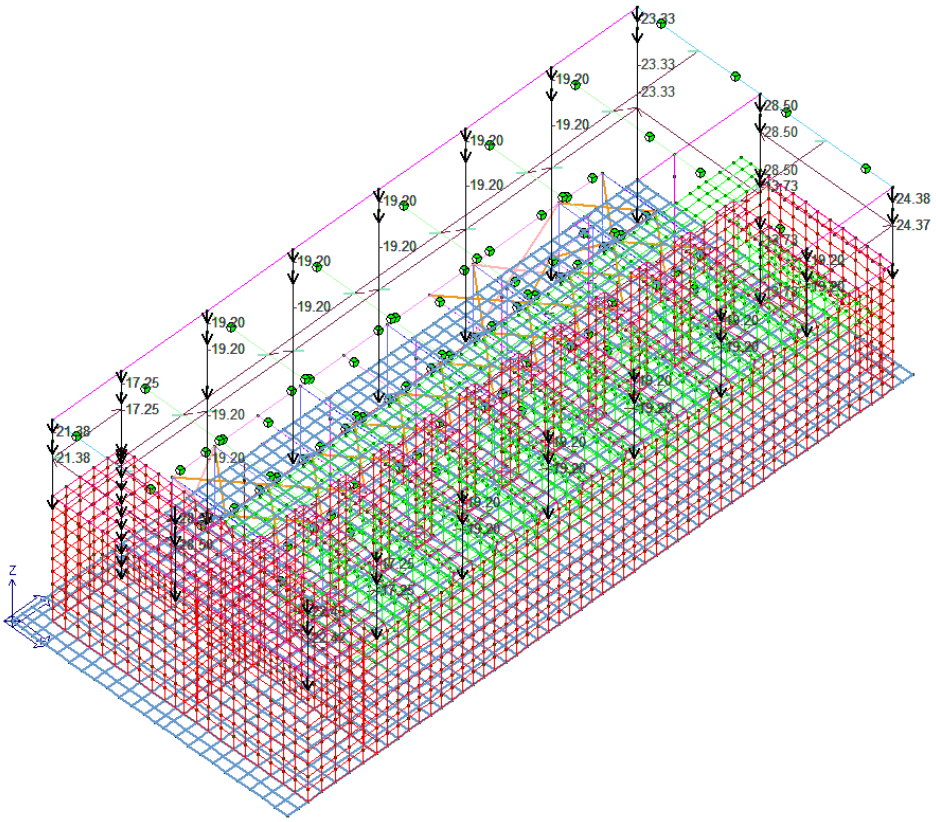
2 – Permanente coperture



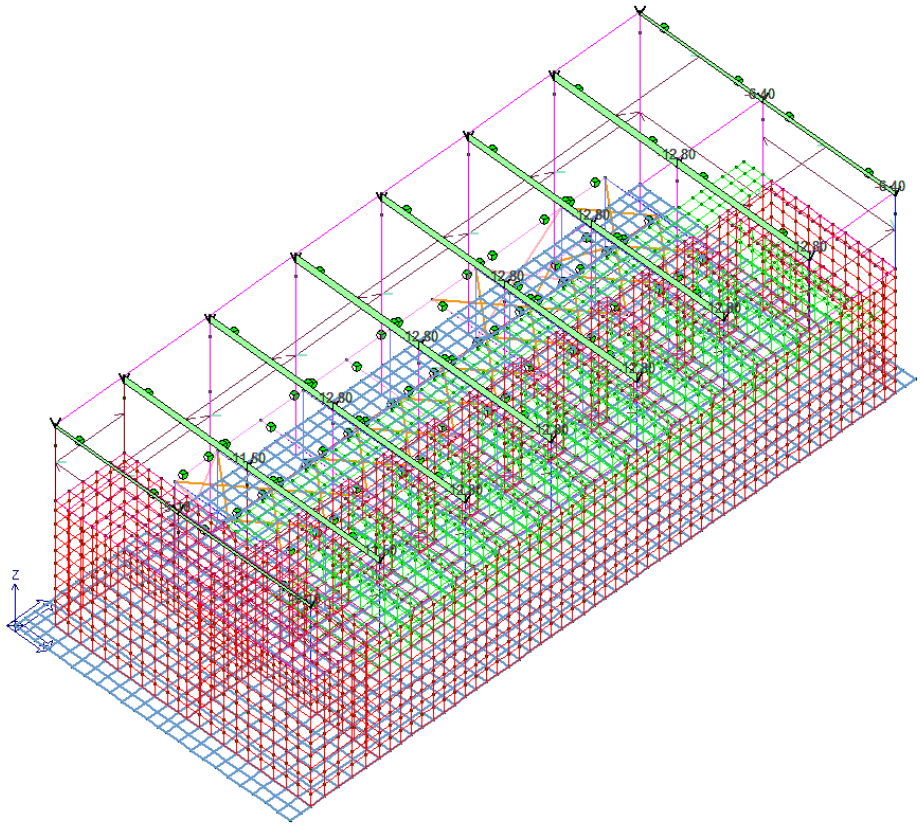
3 – Permanente coperture n.c.d.



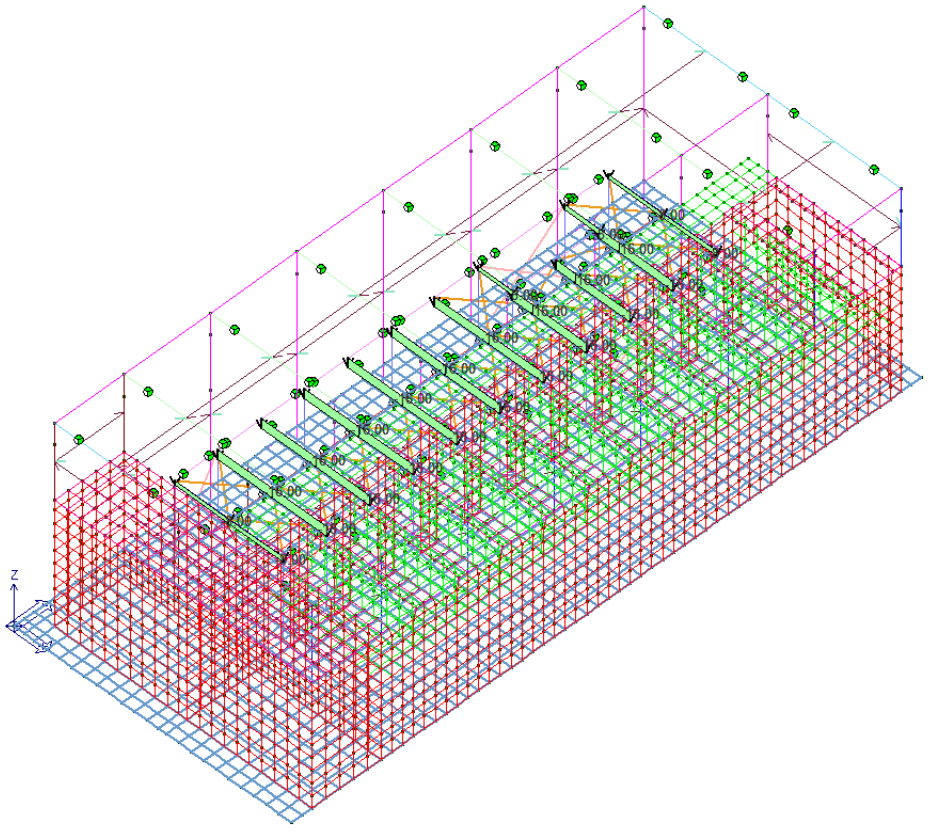
4 – Permanente pannelli pareti



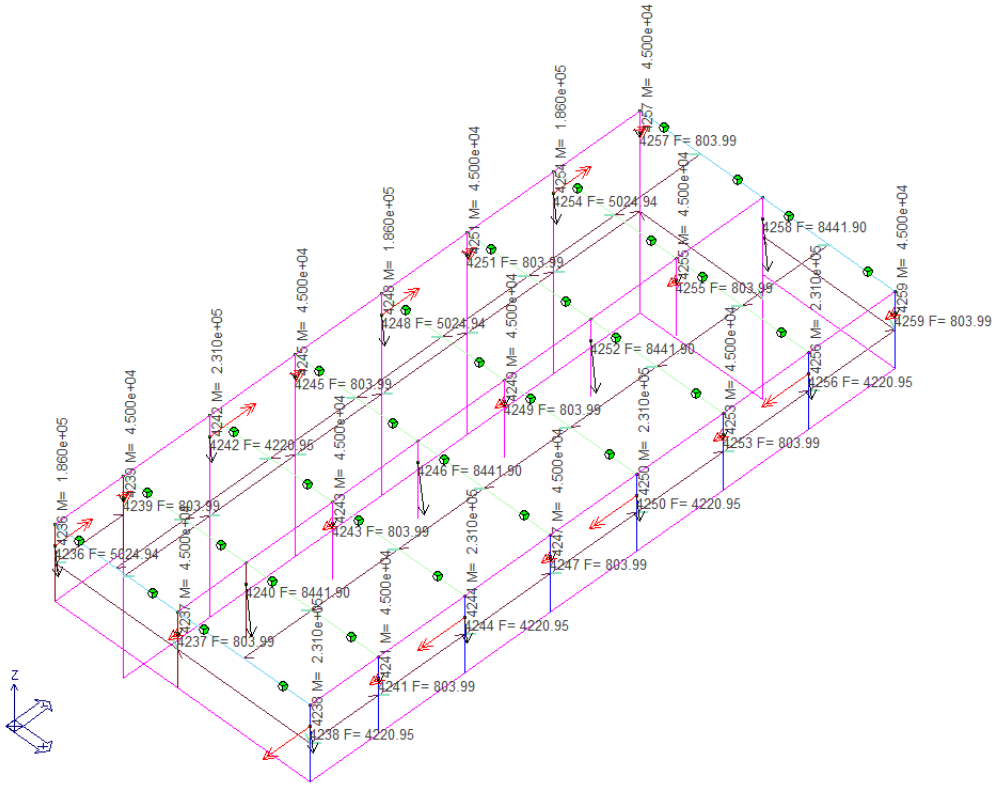
5 – Variabile solai copertura



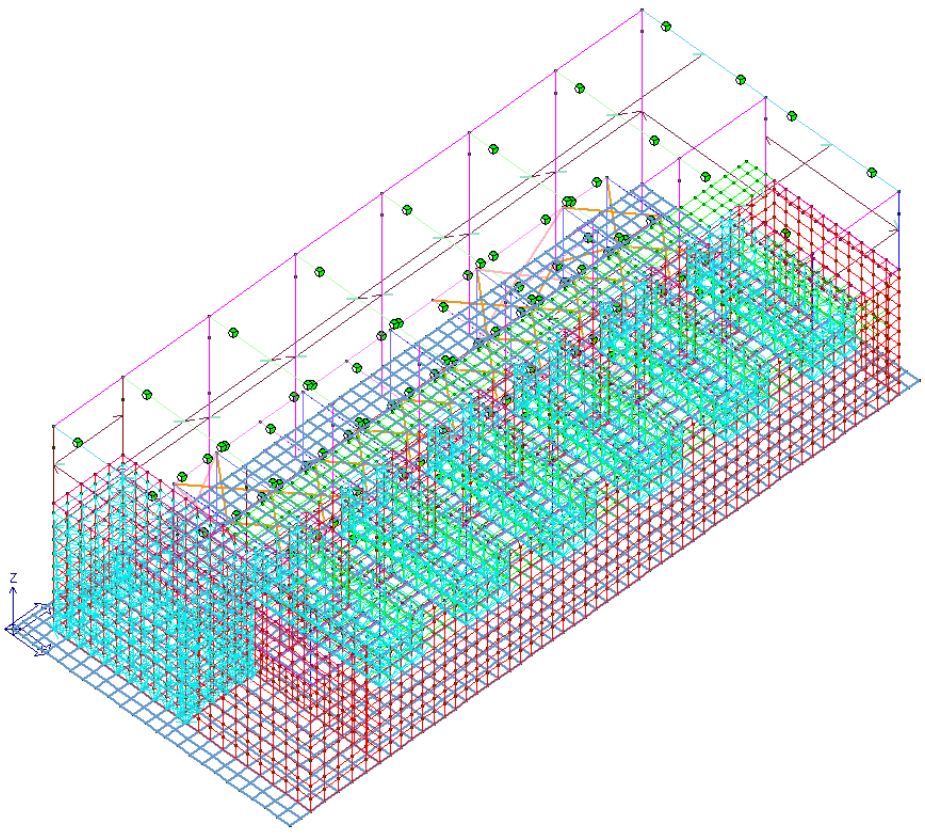
5 – Variabile solai soppalco



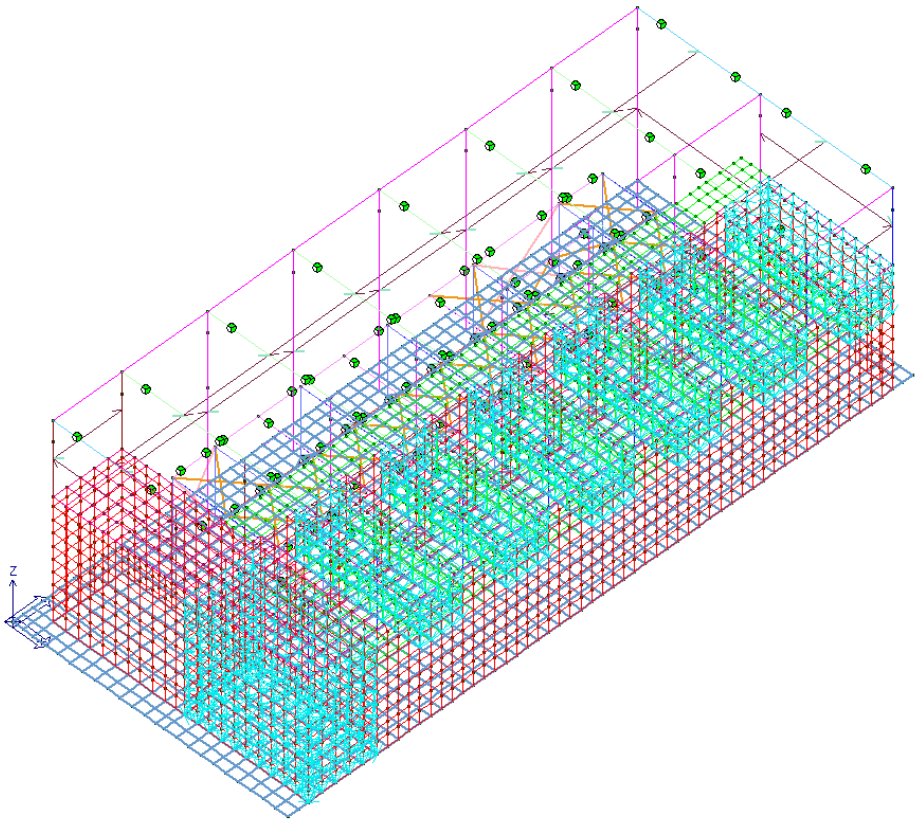
15 – Variabile carriponte



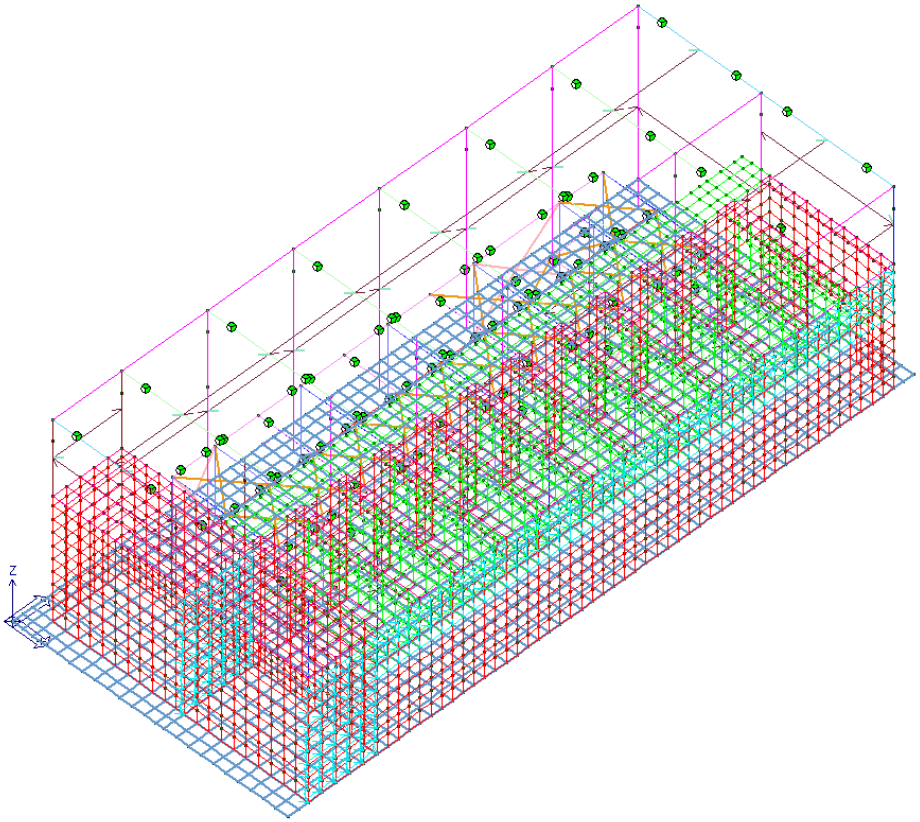
16 – Permanente vasche 1



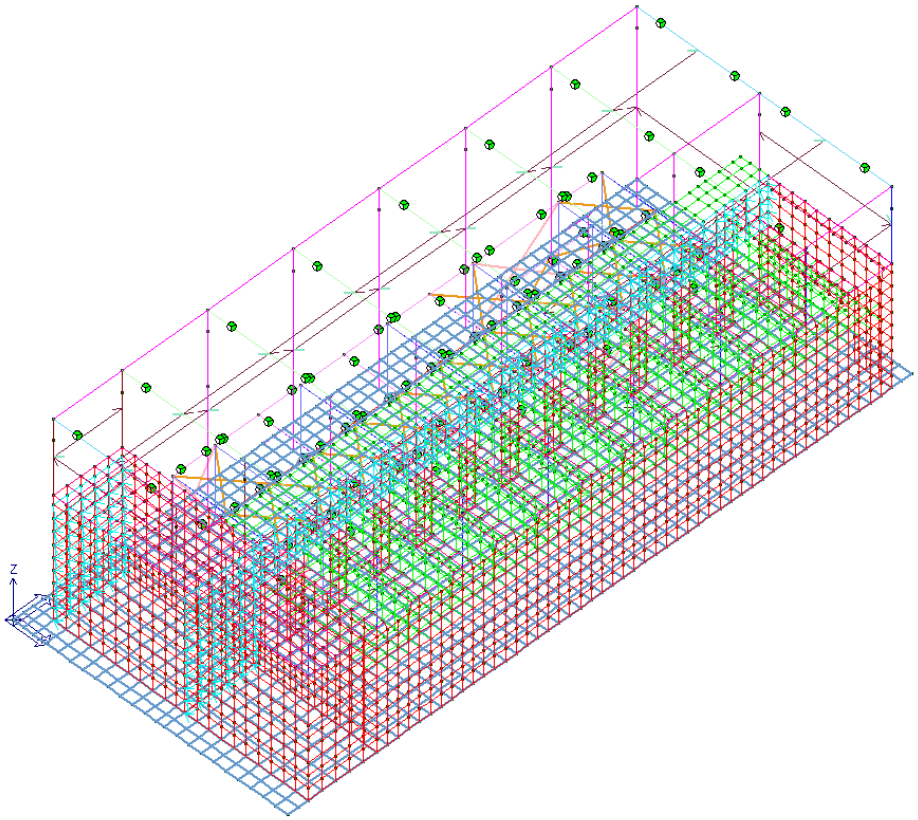
17 – Permanente vasche 2



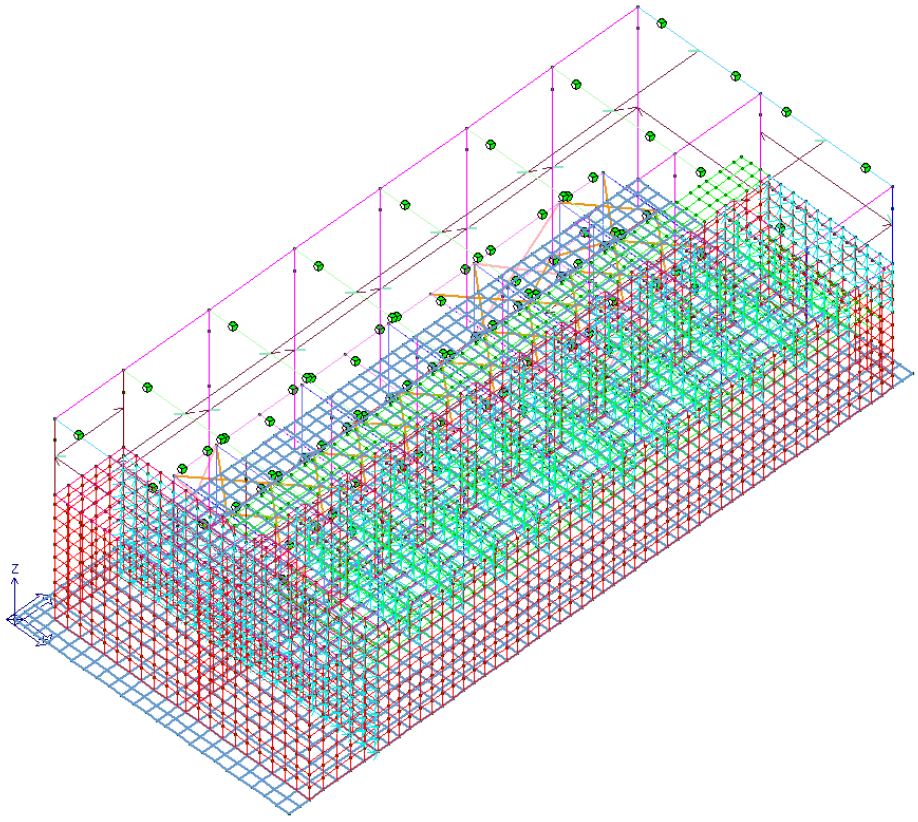
18 – Sisma acqua +x



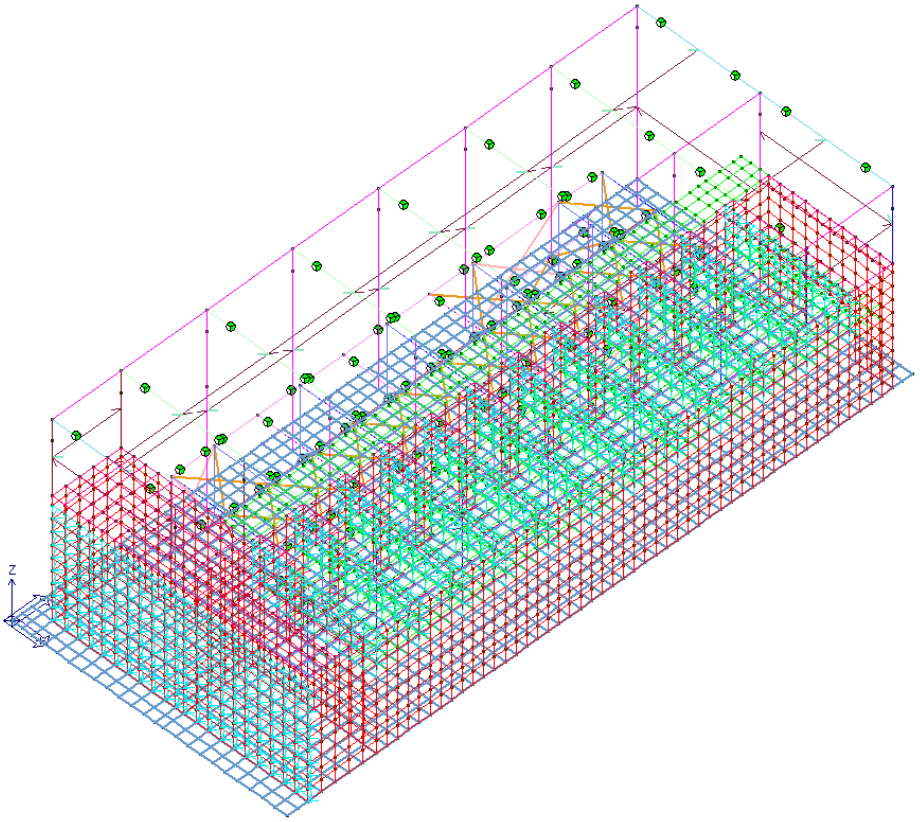
19 – Sisma acqua -x



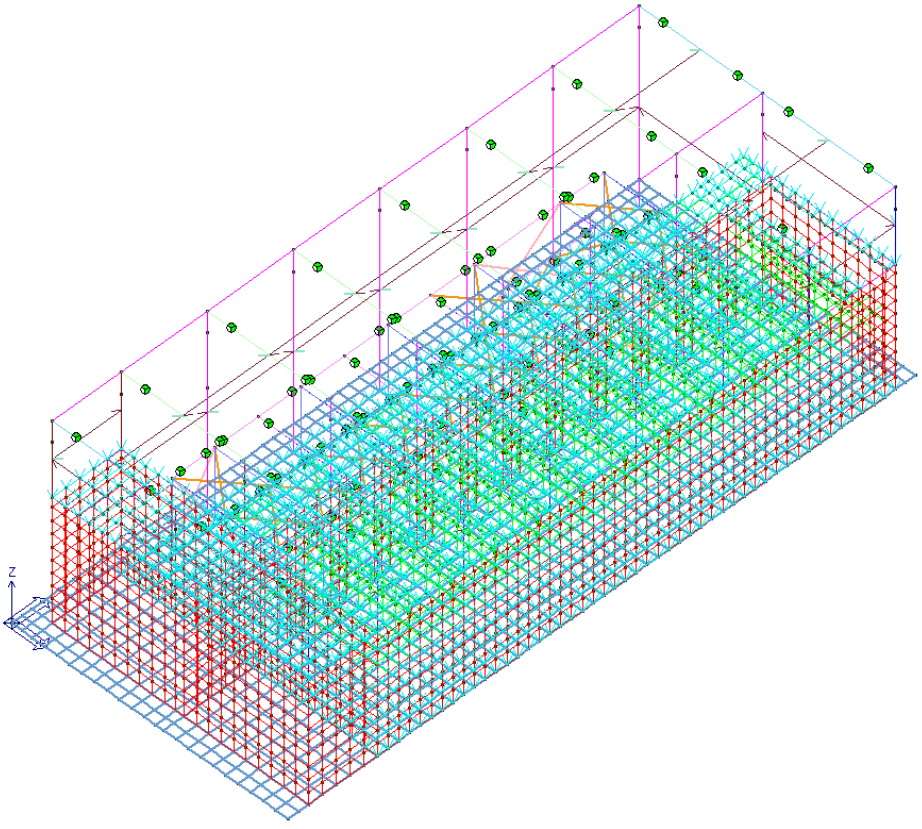
20 – Sisma acqua +y



21 – Sisma acqua -y

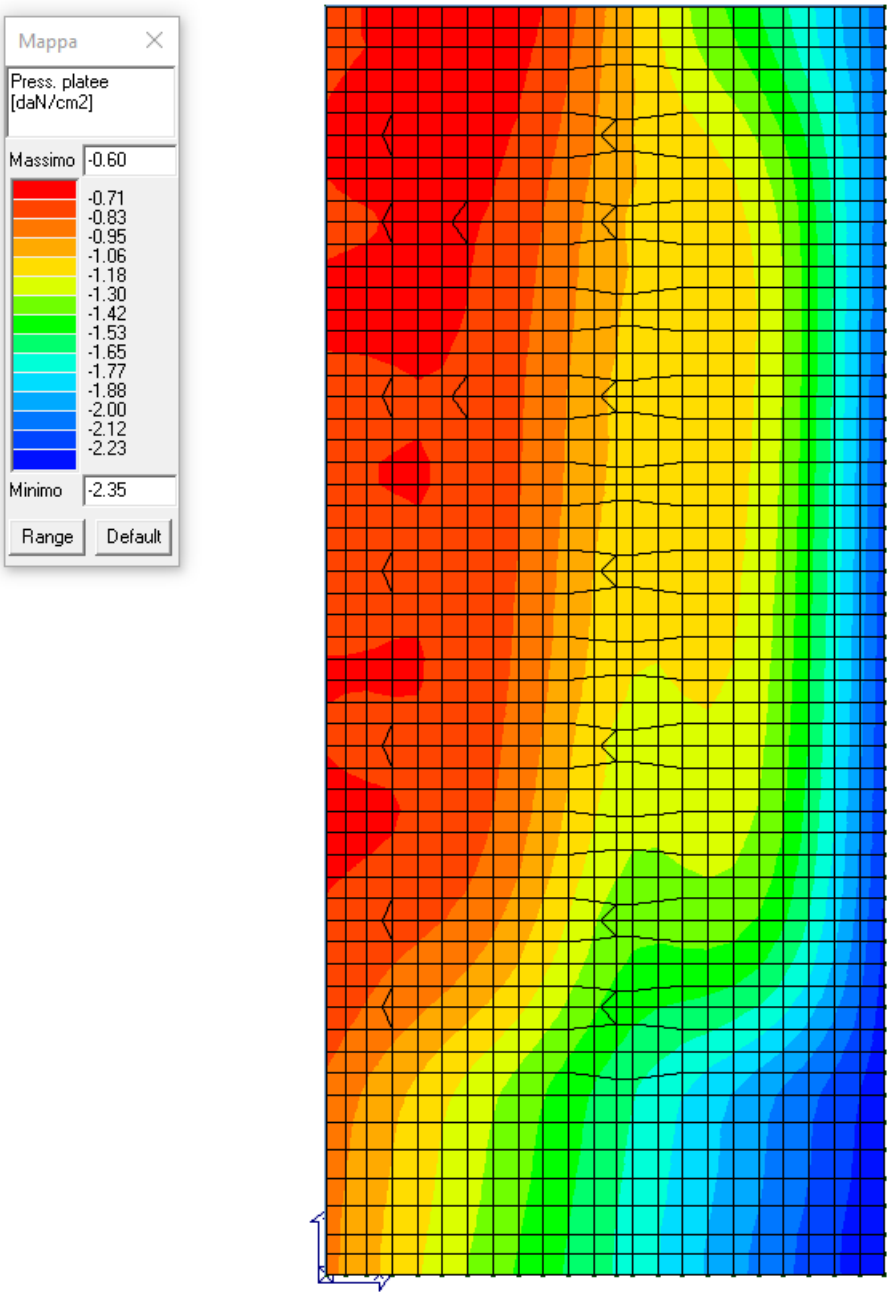


22 – Variabile platea e solette

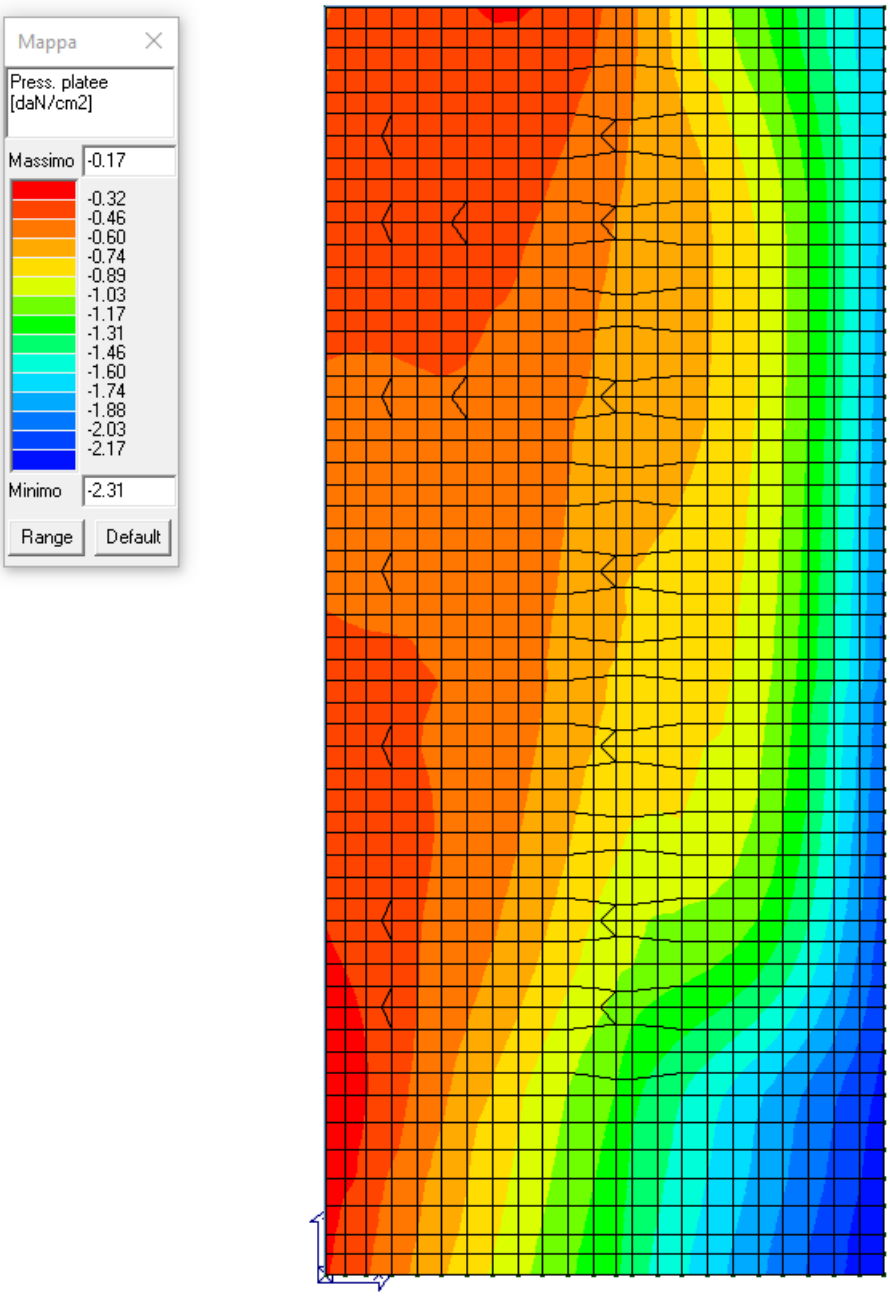


PRESSIONE PLATEA

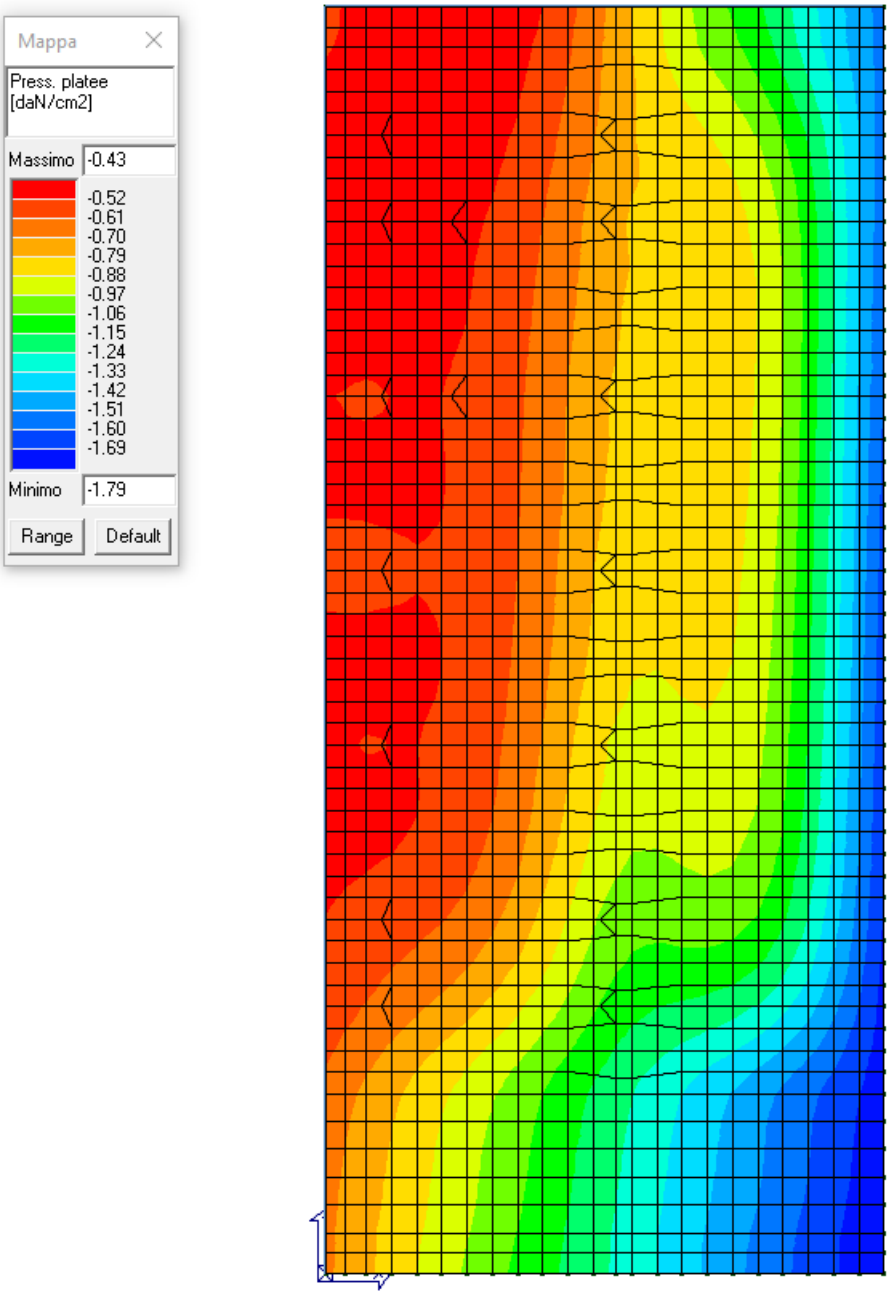
Pressione massima combinazioni SLU STR A1 (CMB 22)



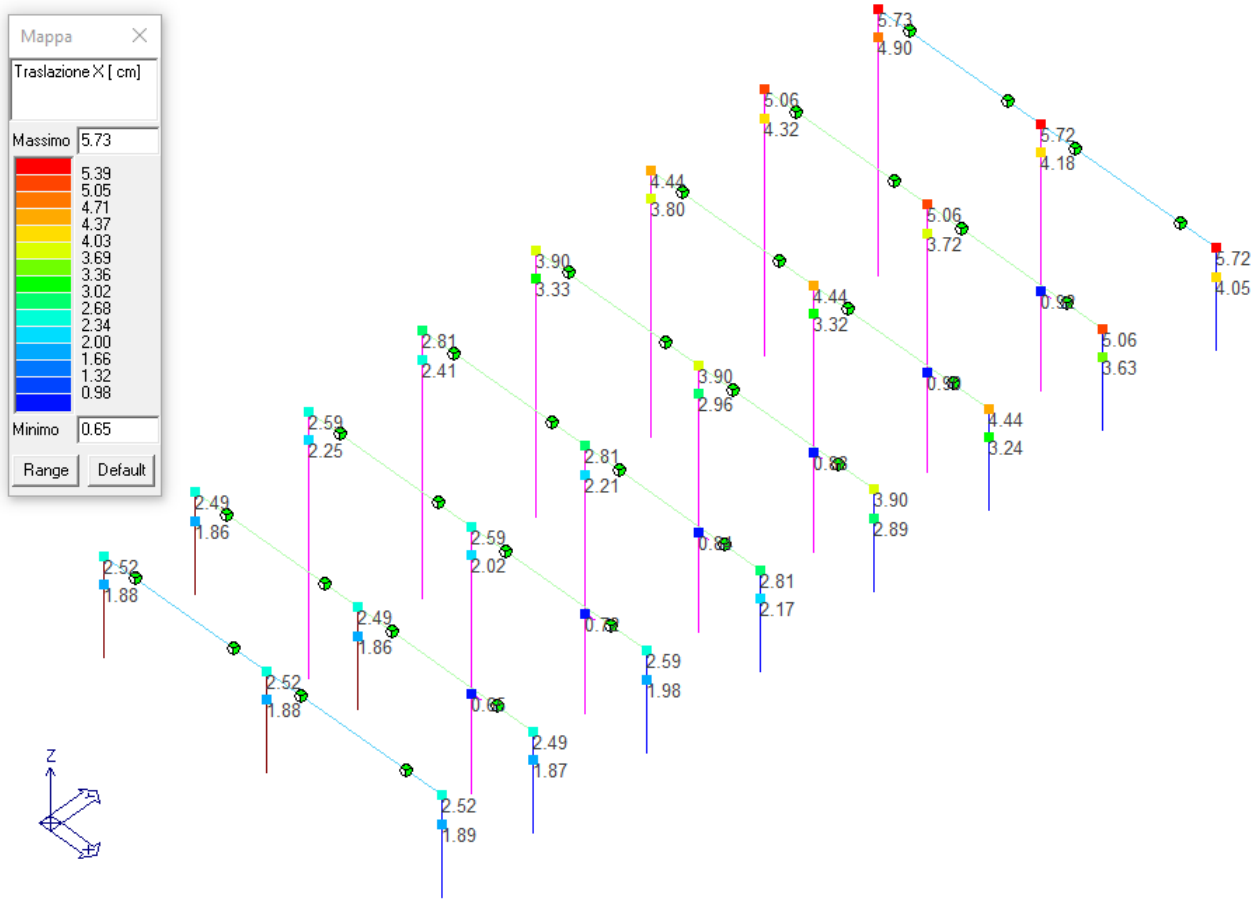
Pressione massima combinazioni SLV sismiche (CMB 34)



Pressione massima combinazioni SLE (rara) (CMB 100)

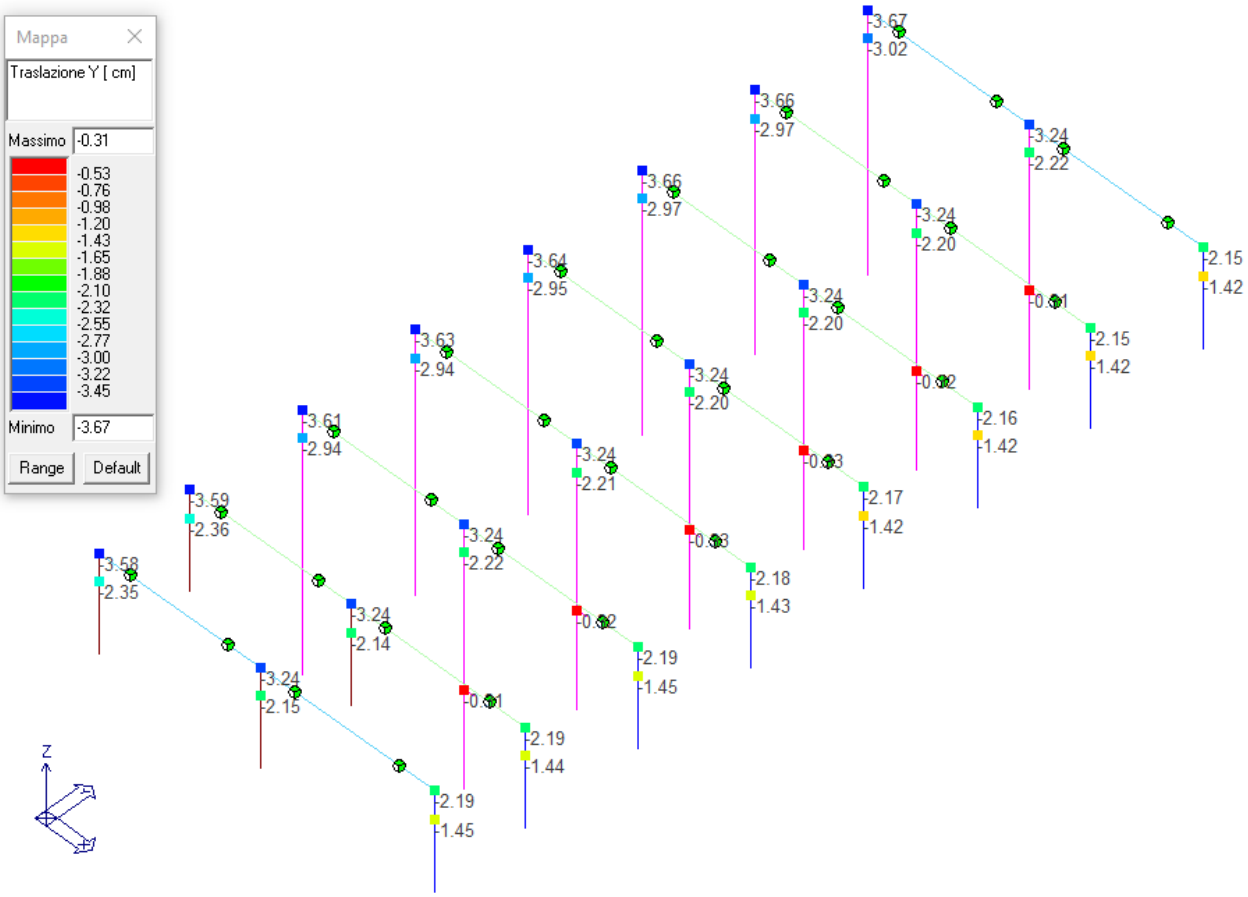


SPOSTAMENTI SISMICI SLV (CMB 35)



Massimo spostamento in direzione x è 5,73 x 1,5 = 8,60 cm

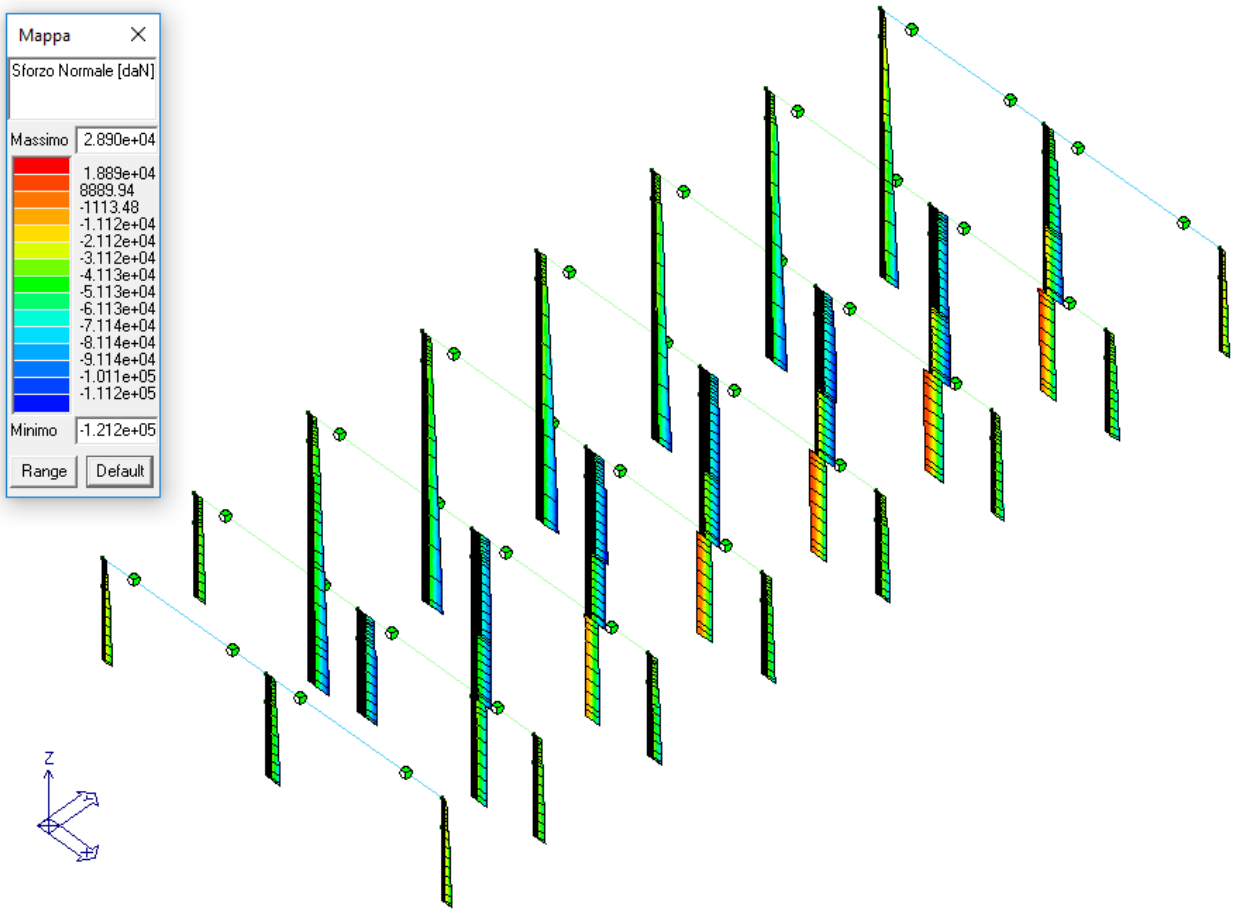
SPOSTAMENTI SISMICI SLV (CMB 46)



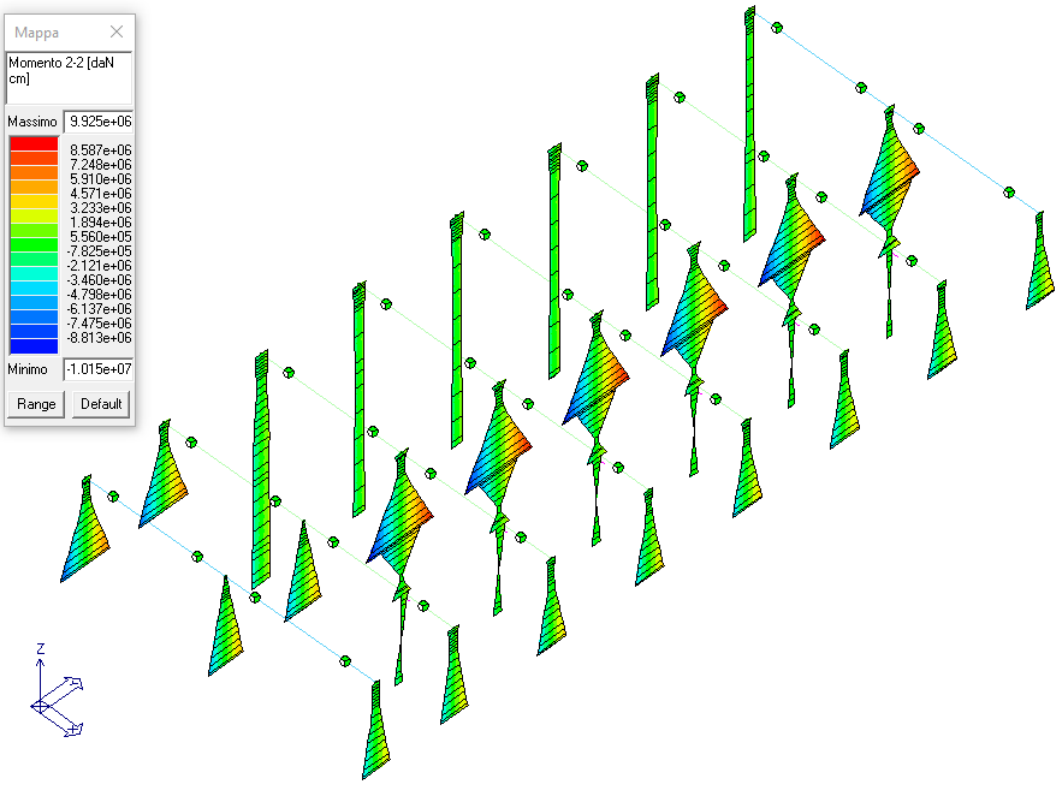
Massimo spostamento in direzione y è 3,67 x 1,5 = 5,50 cm

INVILUPPO SOLLECITAZIONI NEI PILASTRI

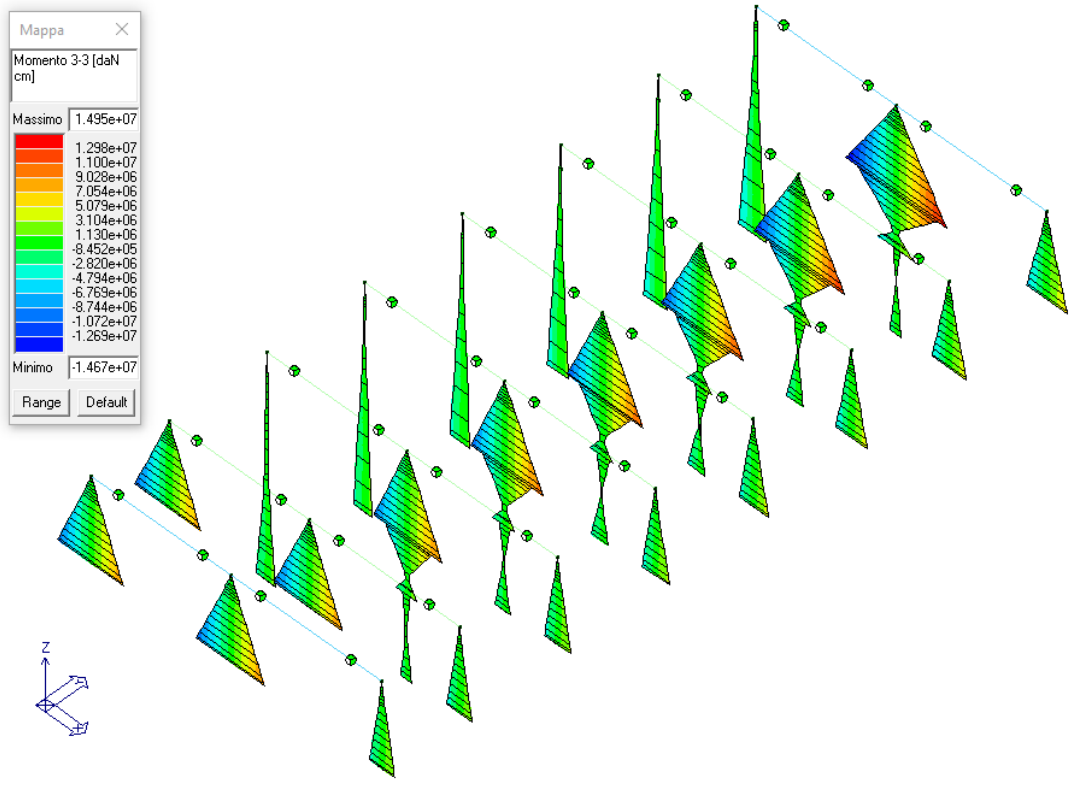
Sforzo normale



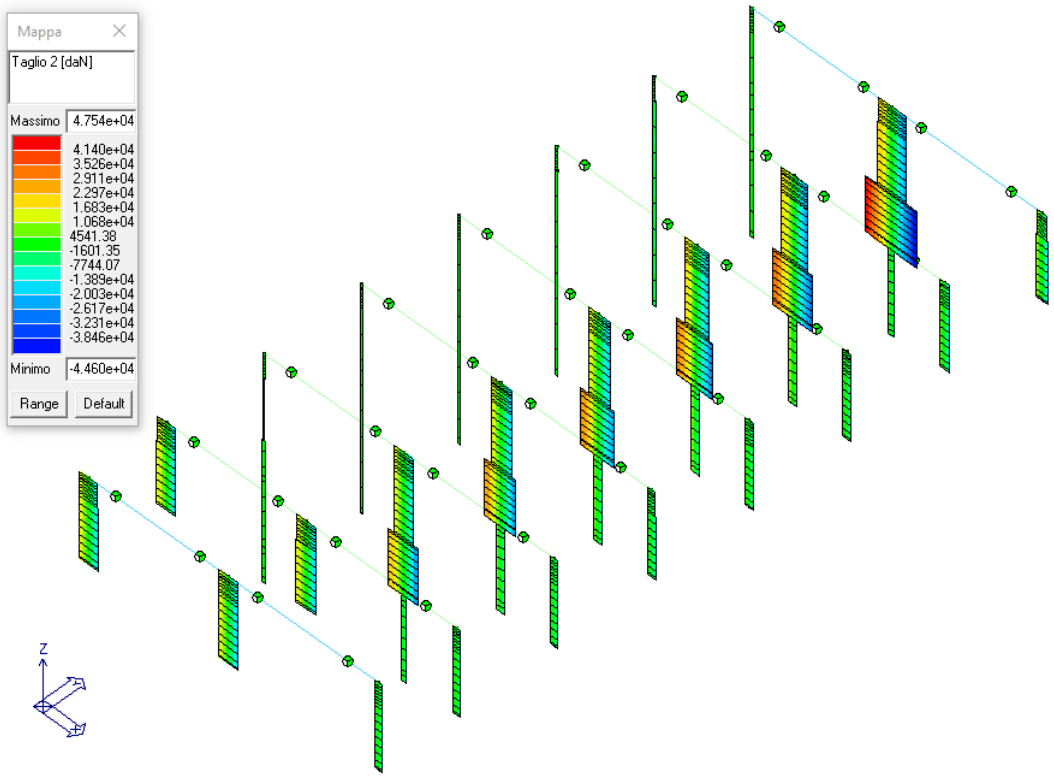
Momenti flettenti M22



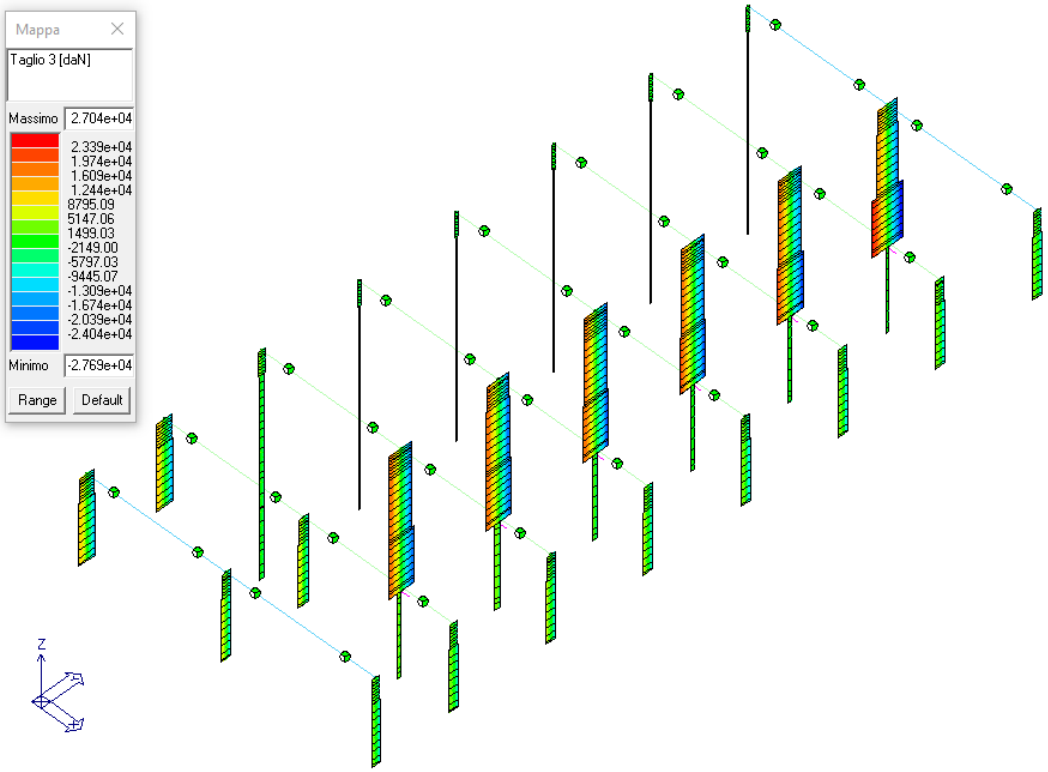
Momenti flettenti M33



Taglio V22

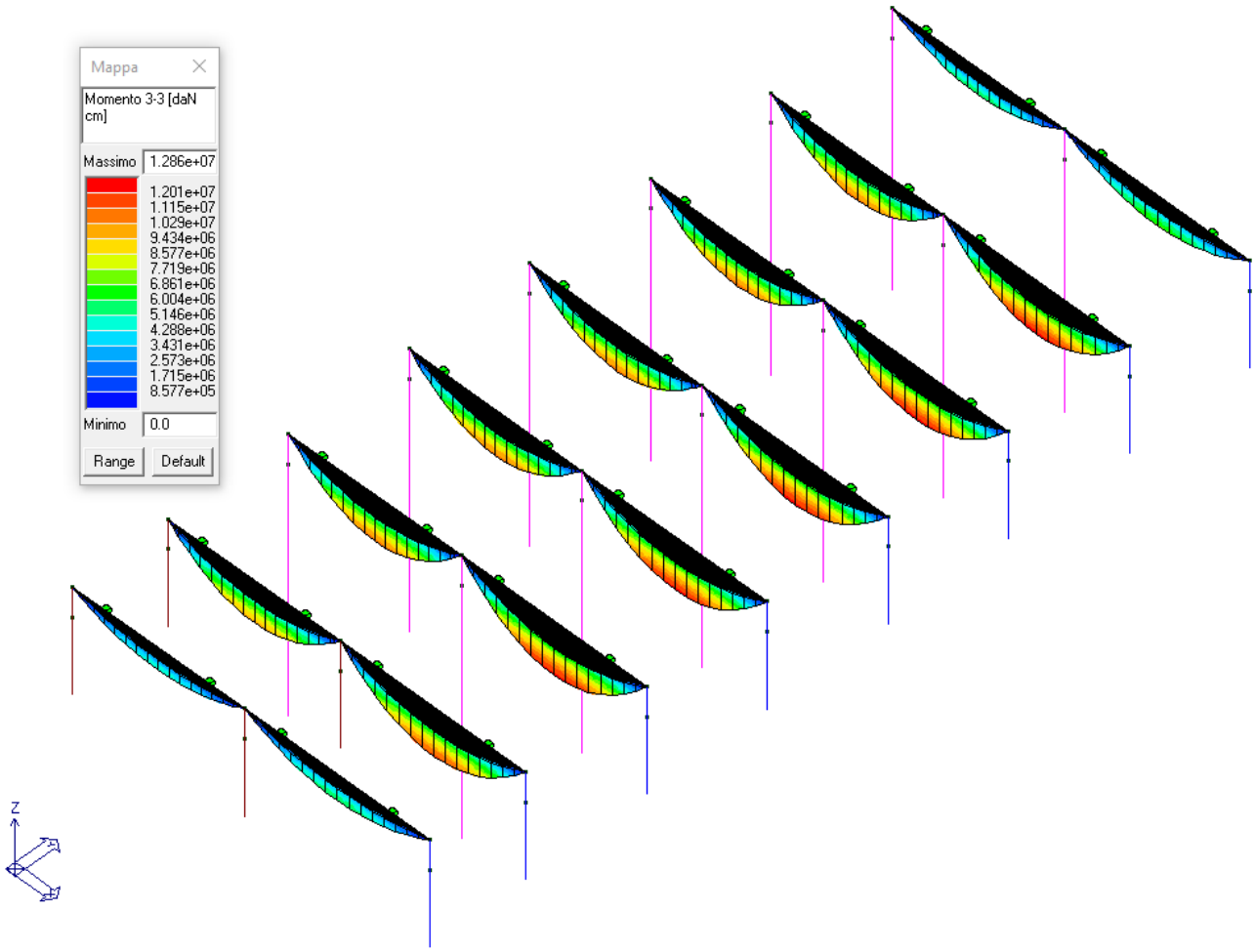


Taglio V33

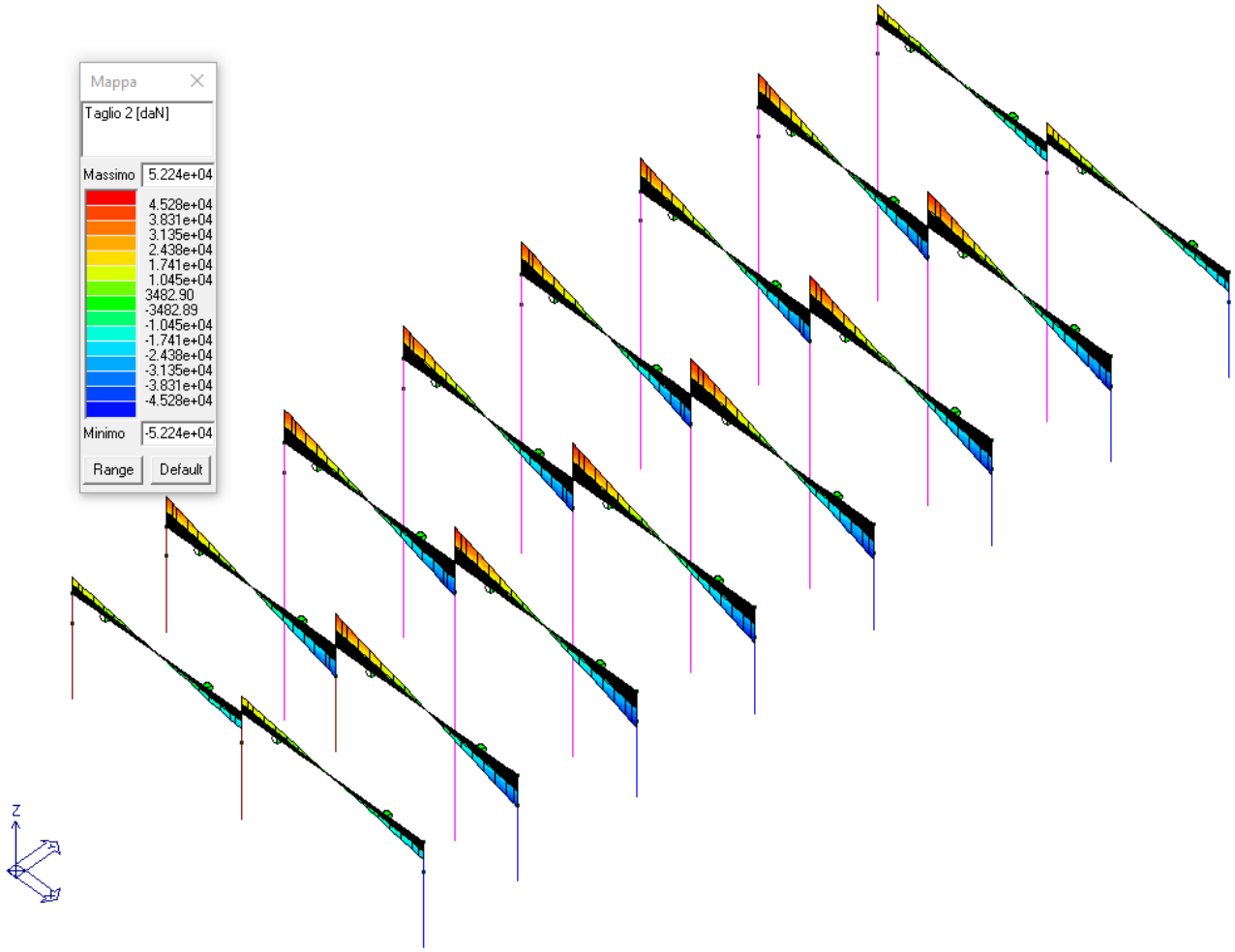


INVILUPPO SOLLECITAZIONI NELLE TRAVI

Momenti flettenti M33

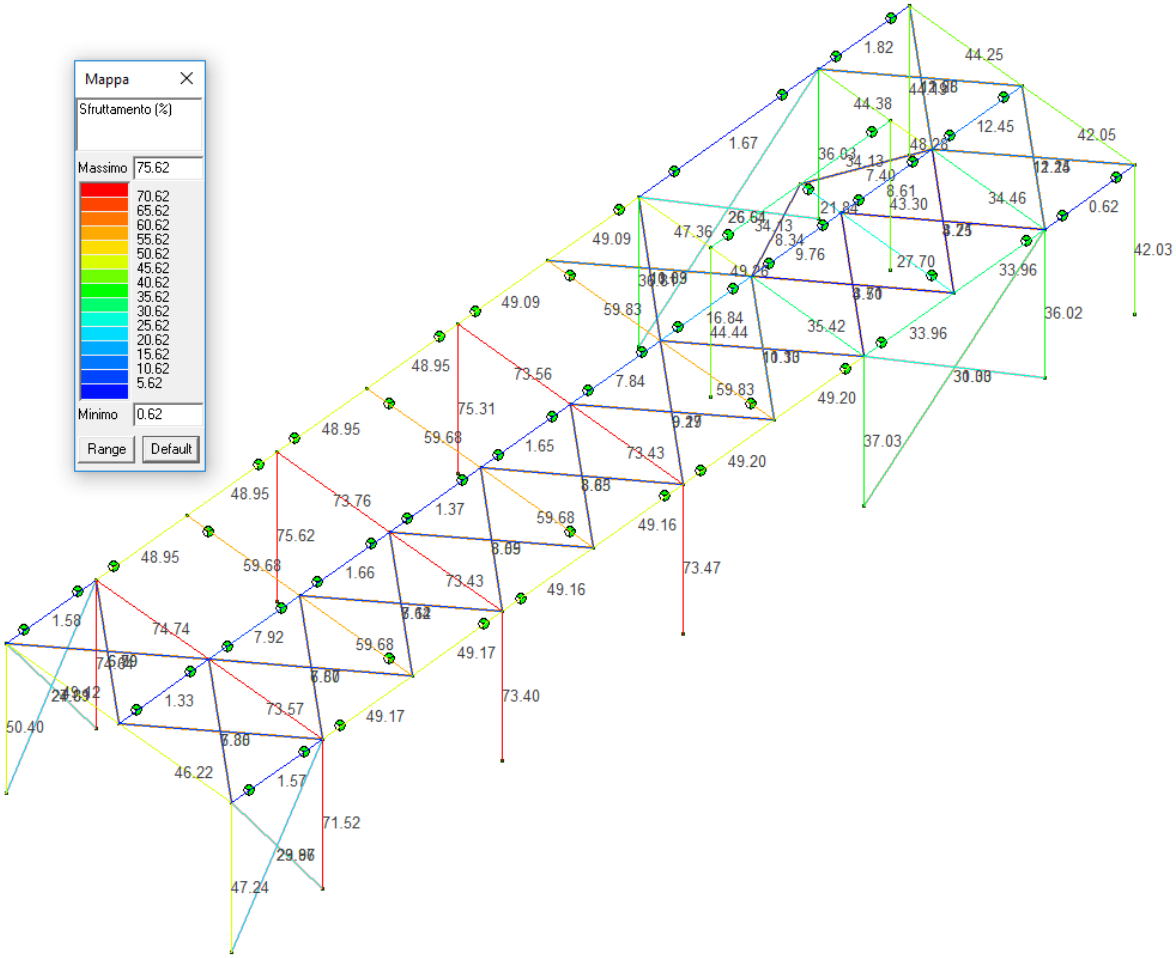


Taglio V22

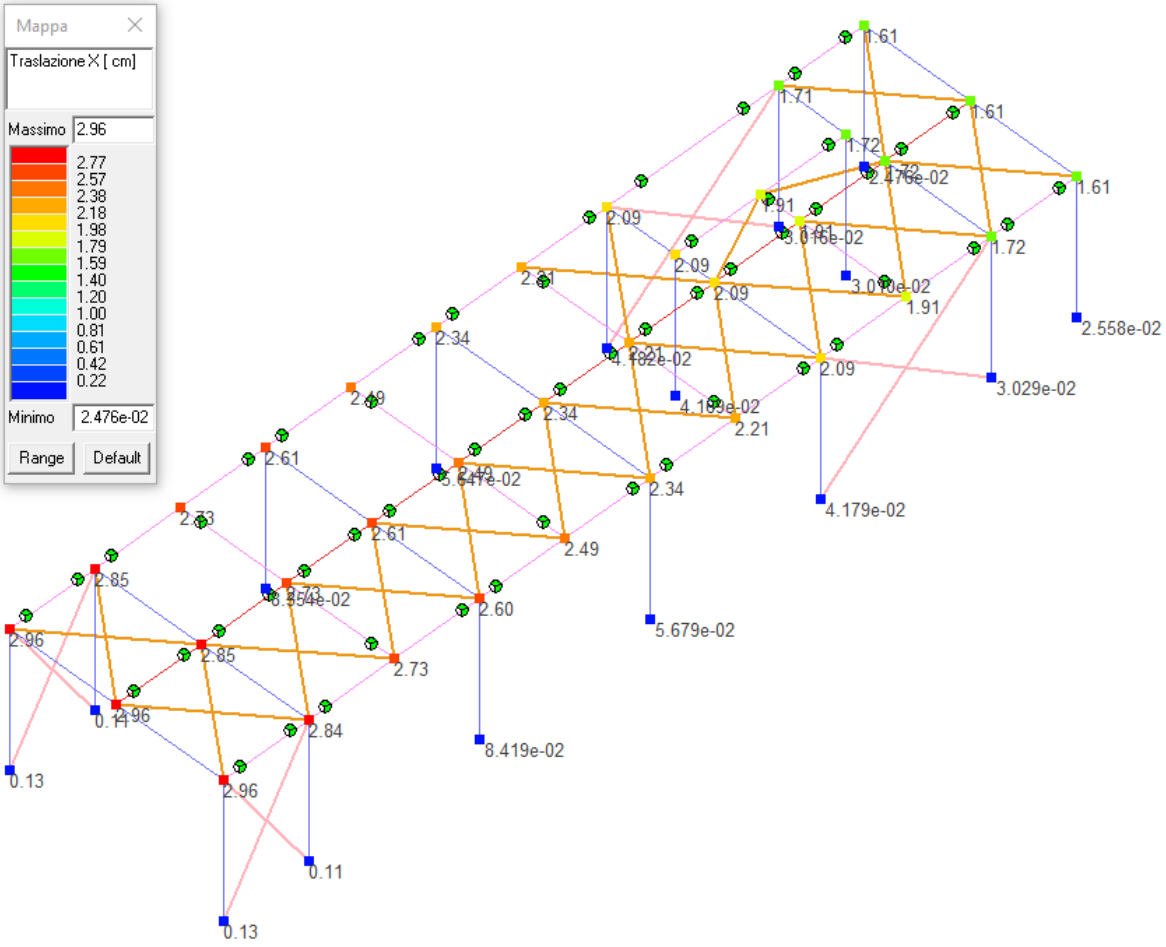

Mappa
Taglio 2 [daN]
Massimo
5.224e+04
4.528e+04
3.831e+04
3.135e+04
2.438e+04
1.741e+04
1.045e+04
3482.90
-3482.89
-1.045e+04
-1.741e+04
-2.438e+04
-3.135e+04
-3.831e+04
-4.528e+04
Minimo
-5.224e+04
Range
Default
Z

SOPPALCO METALLICO

Sfruttamento elementi

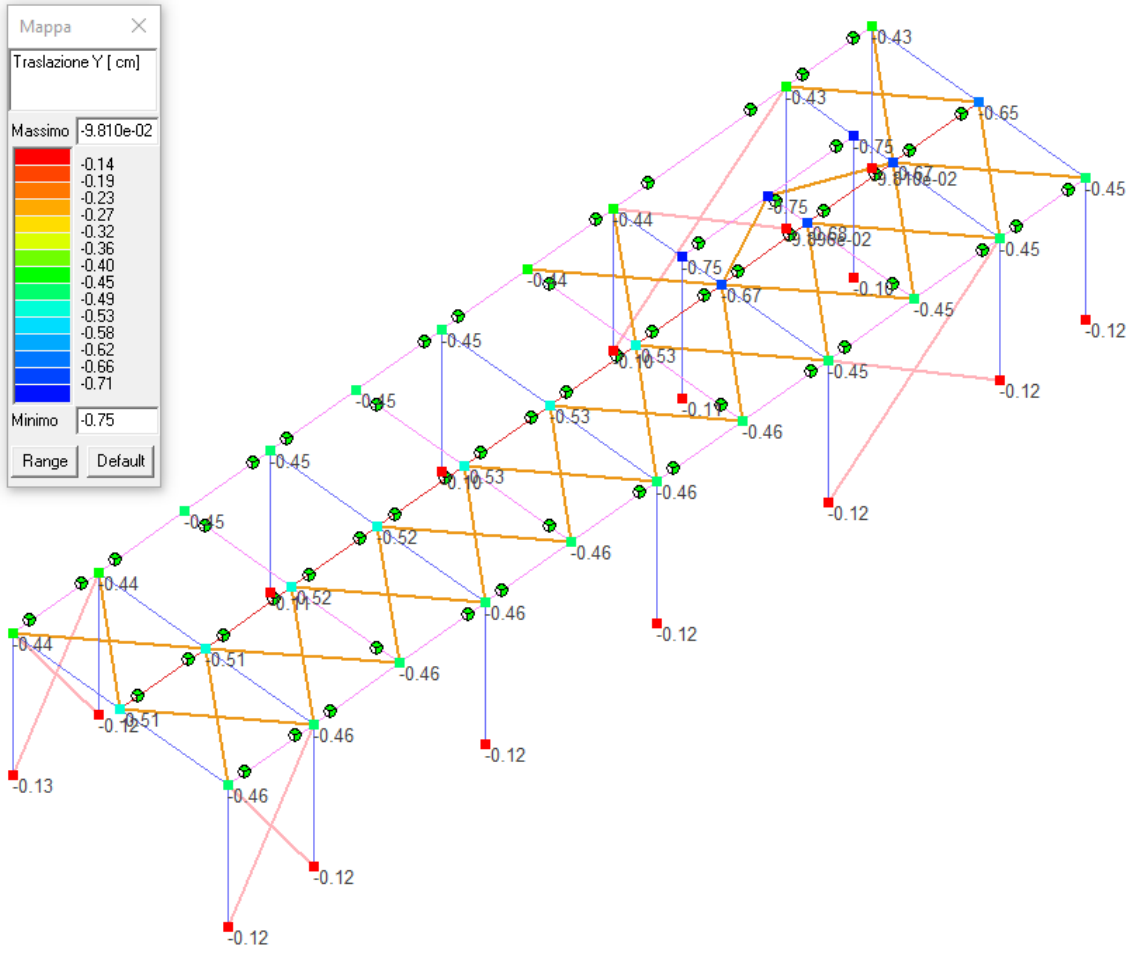


Spostamenti sismici slv (CMB 23)



Massimo spostamento in direzione x è 2,96 x 1,5 = 4,4 cm

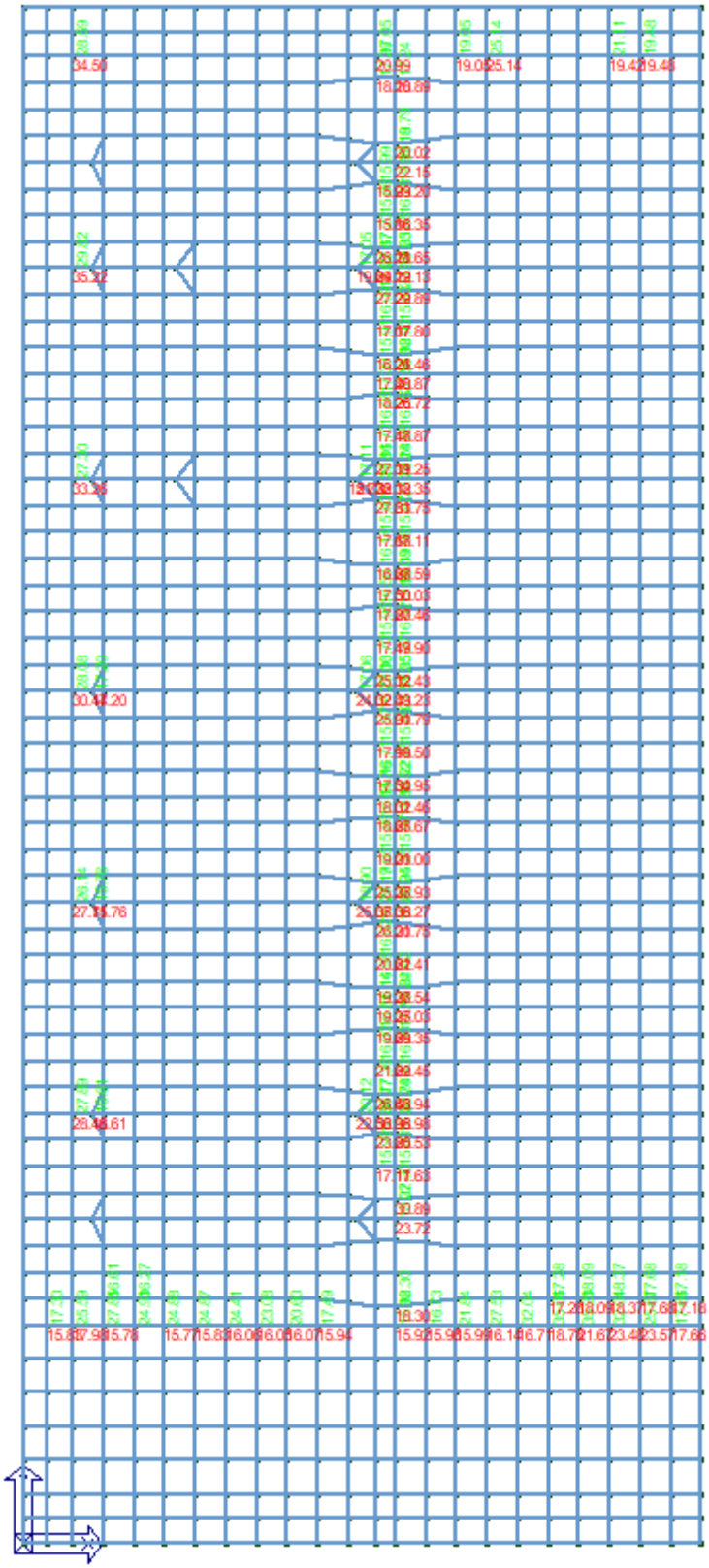
Spostamenti sismici slv (CMB 44)



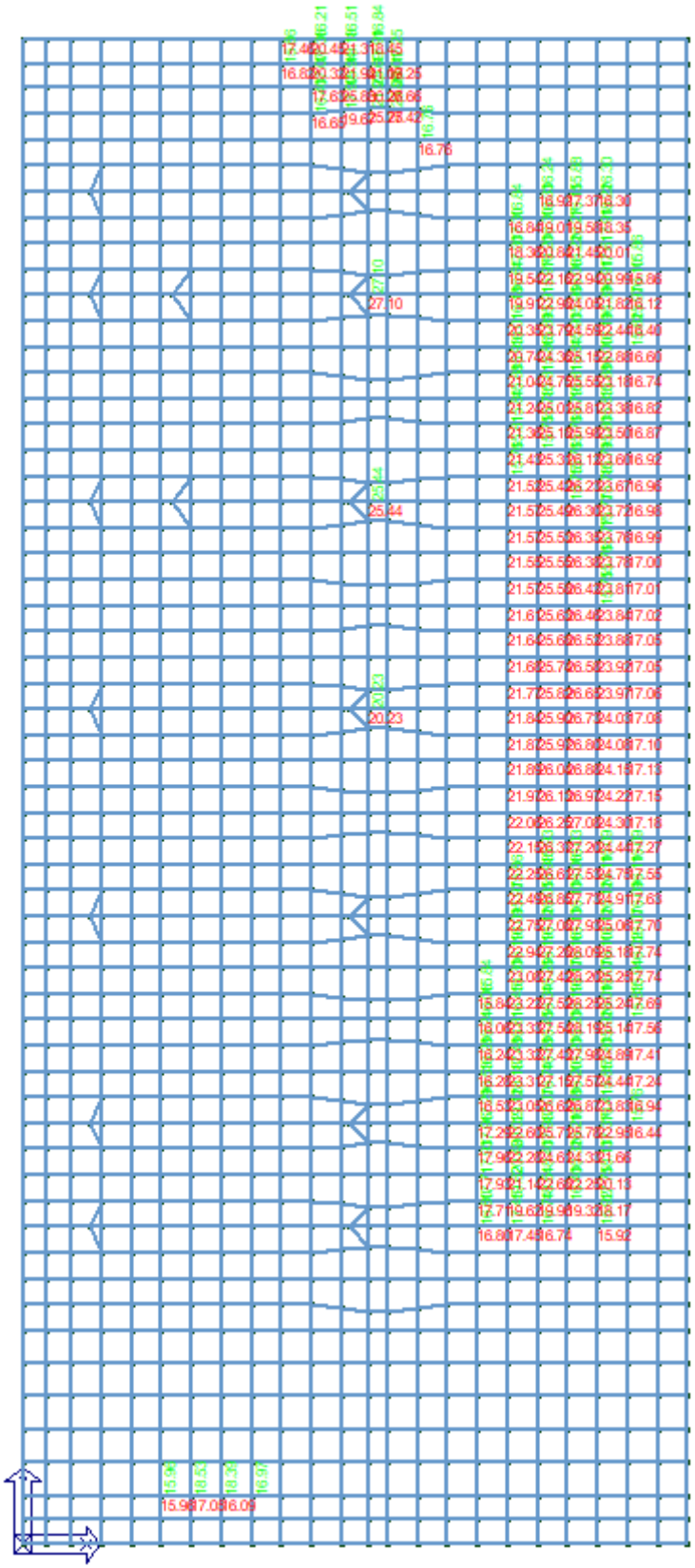
Massimo spostamento in direzione y è 0,75 x 1,5 = 1,13 cm

ARMATURE NELLA PLATEA

Nodi con armatura inferiore maggiore di ϕ20/20

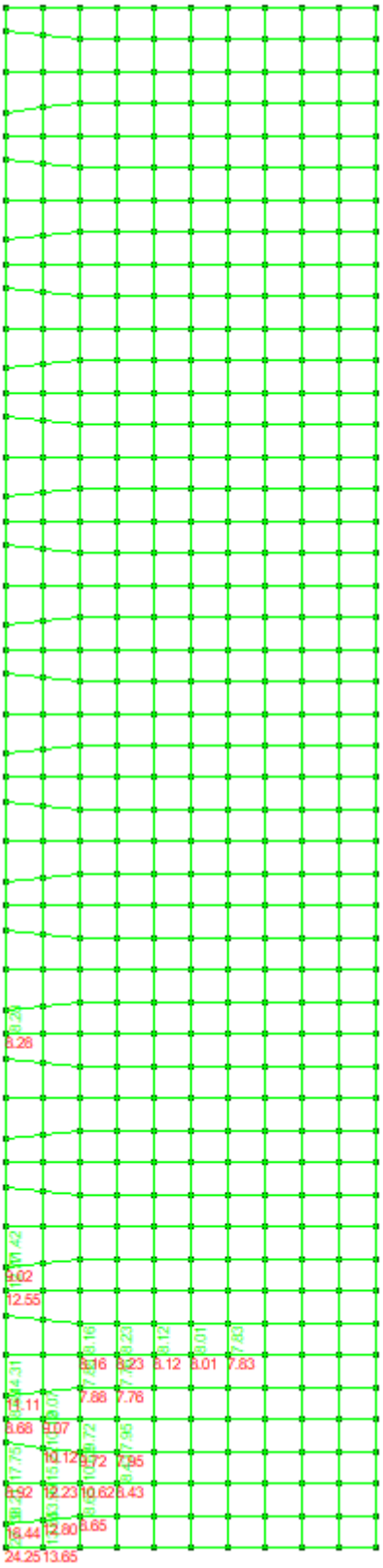


Nodi con armatura superiore maggiore di ϕ20/20

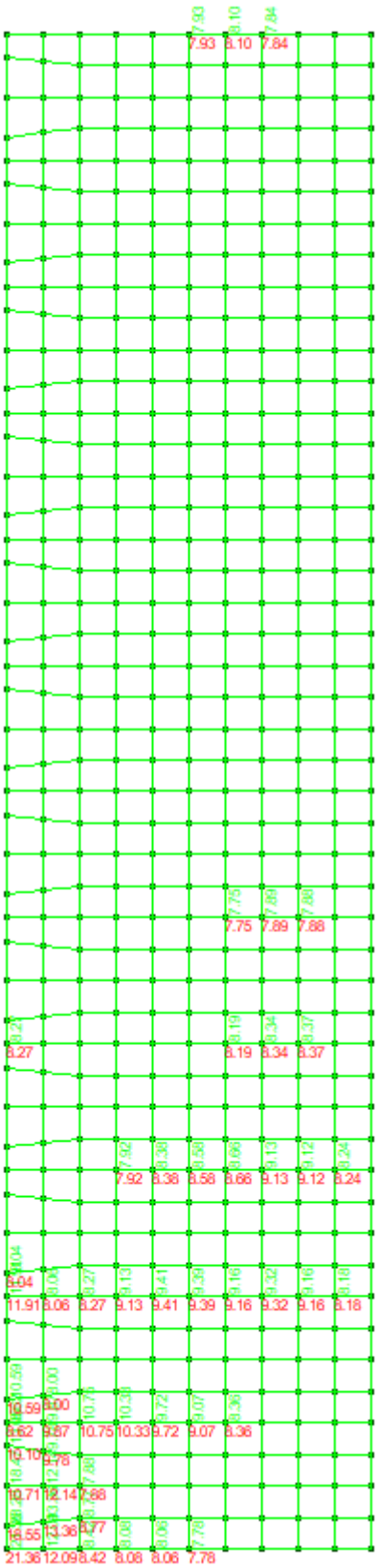


ARMATURE NELLA SOLETTA FONDO VASCHE MBR sp.30 cm

Nodi con armatura inferiore maggiore di ϕ14/20

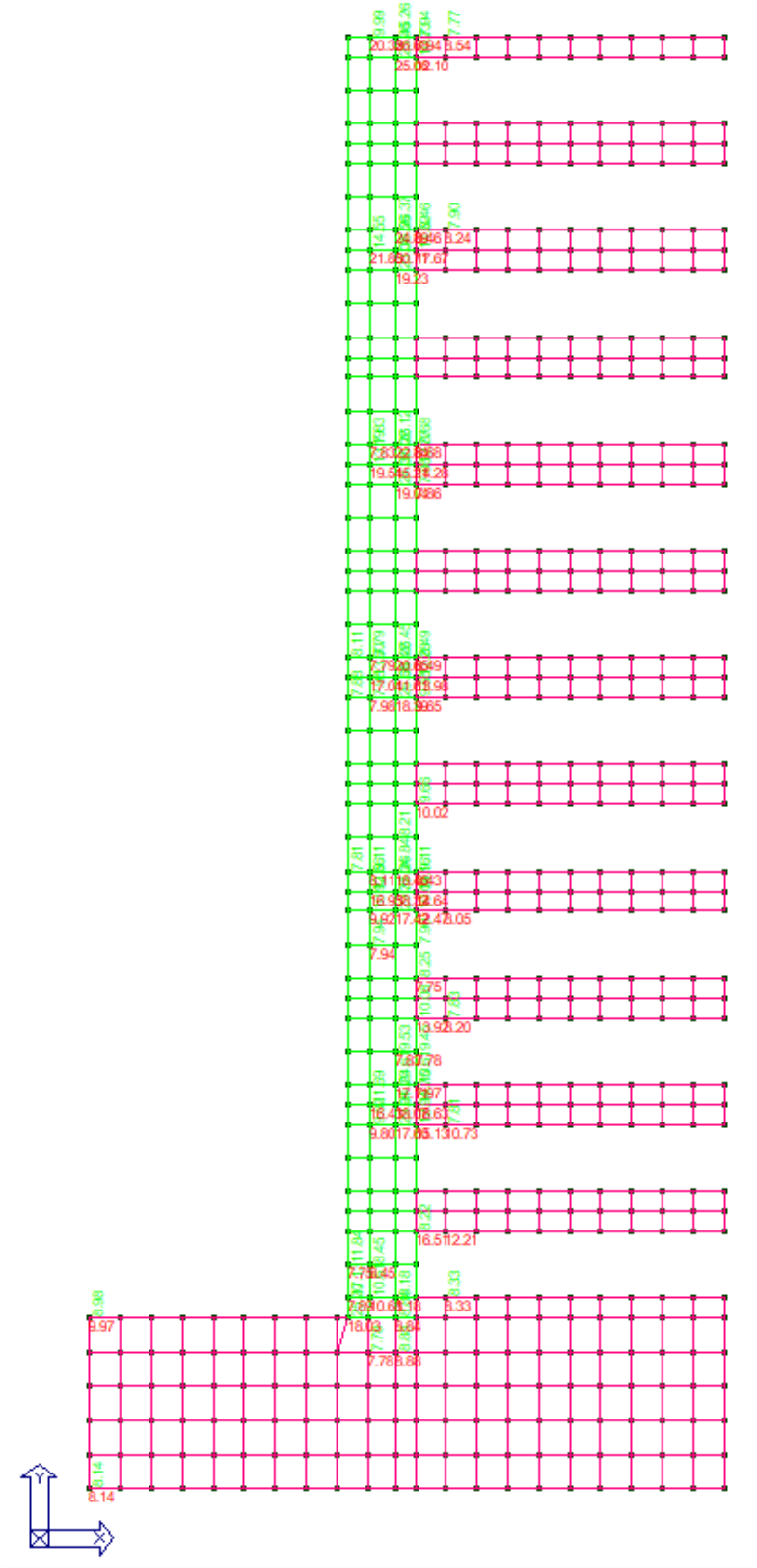


Nodi con armatura superiore maggiore di ϕ14/20

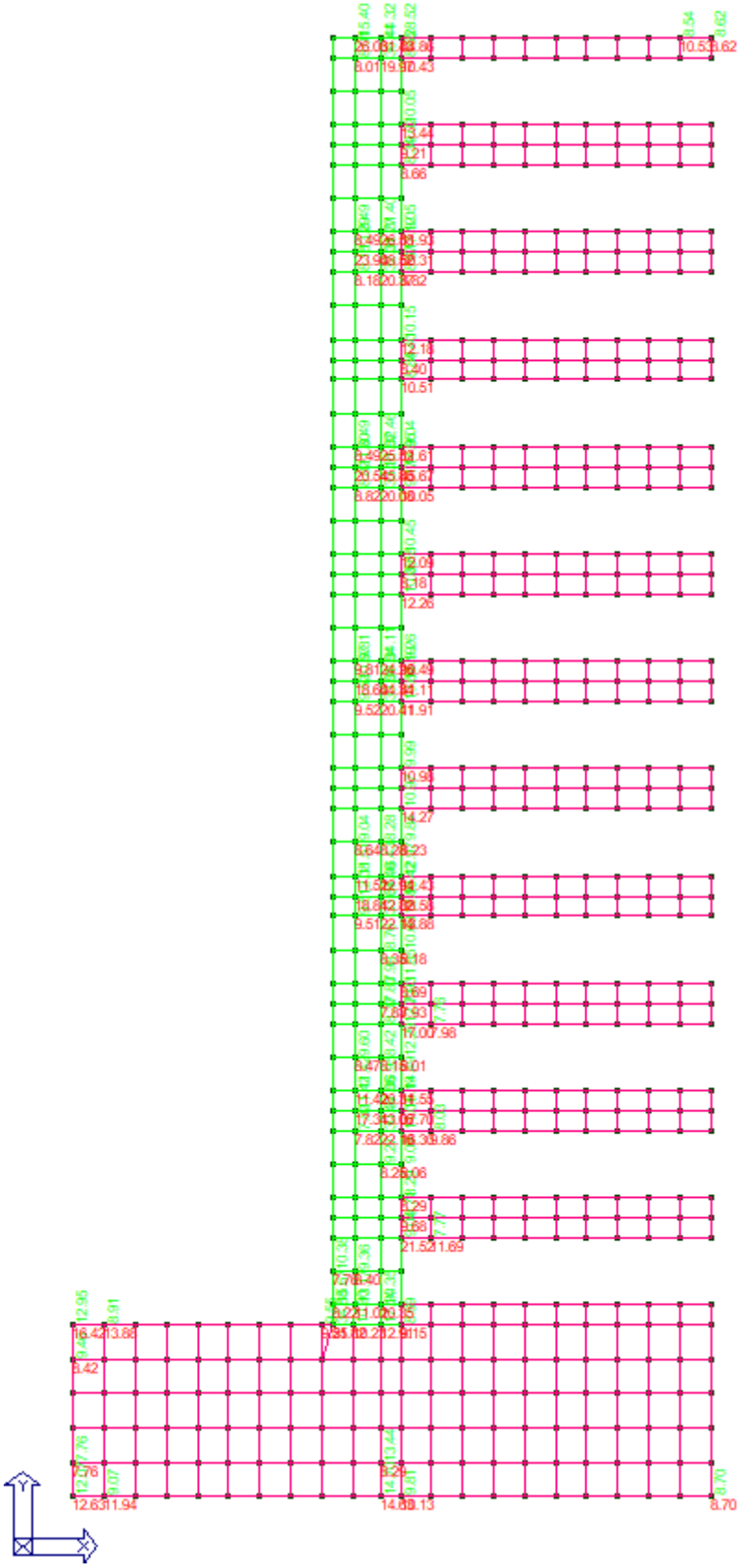


ARMATURE NELLA SOLETTA SOMMITA' VASCHE sp. 25 cm e 30 cm

Nodi con armatura inferiore maggiore di ϕ14/20



Nodi con armatura superiore maggiore di ϕ14/20



7. ISPESSIMENTO E DISIDRATAZIONE

Il comparto ispessimento e disidratazione è composto da un fabbricato su due piani che conterrà i macchinari per i processi.

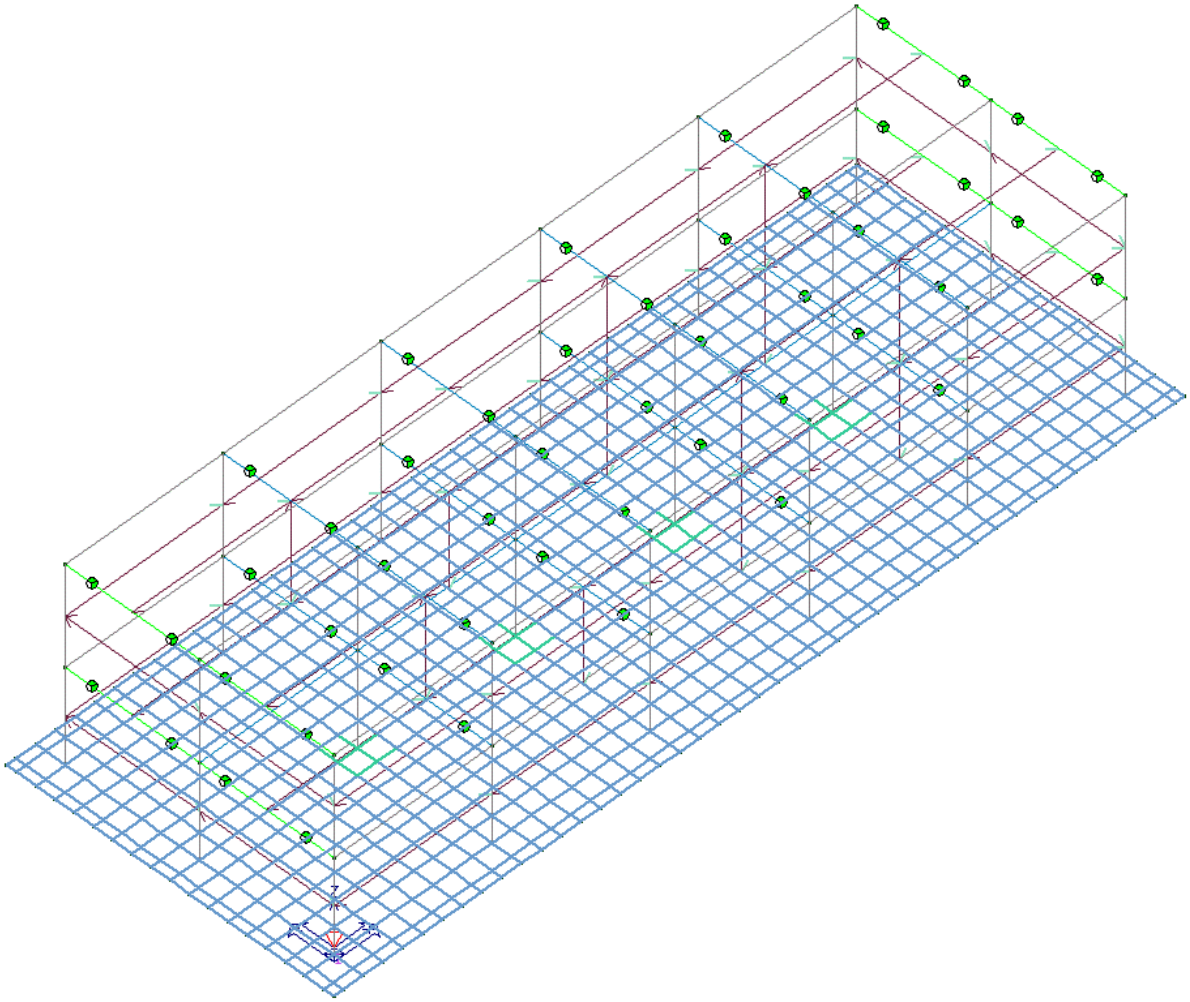
La struttura portante del fabbricato è composta da colonne isostatiche incastrate alla base (sezione 60 cm x 60 cm), disposte su due maniche con maglia 6,9 m x 8,1 m, travi isostatiche semplicemente appoggiate agli estremi, ad altezza costante. Il solaio del primo piano ed il solaio di copertura sono realizzata con tegoli precompressi e sono schematizzati con elementi solaio allo scopo di applicare i carichi alle travi ed applicare il piano rigido conseguente alla realizzazione del getto in opera della soletta collaborante.

Le colonne sono fissate alla base in bicchieri ricavati da ringrossi nella platea di fondazione.

Il tamponamento perimetrale è realizzato con pannelli prefabbricati orizzontali fissati ai pilastri che sono schematizzati elementi pannello al solo scopo di applicare i pesi e le masse in modo il più possibile aderente alla realtà.

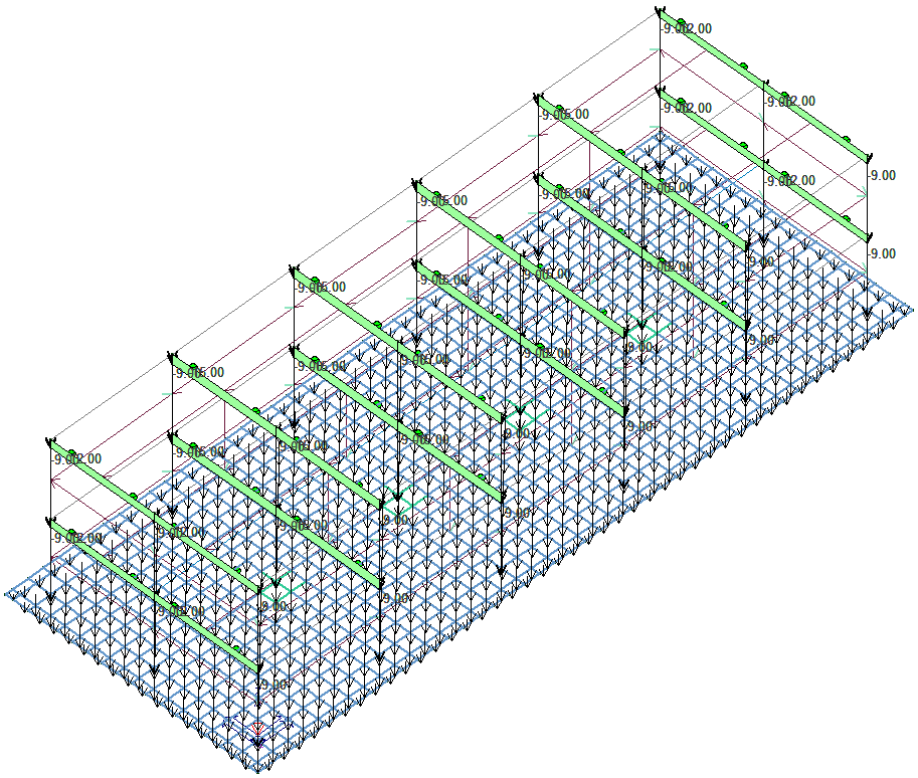
I tamponamenti interni sono in muratura intelaiata realizzata con blocchi di cls sp. 25 cm.

Di seguito si riporta l'immagine unifilare del modello agli elementi finiti.

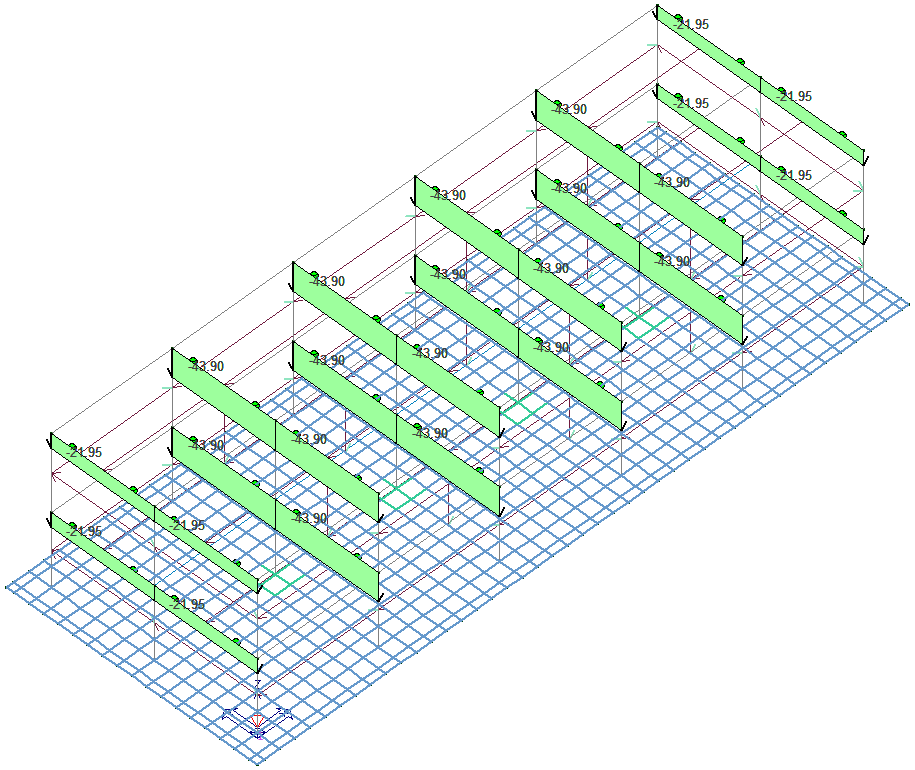


CASI DI CARICO

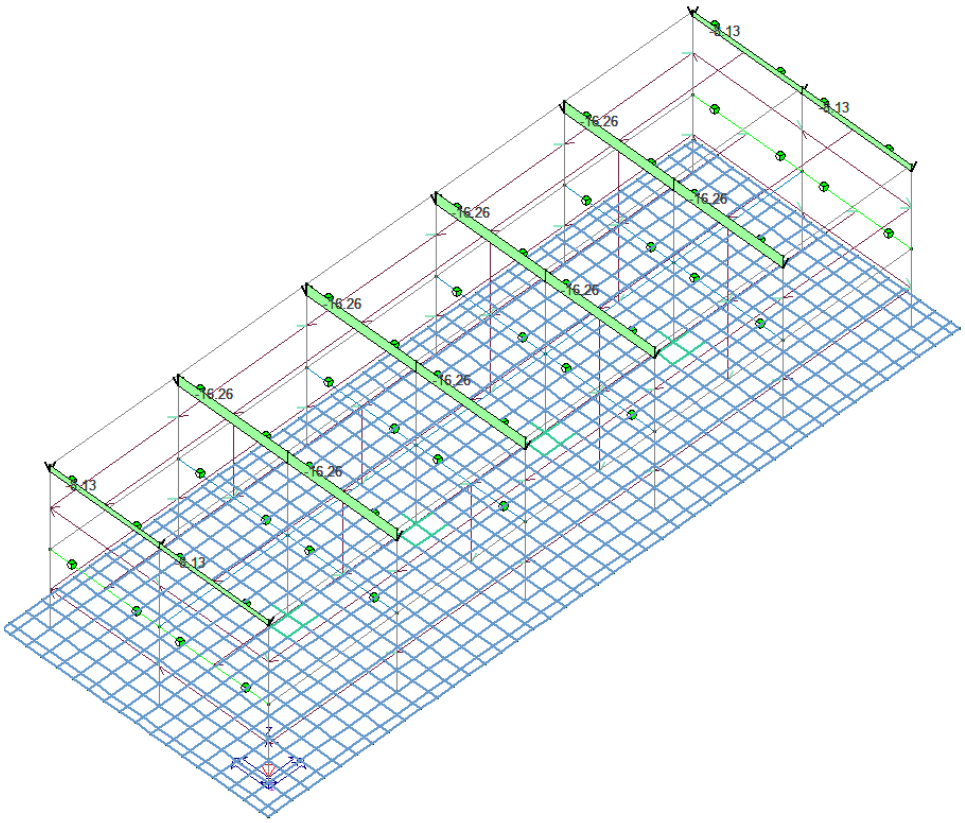
1 - Pesi propri



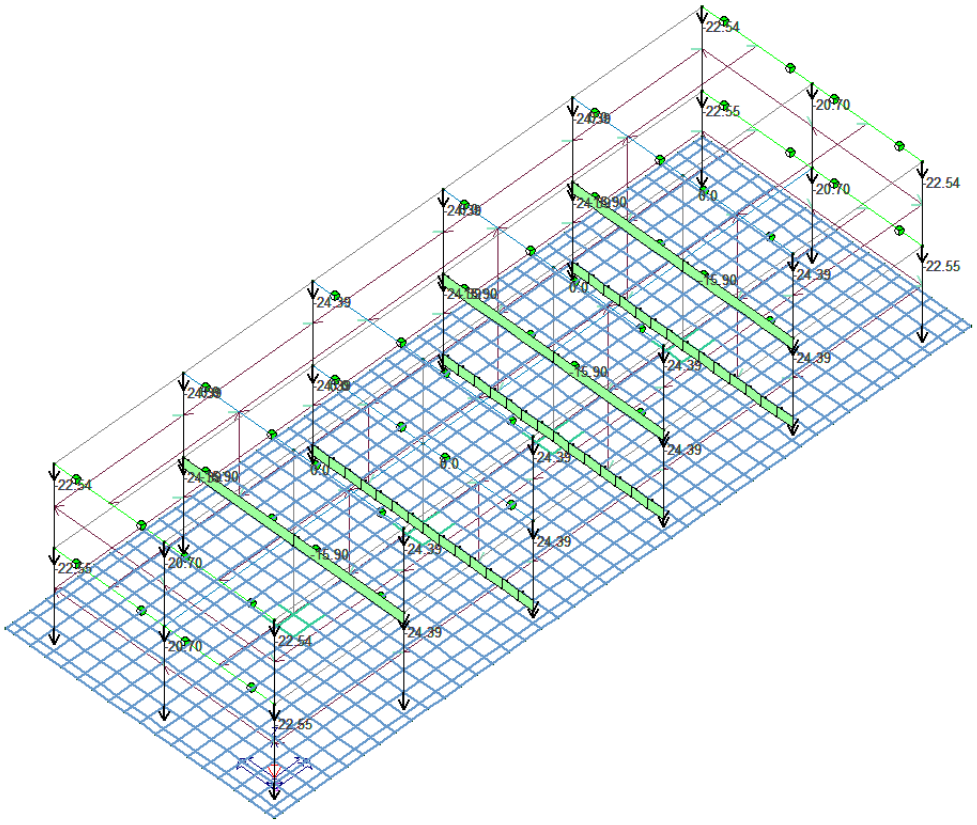
2 – Permanente coperture



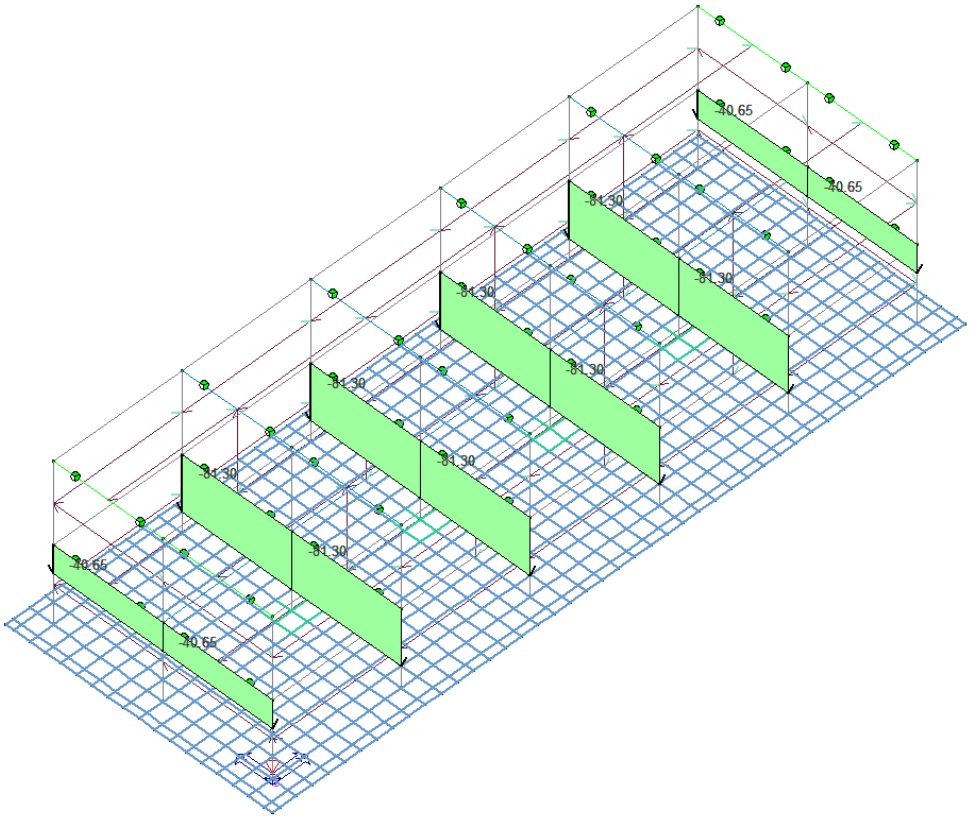
3 – Permanente coperture n.c.d.



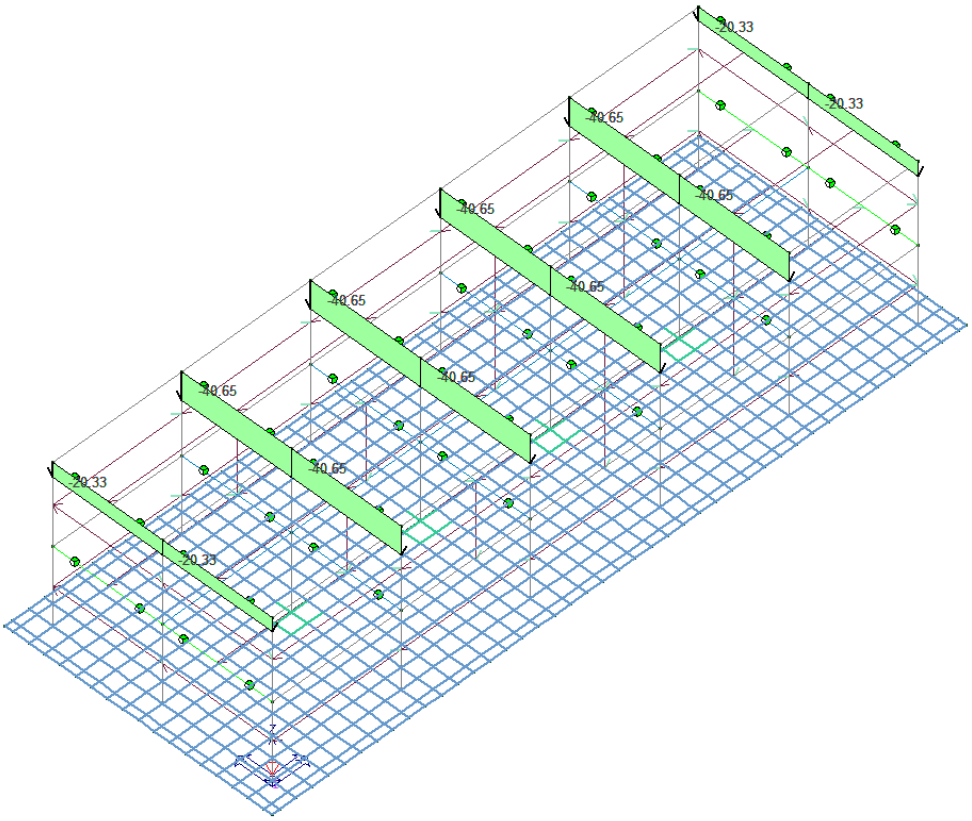
4 – Permanente pannelli pareti n.c.d.



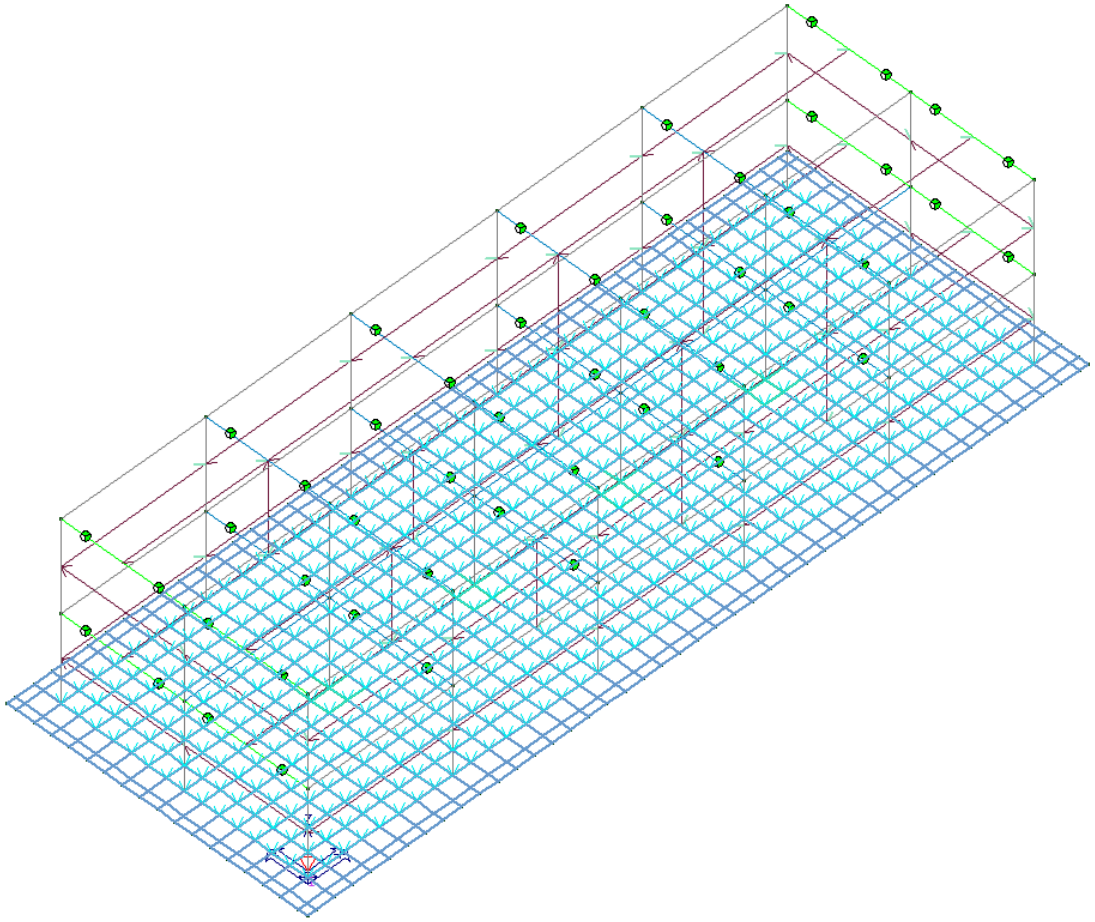
5 – Variabile solai 1° piano



6 – Variabile solai copertura

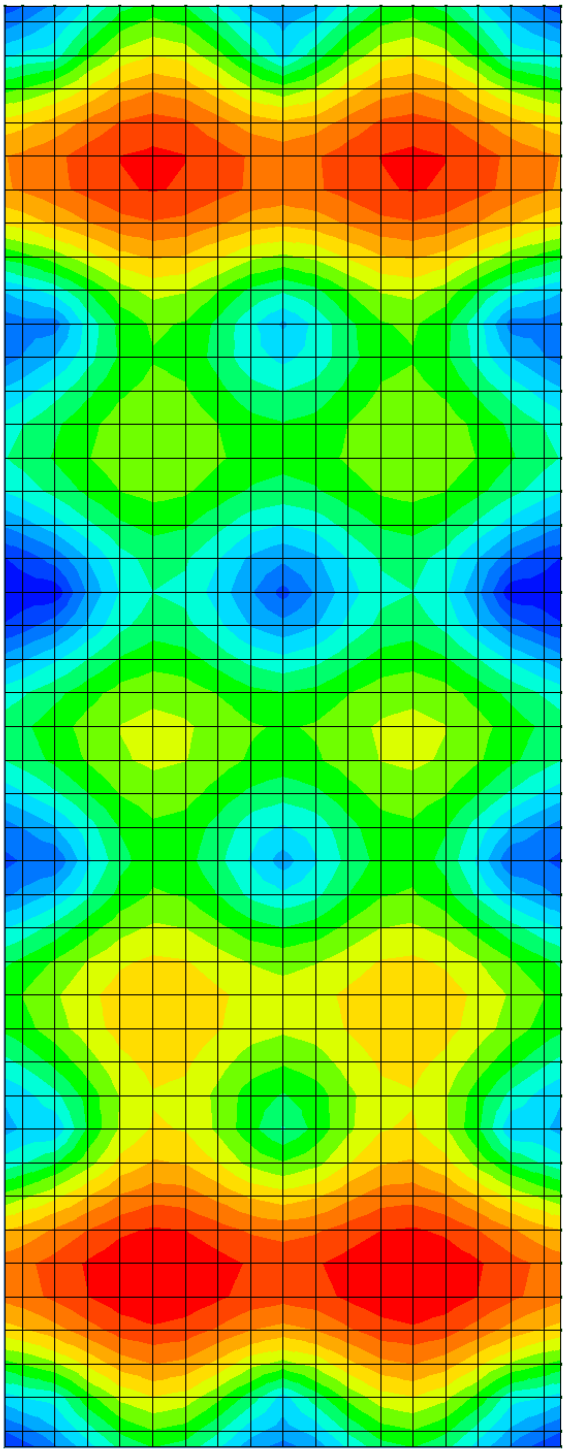


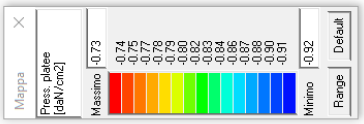
15 – Variabile platea



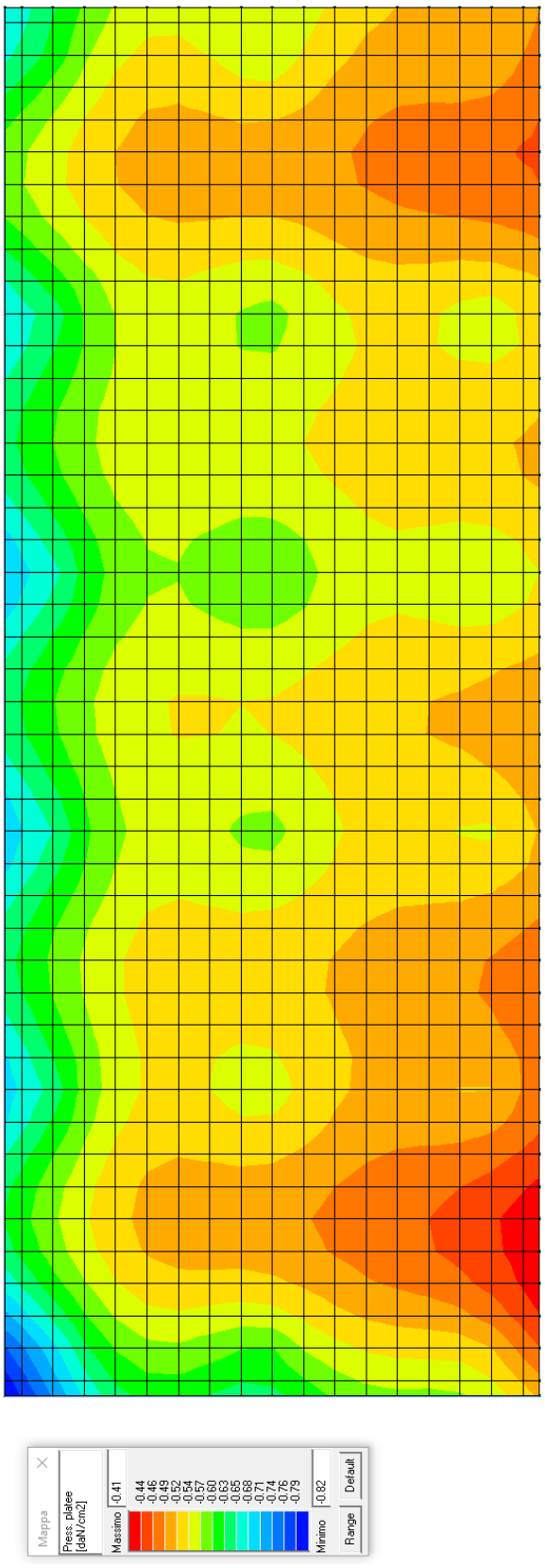
PRESSIONE PLATEA

Pressione massima combinazioni SLU STR A1 (CMB 8)

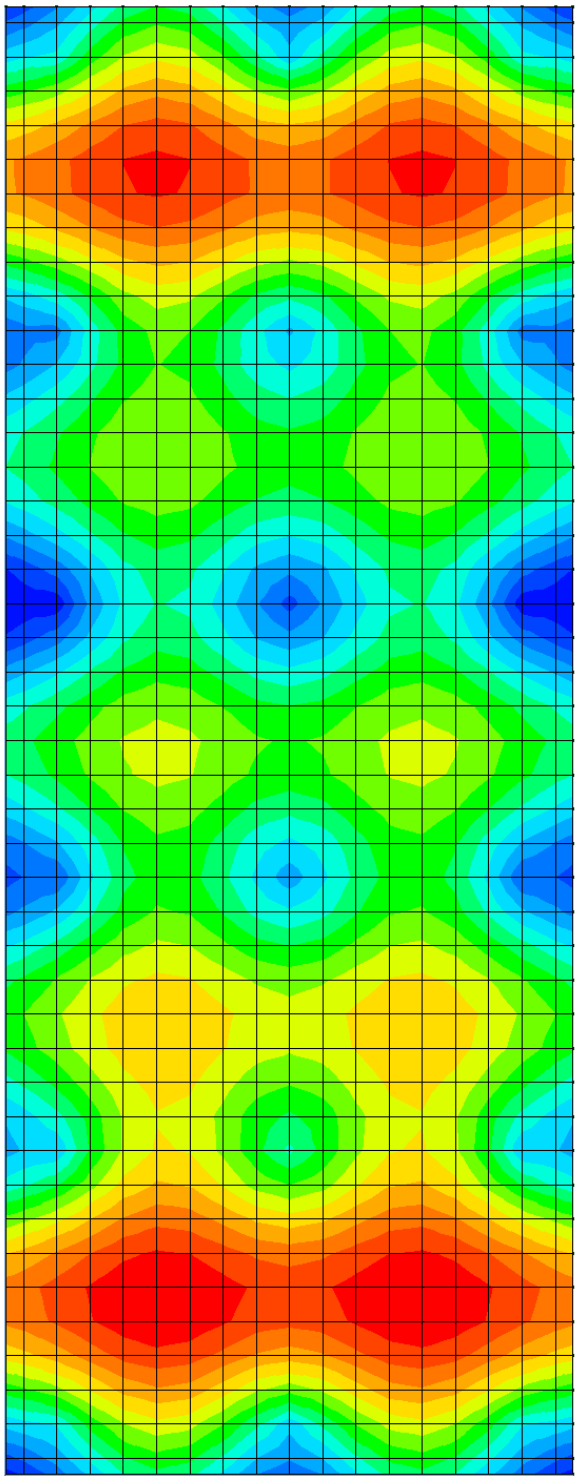




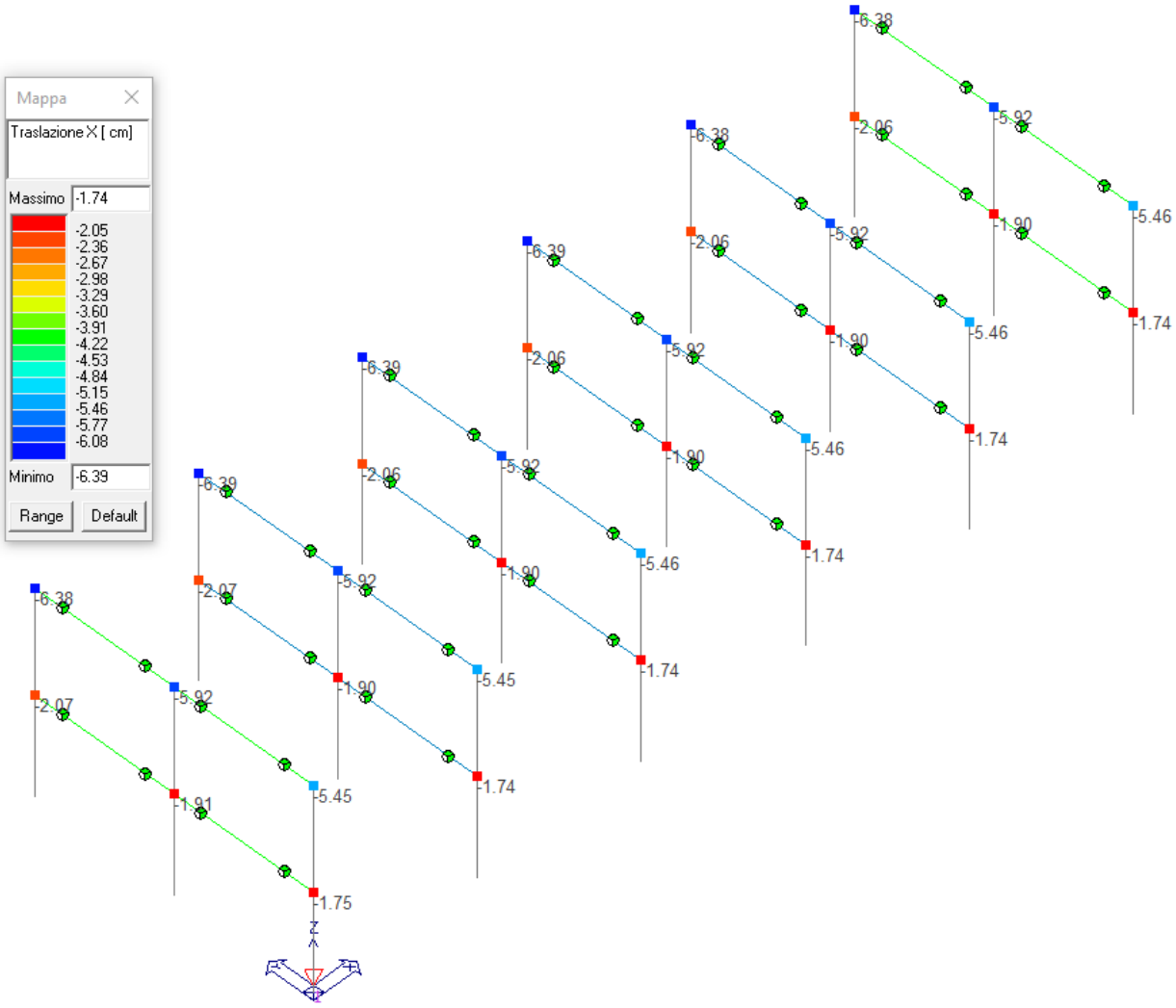
Pressione massima combinazioni SLV sismiche (CMB 43)



Pressione massima combinazioni SLE (rara) (CMB 88)

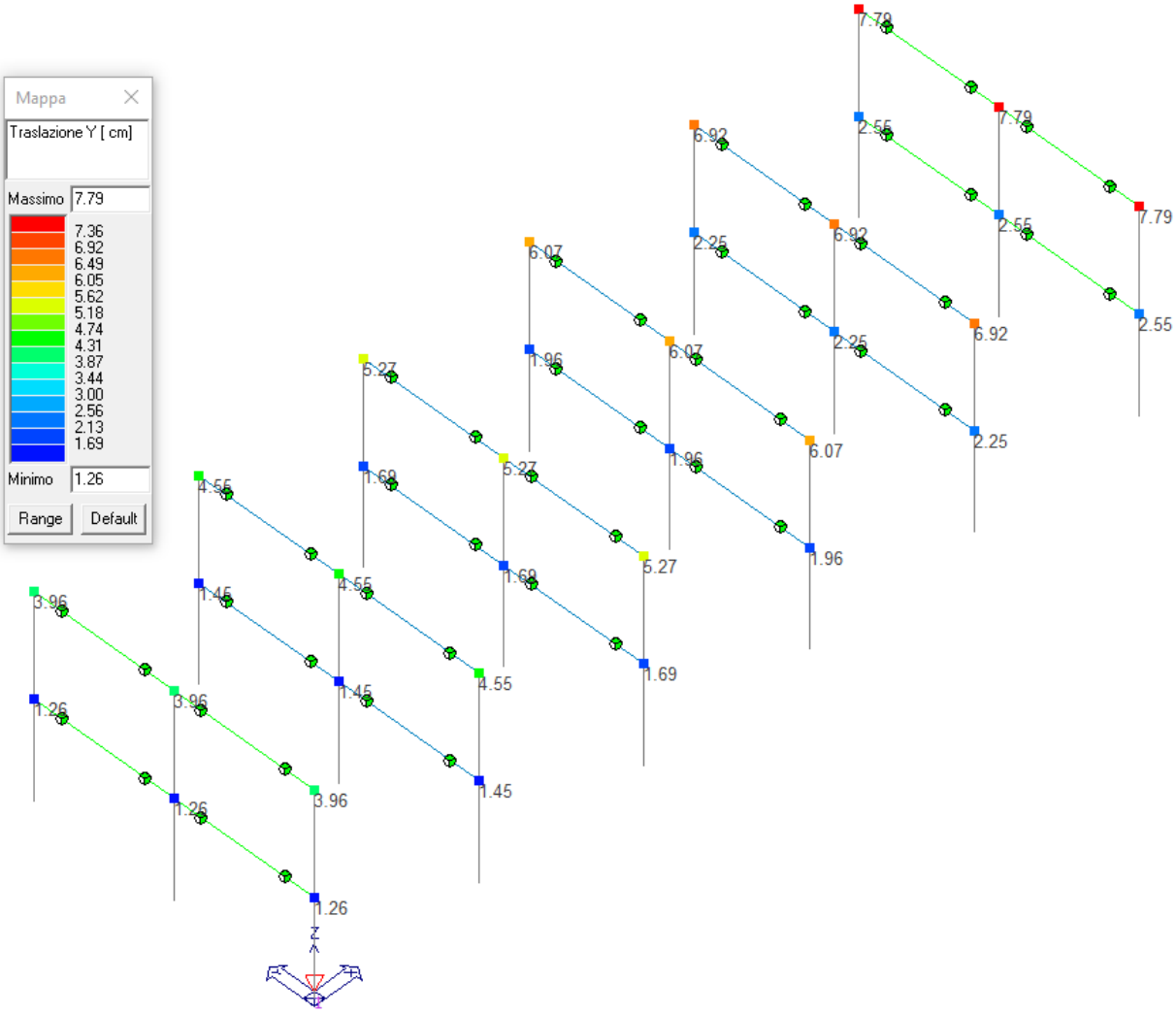


SPOSTAMENTI SISMICI SLV (CMB 27)



Massimo spostamento in direzione x è 6,39 x 1,5 = 9,6 cm

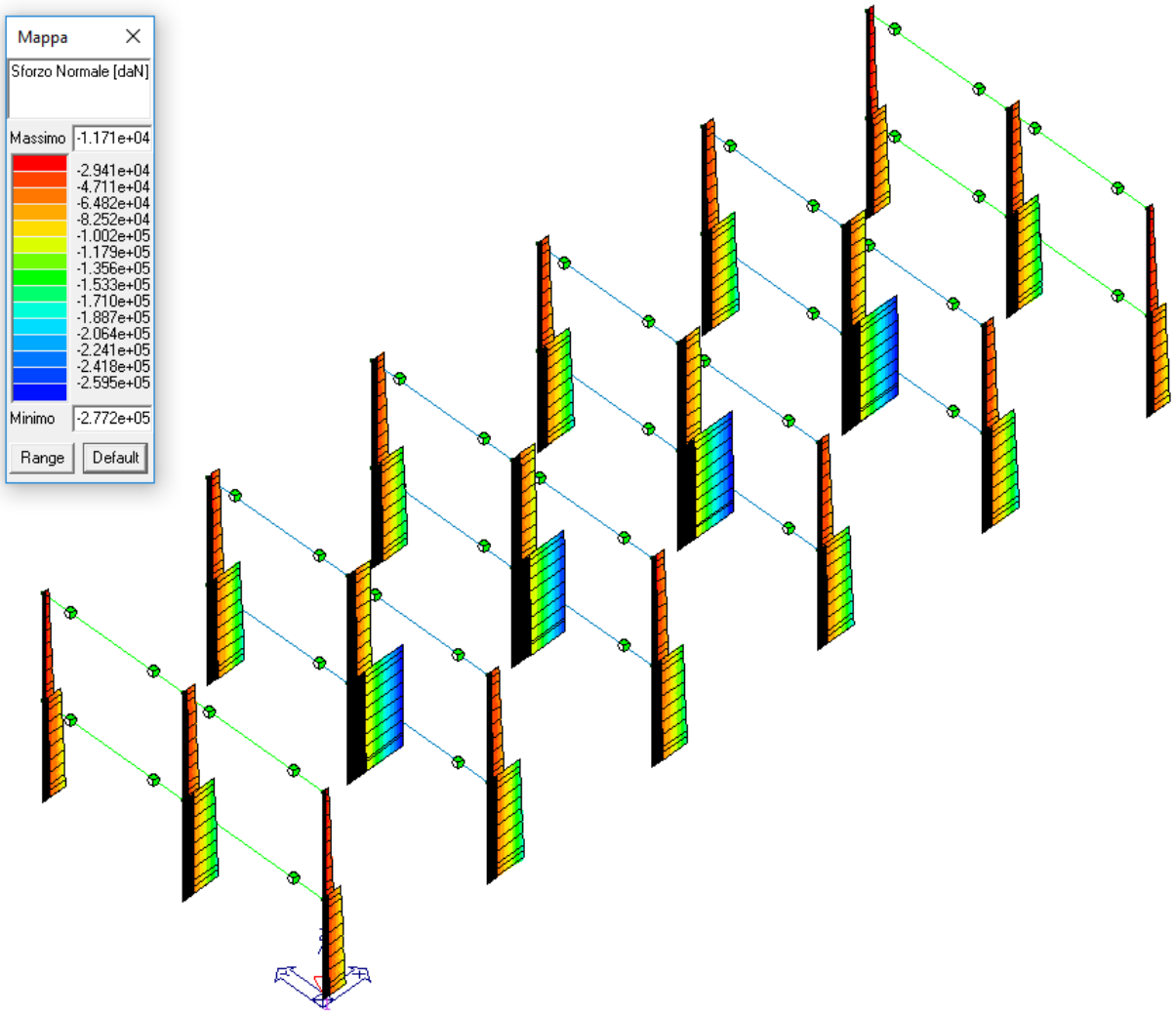
SPOSTAMENTI SISMICI SLV (CMB 39)



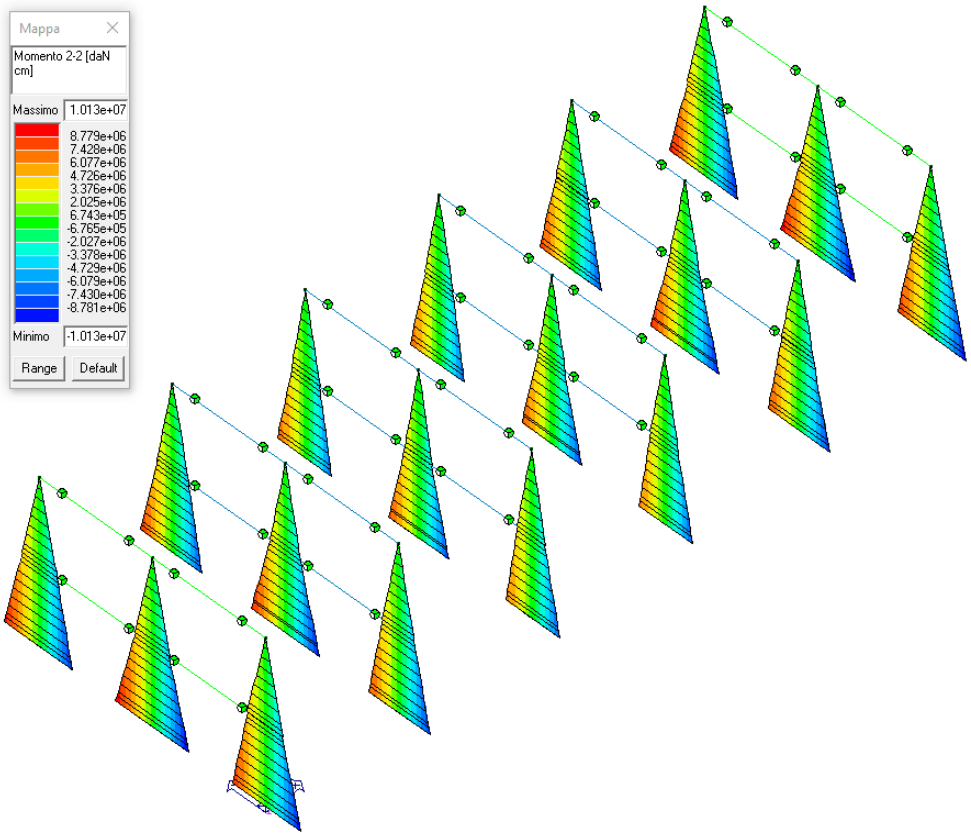
Massimo spostamento in direzione y è 7,79 x 1,5 = 11,7 cm

INVILUPPO SOLLECITAZIONI NEI PILASTRI

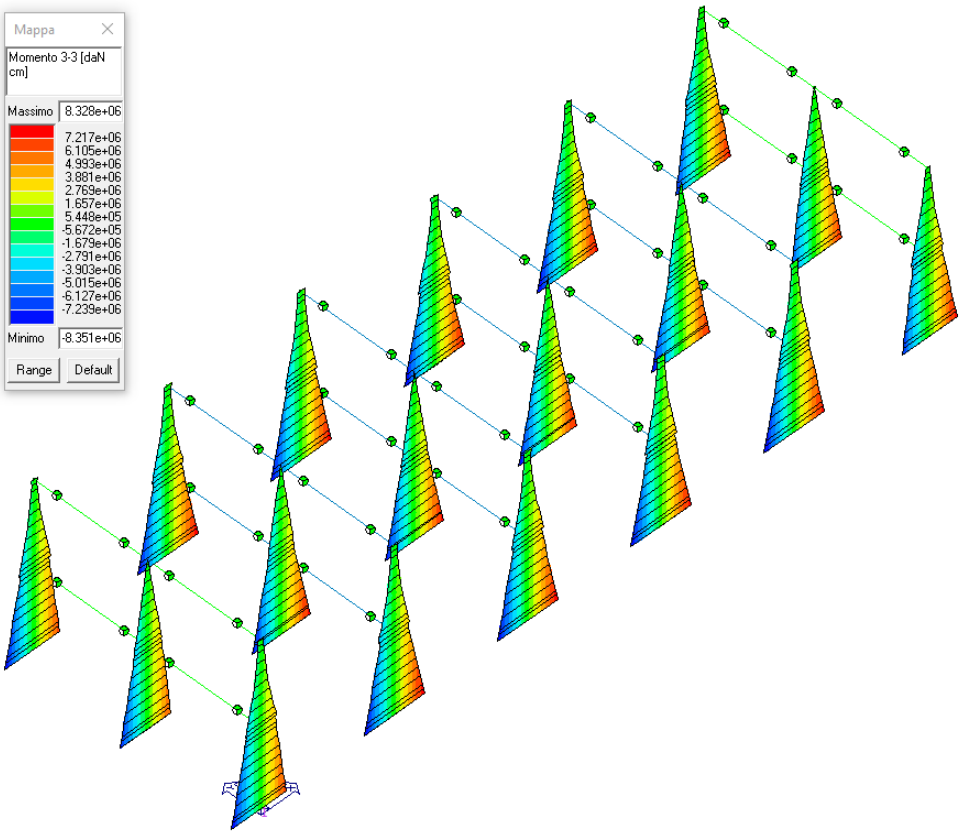
Sforzo normale



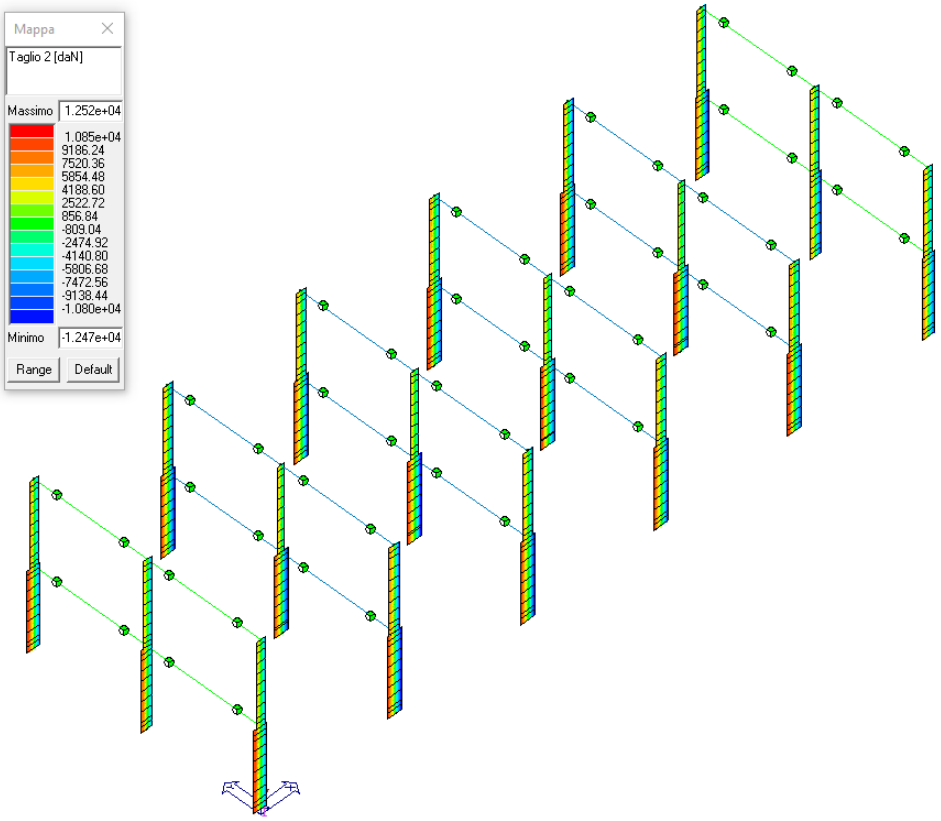
Momenti flettenti M22



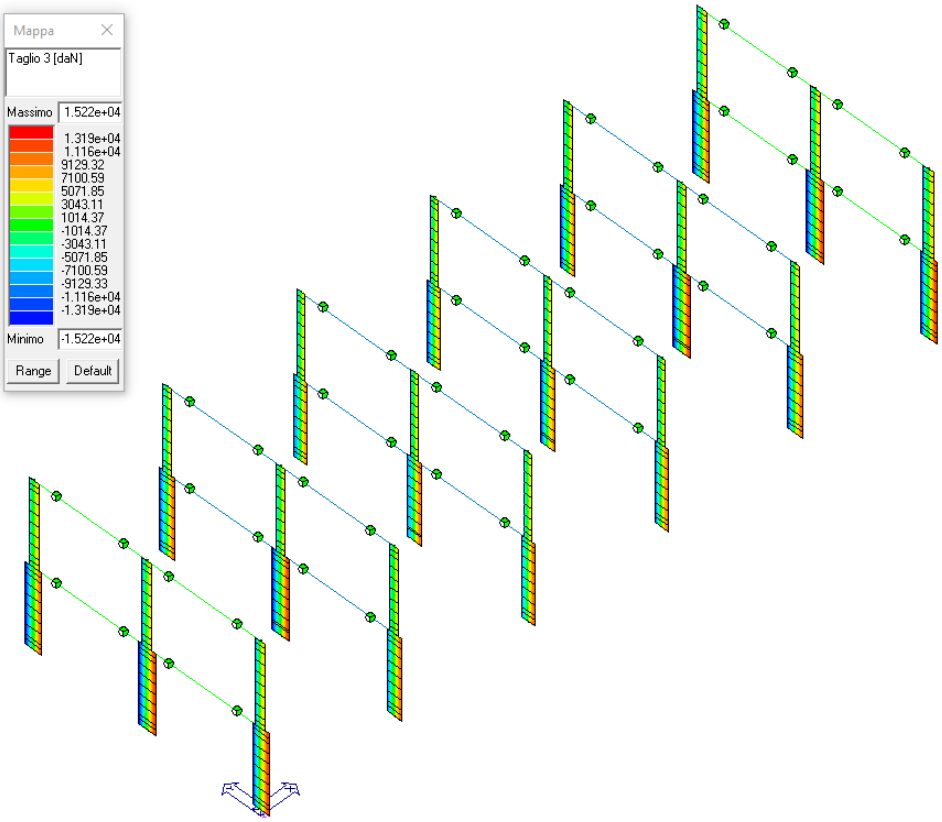
Momenti flettenti M33



Tagli V22

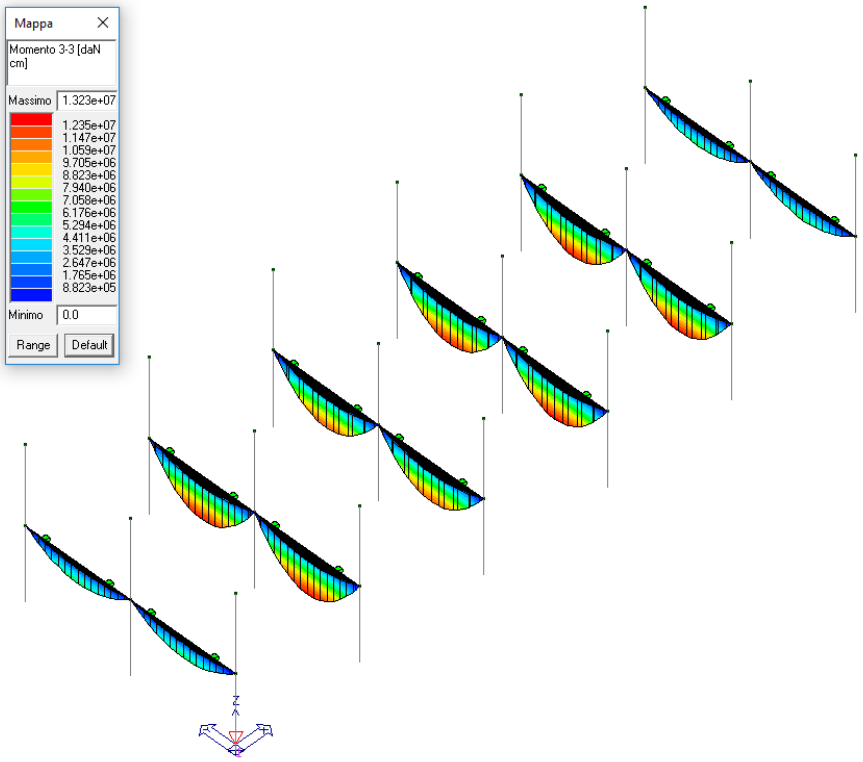


Tagli V33

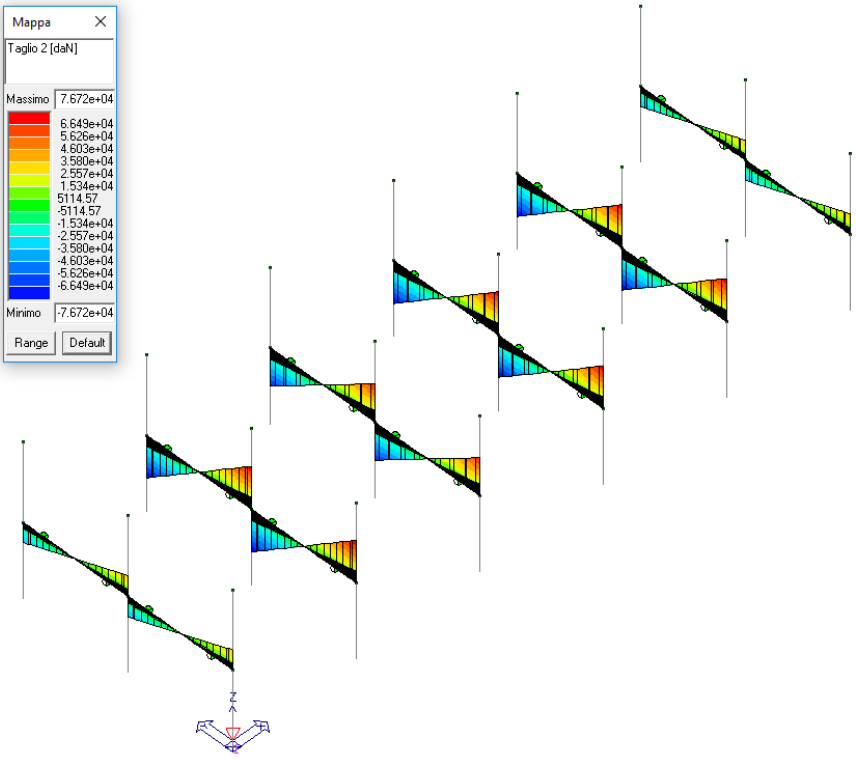


INVILUPPO SOLLECITAZIONI NELLE TRAVI 1° PIANO

Momenti flettenti M33

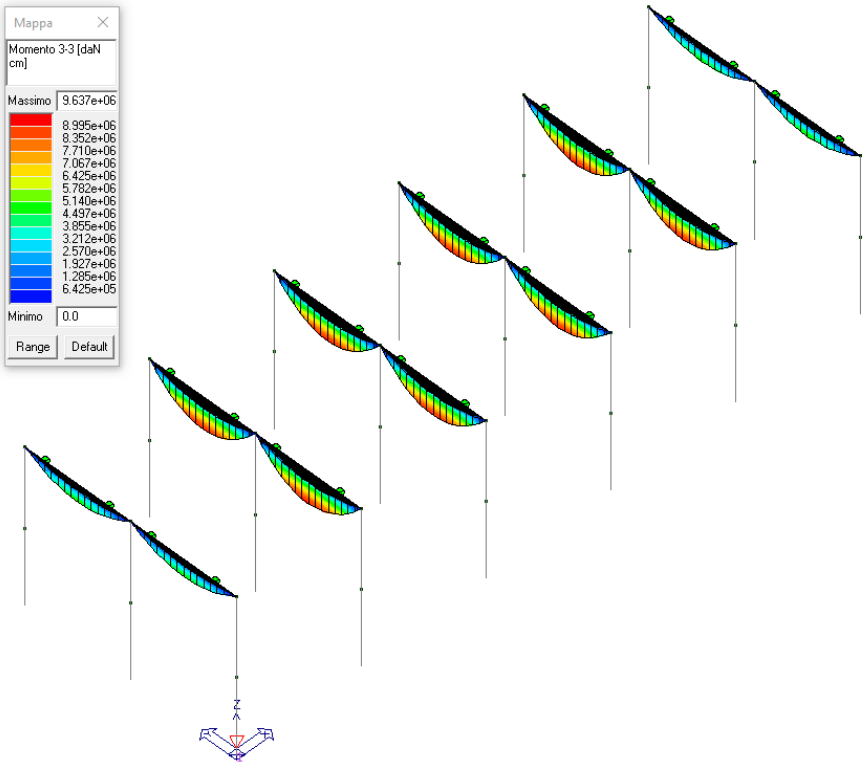


Taglio V22

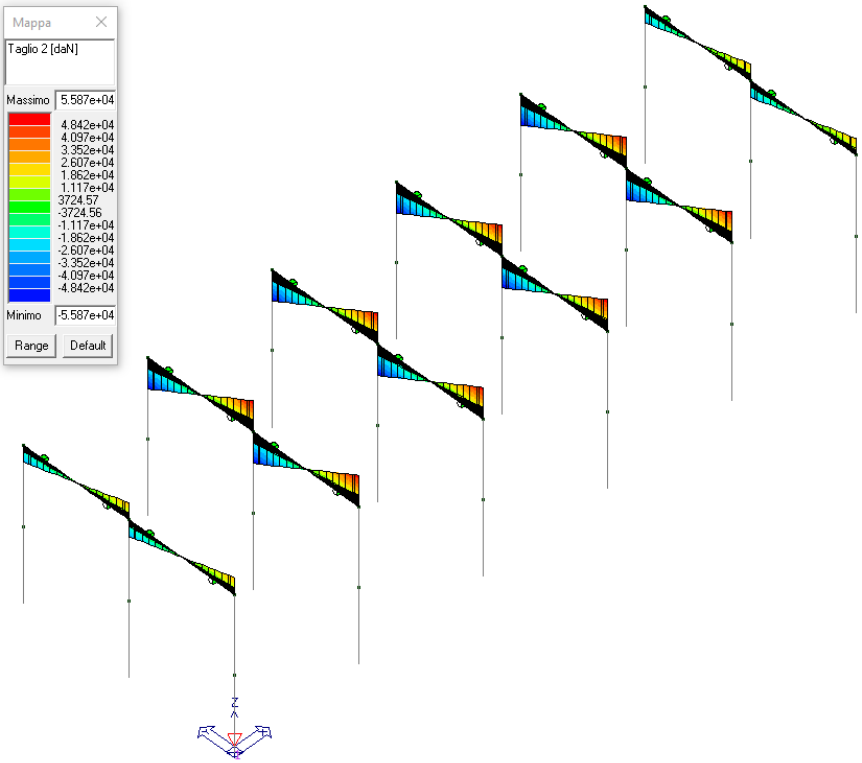


INVILUPPO SOLLECITAZIONI NELLE TRAVI COPERTURA

Momenti flettenti M33



Taglio V22



8. DIGESTIONE ANAEROBICA

Il comparto digestione anaerobica è composto da quattro digestori, dalle passerelle e scala metallici al servizio dei digestori e da un gasometro. Le strutture di questi sei manufatti sono strutturalmente indipendenti e sono pertanto sono stati realizzati tre distinti modelli di calcolo agli elementi finiti (uno è rappresentativo dei quattro digestori che sono uguali fra loro).

Nella presente relazione si trattano i basamenti su pali dei cinque serbatoi e la struttura metallica di passerelle e scale.

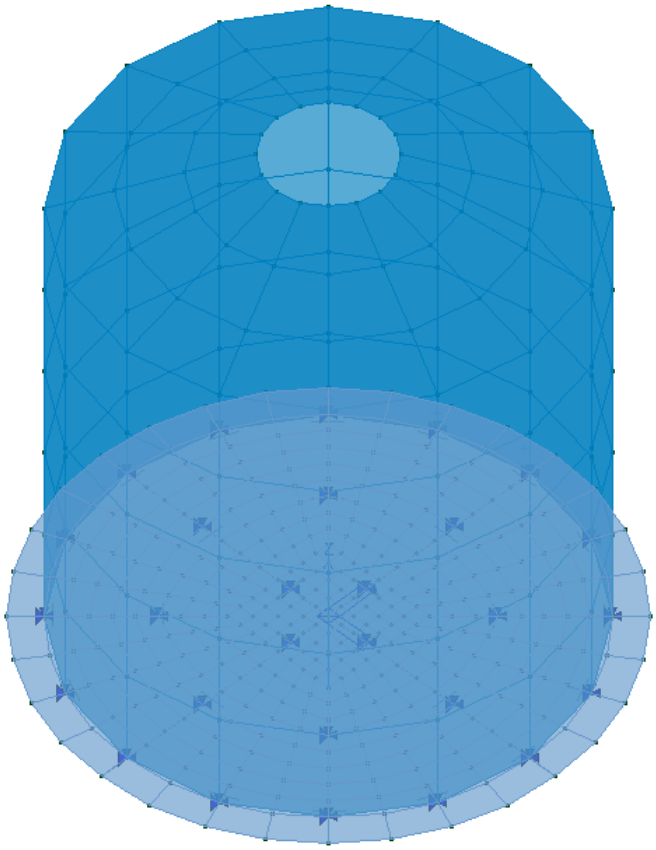
8.1 BASAMENTO DIGESTORE

Il basamento utilizzato per sostenere il digestore è realizzato con una soletta circolare di diametro 21 m circa e spessore 100 cm, sostenuta da 28 pali di diametro 80 cm.

Nel modello di calcolo i pali sono stati schematizzati come vincoli rigidi, senza attribuire alcun contributo portante al terreno.

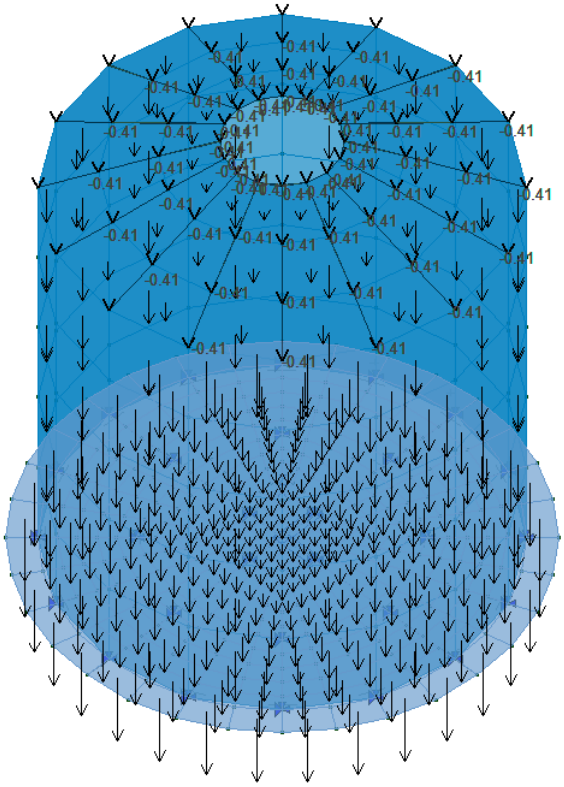
Per applicare i carichi nel modo più realistico possibile, è stato schematizzato il serbatoio metallico a cui sono stati applicati i carichi di competenza.

Di seguito si riporta l'immagine unifilare del modello agli elementi finiti.

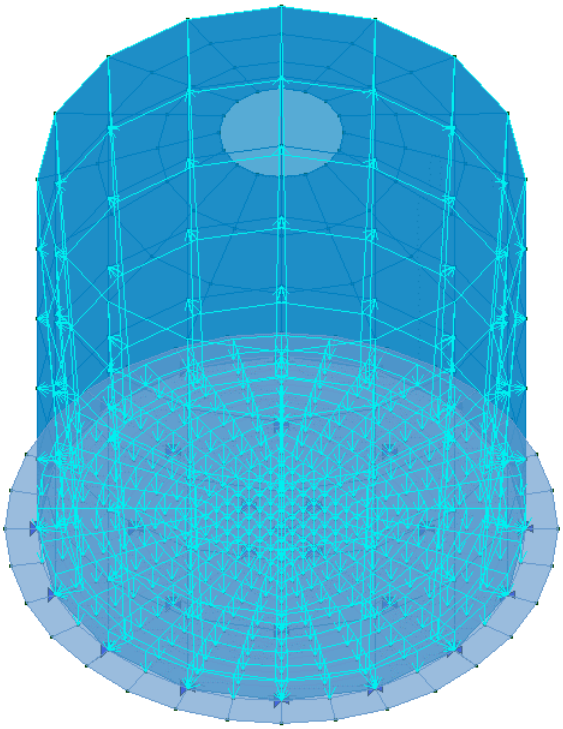


CASI DI CARICO

1 - Pesi propri

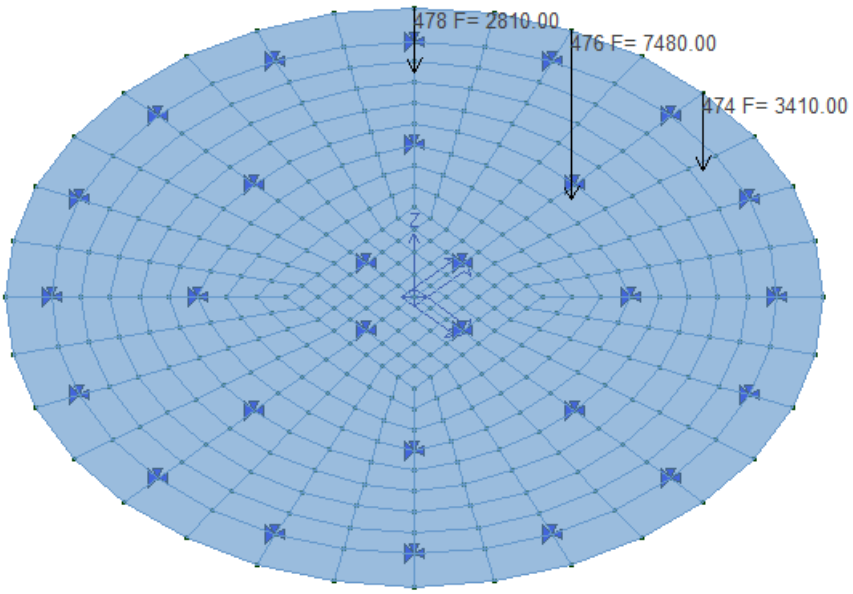


2 – Permanente liquido

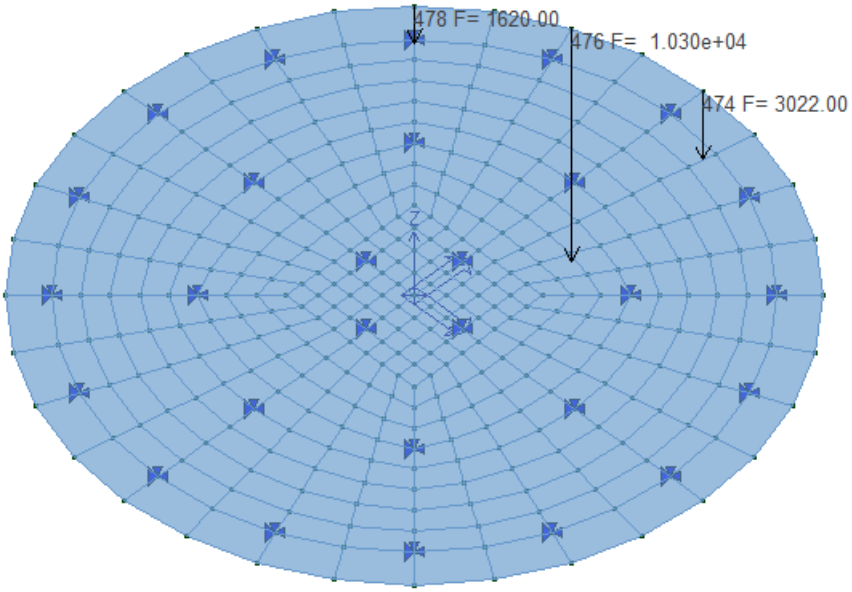


Le colonne perimetrali delle passerelle al servizio dei digestori appoggiano sul perimetro dei basamenti digestori, sono pertanto stati applicati i relativi carichi.

11 – Permanente passerelle

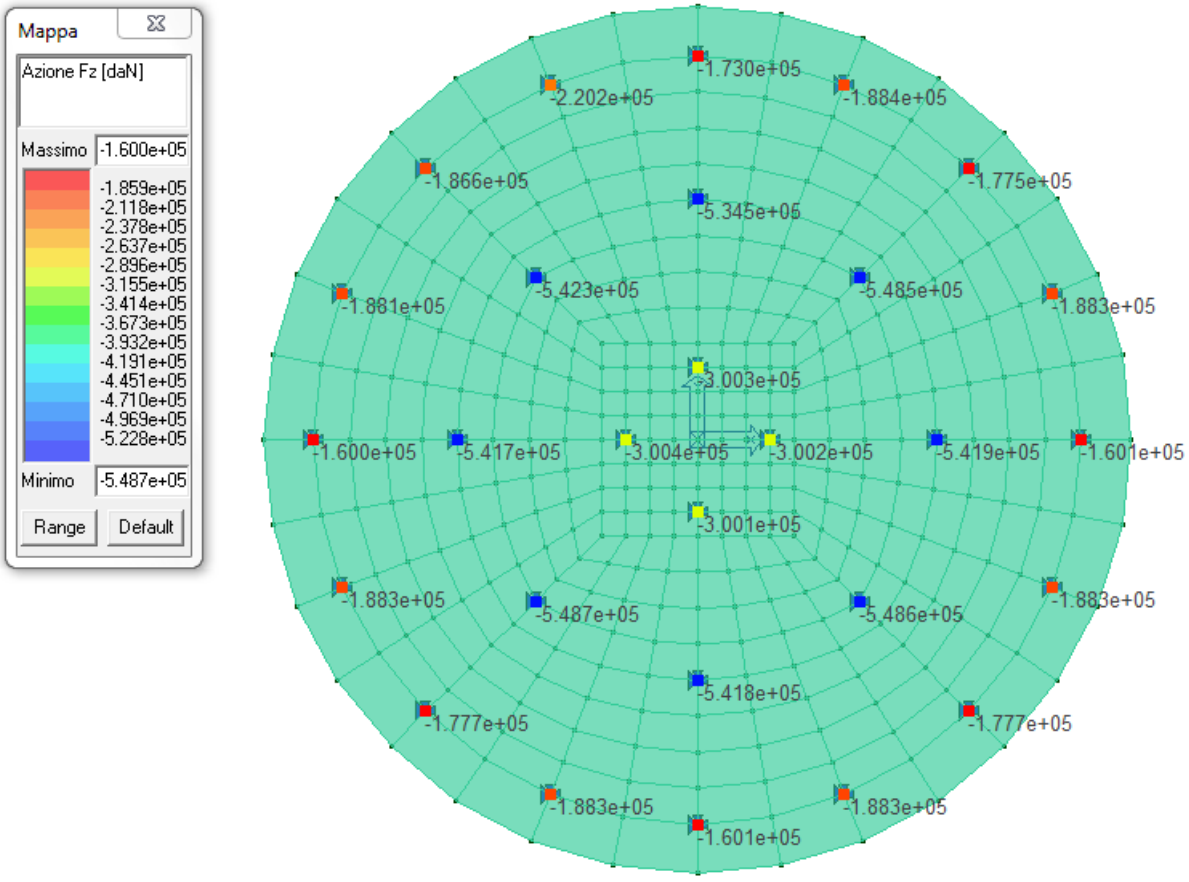


12 – Variabile passerelle



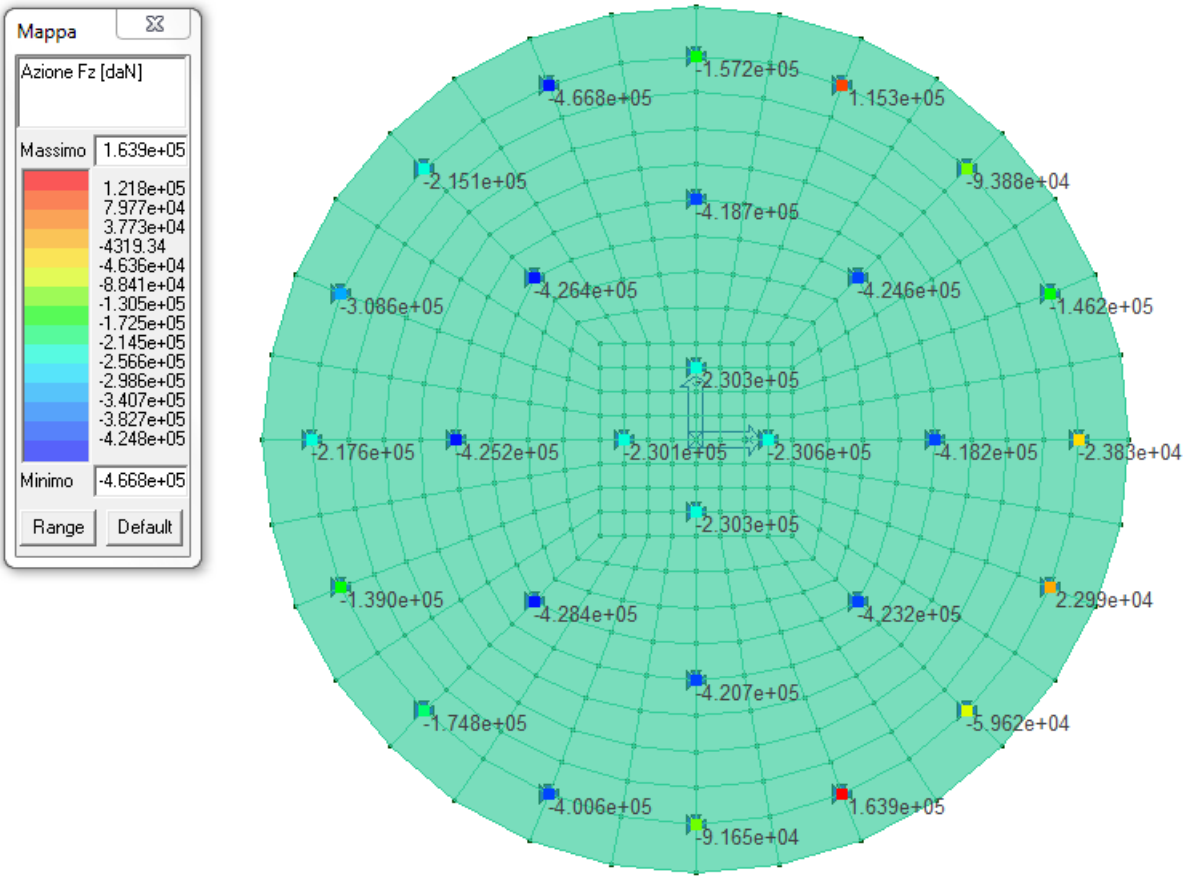
AZIONI VERTICALI VINCOLI

Azione massima combinazioni SLU STR A1 (CMB 2)



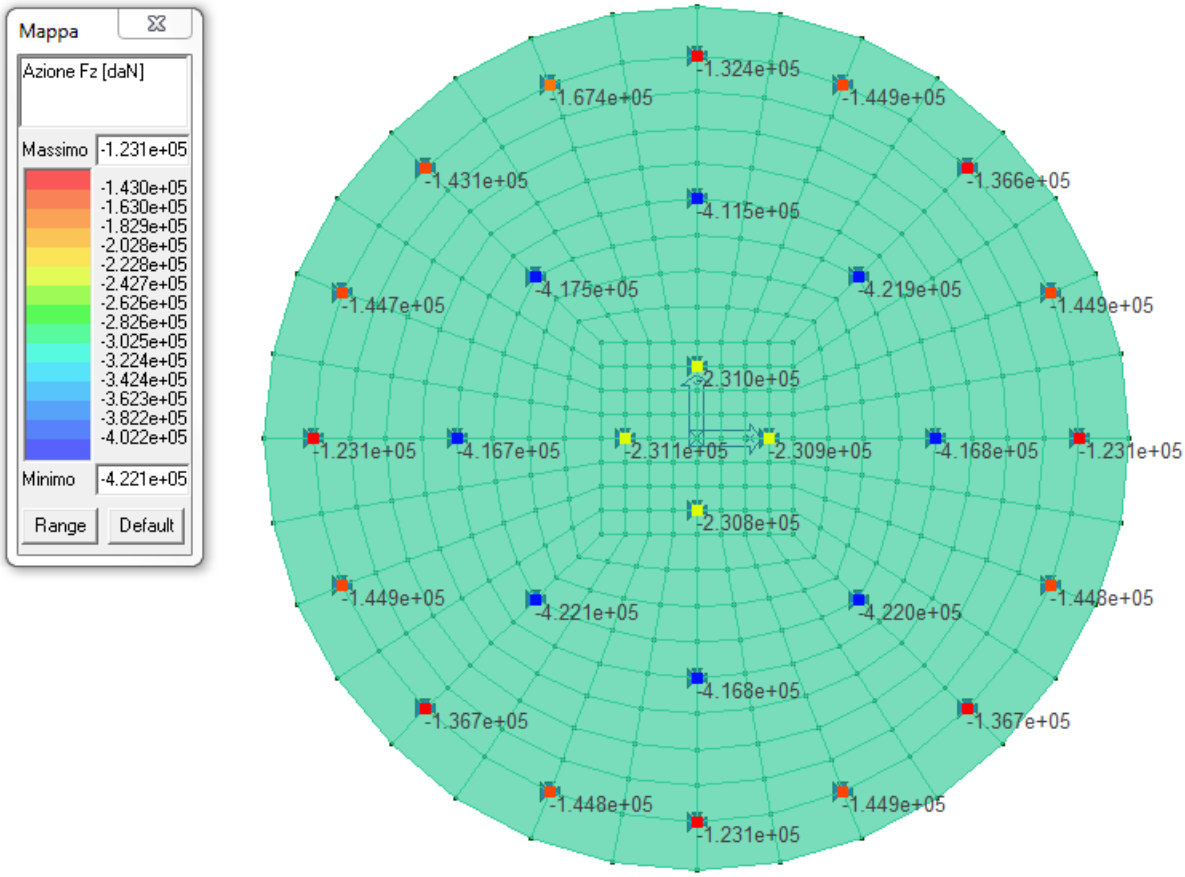
Azione massima 548700 daN

Azione massima combinazioni SLV sismiche (CMB 4)



Azione massima / minima 466800 daN (compressione) e 163900 daN (trazione)

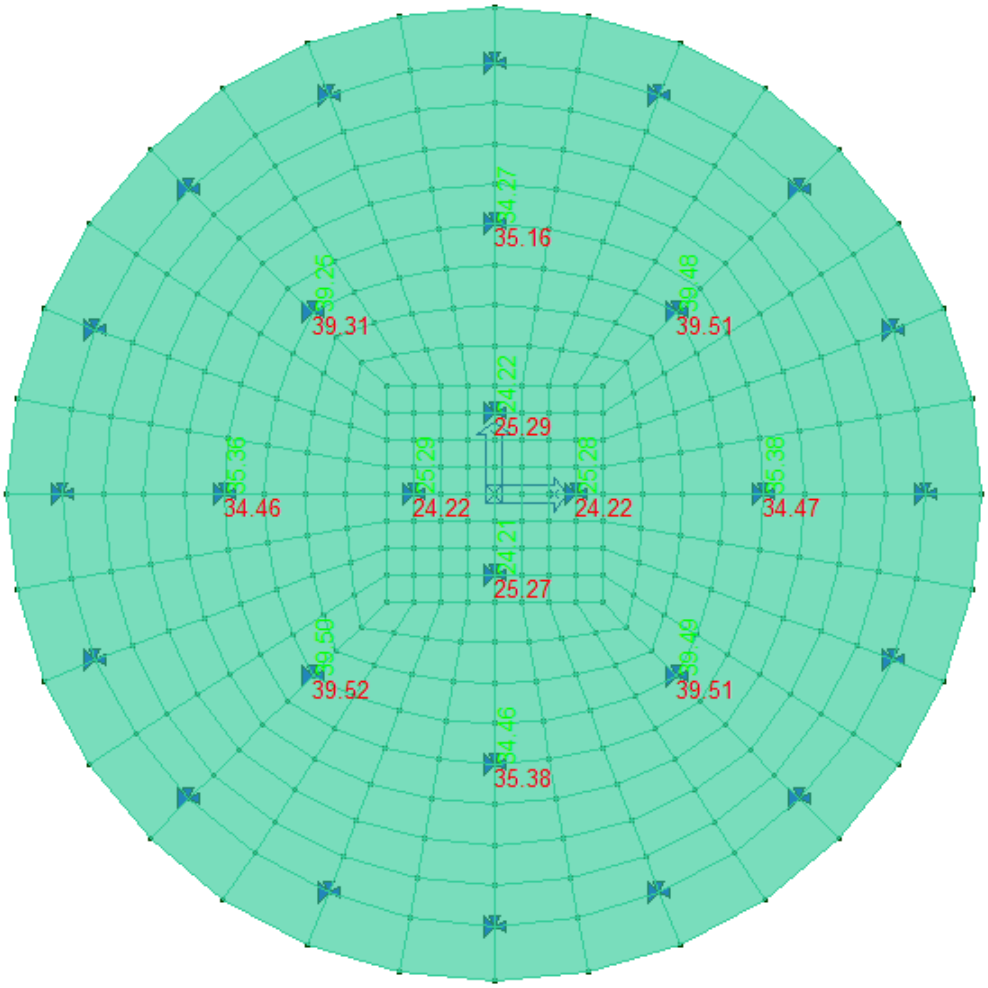
Azione massima combinazioni SLE (rara) (CMB 36)



Azione massima 422100 daN

ARMATURE SOLETTA

L'armatura della soletta è costituita da 1ϕ24/20/20 inf / sup che deve essere integrata nello strato di armatura superiore in corrispondenza dei pali più caricati, come si può vedere nell'immagine che segue.



In corrispondenza dei pali più caricati deve inoltre essere disposta un'armatura a punzonamento con due anelli posti ad interasse 40 cm di ferri di cucitura 2ϕ20/40.

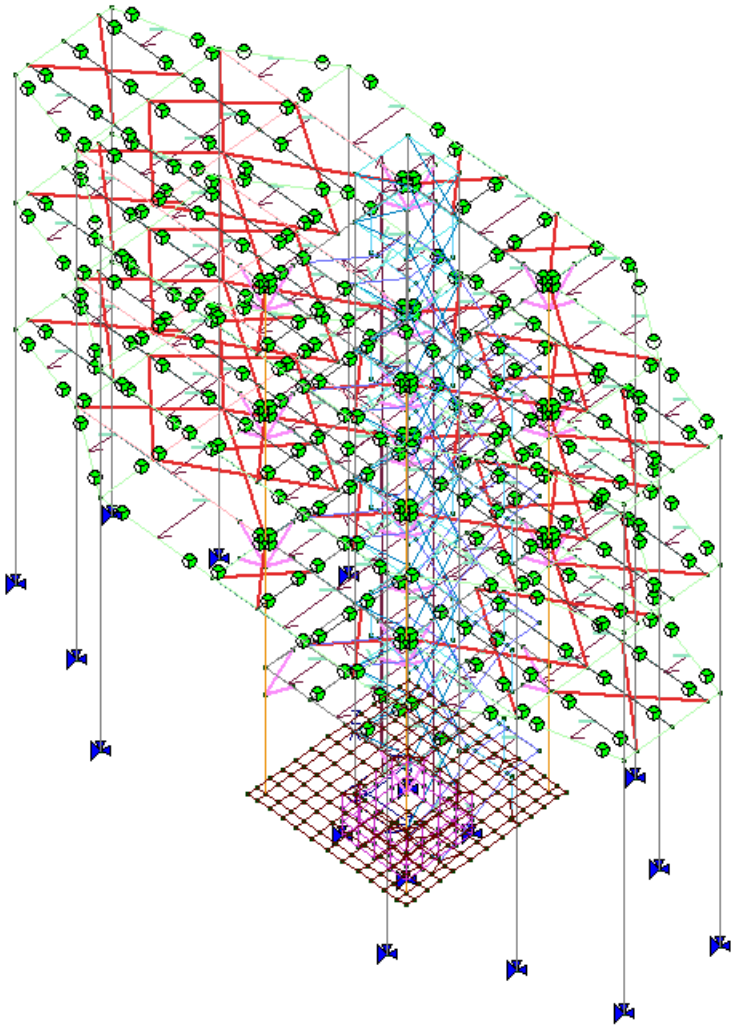
8.2 STRUTTURA PASSERELLE E SCALA

La struttura portante delle passerelle metalliche, con scala e montacarichi, è composta da un plinto di fondazione del nucleo scala su pali diametro 80 cm; una struttura per il montacarichi composta da colonne in profilo HEB240, traversi HEB200 e diagonali HEA160; una struttura di sostegno delle passerelle composta da colonne in profili HEB240 e HEB280, travi di piano in profili IPE220, HEB200, HEA240 e HEA260, crociere di controvento di piano in profili UPN80.

Le rampe delle scale hanno cosciali tipo UPN 180, sostenuti da traversi e montati in profilo HEA160.

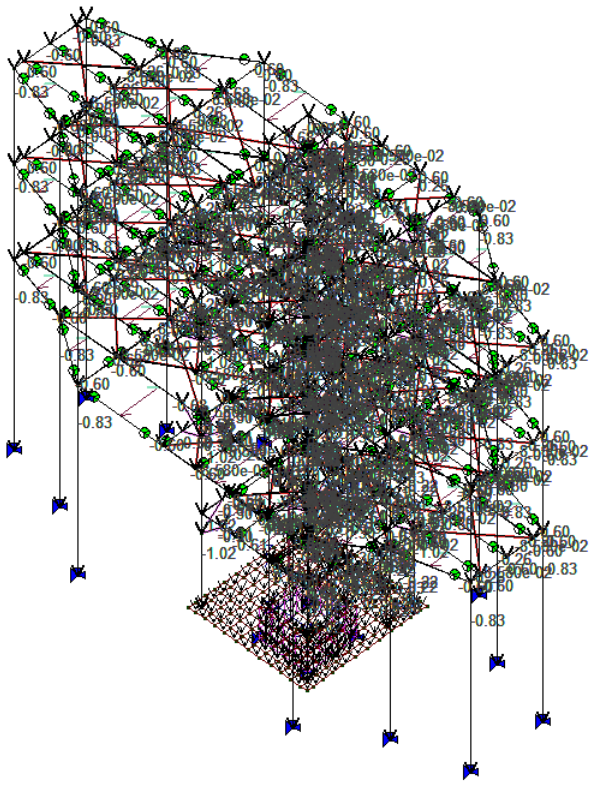
I piani di calpestio delle passerelle sono in grigliato ed il tamponamento del montacarichi è in lamiera.

Di seguito si riporta l'immagine unifilare del modello agli elementi finiti.

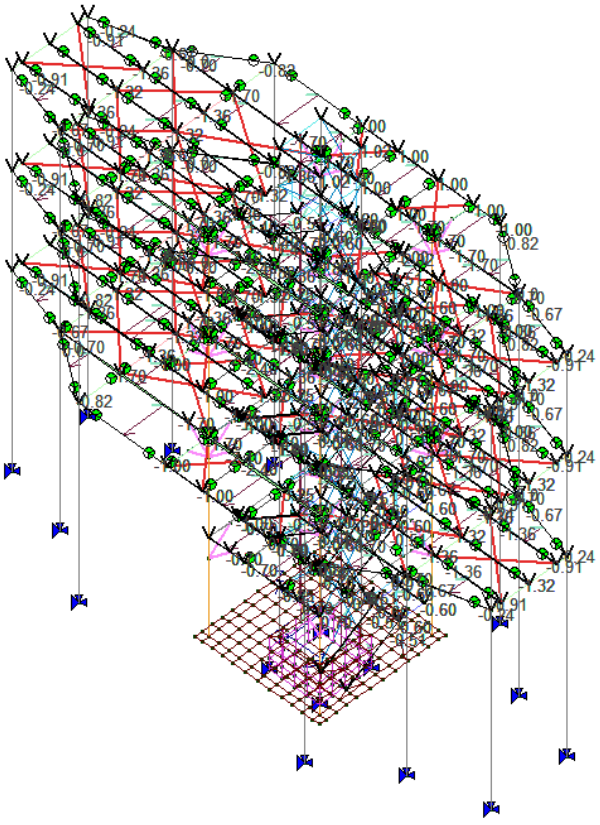


CASI DI CARICO

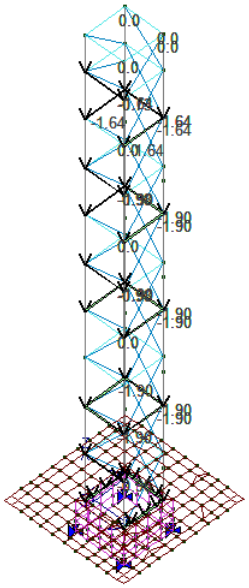
1 - Pesi propri



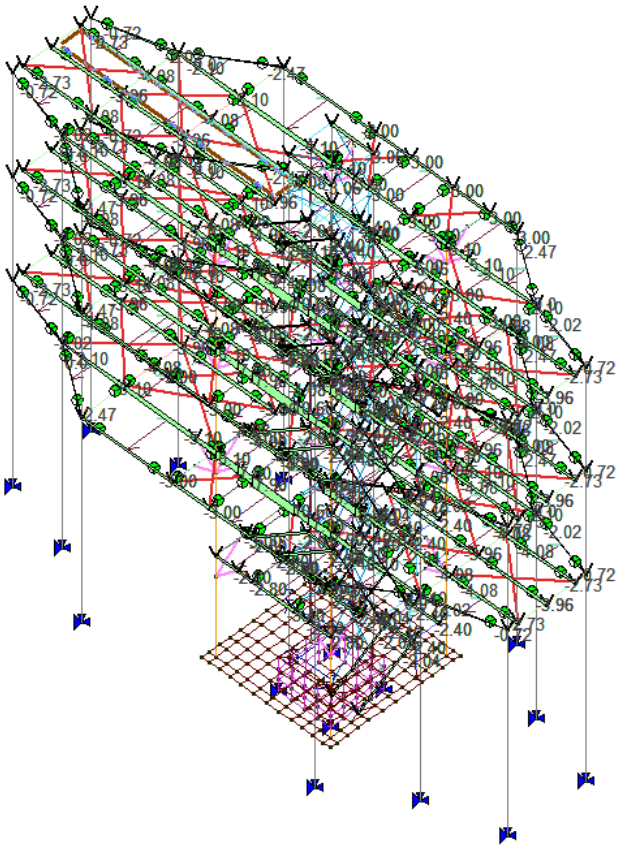
2 – Permanente solai



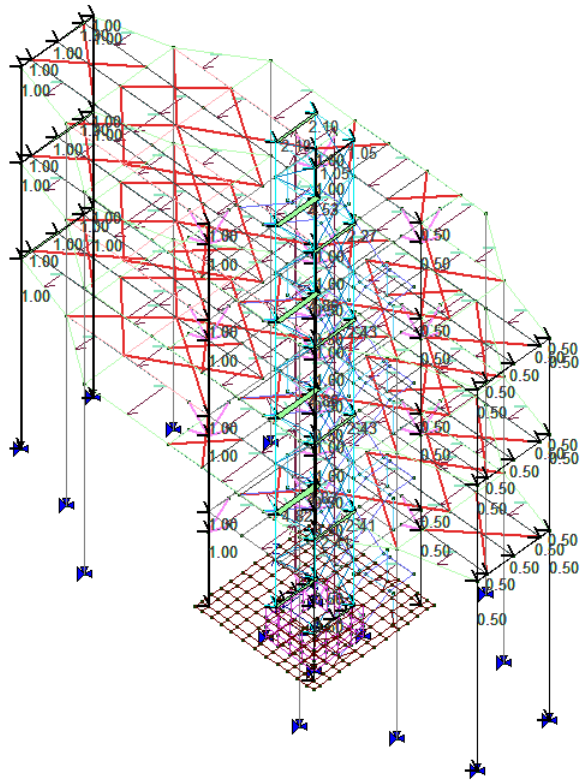
3 - Permanente pannelli tamponamento



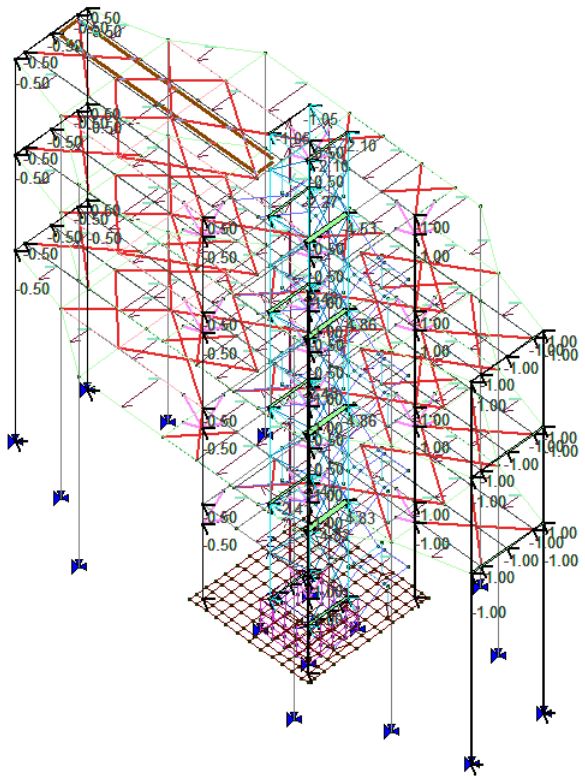
4 – Variabile solai



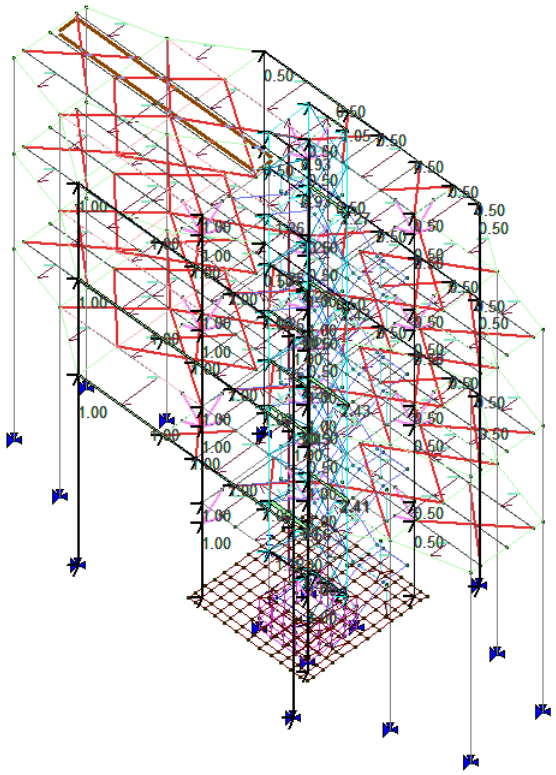
13 – Vento +x



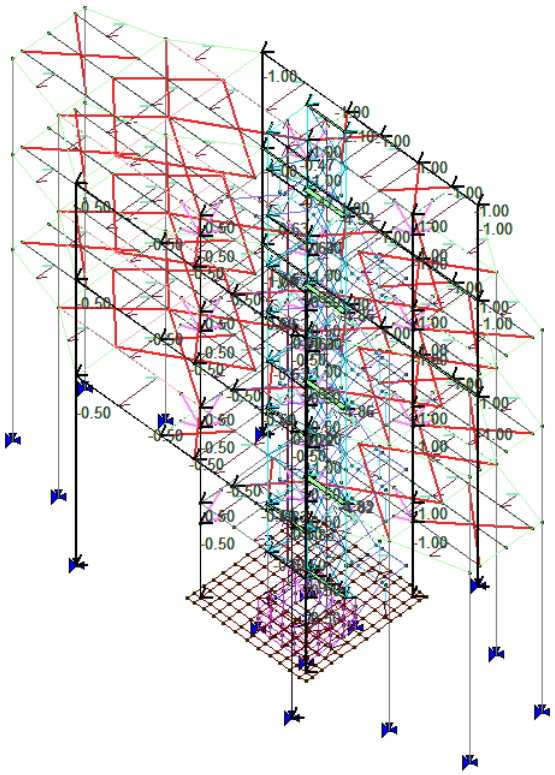
14 – Vento -x



15 – Vento +y

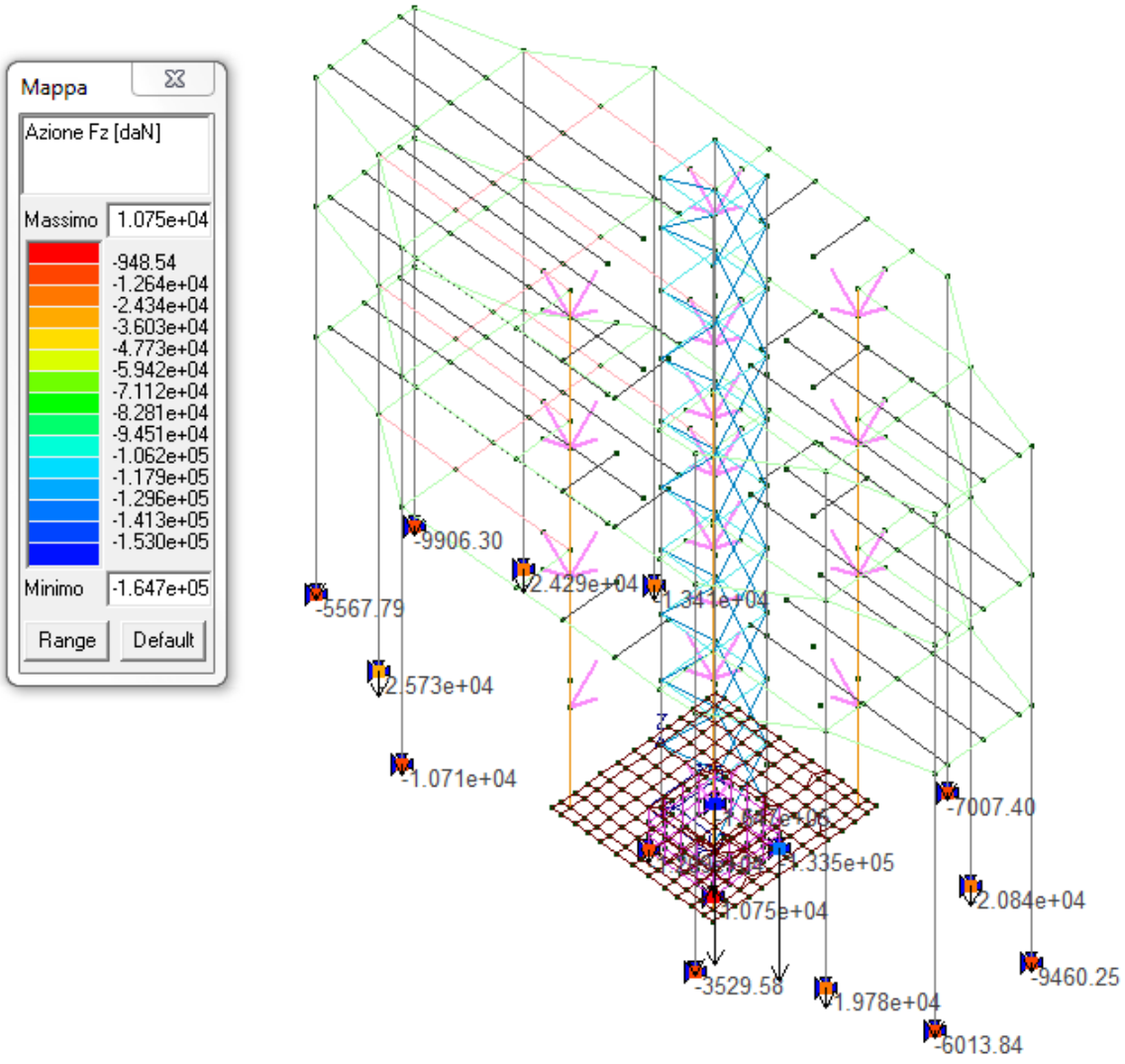


16 – Vento -y



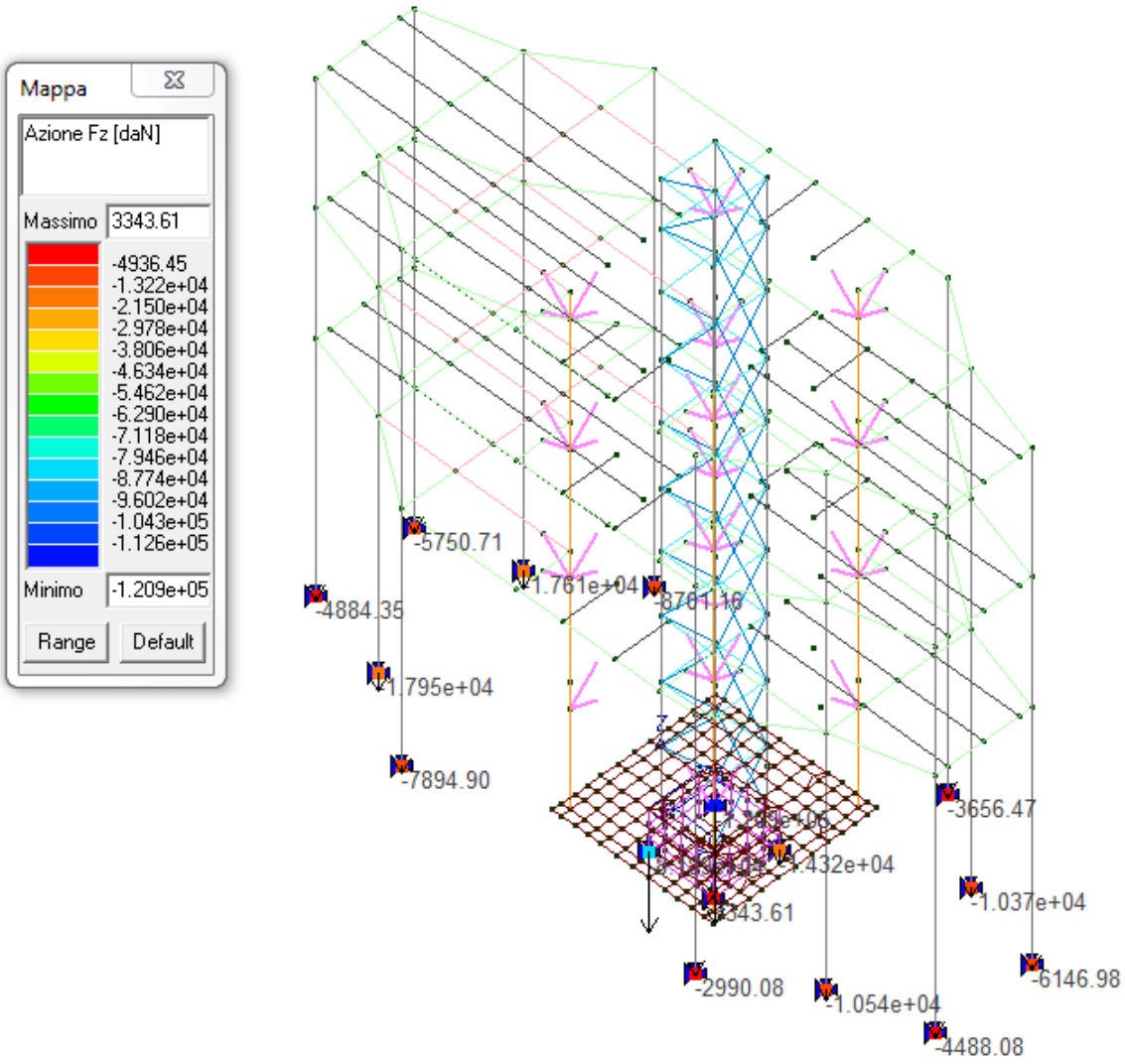
AZIONI VERTICALI VINCOLI

Azione massima combinazioni SLU STR A1 (CMB 28)



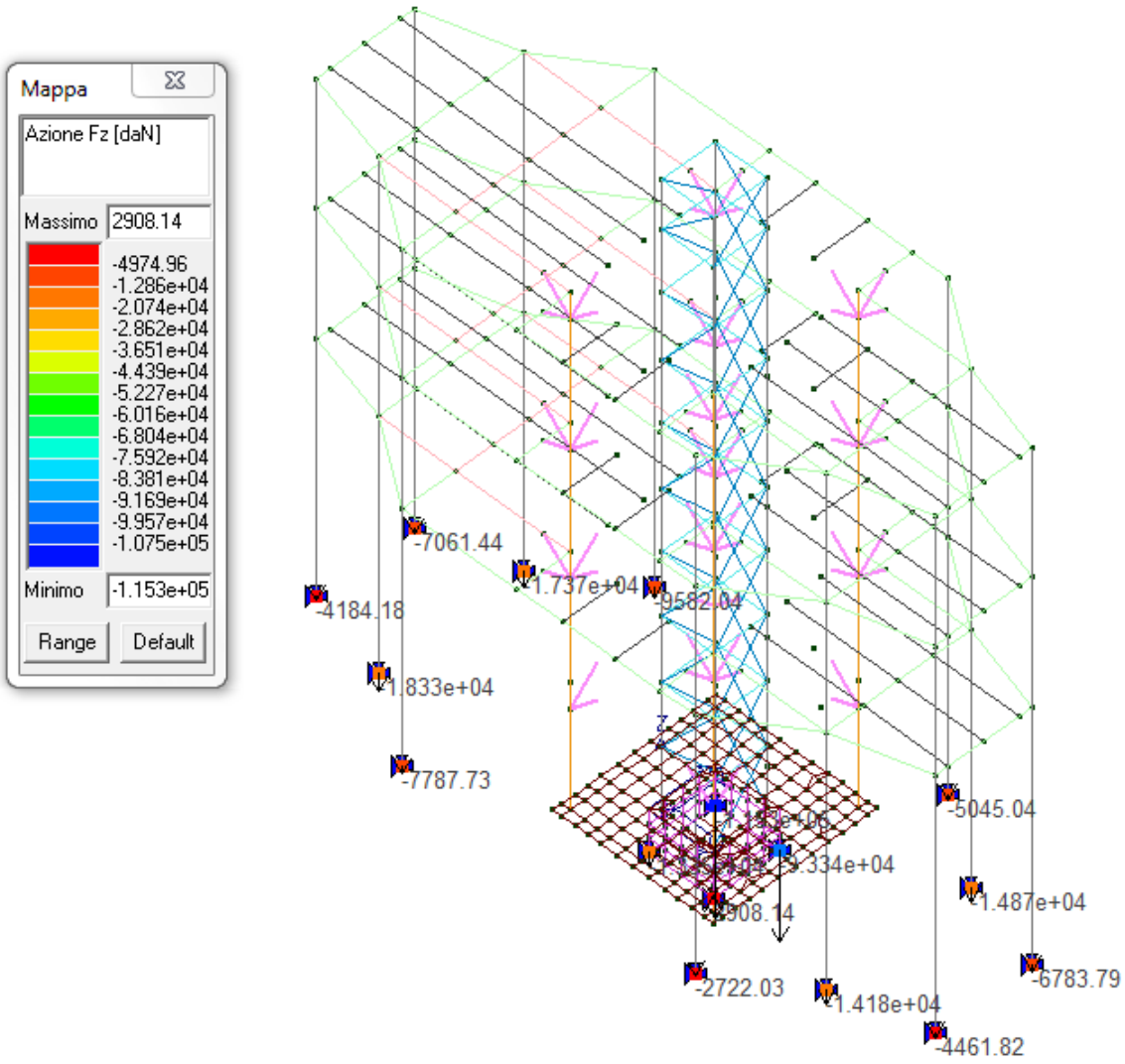
Azione massima 164700 daN

Azione massima combinazioni SLV sismiche (CMB 57)



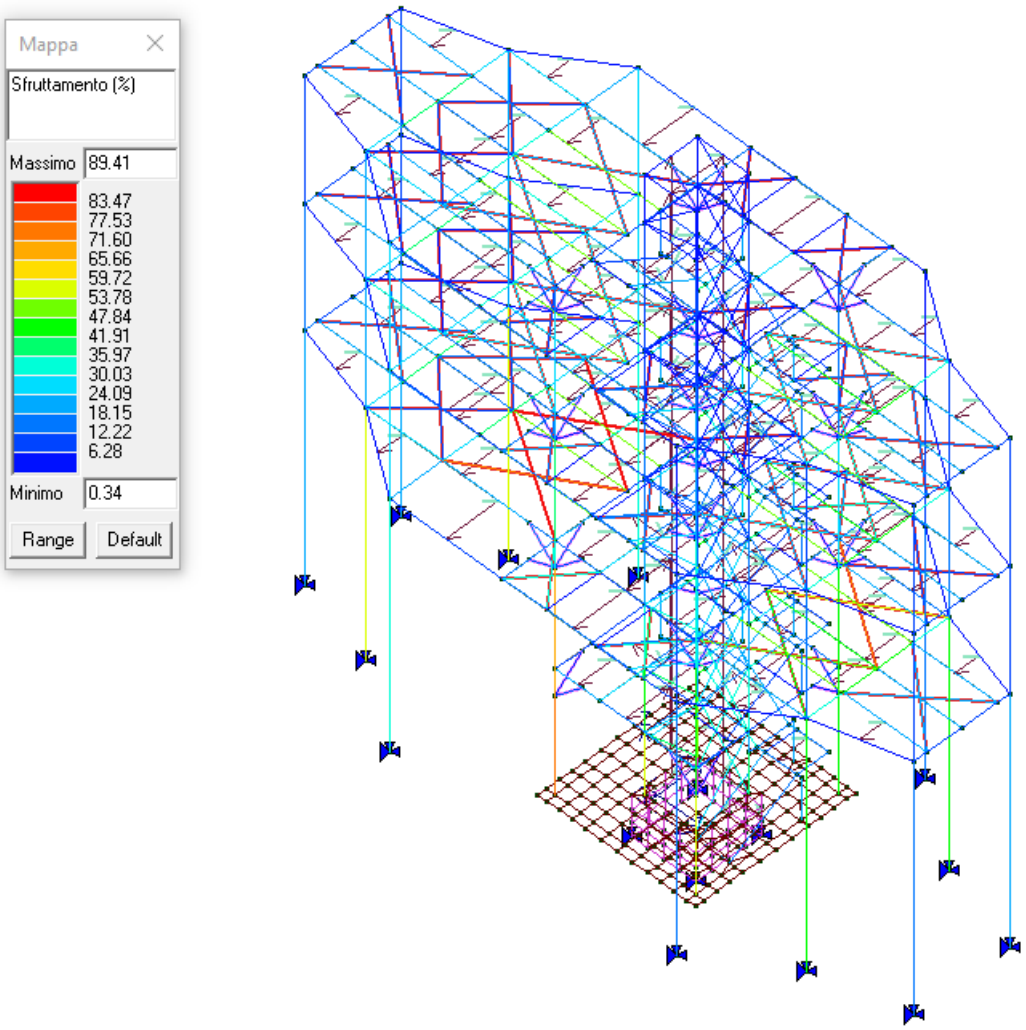
Azione massima 120900 daN (compressione) e minima 3344 daN (trazione)

Azione massima combinazioni SLE (rara) (CMB 125)

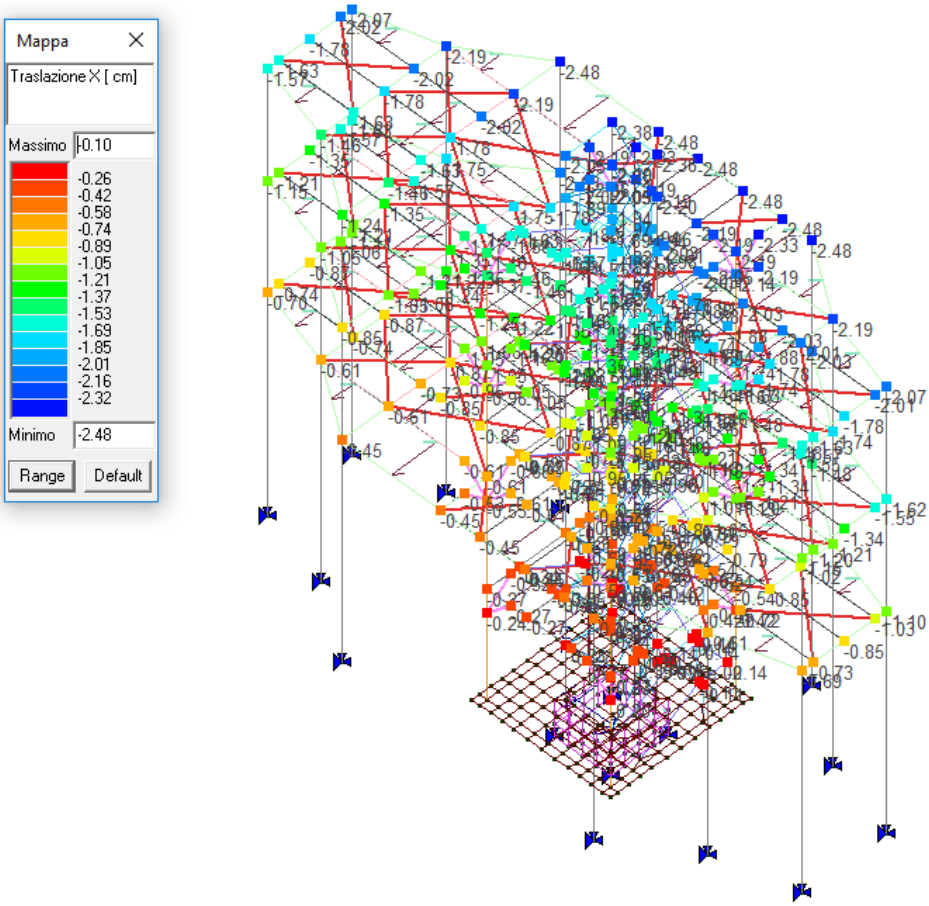


Azione massima 115300 daN

Sfruttamento elementi

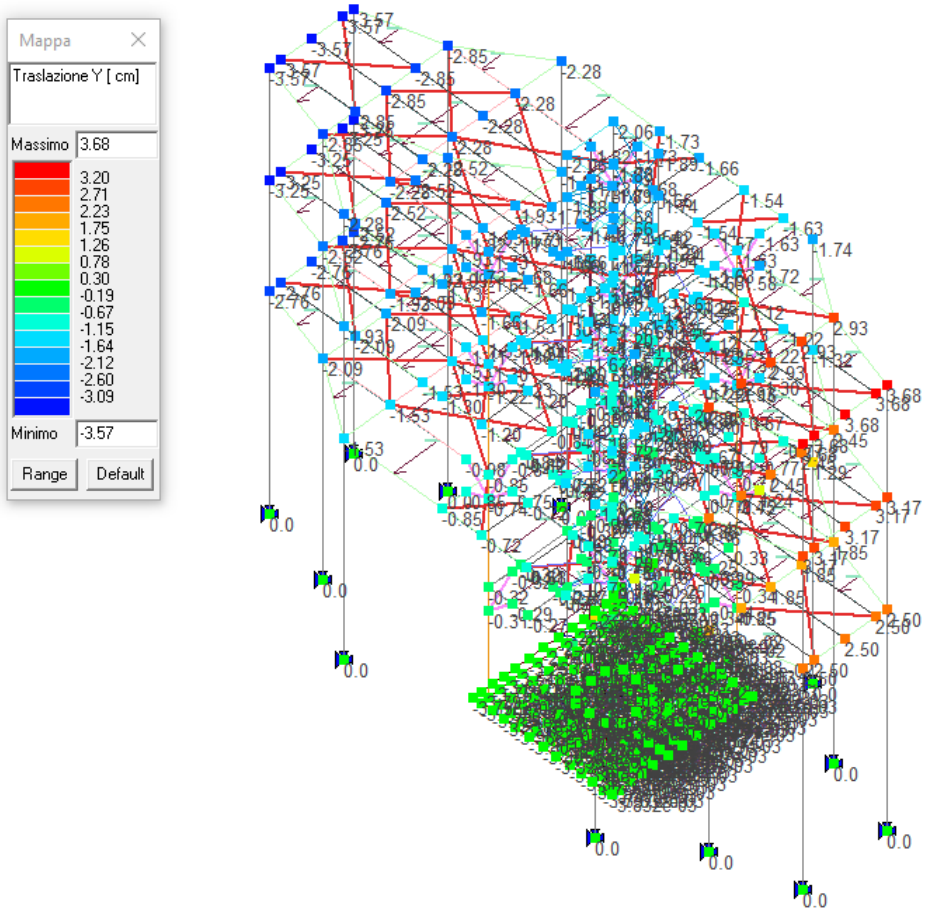


SPOSTAMENTI SISMICI SLV (CMB 54)



Massimo spostamento in direzione x è 2,48 x 3,0 = 7,4 cm

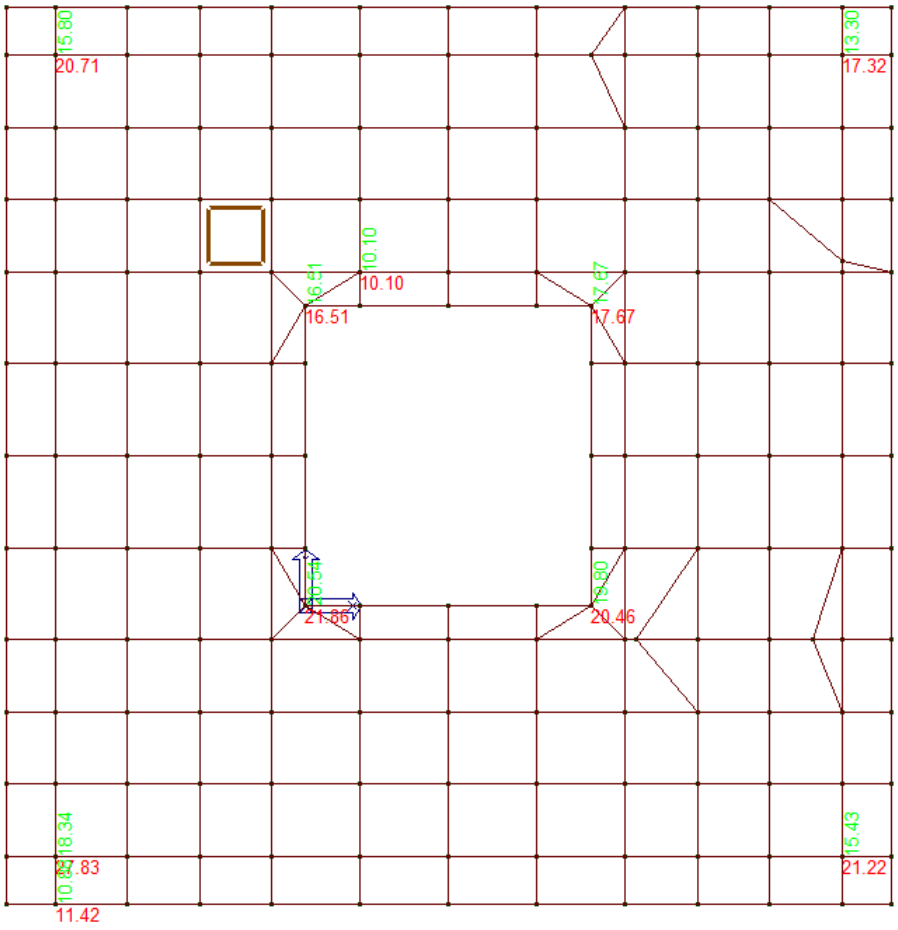
SPOSTAMENTI SISMICI SLV (CMB 72)



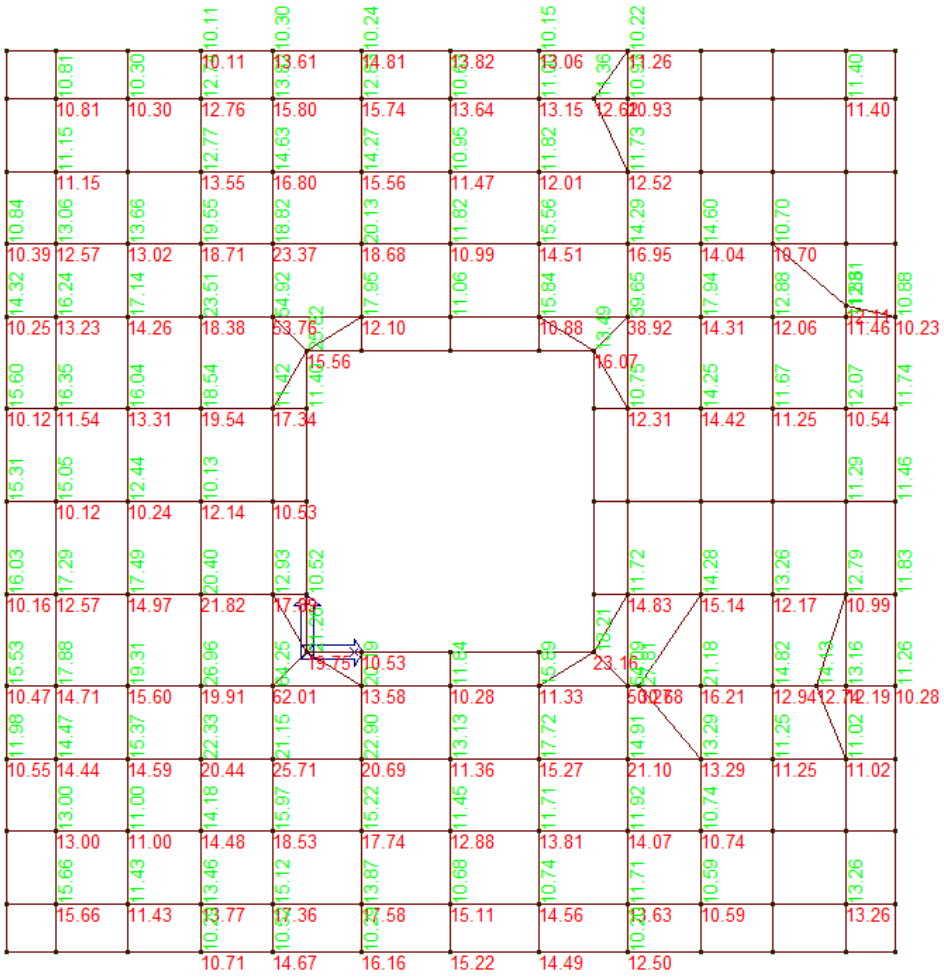
Massimo spostamento in direzione y è 3,68 x 3,0 = 11,0 cm

ARMATURE SOLETTA

Nodi con armatura inferiore maggiore di ϕ16/20



Nodi con armatura superiore maggiore di ϕ16/20



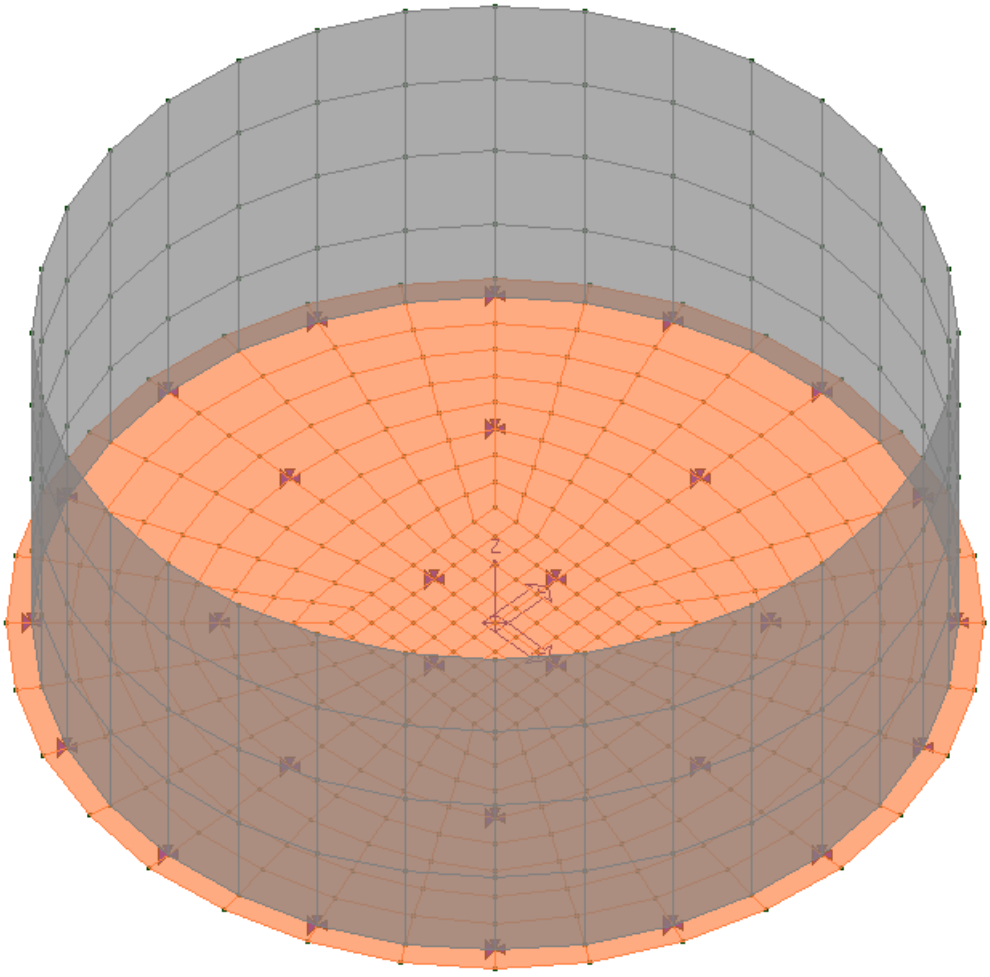
8.3 BASAMENTO GASOMETRO

Il basamento utilizzato per sostenere il gasometro è realizzato con una soletta circolare di diametro 21 m circa e spessore 70 cm, sostenuta da 28 pali di diametro 50 cm.

Nel modello di calcolo i pali sono stati schematizzati come vincoli rigidi, senza attribuire alcun contributo portante al terreno.

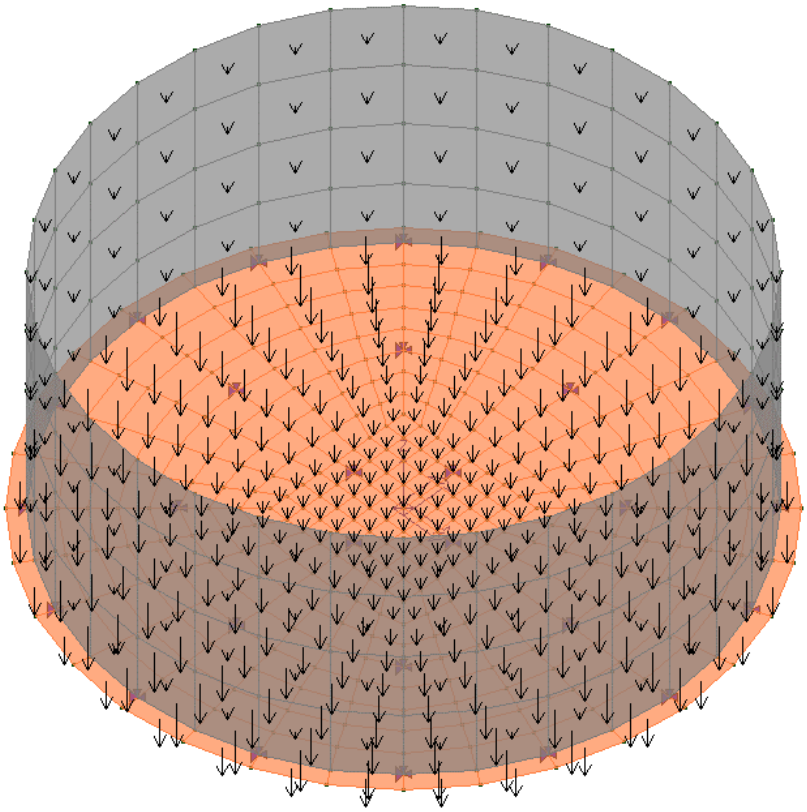
Per applicare i carichi nel modo più realistico possibile, è stato schematizzato il serbatoio metallico a cui sono stati applicati i carichi di competenza.

Di seguito si riporta l'immagine unifilare del modello agli elementi finiti.

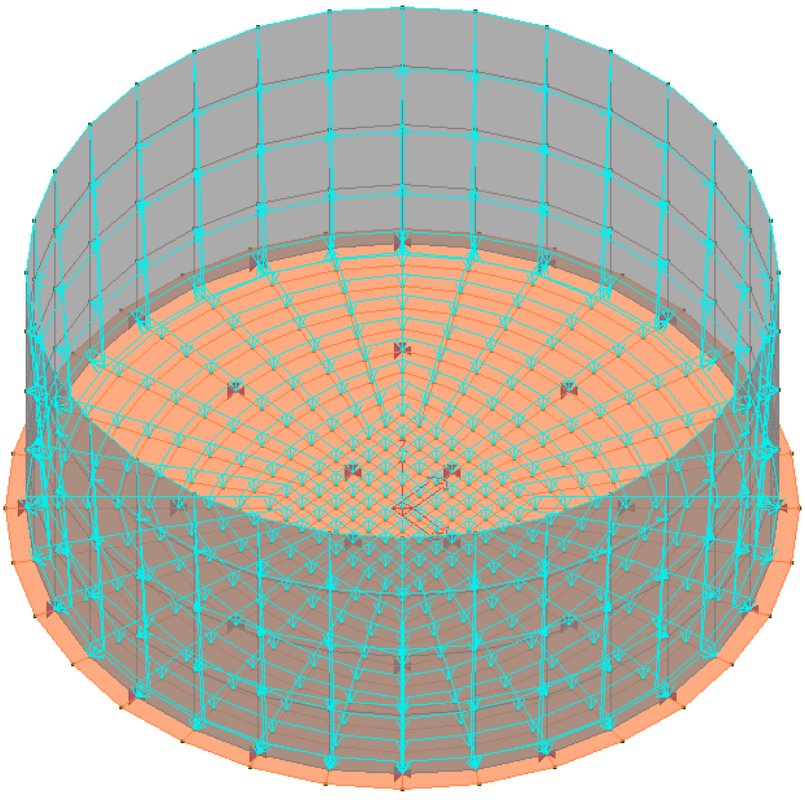


CASI DI CARICO

1 - Pesi propri

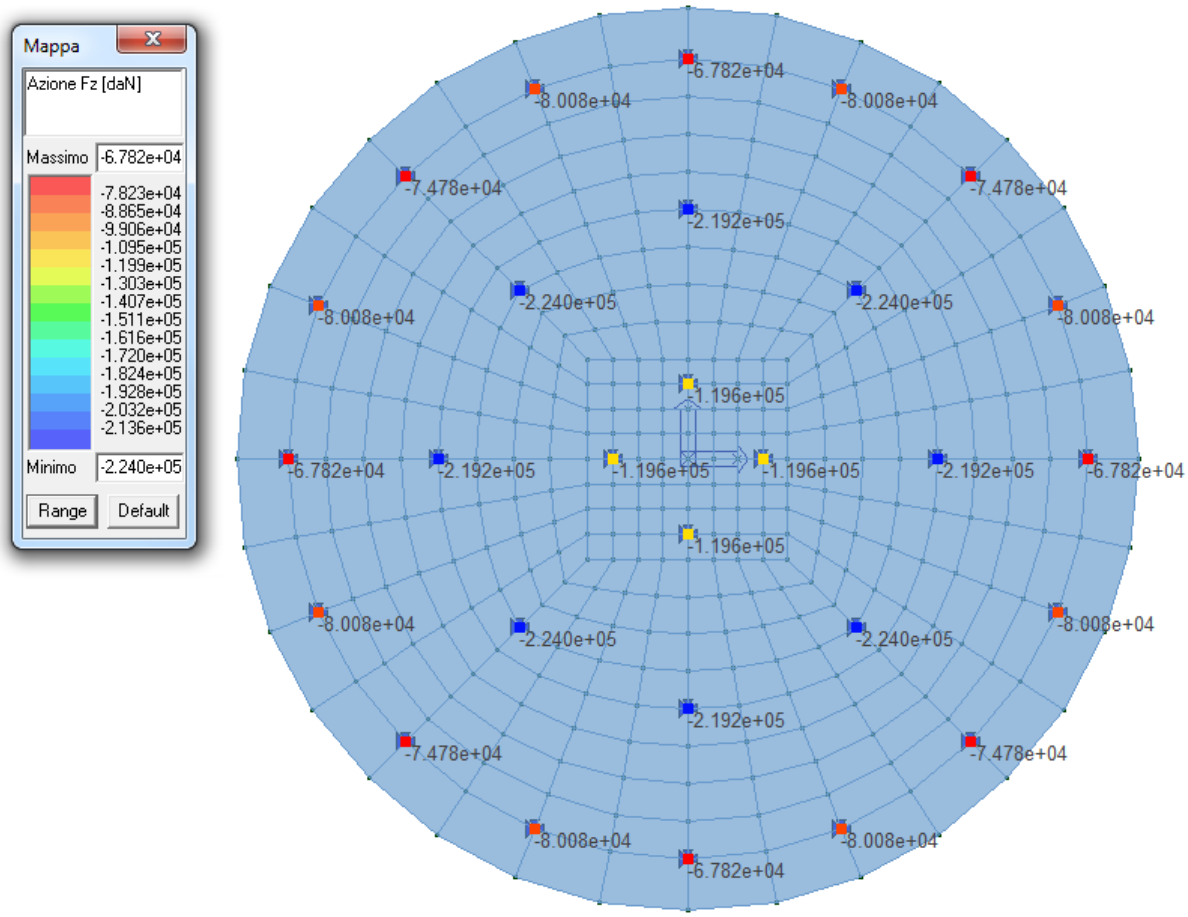


2 – Permanente liquido



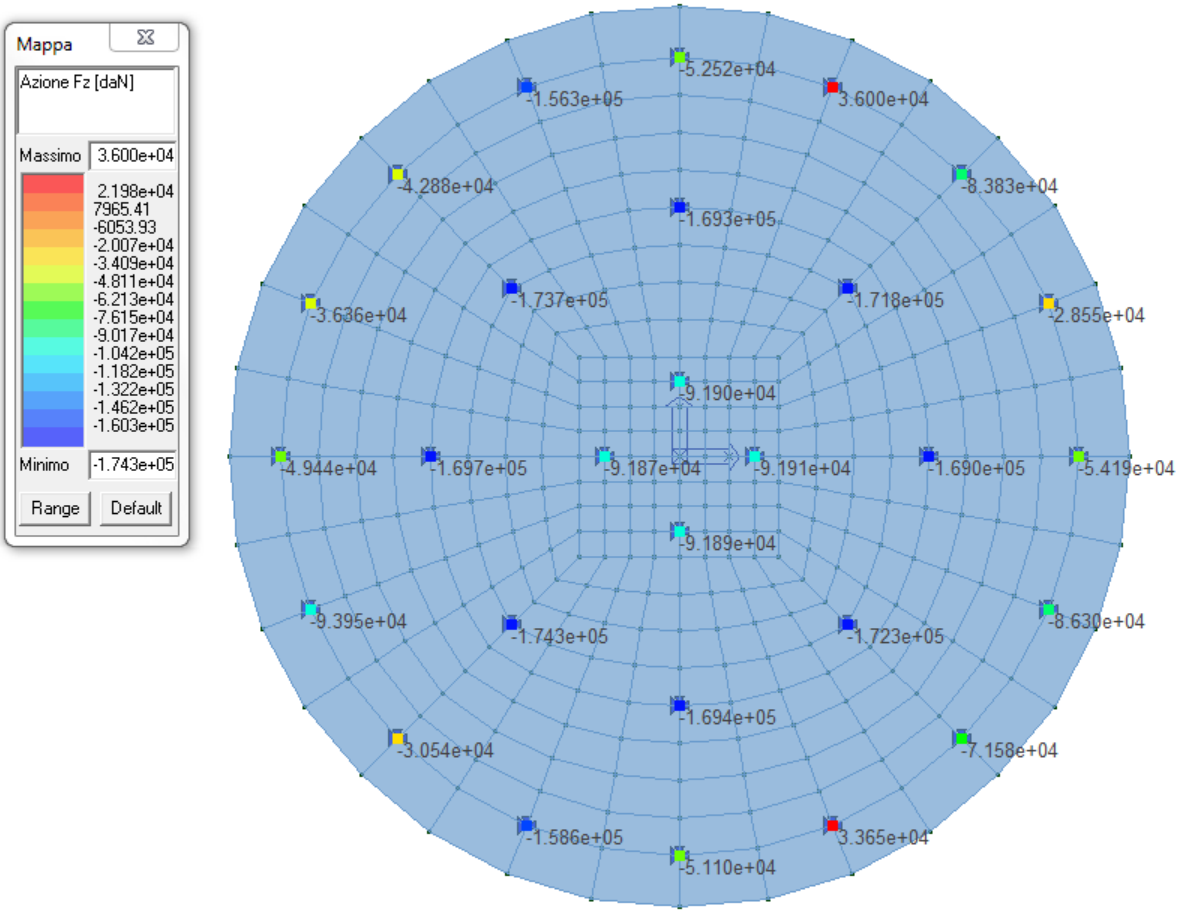
AZIONI VERTICALI VINCOLI

Azione massima combinazioni SLU STR A1 (CMB 1)



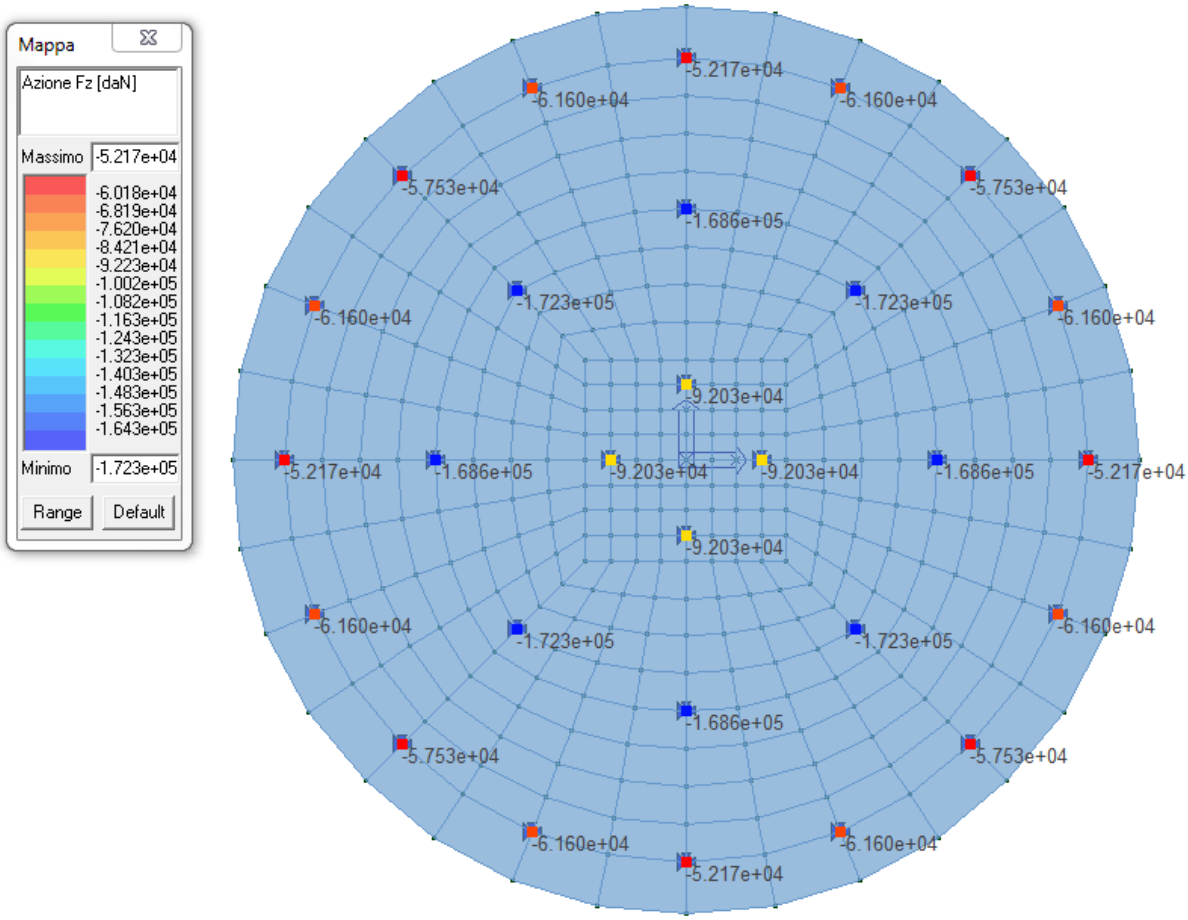
Azione massima 224000 daN

Azione massima combinazioni SLV sismiche (CMB 11)



Azione massima / minima 174300 daN (compressione) e 36000 daN (trazione)

Azione massima combinazioni SLE (rara) (CMB 35)

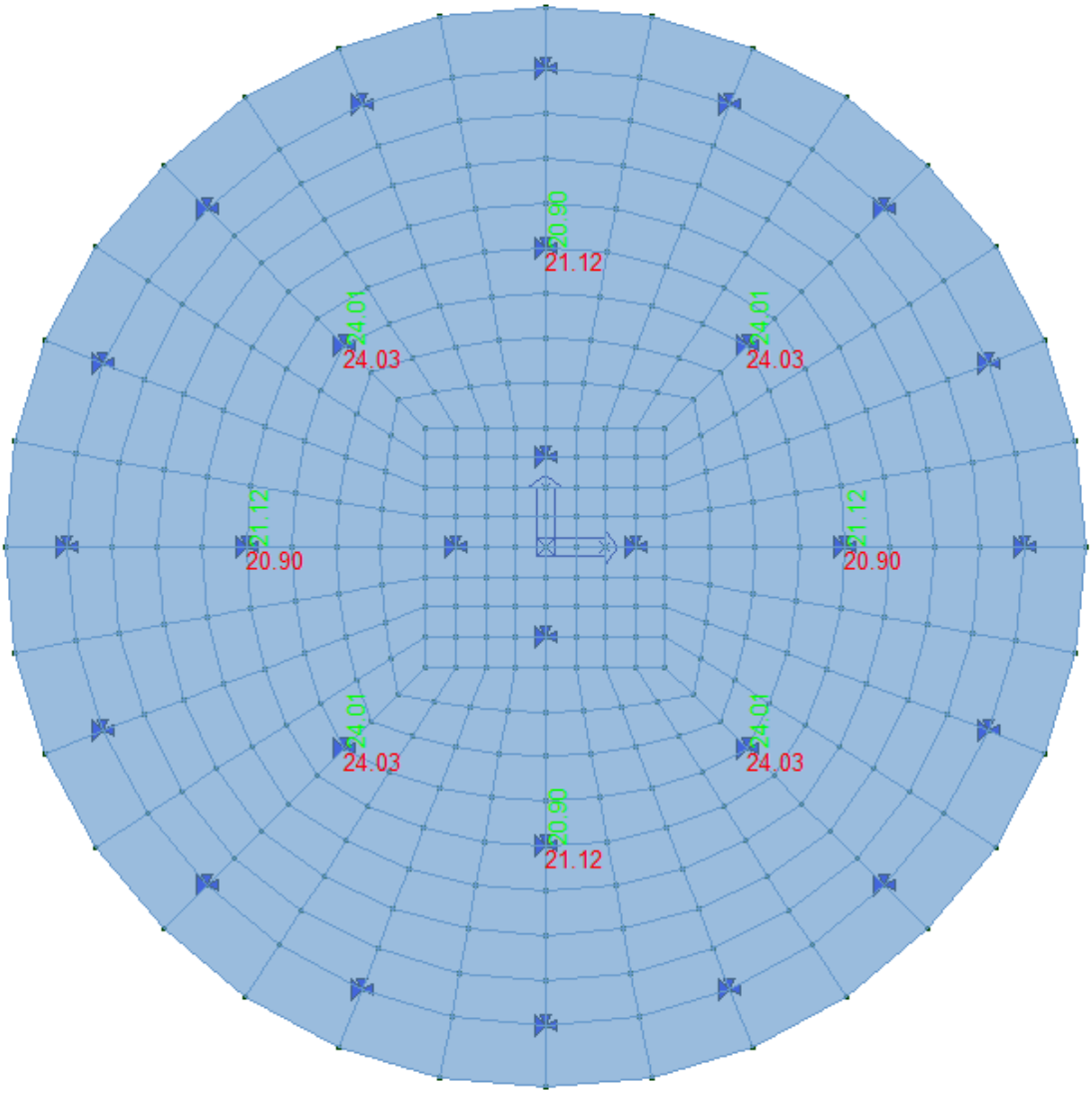


Azione massima 172300 daN

ARMATURE SOLETTA

L'armatura della soletta è costituita da 1ϕ20/20/20 inf / sup che deve essere integrata nello strato di armatura superiore in corrispondenza dei pali più caricati.

Nodi con armatura superiore maggiore di ϕ20/20



I corrispondenza dei pali più caricati deve inoltre essere disposta un'armatura a punzonamento con due anelli posti ad interasse 40 cm di ferri di cucitura 1ϕ16/40.

9. CONCLUSIONI

Al fine di fornire un giudizio motivato di accettabilità dei risultati delle analisi svolte con l'ausilio di codici di calcolo, come richiesto al punto 10.2 NTC08, il progettista strutturale assevera di aver:

- esaminato preliminarmente la documentazione a corredo del software agli elementi finiti e di ritenerlo affidabile ed idoneo alla struttura in oggetto;
- controllato accuratamente i tabulati di calcolo, in particolare il listato degli errori numerici del solutore e le tabelle di verifica delle sezioni;
- confrontato i risultati del software con quelli ottenuti con semplici calcoli di massima.

Gli stati tensionali e deformativi esaminati nei vari elementi sono sempre entro i limiti previsti dalla normativa vigente per l'uso previsto del manufatto.

Le sollecitazioni agenti negli elementi resistenti risultano inferiori al limite consentito dalla normativa.

Le deformazioni degli elementi sono compatibili con la destinazione d'uso delle strutture e rispettano le limitazioni richieste per il funzionamento degli impianti.

Pertanto si ritiene che i risultati siano accettabili e che il presente progetto strutturale sia conforme alle Leggi n. 1086/71 e n. 64/74, e al D.M. 14/01/2008 "Approvazione delle nuove norme tecniche per le Costruzioni" e alla Circolare 2/2/2009 n. 617, "Istruzioni per l'applicazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni".

I manufatti progettati risultano pertanto idonei per l'uso previsto.

SONO DISPONIBILI PRESSO IRETI S.p.A. I SEGUENTI ALLEGATI:

Allegato 1 – Comparto trattamenti primari – relazione di calcolo

Allegato 2 – Comparto trattamento biologico e MBR – relazione di calcolo

Allegato 3 – Comparto ispessimento e disidratazione – relazione di calcolo

Allegato 4 – Comparto digestione anaerobica – relazione di calcolo

Allegato 5 – Pipe-rack sostegno tubazioni – relazione di calcolo