



Via Bronzino, n. 9 - 20133 Milano (MI)  
Tel. + 39 02 49536714 Fax: + 39 02 49536703  
E-mail: info@vegasrl.com - www.vegasrl.com

**RESPONSABILE  
COORDINAMENTO DELLE  
PRESTAZIONI  
SPECIALISTICHE**

**Ing. Livio Radini**  
Vega Engineering S.r.l  
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Lucca, n°776 Sez. A



**OPERE CIVILI**

Ing. Patrick Bacci  
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Pisa, n°1982 Sez. A

**STRUTTURE**

Ing. Stefano Serracchiani  
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma, n°30639 Sez. A

**IMPIANTI MECCANICI**

Ing. Andrea Piazzini  
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Prato, n°570 Sez. A

**RELAZIONE CAM**

Arch. Caterina Gargari  
Ordine degli Architetti della Provincia di Pisa, n°774

**IMPIANTI ELETTRICI**

Ing. Livio Radini  
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Lucca, n°776 Sez. A

**ANTINCENDIO**

Ing. Livio Radini  
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Lucca, n°776 Sez. A

**COORDINATORE PER LA SICUREZZA  
IN FASE DI PROGETTAZIONE (C.S.P.)**

Ing. Federico Gabbrielli

**GEOLOGIA**

Geol. Roberto Maggiore  
Ordine dei Geologi della Toscana, n°1666 Sez. A

|   |               |  |                                   |
|---|---------------|--|-----------------------------------|
|   |               |  |                                   |
|   |               |  |                                   |
|   |               |  |                                   |
|   |               |  |                                   |
| 01  | Dicembre 2022 | Revisione  |                                   |
| 00  | Novembre 2022 | Emissione  |                                   |
| REV.  | DATA / DATE   | DESCRIZIONE / DESCRIPTION  | PER ACCETTAZIONE / FOR APPROVAL   |
| <br><b>UNIVERSITÀ DI PISA</b><br>Rettore:<br><b>Prof. Riccardo Zucchi</b><br>Direzione edilizia<br>Responsabile Unico del Procedimento:<br><b>Ing. Fabio Bianchi</b> |               | PROGETTO / PROJECT<br><b>POLO C - PROGETTO DEFINITIVO</b><br>LAVORI DI ADEGUAMENTO ANTINCENDIO DEL POLO DIDATTICO<br>INGEGNERIA (POLO C) - EDIFICIO B44, Via Diotisalvi, 2 - Pisa (PI) |                                   |
|   |               | TITOLO / TITLE<br>Strutture<br>RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO  | NUMERO / NUMBER<br><b>S-001.1</b> |
|   |               | FORMATO FOGLIO<br>SHEET DIMENSION<br><b>A4</b>   | SCALA<br>SCALE<br>-               |
| FILE :  |               |  |                                   |

## SOMMARIO

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>PREMESSA.....</b>   | <b>3</b>  |
| <b>2</b> | <b>NORME E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....</b>                 | <b>6</b>  |
| <b>3</b> | <b>DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO .....</b>                     | <b>7</b>  |
| 3.1      | CARATTERISTICHE STRUTTURALI .....                            | 7         |
| 3.2      | CARATTERISTICHE GEOTECNICHE.....                             | 10        |
| <b>4</b> | <b>CARATTERISTICHE DEI MATERIALI.....</b>                    | <b>12</b> |
| <b>5</b> | <b>ANALISI DEI CARICHI.....</b>                              | <b>14</b> |
| 5.1      | CARICHI PERMANENTI STRUTTURALI.....                          | 14        |
| 5.2      | CARICHI PERMANENTI PORTATI .....                             | 14        |
| 5.3      | SOVRACCARICHI ACCIDENTALI.....                               | 17        |
| 5.4      | CARICO NEVE .....  | 17        |
| 5.5      | AZIONE DEL VENTO.....  | 17        |
| 5.6      | AZIONE SISMICA .....   | 19        |
| 5.7      | COMBINAZIONI DEI CARICHI .....                               | 21        |
| <b>6</b> | <b>SOFTWARE DI CALCOLO.....</b>                              | <b>25</b> |
| 6.1      | CARATTERISTICHE DEL CODICE DI CALCOLO .....                  | 25        |
| 6.2      | VALIDAZIONE DEL CODICE DI CALCOLO .....                      | 25        |
| <b>7</b> | <b>ANALISI STRUTTURALE.....</b>                              | <b>28</b> |
| 7.1      | ELEVAZIONE.....  | 28        |
|          | <i>Descrizione del modello.....</i>                          | 28        |
|          | <i>Analisi delle sollecitazioni .....</i>                    | 29        |
|          | <i>Verifiche strutturali.....</i>                            | 35        |
|          | <i>Analisi delle reazioni vincolari.....</i>                 | 41        |
|          | <i>Giunto con la struttura esistente .....</i>               | 47        |
| 7.2      | FONDAZIONE .....   | 49        |
| <b>8</b> | <b>GIUDIZIO MOTIVATO DI ACCETTABILITÀ DEI RISULTATI.....</b> | <b>68</b> |
| <b>9</b> | <b>NUOVA UNITÀ DI TRATTAMENTO DELL'ARIA .....</b>            | <b>75</b> |
| 9.1      | TRAVE ESISTENTE IPE 600 .....                                | 76        |
| 9.2      | BAGGIOLO .....   | 80        |
| 9.3      | TRAVE NUOVA IPE 200 .....                                    | 84        |



|           |   |           |
|-----------|---|-----------|
| <b>10</b> | <b>NUOVA POMPA DI CALORE.....</b>                 | <b>89</b> |
| <b>11</b> | <b>ELEMENTI COSTRUTTIVI NON STRUTTURALI .....</b> | <b>91</b> |
| 11.1      | PARETI DIVISORIE .....                            | 91        |
| 11.2      | CONTROSOFFITTI .....                              | 97        |
| 11.3      | IMPIANTI.....                                     | 100       |

## 1 PREMESSA

La presente relazione tecnica rientra all'interno del progetto di fattibilità tecnica, economica ed esecutiva dei lavori necessari per la messa a norma degli impianti meccanici, elettrici e antincendio del Polo didattico di Ingegneria Polo C (edificio B44) dell'università di Pisa. In particolare il fabbricato si colloca a Nord-Ovest del lotto comprendente anche altri edifici destinati al settore dell'istruzione ed uffici del complesso universitario della Scuola di Ingegneria di Via Diotisalvi.

Pur sorgendo in adiacenza agli edifici di cui sopra, il Polo C risulta comunque indipendente e separato dagli stessi e l'accesso all'area di pertinenza avviene da Via Diotisalvi e da Via Giunta Pisano, mediante cancelli pedonabili e carrabili.

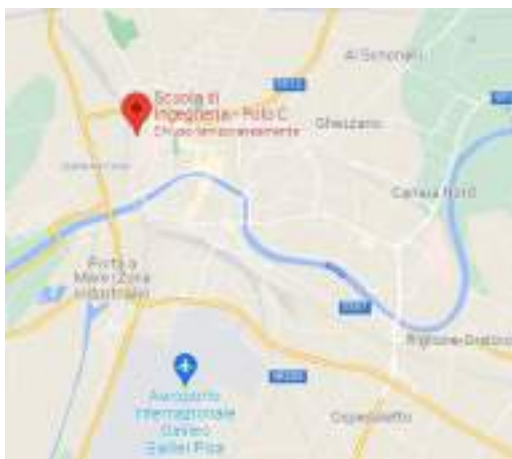


Figura 1 – A sinistra: Inquadramento del Polo C rispetto alla città di Pisa - a destra: Inquadramento del Polo C nel lotto della Scuola di Ingegneria

Per l'edificio, è stato già approvato, dal comando dei VV.F., un progetto di prevenzione incendi (protocollo n. 7149 del 24/06/1997), oltre ad una seconda domanda di parere ad integrazione/sostituzione della precedente. Quest'ultima è stata resa necessaria per la realizzazione del vano portineria al piano terra, per la rimodulazione degli affollamenti ai piani e per il declassamento della scala interna prevista di tipo aperto anziché protetto (Istanza di valutazione del progetto protocollo n. 7581 del 31/07/2014, Pratica VV.F. n. 34203).

Al momento il polo C prevede due scale di emergenza: la prima esterna e la seconda interna sfruttando le scale di collegamento tra i vari piani.

Non essendo l'attuale scala esterna su Via Giunta Pisano a servizio di tutti i piani dell'edificio, si propone ai fini del miglioramento della sicurezza il suo smontaggio e la sostituzione con una scala a tre moduli a servizio anche dei piani superiori.



UNIVERSITÀ DI PISA

La presente relazione tecnica riguarda la realizzazione della nuova scala esterna per l'accesso all'edificio esistente, gli interventi strutturali in copertura necessari per l'installazione di due pompe di calore e di una nuova unità di trattamento dell'aria e il calcolo degli elementi costruttivi non strutturali quali pareti divisorie e controsoffitti.



UNIVERSITÀ DI PISA

**POLO C: POLO DIDATTICO**  
**INGEGNERIA**  
**PROGETTO DEFINITIVO**  
Relazione tecnica e di calcolo

## **NUOVA SCALA DI ACCIAIO**

## 2 NORME E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

- **Legge n. 1086 del 05/11/1971** *Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio, normale e precompresso ed a struttura metallica.*
- **DM 17/01/2018** *Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni", norma di seguito identificata per brevità come "NTC2018".*
- **Circ. n. 7/C.S.LL.PP. del 21/01/2019** *Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 17/01/2018, documento di seguito identificato per brevità come "Circ. NTC2018".*
- **CNR-DT 207 R1/2018** *Istruzioni per la valutazione delle azioni e degli effetti del vento sulle costruzioni;*
- **UNI EN 1992-1-1** *Eurocodice 2 - Progettazione delle strutture in calcestruzzo - Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici.*
- **UNI EN 1993-1-1** *Eurocodice 3 - Progettazione delle strutture in acciaio - Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici;*
- **UNI EN 1993-1-5** *Eurocodice 3 - Progettazione delle strutture in acciaio - Parte 1-5: Elementi strutturali a lastra.*

### 3 DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

#### 3.1 CARATTERISTICHE STRUTTURALI

La nuova scala esterna è realizzata in acciaio e si sviluppa per 5 livelli di cui il primo di altezza 3.95 m, gli intermedi di altezza 3.50 m e l'ultimo livello di 1.75 m, per un'altezza complessiva fuori terra di circa 19.70 metri.

La struttura portante della scala metallica è realizzata da 11 colonne HEB 200, travi principali trasversali e longitudinali HEA 200 e UPN 220 e cosciali UPN 220; ai livelli intermedi ad interasse di 1.765 m sono presenti su tutto il perimetro dei tubolari RHS-CF 80x80x4. Su questi ultimi si innesta la tela metallica in acciaio inox per facciate esterne della Costacurta S.p.A – Vico (tipo A.303).

I controventi verticali a croce di Sant' Andrea, realizzati con funi spiroidali Ø 16 mm in acciaio zincato dotate di tenditori, sono disposti su quattro lati della scala. Il campo frontale di controvento si interrompe al livello del piano terra per non ostacolare l'accesso, mentre gli altri tre campi si estendono con continuità dalla base alla sommità della struttura.

Sono inoltre previsti controventi di piano disposti nei pianerottoli vicini alle passerelle di sbarco, realizzati con barre tonde Ø 20 mm.

Le seguenti figure mostrano le viste della struttura metallica.

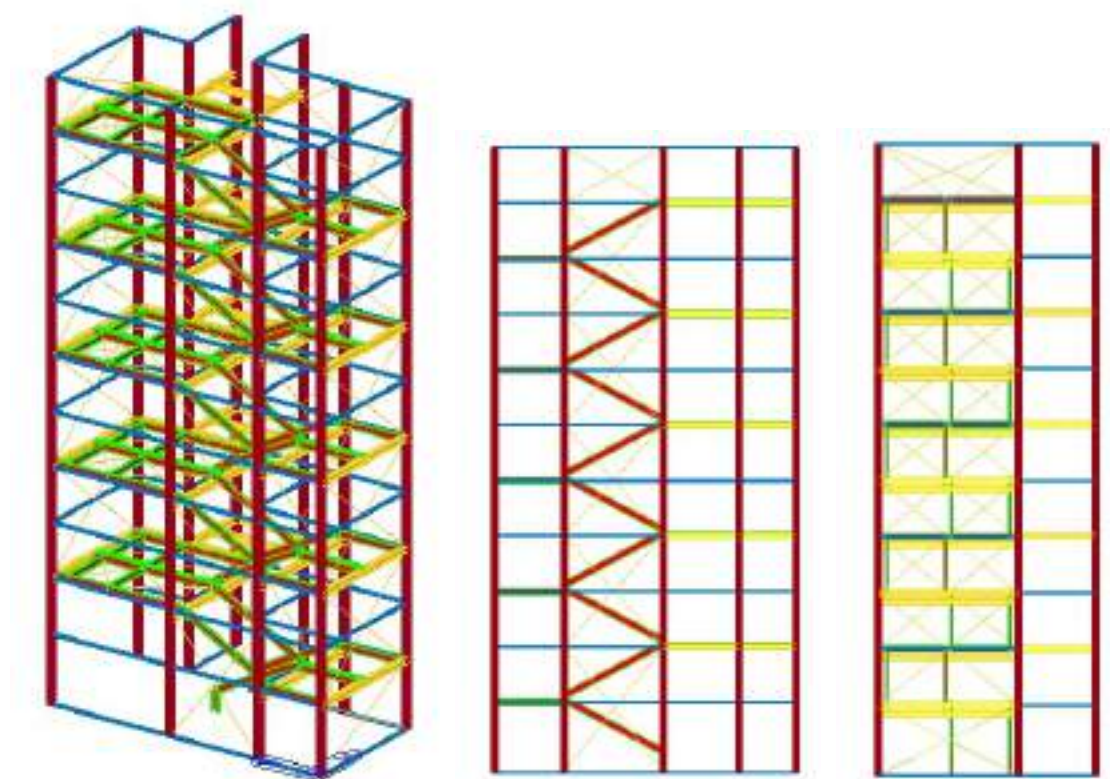


Figura 2 – Viste estruse assonometria, prospetto direzione x e direzione y



Gli orizzontamenti sono realizzati con grigliati pedonali metallici in tutti i campi, mentre il gradino è realizzato con un gradino speciale che copre la luce netta di 1800 mm.

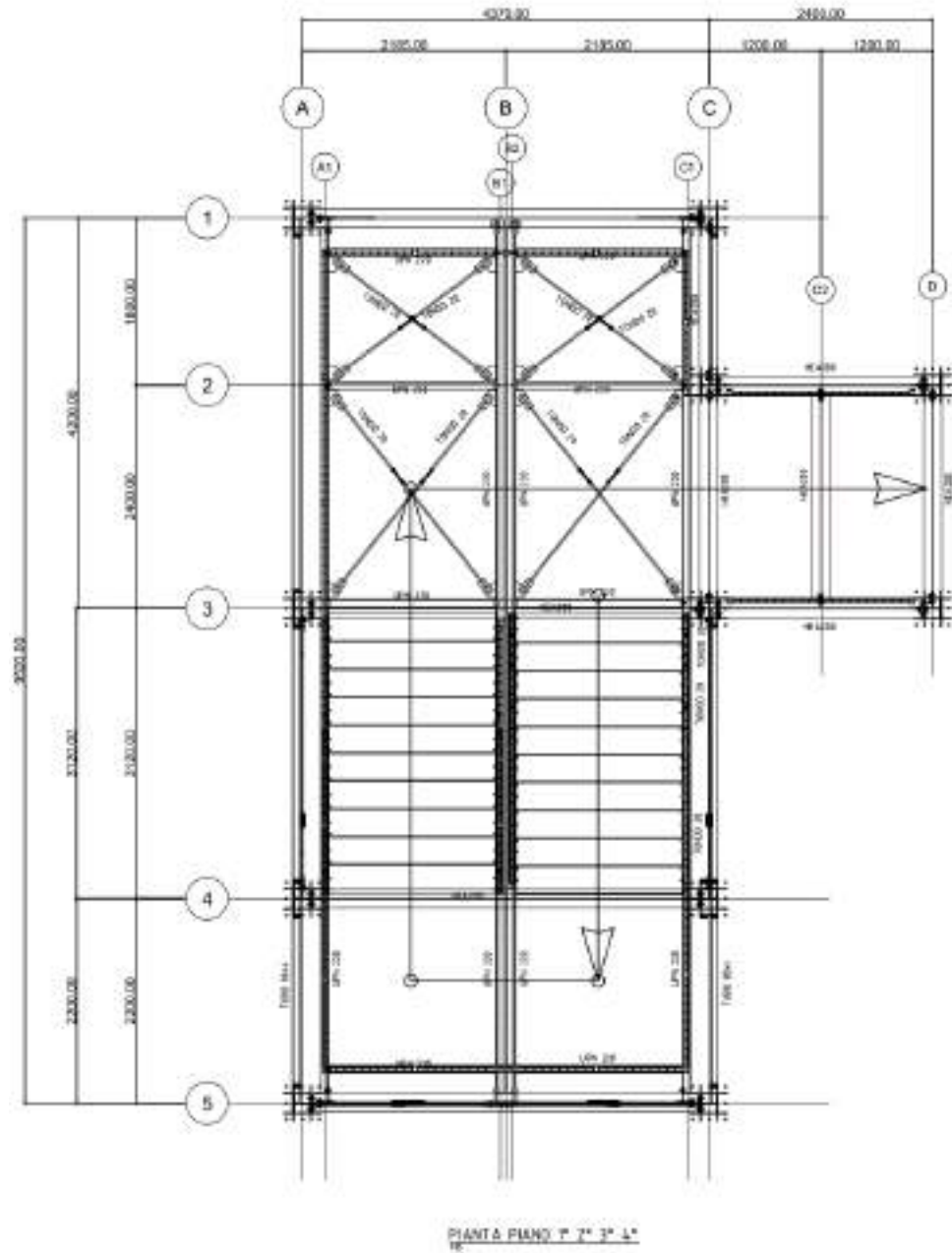


Figura 3 – Pianta elevazione

La fondazione della scala è costituita da una platea di dimensioni in pianta di spessore 50 cm, con 18 pali sottostanti disposti secondo il layout che segue.

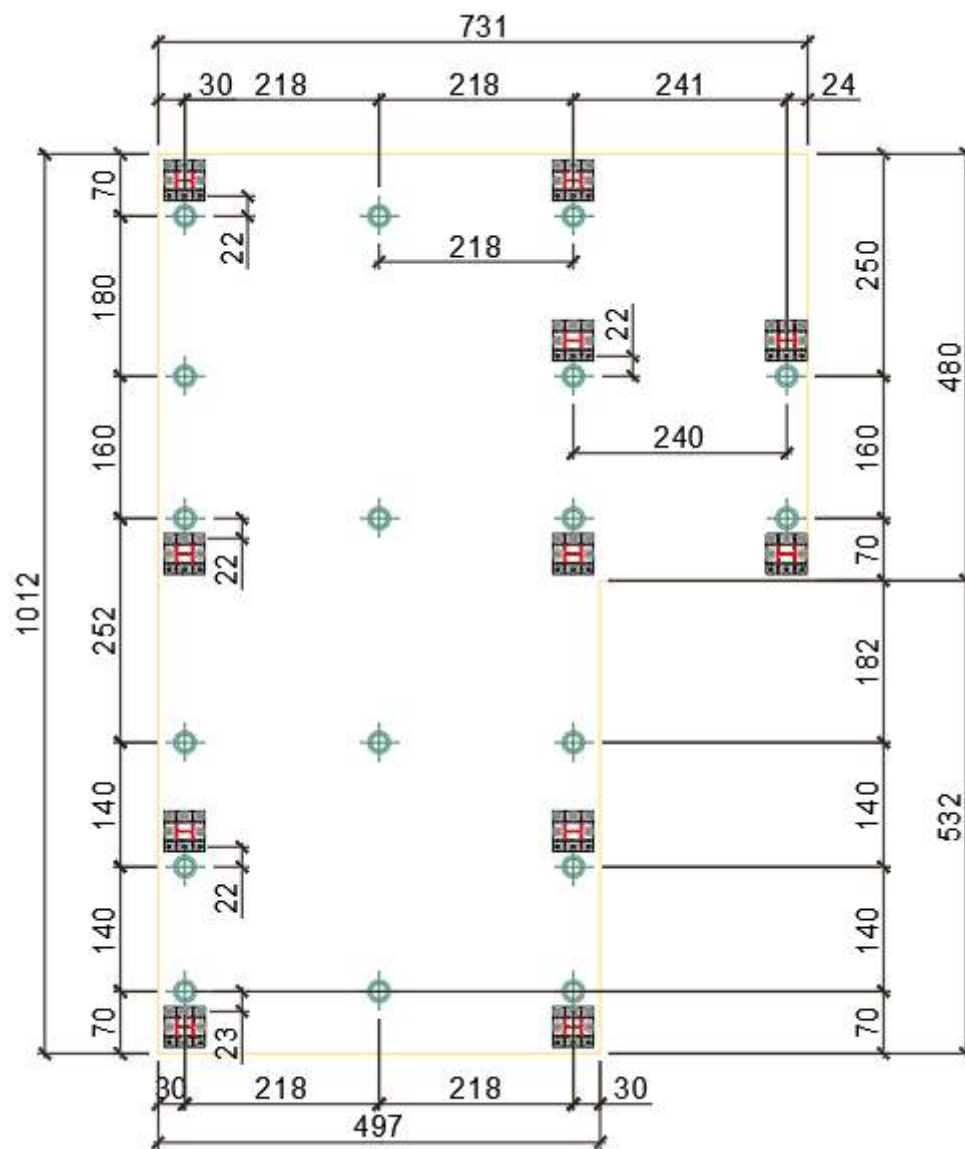


Figura 4 – Pianta fondazioni

### 3.2 CARATTERISTICHE GEOTECNICHE

Di seguito si riporta la caratterizzazione geotecnica e la stratigrafia di riferimento utilizzata nei calcoli per la verifica/dimensionamento delle fondazioni. I valori caratteristici dei parametri geotecnici e la stratigrafia di riferimento sono stati ottenuti a partire dai risultati delle indagini a disposizione per l'opera in esame, mediante l'interpretazione di prove e misure effettuate in sito.

La geologia del sottosuolo, dedotta dalle indagini di correlazione può essere così sintetizzata:

|                            |   |
|----------------------------|---|
| da -0,0 a -1,2 m da p.c.   | Terreno di riporto costituito da clasti e frammenti di laterizi eterometrici in matrice sabbio-limosa talora argillosa di color marrone <b>“Orizzonte TR”</b> ; |
| da -1,2 a -2,9 m da p.c.   | Limo argilloso e sabbioso a bassa consistenza rimaneggiato; <b>“Orizzonte A”</b> ;  |
| da -2,9 a -10,7 m da p.c.  | Sabbia fine con limo e sabbia limosa, da poco a mediamente addensata; <b>“Orizzonte B”</b> ;  |
| da -10,7 a -18,6 m da p.c. | Argilla limosa di consistenza molto bassa talora con resti organici e sporadici resti conchigliari; <b>“Orizzonte C”</b> ;                                      |
| da -18,6 a -23,0 m da p.c. | Limo sabbioso ed argilloso mediamente consistente; <b>“Orizzonte D”</b> ;   |
| da -23,0 a -25,0 m da p.c. | Sabbia debolmente limosa di colore nocciola-beige mediamente addensata; <b>“Orizzonte E”</b> ;  |
| da -25,0 a -34,0 m da p.c. | Limo argilloso ed argilla limosa debolmente sabbioso di colore grigio chiaro mediamente consistente; <b>“Orizzonte F”</b> ;                                     |
| da -34,0 a -53,0 m da p.c. | Sabbia e sabbia limosa mediamente addensata; <b>“Orizzonte G”</b> ; (I ACQUIFERO IN PRESSIONE)  |

In funzione di ciò e in base al D.M. 17/01/2018 sono stati calcolati i parametri geotecnici caratteristici e di progetto a partire dai parametri nominali.

I dati ricavati sono riassunti nella tabella che segue:

| <i>ORIZZONTI</i><br>Profondità         | <b>R<sub>p</sub></b><br>KPa | <b>IC</b>     | <b>IL</b>     | $\gamma$<br>kN/m <sup>3</sup> | $\phi$<br>(°) | <b>c'</b><br>kN/m <sup>2</sup> | <b>C<sub>u</sub></b><br>kN/m <sup>2</sup> | <b>Dr</b><br>(%) | <b>E</b><br>KPa  | <b>Tensioni</b><br>KPa |
|--|-----------------------------|---------------|---------------|-------------------------------|---------------|--------------------------------|---|------------------|------------------|------------------------|
| <i>Orizzonte</i><br>"TR"<br>0,0/1,2 m  | 400                         |               |               | 17,0                          |               |                                | 20,0                                      | 20               |                  |                        |
| <i>Orizzonte</i><br>"A"<br>1,2-/2,9 m  | 700                         | 0,23          | 0,78          | 19,86                         | 28,32         | 0,0                            | 40,0                                      | 10               | 3.000<br>4.000   | 25-50<br>50-100        |
| <b>Orizzonte</b><br>"B"<br>2,9-10,7 m  | 2.700-<br>4.200             |               |               | 19,46                         | 40,36         | 0,0                            | -   | 40               | 8.000<br>6.000   | 50-100<br>100-200      |
| <b>Orizzonte</b><br>"C"<br>10,7-18,6 m | 788                         | 0,06          | 0,94          | 16,37                         | 20,60         | 0,0                            | 30,0                                      | -                | 1.000<br>2.000   | 100-200<br>200-400     |
| <b>Orizzonte</b><br>"D"<br>18,6-23,0 m | 1.600-<br>1.900             |               |               | 20,1                          | 28,81         | 0,0                            | 95,0                                      | -                | 10.000<br>13.000 | 200-400<br>400-800     |
| <b>Orizzonte</b><br>"E"<br>23,0-25,0 m | 3.200                       |               |               | 19,0                          | 31            | -                              | -   | 30               |                  |                        |
| <b>Orizzonte</b><br>"F"<br>25,0-34,0 m | 1.500-<br>1.900             | 0,46-<br>0,86 | 0,54-<br>0,15 | 19,0-<br>20,0                 | 26,6          | 0,0                            | 70,0                                      | -                | 6.000<br>7.000   | 200-400<br>400-800     |

Legenda: **R<sub>p</sub>**= Resistenza di punta; **IC**= indice di consistenza; **IL**=indice di liquidità;  $\gamma$ = Peso di volume saturo,  $\phi$ = Angolo di attrito interno, **c'**=coesione drenata **C<sub>u</sub>** = Coesione non drenata, **Dr** = Densità relativa, **E** = Modulo di deformazione edometrica

Valori ricavati da analisi di laboratorio

Valori ricavati da prova CPTU

## 4 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

### Acciaio per strutture in carpenteria metallica

Profili laminati tipo HEA, HEB, UPN, RHS S335JR

-  $F_{yk} = 335 \text{ Mpa}$

-  $F_{tk} = 510 \text{ Mpa}$

### Acciaio per controventi verticali

Funi spirodali in acciaio zincato Y1770

### Acciaio per controventi orizzontali

Barre tonde S335JR

### Barre filettate per tirafondi e bulloni

Barre filettate cl. 10.9

Bulloni cl. 10.9

### Calcestruzzo magro per sottofondazioni

Classe di resistenza C12/15

Classe di esposizione X0

### Calcestruzzo strutture di fondazione

Classe di resistenza C25/30

Classe di esposizione XC2

Classe di consistenza S4

### Barre di armatura CA

Barre ad aderenza migliorata B450C



UNIVERSITÀ DI PISA

### Micropali

Micropali a bassa pressione – tipo B, secondo FHWA BHI-05-039

Armatura tubolare 177.8 x 10 mm S275

### Betoncino per iniezioni micropali

Granulometria < 3 mm

Resistenza a compressione a 20 gg >32 MPa

## 5 ANALISI DEI CARICHI

## 5.1 CARICHI PERMANENTI STRUTTURALI

I carichi permanenti strutturali vengono calcolati, nota la geometria, a partire dal valore del peso specifico dei diversi elementi strutturali.

Peso specifico calcestruzzo armato ordinario

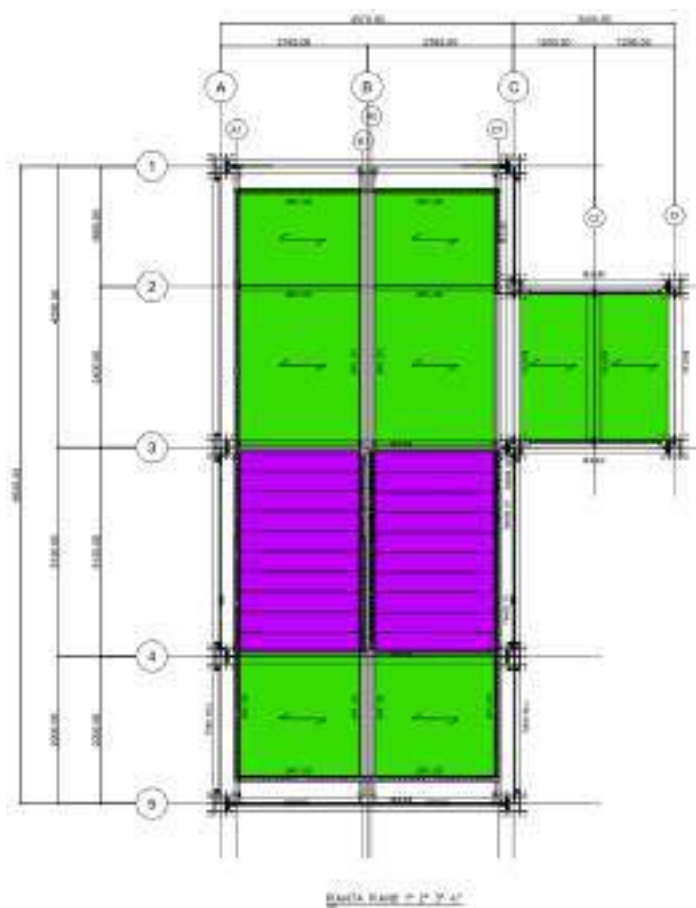
$$\gamma_c = 25,0 \text{ kN/m}^3$$

### Peso specifico acciaio

$$\gamma_a = 78,5 \text{ kN/m}^3$$

## 5.2 CARICHI PERMANENTI PORTATI

I carichi permanenti non strutturali vengono assunti come di seguito specificato:



*Figura 5 – zone a tipologia di orditura differente*

pianerottoli (zona verde)

Grigliato pedonale (Classe 1 – folla compatta)

$g_2 = 0,50 \text{ kN/m}^2$

**TABELLA DI PORTATA GRIGLIATO**  
**Classe 1 - folla compatta (portata pedonale) - secondo UNI 11002-1**

- D.M. 14 gennaio 2006 - 3.1.4 - tabella 3.1.II - Categoria E
- Carico dinamico 600 daN/m<sup>2</sup>
- Materiale acciaio S235JR - Sigma snervamento= 23,5 daN/mm<sup>2</sup> - Sigma confronto= 22,38 daN/mm<sup>2</sup>
- Freccia max. 5 mm
- Freccia max. 1/200 di L<sub>n</sub>

|        | Intensità folla pedonale (daN/m <sup>2</sup> )           |                |                |                |                |                |                |                |                |                |
|--------|--|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|        | 11   | 15             | 17             | 22             | 25             | 30             | 33             | 34             | 44             | 60             |
|        | L <sub>n</sub> = luce netta massima tra gli appoggi (mm) |                |                |                |                |                |                |                |                |                |
|        | L <sub>n</sub>   | L <sub>n</sub> | L <sub>n</sub> | L <sub>n</sub> | L <sub>n</sub> | L <sub>n</sub> | L <sub>n</sub> | L <sub>n</sub> | L <sub>n</sub> | L <sub>n</sub> |
| 20 x 2 | 1129   | 9046           | 9812           | 933            | 894            | 842            | 815            | 867            | 741            | 633            |
| 25 x 2 | 1185   | 9288           | 1003           | 1121           | 1087           | 1059           | 1014           | 1007           | 826            | 762            |
| 30 x 2 | 1531   | 9417           | 1373           | 1287           | 1245           | 1191           | 1163           | 1104           | 1082           | 890            |
| 35 x 2 | 1718   | 1006           | 1541           | 1441           | 1406           | 1337           | 1306           | 1296           | 1215           | 1098           |
| 40 x 2 | 1900   | 1758           | 1704           | 1597           | 1547           | 1478           | 1443           | 1412           | 1343           | 1214           |
| 45 x 2 | 2075   | 1926           | 1861           | 1743           | 1698           | 1618           | 1572           | 1565           | 1467           | 1336           |
| 50 x 2 | 2146   | 2078           | 2014           | 1888           | 1828           | 1747           | 1706           | 1694           | 1588           | 1455           |
| 25 x 3 | 1478   | 1367           | 1325           | 1242           | 1203           | 1150           | 1123           | 1114           | 1045           | 906            |
| 30 x 3 | 1694   | 1568           | 1519           | 1425           | 1386           | 1316           | 1287           | 1276           | 1198           | 1062           |
| 35 x 3 | 1892   | 1767           | 1706           | 1597           | 1543           | 1470           | 1440           | 1412           | 1343           | 1214           |
| 40 x 3 | 2100   | 1943           | 1881           | 1768           | 1712           | 1636           | 1597           | 1585           | 1486           | 1343           |

Figura 6 – tabella grigliato metallico da “Keller grigliati”

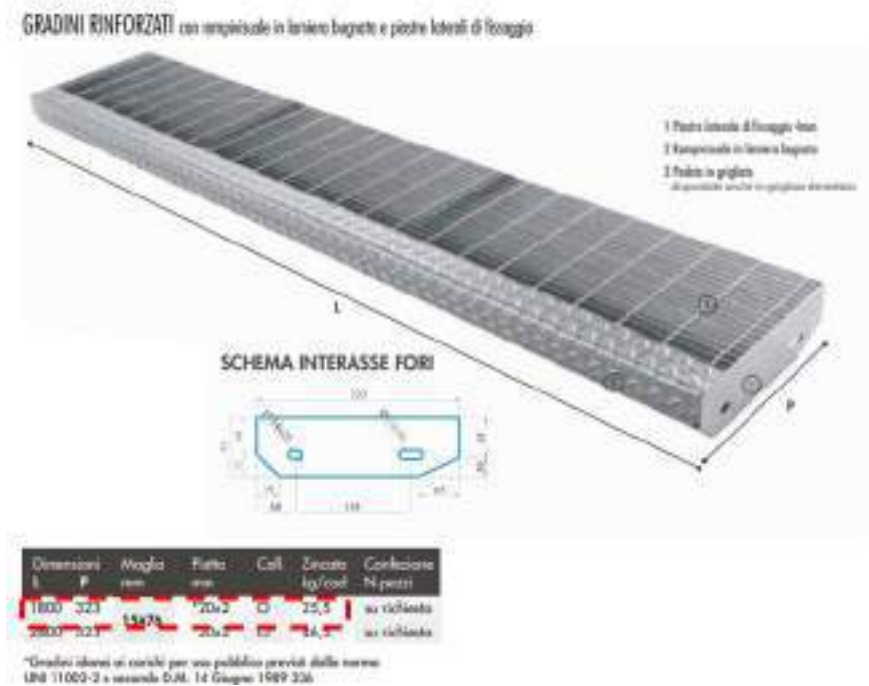
scale (zona viola)

Gradino metallico

$g_2 = 0,40 \text{ kN/m}^2$

La lunghezza fisica del grigliato, da cosciale a cosciale, è di 180 cm. Utilizzando il catalogo di seguito riportato si ottiene:





*Figura 7 – tabella gradini rinforzati da “Grigliati Baldassar S.R.L”*

## Parapetto metallico

**$g_2 = 0,30 \text{ kN/m}$**

### 5.3 SOVRACCARICHI ACCIDENTALI

I sovraccarichi accidentali di progetto sono determinati in base a quanto riportato nel DM 17/01/2018 ed in accordo con il progetto architettonico.

#### Scale comuni, balconi e ballatoi (cat.C)

Carichi verticali uniformemente distribuiti  $q_k = 4.0 \text{ kN/m}^2$ .

### 5.4 CARICO NEVE

Il carico neve è assunto cautelativamente pari a:

Provincia di Pisa ( $s_s=4 \text{ m.s.l.m.}$ )  $q_s = 0,5 \text{ kN/m}^2$

con:

Coefficiente termico  $C_t = 1.0$

Coefficiente di forma  $\mu = 0.80$

Coefficiente di esposizione  $C_e = 1.0$

### 5.5 AZIONE DEL VENTO

Per l'azione del vento in accordo con il punto 3.3 delle NTC 2018 sono stati assunti i seguenti parametri:

#### Zonizzazione

Altitudine del sito s.l.m.  $s_s = 4.0 \text{ m}$

Zona (tab. 3.3.I) 3

Classe di rugosità del terreno (tab. 3.3.III) B

Categoria di esposizione del sito III

#### Parametri di progetto

Velocità base di riferimento al livello del mare  $v_{b0} = 27 \text{ m/s}$

Parametro in funzione della zona  $a_0 = 500 \text{ m}$

Parametro in funzione della zona  $k_s = 0.37$

#### Velocità di riferimento

Coefficiente di altitudine  $c_a = 1$

|                                |                         |
|--------------------------------|-------------------------|
| Velocità base di riferimento   | $v_b = 27 \text{ m/s}$  |
| Periodo di ritorno di progetto | $T_r = 50 \text{ anni}$ |
| Coefficiente di ritorno        | $c_r = 1$               |
| Velocità di riferimento        | $v_r = 27 \text{ m/s}$  |

### Pressione del vento

|                                      |                 |
|--------------------------------------|-----------------|
| Coefficiente di esposizione          | $c_e(z) = 1$    |
| Coefficiente di topografia           | $c_t = 1$       |
| Coefficiente dinamico                | $c_d = 1$       |
| Coefficiente di pressione sottovento | $c_p = 0.60$    |
| Coefficiente di pressione sopravento | $c_{pe} = 0.80$ |

La distribuzione della pressione è variabile con l'altezza della scala in quanto ad ogni livello è stata assegnata la pressione di competenza agli elementi direttamente investiti. Inoltre, considerando la reale superficie investita dalla pressione del vento, quest'ultima è stata ridotta del 50% per tener conto della parziale permeabilità al vento della struttura e delle tele architettoniche di rivestimento delle facciate (delle quali si riportano di seguito le caratteristiche tecniche).



Figura 8 – Tela metallica A.322 (Costacurta S.p.a)

## 5.6 AZIONE SISMICA

L'azione sismica è stata valutata in accordo con quanto riportato nel DM. 17/01/18 assumendo:

Vita nominale di progetto

VN = 100 anni

Classe d'uso

III (Coefficiente CU = 1.5)

Periodo di riferimento

VR = VN CU = 150 anni

Categoria di sottosuolo

D

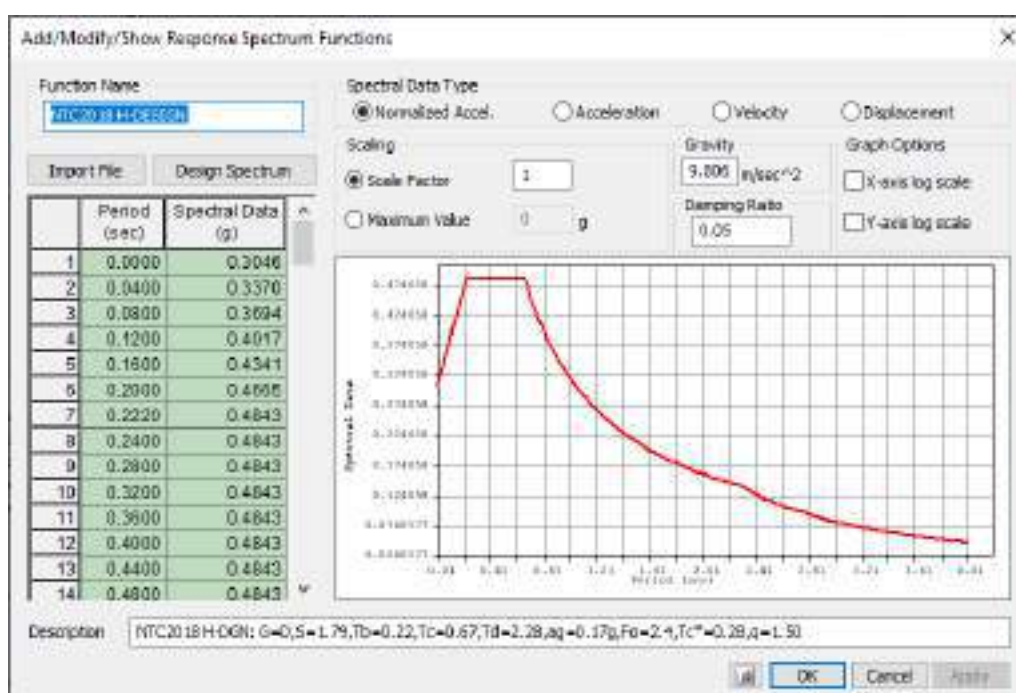
Categoria topografica

T1

Fattore di comportamento

q = 1.5

Di seguito si riportano gli spettri di risposta orizzontali e verticali in termini di accelerazione.



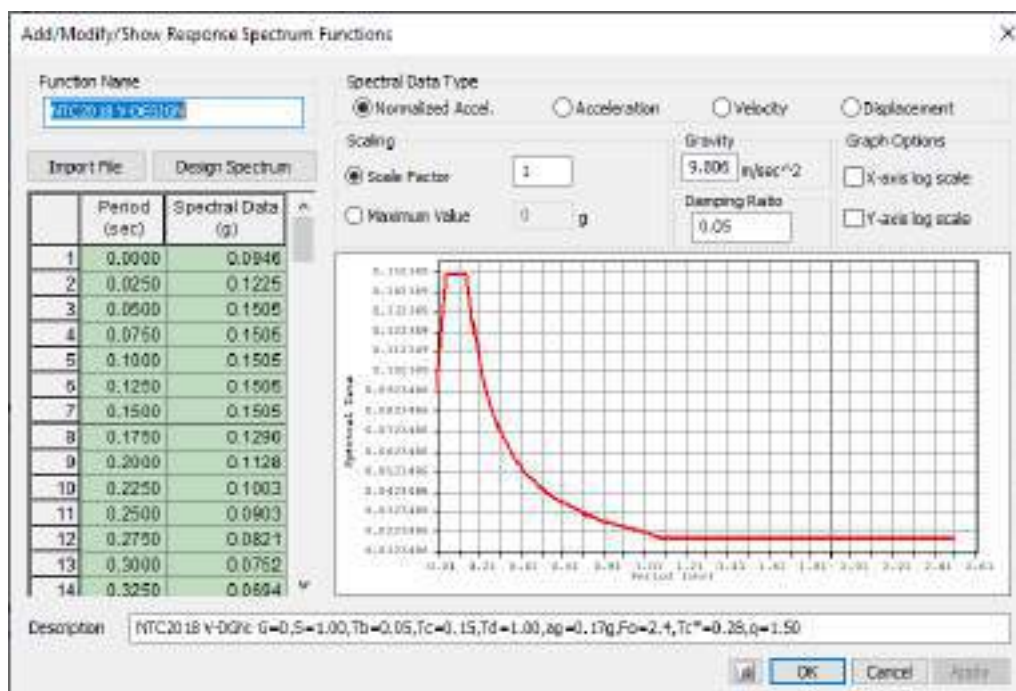


Figura 9 – Spettri di risposta di progetto (sisma orizzontale e verticale)

## 5.7 COMBINAZIONI DEI CARICHI

Ai fini delle verifiche agli stati limite le azioni sopra riportate sono combinate secondo quanto previsto dal DM. 17/01/18.

I valori dei coefficienti parziali e dei coefficienti di combinazione utilizzati è riportato di seguito:

Tab. 2.6.1 – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU

|  |             | Coefficiente $\gamma_s$ | EQU | A1  | A2  |
|--|-------------|-------------------------|-----|-----|-----|
| Carichi permanenti $G_i$                     | Favorevoli  | $\gamma_{Gi}$           | 0,9 | 1,0 | 1,0 |
|  | Sfavorevoli |                         | 1,1 | 1,3 | 1,0 |
| Carichi permanenti non strutturali $G_{int}$ | Favorevoli  | $\gamma_{Gi}$           | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
|  | Sfavorevoli |                         | 1,5 | 1,5 | 1,3 |
| Azioni variabili $Q$                         | Favorevoli  | $\gamma_{Qi}$           | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
|  | Sfavorevoli |                         | 1,5 | 1,5 | 1,3 |

<sup>(1)</sup> Nel caso in cui l'intensità dei carichi permanenti non strutturali o di una parte di essi (ad es. carichi permanenti portati) sia ben definita in fase di progetto, per detti carichi o per la parte di essi nota si potranno adottare gli stessi coefficienti parziali validi per le azioni permanenti.

Tab. 2.5.1 – Valori dei coefficienti di combinazione

| Categoria/Azione variabile  | $\psi_1$                   | $\psi_2$ | $\psi_3$ |
|---|----------------------------|----------|----------|
| Categoria A - Ambienti ad uso residenziale  | 0,7                        | 0,5      | 0,3      |
| Categoria B - Uffici  | 0,7                        | 0,5      | 0,3      |
| Categoria C - Ambienti suscettibili di affollamento   | 0,7                        | 0,7      | 0,6      |
| Categoria D - Ambienti ad uso commerciale   | 0,7                        | 0,7      | 0,6      |
| Categoria E - Aree per immagazzinamento, uso commerciale e uso industriale<br>Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale | 1,0                        | 0,9      | 0,8      |
| Categoria F - Rimesse, parcheggi ed aree per il traffico di veicoli (per autoveicoli di peso $\leq 30$ kN)                                  | 0,7                        | 0,7      | 0,6      |
| Categoria G - Rimesse, parcheggi ed aree per il traffico di veicoli (per autoveicoli di peso $> 30$ kN)                                     | 0,7                        | 0,5      | 0,3      |
| Categoria H - Coperture accessibili per sola manutenzione   | 0,0                        | 0,0      | 0,0      |
| Categoria I - Coperture praticabili   | da valutarsi caso per caso |          |          |
| Categoria K - Coperture per usi speciali (impianti, eliporti, ...)  |                            |          |          |
| Vento   | 0,6                        | 0,2      | 0,0      |
| Neve (a quota $\leq 1000$ m s.l.m.)   | 0,5                        | 0,2      | 0,0      |
| Neve (a quota $> 1000$ m s.l.m.)  | 0,7                        | 0,5      | 0,2      |
| Variazioni termiche   | 0,6                        | 0,5      | 0,0      |

Figura 10 – Tabelle dei coefficienti NTC 2018

Si riportano di seguito le combinazioni di carico considerate e implementate nel modello allo Stato limite Ultimo, allo Stato limite di Salvaguardia della vita e allo Stato limite d'esercizio.



UNIVERSITÀ DI PISA

POLO C: POLO DIDATTICO  
INGEGNERIA  
PROGETTO DEFINITIVO  
Relazione tecnica e di calcolo

| Name  | Type | Peso proprio | G2 - grigliato | G2 - parapetto | G2 - gradino | G2 - massetto | Qk - accidentale | Wind x+ | Wind y+ | Wind y- | Wind x- | Sisma orizz - x (RS) | Sisma orizz - y (RS) | Sisma vert- z (RS) | Sisma orizz - x (RS) | Sisma orizz - y (RS) | Sisma vert - z (RS) |
|-------|------|--------------|----------------|----------------|--------------|---------------|------------------|---------|---------|---------|---------|----------------------|----------------------|--------------------|----------------------|----------------------|---------------------|
| SLU1  | Add  | 1.3          | 1.5            | 1.5            | 1.5          | 1.5           | 1.5              | 0.9     |         |         |         |                      |                      |                    |                      |                      |                     |
| SLU2  | Add  | 1.3          | 1.5            | 1.5            | 1.5          | 1.5           | 1.5              |         | 0.9     |         |         |                      |                      |                    |                      |                      |                     |
| SLU3  | Add  | 1.3          | 1.5            | 1.5            | 1.5          | 1.5           | 1.5              |         |         |         | 0.9     |                      |                      |                    |                      |                      |                     |
| SLU4  | Add  | 1.3          | 1.5            | 1.5            | 1.5          | 1.5           | 1.5              |         |         | 0.9     |         |                      |                      |                    |                      |                      |                     |
| SLU5  | Add  | 1.3          | 1.5            | 1.5            | 1.5          | 1.5           | 1.05             | 1.5     |         |         |         |                      |                      |                    |                      |                      |                     |
| SLU6  | Add  | 1.3          | 1.5            | 1.5            | 1.5          | 1.5           | 1.05             |         |         |         | 1.5     |                      |                      |                    |                      |                      |                     |
| SLU7  | Add  | 1.3          | 1.5            | 1.5            | 1.5          | 1.5           | 1.05             |         | 1.5     |         |         |                      |                      |                    |                      |                      |                     |
| SLU8  | Add  | 1.3          | 1.5            | 1.5            | 1.5          | 1.5           | 1.05             |         |         | 1.5     |         |                      |                      |                    |                      |                      |                     |
| SLV1  | Add  | 1            | 1              | 1              | 1            | 1             | 0.6              |         |         |         |         | 1                    | 0.3                  |                    | 1                    | 0.3                  |                     |
| SLV2  | Add  | 1            | 1              | 1              | 1            | 1             | 0.6              |         |         |         |         | 1                    | 0.3                  |                    | -1                   | -0.3                 |                     |
| SLV3  | Add  | 1            | 1              | 1              | 1            | 1             | 0.6              |         |         |         |         | 1                    | -0.3                 |                    | 1                    | -0.3                 |                     |
| SLV4  | Add  | 1            | 1              | 1              | 1            | 1             | 0.6              |         |         |         |         | 1                    | -0.3                 |                    | -1                   | 0.3                  |                     |
| SLV5  | Add  | 1            | 1              | 1              | 1            | 1             | 0.6              |         |         |         |         | 1                    |                      | 0.3                | 1                    |                      | 0.3                 |
| SLV6  | Add  | 1            | 1              | 1              | 1            | 1             | 0.6              |         |         |         |         | 1                    | 0.3                  |                    | -1                   |                      | -0.3                |
| SLV7  | Add  | 1            | 1              | 1              | 1            | 1             | 0.6              |         |         |         |         | 1                    |                      | -0.3               | 1                    |                      | -0.3                |
| SLV8  | Add  | 1            | 1              | 1              | 1            | 1             | 0.6              |         |         |         |         | 1                    | -0.3                 |                    | -1                   |                      | 0.3                 |
| SLV9  | Add  | 1            | 1              | 1              | 1            | 1             | 0.6              |         |         |         |         | 0.3                  | 1                    |                    | 0.3                  | 1                    |                     |
| SLV10 | Add  | 1            | 1              | 1              | 1            | 1             | 0.6              |         |         |         |         | 0.3                  | 1                    |                    | -0.3                 | -1                   |                     |
| SLV11 | Add  | 1            | 1              | 1              | 1            | 1             | 0.6              |         |         |         |         | -0.3                 | 1                    |                    | -0.3                 | 1                    |                     |
| SLV12 | Add  | 1            | 1              | 1              | 1            | 1             | 0.6              |         |         |         |         | -0.3                 | 1                    |                    | 0.3                  | -1                   |                     |
| SLV13 | Add  | 1            | 1              | 1              | 1            | 1             | 0.6              |         |         |         |         | 1                    |                      | 0.3                | 1                    |                      | 0.3                 |
| SLV14 | Add  | 1            | 1              | 1              | 1            | 1             | 0.6              |         |         |         |         | 1                    | 0.3                  |                    | -1                   |                      | -0.3                |
| SLV15 | Add  | 1            | 1              | 1              | 1            | 1             | 0.6              |         |         |         |         | 1                    | -0.3                 |                    | 1                    |                      | -0.3                |
| SLV16 | Add  | 1            | 1              | 1              | 1            | 1             | 0.6              |         |         |         |         | 1                    | -0.3                 |                    | -1                   |                      | 0.3                 |
| SLV17 | Add  | 1            | 1              | 1              | 1            | 1             | 0.6              |         |         |         |         | 0.3                  |                      | 1                  | 0.3                  |                      | 1                   |
| SLV18 | Add  | 1            | 1              | 1              | 1            | 1             | 0.6              |         |         |         |         | 0.3                  |                      | 1                  | -0.3                 |                      | -1                  |
| SLV19 | Add  | 1            | 1              | 1              | 1            | 1             | 0.6              |         |         |         |         | -0.3                 |                      | 1                  | -0.3                 |                      | 1                   |
| SLV20 | Add  | 1            | 1              | 1              | 1            | 1             | 0.6              |         |         |         |         | -0.3                 |                      | 1                  | 0.3                  |                      | -1                  |
| SLV21 | Add  | 1            | 1              | 1              | 1            | 1             | 0.6              |         |         |         |         |                      | 0.3                  | 1                  |                      | 0.3                  | 1                   |
| SLV22 | Add  | 1            | 1              | 1              | 1            | 1             | 0.6              |         |         |         |         |                      | 0.3                  | 1                  |                      | -0.3                 | -1                  |
| SLV23 | Add  | 1            | 1              | 1              | 1            | 1             | 0.6              |         |         |         |         |                      | -0.3                 | 1                  |                      | -0.3                 | 1                   |
| SLV24 | Add  | 1            | 1              | 1              | 1            | 1             | 0.6              |         |         |         |         |                      | -0.3                 | 1                  |                      | 0.3                  | -1                  |
| SLV25 | Add  | 1            | 1              | 1              | 1            | 1             | 0.6              |         |         |         |         | 1                    | 0.3                  |                    | 1                    | -0.3                 |                     |
| SLV26 | Add  | 1            | 1              | 1              | 1            | 1             | 0.6              |         |         |         |         | 1                    | 0.3                  |                    | -1                   | 0.3                  |                     |
| SLV27 | Add  | 1            | 1              | 1              | 1            | 1             | 0.6              |         |         |         |         | 1                    | -0.3                 |                    | 1                    | 0.3                  |                     |
| SLV28 | Add  | 1            | 1              | 1              | 1            | 1             | 0.6              |         |         |         |         | 1                    | -0.3                 |                    | -1                   | -0.3                 |                     |
| SLV29 | Add  | 1            | 1              | 1              | 1            | 1             | 0.6              |         |         |         |         | 1                    |                      | 0.3                | 1                    |                      | -0.3                |
| SLV30 | Add  | 1            | 1              | 1              | 1            | 1             | 0.6              |         |         |         |         | 1                    | 0.3                  |                    | -1                   |                      | 0.3                 |
| SLV31 | Add  | 1            | 1              | 1              | 1            | 1             | 0.6              |         |         |         |         | 1                    | -0.3                 |                    | 1                    |                      | 0.3                 |
| SLV32 | Add  | 1            | 1              | 1              | 1            | 1             | 0.6              |         |         |         |         | 1                    | -0.3                 |                    | -1                   |                      | -0.3                |
| SLV33 | Add  | 1            | 1              | 1              | 1            | 1             | 0.6              |         |         |         |         | 0.3                  | 1                    |                    | -0.3                 | 1                    |                     |
| SLV34 | Add  | 1            | 1              | 1              | 1            | 1             | 0.6              |         |         |         |         | 0.3                  | 1                    |                    | 0.3                  | -1                   |                     |
| SLV35 | Add  | 1            | 1              | 1              | 1            | 1             | 0.6              |         |         |         |         | -0.3                 | 1                    |                    | 0.3                  | 1                    |                     |
| SLV36 | Add  | 1            | 1              | 1              | 1            | 1             | 0.6              |         |         |         |         | -0.3                 | 1                    |                    | -0.3                 | -1                   |                     |
| SLV37 | Add  | 1            | 1              | 1              | 1            | 1             | 0.6              |         |         |         |         |                      | 1                    | 0.3                |                      | 1                    | -0.3                |
| SLV38 | Add  | 1            | 1              | 1              | 1            | 1             | 0.6              |         |         |         |         |                      | 1                    | 0.3                |                      | -1                   | 0.3                 |
| SLV39 | Add  | 1            | 1              | 1              | 1            | 1             | 0.6              |         |         |         |         |                      | 1                    | -0.3               |                      | 1                    | 0.3                 |
| SLV40 | Add  | 1            | 1              | 1              | 1            | 1             | 0.6              |         |         |         |         |                      | 1                    | -0.3               |                      | -1                   | -0.3                |
| SLV41 | Add  | 1            | 1              | 1              | 1            | 1             | 0.6              |         |         |         |         | 0.3                  |                      | 1                  | -0.3                 |                      | 1                   |
| SLV42 | Add  | 1            | 1              | 1              | 1            | 1             | 0.6              |         |         |         |         | 0.3                  |                      | 1                  | 0.3                  |                      | -1                  |
| SLV43 | Add  | 1            | 1              | 1              | 1            | 1             | 0.6              |         |         |         |         | -0.3                 |                      | 1                  | 0.3                  |                      | 1                   |
| SLV44 | Add  | 1            | 1              | 1              | 1            | 1             | 0.6              |         |         |         |         | -0.3                 |                      | 1                  | -0.3                 |                      | -1                  |
| SLV45 | Add  | 1            | 1              | 1              | 1            | 1             | 0.6              |         |         |         |         |                      | 0.3                  | 1                  |                      | -0.3                 | 1                   |





UNIVERSITÀ DI PISA

**POLO C: POLO DIDATTICO**  
**INGEGNERIA**  
**PROGETTO DEFINITIVO**  
**Relazione tecnica e di calcolo**

|       |     |   |   |   |   |   |     |  |  |      |  |  |      |      |      |      |      |
|-------|-----|---|---|---|---|---|-----|--|--|------|--|--|------|------|------|------|------|
| SLV47 | Add | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.6 |  |  |      |  |  | -0.3 | 1    |      | 0.3  | 1    |
| SLV48 | Add | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.6 |  |  |      |  |  | -0.3 | 1    |      | -0.3 | -1   |
| SLV49 | Add | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.6 |  |  |      |  |  | -0.3 |      | -1   | -0.3 |      |
| SLV50 | Add | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.6 |  |  | -1   |  |  | -0.3 |      | 1    | 0.3  |      |
| SLV51 | Add | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.6 |  |  | -1   |  |  | 0.3  |      | -1   | 0.3  |      |
| SLV52 | Add | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.6 |  |  | -1   |  |  | 0.3  |      | 1    | -0.3 |      |
| SLV53 | Add | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.6 |  |  | -1   |  |  |      | -0.3 | -1   |      | -0.3 |
| SLV54 | Add | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.6 |  |  | -1   |  |  | -0.3 |      | 1    |      | 0.3  |
| SLV55 | Add | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.6 |  |  | -1   |  |  | 0.3  |      | -1   |      | 0.3  |
| SLV56 | Add | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.6 |  |  | -1   |  |  | 0.3  |      | 1    |      | -0.3 |
| SLV57 | Add | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.6 |  |  | -0.3 |  |  | -1   |      | -0.3 | -1   |      |
| SLV58 | Add | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.6 |  |  | -0.3 |  |  | -1   |      | 0.3  | 1    |      |
| SLV59 | Add | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.6 |  |  | 0.3  |  |  | -1   |      | 0.3  | -1   |      |
| SLV60 | Add | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.6 |  |  | 0.3  |  |  | -1   |      | -0.3 | 1    |      |
| SLV61 | Add | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.6 |  |  |      |  |  | -1   |      | -1   | -1   | -0.3 |
| SLV62 | Add | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.6 |  |  |      |  |  | -1   |      | -0.3 | 1    | 0.3  |
| SLV63 | Add | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.6 |  |  |      |  |  | -1   |      | 0.3  | -1   | 0.3  |
| SLV64 | Add | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.6 |  |  |      |  |  | -1   |      | 0.3  | 1    | -0.3 |
| SLV65 | Add | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.6 |  |  | -0.3 |  |  | -1   |      | -0.3 |      | -1   |
| SLV66 | Add | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.6 |  |  | -0.3 |  |  | -1   |      | 0.3  |      | 1    |
| SLV67 | Add | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.6 |  |  | 0.3  |  |  | -1   |      | 0.3  |      | -1   |
| SLV68 | Add | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.6 |  |  | 0.3  |  |  | -1   |      | -0.3 |      | 1    |
| SLV69 | Add | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.6 |  |  |      |  |  | -1   |      |      | -0.3 | -1   |
| SLV70 | Add | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.6 |  |  |      |  |  | -0.3 |      |      | 0.3  | 1    |
| SLV71 | Add | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.6 |  |  |      |  |  | 0.3  |      | -1   | 0.3  | -1   |
| SLV72 | Add | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.6 |  |  |      |  |  | 0.3  |      | -1   | -0.3 | 1    |
| SLV73 | Add | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.6 |  |  | -1   |  |  | -0.3 |      | -1   | 0.3  |      |
| SLV74 | Add | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.6 |  |  | -1   |  |  | -0.3 |      | 1    | -0.3 |      |
| SLV75 | Add | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.6 |  |  | -1   |  |  | 0.3  |      | -1   | -0.3 |      |
| SLV76 | Add | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.6 |  |  | -1   |  |  | 0.3  |      | 1    | 0.3  |      |
| SLV77 | Add | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.6 |  |  | -1   |  |  |      | -0.3 | -1   |      | 0.3  |
| SLV78 | Add | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.6 |  |  | -1   |  |  | -0.3 |      | 1    |      | -0.3 |
| SLV79 | Add | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.6 |  |  | -1   |  |  | 0.3  |      | -1   |      | -0.3 |
| SLV80 | Add | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.6 |  |  | -1   |  |  | 0.3  |      | 1    |      | 0.3  |
| SLV81 | Add | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.6 |  |  | -0.3 |  |  | -1   |      | 0.3  | -1   |      |
| SLV82 | Add | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.6 |  |  | -0.3 |  |  | -1   |      | -0.3 | 1    |      |
| SLV83 | Add | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.6 |  |  | 0.3  |  |  | -1   |      | -0.3 | -1   |      |
| SLV84 | Add | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.6 |  |  | 0.3  |  |  | -1   |      | 0.3  | 1    |      |
| SLV85 | Add | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.6 |  |  |      |  |  | -1   |      | -0.3 | -1   | 0.3  |
| SLV86 | Add | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.6 |  |  |      |  |  | -1   |      | -0.3 | 1    | -0.3 |
| SLV87 | Add | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.6 |  |  |      |  |  | -1   |      | 0.3  | -1   | -0.3 |
| SLV88 | Add | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.6 |  |  |      |  |  | -1   |      | 0.3  | 1    | 0.3  |
| SLV89 | Add | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.6 |  |  | -0.3 |  |  | -1   |      |      | 0.3  | -1   |
| SLV90 | Add | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.6 |  |  | -0.3 |  |  | -1   |      | -0.3 |      | 1    |
| SLV91 | Add | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.6 |  |  | 0.3  |  |  | -1   |      | -0.3 |      | -1   |
| SLV92 | Add | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.6 |  |  | 0.3  |  |  | -1   |      | 0.3  |      | 1    |
| SLV93 | Add | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.6 |  |  |      |  |  | -0.3 |      | -1   | 0.3  | -1   |
| SLV94 | Add | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.6 |  |  |      |  |  | -0.3 |      | -1   | -0.3 | 1    |
| SLV95 | Add | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.6 |  |  |      |  |  | 0.3  |      | -1   | -0.3 | -1   |
| SLV96 | Add | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.6 |  |  |      |  |  | 0.3  |      | -1   | 0.3  | 1    |







UNIVERSITÀ DI PISA

**POLO C: POLO DIDATTICO**  
**INGEGNERIA**  
**PROGETTO DEFINITIVO**  
Relazione tecnica e di calcolo

|       |     |   |   |   |   |   |   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
|-------|-----|---|---|---|---|---|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|
| SLE1  | Add | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.6 |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
| SLE2  | Add | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |     | 0.6 |     |     |     |     |     |     |     |  |
| SLE3  | Add | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |     |     | 0.6 |     |     |     |     |     |     |  |
| SLE4  | Add | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |     |     |     | 0.6 |     |     |     |     |     |  |
| SLE5  | Add | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.7 | 1   |     |     |     |     |     |     |     |  |
| SLE6  | Add | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.7 |     | 1   |     |     |     |     |     |     |  |
| SLE7  | Add | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.7 |     |     | 1   |     |     |     |     |     |  |
| SLE8  | Add | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.7 |     |     |     | 1   |     |     |     |     |  |
| SLE9  | Add | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.7 |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
| SLE10 | Add | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.7 |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
| SLE11 | Add | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.7 |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
| SLE12 | Add | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.7 |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
| SLE13 | Add | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.6 | 0.2 |     |     |     |     |     |     |     |  |
| SLE14 | Add | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.6 |     | 0.2 |     |     |     |     |     |     |  |
| SLE15 | Add | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.6 |     |     | 0.2 |     |     |     |     |     |  |
| SLE16 | Add | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.6 |     |     |     | 0.2 |     |     |     |     |  |
| SLE17 | Add | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.6 |     |     |     |     | 0.2 |     |     |     |  |
| SLE18 | Add | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.6 |     |     |     |     |     | 0.2 |     |     |  |
| SLE19 | Add | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.6 |     |     |     |     |     |     | 0.2 |     |  |
| SLE20 | Add | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.6 |     |     |     |     |     |     |     | 0.2 |  |
| SLE21 | Add | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.6 | 0.2 |     |     |     |     |     |     |     |  |
| SLE22 | Add | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.6 |     | 0.2 |     |     |     |     |     |     |  |
| SLE23 | Add | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.6 |     |     | 0.2 |     |     |     |     |     |  |
| SLE24 | Add | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.6 |     |     |     | 0.2 |     |     |     |     |  |

*Figura 11 – Combinazioni SLU, SLE e SLV*

## 6 SOFTWARE DI CALCOLO

Il calcolo delle strutture è stato effettuato utilizzando il programma ad elementi finiti Midas Gen 2022 della Midas Information Technology.

Si riportano alcune informazioni sul codice di calcolo usato per l'analisi degli elementi strutturali esaminati.

### 6.1 CARATTERISTICHE DEL CODICE DI CALCOLO

Il codice esegue l'analisi di strutture tridimensionali con nodi a sei gradi di libertà, utilizzando un solutore ad elementi finiti. Gli elementi considerati sono di tipo trave, con eventuali svincoli interni o rotazione attorno al proprio asse. I carichi possono essere applicati sia ai nodi, come forze o coppie concentrate, sia sulle travi, come forze distribuite, concentrate, coppie o distorsioni.

I vincoli esterni sono definiti da sei costanti di rigidezza elastica.

### 6.2 VALIDAZIONE DEL CODICE DI CALCOLO

La validazione del codice di calcolo viene eseguito confrontando i risultati delle sollecitazioni ottenute tramite calcolo manuale di una trave semplicemente appoggiata con un carico uniformemente distribuito lungo il suo asse e la risoluzione della stessa struttura con stesse caratteristiche geometriche e carichi da parte del programma di calcolo ad elementi finiti utilizzato per la modellazione strutturale.

## SOLUZIONE MANUALE



### VERIFICA PROFILO INFLESSO IN ACCIAIO (HEA 200)

#### DATI DI PROGETTO

| caratteristiche geometriche |           |   |      |   |  |
|-----------------------------|-----------|---|------|---|--|
| luce di calcolo             | $L_c$     | = | 5.00 | m |  |
| interassi                   | $i_s$     | = | 1.00 | m |  |
| sinistro                    | $i_d$     | = | 1.00 | m |  |
| destro                      | $i_{med}$ | = | 1.00 | m |  |
| medio                       |           |   |      |   |  |

#### ANALISI DEI CARICHI VERTICALI

| permanenti strutturali - $G_1$     |  |   |        |                   |  |
|------------------------------------|--|---|--------|-------------------|--|
| p.p. solaio                        |  | = | 0.00   | kg/m <sup>2</sup> |  |
| (escluso p.p. profilo)             |  |   |        |                   |  |
| permanenti non strutturali - $G_2$ |  |   |        |                   |  |
| grigliato pedonale                 |  | = | 400.00 | kg/m <sup>2</sup> |  |

#### COMBINAZIONI DI CARICO

| S.L.U.        |              |               |              |            |                  |
|---------------|--------------|---------------|--------------|------------|------------------|
| c.d.c.        |              |               |              |            |                  |
| $\gamma_{G1}$ | $G_1$ (kg/m) | $\gamma_{G2}$ | $G_2$ (kg/m) | $\gamma_Q$ | $Q$ (kg/m)       |
| 1.30          | 42           | 1.50          | 400          | 1.50       | 0                |
|               |              |               |              |            | $q_{tot}$ (kg/m) |
|               |              |               |              |            | 655              |

#### PROFILO IN ACCIAIO

| capacità resistente della sezione      |               |                                 |         |                       |  |
|--|---------------|---------------------------------|---------|-----------------------|--|
| profilo prescelto                      | n.            | 1                               | HEA     | 200                   |  |
| caratteristiche del singolo profilo    |               |                                 |         |                       |  |
| area                                   | A             | =                               | 53.80   | cm <sup>2</sup>       |  |
| p.p. profilo                           | p             | =                               | 42.30   | kg/m                  |  |
| momento d'inerzia                      | $J_x$         | =                               | 3692.00 | cm <sup>4</sup>       |  |
| momento statico di metà sezione        | $S_x$         | =                               | 215.00  | cm <sup>3</sup>       |  |
| modulo di resistenza plastico          | $W_{pl}$      | = $2 S_x$                       | 430.00  | cm <sup>3</sup>       |  |
| base profilo                           | b             | =                               | 20.00   | cm                    |  |
| altezza profilo                        | h             | =                               | 19.00   | cm                    |  |
|  | h / b         | =                               | 0.95    |                       |  |
| spessore delle ali                     | $t_f$         | =                               | 1.00    | cm                    |  |
| spessore dell'anima                    | $t_w$         | =                               | 0.65    | cm                    |  |
| raggio raccordo                        | r             | =                               | 1.80    | cm                    |  |
| area resistente a taglio               |               |                                 |         |                       |  |
| $A_v$                                  | =             | $A - 2 b t_f + (t_w + 2 r) t_f$ |         | per profili IPE ed HE |  |
| $A_v$                                  | =             | $A - 2 b t_f + (t_w + r) t_f$   |         | per profili ad U      |  |
|  | =             |                                 | 18.05   | cm <sup>2</sup>       |  |
| acciaio                                |               |                                 |         |                       |  |
| tensione di snervamento                | $f_{yk}$      | =                               | 355     | N/mm <sup>2</sup>     |  |
|  |               | =                               | 3550    | kg/cm <sup>2</sup>    |  |
| coefficiente di sicurezza (tab. 4.2.V) | $\gamma_{M0}$ | =                               | 1.05    |                       |  |
| modulo di elasticità                   | E             | =                               | 2100000 | kg/cm <sup>2</sup>    |  |



UNIVERSITÀ DI PISA

#### VERIFICHE DI RESISTENZA

##### VERIFICA A FLESSIONE

Azioni di progetto - S.L.U.

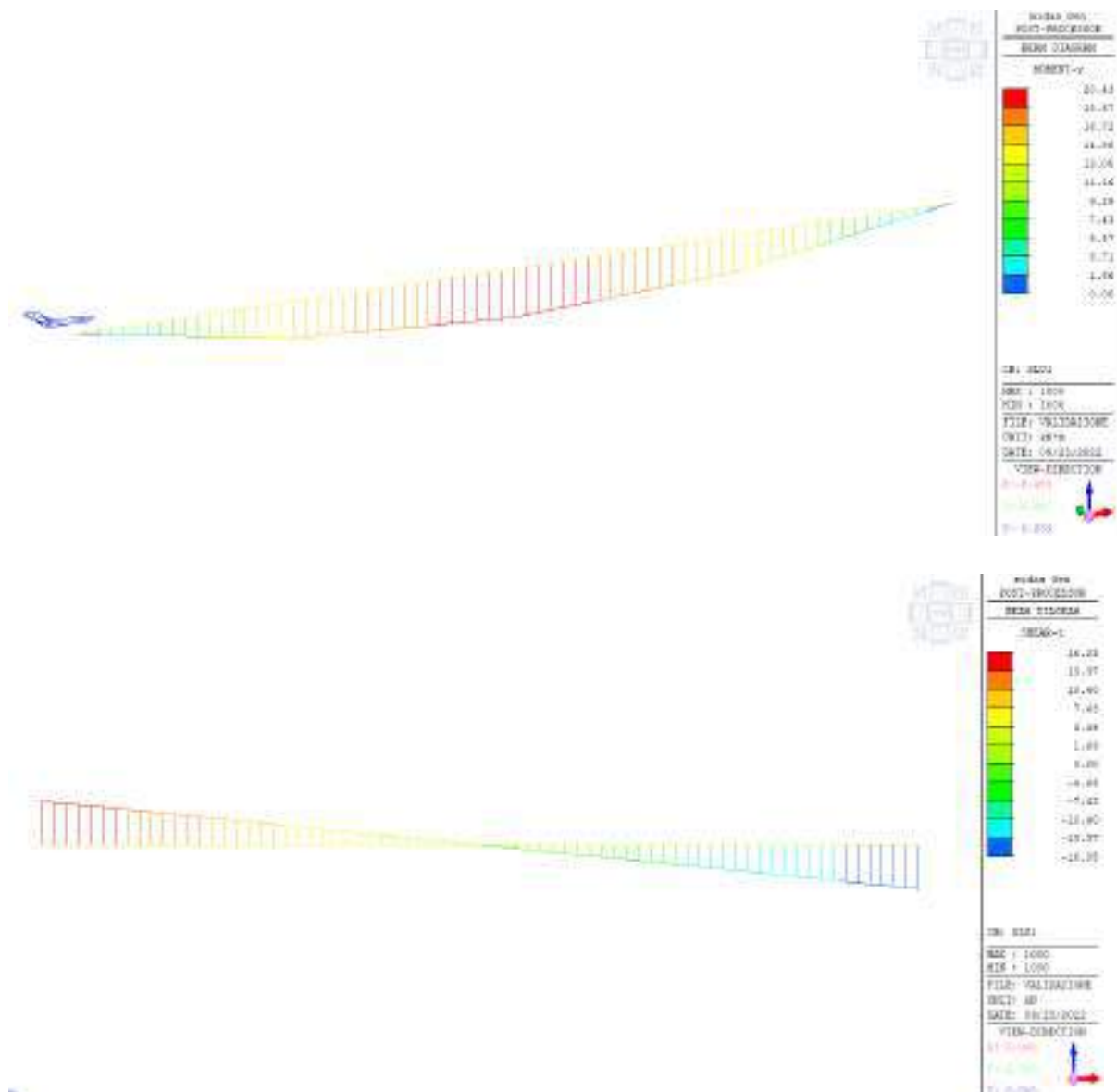
$$M_{Ed} = q_{tot} L_c^2 / 8 = 20.47 \text{ kNm}$$

##### VERIFICA A TAGLIO

Azioni di progetto - S.L.U.

$$V_{Ed} = q_{tot} L_c / 2 = 16.37 \text{ kN}$$

### SOLUZIONE CON SOFTWARE



I risultati come si può notare sono coincidenti e di conseguenza il programma può essere considerato valido.

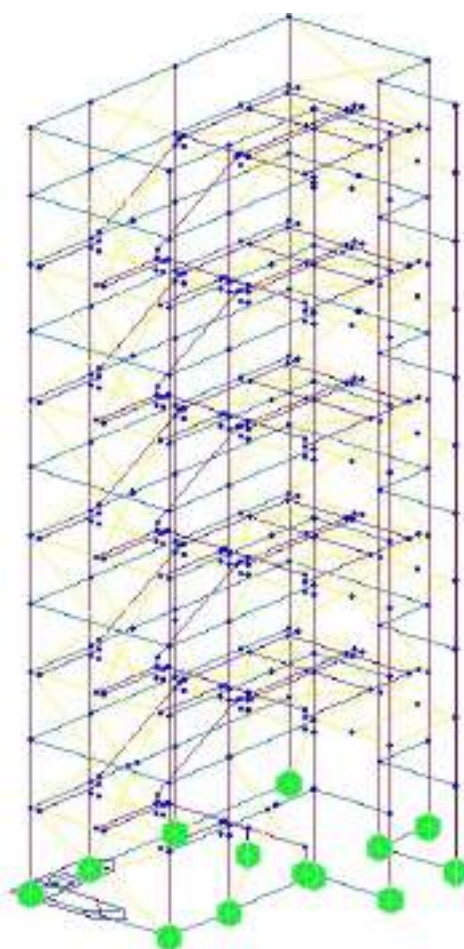
## 7 ANALISI STRUTTURALE

### 7.1 ELEVAZIONE

#### *Descrizione del modello*

L'analisi è stata sviluppata con l'ausilio del software Midas Gen 2020.

La sovrastruttura è composta da elementi di tipo *beam* per travi, cosciali e colonne e da elementi *truss* per i controventi di piano e di parete in x e in y. Le colonne sono tutte incastrate alla base, come mostra l'immagine successiva del modello wireframe.



*Figura 12 – Modello wireframe*

### Analisi delle sollecitazioni

Le seguenti figure riportano una sintesi delle caratteristiche della sollecitazione e dello stato tensionale degli elementi per gli involucri delle combinazioni SLU e SLV.

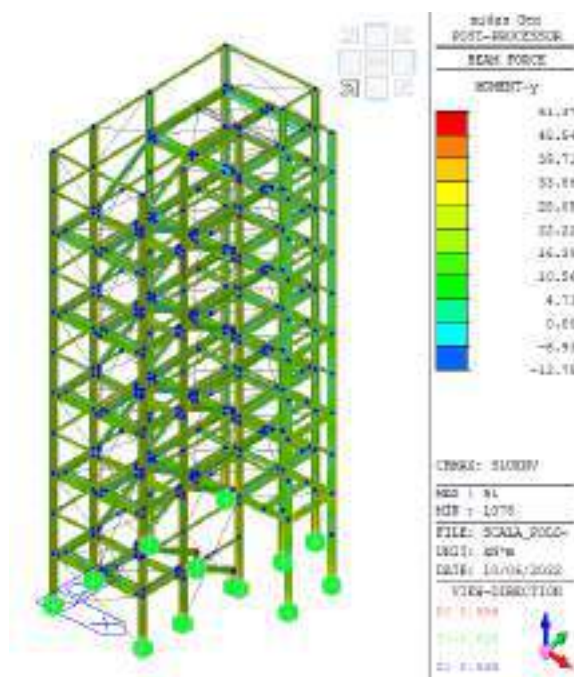


Figura 13 Elev My SLU

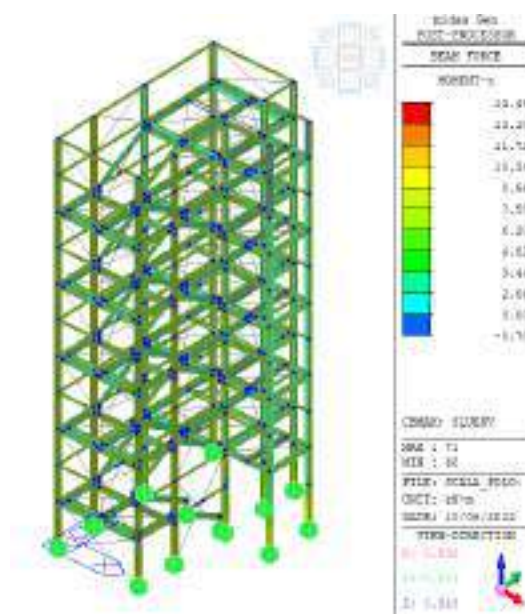


Figura 14 Elev Mz SLU

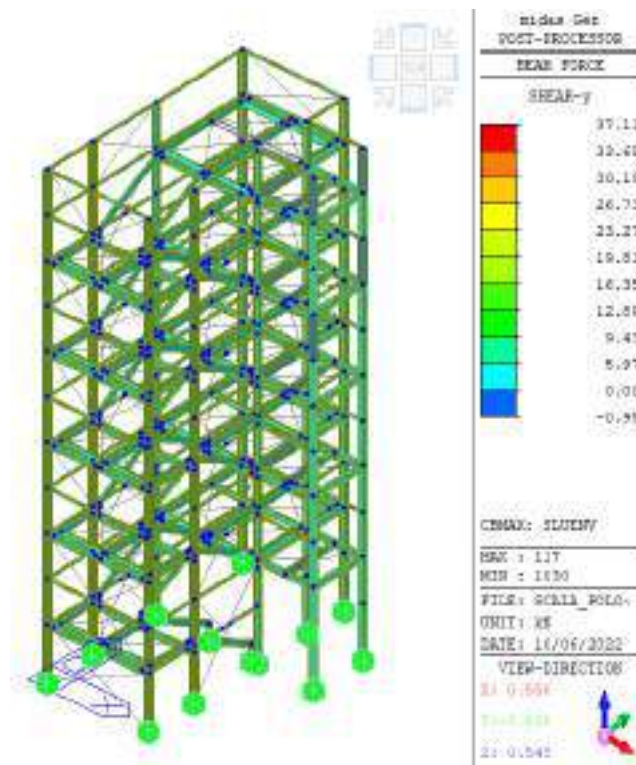


Figura 15 Elev Fy SLU

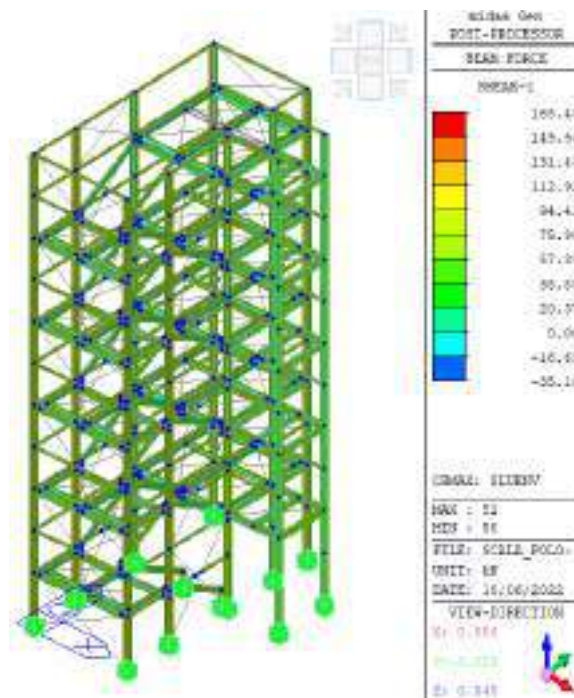


Figura 16 Elev Fz SLU



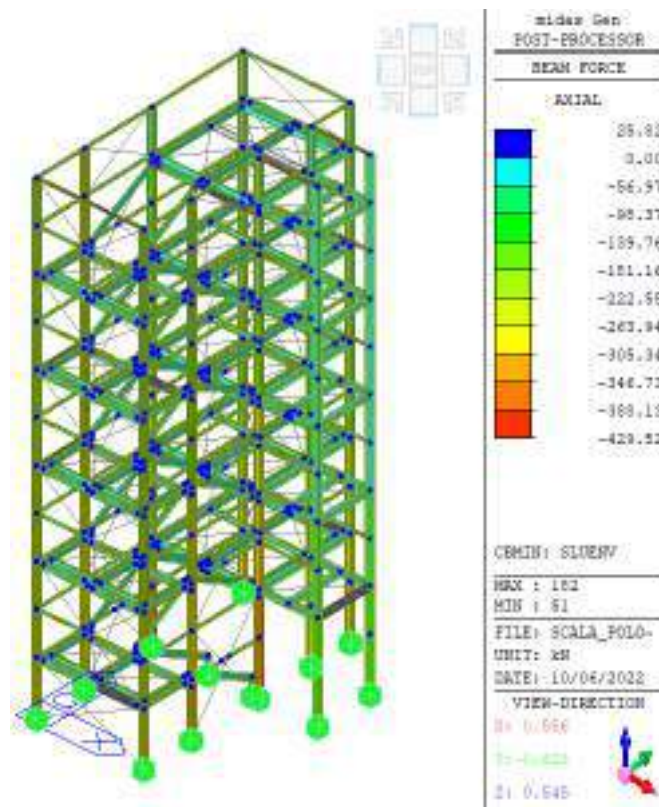


Figura 17 Elev Nmin SLU

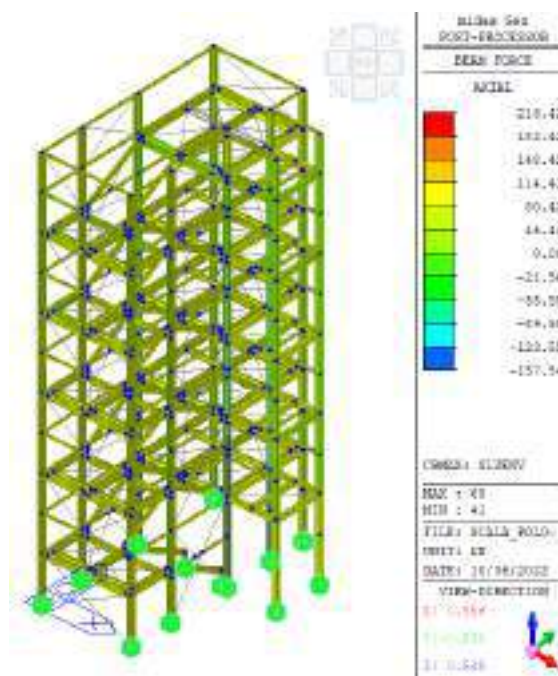


Figura 18 Elev Nmax SLU



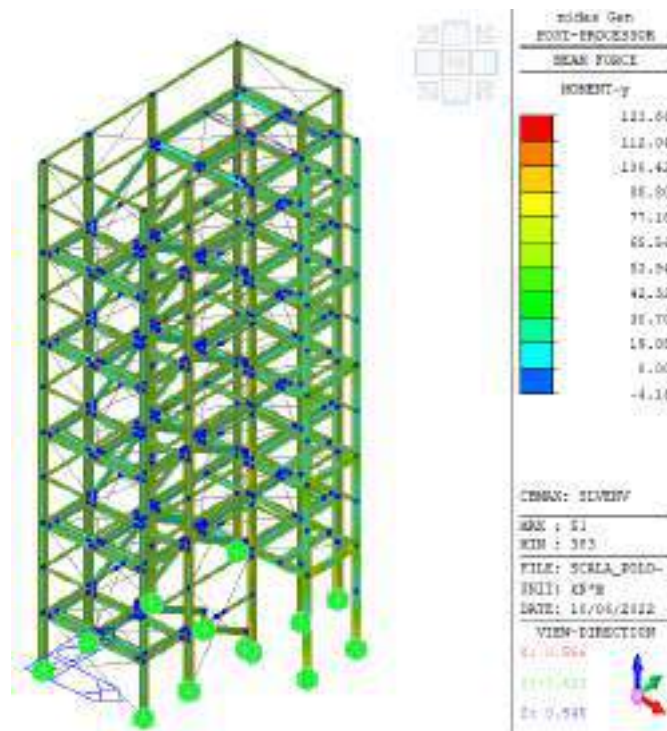


Figura 19 Elev My SLV

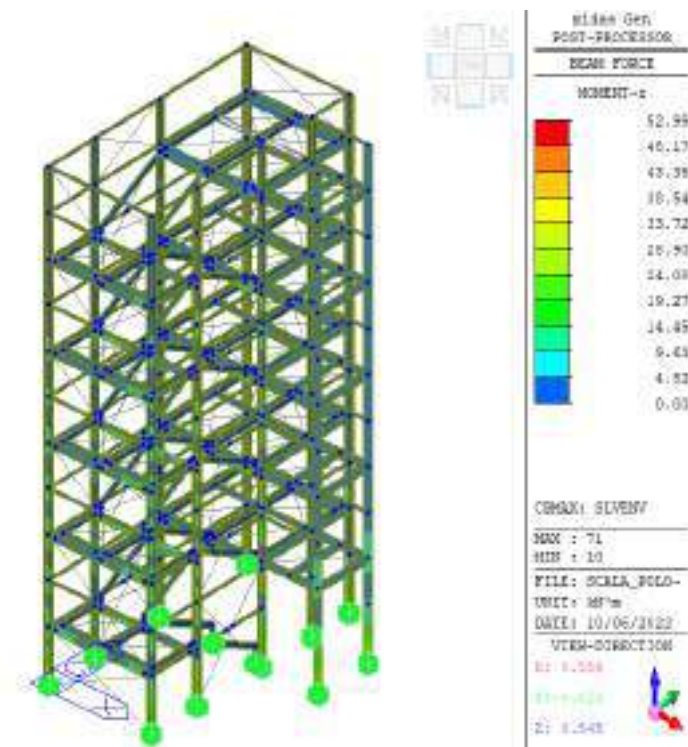


Figura 20 Elev Mz SLV

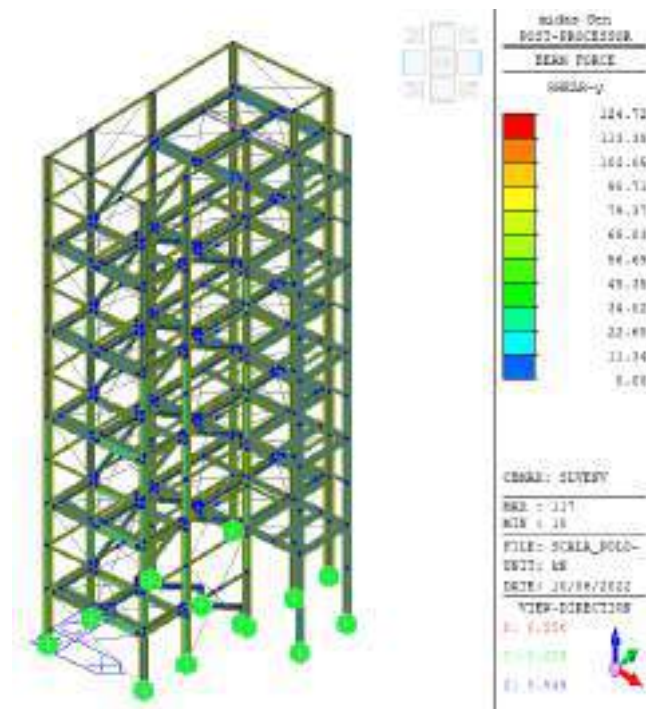


Figura 21 Elev Fy SLV

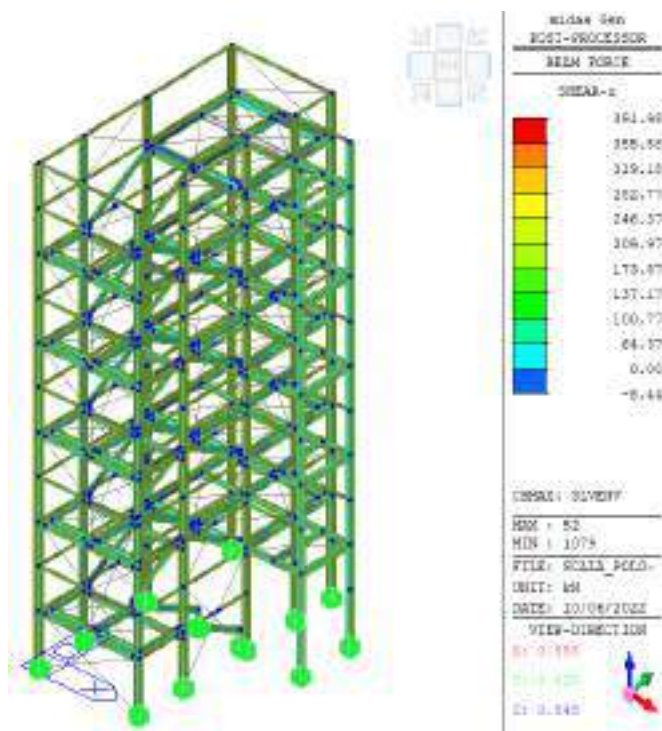


Figura 22 Elev Fz SLV

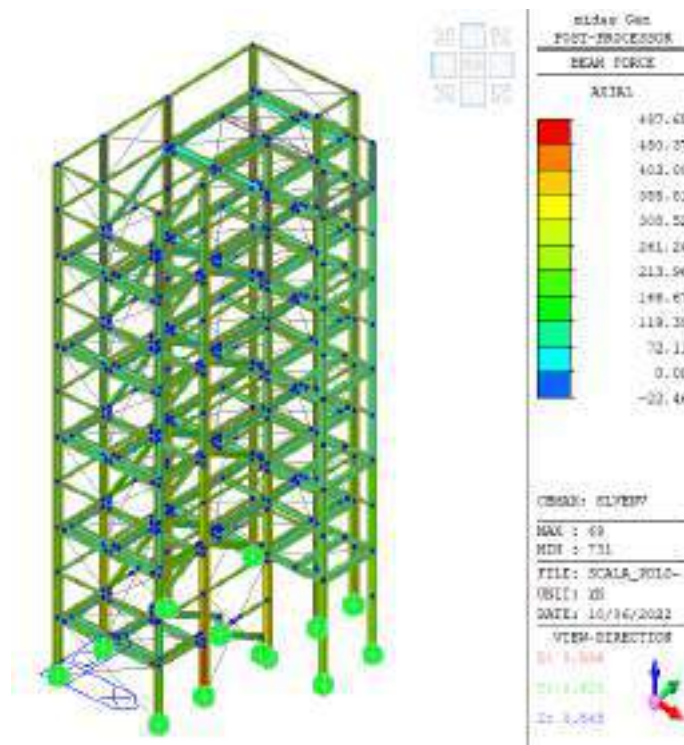


Figura 23 Elev Nmin SLV

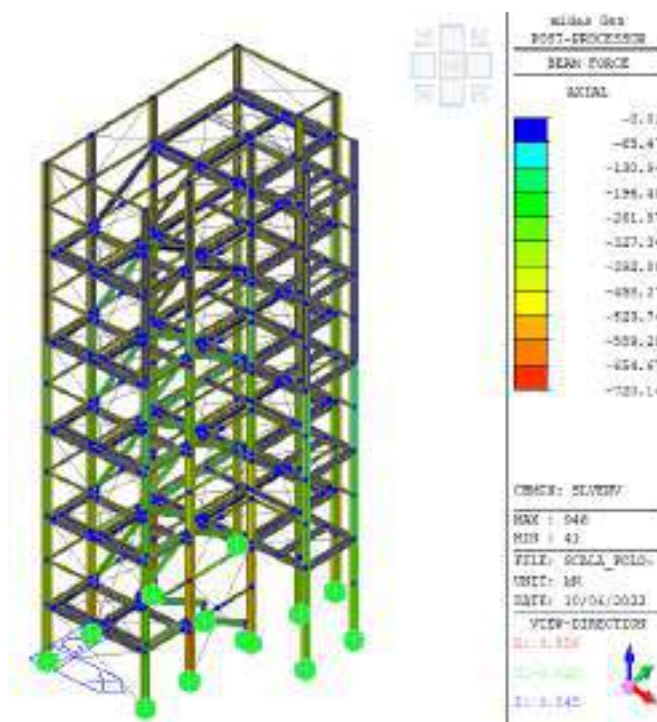


Figura 24 Elev Nmax SLV





UNIVERSITÀ DI PISA

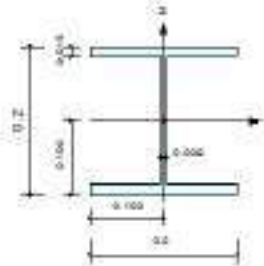
## Verifiche strutturali

Si riporta la sintesi delle verifiche strutturali di ogni elemento.

### Colonne HEB 200

#### 1. Design Information

|               |   |
|---------------|---|
| Design Code   | Eurocode3-05  |
| Unit System   | kN, m   |
| Member No.    | 1   |
| Material      | S235 (No.1)<br>( $F_y = 355000$ , $E_s = 210000000$ ) |
| Section Name  | HEB200 (No.4)<br>(Rolled: HEB200)                     |
| Member Length | 2.20500   |



#### 2. Member Forces

|                 |  |
|-----------------|--|
| Axial Force     | $F_{ax} = -494.79$ (LCB: 63, POS: I)   |
| Bending Moments | $M_y = -105.99$ , $M_z = 12.9058$  |
| End Moments     | $M_y = -105.99$ , $M_z = 2.93562$ (for Lb)<br>$M_y = -105.98$ , $M_z = 2.93562$ (for Ly)<br>$M_x = 12.9058$ , $M_z = -5.9990$ (for Lz) |
| Shear Forces    | $F_{vy} = 19.3679$ (LCB: 67, POS: 1/2)<br>$F_{vz} = 84.1493$ (LCB: 37, POS: 1/2)   |

|                     |         |                         |         |
|---------------------|---------|-------------------------|---------|
| Depth               | 0.00000 | Web Thickness           | 0.00000 |
| Top Flange Width    | 0.20000 | Top Flange Thickness    | 0.01000 |
| Bottom Flange Width | 0.20000 | Bottom Flange Thickness | 0.01000 |
| Area                | 0.00181 | Area                    | 0.00189 |
| Dist. to Centroid   | 0.00000 | Dist. to Centroid       | 0.00000 |
| Y-axis              | 0.00000 | Y-axis                  | 0.00000 |
| Z-axis              | 0.00000 | Z-axis                  | 0.00000 |
| Y-axis              | 0.00000 | Y-axis                  | 0.00000 |
| Z-axis              | 0.00000 | Z-axis                  | 0.00000 |

#### 3. Design Parameters

|                                   |  |
|-----------------------------------|--|
| Unbraced Lengths                  | $L_y = 2.20500$ , $L_z = 2.20500$ , $L_b = 2.20500$  |
| Effective Length Factors          | $K_y = 1.00$ , $K_z = 1.00$                          |
| Equivalent Uniform Moment Factors | $C_{my} = 0.85$ , $C_{mz} = 0.85$ , $C_{mLT} = 1.00$ |

#### 4. Checking Result

|                     |  |
|---------------------|--|
| Slenderness Ratio   | $\lambda_{y,v} = 43.5 < 200.0$ (LCB: 102) ..... OK   |
| Axial Resistance    | $N_{Ed}/N_{Rd} = 494.79/2028.21 = 0.244 < 1.000$ ..... OK  |
| Bending Resistance  | $M_{Edy}/M_{Rdy} = 105.99/217.087 = 0.493 < 1.000$ ..... OK<br>$M_{Edz}/M_{Rdz} = 12.9058/102.562 = 0.125 < 1.000$ ..... OK  |
| Combined Resistance | $R_{b,NRd} = \max[M_{Edy}/M_{Rdy\_Rd}, M_{Edz}/M_{Rdz\_Rd}]$<br>$R_{b,M} = (M_{Edy}/M_{Rdy\_Rd})^{\alpha} + (M_{Edz}/M_{Rdz\_Rd})^{\beta}$<br>$R_{b,N} = N_{Ed}/N_{Rd}$ , $R_{b,M} = M_{Edy}/M_{Rdy\_Rd} + M_{Edz}/M_{Rdz\_Rd}$<br>$R_{b,LT1} = N_{Ed}/N_{Rd} + (M_{Edy}/M_{Rdy\_Rd})^{\alpha} + (M_{Edz}/M_{Rdz\_Rd})^{\beta}$<br>$R_{b,LT2} = (N_{Ed}/N_{Rd})^{\alpha} + (M_{Edy}/M_{Rdy\_Rd})^{\alpha} + (M_{Edz}/M_{Rdz\_Rd})^{\beta}$<br>$R_{max} = \max[R_{b,NRd}, R_{b,M}, R_{b,N} + R_{b,M}, \max[R_{b,LT1} + R_{b,LT2}, R_{b,LT2} + R_{b,LT1}]] = 0.605 < 1.000$ ..... OK |
| Shear Resistance    | $V_{Edy}/V_{Rd} = 0.012 < 1.000$ ..... OK<br>$V_{Edz}/V_{Rd} = 0.112 < 1.000$ ..... OK   |

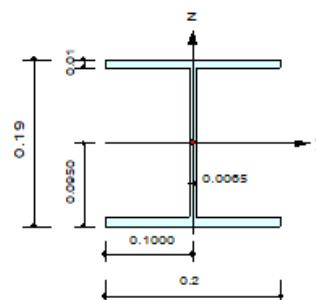
#### 5. Deflection Checking Results

|  |
|--|
| $L/300 = 0.0073 > 0.0050$ (Norma 1, LCB: 115, OK) ..... OK |
|--|

## Travi HEA 200

### 1. Design Information

|               |   |
|---------------|---|
| Design Code   | Eurocode3:05  |
| Unit System   | kN, m   |
| Member No     | 27  |
| Material      | S355 (No:1)<br>( $F_y = 355000$ , $E_s = 210000000$ ) |
| Section Name  | HEA200 (No:9)<br>(Rolled : HEA200).                   |
| Member Length | : 2.40000   |



### 2. Member Forces

|                 |  |
|-----------------|--|
| Axial Force     | $F_{xx} = 0.00000$ (LCB: 44, POS:J)  |
| Bending Moments | $M_y = -23.177$ , $M_z = 0.00000$  |
| End Moments     | $M_{yi} = 0.00000$ , $M_{yj} = -23.177$ (for Lb)<br>$M_{yi} = 0.00000$ , $M_{yj} = -23.177$ (for Ly)<br>$M_{zi} = 0.00000$ , $M_{zj} = 0.00000$ (for Lz) |
| Shear Forces    | $F_{yy} = 0.00000$ (LCB: 38, POS:1/2)<br>$F_{zz} = 12.0981$ (LCB: 44, POS:J)   |

|             |         |             |         |
|-------------|---------|-------------|---------|
| Depth       | 0.19000 | Web Thick   | 0.00850 |
| Top F Width | 0.20000 | Top F Thick | 0.01000 |
| Bot.F Width | 0.20000 | Bot.F Thick | 0.01000 |
| Area        | 0.00538 | Asz         | 0.00123 |
| Cyb         | 0.03130 | Qzb         | 0.00500 |
| Iyy         | 0.00004 | Izz         | 0.00001 |
| Ybar        | 0.10000 | Zbar        | 0.00500 |
| Wely        | 0.00039 | Welz        | 0.00013 |
| ry          | 0.08280 | rz          | 0.04980 |

### 3. Design Parameters

|                                   |  |
|-----------------------------------|--|
| Unbraced Lengths                  | $L_y = 2.40000$ , $L_z = 2.40000$ , $L_b = 2.40000$  |
| Effective Length Factors          | $K_y = 1.00$ , $K_z = 1.00$                          |
| Equivalent Uniform Moment Factors | $C_{my} = 0.50$ , $C_{mz} = 0.50$ , $C_{mLT} = 1.00$ |

### 4. Checking Result

#### Slenderness Ratio

$$L/r = 48.2 < 300.0 \text{ (LCB: 103)} \dots\dots\dots \text{O.K}$$

#### Axial Resistance

$$N_{Ed}/N_{tRd} = 0.00/1818.95 = 0.000 < 1.000 \dots\dots\dots \text{O.K}$$

#### Bending Resistance

$$M_{Edy}/M_{Rdy} = 23.177/145.381 = 0.159 < 1.000 \dots\dots\dots \text{O.K}$$

$$M_{Edz}/M_{Rdz} = 0.0000/68.2261 = 0.000 < 1.000 \dots\dots\dots \text{O.K}$$

#### Combined Resistance

$$R_{MNRd} = \text{MAX}[M_{Edy}/M_{ny\_Rd}, M_{Edz}/M_{nz\_Rd}]$$

$$R_{byN} = N_{Ed}/(A \cdot f_y / \text{Gamma\_M0}), R_{byM} = M_{Edy}/M_{y\_Rd} + M_{Edz}/M_{z\_Rd}$$

$$R_{max} = \text{MAX}[R_{MNRd}, (R_{byN} + R_{byM})] = 0.159 < 1.000 \dots\dots\dots \text{O.K}$$

#### Shear Resistance

$$V_{Edy}/V_{y\_Rd} = 0.000 < 1.000 \dots\dots\dots \text{O.K}$$

$$V_{Edz}/V_{z\_Rd} = 0.034 < 1.000 \dots\dots\dots \text{O.K}$$

### 5. Deflection Checking Results

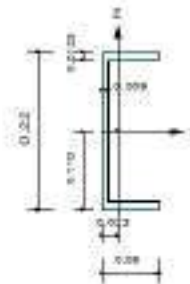
$$L/250.0 = 0.0096 > 0.0002 \text{ (Memb:27, LCB: 111, POS: 1.5m, Dir-Z)} \dots\dots\dots \text{O.K}$$



## Cosciali UPN 220

## 1. Design Information

|               |   |
|---------------|---|
| Design Code   | Eurocode2:05  |
| Unit System   | kN, m   |
| Member No     | 210   |
| Material      | S355 (No.1)<br>( $f_y = 355000$ , $E_s = 210000000$ ) |
| Section Name  | UPN220 (No.10)<br>(Rolled: UPN220)                    |
| Member Length | 0.65800   |



## 2. Member Forces

|                 |  |
|-----------------|--|
| Axial Force     | $P_{ox} = -48.919$ (LCB: 44, POS:J)  |
| Bending Moments | $M_y = -37.734$ , $M_z = 0.47930$  |
| End Moments     | $M_{y1} = 0.00000$ , $M_{y2} = -37.734$ (for $L_y$ )<br>$M_{z1} = 0.00000$ , $M_{z2} = 0.47934$ (for $L_z$ ) |
| Shear Forces    | $P_{oy} = -2.3319$ (LCB: 63, POS:1/2)<br>$P_{oz} = 37.3470$ (LCB: 44, POS:1/2)                               |

|            |         |            |         |
|------------|---------|------------|---------|
| DA001      | 0.22000 | INAC Thick | 0.00200 |
| Top Flange | 0.09900 | Top Flange | 0.01000 |
| Bot Flange | 0.09900 | Bot Flange | 0.01000 |
| Area       | 0.00372 | Area       | 0.00128 |
| Cy         | 0.01928 | Cy         | 0.00190 |
| Cz         | 0.00003 | Cz         | 0.00000 |
| Iy         | 0.00000 | Iy         | 0.00000 |
| Iz         | 0.00000 | Iz         | 0.00000 |
| IyIz       | 0.00000 | IyIz       | 0.00000 |
| Ip         | 0.00000 | Ip         | 0.00000 |

## 3. Design Parameters

|                                   |  |
|-----------------------------------|--|
| Unbraced Lengths                  | $L_y = 0.00100$ , $L_z = 0.00100$ , $L_b = 0.00000$  |
| Effective Length Factors          | $K_y = 0.80$ , $K_z = 0.80$                          |
| Equivalent Uniform Moment Factors | $C_{my} = 0.70$ , $C_{mz} = 0.70$ , $C_{mLT} = 1.00$ |

## 4. Checking Result

|                     |  |
|---------------------|--|
| Slenderness Ratio   | $\lambda_{y,z} = 0.0 < 200.0$ (LCB: 103)..... OK   |
| Axial Resistance    | $N_{Ed}/M[N(N_{t,Rd}, N_{c,Rd})] = 48.919/264.48 = 0.039 < 1.000$ ..... OK   |
| Bending Resistance  | $M_{Edy}/M_{Rdy} = 37.734/49.7238 = 0.759 < 1.000$ ..... OK<br>$M_{Edz}/M_{Rdz} = 0.4793/4.9005 = 0.030 < 1.000$ ..... OK  |
| Combined Resistance | $R_{MNRd} = \max[M_{Edy}/M_{Rdy}, M_{Edz}/M_{Rdz}]$<br>$R_{BM} = (M_{Edy}/M_{Rdy})^{\alpha} + (M_{Edz}/M_{Rdz})^{\beta}$<br>$R_{b,N} = N_{Ed}/(A \cdot f_y / \gamma_{M0})$ , $R_{b,M} = M_{Edy}/M_{Rdy} + M_{Edz}/M_{Rdz}$<br>$R_{o,LT1} = N_{Ed}/(X_{ly} \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1})$<br>$R_{o,LT1} = (i_{yy} \cdot M_{Edy}) / (X_{ly} \cdot I_{yy} \cdot f_y / \gamma_{M1}) + (i_{yz} \cdot M_{Edz}) / (W_{plz} \cdot f_y / \gamma_{M1})$<br>$R_{o,LT2} = N_{Ed}/(X_{lz} \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1})$<br>$R_{o,LT2} = (i_{zy} \cdot M_{Edy}) / (X_{lz} \cdot I_{zy} \cdot f_y / \gamma_{M1}) + (i_{zz} \cdot M_{Edz}) / (W_{ply} \cdot f_y / \gamma_{M1})$<br>$R_{max} = \max[R_{MNRd}, R_{BM}, R_{b,N} + R_{b,M}, \max[R_{o,LT1} + R_{o,LT1}, R_{o,LT2} + R_{o,LT2}]] = 0.441 < 1.000$ ..... OK |
| Shear Resistance    | $V_{Edy}/V_{Rd} = 0.000 < 1.000$ ..... OK<br>$V_{Edz}/V_{Rd} = 0.146 < 1.000$ ..... OK   |

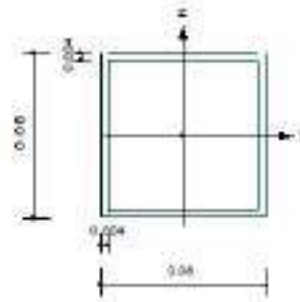
## 5. Deflection Checking Results

|  |
|--|
| $L/300.0 = 0.0022 > 0.0016$ (Member 210, LCB: 110, Cb=1.0)..... OK |
|--|

## Tubi RHS CF 80x80x4

### 1. Design Information

|               |   |
|---------------|---|
| Design Code   | Eurocode3:05  |
| Unit System   | kN, m   |
| Member No     | 28  |
| Material      | S355 (No.1)<br>( $F_y = 355000$ , $E_s = 210000000$ )               |
| Section Name  | RHS-CF 80X80X4 UNI7812 (No.11)<br>(Rolled: RHS-CF 80X80X4 UNI7812). |
| Member Length | 2.20000   |



### 2. Member Forces

|                 |  |
|-----------------|--|
| Axial Force     | $F_{ax} = 0.00000$ (LCB: 5, POS:1/2)   |
| Bending Moments | $M_y = 0.07029$ , $M_z = 0.52726$  |
| End Moments     | $M_{yi} = 0.00000$ , $M_{yj} = 0.00000$ (for Lb)<br>$M_{yi} = 0.00000$ , $M_{yj} = 0.00000$ (for Ly)<br>$M_{zi} = 0.00000$ , $M_{zj} = 0.00000$ (for Lz) |
| Shear Forces    | $F_{ry} = 0.05666$ (LCB: 5, POS:J)<br>$F_{rz} = 0.12780$ (LCB: 5, POS:J)   |

|            |         |              |         |
|------------|---------|--------------|---------|
| Depth      | 0.08000 | Web Thick    | 0.00400 |
| Flg Width  | 0.08000 | Top Fl Thick | 0.00400 |
| Web Center | 0.07800 | Bot Fl Thick | 0.00400 |
| Area       | 0.00119 | Agg          | 0.00004 |
| Cy         | 0.00000 | Cx           | 0.00000 |
| Iy         | 0.00000 | Iz           | 0.00000 |
| Wy         | 0.00000 | Zy           | 0.00000 |
| Vy         | 0.00000 | Vz           | 0.00000 |
| ry         | 0.00000 | rz           | 0.00000 |

### 3. Design Parameters

|                                   |  |
|-----------------------------------|--|
| Unbraced Length                   | $L_y = 2.20000$ , $L_z = 2.20000$ , $L_b = 2.20000$  |
| Effective Length Factors          | $K_y = 1.00$ , $K_z = 1.00$                          |
| Equivalent Uniform Moment Factors | $C_{my} = 0.60$ , $C_{mz} = 0.60$ , $C_{mLT} = 1.00$ |

### 4. Checking Result

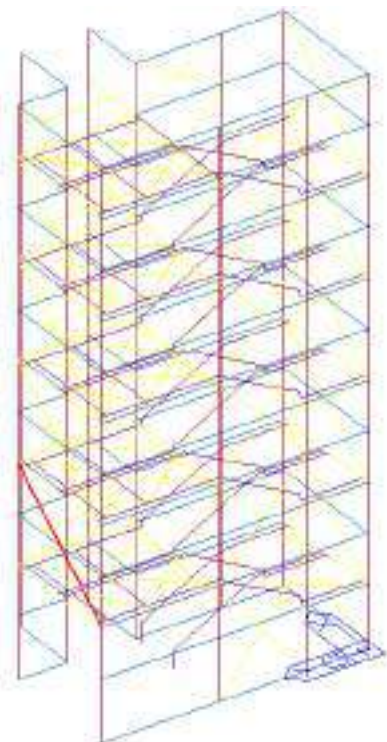
|                     |   |
|---------------------|---|
| Slenderness Ratio   | $L/r = 71.8 < 300.0$ (LCB:103)..... O.K   |
| Axial Resistance    | $N_{Ed}/N_{Rd} = 0.000392329 < 1.000$ ..... O.K   |
| Bending Resistance  | $M_{Edy}/M_{Rdy} = 0.0703/11.7278 < 1.000$ ..... O.K<br>$M_{Edz}/M_{Rdz} = 0.5273/11.7278 < 1.000$ ..... O.K  |
| Combined Resistance | $R_{MNRd} = \max[M_{Edy}/M_{Rdy}, M_{Edz}/M_{Rdz}]$<br>$R_{BIM} = (M_{Edy}/M_{Rdy})^{\alpha} + (M_{Edz}/M_{Rdz})^{\beta}$<br>$R_{byN} = N_{Ed}/(A \cdot f_y / \gamma_{M0})$ , $R_{byM} = M_{Edy}/M_{Rd} + M_{Edz}/M_{Rd}$<br>$R_{max} = \max[R_{MNRd}, R_{BIM}, (R_{byN} + R_{byM})] = 0.001 < 1.000$ ..... O.K |
| Torsion Strength    | $T_{Ed}/T_{Rd} = 0.07016/8.09929 < 1.000$ ..... O.K   |
| Shear Resistance    | $V_{Edy}/V_{Rd} = 0.008 < 1.000$ ..... O.K<br>$V_{Edz}/V_{Rd} = 0.004 < 1.000$ ..... O.K  |

### 5. Deflection Checking Results

|   |
|---|
| $L/200.0 = 0.0110 < 0.0004$ (Memb:28, LCB:129, POS: 1.1m, Dir:Z)..... O.K |
|---|

### *Funi 16 mm*

I controventi a croce di Sant'Andrea sono stati progettati per far lavorare solamente il diagonale teso. Per tener conto di tale aspetto e valutare correttamente le rigidezze nel modello FEM i controventi sono stati modellati con un diametro equivalente alla metà dell'area nominale effettiva. I controventi al piano terra sono i più sollecitati. In particolare lo sforzo assiale massimo si ha in combinazione SLV per il diagonale lungo l'asse x evidenziato nell'immagine che segue.

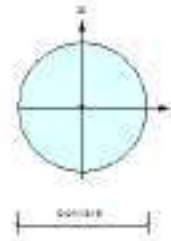


*Figura 25 – diagonale teso con sforzo assiale maggiore*



## 1. Design Information

|               |  |
|---------------|--|
| Design Code   | Surcode3 (5)   |
| Unit System   | MM, IN   |
| Member No     | 684  |
| Material      | Y177002 (A77000, A663)<br>(Fy = 177000, Ea = 18000000) |
| Section Name  | Component_196002 (H08)<br>(Built-up Section)           |
| Member Length | 5.90853  |



## 2. Member Forces

|                 |   |
|-----------------|---|
| Axis Force      | $F_{xx} = -61.126$ (LCB: 98, POS: J)            |
| Bending Moments | $M_y = 0.00000$ $M_z = 0.00000$                 |
| Twist Moments   | $M_{xy} = 0.00000$ $M_{yz} = 0.00000$ (for LCB) |
|                 | $M_{xy} = 0.00000$ $M_{yz} = 0.00000$ (for LCB) |
|                 | $M_{xz} = 0.00000$ $M_{yz} = 0.00000$ (for LCB) |
| Shear Forces    | $V_{yz} = 0.00000$ (LCB: 38, POS: J)            |
|                 | $V_{xx} = 0.00000$ (LCB: 38, POS: J)            |

|                    |               |
|--------------------|---------------|
| Order ID: 0-01-123 |               |
| Area: 0.00113      | A-02: 0.00009 |
| Q-04: 0.00001      | Q-05: 0.00001 |
| Up: 0.00000        | Up: 0.00000   |
| Year: 0.00000      | Year: 0.00000 |
| Time: 0.00000      | Time: 0.00000 |
| TV: 0.00000        | TV: 0.00000   |

### 3. Design Parameters

Unbraced Lengths  $L_1 = 0.00100$ ,  $L_2 = 0.00100$ ,  $L_3 = 0.00100$   
Effective Length Factors  $K_1 = 0.00$ ,  $K_2 = 0.00$   
Equivalent Uniform Moment Factors  $C_{m1} = 0.50$ ,  $C_{m2} = 0.50$ ,  $C_{mLT} = 1.00$

#### 4. Checking Result

**Slenderness Ratio**

$$K L_y = 6.4 \times 100.0 \text{ (Member 997, LCR = 53)} \dots\dots\dots \text{OK}$$

**Axial Resistance**

$$N_{Ed}/\phi(N_{c,Rd} + N_{t,Rd}) = 51.125/169.505 = 0.301 < 1.000 \dots\dots\dots \text{OK}$$

**Bending Resistance**

$$M_{Ed}/M_{y,Rd} = 0.05000/0.40756 = 0.005 < 1.000 \dots\dots\dots \text{OK}$$

$$M_{Ed}/M_{z,Rd} = 0.05000/0.40756 = 0.005 < 1.000 \dots\dots\dots \text{OK}$$

**Combined Resistance**

$$R_{MNRd} = \phi N_{Ed} [ M_{Ed}/M_{y,Rd} \cdot f_{yk} / M_{Ed}/M_{z,Rd} ]$$

$$R_{kyRd} = N_{Ed} [ A \cdot f_{yk} / \phi M_{y,Rd} ] \quad R_{kyRd} = M_{Ed} / \phi M_{y,Rd} + M_{Ed} / \phi M_{z,Rd}$$

$$R_{kLT1} = N_{Ed} (X_1 \cdot A \cdot f_{yk} / \phi M_{y,Rd})$$

$$R_{kLT1} = (k_1 \cdot M_{Ed} / X_1) (L_1 T_1 \cdot \phi / \phi M_{y,Rd}) + (k_2 \cdot M_{Ed}) (T_1 \cdot \phi / \phi M_{y,Rd})$$

$$R_{kLT2} = N_{Ed} (X_2 \cdot A \cdot f_{yk} / \phi M_{y,Rd})$$

$$R_{kLT2} = (k_2 \cdot M_{Ed} / X_2) (L_2 T_2 \cdot \phi / \phi M_{y,Rd}) + (k_1 \cdot M_{Ed}) (T_2 \cdot \phi / \phi M_{y,Rd})$$

$$R_{kEd} = \phi N_{Ed} [ R_{MNRd} / (R_{kyRd} + R_{kLT1} + R_{kLT2}) ] \sim 0.378 < 1.000 \dots\dots\dots \text{OK}$$

**Shear Resistance**

$$V_{Ed}/V_{y,Rd} = 0.000 < 1.000 \dots\dots\dots \text{OK}$$

$$V_{Ed}/V_{z,Rd} = 0.000 < 1.000 \dots\dots\dots \text{OK}$$

I controventi sono stati realizzati con funi spiroidali zincate con diametro della fune di 16 mm, costituite da più strati avvolti attorno a un filo centrale.

### Analisi delle reazioni vincolari

Le reazioni vincolari adottate per le verifiche geotecniche sono state ricavate inserendo dei vincoli di incastro perfetto alla base dei pilastri.

Le seguenti figure riportano le reazioni vincolari relative al solo peso proprio e agli involuipi allo SLU ed allo SLV.

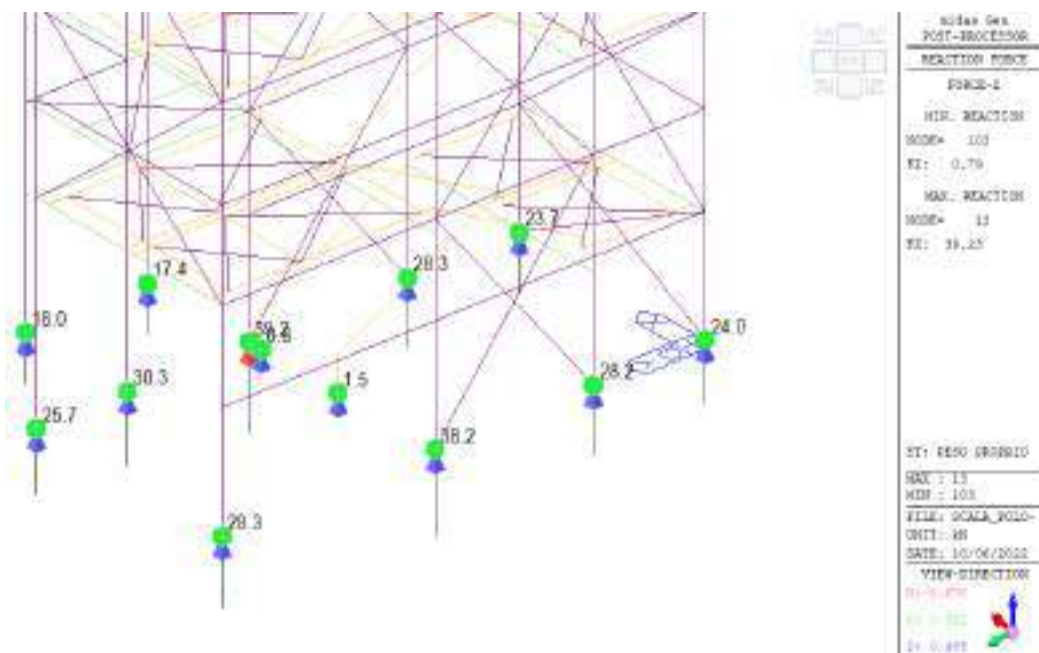


Figura 26 – Reazioni  $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$  – Pesi propri

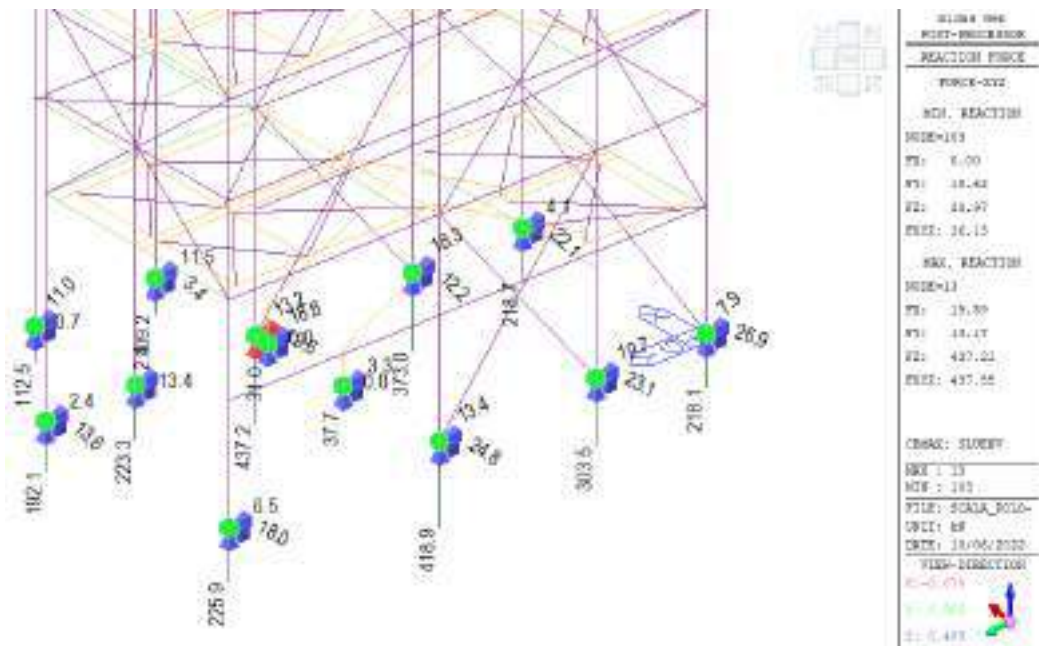


Figura 27 – Reazioni Fx, Fy, Fz – SLU ENV

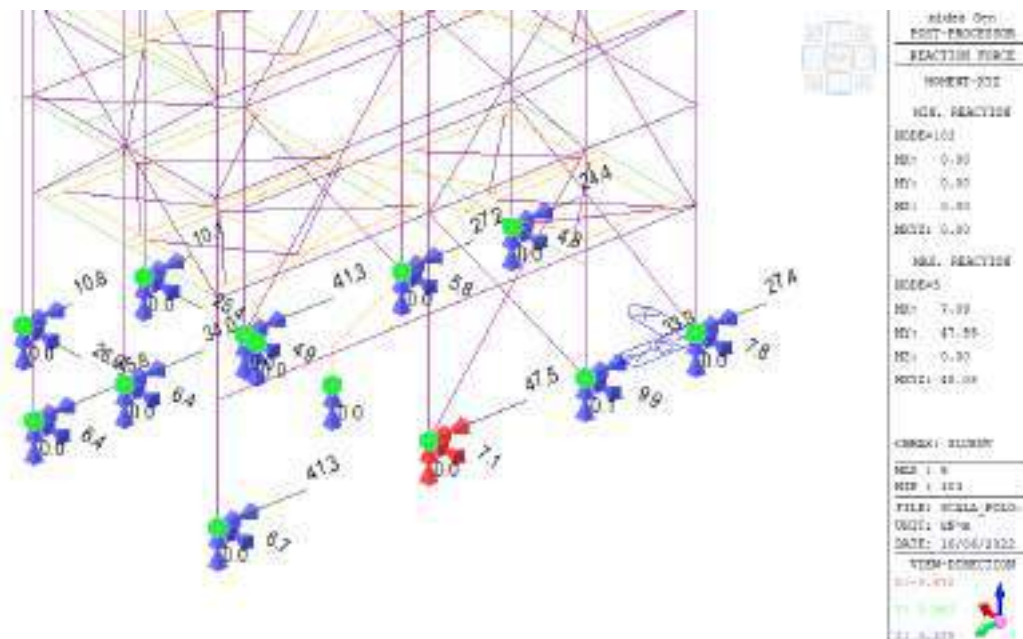


Figura 28 – Reazioni Mx, My, Mz – SLU ENV

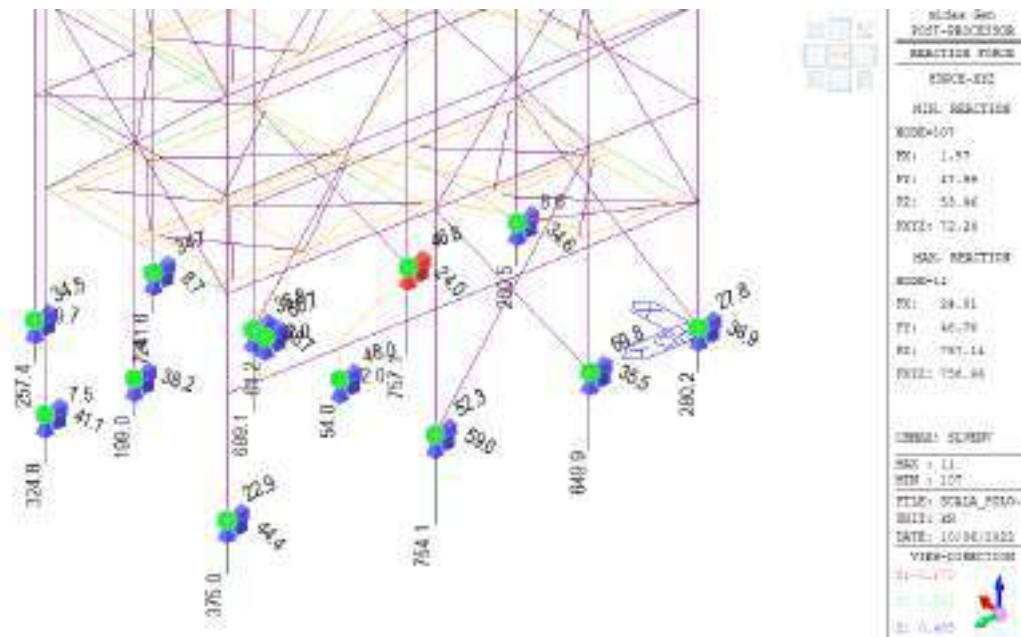


Figura 29 – Reazioni  $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$  – SLV ENV

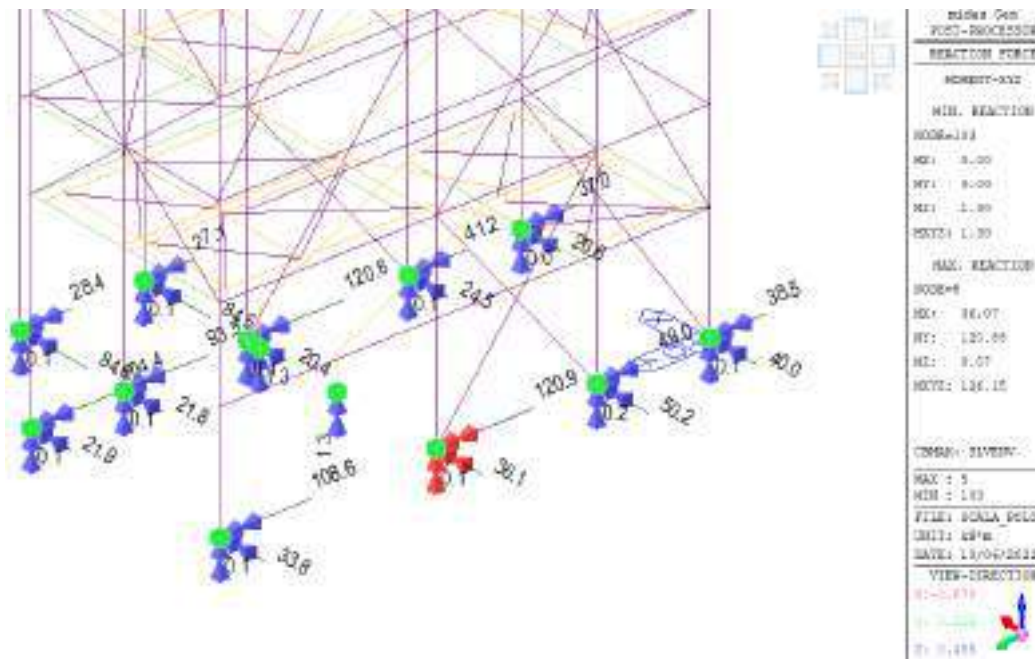


Figura 30 – Reazioni  $M_x$ ,  $M_y$ ,  $M_z$  – SLV ENV



| SUMMATION OF REACTION FORCES PRINTOUT |          |         |          |
|---------------------------------------|----------|---------|----------|
| Load                                  | FX (kN)  | FY (kN) | FZ (kN)  |
| SLU1                                  | -77.59   | 0.00    | 2091.47  |
| SLU2                                  | 0.00     | -56.79  | 2091.47  |
| SLU3                                  | 74.42    | 0.00    | 2091.47  |
| SLU4                                  | 0.00     | 55.95   | 2091.47  |
| SLU5                                  | -129.32  | 0.00    | 1682.71  |
| SLU6                                  | 124.03   | 0.00    | 1682.71  |
| SLU7                                  | 0.00     | -94.66  | 1682.71  |
| SLU8                                  | 0.00     | 93.25   | 1682.71  |
| SLV1                                  | -390.97  | -244.82 | 1062.99  |
| SLV2                                  | -390.97  | -244.82 | 1062.99  |
| SLV3                                  | -313.23  | -14.33  | 1070.69  |
| SLV4                                  | -313.23  | -14.33  | 1070.69  |
| SLV5                                  | -361.07  | -133.31 | 1066.59  |
| SLV6                                  | -361.07  | -133.31 | 1066.59  |
| SLV7                                  | -343.14  | -125.84 | 1067.09  |
| SLV8                                  | -343.14  | -125.84 | 1067.09  |
| SLV9                                  | -235.20  | -423.02 | 1056.64  |
| SLV10                                 | -235.20  | -423.02 | 1056.64  |
| SLV11                                 | -23.94   | -345.27 | 1058.90  |
| SLV12                                 | -23.94   | -345.27 | 1058.90  |
| SLV13                                 | -138.54  | -387.88 | 1057.52  |
| SLV14                                 | -138.54  | -387.88 | 1057.52  |
| SLV15                                 | -120.61  | -380.41 | 1058.02  |
| SLV16                                 | -120.61  | -380.41 | 1058.02  |
| SLV17                                 | -135.52  | -51.33  | 1068.63  |
| SLV18                                 | -135.52  | -51.33  | 1068.63  |
| SLV19                                 | 75.74    | 26.42   | 1070.89  |
| SLV20                                 | 75.74    | 26.42   | 1070.89  |
| SLV21                                 | -68.76   | -127.70 | 1065.91  |
| SLV22                                 | -68.76   | -127.70 | 1065.91  |
| SLV23                                 | 8.98     | 102.79  | 1073.61  |
| SLV24                                 | 8.98     | 102.79  | 1073.61  |
| SLV25                                 | -390.97  | -244.82 | 1062.99  |
| SLV26                                 | -390.97  | -244.82 | 1062.99  |
| SLV27                                 | -313.23  | -14.33  | 1070.69  |
| SLV28                                 | -313.23  | -14.33  | 1070.69  |
| SLV29                                 | -797.58  | -970.36 | 6390.79  |
| SLV30                                 | -1813.29 | -675.00 | 10683.90 |
| SLV31                                 | -343.14  | -125.84 | 1067.09  |
| SLV32                                 | -343.14  | -125.84 | 1067.09  |
| SLV33                                 | -235.20  | -423.02 | 1056.64  |
| SLV34                                 | -235.20  | -423.02 | 1056.64  |
| SLV35                                 | -23.94   | -345.27 | 1058.90  |
| SLV36                                 | -23.94   | -345.27 | 1058.90  |
| SLV37                                 | -138.54  | -387.88 | 1057.52  |
| SLV38                                 | -138.54  | -387.88 | 1057.52  |
| SLV39                                 | -120.61  | -380.41 | 1058.02  |
| SLV40                                 | -120.61  | -380.41 | 1058.02  |
| SLV41                                 | -135.52  | -51.33  | 1068.63  |
| SLV42                                 | -135.52  | -51.33  | 1068.63  |
| SLV43                                 | 75.74    | 26.42   | 1070.89  |
| SLV44                                 | 75.74    | 26.42   | 1070.89  |
| SLV45                                 | -68.76   | -127.70 | 1065.91  |
| SLV46                                 | -68.76   | -127.70 | 1065.91  |
| SLV47                                 | 8.98     | 102.79  | 1073.61  |
| SLV48                                 | 8.98     | 102.79  | 1073.61  |





|       |        |         |         |
|-------|--------|---------|---------|
| SLV49 | 390.97 | 244.82  | 1078.22 |
| SLV50 | 390.97 | 244.82  | 1078.22 |
| SLV51 | 313.23 | 14.33   | 1070.51 |
| SLV52 | 313.23 | 14.33   | 1070.51 |
| SLV53 | 361.07 | 133.31  | 1074.62 |
| SLV54 | 361.07 | 133.31  | 1074.62 |
| SLV55 | 343.14 | 125.84  | 1074.11 |
| SLV56 | 343.14 | 125.84  | 1074.11 |
| SLV57 | 235.20 | 423.02  | 1084.57 |
| SLV58 | 235.20 | 423.02  | 1084.57 |
| SLV59 | 23.94  | 345.27  | 1082.31 |
| SLV60 | 23.94  | 345.27  | 1082.31 |
| SLV61 | 138.54 | 387.88  | 1083.69 |
| SLV62 | 138.54 | 387.88  | 1083.69 |
| SLV63 | 120.61 | 380.41  | 1083.19 |
| SLV64 | 120.61 | 380.41  | 1083.19 |
| SLV65 | 135.52 | 51.33   | 1072.57 |
| SLV66 | 135.52 | 51.33   | 1072.57 |
| SLV67 | -75.74 | -26.42  | 1070.32 |
| SLV68 | -75.74 | -26.42  | 1070.32 |
| SLV69 | 68.76  | 127.70  | 1075.30 |
| SLV70 | 68.76  | 127.70  | 1075.30 |
| SLV71 | -8.98  | -102.79 | 1067.59 |
| SLV72 | -8.98  | -102.79 | 1067.59 |
| SLV73 | 390.97 | 244.82  | 1078.22 |
| SLV74 | 390.97 | 244.82  | 1078.22 |
| SLV75 | 313.23 | 14.33   | 1070.51 |
| SLV76 | 313.23 | 14.33   | 1070.51 |
| SLV77 | 361.07 | 133.31  | 1074.62 |
| SLV78 | 361.07 | 133.31  | 1074.62 |
| SLV79 | 343.14 | 125.84  | 1074.11 |
| SLV80 | 343.14 | 125.84  | 1074.11 |
| SLV81 | 235.20 | 423.02  | 1084.57 |
| SLV82 | 235.20 | 423.02  | 1084.57 |
| SLV83 | 23.94  | 345.27  | 1082.31 |
| SLV84 | 23.94  | 345.27  | 1082.31 |
| SLV85 | 138.54 | 387.88  | 1083.69 |
| SLV86 | 138.54 | 387.88  | 1083.69 |
| SLV87 | 120.61 | 380.41  | 1083.19 |
| SLV88 | 120.61 | 380.41  | 1083.19 |
| SLV89 | 135.52 | 51.33   | 1072.57 |
| SLV90 | 135.52 | 51.33   | 1072.57 |

|             |          |         |          |
|-------------|----------|---------|----------|
| SLV91       | -75.74   | -26.42  | 1070.32  |
| SLV92       | -75.74   | -26.42  | 1070.32  |
| SLV93       | 68.76    | 127.70  | 1075.30  |
| SLV94       | 68.76    | 127.70  | 1075.30  |
| SLV95       | -8.98    | -102.79 | 1067.59  |
| SLV96       | -8.98    | -102.79 | 1067.59  |
| SLE1        | -125.62  | 0.00    | 1433.95  |
| SLE2        | 0.00     | -91.95  | 1433.95  |
| SLE3        | 0.00     | 90.59   | 1433.95  |
| SLE4        | 120.48   | 0.00    | 1433.95  |
| SLE5        | -209.37  | 0.00    | 1161.44  |
| SLE6        | 0.00     | -153.25 | 1161.44  |
| SLE7        | 0.00     | 150.98  | 1161.44  |
| SLE8        | 200.80   | 0.00    | 1161.44  |
| SLE9        | 0.00     | 0.00    | 1161.44  |
| SLE10       | 0.00     | 0.00    | 1161.44  |
| SLE11       | 0.00     | 0.00    | 1161.44  |
| SLE12       | 0.00     | 0.00    | 1161.44  |
| SLE13       | -41.87   | 0.00    | 1070.60  |
| SLE14       | 0.00     | -30.65  | 1070.60  |
| SLE15       | 0.00     | 30.20   | 1070.60  |
| SLE16       | 40.16    | 0.00    | 1070.60  |
| SLE17       | 0.00     | 0.00    | 1070.60  |
| SLE18       | 0.00     | 0.00    | 1070.60  |
| SLE19       | 0.00     | 0.00    | 1070.60  |
| SLE20       | 0.00     | 0.00    | 1070.60  |
| SLE21       | -41.87   | 0.00    | 1070.60  |
| SLE22       | 0.00     | -30.65  | 1070.60  |
| SLE23       | 0.00     | 30.20   | 1070.60  |
| SLE24       | 40.16    | 0.00    | 1070.60  |
| SLUENV(all) | -129.32  | -94.66  | 2091.47  |
| SLUENV(max) | 124.03   | 93.25   | 2091.47  |
| SLUENV(min) | -129.32  | -94.66  | 1682.71  |
| SLVENV(all) | -1813.29 | -970.36 | 10683.90 |
| SLVENV(max) | 390.97   | 423.02  | 10683.90 |
| SLVENV(min) | -1813.29 | -970.36 | 1056.64  |

Figura 31 – Somma reazioni in x, in y e in z in tutte le combinazioni, SLU ,SLE e SLV

### Giunto con la struttura esistente

La nuova scala si realizza a fianco del polo C della Scuola di Ingegneria. In merito alla distanza tra costruzioni contigue, la Norma al punto 7.2.1 stabilisce che la distanza tra costruzioni contigue deve essere tale da evitare fenomeni di martellamento e, in ogni caso, non può essere inferiore agli spostamenti massimi calcolati all'SLV.

Nella direzione verso l'edificio esistente la scala in sommità presenta uno spostamento di circa 7 cm.

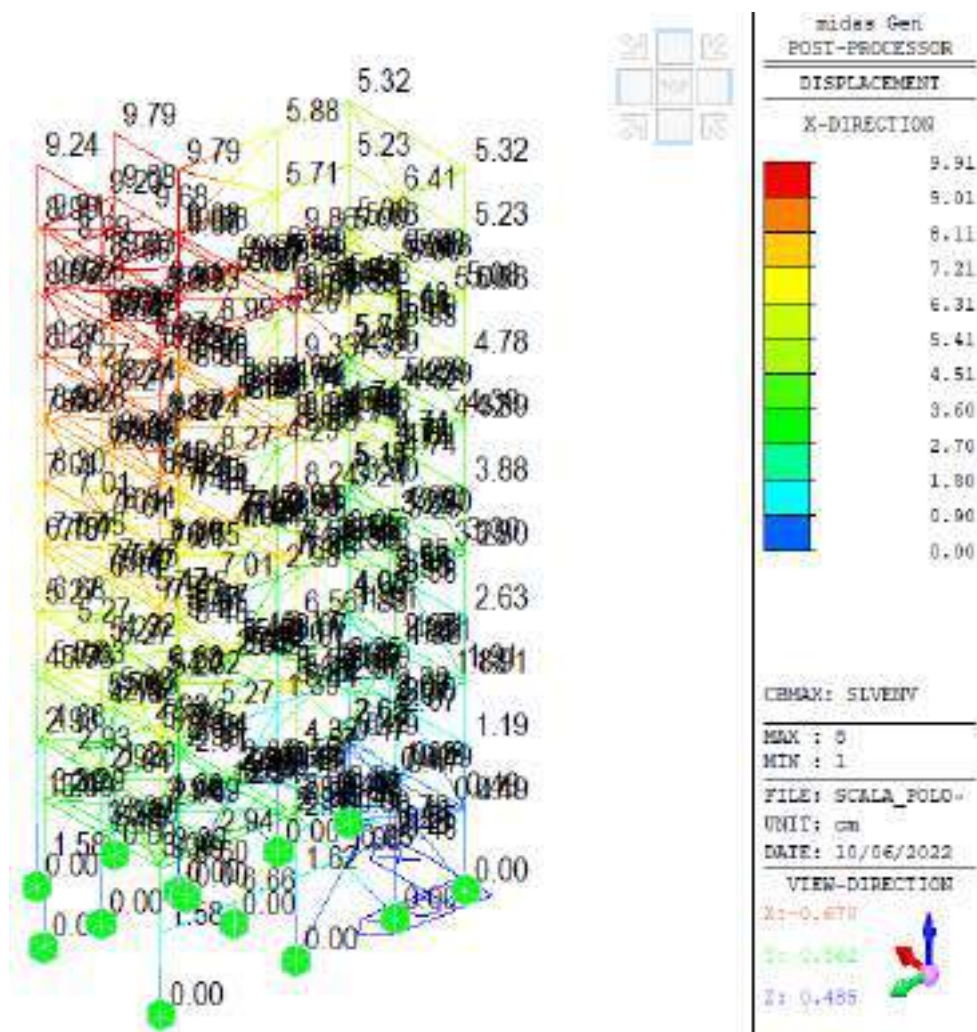


Figura 32 – Spostamento  $\delta_{e,x}$ , SLV

Seguendo il punto 7.3.3.3, moltiplicando lo spostamento ottenuto dall'analisi lineare per il coefficiente di duttilità in termini di spostamento  $\mu_d$  si ottiene:



|                              |       |                                     |
|------------------------------|-------|-------------------------------------|
| T1                           | 0.57  | s                                   |
| Tc                           | 0.67  | s                                   |
| q                            | 1.50  | fattore di intervento               |
| $\mu d$                      | 1.59  | fattore di duttilità in spostamento |
| $\delta e$                   | 9.91  | cm spostamento dall'analisi (SLV)   |
| $d e = \mu d \cdot \delta e$ | 15.73 | cm                                  |

Figura 33 – Spostamento  $d e, x$ , SLV

Allo stesso paragrafo la Norma aggiunge che “la distanza tra due punti di costruzione che si fronteggiano non potrà in ogni caso mai essere inferiore a 1/100 della quota dei punti considerati, misurata dallo spiccatto delle fondazioni (..), moltiplicata per  $2 a_g S / g < 1$ .”

#### DATI DI PROGETTO

| parametri geotecnici                   |           |   |       | S.L.V. |
|--|-----------|---|-------|--------|
| categoria di sottosuolo                |           |   | D     |        |
| accelerazione orizzontale massima      | $a_g / g$ | = | 0.171 |        |
| coeff. di amplificazione spettrale     | $F_0$     | = | 2.385 |        |
| coeff. di amplificazione stratigrafica | $S_s$     | = | 1.788 |        |
| coeff. di amplificazione topografica   | $S_T$     | = | 1.000 |        |

Tabella 3.2.VI – Valori minori del coefficiente di amplificazione topografica  $S_T$

| Categoria topografica | Ubicazione dell'agente o dell'intervento   | $S_T$ |
|-----------------------|--|-------|
| T1                    | -  | 1.0   |
| T2                    | In corrispondenza della sommità del pendio | 1.2   |
| T3                    | In corrispondenza della cresta del rilievo | 1.2   |
| T4                    | In corrispondenza della cresta del rilievo | 1.4   |

#### DIMENSIONAMENTO GIUNTO

lo spostamento di un punto viene stimato secondo quanto esposto al punto 7.2.1:

$$\delta_p = H / 100 \times a_g S / g$$

con :

$$H = \text{altezza del punto dal piano di fondazione}$$

$$S = S_s S_T$$

purchè :

$$2 a_g S / g \leq 1$$

se ne ricava la dimensione minima del giunto tra due punti prospicienti:

$$\delta_{\min} = 2 \delta_p$$

| livello copertura        |                 |   |       |    |
|--------------------------|-----------------|---|-------|----|
| altezza                  | H               | = | 19.70 | m  |
| dimensione minima giunto | $\delta_{\min}$ | = | 12.05 | cm |

Figura 34 – calcolo giunto sismico, SLV

Il giunto sismico è stato realizzato cautelativamente di 20 cm.

## 7.2 FONDAZIONE

La platea di fondazione di coronamento della palificata è di 50 cm di spessore e realizzata in calcestruzzo armato C 25/30.

In accordo al punto 6.4.2.1 e 6.4.2.2 delle NTC 2018 sono state eseguite le verifiche di tipo geotecnico e di tipo strutturale agli SLU e agli SLE.

### Verifiche strutturali

La platea è stata modellata come una mesh ad elementi quadrangolari con spessore di 50 cm. Si riportano le sollecitazioni  $M_{xx}$ ,  $M_{yy}$ ,  $M_{xy}$ ,  $V_{xx}$  e  $V_{yy}$  in combinazione SLU con le quali si dimensionano le armature.

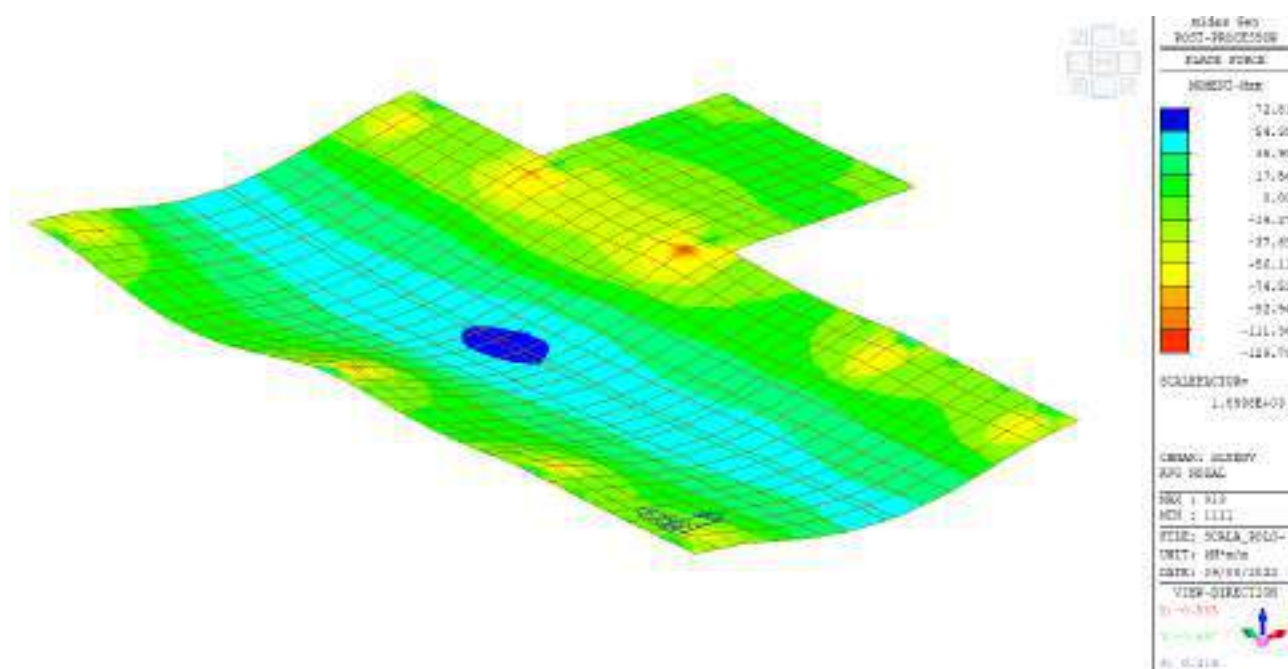


Figura 35 –  $M_{xx}$  in combinazione SLU

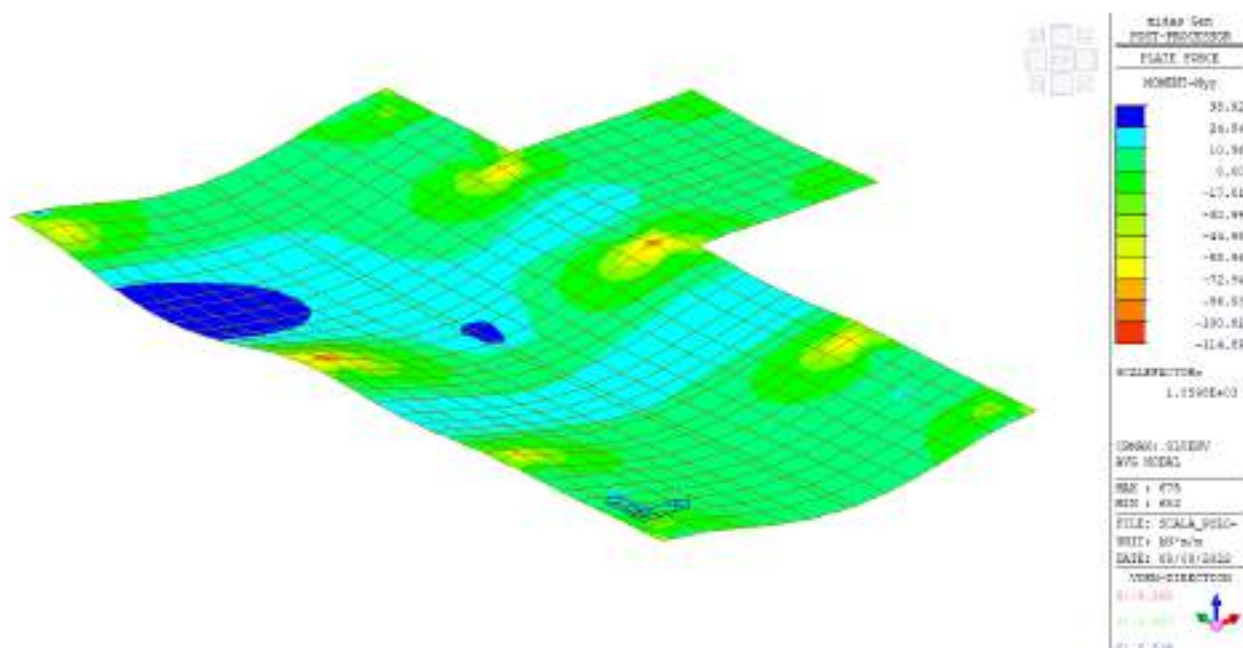


Figura 36 – Myy in combinazione SLU

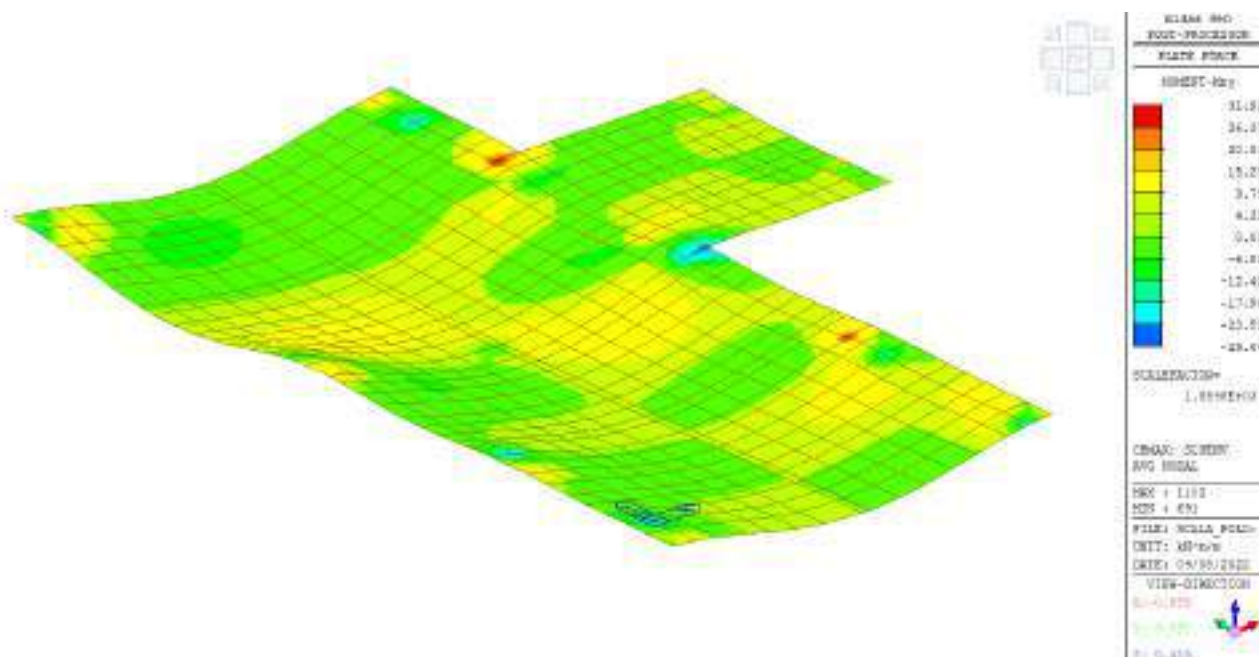


Figura 37 – Mxy in combinazione SLU

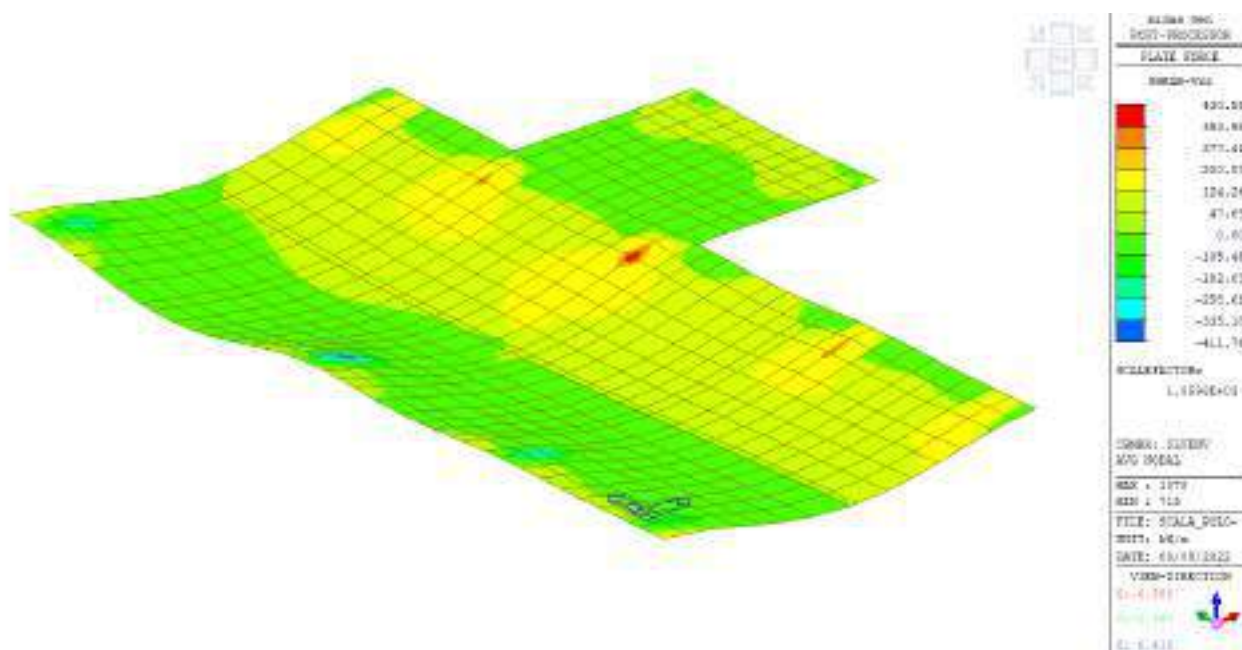


Figura 38 –  $V_{xx}$  in combinazione SLU

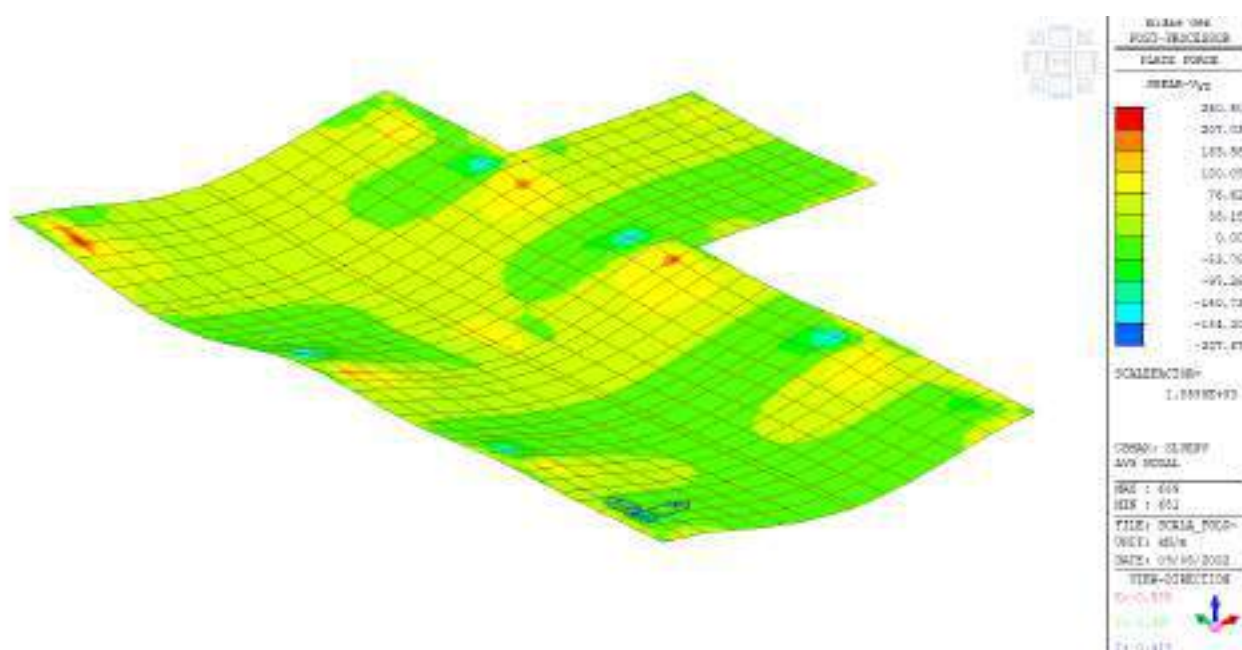


Figura 39 –  $V_{yy}$  in combinazione SLU

Si inseriscono armature  $\varnothing 20/20$  cm in entrambe le direzioni, x e y e si riportano di seguito i rapporti di verifica per la flessione.



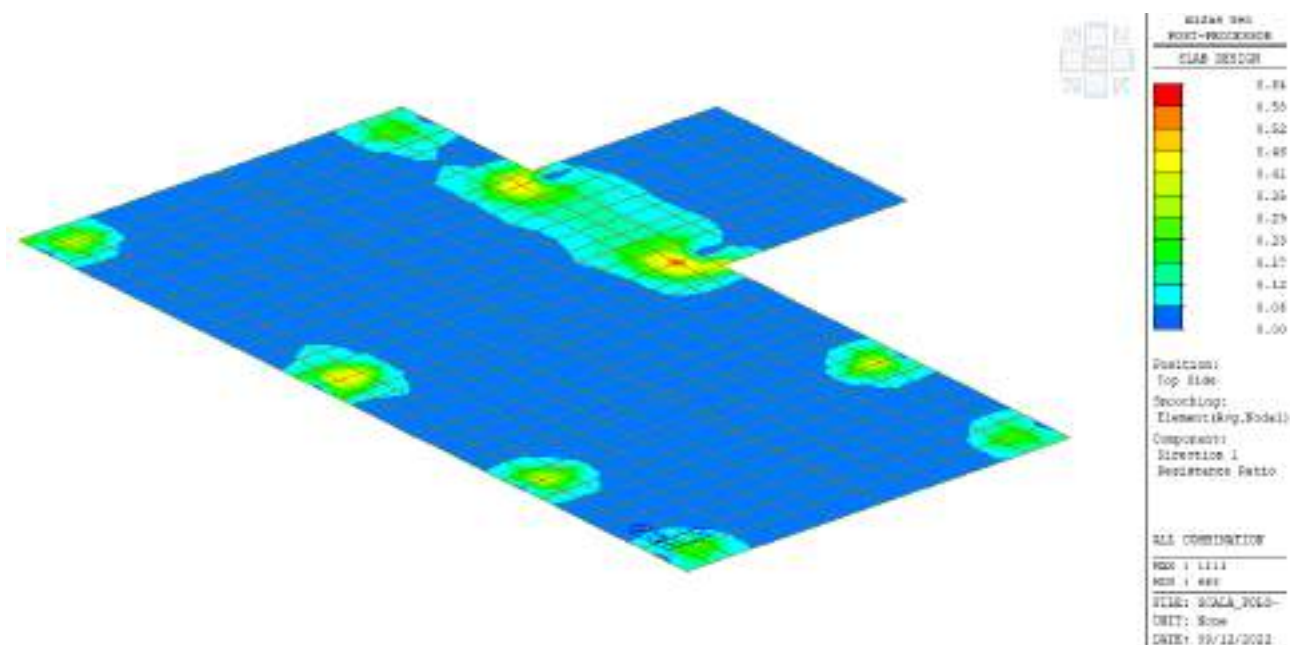


Figura 40 – Rapporto di verifica, armatura superiore direzione 1

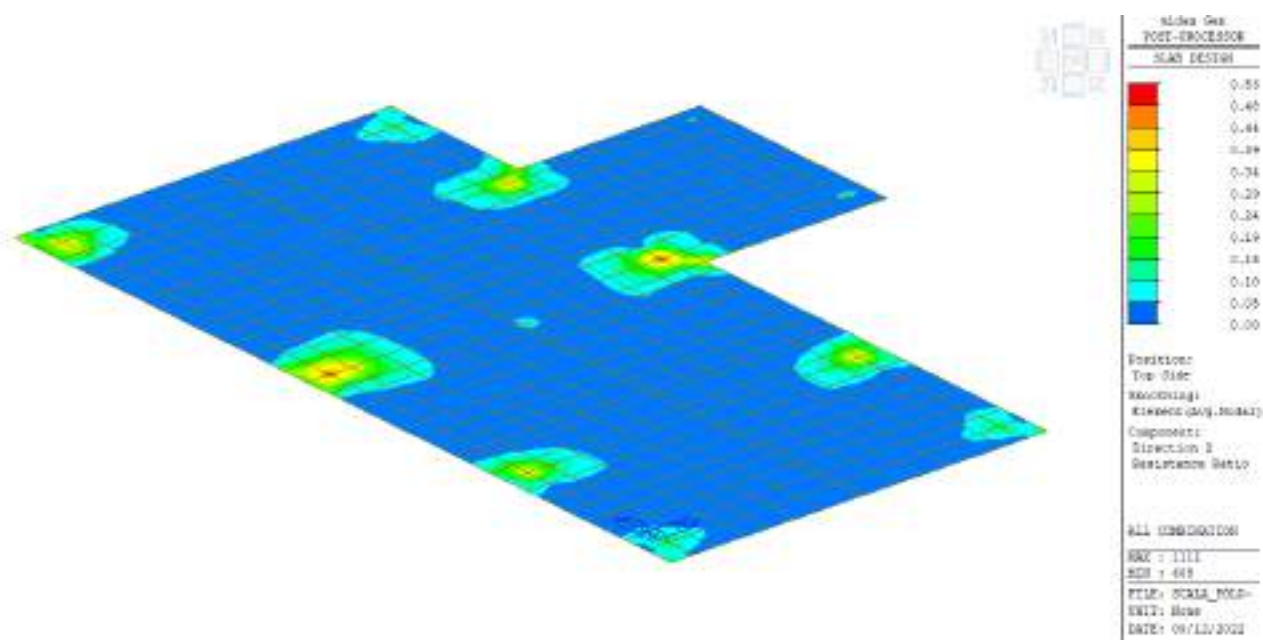


Figura 41 – Rapporto di verifica, armatura superiore direzione 2

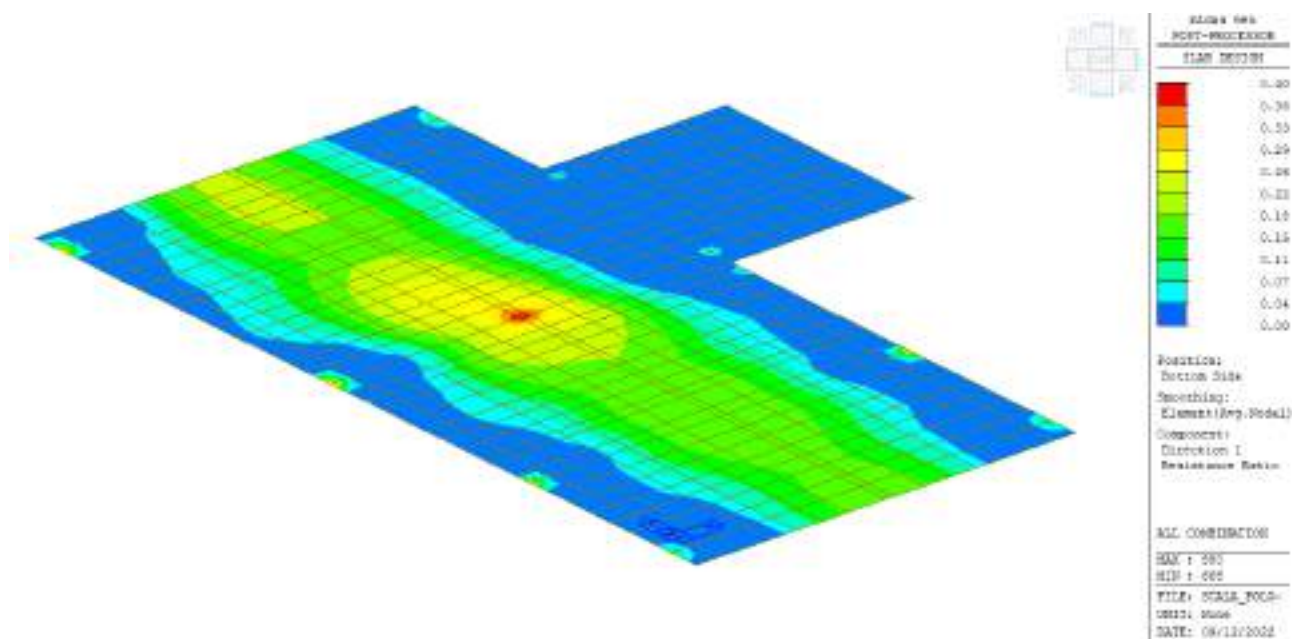


Figura 42 – Rapporto di verifica, armatura inferiore direzione 1

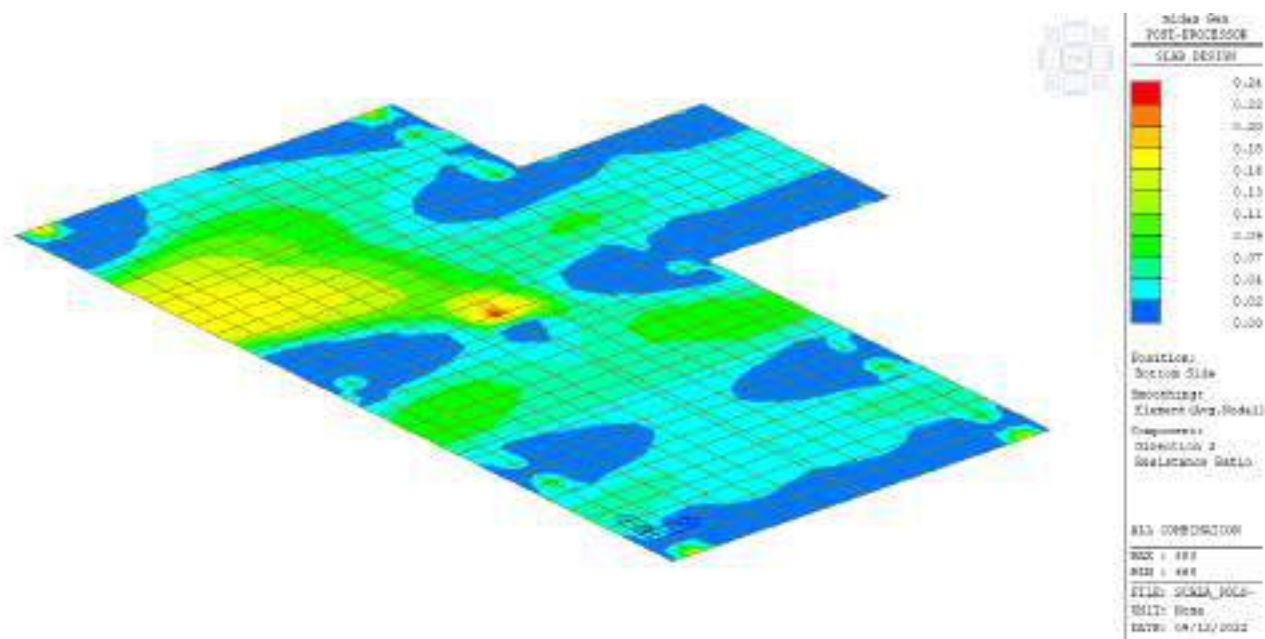


Figura 43 – Rapporto di verifica, armatura inferiore direzione 2

Per quanto riguarda la verifica a punzonamento, l'armatura prevista risulta essere ampiamente sufficiente.

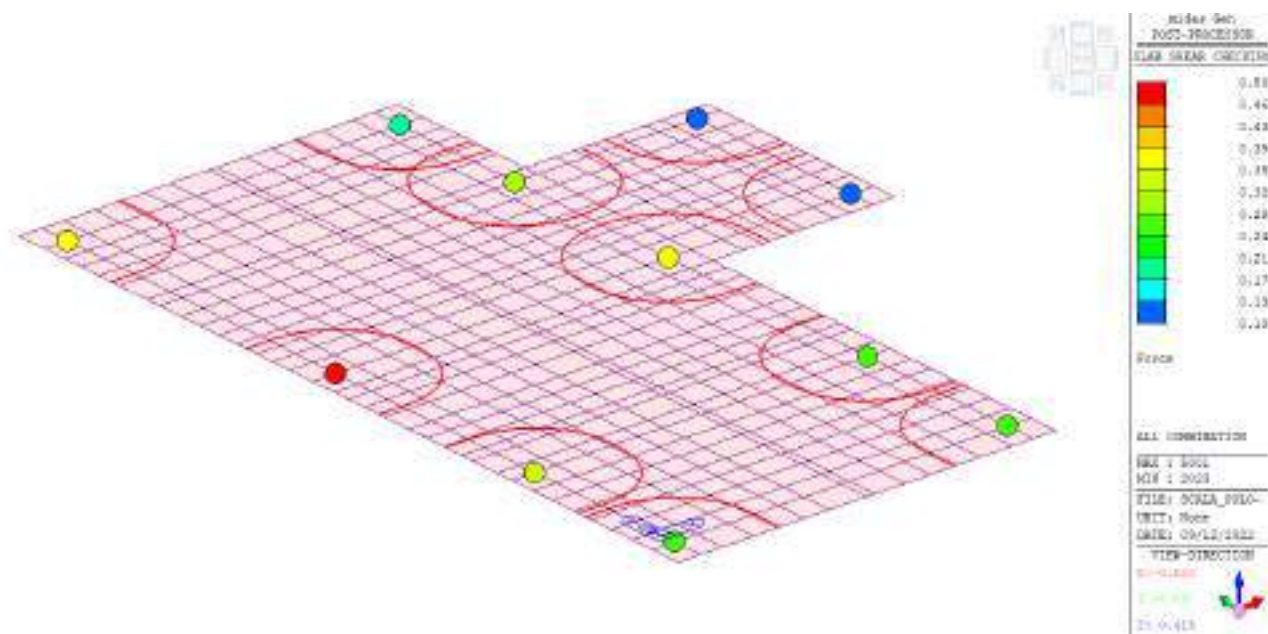


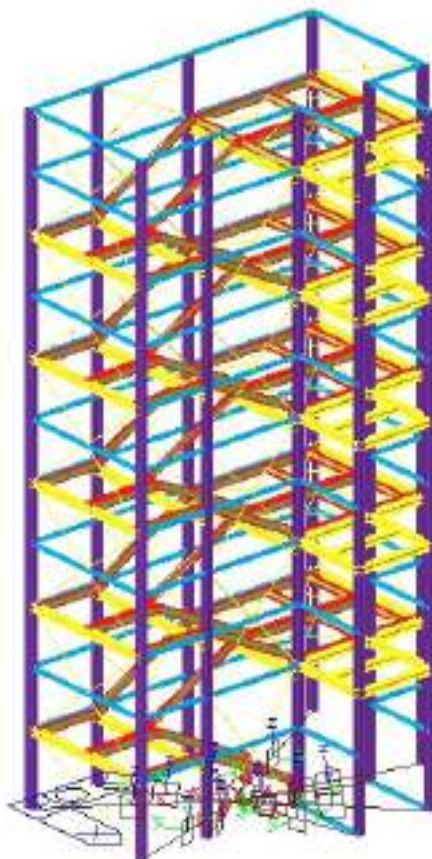
Figura 44 – Rapporto di verifica, verifica a punzonamento



### *Verifiche geotecniche*

I carichi attribuiti in testa alla platea derivano da un modello della struttura in elevazione vincolata ad un nodo unico d'incastro posizionato nel baricentro della platea al livello del piano di posa, collegato tramite link rigidi alle basi delle colonne. Le reazioni del nodo in termini di sforzo assiale, taglio e momento flettente nelle due direzioni tra loro ortogonali nelle combinazioni che massimizzano di volta in volta gli sforzi, sono le risultanti assunte come sollecitazioni ai fini delle verifiche geotecniche.

Preliminarmente la platea è stata modellata come fondazione diretta, realizzando un modello con il software CARL 16 prodotto da Aztec Informatica s.r.l.



*Figura 45 – Modello per ricavare le sollecitazioni attribuite alla platea*

Si riporta di seguito una figura della zattera con la stratigrafia del terreno.

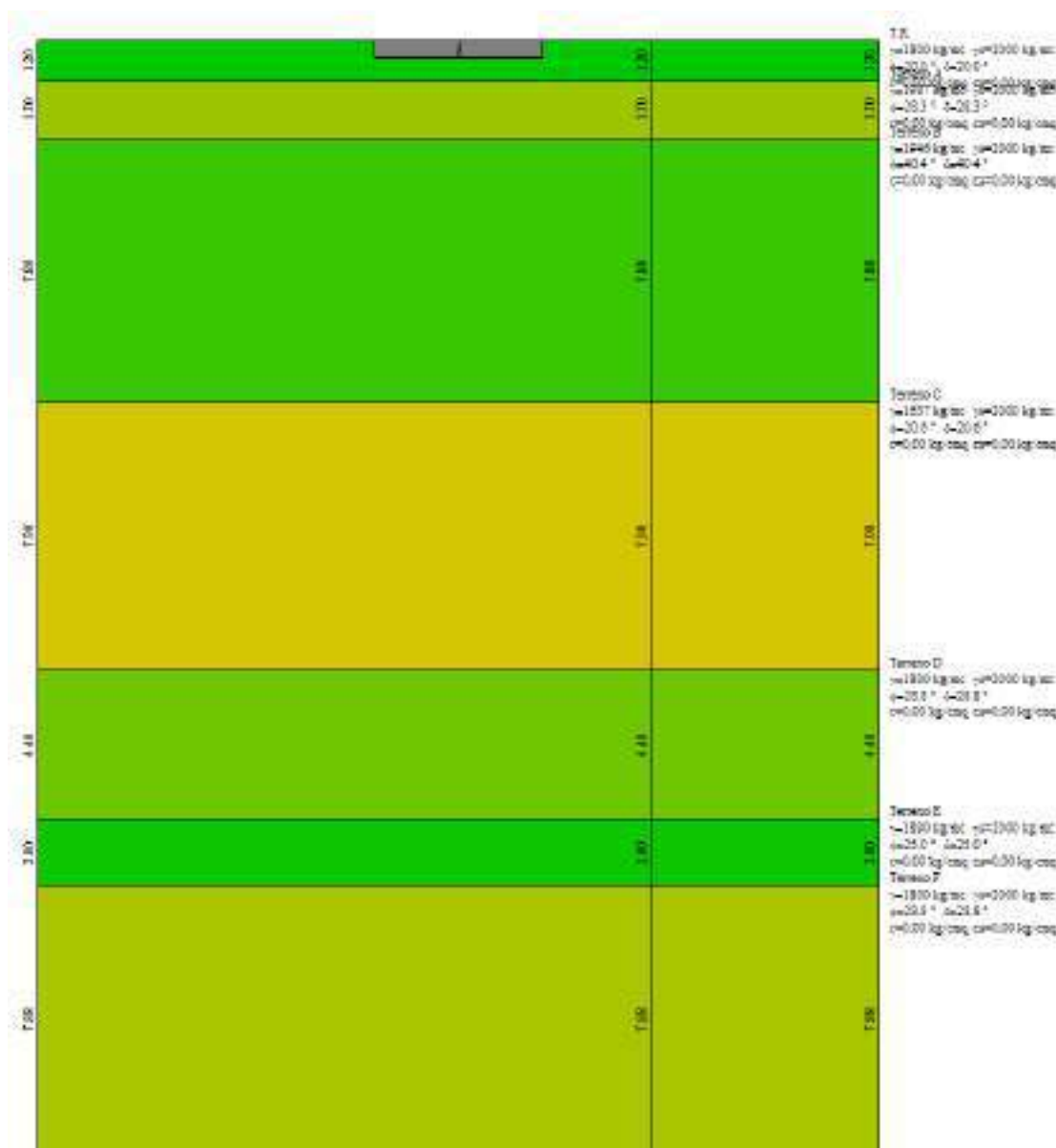


Figura 46 – Zattera di fondazione

Le tabelle seguenti mostrano i valori delle risultanti delle azioni in fondazione, con riferimento alle combinazioni dei carichi che rendono massime o minime di volta in volta le risultanti secondo i tre assi coordinati e i momenti risultanti attorno ai due assi orizzontali, oltre alle combinazioni che massimizzano l'eccentricità nelle due direzioni principali orizzontali.

La Tabella 1 mostra le risultanti relative alla sola struttura in elevazione, mentre nella Tabella 2 sono riportate le risultanti comprensive degli effetti del peso proprio della fondazione e della pavimentazione su di essa gravante.

| Fx<br>kN | Fy<br>kN | Fz<br>kN | Mx<br>kNm | My<br>kNm | Mz<br>kNm | ex<br>m | ey<br>m |        |          |
|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|---------|---------|--------|----------|
| 344.11   | -206.93  | 1024.71  | 2919.25   | 3401.35   | -948.96   | 3.32    | 2.85    | Fx max | Combo 1  |
| -344.11  | 206.93   | 1031.61  | -2383.25  | -4409.14  | 876.78    | -4.27   | -2.31   | Fx min | Combo 2  |
| -209.40  | 335.88   | 1034.61  | -4013.76  | -3085.31  | 795.76    | -2.98   | -3.88   | Fy max | Combo 3  |
| 209.40   | -335.88  | 1021.72  | 4544.36   | 2055.46   | -795.76   | 2.01    | 4.45    | Fy min | Combo 4  |
| -85.38   | 0.00     | 2025.78  | 459.46    | -1838.71  | -18.10    | -0.91   | 0.23    | Fz max | Combo 5  |
| 209.40   | -335.88  | 1021.72  | 4538.31   | 2025.71   | -795.76   | 1.98    | 4.44    | Fz min | Combo 6  |
| 209.40   | -335.88  | 1021.72  | 4544.36   | 2055.46   | -892.99   | 2.01    | 4.45    | Mx min | Combo 7  |
| -209.40  | 335.88   | 1034.61  | -4013.76  | -3085.31  | 892.99    | -2.98   | -3.88   | Mx max | Combo 8  |
| 344.11   | -206.93  | 1024.71  | 2919.25   | 3401.35   | -948.96   | 3.32    | 2.85    | My min | Combo 9  |
| -344.11  | 206.93   | 1031.61  | -2388.65  | -4431.20  | 948.96    | -3.93   | -1.24   | My max | Combo 10 |
| 344.11   | -206.93  | 1024.71  | 2919.25   | 3401.35   | -948.96   | 3.32    | 2.85    | ex max | Combo 11 |
| -344.11  | 206.93   | 1031.61  | -2388.65  | -4431.20  | 948.96    | -4.30   | -2.32   | ex min | Combo 12 |
| 209.40   | -335.88  | 1021.72  | 4544.36   | 2055.46   | -892.99   | 2.01    | 4.45    | ey max | Combo 13 |
| -209.40  | 335.88   | 1034.61  | -4013.76  | -3085.31  | 892.99    | -2.98   | -3.88   | ey min | Combo 14 |

Tabella 1 – Combinazioni che massimizzano gli sforzi e le eccentricità, trascurando il peso della soletta

| Fx<br>kN | Fy<br>kN | Fz<br>kN | Fz<br>(con soletta)<br>kN | Mx<br>kNm | My<br>kNm | Mz<br>kNm | ex<br>m | ey<br>m | ex<br>(con soletta)<br>m | ey<br>(con soletta)<br>m |        |
|----------|----------|----------|---------------------------|-----------|-----------|-----------|---------|---------|--------------------------|--------------------------|--------|
| 344.11   | -206.93  | 1024.71  | 1900.09                   | 2919.25   | 3401.35   | -948.96   | 3.32    | 2.85    | 1.79                     | 1.54                     | Fx max |
| -344.11  | 206.93   | 1031.61  | 1906.99                   | -2383.25  | -4409.14  | 876.78    | -4.27   | -2.31   | -2.31                    | -1.25                    | Fx min |
| 209.40   | 335.88   | 1034.61  | 1909.99                   | -4013.76  | -3085.31  | 892.99    | -2.98   | -3.88   | -1.62                    | -2.10                    | Fy max |
| 209.40   | -335.88  | 1021.72  | 1897.10                   | 4544.36   | 2055.46   | -892.99   | 2.01    | 4.45    | 1.08                     | 2.40                     | Fy min |
| -85.38   | 0.00     | 2025.78  | 3338.85                   | 459.46    | -1838.71  | -18.10    | -0.91   | 0.23    | -0.55                    | 0.14                     | Fz max |
| 209.40   | -335.88  | 1021.72  | 1897.10                   | 4538.31   | 2025.71   | -795.76   | 1.98    | 4.44    | 1.07                     | 2.39                     | Fz min |
| 209.40   | -335.88  | 1021.72  | 1897.10                   | 4544.36   | 2055.46   | -892.99   | 2.01    | 4.45    | 1.08                     | 2.40                     | Mx min |
| -209.40  | 335.88   | 1034.61  | 1909.99                   | -4013.76  | -3085.31  | 892.99    | -2.98   | -3.88   | -1.62                    | -2.10                    | Mx max |
| 344.11   | -206.93  | 1024.71  | 1900.09                   | 2919.25   | 3401.35   | -948.96   | 3.32    | 2.85    | 1.79                     | 1.54                     | My min |
| -344.11  | 206.93   | 1031.61  | 1906.99                   | -2388.65  | -4431.20  | 948.96    | -3.93   | -1.24   | -2.32                    | -1.25                    | My max |
| 344.11   | -206.93  | 1024.71  | 1900.09                   | 2919.25   | 3401.35   | -948.96   | 3.32    | 2.85    | 1.79                     | 1.54                     | ex max |
| -344.11  | 206.93   | 1031.61  | 1906.99                   | -2388.65  | -4431.20  | 948.96    | -4.30   | -2.32   | -2.32                    | -1.25                    | ex min |
| 209.40   | -335.88  | 1021.72  | 1897.10                   | 4544.36   | 2055.46   | -892.99   | 2.01    | 4.45    | 1.08                     | 2.40                     | ey max |
| -209.40  | 335.88   | 1034.61  | 1909.99                   | -4013.76  | -3085.31  | 892.99    | -2.98   | -3.88   | -1.62                    | -2.10                    | ey min |

Tabella 2 – Combinazioni che massimizzano gli sforzi e le eccentricità, considerando il peso della soletta

Appare subito evidente che, per effetto delle azioni orizzontali ed in particolare in condizioni sismiche, considerando le ridotte dimensioni in pianta ed il notevole sviluppo in altezza delle masse, i valori delle eccentricità risultano così elevati che affidando la resistenza alla sola fondazione diretta si riesce appena a garantire l'equilibrio di corpo rigido della struttura, mentre le verifiche di capacità portante e il calcolo delle deformazioni conducono a risultati ampiamente inaccettabili.

Si riporta di seguito a titolo esemplificativo l'esito della verifica di capacità portante per la combinazione 12 che corrisponde ad un'eccentricità trasversale della risultante di 2.31 m rispetto al baricentro della platea e la verifica per la combinazione 13 che corrisponde alla massima eccentricità longitudinale (pari a 2.40 m).

Il carico limite è determinato con riferimento ad una sezione resistente efficace che tiene conto degli effetti delle eccentricità adottando valori ridotti delle dimensioni della fondazione secondo il seguente criterio (Meyerhof). In particolare, dette  $B$  ed  $L$  le dimensioni trasversali e longitudinali della fondazione e dette  $e_B$  ed  $e_L$  le eccentricità del carico rispettivamente lungo  $B$  ed  $L$ , il carico limite è calcolato con riferimento ad una fondazione rettangolare di dimensioni ridotte  $B'$  ed  $L'$  tali che:

$$B' = B - 2e_B$$

$$L' = L - 2e_L$$

In virtù delle dimensioni ridottissime della sezione efficace i valori di capacità portante risultano bassissimi, dell'ordine del 2% e del 34% del carico verticale, rispettivamente per la combinazione 12 e 13.

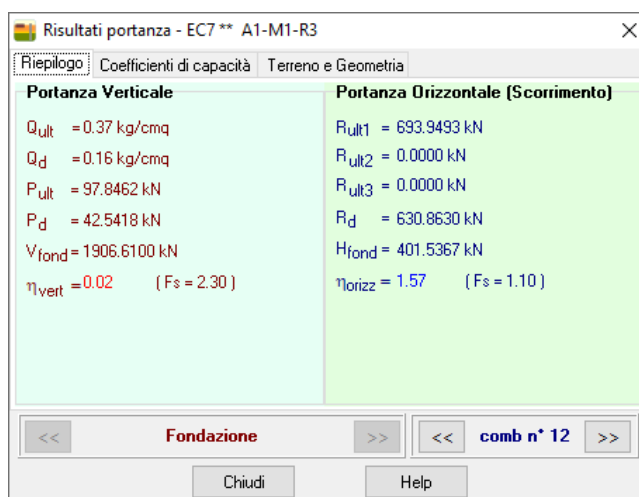


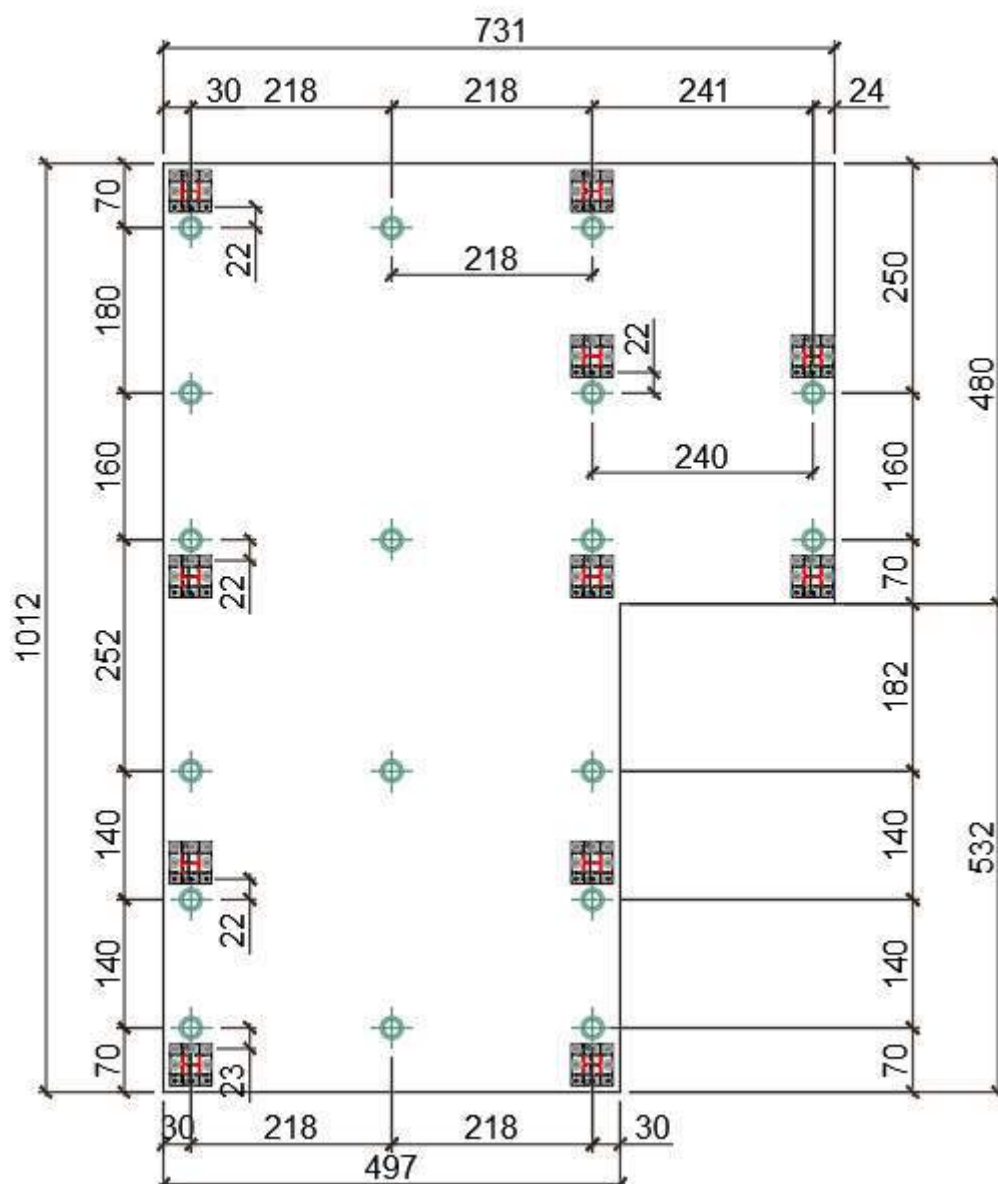
Figura 47 – Risultati della verifica di capacità portante, combinazione 12 (massima eccentricità trasversale)



Figura 48 – Risultati della verifica di capacità portante, combinazione 13 (massima eccentricità longitudinale)

Per limitare l'entità dei cedimenti e per garantire la portanza richiesta, risulta quindi necessario prevedere delle fondazioni profonde.

Si dispongono complessivamente 18 micropali di lunghezza 10 metri e di diametro di 250 mm, secondo il layout che segue.



*Figura 49 – Posizione in pianta dei pali di fondazione*

La palificata è stata modellata con l'ausilio del software Midas Gen 2022.

Ogni palo è stato schematizzato come una molla di rigidezza finita; la stima di tale rigidezza assiale è stata effettuata seguendo il calcolo preliminare del cedimento  $w_s$  con l'espressione presente in letteratura:

$$w_s = \frac{d}{\lambda * FS} = \frac{250 \text{ mm}}{40 * 1} = 6.25 \text{ mm}$$

con:

$d$ = diametro di perforazione del palo, 250 mm;

$FS = Q_{lim}/Q$ , coefficiente di sicurezza. Effettuando il calcolo con  $Q$  inteso come carico ultimo si ottiene 1;

$\lambda = 40$ .

| Tipo di palo        | Terreno    | Valore di $\lambda$ |
|---------------------|------------|---------------------|
| Battuto             | Incoerente | 60                  |
|                     | Coesivo    | 120                 |
| Trivellato          | Incoerente | 40                  |
|                     | Coesivo    | 100                 |
| Trivellato pressato | Incoerente | 50                  |
|                     | Coesivo    | 110                 |

Figura 50 – Valori di  $\lambda$  (da “Fondazioni”, Carlo Viggiani)

Il valore della rigidezza  $k_z$  può quindi essere determinato dividendo

Essendo  $Q_{lim} = 670 \text{ kN}$  la portanza per carichi verticali del singolo palo, che si riporta nei successivi paragrafi, si ottiene una rigidezza  $k_z$  assiale pari a:

$$k_z = \frac{Q}{\delta} = \frac{670 \text{ kN}}{6.25 \text{ mm}} \approx 110 \text{ kN/mm}$$

Tale rigidezza assiale è stata assegnata nel modello ai vincoli elastici schematizzanti i pali.



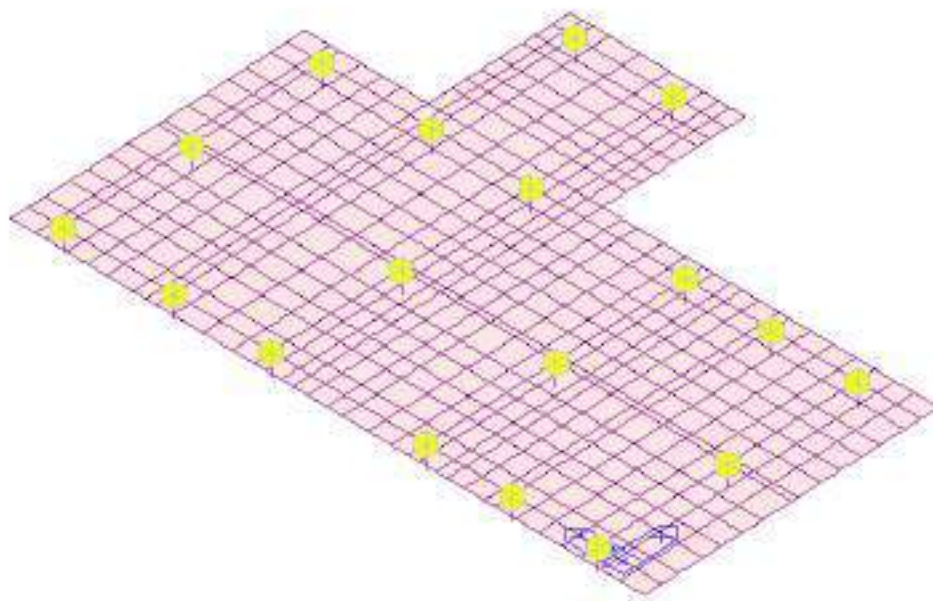


Figura 51 – Molle elastiche pali – vista wireframe

Si riporta di seguito i risultati delle reazioni sui vincoli in ogni combinazione, con la tabella riassuntiva dei massimi agli SLU, agli SLV e agli SLE.

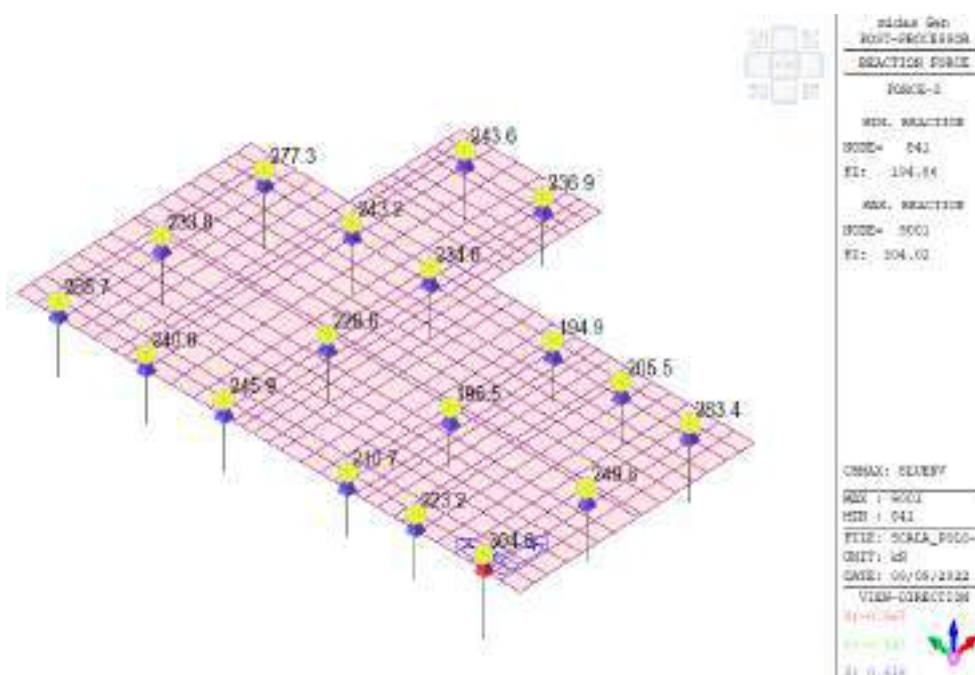


Figura 52 – Reazioni Fz - SLU



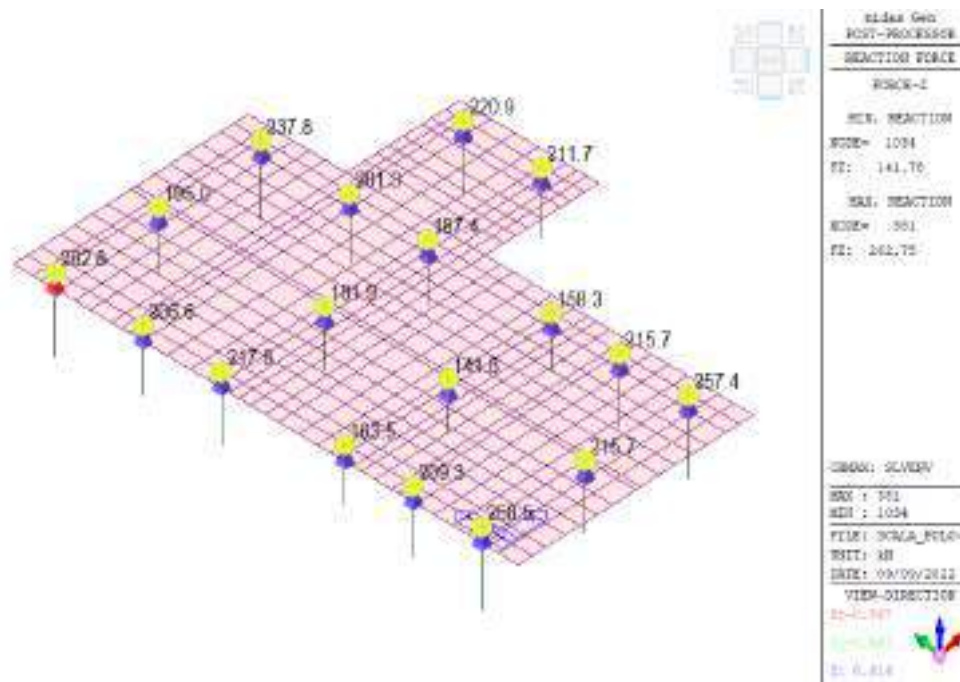


Figura 53 – Reazioni Fz - SLV

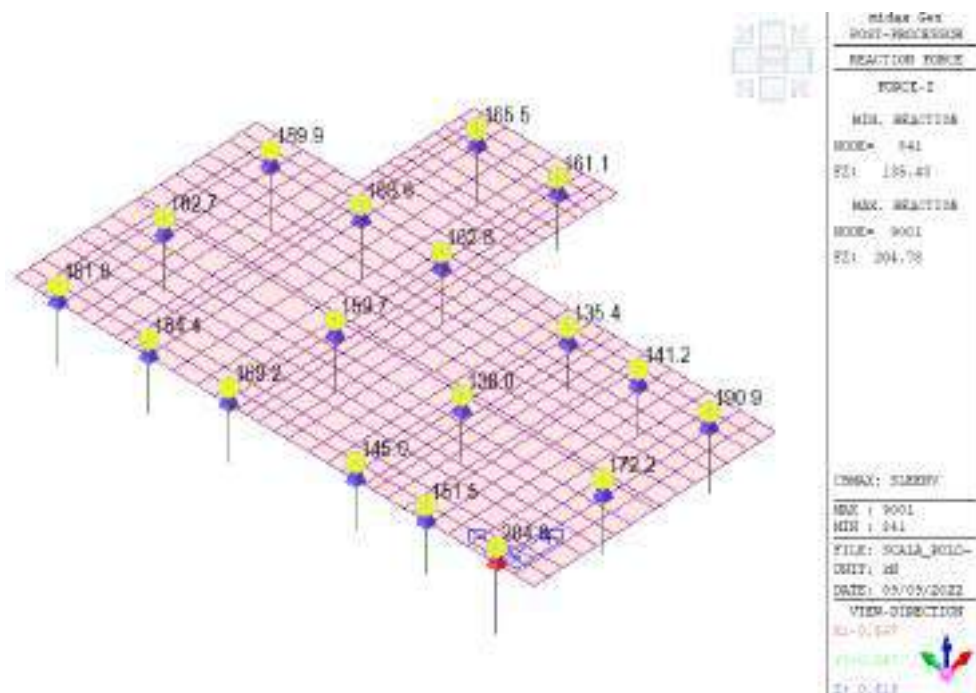


Figura 54 – Reazioni Fz - SLE

Si riporta di seguito il calcolo della portanza verticale di un micropalo in acciaio di diametro di perforazione 250 mm e lunghezza 10 m.

[illegible]

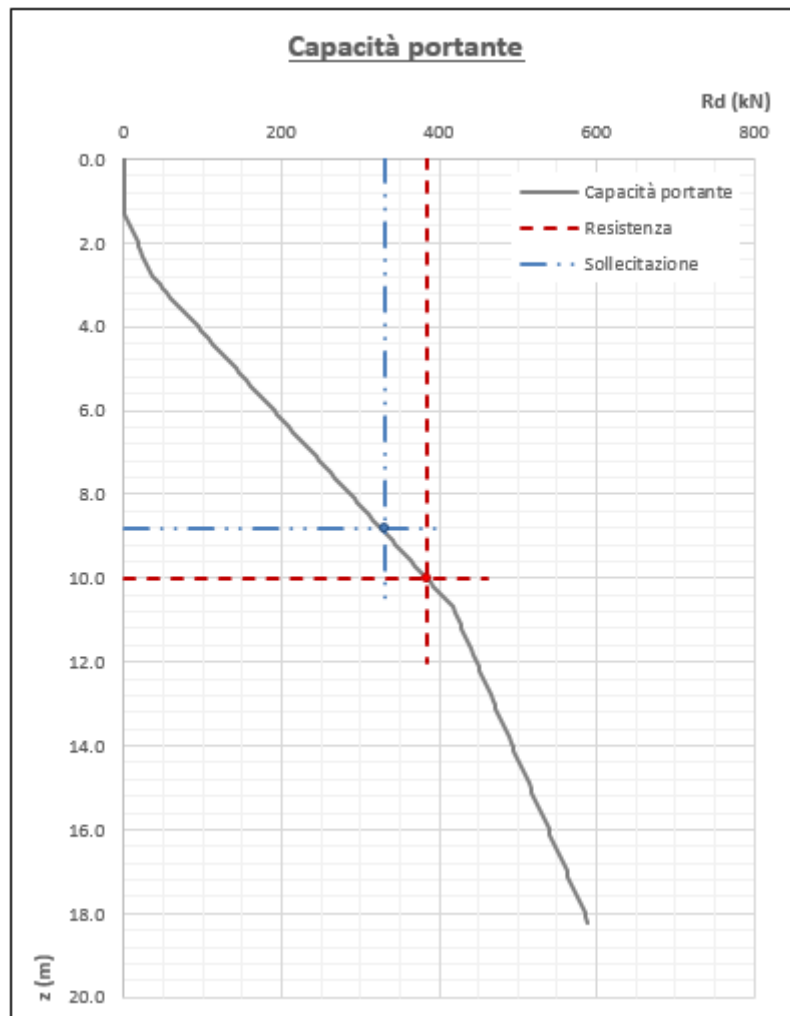


Figura 55 – Calcolo della portanza verticale

Per le verifiche strutturali del palo è stato realizzato un ulteriore modello in cui ogni palo presenta la sua lunghezza fisica di 10 m con un tubo 177.8 x 10 mm come armatura interna.

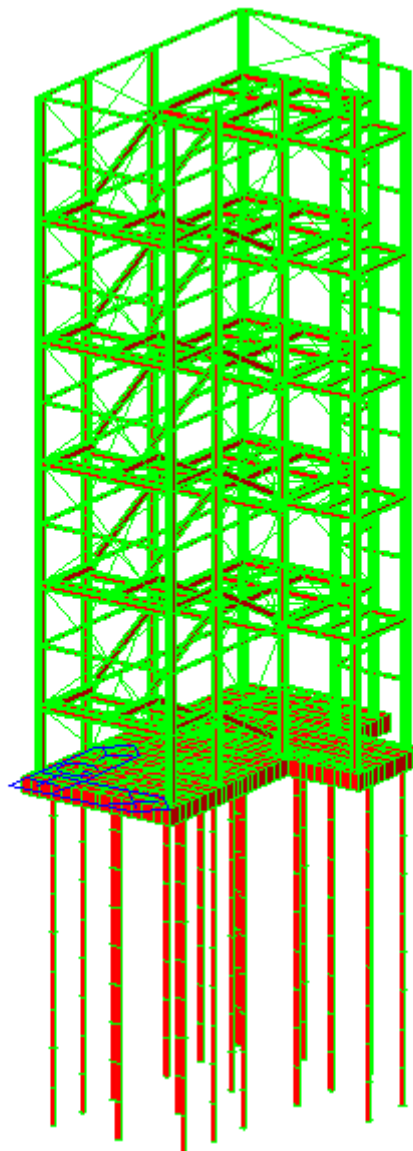


Figura 56 – Reazioni  $F_z$  - SLE

I pali risultano incernierati alla base con un vincolo esterno di rigidezza assiale  $k_z = 110 \text{ KN/mm}$ , stimata come descritto nei paragrafi precedenti; lungo i fusti invece sono state attribuite delle molle agenti nelle direzioni perpendicolari agli assi dei pali con rigidezze  $k_x$  e  $k_y$  nei confronti degli spostamenti orizzontali. Il valore di tali rigidezze è stato calcolato secondo la teoria di Joseph Bowles, tramite un'equazione empirica che stima la  $k_h$  in funzione del tipo di terreno, del diametro del palo e del cedimento orizzontale massimo.

Si riportano di seguito i valori di  $k_h$  attribuiti ad ogni metro di palo.

| passo (m) |        | 1                             |            |            |       |                              |       |                |            |   |                            |                             |       |
|-----------|--------|-------------------------------|------------|------------|-------|------------------------------|-------|----------------|------------|---|----------------------------|-----------------------------|-------|
| z (m)     | Strato | $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> ) | $c'$ (kPa) | $\phi$ (°) | $N_q$ | $\gamma \cdot N_q \cdot Z^2$ | $N_c$ | $c' \cdot N_c$ | $N_\gamma$ | $0.5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma$ | $k_s$ (kN/m <sup>3</sup> ) | $k_s$ (kg/cm <sup>3</sup> ) | z (m) |
| 0         | 1      | 18.00                         | 0.00       | 20.00      | 6.4   | 0                            | 14.8  | 0              | 5.4        | 12  | 1231                       | 0.12                        | 0     |
| 1         | 1      | 18.00                         | 0.00       | 20.00      | 6.4   | 115                          | 14.8  | 0              | 5.4        | 12  | 12935                      | 1.29                        | 1     |
| 2         | 2      | 19.87                         | 0.00       | 28.32      | 15.2  | 400                          | 26.4  | 0              | 17.5       | 43  | 45037                      | 4.50                        | 2     |
| 3         | 3      | 19.46                         | 0.00       | 40.36      | 67.5  | 2039                         | 78.3  | 0              | 116.4      | 283                                       | 235894                     | 23.59                       | 3     |
| 4         | 3      | 19.46                         | 0.00       | 40.36      | 67.5  | 2287                         | 78.3  | 0              | 116.4      | 283                                       | 261154                     | 26.12                       | 4     |
| 5         | 3      | 19.46                         | 0.00       | 40.36      | 67.5  | 2501                         | 78.3  | 0              | 116.4      | 283                                       | 282849                     | 28.28                       | 5     |
| 6         | 3      | 19.46                         | 0.00       | 40.36      | 67.5  | 2690                         | 78.3  | 0              | 116.4      | 283                                       | 302070                     | 30.21                       | 6     |
| 7         | 3      | 19.46                         | 0.00       | 40.36      | 67.5  | 2861                         | 78.3  | 0              | 116.4      | 283                                       | 319452                     | 31.95                       | 7     |
| 8         | 3      | 19.46                         | 0.00       | 40.36      | 67.5  | 3018                         | 78.3  | 0              | 116.4      | 283                                       | 335400                     | 33.54                       | 8     |
| 9         | 3      | 19.46                         | 0.00       | 40.36      | 67.5  | 3164                         | 78.3  | 0              | 116.4      | 283                                       | 350191                     | 35.02                       | 9     |

Figura 57 – Stima delle rigidezze orizzontali, Bowles

Il cedimento orizzontale in testa al palo riportato con tali rigidezze è di circa 2 cm, un valore accettabile.

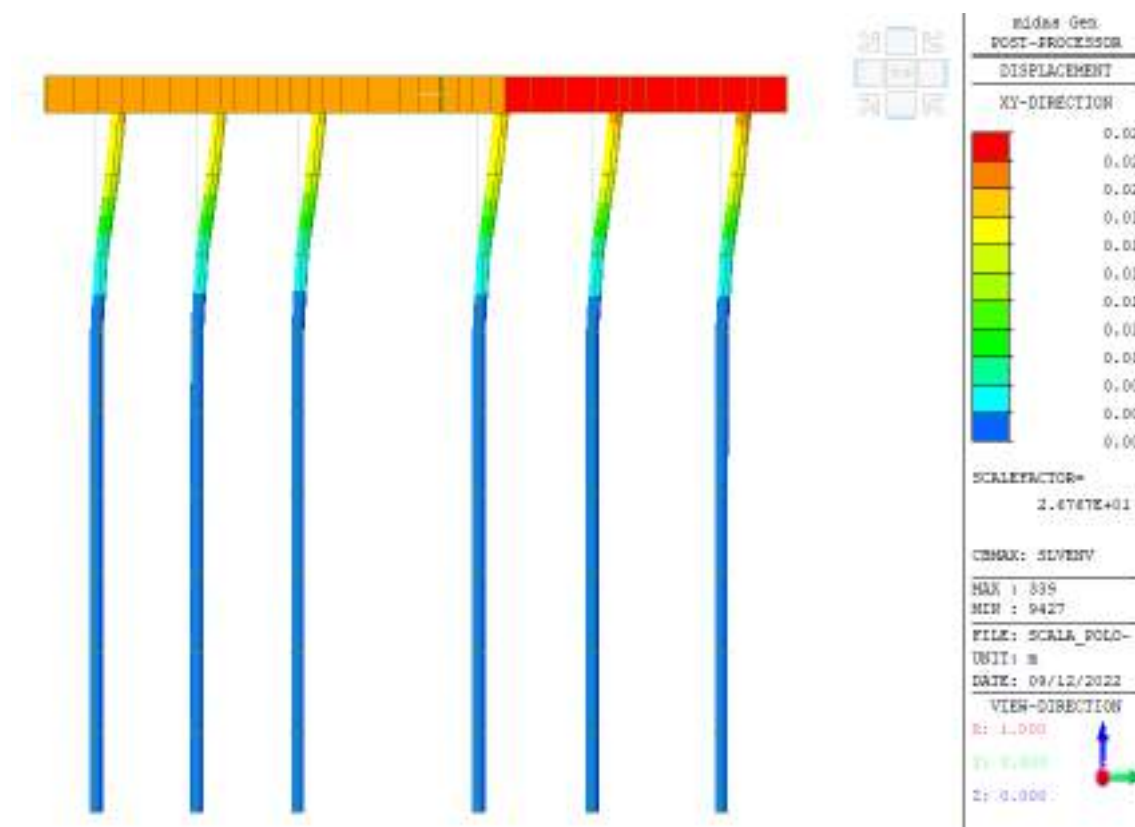
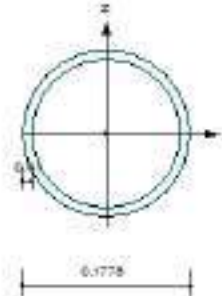


Figura 58 – Cedimento orizzontale, SLV

Si riportano dunque le verifiche strutturali dei pali, che risultano soddisfatte.

## 1. Design Information

|               |   |
|---------------|---|
| Design Code   | Eurocode3:05  |
| Unit System   | kN, m   |
| Member No     | 4656  |
| Material      | S355 (No.1)<br>( $F_y = 355000$ , $E_s = 210000000$ ) |
| Section Name  | CHS-CF 177.8X10 (No.1)<br>(Built-up Section)          |
| Member Length | 10.0000   |



## 2. Member Forces

|                 |  |
|-----------------|--|
| Axial Force     | $F_{ax} = -393.07$ (LCB: 5, POS:0)   |
| Bending Moments | $M_y = -27.837$ , $M_z = -11.538$  |
| End Moments     | $M_{yi} = -27.837$ , $M_{yj} = -0.0005$ (for $L_y$ )<br>$M_{zi} = -27.837$ , $M_{zj} = -0.0005$ (for $L_z$ )<br>$M_{xi} = -11.538$ , $M_{xj} = -0.0002$ (for $L_x$ ) |
| Shear Forces    | $F_{yy} = -30.221$ (LCB: 18, POS:0)<br>$F_{zz} = -25.384$ (LCB: 5, POS:0)  |

| Design Data | Value   | Unit | Value | Unit    |
|-------------|---------|------|-------|---------|
| Avg         | 0.00027 |      | Avg   | 0.00027 |
| Qst         | 0.00706 |      | Qst   | 0.00706 |
| W           | 0.00002 |      | W     | 0.00002 |
| Ybar        | 0.00000 |      | Zbar  | 0.00000 |
| Wxy         | 0.00001 |      | Wyz   | 0.00001 |
| Wx          | 0.00003 |      | Wz    | 0.00003 |

## 3. Design Parameters

|                                   |  |
|-----------------------------------|--|
| Unbraced Lengths                  | $L_y = 10.0000$ , $L_z = 10.0000$ , $L_b = 10.0000$  |
| Effective Length Factors          | $K_y = 0.70$ , $K_z = 0.70$                          |
| Equivalent Uniform Moment Factors | $C_{my} = 0.70$ , $C_{mz} = 0.70$ , $C_{mLT} = 1.00$ |

## 4. Checking Result

### Slenderness Ratio

$\lambda_{Lir} = 117.8 < 200.0$  (Memb:4656, LCB: 5)..... OK

### Axial Resistance

$N_{Ed}/N_{Rd} = 393.065/504.749 = 0.650 < 1.000$ ..... OK

### Bending Resistance

$M_{Edy}/M_{Rdy} = 27.8365/95.3055 = 0.292 < 1.000$ ..... OK

$M_{Edz}/M_{Rdz} = 11.5385/95.3055 = 0.121 < 1.000$ ..... OK

### Combined Resistance

$R_{MNRd} = \max[M_{Edy}/M_{Ry\_Rd}, M_{Edz}/M_{Rz\_Rd}]$

$R_{BIM} = (M_{Edy}/M_{Ry\_Rd})^{\alpha} + (M_{Edz}/M_{Rz\_Rd})^{\beta}$

$R_{byN} = N_{Ed}/(A_y \cdot f_y / \gamma_{M0})$ ,  $R_{byM} = M_{Edy}/(M_y / R_d) + M_{Edz}/(M_z / R_d)$

$R_{cLT1} = N_{Ed}/(X_{ly} \cdot A_y / \gamma_{M1})$

$R_{bLT1} = (k_{y1} \cdot M_{Edy}) / (X_{ly} \cdot W_{ply} \cdot f_y / \gamma_{M1}) + (k_{y2} \cdot M_{Edz}) / (W_{plz} \cdot f_y / \gamma_{M1})$

$R_{cLT2} = N_{Ed}/(X_{lz} \cdot A_y / \gamma_{M1})$

$R_{bLT2} = (k_{z1} \cdot M_{Edy}) / (X_{lz} \cdot W_{ply} \cdot f_y / \gamma_{M1}) + (k_{z2} \cdot M_{Edz}) / (W_{plz} \cdot f_y / \gamma_{M1})$

$R_{max} = \max[R_{MNRd}, R_{BIM}, (R_{byN} + R_{byM}), \max[R_{cLT1} + R_{bLT1}, R_{cLT2} + R_{bLT2}]] = 0.691 < 1.000$ ..... OK

### Torsion Strength

$T_{Ed}/T_{Rd} = 0.6064/81.7678 = 0.010 < 1.000$ ..... OK

### Shear Resistance

$V_{Edy}/V_{y\_Rd} = 0.047 < 1.000$ ..... OK

$V_{Edz}/V_{z\_Rd} = 0.039 < 1.000$ ..... OK

## 5. Deflection Checking Results

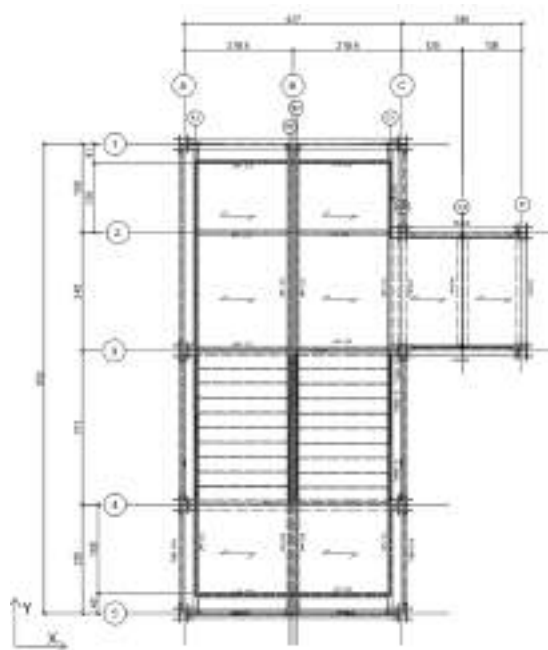
$L/150.0 = 0.0667 > 0.0081$  (Memb:4656, LCB: 110, Dir:X)..... OK



## 8 GIUDIZIO MOTIVATO DI ACCETTABILITÀ DEI RISULTATI

Per una validazione del modello si sono calcolati i carichi statici (peso proprio elementi, carichi permanenti non strutturali e carichi accidentali) e i carichi dinamici (vento e sisma) confrontando le reazioni vincolari ottenute con il file di Excel e con il modello.

|                                   |              |   |
|-----------------------------------|--------------|---|
| <b>nlivelli</b>                   | <b>5.00</b>  |   |
| bx (A - C)                        | <b>4.37</b>  | m |
| bx (C - D)                        | <b>2.40</b>  | m |
| <b>bx,tot</b>                     | <b>6.77</b>  | m |
| by (1 -2)                         | <b>1.80</b>  | m |
| by (2 -3)                         | <b>2.40</b>  | m |
| by (3 -4)                         | <b>3.12</b>  | m |
| by (4 -5)                         | <b>2.20</b>  | m |
| by (lunghezza fisica rampe)       | <b>3.30</b>  | m |
| <b>by,tot (proiezione pianta)</b> | <b>9.52</b>  | m |
| <b>by,tot (vera grandezza)</b>    | <b>9.70</b>  | m |
| <b>h1</b>                         | <b>3.50</b>  | m |
| <b>h2</b>                         | <b>1.71</b>  | m |
| <b>h,tot</b>                      | <b>19.70</b> | m |



**CONTROLLO CARICHI ASSEGNATI AL MODELLO**

|    |   | N°elementi<br>/piano | Peso<br>[kg/m][kg/m <sup>2</sup> ] | Lunghezza/<br>Altezza<br>[m] | Peso totale<br>[kN] |
|----|---|----------------------|------------------------------------|------------------------------|---------------------|
| G1 | Colonne<br>(HEB 200)                      | 11                   | 61.30                              | 19.70                        | 132.84              |
|    | Travi long - trasv<br>(HEA 200)           | 5                    | 42.00                              | 35.22                        | 73.96               |
|    | Cosciali<br>(UPN 220)                     |                      | 29.00                              | 66.20                        | 19.20               |
|    |   |                      | 29.00                              | 38.71                        | 56.13               |
|    | Corrimano<br>(RHS 80x4)                   | 5                    | 9.55                               | 51.79                        | 27.84               |
|    | Controventi di piano<br>(D 20 mm)         | 8                    | 2.47                               | 2.70                         | 2.67                |
|    | Controventi di piano<br>(D 20 mm)         | 2                    | 2.47                               | 3.00                         | 2.92                |
|    | Controventi di<br>parete - Y<br>(D 16 mm) | 4                    | 1.60                               | 5.00                         | 1.60                |
|    | Controventi di<br>parete - X<br>(D 16 mm) | 4                    | 1.60                               | 5.60                         | 1.79                |

F<sub>z,G1</sub> (Excel) **318.95** kN

F<sub>z,G1</sub> (Midas) **307.00** kN

-3.9%

**G2**
*Grigliato metallico (sui cosciali)*

|         | p [kN/m <sup>2</sup> ] | i [m] | q [kN/m] |
|---------|------------------------|-------|----------|
| filo A1 | 0.50                   | 1.00  | 0.50     |
| filo B1 | 0.50                   | 1.00  | 0.50     |
| filo B2 | 0.50                   | 1.00  | 0.50     |
| filo C1 | 0.50                   | 1.00  | 0.50     |
| filo C  | 0.50                   | 0.60  | 0.30     |
| filo C2 | 0.50                   | 1.20  | 0.60     |
| filo D  | 0.50                   | 0.60  | 0.30     |

F<sub>z,G2</sub> (Excel) **78.08** kN

F<sub>z,G2</sub> (Midas) **71.00** kN

-10.0%

|                               | p [kN/m <sup>2</sup> ] | lunghezza<br>pedata<br>[m] | q [kN/m] |
|-------------------------------|------------------------|----------------------------|----------|
| <i>Gradino (sui cosciali)</i> |                        |                            |          |
| filo A1                       | 0.26                   | 0.32                       | 0.39     |
| filo B1                       | 0.26                   | 0.32                       | 0.39     |
| filo B2                       | 0.26                   | 0.32                       | 0.39     |
| filo C1                       | 0.26                   | 0.32                       | 0.39     |

F<sub>z,G2</sub> (Excel) **24.63** kN

F<sub>z,G2</sub> (Midas) **27.00** kN

8.8%

*Parapetto (sui cosciali e sulle travi)*

direzione y

|         |      |   |      |
|---------|------|---|------|
| filo A1 | 0.30 | 1 | 0.30 |
| filo B1 | 0.30 | 1 | 0.30 |
| filo B2 | 0.30 | 1 | 0.30 |
| filo C1 | 0.30 | 1 | 0.30 |

direzione x

|        |      |   |      |
|--------|------|---|------|
| filo 1 | 0.30 | 1 | 0.30 |
| filo 2 | 0.30 | 1 | 0.30 |
| filo 3 | 0.30 | 1 | 0.30 |
| filo 5 | 0.30 | 1 | 0.30 |

$F_{z,G2}$  (Excel) 65.60 KN

$F_{z,G2}$  (Midas) 77.00 KN

14.8%

**Qk (cat.C2)**

*Scale (sui cosciali)*

|         |      |      |      |
|---------|------|------|------|
| filo A1 | 4.00 | 1.00 | 3.98 |
| filo B1 | 4.00 | 1.00 | 3.98 |
| filo B2 | 4.00 | 1.00 | 3.98 |
| filo C1 | 4.00 | 1.00 | 3.98 |
| filo C2 | 4.00 | 0.55 | 2.20 |
| filo C3 | 4.00 | 1.10 | 4.40 |
| filo D  | 4.00 | 0.55 | 2.20 |

$F_{z,Qk}$  (Excel) 845.79 KN

$F_{z,Qk}$  (Midas) 908.00 KN

7.4%

Figura 59 – Calcolo carichi statici,  $G1$ ,  $G1$ ,  $Qk$

### CARICO DEL VENTO AFFIDATO AL MODELLO

Vento da attribuire ai tubi rettangolari RHS 80x4 e alle travi HEA 200

h investita **19.70** m  
bx, tot **6.77** m  
by, tot **9.52** m

**Direzione x + /x - /y + /y -**

**interasse** **1.765** m

Sopravento

$q = \frac{\text{Pressione lineare}}{1.66} \text{ KN/m}$

Sottovento

$q = \frac{\text{Pressione lineare}}{1.24} \text{ KN/m}$

**Direzione x +**

|                  |               |    |
|------------------|---------------|----|
| Azioni (excel)   | <b>277.45</b> | KN |
| Reazioni (Midas) | <b>271.00</b> | KN |

-2.4%

**Direzione x -**

|                  |               |    |
|------------------|---------------|----|
| Azioni (excel)   | <b>267.28</b> | KN |
| Reazioni (Midas) | <b>260.00</b> | KN |

-2.8%

**Direzione y +**

|                  |               |    |
|------------------|---------------|----|
| Azioni (excel)   | <b>218.99</b> | KN |
| Reazioni (Midas) | <b>200.00</b> | KN |

-9.5%

**Direzione y -**

|                  |               |    |
|------------------|---------------|----|
| Azioni (excel)   | <b>218.99</b> | KN |
| Reazioni (Midas) | <b>197.00</b> | KN |

-11.2%

Figura 60 – Calcolo carico del vento in x e in y

Si riporta di seguito il calcolo delle masse sismiche.

| CALCOLO MASSE |   |                      |                                    |                              |                     |
|---------------|---|----------------------|------------------------------------|------------------------------|---------------------|
|               |   | N°elementi<br>/piano | Peso<br>[kg/m][kg/m <sup>2</sup> ] | Lunghezza/<br>Altezza<br>[m] | Peso totale<br>[kN] |
| G1            | Colonne<br>(HEB 200)                      | 11                   | 61.30                              | 19.70                        | 132.84              |
|               | Travi long - trasv<br>(HEA 200)           | 5                    | 42.00                              | 35.22                        | 73.96               |
|               | Cosciali<br>(UPN 220)                     |                      | 29.00                              | 66.20                        | 19.20               |
|               |   |                      | 29.00                              | 38.71                        | 56.13               |
|               | Corrimano<br>(RHS 80x4)                   | 5                    | 9.55                               | 51.79                        | 27.84               |
|               | Controventi di piano<br>(D 20 mm)         | 8                    | 2.47                               | 2.70                         | 2.67                |
|               | Controventi di piano<br>(D 20 mm)         | 2                    | 2.47                               | 3.00                         | 2.92                |
|               | Controventi di<br>parete - Y<br>(D 16 mm) | 4                    | 1.60                               | 5.00                         | 1.60                |
|               | Controventi di<br>parete - X<br>(D 16 mm) | 4                    | 1.60                               | 5.60                         | 1.79                |

|    |           | F <sub>z,G1</sub>         |                            |                                    | 318.95              |
|----|-----------|---------------------------|----------------------------|------------------------------------|---------------------|
|    |           | Area<br>[m <sup>2</sup> ] | Sviluppo<br>lineare<br>[m] | Peso<br>[kN/m][kN/m <sup>2</sup> ] | Peso totale<br>[kN] |
| G2 | Grigliato | 33.73                     | -                          | 0.5                                | 84.32               |
|    | Gradino   | 13.63                     | -                          | 0.4                                | 26.91               |
|    | Parapetto | -                         | 218.65                     | 0.3                                | 65.60               |

|    |               | F <sub>z,G2</sub> |      |  | 176.83 |
|----|---------------|-------------------|------|--|--------|
| Qk | cat.C (scale) |                   | 4.00 |  | 845.79 |

$$W = G_1 + G_2 + Q_k \text{ (Excel)} \quad W_{tot} \quad 1341.56 \quad \text{kN}$$

$$W = G_1 + G_2 + Q_k \text{ (Midas)} \quad W_{tot} \quad 1388.00 \quad \text{kN}$$

$$-3.46\% \quad \%$$

$$\Psi \text{ (cat.C)} \quad 0.60$$

$$\text{Massa sismi } W = G_1 + G_2 + \Psi Q_k \text{ (Excel)} \quad 1003.25 \quad \text{kN}$$

$$\text{Massa sismi } W = G_1 + G_2 + \Psi Q_k \text{ (Midas)} \quad 1024.80 \quad \text{kN}$$

$$-2.15\% \quad \%$$

Figura 61 – Calcolo delle masse sismiche

### DA ANALISI MODALE

#### Traslazionali lungo x

##### 1°modo di vibrare

|                  |        |    |
|------------------|--------|----|
| T1 (da Midas)    | 0.77   | s  |
| Sa (T1)          | 0.42   | g  |
| Massa partec (%) | 0.67   | %  |
| Massa partec     | 672.18 | kN |
| V1               | 285.34 | kN |

##### 2°modo di vibrare

|                  |       |    |
|------------------|-------|----|
| T2 (da Midas)    | 0.76  | s  |
| Sa (T2)          | 0.42  | g  |
| Massa partec (%) | 0.08  | %  |
| Massa partec     | 75.24 | kN |
| V2               | 31.94 | kN |

##### 3°modo di vibrare

|                  |        |    |
|------------------|--------|----|
| T3 (da Midas)    | 0.69   | s  |
| Sa (T3)          | 0.47   | g  |
| Massa partec (%) | 0.11   | %  |
| Massa partec     | 110.36 | kN |
| V3               | 52.36  | kN |

#### COMBINAZIONE EFFETTI -SRS (7.3.4)

|                |        |                             |
|----------------|--------|-----------------------------|
| Vtot x (Excel) | 291.86 | kN taglio sismico alla base |
| Vtot x (Midas) | 301.00 | kN taglio sismico alla base |

-3.04%

Figura 62 – Calcolo del tagliante sismico

La differenza dei risultati è sempre inferiore al 10%, si ritengono quindi attendibili i risultati ottenuti dalla modellazione eseguita.





UNIVERSITÀ DI PISA

**POLO C: POLO DIDATTICO**  
**INGEGNERIA**  
**PROGETTO DEFINITIVO**  
Relazione tecnica e di calcolo

## **ISTALLAZIONE POMPE DI CALORE E NUOVA UNITÀ DI TRATTAMENTO DELL'ARIA IN COPERTURA**

## 9 NUOVA UNITÀ DI TRATTAMENTO DELL'ARIA

Si riporta di seguito la posizione in pianta di copertura della UTA.

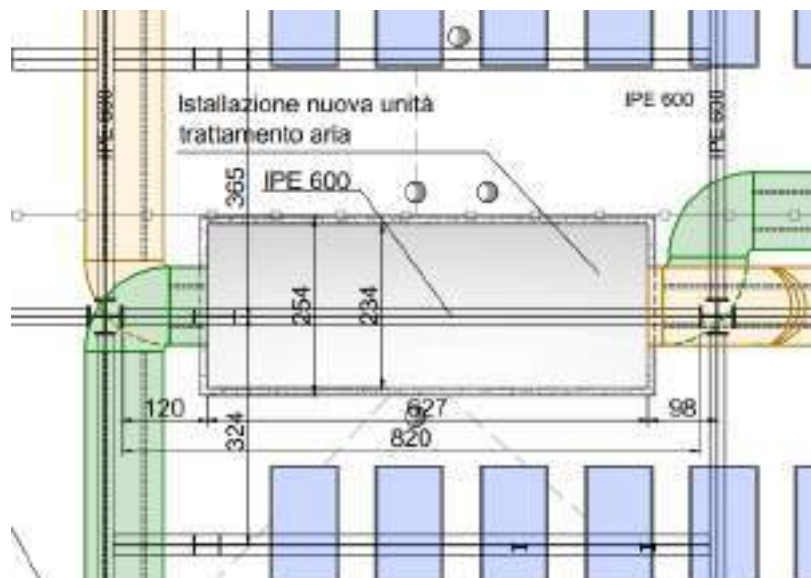


Figura 63 – Posizione UTA in copertura

La nuova unità viene installata in asse alla trave esistente IPE 600 su due binari orizzontali IPE 200 che scaricano su due baggioli laterali 50 x 50 cm direttamente gettati sulla copertura.

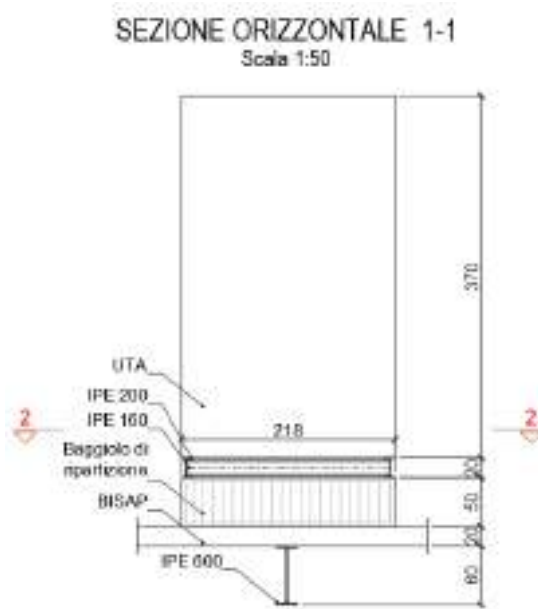


Figura 64 – Sistema di appoggio della UTA

Si riportano le verifiche dei vari elementi.

## 9.1 TRAVE ESISTENTE IPE 600

### SOLAIO ESISTENTE "BISAP"

Schema statico : trave incastrata con carico distribuito

|                         |        |      |      |
|-------------------------|--------|------|------|
| Luce di calcolo         | l      | 8.20 | m    |
| Interasse travi IPE 600 | i      | 3.45 | m    |
| Peso proprio IPE 600    | $\rho$ | 1.22 | kN/m |

### Pesi propri strutturali G1

|                          | H [m] | B [m] | i [m] | $\rho$ [kN/m <sup>3</sup> ] | G <sub>1</sub> [kN/m <sup>2</sup> ] |
|--------------------------|-------|-------|-------|-----------------------------|-------------------------------------|
| Peso solaio tipo "BISAP" | 0.21  | 0.80  |       |                             | 2.30                                |
| Somma                    |       |       |       |                             | 2.30                                |

### Pesi propri portati G2

|  | H [m] | B [m] | i [m] | $\rho$ [kN/m <sup>3</sup> ] | G <sub>2</sub> [kN/m <sup>2</sup> ] |
|--|-------|-------|-------|-----------------------------|-------------------------------------|
| Sovraccarico permanente<br>(manto,coibente,imp.ne, intonaco) |       |       |       |                             | 2.00                                |
| Somma  |       |       |       |                             | 2.00                                |

**Peso totale** **G [kN/m<sup>2</sup>]** **4.30**

### Pesi accidentali Qk

|                          | H [m] | B [m] | L [m] | $\rho$ [kN/m <sup>3</sup> ] | G <sub>2</sub> [kN/m <sup>2</sup> ] |
|--------------------------|-------|-------|-------|-----------------------------|-------------------------------------|
| Sovraccarico accidentale |       |       |       |                             | 1.50                                |
| Somma                    |       |       |       |                             | 1.50                                |

### Combinazione fondamentale (SLU)

| Combinazione fondamentale (SLE) |                              |      |      |
|---------------------------------|------------------------------|------|------|
| Coefficienti di combinazione    |                              |      |      |
| $\gamma_{G1}$                   | 1.30                         | 1.00 | 1.00 |
| $\gamma_{G2}$                   | 1.50                         | 1.00 | 1.00 |
| $\gamma_{Qk}$                   | 1.50                         | 1.00 | 0.00 |
| <b>Q<sub>slu</sub></b>          | <b>8.24 kN/m<sup>2</sup></b> |      |      |
| Combinazione rara (SLE)         |                              |      |      |
| <b>Q<sub>sle</sub></b>          | <b>5.80 kN/m<sup>2</sup></b> |      |      |
| Combinazione q.permanente (SLE) |                              |      |      |
| <b>Q<sub>sle</sub></b>          | <b>4.30 kN/m<sup>2</sup></b> |      |      |

|                    |       |      |
|--------------------|-------|------|
| qslu               | 29.61 | kN/m |
| qsle, rara         | 21.20 | kN/m |
| qsle, quasi perman | 16.03 | kN/m |

### In mezzzeria

Med **82.95** kNm

### All'incastro

Med **-165.90** kNm

Ved **121.39** kN

**SOVRACCARICO IPE - BAGGIOLO - UTA**

*Schema statico : trave incastrata con carico concentrato a distanza "a"*

|                            |        |             |      |
|----------------------------|--------|-------------|------|
| Luce di calcolo            | l      | <b>8.20</b> | m    |
| Interasse travi IPE 600    | i      | <b>3.45</b> | m    |
| Peso proprio IPE 600       | $\rho$ | <b>1.22</b> | kN/m |
| Distanza punto appl. Caric | a      | <b>1.10</b> | m    |

**Pesi propri strutturali G<sub>1</sub>**

|              | H [m]       | B [m]       | L / [m]     | i [m] | $\rho$ [kN/m] | N°elementi    | G <sub>1</sub> [kN] |
|--------------|-------------|-------------|-------------|-------|---------------|---------------|---------------------|
| IPE 200      | <b>0.20</b> | <b>0.10</b> | <b>7.58</b> |       | <b>0.22</b>   | <b>2.00</b> ✓ | 3.40                |
| IPE 160      | <b>0.16</b> | <b>0.08</b> | <b>2.00</b> |       | <b>0.16</b>   | <b>4.00</b> ✓ | 1.28                |
| Baggioli     | <b>0.50</b> | <b>0.50</b> | <b>2.20</b> |       | <b>25.00</b>  | <b>2.00</b>   | 27.50               |
| <b>Somma</b> |             |             |             |       |               |               | <b>32.18</b>        |

**Pesi accidentali Q<sub>k</sub>**

|              | H [m]       | B [m]       | L / [m]     | i [m] | $\rho$ [kN/m] | N°elementi  | G <sub>1</sub> [kN] |
|--------------|-------------|-------------|-------------|-------|---------------|-------------|---------------------|
| UTA          | <b>3.70</b> | <b>2.18</b> | <b>7.58</b> |       | 4.24          | <b>1.00</b> | 32.17               |
| <b>Somma</b> |             |             |             |       |               |             | <b>32.17</b>        |

**Combinazione fondamentale (SLU)**

| Coefficienti di combinazione |                 |      |      |
|------------------------------|-----------------|------|------|
| $\gamma_{G1}$                | 1.30            | 1.00 | 1.00 |
| $\gamma_{G2}$                | 1.50            | 1.00 | 1.00 |
| $\gamma_{Qk}$                | 1.50            | 1.00 | 0.00 |
| <b>Q<sub>slu</sub></b>       | <b>45.04 kN</b> |      |      |

**Combinazione rara (SLE)**

|                        |                 |
|------------------------|-----------------|
| <b>Q<sub>sle</sub></b> | <b>32.17 kN</b> |
|------------------------|-----------------|

**Combinazione q.permanente (SLE)**

|                        |                 |
|------------------------|-----------------|
| <b>Q<sub>sle</sub></b> | <b>16.09 kN</b> |
|------------------------|-----------------|

**In mezzzeria**

|           |              |     |
|-----------|--------------|-----|
| Med, conc | <b>9.97</b>  | kNm |
| Ved, conc | <b>42.83</b> | kN  |

**All'incastro**

|           |               |     |
|-----------|---------------|-----|
| Med, conc | <b>-37.14</b> | kNm |
| Ved, conc | <b>42.83</b>  | kN  |

|                |                |     |
|----------------|----------------|-----|
| <b>Med tot</b> | <b>-203.04</b> | kNm |
| <b>Ved tot</b> | <b>164.22</b>  | kN  |

Figura 65 –Sollecitazioni IPE 600

**VERIFICA PROFILO INFLESSO IN ACCIAIO IPE 600**
**DATI DI PROGETTO**
**caratteristiche geometriche**

|                           |           |   |      |   |
|---------------------------|-----------|---|------|---|
| luce di calcolo           | $L_c$     | = | 8.20 | m |
| interassi <i>sinistro</i> | $i_s$     | = | 3.65 | m |
| <i>destro</i>             | $i_d$     | = | 3.24 | m |
| <b>medio</b>              | $i_{med}$ | = | 3.45 | m |

**S.L.E.**

|               |                                |      |                                |      |                              |  |                                    |
|---------------|--------------------------------|------|--------------------------------|------|------------------------------|--|------------------------------------|
| <b>c.d.c.</b> | rara (caratteristica)          |      |                                |      |                              |  | <b><math>G_1 + G_2 + Q</math></b>  |
|               | <b><math>G_1</math> (kg/m)</b> |      | <b><math>G_2</math> (kg/m)</b> |      | <b><math>Q</math> (kg/m)</b> |  | <b><math>q_{tot}</math> (kg/m)</b> |
| 1.00          | 914                            | 1.00 | 689                            | 1.00 | 517                          |  | <b>2120</b>                        |
|               | (compreso p.p. profilo)        |      |                                |      |                              |  |                                    |

**PROFILO IN ACCIAIO**
**capacità resistente della sezione**

profilo prescelto  $n.$  **1** *metodo elastico (E)* **IPE 600**
**caratteristiche del singolo profilo**

|                                 |          |             |          |                 |
|---------------------------------|----------|-------------|----------|-----------------|
| area                            | $A$      | =           | 156.00   | cm <sup>2</sup> |
| p.p. profilo                    | $p$      | =           | 122.00   | kg/m            |
| momento d'inerzia               | $J_x$    | =           | 92080.00 | cm <sup>4</sup> |
| momento statico di metà sezione | $S_x$    | =           | 1534.50  | cm <sup>3</sup> |
| modulo di resistenza elastico   | $W_{el}$ | = $2 S_x$ = | 3069.00  | cm <sup>3</sup> |
| area resistente a taglio        | $A_v$    | =           | 83.80    | cm <sup>2</sup> |

**acciaio**

|  |          |   |                    |               |                    |
|--|----------|---|--------------------|---------------|--------------------|
| tensione di snervamento                | $f_{yk}$ | = | tipo <b>Fe430B</b> | <b>280.00</b> | N/mm <sup>2</sup>  |
|  |          | = | <b>2800.00</b>     |               | kg/cm <sup>2</sup> |
| Modulo elastico                        | $E$      | = | <b>2100000.00</b>  |               | kg/cm <sup>2</sup> |
|  |          | = | <b>21000.00</b>    |               | kN/cm <sup>2</sup> |
| coefficiente di sicurezza (tab. 4.2.V) | $g_{M0}$ | = | <b>1.05</b>        |               |                    |

## VERIFICHE DI RESISTENZA

### VERIFICA A FLESSIONE

azioni di progetto - S.L.U.

$$M_{ed} = 20400 \text{ kgm}$$

resistenza di calcolo

$$M_{c,Rd} = W_{el} f_{yk} / g_{M0} = 81840 \text{ kgm}$$

>  $M_{ed}$   
verifica soddisfatta

### VERIFICA A TAGLIO

azioni di progetto - S.L.U.

$$V_{ed} = 16500 \text{ kg}$$

resistenza di calcolo

$$V_{c,Rd} = A_v f_{yk} / (\sqrt{3} g_{M0}) = 129019 \text{ kg}$$

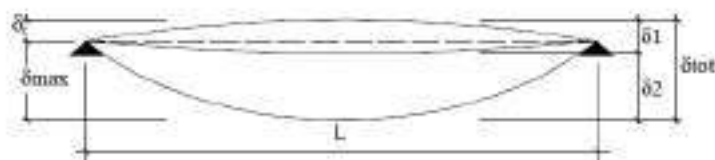
<  $V_{ed}$   
verifica soddisfatta

### VERIFICHE DI DEFORMABILITA'

limiti di deformabilità - S.L.E.

elementi strutturali (tabella 4.2.X)

coperture praticabili



per l'intero carico

$$d_{max,lim} = L_c / 250 = 3.28 \text{ cm}$$

Freccia

$$d_{max} = \frac{q_{tot} L_c^4 / 384 E J + P a^3 b^3 / 3 L^3 E J_x}{L_c / 6352} = 0.13 \text{ cm}$$

<  $d_{max,lim}$   
verifica soddisfatta

Figura 66 – Verifiche di resistenza e deformabilità IPE 600



## 9.2 BAGGIOLO

*Schema statico : mensola con carico concentrato a distanza "a"*

|                                   |   |      |   |
|-----------------------------------|---|------|---|
| Luce di calcolo                   | l | 1.10 | m |
| baggioli                          | i | 7.10 | m |
| Distanza punto appl. Carico conc. | a | 1.20 | m |

| Pesi propri strutturali G <sub>1</sub> |       |       |         |       |          |            |                     |
|--|-------|-------|---------|-------|----------|------------|---------------------|
|  | H [m] | B [m] | L / [m] | i [m] | ρ [kN/m] | N°elementi | G <sub>1</sub> [kN] |
| IPE 200                                | 0.20  | 0.10  | 7.58    |       | 0.22     | 2.00       | 3.34                |
| IPE 160                                | 0.16  | 0.08  | 2.00    |       | 0.16     | 4.00       | 1.26                |
| Baggiolo                               | 0.50  | 0.50  | 2.20    |       | 25.00    | 1.00       | 6.88                |
| <i>Somma</i>                           |       |       |         |       |          |            | 11.47               |
| Pesi accidentali Q <sub>k</sub>        |       |       |         |       |          |            |                     |
|  | H [m] | B [m] | L / [m] | i [m] | ρ [kN/m] | N°elementi | G <sub>1</sub> [kN] |
| UTA                                    | 3.70  | 2.18  | 7.58    |       | 2.12     | 1.00       | 16.09               |
| <i>Somma</i>                           |       |       |         |       |          |            | 16.09               |

| Combinazione fondamentale (SLU) |  |              |      |           |
|---------------------------------|--|--------------|------|-----------|
| Coefficienti di combinazione    |  |              |      |           |
| Y <sub>G1</sub>                 |  | 1.30         | 1.00 | 1.00      |
| Y <sub>G2</sub>                 |  | 1.50         | 1.00 | 1.00      |
| Y <sub>Qk</sub>                 |  | 1.50         | 1.00 | 0.00      |
| <b>Q<sub>slu</sub></b>          |  | <b>39.04</b> |      | <b>kN</b> |
| Combinazione rara (SLE)         |  |              |      |           |
| <b>Q<sub>sle</sub></b>          |  | <b>27.56</b> |      | <b>kN</b> |
| Combinazione q.permanente (SLE) |  |              |      |           |
| <b>Q<sub>sle</sub></b>          |  | <b>11.47</b> |      | <b>kN</b> |

### All'incastro

|         |       |     |
|---------|-------|-----|
| Med,slu | 42.95 | kNm |
| Ved,slu | 39.04 | kN  |

Figura 67 –Verifiche di resistenza e deformabilità IPE 600

Verifica C.A. S.L.U. - File: Med

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo :

N° figure elementari 1 Zoom N° strati barre 2 Zoom

| N° | b [1] | h [1] |
|----|-------|-------|
| 1  | 500   | 500   |

| N° | As [1²] | d [1] |
|----|---------|-------|
| 1  | 402     | 40    |
| 2  | 402     | 460   |

Sollecitazioni

S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> 0 0 kN

M<sub>xEd</sub> 43,00 0 kNm

M<sub>yEd</sub> 0 0

P.to applicazione N

Centro Baricentro cls

Coord.[1] xN 0 yN 0

Tipo rottura

Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Tipo Sezione

Rettan.re Trapezi

a T Circolare

Rettangoli Coord.

Metodo di calcolo

S.L.U.+ S.L.U.-

Metodo n

Tipo flessione

Retta Deviata

N° rett. 100

Calcola MRd Dominio M-N

L<sub>0</sub> 0 1 Col. modello

Precompresso

Materiali

B450C C25/30

$\epsilon_{su}$  67,5 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰

$f_{yd}$  391,3 N/mm²  $\epsilon_{cu}$  3,5

$E_s$  200.000 N/mm²  $f_{cd}$  14,17

$E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  0,8 ?

$\epsilon_{syd}$  1,957 ‰  $\sigma_{c,adm}$  9,75

$\sigma_{s,adm}$  255 N/mm²  $\tau_{co}$  0,6

$\tau_{c1}$  1,829

M<sub>xRd</sub> 71,15 kN m

$\sigma_c$  -14,17 N/mm²

$\sigma_s$  391,3 N/mm²

$\epsilon_c$  3,5 ‰

$\epsilon_s$  42,85 ‰

d 46 1

x 3,474 x/d 0,07551

$\delta$  0,7

Figura 68 –Verifiche di resistenza a flessione Baggiolo

**Elementi con armature trasversali resistenti al taglio (§4.1.2.1.3.2)**

| <u>Calcestruzzo</u> |                        | <u>Acciaio</u> |                         |
|---------------------|------------------------|----------------|-------------------------|
| Classe              | <b>C25/30</b>          | Tipo           | <b>B450C</b>            |
| $f_{cm}$            | 33.0 N/mm <sup>2</sup> | $f_{ym}$       | 0.0 N/mm <sup>2</sup>   |
| $f_{ck}$            | 25.0 N/mm <sup>2</sup> | $f_{yk}$       | 450.0 N/mm <sup>2</sup> |
| $\gamma_c$          | 1.50                   | $\gamma_s$     | 1.15                    |
| F.C.                | 1.00                   | F.C.           | 1.00                    |
| $\alpha_{cc}$       | <b>0.85</b>            |                |                         |
| spessore            | <b>≤ 50 mm</b>         |                |                         |
| $f_{cd}$            | 15.0 N/mm <sup>2</sup> | $f_{ywd}$      | 391.3 N/mm <sup>2</sup> |
| $f'_{cd}$           | 7.5 N/mm <sup>2</sup>  |                |                         |

| <u>Sezione di cls</u> |                              |
|-----------------------|------------------------------|
| $b_w$                 | <b>0.50 m</b>                |
| $d$                   | <b>0.46 m</b>                |
| $\theta$              | <b>22.0 °</b>                |
| $\cot \theta$         | 2.5                          |
| $A_c$                 | <b>0.23 m<sup>2</sup></b>    |
| $\sigma_{cp}$         | <b>0.00 N/mm<sup>2</sup></b> |
| $\alpha_c$            | 1.000                        |

larghezza minima della sezione  
altezza utile della sezione  
inclinazione puntone (21.8° ≤ θ ≤ 45°)  
(1 ≤ cot θ ≤ 2.5)  
tensione media di compressione nella sezione

**Armatura trasversale**

|                         |               |                         |              |
|-------------------------|---------------|-------------------------|--------------|
| <i>arm. 1</i>           |               | <i>arm. 3</i>           |              |
| $n^{\circ}_{br.}$       | <b>2</b>      | $n^{\circ}_{br.}$       | <b>0</b>     |
| $\phi$                  | <b>8 mm</b>   | $\phi$                  | <b>16 mm</b> |
| $s$                     | <b>0.1 m</b>  | $s$                     | <b>1.3 m</b> |
| $n^{\circ}_{br. calc.}$ | 20.49         | $n^{\circ}_{br. calc.}$ | 0.0          |
| $\alpha$                | <b>90 °</b>   | $\alpha$                | <b>90 °</b>  |
| <i>arm. 2</i>           |               | <i>arm. 4</i>           |              |
| $n^{\circ}_{br.}$       | <b>0</b>      | $n^{\circ}_{br.}$       | <b>0</b>     |
| $\phi$                  | <b>30 mm</b>  | $\phi$                  | <b>0 mm</b>  |
| $s$                     | <b>1.44 m</b> | $s$                     | <b>0.1 m</b> |
| $n^{\circ}_{br. calc.}$ | 0.0           | $n^{\circ}_{br. calc.}$ | 0.0          |
| $\alpha$                | <b>45 °</b>   | $\alpha$                | <b>45 °</b>  |

$A_{sw1}$  1.01 cm<sup>2</sup>

armatura trasversale (arm. 1)

Resistenza armatura trasversale $V_{Rsd}$                       **403 kN**Resistenza calcestruzzo d'anima $V_{Rcd}$                       **538 kN** $N_{Ed}$                       **0 kN** $V_{Ed}$                       **40 kN** $V_{Rd}$                       **403.1 kN**

Coefficiente di sicurezza:

 $V_{Rd}/V_{Ed}$               **10.08**

Verifica soddisfatta

Figura 69 – Verifiche di resistenza a taglio Baggiolo

### 9.3 TRAVE NUOVA IPE 200

#### VERIFICA PROFILO INFLESSO IN ACCIAIO IPE 200

##### DATI DI PROGETTO

###### caratteristiche geometriche

|                           |           |   |      |   |
|---------------------------|-----------|---|------|---|
| luce di calcolo           | $L_c$     | = | 7.60 | m |
| interassi <i>sinistro</i> | $i_s$     | = | 1.10 | m |
| <i>destro</i>             | $i_d$     | = | 0.00 | m |
| <b>medio</b>              | $i_{med}$ | = | 0.55 | m |

##### ANALISI DEI CARICHI VERTICALI

###### permanenti strutturali - $G_1$

|                                    |   |      |      |
|------------------------------------|---|------|------|
| p.p. UTA<br>(escluso p.p. profilo) | = | 0.00 | kg/m |
|------------------------------------|---|------|------|

###### permanenti non strutturali - $G_2$

|                |   |      |                   |
|----------------|---|------|-------------------|
| pavimentazione | = | 0.00 | kg/m <sup>2</sup> |
| $q_{lin}$      | = | 0.00 | kg/m              |

###### sovraccarichi accidentali - $Q$

|     |   |        |                   |
|-----|---|--------|-------------------|
| UTA | = | 417.11 | kg/m <sup>2</sup> |
|-----|---|--------|-------------------|

##### COMBINAZIONI DI CARICO

###### S.L.U.

###### c.d.c.

| $g_{G1}$ | $G_1$ (kg/m) | $g_{G2}$ | $G_2$ (kg/m) | $g_Q$ | $Q$ (kg/m) | $q_{tot}$ (kg/m) |
|----------|--------------|----------|--------------|-------|------------|------------------|
| 1.30     | 22           | 1.50     | 0            | 1.50  | 229        | 373              |

###### S.L.E.

###### c.d.c.

| $G_1$ (kg/m)            | $G_2$ (kg/m) | $Q$ (kg/m) | $q_{tot}$ (kg/m) |
|-------------------------|--------------|------------|------------------|
| 1.00                    | 22           | 1.00       | 229              |
| (compreso p.p. profilo) |              |            |                  |
|                         |              |            | 252              |



## PROFILO IN ACCIAIO

**capacità resistente della sezione**

profilo prescelto n.

**1***metodo elastico (E)***IPE 200****caratteristiche del singolo profilo**

|                                 |                 |                      |                |                 |
|---------------------------------|-----------------|----------------------|----------------|-----------------|
| area                            | A               | =                    | <b>28.50</b>   | cm <sup>2</sup> |
| p.p. profilo                    | p               | =                    | <b>22.40</b>   | kg/m            |
| momento d'inerzia               | J <sub>x</sub>  | =                    | <b>1943.00</b> | cm <sup>4</sup> |
| momento statico di metà sezione | S <sub>x</sub>  | =                    | 97.15          | cm <sup>3</sup> |
| modulo di resistenza elastico   | W <sub>el</sub> | = 2 S <sub>x</sub> = | <b>194.30</b>  | cm <sup>3</sup> |
| area resistente a taglio        | A <sub>v</sub>  | =                    | <b>14.00</b>   | cm <sup>2</sup> |

**acciaio**

|  |                 |   |                   |               |                    |
|--|-----------------|---|-------------------|---------------|--------------------|
| tensione di snervamento                | f <sub>yk</sub> | = | 235               | <b>235.00</b> | N/mm <sup>2</sup>  |
|  |                 | = | <b>2350.00</b>    |               | kg/cm <sup>2</sup> |
| Modulo elastico                        | E               | = | <b>2100000.00</b> |               | kg/cm <sup>2</sup> |
| coefficiente di sicurezza (tab. 4.2.V) | g <sub>M0</sub> | = | <b>1.05</b>       |               |                    |



**VERIFICHE DI RESISTENZA**
**VERIFICA A FLESSIONE**

azioni di progetto - S.L.U.

$$M_{ed} = 620 \text{ kgm}$$

resistenza di calcolo

$$M_{c,Rd} = W_{el} f_{yk} / \gamma_{M0} = 4349 \text{ kgm}$$

 $M_{ed} > M_{c,Rd}$   
verifica soddisfatta

**VERIFICA A TAGLIO**

azioni di progetto - S.L.U.

$$V_{ed} = 1418 \text{ kg}$$

resistenza di calcolo

$$V_{c,Rd} = A_v f_{yk} / (\sqrt{3} \gamma_{M0}) = 18090 \text{ kg}$$

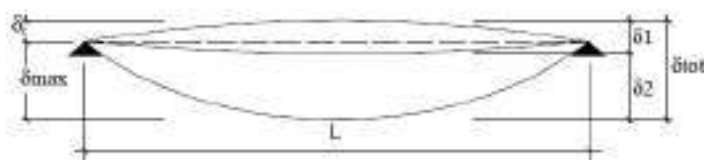
 $V_{ed} < V_{c,Rd}$   
verifica soddisfatta

**VERIFICHE DI DEFORMABILITÀ**

limiti di deformabilità - S.L.E.

elementi strutturali (tabella 4.2.X)

coperture praticabili



per l'intero carico

$$d_{max,lim} = L_c / 250 = 3.04 \text{ cm}$$

Freccia

$$d_{max} = \frac{5q_{tot} L_c^4}{384 EJ} = 2.68 \text{ cm}$$

$$\text{pari a } L_c / 283 < d_{max,lim}$$

verifica soddisfatta

Figura 70 – Verifiche di resistenza e deformabilità IPE 200

I Baggioli di sostegno delle UTA (e la soletta di sostegno delle Pompe di Calore) poggiano su un elemento impermeabilizzante tipo Rubbergard EPDM di spessore 1.5 mm in gomma sintetica, le cui prestazioni si mantengono tali se si mantiene la sua continuità ecco che non può subire forature. Si riporta quindi il calcolo degli elementi installati a dimostrazione del fatto che gli inghisaggi di collegamento tra le strutture in cls e i solai esistenti della copertura non sono necessari, in quanto il peso dei corpi stessi rappresenta una zavorra di ancoraggio.

### UTA

Si procede con un calcolo a corpo rigido al fine di dimostrare che non sussiste necessità di inserire inghisaggi di fissaggio della UTA e delle Pompe di Calore al solaio esistente Bisap, in quanto le azioni ribaltanti risultano notevolmente inferiori di quelle stabilizzanti e non si creano fenomeni di instabilità.

|          |             |            |
|----------|-------------|------------|
| $Y_{g1}$ | favorevole  | <b>0.9</b> |
| $Y_{q1}$ | sfavorevole | <b>1.5</b> |

#### DIMENSIONI GEOMETRICHE

##### - UTA

|   |              |              |    |
|---|--------------|--------------|----|
| h | altezza      | <b>3.70</b>  | m  |
| b | base         | <b>7.58</b>  | m  |
| d | profondità   | <b>2.18</b>  | m  |
| P | peso proprio | <b>32.30</b> | KN |

##### - Baggioli di appoggio

|   |   |              |                   |
|---|---|--------------|-------------------|
| h | = | <b>0.30</b>  | m                 |
| b | = | <b>0.30</b>  | m                 |
| d | = | <b>2.18</b>  | m                 |
| p | = | <b>25.00</b> | KN/m <sup>3</sup> |
| P | = | <b>9.81</b>  | KN                |

|          |   |              |    |
|----------|---|--------------|----|
| $R_{ed}$ | risultante del vento sulla superficie investita | <b>12.80</b> | KN |
|----------|---|--------------|----|

#### VERIFICA EQU 6.2.4.1 - SCORRIMENTO

|          |   |              |    |
|----------|---|--------------|----|
| $V_{Ed}$ | = | <b>12.80</b> | KN |
| $\mu S$  | = | <b>0.50</b>  |    |
| $V_{Rd}$ | = | <b>18.95</b> | KN |

|                 |    |             |  |
|-----------------|----|-------------|--|
| $V_{Rd}/V_{Ed}$ | >1 | <b>1.48</b> |  |
|-----------------|----|-------------|--|

#### VERIFICA EQU 6.2.4.1 - RIBALTAMENTO

|            |   |               |     |
|------------|---|---------------|-----|
| $M_{rib}$  | = | <b>25.59</b>  | KNm |
| $M_{stab}$ | = | <b>143.66</b> | KNm |

|                    |    |             |  |
|--------------------|----|-------------|--|
| $M_{stab}/M_{rib}$ | >1 | <b>5.61</b> |  |
|--------------------|----|-------------|--|

#### VERIFICA EQU 6.2.4.1 - SOLLEVAMENTO

##### F.v verticale

|                 |   |              |    |
|-----------------|---|--------------|----|
| dovuta al vento | = | <b>10.92</b> | KN |
|-----------------|---|--------------|----|

|            |   |               |     |
|------------|---|---------------|-----|
| $M_{rib}$  | = | <b>25.59</b>  | KNm |
| $M_{stab}$ | = | <b>106.39</b> | KNm |

|                    |    |             |  |
|--------------------|----|-------------|--|
| $M_{stab}/M_{rib}$ | >1 | <b>4.16</b> |  |
|--------------------|----|-------------|--|



## PDC

Si procede con un calcolo a corpo rigido al fine di dimostrare che non sussiste necessità di inserire inghisaggi di fissaggio della UTA e delle Pompe di Calore al solaio esistente Bisap, in quanto le azioni ribaltanti risultano notevolmente inferiori di quelle stabilizzanti e non si creano fenomeni di instabilità.

|               |             |            |
|---------------|-------------|------------|
| $\gamma_{g1}$ | favorevole  | <b>0.9</b> |
| $\gamma_{q1}$ | sfavorevole | <b>1.5</b> |

### DIMENSIONI GEOMETRICHE

- PDC

|   |              |              |    |
|---|--------------|--------------|----|
| h | altezza      | <b>2.41</b>  | m  |
| b | base         | <b>2.48</b>  | m  |
| d | profondità   | <b>2.00</b>  | m  |
| P | peso proprio | <b>13.27</b> | KN |

- Soletta di appoggio

|   |              |                   |
|---|--------------|-------------------|
| h | <b>0.20</b>  | m                 |
| b | <b>2.48</b>  | m                 |
| d | <b>2.00</b>  | m                 |
| p | <b>25.00</b> | KN/m <sup>3</sup> |
| P | <b>24.79</b> | KN                |

|          |   |             |    |
|----------|---|-------------|----|
| $R_{ed}$ | risultante del vento sulla superficie investita | <b>7.65</b> | KN |
|----------|---|-------------|----|

### VERIFICA EQU 6.2.4.1 - RIBALTAMENTO

|            |   |              |     |
|------------|---|--------------|-----|
| $M_{rib}$  | = | <b>14.96</b> | KNm |
| $M_{stab}$ | = | <b>42.43</b> | KNm |

|                    |    |             |
|--------------------|----|-------------|
| $M_{stab}/M_{rib}$ | >1 | <b>2.84</b> |
|--------------------|----|-------------|

### VERIFICA EQU 6.2.4.1 - SCORRIMENTO

|          |   |              |    |
|----------|---|--------------|----|
| $V_{Ed}$ | = | <b>12.80</b> | KN |
| $\mu S$  | = | <b>0.5</b>   |    |
| $V_{Rd}$ | = | <b>17.13</b> | KN |

|                 |    |             |
|-----------------|----|-------------|
| $V_{Rd}/V_{Ed}$ | >1 | <b>1.34</b> |
|-----------------|----|-------------|

### VERIFICA EQU 6.2.4.1 - SOLLEVAMENTO

F.v verticale

dovuta al

vento

|   |             |    |
|---|-------------|----|
| = | <b>3.28</b> | KN |
|---|-------------|----|

|           |   |              |     |
|-----------|---|--------------|-----|
| $M_{rib}$ | = | <b>14.96</b> | KNm |
|-----------|---|--------------|-----|

|            |   |              |     |
|------------|---|--------------|-----|
| $M_{stab}$ | = | <b>38.78</b> | KNm |
|------------|---|--------------|-----|

|                    |    |             |
|--------------------|----|-------------|
| $M_{stab}/M_{rib}$ | >1 | <b>2.59</b> |
|--------------------|----|-------------|

## 10 NUOVA POMPA DI CALORE

Poiché le pompe di calore hanno un peso inferiore rispetto alla nuova UTA e gravano su travi esistenti IPE 600 aventi luce di calcolo inferiore rispetto a quelle di analoghe dimensioni che supportano la stessa UTA, si omettono le verifiche relative alle strutture di supporto delle pompe di calore.



UNIVERSITÀ DI PISA

**POLO C: POLO DIDATTICO**  
**INGEGNERIA**  
**PROGETTO DEFINITIVO**  
Relazione tecnica e di calcolo

## **ELEMENTI COSTRUTTIVI NON STRUTTURALI**

## 11 ELEMENTI COSTRUTTIVI NON STRUTTURALI

### 11.1 PARETI DIVISORIE

A seguito della redistribuzione degli spazi interni verranno disposte delle pareti divisorie al piano secondo, al terzo e al quarto.

Si considera una parete costituita da profili metallici tipo Knauf o simili con classificazione di 1° scelta, a norma UNI EN 10346-2009, in acciaio zincato marcati CE® (marchio obbligatorio per la commercializzazione e l'utilizzo dei profili dal 1-1-2007 conformemente alla norma armonizzata EN 14195 riguardante "Profili per Sistemi in Lastre in Gesso Rivestito", in classe A1 di reazione al fuoco, prodotti secondo il sistema qualità UNI-EN-ISO9001-2000) verticali, semplici o doppi, posti ad interasse "i" costante. A detti profili verranno avvitate una o più lastre di gesso rivestito marcate CE a norma EN520 e conformi alla DIN 18180, poste su ognuna delle due facce della parete, o su una sola.

#### *Descrizione della parete*

La parete utilizzata sarà costituita da i profili metallici di sezione C 75x50, spessore 0.6 mm a interasse 60 cm e disposti a profilo singolo, accoppiati sulle due facce da due lastre di spessore 12.5 mm in classe di reazione al fuoco A2-s1, d0 (non infiammabile), peso 7,5 kg/m<sup>2</sup>, densità  $\geq 600$  kg/m<sup>3</sup>, conducibilità termica 0,19 W/mK, fattore di resistenza al vapore acqueo  $\mu$  9,2 (a secco) e 5,7 (ad umido), ultraleggere, dotate di nuova tecnologia LI-Tek, avvitate all'orditura metallica con specifiche viti. All'interno dell'orditura sarà inserito un pannello isolante in lana minerale di vetro senza rivestimento prodotto con tecnologia Ecosse Technology® (legante vegetale privo di formaldeide aggiunta), certificato Eurofins Indoor Air Comfort Gold a garanzia delle più basse emissioni di VOC, di spessore 60 mm, conforme alla norma UNI EN 13162, conduttività termica dichiarata  $\lambda_D=0,035$  W/mK, in classe A1 di reazione al fuoco (incombustibile), resistenza al passaggio del vapore acqueo  $\mu = 1$ . Il prodotto risulterà rispondente ai requisiti del DM 11 ottobre 2017 dei Criteri Ambientali Minimi (CAM).

#### *Modello di calcolo e schema statico*

Nelle verifiche condotte a SLU e SLV riportate, la sezione reagente considerata è la sezione mista composta dai profilati metallici e dalle sole lastre presenti sul lembo compresso, trascurando il contributo delle lastre soggette a stati tensionali di trazione. Il calcolo delle pareti è stato condotto riconducendosi al modello di trave considerando i profili metallici e lastre di larghezza pari all'interasse tra i profili stessi. Lo schema statico adottato (aderente alla situazione fisica reale) prevede un vincolo di tipo cerniera al piede di ciascun montante metallico, ed un carrello ad asse orizzontale, scorrevole quindi verticalmente, in testa all'elemento. La solidarizzazione tra il generico profilo metallico e le lastre di gesso rivestito soggette a



compressione, oltre a garantire un funzionamento come sezione di tipo misto, assicura anche l'impossibilità che la flangia compressa del profilo possa instabilizzarsi fuori dal proprio piano.

Per questo motivo è scongiurata l'eventualità che possano innescarsi fenomeni di lateral torsional buckling e, pertanto, di essi non è stato tenuto conto nelle verifiche statiche. I profili metallici risultano essere di Classe 4, ai sensi della classificazione delle sezioni indicata dal D.M. 17/01/2018. Per le sezioni di Classe 4, definite '*snelle*', occorre tenere conto degli effetti dell'instabilità locale in fase elastica nelle parti compresse che la compongono e, per tale motivo, la sezione geometrica effettiva viene sostituita con la così detta '*sezione efficace*'. La procedura di calcolo è quindi così articolata: a) determinazione delle caratteristiche geometriche della sezione lorda composta, b) partendo da queste si opera poi il calcolo della sezione efficace in funzione delle sollecitazioni (momento flettente e sforzo normale) agenti, c) si effettuano quindi le verifiche di sicurezza considerando reagente la sezione efficace composta.

#### Azioni di progetto

La parete oggetto di progetto è soggetta alle seguenti azioni:

- *Peso proprio della parete;*

- *Sovraccarico di esercizio*, costituito da un'azione distribuita linearmente per unità di lunghezza, applicata ad una quota di 1.20m dal piano di calpestio (la cui entità è funzione della destinazione d'uso dell'edificio).

I sovraccarichi di esercizio (azioni orizzontali distribuite linearmente per unità di lunghezza, indicate con  $H_k$ ) sono definite in accordo alla Tabella 3.1.II del D.M. 17/01/2018, qui di seguito riportata per comodità di lettura.

- *Azione sismica* (proporzionale alla massa della parete e funzione dell'ubicazione della costruzione, nonché della sua destinazione d'uso) - quest'ultimo parametro determina il coefficiente d'uso  $\mu$ ; L'effetto dell'azione sismica sulla parete oggetto del progetto è determinato, ai sensi del paragrafo 7.2.3 del D.M. 17/01/2018, applicando in corrispondenza del suo centro di massa una forza orizzontale  $F_a = (S_a W_a) / q_a$  diretta normalmente al piano medio della parete, dove:

-  $W_a$  è il peso dell'elemento;

-  $S_a$  è l'accelerazione massima, adimensionalizzata rispetto a quella di gravità, che l'elemento subisce durante il sisma per lo Stato Limite in esame;

-  $q_a$  è il fattore di intervento della parete, posto pari a '2' ai sensi della tabella C7.2.I (qui di seguito riportata).

Periodo fondamentale di vibrazione  $T_a$  della parete [s] = 0.14 calcolato con la relazione:

$$T_a = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi \sqrt{\frac{M}{k}} = 0.72 \sqrt{\frac{M h^3}{EJ}} \quad \text{dove } k = \frac{384 EJ}{5 h^3}$$

dove, oltre ai simboli di significato noto,  $M$  indica la massa in kg

Valori di  $Z$ ,  $H$ ,  $T_1$  stimati

|         |      |   |
|---------|------|---|
| Z [m]=  | 2,60 | stimato come $Z=(h \text{ parete}/2) + 1$ |
| H [m]=  | 4,20 | stimato come $H=(h \text{ parete}) + 1$   |
| T1 [s]= | 0,22 | stimato come $T1=CH^{(3/4)}$              |

Categoria di sottosuolo: C

#### Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV)

|           |       |
|-----------|-------|
| $a_y/g =$ | 0,137 |
| $S =$     | 1,50  |
| $S_a =$   | 1,38  |

#### Stato Limite di Danno (SLD)

|           |       |
|-----------|-------|
| $a_y/g =$ | 0,055 |
| $S =$     | 1,50  |
| $S_a =$   | 0,55  |

#### Combinazioni delle azioni

Le singole condizioni di carico sono combinate ai sensi di quanto disposto al paragrafo 2.5.3 del D.M. 17/01/2018. Ad eccezione del peso proprio tutte le altre azioni sono dirette orizzontalmente in direzione perpendicolare al piano medio della parete.

#### Verifiche allo Stato Limite Ultimo

Sono effettuate sulla sezione mista efficace, prescindendo in termini di resistenza dal contributo delle lastre tese:

**a) verifiche di resistenza a pressoflessione del profilato metallico:** si valuta il soddisfacimento della relazione:

$$\frac{M_{Ed} + \Delta M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \pm \frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

dove  $M_{Ed}$  ed  $N_{Ed}$  rappresentano le sollecitazioni di calcolo,  $\Delta M_{Ed}$  è l'incremento di flessione dovuto al fatto che il baricentro della sezione efficace è traslato rispetto a quello della sezione lorda relativamente al quale è stata definita l'azione assiale  $N_{Ed}$ , e  $M_{c,Rd}$  ed  $N_{c,Rd}$  rappresentano, rispettivamente, il momento flettente resistente e lo sforzo normale resistente. Il segno  $\pm$  indica che la verifica è operata su entrambi i lembi della sezione, da un lato si sommano le compressioni dovute a flessione e sforzo normale, da quello opposto la compressione da sforzo normale agisce in concomitanza con le trazioni da flessione. L'incremento di momento flettente è dato da: con 'e' che rappresenta il disassamento dei baricentri nel passaggio dalla sezione lorda a quella efficace.

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{eff} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}}$$

$$N_{c,Rd} = \frac{A_{eff} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}}$$

Le sollecitazioni resistenti risultano:  $W_{eff}$  e  $A_{eff}$  sono il modulo resistente e l'area della sezione efficace (ovviamente entrambe queste grandezze si diversificano a seconda di quale faccia compressa, A o B, si considera).

### b) verifica di resistenza a taglio del profilato metallico

E' operato il controllo:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{b,Rd}} \leq 1$$

$V_{Ed}$  è il taglio di calcolo,  $V_{b,Rd}$  quello resistente. Si assume che il taglio debba essere sopportato interamente dall'anima dei profili metallici. Il taglio resistente  $V_{b,Rd}$  si determina con le seguenti relazioni (paragrafo C4.2.12.1.5.4.1 della Circolare n.7 del 21/01/2019).

$$V_{b,Rd} = \frac{h_w \cdot t \cdot f_{bv}}{\gamma_{M0}}$$

$$f_{bv} = f_{yk} \cdot \chi(\lambda_w)$$

$$\lambda_w = 0.346 \cdot \frac{h_w}{t} \cdot \sqrt{\frac{f_{yk}}{E}}$$

$$\chi(\lambda_w) = \begin{cases} 0.58 & \text{per } \lambda_w \leq 0.83 \\ \frac{0.48}{\lambda_w} & \text{per } 0.83 < \lambda_w < 1.40 \\ \frac{0.67}{\lambda_w^2} & \text{per } \lambda_w \geq 1.40 \end{cases}$$

oltre ai simboli di significato noto, ' $h_w$ ' rappresenta l'altezza dell'anima del profilo e ' $t$ ' il suo spessore.

### c) verifica di instabilità per pressoflessione del profilato metallico

Si verifica che sia soddisfatta la disuguaglianza:

$$\frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M1}}{\chi_{min} \cdot f_{yk} \cdot A_{eff}} + \frac{(M_{Ed} + \Delta M_{Ed})_{eq} \cdot \gamma_{M1}}{f_{yk} \cdot W_{eff} \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr}}\right)} \leq 1$$

dove il coefficiente  $\chi$  è calcolato in funzione della snellezza adimensionale dell'elemento.  $(M_{Ed} + \Delta M_{Ed})_{eq}$  è il 'momento equivalente', calcolato in base all'effettivo andamento del momento flettente lungo lo sviluppo dell'elemento soggetto a verifica.

**d) verifica di resistenza delle lastre compresse di gesso rivestito**

Inoltre è verificata, a livello locale, la resistenza delle lastre.

Per tale verifica si modellano le lastre come piastre di luce pari all'interasse dei profili, semplicemente appoggiate sui profili metallici stessi, e soggette alle azioni descritte nei precedenti paragrafi.

|                            |         |
|----------------------------|---------|
| <i>profilati metallici</i> |         |
| $M_{Sd}$ [Nmm]=            | 1296000 |
| $N_{Sd}$ [N]=              | 813     |
| $V_{Sd}$ [N]=              | 1125    |

|                     |          |
|---------------------|----------|
| $M_{c,Rd,c}$ [Nmm]= | 11952041 |
| $M_{c,Rd,t}$ [Nmm]= | 1213753  |
| $N_{c,Rd}$ [N]=     | 31781    |
| $V_{b,Rd}$ [N]=     | 3276     |

|   |      |                      |
|---|------|----------------------|
| <i>ratio:</i><br><i>"Sollecitazione/Resistenza"</i> |      |                      |
| resistenza, pressoflessione lato compressione       | 0,13 | verifica soddisfatta |
| resistenza, taglio                                  | 0,34 | verifica soddisfatta |
| instabilità pressoflessione                         | 0,15 | verifica soddisfatta |

|   |      |                      |
|---|------|----------------------|
| <i>lastre in gesso</i>                            |      |                      |
| tensioni lastra interna [N/mm <sup>2</sup> ]<br>= | 1,05 |                      |
| ratio   | 0,19 | verifica soddisfatta |
| tensioni lastra media [N/mm <sup>2</sup> ]<br>=   | 1,70 |                      |
| ratio   | 0,31 | verifica soddisfatta |
| tensioni lastra esterna [N/mm <sup>2</sup> ]<br>= |      |                      |
| ratio   |      | verifica soddisfatta |

**SLU - Verifica locale lastre**

|   |      |                      |
|---|------|----------------------|
| tensioni lastra interna [N/mm <sup>2</sup> ]<br>= | 4,07 |                      |
| ratio   | 0,74 | verifica soddisfatta |
| tensioni lastra media [N/mm <sup>2</sup> ]<br>=   | 4,07 |                      |
| ratio   | 0,74 | verifica soddisfatta |
| tensioni lastra esterna [N/mm <sup>2</sup> ]<br>= |      |                      |
| ratio   |      | verifica soddisfatta |

*Verifiche allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita*

*SLV - verifiche sezione composta*

|                            |        |
|----------------------------|--------|
| <i>profilati metallici</i> |        |
| $M_{Sd} [Nmm]=$            | 344724 |
| $N_{Sd} [N]=$              | 625    |
| $V_{Sd} [N]=$              | 215    |

|                     |          |
|---------------------|----------|
| $M_{c,Rd,c} [Nmm]=$ | 11952041 |
| $M_{c,Rd,t} [Nmm]=$ | 1213753  |
| $N_{c,Rd} [N]=$     | 31781    |
| $V_{b,Rd} [N]=$     | 3276     |

|   |      |                      |
|---|------|----------------------|
| <i>ratio:</i><br><i>"Sollecitazione/Resistenza"</i> |      |                      |
| resistenza, pressoflessione lato compressione       | 0,05 | verifica soddisfatta |
| resistenza, taglio                                  | 0,07 | verifica soddisfatta |
| instabilità pressoflessione                         | 0,07 | verifica soddisfatta |

|   |      |                      |
|---|------|----------------------|
| <i>lastre in gesso</i>                            |      |                      |
| tensioni lastra interna [N/mm <sup>2</sup> ]<br>= | 0,30 |                      |
| ratio   | 0,05 | verifica soddisfatta |
| tensioni lastra media [N/mm <sup>2</sup> ]<br>=   | 0,47 |                      |
| ratio   | 0,09 | verifica soddisfatta |
| tensioni lastra esterna [N/mm <sup>2</sup> ]<br>= |      |                      |
| ratio   |      | verifica soddisfatta |

|   |      |                      |
|---|------|----------------------|
| tensioni lastra interna [N/mm <sup>2</sup> ]<br>= | 0,08 |                      |
| ratio   | 0,01 | verifica soddisfatta |
| tensioni lastra media [N/mm <sup>2</sup> ]<br>=   | 0,08 |                      |
| ratio   | 0,01 | verifica soddisfatta |
| tensioni lastra esterna [N/mm <sup>2</sup> ]<br>= |      |                      |
| ratio   |      | verifica soddisfatta |

### Ancoraggi con la struttura esistente

Gli ancoraggi tra la struttura esistente e le pareti precedentemente descritte dovranno essere progettati affinché siano resistenti alle seguenti sollecitazioni:

|  |
|--|
| Azioni risultanti su una larghezza pari all'interasse tra i profili: |
|--|

|   |        |
|---|--------|
| Taglio massimo sull'ancoraggio sup. [N] = | 675,0  |
| Taglio massimo sull'ancoraggio inf. [N] = | 1125,0 |
| Azione assiale sugli ancoraggi [N] =      | 812,8  |

|  |
|--|
| Azioni risultanti per unità di lunghezza della parete: |
|--|

|   |        |
|---|--------|
| Taglio massimo sull'ancoraggio sup. [N/m] = | 1125,0 |
| Taglio massimo sull'ancoraggio inf. [N/m] = | 1875,0 |
| Azione assiale sugli ancoraggi [N/m] =      | 1354,7 |

## 11.2 CONTROSOFFITTI

### Descrizione della tipologia dei controsoffitti

La struttura portante dei controsoffitti è formata, nel piano orizzontale, da una doppia orditura di profili metallici sagomati a freddo (sulle flange inferiori dei quali sono appoggiati i pannelli di plafonatura), completata da profili ad “L” perimetrali e di bordo.

Il sistema di sospensione del soffitto per i carichi gravitazionali è garantito dal sistema di pendinatura “tirante-molla”  $\Phi=4$  mm, montato parallelamente alla retta d’azione della forza di gravità.

La funzione di controventamento nei confronti dell’azione sismica è svolta dalla diagonale tesa del medesimo sistema “tirante-molla” montato inclinato, secondo le due direzioni principali dell’orditura primaria della struttura del soffitto, completato da un puntone realizzato tramite una coppia di profili sagomati a freddo con sezione a U 30x27x30x0,6 (uniti in mezzzeria della loro altezza libera e in corrispondenza della struttura portante del controsoffitto).

Il calcolo della quantità e dell’inclinazione di questi tiranti è basato sulla tipologia/peso proprio del controsoffitto, la presenza di eventuali sovraccarichi gravanti sul medesimo, il sito di costruzione e la destinazione d’uso dell’edificio.

## Azioni di progetto

### 3) Definizione dell'azione sismica

Sito di costruzione: Pisa  
Vita nominale edificio  $V_N$ : 50 [anni]  
Classe d'uso costruzione: III

- Accelerazione di riferimento per lo stato limite considerato -  $a_g/g$ : 0,137 [-]
- Peso proprio elemento  $W_a$ , pannello Danoline Globe G1 Belgravia: 110 [N/m<sup>2</sup>]
- Sovraccarichi (coibentazione)  $q$ : 0,00 [N/ m<sup>2</sup>]
- Fattore di struttura del controsoffitto  $q_a$ : 2 [-]  
(elementi di ancoraggio di controsoffitti o corpi illuminanti)
- Coefficiente di sottosuolo e condizioni topografiche  $S$ : 1,50 [-]
- Coefficiente di amplificazione topografica  $S_a$ : 1,03 [-]  
(Per la valutazione sono prese a riferimento le ipotesi sotto)
- Forza di verifica azione sismica  $F_a$ : 56 [N]

Ai sensi di quanto riportato nelle Norme Tecniche delle Costruzioni (§ 7.2.3) gli effetti dell'azione sismica sugli elementi costruttivi senza funzione strutturale possono essere determinati applicando ai suddetti elementi una forza orizzontale  $F_a$  definita come:

$$F_a = \frac{S_a \cdot W_a}{q_a}$$

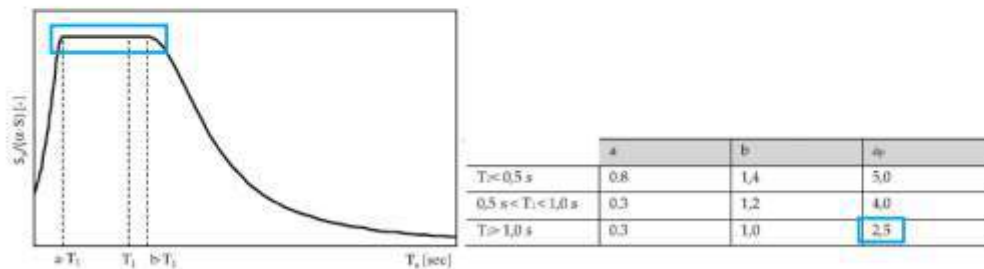
nella quale  $W_a$  è il peso dell'elemento sommato al peso di eventuali sovraccarichi leggeri ( $q$ ) gravanti sul sistema di controsoffittatura (es: coibentazioni, corpi illuminanti...),  $q_a$  rappresenta il fattore di struttura dell'elemento non strutturale e  $S_a$  esprime l'accelerazione massima adimensionalizzata rispetto a quella di gravità che l'elemento subisce durante il sisma nello stato limite in esame. Quest'ultima viene fornita al paragrafo C7.2.3 della Circolare Applicativa in trattazione semplificata degli spettri di piano per le strutture a telaio, attraverso le formulazioni C7.2.11

$$S_a(T_a) = \begin{cases} \alpha S \left(1 + \frac{z}{H}\right) \left[ \frac{a_p}{1 + (a_p - 1) \left(1 - \frac{T_a}{aT_1}\right)^2} \right] \geq \alpha S & \text{per } T_a < aT_1 \\ \alpha S \left(1 + \frac{z}{H}\right) a_p & \text{per } aT_1 \leq T_a < bT_1 \\ \alpha S \left(1 + \frac{z}{H}\right) \left[ \frac{a_p}{1 + (a_p - 1) \left(1 - \frac{T_a}{bT_1}\right)^2} \right] \geq \alpha S & \text{per } T_a \geq bT_1 \end{cases} \quad [C7.2.11]$$



In assenza dei dati richiesti dalle formulazioni sopra riportate verranno assunte le seguenti ipotesi alla base del calcolo:

- Quota del baricentro dell'elemento non strutturale coincidente con l'altezza della costruzione ( $Z=H$ ) misurate a partire dal piano di fondazione;
- Periodo fondamentale di vibrazione dell'elemento non strutturale nell'intorno del periodo fondamentale di vibrazione della costruzione nella direzione considerata ( $T_a=T_1$ );
- Periodo di vibrazione dell'edificio superiore ad 1 secondo.



Considerata la resistenza a trazione massima del singolo sistema di pendinatura (Dichiarazione di Prestazione) e l'interazione con il profilo portante valutata attraverso indagine con modellazione FEM sugli stati tensionali del sistema, la superficie d'influenza massima per ogni sistema di controventatura (composto da una coppia di pendini inclinati disposti ortogonalmente tra loro rispetto alle due direzioni principali del profilo portante) è per il caso in oggetto pari a

**Sup,max:**                      **8 [m<sup>2</sup>]**

Dall'analisi agli elementi finiti sopracitata, condotta sul profilo portante dell'orditura metallica, si ricava un'inclinazione massima degli elementi di sostegno rispetto alla verticale  $\theta$  pari a:

$$\theta = 60^\circ$$

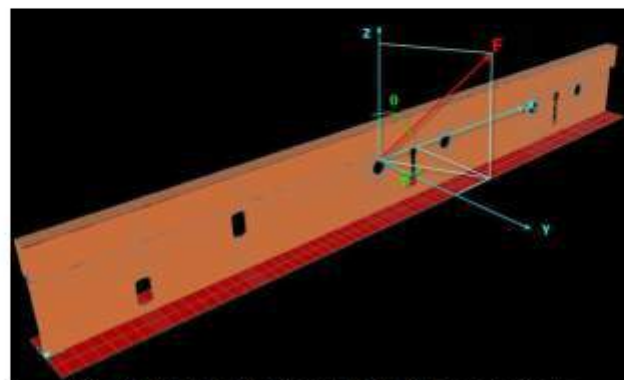


Fig. 1: Sistema di riferimento per la forza sollecitante.

### Prescrizioni generiche per la posa in opera

- Puntone realizzato con una coppia di profili della guida U30x27x30 sp. 0,6 mm posata "schiena/schiena" collegati sull'anima tramite "vite finta rondella" (fig.2). I puntoni devono essere disposti in numero minimo del valore massimo tra [3; 1 ogni 10 m<sup>2</sup> di controsoffitto] per ogni porzione di soffitto strutturalmente indipendente<sup>1</sup>.
- Profili portanti e secondari con ala inferiore minima di 24 mm della Knauf KS38 (fig.3).
- Profili perimetrali a "L" con ali di larghezza minima di 30 mm (fig.4).
- Primo pendino di sostegno verticale posato a una distanza massima dal profilo perimetrale di 200 mm (fig.5).
- Gioco di 8-10 mm tra profilo portante/traversi e profilo perimetrale (fig.6).
- Pannelli bloccati sulla struttura metallica tramite "clips".
- Idoneo solo per pannelli modulari dimensioni nominali 600x600 mm, con bordo a vista o semi-nascosto.



Fig. 2: Componenti in opera del sistema di controventatura.

## 11.3 IMPIANTI

Un impianto durante un sisma viene investito da forze orizzontali, dovute ad una determinata accelerazione del suolo, sia in direzione trasversale che longitudinale all'elemento d'impianto.

Come già precedentemente anticipato, Le Norme Tecniche delle costruzioni (NTC2008 - paragrafo 7.2.3. e 7.2.4 - e Circolare 02.02.09) stabiliscono che non solo gli elementi strutturali ma anche gli elementi non strutturali (destinati a sostenere gli elementi d'impianto) devono essere in grado di resistere alle azioni sismiche, e richiedono che tutti gli edifici rilevanti per la sicurezza pubblica e/o delle persone (come industrie, ospedali, centri commerciali, alberghi, scuole, etc..) rispettino tali disposizioni.

Ecco che i supporti di tutti gli impianti devono essere in grado di resistere sia alle azioni statiche sia alle azioni sismiche. Per creare uno staffaggio resistente al sisma è necessario integrare i Supporti statici con opportuni controventi, disposti sia in direzione longitudinale (lungo l'asse dell'elemento impiantistico) che trasversale (perpendicolare all'asse dell'elemento d'impianto).

Le **Normative USA** (California Building Code CBC – Ed. 1998/2001/2007, International Building Code IBC – Ed. 2000/2003/2006, Uniform Building Code UBC – Ed. 1997) riportano indicazioni in merito al posizionamento dei supporti sismo-resistenti a sostegno di una generica linea impiantistica. Come regola generale, non esaustiva, tali Normative prevedono le seguenti prescrizioni in funzione della tipologia di Impianto sostenuto (a condizione di rispettare le resistenze e le massime deformazioni di tutti gli elementi coinvolti nel percorso di trasmissione delle azioni dall'elemento impiantistico alla struttura edile):

- *Supporti per Tubazioni Fluidi diversi e Tubazioni Impianto Antincendio:*

- interasse massimo tra due controventi trasversali consecutivi deve essere pari, al più, a 40ft (12,00m);
- interasse massimo tra due controventi longitudinali consecutivi deve essere pari, al più, a 80ft (24,00m).

- *Supporti per Canali di Ventilazione:*

- interasse massimo tra due controventi trasversali consecutivi deve essere pari, al più, a 30ft (9,00m);
- interasse massimo tra due controventi longitudinali consecutivi deve essere pari, al più, a 60ft (18,00m).

- *Supporti per Canaline Elettriche:*

- interasse massimo tra due controventi trasversali consecutivi deve essere pari, al più, a 40ft (12,00m);
- interasse massimo tra due controventi longitudinali consecutivi deve essere pari, al più, a 80ft (24,00m).

Di seguito si riportano due immagini esemplificative dei componenti dei sistemi di controventi a supporto di un elemento impiantistico.

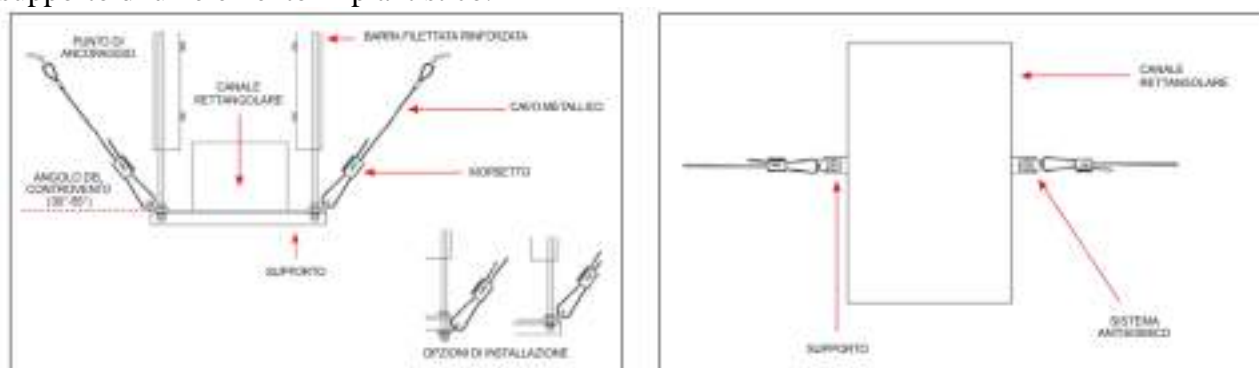


Figura 71 – Controvento trasversale – vista trasversale e planimetrica

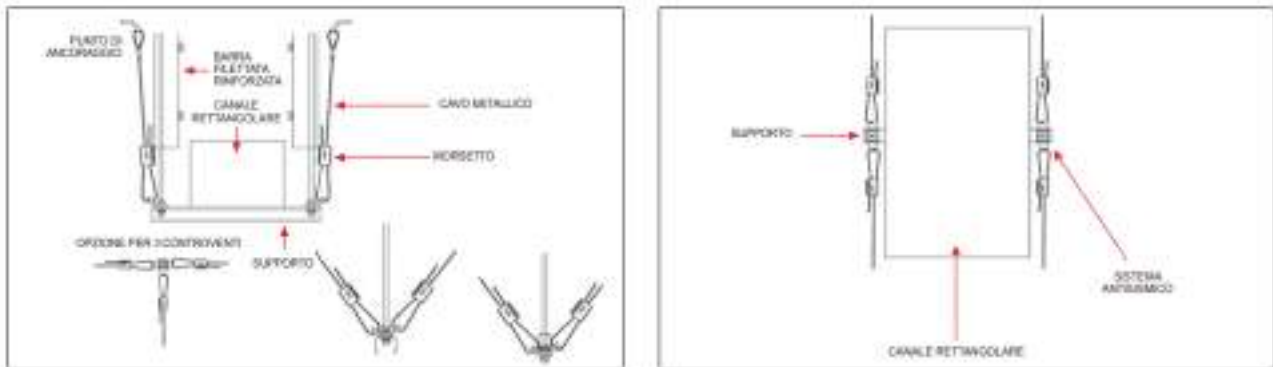


Figura 72 – Controvento longitudinale – vista trasversale e planimetrica

Nel nostro caso, sono state rispettate le prescrizioni indicate dalle Normativa americana.