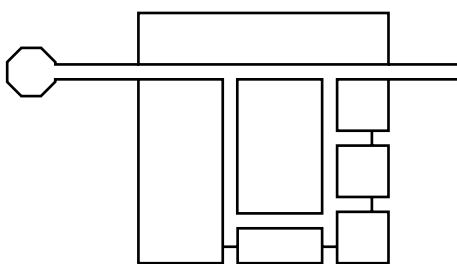


# CENTRO BENESSERE SUL LAGO FARKA: UN'ARCHITETTURA INTROVERSA DA SCOPRIRE

## RELAZIONE TECNICA STRUTTURALE



Relatore: Neri Raffaella  
Correlatori: Fanzini Daniele, Gallo Stampino Paola,  
Garavaglia Elsa, Oliaro Paolo

Rambaldini Ilaria 966539  
Riva Alessia 966694  
Riva Carolina 966496



Tesi di Laurea Magistrale in Architettura delle Costruzioni  
Scuola di Architettura, Urbanistica e Ingegneria delle Costruzioni  
Politecnico di Milano  
A.A. 2021-2022



2.1	Introduzione	
2.1.1	Scelta della tipologia strutturale	3
2.1.2	Norme Tecniche per le Costruzioni 2018	5
2.1.3	Modellazione strutturale con Midas Gen	9
2.1.4	Analisi dei rischi: pericolosità sismica di Tirana	10
2.2	Aula Piscine	
2.2.1	Struttura	11
2.2.2	Predimensionamento	13
2.2.3	Modellazione Midas e verifiche	23
2.3	Calidarium, Tepidarium, Frigidarium	
2.3.1	Struttura	26
2.3.2	Predimensionamento	28
2.3.3	Modellazione Midas e verifiche	29
2.4	Blocco Nord	
2.4.1	Struttura	32
2.4.2	Predimensionamento	34
2.4.3	Modellazione Midas e verifiche	39
2.5	Blocco Sud	
2.5.1	Struttura	42
2.5.2	Predimensionamento	44
2.5.3	Modellazione Midas e verifiche	49
2.6	Corridoio	
2.6.1	Struttura	52
2.6.2	Predimensionamento	54
2.6.3	Modellazione Midas e verifiche	58
2.7	Ponte d'accesso	
2.7.1	Struttura	59
2.7.2	Modellazione Midas e verifiche	60
2.8	Pontile	
2.8.1	Struttura	63
2.8.2	Modellazione Midas e verifiche	64



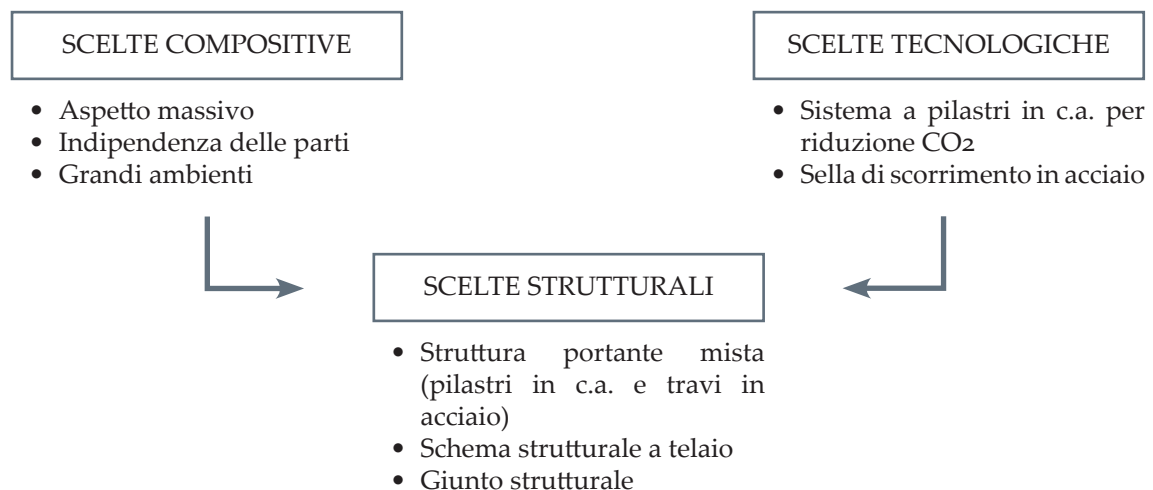
### 2.1.1 Scelta della tipologia strutturale

Le scelte compositive che hanno guidato l'impostazione preliminare del progetto sono state, in primo luogo, la volontà di ottenere un aspetto massivo, che richiamasse l'idea di "fortezza", dove i blocchi di grandi dimensioni del centro benessere emergessero come muri pieni. Inoltre, sin dalle prime fasi preliminari di progetto, la progettazione si è concentrata sulla scelta di creare un sistema di distribuzione che dividesse i singoli spazi con funzioni diverse tra loro, garantendo così l'indipendenza delle parti. Infatti, un corridoio permette di muoversi nel centro termale ed accedere ai diversi servizi sia al livello 0, all'aperto, sia al livello -1 e -2, al chiuso.

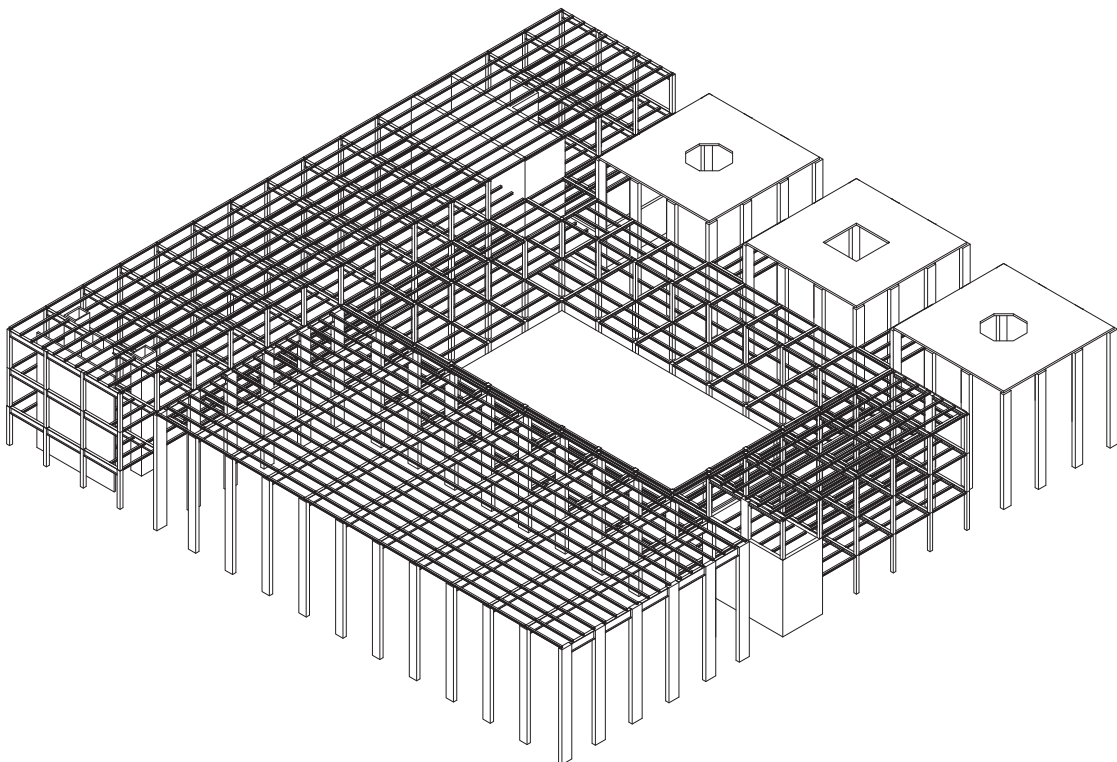
Per coprire le grandi luci, in particolar modo dell'aula piscine e del blocco nord, sono state utilizzate travi in acciaio con l'obiettivo di ridurre le deformazioni verticali dovute ai carichi dei solai, di copertura e interpiano, ma mantenendo delle sezioni degli elementi contenute in modo da aumentare il più possibile le altezze di interpiano.

Per questi motivi, le scelte strutturali hanno seguito, nel miglior modo possibile, i requisiti elencati al fine di integrare progettazione e costruzione. In particolare, l'aspetto massivo è in accordo con la tipologia strutturale, ovvero il calcestruzzo armato. Infatti, questo materiale, a differenza dell'acciaio, permette l'associazione con un'architettura pesante e piena piuttosto che leggera. Tuttavia, in origine per la costruzione degli elementi strutturali era stato scelto di utilizzare dei setti pieni in c.a., ma ciò portava ad un aumento di CO<sub>2</sub> ingente e, quindi, si sono eseguite le opportune verifiche per costruire con una struttura a pilastri puntuali.

Invece, l'indipendenza delle parti è riportata, da un punto di vista strutturale e tecnologico, con la creazione di un giunto di scorrimento a sella posto tra le travi principali dei corridoi e i singoli blocchi. Si tratta di una sella tassellata in acciaio con l'appoggio di 250 mm a 45° e i bulloni saldati che servono per il serraggio, consentendo lo spostamento solidale dei due elementi con movimenti lenti, ed è ancorata al pilastro con una piastra di ancoraggio in acciaio. In questo modo, ogni parte può funzionare in maniera indipendente e permette di svincolarle in caso di sisma.



Riassumendo, il centro benessere ha dimensioni 75x75 m e si sviluppa per una altezza di 13,50 m. La struttura portante è a telaio, con pilastri in c.a. e travi principali e secondarie in acciaio. È costruito con tre materiali: calcestruzzo armato per i pilastri e i core di distribuzione, acciaio per le travi principali e secondarie e legno X-LAM per i core di irrigidimento e l'assito del soppalco. Gli unici blocchi con una diversa struttura orizzontale sono i padiglioni di Calidarium, Frigidarium e Tepidarium che hanno una piastra in c.a. a doppia orditura. L'aula delle piscine e questi padiglioni sono a tripla altezza, mentre il blocco nord e sud sono suddivisi in tre piani.



Assonometria strutturale

Lo studio delle strutture dell'intero complesso progettuale ha seguito lo stesso procedimento per ogni edificio. Questi sono:

- Aula piscine: contiene piscine al chiuso;
- Calidarium, Frigidarium e Tepidarium: contengono piscine fredde e calde;
- Blocco nord: contiene le parti di ristorazione per il pubblico e per il centro benessere, oltre ai diversi servizi del complesso (spogliatoi, bagni, magazzini);
- Blocco sud: contiene il bar per il pubblico e le aree relax e massaggi per il centro;
- Corridoio: elemento di distribuzione tra questi.

Ogni elemento strutturale è stato prima predimensionato manualmente seguendo il metodo dello Stato Limite Ultimo (SLU) e il metodo dello Stato Limite d'Esercizio (SLE) per ottenere le sezioni preliminari degli elementi. Successivamente, ognuno di questi è stato modellato con il software Midas Gen per dimensionare con più precisione le strutture. Infine, sono stati verificati seguendo i valori limite riportati dalle Norme Tecniche per la Costruzione del 2018.

### 2.1.2 Norme Tecniche per le Costruzioni 2018

Nonostante il progetto si trovi a Tirana (Albania), per il dimensionamento degli elementi strutturali sono state prese a riferimento le Norme Tecniche per le Costruzioni italiane (NTC 2018). Le NTC 2018 sono delle informative indispensabili perché in grado di definire i principi fondamentali da seguire per progetto, collaudo, esecuzione delle costruzioni. Queste sono fondamentali per indicare le prestazioni che le strutture devono raggiungere in termini di stabilità. In particolare, le NTC sono state seguite per l'analisi di: carichi (azioni verticali), vento (azione orizzontale) e sisma (azione orizzontale).

Per l'analisi dei carichi sono stati analizzati, caso per caso, ma con procedimento analogo, i carichi seguenti:

- Peso proprio dei materiali strutturali ( $G_1$ );
- Carico permanente non strutturale ( $G_2$ );
- Sovraccarichi legati alla destinazione d'uso ( $Q$ );
- Carico variabile di origine ambientale, il vento ( $W$ );
- Carico variabile di origine ambientale, il sisma ( $S$ ).

Il peso proprio del materiale strutturale, agente come carico verticale sulle strutture, si riferisce al peso della lamiera grecata, uguale per ogni parte di edificio predimensionata.

I sovraccarichi cambiano valore in funzione della destinazione d'uso degli ambienti in riferimento agli elementi strutturali analizzati. Per cui le funzioni sono (3.1.4 NTC 2018): coperture accessibili per sola manutenzione e riparazione ( $q = 0,5 \text{ kN/m}^2$ ), ballatoi ( $q = 4 \text{ kN/m}^2$ ) ed aree con tavoli, quali caffè, ristoranti e sale per ricevimento ( $q = 3 \text{ kN/m}^2$ ). Nel caso in cui fossero presenti differenti destinazioni d'uso è stato scelto il valore di  $q$  maggiore.

I carichi permanenti non strutturali  $G_2$  (3.1.3 NTC 2018) sono stati calcolati partendo dalla stratigrafia del pacchetto di solaio di riferimento dell'area di influenza dell'elemento analizzato, trovando così la forza agente attraverso la densità dello strato per il suo spessore. Questo procedimento è stato seguito per ogni tipologia di stratigrafia presente, per cui vengono riportate le tabelle che serviranno a riferimento nel predimensionamento degli elementi successivamente.

#### 1. Solaio di copertura generico

<i>Materiale</i>	<i>Densità [kN/m<sup>3</sup>]</i>	<i>Spessore [m]</i>	<i>Peso specifico [kN/m<sup>2</sup>]</i>
Ghiaia	17	0,1	1,7
Tessuto non tessuto a protezione della guaina	2,56	0,01	0,0256
Guaina impermeabilizzante PVC	10,5	0,012	0,126
Massetto per formazione di pendenza cls (4%)	16	0,06	0,96
Pannello isolante in poliuretano estruso	0,35	0,1	0,035
Pannello isolante in poliuretano estruso	0,35	0,1	0,035
Barriera al vapore	3,6	0,01	0,036
Cartongesso in lastre (controsoffitto impianti)	8	0,015	0,12
Intonaco a rustico	13	0,015	0,195
Intonaco interno	13	0,015	0,195
		<b>TOT. g2</b>	<b>3,43</b>

Tabella 1: Stratigrafia solaio di copertura generico

## 2. Solaio di copertura ballatoio

<i>Materiale</i>	<i>Densità [kN/m<sup>3</sup>]</i>	<i>Spessore [m]</i>	<i>Peso specifico [kN/m<sup>2</sup>]</i>
Rivestimento in pietra	23	0,03	0,69
Membrana impermeabilizzante	12	0,015	0,18
Membrana impermeabilizzante	12	0,015	0,18
Massetto per formazione di pendenza cls (2%)	16	0,06	0,96
Strato isolante in poliuretano estruso	0,35	0,12	0,042
Barriera al vapore	3,6	0,01	0,036
Barriera al vapore	3,6	0,01	0,036
Cartongesso in lastre (controsoffitto impianti)	8	0,015	0,12
Intonaco a rustico	13	0,015	0,195
Intonaco interno	13	0,015	0,195
<b>TOT. g2</b>			<b>2,63</b>

Tabella 2: Stratigrafia solaio di copertura ballatoio

## 3. Solaio di interpiano generico

<i>Materiale</i>	<i>Densità [kN/m<sup>3</sup>]</i>	<i>Spessore [m]</i>	<i>Peso specifico [kN/m<sup>2</sup>]</i>
Rivestimento in pietra	23	0,02	0,46
Sottofondo di riempimento/massetto di posa	6	0,06	0,36
Riscaldamento a pavimento	/	/	0,8
Pannello isolante in poliuretano estruso	0,35	0,04	0,014
Barriera al vapore	3,6	0,015	0,054
Cartongesso in lastre (controsoffitto impianti)	8	0,015	0,12
Intonaco a rustico	13	0,015	0,195
Intonaco interno	13	0,015	0,195
<b>TOT. g2</b>			<b>2,20</b>

Tabella 3: Stratigrafia solaio di interpiano generico

## 5. Solaio-Pontile

<i>Materiale</i>	<i>Densità [kN/m<sup>3</sup>]</i>	<i>Spessore [m]</i>	<i>Peso specifico [kN/m<sup>2</sup>]</i>
Rivestimento in legno (noce)	8	0,014	0,112
Sottofondo di riempimento/massetto di posa	6	0,06	0,36
<b>TOT. g2</b>			<b>0,47</b>

Tabella 4: Stratigrafia solaio del pontile

## 4. Partizione verticale esterna-facciata

<i>Materiale</i>	<i>Densità [kN/m<sup>3</sup>]</i>	<i>Spessore [m]</i>	<i>Peso specifico [kN/m<sup>2</sup>]</i>
Rivestimento in pietra	23	0,028	0,644
Intercapedine d'aria	0,012	0,14	0,00168
Pannello isolante in polistirene espanso EPS	0,19	0,1	0,019
Mattone forato	8	0,1	0,8
Intonaco a rustico	13	0,015	0,195
Intonaco interno	13	0,015	0,195
<b>TOT. g2</b>			<b>1,85</b>

*H del piano [m]*

3

*G2 [kN/m]*

5,6 kN/m

Tabella 5: Stratigrafia partizione verticale esterna di facciata ventilata



## 6. Partizione verticale interna-parete 30 cm

Materiali	Densità [kN/m <sup>3</sup> ]	Spessore [m]	Peso specifico [kN/m <sup>2</sup> ]
Intonaco	13	0,015	0,195
Lastra in cartongesso	7,5	0,0125	0,09375
Lastra in cartongesso	7,5	0,0125	0,09375
Isolante lana di roccia	0,6	0,08	0,048
Lastra in cartongesso	7,5	0,0125	0,09375
Isolante lana di roccia	0,6	0,08	0,048
Lastra in cartongesso	7,5	0,0125	0,09375
Lastra in cartongesso	7,5	0,0125	0,09375
Intonaco	13	0,015	0,195
<b>TOT.</b>			<b>0,95</b>
<i>H del piano [m]</i>		<i>G2 [kN/m]</i>	
3		2,9	
Per NTC18 se G2≤3 allora g2 vale			<b>1,2 kN/m<sup>2</sup></b>

Tabella 6: Stratigrafia partizione verticale di parete interna (30 cm spessore)

## 7. Partizione verticale interna-parete 10 cm

Materiali	Densità [kN/m <sup>3</sup> ]	Spessore [m]	Peso specifico [kN/m <sup>2</sup> ]
Intonaco	13	0,015	0,195
Lastra in cartongesso	7,5	0,0125	0,09375
Isolante isorocchia	1,1	0,08	0,088
Lastra in cartongesso	7,5	0,0125	0,09375
Intonaco	13	0,015	0,195
<b>TOT. g2</b>			<b>0,67</b>
<i>H del piano [m]</i>		<i>G2 [kN/m]</i>	
3		2,0	
Per NTC18 se G2≤2 allora g2 vale			<b>0,8 kN/m<sup>2</sup></b>

Tabella 7: Stratigrafia partizione verticale di parete interna (10 cm spessore)

Per quanto riguarda il carico orizzontale dato dall'azione del vento, questo è stato calcolato a mano (3.3 NTC 2018) per ogni blocco. La pressione del vento è stata calcolata a partire dalla formula  $P = q_{ref} \cdot C_e \cdot C_p \cdot C_d$  dove:

- Pressione cinetica di riferimento,  $q_{ref} = 0,5 \cdot \rho \cdot v_r^2$  [N/m<sup>2</sup>]  
 con:  $\rho$  (densità dell'aria) = 1,25 Kg/m<sup>3</sup>  
 $v_r$  (velocità di riferimento) = 30, 26 m/s  
 quindi:  $q_{ref} = 572,15$  N/m<sup>2</sup> = 0,572 kN/m<sup>2</sup>
- Coefficiente di esposizione,  $C_e(z) = [Kr^2 \cdot C_t \cdot \ln(z/z_0)] [7 + \ln(z/z_0)]$  se  $z \geq z_0$   
 con:  $Kr = 0,22$  (perchè categoria di esposizione IV)  
 $C_t$  (coefficiente topografico) = 1  
 $z_0 = 0,30$  m (perchè categoria di esposizione IV)  
 $z$  = quota da terra
- Coefficiente di forma,  $C_p$   
 con:  $C_p = 0,4$  per pareti sopravento  
 $C_p = 0,8$  per pareti sottovento  
 quindi  $C_p = (0,4 + 0,8)/2 = 0,6$  (perchè viene considerato come piano rigido)
- Coefficiente dinamico,  $C_d = 1$

A seconda della quota da terra la  $z$  varia, di conseguenza il coefficiente  $C_e$ . Per questo motivo, la pressione del vento  $P$  cambia per ogni piano. Il carico orizzontale del vento si calcola come:  $q_v = P \times h$ , dove  $h$  è l'altezza dell'interpiano (per l'ultimo piano l'altezza viene divisa per due). Di seguito vengono riportati i calcoli per il carico agente su ogni edificio, in funzione delle loro altezze e numero di piani.

Per l'aula piscine e il Calidarium, Tepidarium e Frigidarium:

$$z = 13,50 \text{ m} \rightarrow C_e = [(0,22)^2 \cdot 1 \cdot \ln(13,50 \text{ m}/0,3 \text{ m})][7 + \ln(13,50 \text{ m}/0,3 \text{ m})] = 1,99$$

$$P = 0,572 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,99 \cdot 0,6 \cdot 1 = 0,68 \text{ kN/m}^2$$

$$q_v = 0,68 \text{ kN/m}^2 \cdot (13,50 \text{ m}/2) = 4,59 \text{ kN/m}$$

Per il blocco nord e il blocco sud:

$$z_1 = 4,50 \text{ m} \rightarrow C_e = [(0,22)^2 \cdot 1 \cdot \ln(4,50 \text{ m}/0,3 \text{ m})][7 + \ln(4,50 \text{ m}/0,3 \text{ m})] = 1,27$$

$$P = 0,572 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,27 \cdot 0,6 \cdot 1 = 0,43 \text{ kN/m}^2$$

$$q_v = 0,43 \text{ kN/m}^2 \cdot (4,50 \text{ m}) = 1,93 \text{ kN/m}$$

$$z_2 = 9,00 \text{ m} \rightarrow C_e = [(0,22)^2 \cdot 1 \cdot \ln(9,00 \text{ m}/0,3 \text{ m})][7 + \ln(9,00 \text{ m}/0,3 \text{ m})] = 1,71$$

$$P = 0,572 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,71 \cdot 0,6 \cdot 1 = 0,58 \text{ kN/m}^2$$

$$q_v = 0,58 \text{ kN/m}^2 \cdot (4,50 \text{ m}) = 2,61 \text{ kN/m}$$

$$z_3 = 13,50 \text{ m} \rightarrow C_e = [(0,22)^2 \cdot 1 \cdot \ln(13,50 \text{ m}/0,3 \text{ m})][7 + \ln(13,50 \text{ m}/0,3 \text{ m})] = 1,99$$

$$P = 0,572 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,99 \cdot 0,6 \cdot 1 = 0,68 \text{ kN/m}^2$$

$$q_v = 0,68 \text{ kN/m}^2 \cdot (4,50 \text{ m}/2) = 1,53 \text{ kN/m}$$

Per il ponte d'accesso:

$$z_1 = 9,00 \text{ m} \rightarrow C_e = [(0,22)^2 \cdot 1 \cdot \ln(9,00 \text{ m}/0,3 \text{ m})][7 + \ln(9,00 \text{ m}/0,3 \text{ m})] = 1,71$$

$$P = 0,572 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,71 \cdot 0,6 \cdot 1 = 0,58 \text{ kN/m}^2$$

$$q_v = 0,58 \text{ kN/m}^2 \cdot (2,50 \text{ m}) = 1,93 \text{ kN/m}$$

$$z_2 = 11,50 \text{ m} \rightarrow C_e = [(0,22)^2 \cdot 1 \cdot \ln(11,50 \text{ m}/0,3 \text{ m})][7 + \ln(11,50 \text{ m}/0,3 \text{ m})] = 1,88$$

$$P = 0,572 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,88 \cdot 0,6 \cdot 1 = 0,65 \text{ kN/m}^2$$

$$q_v = 0,65 \text{ kN/m}^2 \cdot (2,50 \text{ m}/2) = 0,81 \text{ kN/m}$$

Per il pontile:

$$z = 7,00 \text{ m} \rightarrow C_e = [(0,22)^2 \cdot 1 \cdot \ln(7,00 \text{ m}/0,3 \text{ m})][7 + \ln(7,00 \text{ m}/0,3 \text{ m})] = 1,54$$

$$P = 0,572 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,54 \cdot 0,6 \cdot 1 = 0,53 \text{ kN/m}^2$$

$$q_v = 0,53 \text{ kN/m}^2 \cdot (7,00 \text{ m}/2) = 1,85 \text{ kN/m}$$

Infine, per quanto riguarda il carico orizzontale dato dall'azione del sisma, questo è stato calcolato appositamente (3.2 NTC 2018). I dati scelti, in funzione delle caratteristiche specifiche del progetto, sono stati inseriti sul programma Midas Gen per poter verificare che la risposta dell'edificio al sisma fosse contenuta nei valori limite definiti da normativa. In particolare:

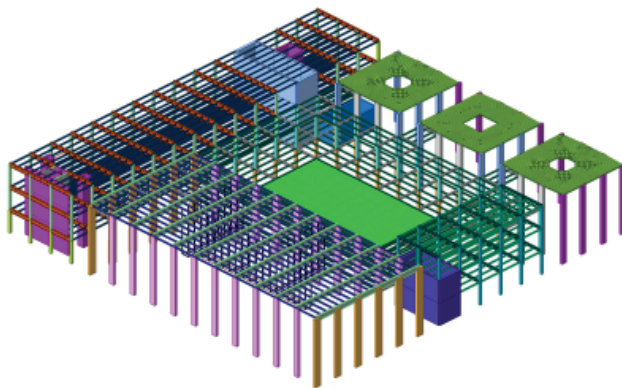
- Tempo di ritorno ( $T_r$ ): 475 anni, per lo Stato Limite di Salvaguardia della Vita
- Accelerazione al suolo ( $a_g$ ): 0,071 g
- Fattore di amplificazione ( $F_0$ ): 2,611
- Periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro ( $T_c^*$ ): 0,523
- Tipo di sottosuolo: C, perchè posizionato a ridosso del lago
- Primo periodo di oscillazione ( $T_1$ ):  $T_1 = 0,075 \text{ H}^{3/4}$ , perchè si tratta di una struttura portante in c.a.
- Fattore di comportamento ( $q$ ): 2, perchè struttura mista in acciaio e c.a.

### 2.1.3 Modellazione strutturale con Midas Gen

Attraverso l'utilizzo del software strutturale ad elementi finiti (FEM) Midas Gen è stato possibile modellare l'intera struttura degli edifici per analizzare i relativi comportamenti sotto sforzo. Infatti, Midas Gen risolve integralmente tutte le problematiche di analisi e progettazione di qualsiasi tipologia strutturale, dalle più complesse alle più semplici, in zona sismica e non, con qualsiasi materiale.

Per ciò che riguarda la modellazione in Midas del progetto, si è proceduto blocco per blocco dal momento che ognuno di questi è strutturalmente indipendente, grazie alla presenza del giunto di scorrimento a sella che permette risposte individuali di ogni parte alle sollecitazioni cui sono sottoposti. Il procedimento di disegno e verifica sul software, tuttavia, è analogo per ognuno di questi.

Più precisamente, partendo da un disegno del sistema di telai effettuato in Autocad 3D, si è proceduto con l'importazione dello stesso in Midas per modellare in primis la geometria dei singoli elementi con le loro sezioni e spessori, quali: elementi beam (travi e pilastri), elementi wall (core portanti) e plate (piastra di copertura). Sono stati definiti anche i materiali, già verificati nel calcolo di predimensionamento a mano, tra cui: acciaio (S235, S355 e S450) e calcestruzzo armato (C25/30). Successivamente è stato necessario definire i tipi di vincoli presenti sulla struttura, sia quelli a terra che interni. Infatti, in funzione della loro presenza e della tipologia, la struttura stessa può avere una risposta statica differente. In questo caso, il progetto presenta: incastri a terra (per gli elementi portanti verticali collegati alle fondazioni), cerniera-cerniera (per gli elementi di materiale differente, come travi in acciaio e pilastri/core in c.a.) e incastri (per gli elementi dello stesso materiale, come i tiranti verticali e orizzontali del soppalco ed i montanti e traversi del ponte reticolare). Sono stati, poi, applicati i carichi partendo dai verticali, calcolati precedentemente con l'analisi dei carichi, e gli orizzontali dati dalle forze di vento e sisma, anche questi calcolati prima seguendo le NTC 2018 (vedi 2.1.2). Infine, l'ultimo passaggio è stato verificare che la struttura fosse stabile. Per far ciò, si sono create le combinazioni di carico (con fattore di amplificazione delle forze  $\gamma=1,3$  come previsto da normativa). All'interno del modello vengono generati automaticamente diverse combinazioni, tra cui gli involuipi che considerano la regola di sovrapposizione degli effetti al fine di estrarne le condizioni peggiori. I risultati sono visibili con la simulazione di analisi in Midas.



Rappresentazione della geometria totale del progetto con lo scopo di avere una visione d'insieme

## 2.1.4 Analisi dei rischi: pericolosità sismica di Tirana

Per lo svolgimento della tesi è stata effettuata un'analisi dei rischi dell'area di Tirana, più precisamente dell'area di progetto del Lago Farka, con lo scopo di avere una visione più ampia e corretta del contesto geologico su cui sorge il progetto. Il lago si trova a sud-est della città, in una valle racchiusa da montagne (Monte Dajt a est, alto 1613 m) e colline. L'area in cui si trova il lago è una pianura fertile, ricca d'acqua.

L'Albania è un paese caratterizzato da un'elevata attività sismica e, dal punto di vista geotettonico, è situata nella zona di convergenza tra la Piastra Eurasiatica e la placca Adriatica. L'Albania occidentale ospita diverse faglie attive, alcune delle quali sono esposte sulla superficie del terreno, mentre altre piegano invece gli strati sovrastanti. Una tale piega esiste nella regione tra Durazzo e Tirana, correndo in direzione nord ovest-sud est e salendo fino a 200 m di altitudine.

La prima mappa di zonazione sismica dell'Albania risale al 1964. Il parametro di valutazione della pericolosità sismica è l'intensità macrosismica definita attraverso la scala MSK-64 e tutto il territorio si basa su tre valori di intensità: VI, VII, VIII grado. Rispetto a questa zonazione, sono state realizzate le norme di progettazione sismica KTP-N.2-1978. In seguito al terremoto del 1979 è stato aumentato il livello di rischio in tutto il paese ed è proprio in questa fase che è stata realizzata una nuova mappa di pericolosità sismica dell'Albania. Questa mappa, pubblicata nel 1980, è ancora oggi in vigore e su di essa si fonda l'attuale codice di progettazione per azioni sismiche: KTP-N.2-89. È per la difficile interpretazione della normativa sismica albanese che è stata seguita quella italiana.

Tra le due mappe le modifiche apportate dell'intensità sismica riguardano soprattutto i più importanti centri urbani del paese, dove Tirana che era originariamente classificata come intensità VI e poi aggiornata all'intensità VII. Tuttavia, nell'area del lago Farka il rischio sismico è classificato come medio-basso. Ciò significa che nell'area di progetto c'è una probabilità del 10% di scosse sismiche potenzialmente dannose nei prossimi 50 anni. Sulla base di queste informazioni, l'impatto del terremoto dovrebbe essere considerato in tutte le fasi del progetto (in particolare durante la progettazione e la costruzione).



Figura 1: Mappa di pericolosità sismica del 1980

Invece, nell'area del Lago Farka non vi è pericolosità idrogeologica essendo quest'ultimo di costruzione artificiale.

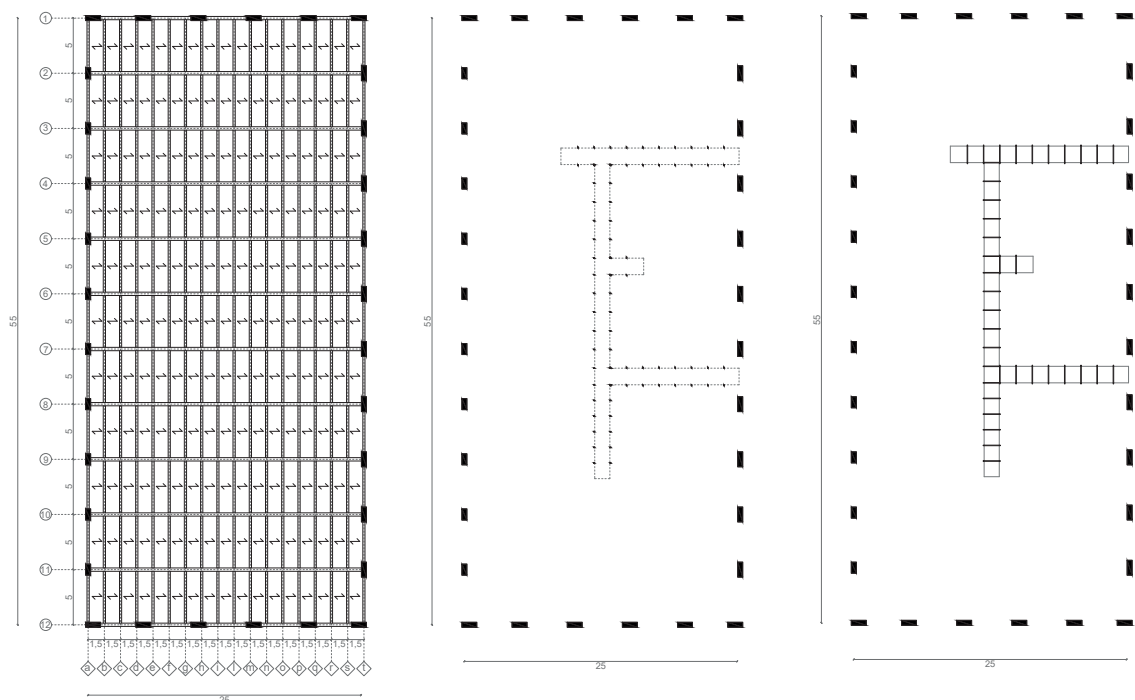
### 2.2.1 Struttura

L'aula piscine è l'ambiente principale in cui sono contenute le vasche a differenti temperature, al chiuso, del centro benessere. Strutturalmente è composta da pilastri in c.a. come elementi portanti verticali e da travi principali e secondarie in acciaio come orizzontali.

Le travi di copertura sono a quote differenti poiché le secondarie sono sopra le principali; questo è stato fatto per rispettare la scelta progettuale di mostrare la gerarchia delle strutture, ponendole a vista. Inoltre, a queste è attaccata un'ulteriore struttura, ovvero il soppalco accessibile dal piano -1. Infatti, questo è completamente in acciaio (S235) con due tubolari verticali e uno orizzontale saldati tra loro, formando una struttura a portale ad "u". Sopra questo è fissato un assito in legno x-lam che, collegandosi a dei blocchi anch'essi in x-lam incastrati col terreno, funge da piano rigido per evitare spostamenti orizzontali.

Riassumendo:

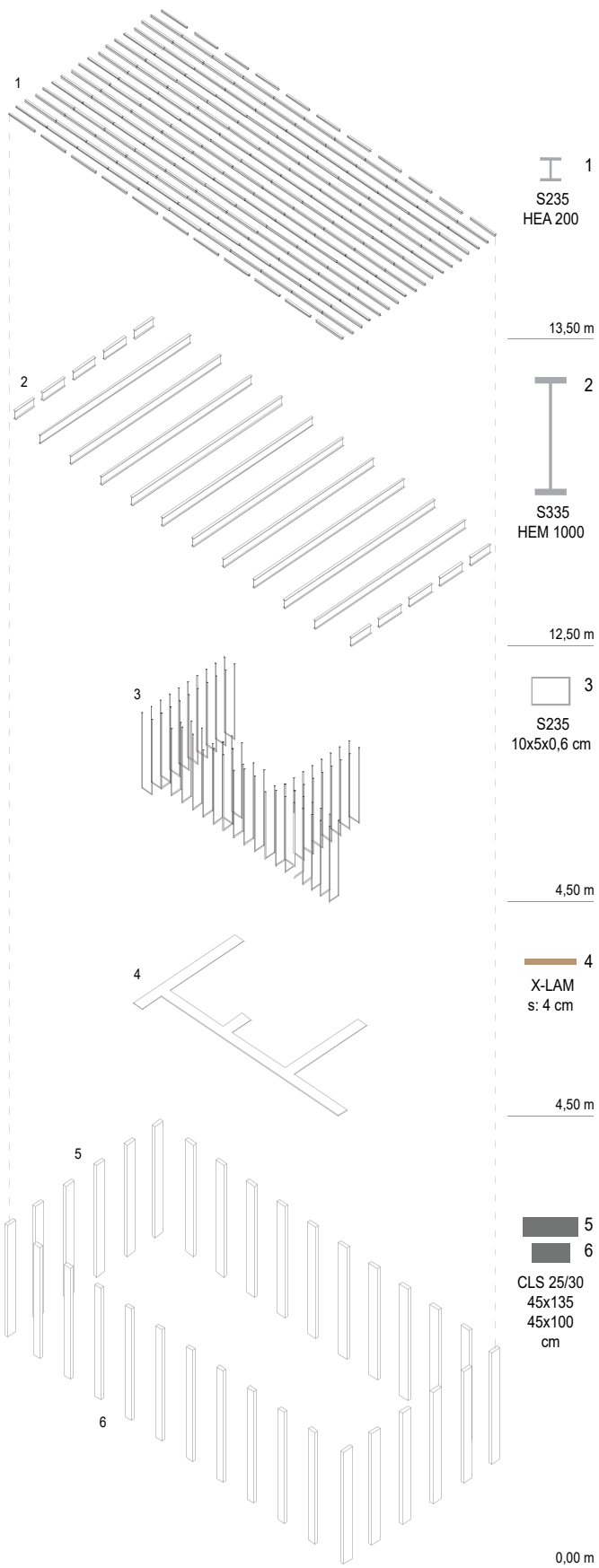
- Pilastri: dimensioni 100x45 cm, quelli verso la facciata esterna, e 135x45 cm, quelli sui restanti 3 lati, alti 13,50 m;
- Travi principali: HEM 1000, che coprono una luce di 25 m, poste alla quota 12,50 m;
- Travi secondarie: HEA 200, che coprono una luce di 5 m, poste alla quota 13,50 m;
- Tiranti verticali (soppalco): tubolari cavi rettangolari dimensioni 10,5x0,5 cm, alti 9 m, partono da quota 4,50 m a 12,50 m quelli retti dalle secondarie o a 13,50 m quelli retti dalle principali;
- Tiranti orizzontali (soppalco): tubolari cavi rettangolari dimensioni 10,5x0,5 cm, che coprono una luce di 1,50 m.



Pianta strutturale copertura livello 0

Pianta strutturale copertura livello -1

Pianta strutturale copertura livello -2



Esploso assonometrico: Aula Piscine

### 2.2.2 Predimensionamento

Per un'analisi strutturale più accurata, si è deciso di dimensionare come primi elementi i tiranti del soppalco dato che, anche questo è un carico verticale che concorre alla deformazione delle trave delle travi. Di seguito verranno riportati i calcoli eseguiti manualmente, poi riportati in forma sintetica per velocizzare il processo di calcolo come tabelle excel, con una precisa spiegazione che mostra i passaggi eseguiti.

#### Soppalco

##### A) Tubolare di collegamento orizzontale

Per primo è stato dimensionato il tubolare di collegamento orizzontale del soppalco, verificando per SLU e SLE. Si è partiti dall'analisi dei carichi verticali per il pacchetto di solaio agente su questo:

- $g_1 = 0,16 \text{ kN/m}^2$  (peso strutturale – assito di legno)
- $q_{\text{acc}} = 4 \text{ kN/m}^2$  (peso accidentale – ballatoi ambienti suscettibili ad affollamento)
- $q_{\text{pers}} = 2 \text{ kN/m}^2$  (peso accidentale – persone)
- $q = q_{\text{acc}} + q_{\text{pers}} = 4 \text{ kN/m}^2 + 2 \text{ kN/m}^2 = 6 \text{ kN/m}^2$  (peso accidentale)
- $i = 1,5 \text{ m}$  (larghezza di influenza)

Quindi, moltiplicando i carichi uniformemente distribuiti per l'area di influenza, si sono ottenuti i carichi lineari:

- $G_1 = g_1 \cdot i = 0,16 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,5 \text{ m} = 0,24 \text{ kN/m}$
- $Q = q \cdot i = 6 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,5 \text{ m} = 9 \text{ kN/m}$

Per poter trovare i carichi agli stati limite agenti sulla trave (2.6 NTC 2018) bisogna moltiplicare i valori trovati per i coefficienti di sicurezza, considerando le più gravose condizioni di carico che possono agire sulla struttura. Per cui:

- $q_{\text{SLU}} = (\gamma_{G1} \cdot G_1) + (\gamma_q \cdot \psi_{01} \cdot Q) = (1,3 \cdot 0,24 \text{ kN/m}) + (1,5 \cdot 0,7 \cdot 9 \text{ kN/m})$   
 $q_{\text{SLU}} = 9,76 \text{ kN/m}$
- $q_{\text{SLE}} = G_1 + (\psi_{01} \cdot Q) = 0,24 \text{ kN/m} + (0,7 \cdot 9) \text{ kN/m}$   
 $q_{\text{SLE}} = 6,54 \text{ kN/m}$

Successivamente, con l'ausilio del programma F-tool, si sono trovati i momenti flettenti di progetto in condizione SLU e SLE ( $M_{\text{EdSLU}}$  ed  $M_{\text{EdSLE}}$ ) per verificare che questi siano inferiori rispetto al momento plastico ( $M_{\text{pl}}$ ), ovvero il momento che si realizza nell'istante in cui la tensione raggiunge il limite di snervamento del metallo. In questo passaggio la sezione del tubolare è stata in prima battuta ipotizzata e verificata, facendo tante prove quante necessarie per trovare la sezione corretta. Da F-tool (applicando carichi SLU e SLE):  $M_{\text{EdSLU}} = 2,7 \text{ kNm}$  e  $M_{\text{EdSLE}} = 1,8 \text{ kNm}$ . Sapendo che  $f_{yk} = 235 \text{ N/mm}^2$  (S235) e  $W_{\text{pl}} = 28,4 \text{ cm}^3 = 28400 \text{ mm}^3$ , si ottiene:

- $M_{\text{pl}} = (W_{\text{pl}} \cdot f_{yk}) / \gamma_{M0} = (28400 \text{ mm}^3 \cdot 235 \text{ N/mm}^2) / 1,05 = 6356190,476 \text{ Nmm}$   
 $M_{\text{pl}} = 6,3 \text{ kNm}$

Essendo  $M_{\text{pl}} \geq M_{\text{EdSLU}}$  e  $M_{\text{pl}} \geq M_{\text{EdSLE}}$  il tubolare rettangolare cavo sagomato a freddo di dimensioni  $10 \times 5 \times 0,5 \text{ cm}$  è stato verificato. Calcolando il coefficiente di sicurezza  $\eta = M_{\text{pl}} / M_{\text{EdSLU}} = 2,3$ , si trova il fattore di sfruttamento  $1/\eta = 0,42$ , ciò significa che la trave lavora al 42%.

Inoltre, si è calcolata la deformazione della trave di collegamento in SLE per verificare che questa sia 1/400 della luce. Sapendo che  $l = 1,5 \text{ m}$  (luce trave),  $q_{SLE} = 6,54 \text{ kN/m}$ ,  $p = 12,3 \text{ kg/m} = 0,123 \text{ kN/m}$  (peso proprio trave) e  $I = 57,9 \text{ cm}^4$ , la freccia deformata dell'elemento risulta essere:

- $f_{SLE} = 5/384 \cdot (q_{SLE} \cdot l^4)/EI$
- $f_{SLE} = 5/384 \cdot (6540 \text{ N/m} \cdot (1,5 \text{ m})^4)/(210000000000 \text{ N/m}^2 \cdot 0,000000579 \text{ m}^4)$
- $f_{SLE} = 0,0035 \text{ m} = 3,5 \text{ mm}$

Per cui si è verificato che  $f_{SLE} < 1/400 = (1500 \text{ mm})/400 = 3,75 \text{ mm}$ . La deformata è risultata verificata ( $3,5 \text{ mm} < 3,75 \text{ mm}$ ).

Prima di dimensionare i tiranti verticali, con l'ausilio di F-tool si sono trovate le reazioni vincolari corrispondenti alle azioni verticali agenti, cioè:  $R_{SLU} = 7,3 \text{ kN}$  e  $R_{SLE} = 4,9 \text{ kN}$ . Considerando anche il peso della trave stessa si sono trovate:

- $R_{ISLU} = 7,3 \text{ kN} + (p \cdot l \cdot \gamma_{G1})/2 = 7,3 \text{ kN} + (0,123 \text{ kN/m} \cdot 1,5 \text{ m} \cdot 1,3)/2 = 7,4 \text{ kN}$
- $R_{ISLE} = 4,9 \text{ kN} + (p \cdot l)/2 = 4,9 \text{ kN} + (0,123 \text{ kN/m} \cdot 1,5 \text{ m})/2 = 5 \text{ kN}$

Tenendo in considerazione che i carichi sui tiranti corrispondono a  $N_{EdSLU} = N_{piSLU} = R_{ISLU} = 7,4 \text{ kN}$  e  $N_{EdSLE} = N_{piSLE} = R_{ISLE} = 5 \text{ kN}$ , si è proceduto con il predimensionamento.

## B) Tiranti verticali

Analogamente sono stati eseguiti i calcoli appena riportati anche per questi elementi, con l'unica differenza che è stata eseguita la verifica per compressione a SLU. Quindi, prima è avvenuta l'analisi dei carichi:

- $g_1 = 0,16 \text{ kN/m}^2$  (peso strutturale – assito di legno)
- $g_{1trave} = (p/l)/2 = (0,123 \text{ kN/m}/1,5 \text{ m})/2 = 0,041 \text{ kN/m}^2$  (peso trave)
- $A = (1,5 \cdot 0,75) \text{ m}^2 = 1,125 \text{ m}^2$  (area di influenza)
- $g_{1TOT} = 0,16 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,125 \text{ m}^2 + 0,041 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,125 \text{ m}^2 = 0,2261 \text{ kN}$
- $q_{acc} + q_{pers} = 4 \text{ kN/m}^2 + 2 \text{ kN/m}^2 = 6 \text{ kN/m}^2$  (peso accidentale)

Si sono ottenuti i carichi lineari:

- $G_1 = g_{1TOT} = 0,2261 \text{ kN}$
- $Q = q \cdot A = 6 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,125 \text{ m}^2 = 6,75 \text{ kN}$

Per trovare il carico allo Stato Limite Ultimo:  $q_{SLU} = \gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_q \cdot \varphi_{01} \cdot Q = 7,38 \text{ kN}$

Quindi  $q_{SLU} = 7,38 \text{ kN} = N_{EdSLU}$

Dato che sui tiranti agisce la forza di compressione  $N_{Ed}$ , si è verificato che l'azione assiale fosse inferiore allo sforzo critico. Sapendo che  $f_{yk} = 235 \text{ N/mm}^2$  (S235),  $f_{yd} = f_{yk}/\gamma_{M0} = (235 \text{ N/mm}^2)/1,05 = 223,8 \text{ N/mm}^2$ ,  $E = 210000 \text{ N/mm}^2$ ,  $A = 15,6 \text{ cm}^2$ ,  $L = 8,11 \text{ m}$ ,  $J = 57,9 \text{ cm}^4$  e  $p = 12,3 \text{ kg/m}$  si è calcolato lo sforzo critico:

- $N_{C,Rd} = A \cdot f_{yd} = 1560 \text{ mm}^2 \cdot 223,8 \text{ N/mm}^2 = 349128 \text{ N} = 349,128 \text{ kN}$

Infine, essendo che  $N_{EdSLU} < N_{C,Rd}$  il tubolare rettangolare cavo sagomato a freddo di dimensioni  $10 \times 5 \times 0,5 \text{ cm}$  è stato verificato.

Prima di procedere con il dimensionamento delle strutture portanti di copertura, si sono calcolate le azioni interne considerando anche il peso proprio del tirante:

- $N_{EdfinaleSLU} = N_{EdSLU} + (p \cdot h \cdot \gamma_{G1}) = 7,4 \text{ kN} + (0,123 \text{ kN/m} \cdot 8,11 \text{ m} \cdot 1,3) = 8,70 \text{ kN}$
- $N_{EdfinaleSLE} = N_{EdSLE} + (p \cdot h) = 7,4 \text{ kN} + (0,123 \text{ kN/m} \cdot 8,11 \text{ m}) = 5,99 \text{ kN}$



Dimensionamento soppalco								
<b>A) Trave di collegamento</b>								
Verifica SLU e SLE								
Analisi dei carichi								
	<b>g1 (kN/m<sup>2</sup>)</b>	<b>qacc (kN/m<sup>2</sup>)</b>	<b>qpers (kN/m<sup>2</sup>)</b>	<b>qtot (kN/m<sup>2</sup>)</b>	<b>i (m)</b>	<b>G1 (kN/m)</b>	<b>Q (kN/m)</b>	
	0,16	4	2	6	1,5	0,24	9	
Carichi SLU e SLE	<b>γG1</b>	<b>γQ</b>	<b>ψ01</b>					
	1,3	1,5	0,7					
	<b>qSLU (kN/m)</b>							
	9,76							
	<b>qSLE (kN/m)</b>	<b>qSLE (N/m)</b>						
	6,54	6540						
Tubolare rettangolare a freddo (100x50x6)	<b>fyk (N/mm<sup>2</sup>) [S235]</b>	<b>Wpl (mm<sup>3</sup>)</b>	<b>γM0</b>	<b>Mpl (Nmm)</b>	<b>Mpl (kNm)</b>			
	235	28400	1,05	6356190,476	6,36			
	<b>MEd SLU (kNm)</b>							
	2,7							
	<b>MEd SLE (kNm)</b>							
	1,8							
	<b>η</b>							
	2,35							
	<b>1/η</b>							
	0,42	lavora 42%						
Deformata trave	<b>l (m)</b>	<b>p (Kg/m)</b>	<b>p (kN/m)</b>	<b>I (cm<sup>4</sup>)</b>	<b>I (m<sup>4</sup>)</b>	<b>E (N/m<sup>2</sup>)</b>		
	1,5	12,3	0,123	57,9	0,000000579	2,1E+11		
	<b>fSLE (m)</b>	<b>fSLE (mm)</b>						
	0,0035	3,55						
	<b>fSLE max (mm)</b>							
	3,75							
Reazioni vincolari	<b>RSLU (kN)</b>							
	7,3							
	<b>RSLE (kN)</b>							
	4,9							
	<b>R1SLU (kN)</b>							
	7,42							
	<b>R1SLE (kN)</b>							
	4,99							
<b>B) Tirante</b>								
Verifica SLU								
Analisi dei carichi								
	<b>glassito (kN/m<sup>2</sup>)</b>	<b>g1trave (kN/m<sup>2</sup>)</b>	<b>lato 1 (m)</b>	<b>lato 2 (m)</b>	<b>Ai (m<sup>2</sup>)</b>	<b>g1 TOT (kN)</b>	<b>qacc (kN/m<sup>2</sup>)</b>	<b>qpers (kN/m<sup>2</sup>)</b>
	0,16	0,041	1,5	0,75	1,125	0,23	4	2
	<b>qSLU (kN)</b>							
	7,38							
Tubolare rettangolare a freddo (100x50x6)	<b>fyk (N/mm<sup>2</sup>) [S235]</b>	<b>fyd (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>E (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>A (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>A (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>L (m)</b>	<b>J (cm<sup>4</sup>)</b>	<b>p (kN/m)</b>
	235	223,81	210000	15,6	1560	8,11	57,9	0,123
Verifica SLU a compressione	<b>NEdSLU (kN)</b>							
	7,42							
	<b>NC,Rd (N)</b>	<b>NC,Rd (kN)</b>						
	349142,86	349,14						
	<b>NEdSLU/NC,Rd</b>							
	0,021	≤1						
	<b>NEdfinaleSLU (kN)</b>							
	8,72							
	<b>NEdfinaleSLU/NC,Rd</b>							
	0,025	≤1						
	<b>NEdfinaleSLE (kN)</b>							
	6,29							

Tabella 8: Dimensionamento del soppalco; in blu sono evidenziati i valori che nel predimensionamento sono stati scelti o calcolati da caso a caso

## Copertura

T<sub>2</sub>' Trave secondaria di copertura che sorregge il soppalco

Il dimensionamento della copertura ha seguito lo stesso procedimento di quello per il tubolare di collegamento del soppalco (punto A). Come primo elemento è stata studiata una delle travi di copertura che sopporta anche il peso del soppalco sottostante.

Quindi, prima è avvenuta l'analisi dei carichi:

- $g_1 = 1,9 \text{ kN/m}^2$  (peso strutturale – lamiera grecata)
- $g_2 = 3,43 \text{ kN/m}^2$  (peso permanente portato – solaio di copertura, Tabella 1)
- $q_{acc} = 0,5 \text{ kN/m}^2$  (peso accidentale – manutenzione copertura)
- $i = 1,5 \text{ m}$  (larghezza di influenza)

Successivamente, si sono ottenuti i carichi lineari:

- $G_1 = g_1 \cdot i = 1,9 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,5 \text{ m} = 2,85 \text{ kN}$
- $G_2 = g_2 \cdot i = 3,43 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,5 \text{ m} = 5,14 \text{ kN}$
- $Q = q_{\text{acc}} \cdot i = 0,5 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,5 \text{ m} = 0,75 \text{ kN}$

Moltiplicando questi valori per i coefficienti di sicurezza in condizione SLU e SLE si sono trovati i carichi distribuiti:  $q_{\text{SLU}} = 12,20 \text{ kN/m}$  e  $q_{\text{SLE}} = 8,52 \text{ kN/m}$ . Tuttavia, sulla trave sono applicati anche i due carichi concentrati, calcolati precedentemente, che abbassano in modo puntuale la struttura per cui devono essere considerati; sono:  $N_{\text{EdfinaleSLU}} = 8,70 \text{ kN}$  e  $N_{\text{EdfinaleSLE}} = 5,99 \text{ kN}$ .

Con l'ausilio di F-tool si sono applicati i carichi distribuiti ed i carichi concentrati (sia SLU che SLE), trovando il momento flettente di progetto:  $M_{\text{EdSLU}} = 54,9 \text{ kNm}$  e  $M_{\text{EdSLE}} = 38,6 \text{ kNm}$ . Sapendo che  $f_{yk} = 235 \text{ N/mm}^2$  (S235) e  $W_{pl} = 429500 \text{ mm}^3$ , si ottiene:  $M_{pl} = 96,13 \text{ kNm}$ .

Essendo  $M_{pl} \geq M_{\text{EdSLU}}$  e  $M_{pl} \geq M_{\text{EdSLE}}$  la trave secondaria di sezione HEA 200 è stata verificata. Calcolando il coefficiente di sicurezza  $\eta = 1,75$ , si trova il fattore di sfruttamento  $1/\eta = 0,57$ , ciò significa che la trave lavora al 57%.

Inoltre, si è calcolata la deformazione della trave secondaria in SLE per verificare che questa sia 1/250 della luce. Sapendo che  $l = 5 \text{ m}$  (luce trave),  $q_{\text{SLE}} = 8,52 \text{ kN/m}$ ,  $N_{\text{EdfinaleSLE}} = 5,99 \text{ kN}$ ,  $p = 42,3 \text{ kg/m} = 0,123 \text{ kN/m}$  (peso proprio trave) e  $I = 3692 \text{ cm}^4$ , la deformata dell'elemento risulta essere:  $f_{\text{SLE}} = 0,00896 \text{ m} = 8,96 \text{ mm}$ . Per cui si è verificato che  $f_{\text{SLE}} < 1/250 = (5000 \text{ mm})/250 = 20 \text{ mm}$ . La deformata è risultata verificata ( $8,96 \text{ mm} < 20 \text{ mm}$ ).

Prima di procedere, con l'ausilio di F-tool si sono trovate le reazioni vincolari, cioè le forze che agiscono sulla trave principale sottostante:  $R'_{\text{SLU}} = 40,9 \text{ kN}$  e  $R'_{\text{SLE}} = 28,7 \text{ kN}$ . Considerando anche il peso della trave stessa si sono trovate:  $R'_{\text{1SLU}} = 42,27 \text{ kN}$  e  $R'_{\text{1SLE}} = 29,76 \text{ kN}$ .

## T<sub>2</sub>'') Trave secondaria di copertura generica

Il dimensionamento della copertura ha seguito lo stesso procedimento di quello precedente (punto T<sub>2</sub>''). Il calcolo per l'analisi dei carichi è analoga alla precedente poichè sia la trave generica che la precedente sorreggono la stessa copertura, l'unica differenza risiede nel fatto che questa non ha il peso aggiunto del soppalco. Per cui si è proceduto nel trovare il momento flettente solo con applicati i carichi distribuiti  $q_{\text{SLU}}$  e  $q_{\text{SLE}}$  trovando con F-tool:  $M_{\text{EdSLU}} = 40,2 \text{ kNm}$  e  $M_{\text{EdSLE}} = 28 \text{ kNm}$ .

Dato che la sezione da verificare è rimasta la HEA 200, il momento plastico è rimasto:  $M_{pl} = 96,13 \text{ kNm}$ . Essendo  $M_{pl} \geq M_{\text{EdSLU}}$  e  $M_{pl} \geq M_{\text{EdSLE}}$  la trave secondaria generica è stata verificata. Calcolando il coefficiente di sicurezza  $\eta = 2,39$ , si trova il fattore di sfruttamento  $1/\eta = 0,42$ , ciò significa che la trave lavora al 42%.

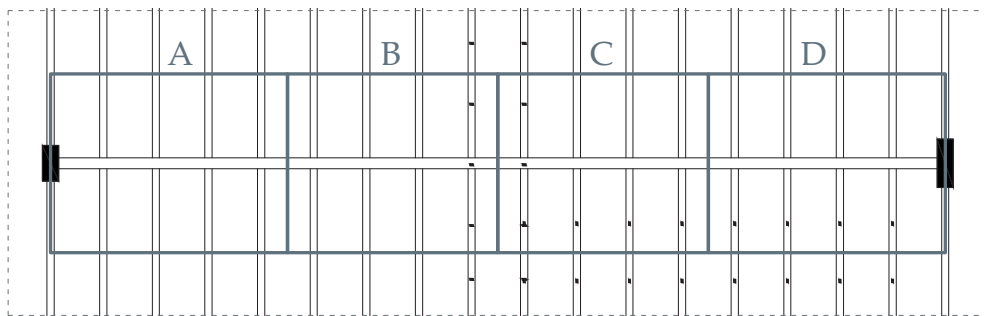
Inoltre, si è calcolata la deformazione della trave secondaria in SLE per verificare che questa sia 1/250 della luce. La deformata dell'elemento risulta essere:  $f_{\text{SLE}} = 0,00894 \text{ m} = 8,94 \text{ mm}$ . La deformata è risultata verificata ( $8,94 \text{ mm} < 20 \text{ mm}$ ).

Successivamente, con l'ausilio di F-tool si sono trovate le reazioni vincolari, cioè le forze che agiscono sulla trave principale sottostante:  $R''_{\text{SLU}} = 32,2 \text{ kN}$  e  $R''_{\text{SLE}} = 22,4 \text{ kN}$ . Considerando anche il peso della trave stessa si sono trovate:  $R''_{\text{1SLU}} = 33,57 \text{ kN}$  e  $R''_{\text{1SLE}} = 23,46 \text{ kN}$ .

### T<sub>1</sub>) Trave principale - situazione critica

Una volta dimensionate e verificate le travi secondarie di copertura, si è proceduto con il predimensionamento delle travi principali. Queste sono tutte di uguale sezione, ma alcune sono sottoposte a carichi maggiori rispetto ad altre. Per questo motivo, si è proceduto studiando la trave più sollecitata (che sorregge anche il soppalco) così che si potesse verificare il comportamento della struttura nel modo più reale possibile. Ricapitolando, le forze concentrate, trovate precedentemente, agenti sulla trave sono:

- $R'_{1SLU} = 42,27 \text{ kN}$
- $R'_{1SLE} = 29,76 \text{ kN}$
- $R''_{1SLU} = 33,57 \text{ kN}$
- $R''_{1SLE} = 23,46 \text{ kN}$



Area di influenza

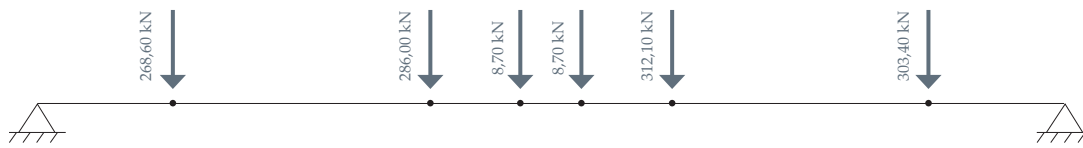
Si è proceduto schematizzando la situazione critica dividendo le reazioni delle travi secondarie che agiscono sulla trave principale in gruppi di 4 per lato, quindi 8 totali. Dove:

- Gruppo A ( $R_A$ ): 4 travi generiche da un lato e dall'altro (totali 8);
- Gruppo B ( $R_B$ ): 3 travi generiche e 1 trave con soppalco da un lato e dall'altro (totali 8);
- Gruppo C ( $R_C$ ): 3 travi generiche e 1 trave con soppalco da un lato (4 totali) e 4 travi con soppalco dall'altro;
- Gruppo D ( $R_D$ ): 4 travi generiche da un lato e 4 travi con soppalco dall'altro.

Per le reazioni allo Stato Limite Ultimo si sono calcolate:

- $R_{ASLU} = 2 \cdot (4 \cdot R''_{1SLU}) = 2 \cdot (4 \cdot 33,57 \text{ kN})$   
 $\rightarrow R_{ASLU} = 268,60 \text{ kN}$
- $R_{BSLU} = 2 \cdot [(3 \cdot R''_{1SLU}) + R'_{1SLU}] = 2 \cdot [(3 \cdot 33,57 \text{ kN}) + 42,27 \text{ kN}]$   
 $\rightarrow R_{BSLU} = 286,00 \text{ kN}$
- $R_{CSLU} = [(3 \cdot R''_{1SLU}) + R'_{1SLU}] + (4 \cdot R'_{1SLU}) = [(3 \cdot 33,57 \text{ kN}) + 42,27 \text{ kN}] + (4 \cdot 42,27 \text{ kN})$   
 $\rightarrow R_{CSLU} = 312,10 \text{ kN}$
- $R_{DSLU} = (4 \cdot R''_{1SLU}) + (4 \cdot R'_{1SLU}) = (4 \cdot 33,57 \text{ kN}) + (4 \cdot 42,27 \text{ kN})$   
 $\rightarrow R_{DSLU} = 303,40 \text{ kN}$

Inoltre, sulla trave principale agiscono due forze di compressione dovute ai due tiranti sottostanti che sorreggono il soppalco, calcolati in precedenza, cioè  $N_{\text{EdfinaleSLU}} = 8,70 \text{ kN}$ .

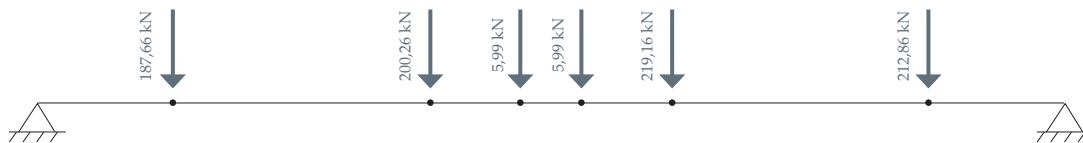


Reazioni che agiscono sulla trave principale SLU ( $R_{ASLU}$ ,  $R_{BSLU}$ ,  $R_{CSLU}$ ,  $R_{DSLU}$  e  $N_{EdfinaleSLU}$ )

Invece, per le reazioni allo Stato Limite Ultimo si sono calcolate:

- $R_{ASLE} = 2 \cdot (4 \cdot R''_{1SLE}) = 2 \cdot (4 \cdot 29,76 \text{ kN})$   
 $R_{ASLE} = 187,66 \text{ kN}$
- $R_{BSLE} = 2 \cdot [(3 \cdot R''_{1SLE}) + R'_{1SLE}] = 2 \cdot [(3 \cdot 23,46 \text{ kN}) + 29,76 \text{ kN}]$   
 $R_{BSLE} = 200,26 \text{ kN}$
- $R_{CSLE} = [(3 \cdot R''_{1SLE}) + R'_{1SLE}] + (4 \cdot R'_{1SLE}) = [(3 \cdot 23,46 \text{ kN}) + 29,76 \text{ kN}] + (4 \cdot 29,76 \text{ kN})$   
 $R_{CSLE} = 219,16 \text{ kN}$
- $R_{DSLE} = (4 \cdot R''_{1SLE}) + (4 \cdot R'_{1SLE}) = (4 \cdot 23,46 \text{ kN}) + (4 \cdot 29,76 \text{ kN})$   
 $R_{DSLE} = 212,86 \text{ kN}$

Inoltre, sulla trave principale agiscono due forze di compressione dovute ai due tiranti sottostanti che sorreggono il soppalco, calcolati in precedenza, cioè  $N_{EdfinaleSLE} = 5,99 \text{ kN}$ .



Reazioni che agiscono sulla trave principale SLU ( $R_{ASLE}$ ,  $R_{BSLE}$ ,  $R_{CSLE}$ ,  $R_{DSLE}$  e  $N_{EdfinaleSLE}$ )

Con F-tool si sono applicati i carichi distribuiti ed i carichi concentrati (sia SLU che SLE), trovando il momento flettente di progetto:  $M_{EdSLU} = 3806,2 \text{ kNm}$  e  $M_{EdSLE} = 2670,4 \text{ kNm}$ . Si è così proceduto per calcolare il momento plastico, sapendo che  $f_{yk} = 355 \text{ N/mm}^2$  (S355) e  $W_{pl} = 16570000 \text{ mm}^3$ , si ottiene:  $M_{pl} = 5602,2 \text{ kNm}$ .

Essendo  $M_{pl} \geq M_{EdSLU}$  e  $M_{pl} \geq M_{EdSLE}$  la trave principale di sezione HEM 1000 è stata verificata. Si è verificato a SLU e SLE anche considerando il peso proprio della trave, sapendo che la luce della trave è 25 m, e si è ottenuto:

- $M_{EdSLU} = 3806,2 \text{ kNm} + (p \cdot l^2 \cdot \gamma_{G1})/8 = 3806,2 \text{ kNm} + (3,49 \text{ kN/m} \cdot (25 \text{ m})^2 \cdot 1,3)/8$   
 $M_{EdSLU} = 4160,7 \text{ kNm}$
- $M_{EdSLE} = 2670,4 \text{ kNm} + (p \cdot l^2)/8 = 2670,4 \text{ kNm} + (3,49 \text{ kN/m} \cdot (25 \text{ m})^2)/8$   
 $M_{EdSLE} = 2943,1 \text{ kNm}$

Essendo  $M_{pl} \geq M_{EdSLU}$  e  $M_{pl} \geq M_{EdSLE}$  la trave principale è stata ulteriormente verificata. Calcolando il coefficiente di sicurezza  $\eta = 1,35$ , si trova il fattore di sfruttamento  $1/\eta = 0,74$ , ciò significa che la trave lavora al 74%.

La deformazione della trave principale è stata calcolata attraverso il software Midas, ma è necessario riportare che per compensare l'abbassamento dovuto ai carichi verticali verrà posto un distanziatore in copertura per recuperare la differenza calcolata.

## Dimensionamento copertura

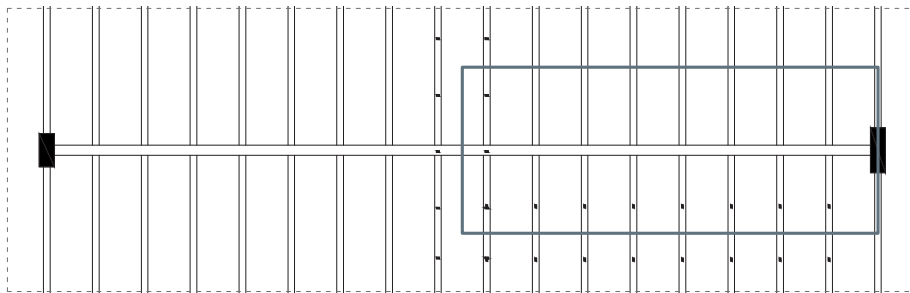
T2) Trave secondaria che sorregge soppalco							
Verifica SLU e SLE							
Analisi dei carichi							
	$g1$ (kN/m <sup>2</sup> )	$g2$ (kN/m <sup>2</sup> )	$qacc$ (kN/m <sup>2</sup> )	$i$ (m)	$G1$ (kN/m)	$G2$ (kN/m)	$Q$ (kN/m)
Carichi SLU e SLE	1,9	3,43	0,5	1,5	2,85	5,14	0,75
	$\gamma G1$	$\gamma G2$	$\gamma q$	$\psi 01$			
	1,3	1,5	1,5	0,7			
	$qSLU$ (kN/m)						
	12,20						
	$qSLE$ (kN/m)	$qSLE$ (N/m)					
	8,52	8516,4					
Carichi concentrati soppalco							
	NEdfinaleSLU (kN)	NEdfinaleSLE (kN)	NEdfinaleSLE (N)				
	8,72	6,29	6289,04				
HEA 200							
	$f_{yk}$ (N/mm <sup>2</sup> ) [S235]	$W_{pl}$ (mm <sup>3</sup> )	$\gamma M0$	$M_{pl}$ (Nmm)	$M_{pl}$ (kNm)		
	235	429500	1,05	96126190,48	96,13		
	MEd SLU (kNm)						
	54,9						
	MEd SLE (kNm)						
	38,6						
	$\eta$						
	1,75						
	$I/\eta$						
	0,57	lavora 57%					
Deformata trave							
	$I$ (m)	$p$ (Kg/m)	$p$ (kN/m)	$I$ (cm <sup>4</sup> )	$I$ (m <sup>4</sup> )	$E$ (N/m <sup>2</sup> )	
	5	42,3	0,423	3692	0,00003692	2,1E+11	
	$fSLE$ (m)	$fSLE$ (mm)					
	0,00896	8,96					
	$fSLE$ max (mm)						
	20						
Reazioni vincolari							
	R'SLU (kN)						
	40,9						
	R'SLE (kN)						
	28,7						
	R'ISLU (kN)						
	42,27						
	R'ISLE (kN)						
	29,76						
T2') Trave secondaria generica							
Verifica SLU e SLE							
HEA 200							
	$f_{yk}$ (N/mm <sup>2</sup> ) [S235]	$W_{pl}$ (mm <sup>3</sup> )	$\gamma M0$	$M_{pl}$ (Nmm)	$M_{pl}$ (kNm)		
	235	429500	1,05	96126190,48	96,13		
	MEd SLU (kNm)						
	40,2						
	MEd SLE (kNm)						
	28						
	$\eta$						
	2,39						
	$I/\eta$						
	0,42	lavora 42%					
Deformata trave							
	$I$ (m)	$p$ (Kg/m)	$p$ (kN/m)	$I$ (cm <sup>4</sup> )	$I$ (m <sup>4</sup> )	$E$ (N/m <sup>2</sup> )	
	5	42,3	0,423	3692	0,00003692	2,1E+11	
	$fSLE$ (m)	$fSLE$ (mm)					
	0,00894	8,94					
	$fSLE$ max (mm)						
	20						
Reazioni vincolari							
	R'SLU (kN)						
	32,2						
	R'SLE (kN)						
	22,4						
	R'ISLU (kN)						
	33,57						
	R'ISLE (kN)						
	23,46						
T1) Trave principale							
Verifica SLU e SLE							
Reazioni vincolari concentrate							
	A) n. travi T2'	B) n. travi T2'	B) n. travi T2'	C) n. travi T2'	C) n. travi T2'	D) n. travi T2'	D) n. travi T2'
	4	3	1	3	1	4	4
	RaSLU	RaSLE					
	268,60	187,66					
	RbSLU	RbSLE					
	286,00	200,26					
	RcSLU	RcSLE					
	312,10	219,16					
	RdSLU	RdSLE					
	303,40	212,86					
	MEd SLU (kNm)						
	3806,2						
	MEd SLE (kNm)						
	2670,4						
HEM 1000							
	$f_{yk}$ (N/mm <sup>2</sup> ) [S355]	$W_{pl}$ (mm <sup>3</sup> )	$\gamma M0$	$M_{pl}$ (Nmm)	$M_{pl}$ (kNm)		
	355	16570000	1,05	5602238095	5602,24		
	$I$ (m)	$p$ (Kg/m)	$p$ (kN/m)				
	25	349	3,49				
	MEd SLU (kNm)						
	4160,65						
	MEd SLE (kNm)						
	2943,06						
	$\eta$						
	1,35						
	$I/\eta$						
	0,74	lavora 74%					

Tabella 9: Dimensionamento degli elementi di copertura

## Struttura verticale

### P<sub>1</sub>) Pilastro interno

Le ultime strutture portanti ad esser state dimensionate sono quelle verticali, più precisamente i pilastri esterni, posti in facciata, e quelli interni, che sopportano anche il carico del corridoio di collegamento. Inizialmente, è stata calcolata la forza di compressione agente sul pilastro ( $N_{Ed}$ ), scegliendo come area di influenza:  $A_1 = 5 \text{ m} \cdot 12,5 \text{ m} = 62,5 \text{ m}^2$ .



Area di influenza

Utilizzando il software F-tool si è trovata la reazione agente sul pilastro, considerando i carichi di soppalco (trave, pilastri e assito), trave secondaria generica, trave secondaria con soppalco e solaio di copertura. Per cui si è trovata  $N_{Edparz} = 611,2 \text{ kN}$ . Per un predimensionamento più preciso si è aggiunto il peso proprio della trave principale, risultando:  $N_{Edtot} = 611,2 \text{ kN} + (p \cdot l \cdot \gamma_{G1})/2 = 611,2 \text{ kN} + (3,49 \text{ kN/m} \cdot 25 \text{ m} \cdot 1,3)/2 = 667,9 \text{ kN}$ .

Tuttavia, trattandosi del pilastro interno che porta anche il carico del corridoio è stata considerata la forza di compressione di quest'ultimo (n.b.: questa forza verrà calcolata nel capitolo successivo "2.6 Ballatoio/corridoio"), risultando in questo modo  $N_{Edfinale} = 928,05 \text{ kN}$ .

Successivamente, sono stati definiti i materiali specifici scelti per il pilastro in c.a., tra cui:

- Come calcestruzzo CLS 25/30, con resistenza di progetto a compressione  $f_{cd} = 14,16 \text{ N/mm}^2$
- Come acciaio B450C, con tensione di progetto a snervamento  $f_{yd} = 391,3 \text{ N/mm}^2$

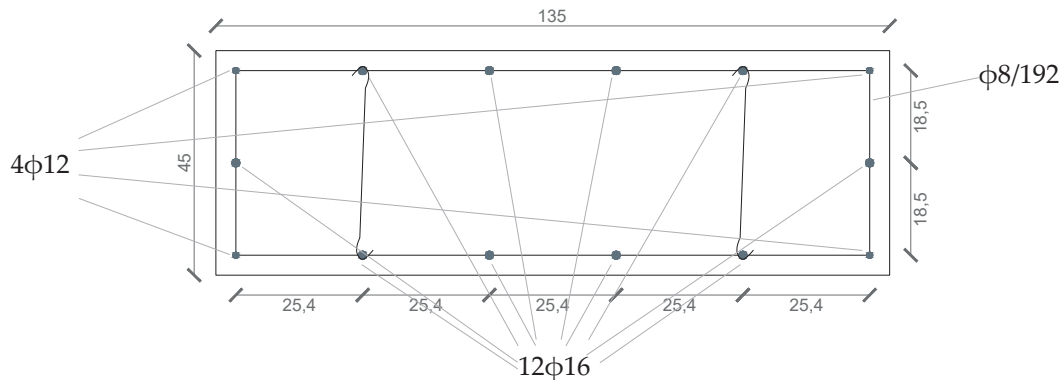
In ultimo è stata definita la quantità minima di materiale richiesto da normativa per il pilastro, più precisamente:

- $A_{smin} = (0,10 \cdot N_{Ed})/f_{yd} = 2,37 \text{ cm}^2$ , quindi per sicurezza si sceglie  $A_{smin} = 3 \text{ cm}^2$
- $A_{cmin} = [N_{Rd} - (f_{yd} \cdot A_s)]/f_{cd} = 572,2 \text{ cm}^2$ , ma avendo scelto una sezione di 45x135 cm la vera  $A_c$  risulta essere  $A_c = 6075 \text{ cm}^2$

Sono stati svolti anche i controlli da normativa per:

- Armatura longitudinale minima:  $A_{smin} \geq 0,003 A_{cmin}$  verificato perchè  $3 > 1,7 \text{ cm}^2$
- Porre almeno 1  $\phi 12$  in corrispondenza di ogni spigolo della sezione con interasse non superiore a 30 cm, ovvero:
  - $i_{barrex} = a - 2c = 135 \text{ cm} - (4 + 4) \text{ cm} = 127 \text{ cm}$ , ma  $i < 30 \text{ cm}$  quindi si aggiungono altre 4 barre sui due lati lunghi

- $i_{\text{barre}} = a - 2c = 45 \text{ cm} - (4 + 4) \text{ cm} = 37 \text{ cm}$ , ma  $i < 30 \text{ cm}$  quindi aggiungo altre 2 barre sui due lati corti.
- In totale sono 16, per cui da tabella:  $4 \phi 12 + 12 \phi 16$
- Interasse delle staffe non maggiore di  $12 \phi$  barre con un passo massimo di 25 cm, il passo è dato dal valore inferiore tra questi due:  $i_{\text{staffe}} = 12 \cdot 1,6 \text{ cm} = 19,2 \text{ cm}$ . Quindi:  $i_{\text{staffe}} = 192 \text{ mm}$ .



Disegno del pilastro in c.a. con armature e staffe

È stato importante verificare l'instabilità degli elementi verticali dal momento che la loro altezza è importante ( $h = 13,50 \text{ m}$ ) e che la loro sezione è snella. La snellezza limite per pilastri singoli indica che gli effetti del secondo ordine in pilastri singoli possono essere trascurati se la snellezza  $\lambda$  non supera il valore limite  $\lambda_{\text{lim}} = 25/\sqrt{v}$ , dove  $v = N_{\text{Ed}}/(A_c \cdot f_{\text{cd}}) = 928,05 \text{ kN}/(6075 \text{ cm}^2 \cdot 1,416 \text{ kN/cm}^2) = 0,11$ . Per cui  $\lambda_{\text{lim}} = 76,13$ . Invece, la snellezza è calcolata come rapporto tra la lunghezza libera di inflessione ( $l_0$ ) ed il raggio d'inerzia ( $i$ ) della sezione di calcestruzzo non fessurato:  $\lambda = l_0/i$ , dove in particolare  $l_0$  va definita in base ai vincoli d'estremità, incastro-appoggio, ed all'interazione con eventuali elementi contigui ( $\beta$ ) e il raggio di inerzia è uguale a  $i = \sqrt{I/A}$ . Si è calcolato così la snellezza di progetto  $\lambda = 72,75$ . La sezione del pilastro interno in c.a. di dimensioni  $45 \times 135 \text{ cm}$  è verificato perchè  $\lambda < \lambda_{\text{lim}}$ .

### P<sub>2</sub>) Pilastro esterno

Per il dimensionamento del pilastro esterno, posto in facciata, si è seguito lo stesso procedimento di quello interno, ma senza considerare il carico aggiunto del corridoio. La forza agente sul pilastro è corrisposta alla reazione trovata con F-tool più il peso della trave principale, cioè  $N_{\text{Edtot}} = 667,9 \text{ kN}$ .

Anche in questo caso è stata verificata l'instabilità del pilastro di sezione  $45 \times 100 \text{ cm}$  controllando che  $\lambda = 72,75$  fosse minore di  $\lambda_{\text{lim}} = 77,24$ .

## Dimensionamento struttura verticale

### P1) Pilastro caricato da corridoio

Calcolo della forza di compressione agente

<b>lato 1 (m)</b>	<b>lato 2 (m)</b>	<b>Ai (m<sup>2</sup>)</b>
5	12,5	62,50
<b>NEd parz (kN)</b>		
611,2		
<b>NEd tot (kN)</b>		
667,91		
<b>NEd finale (kN)</b>		
928,05		

Caratteristiche pilastro in CA

CLS 25/30				
<b>fck (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>αcc</b>	<b>γc</b>	<b>fcd (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>fcd (kN/cm<sup>2</sup>)</b>
25	0,85	1,5	14,17	1,417
B450				
<b>fyk (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>fyd (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>fyd (kN/cm<sup>2</sup>)</b>		
450	391,30	39,13		

Definizione della quantità minima di materiale

<b>As min (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>As (cm<sup>2</sup>)</b>		
2,37	3		
<b>Ac min (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Ac (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>lato 1 (cm)</b>	<b>lato 2 (cm)</b>
572,23	6075	45	135

Verifica di instabilità per elementi snelli

<b>v</b>	<b>λlim</b>			
0,11	76,13			
<b>I (cm<sup>4</sup>)</b>	<b>L (cm)</b>	<b>β</b>	<b>i (cm)</b>	<b>10</b>
1025156,25	1350	0,7	12,99	945
<b>λ</b>				
72,75				

### P2) Pilastro caricato da copertura

Calcolo della forza di compressione agente

<b>lato 1 (m)</b>	<b>lato 2 (m)</b>	<b>Ai (m<sup>2</sup>)</b>
5	12,5	62,50
<b>NEd parz (kN)</b>		
611,2		
<b>NEd finale (kN)</b>		
667,91		

Caratteristiche pilastro in CA

CLS 25/30				
<b>fck (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>αcc</b>	<b>γc</b>	<b>fcd (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>fcd (kN/cm<sup>2</sup>)</b>
25	0,85	1,5	14,17	1,417
B450				
<b>fyk (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>fyd (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>fyd (kN/cm<sup>2</sup>)</b>		
450	391,30	39,13		

Definizione della quantità minima di materiale

<b>As min (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>As (cm<sup>2</sup>)</b>		
1,71	2,5		
<b>Ac min (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Ac (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>lato 1 (cm)</b>	<b>lato 2 (cm)</b>
402,41	4500	45	100

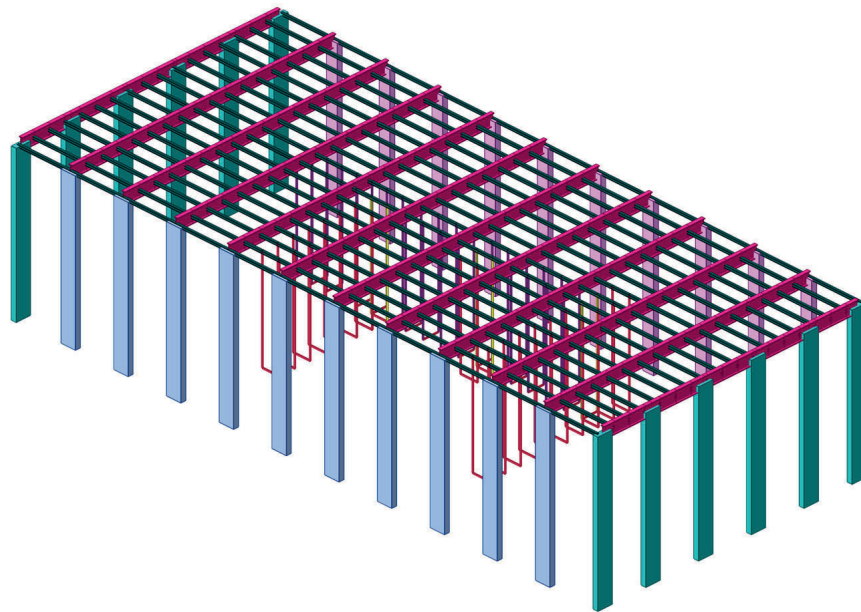
Verifica di instabilità per elementi snelli

<b>v</b>	<b>λlim</b>			
0,10	77,24			
<b>I (cm<sup>4</sup>)</b>	<b>L (cm)</b>	<b>β</b>	<b>i (cm)</b>	<b>10</b>
759375,00	1350	0,7	12,99	945
<b>λ</b>				
72,75				

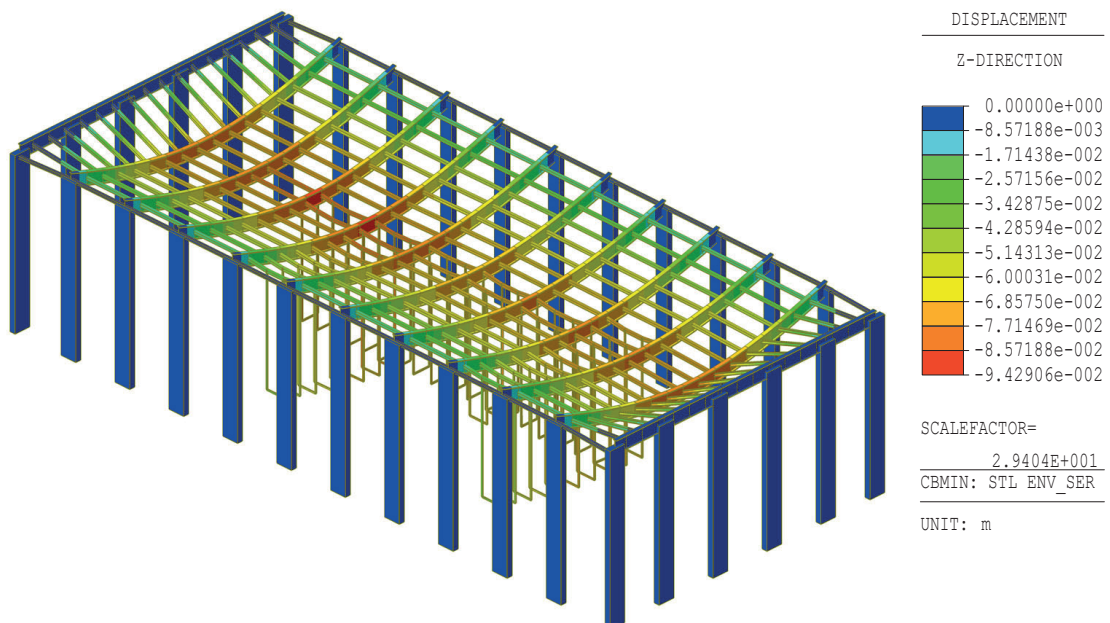
Tabella 10: Dimensionamento della struttura verticale



### 2.2.3 Modellazione Midas e verifiche



Geometria della struttura portante: aula piscine



DEFORMATA dell'abbassamento ( $\delta$ ) - Combinazione di carico: SLE minimo

#### Verifiche

Deformata reale  $T_2'$ :  $\delta = (0,094 - 0,086) \text{ m} = 0,008 \text{ m} (0,8 \text{ cm})$

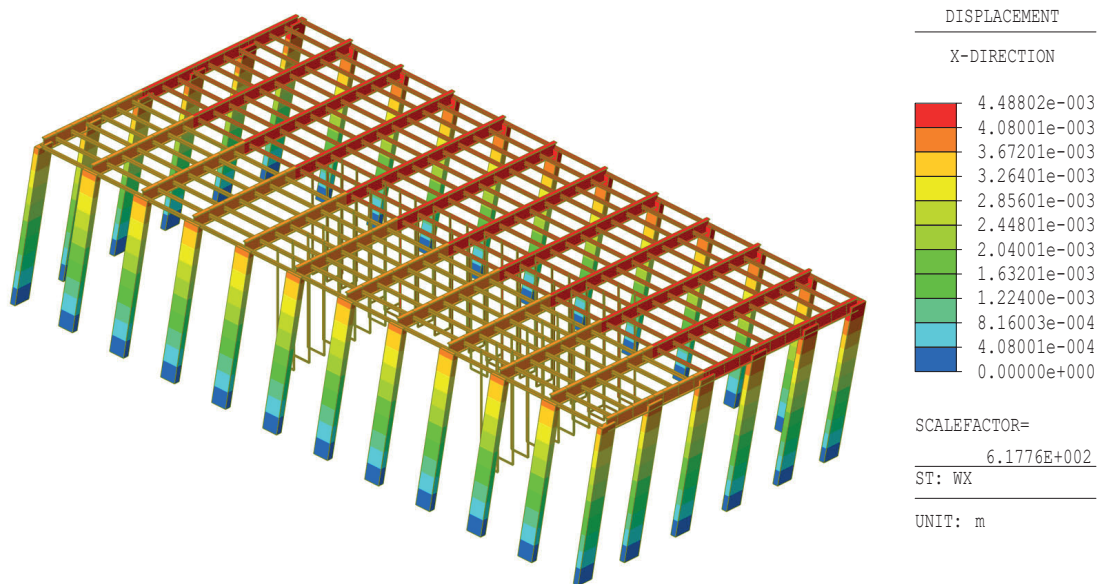
Deformata massima  $T_2'$ :  $\delta_{\max} = L/250 = 5 \text{ m}/250 = 0,02 \text{ m} (2 \text{ cm})$

$\delta < \delta_{\max} \longrightarrow 0,8 \text{ cm} < 2 \text{ cm} \longrightarrow \text{VERIFICATO}$

Deformata reale  $T_1$ :  $\delta = 0,086 \text{ m} (8,6 \text{ cm})$

Deformata massima  $T_1$ :  $\delta_{\max} = L/250 = 25 \text{ m}/250 = 0,1 \text{ m} (10 \text{ cm})$

$\delta < \delta_{\max} \longrightarrow 8,6 \text{ cm} < 10 \text{ cm} \longrightarrow \text{VERIFICATO}$



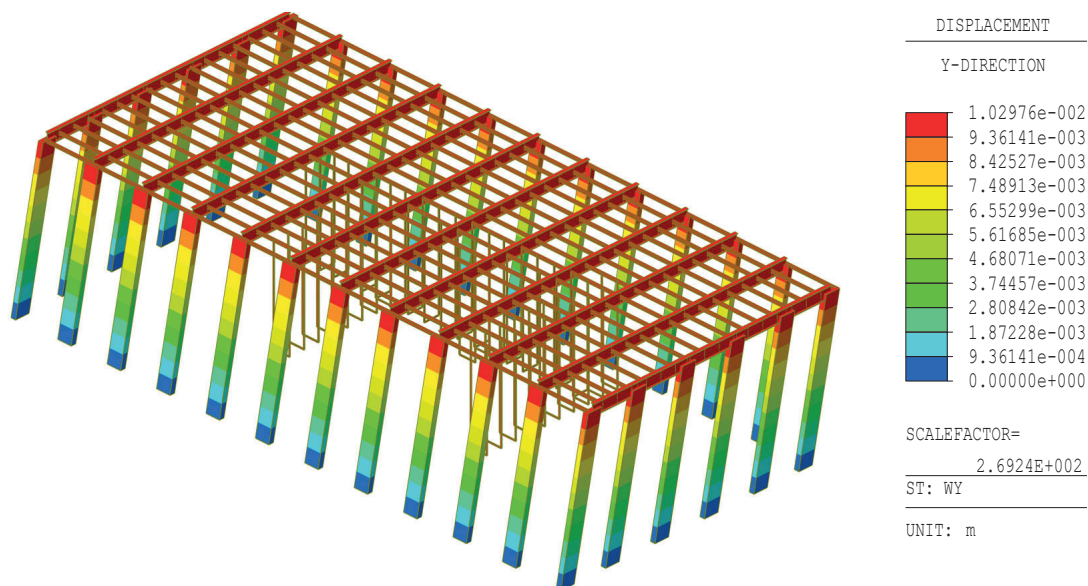
SPOSTAMENTO orizzontale ( $\Delta X$ ) - Combinazione di carico: Vento X

### Verifica

Spostamento reale:  $\Delta X = 0,004$  m (0,4 cm)

Deformata massima:  $\Delta X_{\max} = H/500 = 13,50$  m/500 = 0,027 m (2,7 cm)

$\Delta X < \Delta X_{\max} \longrightarrow 0,4$  cm < 2,7 cm  $\longrightarrow$  VERIFICATO



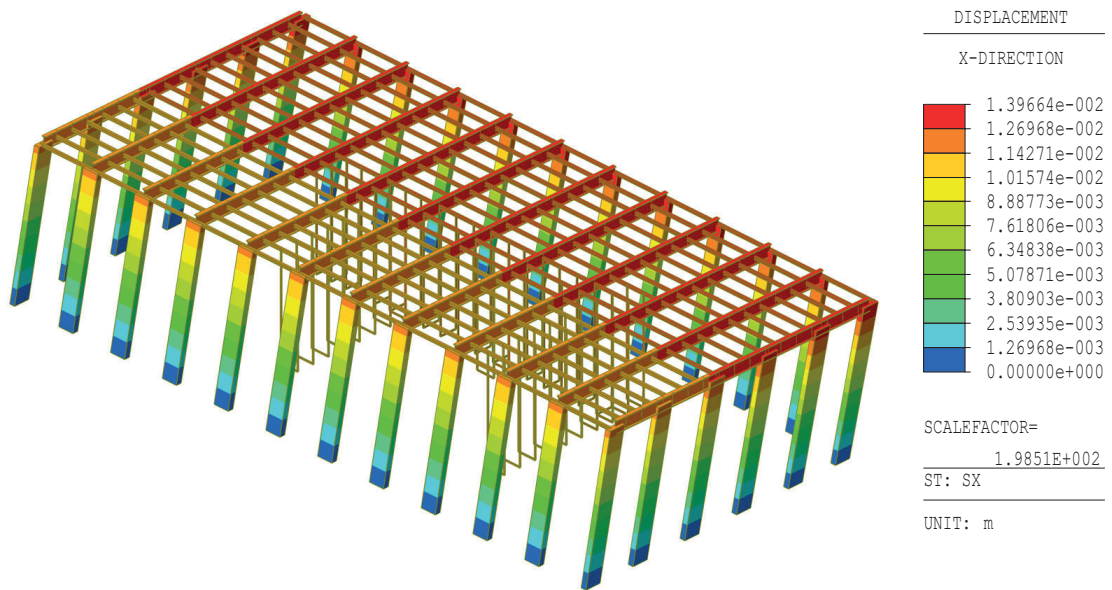
SPOSTAMENTO orizzontale ( $\Delta Y$ ) - Combinazione di carico: Vento Y

### Verifica

Spostamento reale:  $\Delta Y = 0,01$  m (1 cm)

Deformata massima:  $\Delta Y_{\max} = H/500 = 13,50$  m/500 = 0,027 m (2,7 cm)

$\Delta Y < \Delta Y_{\max} \longrightarrow 1$  cm < 2,7 cm  $\longrightarrow$  VERIFICATO



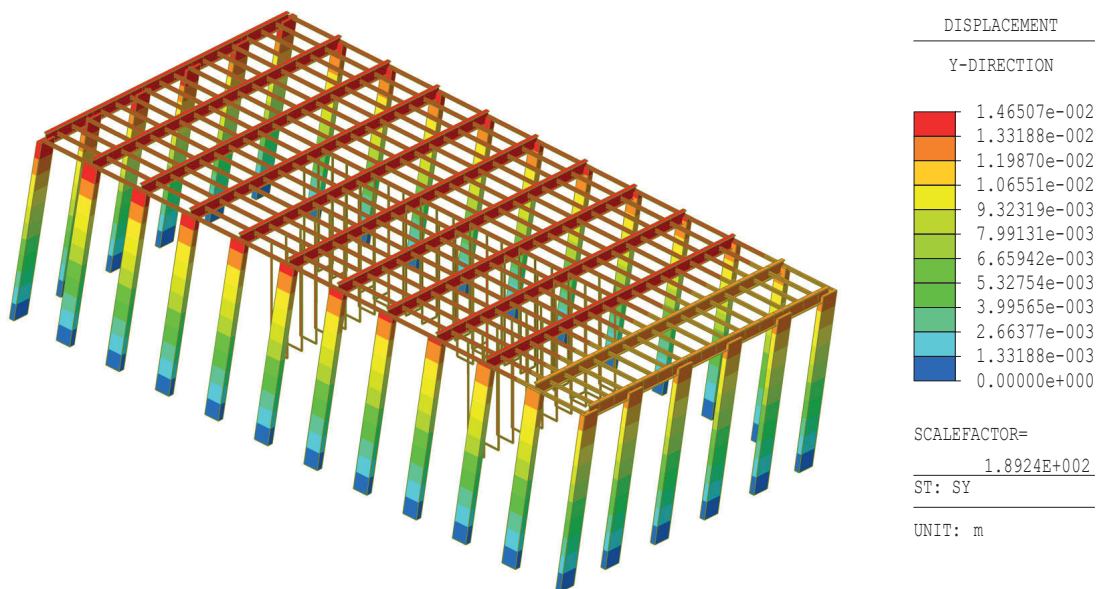
SPOSTAMENTO orizzontale ( $\Delta X$ ) - Combinazione di carico: Sisma X

### Verifica

Spostamento reale:  $\Delta X = 0,014$  m (1,4 cm)

Deformata massima:  $\Delta X_{\max} = H/500 = 13,50 \text{ m}/500 = 0,027$  m (2,7 cm)

$\Delta X < \Delta X_{\max} \longrightarrow 1,4 \text{ cm} < 2,7 \text{ cm} \longrightarrow \text{VERIFICATO}$



SPOSTAMENTO orizzontale ( $\Delta Y$ ) - Combinazione di carico: Sisma Y

### Verifica

Spostamento reale:  $\Delta Y = 0,015$  m (1,5 cm)

Deformata massima:  $\Delta Y_{\max} = H/500 = 13,50 \text{ m}/500 = 0,027$  m (2,7 cm)

$\Delta Y < \Delta Y_{\max} \longrightarrow 1,5 \text{ cm} < 2,7 \text{ cm} \longrightarrow \text{VERIFICATO}$

### 2.3.1 Struttura

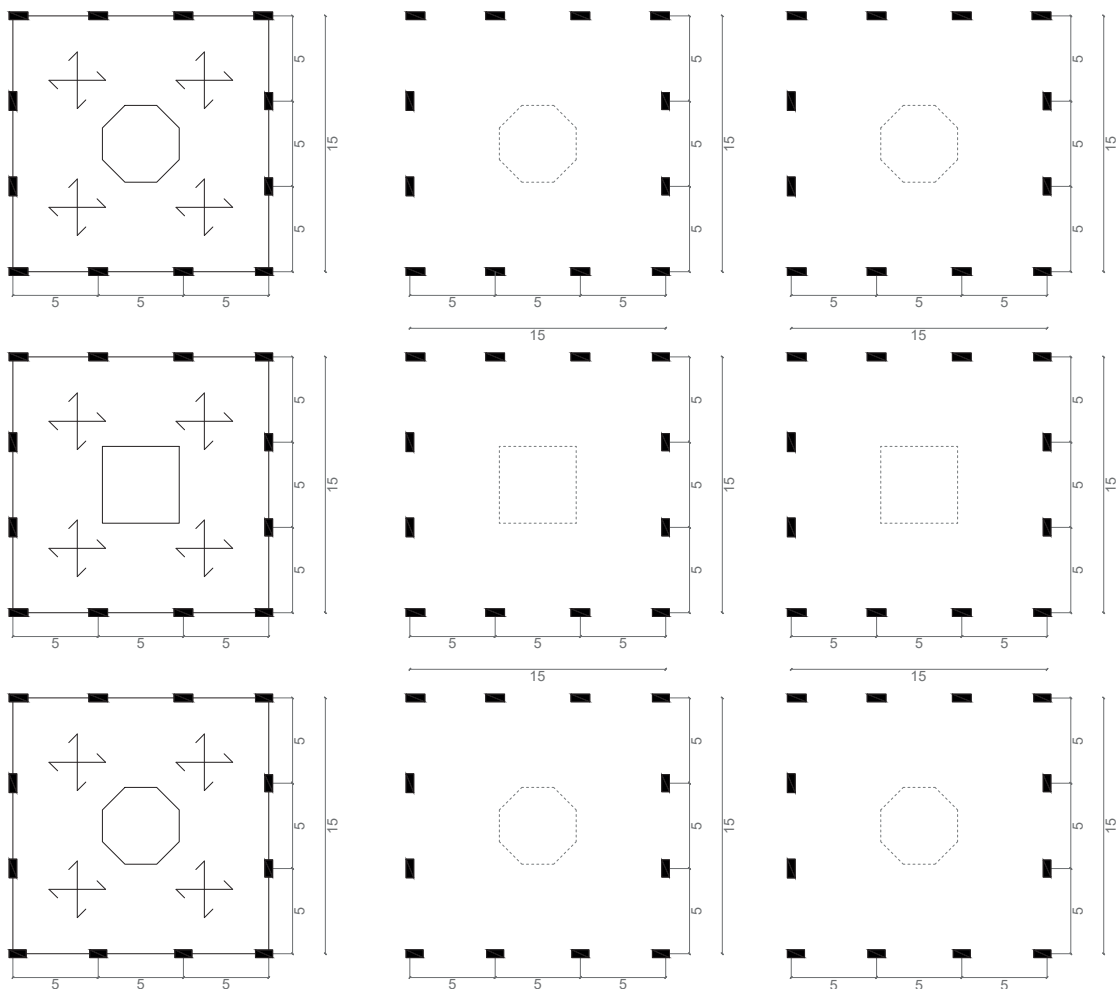
Calidarium, Trepidarium e Frigidarium sono tre ambienti in cui sono contenute le vasche a differenti temperature (calde, fredde e tiepide), al chiuso, oltre che le saune e i bagni turchi. Strutturalmente funzionano in ugual modo e sono composti da pilastri in c.a. come elementi portanti verticali e da una piastra in c.a. come orizzontale.

La scelta strutturale di utilizzare una piastra in c.a. è stata presa per rispondere alla decisione progettuale di porre in tutti i padiglioni un oculo centrale (due di forma ottagonale e uno quadrata) per permettere l'ingresso della luce dall'alto, creando così degli spazi più dove l'atmosfera fosse più soffusa e rilassante. Questa è l'unico elemento di copertura in c.a. di tutto il centro benessere.

Riassumendo:

- Pilastri: dimensioni 100x45 cm, quelli verso la facciata esterna, e 110 cm, quelli sui restanti 3 lati, alti 13,50 m;
- Piastra: dimensioni 15x15 m e spessore 22 cm.

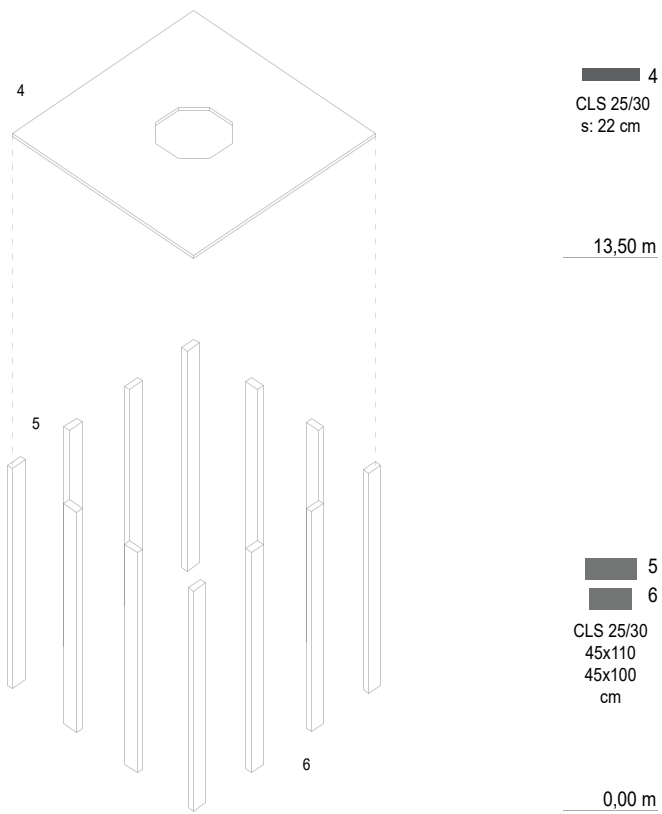
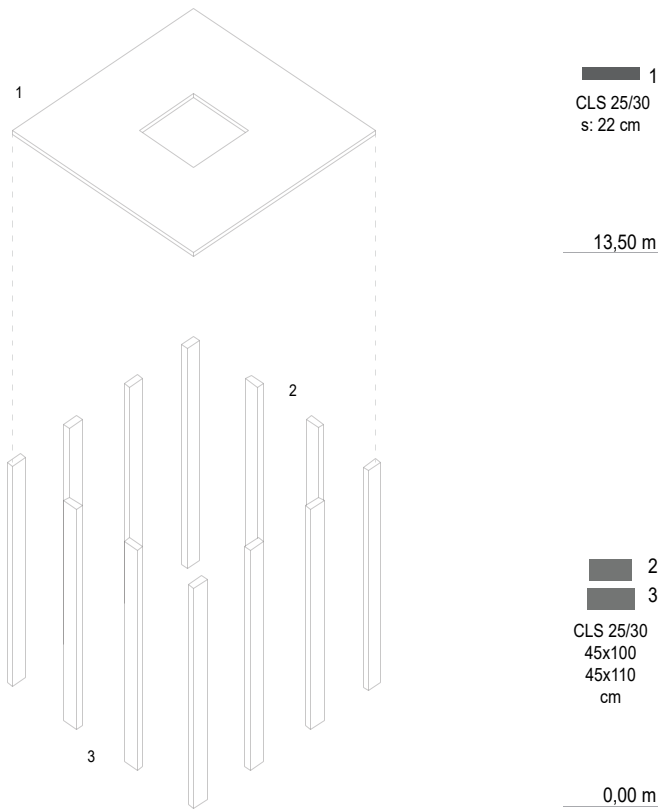
Riportate di seguito sono, dall'alto al basso, le piante di Calidarium, Trepidarium e Frigidarium.



Pianta strutturale copertura livello 0

Pianta strutturale copertura livello -1

Pianta strutturale copertura livello -2



Esploso assonometrico: Tepidarium e Calidarium

### 2.3.2 Predimensionamento

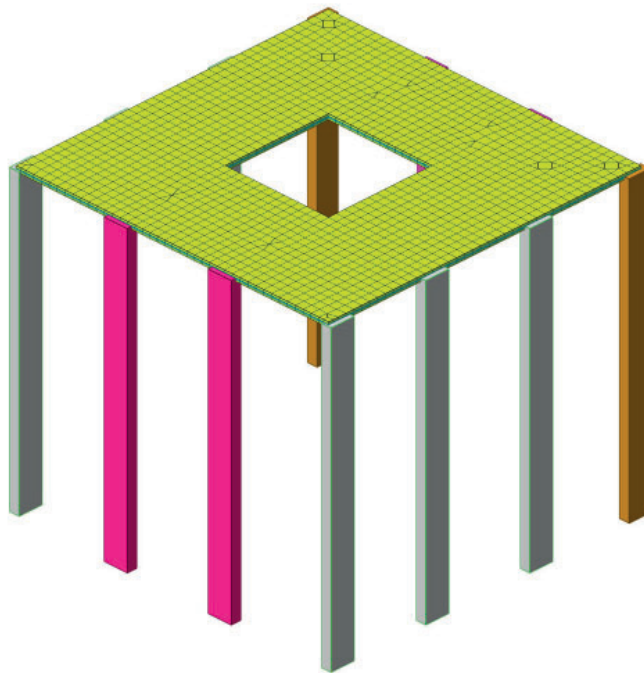
Per semplificare l'analisi strutturale è stato studiato solo uno dei tre ambienti, cioè il Tepidarium, dal momento che tutti e tre posseggono le stesse strutture portanti e funzionano in maniera analoga. Di seguito verranno riportati i calcoli eseguiti manualmente, ma riportati in forma sintetica come tabelle per velocizzare il processo di calcolo e proporre in forma più sintetica il lavoro svolto.

Sono stati calcolati manualmente per un primo predimensionamento solo i pilastri, mentre la piastra in c.a. è stata dimensionata con il programma Midas.

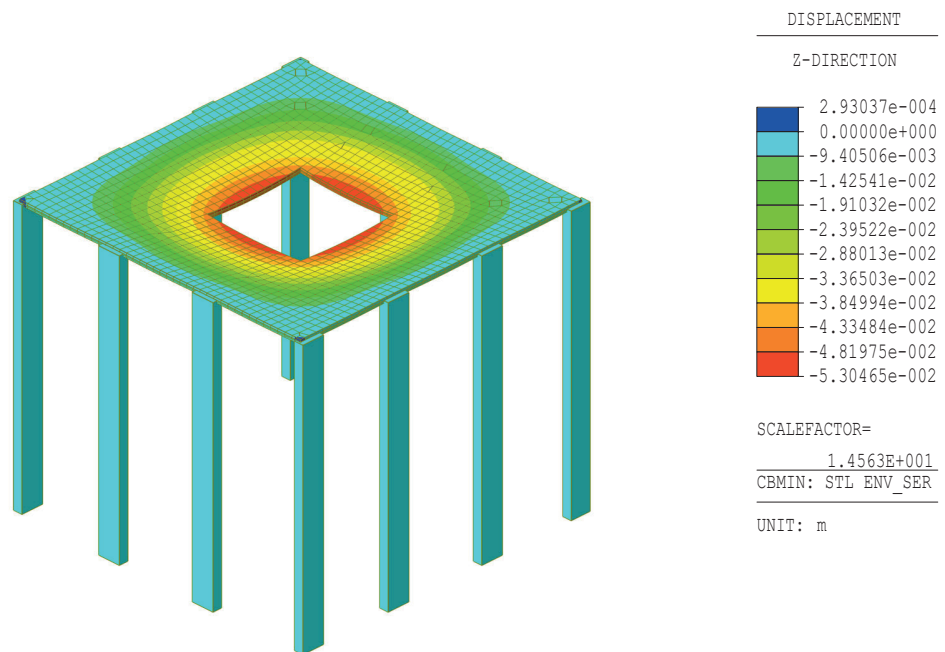
Dimensionamento struttura verticale					
<b>P1) Pilastro interno caricato da copertura e corridoio</b>					
Calcolo della forza di compressione agente					
	<b>lato 1 (m)</b>	<b>lato 2 (m)</b>	<b>Ai (m<sup>2</sup>)</b>		
	7,5	7,5	56,25		
	<b>NEd tot (kN)</b>				
	558,9				
	<b>NEd finale (kN)</b>				
	819,04				
Caratteristiche pilastro in CA					
	CLS 25/30				
	<b>fck (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>αcc</b>	<b>γc</b>	<b>fcd (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>fcd (kN/cm<sup>2</sup>)</b>
	25	0,85	1,5	14,17	1,417
	B450				
	<b>fyk (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>fyd (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>fyd (kN/cm<sup>2</sup>)</b>		
	450	391,30	39,13		
Definizione della quantità minima di materiale					
	<b>As min (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>As (cm<sup>2</sup>)</b>			
	2,09	2,5			
	<b>Ac min (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Ac (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>lato 1 (cm)</b>	<b>lato 2 (cm)</b>	
	509,09	4950	45	110	
Verifica di instabilità per elementi snelli					
	<b>v</b>	<b>λlim</b>			
	0,12	73,15			
	<b>I (cm<sup>4</sup>)</b>	<b>L (cm)</b>	<b>β</b>	<b>i (cm)</b>	<b>l0</b>
	835312,50	1350	0,7	12,99	945
	<b>λ</b>				
	72,75				
<b>P2) Pilastro esterno caricato da copertura</b>					
Calcolo della forza di compressione agente					
	<b>lato 1 (m)</b>	<b>lato 2 (m)</b>	<b>Ai (m<sup>2</sup>)</b>		
	7,5	7,5	56,25		
	<b>NEd finale (kN)</b>				
	546,8				
Caratteristiche pilastro in CA					
	CLS 25/30				
	<b>fck (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>αcc</b>	<b>γc</b>	<b>fcd (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>fcd (kN/cm<sup>2</sup>)</b>
	25	0,85	1,5	14,17	1,417
	B450				
	<b>fyk (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>fyd (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>fyd (kN/cm<sup>2</sup>)</b>		
	450	391,30	39,13		
Definizione della quantità minima di materiale					
	<b>As min (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>As (cm<sup>2</sup>)</b>			
	1,40	2			
	<b>Ac min (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Ac (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>lato 1 (cm)</b>	<b>lato 2 (cm)</b>	
	330,73	4500	45	100	
Verifica di instabilità per elementi snelli					
	<b>v</b>	<b>λlim</b>			
	0,09	85,36			
	<b>I (cm<sup>4</sup>)</b>	<b>L (cm)</b>	<b>β</b>	<b>i (cm)</b>	<b>l0</b>
	759375,00	1350	0,7	12,99	945
	<b>λ</b>				
	72,75				

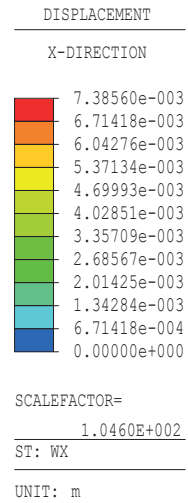
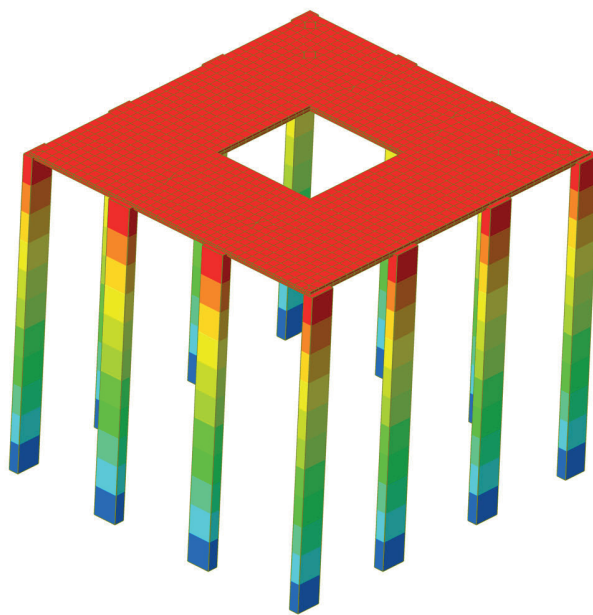
Tabella 11: Dimensionamento della struttura verticale

## 2.3.3 Modellazione Midas e verifiche



Geometria della struttura portante: Tepidarium

DEFORMATA dell'abbassamento ( $\delta$ ) - Combinazione di carico: SLE minimo**Verifica**Deformata reale piastra:  $\delta = 0,053$  m (5,3 cm)Deformata massima piastra:  $\delta_{\max} = L/250 = 15 \text{ m}/250 = 0,06$  m (6 cm) $\delta < \delta_{\max} \longrightarrow 5,3 \text{ m} < 6 \text{ cm} \longrightarrow \text{VERIFICATO}$



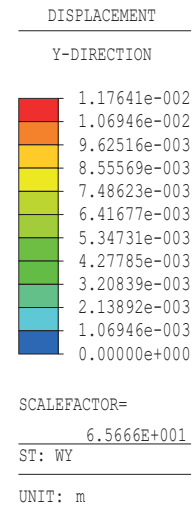
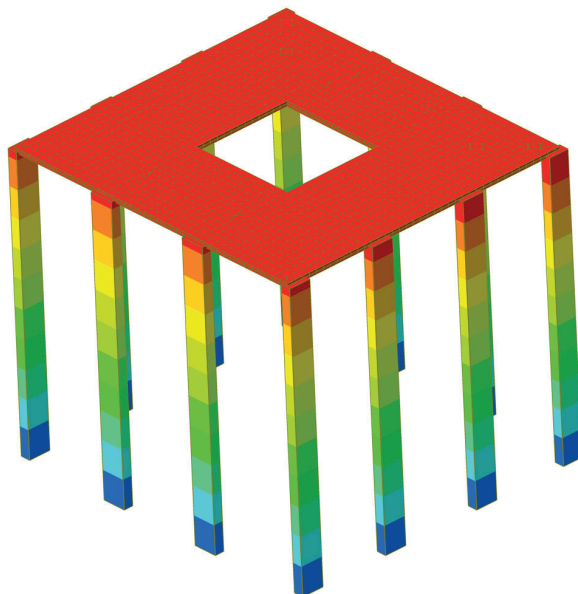
SPOSTAMENTO orizzontale ( $\Delta X$ ) - Combinazione di carico: Vento X

### Verifica

Spostamento reale:  $\Delta X = 0,0074$  m (0,74 cm)

Deformata massima:  $\Delta X_{\max} = H/500 = 13,50$  m/500 = 0,027 m (2,7 cm)

$\Delta X < \Delta X_{\max} \longrightarrow 0,74$  cm < 2,7 cm  $\longrightarrow$  VERIFICATO



SPOSTAMENTO orizzontale ( $\Delta Y$ ) - Combinazione di carico: Vento Y

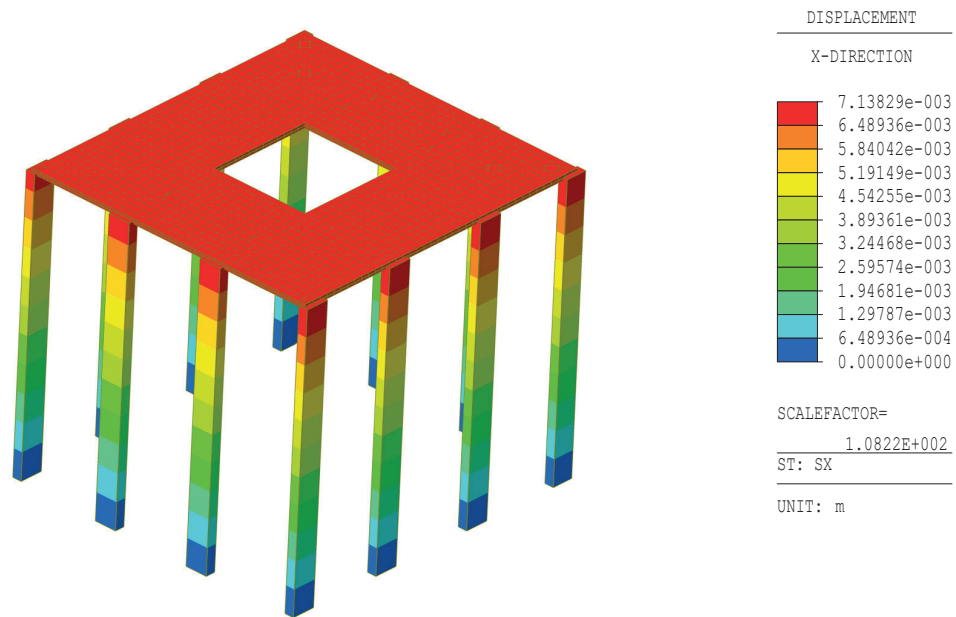
### Verifica

Spostamento reale:  $\Delta Y = 0,012$  m (1,2 cm)

Deformata massima:  $\Delta Y_{\max} = H/500 = 13,50$  m/500 = 0,027 m (2,7 cm)

$\Delta Y < \Delta Y_{\max} \longrightarrow 1,2$  cm < 2,7 cm  $\longrightarrow$  VERIFICATO





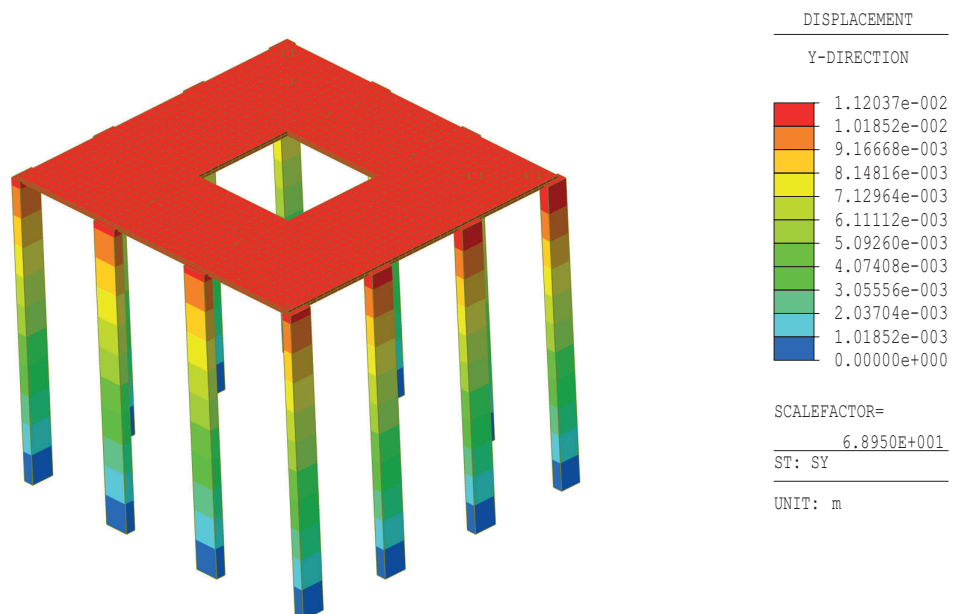
SPOSTAMENTO orizzontale ( $\Delta X$ ) - Combinazione di carico: sisma X

### Verifica

Spostamento reale:  $\Delta X = 0,0071$  m (0,71 cm)

Deformata massima:  $\Delta X_{\max} = H/500 = 13,50$  m/500 = 0,027 m (2,7 cm)

$\Delta X < \Delta X_{\max} \longrightarrow 0,71$  cm < 2,7 cm  $\longrightarrow$  VERIFICATO



SPOSTAMENTO orizzontale ( $\Delta Y$ ) - Combinazione di carico: sisma Y

### Verifica

Spostamento reale:  $\Delta Y = 0,011$  m (1,1 cm)

Deformata massima:  $\Delta Y_{\max} = H/500 = 13,50$  m/500 = 0,027 m (2,7 cm)

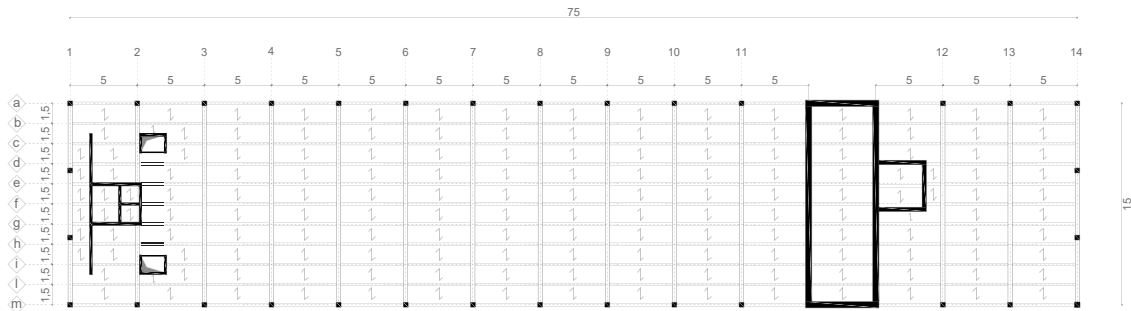
$\Delta Y < \Delta Y_{\max} \longrightarrow 1,1$  cm < 2,7 cm  $\longrightarrow$  VERIFICATO

## 2.4.1 Struttura

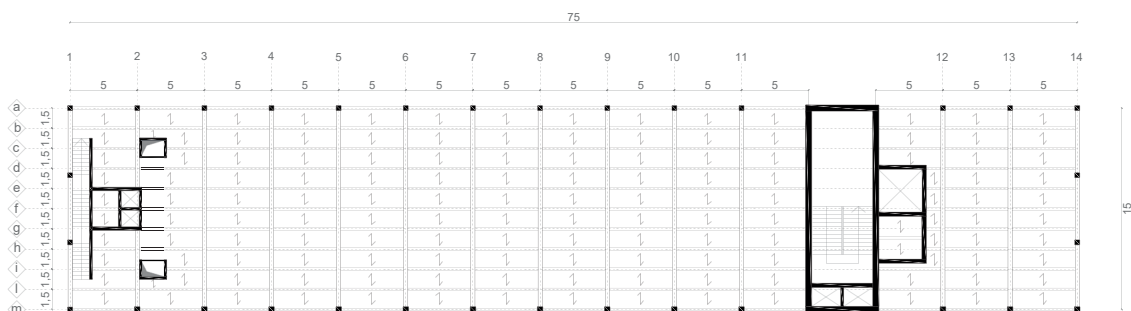
Il blocco nord è l'edificio che contiene gli spazi di ristorazione e servizio del centro benessere su tre livelli. Strutturalmente è composto da pilastri e core in c.a. come elementi portanti verticali e da travi principali (S450 e S355) e secondarie (S235) in acciaio come orizzontali. Le travi di copertura sono a quote differenti poichè le secondarie sono sopra le principali per mostrare la gerarchia delle strutture, ponendole a vista negli ambienti di accoglienza come hall e ristorante pubblico. I piani inferiori, invece, hanno le travi alle stesse quote.

Riassumendo:

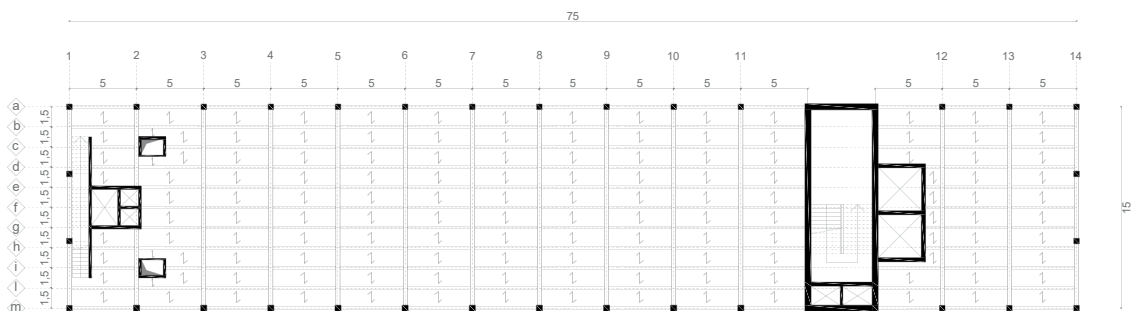
- Pilastri: dimensioni 45x45 cm, 40x40 cm e 35x35 cm, che si rastremano da piano a piano, alti 4,50 m;
- Travi principali: HEM 700, che coprono una luce di 15 m, poste ogni 4,50 m;
- Travi secondarie: HEA 200, che coprono una luce di 5 m, poste ogni 4,50 m, eccetto quelle di copertura.



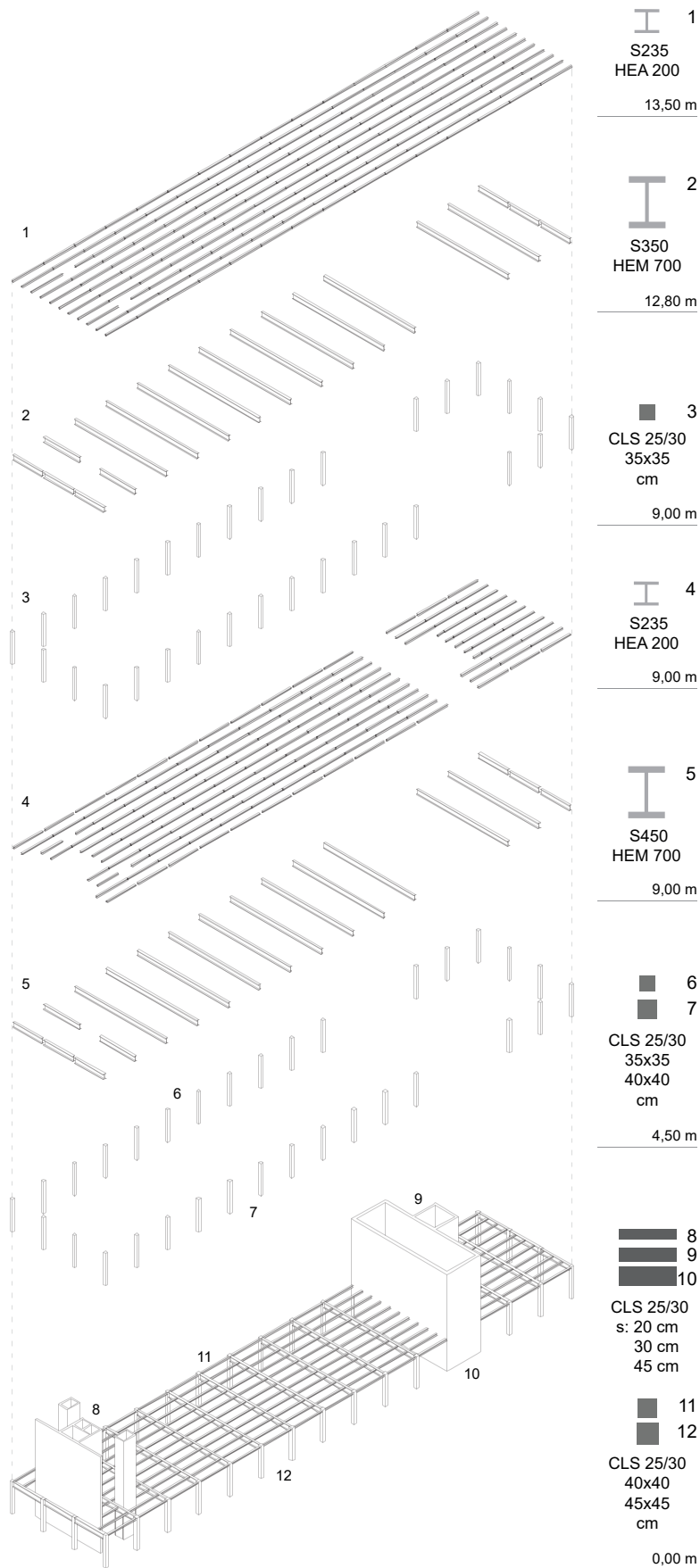
Pianta strutturale copertura livello 0



Pianta strutturale copertura livello -1



Pianta strutturale copertura livello -2



Esploso assonometrico: Blocco Nord

## 2.4.2 Predimensionamento

### Dimensionamento copertura

T2') Trave secondaria generica

Verifica SLU e SLE

Analisi dei carichi

	$g1$ (kN/m <sup>2</sup> )	$g2$ (kN/m <sup>2</sup> )	$q_{acc}$ (kN/m <sup>2</sup> )	$i$ (m)	$G1$ (kN/m)	$G2$ (kN/m)	$Q$ (kN/m)
Carichi SLU e SLE	1,9	3,43	0,5	1,5	2,85	5,14	0,75
	$\gamma G1$	$\gamma G2$	$\gamma q$	$\psi 01$			
	1,3	1,5	1,5	0,7			
	$q_{SLU}$ (kN/m)						
	12,20						
	$q_{SLE}$ (kN/m)	$q_{SLE}$ (N/m)					
	8,52	8516,4					
HEA 200	$f_y k$ (N/mm <sup>2</sup> ) [S235]	$W_{pl}$ (mm <sup>3</sup> )	$\gamma M0$	$M_{pl}$ (Nmm)	$M_{pl}$ (kNm)		
	235	429500	1,05	96126190,48	96,13		
	MEd SLU (kNm)						
	40,6						
	MEd SLE (kNm)						
	28,3						
	$\eta$						
	2,37						
	$1/\eta$						
	0,42	lavora 42%					
Deformata trave	$I$ (m)	$p$ (Kg/m)	$p$ (kN/m)	$I$ (cm <sup>4</sup> )	$I$ (m <sup>4</sup> )	$E$ (N/m <sup>2</sup> )	
	5	42,3	0,423	3692	0,00003692	2,1E+11	
	fSLE (m)	fSLE (mm)					
	0,0089	8,94					
	fSLE max (mm)						
	20						
Reazioni vincolari	R'SLU (kN)						
	32,3						
	R'SLE (kN)						
	22,5						
	R'1SLU (kN)						
	33,67						
	R'1SLE (kN)						
	23,56						

T2'') Trave secondaria di bordo

Verifica SLU e SLE

Analisi dei carichi

	$g1$ (kN/m <sup>2</sup> )	$g2$ (kN/m <sup>2</sup> )	$q_{acc}$ (kN/m <sup>2</sup> )	$i$ (m)	$G1$ (kN/m)	$G2$ (kN/m)	$Q$ (kN/m)
Carichi SLU e SLE	1,9	3,43	0,5	0,75	1,425	2,57	0,375
	$\gamma G1$	$\gamma G2$	$\gamma q$	$\psi 01$			
	1,3	1,5	1,5	0,7			
	$q_{SLU}$ (kN/m)						
	6,10						
	$q_{SLE}$ (kN/m)	$q_{SLE}$ (N/m)					
	4,26	4258,2					
HEA 200	$f_y k$ (N/mm <sup>2</sup> ) [S235]	$W_{pl}$ (mm <sup>3</sup> )	$\gamma M0$	$M_{pl}$ (Nmm)	$M_{pl}$ (kNm)		
	235	429500	1,05	96126190,48	96,13		
	MEd SLU (kNm)						
	20,3						
	MEd SLE (kNm)						
	14,1						
	$\eta$						
	4,74						
	$1/\eta$						
	0,21	lavora 21%					
Deformata trave	$I$ (m)	$p$ (Kg/m)	$p$ (kN/m)	$I$ (cm <sup>4</sup> )	$I$ (m <sup>4</sup> )	$E$ (N/m <sup>2</sup> )	
	5	42,3	0,423	3692	0,00003692	2,1E+11	
	fSLE (m)	fSLE (mm)					
	0,0045	4,47					
	fSLE max (mm)						
	20						
Reazioni vincolari	R''SLU (kN)						
	16,2						
	R''SLE (kN)						
	11,2						
	R''1SLU (kN)						
	17,57						
	R''1SLE (kN)						
	12,26						

## T1) Trave principale

## Verifica SLU e SLE

Reazioni vincolari concentrate

	n. travi generiche	n. travi di bordo			
	9	2			
	RaSLU	RaSLE			
	67,35	47,12			
	RbSLU	RbSLE			
	35,15	24,52			
	MEd SLU (kNm)				
	1261,9				
	MEd SLE (kNm)				
	883,1				
HEM 700	<b>f<sub>yk</sub></b> (N/mm <sup>2</sup> ) [S355]	<b>W<sub>pl</sub></b> (mm <sup>3</sup> )	<b>γ<sub>M0</sub></b>	<b>M<sub>pl</sub></b> (Nmm)	<b>M<sub>pl</sub></b> (kNm)
	355	10540000	1,05	3563523810	3563,52
	<b>I</b> (m)	<b>p</b> (Kg/m)	<b>p</b> (kN/m)		
	15	301	3,01		
	MEd SLU (kNm)				
	1371,95				
	MEd SLE (kNm)				
	967,76				
	<b>η</b>				
	2,60				
	<b>1/η</b>				
	0,38				
		lavora 38%			

Tabella 12: Dimensionamento degli elementi di copertura

## Dimensionamento solaio generico

## T2) Trave secondaria generica

## Verifica SLU e SLE

Analisi dei carichi

	<b>g1</b> (kN/m <sup>2</sup> )	<b>g2</b> (kN/m <sup>2</sup> )	<b>qacc</b> (kN/m <sup>2</sup> )	<b>i</b> (m)	<b>G1</b> (kN/m)	<b>G2</b> (kN/m)	<b>Q</b> (kN/m)
	1,9	4,20	3	1,5	2,85	6,30	4,5
Carichi SLU e SLE	<b>γG1</b>	<b>γG2</b>	<b>γq</b>	<b>ψ01</b>			
	1,3	1,5	1,5	0,7			
	<b>qSLU</b> (kN/m)						
	17,88						
	<b>qSLE</b> (kN/m)	<b>qSLE</b> (N/m)					
	12,30	12297					
HEA 200	<b>f<sub>yk</sub></b> (N/mm <sup>2</sup> ) [S235]	<b>W<sub>pl</sub></b> (mm <sup>3</sup> )	<b>γ<sub>M0</sub></b>	<b>M<sub>pl</sub></b> (Nmm)	<b>M<sub>pl</sub></b> (kNm)		
	235	429500	1,05	96126190,48	96,13		
	MEd SLU (kNm)						
	55,9						
	MEd SLE (kNm)						
	38,4						
	<b>η</b>						
	1,72						
	<b>1/η</b>						
	0,58						
		lavora 58%					
Deformata trave	<b>I</b> (m)	<b>p</b> (Kg/m)	<b>p</b> (kN/m)	<b>I</b> (cm <sup>4</sup> )	<b>I</b> (m <sup>4</sup> )	<b>E</b> (N/m <sup>2</sup> )	
	5	42,3	0,423	3692	0,00003692	2,1E+11	
	<b>fSLE</b> (m)	<b>fSLE</b> (mm)					
	0,0129	12,91					
	<b>fSLE max</b> (mm)						
	20						
Reazioni vincolari	<b>R'SLU</b> (kN)						
	44,7						
	<b>R'SLE</b> (kN)						
	30,8						
	<b>R'1SLU</b> (kN)						
	46,07						
	<b>R'1SLE</b> (kN)						
	31,86						

T2') Trave secondaria di bordo							
Verifica SLU e SLE							
Analisi dei carichi							
	<b>g1 (kN/m<sup>2</sup>)</b>	<b>g2 (kN/m<sup>2</sup>)</b>	<b>qacc (kN/m<sup>2</sup>)</b>	<b>i (m)</b>	<b>G1 (kN/m)</b>	<b>G2 (kN/m)</b>	<b>Q (kN/m)</b>
Carichi SLU e SLE	1,9	2,20	3	0,75	1,425	7,21	2,25
	<b>γG1</b>	<b>γG2</b>	<b>γQ</b>	<b>ψ01</b>			
	1,3	1,5	1,5	0,7			
	<b>qSLU (kN/m)</b>						
	15,03						
	<b>qSLE (kN/m)</b>	<b>qSLE (N/m)</b>					
	10,21	10212,54					
HEA 200	<b>f<sub>yk</sub> (N/mm<sup>2</sup>) [S235]</b>	<b>W<sub>pl</sub> (mm<sup>3</sup>)</b>	<b>γM0</b>	<b>M<sub>pl</sub> (Nmm)</b>	<b>M<sub>pl</sub> (kNm)</b>		
	235	429500	1,05	96126190,48	96,13		
	<b>MEd SLU (kNm)</b>						
	47						
	<b>MEd SLE (kNm)</b>						
	31,9						
	<b>η</b>						
	2,05						
	<b>1/η</b>						
	0,49	lavora 49%					
Deformata trave	<b>I (m)</b>	<b>p (Kg/m)</b>	<b>p (kN/m)</b>	<b>I (cm<sup>4</sup>)</b>	<b>I (m<sup>4</sup>)</b>	<b>E (N/m<sup>2</sup>)</b>	
	5	42,3	0,423	3692	0,00003692	2,1E+11	
	<b>fSLE (m)</b>	<b>fSLE (mm)</b>					
	0,0107	10,72					
	<b>fSLE max (mm)</b>						
	20						
Reazioni vincolari	<b>R'SLU (kN)</b>						
	37,6						
	<b>R'SLE (kN)</b>						
	25,5						
	<b>R''ISLU (kN)</b>						
	38,97						
	<b>R''ISLE (kN)</b>						
	26,56						
T1) Trave principale							
Verifica SLU e SLE							
Reazioni vincolari concentrate							
	<b>n. travi generiche</b>	<b>n. travi di bordo</b>					
	9	2					
	<b>RaSLU</b>	<b>RaSLE</b>					
	92,15	63,72					
	<b>RbSLU</b>	<b>RbSLE</b>					
	77,95	53,12					
	<b>MEd SLU (kNm)</b>						
	1726,9						
	<b>MEd SLE (kNm)</b>						
	1194,4						
HEM 700	<b>f<sub>yk</sub> (N/mm<sup>2</sup>) [S450]</b>	<b>W<sub>pl</sub> (mm<sup>3</sup>)</b>	<b>γM0</b>	<b>M<sub>pl</sub> (Nmm)</b>	<b>M<sub>pl</sub> (kNm)</b>		
	440	10540000	1,05	4416761905	4416,76		
	<b>I (m)</b>	<b>p (Kg/m)</b>	<b>p (kN/m)</b>				
	15	301	3,01				
	<b>MEd SLU (kNm)</b>						
	1836,95						
	<b>MEd SLE (kNm)</b>						
	1279,06						
	<b>η</b>						
	2,40						
	<b>1/η</b>						
	0,42	lavora 42%					

Tabella 13: Dimensionamento degli elementi del solaio generico

## Dimensionamento struttura verticale

P1) Pilastro caricato da copertura  
(esterno/interno livello 0)

Calcolo della forza di compressione agente

lato 1 (m)	lato 2 (m)	Ai (m <sup>2</sup> )
5	7,5	37,50
<b>NEd parz copertura (kN)</b>		
338,1		
<b>NEd finale (kN)</b>		
367,45		

Caratteristiche pilastro in CA

CLS 25/30	$\alpha_{cc}$	$\gamma_c$	fcd (N/mm <sup>2</sup> )	fcd (kN/cm <sup>2</sup> )
fck (N/mm <sup>2</sup> )	0,85	1,5	14,17	1,417
B450				
<b>fyk (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>fyd (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>fyd (kN/cm<sup>2</sup>)</b>		
450	391,30	39,13		

Definizione della quantità di materiale

<b>As min (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>As (cm<sup>2</sup>)</b>			
0,94	2			
<b>Ac min (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Ac (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>lato 1 (cm)</b>	<b>lato 2 (cm)</b>	
204,13	1225	35	35	

Verifica di instabilità per elementi snelli

v	$\lambda_{lim}$			
0,21	54,33			
<b>I (cm<sup>4</sup>)</b>	<b>L (cm)</b>	$\beta$	<b>i (cm)</b>	<b>10</b>
125052,08	450	0,7	10,10	315
$\lambda$				
31,18				

P2) Pilastro caricato da copertura e soletta  
generica (esterno livello -1)

Calcolo della forza di compressione agente

lato 1 (m)	lato 2 (m)	Ai (m <sup>2</sup> )
5	7,5	37,50
<b>NEd parz copertura (kN)</b>	<b>NEd parz soletta (kN)</b>	<b>NEd parz (kN)</b>
338,1	492,3	830,4
<b>NEd finale (kN)</b>		
889,10		

Caratteristiche pilastro in CA

CLS 25/30	$\alpha_{cc}$	$\gamma_c$	fcd (N/mm <sup>2</sup> )	fcd (kN/cm <sup>2</sup> )
fck (N/mm <sup>2</sup> )	0,85	1,5	14,17	1,417
B450				
<b>fyk (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>fyd (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>fyd (kN/cm<sup>2</sup>)</b>		
450	391,30	39,13		

Definizione della quantità di materiale

<b>As min (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>As (cm<sup>2</sup>)</b>			
2,27	3			
<b>Ac min (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Ac (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>lato 1 (cm)</b>	<b>lato 2 (cm)</b>	
544,73	1225	35	35	

Verifica di instabilità per elementi snelli

v	$\lambda_{lim}$			
0,51	34,93			
<b>I (cm<sup>4</sup>)</b>	<b>L (cm)</b>	$\beta$	<b>i (cm)</b>	<b>10</b>
125052,08	450	0,7	10,10	315
$\lambda$				
31,18				

P3) Pilastro caricato da copertura, soletta  
generica e corridoio (interno livello -1)

Calcolo della forza di compressione agente

lato 1 (m)	lato 2 (m)	Ai (m <sup>2</sup> )
5	7,5	37,50
<b>NEd parz copertura (kN)</b>	<b>NEd parz soletta (kN)</b>	<b>NEd parz (kN)</b>
338,1	492,3	830,4
<b>NEd tot(kN)</b>		
889,10		
<b>NEd finale (kN)</b>		
1149,23		

Caratteristiche pilastro in CA

CLS 25/30	$\alpha_{cc}$	$\gamma_c$	fcd (N/mm <sup>2</sup> )	fcd (kN/cm <sup>2</sup> )
fck (N/mm <sup>2</sup> )	0,85	1,5	14,17	1,417
B450				
<b>fyk (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>fyd (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>fyd (kN/cm<sup>2</sup>)</b>		
450	391,30	39,13		

Definizione della quantità di materiale

<b>As min (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>As (cm<sup>2</sup>)</b>			
2,94	3,5			
<b>Ac min (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Ac (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>lato 1 (cm)</b>	<b>lato 2 (cm)</b>	
714,55	1600	40	40	

Verifica di instabilità per elementi snelli

v	$\lambda_{lim}$			
0,51	35,11			
<b>I (cm<sup>4</sup>)</b>	<b>L (cm)</b>	$\beta$	<b>i (cm)</b>	<b>10</b>
213333,33	450	0,7	11,55	315
$\lambda$				
27,28				

**P4) Pilastro caricato da copertura e soletta generica (esterno livello -2)**

Calcolo della forza di compressione agente

	<b>lato 1 (m)</b>	<b>lato 2 (m)</b>	<b>Ai (m<sup>2</sup>)</b>		
	5	7,5	37,50		
	<b>NEd parz copertura (kN)</b>	<b>NEd parz soletta (kN)</b>	<b>NEd parz (kN)</b>		
	338,1	492,3	1322,7		
	<b>NEd finale (kN)</b>				
	1410,74				
Caratteristiche pilastro in CA	CLS 25/30				
	<b>fck (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>αcc</b>	<b>γc</b>	<b>fcd (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>fcd (kN/cm<sup>2</sup>)</b>
	25	0,85	1,5	14,17	1,417
	B450				
	<b>fyk (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>fyd (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>fyd (kN/cm<sup>2</sup>)</b>		
	450	391,30	39,13		
Definizione della quantità di materiale	<b>As min (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>As (cm<sup>2</sup>)</b>			
	3,61	4			
	<b>Ac min (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Ac (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>lato 1 (cm)</b>	<b>lato 2 (cm)</b>	
	885,33	1600	40	40	
Verifica di instabilità per elementi snelli	<b>v</b>	<b>Alim</b>			
	0,62	31,69			
	<b>I (cm<sup>4</sup>)</b>	<b>I (cm)</b>	<b>β</b>	<b>i (cm)</b>	<b>10</b>
	213333,33	450	0,7	11,55	315
	<b>λ</b>				
	27,28				

**P5) Pilastro caricato da copertura, soletta generica e corridoio (interno livello -2)**

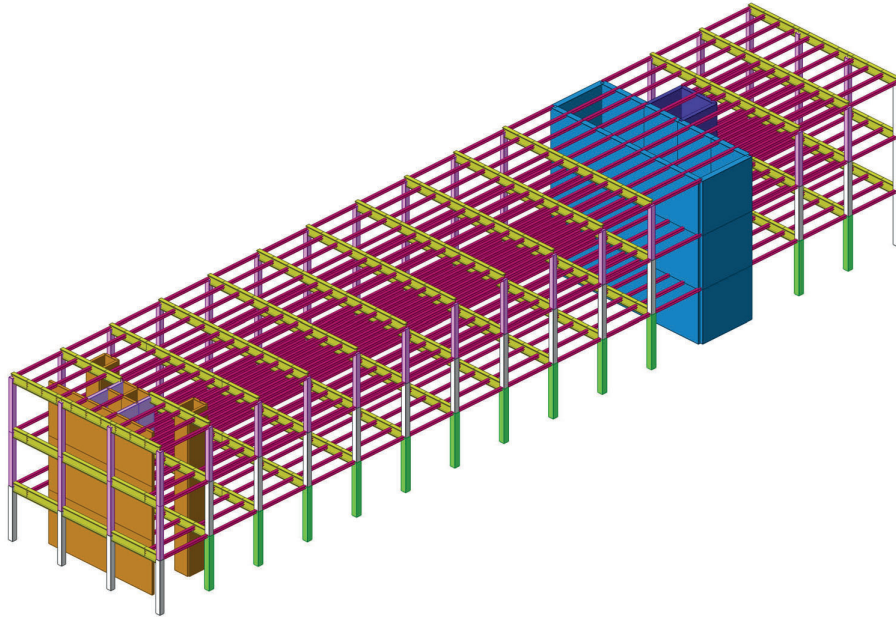
Calcolo della forza di compressione agente

	<b>lato 1 (m)</b>	<b>lato 2 (m)</b>	<b>Ai (m<sup>2</sup>)</b>		
	5	7,5	37,50		
	<b>NEd parz copertura (kN)</b>	<b>NEd parz soletta (kN)</b>	<b>NEd parz (kN)</b>		
	338,1	492,3	1322,7		
	<b>NEd tot (kN)</b>				
	1410,74				
	<b>NEd finale (kN)</b>				
	1670,88				
Caratteristiche pilastro in CA	CLS 25/30				
	<b>fck (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>αcc</b>	<b>γc</b>	<b>fcd (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>fcd (kN/cm<sup>2</sup>)</b>
	25	0,85	1,5	14,17	1,417
	B450				
	<b>fyk (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>fyd (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>fyd (kN/cm<sup>2</sup>)</b>		
	450	391,30	39,13		
Definizione della quantità di materiale	<b>As min (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>As (cm<sup>2</sup>)</b>			
	4,27	4,5			
	<b>Ac min (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Ac (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>lato 1 (cm)</b>	<b>lato 2 (cm)</b>	
	1055,15	2025	45	45	
Verifica di instabilità per elementi snelli	<b>v</b>	<b>Alim</b>			
	0,58	32,76			
	<b>I (cm<sup>4</sup>)</b>	<b>I (cm)</b>	<b>β</b>	<b>i (cm)</b>	<b>10</b>
	341718,75	450	0,7	12,99	315
	<b>λ</b>				
	24,25				

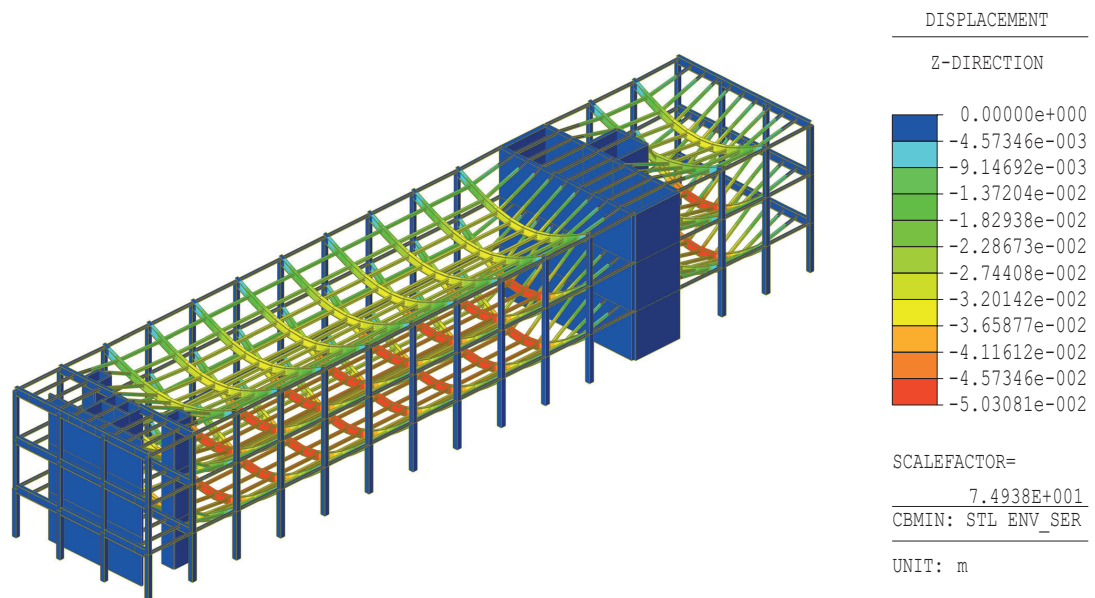
Tabella 14: Dimensionamento della struttura verticale



### 2.4.3 Modellazione Midas e verifiche



Geometria della struttura portante: blocco nord



DEFORMATA dell'abbassamento ( $\delta$ ) - Combinazione di carico: SLE minimo

#### Verifiche

Deformata reale  $T_2'$ :  $\delta = (0,064 - 0,05) \text{ m} = 0,014 \text{ m}$  (1,4 cm)

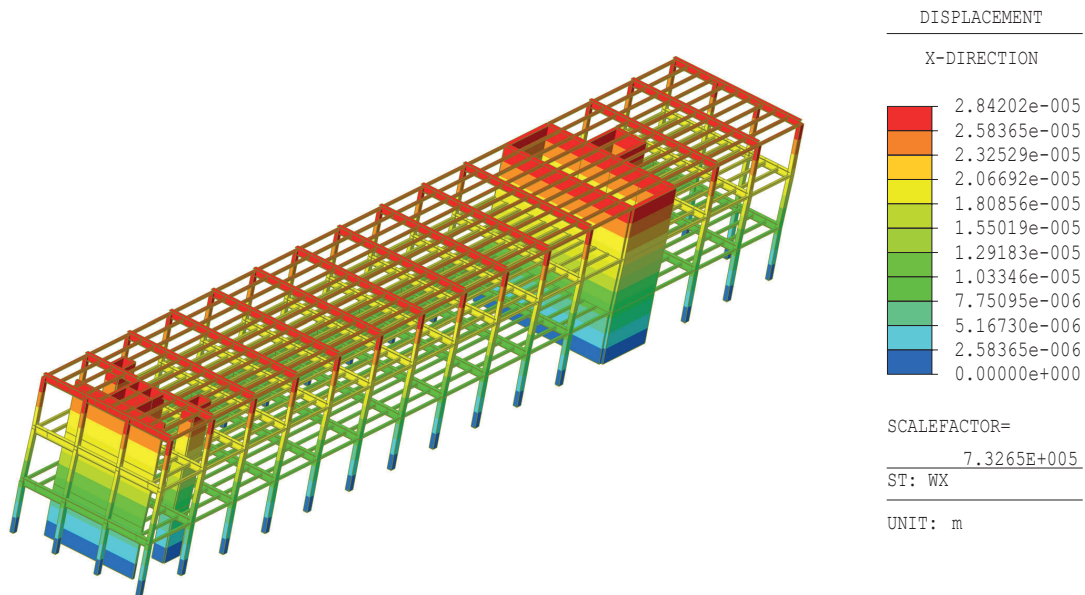
Deformata massima  $T_2'$ :  $\delta_{\max} = L/250 = 5 \text{ m}/250 = 0,02 \text{ m}$  (2 cm)

$\delta < \delta_{\max} \longrightarrow 1,4 \text{ cm} < 2 \text{ cm} \longrightarrow \text{VERIFICATO}$

Deformata reale  $T_1$ :  $\delta = 0,05 \text{ m}$  (5 cm)

Deformata massima  $T_1$ :  $\delta_{\max} = L/250 = 15 \text{ m}/250 = 0,06 \text{ m}$  (6 cm)

$\delta < \delta_{\max} \longrightarrow 5 \text{ cm} < 6 \text{ cm} \longrightarrow \text{VERIFICATO}$



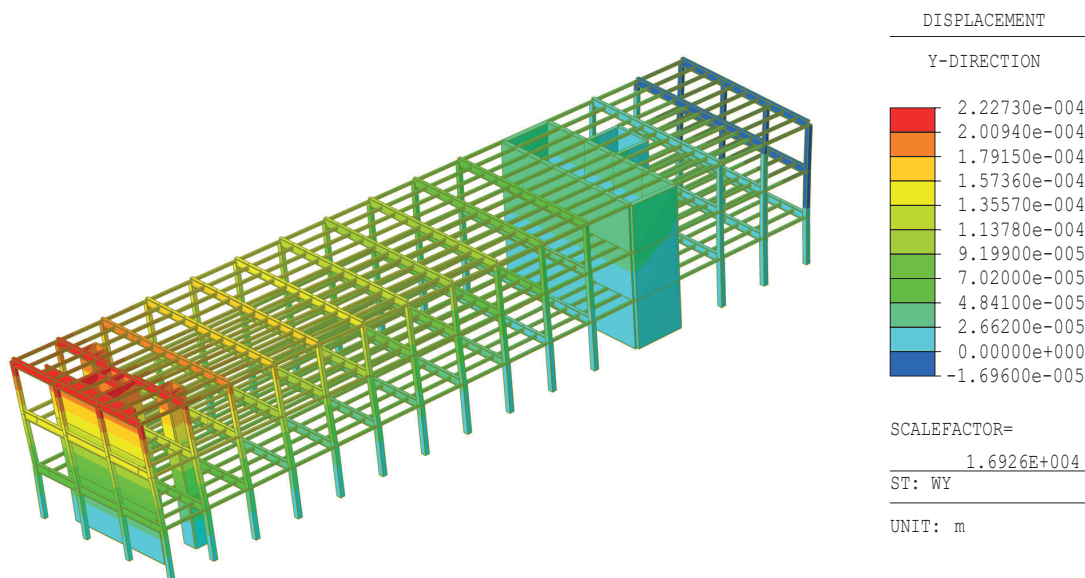
SPOSTAMENTO orizzontale ( $\Delta X$ ) - Combinazione di carico: Vento X

### Verifica

Spostamento reale:  $\Delta X = 0,000028 \text{ m}$  (0,0028 cm)

Deformata massima:  $\Delta X_{\max} = H/500 = 13,50 \text{ m}/500 = 0,027 \text{ m}$  (2,7 cm)

$\Delta X < \Delta X_{\max} \longrightarrow 0,0028 \text{ cm} < 2,7 \text{ cm} \longrightarrow \text{VERIFICATO}$



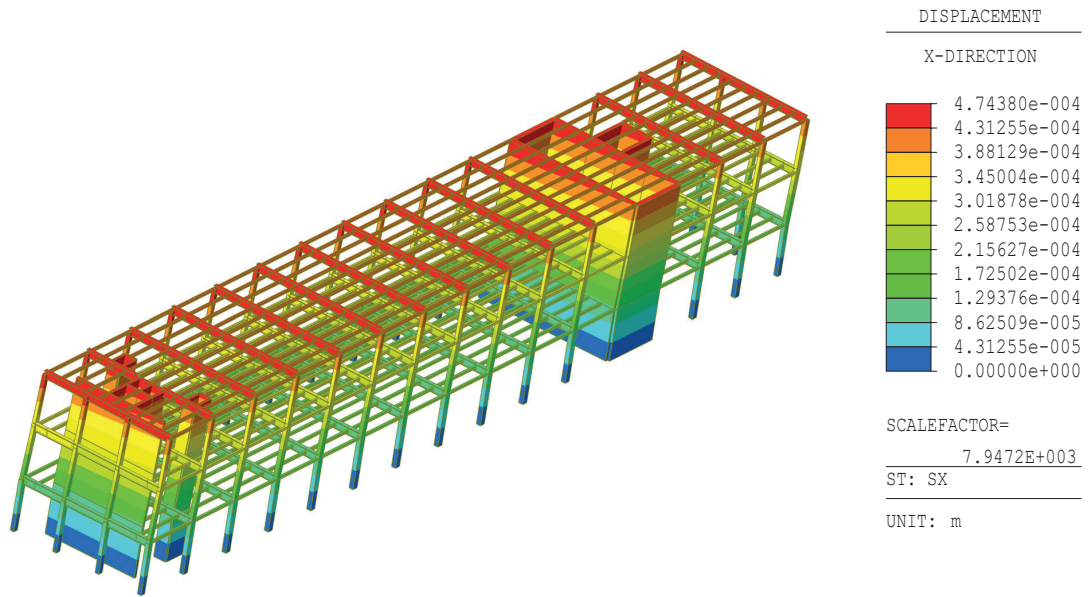
SPOSTAMENTO orizzontale ( $\Delta Y$ ) - Combinazione di carico: Vento Y

### Verifica

Spostamento reale:  $\Delta Y = 0,00022 \text{ m}$  (0,022 cm)

Deformata massima:  $\Delta Y_{\max} = H/500 = 13,50 \text{ m}/500 = 0,027 \text{ m}$  (2,7 cm)

$\Delta Y < \Delta Y_{\max} \longrightarrow 0,022 \text{ cm} < 2,7 \text{ cm} \longrightarrow \text{VERIFICATO}$



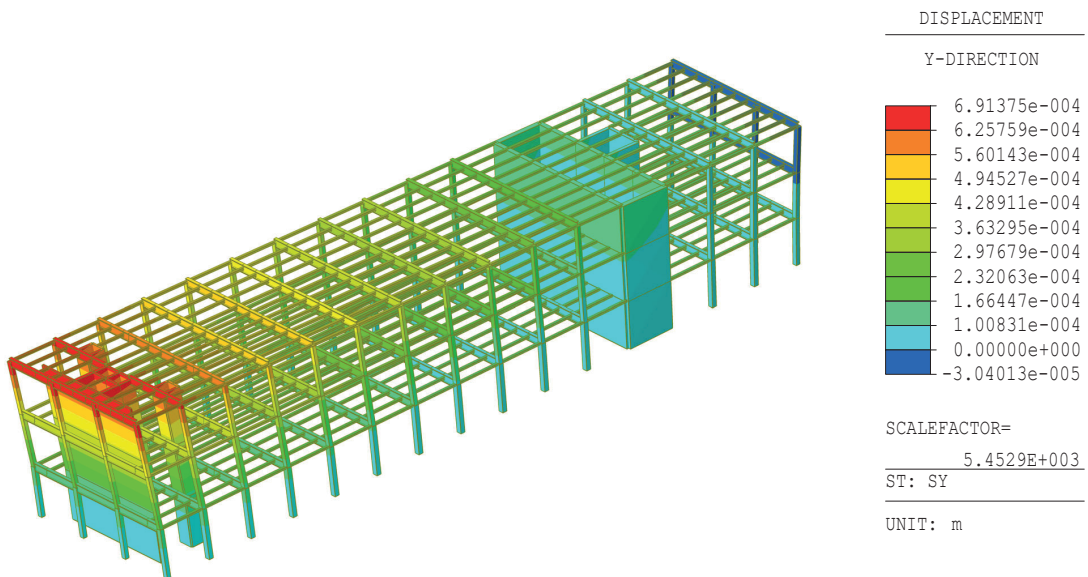
SPOSTAMENTO orizzontale ( $\Delta X$ ) - Combinazione di carico: Sisma X

**Verifica**

Spostamento reale:  $\Delta X = 0,00047 \text{ m}$  (0,047 cm)

Deformata massima:  $\Delta X_{\text{max}} = H/500 = 13,50 \text{ m}/500 = 0,027 \text{ m}$  (2,7 cm)

$\Delta X < \Delta X_{\text{max}} \longrightarrow 0,047 \text{ cm} < 2,7 \text{ cm} \longrightarrow \text{VERIFICATO}$



SPOSTAMENTO orizzontale ( $\Delta Y$ ) - Combinazione di carico: Sisma Y

**Verifica**

Spostamento reale:  $\Delta Y = 0,00069 \text{ m}$  (0,069 cm)

Deformata massima:  $\Delta Y_{\text{max}} = H/500 = 13,50 \text{ m}/500 = 0,027 \text{ m}$  (2,7 cm)

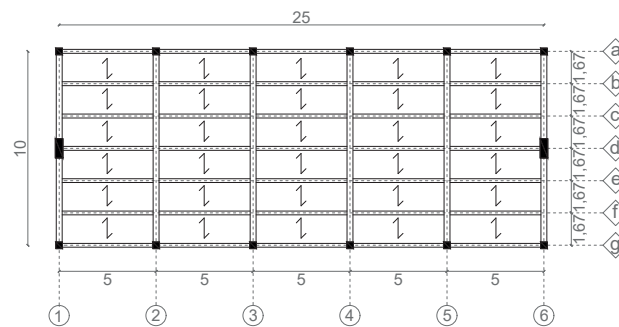
$\Delta Y < \Delta Y_{\text{max}} \longrightarrow 0,069 \text{ cm} < 2,7 \text{ cm} \longrightarrow \text{VERIFICATO}$

## 2.5.1 Struttura

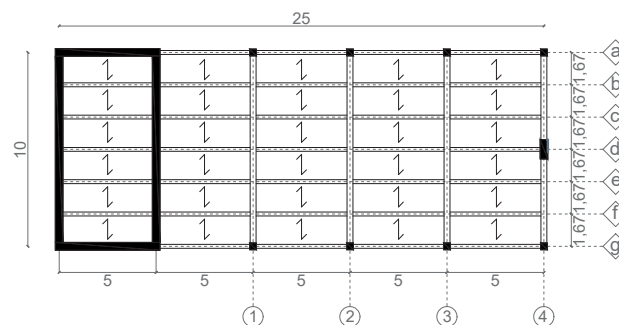
Il blocco sud è l'edificio che contiene gli spazi di ristorazione e relax del centro benessere su tre livelli. Strutturalmente è composto da pilastri e core in c.a. come elementi portanti verticali e da travi principali (S355) e secondarie (S235) in acciaio come orizzontali. Le travi di copertura sono a quote differenti poiché le secondarie sono sopra le principali per mostrare la gerarchia delle strutture, ponendole a vista negli ambienti per il pubblico come il ristorante. I piani inferiori, invece, hanno le travi alle stesse quote.

Riassumendo:

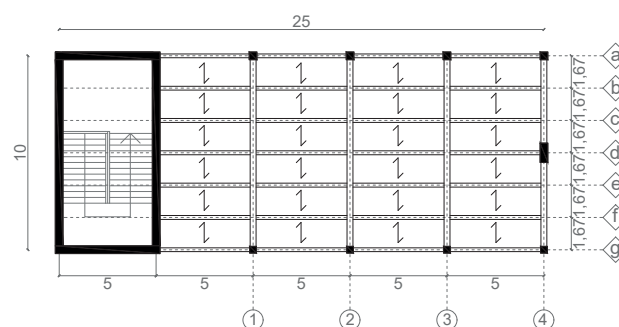
- Pilastri: dimensioni 40x100 cm, 40x40 cm e 35x35 cm, che si rastremano da piano a piano, alti 4,50 m;
- Travi principali: HEM 360, che coprono una luce di 10 m, poste ogni 4,50 m;
- Travi secondarie: HEA 200, che coprono una luce di 5 m, poste ogni 4,50 m, eccetto quelle di copertura.



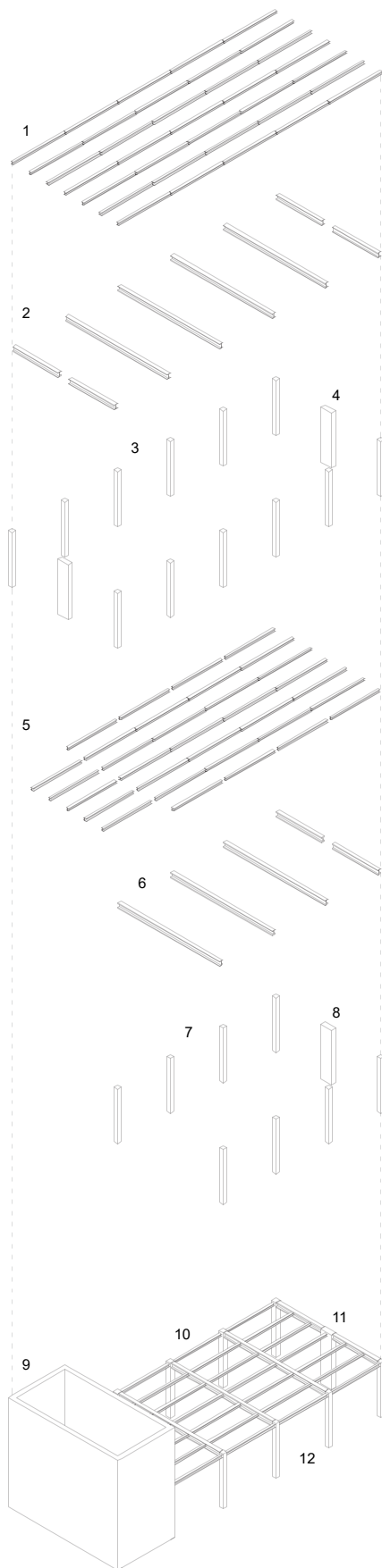
Pianta strutturale copertura livello 0



Pianta strutturale copertura livello -1



Pianta strutturale copertura livello -2



1  
S235  
HEA 200  
13,50 m

2  
S350  
HEM 360  
13,14 m

3  
4  
CLS 25/30  
35x35  
40x100  
cm  
9,00 m

5  
S235  
HEA 200  
9,00 m

6  
S350  
HEM 360  
9,00 m

7  
8  
CLS 25/30  
35x35  
40x100  
cm  
4,50 m

9  
CLS 25/30  
s: 40 cm

10  
11  
12  
CLS 25/30  
40x40  
40x100  
35x35  
cm  
0,00 m

Esploso assonometrico: Blocco Nord

## 2.5.2 Predimensionamento

Dimensionamento copertura							
<b>T2') Trave secondaria generica</b>							
Verifica SLU e SLE							
Analisi dei carichi							
	<b>g1 (kN/m<sup>2</sup>)</b>	<b>g2 (kN/m<sup>2</sup>)</b>	<b>qacc (kN/m<sup>2</sup>)</b>	<b>i (m)</b>	<b>G1 (kN/m)</b>	<b>G2 (kN/m)</b>	<b>Q (kN/m)</b>
Carichi SLU e SLE	1,9	3,43	0,5	1,67	3,173	5,72	0,835
	<b>γG1</b>	<b>γG2</b>	<b>γq</b>	<b>ψ01</b>			
	1,3	1,5	1,5	0,7			
	<b>qSLU (kN/m)</b>						
	13,59						
	<b>qSLE (kN/m)</b>	<b>qSLE (N/m)</b>					
	9,48	9481,592					
HEA 200	<b>fyk (N/mm<sup>2</sup>) [S235]</b>	<b>Wpl (mm<sup>3</sup>)</b>	<b>γM0</b>	<b>Mpl (Nmm)</b>	<b>Mpl (kNm)</b>		
	235	429500	1,05	96126190,48	96,13		
	<b>MEd SLU (kNm)</b>						
	45,2						
	<b>MEd SLE (kNm)</b>						
	31,5						
	<b>η</b>						
	2,13						
	<b>1/η</b>						
	0,47	lavora 47%					
Deformata trave	<b>I (m)</b>	<b>p (Kg/m)</b>	<b>p (kN/m)</b>	<b>I (cm<sup>4</sup>)</b>	<b>I (m<sup>4</sup>)</b>	<b>E (N/m<sup>2</sup>)</b>	
	5	42,3	0,423	3692	0,00003692	2,1E+11	
	<b>fSLE (m)</b>	<b>fSLE (mm)</b>					
	0,0100	9,95					
	<b>fSLE max (mm)</b>						
	20						
Reazioni vincolari	<b>R'SLU (kN)</b>						
	36						
	<b>R'SLE (kN)</b>						
	25,1						
	<b>R'ISLU (kN)</b>						
	37,37						
	<b>R'ISLE (kN)</b>						
	26,16						
<b>T2') Trave secondaria di bordo</b>							
Verifica SLU e SLE							
Analisi dei carichi							
	<b>g1 (kN/m<sup>2</sup>)</b>	<b>g2 (kN/m<sup>2</sup>)</b>	<b>qacc (kN/m<sup>2</sup>)</b>	<b>i (m)</b>	<b>G1 (kN/m)</b>	<b>G2 (kN/m)</b>	<b>Q (kN/m)</b>
Carichi SLU e SLE	1,9	3,43	0,5	0,835	1,5865	2,86	0,4175
	<b>γG1</b>	<b>γG2</b>	<b>γq</b>	<b>ψ01</b>			
	1,3	1,5	1,5	0,7			
	<b>qSLU (kN/m)</b>						
	6,79						
	<b>qSLE (kN/m)</b>	<b>qSLE (N/m)</b>					
	4,74	4740,796					
HEA 200	<b>fyk (N/mm<sup>2</sup>) [S235]</b>	<b>Wpl (mm<sup>3</sup>)</b>	<b>γM0</b>	<b>Mpl (Nmm)</b>	<b>Mpl (kNm)</b>		
	235	429500	1,05	96126190,48	96,13		
	<b>MEd SLU (kNm)</b>						
	22,6						
	<b>MEd SLE (kNm)</b>						
	15,7						
	<b>η</b>						
	4,25						
	<b>1/η</b>						
	0,24	lavora 24%					
Deformata trave	<b>I (m)</b>	<b>p (Kg/m)</b>	<b>p (kN/m)</b>	<b>I (cm<sup>4</sup>)</b>	<b>I (m<sup>4</sup>)</b>	<b>E (N/m<sup>2</sup>)</b>	
	5	42,3	0,423	3692	0,00003692	2,1E+11	
	<b>fSLE (m)</b>	<b>fSLE (mm)</b>					
	0,0050	4,98					
	<b>fSLE max (mm)</b>						
	20						
Reazioni vincolari	<b>R''SLU (kN)</b>						
	18						
	<b>R''SLE (kN)</b>						
	12,5						
	<b>R''ISLU (kN)</b>						
	19,37						
	<b>R''ISLE (kN)</b>						
	13,56						

## T1) Trave principale

## Verifica SLU e SLE

Reazioni vincolari concentrate

n. travi generiche	n. travi di bordo
5	2
RaSLU	RaSLE
74,75	52,32
RbSLU	RbSLE
38,75	27,12
MEd SLU (kNm)	
560,2	
MEd SLE (kNm)	
391,7	

HEM 360

$f_{yk}$ (N/mm <sup>2</sup> ) [S355]	$W_{pl}$ (mm <sup>3</sup> )	$\gamma_{M0}$	Mpl (Nmm)	Mpl (kNm)
355	4989000	1,05	1686757143	1686,76
l (m)	p (Kg/m)	p (kN/m)		
10	250	2,5		
MEd SLU (kNm)				
600,83				
MEd SLE (kNm)				
422,95				
$\eta$				
2,81				
1/ $\eta$				
0,36	lavora 36%			

Tabella 15: Dimensionamento degli elementi di copertura

## Dimensionamento solaio generico

## T2) Trave secondaria generica

## Verifica SLU e SLE

Analisi dei carichi

$g_1$ (kN/m <sup>2</sup> )	$g_2$ (kN/m <sup>2</sup> )	$q_{acc}$ (kN/m <sup>2</sup> )	i (m)	G1 (kN/m)	G2 (kN/m)	Q (kN/m)
1,9	4,20	3	1,67	3,173	7,01	5,01

Carichi SLU e SLE

$\gamma_{G1}$	$\gamma_{G2}$	$\gamma_q$	$\psi_{01}$
1,3	1,5	1,5	0,7
qSLU (kN/m)	qSLE (N/m)		
19,90	13690,66		
qSLE (kN/m)	qSLE (N/m)		
13,69	13690,66		

HEA 200

$f_{yk}$ (N/mm <sup>2</sup> ) [S235]	$W_{pl}$ (mm <sup>3</sup> )	$\gamma_{M0}$	Mpl (Nmm)	Mpl (kNm)
235	429500	1,05	96126190,48	96,13
MEd SLU (kNm)				
62,2				
MEd SLE (kNm)				
42,8				
$\eta$				
1,55				
1/ $\eta$				
0,65	lavora 65%			

Deformata trave

l (m)	p (Kg/m)	p (kN/m)	I (cm <sup>4</sup> )	I (m <sup>4</sup> )	E (N/m <sup>2</sup> )
5	42,3	0,423	3692	0,00003692	2,1E+11
fSLE (m)	fSLE (mm)				
0,0144	14,37				
fSLE max (mm)					
20					

Reazioni vincolari

R'SLU (kN)
49,7
R'SLE (kN)
34,2
R'1SLU (kN)
51,07
R'1SLE (kN)
35,26

T2') Trave secondaria di bordo							
Verifica SLU e SLE							
Analisi dei carichi							
	<b>g1 (kN/m<sup>2</sup>)</b>	<b>g2 (kN/m<sup>2</sup>)</b>	<b>qacc (kN/m<sup>2</sup>)</b>	<b>i (m)</b>	<b>G1 (kN/m)</b>	<b>G2 (kN/m)</b>	<b>Q (kN/m)</b>
Carichi SLU e SLE	1,9	2,20	3	0,835	1,5865	7,40	2,505
	<b>γG1</b>	<b>γG2</b>	<b>γq</b>	<b>ψ01</b>			
	1,3	1,5	1,5	0,7			
	<b>qSLU (kN/m)</b>						
	15,79						
	<b>qSLE (kN/m)</b>	<b>qSLE (N/m)</b>					
	10,74	10739,37					
HEA 200	<b>fyk (N/mm<sup>2</sup>) [S235]</b>	<b>Wpl (mm<sup>3</sup>)</b>	<b>γM0</b>	<b>Mpl (Nmm)</b>	<b>Mpl (kNm)</b>		
	235	429500	1,05	96126190,48	96,13		
	<b>MEd SLU (kNm)</b>						
	49,3						
	<b>MEd SLE (kNm)</b>						
	33,6						
	<b>η</b>						
	1,95						
	<b>1/η</b>						
	0,51	lavora 51%					
Deformata trave	<b>l (m)</b>	<b>p (Kg/m)</b>	<b>p (kN/m)</b>	<b>I (cm<sup>4</sup>)</b>	<b>I (m<sup>4</sup>)</b>	<b>E (N/m<sup>2</sup>)</b>	
	5	42,3	0,423	3692	0,00003692	2,1E+11	
	<b>fSLE (m)</b>	<b>fSLE (mm)</b>					
	0,0113	11,27					
	<b>fSLE max (mm)</b>						
	20						
Reazioni vincolari	<b>R'SLU (kN)</b>						
	39,5						
	<b>R'SLE (kN)</b>						
	26,8						
	<b>R''SLU (kN)</b>						
	40,87						
	<b>R''SLE (kN)</b>						
	27,86						
T1) Trave principale							
Verifica SLU e SLE							
Reazioni vincolari concentrate							
	<b>n. travi generiche</b>	<b>n. travi di bordo</b>					
	5	2					
	<b>RaSLU</b>	<b>RaSLE</b>					
	102,15	70,52					
	<b>RbSLU</b>	<b>RbSLE</b>					
	81,75	55,72					
	<b>MEd SLU (kNm)</b>						
	765,5						
	<b>MEd SLE (kNm)</b>						
	528						
HEM 360	<b>fyk (N/mm<sup>2</sup>) [S355]</b>	<b>Wpl (mm<sup>3</sup>)</b>	<b>γM0</b>	<b>Mpl (Nmm)</b>	<b>Mpl (kNm)</b>		
	355	4989000	1,05	1686757143	1686,76		
	<b>l (m)</b>	<b>p (Kg/m)</b>	<b>p (kN/m)</b>				
	10	250	2,5				
	<b>MEd SLU (kNm)</b>						
	806,13						
	<b>MEd SLE (kNm)</b>						
	559,25						
	<b>η</b>						
	2,09						
	<b>1/η</b>						
	0,48	lavora 48%					

Tabella 16: Dimensionamento degli elementi del solaio generico



## Dimensionamento struttura verticale

**P1) Pilastro caricato da copertura  
(esterno/interno livello 0)**

Calcolo della forza di compressione agente

lato 1 (m)	lato 2 (m)	Ai (m <sup>2</sup> )
5	5	25,00
NEd parz copertura (kN)		
226,2		
NEd finale (kN)		
242,45		

Caratteristiche pilastro in CA

CLS 25/30				
fck (N/mm <sup>2</sup> )	acc	γc	fcd (N/mm <sup>2</sup> )	fcd (kN/cm <sup>2</sup> )
25	0,85	1,5	14,17	1,417
B450				
fyk (N/mm <sup>2</sup> )	fyd (N/mm <sup>2</sup> )	fyd (kN/cm <sup>2</sup> )		
450	391,30	39,13		

Definizione della quantità di materiale

As min (cm <sup>2</sup> )	As (cm <sup>2</sup> )		
0,62	1		
Ac min (cm <sup>2</sup> )	Ac (cm <sup>2</sup> )	lato 1 (cm)	lato 2 (cm)
143,52	1225	35	35

Verifica di instabilità per elementi snelli

v	λlim			
0,14	66,89			
I (cm <sup>4</sup> )	L (cm)	β	i (cm)	10
125052,08	450	0,7	10,10	315
λ				
31,18				

**P2) Pilastro caricato da copertura e soletta  
generica (livello -1)**

Calcolo della forza di compressione agente

lato 1 (m)	lato 2 (m)	Ai (m <sup>2</sup> )
5	5	25,00
NEd parz copertura (kN)	NEd parz soletta (kN)	NEd parz (kN)
226,2	337,8	564
NEd finale (kN)		
596,50		

Caratteristiche pilastro in CA

CLS 25/30				
fck (N/mm <sup>2</sup> )	acc	γc	fcd (N/mm <sup>2</sup> )	fcd (kN/cm <sup>2</sup> )
25	0,85	1,5	14,17	1,417
B450				
fyk (N/mm <sup>2</sup> )	fyd (N/mm <sup>2</sup> )	fyd (kN/cm <sup>2</sup> )		
450	391,30	39,13		

Definizione della quantità di materiale

As min (cm <sup>2</sup> )	As (cm <sup>2</sup> )		
1,52	2		
Ac min (cm <sup>2</sup> )	Ac (cm <sup>2</sup> )	lato 1 (cm)	lato 2 (cm)
365,82	1225	35	35

Verifica di instabilità per elementi snelli

v	λlim			
0,34	42,64			
I (cm <sup>4</sup> )	L (cm)	β	i (cm)	10
125052,08	450	0,7	10,10	315
λ				
31,18				

**P3) Pilastro caricato da copertura, soletta  
generica e corridoio (livello -1)**

Calcolo della forza di compressione agente

lato 1 (m)	lato 2 (m)	Ai (m <sup>2</sup> )
5	5	25,00
NEd parz copertura (kN)	NEd parz soletta (kN)	NEd parz (kN)
226,2	337,8	564
NEd tot (kN)		
596,50		
NEd finale (kN)		
856,64		

Caratteristiche pilastro in CA

CLS 25/30				
fck (N/mm <sup>2</sup> )	acc	γc	fcd (N/mm <sup>2</sup> )	fcd (kN/cm <sup>2</sup> )
25	0,85	1,5	14,17	1,417
B450				
fyk (N/mm <sup>2</sup> )	fyd (N/mm <sup>2</sup> )	fyd (kN/cm <sup>2</sup> )		
450	391,30	39,13		

Definizione della quantità di materiale

As min (cm <sup>2</sup> )	As (cm <sup>2</sup> )		
2,19	3,5		
Ac min (cm <sup>2</sup> )	Ac (cm <sup>2</sup> )	lato 1 (cm)	lato 2 (cm)
508,01	1225	35	35

Verifica di instabilità per elementi snelli

v	λlim			
0,49	35,58			
I (cm <sup>4</sup> )	L (cm)	β	i (cm)	10
125052,08	450	0,7	10,10	315
λ				
31,18				

**P4) Pilastro caricato da copertura e soletta generica (livello -2)**

Calcolo della forza di compressione agente

lato 1 (m)	lato 2 (m)	Ai (m <sup>2</sup> )
5	5	25,00
<b>NEd parz copertura (kN)</b>	<b>NEd parz soletta (kN)</b>	<b>NEd parz (kN)</b>
226,2	337,8	901,8
<b>NEd finale (kN)</b>		
950,55		

Caratteristiche pilastro in CA

CLS 25/30		$\alpha_{cc}$	$\gamma_c$	$f_{cd}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$f_{cd}$ (kN/cm <sup>2</sup> )
<b>fck (N/mm<sup>2</sup>)</b>	25	0,85	1,5	14,17	1,417
B450					
<b>f<sub>yk</sub> (N/mm<sup>2</sup>)</b>	450	<b>f<sub>yd</sub> (N/mm<sup>2</sup>)</b>	391,30	<b>f<sub>yd</sub> (kN/cm<sup>2</sup>)</b>	39,13

Definizione della quantità di materiale

<b>As min (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>As (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>lato 1 (cm)</b>	<b>lato 2 (cm)</b>
2,43	3	35	35
<b>Ac min (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Ac (cm<sup>2</sup>)</b>		
588,11	1225		

Verifica di instabilità per elementi snelli

$v$	$\lambda_{lim}$	$\beta$	$i$ (cm)	$l_0$
0,55	33,78			
<b>I (cm<sup>4</sup>)</b>	<b>L (cm)</b>			
125052,08	450	0,7	10,10	315
$\lambda$				
31,18				

**P5) Pilastro caricato da copertura, soletta generica e corridoio (livello -2)**

Calcolo della forza di compressione agente

lato 1 (m)	lato 2 (m)	Ai (m <sup>2</sup> )
5	5	25,00
<b>NEd parz copertura (kN)</b>	<b>NEd parz soletta (kN)</b>	<b>NEd parz (kN)</b>
226,2	337,8	901,8
<b>NEd tot (kN)</b>		
950,55		
<b>NEd finale (kN)</b>		
1210,69		

Caratteristiche pilastro in CA

CLS 25/30		$\alpha_{cc}$	$\gamma_c$	$f_{cd}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$f_{cd}$ (kN/cm <sup>2</sup> )
<b>fck (N/mm<sup>2</sup>)</b>	25	0,85	1,5	14,17	1,417
B450					
<b>f<sub>yk</sub> (N/mm<sup>2</sup>)</b>	450	<b>f<sub>yd</sub> (N/mm<sup>2</sup>)</b>	391,30	<b>f<sub>yd</sub> (kN/cm<sup>2</sup>)</b>	39,13

Definizione della quantità di materiale

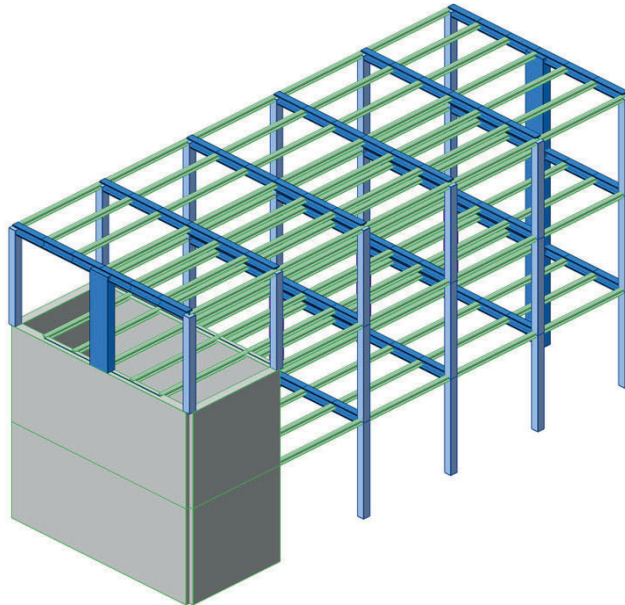
<b>As min (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>As (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>lato 1 (cm)</b>	<b>lato 2 (cm)</b>
3,09	4	40	40
<b>Ac min (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Ac (cm<sup>2</sup>)</b>		
744,12	1600		

Verifica di instabilità per elementi snelli

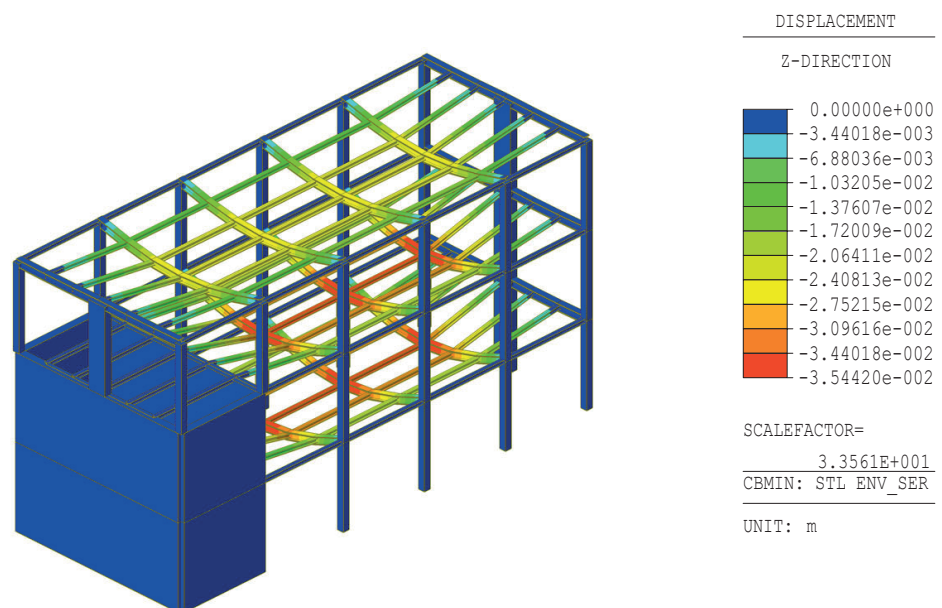
$v$	$\lambda_{lim}$	$\beta$	$i$ (cm)	$l_0$
0,53	34,21			
<b>I (cm<sup>4</sup>)</b>	<b>L (cm)</b>			
213333,33	450	0,7	11,55	315
$\lambda$				
27,28				

Tabella 17: Dimensionamento della struttura verticale

### 2.5.3 Modellazione Midas e verifiche



Geometria della struttura portante: blocco nord



DEFORMATA dell'abbassamento ( $\delta$ ) - Combinazione di carico: SLE minimo

#### Verifiche

Deformata reale  $T_2'$ :  $\delta = (0,051 - 0,035) \text{ m} = 0,016 \text{ m} (1,6 \text{ cm})$

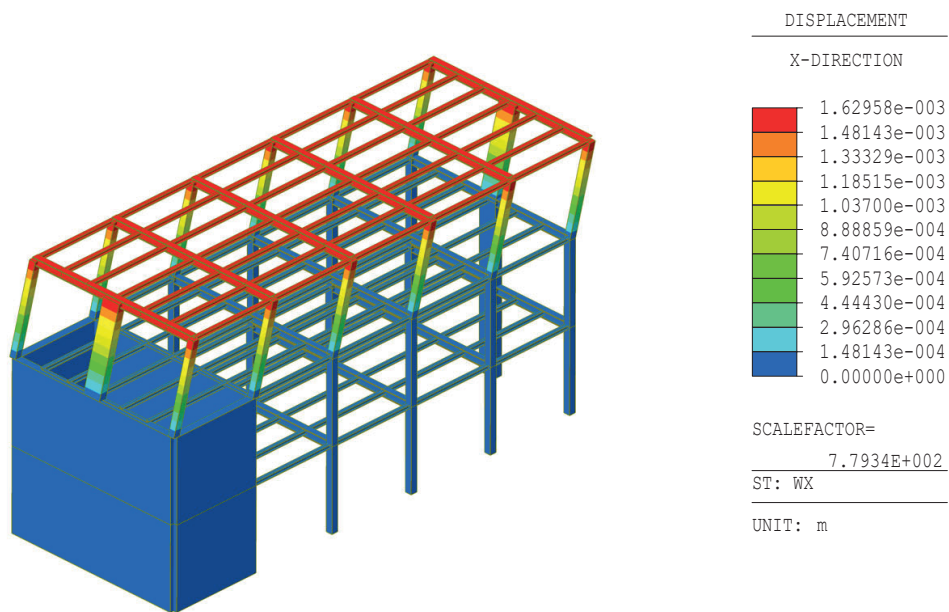
Deformata massima  $T_2'$ :  $\delta_{\max} = L/250 = 5 \text{ m}/250 = 0,02 \text{ m} (2 \text{ cm})$

$\delta < \delta_{\max} \longrightarrow 1,6 \text{ cm} < 2 \text{ cm} \longrightarrow \text{VERIFICATO}$

Deformata reale  $T_1$ :  $\delta = 0,035 \text{ m} (3,5 \text{ cm})$

Deformata massima  $T_1$ :  $\delta_{\max} = L/250 = 10 \text{ m}/250 = 0,04 \text{ m} (4 \text{ cm})$

$\delta < \delta_{\max} \longrightarrow 3,5 \text{ cm} < 4 \text{ cm} \longrightarrow \text{VERIFICATO}$



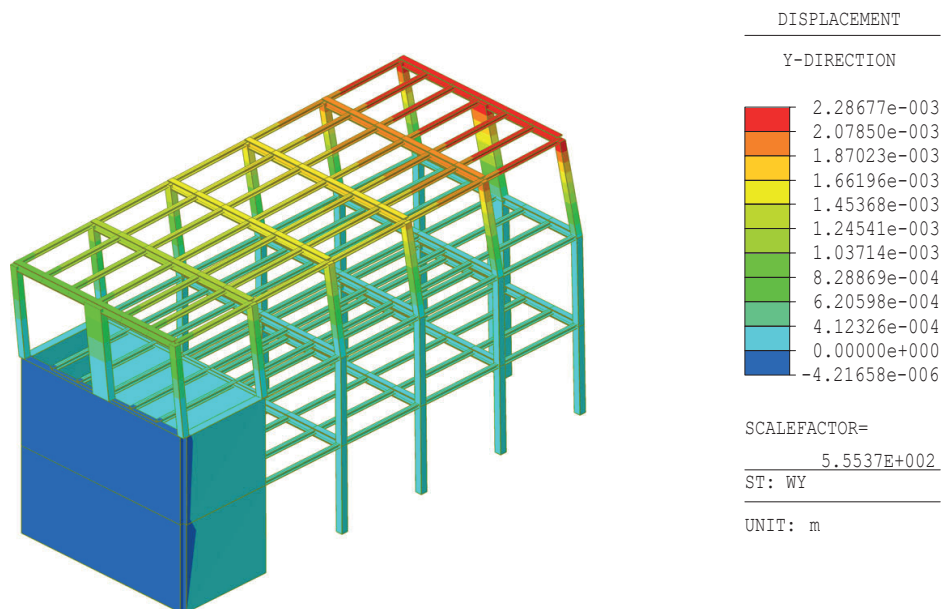
SPOSTAMENTO orizzontale ( $\Delta X$ ) - Combinazione di carico: Vento X

### Verifica

Spostamento reale:  $\Delta X = 0,0016$  m (0,16 cm)

Deformata massima:  $\Delta X_{\max} = H/500 = 13,50$  m/500 = 0,027 m (2,7 cm)

$\Delta X < \Delta X_{\max} \longrightarrow 0,16$  cm < 2,7 cm  $\longrightarrow$  VERIFICATO



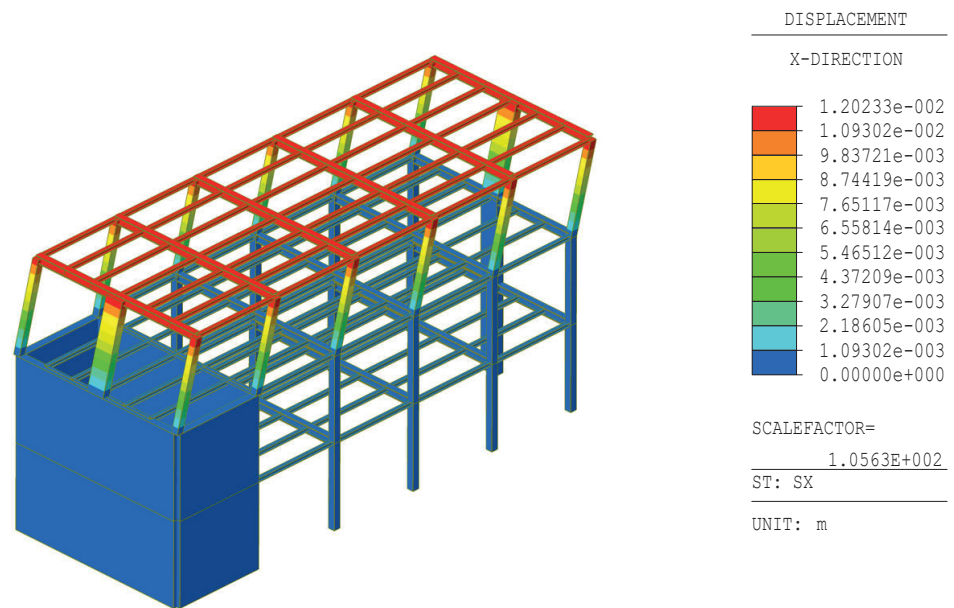
SPOSTAMENTO orizzontale ( $\Delta Y$ ) - Combinazione di carico: Vento Y

### Verifica

Spostamento reale:  $\Delta Y = 0,0023$  m (0,23 cm)

Deformata massima:  $\Delta Y_{\max} = H/500 = 13,50$  m/500 = 0,027 m (2,7 cm)

$\Delta Y < \Delta Y_{\max} \longrightarrow 0,23$  cm < 2,7 cm  $\longrightarrow$  VERIFICATO



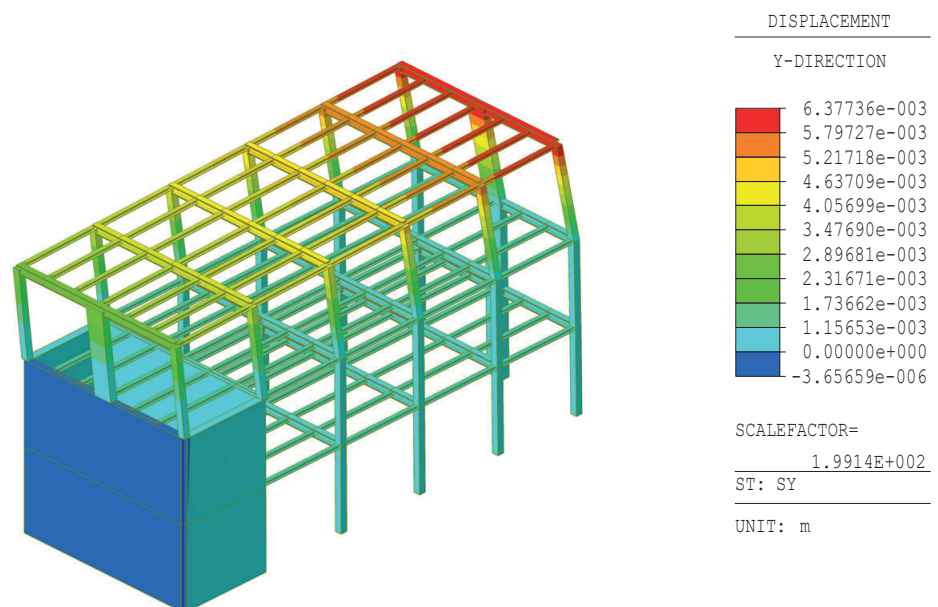
SPOSTAMENTO orizzontale ( $\Delta X$ ) - Combinazione di carico: Sisma X

### Verifica

Spostamento reale:  $\Delta X = 0,012$  m (1,2 cm)

Deformata massima:  $\Delta X_{\max} = H/500 = 13,50$  m/500 = 0,027 m (2,7 cm)

$\Delta X < \Delta X_{\max} \longrightarrow 1,2$  cm < 2,7 cm  $\longrightarrow$  VERIFICATO



SPOSTAMENTO orizzontale ( $\Delta Y$ ) - Combinazione di carico: Sisma Y

### Verifica

Spostamento reale:  $\Delta Y = 0,0063$  m (0,63 cm)

Deformata massima:  $\Delta Y_{\max} = H/500 = 13,50$  m/500 = 0,027 m (2,7 cm)

$\Delta Y < \Delta Y_{\max} \longrightarrow 0,63$  cm < 2,7 cm  $\longrightarrow$  VERIFICATO

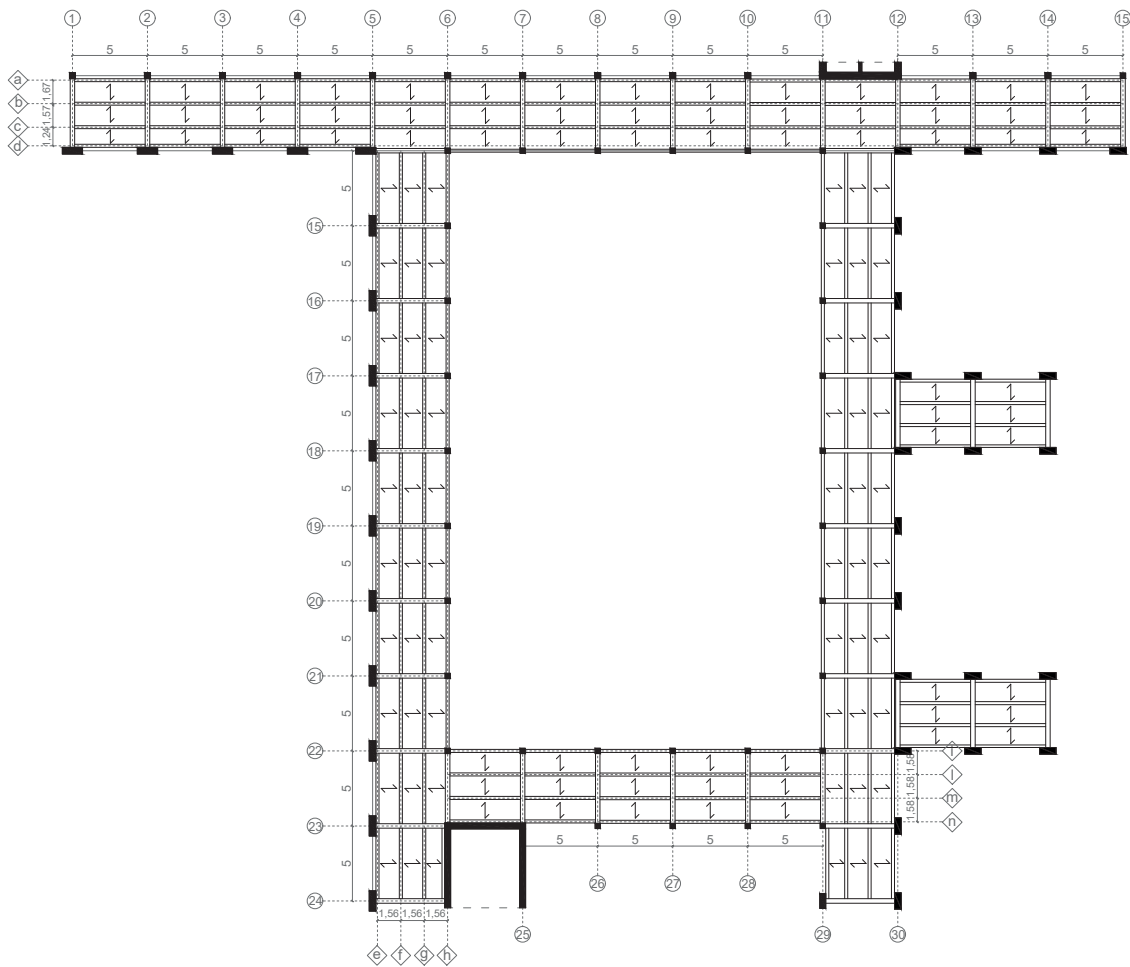
## 2.6.1 Struttura

Il corridoio è lo spazio di distribuzione che collega i singoli blocchi nel centro termale. Al livello 0 è un camminamento all'aperto, mentre ai livelli -1 e -2 è al chiuso. Strutturalmente funziona come un corpo indipendente grazie ad un giunto strutturale a sella così che le travi principali si appoggiano sui pilastri degli edifici, senza però essere sismicamente legati. È composto da travi principali e secondarie in acciaio (S235) come struttura portante orizzontale.

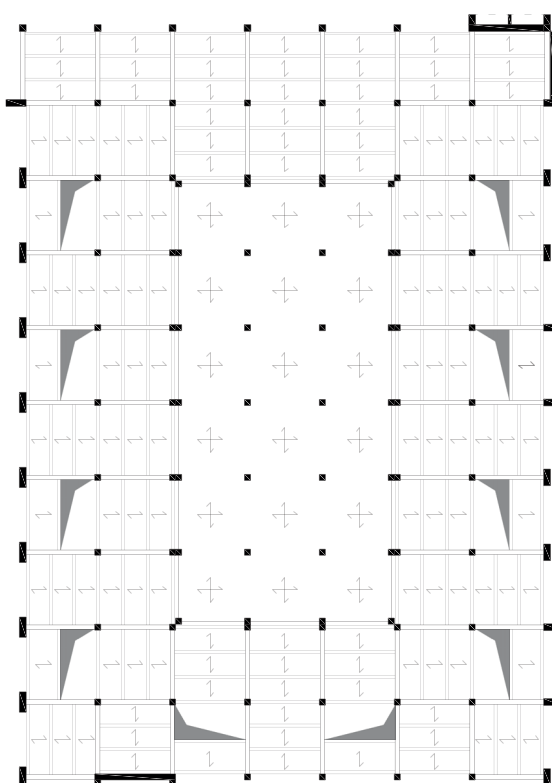
Il locale tecnico, posto sotto la corte, ha come elemento orizzontale una piastra in c.a. che è stata dimensionata attraverso il programma Midas Gen, considerando anche il peso dell'acqua delle piscine.

Riassumendo:

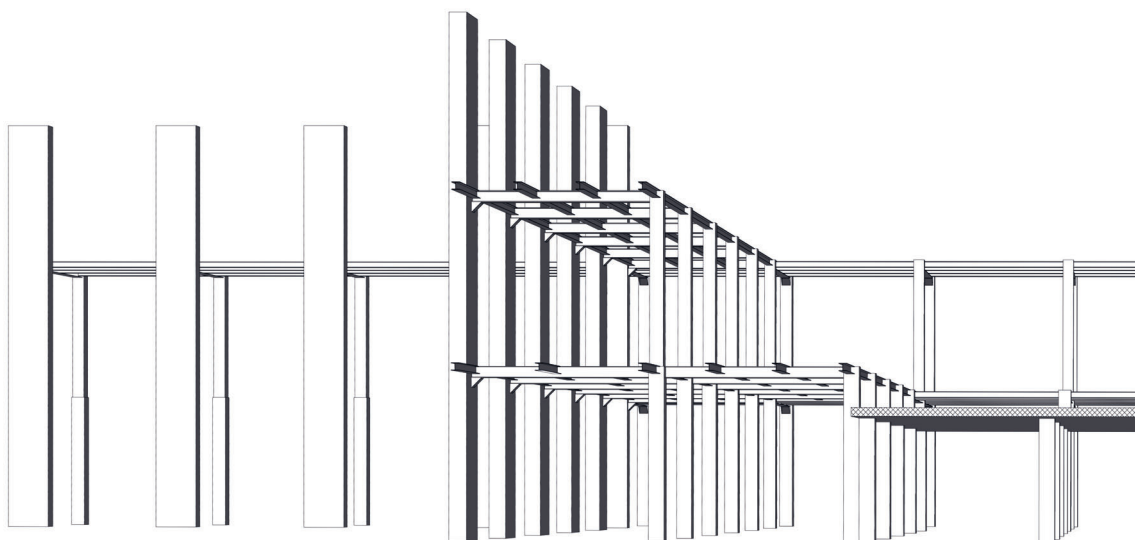
- Giunto di scorrimento a sella: tassellata in acciaio con l'appoggio di 250 mm a 45° e i bulloni saldati che servono per il serraggio;
- Travi principali: HEA 300, che coprono una luce di 5 m, poste ogni 4,50 m;
- Travi secondarie: HEA 200, che coprono una luce di 5 m, poste ogni 4,50 m;
- Piastra: dimensioni 29x14 m e spessore 20 cm.



Pianta strutturale copertura livello -1



Pianta strutturale copertura livello -2



Sezione prospettica del corridoio (viene riportata metà sezione per mostrare il comportamento generale della struttura, dove le travi principali sono appoggiate al giunto strutturale a sella a sua volta saldato ai pilastri dei blocchi, che funziona in ugual modo su tutti i lati)

## 2.6.2 Predimensionamento

Dimensionamento copertura							
<b>T2') Trave secondaria generica</b>							
Verifica SLU e SLE							
Analisi dei carichi							
	<b>g1 (kN/m<sup>2</sup>)</b>	<b>g2 (kN/m<sup>2</sup>)</b>	<b>qacc (kN/m<sup>2</sup>)</b>	<b>i (m)</b>	<b>G1 (kN/m)</b>	<b>G2 (kN/m)</b>	<b>Q (kN/m)</b>
Carichi SLU e SLE	1,9	2,63	4	1,56	2,964	4,11	6,24
	<b>γG1</b>	<b>γG2</b>	<b>γq</b>	<b>ψ01</b>			
	1,3	1,5	1,5	0,7			
	<b>qSLU (kN/m)</b>						
	16,57						
	<b>qSLE (kN/m)</b>	<b>qSLE (N/m)</b>					
	11,44	11441,04					
HEA 200	<b>fyk (N/mm<sup>2</sup>) [S235]</b>	<b>Wpl (mm<sup>3</sup>)</b>	<b>γM0</b>	<b>Mpl (Nmm)</b>	<b>Mpl (kNm)</b>		
	235	429500	1,05	96126190,48	96,13		
	<b>MEd SLU (kNm)</b>						
	52,6						
	<b>MEd SLE (kNm)</b>						
	36,3						
	<b>η</b>						
	1,83						
	<b>1/η</b>						
	0,55	lavora 55%					
Deformata trave	<b>l (m)</b>	<b>p (Kg/m)</b>	<b>p (kN/m)</b>	<b>I (cm<sup>4</sup>)</b>	<b>I (m<sup>4</sup>)</b>	<b>E (N/m<sup>2</sup>)</b>	
	5	42,3	0,423	3692	0,00003692	2,1E+11	
	<b>fSLE (m)</b>	<b>fSLE (mm)</b>					
	0,0120	12,01					
	<b>fSLE max (mm)</b>						
	20						
Reazioni vincolari	<b>R'SLU (kN)</b>						
	41,9						
	<b>R'SLE (kN)</b>						
	28,9						
	<b>R'1SLU (kN)</b>						
	43,27						
	<b>R'1SLE (kN)</b>						
	29,96						
<b>T2'') Trave secondaria di bordo</b>							
Verifica SLU e SLE							
Analisi dei carichi							
	<b>g1 (kN/m<sup>2</sup>)</b>	<b>g2 (kN/m<sup>2</sup>)</b>	<b>qacc (kN/m<sup>2</sup>)</b>	<b>i (m)</b>	<b>G1 (kN/m)</b>	<b>G2 (kN/m)</b>	<b>Q (kN/m)</b>
Carichi SLU e SLE	1,9	2,63	4	0,78	1,482	2,05	3,12
	<b>γG1</b>	<b>γG2</b>	<b>γq</b>	<b>ψ01</b>			
	1,3	1,5	1,5	0,7			
	<b>qSLU (kN/m)</b>						
	8,28						
	<b>qSLE (kN/m)</b>	<b>qSLE (N/m)</b>					
	5,72	5720,52					
HEA 200	<b>fyk (N/mm<sup>2</sup>) [S235]</b>	<b>Wpl (mm<sup>3</sup>)</b>	<b>γM0</b>	<b>Mpl (Nmm)</b>	<b>Mpl (kNm)</b>		
	235	429500	1,05	96126190,48	96,13		
	<b>MEd SLU (kNm)</b>						
	26,3						
	<b>MEd SLE (kNm)</b>						
	18,2						
	<b>η</b>						
	3,65						
	<b>1/η</b>						
	0,27	lavora 27%					
Deformata trave	<b>l (m)</b>	<b>p (Kg/m)</b>	<b>p (kN/m)</b>	<b>I (cm<sup>4</sup>)</b>	<b>I (m<sup>4</sup>)</b>	<b>E (N/m<sup>2</sup>)</b>	
	5	42,3	0,423	3692	0,00003692	2,1E+11	
	<b>fSLE (m)</b>	<b>fSLE (mm)</b>					
	0,0060	6,00					
	<b>fSLE max (mm)</b>						
	20						
Reazioni vincolari	<b>R''SLU (kN)</b>						
	20,9						
	<b>R''SLE (kN)</b>						
	14,5						
	<b>R''1SLU (kN)</b>						
	22,27						
	<b>R''1SLE (kN)</b>						
	15,56						



## T1) Trave principale

## Verifica SLU e SLE

Reazioni vincolari concentrate

	n. travi generiche	n. travi di bordo			
	2	2			
	RaSLU	RaSLE			
	86,55	59,92			
	RbSLU	RbSLE			
	44,55	31,12			
	MEd SLU (kNm)				
	161,9				
	MEd SLE (kNm)				
	112				
HEA 300	<b>fyk (N/mm<sup>2</sup>) [S235]</b>	<b>Wpl (mm<sup>3</sup>)</b>	<b>γM0</b>	<b>Mpl (Nmm)</b>	<b>Mpl (kNm)</b>
	235	1383000	1,05	309528571,4	309,53
	<b>I (m)</b>	<b>p (Kg/m)</b>	<b>p (kN/m)</b>		
	5	88,3	0,883		
	MEd SLU (kNm)				
	165,49				
	MEd SLE (kNm)				
	114,76				
	<b>η</b>				
	1,87				
	<b>1/η</b>				
	0,53	lavora 53%			

Tabella 18: Dimensionamento degli elementi di copertura

## Dimensionamento solaio generico

## T2') Trave secondaria generica

## Verifica SLU e SLE

Analisi dei carichi

	<b>g1 (kN/m<sup>2</sup>)</b>	<b>g2 (kN/m<sup>2</sup>)</b>	<b>qacc (kN/m<sup>2</sup>)</b>	<b>i (m)</b>	<b>G1 (kN/m)</b>	<b>G2 (kN/m)</b>	<b>Q (kN/m)</b>
	1,9	2,20	4	1,56	2,964	3,43	6,24
Carichi SLU e SLE	<b>γG1</b>	<b>γG2</b>	<b>γq</b>	<b>ψ01</b>			
	1,3	1,5	1,5	0,7			
	<b>qSLU (kN/m)</b>						
	15,55						
	<b>qSLE (kN/m)</b>	<b>qSLE (N/m)</b>					
	10,76	10760,88					
HEA 200	<b>fyk (N/mm<sup>2</sup>) [S235]</b>	<b>Wpl (mm<sup>3</sup>)</b>	<b>γM0</b>	<b>Mpl (Nmm)</b>	<b>Mpl (kNm)</b>		
	235	429500	1,05	96126190,48	96,13		
	MEd SLU (kNm)						
	49,3						
	MEd SLE (kNm)						
	34,1						
	<b>η</b>						
	1,95						
	<b>1/η</b>						
	0,51	lavora 51%					
Deformata trave	<b>I (m)</b>	<b>p (Kg/m)</b>	<b>p (kN/m)</b>	<b>I (cm<sup>4</sup>)</b>	<b>I (m<sup>4</sup>)</b>	<b>E (N/m<sup>2</sup>)</b>	
	5	42,3	0,423	3692	0,00003692	2,1E+11	
	<b>fSLE (m)</b>	<b>fSLE (mm)</b>					
	0,0113	11,29					
	<b>fSLE max (mm)</b>						
	20						
Reazioni vincolari	<b>R'SLU (kN)</b>						
	39,3						
	<b>R'SLE (kN)</b>						
	27,2						
	<b>R'ISLU (kN)</b>						
	40,67						
	<b>R'ISLE (kN)</b>						
	28,26						

T2") Trave secondaria di bordo							
Verifica SLU e SLE							
Analisi dei carichi							
	<b>g1 (kN/m<sup>2</sup>)</b>	<b>g2 (kN/m<sup>2</sup>)</b>	<b>qacc (kN/m<sup>2</sup>)</b>	<b>i (m)</b>	<b>G1 (kN/m)</b>	<b>G2 (kN/m)</b>	<b>Q (kN/m)</b>
Carichi SLU e SLE	1,9	2,20	4	0,78	1,482	1,71	3,12
	<b>γG1</b>	<b>γG2</b>	<b>γq</b>	<b>ψ01</b>			
	1,3	1,5	1,5	0,7			
	<b>qSLU (kN/m)</b>						
	7,77						
	<b>qSLE (kN/m)</b>	<b>qSLE (N/m)</b>					
	5,38	5380,44					
HEA 200	<b>fyk (N/mm<sup>2</sup>) [S235]</b>	<b>Wpl (mm<sup>3</sup>)</b>	<b>γM0</b>	<b>Mpl (Nmm)</b>	<b>Mpl (kNm)</b>		
	235	429500	1,05	96126190,48	96,13		
	<b>MEd SLU (kNm)</b>						
	24,7						
	<b>MEd SLE (kNm)</b>						
	17,1						
	<b>η</b>						
	3,89						
	<b>1/η</b>						
	0,26	lavora 26%					
Deformata trave	<b>l (m)</b>	<b>p (Kg/m)</b>	<b>p (kN/m)</b>	<b>I (cm<sup>4</sup>)</b>	<b>I (m<sup>4</sup>)</b>	<b>E (N/m<sup>2</sup>)</b>	
	5	42,3	0,423	3692	0,00003692	2,1E+11	
	<b>fSLE (m)</b>	<b>fSLE (mm)</b>					
	0,0056	5,65					
	<b>fSLE max (mm)</b>						
	20						
Reazioni vincolari	<b>R'SLU (kN)</b>						
	19,6						
	<b>R'SLE (kN)</b>						
	13,6						
	<b>R''SLU (kN)</b>						
	20,97						
	<b>R''SLE (kN)</b>						
	14,66						
T1) Trave principale							
Verifica SLU e SLE							
Reazioni vincolari concentrate							
	<b>n. travi generiche</b>	<b>n. travi di bordo</b>					
	2	2					
	<b>RaSLU</b>	<b>RaSLE</b>					
	81,35	56,52					
	<b>RbSLU</b>	<b>RbSLE</b>					
	41,95	29,32					
	<b>MEd SLU (kNm)</b>						
	152						
	<b>MEd SLE (kNm)</b>						
	105,7						
HEA 300	<b>fyk (N/mm<sup>2</sup>) [S255]</b>	<b>Wpl (mm<sup>3</sup>)</b>	<b>γM0</b>	<b>Mpl (Nmm)</b>	<b>Mpl (kNm)</b>		
	235	1383000	1,05	309528571,4	309,53		
	<b>l (m)</b>	<b>p (Kg/m)</b>	<b>p (kN/m)</b>				
	5	88,3	0,883				
	<b>MEd SLU (kNm)</b>						
	155,59						
	<b>MEd SLE (kNm)</b>						
	108,46						
	<b>η</b>						
	1,99						
	<b>1/η</b>						
	0,50	lavora 50%					

Tabella 19: Dimensionamento degli elementi del solaio generico

## Dimensionamento struttura verticale

## P1) Pilastro caricato da corridoio (livello -1)

Calcolo della forza di compressione agente

	<b>lato 1 (m)</b>	<b>lato 2 (m)</b>	<b>Ai (m<sup>2</sup>)</b>
	5	2,5	12,50
	<b>NEd parz copertura (kN)</b>	<b>NEd parz soletta (kN)</b>	<b>NEd parz (kN)</b>
	131,1	123,3	254,4
	<b>NEd tot (kN)</b>		
	260,14	(carico del corridoio da aggiungere su pilastri dei singoli blocchi)	

Caratteristiche pilastro in CA

	CLS 25/30				
	<b>fck (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>αcc</b>	<b>γc</b>	<b>fcd (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>fcd (kN/cm<sup>2</sup>)</b>
	25	0,85	1,5	14,17	1,417
	B450				
	<b>fyk (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>fyd (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>fyd (kN/cm<sup>2</sup>)</b>		
	450	391,30	39,13		

Definizione della quantità di materiale

	<b>As min (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>As (cm<sup>2</sup>)</b>		
	0,66	1,5		
	<b>Ac min (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Ac (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>lato 1 (cm)</b>	<b>lato 2 (cm)</b>
	142,20	1225	35	35

Verifica di instabilità per elementi snelli

	<b>v</b>	<b>λlim</b>			
	0,15	64,57			
	<b>I (cm<sup>4</sup>)</b>	<b>L (cm)</b>	<b>β</b>	<b>i (cm)</b>	<b>ι0</b>
	125052,08	450	0,7	10,10	315
	<b>λ</b>				
	31,18				

## P2) Pilastro caricato da corridoio e piastra (livello -2)

Calcolo della forza di compressione agente

	<b>lato 1 (m)</b>	<b>lato 2 (m)</b>	<b>Ai (m<sup>2</sup>)</b>	
	5	2,5	12,50	
	<b>NEd parz copertura (kN)</b>	<b>NEd parz soletta (kN)</b>	<b>NEd piastra (kN)</b>	<b>NEd parz (kN)</b>
	131,1	123,3	216,2	470,6
	<b>NEd tot (kN)</b>			
	476,34			

Caratteristiche pilastro in CA

	CLS 25/30				
	<b>fck (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>αcc</b>	<b>γc</b>	<b>fcd (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>fcd (kN/cm<sup>2</sup>)</b>
	25	0,85	1,5	14,17	1,417
	B450				
	<b>fyk (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>fyd (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>fyd (kN/cm<sup>2</sup>)</b>		
	450	391,30	39,13		

Definizione della quantità di materiale

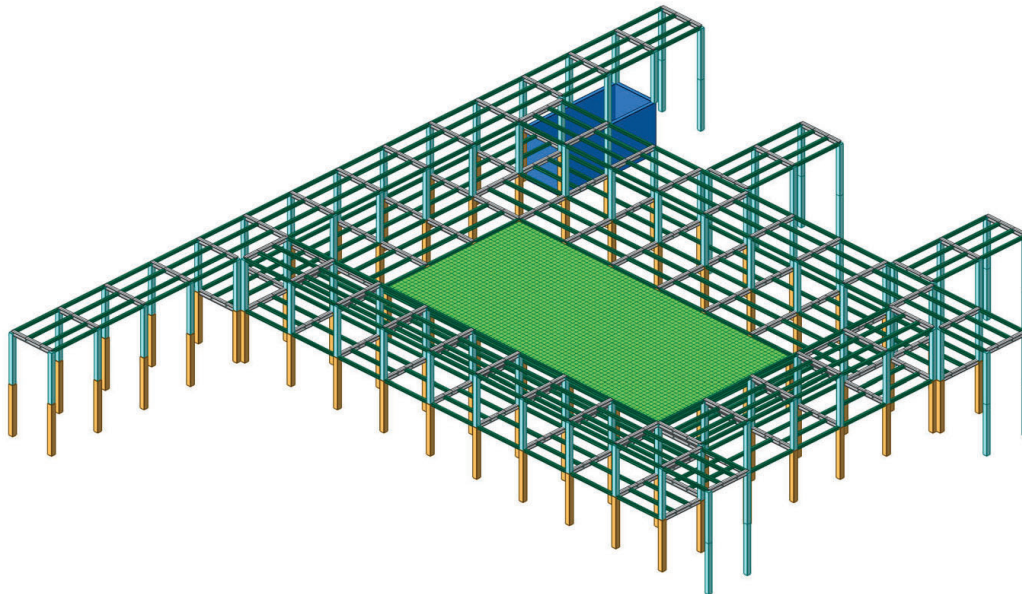
	<b>As min (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>As (cm<sup>2</sup>)</b>		
	1,22	1,5		
	<b>Ac min (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Ac (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>lato 1 (cm)</b>	<b>lato 2 (cm)</b>
	294,81	1600	40	40

Verifica di instabilità per elementi snelli

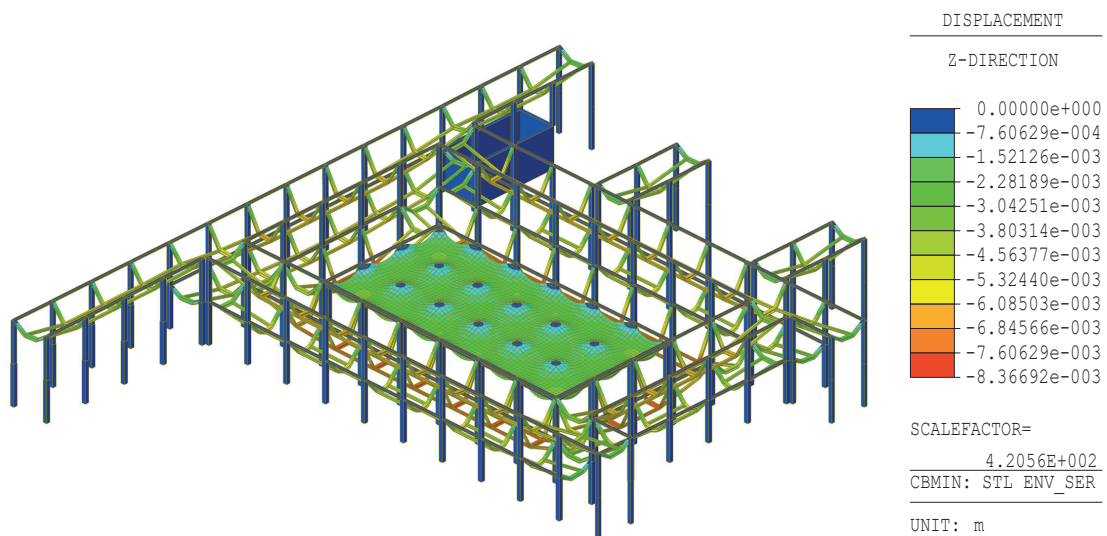
	<b>v</b>	<b>λlim</b>			
	0,21	54,54			
	<b>I (cm<sup>4</sup>)</b>	<b>L (cm)</b>	<b>β</b>	<b>i (cm)</b>	<b>ι0</b>
	213333,33	450	0,7	11,55	315
	<b>λ</b>				
	27,28				

Tabella 20: Dimensionamento della struttura verticale

### 2.6.3 Modellazione Midas e verifiche



Geometria della struttura portante: corridoio



DEFORMATA dell'abbassamento ( $\delta$ ) - Combinazione di carico: SLE minimo

#### Verifiche

Deformata reale  $T_2'$ :  $\delta = (0,021 - 0,008) \text{ m} = 0,013 \text{ m} (1,3 \text{ cm})$

Deformata massima  $T_2'$ :  $\delta_{\max} = L/250 = 5 \text{ m}/250 = 0,02 \text{ m} (2 \text{ cm})$

$\delta < \delta_{\max} \longrightarrow 1,3 \text{ cm} < 2 \text{ cm} \longrightarrow \text{VERIFICATO}$

Deformata reale  $T_1$ :  $\delta = 0,008 \text{ m} (0,8 \text{ cm})$

Deformata massima  $T_1$ :  $\delta_{\max} = L/250 = 5 \text{ m}/250 = 0,02 \text{ m} (2 \text{ cm})$

$\delta < \delta_{\max} \longrightarrow 0,8 \text{ cm} < 2 \text{ cm} \longrightarrow \text{VERIFICATO}$

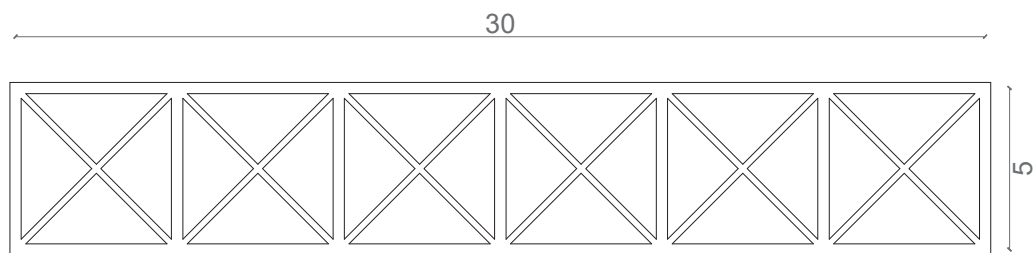
### 2.7.1 Struttura

Il ponte d'accesso è l'ingresso per accedere al centro benessere. Questo è sospeso e si appoggia da un lato al terreno dall'altro all'edificio, in particolar modo ai pilastri del blocco nord e del Calidarium. Strutturalmente funziona come un ponte reticolare, formato da due travi reticolari di parete con campate di 2,5x2,5 m e una orizzontale, su cui è posto il solaio, con campata 5x5 m. Per cui ogni due campate di trave verticale corrisponde una campata di quella orizzontale. Queste sono saldate tra loro perchè tutto in acciaio (S235).

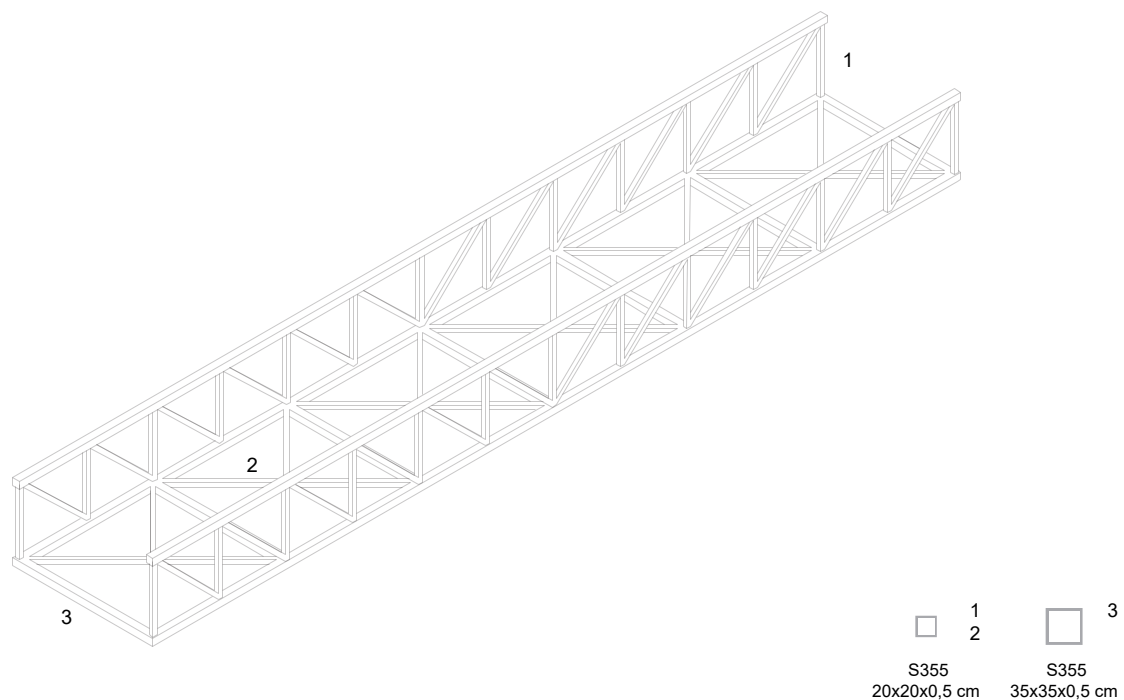
In questo caso non è stato fatto un predimensionamento manualmente ma si è dimensionata la struttura direttamente con Midas.

Riassumendo:

- Correnti orizzontali: tubolare cavo dimensioni 35x35 cm, che coprono una luce di 30 m;
- Correnti verticali: tubolare cavo dimensioni 20x20 cm, alti 2,50 m;
- Correnti diagonali: tubolare cavo dimensioni 20x20 cm, che coprono una luce di 2,50 m per la trave reticolare verticale e di 5 m per quella orizzontale.

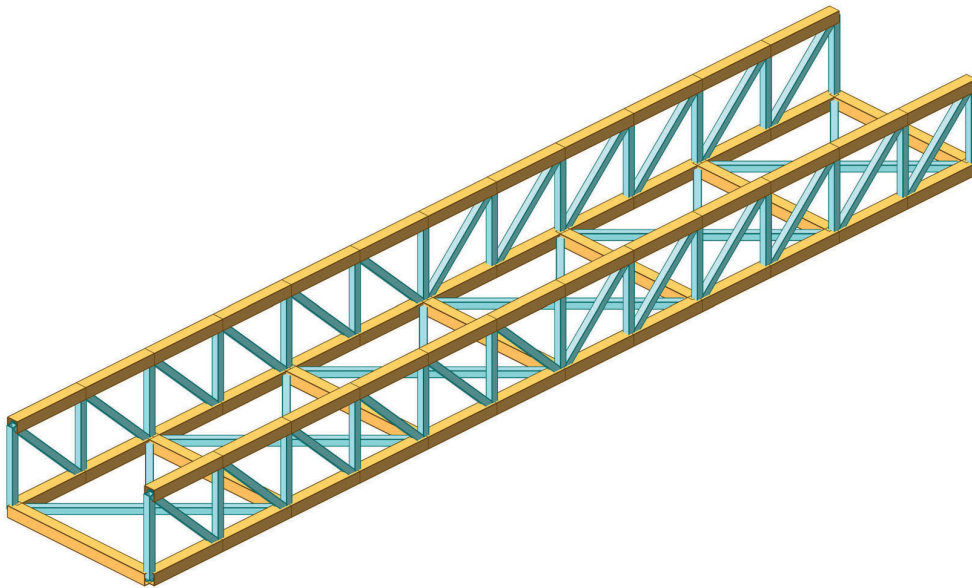


Pianta strutturale copertura livello -1

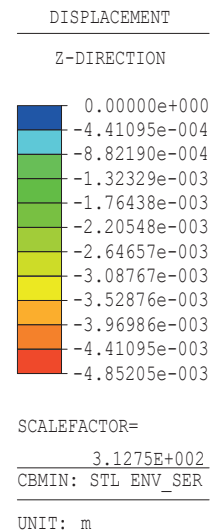
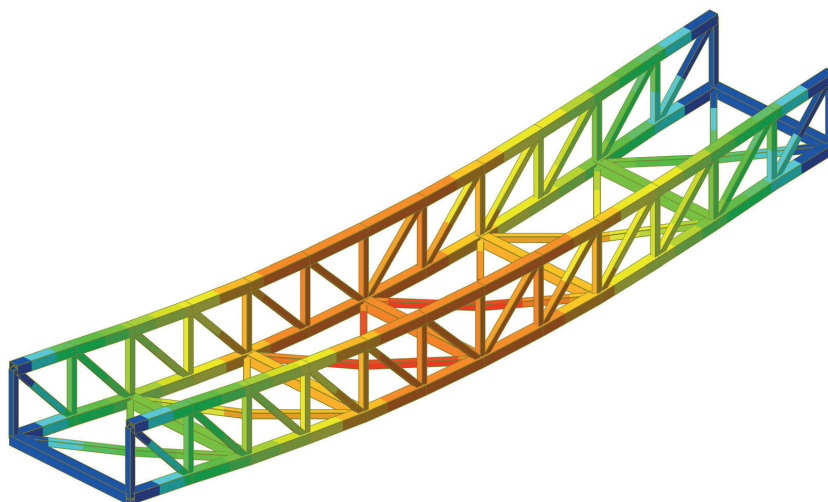


Assonometria strutturale: ponte d'accesso

## 2.7.2 Modellazione Midas e verifiche



Geometria della struttura portante: ponte d'accesso reticolare



DEFORMATA dell'abbassamento ( $\delta$ ) - Combinazione di carico: SLE minimo

### Verifiche

Deformata reale  $T_1$ :  $\delta = 0,0048$  m (0,48 cm)

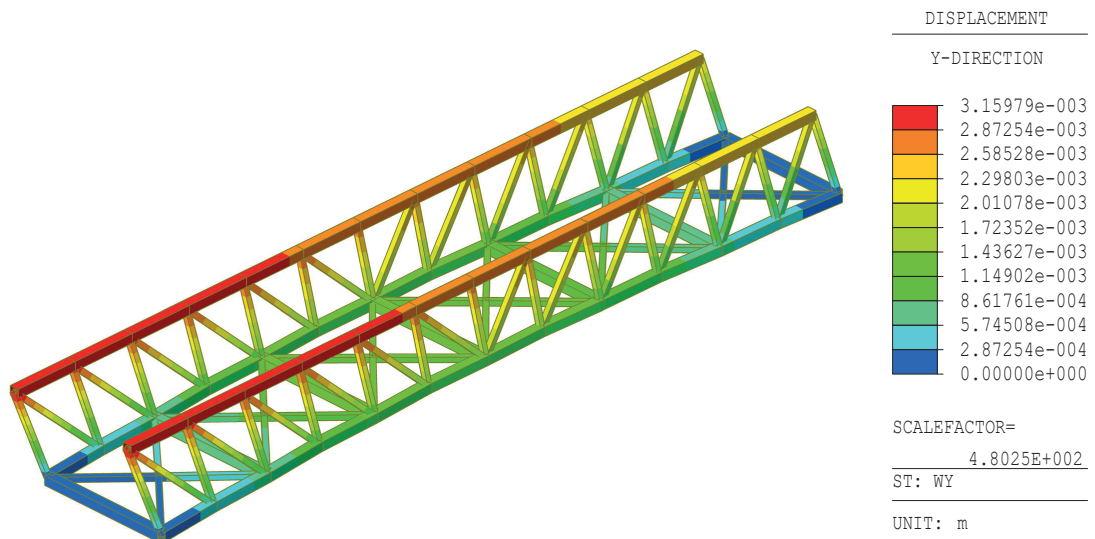
Deformata massima  $T_1$ :  $\delta_{\max} = L/250 = 30 \text{ m}/250 = 0,12$  m (12 cm)

$\delta < \delta_{\max} \longrightarrow 0,48 \text{ cm} < 12 \text{ cm} \longrightarrow \text{VERIFICATO}$

Deformata reale  $T_2$ :  $\delta = 0,0048$  m (0,48 cm)

Deformata massima  $T_2$ :  $\delta_{\max} = L/250 = 5 \text{ m}/250 = 0,02$  m (2 cm)

$\delta < \delta_{\max} \longrightarrow 0,48 \text{ cm} < 2 \text{ cm} \longrightarrow \text{VERIFICATO}$



SPOSTAMENTO orizzontale ( $\Delta Y$ ) - Combinazione di carico: Vento Y

### Verifica

Spostamento reale:  $\Delta Y = 0,0032$  m (0,32 cm)

Deformata massima:  $\Delta Y_{\max} = H/500 = 2,50$  m/500 = 0,005 m (0,5 cm)

$\Delta Y < \Delta Y_{\max} \longrightarrow 0,32$  cm < 0,5 cm  $\longrightarrow$  VERIFICATO

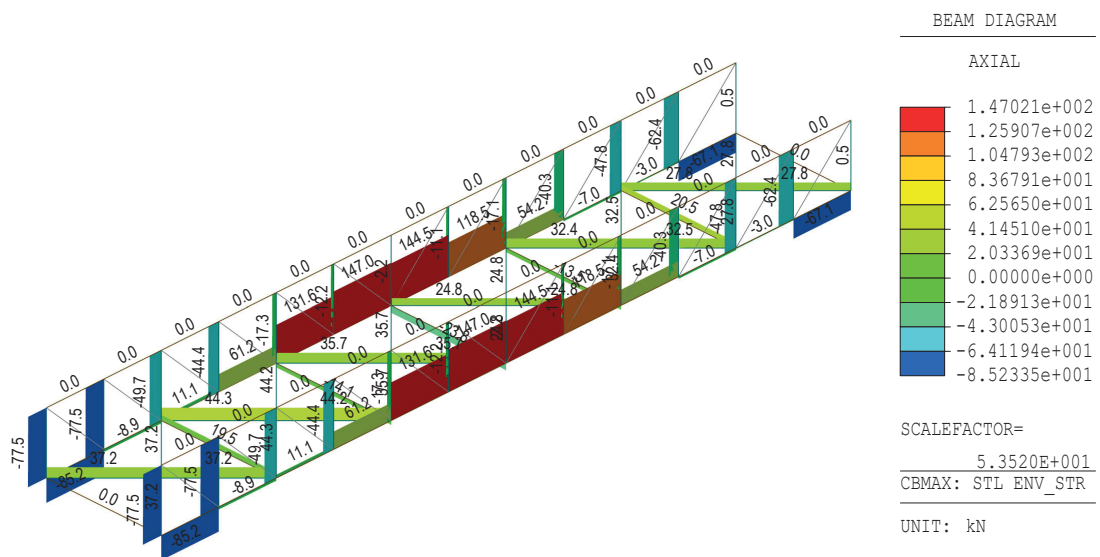


Diagramma della FORZA ASSIALE (N) - Combinazione di carico: SLU massimo

### Verifica - Instabilità corrente verticale in acciaio

Carico critico euleriano:  $N_{cr} = (\pi^2 \cdot E \cdot I) / L_0 = 13495,82$  kN

Carico di progetto:  $N_{ed} = 77,5$  kN

$N_{ed} < N_{cr} \longrightarrow 77,5$  kN < 13495,82 kN  $\longrightarrow$  VERIFICATO

Dal momento che il ponte reticolare si appoggia ai pilastri dell'edificio, in particolare del blocco servizi e del Calidarium si è verificata l'instabilità di questi considerando anche il carico del ponte. L'azione di compressione agente sui pilastri è stata calcolata con il programma Midas.

Instabilità struttura verticale					
<b>BLOCCO SERVIZI</b>					
<b>P1) Pilastro AD ANGOLO caricato da copertura, soletta generica, corridoio e ponte reticolare (interno livello -1)</b>					
Calcolo della forza di compressione agente					
	<b>lato 1 (m)</b>	<b>lato 2 (m)</b>	<b>Ai (m<sup>2</sup>)</b>		
	2,5	2,5	6,25		
	<b>NEd parz copertura (kN)</b>	<b>NEd parz soletta (kN)</b>	<b>NEd parz ponte (kN)</b>	<b>NEd parz (kN)</b>	
	338,1	492,3	66,9	897,3	
	<b>NEd tot(kN)</b>				
	913,94				
	<b>NEd finale (kN)</b>				
	1174,08				
Caratteristiche pilastro in CA	CLS 25/30				
	<b>fck (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>αcc</b>	<b>γc</b>	<b>fcd (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>fcd (kN/cm<sup>2</sup>)</b>
	25	0,85	1,5	14,17	1,417
	B450				
	<b>fyk (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>fyd (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>fyd (kN/cm<sup>2</sup>)</b>		
	450	391,30	39,13		
Definizione della quantità di materiale	<b>As min (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>As (cm<sup>2</sup>)</b>			
	3,00	3,5			
	<b>Ac min (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Ac (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>lato 1 (cm)</b>	<b>lato 2 (cm)</b>	
	732,09	1600	40	40	
Verifica di instabilità per elementi snelli	<b>v</b>	<b>Alim</b>			
	0,52	34,74			
	<b>I (cm<sup>4</sup>)</b>	<b>L (cm)</b>	<b>β</b>	<b>i (cm)</b>	<b>10</b>
	213333,33	450	0,7	11,55	315
	<b>λ</b>				
	27,28				
<b>P2) Pilastro AD ANGOLO caricato da copertura, soletta generica, corridoio e ponte reticolare (interno livello -2)</b>					
Calcolo della forza di compressione agente					
	<b>lato 1 (m)</b>	<b>lato 2 (m)</b>	<b>Ai (m<sup>2</sup>)</b>		
	5	2,5	12,50		
	<b>NEd parz copertura (kN)</b>	<b>NEd parz soletta (kN)</b>	<b>NEd parz ponte (kN)</b>	<b>NEd parz (kN)</b>	
	338,1	492,3	66,9	1389,6	
	<b>NEd tot (kN)</b>				
	1414,56				
	<b>NEd finale (kN)</b>				
	1674,70				
Caratteristiche pilastro in CA	CLS 25/30				
	<b>fck (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>αcc</b>	<b>γc</b>	<b>fcd (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>fcd (kN/cm<sup>2</sup>)</b>
	25	0,85	1,5	14,17	1,417
	B450				
	<b>fyk (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>fyd (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>fyd (kN/cm<sup>2</sup>)</b>		
	450	391,30	39,13		
Definizione della quantità di materiale	<b>As min (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>As (cm<sup>2</sup>)</b>			
	4,28	4,5			
	<b>Ac min (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Ac (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>lato 1 (cm)</b>	<b>lato 2 (cm)</b>	
	1057,84	1600	40	40	
Verifica di instabilità per elementi snelli	<b>v</b>	<b>Alim</b>			
	0,74	29,08			
	<b>I (cm<sup>4</sup>)</b>	<b>L (cm)</b>	<b>β</b>	<b>i (cm)</b>	<b>10</b>
	213333,33	450	0,7	11,55	315
	<b>λ</b>				
	27,28				
<b>CALIDARIUM</b>					
<b>P1) Pilastro AD ANGOLO caricato da copertura, corridoio e ponte reticolare</b>					
Calcolo della forza di compressione agente					
	<b>lato 1 (m)</b>	<b>lato 2 (m)</b>	<b>Ai (m<sup>2</sup>)</b>		
	7,5	7,5	56,25		
	<b>NEd parz copertura (kN)</b>	<b>NEd parz ponte (kN)</b>	<b>NEd tot (kN)</b>		
	155,3	159,6	314,90		
	<b>NEd finale (kN)</b>				
	575,04				
Caratteristiche pilastro in CA	CLS 25/30				
	<b>fck (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>αcc</b>	<b>γc</b>	<b>fcd (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>fcd (kN/cm<sup>2</sup>)</b>
	25	0,85	1,5	14,17	1,417
	B450				
	<b>fyk (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>fyd (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>fyd (kN/cm<sup>2</sup>)</b>		
	450	391,30	39,13		
Definizione della quantità di materiale	<b>As min (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>As (cm<sup>2</sup>)</b>			
	1,47	2			
	<b>Ac min (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Ac (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>lato 1 (cm)</b>	<b>lato 2 (cm)</b>	
	350,67	4500	45	100	
Verifica di instabilità per elementi snelli	<b>v</b>	<b>Alim</b>			
	0,09	83,24			
	<b>I (cm<sup>4</sup>)</b>	<b>L (cm)</b>	<b>β</b>	<b>i (cm)</b>	<b>10</b>
	759375,00	1350	0,7	12,99	945
	<b>λ</b>				
	72,75				

Tabella 21: Verifica dell'instabilità della struttura verticale



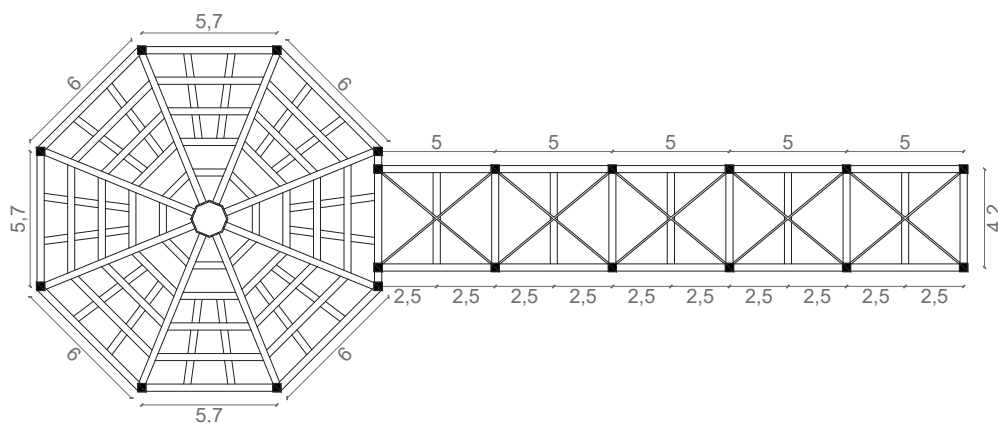
### 2.8.1 Struttura

Il pontile è lo spazio destinato al solarium all'aperto del centro benessere ed è costruito in acqua. Strutturalmente funziona come un molo, per cui i suoi elementi verticali sono pilastri in acciaio che lo ancorano a terra sotto il lago, mentre quelli orizzontali sono travi in acciaio. L'unico materiale utilizzato è l'acciaio (S235). In particolare, la sua testa ha forma ottagonale e questa è composta da una raggiera di travi principali e secondarie che centralmente sono saldate ad una cerchiatura in acciaio.

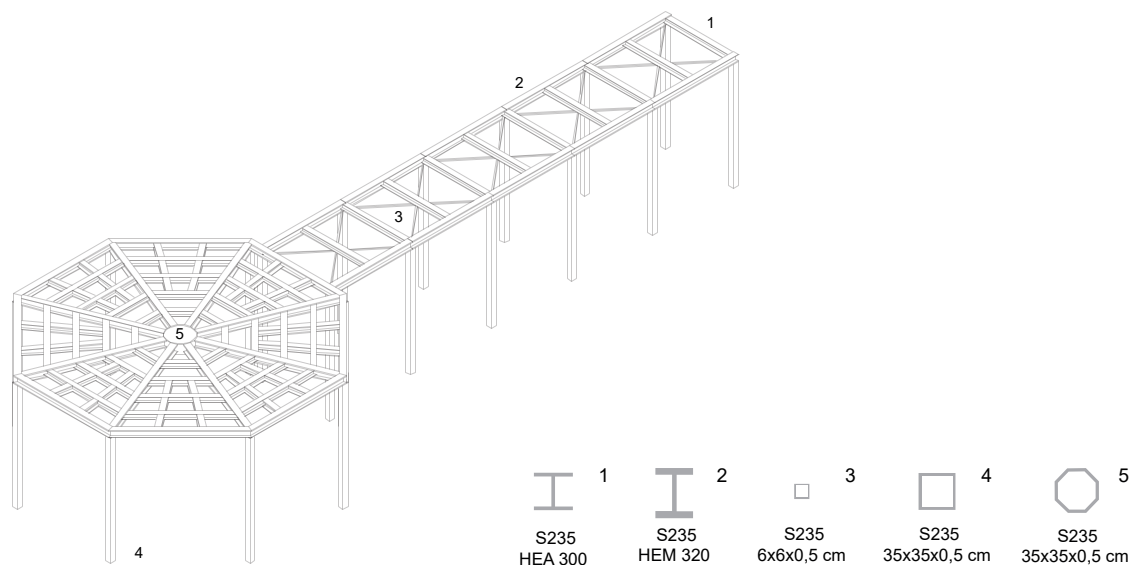
Anche in questo caso, come per il ponte d'accesso, non è stato fatto un predimensionamento manualmente ma si è dimensionata la struttura direttamente con Midas.

Riassumendo:

- Pilastri: tubolari cavi di dimensioni 35x35 cm, alti 7,00 m;
- Travi principali: HEM 320, che coprono una luce massima di 7 m;
- Travi secondarie: HEA 200, che coprono una luce massima di 4,60;
- Cerchiatura: dimensioni lato 60 cm, diametro 1,60 m.

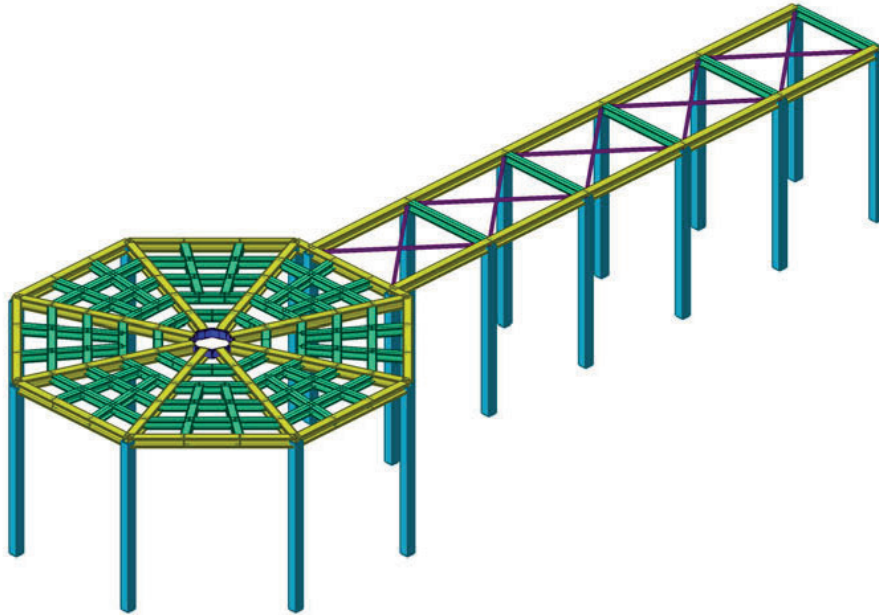


Pianta strutturale copertura livello -3

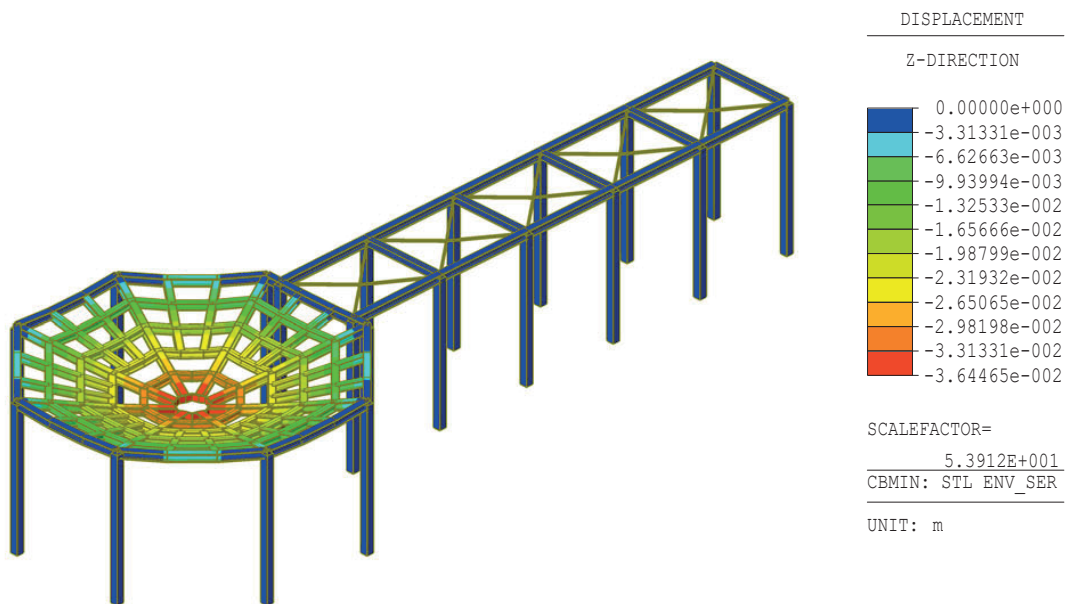


Assonometria strutturale: pontile

## 2.8.2 Modellazione Midas e verifiche



Geometria della struttura portante: pontile



DEFORMATA dell'abbassamento ( $\delta$ ) - Combinazione di carico: SLE minimo

### Verifiche

Deformata reale  $T_2'$ :  $\delta = (0,036 - 0,035) \text{ m} = 0,001 \text{ (0,1 cm)}$

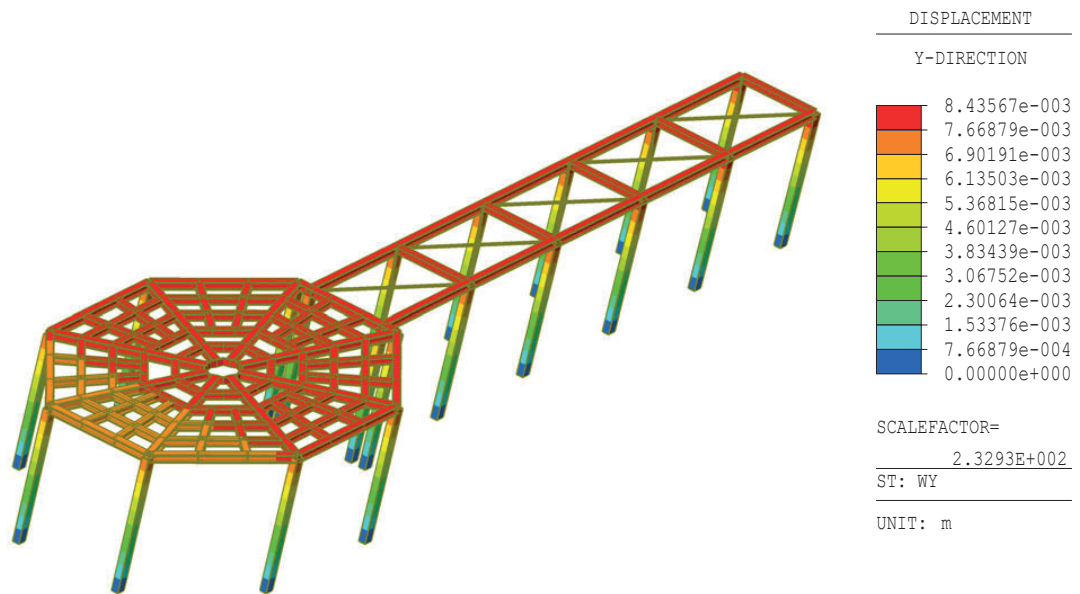
Deformata massima  $T_1$ :  $\delta_{\max} = L/250 = 4,20 \text{ m}/250 = 0,0168 \text{ m (1,68 cm)}$

$\delta < \delta_{\max} \longrightarrow 0,1 \text{ cm} < 1,68 \text{ cm} \longrightarrow \text{VERIFICATO}$

Deformata reale  $T_1$ :  $\delta = 0,036 \text{ m (3,6 cm)}$

Deformata massima  $T_2$ :  $\delta_{\max} = L/250 = 15 \text{ m}/250 = 0,06 \text{ m (6 cm)}$

$\delta < \delta_{\max} \longrightarrow 3,6 \text{ cm} < 6 \text{ cm} \longrightarrow \text{VERIFICATO}$



SPOSTAMENTO orizzontale ( $\Delta Y$ ) - Combinazione di carico: Vento Y

### Verifica

Spostamento reale:  $\Delta Y = 0,0084$  m (0,84 cm)

Deformata massima:  $\Delta Y_{\max} = H/500 = 7 \text{ m}/500 = 0,014$  m (1,4 cm)

$\Delta Y < \Delta Y_{\max} \longrightarrow 0,84 \text{ cm} < 1,4 \text{ cm} \longrightarrow \text{VERIFICATO}$

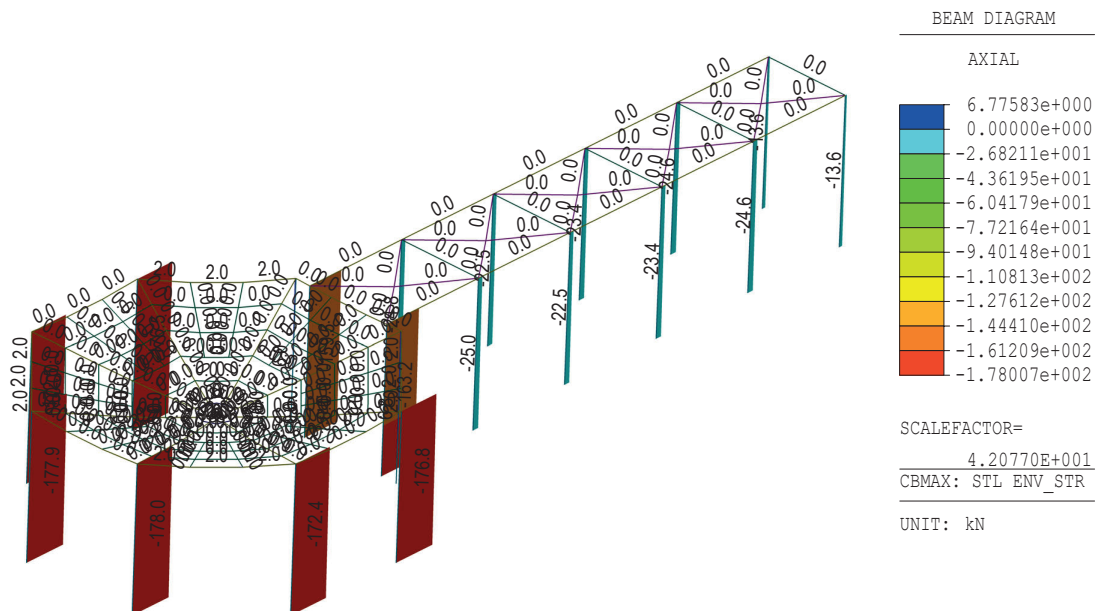


Diagramma della FORZA ASSIALE (N) - Combinazione di carico: SLU massimo

### Verifica - Instabilità pilastro in acciaio

Carico critico euleriano:  $N_{cr} = (\pi^2 \cdot E \cdot I)/L_0 = 5019021,9$  kN

Carico di progetto:  $N_{ed} = 178$  kN

$N_{ed} < N_{cr} \longrightarrow 178 \text{ kN} < 5019021,9 \text{ kN} \longrightarrow \text{VERIFICATO}$