

Sistema Tramviario Fiorentino

RTI Progettisti:

SYSTRA

SOTECNI
SYSTRA GROUP



PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA PER L'ESTENSIONE DEL SISTEMA TRAMVIARIO FIORENTINO NEI COMUNI DI FIRENZE, CAMPI BISENZIO E SESTO FIORENTINO - FASE C

LINEA 4.2 - ESTENSIONE PER CAMPI BISENZIO

Opere d'arte Relazione di calcolo preliminare Viadotti

COMUNE DI FIRENZE
SISTEMA TRAMVIARIO FIORENTINO

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

ING. FILIPPO MARTINELLI

IL DIRETTORE DELL'ESECUZIONE DEL CONTRATTO

ING. CHIARA BERSIANI

RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE E DEL COORDINAMENTO FRA
LE VARIE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE

ING. PAOLO MARCHETTI



Gruppo di Progettazione:

Ing. A. Piazza (Coordinatore Tecnico)
Dott. Geol. F. Valdemarin (Progettazione Geologica)
Ing. A. Benvenuti (Progetto Opere Idrauliche)
Dott.ssa B. Sassi (Indagini Preliminari Archeologiche)
Ing. F. Tamburini (Studi di carattere Ambientale)
Ing. M. Angeloni (Valutazione Previsionale di Impatto Acustico)
Ing. S. Caminiti (Prog. Ferrotranviario Studi Trasportistici)
Ing. J. Wajs (Progetto Impianti Tecnologici)
Ing. G. D'Angelo (Progetto Strutture)
Ing. D. Salvo (Progetto Arch./Paesaggistico Inser. Urbanistico)
Ing. F. Conti (Sicurezza - Prime Disposizioni)
Ing. B. Rowenczyn (Piani Economici e Finanziari)
Ing. G. Coletti (Progettazione Funzionale Depositi Tramviari)
Ing. L. Costalli (Esperto in Esercizio)
Ing. F. Azzarone (Impianti Meccanici)
Ing. D. D'Apollonio (Impianti Elettrici)
Ing. V. Astorino (Cantierizzazione)
Ing. P. Caminiti (Viabilità Interferenti)
Arch. A. Moscheo (PP.SS. Interferenti)
Ing. A. Lucioni (CAM)
Ing. D. Russo (Stime, Capitolati)

COMMESSA	LINEA	FASE	DISCIPLINA	TIPO/NUMERO	REV.	SCALA	NOME FILE
B382	42	SF	STR	RT003	B	-	B382-4.2-SF-STR-RT003-B

REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
0	Dicembre 2019	EMISSIONE	SANNA	DI IULLO	MARCHETTI
1	Giugno 2020	AGGIORNAMENTO A SEGUITO ISTRUTTORIE	SANNA	DI IULLO	MARCHETTI
2					

- SOMMARIO

1.	DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO DI PROGETTO	5
2.	NORMATIVA	10
3.	MATERIALI E RESISTENZA DI CALCOLO	12
4.	DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA E DELLA CATEGORIA DI SUOLO	14
4.1	REQUISITI PRESTAZIONALI DELLE OPERE IN PROGETTO	14
4.2	DETERMINAZIONE CATEGORIA DI SUOLO	14
4.3	DEFINIZIONE VALORI DI ACCELERAZIONE SU SUOLO RIGIDO	14
4.4	ACCELERAZIONI SISMICHE PER COMBINAZIONI SLV, SLD, SLO	17
5.	VALUTAZIONE DEI CARICHI AGENTI	18
6.	MODELLAZIONE FEM	22
6.1	DEFINIZIONI MODELLO FEM	26
7.	FASI COSTRUTTIVE	31
8.	RISULTATI FEM	35
8.1	FASE COSTRUTTIVA 1) – SOLO CASSONE METALLICO.....	35
8.2	FASE COSTRUTTIVA 2) – GETTO SOLETTA – SOLETTA NON COLLABORANTE	37
8.3	FASE COSTRUTTIVA 3) – TEMPO INFINITO (ESERCIZIO) CON SOLETTA COLLABORANTE E $\square=2$	39
8.4	FASE COSTRUTTIVA 4) – ACCIDENTALI CON SOLETTA COLLABORANTE E $\square=0$	41
8.5	FASE COSTRUTTIVA 4) – SISMA CON SOLETTA COLLABORANTE E $\square=0$	42
9.	VERIFICHE CASSONE.....	44

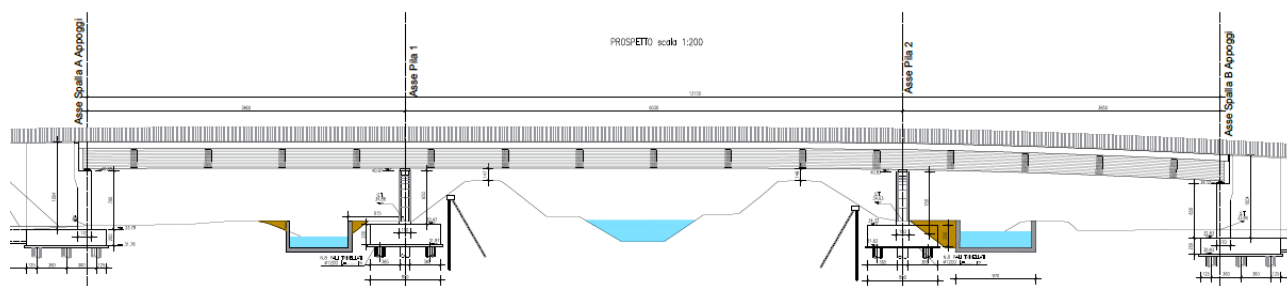
9.1 VERIFICHE SLU	44
9.2 VERIFICHE SPICCATO PILA.....	45
10. VERIFICHE FONDAZIONE PILA	48
10.1 GEOMETRIA ELEVAZIONE	48
10.2 GEOMETRIA FONDAZIONE.....	48
10.3 AZIONI CARATTERISTICHE IMPALCATO	50
10.4 AZIONI SISMICHE SPICCATO PILA	50
10.5 COMBINAZIONI SLU AL BARICENTRO PALIFICATA	50
10.6 SOLLECITAZIONI SLU SUI PALI DI FONDAZIONE	51
10.7 VERIFICA SLU PALO	52
10.8 VERIFICA SLU PLATEA DI FONDAZIONE – UNGHIA LONGITUDINALE.....	54
10.9 VERIFICA SLU PLATEA DI FONDAZIONE – UNGHIA TRASVERSALE	54
11. VERIFICHE SPALLA	55
11.1 GEOMETRIA SPALLA.....	55
11.1.1 Muro frontale.....	55
11.1.2 Muro paraghiaia.....	56
11.1.3 Muri risolto	56
11.1.4 Platea di fondazione	56
11.1.5 Palificata	56
11.1.6 Azioni caratteristiche impalcato	57
11.1.7 Azioni sismiche impalcato.....	57

11.1.8	<i>Azioni sismiche terreno.....</i>	58
11.1.9	<i>Combinazioni SLU al baricentro palificata</i>	58
11.1.10	<i>Sollecitazioni SLU sui pali di fondazione.....</i>	59
11.1.11	<i>Verifica SLU palo</i>	59
11.1.12	<i>Verifica SLU platea di fondazione – unghia anteriore</i>	60
11.1.13	<i>Verifica SLU spiccato muro frontale.....</i>	61
11.1.14	<i>Verifica SLU spiccato muro paraghiaia</i>	62

1. DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO DI PROGETTO



L'intervento di progetto consiste in un viadotto a 3 campate di luci 38.5+60.3+38.5m.



L'impalcato è continuo in acciaio-cls, di larghezza pari a 10.0m ed ospita una sede tramviaria a due vie. La carpenteria metallica è costituita da un cassone a tre travi, di altezza costante pari a 2400mm; lo spessore delle anime è di 20mm per le travi laterali e di 16mm per la trave centrale. Le tre travi sono collegate inferiormente da una lastra di spessore 20mm. La soletta ha uno spessore di 25cm.

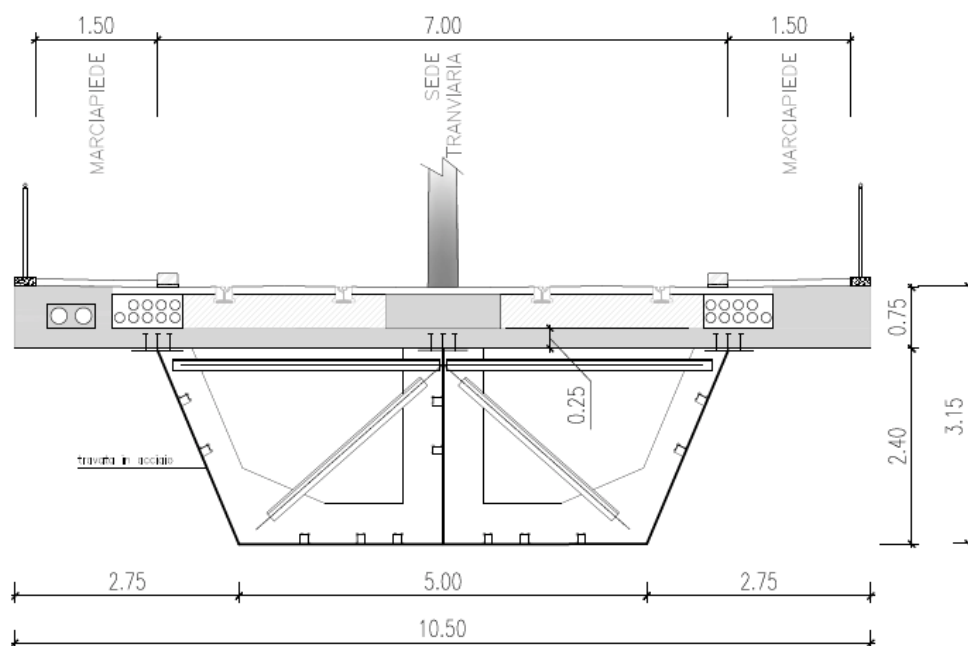


Comune
di Firenze

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA PER L'ESTENSIONE DEL SISTEMA
TRAMVIARIO FIORENTINO NEI COMUNI DI FIRENZE, CAMPI BISENZIO E SESTO FIORENTINO –
FASE C

CIG 70209921E3 - CUP H11E16001130001 + H11I12000010002

LINEA 4.2 - ESTENSIONE PER CAMPI BISENZIO



Il fusto pila ha altezza variabile e sezione costante (piena), con dimensioni in pianta 150x400cm;
il pulvino ha altezza costante pari a 440cm e sezione variabile, con dimensioni in pianta
150x(400-600)cm.

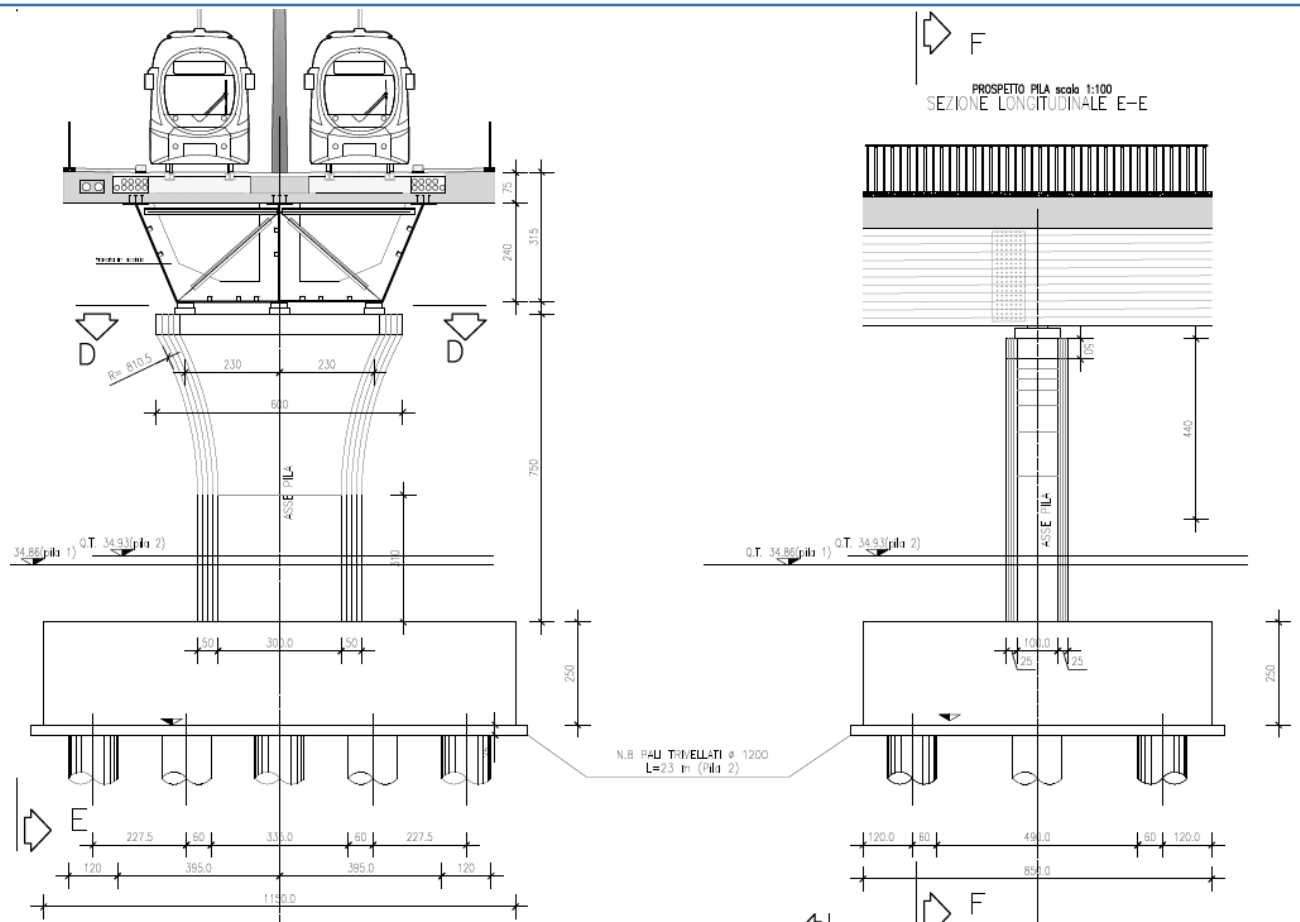


Comune
di Firenze

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA PER L'ESTENSIONE DEL SISTEMA
TRAMVIARIO FIORENTINO NEI COMUNI DI FIRENZE, CAMPI BISENZIO E SESTO FIORENTINO –
FASE C

CIG 70209921E3 - CUP H11E16001130001 + H11I12000010002

LINEA 4.2 - ESTENSIONE PER CAMPI BISENZIO



La fondazione è prevista su 8 pali d=1200mm; le dimensioni della zattera sono 850x1150x250cm.

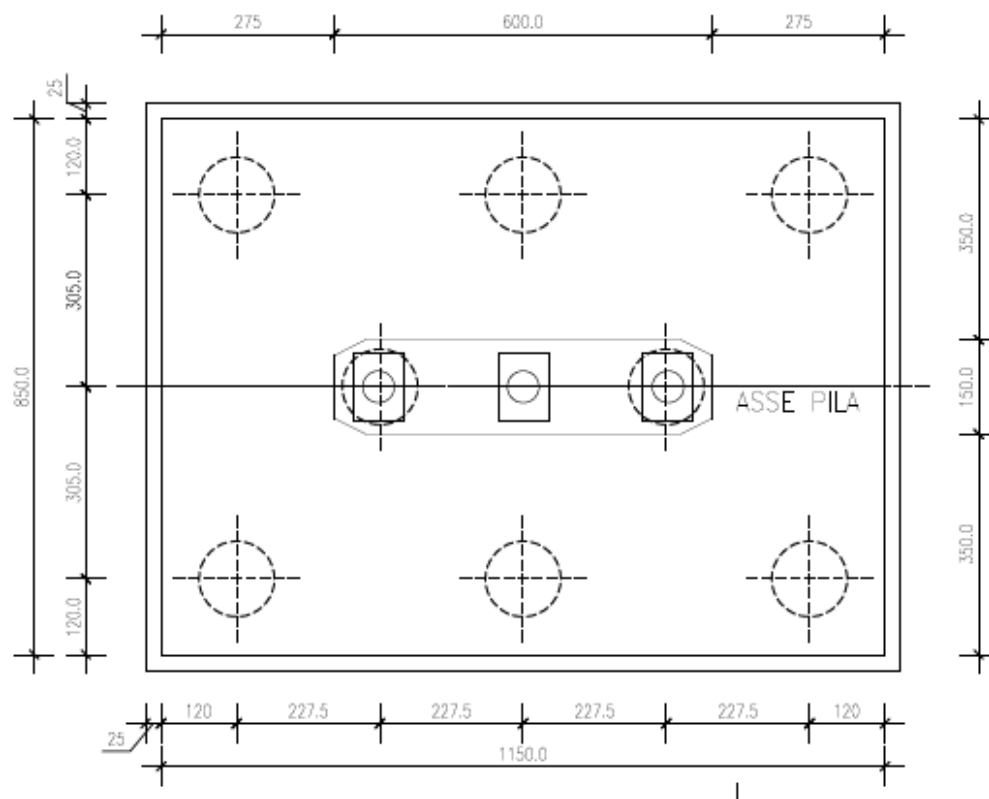


Comune
di Firenze

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA PER L'ESTENSIONE DEL SISTEMA
TRAMVIARIO FIORENTINO NEI COMUNI DI FIRENZE, CAMPI BISENZIO E SESTO FIORENTINO –
FASE C

CIG 70209921E3 - CUP H11E16001130001 + H11I12000010002

LINEA 4.2 - ESTENSIONE PER CAMPI BISENZIO



Le spalle sono del tipo tradizionale su pali, con muro frontale di altezza 700cm per la spalla A e 650cm per la spalla B.

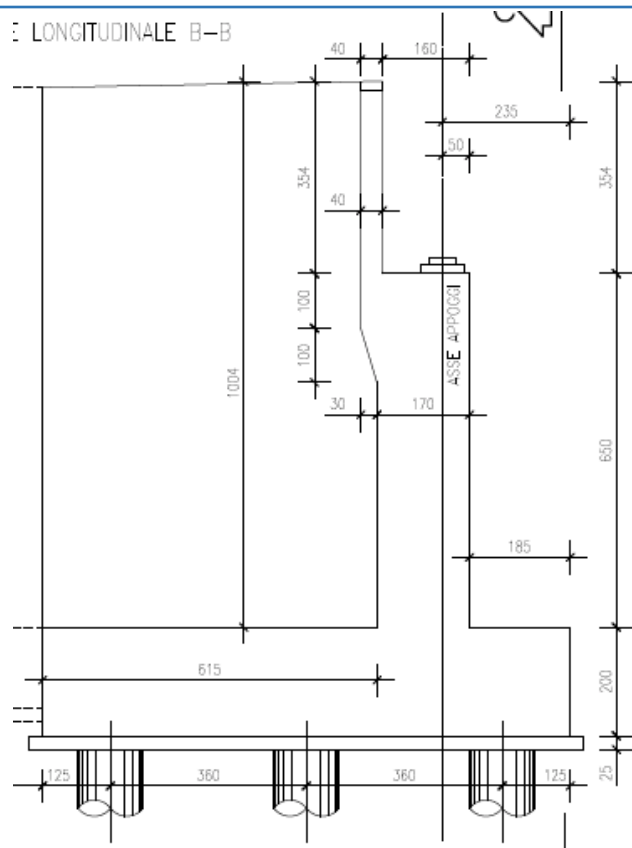


Comune
di Firenze

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA PER L'ESTENSIONE DEL SISTEMA
TRAMVIARIO FIORENTINO NEI COMUNI DI FIRENZE, CAMPI BISENZIO E SESTO FIORENTINO –
FASE C

CIG 70209921E3 - CUP H11E16001130001 + H11I12000010002

LINEA 4.2 - ESTENSIONE PER CAMPI BISENZIO



La fondazione è prevista su 12 pali $d=1200\text{mm}$; le dimensioni della zattera sono $970 \times 1330 \times 200\text{cm}$.



Le verifiche statiche e la redazione della presente relazione sono state eseguite nel rispetto della Normativa in vigore:

DM Infrastrutture 17 gennaio 2018 - Aggiornamento delle “Norme Tecniche per le Costruzioni”.

Circolare 20 gennaio 2019, n.7/C.S.LL.PP. – Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al DM 17 gennaio 2018.



Comune
di Firenze

L. 05/11/1972 n. 1086 – Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato normale e precompresso ed a struttura metallica.

UNI EN 1990:2006 – Criteri generali di progettazione strutturale.

UNI EN 1997-1:2013 – Progettazione geotecnica - Parte 1: Regole generali.

UNI EN 1998-1:2013 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 1: Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici.

UNI EN 1998-2:2011 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 2: Ponti.

UNI EN 1998-5:2005 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici.

UNI EN 206:2016 – Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità.

UNI 11104:2016 – Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità - Specificazioni complementari per l'applicazione della EN 206.

•



Comune
di Firenze

3. MATERIALI E RESISTENZA DI CALCOLO

I materiali impiegati sono:

- **Conglomerato cementizio per getti di pulizia (classe C12/15)**

- **Conglomerato cementizio per fondazioni e pali (classe C25/30)**

-classe di esposizione XC2

- resistenza a compressione cubica caratteristica: $R_{ck}=30,00 \text{ N/mm}^2$

- resistenza a compressione cilindrica caratteristica: $f_{ck}=25,00 \text{ N/mm}^2$

- classe di consistenza Slump: S4

- **Conglomerato cementizio per elevazione pile e spalle (classe C32/40)**

-classe di esposizione XC4/XF1

- resistenza a compressione cubica caratteristica: $R_{ck}=40,00 \text{ N/mm}^2$

- resistenza a compressione cilindrica caratteristica: $f_{ck}=32,00 \text{ N/mm}^2$

- classe di consistenza Slump: S4

- **Conglomerato cementizio per soletta impalcato (classe C32/40)**

-classe di esposizione XC3/XF4

- resistenza a compressione cubica caratteristica: $R_{ck}=40,00 \text{ N/mm}^2$

- resistenza a compressione cilindrica caratteristica: $f_{ck}=32,00 \text{ N/mm}^2$

- classe di consistenza Slump: S4

- **Acciaio in barre ad aderenza migliorata - tipo B450C:**

- modulo elastico: $E_s=200.000 \text{ N/mm}^2$



Comune
di Firenze

- tensione a trazione caratteristica

$$f_{tk}=540 \text{ N/mm}^2$$

- tensione di snervamento caratteristica

$$f_{yk}=450 \text{ N/mm}^2$$

La resistenza di calcolo del materiale, con $g_s = 1,15$ (coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio) risulta:

$$f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s = 450/1.15 = 391.3 \text{ N/mm}^2$$

- **Carpenteria metallica impalcato - Acciaio classe S355 J2**

4. DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA E DELLA CATEGORIA DI SUOLO

4.1 Requisiti prestazionali delle opere in progetto

La vita nominale (VN) delle opere in progetto è assunta pari a 50 anni.

La classe d'uso assunta è la III ($c_u=1.5$).

Il periodo di riferimento (VR) per l'azione sismica, data la vita nominale e la classe d'uso vale:

$$V_R = V_N \cdot c_u = 75 \text{ anni}$$

Nel caso specifico di opere provvisorie o strutture in fase di costruzione con durata prevista in progetto inferiore a 2 anni si omettono le verifiche sismiche.

Nella presente fase progettuale si assume che la condizione transitoria con massimo scavo e massimo ricoprimento, in assenza di soletta di fondo gettata, abbia durata inferiore a due anni.

4.2 Determinazione categoria di suolo

Per quanto riguarda la classificazione sismica, i terreni interessati dall'opera sono ascrivibili alla categoria di suolo tipo C.

4.3 Definizione valori di accelerazione su suolo rigido

Indipendentemente dalla zona sismica in cui ricade il manufatto, i valori dell'accelerazione di progetto a_g/g , (calcolati per $T=0$) sono stimati in base alla vita nominale e alla classe d'uso dell'elemento, dai dati del reticolo di riferimento.

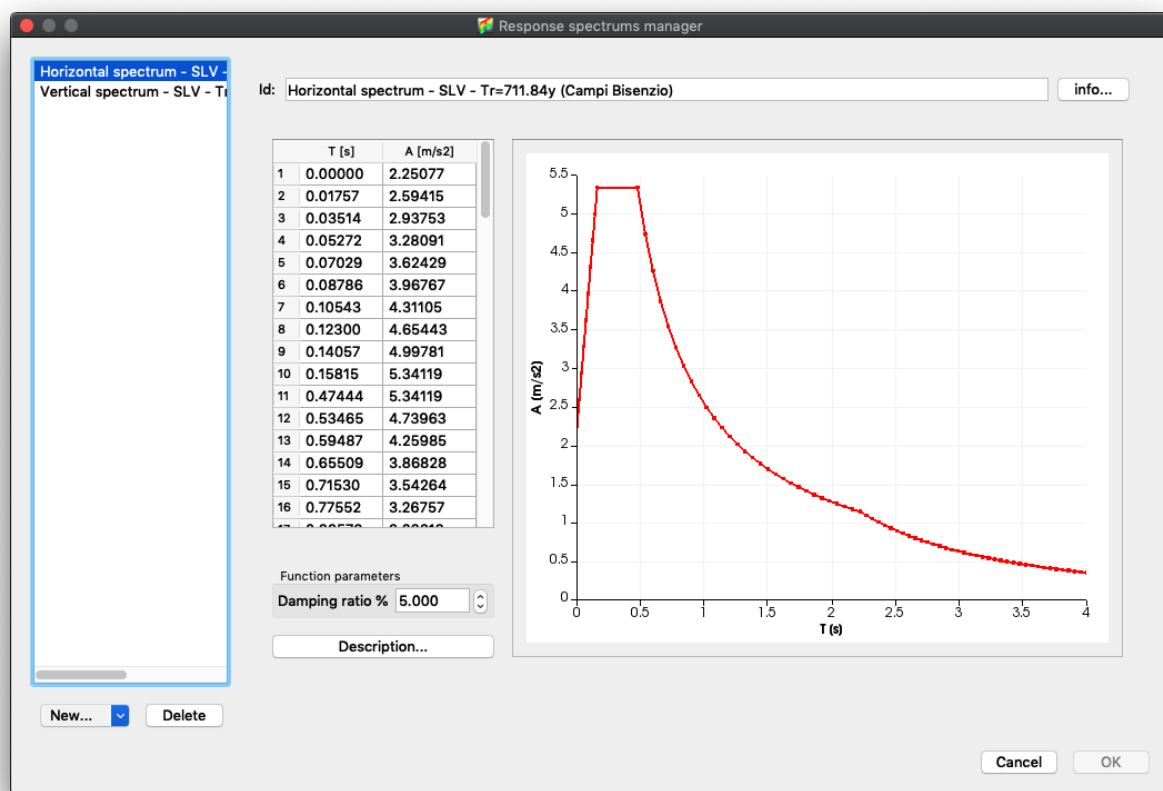
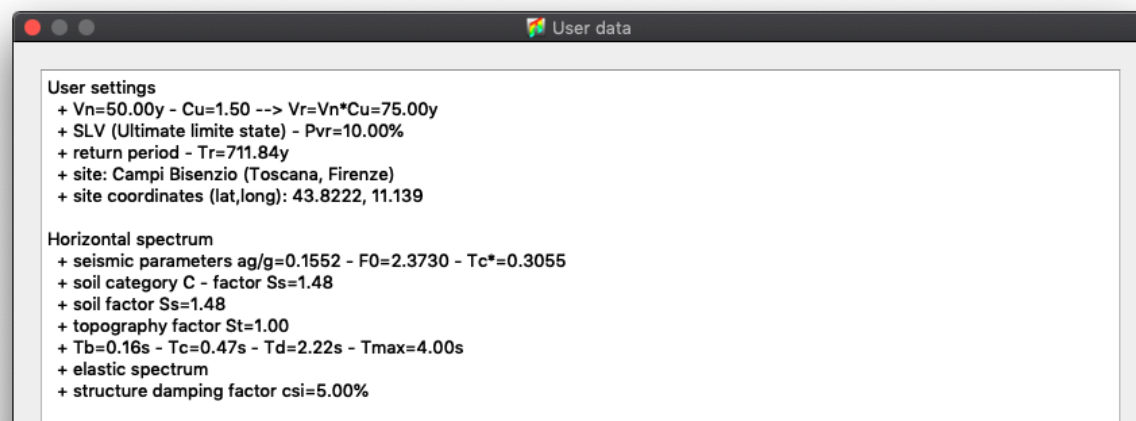


Comune
di Firenze

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA PER L'ESTENSIONE DEL SISTEMA
TRAMVIARIO FIORENTINO NEI COMUNI DI FIRENZE, CAMPI BISENZIO E SESTO FIORENTINO –
FASE C

CIG 70209921E3 - CUP H11E16001130001 + H11I12000010002

LINEA 4.2 - ESTENSIONE PER CAMPI BISENZIO





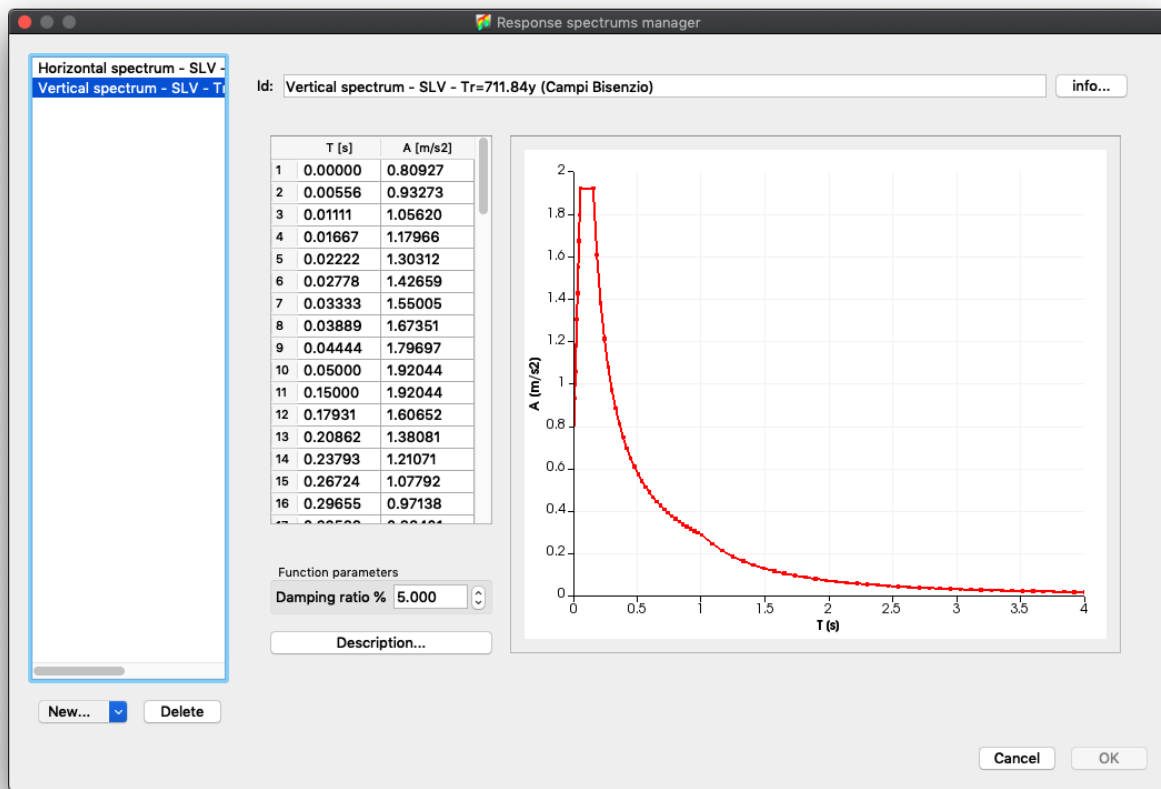
Comune
di Firenze

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA PER L'ESTENSIONE DEL SISTEMA
TRAMVIARIO FIORENTINO NEI COMUNI DI FIRENZE, CAMPI BISENZIO E SESTO FIORENTINO –
FASE C

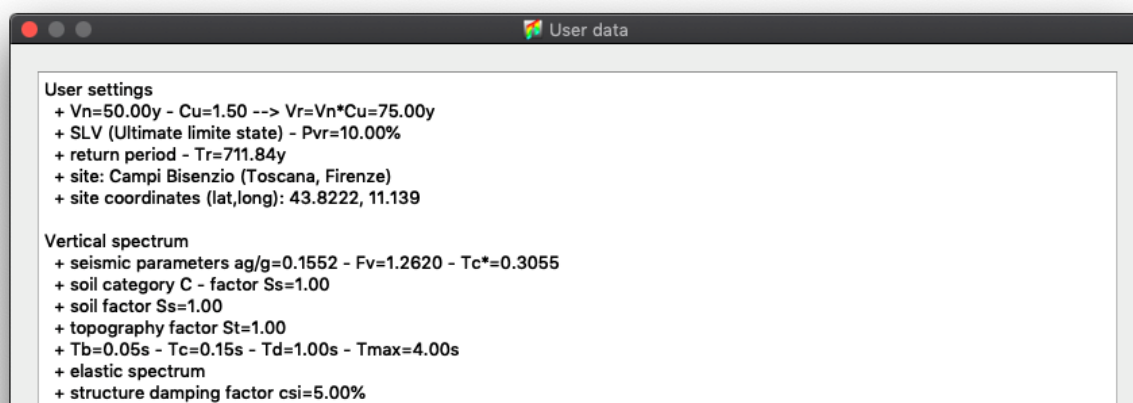
CIG 70209921E3 - CUP H11E16001130001 + H11I2000010002

LINEA 4.2 - ESTENSIONE PER CAMPI BISENZIO

Definizione spettro orizzontale elastico



Definizione spettro verticale elastico



4.4 Accelerazioni sismiche per combinazioni SLV, SLD, SLO

Per le **verifiche SLV** si prevede, dunque, di utilizzare i seguenti valori di accelerazione nella progettazione delle strutture:

Trattandosi di progettazione preliminare la verifica agli SLD verrà omessa in quanto non dimensionante ed implicitamente soddisfatta dalle verifiche SLV.

Per quanto riguarda **le verifiche SLO** tali verifiche non sono ritenute significative per le strutture di che trattasi nella presente fase progettuale, potendo rimandare le verifiche stesse ai successivi step progettuali.



5. VALUTAZIONE DEI CARICHI AGENTI

- **Peso proprio**

Il peso proprio valutato automaticamente dal programma di calcolo moltiplicando l'area della sezione di ogni singola asta per il peso specifico del calcestruzzo armato di 25 kN/m^3 .

- **Carico permanente**

I carichi permanenti portati sono valutati considerando un peso specifico del riempimento pari a

- $\gamma_r = 25.0 \text{ kN/m}^3$

Il carico permanente agente sull'impalcato è costituito dal peso del pacchetto di sottofondo in cui è annegato il binario. Tale carico risulta così composto:

- **SOTTOFONDO (riempimento in cls):**

Si assume uno spessore medio pari a 50 cm.

$$q_{\text{finiture}} = 0.50\text{m} \times 25 \text{ kN/m}^3 = 12.5 \text{ kN/m/m}$$

- Azioni variabili da traffico

L'impalcato di copertura è soggetto alle azioni trasmesse dal veicolo tranviario.

Qui di seguito si riassumono le principali caratteristiche geometriche del tram e i relativi carichi trasmessi alle rotaie.

Nella figura seguente si mostra il tram Sirio Firenze, cui si fa riferimento per la valutazione dei carichi. Lo scartamento è di 1'435 mm.

- Carichi verticali

Il carico per asse a pieno carico della vettura tranviaria è il seguente:

(passeggeri seduti + 6 passeggeri in piedi/m²):



Carrello motore anteriore Pa 198,94 kN
Carrello trascinato centrale Pc 201,14 kN media 99,8 kN/asse

Carrello motore posteriore Pp 198,94 kN
Carico totale 599,02 kN

- **Combinazioni di carico**

SLU - Stato Limite Ultimo

Combinazione fondamentale, impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi:

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$

SLE - Stato Limite di Esercizio

Combinazione caratteristica (rara), impiegata per le verifiche alle tensioni ammissibili:

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Combinazione frequente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Combinazione quasi permanente (SLE), impiegata per gli effetti a lungo termine:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Dove:

- permanenti (G): azioni che agiscono durante tutta la vita nominale della costruzione, la cui variazione di intensità nel tempo è così piccola e lenta da poterle considerare con sufficiente approssimazione costanti nel tempo;



Comune
di Firenze

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA PER L'ESTENSIONE DEL SISTEMA
TRAMVIARIO FIORENTINO NEI COMUNI DI FIRENZE, CAMPI BISENZIO E SESTO FIORENTINO –
FASE C

CIG 70209921E3 - CUP H11E16001130001 + H11I12000010002

LINEA 4.2 - ESTENSIONE PER CAMPI BISENZIO

- variabili (Q): azioni sulla struttura o sull'elemento strutturali con valori istantanei che possono risultare sensibilmente diversi fra loro nel tempo;

		Coefficiente	EQU ⁽¹⁾	A1 STR	A2 GEO
Carichi permanenti	favorevoli	γ_{G1}	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00
Carichi permanenti non strutturali ⁽²⁾	favorevoli	γ_{G2}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Carichi variabili da traffico	favorevoli	γ_Q	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,35	1,35	1,15
Carichi variabili	favorevoli	γ_{Qi}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Distorsioni e presollecitazioni di progetto	favorevoli	$\gamma_{\epsilon 1}$	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,00 ⁽³⁾	1,00 ⁽⁴⁾	1,00
Ritiro e viscosità, Variazioni termiche, Cedimenti vincolari	favorevoli	$\gamma_{\epsilon 2}, \gamma_{\epsilon 3}, \gamma_{\epsilon 4}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,20	1,20	1,00

⁽¹⁾ Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori di GEO.
⁽²⁾ Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.
⁽³⁾ 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna
⁽⁴⁾ 1,20 per effetti locali

- sismiche (E): azioni derivanti dai terremoti.

I coefficienti moltiplicativi di combinazione per i carichi sono quelli della normativa vigente e risultano pari a:



Comune
di Firenze

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA PER L'ESTENSIONE DEL SISTEMA
TRAMVIARIO FIORENTINO NEI COMUNI DI FIRENZE, CAMPI BISENZIO E SESTO FIORENTINO –
FASE C

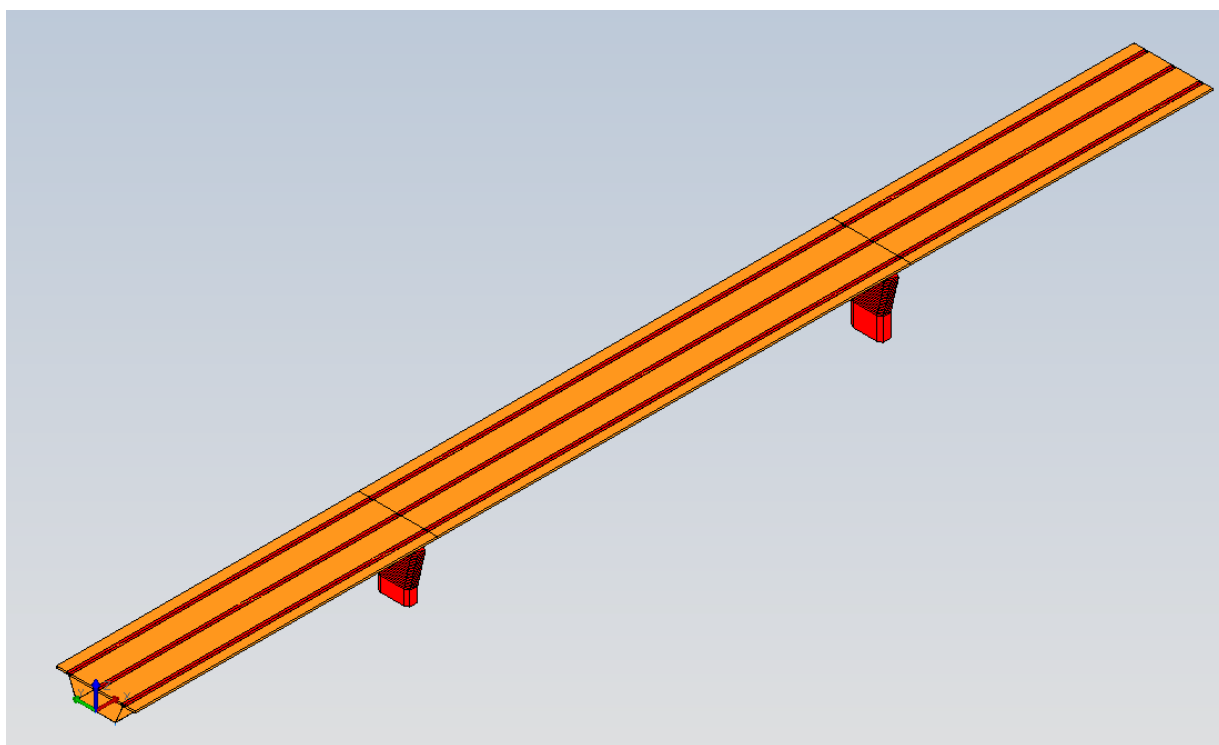
CIG 70209921E3 - CUP H11E16001130001 + H11I12000010002

LINEA 4.2 - ESTENSIONE PER CAMPI BISENZIO

<i>Azioni</i>	<i>Gruppo di azioni (Tabella 5.1.IV)</i>	<i>Coefficiente ψ_0 di combinazione</i>	<i>Coefficiente ψ_1 (valori frequenti)</i>	<i>Coefficiente ψ_2 (valori quasi permanenti)</i>
<i>Azioni da traffico (Tabella 5.1.IV)</i>	Schema 1 (Carichi tandem)	0,75	0,75	0,0
	Schemi 1, 5 e 6 (Carichi distribuiti)	0,40	0,40	0,0
	Schemi 3 e 4 (carichi concentrati)	0,40	0,40	0,0
	Schema 2	0,0	0,75	0,0
	2	0,0	0,0	0,0
	3	0,0	0,0	0,0
	4 (folla)	----	0,75	0,0
	5	0,0	0,0	0,0
<i>Vento q_5</i>	Vento a ponte scarico SLU e SLE	0,6	0,2	0,0
	Esecuzione	0,8	----	0,0
	Vento a ponte carico	0,6		
<i>Neve q_5</i>	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
	esecuzione	0,8	0,6	0,5
<i>Temperatura</i>	T_k	0,6	0,6	0,5

6. MODELLAZIONE FEM

Ai fini del dimensionamento del cassone di acciaio e delle fondazioni si è sviluppato un modello FEM tridimensionale del viadotto. Le anime delle travi, la lastra inferiore del cassone e la soletta sono stati modellati con elementi shell di opportuno spessore e caratteristiche meccaniche; le piattabande superiori delle tre travi sono state invece modellate con elementi beam. Gli appoggi sono infine stati modellati mediante link lineari.



Modello strutturale

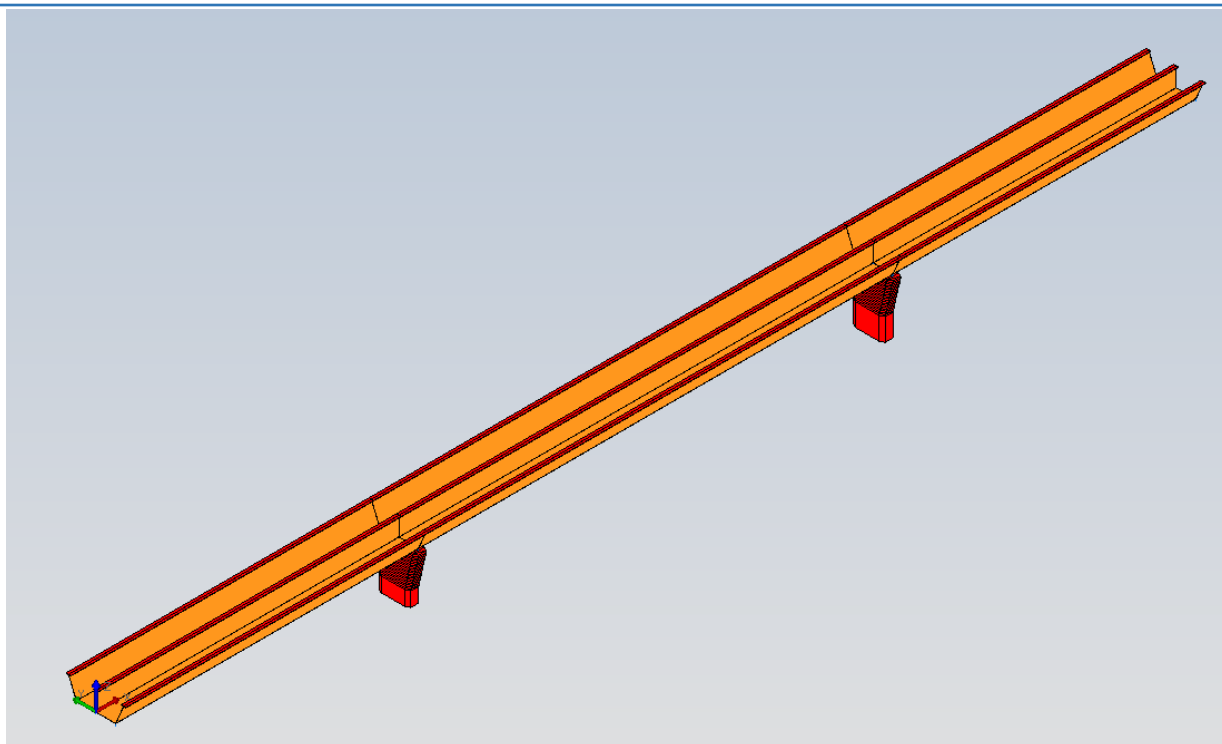


Comune
di Firenze

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA PER L'ESTENSIONE DEL SISTEMA
TRAMVIARIO FIORENTINO NEI COMUNI DI FIRENZE, CAMPI BISENZIO E SESTO FIORENTINO –
FASE C

CIG 70209921E3 - CUP H11E16001130001 + H11I12000010002

LINEA 4.2 - ESTENSIONE PER CAMPI BISENZIO



Modello strutturale (soletta non in vista)

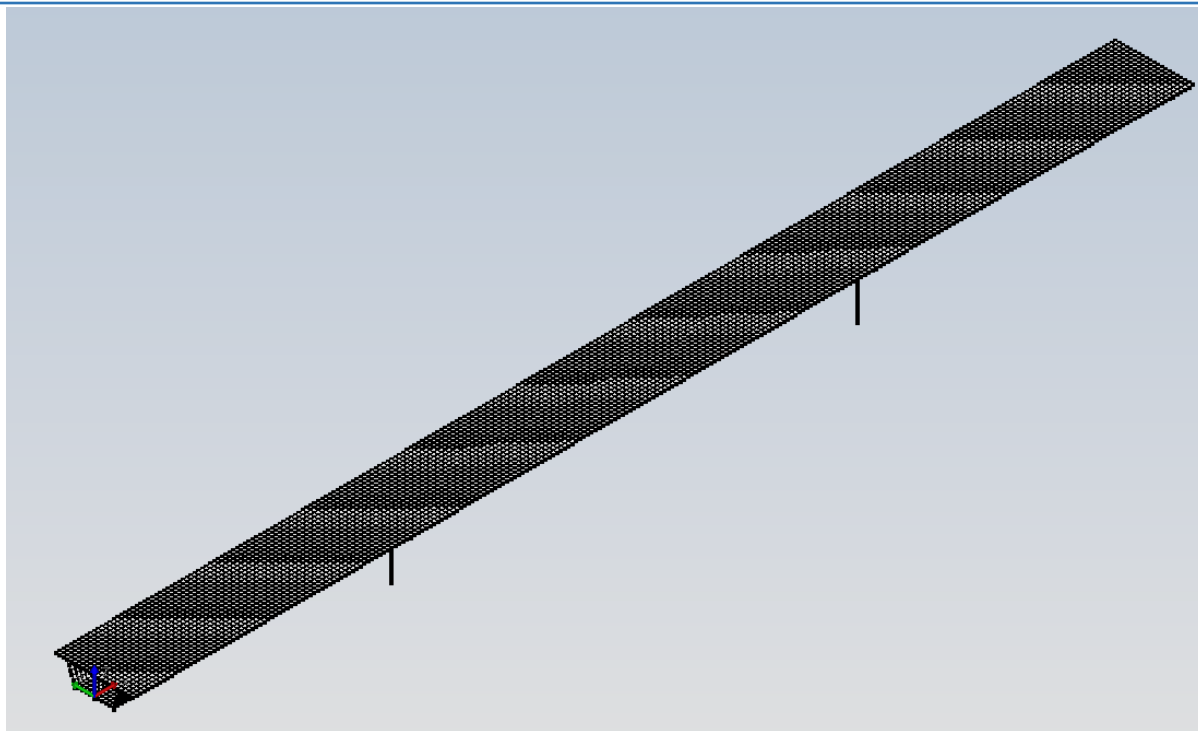


Comune
di Firenze

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA PER L'ESTENSIONE DEL SISTEMA
TRAMVIARIO FIORENTINO NEI COMUNI DI FIRENZE, CAMPI BISENZIO E SESTO FIORENTINO –
FASE C

CIG 70209921E3 - CUP H11E16001130001 + H11I12000010002

LINEA 4.2 - ESTENSIONE PER CAMPI BISENZIO



Modello FEM

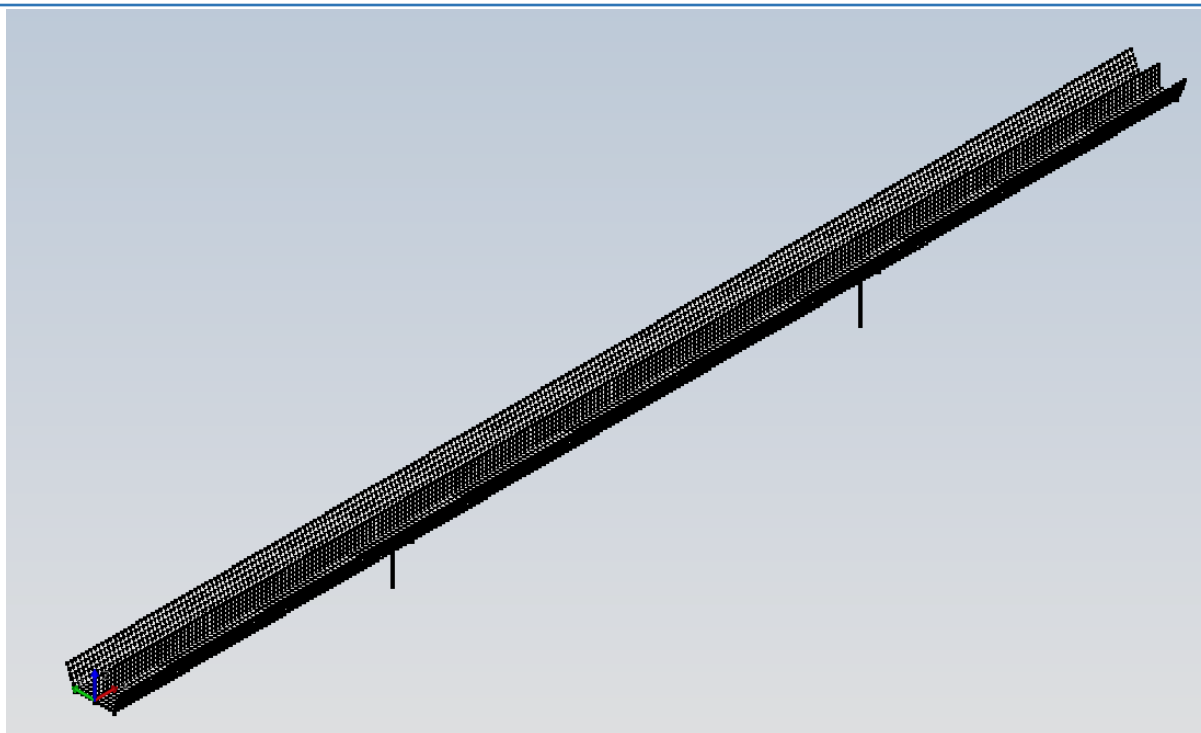


Comune
di Firenze

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA PER L'ESTENSIONE DEL SISTEMA
TRAMVIARIO FIORENTINO NEI COMUNI DI FIRENZE, CAMPI BISENZIO E SESTO FIORENTINO –
FASE C

CIG 70209921E3 - CUP H11E16001130001 + H11I12000010002

LINEA 4.2 - ESTENSIONE PER CAMPI BISENZIO

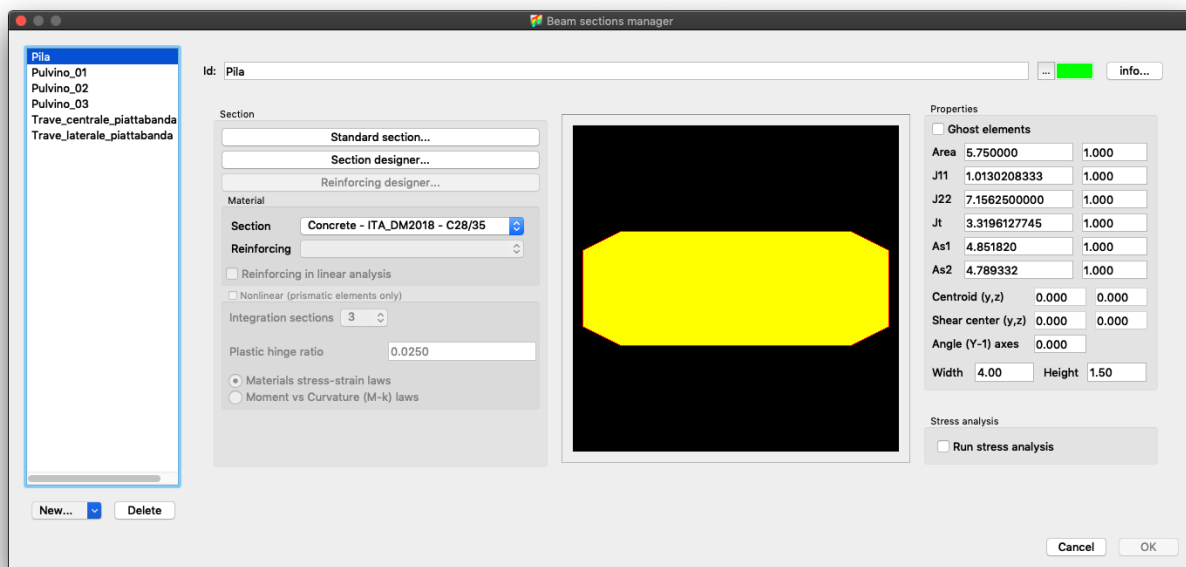


Modello FEM (soletta non in vista)

Le analisi sviluppate sul modello sono:

- Construction stage analysis per pesi propri e permanenti portati
- Moving loads analysis, con carichi mobili tram, nell'ipotesi di due corsie caricate (max N in fondazione) e 1 corsia caricate (max Mt in fondazione)
- Response spectrum analysis, con spettro orizzontale e verticale elastici SLV definiti secondo il DM 2018 per vita nominale 50 anni, classe d'uso III e categoria di sottosuolo C

6.1 Definizioni modello FEM



Definizione sezione di spiccato pila



Comune
di Firenze

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA PER L'ESTENSIONE DEL SISTEMA
TRAMVIARIO FIORENTINO NEI COMUNI DI FIRENZE, CAMPI BISENZIO E SESTO FIORENTINO –
FASE C

CIG 70209921E3 - CUP H11E16001130001 + H11I12000010002

LINEA 4.2 - ESTENSIONE PER CAMPI BISENZIO

Definizione appoggi pile



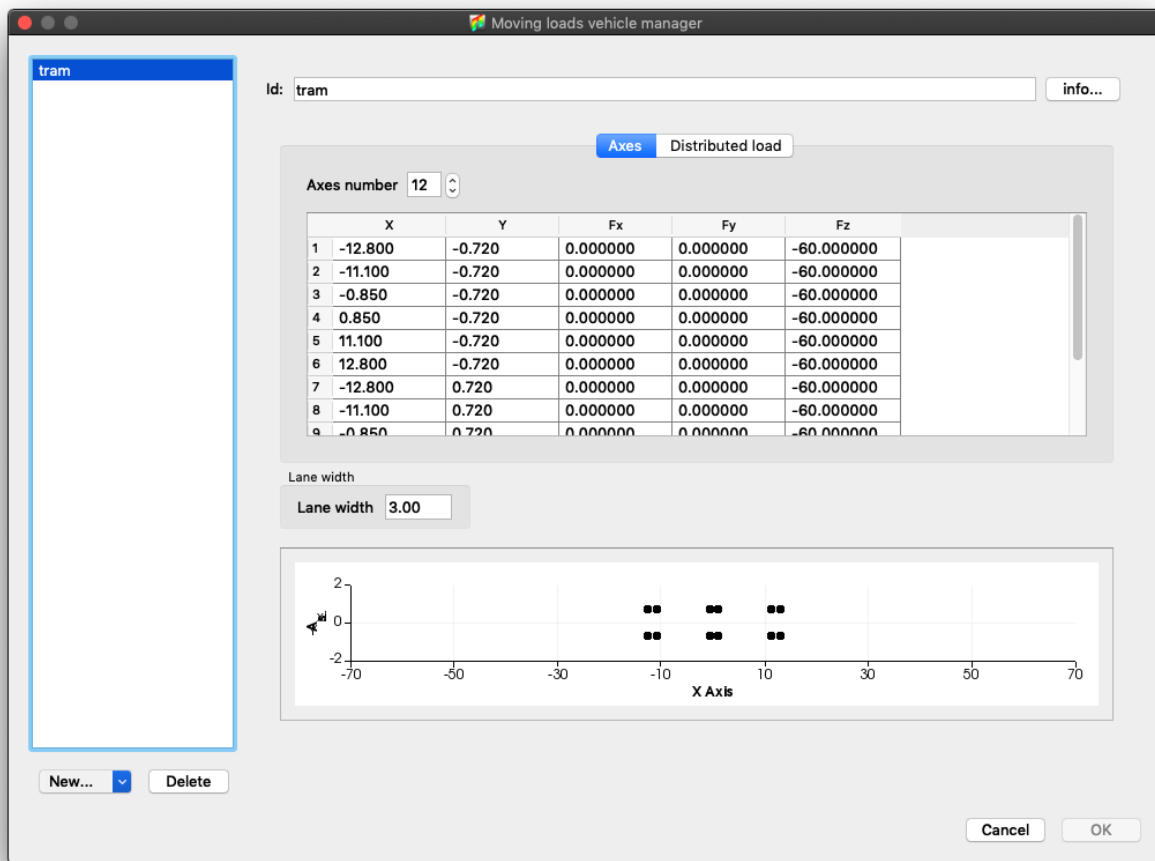
Comune
di Firenze

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA PER L'ESTENSIONE DEL SISTEMA
TRAMVIARIO FIORENTINO NEI COMUNI DI FIRENZE, CAMPI BISENZIO E SESTO FIORENTINO –
FASE C

CIG 70209921E3 - CUP H11E16001130001 + H11I12000010002

LINEA 4.2 - ESTENSIONE PER CAMPI BISENZIO

Definizione appoggi spalle



Id: tram info...

Axes Distributed load

Axes number 12

	X	Y	Fx	Fy	Fz
1	-12.800	-0.720	0.000000	0.000000	-60.000000
2	-11.100	-0.720	0.000000	0.000000	-60.000000
3	-0.850	-0.720	0.000000	0.000000	-60.000000
4	0.850	-0.720	0.000000	0.000000	-60.000000
5	11.100	-0.720	0.000000	0.000000	-60.000000
6	12.800	-0.720	0.000000	0.000000	-60.000000
7	-12.800	0.720	0.000000	0.000000	-60.000000
8	-11.100	0.720	0.000000	0.000000	-60.000000
9	-0.850	0.720	0.000000	0.000000	-60.000000

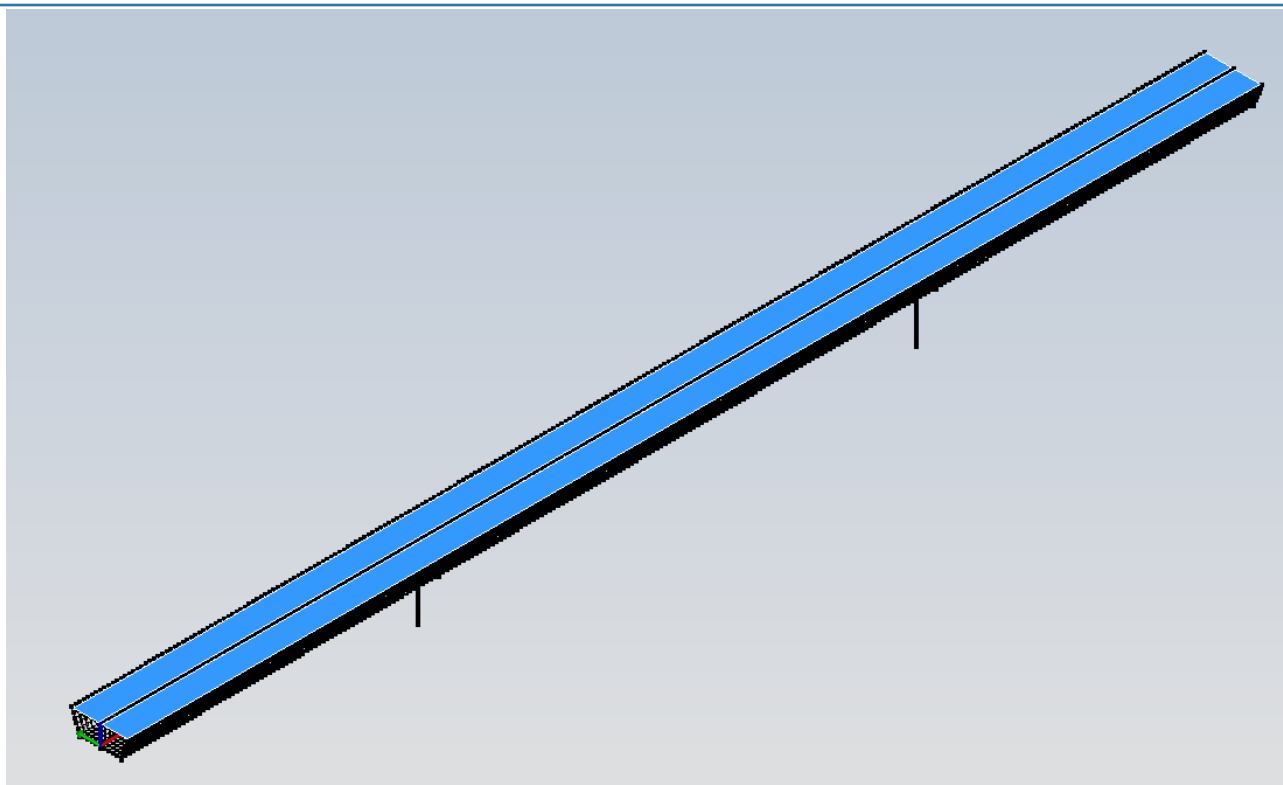
Lane width

Lane width 3.00

New... Delete

Cancel OK

Definizione carichi mobili – tram

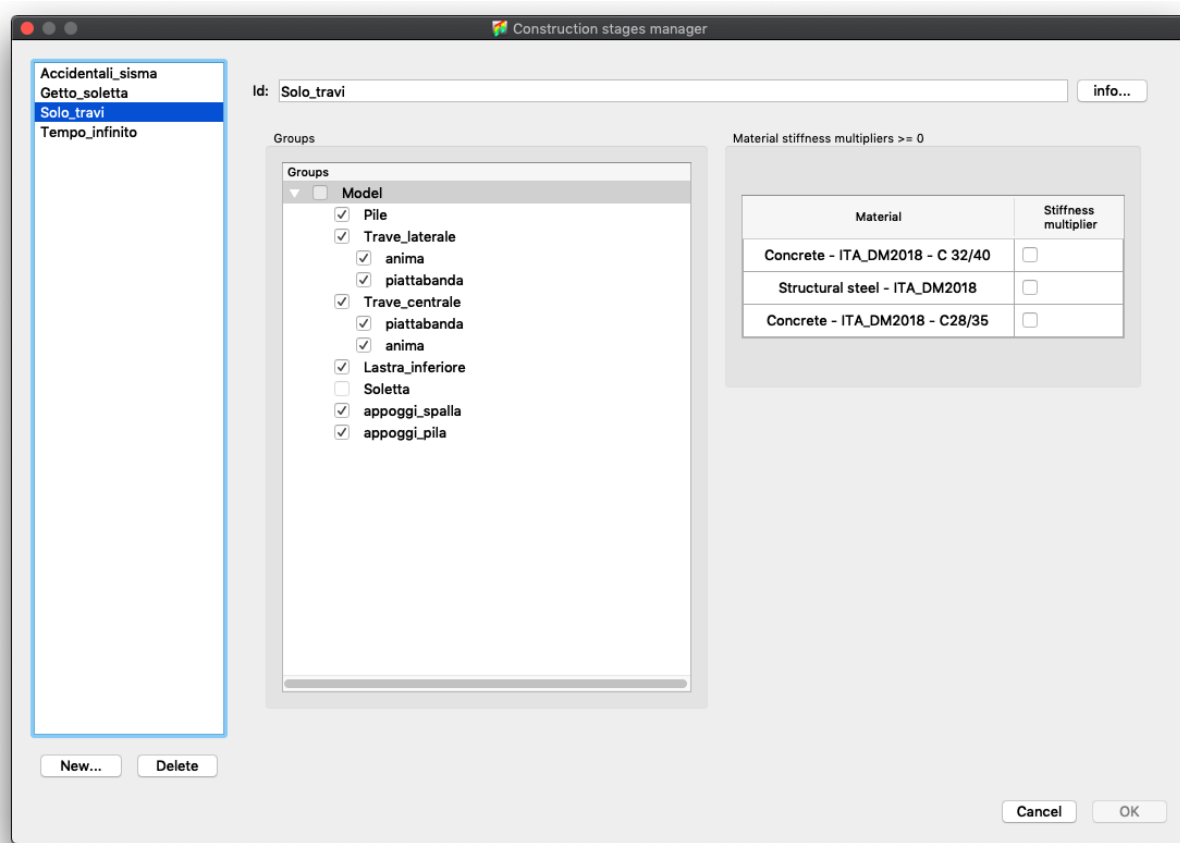


Definizione lanes di carico – due vie

7. FASI COSTRUTTIVE

Sono state modellate le seguenti fasi costruttive:

- 1) Solo cassone metallico
- 2) Getto soletta – soletta non collaborante
- 3) Tempo infinito (esercizio) con soletta collaborante e $\eta=2$
- 4) Accidentali e sisma con soletta collaborante e $\eta=0$



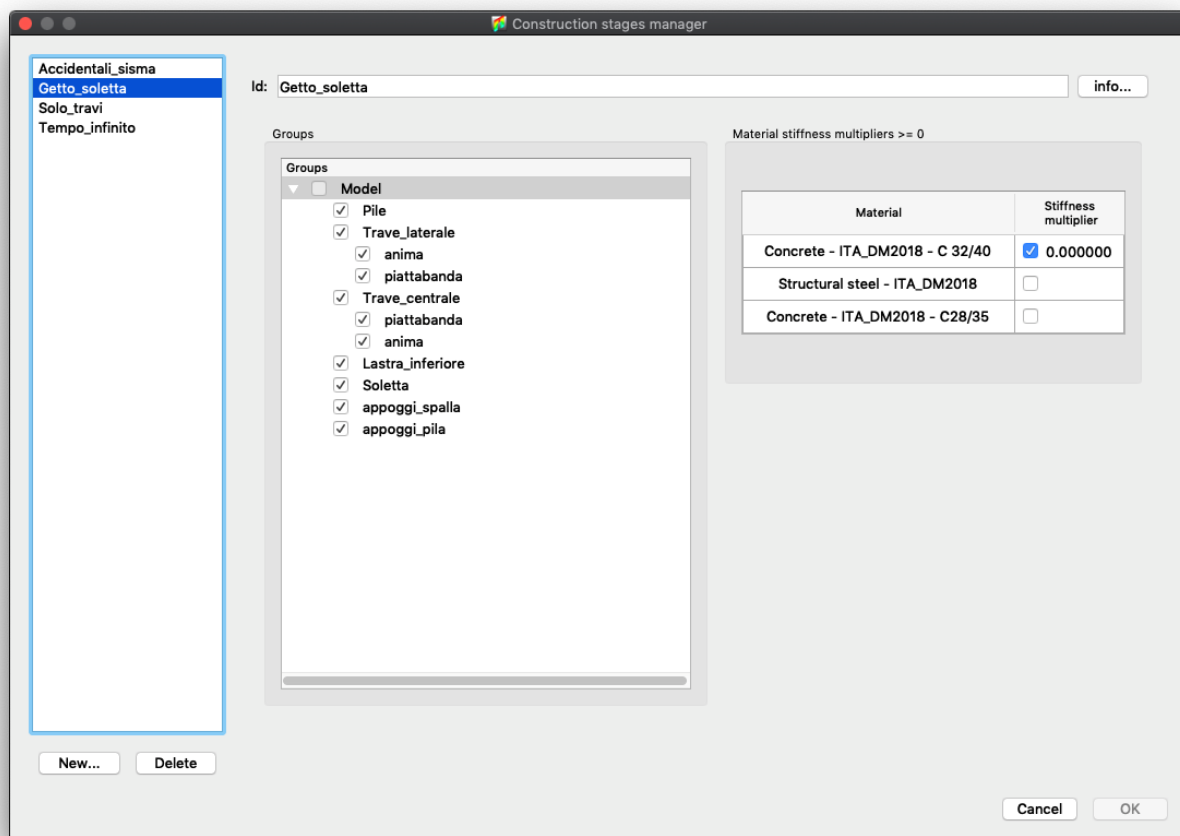


Comune
di Firenze

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA PER L'ESTENSIONE DEL SISTEMA
TRAMVIARIO FIORENTINO NEI COMUNI DI FIRENZE, CAMPI BISENZIO E SESTO FIORENTINO –
FASE C

CIG 70209921E3 - CUP H11E16001130001 + H11I12000010002

LINEA 4.2 - ESTENSIONE PER CAMPI BISENZIO





Comune
di Firenze

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA PER L'ESTENSIONE DEL SISTEMA
TRAMVIARIO FIORENTINO NEI COMUNI DI FIRENZE, CAMPI BISENZIO E SESTO FIORENTINO –
FASE C

CIG 70209921E3 - CUP H11E16001130001 + H11I12000010002

LINEA 4.2 - ESTENSIONE PER CAMPI BISENZIO

Construction stages manager

Id: info...

Groups

Groups

Model

- ☒ Pile
- ☒ Trave_laterale
 - ☒ anima
 - ☒ piattabanda
- ☒ Trave_centrale
 - ☒ piattabanda
 - ☒ anima
- ☒ Lastra_inferiore
- ☒ Soletta
- ☒ appoggi_spalla
- ☒ appoggi_pila

Material stiffness multipliers ≥ 0

Material	Stiffness multiplier
Concrete - ITA_DM2018 - C 32/40	<input checked="" type="checkbox"/> 0.330000
Structural steel - ITA_DM2018	<input type="checkbox"/>
Concrete - ITA_DM2018 - C28/35	<input type="checkbox"/>

New... Delete

Cancel OK

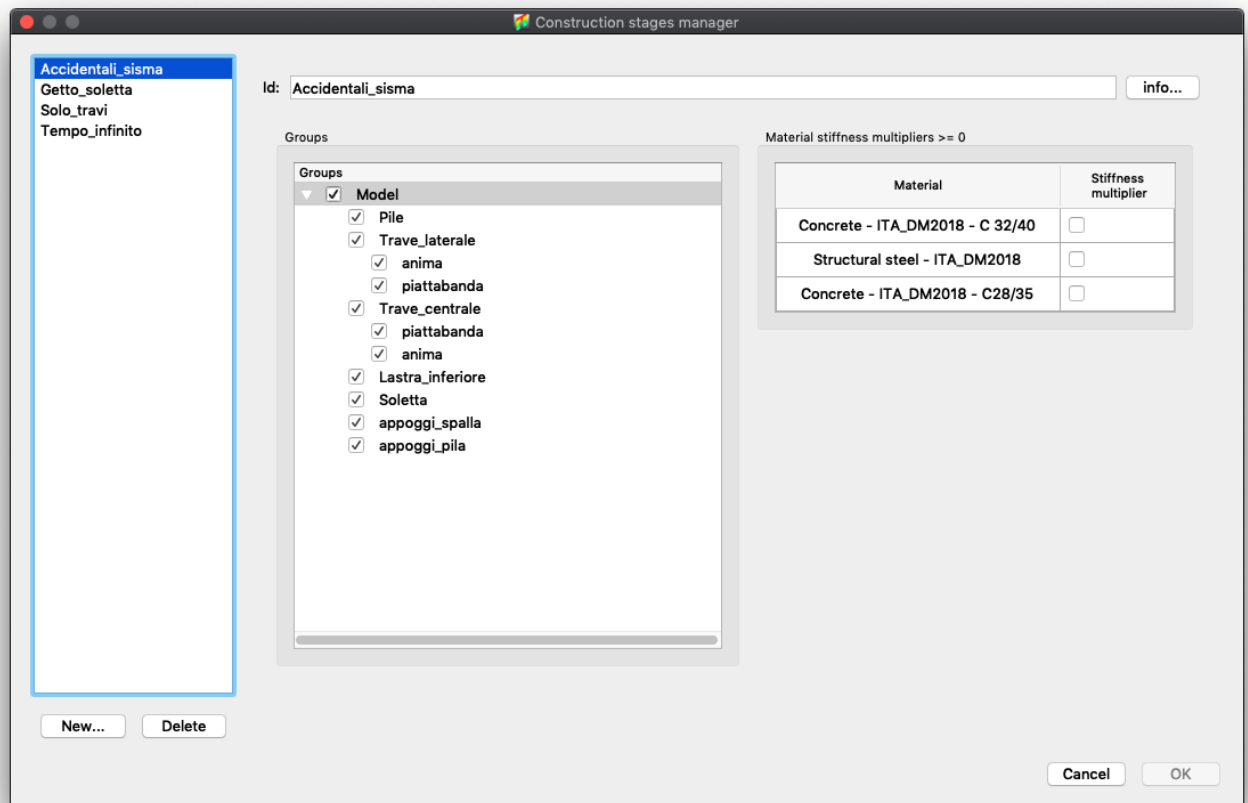


Comune
di Firenze

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA PER L'ESTENSIONE DEL SISTEMA
TRAMVIARIO FIORENTINO NEI COMUNI DI FIRENZE, CAMPI BISENZIO E SESTO FIORENTINO –
FASE C

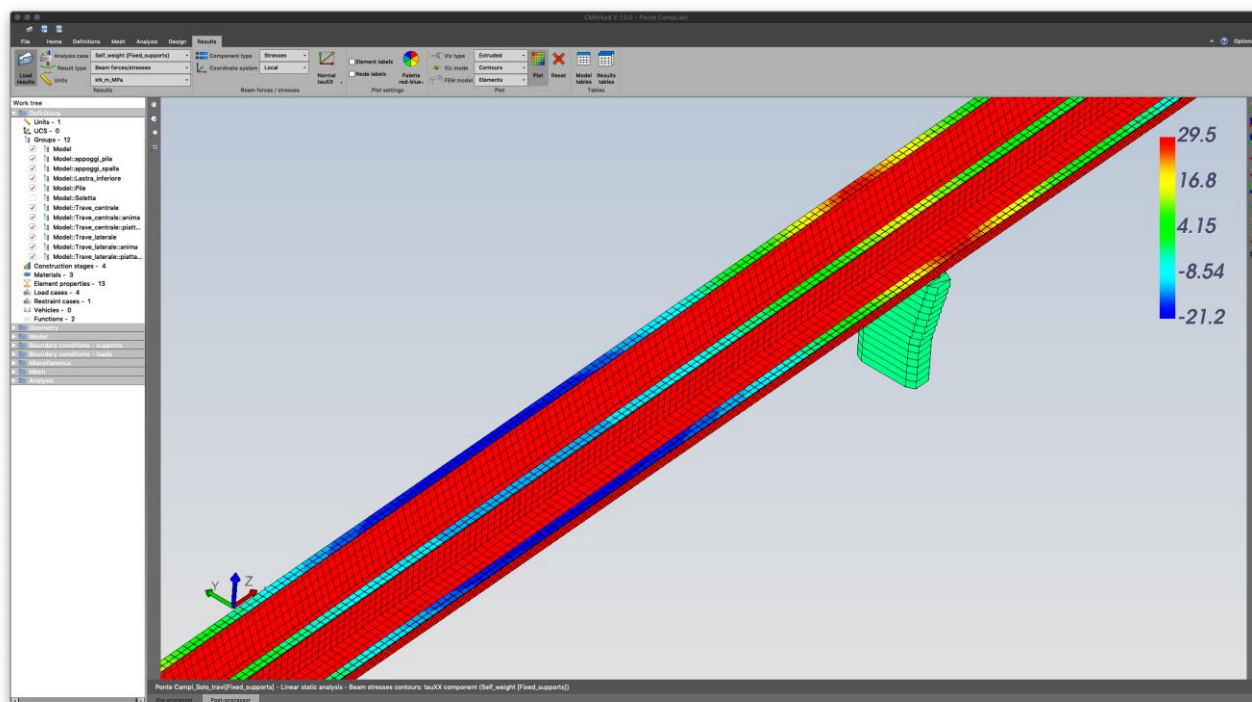
CIG 70209921E3 - CUP H11E16001130001 + H11I12000010002

LINEA 4.2 - ESTENSIONE PER CAMPI BISENZIO

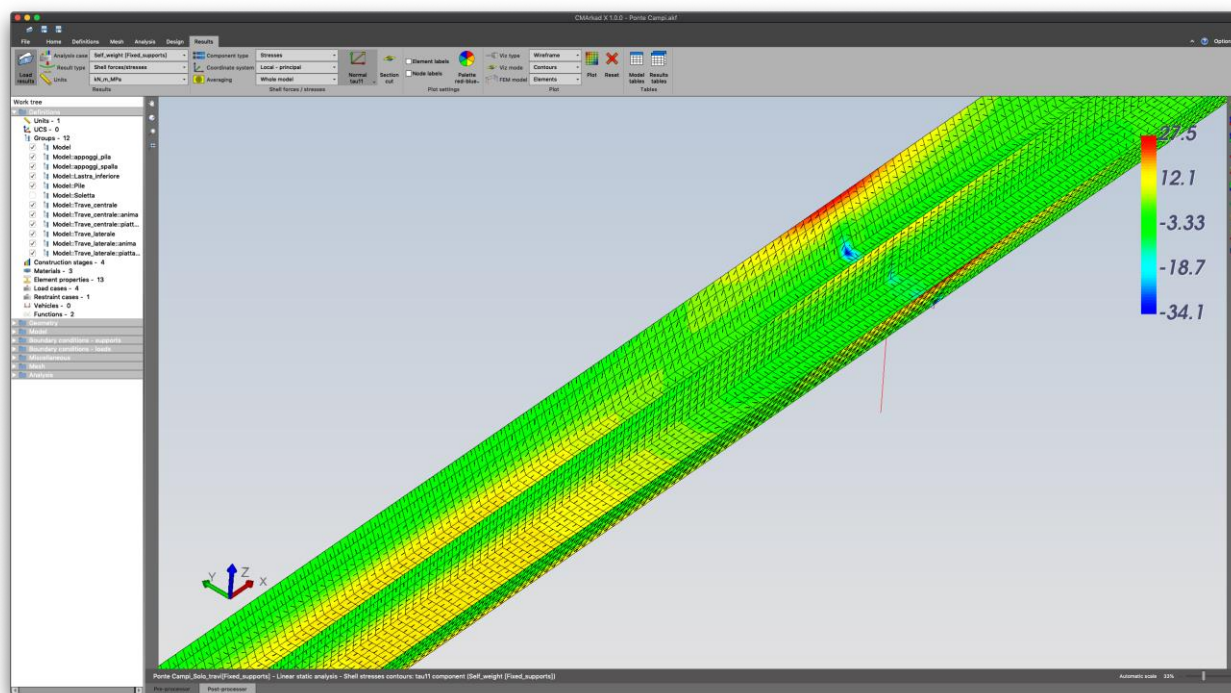


8. RISULTATI FEM

8.1 Fase costruttiva 1) – Solo cassone metallico

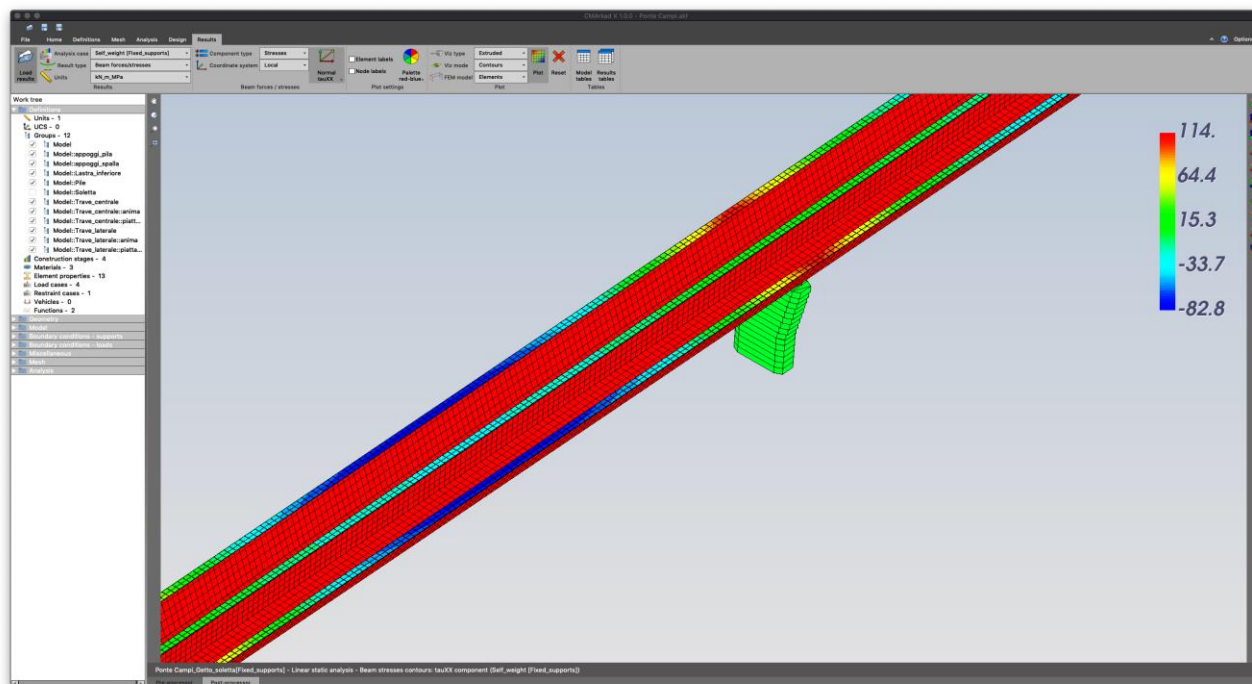


Peso proprio - TauXX piattabande



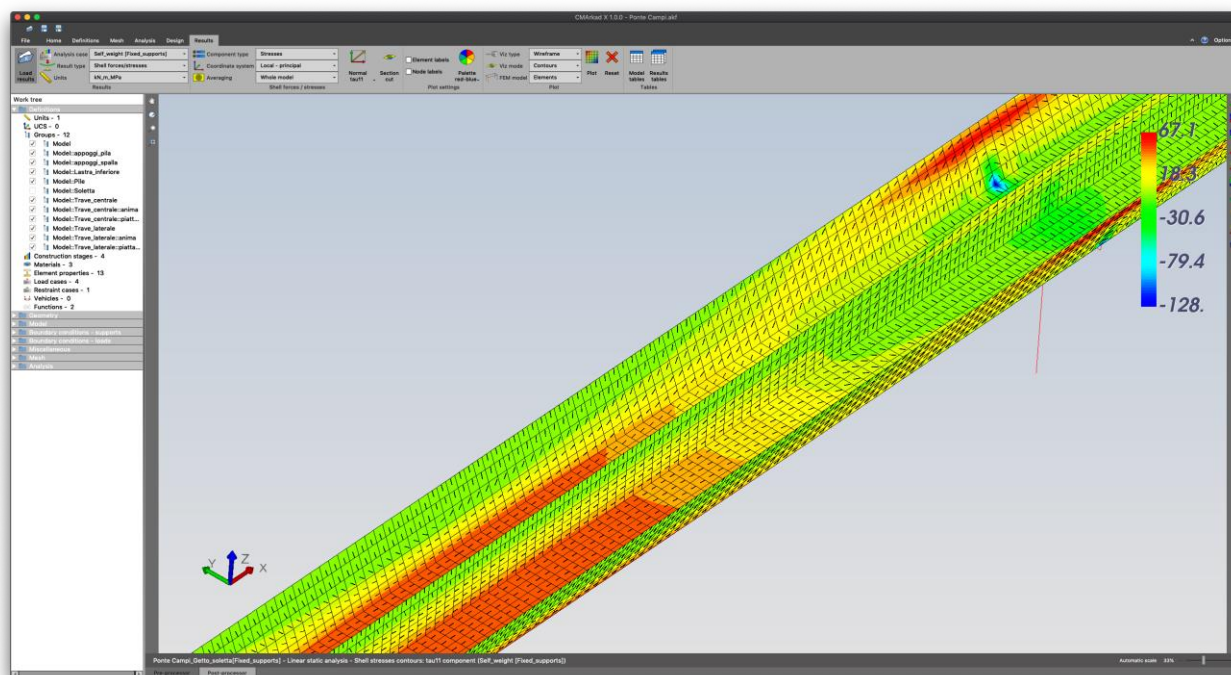
Peso proprio – Tau11 (principale trazione) anime e lastra inferiore

8.2 Fase costruttiva 2) – Getto soletta – soletta non collaborante



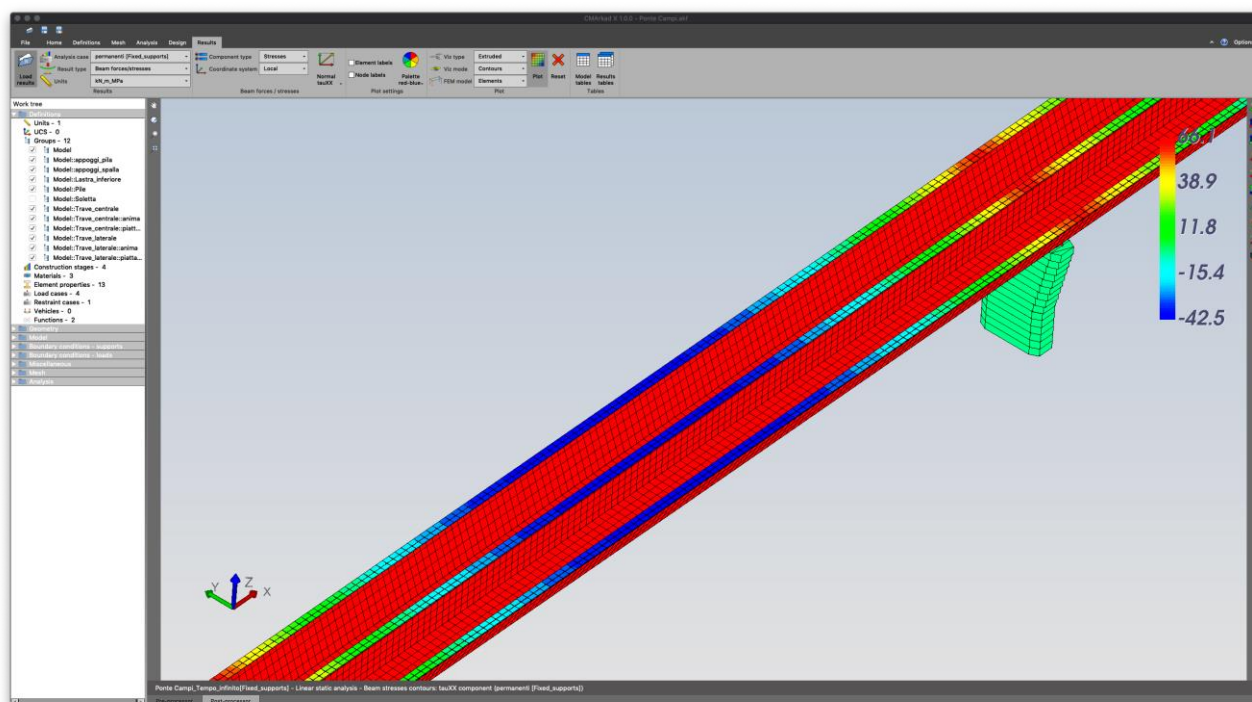
Peso proprio - TauXX piattabande

•

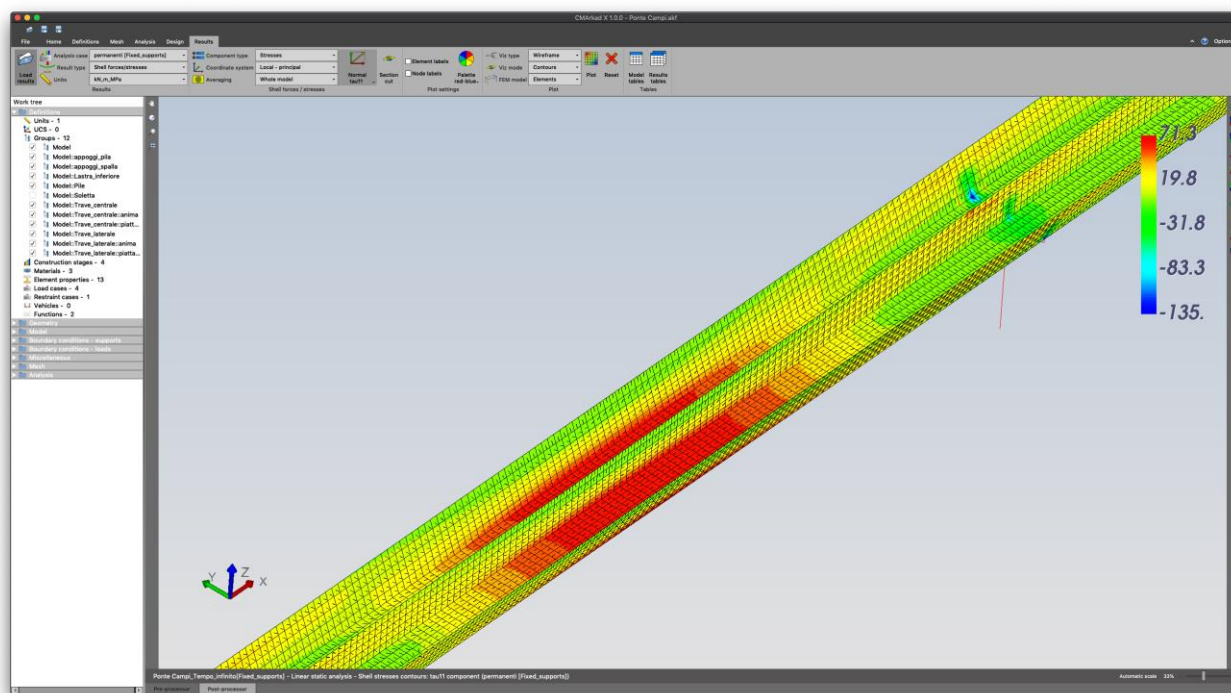


Peso proprio – Tau11 (principale trazione) anime e lastra inferiore

8.3 Fase costruttiva 3) – Tempo infinito (esercizio) con soletta collaborante e $\eta=2$

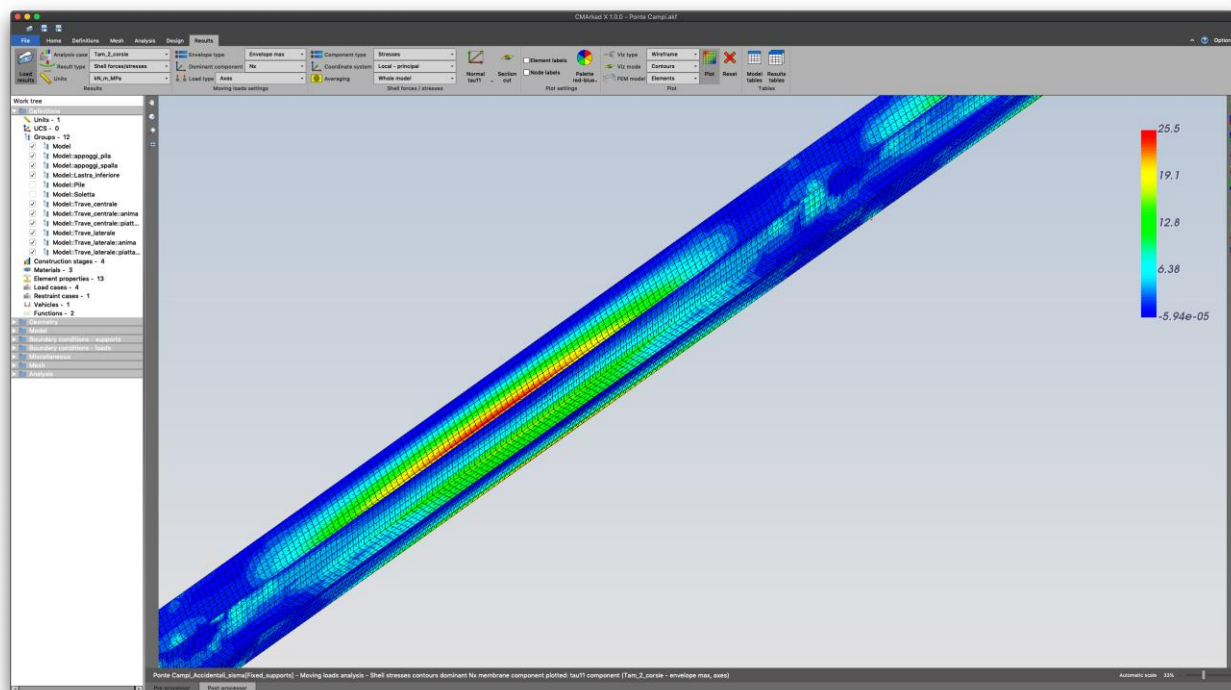


Permanenti portati - TauXX piattabande



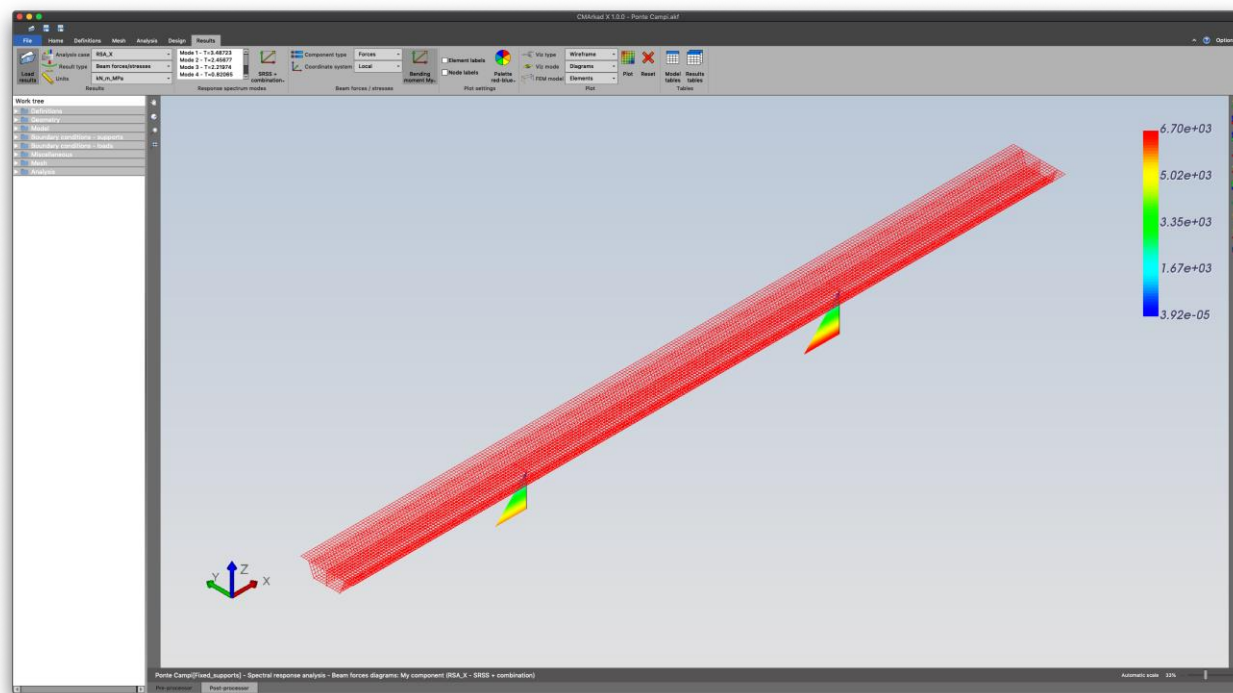
Permanenti portati – Tau11 (principale trazione) anime e lastra inferiore

8.4 Fase costruttiva 4) – Accidentali con soletta collaborante e $\varphi=0$

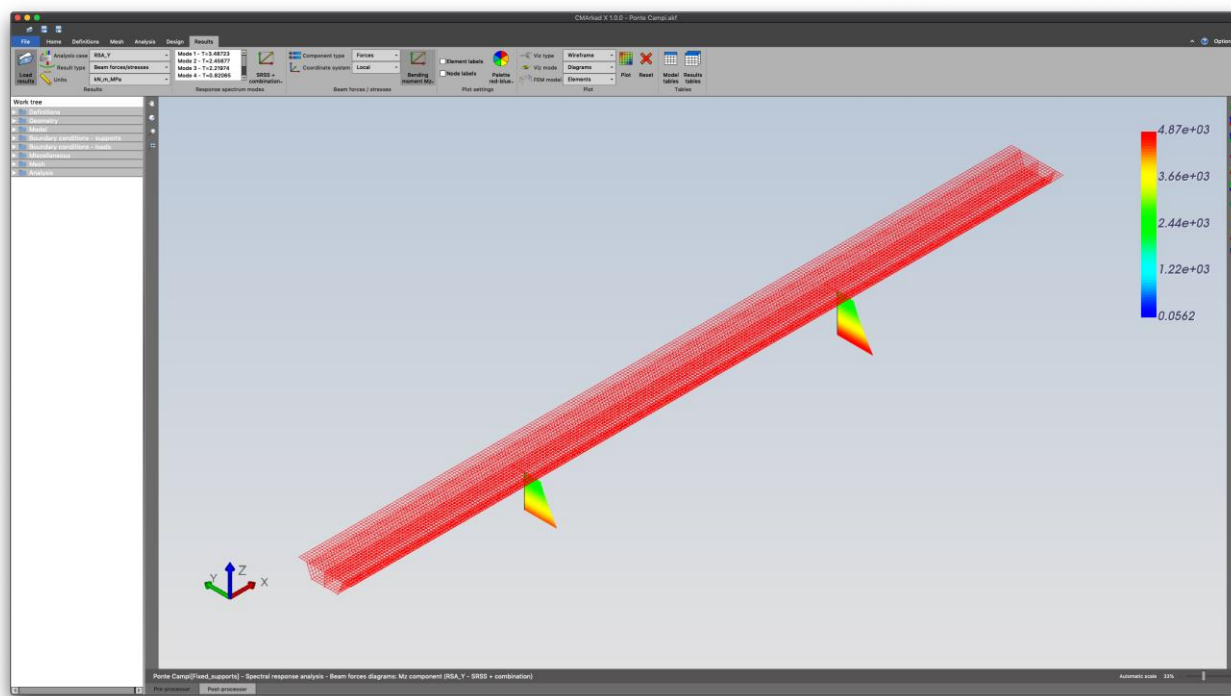


Tram 2 corsie – Tau11 (principale trazione) anime e lastra inferiore

8.5 Fase costruttiva 4) – Sisma con soletta collaborante e $\eta=0$



Sisma X – Momenti flettenti spiccato pila



Sisma Y – Momenti flettenti spiccato pila

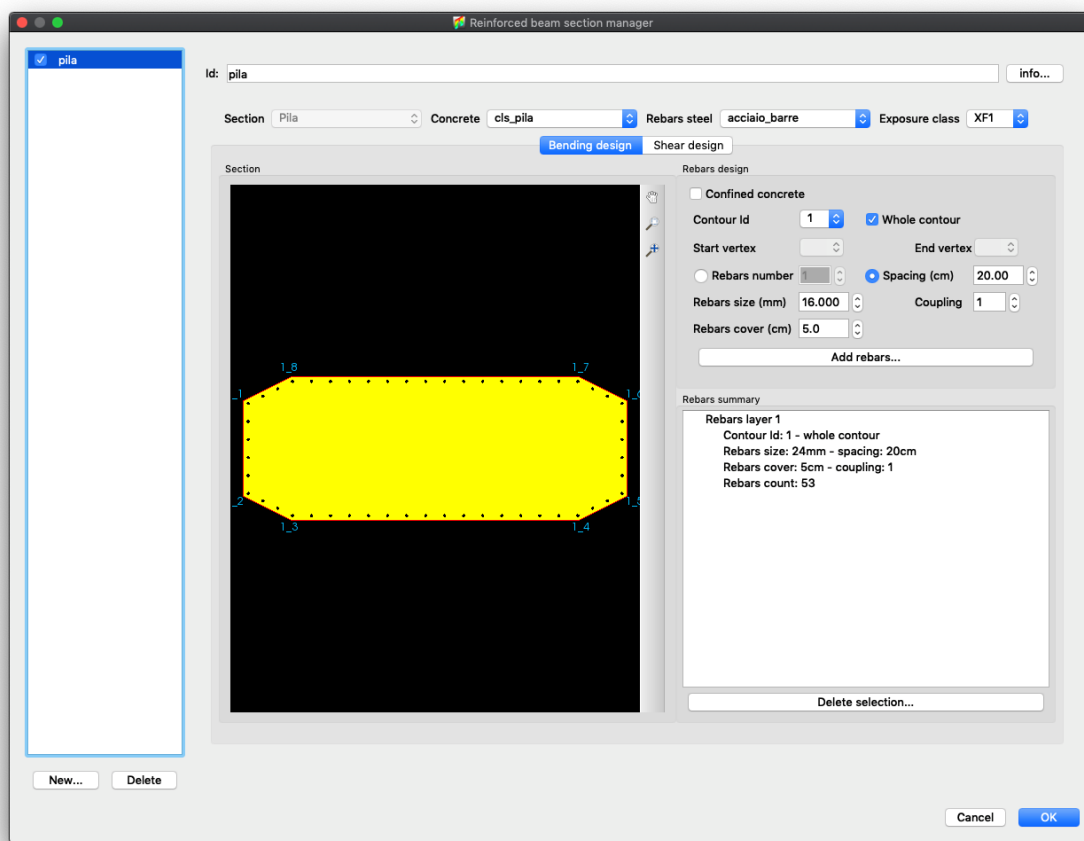
9. VERIFICHE CASSONE

9.1 Verifiche SLU

Combinazione: γ_{G1} * (peso proprio + permanenti) + γ_{Q1} * accidentali 2 corsie

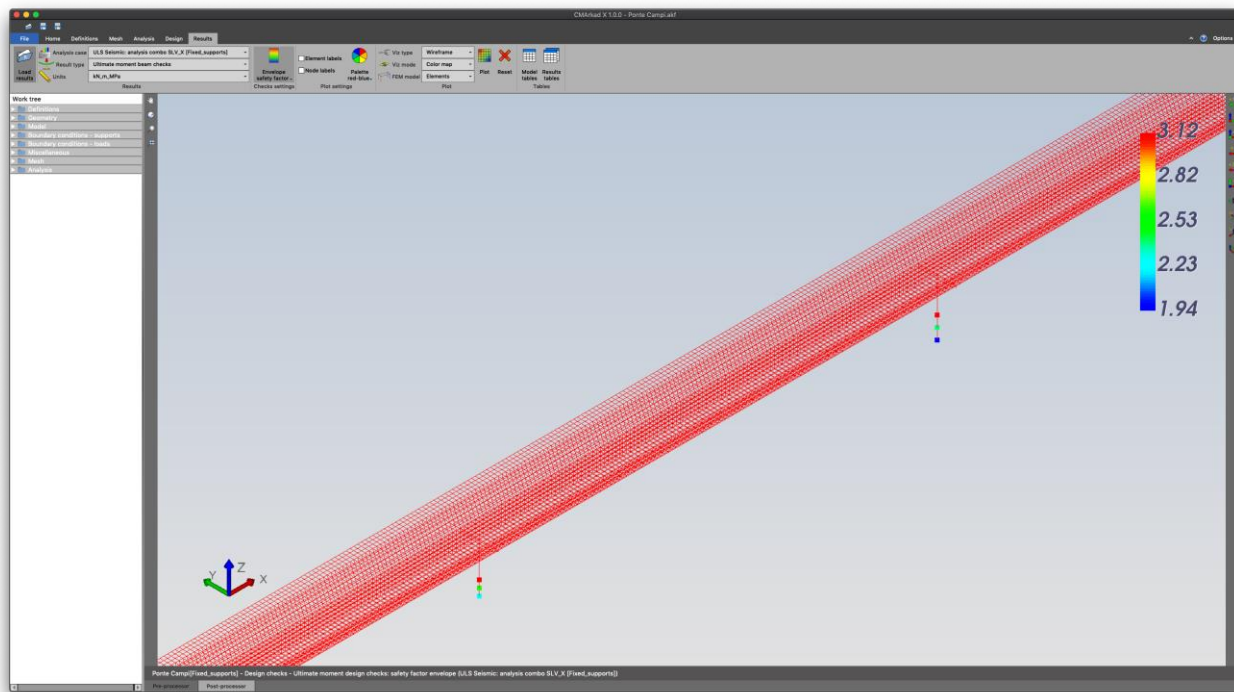
	Acciaio S355													
	γ_{G1}	1.35												
	γ_{Q1}	1.35												
	Appoggio							Mezzeria						
	piattabanda laterale	anima laterale sup	anima laterale inf	piattabanda centrale	anima centrale sup	anima centrale inf	lastra inferiore	piattabanda laterale	anima laterale sup	anima laterale inf	piattabanda centrale	anima centrale sup	anima centrale inf	lastra inferiore
	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa
Tau normale	251.69	128.25	-297.00	119.48	52.65	-202.50	-263.25	-180.09	-95.85	52.65	-94.01	-40.50	32.40	24.30
Tau tangenziale	0.00	2.70	32.40	0.00	0.00	0.00	4.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tau ideale	251.69	128.34	302.26	119.48	52.65	202.50	263.34	180.09	95.85	52.65	94.01	40.50	32.40	24.30
Fyd	338.095	338.095	338.095	338.095	338.095	338.095	338.095	338.095	338.095	338.095	338.095	338.095	338.095	338.095
Coeff. sicurezza	1.343	2.634	1.119	2.830	6.422	1.670	1.284	1.877	3.527	6.422	3.597	8.348	10.435	13.913

9.2 VERIFICHE SPICCATO PILA

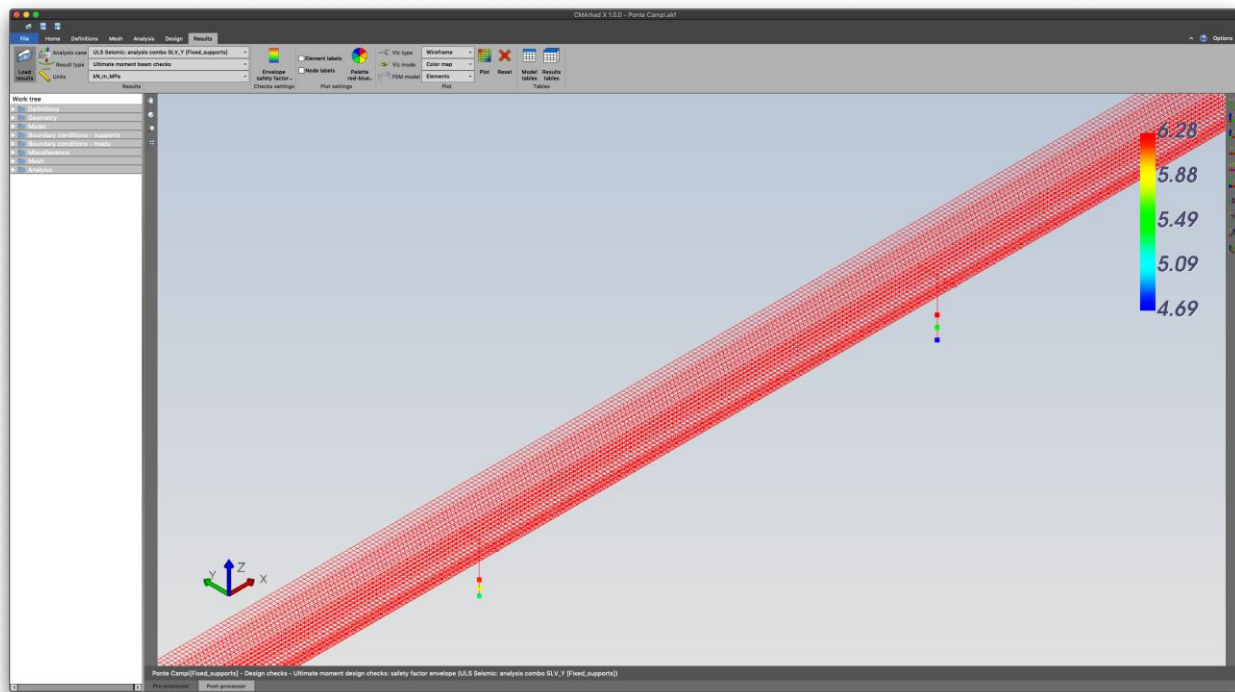


Armatura longitudinale pila – 1fi24/20

Si eseguono le verifiche per il solo sisma, in quanto significativamente più gravose di quelle in esercizio.



Verifiche SLV – sisma X dominante (c.s. min=1.94)



Verifiche SLV – sisma Y dominante (c.s. min=4.69)

10. VERIFICHE FONDAZIONE PILA

Si eseguono le verifiche per il solo sisma, in quanto significativamente più gravose di quelle in esercizio.

10.1 Geometria elevazione

- Pila

Area sezione trasversale fusto	5.75	m ²
Altezza fusto	7	m
Altezza baricentro da spiccato	4	m
Dimensione longitudinale	1.5	m

10.2 Geometria fondazione

- Platea di fondazione

Altezza zattera	2.5	m
Dimensione longitudinale	8.5	m
Dimensione trasversale	11.5	m
Profondità estradosso zattera	1.5	m

- Palificata

Pali	x m	y m
------	--------	--------

1	4.55	3.05
2	0	3.05
3	-4.55	3.05
4	2.275	0
5	-2.275	0
6	4.55	-3.05
7	0	-3.05
8	-4.55	-3.05

10.3 Azioni caratteristiche impalcato

	N	H _l	H _t	M _t	
Peso	1152	0	0	0	G

10.4 Azioni sismiche spiccato pila

- Analisi modale

Spettro elastico

	N	H _l	H _t	M _l	M _t
sisma	0	908	0	-	0
sisma	0	0	465	0	4870
sisma	645	0	0	0	0

10.5 Combinazioni SLU al baricentro palificata

Sisma - A1+M1					
COMB.	N	H _l	H _t	M _l	M _t
1	21468.38	908.00	139.50	-	1809.75
2	21081.38	908.00	139.50	-	1809.75
3	21468.38	272.40	465.00	-	6032.50
4	21081.38	272.40	465.00	-	6032.50
5	21919.88	272.40	139.50	-	1809.75
6	20629.88	272.40	139.50	-	1809.75

10.6 Sollecitazioni SLU sui pali di fondazione

Sisma - A1+M1			
COMB.	N _{max}	N _{min}	V _{max}
1	3262.10	2105.00	114.83
2	3213.72	2056.62	114.83
3	3125.22	2241.87	67.36
4	3076.85	2193.50	67.36
5	2975.42	2504.55	38.26
6	2814.17	2343.30	38.26

10.7 Verifica SLU palo

- Pressoflessione

Lunghezza elastica palo L_0 **4.07** m

Condizione M_{max}

	Esercizio	Sisma
V_{max}	0	114.83
M_{max}	0	233.44
$N_{max}(M_{max})$	0	3262.10
$N_{min}(M_{max})$	0	2056.62

Condizione N_{min}

	Esercizio	Sisma
$V_{max}(N_{min})$	0	114.83
$M_{max}(N_{min})$	0	233.44
N_{min}	0	2056.62

Diametro 24 mm
n° barre 20
Copriferro 6.5 cm

		N	M	M_u	C.s.
Sisma	$N_{max}(M_{max})$	3262.10	233.44	2572.83	11.02
	$N_{min}(M_{max})$	2056.62	233.44	2333.78	10.00
	N_{min}	2056.62	233.44	2333.78	10.00

- Taglio

Diametro staffe 0 mm
Numero braccia 0
Passo staffe 0 cm

		N	V
Sisma	V_{max}	2056.62	114.83
	N_{min}	2056.62	114.83

V_{Rd}	V_{Rsd}	V_{Rcd}	C.s.
497.98	0.00	0.00	4.34
497.98	0.00	0.00	4.34

10.8 Verifica SLU platea di fondazione – unghia longitudinale

Distanza long. baricentro zattera - sezione 3.5 m

Diametro barre armatura	26	mm
Passo armatura inferiore	20	cm
Copriferro armatura inferiore	5	cm
Diametro barre armatura	26	mm
Passo armatura superiore	20	cm
Copriferro armatura superiore	5	cm

- **Pressoflessione**

	N	Traz.	Traz. U	C.s.	Meccanismo resistente
	0.00	0.00	1038.78	+Infinito	Biella-catena

10.9 Verifica SLU platea di fondazione – unghia trasversale

Distanza trasv. baricentro zattera - sezione 3.75 m

Diametro barre armatura	26	mm
Passo armatura inferiore	20	cm
Copriferro armatura inferiore	6.5	cm
Diametro barre armatura	0	mm

Passo armatura superiore 20 cm
Copriferro armatura superiore 6.5 cm

- **Pressoflessione**

Sisma	N	Traz.	Traz. U	C.s.	Meccanismo resistent
	0.00	478.45	1038.78	2.17	Biella-catena

-

- **Punzonamento**

Sisma	Palo	V	V _{Rd,c}	C.s.
	1	3262.10	8514.87	2.61

11. VERIFICHE SPALLA

11.1 Geometria spalla

11.1.1 Muro frontale

Spessore 1.7 m
Larghezza trasversale 10.5 m
Altezza 7 m
Distanza longitudinale bar. appoggi - 1.65 m
Distanza trasversale bar. appoggi - bar. 0 m

11.1.2 Muro paraghiaia

Spessore	0.5	m
Altezza	3.5	m

11.1.3 Muri rivolto

Spessore in testa		0.5	m
Spessore	allo	1.5	m
Lunghezza		6.25	m
Altezza		10.5	m
Muro	risolto	sx	Sì
Muro	risolto	dx	Sì

11.1.4 Platea di fondazione

Altezza zattera	2	m
Dimensione	9.7	m
Dimensione	13.3	m
Lunghezza unghia	2.35	m

11.1.5 Palificata

Pali	x m	y m
1	5.4	3.6
2	1.8	3.6
3	-1.8	3.6
4	-5.4	3.6
5	5.4	0

6	1.8	0
7	-1.8	0
8	-5.4	0
9	5.4	-3.6
10	1.8	-3.6
11	-1.8	-3.6
12	-5.4	-3.6

Si eseguono le verifiche per il solo sisma, in quanto significativamente più gravose di quelle in esercizio.

•

11.1.6 Azioni caratteristiche impalcato

	N	H _l	H _t	M _t	
Peso	2448	0	0	0	G

11.1.7 Azioni sismiche impalcato

Spettro elastico

	N	H _l	H _t	M _l	M _t
sisma x	0	195	0	0	0
sisma y	0	0	270	0	0
sisma z	306	0	0	0	0

11.1.8 Azioni sismiche terreno

a_g/g	0.1550
F_0	2.3700
T_c^*	0.3055
Coeff. amplificazione topografica S_t	1
Categoria suolo di fondazione	C
Spostamenti relativi spalla terreno	No

11.1.9 Combinazioni SLU al baricentro palificata

Sisma - A1+M1					
COMB.	N	H_l	H_t	M_l	M_t
1	31522.28	10344.94	5901.92	-	32799.88
2	29592.41	10344.94	5901.92	-	32799.88
3	31522.28	16404.53	2016.28	-	12051.26
4	29592.41	16404.53	2016.28	-	12051.26
5	33773.80	10208.44	1827.28	-	10350.26
6	27340.88	10208.44	1827.28	-	10350.26

-
-
-
-

11.1.10 Sollecitazioni SLU sui pali di fondazione

Sisma - A1+M1			
COMB.	N _{max}	N _{min}	V _{max}
1	4046.90	1206.82	992.51
2	3930.40	1001.67	992.51
3	4600.51	653.20	1377.33
4	4484.02	448.05	1377.33
5	3516.55	2112.41	864.22
6	3128.23	1428.58	864.22

11.1.11 Verifica SLU palo

- Pressoflessione

Lunghezza elastica palo L₀ **4.07** m

Condizione M _{max}		
	Esercizio	Sisma
V _{max}	0	1377.33
M _{max}	0	2799.93
N _{max} (M _{max})	0	4600.51
N _{min} (M _{max})	0	448.05

Condizione N _{min}		
	Esercizio	Sisma
V _{max} (N _{min})	0	1377.33
M _{max} (N _{min})	0	2799.93
N _{min}	0	448.05

Diametro 26 mm
n° barre 32
Copriferro 6 cm

		N	M	M _u	C.s.
Sisma	N _{max} (M _{max})	4600.51	2799.93	3900.43	1.39
	N _{min} (M _{max})	448.05	2799.93	3103.29	1.11
	N _{min}	448.05	2799.93	3103.29	1.11

- Taglio

Diametro staffe 12 mm
Numero braccia 2
Passo staffe 5 cm

		N	V	V _{Rd} no	V _{Rsd}	V _{Rcd}	C.s.
Sisma	V _{max}	448.05	1377.33	312.11	1546.57	2462.92	1.12
	N _{min}	448.05	1377.33	312.11	1546.57	2462.92	1.12

-

11.1.12 Verifica SLU platea di fondazione – unghia anteriore

Armatura corrente longitudinale		
Diametro barre armatura inferiore	26	mm
Passo armatura inferiore	20	cm
Copriferro armatura inferiore	5	cm
Diametro barre armatura superiore	26	mm
Passo armatura superiore	20	cm
Copriferro armatura superiore	5	cm
Armatura corrente trasversale		
Diametro barre armatura inferiore	26	mm
Passo armatura inferiore	20	cm

Copriferro armatura inferiore	6.5	cm
Diametro barre armatura superiore	26	mm
Passo armatura superiore	20	cm
Copriferro armatura superiore	6.5	cm

- Pressoflessione

	N	Traz.
Sisma	0.00	973.65

Traz. U	C.s.	Meccanismo
1038.77	1.07	Biella - catena

11.1.13 Verifica SLU spiccato muro frontale

- Pressoflessione

Diametro barre armatura	26	mm
Passo armatura controterra	10	cm
Copriferro armatura controterra	5	cm
Diametro barre armatura fuori	26	mm
Passo armatura fuori terra	20	cm
Copriferro armatura fuori terra	5	cm

Sisma		
COMB.	N	M _I
1	739.59	-

M _u	C.s.
3865.01	1.60

2	698.63	-	3835.40	1.62
3	739.59	-	3865.01	1.00
4	698.63	-	3835.40	1.00
5	787.38	-	3899.43	1.66
6	650.83	-	3800.75	1.74

11.1.14 Verifica SLU spiccato muro paraghiaia

- Pressoflessione

Diametro barre armatura	22	mm
Passo armatura controterra	20	cm
Copriferro armatura controterra	5	cm
Diametro barre armatura fuori	16	mm
Passo armatura fuori terra	20	cm
Copriferro armatura fuori terra	5	cm

Sisma				
COMB.	N	M _I	M _u	C.S. [?]
1	61.33	-	322.38	1.16
2	58.32	-	321.72	1.15