



Autostrada dei Fiori

Tronco A10: Savona - Ventimiglia (confine francese)

NUOVO SVINCOLO AUTOSTRADALE DI VADO LIGURE

CARREGGIATA SUD / CARREGGIATA NORD
Progr. Km 47+545

PROGETTO DEFINITIVO

OPERE D'ARTE MAGGIORI

PONTE STRADA BOSSARINO

Relazione tecnica e di calcolo sottostrutture, fondazioni e muri andatori

PROGETTISTA	RESPONSABILE INTEGRAZIONE ATTIVITÀ SPECIALISTICHE	IMPRESA	COMMITTENTE
Dott. Ing. Enrico GHISLANDI Ordine degli Ingegneri Provincia di Milano n° 16993	Dott. Ing. Enrico GHISLANDI Ordine degli Ingegneri Provincia di Milano n° 16993		Autostrada dei Fiori S.p.A. Via della Repubblica, 46 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		


CODIFICA	PROGETTO	LIV	TRONCO	DOCUMENTO	REV	WBS
	P280	D	A10	OMG RC	010 A	A10IBT0001
						CUP
						I44E14000810005

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO	VISTO DELLA COMMITTENTE

SINA S.p.A.

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

**STRADA BOSSARINO
RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO SOTTOSTRUTTURE, FONDAZIONI E MURI ANDATORI**

						
A	Febbraio.2020	Prima Emissione	SINA	DT/OC	DT	
Rev.	Data	Descrizione	Redatto	Controllato	Approvato	
			Documento: P280_D_OMG_RC_010_A.docx			



INDICE

1.	INTRODUZIONE	5
2.	NORMATIVE DI RIFERIMENTO.....	6
3.	INQUADRAMENTO GEOLOGICO	7
4.	CARATTERIZZAZIONE E PARAMETRI GEOTECNICI	8
5.	MATERIALI.....	9
5.1	ACCIAIO PER ARMATURA CONVENZIONALE DI STRUTTURE IN C.A.	9
5.2	CONGLOMERATO CEMENTIZIO	9
5.2.1	CALCESTRUZZO PER FONDAZIONI	9
5.2.2	CALCESTRUZZO PER ELEVAZIONI	10
6.	DESCRIZIONE DELL'OPERA	12
7.	CARICHI DI PROGETTO.....	16
7.1	PESO PROPRIO CARPENTERIA METALLICA	16
7.2	PESO PROPRIO SOLETTA	16
7.3	CARICHI PERMANENTI	16
7.4	EFFETTI REOLOGICI: RITIRO E VISCOSITÀ (ϵ_2)	17
7.5	CARICHI MOBILI VARIABILI.....	17
7.6	AZIONE LONGITUDINALE DI FRENAMENTO E ACCELERAZIONE	18
7.7	AZIONE DEL VENTO	18
7.7.1	VENTO TRASVERSALE SULLE STRUTTURE DI IMPALCATO	20
7.8	VARIAZIONI TERMICHE (ϵ_3).....	21
7.8.1	VARIAZIONI TERMICHE UNIFORMI (Δ_{TN})	21
7.8.2	VARIAZIONI TERMICHE LINEARI (Δ_{TM})	21
7.9	SPINTA DELLE TERRE	22
7.10	SPINTA DEL SOVRACCARICO	22
7.11	RICOPRIMENTO.....	22
7.12	AZIONI SISMICHE	22
7.12.1	SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO IN ACCELERAZIONE DELLA COMPONENTE ORIZZONTALE	23
7.12.2	SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO IN ACCELERAZIONE DELLA COMPONENTE VERTICALE	25
7.12.3	INCREMENTO SISMICO DELLA SPINTA DELLE TERRE (TEORIA DI WOOD)	25



8.	VERIFICA SPALLA LATO VADO LIGURE	26
8.1	DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO.....	26
8.1.1	GEOMETRIA DEL MODELLO	26
8.1.2	VINCOLI	28
8.1.3	CONDIZIONI DI CARICO STATICO	30
8.1.4	COMBINAZIONI DI CARICO	41
8.2	RISULTATI ANALISI STRUTTURALE	41
8.2.1	REAZIONI VINCOLARI.....	41
8.2.2	DIAGRAMMI AZIONI INTERNE.....	44
8.3	VERIFICHE ELEMENTI IN C.A	55
8.4	VERIFICHE PALI DI FONDAZIONE	62
9.	VERIFICA SPALLA LATO DISCARICA BOSSARINO	66
9.1	DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO.....	66
9.1.1	GEOMETRIA DEL MODELLO	66
9.1.2	VINCOLI	68
9.1.3	CONDIZIONI DI CARICO STATICO	70
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 CENTRALE.....	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	125
10.2	RISULTATI ANALISI STRUTTURALE	126
10.2.1	REAZIONI VINCOLARI.....	126
10.2.2	DIAGRAMMI AZIONI INTERNE.....	129
10.3	VERIFICHE ELEMENTI IN C.A	140
10.4	VERIFICHE PALI DI FONDAZIONE	149
11.	VERIFICA MURO ANDATORE.....	153
11.1	DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO.....	153
11.1.1	GEOMETRIA DEL MODELLO	153
11.1.2	COMBINAZIONI DI CARICO	155
11.2	RISULTATI ANALISI STRUTTURALE	155



Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostrutture, fondazioni
e muri andatori

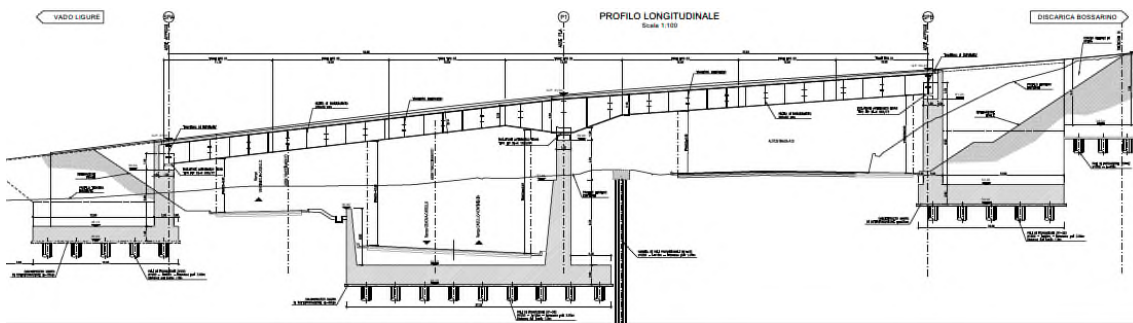
11.2.1	PARAMENTO DEL MURO	155
11.2.2	PIASTRA DI FONDAZIONE.....	155
11.2.3	PALI DI FONDAZIONE	158
11.3	VERIFICHE STRUTTURALI	159
11.3.1	PARAMENTO DEL MURO	159
11.3.2	PIASTRA DI FONDAZIONE.....	160
11.3.3	PALI DI FONDAZIONE	161
11.4	VERIFICHE GEOTECNICHE	162
11.4.1	STABILITÀ GLOBALE	162
11.4.2	CAPACITÀ PORTANTE	163
11.4.3	PORTANZA TRASVERSALE	164
12.	INTERVENTO DI CONSOLIDAMENTO CON PALI IN GHIAIA.....	165

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 della pila inerente la realizzazione del “Ponte Strada Bossarino”, posto lungo la strada che porta alla discarica di Bossarino, presente a monte della sede A10 “Autostrada dei Fiori” esistente.

Le verifiche strutturali dell’impalcato sono presenti nella relazione specifica di progetto P280_D_OMG_RC_007.



Ponte Strada Bossarino



2. NORMATIVE DI RIFERIMENTO

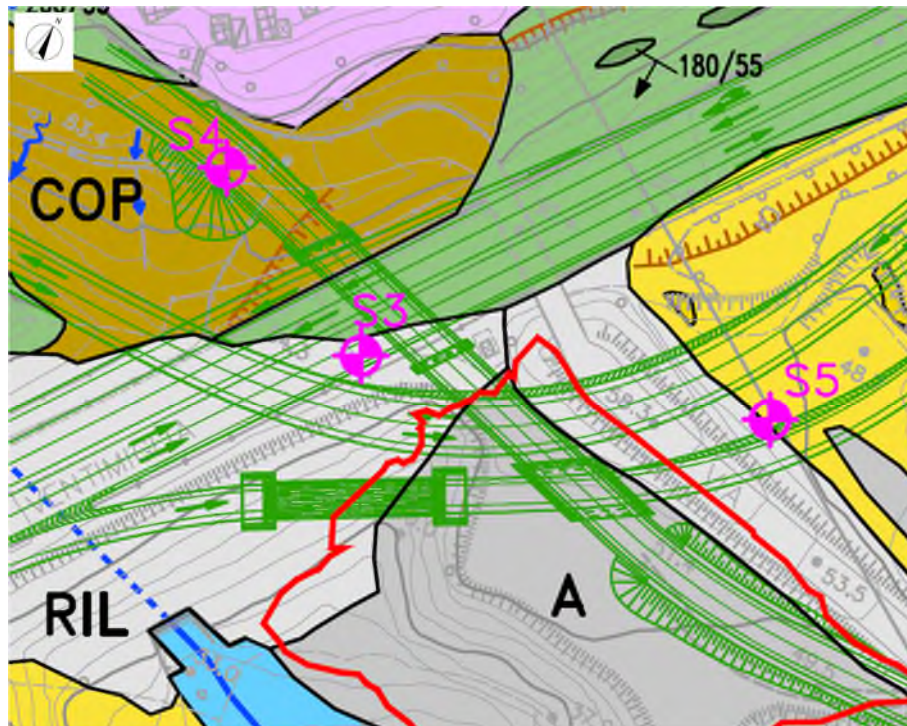
Le opere oggetto della presente relazione di calcolo sono state sviluppate in base alle seguenti principali normative e istruzioni di riferimento.

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

3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Dal punto di vista geologico, l'area della strada Bossarino è caratterizzata, partendo da nord, da: uno strato sottile di coltre superficiale che giace sui metasedimenti permiani, presenti anche al di sotto del corpo autostradale, per poi attraversare una parte di rilevato dello stesso e terminare in materiali da riporto di rifiuti, che verrà sottoposto alle opportune bonifiche, eseguite secondo Normativa.

Tutte le fondazioni della struttura poggiano su metasedimenti permiani.



ELEMENTI GEOLOGICI

DISCARICA

DISC Discarica di Bossarino: materiali misti di abbancamento

RITOMBAMENTO

RT Terreni rimaneggiati di ritombamento della struttura della galleria ferroviaria "Tona": spessore max di circa 20m (lavori eseguiti nel 1968-1970)

RIPORTI

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

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

C Terreni di riporto di livellamento locale del piazzale

RILEVATI

RIL Rilevati autostradali e stradali

DEPOSITI ALLUVIONALI

AR Depositi alluvionali recenti (Quaternario recente)

AT Depositi alluvionali terrazzati (Quaternario medio-recente)

DEPOSITI PLEISTOCENICI

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

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

COPERTURA

COP Copertura detritica discontinua di spessore mediamente compresa tra 3m e 5m

METASEDIMENTI PERMIANI

MSP 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)

ELEMENTI LINEARI E PUNTUALI

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

100/0 Giacitura stratificazione e/o scistosità principale

100/90 Giacitura sub-verticale

20/0 Immersione asse di piega

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

F 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:

Descrizione geologica (codice)	Descrizione geotecnica	γ (kN/m³)	ϕ' (°)	c' (kPa)	E'_{25} (MPa)
Rilevati (RIL)	Ghiaia sabbioso limosa, addensata	19-20	34-36	0-2	50-80
Coperture detritiche (COP)	Ghiaia in matrice limosa, limoso sabbiosa-argillosa	18-19	27-29	2-5	15-30
Metasedimenti permiani (SC1)	Scisti quarzo sericitici, scisti filladico-sericitici, scisti cloritico-sericitici, micascisti, molto alterati	21-22	24-26	10-15	50-90
Metasedimenti permiani (SC2)	Scisti quarzo sericitici, scisti filladico-sericitici, scisti cloritico-sericitici, micascisti, mediamente alterati	22-23	28-30	20-40	80-150
Metasedimenti permiani (SC3)	Scisti quarzo sericitici, scisti filladico-sericitici, scisti cloritico-sericitici, micascisti, poco alterati	23-24	30-32	60-80	150-250
Riporti fini (RIP2)	Limi, limi sabbiosi, limi argillosi poco o nulla consistenti	17-18	18-20	0-2	10-15



5. MATERIALI

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

5.1 ACCIAIO PER ARMATURA CONVENZIONALE DI STRUTTURE IN C.A.

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

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

5.2 CONGLOMERATO CEMENTIZIO

5.2.1 CALCESTRUZZO PER FONDAZIONI

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

Resistenza caratteristica cubica a compressione	R_{ck}	=	30,00	N/mm ²
Resistenza caratteristica cilindrica a compressione	$f_{ck} = 0.83 \cdot R_{ck}$	=	25,00	N/mm ²
Resistenza media cilindrica a compressione	$f_{cm} = f_{ck} + 8$	=	33,00	N/mm ²
Resistenza media a trazione semplice	$f_{ctm} = 0.30 f_{ck}^{2/3}$	=	2,56	N/mm ²



Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostrutture, fondazioni e muri andatori

Resistenza caratteristica a trazione	$f_{ctk} = 0.7 f_{ctm}$	= 1,80	N/mm ²
Coefficiente riduttivo per le resistenze di lunga durata	α_{cc}	= 0,85	
Coefficiente parziale di sicurezza del calcestruzzo	γ_c	= 1,50	
Resistenza di calcolo a compressione	$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c$	= 14,17	N/mm ²
Resistenza di calcolo a trazione	$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c$	= 1,20	N/mm ²
Modulo Elastico	$E_{cm} = (f_{cm} / 10)^{0.3}$	= 22000 = 31480	N/mm ²

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 ²
Resistenza caratteristica cilindrica a compressione	$f_{ck} = 0.83 \cdot R_{ck}$	= 32,00	N/mm ²
Resistenza media cilindrica a compressione	$f_{cm} = f_{ck} + 8$	= 40,00	N/mm ²
Resistenza media a trazione semplice	$f_{ctm} = 0.30 f_{ck}^{2/3}$	= 3,02	N/mm ²
Resistenza caratteristica a trazione	$f_{ctk} = 0.7 f_{ctm}$	= 2,12	N/mm ²
Coefficiente riduttivo per le resistenze di lunga durata	α_{cc}	= 0,85	
Coefficiente parziale di sicurezza del calcestruzzo	γ_c	= 1,50	
Resistenza di calcolo a compressione	$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c$	= 18,13	N/mm ²



Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostrutture, fondazioni
e muri andatori

Resistenza di calcolo a trazione	$f_{ctd} = f_{ctk}/\gamma_c$	= 1,41	N/mm ²
Modulo Elastico	$E_{cm} = (f_{cm}/10)^{0.3}$	= 22000	N/mm ²
		= 33350	N/mm ²

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 ponte con andamento planimetrico in retto caratterizzato da una forte pendenza longitudinale (circa 12.00%) ad due campate in continuità di lunghezza complessiva pari a 40.7+37.5 m, misurata tra gli assi appoggi. Nel dettaglio, vengono descritte solamente le caratteristiche delle strutture di supporto dell'impalcato, ovvero spalle e pile.

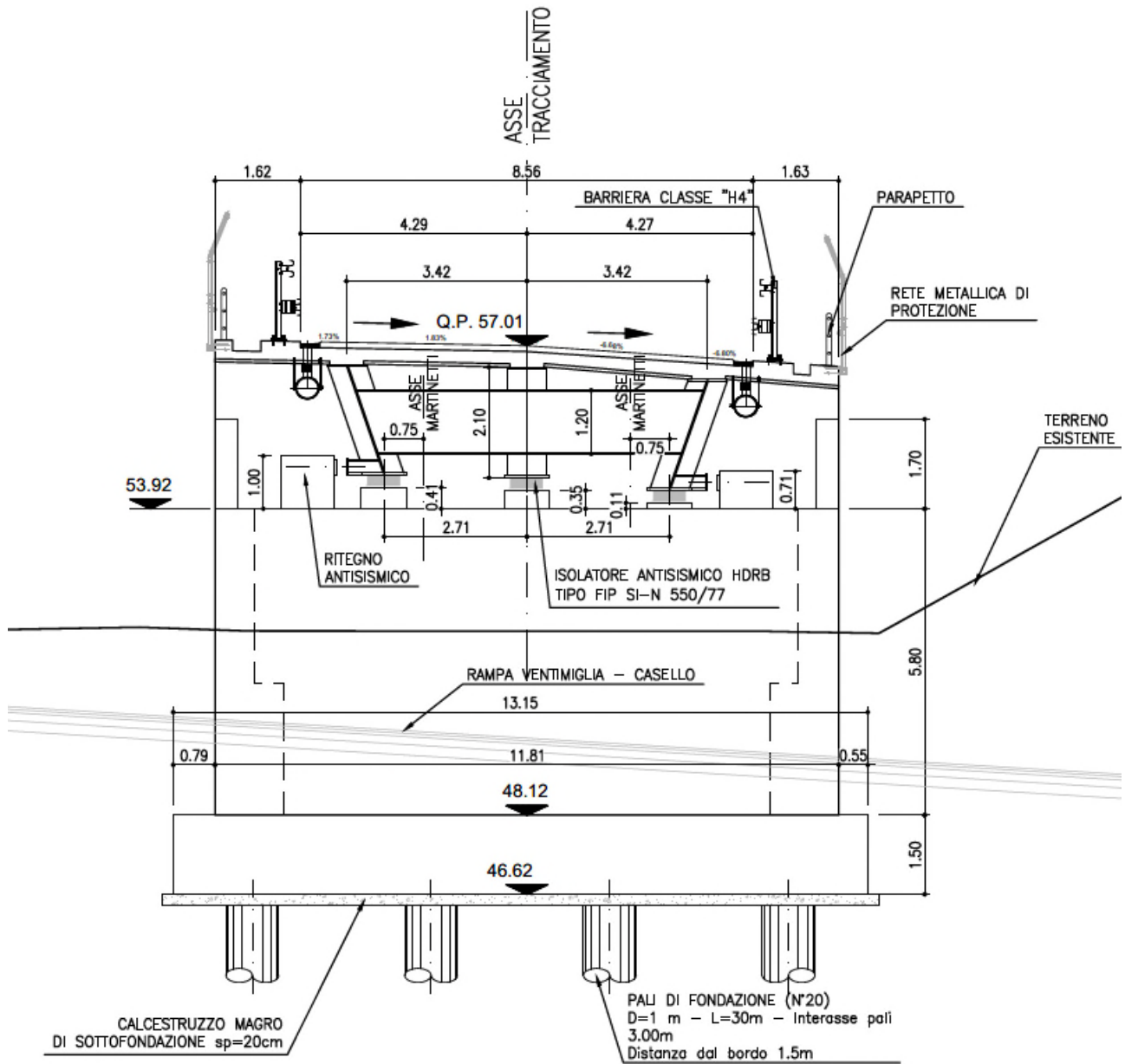
Queste, sono previste in c.a. ordinario e si configurano come muri di sostegno fondati su basamenti rettangolari. La particolarità della pila centrale sta nel fatto che parte delle strutture di fondazione dell'elevazione sono deputate anche a costituire le strutture portanti per la sede stradale inferiore della rampa autostradale in progetto.

Più in dettaglio, la pila è composta da un muro in elevazione su cui è appoggiata la trave principale centrale, mentre le travi laterali sono sorrette e sbalzo dal traverso di appoggio rigido; il muro ha spessore minimo pari a 150 cm in sommità, accrescendo lo spessore verso la sezione di imposta sul basamento fino a un massimo di 268 cm. Il muro di pila risulta fortemente inclinato rispetto l'andamento longitudinale del viadotto, in accordo con il tracciato interferente.

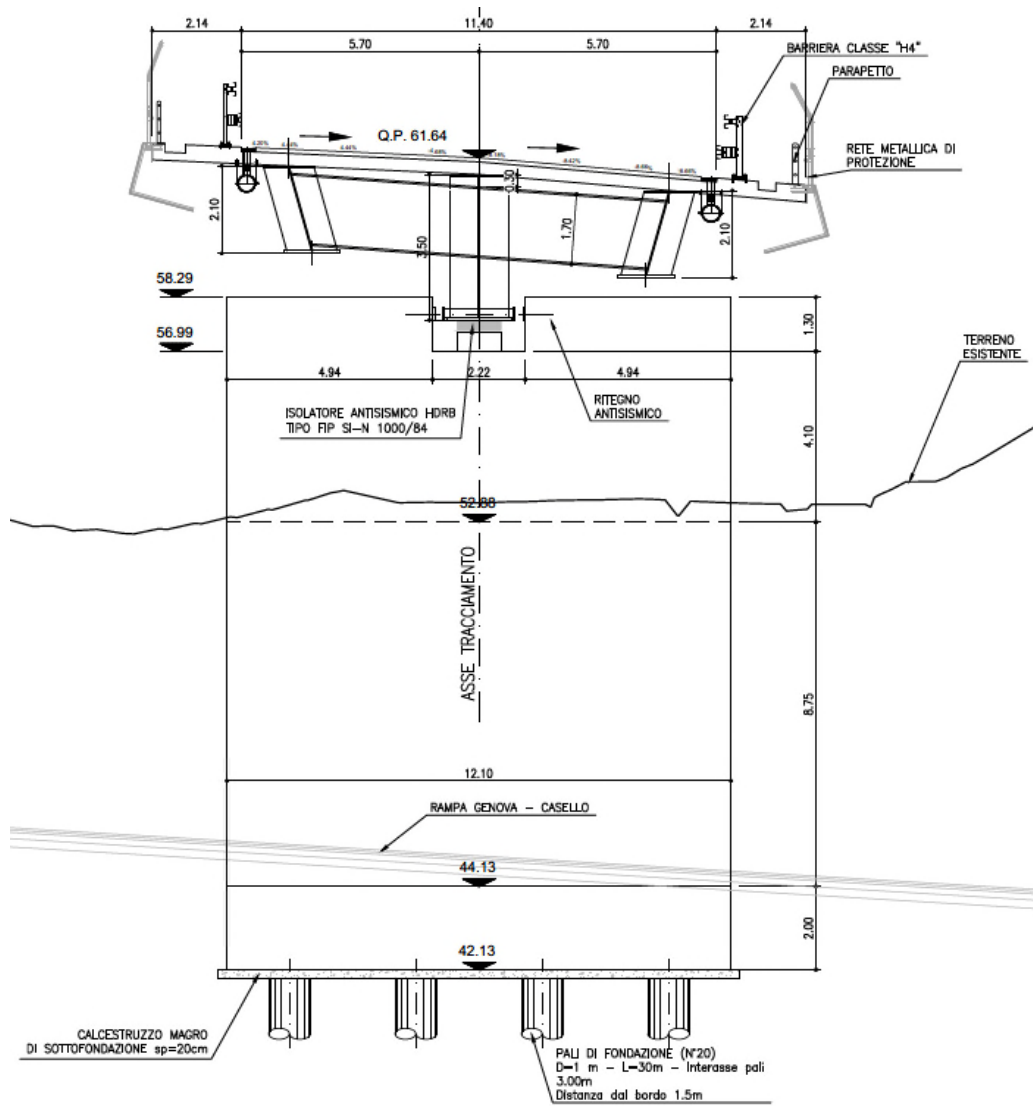
Le spalle si compongono di un muro frontale su cui sono in diretto appoggio i dispositivi di vincolo dell'impalcato, dello spessore complessivo di 200 cm. La spalla maggiore lato Bossarino (spalla 2) presenta un muro di spalla con altezza di 8.80 m.

In sommità i muri sono completati dal paraghiaia con funzione di proteggere l'impalcato dal terreno retrostante la spalla. Il muro paraghiaia ha spessore contenuto e pari a 50 cm. Completano la struttura i muri d'ala laterali, impostati sul basamento, con la funzione di contenere le spinte laterali del terrapieno adiacente.

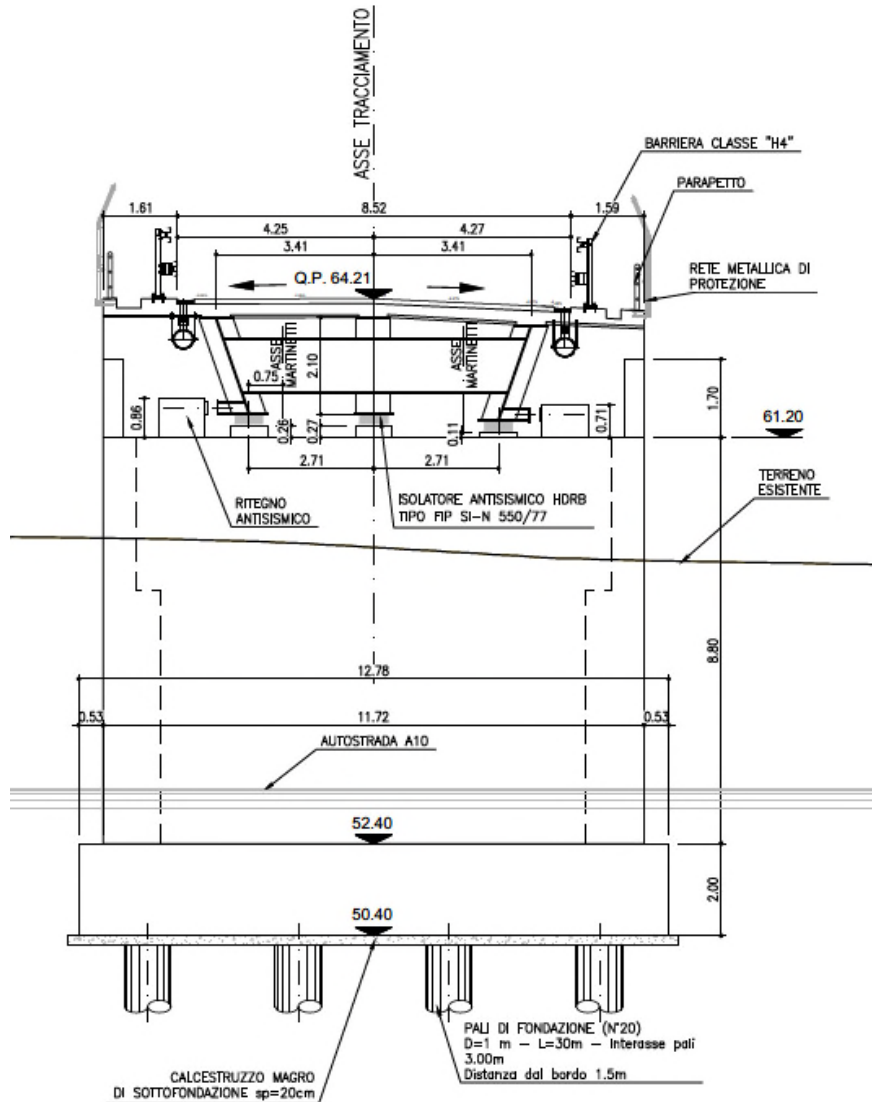
Tutte le elevazioni sono fondate su un basamento pseudo-rettangolare con altezza pari a 200 cm impostato su batteria di pali trivellati nel terreno, i pali hanno un diametro pari a 100cm e sono disposti secondo una maglia regolare 3m x 3m. Sotto la spalla 1 sono previsti 20 pali di fondazione di lunghezza pari a 30.00m mentre sotto la spalla 2 ne sono stati previsti 25 di lunghezza pari a 32.00m. La pila è anch'essa fondata su pali di diametro 100cm in numero pari a 36 di lunghezza 32.00m.



Spalla lato Vado Ligure



Pila centrale



Spalla lato Discarica Bossarino



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 considerati sono i seguenti:

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



7.4 EFFETTI REOLOGICI: RITIRO E VISCOSITÀ (ε2)

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:

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

Dove:

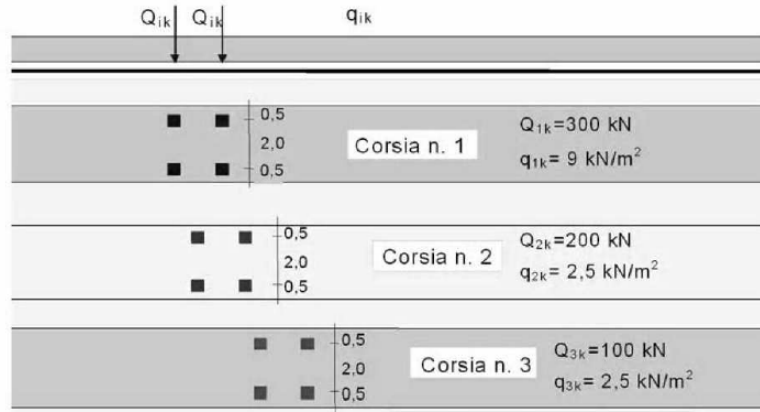
$E_{c0} = 33.643 \text{ N/mm}^2$ è il modulo elastico istantaneo del calcestruzzo assunto per l'impalcato in progetto;

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

Valori del coefficiente ψ_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_{ik}) e da carichi distribuiti uniformemente sulle corsie (q_{ik}).



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_{ik})	Carico uniforme (q_{ik})



Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostrutture, fondazioni
e muri andatori

Corsia n. 1	300 kN (150 kN/impronta)	9,0 kN/m ²
Corsia n. 2	200 kN (100 kN/impronta)	2,5 kN/m ²
Parte carrabile rimanente	--	2,5 kN/m ²

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

- a) Singola corsia di carico su impalcato con distribuzione fortemente eccentrica;
- b) Impalcato a pieno carico (due corsie di carico).

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

Le disposizioni longitudinali considerate per le verifiche di resistenza degli elementi strutturali in progetto (travi, traversi, apparecchi di appoggio) sono state definite per massimizzare gli effetti flettenti in mezzera e in continuità su pila 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 79 m, la forza di frenamento vale: $q_3 = 573 \text{ kN}$

7.7 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;
- ρ 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 α_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;



Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostrutture, fondazioni
e muri andatori

- 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:

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

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:

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

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



Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostrutture, fondazioni e muri andatori

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

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

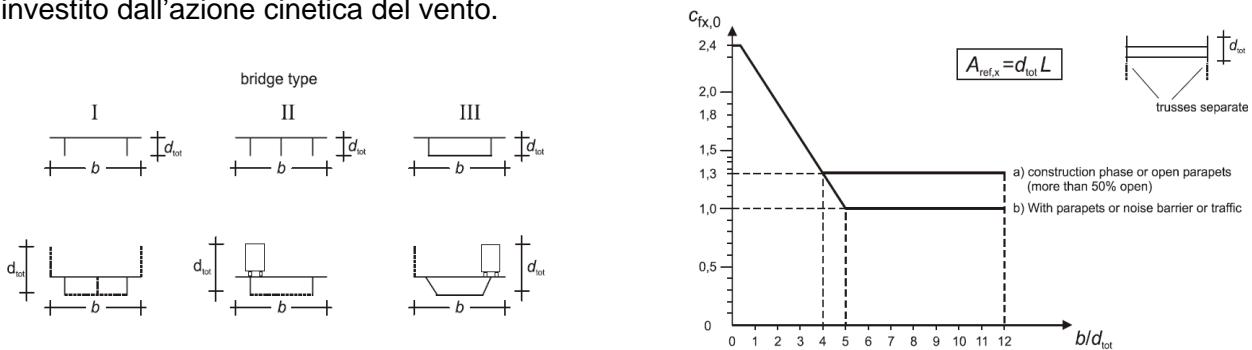
Categoria di esposizione III $k_r = 0,20$; $z_0 = 0,10$ m; $z_{min} = 5,00$ m

Si passa a valutare il coefficiente di esposizione c_e alla quota di estradosso dell'impalcato in corrispondenza della sezione di massima altezza dal suolo, assunta a favore di sicurezza pari a 16.30 m:

$$c_{e1} = c_e(z = 16,30 \text{ m}) = 0,20^2 \cdot 1,00 \cdot \ln \left(\frac{16,30}{0,10} \right) \times \left[7 + 1,00 \cdot \ln \left(\frac{16,30}{0,10} \right) \right] = 2,464$$

7.7.1 VENTO TRASVERSALE SULLE STRUTTURE DI IMPALCATO

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



Schema di variabilità del coefficiente di forma per impalcato da ponte

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

- | | |
|--|--------|
| 1. Altezza massima impalcato | 3.80 m |
| 2. Altezza pavimentazione | 0,11 m |
| 3. Altezza cordolo laterale sopra pavimento | 0,15 m |
| 4. Altezza barriera di protezione | 4,00 m |
| 5. Altezza convenzionale della colonna di carico | 3,00 m |



Vento a ponte scarico

$$d = 11,00 \text{ m} \quad h_{\text{tot}} = 1+3+4 = 7,95 \text{ m} \quad d/h_{\text{tot}} = 1,384 \quad c_p = 2,085$$

- pressione trasversale

$$p_v = 0,62 \text{ kN/m}^2 \times 2,464 \times 2,085 = 3,19 \text{ kN/m}^2$$

Vento a ponte carico

$$d = 14,80 \text{ m} \quad h_{\text{tot}} = 1+2+5 = 5,90 \text{ m} \quad d/h_{\text{tot}} = 2,51 \quad c_p = 1,75$$

- pressione trasversale

$$p_v = 0,62 \text{ kN/m}^2 \times 2,311 \times 1,75 = 2,51 \text{ kN/m}^2$$

7.8 VARIAZIONI TERMICHE (ϵ_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.

7.8.1 VARIAZIONI TERMICHE UNIFORMI (Δ_{TN})

Per l'Italia, il “range” di temperatura dell'aria è definito dai seguenti valori (NTC-18 cap. 3.5 – EN 1991-1-5+N.A.D.):

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

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

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

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

7.8.2 VARIAZIONI TERMICHE LINEARI (Δ_{TM})

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



7.9 SPINTA DELLE TERRE

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

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

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

7.10 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.

7.11 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.

7.12 AZIONI SISMICHE

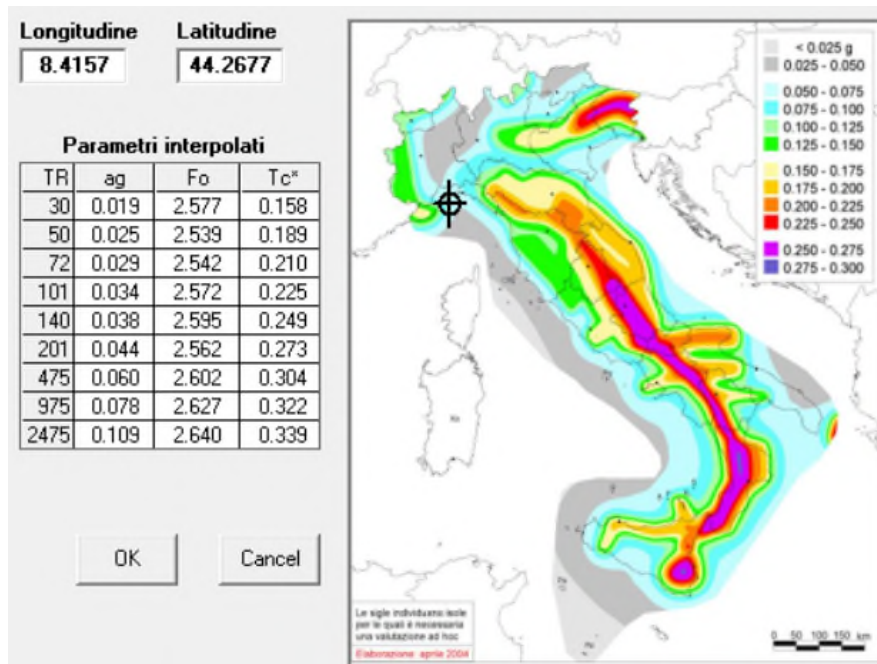
La valutazione dell'azione sismica sulle strutture è stata condotta in osservanza alle prescrizioni contenute nel D.M. 17.01.2018: “Norme Tecniche per le Costruzioni”.

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

Per quanto riguarda la categoria di sottosuolo, si è assunta la categoria di sottosuolo B. Le caratteristiche della superficie topografica rientrano nella categoria T2.

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



Sismicità del sito in esame

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

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

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

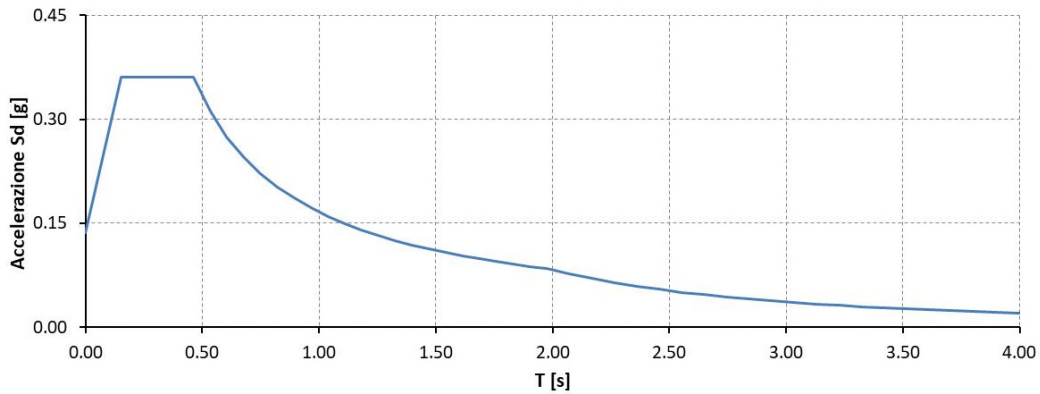
$$T_R = \frac{200}{\ln(1 - P_{VR})} = \frac{200}{\ln(1 - 0,10)} = 198 \text{ anni}$$

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.

7.12.1 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 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 η il valore corrispondente al coefficiente di smorzamento viscoso equivalente ξ_{esi} del sistema di isolamento.

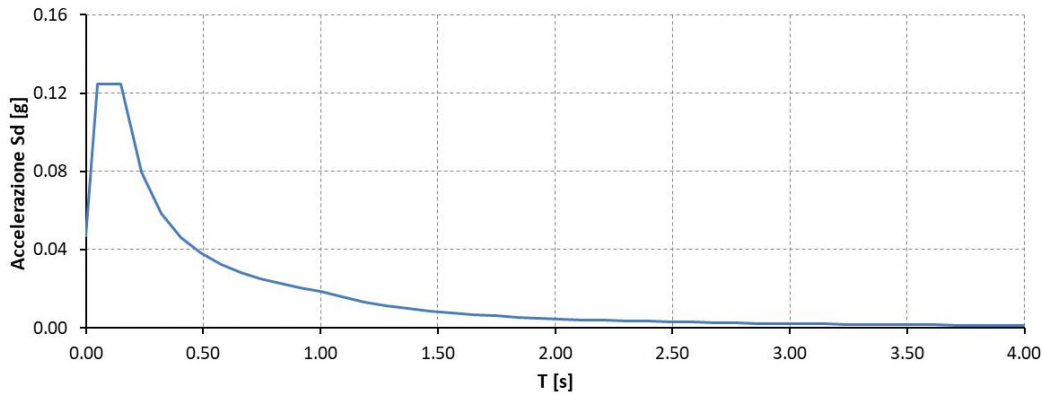
Poiché si prevede di adottare isolatori elastomerici a miscela dura e a elevato smorzamento ($\xi_{esi} = 15\%$) il fattore η di alterazione dello spettro elastico assume il valore seguente:

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

Per gli spettri utilizzati ai fini delle analisi dinamiche si rimanda ai capitoli successivi.

7.12.2 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

7.12.3 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 LATO VADO LIGURE

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.

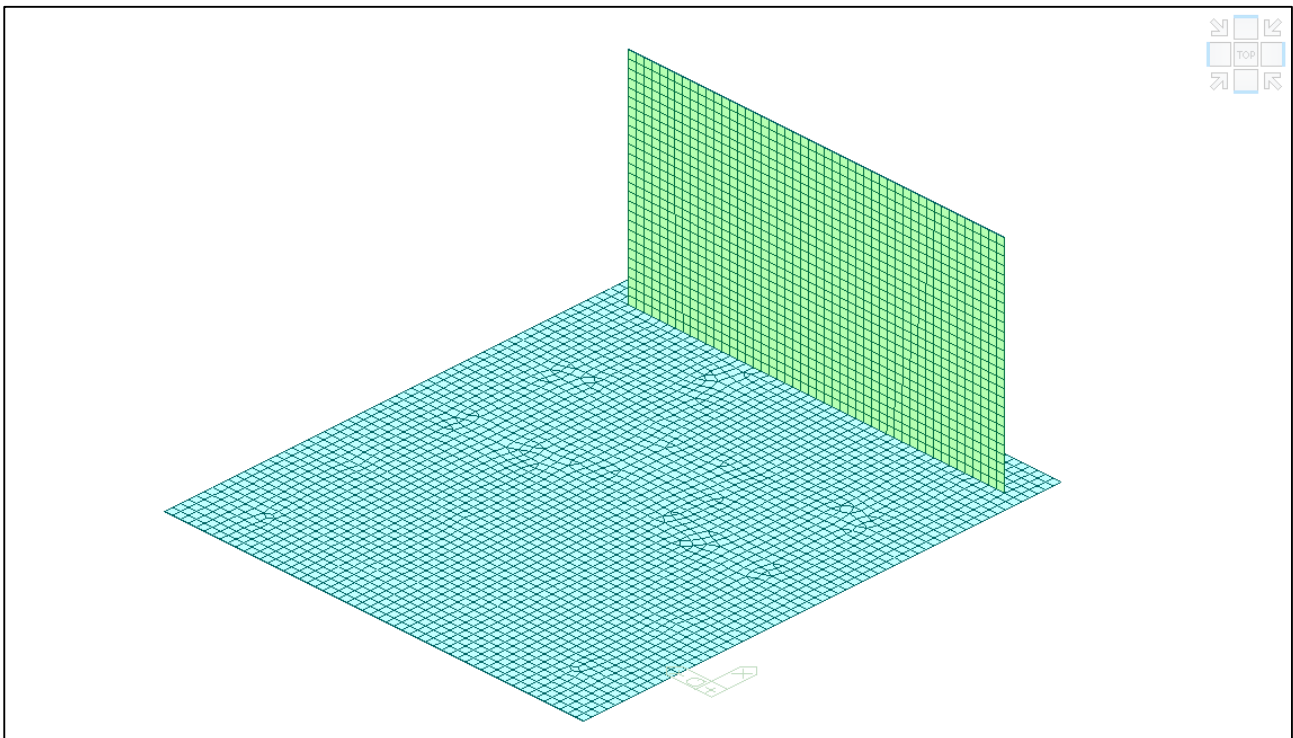
Nei successivi paragrafi sono descritte in dettaglio tutte le ipotesi poste alla base delle analisi sviluppate.

8.1 DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO

8.1.1 GEOMETRIA DEL MODELLO

La spalla si compone di un muro frontale dello spessore di 200 cm e da una platea di fondazione dello spessore di 150cm. In sommità è presente un paraghiaia di spessore pari a 50 cm.

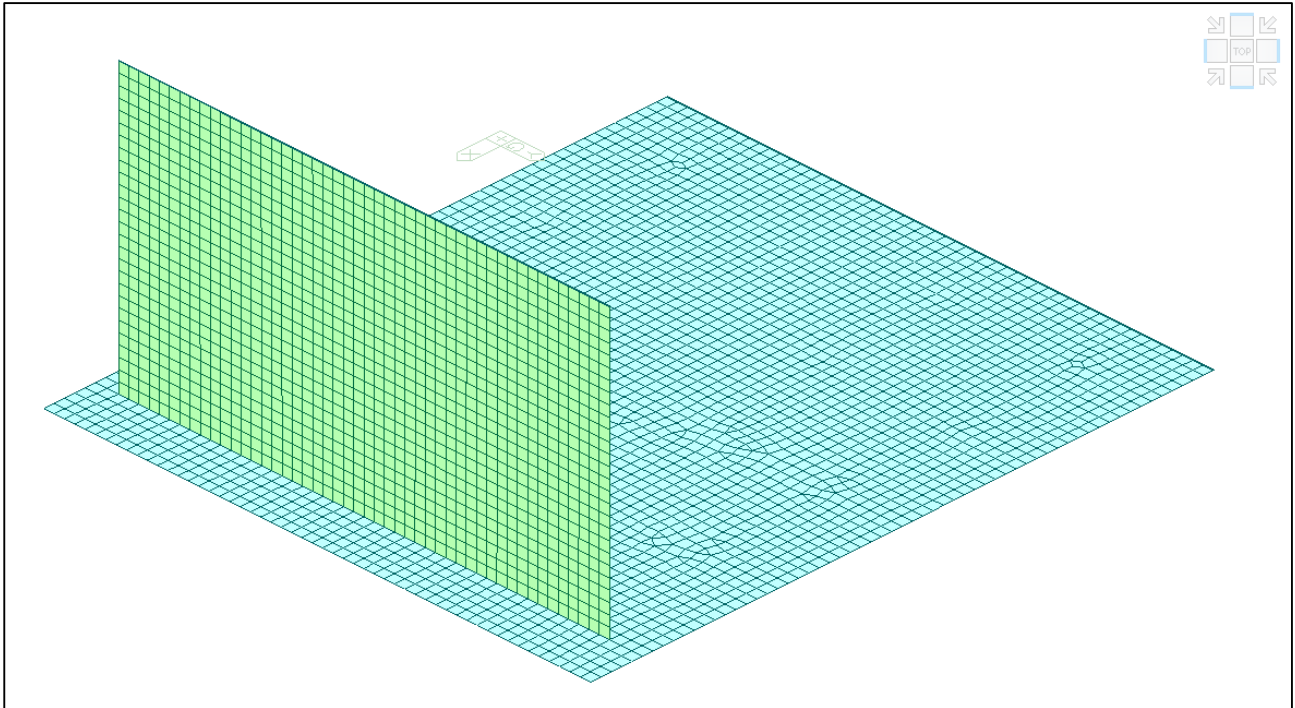
E' stato sviluppato un modello globale della struttura di tipo lineare. I vari elementi sono stati schematizzati assumendo diverse caratteristiche geometriche per le varie sezioni previste.



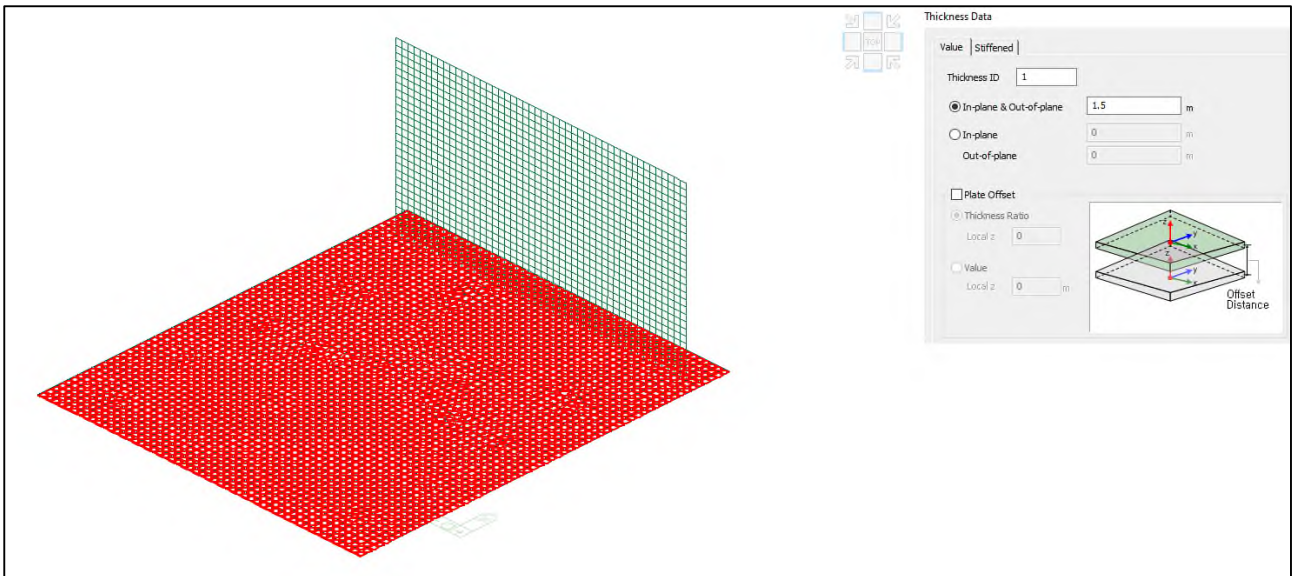
Modello FEM - Vista 1 – Spalla lato Vado Ligure



Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostruttura, fondazioni
e muri andatori



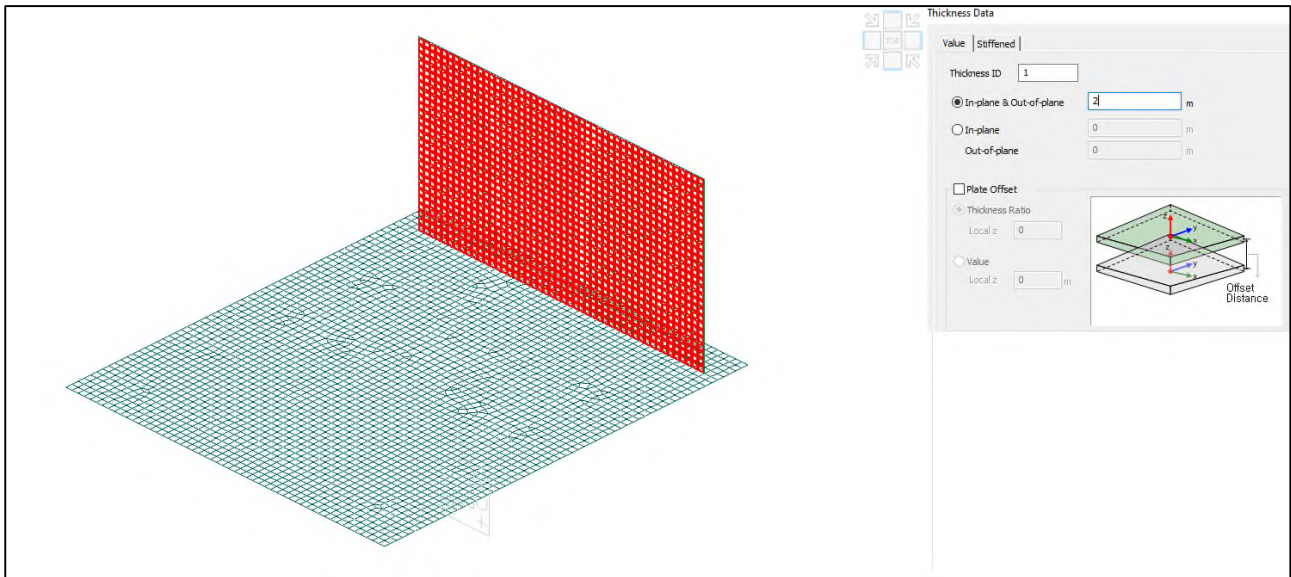
Modello FEM - Vista 2 – Spalla lato Vado Ligure



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



Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostruttura, fondazioni
e muri andatori



Modello FEM - Identificazione platea spessore 2.00m 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.

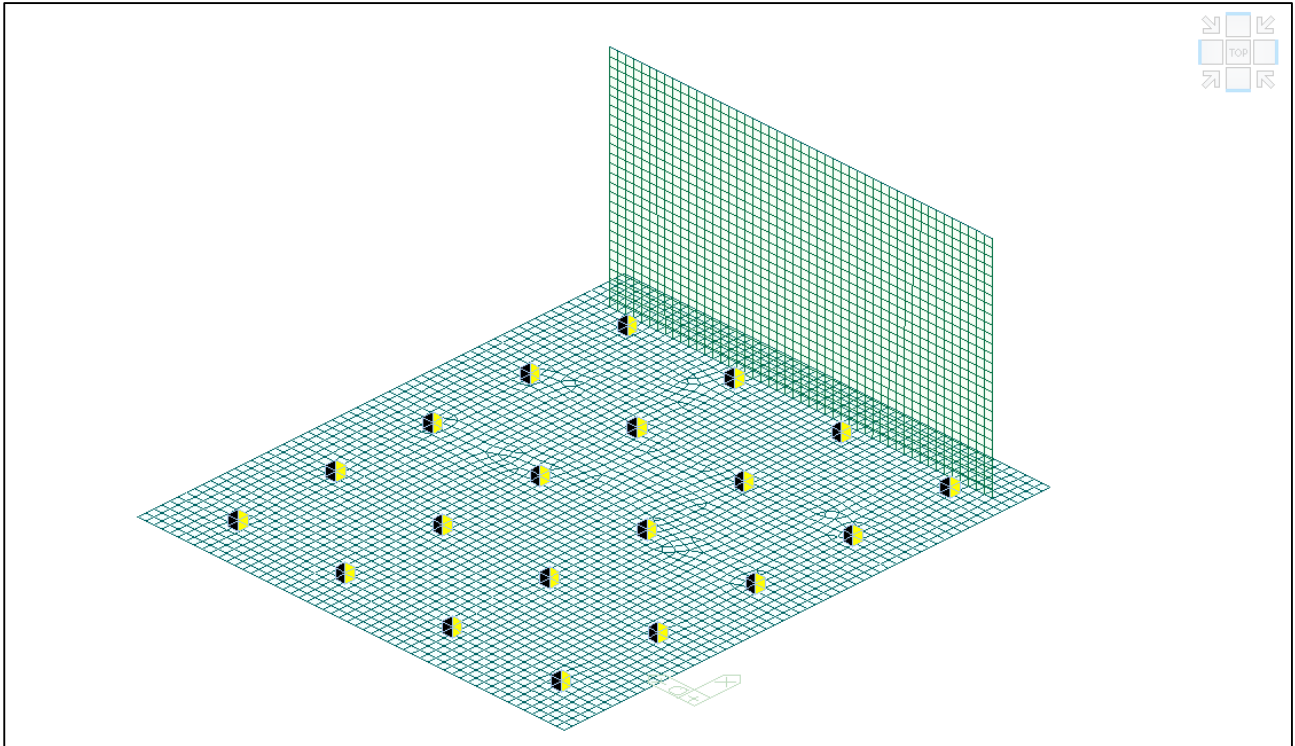
PROPRIETA' MECCANICHE E GEOMETRICHE DEI PALI		
E [MPa]	Modulo elastico	31500
D [mm]	Diametro palo	1000
A [mm ²]	Area palo	785398
I [mm ⁴]	Momento d'inerzia	4.91*10 ¹⁰
L [m]	Lunghezza palo	30.00



Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostrutture, fondazioni
e muri andatori

$$K_V = 824668 \frac{kN}{m} \quad K_H = 72499.2 \frac{kN}{m}$$

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

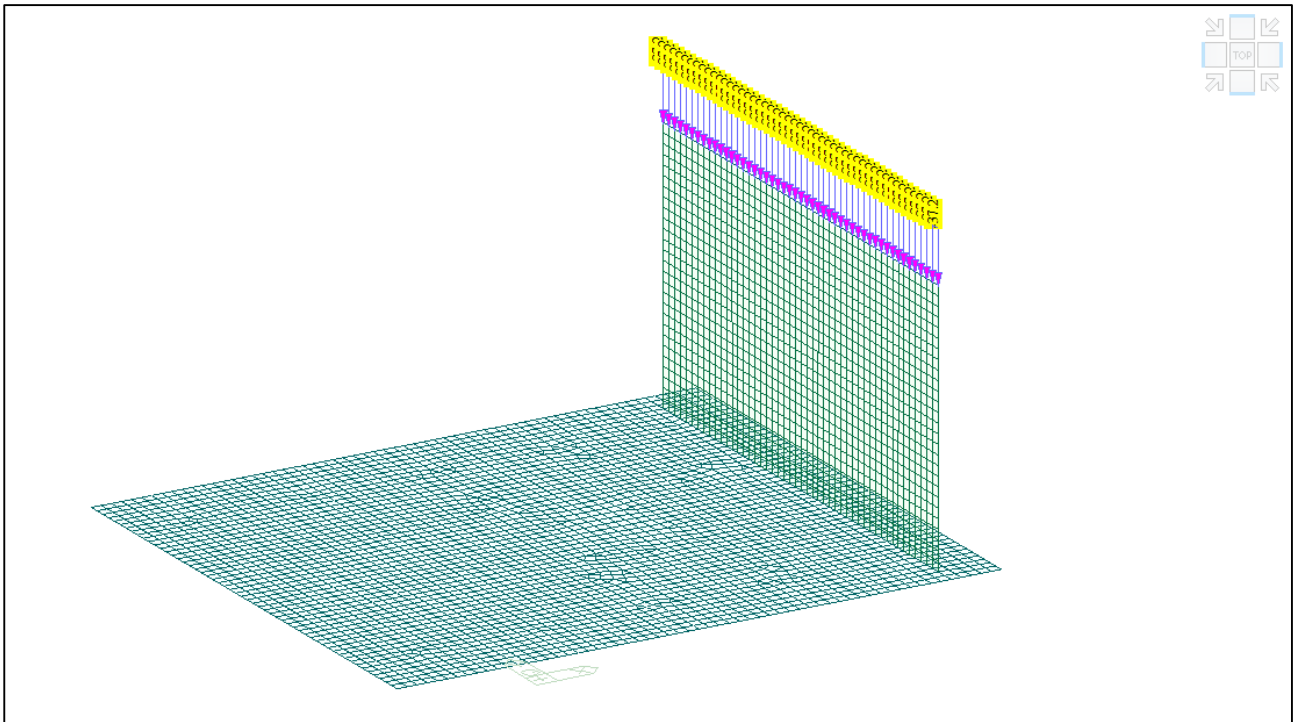


Modello FEM – Identificazione vincoli in corrispondenza dei pali

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.

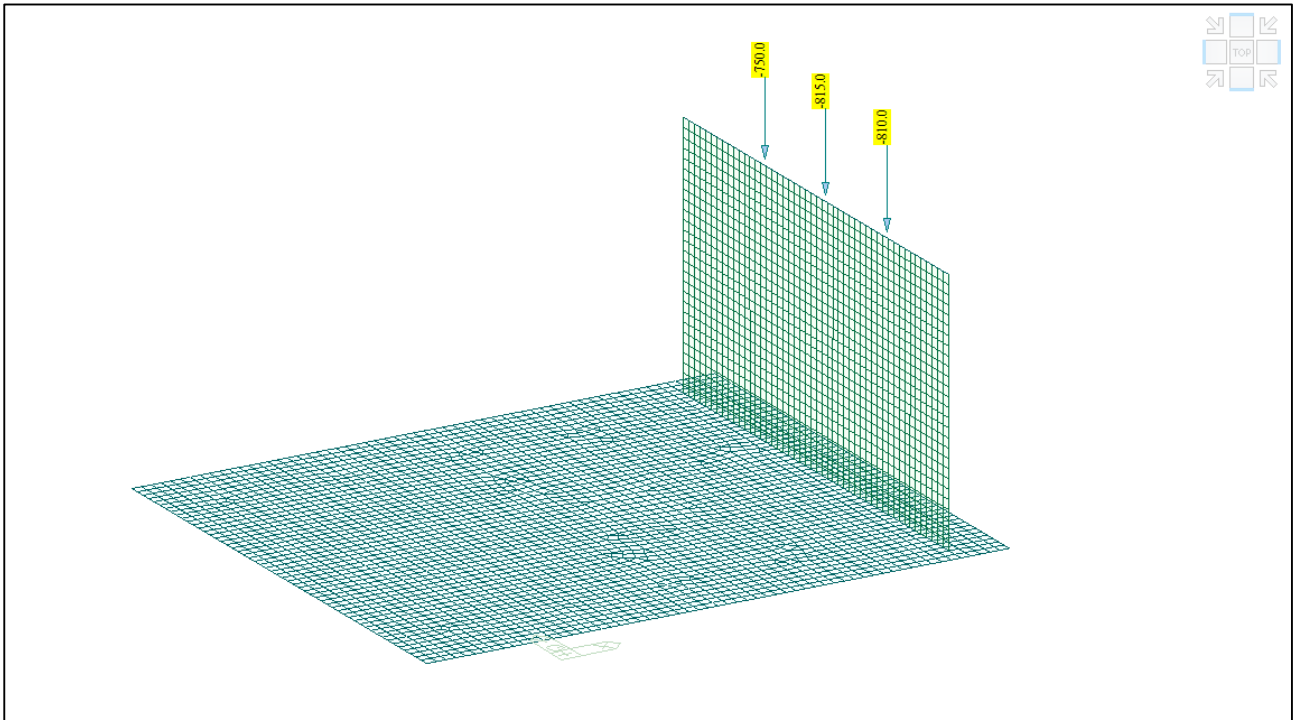
Il peso proprio della spalla genera delle azioni che sono calcolate in automatico dal software ad elementi finiti. A questa condizione di carico è stato aggiunto il peso della paraghiaia posta al di sopra del corpo spalla di spessore 1.50m.



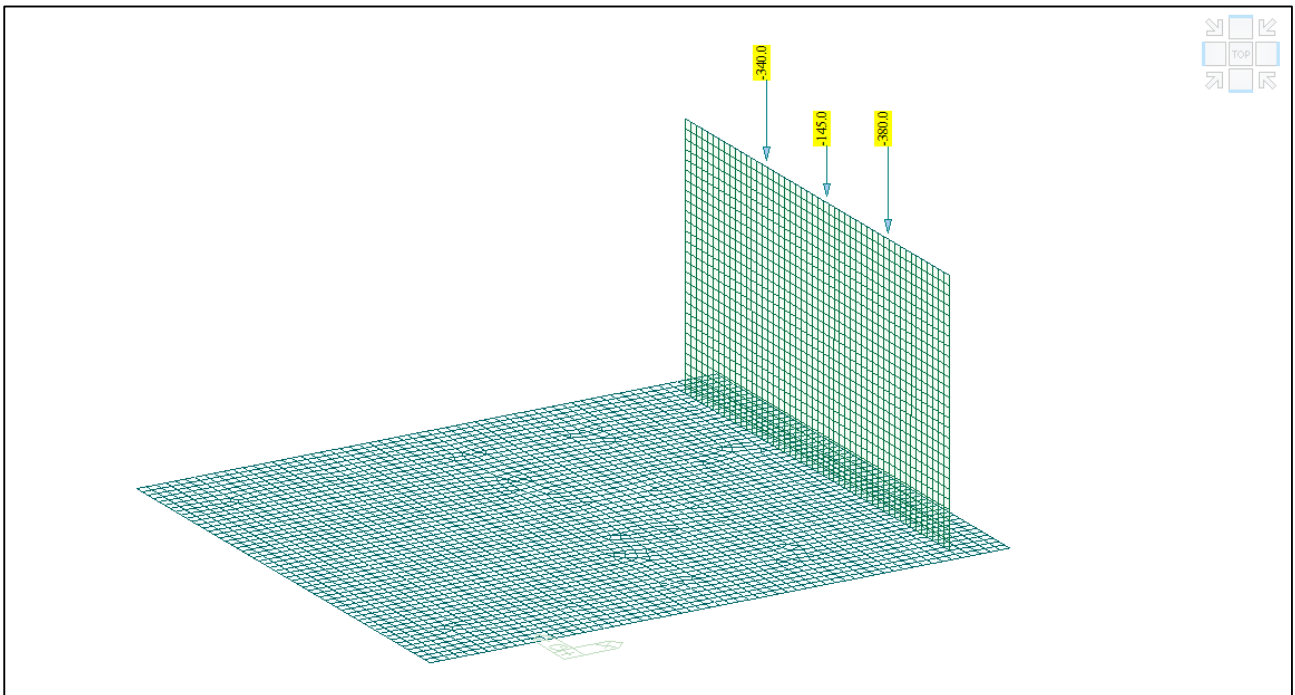
Modello FEM – Condizione di carico Peso proprio Paraghiaia



Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostrutture, fondazioni
e muri andatori



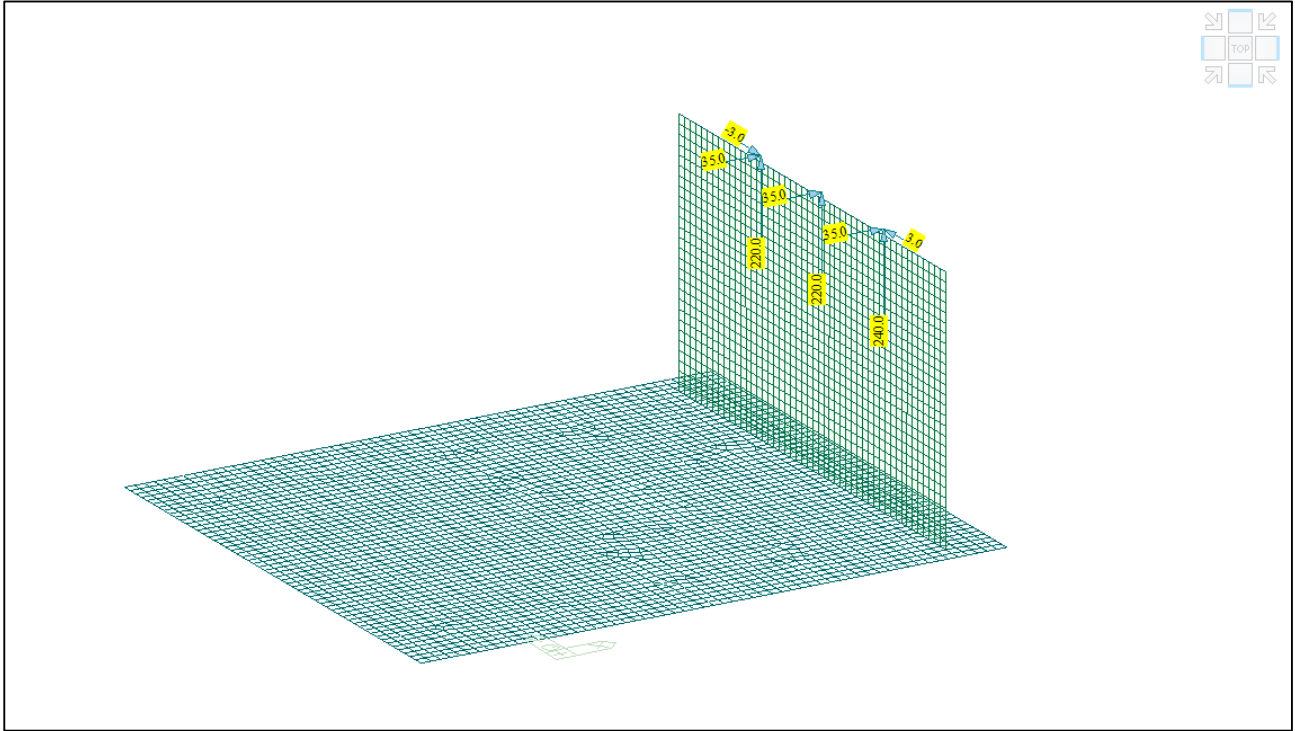
Modello FEM – Condizione di carico Peso proprio impalcato



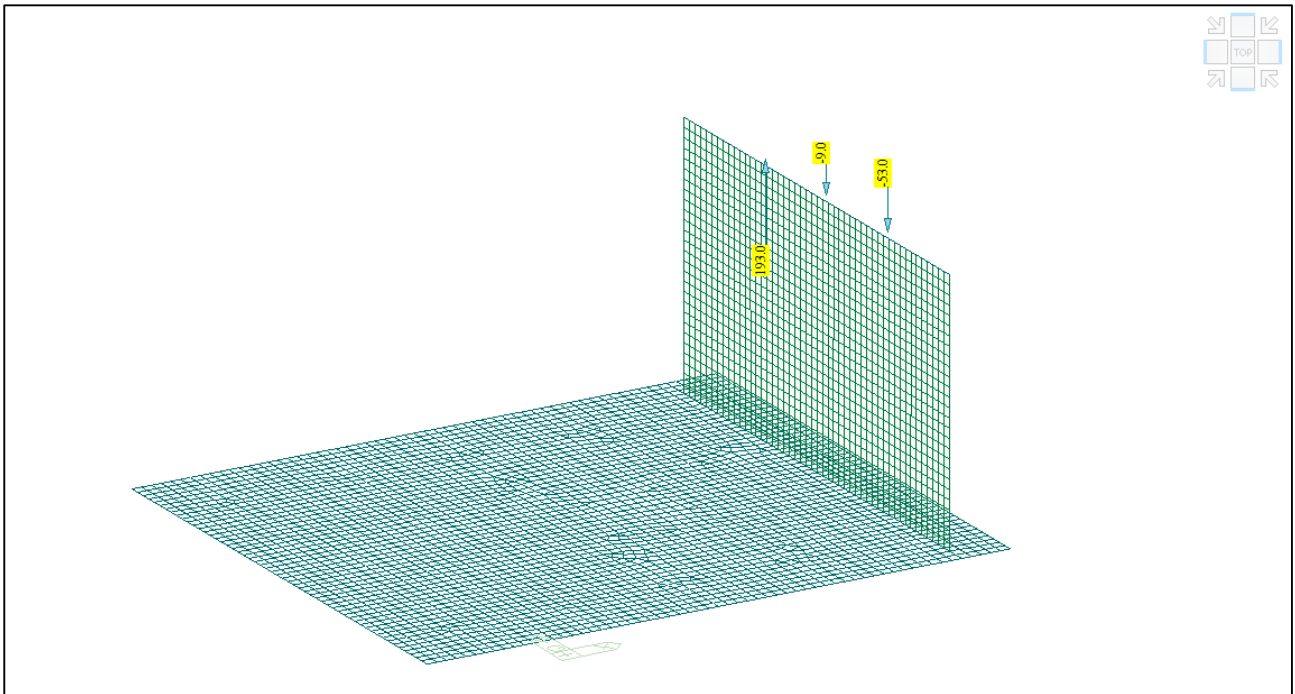
Modello FEM – Condizione di carico Permanente



Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostrutture, fondazioni
e muri andatori



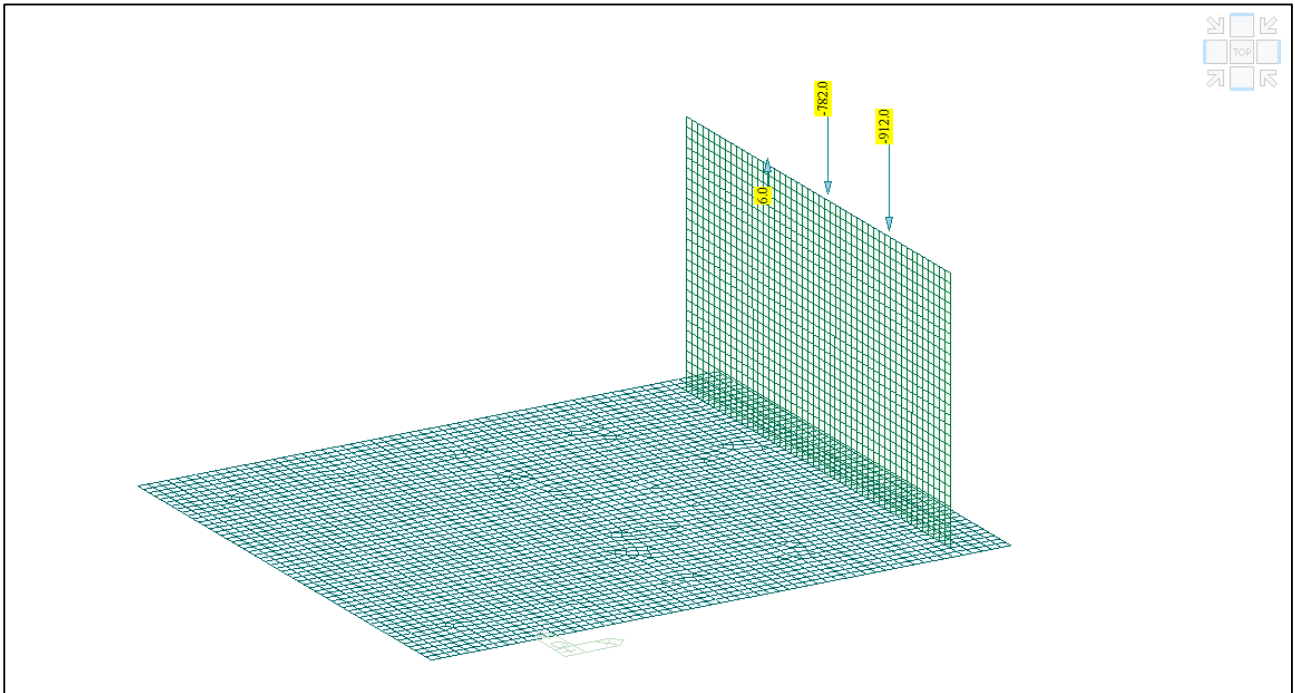
Modello FEM – Condizione di carico Ritiro



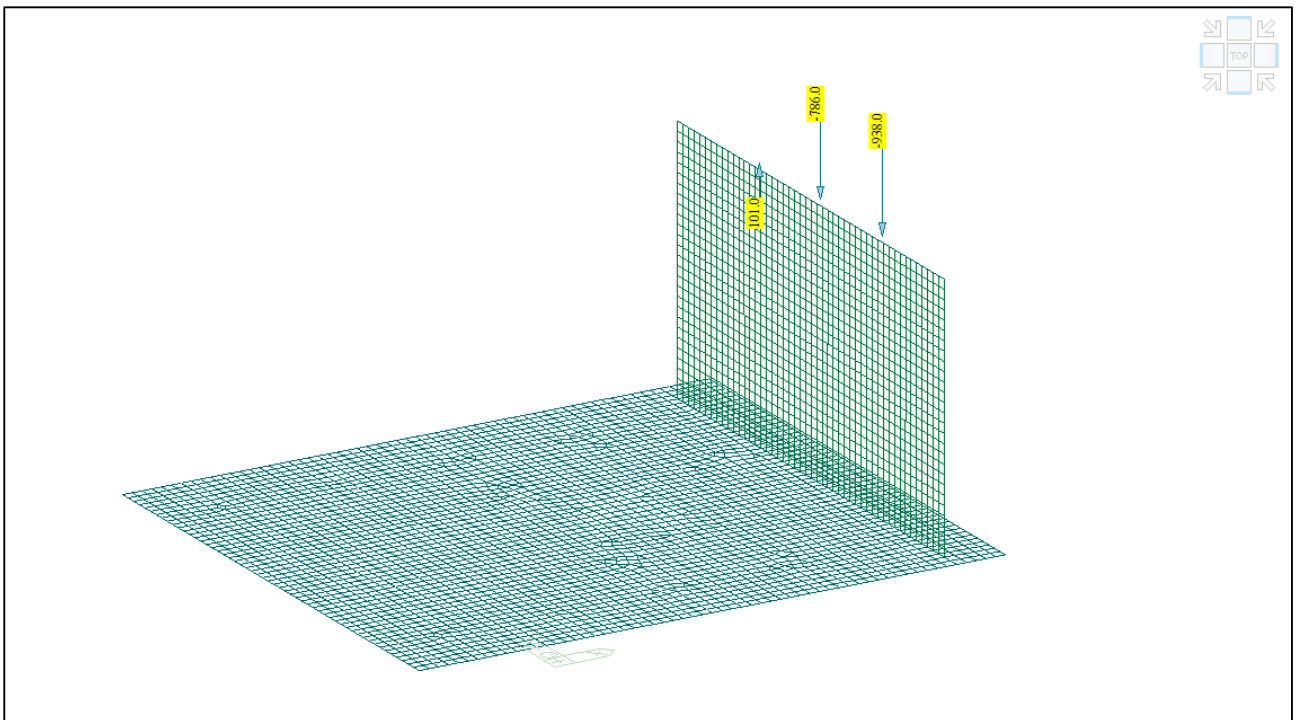
Modello FEM – Condizione di carico Disp 1C



Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostrutture, fondazioni
e muri andatori



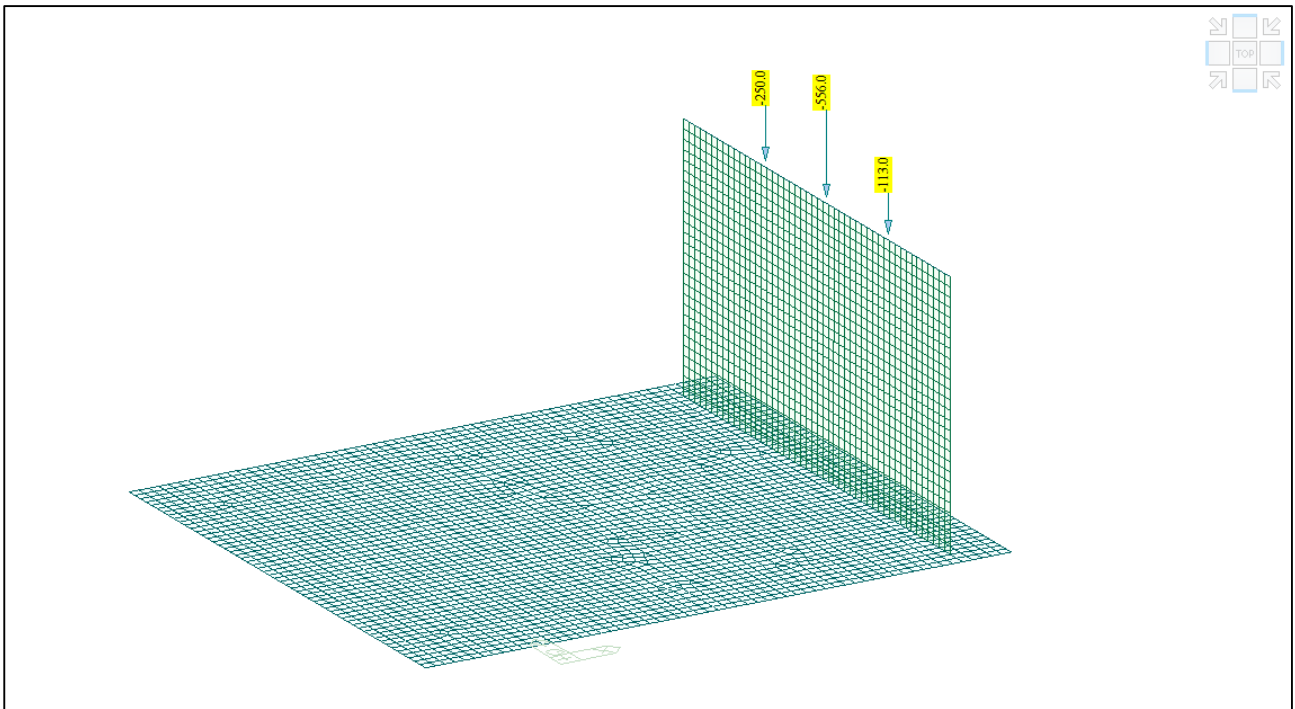
Modello FEM – Condizione di carico Disp 2C



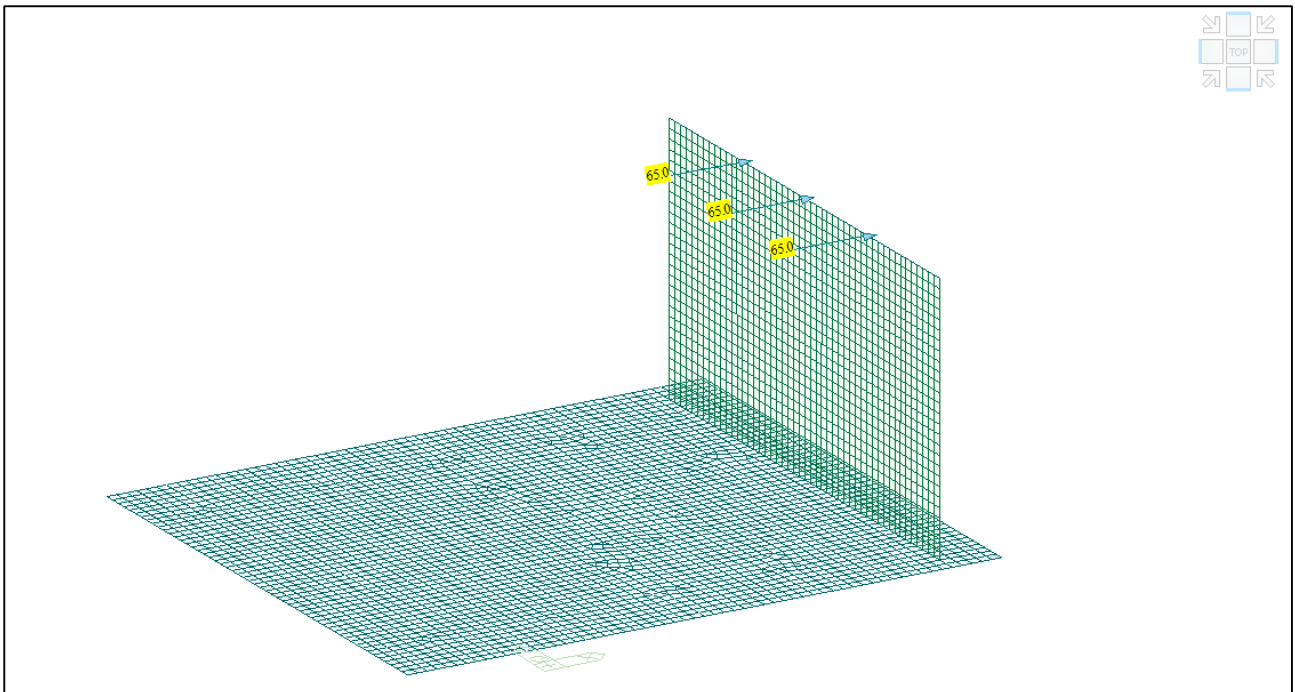
Modello FEM – Condizione di carico Disp 3C



Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostrutture, fondazioni
e muri andatori



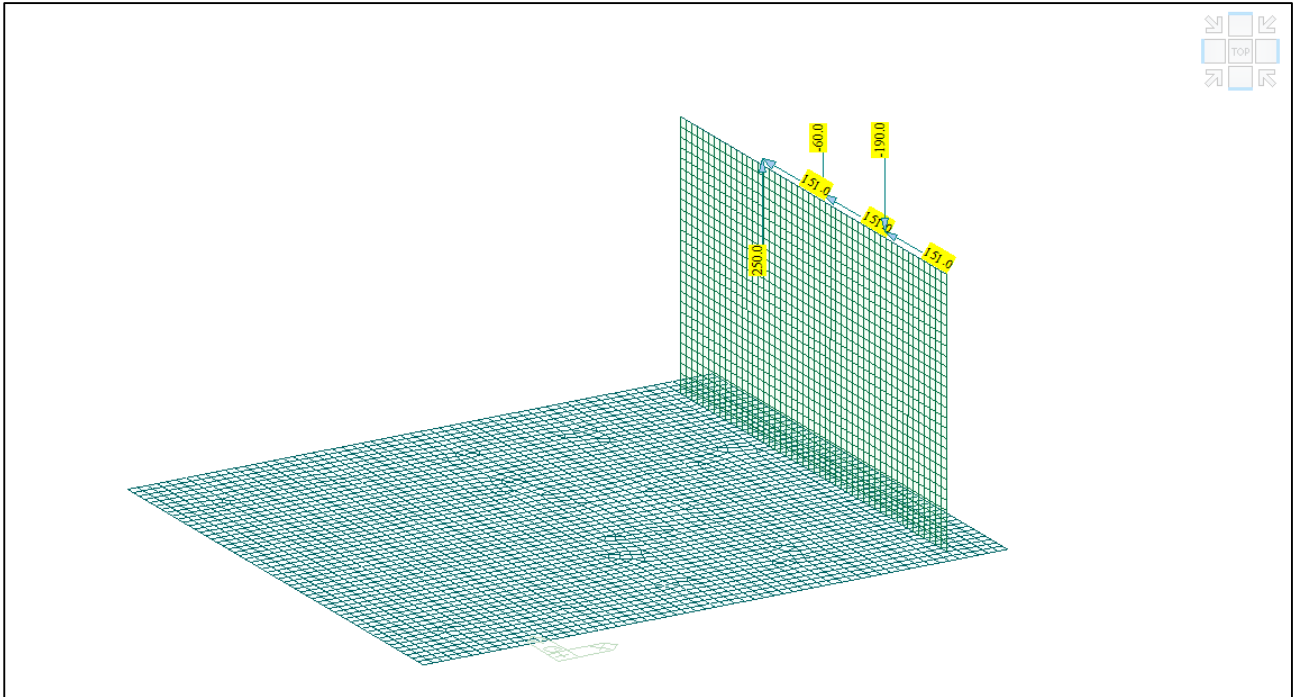
Modello FEM – Condizione di carico Disp 3D



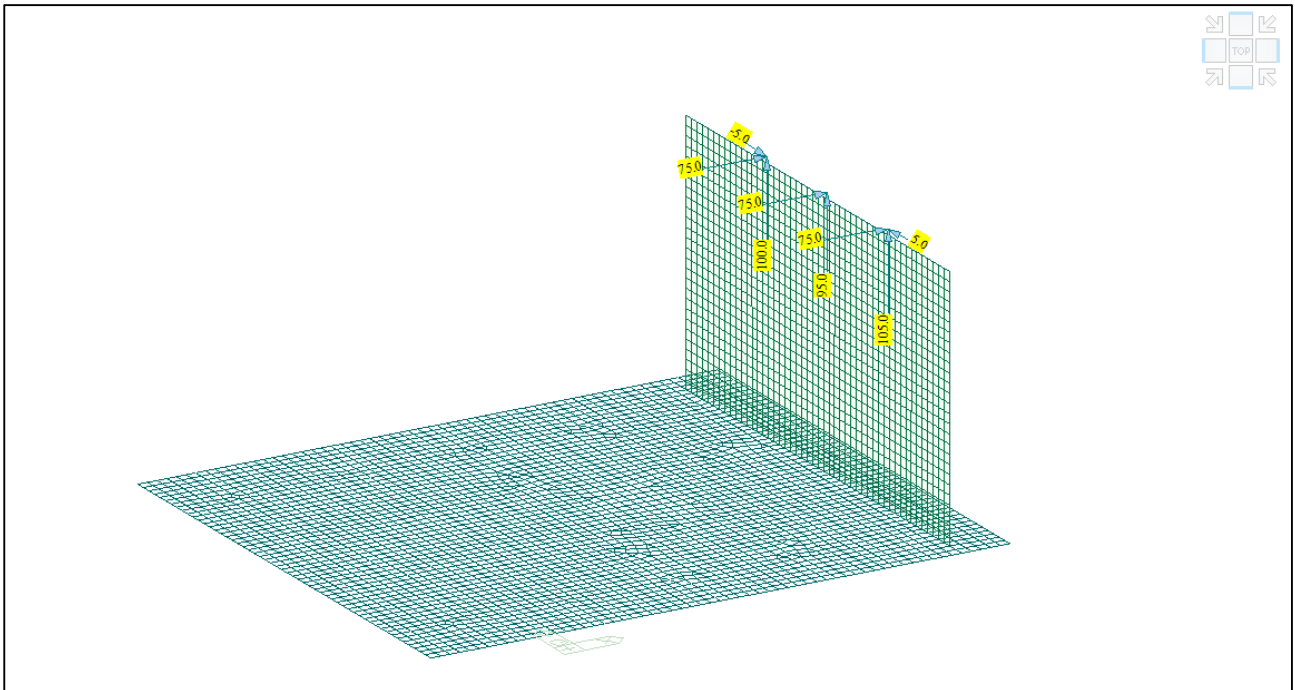
Modello FEM – Condizione di carico Frenamento



Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostrutture, fondazioni
e muri andatori



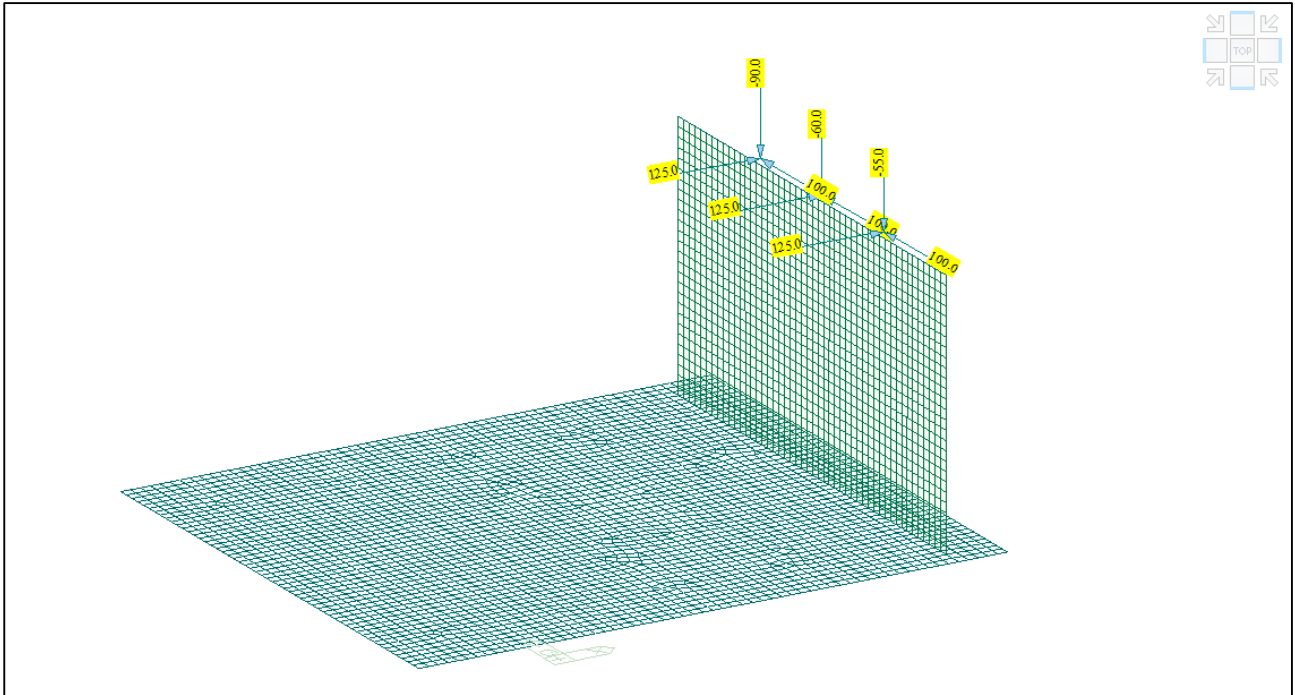
Modello FEM – Condizione di carico Vento



Modello FEM – Condizione di carico Termico



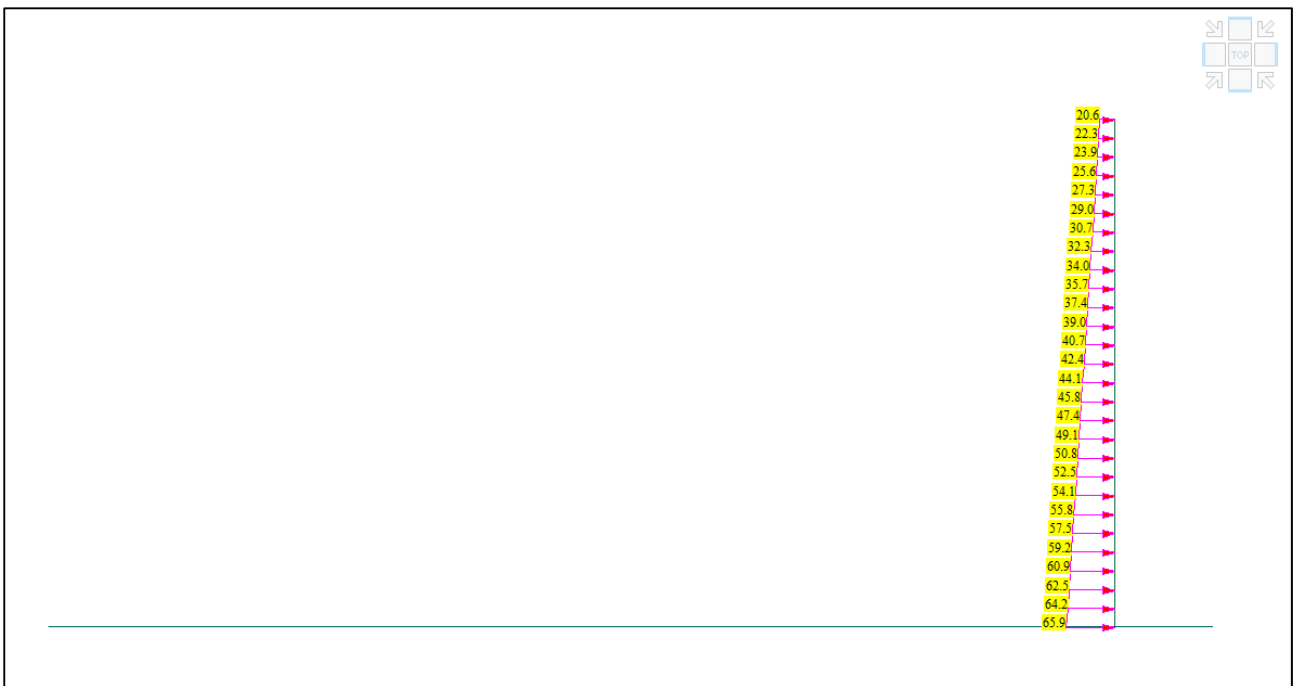
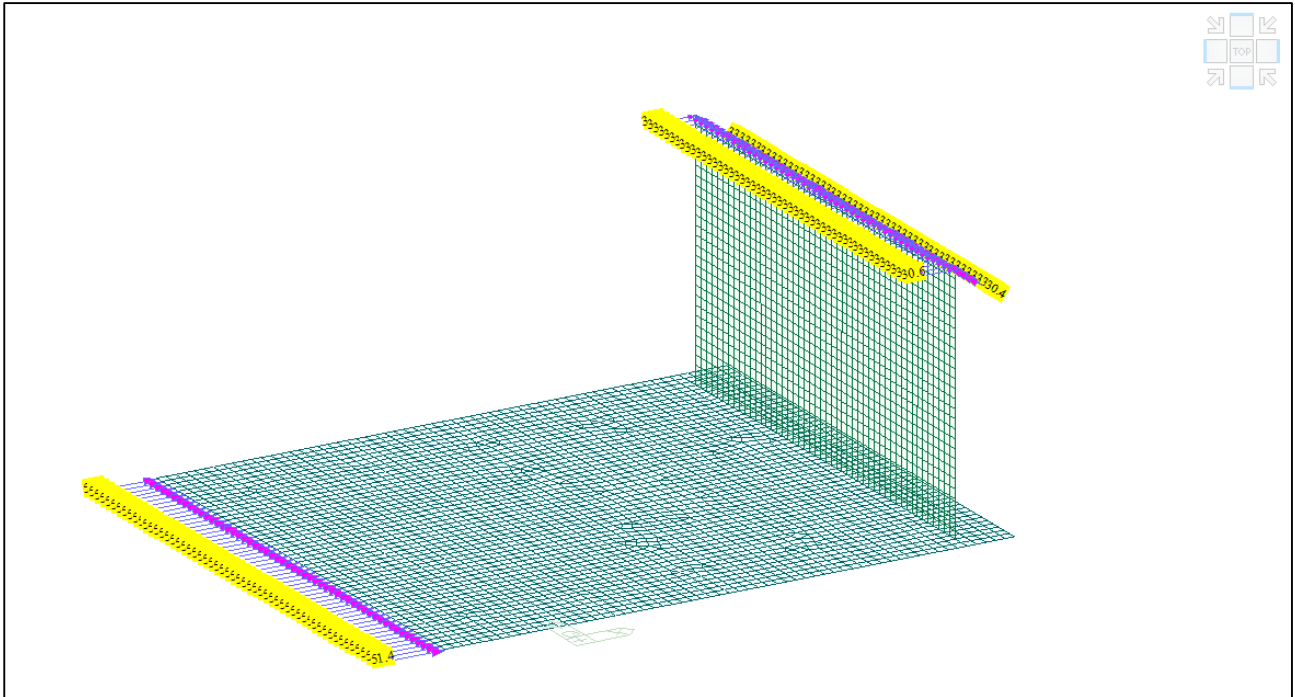
Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostrutture, fondazioni
e muri andatori



Modello FEM – Condizione di carico Sisma impalcato



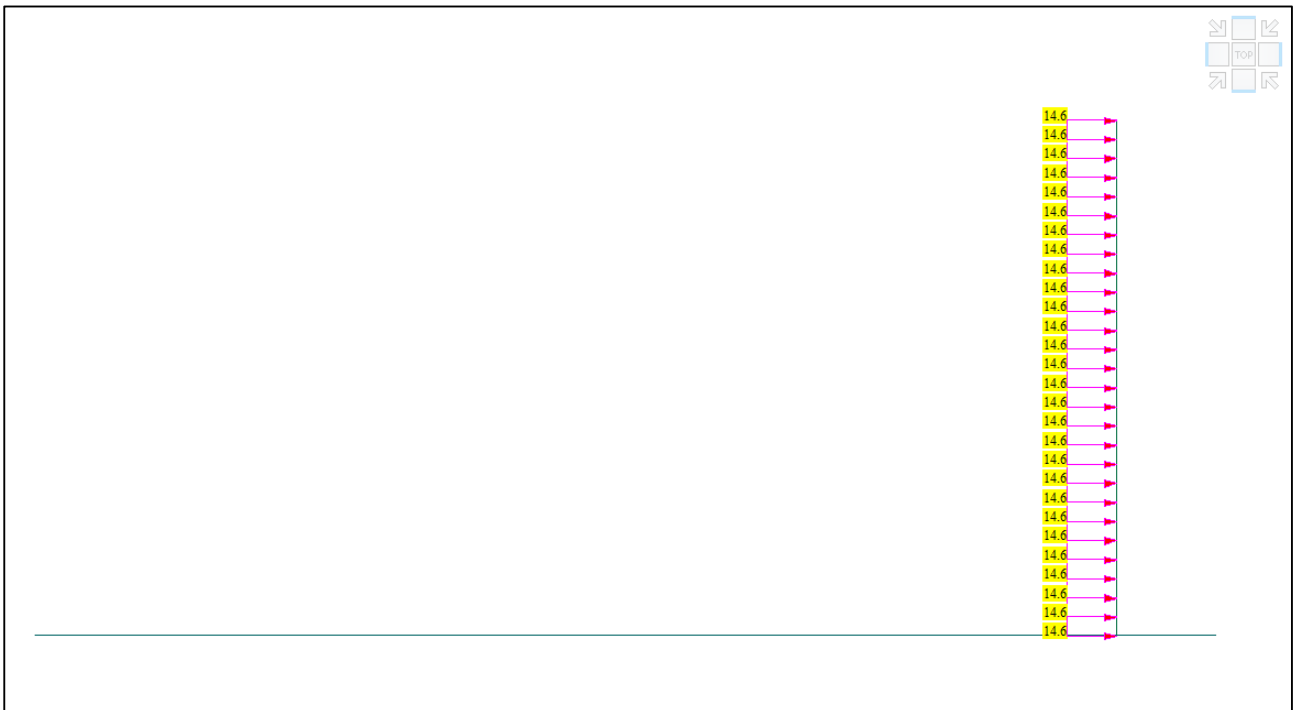
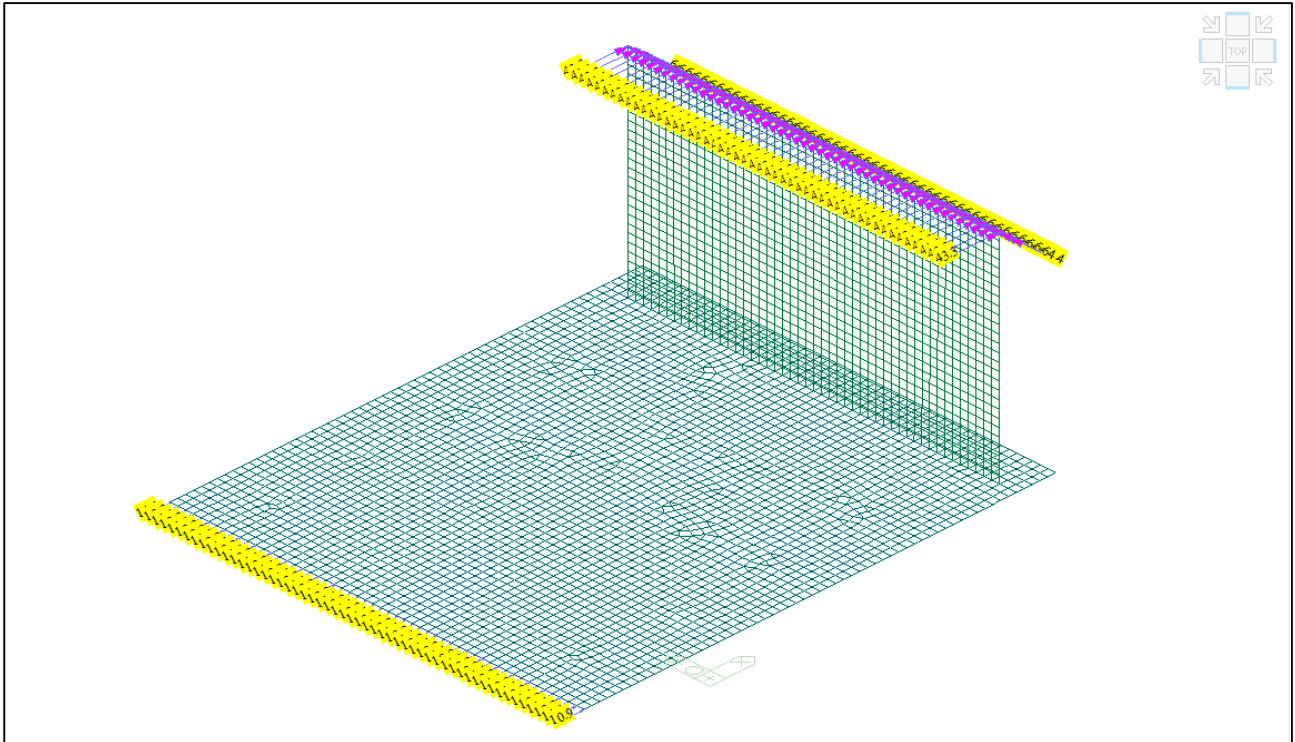
Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostruttura, fondazioni
e muri andatori



Modello FEM – Condizione di carico Spinta delle terre



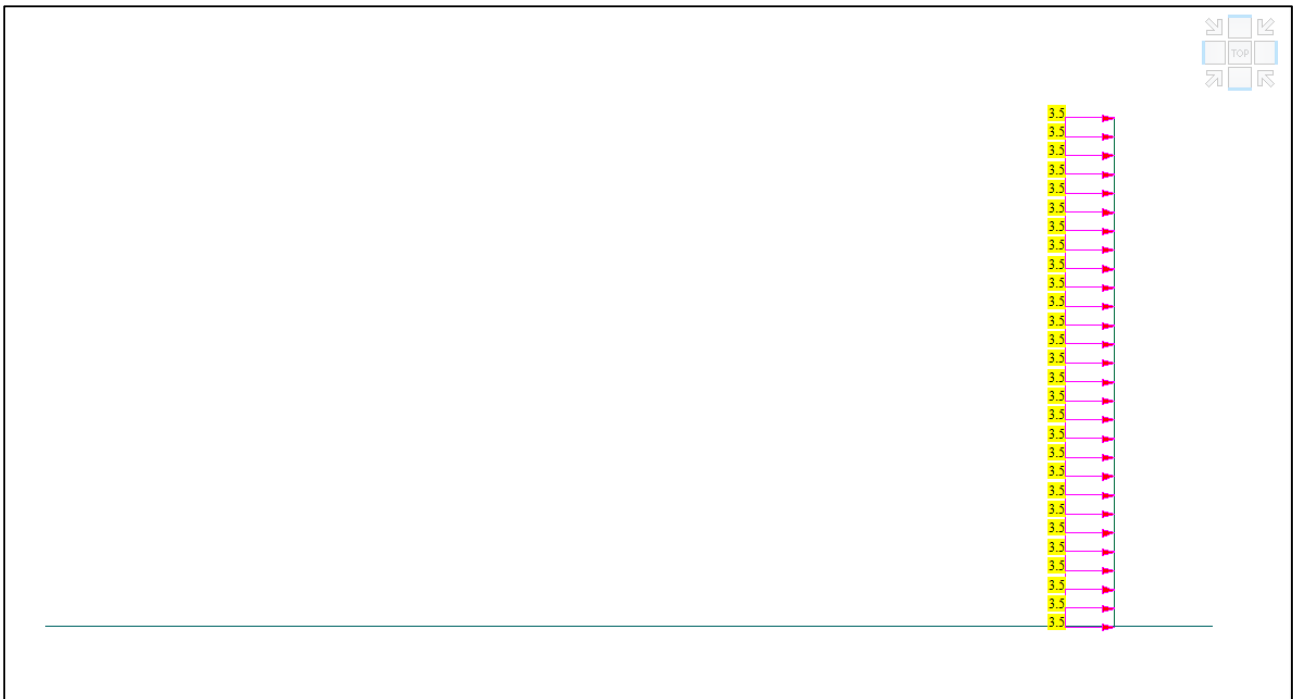
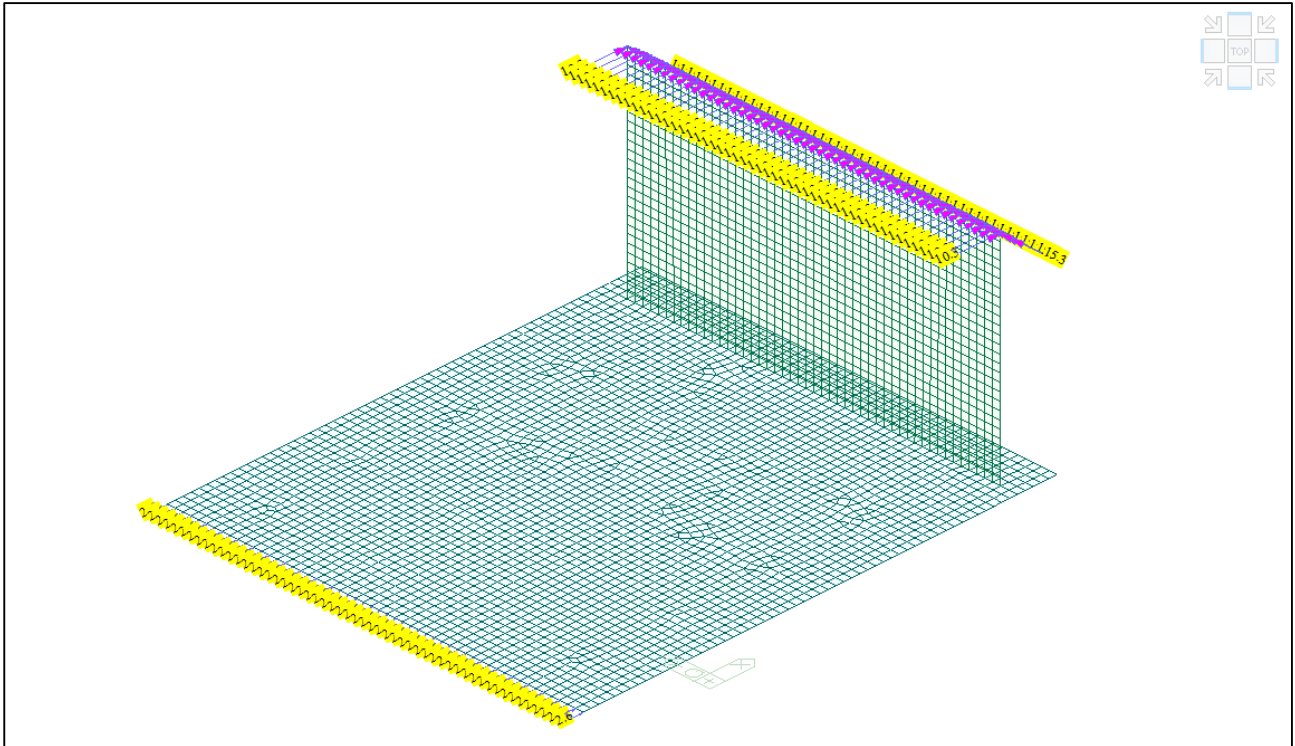
Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostruttura, fondazioni
e muri andatori



Modello FEM – Condizione di carico Spinta di Wood



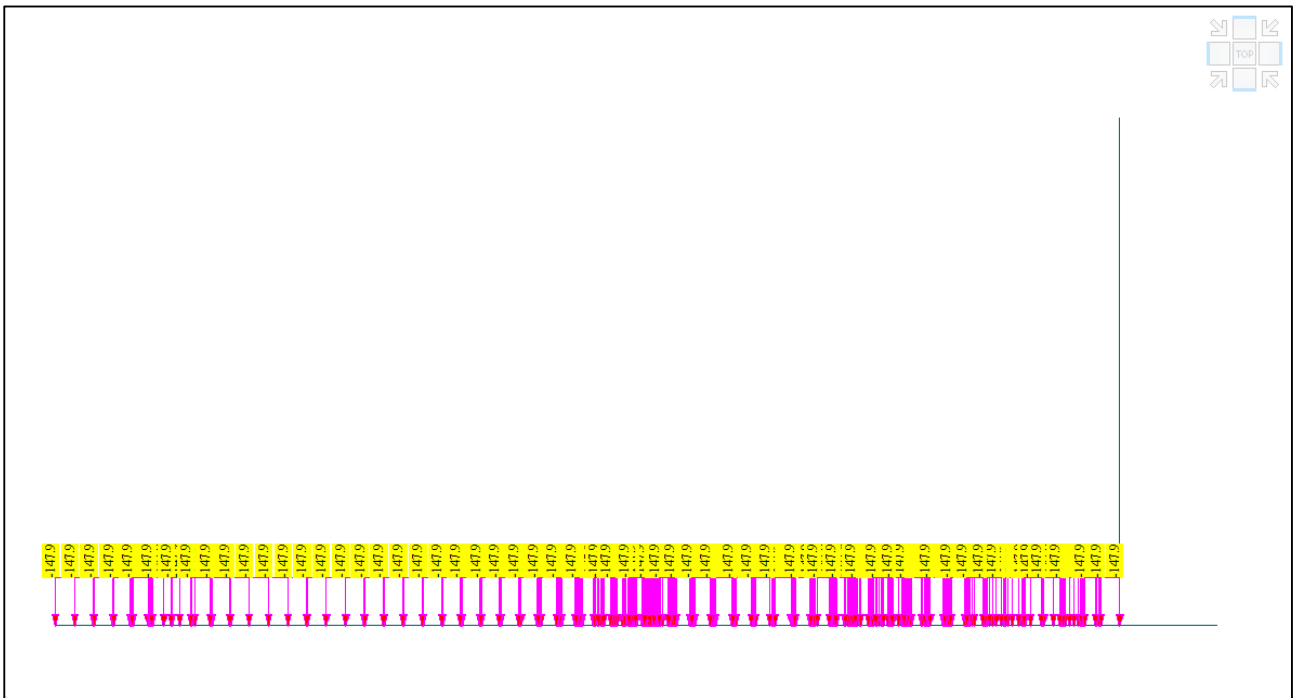
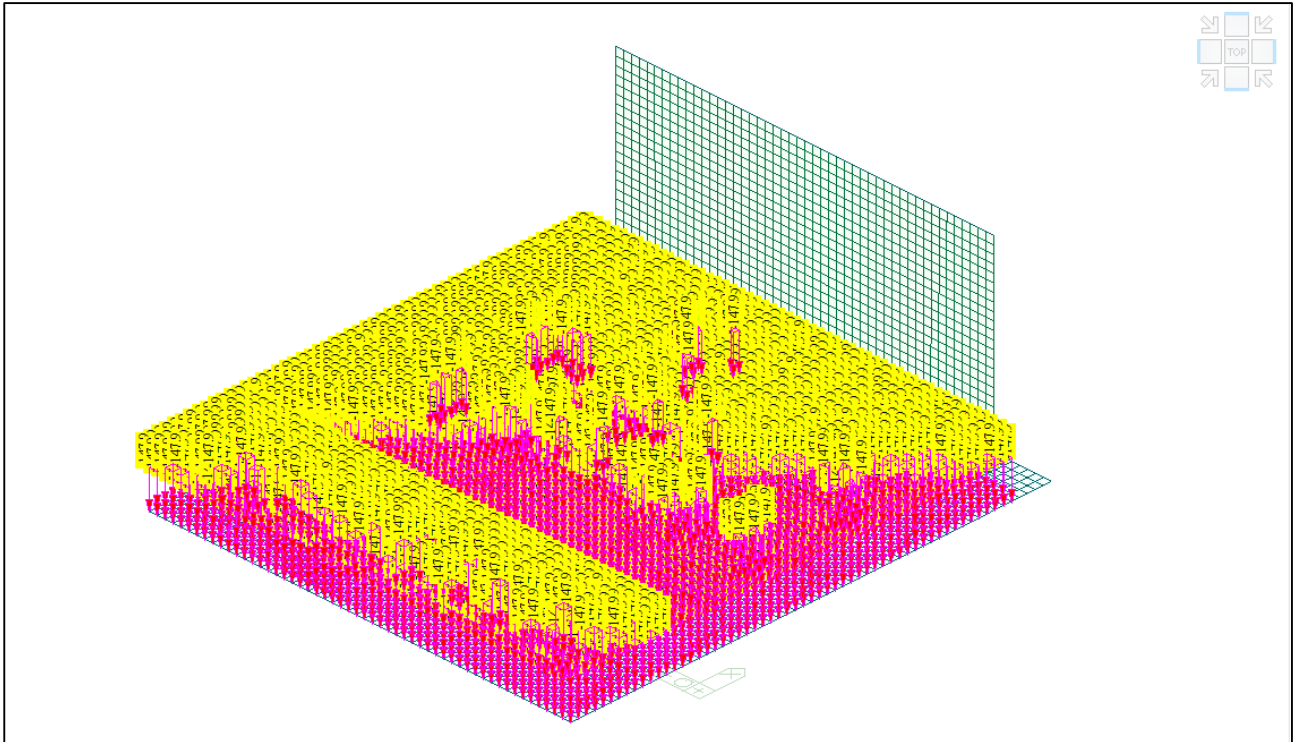
Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostrutture, fondazioni
e muri andatori



Modello FEM – Condizione di carico Spinta sovraccarico



Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostruttura, fondazioni
e muri andatori



Modello FEM – Condizione di carico Ricoprimento



Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostrutture, fondazioni e muri andatori

8.1.4 COMBINAZIONI DI CARICO

Si sono determinate le seguenti combinazioni di carico:

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

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

Di seguito si riportano i valori tabellati

No.	Nome	Active	Type	Peso proprio spalla(ST)	Peso proprio impalcato(ST)	Permanente(ST)	Ritiro(ST)	Disp 1C(ST)	Disp 2C1(ST)	Disp 3C1(ST)	Disp 3C2(ST)	Frenamento(ST)	Vento(ST)	Termico(ST)	Sisma impalcato(ST)	Spinta terra(ST)	Spinta Wood(ST)	Spinta sovraccarico(ST)	Riempimento(ST)
1	SLU-1	Activ	Add	1.3500	1.3500	1.3500	1.2000	1.3500					1.3500	0.9000	0.9000	1.3500	1.3500	1.3500	1.0000
2	SLU-2	Activ	Add	1.3500	1.3500	1.3500	1.2000		1.3500				1.3500	0.9000	0.9000	1.3500	1.3500	1.3500	1.0000
3	SLU-3	Activ	Add	1.3500	1.3500	1.3500	1.2000			1.3500			1.3500	0.9000	0.9000	1.3500	1.3500	1.3500	1.0000
4	SLU-4	Activ	Add	1.3500	1.3500	1.3500	1.2000				1.3500		1.3500	0.9000	0.9000	1.3500	1.3500	1.3500	1.0000
5	SLU-5	Activ	Add	1.3500	1.3500	1.3500	1.2000	1.3500					1.3500	0.9000	0.9000	1.3500	1.3500	1.3500	1.0000
6	SLU-6	Activ	Add	1.3500	1.3500	1.3500	1.2000		1.3500				1.3500	0.9000	0.9000	1.3500	1.3500	1.3500	1.0000
7	SLU-7	Activ	Add	1.3500	1.3500	1.3500	1.2000			1.3500			1.3500	0.9000	0.9000	1.3500	1.3500	1.3500	1.0000
8	SLU-8	Activ	Add	1.3500	1.3500	1.3500	1.2000				1.3500		1.3500	0.9000	0.9000	1.3500	1.3500	1.3500	1.0000
9	SLU-9	Activ	Add	1.3500	1.3500	1.3500	1.2000	1.0125					1.0125	1.5000	0.9000	1.3500	1.3500	1.3500	1.0125
10	SLU-10	Activ	Add	1.3500	1.3500	1.3500	1.2000		1.0125				1.0125	1.5000	0.9000	1.3500	1.3500	1.3500	1.0125
11	SLU-11	Activ	Add	1.3500	1.3500	1.3500	1.2000			1.0125			1.0125	1.5000	0.9000	1.3500	1.3500	1.3500	1.0125
12	SLU-12	Activ	Add	1.3500	1.3500	1.3500	1.2000				1.0125		1.0125	1.5000	0.9000	1.3500	1.3500	1.3500	1.0125
13	SLU-13	Activ	Add	1.3500	1.3500	1.3500	1.2000	1.0125					1.0125	0.9000	1.5000	1.3500	1.3500	1.3500	1.0125
14	SLU-14	Activ	Add	1.3500	1.3500	1.3500	1.2000		1.0125				1.0125	0.9000	1.5000	1.3500	1.3500	1.3500	1.0125
15	SLU-15	Activ	Add	1.3500	1.3500	1.3500	1.2000			1.0125			1.0125	0.9000	1.5000	1.3500	1.3500	1.3500	1.0125
16	SLU-16	Activ	Add	1.3500	1.3500	1.3500	1.2000				1.0125		1.0125	0.9000	1.5000	1.3500	1.3500	1.3500	1.0125
17	SLE 1	Activ	Add	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000					1.0000	0.8000	0.6000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
18	SLE 2	Activ	Add	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000		1.0000				1.0000	0.8000	0.6000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
19	SLE 3	Activ	Add	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000			1.0000			1.0000	0.8000	0.6000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
20	SLE 4	Activ	Add	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000				1.0000		1.0000	0.8000	0.6000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
21	SLE 5	Activ	Add	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000					0.7500	1.0000	0.6000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
22	SLE 6	Activ	Add	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000		1.0000				0.7500	1.0000	0.6000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
23	SLE 7	Activ	Add	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000			1.0000			0.7500	1.0000	0.6000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
24	SLE 8	Activ	Add	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000				1.0000		0.7500	1.0000	0.6000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
25	SLE 9	Activ	Add	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000					0.7500	0.8000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
26	SLE 10	Activ	Add	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000		1.0000				0.7500	0.8000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
27	SLE 11	Activ	Add	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000			1.0000			0.7500	0.8000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
28	SLE 12	Activ	Add	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000				1.0000		0.7500	0.8000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
29	SLE F1	Activ	Add	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000					1.0000	0.2000	0.6000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
30	SLE F2	Activ	Add	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000		1.0000				1.0000	0.2000	0.6000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
31	SLE F3	Activ	Add	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000			1.0000			1.0000	0.2000	0.6000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
32	SLE F4	Activ	Add	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000				1.0000		1.0000	0.2000	0.6000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
33	SLE F5	Activ	Add	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000					0.7500	1.0000	0.6000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
34	SLE F6	Activ	Add	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000		1.0000				0.7500	1.0000	0.6000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
35	SLE F7	Activ	Add	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000			1.0000			0.7500	1.0000	0.6000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
36	SLE F8	Activ	Add	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000				1.0000		0.7500	1.0000	0.6000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
37	SLE F9	Activ	Add	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000					0.7500	0.2000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
38	SLE F10	Activ	Add	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000		1.0000				0.7500	0.2000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
39	SLE F11	Activ	Add	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000			1.0000			0.7500	0.2000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
40	SLE F12	Activ	Add	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000				1.0000		0.7500	0.2000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
41	SLE QP 1	Activ	Add	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000						0.5000		1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
42	SLE QP 2	Activ	Add	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000		1.0000					0.5000		1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
43	SLE QP 3	Activ	Add	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000			1.0000				0.5000		1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
44	SLE QP 4	Activ	Add	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000				1.0000			0.5000		1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
45	E1	Activ	Add	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000							0.5000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000

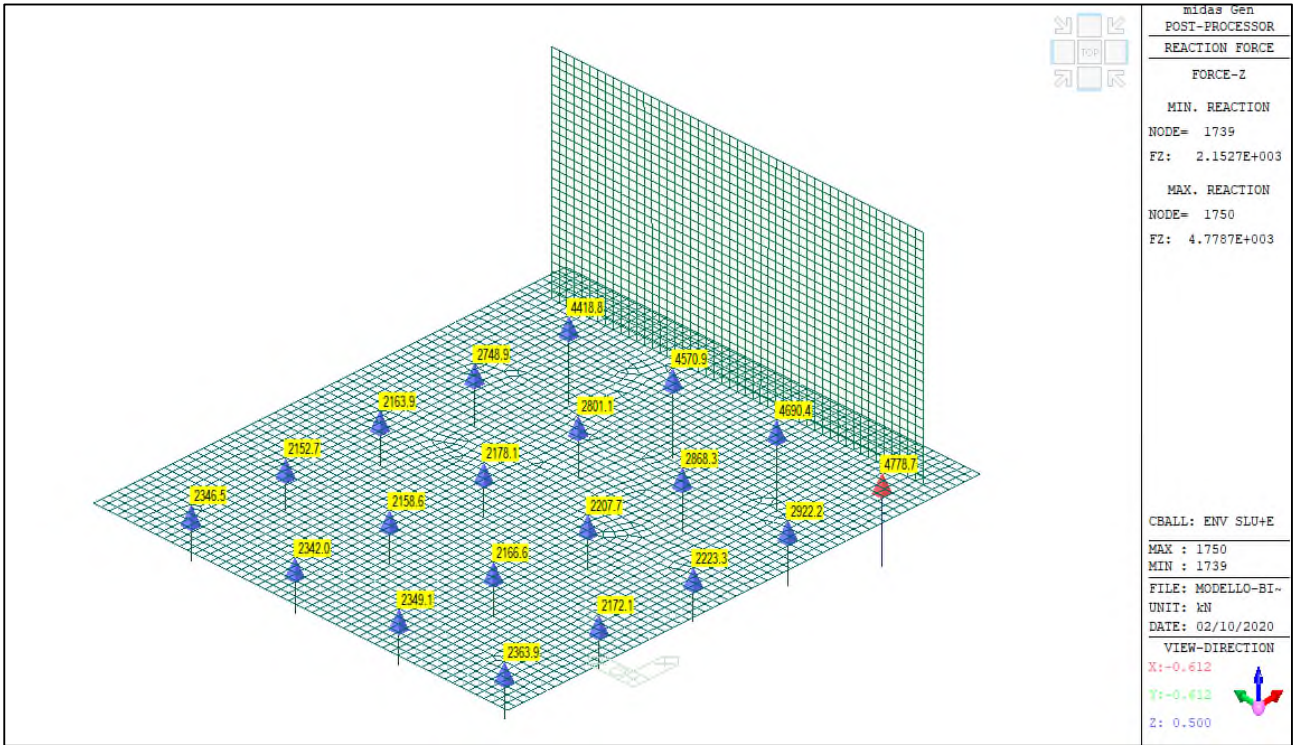
8.2 RISULTATI ANALISI STRUTTURALE

8.2.1 REAZIONI VINCOLARI

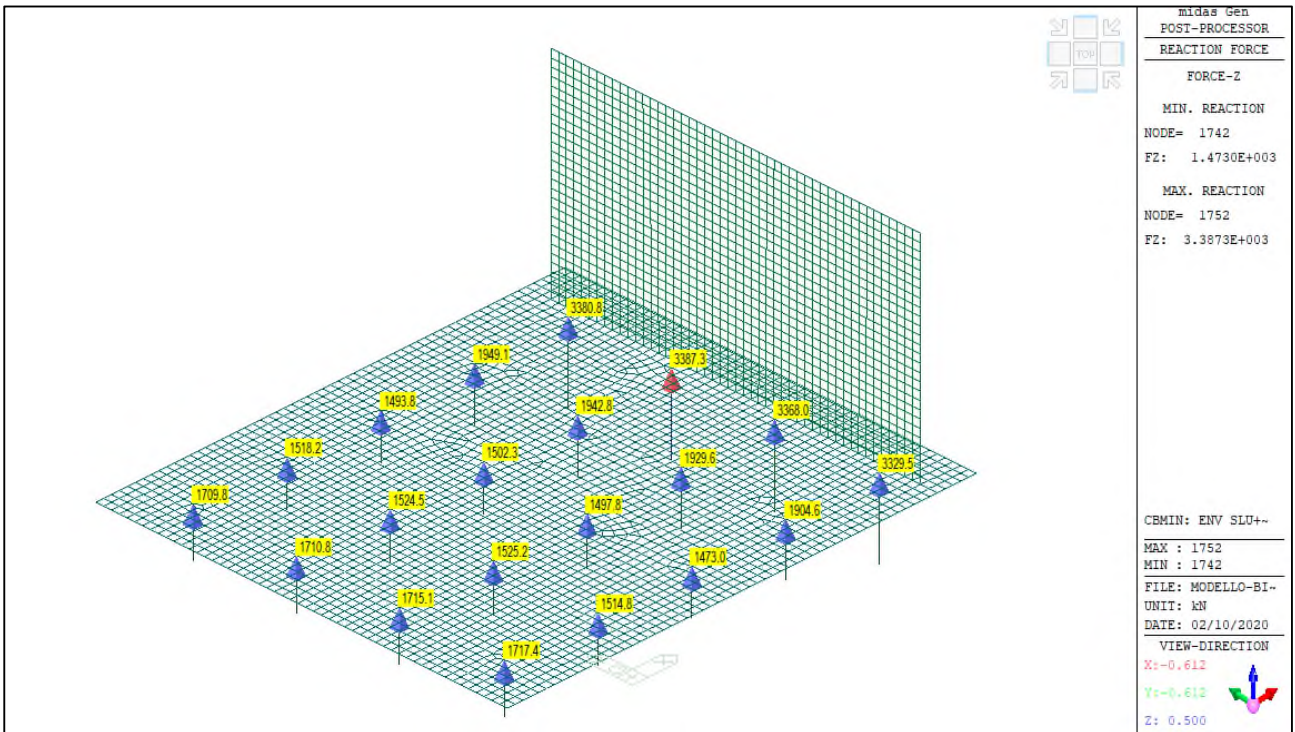
Si presentano le reazioni vincolari massime che si sviluppano agli stati limite SLU+E necessarie per la verifica dei pali



Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostruttura, fondazioni
e muri andatori



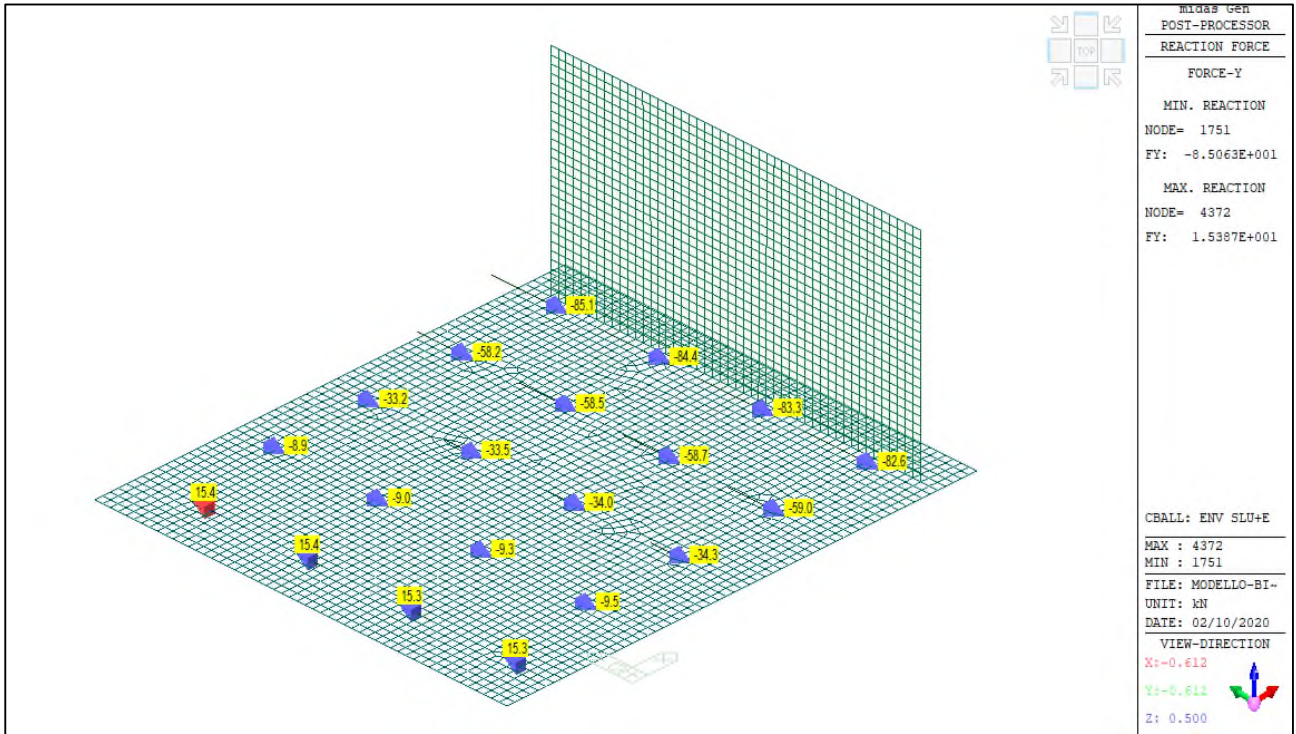
ENV-SLU+E – Reazioni vincolari verticali (Fz) massime



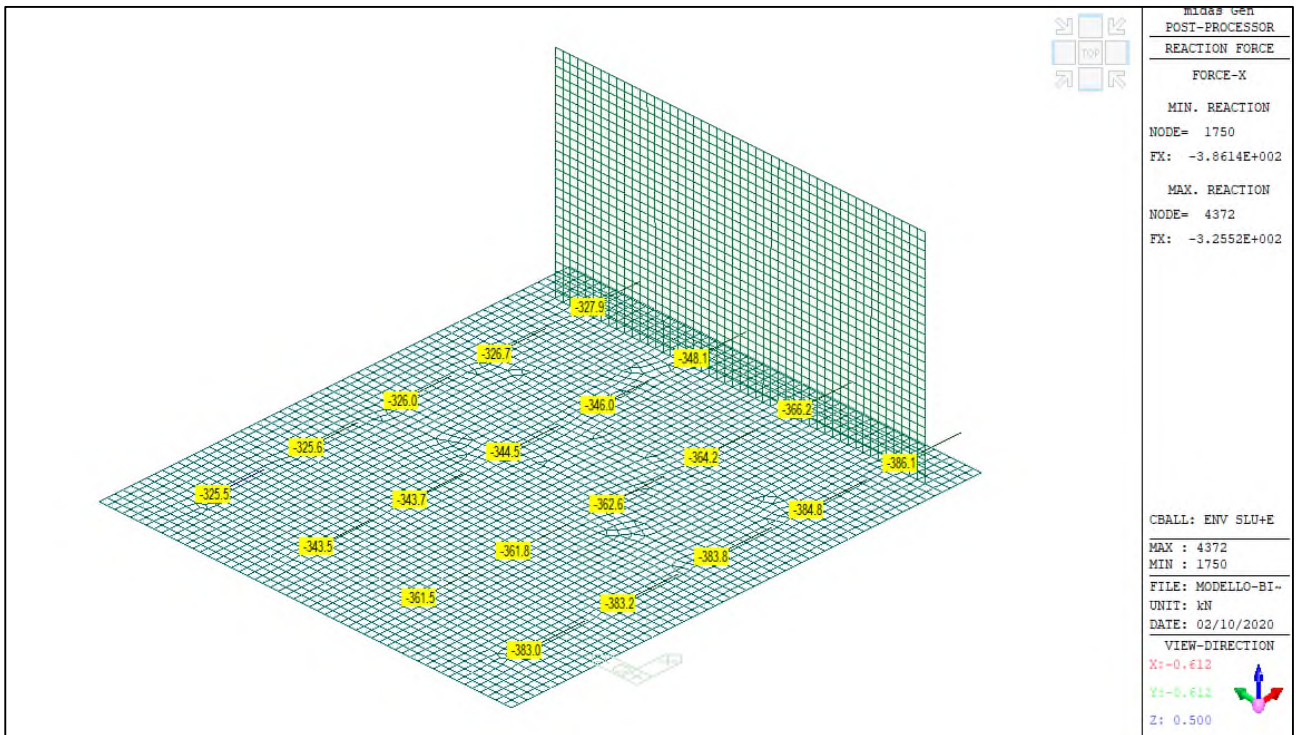
ENV-SLU+E – Reazioni vincolari verticali (Fz) minime



Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostrutture, fondazioni
e muri andatori



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

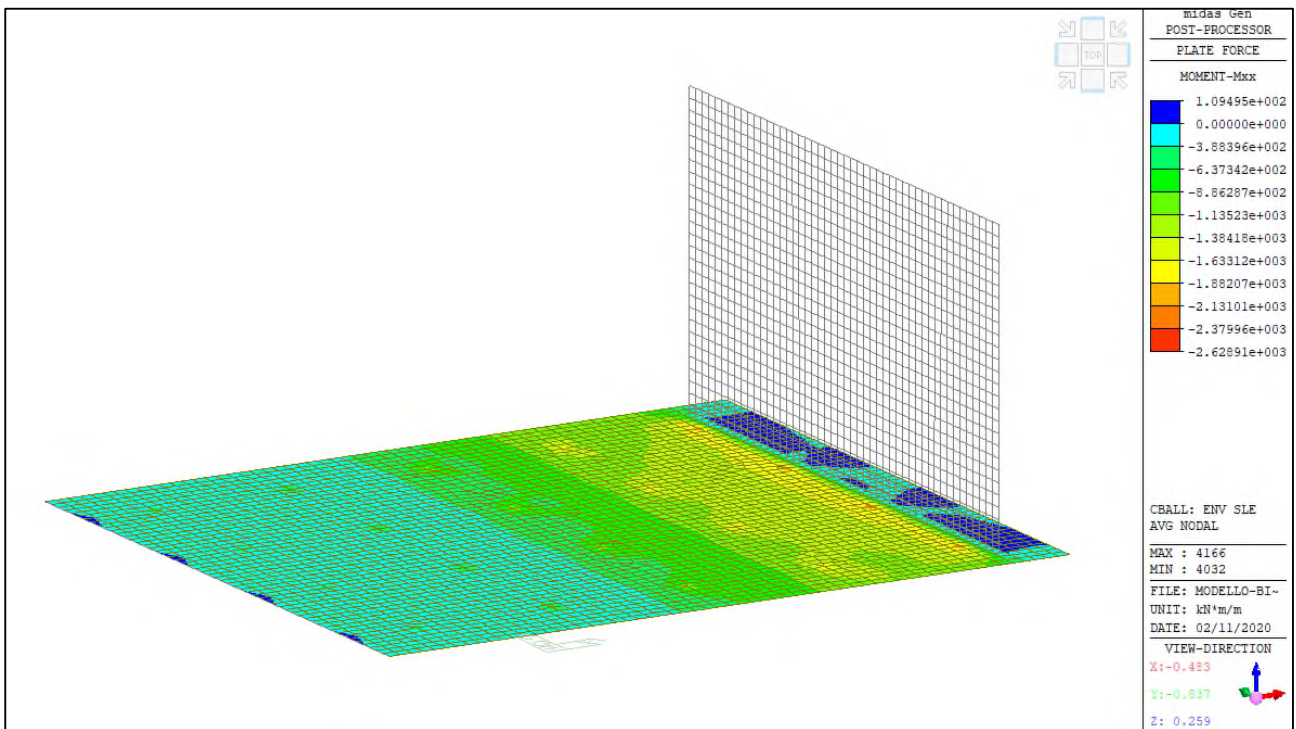




ENV-SLU+E – Reazioni vincolari orizzontali (Fx) massime

8.2.2DIAGRAMMI AZIONI INTERNE

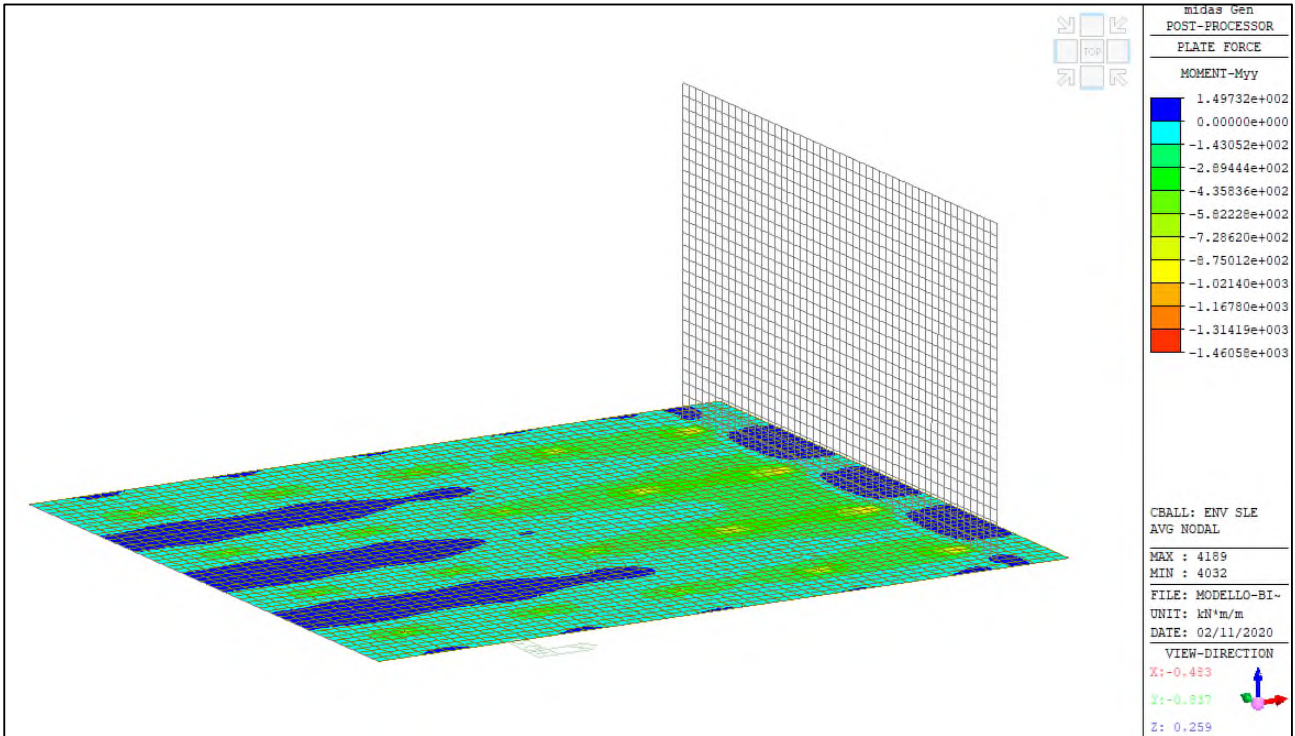
Si riportano i diagrammi involuppo delle azioni interne per le combinazioni allo stato limite di esercizio (ENV-SLE RARA).



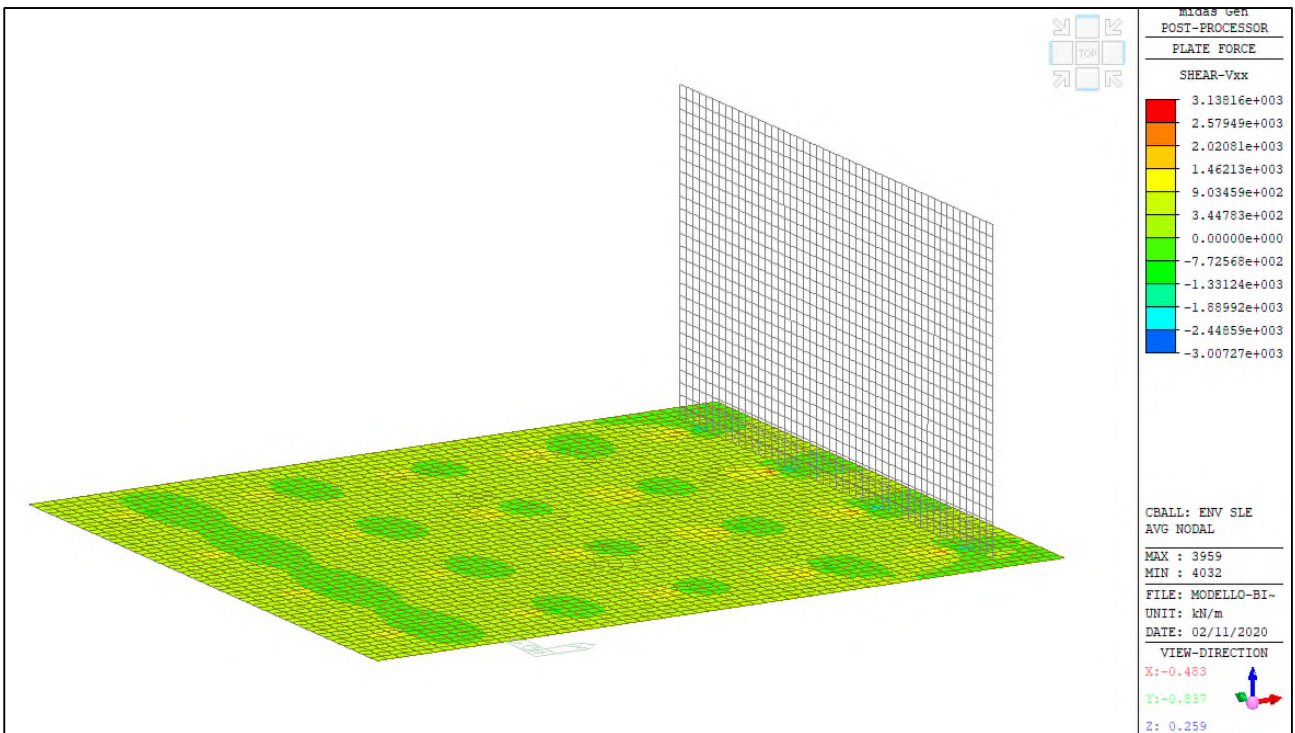
ENV-SLE RARA – Mxx (kNm/m) – Platea



Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostruttura, fondazioni
e muri andatori



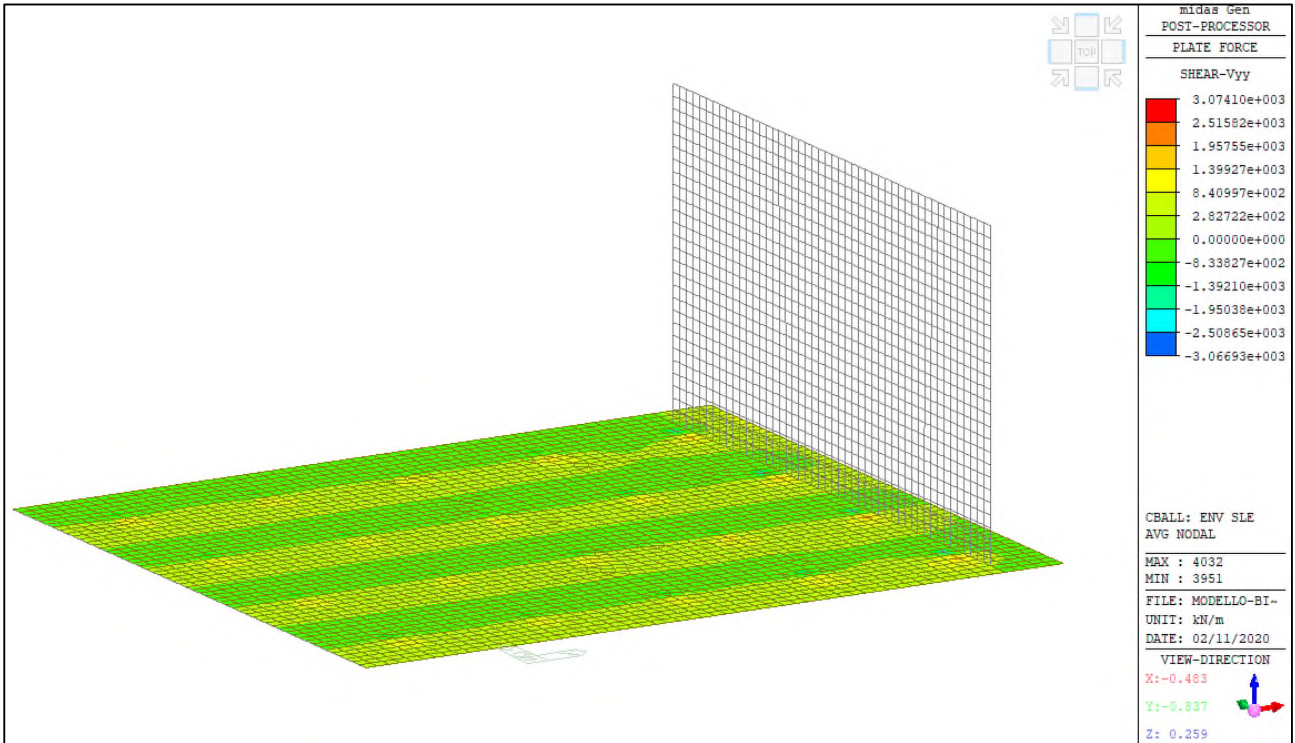
ENV-SLE RARA- Myy (kNm/m) – Platea



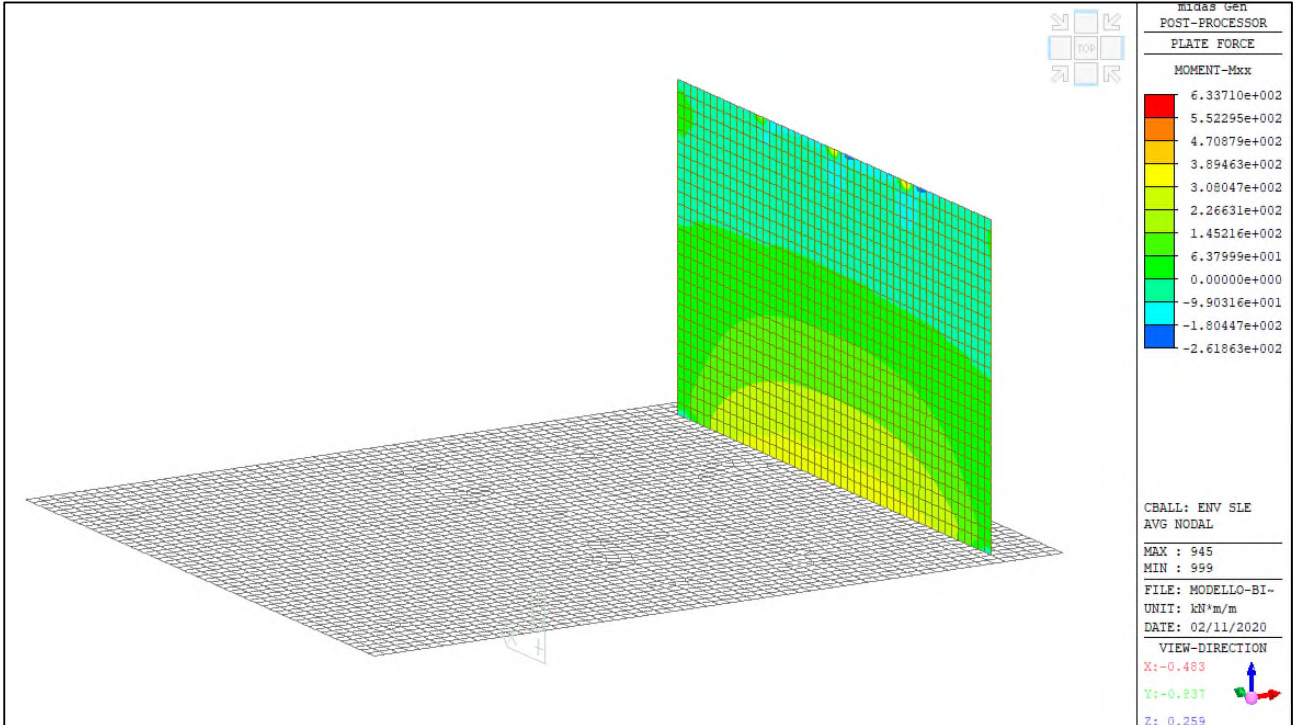
ENV-SLE RARA – Vxx (kN/m) – Platea



Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostrutture, fondazioni
e muri andatori



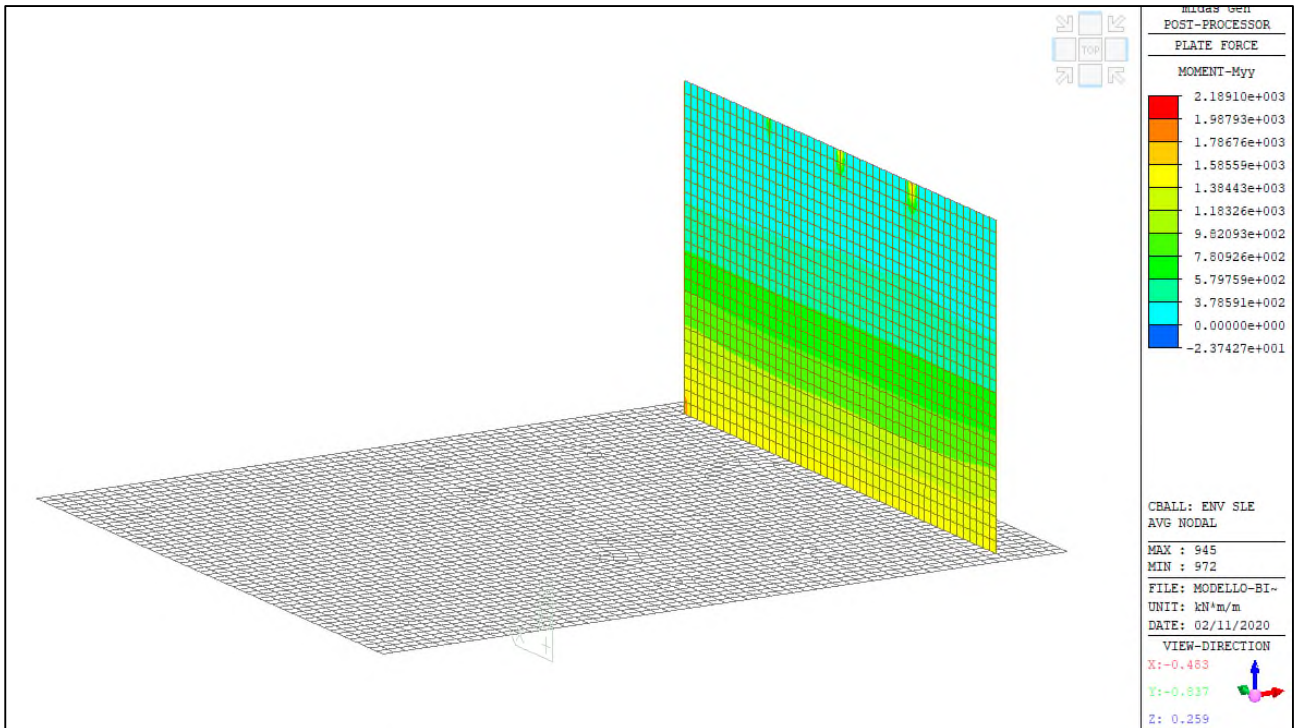
ENV-SLE RARA- Vyy (kN/m) – Platea



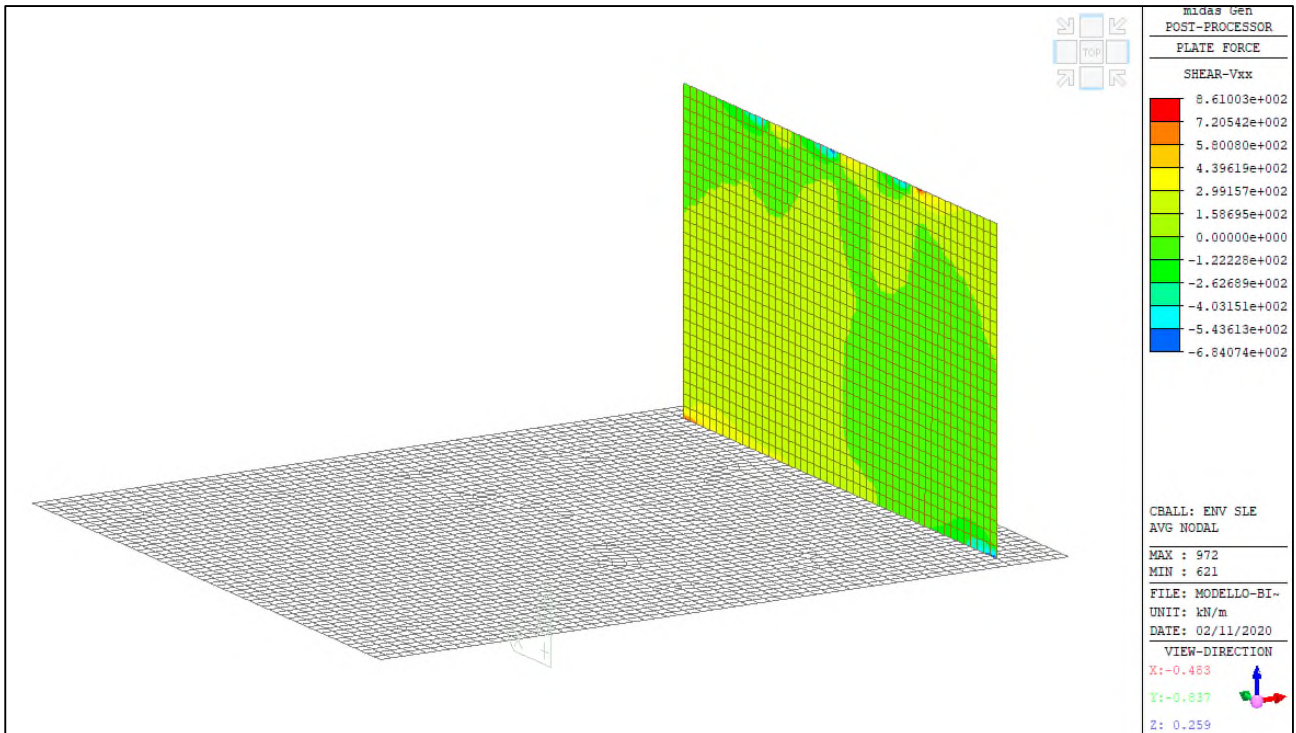
ENV-SLE RARA- Mxx (kNm/m) – Spalla



Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostruttura, fondazioni
e muri andatori



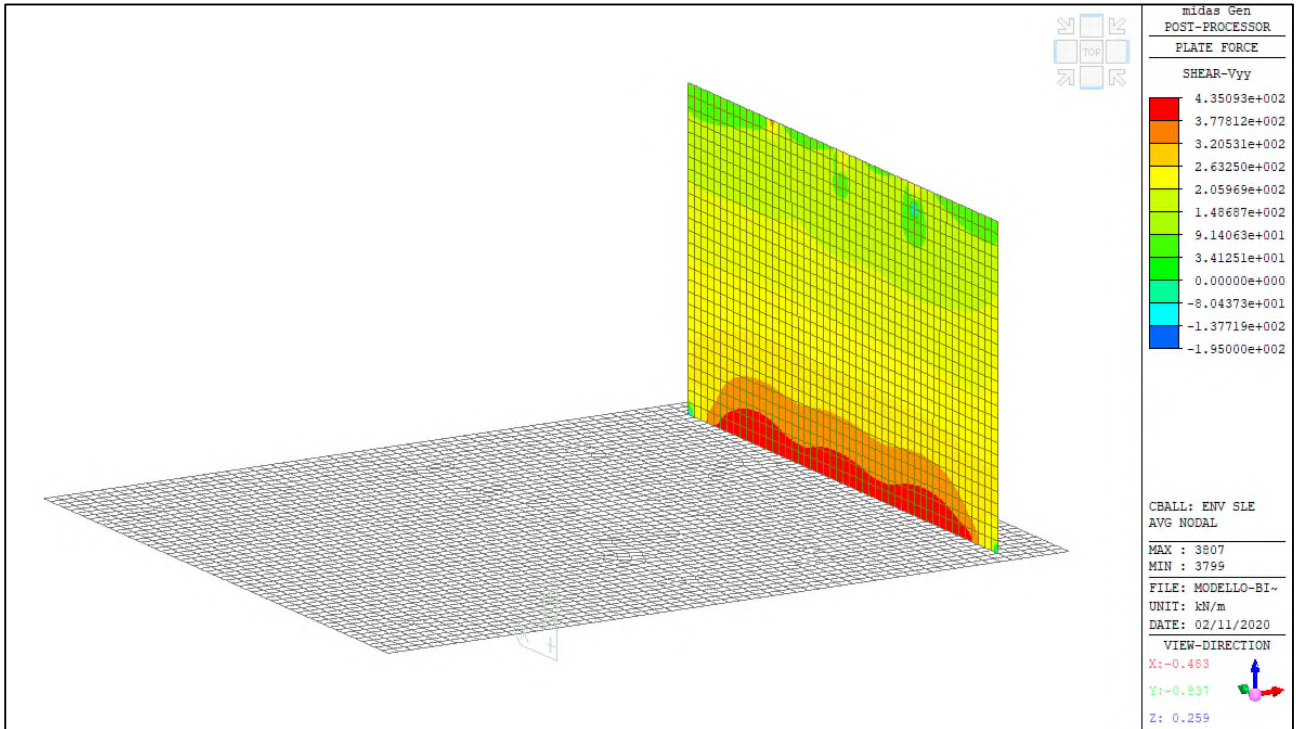
ENV-SLE RARA– Myy (kNm/m) – Spalla



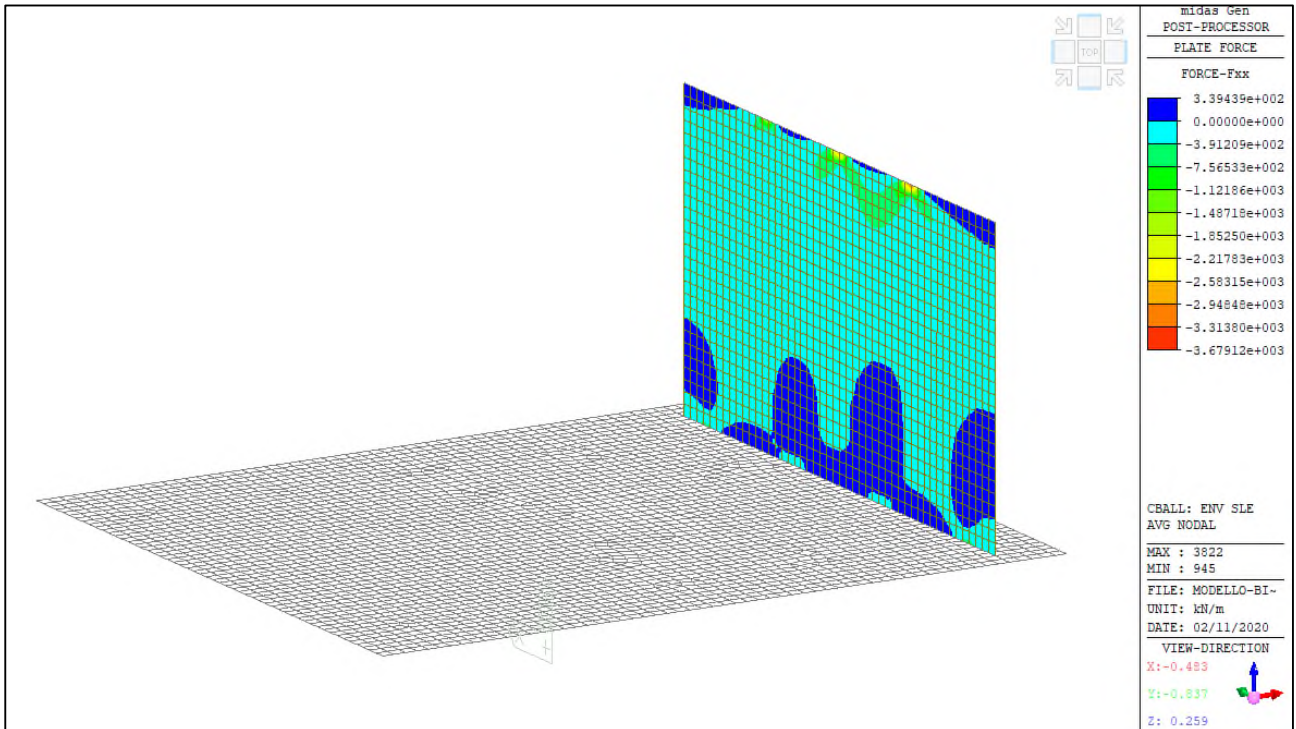
ENV-SLE RARA– Vxx (kN/m) – Spalla



Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostrutture, fondazioni
e muri andatori



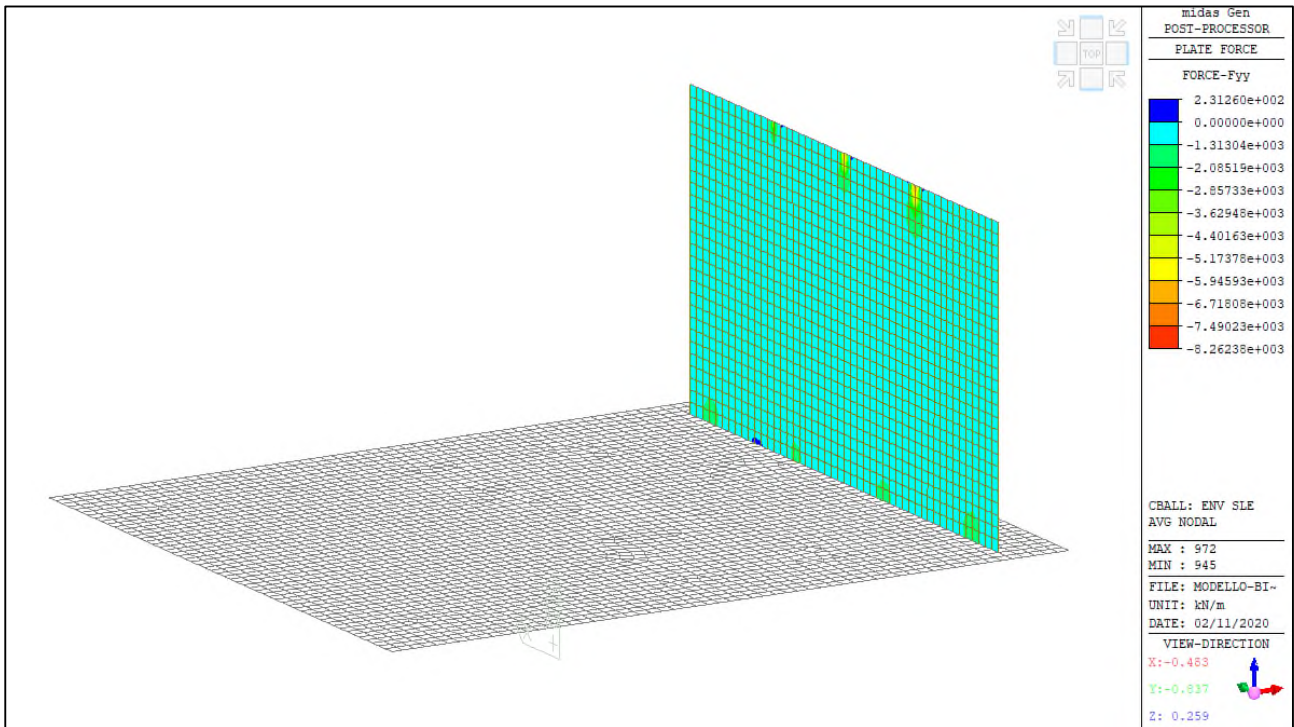
ENV-SLE RARA– Vyy (kN/m) – Spalla



ENV-SLE RARA– Fxx (kN/m) – Spalla



Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostrutture, fondazioni
e muri andatori

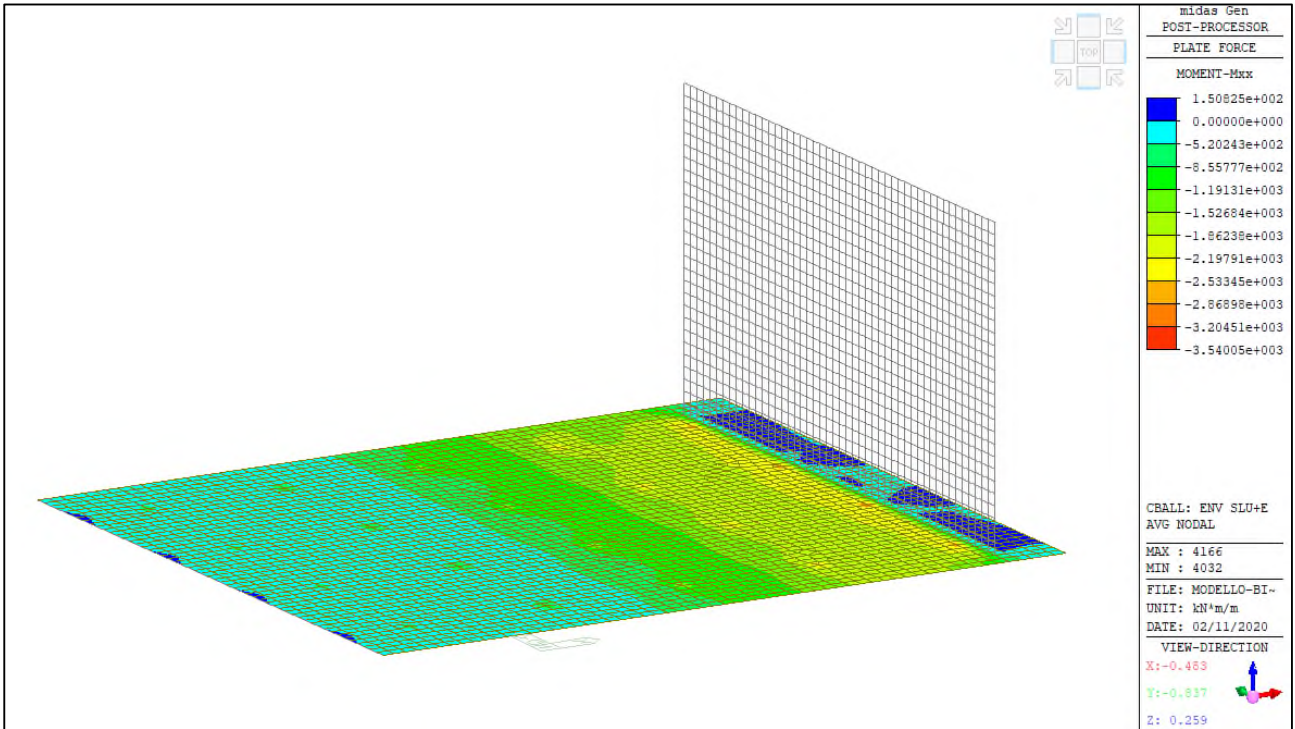


ENV-SLE RARA– Fyy (kN/m) – Spalla

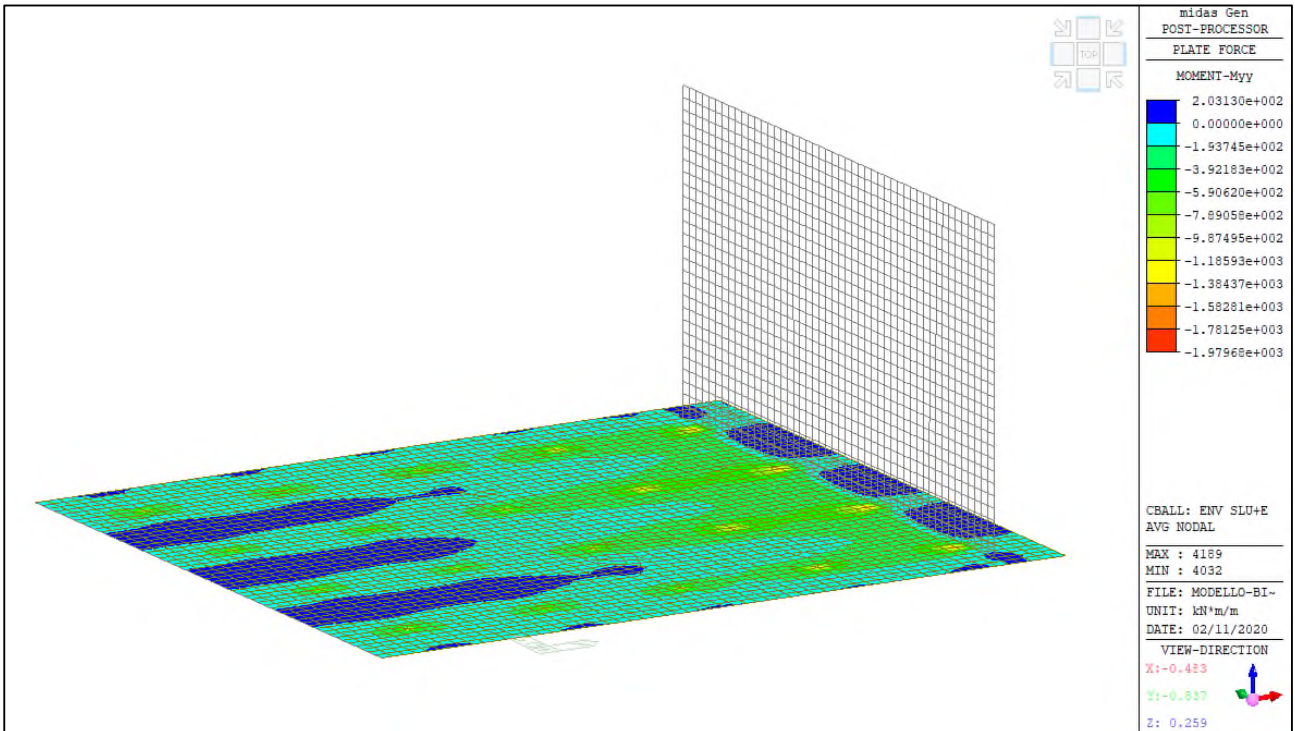
Si riportano i diagrammi involuppo delle azioni interne per le combinazioni allo stato limite ultimo (ENV-SLU+E)



Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostrutture, fondazioni
e muri andatori



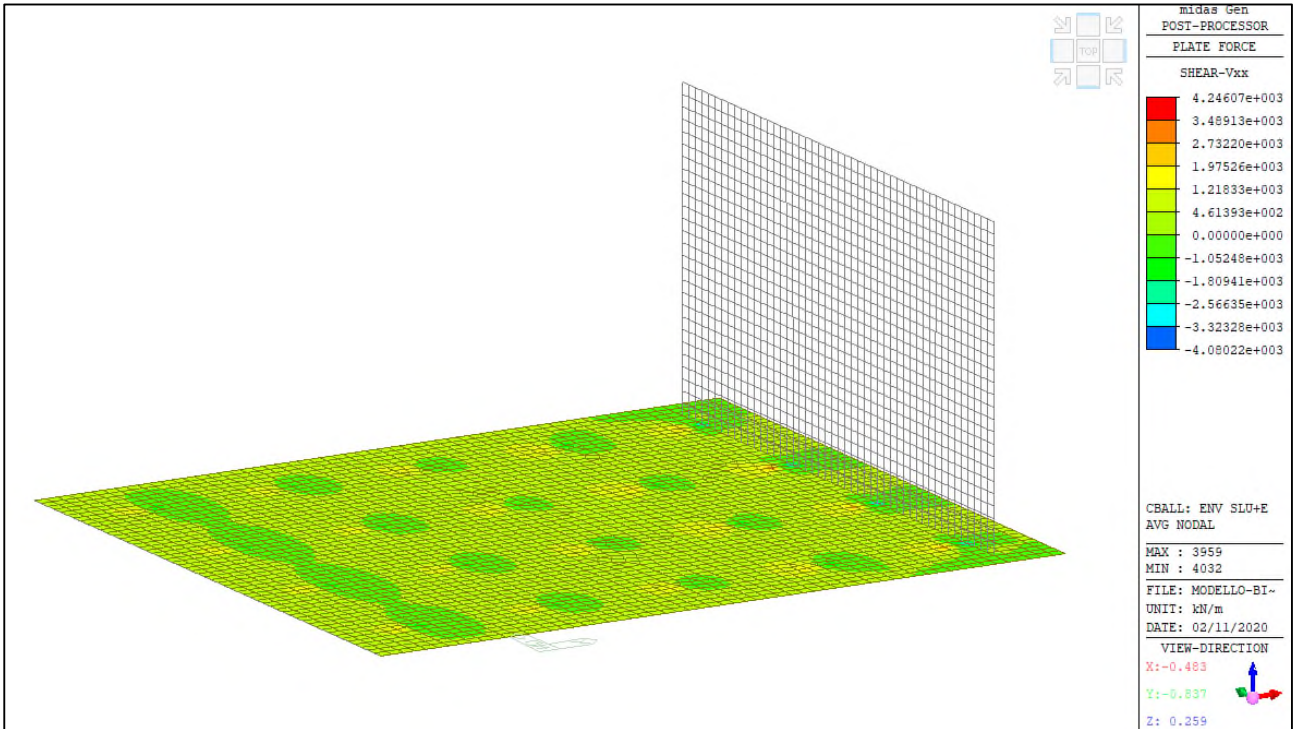
ENV-SLU+E – Mxx (kNm/m) – Platea



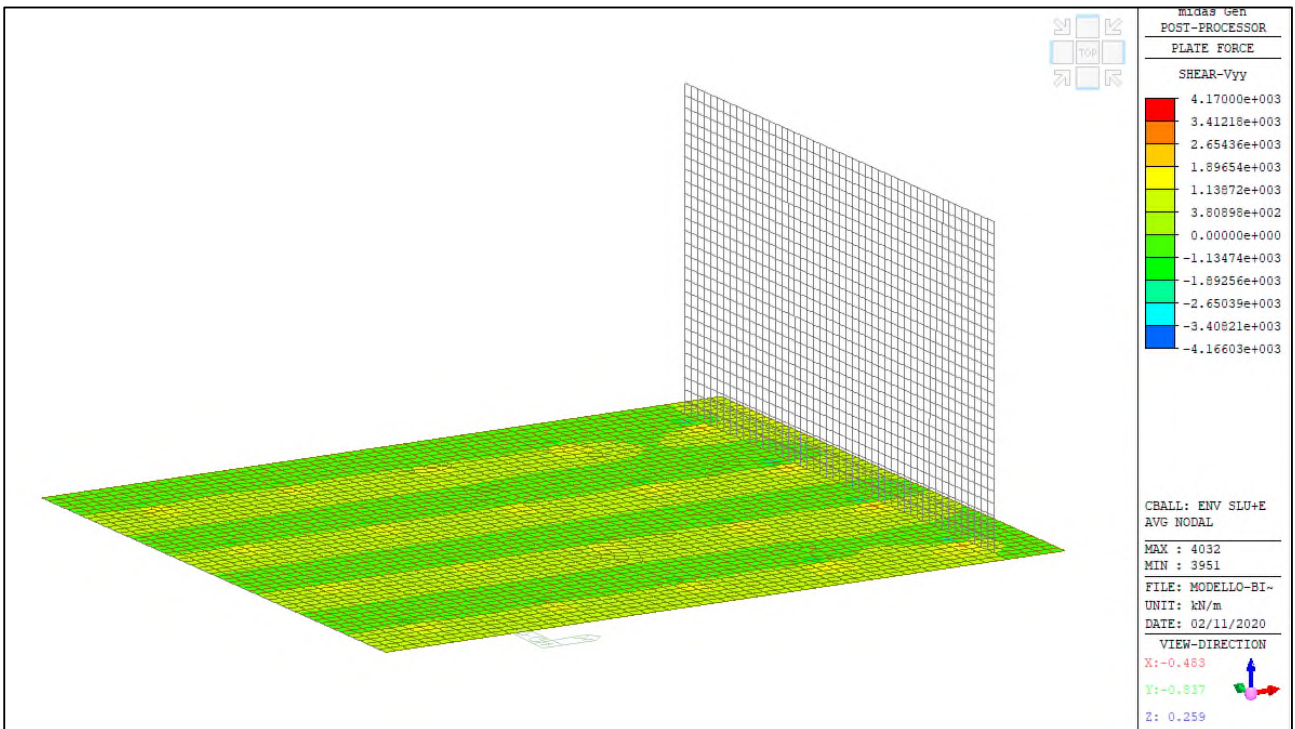
ENV-SLU+E – Myy (kNm/m) – Platea



Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostrutture, fondazioni
e muri andatori



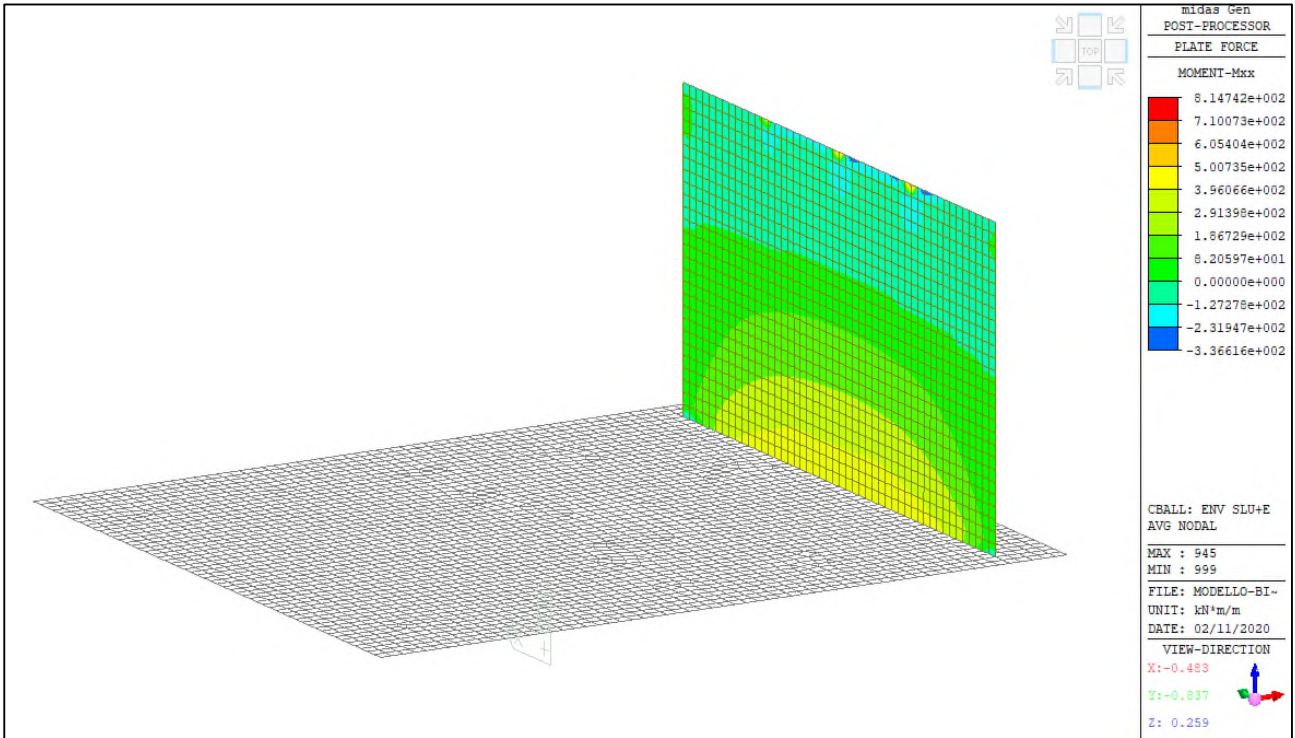
ENV-SLU+E – Vxx (kN/m) – Platea



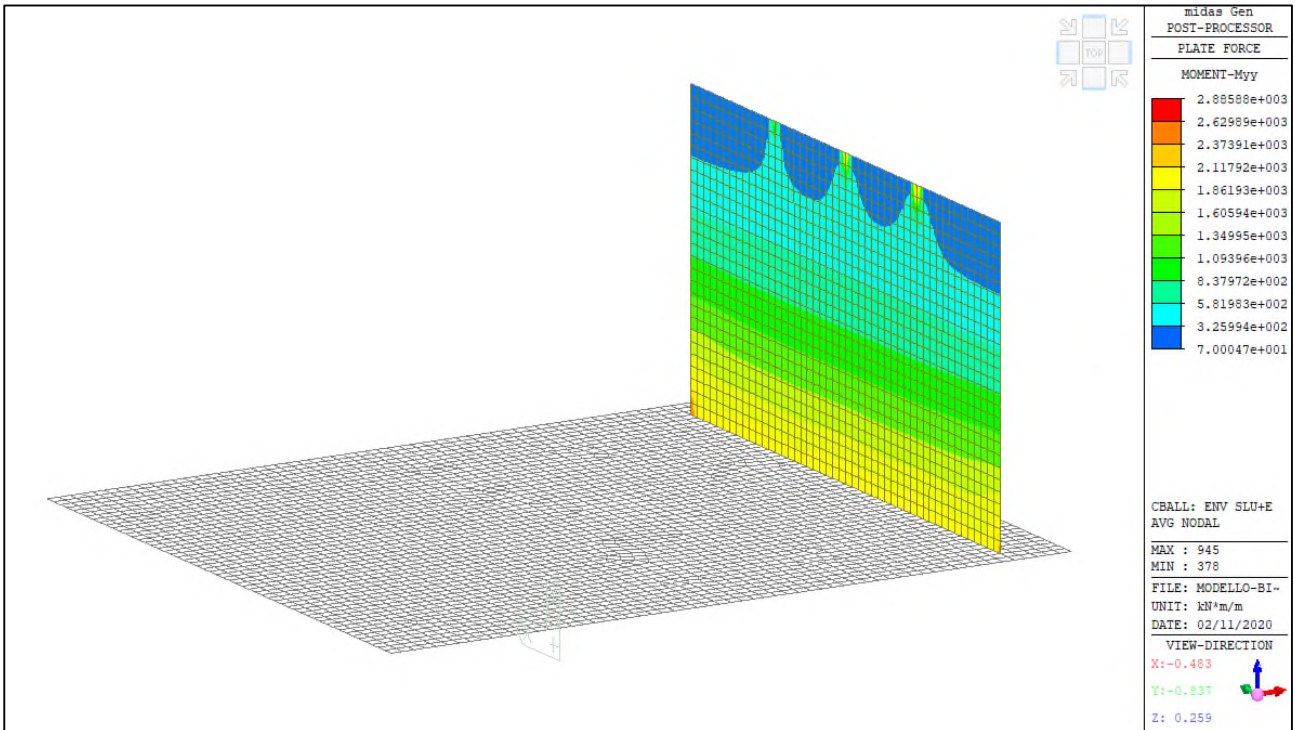
ENV-SLU+E – Vyy (kN/m) – Platea



Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostrutture, fondazioni
e muri andatori



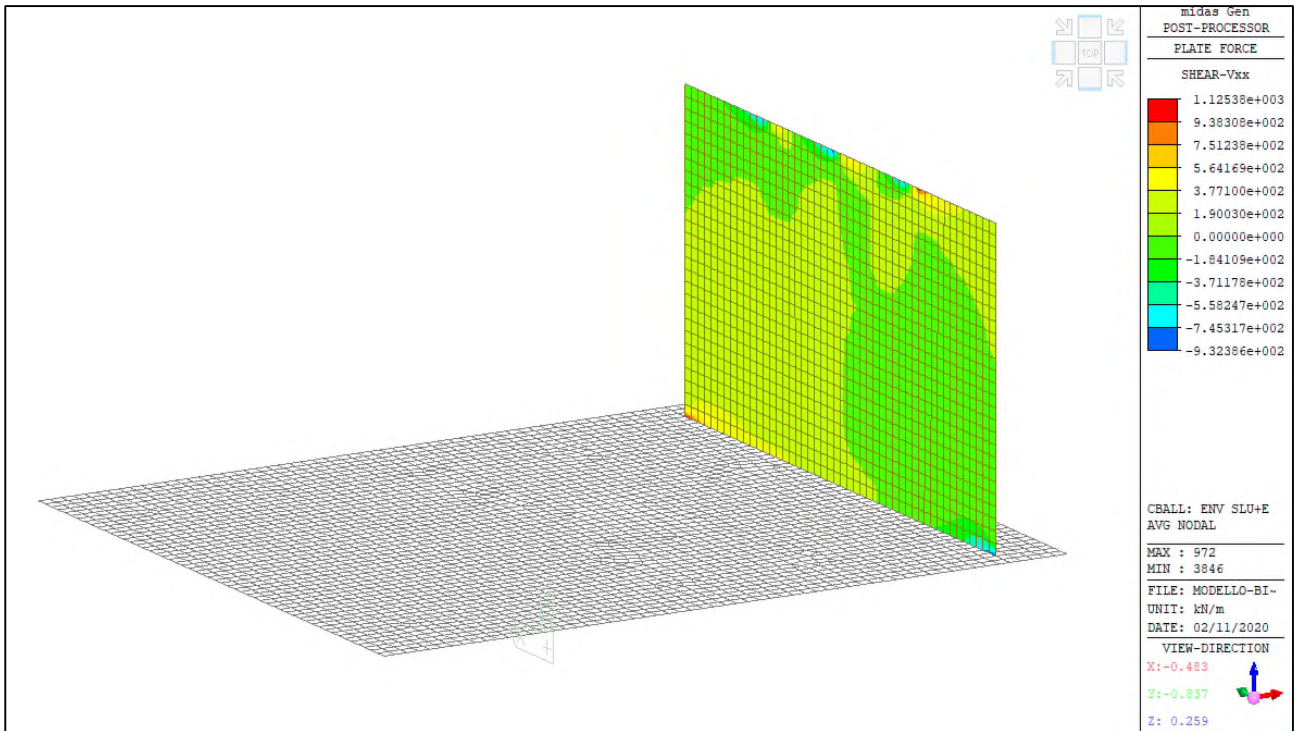
ENV-SLU+E – Mxx (kNm/m) – Spalla



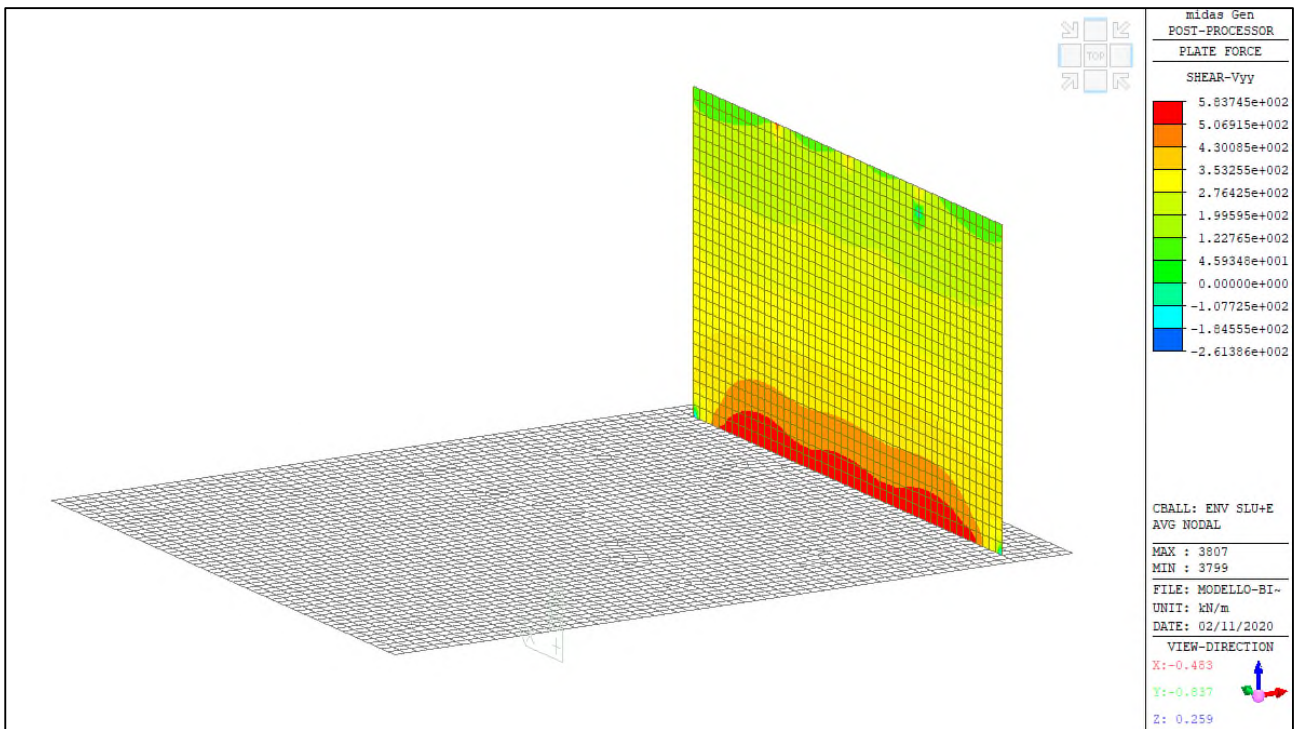
ENV-SLU+E – Myy (kNm/m) – Spalla



Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostruttura, fondazioni
e muri andatori



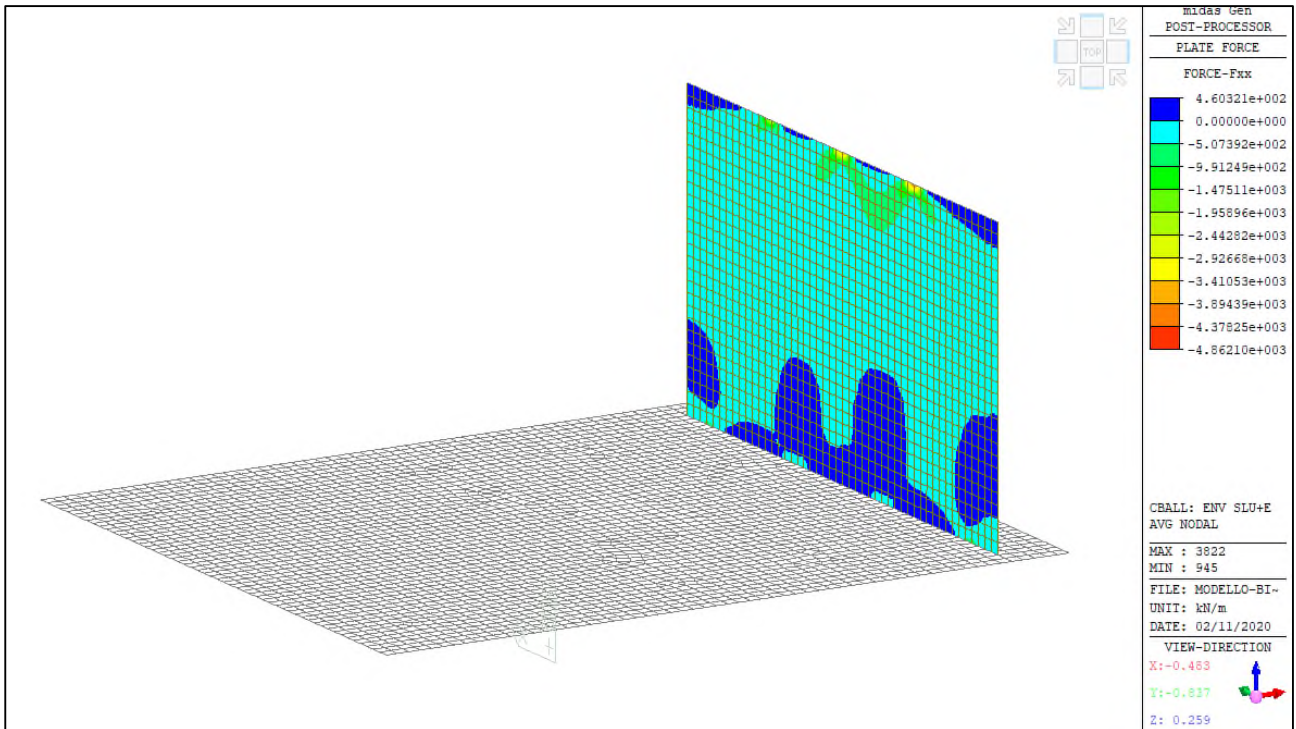
ENV-SLU+E – Vxx (kN/m) – Spalla



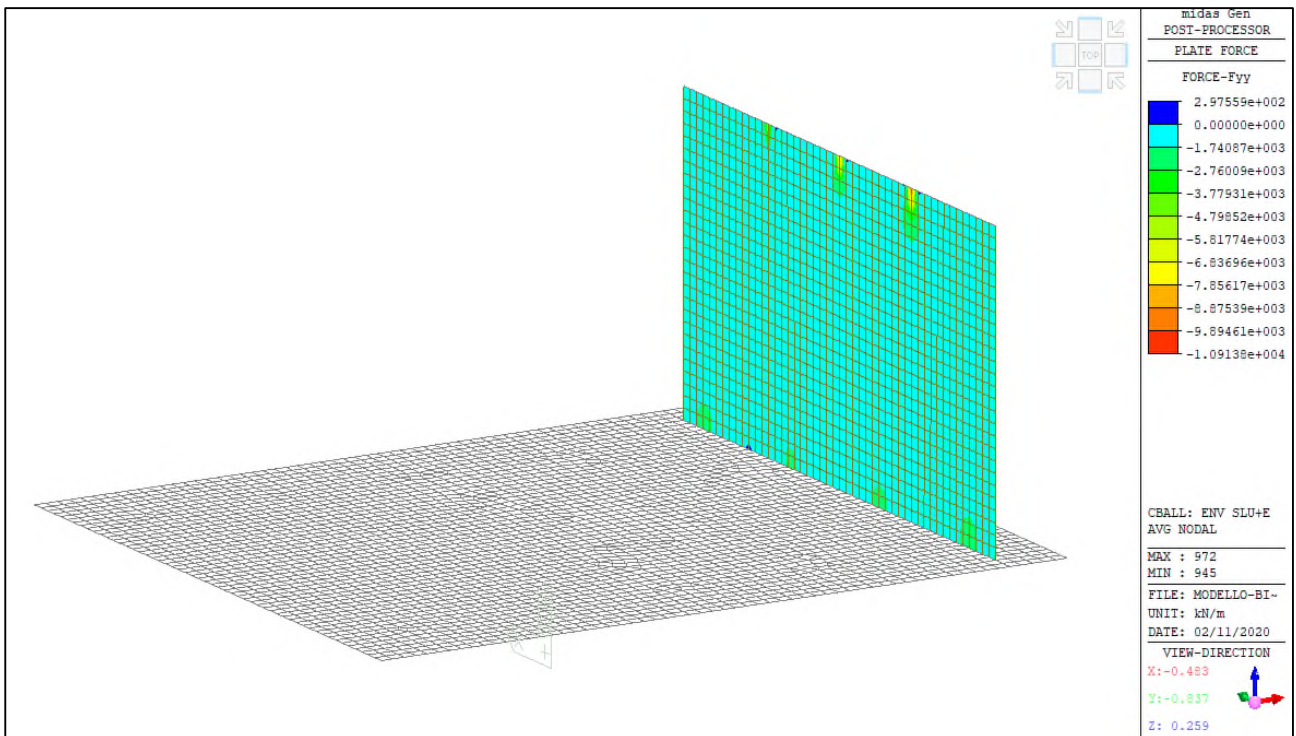
ENV-SLU+E – Vyy (kN/m) – Spalla



Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostruttura, fondazioni
e muri andatori



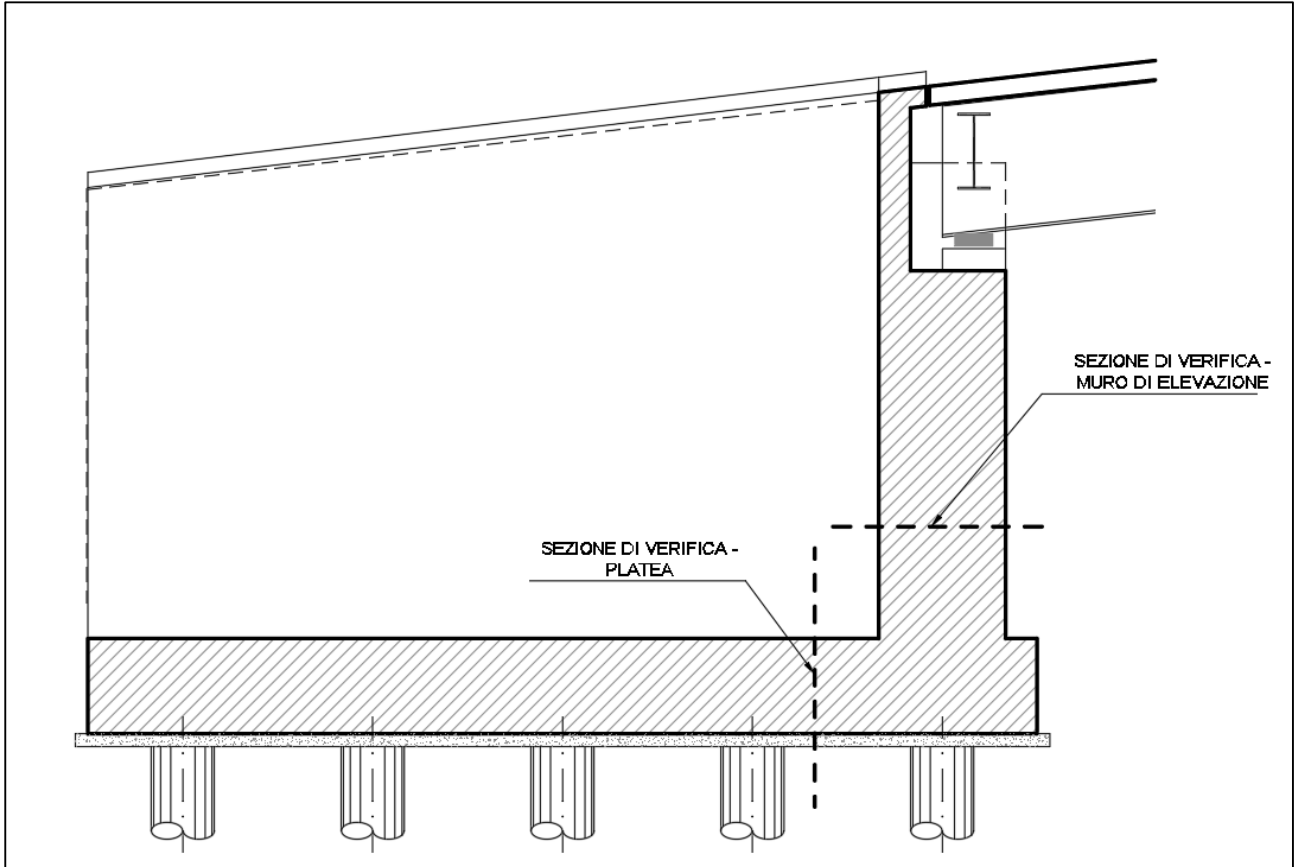
ENV-SLU+E – Fxx (kN/m) – Spalla



ENV-SLU+E – Fyy (kN/m) – Spalla

8.3 VERIFICHE ELEMENTI IN C.A

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



Identificazione sezioni di verifica

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

SEZIONE	SLE QP [kNm/m]		SLE F [kNm/m]		SLE R [kNm/m]		SLU [kNm/m]	
	M_{xx}	M_{yy}	M_{xx}	M_{yy}	M_{xx}	M_{yy}	M_{xx}	M_{yy}
PLATEA	1709.7	869.4	2028.1	1000.5	2628.9	1460.6	3540	1840
ELEVAZIONE	611.6	2009	633.7	2189.1	633.7	2289.1	814.7	2885.9

1. Platea

Le armature sono costituite da una maglia base



Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostrutture, fondazioni e muri andatori

- $\Phi 30/20$ inferiori in direzione x
- $\Phi 30/10$ 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 $5.0+3.0+1.5 = 9.5\text{cm}$

geometria				
sezione trasversale				
B	H	c	d	z
[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]
100	150	8.0	140.5	126.5
armatura longitudinale				
nbarre	ϕ	d	A_{sl}	
	[mm]	[cm]	[cm ²]	
5	30	9.5	35.34	
10	30	140.5	70.69	
armatura a taglio				
nbracci	ϕ	s	α	A_{sw}
	[mm]	[cm]	[°]	[cm ²]
5	14	40	90	7.70

SLU

SLU	
MEd	3540.00 [kNm]
NEd	0.00 [kN]
VEd	1900.00 [kN]
presso-flessione	
MRd	3678.4 [kNm]
FS	1.04

SLE - R

SLE	
MEk	2628.9 [kNm]
NEk	0 [kN]
tensioni e fessure	
Mdec	0.0 [kNm]
Mcr	1113.7 [kNm]
yn	-33.17 [cm]
$\sigma_{c,min}$	-8.3 [MPa]
$\sigma_{s,min}$	-95.7 [MPa]
$\sigma_{s,max}$	292.2 [MPa]

SLE - F

SLE	
MEk	2028.1 [kNm]
NEk	0 [kN]
tensioni e fessure	
Mdec	0.0 [kNm]
Mcr	1113.7 [kNm]
yn	-33.17 [cm]
$\sigma_{c,min}$	-6.4 [MPa]
$\sigma_{s,min}$	-73.9 [MPa]
$\sigma_{s,max}$	225.4 [MPa]
k_2	0.5
$\epsilon_{sm}-\epsilon_{cm}$	0.85 [%]
$S_{r,max}$	44.3 [cm]
W_k	0.378 [mm]

SLE - QP

SLE	
MEk	1709.7 [kNm]
NEk	0 [kN]
tensioni e fessure	
Mdec	0.0 [kNm]
Mcr	1113.7 [kNm]
yn	-33.17 [cm]
$\sigma_{c,min}$	-5.4 [MPa]
$\sigma_{s,min}$	-62.3 [MPa]
$\sigma_{s,max}$	190.0 [MPa]
k_2	0.5
$\epsilon_{sm}-\epsilon_{cm}$	0.67 [%]
$S_{r,max}$	44.3 [cm]
W_k	0.299 [mm]

Armatura platea direzione y

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



Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostrutture, fondazioni
e muri andatori

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	A_{sl}	
	[mm]	[cm]	[cm ²]	
5	30	6.5	35.34	
5	30	143.5	35.34	
armatura a taglio				
nbracci	ϕ	s	α	A_{sw}
	[mm]	[cm]	[°]	[cm ²]
5	14	40	90	7.70

SLU

SLU	
MEd	1840.00 [kNm]
NEd	0.00 [kN]
VEd	1900.00 [kN]
presso-flessione	
MRd	1923.4 [kNm]
FS	1.05

SLE - R

SLE	
MEk	1460.6 [kNm]
NEk	0 [kN]
tensioni e fessure	
Mdec	0.0 [kNm]
Mcr	1032.2 [kNm]
y_n	-44.34 [cm]
$\sigma_{c,min}$	-5.6 [MPa]
$\sigma_{s,min}$	-66.0 [MPa]
$\sigma_{s,max}$	308.2 [MPa]

SLE - F

SLE	
MEk	1000.5 [kNm]
NEk	0 [kN]
tensioni e fessure	
Mdec	0.0 [kNm]
Mcr	1032.2 [kNm]
y_n	-44.34 [cm]
$\sigma_{c,min}$	-3.8 [MPa]
$\sigma_{s,min}$	-45.2 [MPa]
$\sigma_{s,max}$	211.1 [MPa]
k_2	0.5
$\epsilon_{sm-\epsilon_{cm}}$	- [%]
$S_{r,max}$	- [cm]
W_k	- [mm]

SLE - QP

SLE	
MEk	869.4 [kNm]
NEk	0 [kN]
tensioni e fessure	
Mdec	0.0 [kNm]
Mcr	1032.2 [kNm]
y_n	-44.34 [cm]
$\sigma_{c,min}$	-3.3 [MPa]
$\sigma_{s,min}$	-39.3 [MPa]
$\sigma_{s,max}$	183.5 [MPa]
k_2	0.5
$\epsilon_{sm-\epsilon_{cm}}$	- [%]
$S_{r,max}$	- [cm]
W_k	- [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 =	6.5	cm
altezza utile	d =	144	cm
braccio coppia interna	z =	129.2	cm

armatura a taglio

numero braccia	n =	5	
diametro	ϕ =	14	mm
passo	s =	40	cm
inclinazione	α =	90	°
area	A_{sw} =	7.70	cm ²

armatura longitudinale tesa

numero barre	n_1 =	5	
diametro	ϕ_1 =	30	mm
numero barre	n_2 =	0	
diametro	ϕ_2 =	0	mm
area totale	A_{sl} =	35.3	cm ²

materiali

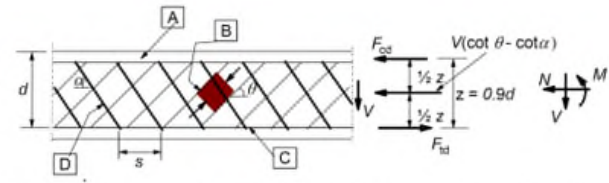
calcestruzzo

resistenza caratt. cilindrica a 28 gg.	f_{ck} =	24.9	MPa
coeff. parziale di sicurezza	γ_c =	1.5	
coeff. effetti a lungo termine	α_{cc} =	0.85	
tensione di calcolo	f_{cd} =	14.1	MPa
coeff. riduzione resistenza bielle	ν =	0.540	
tensione di calcolo bielle	νf_{cd} =	7.6	MPa

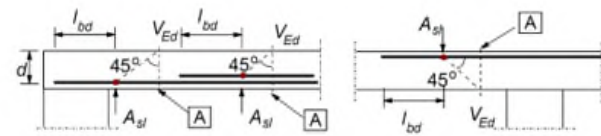
acciaio

tensione caratt. di snervamento	f_{yk} =	450.0	MPa
coeff. parziale di sicurezza	γ_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} =	1900	kN
azione assiale	N_{Ed} =	0	kN
resistenza elemento non armato	V_{Rdc} =	432.9	kN
resistenza armatura a taglio	V_{Rds} =	1908.5	kN
resistenza bielle calcestruzzo	V_{Rdmax} =	3982.3	kN
inclinazione bielle calcestruzzo	θ =	27.0	°
sezione		duatile	
traslazione armatura long.	a_l =	126.7	cm



Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostrutture, fondazioni
e muri andatori

2. Muro di elevazione

Le armature sono costituite da una maglia base

- $\Phi 30/20$ lato terra e controterra in direzione x
- $\Phi 32/20$ lato terra in direzione y
- $\Phi 30/20$ lato controterra in direzione y
- Spilli $\Phi 14/20 \times 40$

Armatura muro di elevazione direzione x

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

geometria				
sezione trasversale				
B	H	c	d	z
[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]
100	200	5.5	193.0	173.7
armatura longitudinale				
nbarre	ϕ	d	Asl	
	[mm]	[cm]	[cm ²]	
5	30	7.0	35.34	
5	30	193.0	35.34	
armatura a taglio				
nbracci	ϕ	s	α	Asw
	[mm]	[cm]	[°]	[cm ²]
5	14	40	90	7.70

SLU	SLE - R	SLE - F	SLE - QP
SLU	SLE	SLE	SLE
MEd 814.70 [kNm]	MEk 633.7 [kNm]	MEk 633.7 [kNm]	MEk 611.6 [kNm]
NEd [kN]	NEk [kN]	NEk [kN]	NEk [kN]
VEd 1125.80 [kN]	tensioni e fessure		
presso-flessione	Mdec 0.0 [kNm]	Mdec 0.0 [kNm]	Mdec 0.0 [kNm]
MRd 2615.2 [kNm]	Mcr 1942.7 [kNm]	Mcr 1942.7 [kNm]	Mcr 1942.7 [kNm]
FS 3.21	yn -63.35 [cm]	yn -63.35 [cm]	yn -63.35 [cm]
	$\sigma_{c,min}$ -1.5 [MPa]	$\sigma_{c,min}$ -1.5 [MPa]	$\sigma_{c,min}$ -1.5 [MPa]
	$\sigma_{s,min}$ -18.7 [MPa]	$\sigma_{s,min}$ -18.7 [MPa]	$\sigma_{s,min}$ -18.1 [MPa]
	$\sigma_{s,max}$ 98.6 [MPa]	$\sigma_{s,max}$ 98.6 [MPa]	$\sigma_{s,max}$ 95.2 [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]



Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostrutture, fondazioni
e muri andatori

Armatura muro di elevazione direzione y

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

geometria				
sezione trasversale				
B	H	c	d	z
[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]
100	200	8.5	189.9	170.9
armatura longitudinale				
nbarre	φ	d	A _{sl}	
	[mm]	[cm]	[cm ²]	
5	30	10.0	35.34	
5	32	189.9	40.21	
armatura a taglio				
nbracci	φ	s	α	A _{sw}
	[mm]	[cm]	[°]	[cm ²]
5	14	40	90	7.70

SLU	SLE - R	SLE - F	SLE - QP
SLU	SLE	SLE	SLE
M _{Ed} 2885.90 [kNm]	M _{Ek} 2289.1 [kNm]	M _{Ek} 2189.1 [kNm]	M _{Ek} 2009 [kNm]
N _{Ed} -1140.00 [kN]	N _{Ek} -1100 [kN]	N _{Ek} -1000 [kN]	N _{Ek} -900 [kN]
V _{Ed} 583.70 [kN]	tensioni e fessure		
presso-flessione	M _{dec} 390.9 [kNm]	M _{dec} 355.4 [kNm]	M _{dec} 319.8 [kNm]
M _{Rd} 3943.8 [kNm]	M _{cr} 2339.1 [kNm]	M _{cr} 2303.6 [kNm]	M _{cr} 2268.0 [kNm]
FS 1.37	γ _n -42.71 [cm]	γ _n -43.79 [cm]	γ _n -44.19 [cm]
	σ _{c,min} -5.8 [MPa]	σ _{c,min} -5.5 [MPa]	σ _{c,min} -5.1 [MPa]
	σ _{s,min} -71.5 [MPa]	σ _{s,min} -68.1 [MPa]	σ _{s,min} -62.4 [MPa]
	σ _{s,max} 200.4 [MPa]	σ _{s,max} 196.9 [MPa]	σ _{s,max} 182.6 [MPa]
		k ₂ 0.5	k ₂ 0.5
		ε _{sm-ε_{cm}} - [%]	ε _{sm-ε_{cm}} - [%]
		s _{r,max} - [cm]	s _{r,max} - [cm]
		w _k - [mm]	w _k - [mm]

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

geometria

sezione trasversale

base	B	=	100	cm
altezza	H	=	200	cm
copriferro (asse armatura long.)	c	=	7	cm
altezza utile	d	=	193	cm
braccio coppia interna	z	=	173.7	cm

armatura a taglio

numero braccia	n	=	5	
diametro	ϕ	=	14	mm
passo	s	=	40	cm
inclinazione	α	=	90	°
area	A_{sw}	=	7.70	cm ²

armatura longitudinale tesa

numero barre	n_1	=	5	
diametro	ϕ_1	=	30	mm
numero barre	n_2	=	0	
diametro	ϕ_2	=	0	mm
area totale	A_{sl}	=	35.3	cm ²

materiali

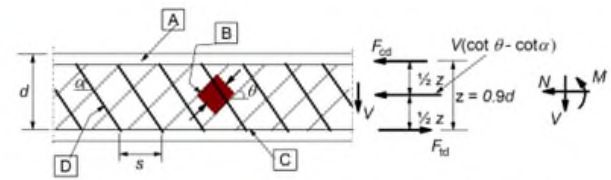
calcestruzzo

resistenza caratt. cilindrica a 28 gg.	f_{ck}	=	33.2	MPa
coeff. parziale di sicurezza	γ_c	=	1.5	
coeff. effetti a lungo termine	α_{cc}	=	0.85	
tensione di calcolo	f_{cd}	=	18.8	MPa
coeff. riduzione resistenza bielle	ν	=	0.520	
tensione di calcolo bielle	νf_{cd}	=	9.8	MPa

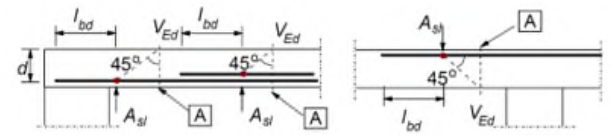
acciaio

tensione caratt. di snervamento	f_{yk}	=	450.0	MPa
coeff. parziale di sicurezza	γ_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

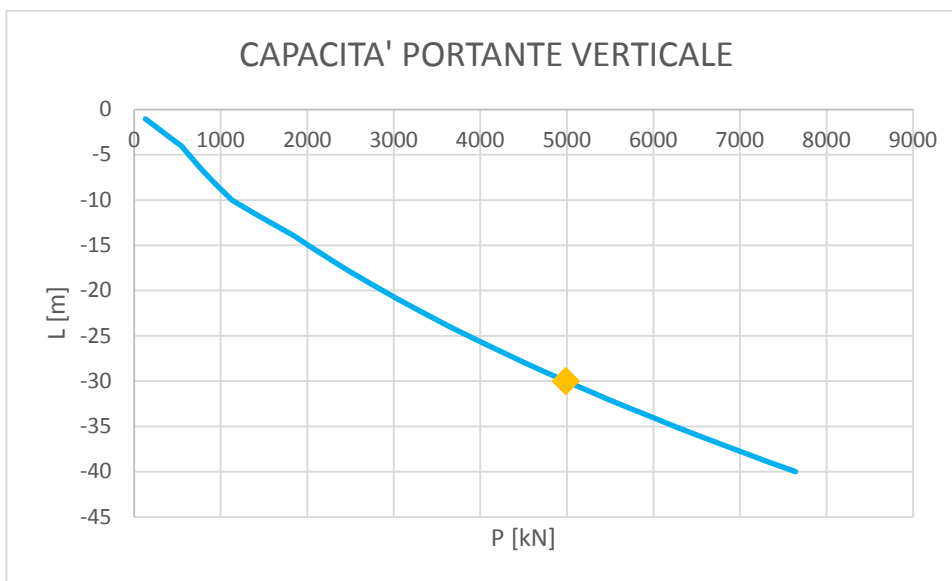
sollecitazioni e verifiche

taglio	V_{Ed}	=	1125.8	kN
azione assiale	N_{Ed}	=	-1140	kN
resistenza elemento non armato	V_{Rdc}	=	756.6	kN
resistenza armatura a taglio	V_{Rds}	=	2566.9	kN
resistenza bielle calcestruzzo	V_{Rdmax}	=	6878.0	kN
inclinazione bielle calcestruzzo	θ	=	27.0	°
sezione				duttile
traslazione armatura long.	a_l	=	170.5	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.

Per quanto riguarda la capacità portante verticale, il valore dell'azione agente su palo più sollecitato risulta essere pari a 4778.7 kN. Pertanto si utilizzano pali di lunghezza pari a 30.00m la cui capacità portante verticale è maggiore di quella agente, e pari a 4987.44 kN.



Capacità portante verticale dei pali



Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostrutture, fondazioni e muri andatori

STRADA BOSSARINO

PALI DI FONDAZIONE SPALLA LATO VADO LIGURE

Calcolo del carico trasversale limite

Terreni incoerenti (Broms 1964)

DATI GEOMETRICI:

Lunghezza del palo	L	30	[m]
Diametro del palo	D _{palo}	1	[m]
Diametro del tubolare	D _{tubolare}	1000	[mm]

Momento di plasticizzazione	M _y	2778.0	[kNm]
-----------------------------	----------------	--------	-------

DATI GEOTECNICI:

Peso per unità di volume	γ'	22	[kN/m ³]
Angolo attrito medio	φ _{medio}	27.5	[°]
Coefficiente di spinta passiva medio	k _{p,medio}	2.72	[-]
Angolo attrito minimo	φ _{minimo}	27	[°]
Coefficiente di spinta passiva minimo	k _{p,minimo}	2.66	[-]

VERTICALI INDAGATE:

numero di verticali indagate	n°	2
fattore di correlazione	ξ ₃	1.65
fattore di correlazione	ξ ₄	1.55

CARICO TRASVERSALE PER PALO CORTO H_{1z}:

H _{1,medio}	80784.0	[kN]	$H = 1.5k_p \gamma d^3 \left(\frac{L}{d}\right)^2$
H _{1,minimo}	79002.0	[kN]	

CARICO TRASVERSALE PER PALO INTERMEDIO H_{2z}:

H _{2,medio}	27020.6	[kN]	$H = \frac{1}{2}k_p \gamma d^3 \left(\frac{L}{d}\right)^2 + \frac{M_y}{L}$
H _{2,minimo}	26426.6	[kN]	

CARICO TRASVERSALE PER PALO LUNGO H_{3z}:

H _{3,medio}	1841.1	[kN]	$H = k_p \gamma d^3 \sqrt[3]{\left(3.676 \frac{M_y}{k_p \gamma d^4}\right)^2}$
H _{3,minimo}	1827.4	[kN]	

DEFINIZIONE DEL COMPORTAMENTO DEL PALO:

H _{medio}	1841.1	[kN]	PALO LUNGO
H _{minimo}	1827.4	[kN]	

CARICO TRASVERSALE ULTIMO:

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

H _k	1115.8	[kN]
----------------	--------	------

$$H_d = H_k/\gamma_T$$

γ _T	1.3	[-]
H _d	858.3	[kN]
H _{agente}	395.4	[kN]

VERIFICA: H_d > H_{agente} VERIFICATO

Capacità portante trasversale pali



Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostrutture, fondazioni
e muri andatori

L'armatura dei pali di fondazione è costituita da:

- 30 Φ 30 armatura longitudinale
- Staffe Φ 12/15

Si riportano le massime sollecitazioni agenti sui pali di fondazione

N [kN]	V [kN]	M [kNm]
4778.7	395.4	1977

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

Verifica strutturale pali di fondazione

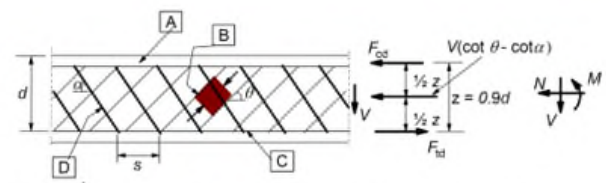
Per la verifica a taglio delle Staffe è stata considerata una sezione corrispondente al quadrato inscritto nella circonferenza del palo di fondazione.

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

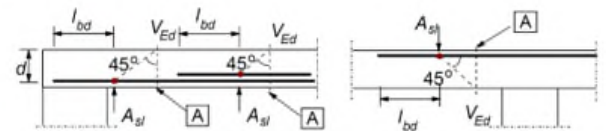
geometria	
sezione trasversale	
base	B = 70.7 cm
altezza	H = 70.7 cm
copriferro (asse armatura long.)	c = 8.5 cm
altezza utile	d = 62.2 cm
braccio coppia interna	z = 56.0 cm
armatura a taglio	
numero braccia	n = 2
diametro	ϕ = 12 mm
passo	s = 15 cm
inclinazione	α = 90 °
area	A_{sw} = 2.26 cm ²
armatura longitudinale tesa	
numero barre	n_1 = 10
diametro	ϕ_1 = 30 mm
numero barre	n_2 = 0
diametro	ϕ_2 = 0 mm
area totale	A_{sl} = 70.7 cm ²

materiali	
calcestruzzo	
resistenza caratt. cilindrica a 28 gg.	f_{ck} = 33.2 MPa
coeff. parziale di sicurezza	γ_c = 1.5
coeff. effetti a lungo termine	α_{cc} = 0.85
tensione di calcolo	f_{cd} = 18.8 MPa
coeff. riduzione resistenza bielle	ν = 0.520
tensione di calcolo bielle	νf_{cd} = 9.8 MPa
acciaio	
tensione caratt. di snervamento	f_{yk} = 450.0 MPa
coeff. parziale di sicurezza	γ_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} = 395.4 kN
azione assiale	N_{Ed} = 0 kN
resistenza elemento non armato	
	V_{Rdc} = 311.3 kN
resistenza armatura a taglio	
	V_{Rds} = 825.8 kN
resistenza bielle calcestruzzo	
	V_{Rdmax} = 1336.0 kN
inclinazione bielle calcestruzzo	
	θ = 21.8 °
sezione	
duttile	
traslazione armatura long.	
	al = 70.0 cm

Verifica a taglio pali di fondazione

9. VERIFICA SPALLA LATO DISCARICA BOSSARINO

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.

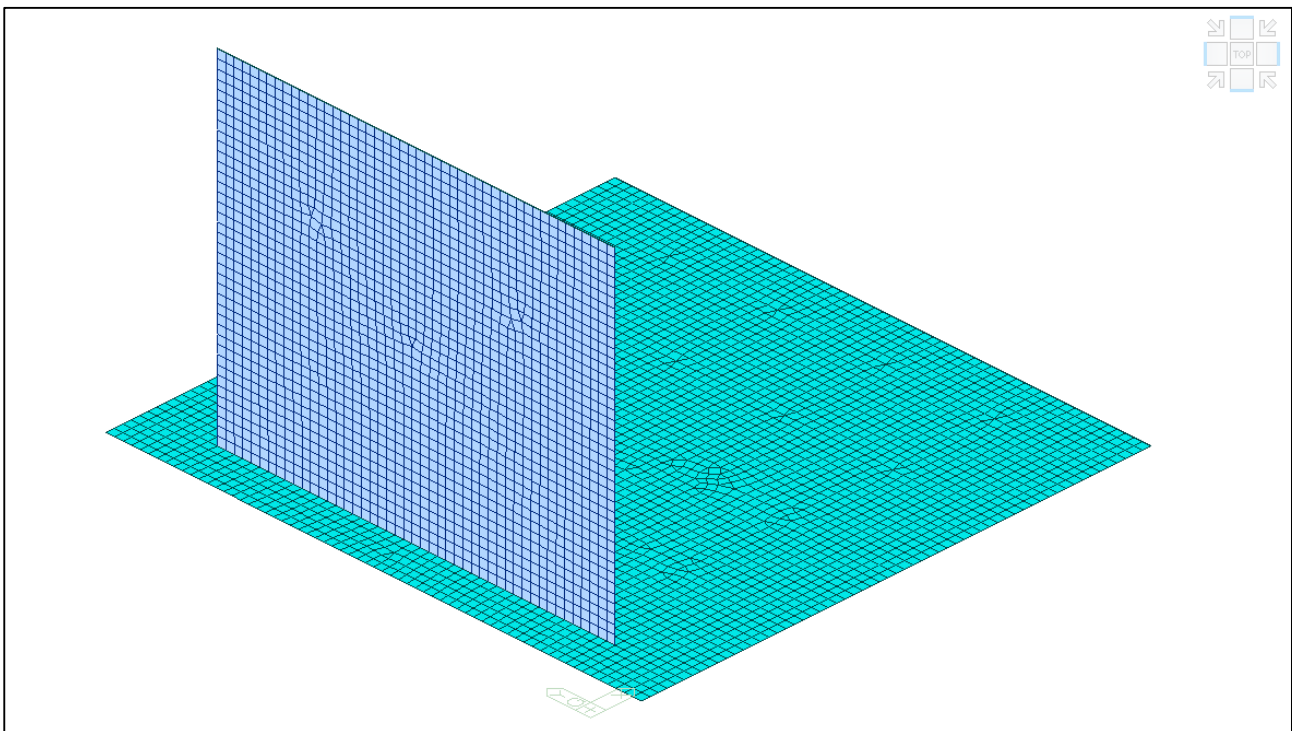
Nei successivi paragrafi sono descritte in dettaglio tutte le ipotesi poste alla base delle analisi sviluppate.

9.1 DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO

9.1.1 GEOMETRIA DEL MODELLO

La spalla si compone di un muro frontale dello spessore di 200 cm e da una platea di fondazione dello spessore di 200cm. In sommità è presente un paraghiaia di spessore pari a 50 cm.

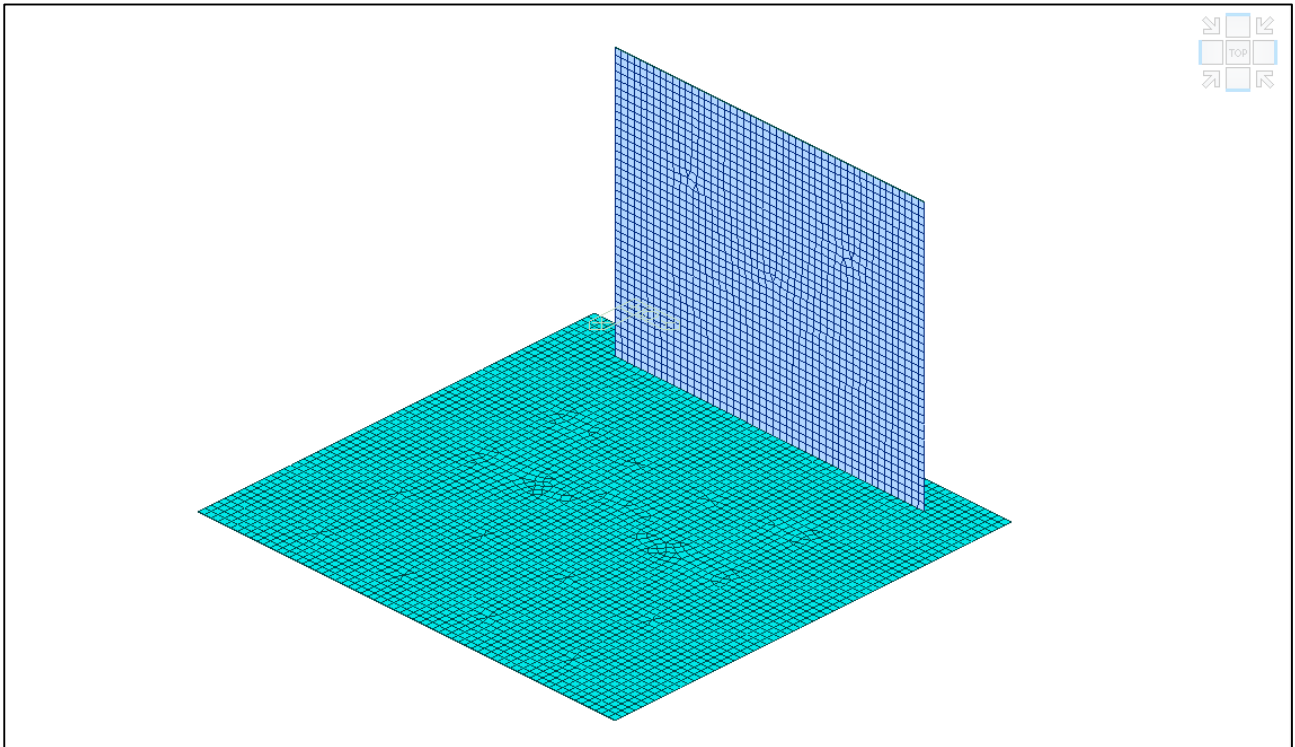
E' stato sviluppato un modello globale della struttura di tipo lineare. I vari elementi sono stati schematizzati assumendo diverse caratteristiche geometriche per le varie sezioni previste.



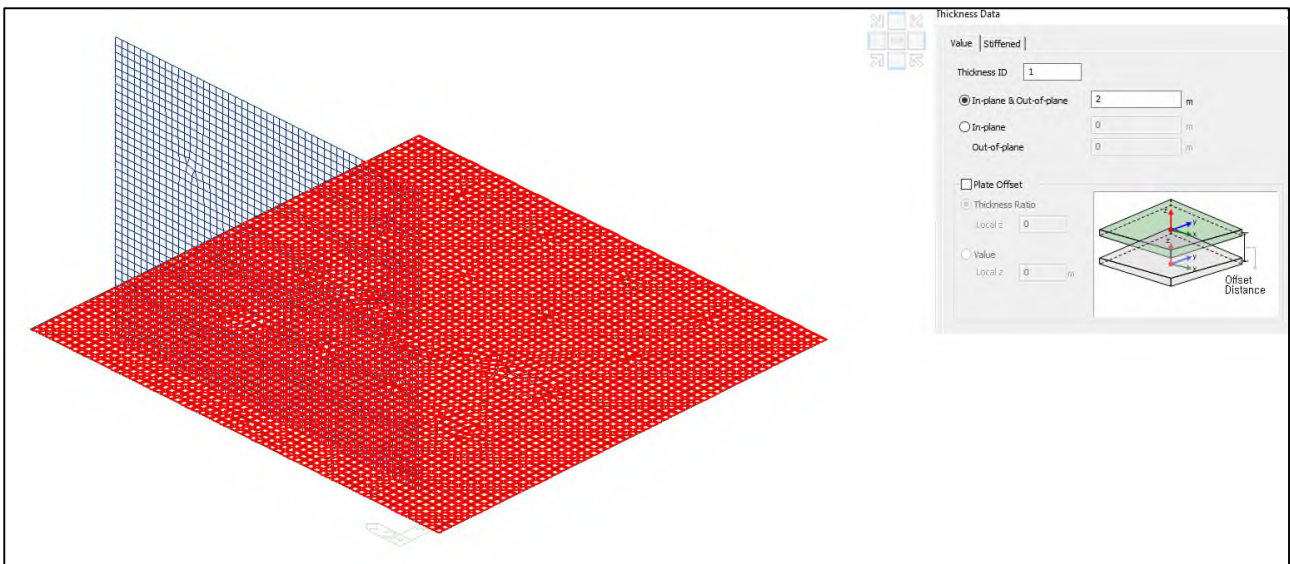
Modello FEM - Vista 1 – Spalla lato discarica Bossarino



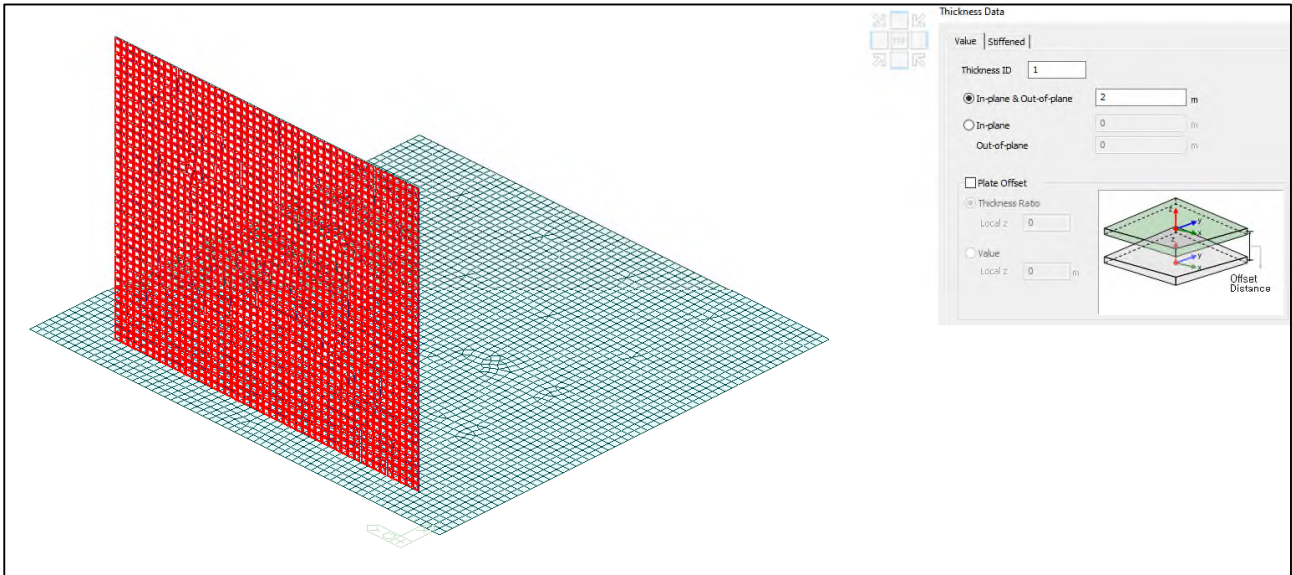
Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostruttura, fondazioni
e muri andatori



Modello FEM - Vista 2 – Spalla lato discarica Bossarino



Modello FEM - Identificazione platea spessore 2.00m in calcestruzzo C25/30



Modello FEM - Identificazione spalla spessore 2.00m 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 palo, sono state calcolate come segue

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

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

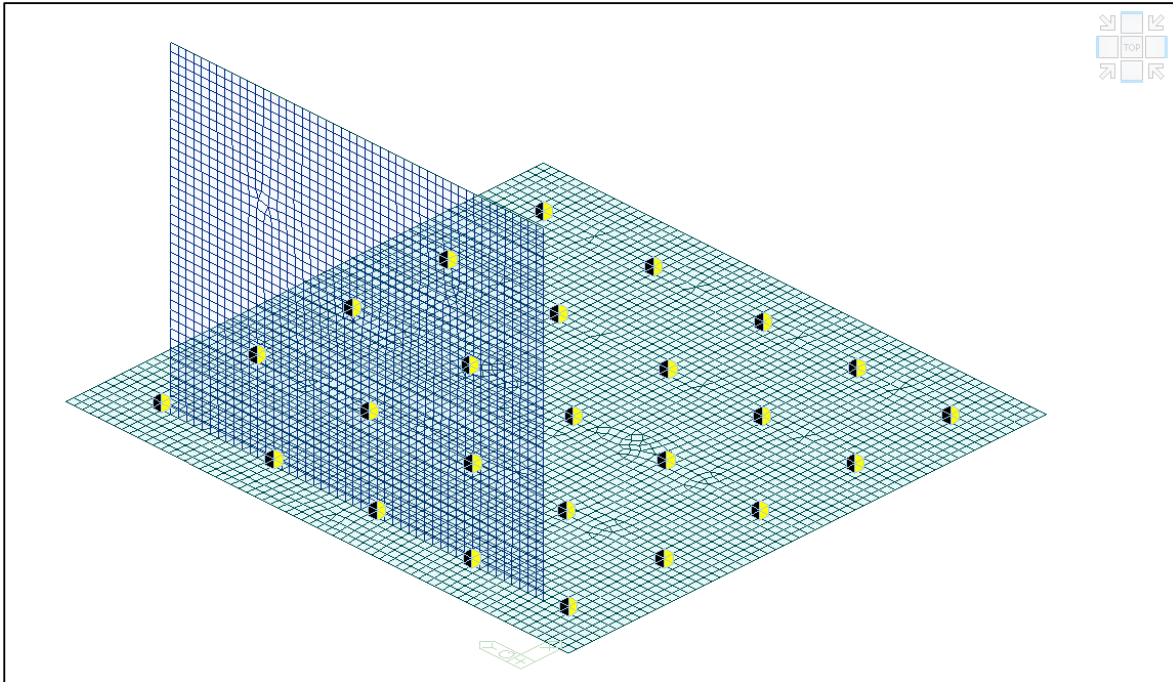
PROPRIETA' MECCANICHE E GEOMETRICHE DEI PALI		
E [MPa]	Modulo elastico	31500
D [mm]	Diametro palo	1000
A [mm ²]	Area palo	785398
I [mm ⁴]	Momento d'inerzia	4.91*10 ¹⁰
L [m]	Lunghezza palo	32.00

$$K_V = 773126 \frac{kN}{m} \qquad K_H = 72499.2 \frac{kN}{m}$$



Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostrutture, fondazioni
e muri andatori

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

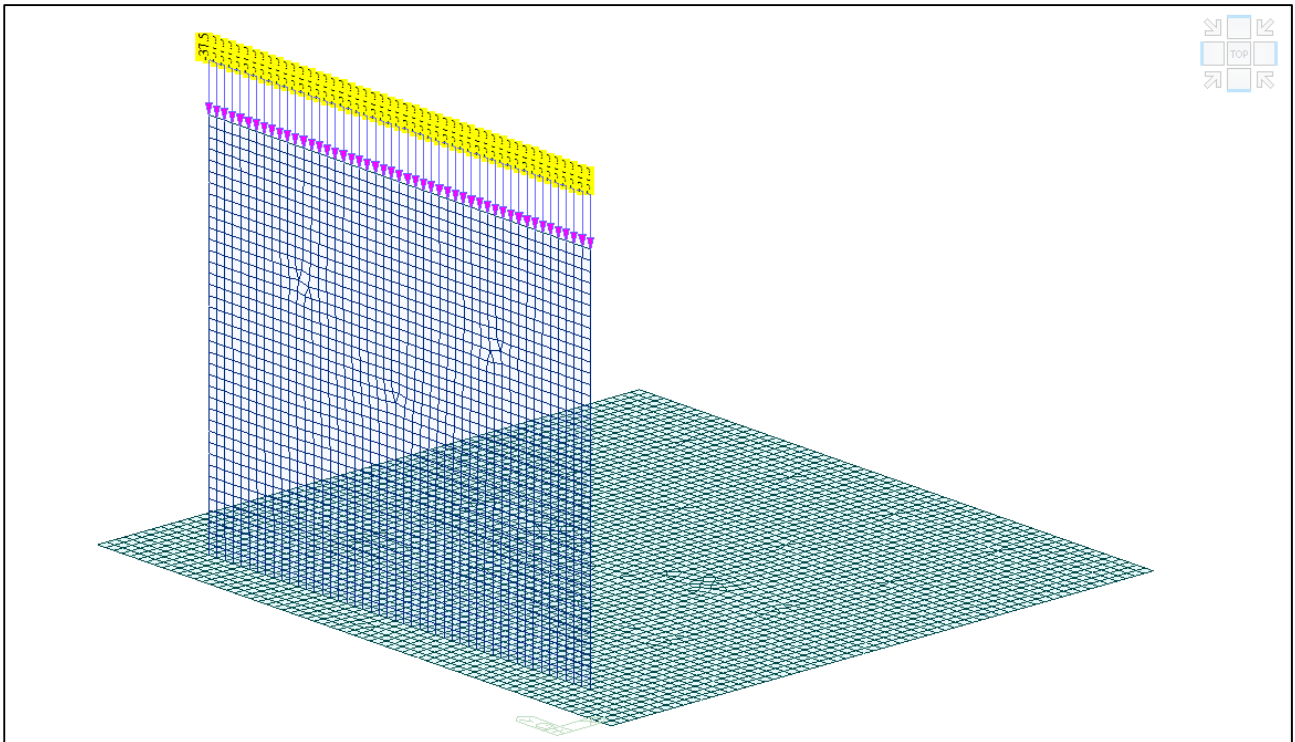


Modello FEM – Identificazione vincoli in corrispondenza dei pali

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.

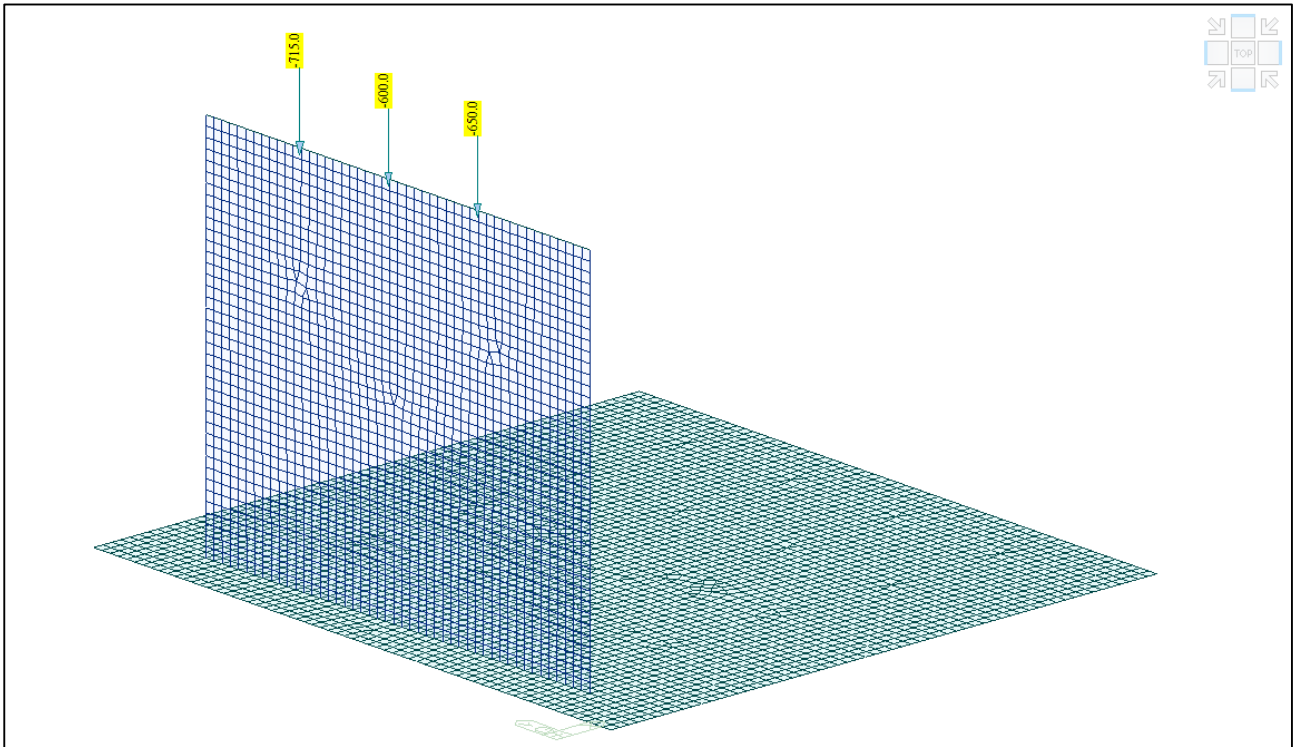
Il peso proprio della spalla genera delle azioni che sono calcolate in automatico dal software ad elementi finiti. A questa condizione di carico è stato aggiunto il peso della paraghiaia, posta al di sopra del corpo spalla, di spessore 0.50m.



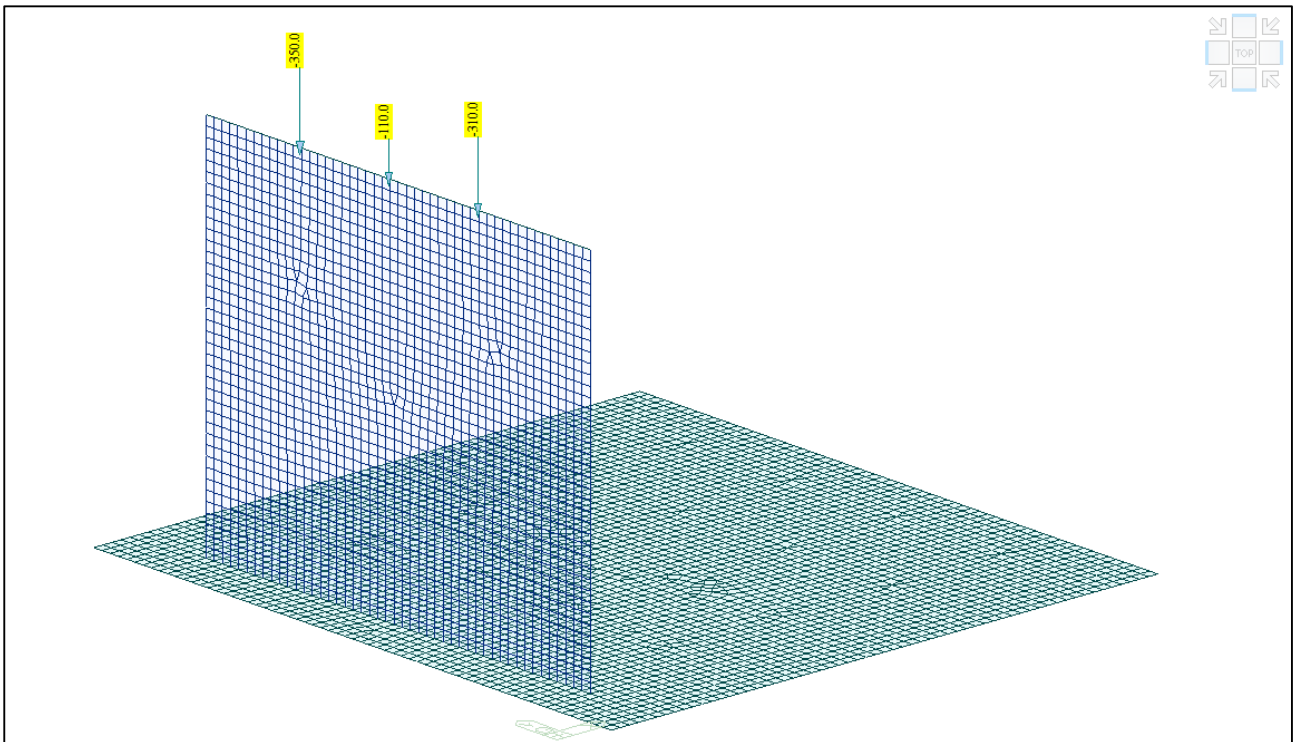
Modello FEM – Condizione di carico Peso proprio Paraghiaia



Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostrutture, fondazioni
e muri andatori



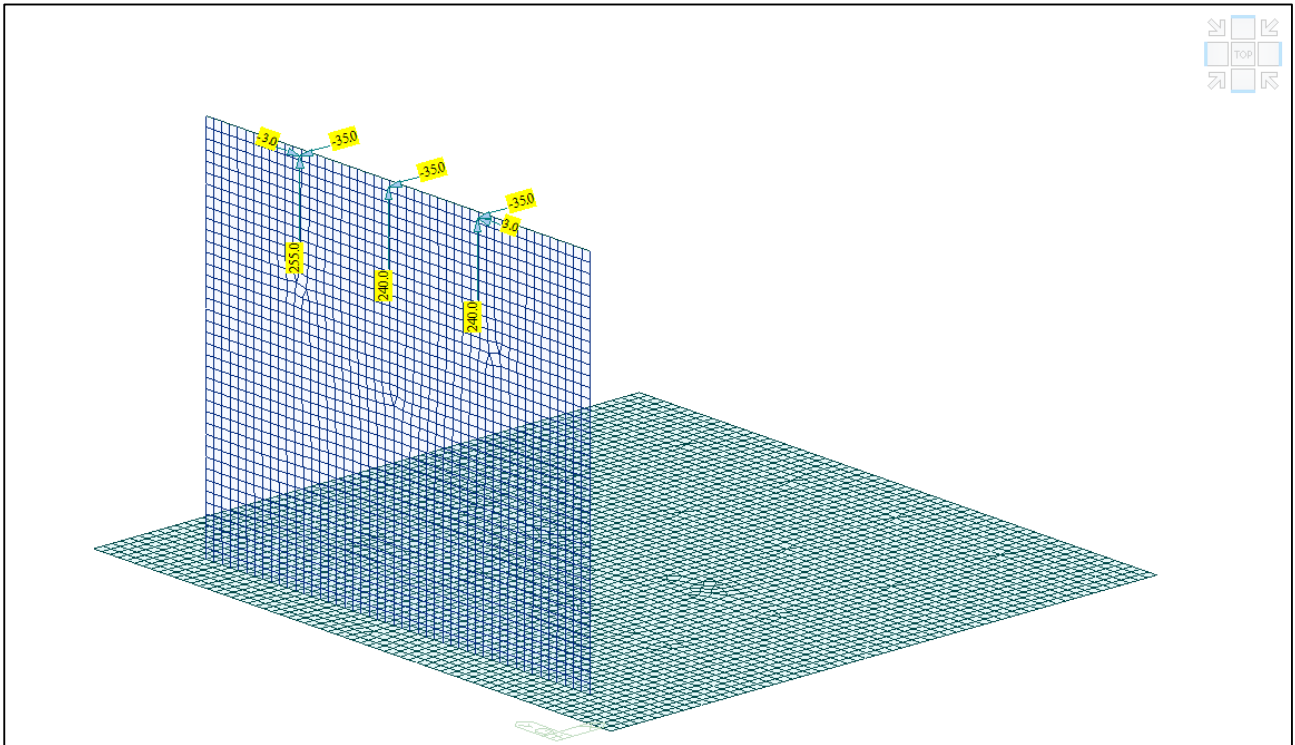
Modello FEM – Condizione di carico Peso proprio impalcato



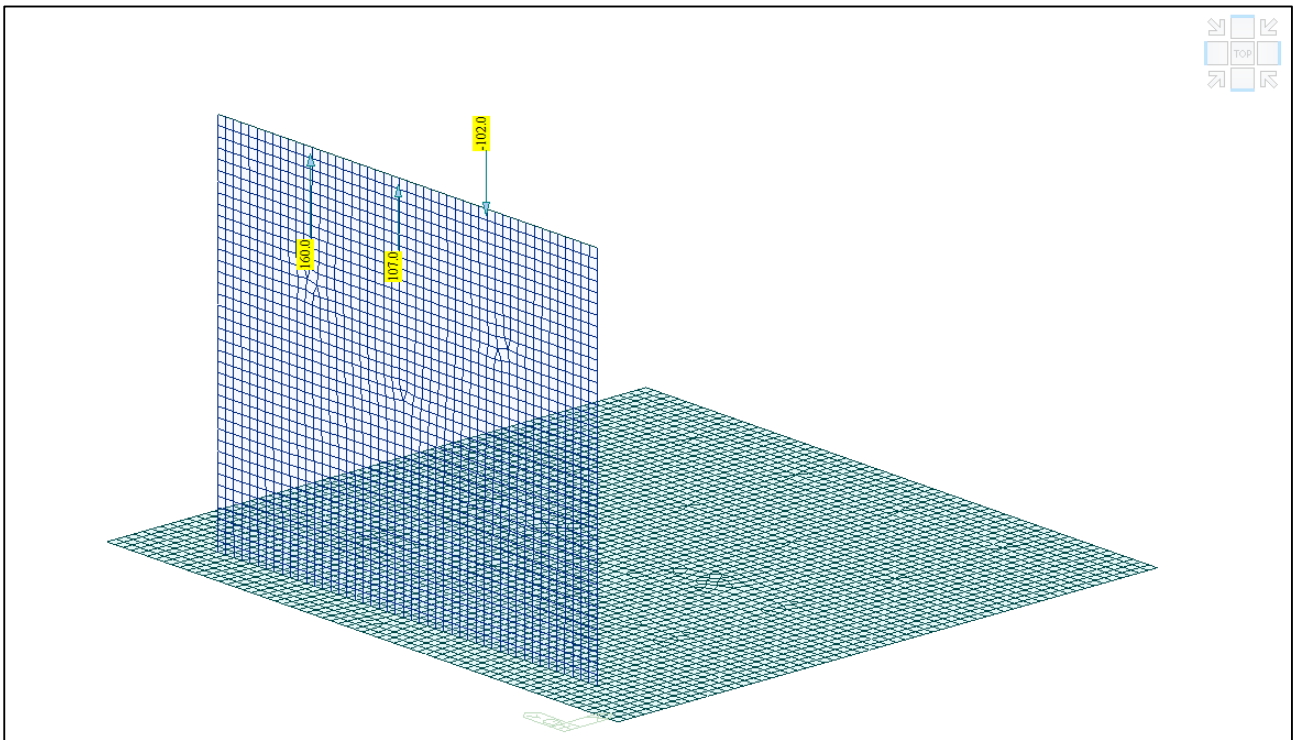
Modello FEM – Condizione di carico Permanente



Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostrutture, fondazioni
e muri andatori



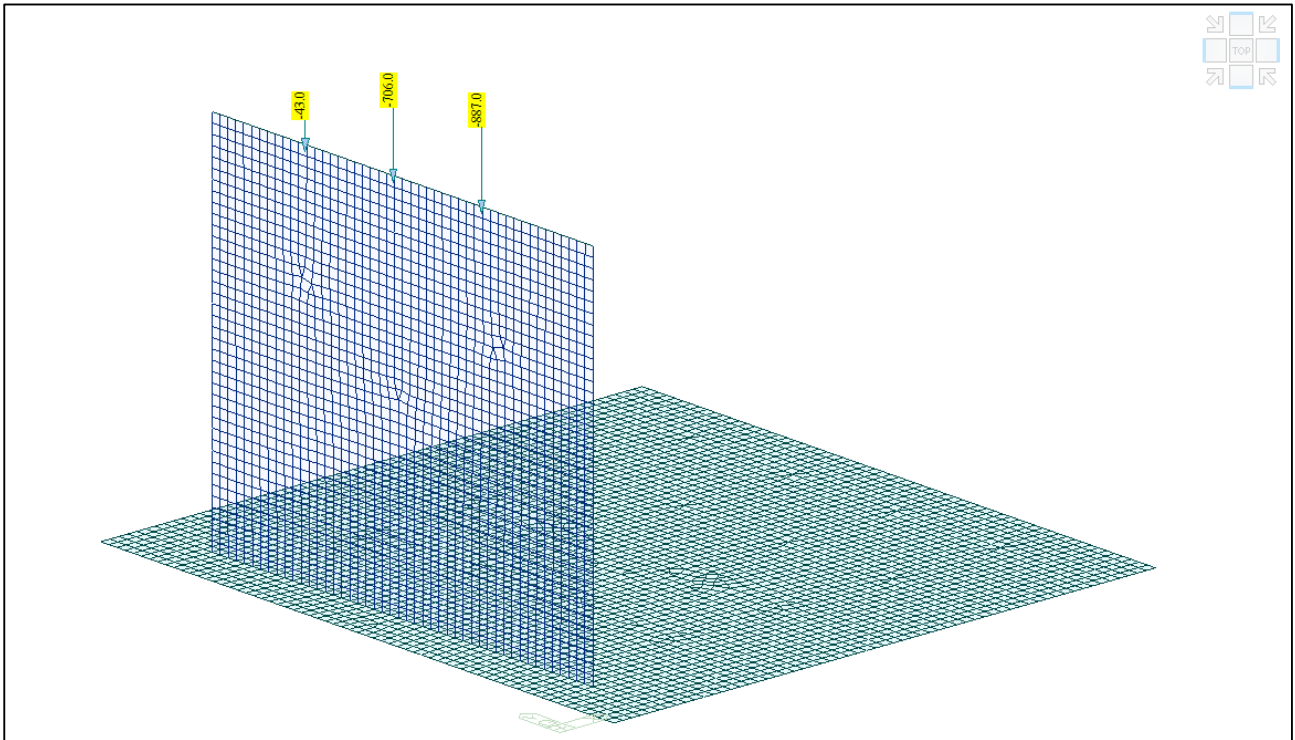
Modello FEM – Condizione di carico Ritiro



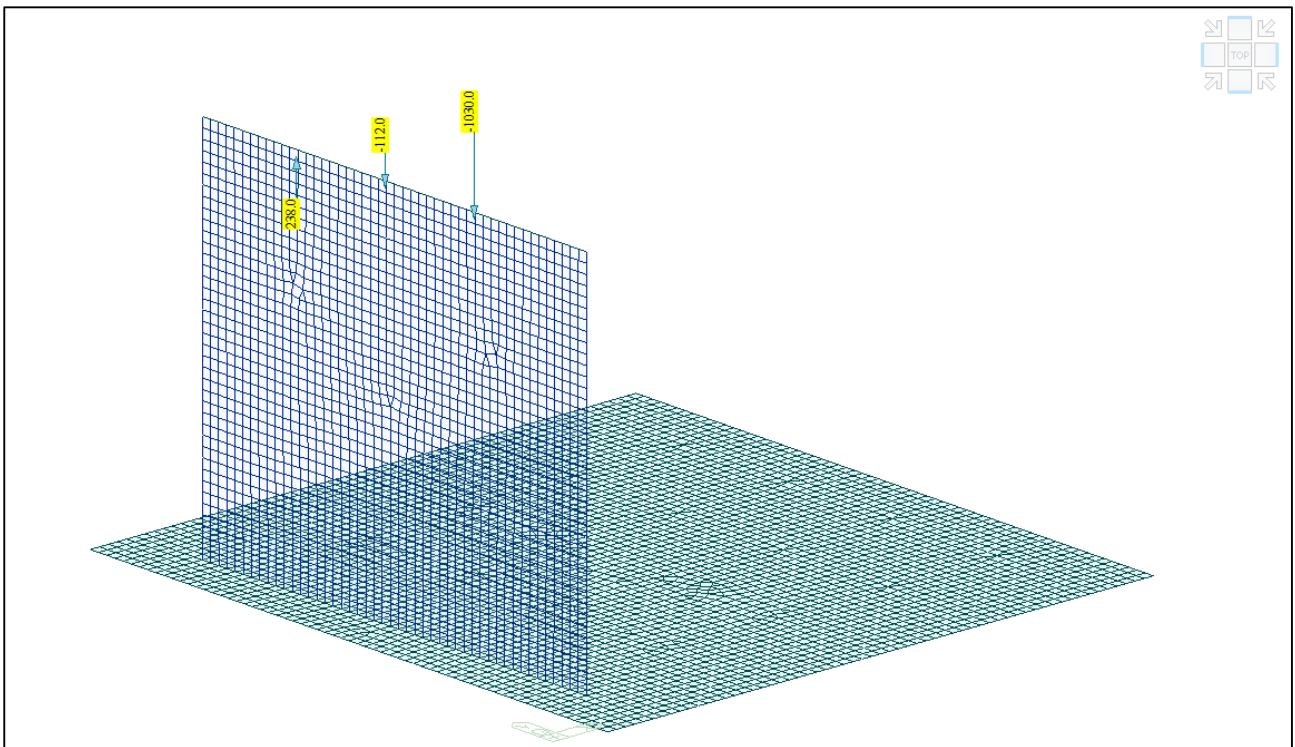
Modello FEM – Condizione di carico Disp 2C



Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostrutture, fondazioni
e muri andatori



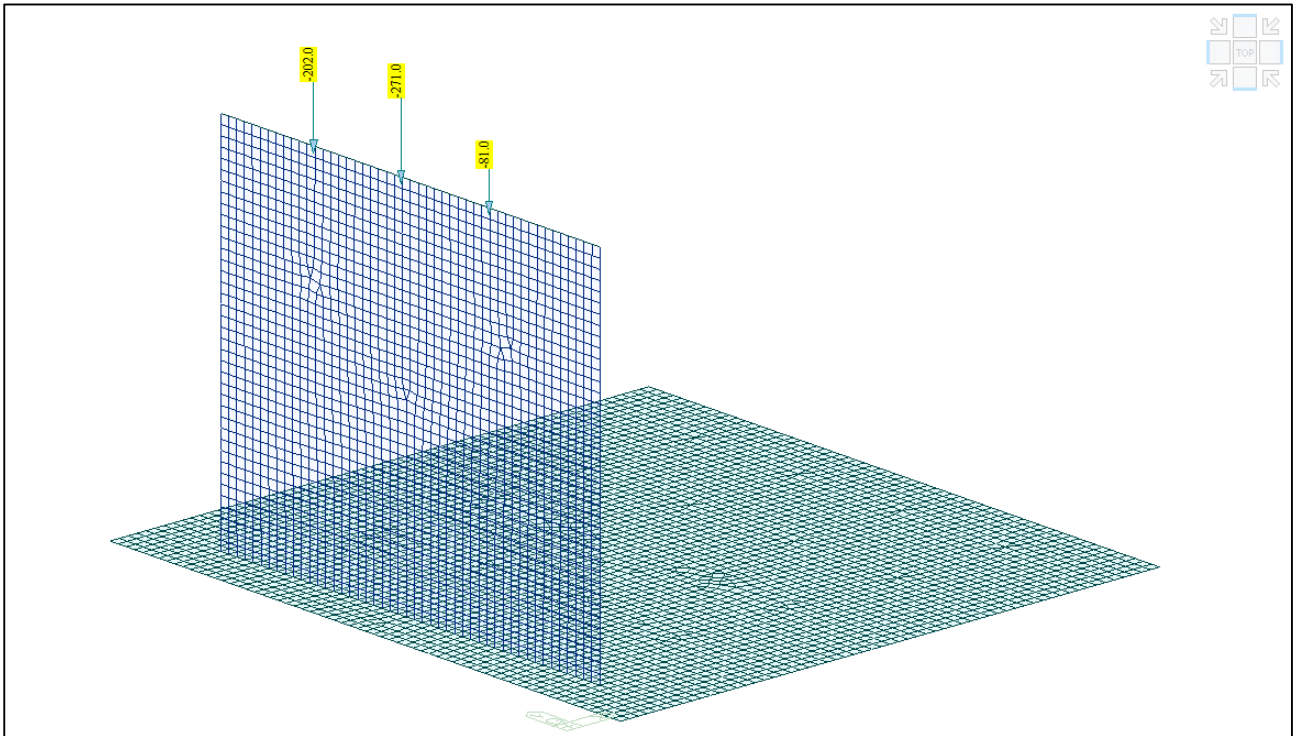
Modello FEM – Condizione di carico Disp 1C



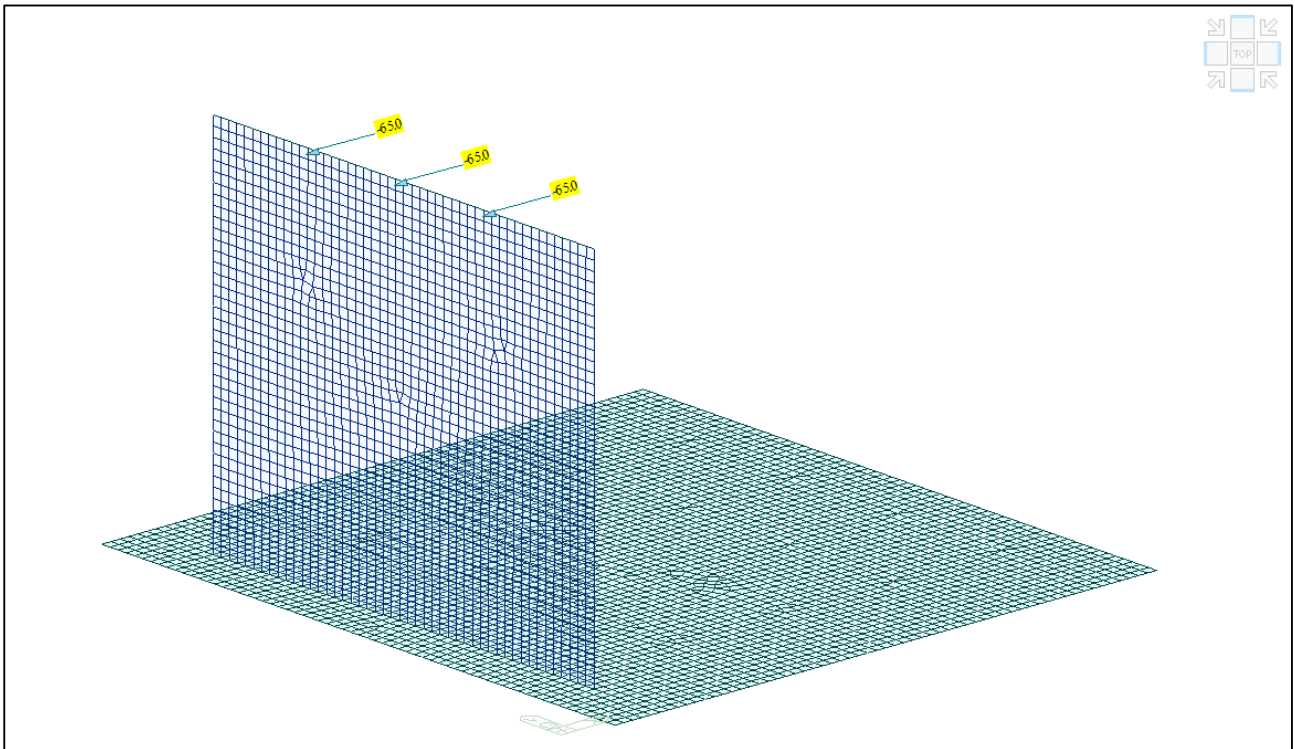
Modello FEM – Condizione di carico Disp 3A



Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostrutture, fondazioni
e muri andatori



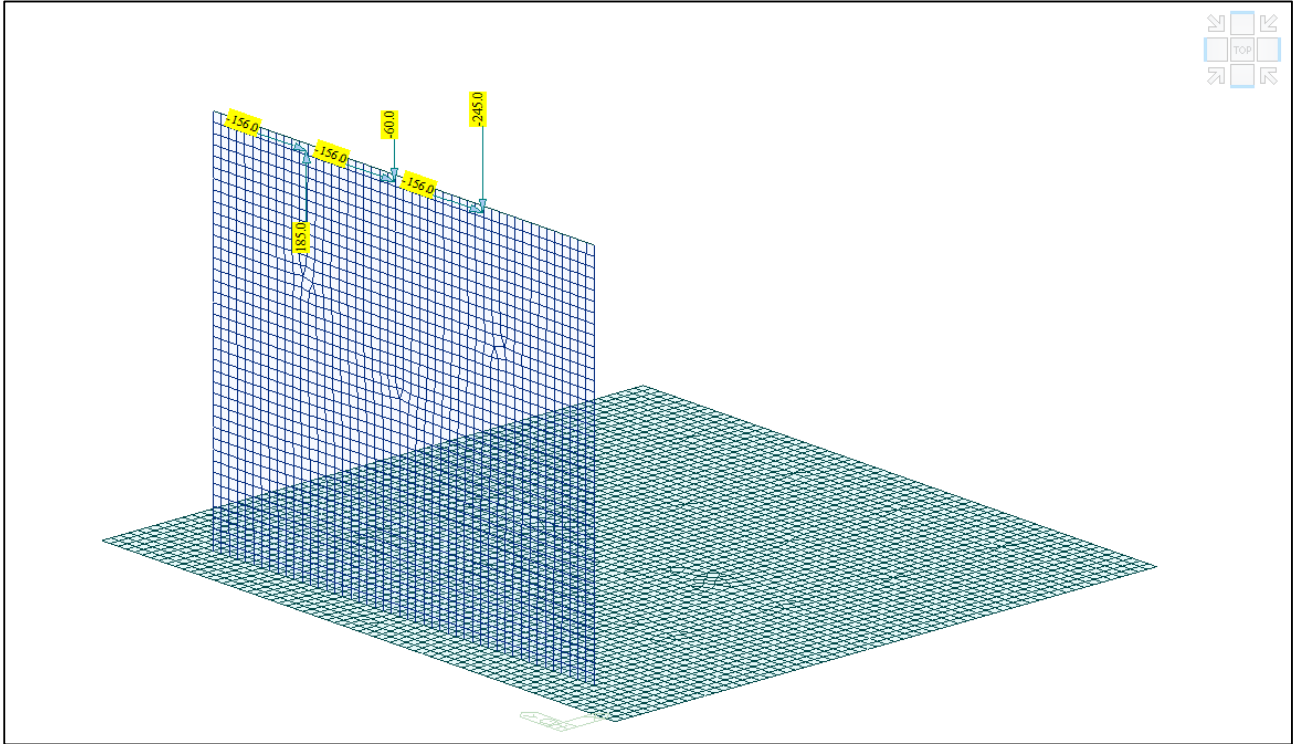
Modello FEM – Condizione di carico Disp 3D



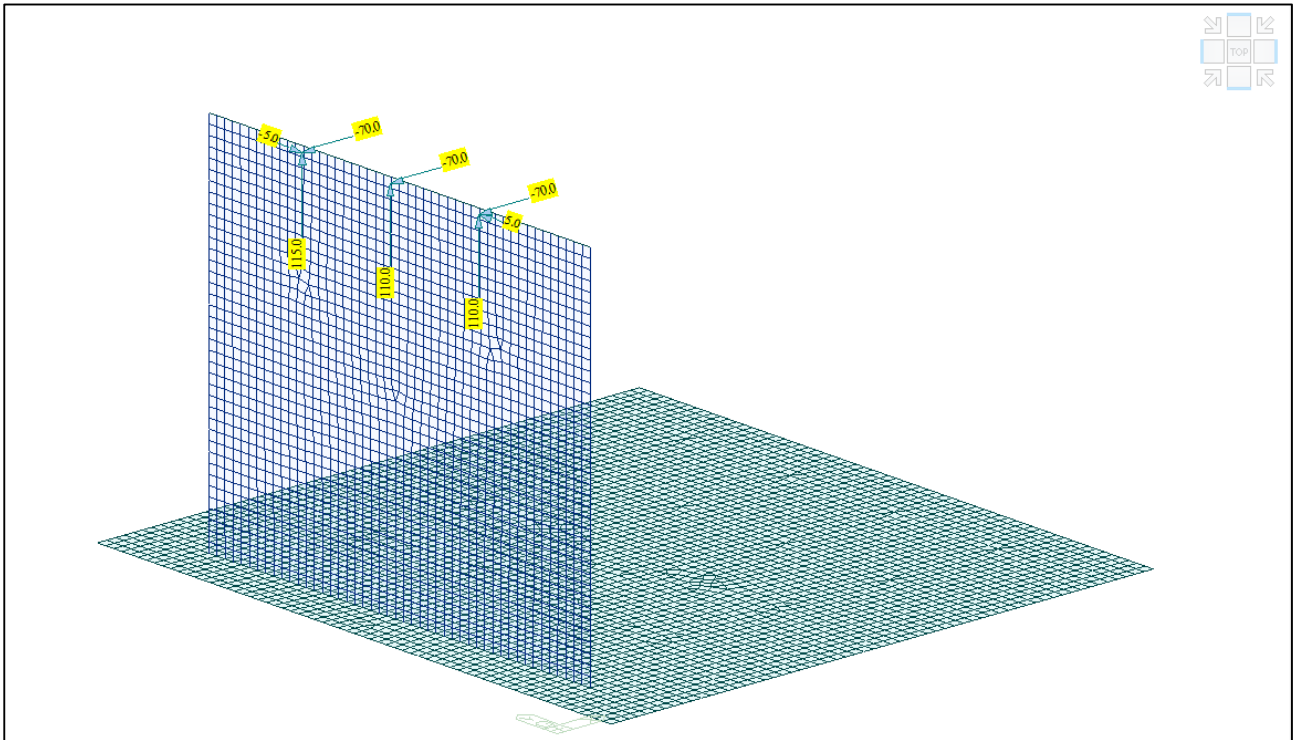
Modello FEM – Condizione di carico Frenamento



Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostrutture, fondazioni
e muri andatori



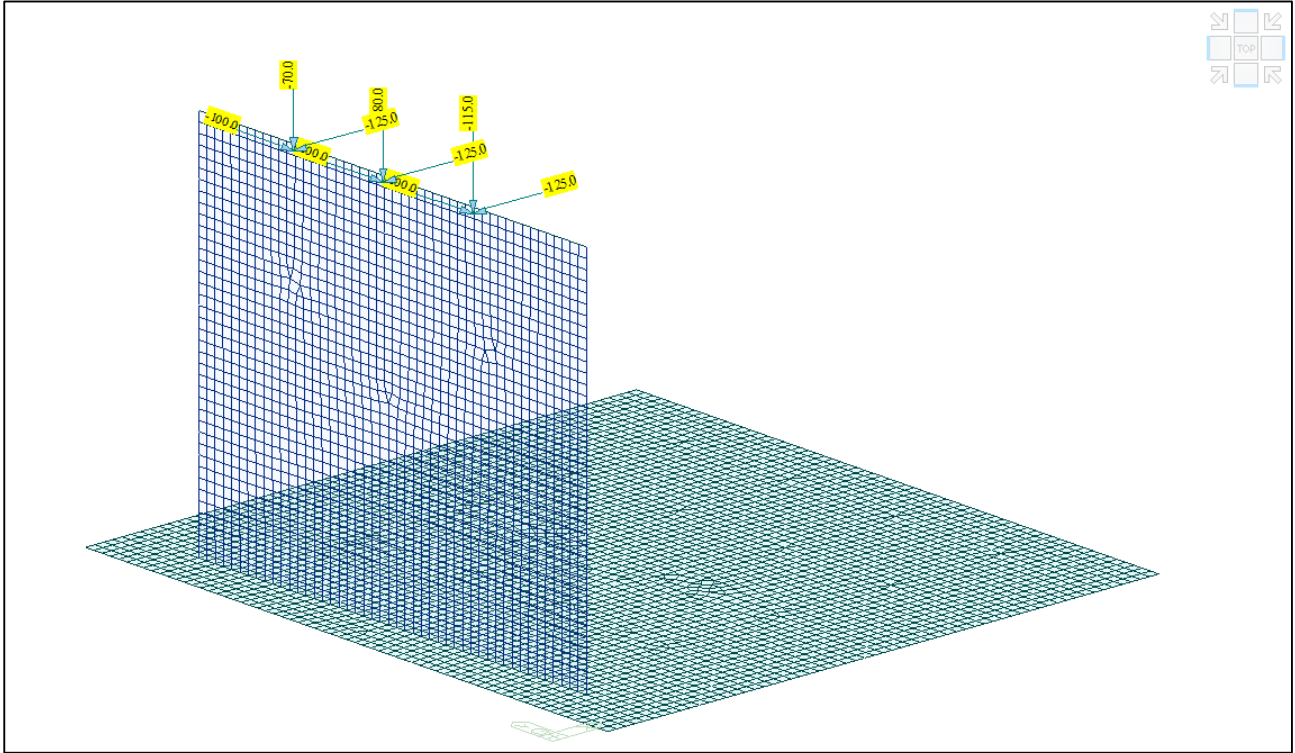
Modello FEM – Condizione di carico Vento



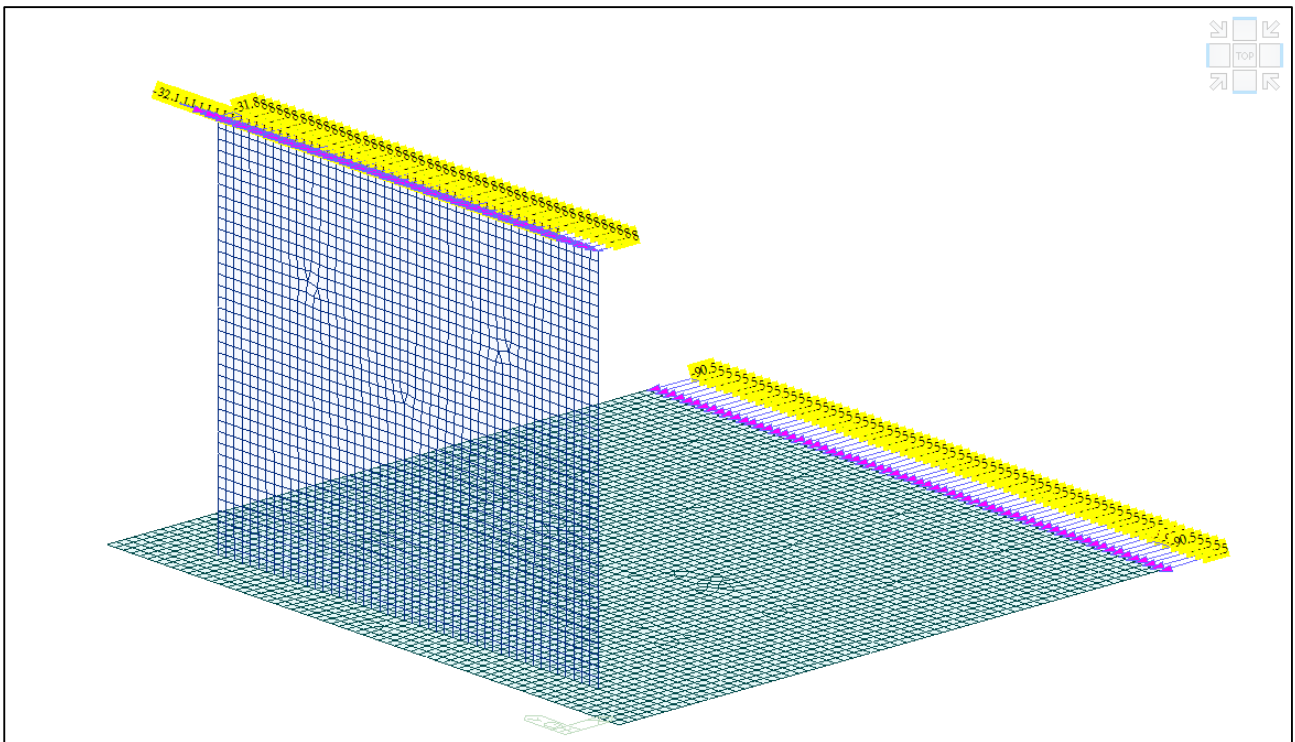
Modello FEM – Condizione di carico Termico



Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostrutture, fondazioni
e muri andatori

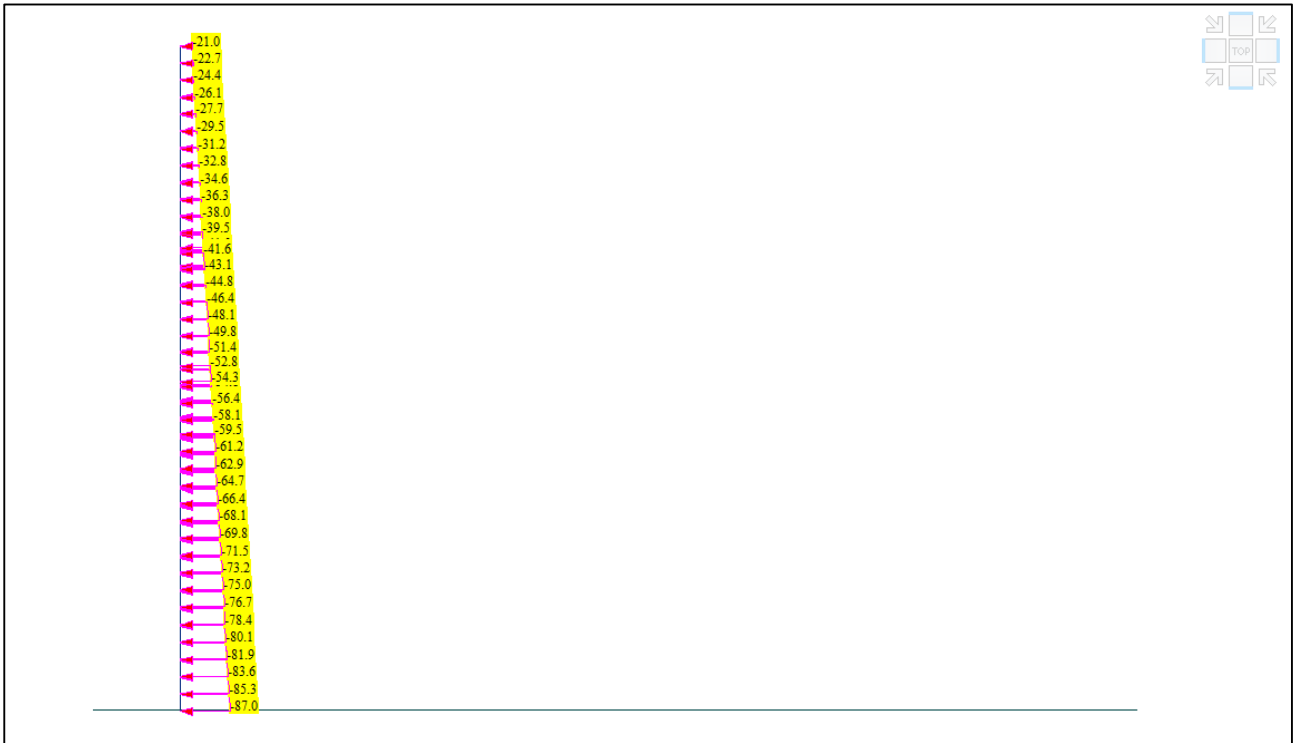


Modello FEM – Condizione di carico Sisma impalcato

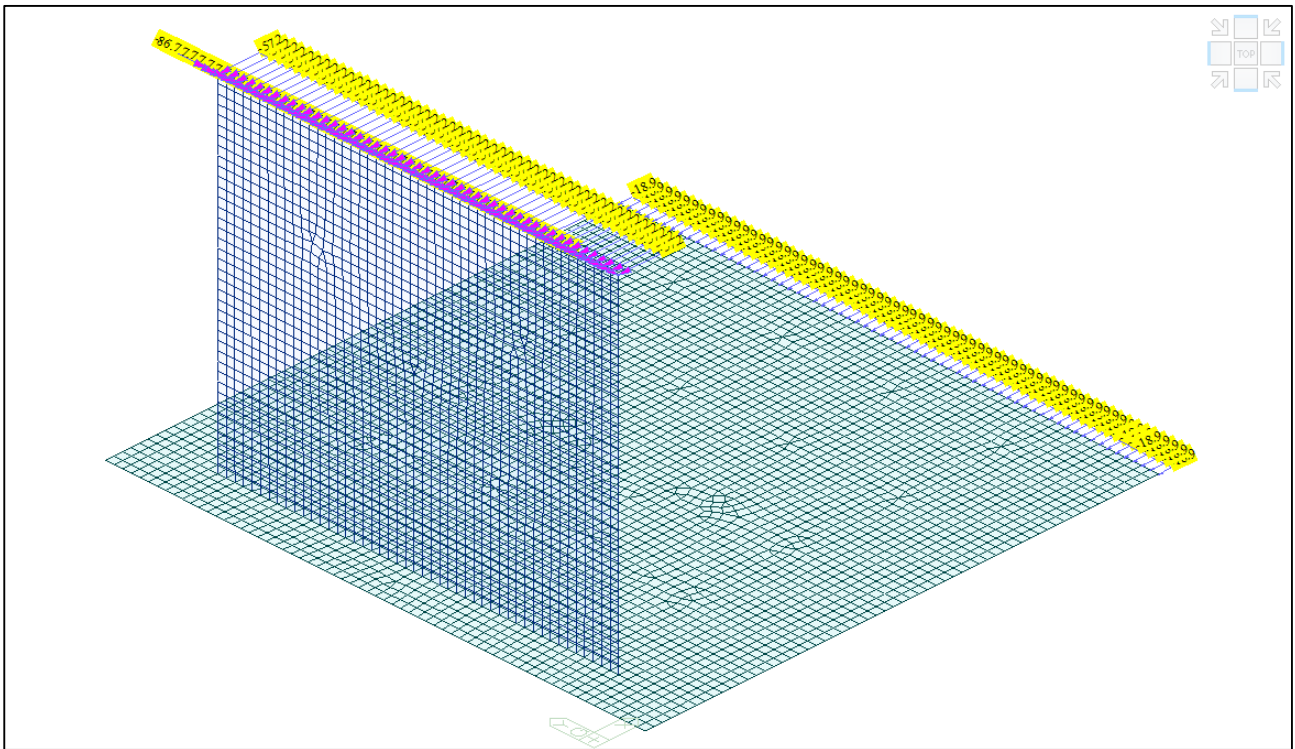




Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostrutture, fondazioni
e muri andatori

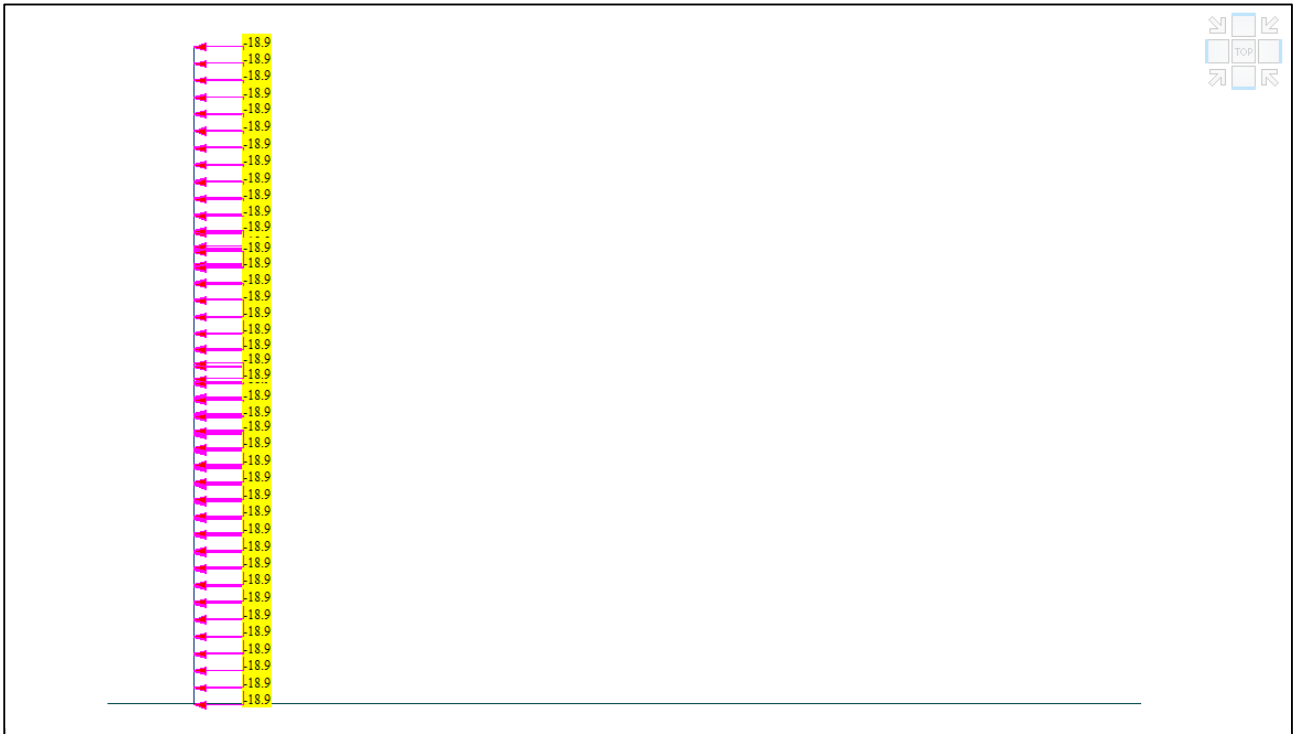


Modello FEM – Condizione di carico Spinta delle terre

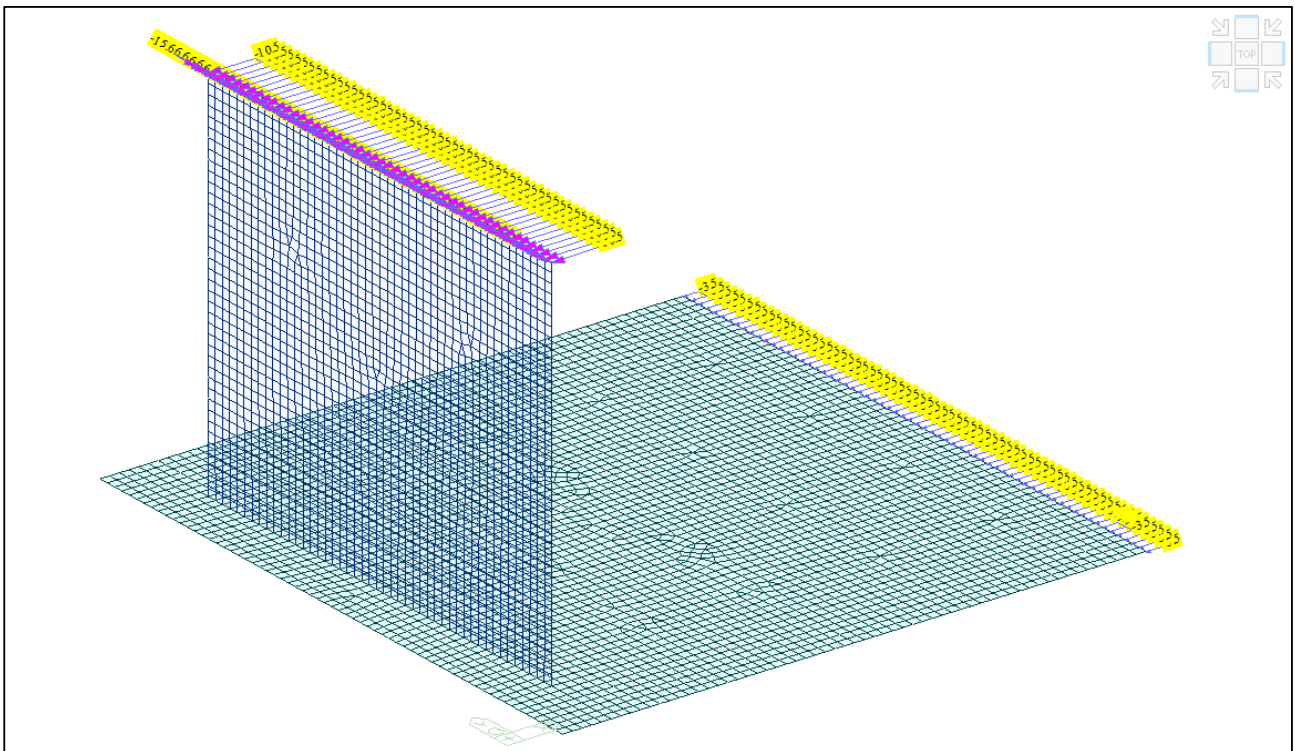




Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostrutture, fondazioni
e muri andatori

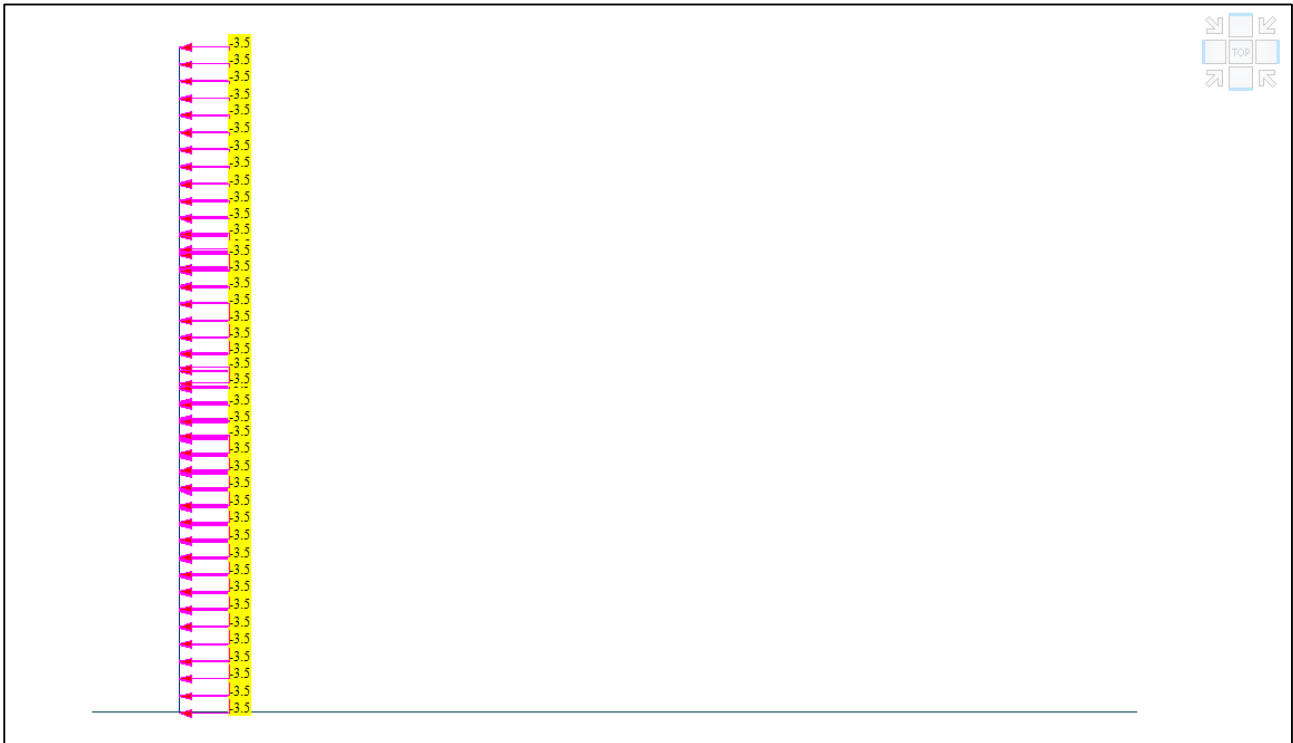


Modello FEM – Condizione di carico Spinta Wood

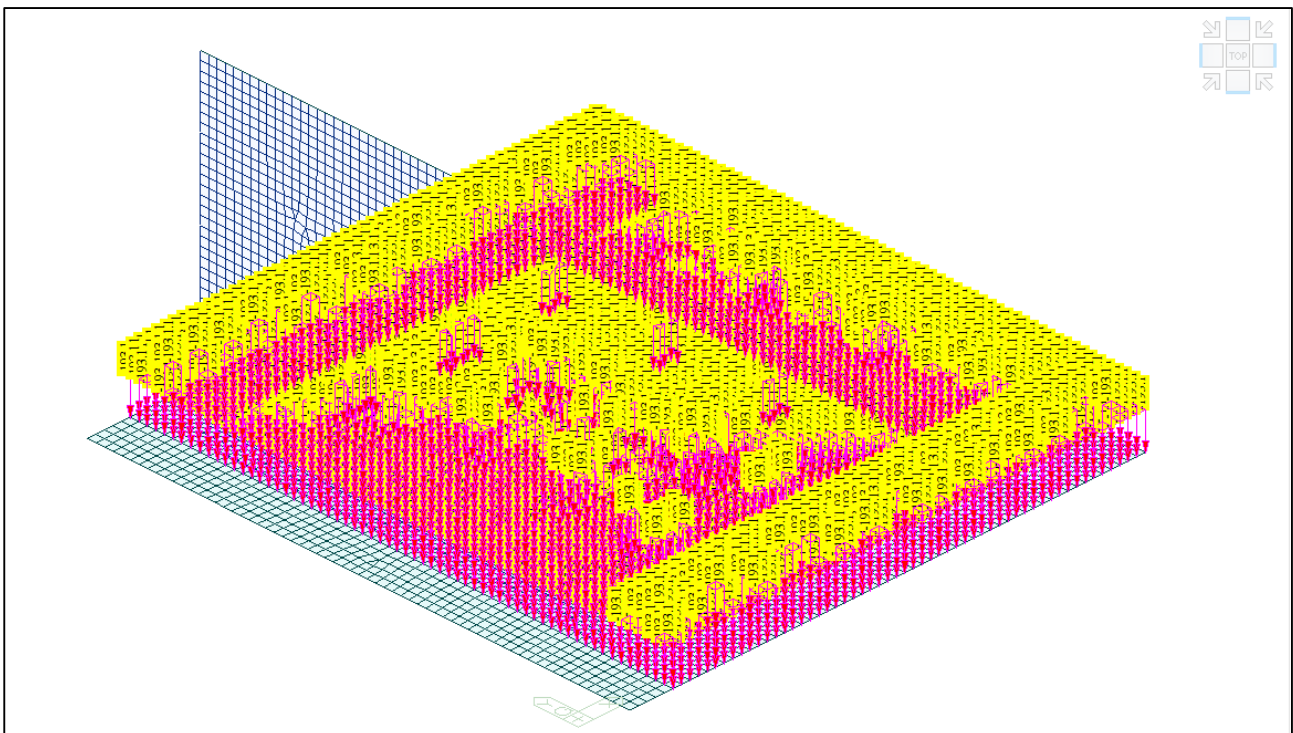


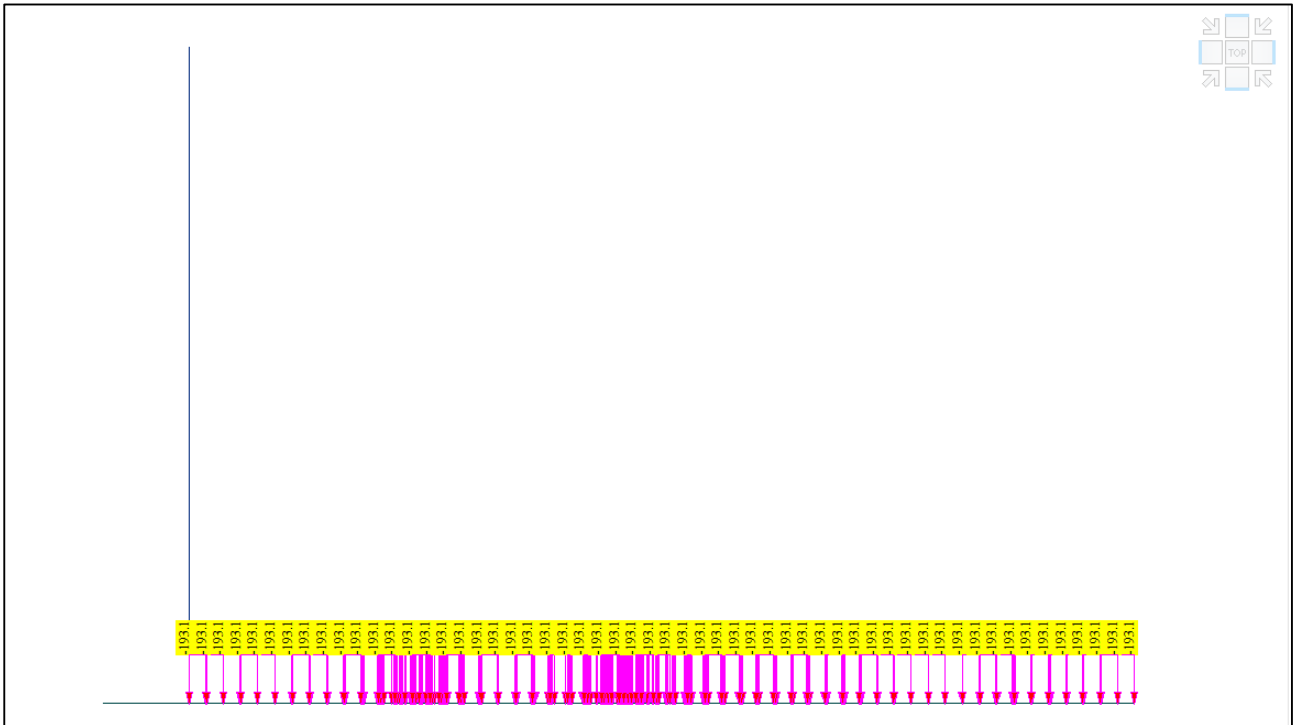


Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostruttura, fondazioni
e muri andatori



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'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



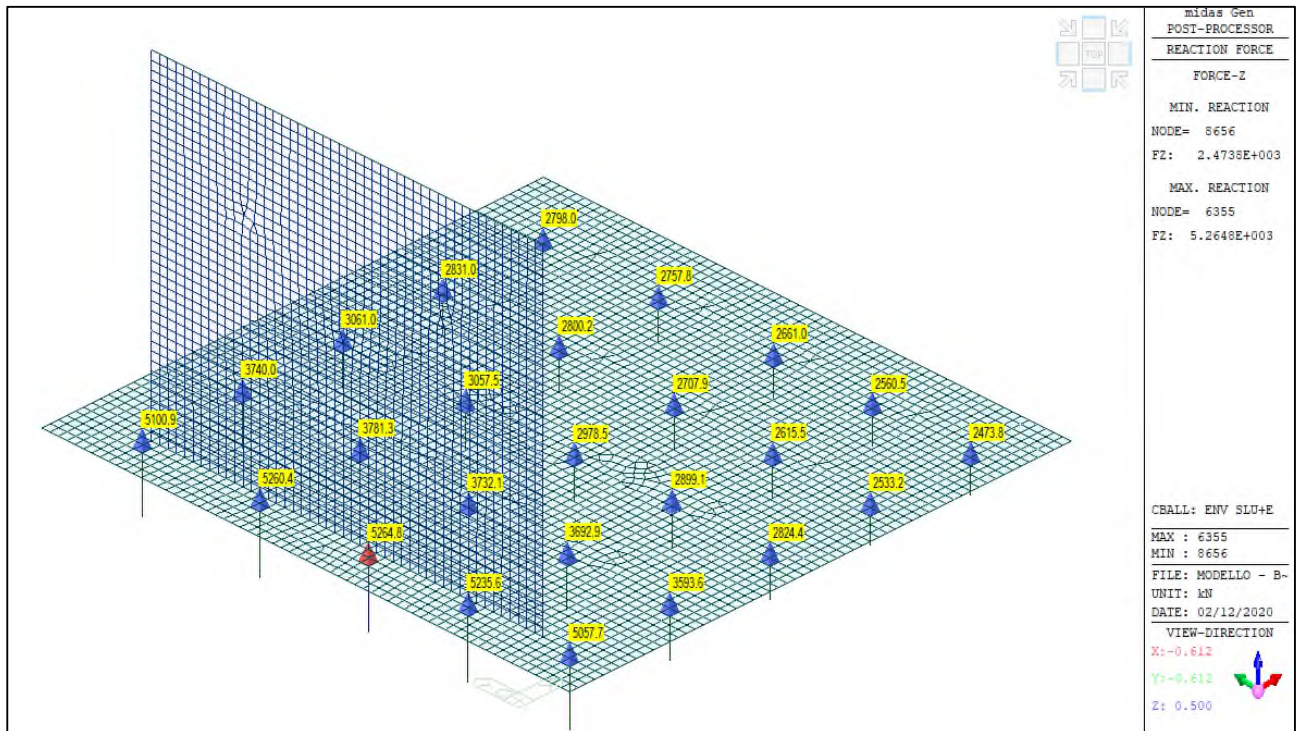
Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostrutture, fondazioni
e muri andatori

No	Name	Active	Type	Peso proprio spalla(ST)	Peso proprio impalcato(ST)	Permanente(ST)	Ritiro(ST)	Dimp 2C(ST)	Dimp 1C(ST)	Dimp 3A(ST)	Dimp 3D(ST)	Fresamento(ST)	Vento(ST)	Termico(ST)	Sisma impalcato(ST)	Spinta terre(ST)	Spinta Wood(ST)	Spinta sovraccarico(ST)	Ricoprimento(ST)	
1	SLU-1	Activ	Add	1.3500	1.3500	1.3500	1.2000	1.3500					1.3500	0.9000	0.9000		1.3500		1.3500	1.0000
2	SLU-2	Activ	Add	1.3500	1.3500	1.3500	1.2000		1.3500				1.3500	0.9000	0.9000		1.3500		1.3500	1.0000
3	SLU-3	Activ	Add	1.3500	1.3500	1.3500	1.2000			1.3500			1.3500	0.9000	0.9000		1.3500		1.3500	1.0000
4	SLU-4	Activ	Add	1.3500	1.3500	1.3500	1.2000				1.3500		1.3500	0.9000	0.9000		1.3500		1.3500	1.0000
5	SLU-5	Activ	Add	1.3500	1.3500	1.3500	1.2000	1.3500					1.3500	0.9000	0.9000		1.3500		1.3500	1.0000
6	SLU-6	Activ	Add	1.3500	1.3500	1.3500	1.2000		1.3500				1.3500	0.9000	0.9000		1.3500		1.3500	1.0000
7	SLU-7	Activ	Add	1.3500	1.3500	1.3500	1.2000			1.3500			1.3500	0.9000	0.9000		1.3500		1.3500	1.0000
8	SLU-8	Activ	Add	1.3500	1.3500	1.3500	1.2000				1.3500		1.3500	0.9000	0.9000		1.3500		1.3500	1.0000
9	SLU-9	Activ	Add	1.3500	1.3500	1.3500	1.2000	1.0125					1.0125	1.5000	0.9000		1.3500		1.0125	1.0000
10	SLU-10	Activ	Add	1.3500	1.3500	1.3500	1.2000		1.0125				1.0125	1.5000	0.9000		1.3500		1.0125	1.0000
11	SLU-11	Activ	Add	1.3500	1.3500	1.3500	1.2000			1.0125			1.0125	1.5000	0.9000		1.3500		1.0125	1.0000
12	SLU-12	Activ	Add	1.3500	1.3500	1.3500	1.2000				1.0125		1.0125	1.5000	0.9000		1.3500		1.0125	1.0000
13	SLU-13	Activ	Add	1.3500	1.3500	1.3500	1.2000	1.0125					1.0125	0.9000	1.5000		1.3500		1.0125	1.0000
14	SLU-14	Activ	Add	1.3500	1.3500	1.3500	1.2000		1.0125				1.0125	0.9000	1.5000		1.3500		1.0125	1.0000
15	SLU-15	Activ	Add	1.3500	1.3500	1.3500	1.2000			1.0125			1.0125	0.9000	1.5000		1.3500		1.0125	1.0000
16	SLU-16	Activ	Add	1.3500	1.3500	1.3500	1.2000				1.0125		1.0125	0.9000	1.5000		1.3500		1.0125	1.0000
17	SLU-17	Activ	Add	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000					1.0000	0.8000	0.6000		1.0000		1.0000	1.0000
18	SLU-18	Activ	Add	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000		1.0000				1.0000	0.8000	0.6000		1.0000		1.0000	1.0000
19	SLU-19	Activ	Add	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000			1.0000			1.0000	0.8000	0.6000		1.0000		1.0000	1.0000
20	SLU-20	Activ	Add	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000				1.0000		1.0000	0.8000	0.6000		1.0000		1.0000	1.0000
21	SLU-21	Activ	Add	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000					0.7500	1.0000	0.6000		1.0000		1.0000	1.0000
22	SLU-22	Activ	Add	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000		1.0000				0.7500	1.0000	0.6000		1.0000		1.0000	1.0000
23	SLU-23	Activ	Add	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000			1.0000			0.7500	1.0000	0.6000		1.0000		1.0000	1.0000
24	SLU-24	Activ	Add	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000				1.0000		0.7500	1.0000	0.6000		1.0000		1.0000	1.0000
25	SLU-25	Activ	Add	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000					0.7500	0.8000	1.0000		1.0000		1.0000	1.0000
26	SLU-26	Activ	Add	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000		1.0000				0.7500	0.8000	1.0000		1.0000		1.0000	1.0000
27	SLU-27	Activ	Add	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000			1.0000			0.7500	0.8000	1.0000		1.0000		1.0000	1.0000
28	SLU-28	Activ	Add	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000				1.0000		0.7500	0.8000	1.0000		1.0000		1.0000	1.0000
29	SLU-29	Activ	Add	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000					0.7500	0.2000	0.6000		1.0000		1.0000	1.0000
30	SLU-30	Activ	Add	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000		1.0000				0.7500	0.2000	0.6000		1.0000		1.0000	1.0000
31	SLU-31	Activ	Add	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000			1.0000			0.7500	0.2000	0.6000		1.0000		1.0000	1.0000
32	SLU-32	Activ	Add	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000				1.0000		0.7500	0.2000	0.6000		1.0000		1.0000	1.0000
33	SLU-33	Activ	Add	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000					0.7500	1.0000	0.6000		1.0000		1.0000	1.0000
34	SLU-34	Activ	Add	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000		1.0000				0.7500	1.0000	0.6000		1.0000		1.0000	1.0000
35	SLU-35	Activ	Add	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000			1.0000			0.7500	1.0000	0.6000		1.0000		1.0000	1.0000
36	SLU-36	Activ	Add	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000				1.0000		0.7500	1.0000	0.6000		1.0000		1.0000	1.0000
37	SLU-37	Activ	Add	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000					0.7500	0.2000	1.0000		1.0000		1.0000	1.0000
38	SLU-38	Activ	Add	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000		1.0000				0.7500	0.2000	1.0000		1.0000		1.0000	1.0000
39	SLU-39	Activ	Add	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000			1.0000			0.7500	0.2000	1.0000		1.0000		1.0000	1.0000
40	SLU-40	Activ	Add	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000				1.0000		0.7500	0.2000	1.0000		1.0000		1.0000	1.0000
41	SLU-41	Activ	Add	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000					0.5000				1.0000		1.0000	1.0000
42	SLU-42	Activ	Add	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000		1.0000				0.5000				1.0000		1.0000	1.0000
43	SLU-43	Activ	Add	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000			1.0000			0.5000				1.0000		1.0000	1.0000
44	SLU-44	Activ	Add	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000				1.0000		0.5000				1.0000		1.0000	1.0000
45	ST	Activ	Add	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000						0.5000			1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000

9.2 RISULTATI ANALISI STRUTTURALE

9.2.1 REAZIONI VINCOLARI

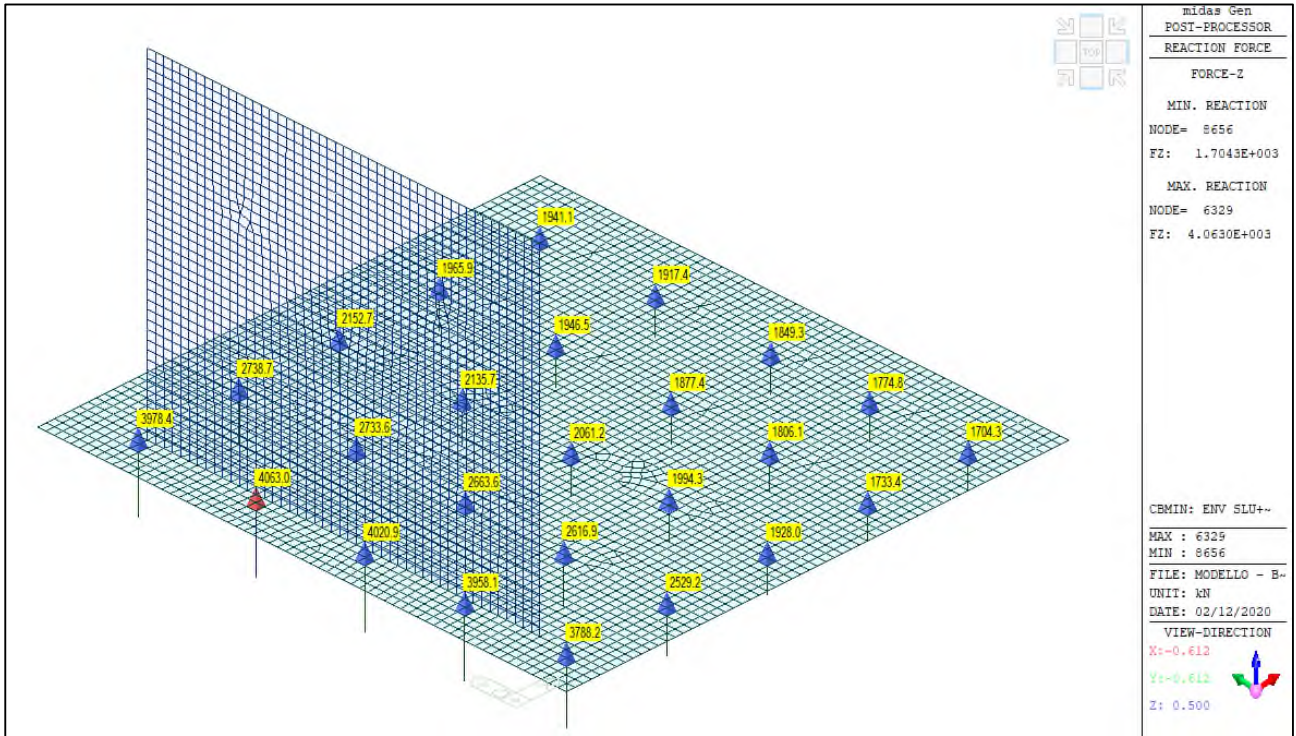
Si presentano le reazioni vincolari massime che si sviluppano agli stati limite SLU+E necessarie per la verifica dei pali



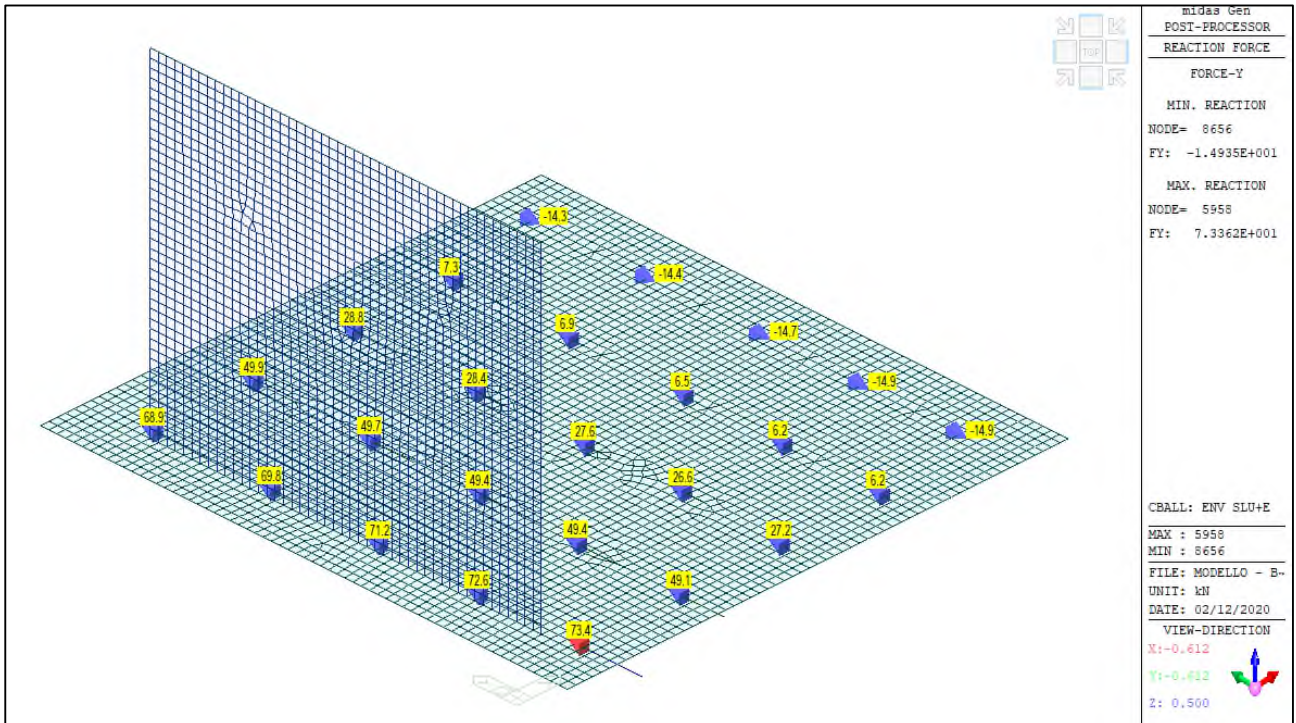
ENV-SLU+E – Reazioni vincolari verticali (Fz) massime



Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostrutture, fondazioni
e muri andatori



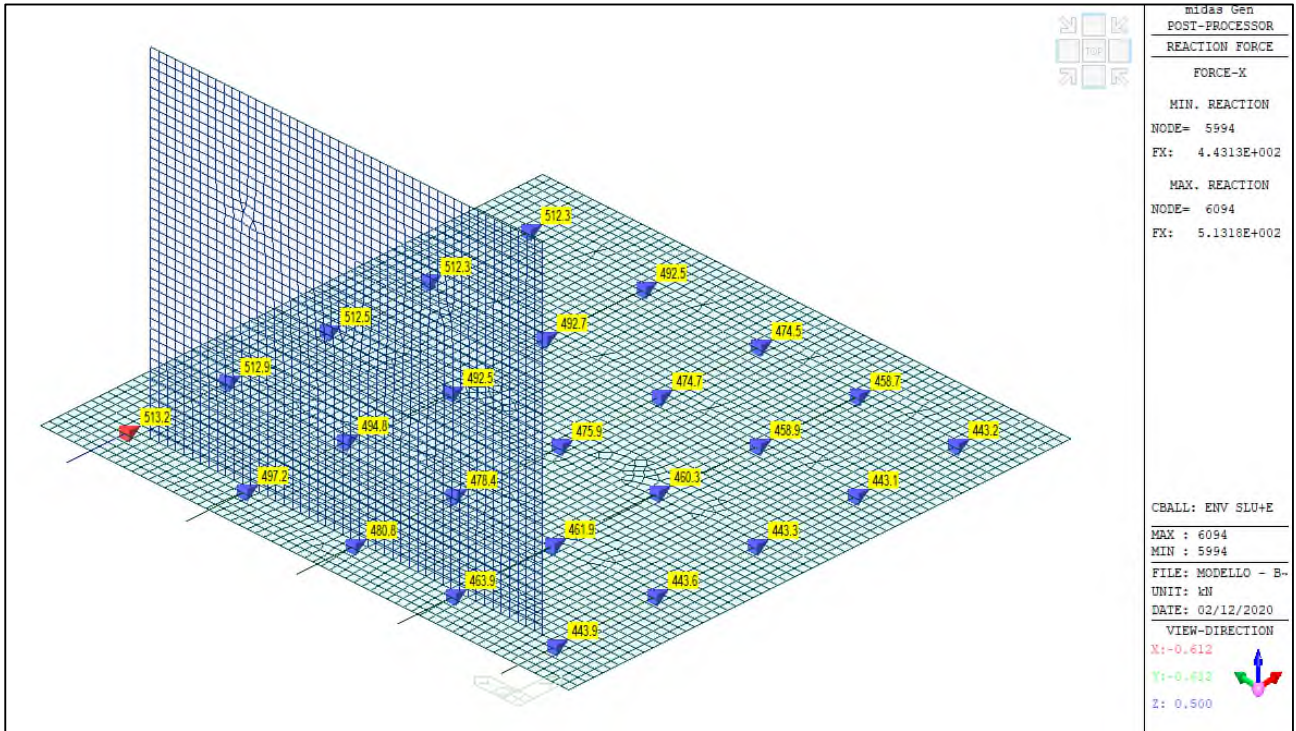
ENV-SLU+E – Reazioni vincolari verticali (Fz) minime



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



Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostrutture, fondazioni
e muri andatori

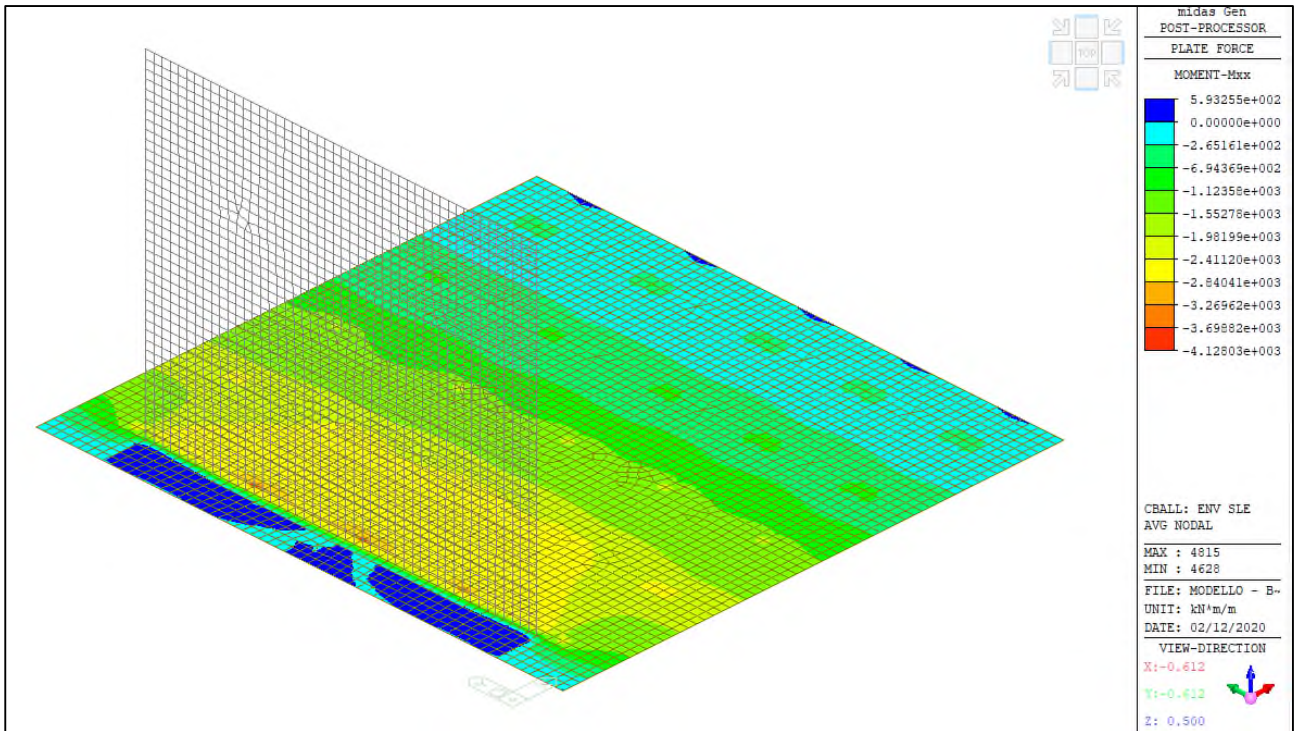


ENV-SLU+E – Reazioni vincolari orizzontali (Fx) massime



9.2.2 DIAGRAMMI AZIONI INTERNE

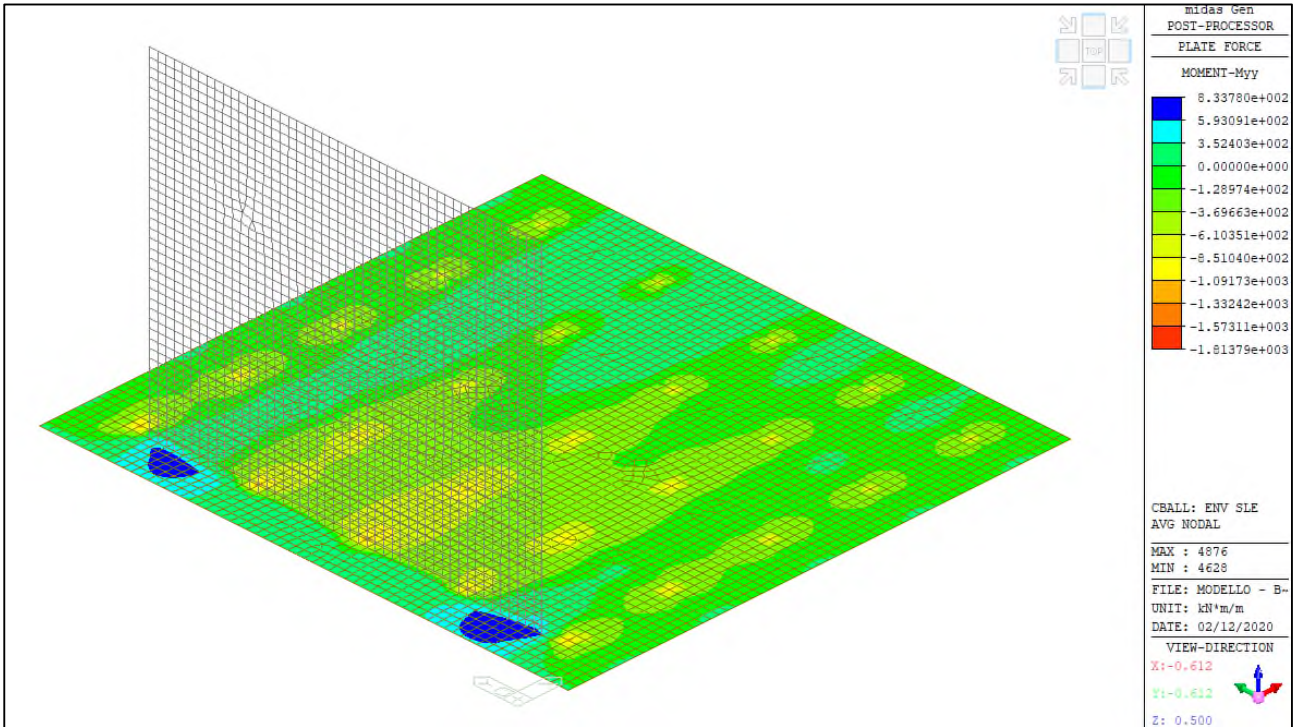
Si riportano i diagrammi involuppo delle azioni interne per le combinazioni allo stato limite di esercizio (ENV-SLE RARA).



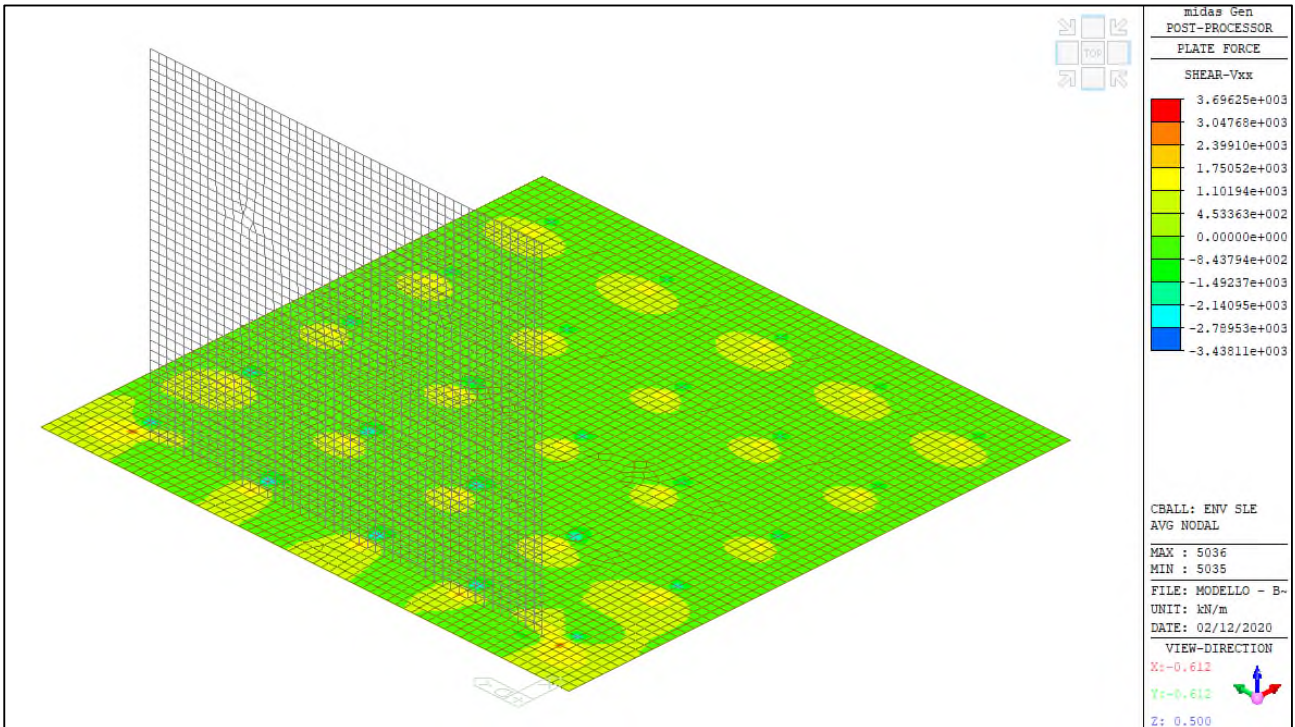
ENV-SLE RARA– Mxx (kNm/m) – Platea



Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostrutture, fondazioni
e muri andatori



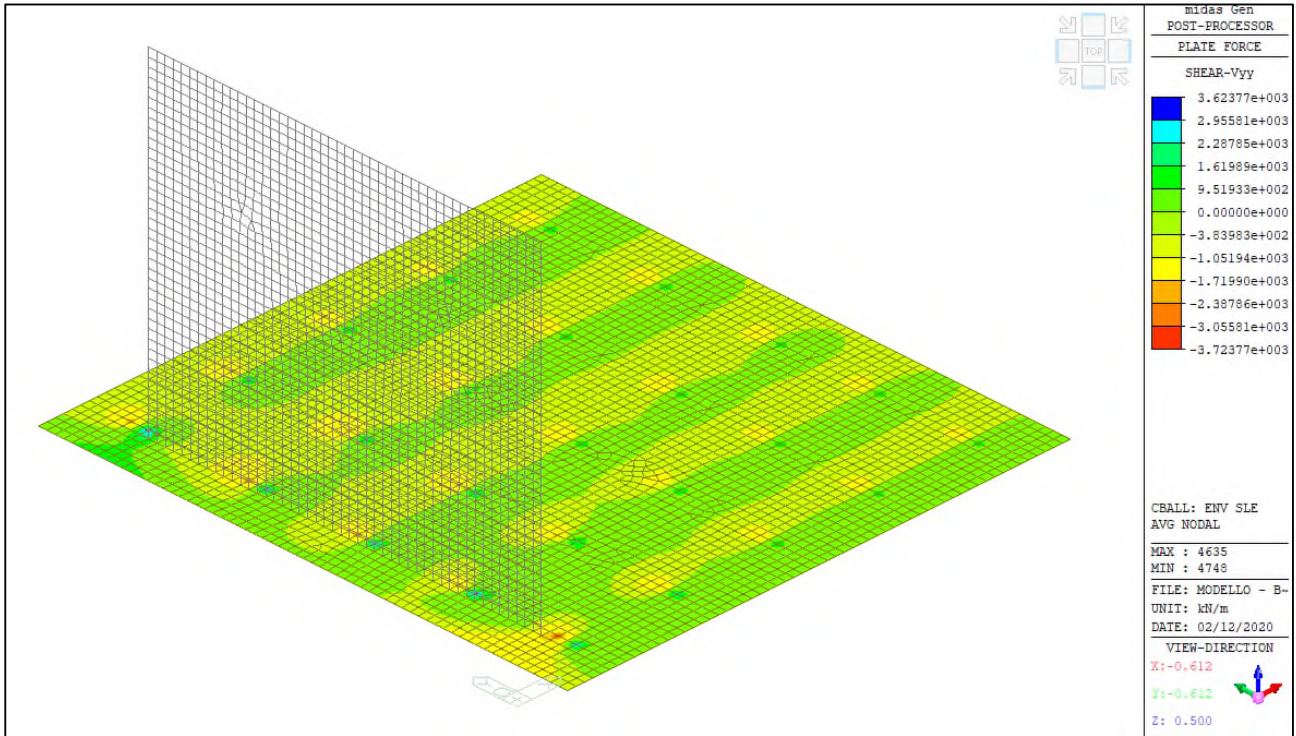
ENV-SLE RARA– Myy (kNm/m) – Platea



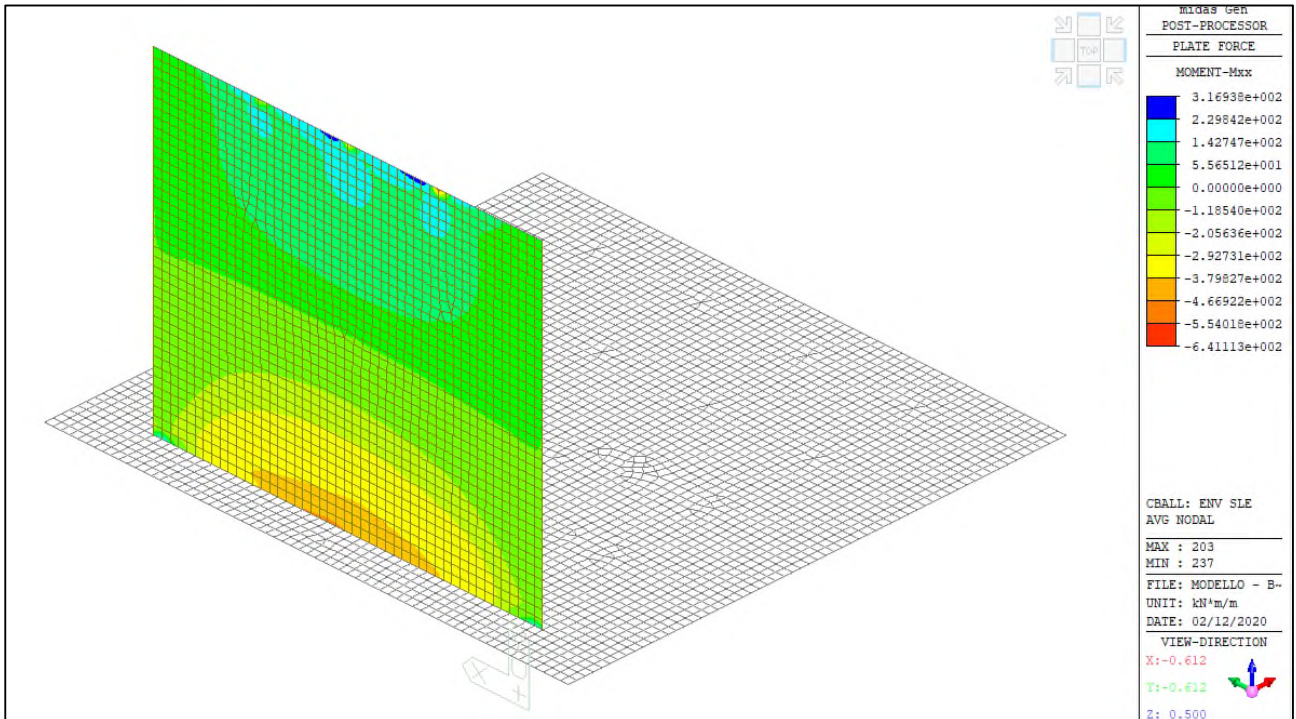
ENV-SLE RARA– Vxx (kN/m) – Platea



Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostrutture, fondazioni
e muri andatori



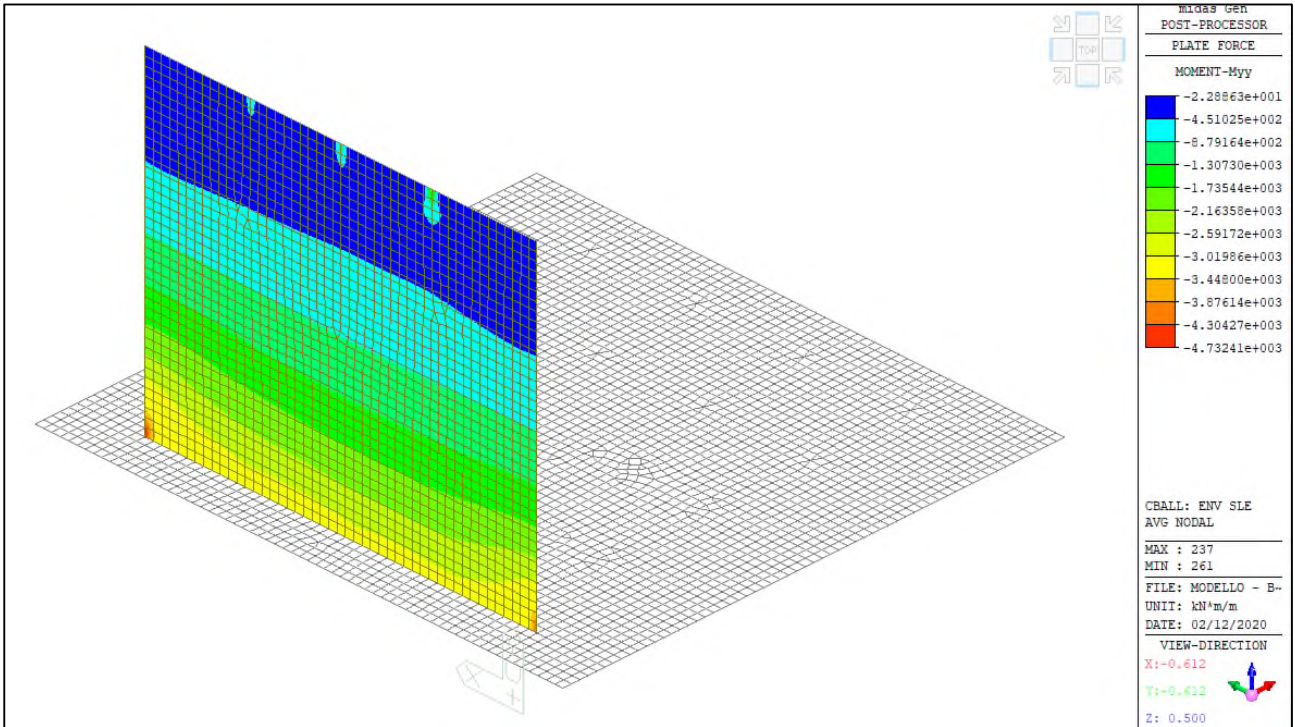
ENV-SLE RARA– Vyy (kN/m) – Platea



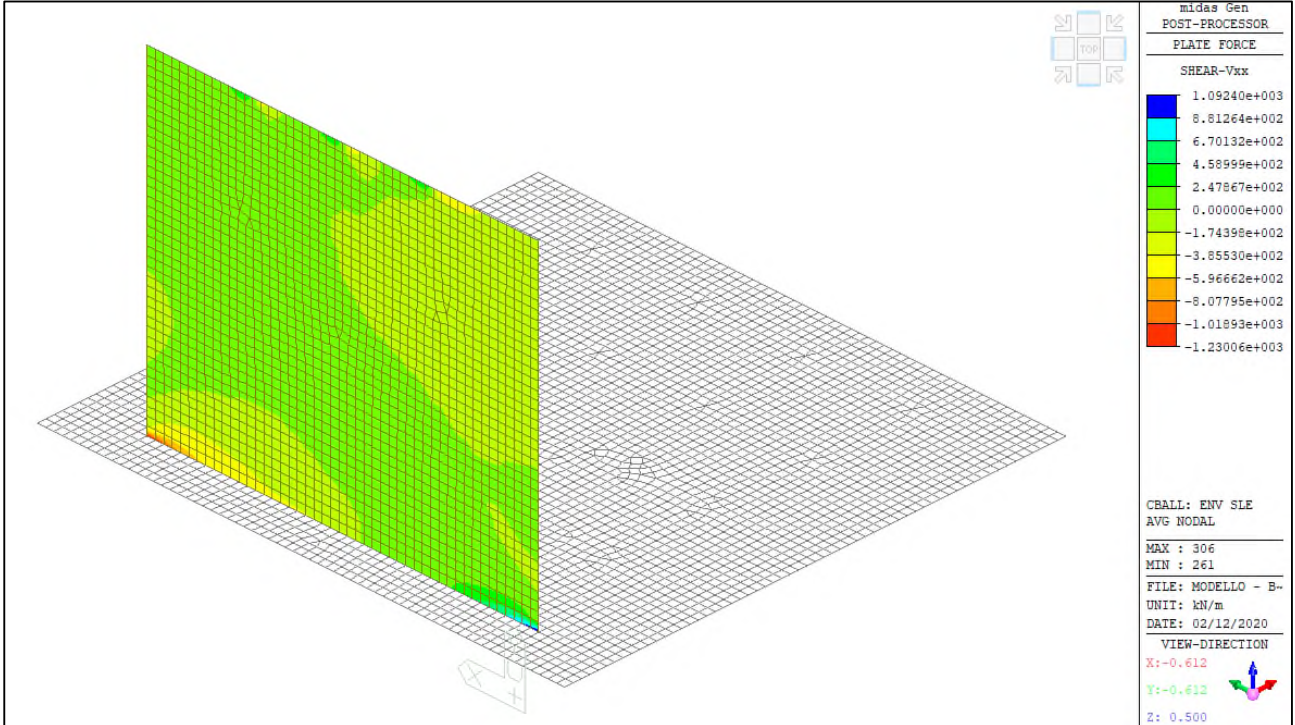
ENV-SLE RARA– Mxx (kNm/m) – Spalla



Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostrutture, fondazioni
e muri andatori



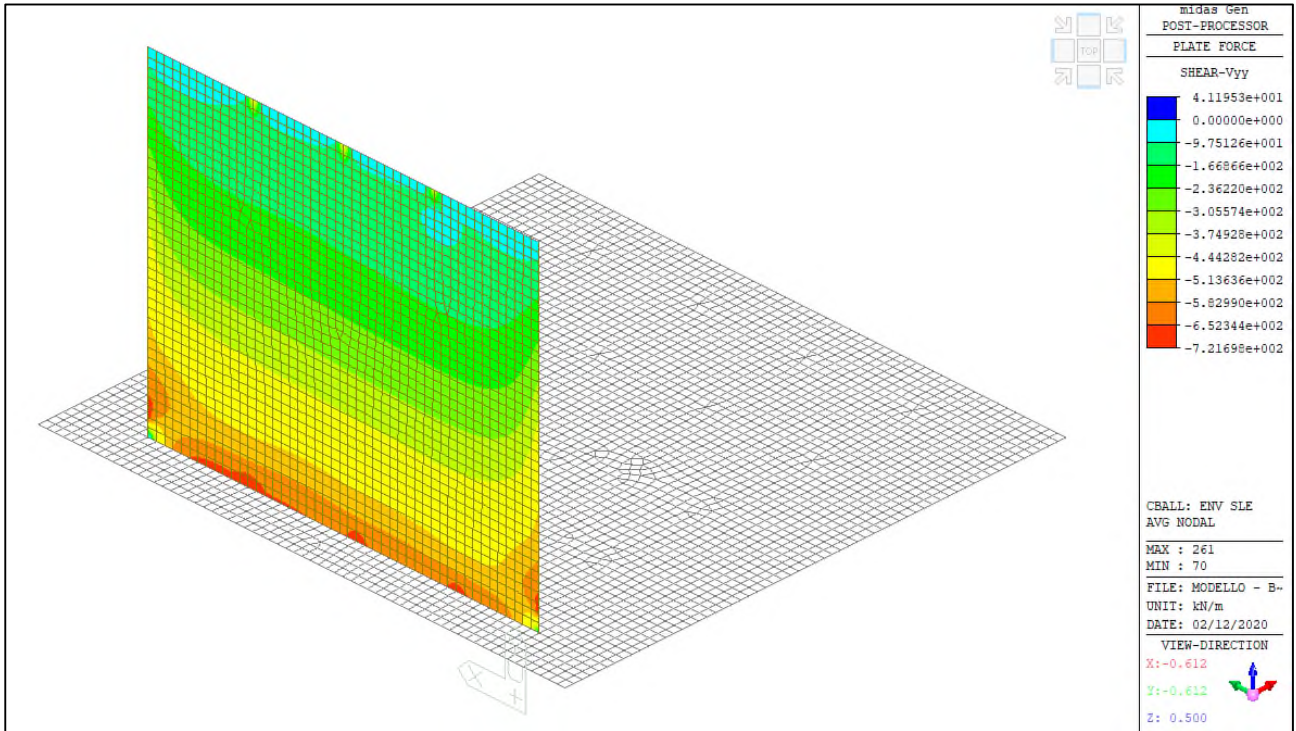
ENV-SLE RARA– Myy (kNm/m) – Spalla



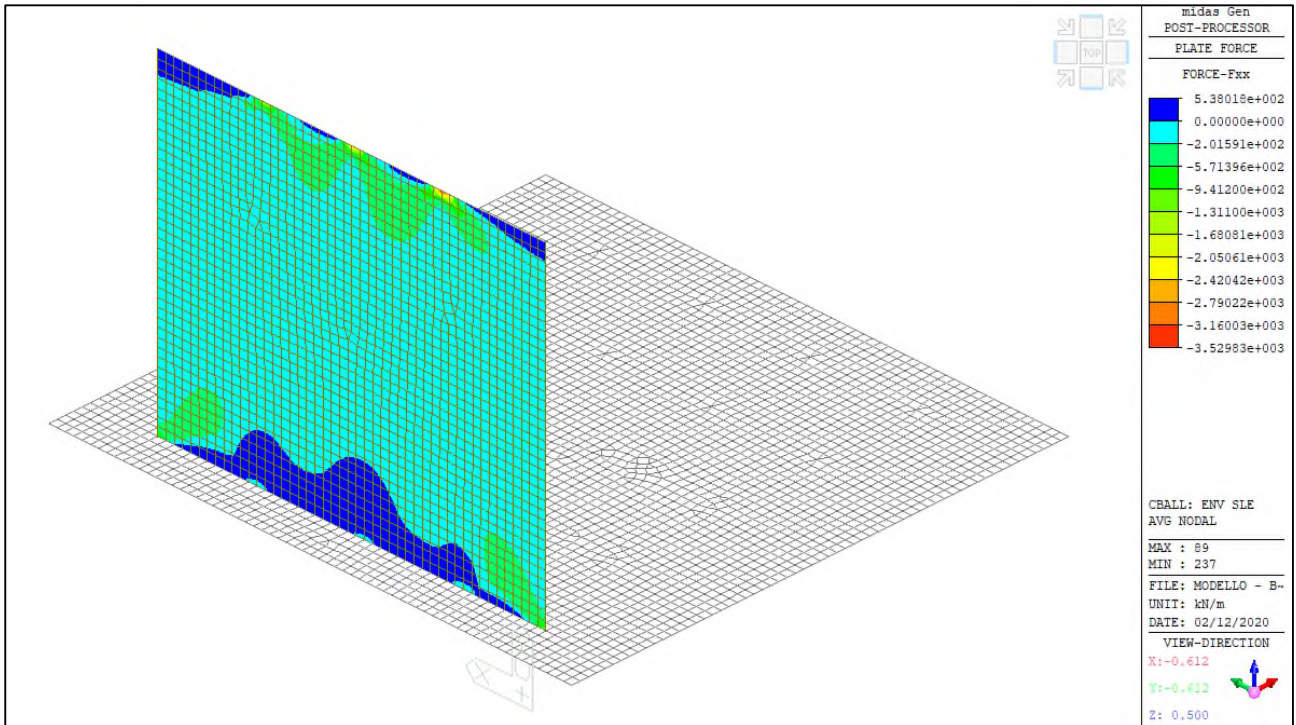
ENV-SLE RARA– Vxx (kN/m) – Spalla



Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostrutture, fondazioni
e muri andatori



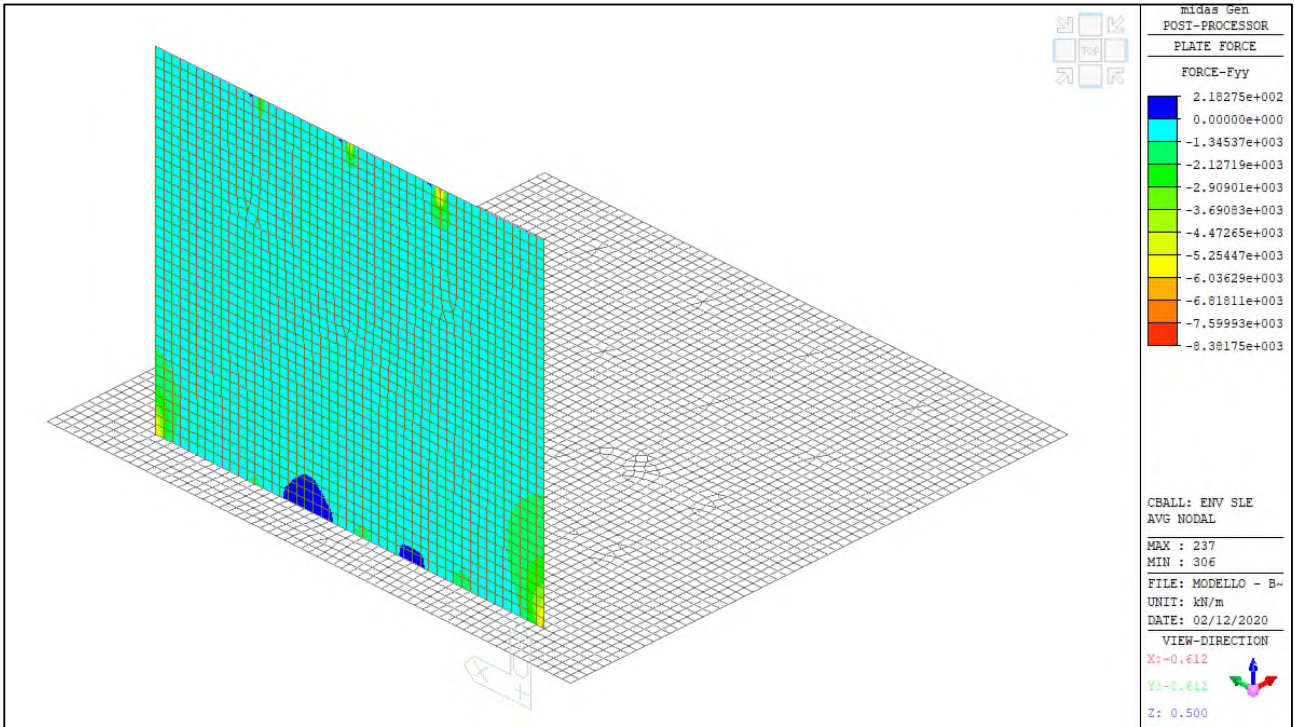
ENV-SLE RARA– Vyy (kN/m) – Spalla



ENV-SLE RARA– Fxx (kN/m) – Spalla

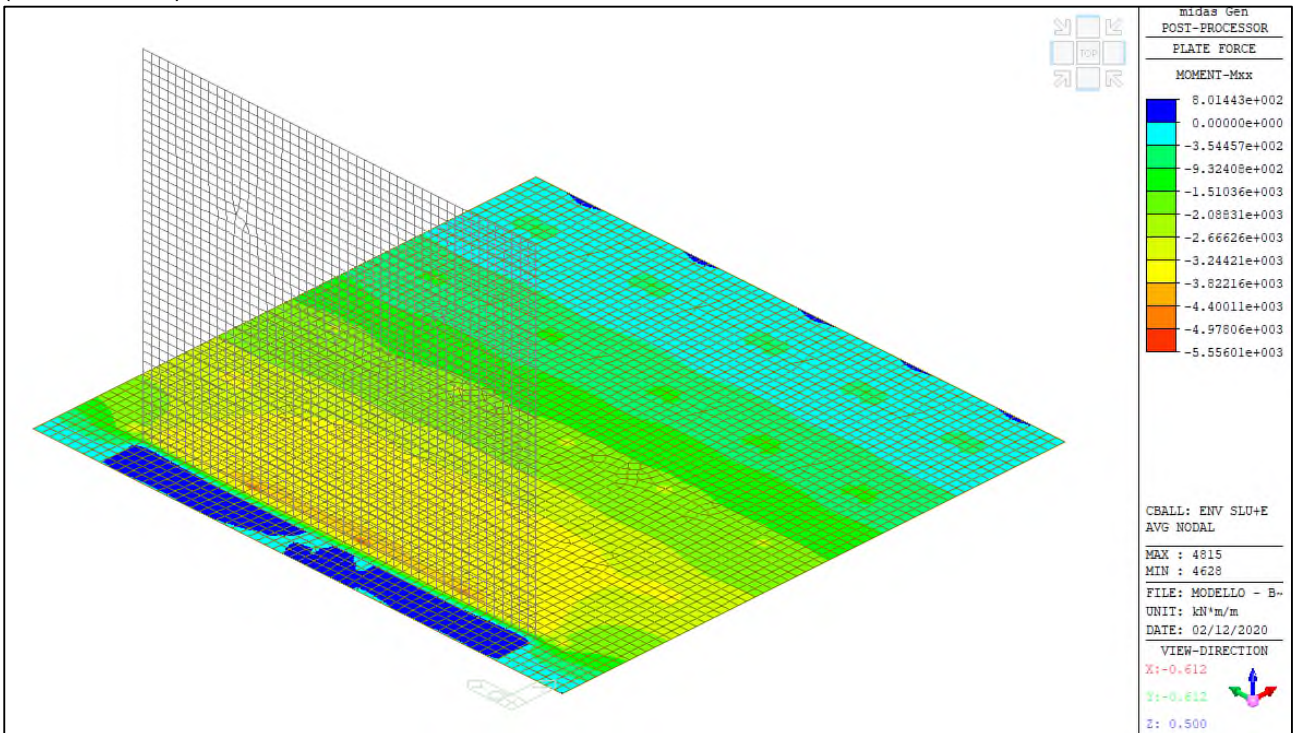


Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostruttura, fondazioni
e muri andatori



ENV-SLE RARA– Fyy (kN/m) – Spalla

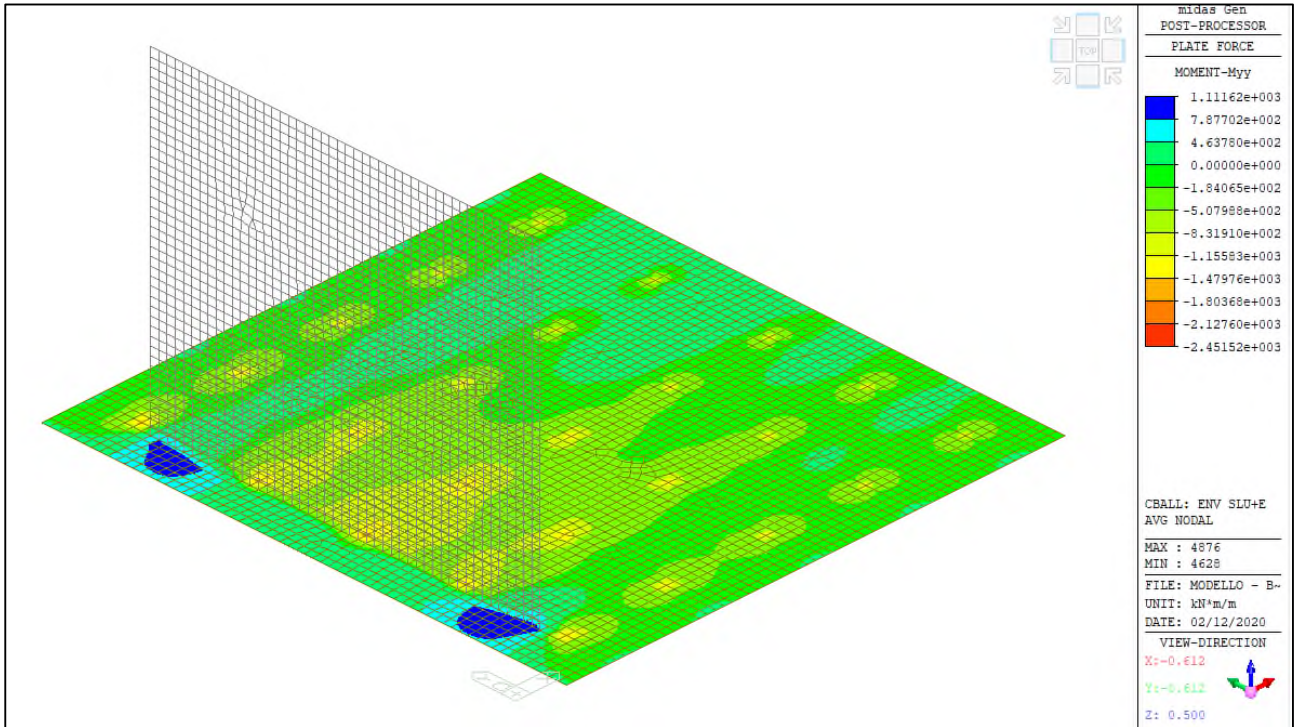
Si riportano i diagrammi involuppo delle azioni interne per le combinazioni allo stato limite ultimo (ENV-SLU+E)



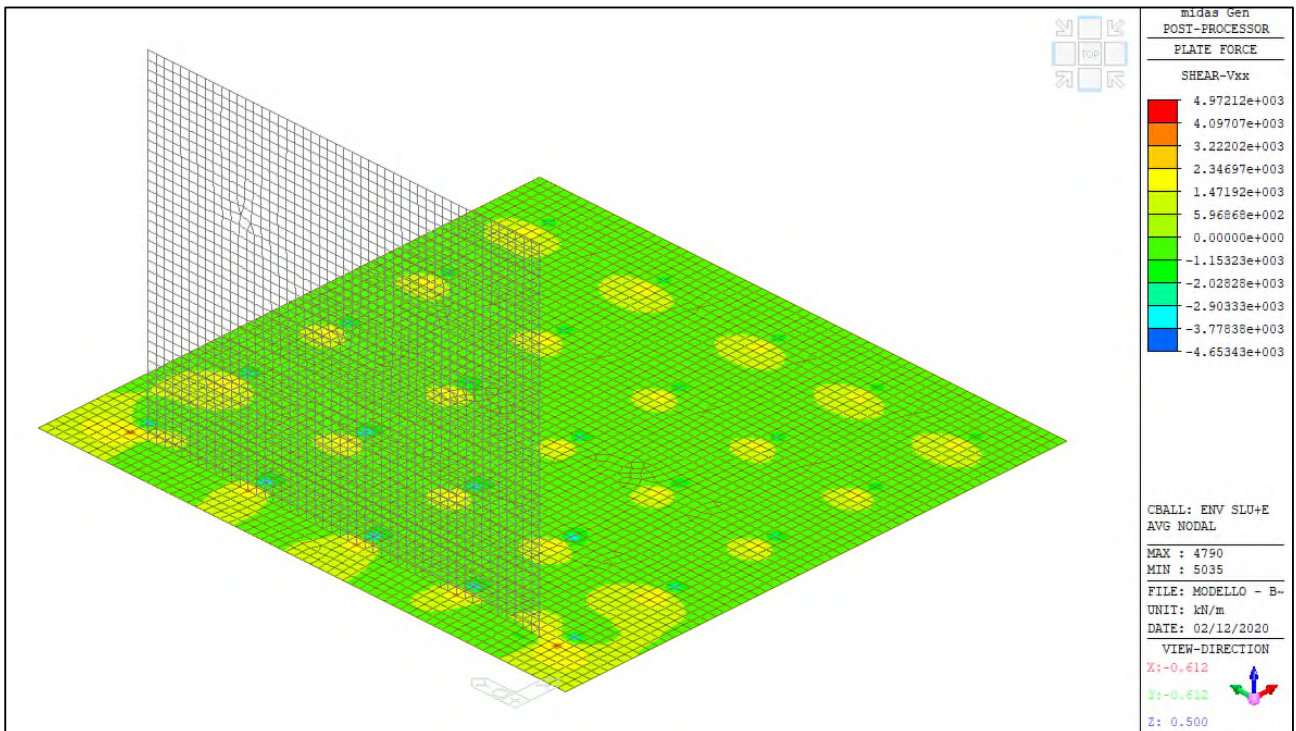
ENV-SLU+E – Mxx (kNm/m) – Platea



Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostruttura, fondazioni
e muri andatori



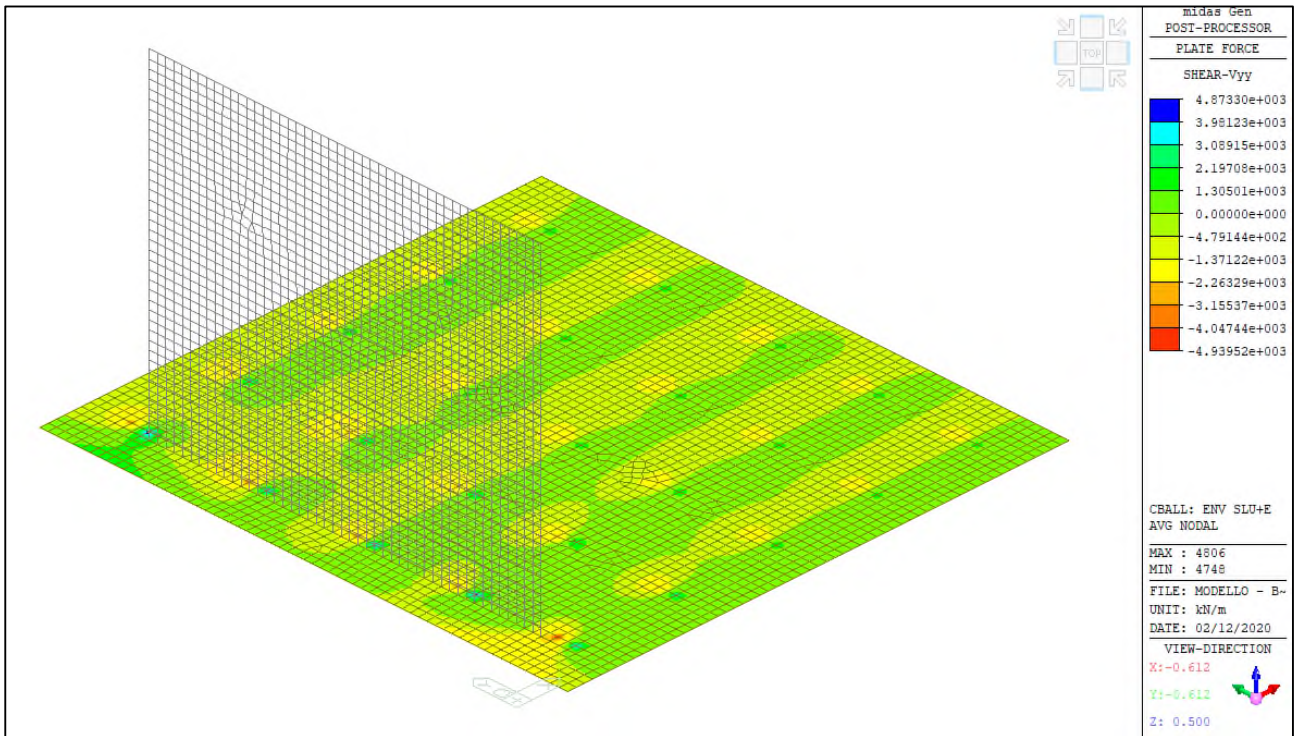
ENV-SLU+E – Myy (kNm/m) – Platea



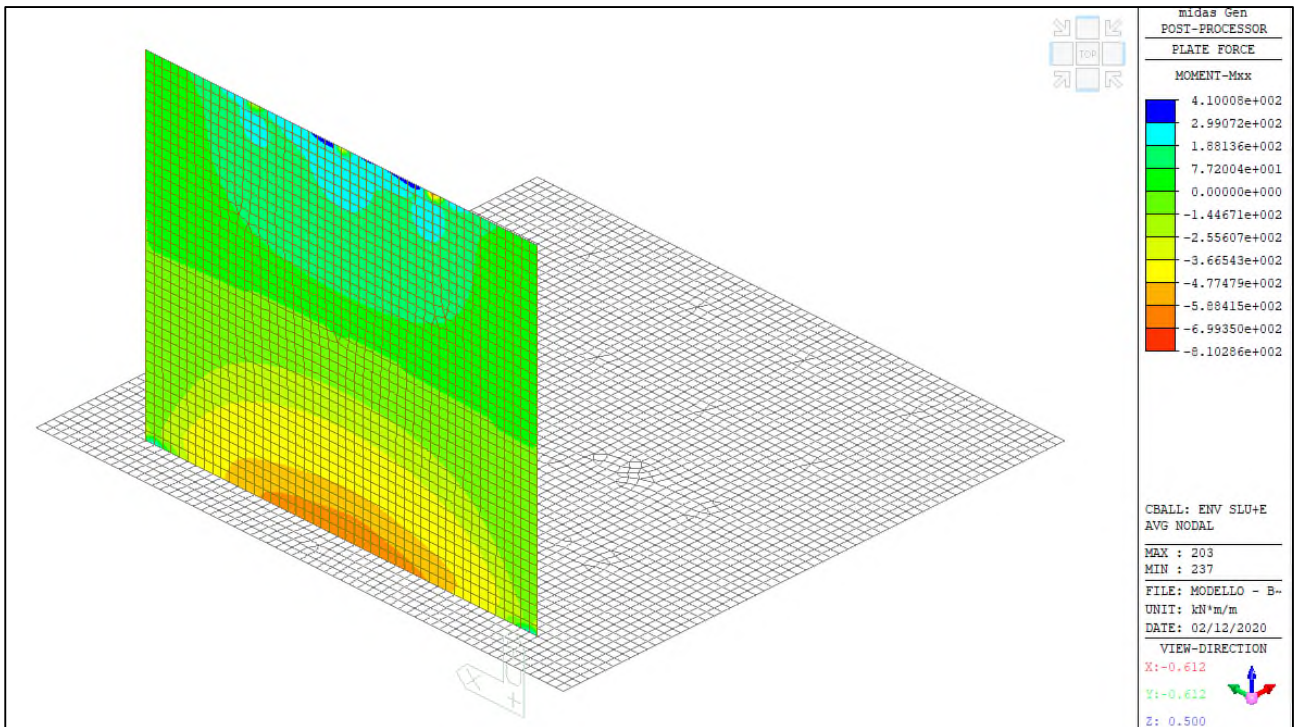
ENV-SLU+E – Vxx (kN/m) – Platea



Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostruttura, fondazioni
e muri andatori



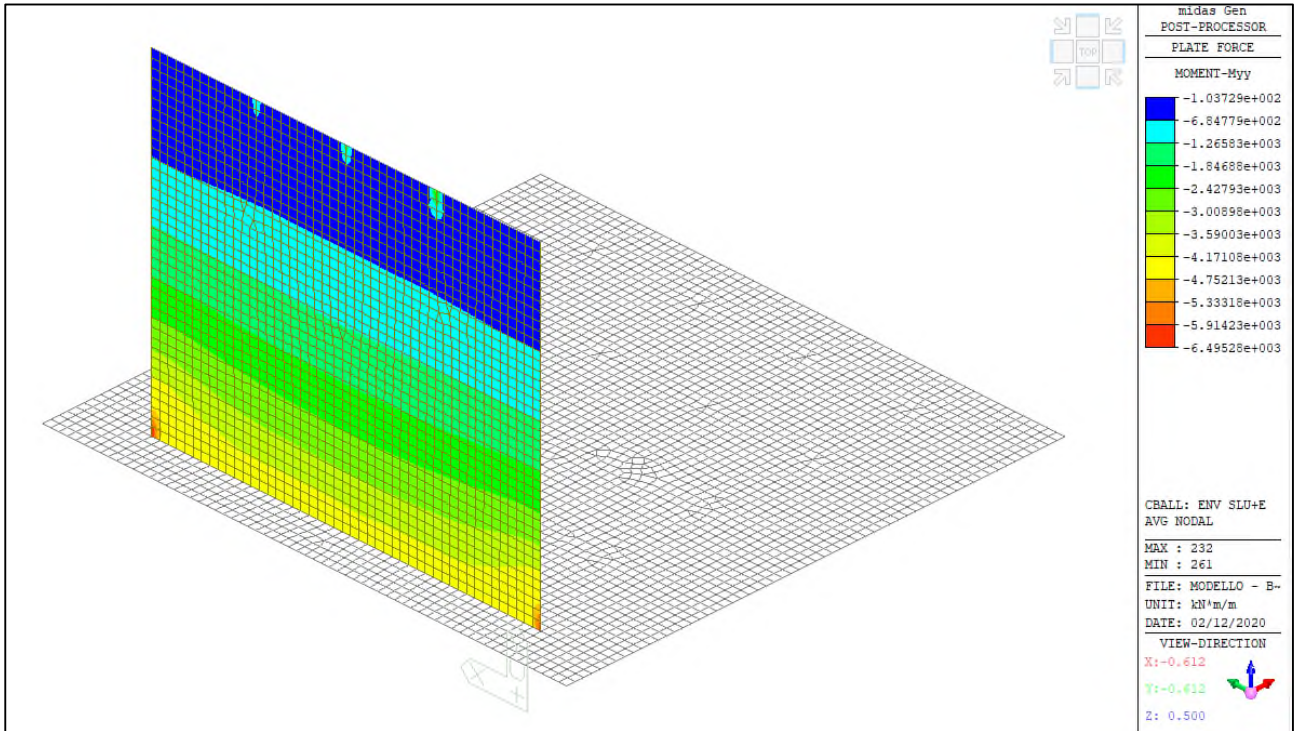
ENV-SLU+E – Vyy (kN/m) – Platea



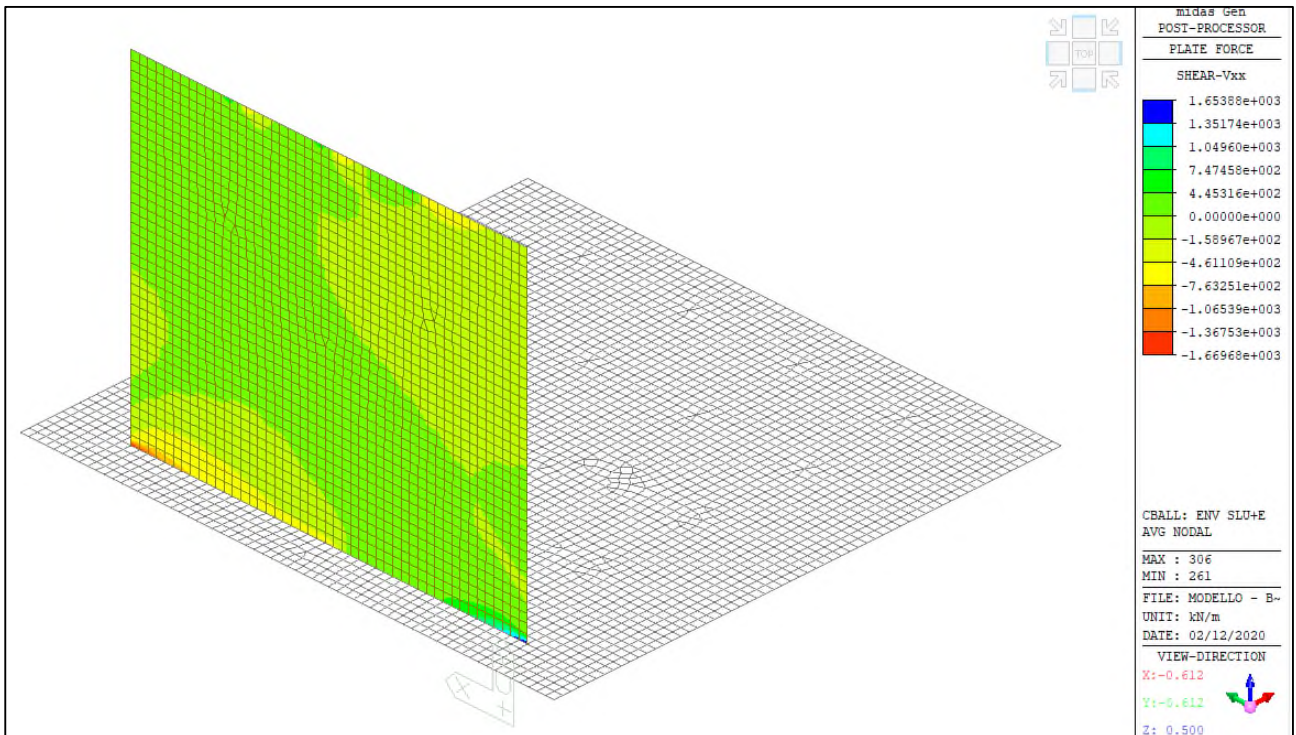
ENV-SLU+E – Mxx (kNm/m) – Spalla



Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostruttura, fondazioni
e muri andatori



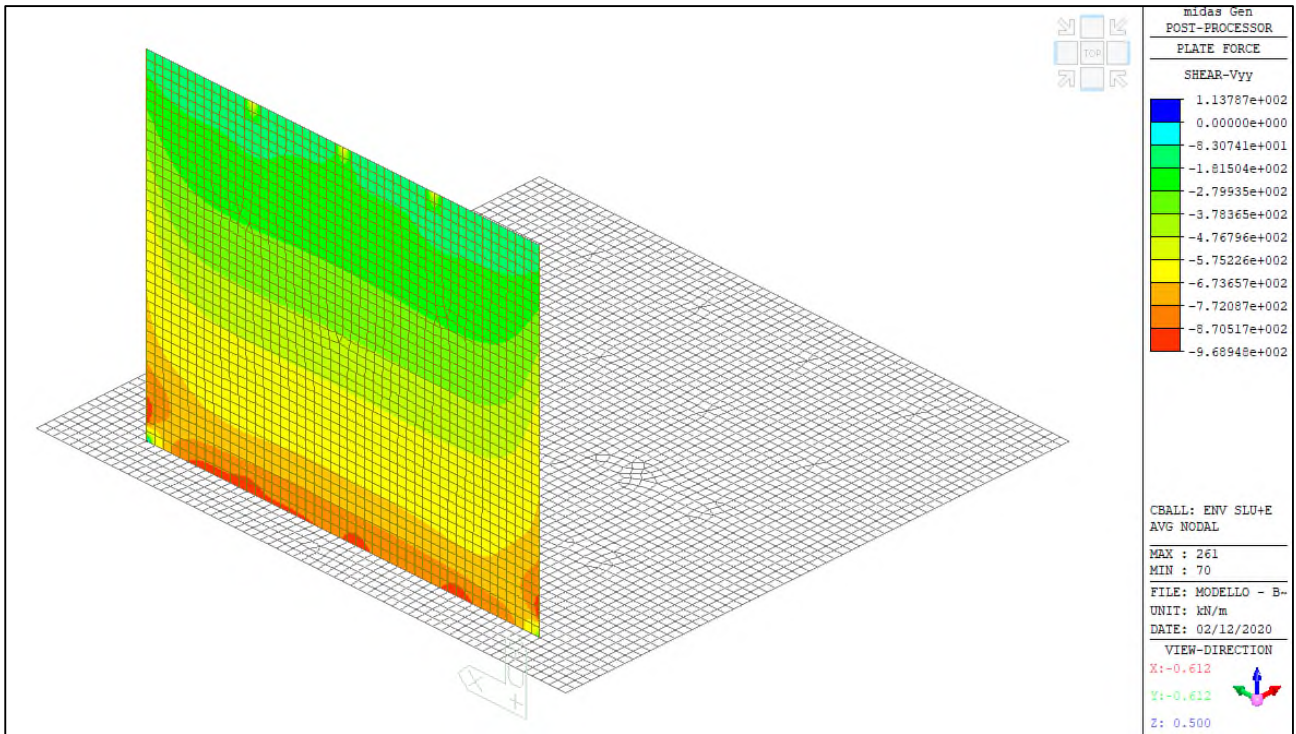
ENV-SLU+E – Myy (kNm/m) – Spalla



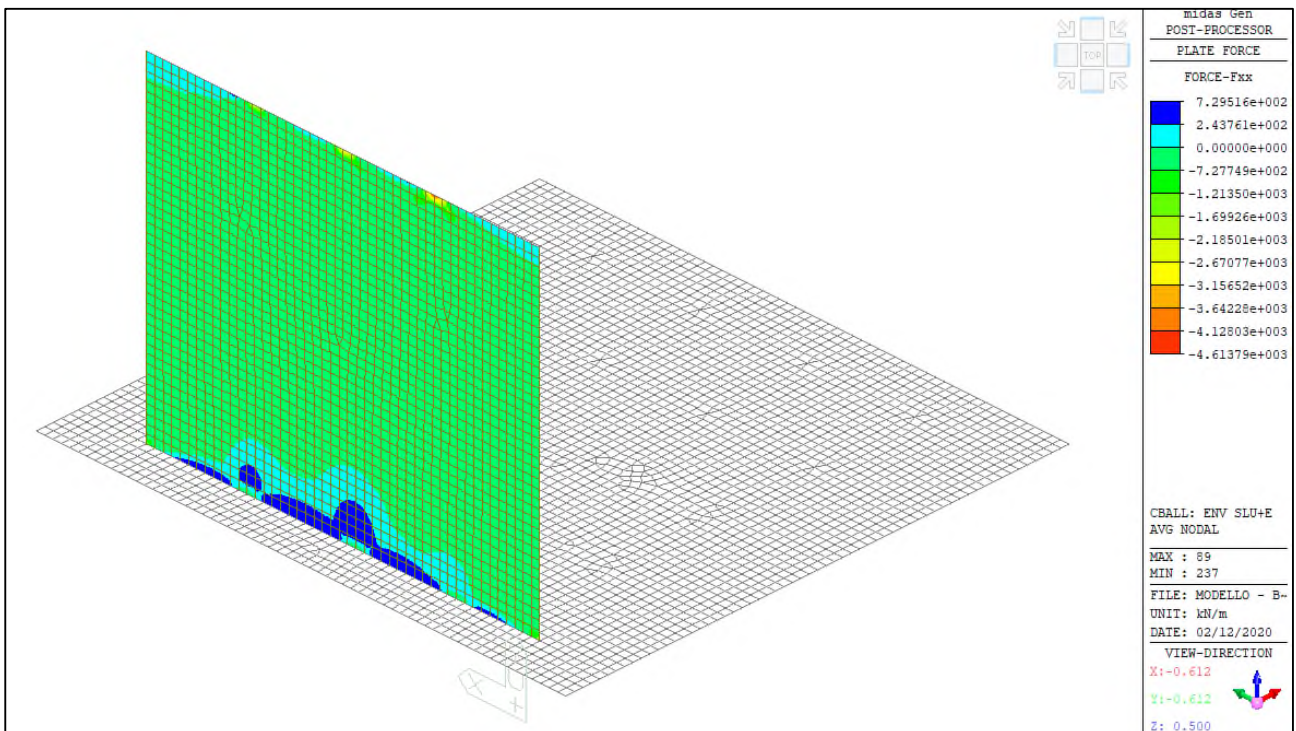


Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostrutture, fondazioni
e muri andatori

ENV-SLU+E –Vxx (kN/m) – Spalla



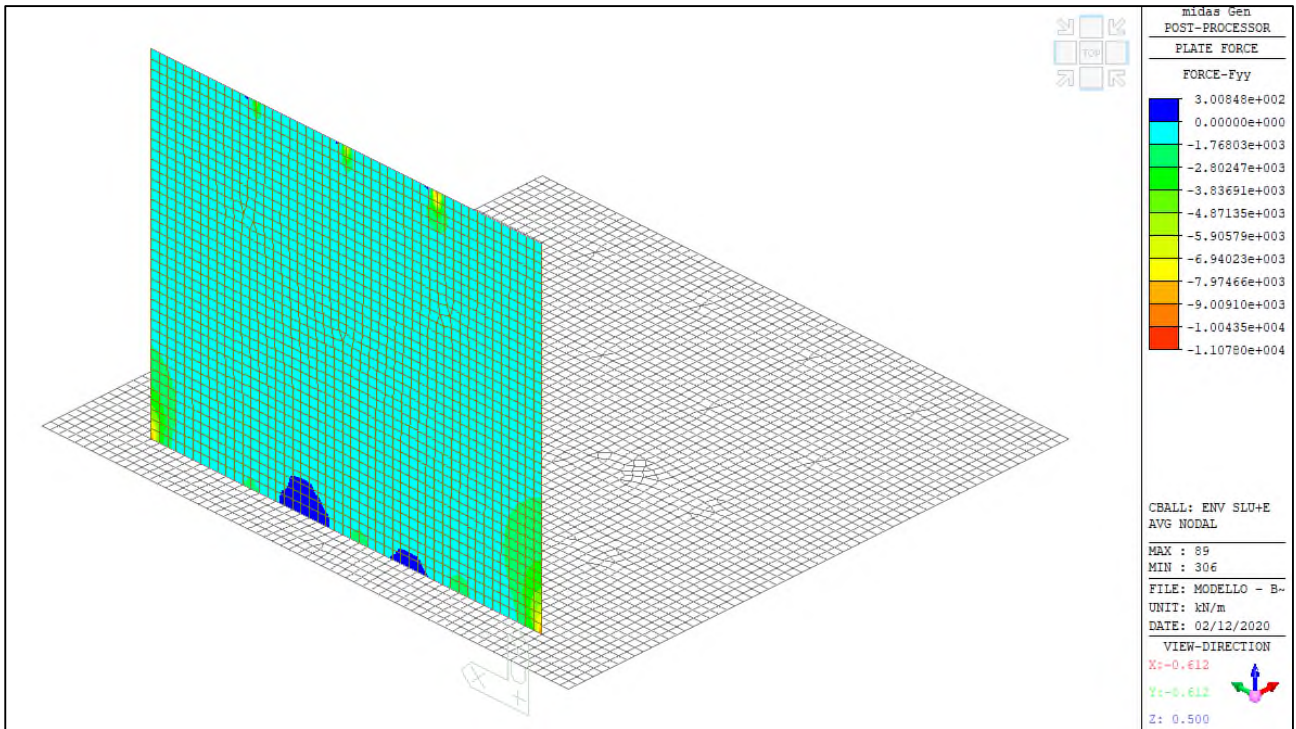
ENV-SLU+E –Vyy (kN/m) – Spalla





Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostrutture, fondazioni
e muri andatori

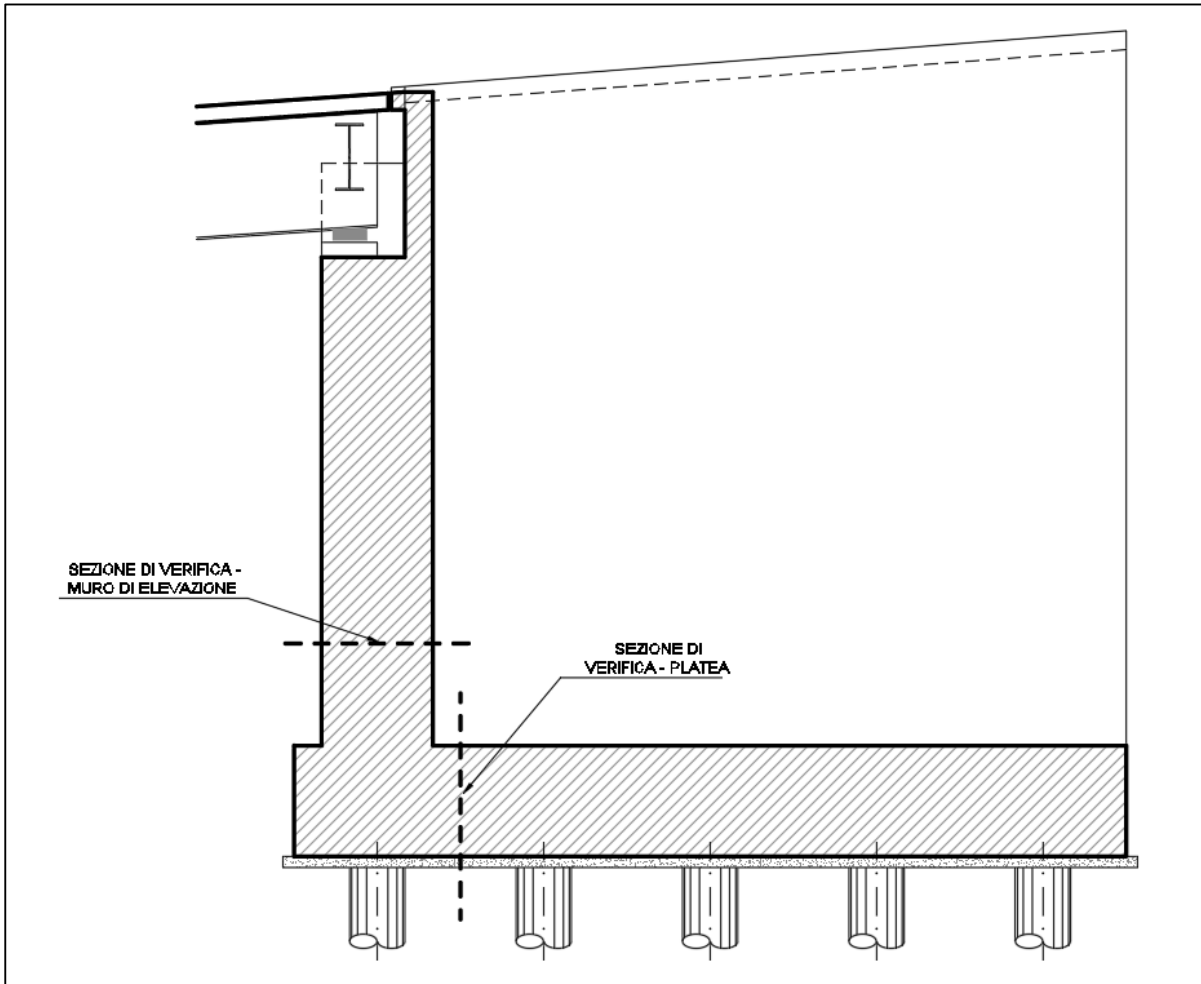
ENV-SLU+E –Fxx (kN/m) – Spalla



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_{xx}	M_{yy}	M_{xx}	M_{yy}	M_{xx}	M_{yy}	M_{xx}	M_{yy}
PLATEA	3827.9	1565.2	4125.3	1711.7	4128	1813.8	5556	2451.5
ELEVAZIONE	588.4	3520.6	641.1	4676.3	641.1	4732.4	810.3	6495.3



Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostrutture, fondazioni
e muri andatori

1. Platea

Le armature sono costituite da una maglia base

- $\Phi 32/20$ inferiori in direzione x
- $\Phi 40/10$ superiori in direzione x
- $\Phi 32/20$ inferiori e superiori in direzione y
- Spilli $\Phi 16/20 \times 40$

Armatura platea direzione x

Armatura interna: $5.0+3.2+1.6 = 9.8\text{cm}$

geometria				
sezione trasversale				
B	H	c	d	z
[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]
100	200	8.2	189.8	170.8
armatura longitudinale				
nbarre	ϕ	d	A_{sl}	
	[mm]	[cm]	[cm ²]	
5	32	9.8	40.21	
10	40	189.8	125.66	
armatura a taglio				
nbracci	ϕ	s	α	A_{sw}
	[mm]	[cm]	[°]	[cm ²]
5	16	40	90	10.05

SLU	SLE - R	SLE - F	SLE - QP
SLU	SLE	SLE	SLE
M _{Ed} 5556.00 [kNm]	M _{Ek} 4128 [kNm]	M _{Ek} 4125.3 [kNm]	M _{Ek} 3827.9 [kNm]
N _{Ed} 0.00 [kN]	N _{Ek} 0 [kN]	N _{Ek} 0 [kN]	N _{Ek} 0 [kN]
V _{Ed} 4000.00 [kN]	tensioni e fessure		
presso-flessione	M _{dec} 0.0 [kNm]	M _{dec} 0.0 [kNm]	M _{dec} 0.0 [kNm]
M _{Rd} 8753.7 [kNm]	M _{cr} 1901.6 [kNm]	M _{cr} 1901.6 [kNm]	M _{cr} 1901.6 [kNm]
FS 1.58	y _n -36.04 [cm]	y _n -36.04 [cm]	y _n -36.04 [cm]
	$\sigma_{c,min}$ -6.5 [MPa]	$\sigma_{c,min}$ -6.5 [MPa]	$\sigma_{c,min}$ -6.1 [MPa]
	$\sigma_{s,min}$ -83.1 [MPa]	$\sigma_{s,min}$ -83.1 [MPa]	$\sigma_{s,min}$ -77.1 [MPa]
	$\sigma_{s,max}$ 193.2 [MPa]	$\sigma_{s,max}$ 193.0 [MPa]	$\sigma_{s,max}$ 179.1 [MPa]
		k ₂ 0.5	k ₂ 0.5
		$\epsilon_{sm-\epsilon_{cm}}$ 0.78 [‰]	$\epsilon_{sm-\epsilon_{cm}}$ 0.72 [‰]
		S _{r,max} 41.7 [cm]	S _{r,max} 41.7 [cm]
		W _k 0.327 [mm]	W _k 0.298 [mm]



Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostrutture, fondazioni
e muri andatori

Armatura platea direzione y

Armatura esterna: copriferro 5.0+1.6 = 6.6cm

geometria				
sezione trasversale				
B	H	c	d	z
[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]
100	200	5.0	193.4	174.1
armatura longitudinale				
nbarre	φ	d	A _{sl}	
	[mm]	[cm]	[cm ²]	
5	32	6.6	40.21	
5	32	193.4	40.21	
armatura a taglio				
nbracci	φ	s	α	A _{sw}
	[mm]	[cm]	[°]	[cm ²]
5	16	40	90	10.05

SLU

	SLU	
M _{Ed}	2451.50 [kNm]	
N _{Ed}	0.00 [kN]	
V _{Ed}	3000.00 [kN]	
presso-flessione		
M _{Rd}	2973.0 [kNm]	
FS	1.21	

SLE - R

	SLE	
M _{Ek}	1813.8 [kNm]	
N _{Ek}	0 [kN]	
tensioni e fessure		
M _{dec}	0.0 [kNm]	
M _{cr}	1630.6 [kNm]	
y _n	-61.48 [cm]	
σ _{c,min}	-4.1 [MPa]	
σ _{s,min}	-51.1 [MPa]	
σ _{s,max}	248.0 [MPa]	

SLE - F

	SLE	
M _{Ek}	1711.7 [kNm]	
N _{Ek}	0 [kN]	
tensioni e fessure		
M _{dec}	0.0 [kNm]	
M _{cr}	1630.6 [kNm]	
y _n	-61.48 [cm]	
σ _{c,min}	-3.9 [MPa]	
σ _{s,min}	-48.2 [MPa]	
σ _{s,max}	234.1 [MPa]	
k ₂	0.5	
ε _{sm-ε_{cm}}	0.88 [‰]	
S _{r,max}	39.3 [cm]	
W _k	0.347 [mm]	

SLE - QP

	SLE	
M _{Ek}	1565.2 [kNm]	
N _{Ek}	0 [kN]	
tensioni e fessure		
M _{dec}	0.0 [kNm]	
M _{cr}	1630.6 [kNm]	
y _n	-61.48 [cm]	
σ _{c,min}	-3.5 [MPa]	
σ _{s,min}	-44.1 [MPa]	
σ _{s,max}	214.0 [MPa]	
k ₂	0.5	
ε _{sm-ε_{cm}}	- [‰]	
S _{r,max}	- [cm]	
W _k	- [mm]	

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

geometria

sezione trasversale

base	B	=	100	cm
altezza	H	=	200	cm
copriferro (asse armatura long.)	c	=	10.2	cm
altezza utile	d	=	190	cm
braccio coppia interna	z	=	170.8	cm

armatura a taglio

numero braccia	n	=	5	
diametro	ϕ	=	16	mm
passo	s	=	40	cm
inclinazione	α	=	90	°
area	A_{sw}	=	10.05	cm ²

armatura longitudinale tesa

numero barre	n_1	=	10	
diametro	ϕ_1	=	40	mm
numero barre	n_2	=	0	
diametro	ϕ_2	=	0	mm
area totale	A_{sl}	=	125.7	cm ²

materiali

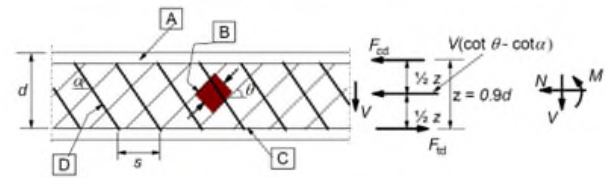
calcestruzzo

resistenza caratt. cilindrica a 28 gg.	f_{ck}	=	24.9	MPa
coeff. parziale di sicurezza	γ_c	=	1.5	
coeff. effetti a lungo termine	α_{cc}	=	0.85	
tensione di calcolo	f_{cd}	=	14.1	MPa
coeff. riduzione resistenza bielle	ν	=	0.540	
tensione di calcolo bielle	νf_{cd}	=	7.6	MPa

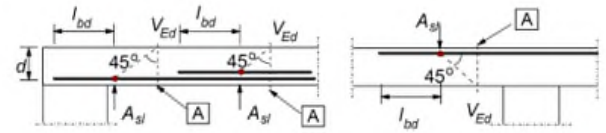
acciaio

tensione caratt. di snervamento	f_{yk}	=	450.0	MPa
coeff. parziale di sicurezza	γ_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}	=	4000	kN
azione assiale	N_{Ed}	=	0	kN
resistenza elemento non armato	V_{Rdc}	=	767.8	kN
resistenza armatura a taglio	V_{Rds}	=	4199.8	kN
resistenza bielle calcestruzzo	V_{Rdmax}	=	4490.1	kN
inclinazione bielle calcestruzzo	θ	=	21.8	°
sezione				duttile
traslazione armatura long.	a_l	=	213.5	cm



Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostrutture, fondazioni e muri andatori

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	200	5.5	192.9	173.6
armatura longitudinale				
nbarre	ϕ	d	A_{sl}	
	[mm]	[cm]	[cm ²]	
5	32	7.1	40.21	
5	32	192.9	40.21	
armatura a taglio				
nbracci	ϕ	s	α	A_{sw}
	[mm]	[cm]	[°]	[cm ²]
5	16	40	90	10.05

SLU	SLE - R	SLE - F	SLE - QP
SLU	SLE	SLE	SLE
MEd 810.30 [kNm]	MEk 641.1 [kNm]	MEk 641.1 [kNm]	MEk 588.4 [kNm]
NEd [kN]	NEk [kN]	NEk [kN]	NEk [kN]
VEd 1670.10 [kN]	tensioni e fessure		
presso-flessione	Mdec 0.0 [kNm]	Mdec 0.0 [kNm]	Mdec 0.0 [kNm]
MRd 2968.2 [kNm]	Mcr 1972.6 [kNm]	Mcr 1972.6 [kNm]	Mcr 1972.6 [kNm]
FS 3.66	yn -61.48 [cm]	yn -61.48 [cm]	yn -61.48 [cm]
	$\sigma_{c,min}$ -1.5 [MPa]	$\sigma_{c,min}$ -1.5 [MPa]	$\sigma_{c,min}$ -1.3 [MPa]
	$\sigma_{s,min}$ -17.9 [MPa]	$\sigma_{s,min}$ -17.9 [MPa]	$\sigma_{s,min}$ -16.4 [MPa]
	$\sigma_{s,max}$ 88.0 [MPa]	$\sigma_{s,max}$ 88.0 [MPa]	$\sigma_{s,max}$ 80.7 [MPa]
	k_2 0.5	k_2 0.5	k_2 0.5
	$\epsilon_{sm-\epsilon_{cm}}$ - [%]	$\epsilon_{sm-\epsilon_{cm}}$ - [%]	$\epsilon_{sm-\epsilon_{cm}}$ - [%]
	$s_{r,max}$ - [cm]	$s_{r,max}$ - [cm]	$s_{r,max}$ - [cm]
	Wk - [mm]	Wk - [mm]	Wk - [mm]



Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostrutture, fondazioni
e muri andatori

Armatura muro di elevazione direzione y

Armatura interna: copriferro $5.5+3.2+1.6 = 10.3\text{cm}$

geometria				
sezione trasversale				
B	H	c	d	z
[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]
100	200	8.7	189.3	170.4
armatura longitudinale				
nbarre	ϕ	d	A_{sl}	
	[mm]	[cm]	[cm ²]	
5	32	10.3	40.21	
10	40	189.3	125.66	
armatura a taglio				
nbracci	ϕ	s	α	A_{sw}
	[mm]	[cm]	[°]	[cm ²]
5	16	40	90	10.05

SLU

	SLU	
MEd	6495.30	[kNm]
NEd	-1460.00	[kN]
VEd	967.70	[kN]
presso-flessione		
MRd	9938.2	[kNm]
FS	1.53	

SLE - R

	SLE	
MEk	4732.4	[kNm]
NEk	-1350	[kN]
tensioni e fessure		
Mdec	473.6	[kNm]
Mcr	2771.1	[kNm]
y_n	-22.77	[cm]
$\sigma_{c,min}$	-8.2	[MPa]
$\sigma_{s,min}$	-106.5	[MPa]
$\sigma_{s,max}$	178.3	[MPa]

SLE - F

	SLE	
MEk	4676.3	[kNm]
NEk	-1190	[kN]
tensioni e fessure		
Mdec	417.4	[kNm]
Mcr	2714.9	[kNm]
y_n	-24.26	[cm]
$\sigma_{c,min}$	-8.0	[MPa]
$\sigma_{s,min}$	-104.1	[MPa]
$\sigma_{s,max}$	180.6	[MPa]
k_2	0.5	
$\epsilon_{sm}-\epsilon_{cm}$	0.68	[%]
$S_{r,max}$	44.1	[cm]
w_k	0.299	[mm]

SLE - QP

	SLE	
MEk	3520.6	[kNm]
NEk	-1000	[kN]
tensioni e fessure		
Mdec	350.8	[kNm]
Mcr	2648.3	[kNm]
y_n	-22.83	[cm]
$\sigma_{c,min}$	-6.1	[MPa]
$\sigma_{s,min}$	-79.2	[MPa]
$\sigma_{s,max}$	132.7	[MPa]
k_2	0.5	
$\epsilon_{sm}-\epsilon_{cm}$	0.44	[%]
$S_{r,max}$	44.1	[cm]
w_k	0.193	[mm]

verifica a taglio di una sezione rettangolare

secondo EN 1992-1-1:2004:E

geometria

sezione trasversale

base	B	=	100	cm
altezza	H	=	200	cm
copriferro (asse armatura long.)	c	=	7.1	cm
altezza utile	d	=	193	cm
braccio coppia interna	z	=	173.6	cm

armatura a taglio

numero braccia	n	=	5	
diametro	ϕ	=	16	mm
passo	s	=	40	cm
inclinazione	α	=	90	°
area	A_{sw}	=	10.05	cm ²

armatura longitudinale tesa

numero barre	n_1	=	5	
diametro	ϕ_1	=	32	mm
numero barre	n_2	=	0	
diametro	ϕ_2	=	0	mm
area totale	A_{sl}	=	40.2	cm ²

materiali

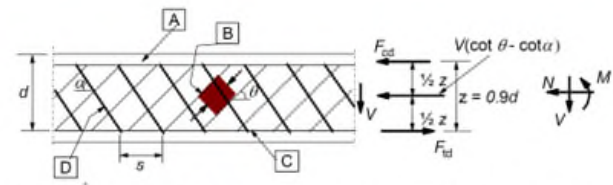
calcestruzzo

resistenza caratt. cilindrica a 28 gg.	f_{ck}	=	33.2	MPa
coeff. parziale di sicurezza	γ_c	=	1.5	
coeff. effetti a lungo termine	α_{cc}	=	0.85	
tensione di calcolo	f_{cd}	=	18.8	MPa
coeff. riduzione resistenza bielle	ν	=	0.520	
tensione di calcolo bielle	νf_{cd}	=	9.8	MPa

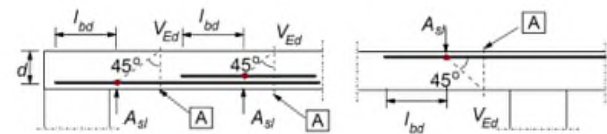
acciaio

tensione caratt. di snervamento	f_{yk}	=	450.0	MPa
coeff. parziale di sicurezza	γ_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

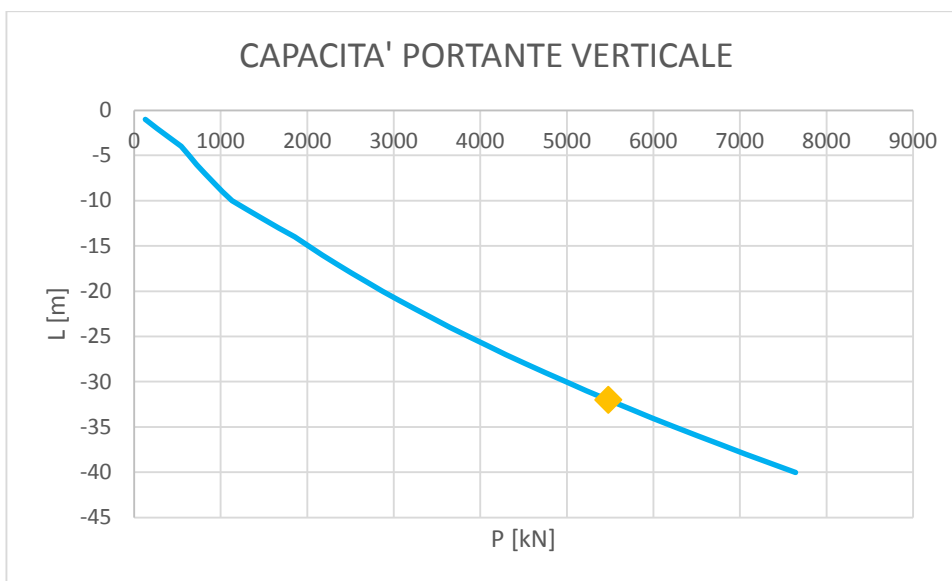
sollecitazioni e verifiche

taglio	V_{Ed}	=	1670.1	kN
azione assiale	N_{Ed}	=	-1460	kN
resistenza elemento non armato	V_{Rdc}	=	802.5	kN
resistenza armatura a taglio	V_{Rds}	=	3350.9	kN
resistenza bielle calcestruzzo	V_{Rdmax}	=	6874.5	kN
inclinazione bielle calcestruzzo	θ	=	27.0	°
sezione				duttile
traslazione armatura long.	a_l	=	170.4	cm

9.4 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 25 pali. 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 5264.8 kN. Pertanto si utilizzano pali di lunghezza pari a 32.00m la cui capacità portante verticale è maggiore di quella agente, e pari a 5475.25 kN.



Capacità portante verticale dei pali



Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostrutture, fondazioni e muri andatori

STRADA BOSSARINO

PALI DI FONDAZIONE SPALLA LATO DISCARICA BOSSARINO

Calcolo del carico trasversale limite

Terreni incoerenti (Broms 1964)

DATI GEOMETRICI:

Lunghezza del palo	L	32	[m]
Diametro del palo	D _{palo}	1	[m]
Diametro del tubolare	D _{tubolare}	1000	[mm]

Momento di plasticizzazione	M _y	2778.0	[kNm]
-----------------------------	----------------	--------	-------

DATI GEOTECNICI:

Peso per unità di volume	γ'	22	[kN/m ³]
Angolo attrito medio	φ _{medio}	27.5	[°]
Coefficiente di spinta passiva medio	k _{p,medio}	2.72	[-]
Angolo attrito minimo	φ _{minimo}	27	[°]
Coefficiente di spinta passiva minimo	k _{p,minimo}	2.66	[-]

VERTICALI INDAGATE:

numero di verticali indagate	n°	2
fattore di correlazione	ξ ₃	1.65
fattore di correlazione	ξ ₄	1.55

CARICO TRASVERSALE PER PALO CORTO H₁:

H _{1,medio}	91914.2	[kN]	$H = 1.5 k_p \gamma' d^3 \left(\frac{L}{d}\right)^2$
H _{1,minimo}	89886.7	[kN]	

CARICO TRASVERSALE PER PALO INTERMEDIO H₂:

H _{2,medio}	30724.9	[kN]	$H = \frac{1}{2} k_p \gamma' d^3 \left(\frac{L}{d}\right)^2 + \frac{M_y}{L}$
H _{2,minimo}	30049.1	[kN]	

CARICO TRASVERSALE PER PALO LUNGO H₃:

H _{3,medio}	1841.1	[kN]	$H = k_p \gamma' d^3 \sqrt[3]{\left(3.676 \frac{M_y}{k_p \gamma' d^4}\right)^2}$
H _{3,minimo}	1827.4	[kN]	

DEFINIZIONE DEL COMPORTAMENTO DEL PALO:

H _{medio}	1841.1	[kN]	PALO
H _{minimo}	1827.4	[kN]	LUNGO

CARICO TRASVERSALE ULTIMO:

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

H _k	1115.8	[kN]
----------------	--------	------

$$H_d = H_k / \gamma_T$$

γ _T	1.3	[-]
H _d	858.3	[kN]
H _{agente}	518.4	[kN]

VERIFICA: H_d > H_{agente} VERIFICATO

Capacità portante trasversale pali



Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostruttura, fondazioni
e muri andatori

L'armatura dei pali di fondazione è costituita da:

- 30 Φ 30 armatura longitudinale
- Staffe Φ 12/15

Si riportano le massime sollecitazioni agenti sui pali di fondazione

N [kN]	V [kN]	M [kNm]
5264.8	518.4	2592

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 [cm]

Copriferro (baric.) 7 [cm]

N° barre 0 Zoom

Tipo Sezione

Rettan.re Trapezi

a T Circolare

Rettangoli Coord.

Sollecitazioni

S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 5264.8 0 kN

M_{xEd} 2592 0 kNm

M_{yEd} 0 0

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

L₀ 0 cm Col. modello

Precompresso

Materiali

B450C C32/40

ϵ_{su} 67.5 ‰ ϵ_{c2} 2 ‰

f_{yd} 391.3 N/mm² ϵ_{cu} 3.5 ‰

E_s 200000 N/mm² f_{cd} 18.13

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

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

$\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm² τ_{co} 0.7333

τ_{c1} 2.114

M_{xRd} 3486 kNm

σ_c -18.13 N/mm²

σ_s 391.3 N/mm²

ϵ_c 3.5 ‰

ϵ_s 3.083 ‰

d 93 cm

x 49.44 x/d 0.5317

δ 1

Verifica strutturale pali di fondazione

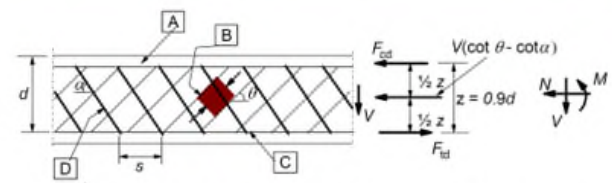


Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostrutture, fondazioni
e muri andatori

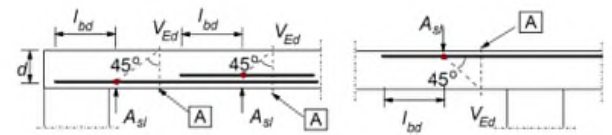
Per la verifica a taglio delle Staffe è stata considerata una sezione corrispondente al quadrato inscritto nella circonferenza del palo di fondazione.

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 = 8.5 cm
altezza utile	d = 62.2 cm
braccio coppia interna	z = 56.0 cm
armatura a taglio	
numero braccia	n = 2
diámetro	ϕ = 12 mm
passo	s = 15 cm
inclinazione	α = 90 °
area	A_{sw} = 2.26 cm ²
armatura longitudinale tesa	
numero barre	n_1 = 10
diámetro	ϕ_1 = 30 mm
numero barre	n_2 = 0
diámetro	ϕ_2 = 0 mm
area totale	A_{sl} = 70.7 cm ²
materiali	
calcestruzzo	
resistenza caratt. cilindrica a 28 gg.	f_{ck} = 33.2 MPa
coeff. parziale di sicurezza	γ_c = 1.5
coeff. effetti a lungo termine	α_{cc} = 0.85
tensione di calcolo	f_{cd} = 18.8 MPa
coeff. riduzione resistenza bielle	ν = 0.520
tensione di calcolo bielle	νf_{cd} = 9.8 MPa
acciaio	
tensione caratt. di snervamento	f_{yk} = 450.0 MPa
coeff. parziale di sicurezza	γ_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} = 518.4 kN
azione assiale	N_{Ed} = 0 kN
resistenza elemento non armato	V_{Rdc} = 311.3 kN
resistenza armatura a taglio	V_{Rds} = 825.8 kN
resistenza bielle calcestruzzo	V_{Rdmax} = 1336.0 kN
inclinazione bielle calcestruzzo	θ = 21.8 °
sezione	duttile
traslazione armatura long.	a_l = 70.0 cm

Verifica a taglio pali di fondazione

10. VERIFICA PILA CENTRALE

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.

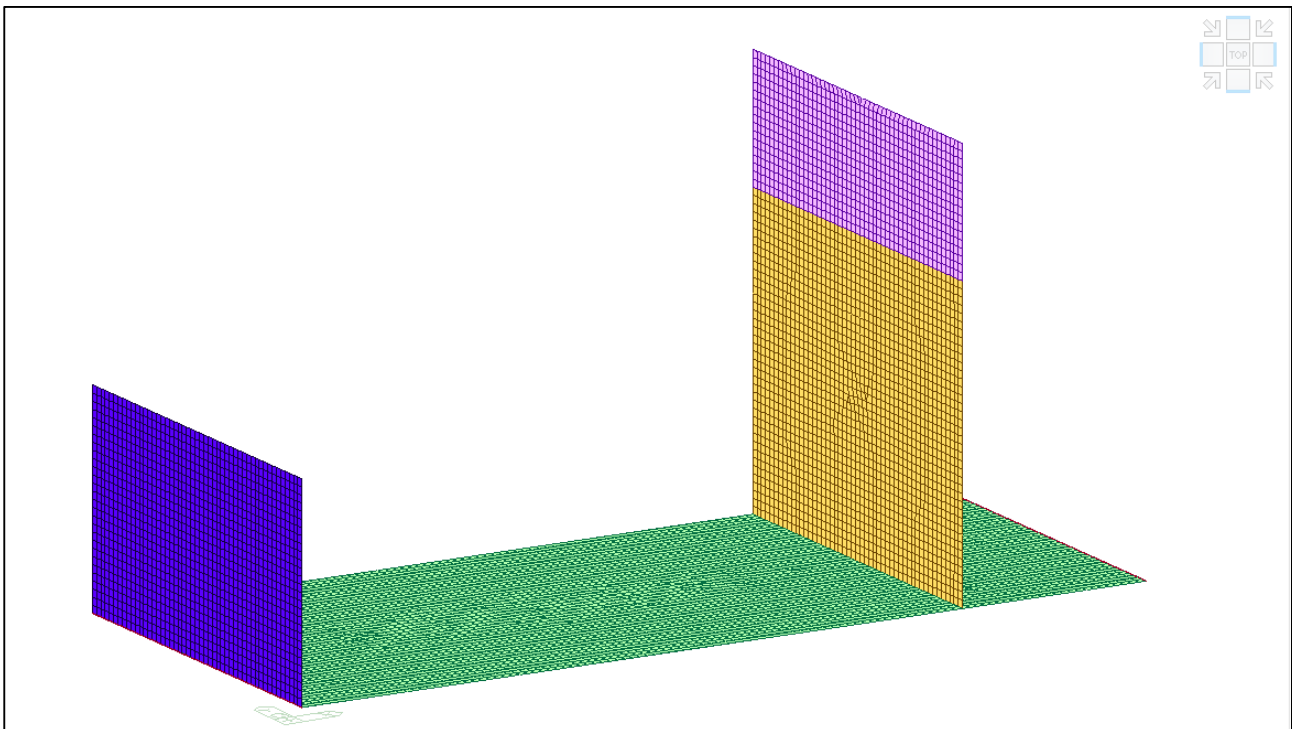
Nei successivi paragrafi sono descritte in dettaglio tutte le ipotesi poste alla base delle analisi sviluppate.

10.1 DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO

10.1.1 GEOMETRIA DEL MODELLO

La pila è composta da un muro in elevazione su cui è appoggiata la trave principale centrale, mentre le travi laterali sono sorrette e sbalzo dal traverso di appoggio rigido; il muro ha spessore minimo pari a 150 cm in sommità, accrescendo lo spessore verso la sezione di imposta sul basamento fino a un massimo di 268 cm.

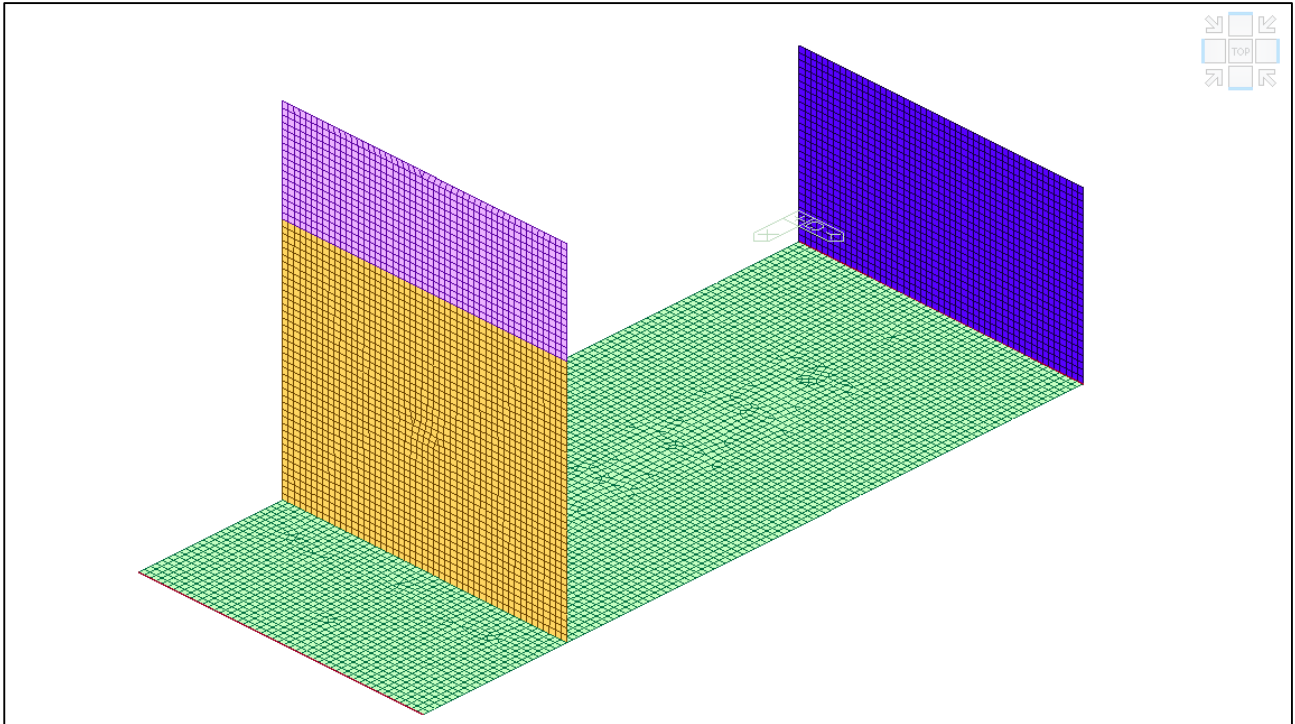
E' stato sviluppato un modello globale della struttura di tipo lineare. I vari elementi sono stati schematizzati assumendo diverse caratteristiche geometriche per le varie sezioni previste.



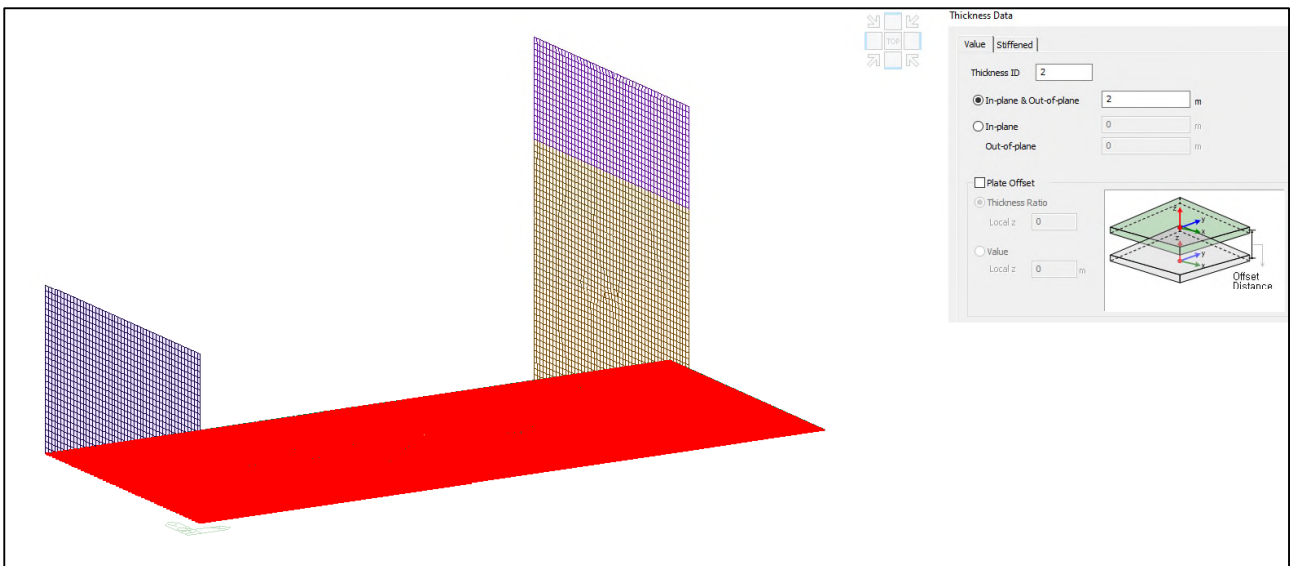
Modello FEM - Vista 1 – Pila



Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostruttura, fondazioni
e muri andatori



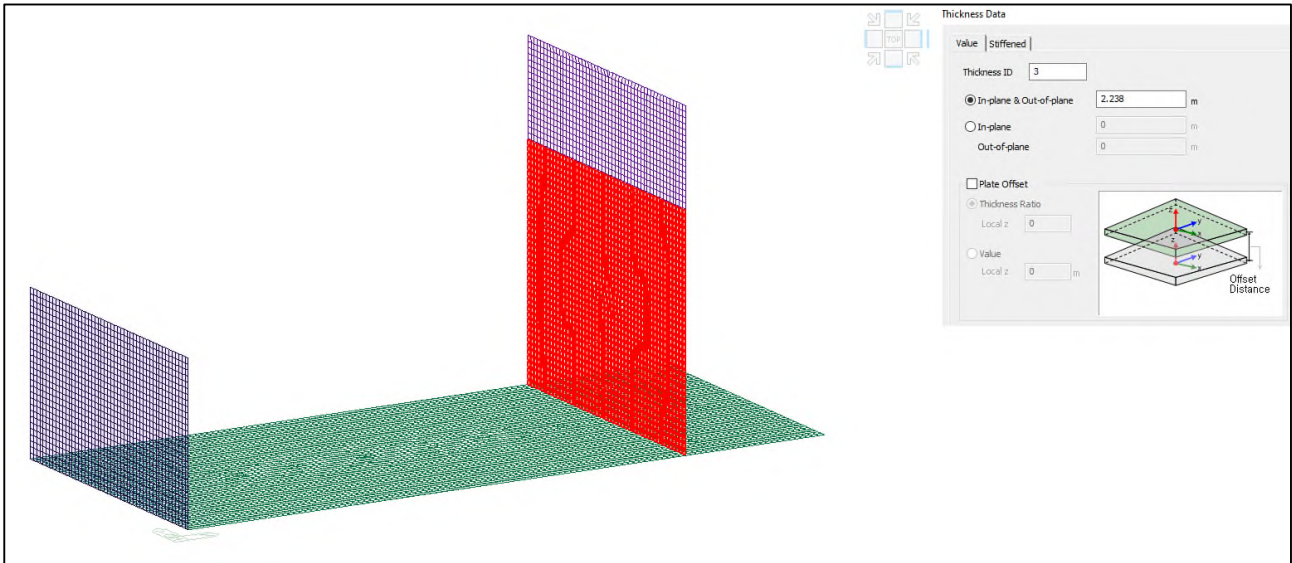
Modello FEM - Vista 2 – Pila



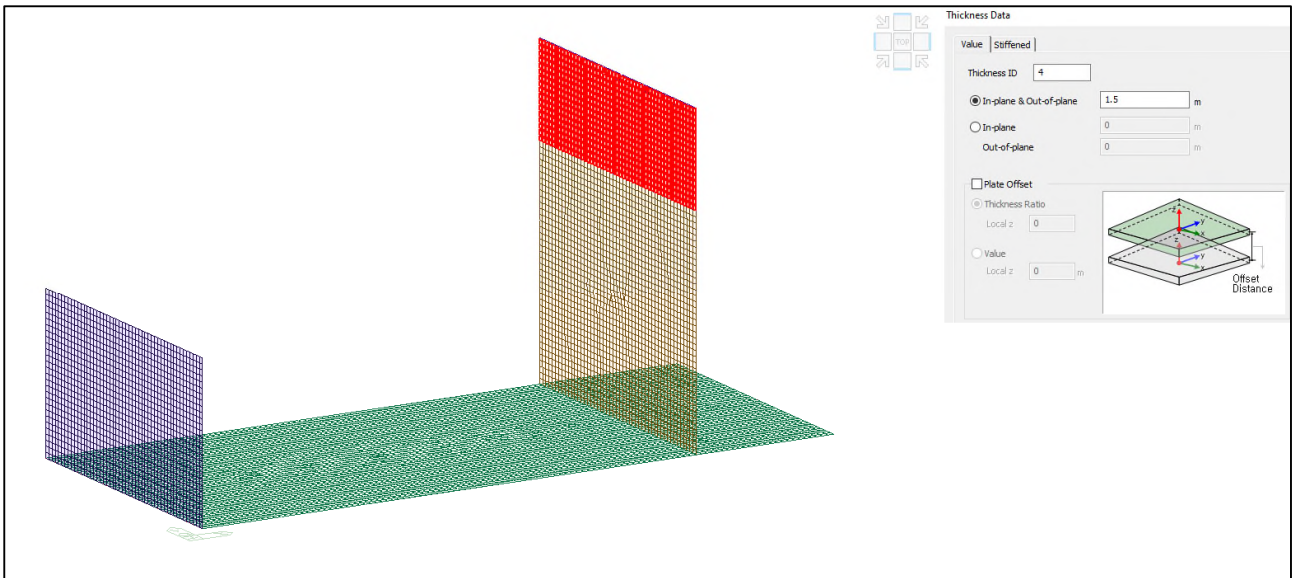
Modello FEM - Identificazione platea spessore 2.00m in calcestruzzo C25/30



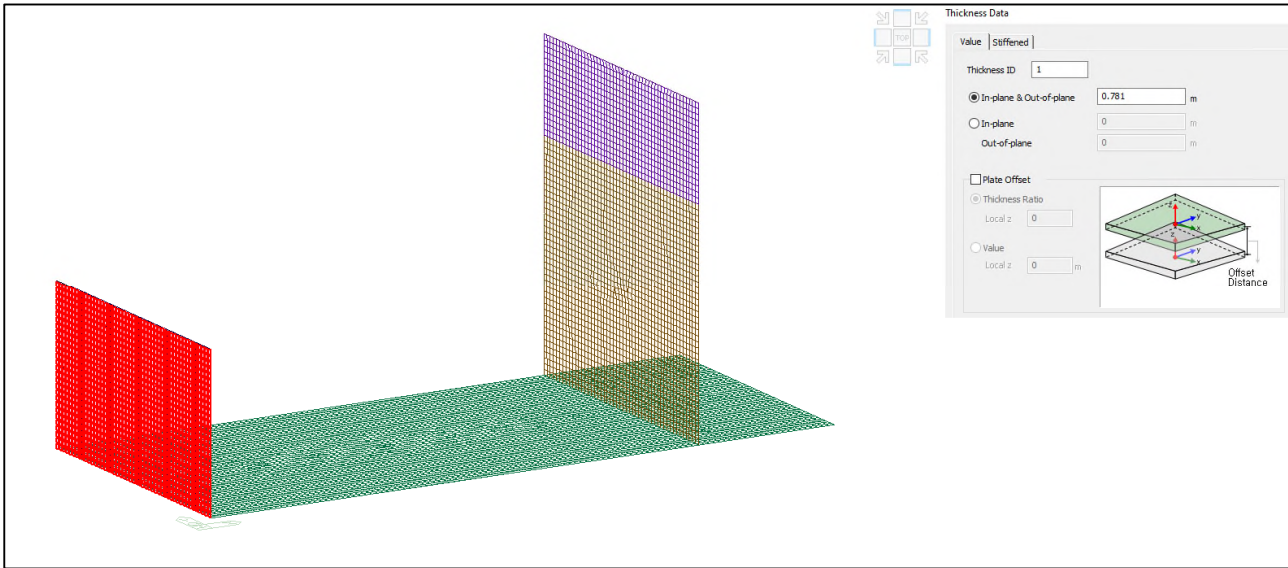
Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostruttura, fondazioni
e muri andatori



Modello FEM - Identificazione spalla spessore 2.238m in calcestruzzo C32/40



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



Modello FEM - Identificazione spalla spessore 0.781m in calcestruzzo C32/40

10.1.2 VINCOLI

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

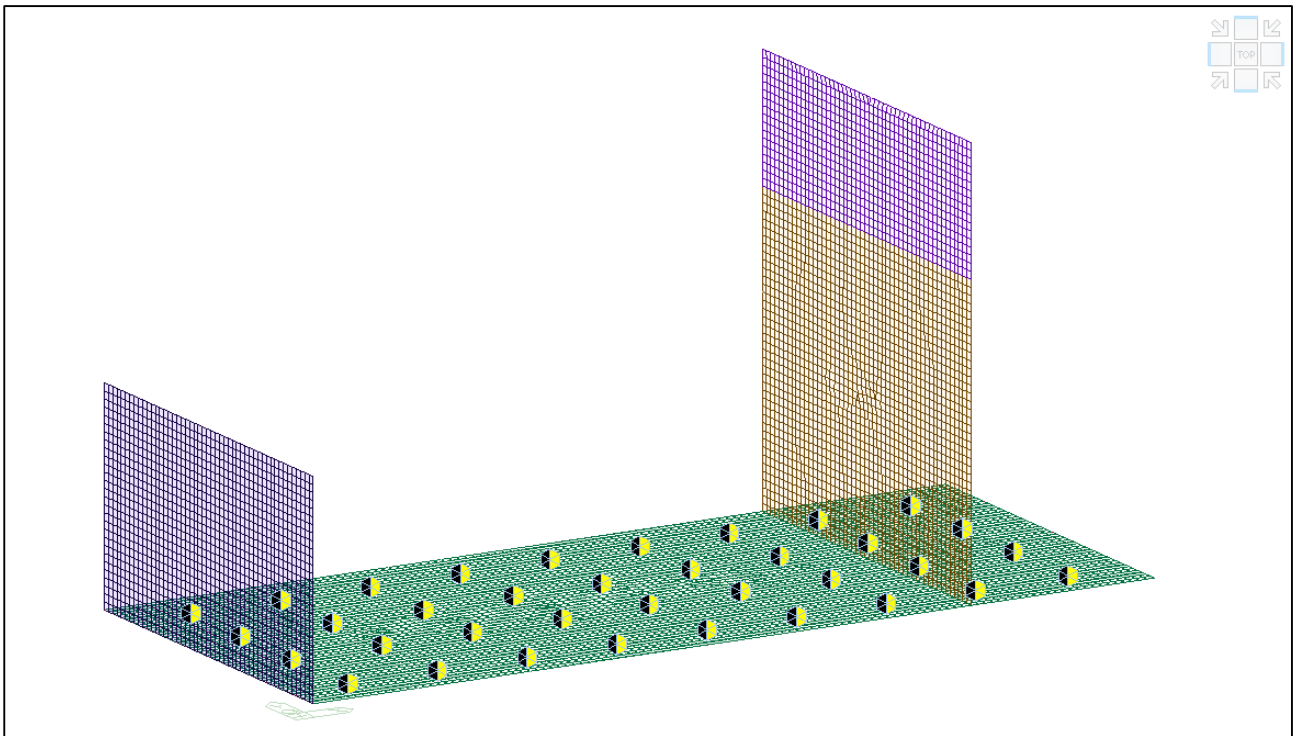
$$K_V = \frac{E * A}{L} \qquad K_H = \frac{3 * E * I}{(4 * D)^3}$$

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 ²]	Area palo	785398
I [mm ⁴]	Momento d'inerzia	4.91*10 ¹⁰
L [m]	Lunghezza palo	32.00

$$K_V = 773126 \frac{kN}{m} \qquad K_H = 72499.2 \frac{kN}{m}$$

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



Modello FEM – Identificazione vincoli in corrispondenza dei pali

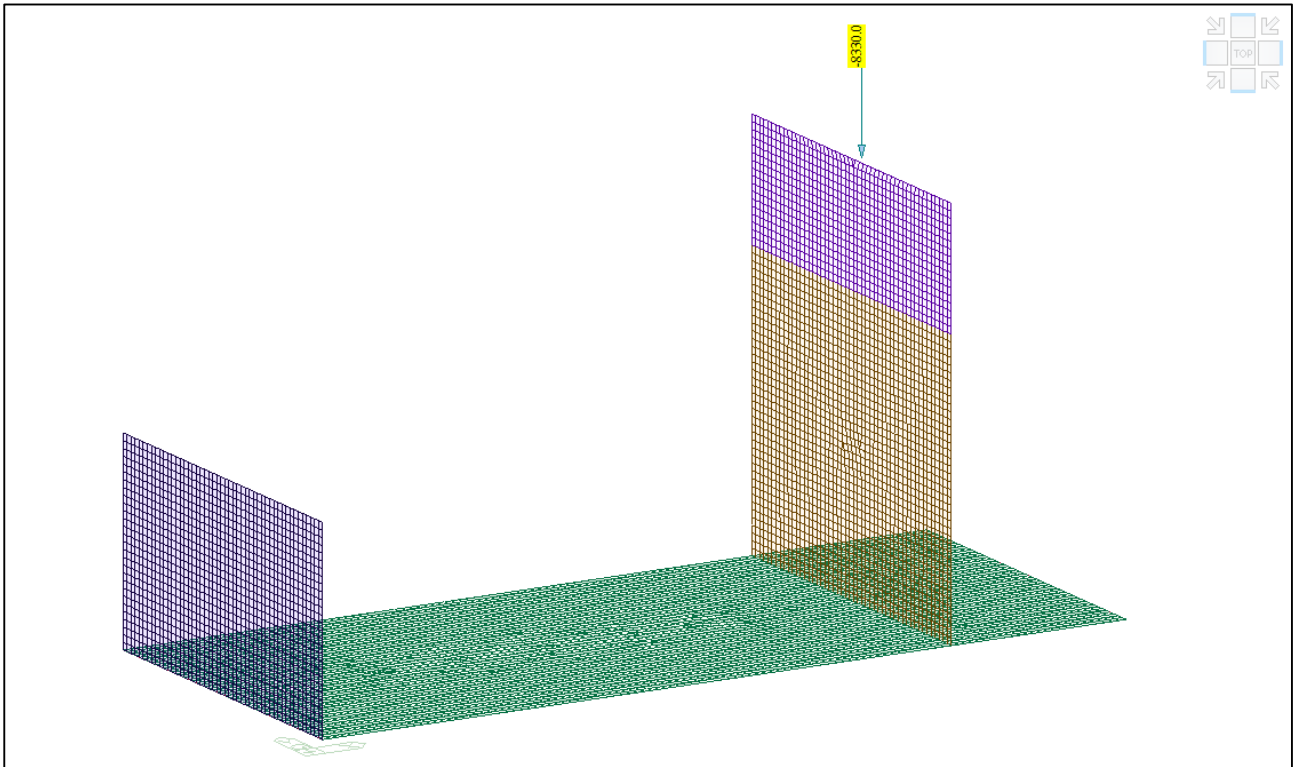
10.1.3 CONDIZIONI DI CARICO STATICO

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 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.

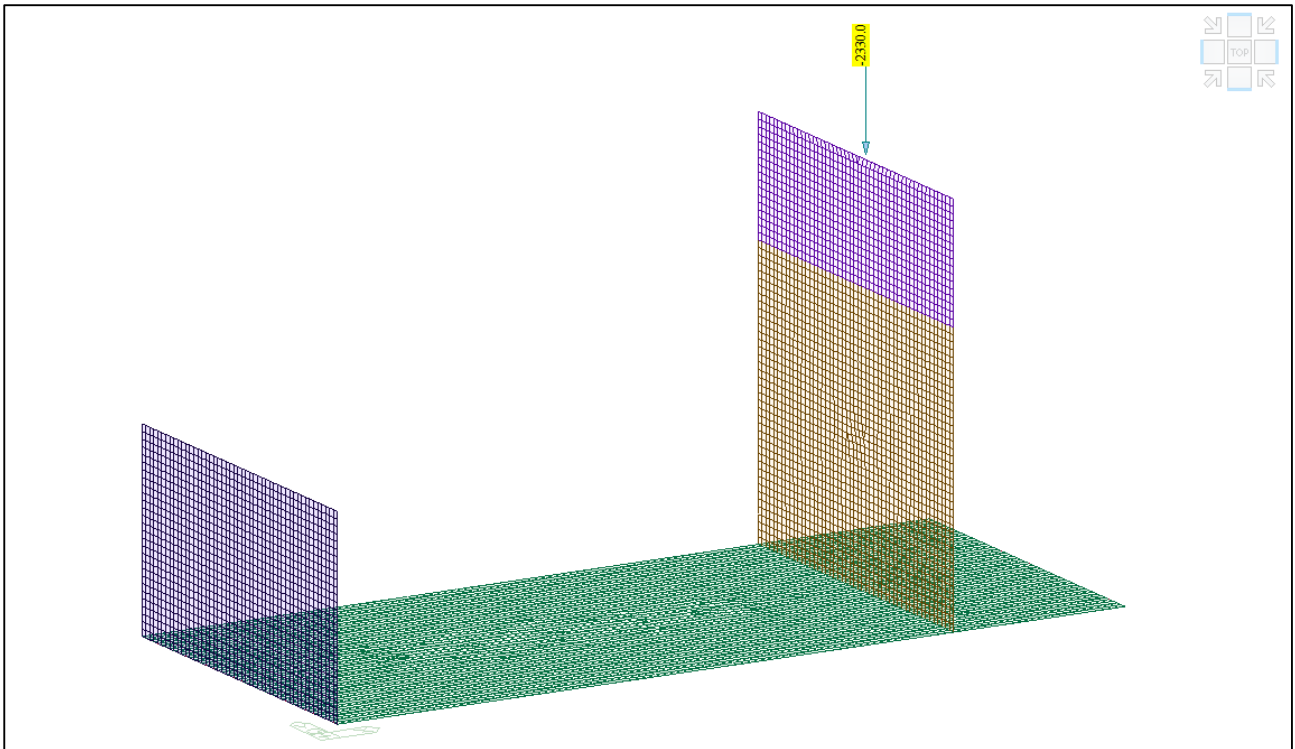
Il peso proprio della spalla genera delle azioni che sono calcolate in automatico dal software ad elementi finiti.



Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostrutture, fondazioni
e muri andatori



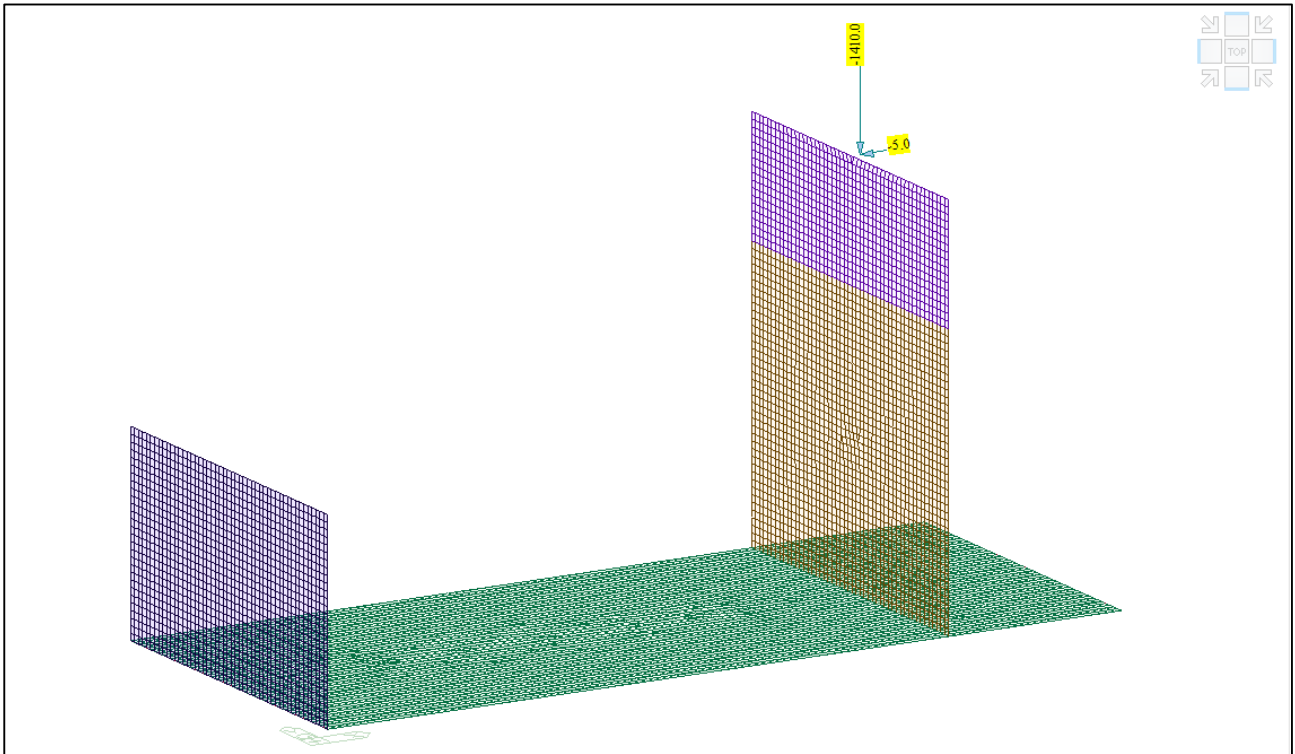
Modello FEM – Condizione di carico Peso proprio impalcato



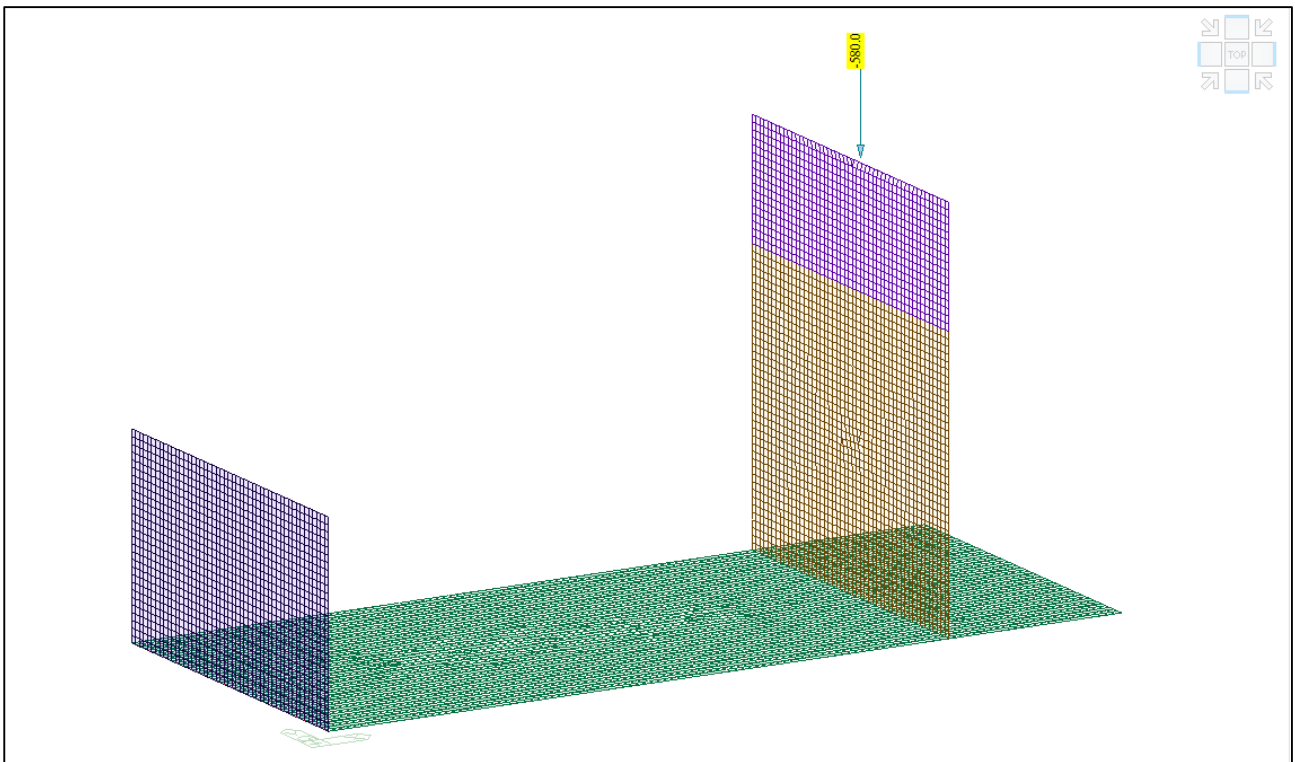
Modello FEM – Condizione di carico Permanente



Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostrutture, fondazioni
e muri andatori



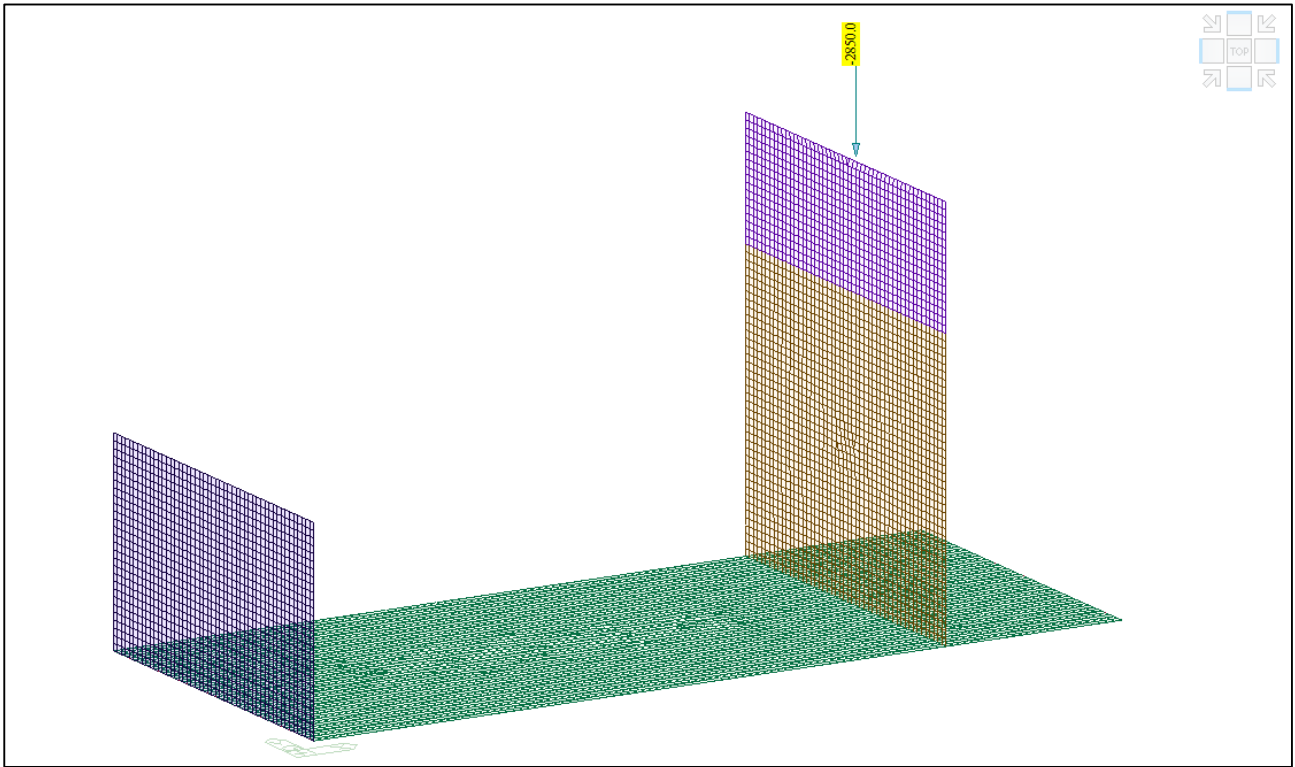
Modello FEM – Condizione di carico Ritiro



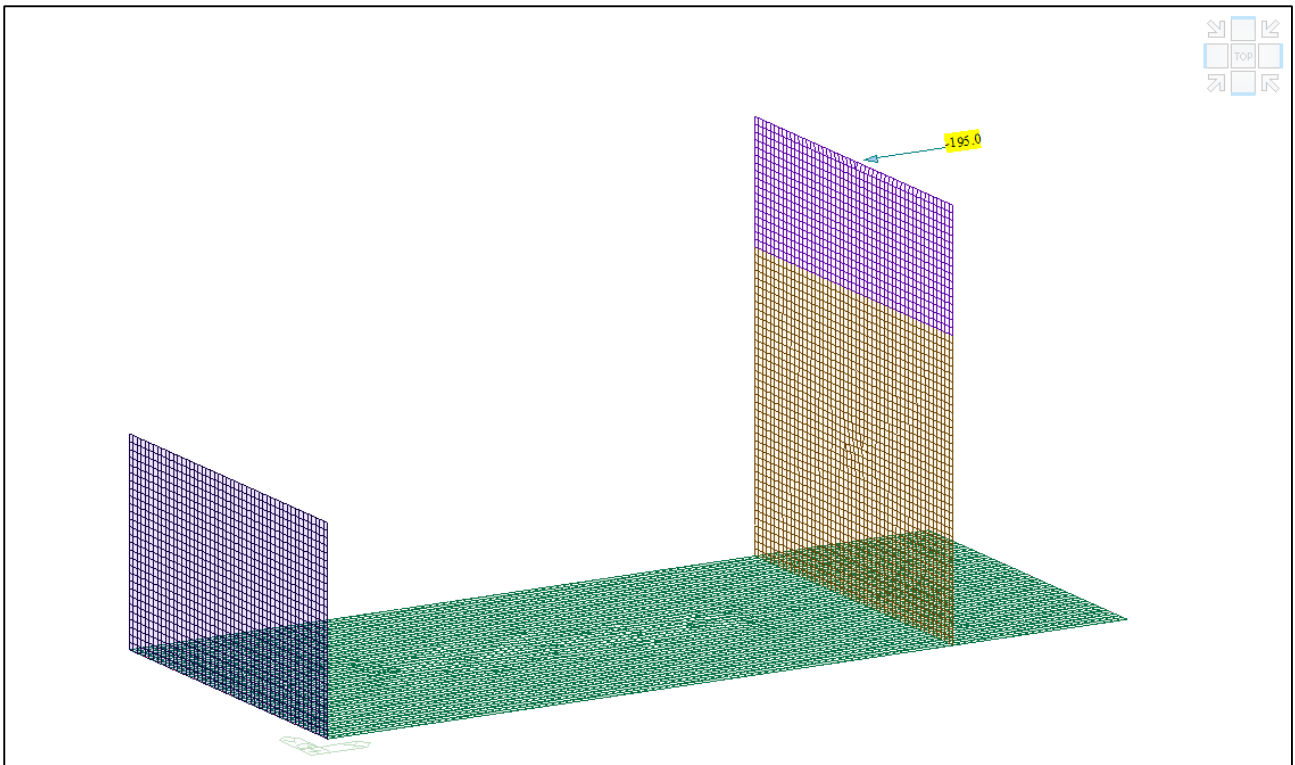
Modello FEM – Condizione di carico Disp 1D



Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostrutture, fondazioni
e muri andatori



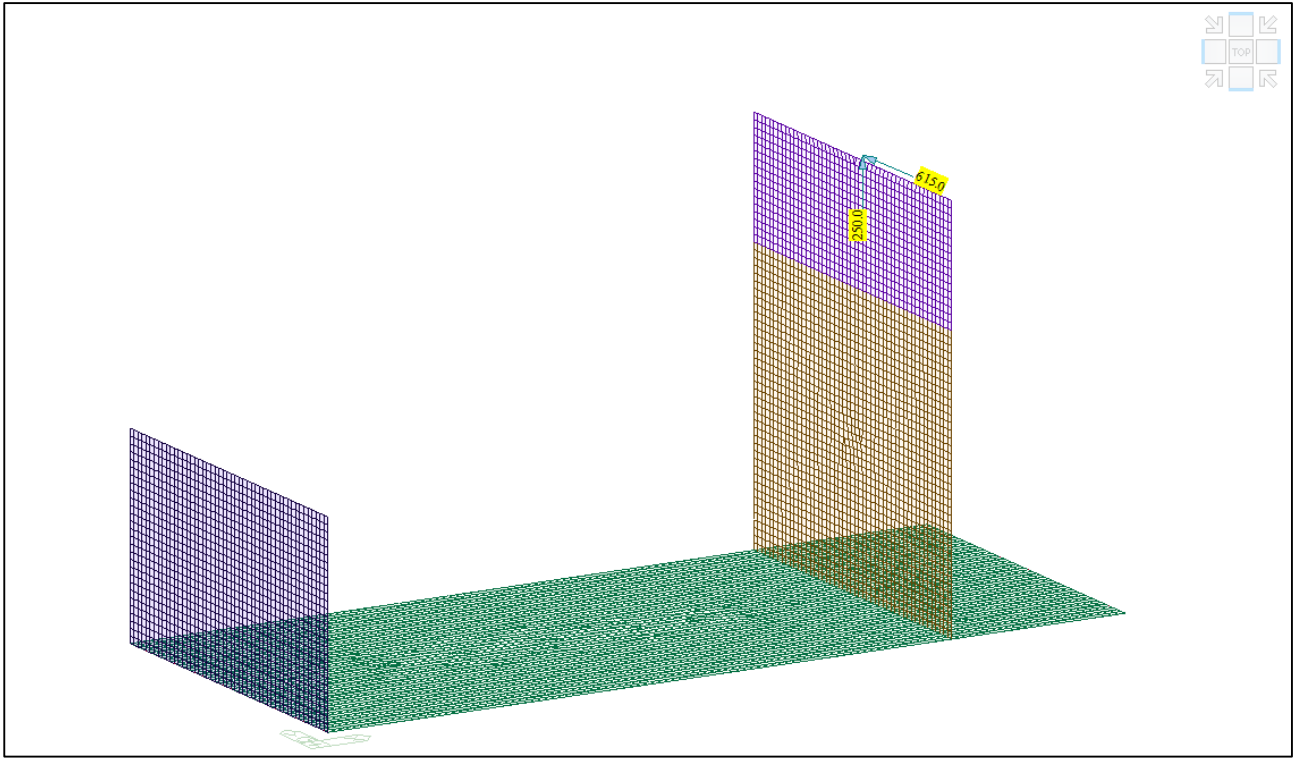
Modello FEM – Condizione di carico Disp 3D



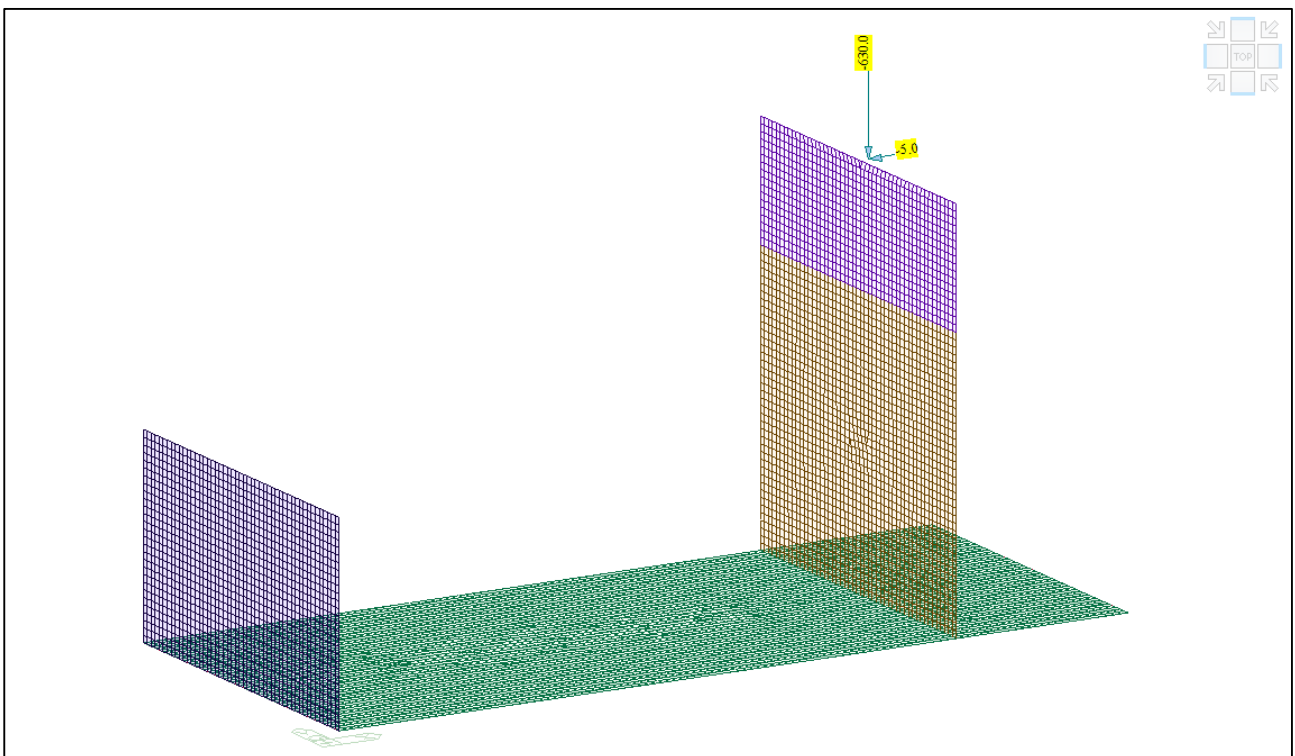


Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostrutture, fondazioni
e muri andatori

Modello FEM – Condizione di carico Frenamento

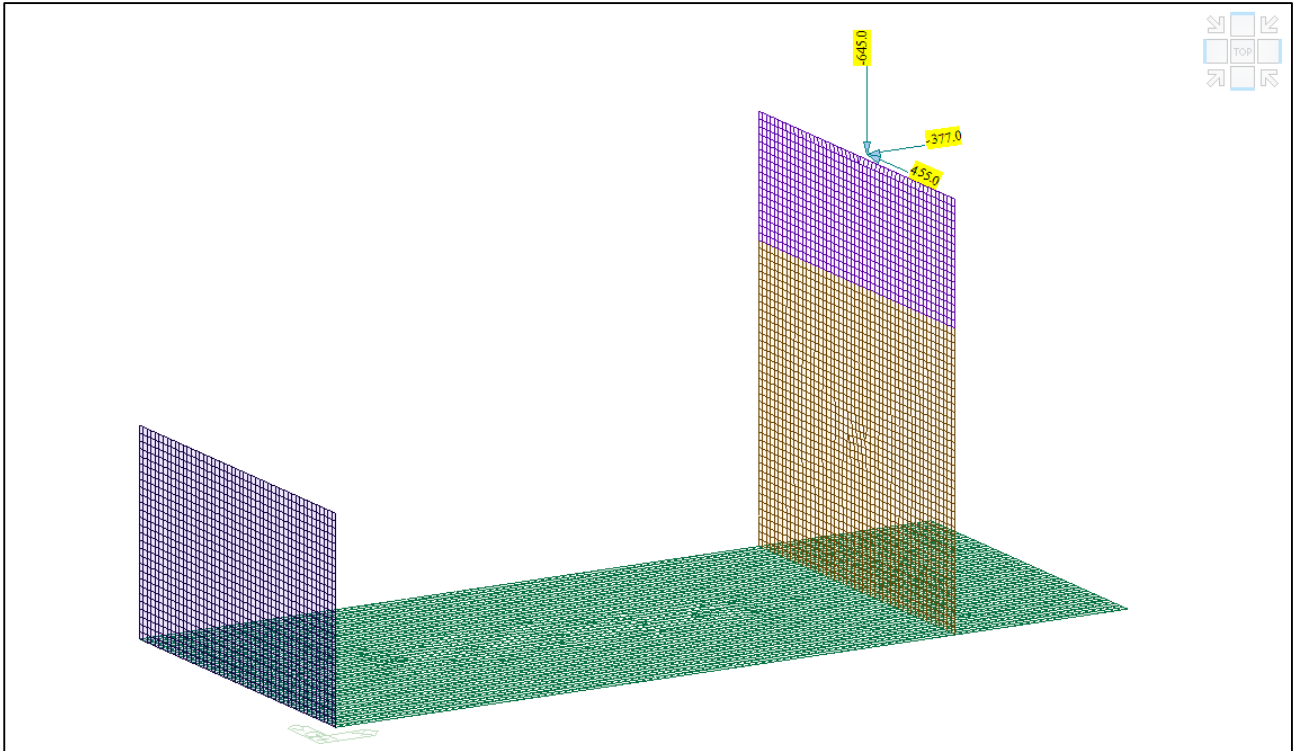


Modello FEM – Condizione di carico Vento

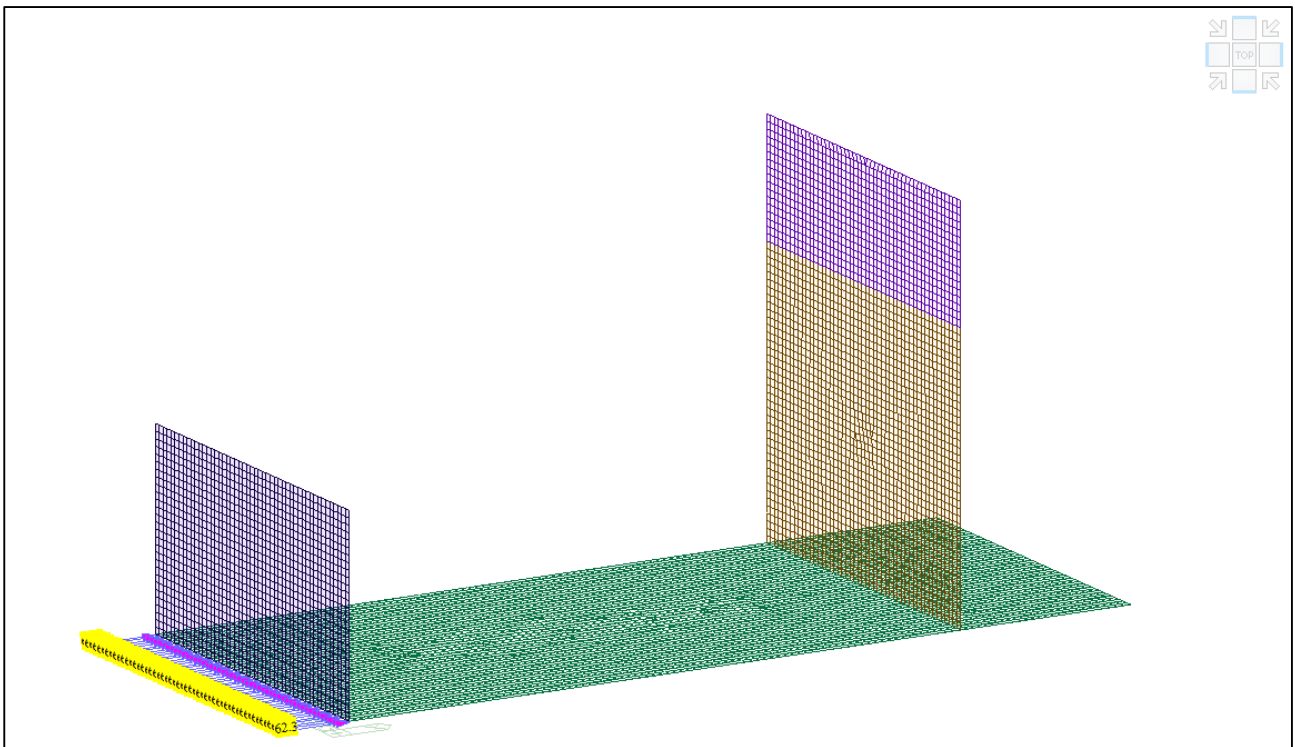




Modello FEM – Condizione di carico Termico



Modello FEM – Condizione di carico Sisma impalcato

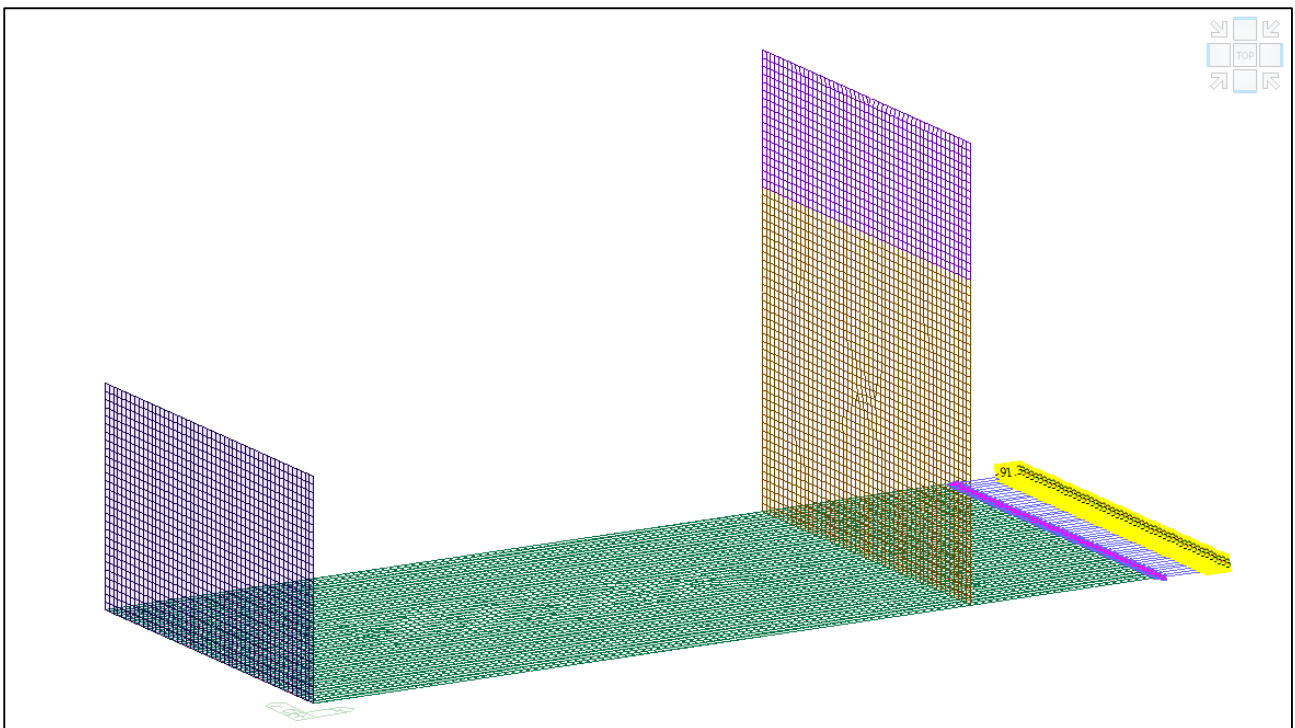




Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostruttura, fondazioni
e muri andatori

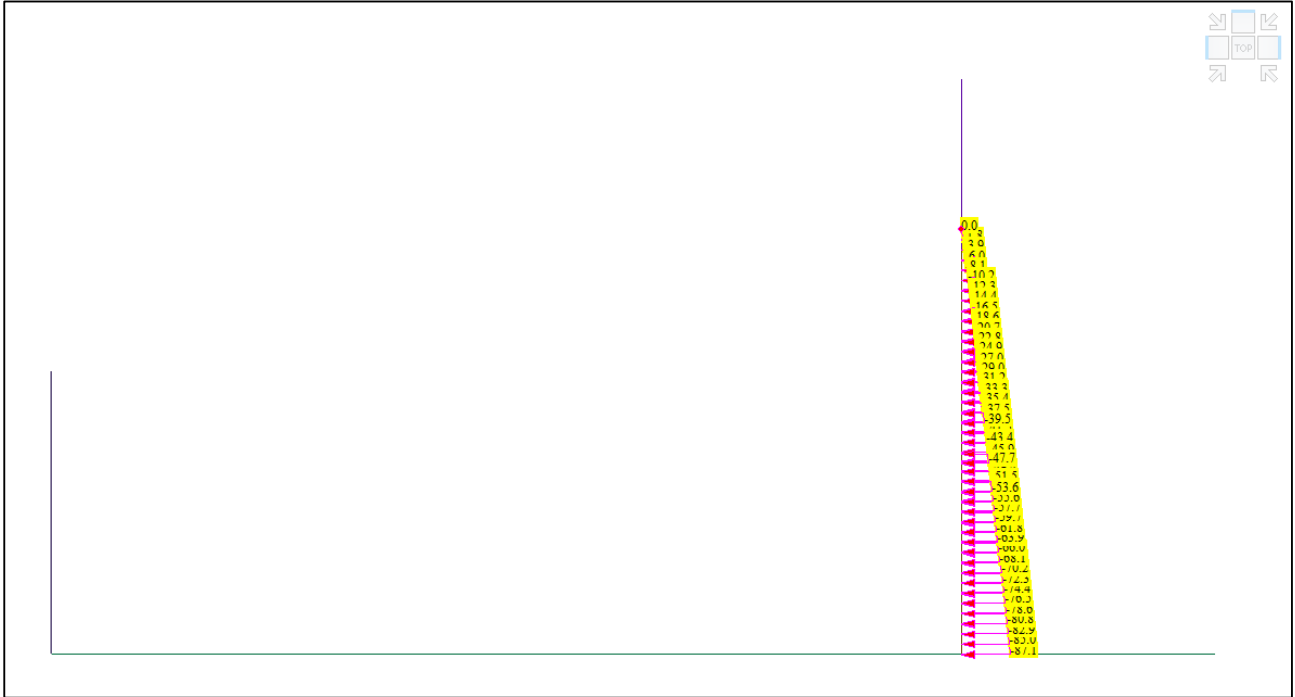


Modello FEM – Condizione di carico Spinta delle terre X+

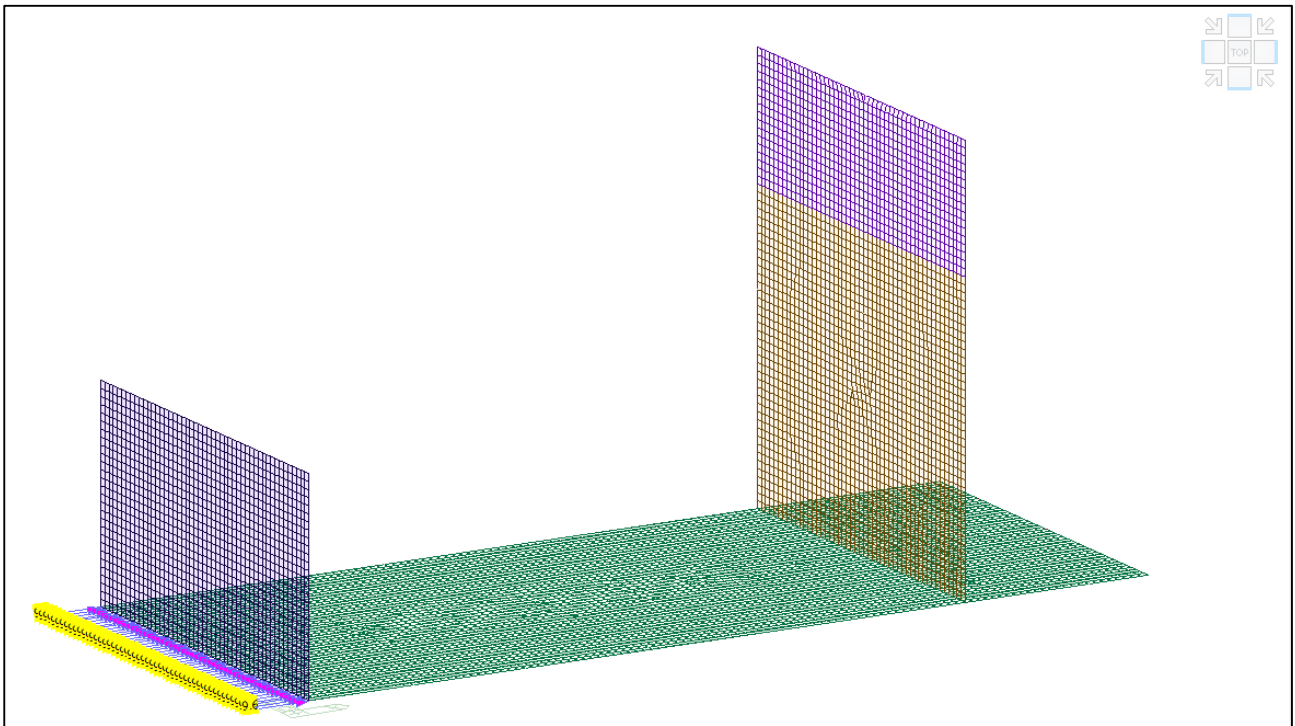




Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostruttura, fondazioni
e muri andatori



Modello FEM – Condizione di carico Spinta delle terre X-

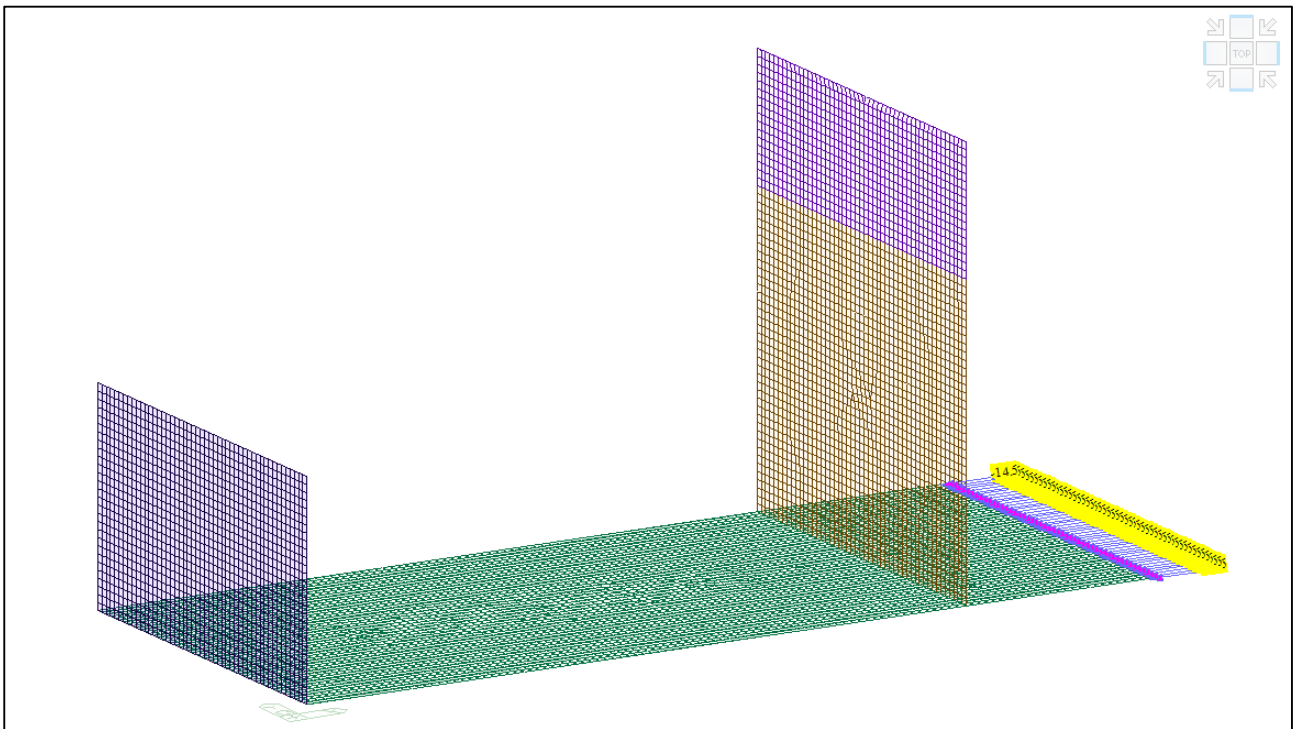




Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostruttura, fondazioni
e muri andatori

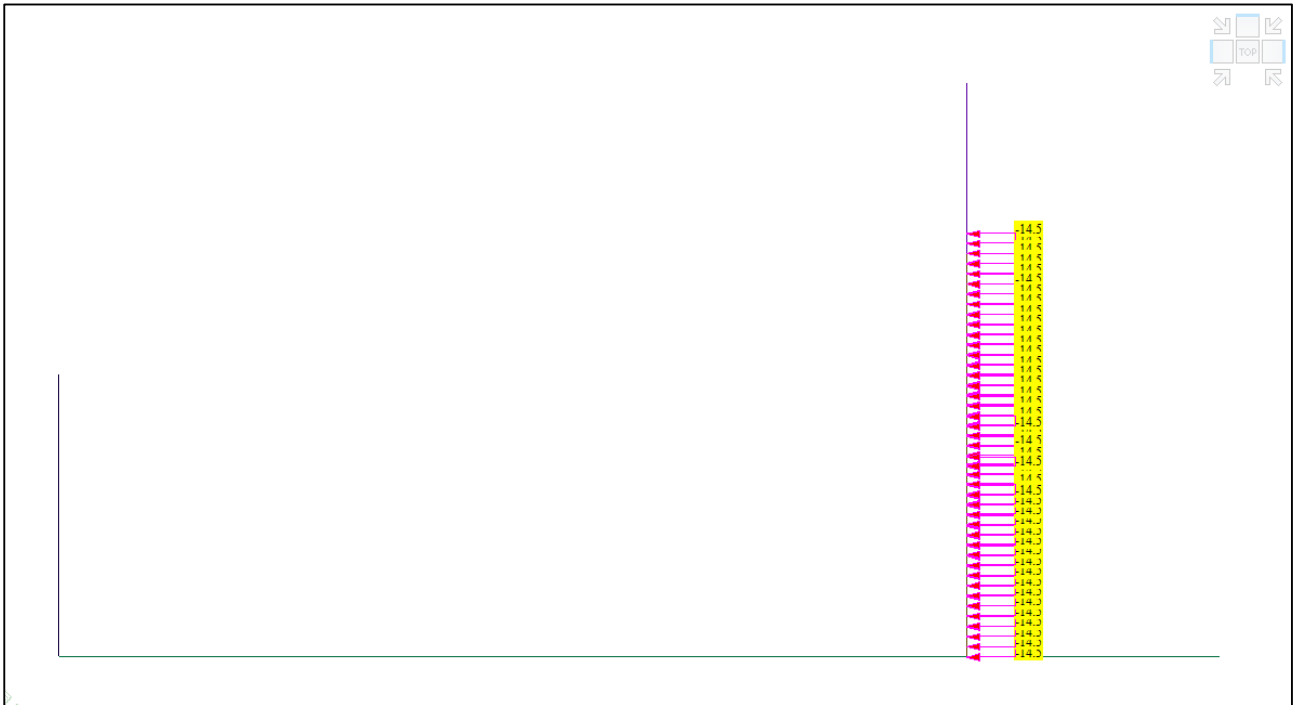


Modello FEM – Condizione di carico Spinta Wood X+

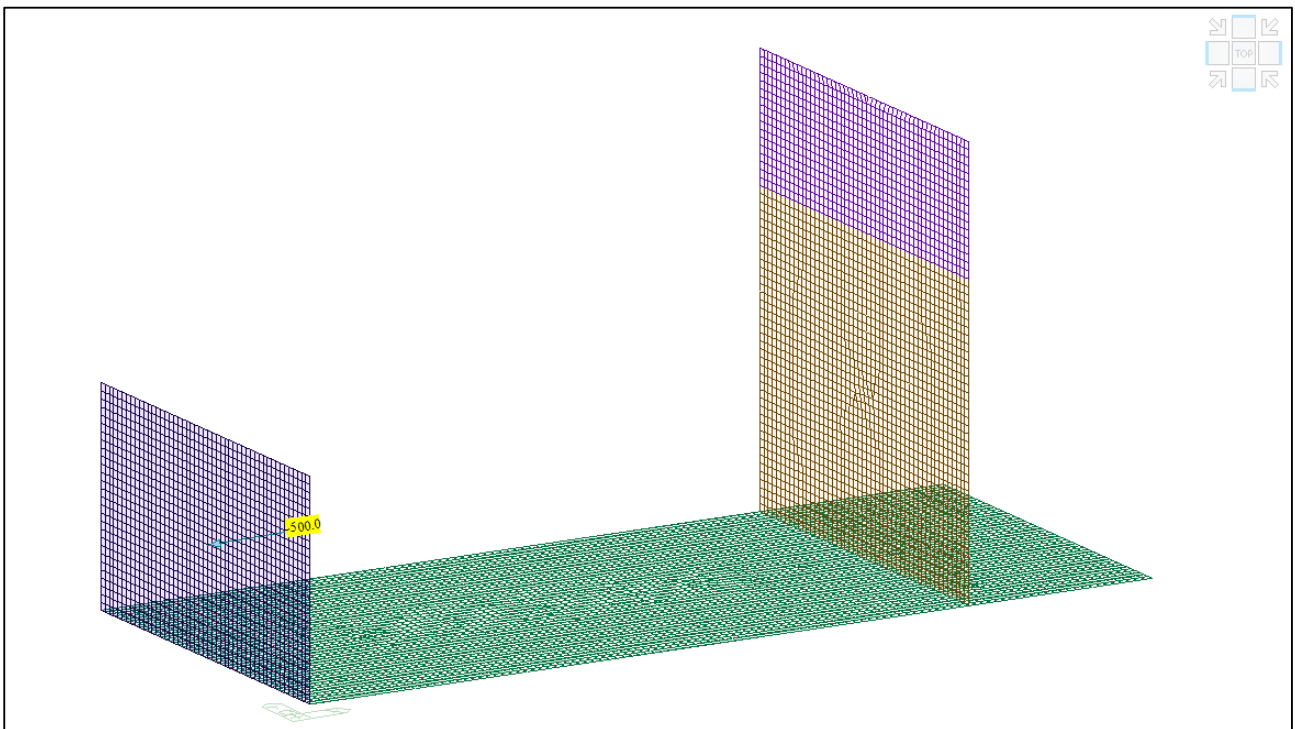




Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostrutture, fondazioni
e muri andatori

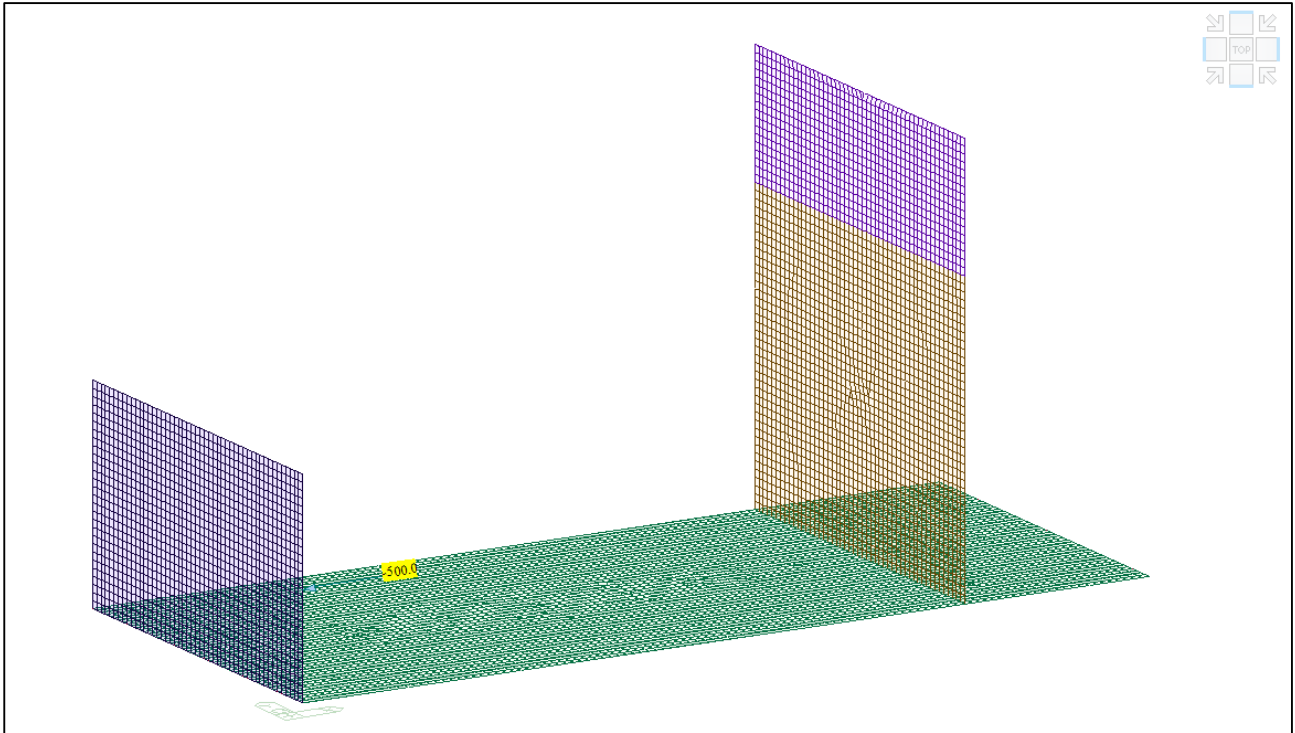


Modello FEM – Condizione di carico Spinta Wood X-





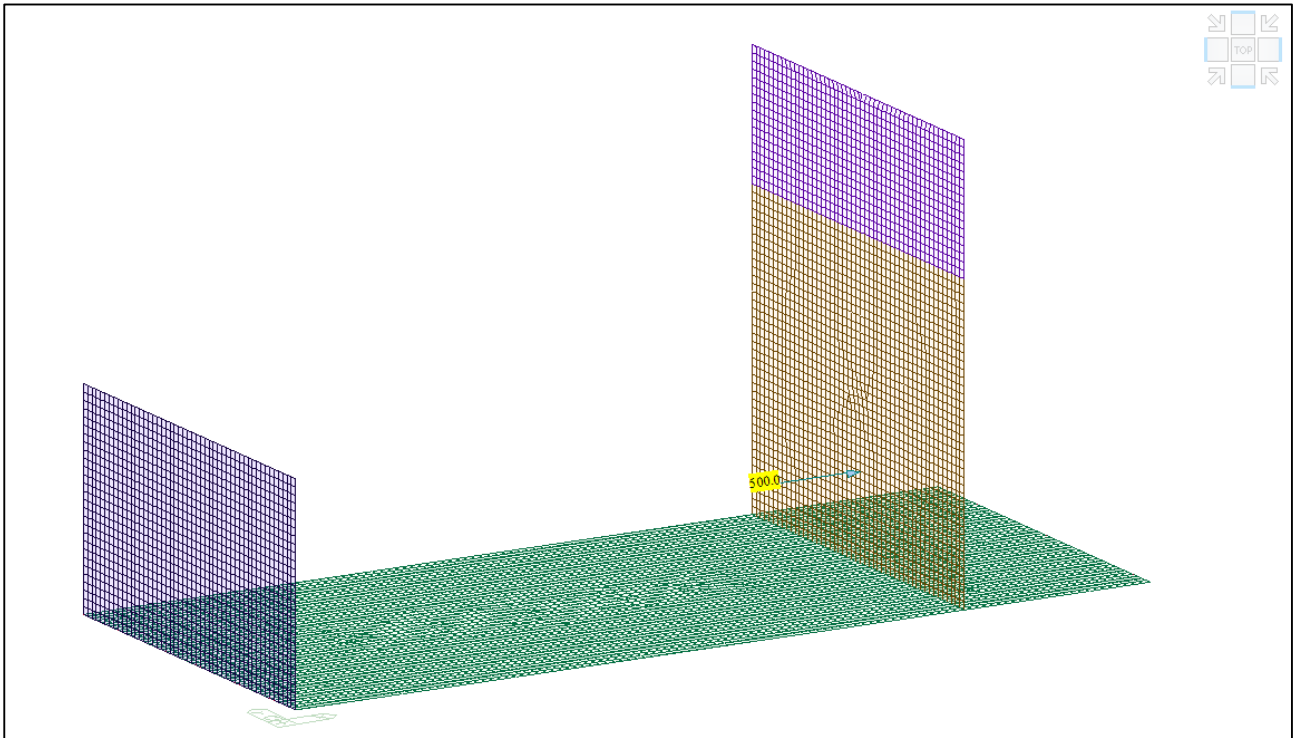
Modello FEM – Condizione di carico Urto 1



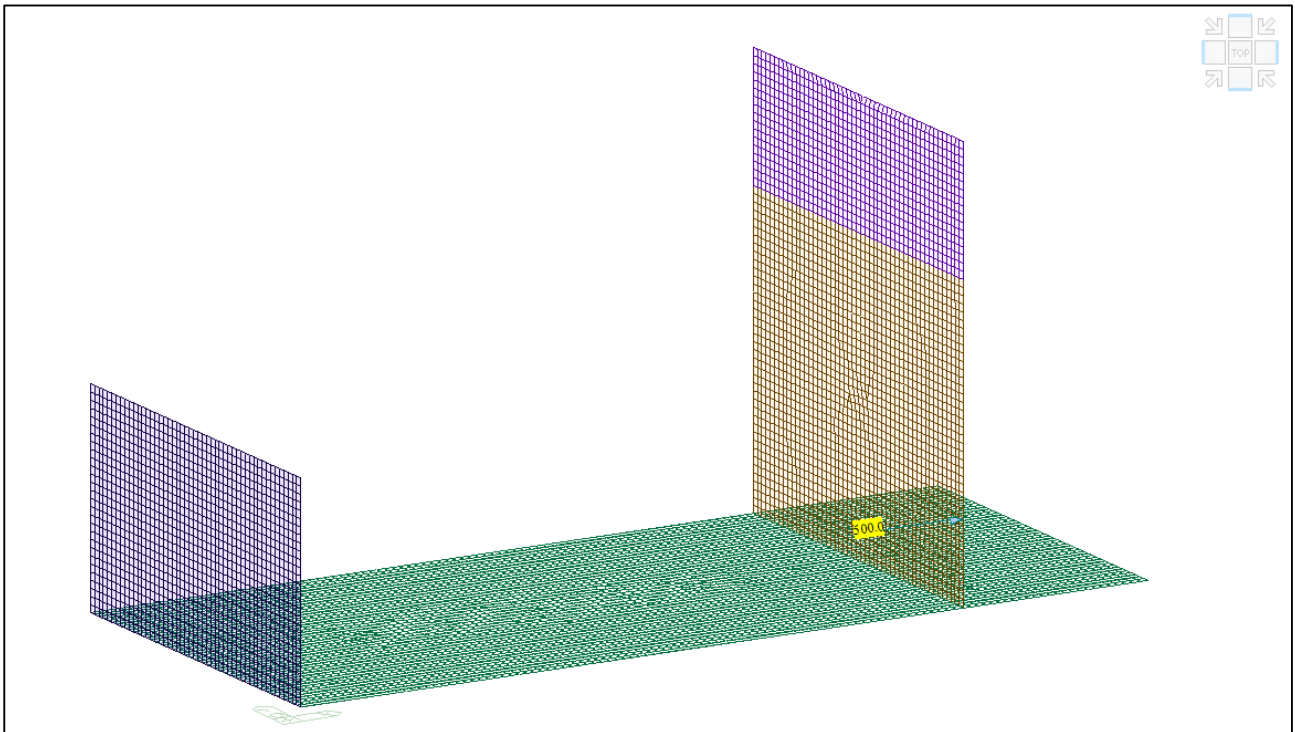
Modello FEM – Condizione di carico Urto 2



Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostrutture, fondazioni
e muri andatori



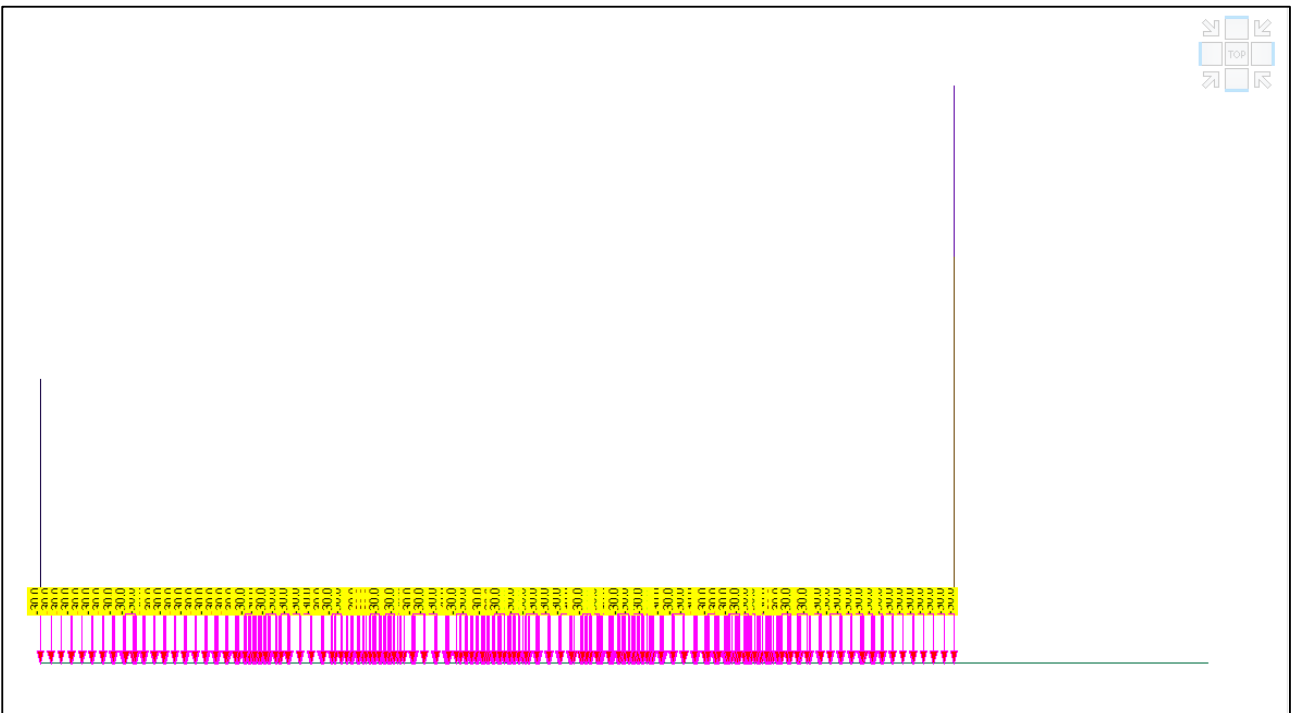
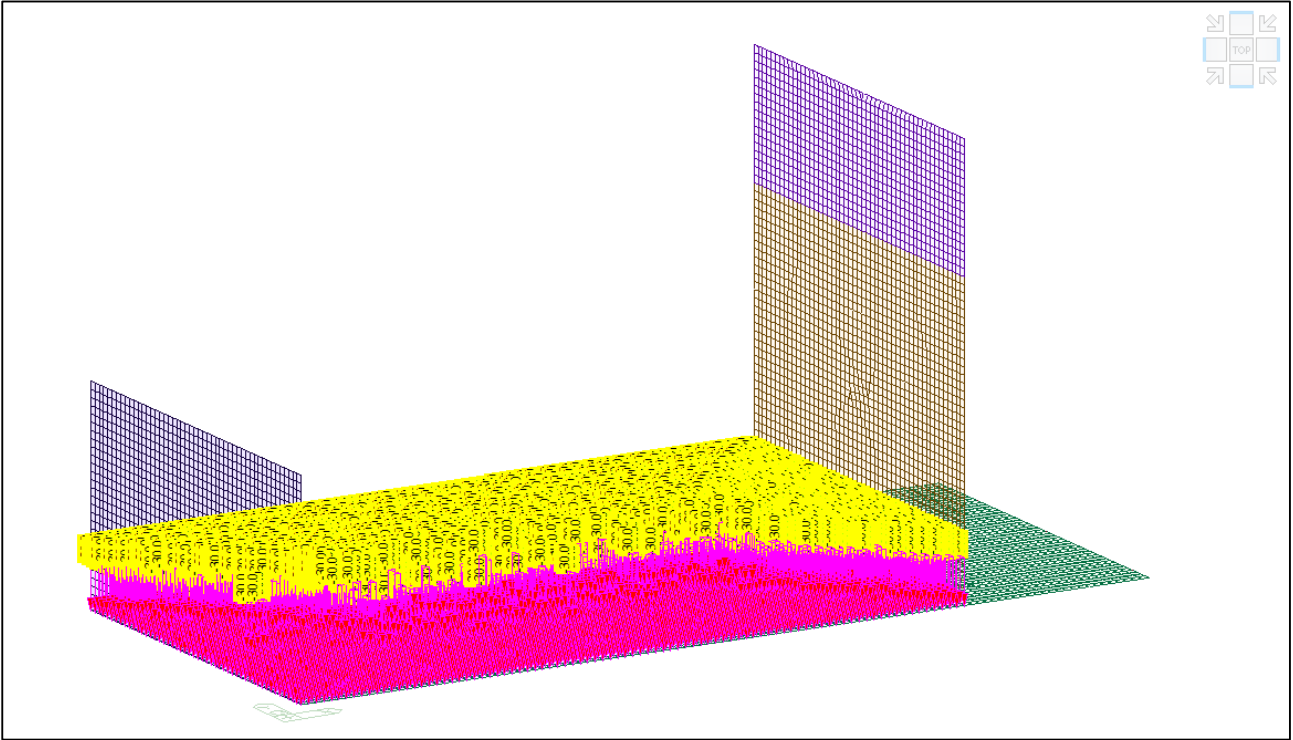
Modello FEM – Condizione di carico Urto 3



Modello FEM – Condizione di carico Urto 4



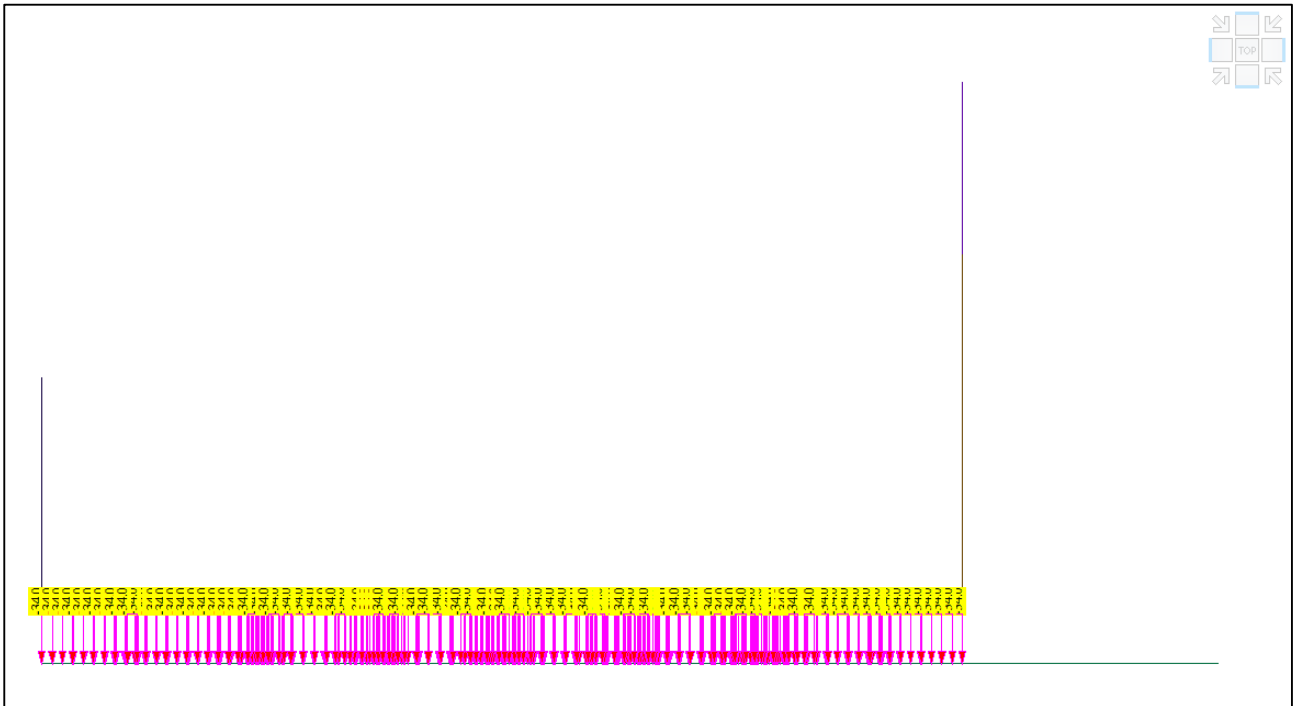
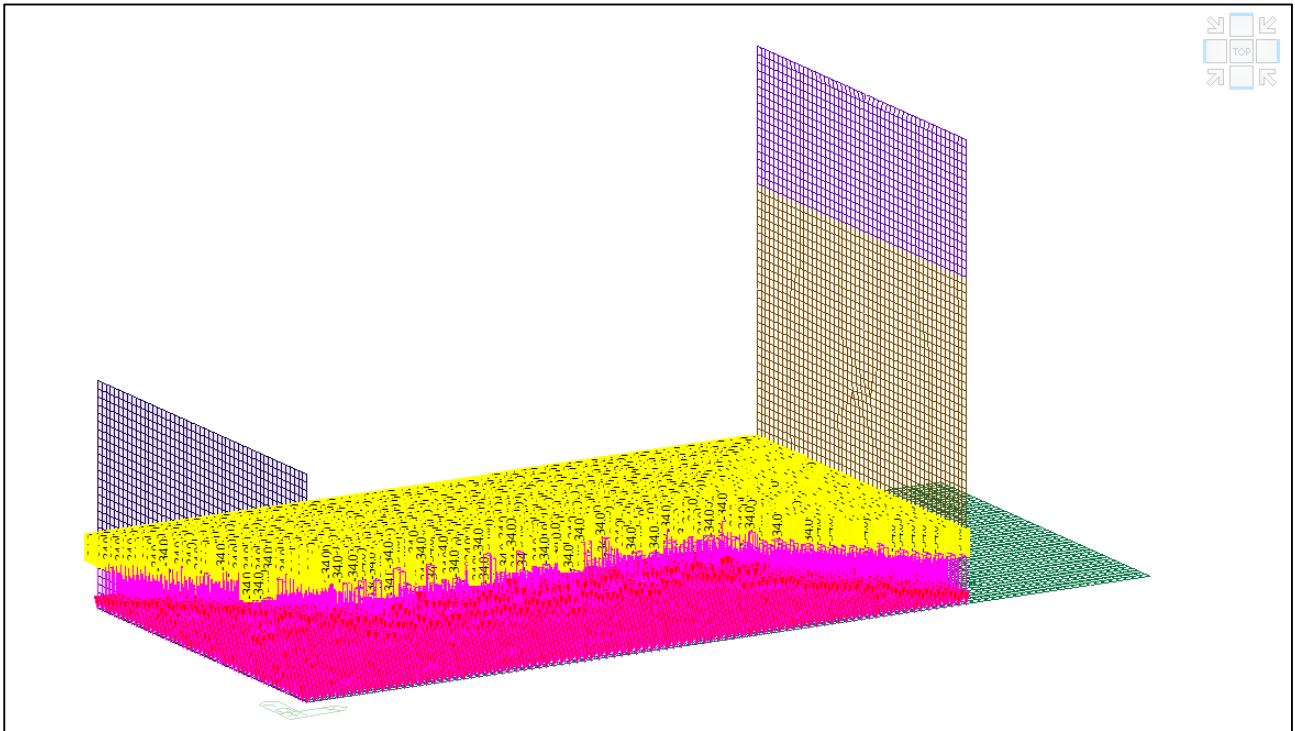
Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostruttura, fondazioni
e muri andatori



Modello FEM – Condizione di carico Ricoprimento



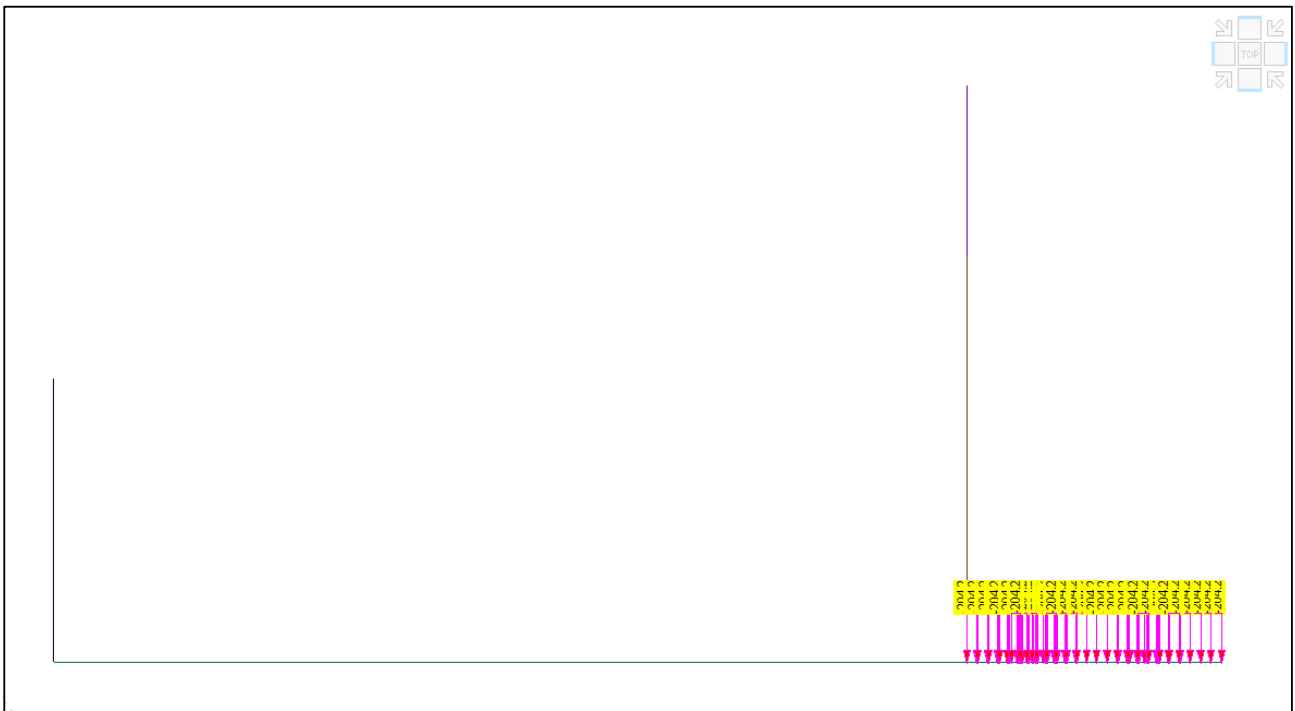
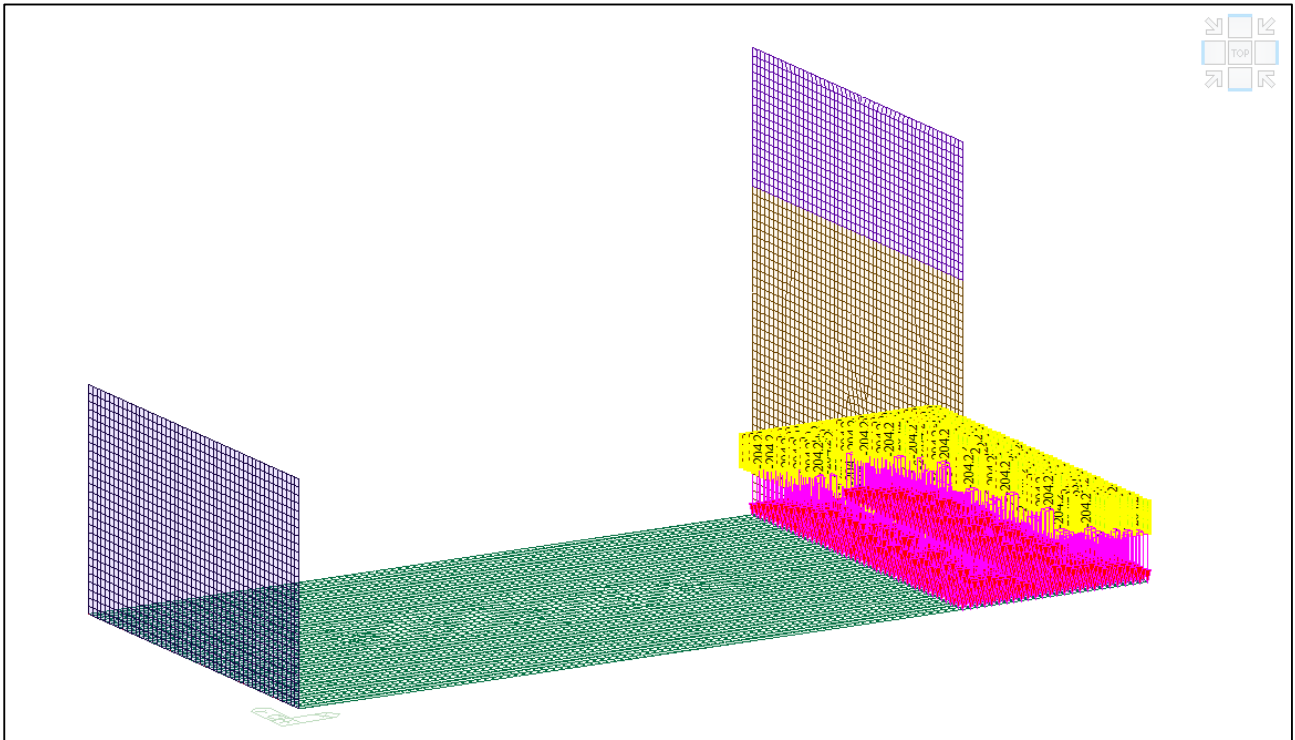
Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostrutture, fondazioni
e muri andatori



Modello FEM – Condizione di Carico distribuito



Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostruttura, fondazioni
e muri andatori



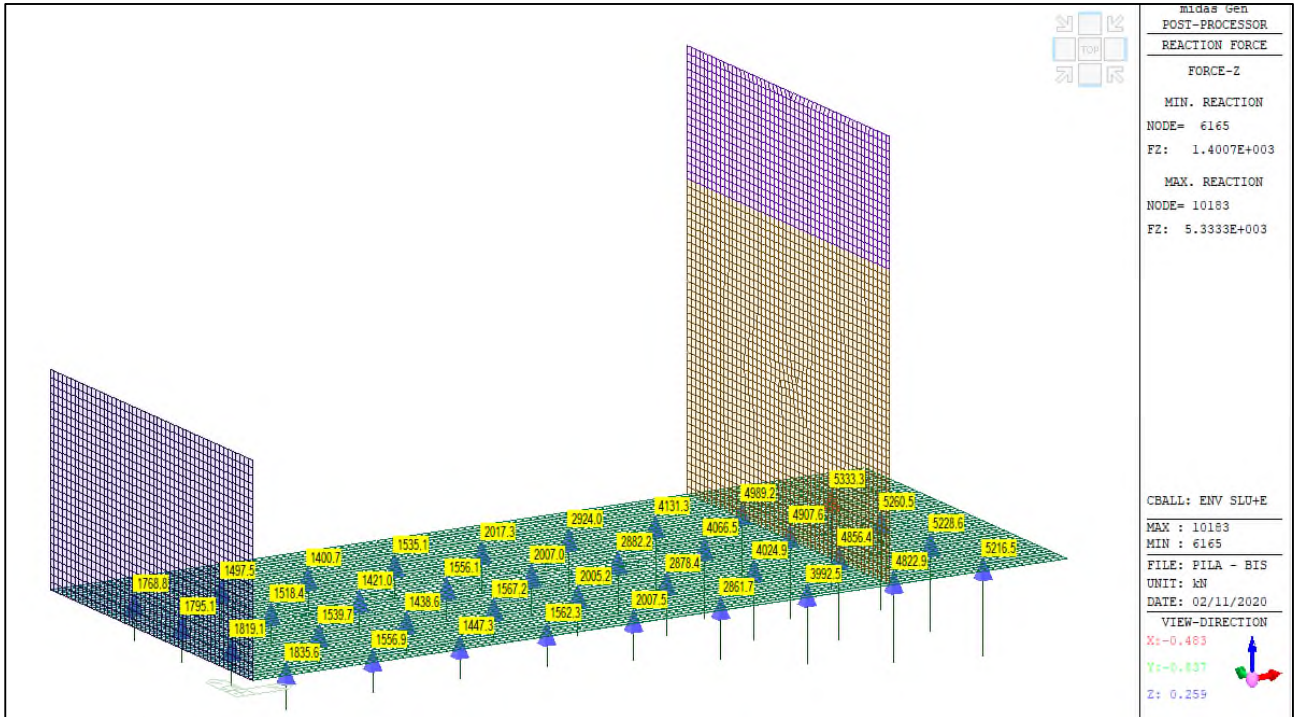
Modello FEM – Condizione di Peso terreno



10.2 RISULTATI ANALISI STRUTTURALE

10.2.1 REAZIONI VINCOLARI

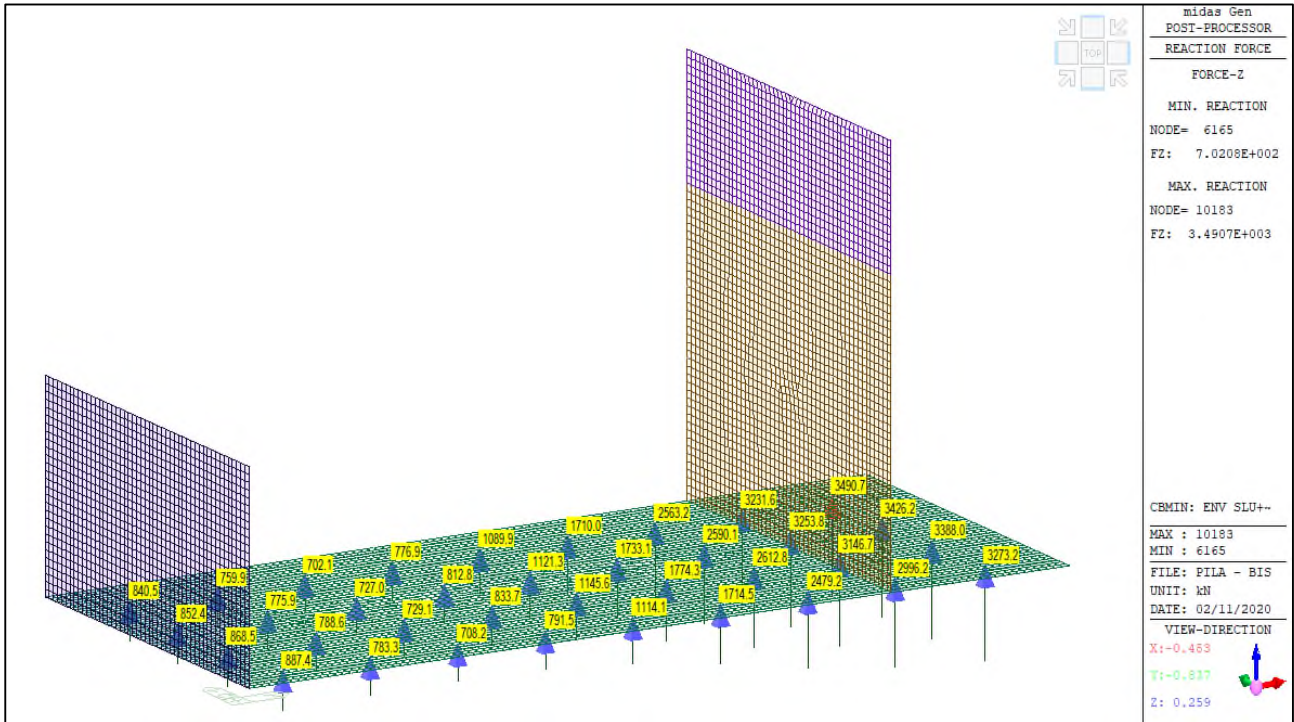
Si presentano le reazioni vincolari massime che si sviluppano agli stati limite SLU+E necessarie per la verifica dei pali



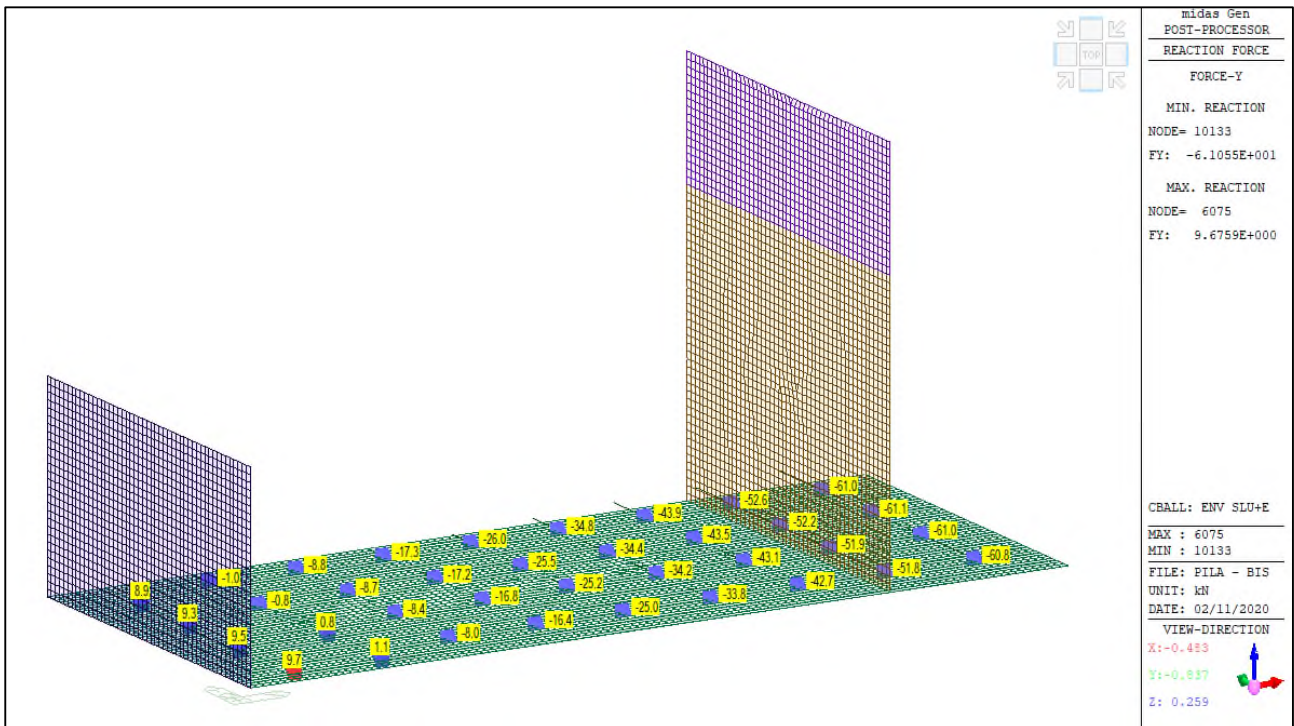
ENV-SLU+E – Reazioni vincolari verticali (Fz) massime



Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostrutture, fondazioni
e muri andatori



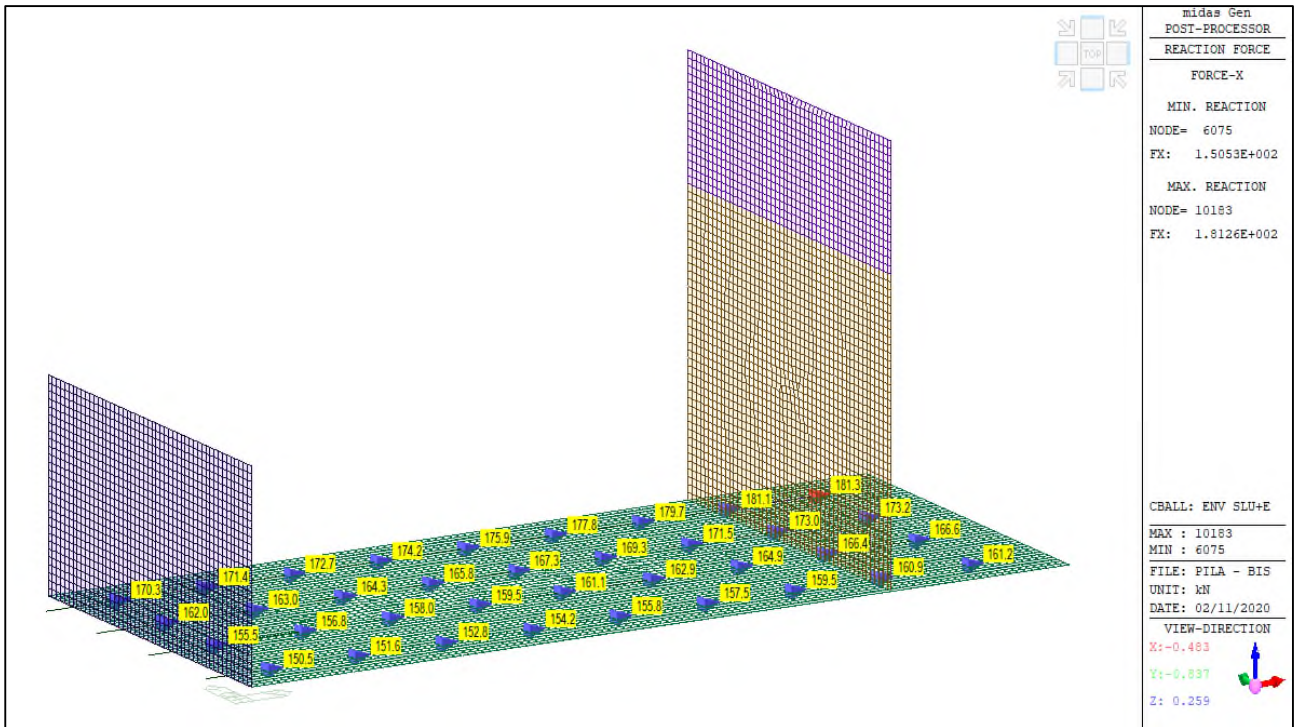
ENV-SLU+E – Reazioni vincolari verticali (Fz) minime



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



Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostrutture, fondazioni
e muri andatori

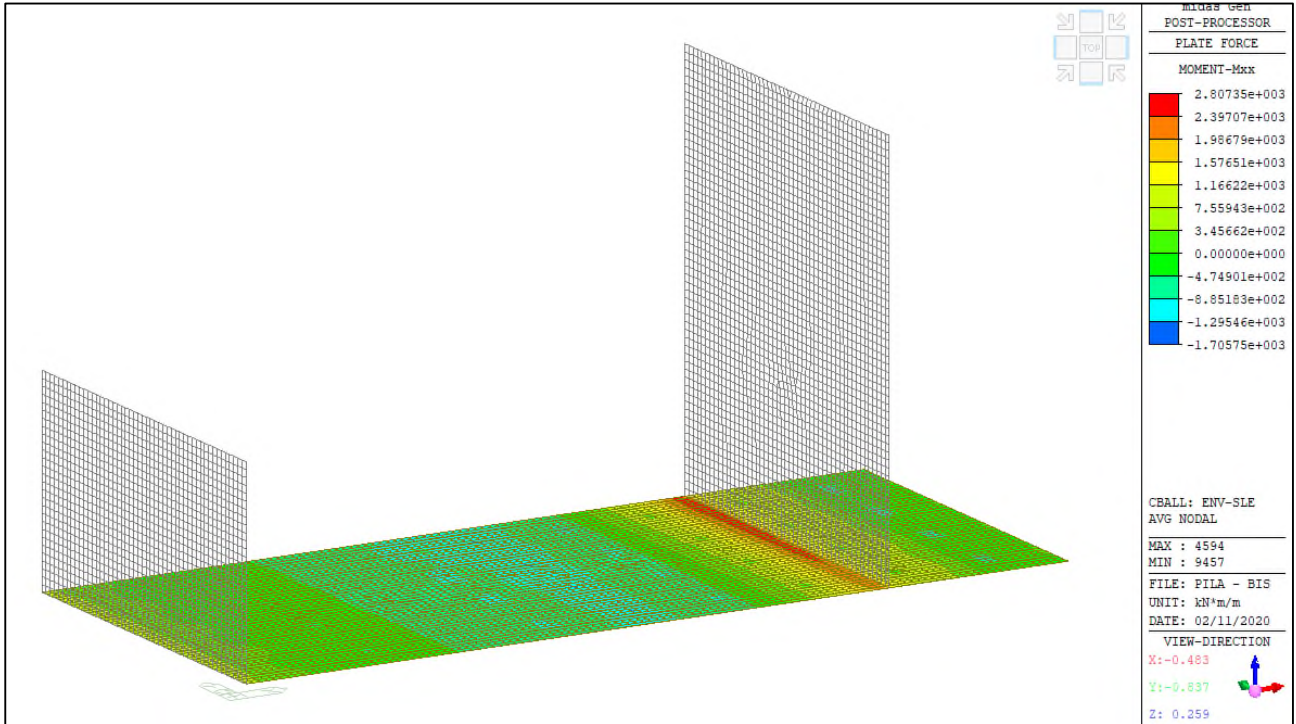


ENV-SLU+E – Reazioni vincolari orizzontali (Fx) massime



10.2.2 DIAGRAMMI AZIONI INTERNE

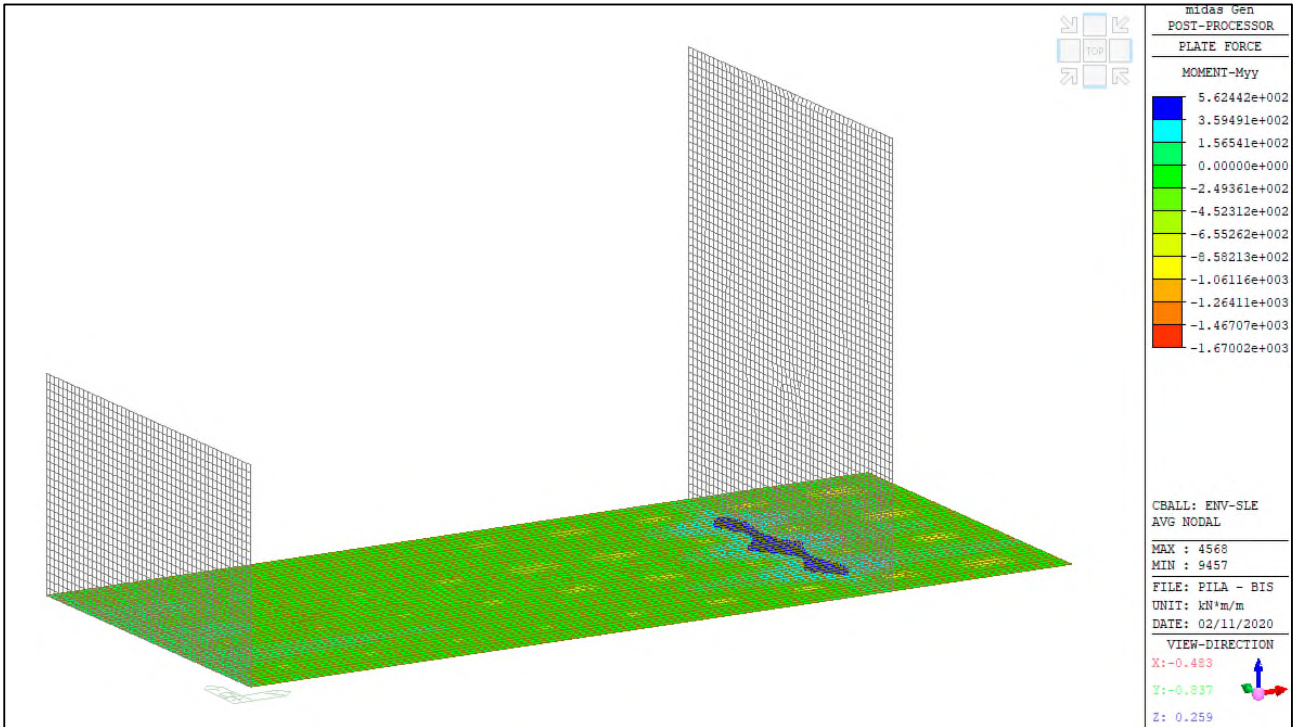
Si riportano i diagrammi involuppo delle azioni interne per le combinazioni allo stato limite di esercizio (ENV-SLE RARA).



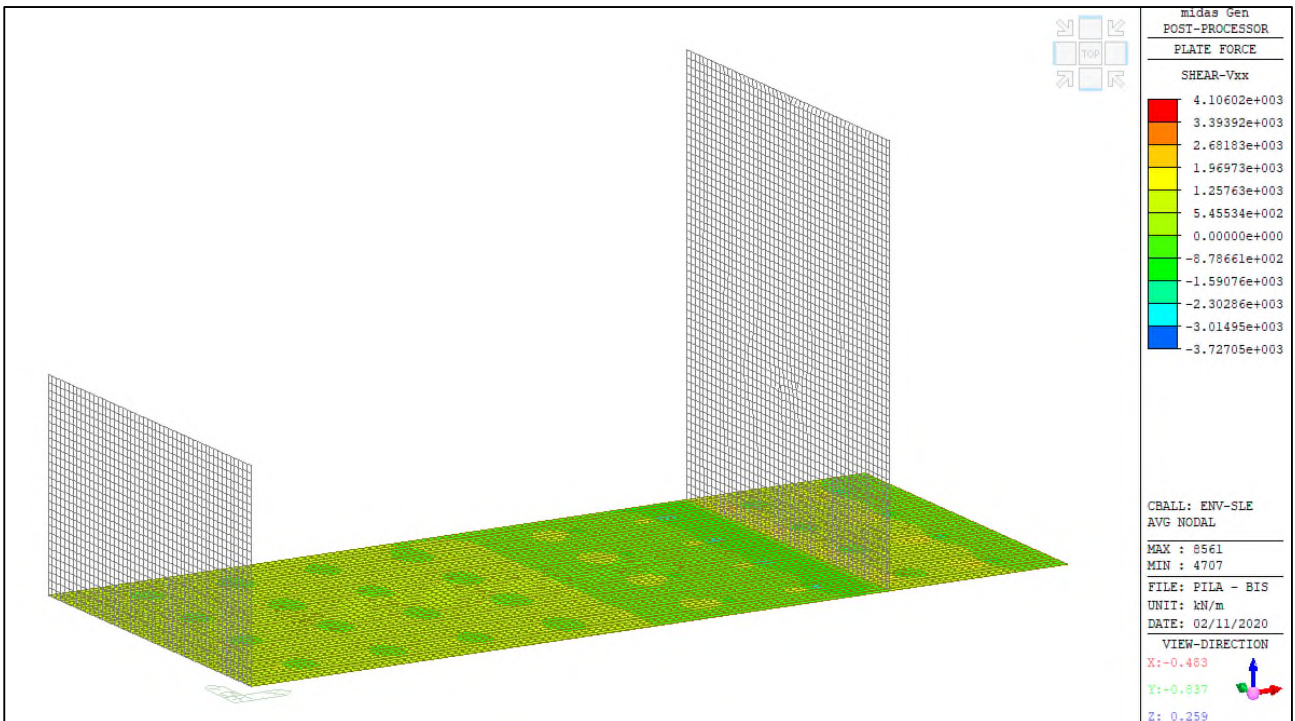
ENV-SLE RARA– Mxx (kNm/m) – Platea



Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostrutture, fondazioni
e muri andatori



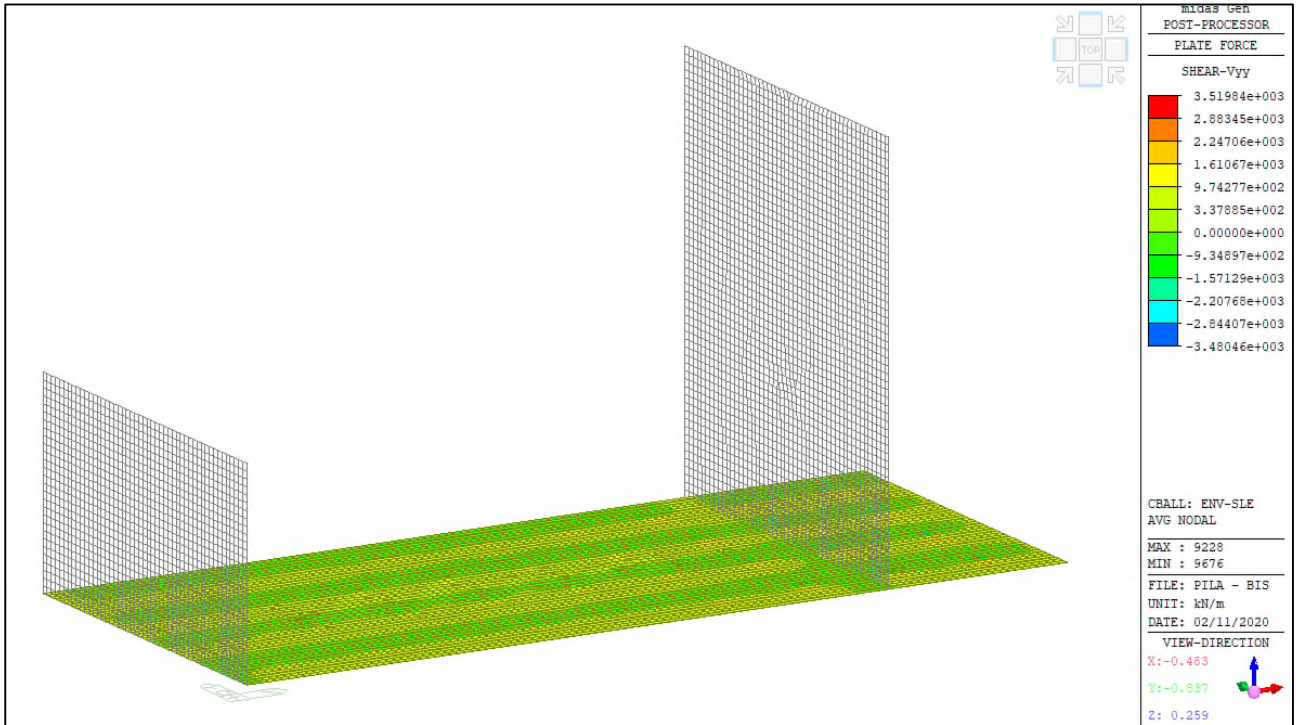
ENV-SLE RARA– Myy (kNm/m) – Platea



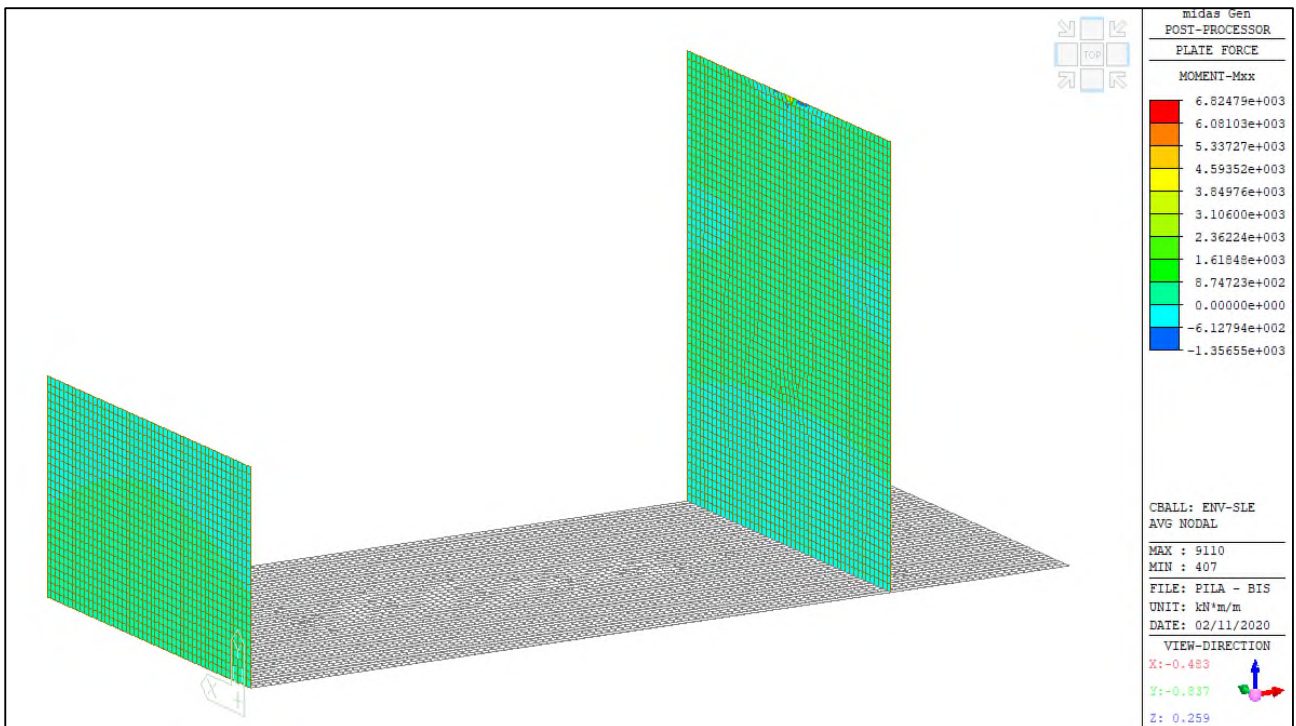
ENV-SLE RARA– Vxx (kN/m) – Platea



Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostrutture, fondazioni
e muri andatori



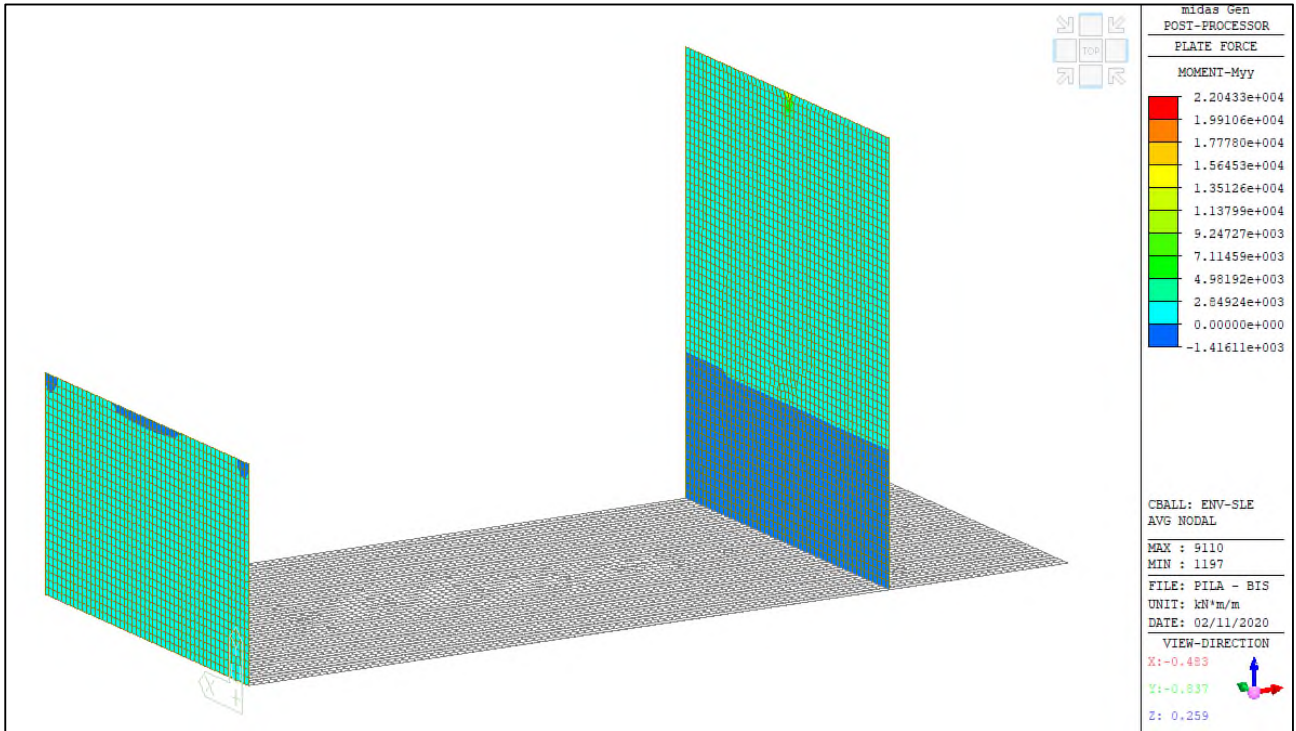
ENV-SLE RARA- Vyy (kN/m) – Platea



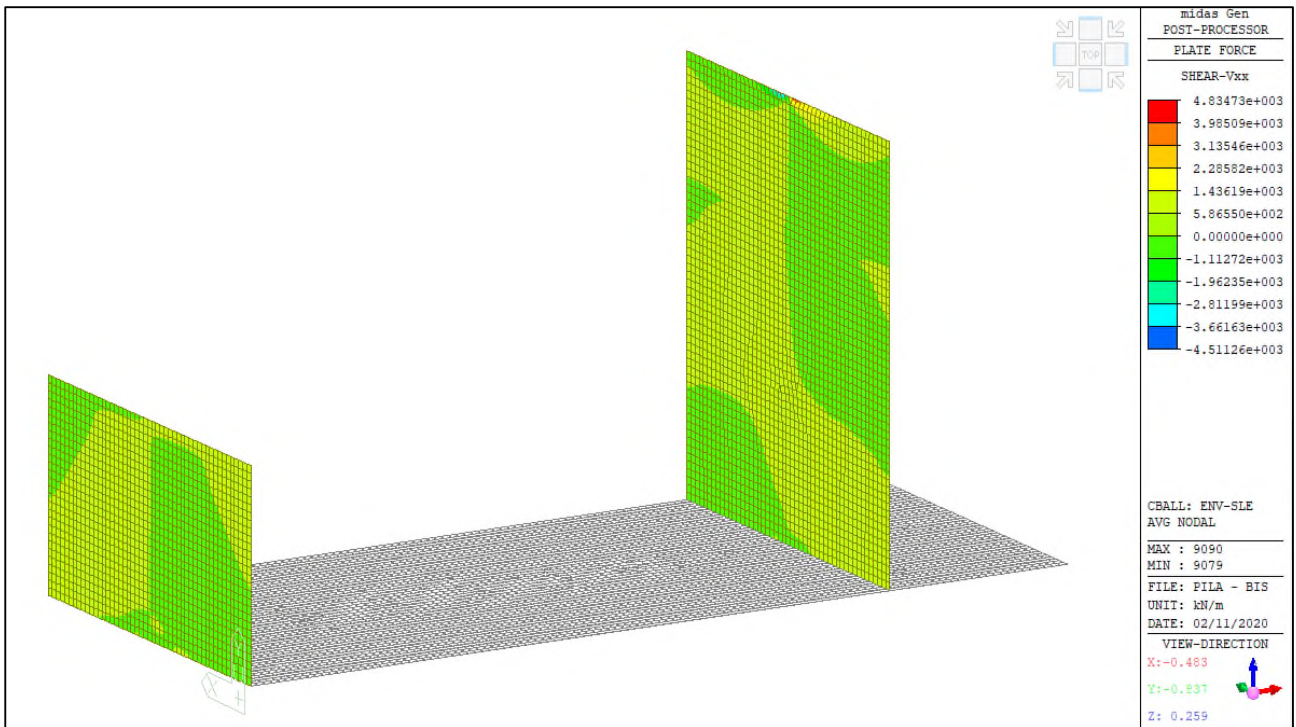
ENV-SLE RARA- Mxx (kNm/m) – Spalle



Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostruttura, fondazioni
e muri andatori



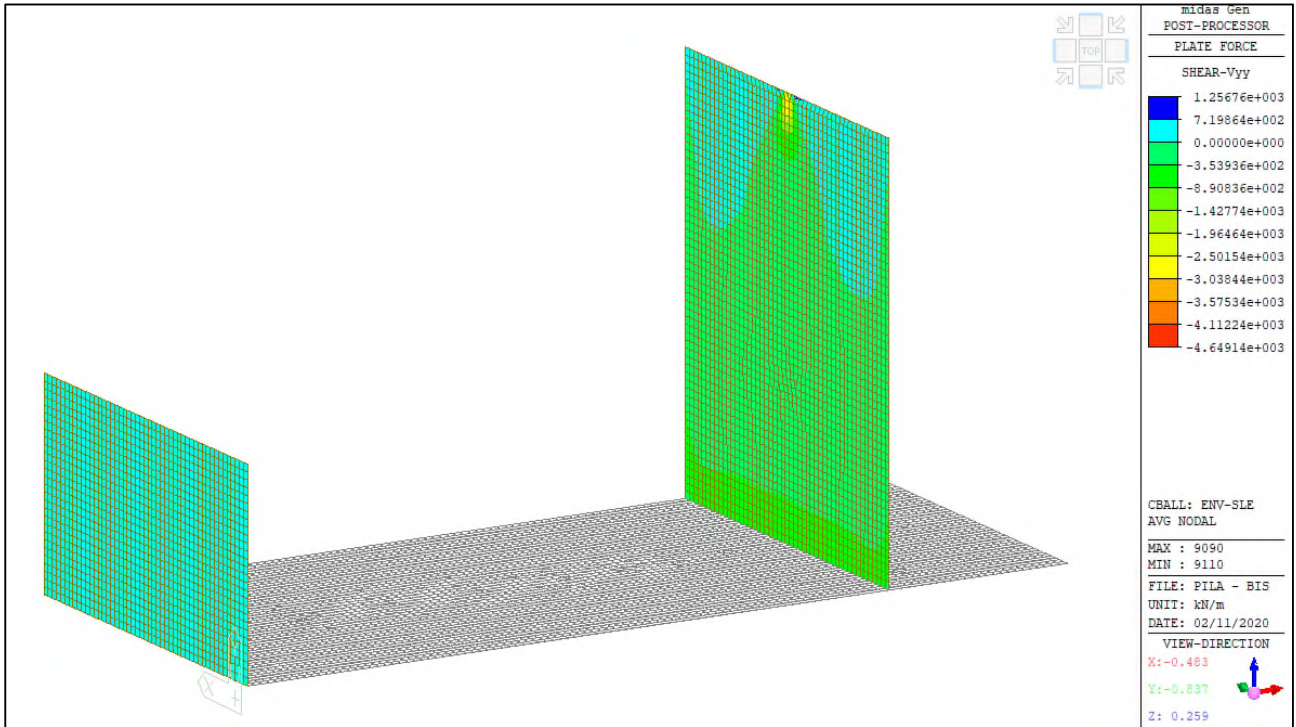
ENV-SLE RARA- Myy (kNm/m) – Spalle



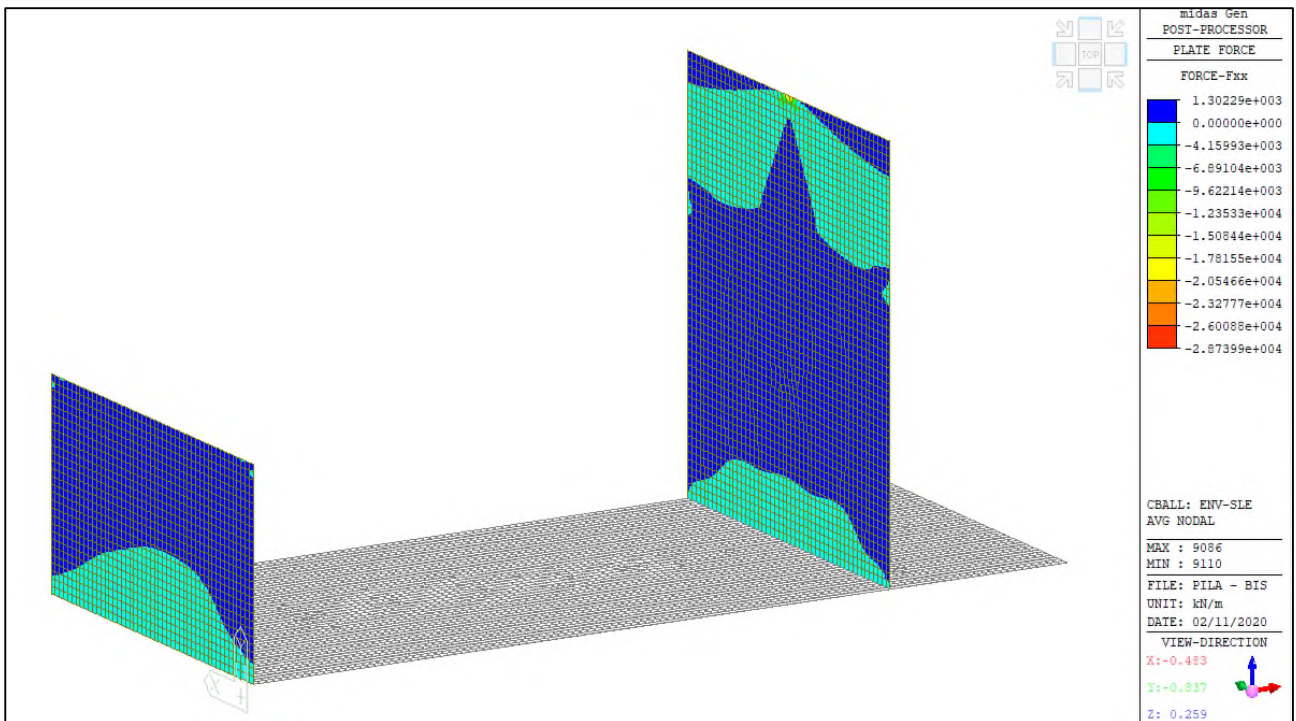
ENV-SLE RARA- Vxx (kN/m) – Spalle



Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostruttura, fondazioni
e muri andatori



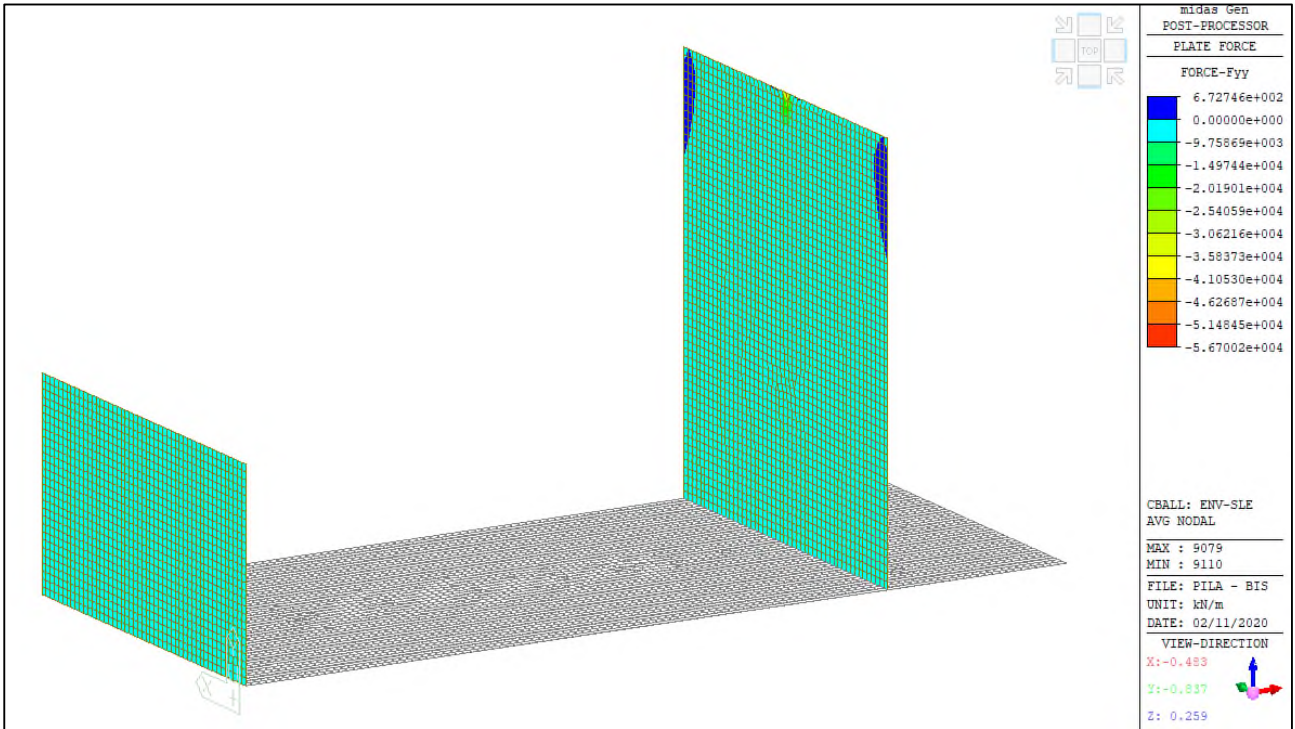
ENV-SLE RARA- Vyy (kN/m) – Spalle



ENV-SLE RARA- Fxx (kN/m) – Spalle



Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostrutture, fondazioni
e muri andatori

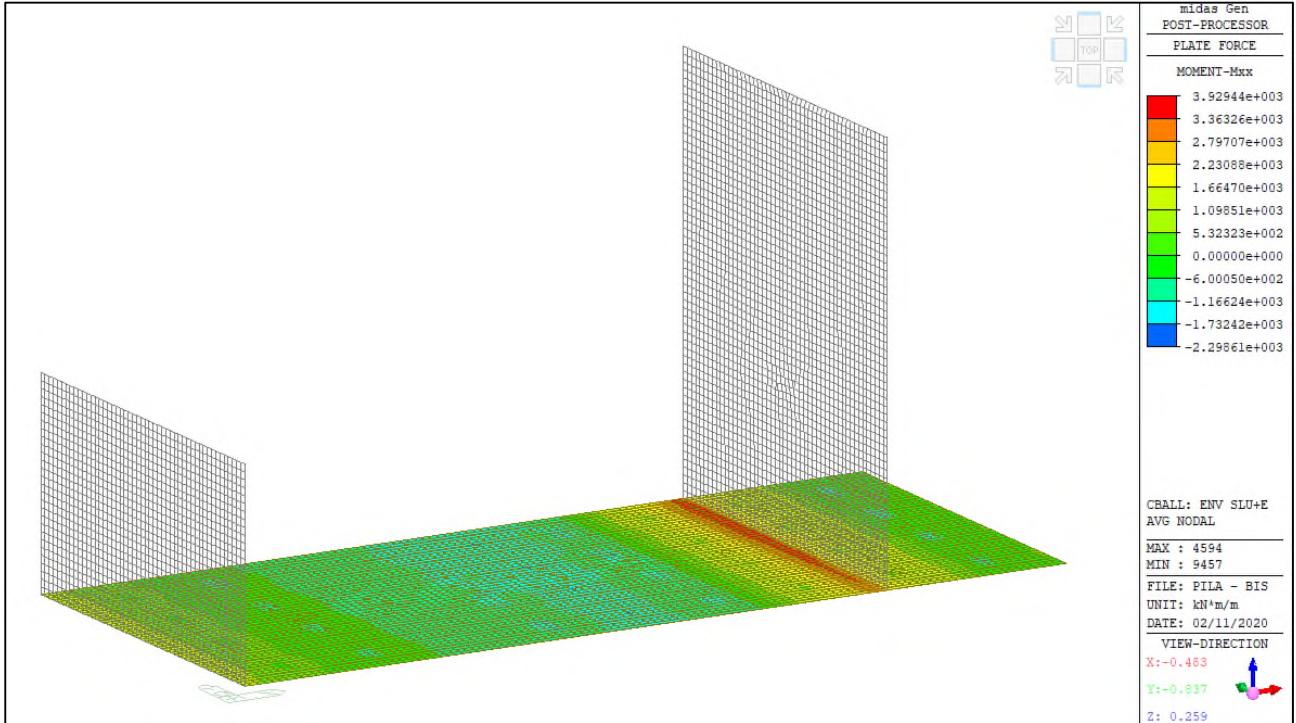


ENV-SLE RARA- Fyy (kN/m) – Spalle

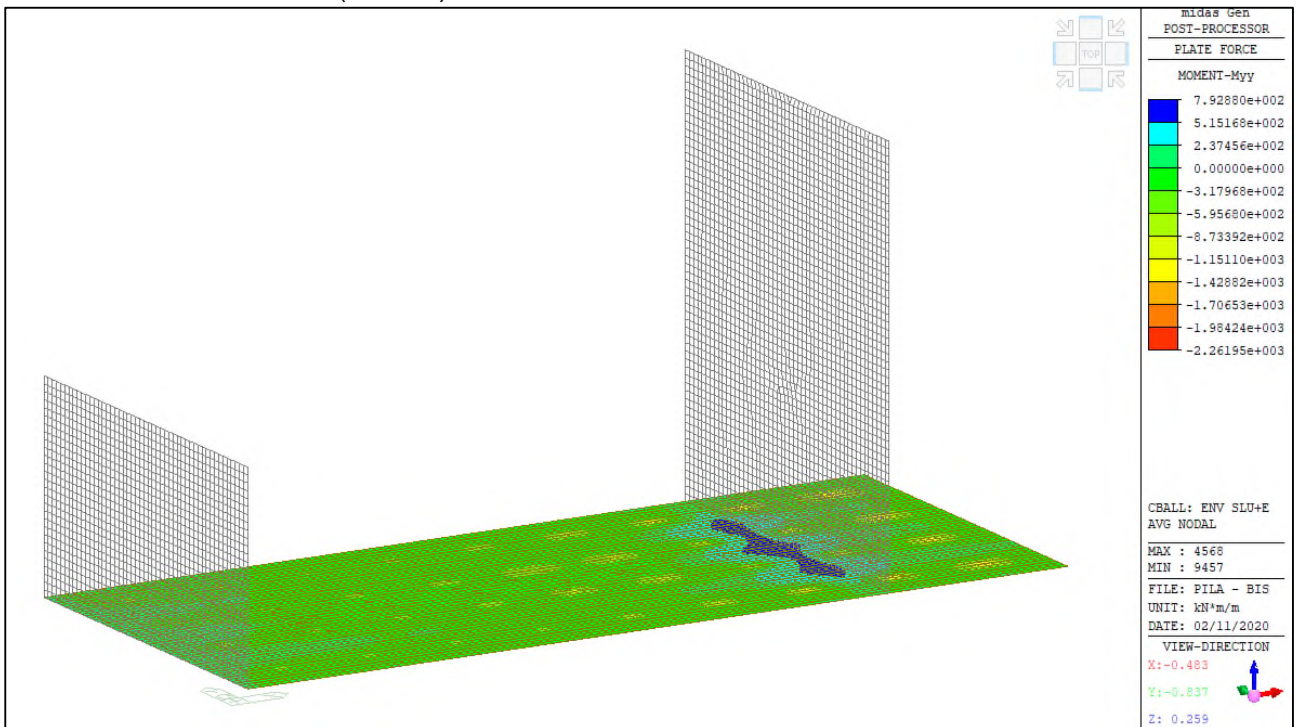


Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostrutture, fondazioni
e muri andatori

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



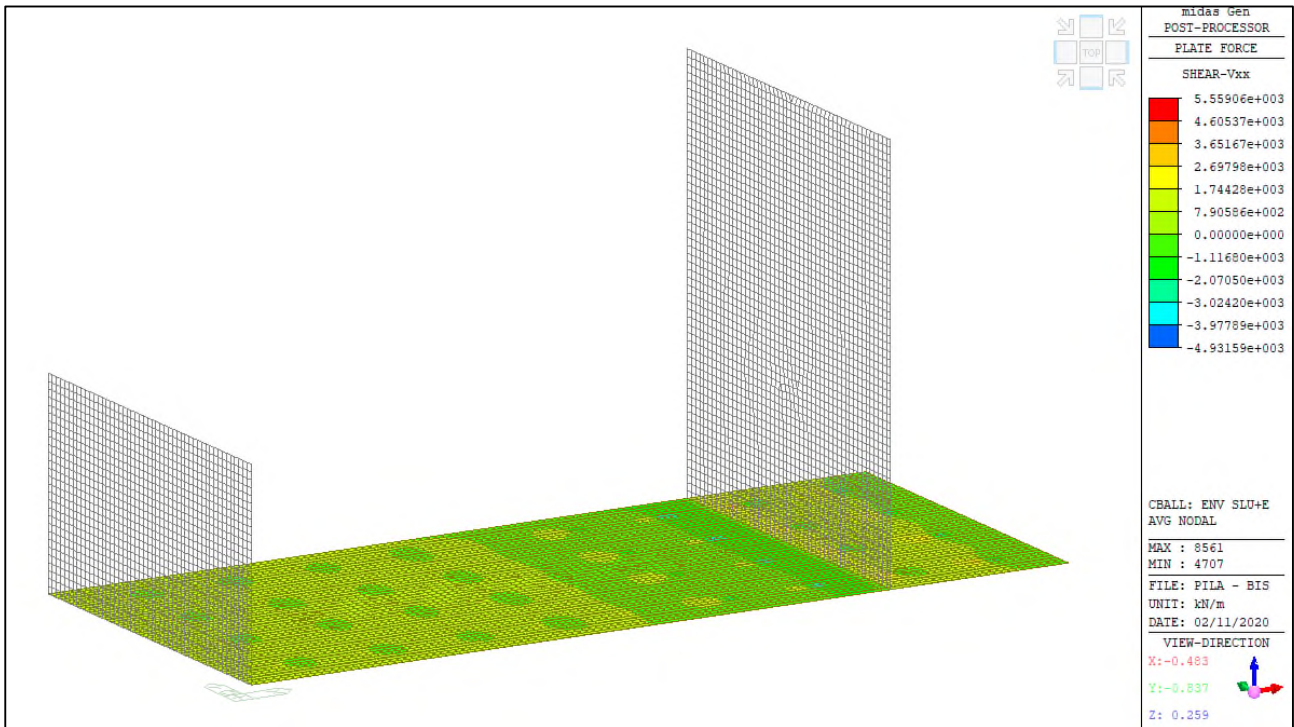
ENV-SLU+E – Mxx (kNm/m) – Platea



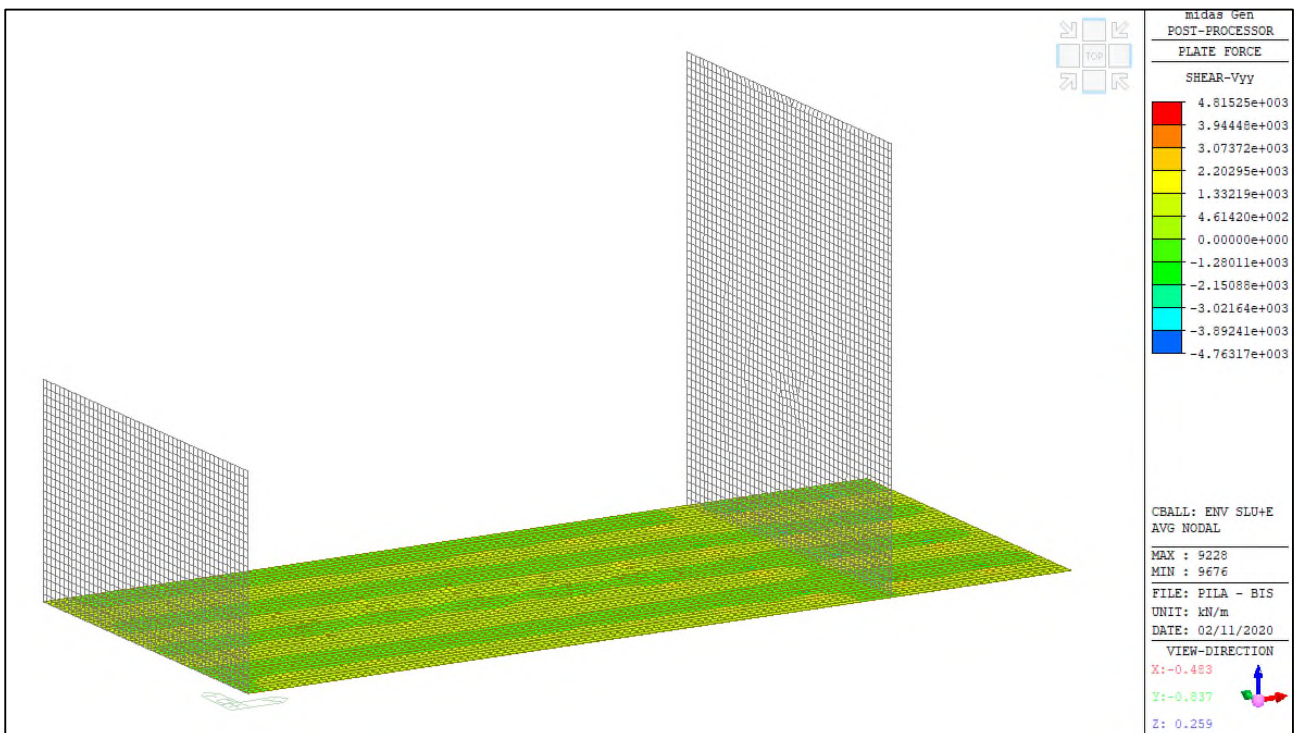
ENV-SLU+E – Myy (kNm/m) – Platea



Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostrutture, fondazioni
e muri andatori



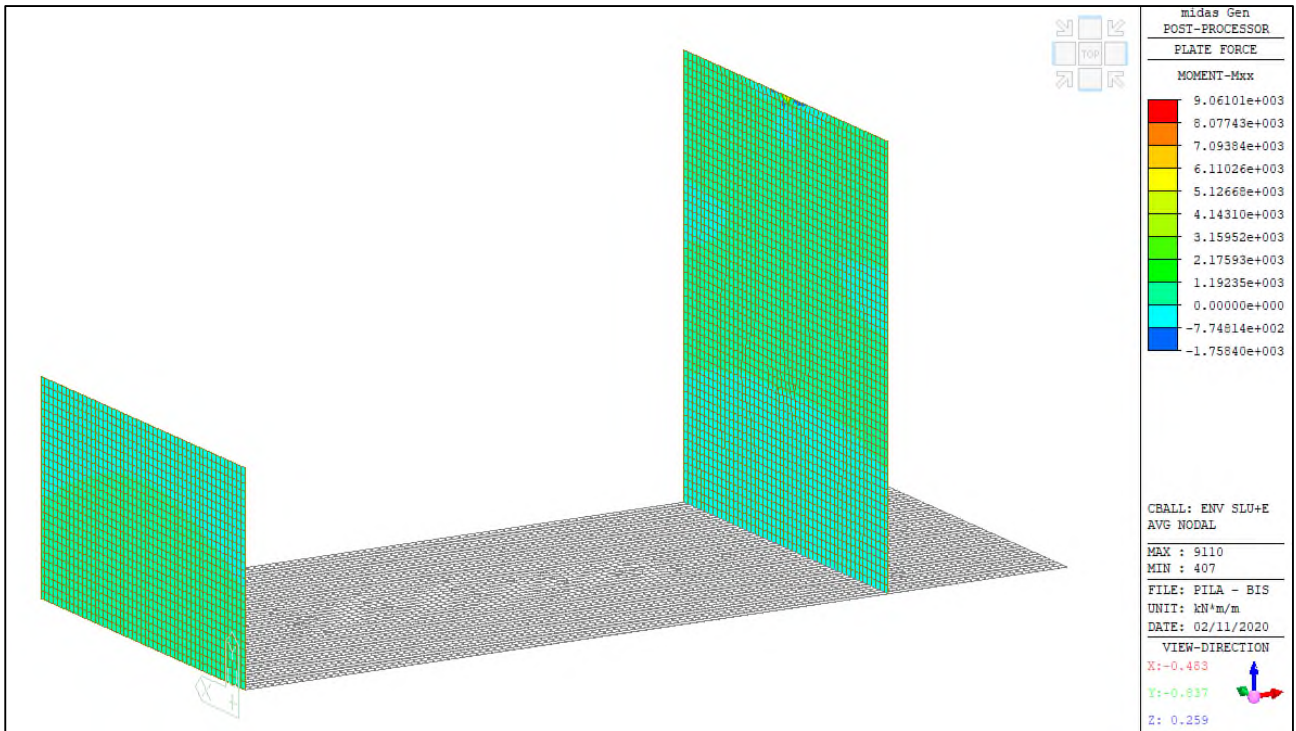
ENV-SLU+E – Vxx (kN/m) – Platea



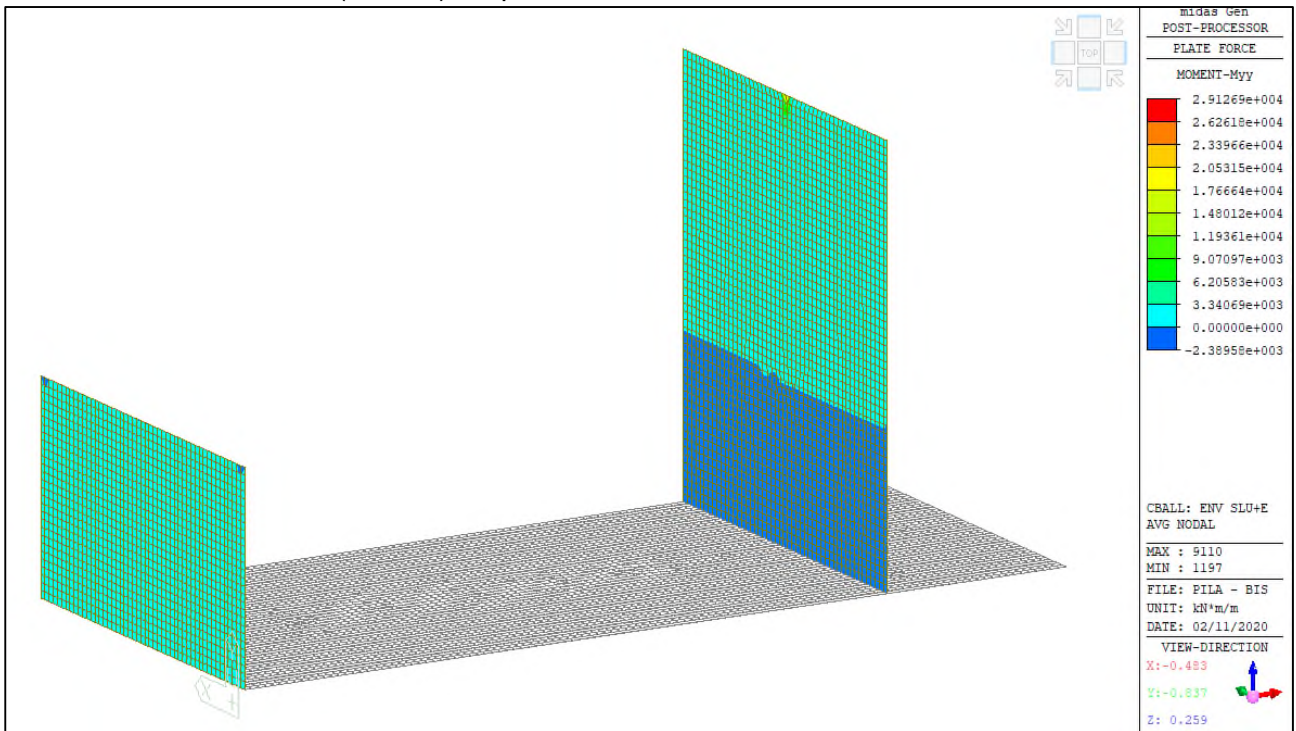
ENV-SLU+E – Vyy (kN/m) – Platea



Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostrutture, fondazioni
e muri andatori



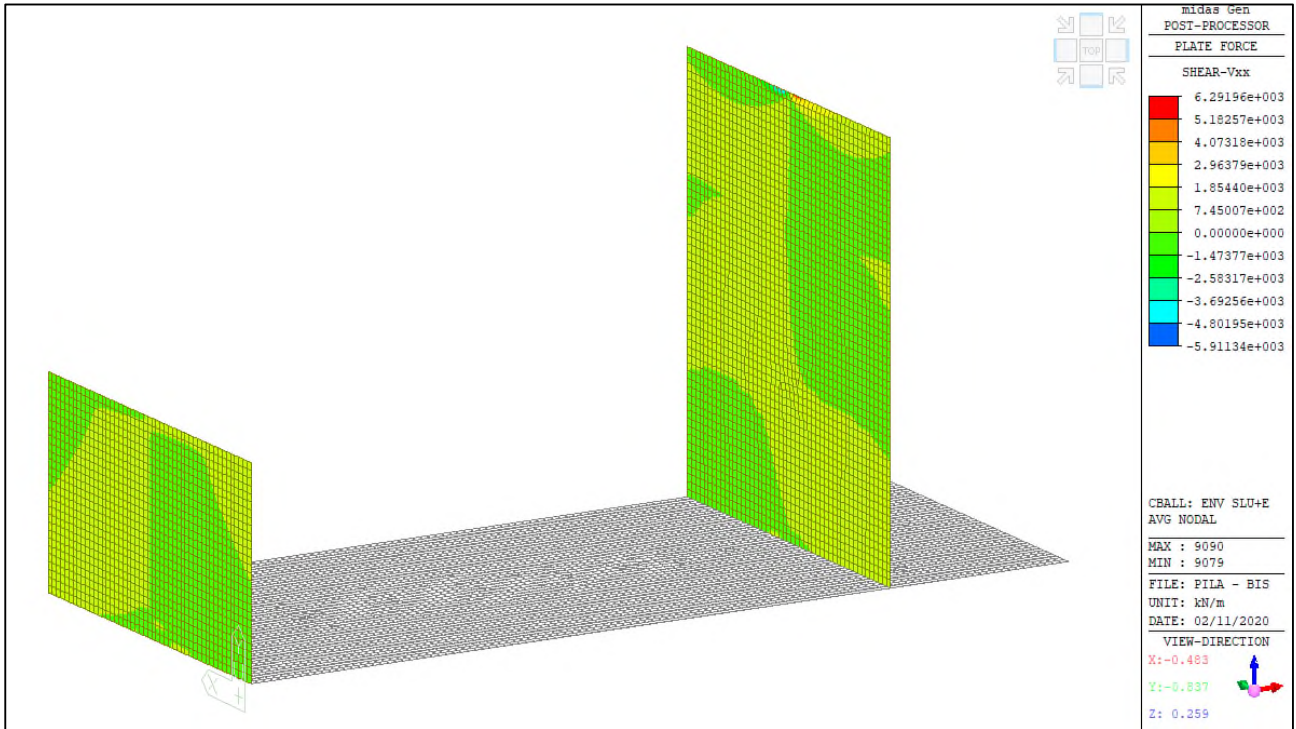
ENV-SLU+E – Mxx (kNm/m) – Spalle



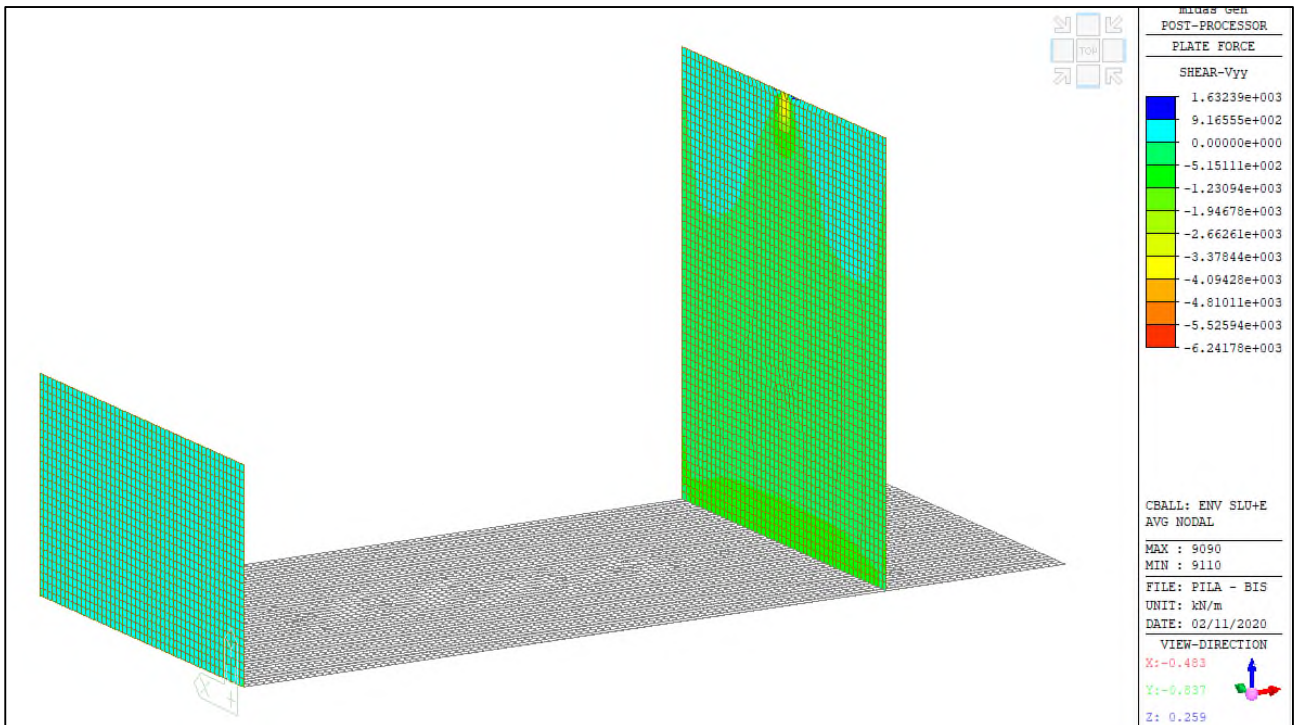
ENV-SLU+E – Myy (kNm/m) – Spalle



Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostruttura, fondazioni
e muri andatori



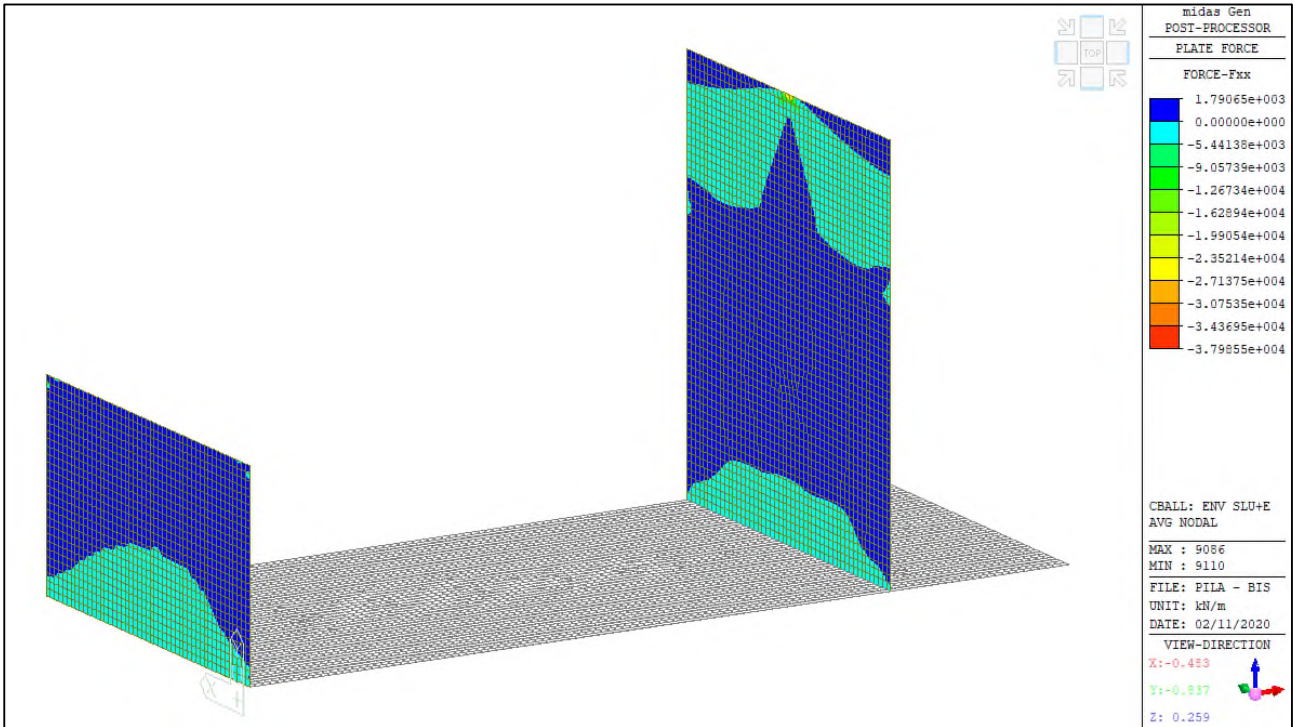
ENV-SLU+E – Vxx (kN/m) – Spalle



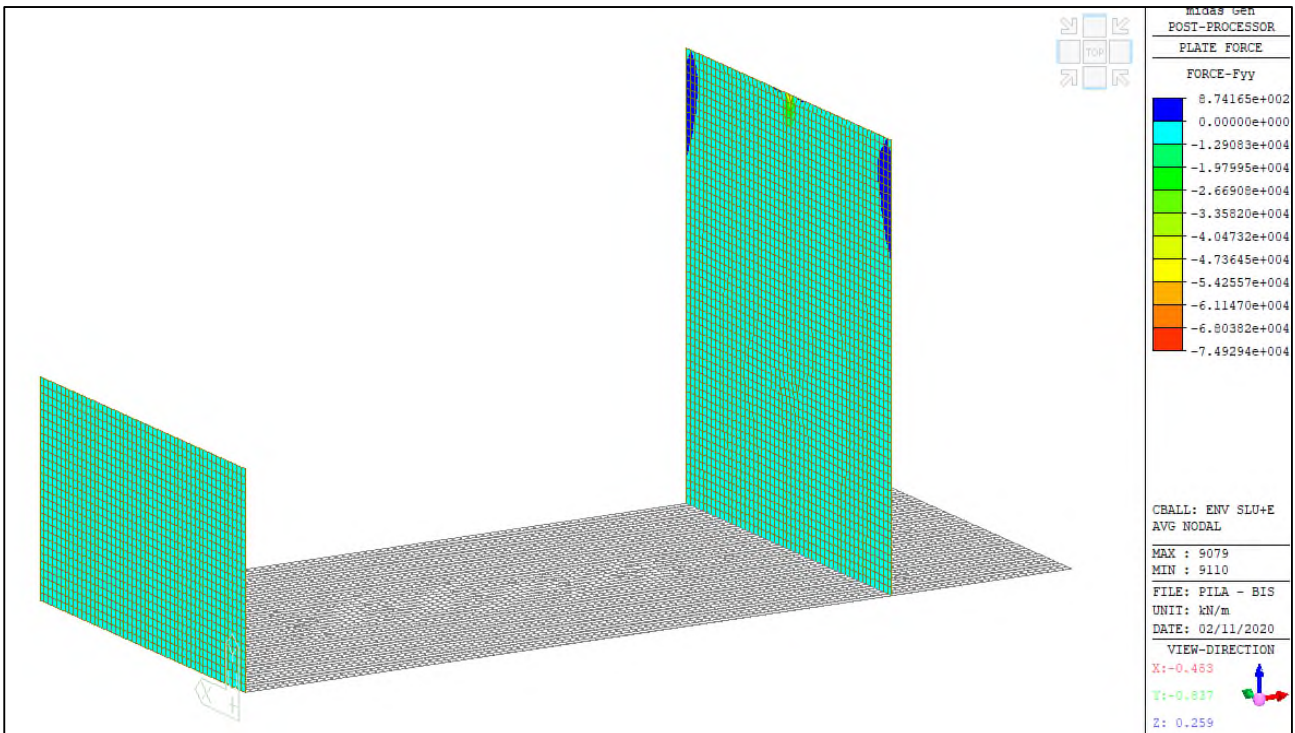
ENV-SLU+E – Vyy (kN/m) – Spalle



Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostruttura, fondazioni
e muri andatori



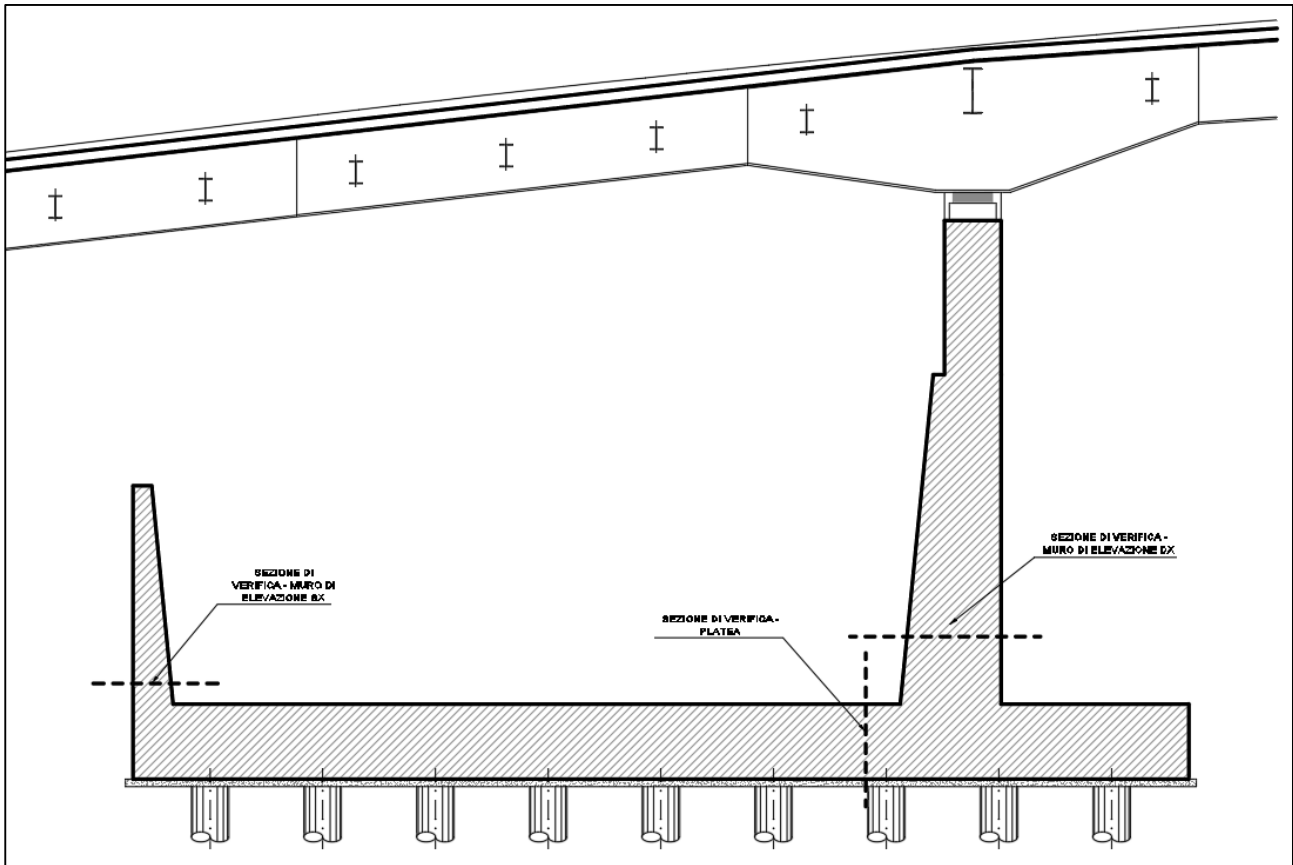
ENV-SLU+E – Fxx (kN/m) – Spalle



ENV-SLU+E – Fyy (kN/m) – Spalle

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

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	2468.2	1600.4	2742.7	1664	2807.4	1670	3929.4	2261.9
ELEVAZIONE DX	235.5	1177.1	276.2	1397.1	279.6	1416.1	460.6	2389.6
ELEVAZIONE SX	91	456.9	91	457.1	91.2	459.9	136.9	685.8



Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostrutture, fondazioni e muri andatori

1. Platea

Le armature sono costituite da una maglia base

- $\Phi 32/20$ inferiori in direzione x
- $\Phi 32/10$ superiori in direzione x
- $\Phi 32/20$ inferiori e superiori in direzione y
- Spilli $\Phi 16/20 \times 20$

Armatura platea direzione x

Armatura interna: copriferro $5.0+3.2+1.6 = 9.8\text{cm}$

geometria				
sezione trasversale				
B	H	c	d	z
[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]
100	200	8.2	190.2	171.2
armatura longitudinale				
nbarre	ϕ	d	A_{sl}	
	[mm]	[cm]	[cm ²]	
5	32	9.8	40.21	
10	32	190.2	80.42	
armatura a taglio				
nbracci	ϕ	s	α	A_{sw}
	[mm]	[cm]	[°]	[cm ²]
5	16	20	90	10.05

SLU	SLE - R	SLE - F	SLE - QP
SLU	SLE	SLE	SLE
MEd 3929.40 [kNm]	MEk 2807.4 [kNm]	MEk 2742.7 [kNm]	MEk 2468.2 [kNm]
NEd 0.00 [kN]	NEk 0 [kN]	NEk 0 [kN]	NEk 0 [kN]
VEd 5000.00 [kN]	tensioni e fessure		
presso-flessione	Mdec 0.0 [kNm]	Mdec 0.0 [kNm]	Mdec 0.0 [kNm]
MRd 5714.4 [kNm]	Mcr 1752.6 [kNm]	Mcr 1752.6 [kNm]	Mcr 1752.6 [kNm]
FS 1.45	yn -47.14 [cm]	yn -47.14 [cm]	yn -47.14 [cm]
	$\sigma_{c,min}$ -5.2 [MPa]	$\sigma_{c,min}$ -5.0 [MPa]	$\sigma_{c,min}$ -4.5 [MPa]
	$\sigma_{s,min}$ -63.0 [MPa]	$\sigma_{s,min}$ -61.5 [MPa]	$\sigma_{s,min}$ -55.4 [MPa]
	$\sigma_{s,max}$ 200.8 [MPa]	$\sigma_{s,max}$ 196.2 [MPa]	$\sigma_{s,max}$ 176.6 [MPa]
		k_2 0.5	k_2 0.5
		$\epsilon_{sm-\epsilon_{cm}}$ 0.75 [%]	$\epsilon_{sm-\epsilon_{cm}}$ 0.65 [%]
		$S_{r,max}$ 44.5 [cm]	$S_{r,max}$ 44.5 [cm]
		w_k 0.333 [mm]	w_k 0.289 [mm]



Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostrutture, fondazioni
e muri andatori

Armatura platea direzione y

Armatura esterna: copriferro 5.0+1.6 = 6.6cm

geometria				
sezione trasversale				
B	H	c	d	z
[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]
100	200	5.0	193.4	174.1
armatura longitudinale				
nbarre	φ	d	A _{sl}	
	[mm]	[cm]	[cm ²]	
5	32	6.6	40.21	
5	32	193.4	40.21	
armatura a taglio				
nbracci	φ	s	α	A _{sw}
	[mm]	[cm]	[°]	[cm ²]
5	16	20	90	10.05

SLU

SLU	
M _{Ed}	2261.90 [kNm]
N _{Ed}	0.00 [kN]
V _{Ed}	4815.00 [kN]
presso-flessione	
M _{Rd}	2968.3 [kNm]
FS	1.31

SLE - R

SLE	
M _{Ek}	1670 [kNm]
N _{Ek}	0 [kN]
tensioni e fessure	
M _{dec}	0.0 [kNm]
M _{cr}	1630.6 [kNm]
γ _n	-61.48 [cm]
σ _{c,min}	-3.8 [MPa]
σ _{s,min}	-47.1 [MPa]
σ _{s,max}	228.4 [MPa]

SLE - F

SLE	
M _{Ek}	1664 [kNm]
N _{Ek}	0 [kN]
tensioni e fessure	
M _{dec}	0.0 [kNm]
M _{cr}	1630.6 [kNm]
γ _n	-61.48 [cm]
σ _{c,min}	-3.8 [MPa]
σ _{s,min}	-46.9 [MPa]
σ _{s,max}	227.6 [MPa]
k ₂	0.5
ε _{sm-ε_{cm}}	0.85 [‰]
S _{r,max}	39.3 [cm]
W _k	0.335 [mm]

SLE - QP

SLE	
M _{Ek}	1600.4 [kNm]
N _{Ek}	0 [kN]
tensioni e fessure	
M _{dec}	0.0 [kNm]
M _{cr}	1630.6 [kNm]
γ _n	-61.48 [cm]
σ _{c,min}	-3.6 [MPa]
σ _{s,min}	-45.1 [MPa]
σ _{s,max}	218.9 [MPa]
k ₂	0.5
ε _{sm-ε_{cm}}	- [‰]
S _{r,max}	- [cm]
W _k	- [mm]

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

geometria

sezione trasversale

base	B	=	100	cm
altezza	H	=	200	cm
copriferro (asse armatura long.)	c	=	9.8	cm
altezza utile	d	=	190	cm
braccio coppia interna	z	=	171.2	cm

armatura a taglio

numero braccia	n	=	5	
diametro	ϕ	=	16	mm
passo	s	=	20	cm
inclinazione	α	=	90	°
area	A_{sw}	=	10.05	cm ²

armatura longitudinale tesa

numero barre	n_1	=	10	
diametro	ϕ_1	=	32	mm
numero barre	n_2	=	0	
diametro	ϕ_2	=	0	mm
area totale	A_{sl}	=	80.4	cm ²

materiali

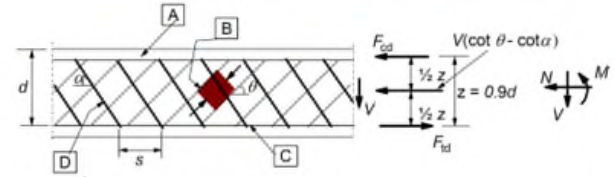
calcestruzzo

resistenza caratt. cilindrica a 28 gg.	f_{ck}	=	24.9	MPa
coeff. parziale di sicurezza	γ_c	=	1.5	
coeff. effetti a lungo termine	α_{cc}	=	0.85	
tensione di calcolo	f_{cd}	=	14.1	MPa
coeff. riduzione resistenza bielle	ν	=	0.540	
tensione di calcolo bielle	νf_{cd}	=	7.6	MPa

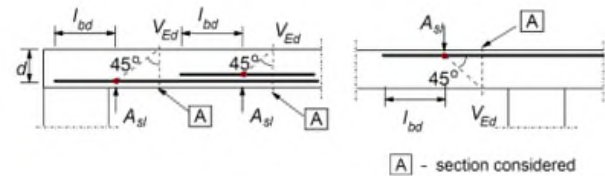
acciaio

tensione caratt. di snervamento	f_{yk}	=	450.0	MPa
coeff. parziale di sicurezza	γ_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}	=	662.5	kN
resistenza armatura a taglio	V_{Rds}	=	6903.3	kN
resistenza bielle calcestruzzo	V_{Rdmax}	=	5141.3	kN
inclinazione bielle calcestruzzo	θ	=	26.0	°
sezione				duttile
traslazione armatura long.	a_l	=	175.5	cm

2. Muro di elevazione DX



Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostrutture, fondazioni
e muri andatori

Le armature sono costituite da una maglia base

- $\Phi 30/20$ lato terra e controterra in direzione x
- $\Phi 32/20$ lato terra e controterra in direzione y
- Spilli $\Phi 16/20 \times 40$

Armatura muro di elevazione direzione x

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

geometria				
sezione trasversale				
B	H	c	d	z
[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]
100	200	5.5	193.0	173.7
armatura longitudinale				
nbarre	ϕ	d	A_{s1}	
	[mm]	[cm]	[cm ²]	
5	30	7.0	35.34	
5	30	193.0	35.34	
armatura a taglio				
nbracci	ϕ	s	α	A_{sw}
	[mm]	[cm]	[°]	[cm ²]
5	16	40	90	10.05

SLU	SLE - R	SLE - F	SLE - QP
SLU	SLE	SLE	SLE
MEd 460.60 [kNm]	MEk 279.6 [kNm]	MEk 276.2 [kNm]	MEk 235.5 [kNm]
NEd [kN]	NEk [kN]	NEk [kN]	NEk [kN]
VEd 2400.00 [kN]	tensioni e fessure		
presso-flessione	Mdec 0.0 [kNm]	Mdec 0.0 [kNm]	Mdec 0.0 [kNm]
MRd 2615.2 [kNm]	Mcr 1942.7 [kNm]	Mcr 1942.7 [kNm]	Mcr 1942.7 [kNm]
FS 5.68	yn -63.35 [cm]	yn -63.35 [cm]	yn -63.35 [cm]
	$\sigma_{c,min}$ -0.7 [MPa]	$\sigma_{c,min}$ -0.7 [MPa]	$\sigma_{c,min}$ -0.6 [MPa]
	$\sigma_{s,min}$ -8.3 [MPa]	$\sigma_{s,min}$ -8.2 [MPa]	$\sigma_{s,min}$ -7.0 [MPa]
	$\sigma_{s,max}$ 43.5 [MPa]	$\sigma_{s,max}$ 43.0 [MPa]	$\sigma_{s,max}$ 36.7 [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]



Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostrutture, fondazioni
e muri andatori

Armatura muro di elevazione direzione y

Armatura interna: copriferro $5.5+3+1.6 = 10.1\text{cm}$

geometria				
sezione trasversale				
B	H	c	d	z
[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]
100	200	8.5	189.9	170.9
armatura longitudinale				
nbarre	ϕ	d	A_{sl}	
	[mm]	[cm]	[cm ²]	
5	32	10.1	40.21	
5	32	189.9	40.21	
armatura a taglio				
nbracci	ϕ	s	α	A_{sw}
	[mm]	[cm]	[°]	[cm ²]
5	16	40	90	10.05

SLU	SLE - R	SLE - F	SLE - QP	
SLU	SLE	SLE	SLE	
MEd 2389.60 [kNm]	MEk 1416.1 [kNm]	MEk 1397.1 [kNm]	MEk 1177.1 [kNm]	
NEd -1750.00 [kN]	NEk -1360 [kN]	NEk -1200 [kN]	NEk -1020 [kN]	
VEd 2400.00 [kN]	tensioni e fessure		tensioni e fessure	
presso-flessione	Mdec 487.8 [kNm]	Mdec 430.4 [kNm]	Mdec 365.8 [kNm]	
MRd 4484.2 [kNm]	Mcr 2444.4 [kNm]	Mcr 2387.0 [kNm]	Mcr 2322.4 [kNm]	
FS 1.88	yn -15.18 [cm]	yn -22.12 [cm]	yn -21.61 [cm]	
	$\sigma_{c,min}$ -3.4 [MPa]	$\sigma_{c,min}$ -3.4 [MPa]	$\sigma_{c,min}$ -2.8 [MPa]	
	$\sigma_{s,min}$ -44.6 [MPa]	$\sigma_{s,min}$ -44.1 [MPa]	$\sigma_{s,min}$ -37.2 [MPa]	
	$\sigma_{s,max}$ 62.8 [MPa]	$\sigma_{s,max}$ 72.9 [MPa]	$\sigma_{s,max}$ 60.7 [MPa]	
		k_2 0.5	k_2 0.5	
	$\epsilon_{sm-\epsilon_{cm}}$ - [%]	$\epsilon_{sm-\epsilon_{cm}}$ - [%]	$\epsilon_{sm-\epsilon_{cm}}$ - [%]	
	$s_{r,max}$ - [cm]	$s_{r,max}$ - [cm]	$s_{r,max}$ - [cm]	
	w_k - [mm]	w_k - [mm]	w_k - [mm]	

verifica a taglio di una sezione rettangolare

secondo EN 1992-1-1:2004:E

geometria

sezione trasversale

base	B =	100	cm
altezza	H =	200	cm
copriferro (asse armatura long.)	c =	10.1	cm
altezza utile	d =	190	cm
braccio coppia interna	z =	170.9	cm

armatura a taglio

numero braccia	n =	5	
diametro	ϕ =	16	mm
passo	s =	40	cm
inclinazione	α =	90	°
area	A_{sw} =	10.05	cm ²

armatura longitudinale tesa

numero barre	n_1 =	5	
diametro	ϕ_1 =	32	mm
numero barre	n_2 =	0	
diametro	ϕ_2 =	0	mm
area totale	A_{sl} =	40.2	cm ²

materiali

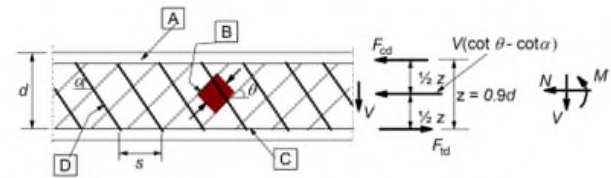
calcestruzzo

resistenza caratt. cilindrica a 28 gg.	f_{ck} =	33.2	MPa
coeff. parziale di sicurezza	γ_c =	1.5	
coeff. effetti a lungo termine	α_{cc} =	0.85	
tensione di calcolo	f_{cd} =	18.8	MPa
coeff. riduzione resistenza bielle	ν =	0.520	
tensione di calcolo bielle	νf_{cd} =	9.8	MPa

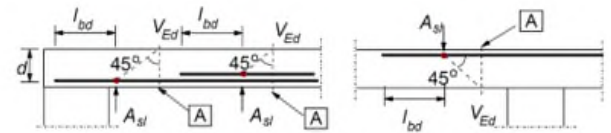
acciaio

tensione caratt. di snervamento	f_{yk} =	450.0	MPa
coeff. parziale di sicurezza	γ_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} =	2400	kN
azione assiale	N_{Ed} =	-1750	kN
resistenza elemento non armato	V_{Rdc} =	833.0	kN
resistenza armatura a taglio	V_{Rds} =	3298.8	kN
resistenza bielle calcestruzzo	V_{Rdmax} =	6767.5	kN
inclinazione bielle calcestruzzo	θ =	27.0	°
sezione			duttile
traslazione armatura long.	a_l =	167.7	cm



Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostrutture, fondazioni
e muri andatori

3. Muro di elevazione SX

Le armature sono costituite da una maglia base

- $\Phi 20/20$ lato terra e controterra in direzione x
- $\Phi 20/20$ lato controterra in direzione y
- $\Phi 26/20$ lato terra in direzione y

Armatura muro di elevazione direzione x

Armatura esterna: copriferro $5.5+1 = 6.5$ cm

geometria				
sezione trasversale				
B	H	c	d	z
[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]
100	100	5.5	93.5	84.2
armatura longitudinale				
nbarre	ϕ	d	A_{sl}	
	[mm]	[cm]	[cm ²]	
5	20	6.5	15.71	
5	20	93.5	15.71	

SLU	SLE - R	SLE - F	SLE - QP
SLU	SLE	SLE	SLE
MEd 136.90 [kNm]	MEk 91.2 [kNm]	MEk 91 [kNm]	MEk 91 [kNm]
NEd [kN]	NEk [kN]	NEk [kN]	NEk [kN]
VEd 270.90 [kN]	tensioni e fessure		
presso-flessione	Mdec 0.0 [kNm]	Mdec 0.0 [kNm]	Mdec 0.0 [kNm]
MRd 569.6 [kNm]	Mcr 473.4 [kNm]	Mcr 473.4 [kNm]	Mcr 473.4 [kNm]
FS 4.16	yn -32.50 [cm]	yn -32.50 [cm]	yn -32.50 [cm]
	$\sigma_{c,min}$ -1.0 [MPa]	$\sigma_{c,min}$ -1.0 [MPa]	$\sigma_{c,min}$ -1.0 [MPa]
	$\sigma_{s,min}$ -9.6 [MPa]	$\sigma_{s,min}$ -9.6 [MPa]	$\sigma_{s,min}$ -9.6 [MPa]
	$\sigma_{s,max}$ 66.3 [MPa]	$\sigma_{s,max}$ 66.2 [MPa]	$\sigma_{s,max}$ 66.2 [MPa]
	k_2 0.5	k_2 0.5	
	$\epsilon_{sm-\epsilon_{cm}}$ - [‰]	$\epsilon_{sm-\epsilon_{cm}}$ - [‰]	
	$S_{r,max}$ - [cm]	$S_{r,max}$ - [cm]	
	W_k - [mm]	W_k - [mm]	



Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostrutture, fondazioni
e muri andatori

Armatura muro di elevazione direzione y

Armatura interna: copriferro $5.5+2.0+1.0 = 8.5$ cm

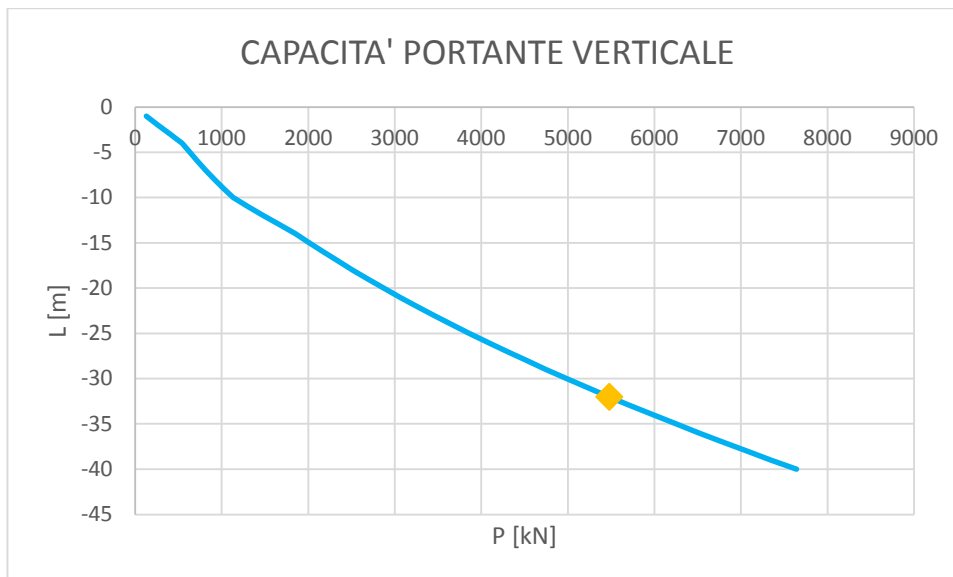
geometria				
sezione trasversale				
B	H	c	d	z
[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]
100	100	7.5	91.2	82.1
armatura longitudinale				
nbarre	ϕ	d	A_{sl}	
	[mm]	[cm]	[cm ²]	
5	20	8.5	15.71	
5	26	91.2	26.55	

SLU	SLE - R	SLE - F	SLE - QP
SLU	SLE	SLE	SLE
MEd 685.80 [kNm]	MEk 459.9 [kNm]	MEk 457.1 [kNm]	MEk 456.9 [kNm]
NEd -140.00 [kN]	NEk -120 [kN]	NEk -100 [kN]	NEk -100 [kN]
VEd 294.70 [kN]	tensioni e fessure		
presso-flessione	Mdec 20.7 [kNm]	Mdec 17.3 [kNm]	Mdec 17.3 [kNm]
MRd 977.8 [kNm]	Mcr 508.8 [kNm]	Mcr 505.3 [kNm]	Mcr 505.3 [kNm]
FS 1.43	yn -25.74 [cm]	yn -26.11 [cm]	yn -26.11 [cm]
	$\sigma_{c,min}$ -4.5 [MPa]	$\sigma_{c,min}$ -4.4 [MPa]	$\sigma_{c,min}$ -4.4 [MPa]
	$\sigma_{s,min}$ -43.7 [MPa]	$\sigma_{s,min}$ -43.0 [MPa]	$\sigma_{s,min}$ -43.0 [MPa]
	$\sigma_{s,max}$ 185.8 [MPa]	$\sigma_{s,max}$ 188.0 [MPa]	$\sigma_{s,max}$ 187.9 [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]

10.4 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 36 pali. 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 5333.3 kN. Pertanto si utilizzano pali di lunghezza pari a 32.00m la cui capacità portante verticale è maggiore di quella agente, e pari a 5475.25 kN.



Capacità portante verticale dei pali



Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostrutture, fondazioni e muri andatori

STRADA BOSSARINO

PALI DI FONDAZIONE PILA

Calcolo del carico trasversale limite

Terreni incoerenti (Broms 1964)

DATI GEOMETRICI:

Lunghezza del palo	L	32	[m]
Diametro del palo	D _{palo}	1	[m]
Diametro del tubolare	D _{tubolare}	1000	[mm]

Momento di plasticizzazione	M _y	1672.0	[kNm]
-----------------------------	----------------	--------	-------

DATI GEOTECNICI:

Peso per unità di volume	γ'	22	[kN/m ³]
Angolo attrito medio	φ _{medio}	24	[°]
Coefficiente di spinta passiva medio	k _{p,medio}	2.37	[-]
Angolo attrito minimo	φ _{minimo}	23	[°]
Coefficiente di spinta passiva minimo	k _{p,minimo}	2.28	[-]

VERTICALI INDAGATE:

numero di verticali indagate	n°	2
fattore di correlazione	ξ ₃	1.65
fattore di correlazione	ξ ₄	1.55

CARICO TRASVERSALE PER PALO CORTO H₁:

H _{1,medio}	80087.0	[kN]	$H = 1.5k_p \gamma d^3 \left(\frac{L}{d}\right)^2$
H _{1,minimo}	77045.8	[kN]	

CARICO TRASVERSALE PER PALO INTERMEDIO H₂:

H _{2,medio}	26747.9	[kN]	$H = \frac{1}{2}k_p \gamma d^3 \left(\frac{L}{d}\right)^2 + \frac{M_y}{L}$
H _{2,minimo}	25734.2	[kN]	

CARICO TRASVERSALE PER PALO LUNGO H₃:

H _{3,medio}	1253.5	[kN]	$H = k_p \gamma d^3 \sqrt[3]{\left(3.676 \frac{M_y}{k_p \gamma d^4}\right)^2}$
H _{3,minimo}	1237.4	[kN]	

DEFINIZIONE DEL COMPORTAMENTO DEL PALO:

H _{medio}	1253.5	[kN]	PALO LUNGO
H _{minimo}	1237.4	[kN]	

CARICO TRASVERSALE ULTIMO:

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

H _k	759.7	[kN]
----------------	-------	------

$$H_d = H_k/\gamma_T$$

γ _T	1.3	[-]
H _d	584.4	[kN]
H _{agente}	197.87	[kN]

VERIFICA: H_d > H_{agente} VERIFICATO

Capacità portante trasversale pali



Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostrutture, fondazioni
e muri andatori

L'armatura dei pali di fondazione è costituita da:

- 20 Φ 26 armatura longitudinale
- Staffe Φ 12/20

Si riportano le massime sollecitazioni agenti sui pali di fondazione

N [kN]	V [kN]	M [kNm]
5333.3	197.87	959.35

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

Sezione circolare cava

Raggio esterno: 50 [cm]
Raggio interno: 0 [cm]
N° barre uguali: 20
Diametro barre: 2.6 [cm]
Copriferro (baric.): 6.8 [cm]

N° barre: 0 Zoom

Sollecitazioni

S.L.U. Metodo n

N_{Ed}: 5333.3 kN
M_{xEd}: 959.35 kNm
M_{yEd}: 0

P.to applicazione N

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

Materiali

B450C C32/40

ϵ_{su} : 67.5 ‰ ϵ_{c2} : 2 ‰
 f_{yd} : 391.3 N/mm² ϵ_{cu} : 3.5 ‰
 E_s : 200'000 N/mm² f_{cd} : 18.13
 E_s/E_c : 15 f_{cc}/f_{cd} : 0.8
 ϵ_{syd} : 1.957 ‰ $\sigma_{c,adm}$: 12.25
 $\sigma_{s,adm}$: 255 N/mm² τ_{co} : 0.7333
 τ_{c1} : 2.114

M_{xRd}: 2'442 kN m

σ_c : -18.13 N/mm²
 σ_s : 391.3 N/mm²
 ϵ_c : 3.5 ‰
 ϵ_s : 3.071 ‰
d: 93.2 cm
x: 49.64 x/d: 0.5327
 δ : 1

Tipo Sezione

Rettan.re Trapezi
a T Circolare
Rettangoli Coord.

Metodo di calcolo

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

Tipo flessione

Retta Deviata

Vertici: 52 N° rett.: 100

Calcola MRd Dominio M-N

L₀: 0 cm Col. modello

Precompresso

Verifica strutturale pali di fondazione

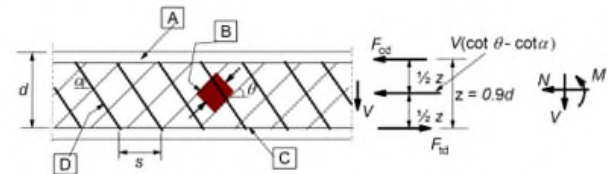


Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostrutture, fondazioni
e muri andatori

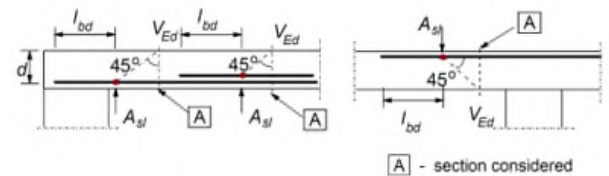
Per la verifica a taglio delle Staffe è stata considerata una sezione corrispondente al quadrato inscritto nella circonferenza del palo di fondazione.

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 = 6.8 cm
altezza utile	d = 63.9 cm
braccio coppia interna	z = 57.5 cm
armatura a taglio	
numero braccia	n = 2
diametro	ϕ = 12 mm
passo	s = 20 cm
inclinazione	α = 90 °
area	A_{sw} = 2.26 cm ²
armatura longitudinale tesa	
numero barre	n_1 = 10
diametro	ϕ_1 = 26 mm
numero barre	n_2 = 0
diametro	ϕ_2 = 0 mm
area totale	A_{sl} = 53.1 cm ²
materiali	
calcestruzzo	
resistenza caratt. cilindrica a 28 gg.	f_{ck} = 33.2 MPa
coeff. parziale di sicurezza	γ_c = 1.5
coeff. effetti a lungo termine	α_{cc} = 0.85
tensione di calcolo	f_{cd} = 18.8 MPa
coeff. riduzione resistenza bielle	ν = 0.520
tensione di calcolo bielle	νf_{cd} = 9.8 MPa
acciaio	
tensione caratt. di snervamento	f_{yk} = 450.0 MPa
coeff. parziale di sicurezza	γ_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} = 197.87 kN
azione assiale	N_{Ed} = 0 kN
resistenza elemento non armato	V_{Rdc} = 286.7 kN
resistenza armatura a taglio	V_{Rds} = 636.3 kN
resistenza bielle calcestruzzo	V_{Rdmax} = 1372.5 kN
inclinazione bielle calcestruzzo	θ = 21.8 °
sezione	duttile
traslazione armatura long.	a_l = 63.9 cm

Verifica a taglio pali di fondazione



11. VERIFICA MURO ANDATORE

Nel presente capitolo sono riportate le ipotesi progettuali e le verifiche strutturali condotte per il dimensionamento e la verifica del muro andatore lato 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 MAX 15 di Aztec Informatica. Questo programma consente la valutazione delle spinte del terreno a tergo del muro, la riproduzione di eventuali sollecitazioni agenti sul paramento del muro, sulla sua fondazione o in corrispondenza del terreno a monte (come la presenza di carichi dovuti al traffico stradale) e la verifica geotecnica e strutturale di tutte le parti che compongono il muro e la sua fondazione (compresi i pali alla base in presenza di fondazioni profonde). Inoltre, il programma consente di combinare le sollecitazioni in funzione della Normativa adottata, fornendo pertanto, le sollecitazioni già fattorizzate e combinate ai fini delle verifiche strutturali.

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

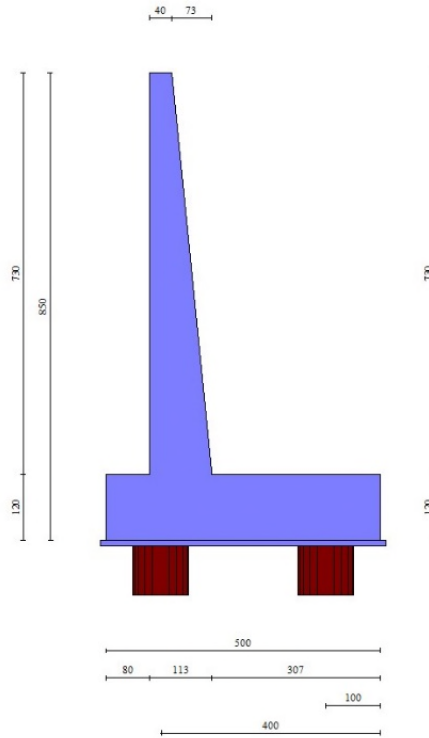
Il muro si compone di un paramento di lunghezza 7.3 m avente spessore che varia da 0.4 m fino a 1.13 m in corrispondenza della zona di incastro con la fondazione; quest'ultima è rappresentata da una piastra avente dimensioni in pianta di 5.0 x 8.0 m e di spessore pari ad 1.2 m. In corrispondenza della piastra di fondazione si incastrano n°6 pali di diametro 1000 mm posti secondo una maglia regolare di 3.0 x 2.5 m, che si sviluppano per una lunghezza di 20 m tale da garantire il trasferimento dei carichi alle formazioni di base poste in profondità.

La stratigrafia adottata fa riferimento a quella desunta dal sondaggio S4, in cui si ha la presenza di coperture detritiche per i primi metri seguite da diverse intercalazioni di scisti aventi caratteristiche meccaniche crescenti con la profondità (SC1, SC2, SC3). Per ulteriori dettagli in merito all'inquadramento geologico e alla caratterizzazione geotecnica dell'area si rimanda ai capitoli **§Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** e **§Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** del presente documento.

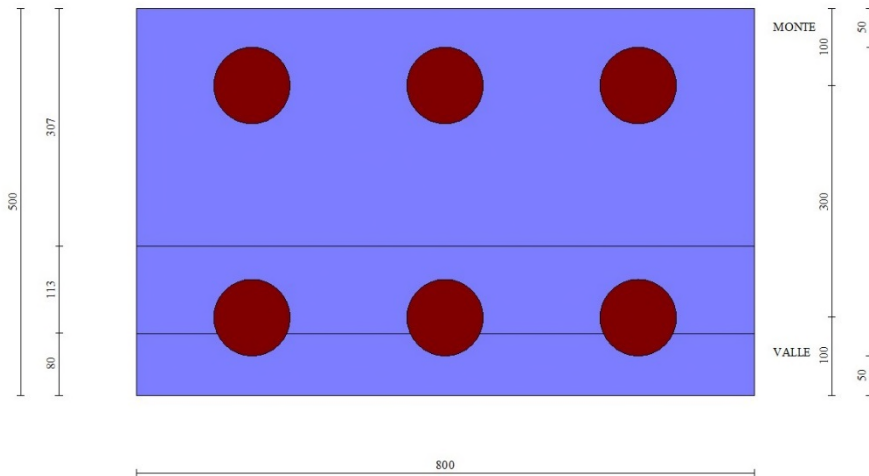
Nelle figure seguenti si riportano una sezione e una pianta quotati che schematizzano il muro andatore oggetto di studio.



Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostruttura, fondazioni
e muri andatori



150 250 n° 3 pali - Ordinata fila y = 4.00 m
D = 100.00 cm - L = 20.00 m - I = 0.00 °
150 250 n° 3 pali - Ordinata fila y = 1.00 m
D = 100.00 cm - L = 20.00 m - I = 0.00 °



Modello MAX 15 – Muro andatore lato spalla B



11.1.2 COMBINAZIONI DI CARICO

Si sono determinate le seguenti combinazioni di carico:

- SLU STR: Combinazioni allo SLU dove sono presenti i carichi relativi al "carico variabile da traffico" fattorizzati con i coefficienti A1+M1+R3;
- SLU GEO: Combinazioni allo SLU dove sono presenti i carichi relativi al "carico variabile da traffico" fattorizzati con i coefficienti A2+M2+R2;
- SLE RARA: Combinazioni allo Stato Limite d'Esercizio Rara dove sono presenti i carichi relativi al "carico variabile da traffico";
- SLE FREQUENTE: Combinazioni allo Stato Limite d'Esercizio Frequente dove sono presenti i carichi relativi al "carico variabile da traffico";
- SLE QUASI PERMANENTE: Combinazioni allo Stato Limite d'Esercizio Quasi Permanente dove sono presenti i carichi relativi al "carico variabile da traffico";
- E: Combinazione sismica connessi all'azione sismica in presenza dei carichi relativi al "carico variabile da traffico";

11.2 RISULTATI ANALISI STRUTTURALE

Nel seguito si riportano i risultati dell'analisi condotta sul muro di sostegno in oggetto, in termini di sollecitazioni agenti sul paramento del muro, sulla platea e sui pali di fondazione, sia in condizioni di esercizio che allo stato limite ultimo.

11.2.1 PARAMENTO DEL MURO

Combinazione	X	N	T	M
	[m]	[kN]	[kN]	[kNm]
STR (A1+M1+R3)	-7.30	136.92	322.90	893.37
STR (A1+M1+R3) H+V	-7.30	136.92	265.09	740.64
STR (A1+M1+R3) H-V	-7.30	136.92	253.27	711.90
SLE RARA	-7.30	136.92	247.14	689.12
SLE FREQUENTE	-7.30	136.92	239.04	670.18
SLE QUASI PERMANENTE	-7.30	136.92	221.36	629.56

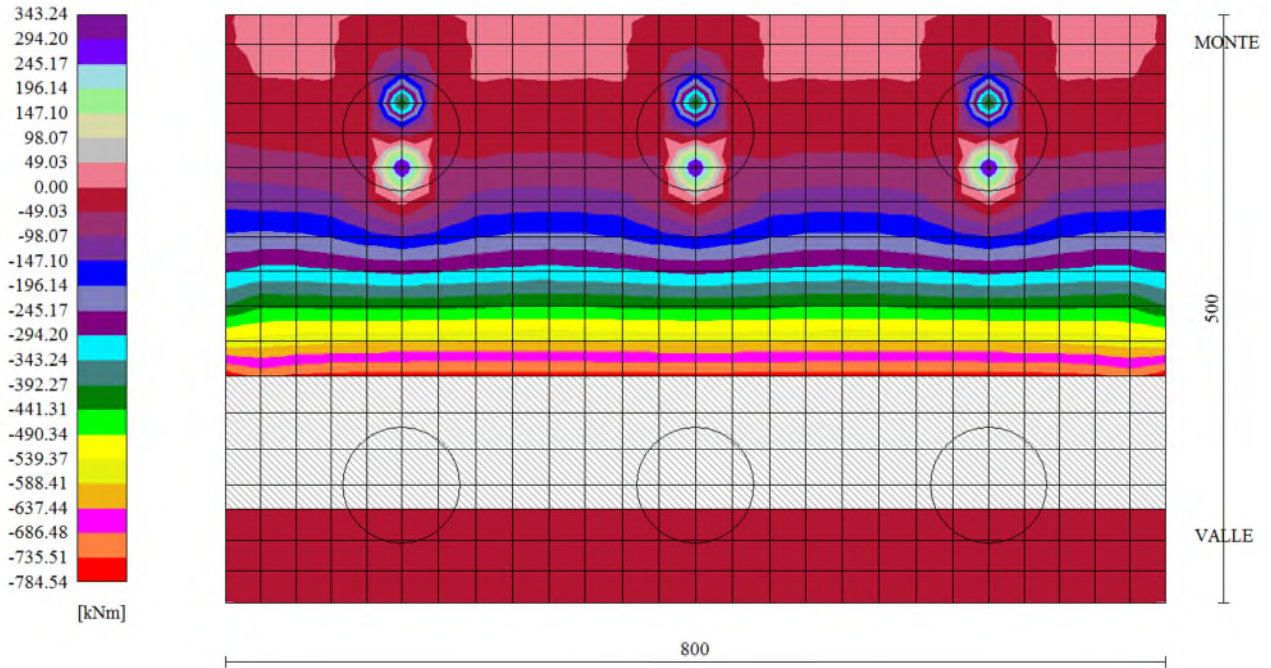
Sollecitazioni massime paramento muro andatore strada Bossarino

11.2.2 PIASTRA DI FONDAZIONE

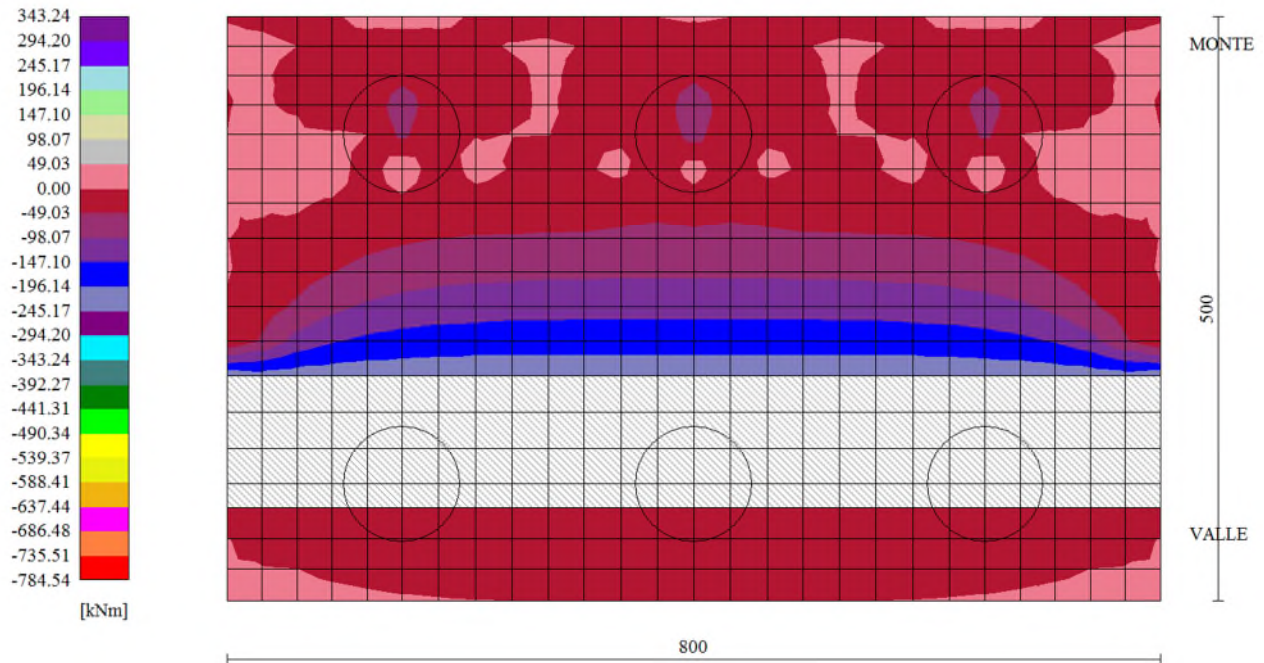
Per la piastra di fondazioni si riporta nei seguenti diagrammi l'andamento del Momento e del taglio lungo le due direzioni principali per la combinazione di carico allo SLU dimensionante (STR – A1+M1+R3).



Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostrutture, fondazioni
e muri andatori



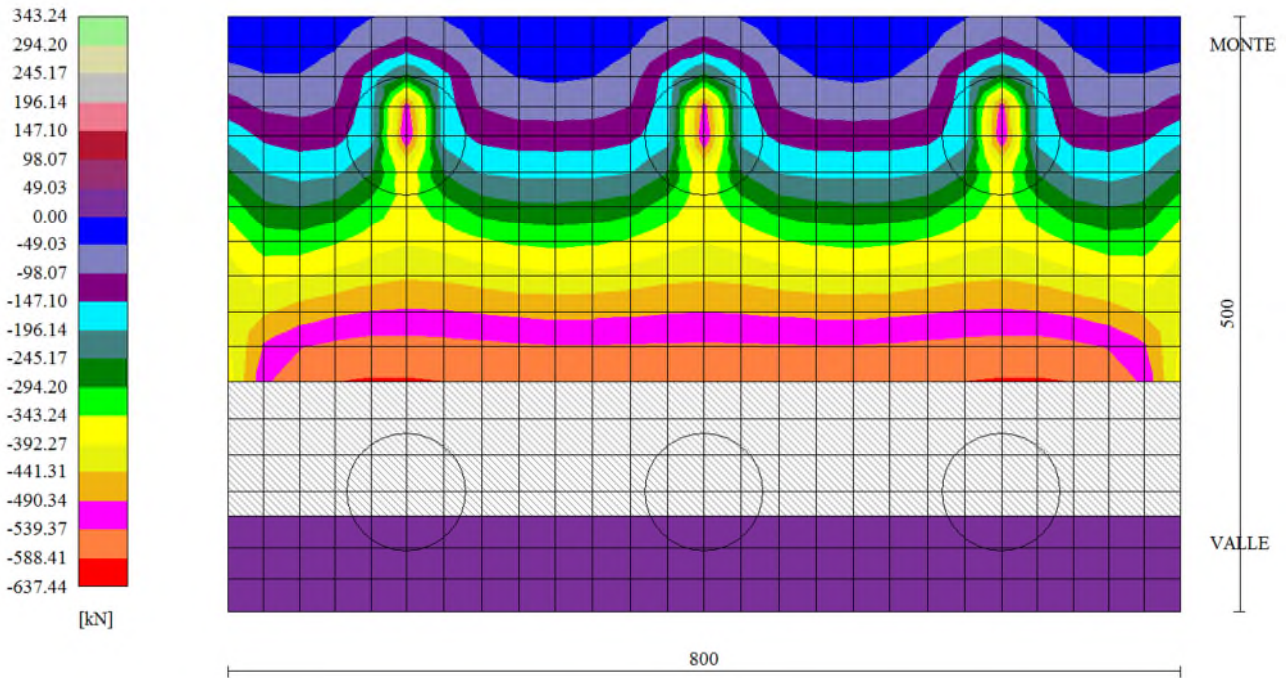
Andamento Momento My sulla platea di fondazione – STR (A1+M1+R3)



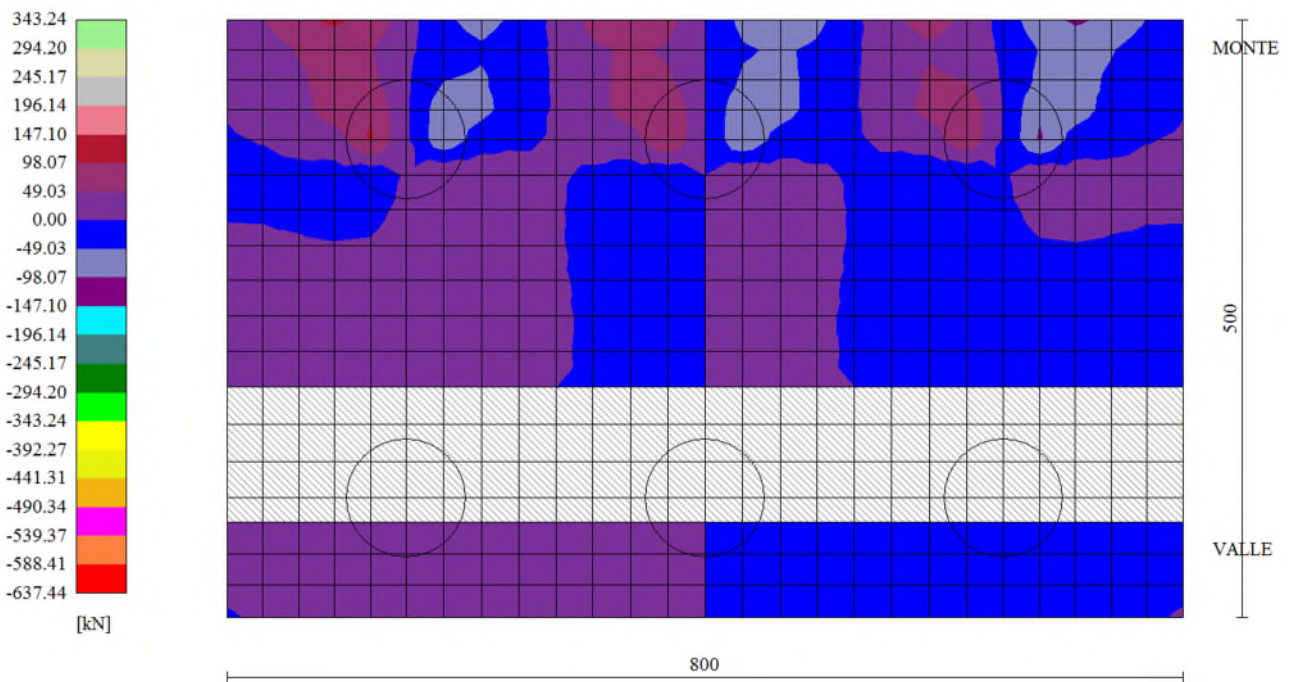
Andamento Momento Mx sulla platea di fondazione – STR (A1+M1+R3)



Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostrutture, fondazioni
e muri andatori



Andamento Taglio T_y sulla platea di fondazione – STR (A1+M1+R3)



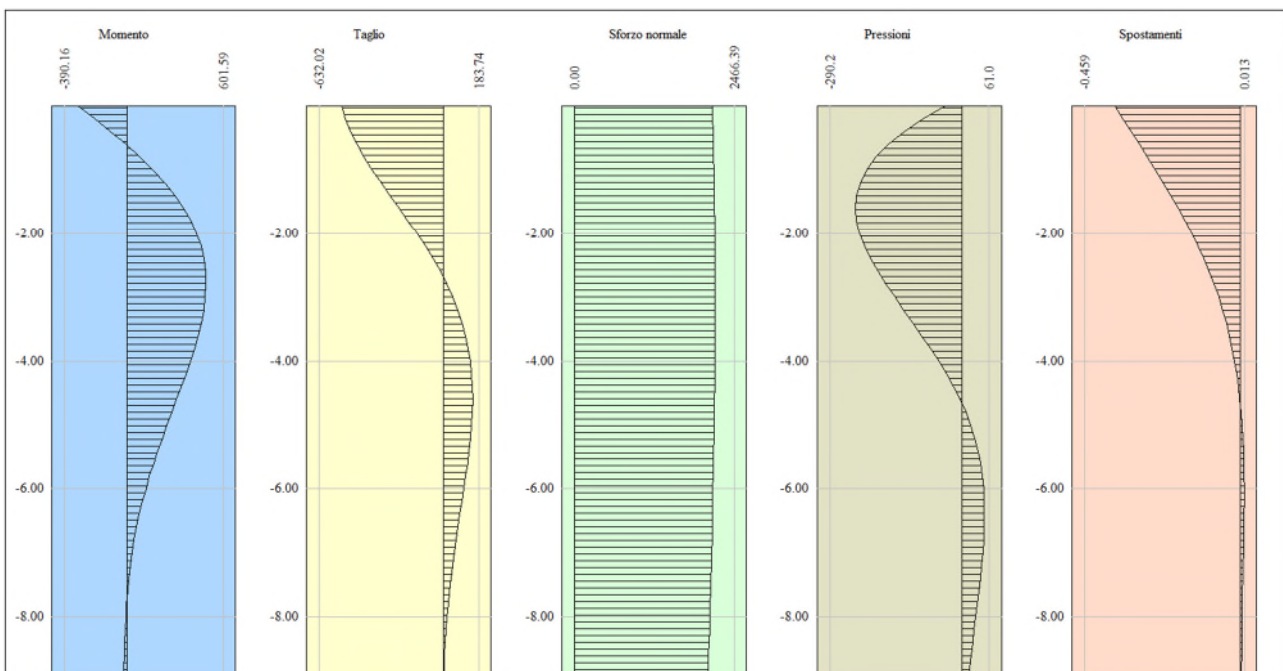
Andamento Taglio T_x sulla platea di fondazione – STR (A1+M1+R3)

11.2.3 PALI DI FONDAZIONE

Nella seguente tabella sono riportati le sollecitazioni massime agenti sulla fila di pali maggiormente sollecitata per la combinazione di carico più gravosa (STR - A1+M1+R3), successivamente rappresentate nella figura che segue.

Y	Td	Md
<i>[m]</i>	<i>[kN]</i>	<i>[kNm]</i>
0.00	-632.02	-390.16
2.80	17.56	601.59
4.60	183.74	382.81
10.00	-8.48	-19.53
20.00	0.00	0.00

Sollecitazioni massime agenti sui pali di fondazione (STR – A1+M1+R3)



Andamento di momento, taglio, sforzo normale, pressioni e spostamenti sui pali di fondazione – STR (A1+M1+R3)

11.3 VERIFICHE STRUTTURALI

Si riportano nel seguito le verifiche strutturali relative al paramento, alla piastra e ai pali di fondazione. Le verifiche sono condotte per le combinazioni di carico più gravose.

11.3.1 PARAMENTO DEL MURO

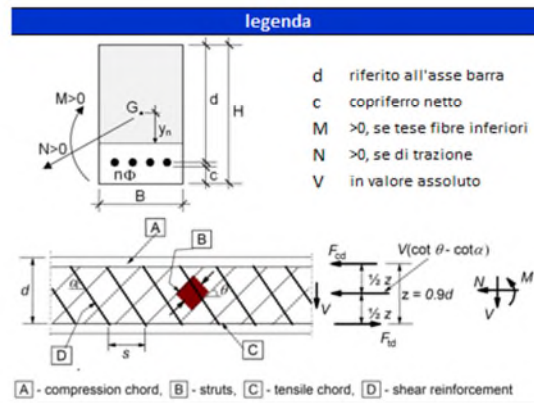
Le armature del paramento sono costituite da:

- $\Phi 20/10$ lato terra e controterra
- Spilli $\Phi 12/40 \times 40$

geometria				
sezione trasversale				
B	H	c	d	z
[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]
100	113	5.7	106.3	95.7
armatura longitudinale				
nbarre	ϕ	d	A _{sl}	
	[mm]	[cm]	[cm ²]	
10	20	6.7	31.42	
10	20	106.3	31.42	
armatura a taglio				
nbracci	ϕ	s	α	A _{sw}
	[mm]	[cm]	[°]	[cm ²]
2.5	12	40	90	2.83

sollecitazioni e risultati				
SLE	SLU			
ME _{Ek}	689.12 [kNm]	ME _{Ed}	893.37 [kNm]	
NE _{Ek}	0 [kN]	NE _{Ed}	0 [kN]	
tensioni e fessure		VE _{Ed}	322.90 [kN]	
M _{dec}	0.0 [kNm]	presso-flessione		
M _{cr}	649.3 [kNm]	M _{Rd}	1264.6 [kNm]	
		FS	1.42	
y _n		-31.96 [cm]	taglio	
$\sigma_{c,min}$	-4.5 [MPa]	V _{Rdc}	368.0 [kN]	non serve armatura a taglio
$\sigma_{s,min}$	-48.6 [MPa]			
$\sigma_{s,max}$	222.8 [MPa]	V _{Rds}	458.3 [kN]	
		V _{Rdmax}	4055.2 [kN]	
k ₂	0.5	θ	30.0 [°]	
$\varepsilon_{sm-\varepsilon_{cm}}$	0.69 [%]	sezione	duttile	
S _{r,max}	37.5 [cm]	ai	106.3 [cm]	
W _k	0.259 [mm]			

materiali			
calcestruzzo		acciaio	
R _{ck}	40 [MPa]	f _{yk}	450 [MPa]
f _{ck}	33.2 [MPa]	γ_s	1.15
γ_c	1.5	f _{yd}	391.3 [MPa]
α_{cc}	0.85	E _s	200000 [MPa]
f _{cd}	18.8 [MPa]	ε_{uk}	75 [%]
v	0.520		
ε_{c2}	2.0 [%]		
ε_{cu2}	3.5 [%]		
α_e	15.0		
k _t	0.4	valori limite	
k ₁	0.8	0,45 f _{ck}	14.9 [MPa]
k ₃	3.4	0,8 f _{yk}	360.0 [MPa]
k ₄	0.425	W _{k,lim}	0.3 [mm]



Verifica strutturale paramento del muro andatore strada Bossarino

11.3.2 PIASTRA DI FONDAZIONE

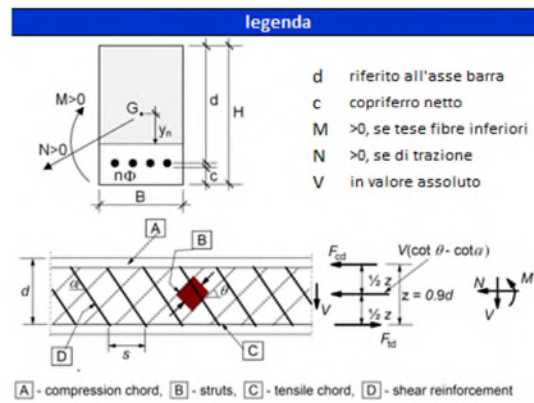
Le armature della piastra di fondazione sono costituite da:

- $\Phi 20/20$ lato terra e controterra in direzione x
- $\Phi 20/20+\Phi 20/40$ lato terra e controterra in direzione y
- Spilli $\Phi 12/40 \times 40$ in direzione x e y

geometria				
sezione trasversale				
B	H	c	d	z
[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]
100	120	4.5	114.5	103.1
armatura longitudinale				
nbarre	ϕ	d	A_{st}	
	[mm]	[cm]	[cm ²]	
5	20	5.5	15.71	
5	20	114.5	15.71	
armatura a taglio				
nbracci	ϕ	s	α	A_{sw}
	[mm]	[cm]	[°]	[cm ²]
2.5	12	40	90	2.83

sollecitazioni e risultati	
SLE	SLU
M_{Ek} 177.408 [kNm]	M_{Ed} 230.63 [kNm]
N_{Ek} 0 [kN]	N_{Ed} 0.00 [kN]
tensioni e fessure	
M_{dec} 0.0 [kNm]	presso-flessione
M_{cr} 558.0 [kNm]	M_{rd} 690.0 [kNm]
	FS 2.99
y_n -40.47 [cm]	taglio
$\sigma_{c,min}$ -1.4 [MPa]	V_{Rdc} 337.6 [kN]
$\sigma_{s,min}$ -15.4 [MPa]	non serve armatura a taglio
$\sigma_{s,max}$ 104.4 [MPa]	
	V_{Rds} 493.7 [kN]
k_2 0.5	V_{Rdmax} 3401.4 [kN]
$\epsilon_{sm-\epsilon_{cm}}$ - [% _{se}]	θ 30.0 [°]
$S_{r,max}$ - [cm]	sezione duttile
W_k - [mm]	a_i 114.5 [cm]

materiali			
calcestruzzo		acciaio	
R_{ck}	30 [MPa]	f_{yk}	450 [MPa]
f_{ck}	24.9 [MPa]	γ_s	1.15
γ_c	1.5	f_{yd}	391.3 [MPa]
α_{cc}	0.85	E_s	200000 [MPa]
f_{cd}	14.1 [MPa]	ϵ_{uk}	75 [%]
ν	0.540		
ϵ_{c2}	2.0 [%]		
ϵ_{cu2}	3.5 [%]		
α_e	15.0		
k_t	0.4		
		valori limite	
k_1	0.8	$0,45 f_{ck}$	11.2 [MPa]
k_3	3.4	$0,8 f_{yk}$	360.0 [MPa]
k_4	0.425	$W_{k,lim}$	0.3 [mm]

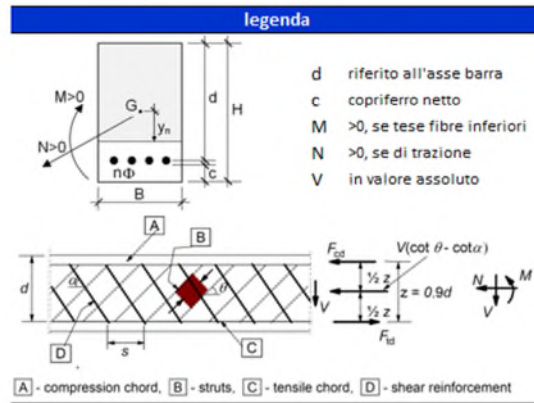


Verifica strutturale SLU e SLE platea di fondazione in direzione x del muro andatore strada Bossarino

geometria				
sezione trasversale				
B	H	c	d	z
[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]
100	120	4,5	114,5	103,1
armatura longitudinale				
nbarre	φ	d	A _{st}	
	[mm]	[cm]	[cm ²]	
7,5	20	5,5	23,56	
7,5	20	114,5	23,56	
armatura a taglio				
nbracci	φ	s	α	A _{sw}
	[mm]	[cm]	[°]	[cm ²]
2,5	12	40	90	2,83

sollecitazioni e risultati		
SLE	SLU	
M _{Ek} -591.37 [kNm]	M _{Ed} -768.78 [kNm]	
N _{Ek} 0 [kN]	N _{Ed} 0.00 [kN]	
tensioni e fessure		
M _{dec} 0.0 [kNm]	V _{Ed} 593.42 [kN]	
M _{cr} -581.2 [kNm]	presso-flessione	
	M _{Rd} -1025.1 [kNm]	
	FS 1.33	
y _n 37.10 [cm]	taglio	
σ _{c,min} -3.9 [MPa]	V _{Rdc} 337.6 [kN]	
σ _{s,min} -44.4 [MPa]	predisporre armatura a taglio	
σ _{s,max} 234.0 [MPa]	V _{Rds} 493.7 [kN]	
	V _{Rdmax} 3401.4 [kN]	
k _z 0.5	θ 30.0 [°]	
ε _{sm-ε_{cm}} 0.79 [‰]	sezione duttile	
s _{r,max} 35.1 [cm]	a _i 89.2 [cm]	
W _k 0.279 [mm]		

materiali			
calcestruzzo		acciaio	
R _{ck}	30 [MPa]	f _{yk}	450 [MPa]
f _{ck}	24.9 [MPa]	γ _s	1.15
γ _c	1.5	f _{yd}	391.3 [MPa]
α _{cc}	0.85	E _s	200000 [MPa]
f _{cd}	14.1 [MPa]	ε _{uk}	75 [‰]
v	0.540		
ε _{c2}	2.0 [‰]		
ε _{cu2}	3.5 [‰]		
α _e	15.0		
k _t	0.4		
		valori limite	
k ₁	0.8	0,45 f _{ck}	11.2 [MPa]
k ₃	3.4	0,8 f _{yk}	360.0 [MPa]
k ₄	0.425	W _{k,lim}	0.3 [mm]



Verifica strutturale SLU e SLE platea di fondazione in direzione y del muro andatore strada Bossarino

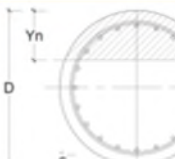
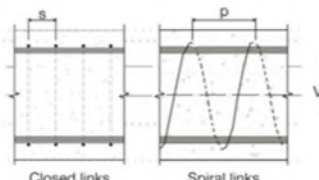
11.3.3 PALI DI FONDAZIONE

Le armature dei pali sono costituite da:

- 20Φ26 armatura in direzione longitudinale
- Spirale Φ12/15 in direzione trasversale

geometria					sollecitazioni e risultati			
sezione trasversale					SLE		SLU	
D	c	d	passo	interferro	M _{Ek}	462.76 [kNm]	M _{Ed}	601.59 [kNm]
[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	N _{Ek}	0.0 [kN]	N _{Ed}	0.0 [kN]
100	7.0	90,5	12,7	10,1	momento di cracking		V _{Ed}	632.02 [kN]
armatura longitudinale					M _{cr}	265.0 [kNm]	presso-flessione	
nbarre	φ	r _l	A _{sl}	c _l	quota asse neutro		M _{Rd}	1438.7 [kNm]
	[mm]	[cm]	[cm ²]	[cm]	y _n	32.00 [cm]	FS	2.39
20	26	40.50	106.19	9.50	tensioni e fessure		taglio	
					σ _{c,min}	-6.3 [MPa]	V _{Rdc}	305.3 [kN]
					σ _{s,min}	-66.3 [MPa]	predisporre armatura a taglio	
					σ _{s,max}	172.3 [MPa]		
armatura a taglio					k ₂	0.5	V _{Rds}	656.3 [kN]
Tipo	φ	p	A _{sw}		ε _{sm-ε_{cm}}	0.48 [%]	V _{Rdmax}	1834.1 [kN]
	[mm]	[cm]	[cm ²]		S _{r,max}	50,1 [cm]	θ	28.0 [°]
spirale	12	15	2.26		W _k	0.24 [mm]	sezione duttile	
							a _l	62.4 [cm]

materiali			
calcestruzzo		acciaio	
R _{ck}	30 [MPa]	f _{yk}	450 [MPa]
f _{ck}	24.9 [MPa]	γ _s	1.15
γ _c	1.5	f _{yd}	391.3 [MPa]
α _{cc}	0.85	E _s	200000 [MPa]
f _{cd}	14.1 [MPa]	ε _{uk}	75 [%]
v	0.5		
ε _{c2}	2.0 [%]		
ε _{cu2}	3.5 [%]		
α _e	15.0	rara	
k _t	0.6	valori limite	
k ₁	0.8	0,45 f _{ck}	11.2 [MPa]
k ₃	3.4	0,8 f _{yk}	360,0 [MPa]
k ₄	0.425	W _{k,lim}	0.3 [mm]

legenda	
	d riferito all'asse barra
	c copriferro netto
	M >0, se tese fibre inferiori
	N >0, se di trazione
	V in valore assoluto
	
	Closed links
	Spiral links

Verifica strutturale SLU e SLE pali di fondazione del muro andatore strada Bossarino

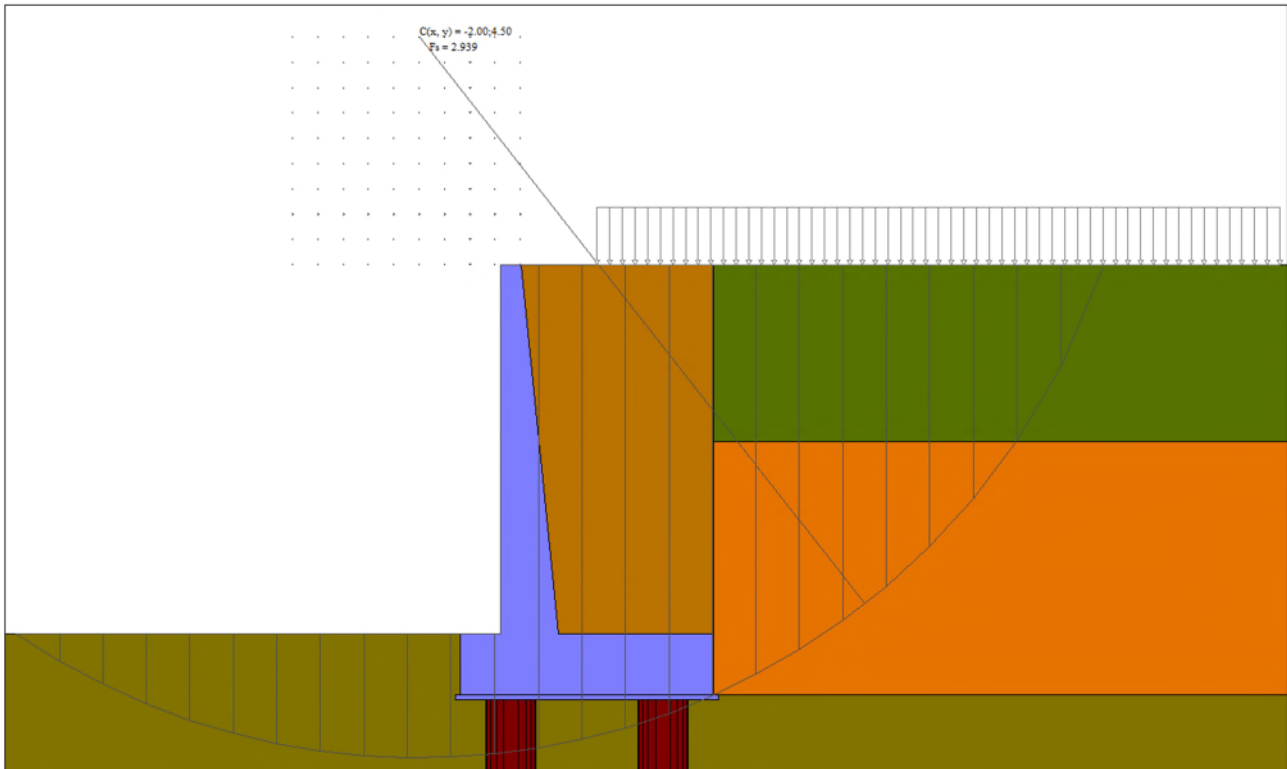
11.4 VERIFICHE GEOTECNICHE

Le verifiche geotecniche per l'opera in oggetto riguardano:

- Verifica alla stabilità globale dell'opera (A2+M2+R2);
- Verifica di capacità portante del sistema di fondazione-terreno (A1+M1+R3);
- Verifica di portanza trasversale del sistema di fondazione-terreno (A1+M1+R3);

11.4.1 STABILITÀ GLOBALE

La verifica di stabilità globale dell'opera per la combinazione di carico più gravosa (GEO – A2+M2+R2) risulta soddisfatta, con un fattore di sicurezza FS = 2.949. Di seguito si riporta il diagramma relativo alla superficie di scivolamento critica.



Verifica di stabilità globale del sistema di fondazione-terreno (GEO – A2+M2+R2)

11.4.2 CAPACITÀ PORTANTE

Si riportano nella tabella seguente i risultati relativi alla verifica di capacità portante del sistema di fondazione – terreno per le combinazioni di carico più gravose.

Combinazione	Fila pali	N	Pd	FS _v
		[kN]	[kN]	
STR (A1-M1-R3)	1	138.85	2915.61	20.999
STR (A1-M1-R3)	2	2430.06	2915.61	1.200
STR (A1-M1-R3) H + V	1	251.99	2915.61	11.570
STR (A1-M1-R3) H + V	2	2131.56	2915.61	1.368

Verifica di capacità portante sistema di fondazione-terreno

La verifica risulta soddisfatta.



11.4.3 PORTANZA TRASVERSALE

Si riportano nella tabella seguente i risultati relativi alla verifica di portanza trasversale del sistema di fondazione-terreno per le combinazioni di carico più gravose.

Combinazioni	Fila pali	T	Td	FS ₀
		[kN]	[kN]	
STR (A1-M1-R3)	1	-632.02	708.75	1.121
STR (A1-M1-R3)	2	-632.02	708.75	1.121
STR (A1-M1-R3) H + V	1	-520.45	700.60	1.346
STR (A1-M1-R3) H + V	2	-520.45	700.60	1.346
STR (A1-M1-R3) H - V	1	-494.84	698.24	1.411
STR (A1-M1-R3) H - V	2	-494.84	698.24	1.411

Verifica di portanza trasversale sistema di fondazione-terreno

La verifica risulta soddisfatta.

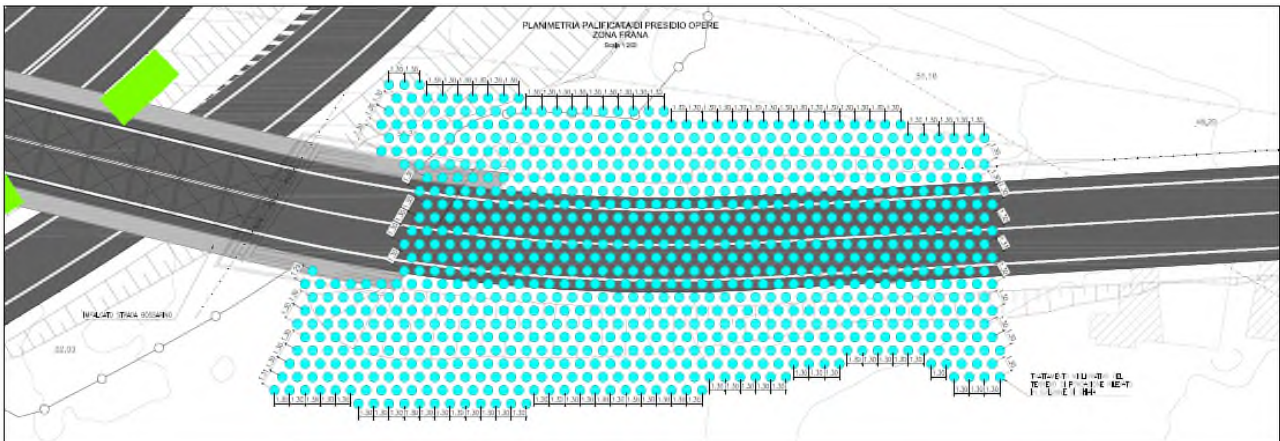
12. INTERVENTO DI CONSOLIDAMENTO CON PALI IN GHIAIA

L'area dove sorgerà il rilevato presenta problemi di cedimenti, perché è collocato in una zona in cui sono presenti rifiuti e inerti provenienti probabilmente dagli scavi di sbancamento del bacino della centrale ex ENEL e/o dalle trincee della vicina linea ferroviaria che non sono stati compattati, perciò è previsto l'intervento di consolidamento con pali in ghiaia. Le colonne di ghiaia servono sia ad irrigidire il terreno, sia ad accelerare il fenomeno della consolidazione grazie alla loro capacità drenante.

Questi pali sono realizzati mediante sonda vibrante che penetra nel sottosuolo addensando il terreno circostante. Il foro realizzato viene successivamente riempito di ghiaia che viene addensata dalla stessa sonda vibrante

L'intervento previsto consiste nella realizzazione di un sistema di pali in ghiaia di diametro $D=0.8$ m disposti a maglia triangolare con interasse 1.3 m e lunghezza media delle colonne $L=10$ m come in figura sottostante. Le colonne saranno realizzate con materiale avente le seguenti caratteristiche:

- pezzatura 15÷40 mm;
- peso specifico ≈ 22 kN/m³;
- angolo di attrito 36°;
- modulo elastico della colonna 60÷80 MPa.





Comune di Vado Ligure
Nuovo svincolo autostradale – Progetto Definitivo
Ponte “Strada Bossarino” – Relazione di calcolo sottostrutture, fondazioni
e muri andatori

RILEVATO - STRADA BOSSARINO

CALCOLO DEI CEDIMENTI DEI RILEVATI

Calcolo dei cedimenti

Calcolo di w

$$w = K_r \cdot \sum_i \frac{\Delta\sigma_{vi} \cdot \Delta H_i}{E_i}$$

larghezza della fondazione	B	17.7	[m]
pressione media in fondazione	q	100.0	[kPa]
coefficiente di Poisson	ν	0.33	[-]
coefficiente di spinta a riposo	k_0	0.499	[-]
passo di calcolo	Δz	0.5	[m]
quota della falda	z_w	0.0	[m]
peso acqua	γ_w	10.0	[kN/m ³]
peso terreno	γ	19.0	[kN/m ³]
peso del terreno immerso	γ'	9.0	[kN/m ³]
coefficiente di rigidezza della fondazione	k_r	1.00	[-]
limite dell'incremento	α	0.10	[-]
profondità del piano di posa	z_i	0.00	[m]
cedimento in asse	w	80.8	[mm]

Cedimenti

cedimento immediato	w_0	46	[mm]
cedimento di consolidazione	w_c	35	[mm]
cedimento totale	w_{tot}	81	[mm]

Nella tabella soprariportata, si può notare che in assenza di interventi di consolidamento il cedimento subito dal rilevato è pari a circa 8 cm. Poiché questo non risulta compatibile con la funzionalità dell'opera, si è studiato un sistema di colonne di ghiaia che consente la riduzione dei cedimenti, rendendoli compatibili con la funzionalità del rilevato.

I risultati del calcolo della riduzione del cedimento con colonne di ghiaia e la verifica dello spanciamiento della colonna sono mostrate nelle seguenti tabelle.



RILEVATO - STRADA BOSSARINO

CONSOLIDAMENTO CON COLONNE IN GHIAIA

Calcolo dei cedimenti

Riduzione del cedimento con colonne in ghiaia

$$s_{tot,0} = \frac{q}{E_{d,m}} \cdot L_c$$

$$s_{tot,c} = \frac{q_t}{E_{d,m}} \cdot L_c$$

$$FRC = \frac{s_{tot,c}}{s_{tot,0}}$$

<i>cedimento tot in assenza di colonne</i>	$s_{tot,0}$	0.10	[m]
<i>cedimento tot in presenza di colonne</i>	$s_{tot,c}$	0.05	[m]
<i>riduzione del cedimento</i>	α	47.0	[%]
<i>fattore di riduzione del cedimento</i>	FRC	0.53	[-]

RILEVATO - STRADA BOSSARINO

CONSOLIDAMENTO CON COLONNE IN GHIAIA

Calcolo dei cedimenti

Verifica allo spanciamento della colonna

$$P_c = P \cdot \frac{1}{1 + \left(\frac{E_t}{E_c}\right) \cdot (\alpha^2 - 1)}$$

$$P_t = P \cdot \frac{1}{\frac{E_c}{E_t \cdot (\alpha^2 - 1)} + 1}$$

carico agente sulla cella equivalente	P	146.34	[kN]
rapporto interasse diametro colonna	α	1.63	[-]
carico assorbito dalla colonna	P_c	114.9	[kN]
carico assorbito dal terreno	P_t	31.4	[kN]
pressione verticale sulla colonna	$\sigma_{v,c}$	228.6	[kPa]
pressione verticale sul terreno	$\sigma_{v,t}$	32.7	[kPa]
pressione orizzontale sulla colonna	$\sigma_{v,c}$	59.4	[kPa]
pressione orizzontale sul terreno	$\sigma_{v,t}$	66.7	[kPa]
pressione limite	σ_{lim}	15.2	[kPa]
coefficiente di sicurezza	FS	2.1	[kPa]