



Comune di Bologna



Sostenibilità  
è Bologna



RTI Progettisti:



## PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA DELLA PRIMA LINEA TRANVIARIA DI BOLOGNA (LINEA ROSSA)



Fondo per lo Sviluppo  
e la Coesione

Intervento finanziato con risorse  
FSC 2014-2020 – Piano operativo della Città  
metropolitana di Bologna  
Delibera CIPE n.75/2017



## Strutture Parcheggio interrato Via Manuzio Relazione Tecnica

COMUNE DI BOLOGNA  
SETTORE MOBILITA' SOSTENIBILE E INFRASTRUTTURE

IL DIRETTORE DEL SETTORE

ING. CLETO CARLINI

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

ING. GIANCARLO SGUBBI

IL DIRETTORE DELL'ESECUZIONE DEL CONTRATTO

ING. MIRKA RIVOLA

SEGRETERIA TECNICA

ING. BARBARA BARALDI

GEOM. AGNESE FERRO

RESPONSABILE DI COMMESSA

ING. PAOLO MARCHETTI

RESPONSABILE INTEGRAZIONE  
PRESTAZIONI SPECIALISTICHE

ING. SANTI CAMINITI

Gruppo di Progettazione:

Ing. Alessandro Piazza (Coordinatore Tecnico)  
Ing. Santi Caminiti (Progetto sistemi tranviari)  
Ing. Andrea Spinosa (Studi Trasportistici)  
Arch. Sebastiano Fulci De Sarno (Prog. Architettonico e Inser. Urbanistico)  
Ing. Sergio Di Nicola (Sovrastruttura Tranviaria)  
Ing. Jeremie Weiss (Impianti Tecnologici)  
Ing. Maurizio Falzea (Progettazione Funzionale Depositi)  
Ing. Pietro Caminiti (Viabilità Interferente)  
Ing. Stefano Tortella (Opere Strutturali)  
Ing. Andrea Carlucci (Esperto Impianti Elettro-ferroviari)  
Ing. Domenico D'Apollonio (Impianti di Trazione Elettrica)  
Ing. Francesco Azzarone (Impianti Meccanici)  
Arch. Sergio Moscheo (Prime Disposizioni per la Sicurezza)  
Ing. Boris. Rowenczyn (Piani Economici e Finanziari)  
Prof. Matteo Mattioli (Valutazione impatto ambientale e impatto acustico)

COMMESSA

B381

FASE

SF

DISCIPLINA

STR

TIPO/NUMERO

RT003

REV.

A

SCALA

—

NOME FILE

B381-SF-STR-RT003-A.dwg

| REV. | DATA       | DESCRIZIONE | REDATTO  | VERIFICATO | APPROVATO   |
|------|------------|-------------|----------|------------|-------------|
| 0    | 12-06-2019 | EMISSIONE   | TORTELLA | TORTELLA   | S. CAMINITI |
| 1    |            |             |          |            |             |
| 2    |            |             |          |            |             |

## Sommario

|  |    |
|--|----|
| <b>1. GENERALITÀ</b> .....   | 3  |
| <b>2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO</b> .....   | 6  |
| 2.1.1 <i>Opere in c.a.</i> .....   | 6  |
| <b>3. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI</b> .....                                    | 8  |
| 3.1.1 <i>Calcestruzzo per magrone</i> .....                                      | 8  |
| 3.1.2 <i>Calcestruzzo</i> .....  | 8  |
| 3.1.3 <i>Acciaio per cemento armato</i> .....                                    | 9  |
| <b>4. PARAMETRI GEOTECNICI PER IL CALCOLO DELLE STRUTTURE</b> .....              | 10 |
| <b>5. ANALISI STRUTTURALE</b> .....  | 11 |
| 5.1.1 <i>Verifiche di resistenza</i> .....                                       | 11 |
| 5.1.2 <i>Verifiche agli stati limite di esercizio</i> .....                      | 12 |
| 5.1.2.1 <i>Definizione degli stati limite di fessurazione</i> .....              | 12 |
| 5.1.2.2 <i>Condizioni ambientali</i> .....                                       | 12 |
| 5.1.2.3 <i>Sensibilità delle armature alla corrosione</i> .....                  | 13 |
| 5.1.2.4 <i>Scelta degli stati limite di fessurazione</i> .....                   | 13 |
| 5.1.2.5 <i>Verifiche per sollecitazioni che provocano tensioni normali</i> ..... | 14 |
| 5.1.2.6 <i>Verifiche delle tensioni in esercizio</i> .....                       | 15 |
| 5.1.2.7 <i>Analisi dei carichi</i> .....   | 15 |
| 5.1.2.8 <i>Sisma</i> .....   | 16 |
| 5.1.2.9 <i>Combinazioni di carico</i> .....                                      | 20 |
| <b>6. MODELLAZIONE STRUTTURALE</b> .....   | 21 |
| 6.1.1 <i>Parcheggio interrato</i> .....  | 21 |
| 6.1.2 <i>Paratia</i> .....   | 22 |
| <b>7. RISULTATI DELLE ANALISI</b> .....  | 24 |
| 7.1.1 <i>Parcheggio interrato</i> .....  | 24 |

---

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 7.1.2 | <i>Paratia</i> .....   | 32 |
| 8.    | VERIFICHE STRUTTURALI.....   | 38 |
| 8.1.1 | <i>Parcheggio interrato – Pilastro</i> .....                               | 38 |
| 8.1.2 | <i>Parcheggio interrato – Punzonamento soletta superiore</i> .....         | 40 |
| 8.1.3 | <i>Parcheggio interrato – Verifica a flessione soletta superiore</i> ..... | 43 |
| 8.1.4 | <i>Parcheggio interrato – Verifica capacità portante del terreno</i> ..... | 44 |
| 8.1.5 | <i>Verifica paratia in fase definitiva</i> .....                           | 45 |

## 1. GENERALITÀ

La presente relazione riguarda il parcheggio interrato previsto in Via Manuzio. Si riportano di seguito alcune immagini rappresentative dell'intervento.



Figura 1 - Planimetria di inquadramento dell'opera

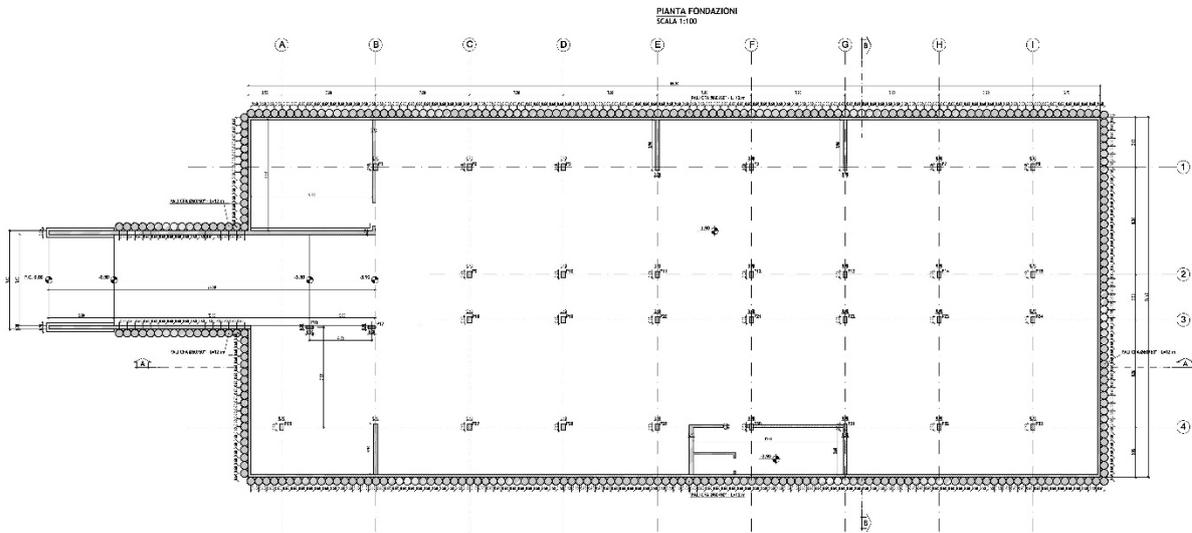


Figura 2 – Pianta fondazioni

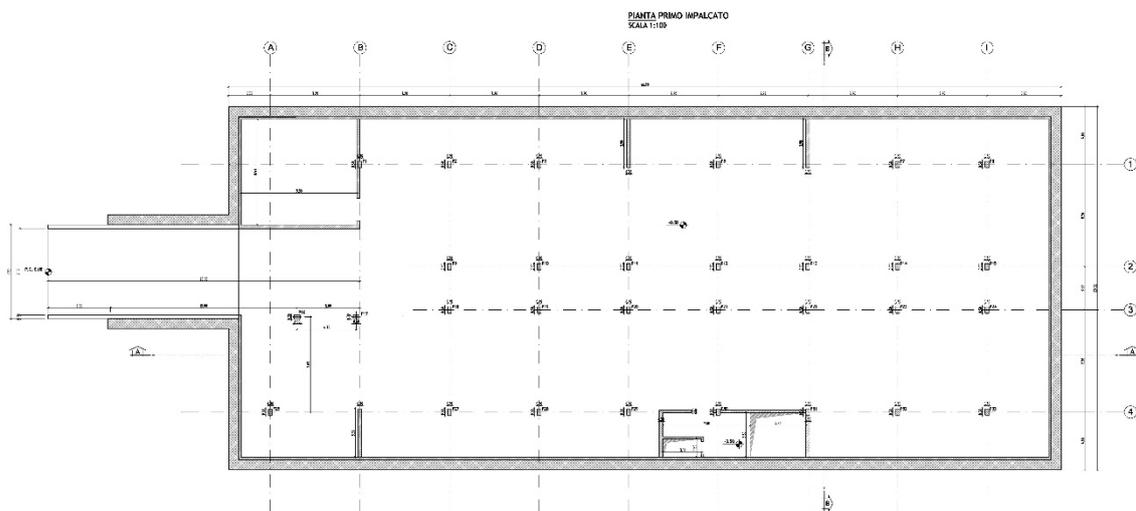


Figura 3 – Pianta primo impalcato

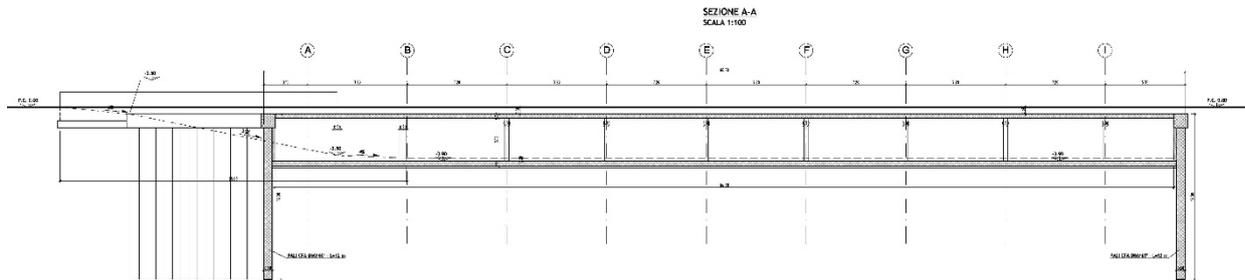


Figura 4 – Sezione longitudinale

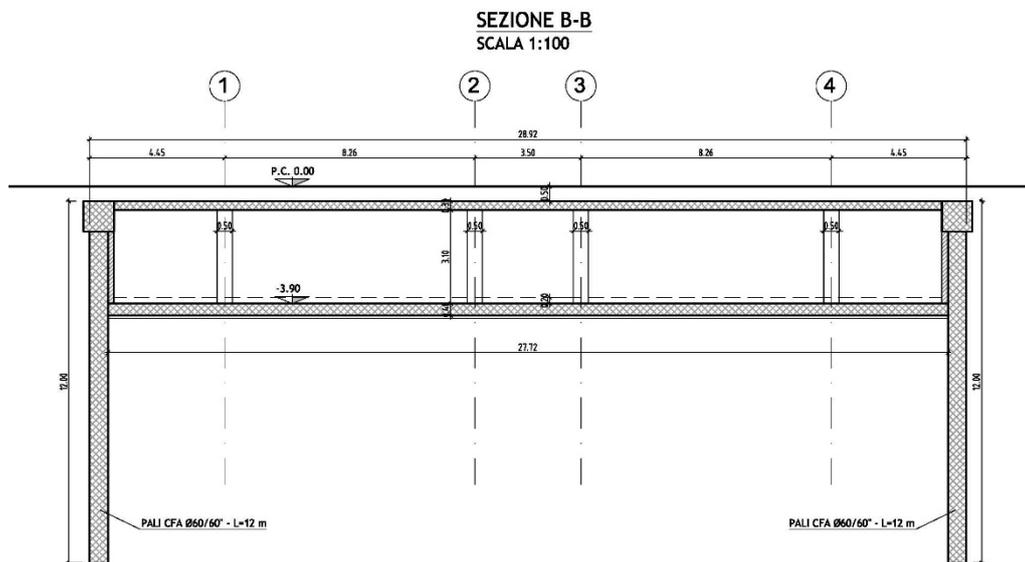


Figura 5 – Sezione trasversale

## 2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

---

I calcoli e le disposizioni esecutive sono conformi alle norme attualmente in vigore.

### 2.1.1 OPERE IN C.A.

- Legge 5 novembre 1971 n. 1086 - Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica
- Circ. Min. LL.PP.14 Febbraio 1974, n. 11951 – Applicazione della L. 5 novembre 1971, n. 1086
- Legge 2 febbraio 1974 n. 64, recante provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche
- D. M. Min. Il. TT. 17 gennaio del 2018 – Norme tecniche per le costruzioni
- UNI EN 1990 (Eurocodice 0) – Aprile 2006: “Criteri generali di progettazione strutturale”
- UNI EN 1991-2-4 (Eurocodice 1) – Agosto 2004 – Azioni in generale: “Pesi per unità di volume, pesi propri e sovraccarichi per gli edifici”
- UNI EN 1991-1-1 (Eurocodice 1) – Agosto 2004 – Azioni in generale- Parte 1-1: “Pesi per unità di volume, pesi propri e sovraccarichi per gli edifici”
- UNI EN 1991-2 (Eurocodice 1) – Marzo 2005 – Azioni sulle strutture- Parte 2: “Carico da traffico sui ponti”
- UNI EN 1992-1-1 (Eurocodice 2) – Novembre 2005: “Progettazione delle strutture di calcestruzzo – Parte 1-1: “Regole generali e regole per gli edifici”
- UNI EN 1992-2 (Eurocodice 2) – Gennaio 2006: “Progettazione delle strutture di calcestruzzo – Parte 2: “Ponti in calcestruzzo - progettazione e dettagli costruttivi”
- UNI EN 1997-1 (Eurocodice 7) – Febbraio 2005: “Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali”;
- UNI EN 1998-1 (Eurocodice 8) – Marzo 2005: “Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 1: Regole generali – Azioni sismiche e regole per gli edifici”
- UNI EN 1998-5 (Eurocodice 8) – Gennaio 2005: “Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 2: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici”
- Linee guida sul calcestruzzo strutturale - Presidenza del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici - Servizio Tecnico Centrale
- UNI EN 197-1 giugno 2001 – “Cemento: composizione, specificazioni e criteri di conformità per cementi comuni”



Comune di Bologna

SERVIZIO DI PROGETTAZIONE DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA DELLA  
PRIMA LINEA TRANVIARIA DI BOLOGNA (LINEA ROSSA)

CIG 7499621308 - CUP F32E18000020001



Sostenibilità  
è Bologna

- 
- UNI EN 11104 marzo 2004 – “Calcestruzzo: specificazione, prestazione, produzione e conformità”, Istruzioni complementari per l’applicazione delle EN 206-1
  - UNI EN 206-1 ottobre 2006 – “Calcestruzzo: specificazione, prestazione, produzione e conformità”

### 3. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Per la realizzazione dell'opera è previsto l'impiego dei sottoelencati materiali.

#### 3.1.1 CALCESTRUZZO PER MAGRONE

Per il magrone di sottofondazione si prevede l'utilizzo di calcestruzzo di classe Rck 15.

#### 3.1.2 CALCESTRUZZO

1) Per la realizzazione della platea di fondazione e dei muri interrati si prevede l'utilizzo di calcestruzzo in classe Rck  $\geq 35$  N/mm<sup>2</sup>, che presenta le seguenti caratteristiche:

|   |  |
|---|--|
| Resistenza a compressione (cilindrica)                          | $f_{ck} = 0.83 \cdot R_{ck} = 29.05$ N/mm <sup>2</sup>                     |
| Resistenza di calcolo a compressione<br>16.46 N/mm <sup>2</sup> | $f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c = 0.85 \cdot f_{ck} / 1.5 =$ |
| Resistenza a trazione media                                     | $f_{ctm} = 0.30 \cdot f_{ck}^{2/3} = 2.83$ N/mm <sup>2</sup>               |
| Resistenza a trazione   | $f_{ctk} = 0.7 \cdot f_{ctm} = 1.981$ N/mm <sup>2</sup>                    |
| Resistenza a trazione di calcolo                                | $f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c = 1.321$ N/mm <sup>2</sup>                   |
| Resistenza a compressione (comb. Rara)                          | $\sigma_c = 0.60 \cdot f_{ck} = 16.80$ N/mm <sup>2</sup>                   |
| Resistenza a compressione (comb. Quasi Permanente)              | $\sigma_c = 0.45 \cdot f_{ck} = 13.07$ N/mm <sup>2</sup>                   |

2) Per la realizzazione della soletta di copertura si prevede l'utilizzo di calcestruzzo in classe Rck  $\geq 37$  N/mm<sup>2</sup>, che presenta le seguenti caratteristiche:

|   |  |
|---|--|
| Resistenza a compressione (cilindrica)                          | $f_{ck} = 0.83 \cdot R_{ck} = 30.71$ N/mm <sup>2</sup>                     |
| Resistenza di calcolo a compressione<br>17.40 N/mm <sup>2</sup> | $f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c = 0.85 \cdot f_{ck} / 1.5 =$ |
| Resistenza a trazione media                                     | $f_{ctm} = 0.30 \cdot f_{ck}^{2/3} = 2.94$ N/mm <sup>2</sup>               |
| Resistenza a trazione   | $f_{ctk} = 0.7 \cdot f_{ctm} = 2.06$ N/mm <sup>2</sup>                     |
| Resistenza a trazione di calcolo                                | $f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c = 1.37$ N/mm <sup>2</sup>                    |
| Resistenza a compressione (comb. Rara)                          | $\sigma_c = 0.60 \cdot f_{ck} = 18.43$ N/mm <sup>2</sup>                   |
| Resistenza a compressione (comb. Quasi permanente)              | $\sigma_c = 0.45 \cdot f_{ck} = 13.82$ N/mm <sup>2</sup>                   |

3) Per la realizzazione dei pali CFA si prevede l'utilizzo di calcestruzzo in classe Rck  $\geq 30$  N/mm<sup>2</sup>, che presenta le seguenti caratteristiche:

|  |   |
|--|---|
| Resistenza a compressione (cilindrica) | $f_{ck} = 0.83 \cdot R_{ck} = 24.9$ N/mm <sup>2</sup> |
|--|---|

|   |  |
|---|--|
| Resistenza di calcolo a compressione<br>14.11 N/mm <sup>2</sup> | $f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c = 0.85 \cdot f_{ck} / 1.5 =$ |
| Resistenza a trazione media                                     | $f_{ctm} = 0.30 \cdot f_{ck}^{2/3} = 2.56 \text{ N/mm}^2$                  |
| Resistenza a trazione   | $f_{ctk} = 0.7 \cdot f_{ctm} = 1.79 \text{ N/mm}^2$                        |
| Resistenza a trazione di calcolo                                | $f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c = 1.19 \text{ N/mm}^2$                       |
| Resistenza a compressione (comb. Rara)                          | $\sigma_c = 0.60 \cdot f_{ck} = 14.94 \text{ N/mm}^2$                      |
| Resistenza a compressione (comb. Quasi permanente)              | $\sigma_c = 0.45 \cdot f_{ck} = 11.21 \text{ N/mm}^2$                      |

### 3.1.3 ACCIAIO PER CEMENTO ARMATO

Per le armature metalliche si adottano tondini in acciaio del tipo B450C controllato in stabilimento che presentano le seguenti caratteristiche:

| Proprietà   | Requisito                     |
|---|-------------------------------|
| Limite di snervamento $f_y$                       | $\geq 450 \text{ MPa}$        |
| Limite di rottura $f_t$                           | $\geq 540 \text{ MPa}$        |
| Allungamento totale al carico massimo<br>$A_{gt}$ | $\geq 7.5\%$                  |
| Rapporto $f_t/f_y$                                | $1,15 \leq R_m/R_e \leq 1,35$ |
| Rapporto $f_y \text{ misurato} / f_y \text{ nom}$ | $\leq 1,25$                   |

|  |  |
|--|--|
| Tensione di snervamento caratteristica           | $f_{yk} \geq 450 \text{ N/mm}^2$                       |
| Tensione caratteristica a rottura                | $f_{tk} \geq 540 \text{ N/mm}^2$                       |
| Tensione in condizione di esercizio (comb. Rara) | $\sigma_s = 0.80 \cdot f_{yk} = 360.00 \text{ N/mm}^2$ |
| Fattore di sicurezza acciaio                     | $\gamma_s = 1.15$                                      |
| Resistenza a trazione di calcolo                 | $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 391.30 \text{ N/mm}^2$   |

#### 4. PARAMETRI GEOTECNICI PER IL CALCOLO DELLE STRUTTURE

Per i valori relativi ai parametri geologici e geotecnici, si è fatto riferimento al documento B381-SF-GEO-RT001A. In particolare, per il manufatto oggetto della presente relazione si è fatto riferimento ai seguenti parametri:

| Prova      | Profondità da p.c. [m] | Prova SPT (n. colpi/15 cm) | Nspt | Litologia prevalente        |
|------------|------------------------|----------------------------|------|-----------------------------|
| 220080P458 | 3,00                   | 6-10-13                    | 23   | Argilla debolmente Sabbiosa |
|            | 6,00                   | 21-33-48                   | 81   | Ghiaia eterometrica         |
|            | 9,00                   | 50 – R/9cm                 | R    | Ghiaia eterometrica         |

Lo strato “Argilla debolmente sabbiosa” è così definita:

| UNITÁ A                                    |                         |
|--|-------------------------|
| Limi Argillosi                             |                         |
| Grado di addensamento                      | -                       |
| Peso di volume secco ( $\gamma_d$ )        | 19-20 kN/m <sup>3</sup> |
| Angolo di attrito mobilizzabile ( $\phi$ ) | 24°-27°                 |
| Coesione mobilizzabile (c)                 | 5-10 kPa                |

Lo strato “Ghiaia eterometrica” è così definita:

| UNITÁ C                                    |                         |
|--|-------------------------|
| Terreni ghiaiosi in matrice sabbiosa       |                         |
| Grado di addensamento                      | elevato                 |
| Peso di volume secco ( $\gamma_d$ )        | 19-21 kN/m <sup>3</sup> |
| Angolo di attrito mobilizzabile ( $\phi$ ) | 35°-32°                 |
| Coesione mobilizzabile (c)                 | 0 kPa                   |

## 5. ANALISI STRUTTURALE

### 5.1.1 VERIFICHE DI RESISTENZA

La verifica di resistenza delle sezioni nei vari elementi strutturali, viene condotta tenendo conto delle condizioni più gravose che si individuano dall'involuppo delle sollecitazioni agenti nelle diverse combinazioni di carico.

Le verifiche si basano sul concetto dei coefficienti di sicurezza parziali e considera una famiglia di combinazioni (indicata come A1-M1) generate con le seguenti modalità:

- caso A1-M1: in questo tipo di combinazioni vengono incrementati le azioni permanenti e variabili con i coefficienti ( $\gamma_G$ ,  $\gamma_Q$ ) e vengono lasciate inalterate le caratteristiche di resistenza del terreno. Le combinazioni ottenute sono rilevanti per stabilire la capacità strutturale delle opere che interagiscono con il terreno.

|    |             |               |                        |          |               |                          |
|----|-------------|---------------|------------------------|----------|---------------|--------------------------|
| M1 | $\tan\phi'$ | $\rightarrow$ | $\gamma_{\phi} = 1,00$ | $c_u$    | $\rightarrow$ | $\gamma_{c_u} = 1,00$    |
|    | $c'$        | $\rightarrow$ | $\gamma_c = 1,00$      | $\gamma$ | $\rightarrow$ | $\gamma_{\gamma} = 1,00$ |

Le combinazioni e i coefficienti moltiplicativi delle singole azioni vengono definiti in base a quanto indicato ai paragrafi 5.2.3.1.3. e 5.2.3.3. del *D.M.17/01/18*.

### 5.1.2 VERIFICHE AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO

#### 5.1.2.1 DEFINIZIONE DEGLI STATI LIMITE DI FESSURAZIONE

In ordine di severità crescente si distinguono i seguenti stati limite:

a) stato limite di decompressione nel quale, per la combinazione di azioni prescelta, la tensione normale è ovunque di compressione ed al più uguale a 0

b) stato limite di formazione delle fessure, nel quale, per la combinazione di azioni prescelta, la tensione normale di trazione nella fibra più sollecitata è:

$$\sigma_t \leq \frac{f_{ctk}}{\gamma_m}$$

c) stato limite di apertura delle fessure nel quale, per la combinazione di azioni prescelta, il valore limite di apertura della fessura calcolato al livello considerato è pari ad uno dei seguenti valori nominali:

$$w_1 = 0,2 \text{ mm}$$

$$w_2 = 0,3 \text{ mm}$$

$$w_3 = 0,4 \text{ mm}$$

Lo stato limite di fessurazione deve essere fissato in funzione delle condizioni ambientali e della sensibilità delle armature alla corrosione.

#### 5.1.2.2 CONDIZIONI AMBIENTALI

Le condizioni ambientali, ai fini della valutazione della durabilità delle strutture in calcestruzzo, possono essere suddivise in ordinarie, aggressive e molto aggressive in relazione a quanto indicato nella tabella seguente:

| CONDIZIONI AMBIENTALI | DESCRIZIONE  |
|-----------------------|--|
| Ordinarie             | Tutte le sollecitazioni escluse le successive  |
| Aggressive            | Ambiente aggressivo per cause naturali, caratterizzato da elevata umidità, scarso o nullo soleggiamento.   |
| Molto aggressive      | Ambiente molto aggressivo per cause antropiche, caratterizzato da presenza di liquidi o di aeriformi particolarmente corrosivi, ambiente marino. |

La tabella 4.1.III della N.T.C. raccoglie le classi di esposizione per ogni condizione ambientale:

| CONDIZIONI AMBIENTALI | CLASSE DI ESPOSIZIONE             |
|-----------------------|-----------------------------------|
| Ordinarie             | X0, XC1, XC2, XC3, XF1            |
| Agressive             | XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3 |
| Molto sggressive      | XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4      |

Nel caso in esame si considera l'opera sottoposta a condizioni ordinarie per quanto riguarda la platea di fondazione, i pali, i pilastri e i muri interrati, XC2 ed a condizioni sempre ordinarie per quanto riguarda la soletta superiore, XC1.

#### 5.1.2.3 SENSIBILITÀ DELLE ARMATURE ALLA CORROSIONE

Le armature si distinguono in due gruppi:

- armature sensibili
- armature poco sensibili

Appartengono al primo gruppo gli acciai da precompresso (con stato tensionale imposto). Appartengono al secondo gruppo gli acciai ordinari.

Le armature dello scatolare, oggetto della relazione, appartengono al gruppo delle armature poco sensibili.

#### 5.1.2.4 SCELTA DEGLI STATI LIMITE DI FESSURAZIONE

Nella tabella sottostante sono indicati i criteri di scelta dello stato limite di fessurazione con riferimento alle esigenze sopra riportate.

| Gruppi di esigenze | Condizioni ambientali | Combinazione di azioni | Armatura        |            |                |            |
|--------------------|-----------------------|------------------------|-----------------|------------|----------------|------------|
|                    |                       |                        | Sensibile       |            | Poco sensibile |            |
|                    |                       |                        | Stato limite    | $W_d$      | Stato limite   | $W_d$      |
| a                  | Ordinarie             | frequente              | ap. fessure     | $\leq W_2$ | ap. fessure    | $\leq W_3$ |
|                    |                       | quasi permanente       | ap. fessure     | $\leq W_1$ | ap. fessure    | $\leq W_2$ |
| b                  | Agressive             | frequente              | ap. fessure     | $\leq W_1$ | ap. fessure    | $\leq W_2$ |
|                    |                       | quasi permanente       | decompressione  | -          | ap. fessure    | $\leq W_1$ |
| c                  | Molto aggressive      | frequente              | formaz. fessure | --         | ap. fessure    | $\leq W_1$ |
|                    |                       | quasi permanente       | decompressione  | -          | ap. fessure    | $\leq W_1$ |

Le armature del strutture del parcheggio interrato, oggetto della presente relazione, appartengono al gruppo delle armature poco sensibili e si trovano in condizioni ambientali ordinarie.

Per la verifica dello stato limite di fessurazione si fa quindi riferimento ai limiti di apertura delle fessure  $w_2$  e  $w_3$ , rispettivamente pari a 0.4 e 0.3 mm per le azioni frequenti e quasi permanenti in condizioni aggressive.

#### 5.1.2.5 VERIFICHE PER SOLLECITAZIONI CHE PROVOCANO TENSIONI NORMALI

##### Stato limite di decompressione e di formazione delle fessure

Le tensioni sono calcolate in base alle caratteristiche geometriche e meccaniche della sezione omogeneizzata non fessurata.

##### Stato limite di apertura delle fessure

Il valore caratteristico di calcolo di apertura delle fessure ( $w_d$ ) non deve superare i valori nominali  $w_2, w_3$  secondo quanto riportato nella Tabella riportata in precedenza.

Il valore caratteristico di calcolo è dato da:

$$w_d = 1,7 \cdot w_m$$

dove  $w_m$  rappresenta l'ampiezza media delle fessure.

L'ampiezza media delle fessure ( $w_m$ ) è calcolata come prodotto della deformazione media delle barre d'armatura  $\varepsilon_{sm}$  per la distanza media tra le fessure  $\Delta_{sm}$  :

$$w_m = \varepsilon_{sm} \cdot \Delta_{sm}$$

Per il calcolo di  $\varepsilon_{sm}$  e  $\Delta_{sm}$  vanno utilizzati criteri consolidati riportati nella letteratura tecnica.  $\varepsilon_{sm}$  può essere calcolato tenendo conto dell'effetto del "tension stiffening" nel rispetto della limitazione:

$$\varepsilon_{sm} \geq 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s}$$

con  $\sigma_s$  tensione nell'acciaio dell'armatura tesa (per sezione fessurata) nelle condizioni di carico considerate ed  $E_s$  è il modulo elastico dell'acciaio.

#### 5.1.2.6 VERIFICHE DELLE TENSIONI IN ESERCIZIO

Valutate le azioni interne nelle varie parti della struttura, dovute alle combinazioni rare e quasi permanenti delle azioni, si calcolano le massime tensioni sia nel conglomerato cementizio sia nelle armature; si deve verificare che tali tensioni siano inferiori ai massimi valori consentiti di seguito riportati.

#### Verifica della tensione massima di compressione del conglomerato cementizio nelle condizioni di esercizio

La massima tensione di compressione del conglomerato cementizio  $\sigma_c$ , deve rispettare la limitazione seguente:

$$\sigma_c \leq 0.6 \cdot f_{ck} \text{ per la combinazione caratteristica (rara)}$$

$$\sigma_c \leq 0.4 \cdot 5f_{ck} \text{ per la combinazione quasi permanente}$$

#### Verifica della tensione massima dell'acciaio in condizioni di esercizio

Per l'acciaio, la tensione massima,  $\sigma_s$ , per effetto delle azioni dovute alle combinazioni rare deve rispettare la limitazione seguente:

$$\sigma_s \leq 0.8 \cdot f_{yk}$$

dove  $f_{yk}$  è la tensione caratteristica di snervamento dell'acciaio.

#### 5.1.2.7 ANALISI DEI CARICHI

##### **SOLETTA SUPERIORE**

Peso proprio (G1) = 7.5 kN/m<sup>2</sup>

Permanenti portati (G2) = 10 kN/m<sup>2</sup>

Accidentali (Cat. F – Parcheggi) = 2.5 kN/m<sup>2</sup>

##### **PLATEA DI FONDAZIONE**

Peso proprio (G1) = 10 kN/m<sup>2</sup>

Permanenti portati (G2) = 5 kN/m<sup>2</sup>

Accidentali (Cat. F – Parcheggi) = 2.5 kN/m<sup>2</sup>

##### **PALI CFA**

Sovraccarico superiore = 20 kN/m<sup>2</sup>

#### 5.1.2.8 SISMA

Nel presente progetto è stata verificata la combinazione di carico sismica con riferimento allo stato limite ultimo di salvaguardia della vita (SLV): a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della esistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali.

#### *Vita nominale*

La vita nominale di un'opera strutturale è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve poter essere usata per lo scopo al quale è destinata. Nel caso in oggetto, l'opera ricade all'interno del tipo di costruzione 2.

#### *Classi d'uso*

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un'eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso. Nel caso in oggetto si fa riferimento alla Classe II: "costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti [...]"

#### *Periodo di riferimento per l'azione sismica*

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento  $V_R$  che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale  $V_N$  per il coefficiente d'uso  $C_U$ . Tale coefficiente è funzione della classe d'uso e nel caso specifico assume valore unitario.

$$V_R = V_N \times C_U = 50 \text{ anni} \times 1.0 = 50 \text{ anni}$$

Le probabilità di superamento  $P_{VR}$  nel periodo di riferimento  $V_R$ , cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente, sono pari al 10% nel caso dello stato limite SLV.

#### *Azioni di progetto*

Le azioni di progetto si ricavano, ai sensi delle NTC, dalle accelerazioni  $a_g$  e dalle relative forme spettrali.

Le forme spettrali previste dalle NTC sono definite, su sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione dei tre parametri:

- $a_g$  accelerazione orizzontale massima del terreno;

- $F_0$  valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- $T_C^*$  periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Per ciascun nodo del reticolo di riferimento e per ciascuno dei periodi di ritorno  $T_R$  considerati dalla pericolosità sismica, i tre parametri si ricavano riferendosi ai valori corrispondenti al 50esimo percentile ed attribuendo ad:

- $a_g$  il valore previsto dalla pericolosità sismica;
- $F_0$  e  $T_C^*$  i valori ottenuti imponendo che le forme spettrali in accelerazione, velocità e spostamento previste dalle NTC scartino al minimo dalle corrispondenti forme spettrali previste dalla pericolosità sismica.

Le forme spettrali previste dalle NTC sono caratterizzate da prescelte probabilità di superamento e vite di riferimento. A tal fine occorre fissare:

- la vita di riferimento  $V_R$  della costruzione;
- le probabilità di superamento nella vita di riferimento  $P_{VR}$  associate agli stati limite considerati, per individuare infine, a partire dai dati di pericolosità sismica disponibili, le corrispondenti azioni sismiche.

I valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_C^*$  relativi alla pericolosità sismica su reticolo di riferimento nell'intervallo di riferimento sono forniti nelle tabelle riportate nell'ALLEGATO B delle NTC.

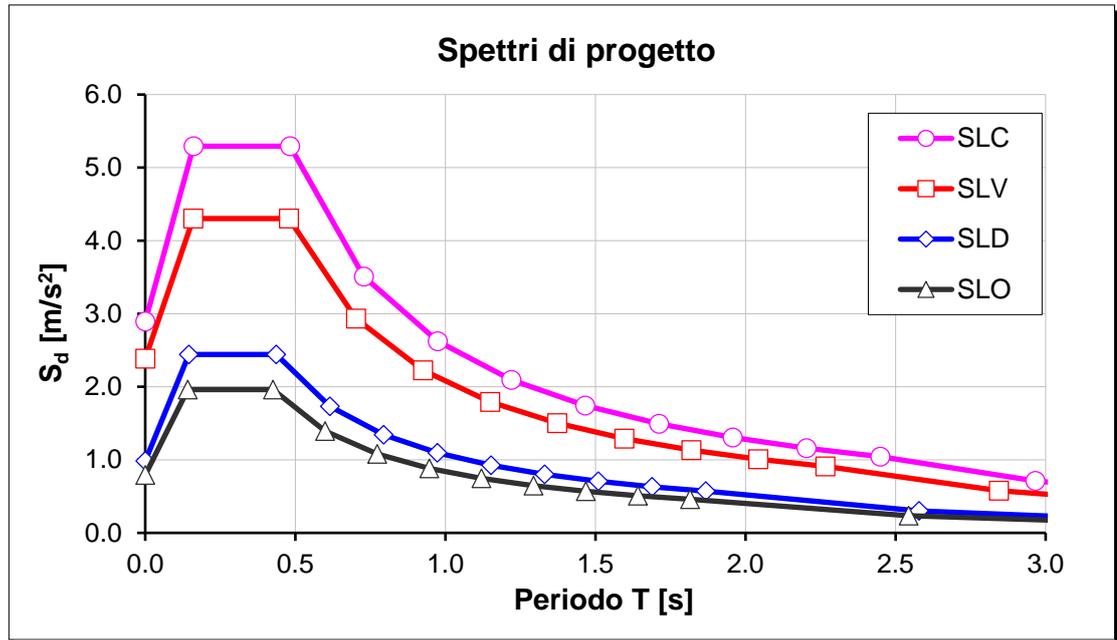
I punti del reticolo di riferimento sono definiti in termini di Latitudine e Longitudine ed ordinati a Latitudine e Longitudine crescenti, facendo variare prima la Longitudine e poi la Latitudine. L'accelerazione al sito  $a_g$  è espressa in  $g/10$ ;  $F_0$  è adimensionale,  $T_C^*$  è espresso in secondi.

In base alla natura del terreno e ai parametri individuati, il suolo presente è classificabile in Categoria C.



|                        |  |              |         |
|------------------------|--|--------------|---------|
| Coordinate geografiche | Latitudine [DEG sessadecimale]             | N            | 44.5075 |
|                        | Longitudine [DEG sessadecimale]            | E            | 11.3514 |
| Suolo e topografia     | Cat. suolo di fondazione (A,...E)          | C            |         |
|                        | Categoria topografica (T1,...T4)           | t1           |         |
|                        | Coeff. di amplificazione topografica       | $S_T$        | 1.0     |
| Varie                  | Vita nominale dell'opera (10, 50, 100)     | $V_N$ [anni] | 50      |
|                        | Classe d'uso (I, II, III, IV)              | II           |         |
|                        | Coefficiente d'uso                         | $C_U$        | 1.0     |
|                        | Periodo di riferimento                     | $V_R$ [anni] | 50      |
| Struttura              | Descrizione tipologia struttura            |              |         |
|                        | Classe di duttilità                        | CD           | B       |
|                        | Massimo fattore di struttura               | $q_0$        | 1.33    |
|                        | Coefficiente riduttivo per collasso pareti | $k_w$        | 1       |
|                        | Coefficiente riduttivo per regolarità      | $K_R$        | 1       |
|                        | Fattore di struttura                       | $q$          | 1.3     |
|                        | Coeff. di smorz. viscoso equivalente       | $\xi$        | 5%      |
|                        | Fattore di smorzamento viscoso             | $\eta$       | 1.00    |
|                        | Inverso fattore di struttura               | $1/q$        | 0.75    |

| DATI SPETTRALI                  |                               | Stati limite d'esercizio |       | Stati limite ultimi |       |
|---------------------------------|-------------------------------|--------------------------|-------|---------------------|-------|
|                                 |                               | SLO                      | SLD   | SLV                 | SLC   |
| Probabilità di superamento      | $P_{Vr}$                      | 81%                      | 63%   | 10%                 | 5%    |
| Periodo di ritorno              | $T_R$ [anni]                  | 30                       | 50    | 475                 | 975   |
| Accelerazione                   | $a_g$ [m/s <sup>2</sup> ]     | 0.528                    | 0.656 | 1.633               | 2.082 |
|                                 | $a_g/g$                       | 0.054                    | 0.067 | 0.166               | 0.212 |
| Fattore di amplificazione       | $F_0$                         | 2.478                    | 2.480 | 2.399               | 2.433 |
| Periodo in. velocità costante   | $T_C^*$ [s]                   | 0.260                    | 0.270 | 0.310               | 0.314 |
| Coefficiente di sottosuolo      | $C_C$                         | 1.64                     | 1.62  | 1.55                | 1.54  |
| Coeff. di amplif. stratigrafica | $S_S$                         | 1.50                     | 1.50  | 1.46                | 1.39  |
| Coefficiente di sito            | $S$                           | 1.50                     | 1.50  | 1.46                | 1.39  |
| Periodi                         | $T_B$ [s]                     | 0.142                    | 0.146 | 0.160               | 0.161 |
|                                 | $T_C$ [s]                     | 0.426                    | 0.437 | 0.479               | 0.483 |
|                                 | $T_D$ [s]                     | 1.815                    | 1.868 | 2.266               | 2.449 |
| Accelerazione massima           | $a_{max}$ [m/s <sup>2</sup> ] | 0.791                    | 0.985 | 2.385               | 2.894 |
|                                 | $a_{max}/g$                   | 0.081                    | 0.100 | 0.243               | 0.295 |
| Spostamento orizz. max          | $d_g$ [mm]                    | 15.3                     | 20.1  | 64.7                | 85.5  |
| Velocità orizz. max             | $v_g$ [m/s]                   | 0.05                     | 0.07  | 0.18                | 0.22  |



### 5.1.2.9 COMBINAZIONI DI CARICO

Sono state analizzate le combinazioni di carico agli stati limite ultimi per lo stato limite di resistenza della struttura (STR), facente riferimento ai coefficienti parziali A1.

Agli stati limite di esercizio si sono considerate le verifiche per le combinazioni rara, frequente e quasi permanente.

SLU:  $\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \Psi_0 \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \Psi_0 \cdot Q_{k3} + .$

SLE RARA:  $G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \Psi_0 \cdot Q_{k2} + \Psi_0 \cdot Q_{k3} + .$

SLE FREQUENTE:  $G_1 + G_2 + P + \Psi_1 \cdot Q_{k1} + \Psi_2 \cdot Q_{k2} + \Psi_2 \cdot Q_{k3} + .$

SLE QUASI PERMANENTE:  $G_1 + G_2 + P + \Psi_2 \cdot Q_{k1} + \Psi_2 \cdot Q_{k2} + \Psi_2 \cdot Q_{k3} + .$

SISMICA:  $E + G_1 + G_2 + P + \Psi_2 \cdot Q_{k1} + \Psi_2 \cdot Q_{k2} + .$

## 6. MODELLAZIONE STRUTTURALE

### 6.1.1 PARCHEGGIO INTERRATO

L'analisi della struttura in c.a. del parcheggio interrato è stata condotta con un programma agli elementi finiti (Midas/GEN 1.2) schematizzando la platea, i muri e la soletta superiore con elementi bidimensionali tipo "plate" e i pilastri come elementi tipo "beam".

Il terreno al di sotto della fondazione è stata schematizzata secondo uno schema alla Winkler mediante molle elastiche lineari; il coefficiente di Winkler è stato assunto pari a 2 daN/cm<sup>3</sup>.

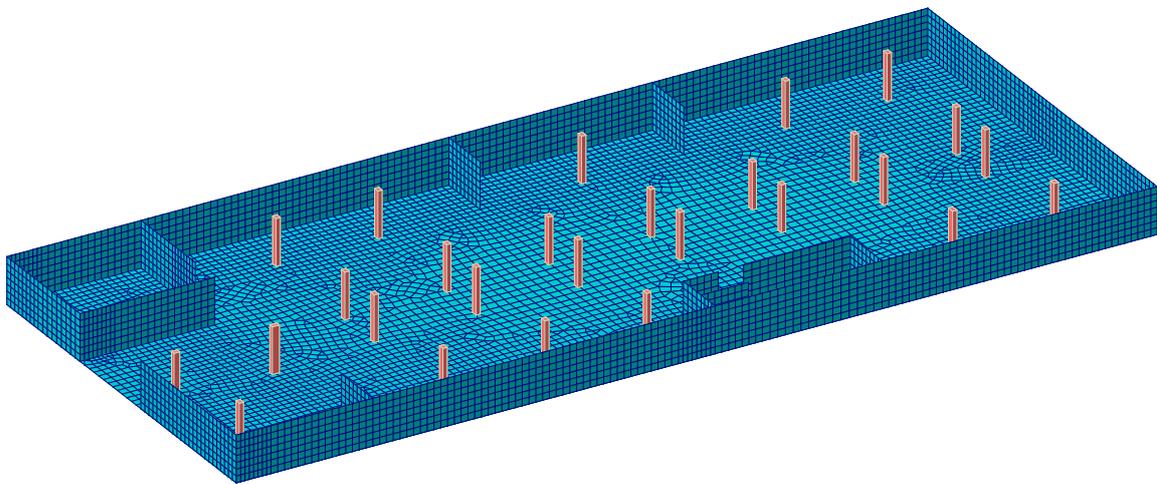


Figura 6 - Modello di Calcolo Utilizzato per il parcheggio interrato

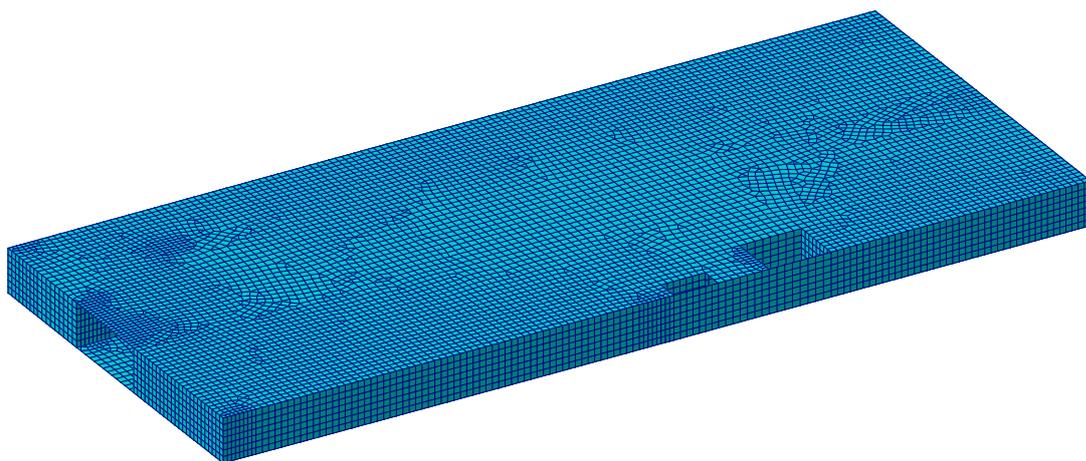


Figura 7 - Modello di Calcolo Utilizzato per il parcheggio interrato

### 6.1.2 PARATIA

L'analisi della paratia definitiva posta intorno ai muri interrati del parcheggio, costituita da pali in CFA (diametro 60 cm, interasse 60 cm, L=12 m), è stata condotta mediante il programma "Paratie Plus". La struttura è stata schematizzata come segue.

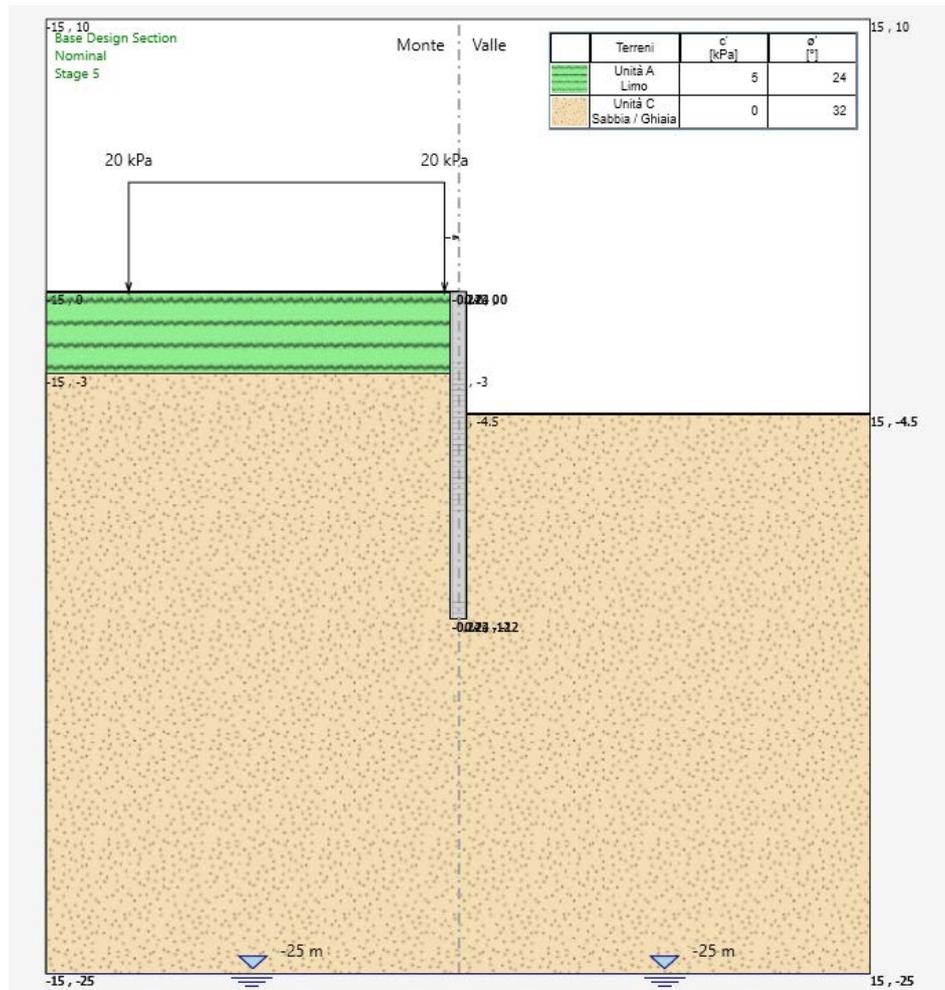


Figura 8 – Modello di calcolo utilizzato per la paratia

In fase provvisoria, la paratia è assimilabile ad una mensola con il compito di assorbire la spinta del terreno e il sovraccarico superiore.

In fase definitiva, in cui lo scavo è occupato dal parcheggio interrato, la paratia è contrastata sia dalla soletta superiore sia dalla platea di fondazione e affiancata da un muro in c.a.v.

In fase definitiva, quindi, lo schema di calcolo della paratia muta, non essendo la stessa più in grado di deformarsi. Pertanto, si è cautelativamente fatto riferimento ad uno schema appoggio-appoggio, con luce pari alla distanza tra solaio di copertura e platea di fondazione. In tali condizioni, l'incremento dinamico di spinta del terreno sotto l'azione sismica viene determinato col metodo di Wood. Tale metodo fornisce infatti la sovraspinta sismica del terreno su una parete interrata soggetta a deformazioni molto contenute, in situazioni prossime di spinta a riposo sia in condizioni statiche sia durante il sisma.

## 7. RISULTATI DELLE ANALISI

### 7.1.1 PARCHEGGIO INTERRATO

Si riportano nelle seguenti figure le azioni interne per la soletta superiore in c.a. nella combinazione di carico SLU e i valori di freccia per la combinazione di carico SLE rara.

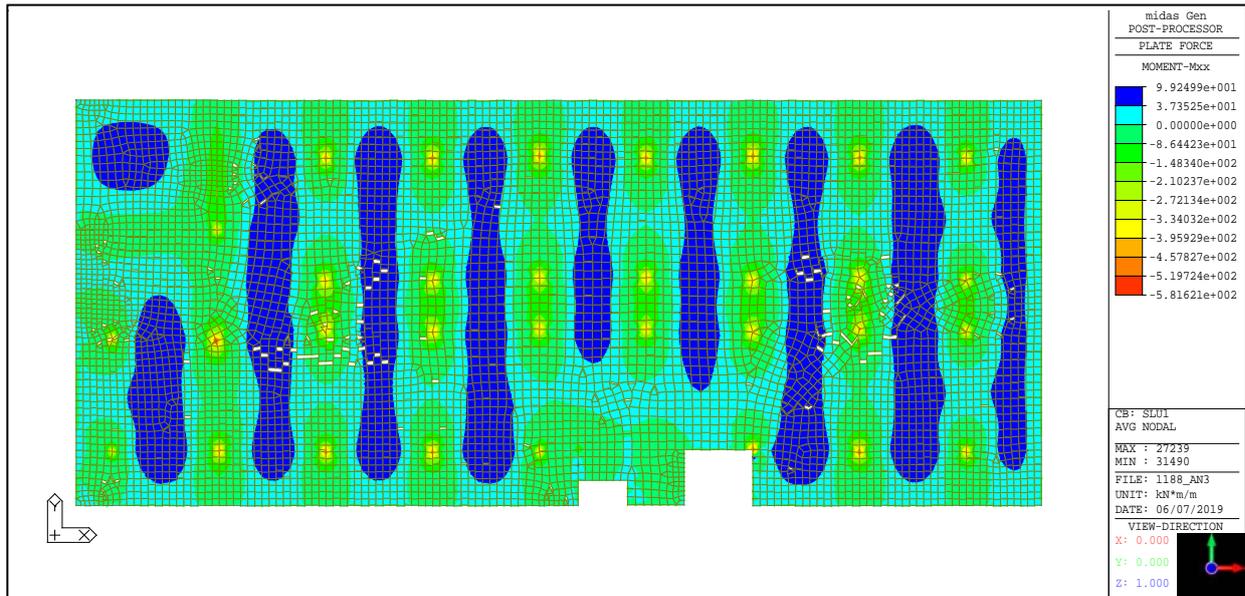


Figura 9 – Momenti  $M_{xx}$  in combinazione SLU

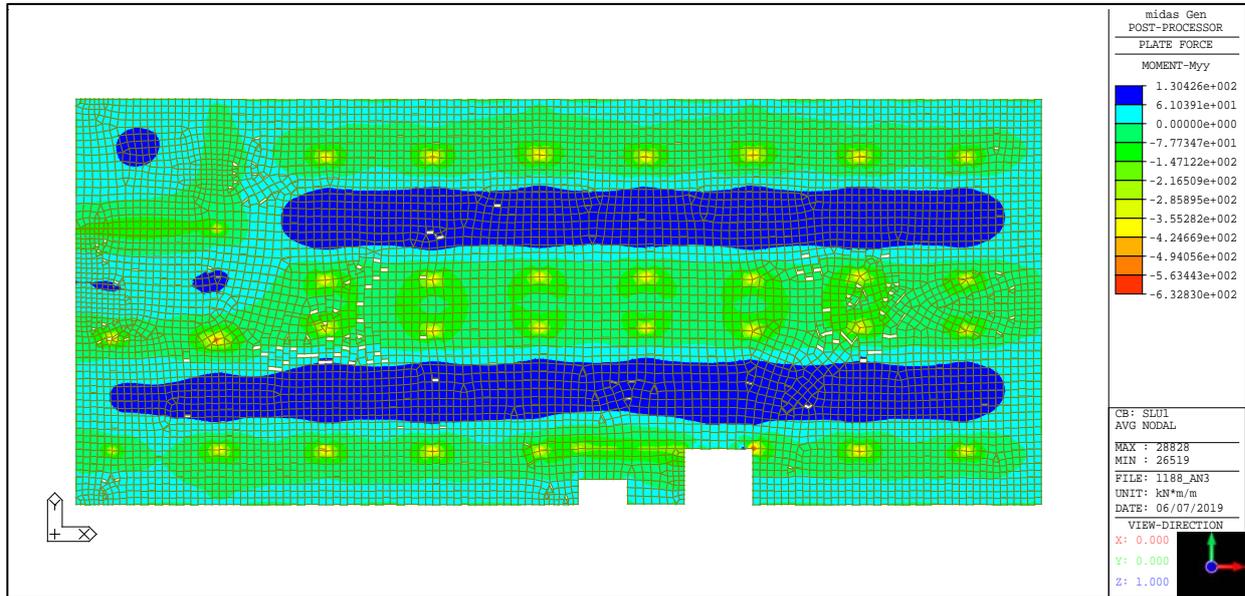


Figura 10 - Momenti  $M_{yy}$  in combinazione SLU

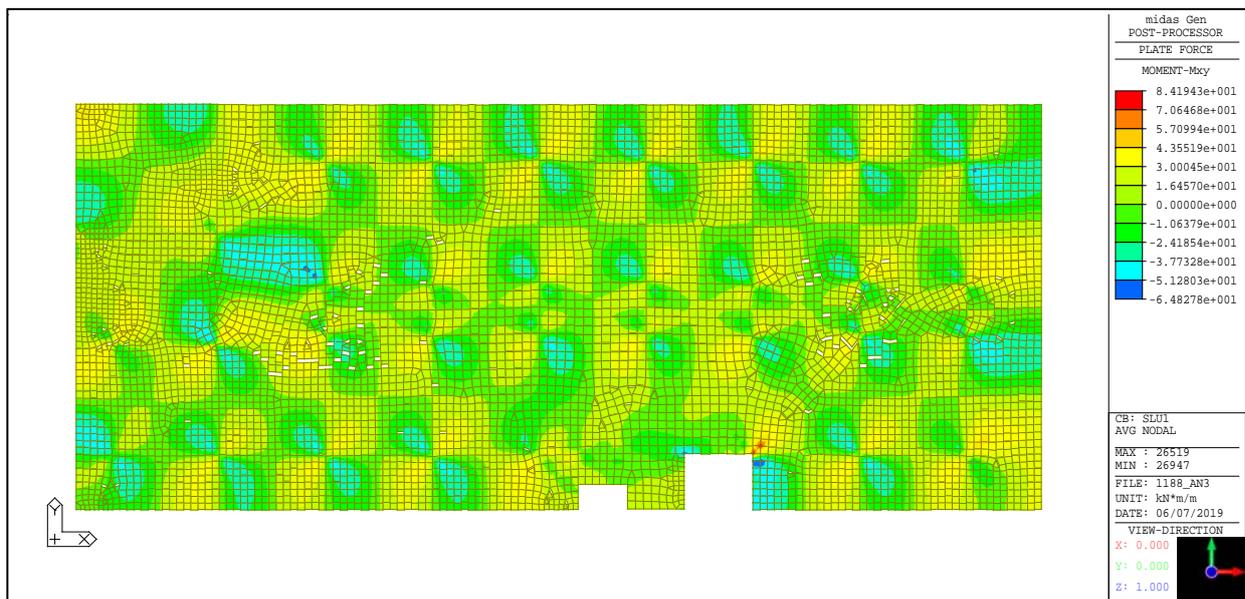


Figura 11 - Momenti  $M_{xy}$  in combinazione SLU

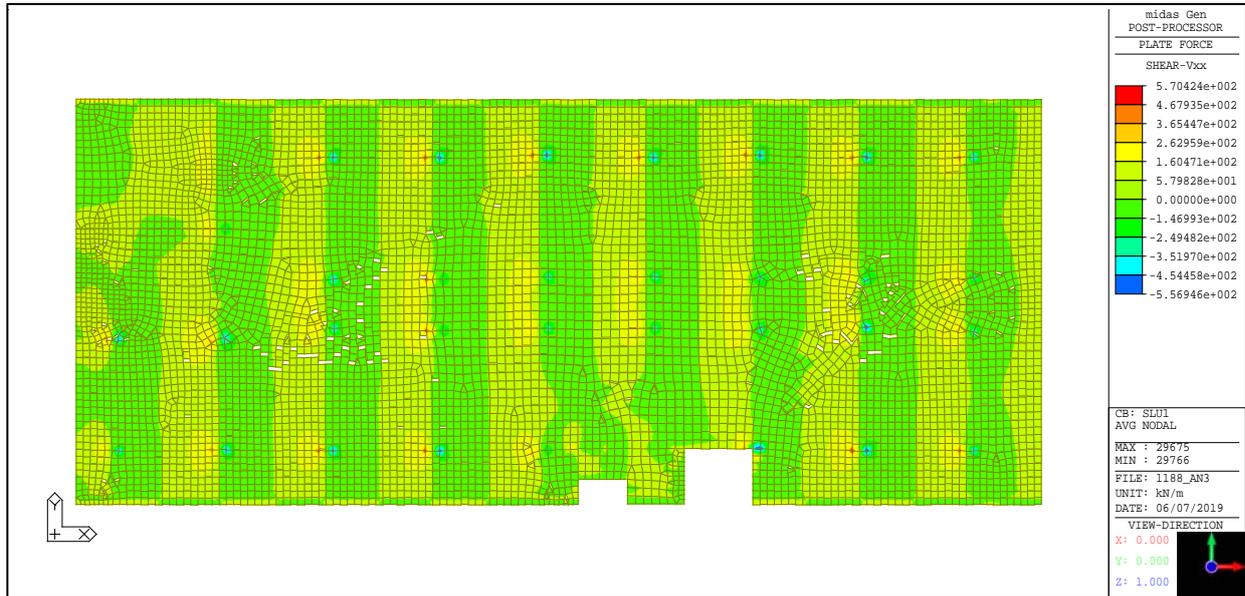


Figura 12 - Tagli  $V_{xx}$  in combinazione SLU

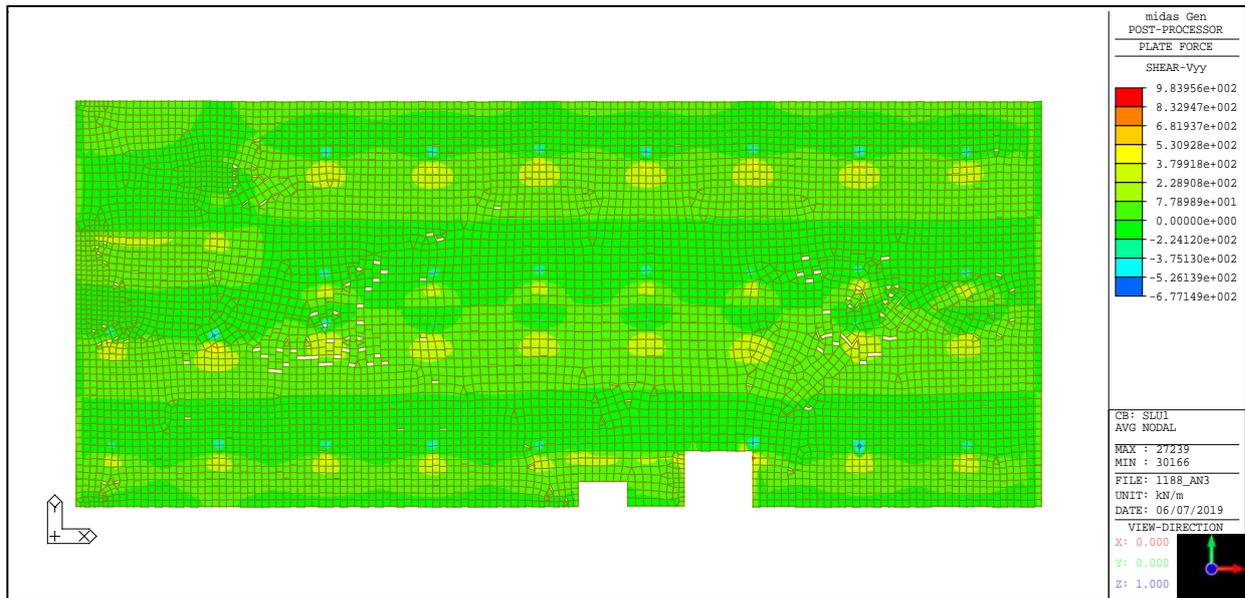


Figura 13 - Momenti  $V_{yy}$  in combinazione SLU

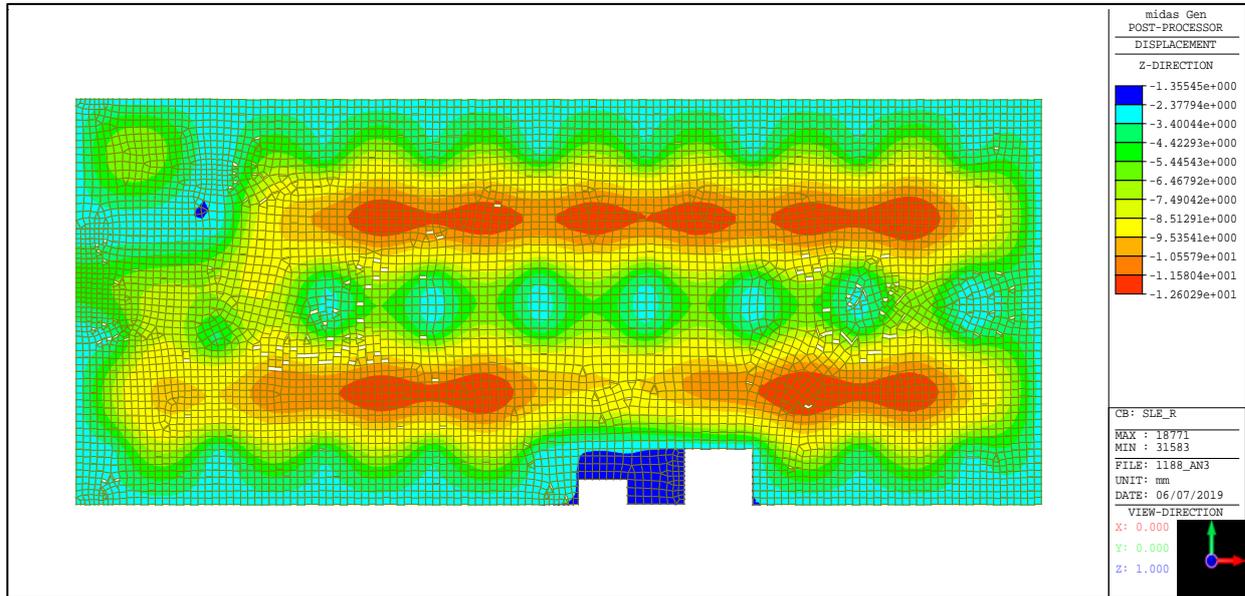


Figura 14 – Spostamenti in direzione z in combinazione SLE rara

Si riportano nelle seguenti figure le azioni interne per la platea di fondazione in c.a. nella combinazione di carico SLU e i valori di freccia per la combinazione di carico SLE rara.

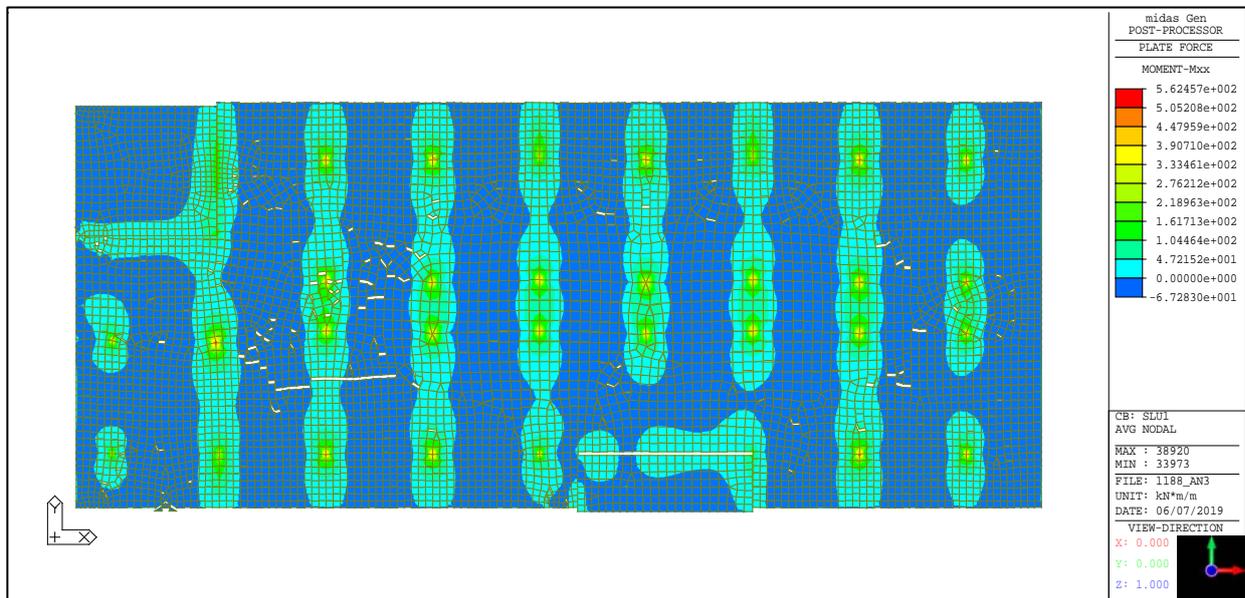


Figura 15 - Momenti  $M_{xx}$  in combinazione SLU

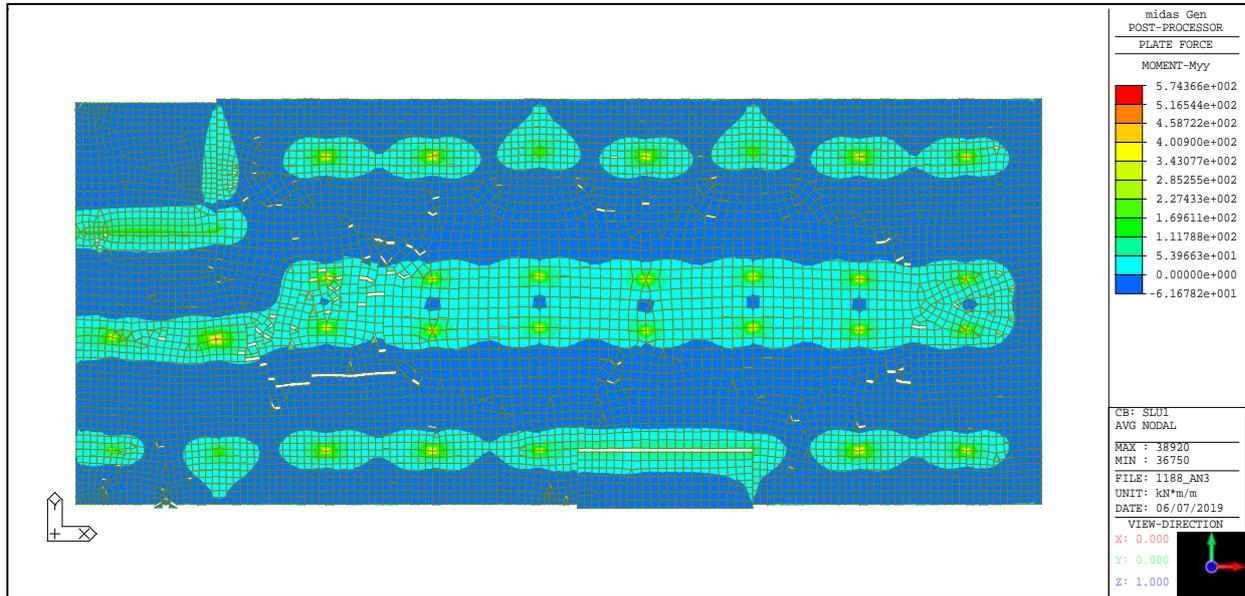


Figura 16 - Momenti  $M_{yy}$  in combinazione SLU

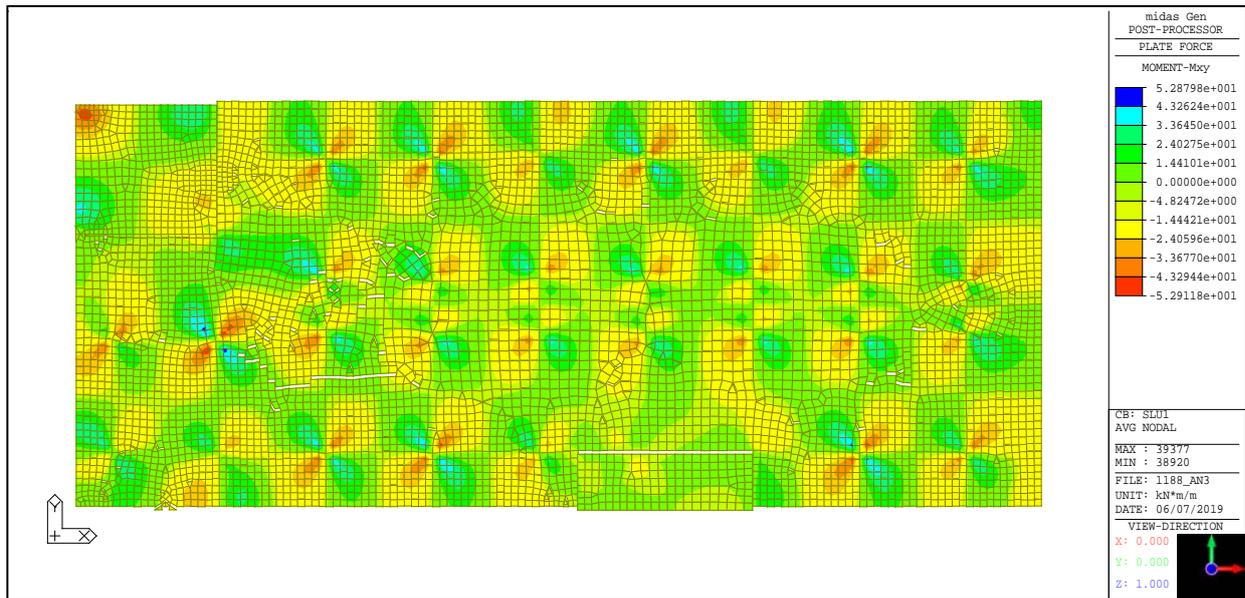


Figura 17 - Momenti  $M_{xy}$  in combinazione SLU

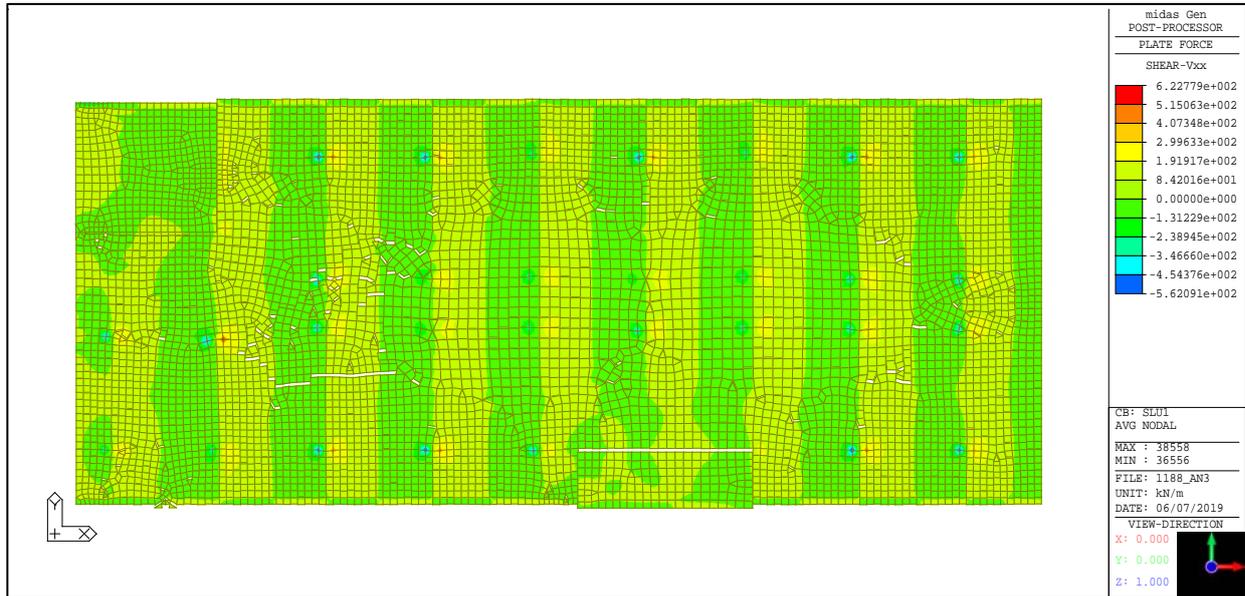


Figura 18 - Tagli  $V_{xx}$  in combinazione SLU

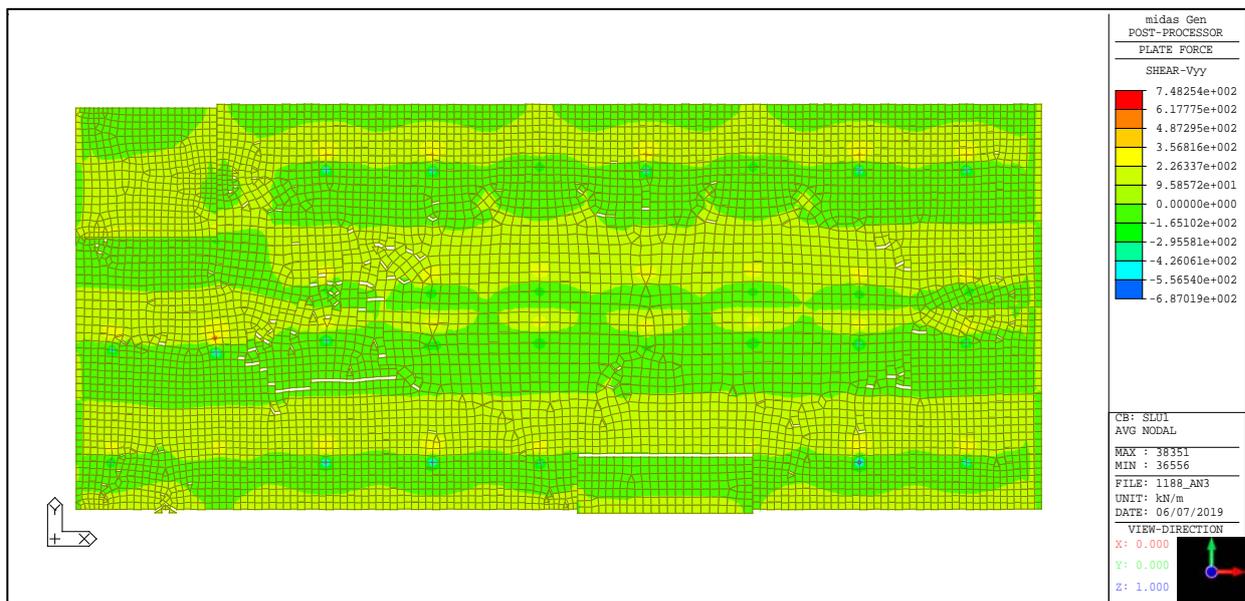


Figura 19 - Tagli  $V_{yy}$  in combinazione SLU

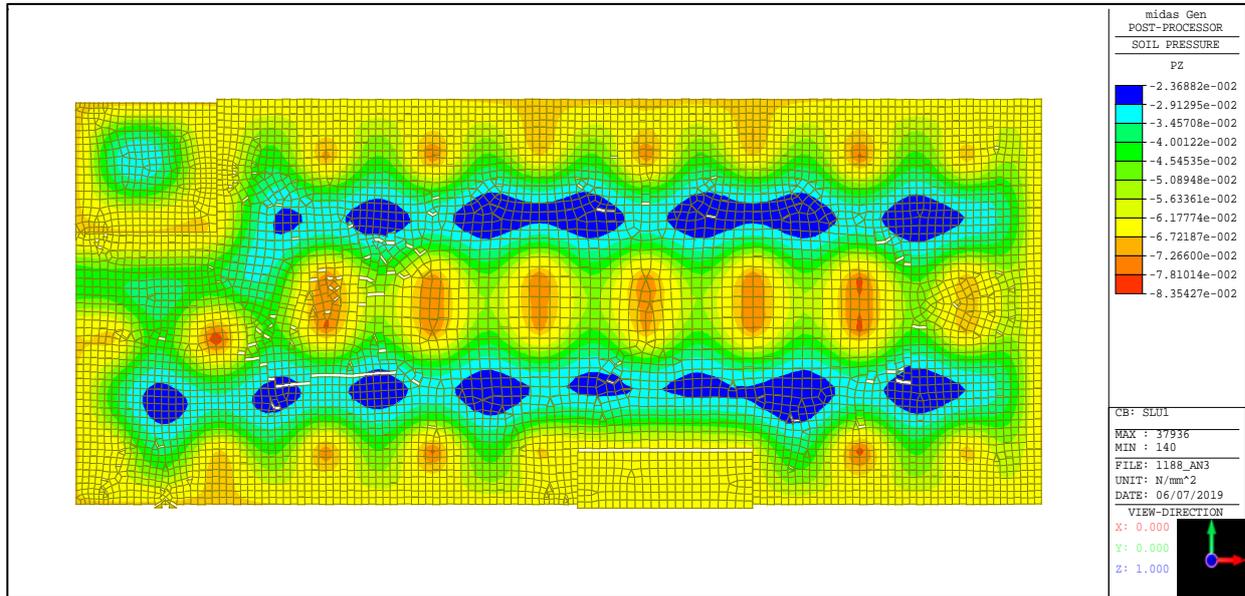


Figura 20 – Pressioni sul terreno in combinazione SLU

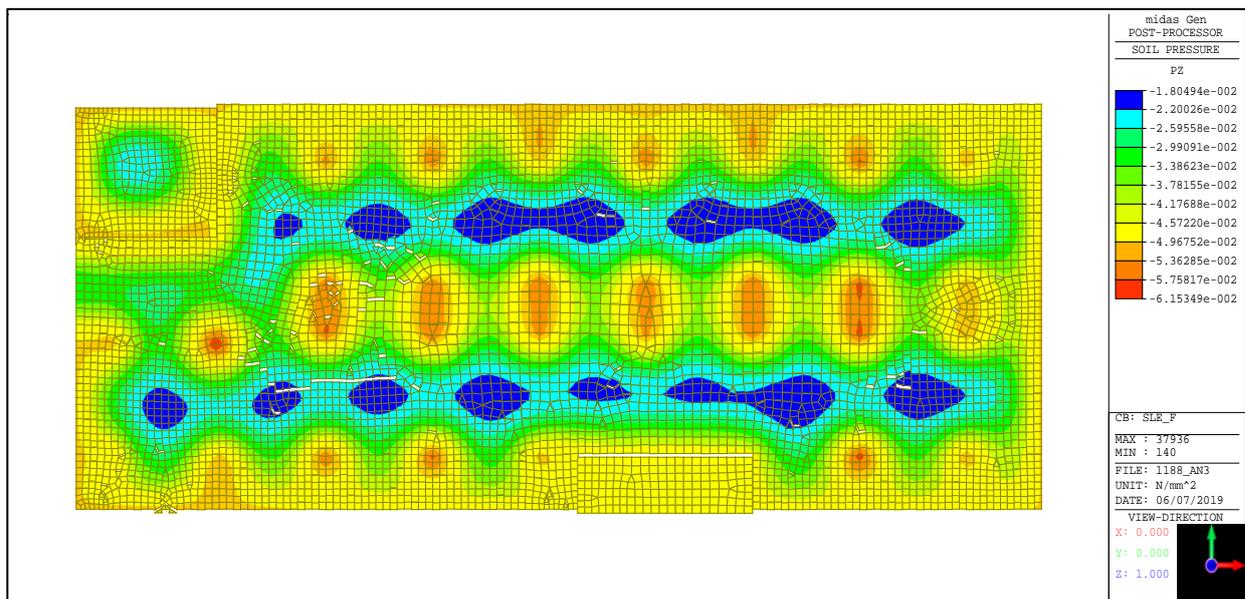


Figura 21 - Pressioni sul terreno in combinazione SLE frequente

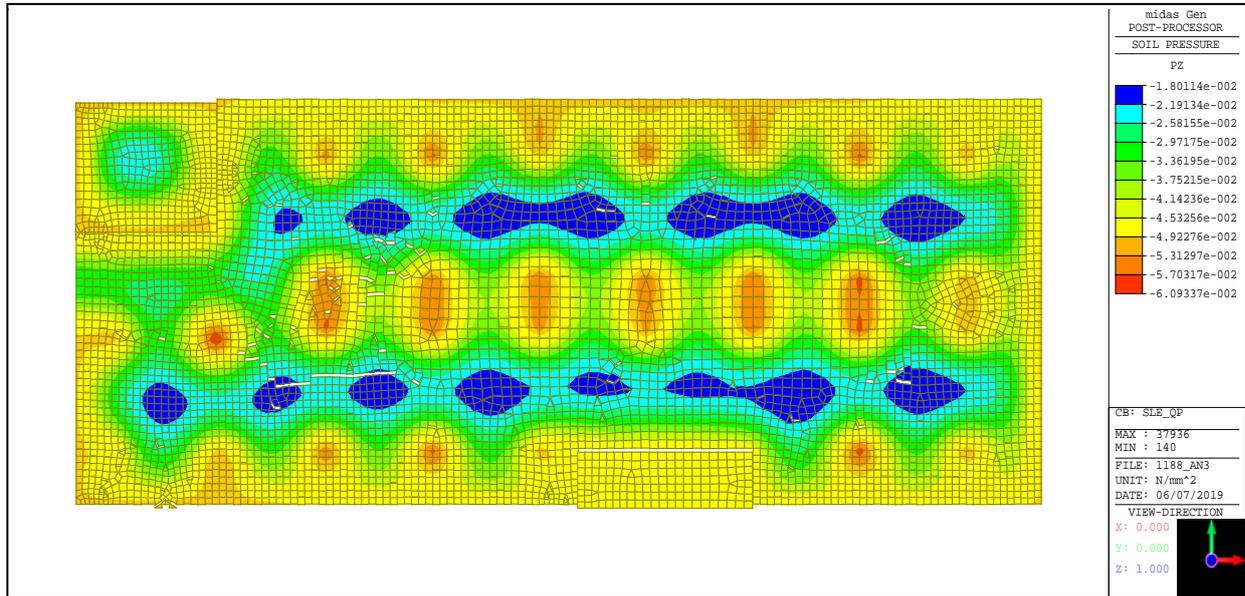


Figura 22 - Pressioni sul terreno in combinazione SLE quasi permanente

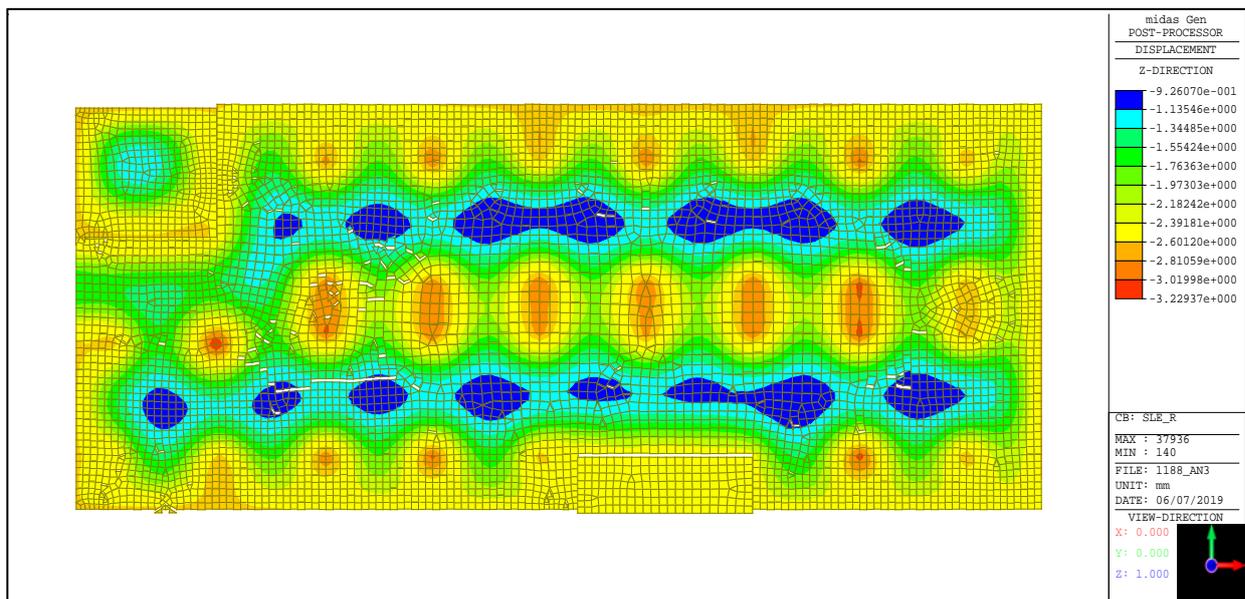


Figura 23 – Deformazioni platea in direzione z in combinazione SLE rara

Si riporta nella seguente figura l'azione assiale per i pilastri in c.a. in combinazione SLU.

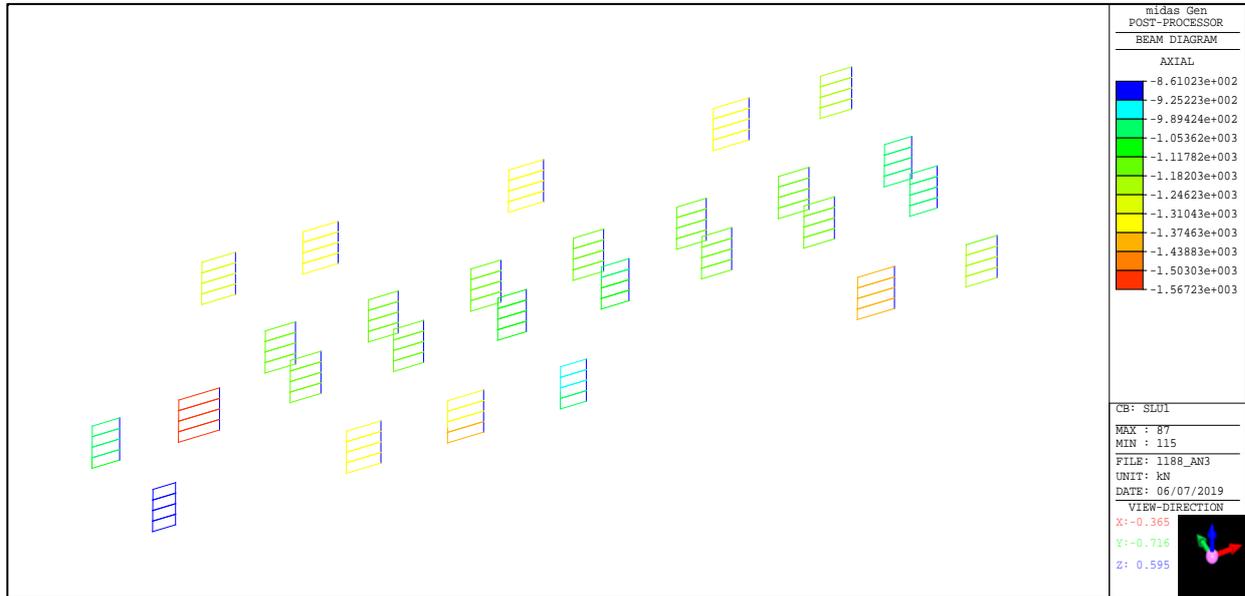


Figura 24 – Azione assiale pilastri in c.a. in combinazione SLU

### 7.1.2 PARATIA

Si riportano di seguito il riepilogo delle spinte, le azioni sollecitanti (taglio e momento) in combinazione di carico SLU (involuppo) e le deformazioni in combinazione SLE rara per la paratia in esame nella condizione provvisoria.

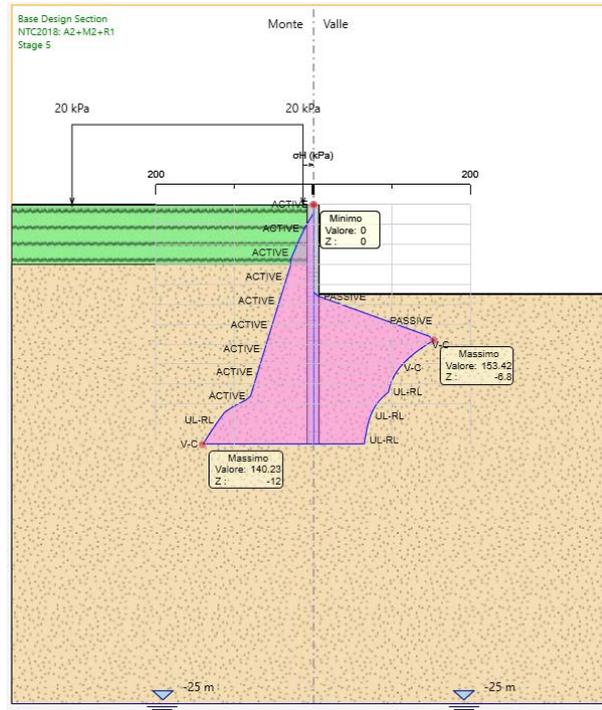


Figura 25 – Spinte sulla paratia

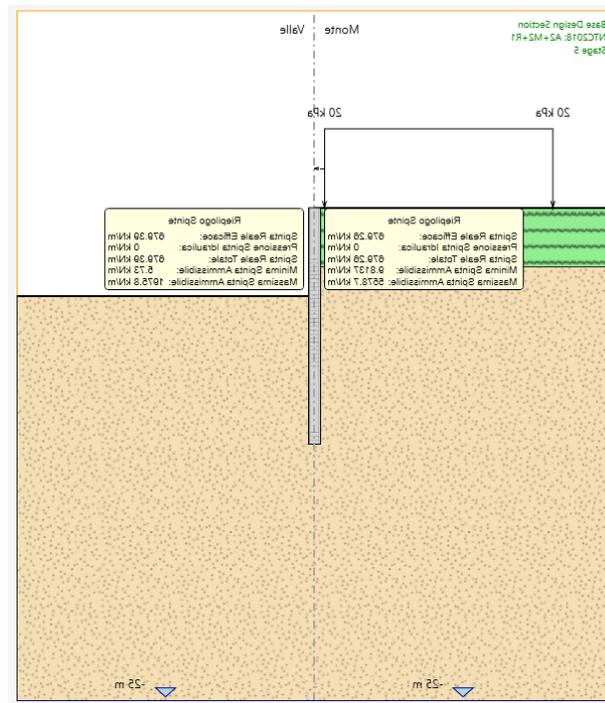


Figura 26 – Riepilogo spinte sulla paratia

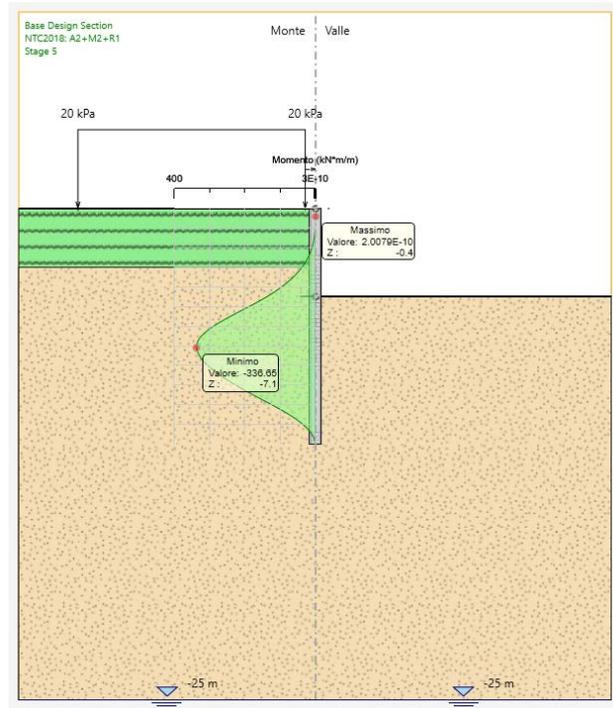


Figura 27 – Momento sulla paratia (involuppo SLU)

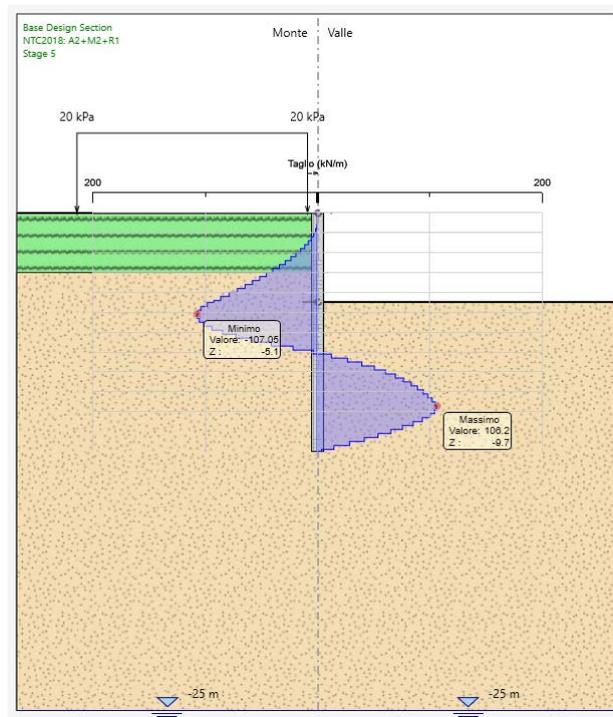


Figura 28 – Taglio sulla paratia (involuppo SLU)

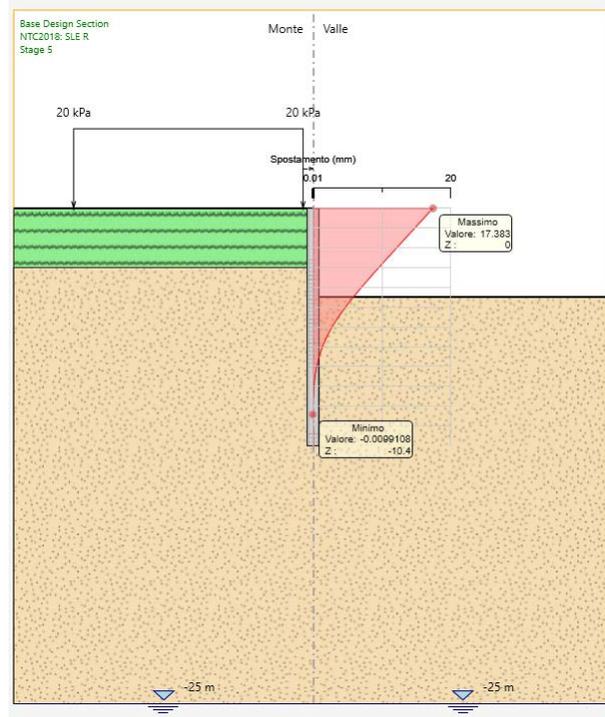


Figura 29 – Spostamenti in combinazione SLE rara

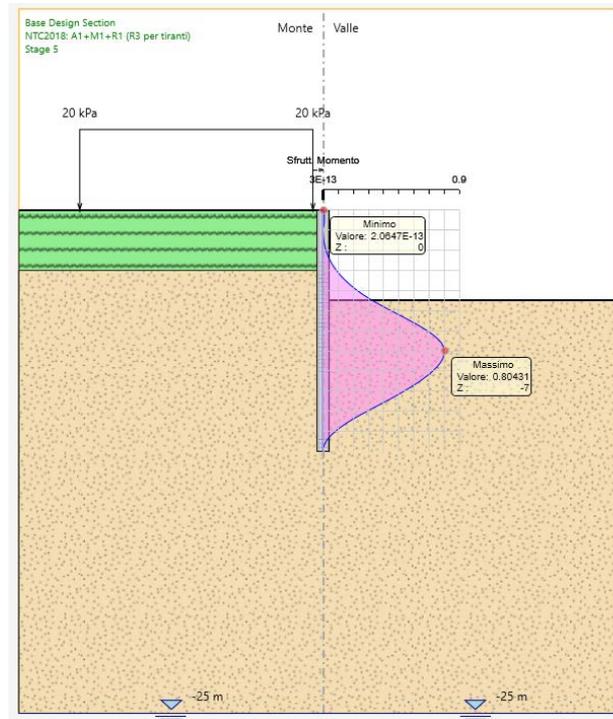


Figura 30 – Sfruttamento a flessione

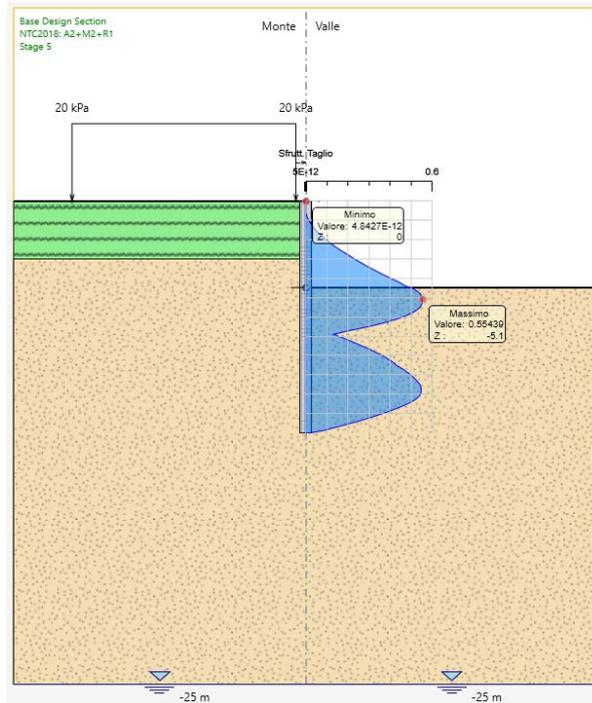


Figura 31 – Sfruttamento a taglio

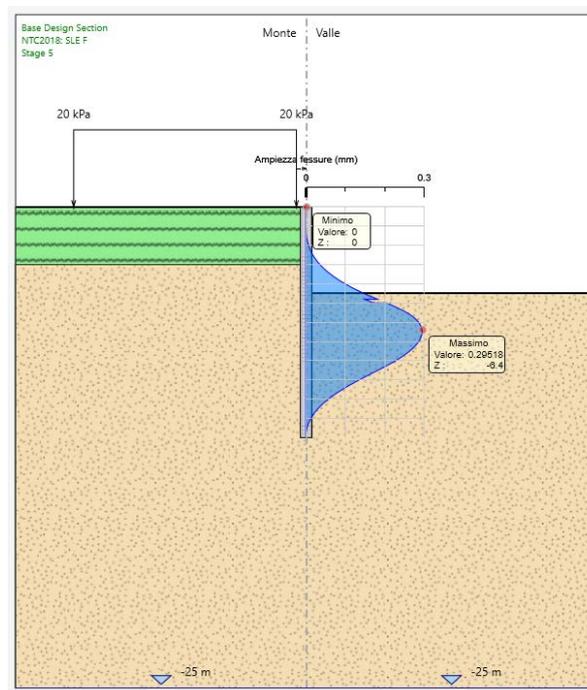


Figura 32 – Ampiezza fessure in combinazione SLE frequente

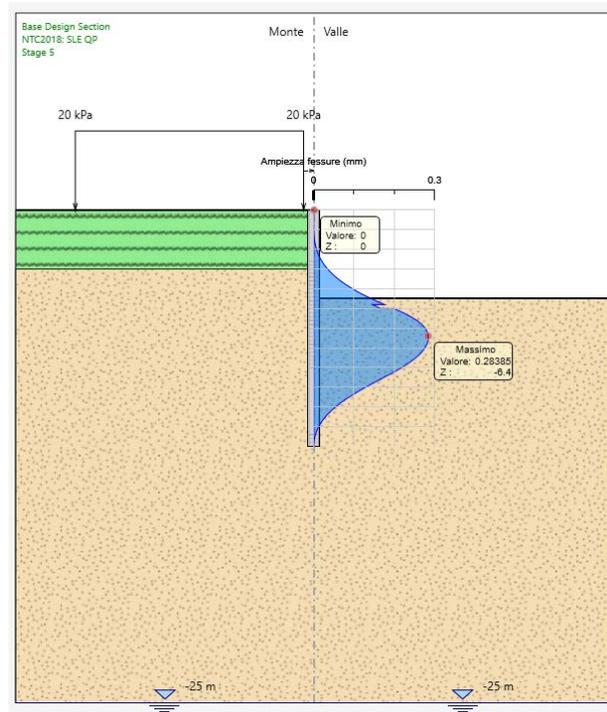


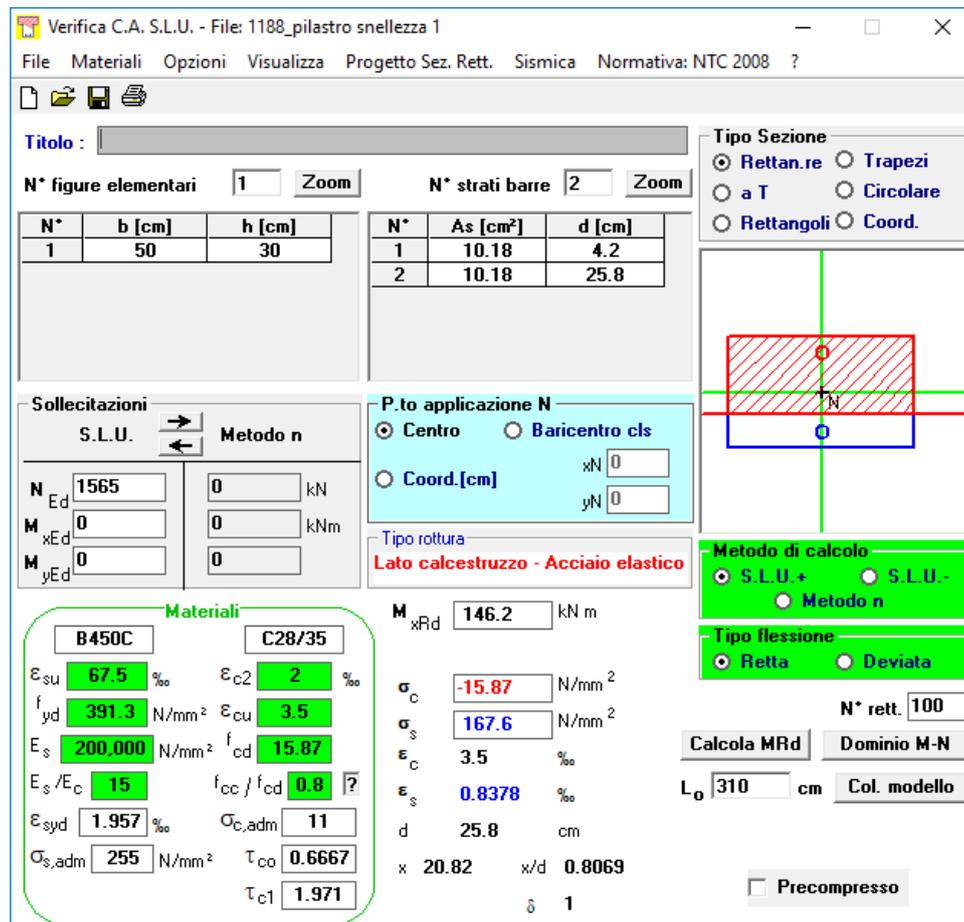
Figura 33 – Ampiezza fessure in combinazione SLE quasi permanente

## 8. VERIFICHE STRUTTURALI

Si riportano di seguito le verifiche strutturali degli elementi strutturali più significativi.

### 8.1.1 PARCHEGGIO INTERRATO – PILASTRO

Si riporta di seguito la verifica condotta sul pilastro in c.a. 50x30 maggiormente sollecitato.



**Verifica C.A. S.L.U. - File: 1188\_pilastro snellezza 1**

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

TITOLO :

N° figure elementari  Zoom N° strati barre  Zoom

| N° | b [cm] | h [cm] |
|----|--------|--------|
| 1  | 50     | 30     |

| N° | As [cm²] | d [cm] |
|----|----------|--------|
| 1  | 10.18    | 4.2    |
| 2  | 10.18    | 25.8   |

**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

**Tipo rottura**  
Lato calcestruzzo - Acciaio elastico

**Materiali**

**B450C** **C28/35**

$\epsilon_{su}$   ‰  $\epsilon_{c2}$   ‰  
 $f_{yd}$   N/mm<sup>2</sup>  $\epsilon_{cu}$   ‰  
 $E_s$   N/mm<sup>2</sup>  $f_{cd}$   ‰  
 $E_s/E_c$    $f_{cc}/f_{cd}$   ?  
 $\epsilon_{syd}$   ‰  $\sigma_{c,adm}$   ‰  
 $\sigma_{s,adm}$   N/mm<sup>2</sup>  $\tau_{co}$   ‰  
 $\tau_{c1}$   ‰

**M**  $M_{xRd}$   kN m

$\sigma_c$   N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_s$   N/mm<sup>2</sup>  
 $\epsilon_c$   ‰  
 $\epsilon_s$   ‰  
d  cm  
x  w/d   
 $\delta$

**Tipo Sezione**

Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

**Metodo di calcolo**

S.L.U.+  S.L.U.-  
 Metodo n

**Tipo flessione**

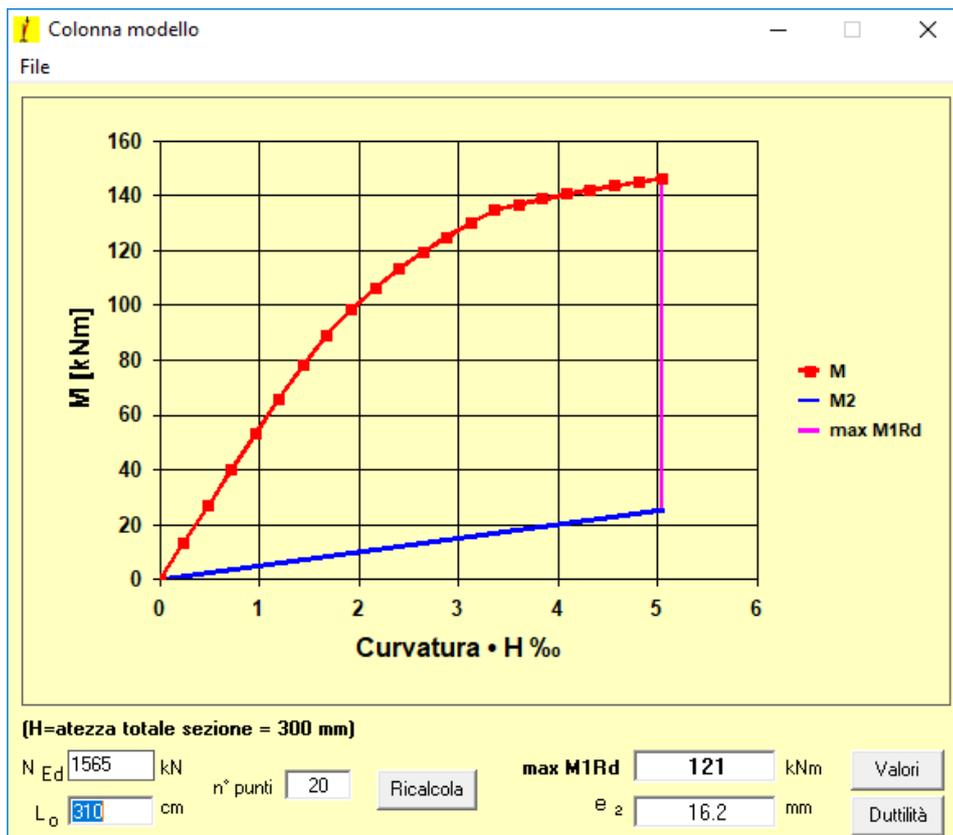
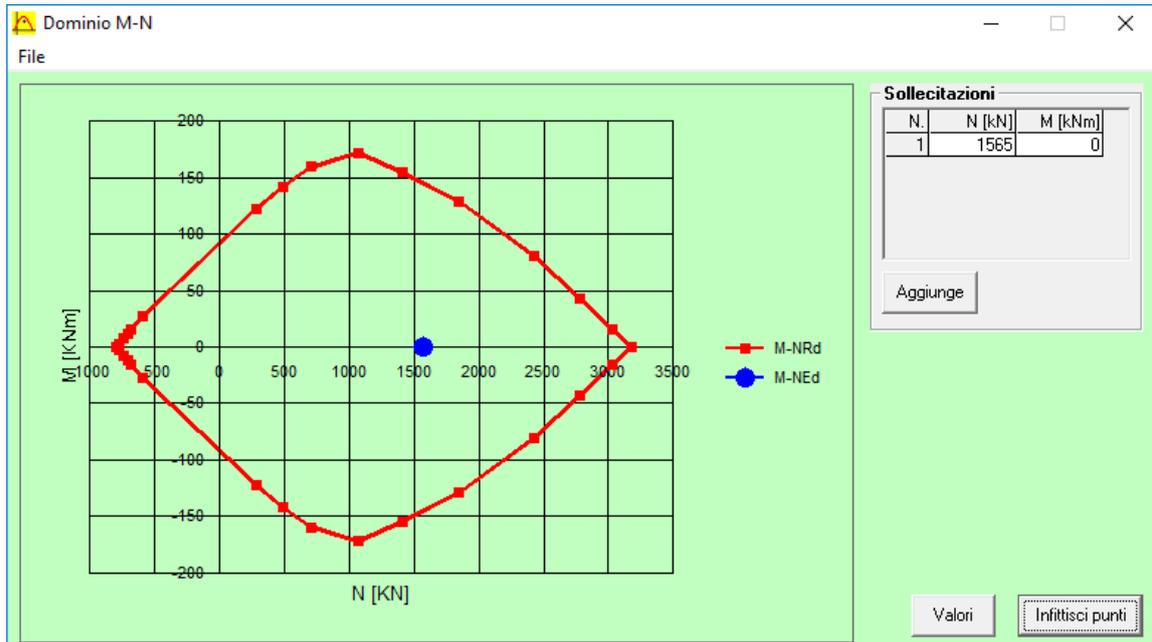
Retta  Deviata

N° rett.

Calcola MRd Dominio M-N

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

Precompresso



### 8.1.2 PARCHEGGIO INTERRATO – PUNZONAMENTO SOLETTA SUPERIORE

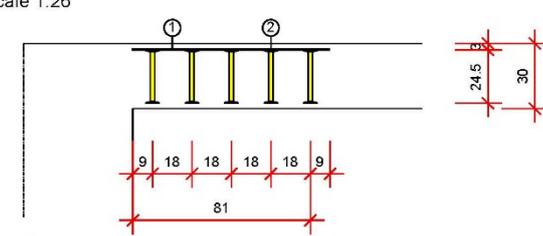
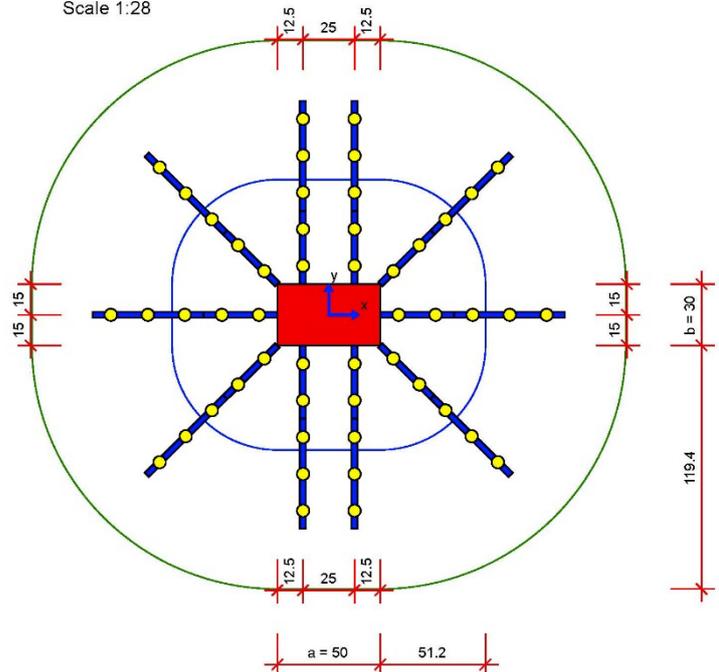
Si riporta di seguito la verifica a punzonamento nel punto maggiormente sollecitato.

|                      |                      |        |                   |  |              |        |                   |
|----------------------|----------------------|--------|-------------------|--|--------------|--------|-------------------|
|                      | $d_{medio}$          | 25.6   | cm                |  | $As_x$       | 39     | cm <sup>2</sup>   |
|                      | $L1$                 | 50     | cm                |  | $As_y$       | 39     | cm <sup>2</sup>   |
|                      | $L2$                 | 30     | cm                |  | $B$          | 100    | cm                |
|                      | $u0$                 | 160    | cm                |  | $\rho_{x,x}$ | 0.0152 |                   |
|                      | $u1$                 | 482    | cm                |  | $\rho_{x,y}$ | 0.0152 |                   |
|                      |                      |        |                   |  | $\rho_{x,l}$ | 0.0152 |                   |
|                      | $f_{ck}$             | 30     | N/mm <sup>2</sup> |  | $Crd,c$      | 0.12   |                   |
|                      | $\gamma_c$           | 1.5    |                   |  | $k$          | 1.88   |                   |
|                      | $\alpha_{cc}$        | 0.85   |                   |  | $v_{EC2}$    | 0.528  |                   |
|                      | $f_{yk}$             | 450    | N/mm <sup>2</sup> |  |              |        |                   |
|                      | $\gamma_s$           | 1.15   |                   |  | $f_{ywd,ef}$ | 314.0  | N/mm <sup>2</sup> |
|                      |                      |        |                   |  |              |        |                   |
|                      | $V_{sd}$             | 1555   | kN                |  | $v_{rd,c1}$  | 0.81   | N/mm <sup>2</sup> |
|                      | $\beta$              | 1.15   |                   |  | $v_{min}$    | 0.50   | N/mm <sup>2</sup> |
|                      | $V_{Ed}$             | 1788.3 | kN                |  | $v_{rd,c}$   | 0.81   | N/mm <sup>2</sup> |
|                      |                      |        |                   |  |              |        |                   |
| 6.4.4(1)             | $V_{rd,c}$           | 996.4  | kN                |  | armare       |        |                   |
| 6.4.5(4)             | $u_{out}$            | 864.2  | cm                |  |              |        |                   |
|                      | $dist_{out}$         | 112.1  | cm                |  |              |        |                   |
| <b>valori limite</b> |                      |        |                   |  |              |        |                   |
|                      | $v$ secondo          |        |                   |  |              |        |                   |
| 6.4.5(1)             | $k_{max} * V_{Rd,c}$ | 1952.9 | kN                |  | ok           |        |                   |
| 6.4.5(3)             | $V_{rd,max}$         | 1838.3 | kN                |  | ok           |        |                   |

Come si evince dalla figura precedente, è necessario armare il solaio a punzonamento. Pertanto, si riporta di seguito la verifica condotta, inserendo nel solaio in c.a. la relativa armatura di punzonamento.

|    | Development             |                  | ProNo.   | Pagina                  |                        |          |       |           |                    |         |   |      |                  |     |   |       |                 |     |   |         |                    |     |   |       |                   |     |   |       |                                     |       |   |      |                                   |                         |   |             |                                  |  |   |  |                  |                     |   |  |       |           |   |     |   |  |   |          |                             |            |   |      |   |  |   |      |   |  |   |                          |  |  |   |                          |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                 |                |   |      |   |  |   |                          |   |  |   |                          |   |  |  |  |                         |       |       |       |       |       |       |       |             |    |    |    |    |   |    |   |         |           |                  |  |           |                  |  |  |  |  |
|---|-------------------------|------------------|--|-------------------------|------------------------|----------|-------|-----------|--------------------|---------|---|------|------------------|-----|---|-------|-----------------|-----|---|---------|--------------------|-----|---|-------|-------------------|-----|---|-------|-------------------------------------|-------|---|------|-----------------------------------|-------------------------|---|-------------|----------------------------------|--|---|--|------------------|---------------------|---|--|-------|-----------|---|-----|---|--|---|----------|-----------------------------|------------|---|------|---|--|---|------|---|--|---|--------------------------|--|--|---|--------------------------|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---------------------------------|----------------|---|------|---|--|---|--------------------------|---|--|---|--------------------------|---|--|--|--|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|----|----|----|----|---|----|---|---------|-----------|------------------|--|-----------|------------------|--|--|--|--|
|   |                         |                  | Item   | 1                       |                        |          |       |           |                    |         |   |      |                  |     |   |       |                 |     |   |         |                    |     |   |       |                   |     |   |       |                                     |       |   |      |                                   |                         |   |             |                                  |  |   |  |                  |                     |   |  |       |           |   |     |   |  |   |          |                             |            |   |      |   |  |   |      |   |  |   |                          |  |  |   |                          |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                 |                |   |      |   |  |   |                          |   |  |   |                          |   |  |  |  |                         |       |       |       |       |       |       |       |             |    |    |    |    |   |    |   |         |           |                  |  |           |                  |  |  |  |  |
| <p>HALFEN HDB Armatura di punzonamento, ETA-12/0454 (Europe, EN 1992-1-1:2004 + AC:2010 + A1:2014)<br/>HALFEN Programma di calcolo HDB, version 13.31</p> <p>Il dimensionamento - inclusi i valori statici - vale solo per il prodotto HALFEN esposto. Le capacità portanti di prodotti concorrenti apparentemente identici possono variare. L'editore del programma declina ogni responsabilità per prodotti alternativi.</p> <p>Verifica di punzonamento per pilastro rettangolare interno (<b>Calcestruzzo gettato in opera</b>)</p> <table border="0"> <tr><td>Carico di punzonamento</td><td><math>V_{Ed}</math></td><td>=</td><td>1555.0 kN</td></tr> <tr><td>Aumento del carico</td><td><math>\beta</math></td><td>=</td><td>1.15</td></tr> <tr><td>Spessore soletta</td><td><math>h</math></td><td>=</td><td>30 cm</td></tr> <tr><td>Altezza statica</td><td><math>d</math></td><td>=</td><td>25.6 cm</td></tr> <tr><td>Larghezza pilastro</td><td><math>b</math></td><td>=</td><td>30 cm</td></tr> <tr><td>Spessore pilastro</td><td><math>a</math></td><td>=</td><td>50 cm</td></tr> <tr><td>Profondità di penetrazione pilastro</td><td><math>h_a</math></td><td>=</td><td>0 cm</td></tr> <tr><td>Copriferro alto / parte inferiore</td><td><math>c_{nom,o} / c_{nom,u}</math></td><td>=</td><td>3 cm / 3 cm</td></tr> <tr><td>Beton / Acciaio d'armatura / HDB</td><td></td><td>=</td><td>C30/37 / <math>f_{yk}=500</math> N/mm<sup>2</sup> / B500</td></tr> <tr><td>Tasso d'armatura</td><td><math>\rho_l (&lt; 2.0 \%)</math></td><td>=</td><td>1.5 % (<math>a_{sx} = a_{sy} = 38.4</math> cm<sup>2</sup>/m)</td></tr> </table> <hr/> <p><u>Nella sezione di verifica critica, <math>u_1</math></u><br/>specific column perimeter</p> <table border="0"> <tr><td><math>u_1</math></td><td><math>u_0 / d</math></td><td>=</td><td>6.3</td></tr> <tr><td><math>k = \min \{ 1 + \sqrt{200/d[mm]} ; 2 \}</math></td><td></td><td>=</td><td>481.7 cm</td></tr> <tr><td>Pre-factor for <math>V_{Rd,c,1}</math></td><td><math>C_{Rd,c}</math></td><td>=</td><td>1.88</td></tr> <tr><td><math>V_{Rd,c,1} = C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3}</math></td><td></td><td>=</td><td>0.12</td></tr> <tr><td><math>V_{Rd,c,2} = V_{min} = 0.0525 \cdot f_{tC} \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2}</math></td><td></td><td>=</td><td>804.09 kN/m<sup>2</sup></td></tr> <tr><td><math>V_{Rd,c} = \max \{ V_{Rd,c,1}; V_{Rd,c,2} \} \cdot u_1 \cdot d = 991.6</math> kN &lt; 1788.3 kN = <math>V_{Ed} \cdot \beta</math></td><td></td><td>=</td><td>495.69 kN/m<sup>2</sup></td></tr> <tr><td><math>V_{Rd,max} = 1.96 \cdot V_{Rd,c} = 1943.5</math> kN &gt; 1788.3 kN = <math>V_{Ed} \cdot \beta</math></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table> <hr/> <p><u>A l'esterno della sezione di verifica, <math>u_{out}</math></u></p> <table border="0"> <tr><td><math>u_{out, req} = 868.7</math> cm &lt; 910.2 cm = <math>u_{out, prov}</math></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td><math>l_{s, req} = 74.4</math> cm &lt; 81 cm = <math>l_{s, prov}</math></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Pre-factor for <math>V_{Rd,c,out,1}</math></td><td><math>C_{Rd,c,out}</math></td><td>=</td><td>0.12</td></tr> <tr><td><math>V_{Rd,c,out,1} = C_{Rd,c,out} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3}</math></td><td></td><td>=</td><td>804.09 kN/m<sup>2</sup></td></tr> <tr><td><math>V_{Rd,c,out,2} = V_{min} = 0.0525 \cdot f_{tC} \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2}</math></td><td></td><td>=</td><td>495.69 kN/m<sup>2</sup></td></tr> <tr><td><math>V_{Rd,c,out} = \max \{ V_{Rd,c,out,1}; V_{Rd,c,out,2} \} \cdot u_{out, prov} \cdot d = 1873.7</math> kN &gt; 1788.3 kN = <math>V_{Ed} \cdot \beta</math></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table> <hr/> <table border="0"> <tr><td>Diametro chiodo <math>d_A</math> :</td><td>10 mm</td><td>12 mm</td><td>14 mm</td><td>16 mm</td><td>18 mm</td><td>20 mm</td><td>25 mm</td></tr> <tr><td>Settore C :</td><td>56</td><td>39</td><td>29</td><td>22</td><td>—</td><td>14</td><td>9</td></tr> </table> <hr/> <table border="0"> <tr><td>Scelta:</td><td>interno :</td><td>HDB-20/245-2/360</td></tr> <tr><td></td><td>esterno :</td><td>HDB-20/245-3/540</td></tr> </table> <hr/> <p>Quantità combinazioni per pilastro <math>m_c = 10</math>      Quantità pilastri = 1</p> <p><math>V_{Rd,sy} = m_c \cdot n_c \cdot d_A^2 / 4 \cdot \pi \cdot f_{yd} / \eta = 2587.0</math> kN &gt; 1788.3 kN = <math>V_{Ed} \cdot \beta</math> (<math>\eta = 1.06</math>)</p> <p>Distanza elem. int. / est.      = 33.9 cm / 76.1 cm</p> |                         |                  |  |                         | Carico di punzonamento | $V_{Ed}$ | =     | 1555.0 kN | Aumento del carico | $\beta$ | = | 1.15 | Spessore soletta | $h$ | = | 30 cm | Altezza statica | $d$ | = | 25.6 cm | Larghezza pilastro | $b$ | = | 30 cm | Spessore pilastro | $a$ | = | 50 cm | Profondità di penetrazione pilastro | $h_a$ | = | 0 cm | Copriferro alto / parte inferiore | $c_{nom,o} / c_{nom,u}$ | = | 3 cm / 3 cm | Beton / Acciaio d'armatura / HDB |  | = | C30/37 / $f_{yk}=500$ N/mm <sup>2</sup> / B500 | Tasso d'armatura | $\rho_l (< 2.0 \%)$ | = | 1.5 % ( $a_{sx} = a_{sy} = 38.4$ cm <sup>2</sup> /m) | $u_1$ | $u_0 / d$ | = | 6.3 | $k = \min \{ 1 + \sqrt{200/d[mm]} ; 2 \}$ |  | = | 481.7 cm | Pre-factor for $V_{Rd,c,1}$ | $C_{Rd,c}$ | = | 1.88 | $V_{Rd,c,1} = C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3}$ |  | = | 0.12 | $V_{Rd,c,2} = V_{min} = 0.0525 \cdot f_{tC} \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2}$ |  | = | 804.09 kN/m <sup>2</sup> | $V_{Rd,c} = \max \{ V_{Rd,c,1}; V_{Rd,c,2} \} \cdot u_1 \cdot d = 991.6$ kN < 1788.3 kN = $V_{Ed} \cdot \beta$ |  | = | 495.69 kN/m <sup>2</sup> | $V_{Rd,max} = 1.96 \cdot V_{Rd,c} = 1943.5$ kN > 1788.3 kN = $V_{Ed} \cdot \beta$ |  |  |  | $u_{out, req} = 868.7$ cm < 910.2 cm = $u_{out, prov}$ |  |  |  | $l_{s, req} = 74.4$ cm < 81 cm = $l_{s, prov}$ |  |  |  | Pre-factor for $V_{Rd,c,out,1}$ | $C_{Rd,c,out}$ | = | 0.12 | $V_{Rd,c,out,1} = C_{Rd,c,out} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3}$ |  | = | 804.09 kN/m <sup>2</sup> | $V_{Rd,c,out,2} = V_{min} = 0.0525 \cdot f_{tC} \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2}$ |  | = | 495.69 kN/m <sup>2</sup> | $V_{Rd,c,out} = \max \{ V_{Rd,c,out,1}; V_{Rd,c,out,2} \} \cdot u_{out, prov} \cdot d = 1873.7$ kN > 1788.3 kN = $V_{Ed} \cdot \beta$ |  |  |  | Diametro chiodo $d_A$ : | 10 mm | 12 mm | 14 mm | 16 mm | 18 mm | 20 mm | 25 mm | Settore C : | 56 | 39 | 29 | 22 | — | 14 | 9 | Scelta: | interno : | HDB-20/245-2/360 |  | esterno : | HDB-20/245-3/540 |  |  |  |  |
| Carico di punzonamento  | $V_{Ed}$                | =                | 1555.0 kN  |                         |                        |          |       |           |                    |         |   |      |                  |     |   |       |                 |     |   |         |                    |     |   |       |                   |     |   |       |                                     |       |   |      |                                   |                         |   |             |                                  |  |   |  |                  |                     |   |  |       |           |   |     |   |  |   |          |                             |            |   |      |   |  |   |      |   |  |   |                          |  |  |   |                          |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                 |                |   |      |   |  |   |                          |   |  |   |                          |   |  |  |  |                         |       |       |       |       |       |       |       |             |    |    |    |    |   |    |   |         |           |                  |  |           |                  |  |  |  |  |
| Aumento del carico  | $\beta$                 | =                | 1.15   |                         |                        |          |       |           |                    |         |   |      |                  |     |   |       |                 |     |   |         |                    |     |   |       |                   |     |   |       |                                     |       |   |      |                                   |                         |   |             |                                  |  |   |  |                  |                     |   |  |       |           |   |     |   |  |   |          |                             |            |   |      |   |  |   |      |   |  |   |                          |  |  |   |                          |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                 |                |   |      |   |  |   |                          |   |  |   |                          |   |  |  |  |                         |       |       |       |       |       |       |       |             |    |    |    |    |   |    |   |         |           |                  |  |           |                  |  |  |  |  |
| Spessore soletta  | $h$                     | =                | 30 cm  |                         |                        |          |       |           |                    |         |   |      |                  |     |   |       |                 |     |   |         |                    |     |   |       |                   |     |   |       |                                     |       |   |      |                                   |                         |   |             |                                  |  |   |  |                  |                     |   |  |       |           |   |     |   |  |   |          |                             |            |   |      |   |  |   |      |   |  |   |                          |  |  |   |                          |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                 |                |   |      |   |  |   |                          |   |  |   |                          |   |  |  |  |                         |       |       |       |       |       |       |       |             |    |    |    |    |   |    |   |         |           |                  |  |           |                  |  |  |  |  |
| Altezza statica   | $d$                     | =                | 25.6 cm  |                         |                        |          |       |           |                    |         |   |      |                  |     |   |       |                 |     |   |         |                    |     |   |       |                   |     |   |       |                                     |       |   |      |                                   |                         |   |             |                                  |  |   |  |                  |                     |   |  |       |           |   |     |   |  |   |          |                             |            |   |      |   |  |   |      |   |  |   |                          |  |  |   |                          |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                 |                |   |      |   |  |   |                          |   |  |   |                          |   |  |  |  |                         |       |       |       |       |       |       |       |             |    |    |    |    |   |    |   |         |           |                  |  |           |                  |  |  |  |  |
| Larghezza pilastro  | $b$                     | =                | 30 cm  |                         |                        |          |       |           |                    |         |   |      |                  |     |   |       |                 |     |   |         |                    |     |   |       |                   |     |   |       |                                     |       |   |      |                                   |                         |   |             |                                  |  |   |  |                  |                     |   |  |       |           |   |     |   |  |   |          |                             |            |   |      |   |  |   |      |   |  |   |                          |  |  |   |                          |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                 |                |   |      |   |  |   |                          |   |  |   |                          |   |  |  |  |                         |       |       |       |       |       |       |       |             |    |    |    |    |   |    |   |         |           |                  |  |           |                  |  |  |  |  |
| Spessore pilastro   | $a$                     | =                | 50 cm  |                         |                        |          |       |           |                    |         |   |      |                  |     |   |       |                 |     |   |         |                    |     |   |       |                   |     |   |       |                                     |       |   |      |                                   |                         |   |             |                                  |  |   |  |                  |                     |   |  |       |           |   |     |   |  |   |          |                             |            |   |      |   |  |   |      |   |  |   |                          |  |  |   |                          |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                 |                |   |      |   |  |   |                          |   |  |   |                          |   |  |  |  |                         |       |       |       |       |       |       |       |             |    |    |    |    |   |    |   |         |           |                  |  |           |                  |  |  |  |  |
| Profondità di penetrazione pilastro   | $h_a$                   | =                | 0 cm   |                         |                        |          |       |           |                    |         |   |      |                  |     |   |       |                 |     |   |         |                    |     |   |       |                   |     |   |       |                                     |       |   |      |                                   |                         |   |             |                                  |  |   |  |                  |                     |   |  |       |           |   |     |   |  |   |          |                             |            |   |      |   |  |   |      |   |  |   |                          |  |  |   |                          |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                 |                |   |      |   |  |   |                          |   |  |   |                          |   |  |  |  |                         |       |       |       |       |       |       |       |             |    |    |    |    |   |    |   |         |           |                  |  |           |                  |  |  |  |  |
| Copriferro alto / parte inferiore   | $c_{nom,o} / c_{nom,u}$ | =                | 3 cm / 3 cm  |                         |                        |          |       |           |                    |         |   |      |                  |     |   |       |                 |     |   |         |                    |     |   |       |                   |     |   |       |                                     |       |   |      |                                   |                         |   |             |                                  |  |   |  |                  |                     |   |  |       |           |   |     |   |  |   |          |                             |            |   |      |   |  |   |      |   |  |   |                          |  |  |   |                          |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                 |                |   |      |   |  |   |                          |   |  |   |                          |   |  |  |  |                         |       |       |       |       |       |       |       |             |    |    |    |    |   |    |   |         |           |                  |  |           |                  |  |  |  |  |
| Beton / Acciaio d'armatura / HDB  |                         | =                | C30/37 / $f_{yk}=500$ N/mm <sup>2</sup> / B500       |                         |                        |          |       |           |                    |         |   |      |                  |     |   |       |                 |     |   |         |                    |     |   |       |                   |     |   |       |                                     |       |   |      |                                   |                         |   |             |                                  |  |   |  |                  |                     |   |  |       |           |   |     |   |  |   |          |                             |            |   |      |   |  |   |      |   |  |   |                          |  |  |   |                          |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                 |                |   |      |   |  |   |                          |   |  |   |                          |   |  |  |  |                         |       |       |       |       |       |       |       |             |    |    |    |    |   |    |   |         |           |                  |  |           |                  |  |  |  |  |
| Tasso d'armatura  | $\rho_l (< 2.0 \%)$     | =                | 1.5 % ( $a_{sx} = a_{sy} = 38.4$ cm <sup>2</sup> /m) |                         |                        |          |       |           |                    |         |   |      |                  |     |   |       |                 |     |   |         |                    |     |   |       |                   |     |   |       |                                     |       |   |      |                                   |                         |   |             |                                  |  |   |  |                  |                     |   |  |       |           |   |     |   |  |   |          |                             |            |   |      |   |  |   |      |   |  |   |                          |  |  |   |                          |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                 |                |   |      |   |  |   |                          |   |  |   |                          |   |  |  |  |                         |       |       |       |       |       |       |       |             |    |    |    |    |   |    |   |         |           |                  |  |           |                  |  |  |  |  |
| $u_1$   | $u_0 / d$               | =                | 6.3  |                         |                        |          |       |           |                    |         |   |      |                  |     |   |       |                 |     |   |         |                    |     |   |       |                   |     |   |       |                                     |       |   |      |                                   |                         |   |             |                                  |  |   |  |                  |                     |   |  |       |           |   |     |   |  |   |          |                             |            |   |      |   |  |   |      |   |  |   |                          |  |  |   |                          |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                 |                |   |      |   |  |   |                          |   |  |   |                          |   |  |  |  |                         |       |       |       |       |       |       |       |             |    |    |    |    |   |    |   |         |           |                  |  |           |                  |  |  |  |  |
| $k = \min \{ 1 + \sqrt{200/d[mm]} ; 2 \}$   |                         | =                | 481.7 cm   |                         |                        |          |       |           |                    |         |   |      |                  |     |   |       |                 |     |   |         |                    |     |   |       |                   |     |   |       |                                     |       |   |      |                                   |                         |   |             |                                  |  |   |  |                  |                     |   |  |       |           |   |     |   |  |   |          |                             |            |   |      |   |  |   |      |   |  |   |                          |  |  |   |                          |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                 |                |   |      |   |  |   |                          |   |  |   |                          |   |  |  |  |                         |       |       |       |       |       |       |       |             |    |    |    |    |   |    |   |         |           |                  |  |           |                  |  |  |  |  |
| Pre-factor for $V_{Rd,c,1}$   | $C_{Rd,c}$              | =                | 1.88   |                         |                        |          |       |           |                    |         |   |      |                  |     |   |       |                 |     |   |         |                    |     |   |       |                   |     |   |       |                                     |       |   |      |                                   |                         |   |             |                                  |  |   |  |                  |                     |   |  |       |           |   |     |   |  |   |          |                             |            |   |      |   |  |   |      |   |  |   |                          |  |  |   |                          |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                 |                |   |      |   |  |   |                          |   |  |   |                          |   |  |  |  |                         |       |       |       |       |       |       |       |             |    |    |    |    |   |    |   |         |           |                  |  |           |                  |  |  |  |  |
| $V_{Rd,c,1} = C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3}$   |                         | =                | 0.12   |                         |                        |          |       |           |                    |         |   |      |                  |     |   |       |                 |     |   |         |                    |     |   |       |                   |     |   |       |                                     |       |   |      |                                   |                         |   |             |                                  |  |   |  |                  |                     |   |  |       |           |   |     |   |  |   |          |                             |            |   |      |   |  |   |      |   |  |   |                          |  |  |   |                          |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                 |                |   |      |   |  |   |                          |   |  |   |                          |   |  |  |  |                         |       |       |       |       |       |       |       |             |    |    |    |    |   |    |   |         |           |                  |  |           |                  |  |  |  |  |
| $V_{Rd,c,2} = V_{min} = 0.0525 \cdot f_{tC} \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2}$   |                         | =                | 804.09 kN/m <sup>2</sup>                             |                         |                        |          |       |           |                    |         |   |      |                  |     |   |       |                 |     |   |         |                    |     |   |       |                   |     |   |       |                                     |       |   |      |                                   |                         |   |             |                                  |  |   |  |                  |                     |   |  |       |           |   |     |   |  |   |          |                             |            |   |      |   |  |   |      |   |  |   |                          |  |  |   |                          |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                 |                |   |      |   |  |   |                          |   |  |   |                          |   |  |  |  |                         |       |       |       |       |       |       |       |             |    |    |    |    |   |    |   |         |           |                  |  |           |                  |  |  |  |  |
| $V_{Rd,c} = \max \{ V_{Rd,c,1}; V_{Rd,c,2} \} \cdot u_1 \cdot d = 991.6$ kN < 1788.3 kN = $V_{Ed} \cdot \beta$  |                         | =                | 495.69 kN/m <sup>2</sup>                             |                         |                        |          |       |           |                    |         |   |      |                  |     |   |       |                 |     |   |         |                    |     |   |       |                   |     |   |       |                                     |       |   |      |                                   |                         |   |             |                                  |  |   |  |                  |                     |   |  |       |           |   |     |   |  |   |          |                             |            |   |      |   |  |   |      |   |  |   |                          |  |  |   |                          |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                 |                |   |      |   |  |   |                          |   |  |   |                          |   |  |  |  |                         |       |       |       |       |       |       |       |             |    |    |    |    |   |    |   |         |           |                  |  |           |                  |  |  |  |  |
| $V_{Rd,max} = 1.96 \cdot V_{Rd,c} = 1943.5$ kN > 1788.3 kN = $V_{Ed} \cdot \beta$   |                         |                  |  |                         |                        |          |       |           |                    |         |   |      |                  |     |   |       |                 |     |   |         |                    |     |   |       |                   |     |   |       |                                     |       |   |      |                                   |                         |   |             |                                  |  |   |  |                  |                     |   |  |       |           |   |     |   |  |   |          |                             |            |   |      |   |  |   |      |   |  |   |                          |  |  |   |                          |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                 |                |   |      |   |  |   |                          |   |  |   |                          |   |  |  |  |                         |       |       |       |       |       |       |       |             |    |    |    |    |   |    |   |         |           |                  |  |           |                  |  |  |  |  |
| $u_{out, req} = 868.7$ cm < 910.2 cm = $u_{out, prov}$  |                         |                  |  |                         |                        |          |       |           |                    |         |   |      |                  |     |   |       |                 |     |   |         |                    |     |   |       |                   |     |   |       |                                     |       |   |      |                                   |                         |   |             |                                  |  |   |  |                  |                     |   |  |       |           |   |     |   |  |   |          |                             |            |   |      |   |  |   |      |   |  |   |                          |  |  |   |                          |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                 |                |   |      |   |  |   |                          |   |  |   |                          |   |  |  |  |                         |       |       |       |       |       |       |       |             |    |    |    |    |   |    |   |         |           |                  |  |           |                  |  |  |  |  |
| $l_{s, req} = 74.4$ cm < 81 cm = $l_{s, prov}$  |                         |                  |  |                         |                        |          |       |           |                    |         |   |      |                  |     |   |       |                 |     |   |         |                    |     |   |       |                   |     |   |       |                                     |       |   |      |                                   |                         |   |             |                                  |  |   |  |                  |                     |   |  |       |           |   |     |   |  |   |          |                             |            |   |      |   |  |   |      |   |  |   |                          |  |  |   |                          |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                 |                |   |      |   |  |   |                          |   |  |   |                          |   |  |  |  |                         |       |       |       |       |       |       |       |             |    |    |    |    |   |    |   |         |           |                  |  |           |                  |  |  |  |  |
| Pre-factor for $V_{Rd,c,out,1}$   | $C_{Rd,c,out}$          | =                | 0.12   |                         |                        |          |       |           |                    |         |   |      |                  |     |   |       |                 |     |   |         |                    |     |   |       |                   |     |   |       |                                     |       |   |      |                                   |                         |   |             |                                  |  |   |  |                  |                     |   |  |       |           |   |     |   |  |   |          |                             |            |   |      |   |  |   |      |   |  |   |                          |  |  |   |                          |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                 |                |   |      |   |  |   |                          |   |  |   |                          |   |  |  |  |                         |       |       |       |       |       |       |       |             |    |    |    |    |   |    |   |         |           |                  |  |           |                  |  |  |  |  |
| $V_{Rd,c,out,1} = C_{Rd,c,out} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3}$   |                         | =                | 804.09 kN/m <sup>2</sup>                             |                         |                        |          |       |           |                    |         |   |      |                  |     |   |       |                 |     |   |         |                    |     |   |       |                   |     |   |       |                                     |       |   |      |                                   |                         |   |             |                                  |  |   |  |                  |                     |   |  |       |           |   |     |   |  |   |          |                             |            |   |      |   |  |   |      |   |  |   |                          |  |  |   |                          |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                 |                |   |      |   |  |   |                          |   |  |   |                          |   |  |  |  |                         |       |       |       |       |       |       |       |             |    |    |    |    |   |    |   |         |           |                  |  |           |                  |  |  |  |  |
| $V_{Rd,c,out,2} = V_{min} = 0.0525 \cdot f_{tC} \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2}$   |                         | =                | 495.69 kN/m <sup>2</sup>                             |                         |                        |          |       |           |                    |         |   |      |                  |     |   |       |                 |     |   |         |                    |     |   |       |                   |     |   |       |                                     |       |   |      |                                   |                         |   |             |                                  |  |   |  |                  |                     |   |  |       |           |   |     |   |  |   |          |                             |            |   |      |   |  |   |      |   |  |   |                          |  |  |   |                          |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                 |                |   |      |   |  |   |                          |   |  |   |                          |   |  |  |  |                         |       |       |       |       |       |       |       |             |    |    |    |    |   |    |   |         |           |                  |  |           |                  |  |  |  |  |
| $V_{Rd,c,out} = \max \{ V_{Rd,c,out,1}; V_{Rd,c,out,2} \} \cdot u_{out, prov} \cdot d = 1873.7$ kN > 1788.3 kN = $V_{Ed} \cdot \beta$   |                         |                  |  |                         |                        |          |       |           |                    |         |   |      |                  |     |   |       |                 |     |   |         |                    |     |   |       |                   |     |   |       |                                     |       |   |      |                                   |                         |   |             |                                  |  |   |  |                  |                     |   |  |       |           |   |     |   |  |   |          |                             |            |   |      |   |  |   |      |   |  |   |                          |  |  |   |                          |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                 |                |   |      |   |  |   |                          |   |  |   |                          |   |  |  |  |                         |       |       |       |       |       |       |       |             |    |    |    |    |   |    |   |         |           |                  |  |           |                  |  |  |  |  |
| Diametro chiodo $d_A$ :   | 10 mm                   | 12 mm            | 14 mm  | 16 mm                   | 18 mm                  | 20 mm    | 25 mm |           |                    |         |   |      |                  |     |   |       |                 |     |   |         |                    |     |   |       |                   |     |   |       |                                     |       |   |      |                                   |                         |   |             |                                  |  |   |  |                  |                     |   |  |       |           |   |     |   |  |   |          |                             |            |   |      |   |  |   |      |   |  |   |                          |  |  |   |                          |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                 |                |   |      |   |  |   |                          |   |  |   |                          |   |  |  |  |                         |       |       |       |       |       |       |       |             |    |    |    |    |   |    |   |         |           |                  |  |           |                  |  |  |  |  |
| Settore C :   | 56                      | 39               | 29   | 22                      | —                      | 14       | 9     |           |                    |         |   |      |                  |     |   |       |                 |     |   |         |                    |     |   |       |                   |     |   |       |                                     |       |   |      |                                   |                         |   |             |                                  |  |   |  |                  |                     |   |  |       |           |   |     |   |  |   |          |                             |            |   |      |   |  |   |      |   |  |   |                          |  |  |   |                          |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                 |                |   |      |   |  |   |                          |   |  |   |                          |   |  |  |  |                         |       |       |       |       |       |       |       |             |    |    |    |    |   |    |   |         |           |                  |  |           |                  |  |  |  |  |
| Scelta:   | interno :               | HDB-20/245-2/360 |  |                         |                        |          |       |           |                    |         |   |      |                  |     |   |       |                 |     |   |         |                    |     |   |       |                   |     |   |       |                                     |       |   |      |                                   |                         |   |             |                                  |  |   |  |                  |                     |   |  |       |           |   |     |   |  |   |          |                             |            |   |      |   |  |   |      |   |  |   |                          |  |  |   |                          |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                 |                |   |      |   |  |   |                          |   |  |   |                          |   |  |  |  |                         |       |       |       |       |       |       |       |             |    |    |    |    |   |    |   |         |           |                  |  |           |                  |  |  |  |  |
|   | esterno :               | HDB-20/245-3/540 |  |                         |                        |          |       |           |                    |         |   |      |                  |     |   |       |                 |     |   |         |                    |     |   |       |                   |     |   |       |                                     |       |   |      |                                   |                         |   |             |                                  |  |   |  |                  |                     |   |  |       |           |   |     |   |  |   |          |                             |            |   |      |   |  |   |      |   |  |   |                          |  |  |   |                          |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                 |                |   |      |   |  |   |                          |   |  |   |                          |   |  |  |  |                         |       |       |       |       |       |       |       |             |    |    |    |    |   |    |   |         |           |                  |  |           |                  |  |  |  |  |
|   |                         |                  |  | HDB 13.31<br>07/06/2019 |                        |          |       |           |                    |         |   |      |                  |     |   |       |                 |     |   |         |                    |     |   |       |                   |     |   |       |                                     |       |   |      |                                   |                         |   |             |                                  |  |   |  |                  |                     |   |  |       |           |   |     |   |  |   |          |                             |            |   |      |   |  |   |      |   |  |   |                          |  |  |   |                          |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                 |                |   |      |   |  |   |                          |   |  |   |                          |   |  |  |  |                         |       |       |       |       |       |       |       |             |    |    |    |    |   |    |   |         |           |                  |  |           |                  |  |  |  |  |

HALFEN GmbH, Liebigstr. 14, 40764 Langenfeld/ Rhld., Telefon: 0 21 73/ 970 - 0, Telefax: 0 21 73/ 970 - 123 © HALFEN GmbH, Langenfeld, Germany

|   |             |        |                         |
|---|-------------|--------|-------------------------|
|    | Development | ProNo. | Pagina<br>2             |
|   |             |        | Item<br>1               |
| <p>HALFEN HDB Armatura di punzonamento, ETA-12/0454 (Europe, EN 1992-1-1:2004 + AC:2010 + A1:2014)<br/>HALFEN Programma di calcolo HDB, version 13.31</p> <p>Il dimensionamento - inclusi i valori statici - vale solo per il prodotto HALFEN esposto. Le capacità portanti di prodotti concorrenti apparentemente identici possono variare. L'editore del programma declina ogni responsabilità per prodotti alternativi.</p> <p><u>Area di posa</u></p> <p><u>Sezione</u> Scale 1:26</p>  <p>① 10x 1x HDB-20/245-2/360<br/>② 10x 1x HDB-20/245-3/540</p> <p style="text-align: right;">[cm]</p> <p><u>Pianta</u> Scale 1:28</p>  <p>Minimum bar length: <math>l_{bar,min,x} = 288.8 \text{ cm} + 2 \cdot l_{bd}</math>; <math>l_{bar,min,y} = 268.8 \text{ cm} + 2 \cdot l_{bd}</math>; <math>l_{bd}</math> is the anchorage length<br/>Note: Due to other verifications, different minimum bar length can be decisive.</p> |             |        |                         |
|   |             |        | HDB 13.31<br>07/06/2019 |

HALFEN GmbH, Liebigstr. 14, 40764 Langenfeld/ Rhld., Telefon: 0 21 73/ 970 - 0, Telefax: 0 21 73/ 970 - 123 © HALFEN GmbH, Langenfeld, Germany

### 8.1.3 PARCHEGGIO INTERRATO – VERIFICA A FLESSIONE SOLETTA SUPERIORE

Si riportano di seguito i tassi di sfruttamento a flessione per la soletta superiore in c.a. (resistance ratio) nelle due direzioni principali. Per soddisfare la verifica, tale valore deve essere inferiore a 1.

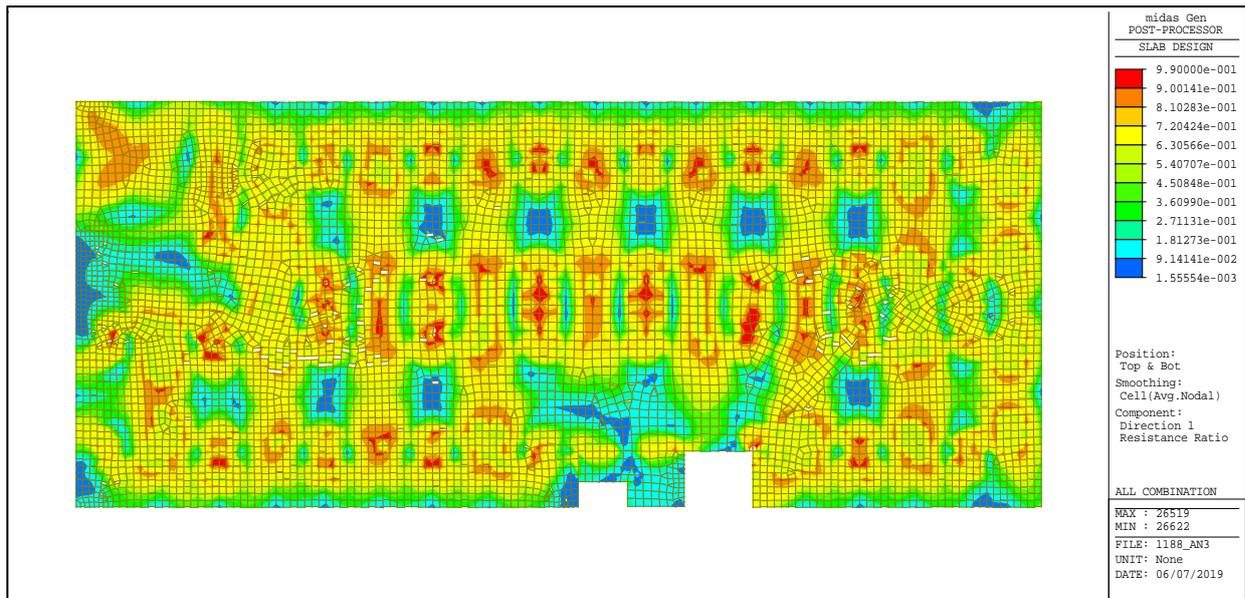


Figura 34 – Tasso di sfruttamento in direzione 1

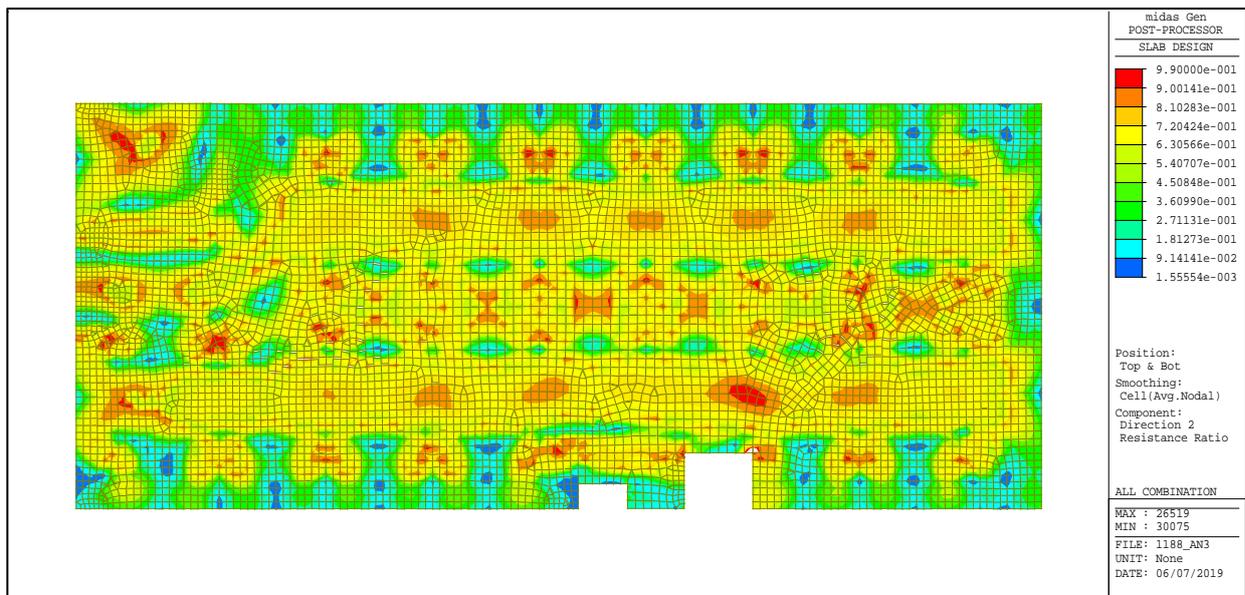
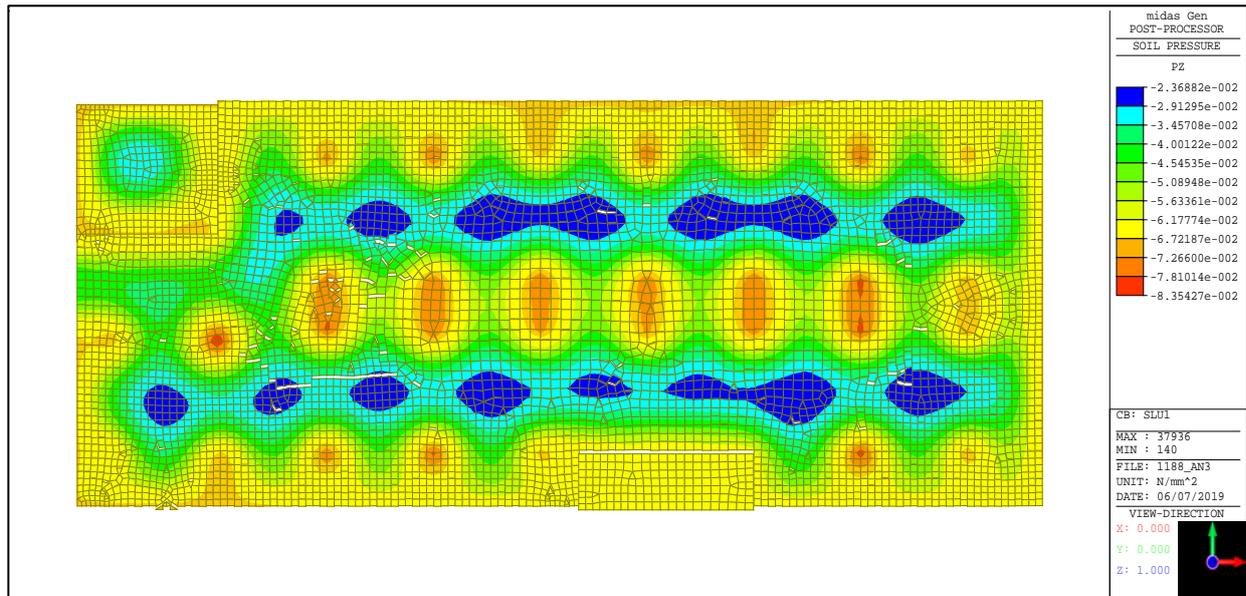


Figura 35 – Tasso di sfruttamento in direzione 2

#### 8.1.4 PARCHEGGIO INTERRATO – VERIFICA CAPACITÀ PORTANTE DEL TERRENO

Si riporta di seguito la pressione massima sul terreno al di sotto della platea di fondazione in combinazione di carico SLU.



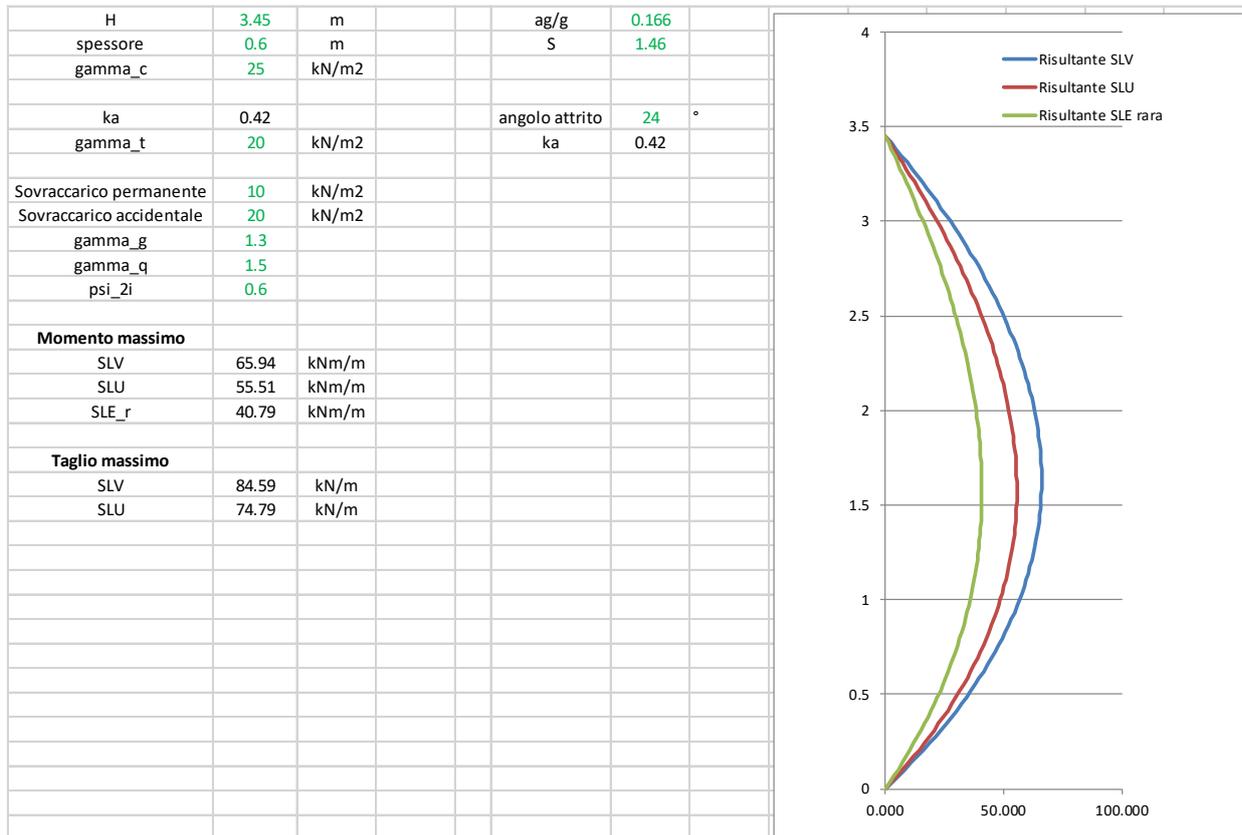
Come si evince dalla figura precedente, il valore di pressione massima  $\sigma_t$  è pari a

$$\sigma_t = 0.084 \text{ MPa}$$

Considerata l'estensione della platea di fondazione, tale valore risulta compatibile con le caratteristiche del terreno al di sotto della stessa.

### 8.1.5 VERIFICA PARATIA IN FASE DEFINITIVA

Si riporta di seguito la verifica della paratia nella fase definitiva, considerate le assunzioni riportate in precedenza.



Avendo posizionato i pali CFA a passo 60 cm, le azioni sollecitanti massime risultano le seguenti:

$$M_{ed,SLV} = 65.94 \cdot 0.6 = 39.56 \text{ kNm}$$

$$M_{ed,SLE} = 24.47 \text{ kNm}$$

Di seguito si riportano le verifiche della sezione del palo rispettivamente in combinazione SLU e in esercizio (SLE rara).

Verifica C.A. S.L.U. - File: 1188\_palo

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

Titolo :

Sezione circolare cava

Raggio esterno 30 [cm]  
Raggio interno 0 [cm]  
N° barre uguali 8  
Diametro barre 2.2 [cm]  
Copriferro (baric.) 7 [cm]

N° barre 0 Zoom

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

Vertici: 52 N° rett. 100  
Calcola MRd Dominio M-N  
L<sub>0</sub> 0 cm Col. modello

Precompresso

Sollecitazioni

S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> 0 0 kN  
M<sub>xEd</sub> 39.56 24.47 kNm  
M<sub>yEd</sub> 0 0

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

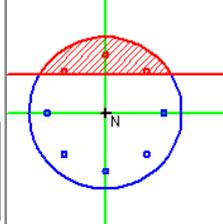
Tipo rottura  
Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

M<sub>xRd</sub> 249.3 kNm  
σ<sub>c</sub> -14.17 N/mm<sup>2</sup>  
σ<sub>s</sub> 391.3 N/mm<sup>2</sup>  
ε<sub>c</sub> 3.5 ‰  
ε<sub>s</sub> 9.093 ‰  
d 53 cm  
x 14.73 x/d 0.2779  
δ 0.7874

Materiali

B450C C25/30

ε<sub>su</sub> 67.5 ‰ ε<sub>c2</sub> 2 ‰  
f<sub>yd</sub> 391.3 N/mm<sup>2</sup> ε<sub>cu</sub> 3.5 ‰  
E<sub>s</sub> 200,000 N/mm<sup>2</sup> f<sub>cd</sub> 14.17  
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> 9.75  
σ<sub>s,adm</sub> 255 N/mm<sup>2</sup> τ<sub>co</sub> 0.6  
τ<sub>c1</sub> 1.829



Verifica C.A. S.L.U. - File: 1188\_palo

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

Titolo :

Sezione circolare cava

Raggio esterno 30 [cm]  
Raggio interno 0 [cm]  
N° barre uguali 8  
Diametro barre 2.2 [cm]  
Copriferro (baric.) 7 [cm]

N° barre 0 Zoom

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

Vertici: 52  
Verifica  
N° iterazioni: 4

Precompresso

Sollecitazioni

S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> 0 0 kN  
M<sub>xEd</sub> 39.56 24.47 kNm  
M<sub>yEd</sub> 0 0

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

Tipo rottura  
Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

M<sub>xRd</sub> 249.3 kNm  
σ<sub>c</sub> -1.844 N/mm<sup>2</sup>  
σ<sub>s</sub> 52.98 N/mm<sup>2</sup>  
ε<sub>c</sub> 0.2649 ‰  
ε<sub>s</sub> 0.2649 ‰  
d 53 cm  
x 18.18 x/d 0.343  
δ 0.8687

Materiali

B450C C25/30

ε<sub>su</sub> 67.5 ‰ ε<sub>c2</sub> 2 ‰  
f<sub>yd</sub> 391.3 N/mm<sup>2</sup> ε<sub>cu</sub> 3.5 ‰  
E<sub>s</sub> 200,000 N/mm<sup>2</sup> f<sub>cd</sub> 14.17  
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> 9.75  
σ<sub>s,adm</sub> 255 N/mm<sup>2</sup> τ<sub>co</sub> 0.6  
τ<sub>c1</sub> 1.829

