

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



CUP J47109000030009

## U.O. INFRASTRUTTURE NORD

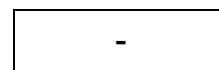
## PROGETTO DEFINITIVO

# POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO - PAVIA FASE I - QUADRUPPLICAMENTO MI ROGOREDO - PIEVE EMANUELE

### TIPO DOCUMENTO

FABBRICATI TECNOLOGICI PPT TIPOLOGICI  
Relazione di Calcolo Basamento Shelter

SCALA:



COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

N M 0 Z 1 0 D 2 6 C L F A 0 0 0 0 0 0 1 A

| Rev. | Descrizione         | Redatto         | Data             | Verificato     | Data             | Approvato      | Data             | Autorizzato                     | Data             |
|------|---------------------|-----------------|------------------|----------------|------------------|----------------|------------------|---------------------------------|------------------|
| A    | Emissione Esecutiva | M. Andreani<br> | Novembre<br>2018 | F. Coppini<br> | Novembre<br>2018 | S. Borelli<br> | Novembre<br>2018 | F. Baccari<br>Novembre 2018<br> | Novembre<br>2018 |
|      |                     |                 |                  |                |                  |                |                  |                                 |                  |
|      |                     |                 |                  |                |                  |                |                  |                                 |                  |
|      |                     |                 |                  |                |                  |                |                  |                                 |                  |

ITALFERR - UO INFRASTRUTTURE NORD  
Dott. Ing. Francesco Baccari  
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Milano  
n. 25172 Sez. A

File: NM0Z10D26CLFA0000001A.doc

n. Elab.: X

## Sommario

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 1   | Scopo del Documento .....                     | 3  |
| 2   | Normativa di Riferimento .....                | 4  |
| 3   | Caratteristiche dei Materiali .....           | 5  |
| 3.1 | Calcestruzzo Struttura di Fondazione .....    | 5  |
| 3.2 | Acciaio da c.a. ....                          | 6  |
| 4   | Descrizione dell'intervento .....             | 7  |
| 5   | Modellazione della Struttura .....            | 9  |
| 6   | Analisi dei Carichi.....                      | 10 |
| 6.1 | Peso Proprio degli Elementi Strutturali ..... | 10 |
| 6.2 | Carichi Permanenti Non Strutturali .....      | 11 |
| 6.3 | Carichi Variabili .....                       | 11 |
| 6.4 | Azione della Neve .....                       | 12 |
| 6.5 | Azione Sismica .....                          | 13 |
| 7   | Combinazioni di Carico .....                  | 17 |
| 8   | Sollecitazioni .....                          | 18 |
| 9   | Verifiche Platea di Fondazione .....          | 23 |
| 9.1 | Verifiche SLU – Flessione .....               | 23 |
| 9.2 | Verifiche SLU – Taglio .....                  | 24 |
| 9.3 | Verifiche SLU – Punzonamento.....             | 25 |
| 9.4 | Verifiche SLE – Tensione .....                | 27 |
| 9.5 | Verifiche SLE – Fessurazione .....            | 28 |
| 9.6 | Verifica di Capacità Portante.....            | 30 |
| 10  | Conclusioni .....                             | 33 |

**PROGETTO DEFINITIVO****POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA****QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO - PAVIA****FASE I - QUADRUPPLICAMENTO MI ROGOREDO - PIEVE EMANUELE****RELAZIONE DI CALCOLO**

|          |       |          |            |      |         |
|----------|-------|----------|------------|------|---------|
| PROGETTO | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO  | REV. | FOGLIO  |
| NM0Z     | 10    | D 26 CL  | FA0000 001 | A    | 3 DI 33 |

## 1 SCOPO DEL DOCUMENTO

Il presente documento si inquadra nell'ambito delle opere civili relative alla Progettazione Definitiva del Quadruplicamento della tratta Milano Rogoredo-Pavia nell'ambito del potenziamento della Linea Milano-Genova, Fase I "Quadruplicamento Milano Rogoredo – Pieve Emanuele".

In particolare, la presente relazione di calcolo ha come oggetto le verifiche strutturali delle opere civili da realizzare per l'allestimento dei PPT (Posti Periferici Tecnologici) previsti lungo la linea per la Fase I del progetto. Dal momento che i PPT sono allestiti all'interno di shelter costituiti da box metallici prefabbricati il cui dimensionamento è interamente affidato al produttore, il progetto delle opere civili in questa sede prevede esclusivamente il dimensionamento del basamento in c.a. sul quale posizionare gli shelter in cui saranno allestite le apparecchiature tecnologiche.


Come si evince dalla tabella sottostante, in Fase I è prevista sia la realizzazione di tutti i PPT previsti nel tratto di linea compreso fra Milano Rogoredo e Pieve Emanuele (PPT1-LL e PPT2-LV) sia la realizzazione dei due PPT a servizio della Linea Lenta previsti nel tratto successivo che va da Pieve Emanuele a Pavia (PPT3-LL e PPT7-LL).

| WBS    | Denominazione      | Progressiva  | Comune              | Provincia |
|--------|--------------------|--------------|---------------------|-----------|
| ● FA01 | GA Sud Esterno     | km 2+159.29  | San Donato Milanese | Milano    |
| ● FA02 | PPT1-LL            | km 6+041.82  | Locate di Triulzi   | Milano    |
| ● FA03 | PPT2-LV            | km 6+054.02  | Locate di Triulzi   | Milano    |
| ● FA04 | PPM Pieve Emanuele | km 10+773.55 | Pieve Emanuele      | Milano    |
| ● FA05 | SSE Pieve Emanuele | km 11+752.85 | Lacchiarella        | Milano    |
| ● FA06 | PPT3-LL            | km 15+359.66 | Lacchiarella        | Pavia     |
| ● FA07 | PPT4-LV            | km 15+370.54 | Lacchiarella        | Pavia     |
| ● FA08 | PM Turago          | km 18+838.32 | Giussago            | Pavia     |
| ● FA09 | PPT7-LL            | km 22+327.31 | Borgarello          | Pavia     |
| ● FA10 | PPT8-LV            | km 22+339.51 | Borgarello          | Pavia     |
| ● FA11 | SSE Pavia Nord     | km 25+250    | Pavi                | Milano    |
| ● FA12 | GA Nord            | km 26+770.51 | Pavia               | Pavia     |

Tenendo conto che si tratta di località piuttosto omogenee sia per quanto riguarda i valori delle azioni di progetto sia per quanto riguarda le caratteristiche geotecniche del terreno, si procede al dimensionamento di un basamento tipologico che sia valido per tutti e quattro i siti sopra individuati.

Nel seguito, dopo una breve descrizione dell'opera, si analizzano le azioni gravanti sulla struttura e si determinano le massime sollecitazioni per le verifiche strutturali.

Le analisi sono state svolte in accordo al Decreto Ministero Infrastrutture del 14 Gennaio 2008 "Nuove norme tecniche per le costruzioni", nel seguito indicato con NTC 2008. Le verifiche strutturali sono state svolte con il metodo semiprobabilistico agli Stati Limite.

|  | <p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA</b></p> <p><b>QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO - PAVIA</b></p> <p><b>FASE I - QUADRUPPLICAMENTO MI ROGOREDO - PIEVE EMANUELE</b></p>   |          |            |          |           |      |        |      |    |         |            |   |         |
|---|--|----------|------------|----------|-----------|------|--------|------|----|---------|------------|---|---------|
| <p><b>RELAZIONE DI CALCOLO</b></p>  | <table border="1"> <thead> <tr> <th>PROGETTO</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM0Z</td> <td>10</td> <td>D 26 CL</td> <td>FA0000 001</td> <td>A</td> <td>4 DI 33</td> </tr> </tbody> </table> | PROGETTO | LOTTO      | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO | NM0Z | 10 | D 26 CL | FA0000 001 | A | 4 DI 33 |
| PROGETTO  | LOTTO  | CODIFICA | DOCUMENTO  | REV.     | FOGLIO    |      |        |      |    |         |            |   |         |
| NM0Z  | 10   | D 26 CL  | FA0000 001 | A        | 4 DI 33   |      |        |      |    |         |            |   |         |

## 2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

I calcoli e le disposizioni esecutive sono conformi alle norme attualmente in vigore e nel seguito elencate:

- D. M. Min. LL. PP. del 14 gennaio 2008 – Norme Tecniche per le Costruzioni;
- CIRCOLARE 2 febbraio 2009 n.617 Istruzione per l'applicazione delle «Nuove norme tecniche per le costruzioni» di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008;
- UNI EN 206:2016 – “Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità”;
- UNI EN 11104:2016 – “Calcestruzzo - Specificazione. prestazione. produzione e conformità - Specificazioni complementari per l'applicazione della EN 206;
- UNI EN 1992-1-1:2015 “Eurocodice 2 - Progettazione delle strutture di calcestruzzo – Parte 1-1: Regole generali e regole per edifici”;
- UNI EN 1998- 1:2013 “Eurocodice 8 - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 1: Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici”;
- RFI DTC INC CS SP IFS 001 A – Specifica per la progettazione geotecnica delle opere civili ferroviarie;
- RFI DTC SI MA IFS 001 A – Manuale di progettazione delle opere Civili;
- RFI DTC SI SP IFS 001 A – Capitolato Generale di Appalto delle Opere Civili.



**PROGETTO DEFINITIVO**

**POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA**

**QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO - PAVIA  
FASE I - QUADRUPPLICAMENTO MI ROGOREDO - PIEVE EMANUELE**

**RELAZIONE DI CALCOLO**

| PROGETTO | LOTTO | CODIFICA DOCUMENTO | REV. | FOGLIO  |
|----------|-------|--------------------|------|---------|
| NM0Z     | 10    | D 26 CL FA0000 001 | A    | 5 DI 33 |

### 3 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

#### 3.1 Calcestruzzo Struttura di Fondazione

Per la realizzazione della platea di fondazione si prevede l'utilizzo di calcestruzzo avente classe di resistenza C30/37 ( $R_{ck} \geq 37 \text{ N/mm}^2$ ), che presenta le seguenti caratteristiche:

- Resistenza Caratteristica a Compressione (Cilindrica)  $\rightarrow f_{ck} = 0,83 \times R_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$
- Classe di Esposizione  $\rightarrow \text{XF1}$
- Classe di Consistenza  $\rightarrow \text{S4}$
- Resistenza Media a Compressione  $\rightarrow f_{cm} = f_{ck} + 8 = 38 \text{ N/mm}^2$
- Modulo Elastico  $\rightarrow E_{cm} = 22000 \times (f_{cm}/10)^{0,3} = 33.019 \text{ N/mm}^2$
- Coefficiente di Sicurezza  $\rightarrow \gamma_c = 1,5$
- Resistenza di Calcolo a Compressione  $\rightarrow f_{cd} = \alpha_{cc} \times f_{ck} / \gamma_c = 17,40 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza a Trazione Media  $\rightarrow f_{ctm} = 0,30 \times f_{ck}^{2/3} = 2,94 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza a Trazione  $\rightarrow f_{ctk} = 0,7 \times f_{ctm} = 2,06 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza a Trazione di Calcolo  $\rightarrow f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c = 1,37 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza a Compressione (Comb. Rara)  $\rightarrow \sigma_c = 0,60 \times f_{ck} = 18,43 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza a Compressione (Comb. Quasi Permanente)  $\rightarrow \sigma_c = 0,45 \times f_{ck} = 13,82 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza tangenziale caratteristica di aderenza  $\rightarrow f_{bk} = 2,25 \eta f_{ctk} = 4,63 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza tangenziale di aderenza di calcolo  $\rightarrow f_{bd} = f_{bk} / \gamma_c / 1,5 = 2,06 \text{ N/mm}^2$
- Deformazione Ultima a Rottura  $\rightarrow \epsilon_{cu} = 0,0035$

Per il basamento si assume un copriferro di 40 mm (valutato al netto dell'armatura più esterna).

Per quanto riguarda la scelta degli stati limite di fessurazione, si fa riferimento a quanto riportato nella Tabella 4.1.IV delle NTC 2008, assumendo di trovarsi in condizioni ambientali ordinarie con armatura poco sensibile; i limiti adottati per la verifica nei confronti di tale stato limite sono riportati di seguito:

Combinazione delle Azioni Frequente  $\rightarrow w_d \leq w_3 = 0,4 \text{ mm}$

Combinazione delle Azioni Quasi Permanente  $\rightarrow w_d \leq w_2 = 0,3 \text{ mm}$


**PROGETTO DEFINITIVO****POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA****QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO - PAVIA****FASE I - QUADRUPPLICAMENTO MI ROGOREDO - PIEVE EMANUELE****RELAZIONE DI CALCOLO**

| PROGETTO | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO  | REV. | FOGLIO  |
|----------|-------|----------|------------|------|---------|
| NM0Z     | 10    | D 26 CL  | FA0000 001 | A    | 6 DI 33 |

**3.2 Acciaio da c.a.**

Barre B450C

- Tensione di snervamento caratteristica →  $f_{yk} \geq 450 \text{ N/mm}^2$
- Tensione caratteristica a rottura →  $f_{tk} \geq 540 \text{ N/mm}^2$
- Fattore di sicurezza acciaio →  $\gamma_s = 1,15$
- Resistenza a trazione di calcolo →  $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 391 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza a Trazione (Comb. Rara) →  $\sigma_s = 0,80 \times f_{yk} = 360,00 \text{ N/mm}^2$
- Modulo Elastico →  $E_a = 210.000 \text{ N/mm}^2$
- Deformazione di Snervamento di Progetto →  $\varepsilon_{yd} = 0,0019$
- Densità →  $\rho = 7.850 \text{ kg/m}^3$

|   |   |                  |             |                               |                         |
|---|---|------------------|-------------|-------------------------------|-------------------------|
|  | <b>PROGETTO DEFINITIVO</b><br><b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA</b><br><b>QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO - PAVIA</b><br><b>FASE I - QUADRUPPLICAMENTO MI ROGOREDO - PIEVE EMANUELE</b> |                  |             |                               |                         |
|   | <b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>   | PROGETTO<br>NM0Z | LOTTO<br>10 | CODIFICA DOCUMENTO<br>D 26 CL | REV.<br>FA0000 001<br>A |

#### 4 DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

Si assume che il PPT sia allestito all'interno di uno shelter di dimensioni circa pari a 3x7xh3 m, posizionato su una platea di dimensioni 4,2x8,2 m di spessore pari a 30 cm. La platea è caratterizzata dalla presenza di due forometrie principali per il passaggio dei cavi, rispettivamente di 20x170 cm e 40x280 cm, e da altre forometrie di dimensioni inferiori, posizionate come indicato nelle figure seguenti.

All'esterno sono previsti i due pozzetti di dimensioni in pianta pari a 1,0x1,0h1,2 m posti in adiacenza alla soletta di fondazione.

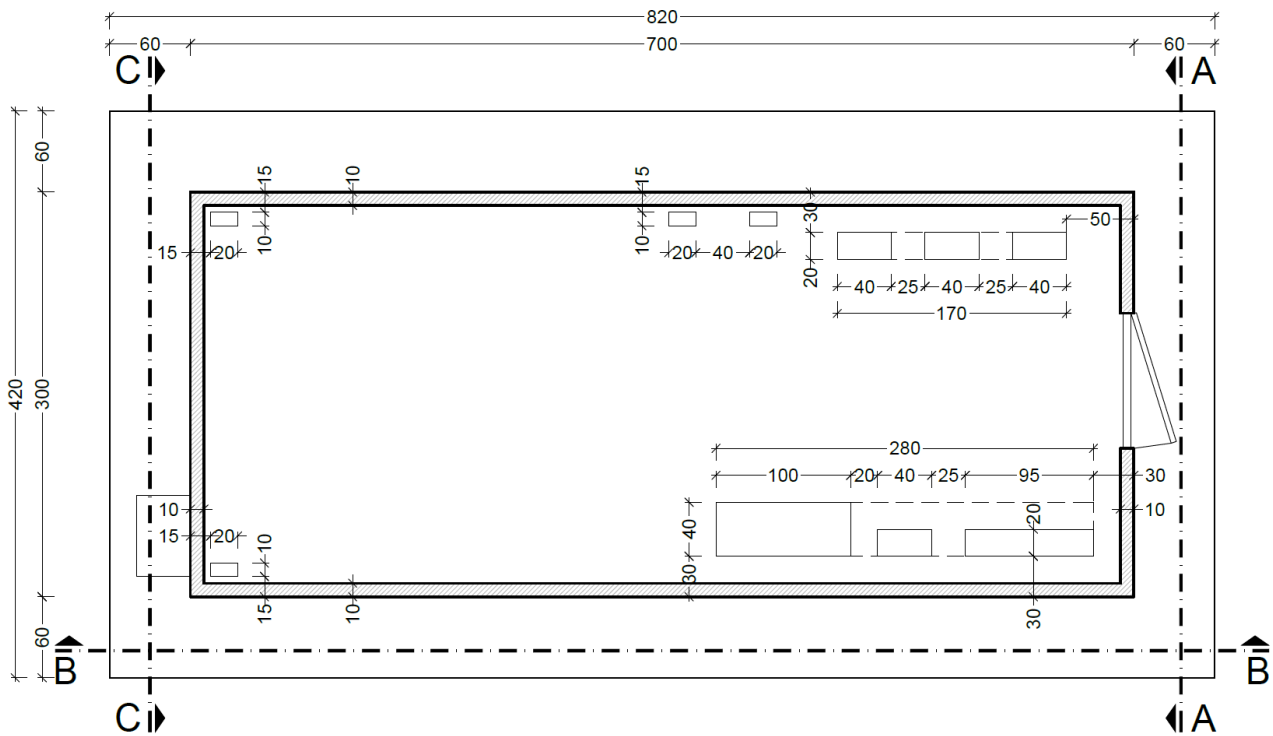
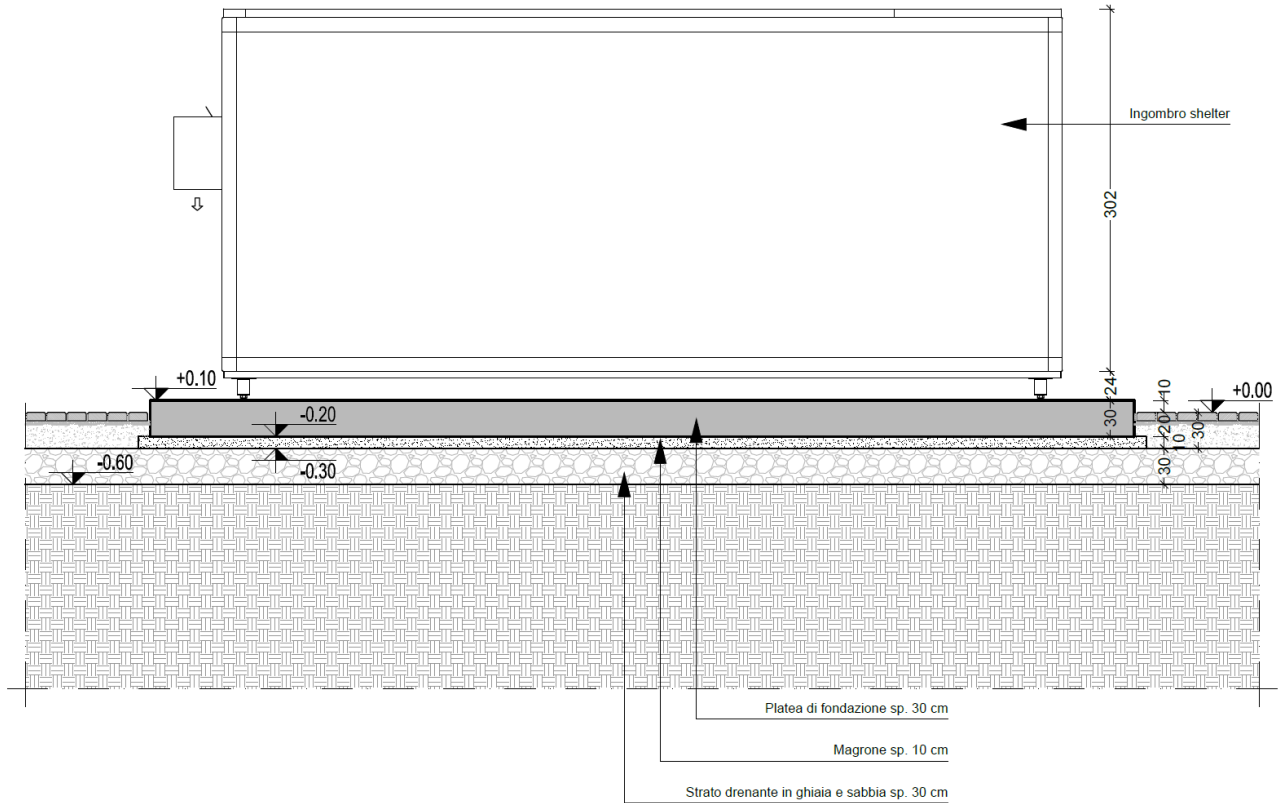
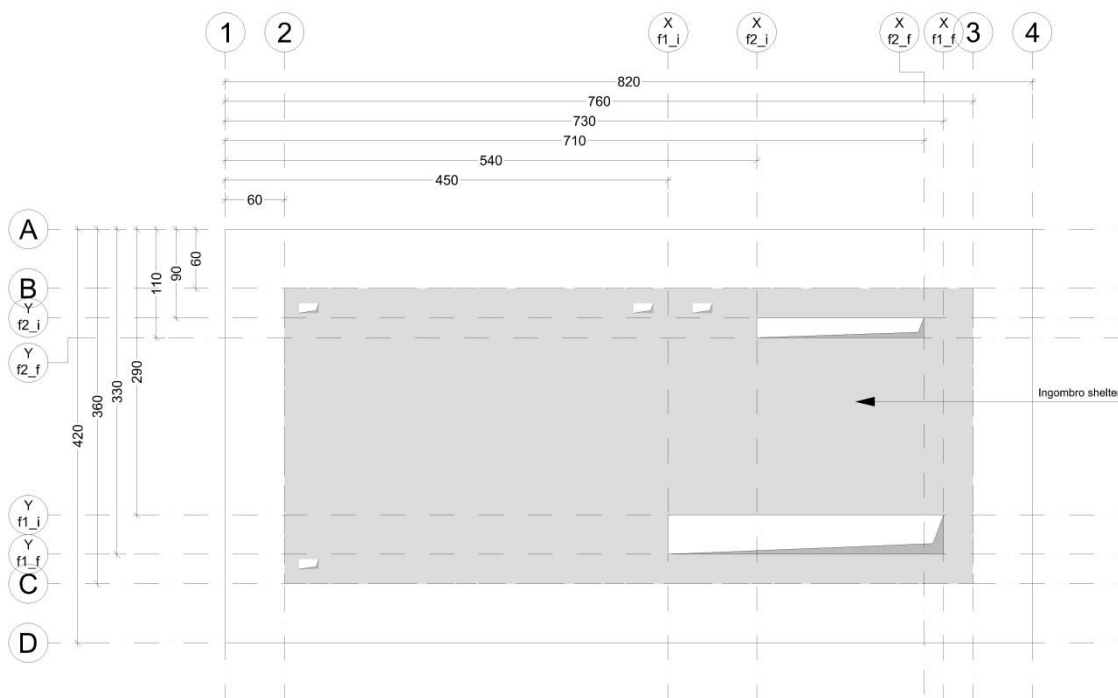


Figura 4.1 – Planimetria shelter e platea di fondazione



**Figura 4.2 – Sezione A – A shelter e basamento**



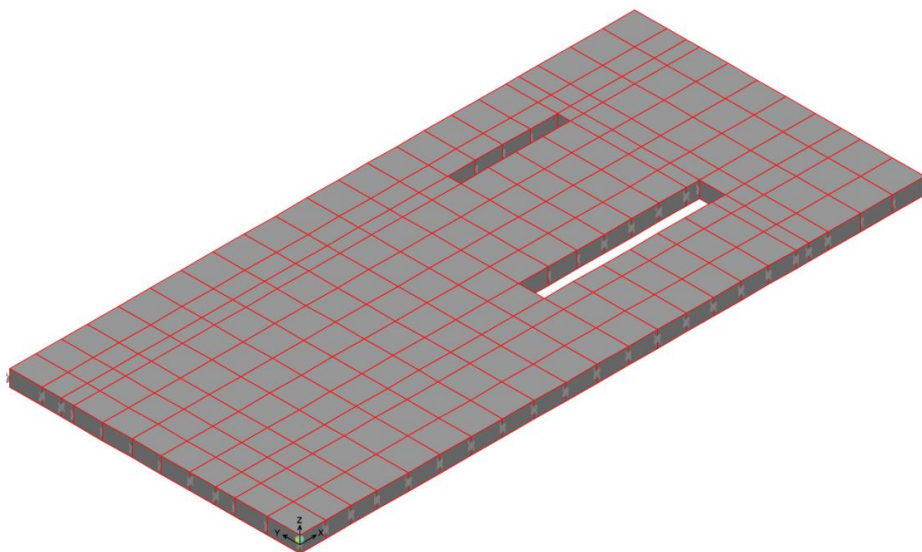
**Figura 4.3 – Schema Fili Fissi Basamento PPT**



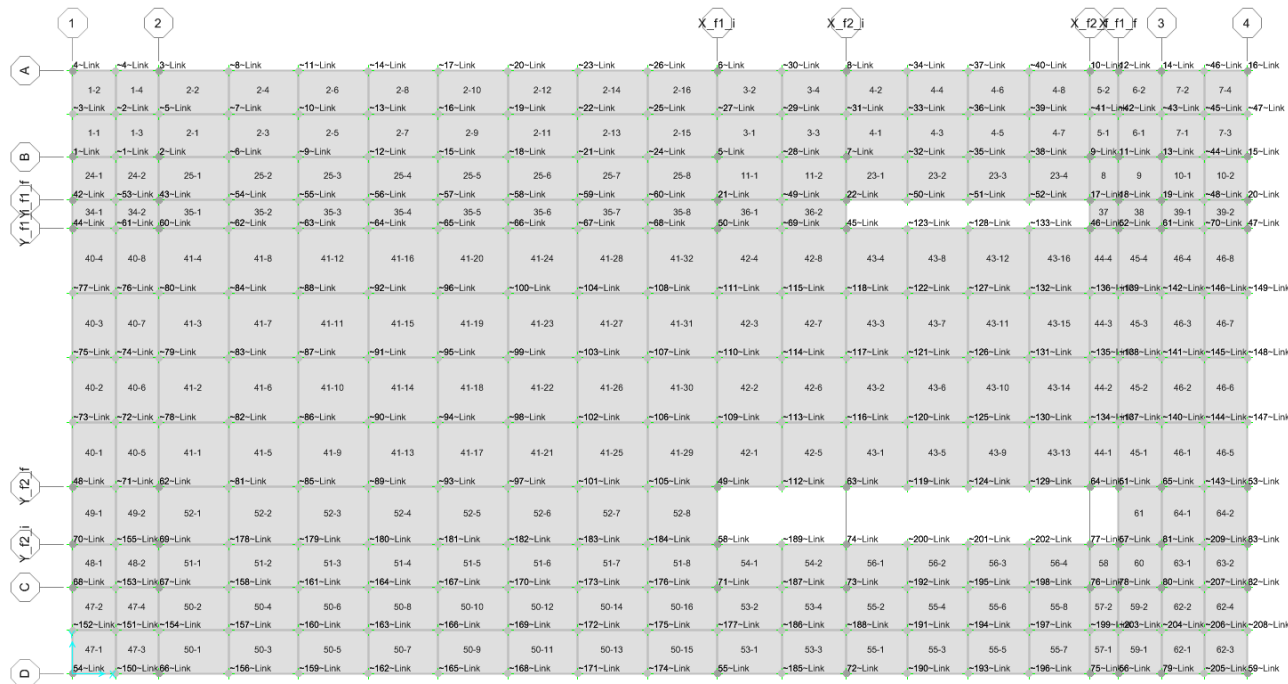
### 5 MODELLAZIONE DELLA STRUTTURA

L'analisi della struttura è condotta con il programma agli elementi finiti SAP2000 versione 19.0, seguendo quanto specificato dalle NTC 2008 al § 7.2.6.


La platea di fondazione è modellata con elementi tipo *shell* e poggiata su suolo elastico, la cui costante di Winkler è assunta pari a  $k_v = 3.000 \text{ kN/m}^3$  in direzione verticale e  $k_h = 1.000 \text{ kN/m}^3$  in direzione orizzontale.



**Figura 5.1** – Vista assometrica modello platea di fondazione



**Figura 5.2** – Pianta del modello di analisi della platea di fondazione – numerazione elementi shell e joint

|   |   |                  |             |  |           |
|---|---|------------------|-------------|--|-----------|
|  | <b>PROGETTO DEFINITIVO</b><br><b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA</b><br><b>QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO - PAVIA</b><br><b>FASE I - QUADRUPPLICAMENTO MI ROGOREDO - PIEVE EMANUELE</b> |                  |             |  |           |
|   | <b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>   | PROGETTO<br>NM0Z | LOTTO<br>10 | CODIFICA DOCUMENTO<br>D 26 CL FA0000 001 | REV.<br>A |

## 6 ANALISI DEI CARICHI

Come prescritto dalle NTC 2008, sono state considerate agenti sulla struttura diverse condizioni di carico elementari, combinate tra loro in modo da determinare gli effetti più sfavorevoli ai fini delle verifiche della platea di fondazione.

Per il calcolo delle sollecitazioni sulla platea è stato impiegato il programma di calcolo SAP2000 versione 19.0.

### 6.1 Peso Proprio degli Elementi Strutturali

Il peso degli elementi strutturali modellati (in questo caso la sola platea) viene calcolato automaticamente dal programma di calcolo utilizzato, assumendo  $\gamma_{cls} = 25 \text{ kN/m}^3$ .

Il peso dello shelter posto sulla fondazione viene calcolato facendo riferimento alle seguenti caratteristiche geometriche:



**Figura 6.1** – Schema dimensioni Shelter e platea di fondazione

|                    |                      |   |      |                   |
|--------------------|----------------------|---|------|-------------------|
| Lato corto Shelter | $B_{\text{shelter}}$ | = | 3,00 | m                 |
| Lato lungo Shelter | $L_{\text{shelter}}$ | = | 7,00 | m                 |
| Peso Shelter       | $G_{\text{shelter}}$ | = | 1,20 | kN/m <sup>2</sup> |

Tenendo conto che lo shelter poggia su 4 piedini posti ai vertici della pianta e ripartendo quindi il carico complessivo dell'intera struttura fra i 4 piedini, si ottiene:

|                           |                        |   |      |    |
|---------------------------|------------------------|---|------|----|
| Carico su singolo piedino | $G_{1\text{sh\_pied}}$ | = | 6,30 | kN |
|---------------------------|------------------------|---|------|----|

**PROGETTO DEFINITIVO****POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA****QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO - PAVIA****FASE I - QUADRUPPLICAMENTO MI ROGOREDO - PIEVE EMANUELE****RELAZIONE DI CALCOLO**

| PROGETTO | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO  | REV. | FOGLIO   |
|----------|-------|----------|------------|------|----------|
| NM0Z     | 10    | D 26 CL  | FA0000 001 | A    | 11 DI 33 |

## 6.2 Carichi Permanenti Non Strutturali

Si ipotizza la presenza di un carico permanente non strutturale di 4 kN/m<sup>2</sup> uniformemente distribuito all'interno di tutta l'area dello shelter.

$$G_{2\_perm\_pav} = 4 \text{ kN/m}^2$$

Sempre tenendo conto che lo shelter poggia su 4 piedini posti ai vertici della pianta e ripartendo il carico complessivo fra i 4 piedini, si ottiene:

Carico su singolo piedino  $G_{2\_perm\_pav} = 21,00 \text{ kN}$


## 6.3 Carichi Variabili

All'interno dello shelter si assume la presenza di un carico variabile di esercizio di 10 kN/m<sup>2</sup> riconducibile alla Categoria E2 delle NTC 2008 "Ambienti ad uso industriale da valutarsi caso per caso".

Sempre tenendo conto che lo shelter poggia su 4 piedini posti ai vertici della pianta e ripartendo il carico complessivo fra i 4 piedini, si ottiene:

Carico su singolo piedino  $Q_{K\_E\_pied} = 52,50 \text{ kN}$

Si ipotizza inoltre che il carico  $Q_{K\_E}$  interessi anche tutta la porzione di platea posta al di fuori dello shelter, sulla quale è applicato come carico uniformemente distribuito.

|   |   |                         |                    |                            |                                |                  |
|---|---|-------------------------|--------------------|----------------------------|--------------------------------|------------------|
|  | <b>PROGETTO DEFINITIVO</b><br><b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA</b><br><b>QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO - PAVIA</b><br><b>FASE I - QUADRUPPLICAMENTO MI ROGOREDO - PIEVE EMANUELE</b> |                         |                    |                            |                                |                  |
|   | <b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>   | PROGETTO<br><b>NM0Z</b> | LOTTO<br><b>10</b> | CODIFICA<br><b>D 26 CL</b> | DOCUMENTO<br><b>FA0000 001</b> | REV.<br><b>A</b> |

#### 6.4 Azione della Neve

L'azione della neve è stata valutata in conformità alle prescrizioni contenute nelle NTC 2008. Di seguito viene riportato il dettaglio del calcolo.

Regione: Lombardia    Provincia: Milano / Pavia


| CALCOLO AZIONE DELLA NEVE - NTC §3.4 |  |                   |                    |                |                         |
|--------------------------------------|--|-------------------|--------------------|----------------|-------------------------|
| <i>Caratteristiche del Sito</i>      | Zona   | NTC 2008 §3.4.2   |                    | I-Mediterranea |                         |
|                                      | Altitudine s.l.m.  |                   | as =               | 85÷97 m        |                         |
|                                      | Valore caratteristico del carico neve al suolo   |                   |                    |                |                         |
|                                      | q <sub>sk</sub> = 1,00 kN/m <sup>2</sup> , as ≤ 200 m s.l.m.                           |                   | q <sub>sk</sub> =  | <b>1,50</b>    | <b>kN/m<sup>2</sup></b> |
|                                      | q <sub>sk</sub> = 0,85[1+(as/481) <sup>2</sup> ] kN/m <sup>2</sup> , as > 200 m s.l.m. |                   |                    |                |                         |
| <i>Coefficiente di esposizione</i>   |  | NTC 2008 §3.4.3   | C <sub>E</sub> =   | <b>1</b>       |                         |
| <i>Coefficiente Termico</i>          |  | NTC 2008 §3.4.4   | C <sub>t</sub> =   | <b>1</b>       |                         |
| <i>Coefficiente di Forma</i>         | Angolo di Inclinazione della Falda   | NTC 2008 §3.4.5.1 | α                  | 0              | °                       |
|                                      |  |                   | μ <sub>1</sub> (α) | 0,8            |                         |

Per semplicità si assume il seguente valore per il carico neve uniformemente distribuito sulla copertura:

$$\text{Carico Neve } Q_{K\_Neve} = \mu_1(\alpha) q_{sk} c_E c_t = 1,20 \text{ kN/m}^2$$

Sempre tenendo conto che lo shelter poggia su 4 piedini posti ai vertici della pianta e ripartendo il carico complessivo fra i 4 piedini, si ottiene:

$$\text{Carico su singolo piedino } Q_{K\_snow} = 6,30 \text{ kN}$$

|   |   |                  |             |                               |                    |             |
|---|---|------------------|-------------|-------------------------------|--------------------|-------------|
|  | <b>PROGETTO DEFINITIVO</b><br><b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA</b><br><b>QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO - PAVIA</b><br><b>FASE I - QUADRUPPLICAMENTO MI ROGOREDO - PIEVE EMANUELE</b> |                  |             |                               |                    |             |
|   | <b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>   | PROGETTO<br>NM0Z | LOTTO<br>10 | CODIFICA DOCUMENTO<br>D 26 CL | REV.<br>FA0000 001 | FOGLIO<br>A |

## 6.5 Azione Sismica

Nell'analisi dinamica lineare di un edificio soggetto a sisma l'azione sismica è rappresentata dallo spettro di risposta di progetto. La definizione di quest'ultimo avviene direttamente all'interno del software SAP2000, il quale fornisce gli spettri di risposta di riferimento per la verifica allo SLO, SLD e SLV, determinati conformemente a quanto prescritto dalla norma.

Per fornire gli spettri richiesti, il software richiede l'inserimento di alcuni parametri caratteristici della struttura in esame e del sito in cui si trova. In particolare, oltre alle coordinate geografiche, il programma richiede di specificare la Vita Nominale  $V_N$  dell'edificio e il suo Coefficiente d'Uso  $C_U$ , al fine di poter calcolare il periodo di riferimento dell'azione sismica  $V_R = V_N * C_U$

Per la definizione della **Vita Nominale** da assegnare ad ogni singolo manufatto facente parte di un'infrastruttura ferroviaria si rimanda alla Tabella 2.5.1.1.1-1 *Vita Nominale delle infrastrutture ferroviarie* contenuta nel "MANUALE DI PROGETTAZIONE DELLE OPERE CIVILI – PARTE 2 SEZIONE II – Ponti e Strutture" (RFI DTC SI PS MA IFS 001 B del 22.12.2017) e di seguito riportata.

| TIPO DI COSTRUZIONE <sup>(1)</sup>   | Vita Nominale $V_N$<br>[Anni] <sup>(1)</sup> |
|--|--|
| OPERE NUOVE SU INFRASTRUTTURE FERROVIARIE PROGETTATE CON LE NORME VIGENTI PRIMA DEL DM 14/01/2008 A VELOCITÀ CONVENZIONALE ( $V < 250$ Km/h) | 50   |
| ALTRE OPERE NUOVE A VELOCITÀ $V < 250$ Km/h  | 75   |
| ALTRE OPERE NUOVE A VELOCITÀ $V \geq 250$ km/h   | 100  |
| OPERE DI GRANDI DIMENSIONI: PONTI E VIADOTTI CON CAMPATE DI LUCE MAGGIORE DI 150 m   | $\geq 100$ <sup>(2)</sup>                    |
| (1) – La stessa $V_N$ si applica anche ad apparecchi di appoggio, coprigiunti e impermeabilizzazione delle stesse opere.                     |  |
| (2) - Da definirsi per il singolo progetto a cura di FERROVIE.   |  |

Tab. 2.5.1.1.1-1 – Vita nominale delle infrastrutture ferroviarie

**Figura 6.2** –RFI DTC SI PS MA IFS 001 B del 22.12.2017- Tabella 2.5.1.1.1-1 Vita Nominale delle infrastrutture ferroviarie


L'oggetto della presente relazione rientra nell'ambito "Altre opere nuove a velocità  $v < 250$  km/h, dunque le strutture di progetto avranno vita nominale  $V_N = 75$ .

Il valore del Coefficiente d'Uso  $C_U$  varia in relazione alla **Classe d'Uso** dell'edificio, come riportato nella Tabella 2.4.II delle NTC 2008 (Figura 6.3). Le NTC 2008 prevedono quattro diverse Classi d'Uso; per i fabbricati tecnologici si fa riferimento alla *Classe IV* "Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità", alla quale corrisponde un Coefficiente d'Uso  $C_U$  pari a 2.

**Tab. 2.4.II** – Valori del coefficiente d'uso  $C_U$

|                    |     |     |     |     |
|--------------------|-----|-----|-----|-----|
| CLASSE D'USO       | I   | II  | III | IV  |
| COEFFICIENTE $C_U$ | 0.7 | 1.0 | 1.5 | 2.0 |

**Figura 6.3** – NTC 2008, Coefficiente d'Uso degli edifici

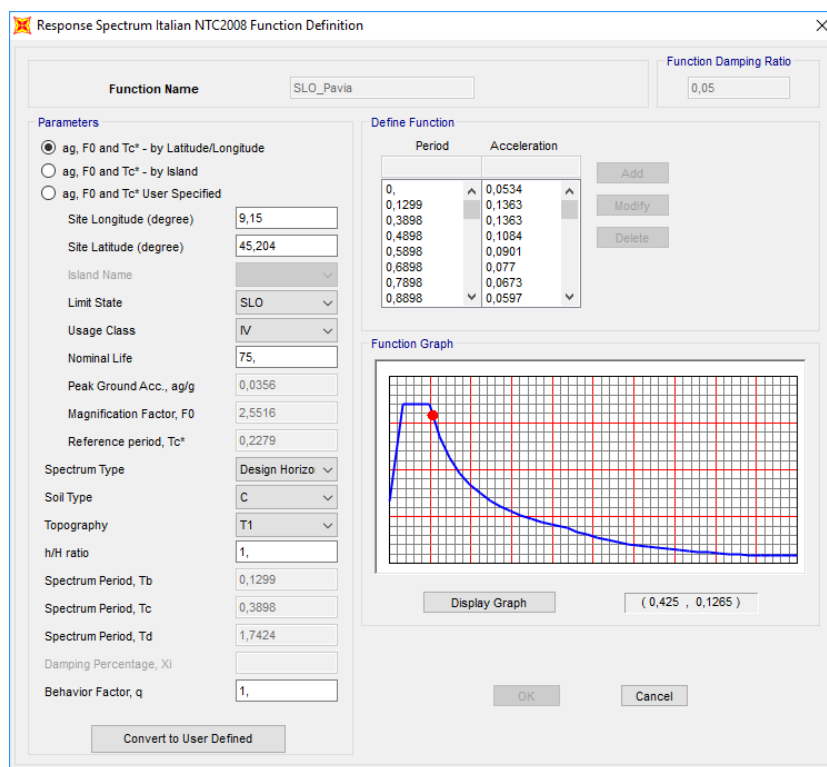
|   |   |                  |             |                               |                    |   |
|---|---|------------------|-------------|-------------------------------|--------------------|---|
|  | <b>PROGETTO DEFINITIVO</b><br><b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA</b><br><b>QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO - PAVIA</b><br><b>FASE I - QUADRUPPLICAMENTO MI ROGOREDO - PIEVE EMANUELE</b> |                  |             |                               |                    |   |
|   | <b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>   | PROGETTO<br>NM0Z | LOTTO<br>10 | CODIFICA DOCUMENTO<br>D 26 CL | REV.<br>FA0000 001 | A |

È inoltre necessario precisare la **Categoria di Sottosuolo** e la **Categoria Topografica** cui appartiene il sito in esame. Dal momento che si vuole dimensionare un basamento che costituisca una fondazione idonea a tutti i PPT previsti lungo la tratta Mi Rogoredo – Pavia della Linea Milano - Genova, per la valutazione dell'azione sismica di progetto si assumono i dati relativi alla località di Pavia, che risulta essere la più gravosa da un punto di vista sismico fra le località considerate.

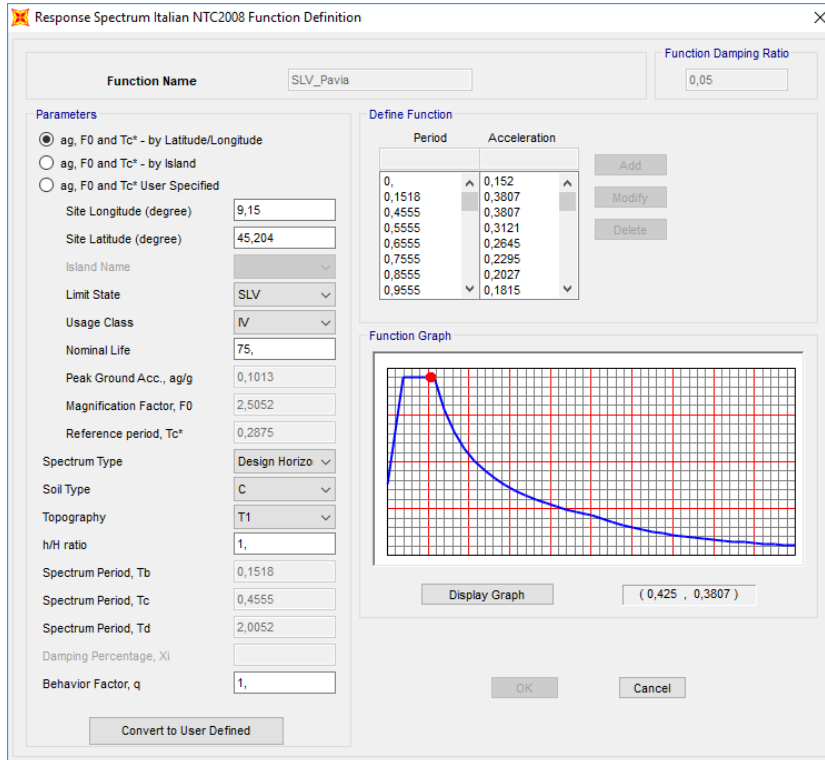
Si assume dunque una Categoria di Sottosuolo C e una Categoria Topografica T<sub>1</sub>.

Per la determinazione dello spettro di risposta di progetto è anche necessario precisare il **Fattore di Struttura**, per il quale si assume il valore  $q = 1$ .

Infine, è necessario specificare anche lo Stato Limite di analisi, poiché lo spettro di risposta varia in relazione allo Stato Limite considerato. In particolare, per le analisi richieste, è necessario individuare lo spettro di risposta all'SLO, all'SLD e all'SLV.

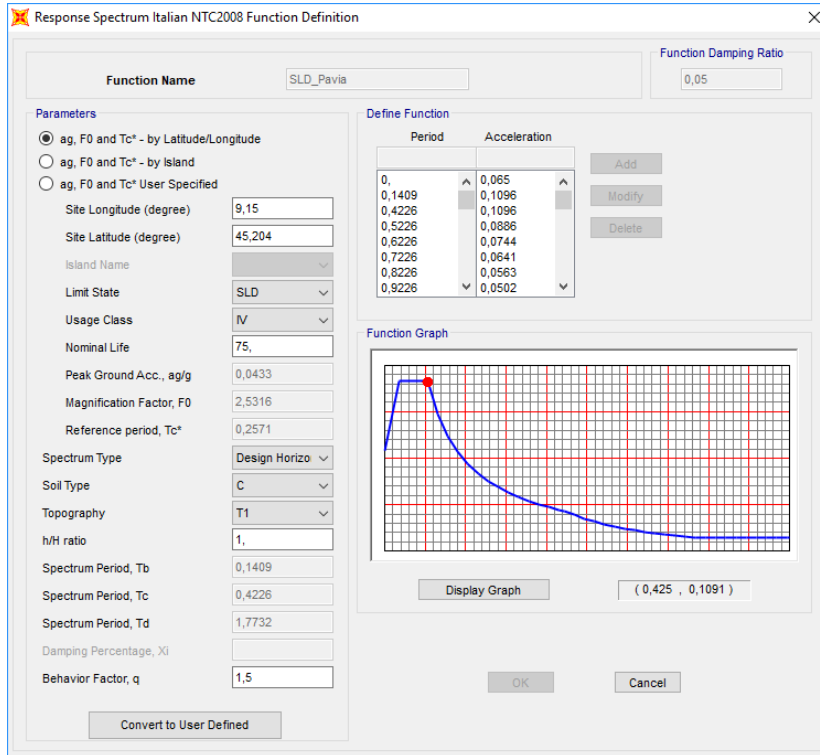


**Figura 6.4** - Spettro di Risposta definito all'interno di SAP2000 per la località di Pavia allo SLO



**Figura 6.5** – Spettro di Risposta definito all’interno di SAP2000 per la località di Pavia allo SLV

Per quanto riguarda la valutazione dello spettro all’SLD, è necessaria un’ulteriore precisazione. Infatti, secondo quanto riportato dalle NTC 2008 al § 7.3.7.1, per le costruzioni di Classe IV, se si vogliono limitare i danneggiamenti strutturali, per tutti gli elementi strutturali deve essere verificato che il valore di progetto di ciascuna sollecitazione ( $E_d$ ) calcolato in presenza delle azioni sismiche corrispondenti allo *SLD* e attribuendo ad  $\eta$  il valore di  $2/3$ , sia inferiore al corrispondente valore della resistenza di progetto ( $R_d$ ), calcolato secondo le regole specifiche indicate per ciascun tipo strutturale nel Cap. 4 con riferimento alle situazioni eccezionali. Per questo in questa sede per la valutazione dello spettro corrispondente all’SLD, si imposta un valore fittizio del fattore di struttura  $q=1,5$ , corrispondente a  $\eta = 2/3$ .



**Figura 6.6** - Spettro di Risposta definito all'interno di SAP2000 per la località di Pavia allo SLD

Per eseguire un'analisi con spettro di risposta su SAP2000, una volta definite le funzioni spettro, è necessario creare un nuovo Load Case di tipo Response Spectrum, impostando come modal combination l'opzione CQC, inserendo nei carichi applicati la funzione Spettro allo SLV appena creata e impostando come tipo di carico l'accelerazione U1 con fattore di scala 9,81, poiché i valori di accelerazione riportati nello spettro sono normalizzati rispetto all'accelerazione di gravità g. Secondo quanto richiesto dalle NTC 2008, è necessario introdurre all'interno del modello le eccentricità delle azioni; infatti, al § 7.2.6 la normativa prescrive la necessità di attribuire al centro di massa una eccentricità accidentale, per tener conto della variabilità spaziale del moto sismico nonché delle incertezze nella localizzazione delle masse. Questa operazione è fatta direttamente in questa fase, assegnando all'opzione "Eccentricity Ratio" il valore 0,05. Il caso di carico così creato rappresenta il sisma agente in direzione x allo SLV. Si prosegue in modo analogo creando in tutto 6 differenti Load Cases: SLO\_Ex, SLO\_Ey, SLD\_Ex, SLD\_Ey, SLV\_Ex, SLV\_Ey, che verranno combinati con le altre azioni verticali, secondo quanto prescritto dalla combinazione sismica definita dalla normativa e descritta al prossimo paragrafo.



## 7 COMBINAZIONI DI CARICO

Per le verifiche nei confronti dei diversi stati limite si adottano le combinazioni delle azioni tratte dal § 2.5.3 NTC 2008:

- Combinazione fondamentale SLU:  
 $\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3}..$
- Combinazione caratteristica (rara):  
 $G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$
- Combinazione frequente:  
 $G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$
- Combinazione quasi permanente:  
 $G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$
- Combinazione sismica:  
 $E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$

I valori dei coefficienti parziali per le azioni sono riportati nella tabella sottostante, tratti dalla Tabella 2.5.I in funzione delle diverse categorie di carico.

|          | $Q_{K_E}$ | $Q_{K_{Neve}}$ |
|----------|-----------|----------------|
| $\Psi_0$ | 1,00      | 0,50           |
| $\Psi_1$ | 0,90      | 0,20           |
| $\Psi_2$ | 0,80      | 0,00           |

Per le verifiche nei confronti degli stati limite ultimi strutturali (STR) si adotta l'Approccio Progettuale 2, in cui si impiega un'unica combinazione dei gruppi di coefficienti parziali definiti per le Azioni (A), per la resistenza dei materiali (M) e, eventualmente, per la resistenza globale (R). In tale approccio, per le azioni si impiegano i coefficienti  $\gamma_F$  riportati nella colonna A1 della Tabella 2.6.I delle NTC 2008, di seguito riportata.

Tabella 6.2.I – Coefficienti parziali relativi alle azioni per le verifiche agli sls

| Azione                             |             | Coefficiente<br>$\gamma_F$ | A1<br>STR | A2<br>GEO |
|------------------------------------|-------------|----------------------------|-----------|-----------|
| Carichi Permanenti                 | Favorevoli  | $\gamma_{G1}$              | 1,00      | 1,00      |
|                                    | Sfavorevoli |                            | 1,30      | 1,00      |
| Carichi Permanenti non strutturali | Favorevoli  | $\gamma_{G2}$              | 0,00      | 0,00      |
|                                    | Sfavorevoli |                            | 1,50      | 1,30      |
| Carichi Variabili                  | Favorevoli  | $\gamma_{Qi}$              | 0,00      | 0,00      |
|                                    | Sfavorevoli |                            | 1,50      | 1,30      |

## 8 SOLLECITAZIONI

I valori massimi e minimi dei momenti flettenti per la platea di fondazione per le combinazioni considerate sono riepilogati nella seguente tabella:

|         |                 |                  |              |       |         |                 |                   |               |       |
|---------|-----------------|------------------|--------------|-------|---------|-----------------|-------------------|---------------|-------|
| M11 max | SLU             | <b>63-1 (80)</b> | <b>28,15</b> | kNm/m | M11 min | SLU             | <b>50-16 (71)</b> | <b>-90,02</b> | kNm/m |
|         | SLV_env         | 63-1 (80)        | 15,27        | kNm/m |         | SLV_env         | 50-16 (71)        | -48,68        | kNm/m |
| M22 max | SLU             | <b>63-1 (80)</b> | <b>31,88</b> | kNm/m | M22 min | SLU             | <b>45-1 (65)</b>  | <b>-34,11</b> | kNm/m |
|         | SLV_env         | 63-1 (80)        | 17,30        | kNm/m |         | SLV_env         | 45-1 (65)         | -18,41        | kNm/m |
| M11 max | SLE_r_TOT_fond  | <b>63-1 (80)</b> | <b>18,96</b> | kNm/m | M11 min | SLE_r_TOT_fond  | <b>50-16 (71)</b> | <b>-60,53</b> | kNm/m |
|         | SLE_f_TOT_fond  | 63-1 (80)        | 16,37        | kNm/m |         | SLE_f_TOT_fond  | 50-16 (71)        | -52,67        | kNm/m |
|         | SLE_qp_TOT_fond | 63-1 (80)        | 15,27        | kNm/m |         | SLE_qp_TOT_fond | 50-16 (71)        | -48,68        | kNm/m |
| M22 max | SLE_r_TOT_fond  | <b>63-1 (80)</b> | <b>21,48</b> | kNm/m | M22 min | SLE_r_TOT_fond  | <b>45-1 (65)</b>  | <b>-22,90</b> | kNm/m |
|         | SLE_f_TOT_fond  | 63-1 (80)        | 18,54        | kNm/m |         | SLE_f_TOT_fond  | 45-1 (65)         | -20,04        | kNm/m |
|         | SLE_qp_TOT_fond | 63-1 (80)        | 17,30        | kNm/m |         | SLE_qp_TOT_fond | 45-1 (65)         | -18,41        | kNm/m |

Si riportano di seguito le immagini che illustrano la distribuzione dei momenti flettenti negli elementi tipo *shell* costituenti la platea per le combinazioni di carico SLU e SLV.



Figura 8.1 – Distribuzione dei Momenti Flettenti M11 - Combinazione SLU



**PROGETTO DEFINITIVO**

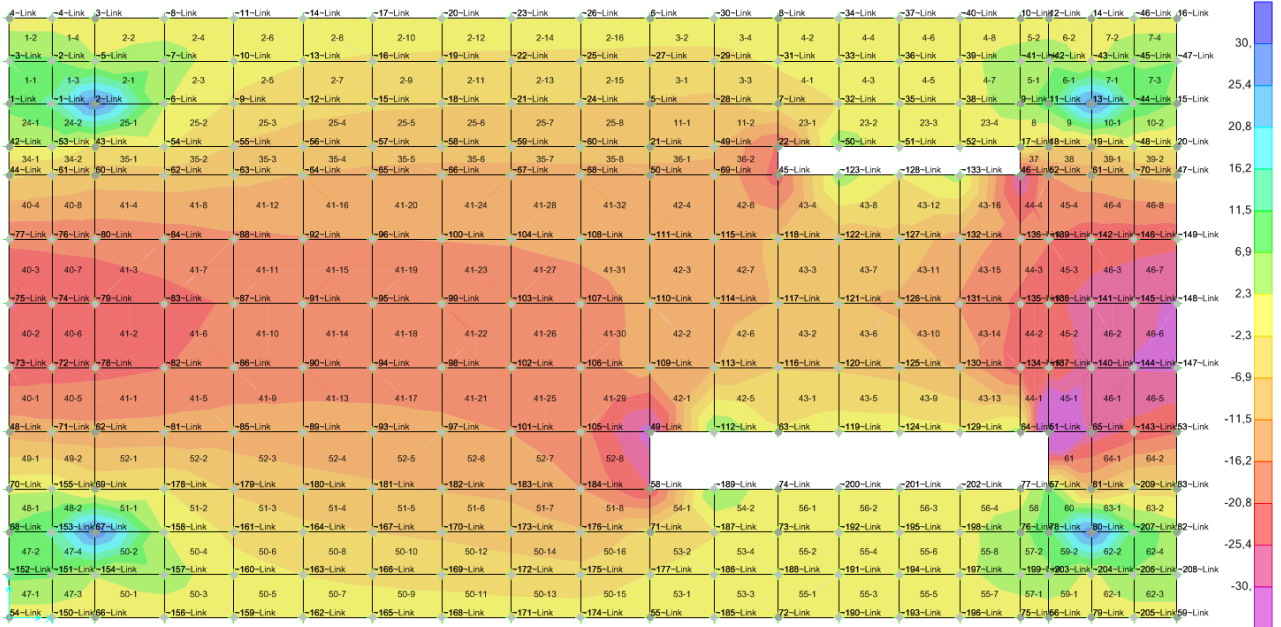
**POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA**

**QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO - PAVIA**

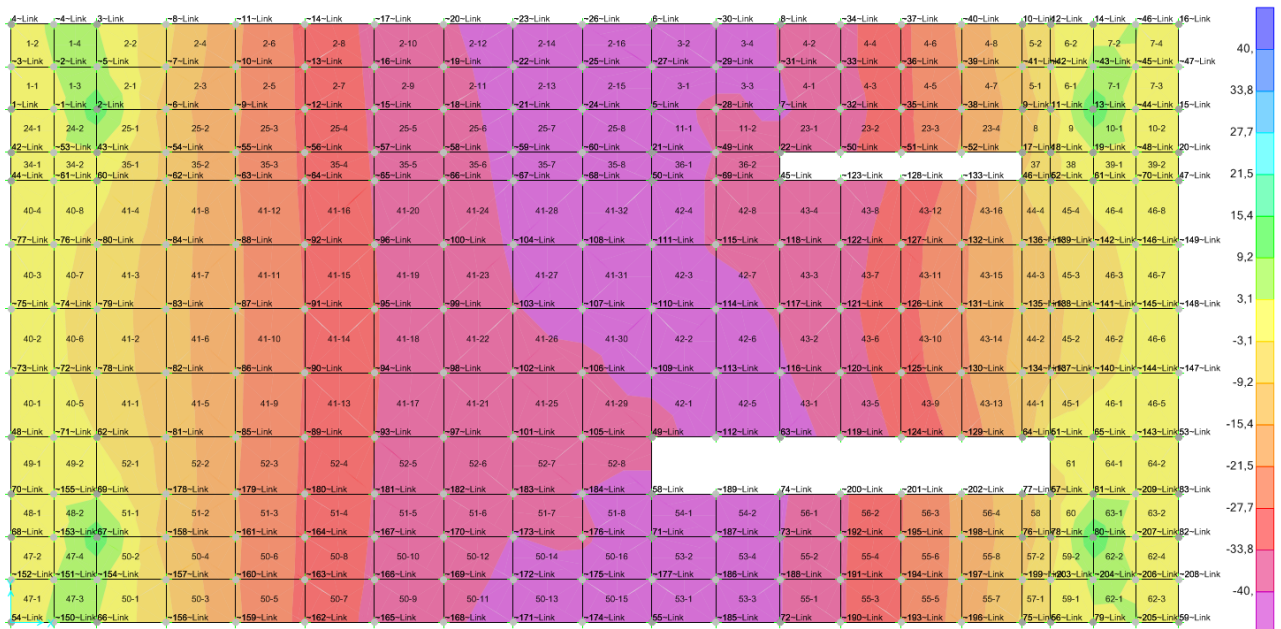
**FASE I - QUADRUPPLICAMENTO MI ROGOREDO - PIEVE EMANUELE**

**RELAZIONE DI CALCOLO**

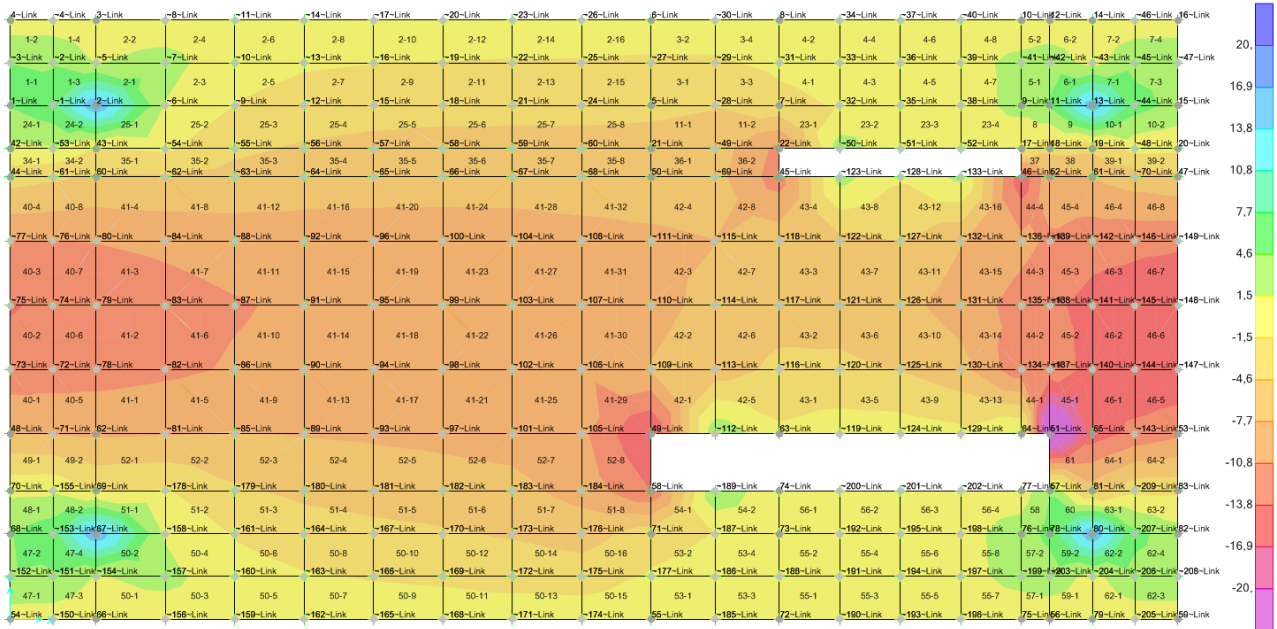
|          |       |                    |      |          |
|----------|-------|--------------------|------|----------|
| PROGETTO | LOTTO | CODIFICA DOCUMENTO | REV. | FOGLIO   |
| NM0Z     | 10    | D 26 CL FA0000 001 | A    | 19 DI 33 |



**Figura 8.2 – Distribuzione dei Momenti Flettenti M22 - Combinazione SLU**

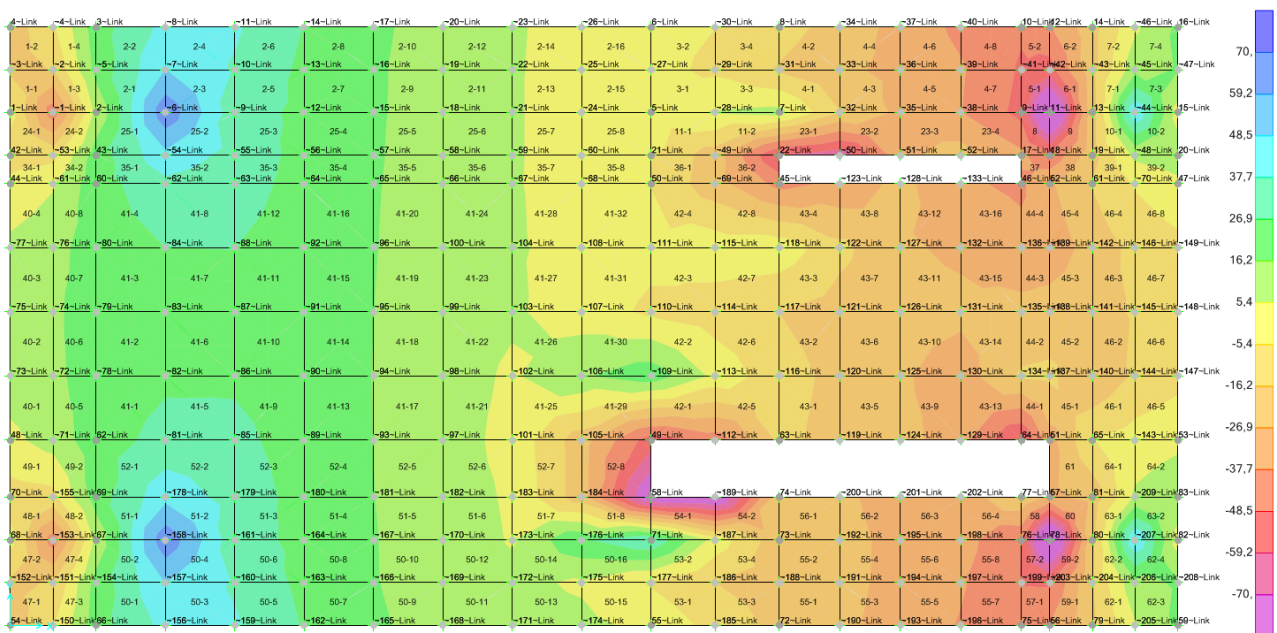


**Figura 8.3 – Distribuzione dei Momenti Flettenti M11 - Combinazione SLV**

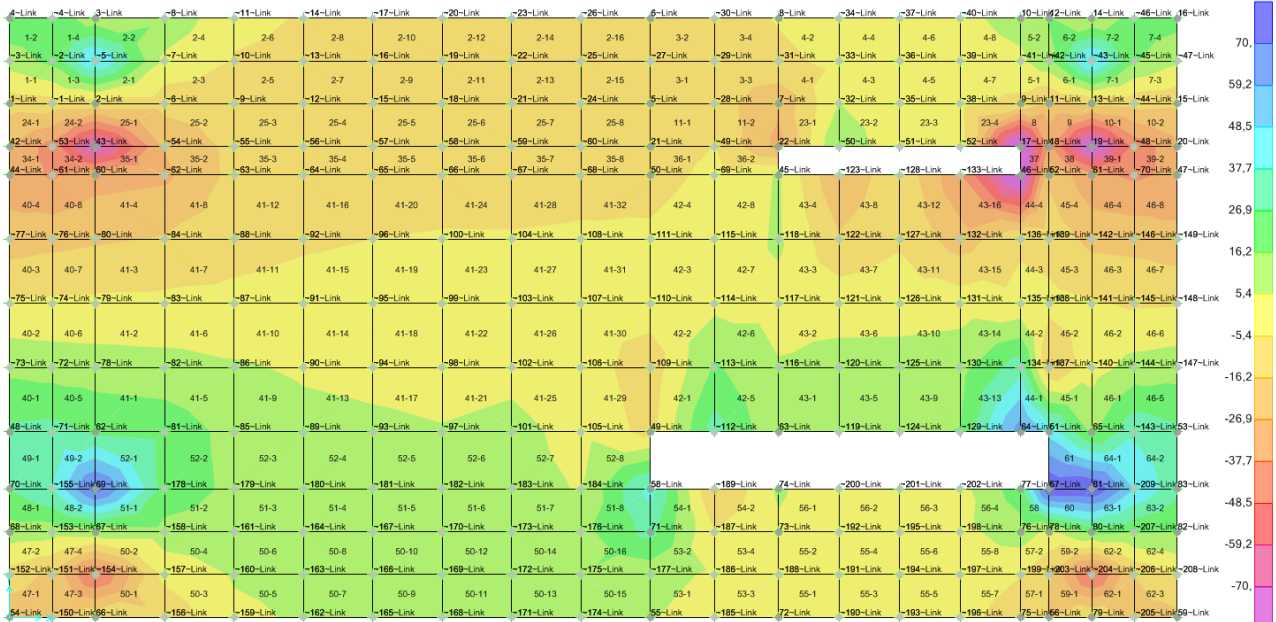
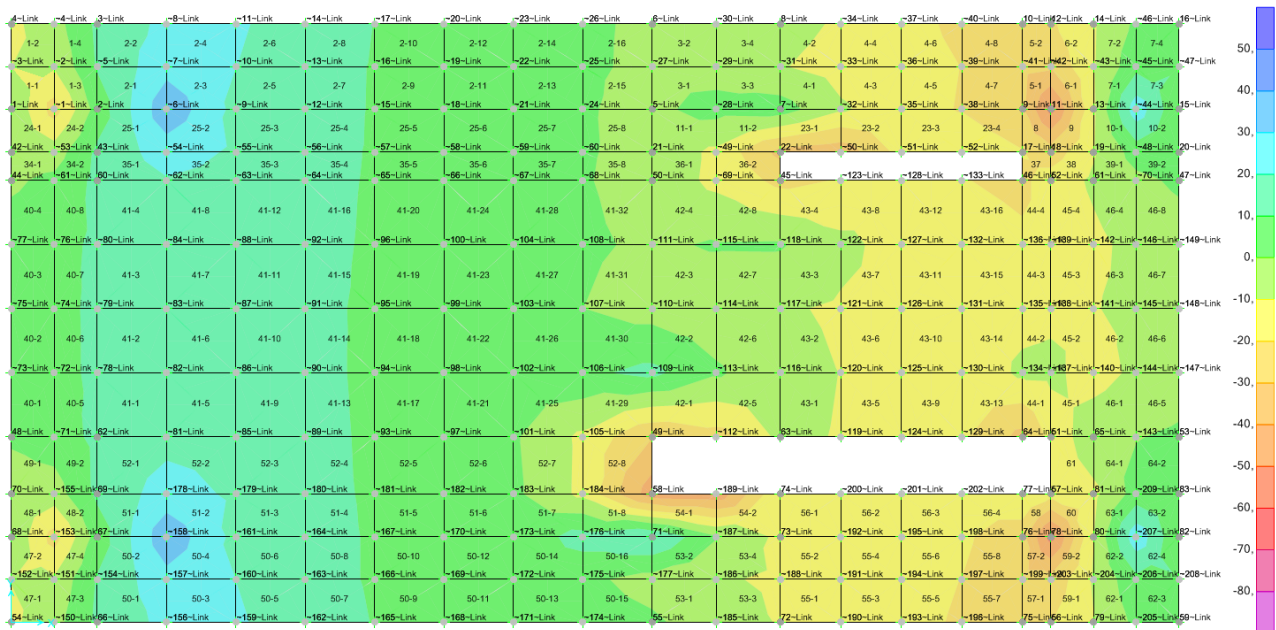


**Figura 8.4 – Distribuzione dei Momenti Flettenti M22 - Combinazione SLV**

Per quanto riguarda le azioni taglianti, si riportano in seguito le immagini che illustrano la loro distribuzione per le combinazioni SLU e SLV.



**Figura 8.5 – Distribuzione dei Taglio V13 - Combinazione SLU**

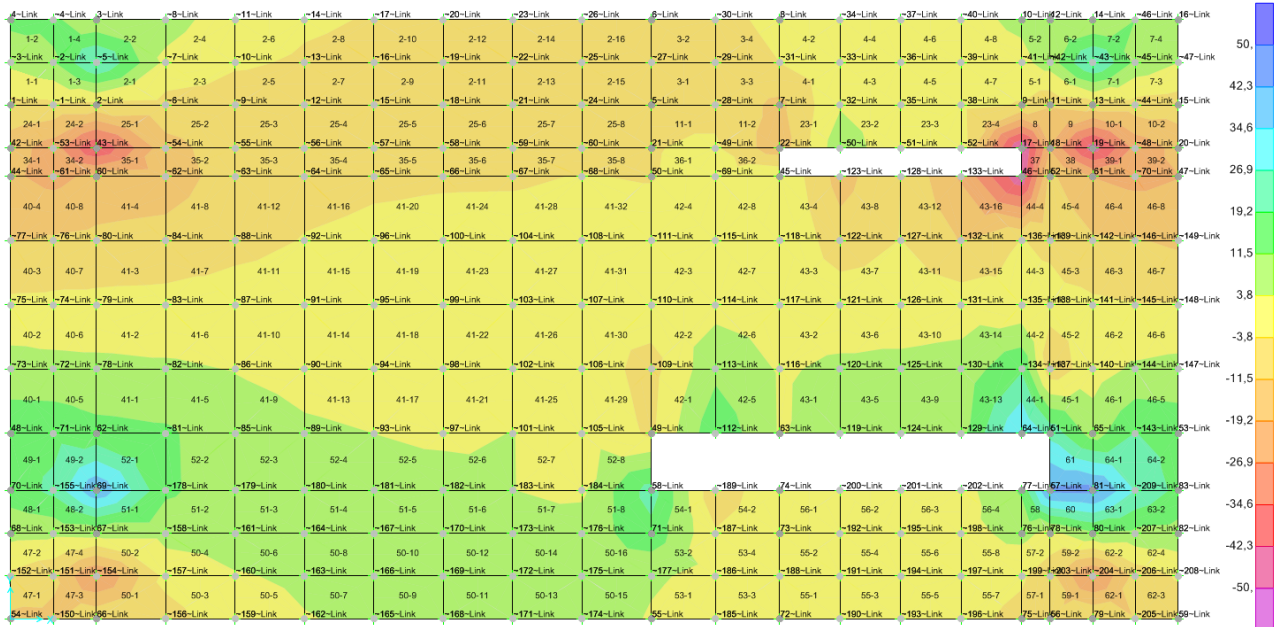

**Figura 8.6 – Distribuzione dei Taglio V23 - Combinazione SLU**

**Figura 8.7 – Distribuzione dei Taglio V13 - Combinazione SLV**



**PROGETTO DEFINITIVO**  
**POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA**  
**QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO - PAVIA**  
**FASE I - QUADRUPPLICAMENTO MI ROGOREDO - PIEVE EMANUELE**

**RELAZIONE DI CALCOLO**

PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO  
**NM0Z 10 D 26 CL FA0000 001 A 22 DI 33**



**Figura 8.8** – Distribuzione dei Taglio V23 - Combinazione SLU

I valori di riferimento assunti per la verifica sono riepilogati nella tabella seguente.

|                 |                             |                 |                                |
|-----------------|-----------------------------|-----------------|--------------------------------|
| V13 max SLU     | <b>25-1 (6) 103,91</b> kN/m | V13 min SLU     | <b>54-1 (189) -150,74</b> kN/m |
| V23 max SLU     | <b>60 (80) 145,66</b> kN/m  | V23 min SLU     | <b>10-1 (19) -134,94</b> kN/m  |
| V13 max SLV_env | 63-1 (80) 56,35 kN/m        | V13 min SLV_env | 54-1 (189) -81,41 kN/m         |
| V23 max SLV_env | 60 (80) 78,83 kN/m          | V23 min SLV_env | 10-1 (19) -73,08 kN/m          |

## 9 VERIFICHE PLATEA DI FONDAZIONE

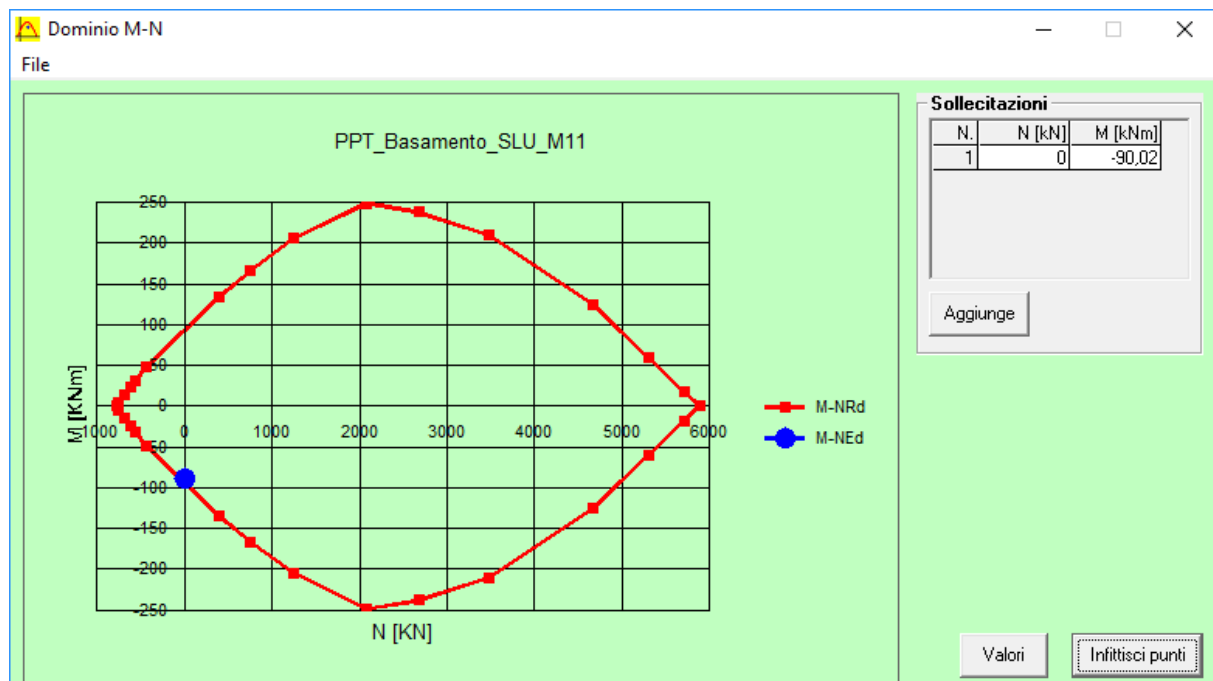
La platea di fondazione ha le seguenti caratteristiche geometriche:

|   |         |    |
|---|---------|----|
| Profondità piano di posa rispetto al piano di calpestio esterno | D = 20  | cm |
| Larghezza complessiva   | B = 420 | cm |
| Lunghezza complessiva   | L = 820 | cm |
| Spessore  | s = 30  | cm |

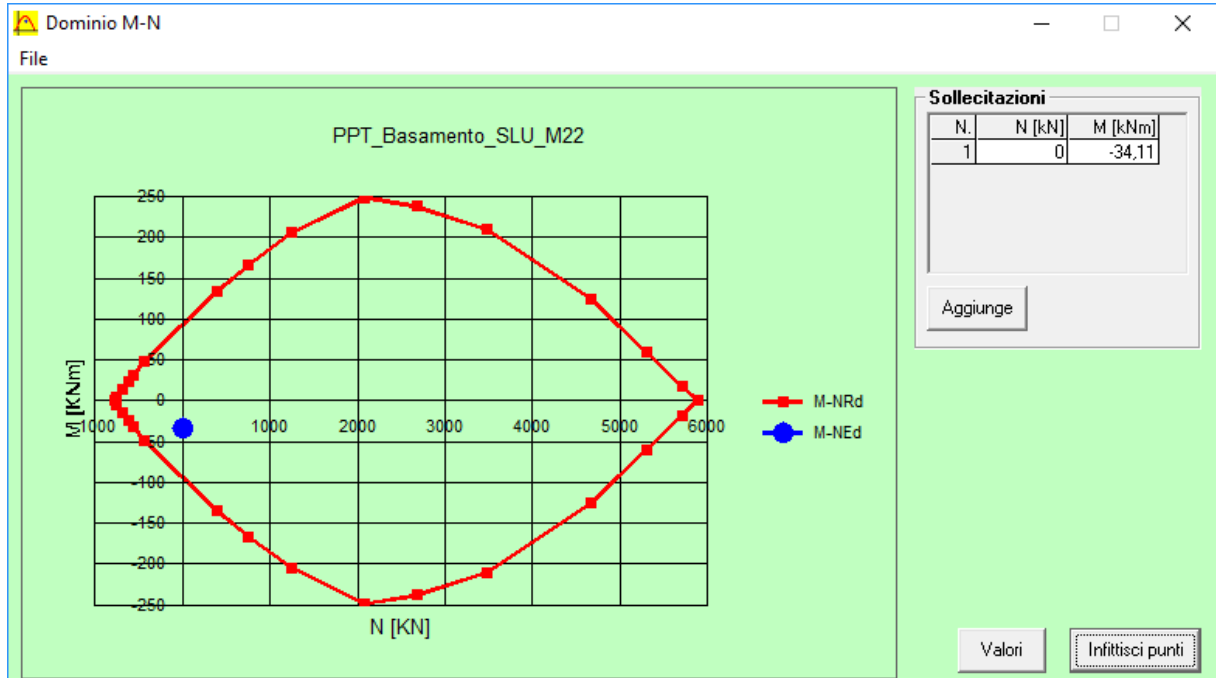
### 9.1 Verifiche SLU – Flessione

Si assume di disporre un'armatura orizzontale costituita da 1+1  $\phi 16/20$  uniformemente distribuita.

Si riportano di seguito le verifiche effettuate per le sezioni più sollecitate della platea.



**Figura 9.1** – Dominio di resistenza a flessione – Momento Flettente M11 – MRd = -96,40 kNm FS = 1,09



**Figura 9.2** – Dominio di resistenza a flessione – Momento Flettente M22 – MRd = -94,60 kNm FS = 2,82

## 9.2 Verifiche SLU – Taglio

Secondo quanto specificato dalla normativa, la verifica resistenza a taglio degli elementi non dotati di armature trasversali resistenti a taglio, si conduce controllando la seguente disuguaglianza:


$$V_{Ed} \leq V_{Rd}$$

$V_{Ed}$  è il valore di calcolo dello sforzo di taglio agente, mentre  $V_{Rd}$  è la resistenza a taglio.

Si riporta di seguito la verifica sulla sezione massimamente sollecitata a taglio.

| VERIFICA TAGLIO ELEMENTI NON ARMATI A TAGLIO - § 4.1.2.1.3.1 |                   |  | TRAVI |
|--|-------------------|--|-------|
| 236,00   | mm                | d = altezza utile della sezione                              |       |
| 1,92   |                   | $k = 1 + (200/d)^{(1/2)} \leq 2$                             |       |
| 1.000,00   | mm                | $b_w$ = Larghezza minima della sezione (in mm)               |       |
| 0,009  |                   | $\rho_l$ = Rapporto Geometrico di Armatura Longitudinale     |       |
| 30,71  | N/mm <sup>2</sup> | $f_{ck}$   |       |
| 0,00   | N/mm <sup>2</sup> | $\sigma_{cp} = N_{Ed}/A_c$                                   |       |
| 0,5162   |                   | $V_{min}$  |       |
| 0,6842   |                   | $V' = 0,18 * k * (100 * \rho_l * f_{ck})^{(1/3)} / \gamma_c$ |       |
| 161,47   | kN                | $V_{Rd}$   |       |
| 150,74   | kN                | $V_{Ed}$   |       |
| 1,07   |                   | FS   |       |



|   |   |                  |             |                     |                         |           |
|---|---|------------------|-------------|---------------------|-------------------------|-----------|
|  | <b>PROGETTO DEFINITIVO</b><br><b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA</b><br><b>QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO - PAVIA</b><br><b>FASE I - QUADRUPPLICAMENTO MI ROGOREDO - PIEVE EMANUELE</b> |                  |             |                     |                         |           |
|   | <b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>   | PROGETTO<br>NM0Z | LOTTO<br>10 | CODIFICA<br>D 26 CL | DOCUMENTO<br>FA0000 001 | REV.<br>A |

È comunque necessario tener presente che i massimi valori di taglio che interessano la platea si verificano in corrispondenza dei piedini di sostegno dello shelter. In queste aree il meccanismo resistente che si instaura è quello associato a un'azione di punzonamento, per il quale si riporta di seguito la verifica.

### 9.3 Verifiche SLU – Punzonamento

Si assume che il singolo piedino di sostegno dello shelter abbia un'impronta di appoggio quadrata di 20x20 cm.

L'azione trasmessa dal piedino nella combinazione di carico SLU è la seguente:

$$P = 1,3 * G_{1sh\_ped} + 1,5 * G_{2\_perm\_ped} + 1,5 * Q_{K\_E\_ped} + 1,5 * Q_{K\_snow\_ped} = 1,3 * 6,30 + 1,5 * 21 + 1,5 * 52,5 + 1,5 * 6,3 = 127,89 \text{ kN}$$

#### Geometria

|   |                 |            |    |
|---|-----------------|------------|----|
| <i>Tipo di Pilastrò</i>                     |                 | "Quadrato" |    |
| <i>Base Pilastrò / Diametro Pilastrò</i>    | $L_p = D = C_2$ | 200,00     | mm |
| <i>Altezza Pilastrò / Diametro Pilastrò</i> | $D = C_1$       | 200,00     | mm |
| <i>Copriferro netto</i>                     |                 | 40,00      | mm |
| <i>Diametro Armatura Soletta</i>            | $\phi$          | 16,00      | mm |
| <i>Passo Armatura Soletta</i>               | $p$             | 200,00     | mm |
| <i>Spessore Soletta</i>                     |                 | 300,00     | mm |

#### Materiali

|  |       |                   |
|--|-------|-------------------|
| $R_{ck}$ = Resistenza a compressione cubica caratteristica     | 37,00 | N/mm <sup>2</sup> |
| $f_{ck}$ = Resistenza a compressione cilindrica caratteristica | 30,71 | N/mm <sup>2</sup> |
| $f_{cd}$ = Resistenza a compressione cilindrica di progetto    | 17,40 | N/mm <sup>2</sup> |
| $\nu$ = Coefficiente di Poisson                                | 0,50  |                   |

~ Tensione di progetto lungo il perimetro di base  $u_0$

$$V_{Ed,0} = [V_{Ed,red}/(u_0 * d)] * [1 + kM_{Ed} * u_0 / (V_{Ed,red} * W)] \quad 0,66 \text{ N/mm}^2$$

dove:

$$V_{Ed,red} = V_{Ed} - \Delta V_{Ed,0} \quad 127.890,00 \text{ N}$$

$$V_{Ed} = \text{Forza tagliante applicata, ovvero azione normale trasmessa dal pilastrò} \quad 127.890,00 \text{ N}$$

$$\Delta V_{Ed,0} = \text{Forza netta rivolta verso l'alto all'interno del perimetro di verifica considerato} \quad 0,00 \text{ N}$$

$$u_0 = \text{Perimetro di base; perimetro del pilastrò} \quad \Rightarrow \quad 800,00 \text{ mm}$$

$$d = \text{Altezza utile della soletta} \quad d = (d_y + d_z)/2 \quad d_y \quad 236,00 \quad \Rightarrow \quad 244,00 \text{ mm}$$

$$d_z \quad 252,00 \quad \Rightarrow \quad 0,60 \text{ -}$$



**PROGETTO DEFINITIVO**

**POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA**

**QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO - PAVIA  
FASE I - QUADRUPPLICAMENTO MI ROGOREDO - PIEVE EMANUELE**

**RELAZIONE DI CALCOLO**

| PROGETTO | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO  | REV. | FOGLIO   |
|----------|-------|----------|------------|------|----------|
| NM0Z     | 10    | D 26 CL  | FA0000 001 | A    | 26 DI 33 |

$k$  = Coeff. che tiene conto che soltanto un'aliquota di  $M_{Ed}$  è equilibrata da tens. tang. nella fondazione

$W$  = Momento intorno all'asse di sollecitazione corrispondente ad una distribuzione di tipo plastico di tensioni tangenziali lungo il bordo del perimetro di verifica 1.514.395,44 mm<sup>2</sup>

$M_{Ed}$  = Momento Sollecitante 0,00 Nmm

$\beta$  = Coefficiente che tiene conto dell'eventuale eccentricità dell'azione sollecitante 1,00

~ Massimo Valore di Resistenza a Taglio-Punzonamento

$V_{Rd,max} = 0,5 \cdot v \cdot f_{cd}$  4,35 N/mm<sup>2</sup>

~ Tensione di progetto lungo il perimetro critico  $u_1$

$V_{Ed,1} = [V_{Ed,red}/(u_1 \cdot d)] \cdot [1 + kM_{Ed} \cdot u_1 / (V_{Ed,red} \cdot W)]$  0,14 N/mm<sup>2</sup>

dove:

$V_{Ed,red} = V_{Ed} - \Delta V_{Ed,1}$  127.890,00 N

$\Delta V_{Ed,1}$  = Forza netta rivolta verso l'alto all'interno del perimetro di verifica considerato 0,00 N

$u_1$  = Perimetro critico; perimetro di I tentativo:  $a = 2 \cdot d$  3.866,19 mm

$A_1$  = Area di base posta all'interno del perimetro di verifica: 1.178.551,44 mm<sup>2</sup>

~ Resistenza di progetto a taglio-punzonamento in assenza di armature a punzonamento lungo il perimetro critico  $u_1$

$V_{Rd,c} = C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \rho f_{ck})^{1/3} \geq v_{min}$  0,50 N/mm<sup>2</sup>

dove:

$C_{Rd,c} = 0,18/\gamma_c$  0,12


$k = 1 + (200/d)^{1/2}$  1,91  $\leq 2,00$

$\rho$  = rapporto geometrico di armatura 0,0034

$\rho = (\rho_{ly} \cdot \rho_{lz})^{1/2}$   $\leq 0,02$

$v_{min} = 0,0035 \cdot k^{2/3} \cdot f_{ck}^{1/2}$  0,02

$v' = C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \rho f_{ck})^{1/3}$  0,50

|   |   |                  |             |                               |                    |             |
|---|---|------------------|-------------|-------------------------------|--------------------|-------------|
|  | <b>PROGETTO DEFINITIVO</b><br><b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA</b><br><b>QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO - PAVIA</b><br><b>FASE I - QUADRUPPLICAMENTO MI ROGOREDO - PIEVE EMANUELE</b> |                  |             |                               |                    |             |
|   | <b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>   | PROGETTO<br>NM0Z | LOTTO<br>10 | CODIFICA DOCUMENTO<br>D 26 CL | REV.<br>FA0000 001 | FOGLIO<br>A |

#### 9.4 Verifiche SLE – Tensione

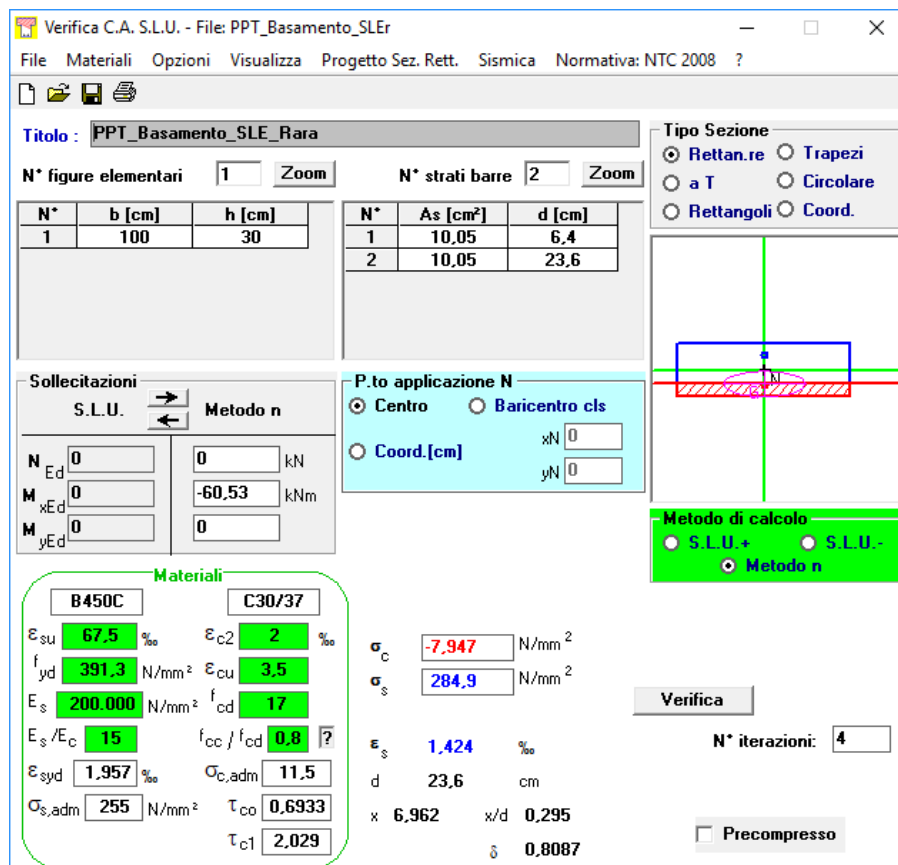
Si riportano di seguito le verifiche effettuate per le sezioni più sollecitate della platea, tenendo conto che i limiti imposti dalla normativa per il controllo tensione agli stati limite di esercizio sono i seguenti:

Combinazione Rara

- Calcestruzzo Compresso →  $\sigma_c = 0,60 \times f_{ck} = 18,43 \text{ N/mm}^2$
- Acciaio Teso →  $\sigma_s = 0,80 \times f_{yk} = 360,00 \text{ N/mm}^2$

Combinazione Quasi Permanente

- Calcestruzzo Compresso →  $\sigma_c = 0,45 \times f_{ck} = 13,82 \text{ N/mm}^2$



**Verifica C.A. S.L.U. - File: PPT\_Basamento\_SLEr**

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

**TITOLO :** PPT\_Basamento\_SLE\_Rara

N° figure elementari  Zoom N° strati barre  Zoom

| N° | b [cm] | h [cm] | N° | As [cm²] | d [cm] |
|----|--------|--------|----|----------|--------|
| 1  | 100    | 30     | 1  | 10,05    | 6,4    |
|    |        |        | 2  | 10,05    | 23,6   |

**Tipo Sezione**  
 Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

**Sollecitazioni**  
 S.L.U.  Metodo n  
 N<sub>Ed</sub>  kN  
 M<sub>xEd</sub>  kNm  
 M<sub>yEd</sub>  kNm

**P.to applicazione N**  
 Centro  Baricentro cls  
 Coord.[cm] xN  yN

**Metodo di calcolo**  
 S.L.U.+  S.L.U.-  
 Metodo n


**Materiali**  
**B450C** **C30/37**  
 ε<sub>su</sub>  % ε<sub>c2</sub>  %  
 f<sub>yd</sub>  N/mm² ε<sub>cu</sub>  %  
 E<sub>s</sub>  N/mm² f<sub>cd</sub>  %  
 E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub>  f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub>  ?  
 ε<sub>syd</sub>  % σ<sub>c,adm</sub>   
 σ<sub>s,adm</sub>  N/mm² τ<sub>co</sub>   
 τ<sub>c1</sub>

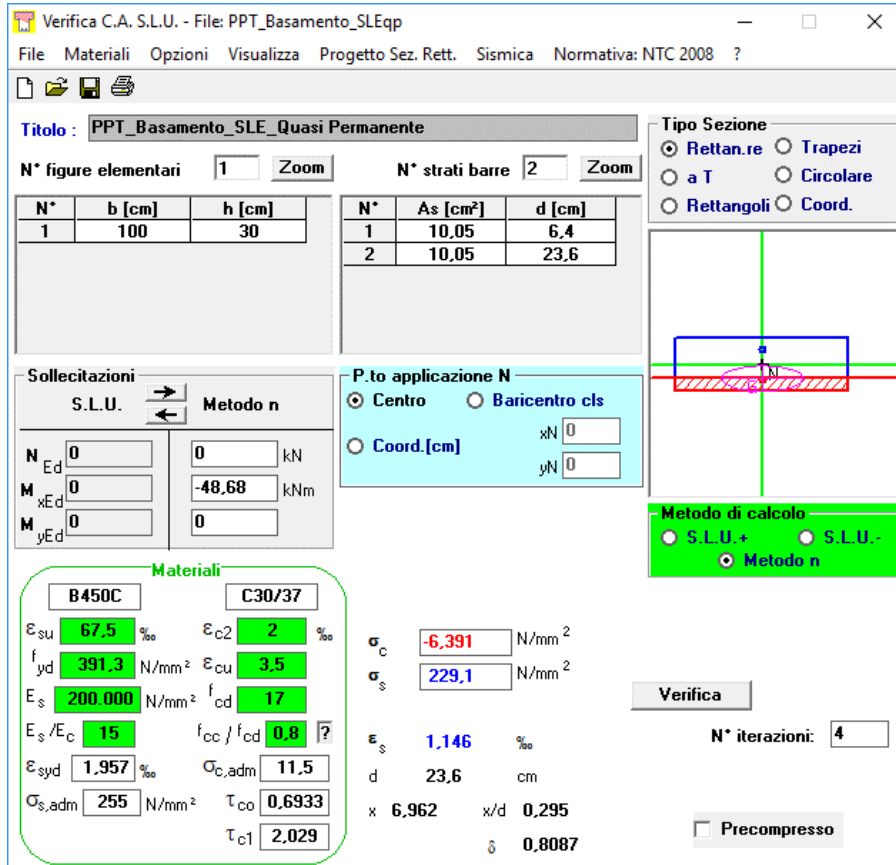
σ<sub>c</sub>  N/mm²  
 σ<sub>s</sub>  N/mm²  
 ε<sub>s</sub>  %  
 d  cm  
 x  x/d   
 δ

**Verifica** N° iterazioni:

Precompresso

Figura 9.3 - Controllo di tensione agli SLE della sezione più sollecitata della platea – Combinazione Rara

|   |   |                  |             |                               |                         |
|---|---|------------------|-------------|-------------------------------|-------------------------|
|  | <b>PROGETTO DEFINITIVO</b><br><b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA</b><br><b>QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO - PAVIA</b><br><b>FASE I - QUADRUPPLICAMENTO MI ROGOREDO - PIEVE EMANUELE</b> |                  |             |                               |                         |
|   | <b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>   | PROGETTO<br>NM0Z | LOTTO<br>10 | CODIFICA DOCUMENTO<br>D 26 CL | REV.<br>FA0000 001<br>A |



**Titolo:** PPT\_Basamento\_SLE\_Quasi Permanente

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

| N° | b [cm] | h [cm] | N° | As [cm²] | d [cm] |
|----|--------|--------|----|----------|--------|
| 1  | 100    | 30     | 1  | 10,05    | 6,4    |
|    |        |        | 2  | 10,05    | 23,6   |

**Sollecitazioni:** S.L.U. **Metodo n**

**N<sub>Ed</sub>:** 0 **0** kN  
**M<sub>xEd</sub>:** 0 **-48,68** kNm  
**M<sub>yEd</sub>:** 0 **0**

**P.to applicazione N:**  Centro  Baricentro cls  
 Coord.[cm] xN: 0 yN: 0

**Materiali:** B450C C30/37

**ε<sub>su</sub>:** 67,5 % **ε<sub>c2</sub>:** 2 %  
**f<sub>yd</sub>:** 391,3 N/mm² **ε<sub>cu</sub>:** 3,5  
**E<sub>s</sub>:** 200.000 N/mm² **f<sub>cd</sub>:** 17  
**E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub>:** 15 **f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub>:** 0,8  
**ε<sub>syd</sub>:** 1,957 % **σ<sub>c,adm</sub>:** 11,5  
**σ<sub>s,adm</sub>:** 255 N/mm² **τ<sub>co</sub>:** 0,6933  
**τ<sub>c1</sub>:** 2,029

**σ<sub>c</sub>:** -6,391 N/mm²  
**σ<sub>s</sub>:** 229,1 N/mm²  
**ε<sub>s</sub>:** 1,146 %  
**d:** 23,6 cm  
**x:** 6,962 **x/d:** 0,295  
**δ:** 0,8087

**Metodo di calcolo:**  S.L.U.+  S.L.U.-  
 Metodo n

**Verifica** **N° iterazioni:** 4  Precompresso

Figura 9.4 - Controllo di tensione agli SLE della sezione più sollecitata della platea – Combinazione Quasi Permanente

## 9.5 Verifiche SLE – Fessurazione

Si riportano di seguito le verifiche effettuate per le sezioni più sollecitate della platea di fondazione.

*Stato Limite di Apertura delle Fessure*

Momento Statico pari a zero  $ax^2 + bx + c = 0$

a 500,00

b 30.159,29

c -4.523.893,42

x 69,63

mm

*Profondità asse neutro da lembo superiore*

J<sub>CLS\_Comp</sub> 112.516.958,72 mm<sup>4</sup>

J<sub>AS\_TOT</sub> 417.880.056,35 mm<sup>4</sup>

J<sub>TOT</sub> 530.397.015,07 mm<sup>4</sup>

**PROGETTO DEFINITIVO****POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA**

QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO - PAVIA

FASE I - QUADRUPPLICAMENTO MI ROGOREDO - PIEVE EMANUELE

**RELAZIONE DI CALCOLO**


| PROGETTO | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO  | REV. | FOGLIO   |
|----------|-------|----------|------------|------|----------|
| NM0Z     | 10    | D 26 CL  | FA0000 001 | A    | 29 DI 33 |

*Combinazione Frequente*

|                       |         |                   |   |
|-----------------------|---------|-------------------|---|
| M <sub>f_max</sub>    | -52,67  | kNm/m             |   |
| σ <sub>s</sub> (Freq) | 247,82  | N/mm <sup>2</sup> | Tensione nell'armatura tesa valutata nella sezione fessurata in Comb Frequente                              |
| K <sub>t</sub>        | 0,40    |                   | Fattore dipendente dalla durata del carico  |
| f <sub>ctm</sub>      | 2,94    | N/mm <sup>2</sup> |   |
| h <sub>c,eff</sub>    | 76,79   | mm                |   |
| A <sub>c,eff</sub>    | 76.791  | mm <sup>2</sup>   | Area efficace di calcestruzzo teso attorno all'armatura, di altezza h <sub>c,ef</sub> e base t <sub>w</sub> |
| ρ <sub>eff</sub>      | 0,01    |                   |   |
| α <sub>e</sub>        | 6,36    |                   |   |
| ε <sub>sm</sub>       | 0,00072 |                   | Deformazione unitaria media delle barre   |
| K <sub>1</sub>        | 0,80    |                   | Per barre ad aderenza migliorata  |
| K <sub>2</sub>        | 0,50    |                   | Caso di flessione   |
| K <sub>3</sub>        | 3,40    |                   | Valore fisso  |
| K <sub>4</sub>        | 0,43    |                   | Valore fisso  |
| φ                     | 16,00   | mm                |   |
| c                     | 64,00   | mm                | Ricoprimento Armatura   |
| Δ <sub>smax</sub>     | 425,37  | mm                | Distanza massima tra le fessure   |
| w <sub>d</sub> (freq) | 0,30    | mm                | Valore di calcolo dell'apertura delle fessure   |
| w <sub>3</sub>        | 0,40    | mm                | Armatura poco sensibile   |

*Combinazione Quasi Permanente*

|                     |         |                   |   |
|---------------------|---------|-------------------|---|
| M <sub>qp_max</sub> | -48,68  | kNm/m             |   |
| σ <sub>s</sub> (qp) | 229,05  | N/mm <sup>2</sup> | Tensione nell'armatura tesa valutata nella sezione fessurata in Comb Q Perm |
| ε <sub>sm</sub>     | 0,00065 |                   | Deformazione unitaria media delle barre                                     |
| w <sub>d</sub> (qp) | 0,28    | mm                | Valore di calcolo dell'apertura delle fessure                               |
| w <sub>2</sub>      | 0,30    | mm                | Armatura poco sensibile   |

|   |   |                  |             |  |           |
|---|---|------------------|-------------|--|-----------|
|  | <b>PROGETTO DEFINITIVO</b><br><b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA</b><br><b>QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO - PAVIA</b><br><b>FASE I - QUADRUPPLICAMENTO MI ROGOREDO - PIEVE EMANUELE</b> |                  |             |  |           |
|   | <b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>   | PROGETTO<br>NM0Z | LOTTO<br>10 | CODIFICA DOCUMENTO<br>D 26 CL FA0000 001 | REV.<br>A |

## 9.6 Verifica di Capacità Portante

La verifica consiste nel valutare la disuguaglianza  $E_d \leq R_d$

In cui l'ente resistente  $R_d$  è valutato con l'equazione generale di Vesic per la stima della capacità portante di fondazioni superficiali, di seguito riportata:

$$q_{lim} = c \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot b_c \cdot g_c + q \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot b_q \cdot g_q + 1/2 \cdot \gamma \cdot B' \cdot N_g \cdot s_g \cdot d_g \cdot i_g \cdot b_g \cdot g_g$$

in cui:

$N_i$  = fattori di capacità portante

$s_i$  = fattori di forma

$d_i$  = fattori di profondità

$i_i$  = fattori di inclinazione del carico

$b_i$  = fattori di inclinazione della base

$g_i$  = fattori di inclinazione del piano di campagna

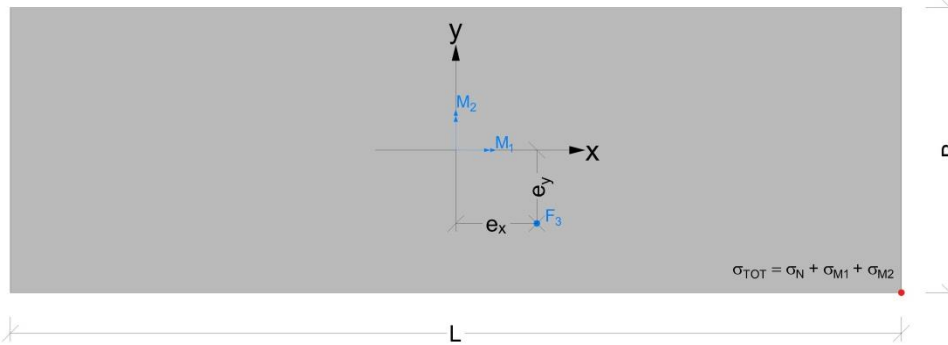
L'ente sollecitante  $E_d$  è dato dalla massima tensione di contatto che si registra sul terreno. Nelle fondazioni con carico eccentrico, per il calcolo strutturale dell'elemento, si fa in genere l'ipotesi semplificativa che in condizioni di esercizio (ovvero per carichi molto inferiori alla capacità portante) le pressioni di contatto struttura di fondazione-terreno siano lineari e che il terreno non abbia resistenza a trazione. Ne consegue che il diagramma delle tensioni di contatto venga calcolato con le consuete formule per sezioni non reagenti a trazione soggette a presso-flessione.

Di seguito si riportano i calcoli effettuati in coerenza con quanto prescritto dalle NTC 2008 al § 6.4.2.1.

| Caratteristiche Terreno di posa da Tab. 6.2.II NTC 2008 |       | Coeff. M1 | Coeff. M2 |
|---|-------|-----------|-----------|
| $\gamma$<br>[KN/m <sup>3</sup> ]                        | 18,00 | 1,00      | 1,00      |
| C<br>[KPa]  | 0,00  | 1,00      | 1,25      |
| $\phi$<br>[°]   | 28,00 | 1,00      | 1,25      |

| Combinazioni geotecniche resistenze Tab. 6.4.I NTC 2008 | R1   | R2   | R3   |
|---|------|------|------|
| Capacità portante fondazione                            | 1,00 | 1,80 | 2,30 |
| Scorrimento   | 1,00 | 1,10 | 1,10 |

Schema Sistema di Riferimento



| Dati Geometrici              |                     |                |                        |   |
|------------------------------|---------------------|----------------|------------------------|---|
| D                            | 0,20                | m              |                        | Profondità del Piano di Posa  |
| B                            | 4,20                | m              |                        | Larghezza dell'impronta della fondazione  |
| L                            | 8,20                | m              |                        | Lunghezza dell'impronta della fondazione  |
| A                            | 34,44               | m <sup>2</sup> |                        | Area dell'impronta della fondazione   |
| W <sub>x</sub>               | 24,11               | m <sup>3</sup> |                        | Modulo di Resistenza dell'impronta della fondazione $W_x = L \cdot B^2 / 6$   |
| W <sub>y</sub>               | 47,07               | m <sup>3</sup> |                        | Modulo di Resistenza dell'impronta della fondazione $W_y = B \cdot L^2 / 6$   |
| L' <sub>A1_STR</sub>         | 8,15                | m              | $L' = L - 2 \cdot e_x$ |   |
| L' <sub>A2_GEO</sub>         | 8,15                | m              |                        |   |
| B' <sub>A1_STR</sub>         | 4,19                | m              | $B' = B - 2 \cdot e_y$ |   |
| B' <sub>A2_GEO</sub>         | 4,19                | m              |                        |   |
|                              |                     |                | M1                     | M2  |
| Fattori di Capacità Portante | N <sub>c</sub>      | 25,80          | 17,34                  | $N_c = (N_q - 1) \cdot \text{ctg}\phi$  |
|                              | N <sub>q</sub>      | 14,72          | 8,15                   | $N_q = e^{\pi \cdot \text{tg}\phi} \cdot \text{tg}^2(\pi/4 + \phi/2)$   |
|                              | N <sub>\gamma</sub> | 10,94          | 4,42                   | $N_\gamma = 1,5 \cdot (N_q - 1) \cdot \text{tg}\phi$  |
| Fattori di Forma             | s <sub>c</sub>      | 1,29           | 1,24                   | $s_c = 1 + (B'/L') \cdot (N_q/N_c)$   |
|                              | s <sub>q</sub>      | 1,27           | 1,21                   | $s_q = 1 + (B'/L') \cdot \text{tg}\phi$   |
|                              | s <sub>\gamma</sub> | 0,79           | 0,79                   | $s_\gamma = 1 - 0,4 \cdot (B'/L')$  |
| Fattori di Profondità        | d <sub>c</sub>      | 1,00           | 1,00                   | I Fattori di Profondità si pongono cautelativamente pari a 1 perché entrano in gioco solo se si vuole mettere in conto anche la resistenza a taglio del terreno sopra il piano di fondazione. |
|                              | d <sub>q</sub>      | 1,00           | 1,00                   |   |
|                              | d <sub>\gamma</sub> | 1,00           | 1,00                   |   |
| Fattori di Inclinazione      | i <sub>c</sub>      | 1,00           | 1,00                   | Formulazioni diverse a seconda che si tratti di argilla / sabbia e di condizioni drenate o no; a favore di sicurezza si assume un valore unitario   |
|                              | i <sub>q</sub>      | 1,00           | 1,00                   |   |
|                              | i <sub>\gamma</sub> | 1,00           | 1,00                   |   |



**PROGETTO DEFINITIVO**

**POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA**

**QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO - PAVIA**

**FASE I - QUADRUPPLICAMENTO MI ROGOREDO - PIEVE EMANUELE**

**RELAZIONE DI CALCOLO**

|          |       |          |            |      |          |
|----------|-------|----------|------------|------|----------|
| PROGETTO | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO  | REV. | FOGLIO   |
| NM0Z     | 10    | D 26 CL  | FA0000 001 | A    | 32 DI 33 |

| Azioni di Calcolo | F3<br>[kN] | M1 (Mx)<br>[kNm] | M2 (My)<br>[kNm] | e <sub>x</sub><br>[m] | e <sub>y</sub><br>[m] |
|-------------------|------------|------------------|------------------|-----------------------|-----------------------|
| SLU_A1_STR        | 1.034,72   | 7,27             | 26,78            | 0,03                  | 0,01                  |
| SLU_A2_GEO        | 862,23     | 5,60             | 20,60            | 0,02                  | 0,01                  |

|             |                |          | $E_d = \sigma_{max}$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] | $R_d = q_{lim}/\gamma_R$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] | FS    |
|-------------|----------------|----------|--|--|-------|
| Approccio 1 | Combinazione 1 | A1+M1+R1 | 0,031  | 0,39   | 12,78 |
|             | Combinazione 2 | A2+M2+R2 | 0,025  | 0,09   | 3,63  |
| Approccio 2 | Combinazione 1 | A1+M1+R3 | 0,031  | 0,17   | 5,56  |



**PROGETTO DEFINITIVO****POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA****QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO - PAVIA****FASE I - QUADRUPPLICAMENTO MI ROGOREDO - PIEVE EMANUELE****RELAZIONE DI CALCOLO**

| PROGETTO | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO  | REV. | FOGLIO   |
|----------|-------|----------|------------|------|----------|
| NM0Z     | 10    | D 26 CL  | FA0000 001 | A    | 33 DI 33 |

**10 CONCLUSIONI**

Si riepilogano di seguito le principali caratteristiche della platea realizzata per lo shelter e l'incidenza di armatura prevista:

Lato corto Shelter .....  $B_{\text{shelter}} = 3,00$  m

Lato lungo Shelter .....  $L_{\text{shelter}} = 7,00$  m

Altezza Shelter .....  $H_{\text{shelter}} = 3,00$  m

Profondità piano di posa rispetto al piano di calpestio esterno .....  $D = 20$  cm

Larghezza complessiva basamento .....  $B = 420$  cm

Lunghezza complessiva basamento .....  $L = 820$  cm

Spessore basamento .....  $s = 30$  cm

Incidenza Armature Fondazione .....  $110 \text{ kg/m}^3$