



# Autostrada dei Fiori

Tronco A10: Savona - Ventimiglia (confine francese)

## NUOVO SVINCOLO AUTOSTRADALE DI VADO LIGURE

CARREGGIATA SUD / CARREGGIATA NORD  
Progr. Km 47+545

### PROGETTO DEFINITIVO

### OPERE D'ARTE MAGGIORI

#### PONTE BOSSARINO 2

Relazione di calcolo sottostrutture e fondazioni

|   |   |                |   |
|---|---|----------------|---|
| <b>PROGETTISTA</b>  | <b>RESPONSABILE INTEGRAZIONE<br/>ATTIVITÀ SPECIALISTICHE</b>                          | <b>IMPRESA</b> | <b>COMMITTENTE</b>  |
| Dott. Ing. Enrico GHISLANDI<br>Ordine degli Ingegneri<br>Provincia di Milano n° 16993 | Dott. Ing. Enrico GHISLANDI<br>Ordine degli Ingegneri<br>Provincia di Milano n° 16993 |                | Autostrada dei Fiori S.p.A.<br>Via della Repubblica, 46<br>18100 Imperia (IM) |
|    |    |                |   |

| REV. | DATA          | DESCRIZIONE     | REDATTO | CONTR. | APPROV. | RIESAME | DATA          | SCALA |
|------|---------------|-----------------|---------|--------|---------|---------|---------------|-------|
|      |               |                 |         |        |         |         | Febbraio 2020 | -     |
|      |               |                 |         |        |         |         | N. Progr.     |       |
| A    | Febbraio 2020 | PRIMA EMISSIONE | SINA    | DT/OC  | DT      | DT      |               |       |



|                 |          |     |        |           |       |                 |
|-----------------|----------|-----|--------|-----------|-------|-----------------|
| <b>CODIFICA</b> | PROGETTO | LIV | TRONCO | DOCUMENTO | REV   | <b>WBS</b>      |
|                 | P280     | D   | A10    | OMG RC    | 004 A | A10IBT0001      |
|                 |          |     |        |           |       | <b>CUP</b>      |
|                 |          |     |        |           |       | I44E14000810005 |

|                                      |                                |
|--------------------------------------|--------------------------------|
| <b>RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO</b> | <b>VISTO DELLA COMMITTENTE</b> |
|                                      |                                |

**SINA S.p.A.**

**Comune di Vado Ligure  
Nuovo Svincolo Autostradale  
Progetto Definitivo**

**PONTE "BOSSARINO 2"  
RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO SOTTOSTRUTTURE E FONDAZIONI**

|             |                  |                    |                                     |                    |                  |   |
|-------------|------------------|--------------------|-------------------------------------|--------------------|------------------|---|
|             |                  |                    |                                     |                    |                  |  |
|             |                  |                    |                                     |                    |                  |   |
|             |                  |                    |                                     |                    |                  |  |
| 0           | Febbraio<br>2020 | Prima Emissione    | SINA                                | DT/OC              | DT               |   |
| <b>Rev.</b> | <b>Data</b>      | <b>Descrizione</b> | <b>Redatto</b>                      | <b>Controllato</b> | <b>Approvato</b> |   |
|             |                  |                    | Documento: P280_D_OMG_RC_004_A.docx |                    |                  |   |



## INDICE

|        |   |    |
|--------|---|----|
| 1.     | INTRODUZIONE .....  | 4  |
| 2.     | NORMATIVE DI RIFERIMENTO.....   | 5  |
| 3.     | INQUADRAMENTO GEOLOGICO .....   | 6  |
| 4.     | CARATTERIZZAZIONE E PARAMETRI GEOTECNICI .....                                      | 7  |
| 5.     | MATERIALI.....  | 8  |
| 5.1    | ACCIAIO DA CARPENTERIA PER MICROPALI .....  | 8  |
| 5.2    | ACCIAIO PER ARMATURA CONVENZIONALE DI STRUTTURE IN C.A. ....                        | 8  |
| 5.3    | CONGLOMERATO CEMENTIZIO .....   | 9  |
| 5.3.1  | CALCESTRUZZO PER FONDAZIONI .....   | 9  |
| 5.3.2  | CALCESTRUZZO PER ELEVAZIONI.....  | 10 |
| 6.     | CARICHI DI PROGETTO.....  | 11 |
| 6.1    | PESO PROPRIO TRAVI PREFABBRICATE .....  | 11 |
| 6.2    | PESO PROPRIO SOLETTA.....   | 11 |
| 6.3    | CARICHI PERMANENTI .....  | 11 |
| 6.4    | CARICHI MOBILI VARIABILI.....   | 11 |
| 6.5    | AZIONE LONGITUDINALE DI FRENAMENTO E ACCELERAZIONE .....                            | 12 |
| 6.6    | AZIONE DEL VENTO .....  | 13 |
| 6.6.1  | VENTO TRASVERSALE SULLE STRUTTURE DI IMPALCATO .....                                | 14 |
| 6.7    | VARIAZIONI TERMICHE ( $\epsilon_3$ ).....   | 15 |
| 6.7.1  | VARIAZIONI TERMICHE UNIFORMI ( $\Delta_{TN}$ ).....                                 | 15 |
| 6.7.2  | VARIAZIONI TERMICHE LINEARI ( $\Delta_{TM}$ ) .....                                 | 15 |
| 6.8    | SPINTA DELLE TERRE .....  | 15 |
| 6.9    | SPINTA DEL SOVRACCARICO.....  | 16 |
| 6.10   | RICOPRIMENTO.....   | 16 |
| 6.11   | AZIONI SISMICHE .....   | 16 |
| 6.11.1 | SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO IN ACCELERAZIONE DELLA<br>COMPONENTE ORIZZONTALE ..... | 17 |
| 6.11.2 | SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO IN ACCELERAZIONE DELLA<br>COMPONENTE VERTICALE .....   | 18 |
| 6.11.3 | INCREMENTO SISMICO DELLA SPINTA DELLE TERRE (TEORIA DI<br>WOOD).....                | 18 |



|       |   |     |
|-------|---|-----|
| 7.    | DESCRIZIONE DELL'OPERA .....            | 19  |
| 8.    | VERIFICA SPALLA LATO VENTIMIGLIA .....  | 21  |
| 8.1   | DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO..... | 21  |
| 8.1.1 | GEOMETRIA DEL MODELLO .....             | 21  |
| 8.1.2 | VINCOLI .....                           | 23  |
| 8.1.3 | CONDIZIONI DI CARICO STATICO .....      | 25  |
| 8.1.4 | COMBINAZIONI DI CARICO .....            | 37  |
| 8.2   | RISULTATI ANALISI STRUTTURALE .....     | 38  |
| 8.2.1 | REAZIONI VINCOLARI.....                 | 38  |
| 8.2.2 | DIAGRAMMI AZIONI INTERNE.....           | 41  |
| 8.3   | VERIFICHE ELEMENTI IN C.A .....         | 52  |
| 8.4   | VERIFICHE MICROPALI DI FONDAZIONE ..... | 59  |
| 9.    | VERIFICA SPALLA LATO GENOVA .....       | 62  |
| 9.1   | DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO..... | 62  |
| 9.1.1 | GEOMETRIA DEL MODELLO .....             | 62  |
| 9.1.2 | VINCOLI .....                           | 65  |
| 9.1.3 | CONDIZIONI DI CARICO STATICO .....      | 66  |
| 9.1.4 | COMBINAZIONI DI CARICO .....            | 78  |
| 9.2   | RISULTATI ANALISI STRUTTURALE .....     | 79  |
| 9.2.1 | REAZIONI VINCOLARI.....                 | 79  |
| 9.2.2 | DIAGRAMMI AZIONI INTERNE.....           | 82  |
| 9.3   | VERIFICHE ELEMENTI IN C.A .....         | 93  |
| 9.4   | VERIFICHE MICROPALI DI FONDAZIONE ..... | 100 |



## 1. INTRODUZIONE

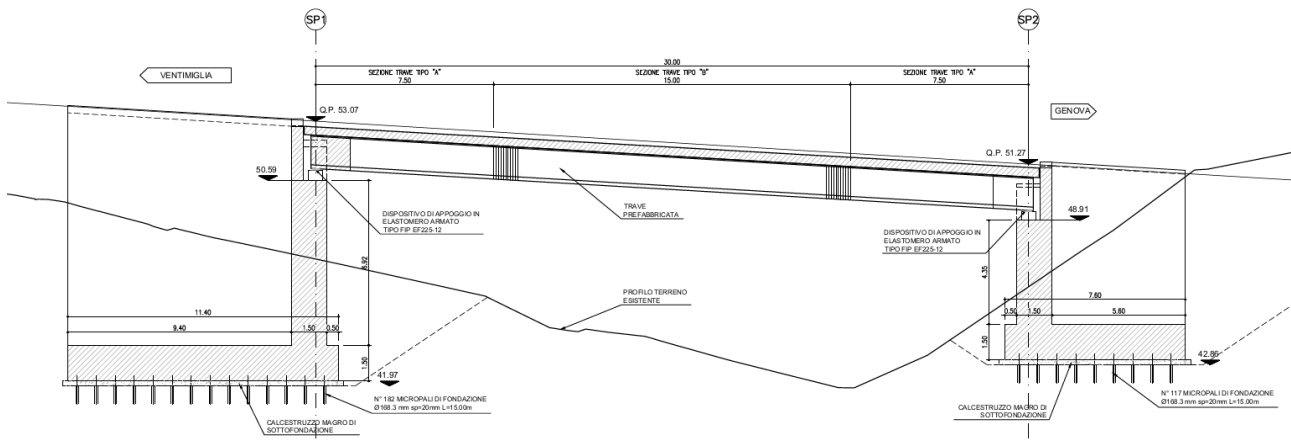
La presente relazione viene redatta nell’ambito del Progetto Definitivo del “Nuovo Svincolo Autostradale” da realizzarsi lungo la “Autostrada dei Fiori” A10 in provincia di Savona, nel Comune di Vado Ligure.

Nella presente relazione sono descritte le geometrie, i carichi e le verifiche strutturali e geotecniche delle spalle e fondazioni inerenti la realizzazione del “Bossarino 2”, posto lungo il ramo di svincolo Ventimiglia-Casello necessario per l’attraversamento dell’incisione valliva del rio Termini.

Le verifiche strutturali dell’impalcato sono presenti nella relazione specifica di progetto P280\_D\_OMG\_RC\_003.

### PROFILO LONGITUDINALE

Scala 1:100



Ponte Bossarino 2



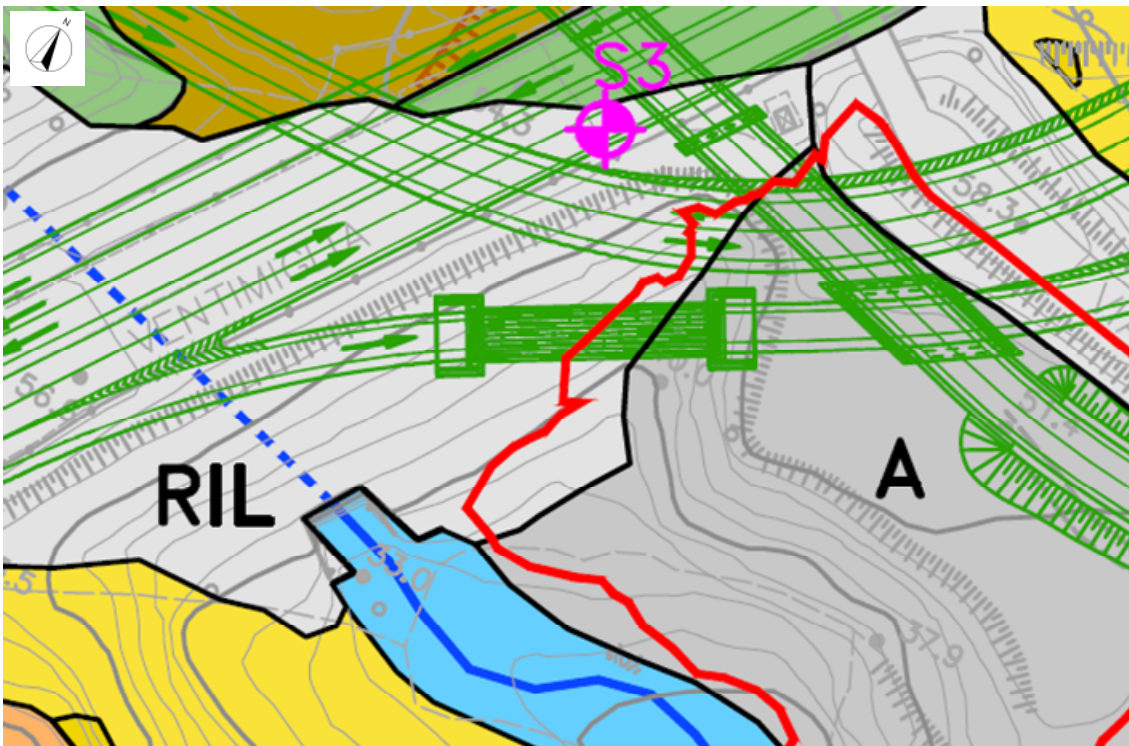
## 2. NORMATIVE DI RIFERIMENTO

Le opere oggetto della presente relazione di calcolo sono state sviluppate in base alle seguenti principali normative e istruzioni di riferimento.

- [1] Legge 05.11.1971 n.1086 "Norma per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato normale e precompresso ed a struttura metallica"
- [2] D.M. 17.01.2018 "Norme Tecniche per le Costruzioni"
- [3] Circ. 21.01.2019 n.7 Istruzioni per l'applicazione delle "Norme Tecniche per le Costruzioni" di cui al DM 17.01.2018
- [4] UNI EN 1991-1-5 Azioni sulle strutture – Parte 1-5: Azioni in generale – Azioni termiche
- [5] UNI EN 1991-2 Azioni sulle strutture – Parte 2: Carichi da traffico sui ponti
- [6] UNI EN 1992-1-1 Progettazione delle strutture di calcestruzzo – Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici

### 3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Dal punto di vista geologico, l'area del Ponte Bossarino 2 è caratterizzata superficialmente da depositi antropici. La spalla lato Ventimiglia si innesta nel rilevato autostradale esistente e la fondazione poggia sui metasedimenti permiani. La spalla lato Genova superficialmente s'inserisce in un'area che allo stato attuale presenta delle problematiche ambientali e che verrà sottoposta alle opportune bonifiche eseguite secondo Normativa.



#### ELEMENTI GEOLOGICI

##### DISCARICA

**DISC** Discarica di Bossarino: materiali misti di abbancamento

##### RITOMBAMENTO

**RIT** Terreni rimaneggiati di ritombamento della struttura della galleria ferroviaria “Tana”; spessore max di circa 20m (lavori eseguiti nel 1968-1970)

##### RIPORTI

**A** Perimetrazione area di riporto rifiuti (Ordinanza-diffida n°11\2013 del 20.02.2013 del comune di Vado Ligure); natura e spessore dei rifiuti non nota

**B** Terreni riportati all'epoca degli scavi di sbancamento del bacino della centrale ex E.N.E.L. (lavori eseguiti nel 1967) e/o della vicina linea ferroviaria (lavori eseguiti nel 1968-1970); spessori mediamente compresi fra 5m e 15m

**C** Terreni di riporto di livellamento locale del piazzale

##### RILEVATI

**RIL** Rilevati autostradali e stradali

##### DEPOSITI ALLUVIONALI

**AR** Depositi alluvionali recenti (Quaternario recente)

**AT** Depositi alluvionali terrazzati (Quaternario medio-recente)

##### DEPOSITI PLEISTOCENICI

**PT2** Depositi antichi di origine continentale (Pleistocene Medio) affioranti (a) e/o sub-affioranti (b)

**PT1** Depositi antichi di origine deltizia (Pleistocene Medio e Basso) affioranti (a) e/o sub-affioranti (b)

##### COPERTURA

**CDP** Copertura detritica discontinua di spessore mediamente compreso tra 3m e 5m

##### METASEDIMENTI PERMIANI

**WSP** Rocca affiorante (a) e/o sub-affiorante (b) in scadenti condizioni geomeccaniche (molto alterata e fratturata) con copertura detritica discontinua di spessore fino a 3m di spessore (Permiano)

##### ELEMENTI LINEARI E PUNTUALI

**a**, **b** Limite geologico certo (a) o presunto (b)

**350/45** Giacitura stratificazione e/o scistosità principale

**240/00** Giacitura sub-verticale

**400/05** Immersione asse di piega

**S1** Sondaggio geognostico a carotaggio continuo realizzato per il Progetto Definitivo (2019)

**P** Pozzo ad uso irriguo

Per maggiori dettagli si rimanda agli elaborati geologici e geotecnici specifici di progetto.



#### 4. CARATTERIZZAZIONE E PARAMETRI GEOTECNICI

I risultati delle indagini geotecniche, in sito e di laboratorio, hanno permesso di definire il modello geotecnico, rappresentativo delle condizioni stratigrafiche e delle caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni/rocce interessati dall'opera oggetto di studio.

I parametri geotecnici caratteristici utilizzati nelle analisi, in riferimento alla stratigrafia assunta, sono riportati nella tabella seguente:

| <b>Descrizione geologica (codice)</b> | <b>Descrizione geotecnica</b>   | <b><math>\gamma</math> (kN/m<sup>3</sup>)</b> | <b><math>\phi'</math> (°)</b> | <b><math>c'</math> (kPa)</b> | <b><math>E'_{25}</math> (MPa)</b> |
|---------------------------------------|---|---|-------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| Rilevati (RIL)                        | Ghiaia sabbioso limosa, addensata   | 19-20   | 34-36                         | 0-2                          | 50-80                             |
| Metasedimenti permiani (SC1)          | Scisti quarzo sericitici, scisti filladico-sericitici, scisti cloritico-sericitici, micascisti, molto alterati      | 21-22   | 24-26                         | 10-15                        | 50-90                             |
| Metasedimenti permiani (SC2)          | Scisti quarzo sericitici, scisti filladico-sericitici, scisti cloritico-sericitici, micascisti, mediamente alterati | 22-23   | 28-30                         | 20-40                        | 80-150                            |
| Metasedimenti permiani (SC3)          | Scisti quarzo sericitici, scisti filladico-sericitici, scisti cloritico-sericitici, micascisti, poco alterati       | 23-24   | 30-32                         | 60-80                        | 150-250                           |



## 5. MATERIALI

Si riportano le caratteristiche specifiche dei principali materiali da costruzione da utilizzare per la realizzazione degli impalcati per i ponti oggetto della presente Relazione.

### 5.1 ACCIAIO DA CARPENTERIA PER MICROPALI

E' previsto l'impiego di acciaio tipo S355H con le sguenti caratteristiche:

|  |                            |   |        |                   |
|--|----------------------------|---|--------|-------------------|
| Tensione caratteristica di snervamento             | $f_{yk}$                   | = | 355    | N/mm <sup>2</sup> |
| Tensione caratteristica di rottura                 | $f_{tk}$                   | = | 510    | N/mm <sup>2</sup> |
| Coefficiente parziale di sicurezza                 | $\gamma_{M0}$              | = | 1.05   | -                 |
| Coefficiente parziale di sicurezza per instabilità | $\gamma_{M1}$              | = | 1.05   | -                 |
| Resistenza di calcolo                              | $f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s$ | = | 338.10 | N/mm <sup>2</sup> |
| Modulo Elastico                                    | $E_s$                      | = | 210000 | N/mm <sup>2</sup> |

### 5.2 ACCIAIO PER ARMATURA CONVENZIONALE DI STRUTTURE IN C.A.

E' previsto l'impiego di acciaio tipo B450C con le sguenti caratteristiche:

|   |                            |   |        |                   |
|---|----------------------------|---|--------|-------------------|
| Tensione caratteristica di snervamento                  | $f_{yk}$                   | = | 450    | N/mm <sup>2</sup> |
| Tensione caratteristica di rottura                      | $f_{tk}$                   | = | 540    | N/mm <sup>2</sup> |
| Coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio | $\gamma_s$                 | = | 1.15   | -                 |
| Resistenza di calcolo                                   | $f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s$ | = | 391.30 | N/mm <sup>2</sup> |
| Modulo Elastico   | $E_s$                      | = | 210000 | N/mm <sup>2</sup> |



### 5.3 CONGLOMERATO CEMENTIZIO

#### 5.3.1 CALCESTRUZZO PER FONDAZIONI

E' previsto l'impiego di calcestruzzo tipo C25/30 con le seguenti caratteristiche:

|  |  |   |       |                   |
|--|--|---|-------|-------------------|
| Resistenza caratteristica cubica a compressione          | $R_{ck}$                                       | = | 30,00 | N/mm <sup>2</sup> |
| Resistenza caratteristica cilindrica a compressione      | $f_{ck} = 0.83 \cdot R_{ck}$                   | = | 25,00 | N/mm <sup>2</sup> |
| Resistenza media cilindrica a compressione               | $f_{cm} = f_{ck} + 8$                          | = | 33,00 | N/mm <sup>2</sup> |
| Resistenza media a trazione semplice                     | $f_{ctm} = 0.30 f_{ck}^{2/3}$                  | = | 2,56  | N/mm <sup>2</sup> |
| Resistenza caratteristica a trazione                     | $f_{ctk} = 0.7 f_{ctm}$                        | = | 1,80  | N/mm <sup>2</sup> |
| Coefficiente riduttivo per le resistenze di lunga durata | $\alpha_{cc}$                                  | = | 0,85  |                   |
| Coefficiente parziale di sicurezza del calcestruzzo      | $\gamma_c$                                     | = | 1,50  |                   |
| Resistenza di calcolo a compressione                     | $f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c$ | = | 14,17 | N/mm <sup>2</sup> |
| Resistenza di calcolo a trazione                         | $f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c$                 | = | 1,20  | N/mm <sup>2</sup> |
| Modulo Elastico  | $E_{cm} = 22000 (f_{cm}/10)^{0.3}$             | = | 31480 | N/mm <sup>2</sup> |

|                              |           |
|------------------------------|-----------|
| Classe di esposizione:       | XC2       |
| Classe di consistenza:       | S4        |
| Copriferro minimo:           | 50 mm     |
| Contenuto minimo di cemento: | 300 kg/mc |
| Massimo rapporto A/C:        | 0.50      |



### 5.3.2 CALCESTRUZZO PER ELEVAZIONI

E' previsto l'impiego di calcestruzzo tipo C32/40 con le seguenti caratteristiche:

|  |  |   |       |                   |
|--|--|---|-------|-------------------|
| Resistenza caratteristica cubica a compressione          | $R_{ck}$                                       | = | 40,00 | N/mm <sup>2</sup> |
| Resistenza caratteristica cilindrica a compressione      | $f_{ck} = 0.83 \cdot R_{ck}$                   | = | 32,00 | N/mm <sup>2</sup> |
| Resistenza media cilindrica a compressione               | $f_{cm} = f_{ck} + 8$                          | = | 40,00 | N/mm <sup>2</sup> |
| Resistenza media a trazione semplice                     | $f_{ctm} = 0.30 f_{ck}^{2/3}$                  | = | 3,02  | N/mm <sup>2</sup> |
| Resistenza caratteristica a trazione                     | $f_{ctk} = 0.7 f_{ctm}$                        | = | 2,12  | N/mm <sup>2</sup> |
| Coefficiente riduttivo per le resistenze di lunga durata | $\alpha_{cc}$                                  | = | 0,85  |                   |
| Coefficiente parziale di sicurezza del calcestruzzo      | $\gamma_c$                                     | = | 1,50  |                   |
| Resistenza di calcolo a compressione                     | $f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c$ | = | 18,13 | N/mm <sup>2</sup> |
| Resistenza di calcolo a trazione                         | $f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c$                 | = | 1,41  | N/mm <sup>2</sup> |
| Modulo Elastico  | $E_{cm} = 22000 (f_{cm}/10)^{0.3}$             | = | 33350 | N/mm <sup>2</sup> |

Classe di esposizione: XS1-XC4-XF2

Classe di consistenza: S4

Copriferro minimo: 55 mm

Contenuto minimo di cemento: 340 kg/mc

Massimo rapporto A/C: 0.50



## 6. CARICHI DI PROGETTO

Per le verifiche relative alle opere in oggetto, le principali azioni considerate sono di seguito riassunte:

- peso proprio travi prefabbricate;
- carichi permanenti portati di tipo non strutturale (pavimentazione stradale, barriere, parapetti ecc.);
- azioni variabili da traffico sulla sede stradale già comprensivi del coefficiente di incremento dinamico;
- azioni longitudinali di avviamento/frenamento;
- azioni trasversali centrifughe;
- azioni del vento;
- azioni sismiche.

Nelle sezioni seguenti si riportano a chiarimento i singoli contributi sopra menzionati.

### 6.1 PESO PROPRIO TRAVI PREFABBRICATE

Per il calcolo del peso proprio degli elementi in c.a.p. è stato considerato il peso di volume del calcestruzzo pari a  $\rho_{fe} = 25 \text{ kN/m}^3$ .

### 6.2 PESO PROPRIO SOLETTA

Il peso della soletta risulta pari a:

- soletta (sp. 30):  $0,3 \text{ m} \times 25,00 \text{ kN/m}^3 = 7,50 \text{ kN/m}^2$

### 6.3 CARICHI PERMANENTI

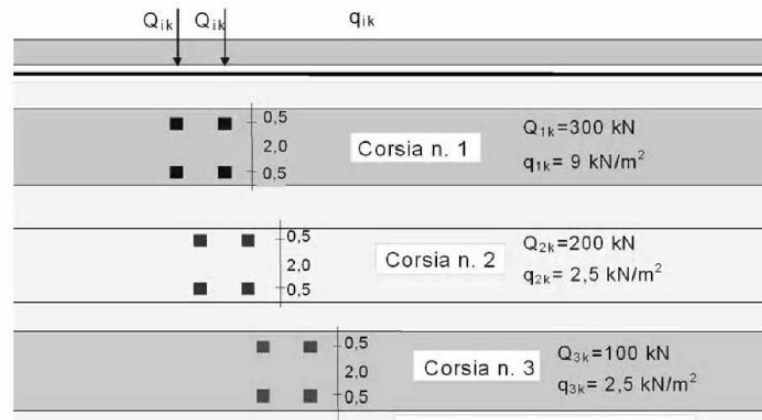
I sovraccarichi permanenti considerati sono i seguenti:

- Vele di bordo (sp. 8 cm):  $= 2 \times 0,80 \text{ kN/m}$
- Marciapiedi (sp. 15 cm):  $0,15 \text{ m} \times 25,0 \text{ kN/m}^3 = 3,75 \text{ kN/m}^2$
- Barriere sicurvia:  $= 2 \times 1,50 \text{ kN/m}$
- Reti di protezione e parapetti:  $= 2 \times 3,00 \text{ kN/m}$
- Pavimentazione, sp. 10 cm:  $= 3,00 \text{ kN/m}^2$

### 6.4 CARICHI MOBILI VARIABILI

Per i carichi variabili da traffico si farà riferimento allo **Schema di carico 1** costituito da carichi concentrati su due assi in tandem ( $Q_{i,k}$ ) e da carichi distribuiti uniformemente sulle corsie ( $q_{i,k}$ ).





I carichi concentrati sugli assi in tandem ed i carichi uniformemente distribuiti dello **Schema di Carico 1**, comprensivi degli effetti dinamici, vanno differenziati per le diverse corsie convenzionali come indicato nel prospetto seguente.

|                           | Carico singolo asse ( $Q_{ik}$ ) | Carico uniforme ( $q_{ik}$ ) |
|---------------------------|----------------------------------|------------------------------|
| Corsia n. 1               | 300 kN (150 kN/impronta)         | 9,0 kN/m <sup>2</sup>        |
| Corsia n. 2               | 200 kN (100 kN/impronta)         | 2,5 kN/m <sup>2</sup>        |
| Parte carrabile rimanente | --                               | 2,5 kN/m <sup>2</sup>        |

Le disposizioni trasversali dei carichi mobili assunte producono i massimi effetti sulle strutture. In particolare, si è fatto riferimento a:

- Singola corsia di carico su impalcato con distribuzione fortemente eccentrica lato esterno curva;
- Impalcato a pieno carico (due corsie di carico)

Sulla superficie dei camminamenti laterali, pur non essendo questi marciapiedi ad uso pubblico, ma percorsi per personale tecnico di servizio, si considera comunque un sovraccarico centrato in combinazione con i carichi stradali di  $q_{5,k} = 2.50 \text{ kN/m}^2$  per una larghezza di 1.50 m.

Le disposizioni longitudinali considerate per le verifiche di resistenza degli elementi strutturali in progetto (travi, traversi, apparecchi di appoggio) sono state definite per massimizzare gli effetti flettenti in mezzzeria e i massimi tagli e massimi scarichi agli appoggi.

## 6.5 AZIONE LONGITUDINALE DI FRENAMENTO E ACCELERAZIONE

La forza di frenamento o accelerazione  $q_3$  è funzione del carico verticale totale agente sulla corsia convenzionale n. 1 ed è uguale a:

$$180 \text{ kN} \leq q_3 = 0.6(2Q_{1k}) + 0.10 q_{1k} w_1 L \leq 900 \text{ kN}$$

## 6.6 AZIONE DEL VENTO

La pressione statica equivalente al vento sulle strutture d'impalcato è valutata in base all'espressione seguente:

$$p_v = q_b \times C_e \times C_p \times C_d$$

- $q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_{b(TR)}^2$  è la pressione cinetica di riferimento, funzione della velocità di riferimento del vento e della densità dell'aria;
- $\rho$  è la densità dell'aria assunta costante e pari a  $1,25 \text{ kg/m}^3$ ;
- $v_{b(TR)} = \alpha_R \times v_b$  è la velocità di riferimento del vento riferita ad un generico periodo di ritorno e funzione di  $v_b$  e del parametro correttivo  $\alpha_R$ ;
- $v_b$  è la velocità di riferimento del vento a 10 m dal suolo, mediata su 10 minuti e riferita ad un periodo di ritorno di 50 anni;
- $c_e$  è il coefficiente di esposizione che dipende dall'altezza sul suolo e dalla categoria di esposizione del sito ove sorge la costruzione;
- $c_p$  è il coefficiente di forma (coefficiente aerodinamico), funzione della tipologia e della geometria della costruzione e del suo orientamento rispetto alla direzione del vento;

$c_d$  è il coefficiente dinamico che tiene conto degli effetti riduttivi associati alla non contemporaneità delle massime pressioni locali e degli effetti amplificativi dovuti alle vibrazioni strutturali.

Ciò premesso, si evidenziano i parametri che definiscono l'azione del vento sulla struttura in esame:

- Zona 7 (Liguria);
- Velocità di riferimento del vento:  $v_{b0} = 28 \text{ m/s}$  (101 km/hr);
- Classe di rugosità del terreno D – Aree prive di ostacoli.
- pressione cinetica di riferimento:

$$q_b = \frac{1}{2} \rho \cdot v_b^2 = \frac{1}{2} 1,25 \cdot (1,125 \cdot 28)^2 = 620 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 0,620 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

### Coefficiente di esposizione

Il coefficiente di esposizione  $c_e$  dipende dall'altezza  $z$  sul suolo del punto considerato, dalla topografia del terreno e dalla categoria di esposizione del sito. In assenza di analisi specifiche che tengano in conto la direzione di provenienza del vento e l'effettiva scabrezza e topografia del terreno circostante il coefficiente di esposizione è dato dalla formula seguente:

$$c_e(z) = k_r^2 c_i \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \times \left[7 + c_i \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)\right] \quad (\text{per } z \geq z_{\min})$$

$$c_e(z) = c_e(z_{\min}) \quad (\text{per } z < z_{\min})$$

ove  $k_r$ ,  $z_0$  e  $z_{min}$  sono assegnati in funzione della particolare categoria di esposizione che, in mancanza di analisi specifiche, può essere assegnata in funzione della posizione geografica del sito e della classe di rugosità del terreno. Il coefficiente di topografia  $c_t$  è posto generalmente pari a 1, sia per le zone pianeggianti sia per quelle ondulate, collinose e montane.

Parametri per la definizione del coefficiente di esposizione

| Categoria di esposizione del sito | $k_r$ | $z_0$ [m] | $z_{min}$ [m] |
|-----------------------------------|-------|-----------|---------------|
| I                                 | 0,17  | 0,01      | 2             |
| II                                | 0,19  | 0,05      | 4             |
| III                               | 0,20  | 0,10      | 5             |
| IV                                | 0,22  | 0,30      | 8             |
| V                                 | 0,23  | 0,70      | 12            |

| ZONE 7,8 |        |        |     |
|----------|--------|--------|-----|
|          | costa  |        |     |
|          | mare   |        |     |
|          | 1.5 km | 0.5 km |     |
| A        | --     | --     | IV  |
| B        | --     | --     | IV  |
| C        | --     | --     | III |
| D        | I      | II     | *   |

\* Categoria II in zona 8  
Categoria III in zona 7

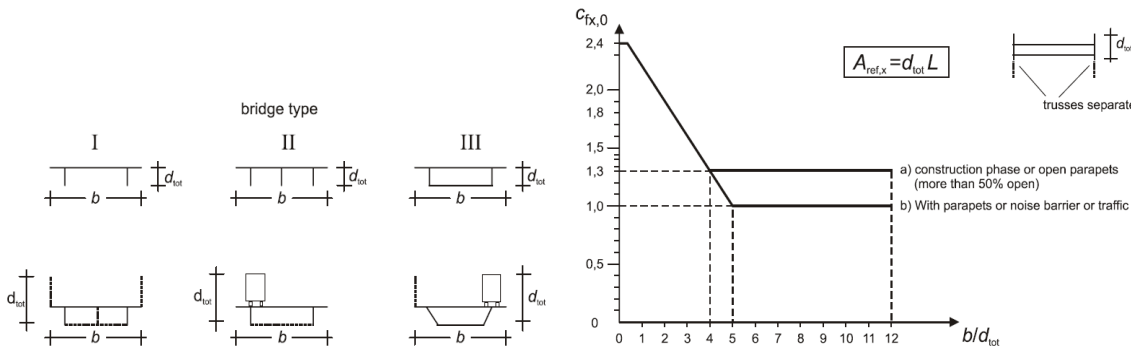
Categoria di esposizione III       $k_r = 0,20$ ;       $z_0 = 0,10$  m;       $z_{min} = 5,00$  m

Si passa a valutare il coefficiente di esposizione  $c_e$  alla quota di estradosso dell'impalcato in corrispondenza della sezione di massima altezza dal suolo, assunta a favore di sicurezza pari a 13,00 m:

$$c_{e1} = c_e(z = 13,00 \text{ m}) = 0,20^2 \cdot 1,00 \cdot \ln\left(\frac{13,00}{0,10}\right) \times \left[7 + 1,00 \cdot \ln\left(\frac{13,00}{0,10}\right)\right] = 2,311$$

### 6.6.1 VENTO TRASVERSALE SULLE STRUTTURE DI IMPALCATO

Il coefficiente di forma è determinato sulla base del diagramma fornito al § 8.3.1 dall'Eurocodice 1 Azioni sulle strutture – Parte 1-4: Azioni in generale - Azioni del vento (UNI EN 1991-1-4) e qui di seguito riportato, che mette in relazione l'altezza e la larghezza dell'impalcato investito dall'azione cinetica del vento.



Schema di variabilità del coefficiente di forma per impalcato da ponte

L'altezza di impalcato è determinata prendendo in considerazione i seguenti contributi:

- |  |        |
|--|--------|
| 1. Altezza impalcato                             | 1,70 m |
| 2. Altezza cordolo laterale sopra pavimento      | 0,15 m |
| 3. Altezza barriera di protezione                | 2,50 m |
| 4. Altezza convenzionale della colonna di carico | 3,00 m |

## 6.7 VARIAZIONI TERMICHE ( $\epsilon_3$ )

Si fa riferimento ai criteri contenuti in EN 1991-1-5/NTC18, cap. 3.5, unitamente all'annesso nazionale, sia per quanto riguarda il calcolo del range di temperatura, sia per quanto riguarda l'approccio di calcolo.

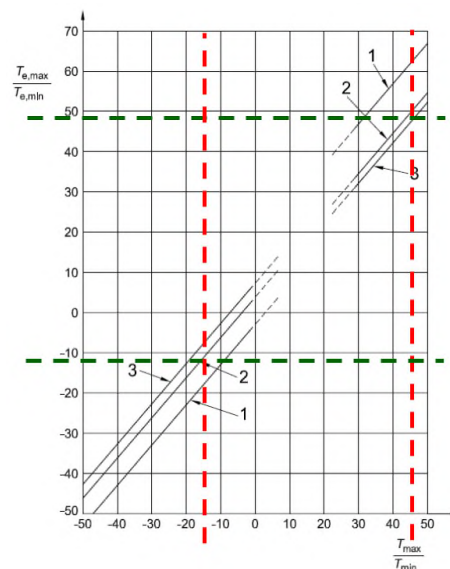
### 6.7.1 VARIAZIONI TERMICHE UNIFORMI ( $\Delta_{TN}$ )

Per l'Italia, il “range” di temperatura dell'aria è definito dai seguenti valori (NTC-08 cap. 3.5 – EN 1991-1-5+N.A.D.):

- $T_{min} = -15 \text{ °C}$
- $T_{max} = +45 \text{ °C}$

Per strutture da ponte di gruppo 2 (EN 1991-1-5, 6.1.1.), la temperatura della struttura risulta pertanto:

- $T_{e,min} = -11 \text{ °C}$
- $T_{e,max} = +49.3 \text{ °C}$



a cui corrisponde complessivamente un'escursione pari a:  $\Delta_{TN} = 60.3 \text{ °C}$

### 6.7.2 VARIAZIONI TERMICHE LINEARI ( $\Delta_{TM}$ )

La componente lineare della variazione termica sulla soletta di impalcato è valutata in accordo alla procedura semplificata di cui al prospetto 6.2a – § 6.1.4.2 dell'Eurocodice 1 (EN 1991–1–5): Actions on structures – Part 1-5: General actions – Thermal actions tenendo conto di una variazione di temperatura uniforme sulla sola soletta in calcestruzzo pari alternativamente a  $\Delta Ts = \pm 10 \text{ °C}$ .

## 6.8 SPINTA DELLE TERRE

La spinta del terreno presente a tergo delle spalle va considerata come carico permanente di tipo *strutturale* in quanto il terreno laterale interagendo con l'opera contribuisce, con le sue caratteristiche di peso, resistenza e rigidezza, al comportamento strutturale dell'opera



A favore di sicurezza per il calcolo della spinta del terreno si è utilizzato il coefficiente di spinta a riposo delle terre pari a  $k_0 = 1 - \sin(\Phi)$  con  $\Phi$  pari all'angolo di attrito del terreno riscontrato nelle indagini geologiche e geotecniche.

La spinta avrà pertanto un andamento triangolare e descritto da  $p = k_0 \gamma z$ .

## 6.9 SPINTA DEL SOVRACCARICO

La spinta derivante dal sovraccarico presente sul piano stradale a tergo della spalla è considerata tenendo in conto di un contributo pari a  $p = k_0 q$  dove  $k_0$  è il coefficiente di spinta a riposo del terreno e  $q$  è il valore del sovraccarico presente.

La spinta avrà pertanto un andamento costante lungo tutto lo sviluppo in altezza della spalla.

## 6.10 RICOPRIMENTO

Dove presente è stato considerato il carico derivante dal ricoprimento dell'elemento orizzontale della spalla. La pressione uniforme è data da  $p = \gamma H$  dove  $H$  è l'altezza dello strato di ricoprimento.

## 6.11 AZIONI SISMICHE

La valutazione dell'azione sismica sulle strutture è stata condotta in osservanza alle prescrizioni contenute nel D.M. 17.01.2018: “Norme Tecniche per le Costruzioni”.

Per quanto riguarda la vita nominale, le classi d'uso e il periodo di riferimento, secondo le definizioni di cui al § 2.4 del D.M. 17.01.2018:

Tipo di costruzione: 3 (ponti e opere infrastrutturali di importanza strategica)

Vita nominale:  $V_N \geq 100$  anni

Classe d'uso: IV (Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001 n. 6792)

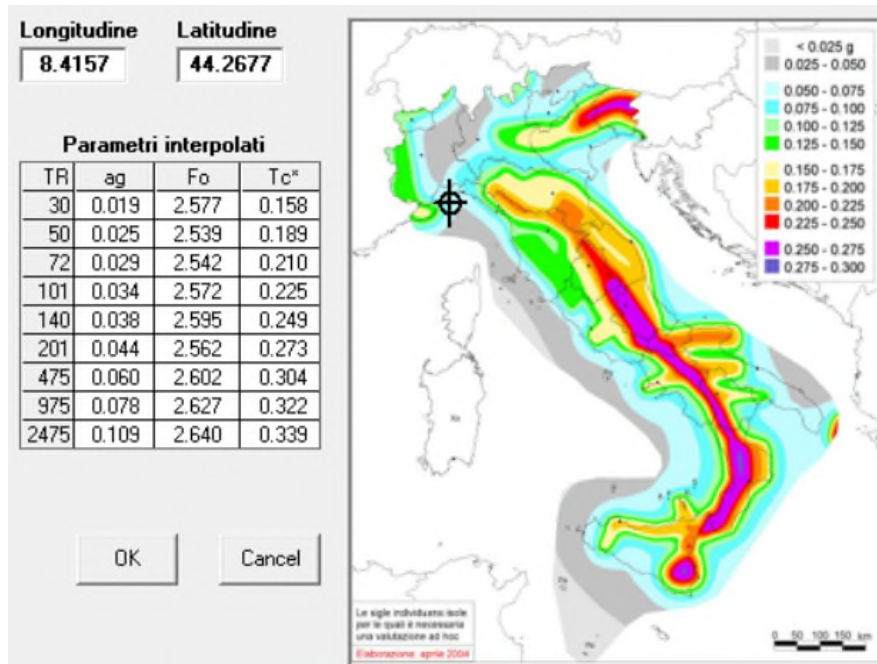
Coefficiente d'uso:  $C_u = 2.0$

Periodo di riferimento per le azioni sismiche:  $V_R = V_N C_u = 200$  anni

Categoria di sottosuolo: B

Caratteristiche topografiche: T2.

I parametri caratteristici adottati per l'individuazione delle azioni sismiche sono i seguenti:



Sismicità del sito in esame

Il modello di riferimento per la descrizione del moto sismico è lo spettro di risposta elastico di cui al § 3.2.3 del D.M. 17.01.2018.

In sede di analisi e verifiche si è fatto riferimento al seguente stato limite ultimo:

**SLV – Stato Limite di salvaguardia della Vita.** Si considera una probabilità di superamento PVR dello SLU nella vita di riferimento pari al 10% che, unitamente al valore VR della vita di riferimento delle opere, determina il seguente periodo di ritorno dell’azione sismica:

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{V_R})} = -\frac{200}{\ln(1 - 0,10)} = 1898 \text{ anni}$$

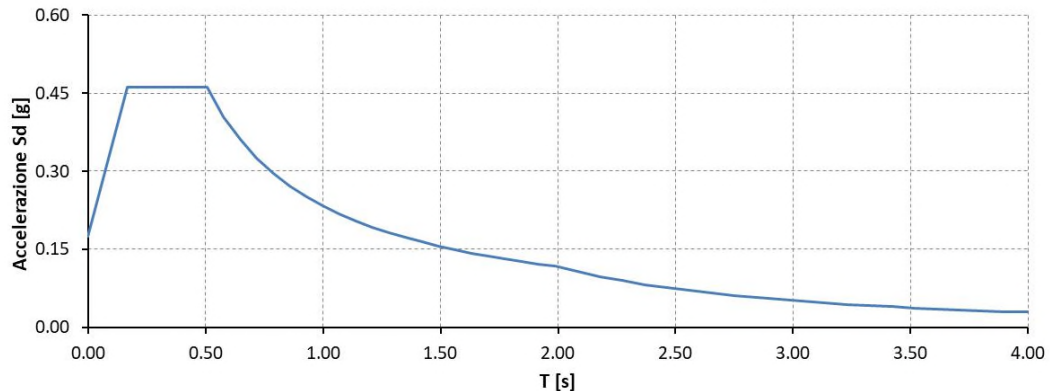
L’analisi sismica del ponte oggetto della presente relazione di calcolo è stata effettuata mediante analisi lineare dinamica (analisi modale con spettro di risposta) ai sensi di quanto indicato al § 7.10.5.3.2 del D.M. 17.01.2018.

La verifica degli elementi portanti e costituenti le sottostrutture (spalle) è condotta introducendo un fattore di struttura “q” con valore unitario intendendo che tali elementi rimangano sostanzialmente in campo elastico durante un evento sismico.

### 6.11.1 SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO IN ACCELERAZIONE DELLA COMPONENTE ORIZZONTALE

Lo spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali (longitudinale e trasversale), per uno smorzamento viscoso convenzionale  $\xi = 5\%$  ( $\eta = 1$ ), così ottenuto per lo stato limite di salvaguardia della vita è illustrato alla figura seguente:

Spettro elastico di progetto - componente orizzontale

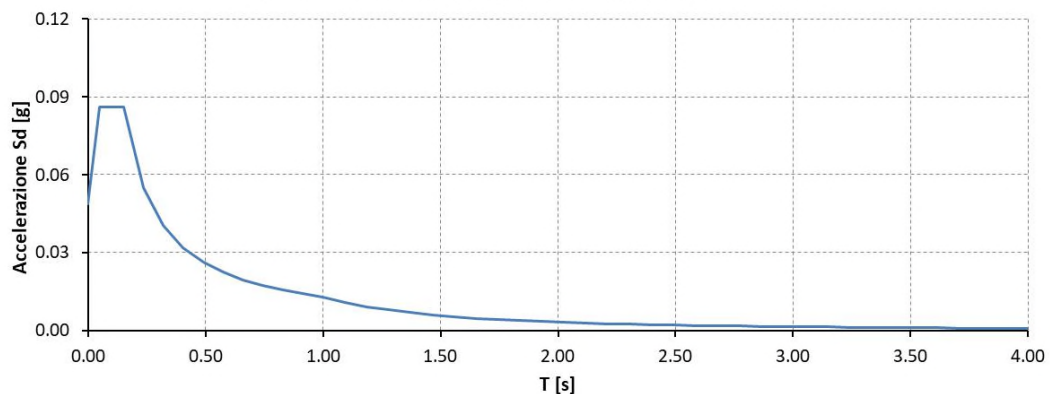


Spettro elastico delle componenti orizzontali

### 6.11.2 SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO IN ACCELERAZIONE DELLA COMPONENTE VERTICALE

Lo spettro di risposta elastico in accelerazione della componente verticale, ottenuto per lo stato limite di salvaguardia della vita, è illustrato alla figura seguente:

Spettro elastico di progetto - componente verticale



Spettro elastico della componente verticale

### 6.11.3 INCREMENTO SISMICO DELLA SPINTA DELLE TERRE (TEORIA DI WOOD)

Le azioni sismiche associate alle spinte del terreno presente a tergo delle spalle sono studiate secondo la teoria di Wood.

È stato pertanto considerato un incremento della spinta delle terre costituito da una pressione uniforme agente su tutto lo sviluppo in alzata della spalla pari al peso del terreno moltiplicato per l'accelerazione massima attesa, ovvero:

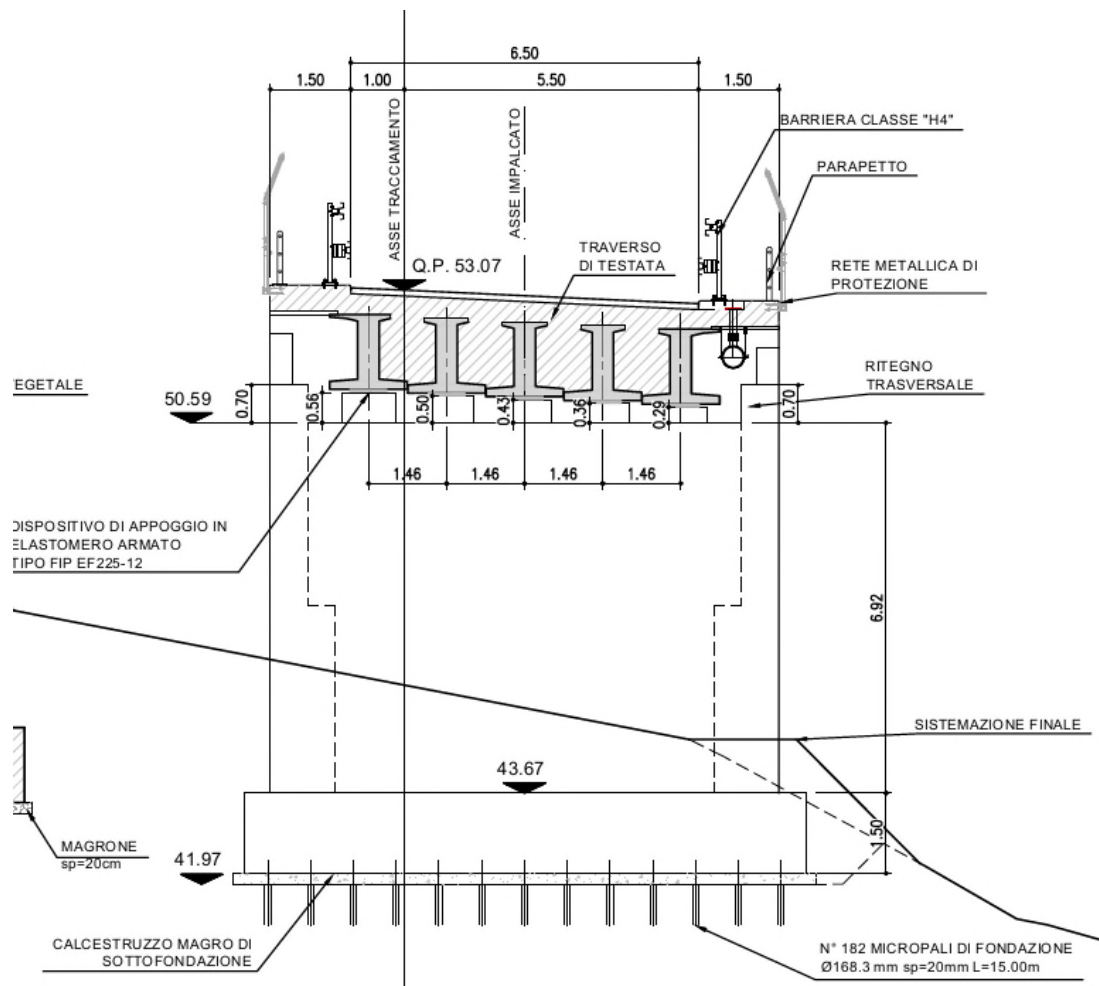
$$E = S_s * S_t * a_g/g * \gamma * H$$



## 7. DESCRIZIONE DELL'OPERA

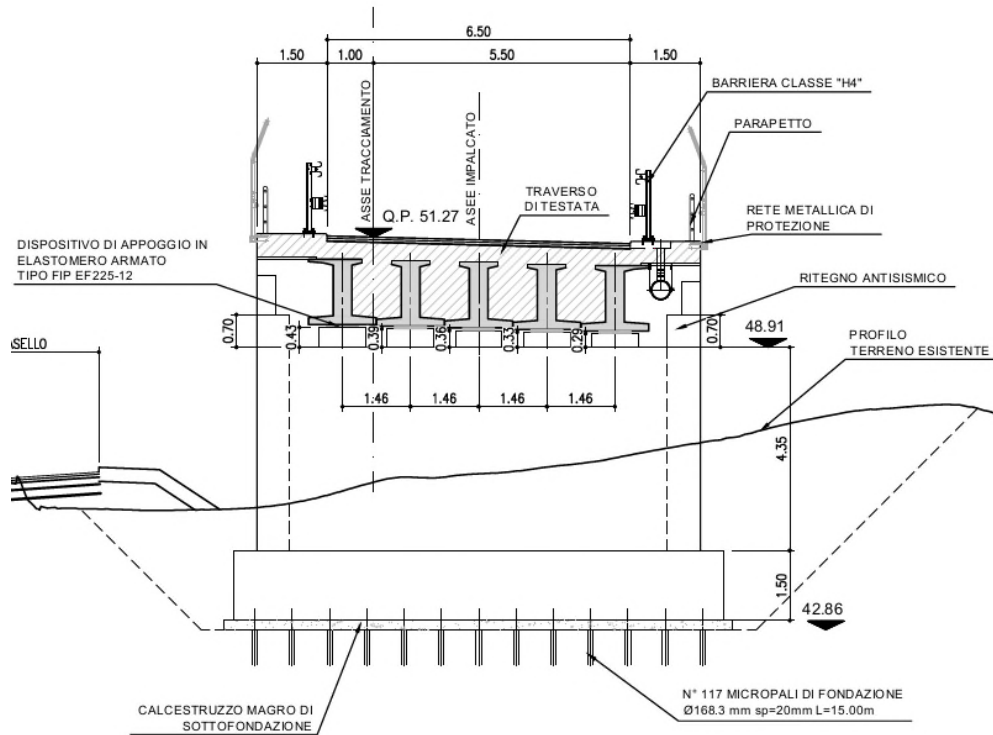
Trattasi di un ponte a una campata semplicemente appoggiata, della lunghezza di 30m, con un impalcato realizzato mediante la posa di travi prefabbricate in c.a.p. con sezione a “doppia T” aventi la piattabanda inferiore più massiva di quella superiore ed il getto di una soletta superiore in c.a. dello spessore di 30cm.

Le spalle sono previste in c.a. gettate in opera e sono composte da un elemento orizzontale ed uno verticale entrambi di spessore 150cm: la spalla 1 (lato Ventimiglia) ha una altezza del piedritto di circa 7m mentre la spalla 2 (lato Genova) presenta una altezza dell'elemento verticale di 4.35m. entrambe le spalle sono fondate su micropali. I micropali hanno una camicia avente diametro esterno di 168.3mm e spessore 10mm, sotto la spalla 1 sono stati previsti 182 micropali di lunghezza 15m mentre sotto la spalla 2 sono stati previsti 117 micropali di lunghezza 15m.



Spalla lato Ventimiglia





Spalla lato Genova

## 8. VERIFICA SPALLA LATO VENTIMIGLIA

L'analisi per valutare il comportamento globale della struttura è stata eseguita sviluppando un modello ad elementi finiti tridimensionale con il software di calcolo MIDAS GEN.

Le varie parti della struttura sono state schematizzate mediante elementi di tipo plate.

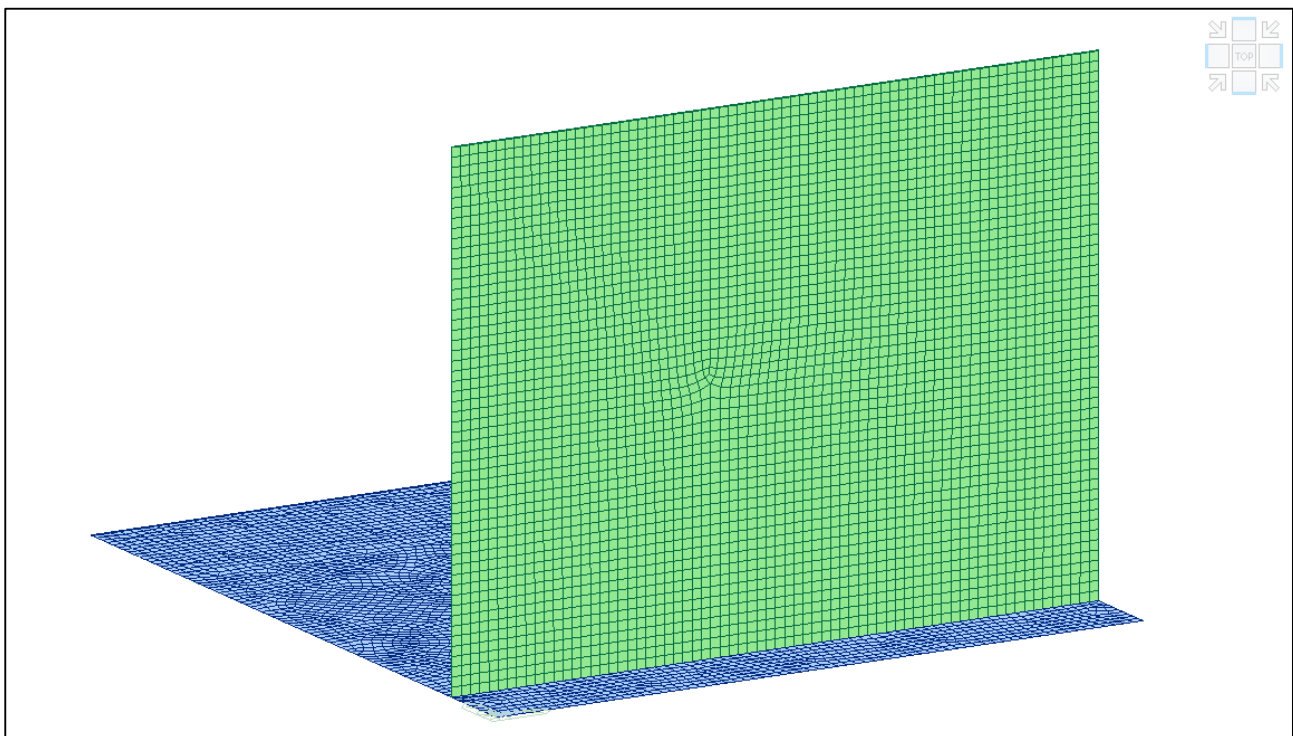
Nei successivi paragrafi sono descritte in dettaglio tutte le ipotesi poste alla base delle analisi sviluppate.

### 8.1 DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO

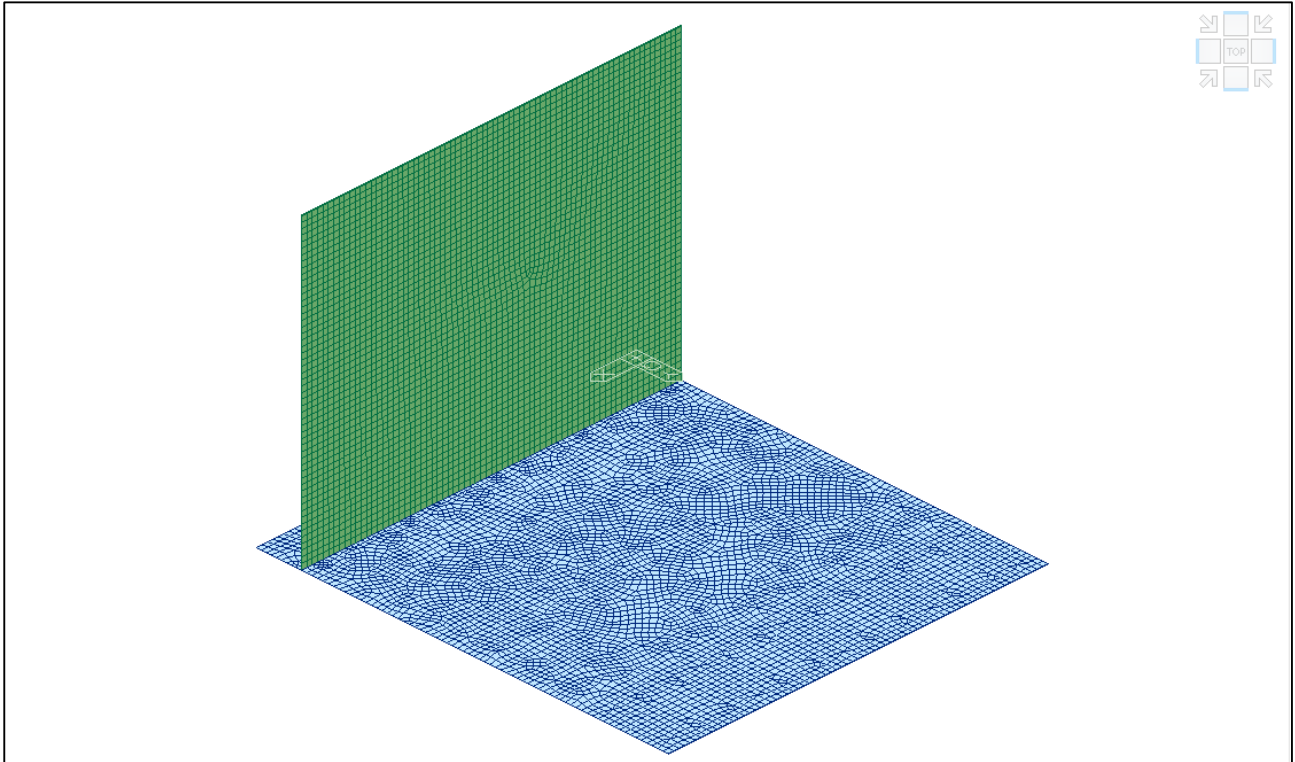
#### 8.1.1 GEOMETRIA DEL MODELLO

La spalla si compone di un muro frontale dello spessore di 150 cm e da una platea di fondazione dello spessore di 150cm. In sommità è presente un paraghiaia di spessore pari a 50 cm.

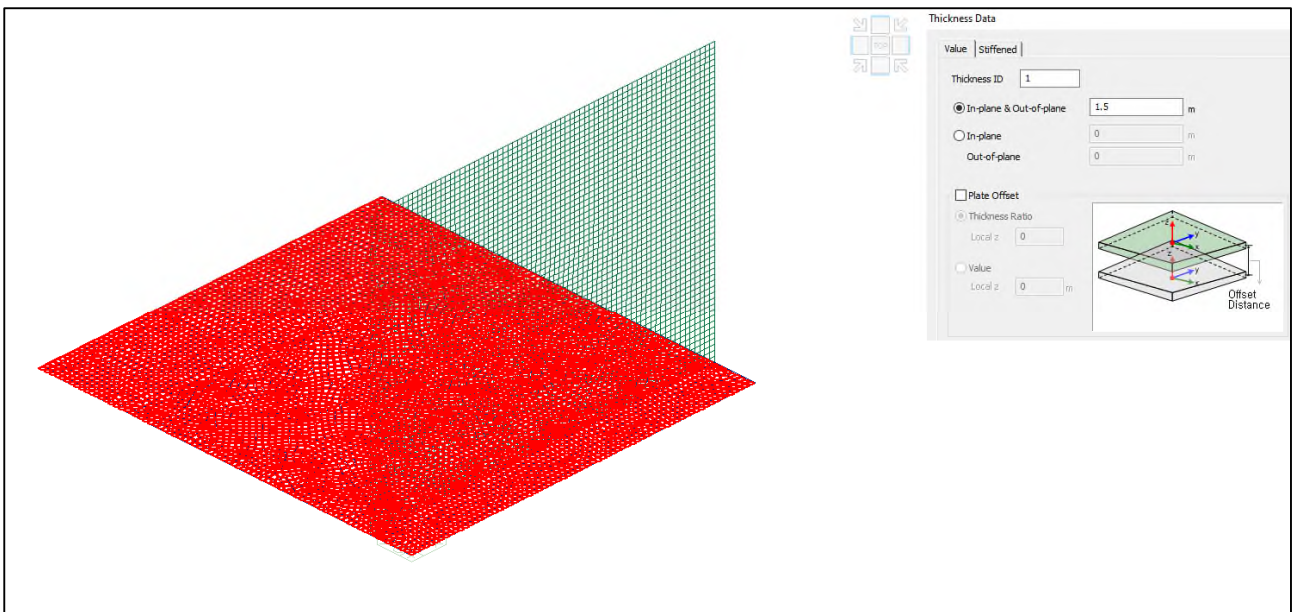
E' stato sviluppato un modello globale della struttura di tipo lineare. I vari elementi sono stati schematizzati assumendo diverse caratteristiche geometriche per le varie sezioni previste.



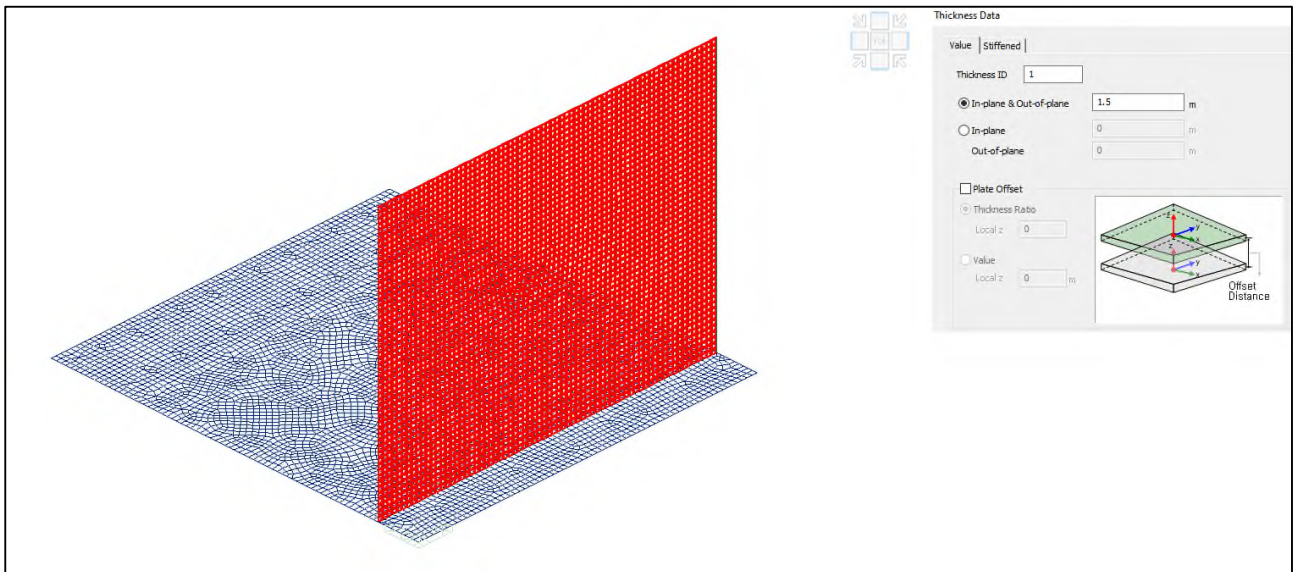
Modello FEM - Vista 1 – Spalla lato Ventimiglia



Modello FEM - Vista 2 – Spalla lato Ventimiglia



Modello FEM - Identificazione platea spessore 1.50m in calcestruzzo C25/30



Modello FEM - Identificazione platea spessore 1.50m in calcestruzzo C32/40

### 8.1.2VINCOLI

La struttura risulta vincolata a terra mediante Point Spring applicate in corrispondenza dei micropali. Le costanti verticali ed orizzontali, che simulano la presenza del micropalo, sono state calcolate come segue

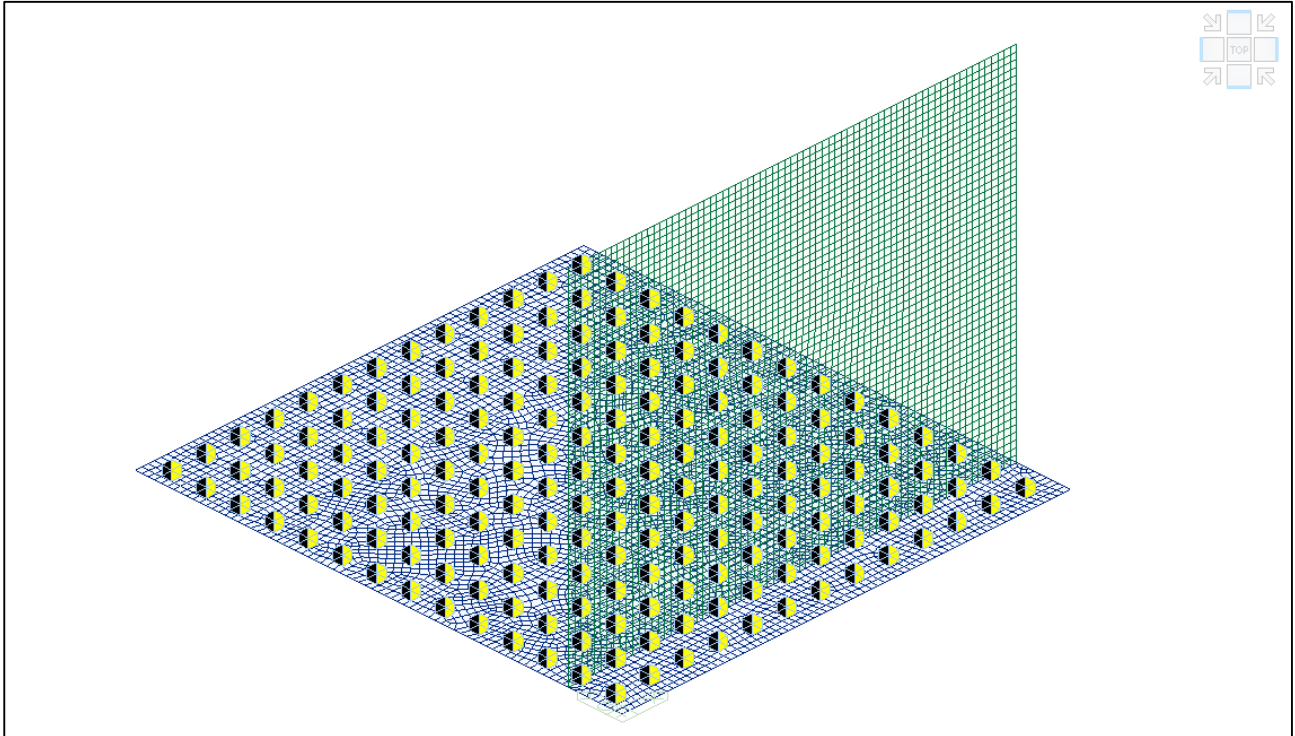
$$K_V = \frac{E * A}{L} \quad K_H = \frac{3 * E * I}{(4 * D)^3}$$

Le proprietà meccaniche e geometriche del micropalo in acciaio S355 sono riassunte nella tabella seguente.

| PROPRIETA' MECCANICHE E GEOMETRICHE DEI MICROPALI |                     |                      |
|---|---------------------|----------------------|
| E [MPa]   | Modulo elastico     | 210000               |
| D [mm]  | Diametro micropalo  | 168.3                |
| A [mm <sup>2</sup> ]                              | Area micropalo      | 9317.96              |
| I [mm <sup>4</sup> ]                              | Momento d'inerzia   | 2.61*10 <sup>7</sup> |
| L [m]   | Lunghezza micropalo | 15.00                |

$$K_V = 130451 \frac{kN}{m} \quad K_H = 53895 \frac{kN}{m}$$

Nella successiva immagine sono riportati i vincoli considerati in corrispondenza dei pali.



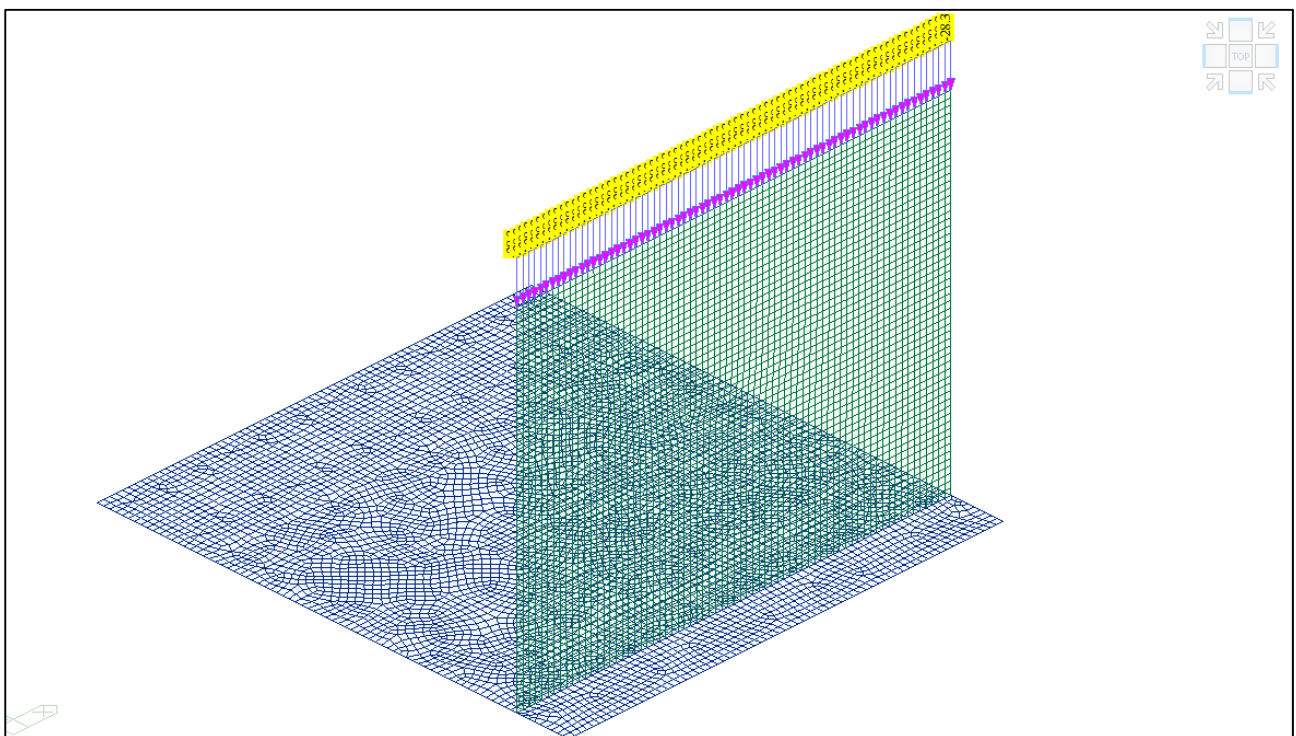
Modello FEM – Identificazione vincoli in corrispondenza dei micropali



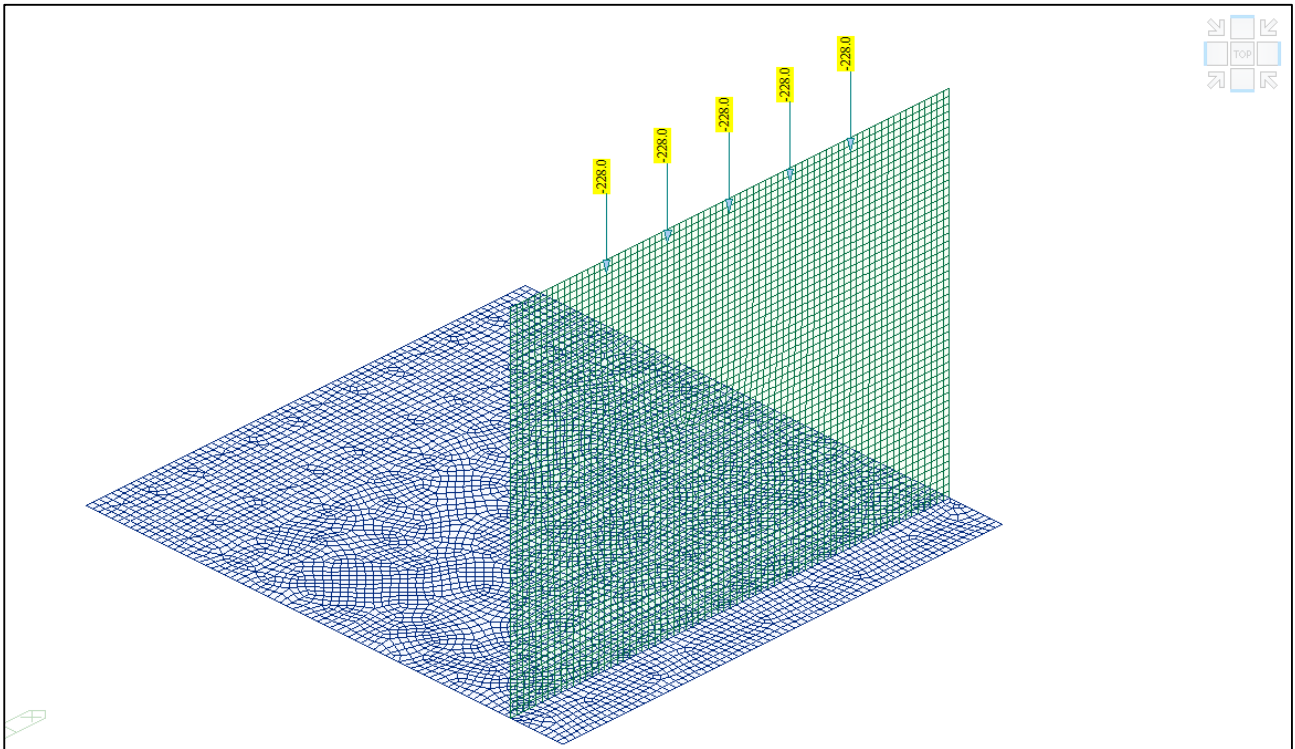
### 8.1.3 CONDIZIONI DI CARICO STATICO

Nel presente paragrafo vengono descritte le condizioni di carico agenti sulla spalla. Si distinguono gli scarichi provenienti dall’impalcato ricavati da uno studio precedente e i carichi agenti direttamente sulla spalla. I carichi orizzontali derivanti dall’impalcato sono stati applicati in modo da massimizzare l’effetto ribaltante della spalla; in questo modo vengono massimizzate le sollecitazioni dei pali.

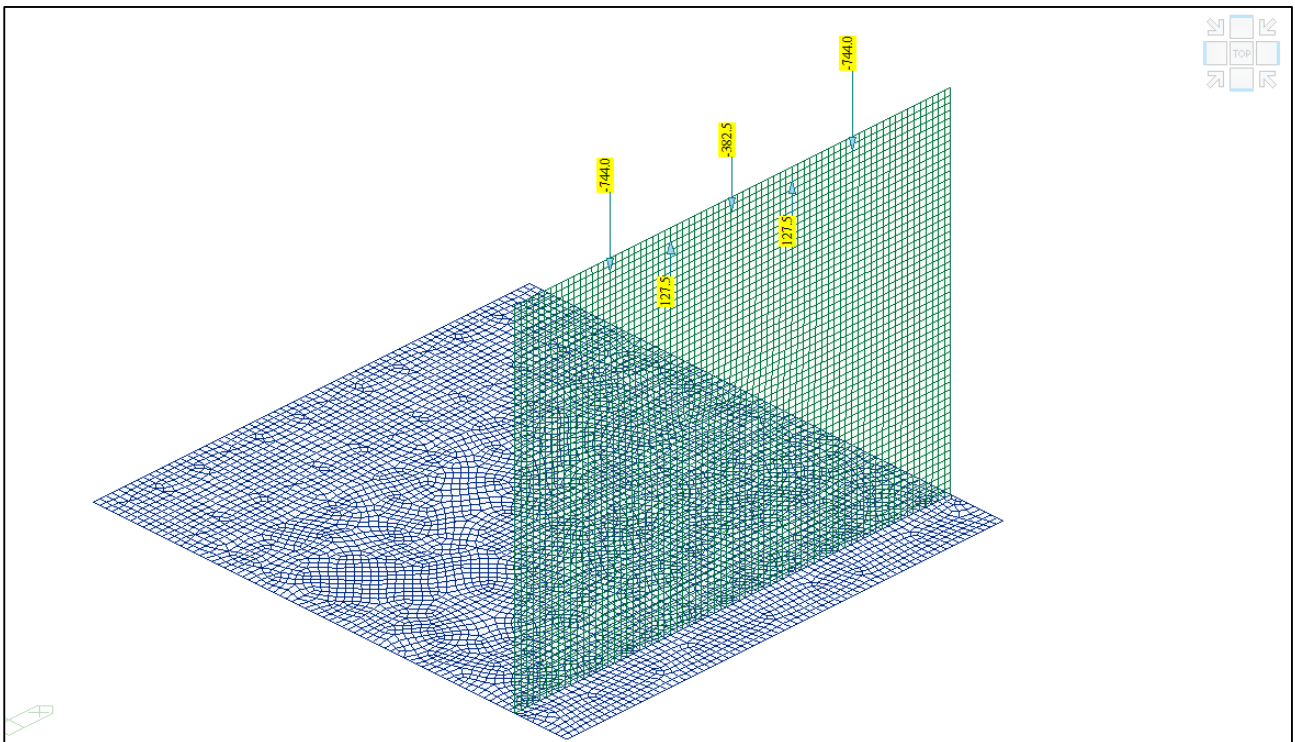
Il peso proprio della spalla genera delle azioni che sono calcolate in automatico dal software ad elementi finiti. A questa condizione di carico è stato aggiunto il peso della paraghiaia posta al di sopra del corpo spalla di spessore 1.50m.



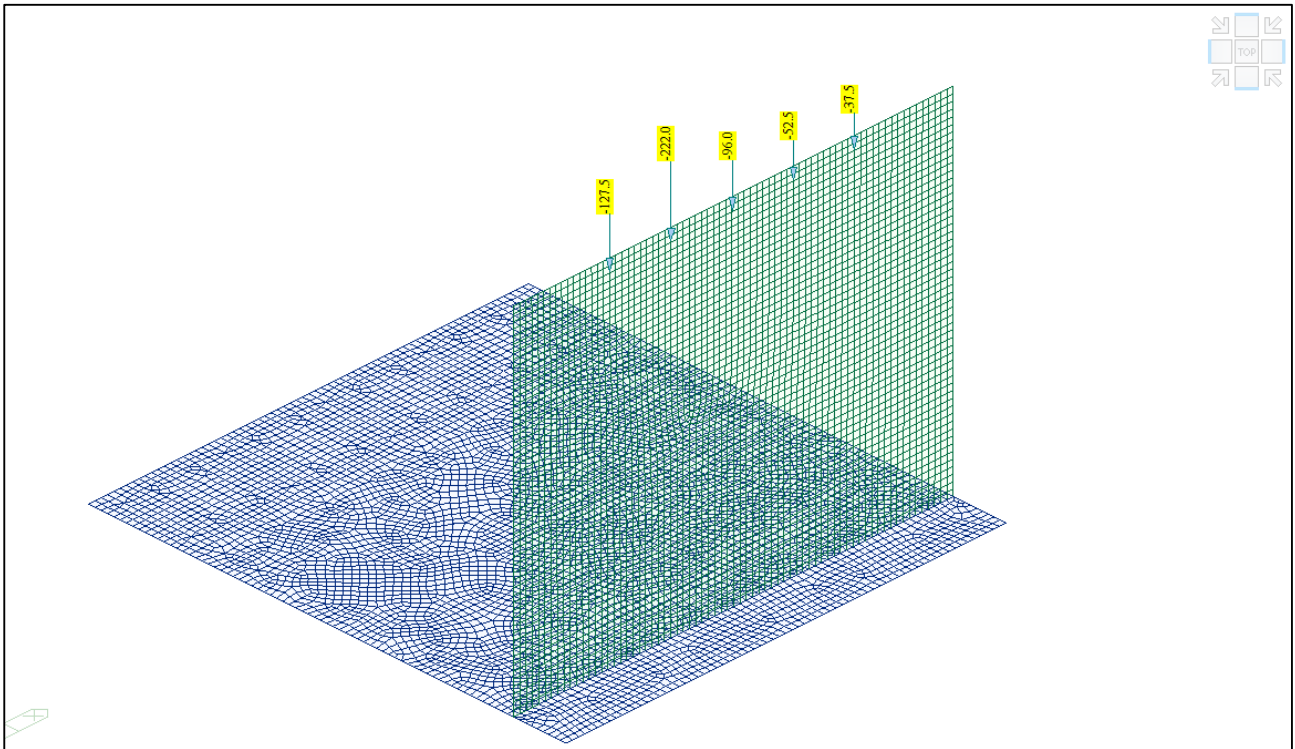
Modello FEM – Condizione di carico Peso proprio Paraghiaia



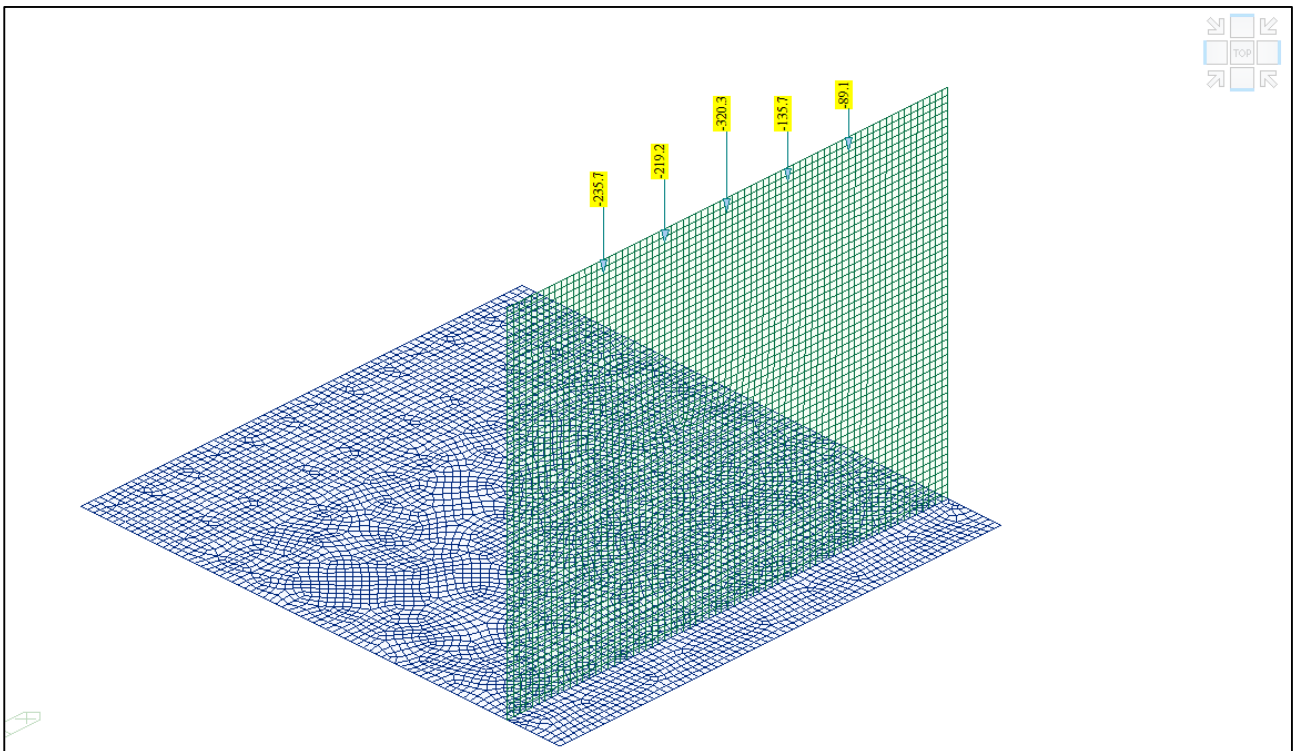
Modello FEM – Condizione di carico Peso proprio impalcato



Modello FEM – Condizione di carico Permanente

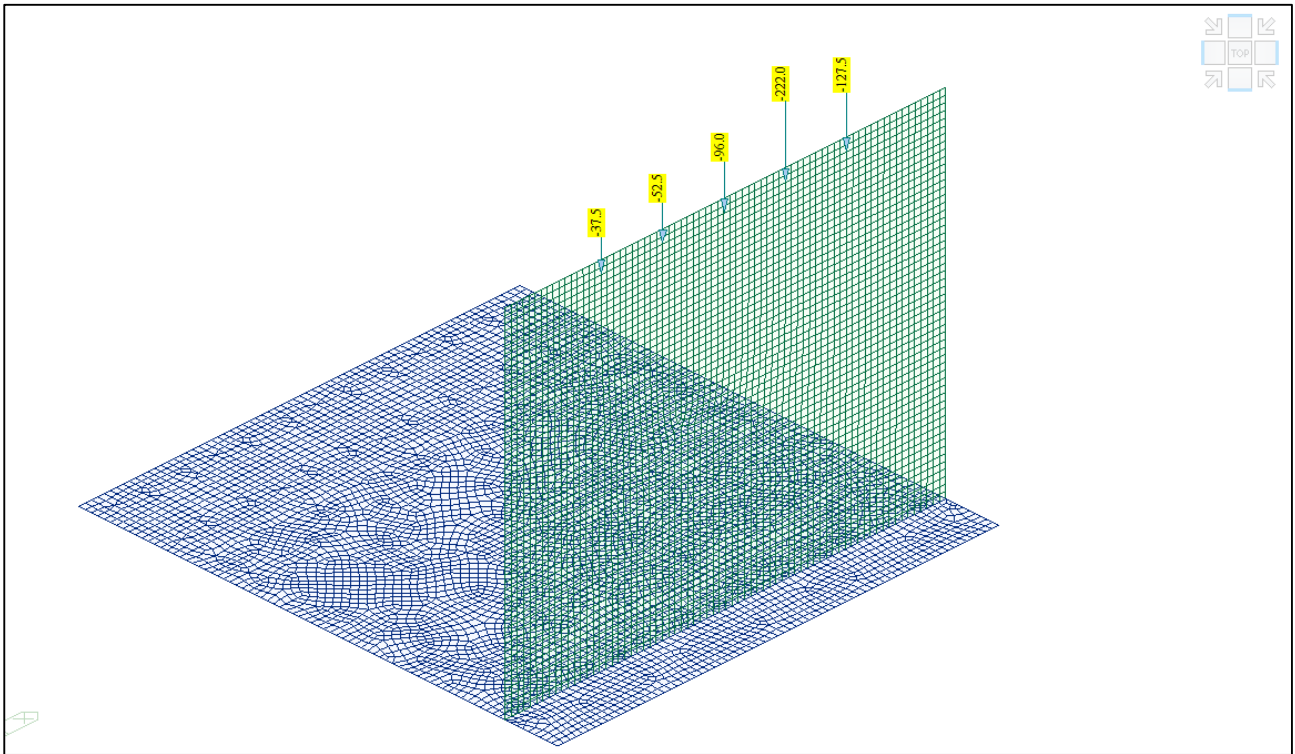


Modello FEM – Condizione di carico Mobile 1

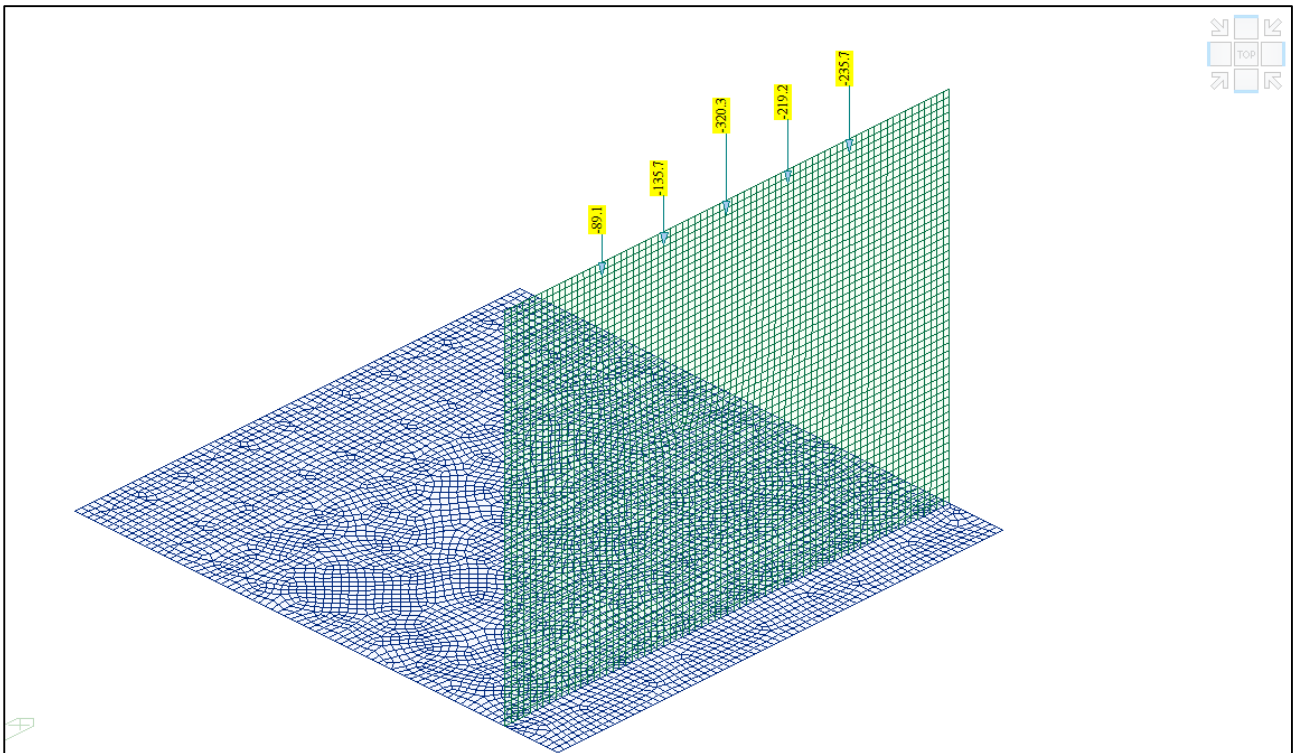


Modello FEM – Condizione di carico Mobile tandem 1

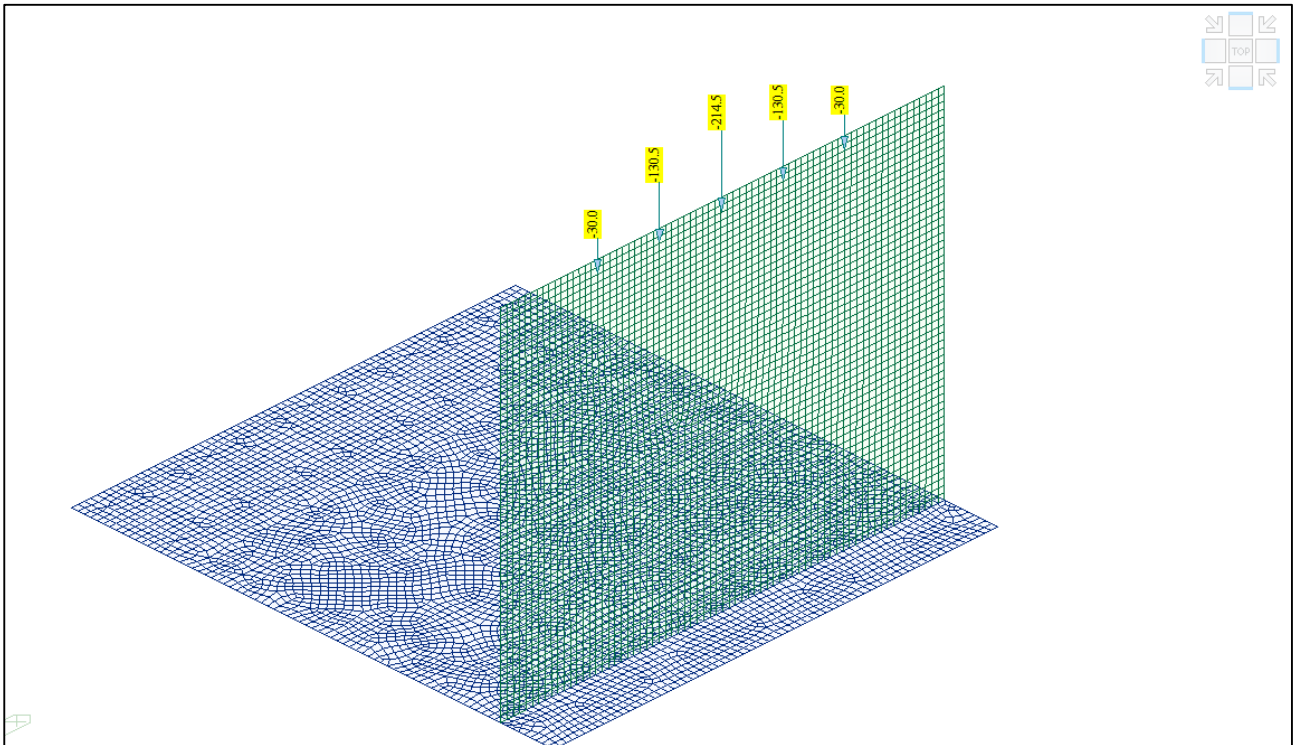




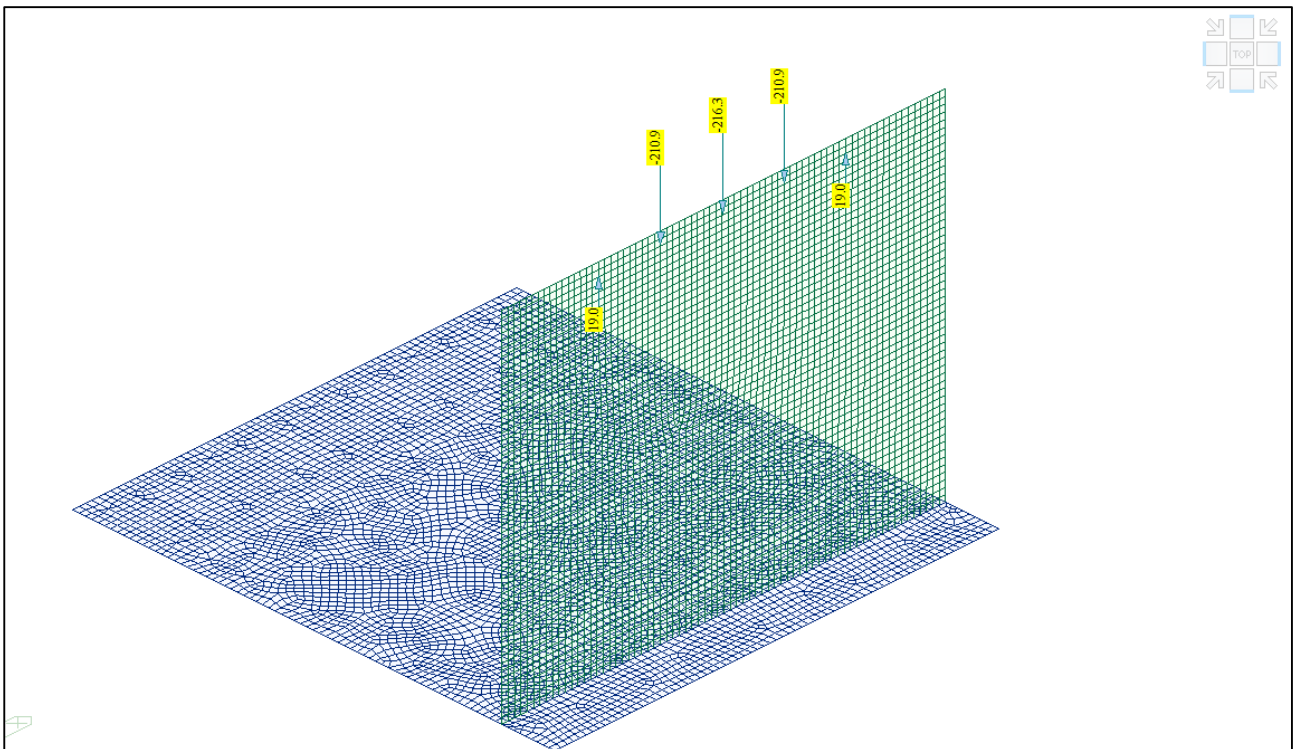
Modello FEM – Condizione di carico Mobile 2



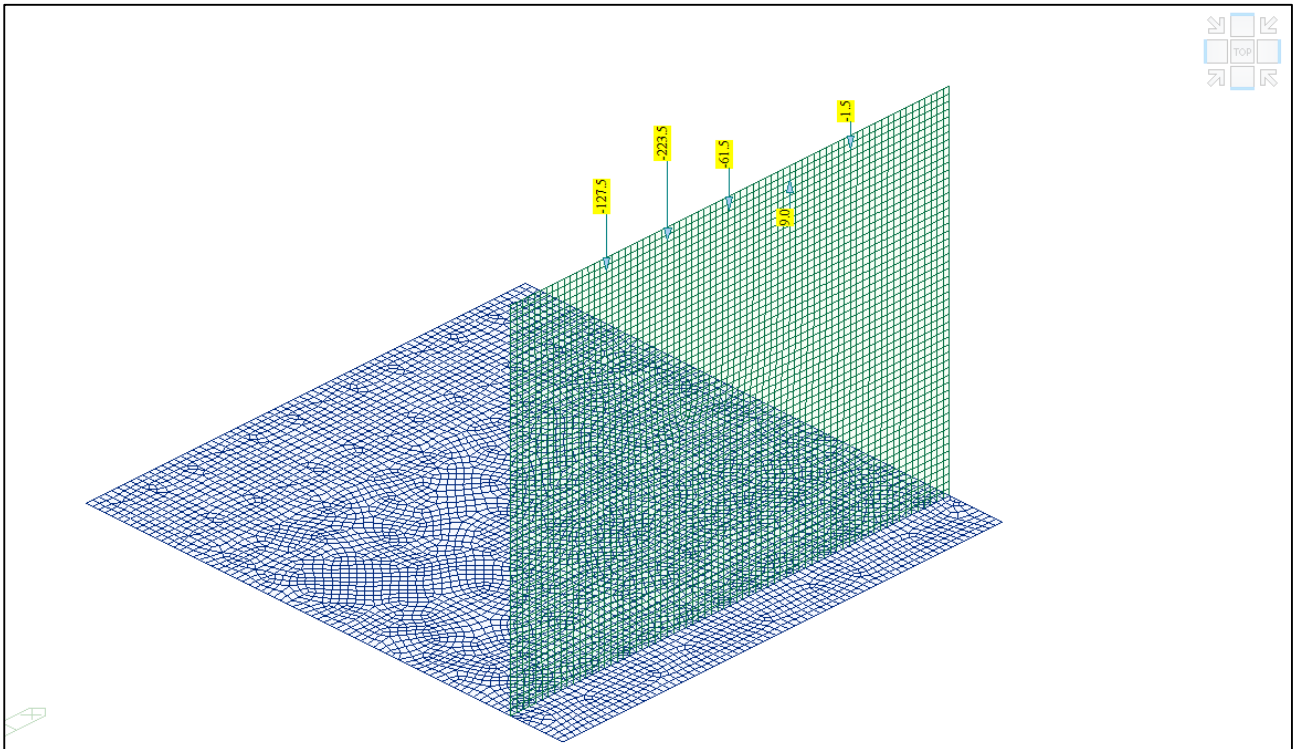
Modello FEM – Condizione di carico Mobile tandem 2



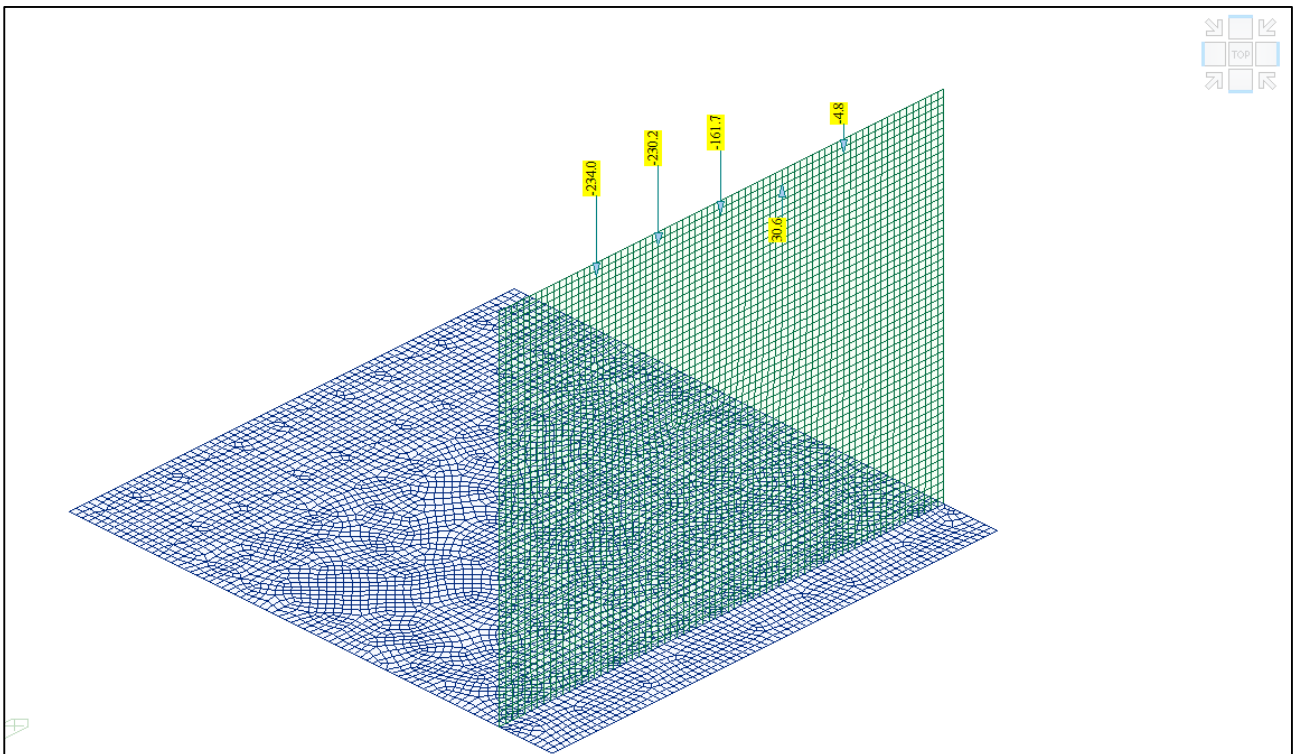
Modello FEM – Condizione di carico Mobile 3



Modello FEM – Condizione di carico Mobile tandem 3

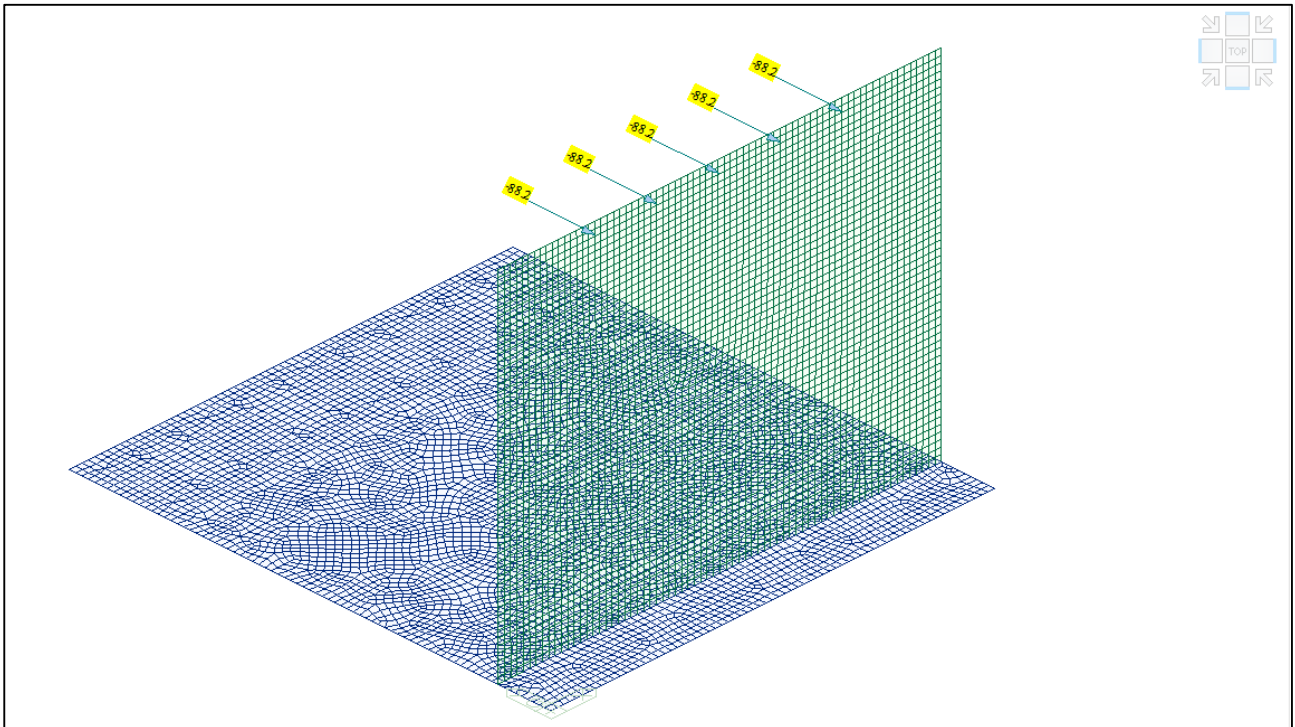


Modello FEM – Condizione di carico Mobile 4

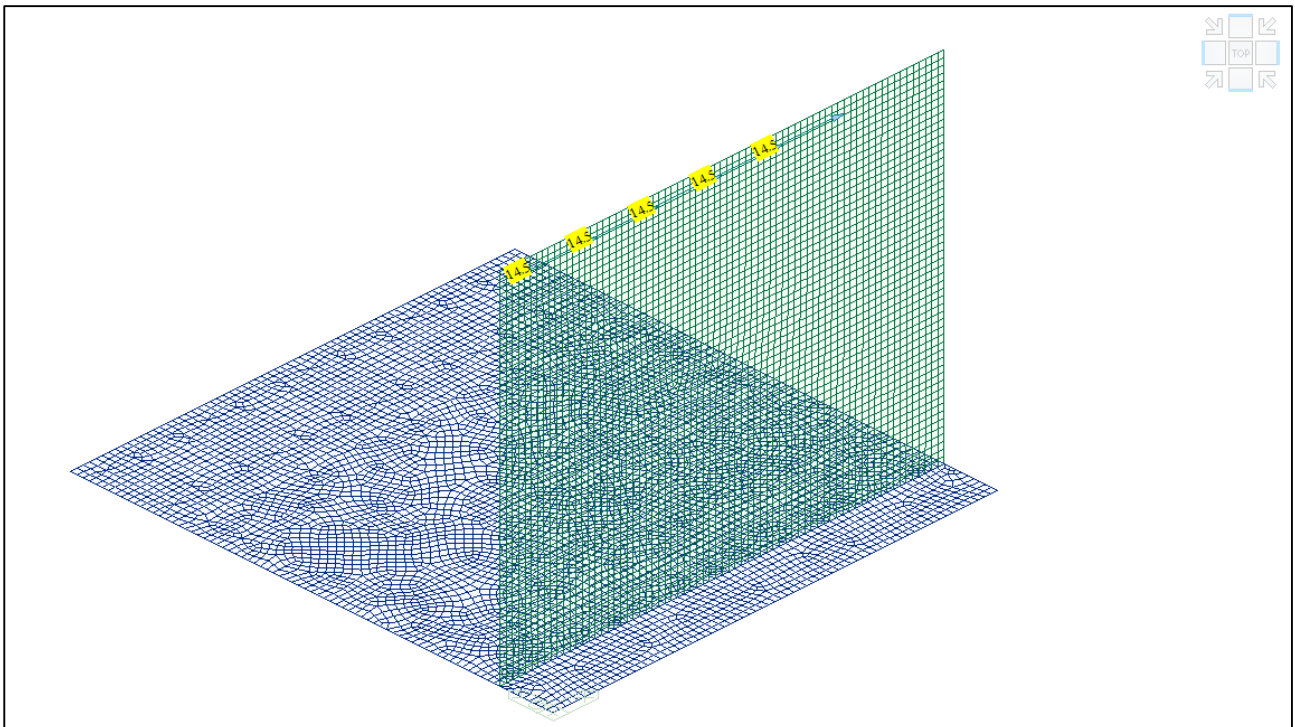


Modello FEM – Condizione di carico Mobile tandem 4



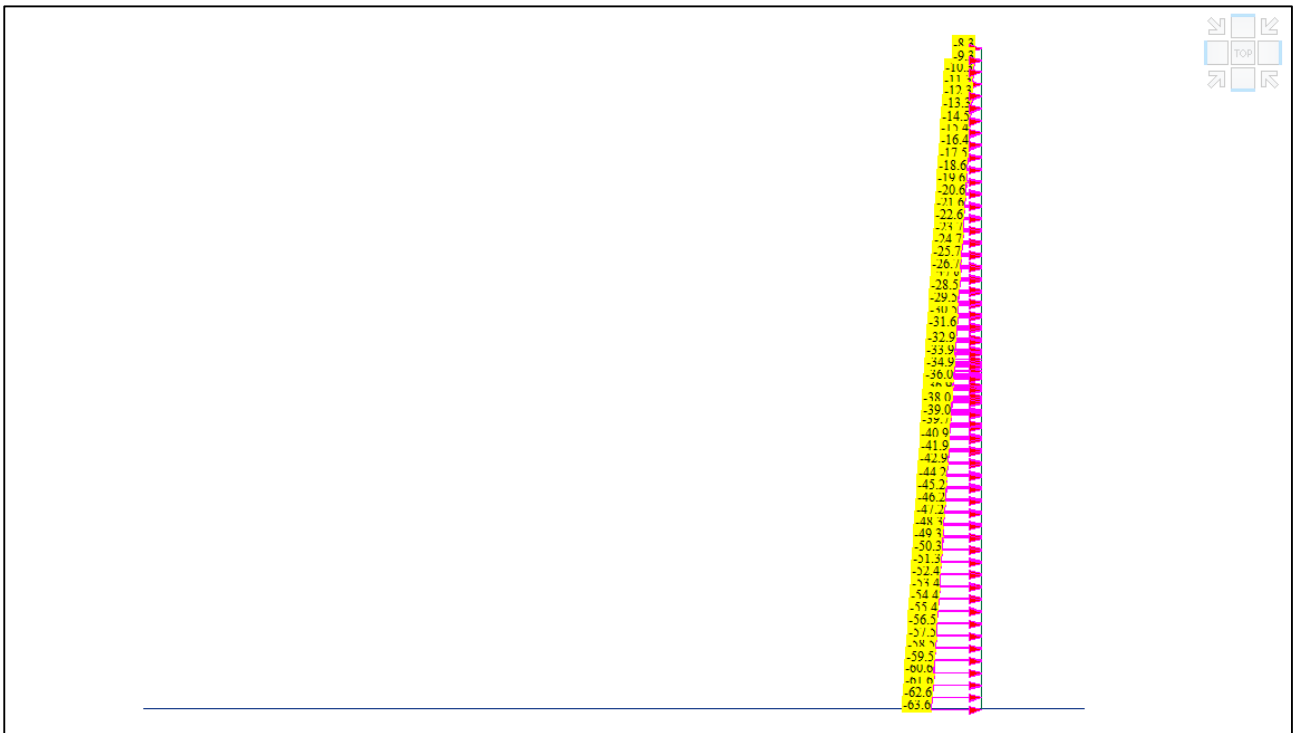
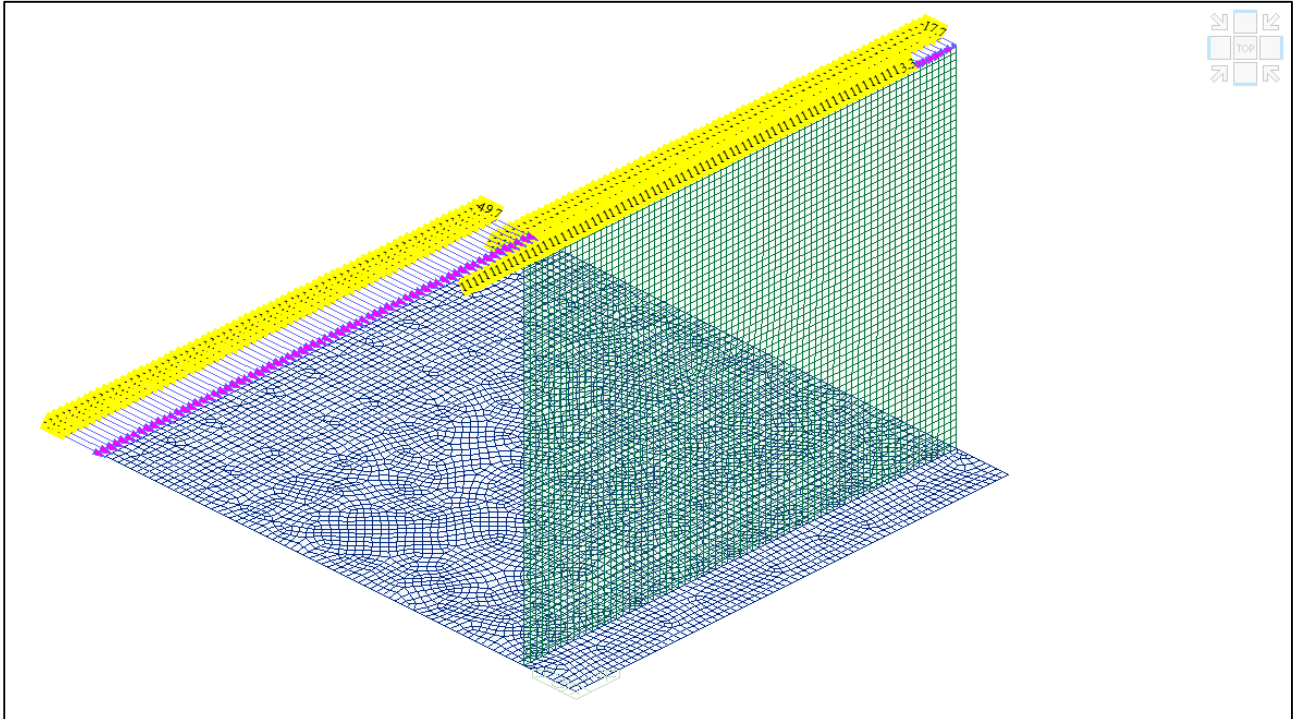


Modello FEM – Condizione di carico Frenamento



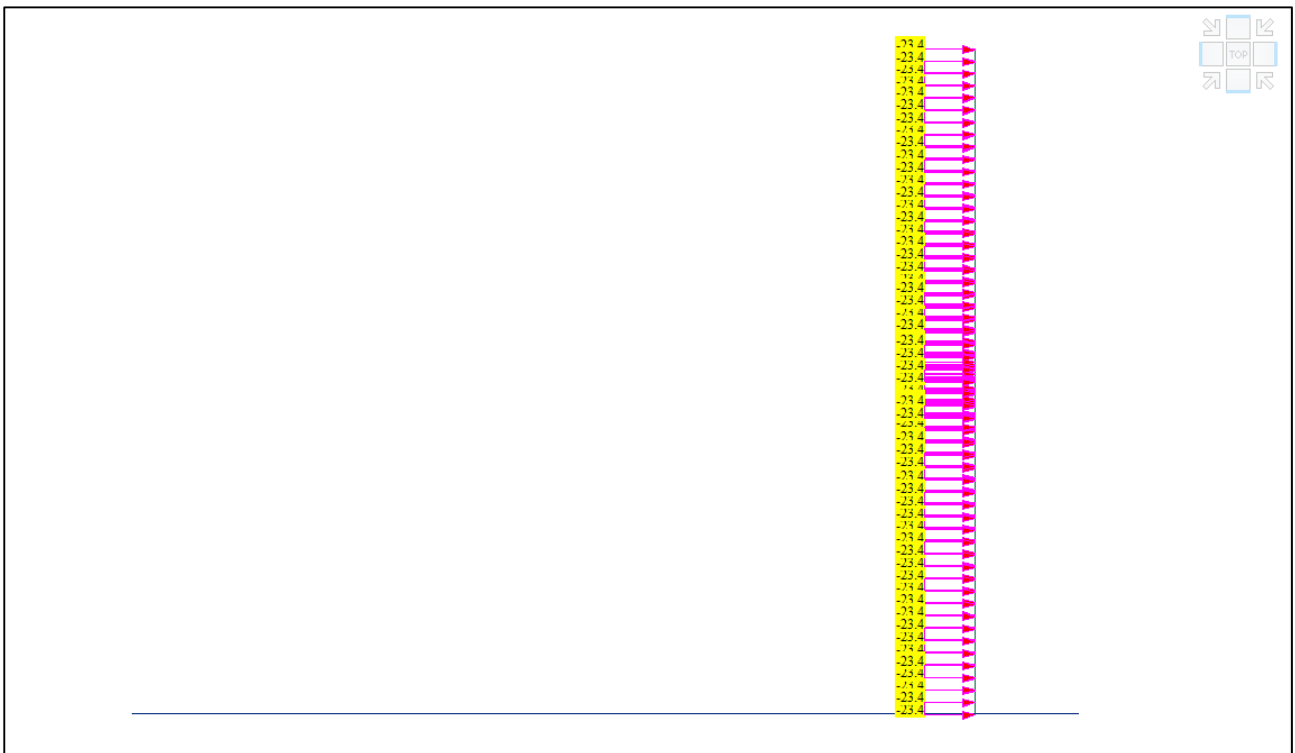
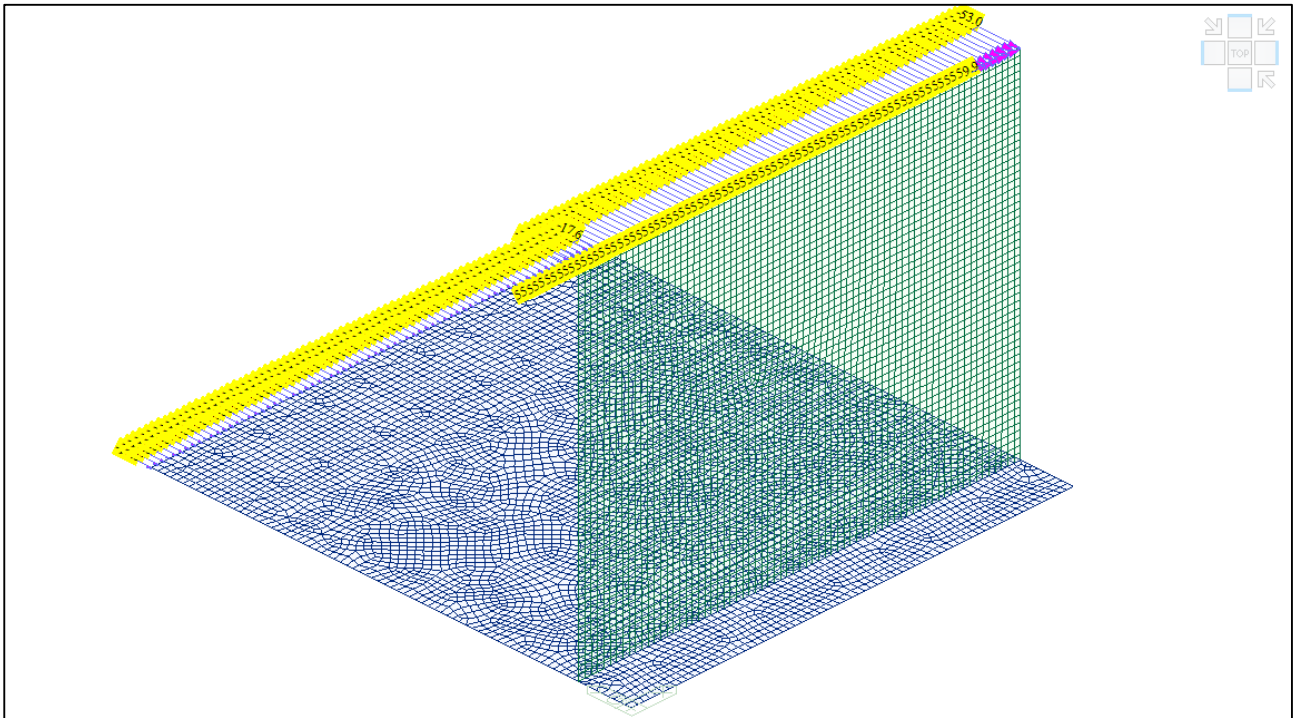
Modello FEM – Condizione di carico Vento



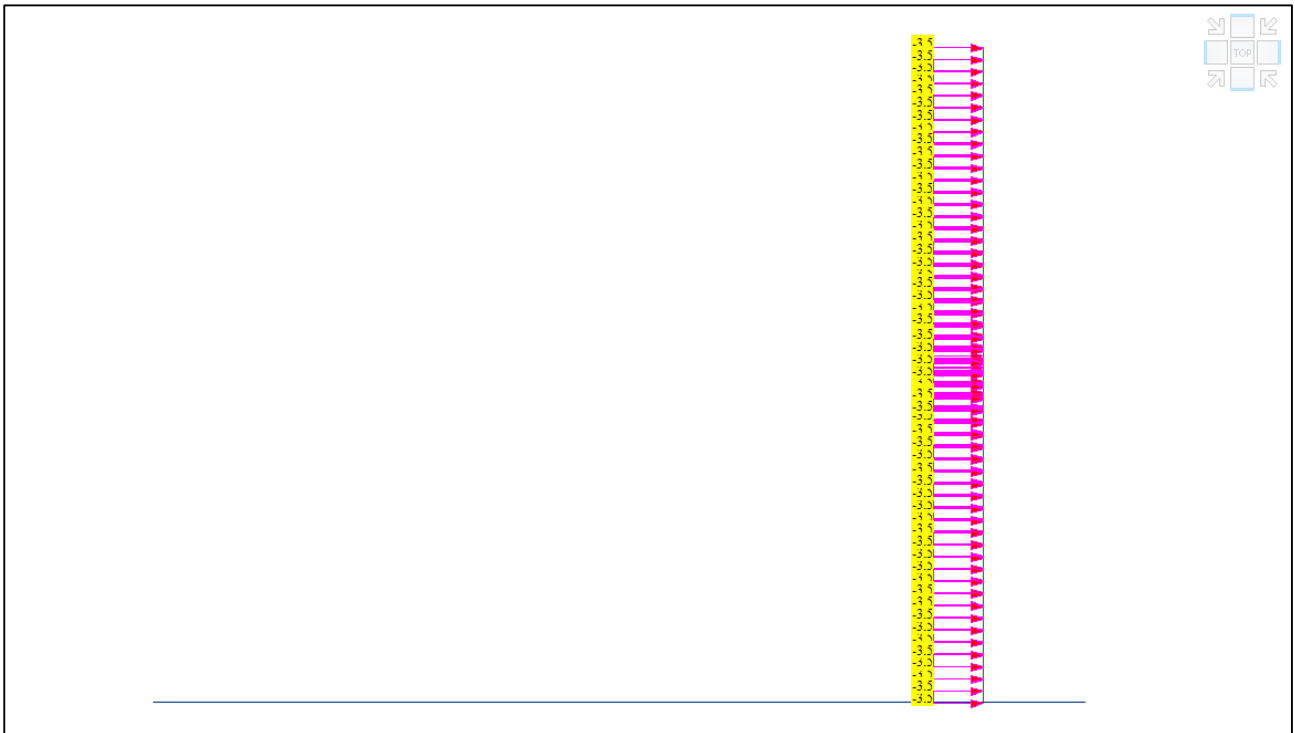
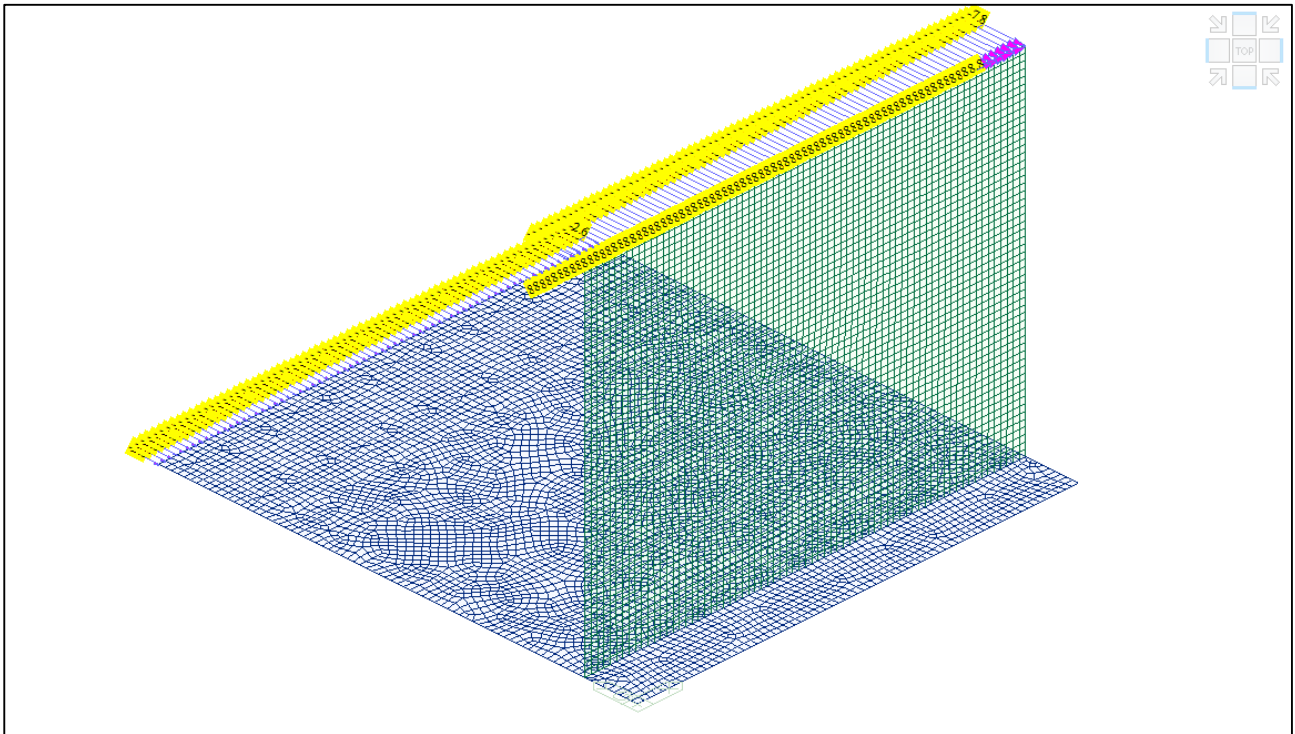


Modello FEM – Condizione di carico Spinta delle terre



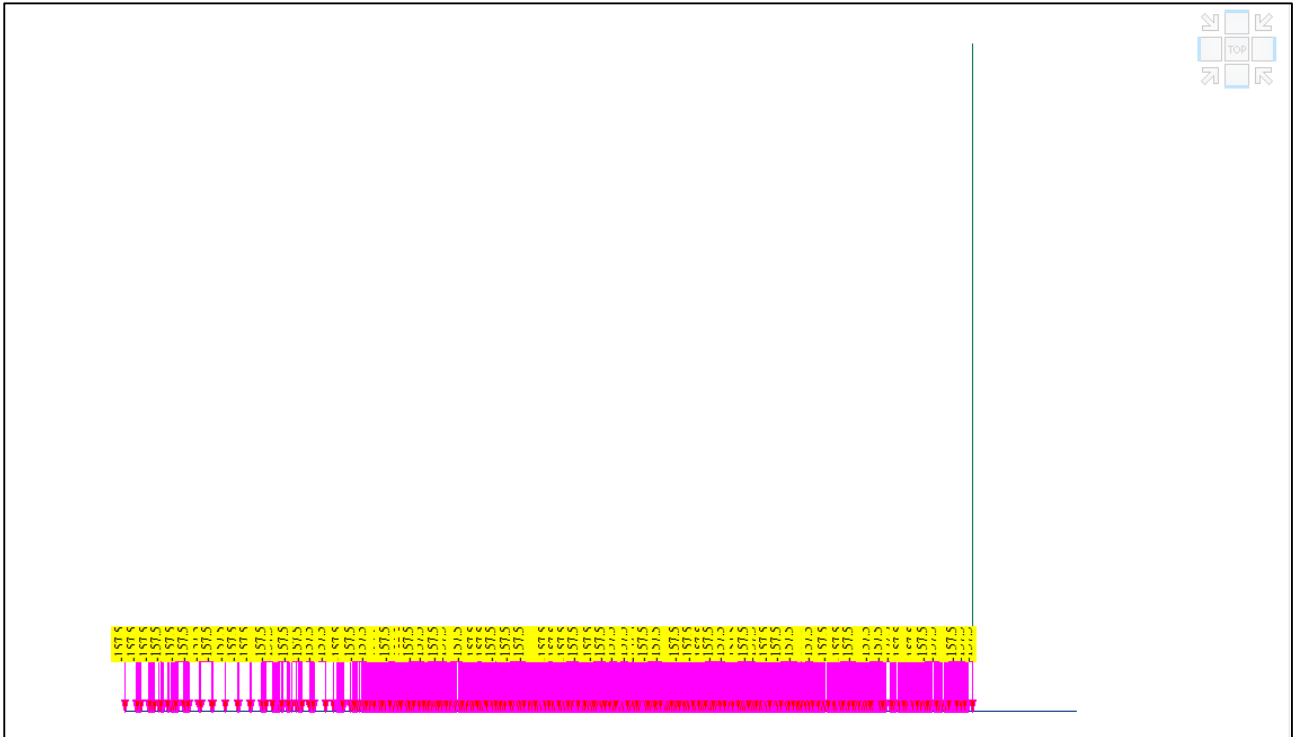
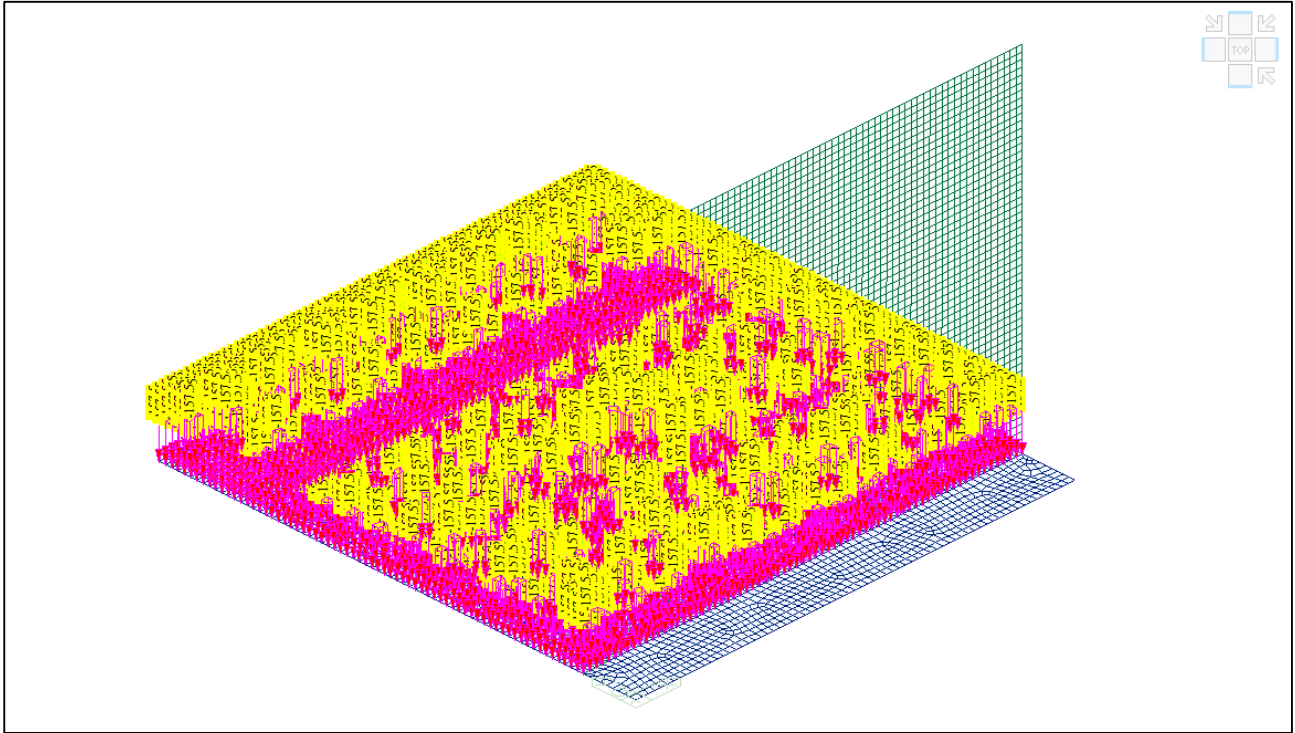


Modello FEM – Condizione di carico Spinta di Wood



Modello FEM – Condizione di carico Spinta sovraccarico





Modello FEM – Condizione di carico Ricoprimento



8.1.4 COMBINAZIONI DI CARICO

Si sono determinate le seguenti combinazioni di carico:

- SLU: Combinazioni allo SLU dove sono presenti i carichi "statici"; l'inviluppo di queste è la combinazione denominata "ENV-SLU".
• SLE RARA: Combinazioni allo Stato Limite d'Esercizio Rara; l'inviluppo di queste è la combinazione denominata "ENV-SLE".
• SLE FREQUENTE: Combinazioni allo Stato Limite d'Esercizio Frequente; l'inviluppo di queste è la combinazione denominata "ENV-SLE-F".
• SLE QUASI PERMANENTE: Combinazioni allo Stato Limite d'Esercizio Quasi Permanente; l'inviluppo di queste è la combinazione denominata "ENV-SLE-QP".
• E: Combinazione sismica connessi all'azione sismica E; l'inviluppo di queste è la combinazione denominata "ENV-E".

Infine è stata generata la combinazione "ENV-SLU+E" (che risulta essere l'inviluppo dello "ENV-SLU" + "ENV-E").

Di seguito si riportano i valori tabellati

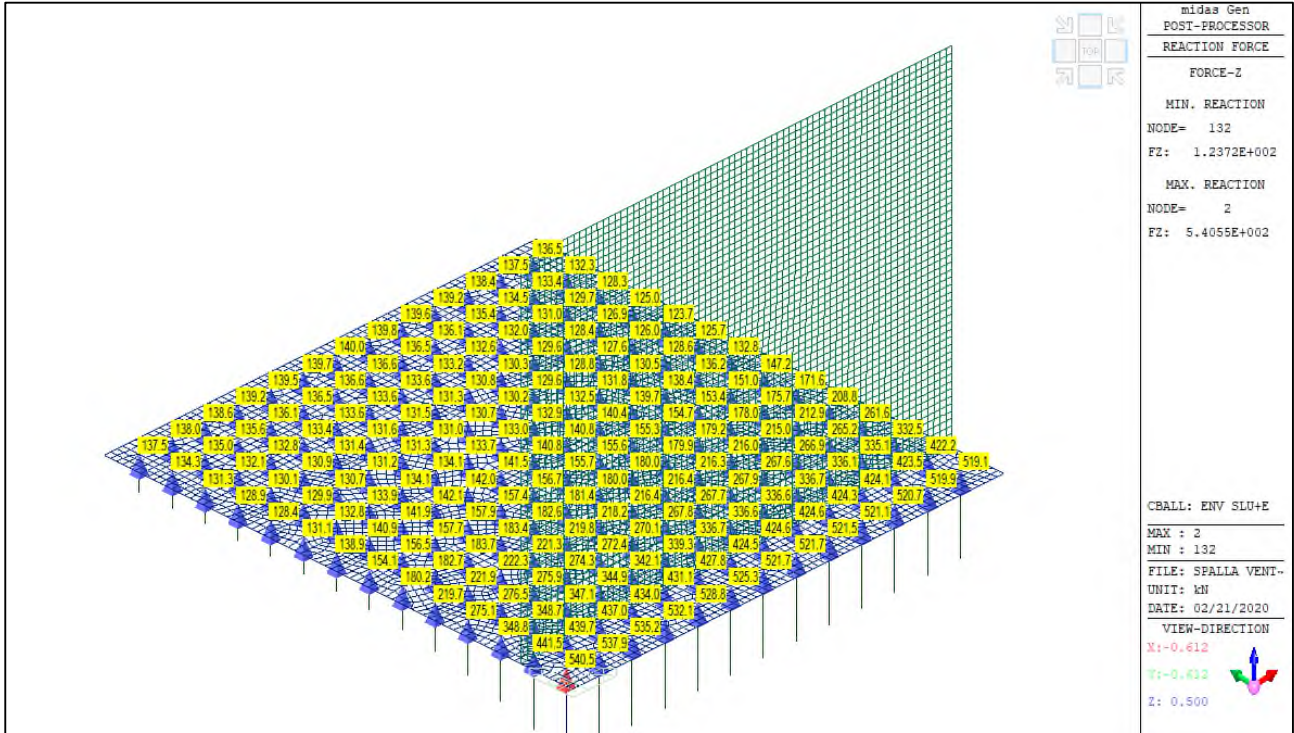
Table with 20 columns: No., Name, Action, type, Peso proprio spalla(S), Peso proprio impalcato(S), Permanente(S), Carico mobile 1(S1), Carico mobile 1 tandem(S1), Carico mobile 2(S1), Carico mobile 2 tandem(S1), Carico mobile 3(S1), Carico mobile 3 tandem(S1), Carico mobile 4(S1), Carico mobile 4 tandem(S1), Paramento(S1), Frenata(S1), Frenata(S1), Somma impalcato(S), Spinta normale(S), Spinta Wood(S), Spinta Sovracarico(S), Ricoprimento(S)



## 8.2 RISULTATI ANALISI STRUTTURALE

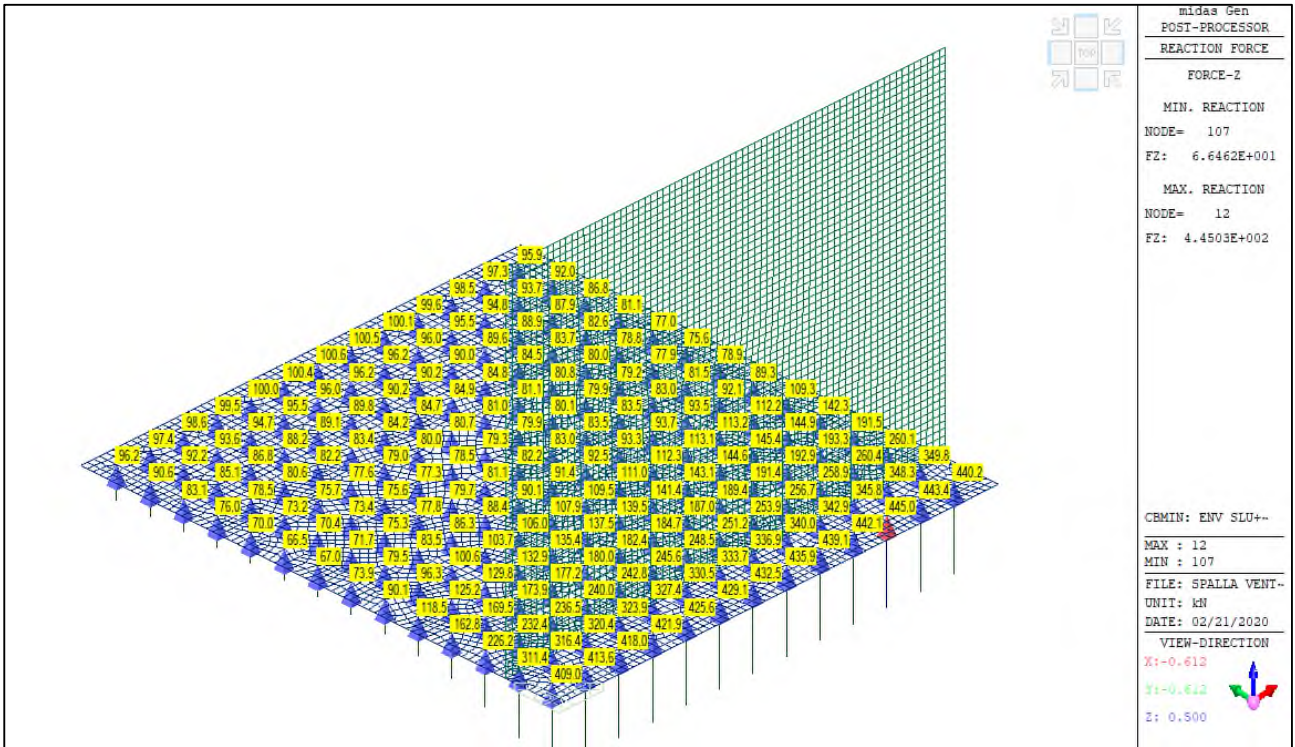
### 8.2.1 REAZIONI VINCOLARI

Si presentano le reazioni vincolari massime che si sviluppano agli stati limite SLU+E necessarie per la verifica dei micropali

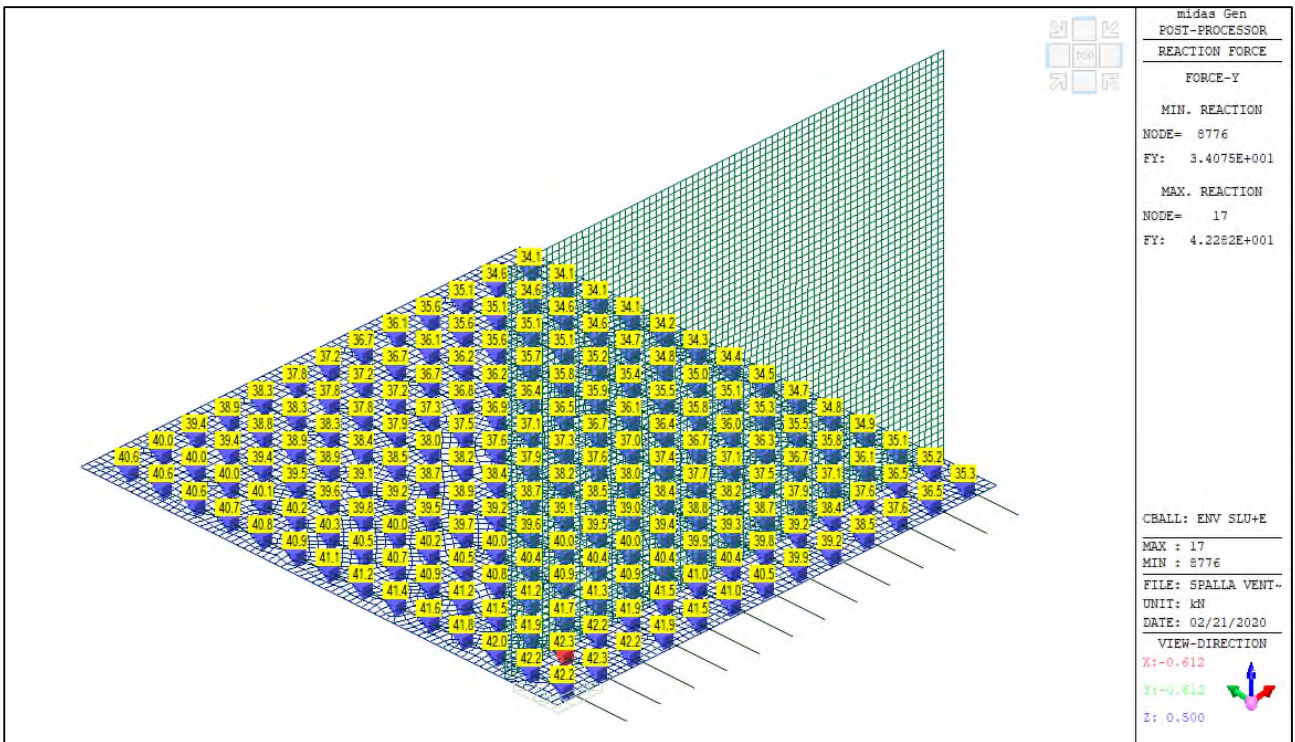


ENV-SLU+E – Reazioni vincolari verticali (Fz) massime

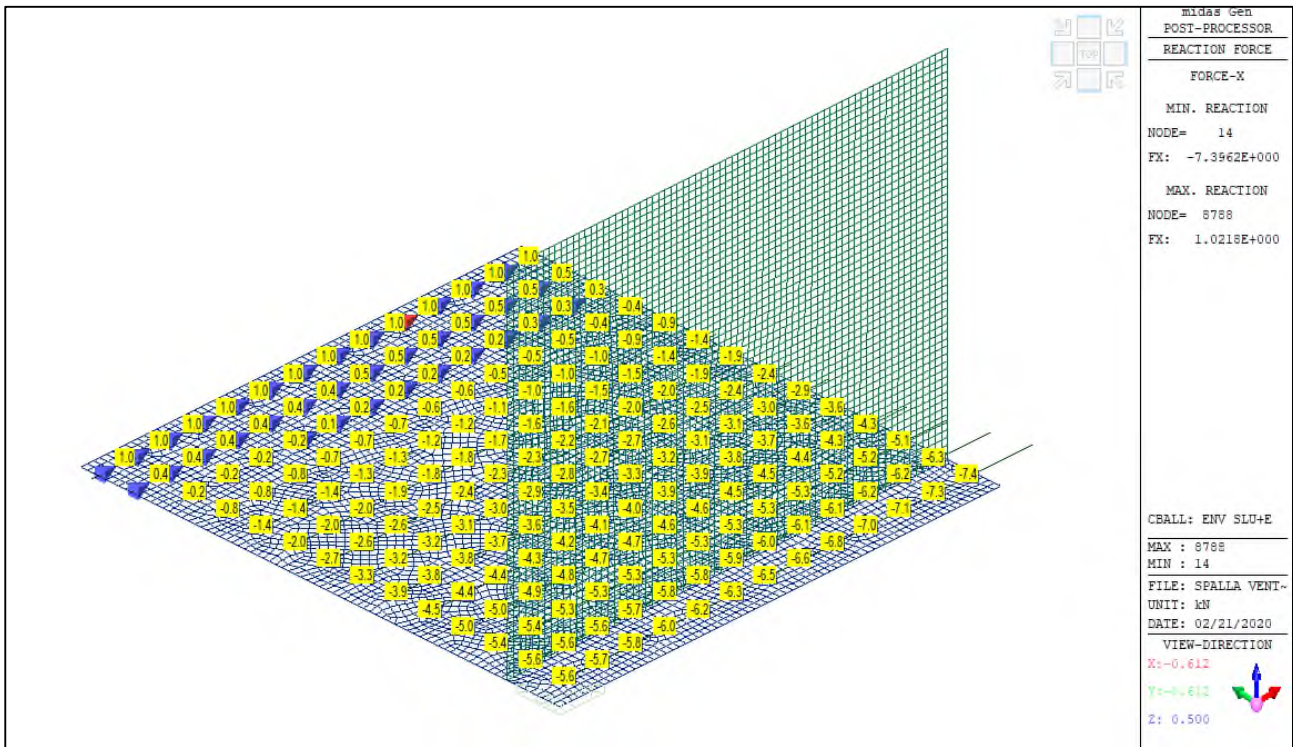




ENV-SLU+E – Reazioni vincolari verticali (Fz) minime



ENV-SLU+E – Reazioni vincolari orizzontali (Fy) massime

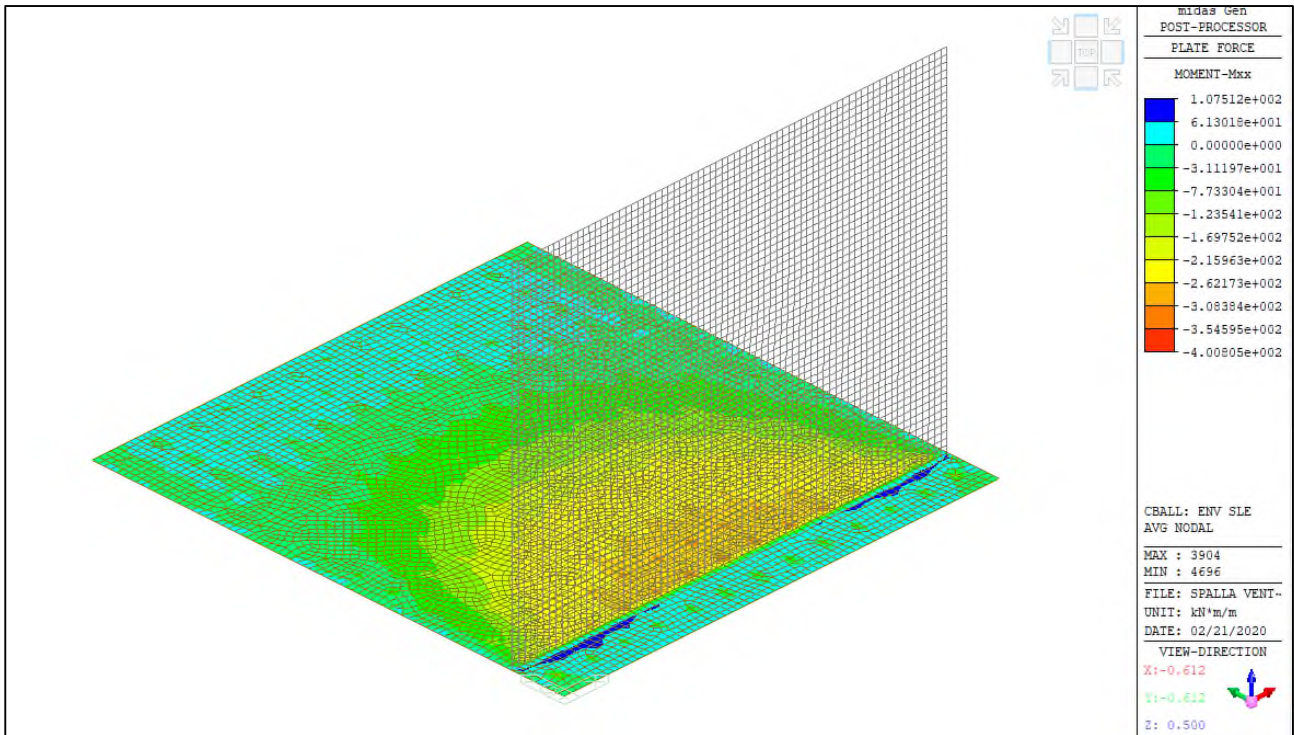


ENV-SLU+E – Reazioni vincolari orizzontali (Fx) massime



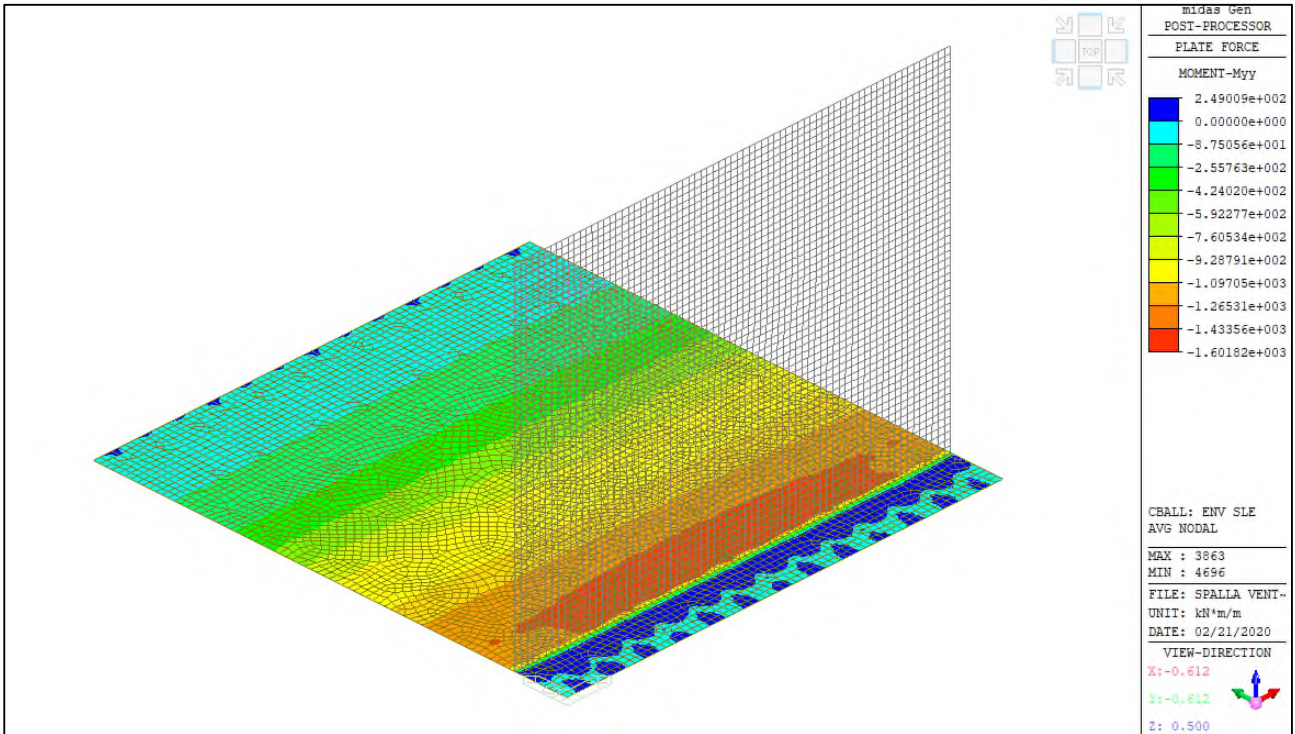
### 8.2.2DIAGRAMMI AZIONI INTERNE

Si riportano i diagrammi involuppo delle azioni interne per le combinazioni allo stato limite di esercizio (ENV-SLE RARA).

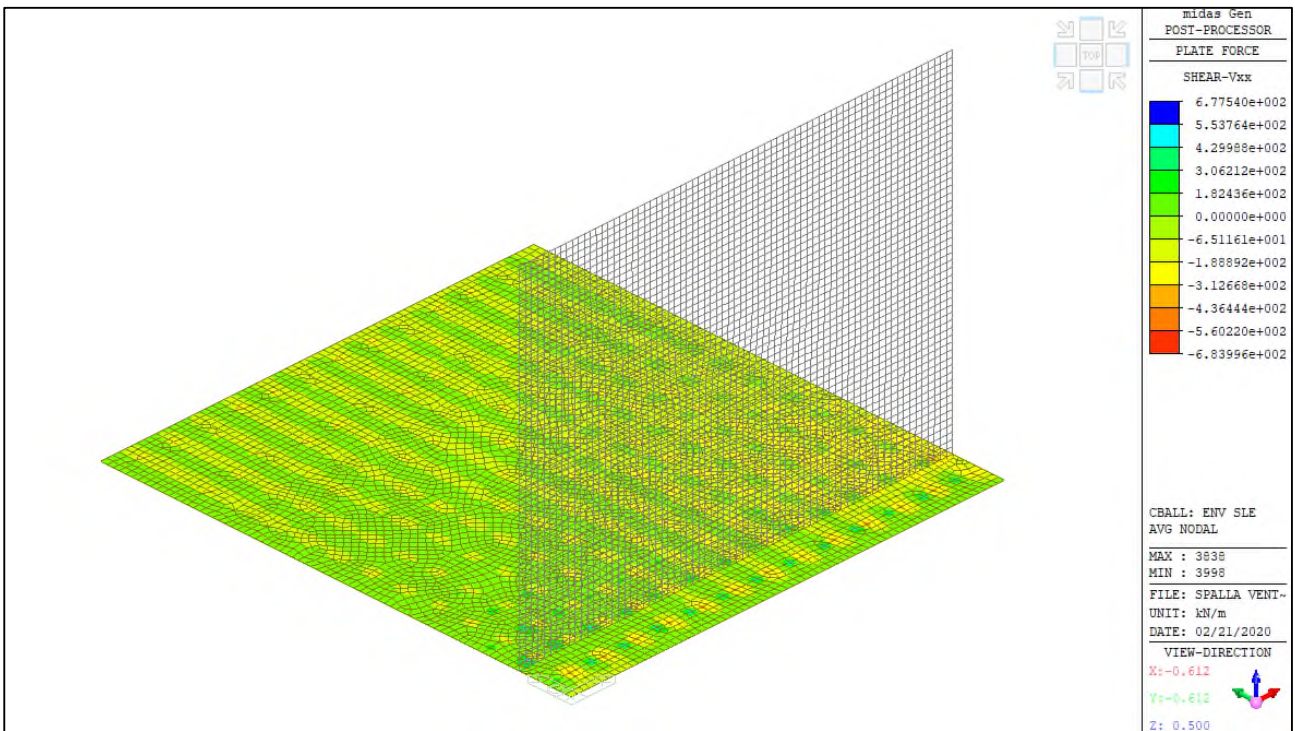


ENV-SLE RARA – Mxx (kNm/m) – Platea

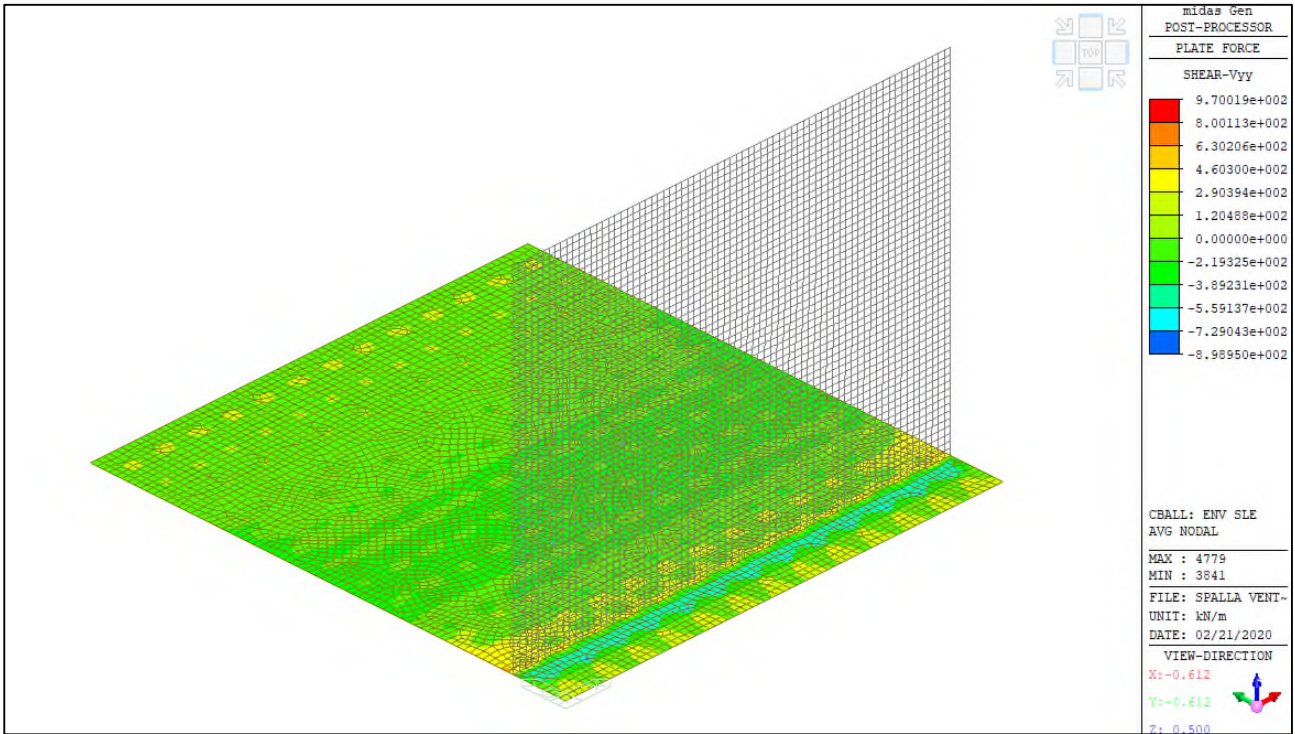




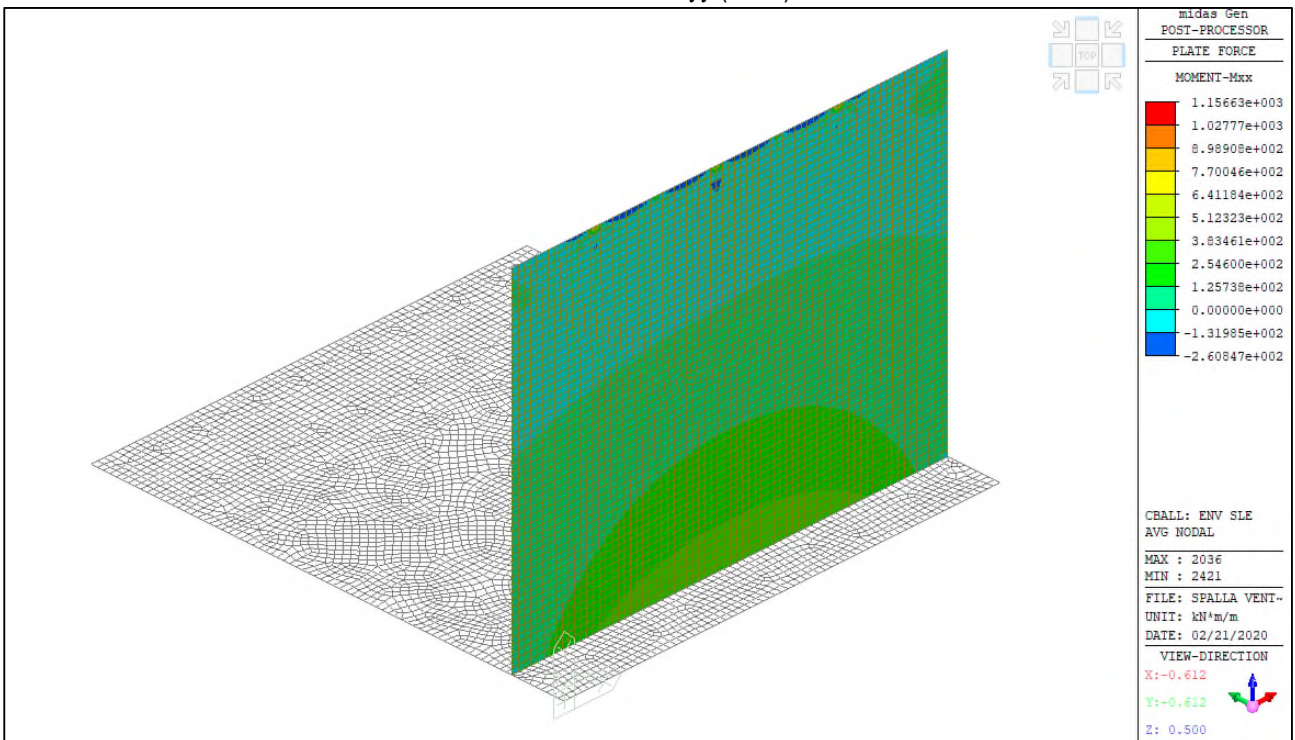
ENV-SLE RARA- Myy (kNm/m) – Platea



ENV-SLE RARA – Vxx (kN/m) – Platea



ENV-SLE RARA- Vyy (kN/m) – Platea



ENV-SLE RARA- Mxx (kNm/m) – Spalla

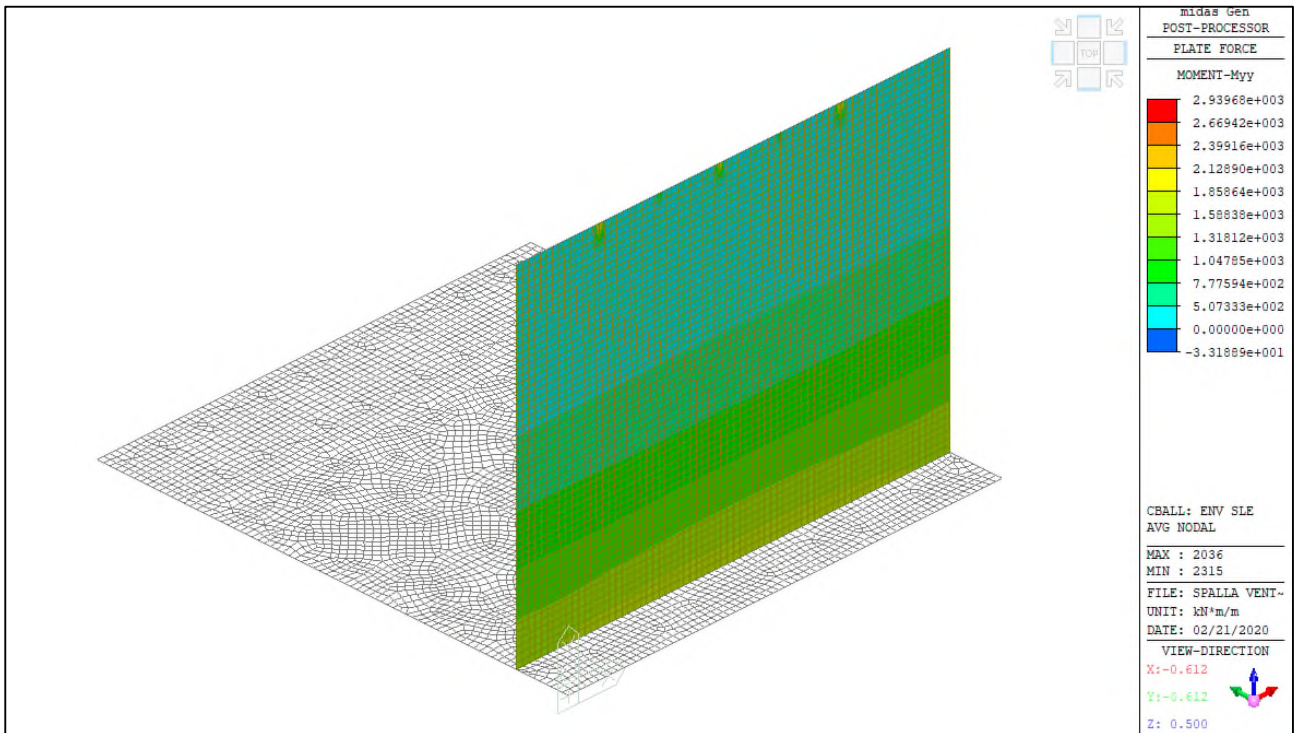




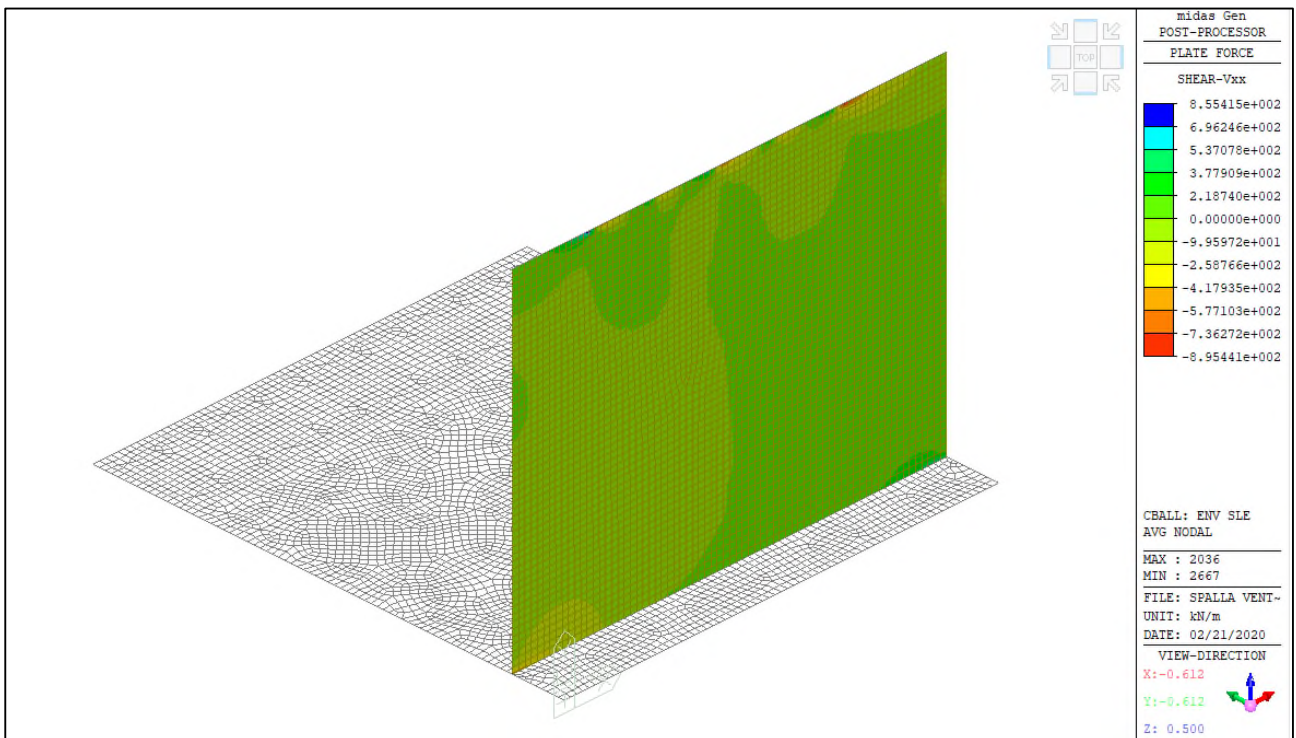
Comune di Vado Ligure

Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo

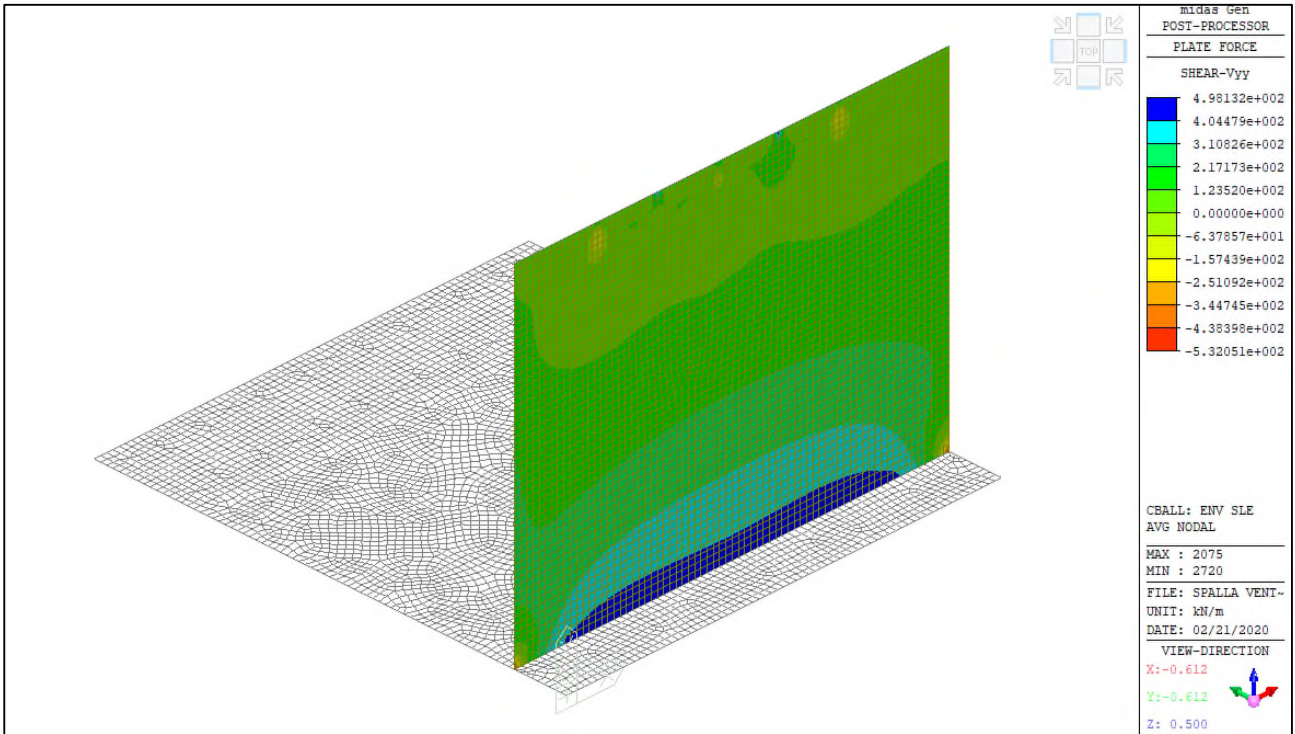
Ponte “Bossarino 2” – Relazione Tecnica e di Calcolo Sottostrutture e Fondazioni



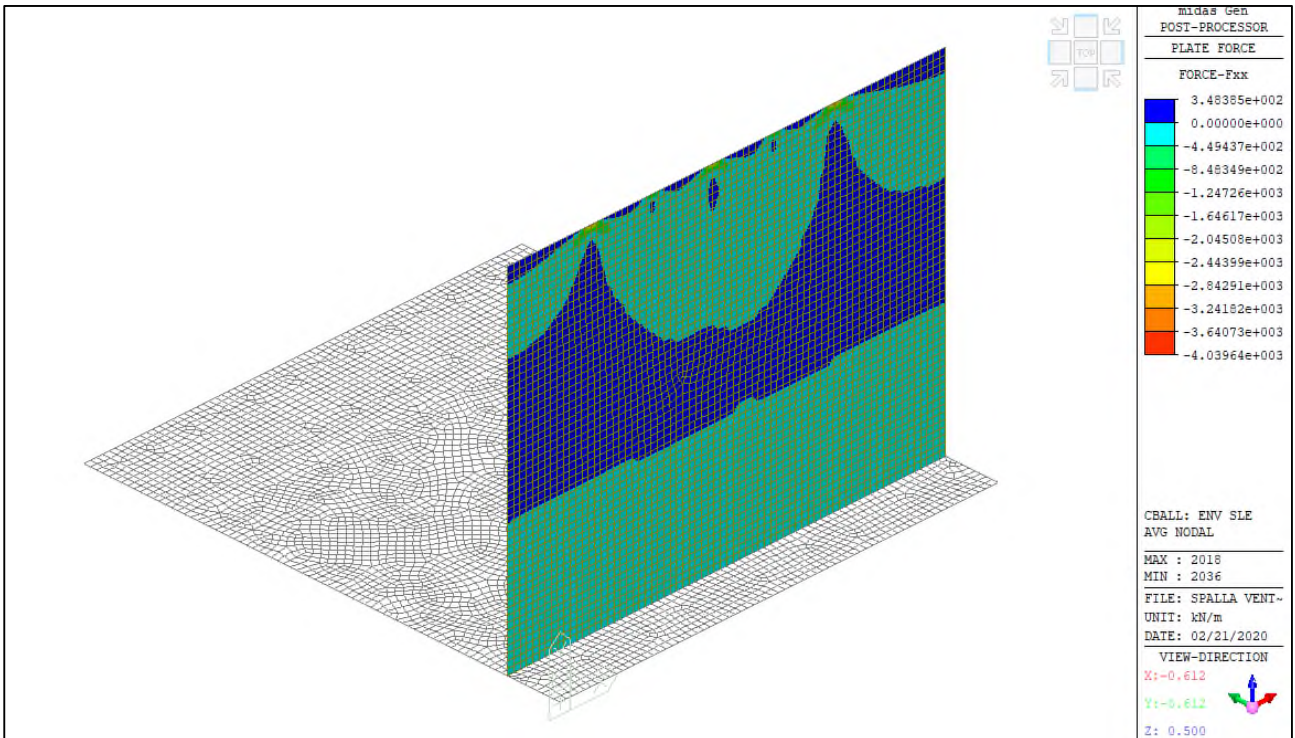
ENV-SLE RARA– Myy (kNm/m) – Spalla



ENV-SLE RARA– Vxx (kN/m) – Spalla



ENV-SLE RARA- Vyy (kN/m) – Spalla



ENV-SLE RARA- Fxx (kN/m) – Spalla

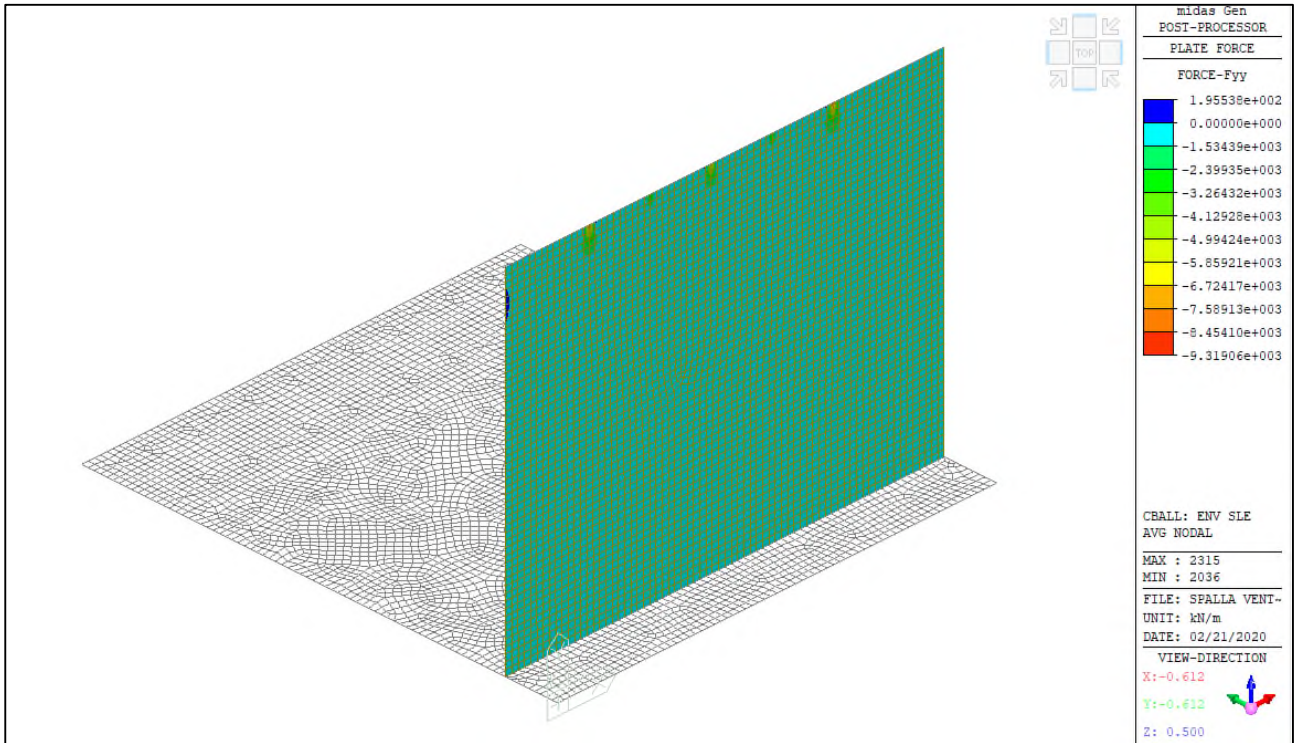




Comune di Vado Ligure

Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo

Ponte “Bossarino 2” – Relazione Tecnica e di Calcolo Sottostrutture e Fondazioni



ENV-SLE RARA– Fyy (kN/m) – Spalla

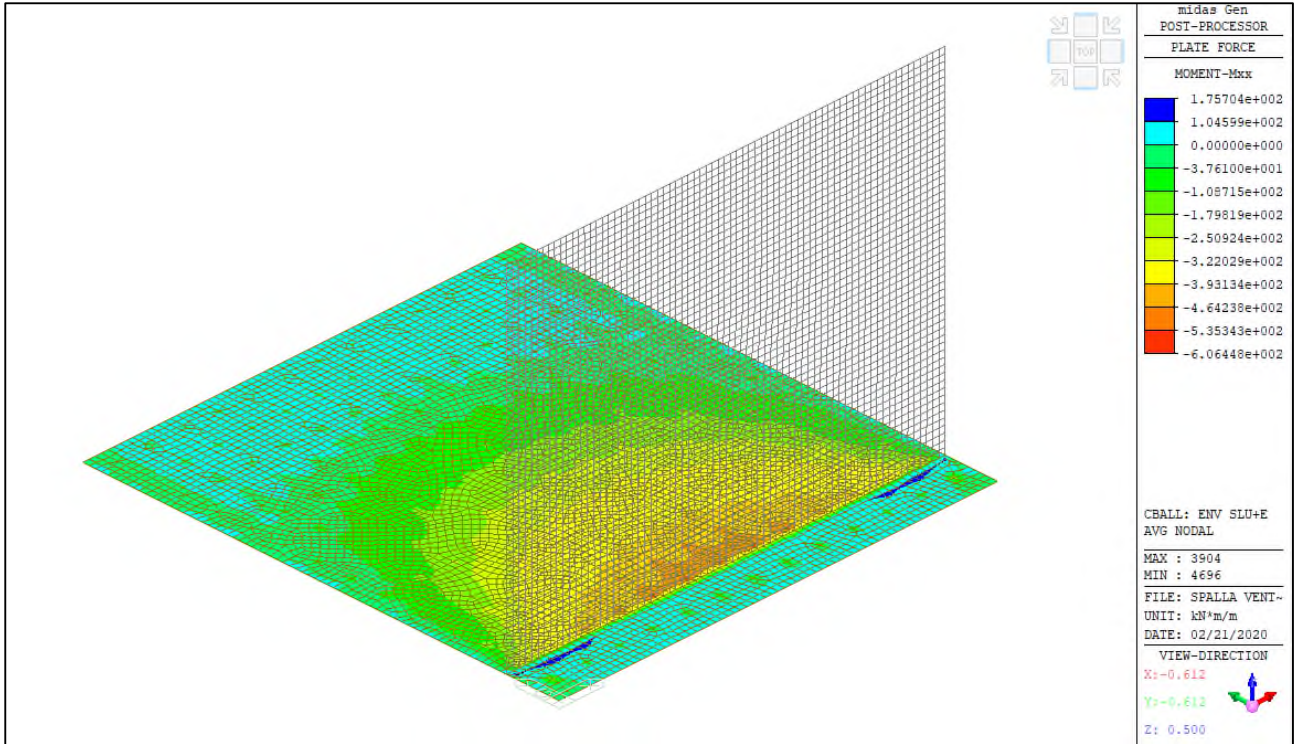


Comune di Vado Ligure

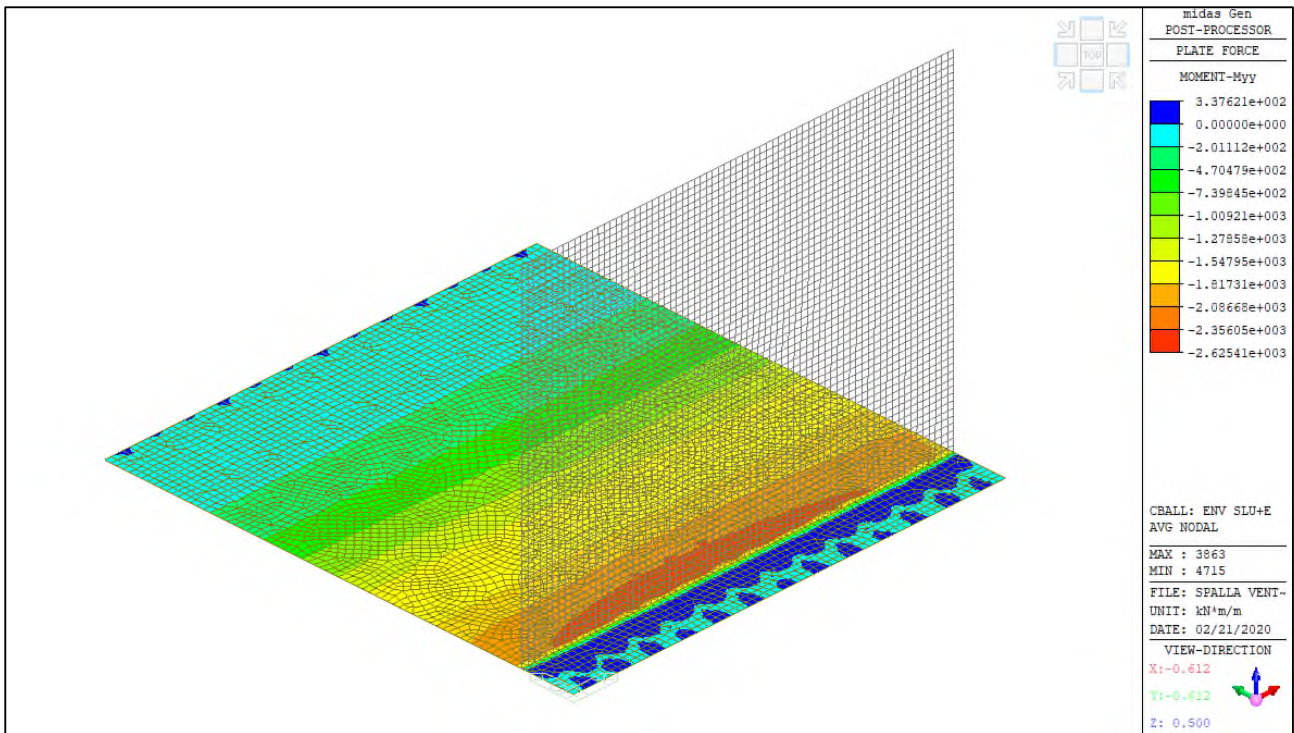
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo

Ponte “Bossarino 2” – Relazione Tecnica e di Calcolo Sottostrutture e Fondazioni

Si riportano i diagrammi involuppo delle azioni interne per le combinazioni allo stato limite ultimo (ENV-SLU+E)

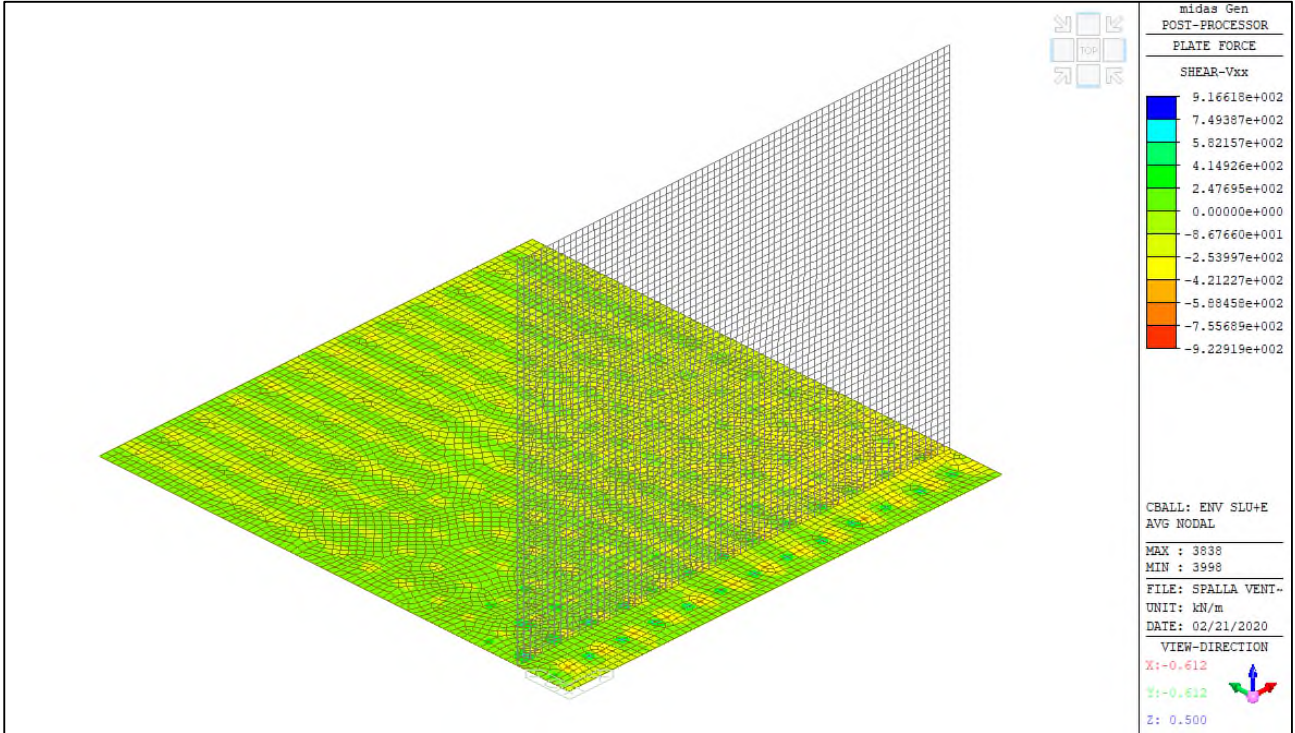


ENV-SLU+E – Mxx (kNm/m) – Platea

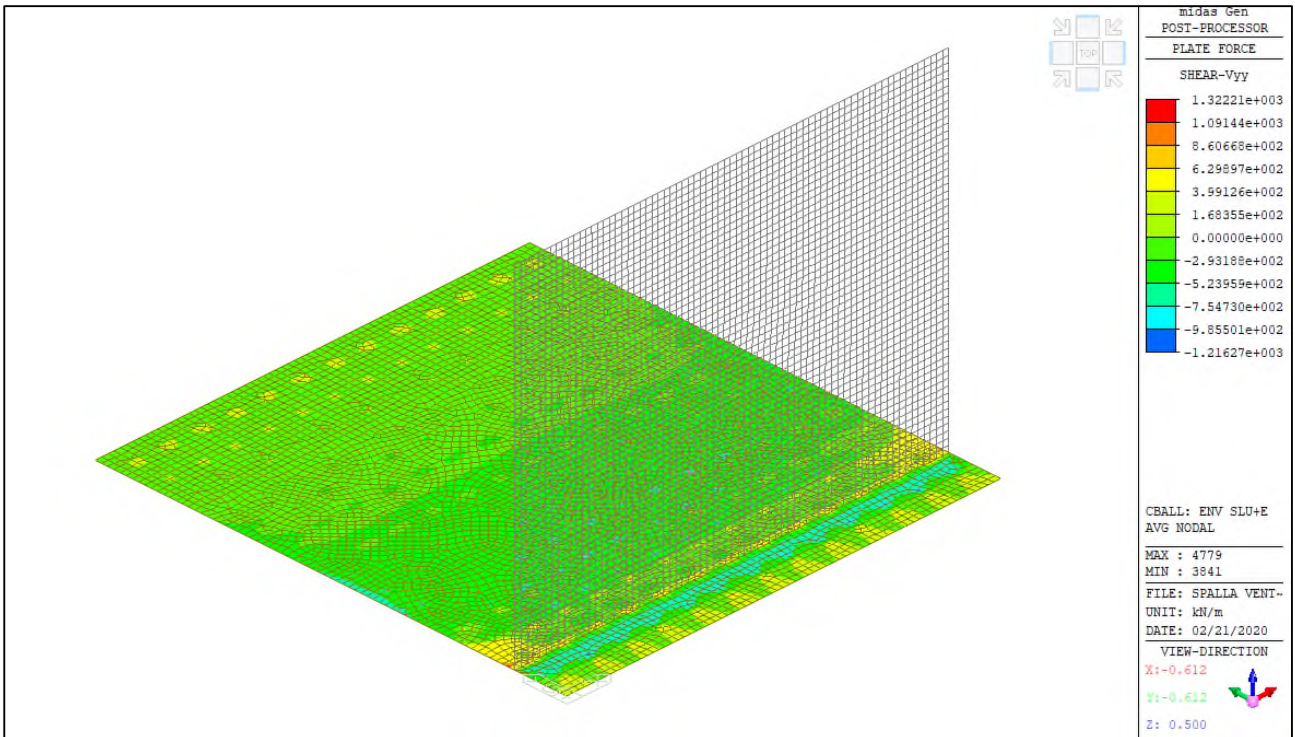


ENV-SLU+E – Myy (kNm/m) – Platea





ENV-SLU+E – Vxx (kN/m) – Platea



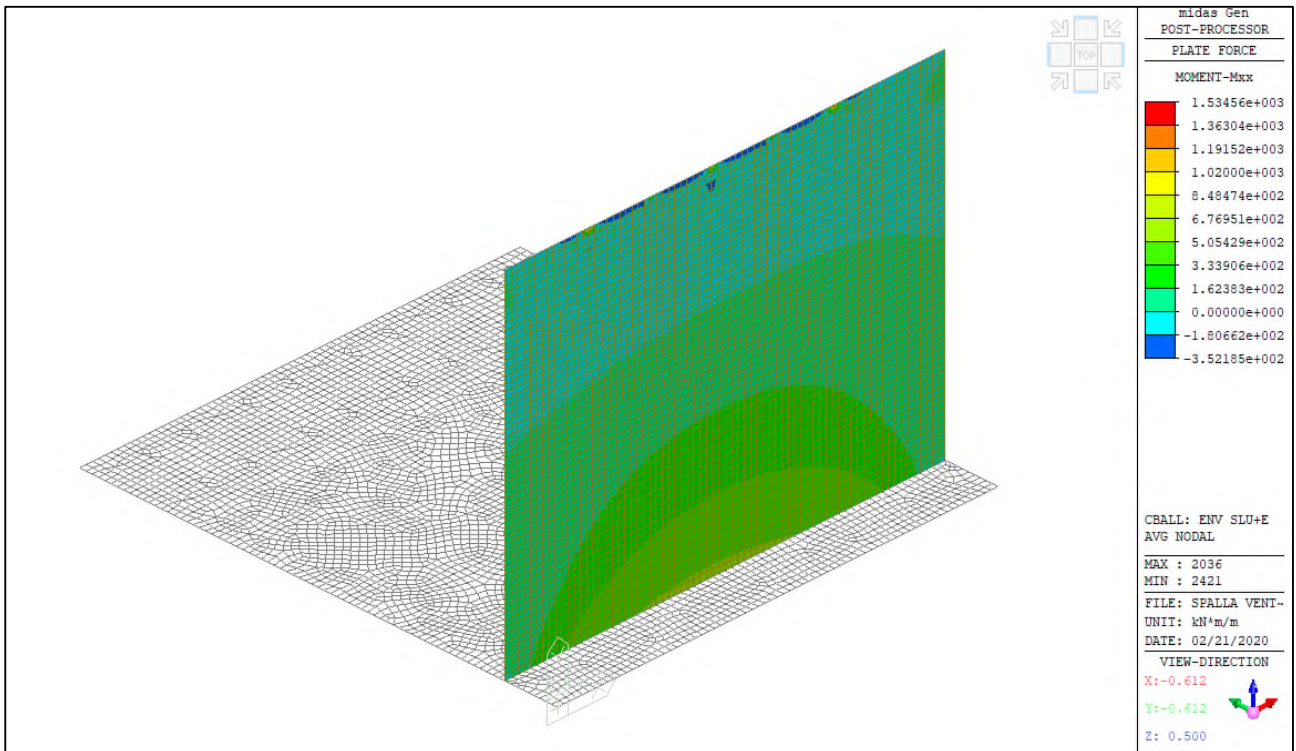
ENV-SLU+E – Vyy (kN/m) – Platea



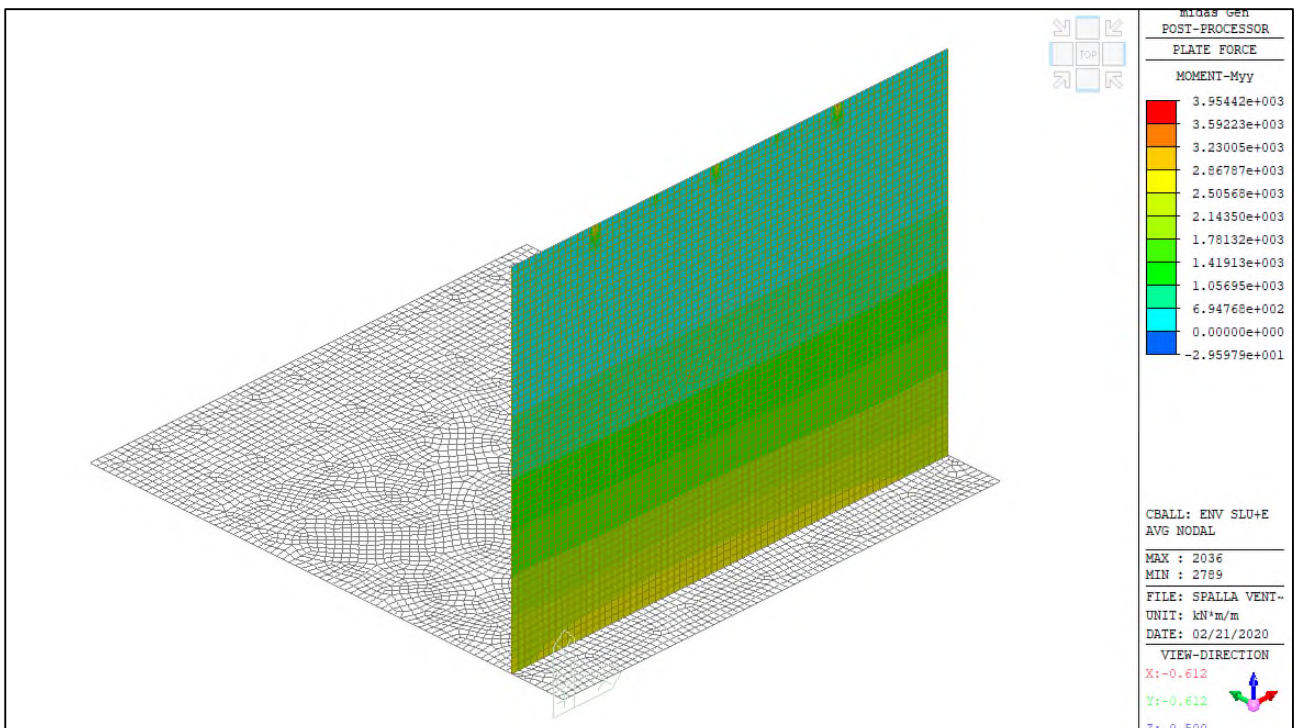
Comune di Vado Ligure

Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo

Ponte “Bossarino 2” – Relazione Tecnica e di Calcolo Sottostrutture e Fondazioni



ENV-SLU+E – Mxx (kNm/m) – Spalla



ENV-SLU+E – Myy (kNm/m) – Spalla

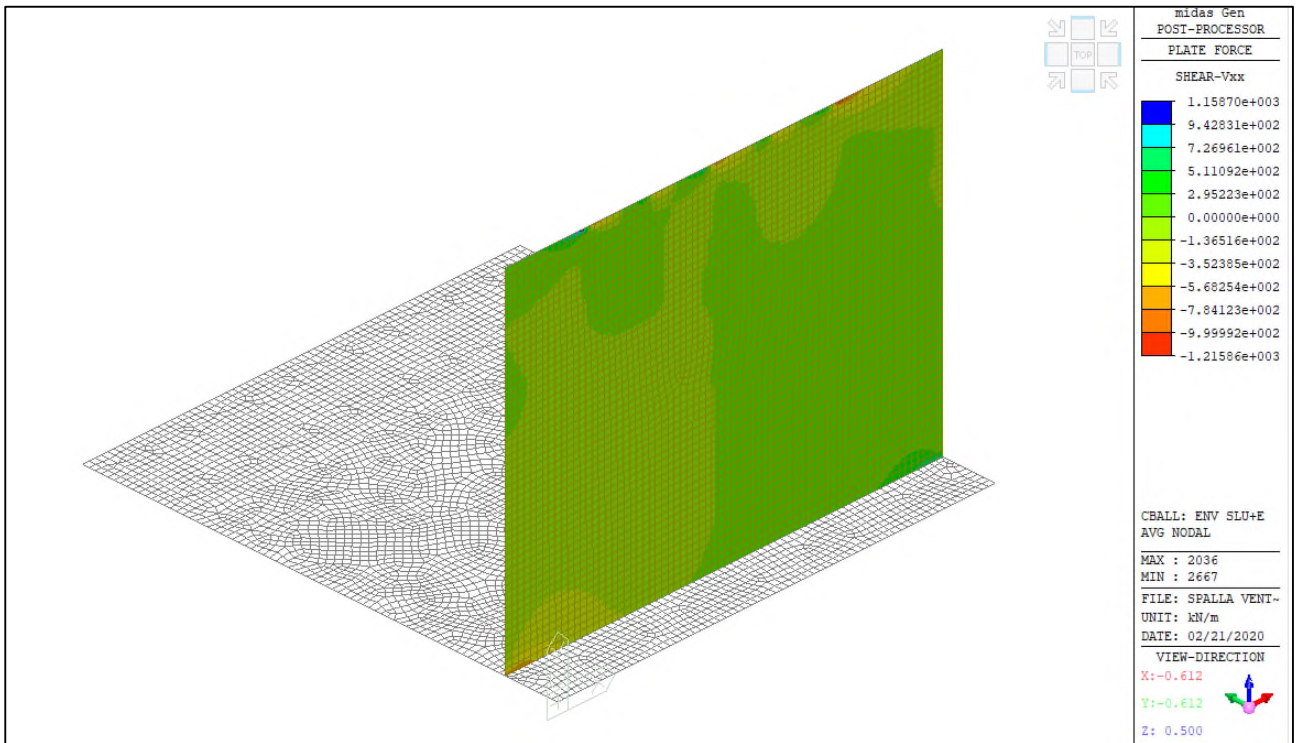




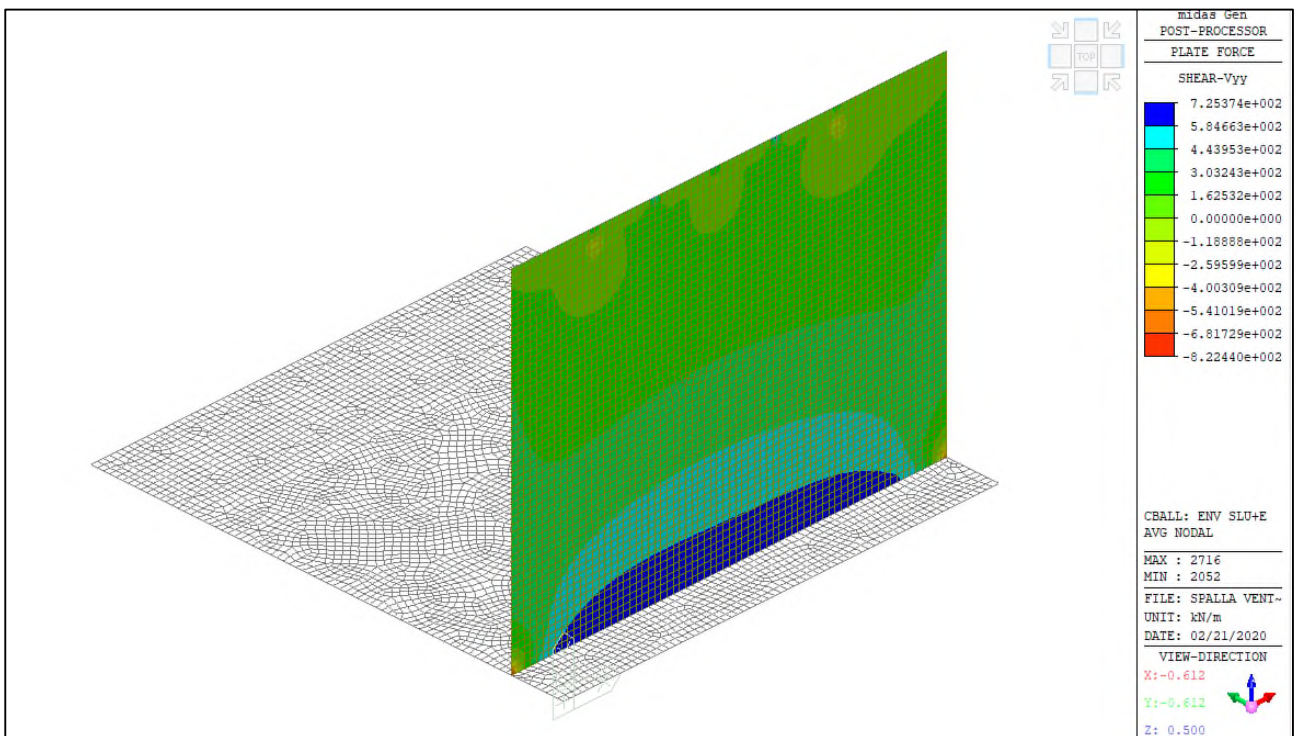
Comune di Vado Ligure

Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo

Ponte “Bossarino 2” – Relazione Tecnica e di Calcolo Sottostrutture e Fondazioni

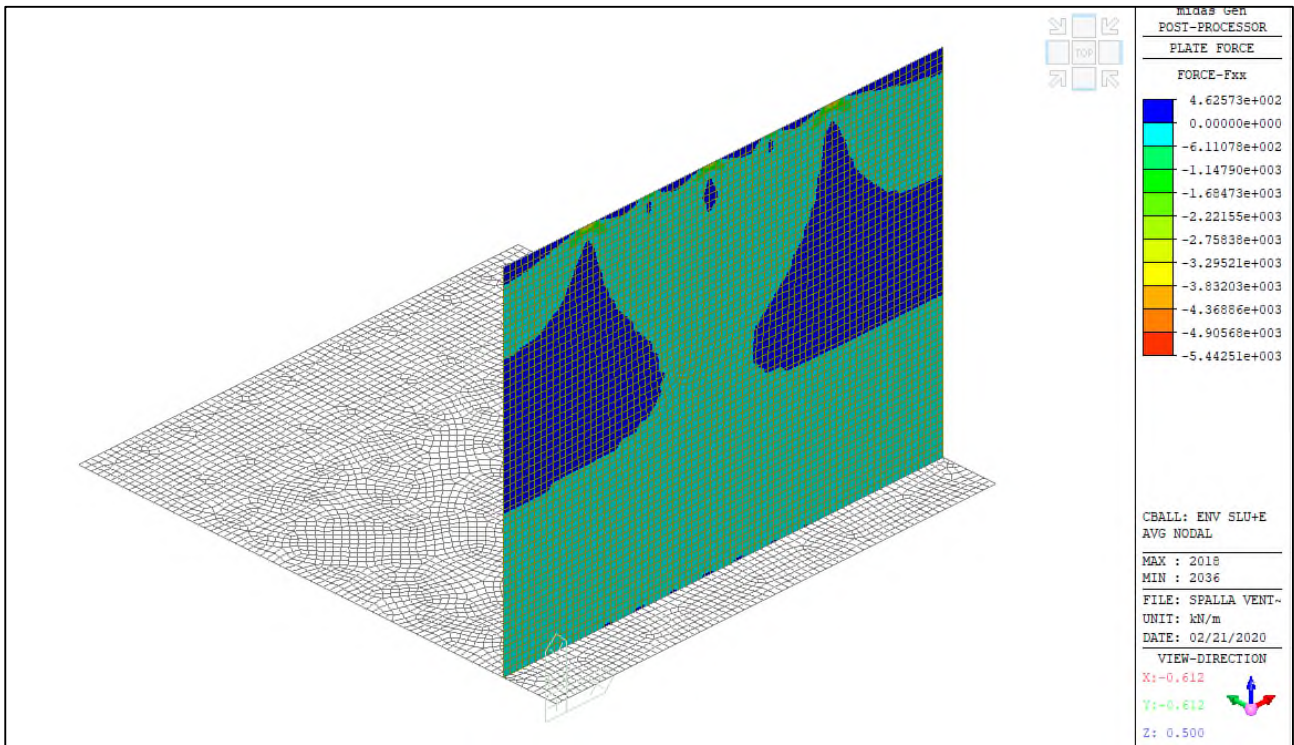


ENV-SLU+E – Vxx (kN/m) – Spalla

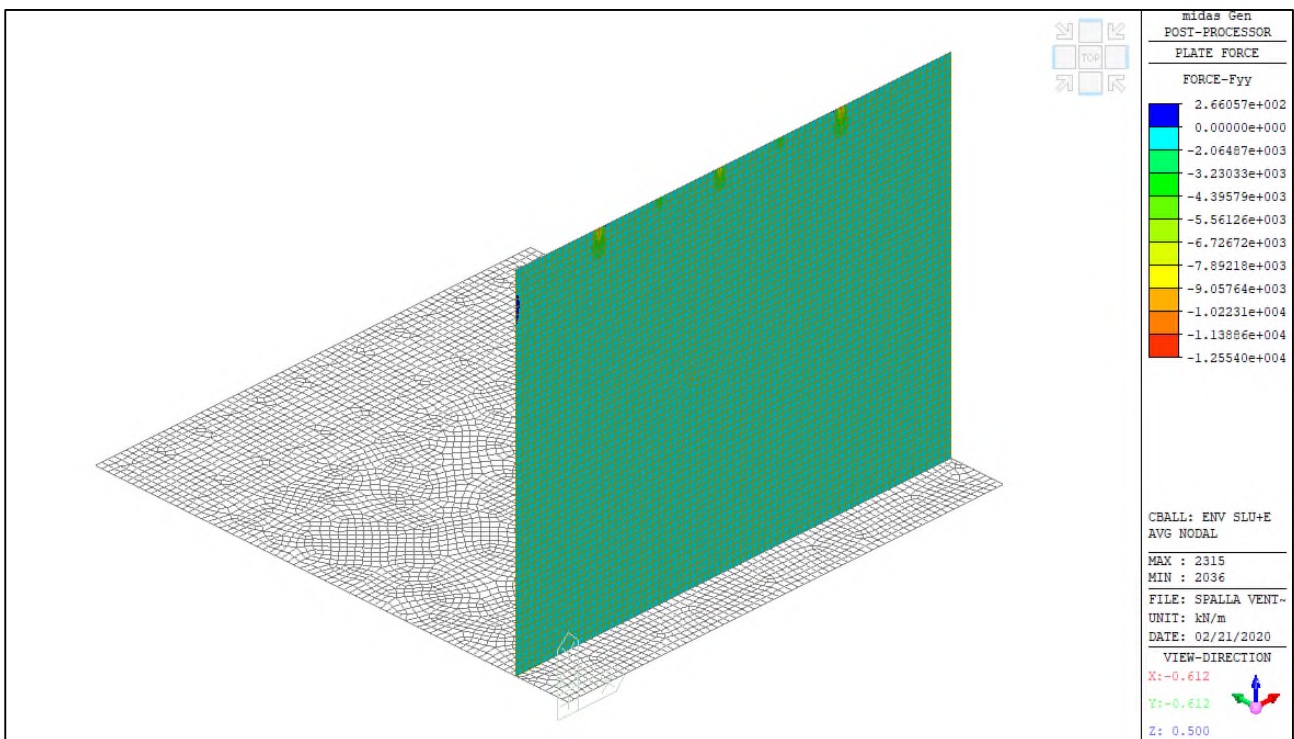


ENV-SLU+E – Vyy (kN/m) – Spalla





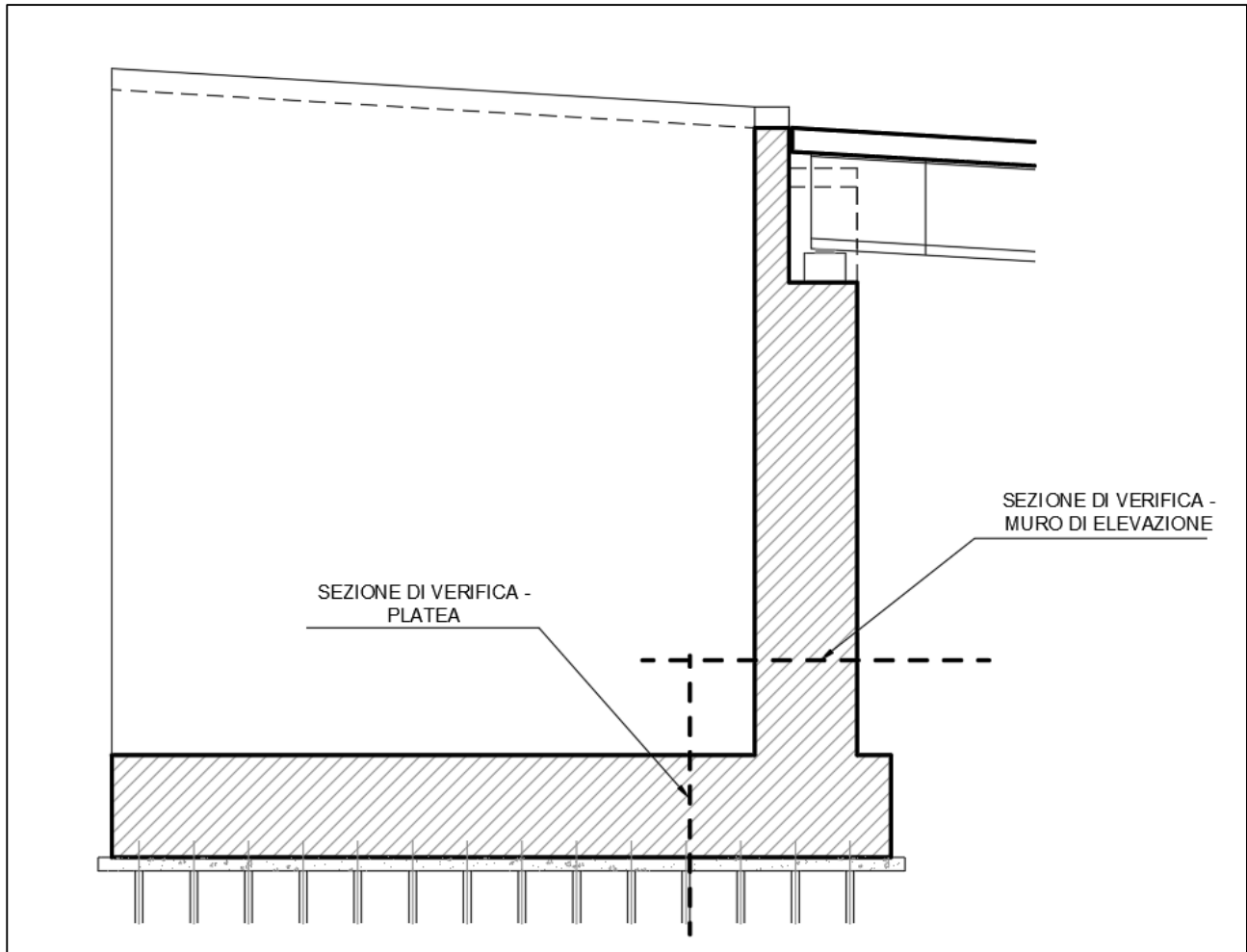
ENV-SLU+E – Fxx (kN/m) – Spalla



ENV-SLU+E – Fyy (kN/m) – Spalla

### 8.3 VERIFICHE ELEMENTI IN C.A

Di seguito si mostrano le due sezioni di verifica per la platea di fondazione e il muro di elevazione.



Identificazione sezioni di verifica

Cautelativamente, le verifiche sono state condotte solamente nelle sezioni dove si manifestano le massime sollecitazioni per una fascia di 1.00m. Nella seguente tabella vengono riportate le sollecitazioni massime utilizzate per la verifica delle due sezioni.

| SEZIONE    | SLE QP [kNm/m]  |                 | SLE F [kNm/m]   |                 | SLE R [kNm/m]   |                 | SLU [kNm/m]     |                 |
|------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|            | M <sub>xx</sub> | M <sub>yy</sub> | M <sub>xx</sub> | M <sub>yy</sub> | M <sub>xx</sub> | M <sub>yy</sub> | M <sub>xx</sub> | M <sub>yy</sub> |
| PLATEA     | 330.6           | 1278.1          | 350.9           | 1510.5          | 400.8           | 1601.8          | 606.4           | 2625.4          |
| ELEVAZIONE | 917             | 1448.5          | 1000.5          | 1869.7          | 1156.6          | 2939.7          | 1534.5          | 3954.4          |



1. Platea

Le armature sono costituite da una maglia base

- $\Phi 30/20$  inferiori e superiori in direzione x
- $\Phi 30/20$  inferiori in direzione y
- $\Phi 32/10$  superiori in direzione y
- Spilli  $\Phi 14/20 \times 40$

Armatura platea direzione x

Armatura esterna: copriferro  $5.0+1.5 = 6.5\text{cm}$

| geometria              |        |       |                    |                    |
|------------------------|--------|-------|--------------------|--------------------|
| sezione trasversale    |        |       |                    |                    |
| B                      | H      | c     | d                  | z                  |
| [cm]                   | [cm]   | [cm]  | [cm]               | [cm]               |
| 100                    | 150    | 5.0   | 143.5              | 129.2              |
| armatura longitudinale |        |       |                    |                    |
| nbarre                 | $\phi$ | d     | $A_{sl}$           |                    |
|                        | [mm]   | [cm]  | [cm <sup>2</sup> ] |                    |
| 5                      | 30     | 6.5   | 35.34              |                    |
| 5                      | 30     | 143.5 | 35.34              |                    |
| armatura a taglio      |        |       |                    |                    |
| nbracci                | $\phi$ | s     | $\alpha$           | $A_{sw}$           |
|                        | [mm]   | [cm]  | [°]                | [cm <sup>2</sup> ] |
| 5                      | 14     | 40    | 90                 | 7.70               |

| SLU                          | SLE - R                      | SLE - F                             | SLE - QP                            |
|------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| SLU                          | SLE                          | SLE                                 | SLE                                 |
| M <sub>Ed</sub> 606.40 [kNm] | M <sub>Ek</sub> 400.8 [kNm]  | M <sub>Ek</sub> 350.9 [kNm]         | M <sub>Ek</sub> 330.6 [kNm]         |
| N <sub>Ed</sub> 0.00 [kN]    | N <sub>Ek</sub> 0 [kN]       | N <sub>Ek</sub> 0 [kN]              | N <sub>Ek</sub> 0 [kN]              |
| V <sub>Ed</sub> 613.20 [kN]  | tensioni e fessure           |                                     |                                     |
| presso-flessione             | M <sub>dec</sub> 0.0 [kNm]   | M <sub>dec</sub> 0.0 [kNm]          | M <sub>dec</sub> 0.0 [kNm]          |
| M <sub>Rd</sub> 1923.4 [kNm] | M <sub>cr</sub> 931.4 [kNm]  | M <sub>cr</sub> 931.4 [kNm]         | M <sub>cr</sub> 931.4 [kNm]         |
| FS 3.17                      | y <sub>n</sub> -44.34 [cm]   | y <sub>n</sub> -44.34 [cm]          | y <sub>n</sub> -44.34 [cm]          |
|                              | $\sigma_{c,min}$ -1.5 [MPa]  | $\sigma_{c,min}$ -1.3 [MPa]         | $\sigma_{c,min}$ -1.3 [MPa]         |
|                              | $\sigma_{s,min}$ -18.1 [MPa] | $\sigma_{s,min}$ -15.9 [MPa]        | $\sigma_{s,min}$ -14.9 [MPa]        |
|                              | $\sigma_{s,max}$ 84.6 [MPa]  | $\sigma_{s,max}$ 74.1 [MPa]         | $\sigma_{s,max}$ 69.8 [MPa]         |
|                              |                              | k <sub>2</sub> 0.5                  | k <sub>2</sub> 0.5                  |
|                              |                              | $\epsilon_{sm}-\epsilon_{cm}$ - [%] | $\epsilon_{sm}-\epsilon_{cm}$ - [%] |
|                              |                              | S <sub>r,max</sub> - [cm]           | S <sub>r,max</sub> - [cm]           |
|                              |                              | W <sub>k</sub> - [mm]               | W <sub>k</sub> - [mm]               |



Armatura platea direzione y

Armatura interna: copriferro  $5.0+3.0+1.5 = 9.5\text{cm}$

| geometria              |        |       |                    |                    |
|------------------------|--------|-------|--------------------|--------------------|
| sezione trasversale    |        |       |                    |                    |
| B                      | H      | c     | d                  | z                  |
| [cm]                   | [cm]   | [cm]  | [cm]               | [cm]               |
| 100                    | 150    | 8.0   | 140.4              | 126.4              |
| armatura longitudinale |        |       |                    |                    |
| nbarre                 | $\phi$ | d     | $A_{sl}$           |                    |
|                        | [mm]   | [cm]  | [cm <sup>2</sup> ] |                    |
| 5                      | 30     | 9.5   | 35.34              |                    |
| 10                     | 32     | 140.4 | 80.42              |                    |
| armatura a taglio      |        |       |                    |                    |
| nbracci                | $\phi$ | s     | $\alpha$           | $A_{sw}$           |
|                        | [mm]   | [cm]  | [°]                | [cm <sup>2</sup> ] |
| 5                      | 14     | 40    | 90                 | 7.70               |

| SLU                     | SLE - R                                | SLE - F                                | SLE - QP                               |
|-------------------------|--|--|--|
| SLU                     | SLE                                    | SLE                                    | SLE                                    |
| MEd 2625.40 [kNm]       | MEk 1601.8 [kNm]                       | MEk 1510.5 [kNm]                       | MEk 1278.1 [kNm]                       |
| NEd 0.00 [kN]           | NEk 0 [kN]                             | NEk 0 [kN]                             | NEk 0 [kN]                             |
| VEd 1322.20 [kN]        | <b>tensioni e fessure</b>              |  |  |
| <b>presso-flessione</b> | Mdec 0.0 [kNm]                         | Mdec 0.0 [kNm]                         | Mdec 0.0 [kNm]                         |
| MRd 4155.3 [kNm]        | Mcr 1027.7 [kNm]                       | Mcr 1027.7 [kNm]                       | Mcr 1027.7 [kNm]                       |
| FS 1.58                 | <b>tensioni e fessure</b>              |  |  |
|                         | yn -30.80 [cm]                         | yn -30.80 [cm]                         | yn -30.80 [cm]                         |
|                         | $\sigma_{c,min}$ -4.8 [MPa]            | $\sigma_{c,min}$ -4.5 [MPa]            | $\sigma_{c,min}$ -3.8 [MPa]            |
|                         | $\sigma_{s,min}$ -56.8 [MPa]           | $\sigma_{s,min}$ -53.5 [MPa]           | $\sigma_{s,min}$ -45.3 [MPa]           |
|                         | $\sigma_{s,max}$ 157.4 [MPa]           | $\sigma_{s,max}$ 148.5 [MPa]           | $\sigma_{s,max}$ 125.6 [MPa]           |
|                         | <b>tensioni e fessure</b>              |  |  |
|                         | $k_2$ 0.5                              | $k_2$ 0.5                              | $k_2$ 0.5                              |
|                         | $\epsilon_{sm}-\epsilon_{cm}$ 0.51 [‰] | $\epsilon_{sm}-\epsilon_{cm}$ 0.40 [‰] | $\epsilon_{sm}-\epsilon_{cm}$ 0.40 [‰] |
|                         | $s_{r,max}$ 43.4 [cm]                  | $s_{r,max}$ 43.4 [cm]                  | $s_{r,max}$ 43.4 [cm]                  |
|                         | $w_k$ 0.223 [mm]                       | $w_k$ 0.223 [mm]                       | $w_k$ 0.173 [mm]                       |

verifica a taglio di una sezione rettangolare

secondo EN 1992-1-1:2004/E

geometria

sezione trasversale

|                                  |   |   |       |    |
|----------------------------------|---|---|-------|----|
| base                             | B | = | 100   | cm |
| altezza                          | H | = | 150   | cm |
| copriferro (asse armatura long.) | c | = | 9.6   | cm |
| altezza utile                    | d | = | 140   | cm |
| braccio coppia interna           | z | = | 126.4 | cm |

armatura a taglio

|                |          |   |      |                 |
|----------------|----------|---|------|-----------------|
| numero braccia | n        | = | 5    |                 |
| diametro       | $\phi$   | = | 14   | mm              |
| passo          | s        | = | 40   | cm              |
| inclinazione   | $\alpha$ | = | 90   | °               |
| area           | $A_{sw}$ | = | 7.70 | cm <sup>2</sup> |

armatura longitudinale tesa

|              |          |   |      |                 |
|--------------|----------|---|------|-----------------|
| numero barre | $n_1$    | = | 10   |                 |
| diametro     | $\phi_1$ | = | 32   | mm              |
| numero barre | $n_2$    | = | 0    |                 |
| diametro     | $\phi_2$ | = | 0    | mm              |
| area totale  | $A_{sl}$ | = | 80.4 | cm <sup>2</sup> |

materiali

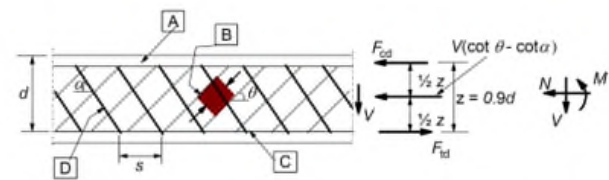
calcestruzzo

|  |               |   |       |     |
|--|---------------|---|-------|-----|
| resistenza caratt. cilindrica a 28 gg. | $f_{ck}$      | = | 24.9  | MPa |
| coeff. parziale di sicurezza           | $\gamma_c$    | = | 1.5   |     |
| coeff. effetti a lungo termine         | $\alpha_{cc}$ | = | 0.85  |     |
| tensione di calcolo                    | $f_{cd}$      | = | 14.1  | MPa |
| coeff. riduzione resistenza bielle     | $\nu$         | = | 0.540 |     |
| tensione di calcolo bielle             | $\nu f_{cd}$  | = | 7.6   | MPa |

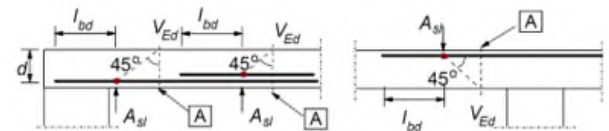
acciaio

|                                    |            |   |       |     |
|------------------------------------|------------|---|-------|-----|
| tensione caratt. di snervamento    | $f_{yk}$   | = | 450.0 | MPa |
| coeff. parziale di sicurezza       | $\gamma_s$ | = | 1.15  |     |
| tensione di snervamento di calcolo | $f_{yd}$   | = | 391.3 | MPa |

legenda



A - compression chord, B - struts, C - tensile chord, D - shear reinforcement



A - section considered

sollecitazioni e verifiche

|                                  |             |   |         |    |
|----------------------------------|-------------|---|---------|----|
| taglio                           | $V_{Ed}$    | = | 1322.2  | kN |
| azione assiale                   | $N_{Ed}$    | = | 0       | kN |
| resistenza elemento non armato   | $V_{Rdc}$   | = | 562.8   | kN |
| resistenza armatura a taglio     | $V_{Rds}$   | = | 1867.3  | kN |
| resistenza bielle calcestruzzo   | $V_{Rdmax}$ | = | 3896.3  | kN |
| inclinazione bielle calcestruzzo | $\theta$    | = | 27.0    | °  |
| sezione                          |             |   | duttile |    |
| traslazione armatura long.       | al          | = | 124.0   | cm |





2. Muro di elevazione

Le armature sono costituite da una maglia base

- $\Phi 30/20$  lato terra e controterra in direzione x
- $\Phi 30/10$  lato terra in direzione y
- $\Phi 30/20$  lato controterra in direzione y
- Spilli  $\Phi 14/20 \times 40$

Armatura muro di elevazione direzione x

Armatura esterna: copriferro  $5.5+1.5 = 7.0$ cm

| geometria              |        |       |                    |                    |
|------------------------|--------|-------|--------------------|--------------------|
| sezione trasversale    |        |       |                    |                    |
| B                      | H      | c     | d                  | z                  |
| [cm]                   | [cm]   | [cm]  | [cm]               | [cm]               |
| 100                    | 150    | 5.5   | 143.0              | 128.7              |
| armatura longitudinale |        |       |                    |                    |
| nbarre                 | $\phi$ | d     | $A_{sl}$           |                    |
|                        | [mm]   | [cm]  | [cm <sup>2</sup> ] |                    |
| 5                      | 30     | 7.0   | 35.34              |                    |
| 5                      | 30     | 143.0 | 35.34              |                    |
| armatura a taglio      |        |       |                    |                    |
| nbracci                | $\phi$ | s     | $\alpha$           | $A_{sw}$           |
|                        | [mm]   | [cm]  | [°]                | [cm <sup>2</sup> ] |
| 5                      | 14     | 40    | 90                 | 7.70               |

| SLU               | SLE - R                      | SLE - F                             | SLE - QP                            |
|-------------------|------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| SLU               | SLE                          | SLE                                 | SLE                                 |
| MEd 1534.50 [kNm] | MEk 1156.6 [kNm]             | MEk 1000.5 [kNm]                    | MEk 917 [kNm]                       |
| NEd 0.00 [kN]     | NEk 0 [kN]                   | NEk 0 [kN]                          | NEk 0 [kN]                          |
| VEd 1215.90 [kN]  | tensioni e fessure           |                                     |                                     |
| presso-flessione  | Mdec 0.0 [kNm]               | Mdec 0.0 [kNm]                      | Mdec 0.0 [kNm]                      |
| MRd 1925.2 [kNm]  | Mcr 1126.0 [kNm]             | Mcr 1126.0 [kNm]                    | Mcr 1126.0 [kNm]                    |
| FS 1.25           | yn -44.34 [cm]               | yn -44.34 [cm]                      | yn -44.34 [cm]                      |
|                   | $\sigma_{c,min}$ -4.5 [MPa]  | $\sigma_{c,min}$ -3.9 [MPa]         | $\sigma_{c,min}$ -3.5 [MPa]         |
|                   | $\sigma_{s,min}$ -51.7 [MPa] | $\sigma_{s,min}$ -44.7 [MPa]        | $\sigma_{s,min}$ -41.0 [MPa]        |
|                   | $\sigma_{s,max}$ 245.2 [MPa] | $\sigma_{s,max}$ 212.1 [MPa]        | $\sigma_{s,max}$ 194.4 [MPa]        |
|                   |                              | $k_2$ 0.5                           | $k_2$ 0.5                           |
|                   |                              | $\epsilon_{sm}-\epsilon_{cm}$ - [%] | $\epsilon_{sm}-\epsilon_{cm}$ - [%] |
|                   |                              | $S_{r,max}$ - [cm]                  | $S_{r,max}$ - [cm]                  |
|                   |                              | $W_k$ - [mm]                        | $W_k$ - [mm]                        |



Armatura muro di elevazione direzione y

Armatura interna: copriferro 5.5+3.0+1.5 = 10.0cm

| geometria              |      |       |                    |                    |
|------------------------|------|-------|--------------------|--------------------|
| sezione trasversale    |      |       |                    |                    |
| B                      | H    | c     | d                  | z                  |
| [cm]                   | [cm] | [cm]  | [cm]               | [cm]               |
| 100                    | 150  | 8.5   | 140.0              | 126.0              |
| armatura longitudinale |      |       |                    |                    |
| nbarre                 | φ    | d     | A <sub>sl</sub>    |                    |
|                        | [mm] | [cm]  | [cm <sup>2</sup> ] |                    |
| 5                      | 30   | 10.0  | 35.34              |                    |
| 10                     | 30   | 140.0 | 70.69              |                    |
| armatura a taglio      |      |       |                    |                    |
| nbracci                | φ    | s     | α                  | A <sub>sw</sub>    |
|                        | [mm] | [cm]  | [°]                | [cm <sup>2</sup> ] |
| 5                      | 14   | 40    | 90                 | 7.70               |

| SLU                           | SLE - R                         | SLE - F                                 | SLE - QP                                |
|-------------------------------|---------------------------------|---|---|
| <b>SLU</b>                    | <b>SLE</b>                      | <b>SLE</b>                              | <b>SLE</b>                              |
| M <sub>Ed</sub> 3954.40 [kNm] | M <sub>Ek</sub> 2939.7 [kNm]    | M <sub>Ek</sub> 1869.7 [kNm]            | M <sub>Ek</sub> 1448.5 [kNm]            |
| N <sub>Ed</sub> -1060.00 [kN] | N <sub>Ek</sub> -790 [kN]       | N <sub>Ek</sub> -790 [kN]               | N <sub>Ek</sub> -620 [kN]               |
| V <sub>Ed</sub> 822.40 [kN]   | <b>tensioni e fessure</b>       |   |   |
| <b>presso-flessione</b>       | M <sub>dec</sub> 209.8 [kNm]    | M <sub>dec</sub> 209.8 [kNm]            | M <sub>dec</sub> 164.7 [kNm]            |
| M <sub>Rd</sub> 4345.3 [kNm]  | M <sub>cr</sub> 1423.6 [kNm]    | M <sub>cr</sub> 1423.6 [kNm]            | M <sub>cr</sub> 1378.5 [kNm]            |
| FS 1.10                       | γ <sub>n</sub> -26.82 [cm]      | γ <sub>n</sub> -22.91 [cm]              | γ <sub>n</sub> -22.77 [cm]              |
|                               | σ <sub>c,min</sub> -9.8 [MPa]   | σ <sub>c,min</sub> -6.4 [MPa]           | σ <sub>c,min</sub> -4.9 [MPa]           |
|                               | σ <sub>s,min</sub> -116.2 [MPa] | σ <sub>s,min</sub> -77.0 [MPa]          | σ <sub>s,min</sub> -59.7 [MPa]          |
|                               | σ <sub>s,max</sub> 279.6 [MPa]  | σ <sub>s,max</sub> 160.8 [MPa]          | σ <sub>s,max</sub> 124.2 [MPa]          |
|                               |                                 | k <sub>2</sub> 0.5                      | k <sub>2</sub> 0.5                      |
|                               |                                 | ε <sub>sm-ε<sub>cm</sub></sub> 0.49 [%] | ε <sub>sm-ε<sub>cm</sub></sub> 0.37 [%] |
|                               |                                 | s <sub>r,max</sub> 46.9 [cm]            | s <sub>r,max</sub> 46.9 [cm]            |
|                               |                                 | w <sub>k</sub> 0.231 [mm]               | w <sub>k</sub> 0.175 [mm]               |



**verifica a taglio di una sezione rettangolare**

secondo EN 1992-1-1:2004:E

**geometria**

**sezione trasversale**

|                                  |   |   |       |    |
|----------------------------------|---|---|-------|----|
| base                             | B | = | 100   | cm |
| altezza                          | H | = | 150   | cm |
| copriferro (asse armatura long.) | c | = | 7     | cm |
| altezza utile                    | d | = | 143   | cm |
| braccio coppia interna           | z | = | 128.7 | cm |

**armatura a taglio**

|                |          |   |      |
|----------------|----------|---|------|
| numero braccia | n        | = | 5    |
| diametro       | $\phi$   | = | 14   |
| passo          | s        | = | 40   |
| inclinazione   | $\alpha$ | = | 90°  |
| area           | $A_{sw}$ | = | 7.70 |

**armatura longitudinale tesa**

|              |          |   |      |
|--------------|----------|---|------|
| numero barre | $n_1$    | = | 5    |
| diametro     | $\phi_1$ | = | 30   |
| numero barre | $n_2$    | = | 0    |
| diametro     | $\phi_2$ | = | 0    |
| area totale  | $A_{sl}$ | = | 35.3 |

**materiali**

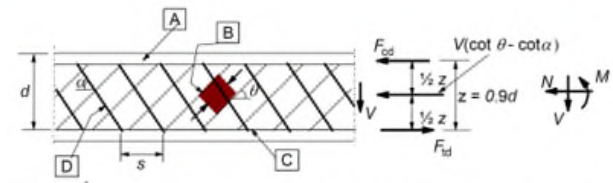
**calcestruzzo**

|  |               |   |       |     |
|--|---------------|---|-------|-----|
| resistenza caratt. cilindrica a 28 gg. | $f_{ck}$      | = | 33.2  | MPa |
| coeff. parziale di sicurezza           | $\gamma_c$    | = | 1.5   |     |
| coeff. effetti a lungo termine         | $\alpha_{cc}$ | = | 0.85  |     |
| tensione di calcolo                    | $f_{cd}$      | = | 18.8  | MPa |
| coeff. riduzione resistenza bielle     | $v$           | = | 0.520 |     |
| tensione di calcolo bielle             | $v f_{cd}$    | = | 9.8   | MPa |

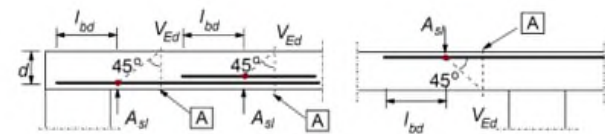
**acciaio**

|                                    |            |   |       |     |
|------------------------------------|------------|---|-------|-----|
| tensione caratt. di snervamento    | $f_{yk}$   | = | 450.0 | MPa |
| coeff. parziale di sicurezza       | $\gamma_s$ | = | 1.15  |     |
| tensione di snervamento di calcolo | $f_{yd}$   | = | 391.3 | MPa |

**legenda**



[A] - compression chord, [B] - struts, [C] - tensile chord, [D] - shear reinforcement



[A] - section considered

**sollecitazioni e verifiche**

|                                  |             |   |         |    |
|----------------------------------|-------------|---|---------|----|
| taglio                           | $V_{Ed}$    | = | 1215.9  | kN |
| azione assiale                   | $N_{Ed}$    | = | 0       | kN |
| resistenza elemento non armato   | $V_{Rdc}$   | = | 475.6   | kN |
| resistenza armatura a taglio     | $V_{Rds}$   | = | 1901.9  | kN |
| resistenza bielle calcestruzzo   | $V_{Rdmax}$ | = | 5096.2  | kN |
| inclinazione bielle calcestruzzo | $\theta$    | = | 27.0    | °  |
| sezione                          |             |   | duttile |    |
| traslazione armatura long.       | $a_l$       | = | 126.3   | cm |



### 8.4 VERIFICHE MICROPALI DI FONDAZIONE

I micropali di fondazione sono realizzati in acciaio S355, con un diametro pari a 168.3mm, uno spessore di 10mm ed una lunghezza di 15.00m. Di seguito si riportano le verifiche per la capacità portante in direzione verticale, trasversale nonché la verifica strutturale del micropalo.

**PONTE BOSSARINO 2**

MICROPALI DI FONDAZIONE SPALLA LATO VENTIMIGLIA

Calcolo della capacità portante del micropalo

$$Q = Q_s = \pi \alpha D L q_s$$

**STRATIGRAFIA E PARAMETRI GEOTECNICI MEDI**

|   | Strato 1            | Strato 2 | Strato 3 |
|---|---------------------|----------|----------|
| tipo di terreno                         | SC1                 | SC2      | SC3      |
| spessore dello strato                   | s [m] 5             | 6        | 0        |
| coefficiente amplificativo perforazione | $\alpha$ [-] 1      | 1        | 1        |
| diametro equivalente perforazione       | $d_e$ [m] 0.24      | 0.24     | 0.24     |
| $N_{SPT}$ medio                         | $N_{SPT}$ [-] XX    | XX       | XX       |
| tipologia esecutiva iniezione           | - Gravità           | Gravità  | Gravità  |
| curva abaco Bustamante & Doix (1985)    | - XX                | XX       | XX       |
| resistenza tangenziale interfaccia      | $q_s$ [kPa] 150     | 205      | 375      |
| portata laterale media dello strato     | $Q_{si}$ [kN] 565.5 | 927.4    | 0.0      |

**DATI GEOMETRICI:**

|                             |           |        |                    |
|-----------------------------|-----------|--------|--------------------|
| diametro della perforazione | D         | 0.24   | [m]                |
| lunghezza del micropalo     | L         | 11     | [m]                |
| diametro esterno tubolare   | d         | 168.3  | [mm]               |
| spessore tubolare           | t         | 10     | [mm]               |
| diametro interno tubolare   | $d_{int}$ | 148.3  | [mm]               |
| area sezione tubolare       | A         | 4973.1 | [mm <sup>2</sup> ] |
| momento inerzia tubolare    | I         | 1564.0 | [cm <sup>4</sup> ] |
| modulo resistenza elastico  | W         | 185.9  | [cm <sup>3</sup> ] |
| peso tubolare               | P         | 39.0   | [kg/m]             |

**STRATIGRAFIA E PARAMETRI GEOTECNICI MINIMI**

|   | Strato 1            | Strato 2 | Strato 2 |
|---|---------------------|----------|----------|
| tipo di terreno                         | SC1                 | SC2      | SC3      |
| spessore dello strato                   | s [m] 5             | 6        | 0        |
| coefficiente amplificativo perforazione | $\alpha$ [-] 1      | 1        | 1        |
| diametro equivalente perforazione       | $d_e$ [m] 0.24      | 0.24     | 0.24     |
| $N_{SPT}$ minimo                        | $N_{SPT}$ [-] XX    | XX       | XX       |
| tipologia esecutiva iniezione           | - Gravità           | Gravità  | Gravità  |
| curva abaco Bustamante & Doix (1985)    | - XX                | XX       | XX       |
| resistenza tangenziale interfaccia      | $q_s$ [kPa] 150     | 205      | 375      |
| portata laterale media dello strato     | $Q_{si}$ [kN] 565.5 | 927.4    | 0.0      |

**PONTE BOSSARINO 2**

MICROPALI DI FONDAZIONE SPALLA LATO VENTIMIGLIA

Calcolo della capacità portante del micropalo

$$Q = Q_s = \pi \alpha D L q_s$$

**CAPACITA' PORTANTE LATERALE A COMPRESIONE:**

**MEDIA:**  $(R_{c,cal})_{media}$  1492.9 [kN]

**MINIMA:**  $(R_{c,cal})_{minima}$  1492.9 [kN]

**CAPACITA' PORTANTE LATERALE CARATTERISTICA:**

$$R_{c,k} = \text{Min}\{R_{c,cal med}/\xi_3, R_{c,cal min}/\xi_4\}$$

$R_{c,k}$  904.8 [kN]

**CAPACITA' PORTANTE LATERALE DI PROGETTO:**

$$R_{c,d} = \frac{R_{s,k}}{\gamma_s}$$

**COEFFICIENTI DI NORMATIVA:**

| Combinazione di calcolo | Azioni     |            | Resistenze (pali trivellati) |            |                    |
|-------------------------|------------|------------|------------------------------|------------|--------------------|
|                         | $\gamma_G$ | $\gamma_Q$ | $\gamma_b$                   | $\gamma_s$ | $\gamma_{s, traz}$ |
| A1+M1+R1                | 1.3        | 1.5        | 1.00                         | 1.00       | 1.00               |
| A2+M1+R2                | 1.0        | 1.3        | 1.70                         | 1.45       | 1.60               |
| A1+M1+R3                | 1.3        | 1.5        | 1.35                         | 1.15       | 1.25               |
| SISMICA                 | 1.0        | 1.0        | 1.35                         | 1.15       | 1.25               |

**VERTICALI INDAGATE:**

|                              |         |      |
|------------------------------|---------|------|
| numero di verticali indagate | $n^*$   | 2    |
| fattore di correlazione      | $\xi_3$ | 1.65 |
| fattore di correlazione      | $\xi_4$ | 1.55 |

Resistenza  $R_{c,d}$  786.8 [kN]

Azione agente  $N_d$  540.6 [kN]

Fattore Sicurezza FS 1.5 [-]

Verifica capacità portante verticale del micropalo

:Documento P280\_D\_OMG\_RC\_004\_A.docx

59/ 103

**PONTE BOSSARINO 2**

MICROPALI DI FONDAZIONE SPALLA LATO VENTIMIGLIA

Calcolo del carico trasversale limite

Terreni incoerenti (Broms 1964)

DATI GEOMETRICI:

|                             |                       |       |       |
|-----------------------------|-----------------------|-------|-------|
| Lunghezza del palo          | L                     | 11    | [m]   |
| Diametro del palo           | D <sub>palo</sub>     | 0.24  | [m]   |
| Diametro del tubolare       | D <sub>tubolare</sub> | 168.3 | [mm]  |
| Spessore del tubolare       | t <sub>tubolare</sub> | 10    | [mm]  |
| Tipo di acciaio             | S                     | 355   | [-]   |
| Momento di plasticizzazione | M <sub>y</sub>        | 77.5  | [kNm] |

DATI GEOTECNICI:

|                                       |                       |      |                      |
|---------------------------------------|-----------------------|------|----------------------|
| Peso per unità di volume              | γ'                    | 21   | [kN/m <sup>3</sup> ] |
| Angolo attrito medio                  | φ <sub>medio</sub>    | 25   | [°]                  |
| Coefficiente di spinta passiva medio  | k <sub>p,medio</sub>  | 2.46 | [-]                  |
| Angolo attrito minimo                 | φ <sub>minimo</sub>   | 24   | [°]                  |
| Coefficiente di spinta passiva minimo | k <sub>p,minimo</sub> | 2.37 | [-]                  |

VERTICALI INDAGATE:

|                              |                |      |
|------------------------------|----------------|------|
| numero di verticali indagate | n°             | 2    |
| fattore di correlazione      | ξ <sub>3</sub> | 1.65 |
| fattore di correlazione      | ξ <sub>4</sub> | 1.55 |

CARICO TRASVERSALE PER PALO CORTO H<sub>1</sub>:

|                       |        |      |
|-----------------------|--------|------|
| H <sub>1,medio</sub>  | 2250.3 | [kN] |
| H <sub>1,minimo</sub> | 2168.0 | [kN] |

$$H = 1.5 k_p \gamma d^3 \left( \frac{L}{d} \right)^2$$

CARICO TRASVERSALE PER PALO INTERMEDIO H<sub>2</sub>:

|                       |       |      |
|-----------------------|-------|------|
| H <sub>2,medio</sub>  | 757.1 | [kN] |
| H <sub>2,minimo</sub> | 729.7 | [kN] |

$$H = \frac{1}{2} k_p \gamma d^3 \left( \frac{L}{d} \right)^2 + \frac{M_y}{L}$$

CARICO TRASVERSALE PER PALO LUNGO H<sub>3</sub>:

|                       |       |      |
|-----------------------|-------|------|
| H <sub>3,medio</sub>  | 100.2 | [kN] |
| H <sub>3,minimo</sub> | 98.9  | [kN] |

$$H = k_p \gamma d^3 \sqrt[3]{\left( 3.676 \frac{M_y}{k_p \gamma d^4} \right)^2}$$

DEFINIZIONE DEL COMPORTAMENTO DEL PALO:

|                     |       |      |              |
|---------------------|-------|------|--------------|
| H <sub>medio</sub>  | 100.2 | [kN] | <b>PALO</b>  |
| H <sub>minimo</sub> | 98.9  | [kN] | <b>LUNGO</b> |

CARICO TRASVERSALE ULTIMO:

$$H_k = \text{Min}(H_{med}/\xi_3, H_{min}/\xi_4)$$

|                |      |      |
|----------------|------|------|
| H <sub>k</sub> | 60.7 | [kN] |
|----------------|------|------|

$$H_d = H_k / \gamma_T$$

|                     |      |      |
|---------------------|------|------|
| γ <sub>T</sub>      | 1.3  | [-]  |
| H <sub>d</sub>      | 46.7 | [kN] |
| H <sub>agente</sub> | 42.9 | [kN] |

VERIFICA: H<sub>d</sub> > H<sub>agente</sub> **VERIFICATO**

Verifica capacità portante trasversale del micropalo

**PONTE BOSSARINO 2****MICROPALI DI FONDAZIONE SPALLA LATO VENTIMIGLIA***Calcolo della resistenza strutturale del tubolare***DATI GEOMETRICI:**

|                                 |                  |        |                    |
|---------------------------------|------------------|--------|--------------------|
| diámetro esterno del tubolare   | d                | 168.3  | [mm]               |
| spessore del tubolare           | t                | 10.0   | [mm]               |
| diámetro interno del tubolare   | d <sub>int</sub> | 148.3  | [mm]               |
| area della sezione del tubolare | A                | 4973.1 | [mm <sup>2</sup> ] |
| momento inerzia tubolare        | I                | 1564.0 | [cm <sup>4</sup> ] |
| modulo resistenza elastico      | W                | 185.9  | [cm <sup>3</sup> ] |
| momento statico di metà sezione | S <sub>A/2</sub> | 125.5  | [cm <sup>3</sup> ] |

|                                    |                 |       |       |
|------------------------------------|-----------------|-------|-------|
| tipologia di acciaio               | S               | 355   | [MPa] |
| coefficiente di sicurezza          | γ <sub>M0</sub> | 1.05  | [-]   |
| tensione di snervamento di progett | f <sub>yd</sub> | 338.1 | [MPa] |

**CLASSIFICAZIONE DELLA SEZIONE (Tab. 4.2.V - NTC 2018)**

|                            |                |      |     |
|----------------------------|----------------|------|-----|
| tensione di snervamento no | ε              | 0.81 | [-] |
|                            | ε <sup>2</sup> | 0.66 | [-] |
| rapporto diametro/spessore | d/t            | 16.8 | [-] |
| classe della sezione       | CLASSE         | 1    |     |

**SOLLECITAZIONI AGENTI:**

|                              |                 |       |          |
|------------------------------|-----------------|-------|----------|
| momento flettente di calcolo | M <sub>Ed</sub> | 36.1  | [kNm/ml] |
| taglio di calcolo            | T <sub>Ed</sub> | 42.9  | [kN/ml]  |
| sforzo normale di calcolo    | N <sub>Ed</sub> | 540.6 | [kN/ml]  |
| interasse tubolari           | i               | 1     | [m]      |
| momento flettente agente     | M <sub>Ed</sub> | 36.1  | [kNm]    |
| taglio agente                | T <sub>Ed</sub> | 42.9  | [kN]     |
| sforzo normale agente        | N <sub>Ed</sub> | 540.6 | [kN]     |

**VERIFICA DELLA SEZIONE IN CAMPO ELASTICO:**

|                      |                   |       |                   |
|----------------------|-------------------|-------|-------------------|
| tensione normale     | σ <sub>x,Ed</sub> | 194.2 | [MPa]             |
| tensione tangenziale | τ <sub>Ed</sub>   | 17.2  | [MPa]             |
| sigma ideale         | σ <sub>id</sub>   | 196.5 | [MPa]             |
| fattore di sicurezza | FS                | 1.7   | <b>VERIFICATO</b> |

Resistenza strutturale del micropalo

## 9. VERIFICA SPALLA LATO GENOVA

L'analisi per valutare il comportamento globale della struttura è stata eseguita sviluppando un modello ad elementi finiti tridimensionale con il software di calcolo MIDAS GEN.

Le varie parti della struttura sono state schematizzate mediante elementi di tipo plate.

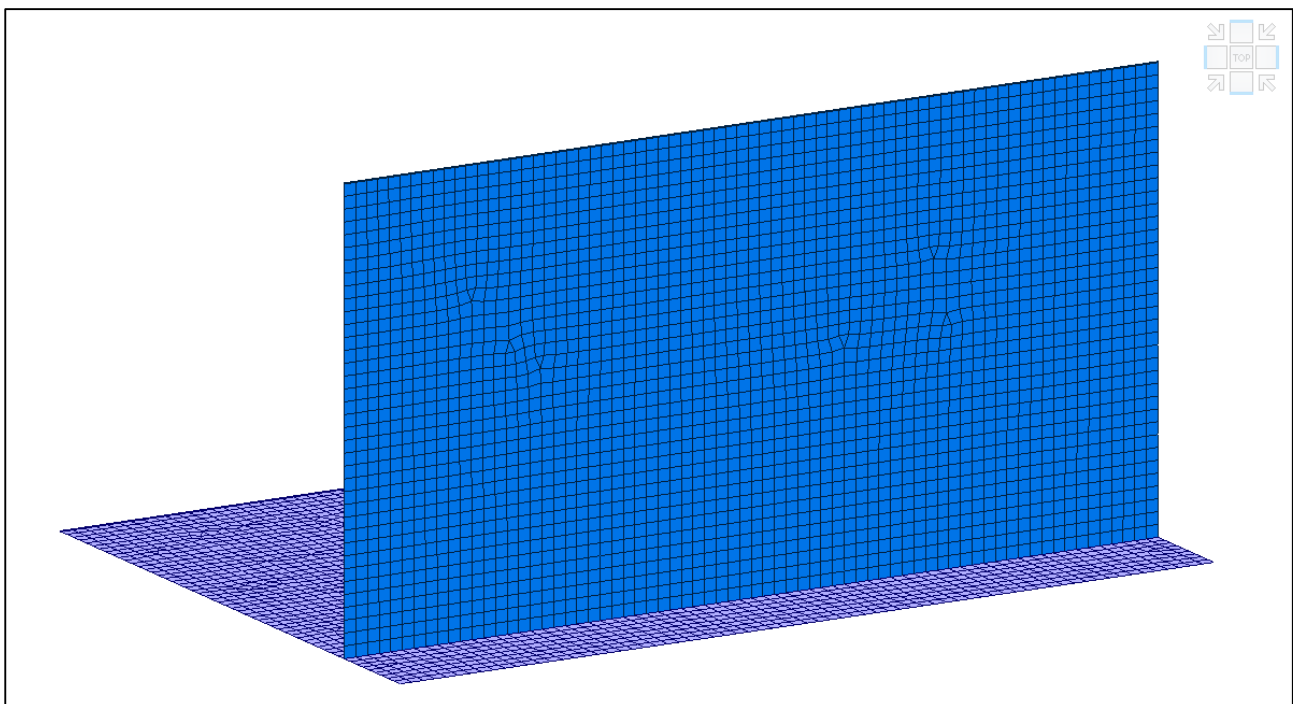
Nei successivi paragrafi sono descritte in dettaglio tutte le ipotesi poste alla base delle analisi sviluppate.

### 9.1 DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO

#### 9.1.1 GEOMETRIA DEL MODELLO

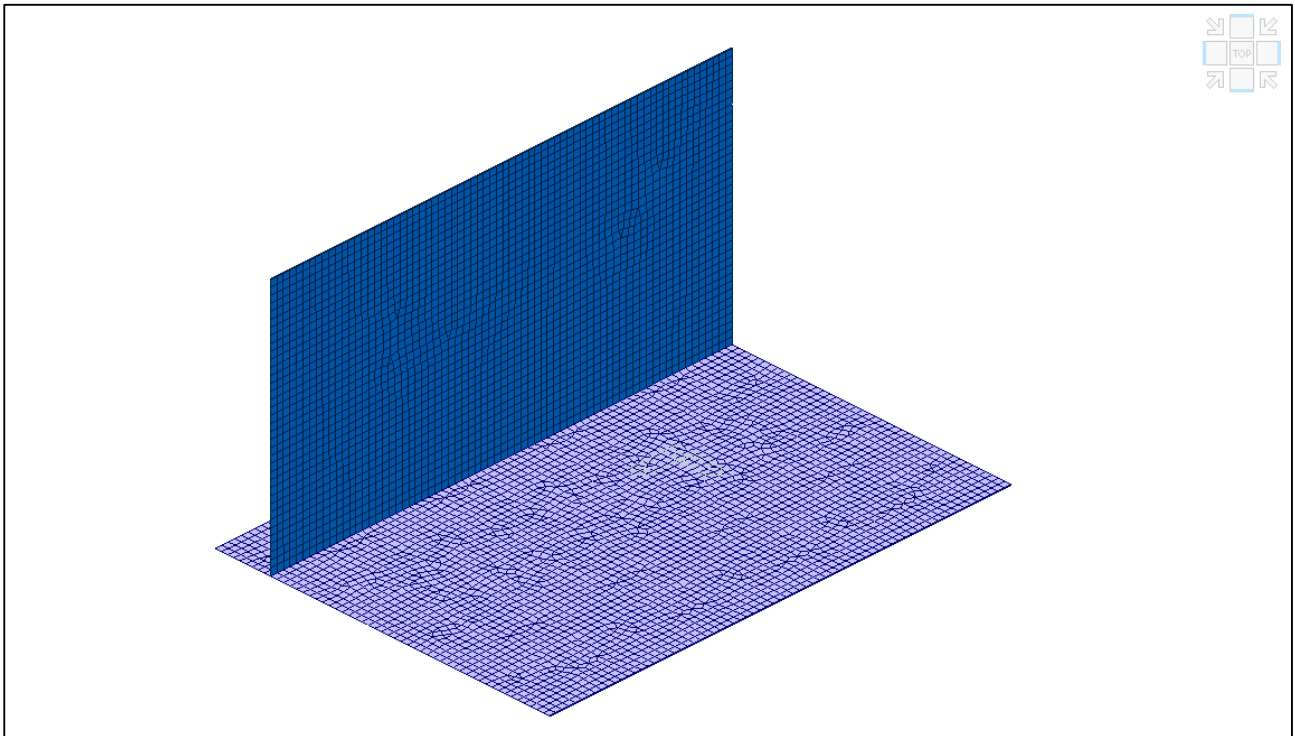
La spalla si compone di un muro frontale dello spessore di 150 cm e da una platea di fondazione dello spessore di 150 cm. In sommità è presente un paraghiaia di spessore pari a 50 cm.

E' stato sviluppato un modello globale della struttura di tipo lineare. I vari elementi sono stati schematizzati assumendo diverse caratteristiche geometriche per le varie sezioni previste.

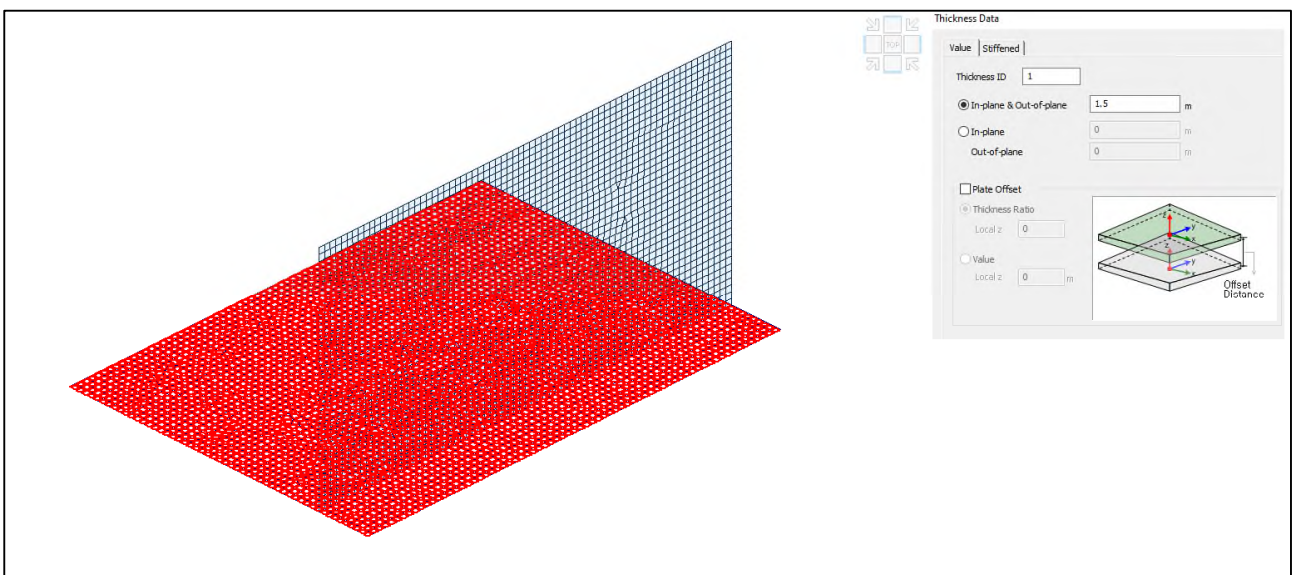


Modello FEM - Vista 1 – Spalla lato Genova





Modello FEM - Vista 2 – Spalla lato Genova



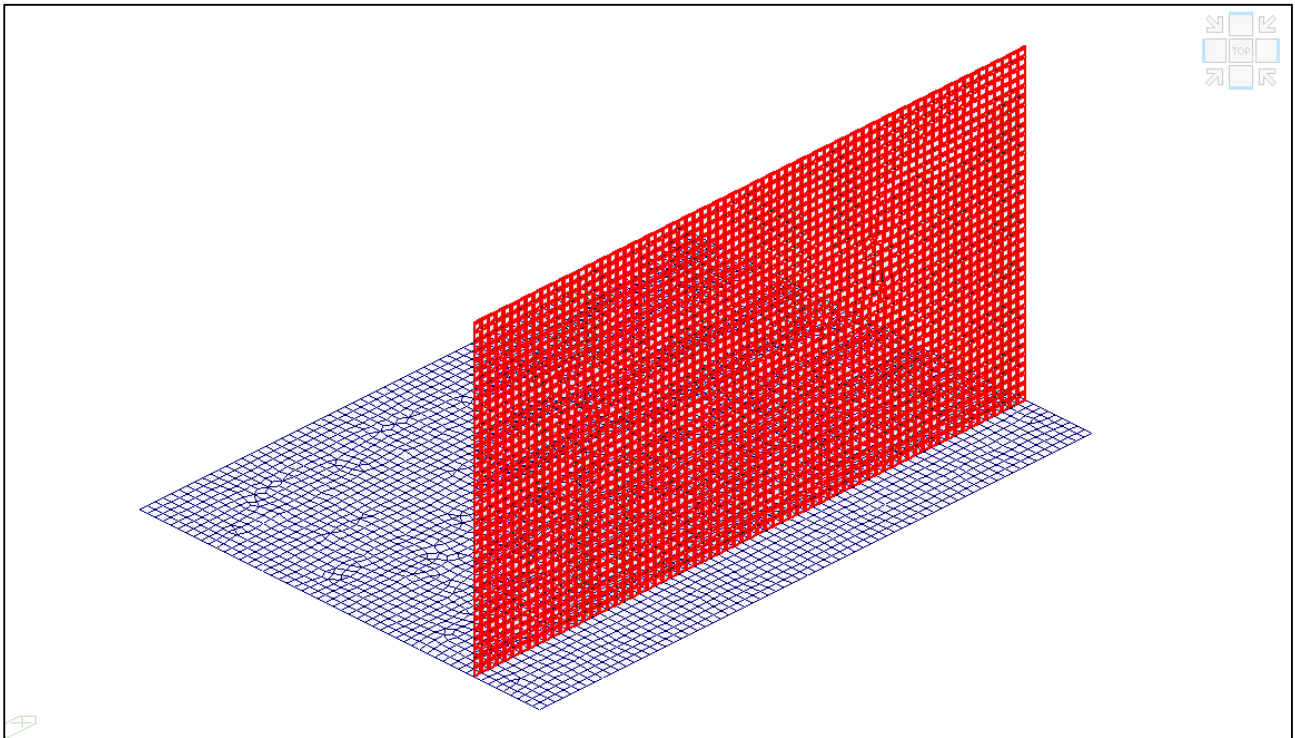
Modello FEM - Identificazione platea spessore 1.50m in calcestruzzo C25/30



Comune di Vado Ligure

Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo

Ponte “Bossarino 2” – Relazione Tecnica e di Calcolo Sottostrutture e Fondazioni

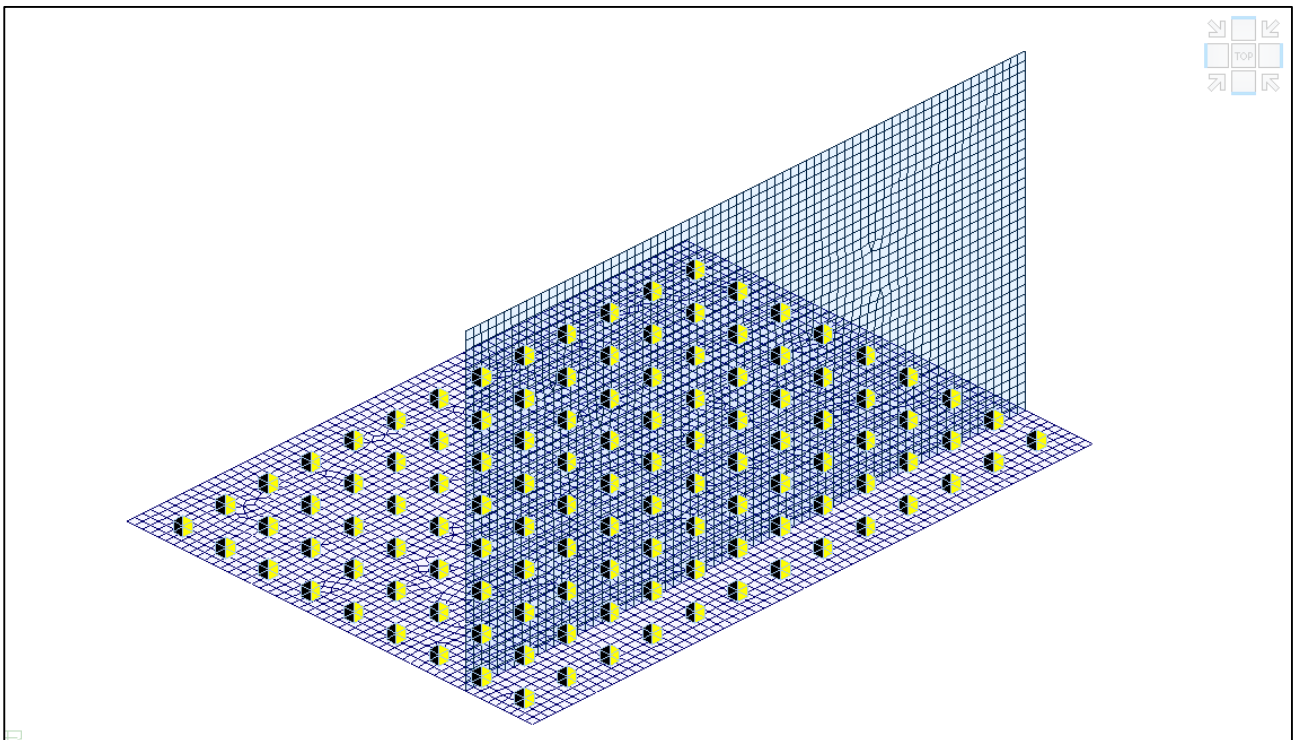


Modello FEM - Identificazione platea spessore 1.50m in calcestruzzo C32/40

### 9.1.2VINCOLI

La struttura risulta vincolata a terra mediante Point Spring applicate in corrispondenza dei micropali. I valori delle costanti verticali ed orizzontali, che simulano la presenza del micropalo, sono i medesimi di quelli calcolati per la spalla lato Ventimiglia.

Nella successiva immagine sono riportati i vincoli considerati in corrispondenza dei pali.

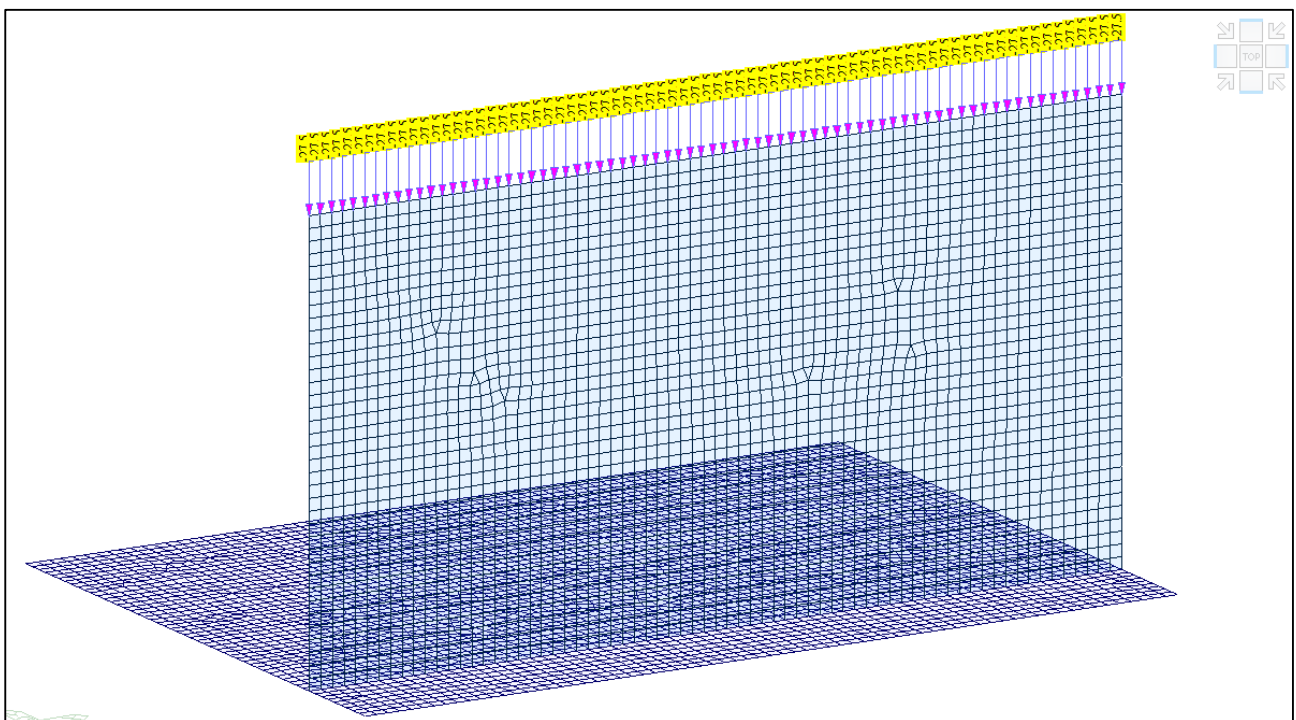


Modello FEM – Identificazione vincoli in corrispondenza dei micropali

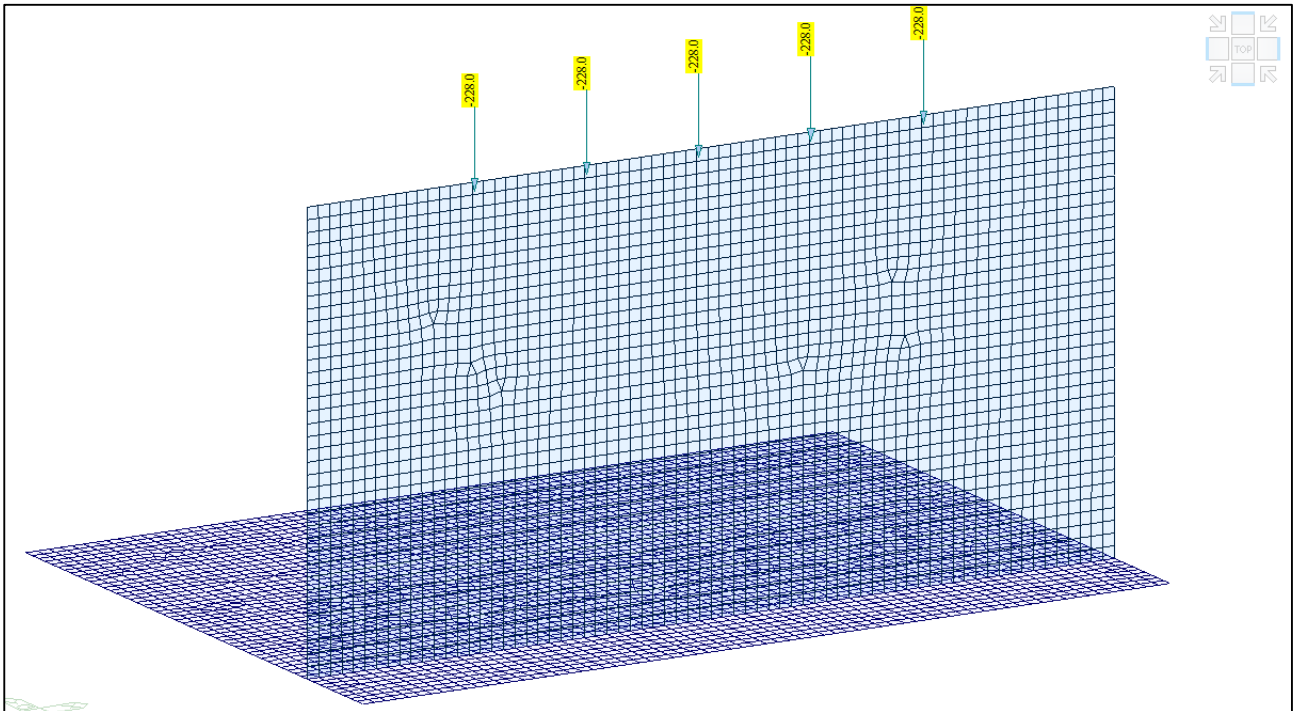
### 9.1.3 CONDIZIONI DI CARICO STATICO

Nel presente paragrafo vengono descritte le condizioni di carico agenti sulla spalla. Si distinguono gli scarichi provenienti dall’impalcato ricavati da uno studio precedente e i carichi agenti direttamente sulla spalla. I carichi orizzontali derivanti dall’impalcato sono stati applicati in modo da massimizzare l’effetto ribaltante della spalla; in questo modo vengono massimizzate le sollecitazioni dei pali.

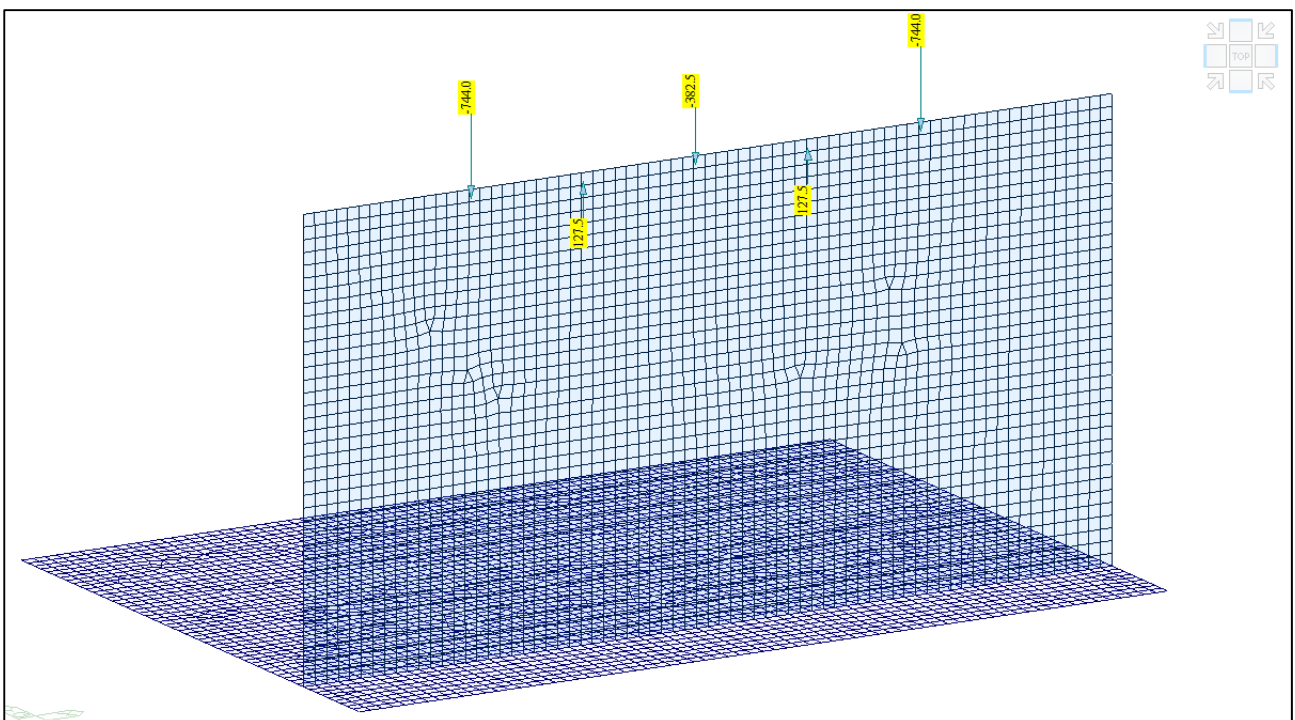
Il peso proprio della spalla genera delle azioni che sono calcolate in automatico dal software ad elementi finiti. A questa condizione di carico è stato aggiunto il peso della paraghiaia posta al di sopra del corpo spalla di spessore 1.50m.



Modello FEM – Condizione di carico Peso proprio Paraghiaia

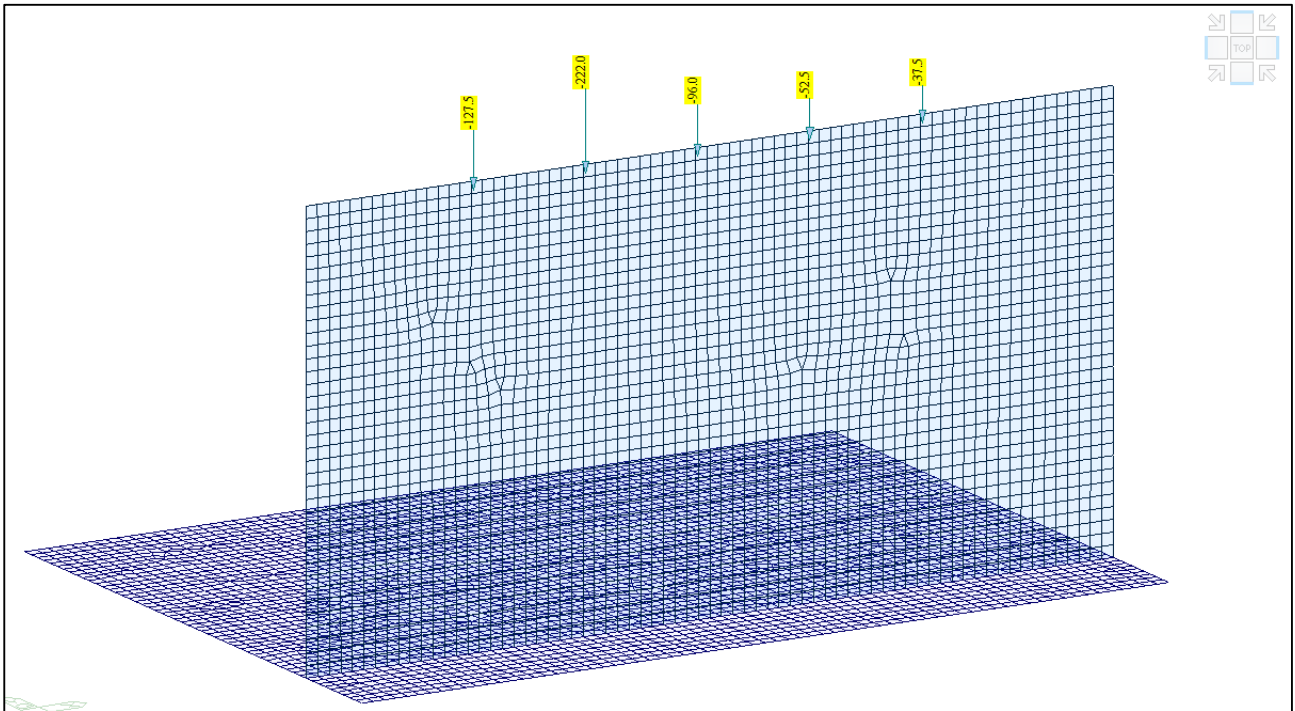


Modello FEM – Condizione di carico Peso proprio impalcato

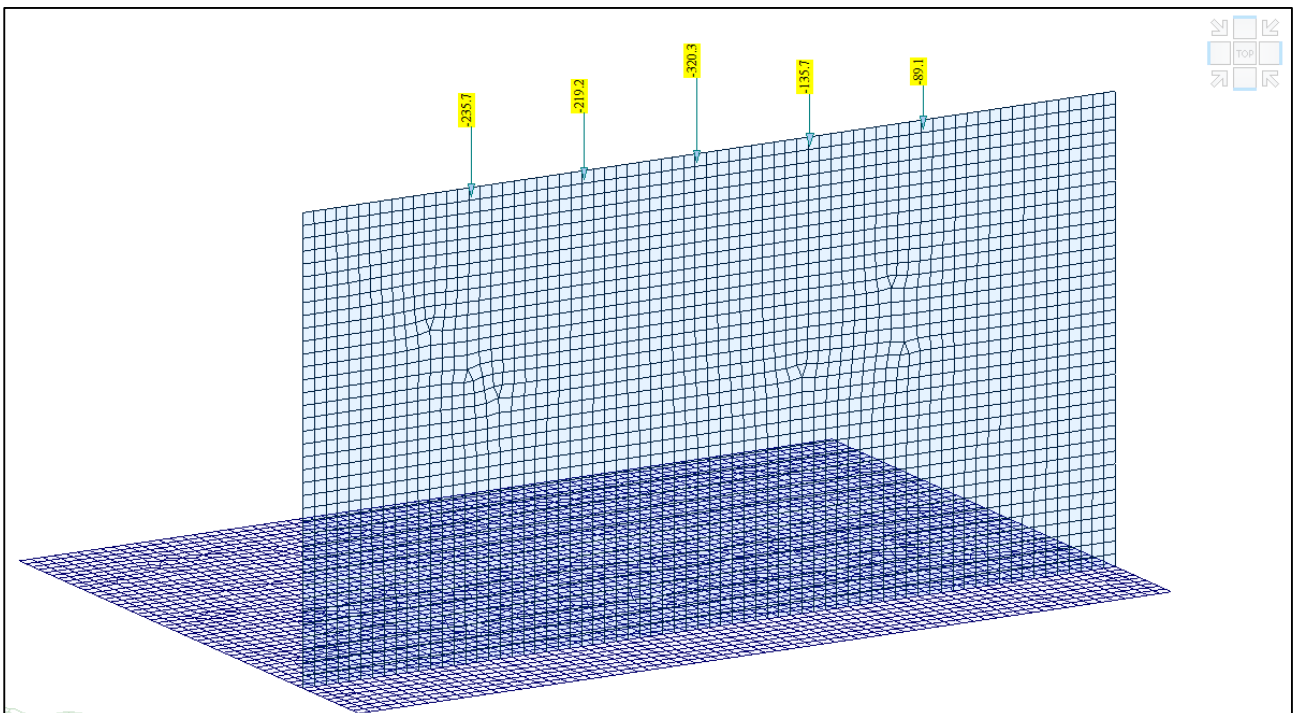


Modello FEM – Condizione di carico Permanente

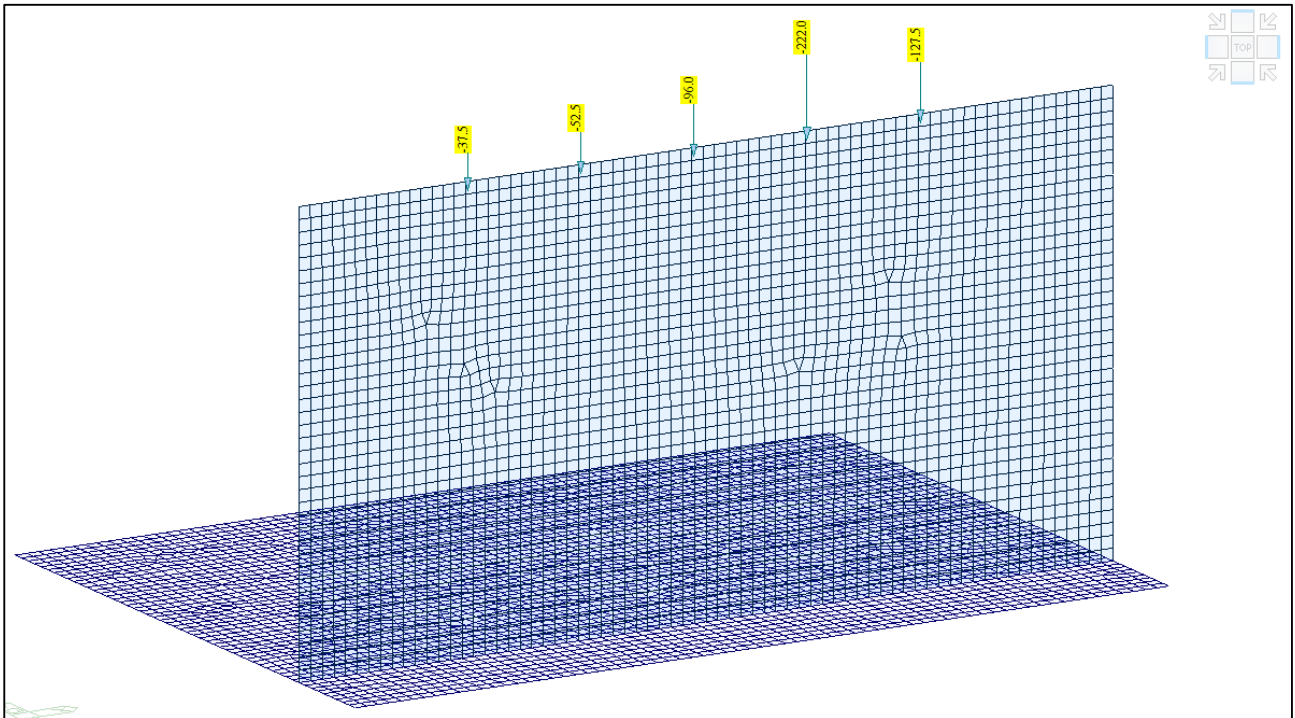




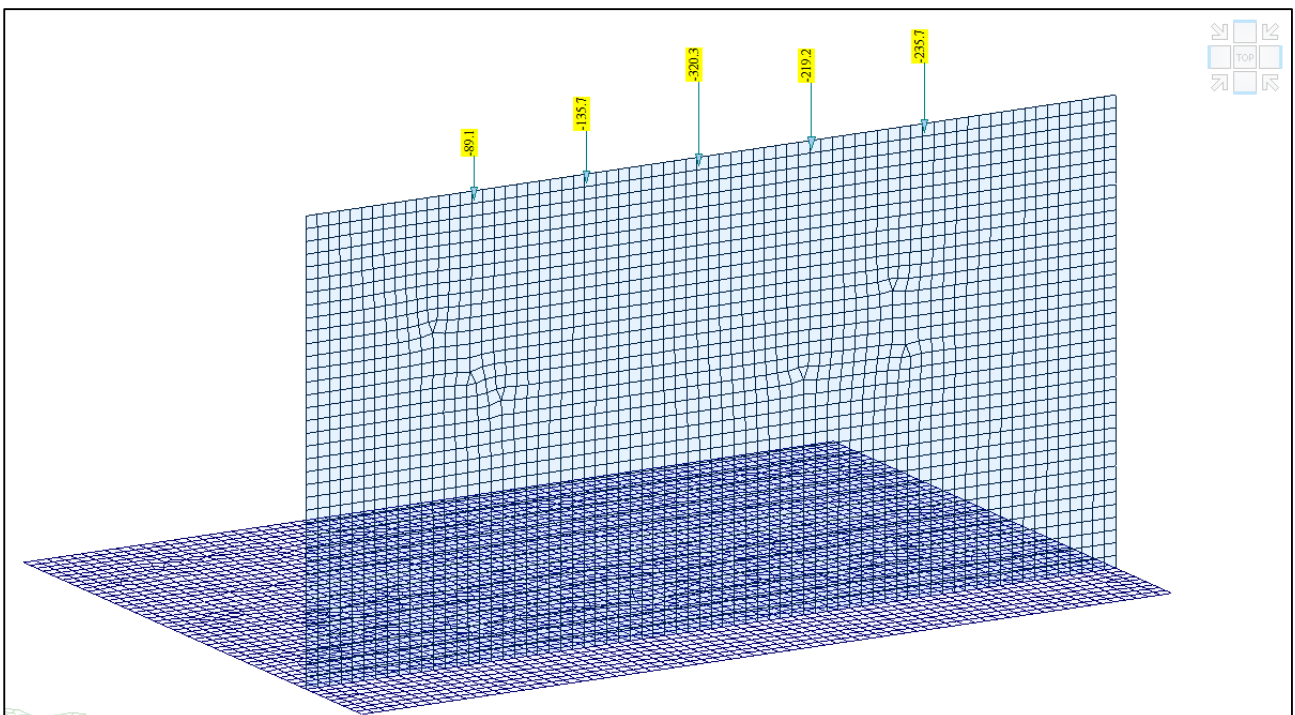
Modello FEM – Condizione di carico Mobile 1



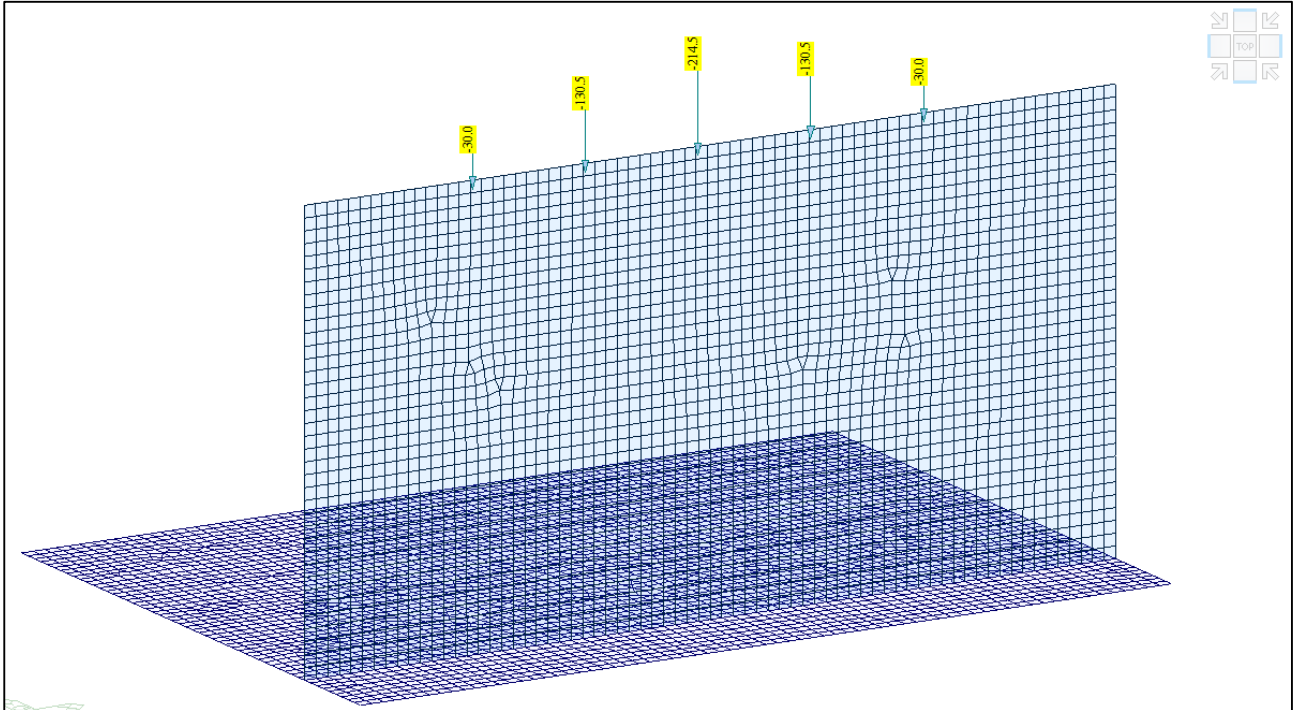
Modello FEM – Condizione di carico Mobile tandem 1



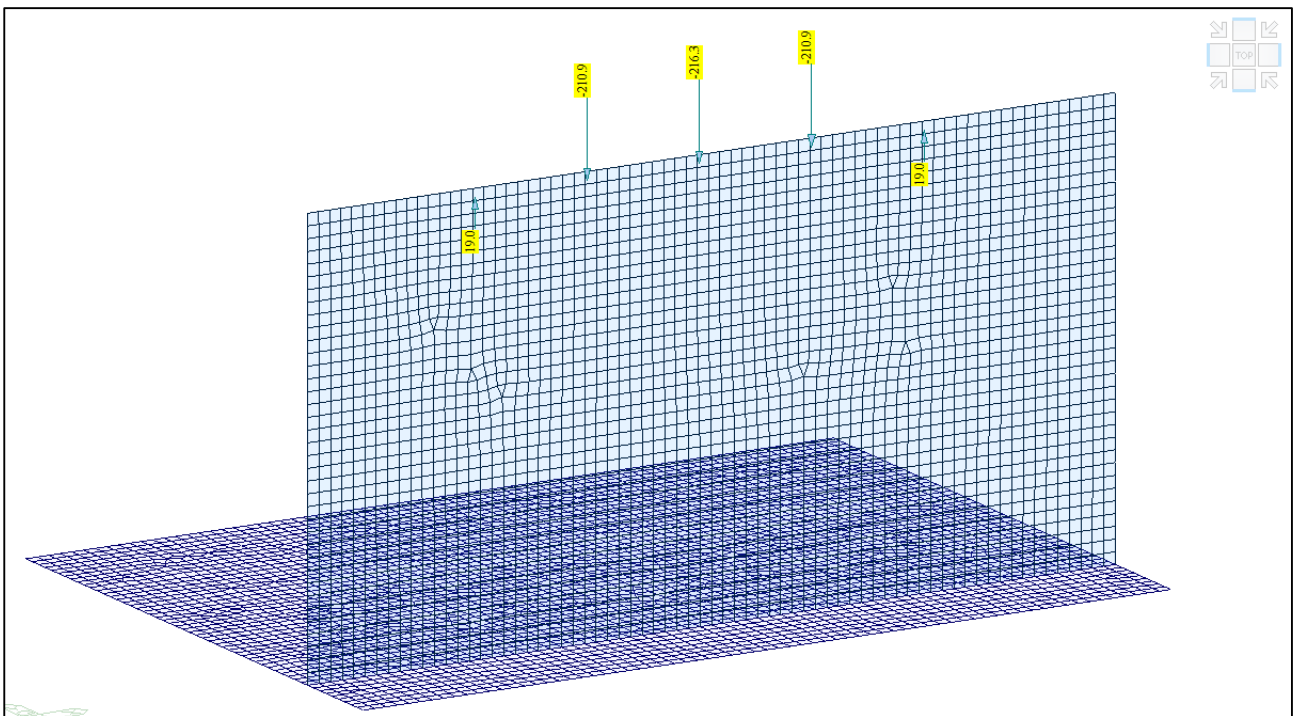
Modello FEM – Condizione di carico Mobile 2



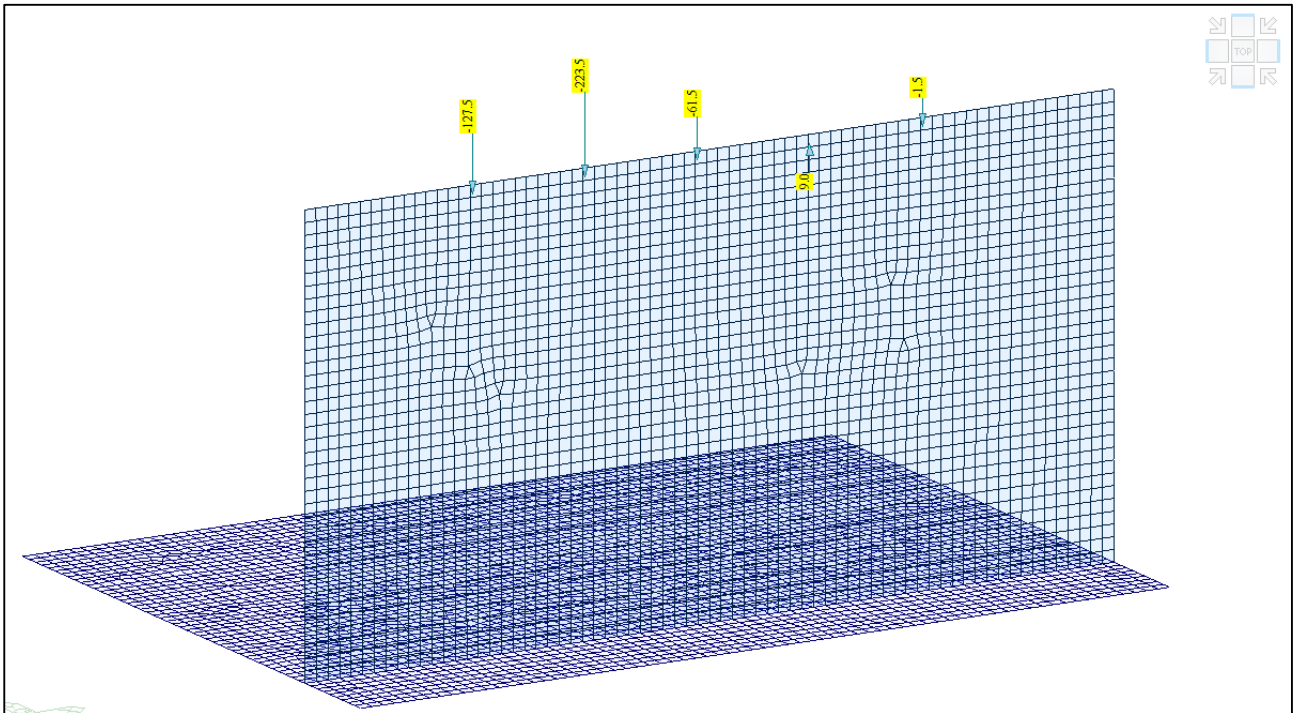
Modello FEM – Condizione di carico Mobile tandem 2



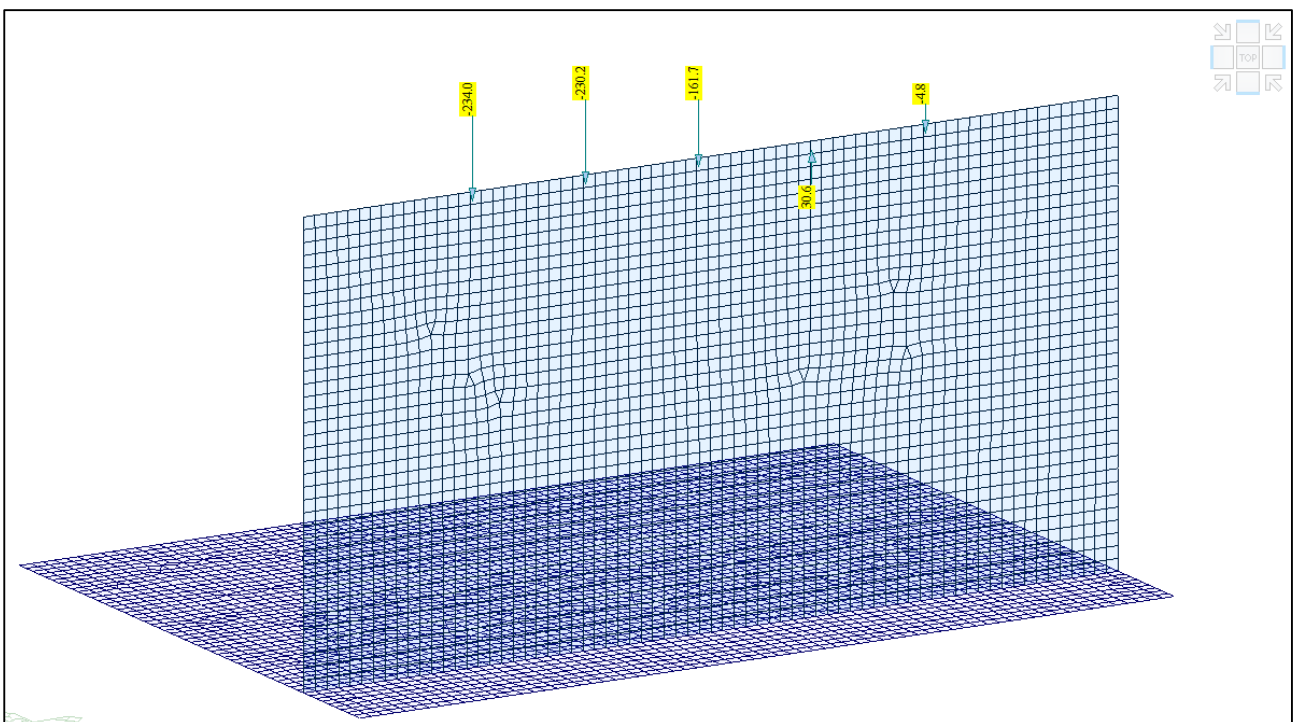
Modello FEM – Condizione di carico Mobile 3



Modello FEM – Condizione di carico Mobile tandem 3

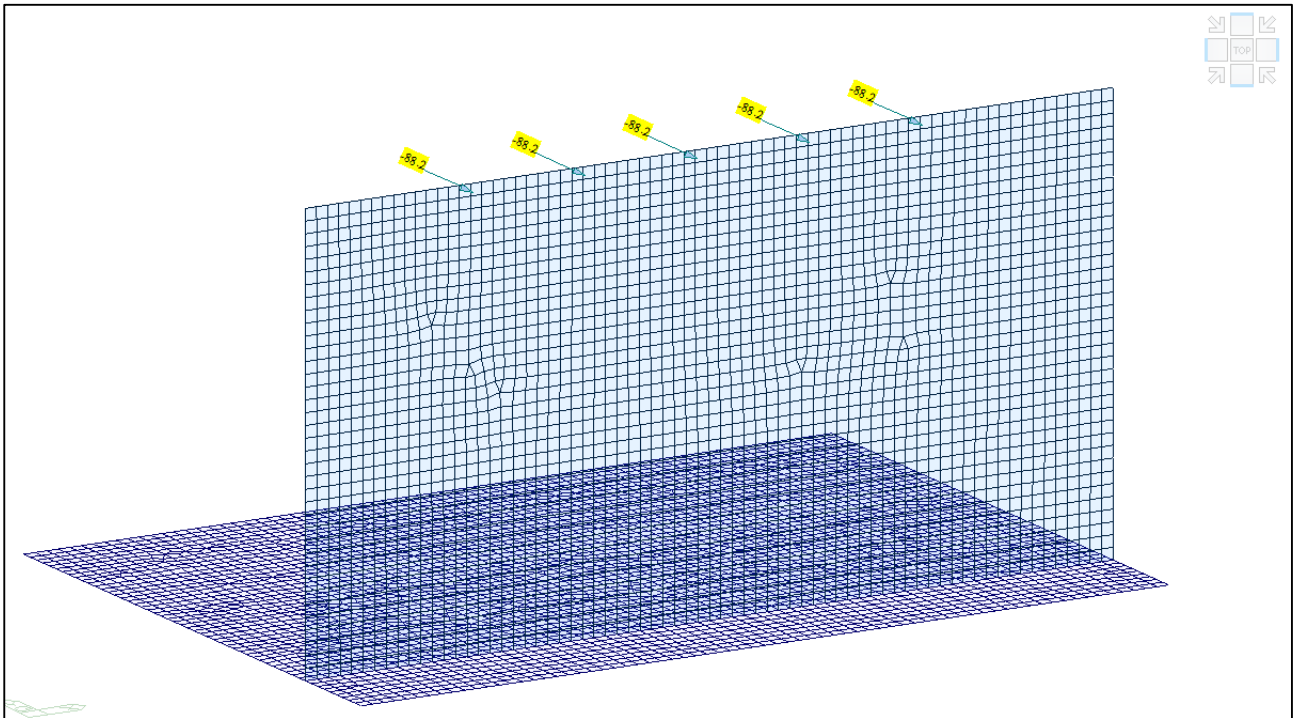


Modello FEM – Condizione di carico Mobile 4

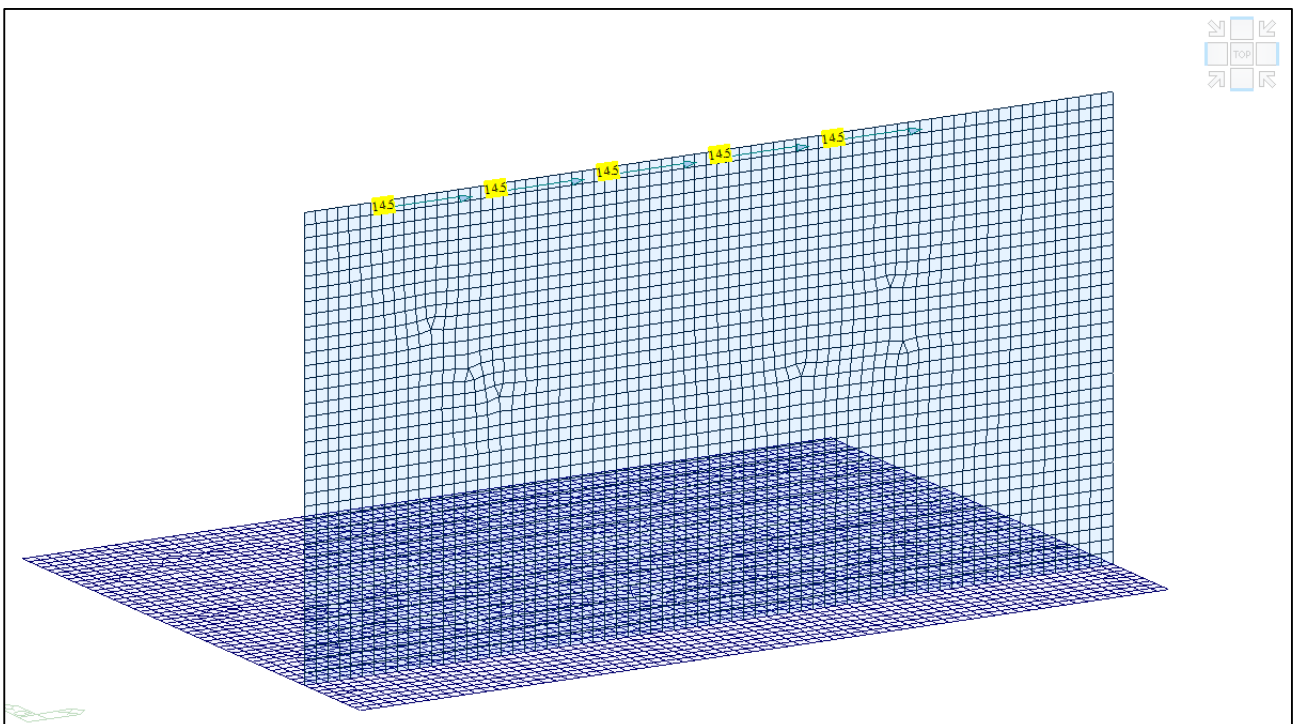


Modello FEM – Condizione di carico Mobile tandem 4



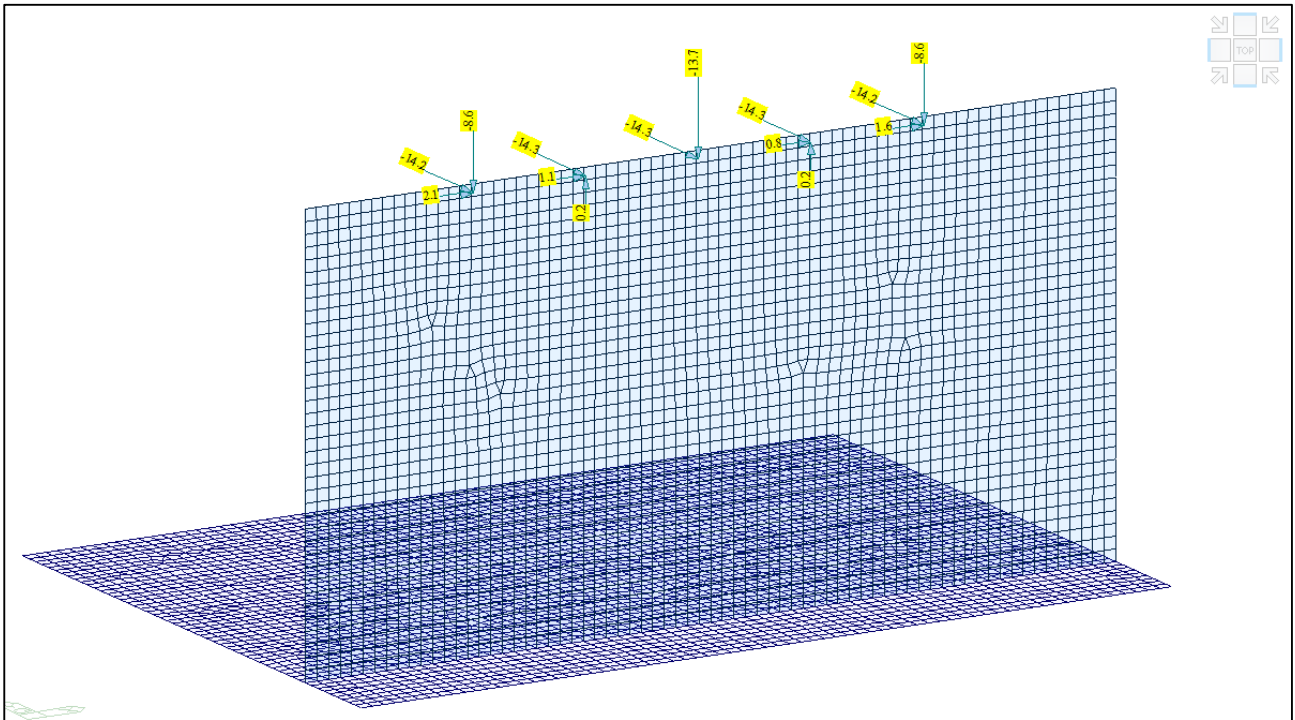


Modello FEM – Condizione di carico Frenamento

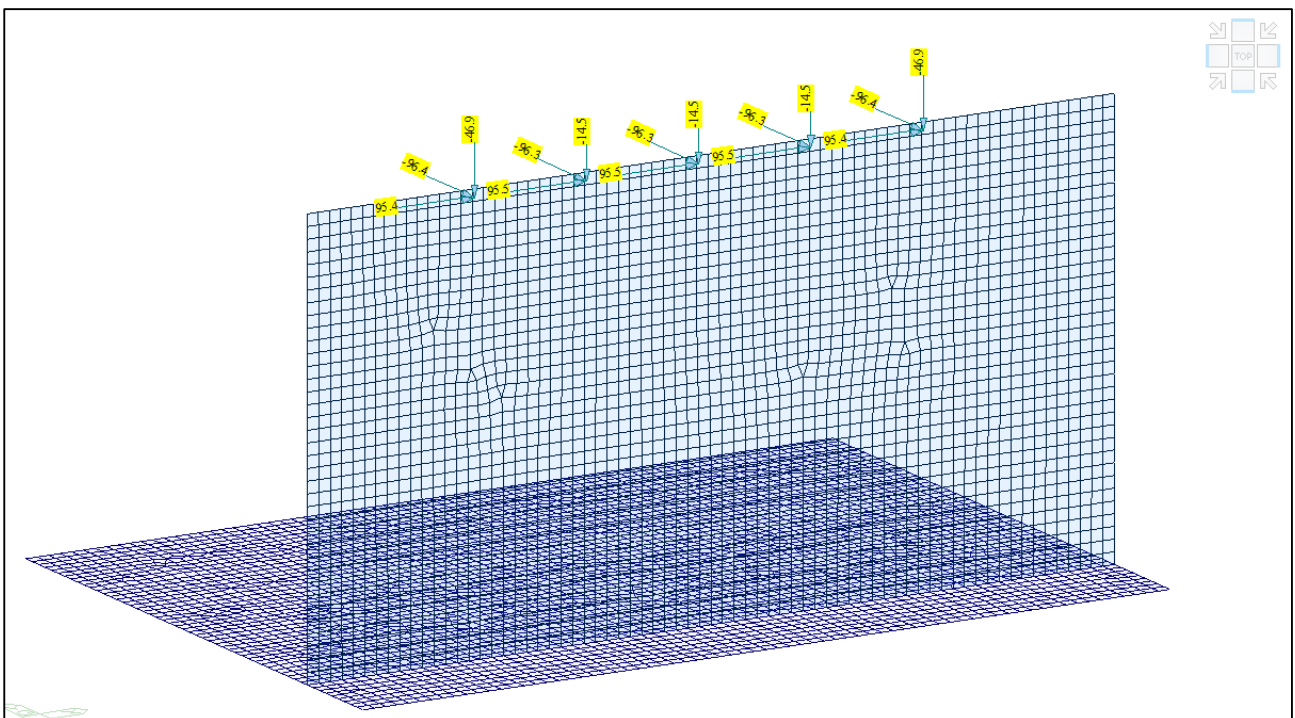


Modello FEM – Condizione di carico Vento

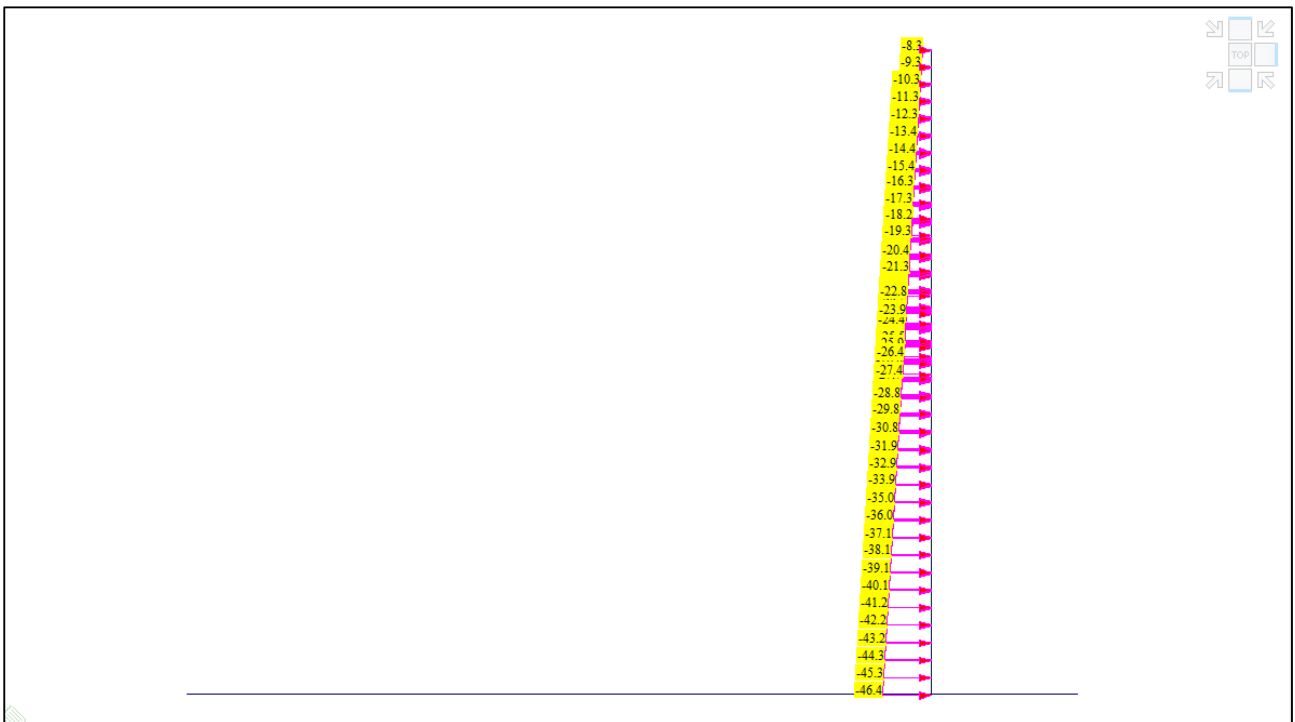
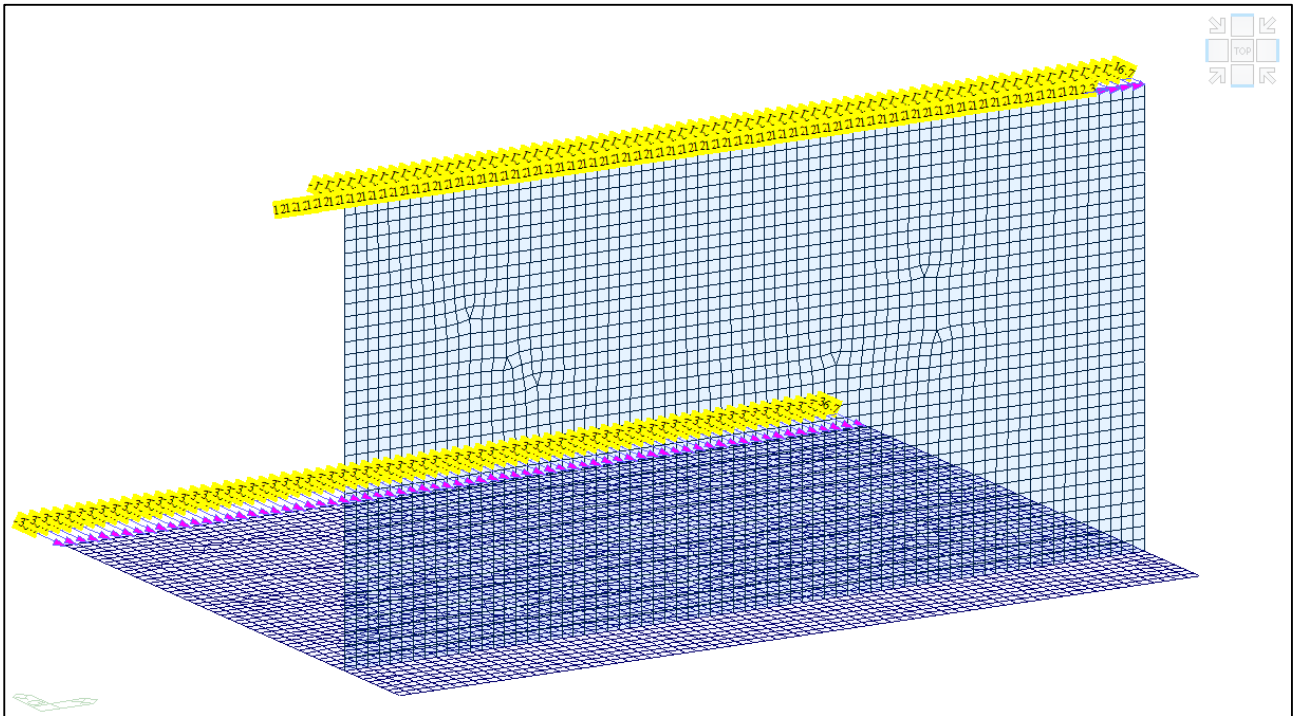




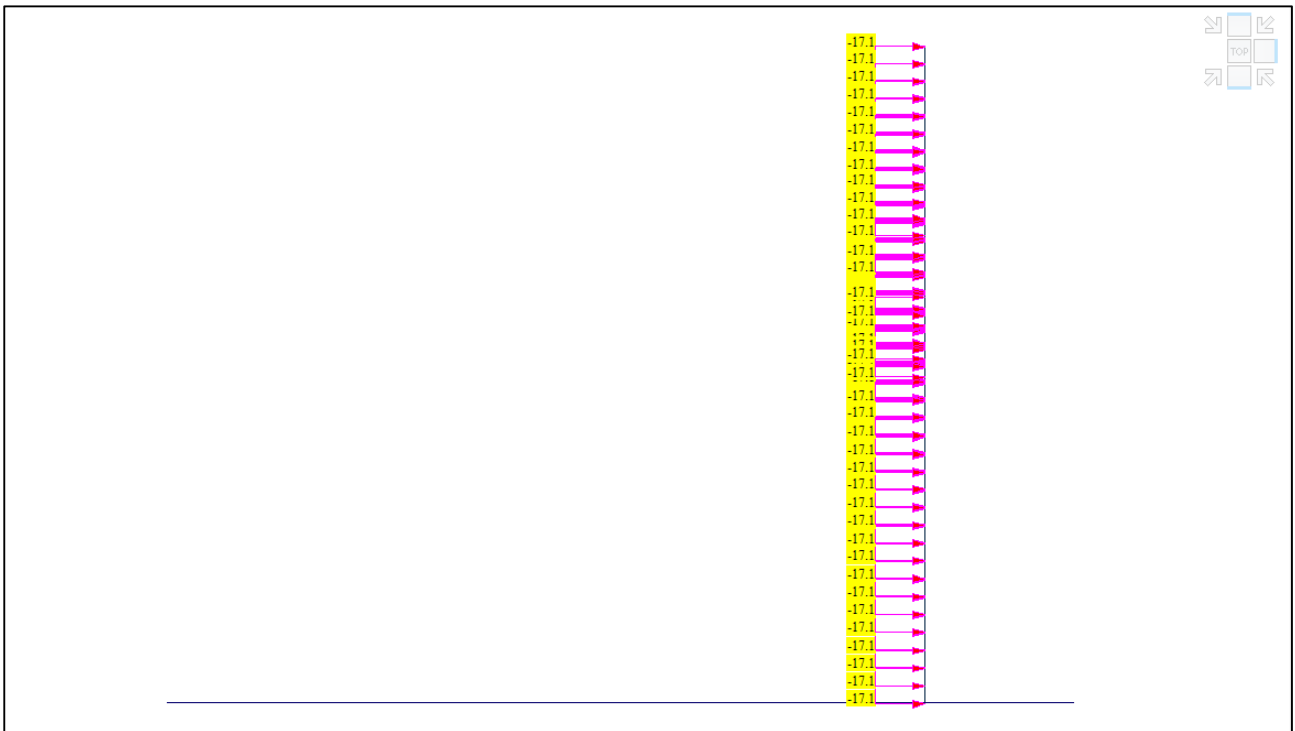
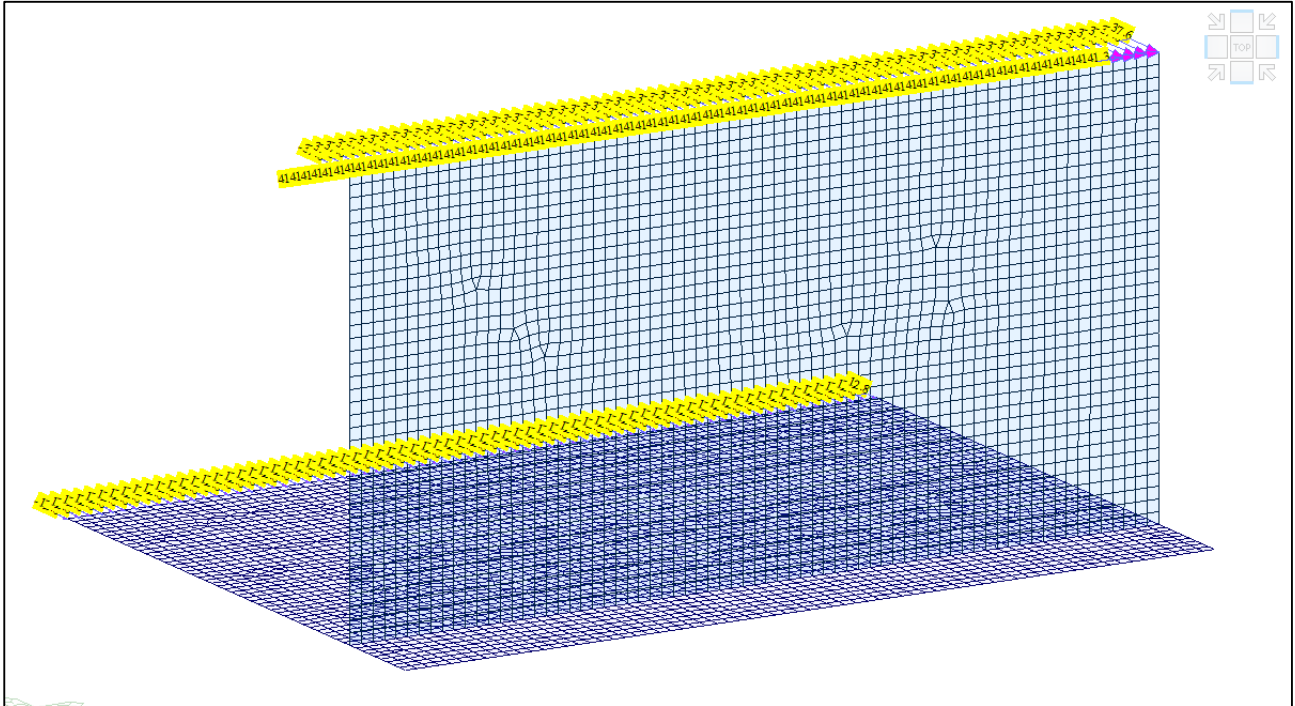
Modello FEM – Condizione di carico Termico



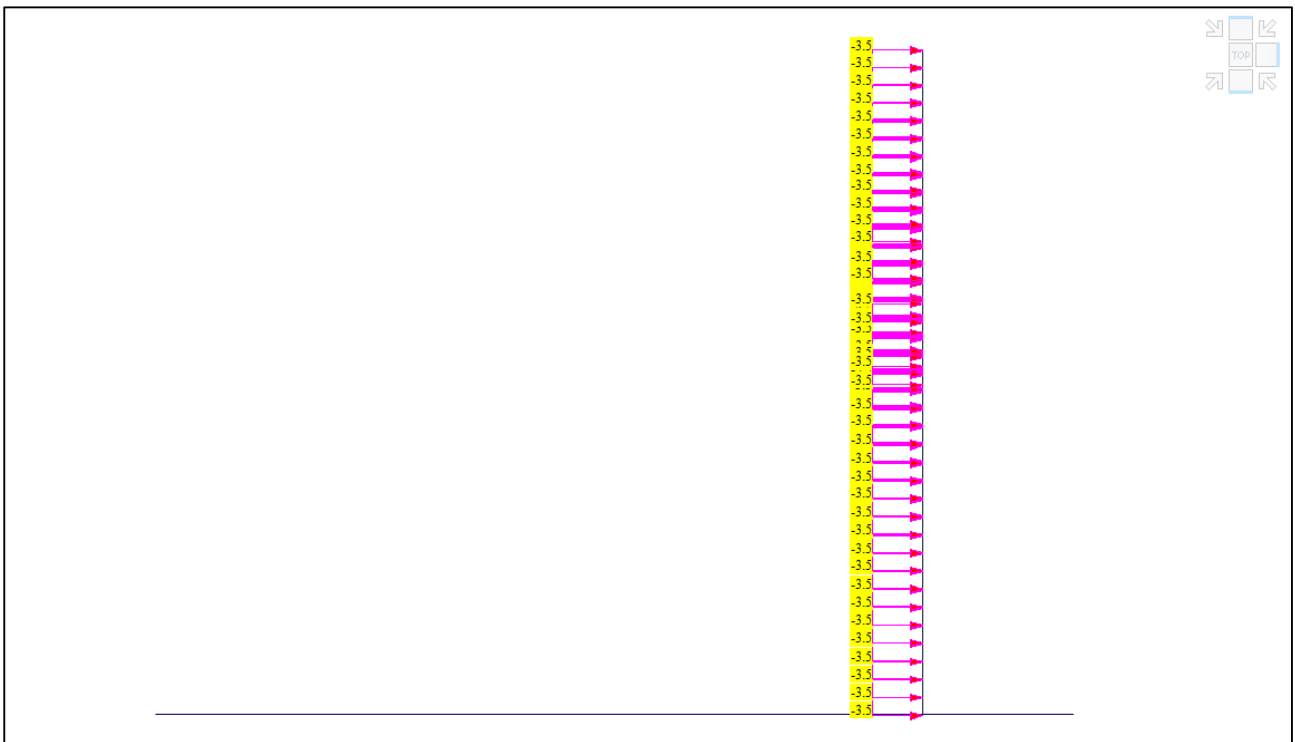
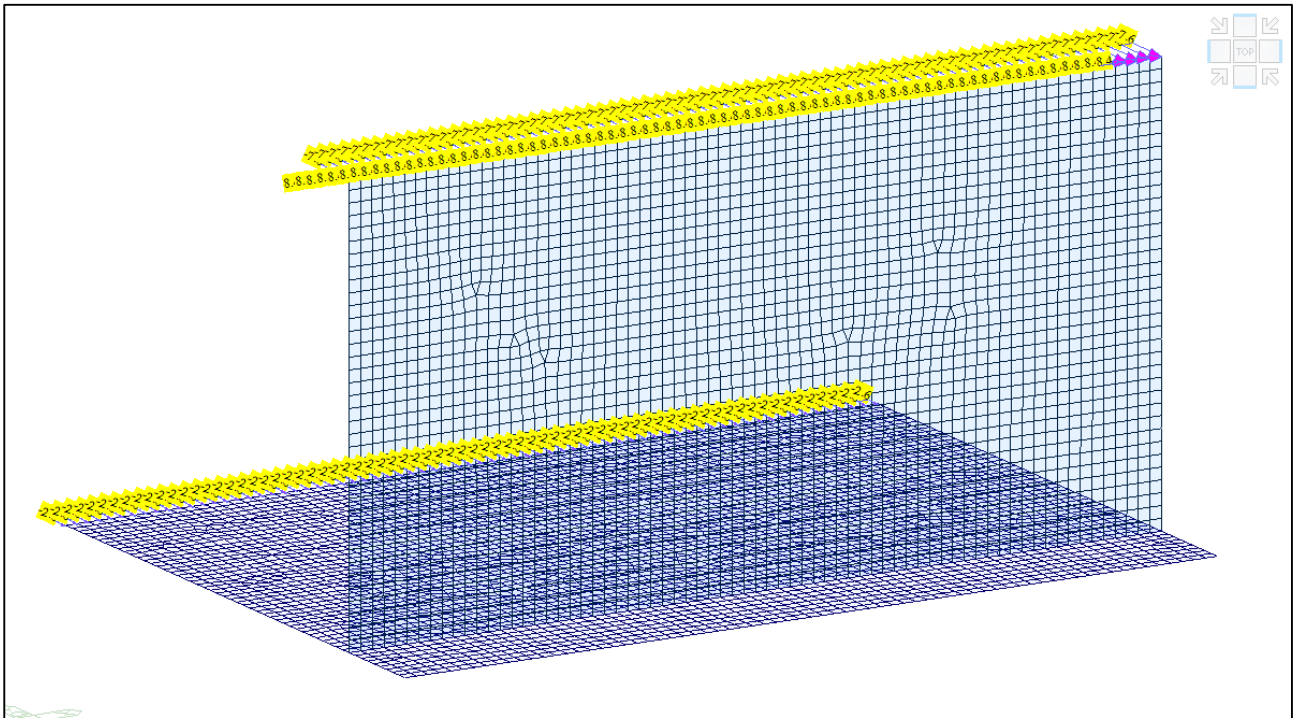
Modello FEM – Condizione di carico Sisma impalcato



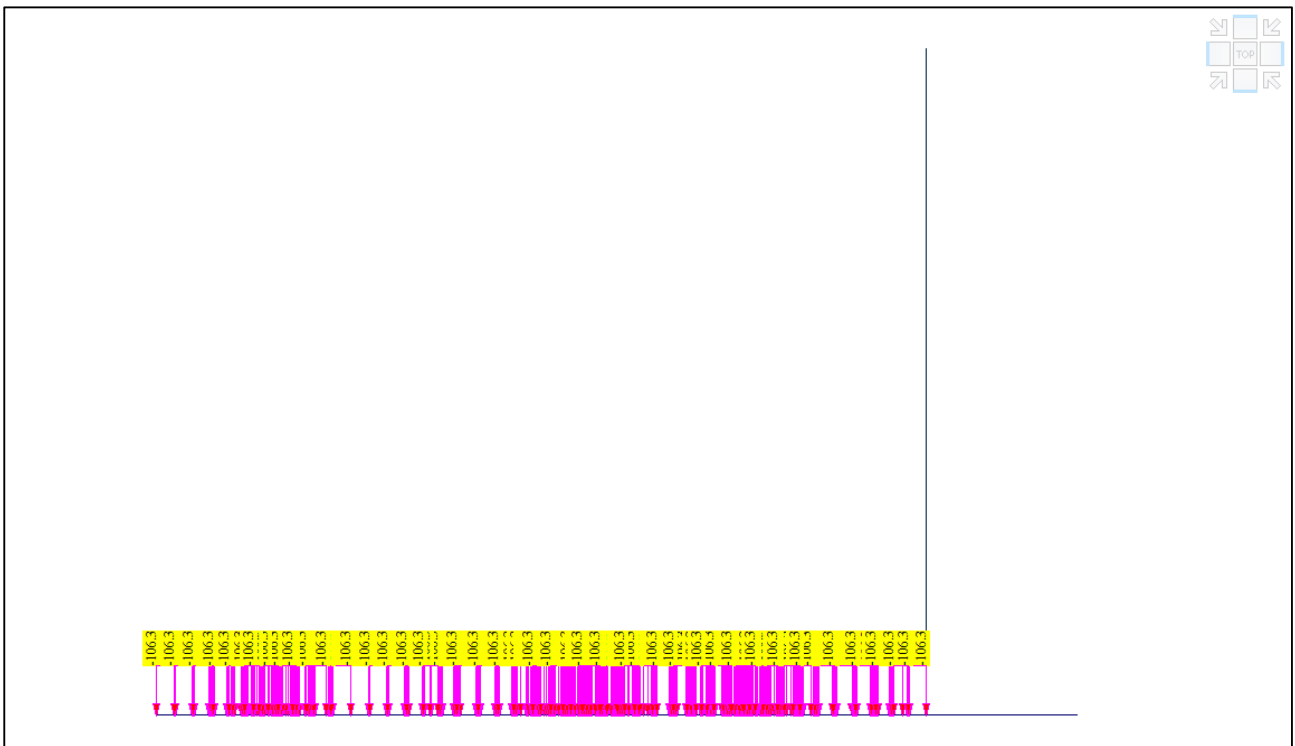
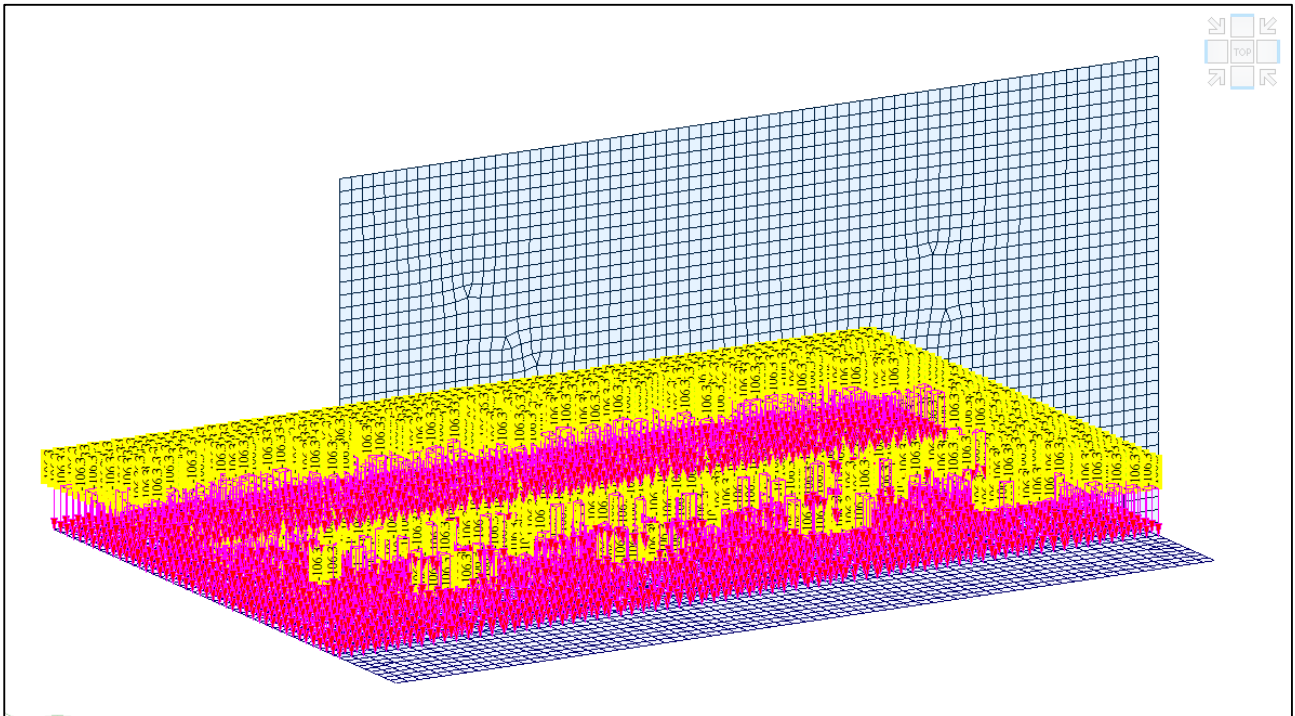
Modello FEM – Condizione di carico Spinta delle terre



Modello FEM – Condizione di carico Spinta di Wood



Modello FEM – Condizione di carico Spinta sovraccarico



Modello FEM – Condizione di carico Ricoprimento





9.1.4 COMBINAZIONI DI CARICO

Si sono determinate le seguenti combinazioni di carico:

- SLU: Combinazioni allo SLU dove sono presenti i carichi "statici"; l'inviluppo di queste è la combinazione denominata "ENV-SLU".
• SLE RARA: Combinazioni allo Stato Limite d'Esercizio Rara; l'inviluppo di queste è la combinazione denominata "ENV-SLE".
• SLE FREQUENTE: Combinazioni allo Stato Limite d'Esercizio Frequente; l'inviluppo di queste è la combinazione denominata "ENV-SLE-F".
• SLE QUASI PERMANENTE: Combinazioni allo Stato Limite d'Esercizio Quasi Permanente; l'inviluppo di queste è la combinazione denominata "ENV-SLE-QP".
• E: Combinazione sismica connessi all'azione sismica E; l'inviluppo di queste è la combinazione denominata "ENV-E".

Infine è stata generata la combinazione "ENV-SLU+E" (che risulta essere l'inviluppo dello "ENV-SLU" + "ENV-E").

Di seguito si riportano i valori tabellati

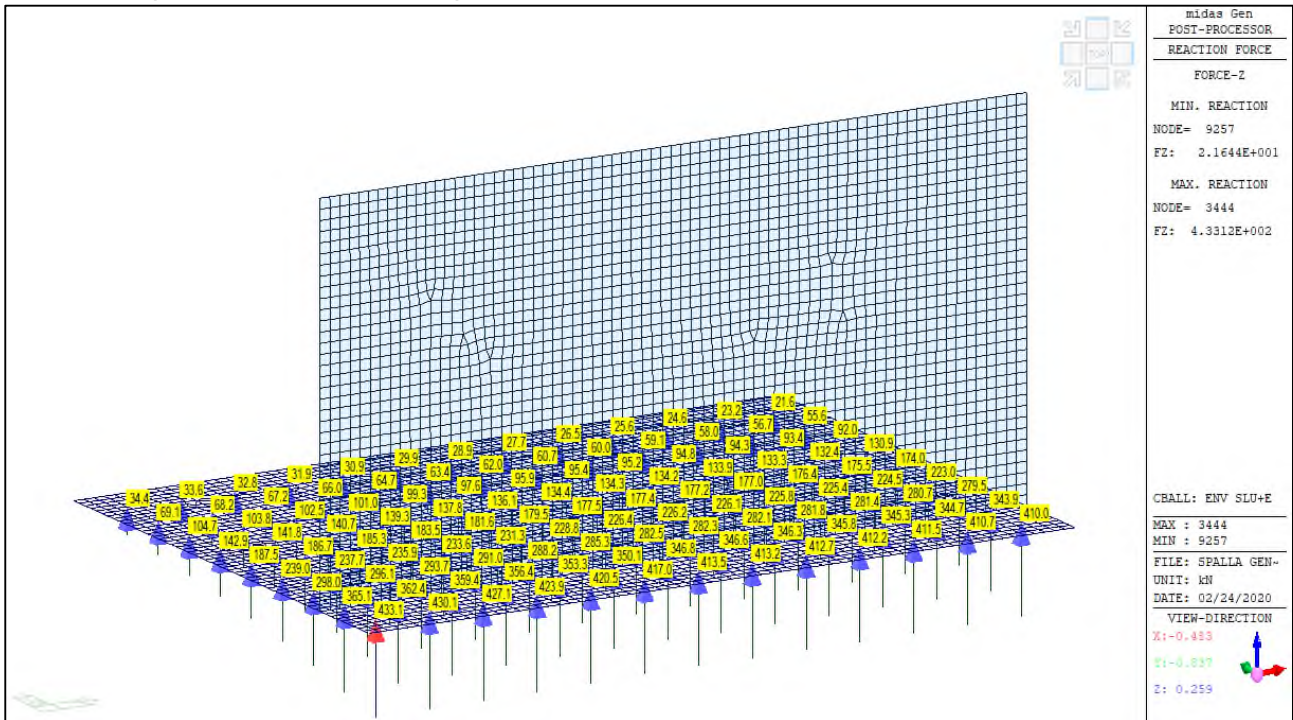
Table with 25 columns: No., Name, Action, Type, Peso proprio (self-weight), Pesa proprio impalcato (impacted self-weight), Permanenza (Permanence), Carico mobile 1 (Mobile load 1), Carico mobile 2 (Mobile load 2), Carico mobile 3 (Mobile load 3), Carico mobile 4 (Mobile load 4), Carico mobile 5 (Mobile load 5), Carico mobile 6 (Mobile load 6), Carico mobile 7 (Mobile load 7), Carico mobile 8 (Mobile load 8), Carico mobile 9 (Mobile load 9), Carico mobile 10 (Mobile load 10), Carico mobile 11 (Mobile load 11), Carico mobile 12 (Mobile load 12), Carico mobile 13 (Mobile load 13), Carico mobile 14 (Mobile load 14), Carico mobile 15 (Mobile load 15), Carico mobile 16 (Mobile load 16), Carico mobile 17 (Mobile load 17), Carico mobile 18 (Mobile load 18), Carico mobile 19 (Mobile load 19), Carico mobile 20 (Mobile load 20).



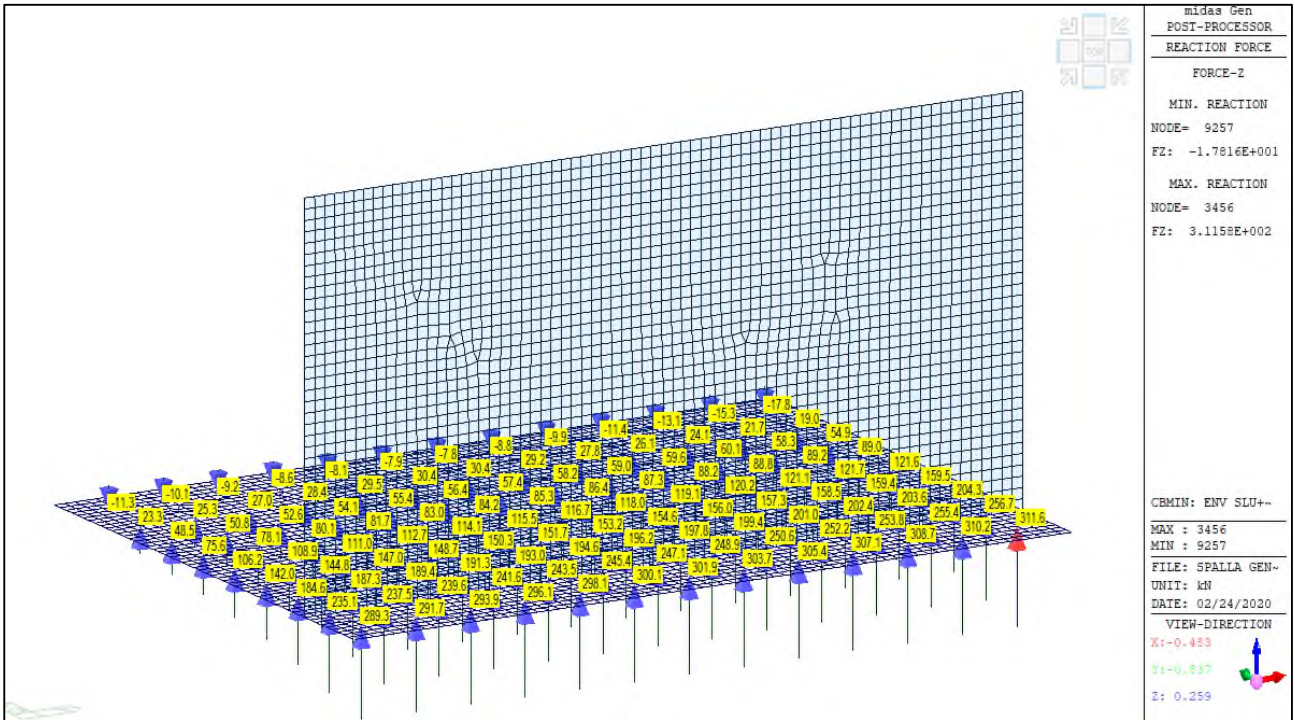
## 9.2 RISULTATI ANALISI STRUTTURALE

### 9.2.1 REAZIONI VINCOLARI

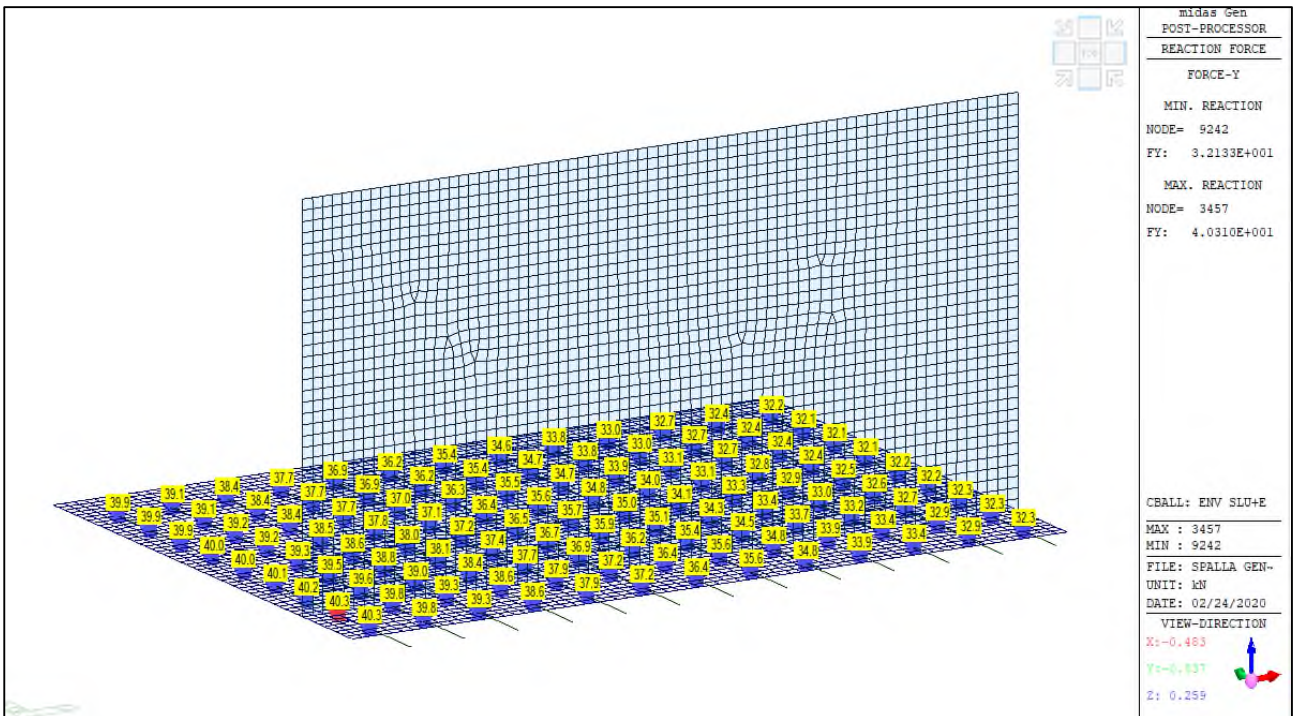
Si presentano le reazioni vincolari massime che si sviluppano agli stati limite SLU+E necessarie per la verifica dei micropali



ENV-SLU+E – Reazioni vincolari verticali (Fz) massime

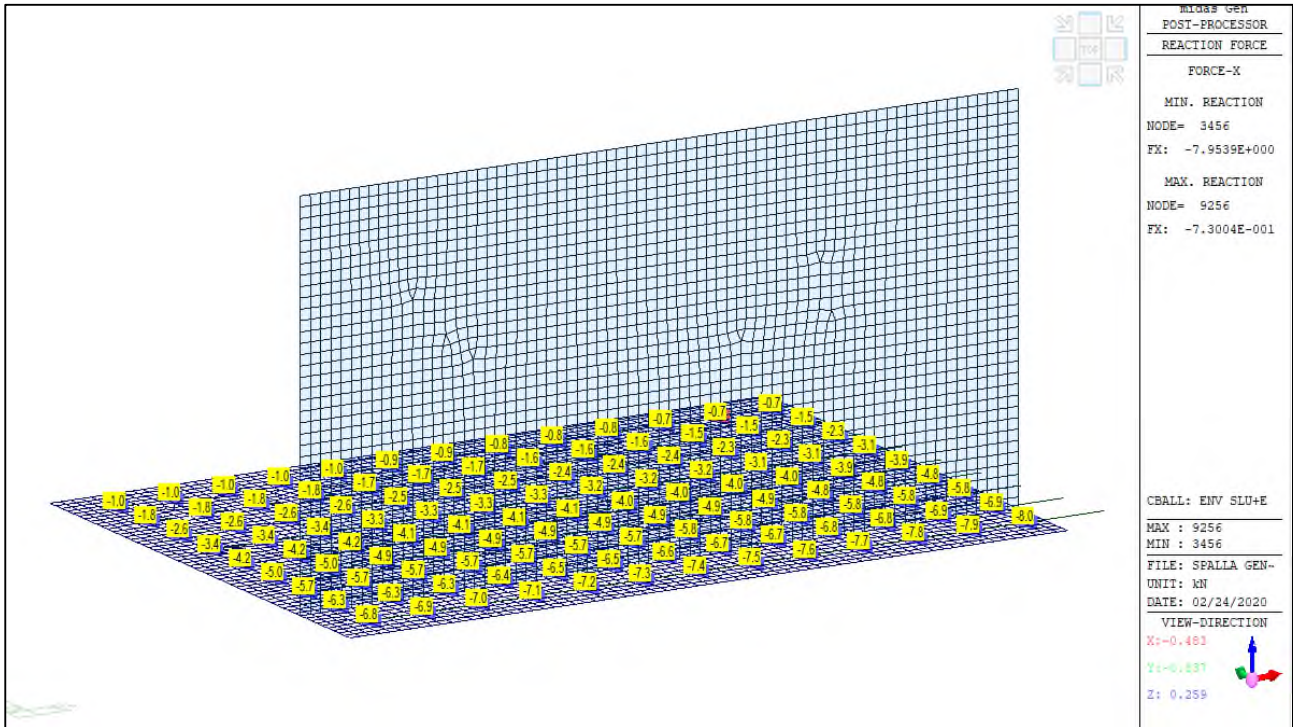


ENV-SLU+E – Reazioni vincolari verticali (Fz) minime



ENV-SLU+E – Reazioni vincolari orizzontali (Fy) massime





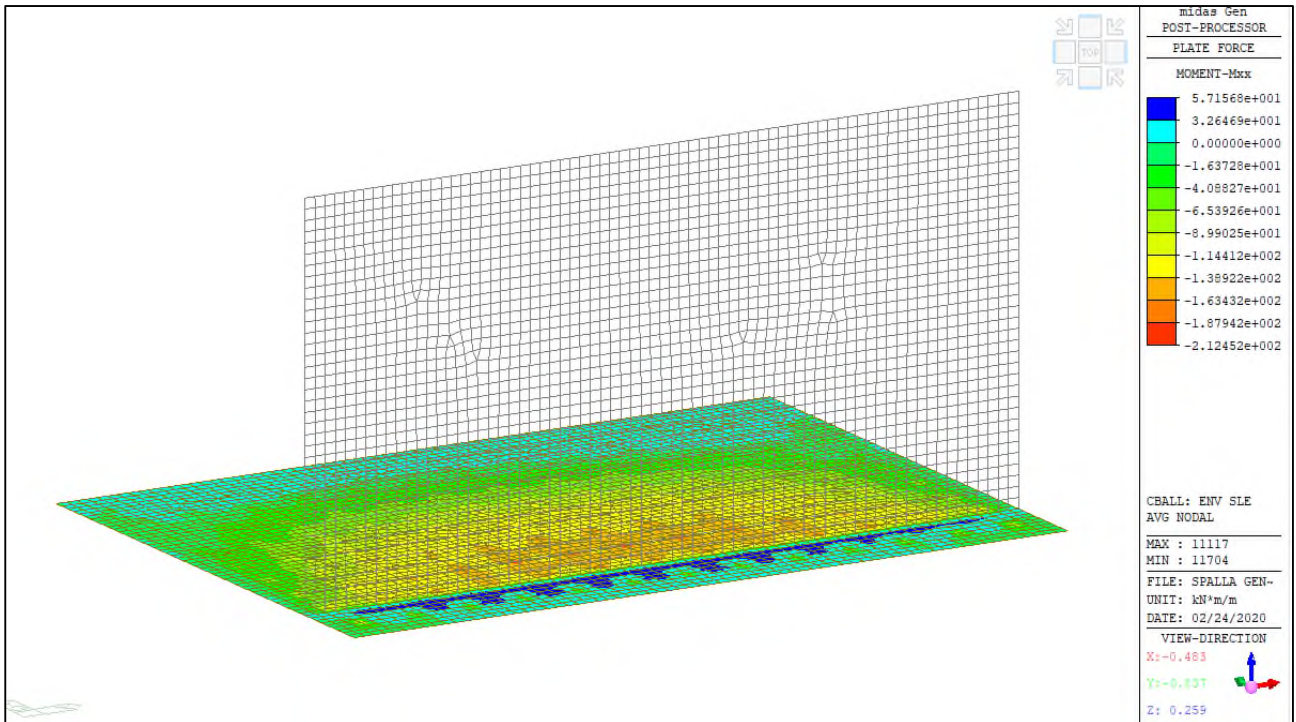
ENV-SLU+E – Reazioni vincolari orizzontali (Fx) massime



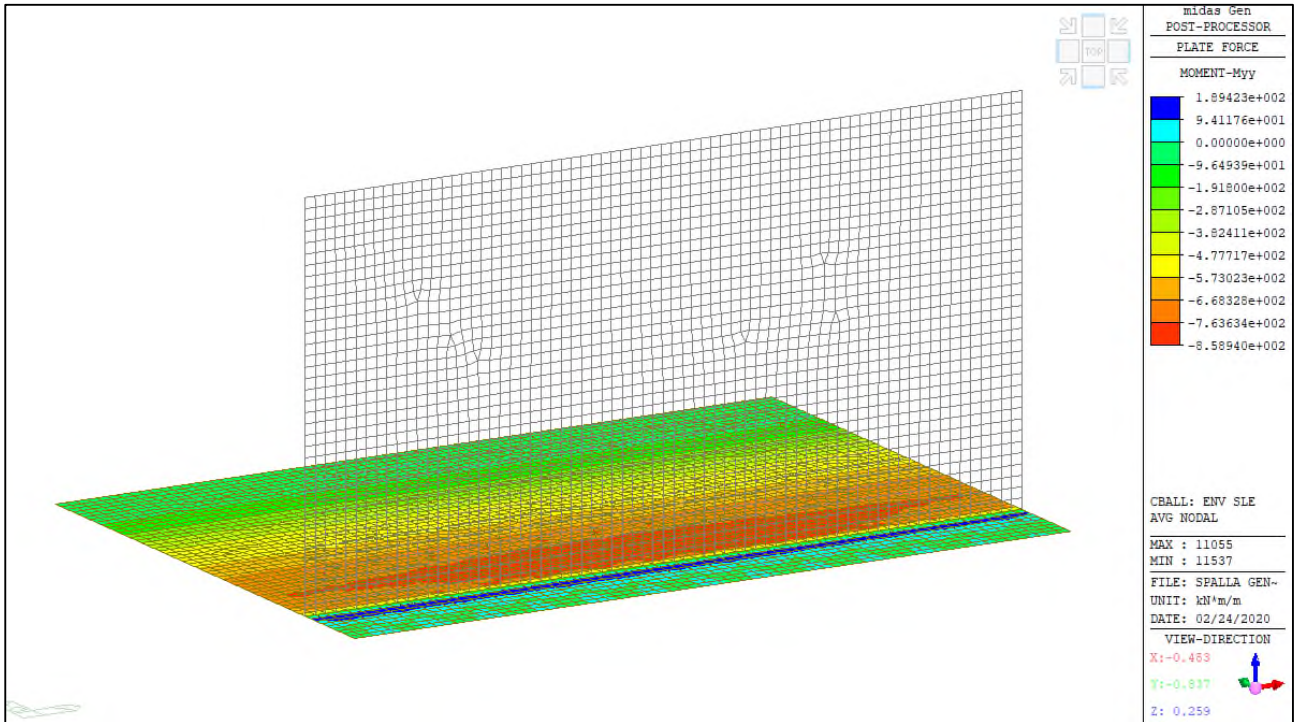


### 9.2.2DIAGRAMMI AZIONI INTERNE

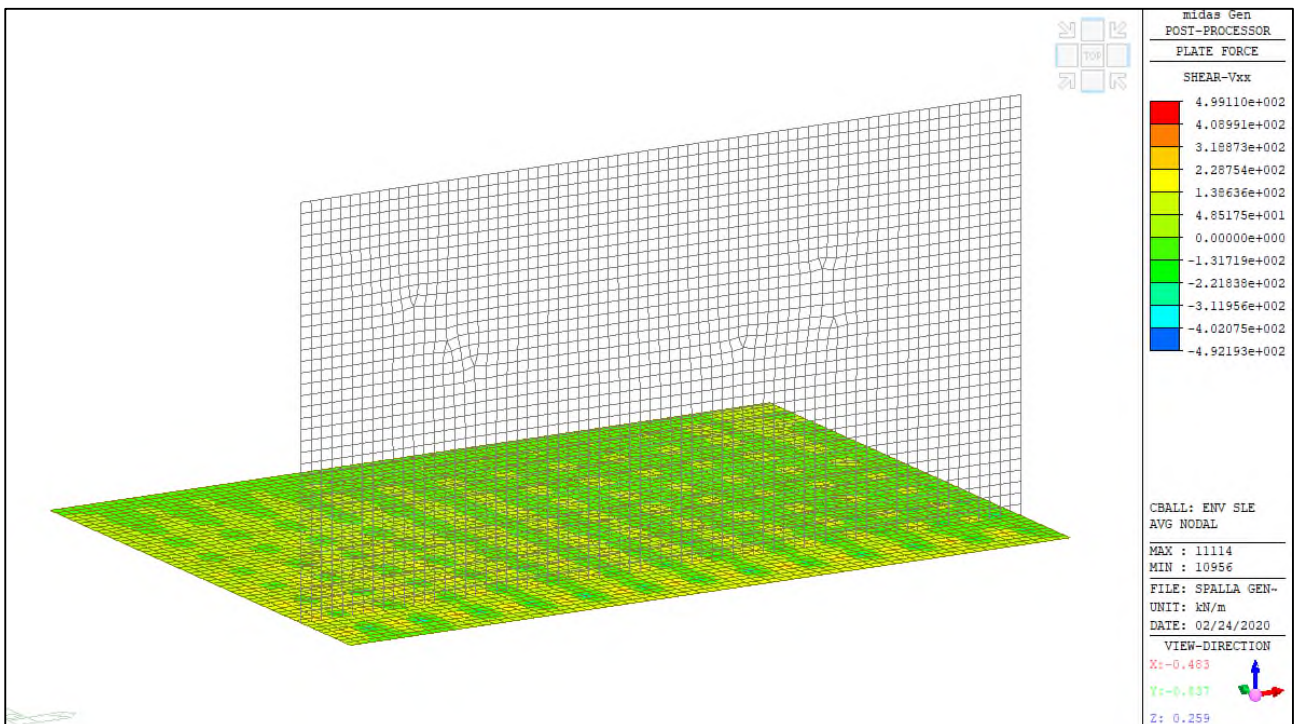
Si riportano i diagrammi involuppo delle azioni interne per le combinazioni allo stato limite di esercizio (ENV-SLE RARA).



ENV-SLE RARA – Mxx (kNm/m) – Platea



ENV-SLE RARA- Myy (kNm/m) – Platea



ENV-SLE RARA – Vxx (kN/m) – Platea

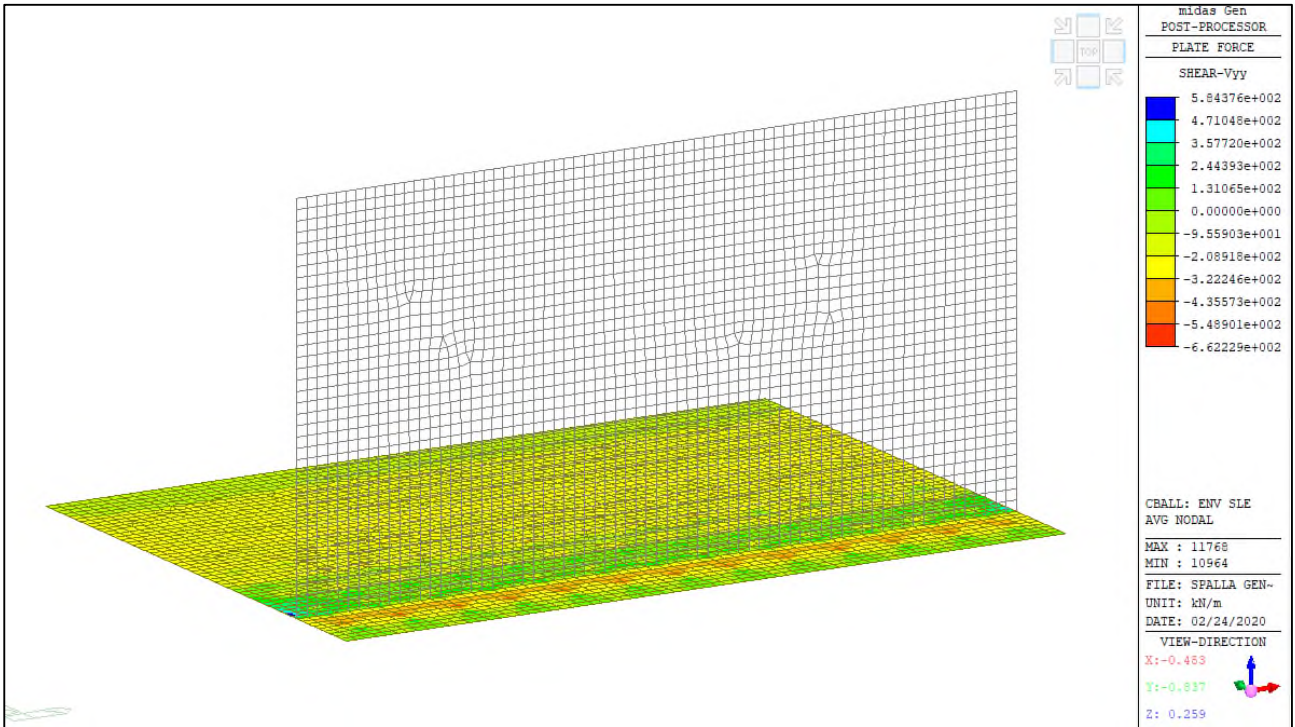




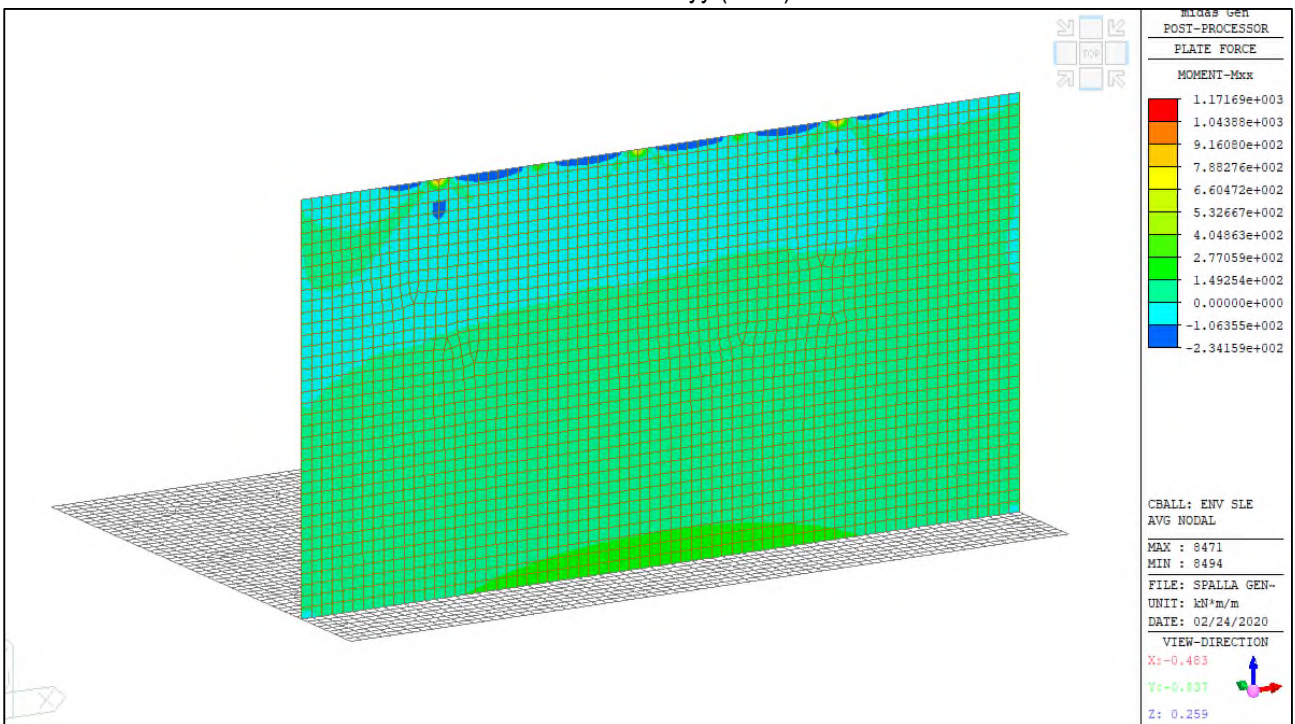
Comune di Vado Ligure

Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo

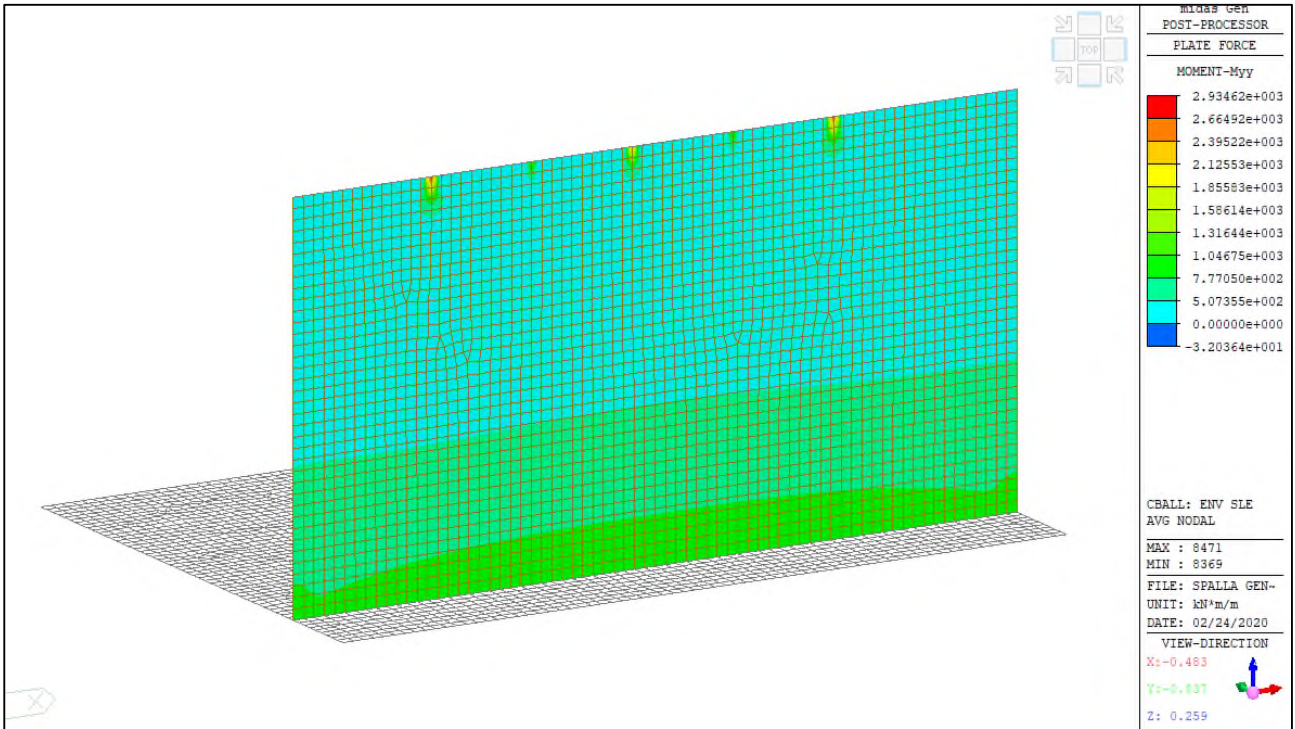
Ponte “Bossarino 2” – Relazione Tecnica e di Calcolo Sottostrutture e Fondazioni



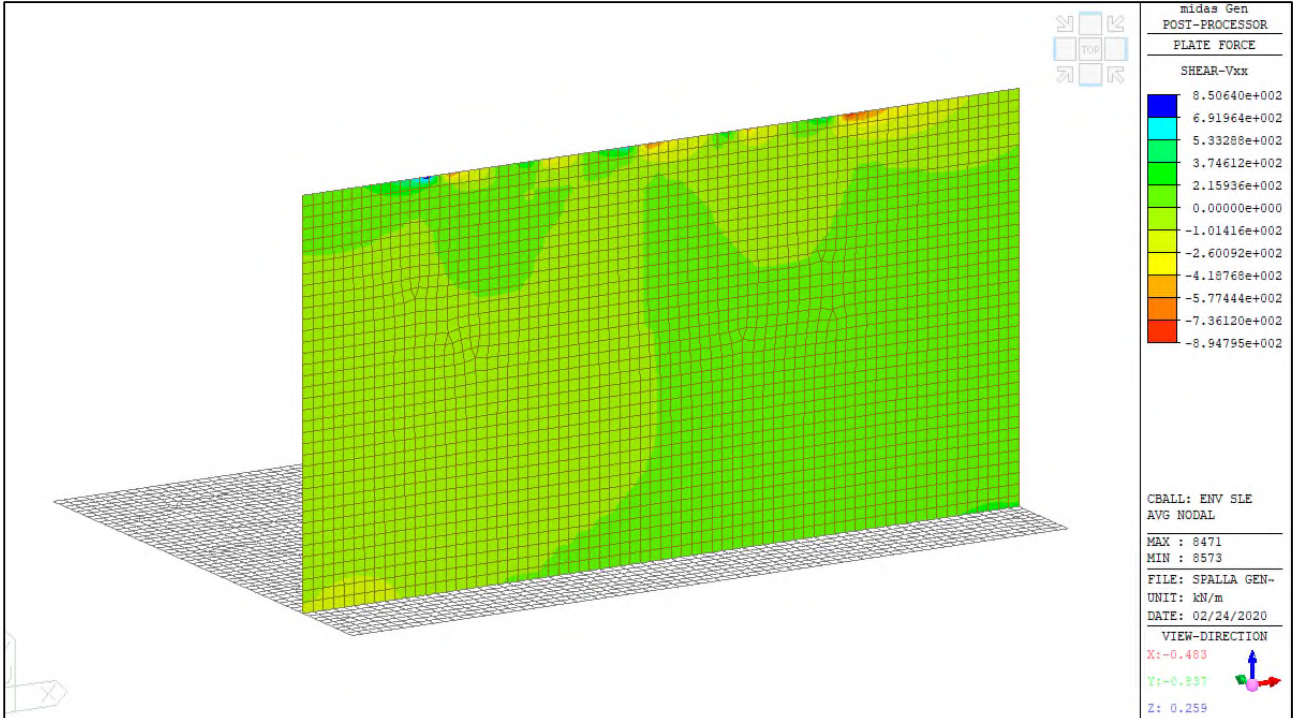
ENV-SLE RARA- Vyy (kN/m) – Platea



ENV-SLE RARA- Mxx (kNm/m) – Spalla

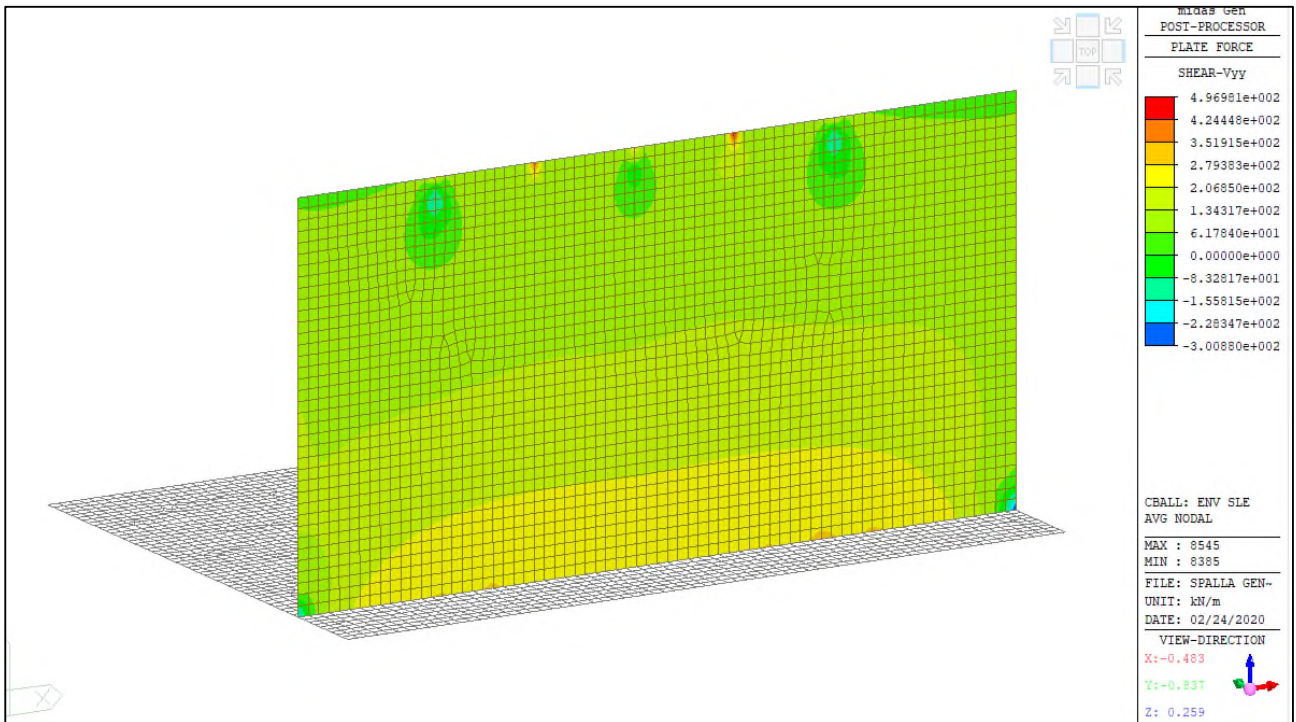


ENV-SLE RARA- Myy (kNm/m) – Spalla

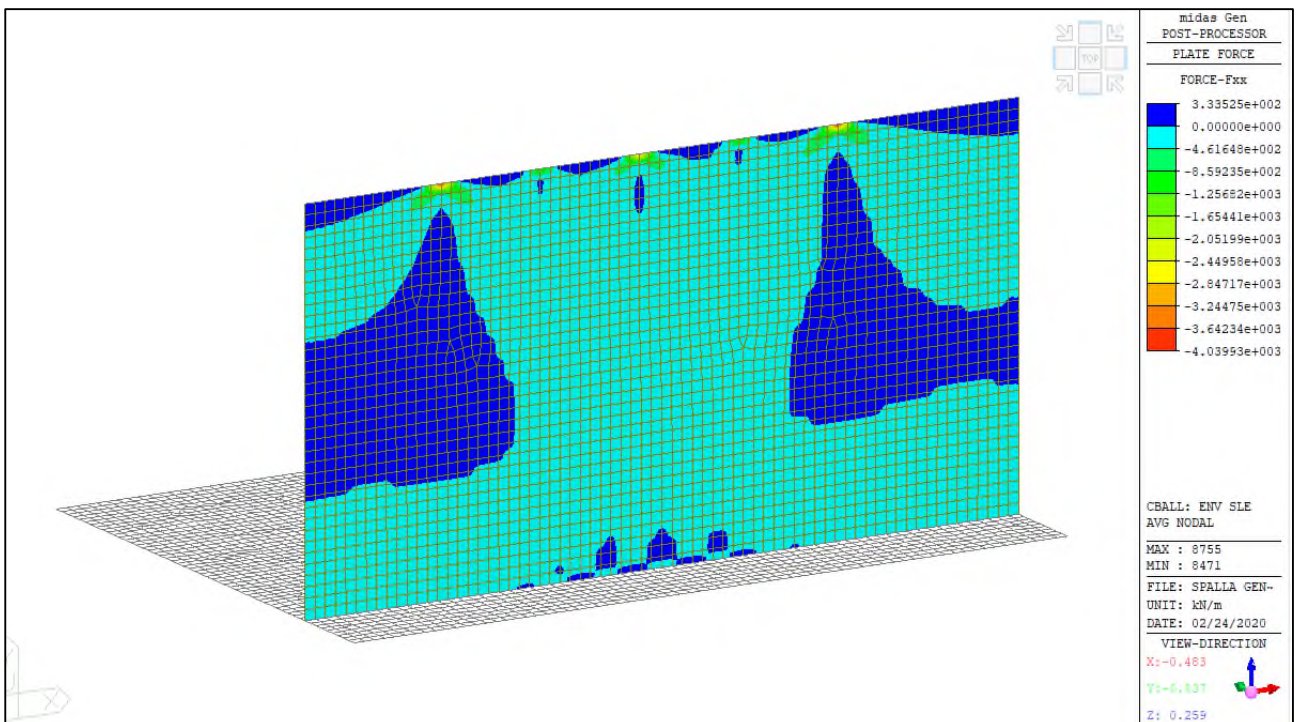


ENV-SLE RARA- Vxx (kN/m) – Spalla

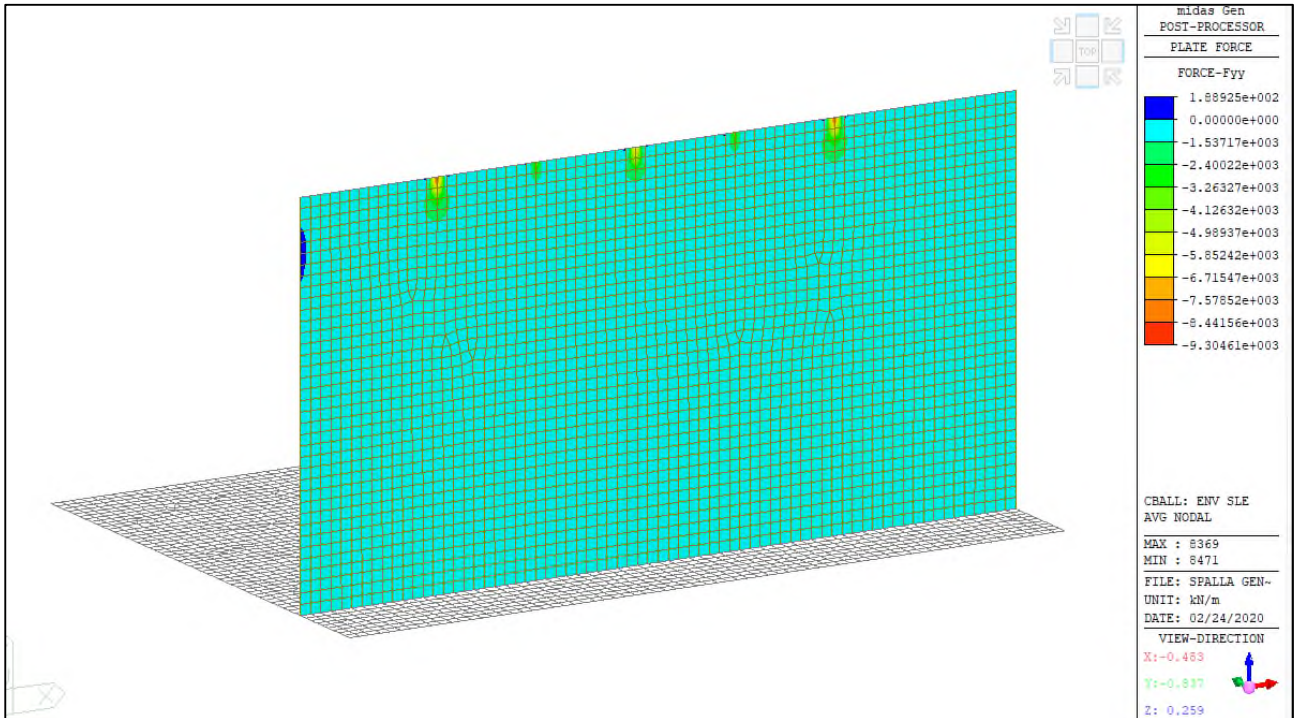




ENV-SLE RARA- Vyy (kN/m) – Spalla



ENV-SLE RARA- Fxx (kN/m) – Spalla

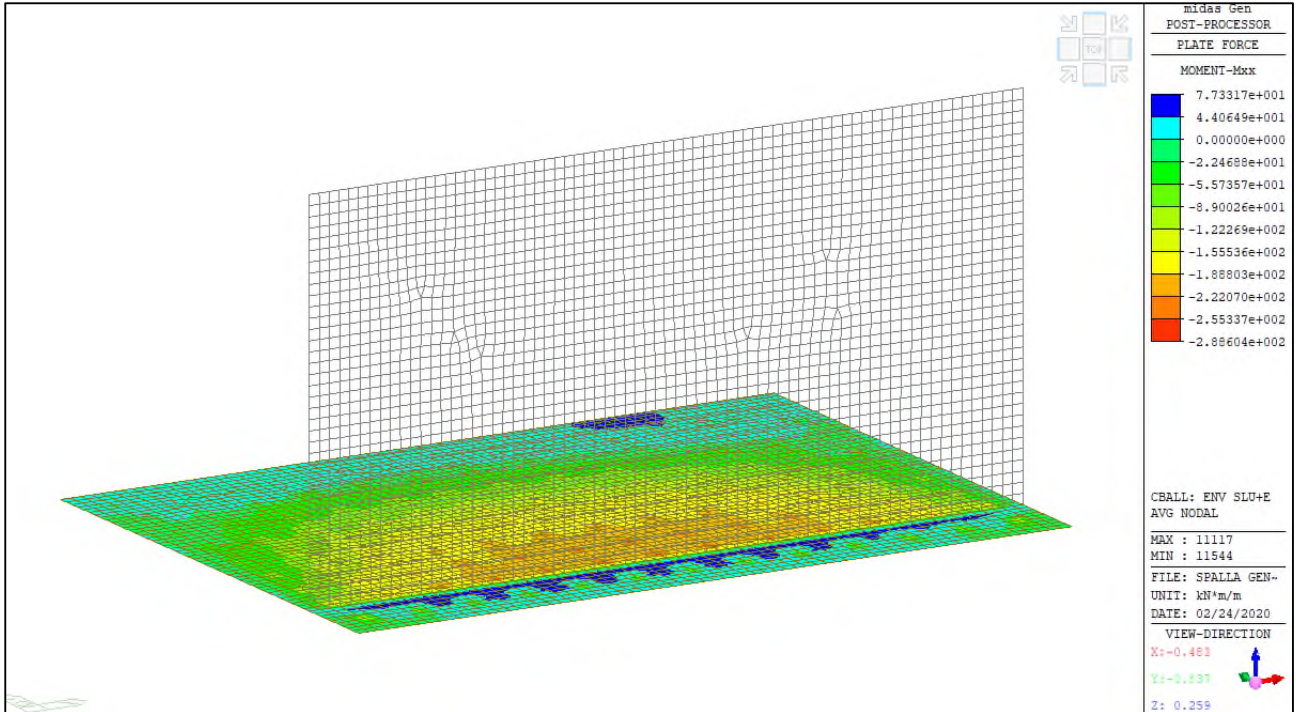


ENV-SLE RARA- Fyy (kN/m) – Spalla

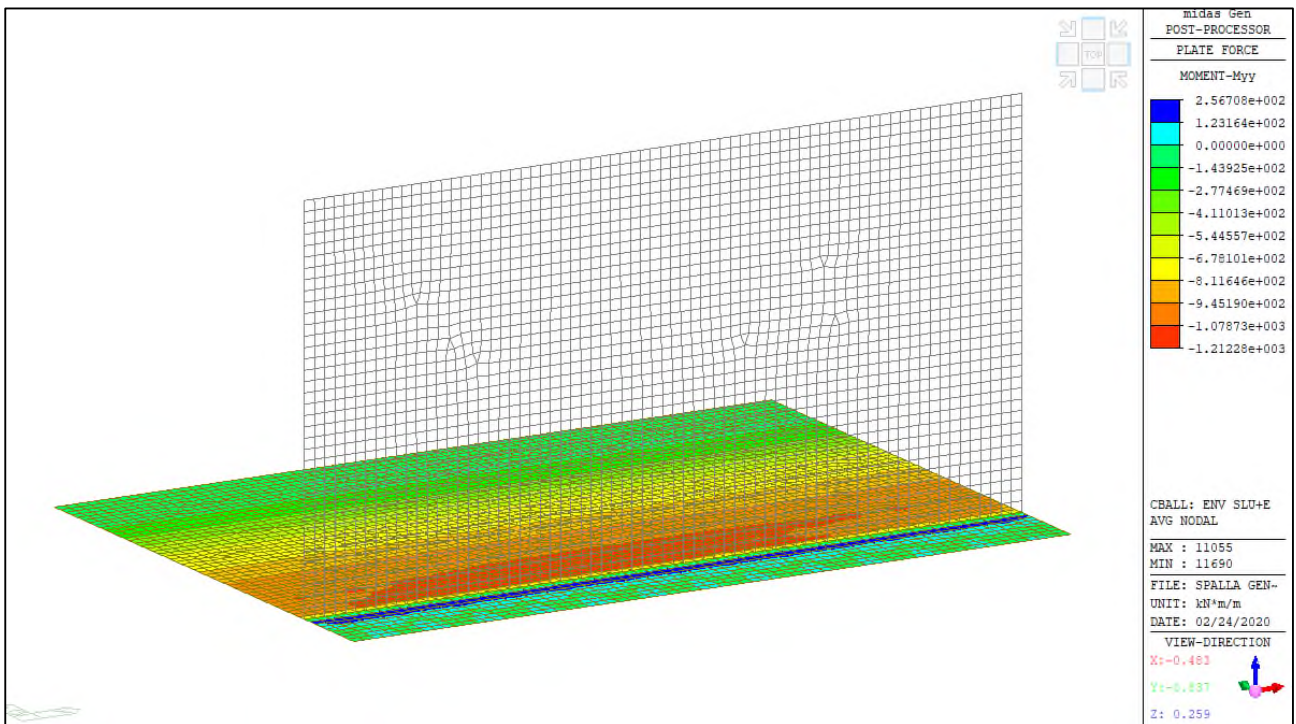




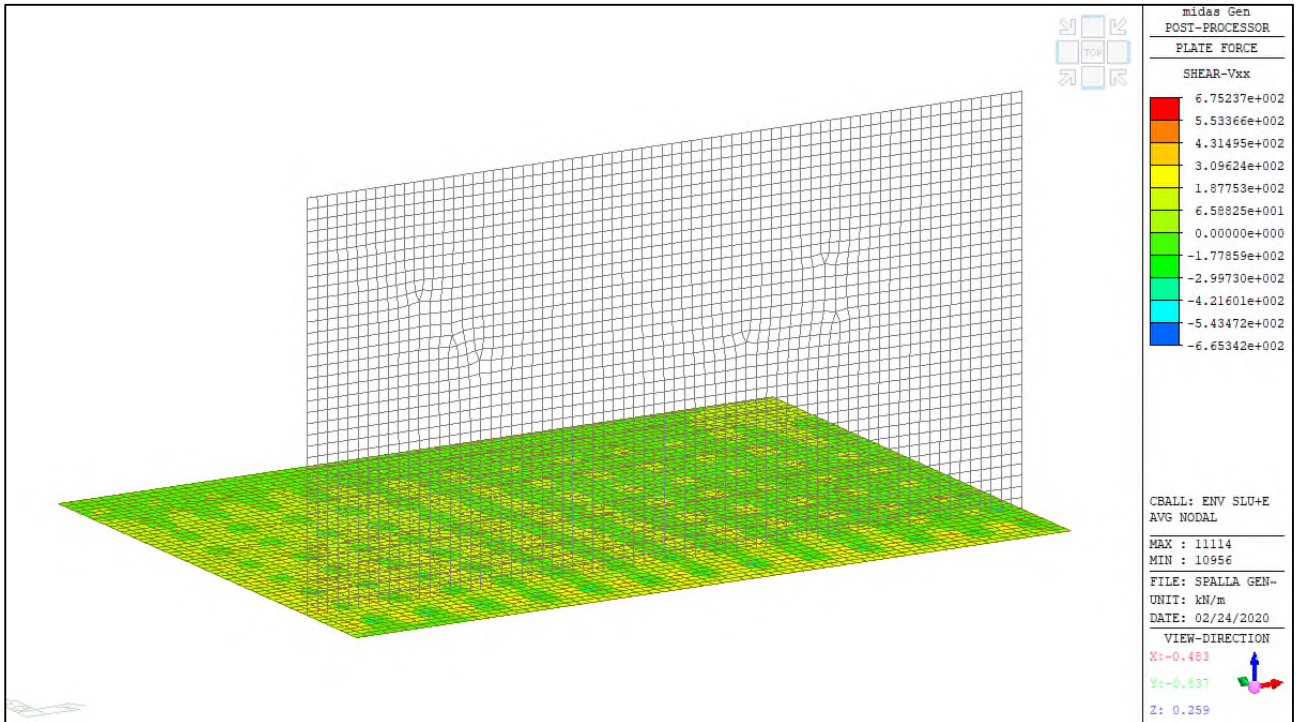
Si riportano i diagrammi involuppo delle azioni interne per le combinazioni allo stato limite ultimo (ENV-SLU+E)



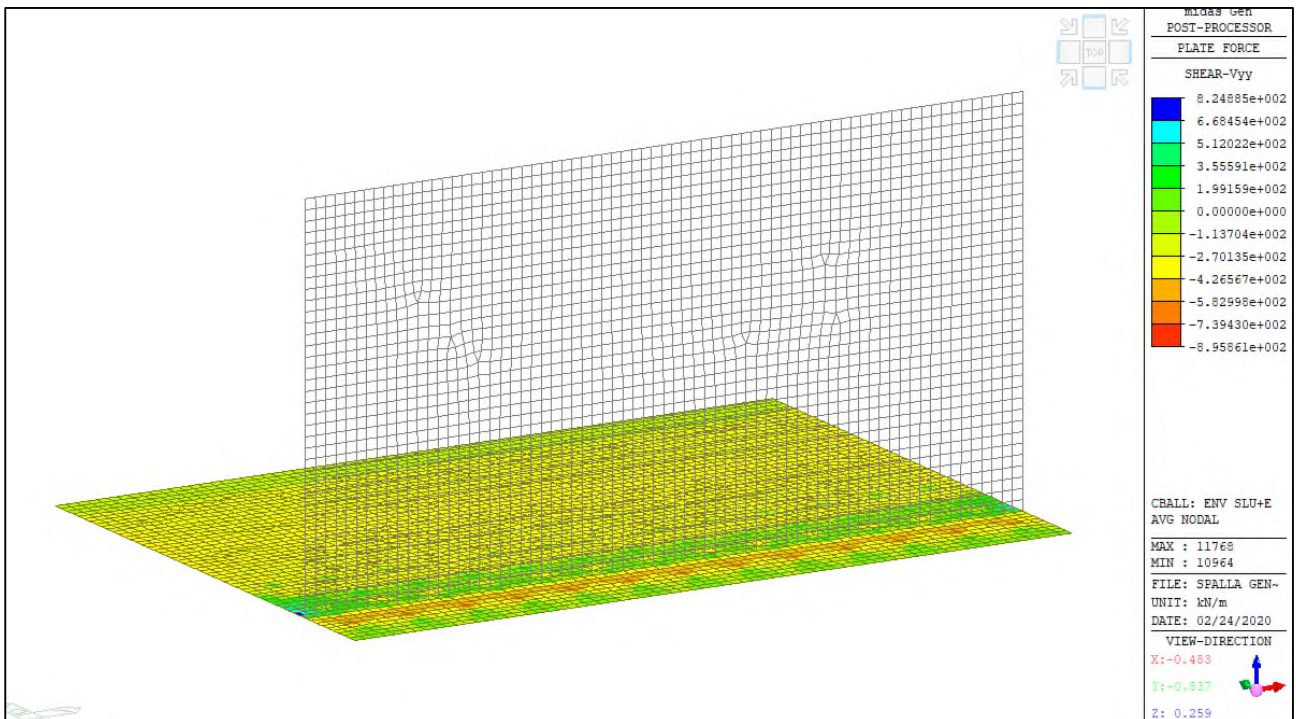
ENV-SLU+E – Mxx (kNm/m) – Platea



ENV-SLU+E – Myy (kNm/m) – Platea

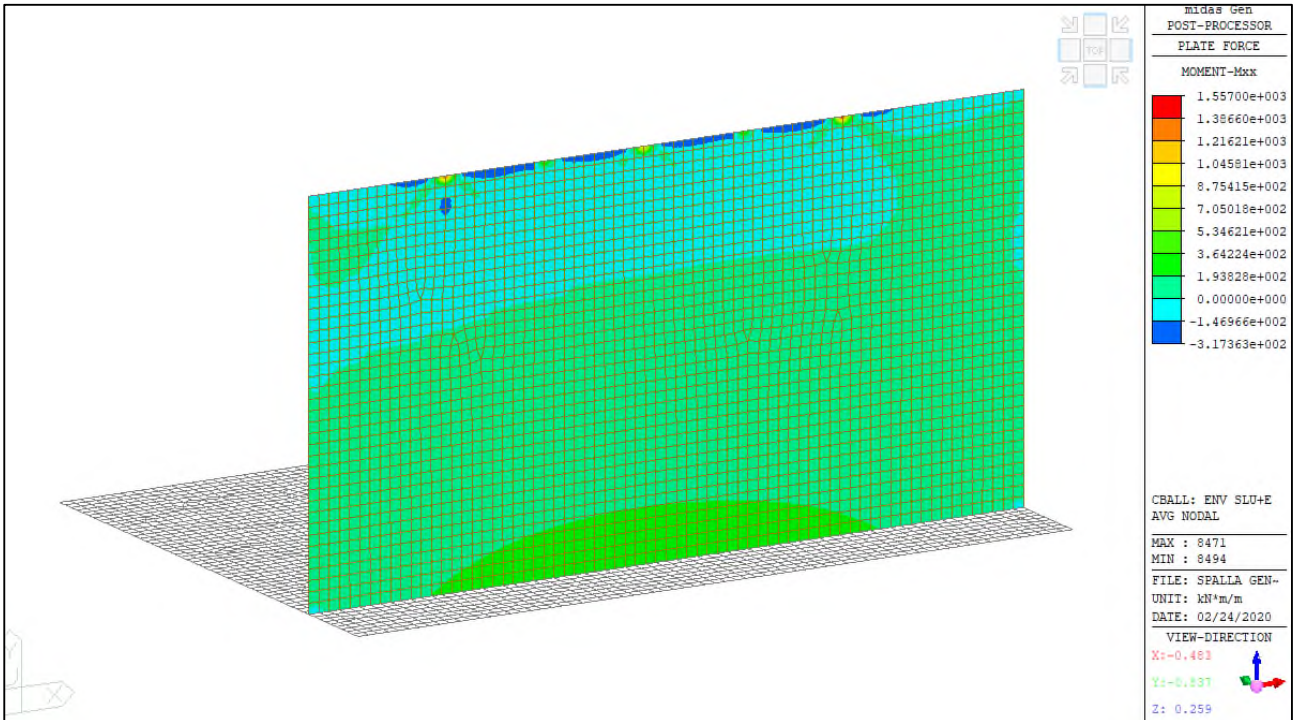


ENV-SLU+E – Vxx (kN/m) – Platea

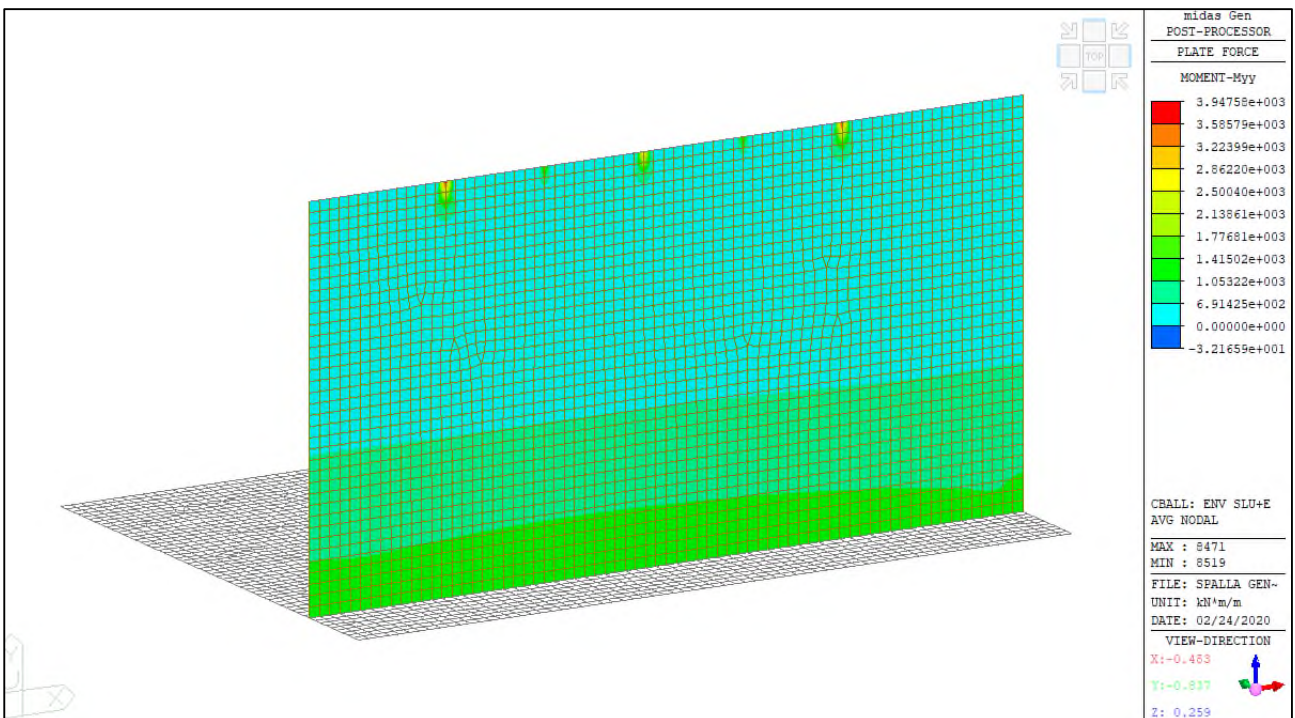


ENV-SLU+E – Vyy (kN/m) – Platea

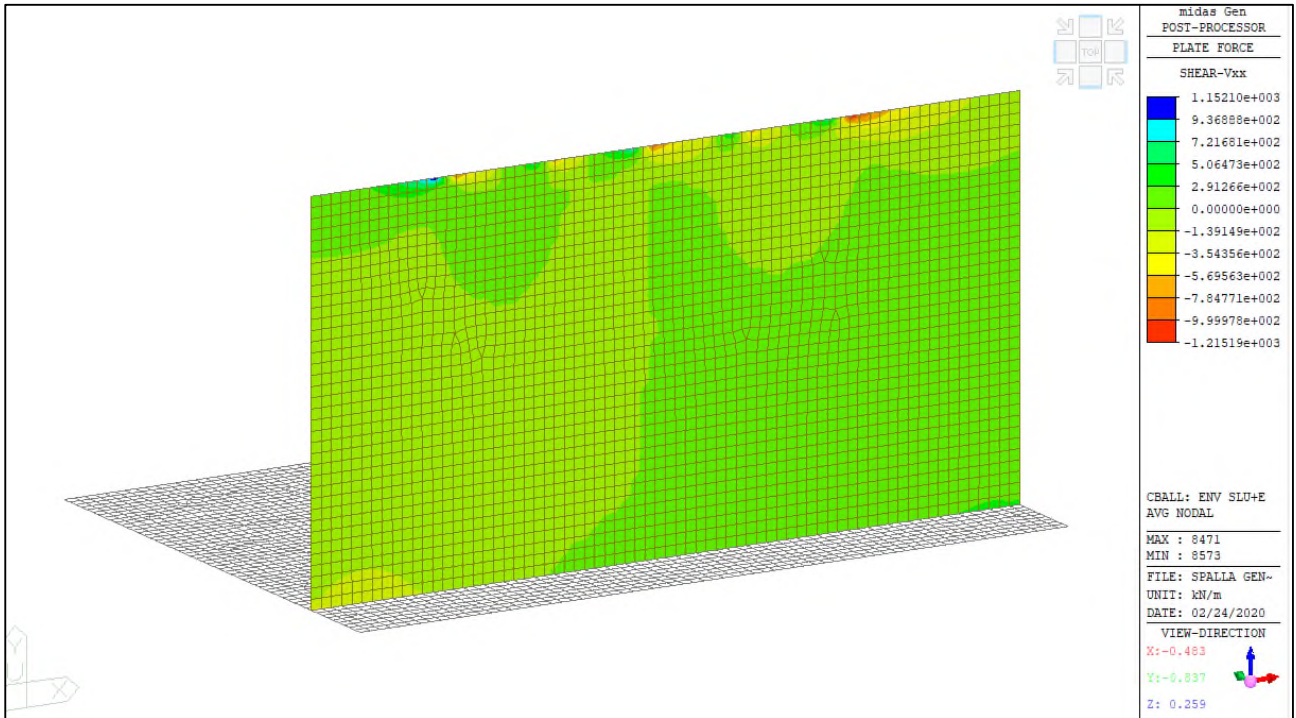




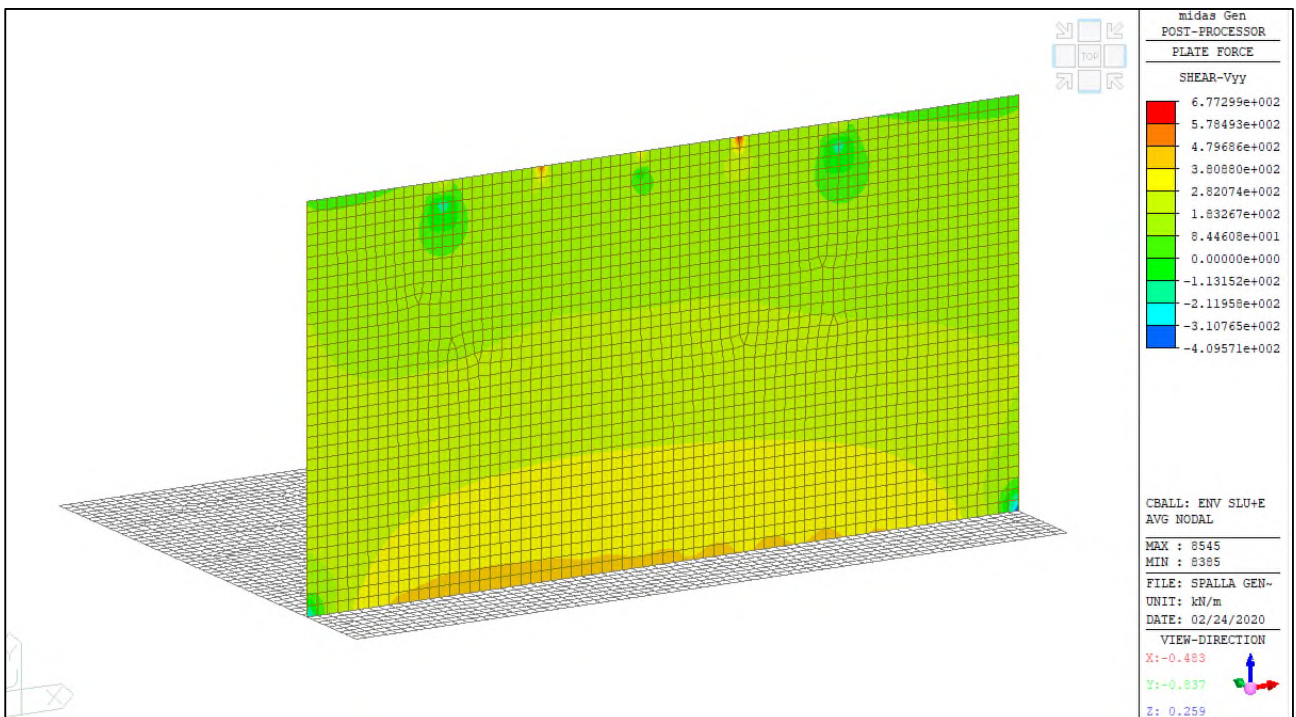
ENV-SLU+E – Mxx (kNm/m) – Spalla



ENV-SLU+E – Myy (kNm/m) – Spalla

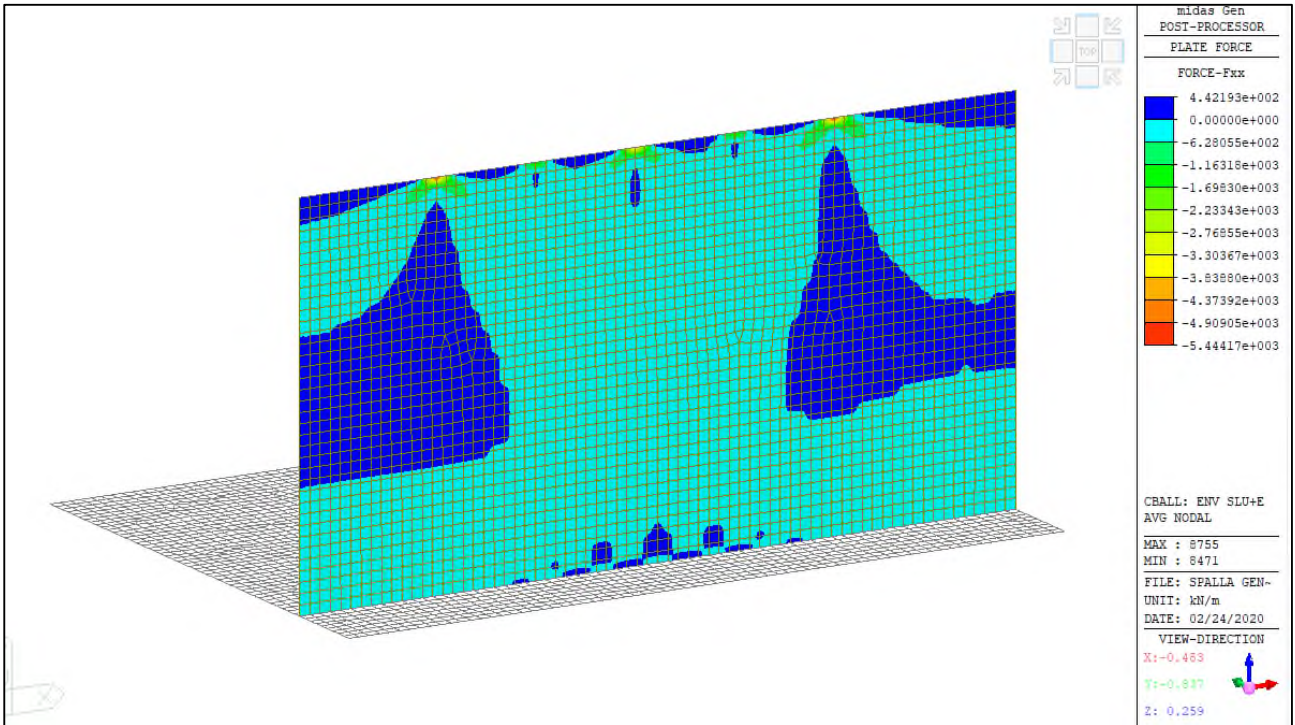


ENV-SLU+E – Vxx (kN/m) – Spalla

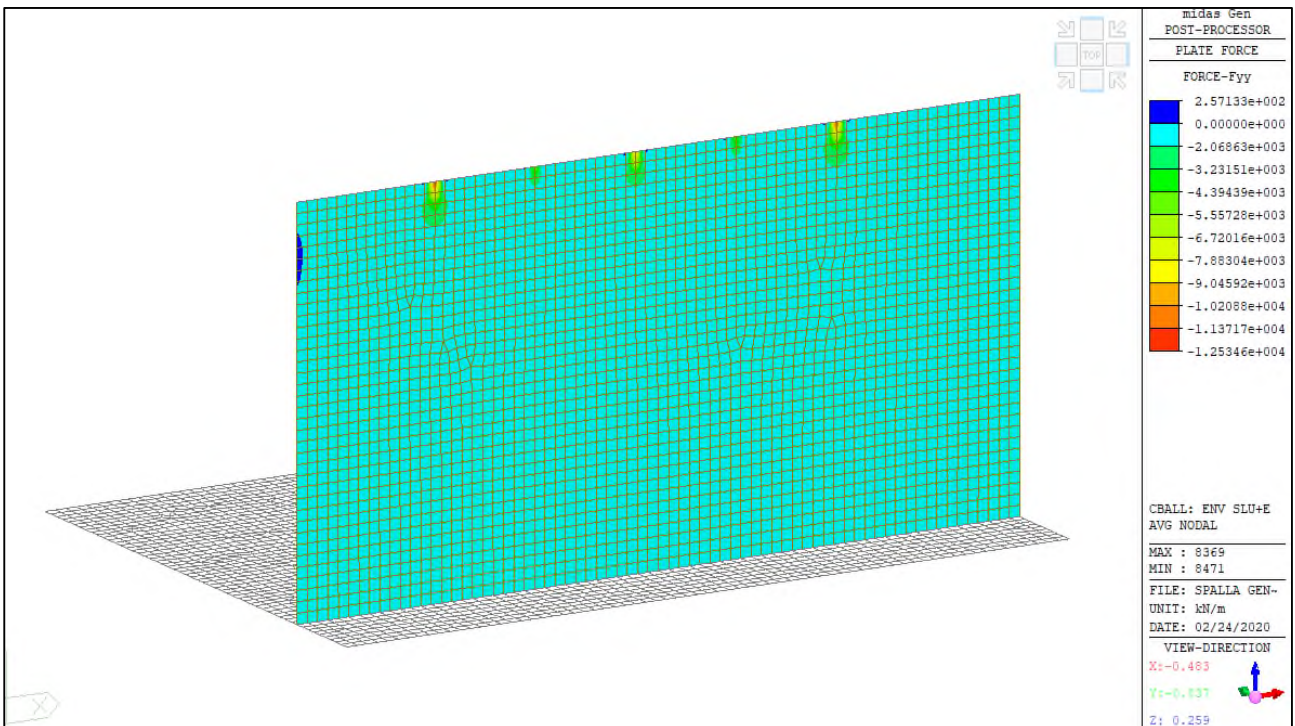


ENV-SLU+E – Vyy (kN/m) – Spalla





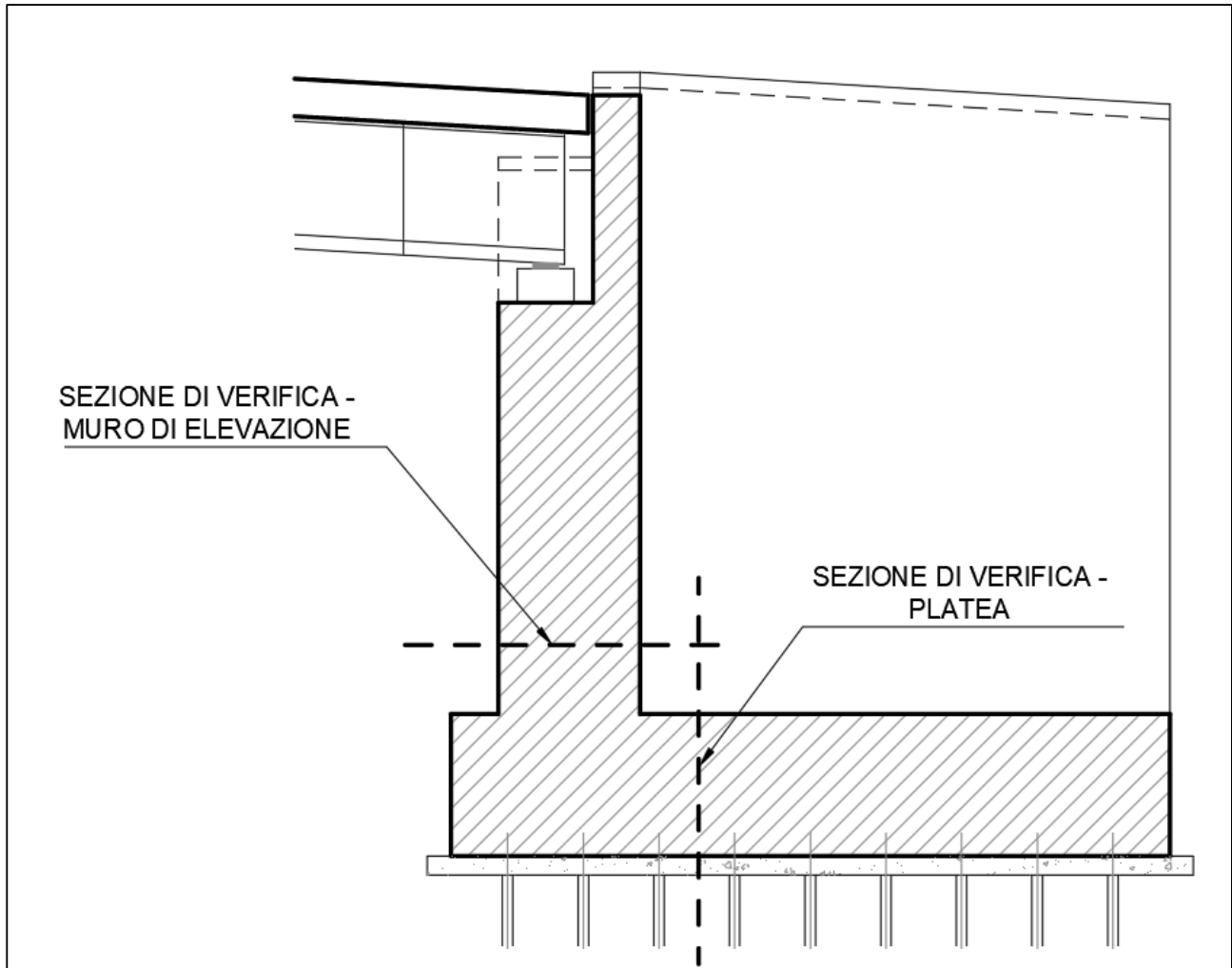
ENV-SLU+E – Fxx (kN/m) – Spalla



ENV-SLU+E – Fyy (kN/m) – Spalla

### 9.3 VERIFICHE ELEMENTI IN C.A

Di seguito si mostrano le due sezioni di verifica per la platea di fondazione e il muro di elevazione.



Identificazione sezioni di verifica

Cautelativamente, le verifiche sono state condotte solamente nelle sezioni dove si manifestano le massime sollecitazioni per una fascia di 1.00m. Nella seguente tabella vengono riportate le sollecitazioni massime utilizzate per la verifica delle due sezioni.

| SEZIONE    | SLE QP [kNm/m]  |                 | SLE F [kNm/m]   |                 | SLE R [kNm/m]   |                 | SLU [kNm/m]     |                 |
|------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|            | M <sub>xx</sub> | M <sub>yy</sub> | M <sub>xx</sub> | M <sub>yy</sub> | M <sub>xx</sub> | M <sub>yy</sub> | M <sub>xx</sub> | M <sub>yy</sub> |
| PLATEA     | 172.9           | 668.4           | 196.7           | 729.3           | 212.4           | 858.9           | 288.6           | 1212.3          |
| ELEVAZIONE | 902.5           | 1682.3          | 982.7           | 2076.1          | 1171.7          | 2934.6          | 1557            | 3947.6          |





1. Platea

Le armature sono costituite da una maglia base

- $\Phi 30/20$  inferiori e superiori in direzione x
- $\Phi 30/20$  inferiori e superiori in direzione y
- Spilli  $\Phi 14/20 \times 40$

Armatura platea direzione x

Armatura esterna: copriferro  $5.0+1.5 = 6.5\text{cm}$

| geometria              |        |       |                    |                    |
|------------------------|--------|-------|--------------------|--------------------|
| sezione trasversale    |        |       |                    |                    |
| B                      | H      | c     | d                  | z                  |
| [cm]                   | [cm]   | [cm]  | [cm]               | [cm]               |
| 100                    | 150    | 5.0   | 143.5              | 129.2              |
| armatura longitudinale |        |       |                    |                    |
| nbarre                 | $\phi$ | d     | $A_{sl}$           |                    |
|                        | [mm]   | [cm]  | [cm <sup>2</sup> ] |                    |
| 5                      | 30     | 6.5   | 35.34              |                    |
| 5                      | 30     | 143.5 | 35.34              |                    |
| armatura a taglio      |        |       |                    |                    |
| nbracci                | $\phi$ | s     | $\alpha$           | $A_{sw}$           |
|                        | [mm]   | [cm]  | [°]                | [cm <sup>2</sup> ] |
| 5                      | 14     | 40    | 90                 | 7.70               |

| SLU                     | SLE - R                     | SLE - F                             | SLE - QP                            |
|-------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| <b>SLU</b>              | <b>SLE</b>                  | <b>SLE</b>                          | <b>SLE</b>                          |
| MEd <b>288.60</b> [kNm] | MEk <b>212.4</b> [kNm]      | MEk <b>196.7</b> [kNm]              | MEk <b>172.9</b> [kNm]              |
| NEd <b>0.00</b> [kN]    | NEk <b>0</b> [kN]           | NEk <b>0</b> [kN]                   | NEk <b>0</b> [kN]                   |
| VEd <b>675.20</b> [kN]  | <b>tensioni e fessure</b>   |                                     |                                     |
| <b>presso-flessione</b> | Mdec 0.0 [kNm]              | Mdec 0.0 [kNm]                      | Mdec 0.0 [kNm]                      |
| MRd 1923.4 [kNm]        | Mcr 931.4 [kNm]             | Mcr 931.4 [kNm]                     | Mcr 931.4 [kNm]                     |
| FS 6.66                 | yn -44.34 [cm]              | yn -44.34 [cm]                      | yn -44.34 [cm]                      |
|                         | $\sigma_{c,min}$ -0.8 [MPa] | $\sigma_{c,min}$ -0.8 [MPa]         | $\sigma_{c,min}$ -0.7 [MPa]         |
|                         | $\sigma_{s,min}$ -9.6 [MPa] | $\sigma_{s,min}$ -8.9 [MPa]         | $\sigma_{s,min}$ -7.8 [MPa]         |
|                         | $\sigma_{s,max}$ 44.8 [MPa] | $\sigma_{s,max}$ 41.5 [MPa]         | $\sigma_{s,max}$ 36.5 [MPa]         |
|                         |                             | $k_2$ 0.5                           | $k_2$ 0.5                           |
|                         |                             | $\epsilon_{sm-\epsilon_{cm}}$ - [%] | $\epsilon_{sm-\epsilon_{cm}}$ - [%] |
|                         |                             | $s_{r,max}$ - [cm]                  | $s_{r,max}$ - [cm]                  |
|                         |                             | $w_k$ - [mm]                        | $w_k$ - [mm]                        |



Armatura platea direzione y

Armatura esterna: copriferro 5.0+3.0+1.5 = 9.5cm

| geometria              |      |       |                    |                    |
|------------------------|------|-------|--------------------|--------------------|
| sezione trasversale    |      |       |                    |                    |
| B                      | H    | c     | d                  | z                  |
| [cm]                   | [cm] | [cm]  | [cm]               | [cm]               |
| 100                    | 150  | 8.0   | 140.5              | 126.5              |
| armatura longitudinale |      |       |                    |                    |
| nbarre                 | φ    | d     | A <sub>sl</sub>    |                    |
|                        | [mm] | [cm]  | [cm <sup>2</sup> ] |                    |
| 5                      | 30   | 9.5   | 35.34              |                    |
| 5                      | 30   | 140.5 | 35.34              |                    |
| armatura a taglio      |      |       |                    |                    |
| nbracci                | φ    | s     | α                  | A <sub>sw</sub>    |
|                        | [mm] | [cm]  | [°]                | [cm <sup>2</sup> ] |
| 5                      | 14   | 40    | 90                 | 7.70               |

| SLU                           | SLE - R                        | SLE - F                              | SLE - QP                             |
|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| SLU                           | SLE                            | SLE                                  | SLE                                  |
| M <sub>Ed</sub> 1212.30 [kNm] | M <sub>Ek</sub> 858.9 [kNm]    | M <sub>Ek</sub> 729.3 [kNm]          | M <sub>Ek</sub> 668.4 [kNm]          |
| N <sub>Ed</sub> 0.00 [kN]     | N <sub>Ek</sub> 0 [kN]         | N <sub>Ek</sub> 0 [kN]               | N <sub>Ek</sub> 0 [kN]               |
| V <sub>Ed</sub> 895.90 [kN]   | <b>tensioni e fessure</b>      |                                      |                                      |
| <b>presso-flessione</b>       | M <sub>dec</sub> 0.0 [kNm]     | M <sub>dec</sub> 0.0 [kNm]           | M <sub>dec</sub> 0.0 [kNm]           |
| M <sub>Rd</sub> 1872.4 [kNm]  | M <sub>cr</sub> 920.1 [kNm]    | M <sub>cr</sub> 920.1 [kNm]          | M <sub>cr</sub> 920.1 [kNm]          |
| FS 1.54                       | γ <sub>n</sub> -44.34 [cm]     | γ <sub>n</sub> -44.34 [cm]           | γ <sub>n</sub> -44.34 [cm]           |
|                               | σ <sub>c,min</sub> -3.5 [MPa]  | σ <sub>c,min</sub> -2.9 [MPa]        | σ <sub>c,min</sub> -2.7 [MPa]        |
|                               | σ <sub>s,min</sub> -35.9 [MPa] | σ <sub>s,min</sub> -30.5 [MPa]       | σ <sub>s,min</sub> -27.9 [MPa]       |
|                               | σ <sub>s,max</sub> 186.3 [MPa] | σ <sub>s,max</sub> 158.2 [MPa]       | σ <sub>s,max</sub> 145.0 [MPa]       |
|                               |                                | k <sub>2</sub> 0.5                   | k <sub>2</sub> 0.5                   |
|                               |                                | ε <sub>sm-ε<sub>cm</sub></sub> - [%] | ε <sub>sm-ε<sub>cm</sub></sub> - [%] |
|                               |                                | s <sub>r,max</sub> - [cm]            | s <sub>r,max</sub> - [cm]            |
|                               |                                | W <sub>k</sub> - [mm]                | W <sub>k</sub> - [mm]                |

**verifica a taglio di una sezione rettangolare**  
secondo EN 1992-1-1:2004/E

**geometria**

**sezione trasversale**

|                                  |     |       |    |
|----------------------------------|-----|-------|----|
| base                             | B = | 100   | cm |
| altezza                          | H = | 150   | cm |
| copriferro (asse armatura long.) | c = | 9.5   | cm |
| altezza utile                    | d = | 141   | cm |
| braccio coppia interna           | z = | 126.5 | cm |

**armatura a taglio**

|                |            |      |                 |
|----------------|------------|------|-----------------|
| numero braccia | n =        | 5    |                 |
| diametro       | $\phi$ =   | 14   | mm              |
| passo          | s =        | 40   | cm              |
| inclinazione   | $\alpha$ = | 90   | °               |
| area           | $A_{sw}$ = | 7.70 | cm <sup>2</sup> |

**armatura longitudinale tesa**

|              |            |      |                 |
|--------------|------------|------|-----------------|
| numero barre | $n_1$ =    | 5    |                 |
| diametro     | $\phi_1$ = | 30   | mm              |
| numero barre | $n_2$ =    | 0    |                 |
| diametro     | $\phi_2$ = | 0    | mm              |
| area totale  | $A_{sl}$ = | 35.3 | cm <sup>2</sup> |

**materiali**

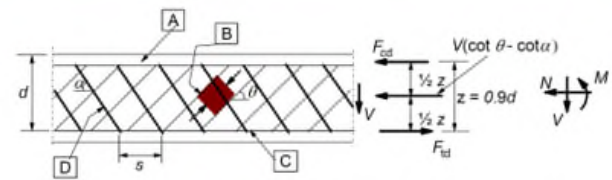
**calcestruzzo**

|  |                 |       |     |
|--|-----------------|-------|-----|
| resistenza caratt. cilindrica a 28 gg. | $f_{ck}$ =      | 24.9  | MPa |
| coeff. parziale di sicurezza           | $\gamma_c$ =    | 1.5   |     |
| coeff. effetti a lungo termine         | $\alpha_{cc}$ = | 0.85  |     |
| tensione di calcolo                    | $f_{cd}$ =      | 14.1  | MPa |
| coeff. riduzione resistenza bielle     | $\nu$ =         | 0.540 |     |
| tensione di calcolo bielle             | $\nu f_{cd}$ =  | 7.6   | MPa |

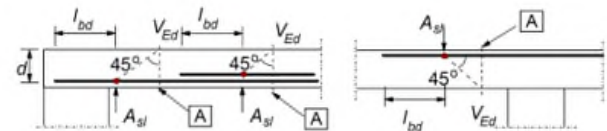
**acciaio**

|                                    |              |       |     |
|------------------------------------|--------------|-------|-----|
| tensione caratt. di snervamento    | $f_{yk}$ =   | 450.0 | MPa |
| coeff. parziale di sicurezza       | $\gamma_s$ = | 1.15  |     |
| tensione di snervamento di calcolo | $f_{yd}$ =   | 391.3 | MPa |

**legenda**



[A] - compression chord, [B] - struts, [C] - tensile chord, [D] - shear reinforcement



[A] - section considered

**sollecitazioni e verifiche**

|                                  |                  |        |         |
|----------------------------------|------------------|--------|---------|
| taglio                           | $V_{Ed}$ =       | 895.9  | kN      |
| azione assiale                   | $N_{Ed}$ =       | 0      | kN      |
| resistenza elemento non armato   | $V_{Rdc}$ =      | 428.0  | kN      |
| resistenza armatura a taglio     | $V_{Rds}$ =      | 1868.6 | kN      |
| resistenza bielle calcestruzzo   | $V_{Rdmax}$ =    | 3899.1 | kN      |
| inclinazione bielle calcestruzzo | $\theta$ =       | 27.0   | °       |
| sezione                          |                  |        | duttile |
| traslazione armatura long.       | a <sub>l</sub> = | 124.1  | cm      |



2. Muro di elevazione

Le armature sono costituite da una maglia base

- $\Phi 30/20$  lato terra e controterra in direzione x
- $\Phi 30/10$  lato terra in direzione y
- $\Phi 30/20$  lato controterra in direzione y
- Spilli  $\Phi 14/20 \times 40$

Armatura muro di elevazione direzione x

Armatura esterna: copriferro  $5.5+1.5 = 7.0\text{cm}$

| geometria              |        |       |                    |                    |
|------------------------|--------|-------|--------------------|--------------------|
| sezione trasversale    |        |       |                    |                    |
| B                      | H      | c     | d                  | z                  |
| [cm]                   | [cm]   | [cm]  | [cm]               | [cm]               |
| 100                    | 150    | 5.5   | 143.0              | 128.7              |
| armatura longitudinale |        |       |                    |                    |
| nbarre                 | $\phi$ | d     | $A_{sl}$           |                    |
|                        | [mm]   | [cm]  | [cm <sup>2</sup> ] |                    |
| 5                      | 30     | 7.0   | 35.34              |                    |
| 5                      | 30     | 143.0 | 35.34              |                    |
| armatura a taglio      |        |       |                    |                    |
| nbracci                | $\phi$ | s     | $\alpha$           | $A_{sw}$           |
|                        | [mm]   | [cm]  | [°]                | [cm <sup>2</sup> ] |
| 5                      | 14     | 40    | 90                 | 7.70               |

| SLU                     | SLE - R                      | SLE - F                             | SLE - QP                            |
|-------------------------|------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| SLU                     | SLE                          | SLE                                 | SLE                                 |
| MEd 1557.00 [kNm]       | MEk 1171.7 [kNm]             | MEk 982.7 [kNm]                     | MEk 902.5 [kNm]                     |
| NEd 0.00 [kN]           | NEk 0 [kN]                   | NEk 0 [kN]                          | NEk 0 [kN]                          |
| VEd 1215.20 [kN]        | <b>tensioni e fessure</b>    |                                     |                                     |
| <b>presso-flessione</b> | Mdec 0.0 [kNm]               | Mdec 0.0 [kNm]                      | Mdec 0.0 [kNm]                      |
| MRd 1925.2 [kNm]        | Mcr 1126.0 [kNm]             | Mcr 1126.0 [kNm]                    | Mcr 1126.0 [kNm]                    |
| FS 1.24                 | yn -44.34 [cm]               | yn -44.34 [cm]                      | yn -44.34 [cm]                      |
|                         | $\sigma_{c,min}$ -4.5 [MPa]  | $\sigma_{c,min}$ -3.8 [MPa]         | $\sigma_{c,min}$ -3.5 [MPa]         |
|                         | $\sigma_{s,min}$ -52.3 [MPa] | $\sigma_{s,min}$ -43.9 [MPa]        | $\sigma_{s,min}$ -40.3 [MPa]        |
|                         | $\sigma_{s,max}$ 248.4 [MPa] | $\sigma_{s,max}$ 208.3 [MPa]        | $\sigma_{s,max}$ 191.3 [MPa]        |
|                         |                              | $k_2$ 0.5                           | $k_2$ 0.5                           |
|                         |                              | $\epsilon_{sm}-\epsilon_{cm}$ - [%] | $\epsilon_{sm}-\epsilon_{cm}$ - [%] |
|                         |                              | $s_{r,max}$ - [cm]                  | $s_{r,max}$ - [cm]                  |
|                         |                              | Wk - [mm]                           | Wk - [mm]                           |





Armatura muro di elevazione direzione y

Armatura interna: copriferro 5.5+3.0+1.5 = 10.0cm

| geometria              |      |       |                    |                    |
|------------------------|------|-------|--------------------|--------------------|
| sezione trasversale    |      |       |                    |                    |
| B                      | H    | c     | d                  | z                  |
| [cm]                   | [cm] | [cm]  | [cm]               | [cm]               |
| 100                    | 150  | 8.5   | 140.0              | 126.0              |
| armatura longitudinale |      |       |                    |                    |
| nbarre                 | φ    | d     | A <sub>sl</sub>    |                    |
|                        | [mm] | [cm]  | [cm <sup>2</sup> ] |                    |
| 5                      | 30   | 10.0  | 35.34              |                    |
| 10                     | 30   | 140.0 | 70.69              |                    |
| armatura a taglio      |      |       |                    |                    |
| nbracci                | φ    | s     | α                  | A <sub>sw</sub>    |
|                        | [mm] | [cm]  | [°]                | [cm <sup>2</sup> ] |
| 5                      | 14   | 40    | 90                 | 7.70               |

| SLU                     | SLE - R                         | SLE - F                                 | SLE - QP                                |
|-------------------------|---------------------------------|---|---|
| SLU                     | SLE                             | SLE                                     | SLE                                     |
| MEd 3947.60 [kNm]       | MEk 2934.6 [kNm]                | MEk 2076.1 [kNm]                        | MEk 1682.3 [kNm]                        |
| NEd -1080.00 [kN]       | NEk -920 [kN]                   | NEk -920 [kN]                           | NEk -800 [kN]                           |
| VEd 677.30 [kN]         | <b>tensioni e fessure</b>       |   |   |
| <b>presso-flessione</b> | M <sub>dec</sub> 244.3 [kNm]    | M <sub>dec</sub> 244.3 [kNm]            | M <sub>dec</sub> 212.4 [kNm]            |
| MRd 4355.3 [kNm]        | M <sub>cr</sub> 1457.5 [kNm]    | M <sub>cr</sub> 1457.5 [kNm]            | M <sub>cr</sub> 1425.7 [kNm]            |
| FS 1.10                 |                                 |   |   |
|                         | y <sub>n</sub> -25.73 [cm]      | y <sub>n</sub> -22.40 [cm]              | y <sub>n</sub> -21.54 [cm]              |
|                         | σ <sub>c,min</sub> -9.8 [MPa]   | σ <sub>c,min</sub> -7.1 [MPa]           | σ <sub>c,min</sub> -5.8 [MPa]           |
|                         | σ <sub>s,min</sub> -117.6 [MPa] | σ <sub>s,min</sub> -86.0 [MPa]          | σ <sub>s,min</sub> -70.2 [MPa]          |
|                         | σ <sub>s,max</sub> 271.4 [MPa]  | σ <sub>s,max</sub> 176.3 [MPa]          | σ <sub>s,max</sub> 139.7 [MPa]          |
|                         |                                 | k <sub>2</sub> 0.5                      | k <sub>2</sub> 0.5                      |
|                         |                                 | ε <sub>sm-ε<sub>cm</sub></sub> 0.57 [‰] | ε <sub>sm-ε<sub>cm</sub></sub> 0.42 [‰] |
|                         |                                 | S <sub>r,max</sub> 47.5 [cm]            | S <sub>r,max</sub> 47.5 [cm]            |
|                         |                                 | W <sub>k</sub> 0.269 [mm]               | W <sub>k</sub> 0.199 [mm]               |

verifica a taglio di una sezione rettangolare

secondo EN 1992-1-1:2004/E

**geometria**

**sezione trasversale**

|                                  |     |       |    |
|----------------------------------|-----|-------|----|
| base                             | B = | 100   | cm |
| altezza                          | H = | 150   | cm |
| copriferro (asse armatura long.) | c = | 7     | cm |
| altezza utile                    | d = | 143   | cm |
| braccio coppia interna           | z = | 128.7 | cm |

**armatura a taglio**

|                |            |      |                 |
|----------------|------------|------|-----------------|
| numero braccia | n =        | 5    |                 |
| diametro       | $\phi$ =   | 14   | mm              |
| passo          | s =        | 40   | cm              |
| inclinazione   | $\alpha$ = | 90   | °               |
| area           | $A_{sw}$ = | 7.70 | cm <sup>2</sup> |

**armatura longitudinale tesa**

|              |            |      |                 |
|--------------|------------|------|-----------------|
| numero barre | $n_1$ =    | 5    |                 |
| diametro     | $\phi_1$ = | 30   | mm              |
| numero barre | $n_2$ =    | 0    |                 |
| diametro     | $\phi_2$ = | 0    | mm              |
| area totale  | $A_{sl}$ = | 35.3 | cm <sup>2</sup> |

**materiali**

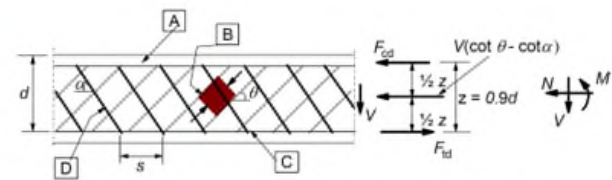
**calcestruzzo**

|  |                 |       |     |
|--|-----------------|-------|-----|
| resistenza caratt. cilindrica a 28 gg. | $f_{ck}$ =      | 33.2  | MPa |
| coeff. parziale di sicurezza           | $\gamma_c$ =    | 1.5   |     |
| coeff. effetti a lungo termine         | $\alpha_{cc}$ = | 0.85  |     |
| tensione di calcolo                    | $f_{cd}$ =      | 18.8  | MPa |
| coeff. riduzione resistenza bielle     | $\nu$ =         | 0.520 |     |
| tensione di calcolo bielle             | $\nu f_{cd}$ =  | 9.8   | MPa |

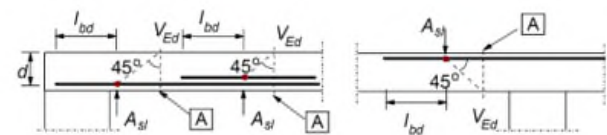
**acciaio**

|                                    |              |       |     |
|------------------------------------|--------------|-------|-----|
| tensione caratt. di snervamento    | $f_{yk}$ =   | 450.0 | MPa |
| coeff. parziale di sicurezza       | $\gamma_s$ = | 1.15  |     |
| tensione di snervamento di calcolo | $f_{yd}$ =   | 391.3 | MPa |

**legenda**



[A] - compression chord, [B] - struts, [C] - tensile chord, [D] - shear reinforcement



[A] - section considered

**sollecitazioni e verifiche**

|                                  |               |        |         |
|----------------------------------|---------------|--------|---------|
| taglio                           | $V_{Ed}$ =    | 1215.2 | kN      |
| azione assiale                   | $N_{Ed}$ =    | 0      | kN      |
| resistenza elemento non armato   | $V_{Rdc}$ =   | 475.6  | kN      |
| resistenza armatura a taglio     | $V_{Rds}$ =   | 1901.9 | kN      |
| resistenza bielle calcestruzzo   | $V_{Rdmax}$ = | 5096.2 | kN      |
| inclinazione bielle calcestruzzo | $\theta$ =    | 27.0   | °       |
| sezione                          |               |        | duttile |
| traslazione armatura long.       | $a_l$ =       | 126.3  | cm      |



### 9.4 VERIFICHE MICROPALI DI FONDAZIONE

I micropali di fondazione sono realizzati in acciaio S355, con un diametro pari a 168.3mm, uno spessore di 10mm ed una lunghezza di 15.00m. Di seguito si riportano le verifiche per la capacità portante in direzione verticale, trasversale nonché la verifica strutturale del micropalo.

**PONTE BOSSARINO 2**

MICROPALI DI FONDAZIONE SPALLA LATO GENOVA

Calcolo della capacità portante del micropalo

$$Q = Q_s = \pi \alpha D L q_s$$

**DATI GEOMETRICI:**

|                             |                  |        |                    |
|-----------------------------|------------------|--------|--------------------|
| diámetro della perforazione | D                | 0.24   | [m]                |
| lunghezza del micropalo     | L                | 11     | [m]                |
| diámetro esterno tubolare   | d                | 168.3  | [mm]               |
| spessore tubolare           | t                | 10     | [mm]               |
| diámetro interno tubolare   | d <sub>int</sub> | 148.3  | [mm]               |
| area sezione tubolare       | A                | 4973.1 | [mm <sup>2</sup> ] |
| momento inerzia tubolare    | I                | 1564.0 | [cm <sup>4</sup> ] |
| modulo resistenza elastico  | W                | 185.9  | [cm <sup>3</sup> ] |
| peso tubolare               | P                | 39.0   | [kg/m]             |

STRATIGRAFIA E PARAMETRI GEOTECNICI MEDI

|   |                      | Strato 1 | Strato 2 | Strato 3 |
|---|----------------------|----------|----------|----------|
| tipo di terreno                         |                      | SC1      | SC2      | SC3      |
| spessore dello strato                   | s [m]                | 5        | 6        | 0        |
| coefficiente amplificativo perforazione | α [-]                | 1        | 1        | 1        |
| diámetro equivalente perforazione       | d <sub>e</sub> [m]   | 0.24     | 0.24     | 0.24     |
| N <sub>SPT</sub> medio                  | N <sub>SPT</sub> [-] | XX       | XX       | XX       |
| tipologia esecutiva iniezione           | -                    | Gravità  | Gravità  | Gravità  |
| curva abaco Bustamante & Doix (1985)    | -                    | XX       | XX       | XX       |
| resistenza tangenziale interfaccia      | q <sub>s</sub> [kPa] | 150      | 205      | 375      |
| portata laterale media dello strato     | Q <sub>si</sub> [kN] | 565.5    | 927.4    | 0.0      |

STRATIGRAFIA E PARAMETRI GEOTECNICI MINIMI

|   |                      | Strato 1 | Strato 2 | Strato 2 |
|---|----------------------|----------|----------|----------|
| tipo di terreno                         |                      | SC1      | SC2      | SC3      |
| spessore dello strato                   | s [m]                | 5        | 6        | 0        |
| coefficiente amplificativo perforazione | α [-]                | 1        | 1        | 1        |
| diámetro equivalente perforazione       | d <sub>e</sub> [m]   | 0.24     | 0.24     | 0.24     |
| N <sub>SPT</sub> minimo                 | N <sub>SPT</sub> [-] | XX       | XX       | XX       |
| tipologia esecutiva iniezione           | -                    | Gravità  | Gravità  | Gravità  |
| curva abaco Bustamante & Doix (1985)    | -                    | XX       | XX       | XX       |
| resistenza tangenziale interfaccia      | q <sub>s</sub> [kPa] | 150      | 205      | 375      |
| portata laterale media dello strato     | Q <sub>si</sub> [kN] | 565.5    | 927.4    | 0.0      |

**PONTE BOSSARINO 2**

MICROPALI DI FONDAZIONE SPALLA LATO GENOVA

Calcolo della capacità portante del micropalo

$$Q = Q_s = \pi \alpha D L q_s$$

**COEFFICIENTI DI NORMATIVA:**

| Combinazione di calcolo | Azioni         |                | Resistenze (pali trivellati) |                |                     |
|-------------------------|----------------|----------------|------------------------------|----------------|---------------------|
|                         | γ <sub>G</sub> | γ <sub>Q</sub> | γ <sub>b</sub>               | γ <sub>s</sub> | γ <sub>s</sub> traz |
| A1+M1+R1                | 1.3            | 1.5            | 1.00                         | 1.00           | 1.00                |
| A2+M1+R2                | 1.0            | 1.3            | 1.70                         | 1.45           | 1.60                |
| A1+M1+R3                | 1.3            | 1.5            | 1.35                         | 1.15           | 1.25                |
| SISMICA                 | 1.0            | 1.0            | 1.35                         | 1.15           | 1.25                |

**VERTICALI INDAGATE:**

|                              |                |      |
|------------------------------|----------------|------|
| numero di verticali indagate | n°             | 2    |
| fattore di correlazione      | ξ <sub>3</sub> | 1.65 |
| fattore di correlazione      | ξ <sub>4</sub> | 1.55 |

**CAPACITA' PORTANTE LATERALE A COMPRESIONE:**

**MEDIA:** (R<sub>c,cal</sub>)<sub>media</sub> 1492.9 [kN]

**MINIMA:** (R<sub>c,cal</sub>)<sub>minima</sub> 1492.9 [kN]

**CAPACITA' PORTANTE LATERALE CARATTERISTICA:**

$$R_{c,k} = \text{Min}\{R_{c,cal\ med}/\xi_3, R_{c,cal\ min}/\xi_4\}$$

R<sub>c,k</sub> 904.8 [kN]

**CAPACITA' PORTANTE LATERALE DI PROGETTO:**

$$R_{c,d} = \frac{R_{s,k}}{\gamma_s}$$

|                   |                  |       |      |
|-------------------|------------------|-------|------|
| Resistenza        | R <sub>c,d</sub> | 786.8 | [kN] |
| Azione agente     | N <sub>d</sub>   | 433.1 | [kN] |
| Fattore Sicurezza | FS               | 1.8   | [-]  |

Verifica capacità portante verticale a compressione del micropalo

:Documento P280\_D\_OMG\_RC\_004\_A.docx

100 / 103

**PONTE BOSSARINO 2**MICROPALI DI FONDAZIONE SPALLA LATO GENOV*Calcolo della capacità portante del micropalo*

$$Q = Q_s = \pi \alpha D L q_s$$

**COEFFICIENTI DI NORMATIVA:**

| Combinazione di calcolo | Azioni     |            | Resistenze (pali trivellati) |            |                          |
|-------------------------|------------|------------|------------------------------|------------|--------------------------|
|                         | $\gamma_G$ | $\gamma_Q$ | $\gamma_b$                   | $\gamma_s$ | $\gamma_{s\text{ traz}}$ |
| A1+M1+R1                | 1.3        | 1.5        | 1.00                         | 1.00       | 1.00                     |
| A2+M1+R2                | 1.0        | 1.3        | 1.70                         | 1.45       | 1.60                     |
| A1+M1+R3                | 1.3        | 1.5        | 1.35                         | 1.15       | 1.25                     |
| SISMICA                 | 1.0        | 1.0        | 1.35                         | 1.15       | 1.25                     |

**VERTICALI INDAGATE:**

|                              |         |      |
|------------------------------|---------|------|
| numero di verticali indagate | n°      | 2    |
| fattore di correlazione      | $\xi_3$ | 1.65 |
| fattore di correlazione      | $\xi_4$ | 1.55 |

**CAPACITA' PORTANTE LATERALE A TRAZIONE:****MEDIA:**  $(R_{t,cal})_{media}$  1492.9 [kN]**MINIMA:**  $(R_{t,cal})_{minima}$  1492.9 [kN]**CAPACITA' PORTANTE LATERALE CARATTERISTICA:**

$$R_{t,k} = \text{Min}\{R_{t,cal\ med}/\xi_3, R_{t,cal\ min}/\xi_4\}$$

 $R_{t,k}$  904.8 [kN]**CAPACITA' PORTANTE LATERALE DI PROGETTO:**

$$R_{t,d} = \frac{R_{t,k}}{\gamma_s}$$

Resistenza  $R_{t,d}$  723.8 [kN]Azione agente  $N_d$  17.8 [kN]

Fattore Sicurezza FS 40.7 [-]

Verifica capacità portante verticale a trazione del micropalo



**PONTE BOSSARINO 2**MICROPALI DI FONDAZIONE SPALLA LATO GENOVACalcolo del carico trasversale limite

Terreni incoerenti (Broms 1964)

DATI GEOMETRICI:

|                             |                       |       |       |
|-----------------------------|-----------------------|-------|-------|
| Lunghezza del palo          | L                     | 10    | [m]   |
| Diametro del palo           | D <sub>palo</sub>     | 0.24  | [m]   |
| Diametro del tubolare       | D <sub>tubolare</sub> | 168.3 | [mm]  |
| Spessore del tubolare       | t <sub>tubolare</sub> | 10    | [mm]  |
| Tipo di acciaio             | S                     | 355   | [-]   |
| Momento di plasticizzazione | M <sub>y</sub>        | 77.5  | [kNm] |

DATI GEOTECNICI:

|                                       |                       |      |                      |
|---------------------------------------|-----------------------|------|----------------------|
| Peso per unità di volume              | γ <sup>f</sup>        | 21   | [kN/m <sup>3</sup> ] |
| Angolo attrito medio                  | φ <sub>medio</sub>    | 25   | [°]                  |
| Coefficiente di spinta passiva medio  | k <sub>p,medio</sub>  | 2.46 | [-]                  |
| Angolo attrito minimo                 | φ <sub>minimo</sub>   | 24   | [°]                  |
| Coefficiente di spinta passiva minimo | k <sub>p,minimo</sub> | 2.37 | [-]                  |

VERTICALI INDAGATE:

|                              |                |      |
|------------------------------|----------------|------|
| numero di verticali indagate | n°             | 2    |
| fattore di correlazione      | ξ <sub>3</sub> | 1.65 |
| fattore di correlazione      | ξ <sub>4</sub> | 1.55 |

CARICO TRASVERSALE PER PALO CORTO H<sub>1</sub>:

|                       |        |      |
|-----------------------|--------|------|
| H <sub>1,medio</sub>  | 1859.8 | [kN] |
| H <sub>1,minimo</sub> | 1791.7 | [kN] |

$$H = 1.5 k_p \gamma d^3 \left(\frac{L}{d}\right)^2$$

CARICO TRASVERSALE PER PALO INTERMEDIO H<sub>2</sub>:

|                       |       |      |
|-----------------------|-------|------|
| H <sub>2,medio</sub>  | 627.7 | [kN] |
| H <sub>2,minimo</sub> | 605.0 | [kN] |

$$H = \frac{1}{2} k_p \gamma d^3 \left(\frac{L}{d}\right)^2 + \frac{M_y}{L}$$

CARICO TRASVERSALE PER PALO LUNGO H<sub>3</sub>:

|                       |       |      |
|-----------------------|-------|------|
| H <sub>3,medio</sub>  | 100.2 | [kN] |
| H <sub>3,minimo</sub> | 98.9  | [kN] |

$$H = k_p \gamma d^3 \sqrt{\left(3.676 \frac{M_y}{k_p \gamma d^4}\right)^2}$$

DEFINIZIONE DEL COMPORTAMENTO DEL PALO:

|                     |       |      |              |
|---------------------|-------|------|--------------|
| H <sub>medio</sub>  | 100.2 | [kN] | <b>PALO</b>  |
| H <sub>minimo</sub> | 98.9  | [kN] | <b>LUNGO</b> |

CARICO TRASVERSALE ULTIMO:

$$H_k = \text{Min}(H_{med}/\xi_3, H_{min}/\xi_4)$$

|                |      |      |
|----------------|------|------|
| H <sub>k</sub> | 60.7 | [kN] |
|----------------|------|------|

$$H_d = H_k / \gamma_T$$

|                     |      |      |
|---------------------|------|------|
| γ <sub>T</sub>      | 1.3  | [-]  |
| H <sub>d</sub>      | 46.7 | [kN] |
| H <sub>agente</sub> | 41.1 | [kN] |

VERIFICA: H<sub>d</sub> > H<sub>agente</sub> **VERIFICATO**

Verifica capacità portante trasversale del micropalo

**PONTE BOSSARINO 2**MICROPALI DI FONDAZIONE SPALLA LATO GENOVACalcolo della resistenza strutturale del tubolare**DATI GEOMETRICI:**

|                                 |                  |        |                    |
|---------------------------------|------------------|--------|--------------------|
| diametro esterno del tubolare   | d                | 168.3  | [mm]               |
| spessore del tubolare           | t                | 10.0   | [mm]               |
| diametro interno del tubolare   | d <sub>int</sub> | 148.3  | [mm]               |
| area della sezione del tubolare | A                | 4973.1 | [mm <sup>2</sup> ] |
| momento inerzia tubolare        | I                | 1564.0 | [cm <sup>4</sup> ] |
| modulo resistenza elastico      | W                | 185.9  | [cm <sup>3</sup> ] |
| momento statico di metà sezione | S <sub>A/2</sub> | 125.5  | [cm <sup>3</sup> ] |

|                                    |                 |       |       |
|------------------------------------|-----------------|-------|-------|
| tipologia di acciaio               | S               | 355   | [MPa] |
| coefficiente di sicurezza          | γ <sub>MO</sub> | 1.05  | [-]   |
| tensione di snervamento di progett | f <sub>yd</sub> | 338.1 | [MPa] |

**CLASSIFICAZIONE DELLA SEZIONE (Tab. 4.2.V - NTC 2018)**

|                            |                |      |     |
|----------------------------|----------------|------|-----|
| tensione di snervamento no | ε              | 0.81 | [-] |
|                            | ε <sup>2</sup> | 0.66 | [-] |
| rapporto diametro/spessore | d/t            | 16.8 | [-] |
| classe della sezione       | CLASSE         | 1    |     |

**SOLLECITAZIONI AGENTI:**

|                              |                 |       |          |
|------------------------------|-----------------|-------|----------|
| momento flettente di calcolo | M <sub>Ed</sub> | 34.59 | [kNm/ml] |
| taglio di calcolo            | T <sub>Ed</sub> | 41.1  | [kN/ml]  |
| sforzo normale di calcolo    | N <sub>Ed</sub> | 433.1 | [kN/ml]  |
| interasse tubolari           | i               | 1     | [m]      |
| momento flettente agente     | M <sub>Ed</sub> | 34.59 | [kNm]    |
| taglio agente                | T <sub>Ed</sub> | 41.1  | [kN]     |
| sforzo normale agente        | N <sub>Ed</sub> | 433.1 | [kN]     |

**VERIFICA DELLA SEZIONE IN CAMPO ELASTICO:**

|                      |                   |       |                   |
|----------------------|-------------------|-------|-------------------|
| tensione normale     | σ <sub>x,Ed</sub> | 186.1 | [MPa]             |
| tensione tangenziale | τ <sub>Ed</sub>   | 16.5  | [MPa]             |
| sigma ideale         | σ <sub>id</sub>   | 188.3 | [MPa]             |
| fattore di sicurezza | FS                | 1.8   | <b>VERIFICATO</b> |

Resistenza strutturale del micropalo