



# 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

#### VIADOTTO AURELIA BIS

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 013 | 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 "AURELIA BIS"  
RELAZIONE DI CALCOLO SOTTOSTRUTTURE E FONDAZIONI**

|             |                  |                    |                                     |                    |                  |   |
|-------------|------------------|--------------------|-------------------------------------|--------------------|------------------|---|
|             |                  |                    |                                     |                    |                  |   |
|             |                  |                    |                                     |                    |                  |   |
|             |                  |                    |                                     |                    |                  |   |
| A           | 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_013_A.docx |                    |                  |  |



## INDICE

|        |   |    |
|--------|---|----|
| 1.     | INTRODUZIONE .....  | 5  |
| 2.     | NORMATIVE DI RIFERIMENTO.....   | 7  |
| 3.     | INQUADRAMENTO GEOLOGICO .....   | 8  |
| 4.     | CARATTERIZZAZIONE E PARAMETRI GEOTECNICI .....                                      | 9  |
| 5.     | MATERIALI.....  | 10 |
| 5.1    | ACCIAIO PER ARMATURA CONVENZIONALE DI STRUTTURE IN C.A. ....                        | 10 |
| 5.2    | CONGLOMERATO CEMENTIZIO.....  | 10 |
| 5.2.1  | CALCESTRUZZO PER FONDAZIONI.....  | 10 |
| 5.2.2  | CALCESTRUZZO PER ELEVAZIONI.....  | 11 |
| 6.     | DESCRIZIONE DELL'OPERA .....  | 12 |
| 7.     | CARICHI DI PROGETTO.....  | 13 |
| 7.1    | PESO PROPRIO CARPENTERIA METALLICA .....  | 13 |
| 7.2    | PESO PROPRIO SOLETTA.....   | 13 |
| 7.3    | CARICHI PERMANENTI .....  | 13 |
| 7.4    | EFFETTI REOLOGICI: RITIRO E VISCOSITÀ ( $\epsilon_2$ ) .....                        | 14 |
| 7.5    | CARICHI MOBILI VARIABILI.....   | 14 |
| 7.6    | AZIONE LONGITUDINALE DI FRENAMENTO E ACCELERAZIONE .....                            | 15 |
| 7.7    | AZIONE CENTRIFUGA.....  | 15 |
| 7.8    | AZIONE DEL VENTO.....   | 15 |
| 7.8.1  | VENTO TRASVERSALE SULLE STRUTTURE DI IMPALCATO .....                                | 17 |
| 7.9    | VARIAZIONI TERMICHE ( $\epsilon_3$ ).....   | 18 |
| 7.9.1  | VARIAZIONI TERMICHE UNIFORMI ( $\Delta_{TN}$ ).....                                 | 18 |
| 7.9.2  | VARIAZIONI TERMICHE LINEARI ( $\Delta_{TM}$ ) .....                                 | 18 |
| 7.10   | SPINTA DELLE TERRE .....  | 18 |
| 7.11   | SPINTA DEL SOVRACCARICO.....  | 19 |
| 7.12   | RICOPRIMENTO.....   | 19 |
| 7.13   | SOTTOSPINTA IDRAULICA .....   | 19 |
| 7.14   | AZIONI SISMICHE .....   | 19 |
| 7.14.1 | SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO IN ACCELERAZIONE DELLA<br>COMPONENTE ORIZZONTALE ..... | 20 |
| 7.14.2 | SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO IN ACCELERAZIONE DELLA<br>COMPONENTE VERTICALE .....   | 21 |



|        |   |     |
|--------|---|-----|
| 7.14.3 | INCREMENTO SISMICO DELLA SPINTA DELLE TERRE (TEORIA DI WOOD)..... | 22  |
| 8.     | VERIFICA SPALLA A .....   | 23  |
| 8.1    | DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO.....                           | 23  |
| 8.1.1  | GEOMETRIA DEL MODELLO .....                                       | 23  |
| 8.1.2  | VINCOLI .....   | 25  |
| 8.1.3  | CONDIZIONI DI CARICO STATICO .....                                | 27  |
| 8.1.4  | COMBINAZIONI DI CARICO .....                                      | 38  |
| 8.2    | RISULTATI ANALISI STRUTTURALE .....                               | 39  |
| 8.2.1  | REAZIONI VINCOLARI.....   | 39  |
| 8.2.2  | DIAGRAMMI AZIONI INTERNE.....                                     | 42  |
| 8.3    | VERIFICHE ELEMENTI IN C.A .....                                   | 54  |
| 8.4    | VERIFICHE PALI DI FONDAZIONE .....                                | 61  |
| 9.     | VERIFICA SPALLA B .....   | 65  |
| 9.1    | DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO.....                           | 65  |
| 9.1.1  | GEOMETRIA DEL MODELLO .....                                       | 65  |
| 9.1.2  | VINCOLI .....   | 67  |
| 9.1.3  | CONDIZIONI DI CARICO STATICO .....                                | 69  |
| 9.1.4  | COMBINAZIONI DI CARICO .....                                      | 80  |
| 9.2    | RISULTATI ANALISI STRUTTURALE .....                               | 81  |
| 9.2.1  | REAZIONI VINCOLARI.....   | 81  |
| 9.2.2  | DIAGRAMMI AZIONI INTERNE.....                                     | 84  |
| 9.3    | VERIFICHE ELEMENTI IN C.A .....                                   | 95  |
| 9.4    | VERIFICHE PALI DI FONDAZIONE .....                                | 102 |
| 10.    | VERIFICA PILA 2 .....   | 106 |
| 10.1   | DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO.....                           | 106 |
| 10.1.1 | GEOMETRIA DEL MODELLO .....                                       | 106 |
| 10.1.2 | VINCOLI .....   | 109 |
| 10.1.3 | CONDIZIONI DI CARICO STATICO .....                                | 110 |
| 10.1.4 | COMBINAZIONI DI CARICO .....                                      | 118 |
| 10.2   | RISULTATI ANALISI STRUTTURALE .....                               | 120 |
| 10.2.1 | REAZIONI VINCOLARI.....   | 120 |
| 10.2.2 | DIAGRAMMI AZIONI INTERNE.....                                     | 123 |
| 10.3   | VERIFICHE ELEMENTI IN C.A .....                                   | 131 |
| 10.4   | VERIFICHE PALI DI FONDAZIONE .....                                | 141 |
| 11.    | VERIFICA PILA 5 .....   | 145 |
| 11.1   | DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO.....                           | 145 |
| 11.1.1 | GEOMETRIA DEL MODELLO .....                                       | 145 |



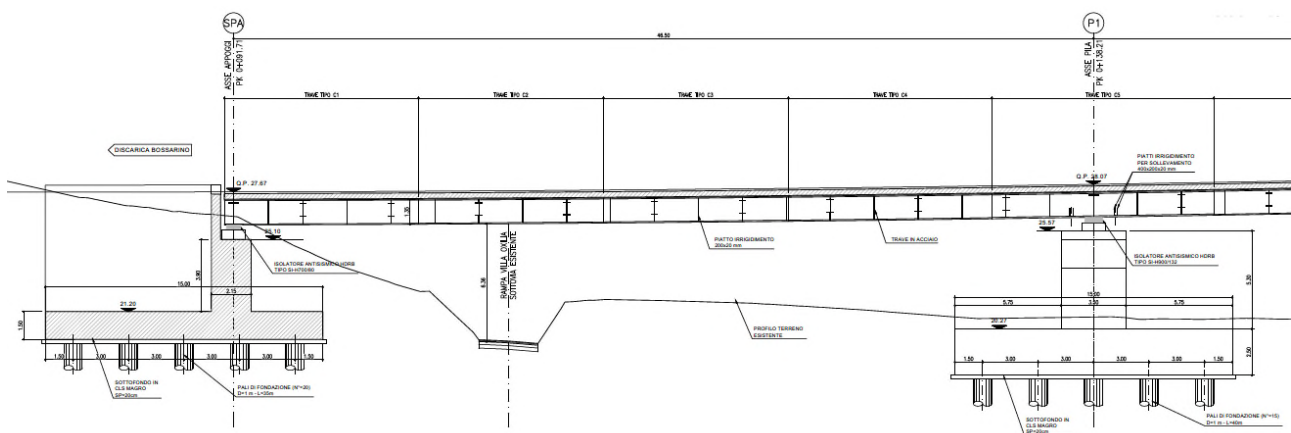
|        |   |     |
|--------|---|-----|
| 11.1.2 | VINCOLI .....                           | 147 |
| 11.1.3 | CONDIZIONI DI CARICO STATICO .....      | 148 |
| 11.1.4 | COMBINAZIONI DI CARICO .....            | 157 |
| 11.2   | RISULTATI ANALISI STRUTTURALE .....     | 159 |
| 11.2.1 | REAZIONI VINCOLARI.....                 | 159 |
| 11.2.2 | DIAGRAMMI AZIONI INTERNE.....           | 162 |
| 11.3   | VERIFICHE ELEMENTI IN C.A .....         | 170 |
| 11.4   | VERIFICHE PALI DI FONDAZIONE .....      | 180 |
| 12.    | VERIFICA PILA 6 .....                   | 184 |
| 12.1   | DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO..... | 184 |
| 12.1.1 | GEOMETRIA DEL MODELLO .....             | 184 |
| 12.1.2 | VINCOLI .....                           | 187 |
| 12.1.3 | CONDIZIONI DI CARICO STATICO .....      | 189 |
| 12.1.4 | COMBINAZIONI DI CARICO .....            | 198 |
| 12.2   | RISULTATI ANALISI STRUTTURALE .....     | 200 |
| 12.2.1 | REAZIONI VINCOLARI.....                 | 200 |
| 12.2.2 | DIAGRAMMI AZIONI INTERNE.....           | 203 |
| 12.3   | VERIFICHE ELEMENTI IN C.A .....         | 211 |
| 12.4   | VERIFICHE PALI DI FONDAZIONE .....      | 221 |

## 1. INTRODUZIONE

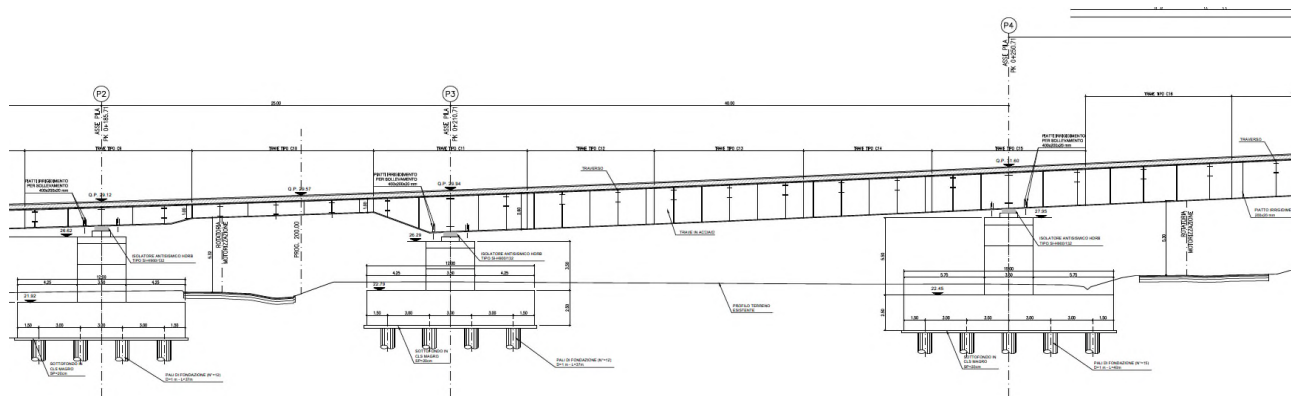
La presente relazione viene redatta nell’ambito del Progetto Definitivo del “Nuovo Svincolo Autostradale” da realizzarsi lungo la “Autostrada dei Fiori” A10 in provincia di Savona, nel Comune di Vado Ligure.

Nella presente relazione sono descritte le geometrie, i carichi e le verifiche strutturali e geotecniche delle spalle e delle pile inerenti la realizzazione del “Ponte Aurelia Bis”, posto lungo il tratto bidirezionale del ramo di svincolo Casello-Vado Ligure, necessario per il collegamento dell’arteria principale locale e il casello autostradale di futura costruzione.

Le verifiche strutturali dell’impalcato sono presenti nella relazione specifica di progetto P280\_D\_OMG\_RC\_011.



Ponte Aurelia Bis – Spalla A e Pila 1



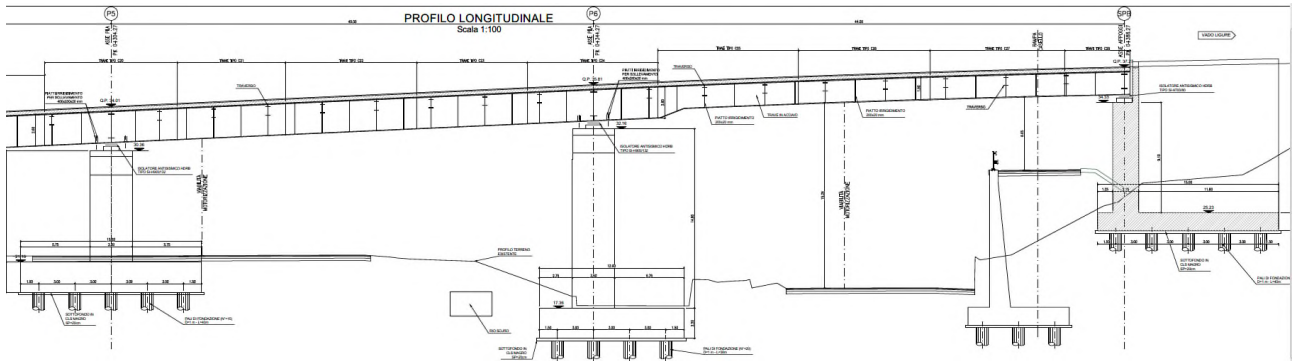
Ponte Aurelia Bis – Pile 2, 3, 4



Comune di Vado Ligure

Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo

Ponte “Aurelia-bis” – Relazione di calcolo sottostrutture e fondazioni



Ponte Aurelia Bis – Pile 5, 6 e Spalla B



## 2. NORMATIVE DI RIFERIMENTO

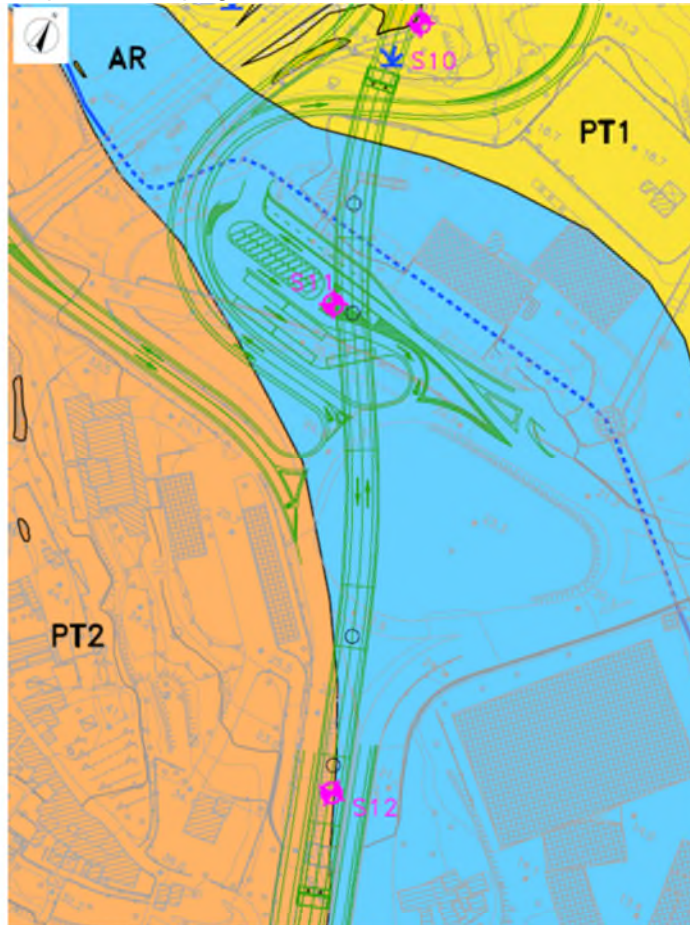
Le opere oggetto della presente relazione di calcolo sono state sviluppate in base alle seguenti principali normative e istruzioni di riferimento.

- |     |                         |   |
|-----|-------------------------|---|
| [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, il viadotto che si collegherà con l’Aurelia bis superficialmente attraversa i depositi pleistocenici, i depositi alluvionali recenti e in alcuni punti su materiali di riporto delle aree urbanizzate che andrà a scavalcare. In profondità le fondazioni poggiano principalmente sui depositi pleistocenici e sui materiali di riporto antropici. In questa area, la soggiacenza media è pari a circa 5 m dal piano campagna che corrisponde ad una quota assoluta di circa 15 m s.l.m..



#### ELEMENTI GEOLOGICI

|   |   |
|---|---|
| <b>DISCARICA</b>  | <b>DEPOSITI PLEISTOCENICI</b>   |
| <b>DDC</b> Discarica di Bossarino: materiali misti di abbancamento  | <b>PT2</b> Depositi antichi di origine continentale (Pleistocene Medio) affioranti (a) e/o sub-affioranti (b)   |
| <b>RITOMBAMENTO</b>   | <b>PT1</b> Depositi antichi di origine deltata (Pleistocene Medio e Basso) affioranti (a) e/o sub-affioranti (b)  |
| <b>RT</b> Terreni rimaneggiati di ritombamento della struttura della galleria ferroviaria “Tana”, spessore max di circa 20m (lavori eseguiti nel 1968-1970)   | <b>COPERTURA</b>  |
| <b>RIPORTI</b>  | <b>COP</b> Copertura detritica discontinua di spessore mediamente compreso fra 2m e 5m  |
| <b>A</b> 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>METASEDIMENTI PERMIANI</b>   |
| <b>B</b> Terreni riportati all’epoca degli scavi di sbiancamento 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 | <b>MSP</b> Roccia 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) |
| <b>C</b> Terreni di riporto di livellamento locale del piazzale   | <b>ELEMENTI LINEARI E PUNTUALI</b>  |
| <b>RILEVATI</b>   | <b>L</b> Limite geologico certo (a) o presunto (b)  |
| <b>RIL</b> Rilevati autostradali e stradali   | <b>MVE</b> Giacitura stratificazione e/o scistosità principale  |
| <b>DEPOSITI ALLUVIONALI</b>   | <b>MVS</b> Giacitura sub-verticale  |
| <b>AR</b> Depositi alluvionali recenti (Quaternario recente)  | <b>MI</b> Immersione asse di piega  |
| <b>AT</b> Depositi alluvionali terrazzati (Quaternario medio-recente)   | <b>S</b> Sondaggio geognostico a carotaggio continuo realizzato per il Progetto Definitivo (2019)   |
|   | <b>F</b> 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> |
|---|---|---|-------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| Riperti grossolani (RIP1)                               | Ghiaia sabbioso limosa, mediamente addensata  | 18-19   | 30-32                         | -                            | 40-60                             |
| Depositi pleistocenici continentali ferrettizzati (GPT) | Ghiaie-brecce alterate, localmente deb. cementate   | 19-20   | 30-32                         | 2-10                         | 50-80                             |
| Depositi pleistocenici di delta (LPT1)                  | Limi, limi sabbiosi, limi argillosi con intercalazioni secondarie di livelli ghiaiosi sabbiosi, alterati poco consistenti | 17-18   | 21-22                         | 5-10                         | 15-20                             |
| Depositi pleistocenici di delta (LPT2)                  | Limi, limi sabbiosi, limi argillosi con intercalazioni secondarie di livelli ghiaiosi sabbiosi, mediamente consistenti    | 18.5-19.5                                     | 23-25                         | 10-15                        | 30-60                             |



## 5. MATERIALI

Si riportano le caratteristiche specifiche dei principali materiali da costruzione da utilizzare per la realizzazione delle sottostrutture e delle fondazioni per il ponte oggetto della presente relazione.

### 5.1 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> |

### 5.2 CONGLOMERATO CEMENTIZIO

#### 5.2.1 CALCESTRUZZO PER FONDAZIONI

E' previsto l'impiego di calcestruzzo tipo C25/30 con le sguenti 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      |



### 5.2.2 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. DESCRIZIONE DELL'OPERA

Trattasi di un viadotto a 7 campate ponte con andamento planimetrico in parte in retto e in parte in curve successive per una lunghezza complessiva tra gli assi di spalle pari a  $46.5+47.5+25.0+40.0+52.5+40.0+44.0 \text{ m} = 295.5 \text{ m}$ . Il minimo raggio di curvatura misurato all'asse dell'impalcato è pari a 203 m. Nel dettaglio, vengono descritte solamente le caratteristiche delle strutture di supporto dell'impalcato, ovvero spalle e pile.

Queste sono previste in c.a. ordinario e si configurano come muri di sostegno fondati su basamenti rettangolari o simili. La particolarità delle pile sta nel fatto che il fusto in elevazione a sezione circolare è coronato in sommità da un pulvino a forma di trapezio isoscele rovescio che supporta direttamente i quattro dispositivi di vincolo dell'impalcato afferente.

Data la similarità tra le diverse pile, le analisi condotte per la pila 2 sono valide anche per la pila 3, mentre quelle condotte per la pila 5 valgono anche per le pile 1 e 4. La pila 6 presenta delle caratteristiche proprie in quanto la geometria della platea risulta vincolata dalla presenza del Rio Scuro.

Più in dettaglio, le pile sono composte sostanzialmente in modo analogo tra loro con un fusto ad altezza variabile e specializzato con la variabilità orografica del sito su cui sorge l'opera; i fusti sono coronati dai pulvini i quali sono attrezzati con risalti con funzione di ritegni fine corsa; i fusti sono a loro volta impostati su platee di fondazione di forma in pianta rettangolare: le pile n. 2 e 3 presentano una platea di fondazione di dimensione  $9\text{m} \times 12\text{m}$  e spessore 2.5m; le pile n. 1, 4 e 5 presentano una platea di fondazione di dimensione  $9\text{m} \times 15\text{m}$  e spessore 2.5m; la pila n. 6 presenta una platea di fondazione di dimensione  $12\text{m} \times 15\text{m}$  e sempre di spessore 2.5m. Il fusto ha raggio pari a 175 cm. I pulvini sono orientati secondo gli assi di allineamento degli appoggi, in modo da ridurre effetti indesiderati di azioni parassite agli appoggi ed hanno una base pari a 350cm, la sezione presenta una altezza variabile pari a 200cm in mezzzeria e pari a 50cm agli estremi.

Le spalle si compongono di un muro frontale su cui sono in diretto appoggio i dispositivi di vincolo dell'impalcato, dello spessore complessivo di 215 cm, e di un muro para-ghiaia retrostante l'impalcato di spessore contenuto e pari a 50 cm, la platea di base ha uno spessore di 1.5m. La spalla maggiore lato Casello (spalla 2) presenta un muro di spalla con altezza di 8.4 m.

Il muro para-ghiaia ha la funzione di proteggere l'impalcato dal terreno retrostante la spalla. Completano la struttura i muri d'ala laterali, impostati sul basamento, con la funzione di contenere le spinte laterali del terrapieno adiacente.

Tutte le platee di base sono fondate su pali trivellati di diametro 100cm disposti secondo una maglia regolare di  $3\text{m} \times 3\text{m}$ , in particolare si hanno: 20 pali sotto la spalla A di lunghezza 35m, 12 pali sotto le pile 2 e 3 di lunghezza 37m, 15 pali sotto le pile 1, 4 e 5 di lunghezza 37m, 20 pali sotto la pila 6 di lunghezza 40m e 30 pali sotto la spalla B di lunghezza 40m.



## 7. CARICHI DI PROGETTO

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

- peso proprio strutturale di impalcato;
- 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.

### 7.1 PESO PROPRIO CARPENTERIA METALLICA

Per il calcolo del peso proprio degli elementi in carpenteria metallica è stato considerato il peso di volume dell'acciaio pari a  $\rho_{fe} = 78,5 \text{ kN/m}^3$  incrementato del 25% per tenere conto degli irrigidimenti, dei giunti saldati, dei pioli di connessione, ecc.

### 7.2 PESO PROPRIO SOLETTA

Il peso della soletta e delle lastre predalle risulta pari a:

- soletta (sp. 24+6):  $0,30 \text{ m} \times 25,00 \text{ kN/m}^3 = 7,50 \text{ kN/m}^2$

### 7.3 CARICHI PERMANENTI

I sovraccarichi permanenti consistono nei seguenti contributi:

- Velette 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:  $= 2 \times 4,00 \text{ kN/m}$
- Tubazioni e impianti di evacuazione:  $= 2 \times 0,50 \text{ kN/m}$
- Pavimentazione, sp. 10 cm:  $= 3,00 \text{ kN/m}^2$

## 7.4 EFFETTI REOLOGICI: RITIRO E VISCOSITÀ ( $\epsilon_2$ )

Gli effetti della viscosità, associati alle azioni di lunga durata (carichi permanenti portati non strutturali ed effetti del ritiro) sono valutati con il metodo algebrizzato AAEM (Age Adjusted Effective Modulus) semplificato mediante l'adozione di moduli elastici del calcestruzzo corretti come segue:

$$E_c^* = \frac{E_{c0}}{1 + \psi_L \cdot \phi(\infty, t_0)}$$

Dove:

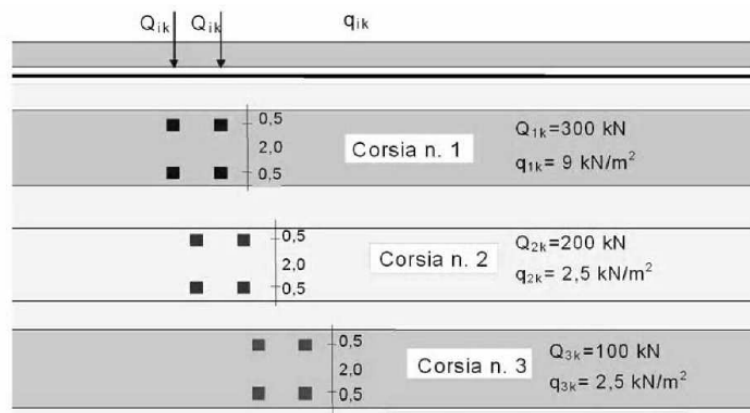
$E_{c0} = 33.643 \text{ N/mm}^2$  è il modulo elastico istantaneo del calcestruzzo assunto per l'impalcato in progetto;

$\psi_L$  è un coefficiente correttivo che dipende dal tipo di azione (v. prospetto seguente).

| Valori del coefficiente $\psi_L$ suggeriti dall'EC4                            |                 |
|--|-----------------|
| Carichi permanenti dopo che la connessione travi-soletta sia divenuta efficace | $\psi_L = 1,10$ |
| Effetti isostatici (primari) ed iperstatici (secondari) del ritiro             | $\psi_L = 0,55$ |

## 7.5 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 (larghezza corsia convenzionale 3,00 m) come indicato nel prospetto seguente.

|                           | Carico singolo asse ( $Q_{i,k}$ ) | Carico uniforme ( $q_{i,k}$ ) |
|---------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| 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>         |
| Corsia n. 3               | 100 kN (50 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;



- b) Due corsie di carico su impalcato con distribuzione eccentrica;
- c) Impalcato a pieno carico (tre corsie di carico su impalcato).

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 in continuità su pile oltre ai massimi tagli e massimi scarichi agli appoggi.

## 7.6 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:

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

Nel caso specifico, essendo la lunghezza della campata pari a 297 m, la forza di frenamento vale:  $q_3 = 900 \text{ kN}$ .

## 7.7 AZIONE CENTRIFUGA

Il ponte in oggetto presenta andamento planimetrico curvilineo irregolare con differenti raggi di curvatura; il valore minimo tra i raggi che costruiscono il tracciato è circa pari a 200 m.

L'azione centrifuga è pertanto pari a (cfr. tab. 5.1.III):  $Q_4 = 0.2 Q_v$

essendo  $Q_v$  il carico complessivo dovuto agli assi tandem dello schema di carico 1 presenti sul ponte.

Essendo presenti tre corsie convenzionali il carico totale agli assi tandem è pari a (cfr. tabella 5.1.II):

$$Q_4 = 0.2 \times 1200 = 240 \text{ kN}$$

## 7.8 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:

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

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

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 |        |        |     |
|----------|--------|--------|-----|
|          | mare   | costa  |     |
|          | 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

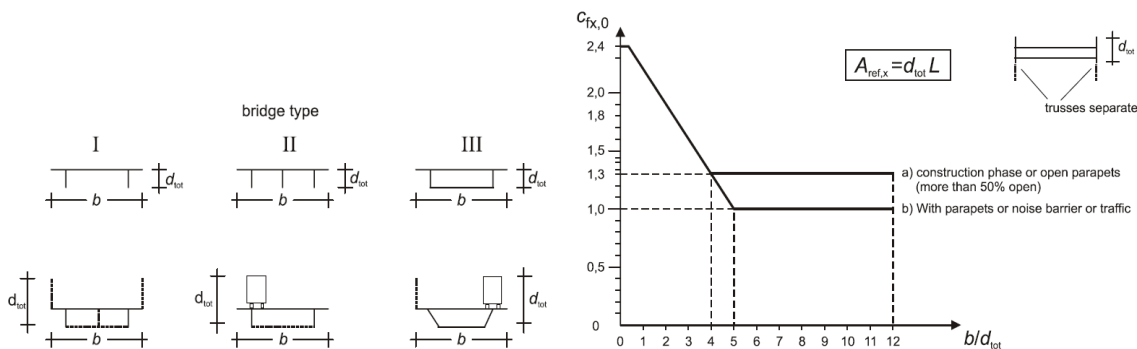
Si passa a valutare il coefficiente di esposizione  $c_e$  alla quota di estradosso dell'impalcato in corrispondenza della sezione di massima altezza dal suolo, assunta a favore di sicurezza pari a 13,00 m:

$$c_{e1} = c_e(z = 17,80 \text{ m}) = 0,20^2 \cdot 1,00 \cdot \ln\left(\frac{17,80}{0,10}\right) \times \left[7 + 1,00 \cdot \ln\left(\frac{17,80}{0,10}\right)\right] = 2,525$$

Nel dimensionamento delle strutture di impalcato, si precisa che l'azione del vento sarà applicata con riferimento all'altezza massima pari a 2,60 + 0,30 + 0,15 m e considerando la larghezza totale di impalcato pari a 11,90 m.

### 7.8.1 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 impalcati da ponte

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

- |   |        |
|---|--------|
| 1. Altezza massima impalcato                            | 2,90 m |
| 2. Altezza pavimentazione cumulata alla pendenza trasv. | 0,49 m |
| 3. Altezza cordolo laterale sopra pavimento             | 0,10 m |
| 4. Altezza barriera di protezione                       | 5,00 m |
| 5. Altezza convenzionale della colonna di carico        | 3,00 m |

### Vento a ponte scarico/carico

$d = 11,90$  m     $h_{tot} = 1+2+3+4 = 8,49$  m     $d/h_{tot} = 1,402$      $c_p = 2,08$

- pressione trasversale

$$p_v = 0,62 \frac{kN}{m^2} \times 2,525 \times 2,08 = 3,26 \frac{kN}{m^2}$$

## 7.9 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.

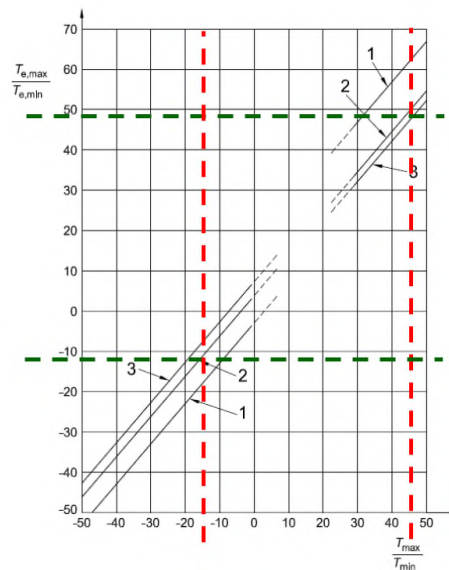
### 7.9.1 VARIAZIONI TERMICHE UNIFORMI ( $\Delta T_N$ )

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:  $\Delta T_N = 60.3 \text{ °C}$

### 7.9.2 VARIAZIONI TERMICHE LINEARI ( $\Delta T_M$ )

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  $\Delta T_s = \pm 10 \text{ °C}$ .

## 7.10 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 rigidità, 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  $p = k_0 \gamma z$ .



## 7.11 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.

## 7.12 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.

## 7.13 SOTTOSPINTA IDRAULICA

Dove presente è una linea di falda superiore rispetto al piano di imposta dell'elemento è stata considerata la spinta di Archimede, diretta dal basso verso l'alto dovuta al volume immerso di fondazione.

La spinta ha un andamento costante su tutta la faccia inferiore della soletta e, definita con  $H$  il valore dell'altezza di immersione dell'elemento, vale:  $p = \gamma_w H$ .

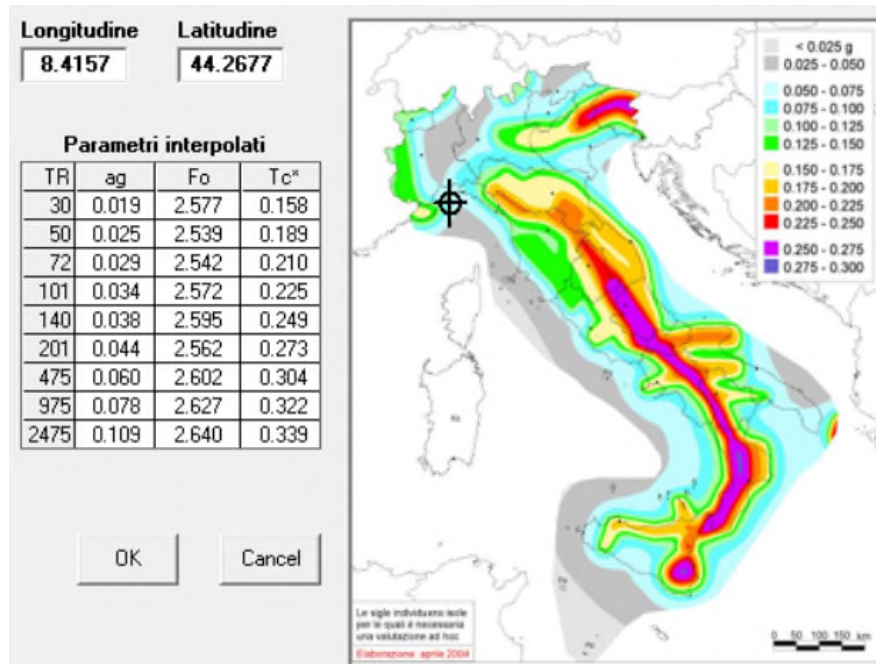
## 7.14 AZIONI SISMICHE

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:                       | D  |
| Caratteristiche topografiche:                  | T1   |

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:

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

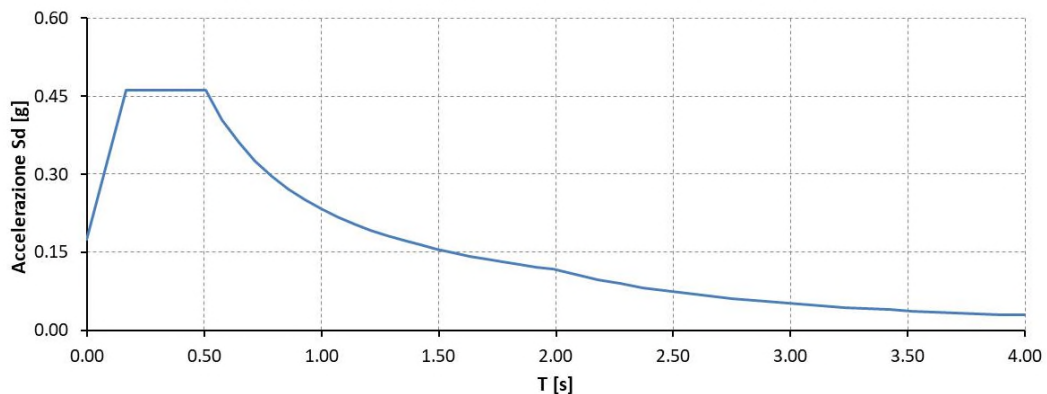
L’analisi sismica del ponte oggetto della presente relazione di calcolo è stata effettuata mediante analisi lineare dinamica (analisi modale con spettro di risposta) ai sensi di quanto indicato al § 7.10.5.3.2 del D.M. 17.01.2018.

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.

#### 7.14.1 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

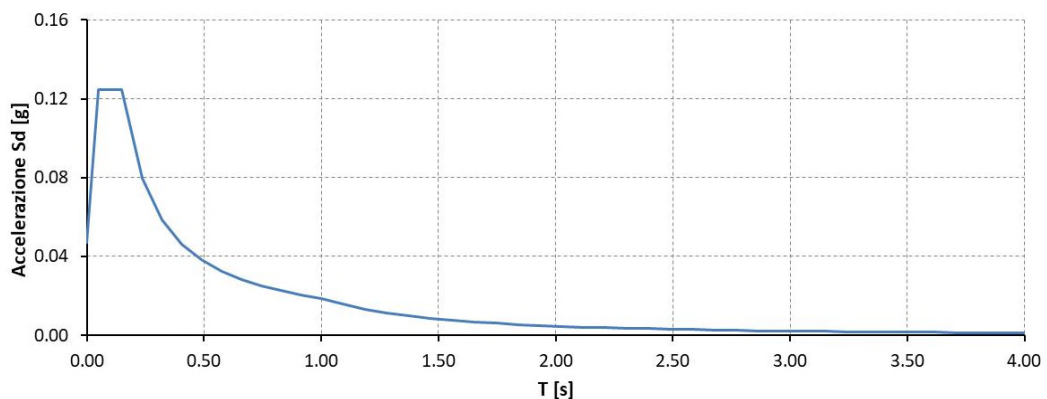
Nel caso di **ponti con isolamento sismico**, lo spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali (longitudinale e trasversale) va ridotto per tutto il campo di periodi  $T \geq 0,8 T_{is}$ , essendo  $T_{is}$  il periodo di vibrazione della struttura isolata, assumendo per il coefficiente riduttivo  $\eta$  il valore corrispondente al coefficiente di smorzamento viscoso equivalente  $\xi_{esi}$  del sistema di isolamento.

Poiché si prevede di adottare isolatori elastomerici a miscela dura e a elevato smorzamento ( $\xi_{esi} = 15\%$ ) il fattore  $\eta$  di alterazione dello spettro elastico assume il valore seguente:

$$\eta = \sqrt{\frac{10}{5 + \xi_{esi}}} = \sqrt{\frac{10}{5 + 15}} = 0,707$$

#### 7.14.2 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 della componente verticale



Comune di Vado Ligure

Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo

Ponte “Aurelia-bis” – Relazione di calcolo sottostrutture e fondazioni

### 7.14.3 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:

$$E = S_s * S_t * a_{g/g} * \gamma * H$$

## 8. VERIFICA SPALLA A

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.

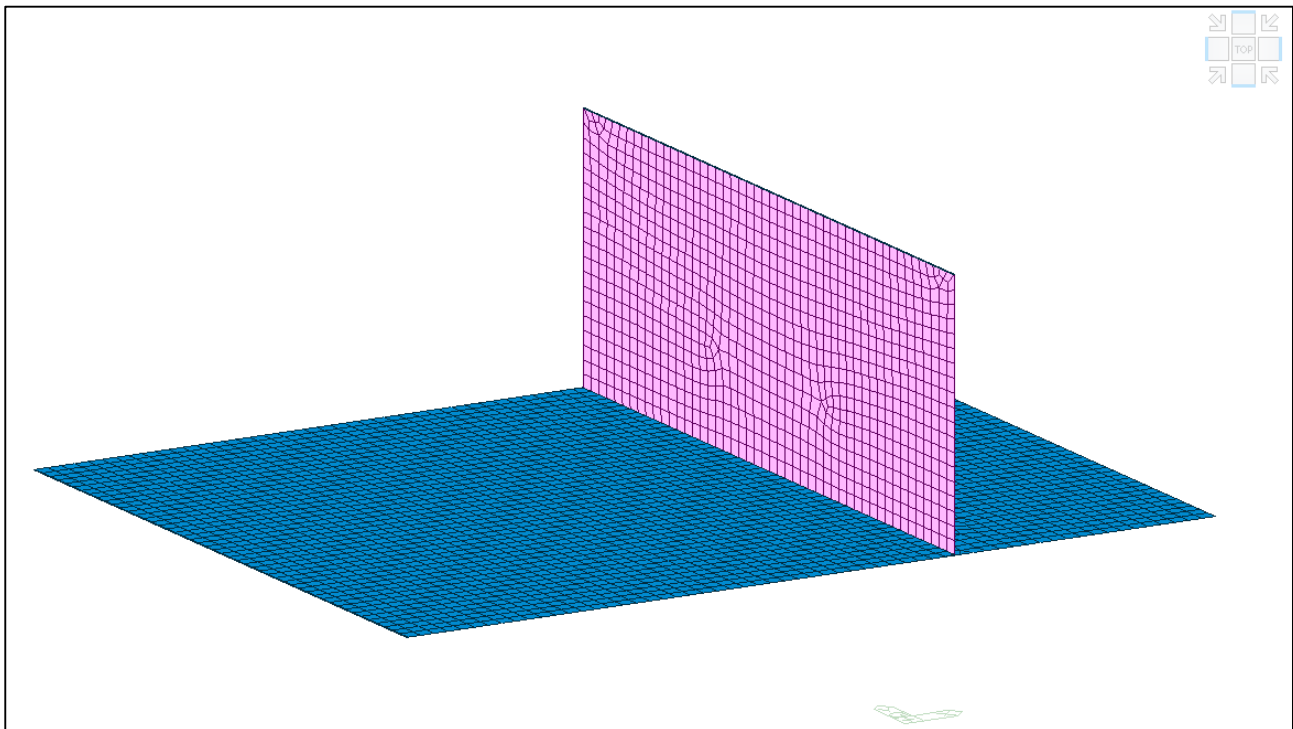
Nei successivi paragrafi sono descritte in dettaglio tutte le ipotesi poste alla base delle analisi sviluppate.

### 8.1 DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO

#### 8.1.1 GEOMETRIA DEL MODELLO

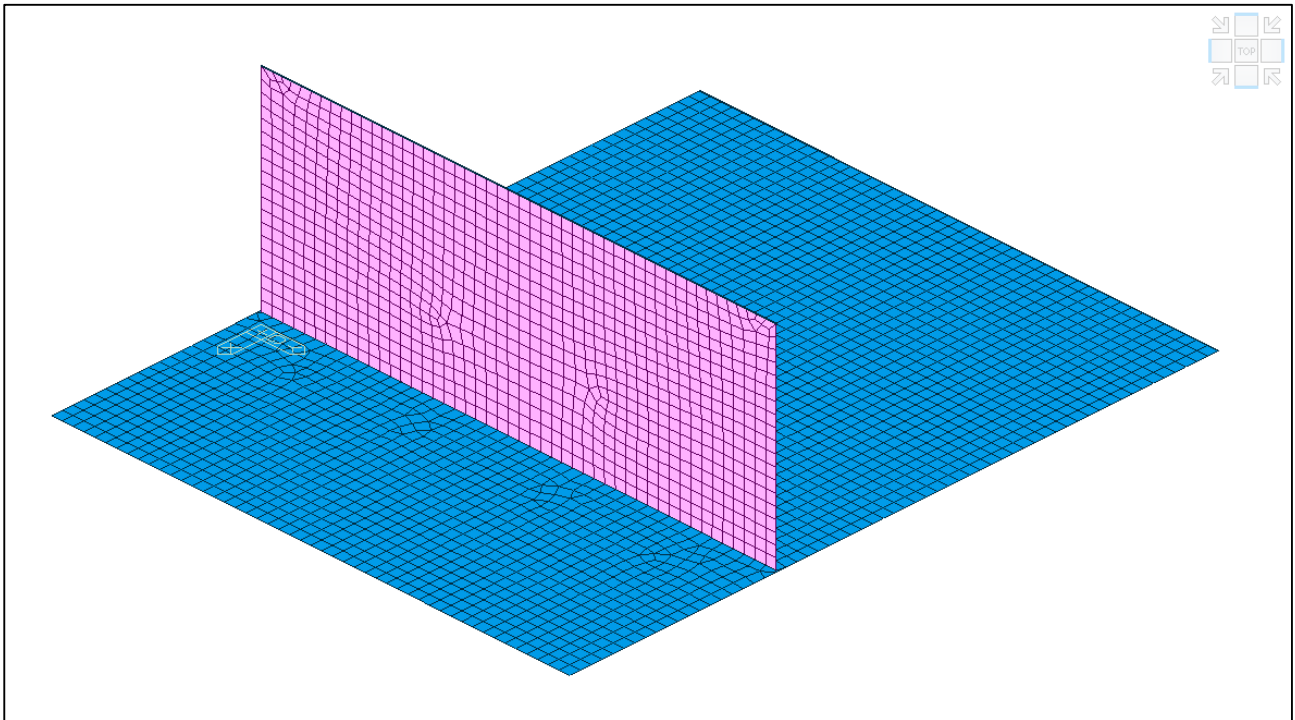
La spalla si compone di un muro frontale dello spessore di 215 cm e da una platea di fondazione dello spessore di 150cm. In sommità è presente un paraghiaia di spessore pari a 50 cm.

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.

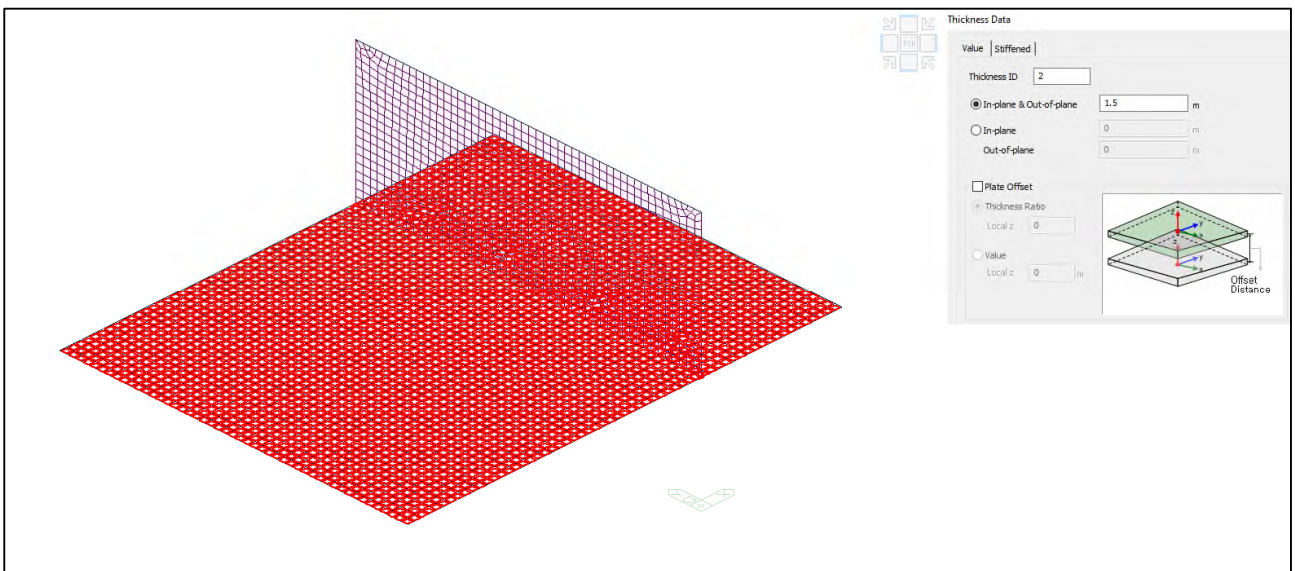


Modello FEM - Vista 1 – Spalla A

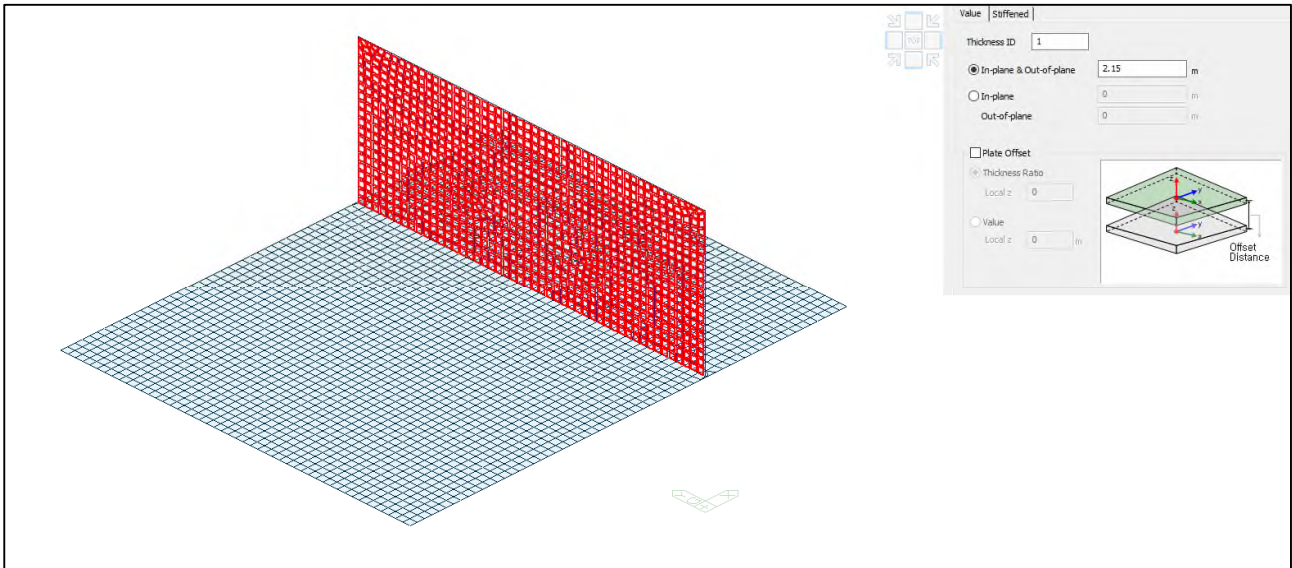




Modello FEM - Vista 2 – Spalla A



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



Modello FEM – Identificazione spalla spessore 2.15m in calcestruzzo C32/40

### 8.1.2VINCOLI

La struttura risulta vincolata a terra mediante Point Spring applicate in corrispondenza dei pali. Le costanti verticali ed orizzontali, che simulano la presenza del palo, 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 palo in calcestruzzo armato sono riassunte nella tabella seguente.

| PROPRIETA' MECCANICHE E GEOMETRICHE DEI PALI |                   |                         |
|--|-------------------|-------------------------|
| E [MPa]                                      | Modulo elastico   | 31500                   |
| D [mm]                                       | Diametro palo     | 1000                    |
| A [mm <sup>2</sup> ]                         | Area palo         | 785398                  |
| I [mm <sup>4</sup> ]                         | Momento d'inerzia | 4.91 * 10 <sup>10</sup> |
| L [m]  | Lunghezza palo    | 35.00                   |

$$K_V = 706858 \frac{kN}{m} \quad K_H = 72499.2 \frac{kN}{m}$$

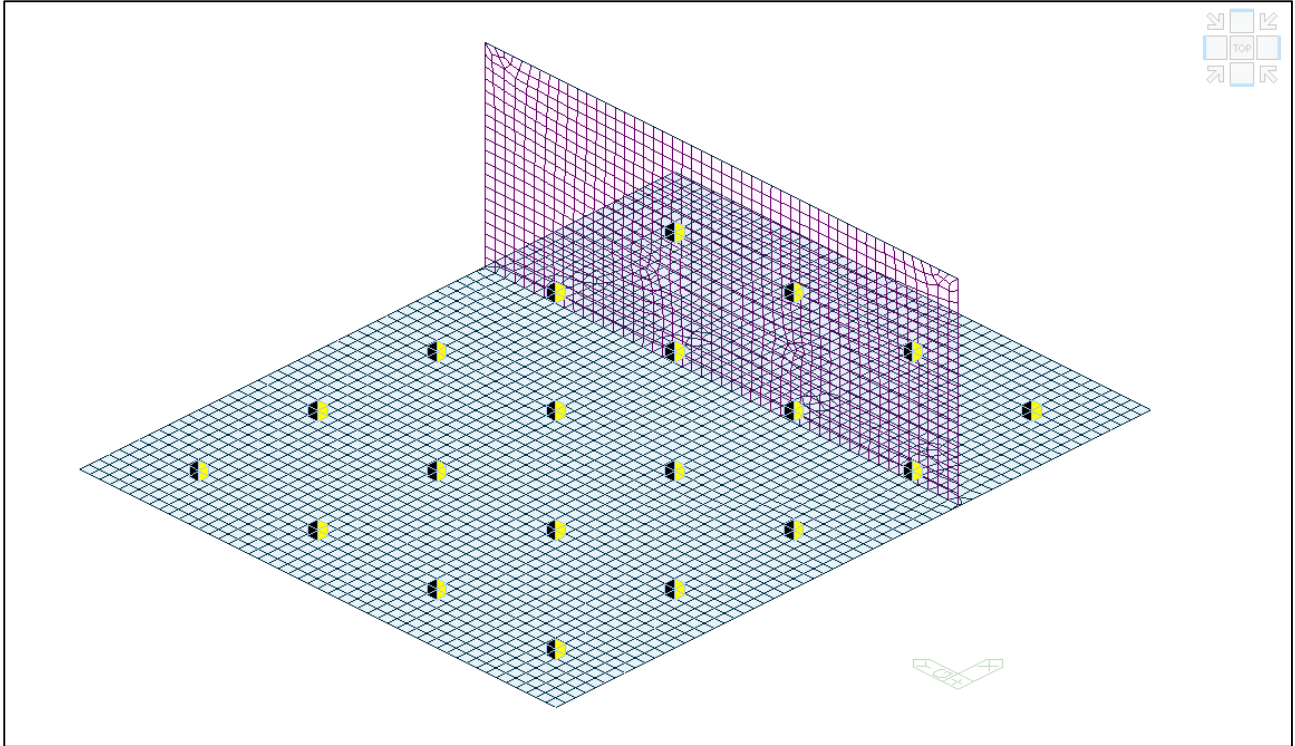


Comune di Vado Ligure

Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo

Ponte “Aurelia-bis” – Relazione di calcolo sottostrutture e fondazioni

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

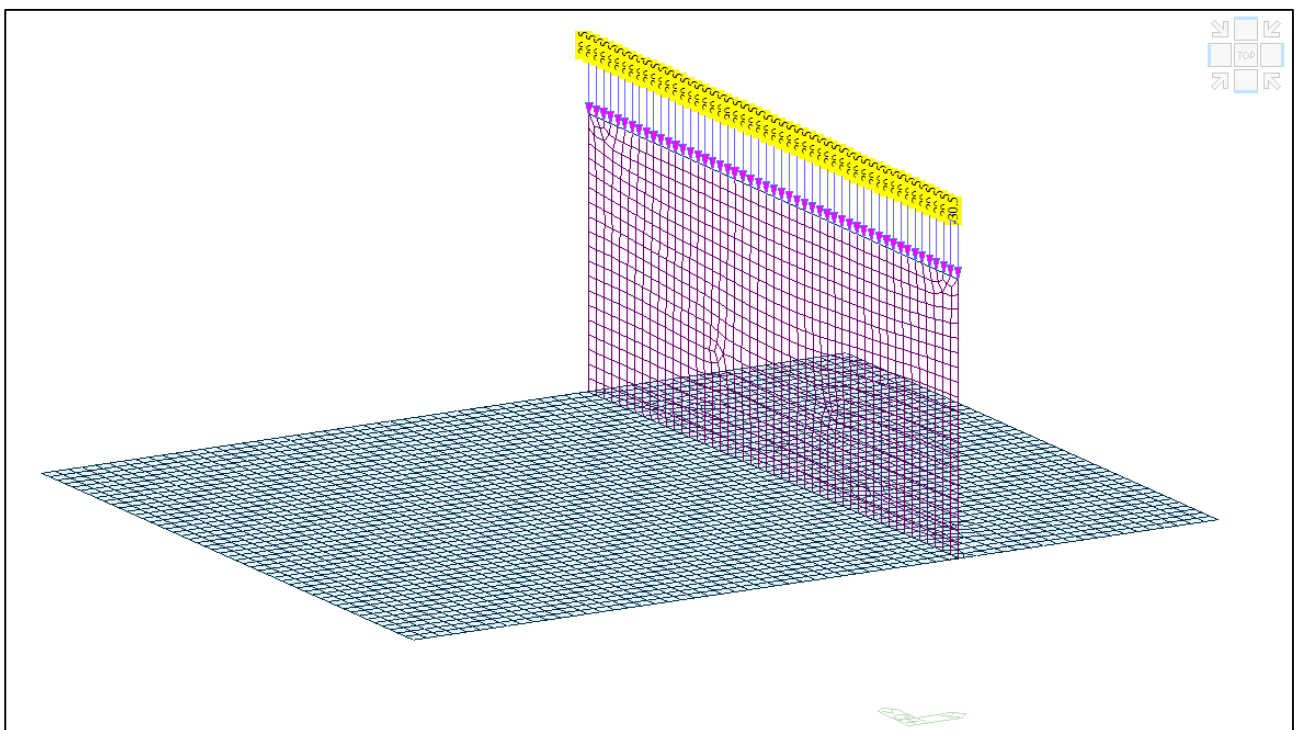


Modello FEM – Identificazione vincoli in corrispondenza dei pali

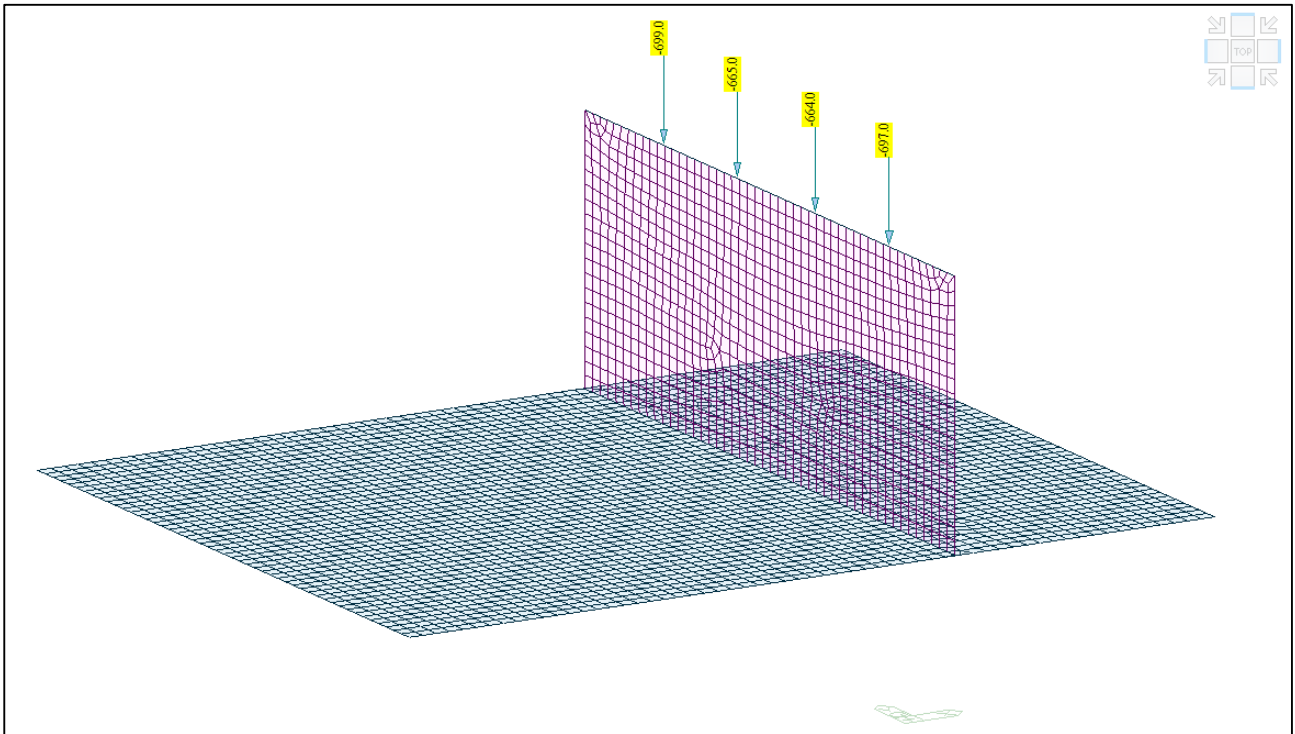
### 8.1.3 CONDIZIONI DI CARICO STATICO

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.

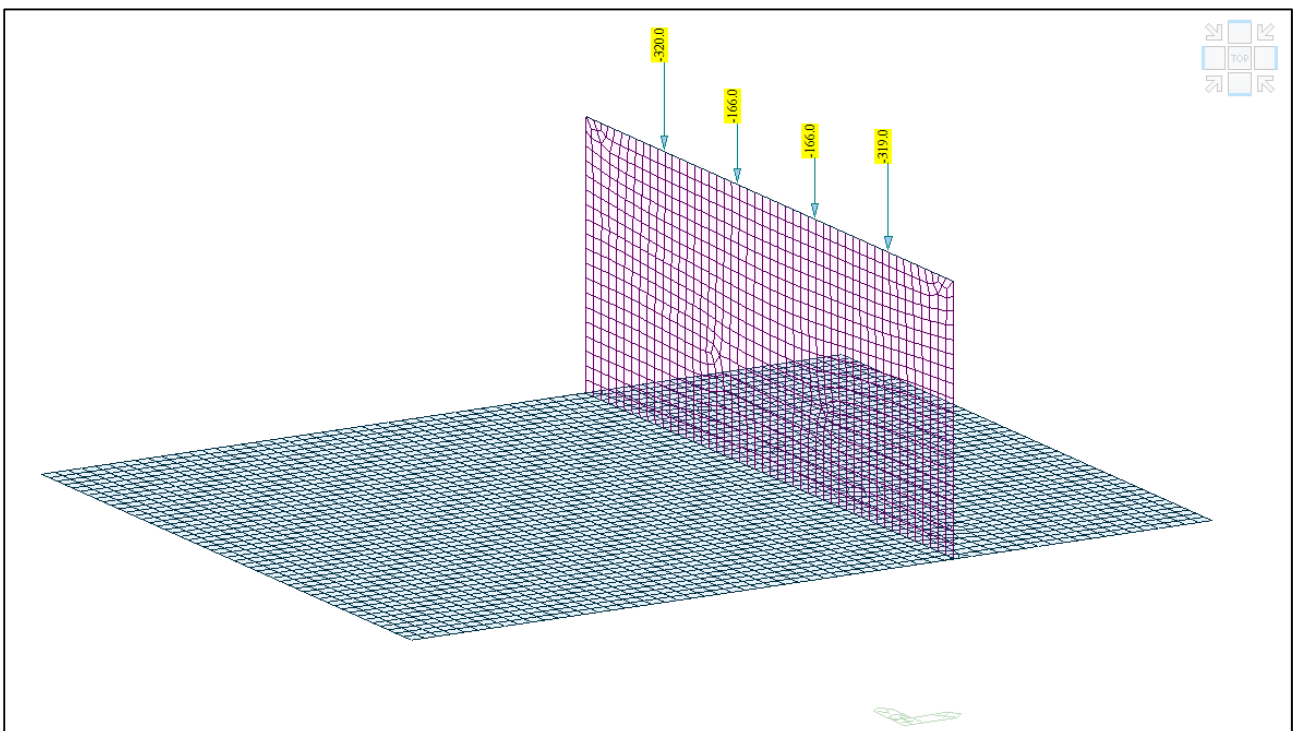
Il peso proprio della spalla genera delle azioni che sono calcolate in automatico dal software ad elementi finiti. A questa condizione di carico è stato aggiunto il peso della paraghiaia posta al di sopra del corpo spalla di spessore 2.15m.



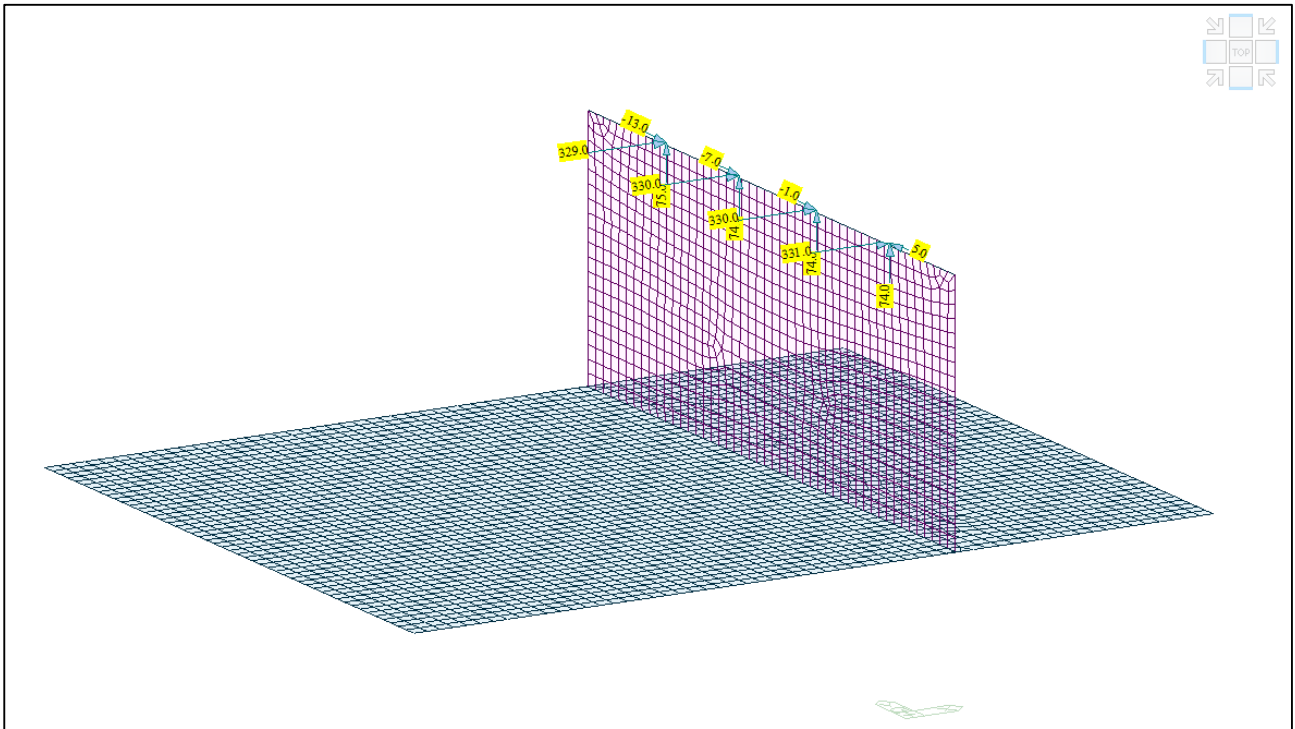
Modello FEM – Condizione di carico Peso Paraghiaia



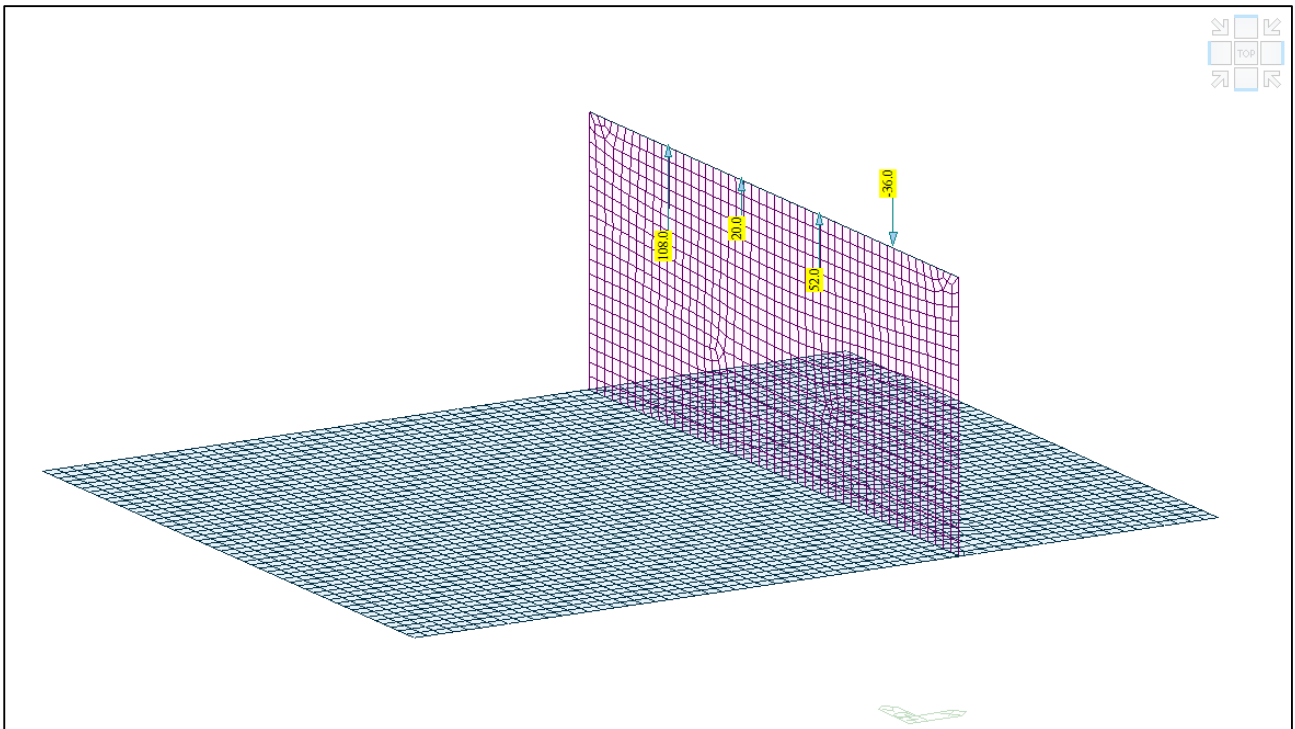
Modello FEM – Condizione di carico Peso proprio impalcato



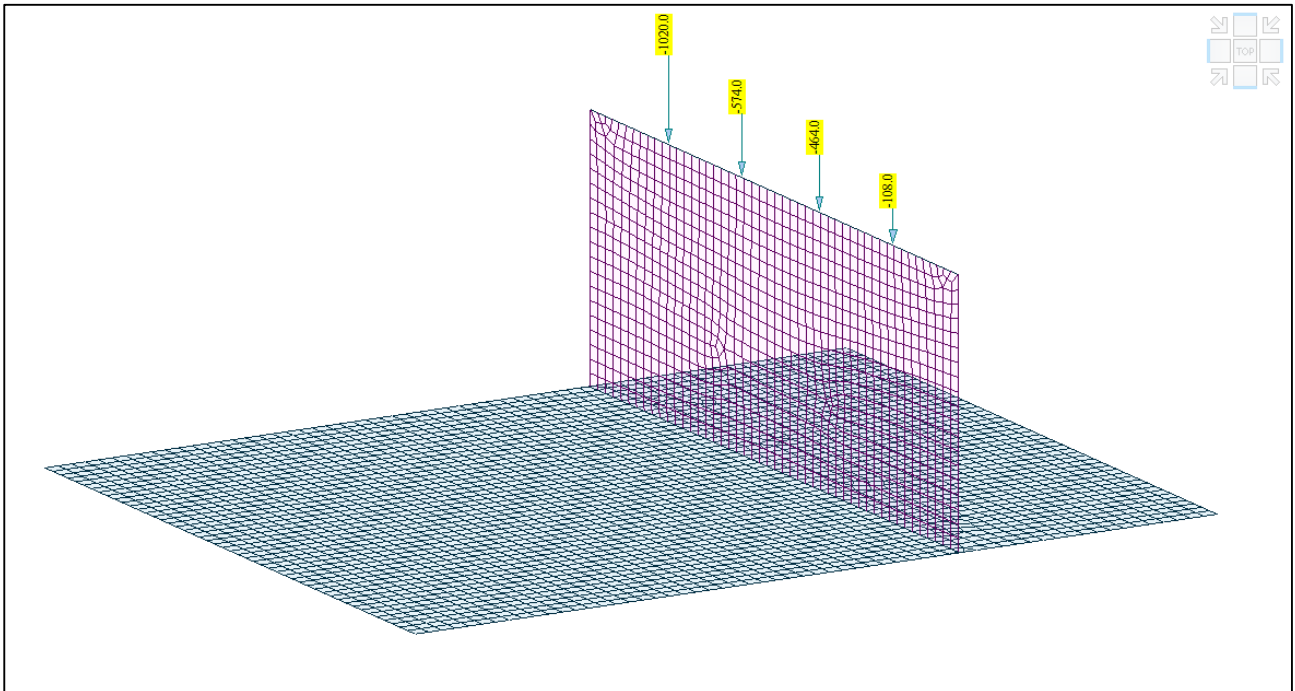
Modello FEM – Condizione di carico Permanente



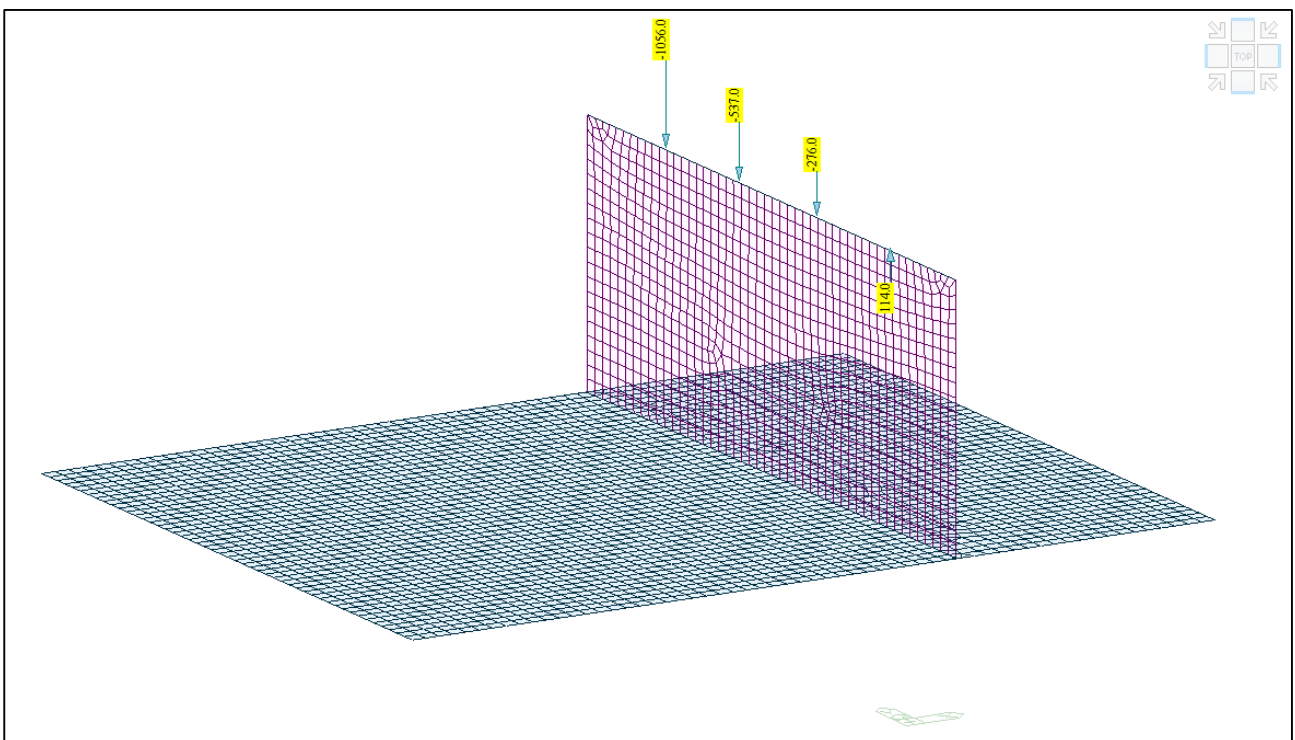
Modello FEM – Condizione di carico Ritiro



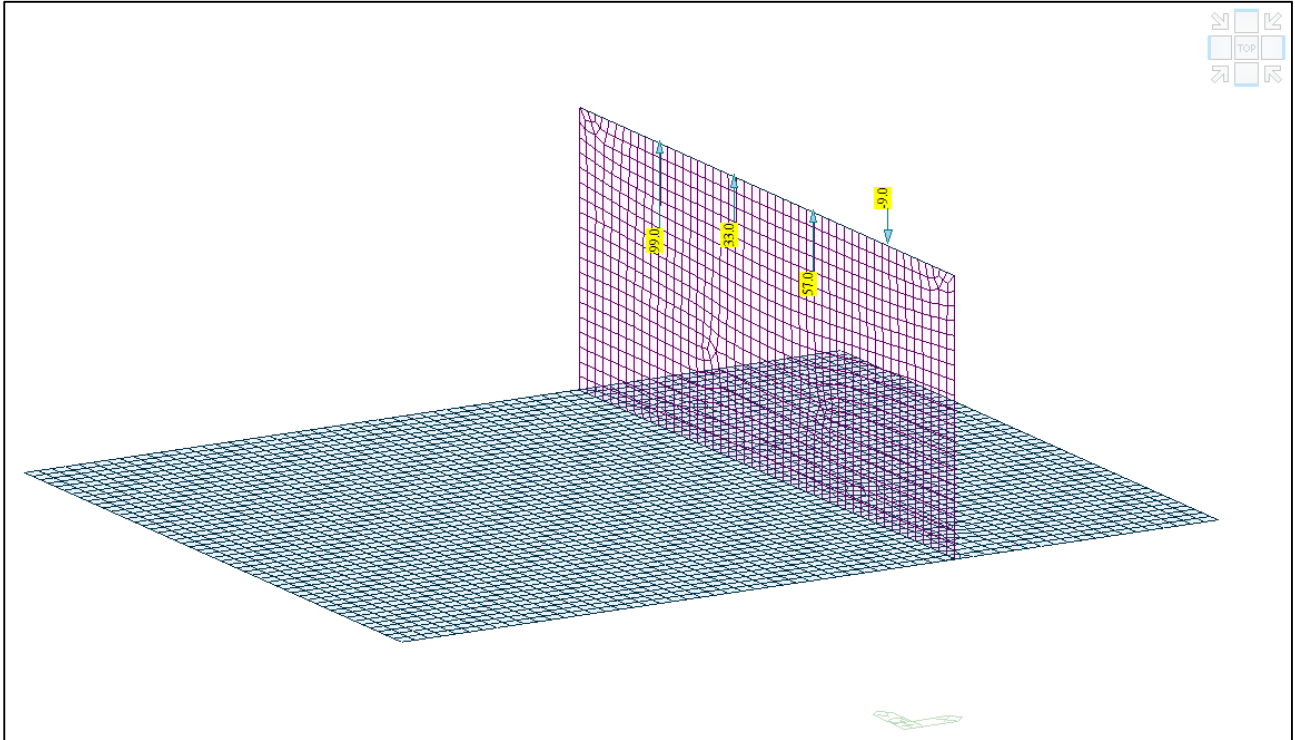
Modello FEM – Condizione di carico DistrB2



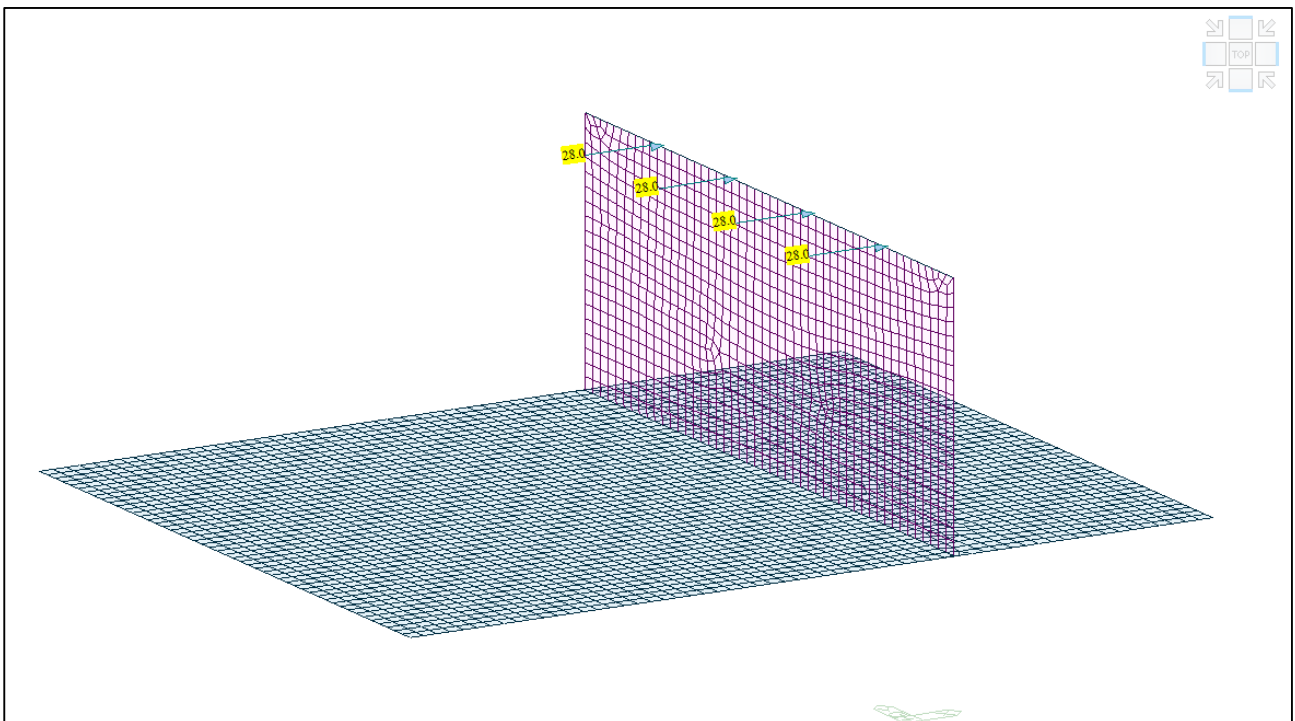
Modello FEM – Condizione di carico DistrD1



Modello FEM – Condizione di carico DistrB7

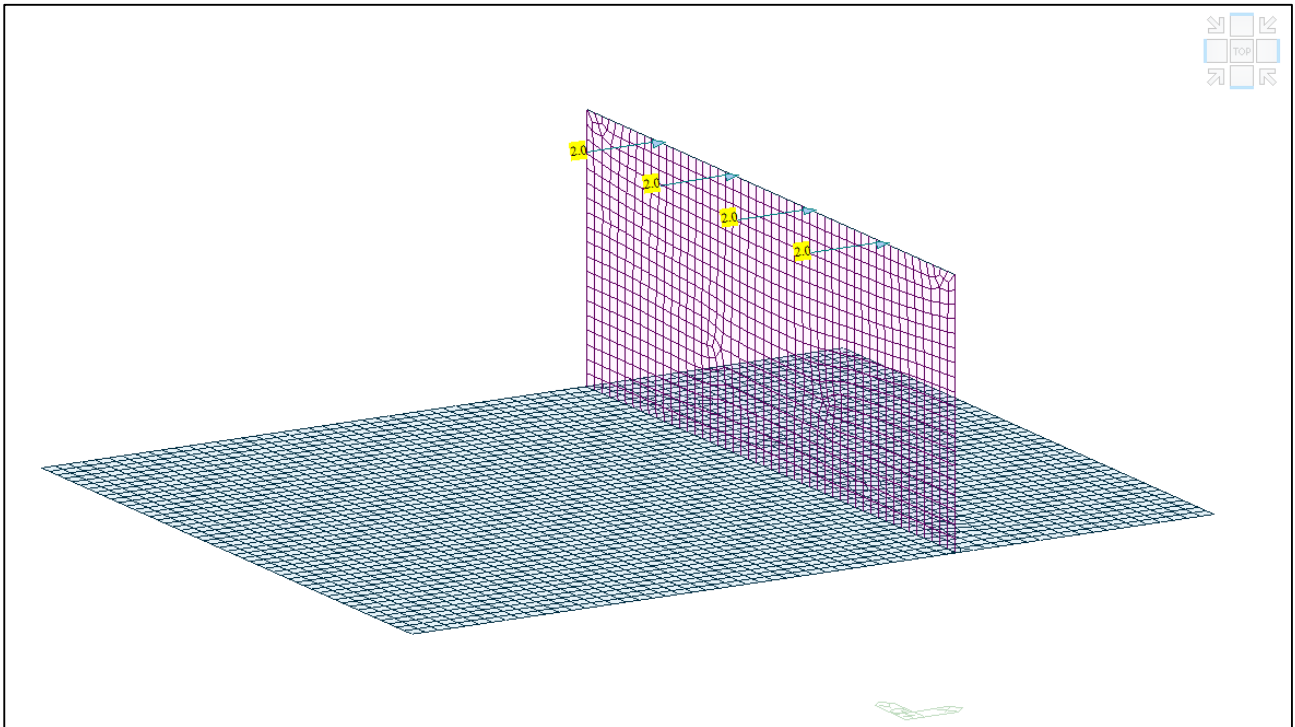


Modello FEM – Condizione di carico DistrD2

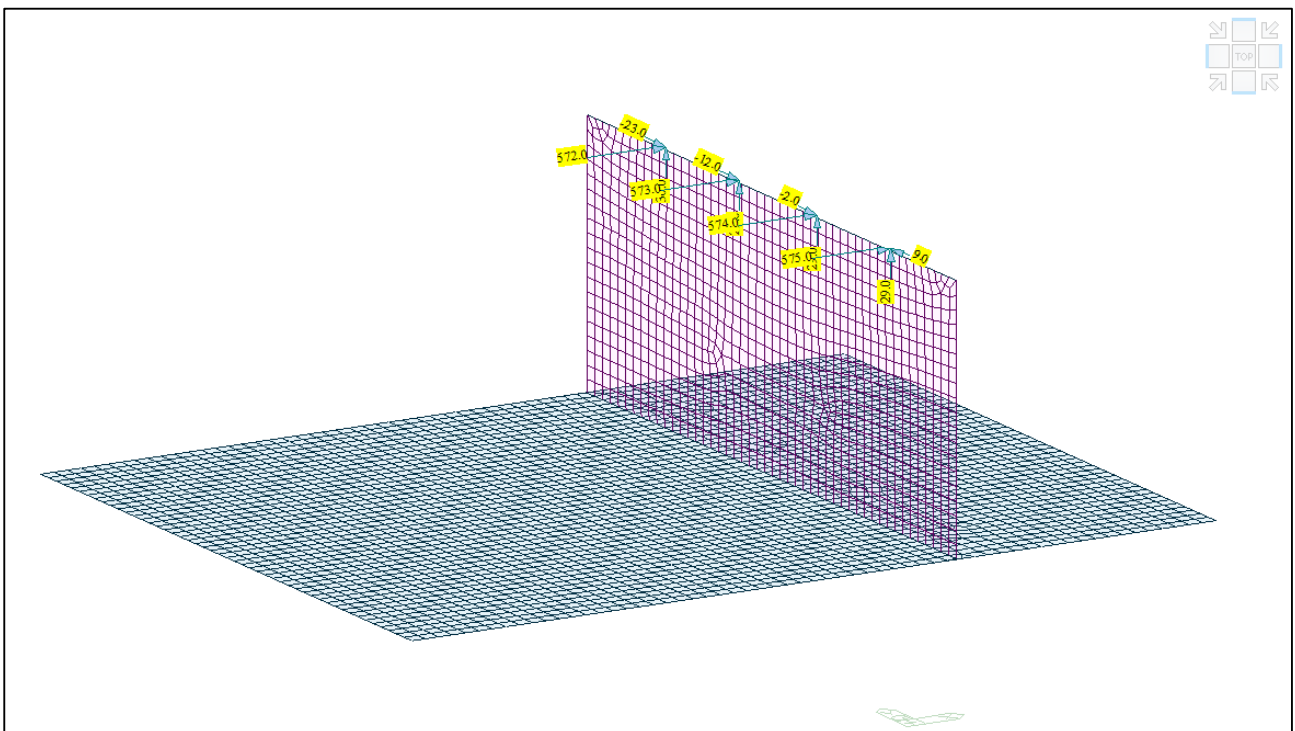


Modello FEM – Condizione di carico Frenamento

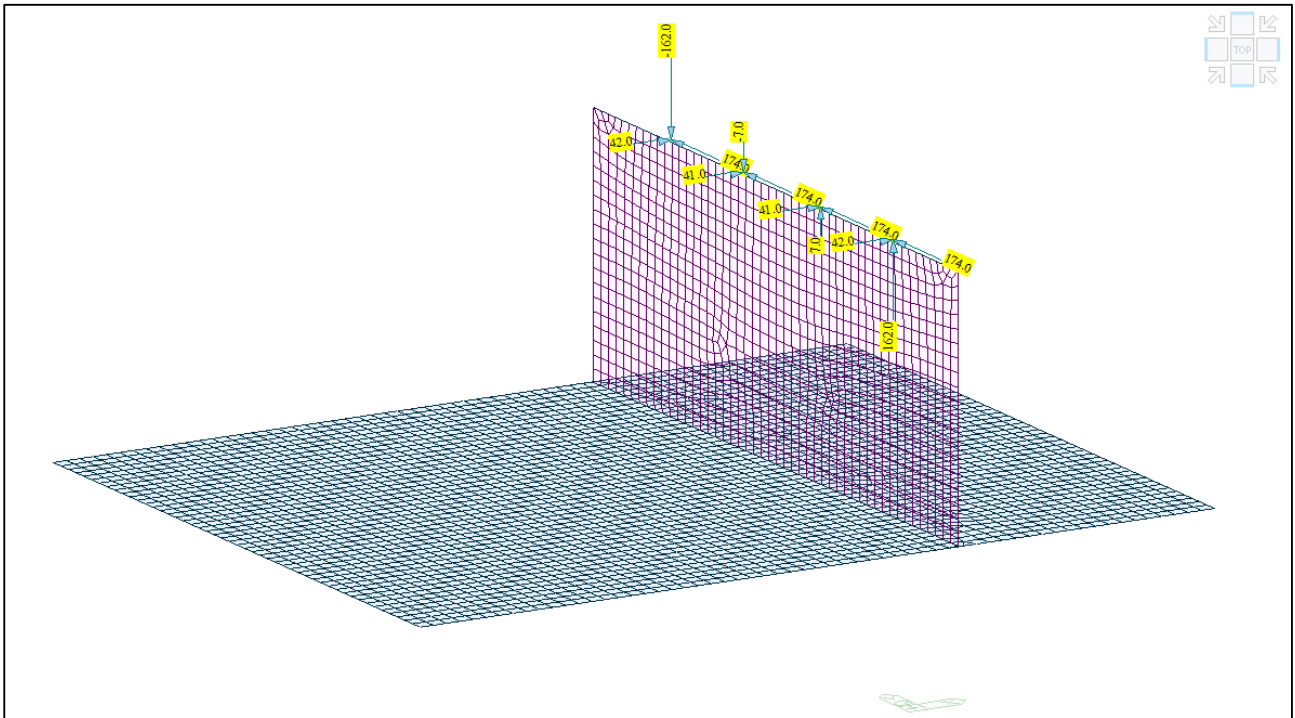




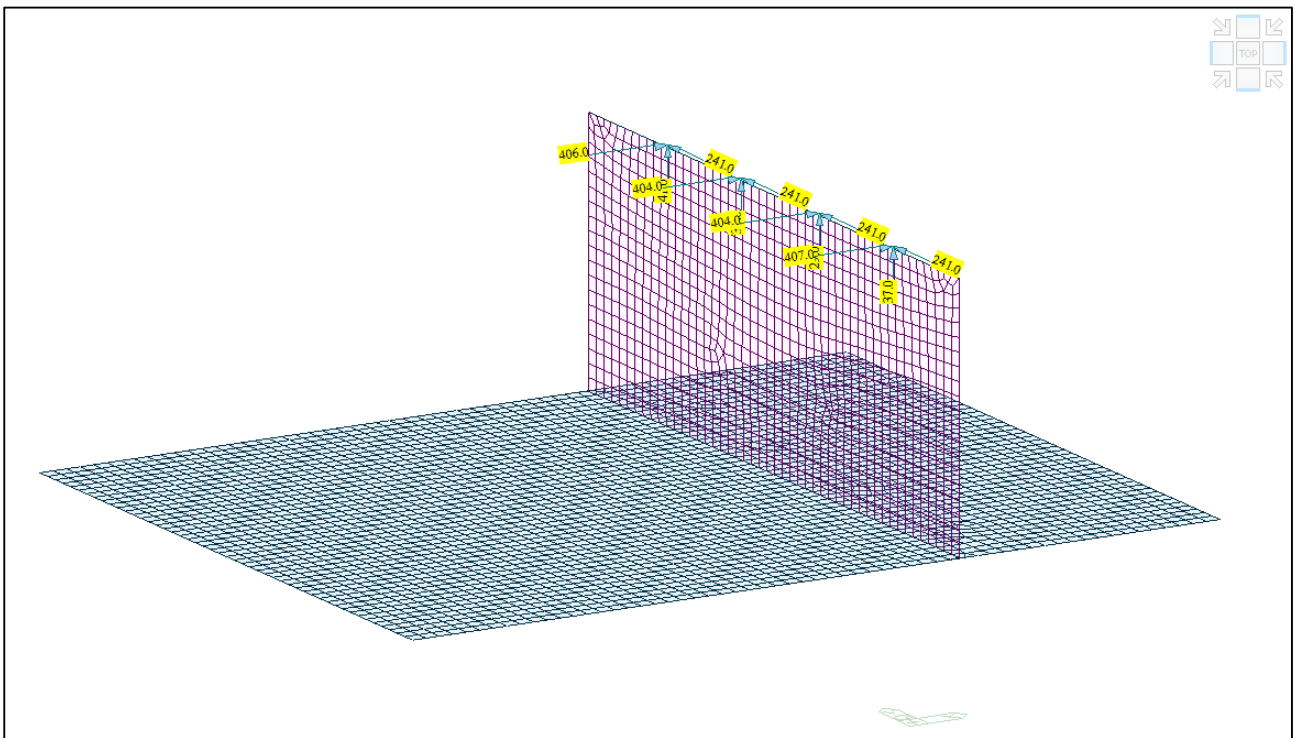
Modello FEM – Condizione di carico Centrifuga



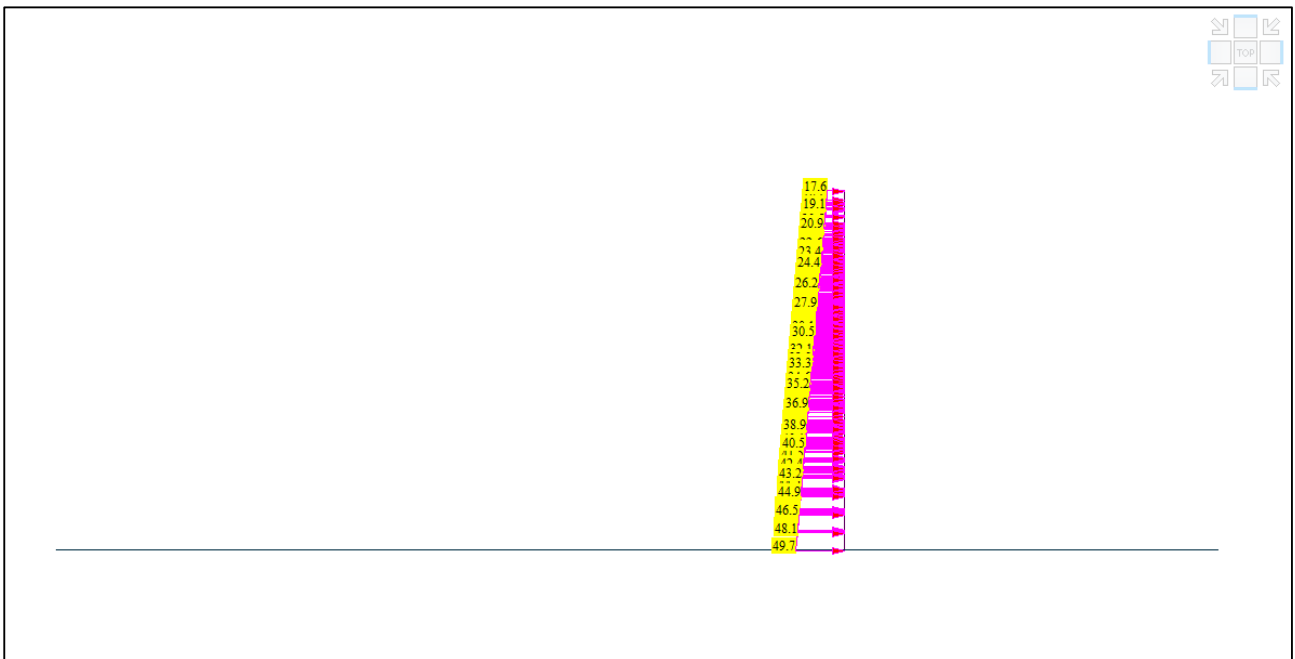
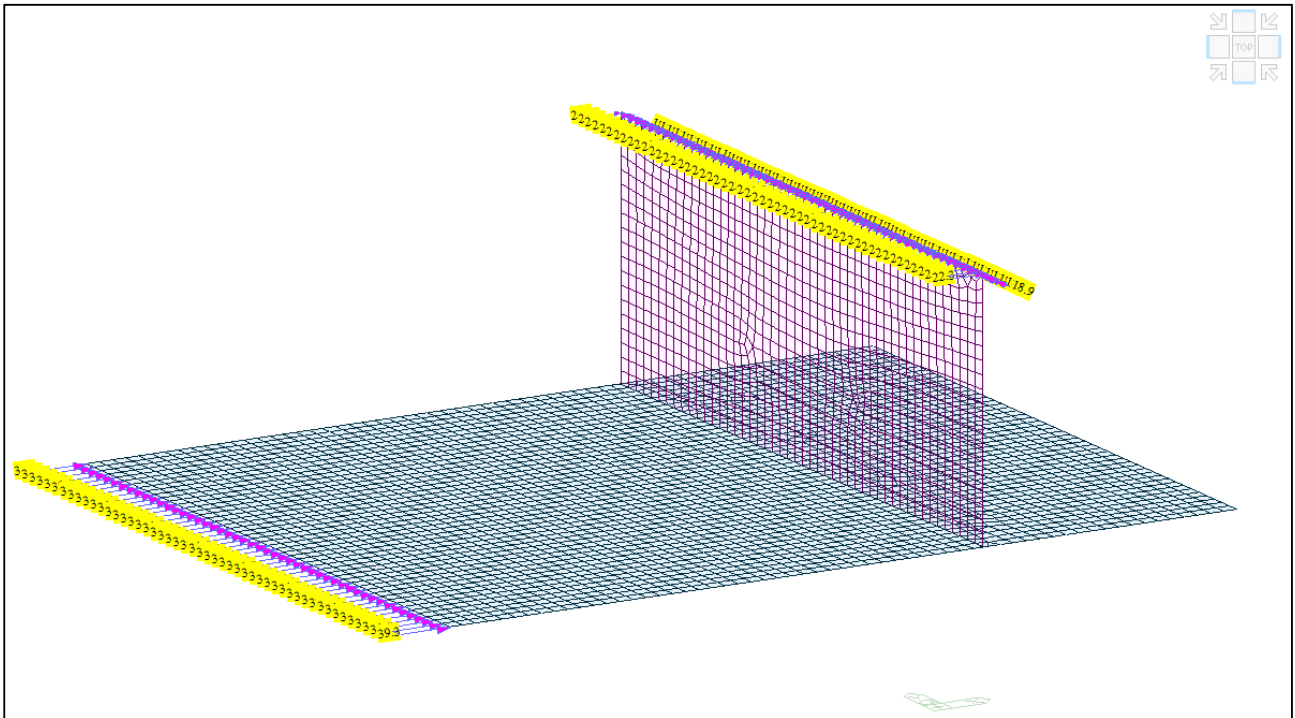
Modello FEM – Condizione di carico Termico



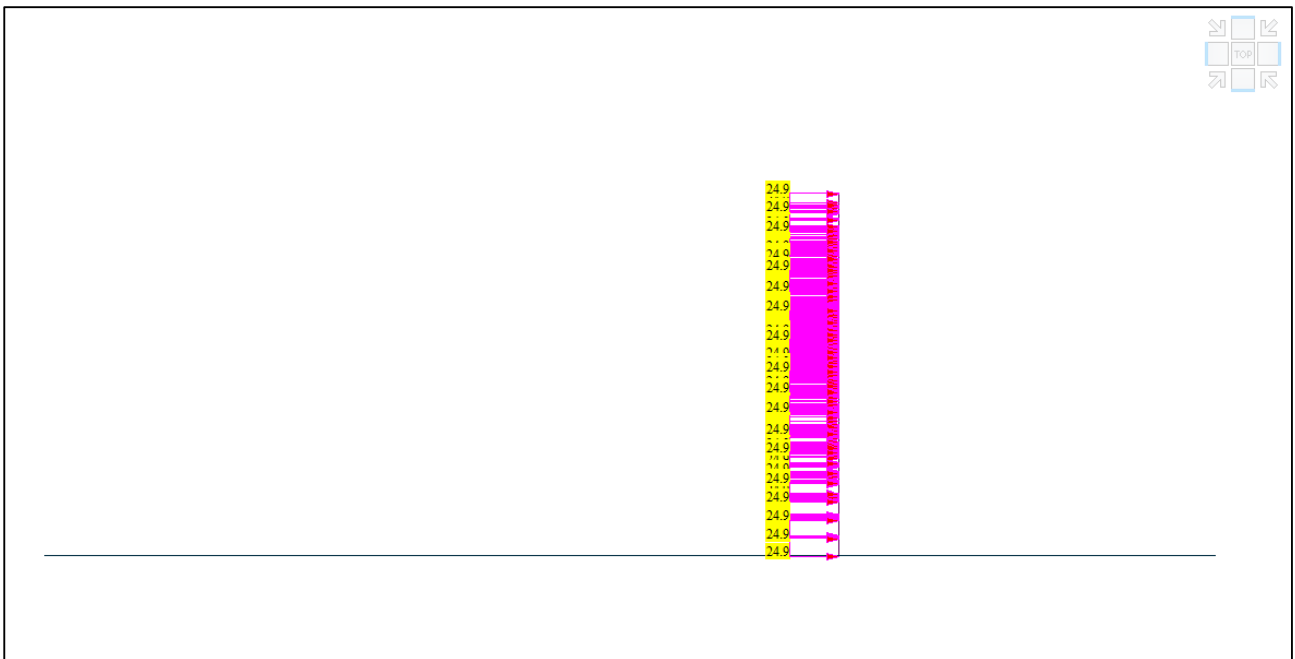
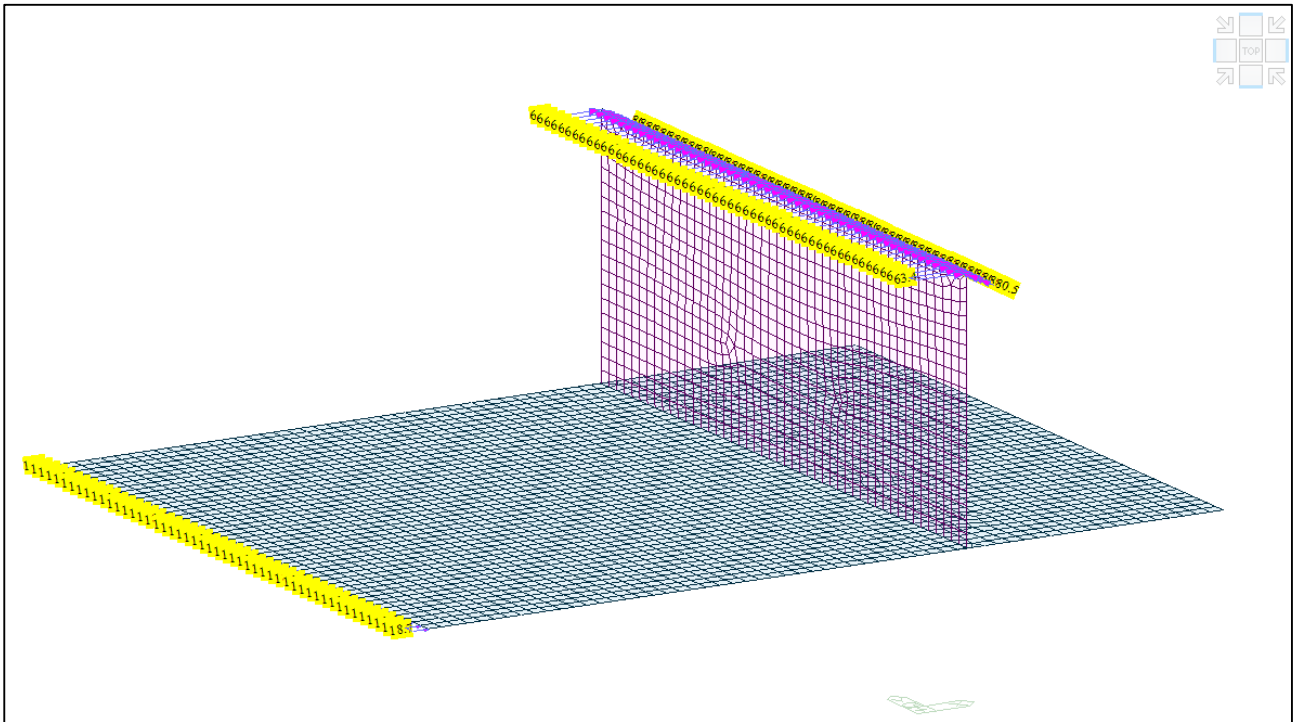
Modello FEM – Condizione di carico Vento



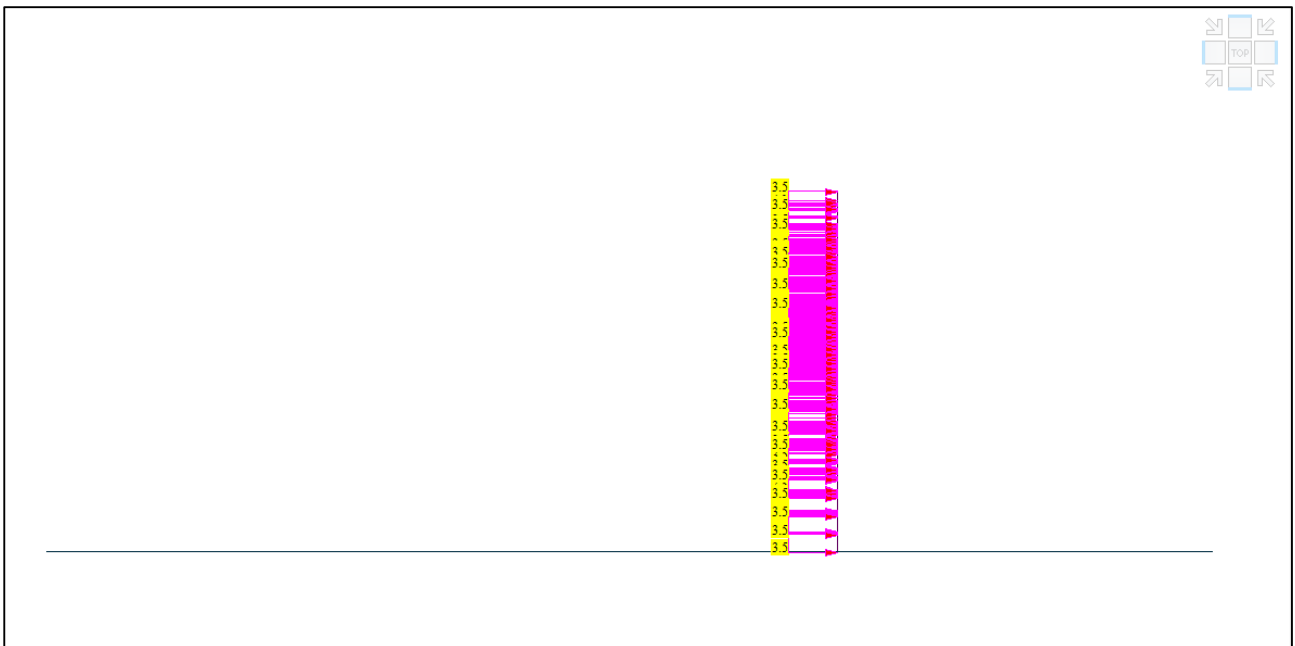
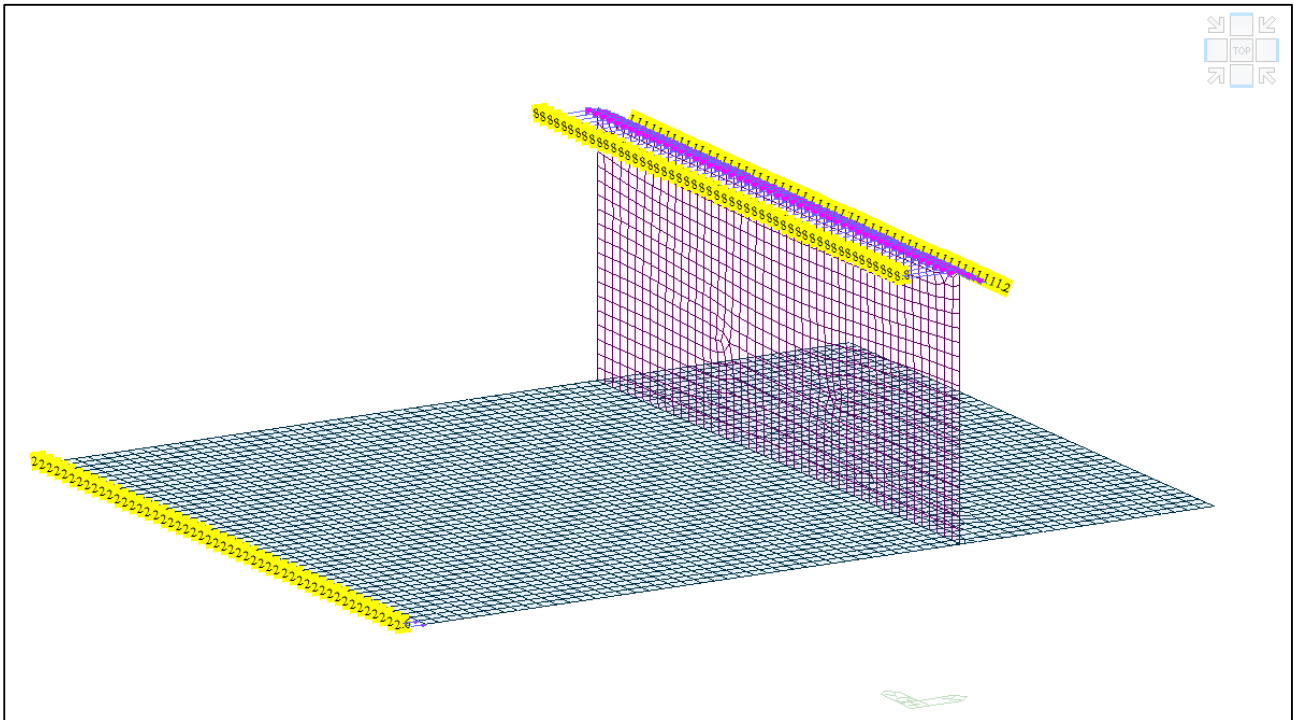
Modello FEM – Condizione di carico Sisma impalcato



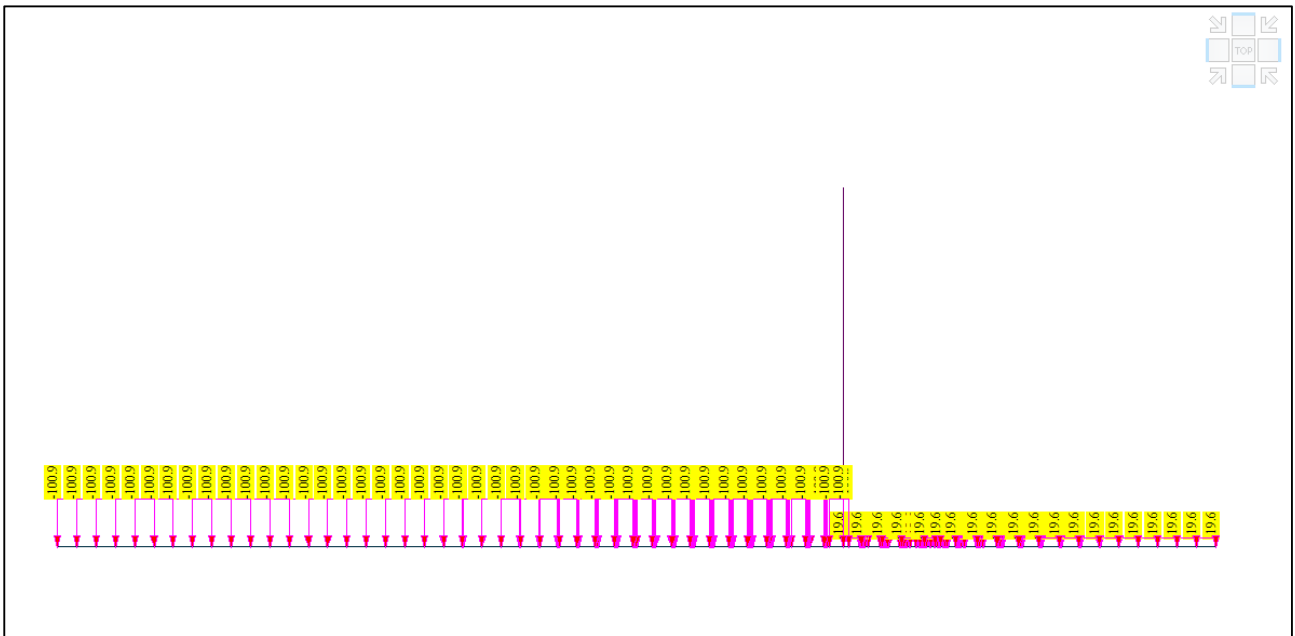
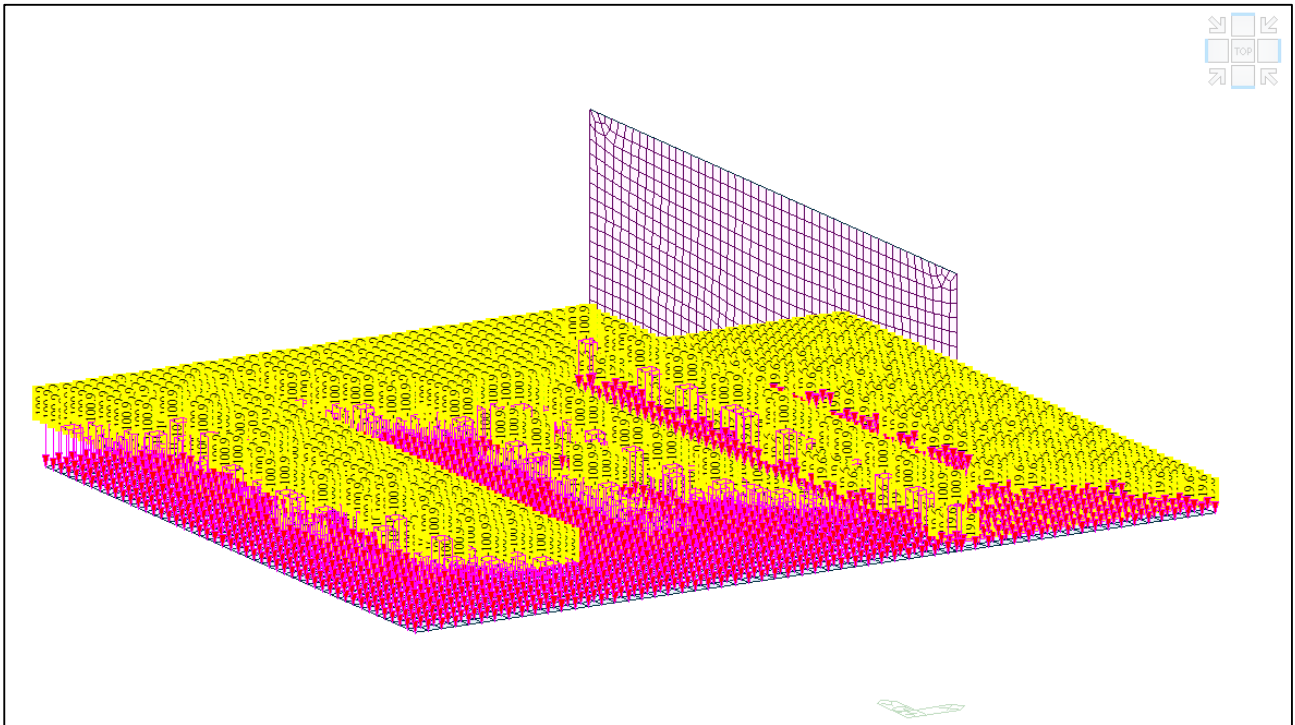
Modello FEM – Condizione di carico Spinta delle terre



Modello FEM – Condizione di carico Spinta Wood



Modello FEM – Condizione di carico Spinta Sovraccarico



Modello FEM – Condizione di carico Ricoprimento



8.1.4COMBINAZIONI 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

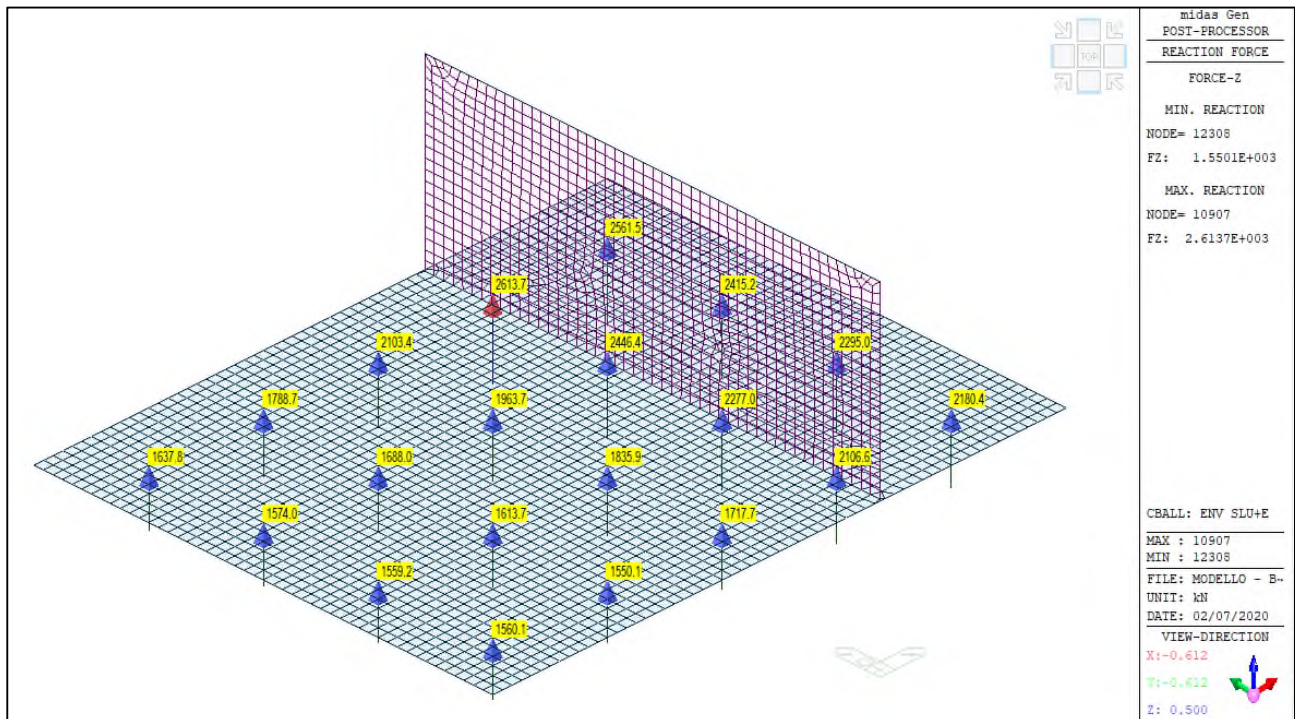
Table with columns: No, Nome, Active, Type, Peso proprio spalla(ST), Peso proprio impalcato(ST), Permanente(ST), Ritiro(ST), DistrD1(ST), DistrD2(ST), DistrB1(ST), DistrD2(ST), Frenamento(ST), Centrifuga(ST), Termico(ST), Vento(ST), Sisma(ST), Spinta della terra(ST), Spinta di Wood(ST), Spinta sovraccarico(ST), Ricoprimento(ST)



## 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 pali



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

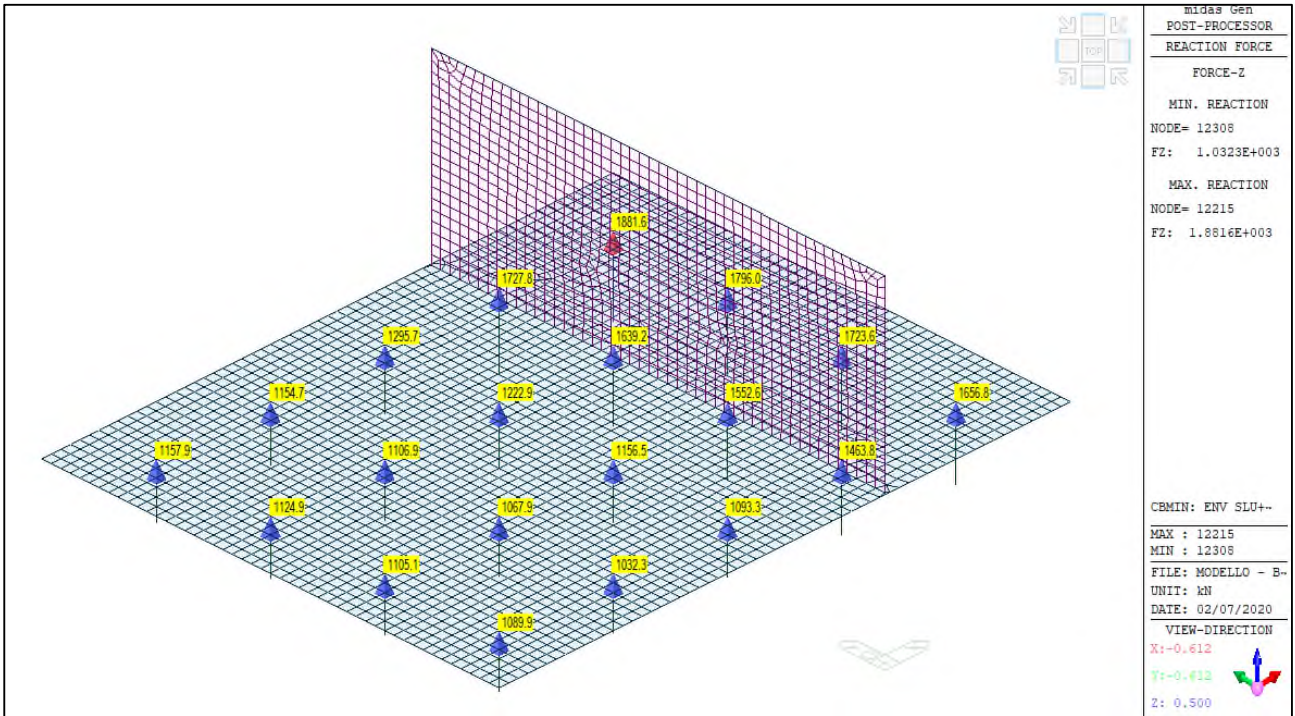




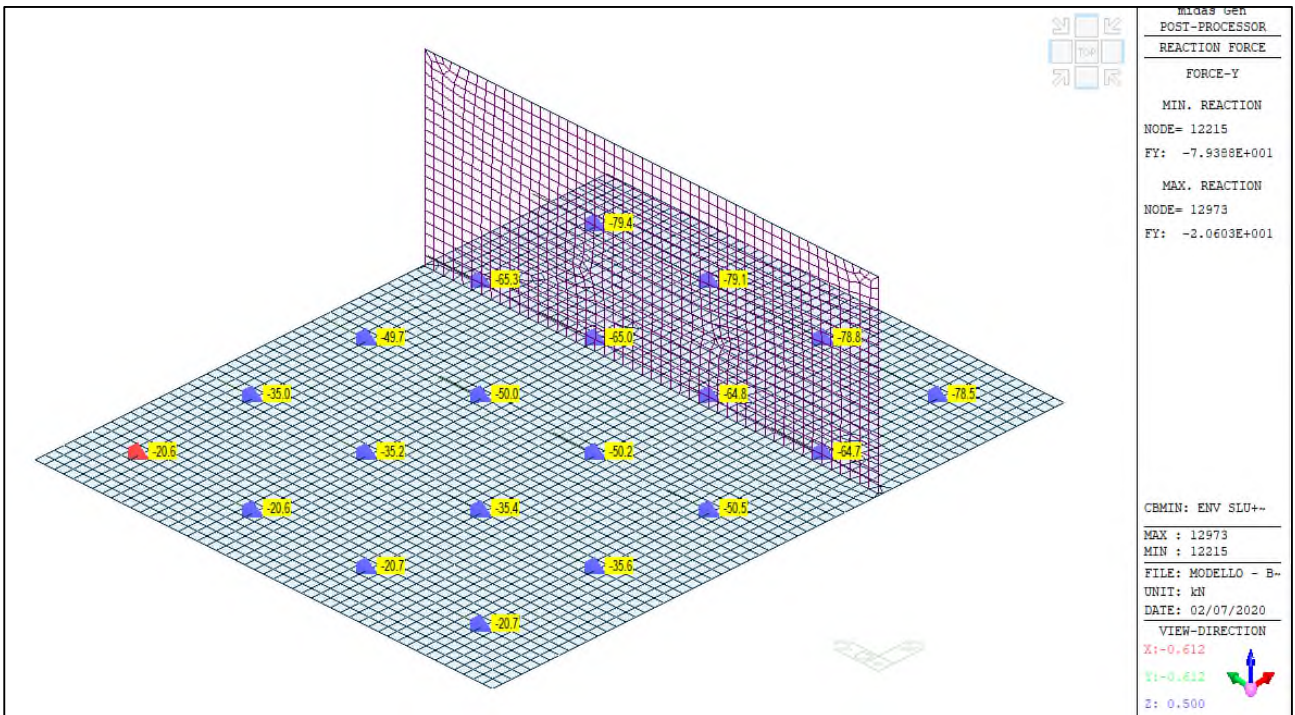
Comune di Vado Ligure

Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo

Ponte “Aurelia-bis” – Relazione di calcolo sottostrutture e fondazioni



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



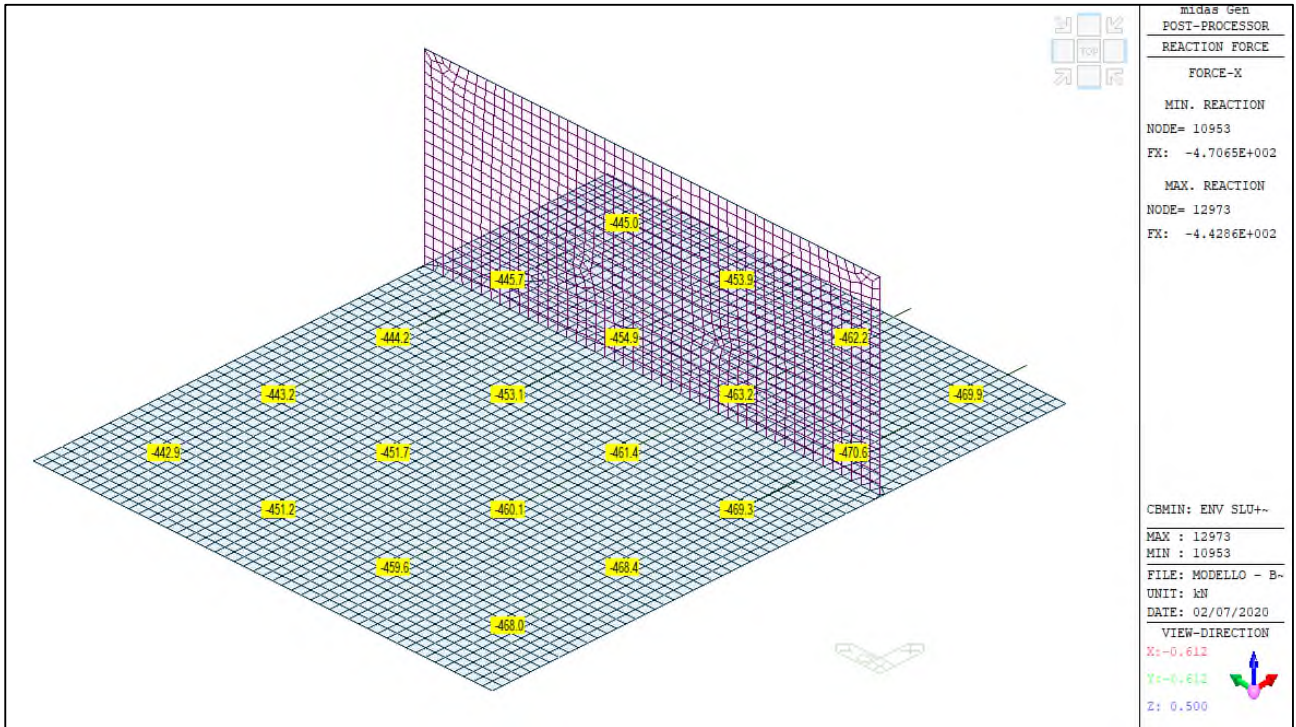
ENV-SLU+E – Reazioni vincolari orizzontali (Fy) massime



Comune di Vado Ligure

Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo

Ponte “Aurelia-bis” – Relazione di calcolo sottostrutture e fondazioni

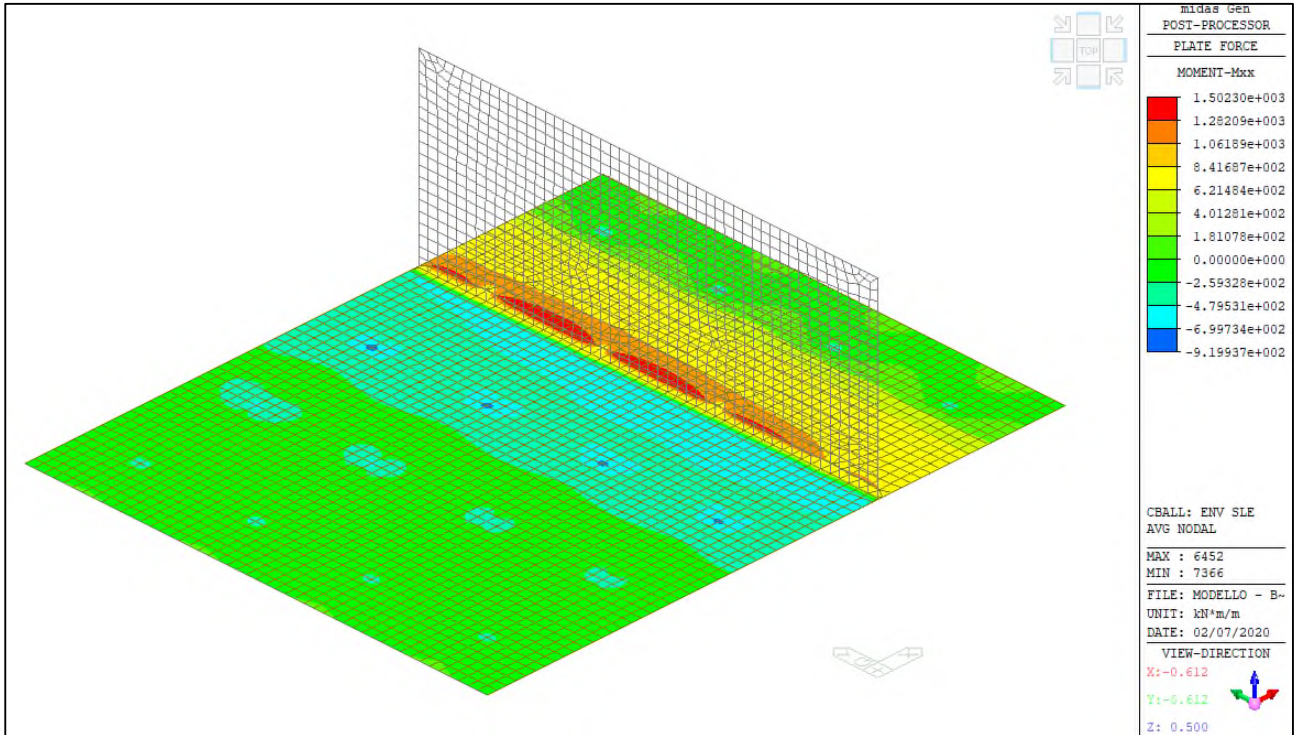


ENV-SLU+E – Reazioni vincolari orizzontali (Fx) massime



### 8.2.2DIAGRAMMI AZIONI INTERNE

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



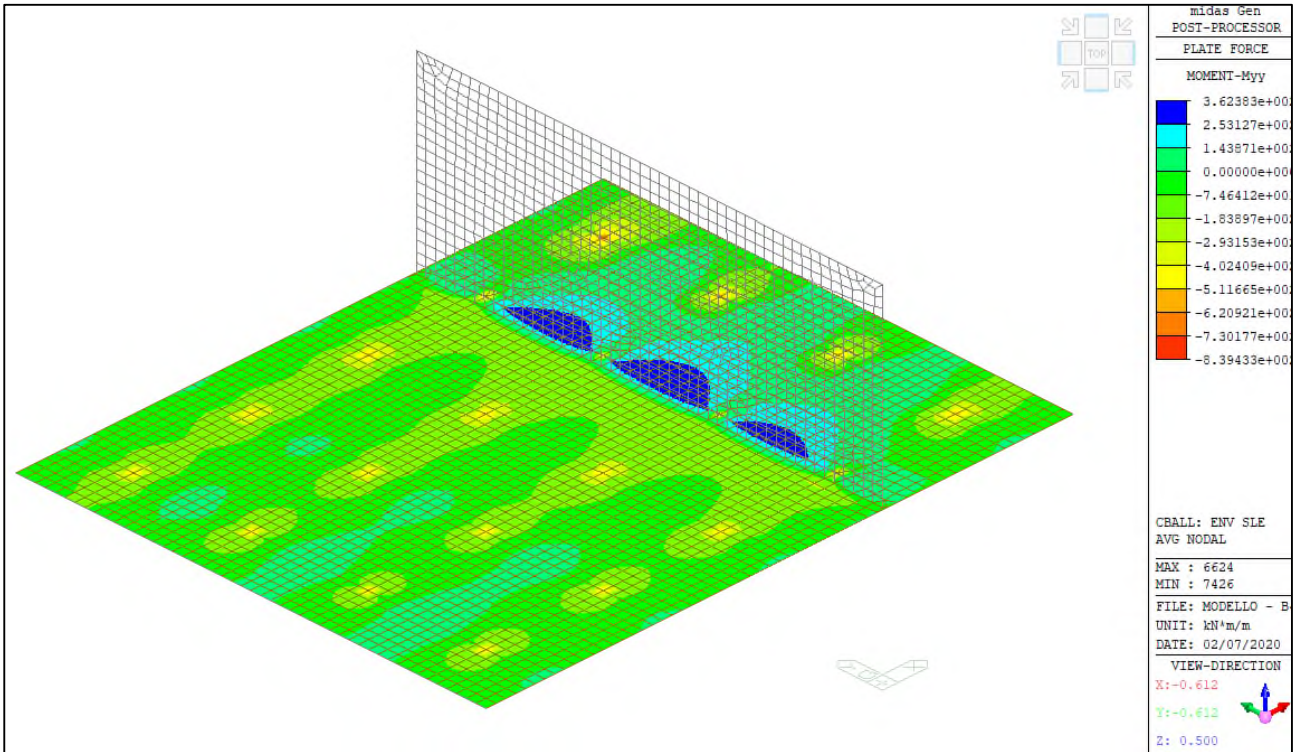
ENV-SLE RARA- Mxx (kNm/m) – Platea



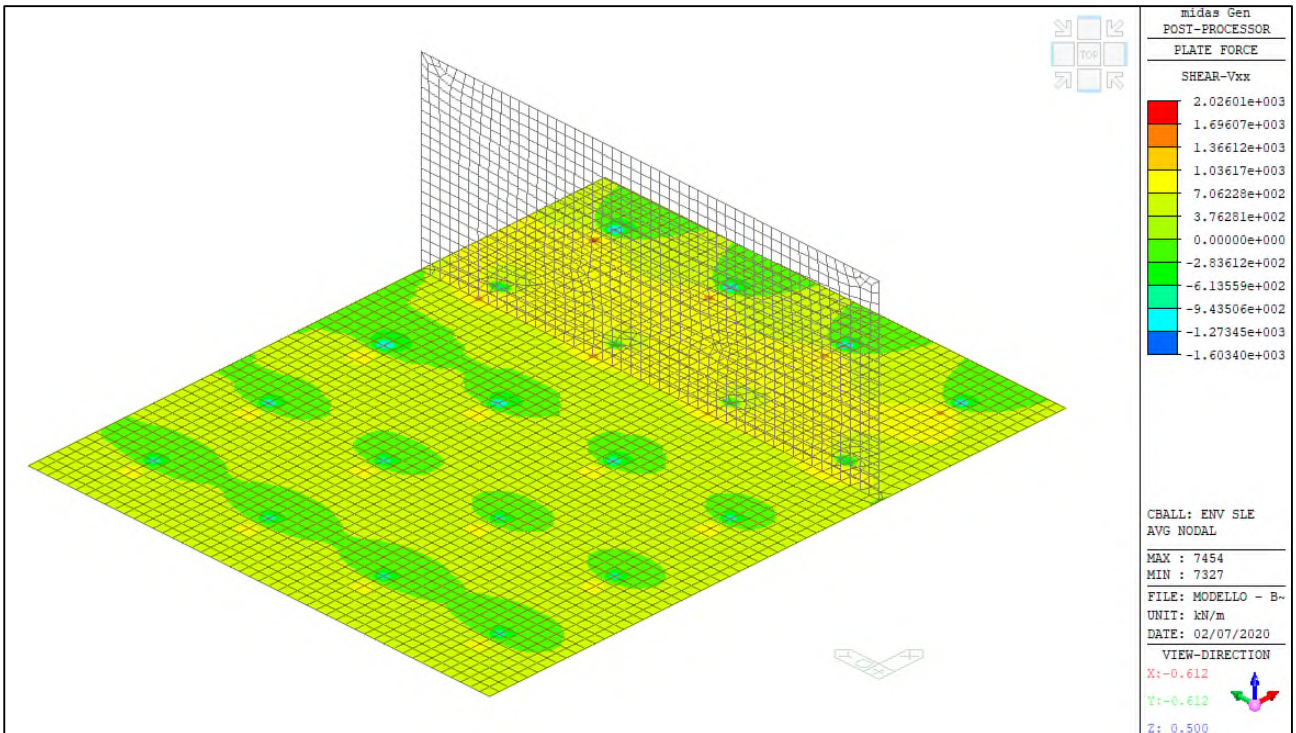
Comune di Vado Ligure

Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo

Ponte “Aurelia-bis” – Relazione di calcolo sottostrutture e fondazioni



ENV-SLE RARA- Myy (kNm/m) – Platea



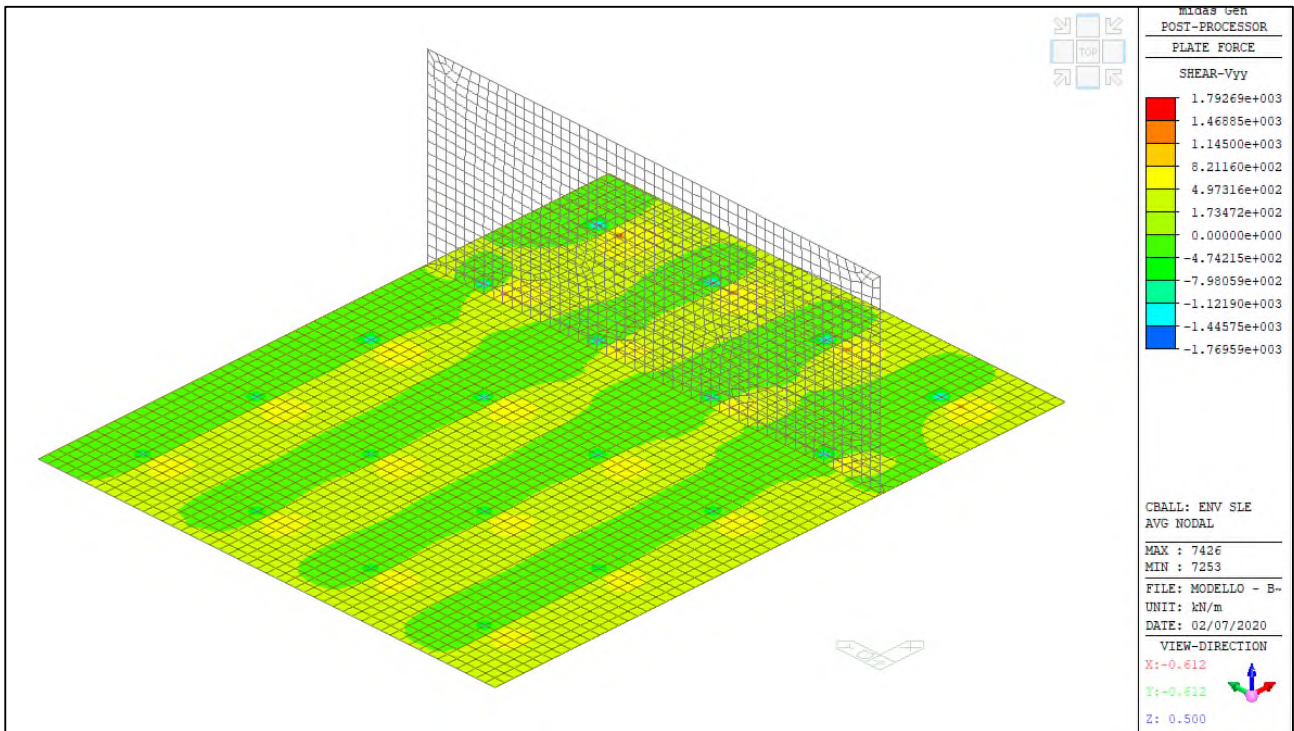
ENV-SLE RARA- Vxx (kN/m) – Platea



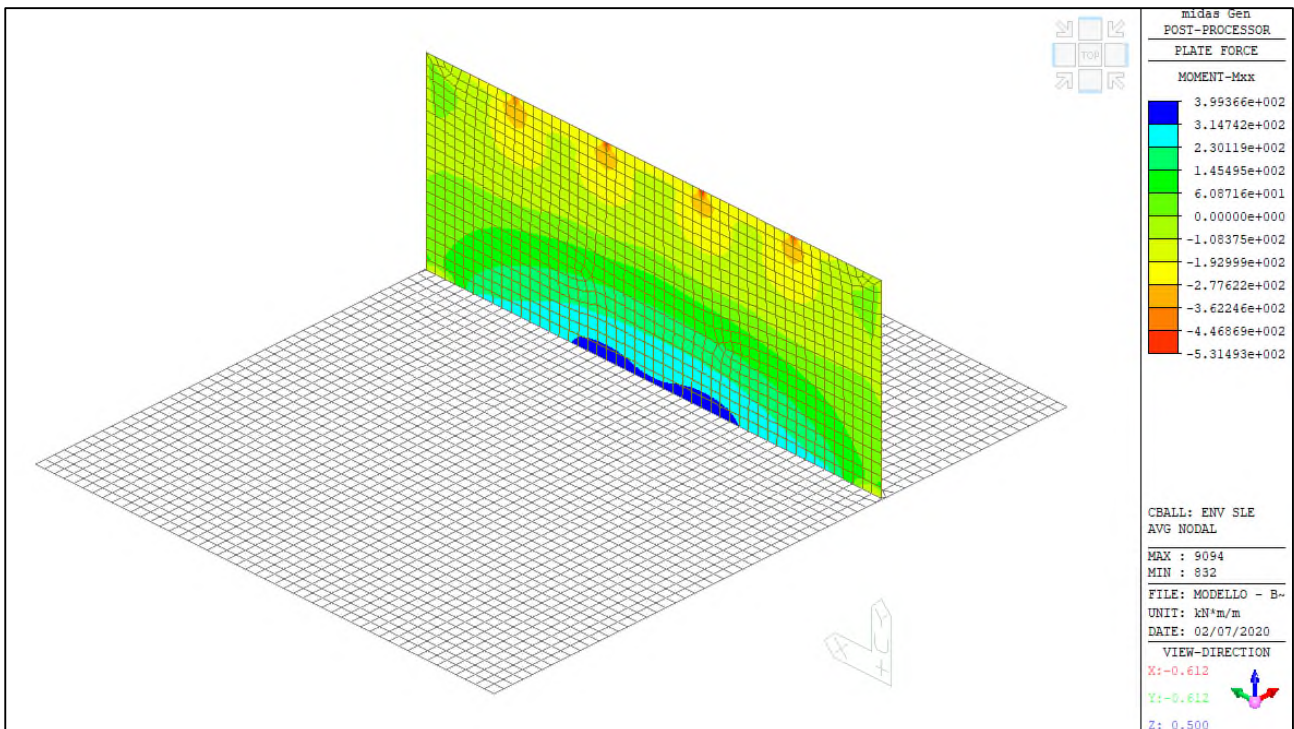
Comune di Vado Ligure

Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo

Ponte “Aurelia-bis” – Relazione di calcolo sottostrutture e fondazioni



ENV-SLE RARA- Vyy (kN/m) – Platea



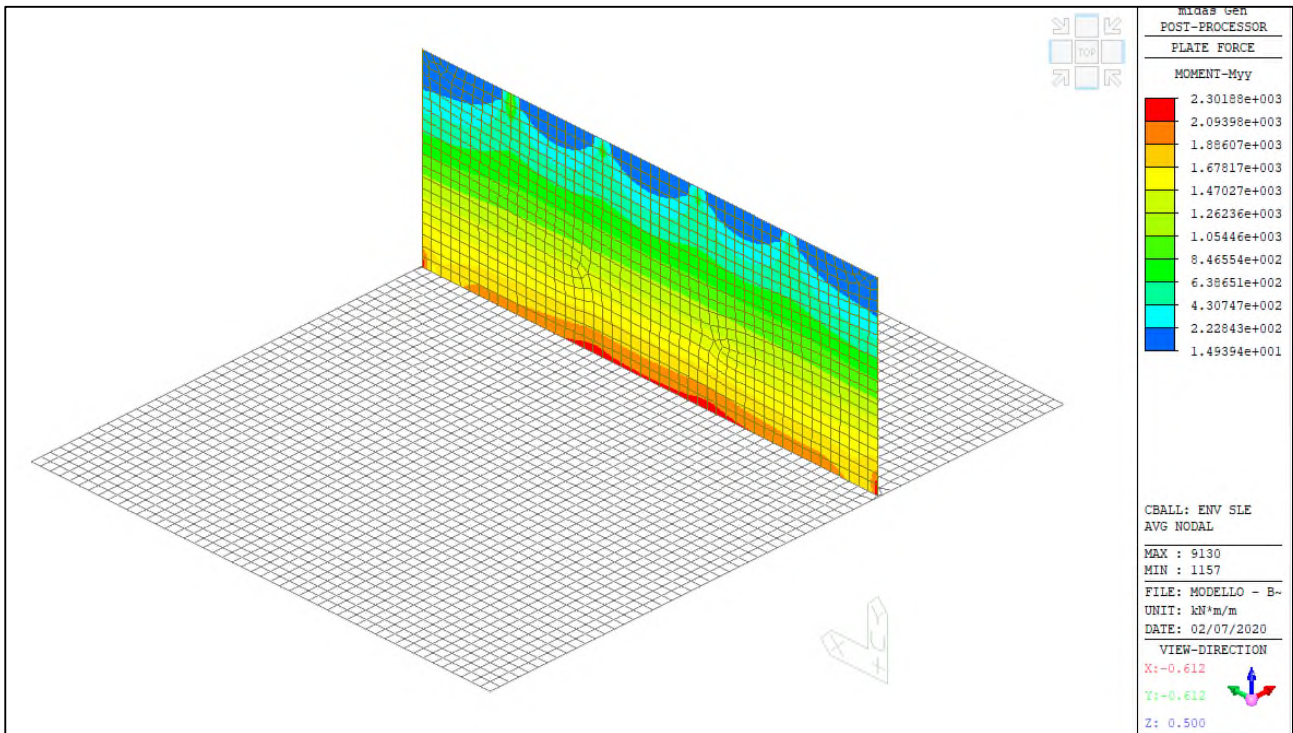
ENV-SLE RARA- Mxx (kNm/m) – Spalla



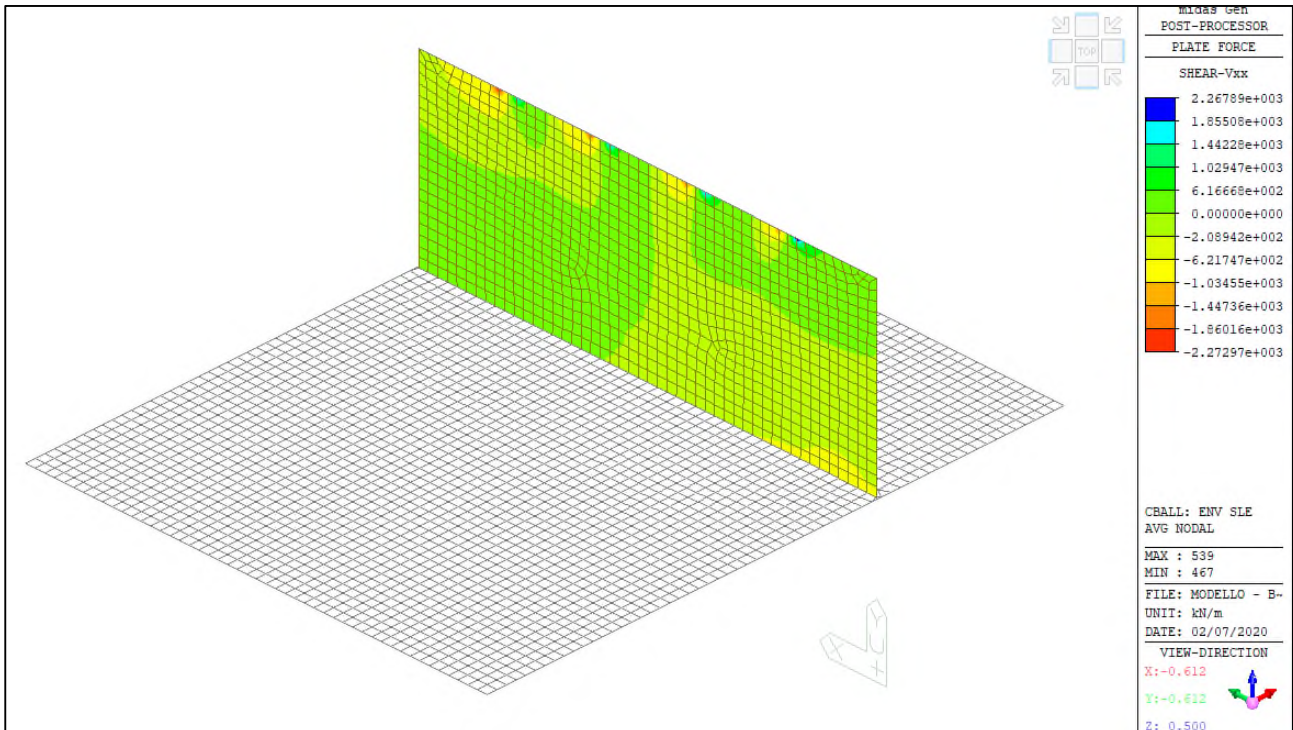
Comune di Vado Ligure

Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo

Ponte “Aurelia-bis” – Relazione di calcolo sottostrutture e fondazioni



ENV-SLE RARA- Myy (kNm/m) – Spalla



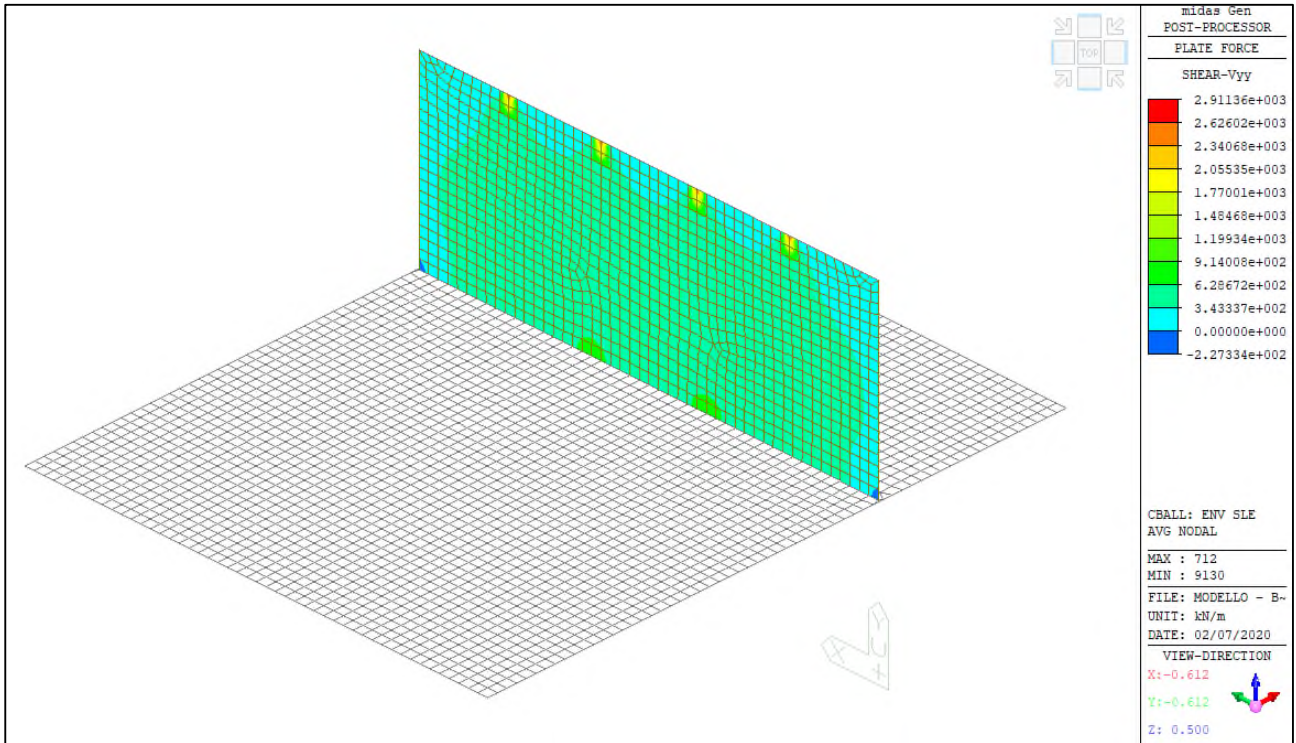
ENV-SLE RARA- Vxx (kN/m) – Spalla



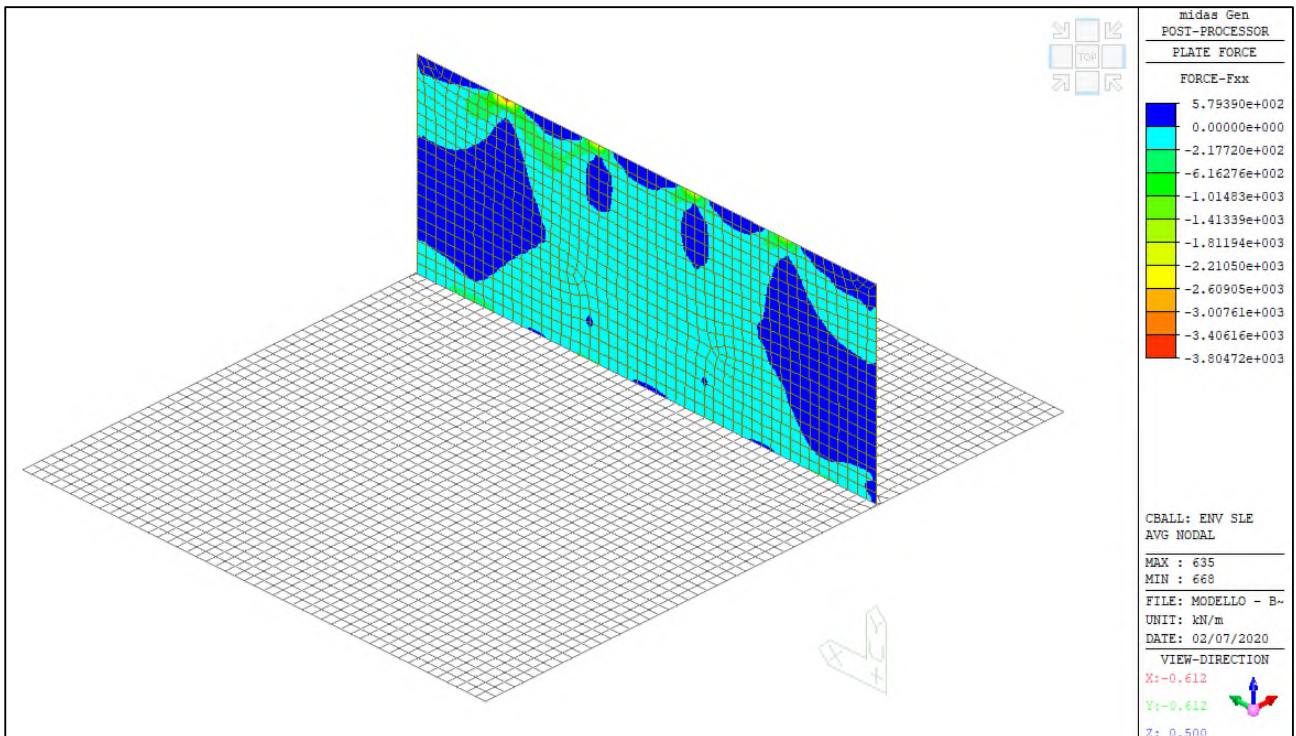
Comune di Vado Ligure

Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo

Ponte “Aurelia-bis” – Relazione di calcolo sottostrutture e fondazioni



ENV-SLE RARA- Vyy (kN/m) – Spalla



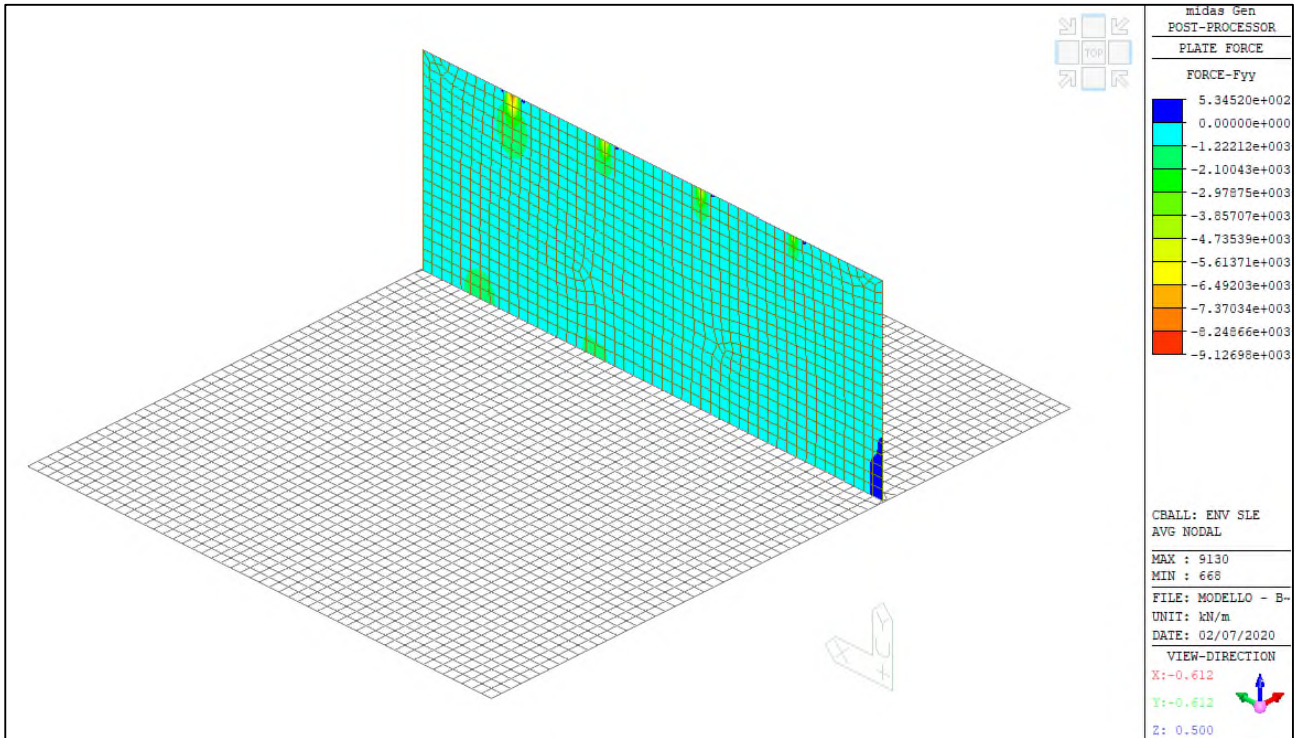
ENV-SLE RARA- Fxx (kN/m) – Spalla



Comune di Vado Ligure

Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo

Ponte “Aurelia-bis” – Relazione di calcolo sottostrutture e fondazioni



ENV-SLE RARA– Fyy (kN/m) – Spalla



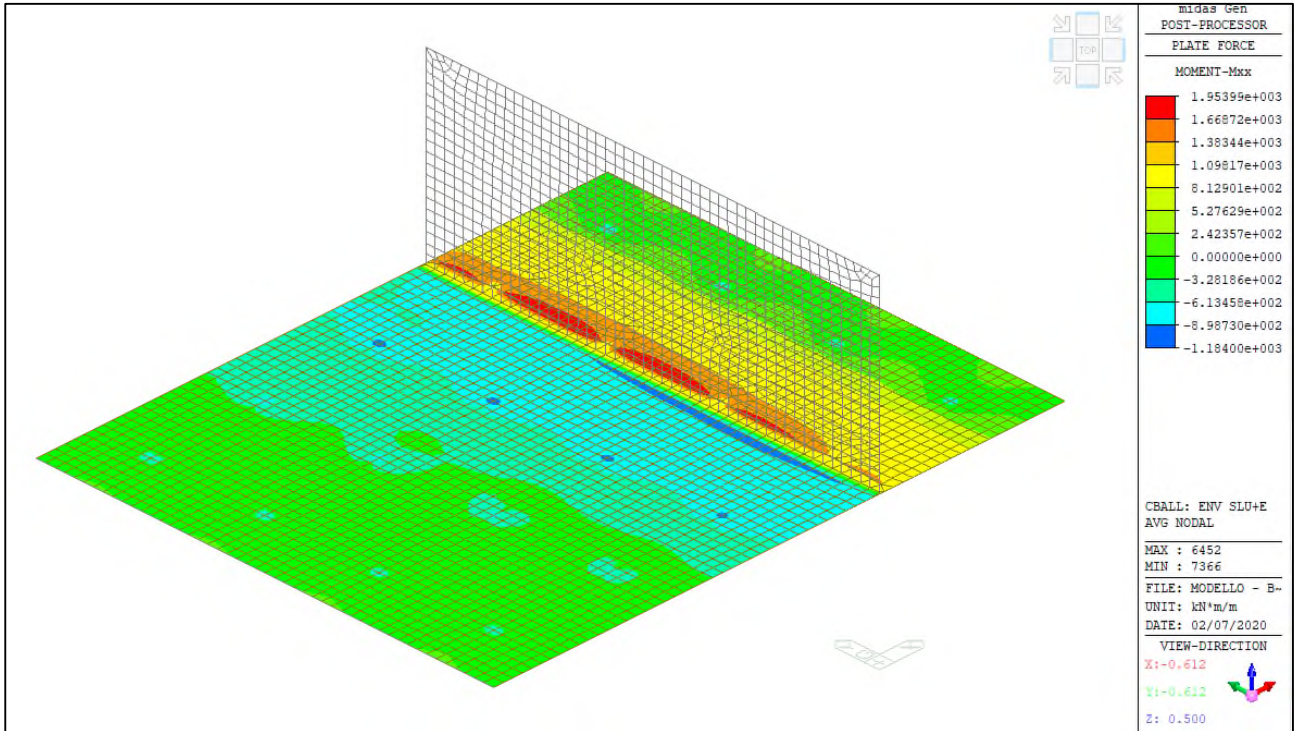


Comune di Vado Ligure

Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo

Ponte “Aurelia-bis” – Relazione di calcolo sottostrutture e fondazioni

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



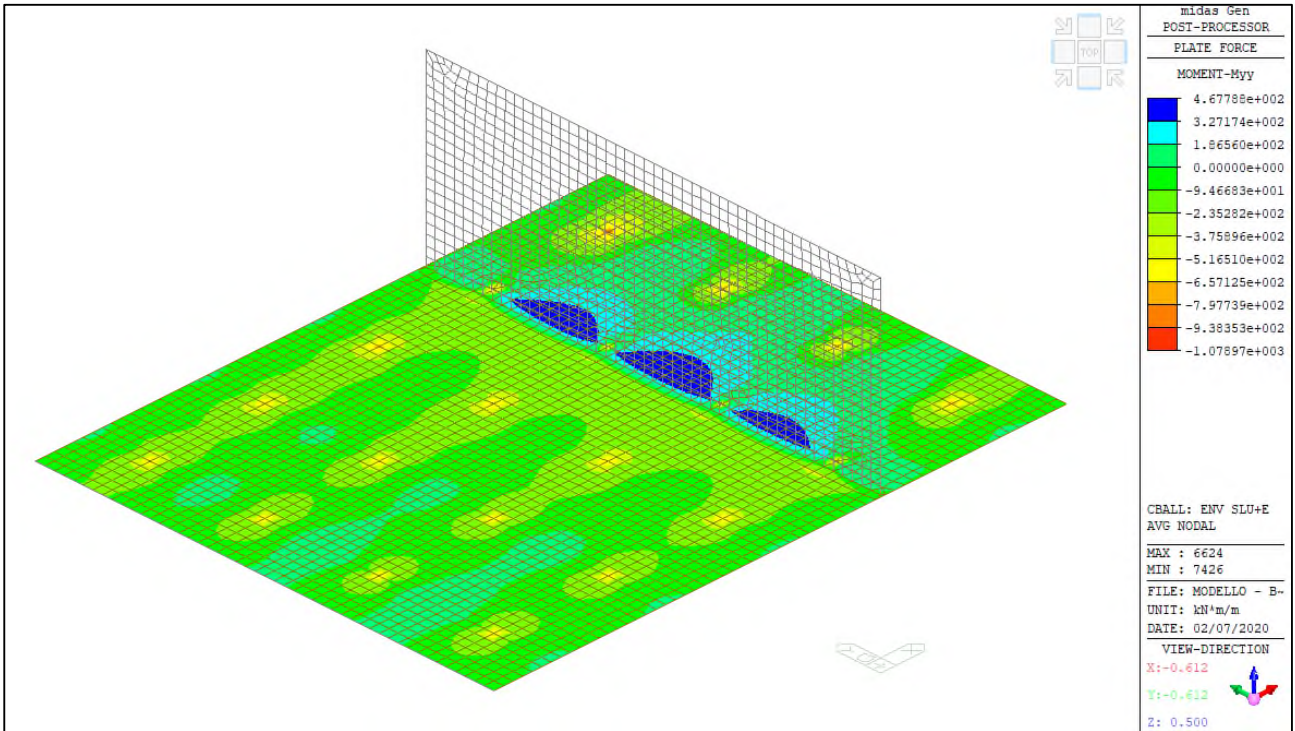
ENV-SLU+E – Mxx (kNm/m) – Platea



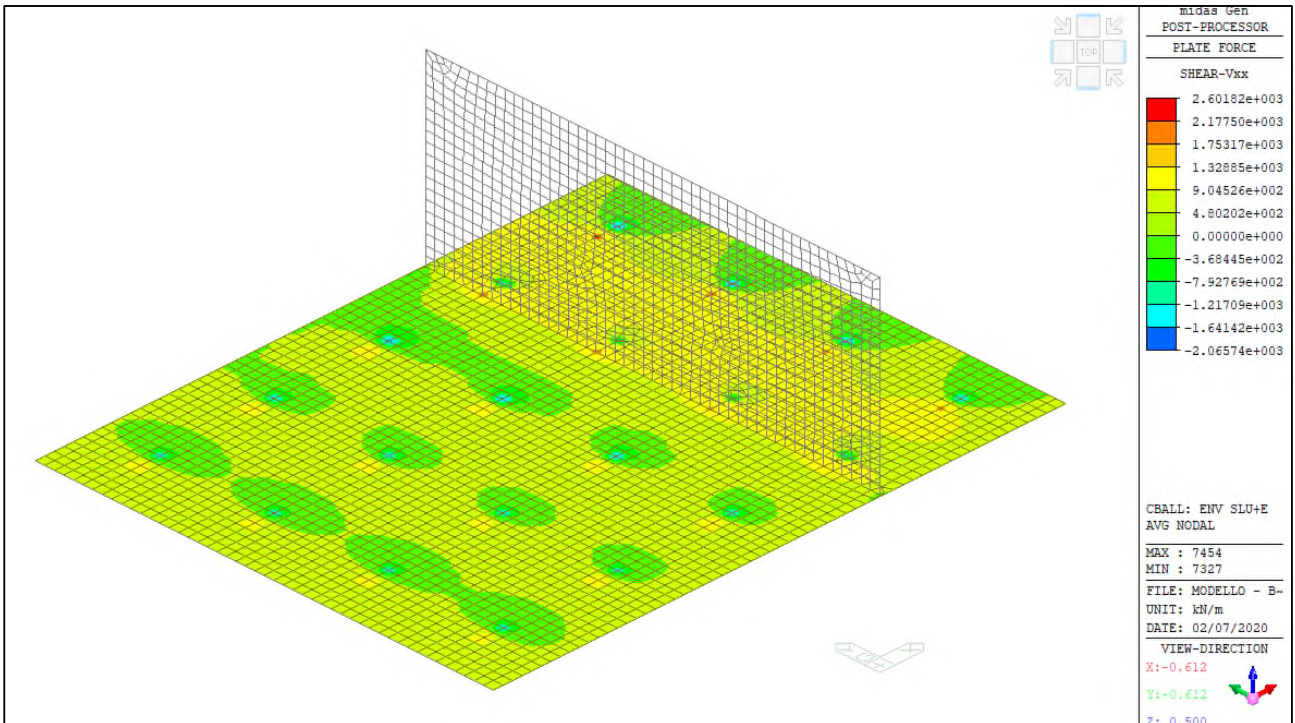
Comune di Vado Ligure

Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo

Ponte “Aurelia-bis” – Relazione di calcolo sottostrutture e fondazioni



ENV-SLU+E – Myy (kNm/m) – Platea



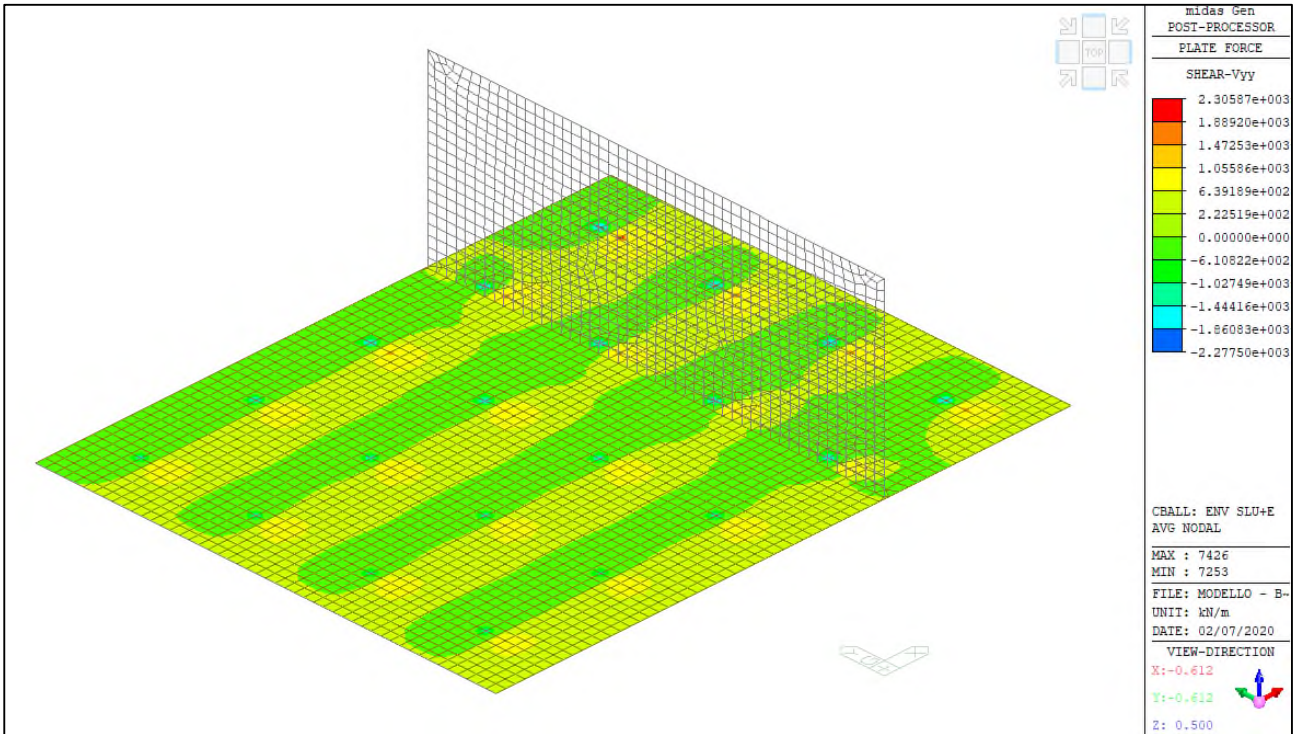
ENV-SLU+E – Vxx (kN/m) – Platea



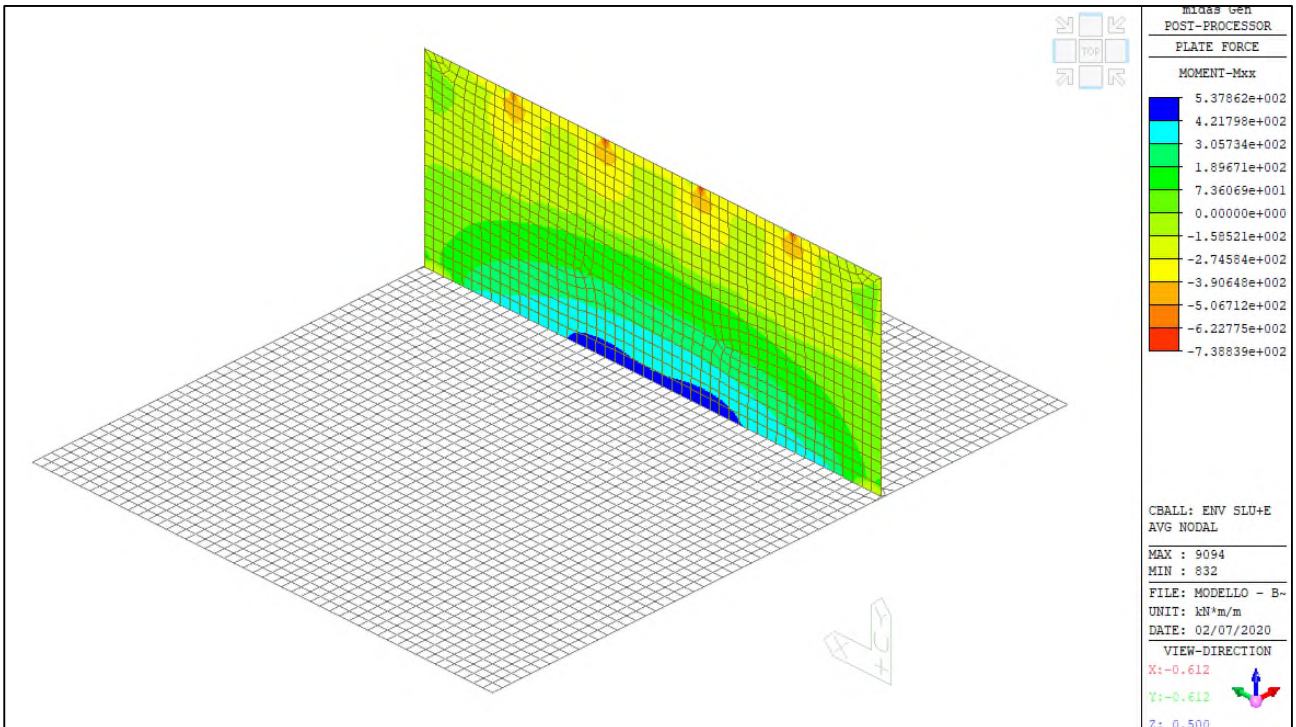
Comune di Vado Ligure

Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo

Ponte “Aurelia-bis” – Relazione di calcolo sottostrutture e fondazioni



ENV-SLU+E – Vyy (kN/m) – Platea



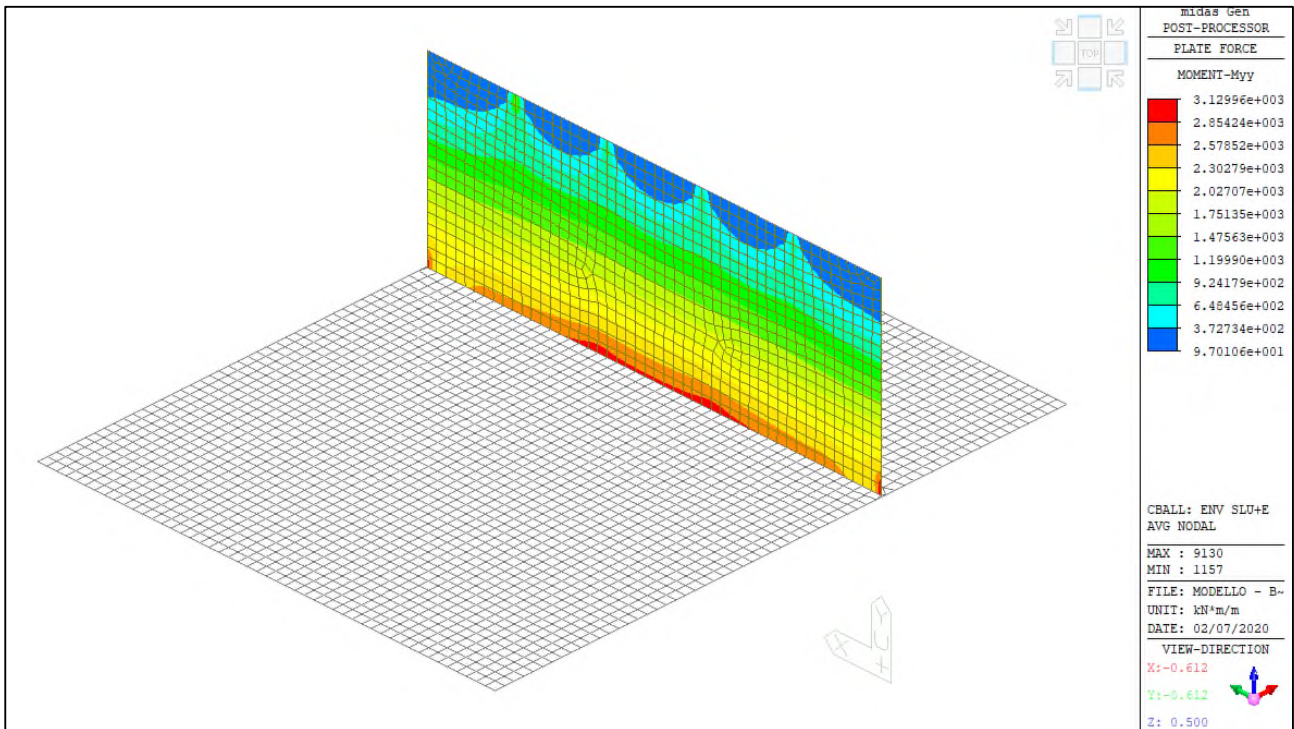
ENV-SLU+E – Mxx (kNm/m) – Spalla



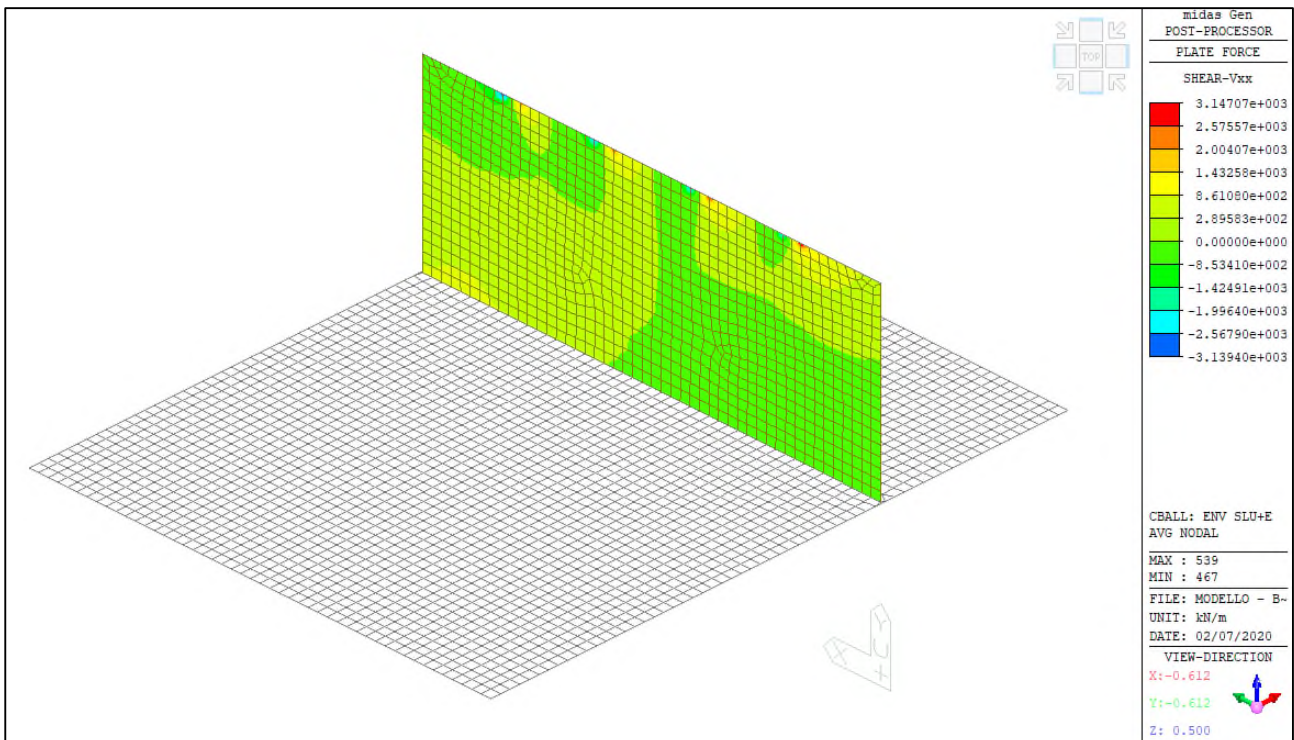
Comune di Vado Ligure

Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo

Ponte “Aurelia-bis” – Relazione di calcolo sottostrutture e fondazioni



ENV-SLU+E – Myy (kNm/m) – Spalla



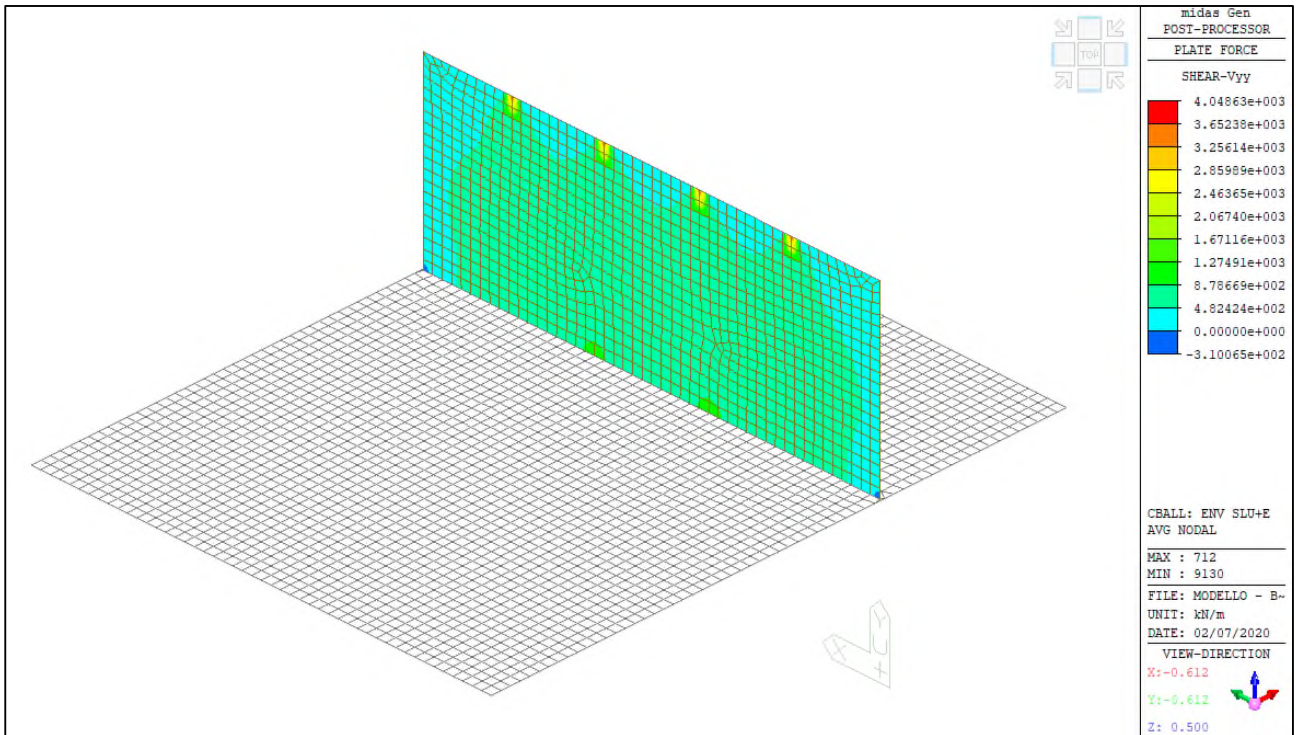
ENV-SLU+E – Vxx (kN/m) – Spalla



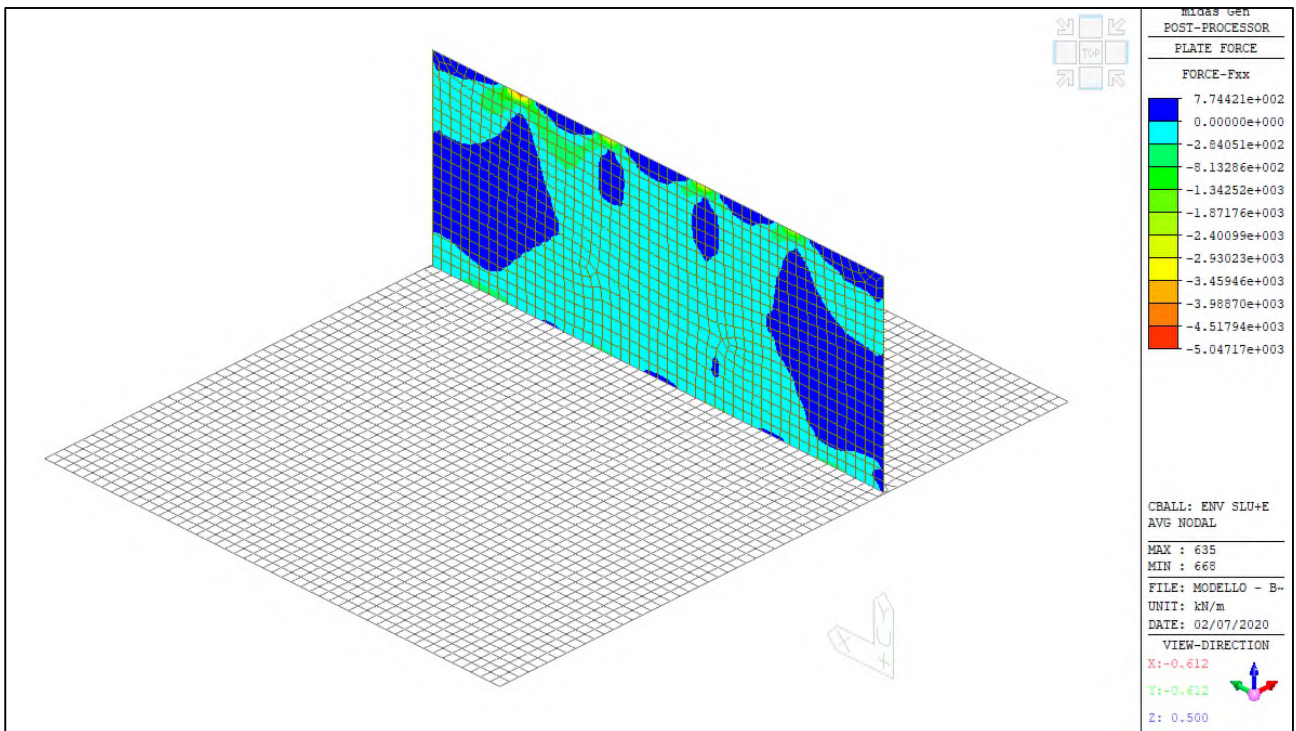
Comune di Vado Ligure

Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo

Ponte “Aurelia-bis” – Relazione di calcolo sottostrutture e fondazioni



ENV-SLU+E – Vyy (kN/m) – Spalla



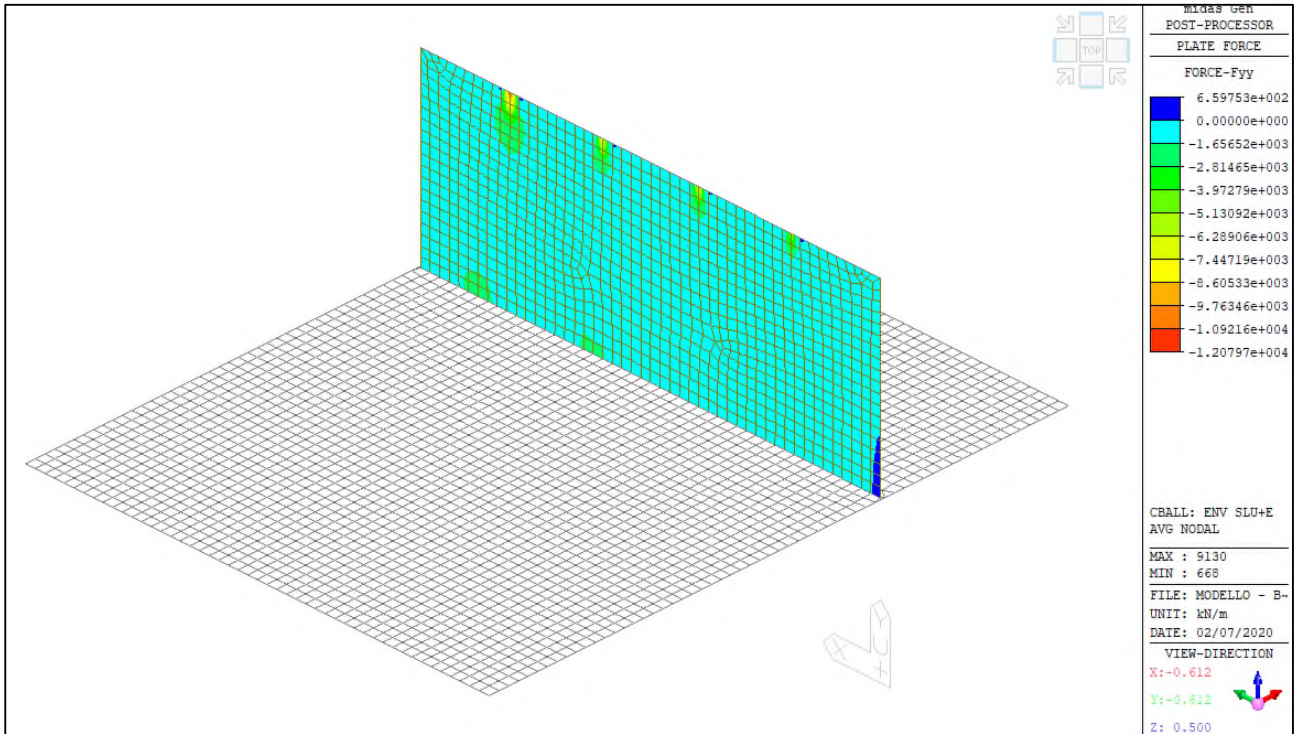
ENV-SLU+E – Fxx (kN/m) – Spalla



Comune di Vado Ligure

Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo

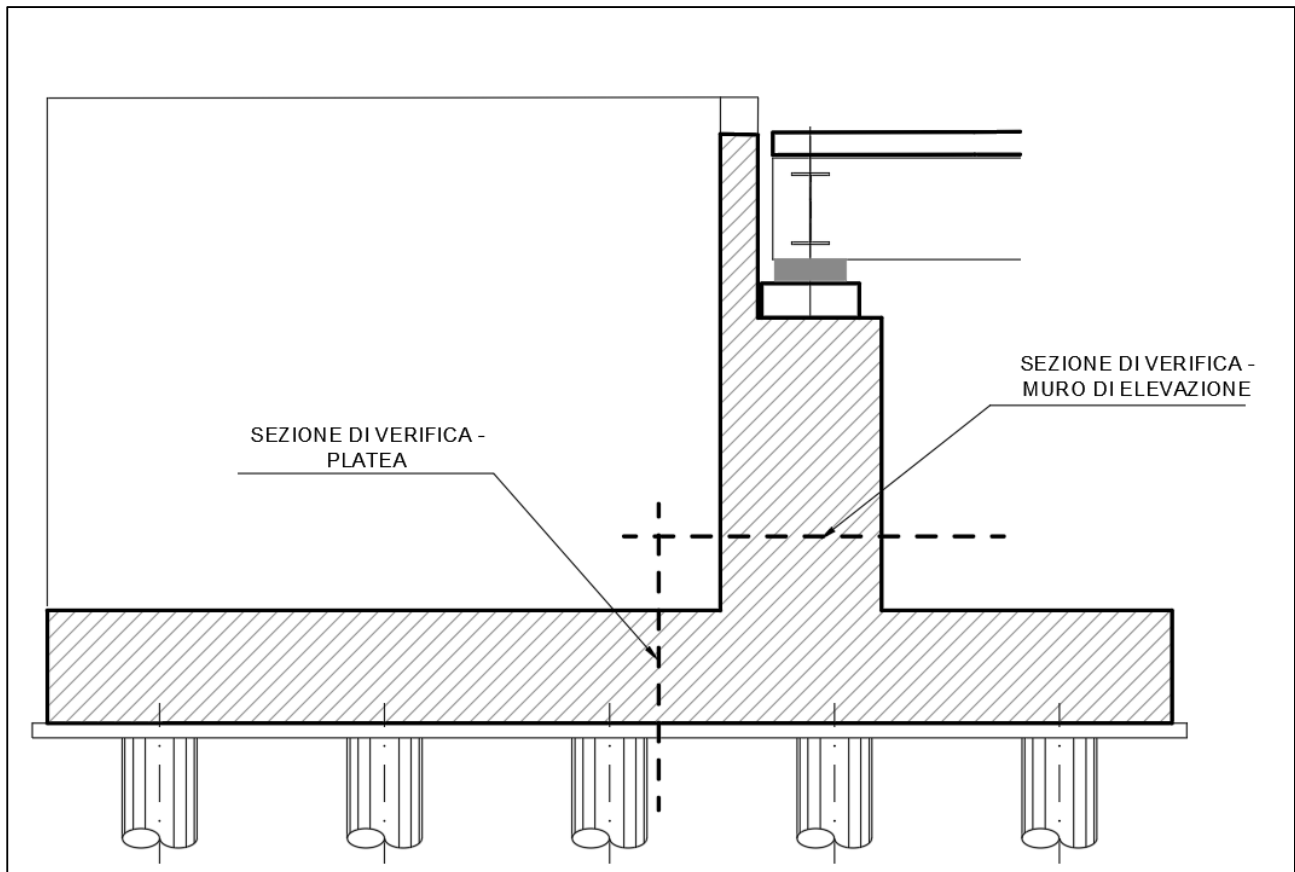
Ponte “Aurelia-bis” – Relazione di calcolo sottostrutture e fondazioni



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] |          |
|------------|----------------|----------|---------------|----------|---------------|----------|-------------|----------|
|            | $M_{xx}$       | $M_{yy}$ | $M_{xx}$      | $M_{yy}$ | $M_{xx}$      | $M_{yy}$ | $M_{xx}$    | $M_{yy}$ |
| PLATEA     | 899.1          | 739.4    | 1072.4        | 817.5    | 1502.3        | 839.4    | 1954        | 1079     |
| ELEVAZIONE | 313.3          | 1715.7   | 520.1         | 2260.7   | 531.5         | 2301.9   | 738.9       | 3130     |



## 1. Platea

Le armature sono costituite da una maglia base

- $\Phi 32/20$  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 interna: copriferro  $5.0+3.0+1.6= 9.6\text{cm}$

| 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                      | 32     | 9.6   | 40.21              |                    |
| 5                      | 32     | 140.4 | 40.21              |                    |
| 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>1954.00</b> [kNm] | MEk <b>1502.3</b> [kNm]      | MEk <b>1072.4</b> [kNm]                | MEk <b>899.1</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>2301.80</b> [kN]  | <b>tensioni e fessure</b>    |  |                                     |
| <b>presso-flessione</b>  | Mdec 0.0 [kNm]               | Mdec 0.0 [kNm]                         | Mdec 0.0 [kNm]                      |
| MRd 2121.0 [kNm]         | Mcr 936.3 [kNm]              | Mcr 936.3 [kNm]                        | Mcr 936.3 [kNm]                     |
| FS 1.09                  | yn -42.85 [cm]               | yn -42.85 [cm]                         | yn -42.85 [cm]                      |
|                          | $\sigma_{c,min}$ -5.7 [MPa]  | $\sigma_{c,min}$ -4.1 [MPa]            | $\sigma_{c,min}$ -3.4 [MPa]         |
|                          | $\sigma_{s,min}$ -59.9 [MPa] | $\sigma_{s,min}$ -42.8 [MPa]           | $\sigma_{s,min}$ -35.9 [MPa]        |
|                          | $\sigma_{s,max}$ 287.6 [MPa] | $\sigma_{s,max}$ 205.3 [MPa]           | $\sigma_{s,max}$ 172.1 [MPa]        |
|                          |                              | $k_2$ 0.5                              | $k_2$ 0.5                           |
|                          |                              | $\epsilon_{sm-\epsilon_{cm}}$ 0.64 [%] | $\epsilon_{sm-\epsilon_{cm}}$ - [%] |
|                          |                              | $S_{r,max}$ 59.7 [cm]                  | $S_{r,max}$ - [cm]                  |
|                          |                              | $W_k$ 0.384 [mm]                       | $W_k$ - [mm]                        |





Armatura platea direzione y

Armatura esterna: copriferro 5.0+1.5= 6.5cm

| geometria              |      |       |                    |                    |
|------------------------|------|-------|--------------------|--------------------|
| sezione trasversale    |      |       |                    |                    |
| B                      | H    | c     | d                  | z                  |
| [cm]                   | [cm] | [cm]  | [cm]               | [cm]               |
| 100                    | 150  | 5.0   | 143.5              | 129.2              |
| armatura longitudinale |      |       |                    |                    |
| nbarre                 | φ    | d     | Asl                |                    |
|                        | [mm] | [cm]  | [cm <sup>2</sup> ] |                    |
| 5                      | 30   | 6.5   | 35.34              |                    |
| 5                      | 30   | 143.5 | 35.34              |                    |
| armatura a taglio      |      |       |                    |                    |
| nbracci                | φ    | s     | α                  | Asw                |
|                        | [mm] | [cm]  | [°]                | [cm <sup>2</sup> ] |
| 5                      | 14   | 40    | 90                 | 7.70               |

| SLU                     | SLE - R                              | SLE - F                              | SLE - QP                             |
|-------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| SLU                     | SLE                                  | SLE                                  | SLE                                  |
| MEd 1079.00 [kNm]       | MEk 839.4 [kNm]                      | MEk 817.5 [kNm]                      | MEk 739.4 [kNm]                      |
| NEd 0.00 [kN]           | NEk 0 [kN]                           | NEk 0 [kN]                           | NEk 0 [kN]                           |
| VEd 2305.80 [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 1.78                 | yn -44.34 [cm]                       | yn -44.34 [cm]                       | yn -44.34 [cm]                       |
|                         | σ <sub>c,min</sub> -3.2 [MPa]        | σ <sub>c,min</sub> -3.1 [MPa]        | σ <sub>c,min</sub> -2.8 [MPa]        |
|                         | σ <sub>s,min</sub> -37.9 [MPa]       | σ <sub>s,min</sub> -36.9 [MPa]       | σ <sub>s,min</sub> -33.4 [MPa]       |
|                         | σ <sub>s,max</sub> 177.1 [MPa]       | σ <sub>s,max</sub> 172.5 [MPa]       | σ <sub>s,max</sub> 156.0 [MPa]       |
|                         | k <sub>2</sub> 0.5                   | 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> - [%] | ε <sub>sm-ε<sub>cm</sub></sub> - [%] |
|                         | S <sub>r,max</sub> - [cm]            | S <sub>r,max</sub> - [cm]            | S <sub>r,max</sub> - [cm]            |
|                         | W <sub>k</sub> - [mm]                | 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 = | 9.6   | 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   | mm              |
| inclinazione   | $\alpha$ = | 90   | °               |
| area           | $A_{sw}$ = | 7.70 | cm <sup>2</sup> |

**armatura longitudinale tesa**

|              |            |      |                 |
|--------------|------------|------|-----------------|
| numero barre | $n_1$ =    | 5    |                 |
| diametro     | $\phi_1$ = | 32   | mm              |
| numero barre | $n_2$ =    | 0    |                 |
| diametro     | $\phi_2$ = | 0    | mm              |
| area totale  | $A_{sl}$ = | 40.2 | cm <sup>2</sup> |

**materiali**

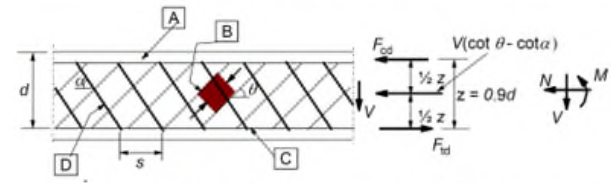
**calcestruzzo**

|  |                 |       |     |
|--|-----------------|-------|-----|
| 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     | $v$ =           | 0.540 |     |
| tensione di calcolo bielle             | $v f_{cd}$ =    | 7.6   | MPa |

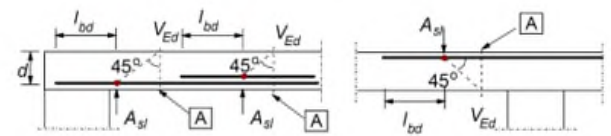
**acciaio**

|                                    |              |       |     |
|------------------------------------|--------------|-------|-----|
| 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                           | $V_{Ed}$ =    | 2301.8  | kN |
| azione assiale                   | $N_{Ed}$ =    | 0       | kN |
| resistenza elemento non armato   | $V_{Rdc}$ =   | 446.7   | kN |
| resistenza armatura a taglio     | $V_{Rds}$ =   | 2378.6  | kN |
| resistenza bielle calcestruzzo   | $V_{Rdmax}$ = | 3321.4  | kN |
| inclinazione bielle calcestruzzo | $\theta$ =    | 21.8    | °  |
| sezione                          |               | duttile |    |
| traslazione armatura long.       | $a_l$ =       | 158.0   | cm |



2. Muro di elevazione

Le armature sono costituite da una maglia base

- $\Phi 32/20$  lato terra e controterra in direzione x
- $\Phi 32/10$  interni in direzione y
- $\Phi 32/20$  esterni in direzione y
- Spilli  $\Phi 16/20 \times 40$

Armatura muro di elevazione direzione x

Armatura esterna: copriferro  $5.5+1.6 = 7.1$  cm

| geometria              |        |       |                    |                    |
|------------------------|--------|-------|--------------------|--------------------|
| sezione trasversale    |        |       |                    |                    |
| B                      | H      | c     | d                  | z                  |
| [cm]                   | [cm]   | [cm]  | [cm]               | [cm]               |
| 100                    | 215    | 5.5   | 207.9              | 187.1              |
| armatura longitudinale |        |       |                    |                    |
| nbarre                 | $\phi$ | d     | $A_{sl}$           |                    |
|                        | [mm]   | [cm]  | [cm <sup>2</sup> ] |                    |
| 5                      | 32     | 7.1   | 40.21              |                    |
| 5                      | 32     | 207.9 | 40.21              |                    |
| armatura a taglio      |        |       |                    |                    |
| nbracci                | $\phi$ | s     | $\alpha$           | $A_{sw}$           |
|                        | [mm]   | [cm]  | [°]                | [cm <sup>2</sup> ] |
| 5                      | 16     | 40    | 90                 | 10.05              |

| SLU                          | SLE - R                      | SLE - F                             | SLE - QP                            |
|------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| SLU                          | SLE                          | SLE                                 | SLE                                 |
| M <sub>Ed</sub> 738.90 [kNm] | M <sub>Ek</sub> 531.5 [kNm]  | M <sub>Ek</sub> 520.1 [kNm]         | M <sub>Ek</sub> 313.3 [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> 3147.00 [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> 3203.9 [kNm] | M <sub>cr</sub> 2262.2 [kNm] | M <sub>cr</sub> 2262.2 [kNm]        | M <sub>cr</sub> 2262.2 [kNm]        |
| FS 4.34                      | y <sub>n</sub> -67.23 [cm]   | y <sub>n</sub> -67.23 [cm]          | y <sub>n</sub> -67.23 [cm]          |
|                              | $\sigma_{c,min}$ -1.1 [MPa]  | $\sigma_{c,min}$ -1.1 [MPa]         | $\sigma_{c,min}$ -0.6 [MPa]         |
|                              | $\sigma_{s,min}$ -13.4 [MPa] | $\sigma_{s,min}$ -13.1 [MPa]        | $\sigma_{s,min}$ -7.9 [MPa]         |
|                              | $\sigma_{s,max}$ 67.5 [MPa]  | $\sigma_{s,max}$ 66.1 [MPa]         | $\sigma_{s,max}$ 39.8 [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 muro di elevazione direzione y

Armatura interna copriferro  $5.5+3.2+1.6 = 10.3$  cm

| geometria              |        |       |                    |                    |
|------------------------|--------|-------|--------------------|--------------------|
| sezione trasversale    |        |       |                    |                    |
| B                      | H      | c     | d                  | z                  |
| [cm]                   | [cm]   | [cm]  | [cm]               | [cm]               |
| 100                    | 215    | 8.7   | 204.7              | 184.2              |
| armatura longitudinale |        |       |                    |                    |
| nbarre                 | $\phi$ | d     | $A_{sl}$           |                    |
|                        | [mm]   | [cm]  | [cm <sup>2</sup> ] |                    |
| 5                      | 32     | 10.3  | 40.21              |                    |
| 10                     | 32     | 204.7 | 80.42              |                    |
| armatura a taglio      |        |       |                    |                    |
| nbracci                | $\phi$ | s     | $\alpha$           | $A_{sw}$           |
|                        | [mm]   | [cm]  | [°]                | [cm <sup>2</sup> ] |
| 5                      | 16     | 40    | 90                 | 10.05              |

| SLU                     | SLE - R                      | SLE - F                             | SLE - QP                            |
|-------------------------|------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| <b>SLU</b>              | <b>SLE</b>                   | <b>SLE</b>                          | <b>SLE</b>                          |
| MEd 3130.00 [kNm]       | MEk 2301.9 [kNm]             | MEk 2260.7 [kNm]                    | MEk 1715.7 [kNm]                    |
| NEd -710.00 [kN]        | NEk -650 [kN]                | NEk -630 [kN]                       | NEk -560 [kN]                       |
| VEd 3500.00 [kN]        | <b>tensioni e fessure</b>    |                                     |                                     |
| <b>presso-flessione</b> | Mdec 247.7 [kNm]             | Mdec 240.0 [kNm]                    | Mdec 213.4 [kNm]                    |
| MRd 6871.6 [kNm]        | Mcr 2670.6 [kNm]             | Mcr 2663.0 [kNm]                    | Mcr 2636.3 [kNm]                    |
| FS 2.20                 | yn -38.27 [cm]               | yn -38.47 [cm]                      | yn -35.91 [cm]                      |
|                         | $\sigma_{c,min}$ -4.0 [MPa]  | $\sigma_{c,min}$ -4.0 [MPa]         | $\sigma_{c,min}$ -3.0 [MPa]         |
|                         | $\sigma_{s,min}$ -51.4 [MPa] | $\sigma_{s,min}$ -50.4 [MPa]        | $\sigma_{s,min}$ -38.8 [MPa]        |
|                         | $\sigma_{s,max}$ 118.2 [MPa] | $\sigma_{s,max}$ 116.5 [MPa]        | $\sigma_{s,max}$ 84.3 [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]                           |

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

**geometria**

**sezione trasversale**

|                                  |   |   |       |    |
|----------------------------------|---|---|-------|----|
| base                             | B | = | 100   | cm |
| altezza                          | H | = | 215   | cm |
| copriferro (asse armatura long.) | c | = | 10.3  | cm |
| altezza utile                    | d | = | 205   | cm |
| braccio coppia interna           | z | = | 184.2 | cm |

**armatura a taglio**

|                |          |   |       |                 |
|----------------|----------|---|-------|-----------------|
| numero braccia | n        | = | 5     |                 |
| diametro       | $\phi$   | = | 16    | mm              |
| passo          | s        | = | 40    | cm              |
| inclinazione   | $\alpha$ | = | 90    | °               |
| area           | $A_{sw}$ | = | 10.05 | 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**

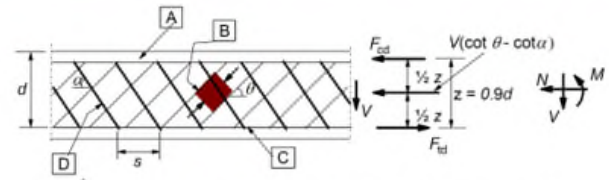
**calcestruzzo**

|  |               |   |       |     |
|--|---------------|---|-------|-----|
| resistenza caratt. cilindrica a 28 gg. | $f_{ck}$      | = | 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 |

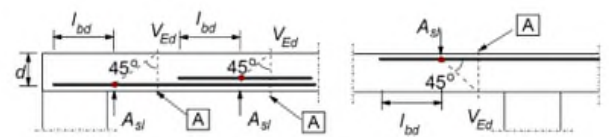
**acciaio**

|                                    |            |   |       |     |
|------------------------------------|------------|---|-------|-----|
| 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

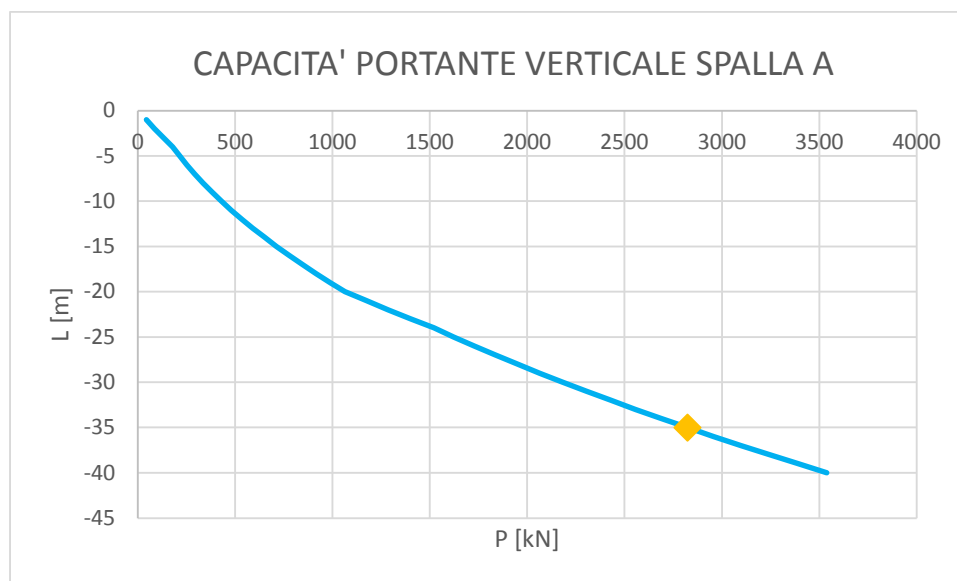
**sollecitazioni e verifiche**

|                                  |             |   |         |    |
|----------------------------------|-------------|---|---------|----|
| taglio                           | $V_{Ed}$    | = | 3500    | kN |
| azione assiale                   | $N_{Ed}$    | = | -710    | kN |
| resistenza elemento non armato   | $V_{Rdc}$   | = | 860.4   | kN |
| resistenza armatura a taglio     | $V_{Rds}$   | = | 3555.9  | kN |
| resistenza bielle calcestruzzo   | $V_{Rdmax}$ | = | 7295.0  | kN |
| inclinazione bielle calcestruzzo | $\theta$    | = | 27.0    | °  |
| sezione                          |             |   | ductile |    |
| traslazione armatura long.       | al          | = | 180.8   | cm |

## 8.4 VERIFICHE PALI DI FONDAZIONE

I pali di fondazione sono realizzati in calcestruzzo armato, con un diametro pari a 1000mm disposti secondo una maglia regolare 3m x 3m per un totale di 20 pali. Di seguito si riportano le verifiche per la capacità portante in direzione verticale e trasversale. Le verifiche sono state condotte in accordo con NTC2018.

Per quanto riguarda la capacità portante verticale, il valore dell'azione agente su palo più sollecitato risulta essere pari a 2613.7 kN. Pertanto, si utilizzano pali di lunghezza pari a 35.00m la cui capacità portante verticale è maggiore di quella agente, e pari a 2820.8 kN.



Capacità portante verticale dei pali

**AURELIA BIS**PALI DI FONDAZIONE SPALLA ACalcolo del carico trasversale limite

Terreni incoerenti (Broms 1964)

DATI GEOMETRICI:

|                       |                       |      |      |
|-----------------------|-----------------------|------|------|
| Lunghezza del palo    | L                     | 35   | [m]  |
| Diametro del palo     | D <sub>palo</sub>     | 1    | [m]  |
| Diametro del tubolare | D <sub>tubolare</sub> | 1000 | [mm] |

|                             |                |        |       |
|-----------------------------|----------------|--------|-------|
| Momento di plasticizzazione | M <sub>y</sub> | 2122.0 | [kNm] |
|-----------------------------|----------------|--------|-------|

DATI GEOTECNICI:

|                                       |                       |      |                      |
|---------------------------------------|-----------------------|------|----------------------|
| Peso per unità di volume              | γ <sup>t</sup>        | 9    | [kN/m <sup>3</sup> ] |
| Angolo attrito medio                  | φ <sub>medio</sub>    | 24   | [°]                  |
| Coefficiente di spinta passiva medio  | k <sub>p,medio</sub>  | 2.37 | [-]                  |
| Angolo attrito minimo                 | φ <sub>minimo</sub>   | 23   | [°]                  |
| Coefficiente di spinta passiva minimo | k <sub>p,minimo</sub> | 2.29 | [-]                  |

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>  | 39193.9 | [kN] |
| H <sub>1,minimo</sub> | 37870.9 | [kN] |

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

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

|                       |         |      |
|-----------------------|---------|------|
| H <sub>2,medio</sub>  | 13125.3 | [kN] |
| H <sub>2,minimo</sub> | 12684.3 | [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>  | 1090.8 | [kN] |
| H <sub>3,minimo</sub> | 1078.4 | [kN] |

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

DEFINIZIONE DEL COMPORTAMENTO DEL PALO:

|                     |        |      |              |
|---------------------|--------|------|--------------|
| H <sub>medio</sub>  | 1090.8 | [kN] | <b>PALO</b>  |
| H <sub>minimo</sub> | 1078.4 | [kN] | <b>LUNGO</b> |

CARICO TRASVERSALE ULTIMO:

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

|                |       |      |
|----------------|-------|------|
| H <sub>k</sub> | 661.1 | [kN] |
|----------------|-------|------|

$$H_d = H_k / \gamma_T$$

|                     |        |      |
|---------------------|--------|------|
| γ <sub>T</sub>      | 1.3    | [-]  |
| H <sub>d</sub>      | 508.5  | [kN] |
| H <sub>agente</sub> | 477.25 | [kN] |

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

Capacità portante trasversale pali

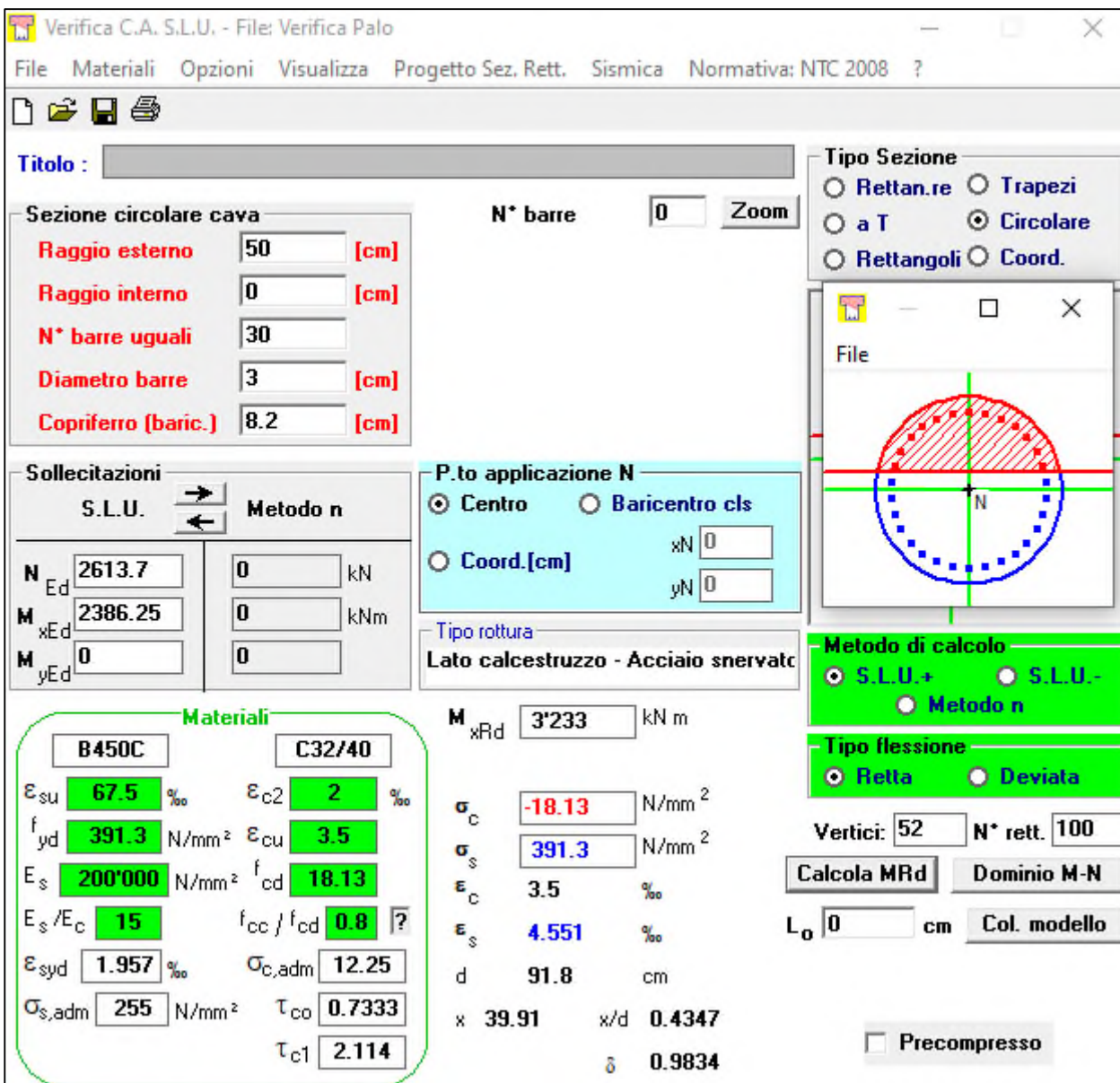
L'armatura dei pali di fondazione è costituita da:

- 30Φ30 armatura longitudinale
- Staffe Φ12/20

Si riportano le massime sollecitazioni agenti sui pali di fondazione

| N [kN] | V [kN] | M [kNm] |
|--------|--------|---------|
| 2613.7 | 477.25 | 2386.25 |

Si riporta di seguito la verifica strutturale dei pali di fondazione.



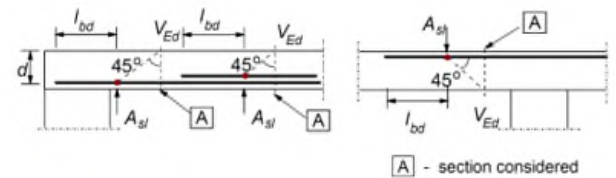
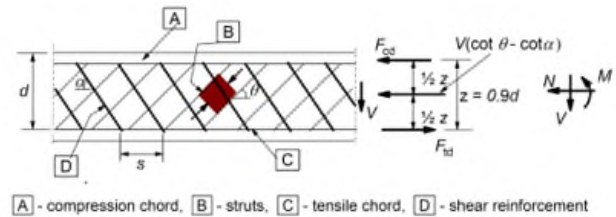
Verifica strutturale pali di fondazione



Per la verifica a taglio delle Staffe è stata considerata una sezione corrispondente al quadrato inscritto nella circonferenza del palo di fondazione.

| verifica a taglio di una sezione rettangolare |                                 |
|---|---------------------------------|
| secondo EN 1992-1-1:2004:E                    |                                 |
| <b>geometria</b>                              |                                 |
| <b>sezione trasversale</b>                    |                                 |
| base  | B = 70.7 cm                     |
| altezza                                       | H = 70.7 cm                     |
| copriferro (asse armatura long.)              | c = 8.2 cm                      |
| altezza utile                                 | d = 62.5 cm                     |
| braccio coppia interna                        | z = 56.3 cm                     |
| <b>armatura a taglio</b>                      |                                 |
| numero braccia                                | n = 2                           |
| diametro                                      | $\phi$ = 12 mm                  |
| passo   | s = 20 cm                       |
| inclinazione                                  | $\alpha$ = 90 °                 |
| area  | $A_{sw}$ = 2.26 cm <sup>2</sup> |
| <b>armatura longitudinale tesa</b>            |                                 |
| numero barre                                  | $n_1$ = 10                      |
| diametro                                      | $\phi_1$ = 30 mm                |
| numero barre                                  | $n_2$ = 0                       |
| diametro                                      | $\phi_2$ = 0 mm                 |
| area totale                                   | $A_{sl}$ = 70.7 cm <sup>2</sup> |
| <b>materiali</b>                              |                                 |
| <b>calcestruzzo</b>                           |                                 |
| 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            |
| <b>acciaio</b>                                |                                 |
| 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**



**sollecitazioni e verifiche**

|                                  |                         |
|----------------------------------|-------------------------|
| taglio                           | $V_{Ed}$ = 477.25 kN    |
| azione assiale                   | $N_{Ed}$ = 0 kN         |
| resistenza elemento non armato   | $V_{Rdc}$ = 312.1 kN    |
| resistenza armatura a taglio     | $V_{Rds}$ = 622.3 kN    |
| resistenza bielle calcestruzzo   | $V_{Rdmax}$ = 1342.4 kN |
| inclinazione bielle calcestruzzo | $\theta$ = 21.8 °       |
| sezione                          | duttile                 |
| traslazione armatura long.       | $a_l$ = 70.3 cm         |

Verifica a taglio pali di fondazione

## 9. VERIFICA SPALLA B

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.

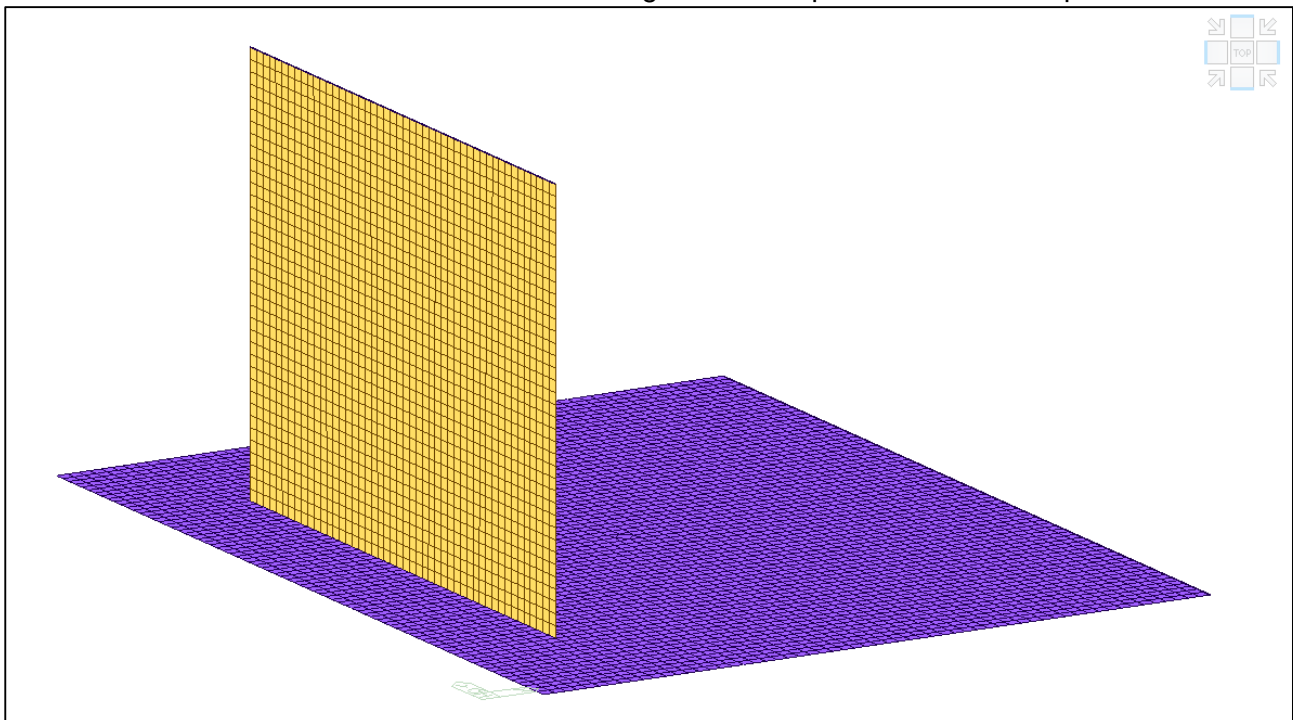
Nei successivi paragrafi sono descritte in dettaglio tutte le ipotesi poste alla base delle analisi sviluppate.

### 9.1 DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO

#### 9.1.1 GEOMETRIA DEL MODELLO

La spalla si compone di un muro frontale dello spessore di 215 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.



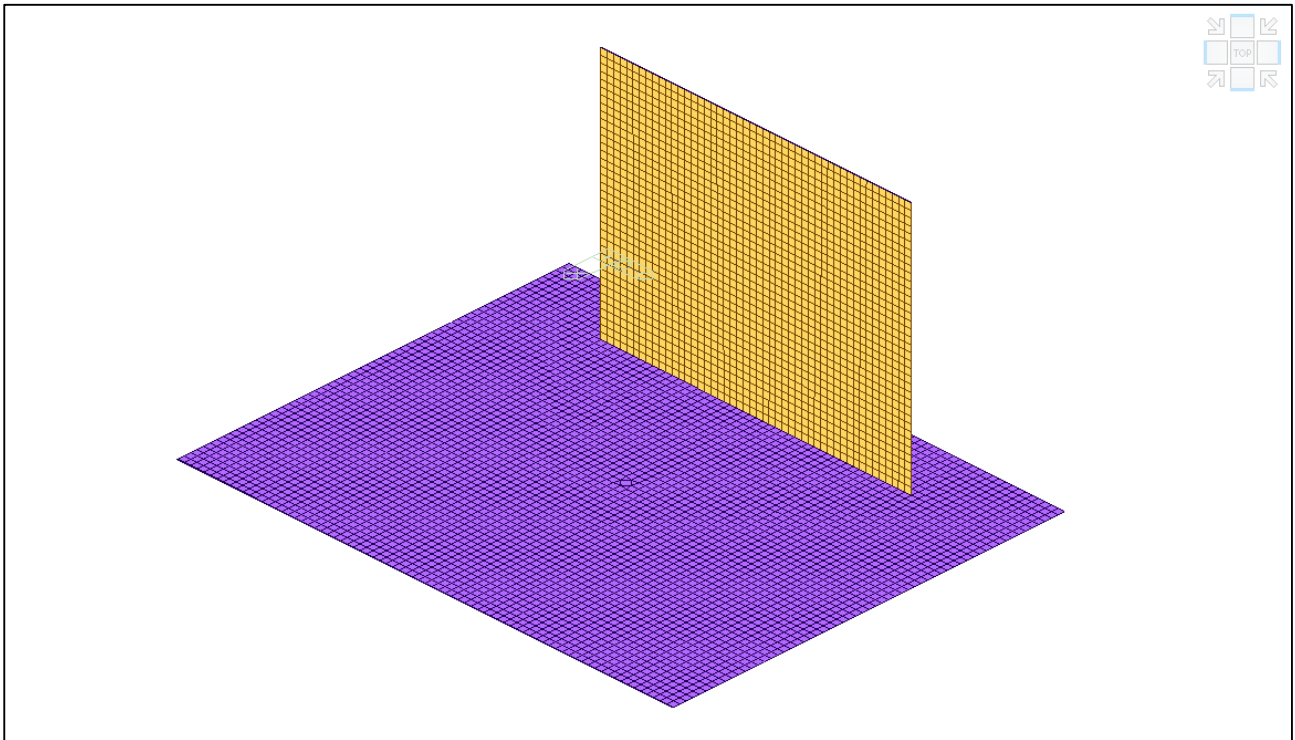
Modello FEM - Vista 1 – Spalla B



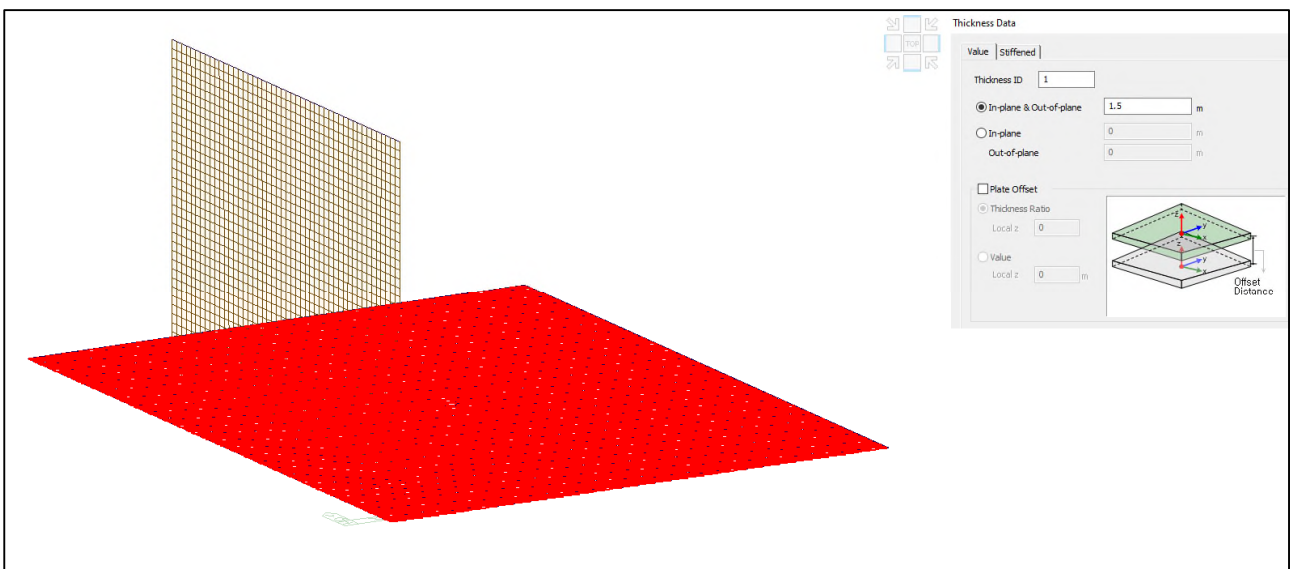
Comune di Vado Ligure

Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo

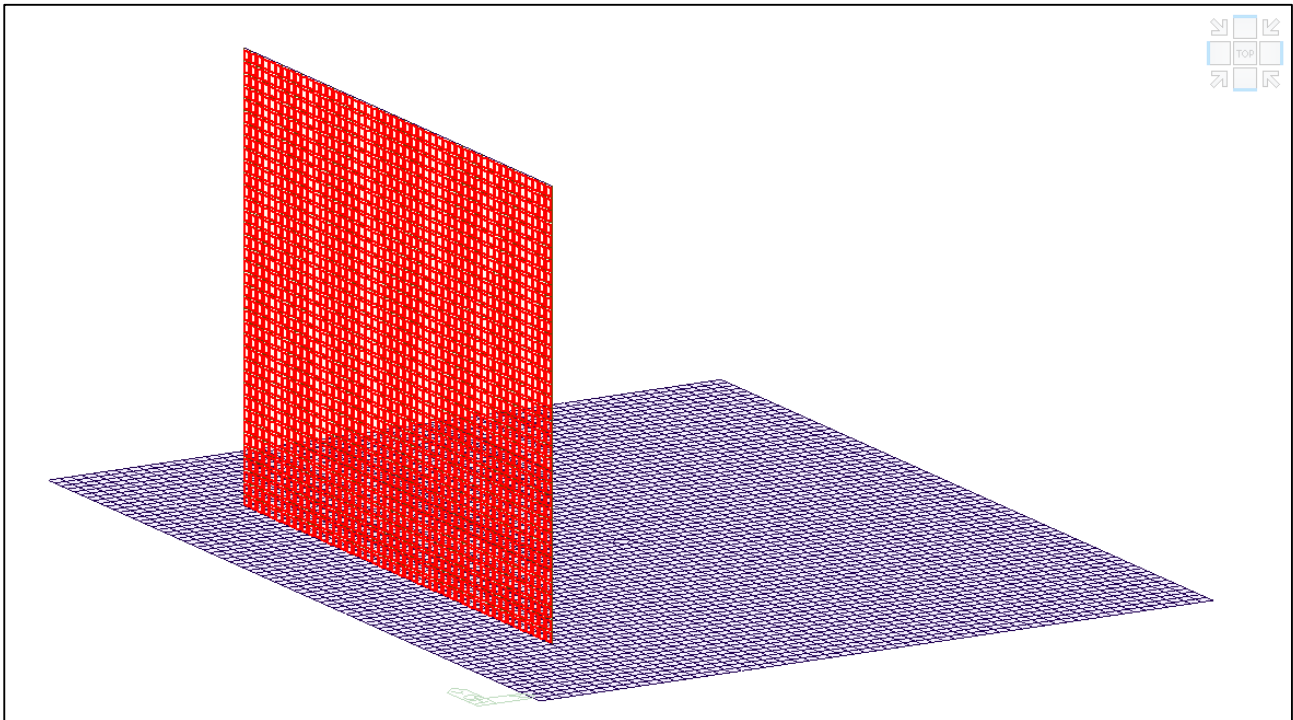
Ponte “Aurelia-bis” – Relazione di calcolo sottostrutture e fondazioni



Modello FEM - Vista 2 – Spalla B



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



Modello FEM – Identificazione spalla spessore 2.15m in calcestruzzo C32/40

### 9.1.2VINCOLI

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

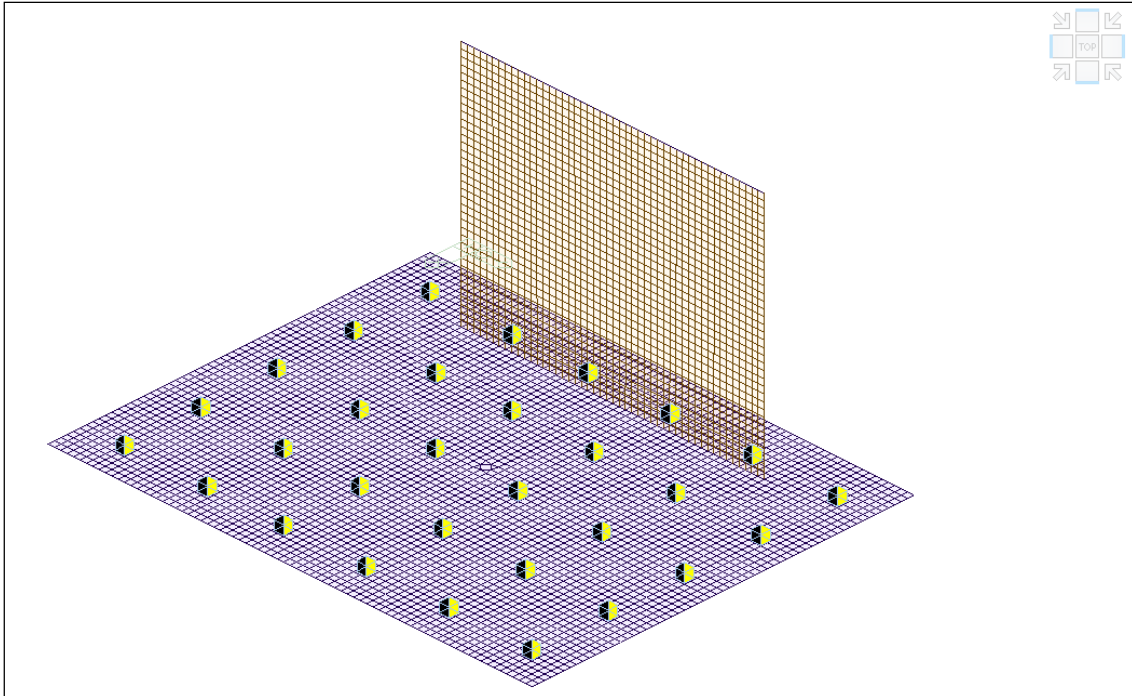
$$K_V = \frac{E * A}{L} \quad K_H = \frac{3 * E * I}{(4 * D)^3}$$

Le proprietà meccaniche e geometriche del palo in calcestruzzo armato sono riassunte nella tabella seguente.

| PROPRIETA' MECCANICHE E GEOMETRICHE DEI PALI |                   |                       |
|--|-------------------|-----------------------|
| E [MPa]                                      | Modulo elastico   | 31500                 |
| D [mm]                                       | Diametro palo     | 1000                  |
| A [mm <sup>2</sup> ]                         | Area palo         | 785398                |
| I [mm <sup>4</sup> ]                         | Momento d'inerzia | 4.91*10 <sup>10</sup> |
| L [m]  | Lunghezza palo    | 40.00                 |

$$K_V = 618501 \text{ kN/m} \quad K_H = 72499.2 \text{ kN/m}$$

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

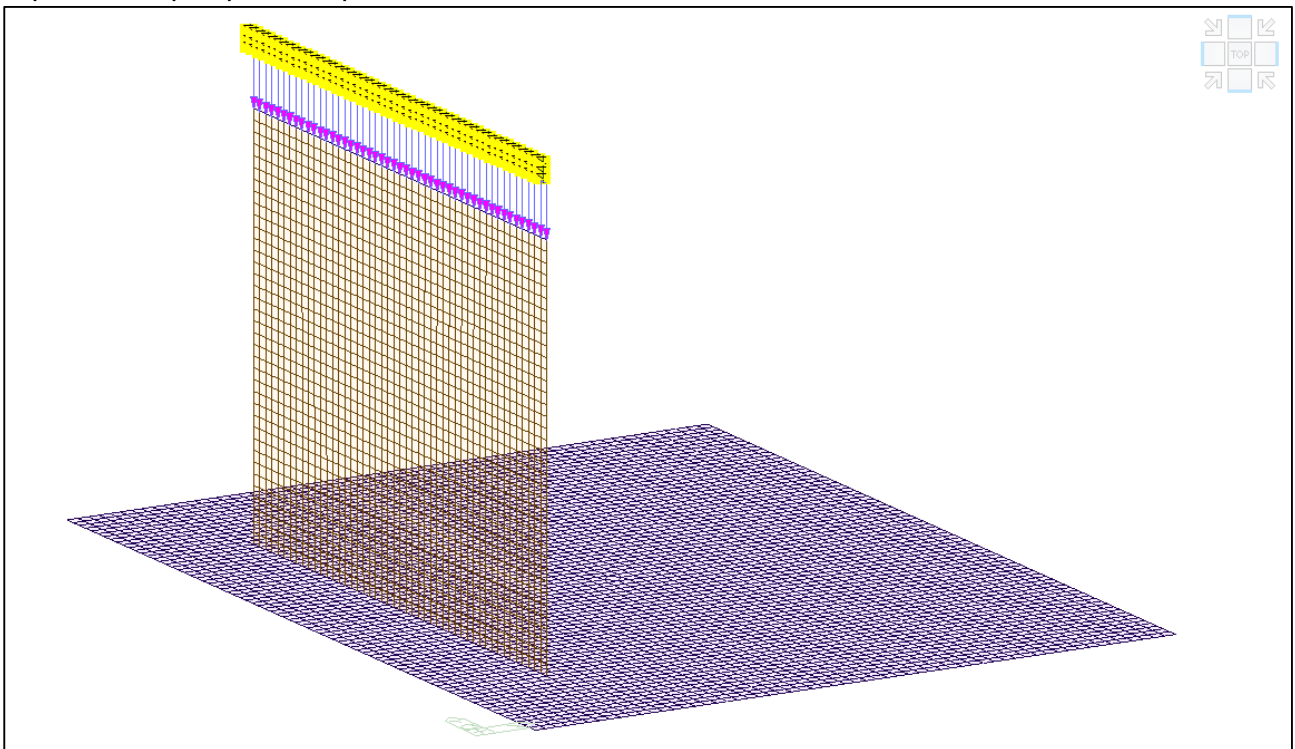


Modello FEM – Identificazione vincoli in corrispondenza dei pali

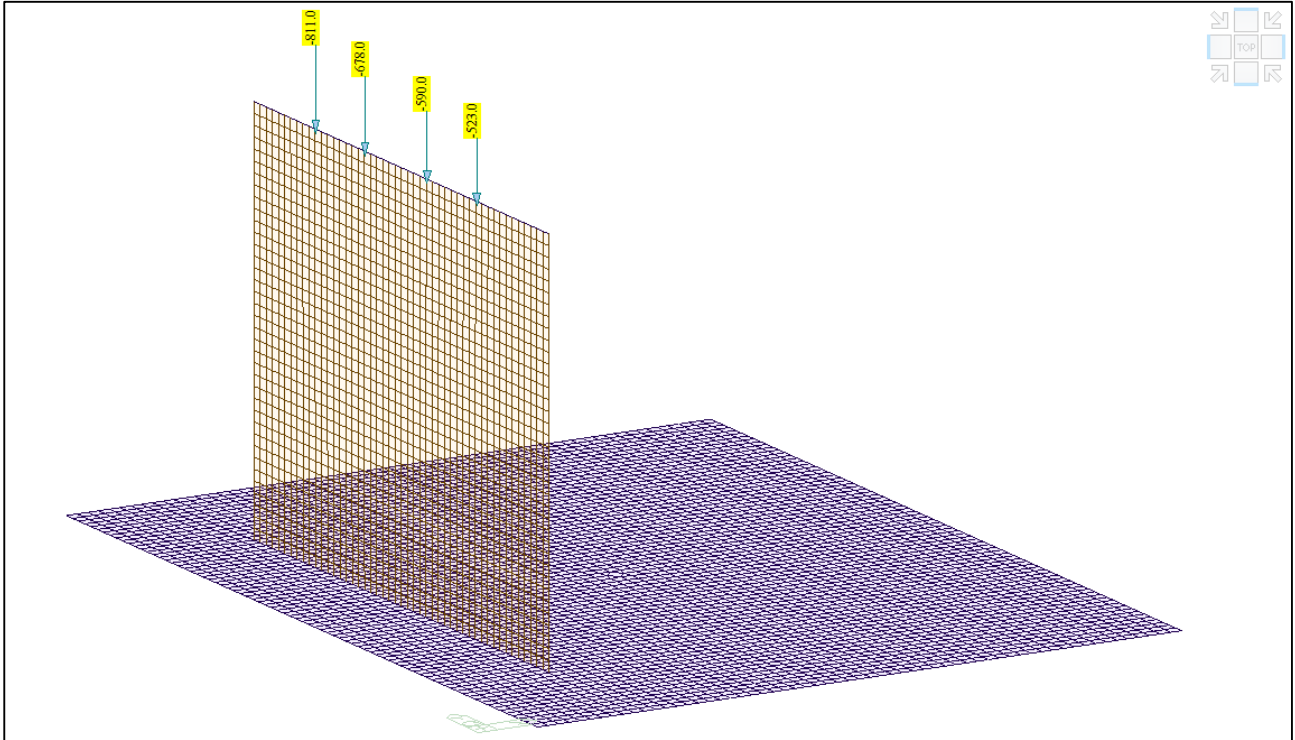
### 9.1.3 CONDIZIONI DI CARICO STATICO

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.

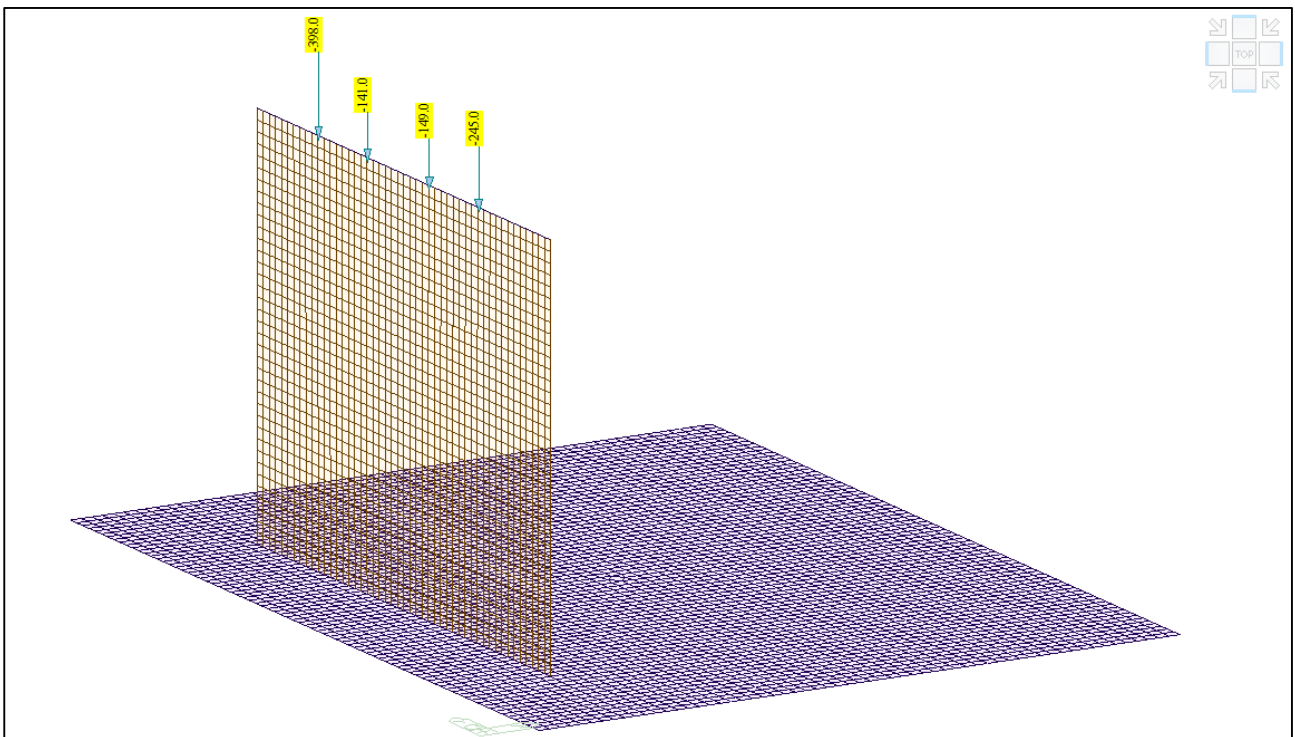
Il peso proprio della spalla genera delle azioni che sono calcolate in automatico dal software ad elementi finiti. A questa condizione di carico è stato aggiunto il peso della paraghiaia posta al di sopra del corpo spalla di spessore 2.15m.



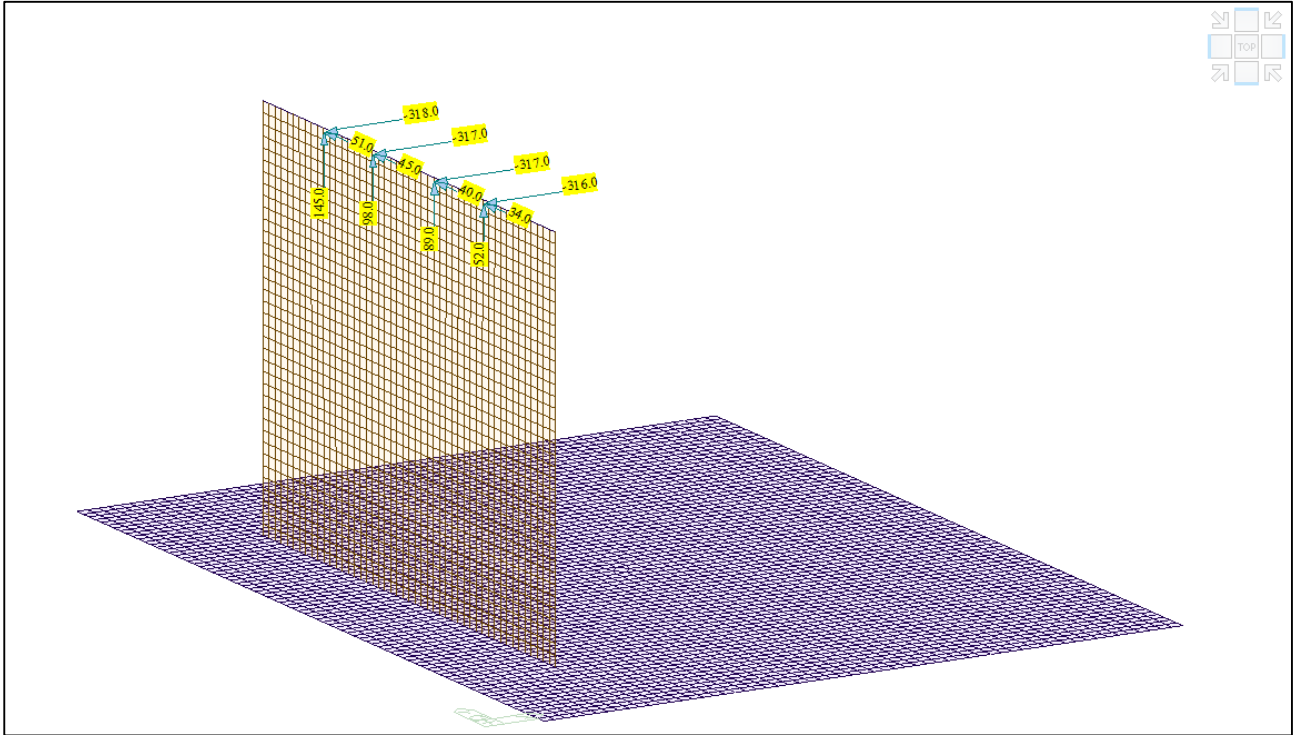
Modello FEM – Condizione di carico Peso Paraghiaia



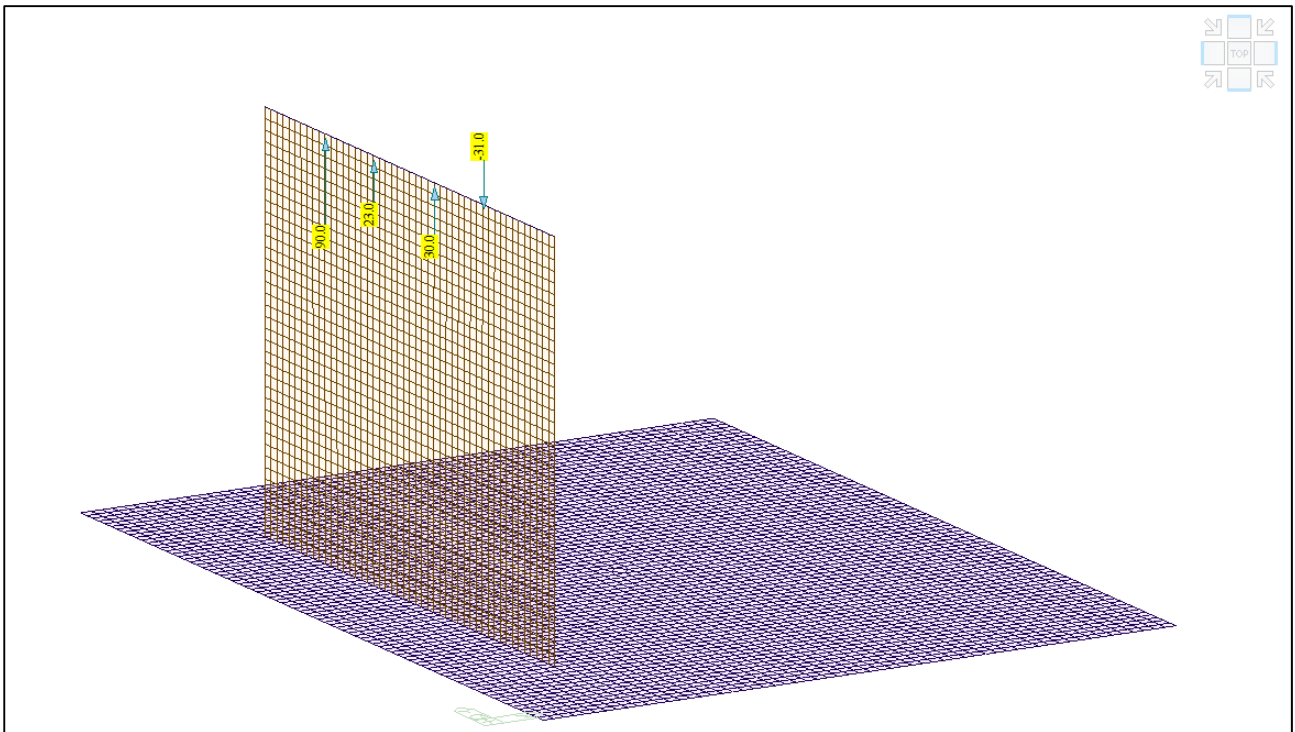
Modello FEM – Condizione di carico Peso proprio impalcato



Modello FEM – Condizione di carico Permanente

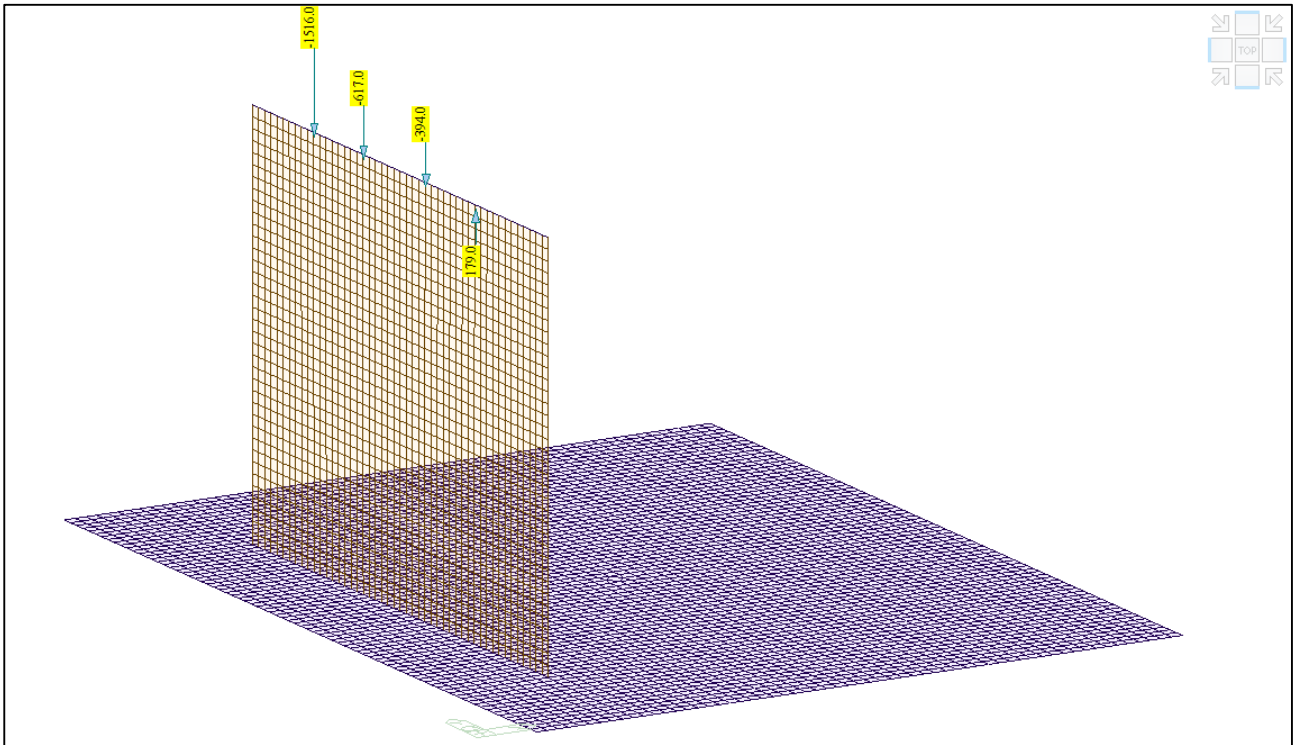


Modello FEM – Condizione di carico Ritiro

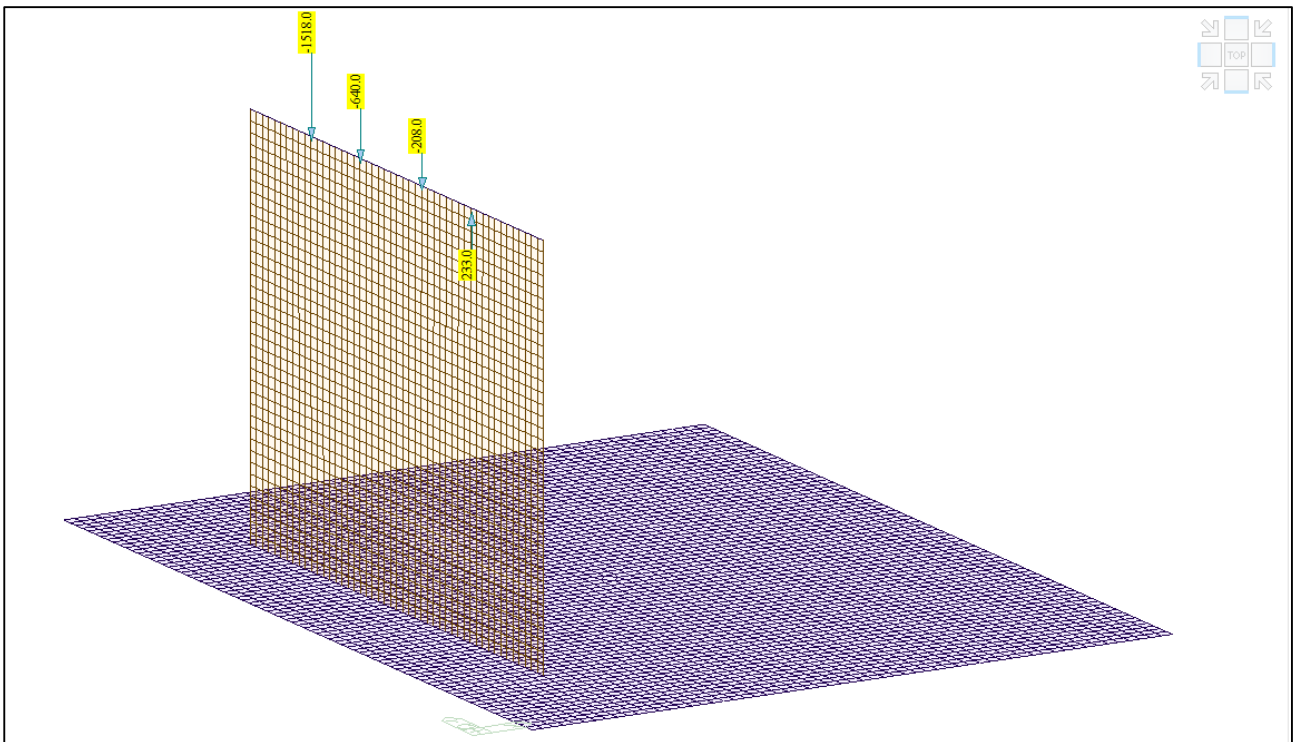


Modello FEM – Condizione di carico DistrB2

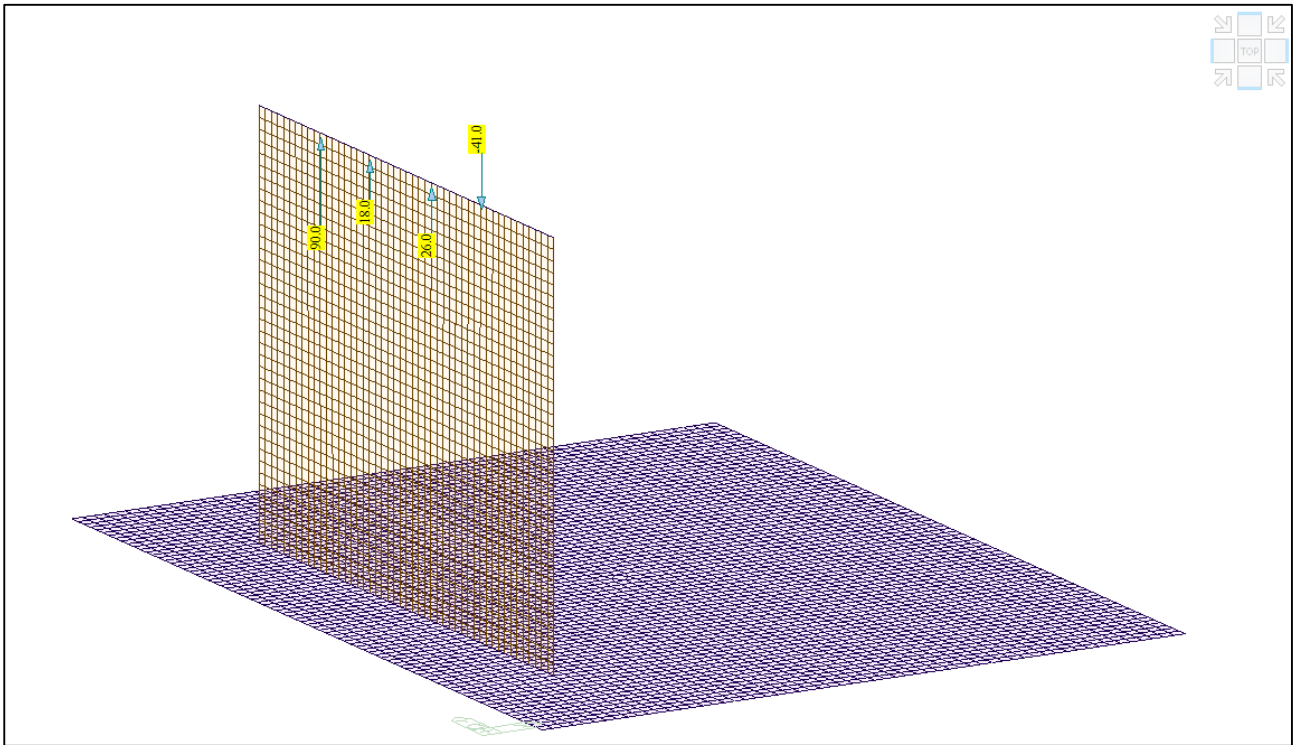




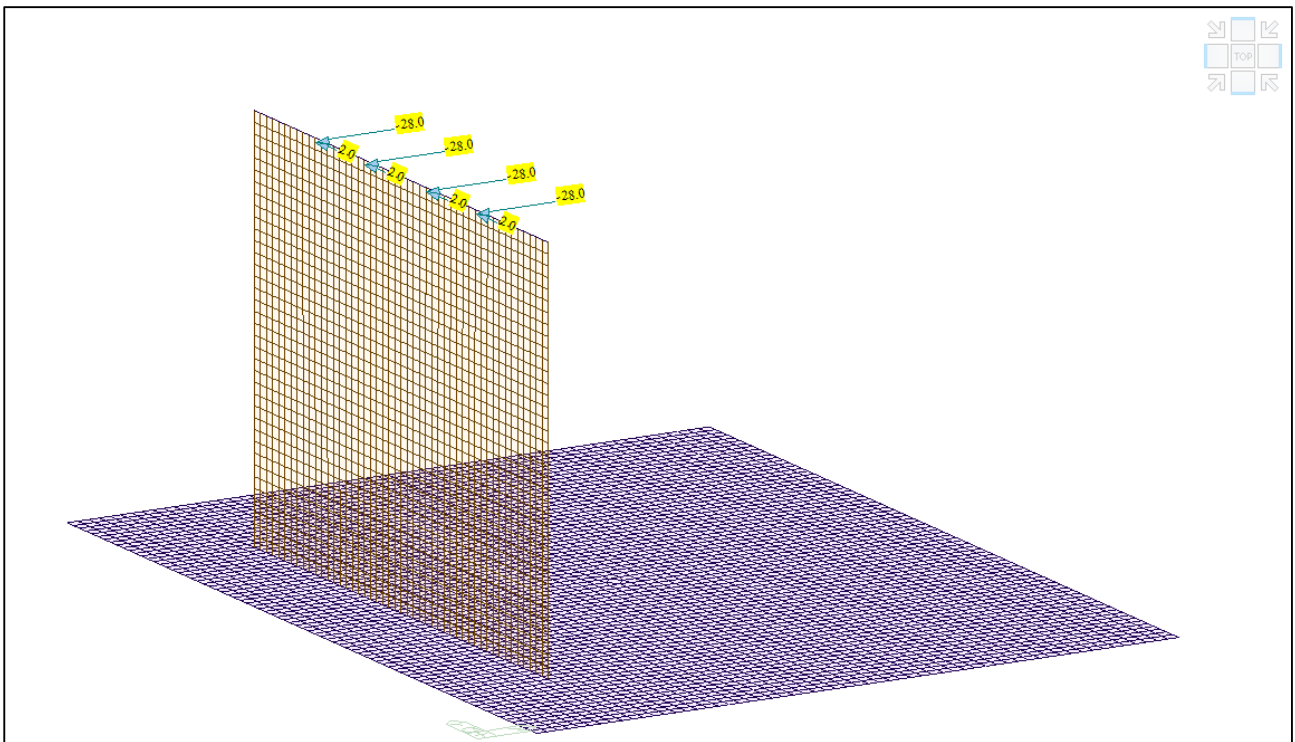
Modello FEM – Condizione di carico DistrD1



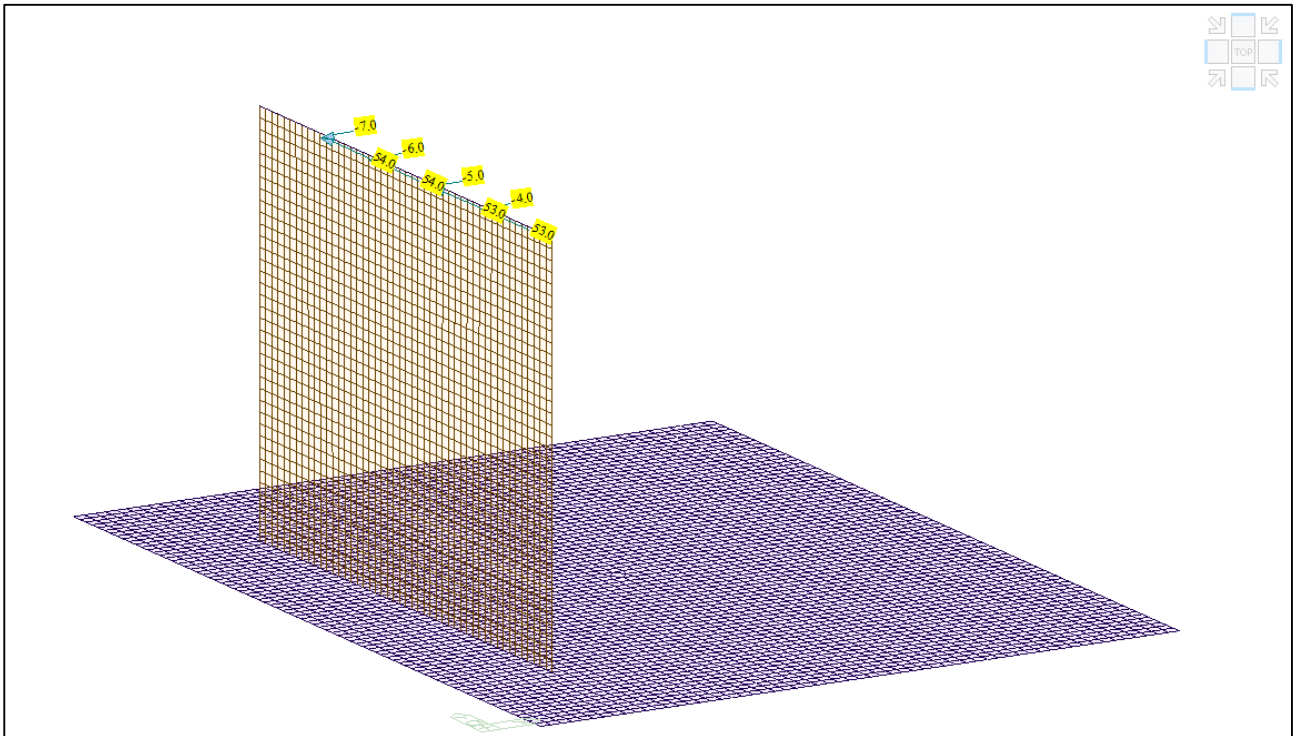
Modello FEM – Condizione di carico DistrB7



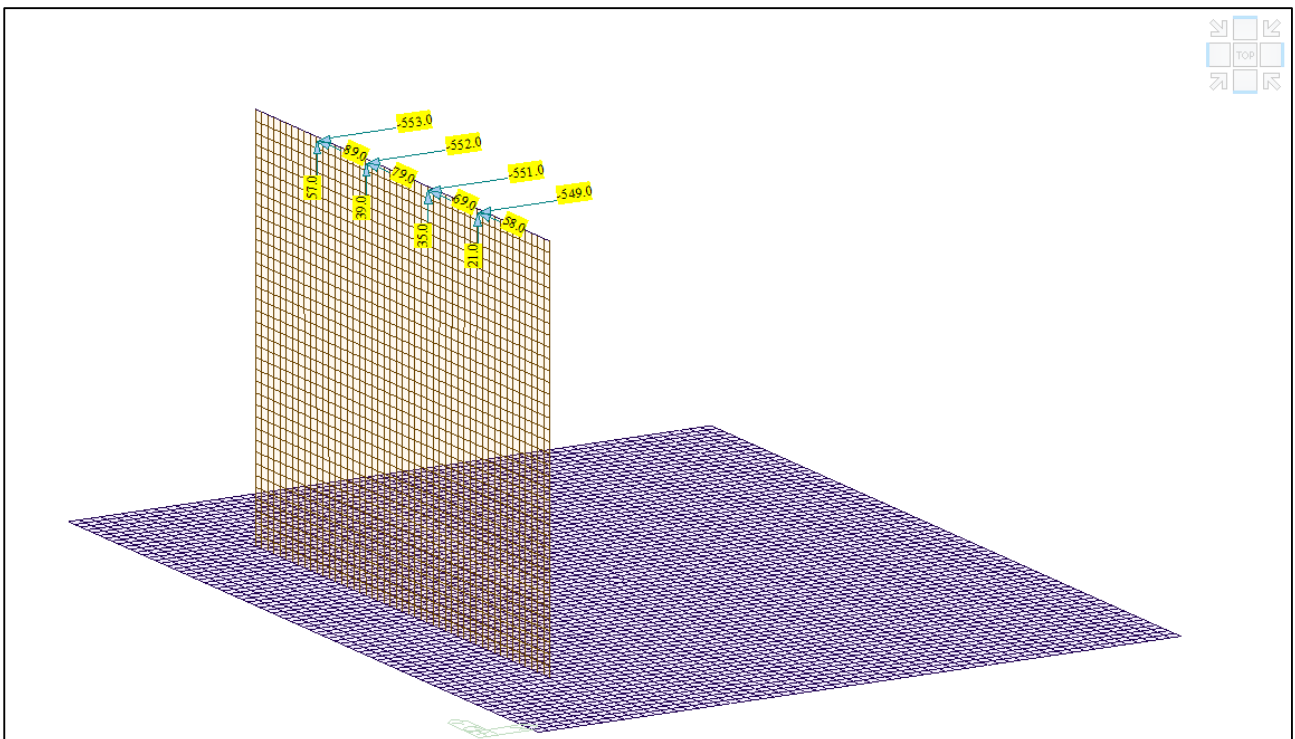
Modello FEM – Condizione di carico DistrD2



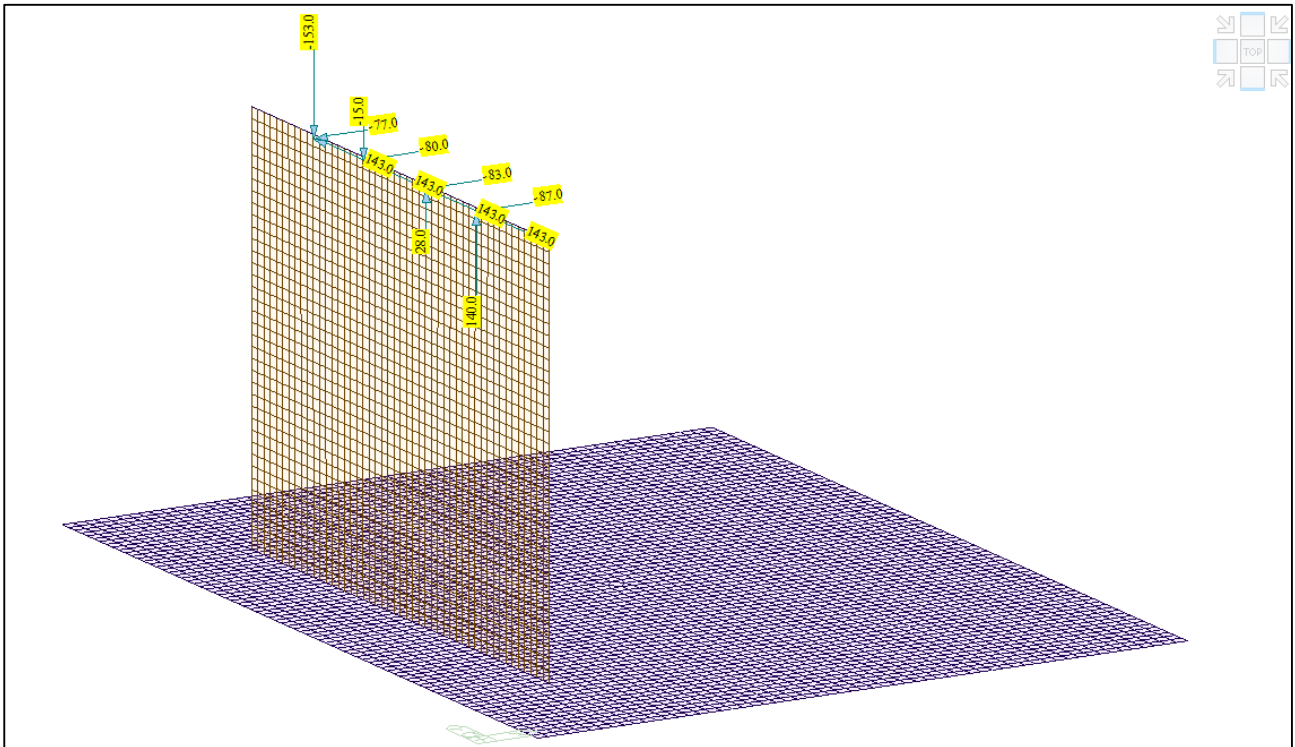
Modello FEM – Condizione di carico Frenamento



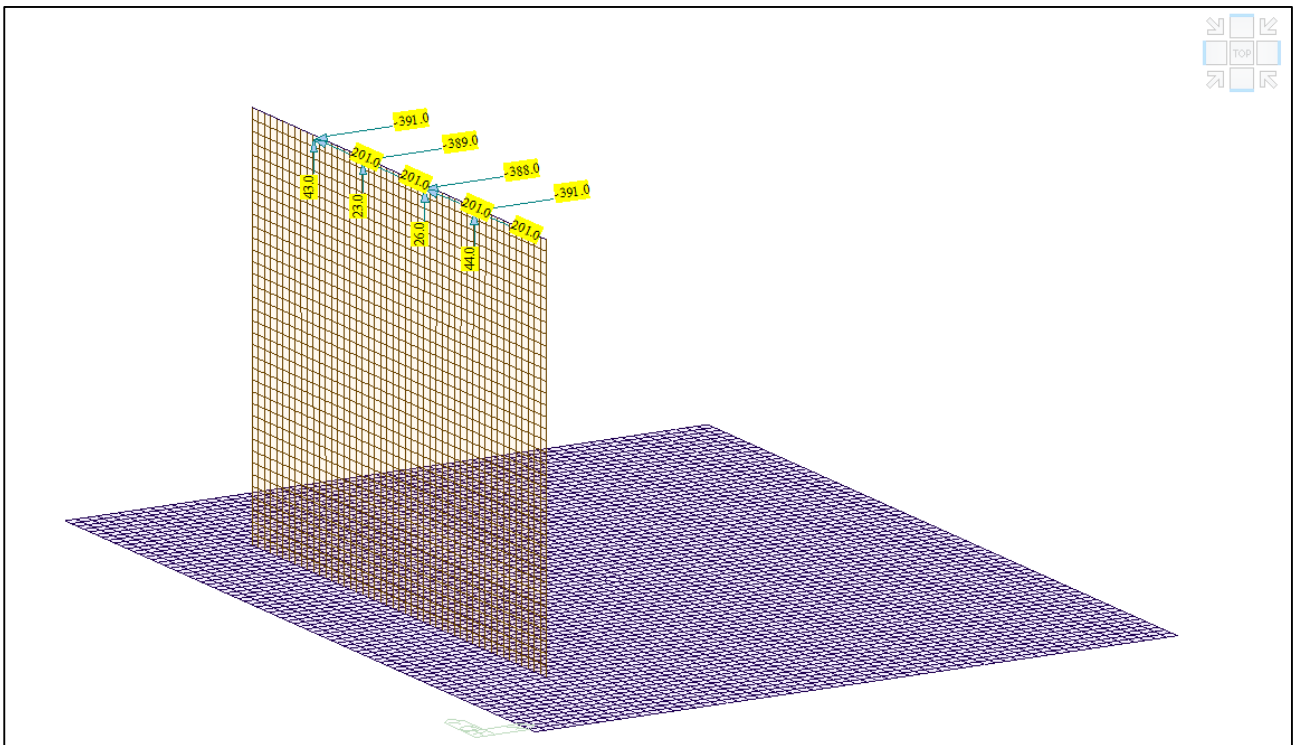
Modello FEM – Condizione di carico Centrifuga



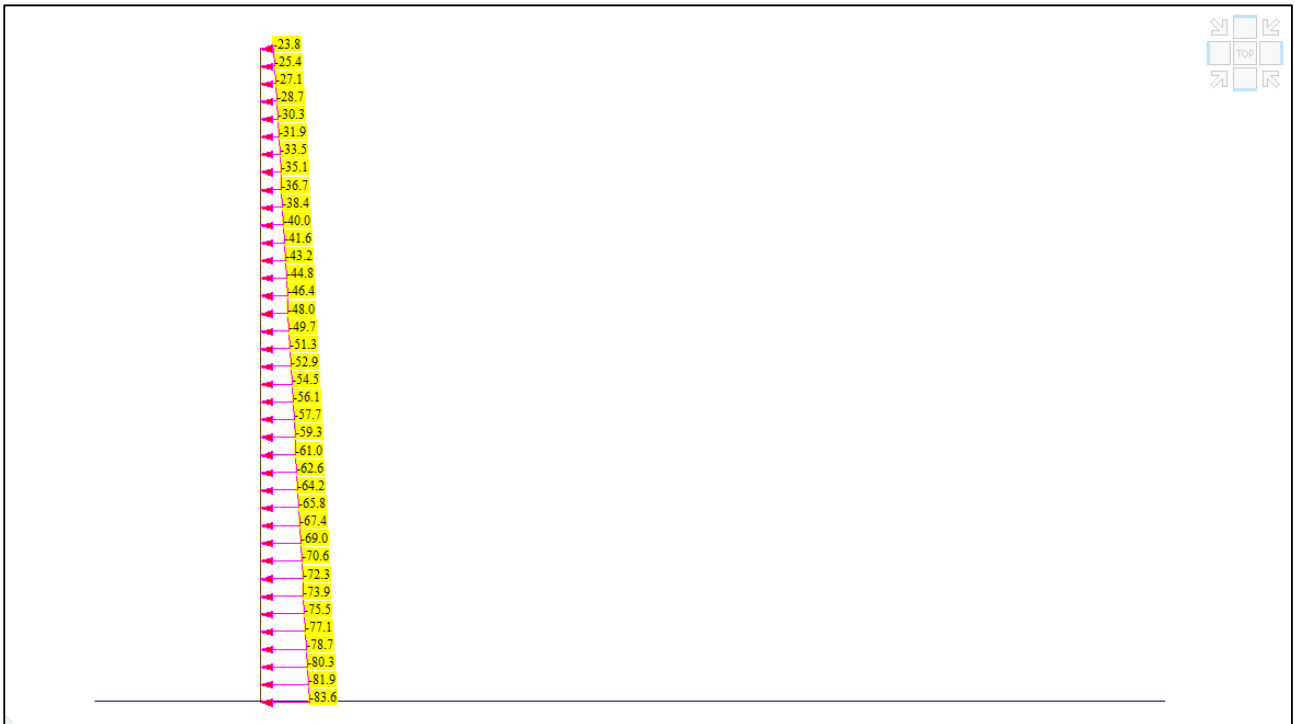
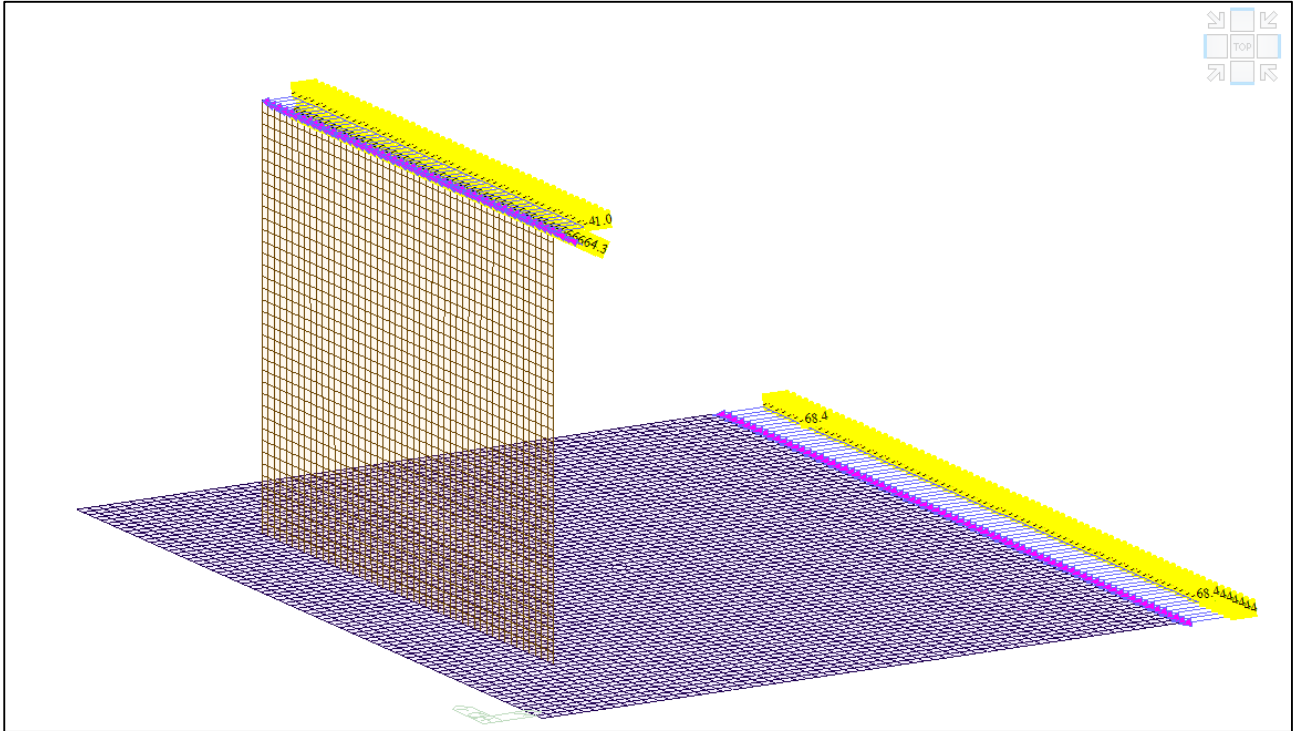
Modello FEM – Condizione di carico Termico



Modello FEM – Condizione di carico Vento



Modello FEM – Condizione di carico Sisma impalcato



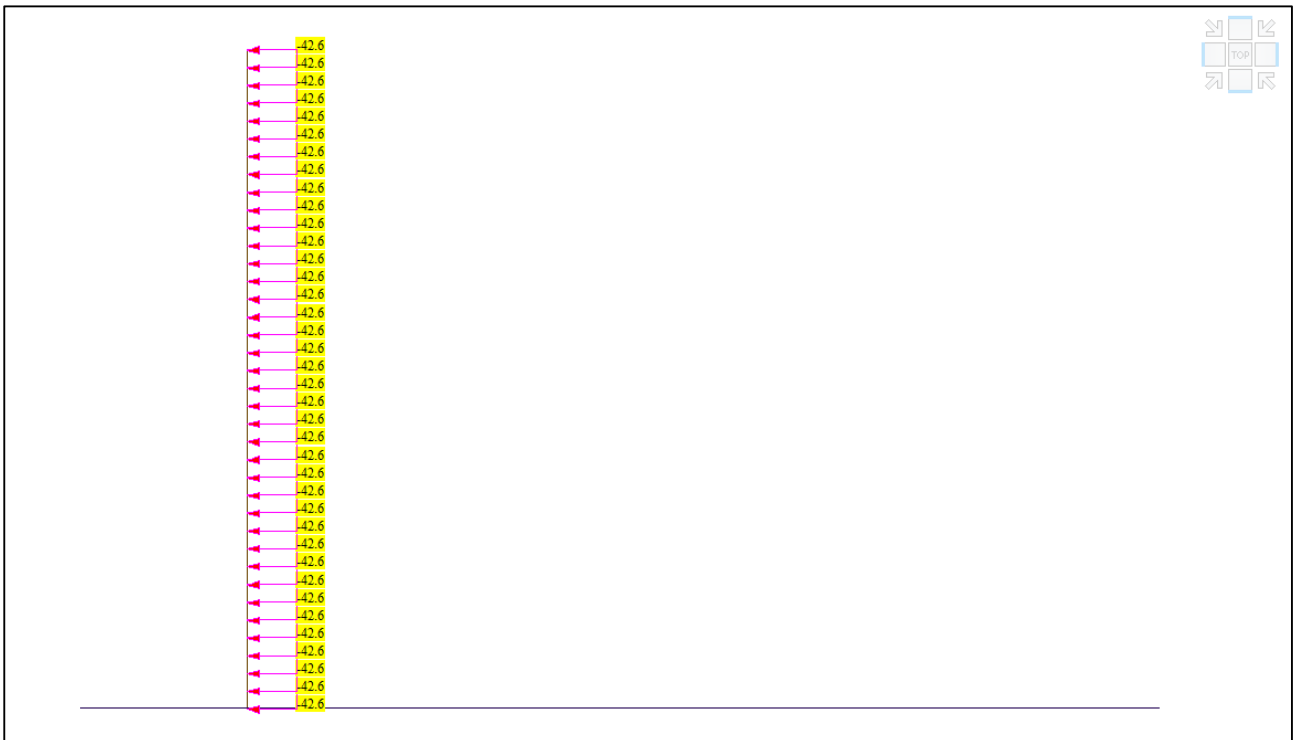
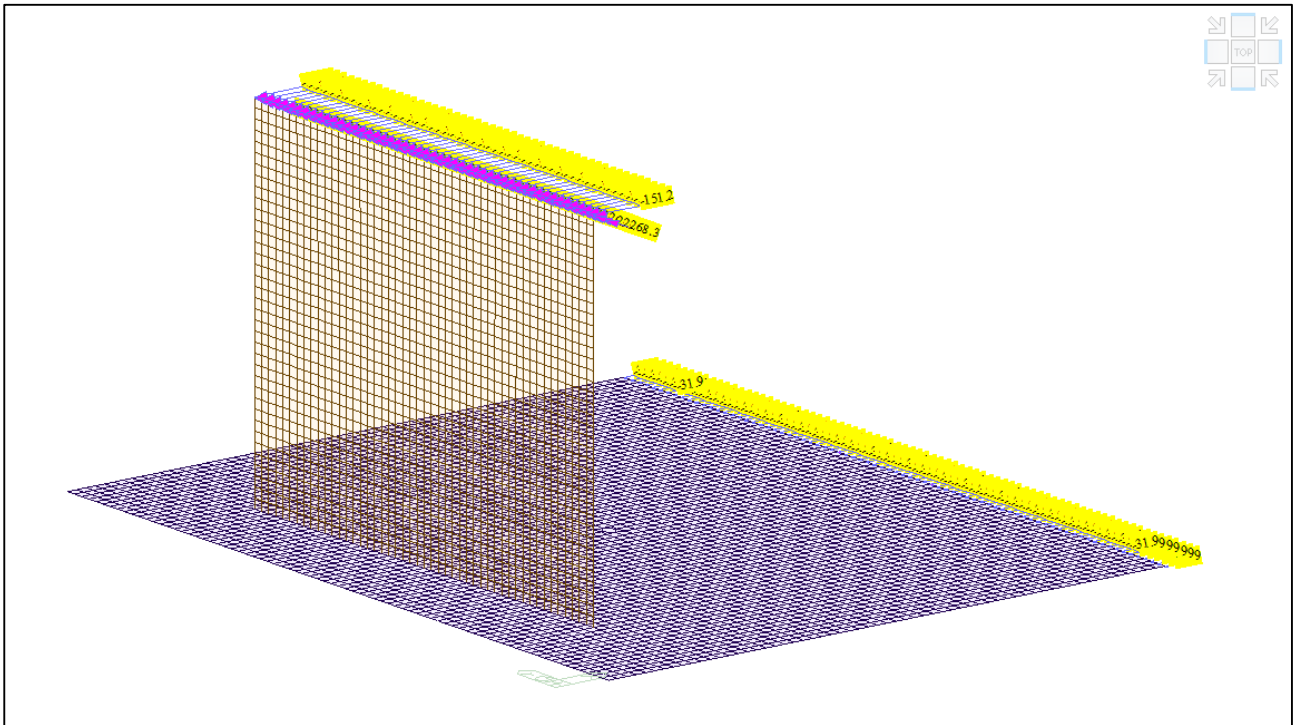
Modello FEM – Condizione di carico Spinta terreno



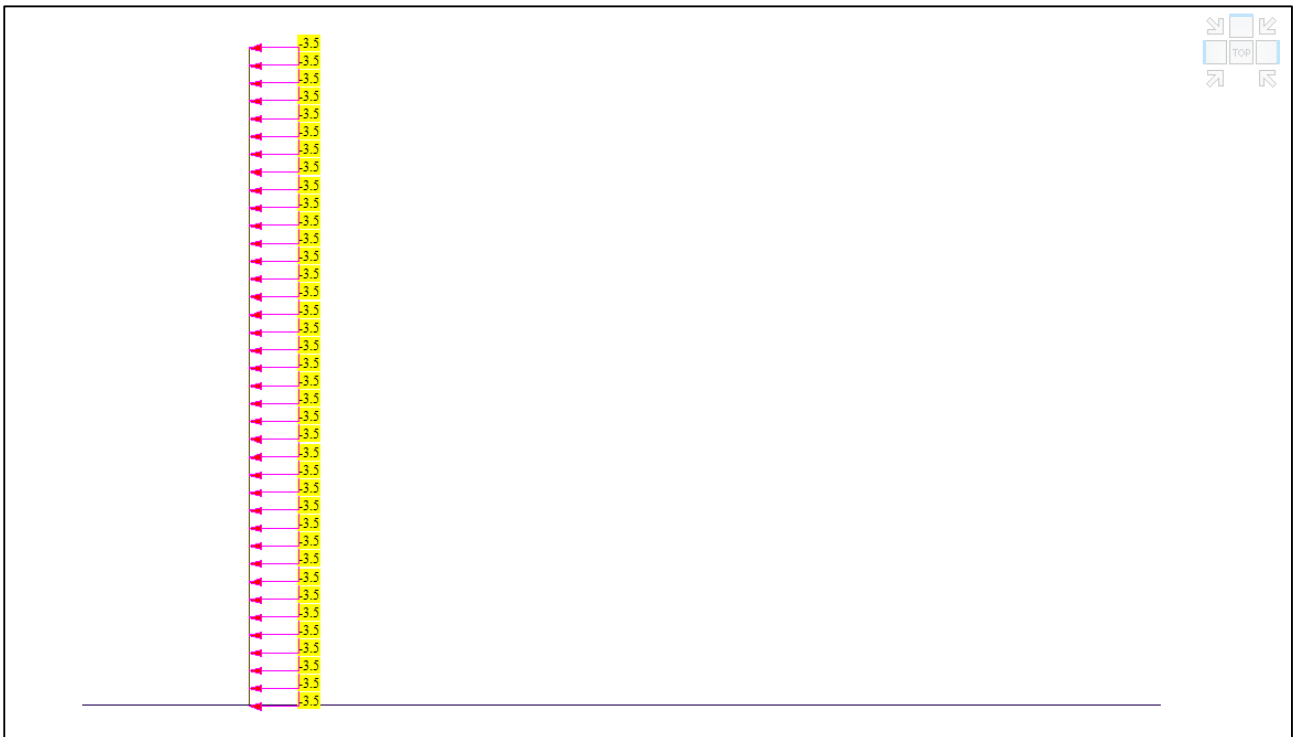
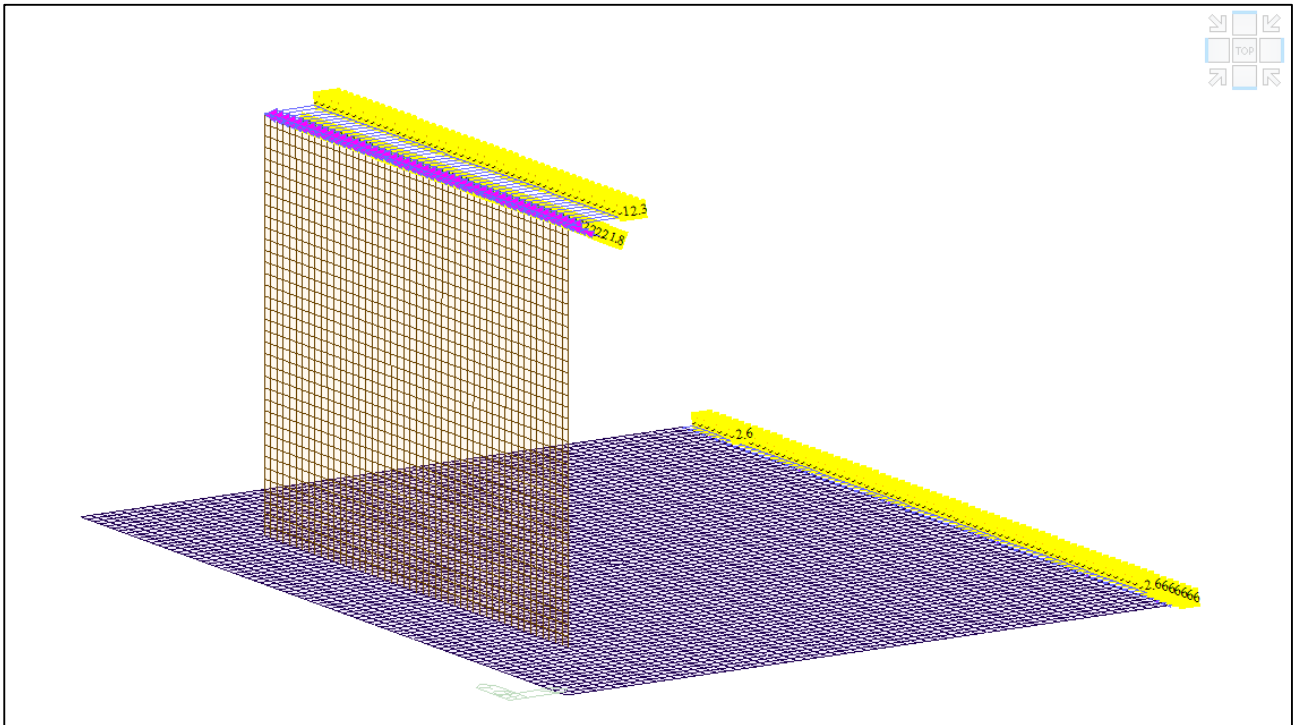
Comune di Vado Ligure

Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo

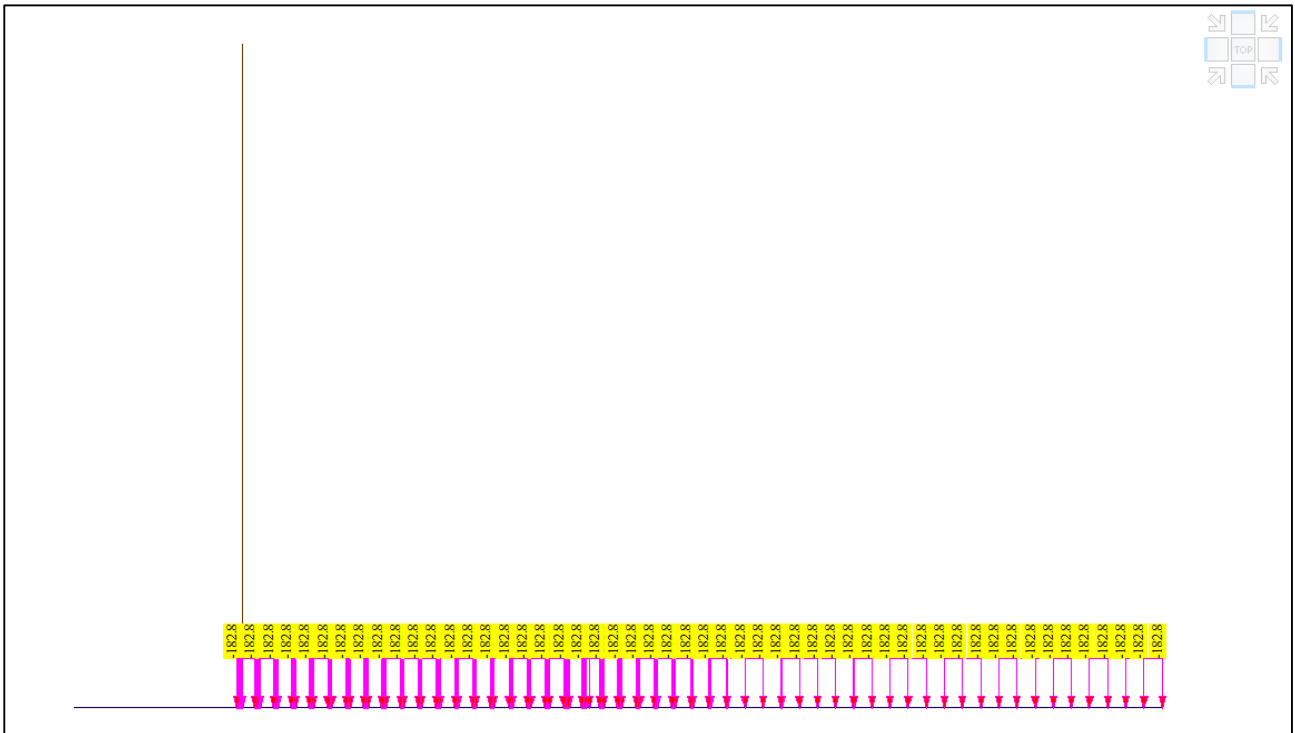
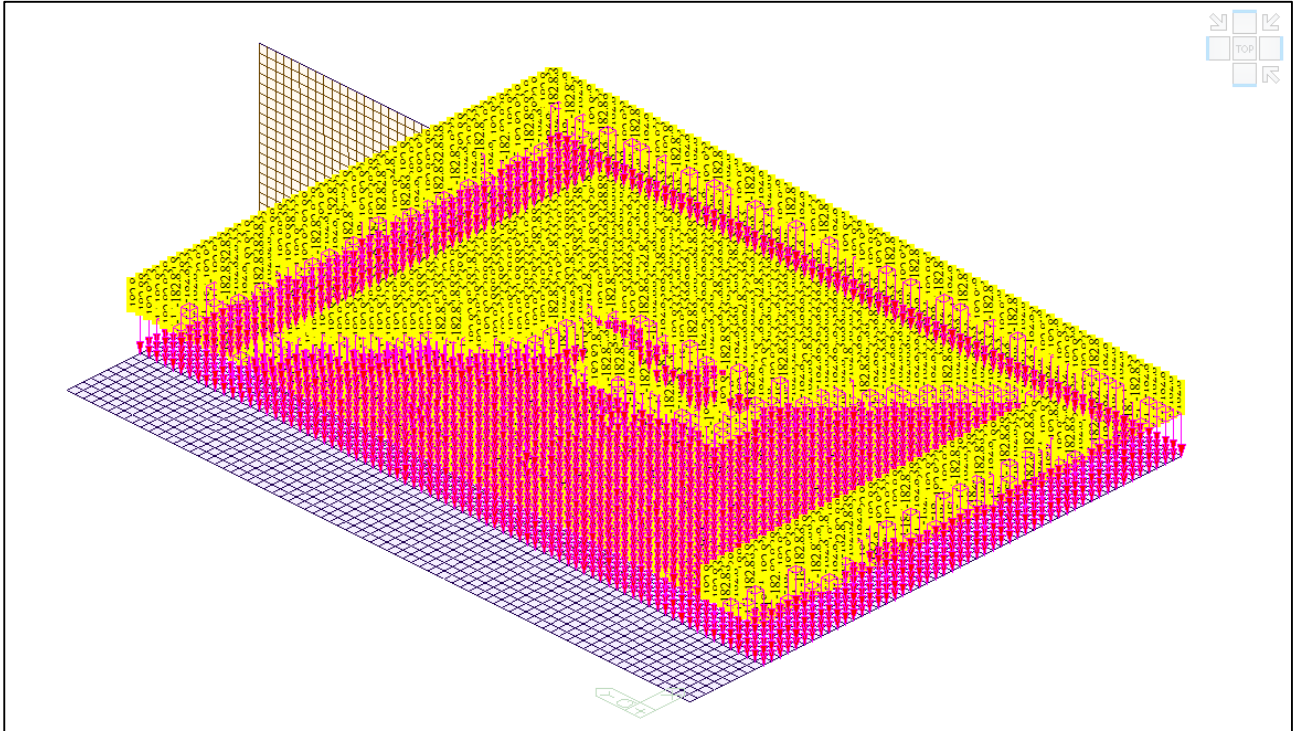
Ponte “Aurelia-bis” – Relazione di calcolo sottostrutture e fondazioni



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

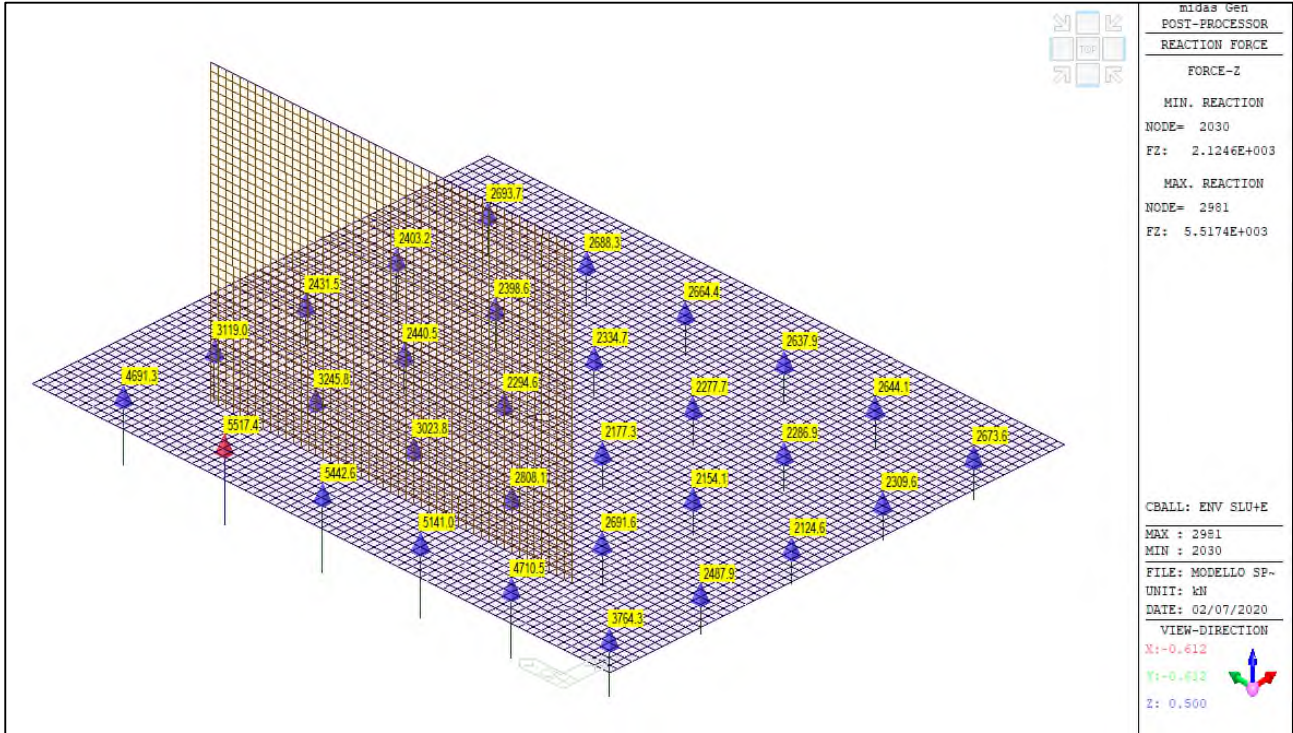
Table with 20 columns: No, Nome, Active, Type, Peso proprio spalla(ST), Peso proprio impalcato(ST), Permanente(ST), Ritiro(ST), Ditr(D1)(ST), Ditr(D2)(ST), Ditr(D3)(ST), Ditr(D4)(ST), Frangimento(ST), Centri(aga)(ST), Termico(ST), Vento(ST), Sisma(ST), Spinta delle terre(ST), Spinta Wood(ST), Spinta sovraccarico(ST), Ricoprimento(ST). Rows include combinations like SLU-1, SLU-2, SLE 1, SLE 2, etc.



## 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 pali



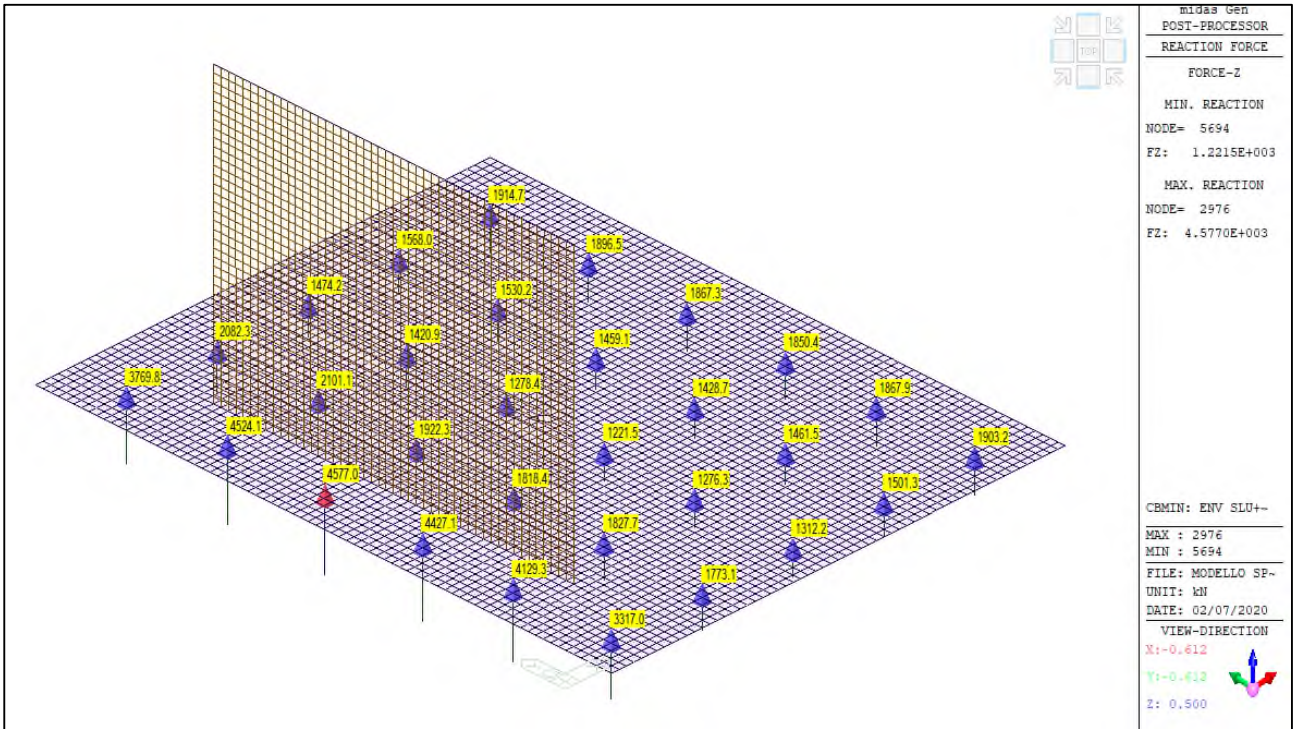
ENV-SLU+E – Reazioni vincolari verticali (Fz) massime



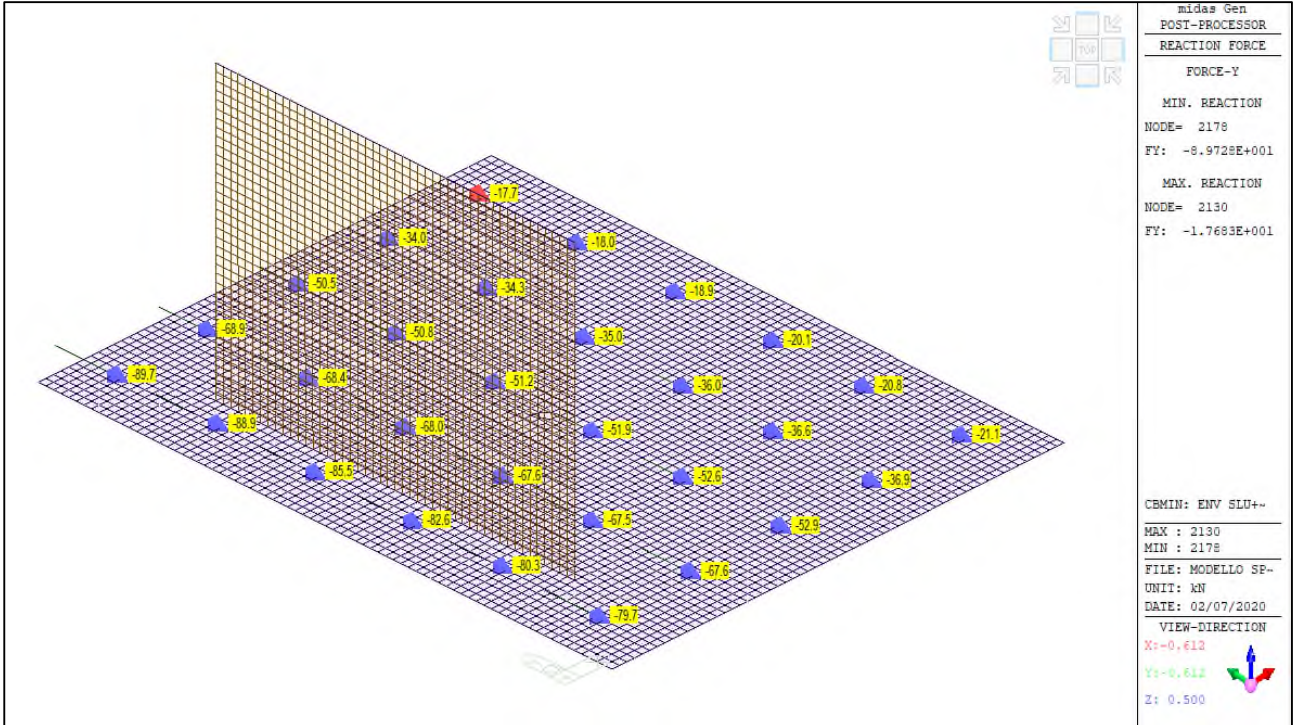
Comune di Vado Ligure

Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo

Ponte “Aurelia-bis” – Relazione di calcolo sottostrutture e fondazioni



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



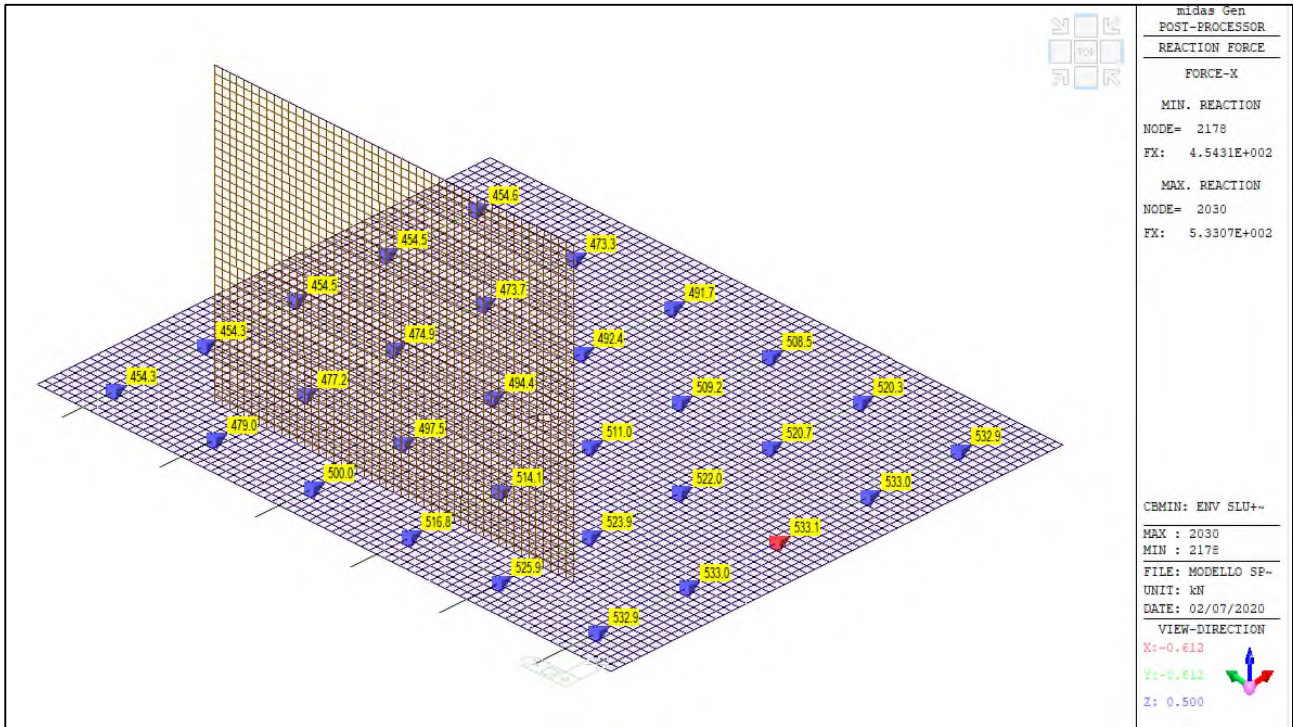
ENV-SLU+E – Reazioni vincolari orizzontali (Fy) massime



Comune di Vado Ligure

Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo

Ponte “Aurelia-bis” – Relazione di calcolo sottostrutture e fondazioni

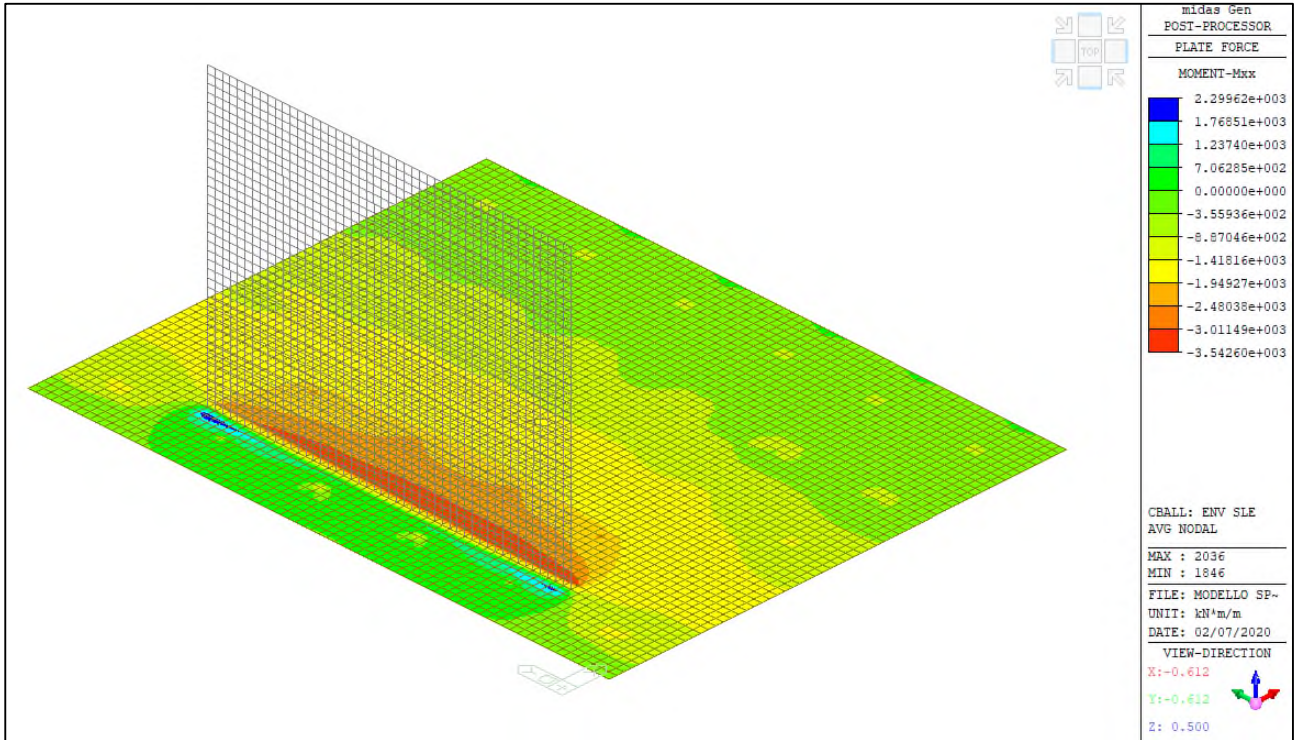


ENV-SLU+E – Reazioni vincolari orizzontali (Fx) massime



### 9.2.2DIAGRAMMI AZIONI INTERNE

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



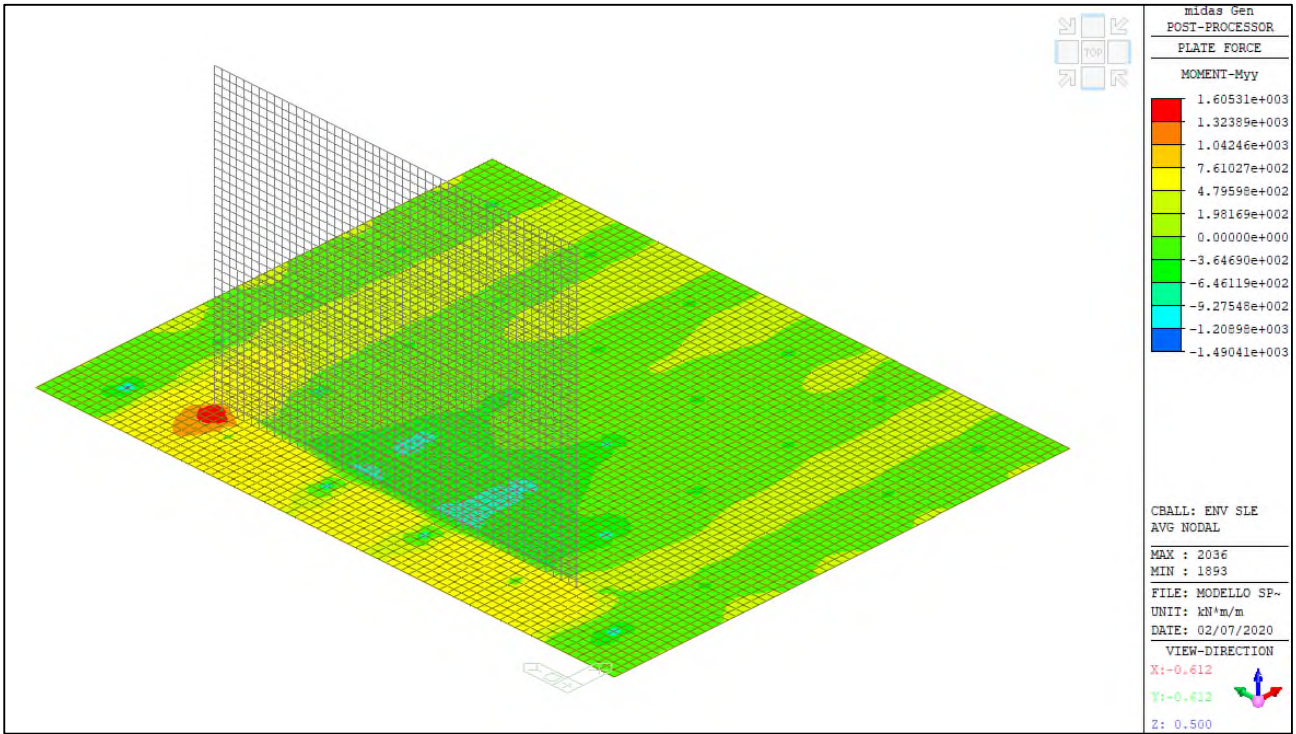
ENV-SLE RARA– Mxx (kNm/m) – Platea



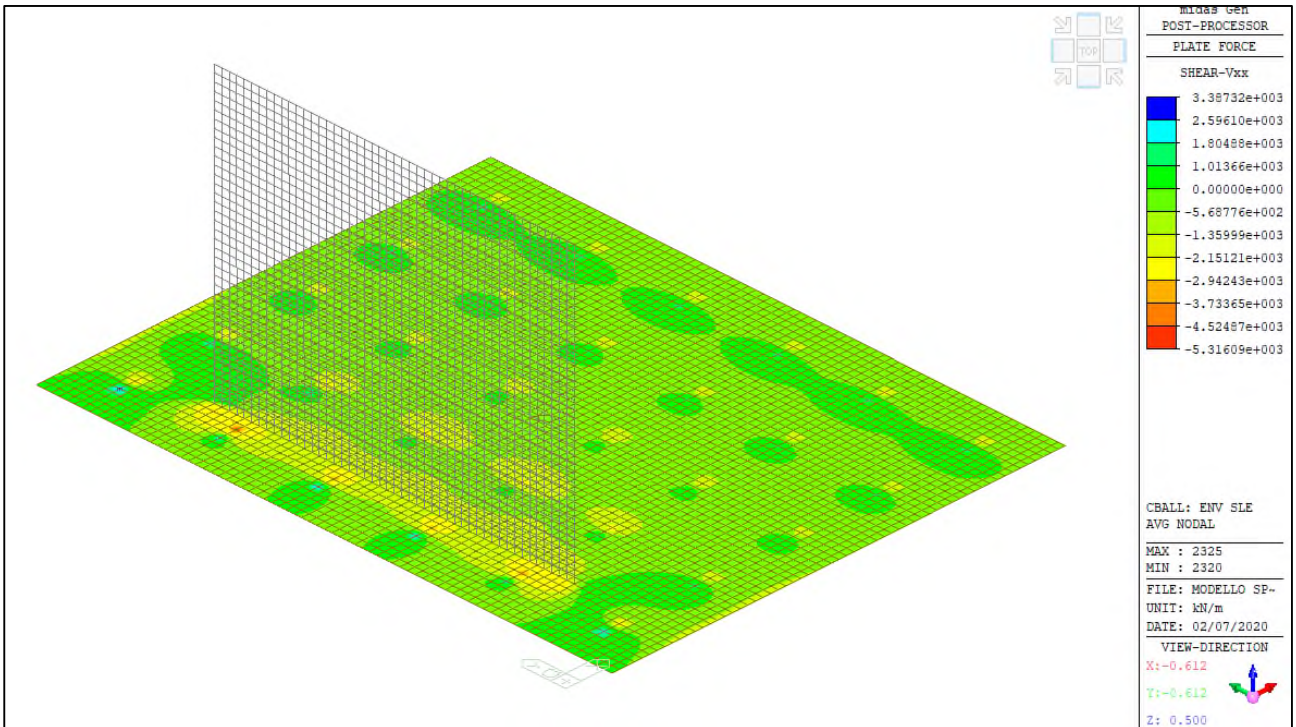
Comune di Vado Ligure

Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo

Ponte “Aurelia-bis” – Relazione di calcolo sottostrutture e fondazioni



ENV-SLE RARA- Myy (kNm/m) – Platea



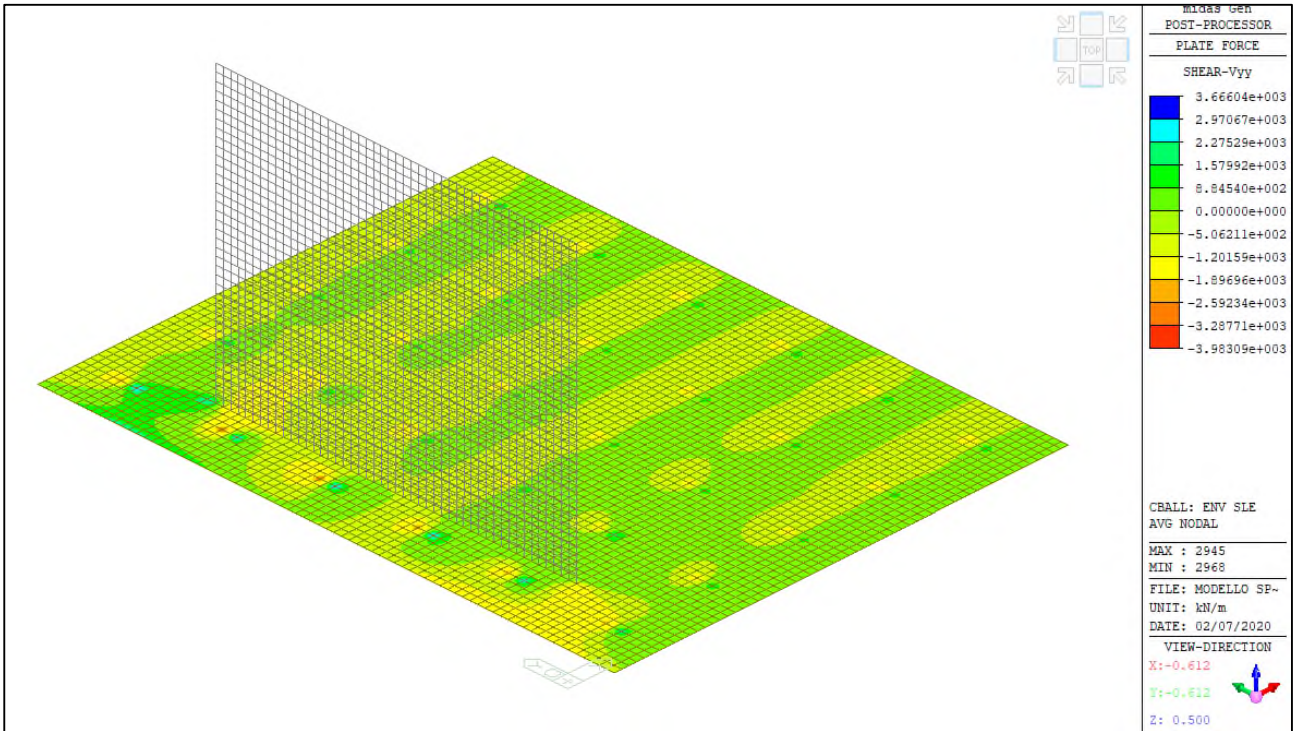
ENV-SLE RARA- Vxx (kN/m) – Platea



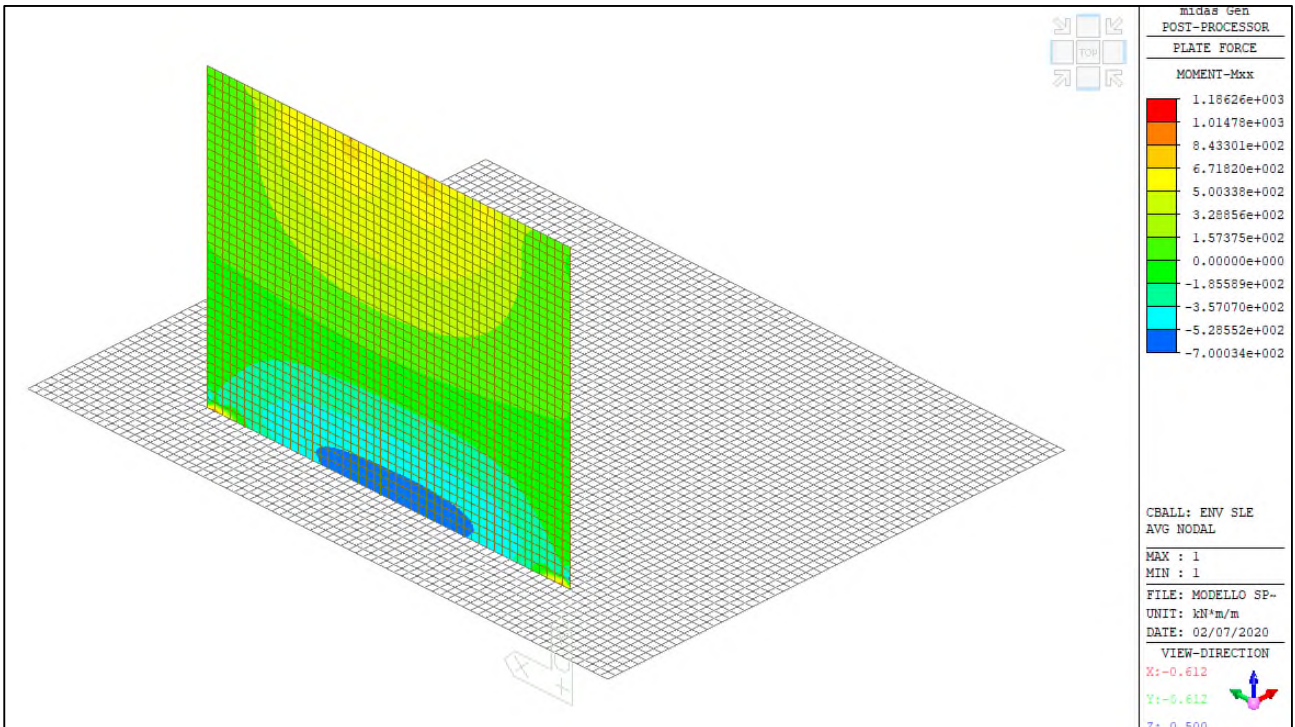
Comune di Vado Ligure

Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo

Ponte “Aurelia-bis” – Relazione di calcolo sottostrutture e fondazioni



ENV-SLE RARA- Vyy (kN/m) – Platea



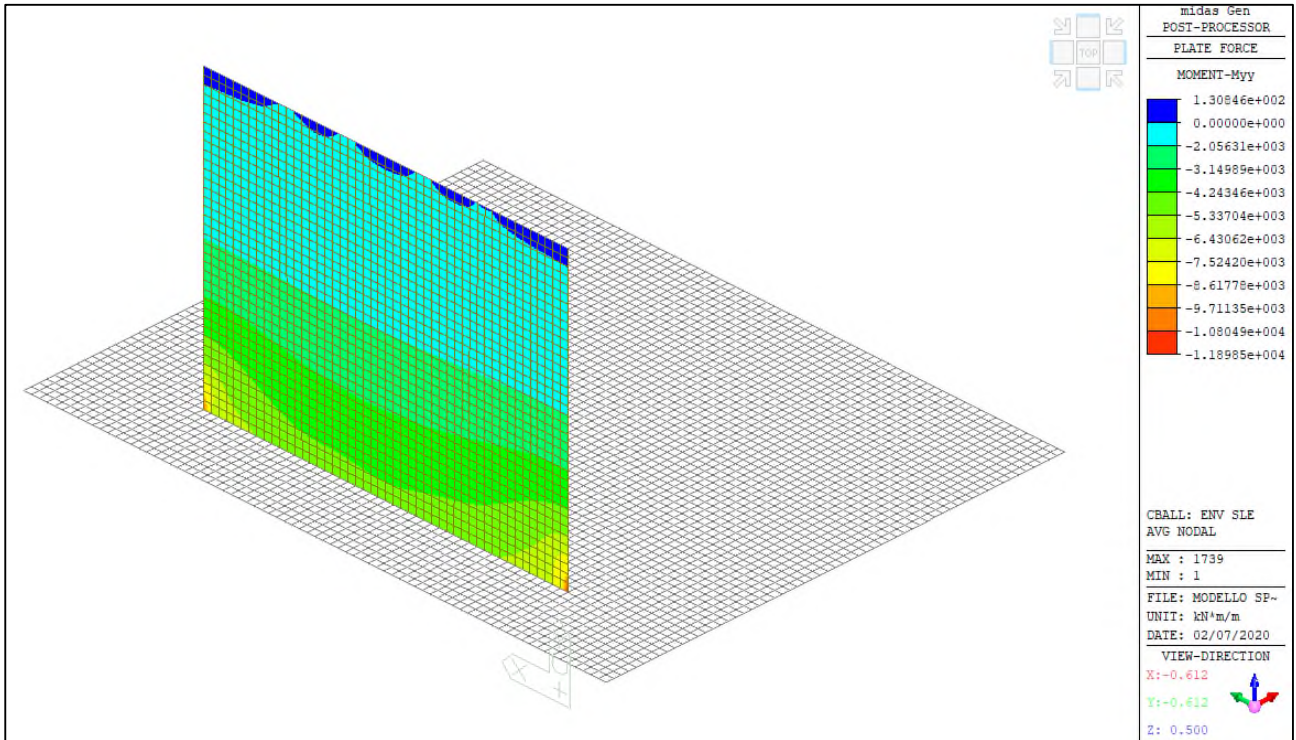
ENV-SLE RARA- Mxx (kNm/m) – Spalla



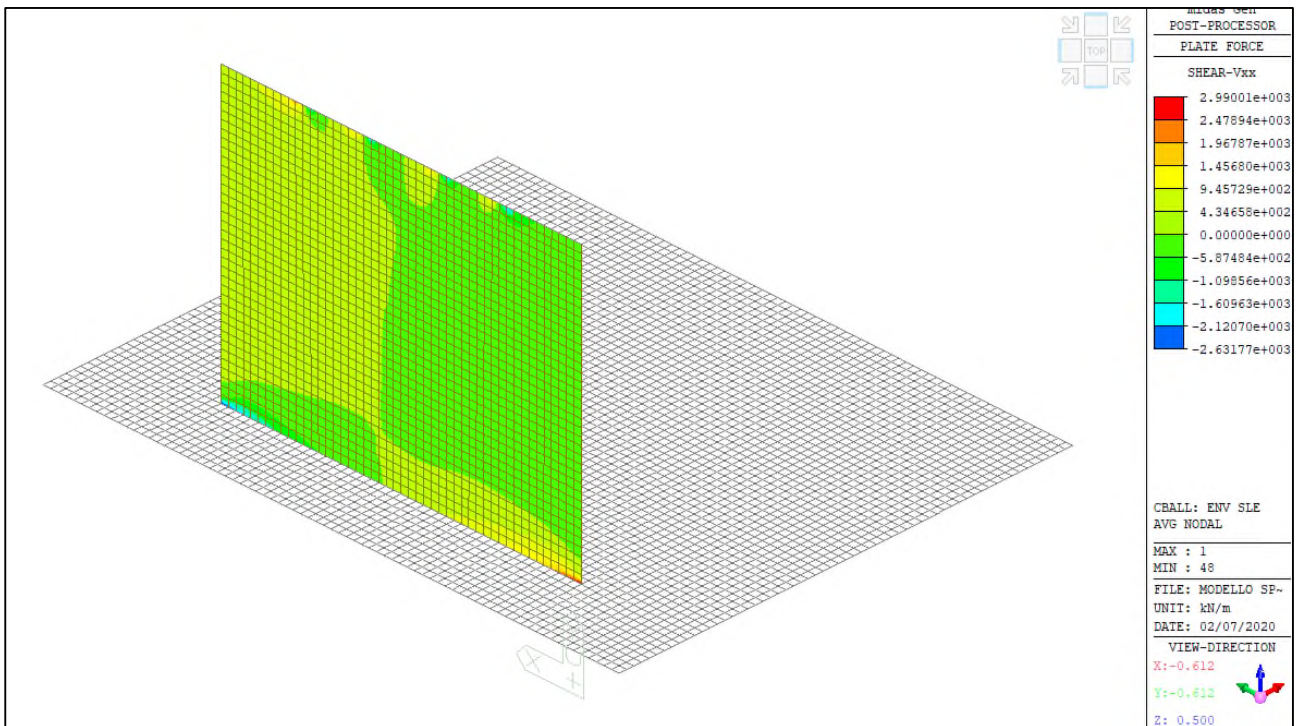
Comune di Vado Ligure

Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo

Ponte “Aurelia-bis” – Relazione di calcolo sottostrutture e fondazioni



ENV-SLE RARA– Myy (kNm/m) – Spalla



ENV-SLE RARA– Vxx (kN/m) – Spalla

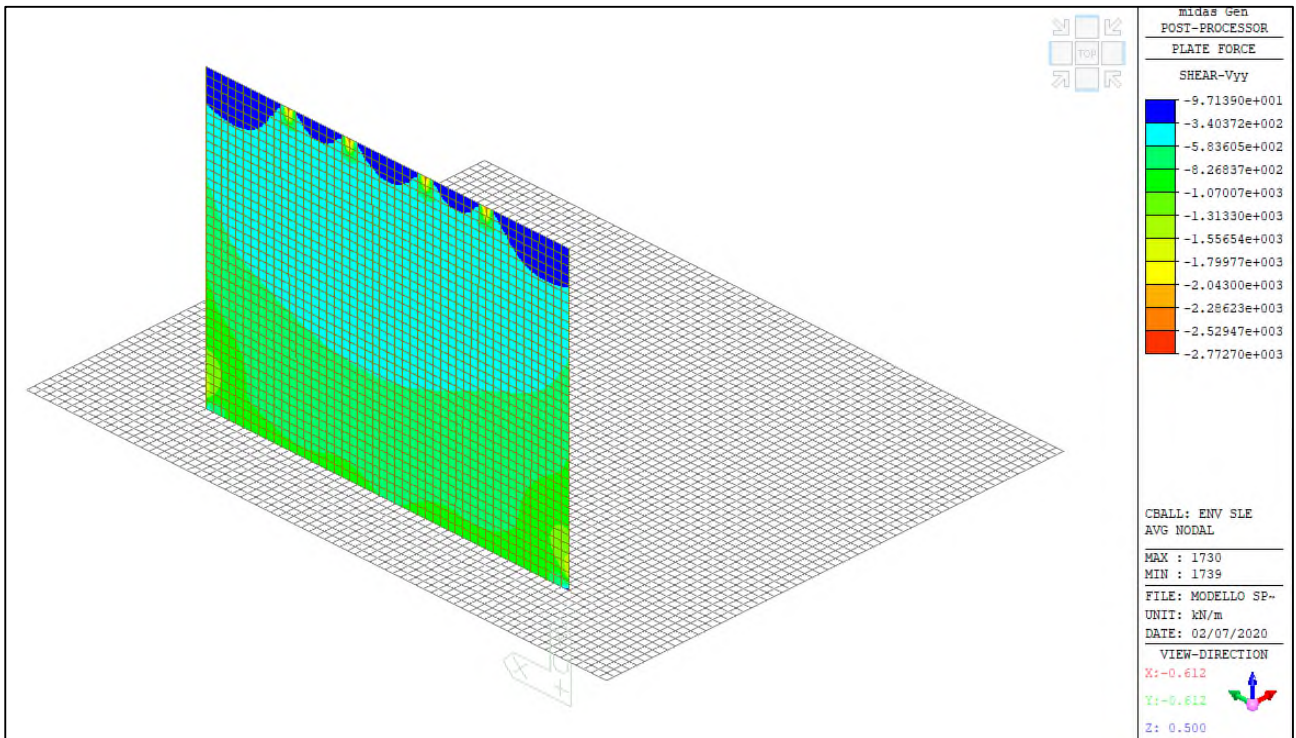




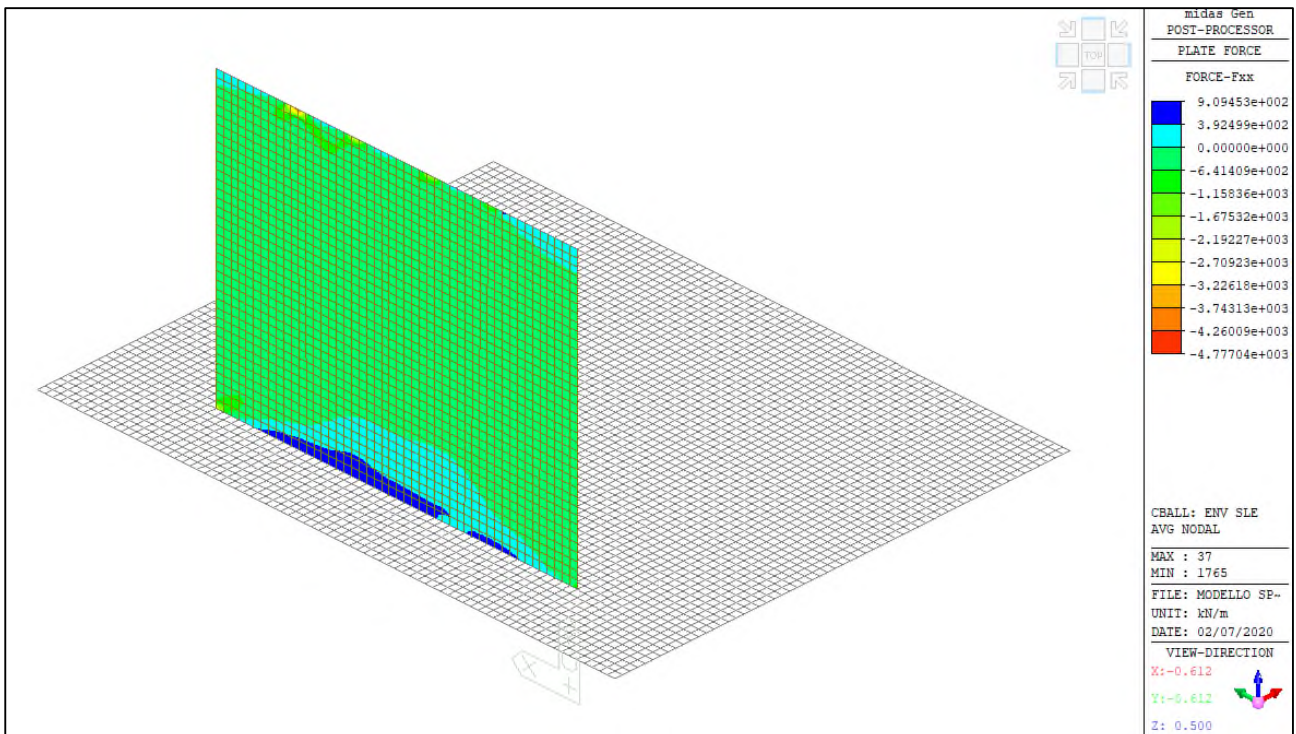
Comune di Vado Ligure

Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo

Ponte “Aurelia-bis” – Relazione di calcolo sottostrutture e fondazioni



ENV-SLE RARA– Vyy (kN/m) – Spalla



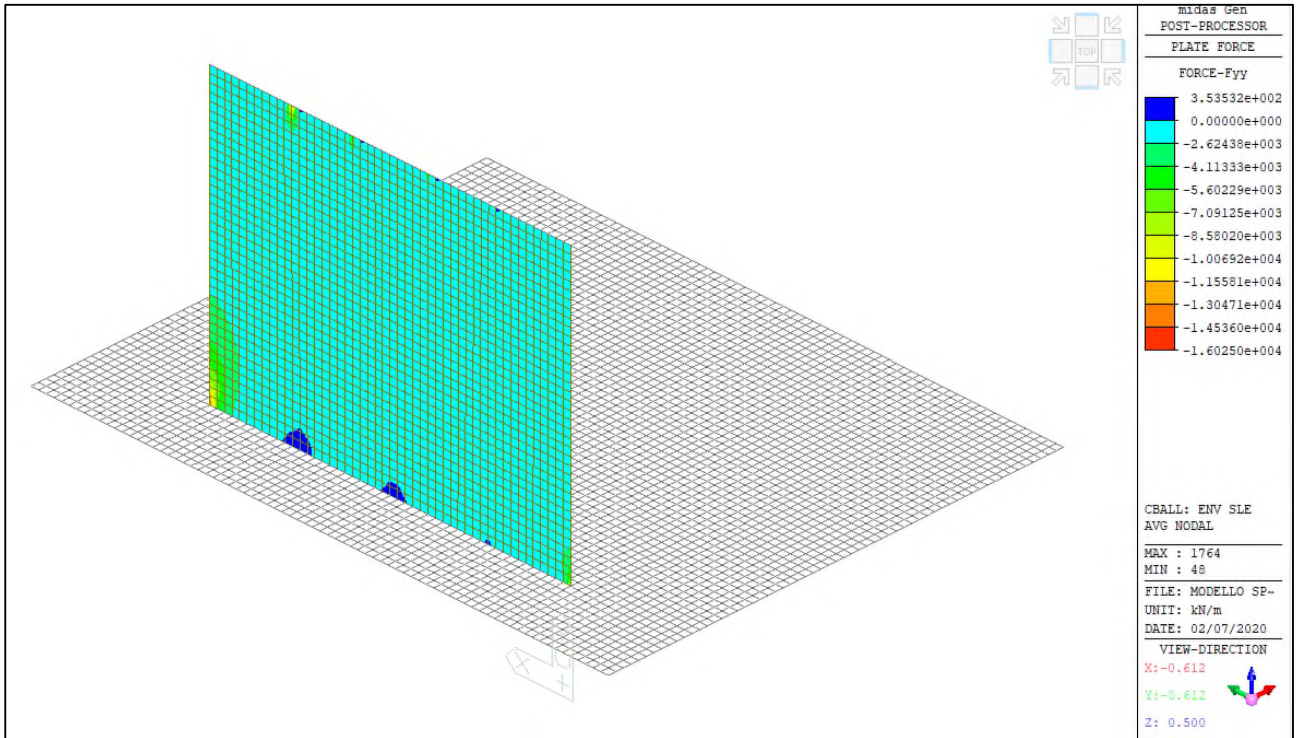
ENV-SLE RARA– Fxx (kN/m) – Spalla



Comune di Vado Ligure

Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo

Ponte “Aurelia-bis” – Relazione di calcolo sottostrutture e fondazioni



ENV-SLE RARA– Fyy (kN/m) – Spalla

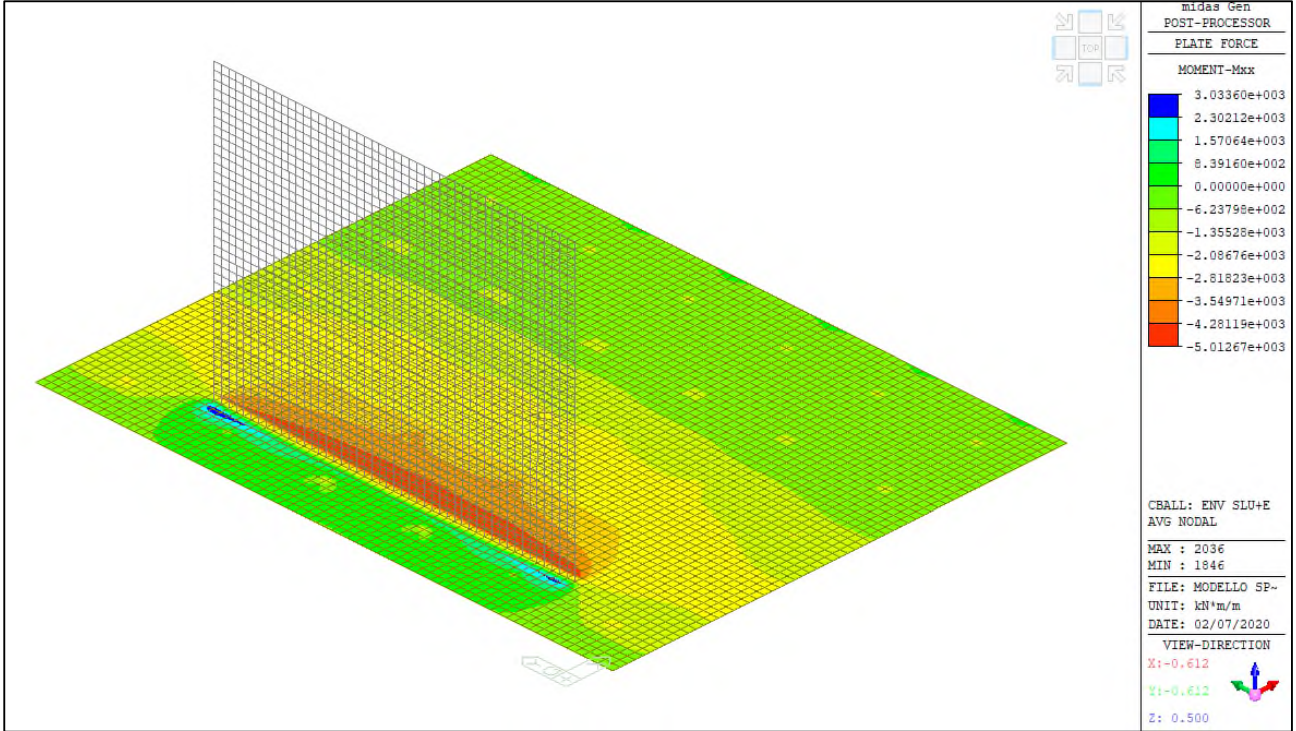


Comune di Vado Ligure

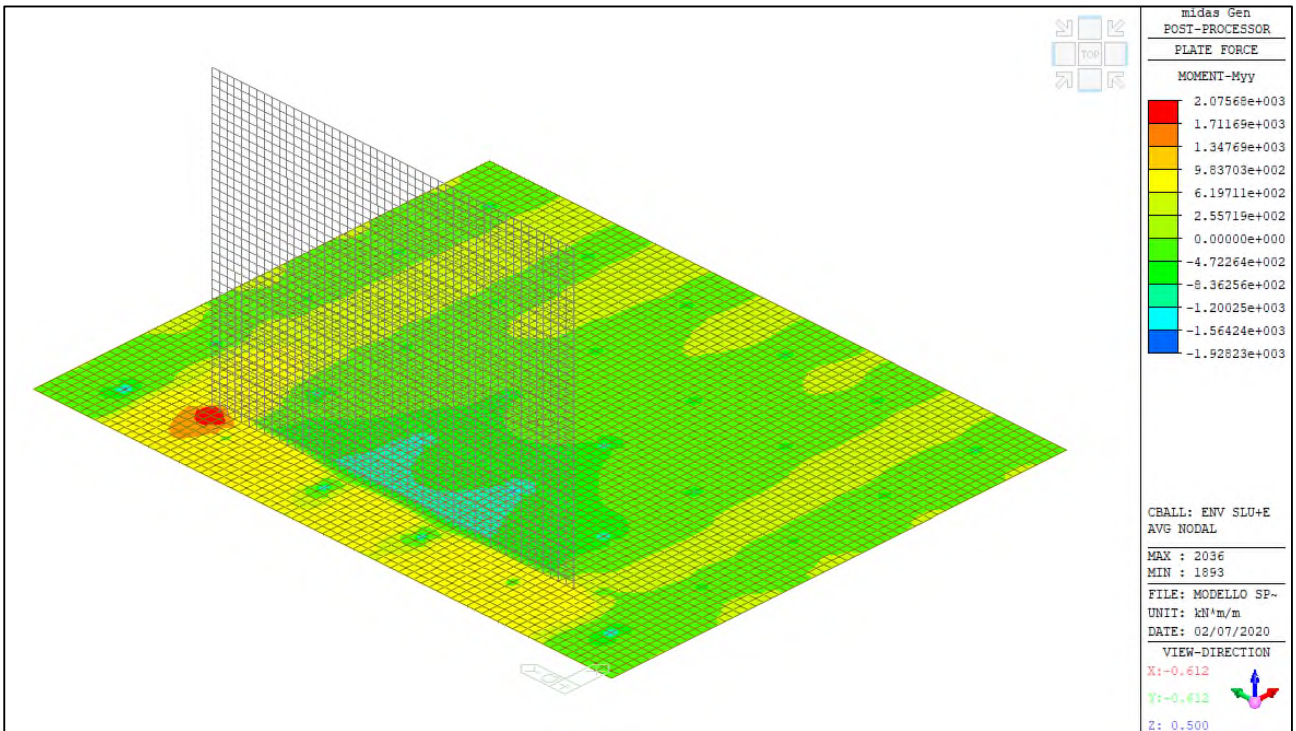
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo

Ponte “Aurelia-bis” – Relazione 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



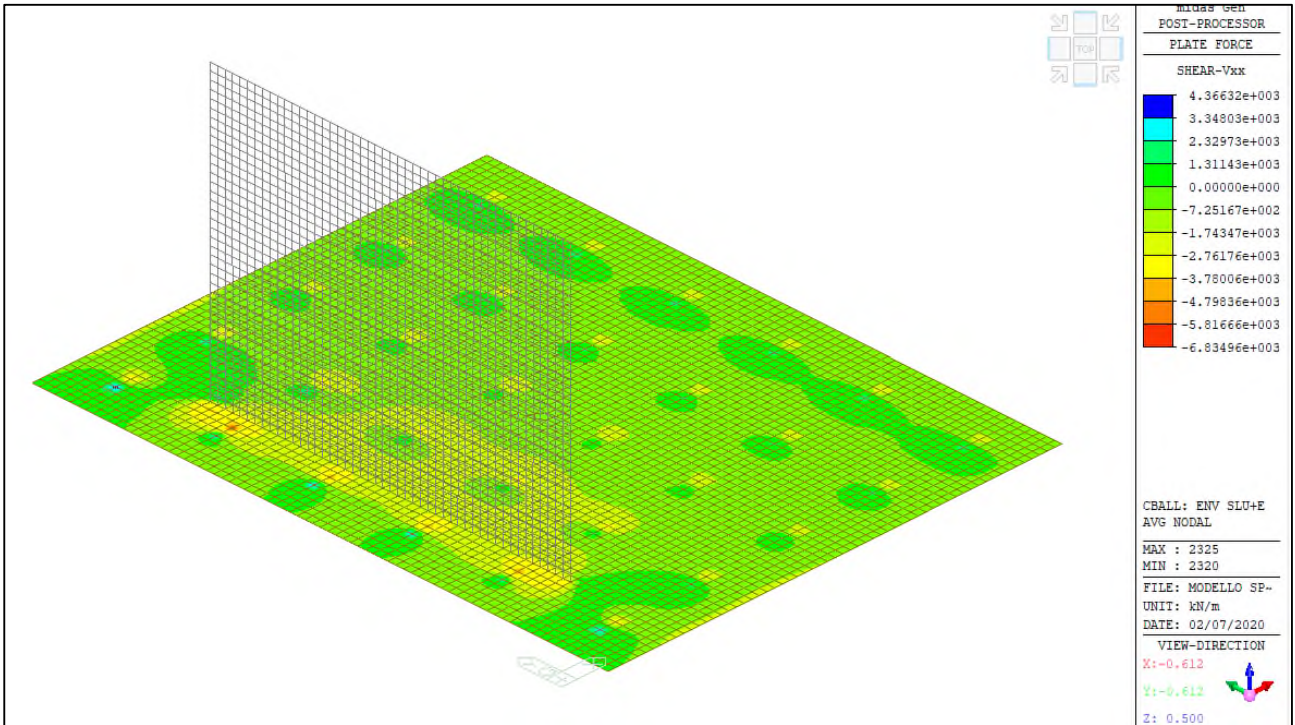
ENV-SLU+E – Myy (kNm/m) – Platea



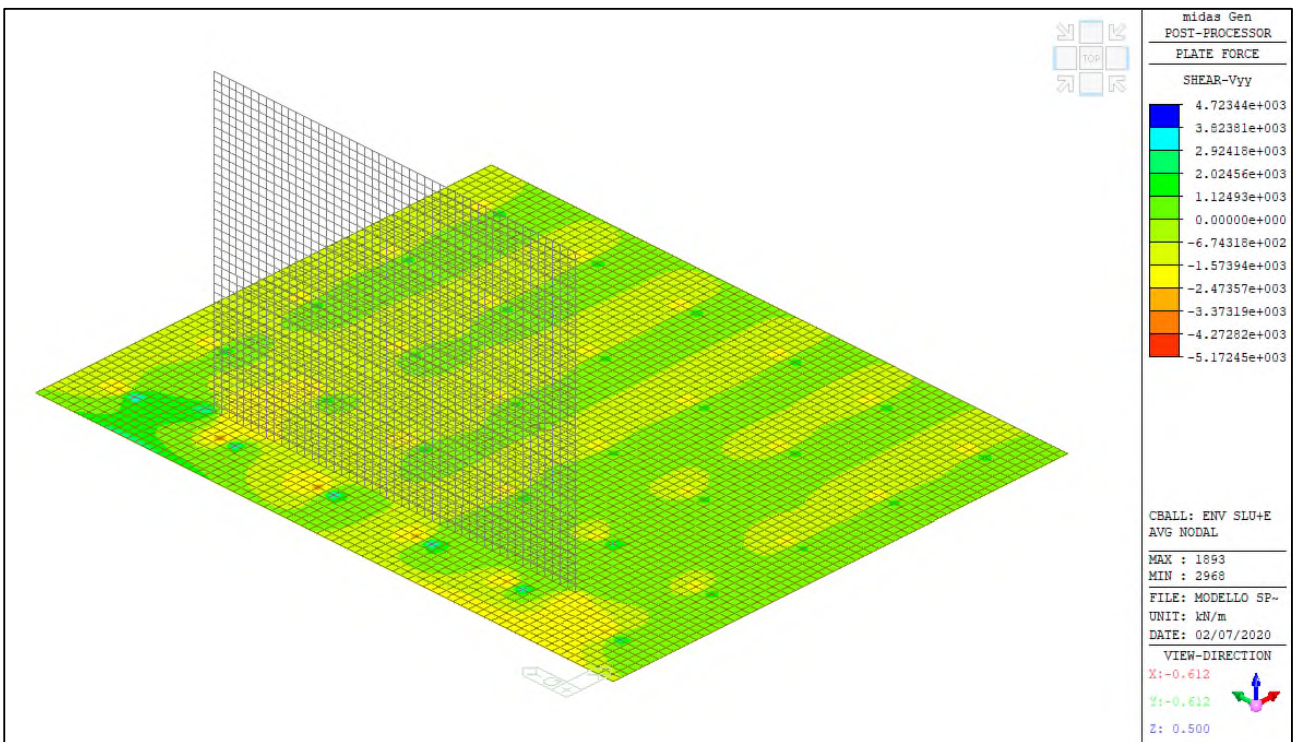
Comune di Vado Ligure

Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo

Ponte “Aurelia-bis” – Relazione di calcolo sottostrutture e fondazioni



ENV-SLU+E – Vxx (kN/m) – Platea



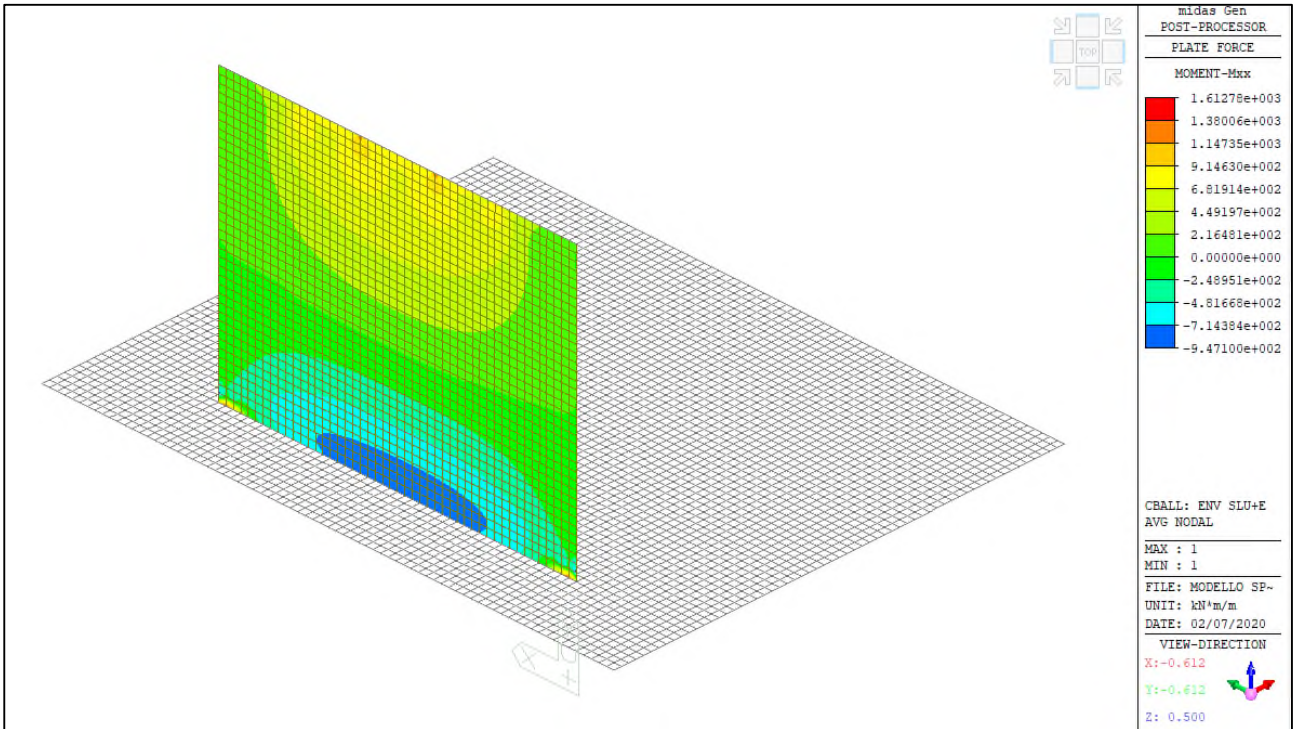
ENV-SLU+E – Vyy (kN/m) – Platea



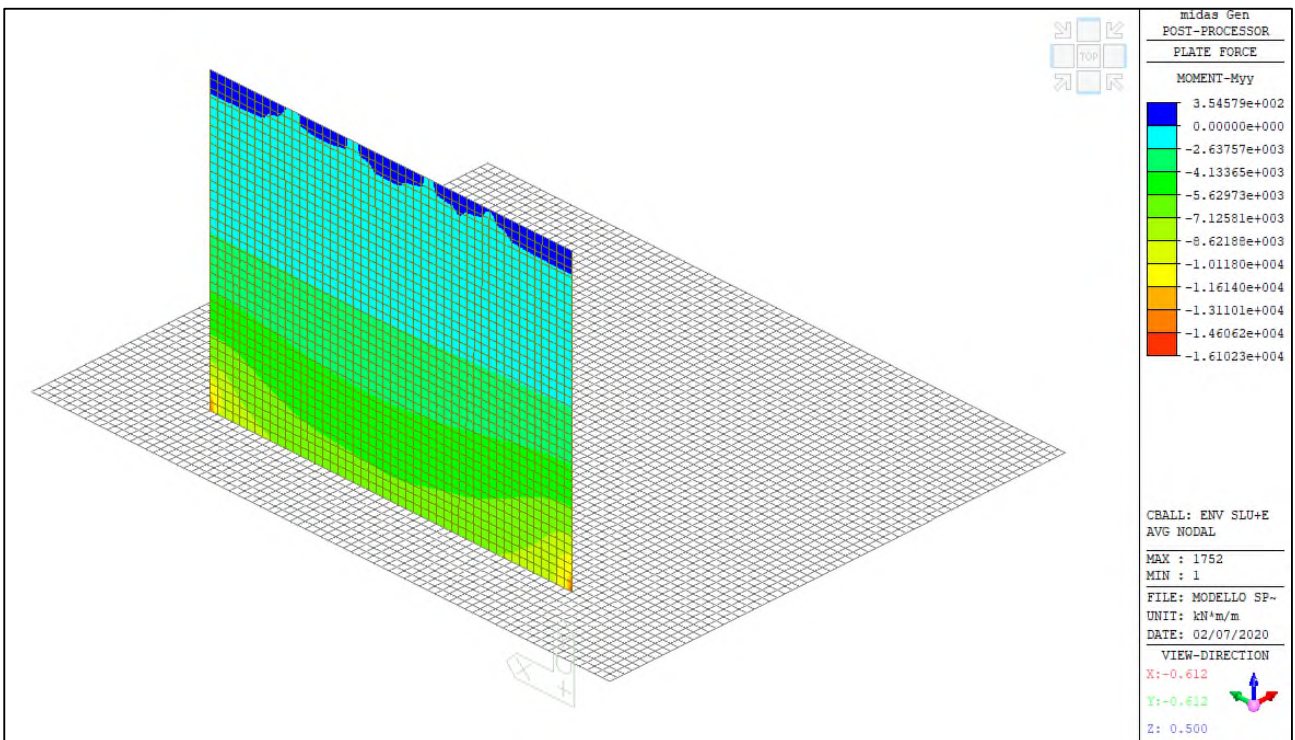
Comune di Vado Ligure

Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo

Ponte “Aurelia-bis” – Relazione di calcolo sottostrutture e fondazioni



ENV-SLU+E – Mxx (kNm/m) – Spalla



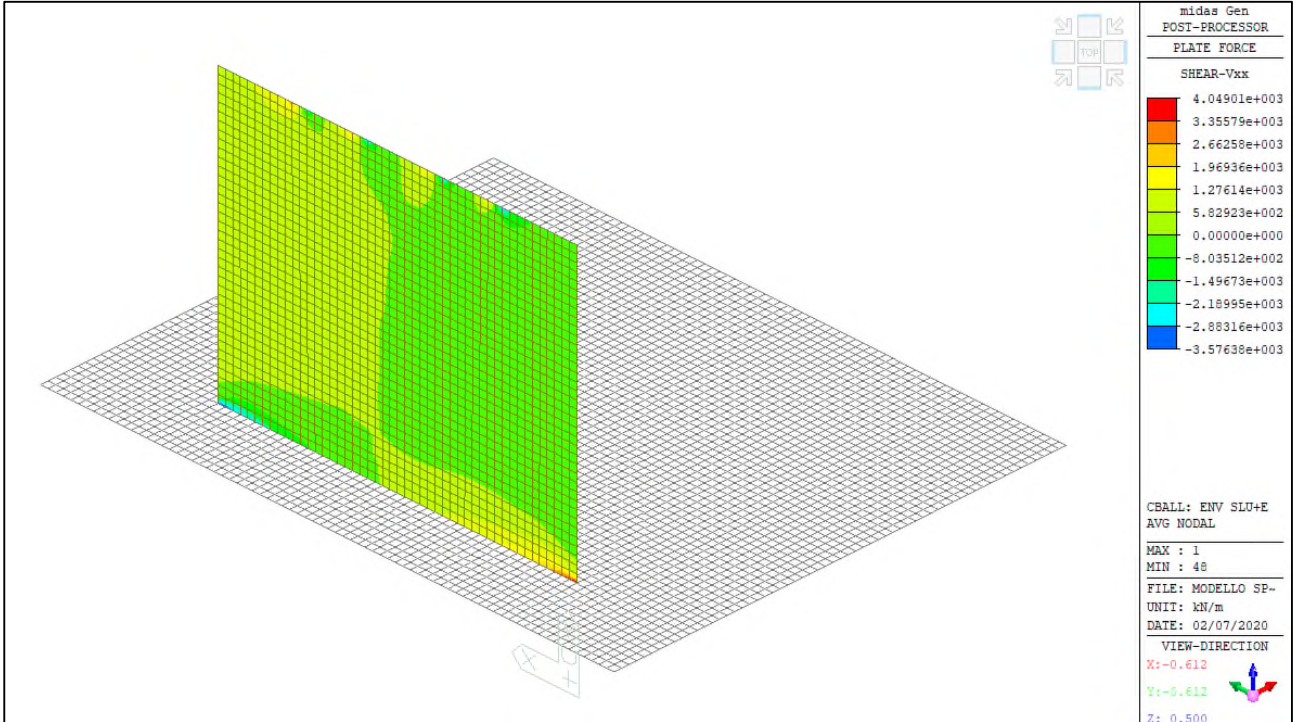
ENV-SLU+E – Myy (kNm/m) – Spalla



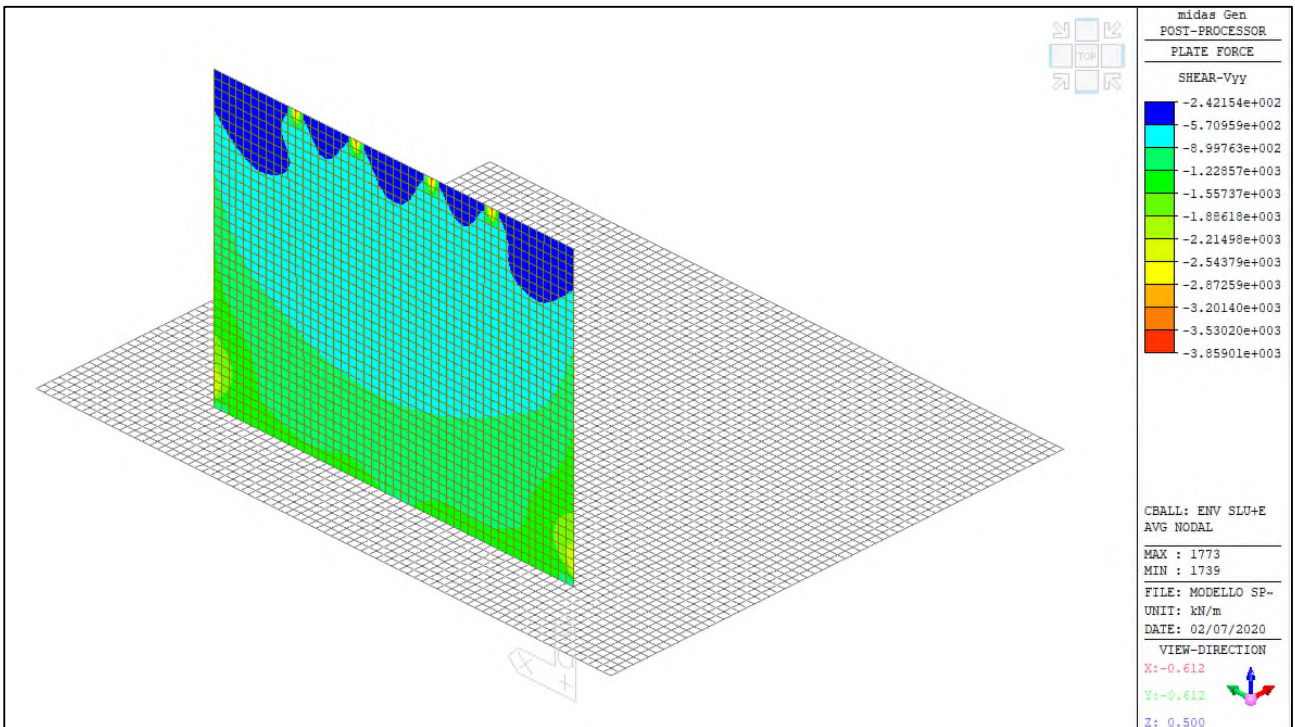
Comune di Vado Ligure

Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo

Ponte “Aurelia-bis” – Relazione di calcolo sottostrutture e fondazioni



ENV-SLU+E – Vxx (kN/m) – Spalla



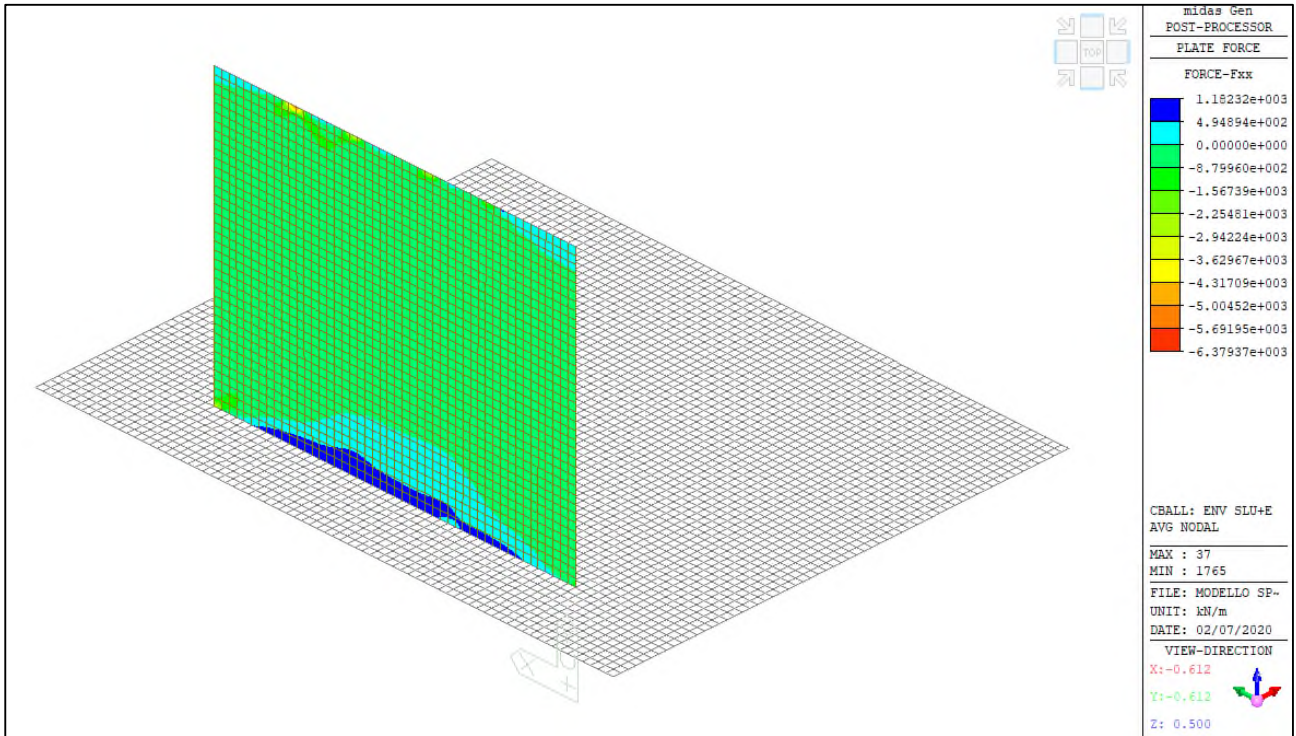
ENV-SLU+E – Vyy (kN/m) – Spalla



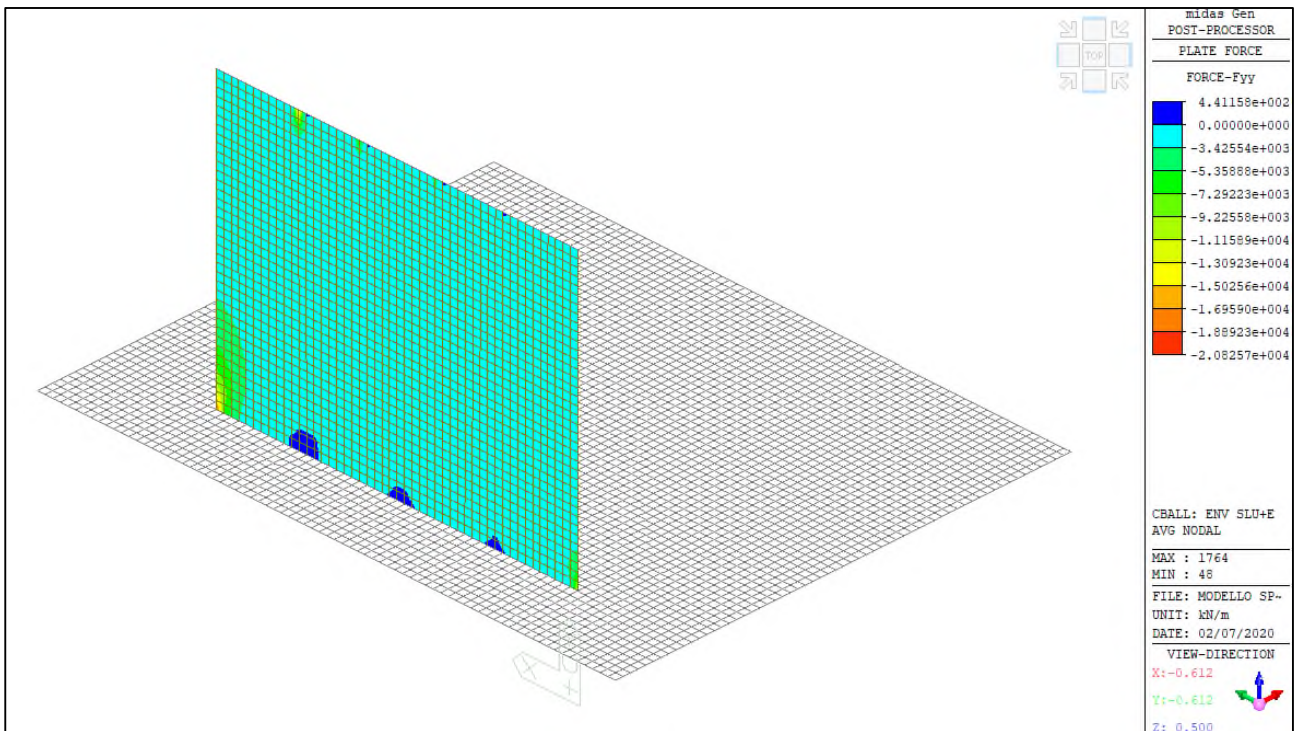
Comune di Vado Ligure

Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo

Ponte “Aurelia-bis” – Relazione di calcolo sottostrutture e fondazioni



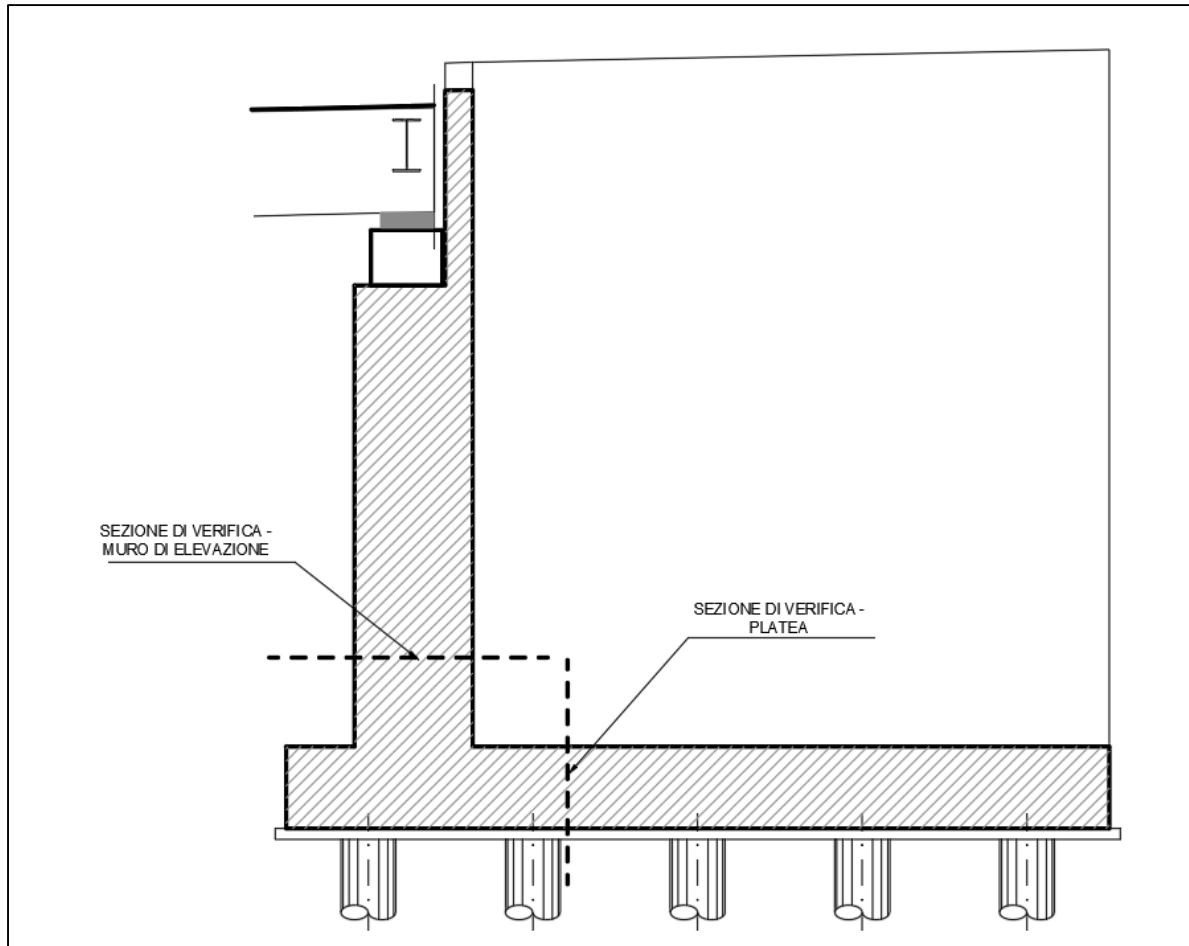
ENV-SLU+E – Fxx (kN/m) – Spalla



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     | 2704.3          | 935.4           | 3445.2          | 1176.3          | 3542.6          | 1605.3          | 5012.7          | 1920.4          |
| ELEVAZIONE | 952.4           | 3689.1          | 1160            | 5000.1          | 1182.3          | 6925.4          | 1612.8          | 7260            |





1. Platea

Le armature sono costituite da una maglia base

- $\Phi 30/20$  inferiori in direzione x
- $\Phi 40/10$  superiori in direzione x
- $\Phi 30/20$  inferiori e superiori in direzione y
- Spilli  $\Phi 16/20 \times 40$

Armatura platea direzione x

Armatura interna: copriferro  $5.0+3.0+1.5= 9.5$  cm

| geometria              |        |       |                    |                    |
|------------------------|--------|-------|--------------------|--------------------|
| sezione trasversale    |        |       |                    |                    |
| B                      | H      | c     | d                  | z                  |
| [cm]                   | [cm]   | [cm]  | [cm]               | [cm]               |
| 100                    | 150    | 8.0   | 140.0              | 126.0              |
| armatura longitudinale |        |       |                    |                    |
| nbarre                 | $\phi$ | d     | $A_{sl}$           |                    |
|                        | [mm]   | [cm]  | [cm <sup>2</sup> ] |                    |
| 5                      | 30     | 9.5   | 35.34              |                    |
| 10                     | 40     | 140.0 | 125.66             |                    |
| armatura a taglio      |        |       |                    |                    |
| nbracci                | $\phi$ | s     | $\alpha$           | $A_{sw}$           |
|                        | [mm]   | [cm]  | [°]                | [cm <sup>2</sup> ] |
| 5                      | 16     | 40    | 90                 | 10.05              |

| SLU                           | SLE - R                       | SLE - F                                | SLE - QP                               |
|-------------------------------|-------------------------------|--|--|
| SLU                           | SLE                           | SLE                                    | SLE                                    |
| M <sub>Ed</sub> 5012.70 [kNm] | M <sub>Ek</sub> 3542.6 [kNm]  | M <sub>Ek</sub> 3445.2 [kNm]           | M <sub>Ek</sub> 2704.3 [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> 3000.00 [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> 6289.5 [kNm]  | M <sub>cr</sub> 1131.6 [kNm]  | M <sub>cr</sub> 1131.6 [kNm]           | M <sub>cr</sub> 1131.6 [kNm]           |
| FS 1.25                       | y <sub>n</sub> -21.94 [cm]    | y <sub>n</sub> -21.94 [cm]             | y <sub>n</sub> -21.94 [cm]             |
|                               | $\sigma_{c,min}$ -9.3 [MPa]   | $\sigma_{c,min}$ -9.0 [MPa]            | $\sigma_{c,min}$ -7.1 [MPa]            |
|                               | $\sigma_{s,min}$ -114.4 [MPa] | $\sigma_{s,min}$ -111.3 [MPa]          | $\sigma_{s,min}$ -87.3 [MPa]           |
|                               | $\sigma_{s,max}$ 228.3 [MPa]  | $\sigma_{s,max}$ 222.1 [MPa]           | $\sigma_{s,max}$ 174.3 [MPa]           |
|                               |                               | k <sub>2</sub> 0.5                     | k <sub>2</sub> 0.5                     |
|                               |                               | $\epsilon_{sm}-\epsilon_{cm}$ 0.93 [‰] | $\epsilon_{sm}-\epsilon_{cm}$ 0.69 [‰] |
|                               |                               | S <sub>r,max</sub> 40.7 [cm]           | S <sub>r,max</sub> 40.7 [cm]           |
|                               |                               | W <sub>k</sub> 0.379 [mm]              | W <sub>k</sub> 0.282 [mm]              |



Armatura platea direzione y

Armatura esterna: copriferro 5.0+1.5= 6.5 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                 | φ    | d     | Asl                |                    |
|                        | [mm] | [cm]  | [cm <sup>2</sup> ] |                    |
| 5                      | 30   | 6.5   | 35.34              |                    |
| 5                      | 30   | 143.5 | 35.34              |                    |
| armatura a taglio      |      |       |                    |                    |
| nbracci                | φ    | s     | α                  | Asw                |
|                        | [mm] | [cm]  | [°]                | [cm <sup>2</sup> ] |
| 5                      | 16   | 40    | 90                 | 10.05              |

| SLU              |               | SLE - R                   |              | SLE - F                          |              | SLE - QP                         |             |
|------------------|---------------|---------------------------|--------------|----------------------------------|--------------|----------------------------------|-------------|
| SLU              |               | SLE                       |              | SLE                              |              | SLE                              |             |
| MEd              | 1920.40 [kNm] | MEk                       | 1605.3 [kNm] | MEk                              | 1176.3 [kNm] | MEk                              | 935.4 [kNm] |
| NEd              | 0.00 [kN]     | NEk                       | 0 [kN]       | NEk                              | 0 [kN]       | NEk                              | 0 [kN]      |
| VEd              | 2305.80 [kN]  | <b>tensioni e fessure</b> |              | <b>tensioni e fessure</b>        |              | <b>tensioni e fessure</b>        |             |
| presso-flessione |               | 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               | 1.07          |                           |              |                                  |              |                                  |             |
|                  |               | yn                        | -44.34 [cm]  | yn                               | -44.34 [cm]  | yn                               | -44.34 [cm] |
|                  |               | σ <sub>c,min</sub>        | -6.1 [MPa]   | σ <sub>c,min</sub>               | -4.5 [MPa]   | σ <sub>c,min</sub>               | -3.6 [MPa]  |
|                  |               | σ <sub>s,min</sub>        | -72.5 [MPa]  | σ <sub>s,min</sub>               | -53.2 [MPa]  | σ <sub>s,min</sub>               | -42.3 [MPa] |
|                  |               | σ <sub>s,max</sub>        | 338.8 [MPa]  | σ <sub>s,max</sub>               | 248.2 [MPa]  | σ <sub>s,max</sub>               | 197.4 [MPa] |
|                  |               |                           |              | k <sub>2</sub>                   | 0.5          | k <sub>2</sub>                   | 0.5         |
|                  |               |                           |              | ε <sub>sm</sub> -ε <sub>cm</sub> | 0.93 [‰]     | ε <sub>sm</sub> -ε <sub>cm</sub> | 0.68 [‰]    |
|                  |               |                           |              | S <sub>r,max</sub>               | 40.4 [cm]    | S <sub>r,max</sub>               | 40.4 [cm]   |
|                  |               |                           |              | W <sub>k</sub>                   | 0.376 [mm]   | W <sub>k</sub>                   | 0.273 [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 = | 10    | cm |
| altezza utile                    | d = | 140   | cm |
| braccio coppia interna           | z = | 126.0 | cm |

**armatura a taglio**

|                |            |       |                 |
|----------------|------------|-------|-----------------|
| numero braccia | n =        | 5     |                 |
| diametro       | $\phi$ =   | 16    | mm              |
| passo          | s =        | 40    | cm              |
| inclinazione   | $\alpha$ = | 90    | °               |
| area           | $A_{sw}$ = | 10.05 | cm <sup>2</sup> |

**armatura longitudinale tesa**

|              |            |       |                 |
|--------------|------------|-------|-----------------|
| numero barre | $n_1$ =    | 10    |                 |
| diametro     | $\phi_1$ = | 40    | mm              |
| numero barre | $n_2$ =    | 0     |                 |
| diametro     | $\phi_2$ = | 0     | mm              |
| area totale  | $A_{sl}$ = | 125.7 | cm <sup>2</sup> |

**materiali**

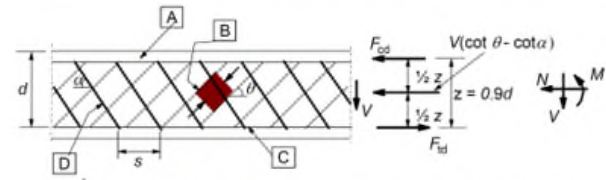
**calcestruzzo**

|  |                 |       |     |
|--|-----------------|-------|-----|
| 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     | $v$ =           | 0.540 |     |
| tensione di calcolo bielle             | $v f_{cd}$ =    | 7.6   | MPa |

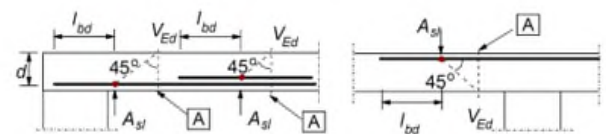
**acciaio**

|                                    |              |       |     |
|------------------------------------|--------------|-------|-----|
| 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                           | $V_{Ed}$ =    | 3000    | kN |
| azione assiale                   | $N_{Ed}$ =    | 0       | kN |
| resistenza elemento non armato   | $V_{Rdc}$ =   | 652.1   | kN |
| resistenza armatura a taglio     | $V_{Rds}$ =   | 3097.9  | kN |
| resistenza bielle calcestruzzo   | $V_{Rdmax}$ = | 3312.0  | kN |
| inclinazione bielle calcestruzzo | $\theta$ =    | 21.8    | °  |
| sezione                          |               | duttile |    |
| traslazione armatura long.       | al =          | 157.5   | cm |



2. Muro di elevazione

Le armature sono costituite da una maglia base

- $\Phi 32/20$  lato terra e controterra in direzione x
- $\Phi 40/10$  lato terra in direzione y
- $\Phi 32/20$  lato controterra in direzione y
- Spilli  $\Phi 16/20 \times 40$

Armatura muro di elevazione direzione x

Armatura esterna: copriferro  $5.5+1.6 = 7.1$  cm

| geometria              |        |       |                    |                    |
|------------------------|--------|-------|--------------------|--------------------|
| sezione trasversale    |        |       |                    |                    |
| B                      | H      | c     | d                  | z                  |
| [cm]                   | [cm]   | [cm]  | [cm]               | [cm]               |
| 100                    | 215    | 5.5   | 207.9              | 187.1              |
| armatura longitudinale |        |       |                    |                    |
| nbarre                 | $\phi$ | d     | Asl                |                    |
|                        | [mm]   | [cm]  | [cm <sup>2</sup> ] |                    |
| 5                      | 32     | 7.1   | 40.21              |                    |
| 5                      | 32     | 207.9 | 40.21              |                    |
| armatura a taglio      |        |       |                    |                    |
| nbracci                | $\phi$ | s     | $\alpha$           | Asw                |
|                        | [mm]   | [cm]  | [°]                | [cm <sup>2</sup> ] |
| 5                      | 16     | 40    | 90                 | 10.05              |

| SLU                     | SLE - R                      | SLE - F                             | SLE - QP                            |
|-------------------------|------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| SLU                     | SLE                          | SLE                                 | SLE                                 |
| MEd 1612.80 [kNm]       | MEk 1186.3 [kNm]             | MEk 1160 [kNm]                      | MEk 952.4 [kNm]                     |
| NEd 0.00 [kN]           | NEk 0 [kN]                   | NEk 0 [kN]                          | NEk 0 [kN]                          |
| VEd 3500.00 [kN]        | <b>tensioni e fessure</b>    |                                     |                                     |
| <b>presso-flessione</b> | Mdec 0.0 [kNm]               | Mdec 0.0 [kNm]                      | Mdec 0.0 [kNm]                      |
| MRd 3203.9 [kNm]        | Mcr 2262.2 [kNm]             | Mcr 2262.2 [kNm]                    | Mcr 2262.2 [kNm]                    |
| FS 1.99                 | yn -67.23 [cm]               | yn -67.23 [cm]                      | yn -67.23 [cm]                      |
|                         | $\sigma_{c,min}$ -2.4 [MPa]  | $\sigma_{c,min}$ -2.4 [MPa]         | $\sigma_{c,min}$ -1.9 [MPa]         |
|                         | $\sigma_{s,min}$ -29.8 [MPa] | $\sigma_{s,min}$ -29.2 [MPa]        | $\sigma_{s,min}$ -23.9 [MPa]        |
|                         | $\sigma_{s,max}$ 150.7 [MPa] | $\sigma_{s,max}$ 147.4 [MPa]        | $\sigma_{s,max}$ 121.0 [MPa]        |
|                         |                              | $k_2$ 0.5                           | $k_2$ 0.5                           |
|                         |                              | $\epsilon_{sm}-\epsilon_{cm}$ - [%] | $\epsilon_{sm}-\epsilon_{cm}$ - [%] |
|                         |                              | Sr,max - [cm]                       | Sr,max - [cm]                       |
|                         |                              | Wk - [mm]                           | Wk - [mm]                           |

Armatura muro di elevazione direzione y



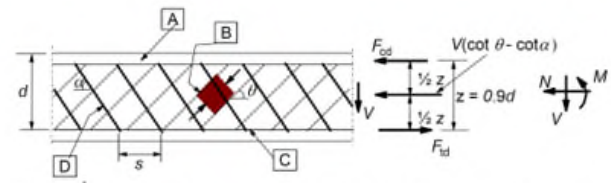
Armatura esterna: copriferro 5.5+3.2+1.6 = 10.3 cm

| geometria              |      |       |                    |                    |
|------------------------|------|-------|--------------------|--------------------|
| sezione trasversale    |      |       |                    |                    |
| B                      | H    | c     | d                  | z                  |
| [cm]                   | [cm] | [cm]  | [cm]               | [cm]               |
| 100                    | 215  | 8.7   | 204.3              | 183.9              |
| armatura longitudinale |      |       |                    |                    |
| nbarre                 | φ    | d     | Asl                |                    |
|                        | [mm] | [cm]  | [cm <sup>2</sup> ] |                    |
| 5                      | 32   | 10.3  | 40.21              |                    |
| 10                     | 40   | 204.3 | 125.66             |                    |
| armatura a taglio      |      |       |                    |                    |
| nbracci                | φ    | s     | α                  | Asw                |
|                        | [mm] | [cm]  | [°]                | [cm <sup>2</sup> ] |
| 5                      | 16   | 40    | 90                 | 10.05              |

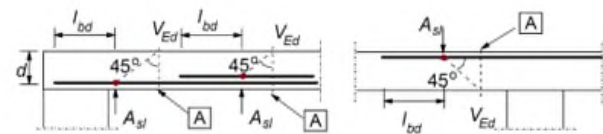
| SLU               | SLE - R                         | SLE - F                                 | SLE - QP                                |
|-------------------|---------------------------------|---|---|
| SLU               | SLE                             | SLE                                     | SLE                                     |
| MEd 7260.00 [kNm] | MEk 6925.4 [kNm]                | MEk 5000.1 [kNm]                        | MEk 3698.1 [kNm]                        |
| NEd -1200.00 [kN] | NEk -1110 [kN]                  | NEk -1100 [kN]                          | NEk -980 [kN]                           |
| VEd 3500.00 [kN]  |                                 |   |   |
| presso-flessione  | tensioni e fessure              | tensioni e fessure                      | tensioni e fessure                      |
| MRd 10597.8 [kNm] | Mdec 418.5 [kNm]                | Mdec 414.7 [kNm]                        | Mdec 369.5 [kNm]                        |
| FS 1.46           | Mcr 3036.6 [kNm]                | Mcr 3032.8 [kNm]                        | Mcr 2987.5 [kNm]                        |
|                   | yn -32.02 [cm]                  | yn -28.76 [cm]                          | yn -26.26 [cm]                          |
|                   | σ <sub>c,min</sub> -10.3 [MPa]  | σ <sub>c,min</sub> -7.6 [MPa]           | σ <sub>c,min</sub> -5.7 [MPa]           |
|                   | σ <sub>s,min</sub> -133.3 [MPa] | σ <sub>s,min</sub> -98.5 [MPa]          | σ <sub>s,min</sub> -74.0 [MPa]          |
|                   | σ <sub>s,max</sub> 263.5 [MPa]  | σ <sub>s,max</sub> 180.7 [MPa]          | σ <sub>s,max</sub> 128.4 [MPa]          |
|                   |                                 | k <sub>2</sub> 0.5                      | k <sub>2</sub> 0.5                      |
|                   |                                 | ε <sub>sm-ε<sub>cm</sub></sub> 0.68 [‰] | ε <sub>sm-ε<sub>cm</sub></sub> 0.42 [‰] |
|                   |                                 | Sr,max 44.1 [cm]                        | Sr,max 44.1 [cm]                        |
|                   |                                 | Wk 0.299 [mm]                           | Wk 0.184 [mm]                           |

| verifica a taglio di una sezione rettangolare<br>secondo EN 1992-1-1:2004:E |   |
|---|---|
| <b>geometria</b>  |   |
| <b>sezione trasversale</b>  |   |
| base  | B = 100 cm                              |
| altezza   | H = 215 cm                              |
| copriferro (asse armatura long.)  | c = 10.7 cm                             |
| altezza utile   | d = 204 cm                              |
| braccio coppia interna  | z = 183.9 cm                            |
| <b>armatura a taglio</b>  |   |
| numero braccia  | n = 5                                   |
| diametro  | $\phi$ = 16 mm                          |
| passo   | s = 40 cm                               |
| inclinazione  | $\alpha$ = 90 °                         |
| area  | A <sub>sw</sub> = 10.05 cm <sup>2</sup> |
| <b>armatura longitudinale tesa</b>  |   |
| numero barre  | n <sub>1</sub> = 10                     |
| diametro  | $\phi_1$ = 40 mm                        |
| numero barre  | n <sub>2</sub> = 0                      |
| diametro  | $\phi_2$ = 0 mm                         |
| area totale   | A <sub>sl</sub> = 125.7 cm <sup>2</sup> |
| <b>materiali</b>  |   |
| <b>calcestruzzo</b>   |   |
| resistenza caratt. cilindrica a 28 gg.                                      | f <sub>ck</sub> = 33.2 MPa              |
| coeff. parziale di sicurezza  | $\gamma_c$ = 1.5                        |
| coeff. effetti a lungo termine  | $\alpha_{cc}$ = 0.85                    |
| tensione di calcolo   | f <sub>cd</sub> = 18.8 MPa              |
| coeff. riduzione resistenza bielle  | v = 0.520                               |
| tensione di calcolo bielle  | v f <sub>cd</sub> = 9.8 MPa             |
| <b>acciaio</b>  |   |
| tensione caratt. di snervamento   | f <sub>yk</sub> = 450.0 MPa             |
| coeff. parziale di sicurezza  | $\gamma_s$ = 1.15                       |
| tensione di snervamento di calcolo  | f <sub>yd</sub> = 391.3 MPa             |

**legenda**



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



[A] - section considered

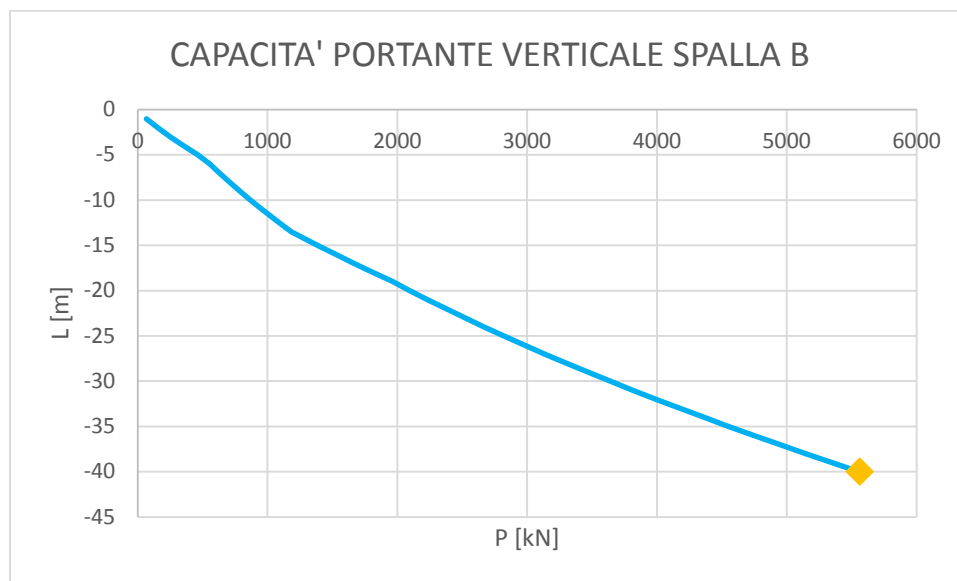
**sollecitazioni e verifiche**

|                                  |                                |
|----------------------------------|--------------------------------|
| taglio                           | V <sub>Ed</sub> = 3500 kN      |
| azione assiale                   | N <sub>Ed</sub> = -1200 kN     |
| resistenza elemento non armato   | V <sub>Rdc</sub> = 1050.8 kN   |
| resistenza armatura a taglio     | V <sub>Rds</sub> = 3548.9 kN   |
| resistenza bielle calcestruzzo   | V <sub>Rdmax</sub> = 7280.7 kN |
| inclinazione bielle calcestruzzo | θ = 27.0 °                     |
| sezione                          | duttile                        |
| traslazione armatura long.       | a <sub>l</sub> = 180.4 cm      |

## 9.4 VERIFICHE PALI DI FONDAZIONE

I pali di fondazione sono realizzati in calcestruzzo armato, con un diametro pari a 1000mm. Di seguito si riportano le verifiche per la capacità portante in direzione verticale e trasversale.

Per quanto riguarda la capacità portante verticale, il valore dell'azione agente su palo più sollecitato risulta essere pari a 5517.4 kN. Pertanto, si utilizzano pali di lunghezza pari a 40.00m la cui capacità portante verticale è maggiore di quella agente, e pari a 5559.23 kN.



Capacità portante verticale pali

**AURELIA BIS**PALI DI FONDAZIONE SPALLA BCalcolo del carico trasversale limite**Terreni incoerenti (Broms 1964)**DATI GEOMETRICI:

|                       |                       |      |      |
|-----------------------|-----------------------|------|------|
| Lunghezza del palo    | L                     | 40   | [m]  |
| Diametro del palo     | D <sub>palo</sub>     | 1    | [m]  |
| Diametro del tubolare | D <sub>tubolare</sub> | 1000 | [mm] |

|                             |                |        |       |
|-----------------------------|----------------|--------|-------|
| Momento di plasticizzazione | M <sub>y</sub> | 3200.0 | [kNm] |
|-----------------------------|----------------|--------|-------|

DATI GEOTECNICI:

|                                       |                       |      |                      |
|---------------------------------------|-----------------------|------|----------------------|
| Peso per unità di volume              | γ'                    | 9    | [kN/m <sup>3</sup> ] |
| Angolo attrito medio                  | φ <sub>medio</sub>    | 24   | [°]                  |
| Coefficiente di spinta passiva medio  | k <sub>p,medio</sub>  | 2.37 | [-]                  |
| Angolo attrito minimo                 | φ <sub>minimo</sub>   | 23   | [°]                  |
| Coefficiente di spinta passiva minimo | k <sub>p,minimo</sub> | 2.29 | [-]                  |

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>  | 51192.0 | [kN] |
| H <sub>1,minimo</sub> | 49464.0 | [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>  | 17144.0 | [kN] |
| H <sub>2,minimo</sub> | 16568.0 | [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>  | 1434.4 | [kN] |
| H <sub>3,minimo</sub> | 1418.1 | [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>  | 1434.4 | [kN] | <b>PALO</b>  |
| H <sub>minimo</sub> | 1418.1 | [kN] | <b>LUNGO</b> |

CARICO TRASVERSALE ULTIMO:

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

|                |       |      |
|----------------|-------|------|
| H <sub>k</sub> | 869.4 | [kN] |
|----------------|-------|------|

$$H_d = H_k / \gamma_T$$

|                     |        |      |
|---------------------|--------|------|
| γ <sub>T</sub>      | 1.3    | [-]  |
| H <sub>d</sub>      | 668.7  | [kN] |
| H <sub>agente</sub> | 623.88 | [kN] |

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

Capacità portante trasversale pali

L'armatura dei pali di fondazione è costituita da:

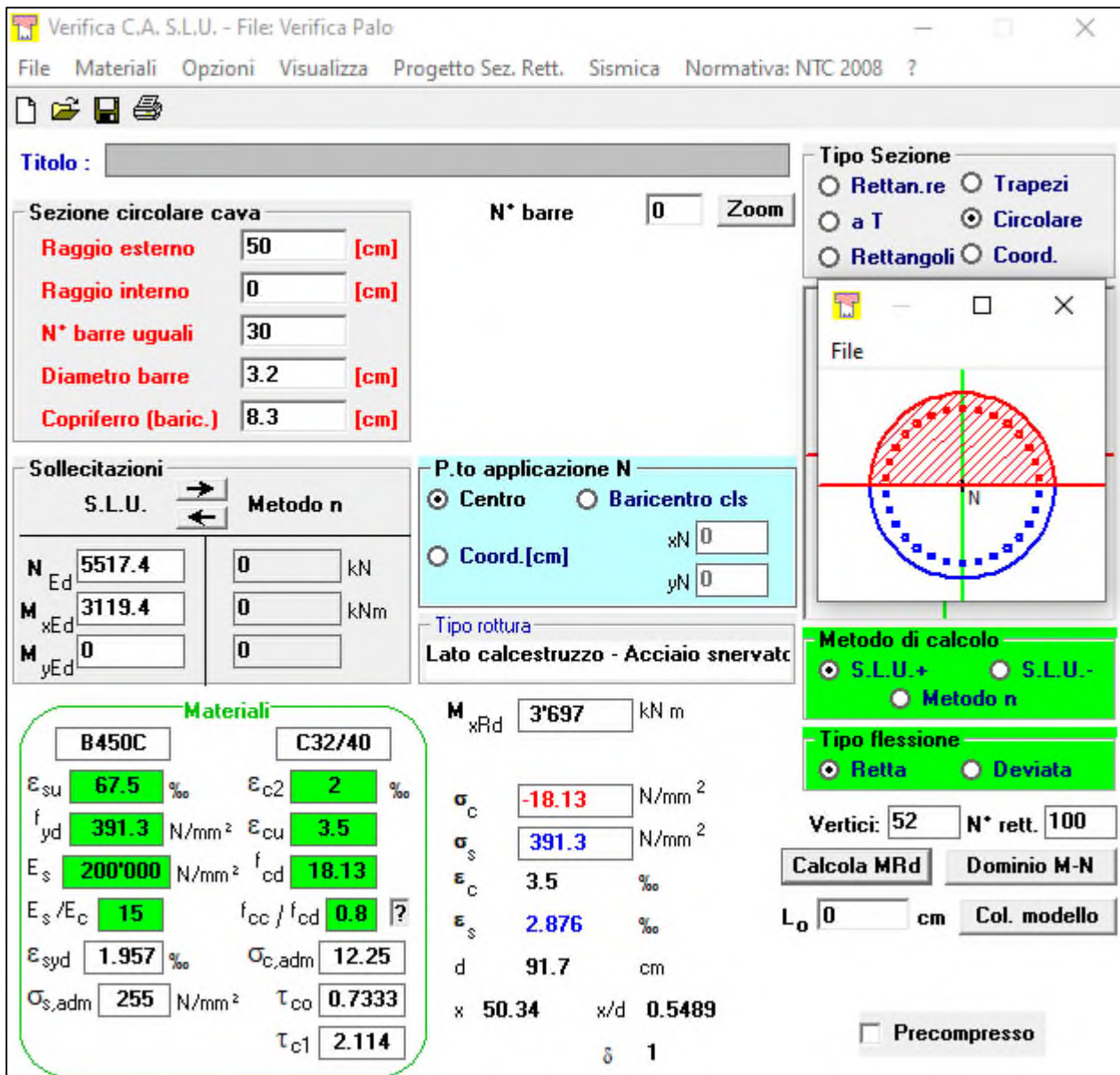


- 30Φ32 armatura longitudinale
- Staffe Φ12/15

Si riportano le massime sollecitazioni agenti sui pali di fondazione

| N [kN] | V [kN] | M [kNm] |
|--------|--------|---------|
| 5517.4 | 623.88 | 3119.4  |

Si riporta di seguito la verifica strutturale dei pali di fondazione.



**Verifica C.A. S.L.U. - File: Verifica Palo**

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

**Titolo :** \_\_\_\_\_

**Sezione circolare cava**

- Raggio esterno: 50 [cm]
- Raggio interno: 0 [cm]
- N° barre uguali: 30
- Diametro barre: 3.2 [cm]
- Copriferro (baric.): 8.3 [cm]

**N° barre:** 0 **Zoom**

**Sollecitazioni**

S.L.U. **Metodo n**

N<sub>Ed</sub>: 5517.4 kN  
M<sub>xEd</sub>: 3119.4 kNm  
M<sub>yEd</sub>: 0 kNm

**P.to applicazione N**

Centro  Baricentro cls

Coord.[cm] xN: 0 yN: 0

**Tipo rottura**

Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

**Metodo di calcolo**

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

**Tipo flessione**

Retta  Deviata

Vertici: 52 N° rett.: 100

**Calcola MRd** **Dominio M-N**

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

Precompresso

**Materiali**

| B450C                          |                           | C32/40                           |        |
|--------------------------------|---------------------------|----------------------------------|--------|
| ε <sub>su</sub>                | 67.5 ‰                    | ε <sub>c2</sub>                  | 2 ‰    |
| f <sub>yd</sub>                | 391.3 N/mm <sup>2</sup>   | ε <sub>cu</sub>                  | 3.5 ‰  |
| E <sub>s</sub>                 | 200'000 N/mm <sup>2</sup> | f <sub>cd</sub>                  | 18.13  |
| E <sub>s</sub> /E <sub>c</sub> | 15                        | f <sub>cc</sub> /f <sub>cd</sub> | 0.8 ?  |
| ε <sub>syd</sub>               | 1.957 ‰                   | σ <sub>c,adm</sub>               | 12.25  |
| σ <sub>s,adm</sub>             | 255 N/mm <sup>2</sup>     | τ <sub>co</sub>                  | 0.7333 |
|                                |                           | τ <sub>c1</sub>                  | 2.114  |

M<sub>xRd</sub>: 3'697 kN m

σ<sub>c</sub>: -18.13 N/mm<sup>2</sup>  
σ<sub>s</sub>: 391.3 N/mm<sup>2</sup>  
ε<sub>c</sub>: 3.5 ‰  
ε<sub>s</sub>: 2.876 ‰  
d: 91.7 cm  
x: 50.34 x/d: 0.5489  
δ: 1

### Verifica strutturale pali di fondazione

Per la verifica a taglio delle Staffe è stata considerata una sezione corrispondente al quadrato inscritto nella circonferenza del palo di fondazione.

**verifica a taglio di una sezione rettangolare**

secondo EN 1992-1-1:2004:E

**geometria**

**sezione trasversale**

|                                  |     |      |    |
|----------------------------------|-----|------|----|
| base                             | B = | 70.7 | cm |
| altezza                          | H = | 70.7 | cm |
| copriferro (asse armatura long.) | c = | 8.3  | cm |
| altezza utile                    | d = | 62.4 | cm |
| braccio coppia interna           | z = | 56.2 | cm |

**armatura a taglio**

|                |            |      |                 |
|----------------|------------|------|-----------------|
| numero braccia | n =        | 2    |                 |
| diametro       | $\phi$ =   | 12   | mm              |
| passo          | s =        | 15   | cm              |
| inclinazione   | $\alpha$ = | 90   | °               |
| area           | $A_{sw}$ = | 2.26 | 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**

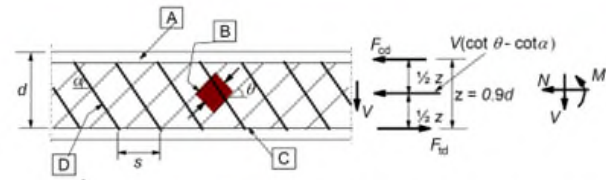
**calcestruzzo**

|  |                 |       |     |
|--|-----------------|-------|-----|
| resistenza caratt. cilindrica a 28 gg. | $f_{ck}$ =      | 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 |

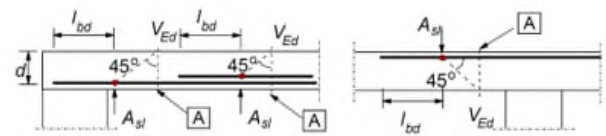
**acciaio**

|                                    |              |       |     |
|------------------------------------|--------------|-------|-----|
| 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                           | $V_{Ed}$ =    | 623.88  | kN |
| azione assiale                   | $N_{Ed}$ =    | 0       | kN |
| resistenza elemento non armato   | $V_{Rdc}$ =   | 325.5   | kN |
| resistenza armatura a taglio     | $V_{Rds}$ =   | 828.5   | kN |
| resistenza bielle calcestruzzo   | $V_{Rdmax}$ = | 1340.2  | kN |
| inclinazione bielle calcestruzzo | $\theta$ =    | 21.8    | °  |
| sezione                          |               | duttile |    |
| traslazione armatura long.       | $a_l$ =       | 70.2    | cm |

Verifica a taglio pali di fondazione

## 10. VERIFICA PILA 2

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 e di tipo *beam*.

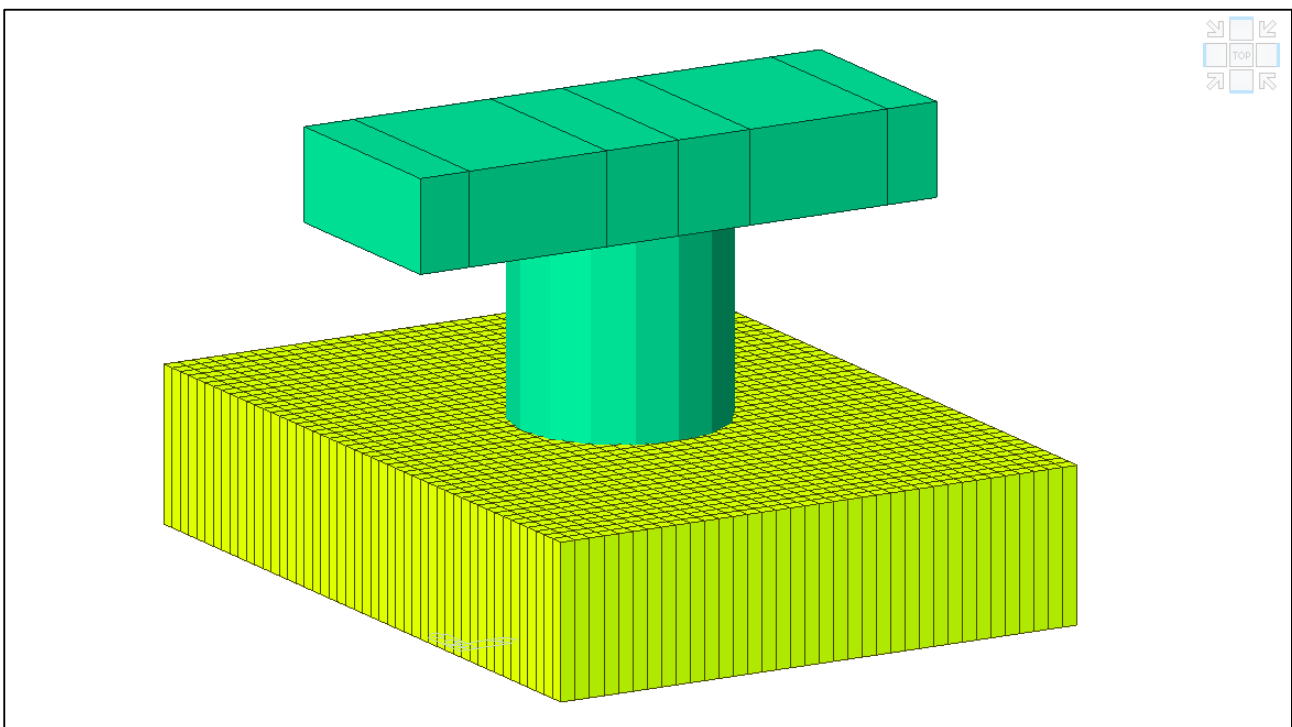
Nei successivi paragrafi sono descritte in dettaglio tutte le ipotesi poste alla base delle analisi sviluppate.

### 10.1 DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO

#### 10.1.1 GEOMETRIA DEL MODELLO

La pila presenta una platea di fondazione di dimensione 9m x 12m e spessore 2.5m. Il fusto ha raggio pari a 175 cm mentre i pulvini hanno una base pari a 350cm, la sezione presenta una altezza variabile pari a 200cm in mezzzeria e pari a 50cm agli estremi. Le medesime dimensioni valgono anche per la pila n.3.

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.



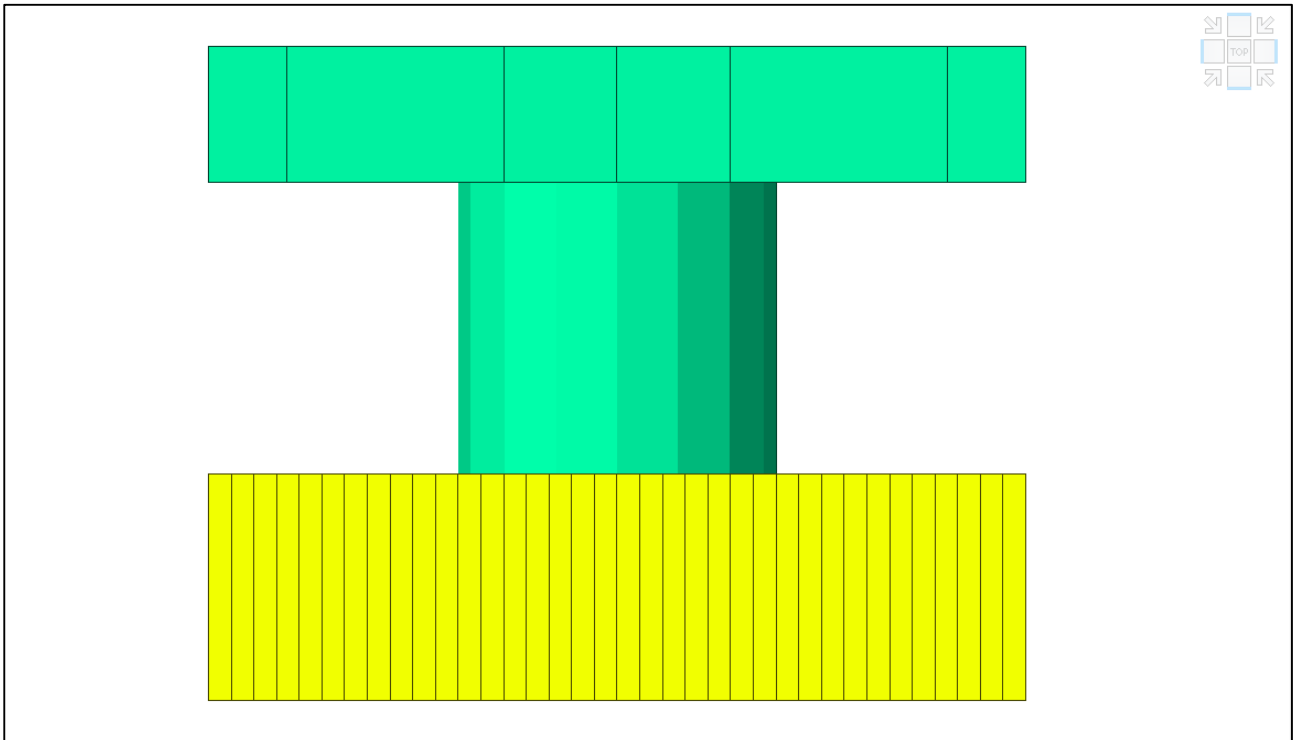
Modello FEM - Vista 1 – Pila 2



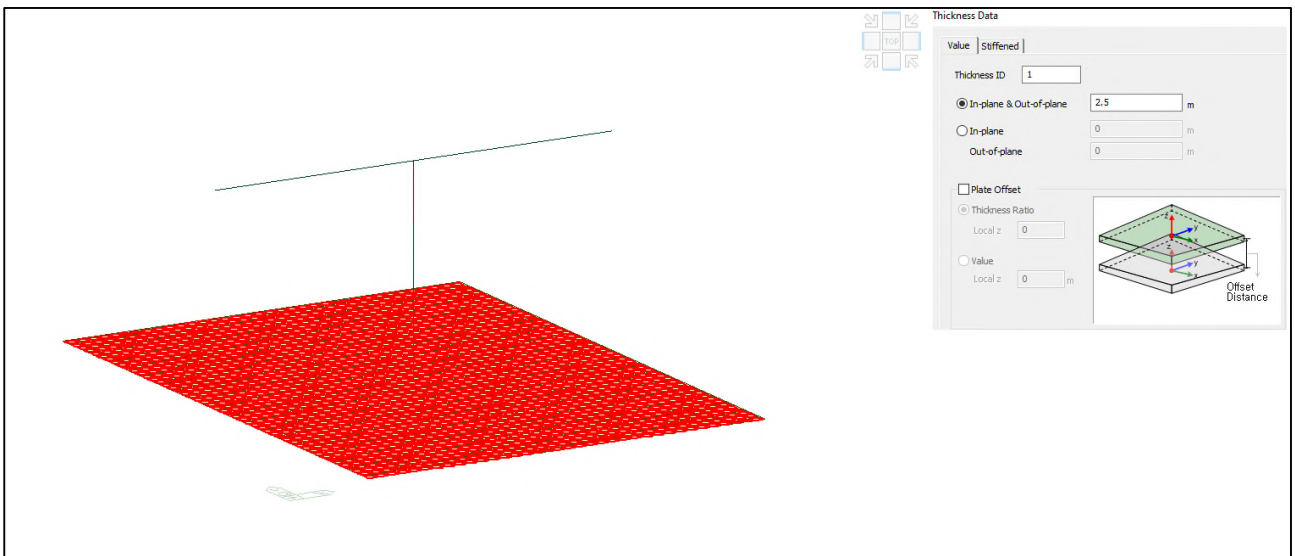
Comune di Vado Ligure

Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo

Ponte “Aurelia-bis” – Relazione di calcolo sottostrutture e fondazioni

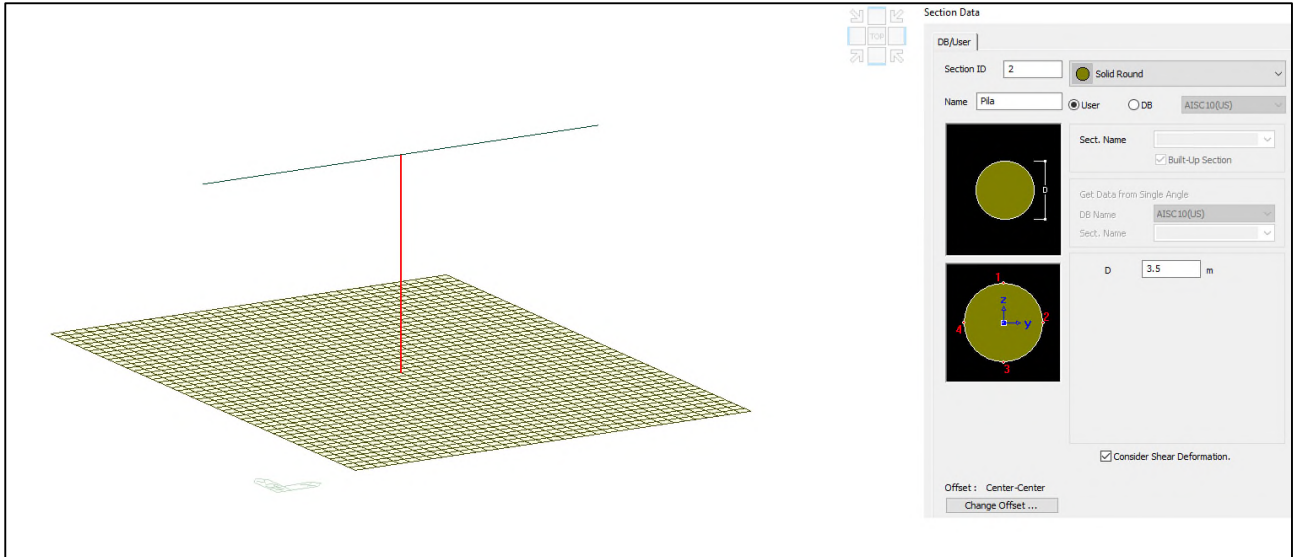


Modello FEM - Vista 2 – Pila 2

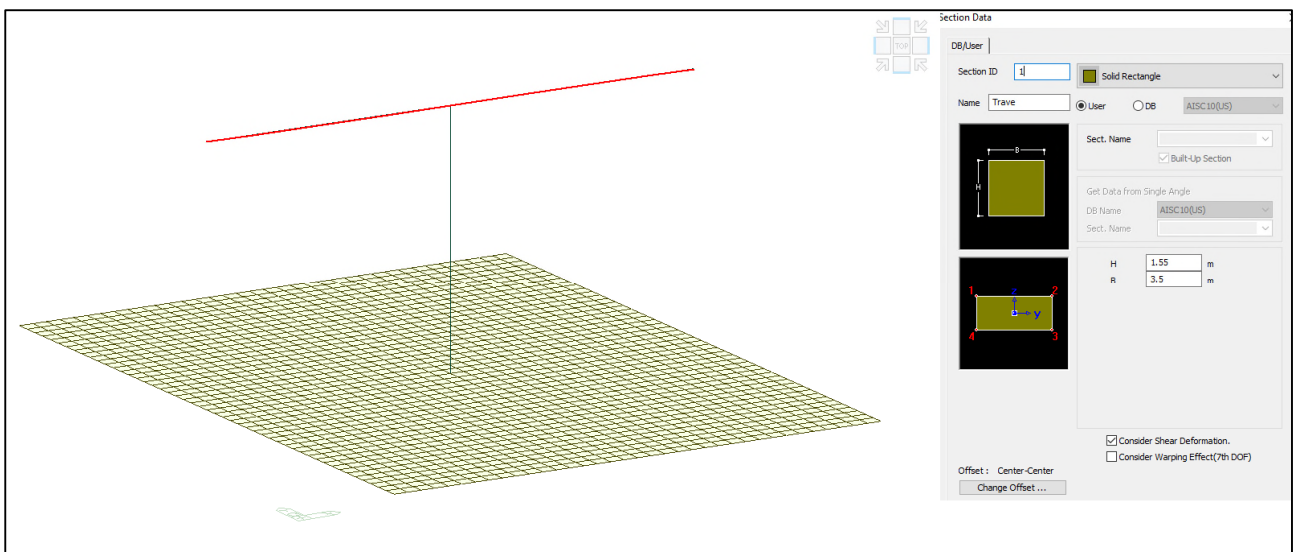


Modello FEM – Identificazione platea spessore 2.50m in calcestruzzo C25/30

Per quanto riguarda il Pulvino, avendo un'altezza variabile da 200 cm a 50 cm, è stata considerata un'altezza equivalente pari a 1.55m che garantisce lo stesso peso proprio.



Modello FEM – Identificazione fusto di diametro 3.50m in calcestruzzo C32/40

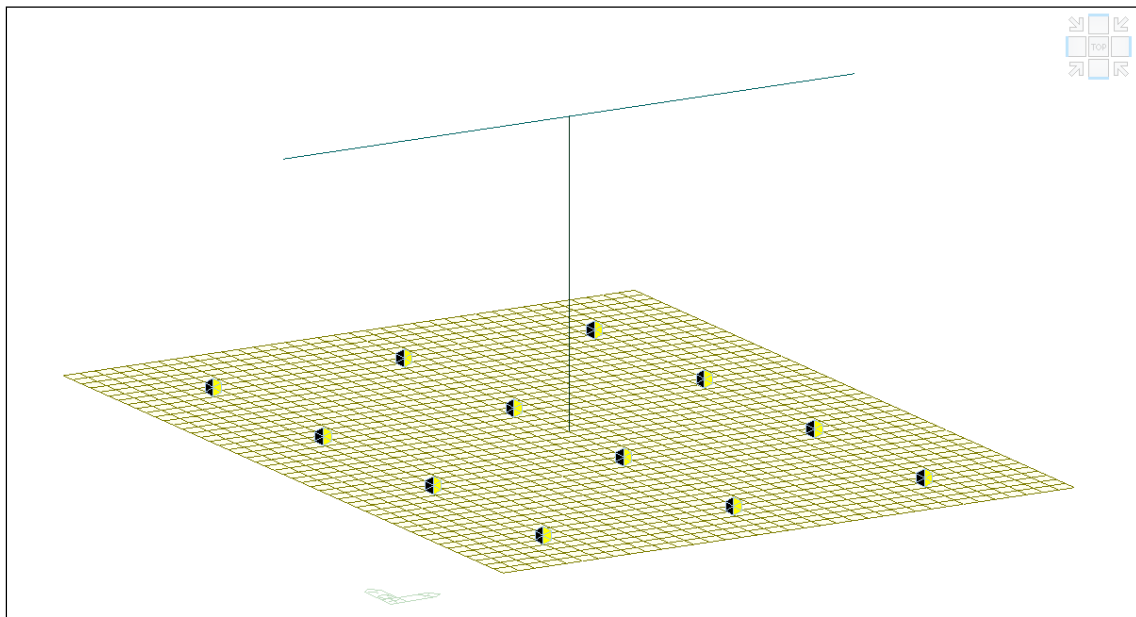


Identificazione pulvino di altezza variabile pari a 200cm in mezzeria e pari a 50cm agli estremi in calcestruzzo C32/40

### 10.1.2VINCOLI

La struttura risulta vincolata a terra mediante Point Spring applicate in corrispondenza dei pali. I valori delle costanti verticali ed orizzontali, che simulano la presenza del palo, sono gli stessi di quelli calcolati per la Spalla B.

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

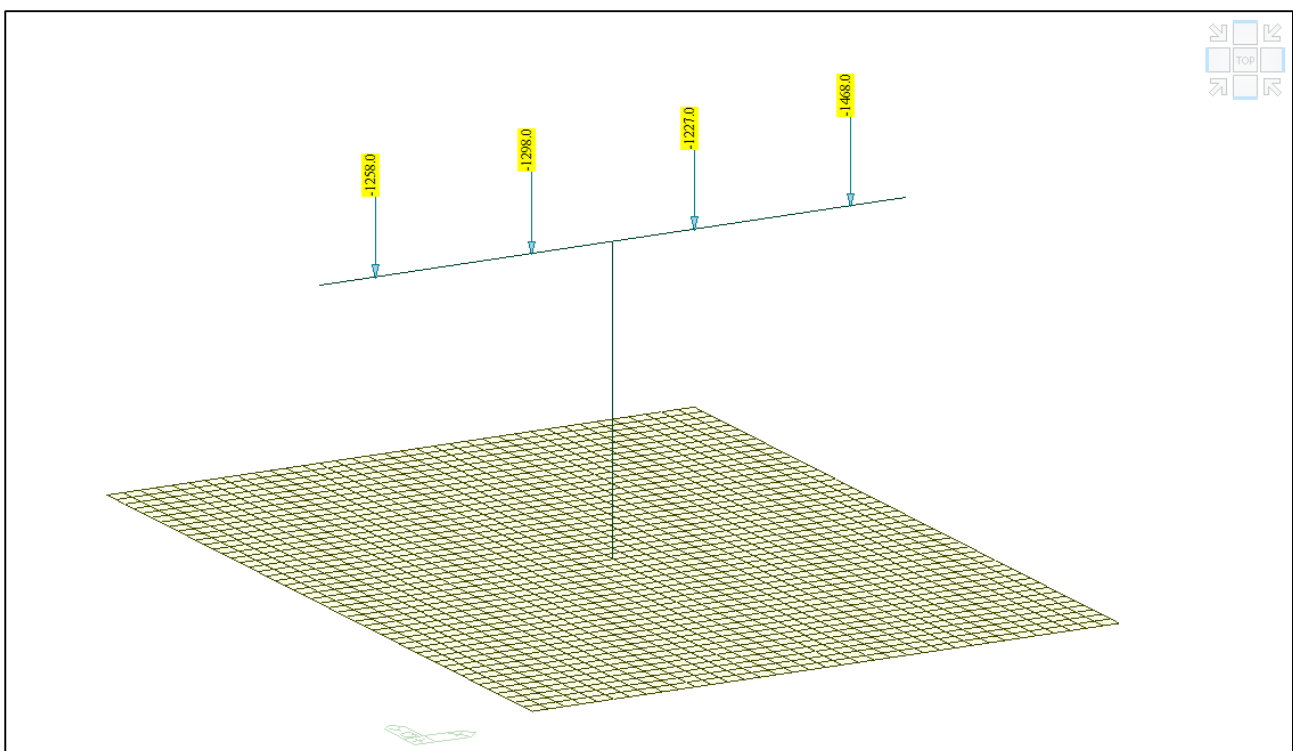


Modello FEM – Identificazione vincoli in corrispondenza dei pali

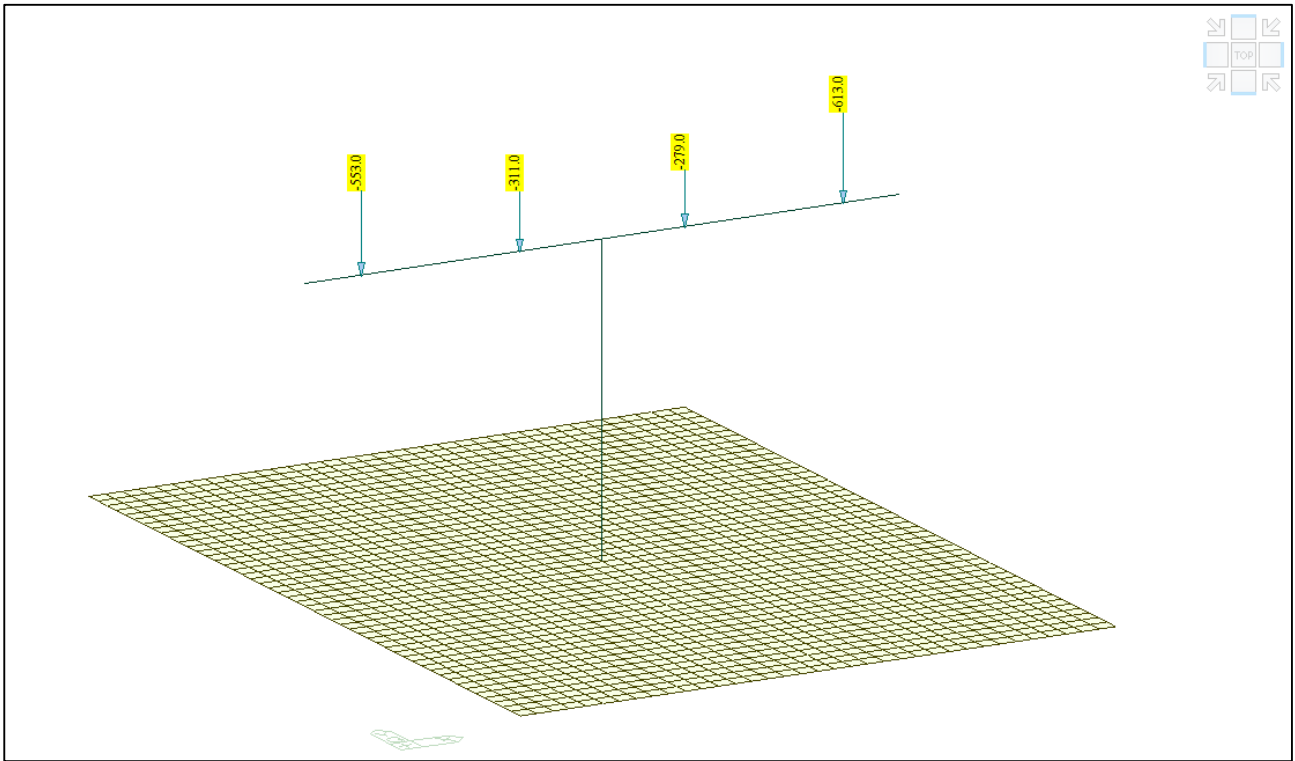
### 10.1.3 CONDIZIONI DI CARICO STATICO

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 pila. I carichi orizzontali derivanti dall’impalcato sono stati applicati in modo da massimizzare l’effetto ribaltante della pila; in questo modo vengono massimizzate le sollecitazioni dei pali.

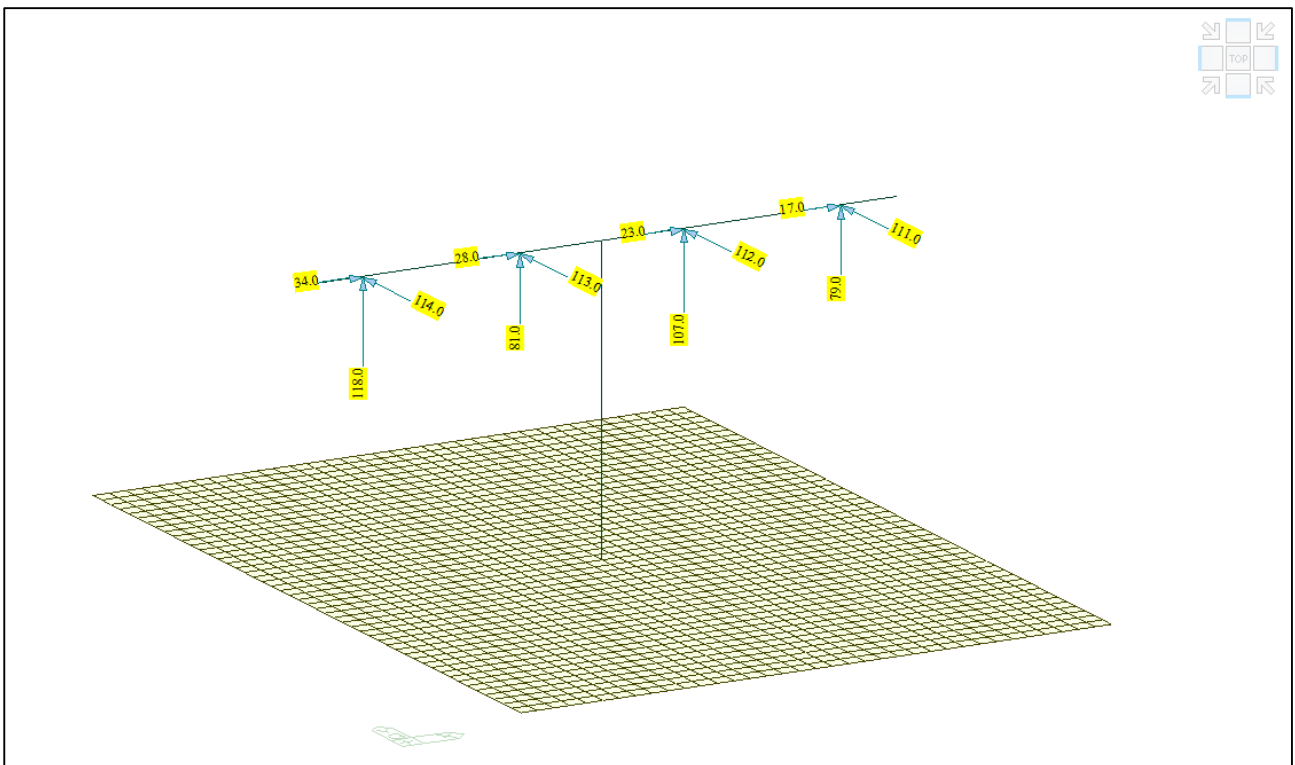
Il peso proprio della spalla genera delle azioni che sono calcolate in automatico dal software ad elementi finiti.



Modello FEM – Condizione di carico Peso proprio impalcato

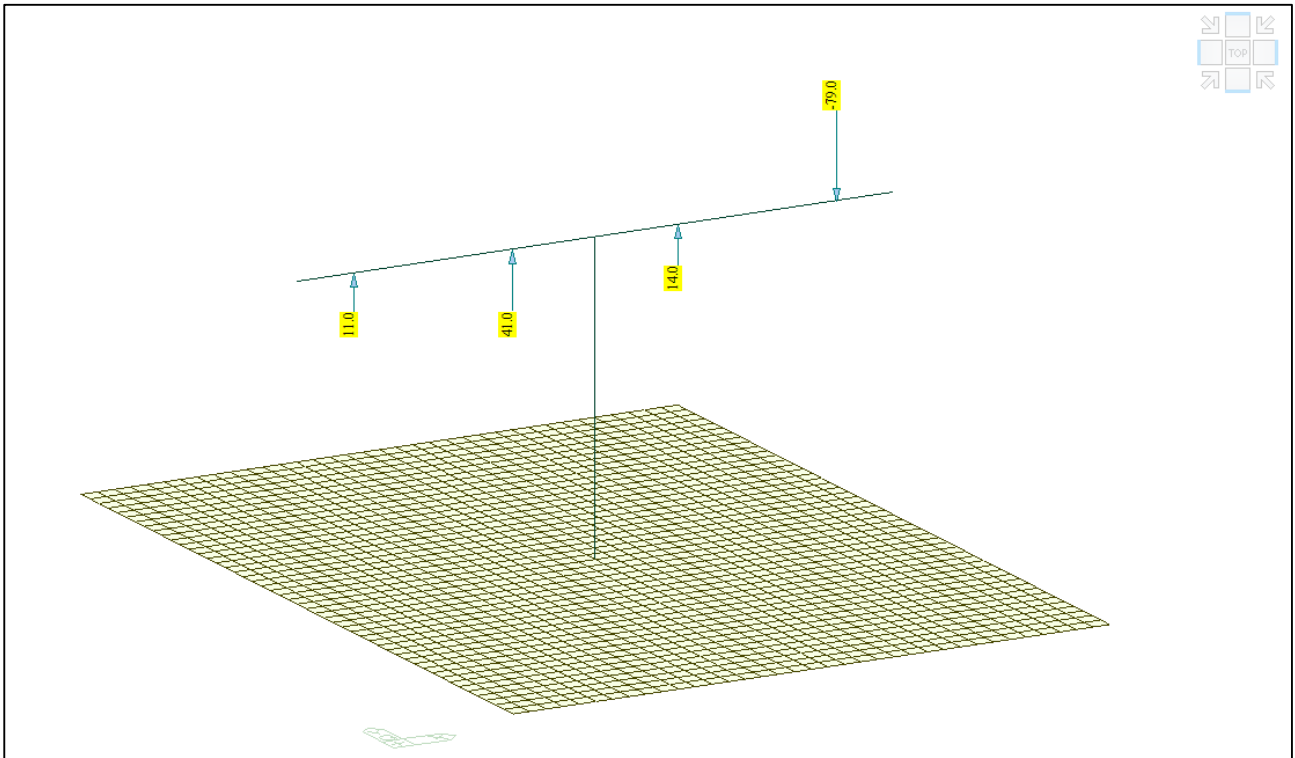


Modello FEM – Condizione di carico Permanente

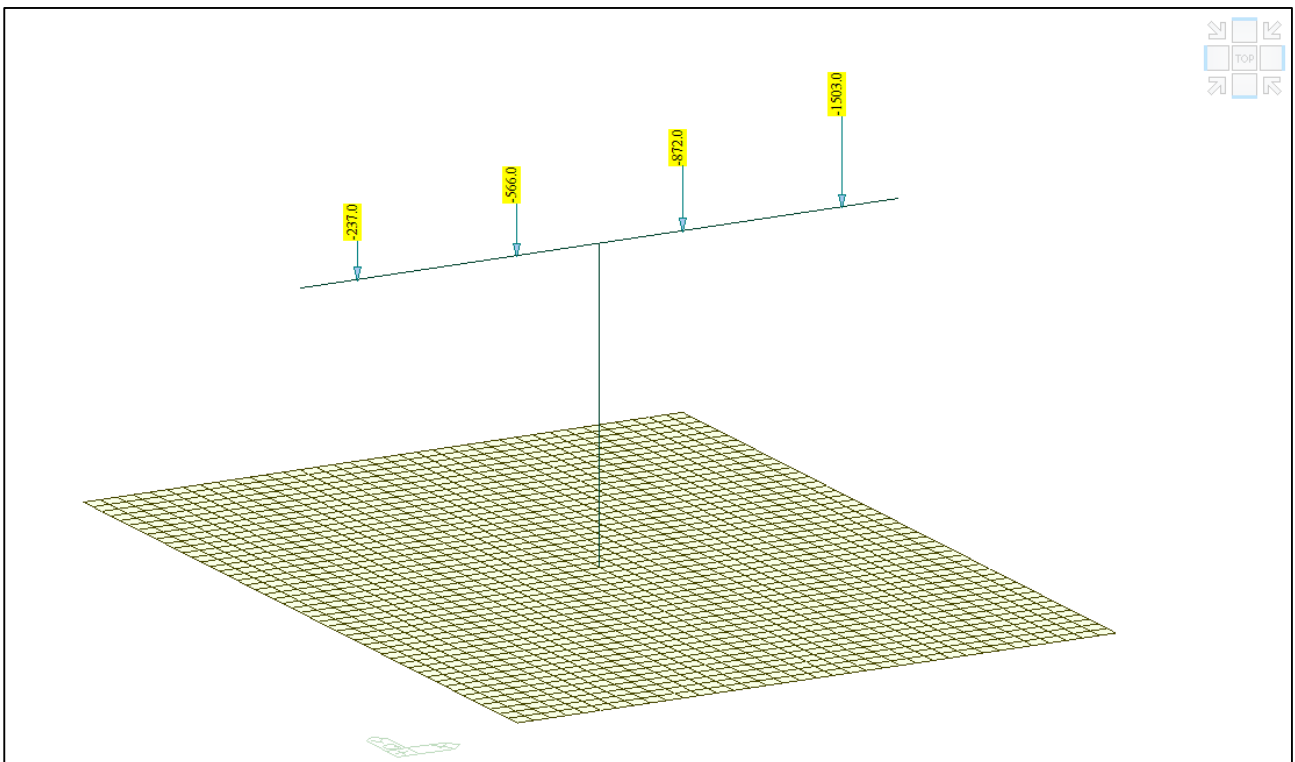


Modello FEM – Condizione di carico Ritiro

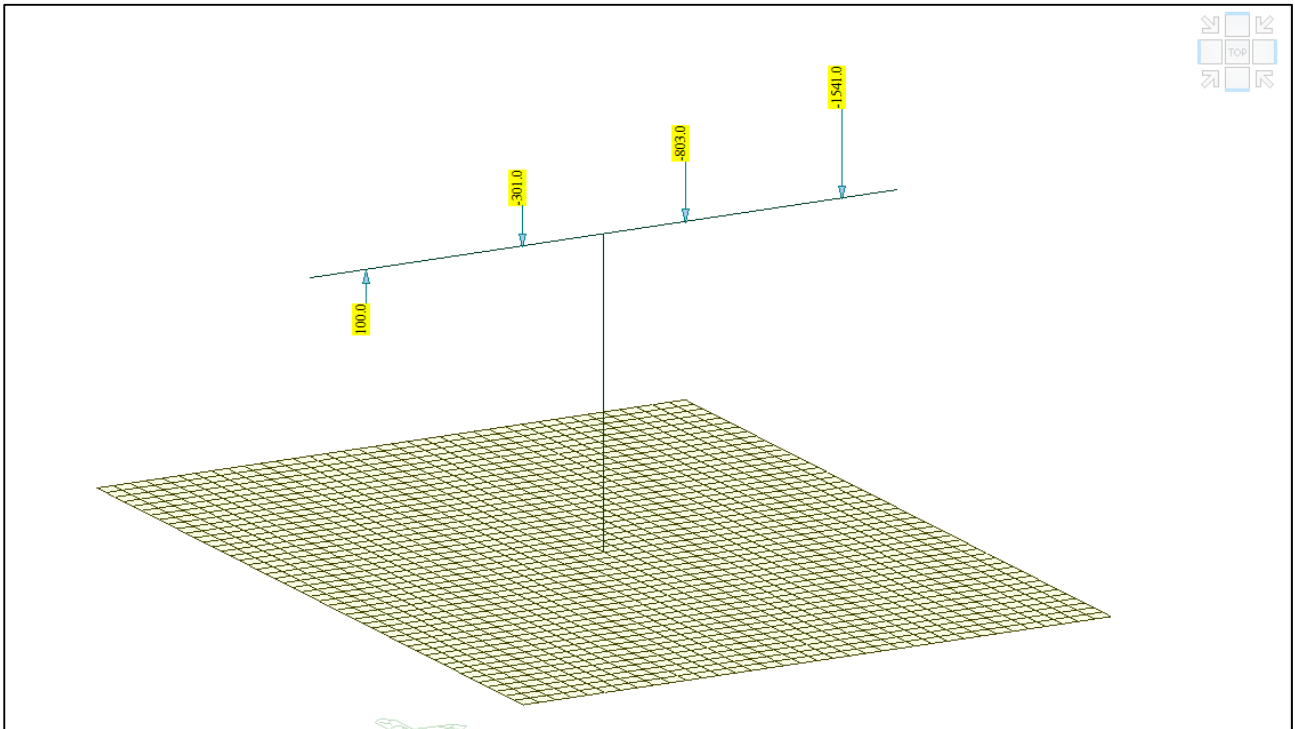




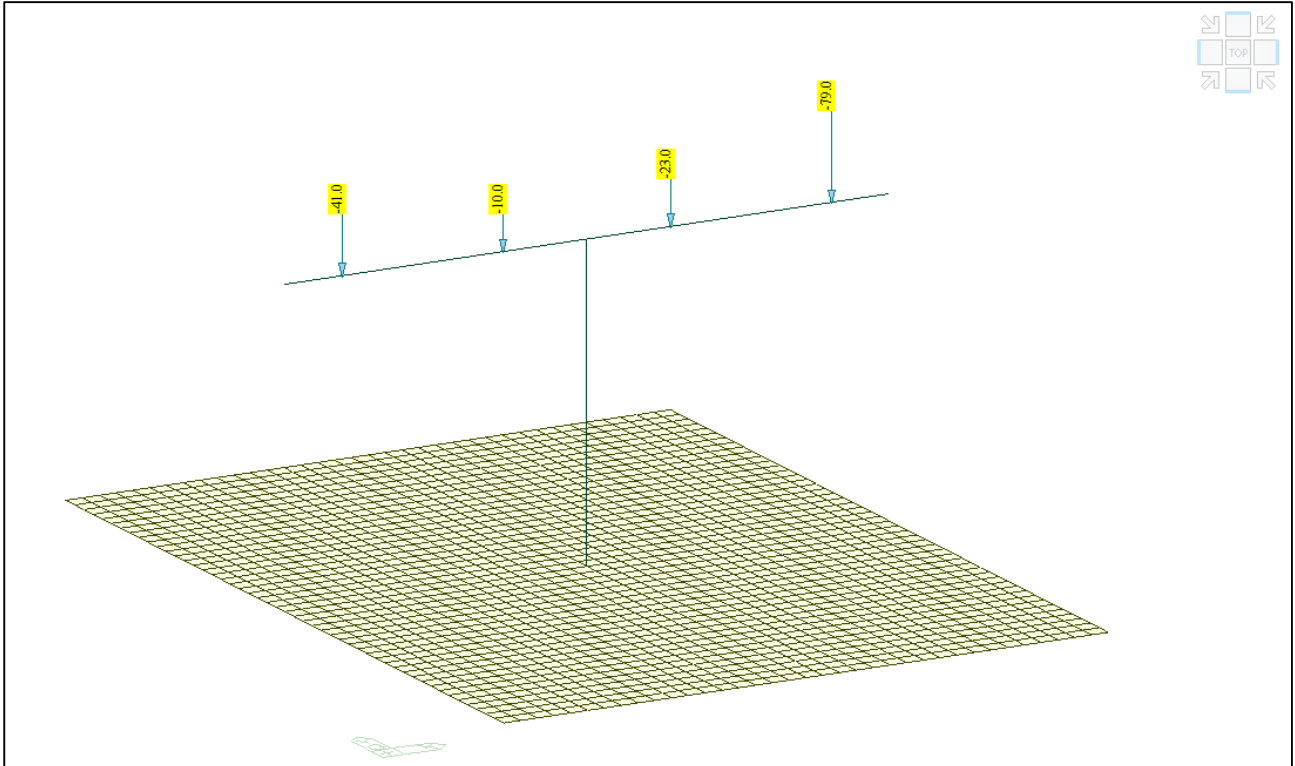
Modello FEM – Condizione di carico DistrA4



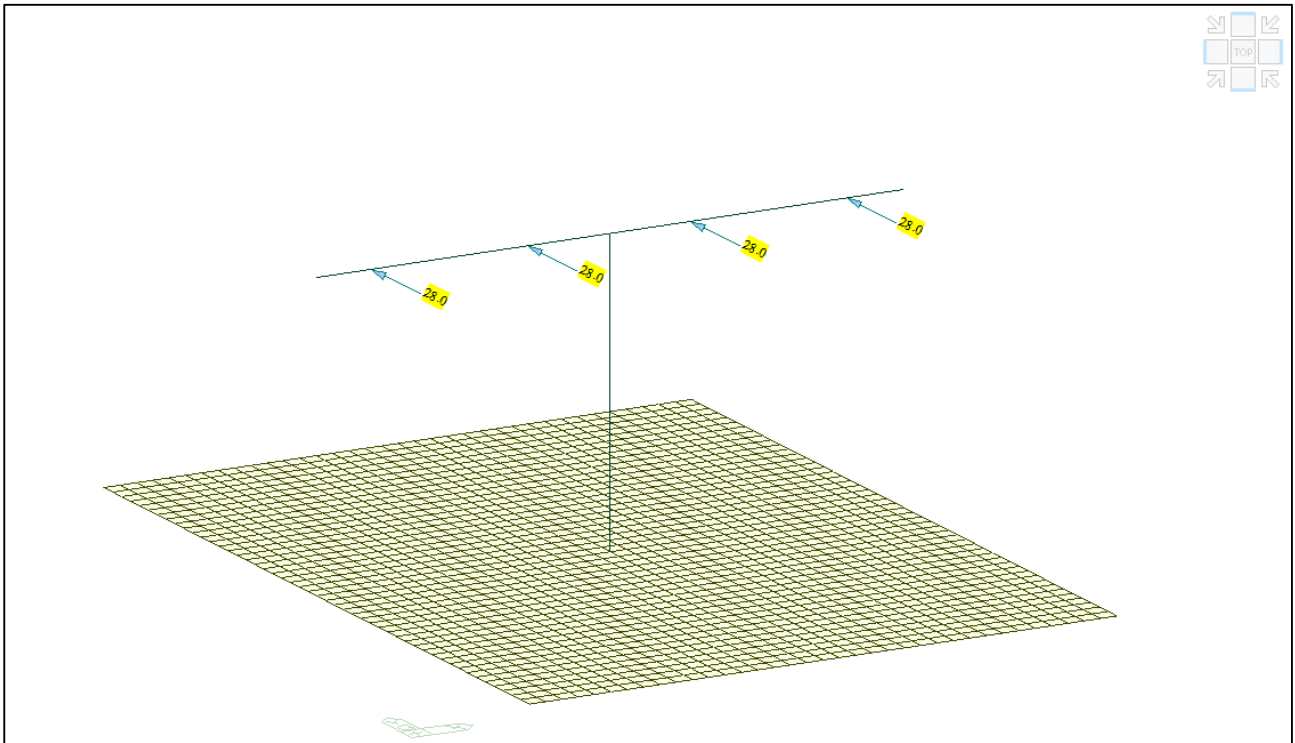
Modello FEM – Condizione di carico DistrD5



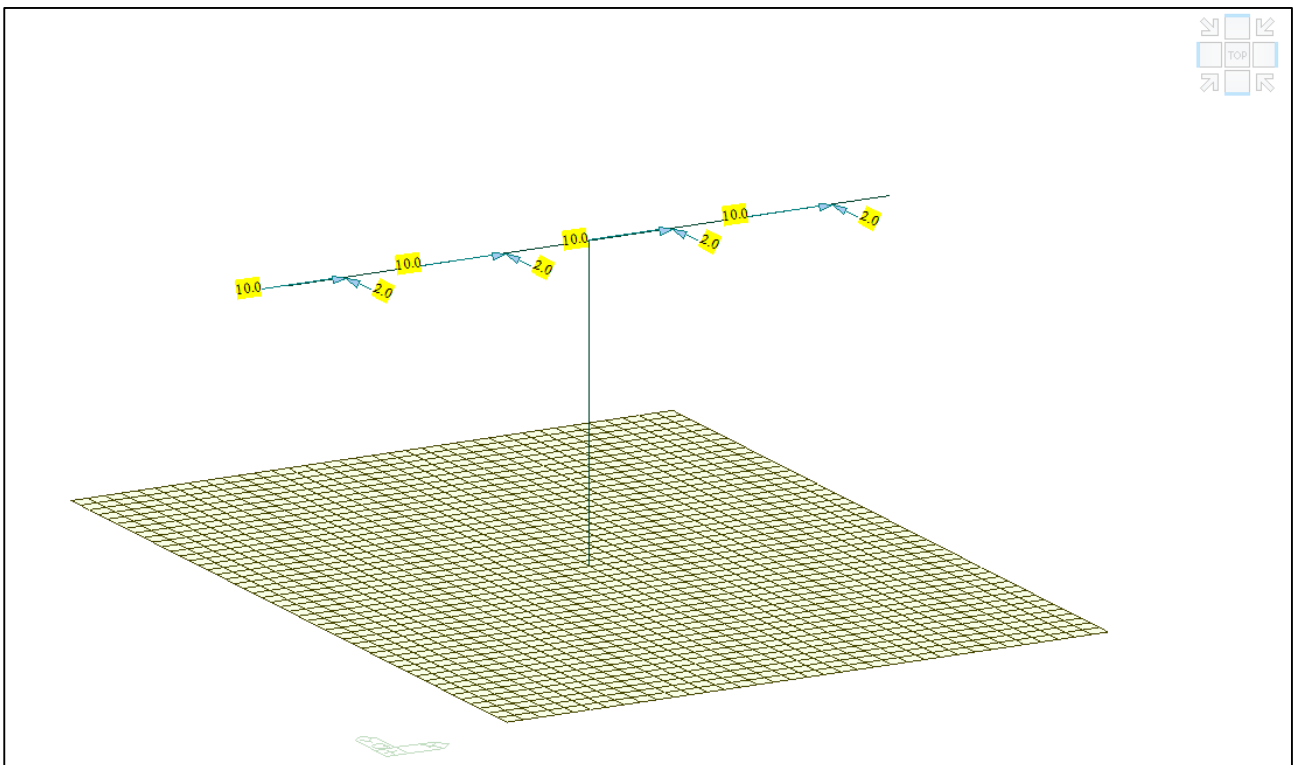
Modello FEM – Condizione di carico DistrB5



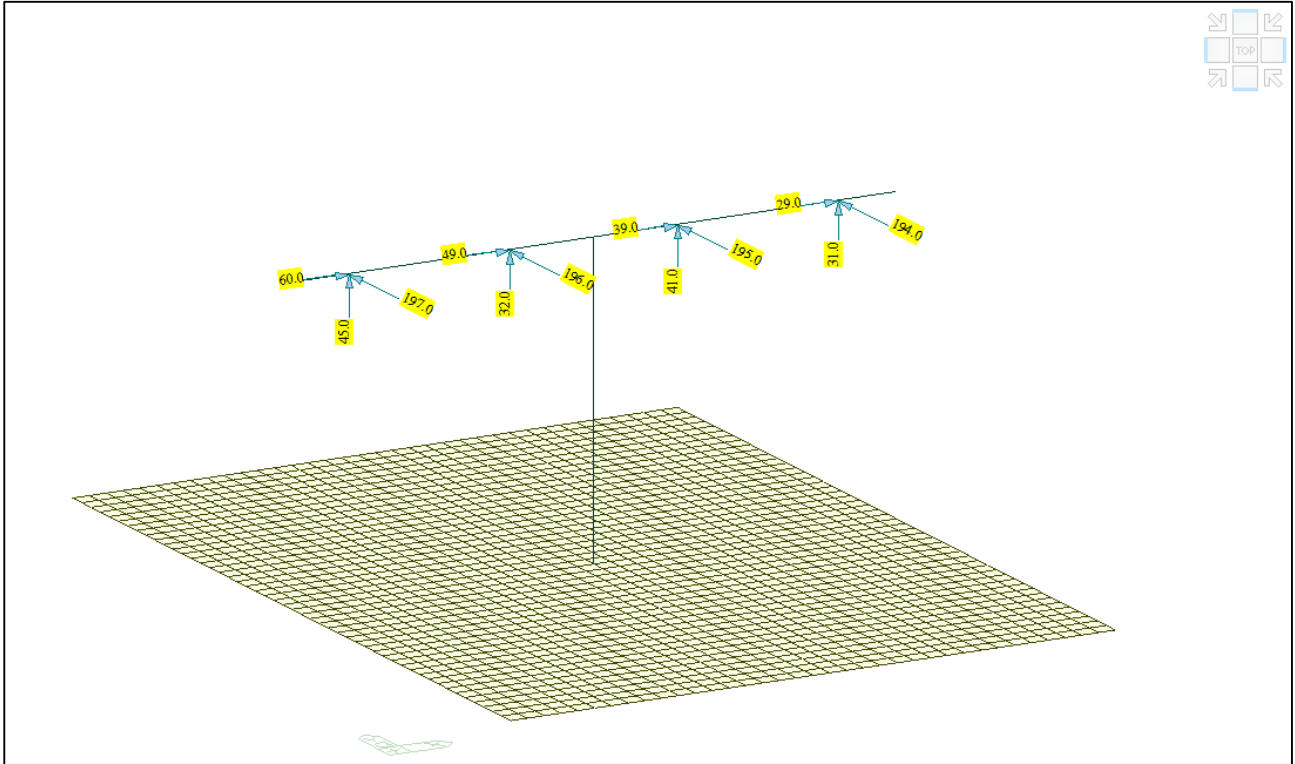
Modello FEM – Condizione di carico DistrD4



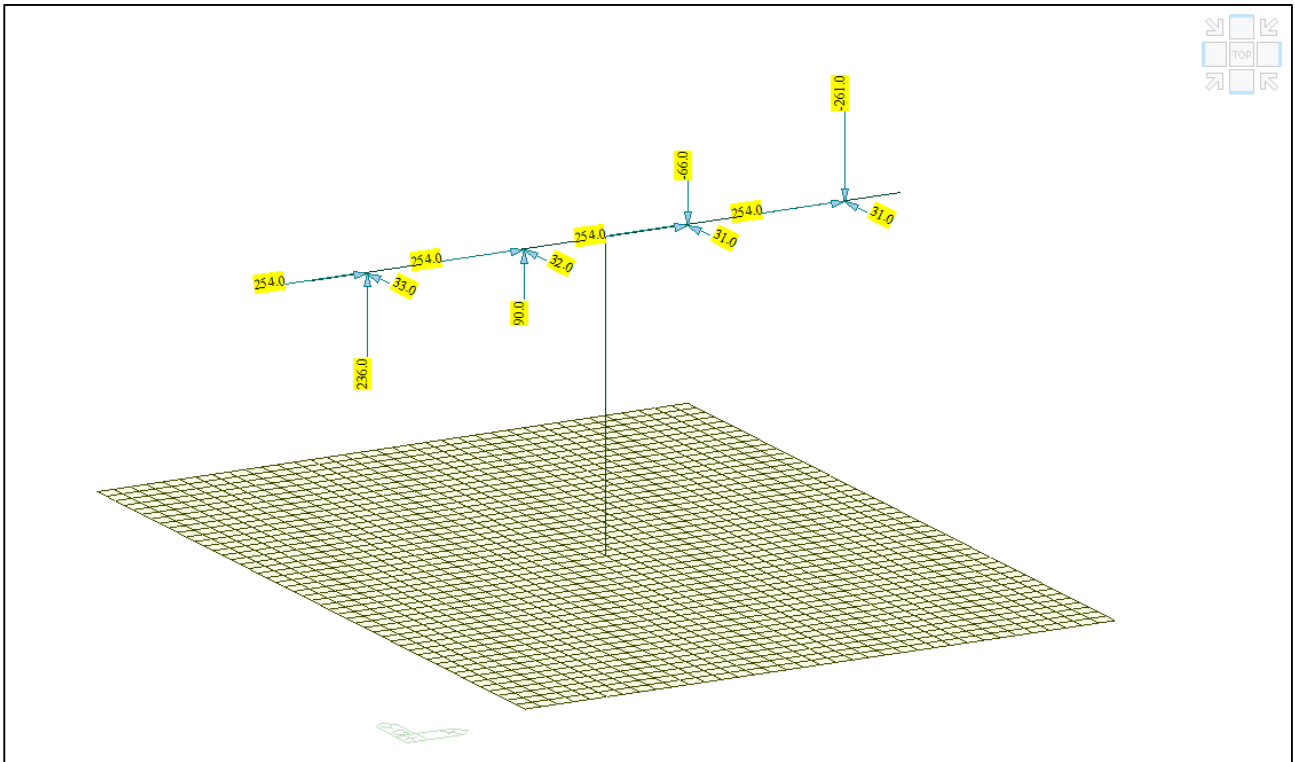
Modello FEM – Condizione di carico Frenamento



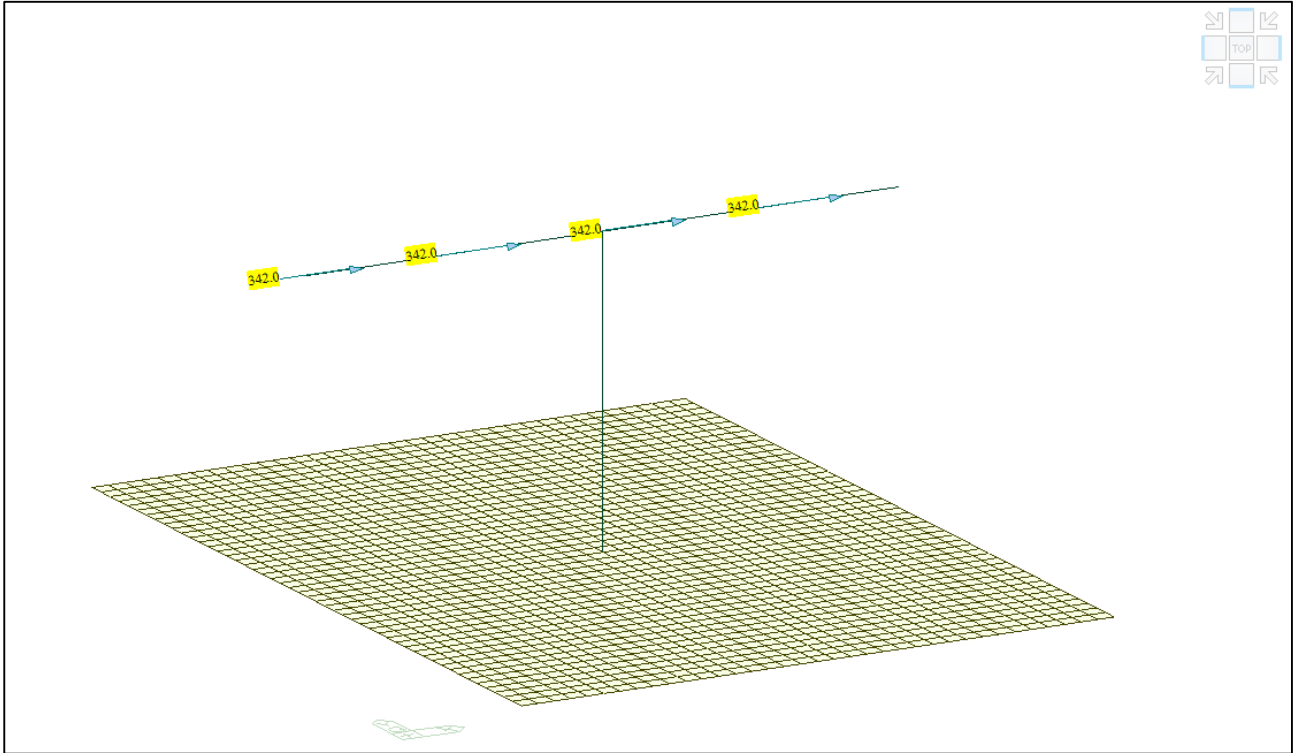
Modello FEM – Condizione di carico Centrifuga



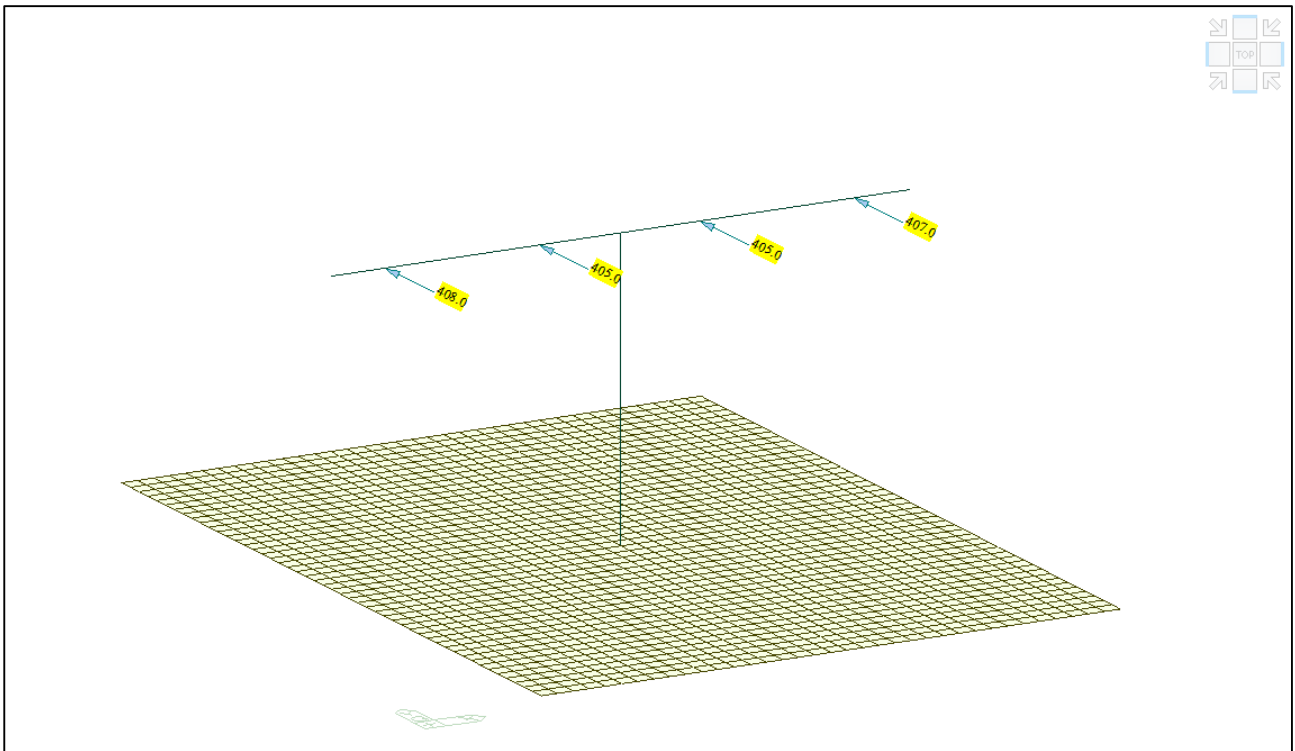
Modello FEM – Condizione di carico Termico



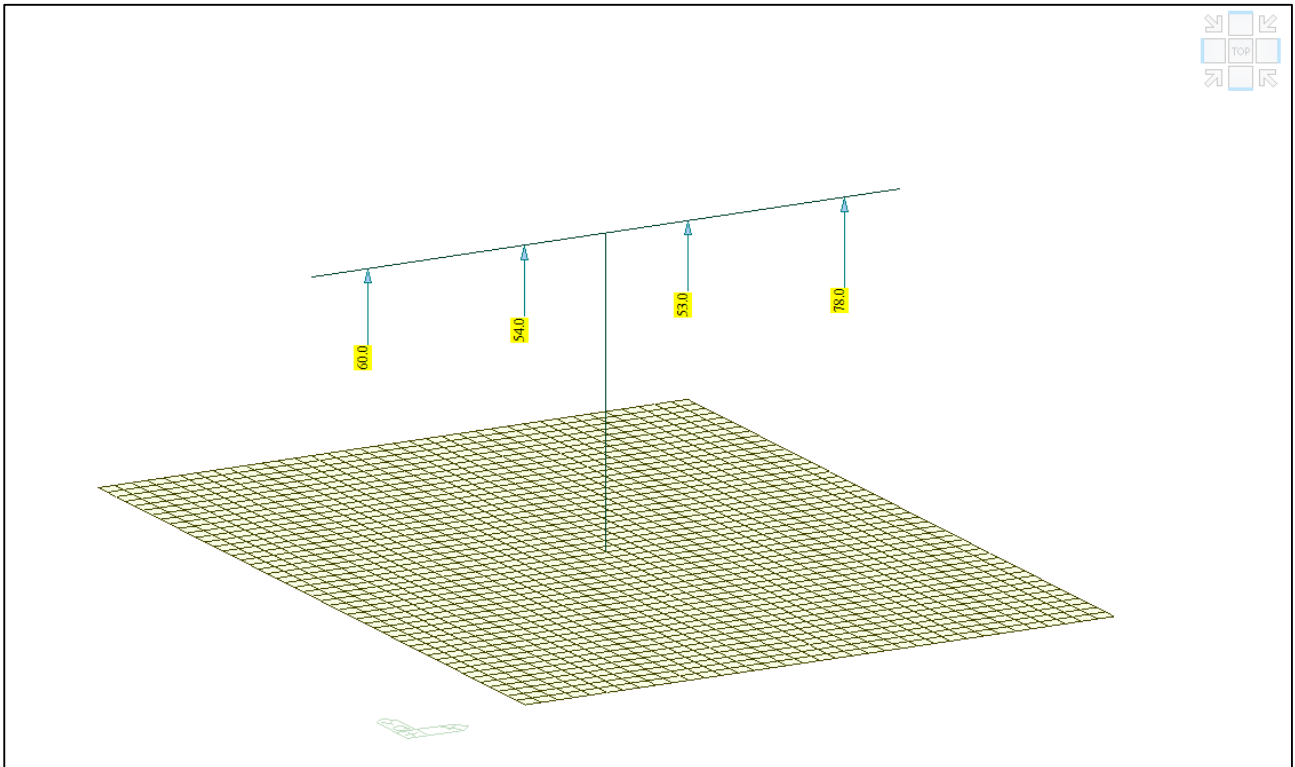
Modello FEM – Condizione di carico Vento



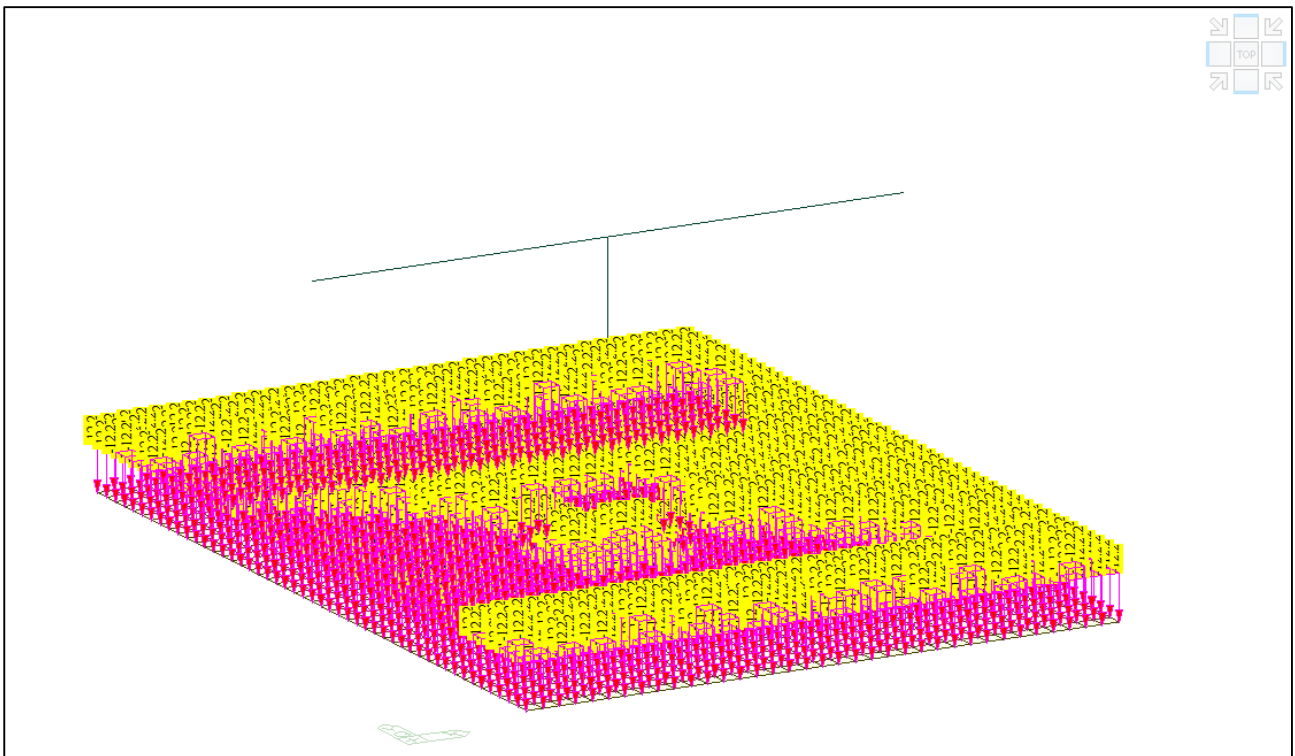
Modello FEM – Condizione di carico Sisma impalcato X



Modello FEM – Condizione di carico Sisma impalcato Y



Modello FEM – Condizione di carico Sisma impalcato Z



Modello FEM – Condizione di carico Peso terreno



A queste condizioni di carico si è aggiunta anche il sisma agente sulla pila, in direzione X e in direzione Y. Il carico è stato inserito come peso proprio con un coefficiente pari a a<sub>g</sub>/g \*S pari a 0.1769.

10.1.4 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

SLU

Table with 20 columns: No, Name, Active, Type, Peso proprio pila(z)(ST), Peso proprio impalcato(ST), Permanente(ST), Ritiro(ST), DistrA4(ST), DistrD5(ST), DistrB9(ST), DistrD4(ST), Frenamento(ST), Centrifuga(ST), Termico(ST), Vento(ST), Sisma impalcato x(ST), Sisma impalcato y(ST), Sisma impalcato z(ST), Peso terreno(ST), Sisma pila x(ST), Sisma pila y(ST). Rows 1-20.

SLE-RARA

Table with 20 columns: No, Name, Active, Type, Peso proprio pila(z)(ST), Peso proprio impalcato(ST), Permanente(ST), Ritiro(ST), DistrA4(ST), DistrD5(ST), DistrB9(ST), DistrD4(ST), Frenamento(ST), Centrifuga(ST), Termico(ST), Vento(ST), Sisma impalcato x(ST), Sisma impalcato y(ST), Sisma impalcato z(ST), Peso terreno(ST), Sisma pila x(ST), Sisma pila y(ST). Rows 21-40.

SLE-FREQUENTE



Comune di Vado Ligure

Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo

Ponte “Aurelia-bis” – Relazione di calcolo sottostrutture e fondazioni

Table with columns: No, Name, Active, Type, Peso proprio pile(ST), Peso proprio impalcato(ST), Permanente(ST), Ritiro(ST), DistaA(ST), DistaD5(ST), DistaD5(ST), DistaD4(ST), Frangimento(ST), CentriAgi(ST), Termico(ST), Vento(ST), Sistema impalcato X(ST), Sistema impalcato Y(ST), Sistema impalcato Z(ST), Peso terreno(ST), Sistema pile X(ST), Sistema pile Y(ST)

SLE-QUASI PERMANENTE

Table with columns: No, Name, Active, Type, Peso proprio pile(ST), Peso proprio impalcato(ST), Permanente(ST), Ritiro(ST), DistaA(ST), DistaD5(ST), DistaD5(ST), DistaD4(ST), Frangimento(ST), CentriAgi(ST), Termico(ST), Vento(ST), Sistema impalcato X(ST), Sistema impalcato Y(ST), Sistema impalcato Z(ST), Peso terreno(ST), Sistema pile X(ST), Sistema pile Y(ST)

E

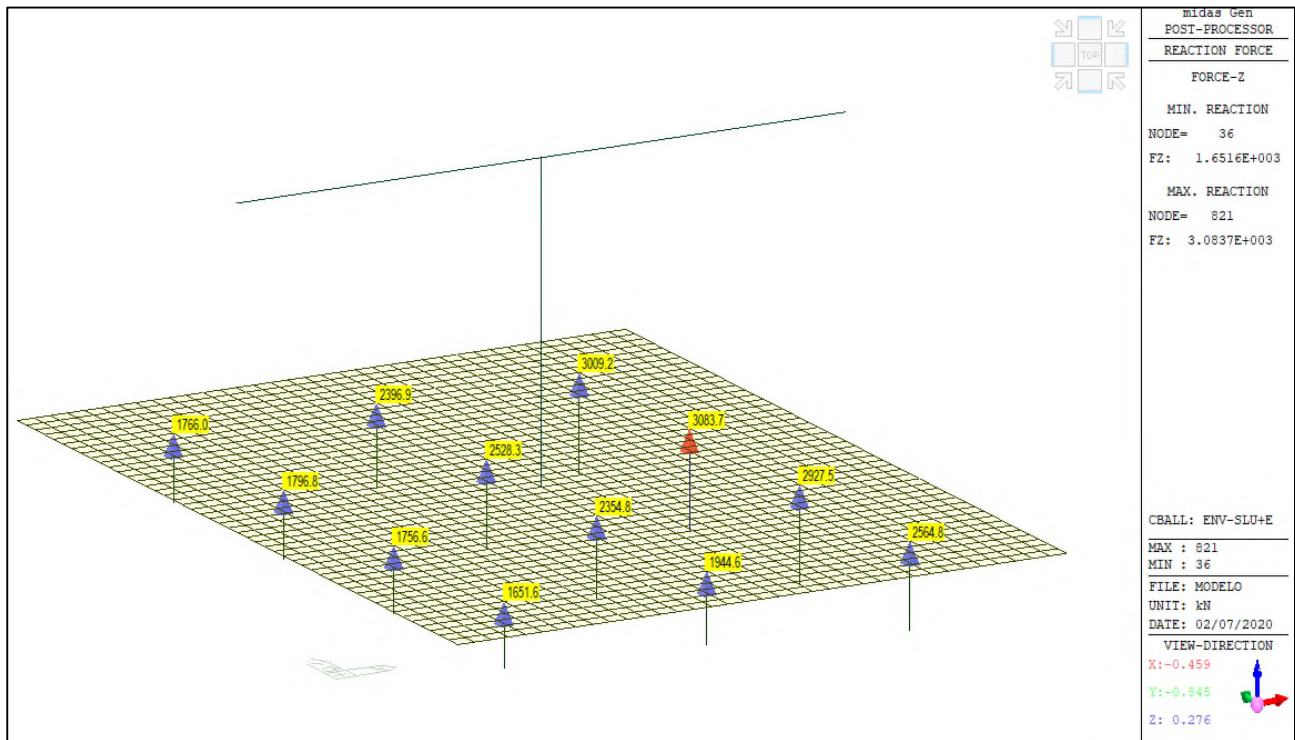
Table with columns: No, Name, Active, Type, Peso proprio pile(ST), Peso proprio impalcato(ST), Permanente(ST), Ritiro(ST), DistaA(ST), DistaD5(ST), DistaD5(ST), DistaD4(ST), Frangimento(ST), CentriAgi(ST), Termico(ST), Vento(ST), Sistema impalcato X(ST), Sistema impalcato Y(ST), Sistema impalcato Z(ST), Peso terreno(ST), Sistema pile X(ST), Sistema pile Y(ST)



## 10.2 RISULTATI ANALISI STRUTTURALE

### 10.2.1 REAZIONI VINCOLARI

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



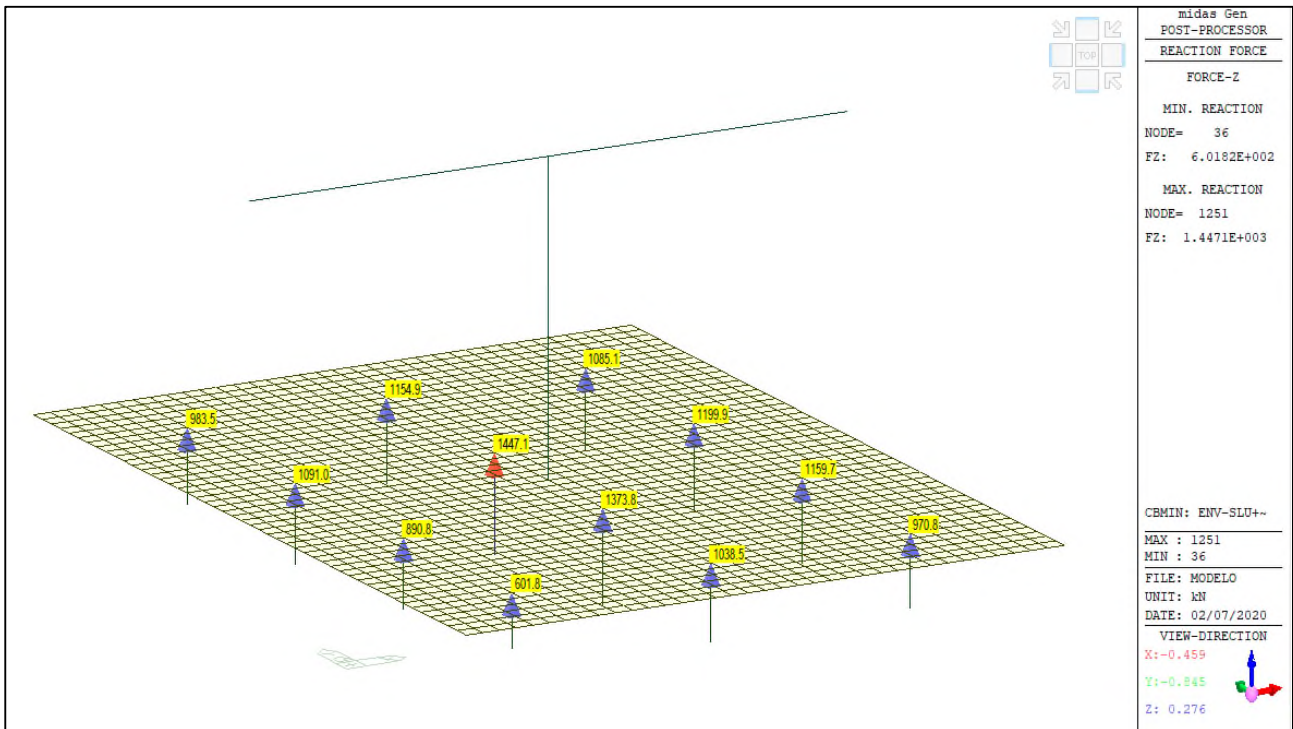
ENV-SLU+E – Reazioni vincolari verticali (Fz) massime



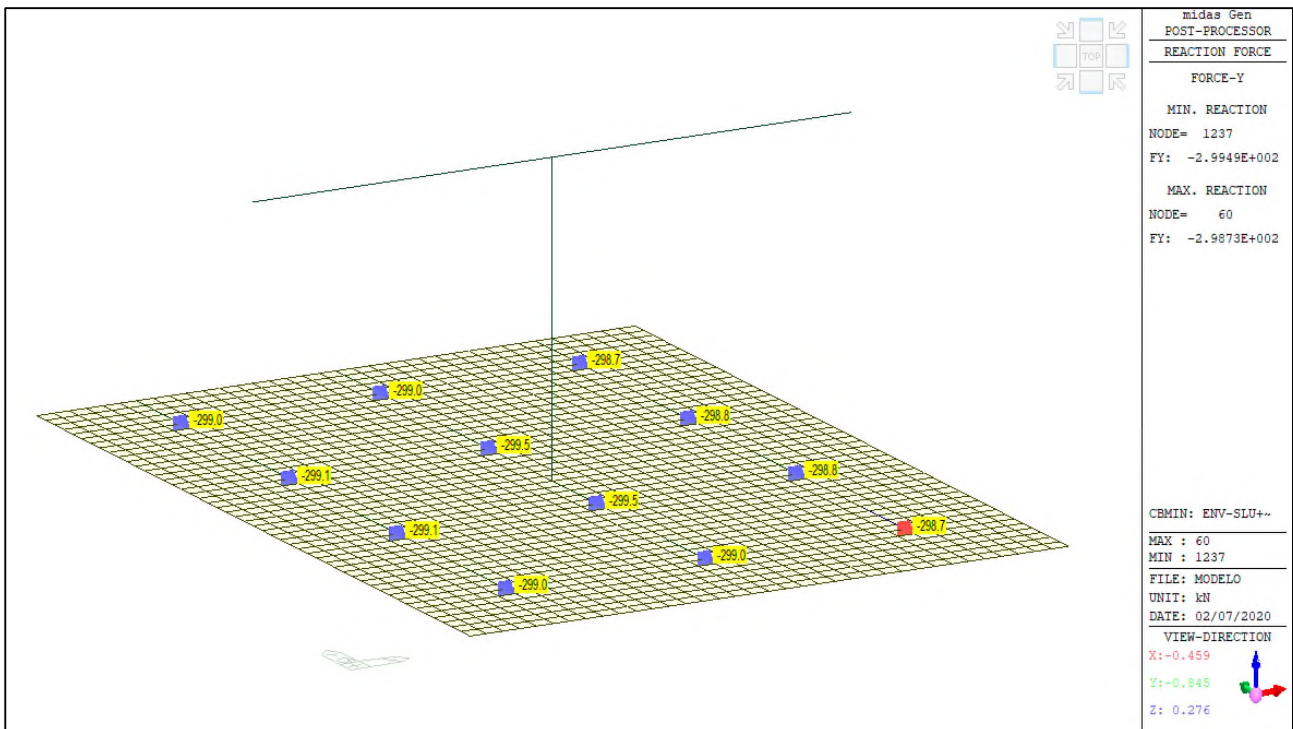
Comune di Vado Ligure

Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo

Ponte “Aurelia-bis” – Relazione di calcolo sottostrutture e fondazioni



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



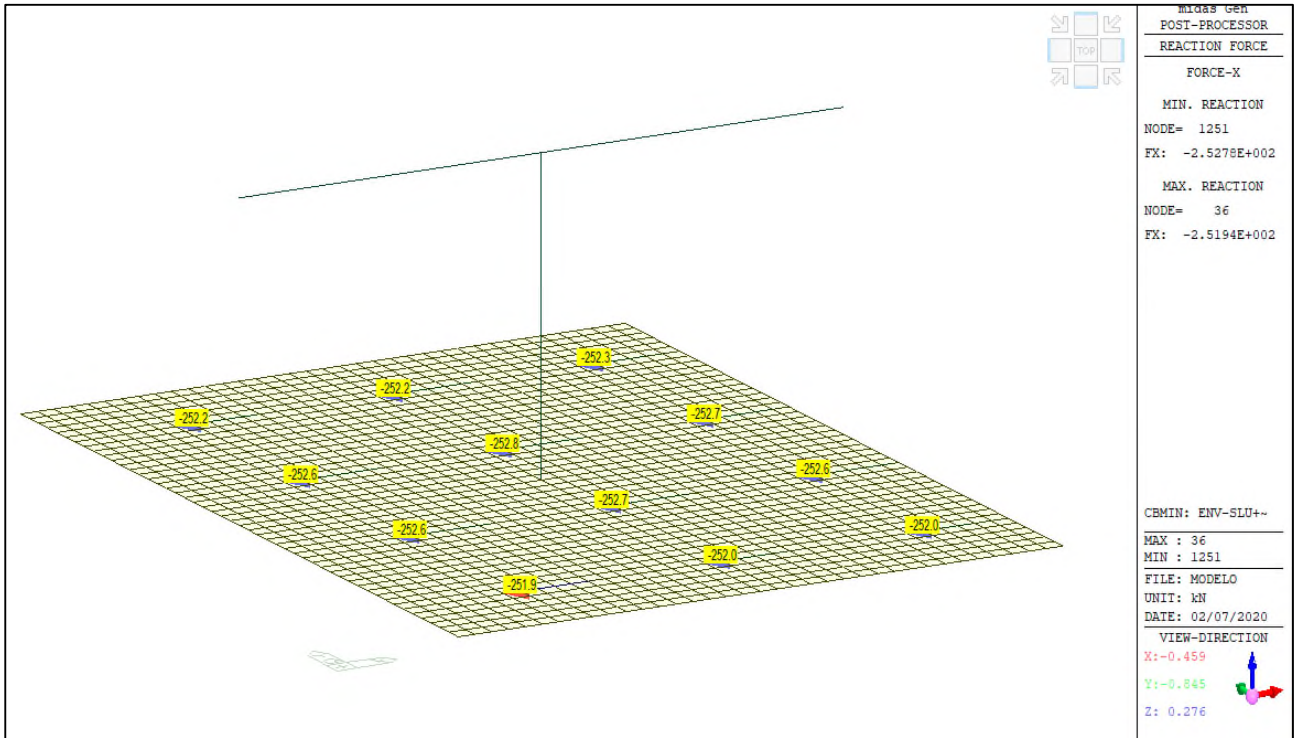
ENV-SLU+E – Reazioni vincolari orizzontali (Fy) massime



Comune di Vado Ligure

Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo

Ponte “Aurelia-bis” – Relazione di calcolo sottostrutture e fondazioni

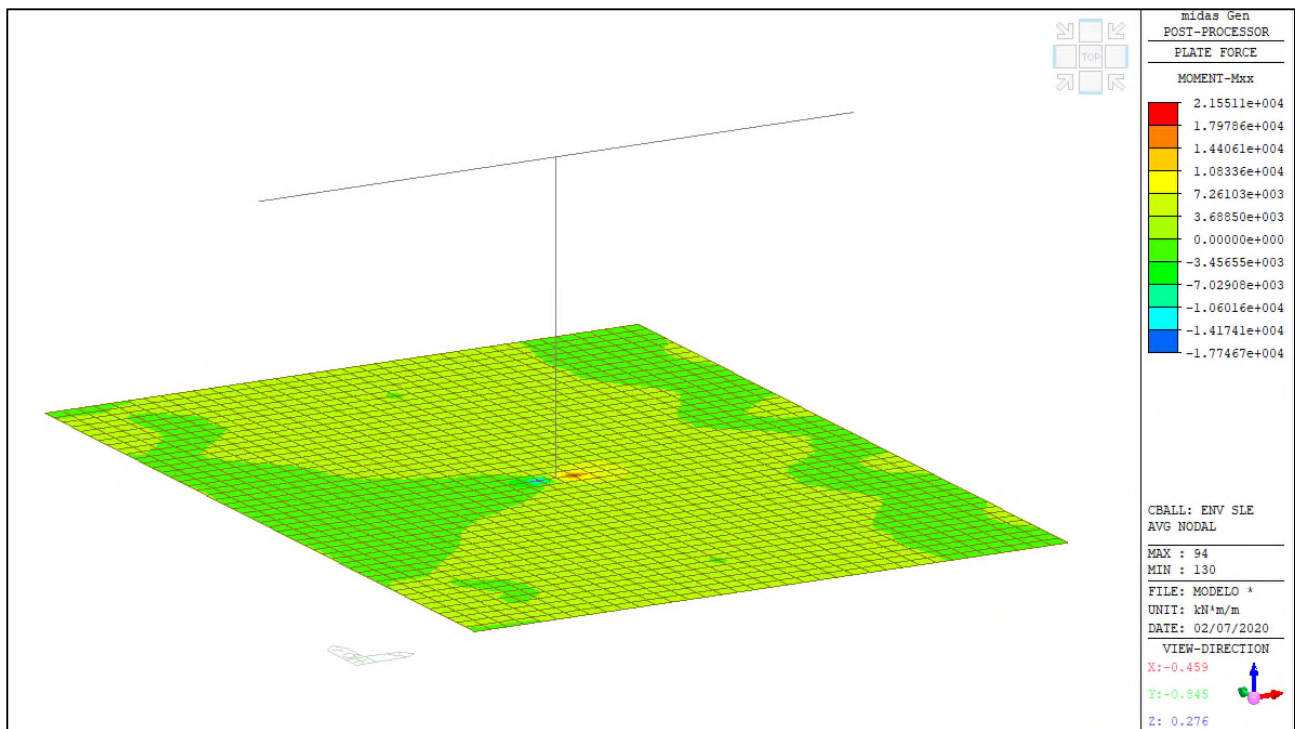


ENV-SLU+E – Reazioni vincolari orizzontali (Fx) massime

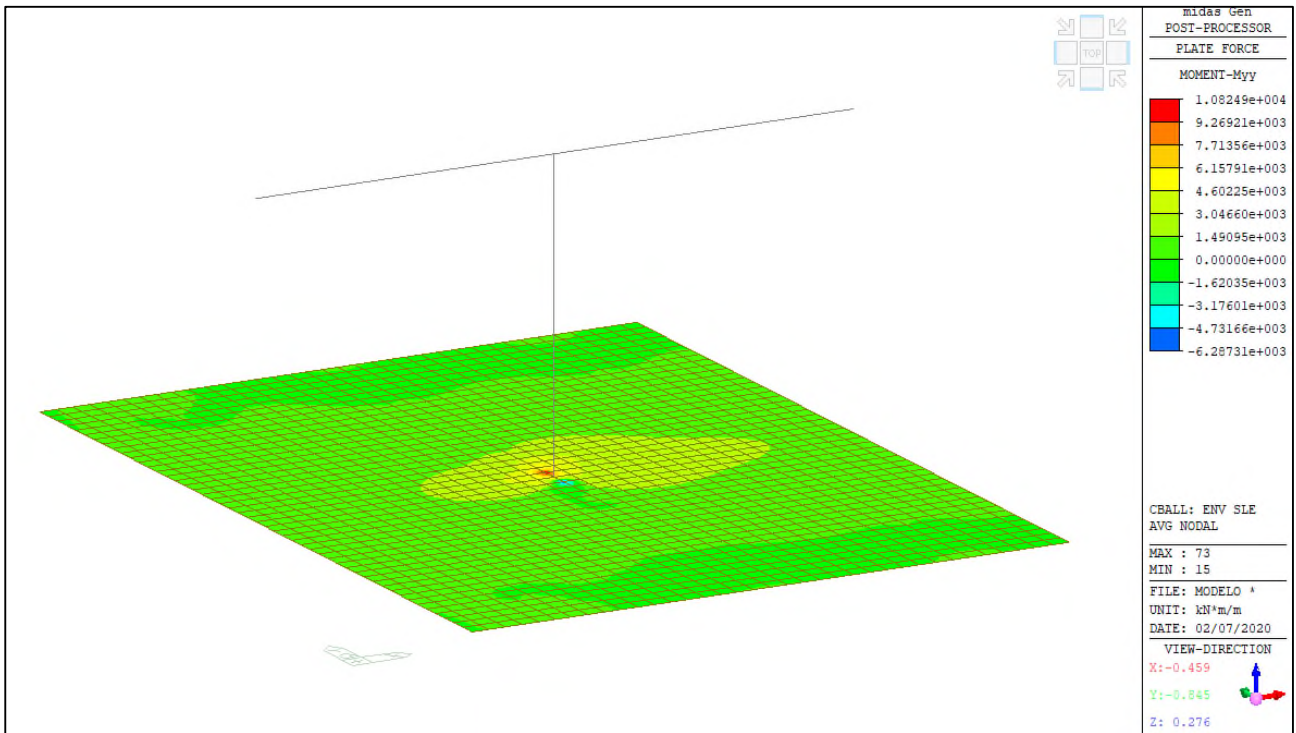


### 10.2.2 DIAGRAMMI AZIONI INTERNE

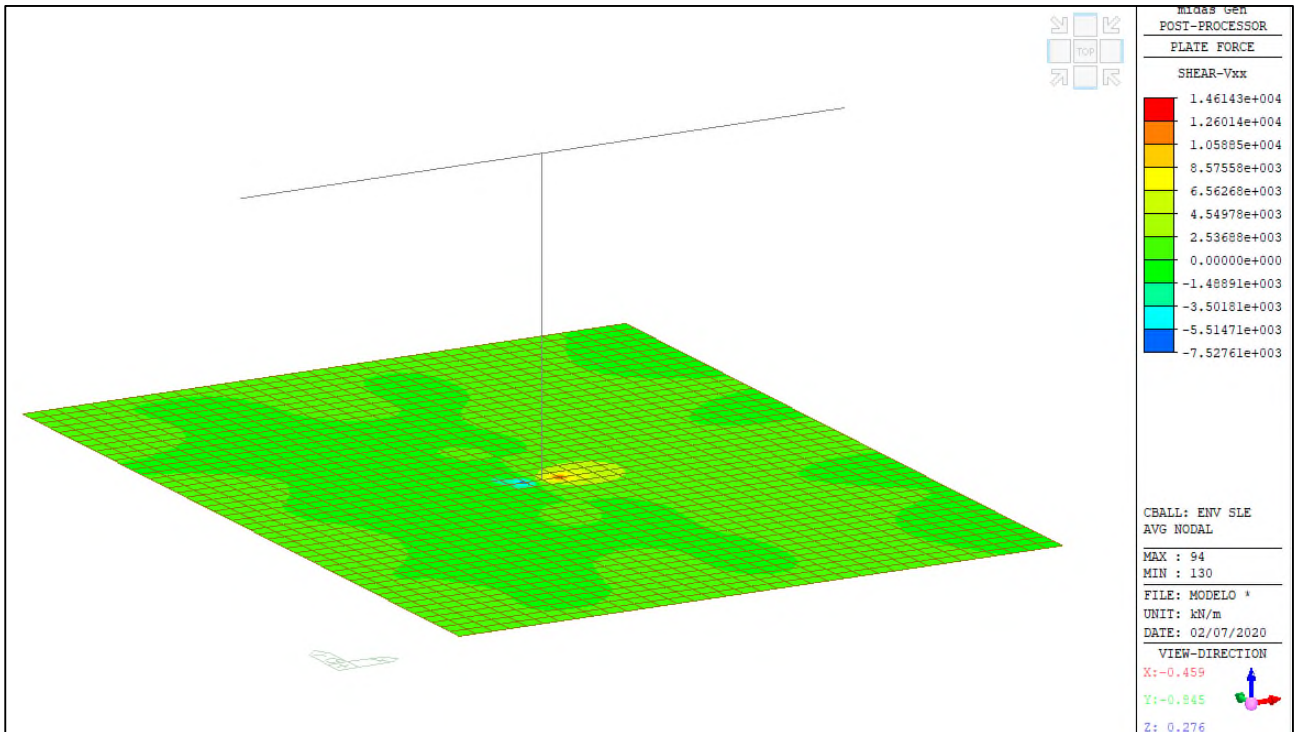
Si riportano i diagrammi involuppo delle azioni interne per le combinazioni allo stato limite di esercizio (ENV-SLE RARA).



ENV-SLE RARA– Mxx (kNm/m) – Platea



ENV-SLE RARA– Myy (kNm/m) – Platea



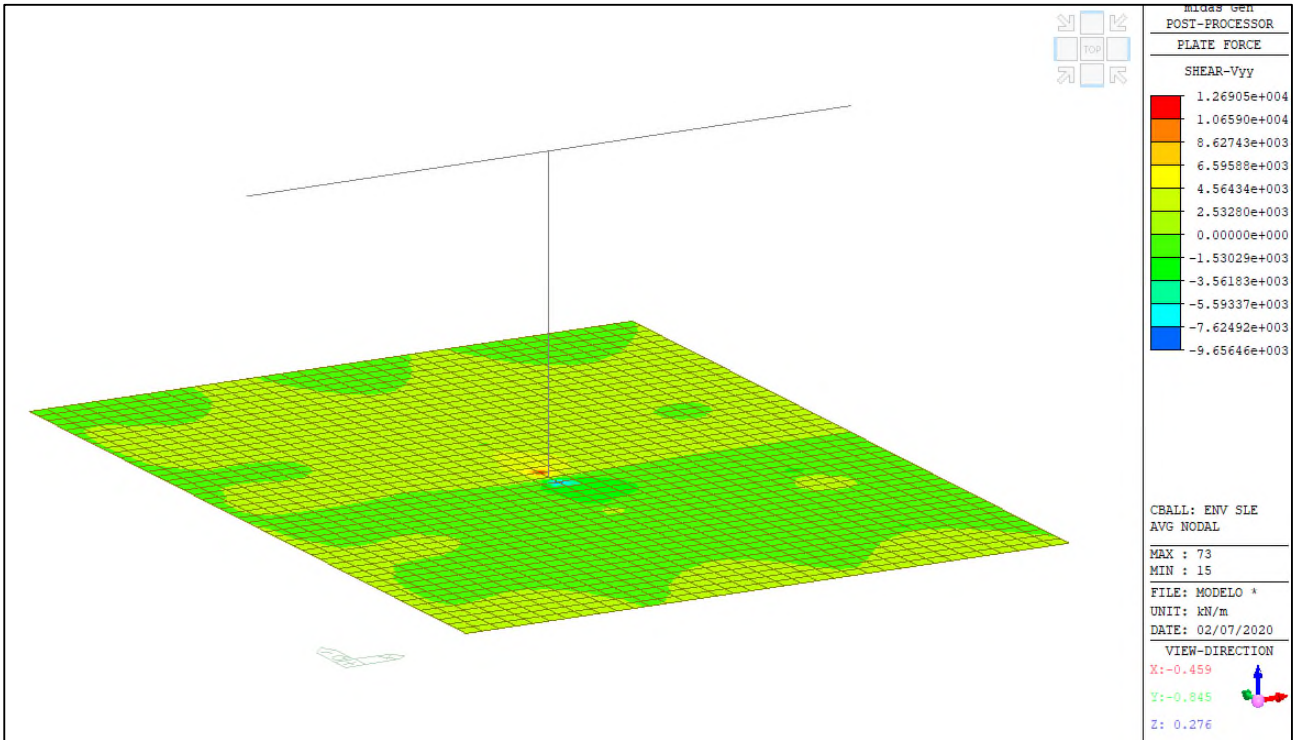
ENV-SLE RARA– Vxx (kN/m) – Platea



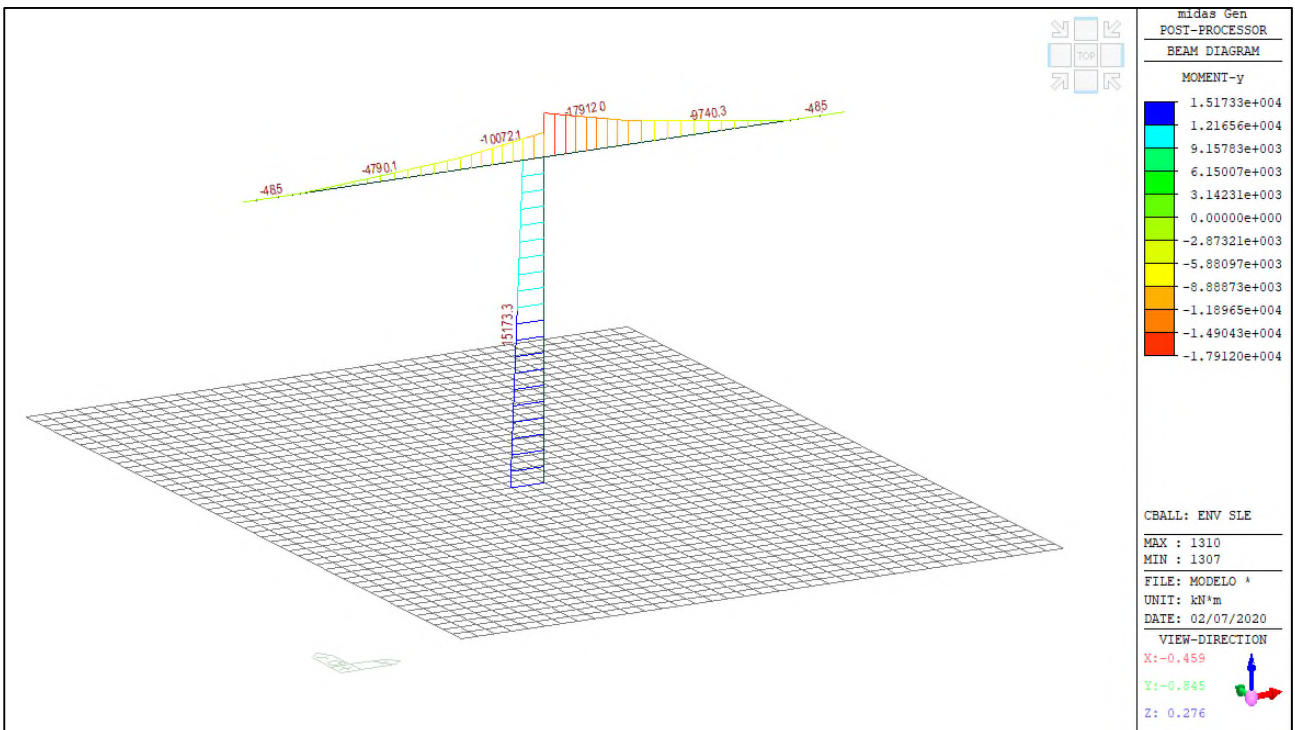
Comune di Vado Ligure

Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo

Ponte “Aurelia-bis” – Relazione di calcolo sottostrutture e fondazioni



ENV-SLE RARA- Vyy (kN/m) – Platea



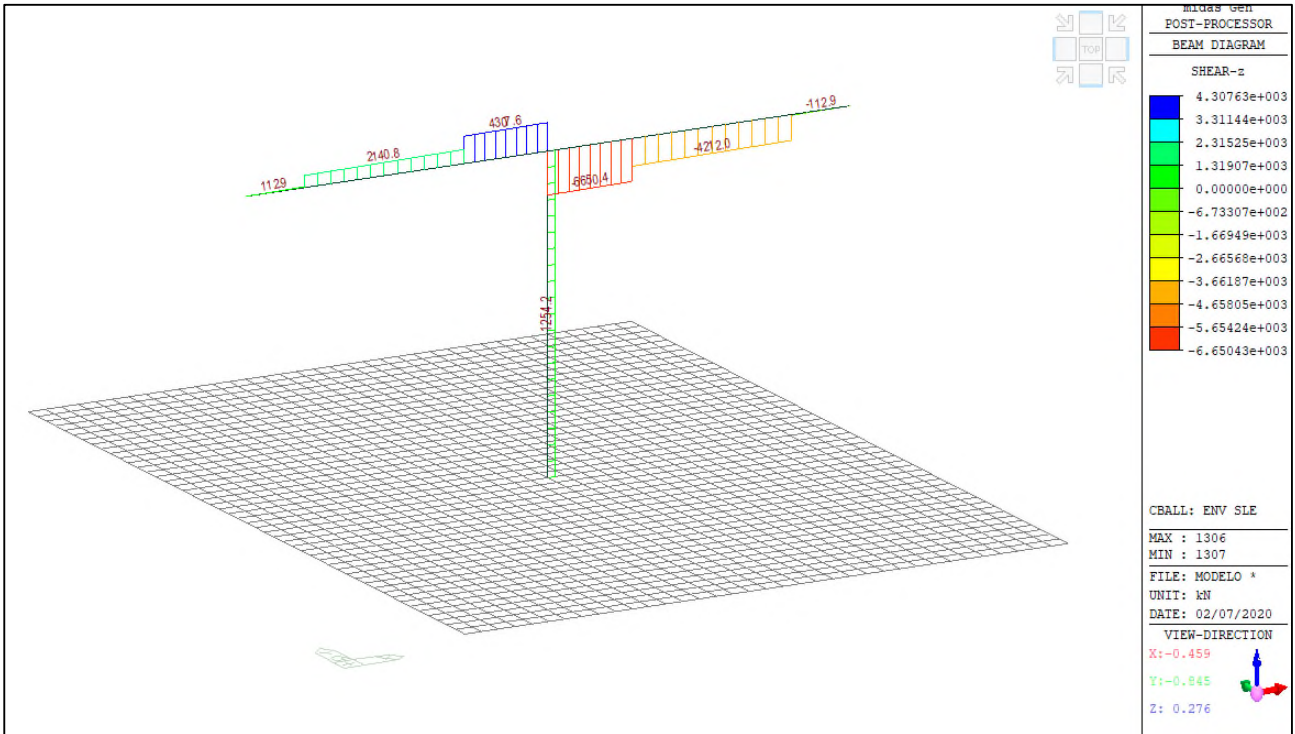
ENV-SLE RARA- My (kNm) – Pila+Pulvino



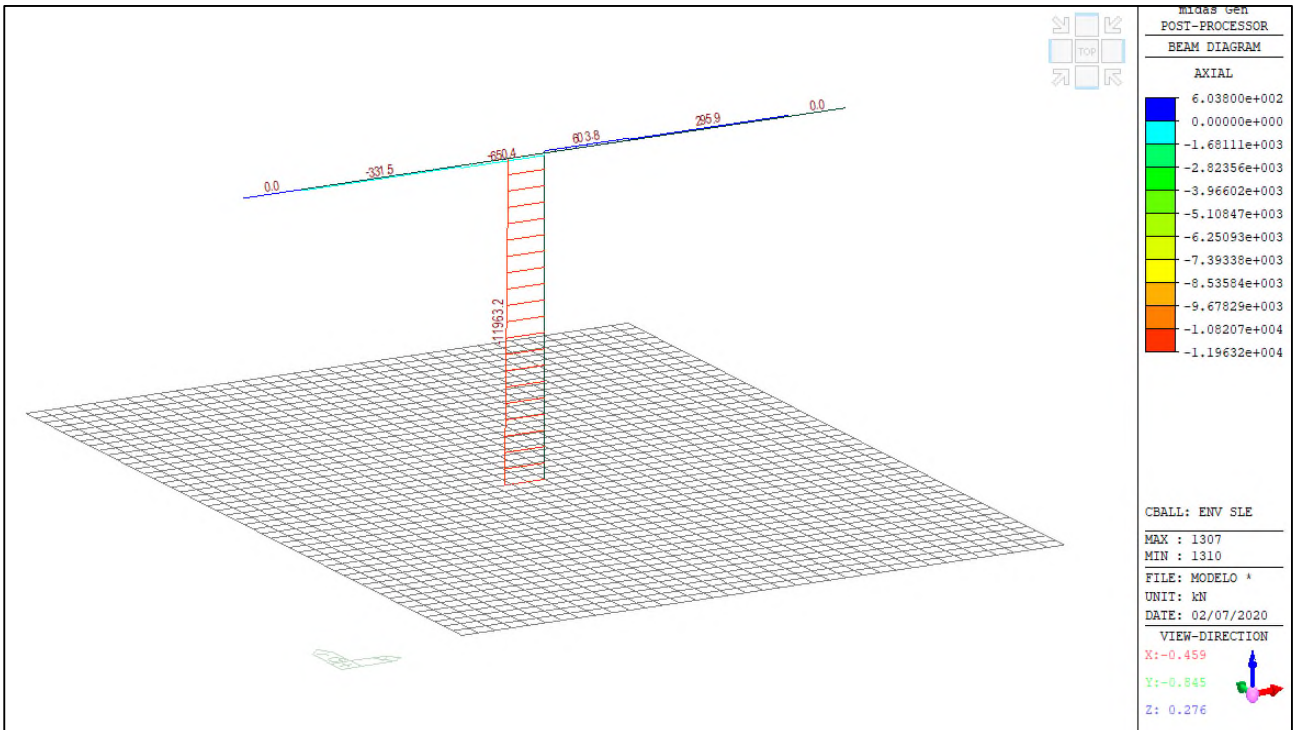
Comune di Vado Ligure

Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo

Ponte “Aurelia-bis” – Relazione di calcolo sottostrutture e fondazioni

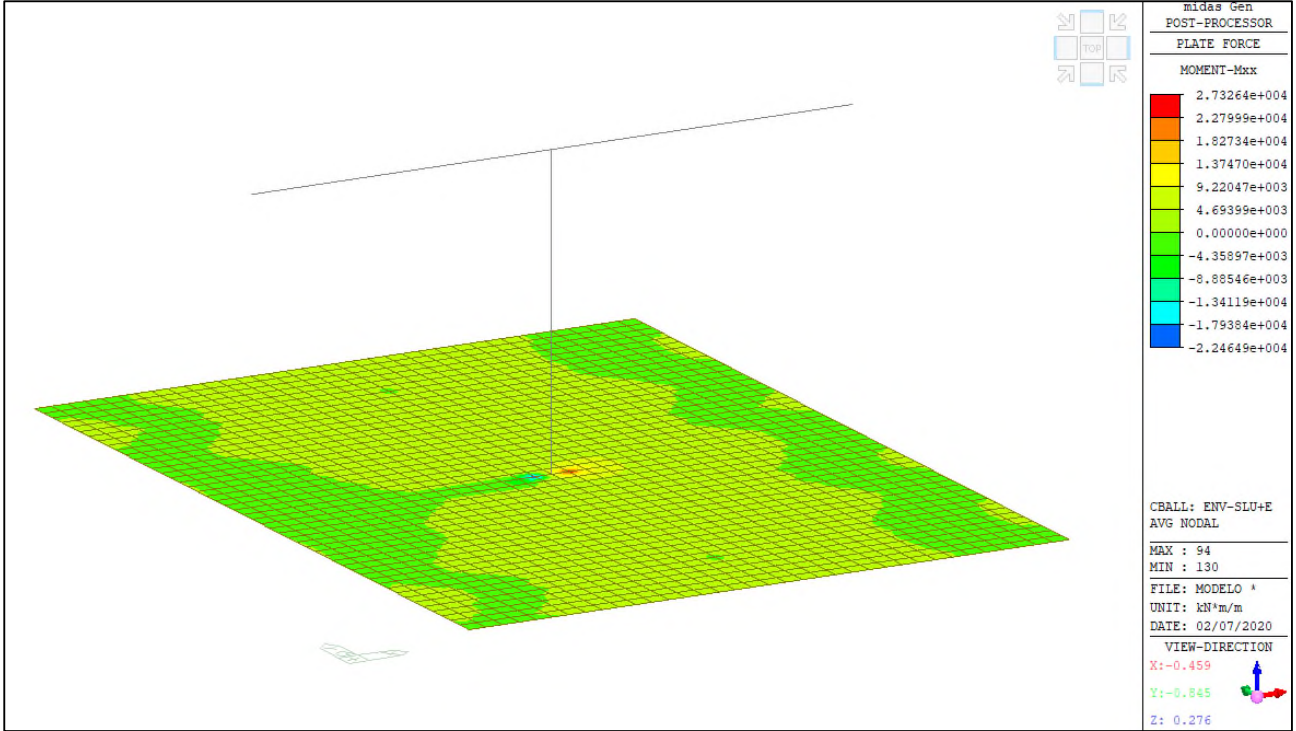


ENV-SLE RARA– Vz (kN) – Pila+Pulvino

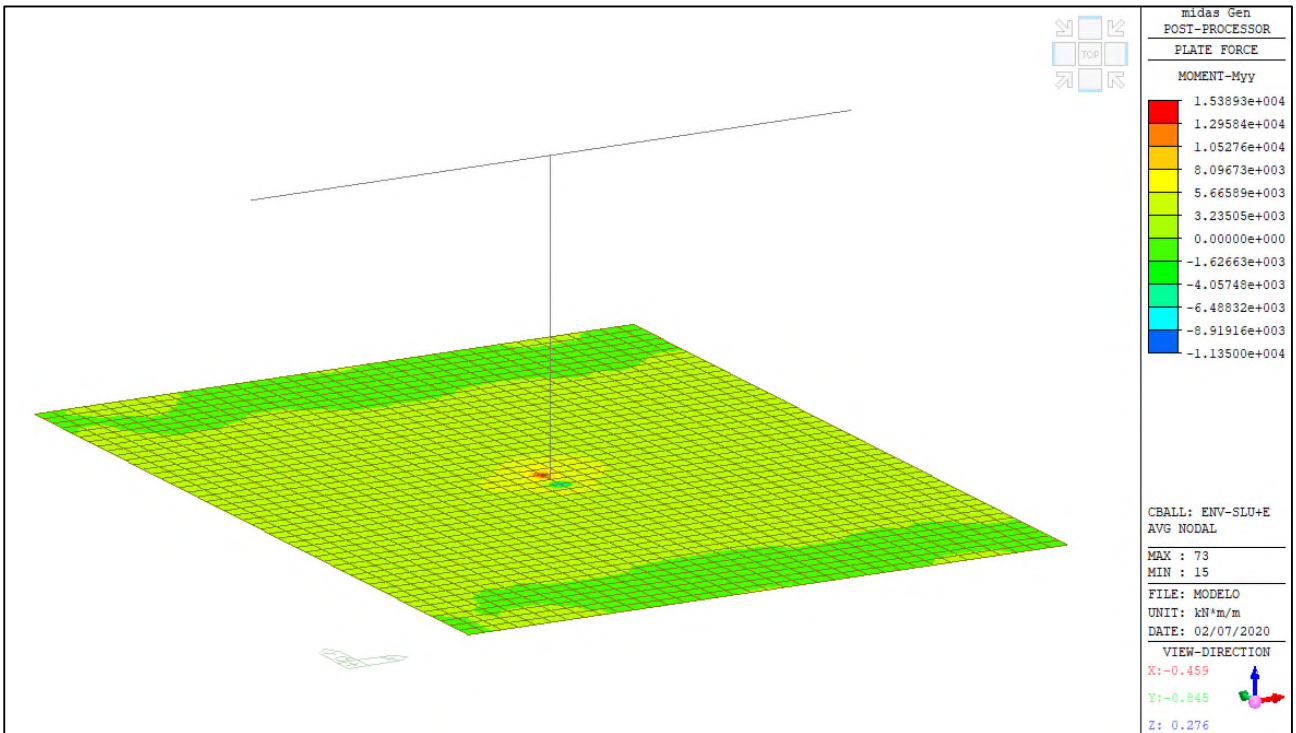


ENV-SLE RARA– Fx (kN) – Pila+Pulvino

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

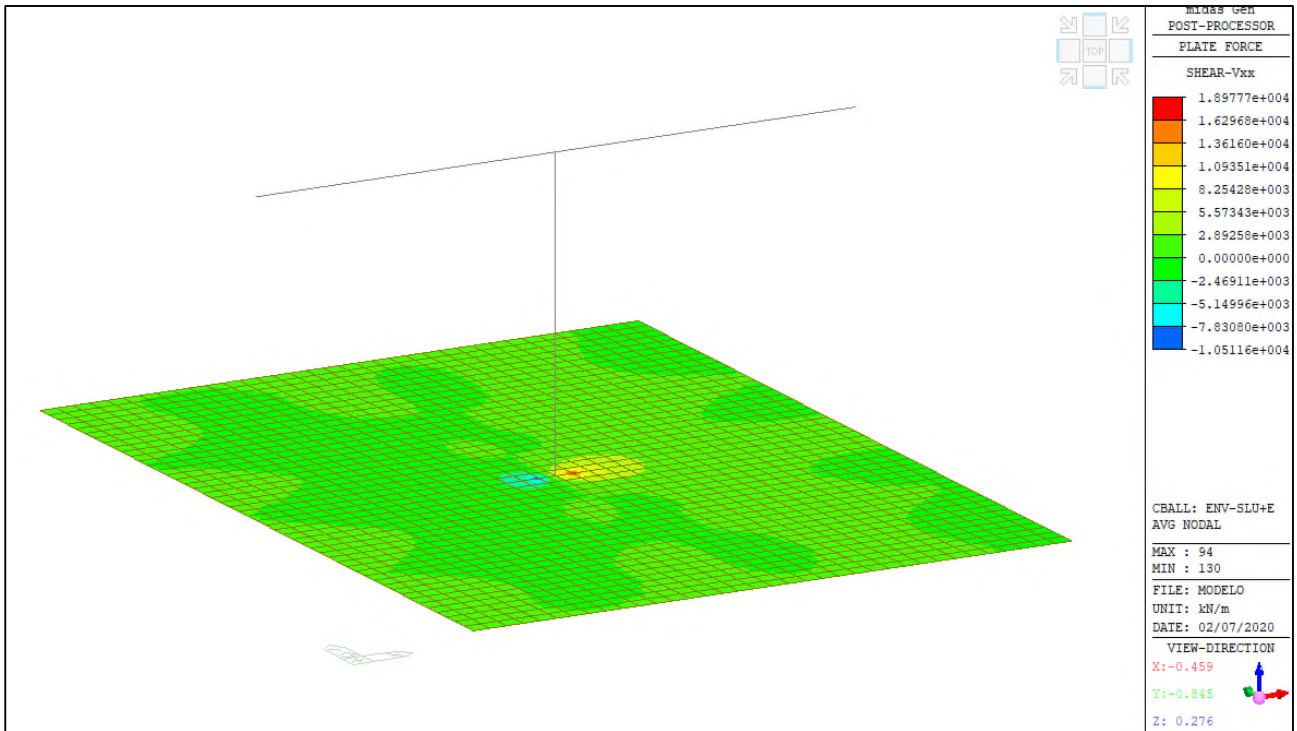




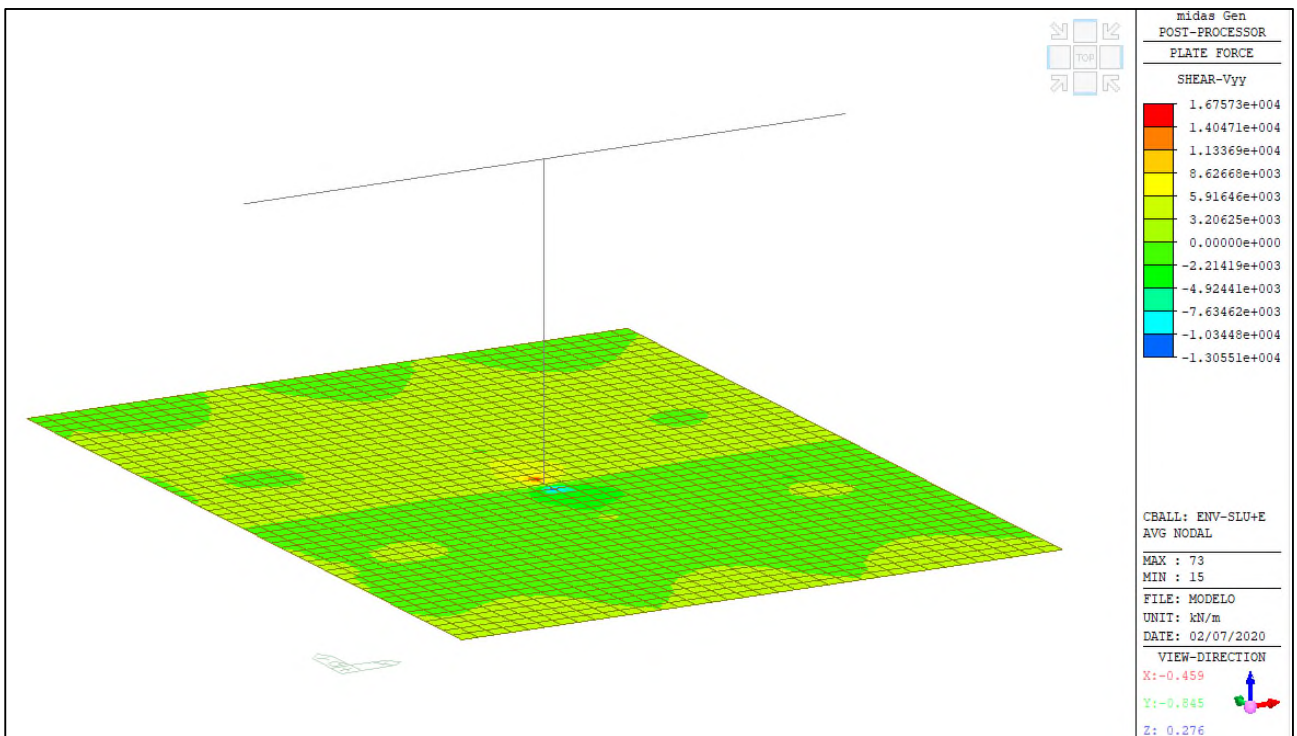
Comune di Vado Ligure

Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo

Ponte “Aurelia-bis” – Relazione di calcolo sottostrutture e fondazioni



ENV-SLU+E – Vxx (kN/m) – Platea



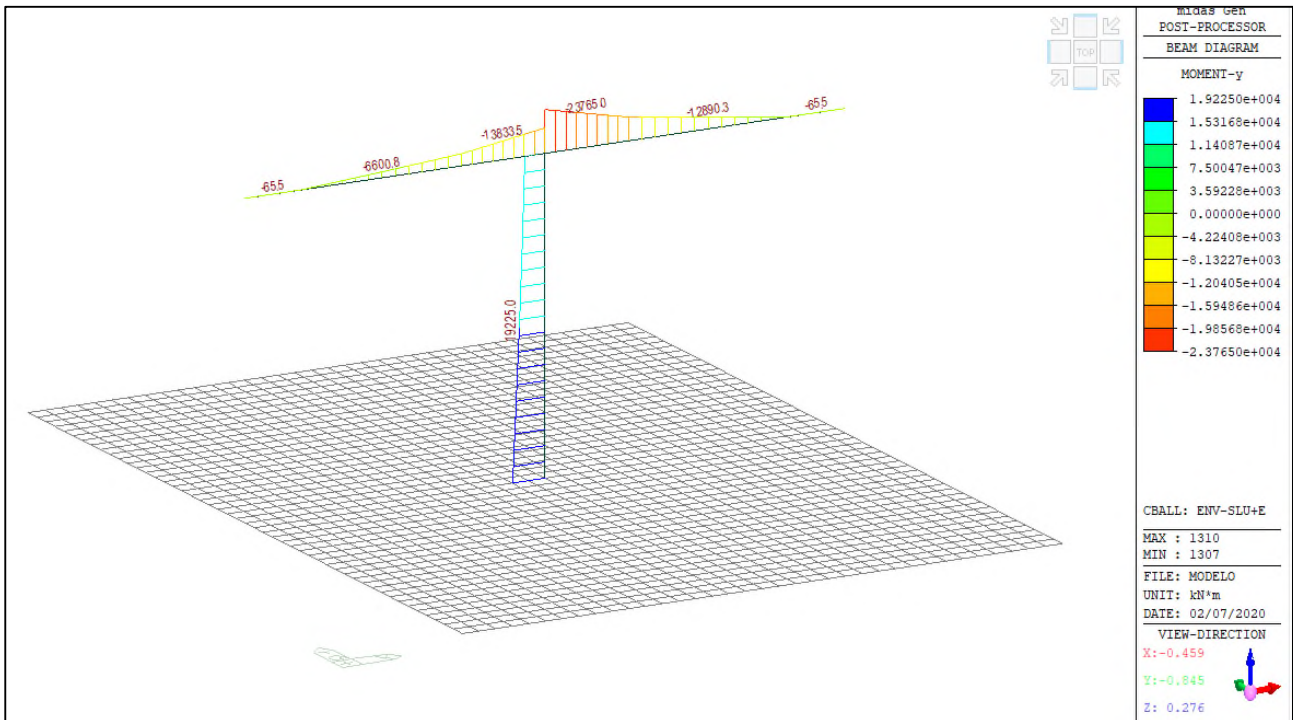
ENV-SLU+E – Vyy (kN/m) – Platea



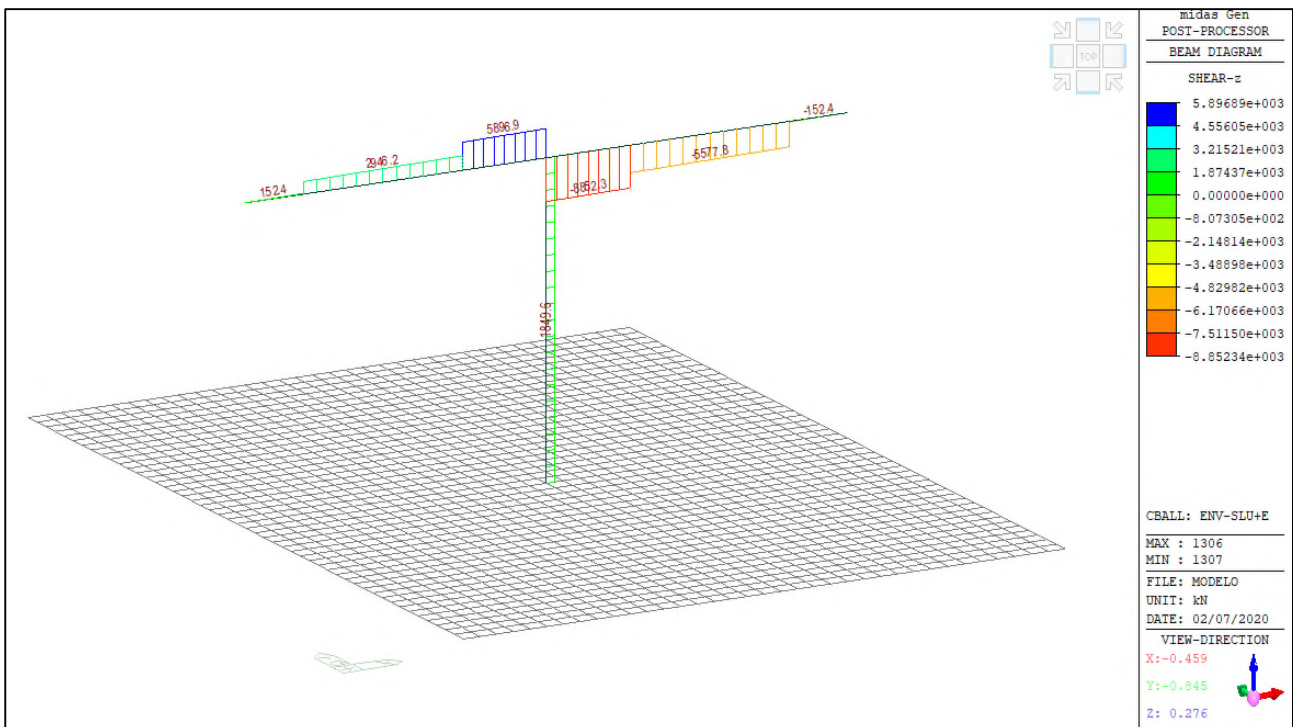
Comune di Vado Ligure

Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo

Ponte “Aurelia-bis” – Relazione di calcolo sottostrutture e fondazioni



ENV-SLU+E –  $M_y$  (kNm) – Pila+Pulvino



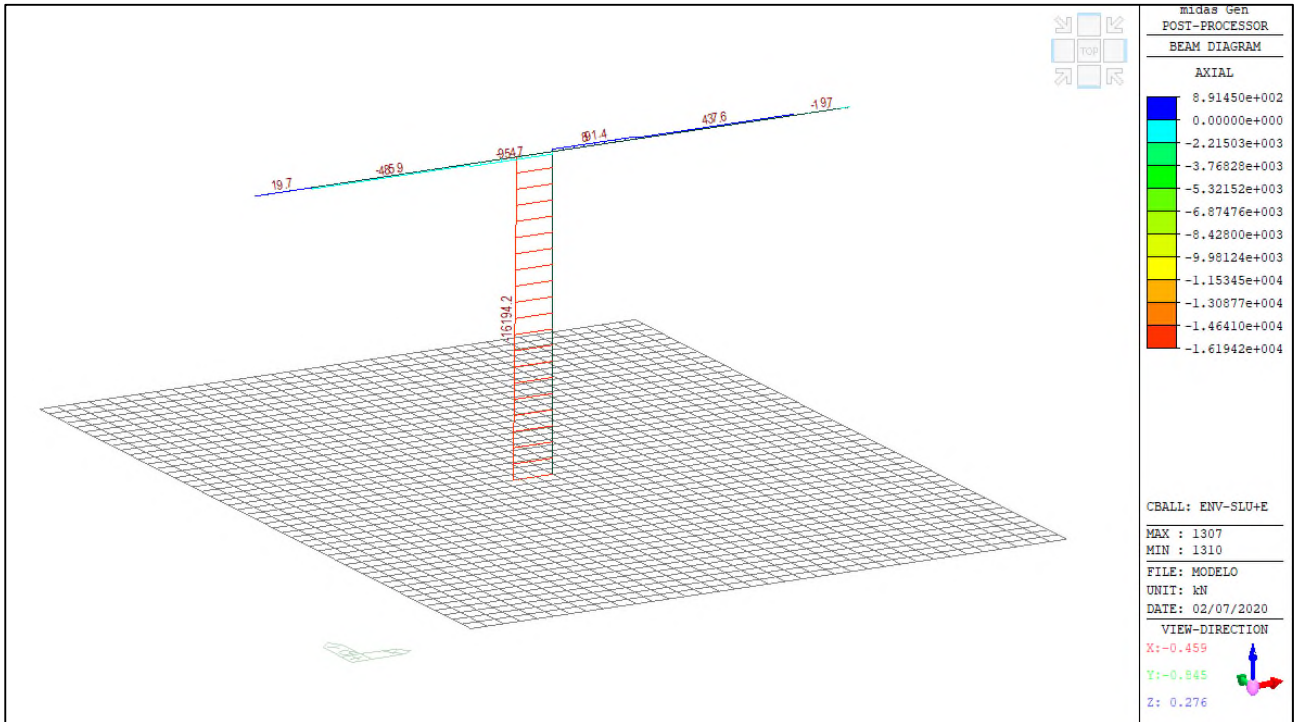
ENV-SLU+E –  $V_z$  (kN) – Pila+Pulvino



Comune di Vado Ligure

Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo

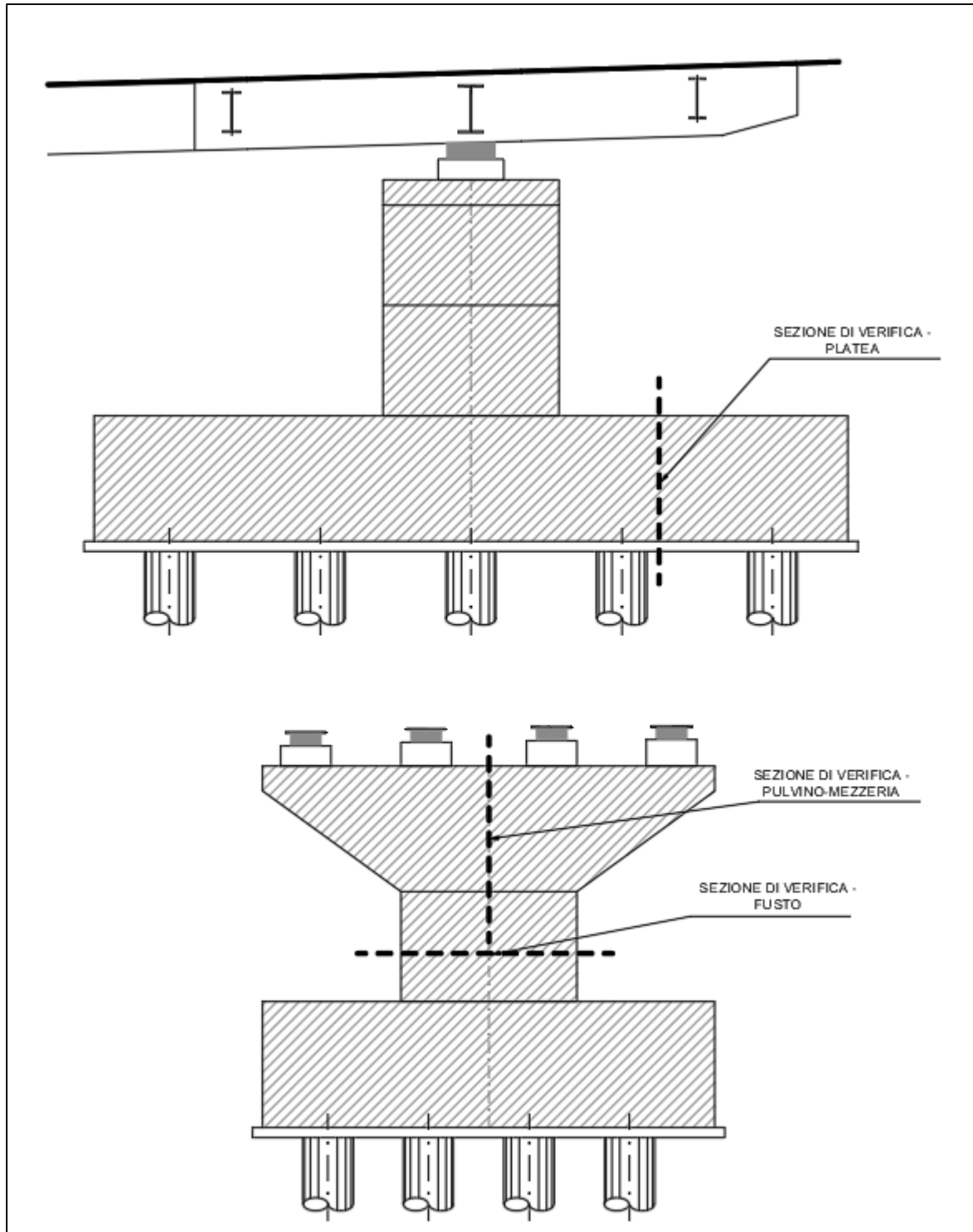
Ponte “Aurelia-bis” – Relazione di calcolo sottostrutture e fondazioni



ENV-SLU+E – Fx (kN) – Pila+Pulvino

### 10.3 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



Comune di Vado Ligure

Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo

Ponte “Aurelia-bis” – Relazione di calcolo sottostrutture e fondazioni

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  | 4620            | 4520            | 5136            | 4930            | 6050.3          | 5980            | 11000           | 11000           |

| SEZIONE             | SLE QP   |         |          | SLE F    |         |          | SLE R    |         |          | SLU      |         |          |
|---------------------|----------|---------|----------|----------|---------|----------|----------|---------|----------|----------|---------|----------|
|                     | My [kNm] | Vz [kN] | Fx [kN]  | My [kNm] | Vz [kN] | Fx [kN]  | My [kNm] | Vz [kN] | Fx [kN]  | My [kNm] | Vz [kN] | Fx [kN]  |
| FUSTO               | 8431.8   | 190.5   | -11069.1 | 14369.5  | 1154.2  | -11593.8 | 15173.3  | 1254.2  | -11963.2 | 19225    | 1849.6  | -16194.2 |
| PULVINO<br>MEZZERIA | 10456    | 5830.6  | -116.5   | 13895    | 6297    | -604.7   | 17912    | 6650.4  | -650.4   | 23765    | 8852.3  | -954.7   |



1. Platea

Le armature sono costituite da una maglia base

- $\Phi 40/10$  inferiori e superiori in direzione x
- $\Phi 40/10$  inferiori e superiori in direzione y
- Spilli  $\Phi 16/20 \times 40$

Le verifiche lungo la direzione X valgono anche lungo la direzione Y

Armatura platea direzione x

Armatura interna: copriferro  $5.0+4.0+2.0= 11.0$  cm

| geometria              |        |       |                    |                    |
|------------------------|--------|-------|--------------------|--------------------|
| sezione trasversale    |        |       |                    |                    |
| B                      | H      | c     | d                  | z                  |
| [cm]                   | [cm]   | [cm]  | [cm]               | [cm]               |
| 100                    | 250    | 9.0   | 239.0              | 215.1              |
| armatura longitudinale |        |       |                    |                    |
| nbarre                 | $\phi$ | d     | $A_{sl}$           |                    |
|                        | [mm]   | [cm]  | [cm <sup>2</sup> ] |                    |
| 10                     | 40     | 11.0  | 125.66             |                    |
| 10                     | 40     | 239.0 | 125.66             |                    |
| armatura a taglio      |        |       |                    |                    |
| nbracci                | $\phi$ | s     | $\alpha$           | $A_{sw}$           |
|                        | [mm]   | [cm]  | [°]                | [cm <sup>2</sup> ] |
| 5                      | 16     | 40    | 90                 | 10.05              |

| SLU                     | SLE - R                                | SLE - F                                | SLE - QP                               |
|-------------------------|--|--|--|
| SLU                     | SLE                                    | SLE                                    | SLE                                    |
| $M_{Ed}$ 11000 [kNm]    | $M_{Ek}$ 6050.3 [kNm]                  | $M_{Ek}$ 5136 [kNm]                    | $M_{Ek}$ 4620 [kNm]                    |
| $N_{Ed}$ 0.00 [kN]      | $N_{Ek}$ 0 [kN]                        | $N_{Ek}$ 0 [kN]                        | $N_{Ek}$ 0 [kN]                        |
| $V_{Ed}$ 5000.00 [kN]   | <b>tensioni e fessure</b>              |  |  |
| <b>presso-flessione</b> | $M_{dec}$ 0.0 [kNm]                    | $M_{dec}$ 0.0 [kNm]                    | $M_{dec}$ 0.0 [kNm]                    |
| $M_{Rd}$ 11284.0 [kNm]  | $M_{cr}$ 3000.4 [kNm]                  | $M_{cr}$ 3000.4 [kNm]                  | $M_{cr}$ 3000.4 [kNm]                  |
| FS 1.03                 | $y_n$ -58.55 [cm]                      | $y_n$ -58.55 [cm]                      | $y_n$ -58.55 [cm]                      |
|                         | $\sigma_{c,min}$ -5.6 [MPa]            | $\sigma_{c,min}$ -4.8 [MPa]            | $\sigma_{c,min}$ -4.3 [MPa]            |
|                         | $\sigma_{s,min}$ -70.2 [MPa]           | $\sigma_{s,min}$ -59.6 [MPa]           | $\sigma_{s,min}$ -53.6 [MPa]           |
|                         | $\sigma_{s,max}$ 218.4 [MPa]           | $\sigma_{s,max}$ 185.4 [MPa]           | $\sigma_{s,max}$ 166.8 [MPa]           |
|                         | $k_2$ 0.5                              | $k_2$ 0.5                              | $k_2$ 0.5                              |
|                         | $\epsilon_{sm-\epsilon_{cm}}$ 0.74 [‰] | $\epsilon_{sm-\epsilon_{cm}}$ 0.65 [‰] | $\epsilon_{sm-\epsilon_{cm}}$ 0.65 [‰] |
|                         | $S_{r,max}$ 45.5 [cm]                  | $S_{r,max}$ 45.5 [cm]                  | $S_{r,max}$ 45.5 [cm]                  |
|                         | $w_k$ 0.336 [mm]                       | $w_k$ 0.336 [mm]                       | $w_k$ 0.293 [mm]                       |

**verifica a taglio di una sezione rettangolare**

secondo EN 1992-1-1:2004/E

**geometria**

**sezione trasversale**

|                                  |     |       |    |
|----------------------------------|-----|-------|----|
| base                             | B = | 100   | cm |
| altezza                          | H = | 250   | cm |
| copriferro (asse armatura long.) | c = | 11    | cm |
| altezza utile                    | d = | 239   | cm |
| braccio coppia interna           | z = | 215.1 | cm |

**armatura a taglio**

|                |            |       |                 |
|----------------|------------|-------|-----------------|
| numero braccia | n =        | 5     |                 |
| diametro       | $\phi$ =   | 16    | mm              |
| passo          | s =        | 40    | cm              |
| inclinazione   | $\alpha$ = | 90    | °               |
| area           | $A_{sw}$ = | 10.05 | cm <sup>2</sup> |

**armatura longitudinale tesa**

|              |            |       |                 |
|--------------|------------|-------|-----------------|
| numero barre | $n_1$ =    | 10    |                 |
| diametro     | $\phi_1$ = | 40    | mm              |
| numero barre | $n_2$ =    | 0     |                 |
| diametro     | $\phi_2$ = | 0     | mm              |
| area totale  | $A_{sl}$ = | 125.7 | cm <sup>2</sup> |

**materiali**

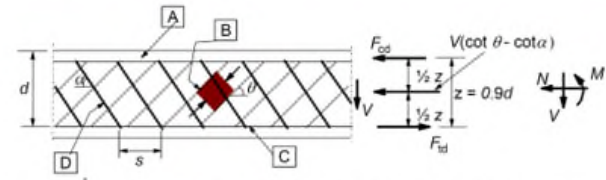
**calcestruzzo**

|  |                 |       |     |
|--|-----------------|-------|-----|
| 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 |

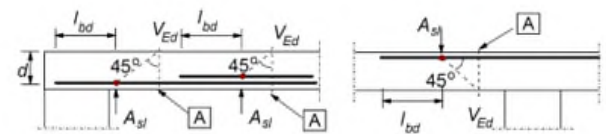
**acciaio**

|                                    |              |       |     |
|------------------------------------|--------------|-------|-----|
| 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                           | $V_{Ed}$ =    | 5000   | kN      |
| azione assiale                   | $N_{Ed}$ =    | 0      | kN      |
| resistenza elemento non armato   | $V_{Rdc}$ =   | 871.5  | kN      |
| resistenza armatura a taglio     | $V_{Rds}$ =   | 5288.5 | kN      |
| resistenza bielle calcestruzzo   | $V_{Rdmax}$ = | 5654.0 | kN      |
| inclinazione bielle calcestruzzo | $\theta$ =    | 21.8   | °       |
| sezione                          |               |        | duttile |
| traslazione armatura long.       | al =          | 268.9  | cm      |



Comune di Vado Ligure

Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo

Ponte “Aurelia-bis” – Relazione di calcolo sottostrutture e fondazioni

## 2. Fusto

Le armature sono costituite da

- 60 $\Phi$ 30 longitudinali
- Staffe  $\Phi$ 16/20

Verifica C.A. S.L.U. - File: SLU-Pila

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

Titolo :

**Sezione circolare cava**

Raggio esterno: 175 [cm]  
Raggio interno: 0 [cm]  
N° barre uguali: 60  
Diametro barre: 3 [cm]  
Copriferro (baric.): 8.6 [cm]

N° barre: 0 Zoom

**Sollecitazioni**

S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub>: 0 kN  
M<sub>xEd</sub>: 19225 kNm  
M<sub>yEd</sub>: 0

**P.to applicazione N**

Centro Baricentro cls  
Coord.[cm] xN: 0 yN: 0

**Metodo di calcolo**

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

**Tipo flessione**

Retta Deviata

Vertici: 52 N° rett.: 100

Calcola MRd Dominio M-N  
L<sub>0</sub>: 0 cm Col. modello

Precompresso

**Materiali**

B450C C32/40

$\epsilon_{su}$ : 67.5 ‰  $\epsilon_{c2}$ : 2 ‰  
 $f_{yd}$ : 391.3 N/mm<sup>2</sup>  $\epsilon_{cu}$ : 3.5 ‰  
 $E_s$ : 200'000 N/mm<sup>2</sup>  $f_{cd}$ : 18.13  
 $E_s/E_c$ : 15  $f_{cc}/f_{cd}$ : 0.8 ?  
 $\epsilon_{syd}$ : 1.957 ‰  $\sigma_{c,adm}$ : 12.25  
 $\sigma_{s,adm}$ : 255 N/mm<sup>2</sup>  $\tau_{co}$ : 0.7333  
 $\tau_{c1}$ : 2.114

$M_{xRd}$ : 25'339 kN m

$\sigma_c$ : -18.13 N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_s$ : 391.3 N/mm<sup>2</sup>  
 $\epsilon_c$ : 3.5 ‰  
 $\epsilon_s$ : 23.17 ‰  
d: 341.4 cm  
x: 44.81 x/d: 0.1312  
 $\delta$ : 0.7

Verifica armatura longitudinale Fusto – SLU





Per la verifica a fessurazione e a taglio si è considerata la sezione corrispondente al quadrato inscritto nella circonferenza del fusto.

| SLE - R            |               | SLE - F                       |               | SLE - QP                      |               |
|--------------------|---------------|-------------------------------|---------------|-------------------------------|---------------|
| SLE                |               | SLE                           |               | SLE                           |               |
| MEk                | 15173.3 [kNm] | MEk                           | 14369.5 [kNm] | MEk                           | 8431.8 [kNm]  |
| NEk                | -6000 [kN]    | NEk                           | -5100 [kN]    | NEk                           | -4900 [kN]    |
| tensioni e fessure |               | tensioni e fessure            |               | tensioni e fessure            |               |
| Mdec               | 2819.8 [kNm]  | Mdec                          | 2396.8 [kNm]  | Mdec                          | 2302.8 [kNm]  |
| Mcr                | 10944.9 [kNm] | Mcr                           | 10521.9 [kNm] | Mcr                           | 10427.9 [kNm] |
| yn                 | -37.51 [cm]   | yn                            | -40.77 [cm]   | yn                            | -21.11 [cm]   |
| $\sigma_{c,min}$   | -7.6 [MPa]    | $\sigma_{c,min}$              | -7.2 [MPa]    | $\sigma_{c,min}$              | -4.3 [MPa]    |
| $\sigma_{s,min}$   | -103.3 [MPa]  | $\sigma_{s,min}$              | -96.8 [MPa]   | $\sigma_{s,min}$              | -59.4 [MPa]   |
| $\sigma_{s,max}$   | 203.3 [MPa]   | $\sigma_{s,max}$              | 203.3 [MPa]   | $\sigma_{s,max}$              | 86.1 [MPa]    |
|                    |               | $k_2$                         | 0.5           | $k_2$                         | 0.5           |
|                    |               | $\epsilon_{sm}-\epsilon_{cm}$ | 0.77 [%]      | $\epsilon_{sm}-\epsilon_{cm}$ | - [%]         |
|                    |               | $S_{r,max}$                   | 36.9 [cm]     | $S_{r,max}$                   | - [cm]        |
|                    |               | $W_k$                         | 0.284 [mm]    | $W_k$                         | - [mm]        |

**verifica a taglio di una sezione rettangolare**

secondo EN 1992-1-1:2004:E

**geometria**

**sezione trasversale**

|                                  |   |   |       |    |
|----------------------------------|---|---|-------|----|
| base                             | B | = | 247   | cm |
| altezza                          | H | = | 247   | cm |
| copriferro (asse armatura long.) | c | = | 8.6   | cm |
| altezza utile                    | d | = | 238   | cm |
| braccio coppia interna           | z | = | 214.6 | cm |

**armatura a taglio**

|                |          |   |      |                 |
|----------------|----------|---|------|-----------------|
| numero braccia | n        | = | 2    |                 |
| diametro       | $\phi$   | = | 16   | mm              |
| passo          | s        | = | 20   | cm              |
| inclinazione   | $\alpha$ | = | 90   | °               |
| area           | $A_{sw}$ | = | 4.02 | cm <sup>2</sup> |

**armatura longitudinale tesa**

|              |          |   |      |                 |
|--------------|----------|---|------|-----------------|
| numero barre | $n_1$    | = | 10   |                 |
| diametro     | $\phi_1$ | = | 30   | mm              |
| numero barre | $n_2$    | = | 0    |                 |
| diametro     | $\phi_2$ | = | 0    | mm              |
| area totale  | $A_{sl}$ | = | 70.7 | cm <sup>2</sup> |

**materiali**

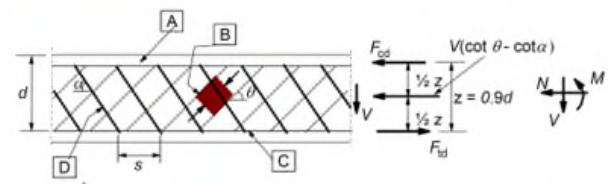
**calcestruzzo**

|  |                |   |       |     |
|--|----------------|---|-------|-----|
| resistenza caratt. cilindrica a 28 gg. | $f_{ck}$       | = | 33.2  | MPa |
| coeff. parziale di sicurezza           | $\gamma_c$     | = | 1.5   |     |
| coeff. effetti a lungo termine         | $\alpha_{ccc}$ | = | 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 |

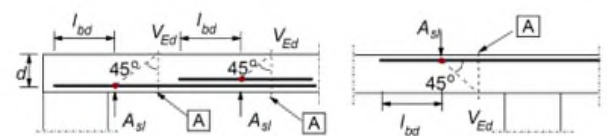
**acciaio**

|                                    |            |   |       |     |
|------------------------------------|------------|---|-------|-----|
| 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                           | $V_{Ed}$    | = | 1849.6  | kN |
| azione assiale                   | $N_{Ed}$    | = | 0       | kN |
| resistenza elemento non armato   | $V_{Rdc}$   | = | 1739.2  | kN |
| resistenza armatura a taglio     | $V_{Rds}$   | = | 3313.0  | kN |
| resistenza bielle calcestruzzo   | $V_{Rdmax}$ | = | 20985.0 | kN |
| inclinazione bielle calcestruzzo | $\theta$    | = | 27.0    | °  |
| sezione                          |             |   | duttile |    |
| traslazione armatura long.       | ai          | = | 210.5   | cm |

Verifica armatura trasversale Fusto



Comune di Vado Ligure

Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo

Ponte “Aurelia-bis” – Relazione di calcolo sottostrutture e fondazioni

### 3. Pulvino

Le armature nella sezione di mezzeria sono costituite da

- 20 $\Phi$ 30 inferiori
- 20 $\Phi$ 30 + 20 $\Phi$ 30 + 20 $\Phi$ 30 superiori
- Staffe  $\Phi$ 16/10 4 bracci

Verifica C.A. S.L.U. - File: SLE-MEZZ.

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

Titolo : \_\_\_\_\_

N\* figure elementari  Zoom N\* strati barre  Zoom

| N* | b [cm] | h [cm] |
|----|--------|--------|
| 1  | 350    | 200    |

| N* | As [cm <sup>2</sup> ] | d [cm] |
|----|-----------------------|--------|
| 1  | 140                   | 8.6    |
| 2  | 140                   | 191.4  |
| 3  | 140                   | 181.4  |
| 4  | 140                   | 171.4  |

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub>  kN  
M<sub>xEd</sub>  kNm  
M<sub>yEd</sub>  kNm

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

Tipo rottura: Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

M<sub>xRd</sub>  kN m

σ<sub>c</sub>  N/mm<sup>2</sup>  
σ<sub>s</sub>  N/mm<sup>2</sup>  
ε<sub>c</sub>  ‰  
ε<sub>s</sub>  ‰  
d  cm  
x  x/d   
δ

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

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

Tipo flessione:  Retta  Deviata

N\* rett.

Calcola MRd Dominio M-N  
L<sub>o</sub>  cm Col. modello

Precompresso

**Materiali**

| B450C                          |  | C32/40                           |  |
|--------------------------------|--|----------------------------------|--|
| ε <sub>su</sub>                | <input type="text" value="67.5"/> ‰                    | ε <sub>c2</sub>                  | <input type="text" value="2"/> ‰                     |
| f <sub>yd</sub>                | <input type="text" value="391.3"/> N/mm <sup>2</sup>   | ε <sub>cu</sub>                  | <input type="text" value="3.5"/> ‰                   |
| E <sub>s</sub>                 | <input type="text" value="200'000"/> N/mm <sup>2</sup> | f <sub>cd</sub>                  | <input type="text" value="18.13"/> N/mm <sup>2</sup> |
| E <sub>s</sub> /E <sub>c</sub> | <input type="text" value="15"/>                        | f <sub>cc</sub> /f <sub>cd</sub> | <input type="text" value="0.8"/> ?                   |
| ε <sub>syd</sub>               | <input type="text" value="1.957"/> ‰                   | σ <sub>c,adm</sub>               | <input type="text" value="12.25"/> N/mm <sup>2</sup> |
| σ <sub>s,adm</sub>             | <input type="text" value="255"/> N/mm <sup>2</sup>     | τ <sub>co</sub>                  | <input type="text" value="0.7333"/>                  |
|                                |  | τ <sub>c1</sub>                  | <input type="text" value="2.114"/>                   |

Verifica armatura longitudinale Pulvino – sezione di attacco con il fusto – SLU



| SLU                     | SLE - R                                | SLE - F                                | SLE - QP                               |
|-------------------------|--|--|--|
| SLU                     | SLE                                    | SLE                                    | SLE                                    |
| MEd 23765 [kNm]         | MEk 17912 [kNm]                        | MEk 13895 [kNm]                        | MEk 10456 [kNm]                        |
| NEd 0.00 [kN]           | NEk [kN]                               | NEk [kN]                               | NEk [kN]                               |
| VEd 8850.00 [kN]        | <b>tensioni e fessure</b>              |  |  |
| <b>presso-flessione</b> | Mdec 0.0 [kNm]                         | Mdec 0.0 [kNm]                         | Mdec 0.0 [kNm]                         |
| MRd 29117.2 [kNm]       | Mcr 7847.1 [kNm]                       | Mcr 7847.1 [kNm]                       | Mcr 7847.1 [kNm]                       |
| FS 1.23                 |  |  |  |
|                         | yn -38.17 [cm]                         | yn -38.17 [cm]                         | yn -38.17 [cm]                         |
|                         | $\sigma_{c,min}$ -8.5 [MPa]            | $\sigma_{c,min}$ -6.6 [MPa]            | $\sigma_{c,min}$ -5.0 [MPa]            |
|                         | $\sigma_{s,min}$ -110.2 [MPa]          | $\sigma_{s,min}$ -85.5 [MPa]           | $\sigma_{s,min}$ -64.3 [MPa]           |
|                         | $\sigma_{s,max}$ 268.2 [MPa]           | $\sigma_{s,max}$ 208.0 [MPa]           | $\sigma_{s,max}$ 156.5 [MPa]           |
|                         |  |  |  |
|                         | $k_2$ 0.5                              | $k_2$ 0.5                              | $k_2$ 0.5                              |
|                         | $\epsilon_{sm}-\epsilon_{cm}$ 0.77 [%] | $\epsilon_{sm}-\epsilon_{cm}$ 0.52 [%] | $\epsilon_{sm}-\epsilon_{cm}$ 0.52 [%] |
|                         | $s_{r,max}$ 38.4 [cm]                  | $s_{r,max}$ 38.4 [cm]                  | $s_{r,max}$ 38.4 [cm]                  |
|                         | $w_k$ 0.297 [mm]                       | $w_k$ 0.297 [mm]                       | $w_k$ 0.198 [mm]                       |

verifica a taglio di una sezione rettangolare

secondo EN 1992-1-1:2004/E

geometria

sezione trasversale

|                                  |   |   |       |    |
|----------------------------------|---|---|-------|----|
| base                             | B | = | 350   | cm |
| altezza                          | H | = | 200   | cm |
| copriferro (asse armatura long.) | c | = | 15.3  | cm |
| altezza utile                    | d | = | 185   | cm |
| braccio coppia interna           | z | = | 166.3 | cm |

armatura a taglio

|                |          |   |      |                 |
|----------------|----------|---|------|-----------------|
| numero braccia | n        | = | 4    |                 |
| diametro       | $\phi$   | = | 16   | mm              |
| passo          | s        | = | 10   | cm              |
| inclinazione   | $\alpha$ | = | 90   | °               |
| area           | $A_{sw}$ | = | 8.04 | cm <sup>2</sup> |

armatura longitudinale tesa

|              |          |   |       |                 |
|--------------|----------|---|-------|-----------------|
| numero barre | $n_1$    | = | 40    |                 |
| diametro     | $\phi_1$ | = | 30    | mm              |
| numero barre | $n_2$    | = | 20    |                 |
| diametro     | $\phi_2$ | = | 30    | mm              |
| area totale  | $A_{sl}$ | = | 424.1 | cm <sup>2</sup> |

materiali

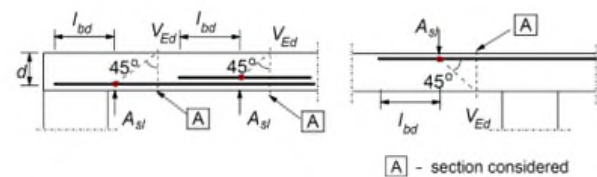
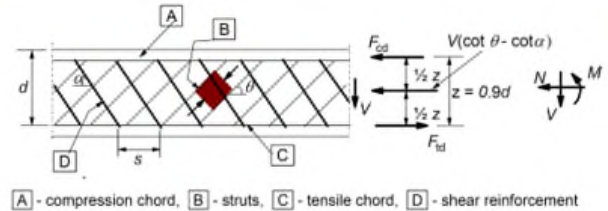
calcestruzzo

|  |               |   |       |     |
|--|---------------|---|-------|-----|
| 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     | $v$           | = | 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



sollecitazioni e verifiche

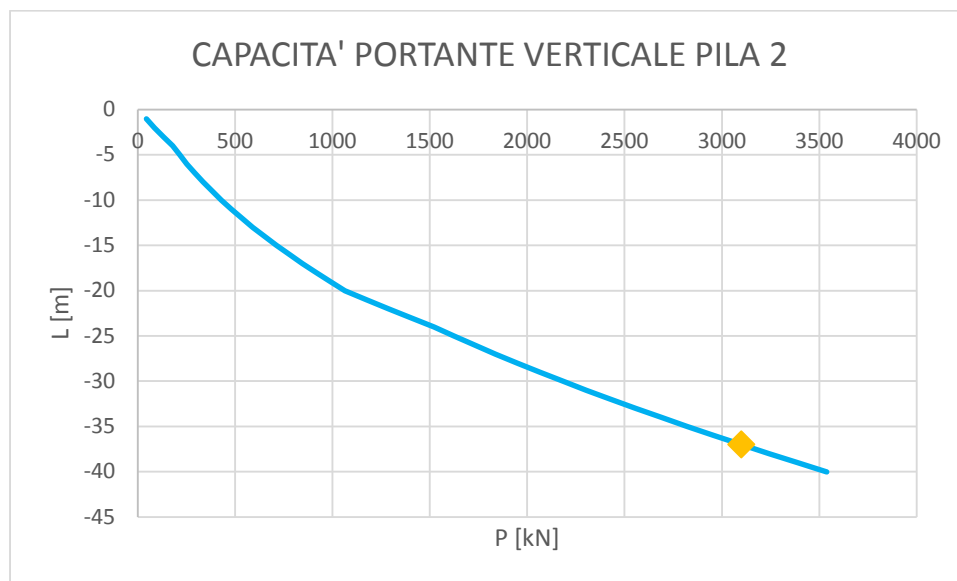
|                                  |             |   |         |         |
|----------------------------------|-------------|---|---------|---------|
| taglio                           | $V_{Ed}$    | = | 8850    | kN      |
| azione assiale                   | $N_{Ed}$    | = | 0       | kN      |
| resistenza elemento non armato   | $V_{Rdc}$   | = | 2879.6  | kN      |
| resistenza armatura a taglio     | $V_{Rds}$   | = | 10269.0 | [kN]    |
| resistenza bielle calcestruzzo   | $V_{Rdmax}$ | = | 23042.0 | [kN]    |
| inclinazione bielle calcestruzzo | $\theta$    | = | 27.0    | °       |
| sezione                          |             |   |         | duatile |
| traslazione armatura long.       | $a_l$       | = | 163.2   | cm      |

Verifica armatura trasversale Pulvino – sezione di attacco con il fusto

## 10.4 VERIFICHE PALI DI FONDAZIONE

I pali di fondazione sono realizzati in calcestruzzo armato, con un diametro pari a 1000mm. Di seguito si riportano le verifiche per la capacità portante in direzione verticale e trasversale. Le verifiche sono state condotte in accordo con NTC2018.

Per quanto riguarda la capacità portante verticale, il valore dell'azione agente su palo più sollecitato risulta essere pari a 3083.7 kN. Pertanto, si utilizzano pali di lunghezza pari a 37.00m la cui capacità portante verticale è maggiore di quella agente, e pari a 3098.32 kN.



Capacità portante verticale pali

**AURELIA BIS**PALI DI FONDAZIONE PILA 2Calcolo del carico trasversale limite

Terreni incoerenti (Broms 1964)

DATI GEOMETRICI:

|                       |                       |      |      |
|-----------------------|-----------------------|------|------|
| Lunghezza del palo    | L                     | 37   | [m]  |
| Diametro del palo     | D <sub>palo</sub>     | 1    | [m]  |
| Diametro del tubolare | D <sub>tubolare</sub> | 1000 | [mm] |

|                             |                |        |       |
|-----------------------------|----------------|--------|-------|
| Momento di plasticizzazione | M <sub>y</sub> | 1490.0 | [kNm] |
|-----------------------------|----------------|--------|-------|

DATI GEOTECNICI:

|                                       |                       |      |                      |
|---------------------------------------|-----------------------|------|----------------------|
| Peso per unità di volume              | γ'                    | 9    | [kN/m <sup>3</sup> ] |
| Angolo attrito medio                  | φ <sub>medio</sub>    | 24   | [°]                  |
| Coefficiente di spinta passiva medio  | k <sub>p,medio</sub>  | 2.37 | [-]                  |
| Angolo attrito minimo                 | φ <sub>minimo</sub>   | 23   | [°]                  |
| Coefficiente di spinta passiva minimo | k <sub>p,minimo</sub> | 2.29 | [-]                  |

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>  | 43801.2 | [kN] |
| H <sub>1,minimo</sub> | 42322.6 | [kN] |

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

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

|                       |         |      |
|-----------------------|---------|------|
| H <sub>2,medio</sub>  | 14640.7 | [kN] |
| H <sub>2,minimo</sub> | 14147.8 | [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>  | 861.7 | [kN] |
| H <sub>3,minimo</sub> | 851.9 | [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>  | 861.7 | [kN] | <b>PALO</b>  |
| H <sub>minimo</sub> | 851.9 | [kN] | <b>LUNGO</b> |

CARICO TRASVERSALE ULTIMO:

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

|                |       |      |
|----------------|-------|------|
| H <sub>k</sub> | 522.3 | [kN] |
|----------------|-------|------|

$$H_d = H_k/\gamma_T$$

|                     |       |      |
|---------------------|-------|------|
| γ <sub>T</sub>      | 1.3   | [-]  |
| H <sub>d</sub>      | 401.7 | [kN] |
| H <sub>agente</sub> | 391.9 | [kN] |

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

Capacità portante trasversale pali

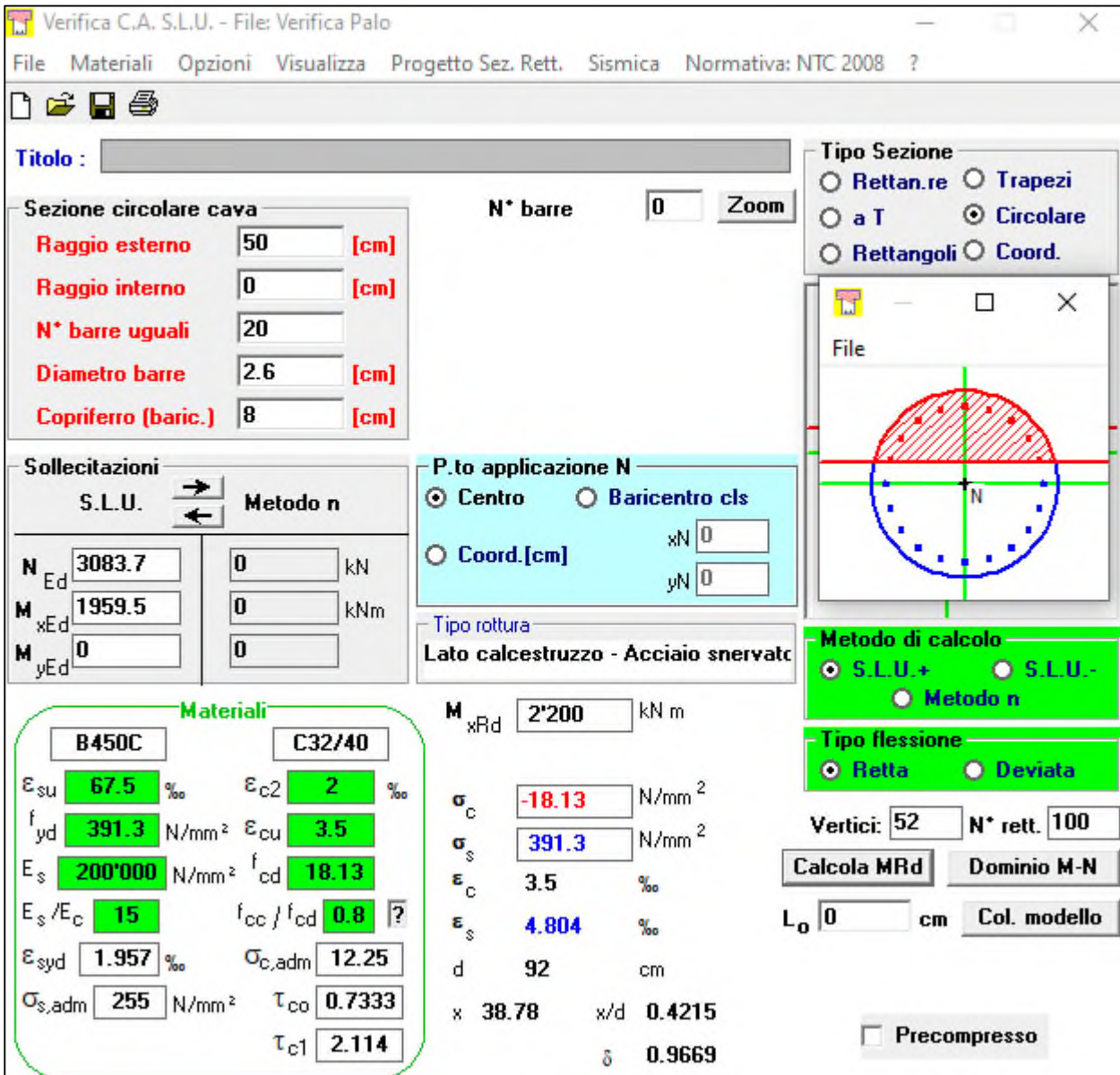
L'armatura dei pali di fondazione è costituita da:

- 20Φ26 armatura longitudinale
- Staffe Φ12/20

Si riportano le massime sollecitazioni agenti sui pali di fondazione

| N [kN] | V [kN] | M [kNm] |
|--------|--------|---------|
| 3083.7 | 391.9  | 1959.5  |

Si riporta di seguito la verifica strutturale dei pali di fondazione.



Verifica strutturale pali di fondazione



**verifica a taglio di una sezione rettangolare**

secondo EN 1992-1-1:2004/E

**geometria**

**sezione trasversale**

|                                  |     |      |    |
|----------------------------------|-----|------|----|
| base                             | B = | 70.7 | cm |
| altezza                          | H = | 70.7 | cm |
| copriferro (asse armatura long.) | c = | 8    | cm |
| altezza utile                    | d = | 62.7 | cm |
| braccio coppia interna           | z = | 56.4 | cm |

**armatura a taglio**

|                |            |      |                 |
|----------------|------------|------|-----------------|
| numero braccia | n =        | 2    |                 |
| diametro       | $\phi$ =   | 12   | mm              |
| passo          | s =        | 20   | cm              |
| inclinazione   | $\alpha$ = | 90   | °               |
| area           | $A_{sw}$ = | 2.26 | cm <sup>2</sup> |

**armatura longitudinale tesa**

|              |            |      |                 |
|--------------|------------|------|-----------------|
| numero barre | $n_1$ =    | 10   |                 |
| diametro     | $\phi_1$ = | 26   | mm              |
| numero barre | $n_2$ =    | 0    |                 |
| diametro     | $\phi_2$ = | 0    | mm              |
| area totale  | $A_{sl}$ = | 53.1 | cm <sup>2</sup> |

**materiali**

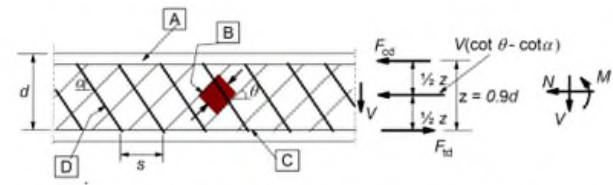
**calcestruzzo**

|  |                 |       |     |
|--|-----------------|-------|-----|
| 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     | $v$ =           | 0.520 |     |
| tensione di calcolo bielle             | $v f_{cd}$ =    | 9.8   | MPa |

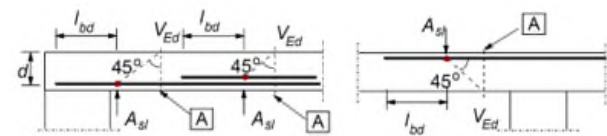
**acciaio**

|                                    |              |       |     |
|------------------------------------|--------------|-------|-----|
| 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                           | $V_{Ed}$ =    | 391.9   | kN |
| azione assiale                   | $N_{Ed}$ =    | 0       | kN |
| resistenza elemento non armato   | $V_{Rdc}$ =   | 284.1   | kN |
| resistenza armatura a taglio     | $V_{Rds}$ =   | 624.3   | kN |
| resistenza bielle calcestruzzo   | $V_{Rdmax}$ = | 1346.7  | kN |
| inclinazione bielle calcestruzzo | $\theta$ =    | 21.8    | °  |
| sezione                          |               | duatile |    |
| traslazione armatura long.       | $a_l$ =       | 70.5    | cm |

Verifica a taglio pali di fondazione

## 11. VERIFICA PILA 5

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 e di tipo *beam*.

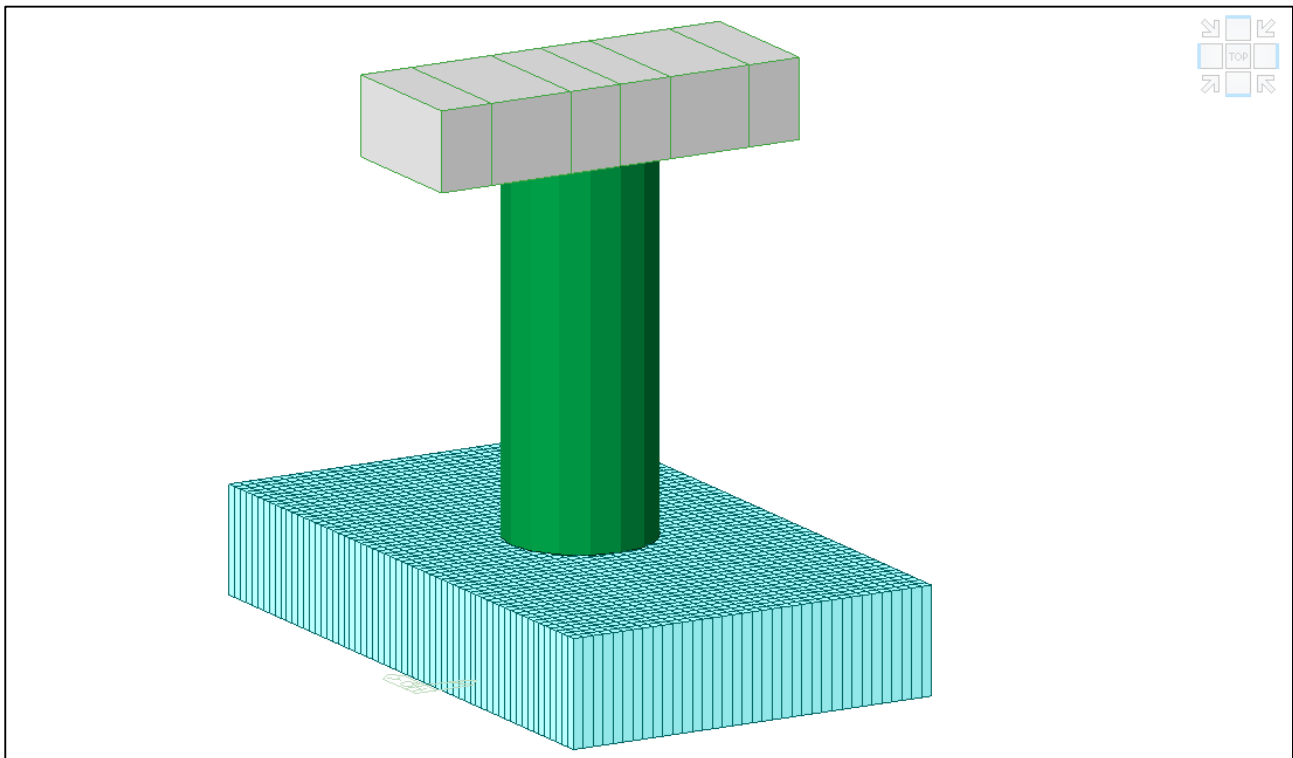
Nei successivi paragrafi sono descritte in dettaglio tutte le ipotesi poste alla base delle analisi sviluppate.

### 11.1 DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO

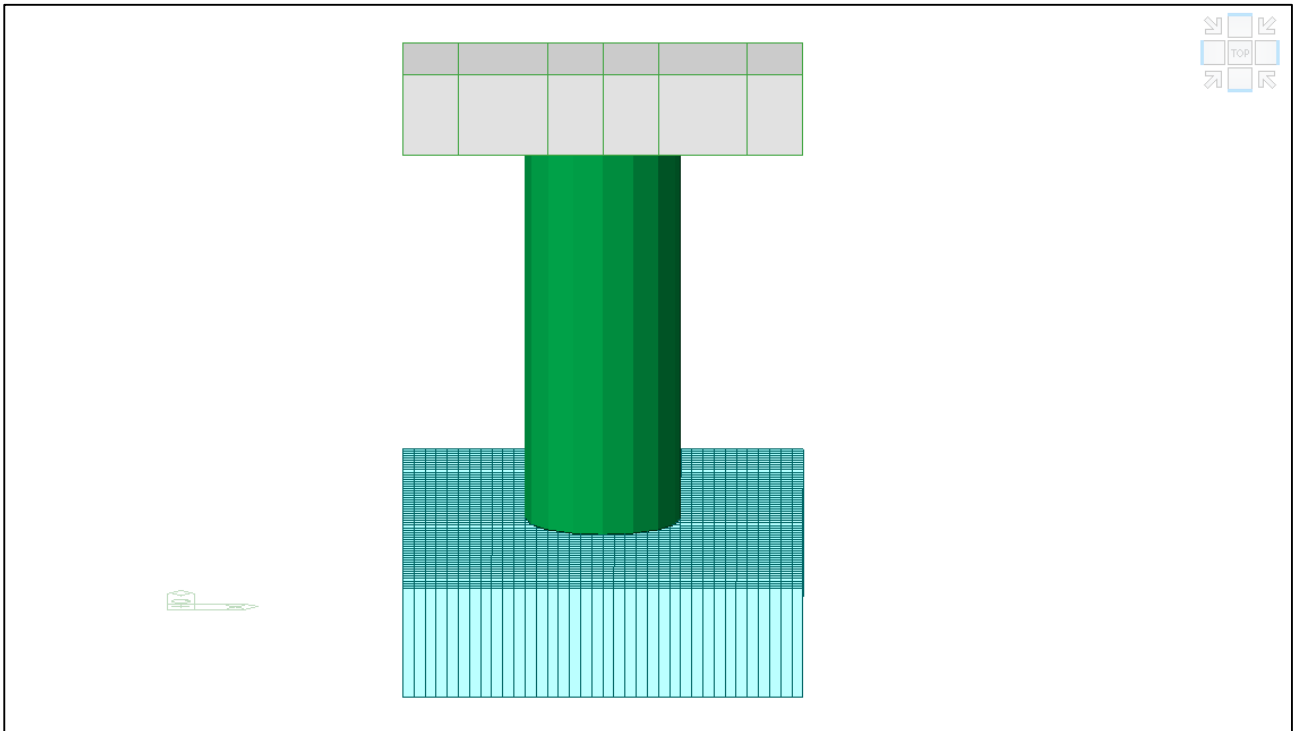
#### 11.1.1 GEOMETRIA DEL MODELLO

La pila presenta una platea di fondazione di dimensione 9m x 15m e spessore 2.5m. Il fusto ha raggio pari a 175 cm mentre i pulvini hanno una base pari a 350cm, la sezione presenta una altezza variabile pari a 200cm in mezzzeria e pari a 50cm agli estremi. Le medesime dimensioni valgono anche per le pile n. 1 e 4.

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.

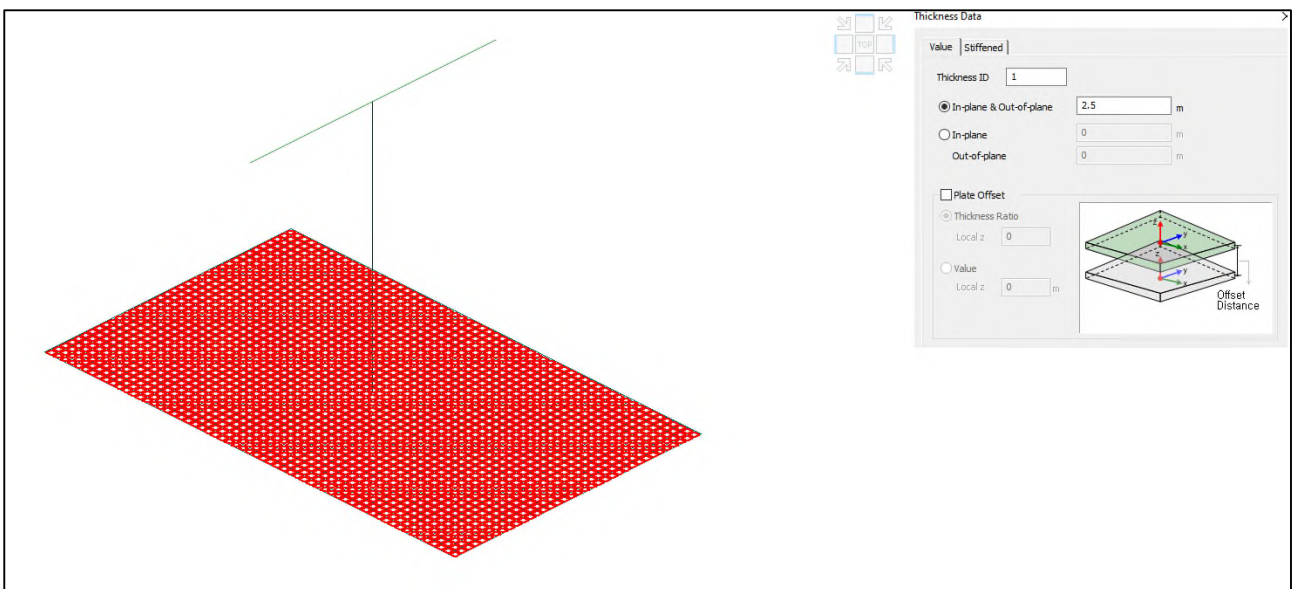


Modello FEM - Vista 1 – Pila 5

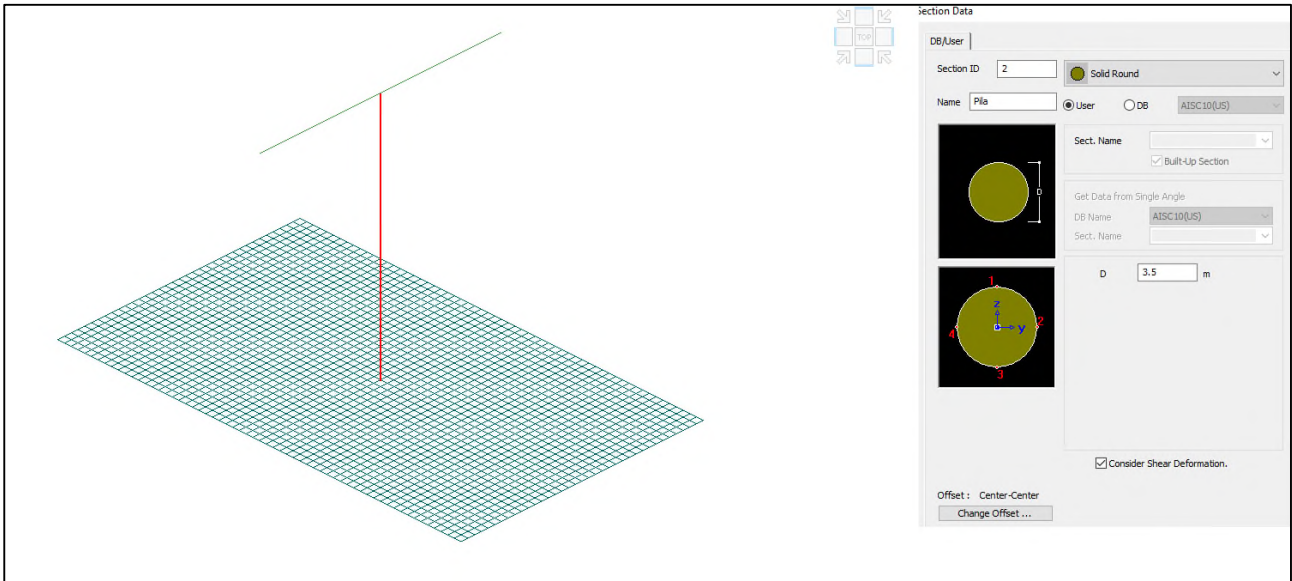


Modello FEM - Vista 2 – Pila 5

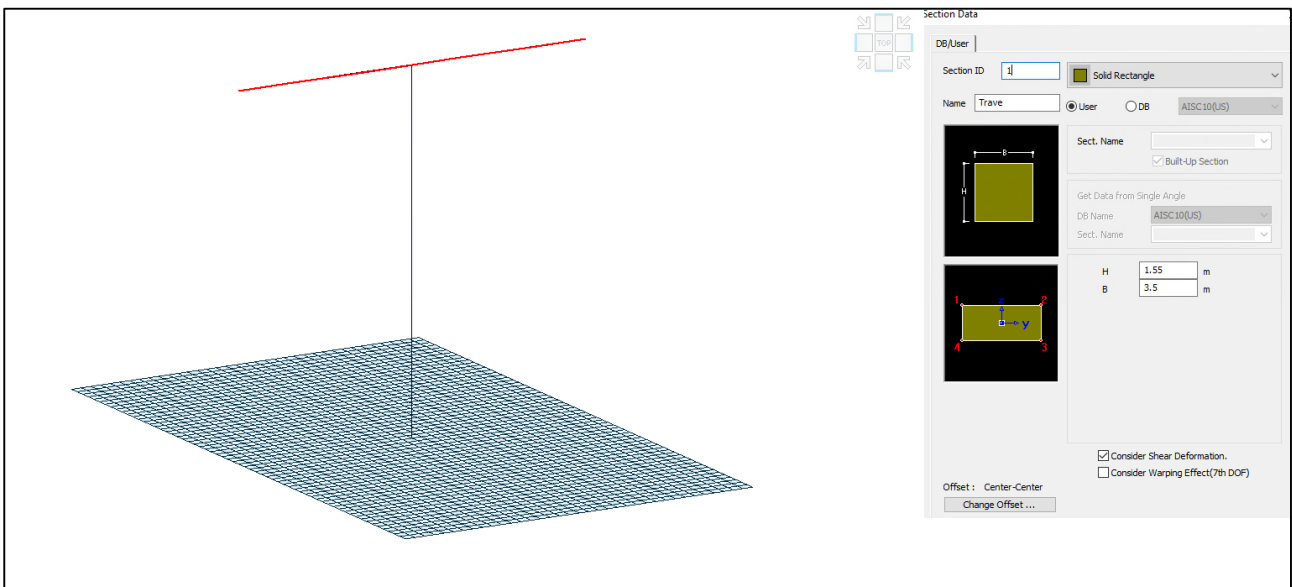
Per quanto riguarda il Pulvino, avendo un'altezza variabile da 200 cm a 50 cm, è stata considerata un'altezza equivalente pari a 1.85m che garantisce lo stesso peso proprio.



Modello FEM – Identificazione platea spessore 2.50m in calcestruzzo C25/30



Modello FEM – Identificazione pila di diametro 3.50m in calcestruzzo C32/40

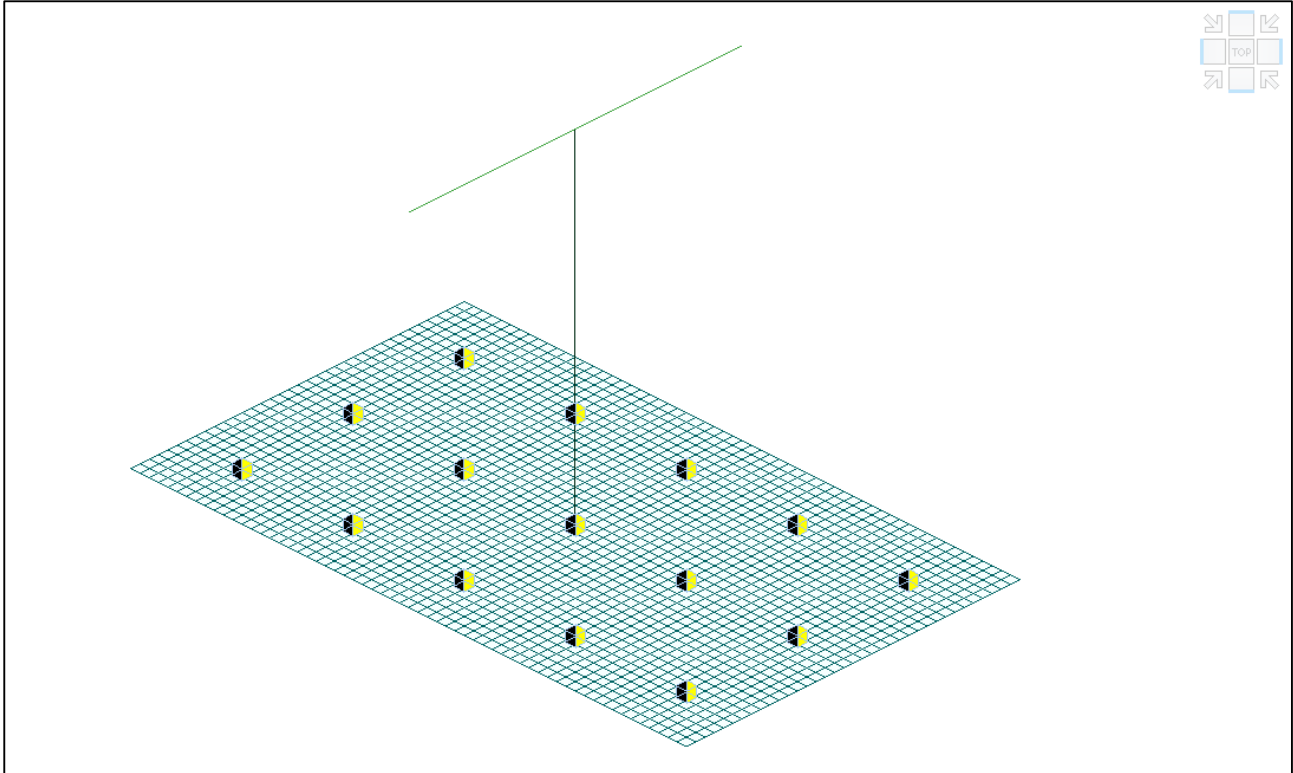


Modello FEM – Identificazione pulvino di altezza variabile pari a 200cm in mezzeria e pari a 50cm agli estremi in calcestruzzo C32/40

### 11.1.2VINCOLI

La struttura risulta vincolata a terra mediante Point Spring applicate in corrispondenza dei pali. I valori delle costanti verticali ed orizzontali, che simulano la presenza del palo, sono gli stessi di quelli calcolati per la Spalla B.

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



Modello FEM – Identificazione vincoli in corrispondenza dei pali

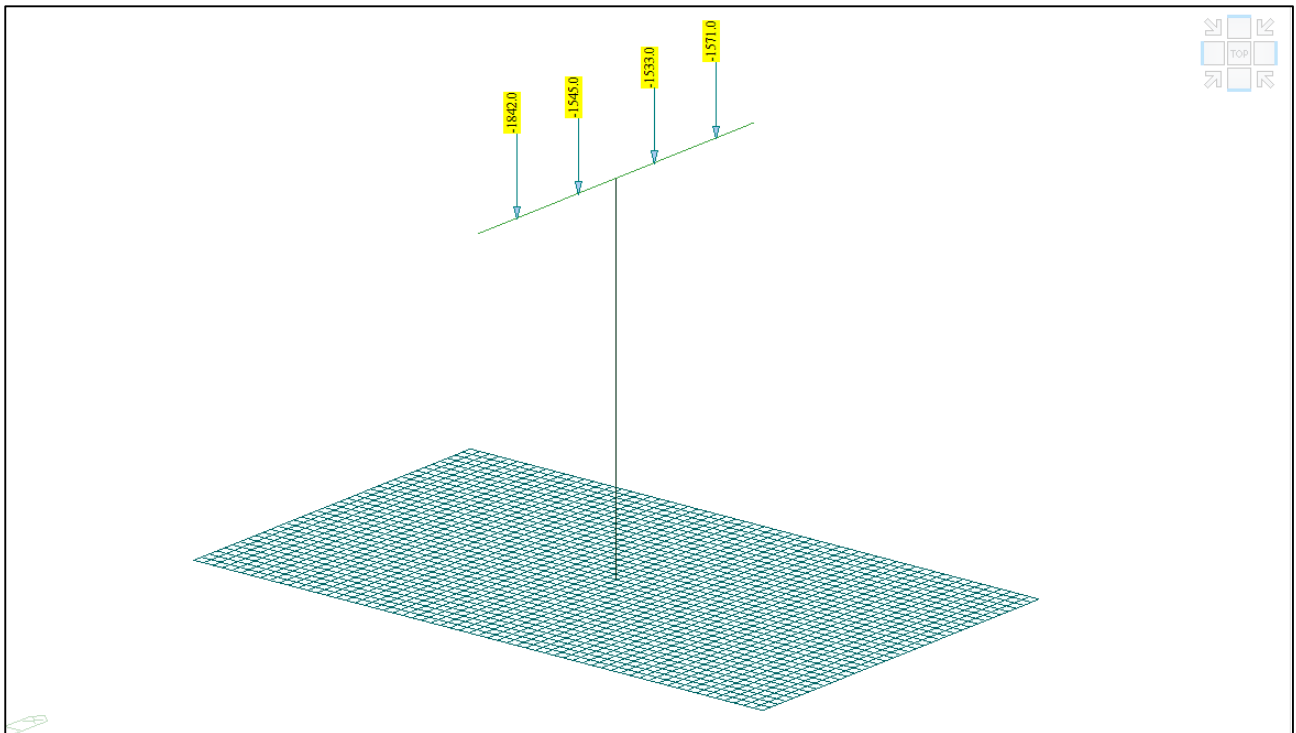
### 11.1.3 CONDIZIONI DI CARICO STATICO

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 pila. I carichi orizzontali derivanti dall'impalcato sono stati applicati in modo da

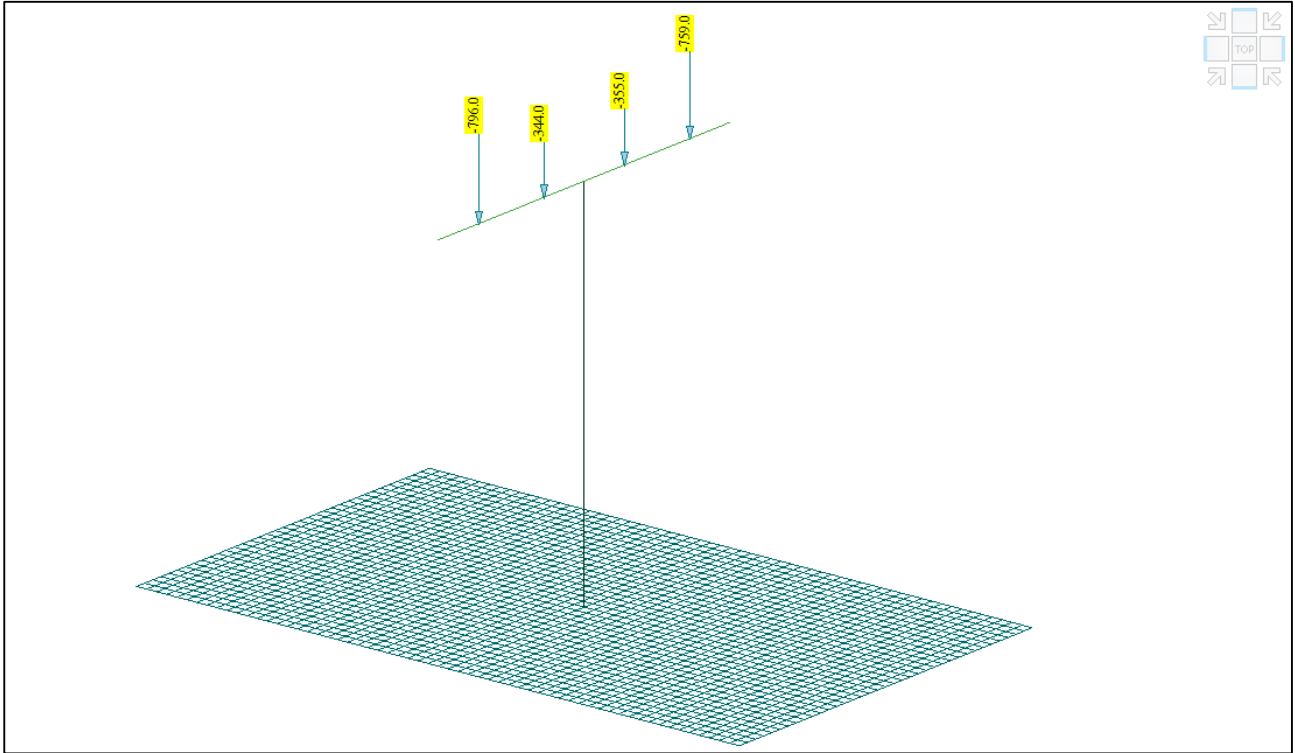


massimizzare l'effetto ribaltante della pila; in questo modo vengono massimizzate le sollecitazioni dei pali.

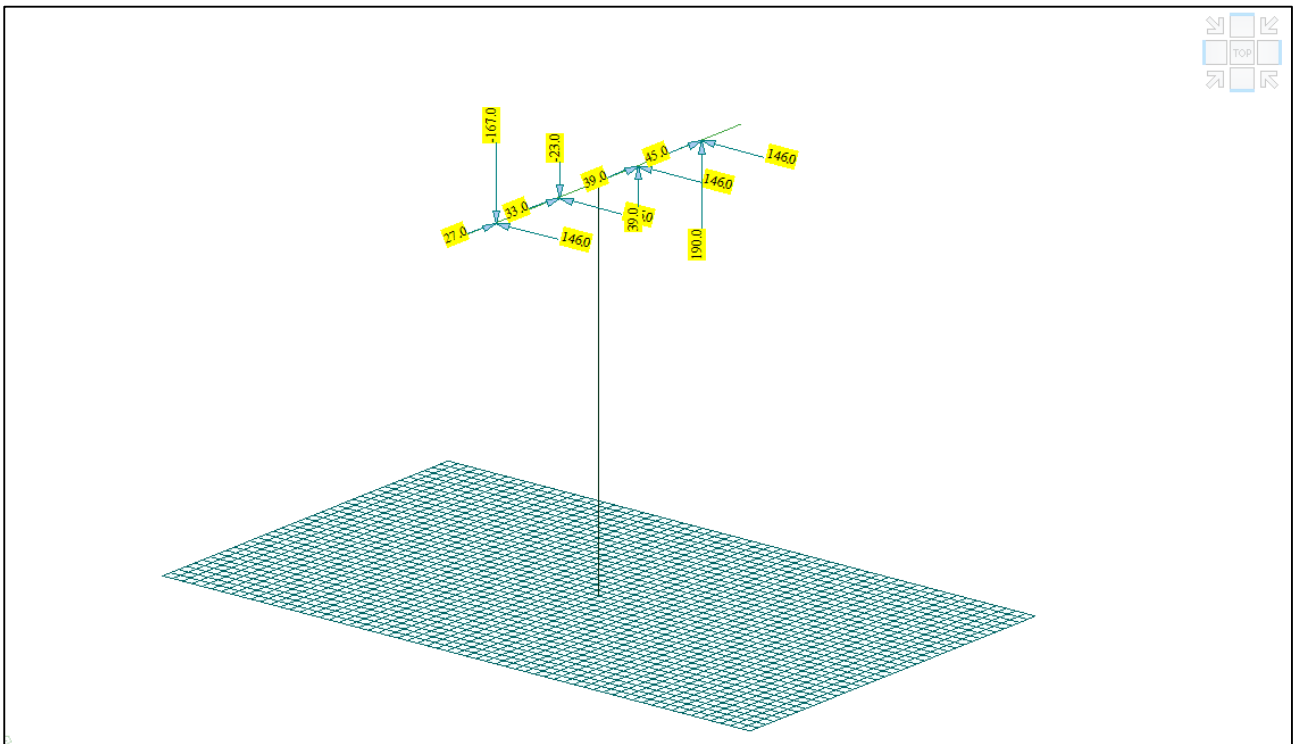
Il peso proprio della spalla genera delle azioni che sono calcolate in automatico dal software ad elementi finiti.



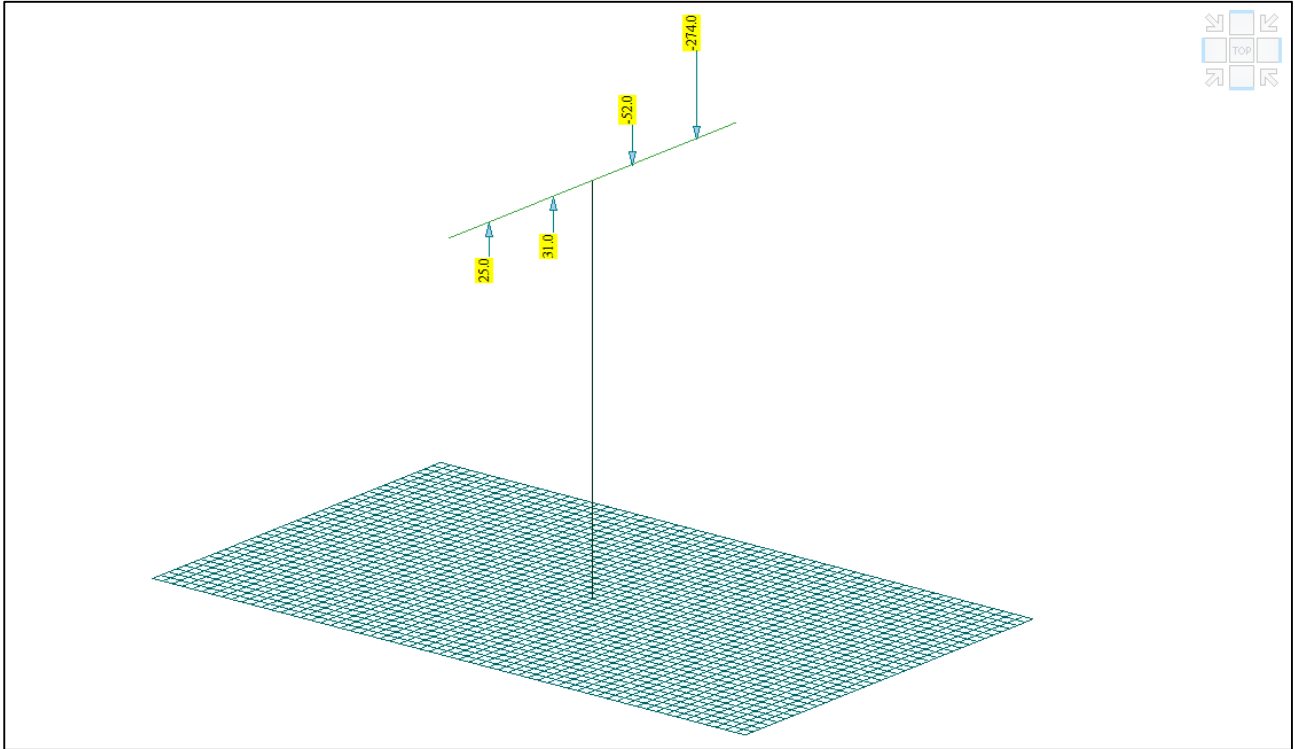
Modello FEM – Condizione di carico Peso proprio impalcato



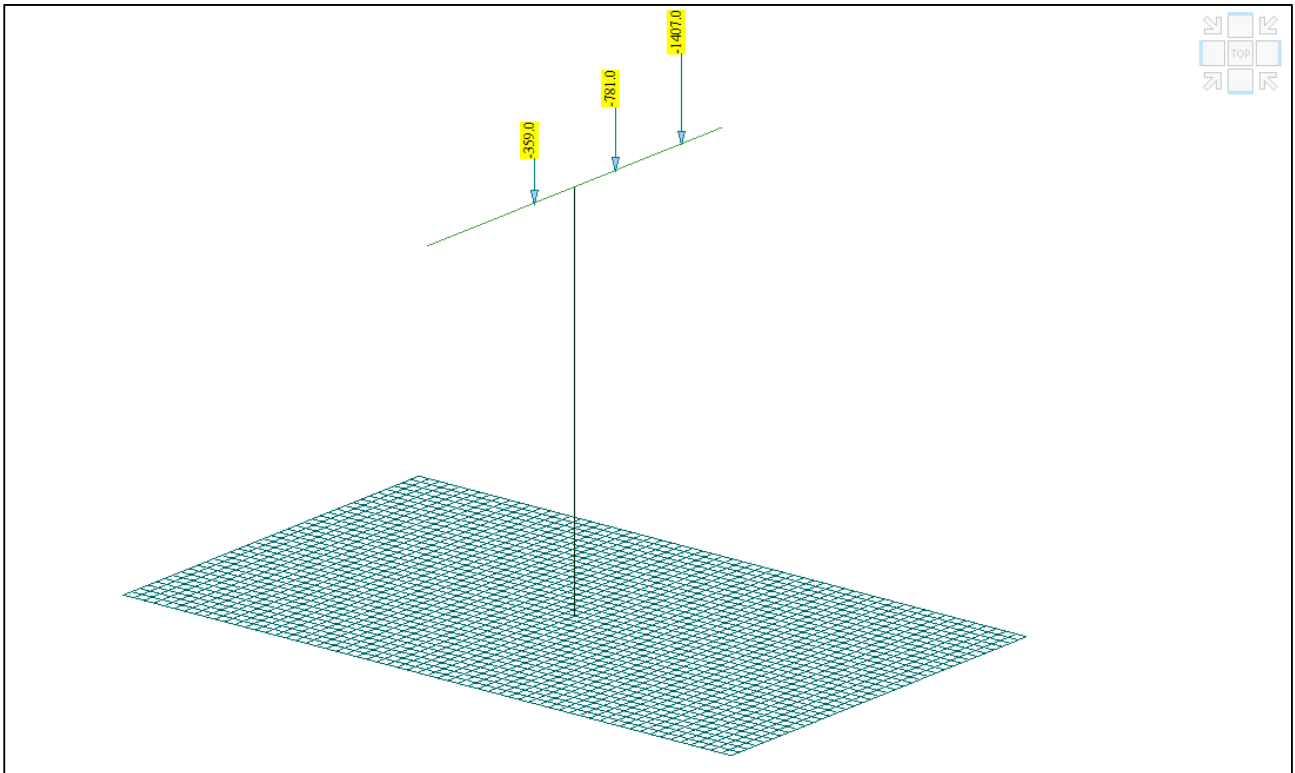
Modello FEM – Condizione di carico Permanente



Modello FEM – Condizione di carico Ritiro

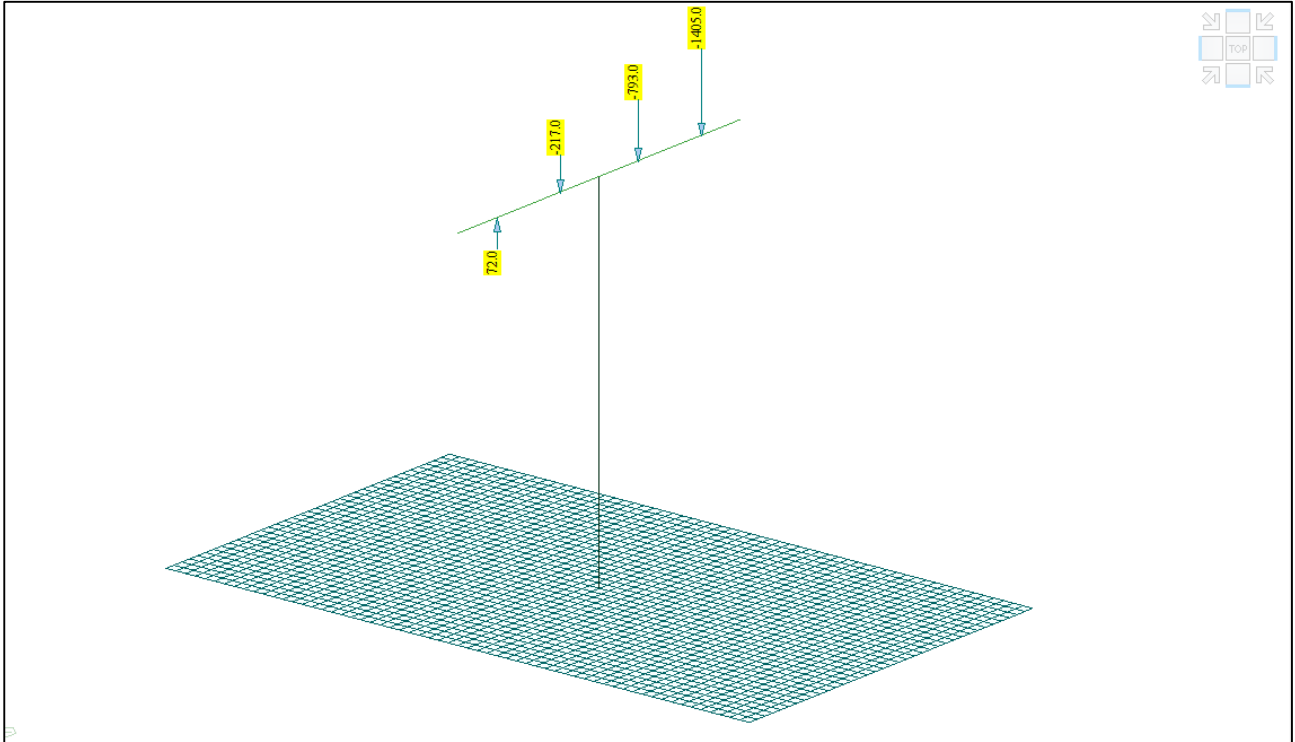


Modello FEM – Condizione di carico DistrA8

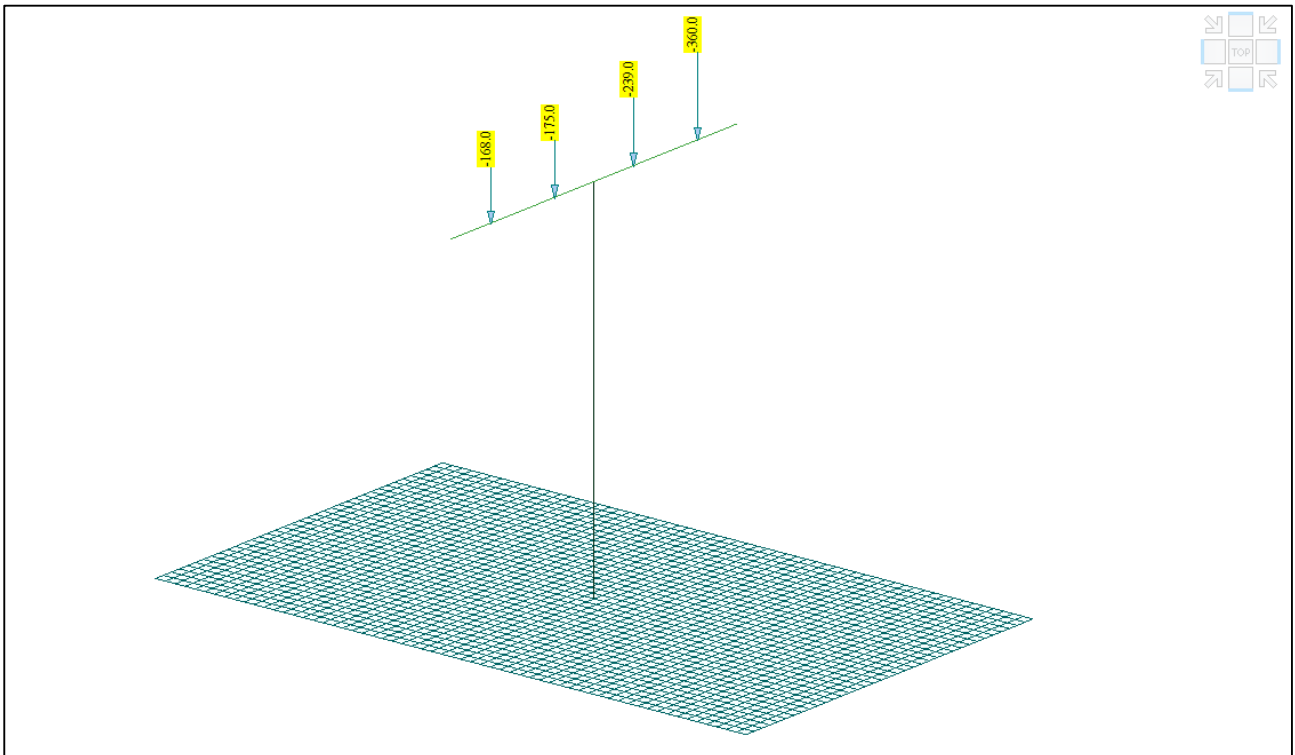


Modello FEM – Condizione di carico DistrB1

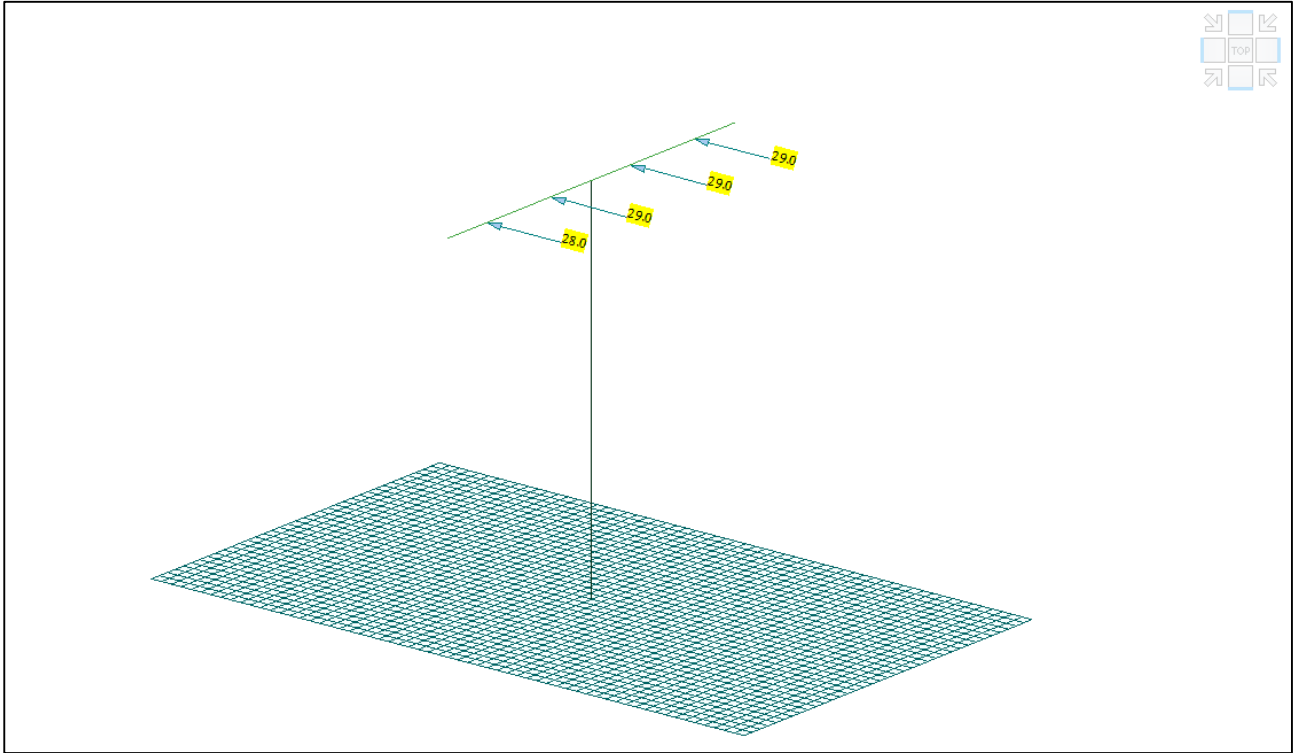




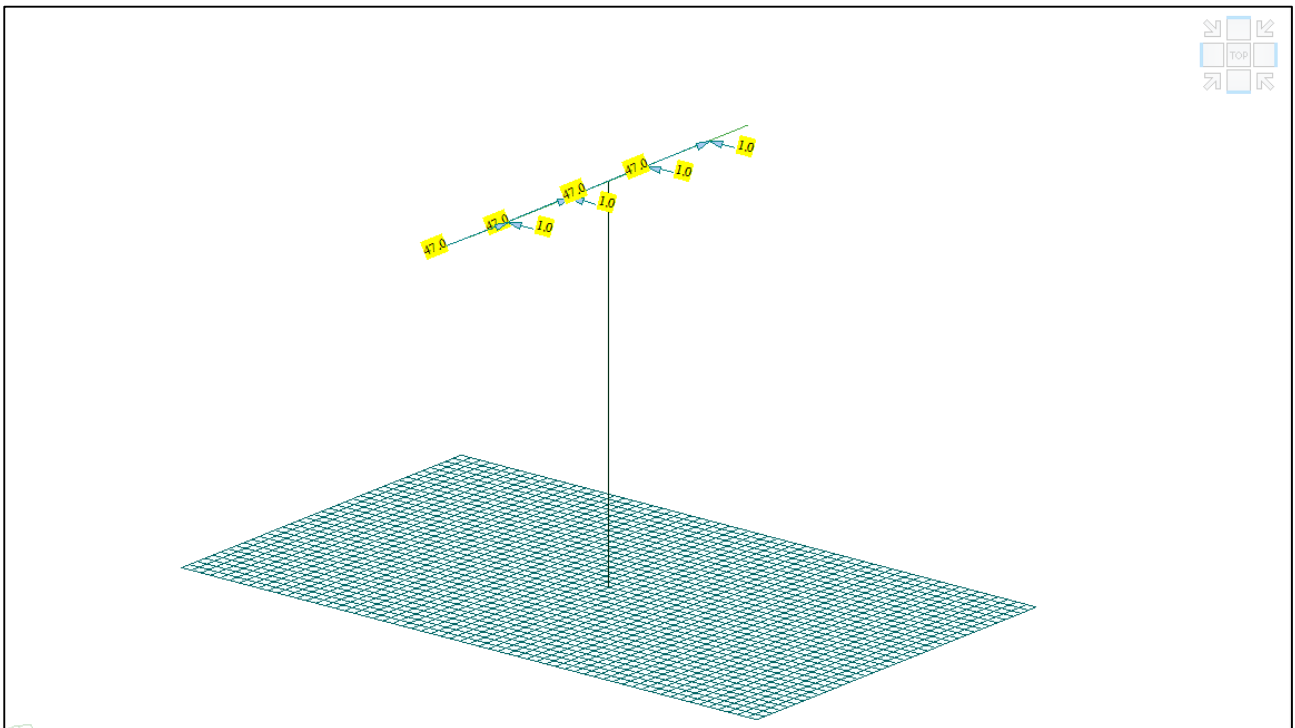
Modello FEM – Condizione di carico DistrD1



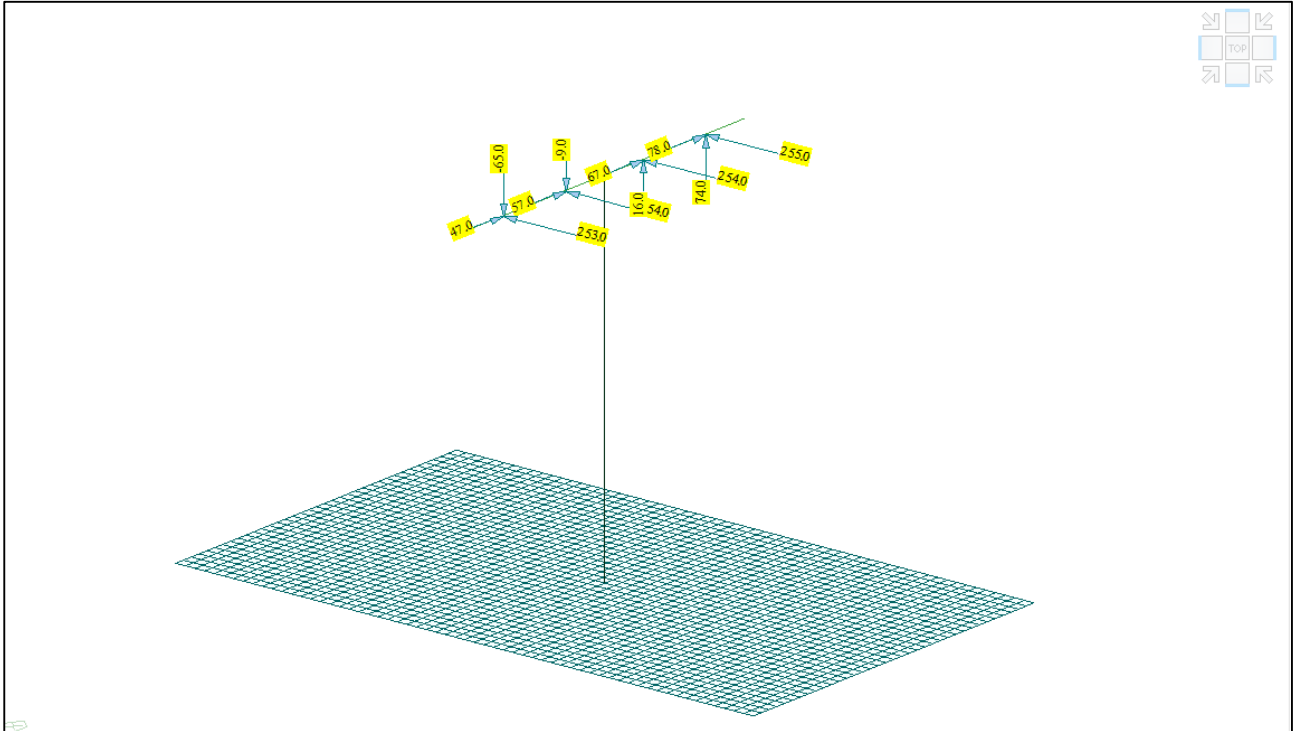
Modello FEM – Condizione di carico DistrD6



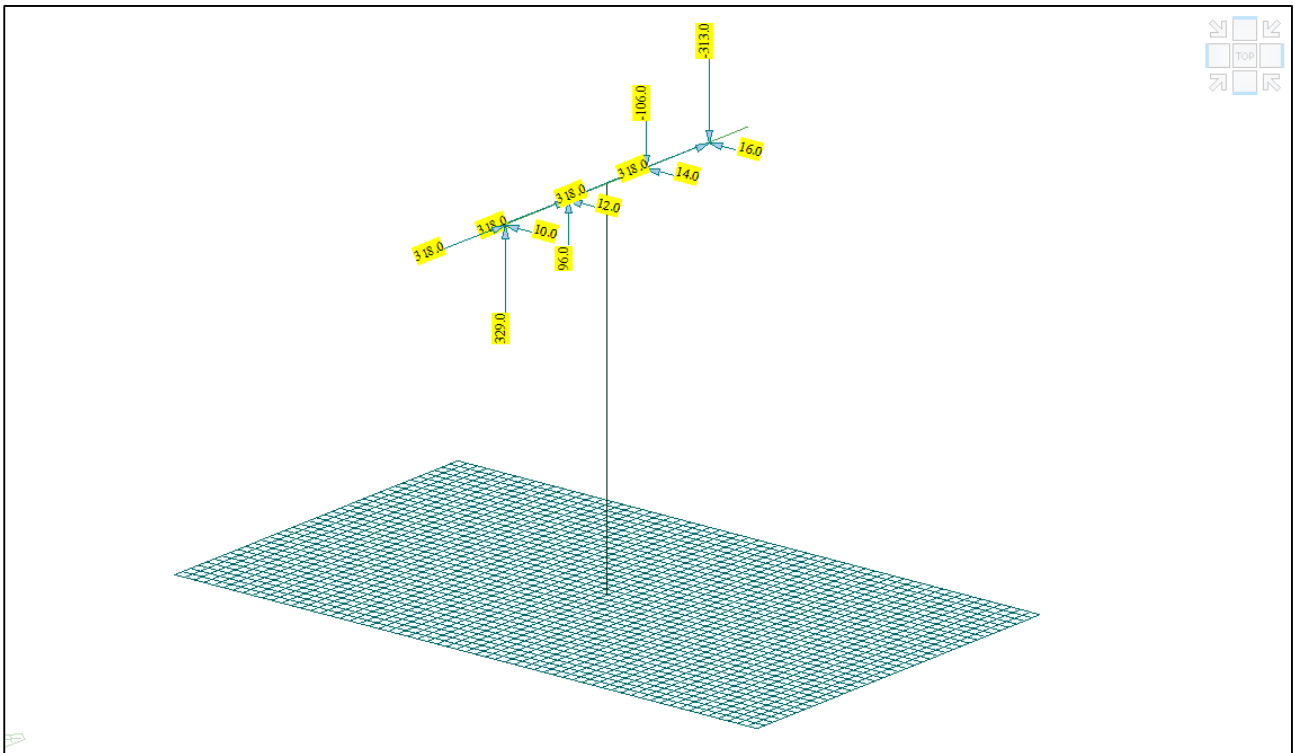
Modello FEM – Condizione di carico Frenamento



Modello FEM – Condizione di carico Centrifuga



Modello FEM – Condizione di carico Termico



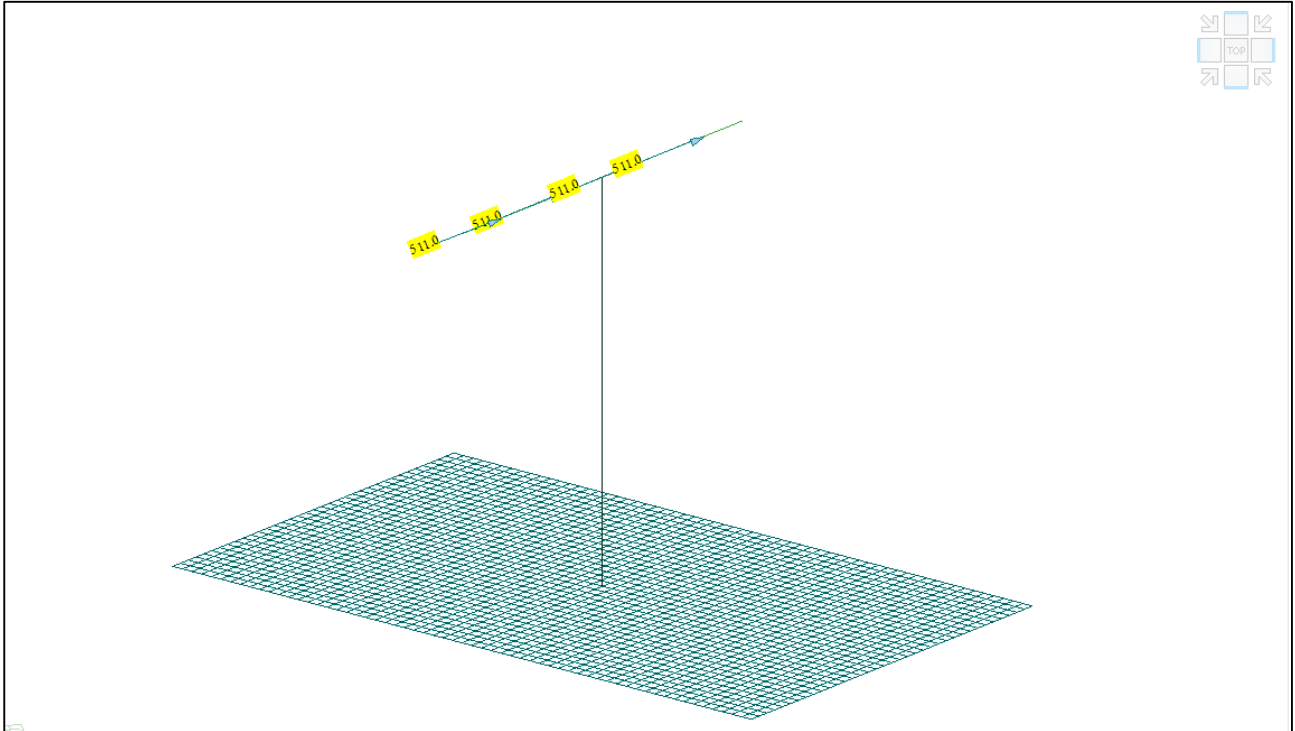
Modello FEM – Condizione di carico Vento



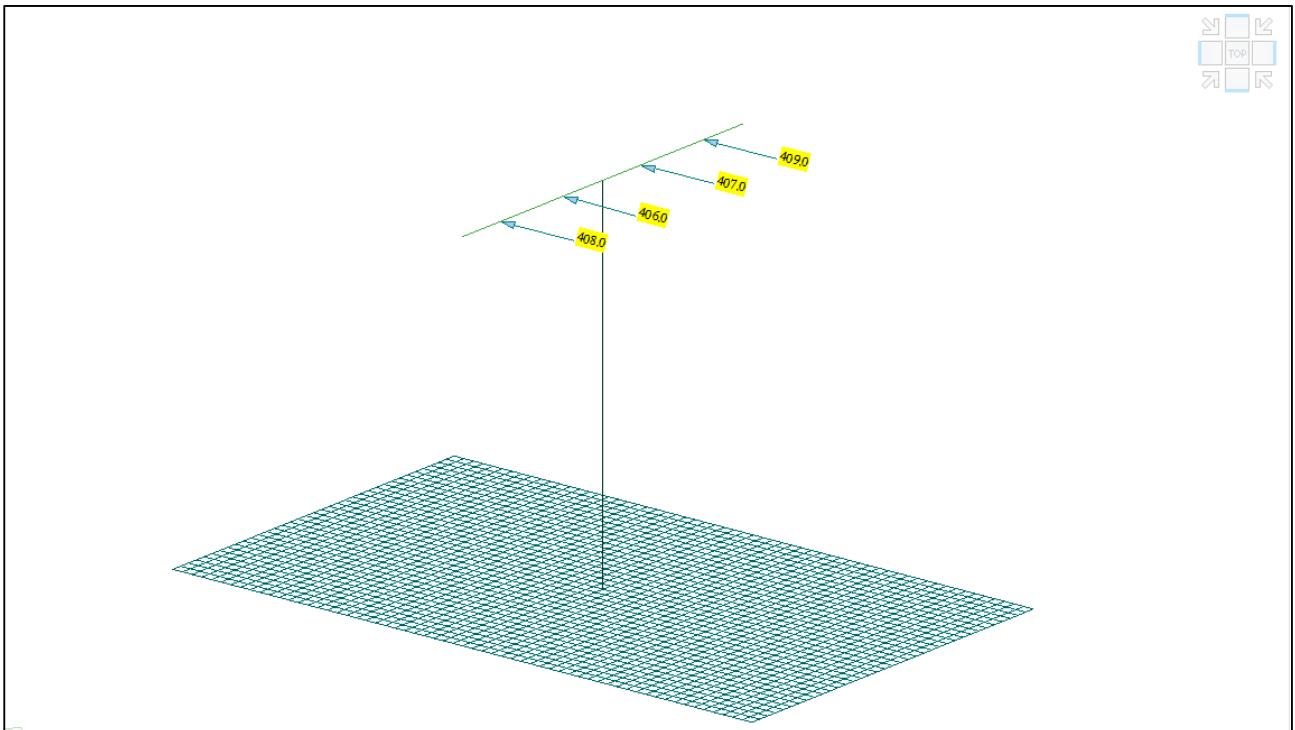
Comune di Vado Ligure

Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo

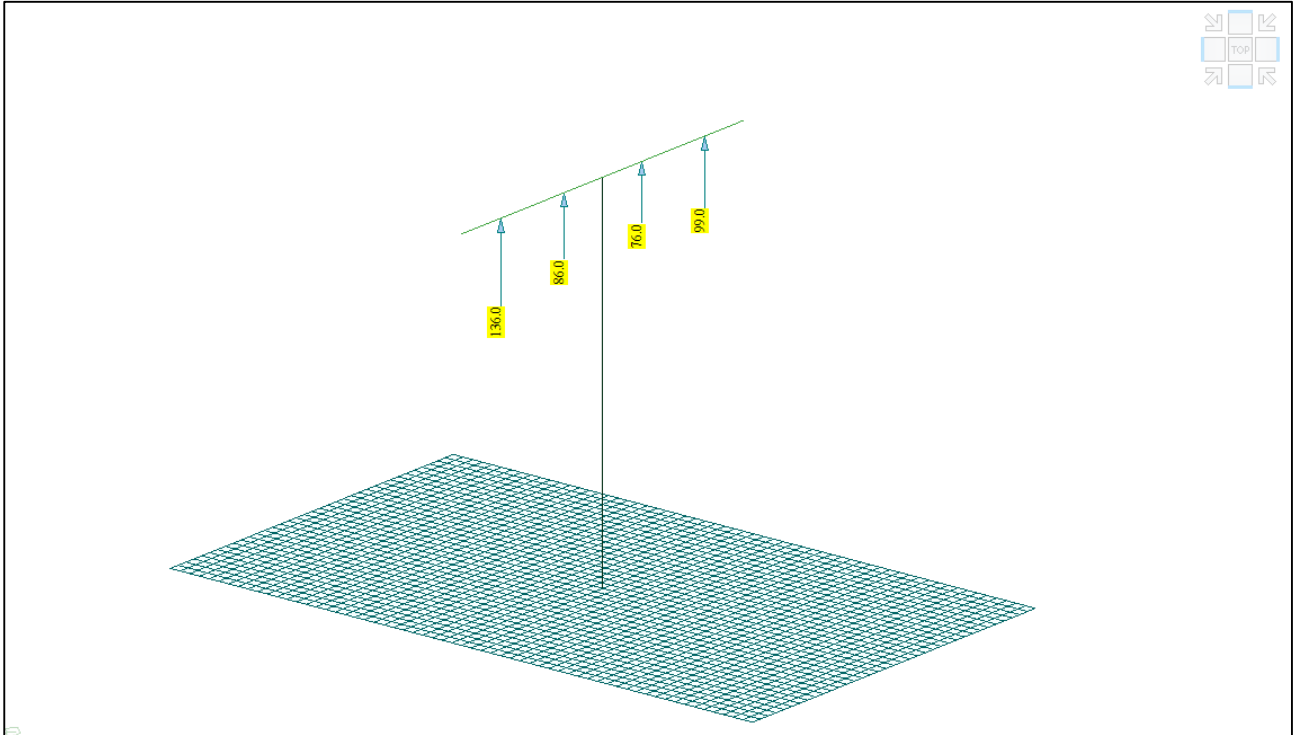
Ponte “Aurelia-bis” – Relazione di calcolo sottostrutture e fondazioni



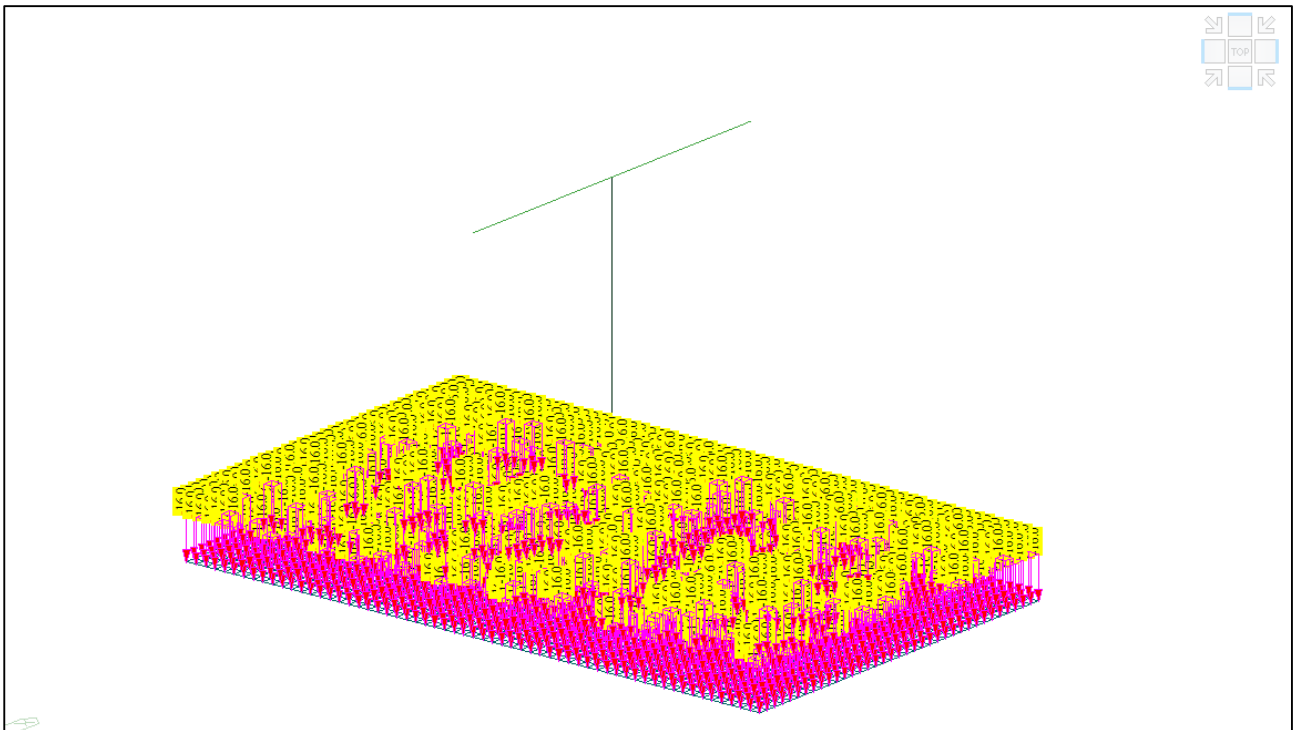
Modello FEM – Condizione di carico Sisma impalcato X



Modello FEM – Condizione di carico Sisma impalcato Y



Modello FEM – Condizione di carico Sisma impalcato Z



Modello FEM – Condizione di carico Peso terreno



A queste condizioni di carico si è aggiunta anche il sisma agente sulla pila, in direzione X e in direzione Y. Il carico è stato inserito come peso proprio con un coefficiente pari a a<sub>g</sub>/g \*S pari a 0.1769.

11.1.4 COMBINAZIONI DI CARICO

Si sono determinate le seguenti combinazioni di carico:

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

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

Di seguito si riportano i valori tabellati

SLU

Table with 20 columns: No, Name, Active, Type, Peso proprio pila(S), Peso proprio impalcato(S), Permanente(S), Ritiro(S), DistA(S), DistB(S), DistC(S), DistD(S), Frenamento(S), Centrifuga(S), Termica(S), Vento(S), Sisma impalcato X(S), Sisma impalcato Y(S), Sisma impalcato Z(S), Peso terreno(S), Sisma pila X(S), Sisma pila Y(S). Rows 1-20.

SLE RARA

Table with 20 columns: No, Name, Active, Type, Peso proprio pila(S), Peso proprio impalcato(S), Permanente(S), Ritiro(S), DistA(S), DistB(S), DistC(S), DistD(S), Frenamento(S), Centrifuga(S), Termica(S), Vento(S), Sisma impalcato X(S), Sisma impalcato Y(S), Sisma impalcato Z(S), Peso terreno(S), Sisma pila X(S), Sisma pila Y(S). Rows 21-35.



Comune di Vado Ligure

Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo

Ponte “Aurelia-bis” – Relazione di calcolo sottostrutture e fondazioni

SLE FREQUENTE

Table with columns: No, Name, Active, Type, Peso proprio pilati(ST), Peso proprio impalcato(ST), Permanente(ST), Ritiro(ST), DistAB(ST), DistB(ST), DistD(ST), DistO(ST), Frenamento(ST), Centrifuga(ST), Termico(ST), Vento(ST), Sistema impalcato X(ST), Sistema impalcato Y(ST), Sistema impalcato Z(ST), Peso terreno(ST), Sistema pila X(ST), Sistema pila Y(ST). Rows 37-52.

SLE QUASI PERMANENTE

Table with columns: No, Name, Active, Type, Peso proprio pilati(ST), Peso proprio impalcato(ST), Permanente(ST), Ritiro(ST), DistAB(ST), DistB(ST), DistD(ST), DistO(ST), Frenamento(ST), Centrifuga(ST), Termico(ST), Vento(ST), Sistema impalcato X(ST), Sistema impalcato Y(ST), Sistema impalcato Z(ST), Peso terreno(ST), Sistema pila X(ST), Sistema pila Y(ST). Rows 53-56.

E

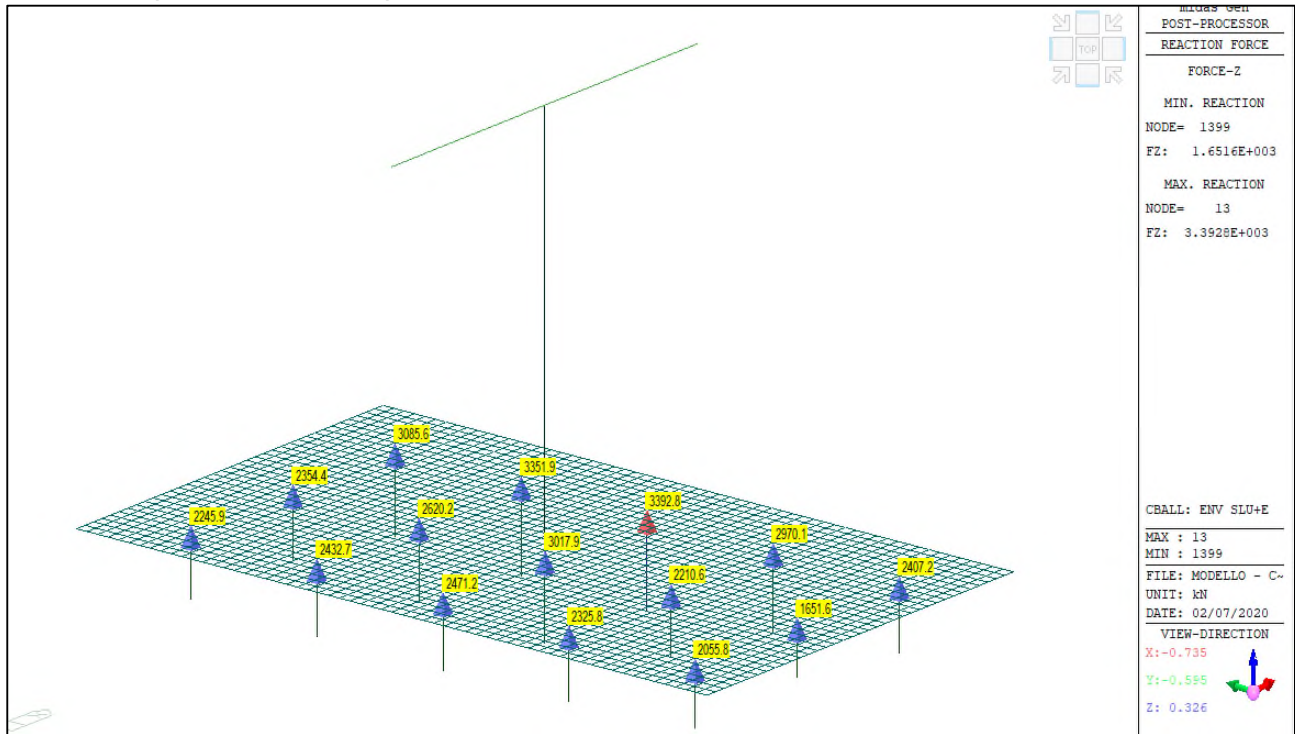
Table with columns: No, Name, Active, Type, Peso proprio pilati(ST), Peso proprio impalcato(ST), Permanente(ST), Ritiro(ST), DistAB(ST), DistB(ST), DistD(ST), DistO(ST), Frenamento(ST), Centrifuga(ST), Termico(ST), Vento(ST), Sistema impalcato X(ST), Sistema impalcato Y(ST), Sistema impalcato Z(ST), Peso terreno(ST), Sistema pila X(ST), Sistema pila Y(ST). Rows 37-60.



## 11.2 RISULTATI ANALISI STRUTTURALE

### 11.2.1 REAZIONI VINCOLARI

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



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

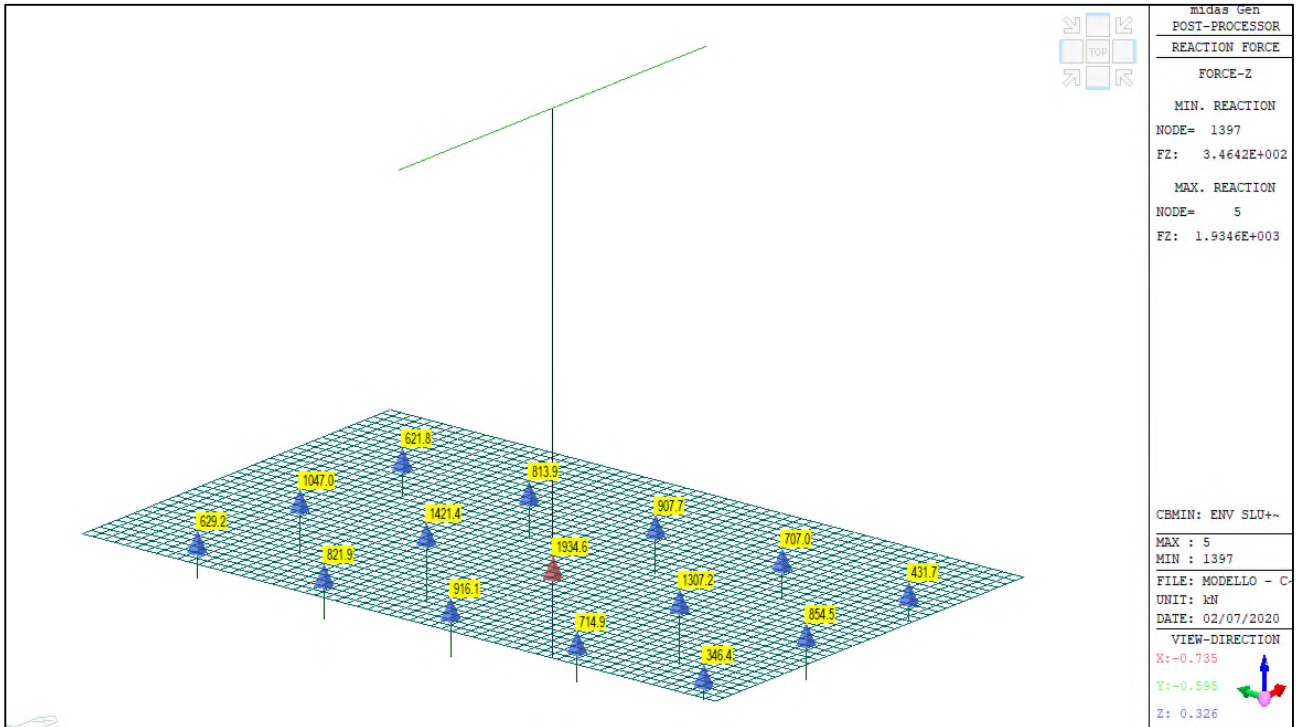




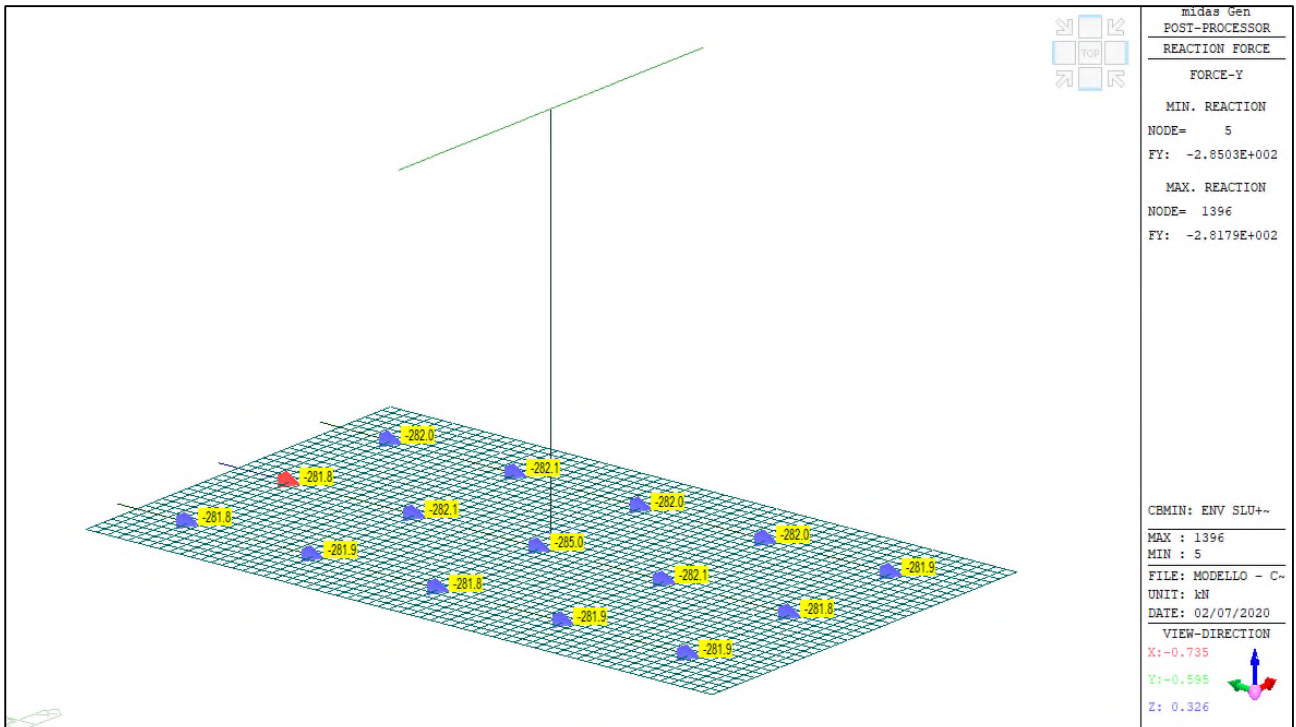
Comune di Vado Ligure

Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo

Ponte “Aurelia-bis” – Relazione di calcolo sottostrutture e fondazioni



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



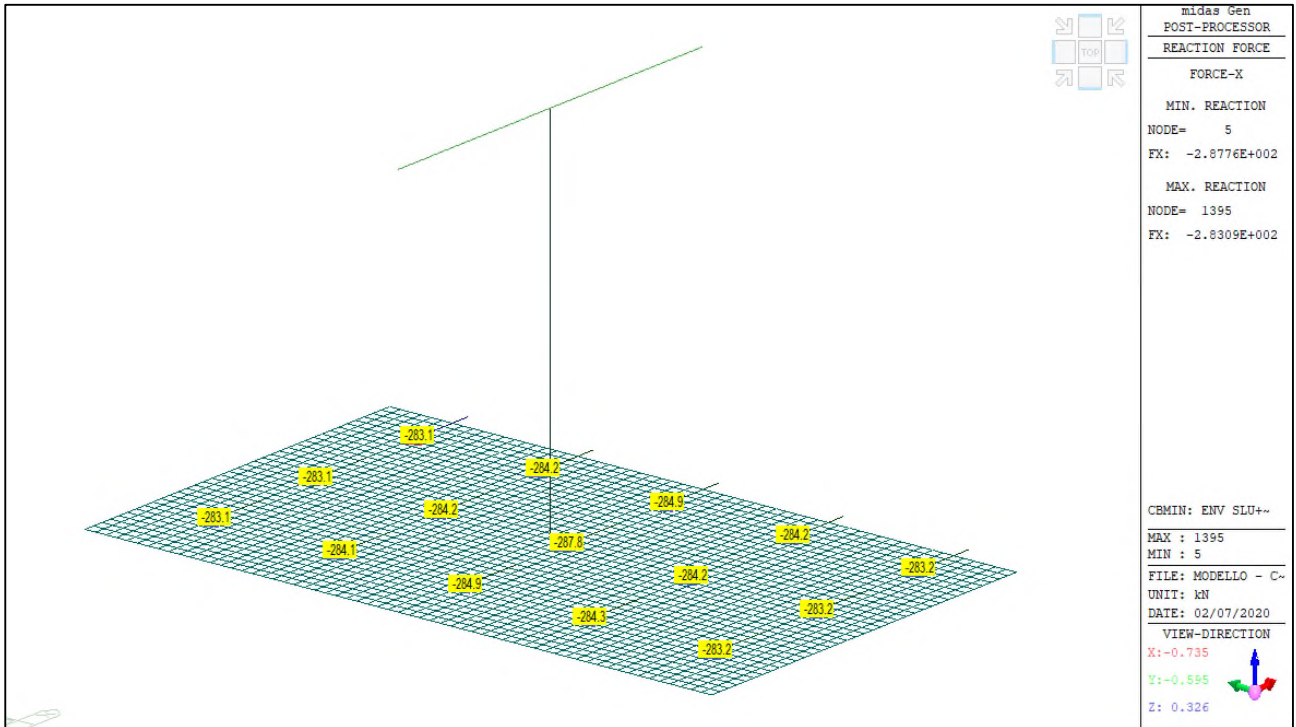
ENV-SLU+E – Reazioni vincolari orizzontali (Fy) massime



Comune di Vado Ligure

Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo

Ponte “Aurelia-bis” – Relazione di calcolo sottostrutture e fondazioni

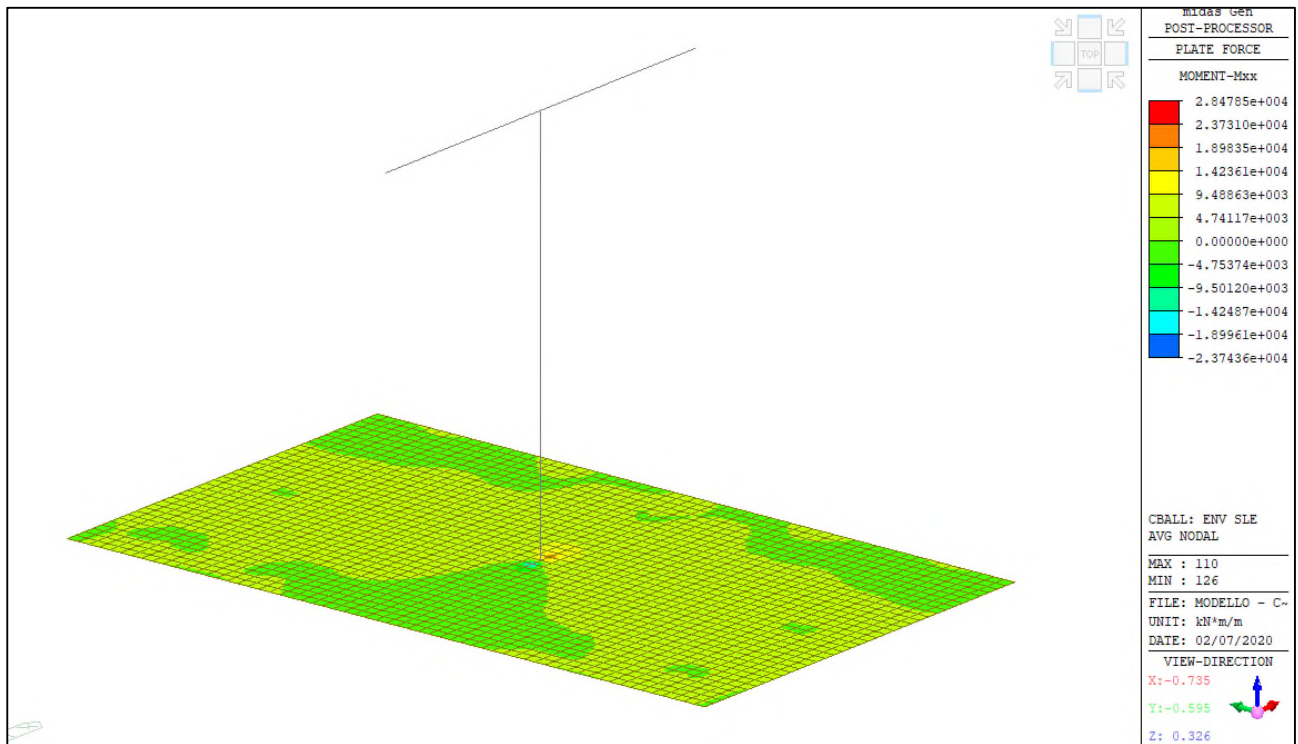


ENV-SLU+E – Reazioni vincolari orizzontali (Fx) massime



### 11.2.2 DIAGRAMMI AZIONI INTERNE

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



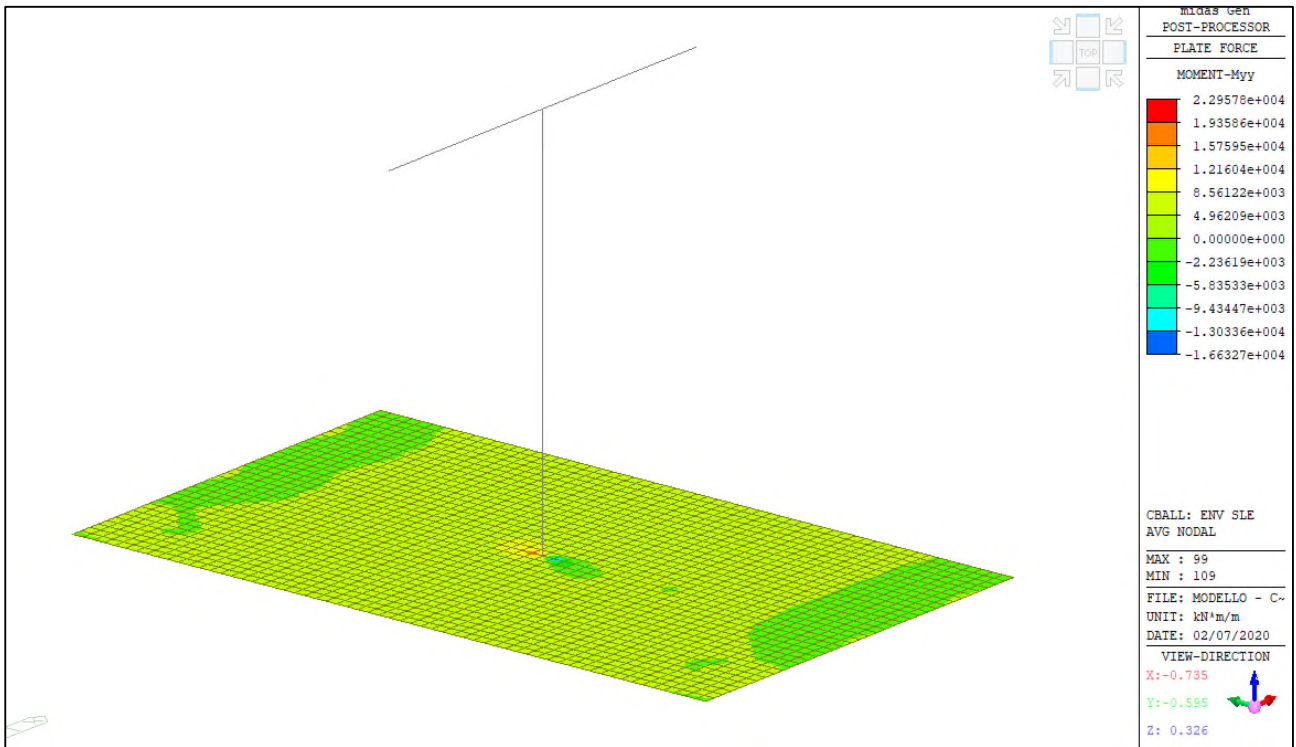
ENV-SLE RARA– Mxx (kNm/m) – Platea



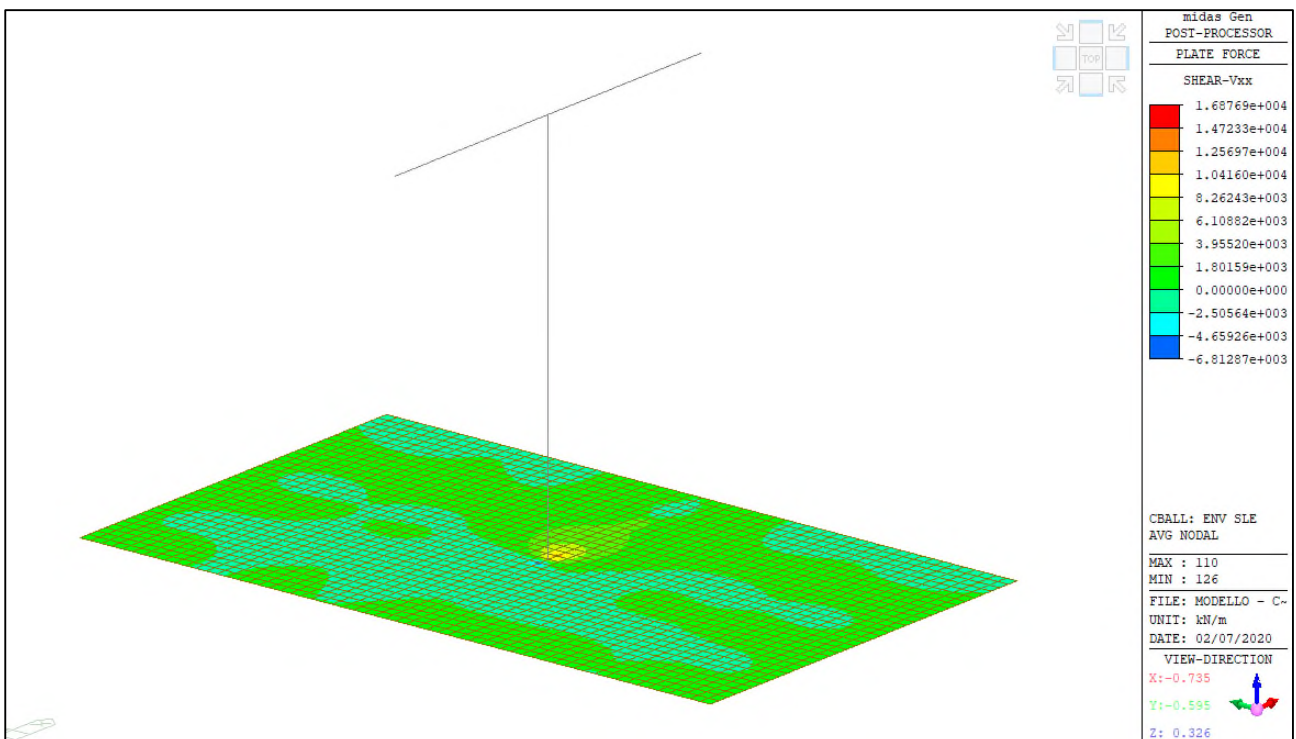
Comune di Vado Ligure

Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo

Ponte “Aurelia-bis” – Relazione di calcolo sottostrutture e fondazioni



ENV-SLE RARA– Myy (kNm/m) – Platea



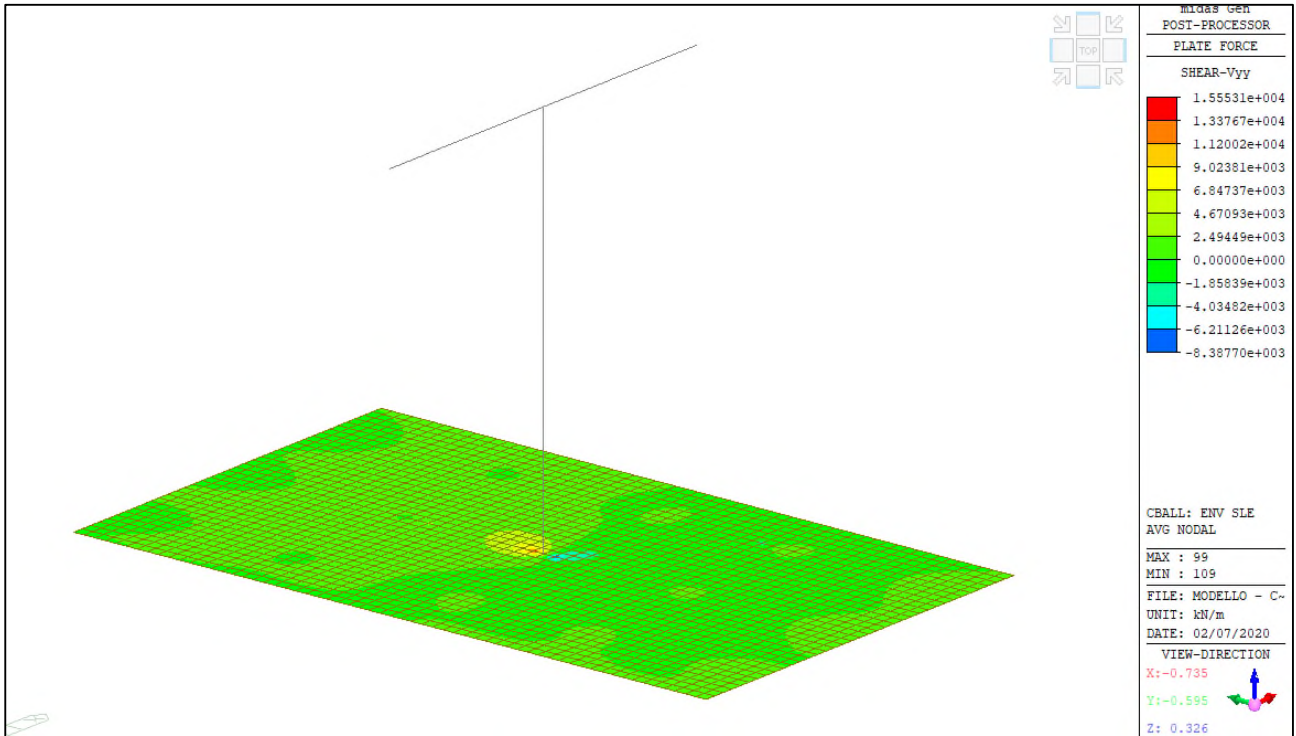
ENV-SLE RARA– Vxx (kN/m) – Platea



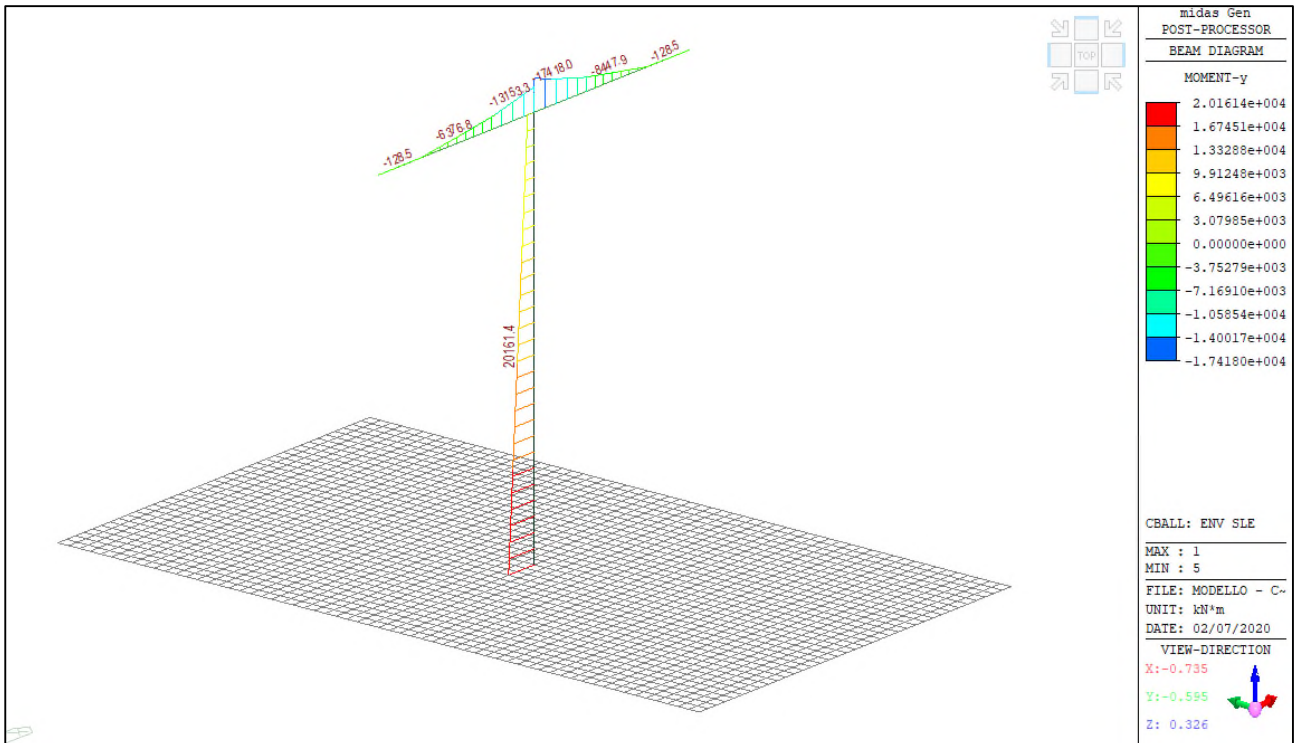
Comune di Vado Ligure

Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo

Ponte “Aurelia-bis” – Relazione di calcolo sottostrutture e fondazioni



ENV-SLE RARA- Vyy (kN/m) – Platea



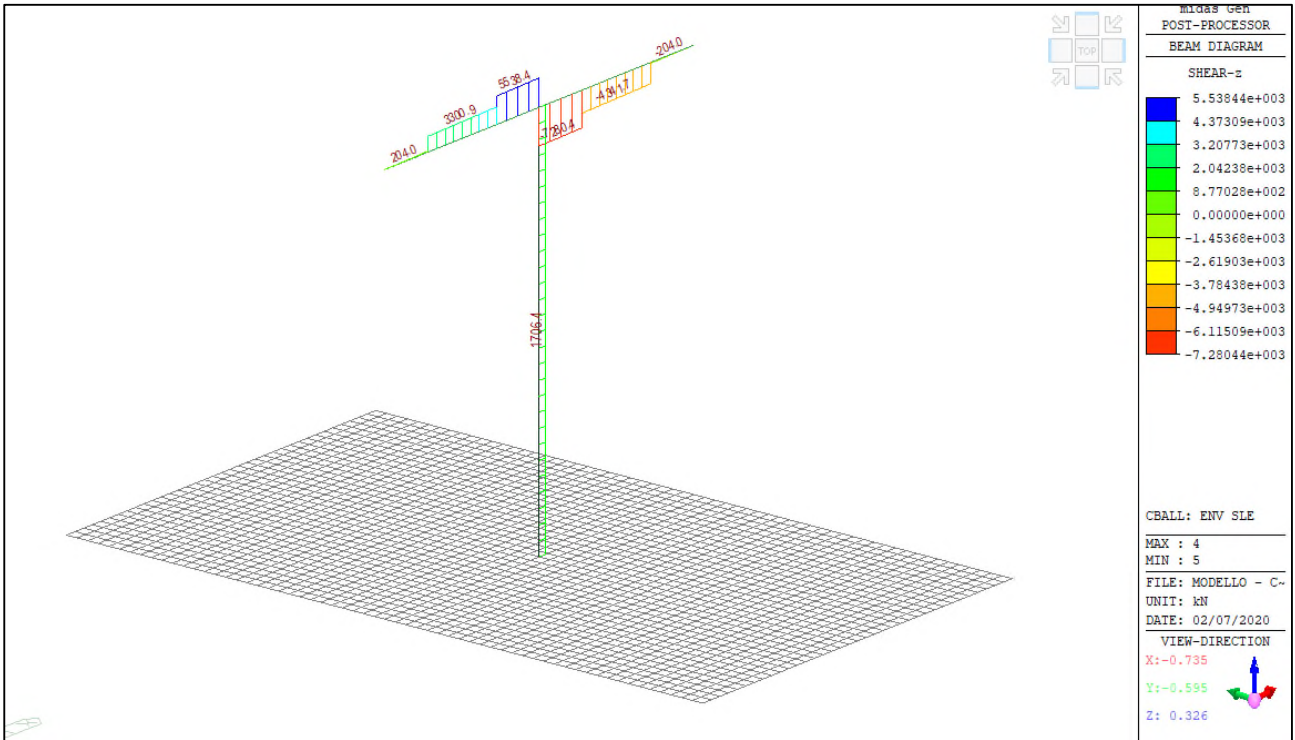
ENV-SLE RARA- My (kNm) – Pila+Pulvino



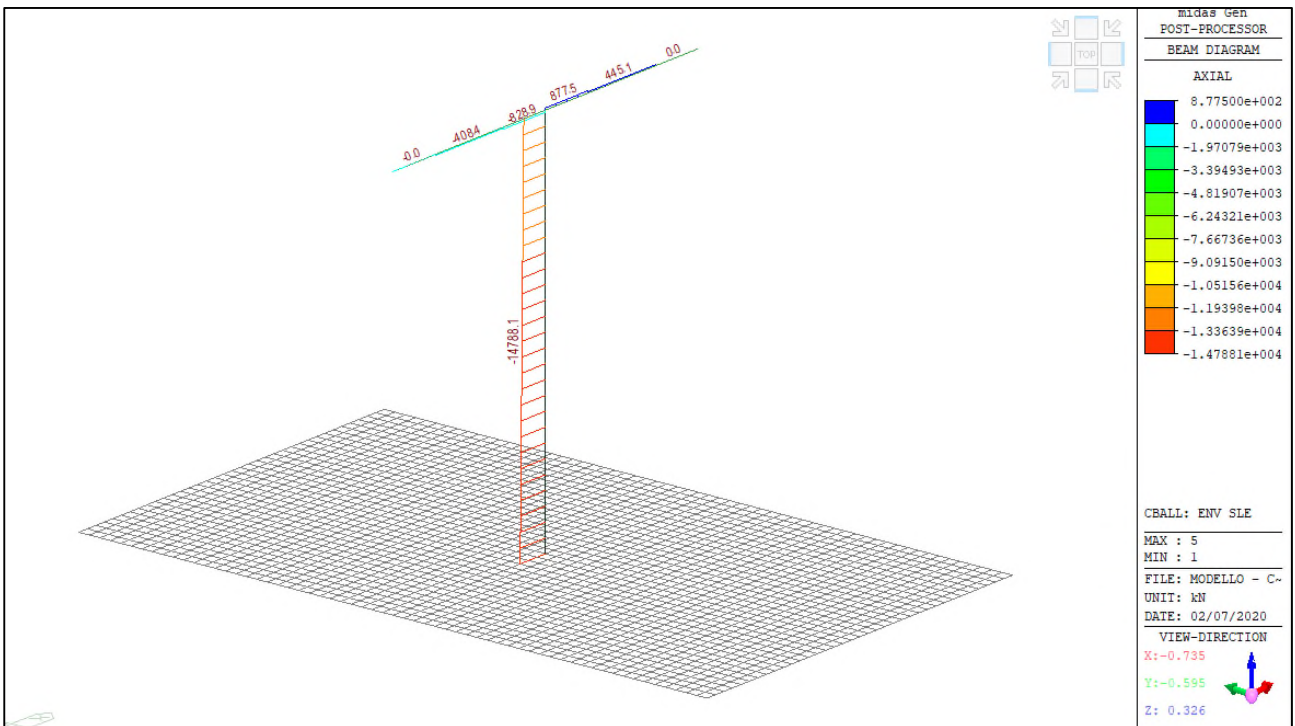
Comune di Vado Ligure

Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo

Ponte “Aurelia-bis” – Relazione di calcolo sottostrutture e fondazioni



ENV-SLE RARA- Vz (kN) – Pila + Pulvino



ENV-SLE RARA- Fx (kN) – Pila + Pulvino

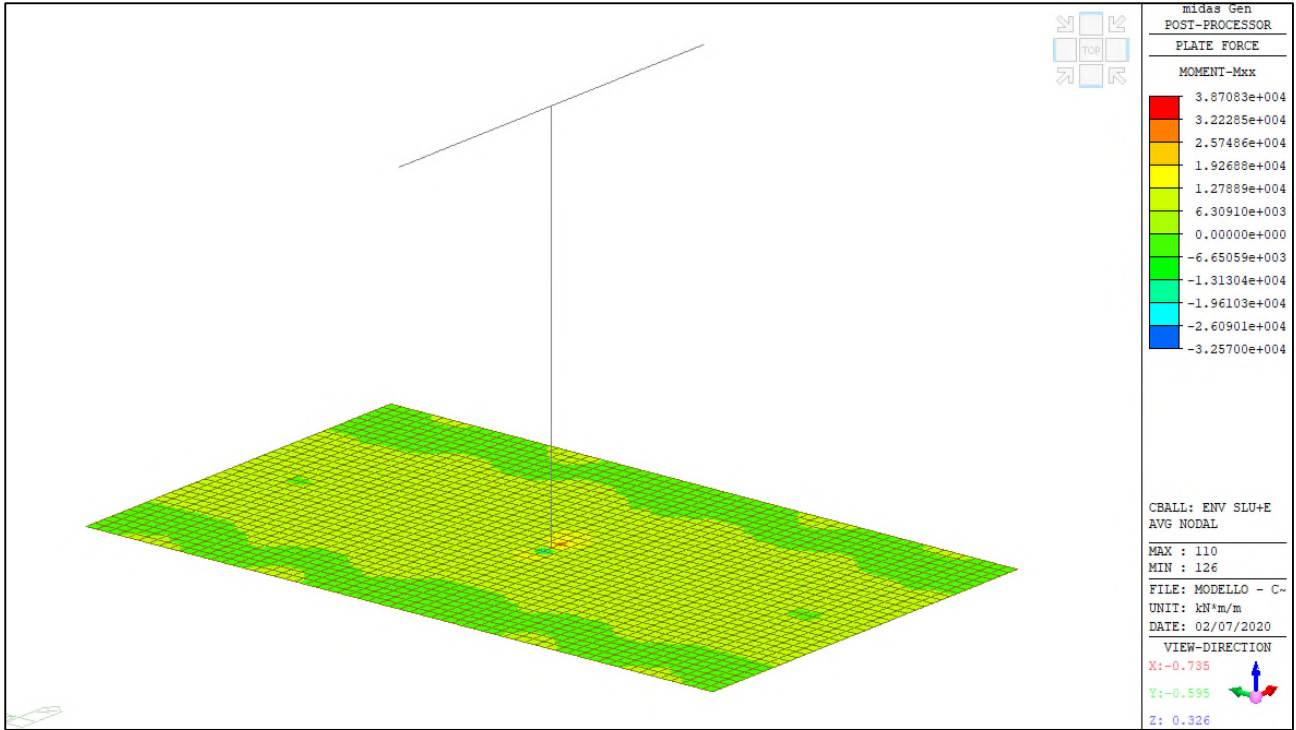


Comune di Vado Ligure

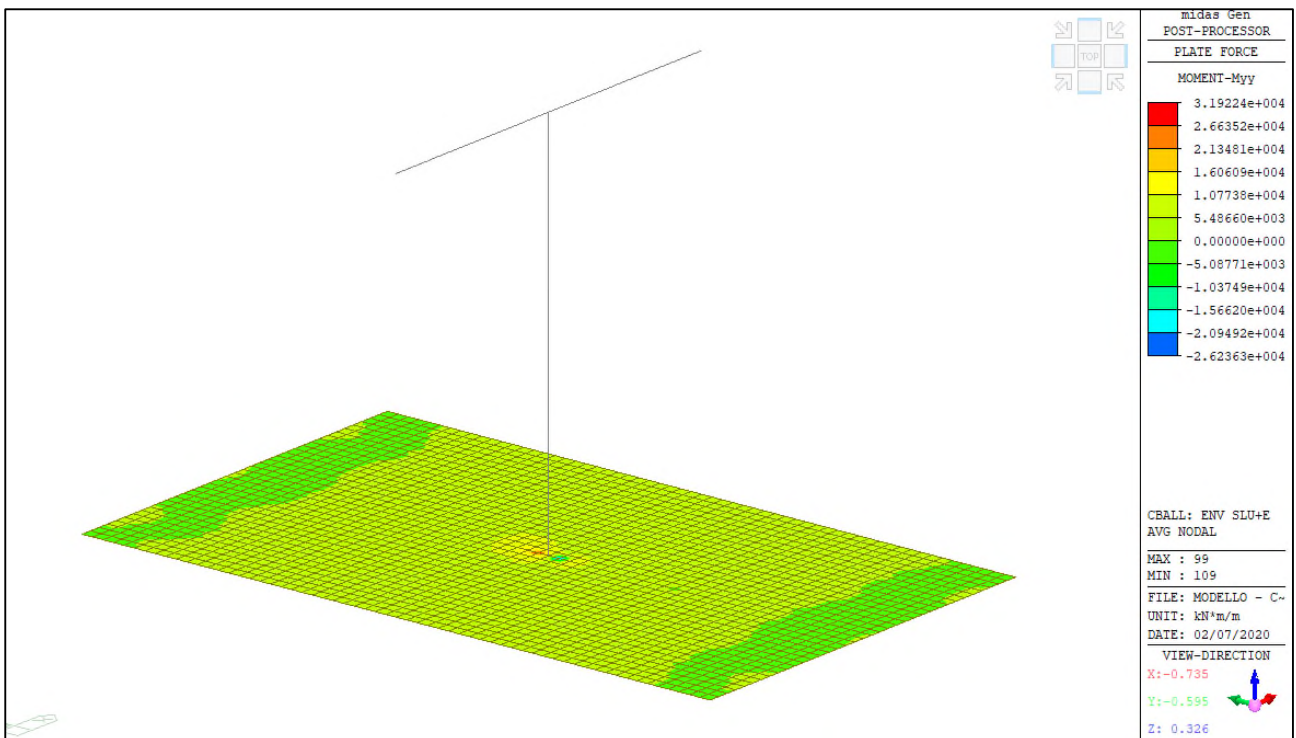
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo

Ponte “Aurelia-bis” – Relazione 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



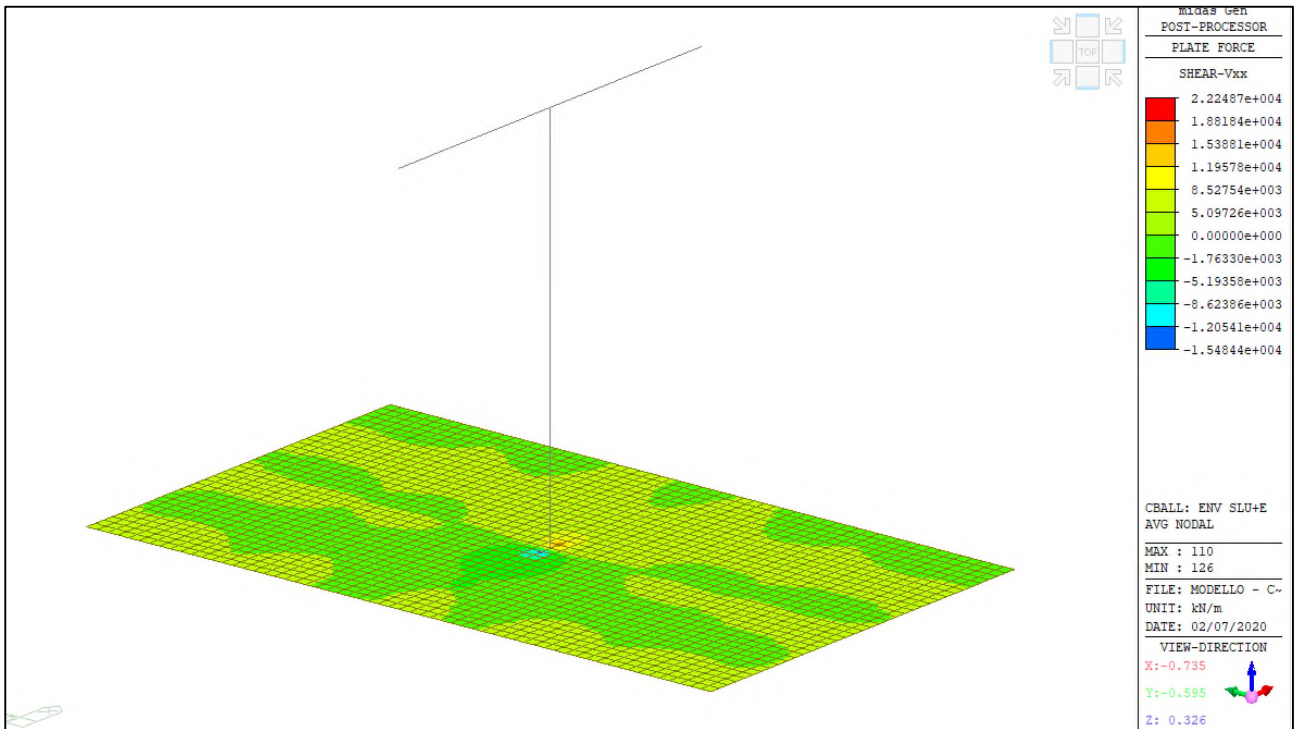
ENV-SLU+E – Myy (kNm/m) – Platea



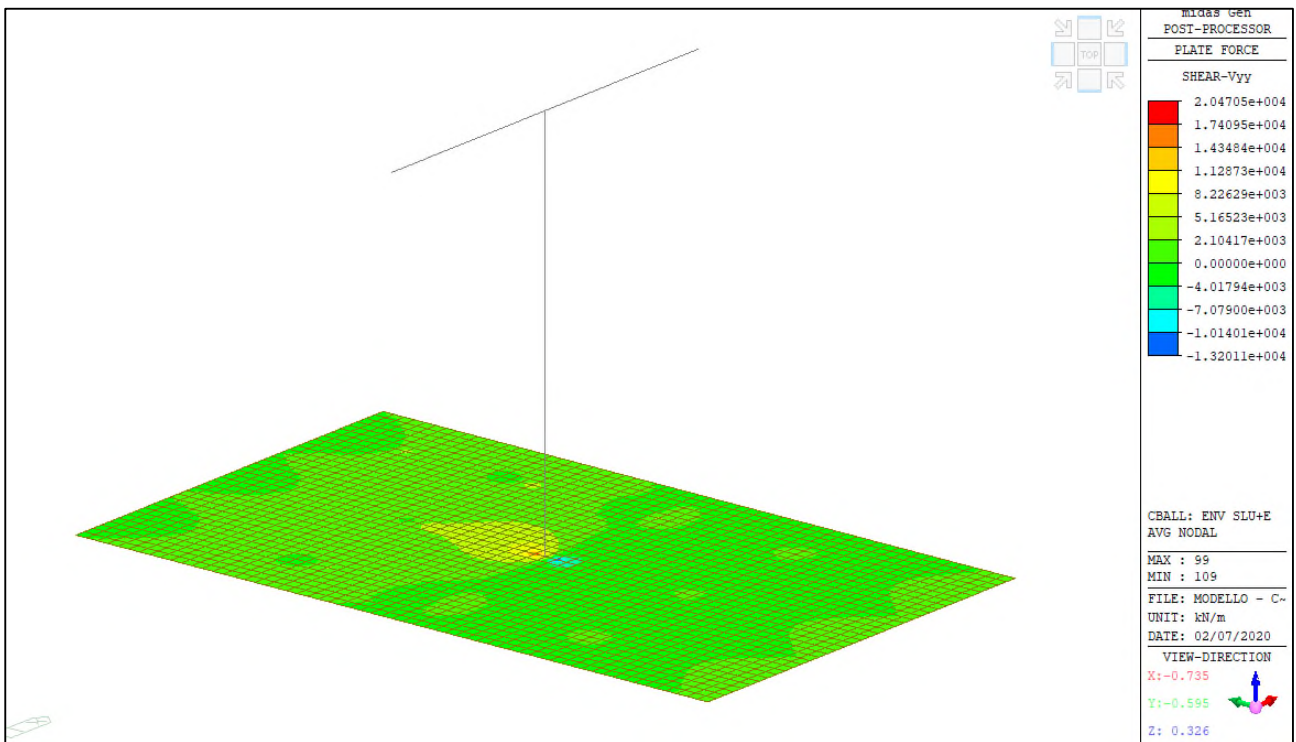
Comune di Vado Ligure

Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo

Ponte “Aurelia-bis” – Relazione di calcolo sottostrutture e fondazioni



ENV-SLU+E – Vxx (kN/m) – Platea



ENV-SLU+E – Vyy (kN/m) – Platea

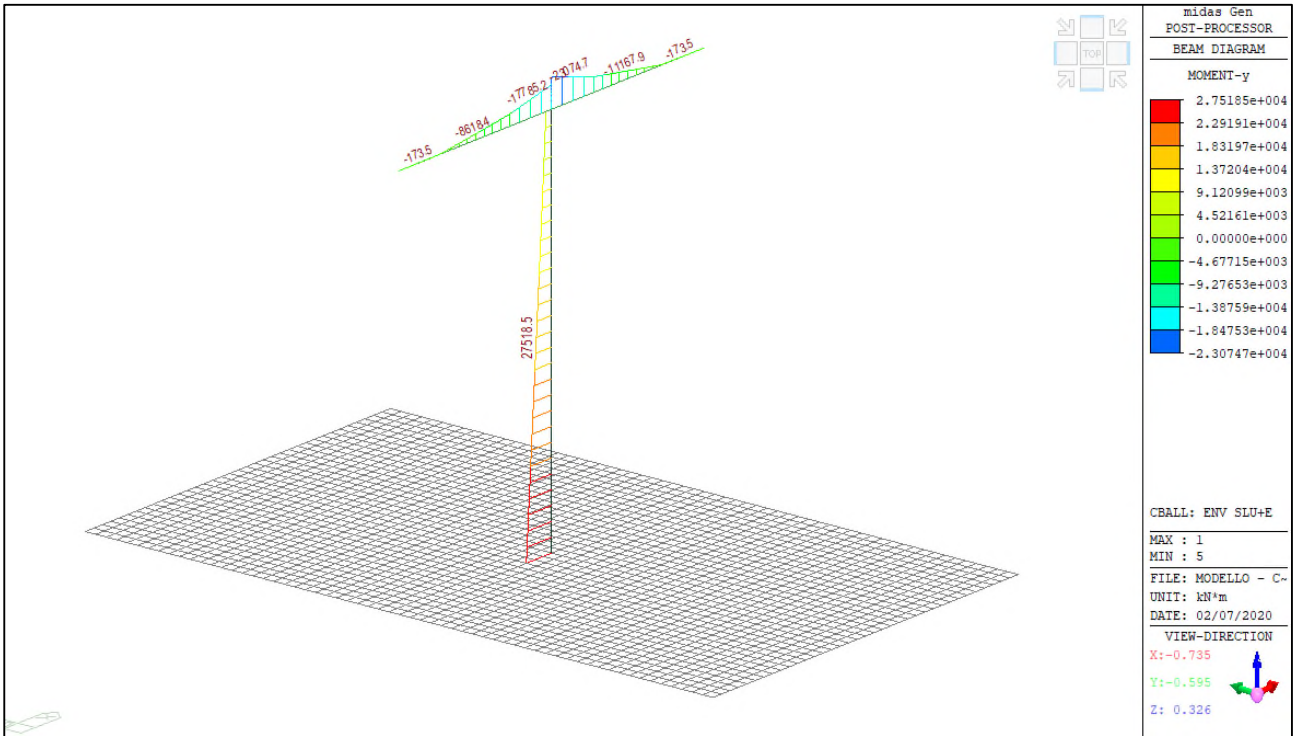




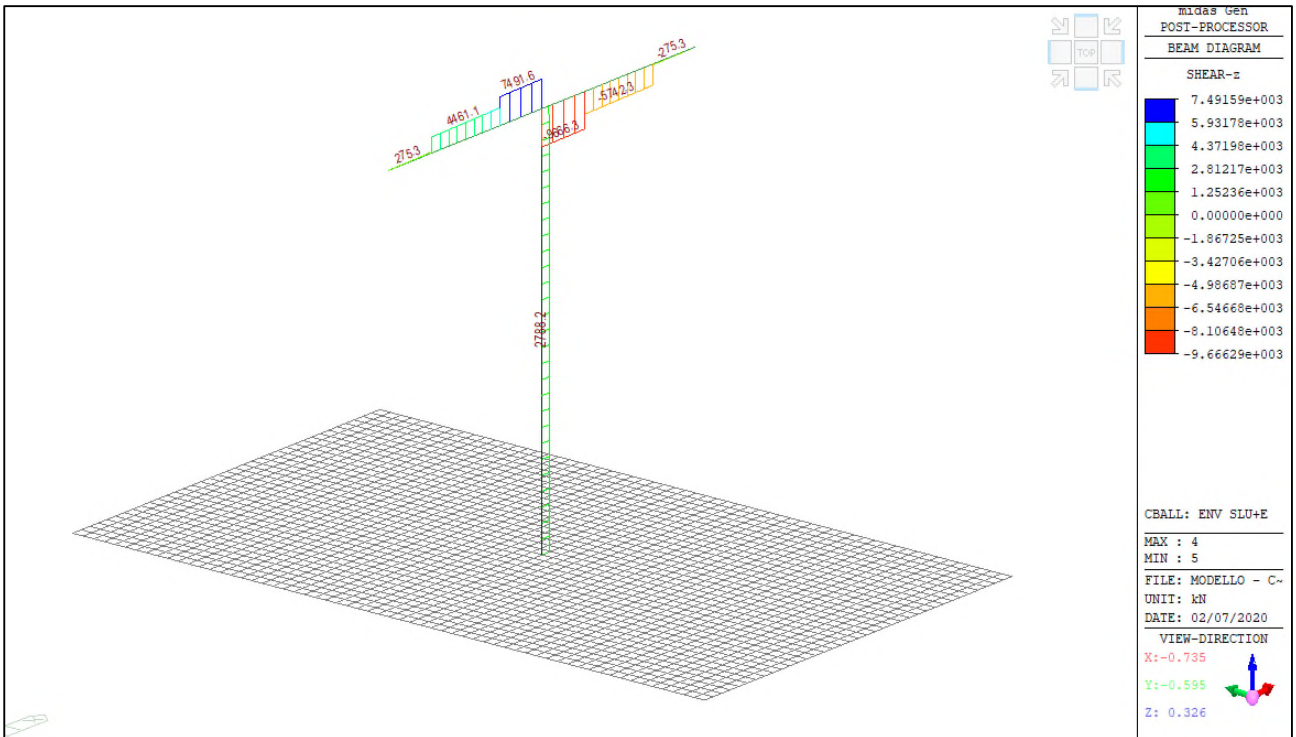
Comune di Vado Ligure

Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo

Ponte “Aurelia-bis” – Relazione di calcolo sottostrutture e fondazioni



ENV-SLU+E – My (kNm) – Pila+Pulvino



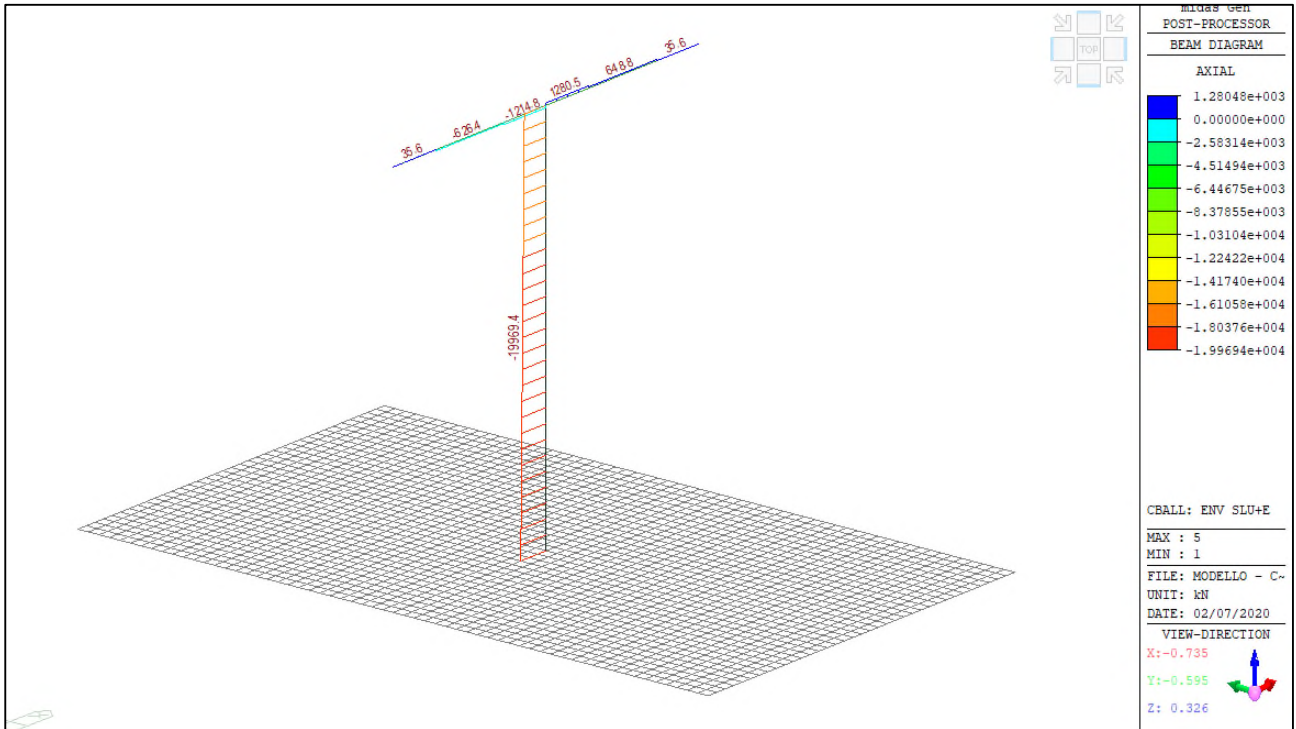
ENV-SLU+E – Vz (kN) – Pila+Pulvino



Comune di Vado Ligure

Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo

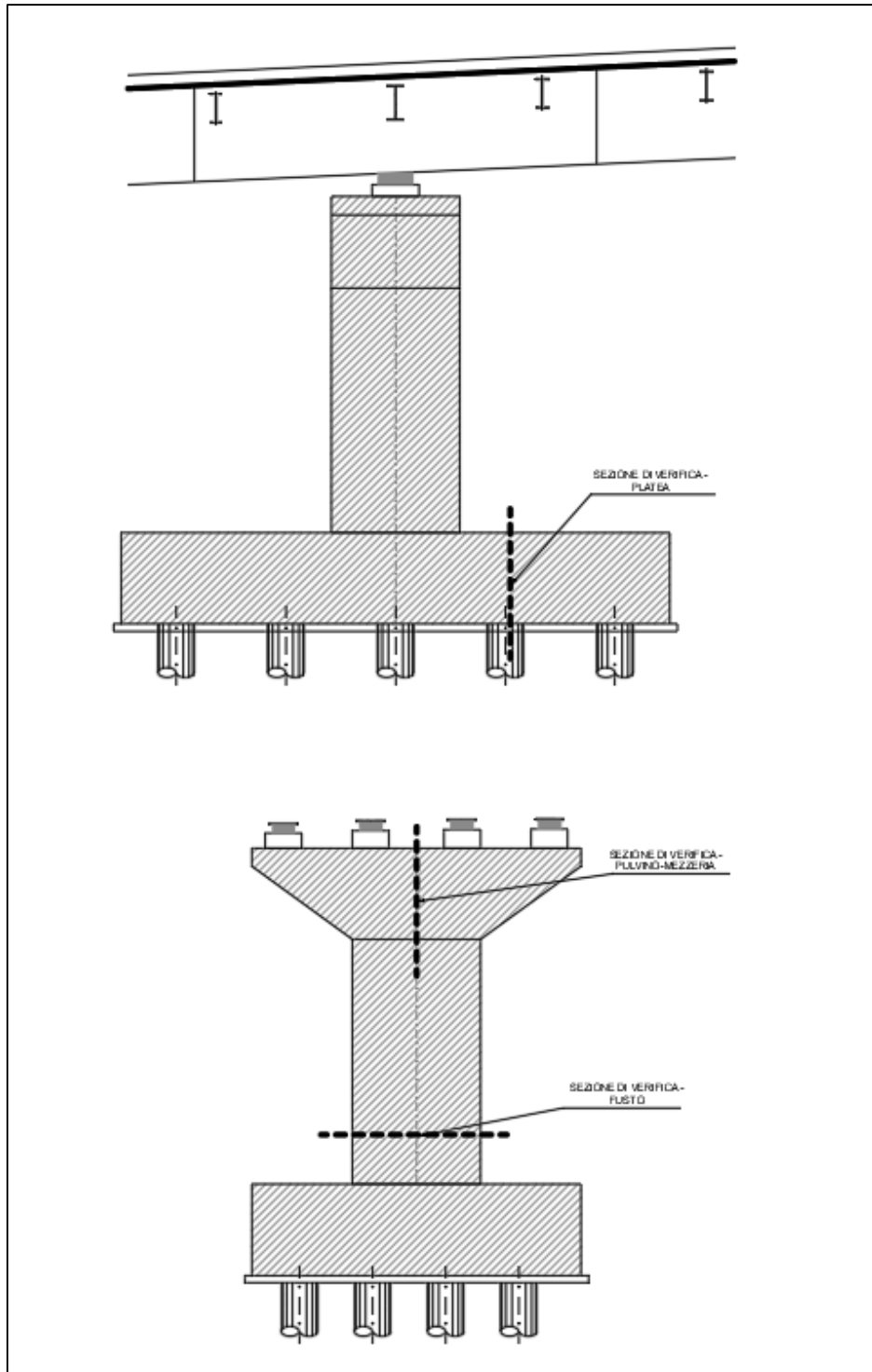
Ponte “Aurelia-bis” – Relazione di calcolo sottostrutture e fondazioni



ENV-SLU+E – Fx (kN) – Pila+Pulvino

### 11.3 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  | 4679            | 4136            | 5569            | 5230            | 6140            | 6003            | 11290           | 11280           |

| SEZIONE             | SLE QP   |         |         | SLE F    |         |          | SLE R    |         |          | SLU      |         |          |
|---------------------|----------|---------|---------|----------|---------|----------|----------|---------|----------|----------|---------|----------|
|                     | My [kNm] | Vz [kN] | Fx [kN] | My [kNm] | Vz [kN] | Fx [kN]  | My [kNm] | Vz [kN] | Fx [kN]  | My [kNm] | Vz [kN] | Fx [kN]  |
| FUSTO               | 5367.3   | 268.5   | -10369  | 19634.8  | 1588.7  | -12697.5 | 20161.4  | 1706.4  | -14788.1 | 27518.5  | 2788.2  | -19969.4 |
| PULVINO<br>MEZZERIA | 10297.4  | 5841.4  | -112    | 14369.5  | 5004.1  | -726.5   | 17418    | 5538.4  | -828.9   | 23074.7  | 9666.3  | -1214.8  |

## 1. Platea



Le armature sono costituite da una maglia base

- $\Phi 40/10$  inferiori e superiori in direzione x
- $\Phi 40/10$  inferiori e superiori in direzione y
- Spilli  $\Phi 16/20 \times 40$

Le verifiche lungo la direzione X valgono anche lungo la direzione Y

Armatura platea direzione x

Armatura interna: copriferro  $5.0+4.0+2.0= 11.0$  cm

| geometria              |        |       |                    |                    |
|------------------------|--------|-------|--------------------|--------------------|
| sezione trasversale    |        |       |                    |                    |
| B                      | H      | c     | d                  | z                  |
| [cm]                   | [cm]   | [cm]  | [cm]               | [cm]               |
| 100                    | 250    | 9.0   | 239.0              | 215.1              |
| armatura longitudinale |        |       |                    |                    |
| nbarre                 | $\phi$ | d     | Asl                |                    |
|                        | [mm]   | [cm]  | [cm <sup>2</sup> ] |                    |
| 10                     | 40     | 11.0  | 125.66             |                    |
| 10                     | 40     | 239.0 | 125.66             |                    |
| armatura a taglio      |        |       |                    |                    |
| nbracci                | $\phi$ | s     | $\alpha$           | Asw                |
|                        | [mm]   | [cm]  | [°]                | [cm <sup>2</sup> ] |
| 5                      | 16     | 40    | 90                 | 10.05              |

| SLU                     | SLE - R                      | SLE - F                                | SLE - QP                               |
|-------------------------|------------------------------|--|--|
| SLU                     | SLE                          | SLE                                    | SLE                                    |
| MEd 11280 [kNm]         | MEk 6140 [kNm]               | MEk 5569 [kNm]                         | MEk 4679 [kNm]                         |
| NEd 0.00 [kN]           | NEk 0 [kN]                   | NEk 0 [kN]                             | NEk 0 [kN]                             |
| VEd 5000.00 [kN]        | <b>tensioni e fessure</b>    |  |  |
| <b>presso-flessione</b> | Mdec 0.0 [kNm]               | Mdec 0.0 [kNm]                         | Mdec 0.0 [kNm]                         |
| MRd 11284.0 [kNm]       | Mcr 3000.4 [kNm]             | Mcr 3000.4 [kNm]                       | Mcr 3000.4 [kNm]                       |
| FS 1.00                 | yn -58.55 [cm]               | yn -58.55 [cm]                         | yn -58.55 [cm]                         |
|                         | $\sigma_{c,min}$ -5.7 [MPa]  | $\sigma_{c,min}$ -5.2 [MPa]            | $\sigma_{c,min}$ -4.3 [MPa]            |
|                         | $\sigma_{s,min}$ -71.2 [MPa] | $\sigma_{s,min}$ -64.6 [MPa]           | $\sigma_{s,min}$ -54.3 [MPa]           |
|                         | $\sigma_{s,max}$ 221.7 [MPa] | $\sigma_{s,max}$ 201.0 [MPa]           | $\sigma_{s,max}$ 168.9 [MPa]           |
|                         |                              | $k_2$ 0.5                              | $k_2$ 0.5                              |
|                         |                              | $\epsilon_{sm-\epsilon_{cm}}$ 0.82 [%] | $\epsilon_{sm-\epsilon_{cm}}$ 0.66 [%] |
|                         |                              | $S_{r,max}$ 45.5 [cm]                  | $S_{r,max}$ 45.5 [cm]                  |
|                         |                              | $W_k$ 0.371 [mm]                       | $W_k$ 0.298 [mm]                       |

**verifica a taglio di una sezione rettangolare**

secondo EN 1992-1-1:2004/E

**geometria**

**sezione trasversale**

|                                  |   |   |       |    |
|----------------------------------|---|---|-------|----|
| base                             | B | = | 100   | cm |
| altezza                          | H | = | 250   | cm |
| copriferro (asse armatura long.) | c | = | 11    | cm |
| altezza utile                    | d | = | 239   | cm |
| braccio coppia interna           | z | = | 215.1 | cm |

**armatura a taglio**

|                |          |   |       |                 |
|----------------|----------|---|-------|-----------------|
| numero braccia | n        | = | 5     |                 |
| diametro       | $\phi$   | = | 16    | mm              |
| passo          | s        | = | 40    | cm              |
| inclinazione   | $\alpha$ | = | 90    | °               |
| area           | $A_{sw}$ | = | 10.05 | cm <sup>2</sup> |

**armatura longitudinale tesa**

|              |          |   |       |                 |
|--------------|----------|---|-------|-----------------|
| numero barre | $n_1$    | = | 10    |                 |
| diametro     | $\phi_1$ | = | 40    | mm              |
| numero barre | $n_2$    | = | 0     |                 |
| diametro     | $\phi_2$ | = | 0     | mm              |
| area totale  | $A_{sl}$ | = | 125.7 | cm <sup>2</sup> |

**materiali**

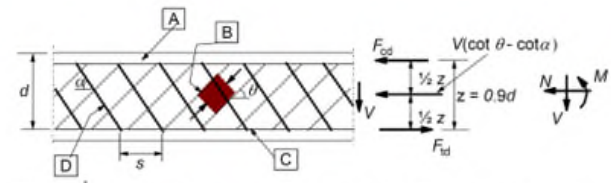
**calcestruzzo**

|  |               |   |       |     |
|--|---------------|---|-------|-----|
| 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     | $v$           | = | 0.540 |     |
| tensione di calcolo bielle             | $v f_{cd}$    | = | 7.6   | MPa |

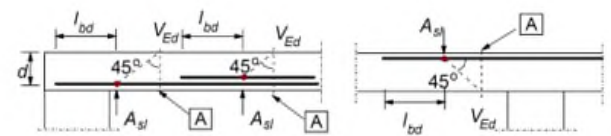
**acciaio**

|                                    |            |   |       |     |
|------------------------------------|------------|---|-------|-----|
| 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                           | $V_{Ed}$    | = | 5000    | kN |
| azione assiale                   | $N_{Ed}$    | = | 0       | kN |
| resistenza elemento non armato   | $V_{Rdc}$   | = | 871.5   | kN |
| resistenza armatura a taglio     | $V_{Rds}$   | = | 5288.5  | kN |
| resistenza bielle calcestruzzo   | $V_{Rdmax}$ | = | 5654.0  | kN |
| inclinazione bielle calcestruzzo | $\theta$    | = | 21.8    | °  |
| sezione                          |             |   | duttile |    |
| traslazione armatura long.       | $a_l$       | = | 268.9   | cm |



Comune di Vado Ligure

Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo

Ponte “Aurelia-bis” – Relazione di calcolo sottostrutture e fondazioni

## 2. Fusto

Le armature sono costituite da

- 60 $\Phi$ 30 longitudinali
- Staffe  $\Phi$ 16/20

Verifica C.A. S.L.U. - File: SLU-Pila

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

**Titolo :** \_\_\_\_\_

**Sezione circolare cava**

N° barre  Zoom

Raggio esterno  [cm]  
Raggio interno  [cm]  
N° barre uguali   
Diametro barre  [cm]  
Copriferro (baric.)  [cm]

**Sollecitazioni**

S.L.U.  Metodo n

N<sub>Ed</sub>   kN  
M<sub>xEd</sub>   kNm  
M<sub>yEd</sub>

**P.to applicazione N**

Centro  Baricentro cls  
 Coord.[cm] xN  yN

**Tipo rottura**

Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

M<sub>xRd</sub>  kN m

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

**Materiali**

**B450C** **C32/40**

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

**Tipo Sezione**

Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

**Metodo di calcolo**

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

**Tipo flessione**

Retta  Deviata

Vertici:  N° rett.

Calcola MRd Dominio M-N  
L<sub>0</sub>  cm Col. modello

Precompresso

Verifica armatura longitudinale Fusto – SLU



Per la verifica a fessurazione e a taglio si è considerata la sezione corrispondente al quadrato inscritto nella circonferenza del fusto.

| SLE - R                       |               | SLE - F                       |               | SLE - QP                      |               |
|-------------------------------|---------------|-------------------------------|---------------|-------------------------------|---------------|
| SLE                           |               | SLE                           |               | SLE                           |               |
| MEk                           | 20161.4 [kNm] | MEk                           | 19634.8 [kNm] | MEk                           | 5367.3 [kNm]  |
| NEk                           | -11300 [kN]   | NEk                           | -11000 [kN]   | NEk                           | -9000 [kN]    |
| tensioni e fessure            |               | tensioni e fessure            |               | tensioni e fessure            |               |
| Mdec                          | 5310.6 [kNm]  | Mdec                          | 5169.6 [kNm]  | Mdec                          | 4229.7 [kNm]  |
| Mcr                           | 13435.7 [kNm] | Mcr                           | 13294.7 [kNm] | Mcr                           | 12354.8 [kNm] |
| yn                            | -23.05 [cm]   | yn                            | -23.08 [cm]   | yn                            | 93.23 [cm]    |
| $\sigma_{c,min}$              | -10.3 [MPa]   | $\sigma_{c,min}$              | -10.1 [MPa]   | $\sigma_{c,min}$              | -3.1 [MPa]    |
| $\sigma_{s,min}$              | -141.6 [MPa]  | $\sigma_{s,min}$              | -137.9 [MPa]  | $\sigma_{s,min}$              | -43.9 [MPa]   |
| $\sigma_{s,max}$              | 212.7 [MPa]   | $\sigma_{s,max}$              | 207.2 [MPa]   | $\sigma_{s,max}$              | 4.6 [MPa]     |
| k <sub>2</sub>                | 0.5           | k <sub>2</sub>                | 0.5           | k <sub>2</sub>                | 0.5           |
| $\epsilon_{sm}-\epsilon_{cm}$ | 0.79 [‰]      | $\epsilon_{sm}-\epsilon_{cm}$ | 0.79 [‰]      | $\epsilon_{sm}-\epsilon_{cm}$ | - [‰]         |
| Sr,max                        | 36.9 [cm]     | Sr,max                        | 36.9 [cm]     | Sr,max                        | - [cm]        |
| Wk                            | 0.291 [mm]    | Wk                            | 0.291 [mm]    | Wk                            | - [mm]        |



**verifica a taglio di una sezione rettangolare**

secondo EN 1992-1-1:2004:E

**geometria**

**sezione trasversale**

|                                  |   |   |       |    |
|----------------------------------|---|---|-------|----|
| base                             | B | = | 247   | cm |
| altezza                          | H | = | 247   | cm |
| copriferro (asse armatura long.) | c | = | 8.6   | cm |
| altezza utile                    | d | = | 238   | cm |
| braccio coppia interna           | z | = | 214.6 | cm |

**armatura a taglio**

|                |          |   |      |                 |
|----------------|----------|---|------|-----------------|
| numero braccia | n        | = | 2    |                 |
| diametro       | $\phi$   | = | 16   | mm              |
| passo          | s        | = | 20   | cm              |
| inclinazione   | $\alpha$ | = | 90   | °               |
| area           | $A_{sw}$ | = | 4.02 | cm <sup>2</sup> |

**armatura longitudinale tesa**

|              |          |   |      |                 |
|--------------|----------|---|------|-----------------|
| numero barre | $n_1$    | = | 10   |                 |
| diametro     | $\phi_1$ | = | 30   | mm              |
| numero barre | $n_2$    | = | 0    |                 |
| diametro     | $\phi_2$ | = | 0    | mm              |
| area totale  | $A_{sl}$ | = | 70.7 | cm <sup>2</sup> |

**materiali**

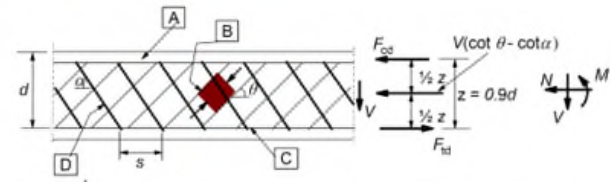
**calcestruzzo**

|  |               |   |       |     |
|--|---------------|---|-------|-----|
| 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 |

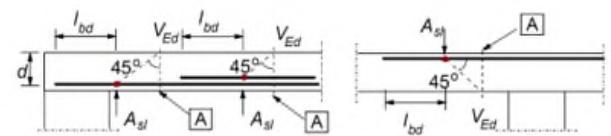
**acciaio**

|                                    |            |   |       |     |
|------------------------------------|------------|---|-------|-----|
| 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                           | $V_{Ed}$    | = | 2788.2  | kN |
| azione assiale                   | $N_{Ed}$    | = | 0       | kN |
| resistenza elemento non armato   | $V_{Rdc}$   | = | 1739.2  | kN |
| resistenza armatura a taglio     | $V_{Rds}$   | = | 3313.0  | kN |
| resistenza bielle calcestruzzo   | $V_{Rdmax}$ | = | 20985.0 | kN |
| inclinazione bielle calcestruzzo | $\theta$    | = | 27.0    | °  |
| sezione                          |             |   | duttile |    |
| traslazione armatura long.       | ai          | = | 210.5   | cm |

Verifica armatura trasversale Fusto



Comune di Vado Ligure

Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo

Ponte “Aurelia-bis” – Relazione di calcolo sottostrutture e fondazioni

### 3. Pulvino

Le armature nella sezione di mezzeria sono costituite da

- 20Φ30 inferiori
- 20Φ30 + 20Φ30 + 20Φ30 superiori
- Staffe Φ16/10 4 bracci

Verifica C.A. S.L.U. - File: SLE-MEZZ.

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

Titolo : \_\_\_\_\_

N° figure elementari  Zoom N° strati barre  Zoom

| N° | b [cm] | h [cm] |
|----|--------|--------|
| 1  | 350    | 200    |

| N° | As [cm²] | d [cm] |
|----|----------|--------|
| 1  | 140      | 8.6    |
| 2  | 140      | 181.4  |
| 3  | 140      | 191.4  |
| 4  | 140      | 171.4  |

Sollecitazioni

S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub>   kN

M<sub>xEd</sub>   kNm

M<sub>yEd</sub>

P.to applicazione N

Centro  Baricentro cls

Coord.[cm] xN  yN

Tipo rottura

Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

M<sub>xRd</sub>  kN m

σ<sub>c</sub>  N/mm<sup>2</sup>

σ<sub>s</sub>  N/mm<sup>2</sup>

ε<sub>c</sub>  ‰

ε<sub>s</sub>  ‰

d  cm

x  x/d  δ

Tipo Sezione

Rettan.re  Trapezi

a T  Circolare

Rettangoli  Coord.

Metodo di calcolo

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

Metodo n

Tipo flessione

Retta  Deviata

N° rett.

Calcola MRd Dominio M-N

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

Precompresso

Materiali

B450C C32/40

ε<sub>su</sub>  ‰ ε<sub>c2</sub>  ‰

f<sub>yd</sub>  N/mm<sup>2</sup> ε<sub>cu</sub>  ‰

E<sub>s</sub>  N/mm<sup>2</sup> f<sub>cd</sub>  ‰

E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub>  f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub>  ?

ε<sub>syd</sub>  ‰ σ<sub>c,adm</sub>  ‰

σ<sub>s,adm</sub>  N/mm<sup>2</sup> τ<sub>co</sub>  ‰

τ<sub>c1</sub>  ‰

Verifica armatura longitudinale Pulvino – sezione di attacco con il fusto – SLU



| SLU                     |               | SLE - R                   |              | SLE - F                             |               | SLE - QP                            |               |
|-------------------------|---------------|---------------------------|--------------|-------------------------------------|---------------|-------------------------------------|---------------|
| SLU                     |               | SLE                       |              | SLE                                 |               | SLE                                 |               |
| MEd                     | 23074.7 [kNm] | MEk                       | 17418 [kNm]  | MEk                                 | 14369.5 [kNm] | MEk                                 | 10297.4 [kNm] |
| NEd                     | 0.00 [kN]     | NEk                       | 0 [kN]       | NEk                                 | 0 [kN]        | NEk                                 | 0 [kN]        |
| VEd                     | 9666.30 [kN]  | <b>tensioni e fessure</b> |              | <b>tensioni e fessure</b>           |               | <b>tensioni e fessure</b>           |               |
| <b>presso-flessione</b> |               | Mdec                      | 0.0 [kNm]    | Mdec                                | 0.0 [kNm]     | Mdec                                | 0.0 [kNm]     |
| MRd                     | 29670.4 [kNm] | Mcr                       | 7955.8 [kNm] | Mcr                                 | 7955.8 [kNm]  | Mcr                                 | 7955.8 [kNm]  |
| FS                      | 1.29          |                           |              |                                     |               |                                     |               |
|                         |               | yn                        | -37.47 [cm]  | yn                                  | -37.47 [cm]   | yn                                  | -37.47 [cm]   |
|                         |               | $\sigma_{c,min}$          | -8.1 [MPa]   | $\sigma_{c,min}$                    | -6.7 [MPa]    | $\sigma_{c,min}$                    | -4.8 [MPa]    |
|                         |               | $\sigma_{s,min}$          | -104.3 [MPa] | $\sigma_{s,min}$                    | -86.0 [MPa]   | $\sigma_{s,min}$                    | -61.7 [MPa]   |
|                         |               | $\sigma_{s,max}$          | 249.2 [MPa]  | $\sigma_{s,max}$                    | 205.6 [MPa]   | $\sigma_{s,max}$                    | 147.3 [MPa]   |
|                         |               |                           |              |                                     |               |                                     |               |
|                         |               |                           |              | $k_2$                               | 0.5           | $k_2$                               | 0.5           |
|                         |               |                           |              | $\varepsilon_{sm}-\varepsilon_{cm}$ | 0.76 [%]      | $\varepsilon_{sm}-\varepsilon_{cm}$ | 0.47 [%]      |
|                         |               |                           |              | $S_{r,max}$                         | 38.4 [cm]     | $S_{r,max}$                         | 38.4 [cm]     |
|                         |               |                           |              | $W_k$                               | 0.293 [mm]    | $W_k$                               | 0.181 [mm]    |

**verifica a taglio di una sezione rettangolare**

secondo EN 1992-1-1:2004:E

**geometria**

**sezione trasversale**

|                                  |   |   |       |    |
|----------------------------------|---|---|-------|----|
| base                             | B | = | 350   | cm |
| altezza                          | H | = | 200   | cm |
| copriferro (asse armatura long.) | c | = | 11.9  | cm |
| altezza utile                    | d | = | 188   | cm |
| braccio coppia interna           | z | = | 169.3 | cm |

**armatura a taglio**

|                |          |   |      |                 |
|----------------|----------|---|------|-----------------|
| numero braccia | n        | = | 4    |                 |
| diametro       | $\phi$   | = | 16   | mm              |
| passo          | s        | = | 10   | cm              |
| inclinazione   | $\alpha$ | = | 90   | °               |
| area           | $A_{sw}$ | = | 8.04 | cm <sup>2</sup> |

**armatura longitudinale tesa**

|              |          |   |       |                 |
|--------------|----------|---|-------|-----------------|
| numero barre | $n_1$    | = | 20    |                 |
| diametro     | $\phi_1$ | = | 30    | mm              |
| numero barre | $n_2$    | = | 40    |                 |
| diametro     | $\phi_2$ | = | 30    | mm              |
| area totale  | $A_{sl}$ | = | 424.1 | cm <sup>2</sup> |

**materiali**

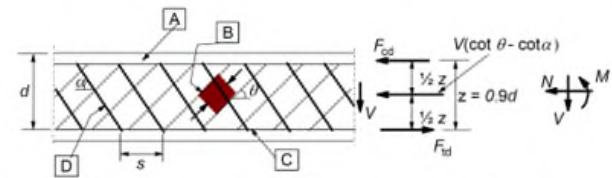
**calcestruzzo**

|  |               |   |       |     |
|--|---------------|---|-------|-----|
| 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 |

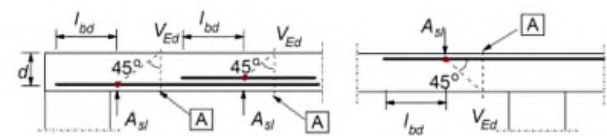
**acciaio**

|                                    |            |   |       |     |
|------------------------------------|------------|---|-------|-----|
| 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**

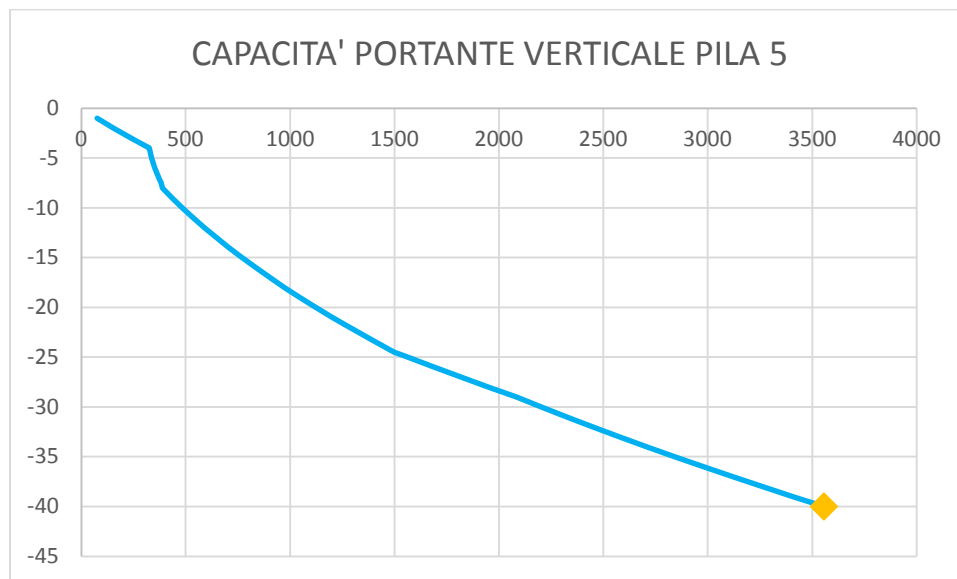
|                                  |             |   |         |         |
|----------------------------------|-------------|---|---------|---------|
| taglio                           | $V_{Ed}$    | = | 9666.3  | kN      |
| azione assiale                   | $N_{Ed}$    | = | 0       | kN      |
| resistenza elemento non armato   | $V_{Rdc}$   | = | 2907.7  | kN      |
| resistenza armatura a taglio     | $V_{Rds}$   | = | 10454.3 | kN      |
| resistenza bielle calcestruzzo   | $V_{Rdmax}$ | = | 23457.7 | kN      |
| inclinazione bielle calcestruzzo | $\theta$    | = | 27.0    | °       |
| sezione                          |             |   |         | duttile |
| traslazione armatura long.       | a_l         | = | 166.1   | cm      |

Verifica armatura trasversale Pulvino - sezione di attacco con il fusto

## 11.4 VERIFICHE PALI DI FONDAZIONE

I pali di fondazione sono realizzati in calcestruzzo armato, con un diametro pari a 1000mm. Di seguito si riportano le verifiche per la capacità portante in direzione verticale e trasversale. Le verifiche sono state condotte in accordo con NTC2018.

Per quanto riguarda la capacità portante verticale, il valore dell'azione agente su palo più sollecitato risulta essere pari a 3392.8 kN. Pertanto, si utilizzano pali di lunghezza pari a 40.00m la cui capacità portante verticale è maggiore di quella agente, e pari a 3554.93 kN.



Capacità portante verticale pali

**AURELIA BIS**PALI DI FONDAZIONE PILA 5Calcolo del carico trasversale limite**Terreni incoerenti (Broms 1964)**DATI GEOMETRICI:

|                       |                       |      |      |
|-----------------------|-----------------------|------|------|
| Lunghezza del palo    | L                     | 40   | [m]  |
| Diametro del palo     | D <sub>palo</sub>     | 1    | [m]  |
| Diametro del tubolare | D <sub>tubolare</sub> | 1000 | [mm] |

|                             |                |        |       |
|-----------------------------|----------------|--------|-------|
| Momento di plasticizzazione | M <sub>y</sub> | 2122.0 | [kNm] |
|-----------------------------|----------------|--------|-------|

DATI GEOTECNICI:

|                                       |                       |      |                      |
|---------------------------------------|-----------------------|------|----------------------|
| Peso per unità di volume              | γ'                    | 9    | [kN/m <sup>3</sup> ] |
| Angolo attrito medio                  | φ <sub>medio</sub>    | 24   | [°]                  |
| Coefficiente di spinta passiva medio  | k <sub>p,medio</sub>  | 2.37 | [-]                  |
| Angolo attrito minimo                 | φ <sub>minimo</sub>   | 23   | [°]                  |
| Coefficiente di spinta passiva minimo | k <sub>p,minimo</sub> | 2.29 | [-]                  |

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>  | 51192.0 | [kN] |
| H <sub>1,minimo</sub> | 49464.0 | [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>  | 17117.1 | [kN] |
| H <sub>2,minimo</sub> | 16541.1 | [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>  | 1090.8 | [kN] |
| H <sub>3,minimo</sub> | 1078.4 | [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>  | 1090.8 | [kN] | <b>PALO</b>  |
| H <sub>minimo</sub> | 1078.4 | [kN] | <b>LUNGO</b> |

CARICO TRASVERSALE ULTIMO:

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

|                |       |      |
|----------------|-------|------|
| H <sub>k</sub> | 661.1 | [kN] |
|----------------|-------|------|

$$H_d = H_k / \gamma_T$$

|                |     |     |
|----------------|-----|-----|
| γ <sub>T</sub> | 1.3 | [-] |
|----------------|-----|-----|

|                |       |      |
|----------------|-------|------|
| H <sub>d</sub> | 508.5 | [kN] |
|----------------|-------|------|

|                     |        |      |
|---------------------|--------|------|
| H <sub>agente</sub> | 402.79 | [kN] |
|---------------------|--------|------|

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

Capacità portante trasversale pali

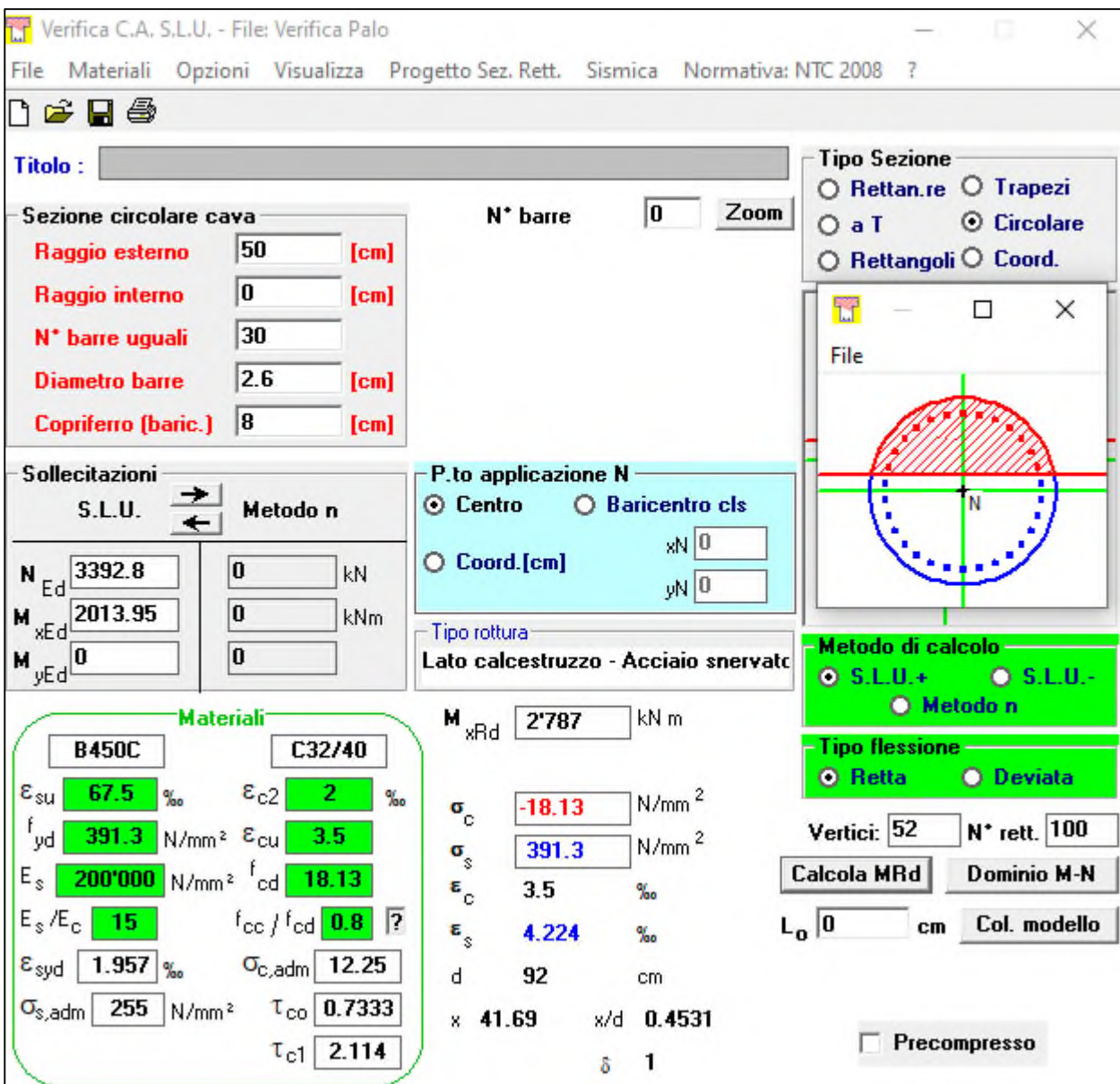
L'armatura dei pali di fondazione è costituita da:

- 30Φ26 armatura longitudinale
- Staffe Φ12/20

Si riportano le massime sollecitazioni agenti sui pali di fondazione

| N [kN] | V [kN] | M [kNm] |
|--------|--------|---------|
| 3392.8 | 402.79 | 2013.95 |

Si riporta di seguito la verifica strutturale dei pali di fondazione.



Verifica strutturale pali di fondazione

**verifica a taglio di una sezione rettangolare**

secondo EN 1992-1-1:2004/E

**geometria**

**sezione trasversale**

|                                  |     |      |    |
|----------------------------------|-----|------|----|
| basse                            | B = | 70.7 | cm |
| altezza                          | H = | 70.7 | cm |
| copriferro (asse armatura long.) | c = | 8    | cm |
| altezza utile                    | d = | 62.7 | cm |
| braccio coppia interna           | z = | 56.4 | cm |

**armatura a taglio**

|                |            |      |                 |
|----------------|------------|------|-----------------|
| numero braccia | n =        | 2    |                 |
| diametro       | $\phi$ =   | 12   | mm              |
| passo          | s =        | 20   | cm              |
| inclinazione   | $\alpha$ = | 90   | °               |
| area           | $A_{sw}$ = | 2.26 | cm <sup>2</sup> |

**armatura longitudinale tesa**

|              |            |      |                 |
|--------------|------------|------|-----------------|
| numero barre | $n_1$ =    | 10   |                 |
| diametro     | $\phi_1$ = | 26   | mm              |
| numero barre | $n_2$ =    | 0    |                 |
| diametro     | $\phi_2$ = | 0    | mm              |
| area totale  | $A_{st}$ = | 53.1 | cm <sup>2</sup> |

**materiali**

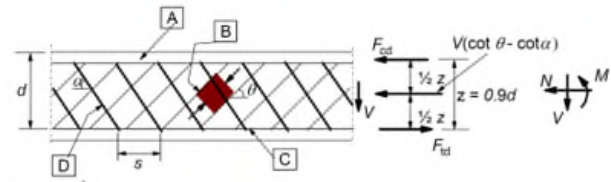
**calcestruzzo**

|  |                 |       |     |
|--|-----------------|-------|-----|
| 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     | $v$ =           | 0.520 |     |
| tensione di calcolo bielle             | $v f_{cd}$ =    | 9.8   | MPa |

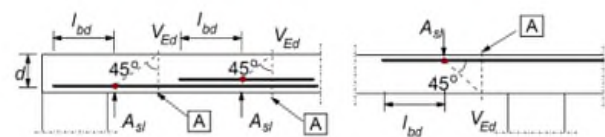
**acciaio**

|                                    |              |       |     |
|------------------------------------|--------------|-------|-----|
| 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                           | $V_{Ed}$ =    | 402.79 | kN      |
| azione assiale                   | $N_{Ed}$ =    | 0      | kN      |
| resistenza elemento non armato   | $V_{Rdc}$ =   | 284.1  | kN      |
| resistenza armatura a taglio     | $V_{Rds}$ =   | 624.3  | kN      |
| resistenza bielle calcestruzzo   | $V_{Rdmax}$ = | 1346.7 | kN      |
| inclinazione bielle calcestruzzo | $\theta$ =    | 21.8   | °       |
| sezione                          |               |        | duttile |
| traslazione armatura long.       | al =          | 70.5   | cm      |

Verifica a taglio pali di fondazione



## 12. VERIFICA PILA 6

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 e di tipo *beam*.

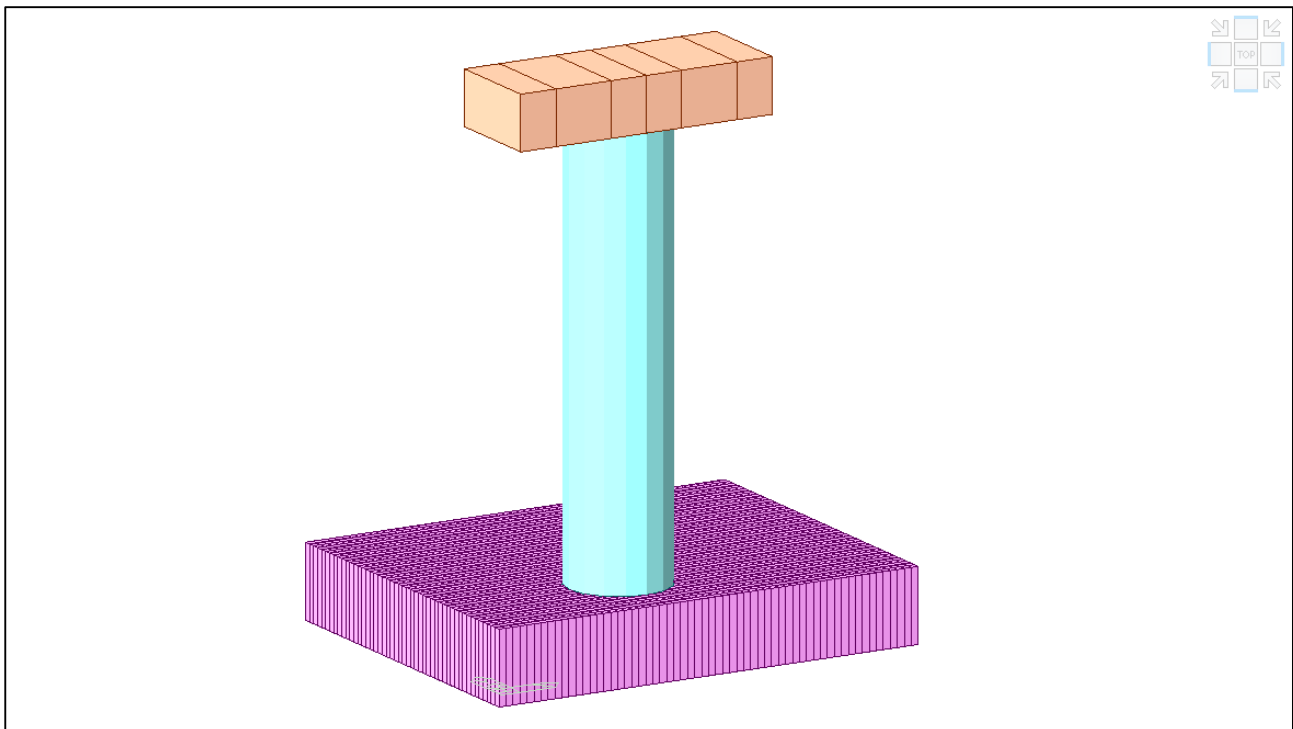
Nei successivi paragrafi sono descritte in dettaglio tutte le ipotesi poste alla base delle analisi sviluppate.

### 12.1 DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO

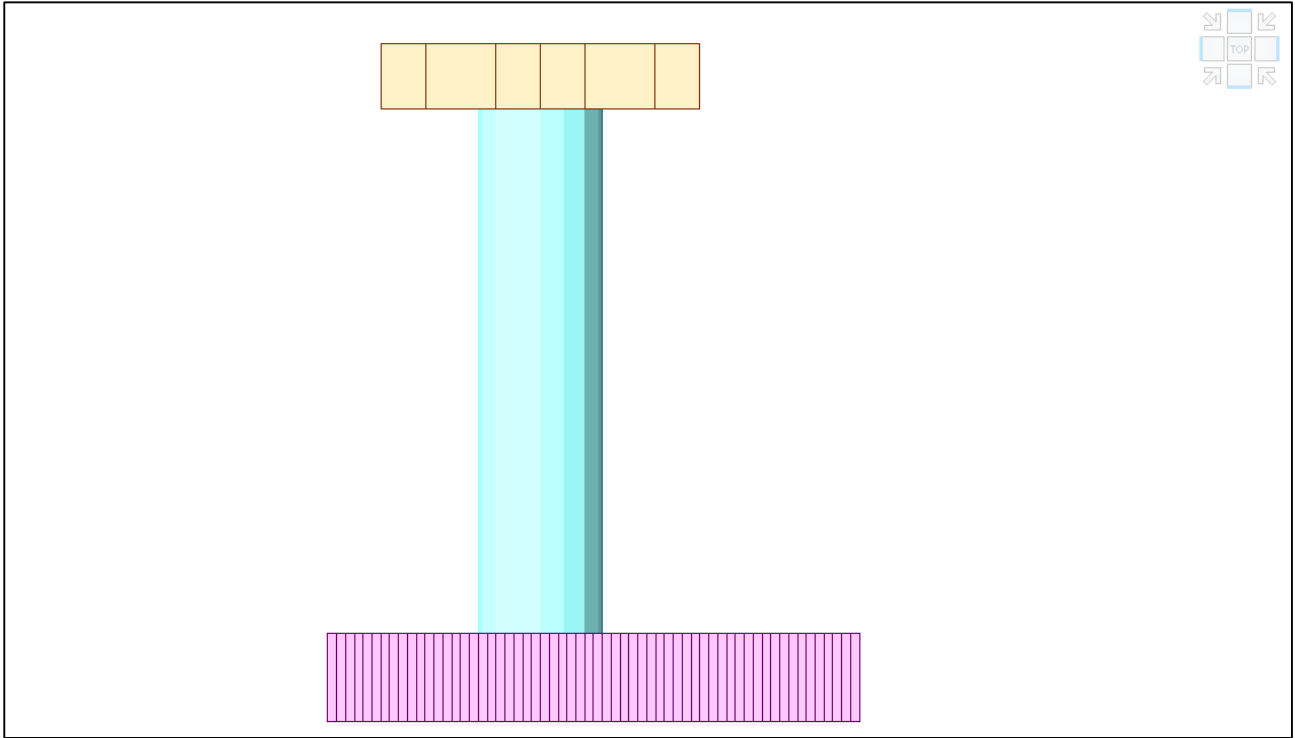
#### 12.1.1 GEOMETRIA DEL MODELLO

La pila presenta una platea di fondazione di dimensione 12m x 15m e spessore 2.5m. Il fusto ha raggio pari a 175 cm mentre i pulvini hanno una base pari a 350cm, la sezione presenta una altezza variabile pari a 200cm in mezzeria e pari a 50cm agli estremi. Per questa pila si è dovuto ricorrere ad una platea asimmetrica per evitare l'interferenza con il Rio Scuro esistente.

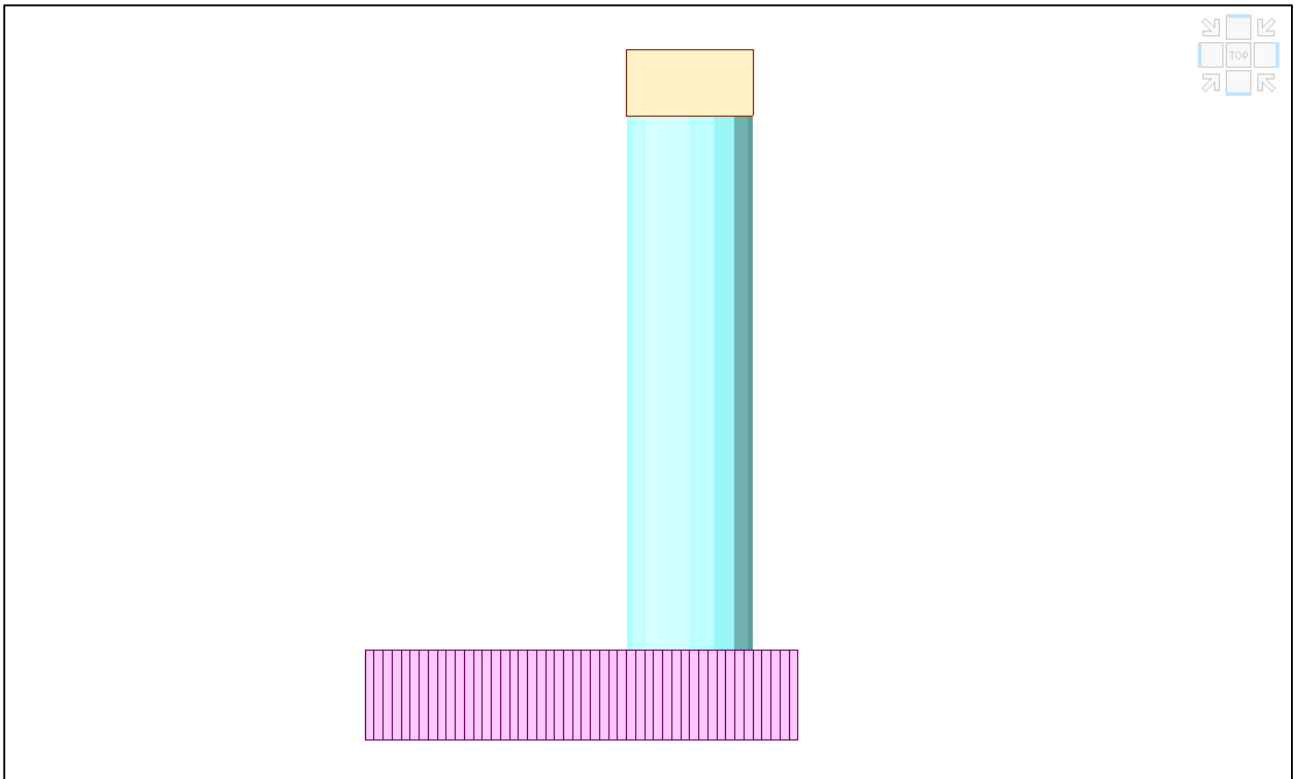
E' stato sviluppato un modello globale della struttura di tipo lineare. I vari elementi sono stati schematizzati assumendo diverse caratteristiche geometriche per le varie sezioni previste.



Modello FEM - Vista 1 – Pila 6

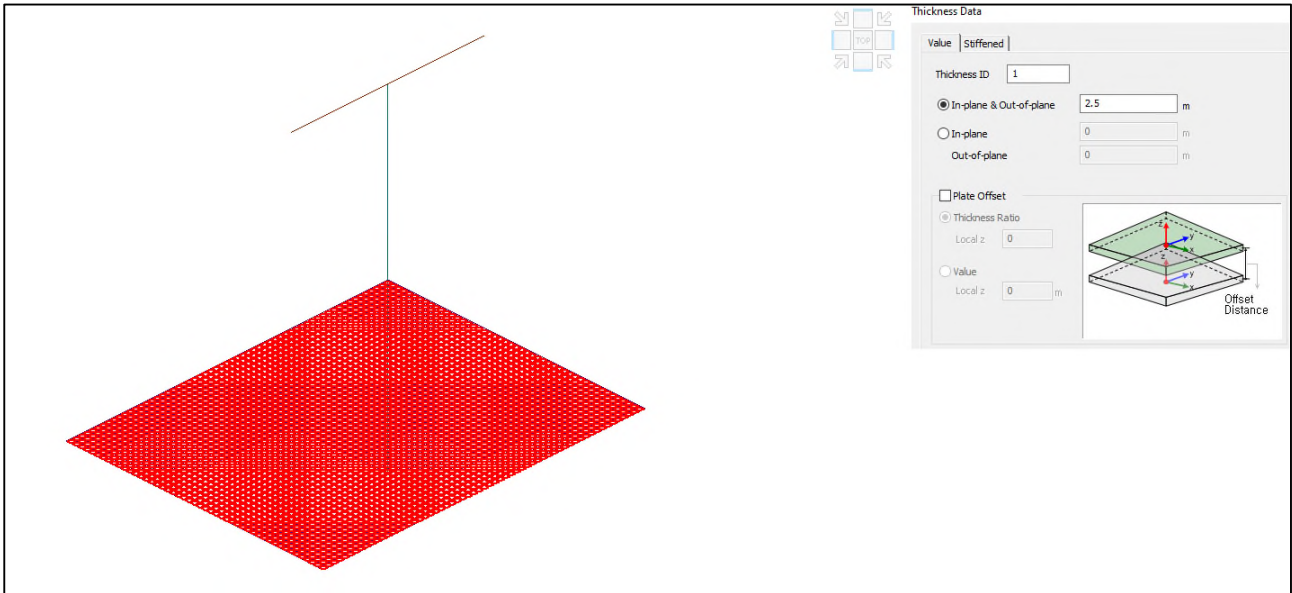


Modello FEM - Vista 2 – Pila 6

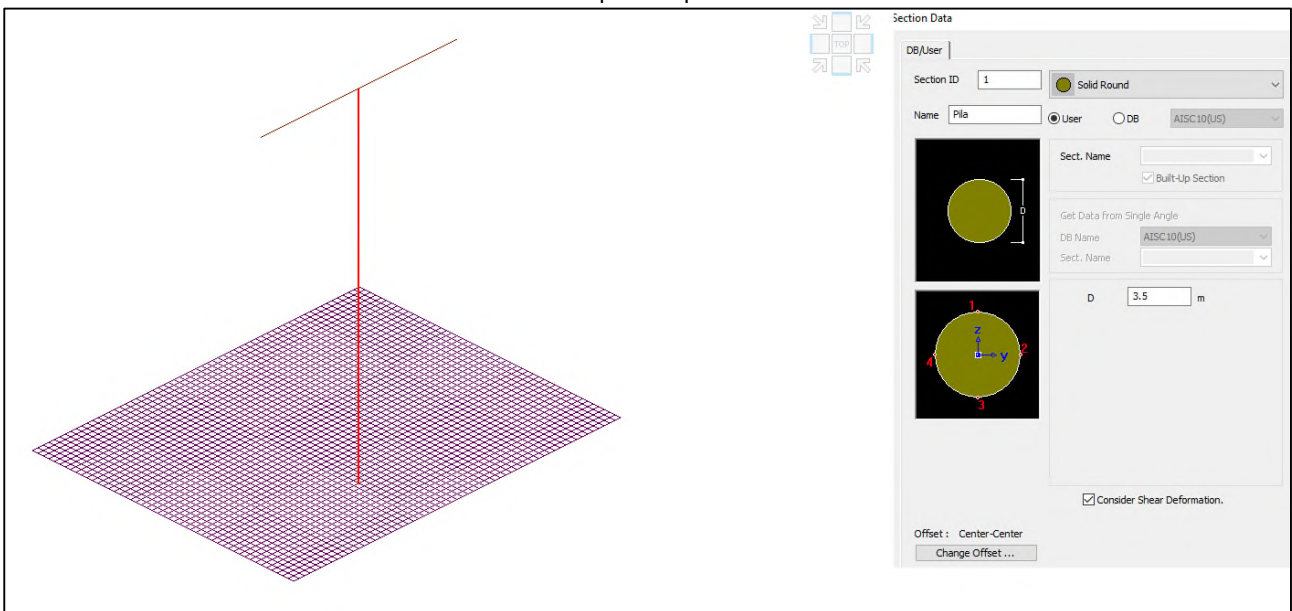


Modello FEM - Vista 3 – Pila 6

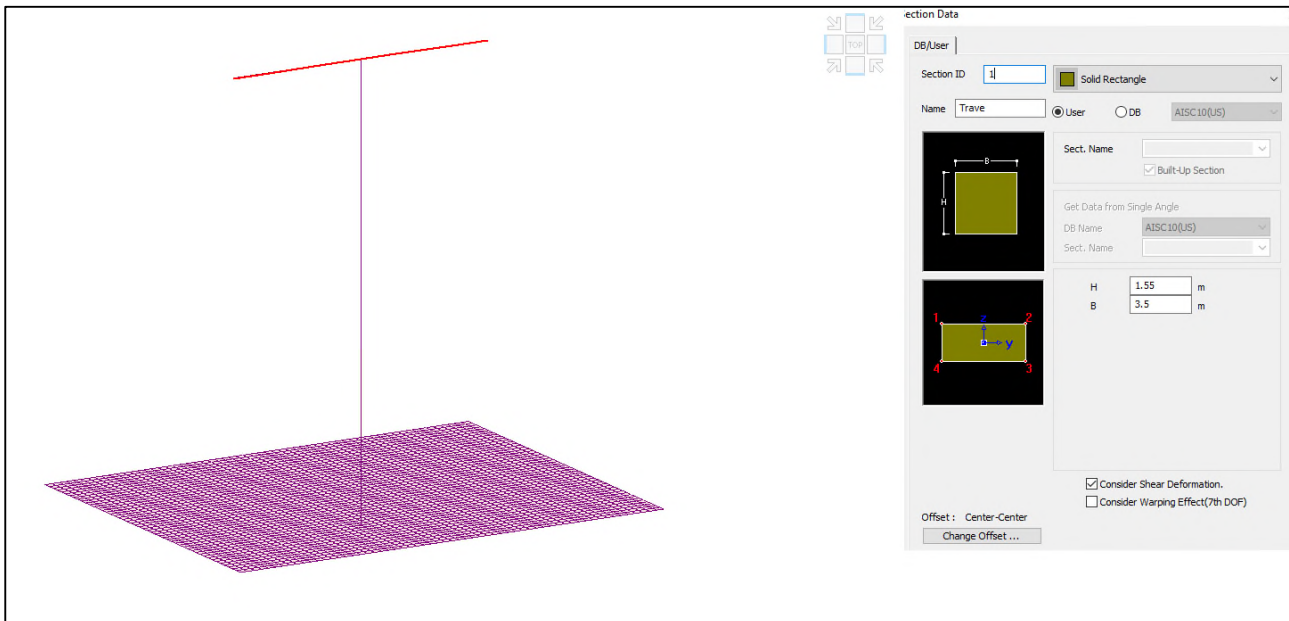
Per quanto riguarda il Pulvino, avendo un'altezza variabile da 200 cm a 50 cm, è stata considerata un'altezza equivalente pari a 1.85m che garantisce lo stesso peso proprio.



Modello FEM – Identificazione platea spessore 2.50m in calcestruzzo C25/30



Modello FEM – Identificazione pila di diametro 3.50m in calcestruzzo C32/40

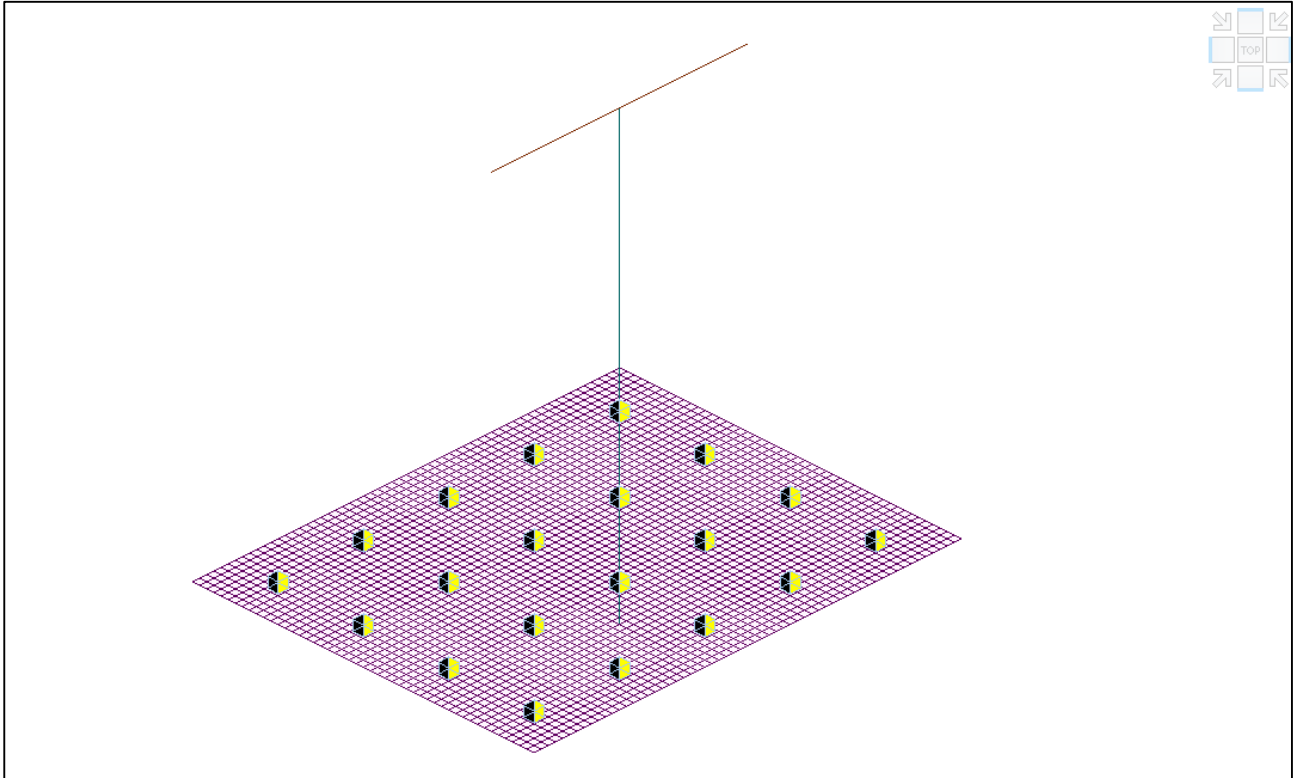


Modello FEM – Identificazione pulvino di altezza variabile pari a 200cm in mezzeria e pari a 50cm agli estremi in calcestruzzo C32/40

### 12.1.2 VINCOLI

La struttura risulta vincolata a terra mediante Point Spring applicate in corrispondenza dei pali. I valori delle costanti verticali ed orizzontali, che simulano la presenza del palo, sono gli stessi di quelli calcolati per la Spalla B.

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

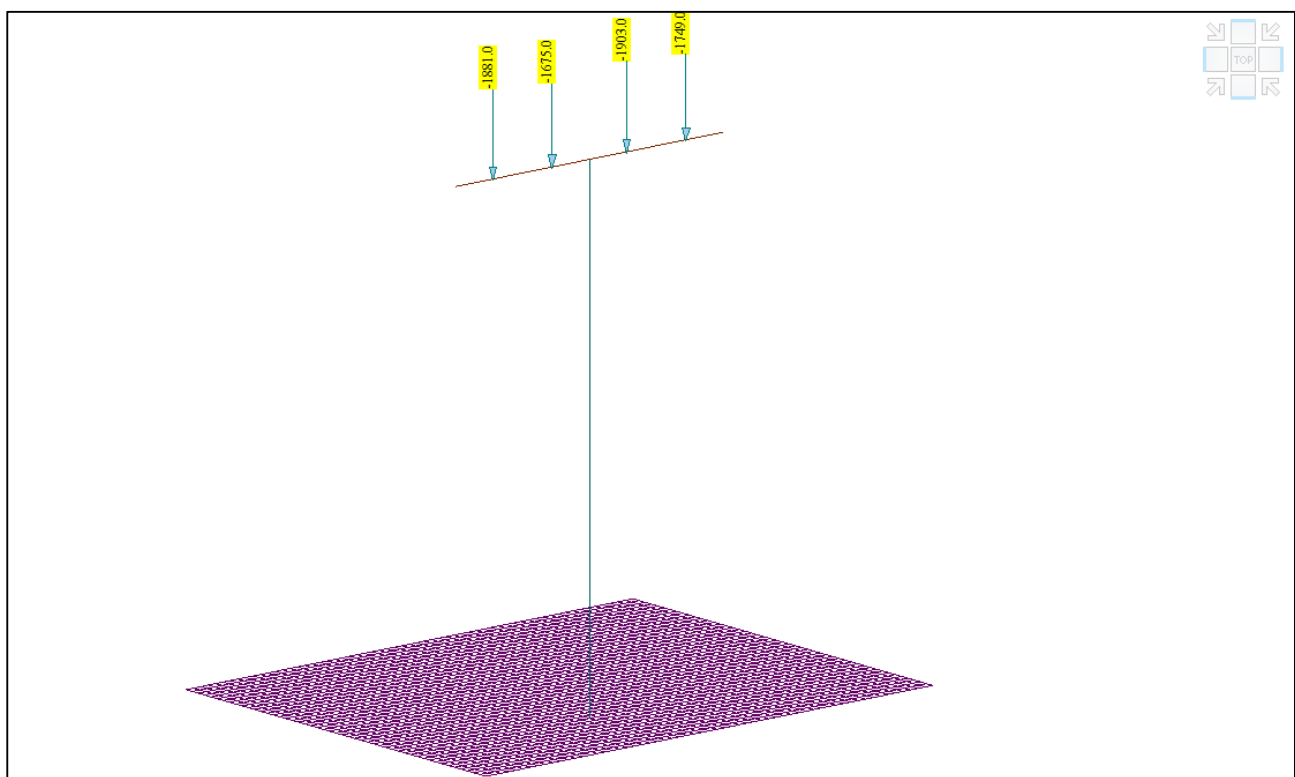


Modello FEM – Identificazione vincoli in corrispondenza dei pali

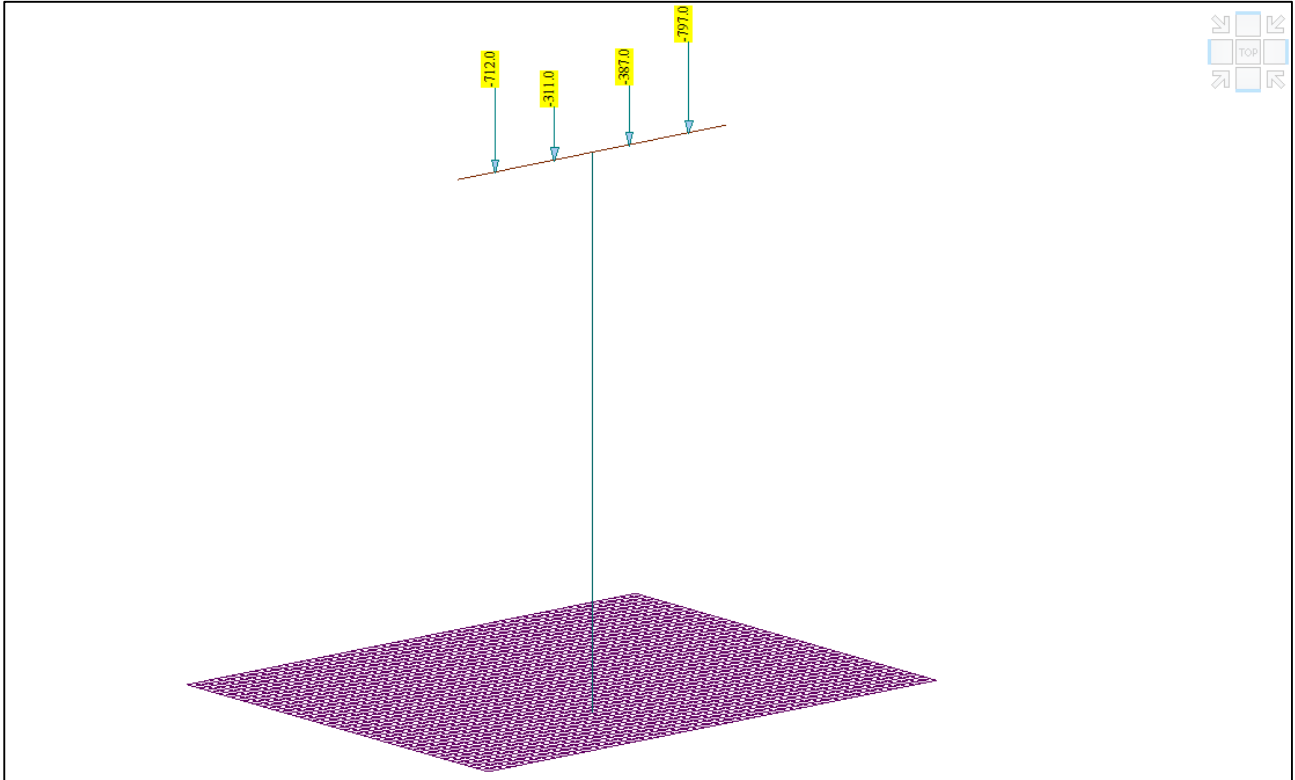
### 12.1.3 CONDIZIONI DI CARICO STATICO

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 pila. I carichi orizzontali derivanti dall’impalcato sono stati applicati in modo da massimizzare l’effetto ribaltante della pila; in questo modo vengono massimizzate le sollecitazioni dei pali.

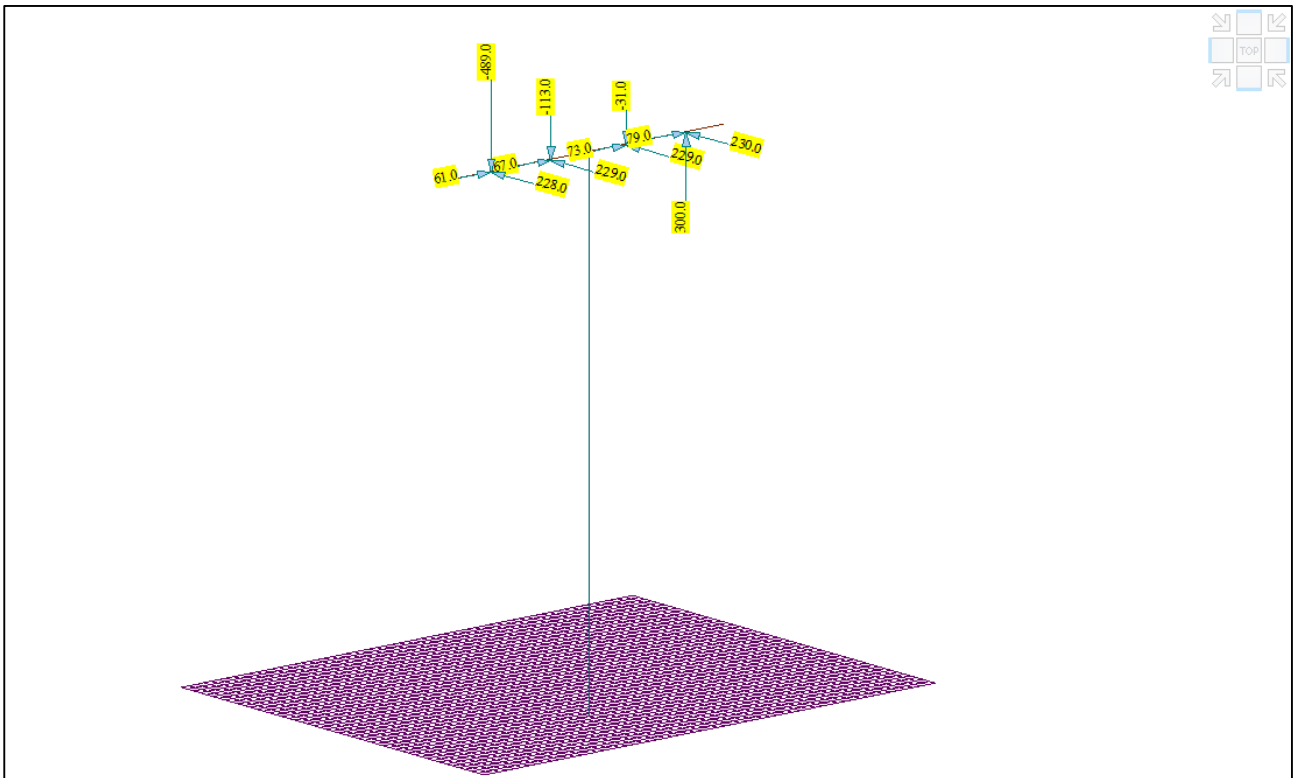
Il peso proprio della spalla genera delle azioni che sono calcolate in automatico dal software ad elementi finiti.



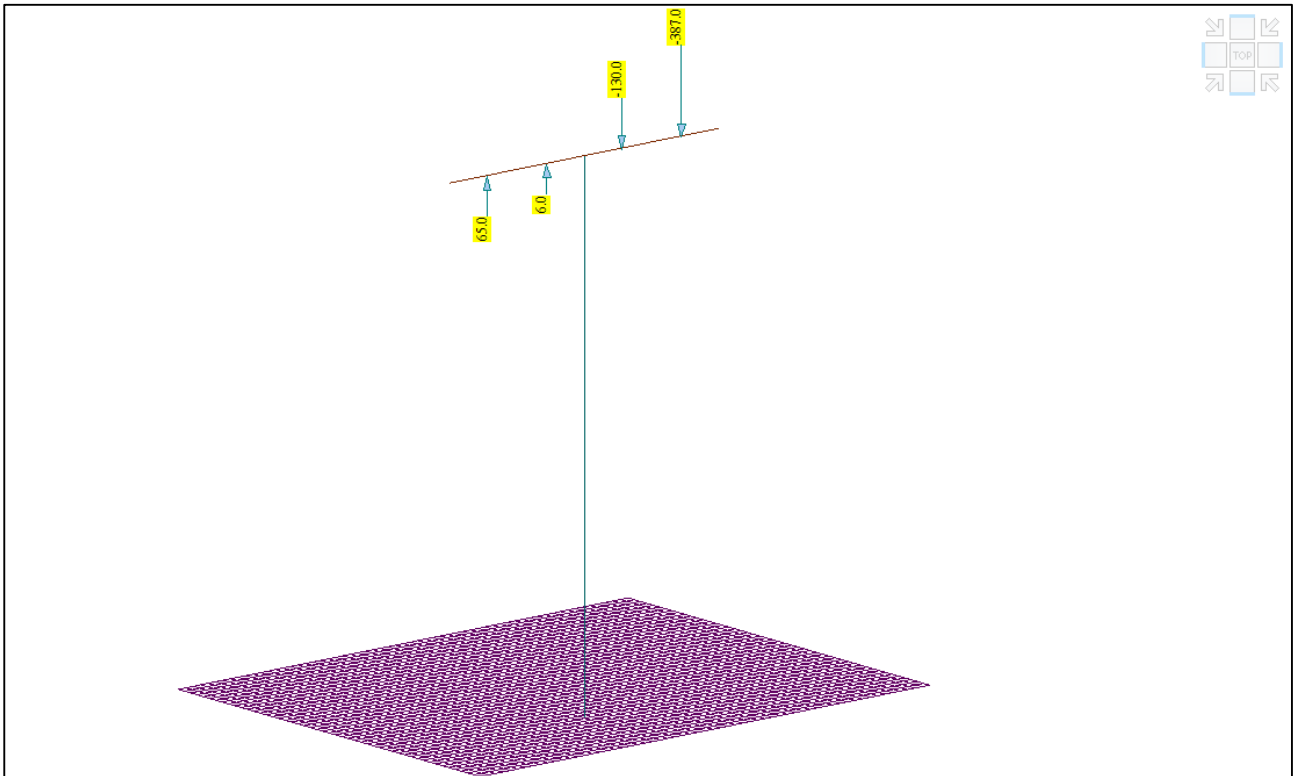
Modello FEM – Condizione di carico Peso proprio impalcato



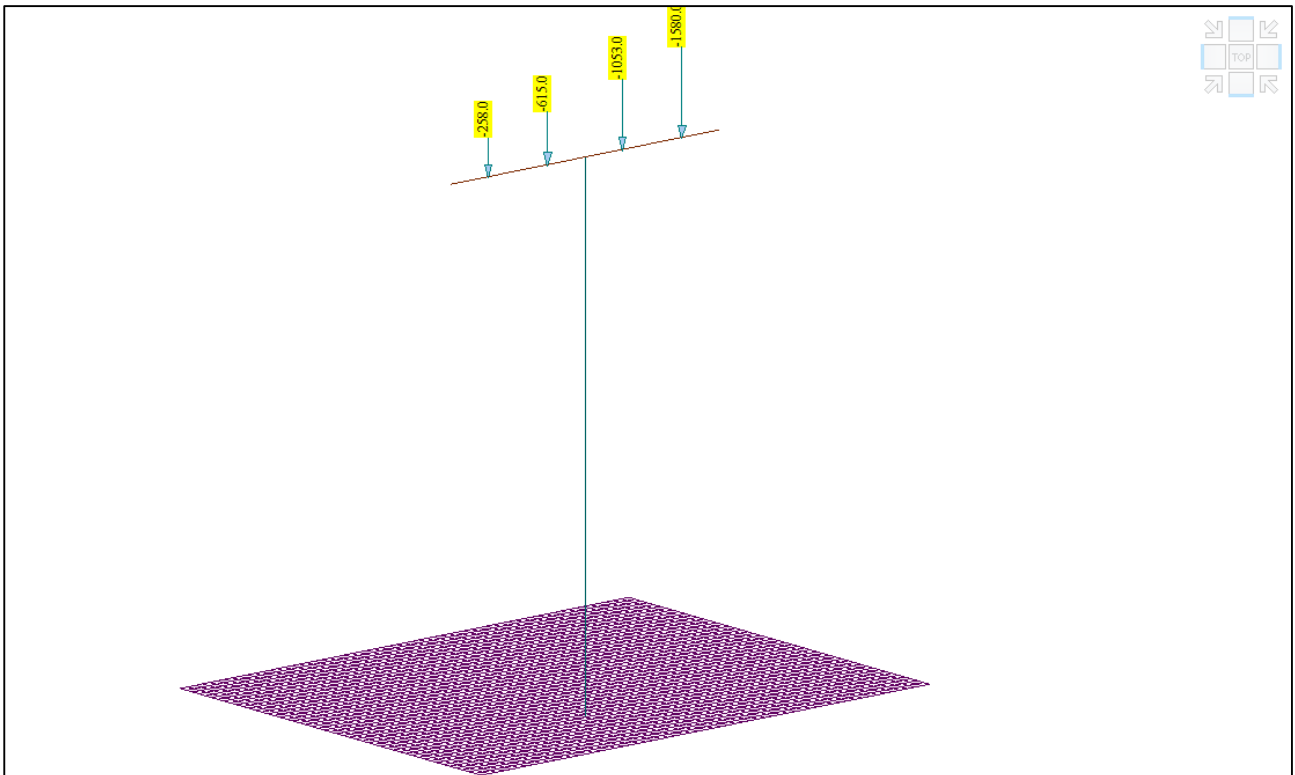
Modello FEM – Condizione di carico Permanente



Modello FEM – Condizione di carico Ritiro

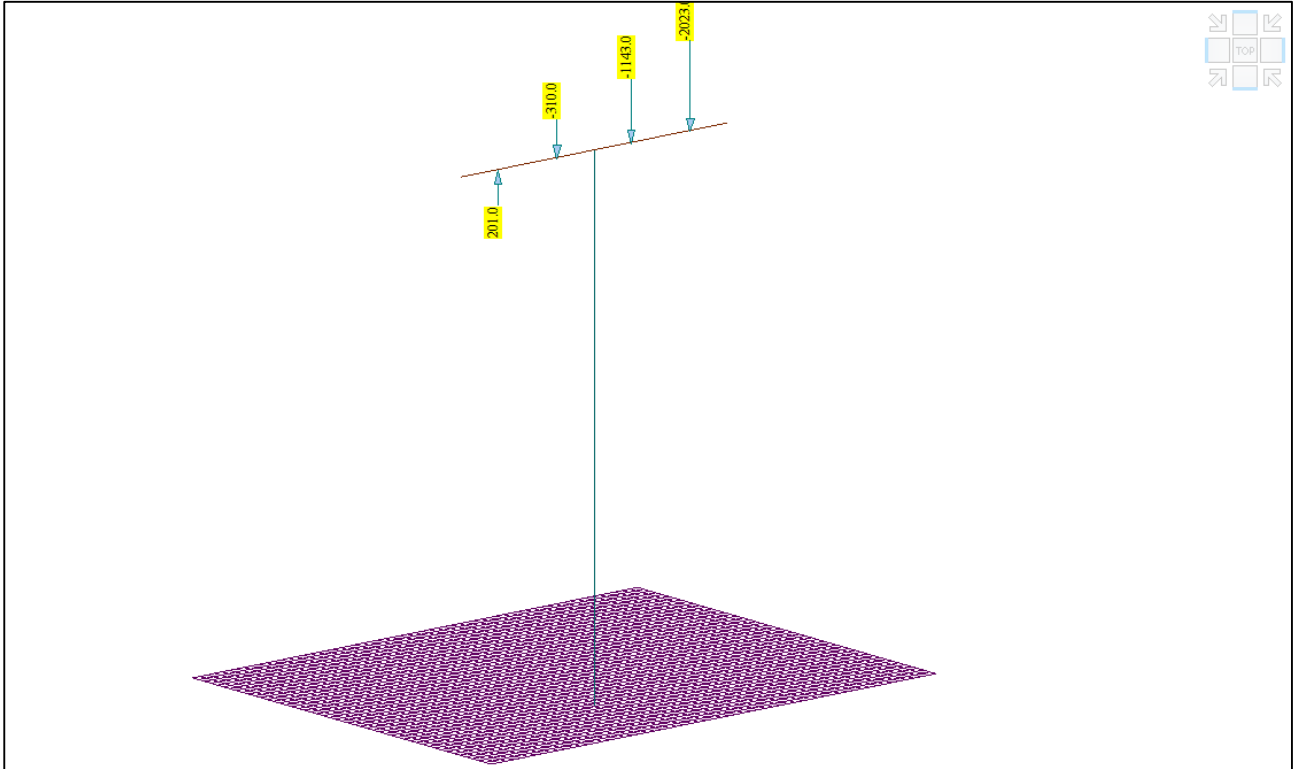


Modello FEM – Condizione di carico DistrA4

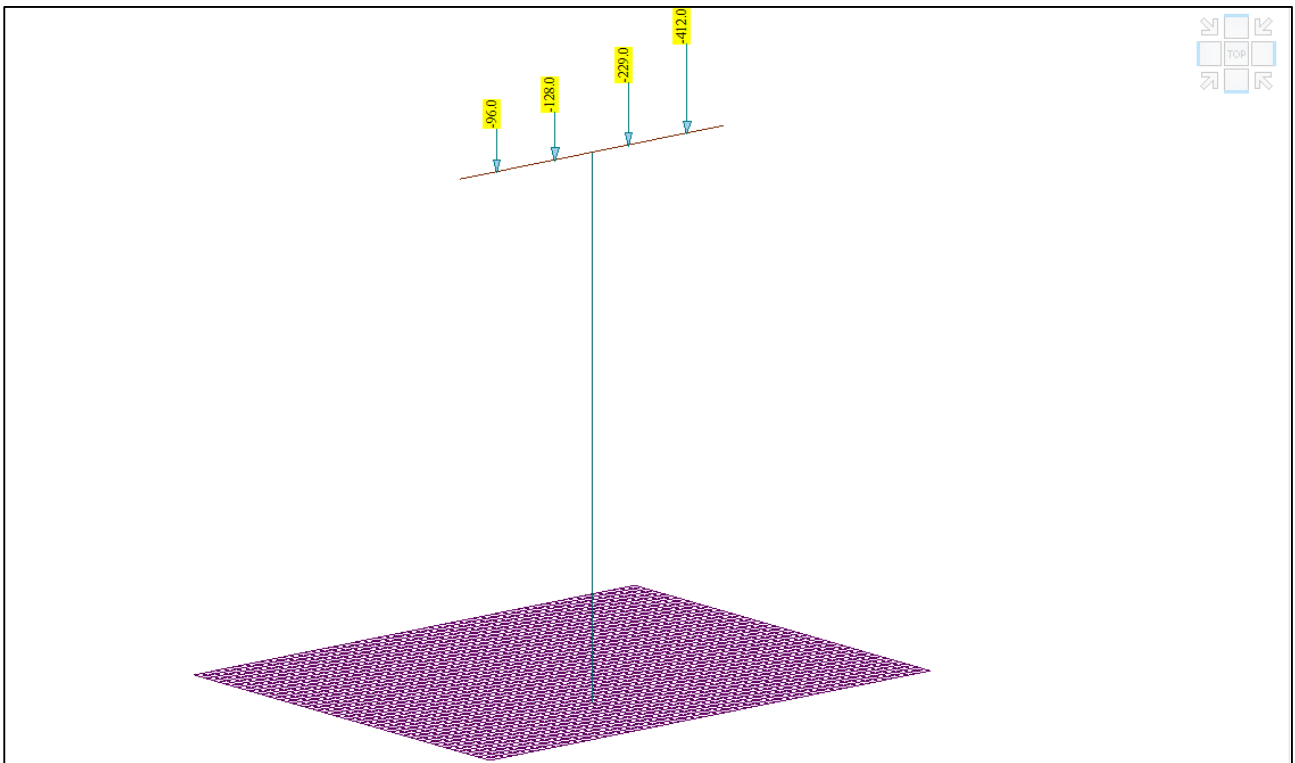


Modello FEM – Condizione di carico DistrD8

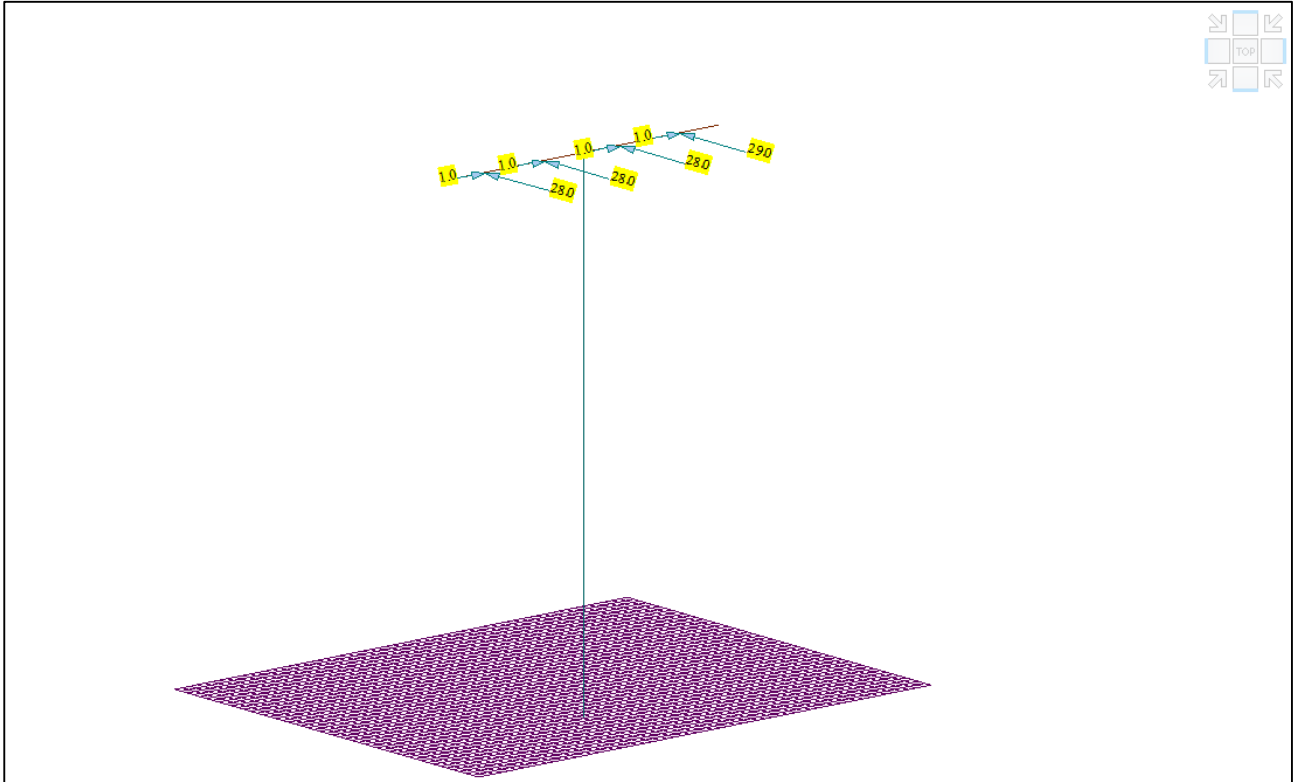




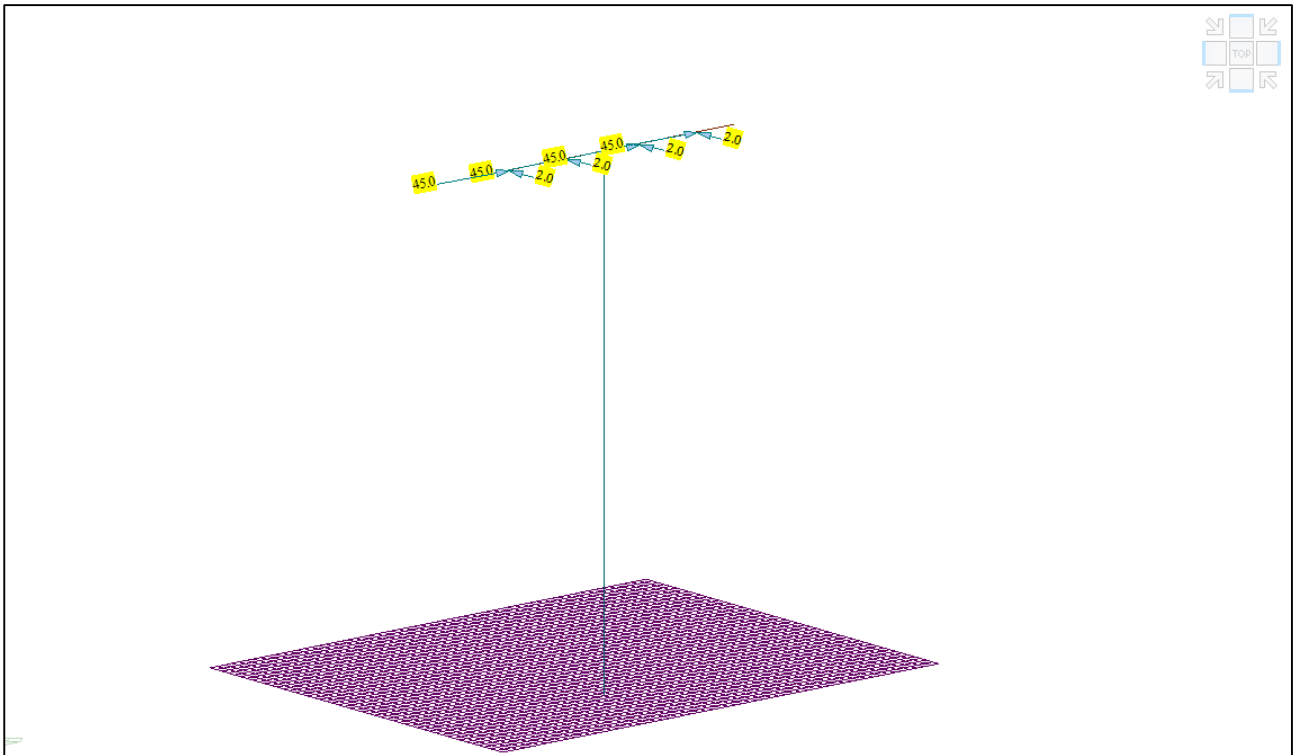
Modello FEM – Condizione di carico DistrB1



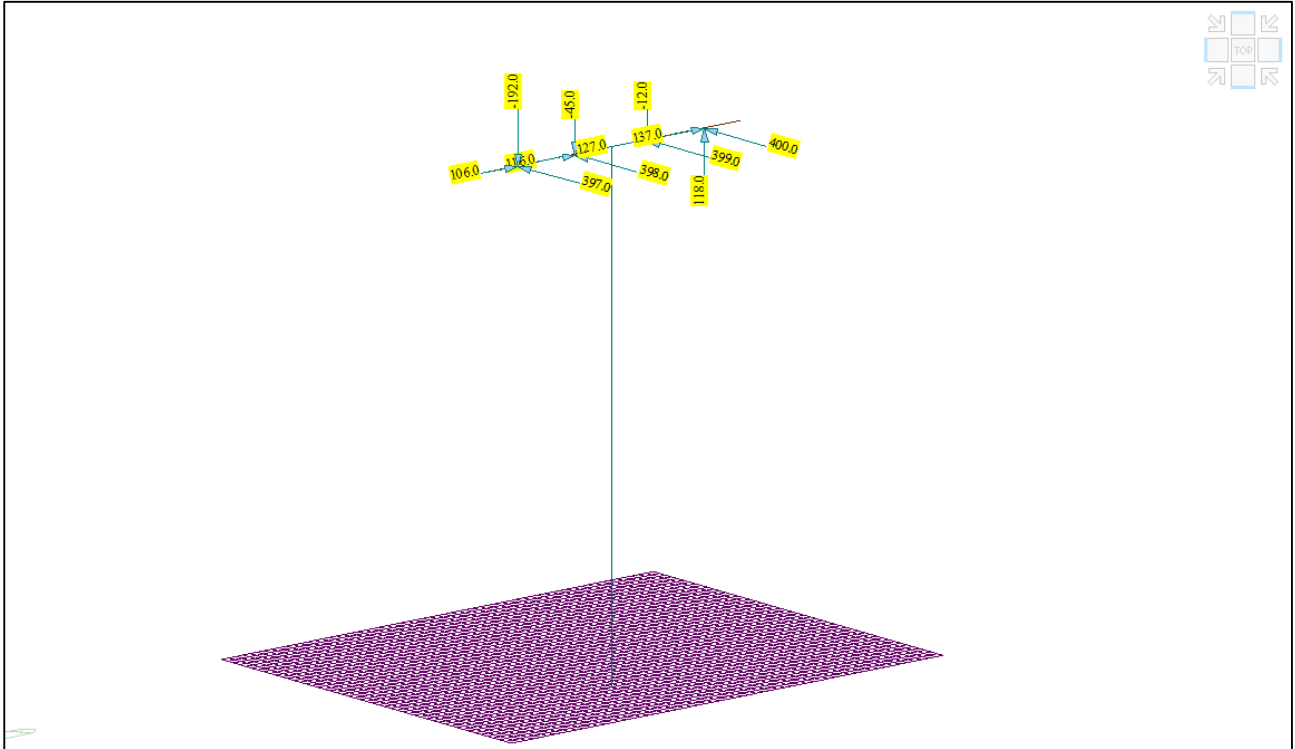
Modello FEM – Condizione di carico DistrD4



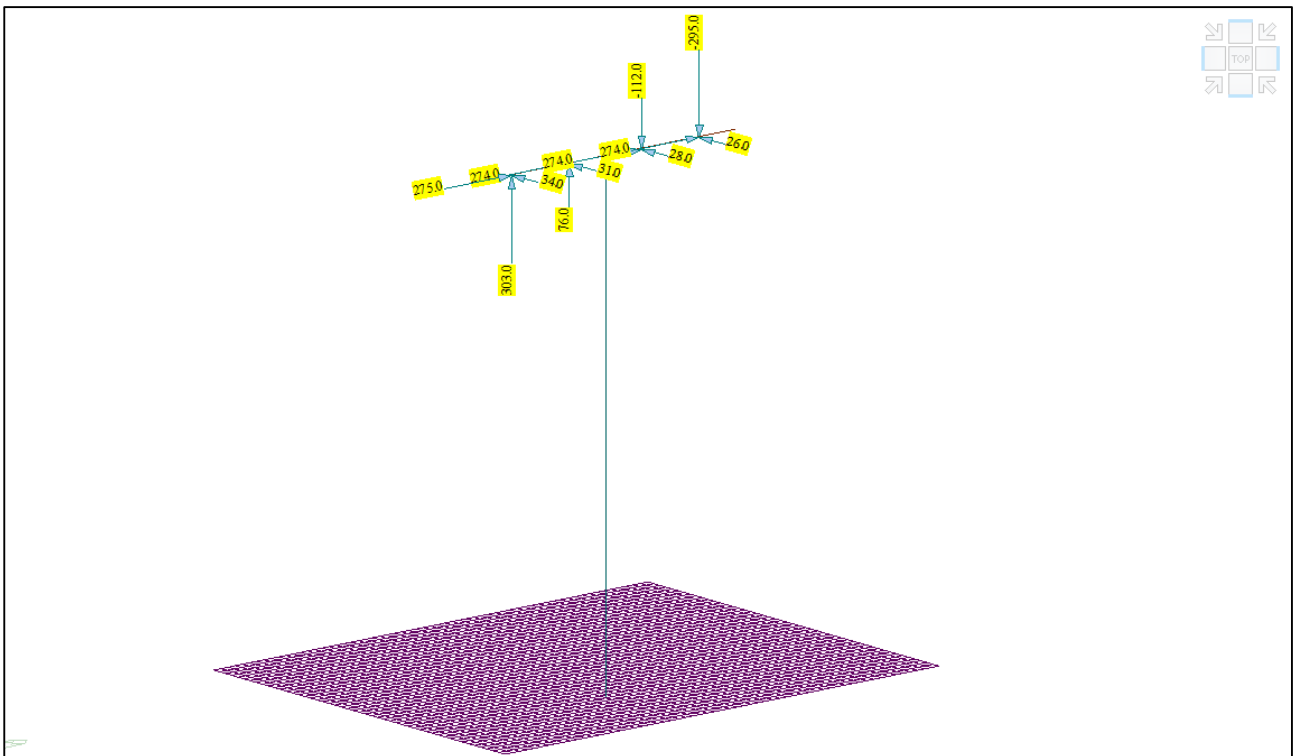
Modello FEM – Condizione di carico Frenamento



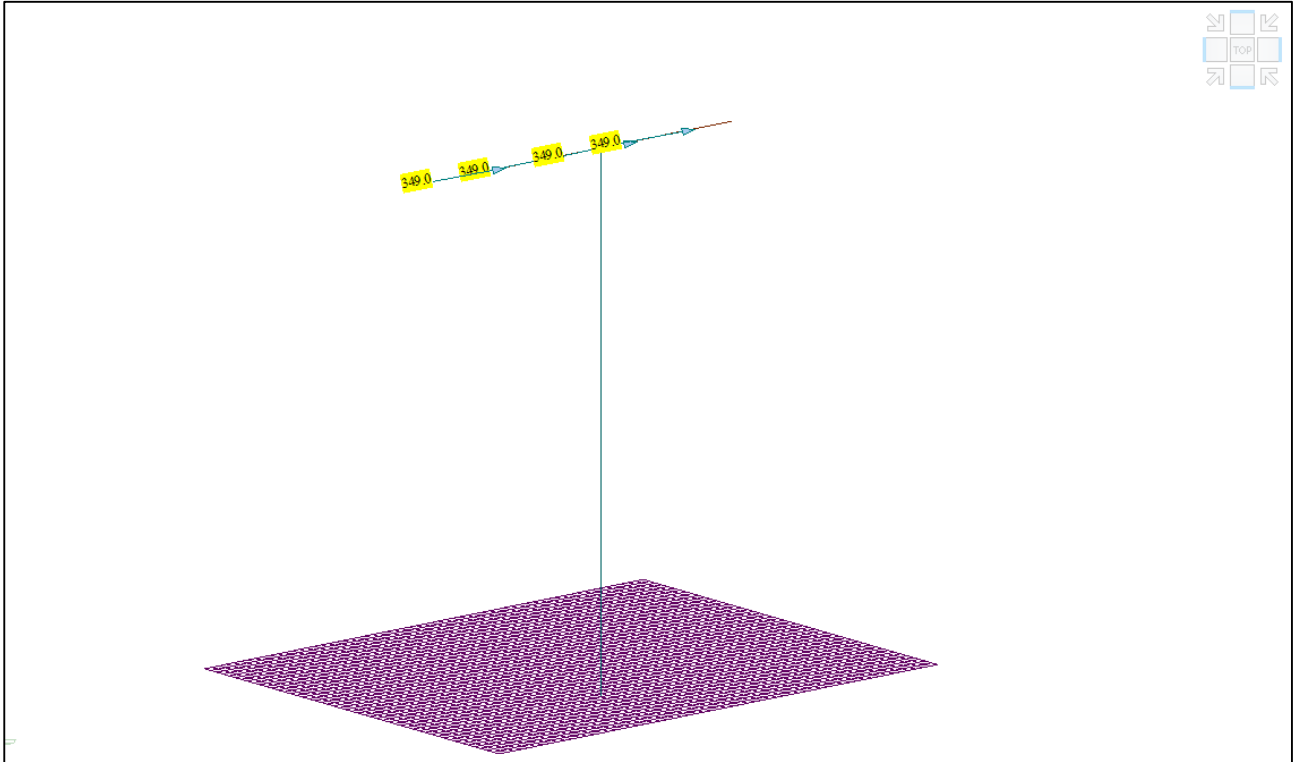
Modello FEM – Condizione di carico Centrifuga



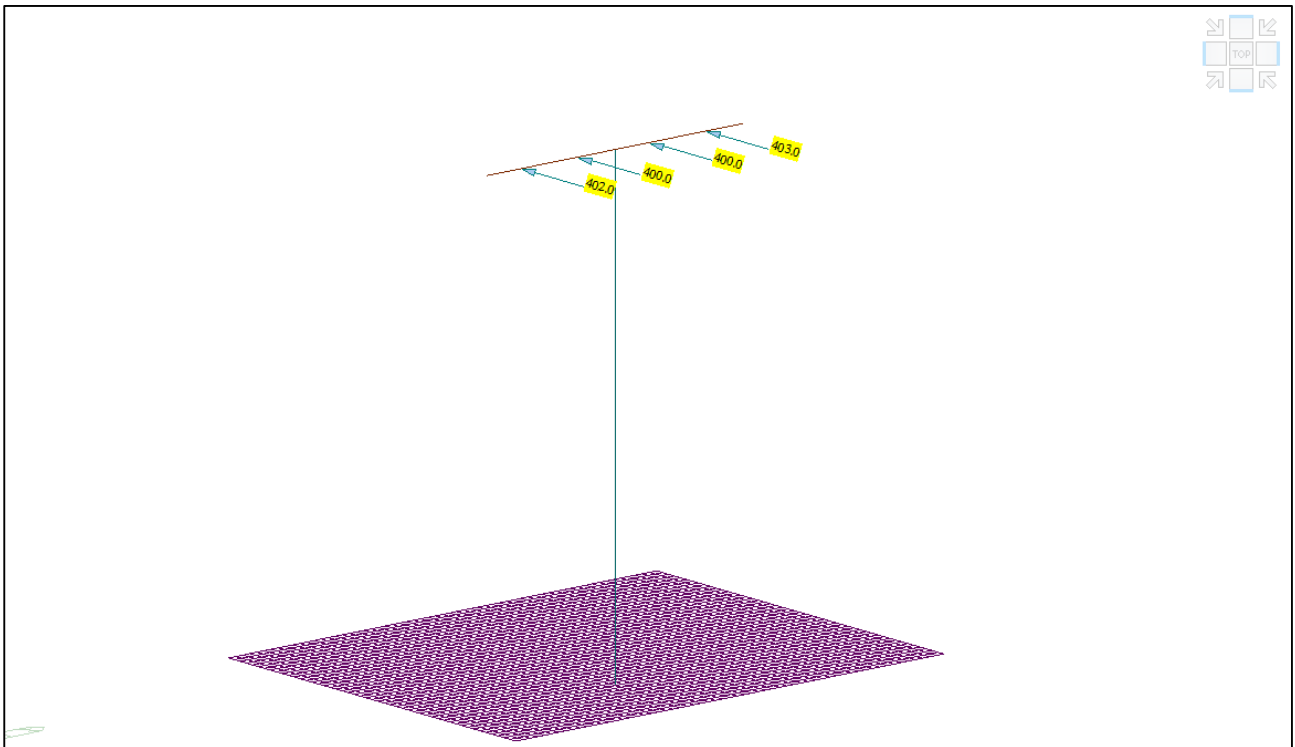
Modello FEM – Condizione di carico Termico



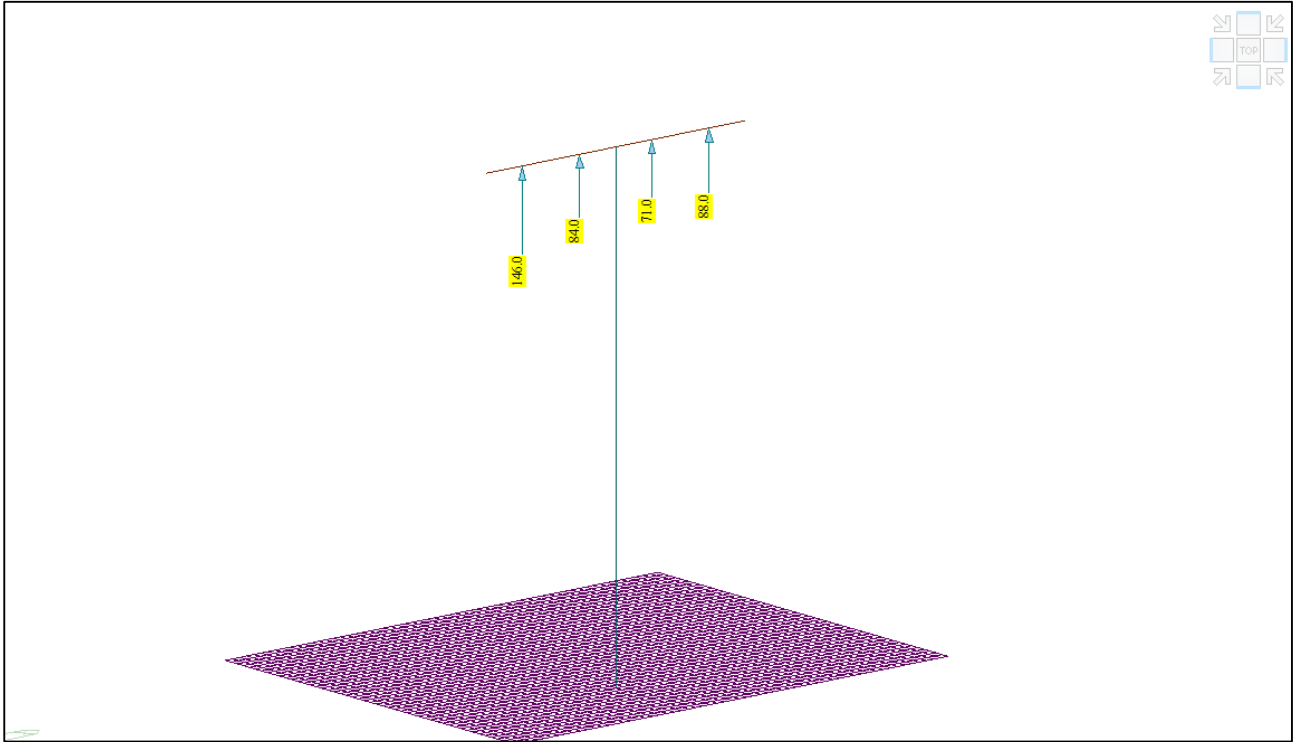
Modello FEM – Condizione di carico Vento



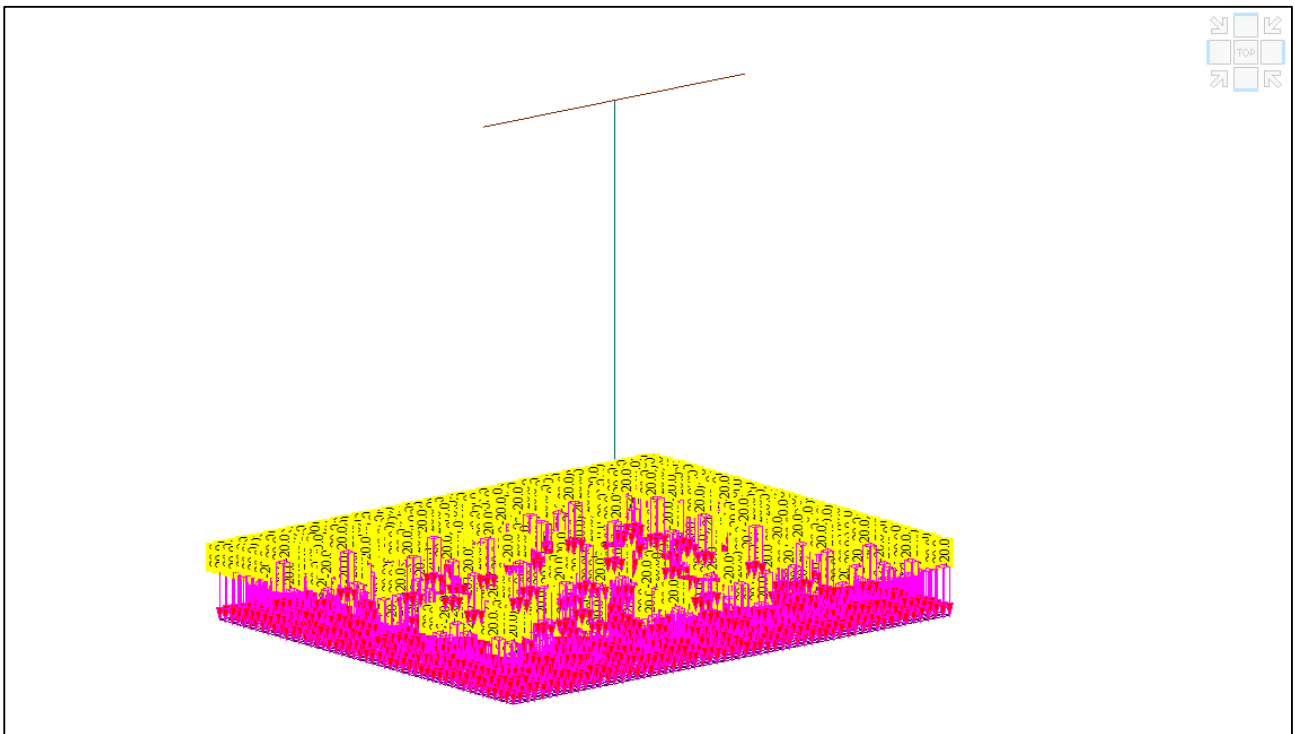
Modello FEM – Condizione di carico Sisma Impalcato X



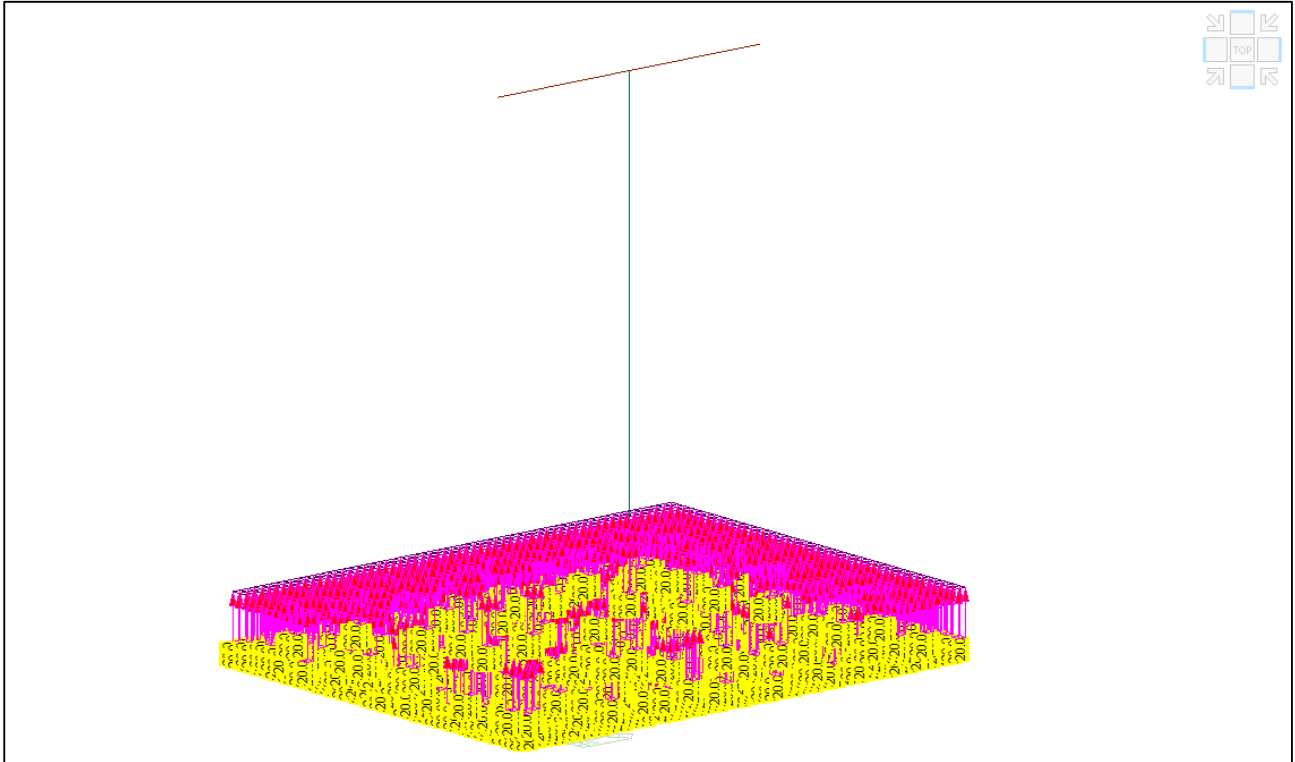
Modello FEM – Condizione di carico Sisma Impalcato Y



Modello FEM – Condizione di carico Sisma Impalcato Z



Modello FEM – Condizione di carico Peso terreno



Modello FEM – Condizione di carico Sottospinta

A queste condizioni di carico si è aggiunta anche il sisma agente sulla pila, in direzione X e in direzione Y. Il carico è stato inserito come peso proprio con un coefficiente pari a  $a_g/g * S$  pari a 0.1769.



12.1.4 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

SLU

Table with 20 columns: No, Name, Active, Type, Peso proprio pila(ST), Peso proprio impalcato(ST), Permanente(ST), Riba(ST), DistA(ST), DistB(ST), DistC(ST), DistD(ST), Frenamento(ST), Centrifuga(ST), Termico(ST), Vento(ST), Sisma impalcato X(ST), Sisma impalcato Y(ST), Sisma impalcato Z(ST), Peso terreno(ST), Sottopinta(ST), Sisma pila Y1(ST), Sisma pila X1(ST)

SLE RARA

Table with 20 columns: No, Name, Active, Type, Peso proprio pila(ST), Peso proprio impalcato(ST), Permanente(ST), Riba(ST), DistA(ST), DistB(ST), DistC(ST), DistD(ST), Frenamento(ST), Centrifuga(ST), Termico(ST), Vento(ST), Sisma impalcato X(ST), Sisma impalcato Y(ST), Sisma impalcato Z(ST), Peso terreno(ST), Sottopinta(ST), Sisma pila Y1(ST), Sisma pila X1(ST)

SLE FREQUENTE



Comune di Vado Ligure

Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo

Ponte “Aurelia-bis” – Relazione di calcolo sottostrutture e fondazioni

Table with 20 columns: No, Name, Active, Type, Peso proprio pile(S), Peso proprio impalcato(S), Permanente(S), Ritiro(S), DinaA(S), DinaB(S), DinaC(S), DinaD(S), Frenamento(S), Centrifuga(S), Termico(S), Vento(S), Sisma impalcato X(S), Sisma impalcato Y(S), Sisma impalcato Z(S), Peso terreno(S), Sottopile(S), Sisma pile X(S), Sisma pile Y(S), Sisma pile Z(S). Rows 37-52.

SLE QUASI PERMANENTE

Table with 20 columns: No, Name, Active, Type, Peso proprio pile(S), Peso proprio impalcato(S), Permanente(S), Ritiro(S), DinaA(S), DinaB(S), DinaC(S), DinaD(S), Frenamento(S), Centrifuga(S), Termico(S), Vento(S), Sisma impalcato X(S), Sisma impalcato Y(S), Sisma impalcato Z(S), Peso terreno(S), Sottopile(S), Sisma pile X(S), Sisma pile Y(S), Sisma pile Z(S). Rows 53-56.

E

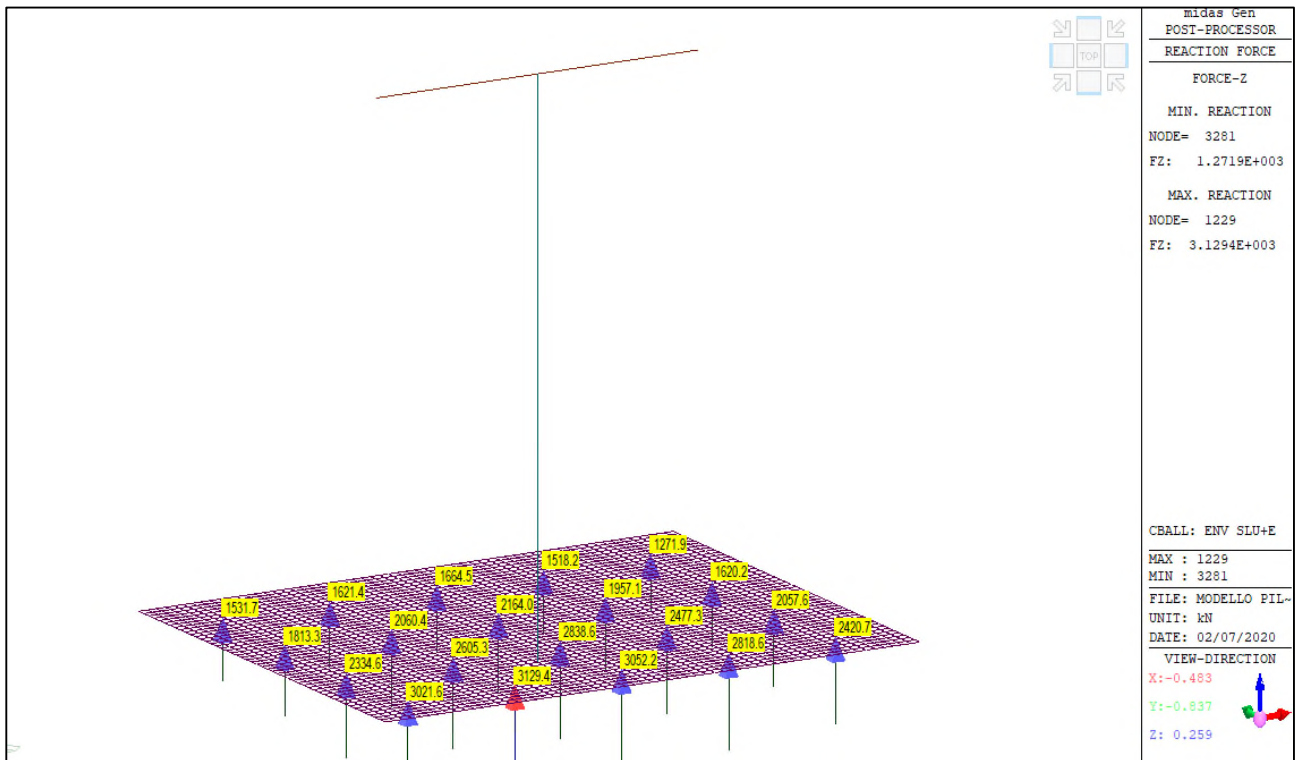
Table with 20 columns: No, Name, Active, Type, Peso proprio pile(S), Peso proprio impalcato(S), Permanente(S), Ritiro(S), DinaA(S), DinaB(S), DinaC(S), DinaD(S), Frenamento(S), Centrifuga(S), Termico(S), Vento(S), Sisma impalcato X(S), Sisma impalcato Y(S), Sisma impalcato Z(S), Peso terreno(S), Sottopile(S), Sisma pile X(S), Sisma pile Y(S), Sisma pile Z(S). Rows 37-62.



## 12.2 RISULTATI ANALISI STRUTTURALE

### 12.2.1 REAZIONI VINCOLARI

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



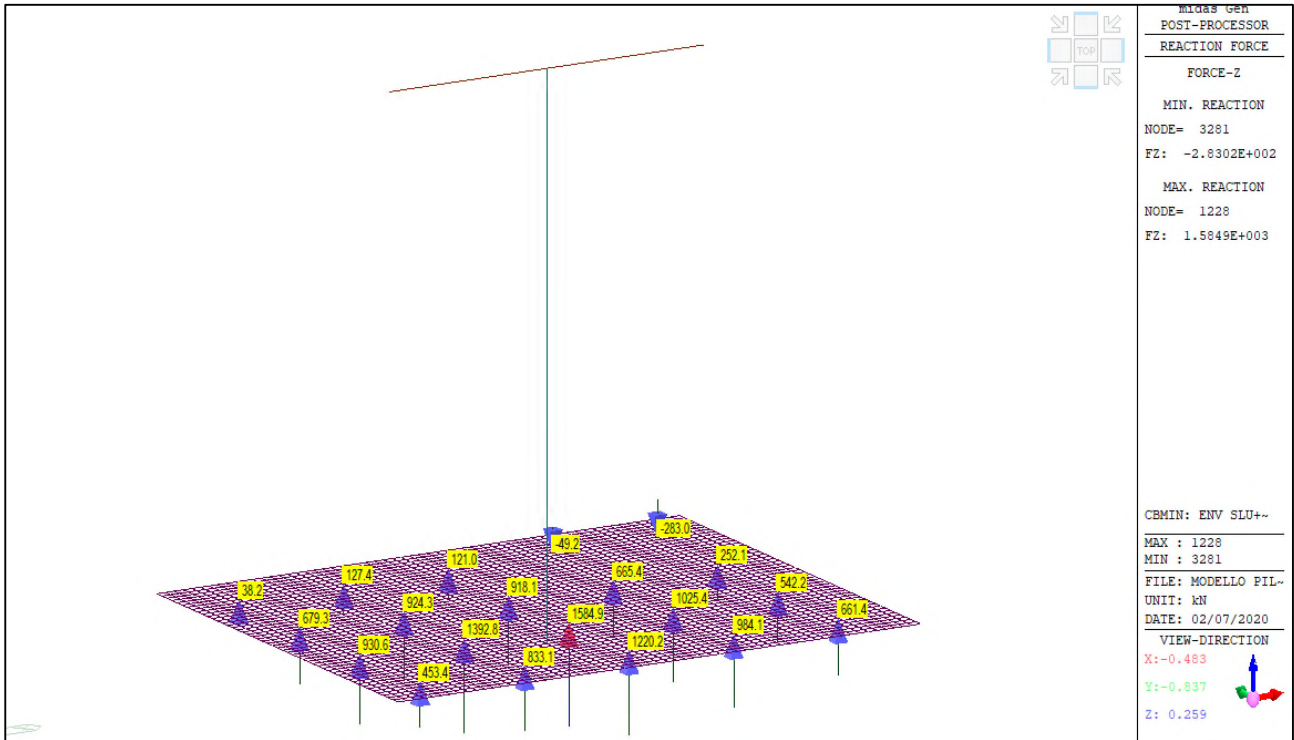
ENV-SLU+E – Reazioni vincolari verticali (Fz) massime



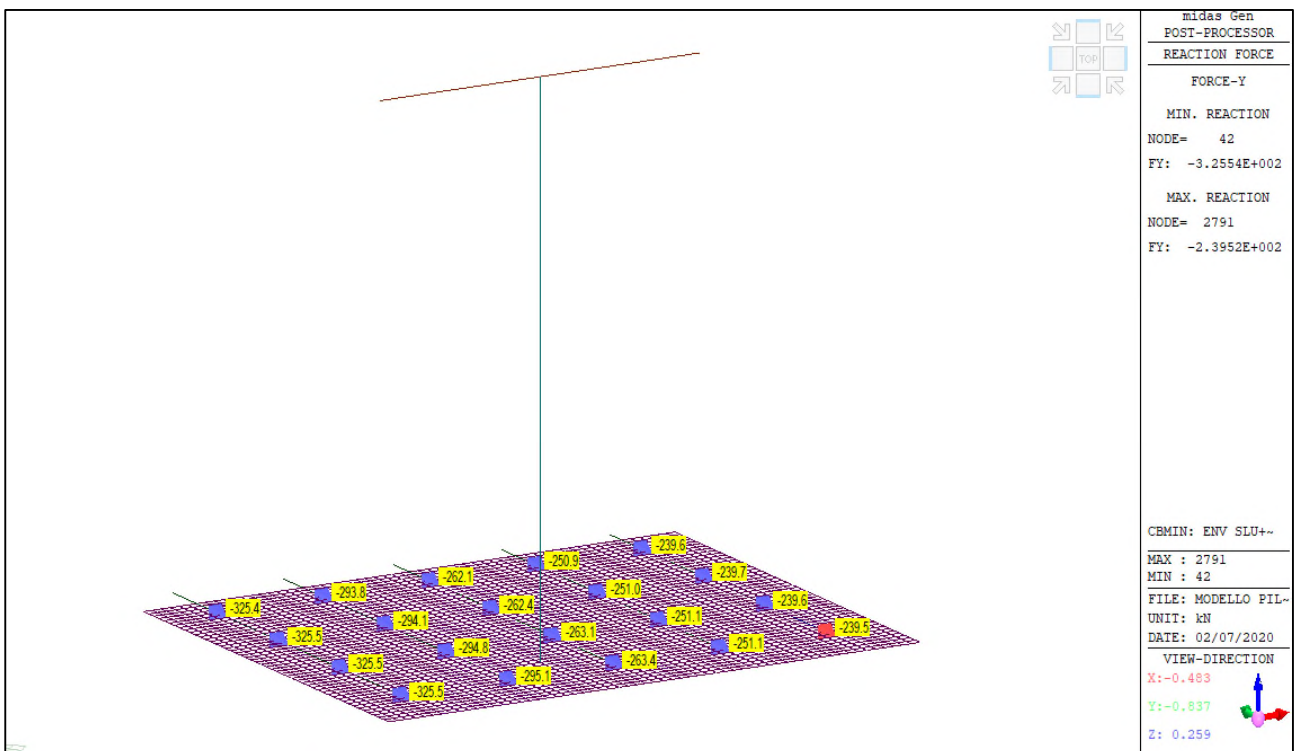
Comune di Vado Ligure

Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo

Ponte “Aurelia-bis” – Relazione di calcolo sottostrutture e fondazioni



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



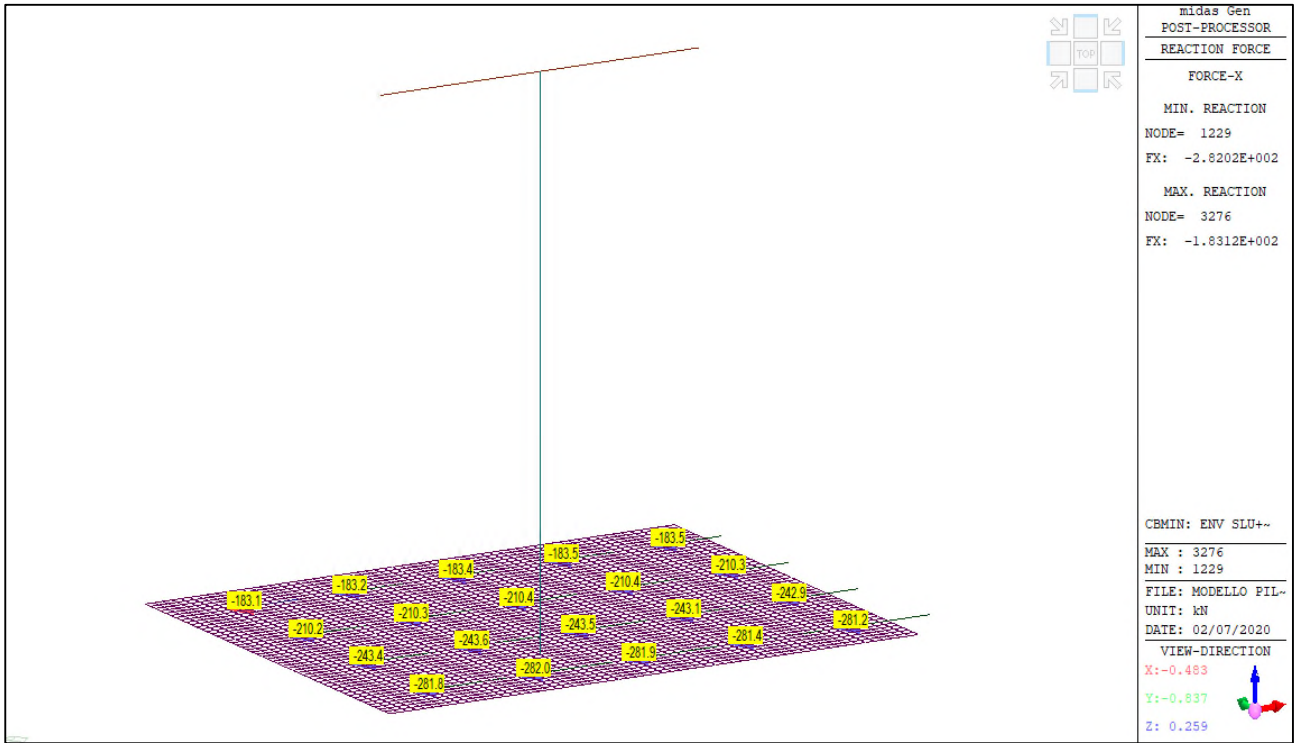
ENV-SLU+E – Reazioni vincolari orizzontali (Fy) massime



Comune di Vado Ligure

Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo

Ponte “Aurelia-bis” – Relazione di calcolo sottostrutture e fondazioni

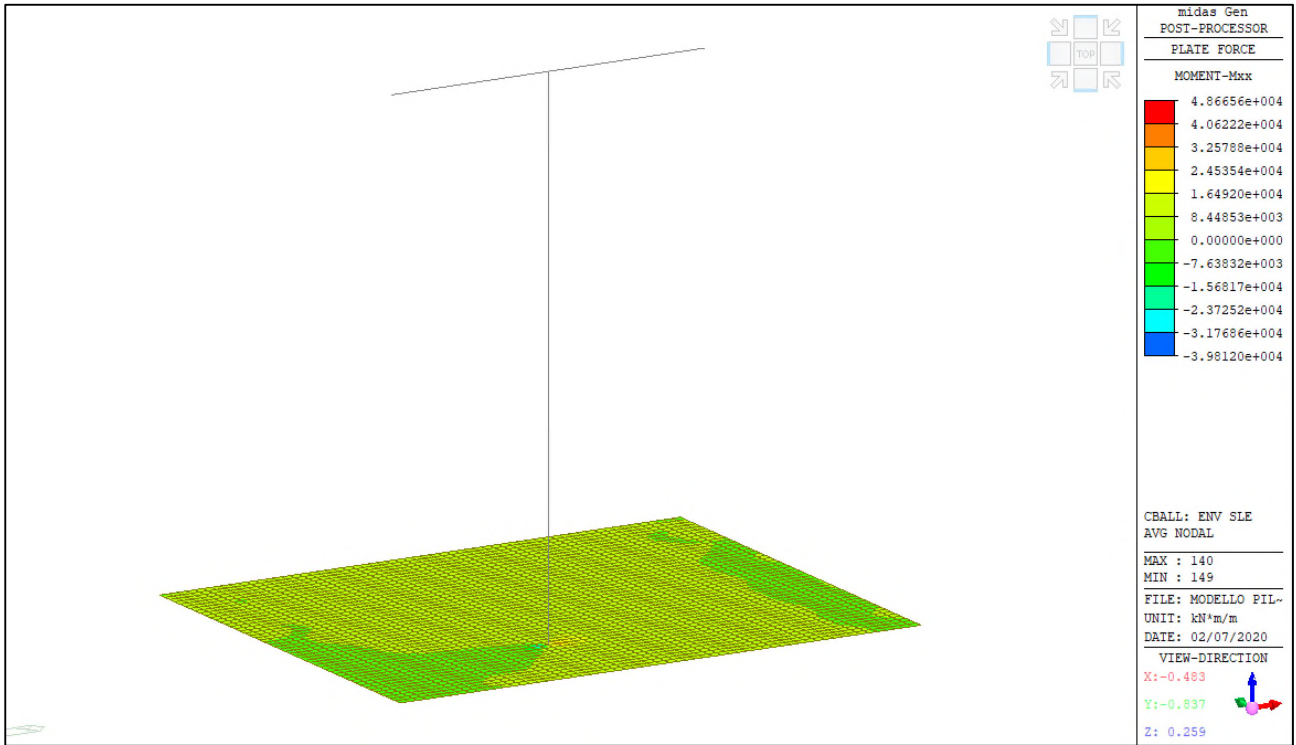


ENV-SLU+E – Reazioni vincolari orizzontali (Fx) massime

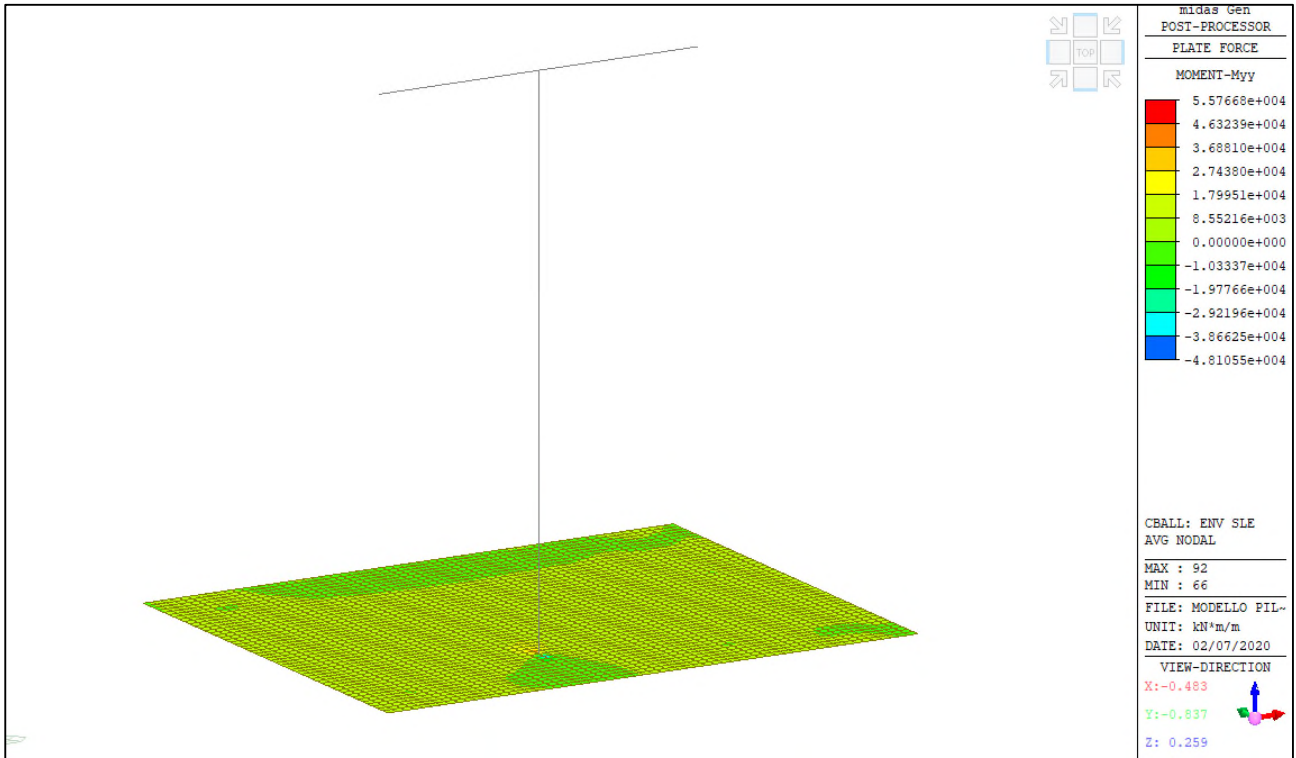


### 12.2.2DIAGRAMMI AZIONI INTERNE

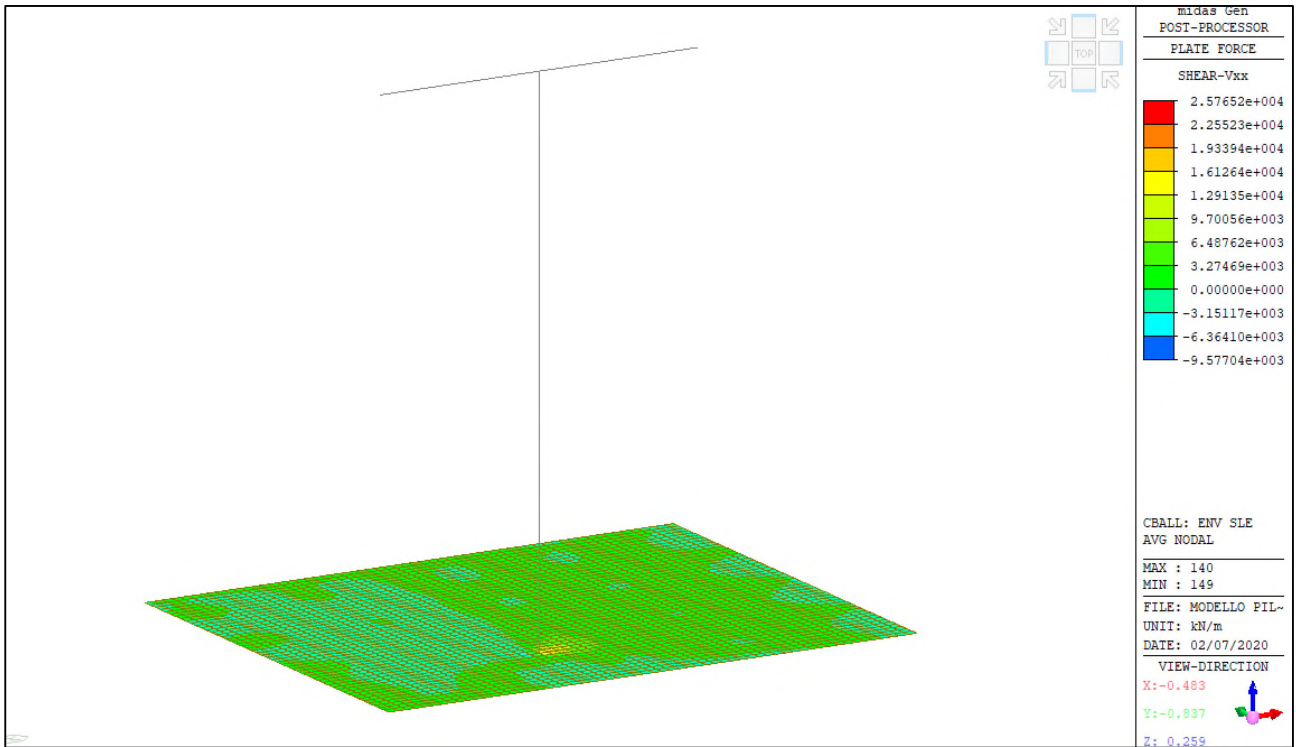
Si riportano i diagrammi involuppo delle azioni interne per le combinazioni allo stato limite di esercizio (ENV-SLE RARA).



ENV-SLE RARA- Mxx (kNm/m) – Platea



ENV-SLE RARA- Myy (kNm/m) – Platea



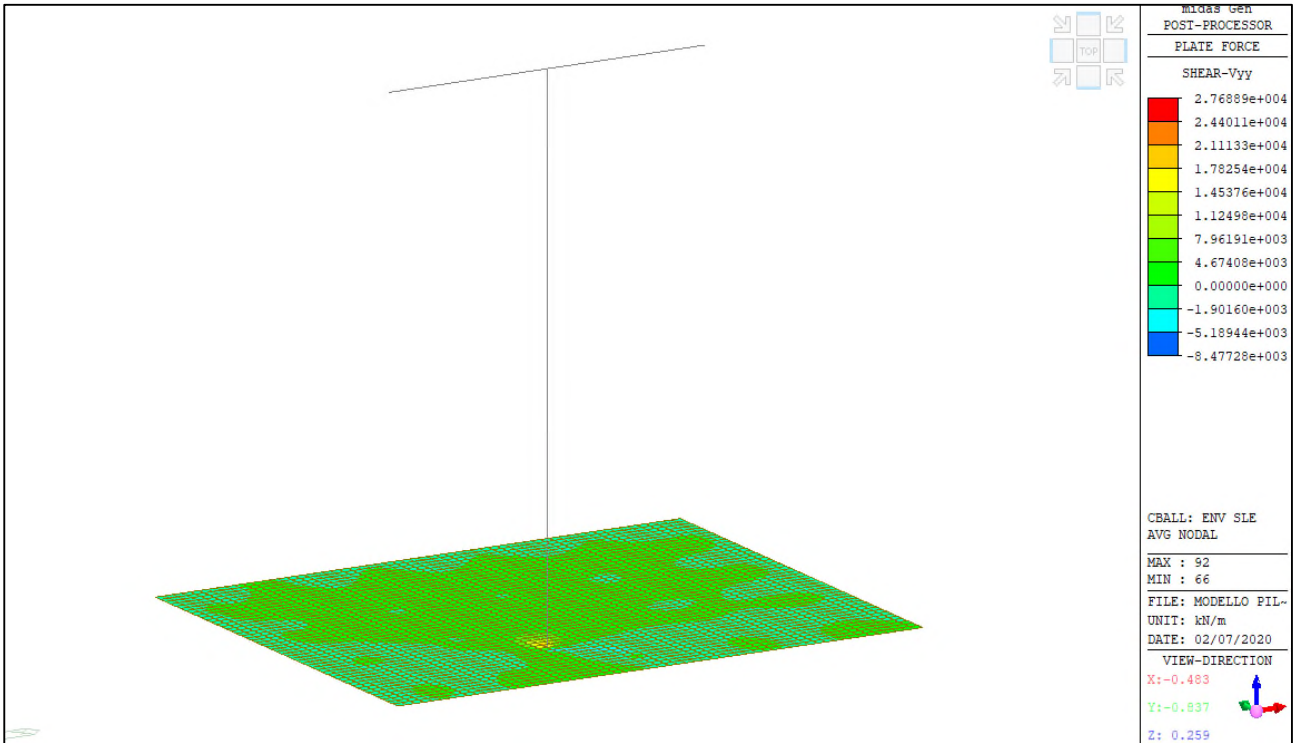
ENV-SLE RARA- Vxx (kN/m) – Platea



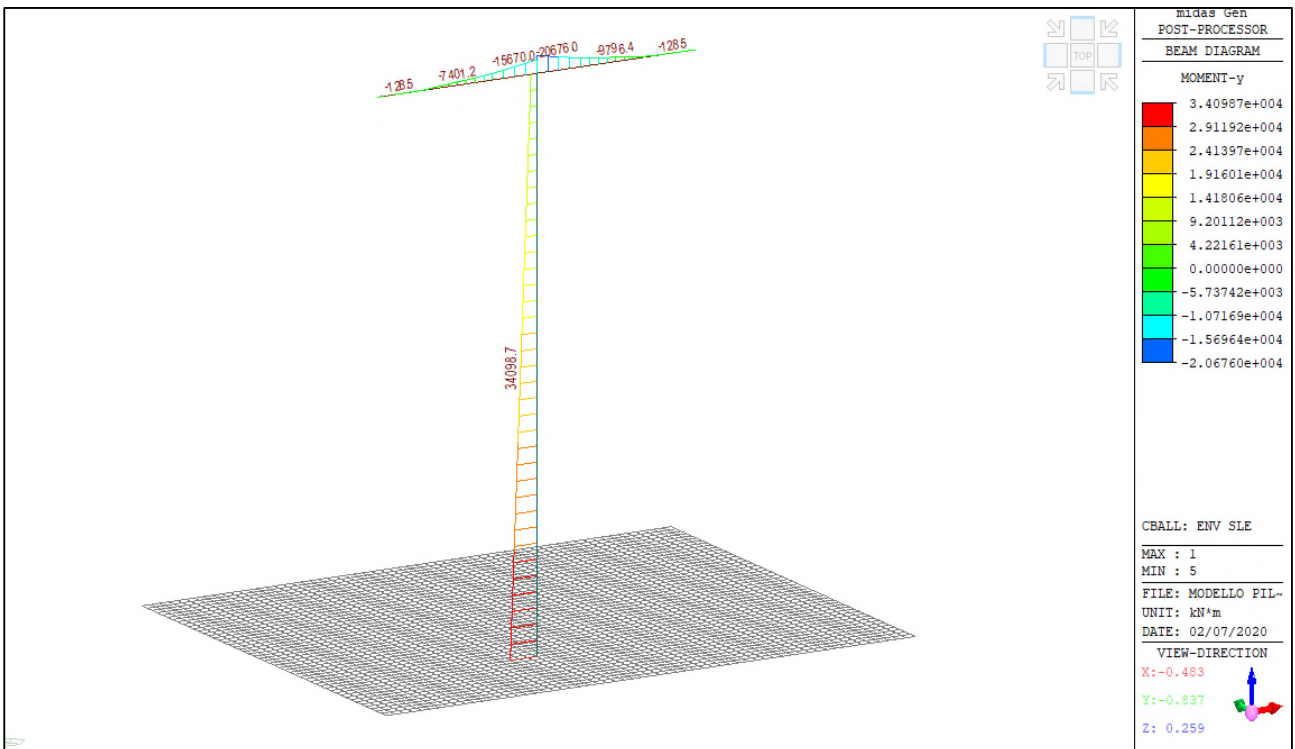
Comune di Vado Ligure

Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo

Ponte “Aurelia-bis” – Relazione di calcolo sottostrutture e fondazioni



ENV-SLE RARA- Vyy (kN/m) – Platea



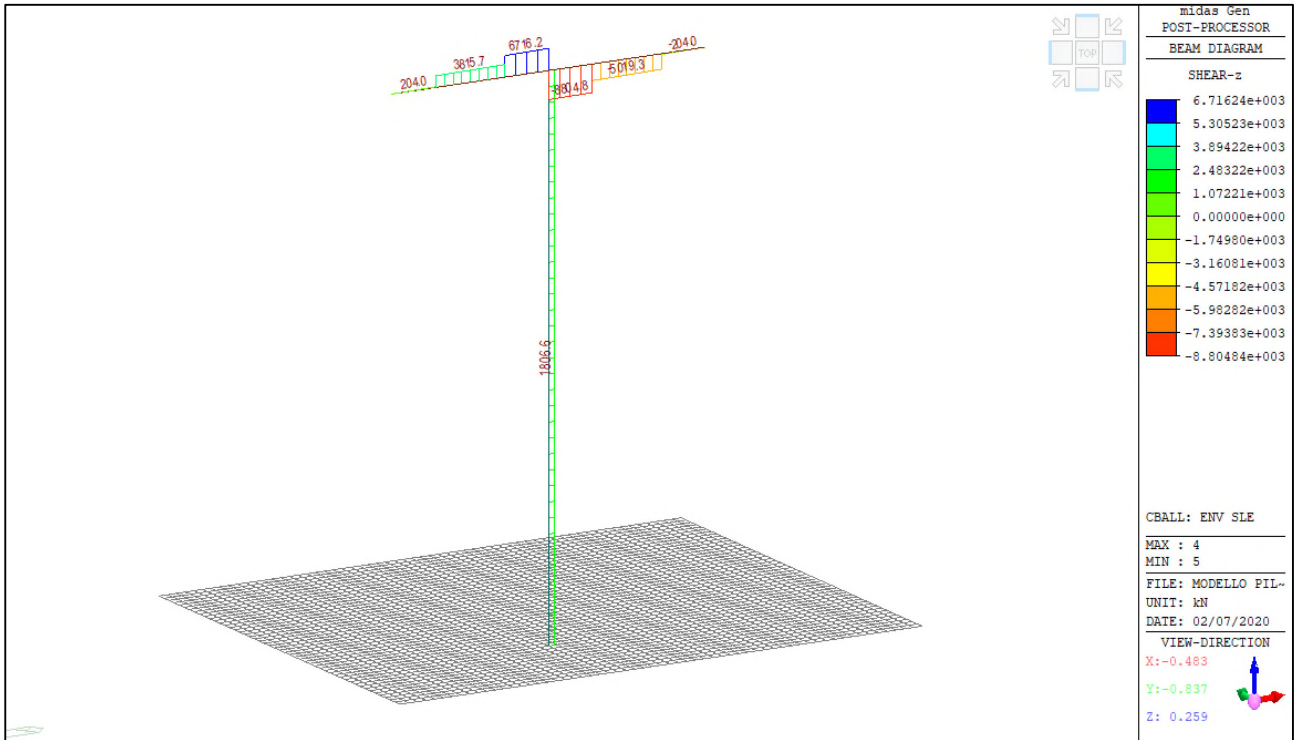
ENV-SLE RARA- My (kNm) – Pila+Pulvino



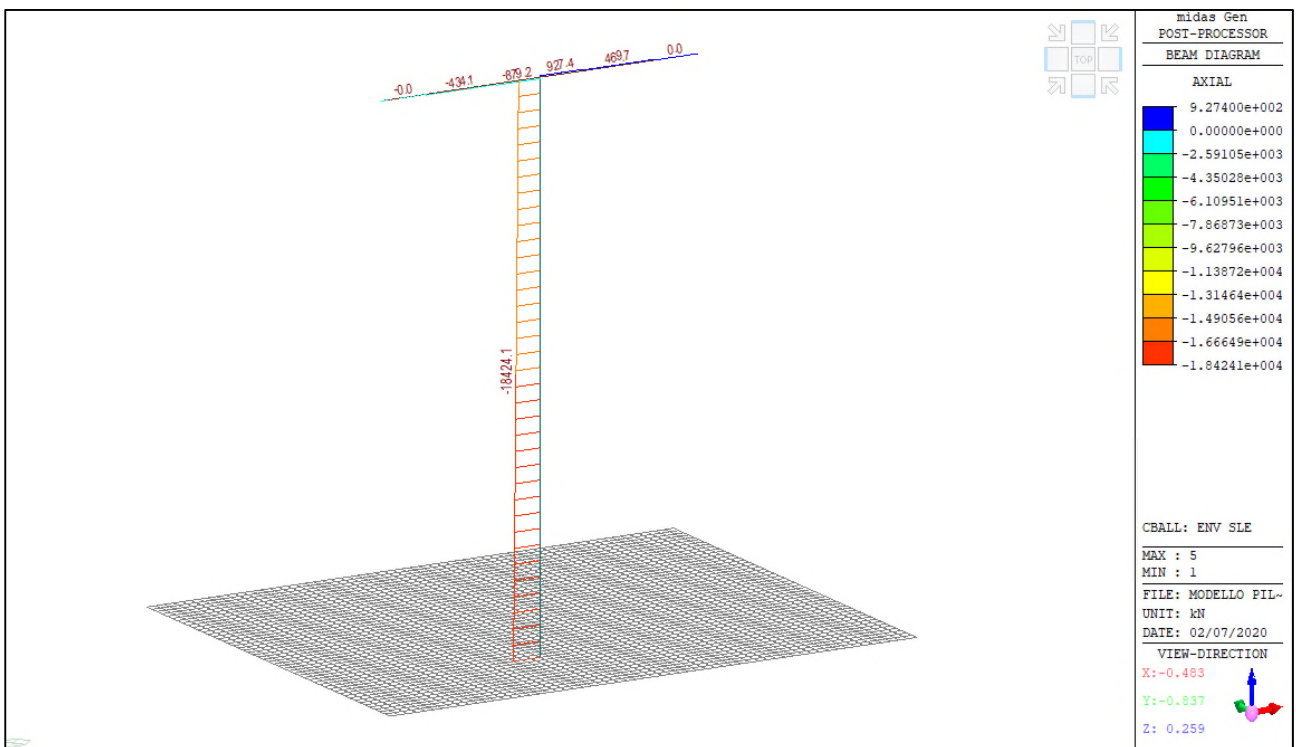
Comune di Vado Ligure

Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo

Ponte “Aurelia-bis” – Relazione di calcolo sottostrutture e fondazioni



ENV-SLE RARA– Fz (kN) – Pila+Pulvino



ENV-SLE RARA– Fx (kN) – Pila+Pulvino

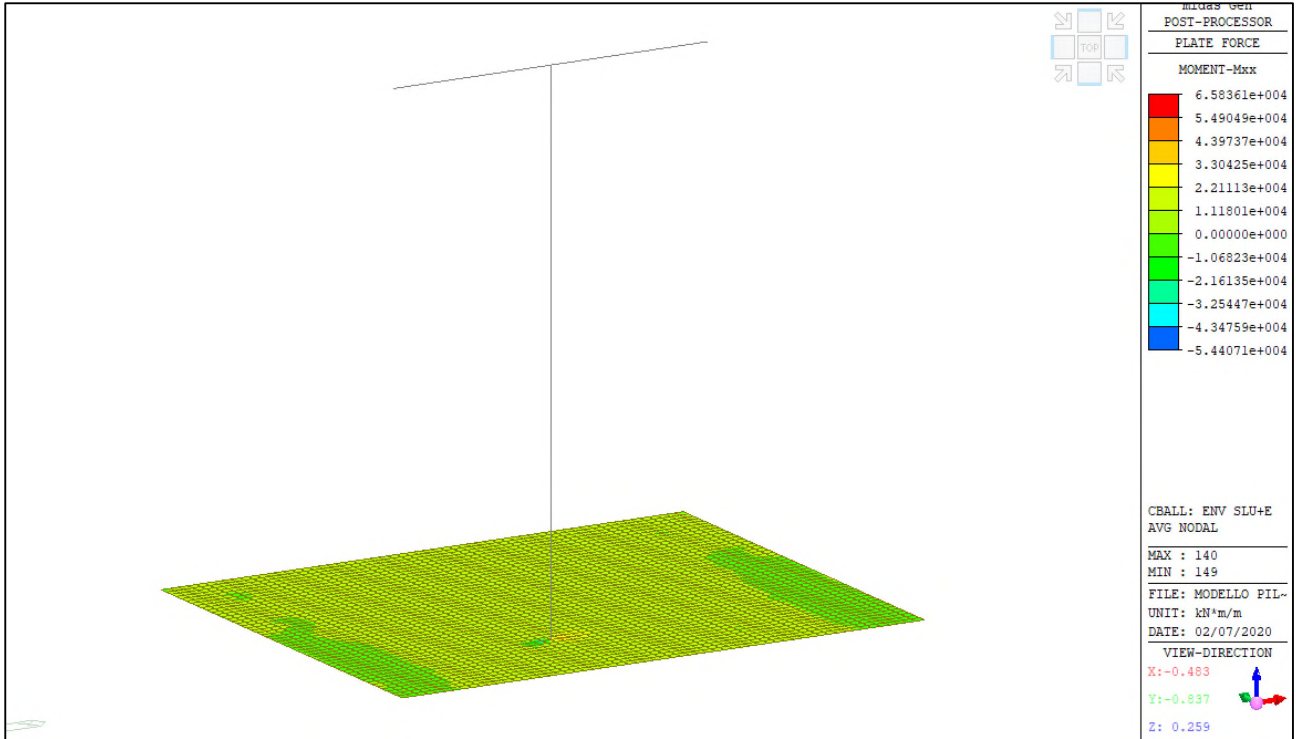


Comune di Vado Ligure

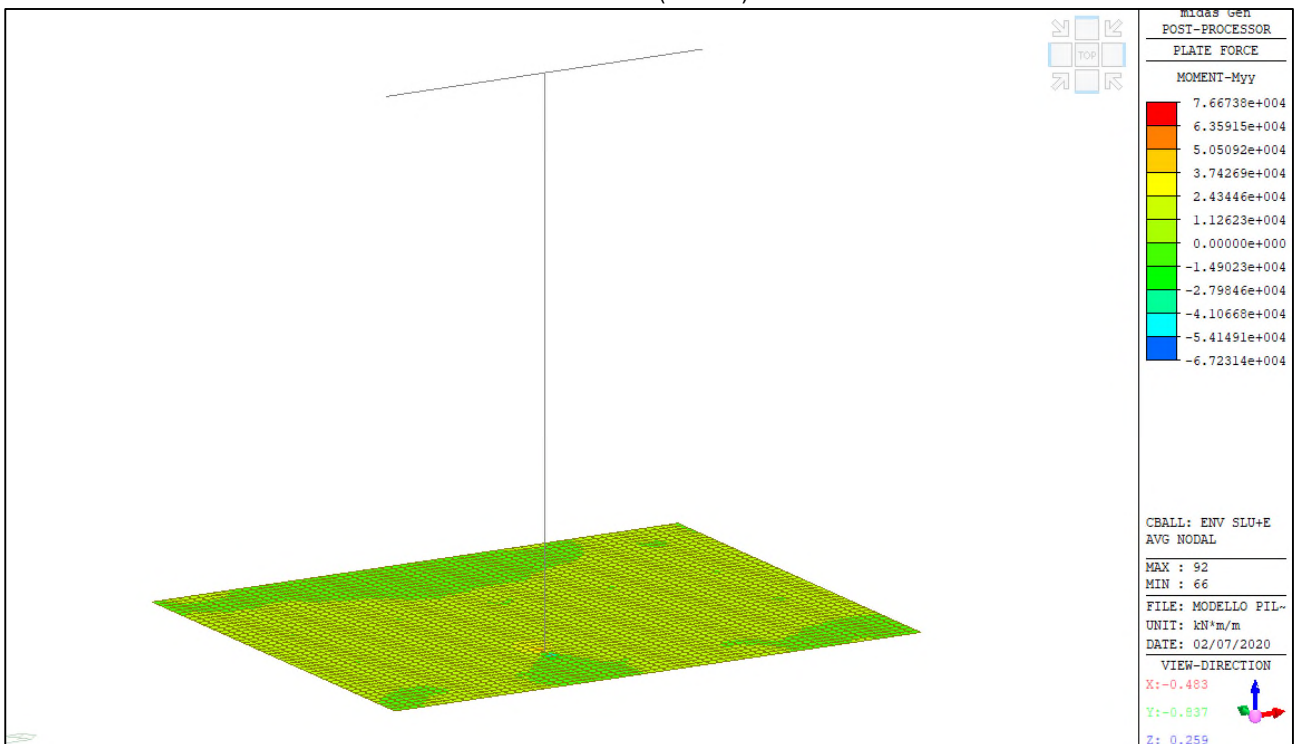
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo

Ponte “Aurelia-bis” – Relazione 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

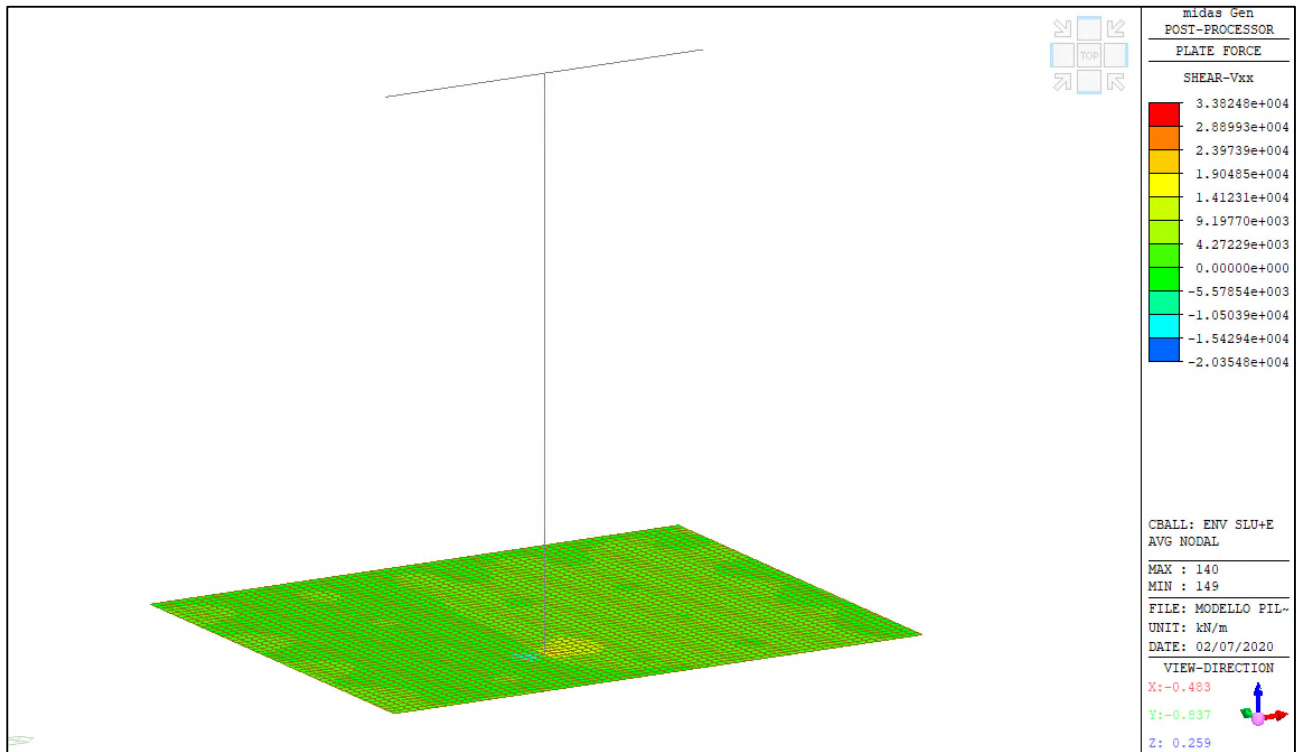




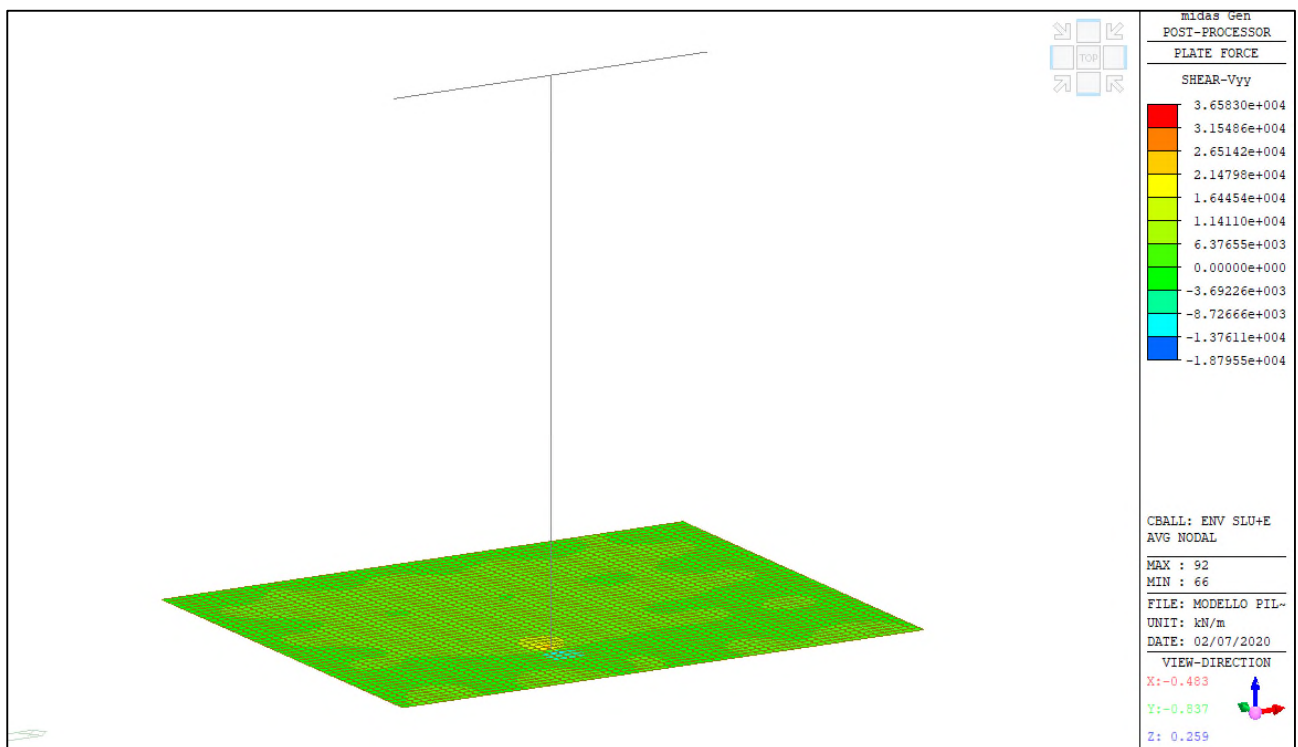
Comune di Vado Ligure

Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo

Ponte “Aurelia-bis” – Relazione di calcolo sottostrutture e fondazioni



ENV-SLU+E – Vxx (kN/m) – Platea



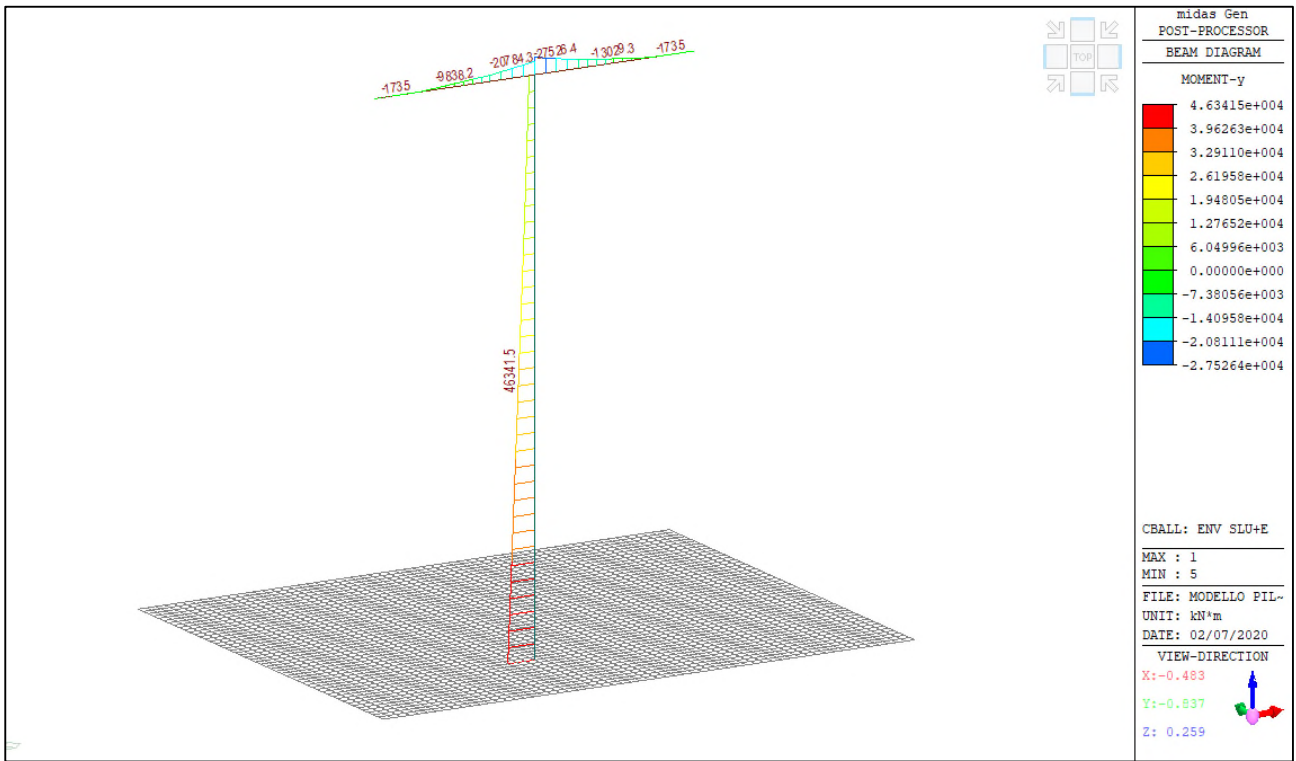
ENV-SLU+E – Vyy (kN/m) – Platea



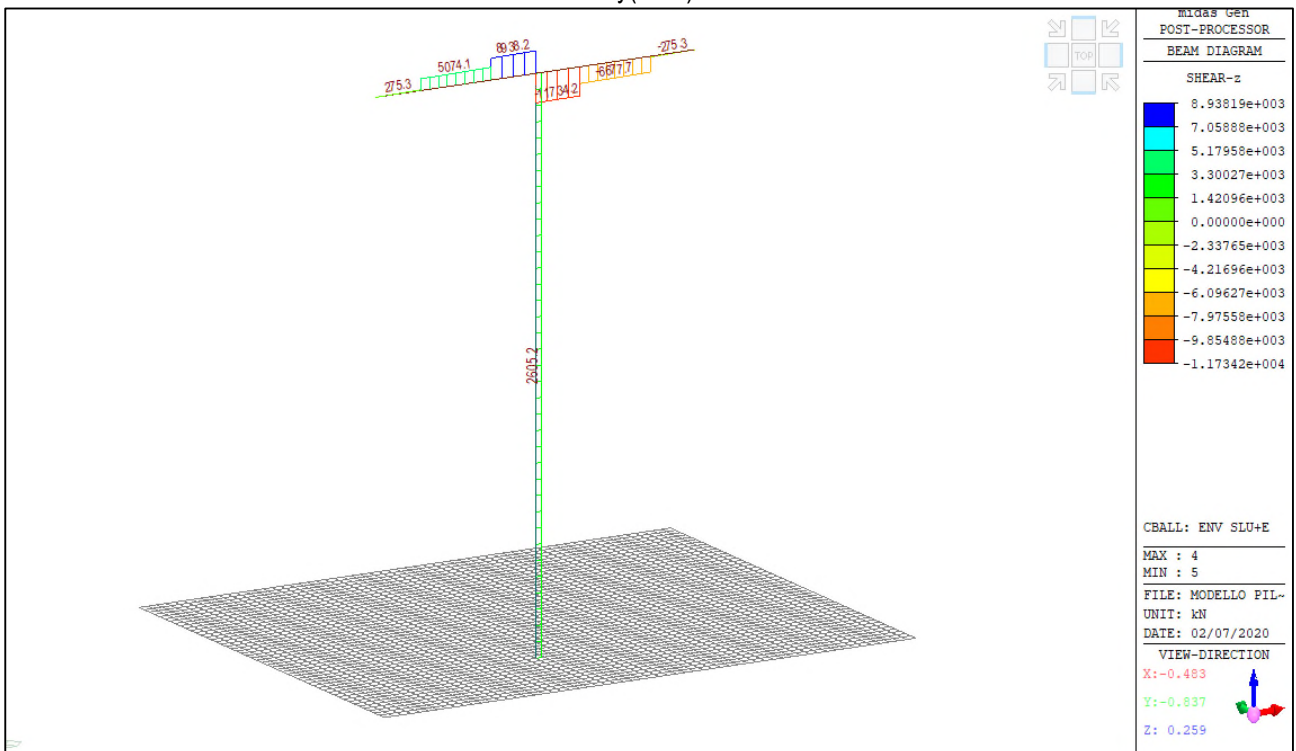
Comune di Vado Ligure

Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo

Ponte “Aurelia-bis” – Relazione di calcolo sottostrutture e fondazioni



ENV-SLU+E –  $M_y$ (kNm) – Pila+Pulvino



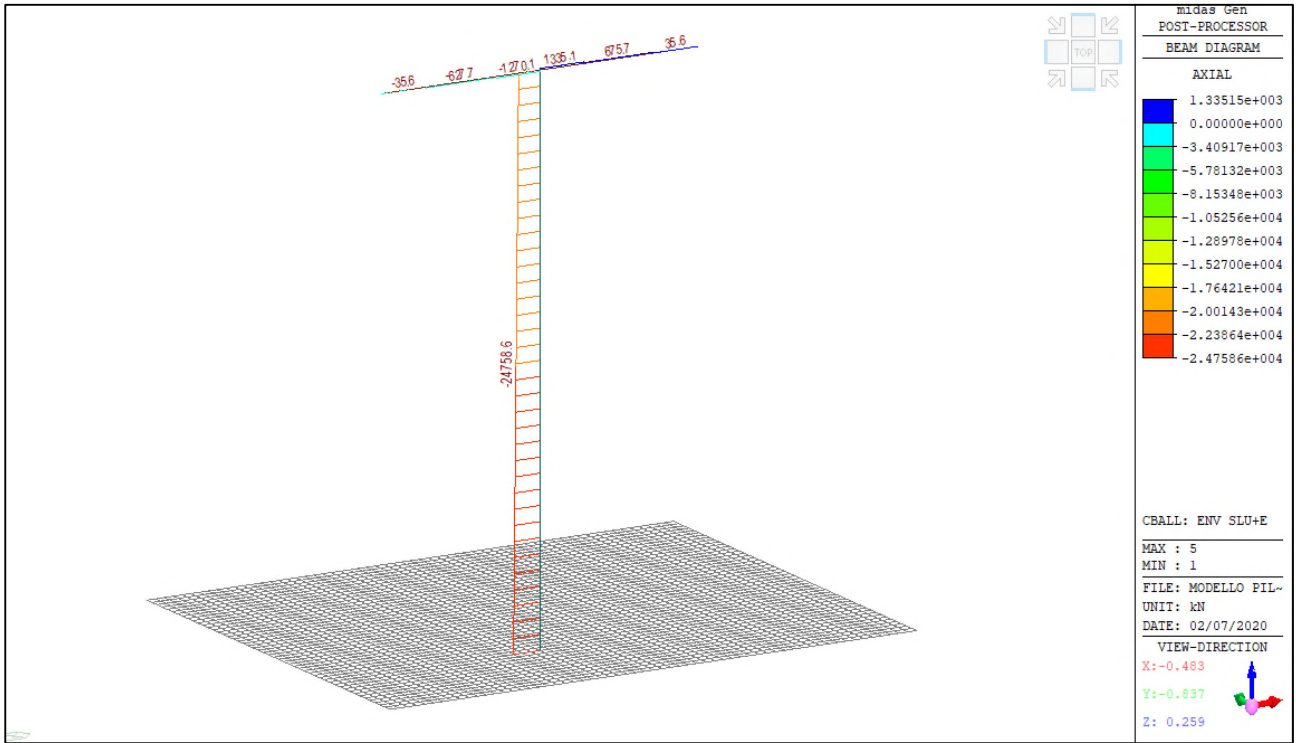
ENV-SLU+E –  $V_z$  (kN) – Pila+Pulvino



Comune di Vado Ligure

Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo

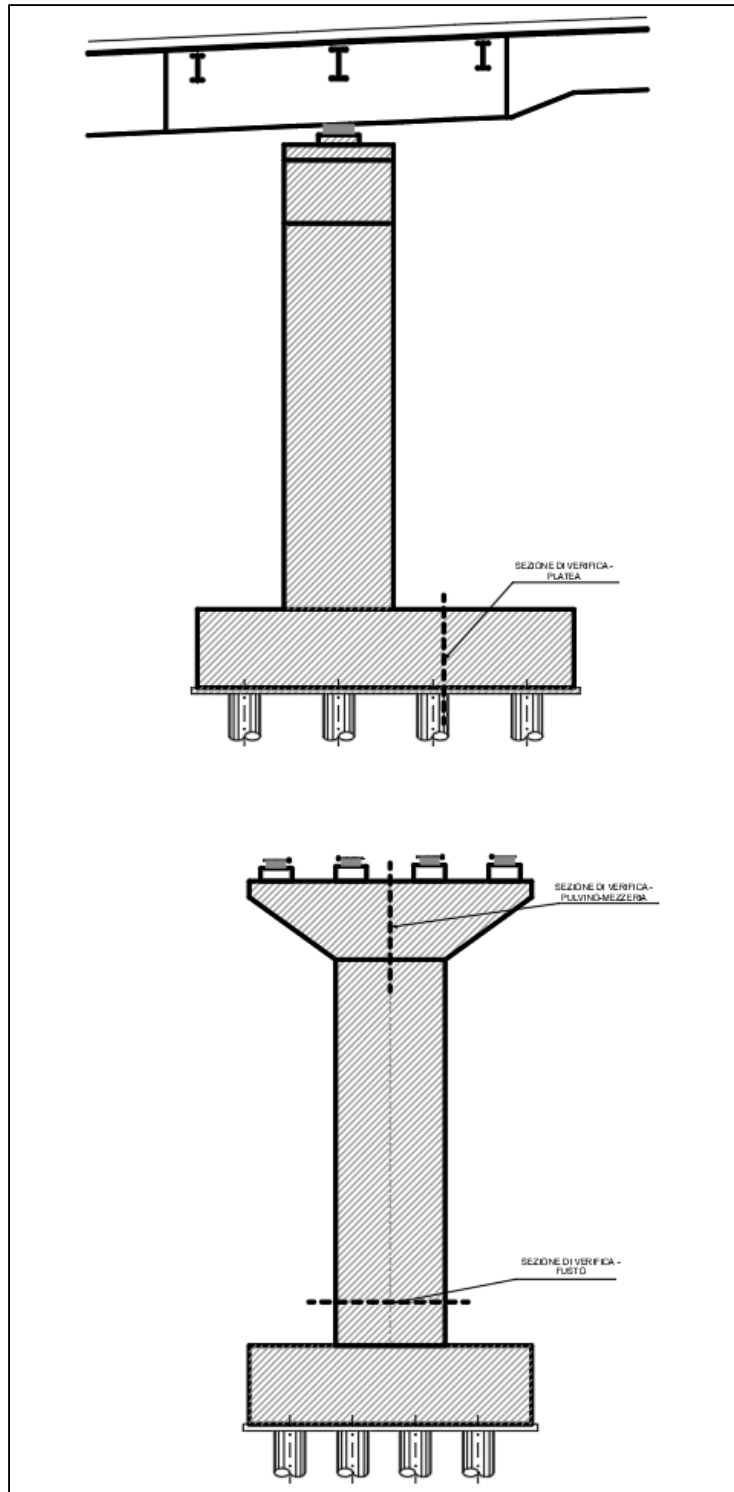
Ponte “Aurelia-bis” – Relazione di calcolo sottostrutture e fondazioni



ENV-SLU+E – Fx (kN) – Pila+Pulvino

### 12.3 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



Comune di Vado Ligure

Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo

Ponte “Aurelia-bis” – Relazione di calcolo sottostrutture e fondazioni

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  | 4136            | 4003            | 5638            | 5030            | 6560            | 5036            | 11280           | 11280           |

| SEZIONE             | SLE QP   |         |          | SLE F    |         |          | SLE R    |         |          | SLU      |         |          |
|---------------------|----------|---------|----------|----------|---------|----------|----------|---------|----------|----------|---------|----------|
|                     | My [kNm] | Vz [kN] | Fx [kN]  | My [kNm] | Vz [kN] | Fx [kN]  | My [kNm] | Vz [kN] | Fx [kN]  | My [kNm] | Vz [kN] | Fx [kN]  |
| FUSTO               | 13033.4  | 523     | -18336.2 | 24159.8  | 1398    | -18369.5 | 32098.7  | 1806.6  | -18424.1 | 46341.5  | 2605.2  | -24758.6 |
| PULVINO<br>MEZZERIA | 10116.9  | 6316    | -239     | 13365    | 6914.5  | -698     | 20676    | 8804.8  | -879.2   | 27526.4  | 11734.2 | -1270.1  |



1. Platea

Le armature sono costituite da una maglia base

- $\Phi 40/10$  inferiori e superiori in direzione x
- $\Phi 40/10$  inferiori e superiori in direzione y
- Spilli  $\Phi 16/20 \times 20$

Le verifiche lungo la direzione X valgono anche lungo la direzione Y

Armatura platea direzione x

Armatura interna: copriferro  $5.0+4.0+2.0= 11.0$  cm

| geometria              |        |       |                    |                    |
|------------------------|--------|-------|--------------------|--------------------|
| sezione trasversale    |        |       |                    |                    |
| B                      | H      | c     | d                  | z                  |
| [cm]                   | [cm]   | [cm]  | [cm]               | [cm]               |
| 100                    | 250    | 9.0   | 239.0              | 215.1              |
| armatura longitudinale |        |       |                    |                    |
| nbarre                 | $\phi$ | d     | $A_{sl}$           |                    |
|                        | [mm]   | [cm]  | [cm <sup>2</sup> ] |                    |
| 10                     | 40     | 11.0  | 125.66             |                    |
| 10                     | 40     | 239.0 | 125.66             |                    |
| armatura a taglio      |        |       |                    |                    |
| nbracci                | $\phi$ | s     | $\alpha$           | $A_{sw}$           |
|                        | [mm]   | [cm]  | [°]                | [cm <sup>2</sup> ] |
| 5                      | 16     | 40    | 90                 | 10.05              |

| SLU                           | SLE - R                      | SLE - F                                | SLE - QP                               |
|-------------------------------|------------------------------|--|--|
| SLU                           | SLE                          | SLE                                    | SLE                                    |
| M <sub>Ed</sub> 11280 [kNm]   | M <sub>Ek</sub> 6560 [kNm]   | M <sub>Ek</sub> 5638 [kNm]             | M <sub>Ek</sub> 4136 [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> 5000.00 [kN]  |                              |  |  |
| presso-flessione              | tensioni e fessure           | tensioni e fessure                     | tensioni e fessure                     |
| M <sub>Rd</sub> 11284.0 [kNm] | M <sub>dec</sub> 0.0 [kNm]   | M <sub>dec</sub> 0.0 [kNm]             | M <sub>dec</sub> 0.0 [kNm]             |
| FS 1.00                       | M <sub>cr</sub> 3000.4 [kNm] | M <sub>cr</sub> 3000.4 [kNm]           | M <sub>cr</sub> 3000.4 [kNm]           |
|                               | y <sub>n</sub> -58.55 [cm]   | y <sub>n</sub> -58.55 [cm]             | y <sub>n</sub> -58.55 [cm]             |
|                               | $\sigma_{c,min}$ -6.1 [MPa]  | $\sigma_{c,min}$ -5.2 [MPa]            | $\sigma_{c,min}$ -3.8 [MPa]            |
|                               | $\sigma_{s,min}$ -76.1 [MPa] | $\sigma_{s,min}$ -65.4 [MPa]           | $\sigma_{s,min}$ -48.0 [MPa]           |
|                               | $\sigma_{s,max}$ 236.8 [MPa] | $\sigma_{s,max}$ 203.5 [MPa]           | $\sigma_{s,max}$ 149.3 [MPa]           |
|                               |                              | k <sub>2</sub> 0.5                     | k <sub>2</sub> 0.5                     |
|                               |                              | $\epsilon_{sm-\epsilon_{cm}}$ 0.83 [%] | $\epsilon_{sm-\epsilon_{cm}}$ 0.56 [%] |
|                               |                              | S <sub>r,max</sub> 45.5 [cm]           | S <sub>r,max</sub> 45.5 [cm]           |
|                               |                              | w <sub>k</sub> 0.377 [mm]              | w <sub>k</sub> 0.254 [mm]              |

**verifica a taglio di una sezione rettangolare**

secondo EN 1992-1-1:2004:E

**geometria**

**sezione trasversale**

|                                  |     |       |    |
|----------------------------------|-----|-------|----|
| base                             | B = | 100   | cm |
| altezza                          | H = | 250   | cm |
| copriferro (asse armatura long.) | c = | 11    | cm |
| altezza utile                    | d = | 239   | cm |
| braccio coppia interna           | z = | 215.1 | cm |

**armatura a taglio**

|                |            |       |                 |
|----------------|------------|-------|-----------------|
| numero braccia | n =        | 5     |                 |
| diametro       | $\phi$ =   | 16    | mm              |
| passo          | s =        | 40    | mm              |
| inclinazione   | $\alpha$ = | 90    | °               |
| area           | $A_{sw}$ = | 10.05 | cm <sup>2</sup> |

**armatura longitudinale tesa**

|              |            |       |                 |
|--------------|------------|-------|-----------------|
| numero barre | $n_1$ =    | 10    |                 |
| diametro     | $\phi_1$ = | 40    | mm              |
| numero barre | $n_2$ =    | 0     |                 |
| diametro     | $\phi_2$ = | 0     | mm              |
| area totale  | $A_{sl}$ = | 125.7 | cm <sup>2</sup> |

**materiali**

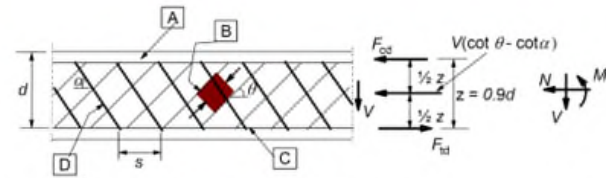
**calcestruzzo**

|  |                 |       |     |
|--|-----------------|-------|-----|
| 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     | $v$ =           | 0.540 |     |
| tensione di calcolo bielle             | $v f_{cd}$ =    | 7.6   | MPa |

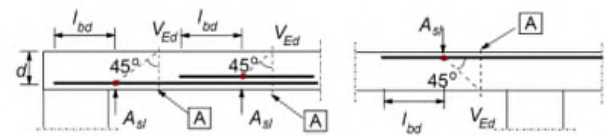
**acciaio**

|                                    |              |       |     |
|------------------------------------|--------------|-------|-----|
| 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                           | $V_{Ed}$ =    | 5000    | kN |
| azione assiale                   | $N_{Ed}$ =    | 0       | kN |
| resistenza elemento non armato   | $V_{Rdc}$ =   | 871.5   | kN |
| resistenza armatura a taglio     | $V_{Rds}$ =   | 5288.5  | kN |
| resistenza bielle calcestruzzo   | $V_{Rdmax}$ = | 5654.0  | kN |
| inclinazione bielle calcestruzzo | $\theta$ =    | 21.8    | °  |
| sezione                          |               | duttile |    |
| traslazione armatura long.       | $a_l$ =       | 268.9   | cm |



Comune di Vado Ligure

Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo

Ponte “Aurelia-bis” – Relazione di calcolo sottostrutture e fondazioni

## 2. Fusto

Le armature sono costituite da

- 60 $\Phi$ 30 longitudinali
- Staffe  $\Phi$ 16/20

Verifica C.A. S.L.U. - File: SLU-Pila

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

**Titolo :** \_\_\_\_\_

**Sezione circolare cava**

N\* barre  Zoom

Raggio esterno  [cm]  
Raggio interno  [cm]  
N\* barre uguali   
Diametro barre  [cm]  
Copriferro (baric.)  [cm]

**Sollecitazioni**

S.L.U.  Metodo n

N<sub>Ed</sub>   kN  
M<sub>xEd</sub>   kNm  
M<sub>yEd</sub>

**P.to applicazione N**

Centro  Baricentro cls  
 Coord. [cm] xN  yN

**Tipo rottura**

Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

M<sub>xRd</sub>  kN m

**Materiali**

| B450C            |  | C32/40           |                                     |
|------------------|--|------------------|-------------------------------------|
| $\epsilon_{su}$  | <input type="text" value="67.5"/> ‰                    | $\epsilon_{c2}$  | <input type="text" value="2"/> ‰    |
| $f_{yd}$         | <input type="text" value="391.3"/> N/mm <sup>2</sup>   | $\epsilon_{cu}$  | <input type="text" value="3.5"/>    |
| $E_s$            | <input type="text" value="200'000"/> N/mm <sup>2</sup> | $f_{cd}$         | <input type="text" value="18.13"/>  |
| $E_s/E_c$        | <input type="text" value="15"/>                        | $f_{cc}/f_{cd}$  | <input type="text" value="0.8"/> ?  |
| $\epsilon_{syd}$ | <input type="text" value="1.957"/> ‰                   | $\sigma_{c,adm}$ | <input type="text" value="12.25"/>  |
| $\sigma_{s,adm}$ | <input type="text" value="255"/> N/mm <sup>2</sup>     | $\tau_{co}$      | <input type="text" value="0.7333"/> |
|                  |  | $\tau_{c1}$      | <input type="text" value="2.114"/>  |

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

**Tipo Sezione**

Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

**Metodo di calcolo**

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

**Tipo flessione**

Retta  Deviata

Vertici:  N\* rett.

Calcola MRd Dominio M-N

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

Precompresso

Verifica armatura longitudinale Fusto – SLU





Per la verifica a fessurazione e a taglio si è considerata la sezione corrispondente al quadrato inscritto nella circonferenza del fusto.

| SLE - R            |               | SLE - F                       |               | SLE - QP                      |               |
|--------------------|---------------|-------------------------------|---------------|-------------------------------|---------------|
| SLE                |               | SLE                           |               | SLE                           |               |
| $M_{Ek}$           | 32098.7 [kNm] | $M_{Ek}$                      | 24159.8 [kNm] | $M_{Ek}$                      | 13033.4 [kNm] |
| $N_{Ek}$           | -18424 [kN]   | $N_{Ek}$                      | -18370 [kN]   | $N_{Ek}$                      | -18336 [kN]   |
| tensioni e fessure |               | tensioni e fessure            |               | tensioni e fessure            |               |
| $M_{dec}$          | 8658.7 [kNm]  | $M_{dec}$                     | 8633.0 [kNm]  | $M_{dec}$                     | 8617.4 [kNm]  |
| $M_{cr}$           | 16783.8 [kNm] | $M_{cr}$                      | 16758.1 [kNm] | $M_{cr}$                      | 16742.4 [kNm] |
| $y_n$              | -21.78 [cm]   | $y_n$                         | -2.97 [cm]    | $y_n$                         | 68.62 [cm]    |
| $\sigma_{c,min}$   | -16.5 [MPa]   | $\sigma_{c,min}$              | -12.5 [MPa]   | $\sigma_{c,min}$              | -7.1 [MPa]    |
| $\sigma_{s,min}$   | -225.9 [MPa]  | $\sigma_{s,min}$              | -173.7 [MPa]  | $\sigma_{s,min}$              | -101.1 [MPa]  |
| $\sigma_{s,max}$   | 331.6 [MPa]   | $\sigma_{s,max}$              | 183.0 [MPa]   | $\sigma_{s,max}$              | 25.5 [MPa]    |
|                    |               | $k_2$                         | 0.5           | $k_2$                         | 0.5           |
|                    |               | $\epsilon_{sm-\epsilon_{cm}}$ | 0.67 [‰]      | $\epsilon_{sm-\epsilon_{cm}}$ | - [‰]         |
|                    |               | $S_{r,max}$                   | 36.9 [cm]     | $S_{r,max}$                   | - [cm]        |
|                    |               | $w_k$                         | 0.246 [mm]    | $w_k$                         | - [mm]        |

**verifica a taglio di una sezione rettangolare**

secondo EN 1992-1-1:2004/E

**geometria**

**sezione trasversale**

|                                  |     |       |    |
|----------------------------------|-----|-------|----|
| base                             | B = | 247   | cm |
| altezza                          | H = | 247   | cm |
| copriferro (asse armatura long.) | c = | 8.6   | cm |
| altezza utile                    | d = | 238   | cm |
| braccio coppia interna           | z = | 214.6 | cm |

**armatura a taglio**

|                |            |      |                 |
|----------------|------------|------|-----------------|
| numero braccia | n =        | 2    |                 |
| diametro       | $\phi$ =   | 16   | mm              |
| passo          | s =        | 20   | mm              |
| inclinazione   | $\alpha$ = | 90   | °               |
| area           | $A_{sw}$ = | 4.02 | cm <sup>2</sup> |

**armatura longitudinale tesa**

|              |            |       |                 |
|--------------|------------|-------|-----------------|
| numero barre | $n_1$ =    | 30    |                 |
| diametro     | $\phi_1$ = | 30    | mm              |
| numero barre | $n_2$ =    | 0     |                 |
| diametro     | $\phi_2$ = | 0     | mm              |
| area totale  | $A_{sl}$ = | 212.1 | cm <sup>2</sup> |

**materiali**

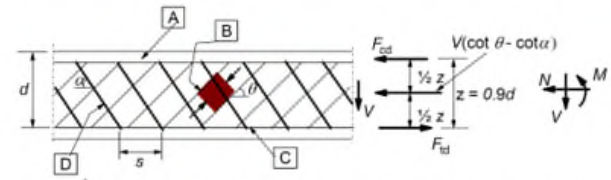
**calcestruzzo**

|  |                 |       |     |
|--|-----------------|-------|-----|
| 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 |

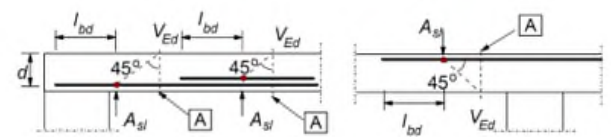
**acciaio**

|                                    |              |       |     |
|------------------------------------|--------------|-------|-----|
| 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                           | $V_{Ed}$ =    | 2605.2  | kN      |
| azione assiale                   | $N_{Ed}$ =    | 0       | kN      |
| resistenza elemento non armato   | $V_{Rdc}$ =   | 2083.8  | kN      |
| resistenza armatura a taglio     | $V_{Rds}$ =   | 3313.0  | kN      |
| resistenza bielle calcestruzzo   | $V_{Rdmax}$ = | 20985.0 | kN      |
| inclinazione bielle calcestruzzo | $\theta$ =    | 27.0    | °       |
| sezione                          |               |         | duttile |
| traslazione armatura long.       | al =          | 210.5   | cm      |

Verifica armatura trasversale Fusto



Comune di Vado Ligure

Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo

Ponte “Aurelia-bis” – Relazione di calcolo sottostrutture e fondazioni

### 3. Pulvino

Le armature nella sezione di mezzeria sono costituite da

- 20 $\Phi$ 30 inferiore
- 20 $\Phi$ 30 + 20 $\Phi$ 30 + 20 $\Phi$ 30 superiore
- Staffe  $\Phi$ 16/10 4 bracci

Verifica C.A. S.L.U. - File: SLE-MEZZ.

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

Titolo : \_\_\_\_\_

N° figure elementari  Zoom N° strati barre  Zoom

| N° | b [cm] | h [cm] |
|----|--------|--------|
| 1  | 350    | 200    |

| N° | As [cm <sup>2</sup> ] | d [cm] |
|----|-----------------------|--------|
| 1  | 141.4                 | 8.6    |
| 2  | 141.4                 | 191.4  |
| 3  | 141.4                 | 181.4  |
| 4  | 141.4                 | 171.4  |

Sollecitazioni

S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub>   kN

M<sub>xEd</sub>   kNm

M<sub>yEd</sub>

P.to applicazione N

Centro  Baricentro cls

Coord.[cm] xN  yN

Tipo rottura

Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

M<sub>xRd</sub>  kN m

$\sigma_c$   N/mm<sup>2</sup>

$\sigma_s$   N/mm<sup>2</sup>

$\epsilon_c$   ‰

$\epsilon_s$   ‰

d  cm

x  x/d

$\delta$

Metodo di calcolo

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

Metodo n

Tipo flessione

Retta  Deviata

N° rett.

Calcola MRd Dominio M-N

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

Precompresso

Materiali

B450C C30/37

$\epsilon_{su}$   ‰  $\epsilon_{c2}$   ‰

$f_{yd}$   N/mm<sup>2</sup>  $\epsilon_{cu}$   ‰

$E_s$   N/mm<sup>2</sup>  $f_{cd}$

$E_s/E_c$    $f_{cc}/f_{cd}$   ?

$\epsilon_{syd}$   ‰  $\sigma_{c,adm}$

$\sigma_{s,adm}$   N/mm<sup>2</sup>  $\tau_{co}$

$\tau_{c1}$

Verifica armatura longitudinale Pulvino – sezione di attacco con il fusto – SLU



| SLU                     |               | SLE - R                   |              | SLE - F                             |              | SLE - QP                            |               |
|-------------------------|---------------|---------------------------|--------------|-------------------------------------|--------------|-------------------------------------|---------------|
| SLU                     |               | SLE                       |              | SLE                                 |              | SLE                                 |               |
| MEd                     | 27526.4 [kNm] | MEk                       | 20676 [kNm]  | MEk                                 | 13365 [kNm]  | MEk                                 | 10116.9 [kNm] |
| NEd                     | 0.00 [kN]     | NEk                       | 0 [kN]       | NEk                                 | 0 [kN]       | NEk                                 | 0 [kN]        |
| VEd                     | 11234 [kN]    | <b>tensioni e fessure</b> |              | <b>tensioni e fessure</b>           |              | <b>tensioni e fessure</b>           |               |
| <b>presso-flessione</b> |               | Mdec                      | 0.0 [kNm]    | Mdec                                | 0.0 [kNm]    | Mdec                                | 0.0 [kNm]     |
| MRd                     | 29117.2 [kNm] | Mcr                       | 7847.1 [kNm] | Mcr                                 | 7847.1 [kNm] | Mcr                                 | 7847.1 [kNm]  |
| FS                      | 1.06          |                           |              |                                     |              |                                     |               |
|                         |               | yn                        | -38.17 [cm]  | yn                                  | -38.17 [cm]  | yn                                  | -38.17 [cm]   |
|                         |               | $\sigma_{c,min}$          | -9.8 [MPa]   | $\sigma_{c,min}$                    | -6.4 [MPa]   | $\sigma_{c,min}$                    | -4.8 [MPa]    |
|                         |               | $\sigma_{s,min}$          | -127.2 [MPa] | $\sigma_{s,min}$                    | -82.2 [MPa]  | $\sigma_{s,min}$                    | -62.2 [MPa]   |
|                         |               | $\sigma_{s,max}$          | 309.5 [MPa]  | $\sigma_{s,max}$                    | 200.1 [MPa]  | $\sigma_{s,max}$                    | 151.5 [MPa]   |
|                         |               |                           |              |                                     |              |                                     |               |
|                         |               |                           |              | $k_2$                               | 0.5          | $k_2$                               | 0.5           |
|                         |               |                           |              | $\varepsilon_{sm}-\varepsilon_{cm}$ | 0.73 [%]     | $\varepsilon_{sm}-\varepsilon_{cm}$ | 0.49 [%]      |
|                         |               |                           |              | $S_{r,max}$                         | 38.4 [cm]    | $S_{r,max}$                         | 38.4 [cm]     |
|                         |               |                           |              | $W_k$                               | 0.282 [mm]   | $W_k$                               | 0.189 [mm]    |

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

**geometria**

**sezione trasversale**

|                                  |     |       |    |
|----------------------------------|-----|-------|----|
| base                             | B = | 350   | cm |
| altezza                          | H = | 200   | cm |
| copriferro (asse armatura long.) | c = | 15.3  | cm |
| altezza utile                    | d = | 185   | cm |
| braccio coppia interna           | z = | 166.3 | cm |

**armatura a taglio**

|                |            |      |                 |
|----------------|------------|------|-----------------|
| numero braccia | n =        | 4    |                 |
| diametro       | $\phi$ =   | 16   | mm              |
| passo          | s =        | 10   | cm              |
| inclinazione   | $\alpha$ = | 90   | °               |
| area           | $A_{sw}$ = | 8.04 | cm <sup>2</sup> |

**armatura longitudinale tesa**

|              |            |       |                 |
|--------------|------------|-------|-----------------|
| numero barre | $n_1$ =    | 40    |                 |
| diametro     | $\phi_1$ = | 30    | mm              |
| numero barre | $n_2$ =    | 20    |                 |
| diametro     | $\phi_2$ = | 30    | mm              |
| area totale  | $A_{sl}$ = | 424.1 | cm <sup>2</sup> |

**materiali**

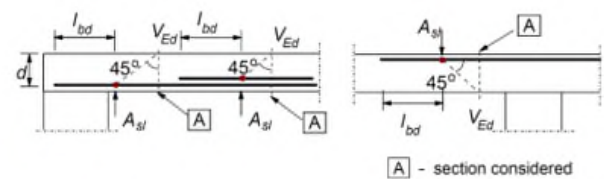
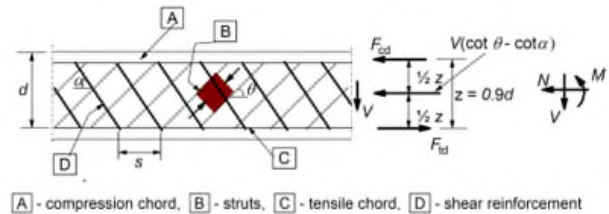
**calcestruzzo**

|  |                 |       |     |
|--|-----------------|-------|-----|
| 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**



**sollecitazioni e verifiche**

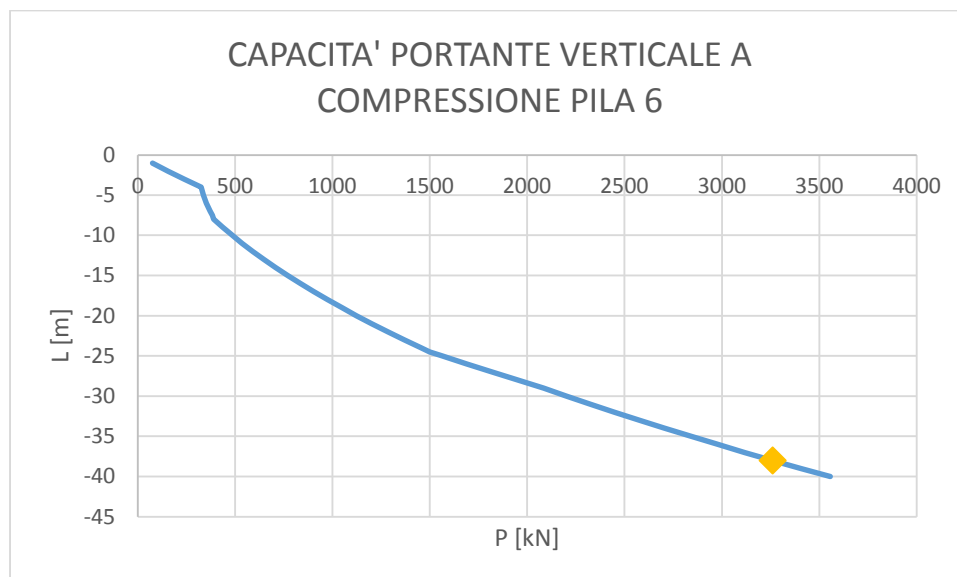
|                                  |               |         |         |
|----------------------------------|---------------|---------|---------|
| taglio                           | $V_{Ed}$ =    | 11234   | kN      |
| azione assiale                   | $N_{Ed}$ =    | 0       | kN      |
| resistenza elemento non armato   | $V_{Rdc}$ =   | 2879.6  | kN      |
| resistenza armatura a taglio     | $V_{Rds}$ =   | 11751.9 | kN      |
| resistenza bielle calcestruzzo   | $V_{Rdmax}$ = | 21165.8 | kN      |
| inclinazione bielle calcestruzzo | $\theta$ =    | 24.0    | °       |
| sezione                          |               |         | duttile |
| traslazione armatura long.       | ai =          | 186.7   | cm      |

Verifica armatura trasversale Pulvino – sezione di attacco con il fusto

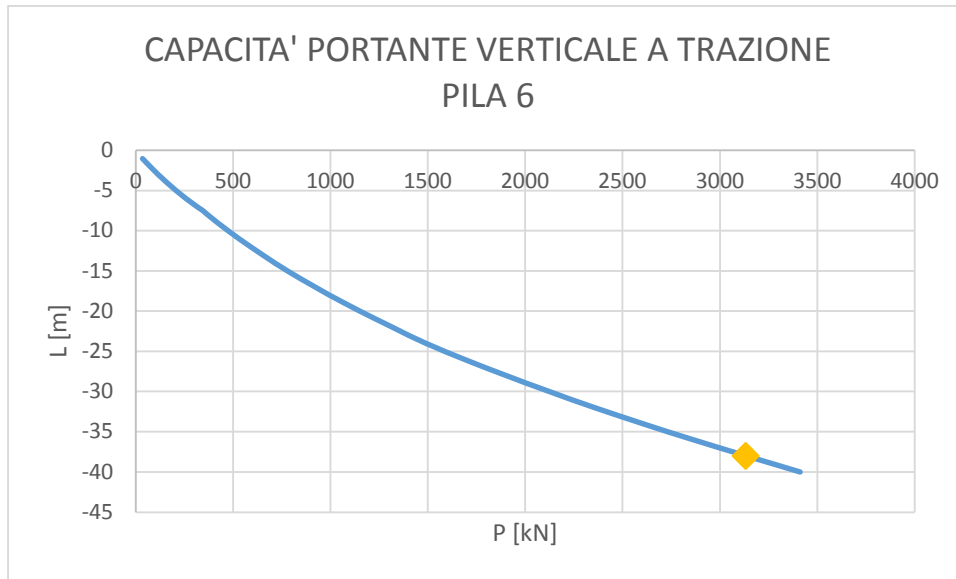
## 12.4 VERIFICHE PALI DI FONDAZIONE

I pali di fondazione sono realizzati in calcestruzzo armato, con un diametro pari a 1000mm. Di seguito si riportano le verifiche per la capacità portante in direzione verticale e trasversale. Le verifiche sono state condotte in accordo con NTC2018.

Per quanto riguarda la capacità portante verticale a compressione, il valore dell'azione agente sul palo più sollecitato risulta essere pari a 3129.4 kN. Data la presenza di pali in trazione, la cui azione agente è pari a 283 kN, è necessario effettuare anche una verifica a capacità portante a trazione. Pertanto, si utilizzano pali di lunghezza pari a 38.00m la cui capacità portante verticale a compressione è maggiore di quella agente, e pari a 3259.10 kN, mentre quella a trazione è pari a 3130.08 kN.



Capacità portante verticale a compressione dei pali



Capacità portante verticale a trazione dei pali

**AURELIA BIS**

PALI DI FONDAZIONE PILA 6

*Calcolo del carico trasversale limite*

Terreni incoerenti (Broms 1964)

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

|                       |              |  |
|-----------------------|--------------|--|
| H <sub>1,medio</sub>  | 43801.2 [kN] | $H = 1.5k_p\gamma d^3\left(\frac{L}{d}\right)^2$ |
| H <sub>1,minimo</sub> | 42322.6 [kN] |  |

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

|                       |              |  |
|-----------------------|--------------|--|
| H <sub>2,medio</sub>  | 14657.7 [kN] | $H = \frac{1}{2}k_p\gamma d^3\left(\frac{L}{d}\right)^2 + \frac{M_y}{L}$ |
| H <sub>2,minimo</sub> | 14164.9 [kN] |  |

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

|                       |             |  |
|-----------------------|-------------|--|
| H <sub>3,medio</sub>  | 1090.8 [kN] | $H = k_p\gamma d^3\sqrt[3]{\frac{3.676 M_y}{k_p\gamma d^4}}$ |
| H <sub>3,minimo</sub> | 1078.4 [kN] |  |

DEFINIZIONE DEL COMPORTAMENTO DEL PALO:

|                     |             |                       |
|---------------------|-------------|-----------------------|
| H <sub>medio</sub>  | 1090.8 [kN] | <b>PALO<br/>LUNGO</b> |
| H <sub>minimo</sub> | 1078.4 [kN] |                       |

CARICO TRASVERSALE ULTIMO:

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

|                |            |
|----------------|------------|
| H <sub>k</sub> | 661.1 [kN] |
|----------------|------------|

$H_d = H_k/\gamma_T$

|                     |            |
|---------------------|------------|
| γ <sub>T</sub>      | 1.3 [-]    |
| H <sub>d</sub>      | 508.5 [kN] |
| H <sub>agente</sub> | 430.7 [kN] |

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

DATI GEOMETRICI:

|                       |                       |           |
|-----------------------|-----------------------|-----------|
| Lunghezza del palo    | L                     | 37 [m]    |
| Diametro del palo     | D <sub>palo</sub>     | 1 [m]     |
| Diametro del tubolare | D <sub>tubolare</sub> | 1000 [mm] |

Momento di plasticizzazione M<sub>y</sub> 2122.0 [kNm]

DATI GEOTECNICI:

|                                       |                       |                        |
|---------------------------------------|-----------------------|------------------------|
| Peso per unità di volume              | γ'                    | 9 [kN/m <sup>3</sup> ] |
| Angolo attrito medio                  | φ <sub>media</sub>    | 24 [°]                 |
| Coefficiente di spinta passiva medio  | k <sub>p,media</sub>  | 2.37 [-]               |
| Angolo attrito minimo                 | φ <sub>minimo</sub>   | 23 [°]                 |
| Coefficiente di spinta passiva minimo | k <sub>p,minimo</sub> | 2.29 [-]               |

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 |

Capacità portante trasversale pali

L'armatura dei pali di fondazione è costituita da:



Comune di Vado Ligure

Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo

Ponte “Aurelia-bis” – Relazione di calcolo sottostrutture e fondazioni

- 30 $\Phi$ 26 armatura longitudinale
- Staffe  $\Phi$ 12/20

Si riportano le massime sollecitazioni agenti sui pali di fondazione

| N [kN] | V [kN] | M [kNm] |
|--------|--------|---------|
| 3129.4 | 430.7  | 2153.5  |

Si riporta di seguito la verifica strutturale dei pali di fondazione.

**Verifica C.A. S.L.U. - File: Verifica Palo**

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

**Titolo :** \_\_\_\_\_

**Sezione circolare cava**

- Raggio esterno: 50 [cm]
- Raggio interno: 0 [cm]
- N° barre uguali: 30
- Diametro barre: 2.6 [cm]
- Copriferro (baric.): 8 [cm]

**N° barre:** 0 **Zoom**

**Sollecitazioni**

S.L.U. **Metodo n**

**N<sub>Ed</sub>** 3129.4 0 kN

**M<sub>xEd</sub>** 2153.5 0 kNm

**M<sub>yEd</sub>** 0 0

**P.to applicazione N**

Centro  Baricentro cls

Coord.[cm] xN 0 yN 0

**Tipo rottura**

Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

**M<sub>xRd</sub>** 2'760 kN m

**Materiali**

**B450C** **C32/40**

$\epsilon_{su}$  67.5 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰

$f_{yd}$  391.3 N/mm<sup>2</sup>  $\epsilon_{cu}$  3.5

$E_s$  200'000 N/mm<sup>2</sup>  $f_{cd}$  18.13

$E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  0.8 ?

$\epsilon_{syd}$  1.957 ‰  $\sigma_{c,adm}$  12.25

$\sigma_{s,adm}$  255 N/mm<sup>2</sup>  $\tau_{co}$  0.7333

$\tau_{c1}$  2.114

$\sigma_c$  -18.13 N/mm<sup>2</sup>

$\sigma_s$  391.3 N/mm<sup>2</sup>

$\epsilon_c$  3.5 ‰

$\epsilon_s$  4.426 ‰

d 92 cm

x 40.62 x/d 0.4416

$\delta$  0.992

**Tipo Sezione**

Rettan.re  Trapezi

a T  Circolare

Rettangoli  Coord.

**Metodo di calcolo**

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

Metodo n

**Tipo flessione**

Retta  Deviate

Vertici: 52 N° rett. 100

**Calcola MRd** **Dominio M-N**

$L_0$  0 cm **Col. modello**

Precompresso

Verifica strutturale pali di fondazione



**verifica a taglio di una sezione rettangolare**

secondo EN 1992-1-1:2004/E

**geometria**

**sezione trasversale**

|                                  |     |      |    |
|----------------------------------|-----|------|----|
| base                             | B = | 70.7 | cm |
| altezza                          | H = | 70.7 | cm |
| copriferro (asse armatura long.) | c = | 8    | cm |
| altezza utile                    | d = | 62.7 | cm |
| braccio coppia interna           | z = | 56.4 | cm |

**armatura a taglio**

|                |            |      |                 |
|----------------|------------|------|-----------------|
| numero braccia | n =        | 2    |                 |
| diametro       | $\phi$ =   | 12   | mm              |
| passo          | s =        | 20   | cm              |
| inclinazione   | $\alpha$ = | 90   | °               |
| area           | $A_{sw}$ = | 2.26 | cm <sup>2</sup> |

**armatura longitudinale tesa**

|              |            |      |                 |
|--------------|------------|------|-----------------|
| numero barre | $n_1$ =    | 10   |                 |
| diametro     | $\phi_1$ = | 26   | mm              |
| numero barre | $n_2$ =    | 0    |                 |
| diametro     | $\phi_2$ = | 0    | mm              |
| area totale  | $A_{sl}$ = | 53.1 | cm <sup>2</sup> |

**materiali**

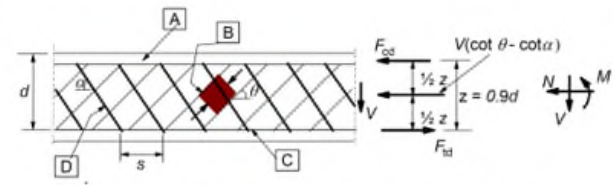
**calcestruzzo**

|  |                 |       |     |
|--|-----------------|-------|-----|
| 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     | $v$ =           | 0.520 |     |
| tensione di calcolo bielle             | $v f_{cd}$ =    | 9.8   | MPa |

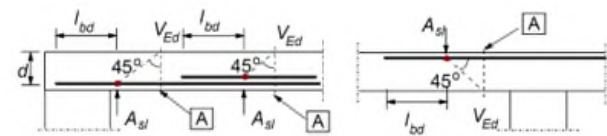
**acciaio**

|                                    |              |       |     |
|------------------------------------|--------------|-------|-----|
| 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                           | $V_{Ed}$ =    | 430.7   | kN |
| azione assiale                   | $N_{Ed}$ =    | 0       | kN |
| resistenza elemento non armato   | $V_{Rdc}$ =   | 284.1   | kN |
| resistenza armatura a taglio     | $V_{Rds}$ =   | 624.3   | kN |
| resistenza bielle calcestruzzo   | $V_{Rdmax}$ = | 1346.7  | kN |
| inclinazione bielle calcestruzzo | $\theta$ =    | 21.8    | °  |
| sezione                          |               | duatile |    |
| traslazione armatura long.       | $a_l$ =       | 70.5    | cm |

Verifica a taglio pali di fondazione