

LOTTO FUNZIONALE PRIORITARIO –
TRATTO DA SAN ROCCO AL PORTO (LO)
A STAGNO LOMBARDO (CR) – DELLA
CICLOVIA TURISTICA NAZIONALE VENTO

VENTO[®]

PROGETTO DEFINITIVO - ESECUTIVO
Ponte SP196 di Maccastorna - Crotta d'Adda

COMMITTENTE:

Agenzia Interregionale per il fiume Po
Ufficio operativo di Cremona

R.U.P. : Ing. Alessio Picarelli

D.E.C. : Geom. Fernando Altobello

Coordinatore dei progetti: Dott. Christian Farioli

CUP : B17C20000070002

**RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE
PRESTAZIONI SPECIALISTICHE**

Ing. Lino Pollastri

Progettisti:

Arch. Enrico Costa
Arch. Renato Da Re
Ing. Elena Guerzoni
Ing. Elettra Lowenthal
Arch. Gianluca Parcianello
Arch. Lio Parcianello
Ing. Mauro Perini (DT)
Ing. Alessandro Placucci
Ing. Lino Pollastri
Ing. Francesco Seneci

Progettista strutturale:

Ing. Lorena Ragnacci

Geologo:

Dott. Geol. Mirko Demozzi



MATE Soc. Coop.va
C.F./p.IVA 03419611201
pec mateng@legalmail.it
mateng@mateng.it

Via S.Felice 21
40122 Bologna (BO)
T +39 051 29 12 911



Parcianello & Partners engineering s.r.l.

C.F./p.IVA 01041760255
pec studio@pec.studioparcianello.com
studio@studioparcianello.com

Via G. Matteotti 30/d
32016 Alpago - Farra (BL)
T +39 043 74 6100



Coopprogetti Soc. Coop.
C.F./p.IVA 00424850543
pec coopprogetti@pec.it
staff@coopprogetti.it

Via della Piaggiola 152
06024 Gubbio (PG)
T +39 075 92 3011



NetMobility s.r.l.
C.F./p.IVA 03184140238
pec netmobility@pec.it
netmobility@netmobility.it

Via G. Morgagni 24
37135 Verona (VR)
T +39 045 82 50 176

OGGETTO:

ELABORATI GRAFICI

**RELAZIONE DI VERIFICA DI
VULNERABILITA'**

AIPO20050

cod. commessa

DATA:

SCALA:

REVISIONE:

D 1 6

num. elaborato

Aprile 2022

-

0

REDATTO: LR

APPROVATO: LP

VERIFICATO: MP

SOMMARIO

1	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	3
2	CONVENZIONI GENERALI	4
3	INTRODUZIONE	5
4	DESCRIZIONE DELL’OPERA.....	6
5	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	8
6	VITA NOMINALE, CLASSE D’USO, PERIODO DI RIFERIMENTO, CLASSE DI ESPOSIZIONE	9
7	CALCOLO DELLA STRUTTURA.....	10
7.1	Analisi dei carichi	10
7.1.1	Peso proprio degli elementi strutturali (g_1).....	10
7.1.2	Carichi permanenti portati (g_2).....	10
7.1.3	Carichi mobili (q_1)	10
7.1.4	Azione del vento (q_{vento}).....	11
7.1.5	Azione della neve (q_5 -neve).....	12
7.1.6	Effetti della temperatura (q_7)	13
7.1.7	Cedimenti vincolari (ε_4)	13
7.1.8	Azione sismica (E)	14
7.2	Combinazioni di carico.....	28
7.2.1	Introduzione	28
7.2.2	Casi elementari di carico	31
7.2.3	Combinazioni Stato Limite Ultimo (SLU) – Statica.....	31
7.2.4	Combinazioni Stato Limite Esercizio (SLE)	32
7.2.5	Stato Limite Salvaguardia della Vita (SLV) - Sismica SLU	33
7.2.6	Stato Limite di Collasso (SLC) - Sismica SLU.....	33
8	MODELLAZIONE E ANALISI	33
8.1	Opera esistente	33
8.1.1	Inquadramento Planimetrico.....	35
8.1.2	Impalcato	36
8.1.3	Spalle e fondazioni.....	38
8.1.4	Pile	40
8.2	Opera nuova	41
8.3	Modellazione strutturale	43
8.3.1	Modello Ante-operam	43
8.3.2	Modello Post-operam.....	49
8.4	Analisi modale modello anteoperam	50
8.5	Analisi modale postoperam	56

9	ANALISI DI VULNERABILITÀ SISMICA ANTEOPERAM.....	61
9.1	Sollecitazioni massime.....	62
9.1.1	Permanenti strutturali (g_1).....	62
9.1.2	Permanenti non strutturali (g_2)	63
9.1.3	Sisma (Direzione X)	64
9.1.4	Sisma (Direzione Y)	65
9.2	Vulnerabilità sismica delle pile	66
9.3	Vulnerabilità sismica delle fondazioni	68
9.3.1	Sollecitazioni massime e verifica di vulnerabilità pali di fondazione	68
9.4	Calcolo dell’indice di rischio sismico anteoperam ζ_E	69
10	ANALISI DI VULNERABILITÀ SISMICA POSTOPERAM	70
10.1	Sollecitazioni massime.....	71
10.1.1	Permanenti Strutturali (g_1)	71
10.1.2	Permanenti non strutturali (g_2)	72
10.1.3	Sisma (Direzione X)	73
10.1.4	Sisma (Direzione Y)	74
10.2	Vulnerabilità sismica delle pile	75
10.3	Vulnerabilità sismica delle fondazioni	77
10.3.1	Sollecitazioni massime e verifica di vulnerabilità pali di fondazione	77
10.4	Calcolo dell’indice di rischio sismico postoperam ζ_E	78
11	CONCLUSIONI	79

1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

I calcoli sono svolti con riferimento, ove applicabili, alle seguenti norme:

- Legge n°1.086 del 5 novembre 1971: *"Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso, ed a struttura metallica."*
- D. M. LL. PP. 17 gennaio 2018: *"Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"."*
- Circolare Ministero LL. PP. del 21 gennaio 2019, n° 7: *"Istruzioni per l'applicazione dell' "Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018"."*
- UNI EN 1990: 2006: *"Eurocodice – Criteri generali di progettazione strutturale."*
- UNI EN 1991-1-1: *"Eurocodice 1 – Azioni sulle strutture – Parte 1-1: Azioni in generale – Pesi per unità di volume, pesi propri e sovraccarichi per gli edifici."*
- UNI EN 1991-1-3: *"Eurocodice 1 – Azioni sulle strutture – Parte 1-3: Azioni in generale – Carichi da neve."*
- UNI EN 1991-1-4: *"Eurocodice 1 – Azioni sulle strutture – Parte 1-4: Azioni in generale – Azioni del vento."*
- UNI EN 1991-1-5: *"Eurocodice 1 – Azioni sulle strutture – Parte 1-5: Azioni in generale – Azioni termiche."*
- UNI EN 1991-1-6: *"Eurocodice 1 – Azioni sulle strutture – Parte 1-6: Azioni in generale – Azioni durante la costruzione."*
- UNI EN 1991-1-7: *"Eurocodice 1 – Azioni sulle strutture – Parte 1-7: Azioni in generale – Azioni eccezionali."*
- UNI EN 1991-2: *"Eurocodice 1 – Azioni sulle strutture – Parte 2: Carichi da traffico sui ponti."*
- UNI EN 1992-1-1: *"Eurocodice 2 – Progettazione delle strutture di calcestruzzo – Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici."*
- UNI EN 1992-2: *"Eurocodice 2 – Progettazione delle strutture di calcestruzzo – Parte 2: Ponti di calcestruzzo - Progettazione e dettagli costruttivi."*
- UNI EN 1993: *"Eurocodice 3 – Progettazione delle strutture di acciaio."*
- UNI EN 1994: *"Eurocodice 4 – Progettazione delle strutture composte acciaio-calcestruzzo."*
- UNI EN 1998-1: *"Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 1: Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici."*
- UNI EN 1998-2: *"Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 2: Ponti."*
- UNI EN 1998-3: *"Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 3: Valutazione e adeguamento degli edifici."*
- UNI EN 1998-5: *"Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici."*
- Consiglio Nazionale delle Ricerche - CNR-DT 200 R1/2013: *"Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione ed il controllo di interventi di consolidamento statico mediante l'utilizzo di compositi fibrorinforzati. Materiali, strutture di c.a. e di c.a.p., strutture murarie."*
- *"Linee guida per la classificazione e gestione del rischio, la valutazione della sicurezza ed il monitoraggio dei ponti esistenti"* allegate al parere del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici n.88/2019, espresso in modalità "agile" a distanza dall'Assemblea Generale in data 17.04.2020.
- Decreto Ministeriale 5 Novembre 2001 *"Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade"*.

2 CONVENZIONI GENERALI

Le unità di misura utilizzate sono quelle relative al sistema internazionale, ovvero:

- Lunghezze: m
- Forze: kN
- Coppie: kNm
- Tensioni: MPa

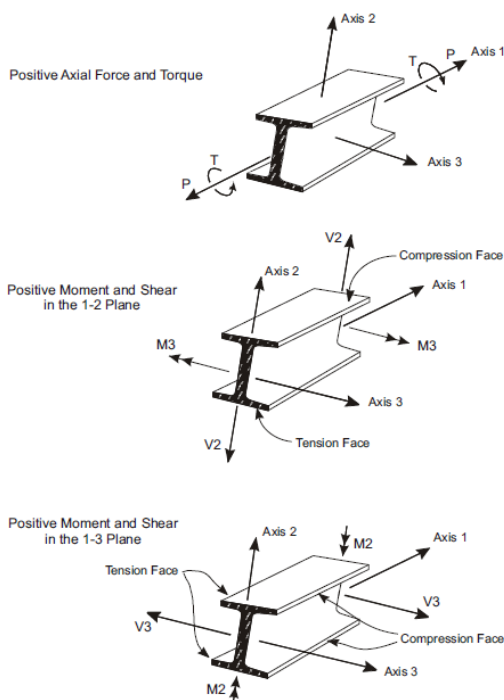
Per quanto riguarda le convenzioni di segno, si considerano, in generale, positive le compressioni.

Convenzioni specifiche verranno riportate nel prosieguo della presente relazione.

Si farà riferimento, di norma, a sistemi di riferimento di tipo cartesiano ortogonale, in cui il piano x-y è orizzontale e l'asse z verticale, diretto secondo la gravità.

Per quanto riguarda le azioni interne negli elementi, salvo diversamente specificato, si indicherà con:

P (o N)	Azione assiale
V_2 (o V_y)	Azione tagliante agente direzione dell'asse 2 (o y)
V_3 (o V_x)	Azione tagliante agente direzione dell'asse 3 (o x)
T	Momento torcente
M_2 (o M_y)	Momento flettente agente attorno all'asse 2 (o y)
M_3 (o M_x)	Momento flettente agente attorno all'asse 3 (o x)



3 INTRODUZIONE

La **valutazione della sicurezza** di una struttura esistente è un procedimento quantitativo, volto a determinare l'entità delle azioni (statiche e sismiche) che la struttura è in grado di sostenere con il livello di sicurezza minimo richiesto dalla vigente normativa.

Nella valutazione della sicurezza deve essere esplicitato, esprimendolo in termini di **rapporto fra capacità e domanda**, il livello di sicurezza della struttura al suo stato attuale.

Nell'ambito della determinazione dei vari livelli di sicurezza, gioca un ruolo certamente fondamentale il **livello di conoscenza** della struttura in termini di materiali, procedimenti progettuali originari e stato di degrado delle opere. Per poter avere un adeguato livello di conoscenza dello stato di consistenza delle varie opere, oltre che reperire tutto il materiale originario di progetto (sia esso composto da elaborati di progetto, elaborati di contabilità e quant'altro disponibile) è necessario effettuare una adeguata campagna di indagini materiche prevedendo prove di natura sia invasiva che non, ubicando le stesse in ambiti sensibili determinati dal progettista, fondamentali per la staticità dell'opera, nell'obiettivo di un corretto dimensionamento strutturale.

La presente relazione ha come oggetto la valutazione dello stato di fatto e la verifica di vulnerabilità sismica della struttura del ponte esistente della SP196 denominato "Ponte Maccastorna" che serve di collegamento tra i comuni di Maccastorna e Crotta d'Adda.

4 DESCRIZIONE DELL'OPERA

Il ponte a Crotta d'Adda (CR) sulla S.P. n. 47, attraversa il Fiume Adda e serve di collegamento fra Crotta d'Adda (CR) e Maccastorna (LO). Presenta elementi e superfici ammalorate, in particolare all'intradosso dell'impalcato del ponte, sulle travi di appoggio e sulle pile in alveo. Il tratto stradale attuale è caratterizzato da: una carreggiata da 6,00 m (corrispondente ad un'unica corsia a doppio senso di marcia alternato); banchine da 1,00 m; assenza di adeguate barriere di protezione.



Ponte a Crotta d'Adda – Stato attuale



Ponte a Crotta d'Adda – Stato attuale



Ponte a Crotta d’Adda – Stato attuale



Ponte a Crotta d’Adda – Stato attuale

Per la realizzazione del Lotto funzionale prioritario nel tratto da San Rocco al Porto (CR) a Stagno Lombardo (CR) della Ciclovia Turistica Nazionale Vento è prevista la realizzazione di una passerella ciclabile parallela al ponte per l’attraversamento del fiume Adda che verrà collegata al ponte esistente. Inoltre a questo si prevede la valutazione del rischio sismico dell’opera esistente e l’eventuale adeguamento statico e sismico.

5 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

I materiali utilizzati per la realizzazione del nuovo impalcato in struttura composta acciaio calcestruzzo sono i seguenti:

Calcestruzzo per soletta

Classe di resistenza	C28/35
Resistenza cubica caratteristica	$R_{ck}=35$ MPa
Resistenza cilindrica caratteristica	$f_{ck}=28$ MPa
Modulo elastico	$E_c= 32\ 308$ MPa
Contenuto minimo di cemento	300 kg/mc
Rapporto a/c	0,4
Classe di consistenza	S4
Massima dimensione dell’aggregato	16 mm
Copriferro*	25 mm

* Elementi soggetti a procedura di verifica del copriferro che prevede la non accettazione di elementi non conformi.

Acciaio per carpenteria metallica

Acciaio per elementi saldati	S355J2H
Acciaio per elementi non saldati	S355J0H
Tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk}= 355$ MPa
Tensione caratteristica di rottura	$f_{tk}= 510$ MPa
Modulo elastico	$E_s = 210000$ MPa
Coefficiente di Poisson	$\nu=0,3$

Bulloni

Classe viti (secondo UNI EN 14399-4:2005)	10.9
Tensione di snervamento	900 MPa
Tensione di rottura	1 000 MPa
Classe dadi (secondo UNI EN 14399-4:2005)	10

Pioli

Tipo “Nelson”	
Materiale base	Acciaio ex ST 37-3K (S235J2G3+C450)
Resistenza a snervamento acciaio del piolo	$f_y= 350$ MPa
Resistenza a rottura acciaio del piolo	$f_t= 450$ MPa

Acciaio per strutture in c.a.

Classe acciaio B450C	
Tensione caratteristica di rottura	$f_{tk}= 540$ MPa
Tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk}= 450$ MPa
Modulo elastico	$E_s= 210000$ MPa

6 VITA NOMINALE, CLASSE D'USO, PERIODO DI RIFERIMENTO, CLASSE DI ESPOSIZIONE

Con riferimento ai tipi di costruzione descritti nella tabella 2.4.I delle NTC, l'opera oggetto di analisi è definibile come “*opera ordinaria*”, pertanto la sua vita nominale è pari a 50 anni ($V_N \geq 50$ anni).

Tab. 2.4.I – Valori minimi della Vita nominale V_N di progetto per i diversi tipi di costruzioni

TIPI DI COSTRUZIONI		Valori minimi di V_N (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

Per quanto riguarda le conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso in presenza di azioni sismiche, la costruzione oggetto di analisi può essere definita come appartenente alla classe d'uso IV (**classe IV**).

Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

Classe III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, “Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade”, e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Il coefficiente d'uso, C_U , pertanto risulta essere pari a 2,00.

Tab. 2.4.II – Valori del coefficiente d'uso C_U

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_U	0,7	1,0	1,5	2,0

Il periodo di riferimento, V_R , quindi, diventa:

$$V_R = V_N C_U = 50 \times 2,0 = 100 \text{ anni.}$$

Per quanto riguarda la classe di esposizione per il caso in esame si considerano:

Corrosione indotta da carbonatazione: XC4

Attacco dei cicli gelo/disgelo con o senza sali disgelanti: XF1

	Classi di esposizione																	
	Nessun rischio di corrosione o attacco	Corrosione da carbonatazione				Corrosione da cloruri						Attacco gelo/disgelo				Ambienti chimici aggressivi		
						Acqua marina			Altri cloruri (diversi dall'acqua di mare)									
		X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XS1	XS2	XS3	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2
Rapporto massimo a/c	-	0,65	0,60	0,55	0,50	0,50	0,45	0,45	0,55	0,55	0,45	0,55	0,55	0,50	0,45	0,55	0,50	0,45
Classe di resistenza minima	C12/15	C20/25	C25/30	C30/37	C30/37	C30/37	C35/45	C35/45	C30/37	C30/37	C35/45	C30/37	C25/30	C30/37	C30/37	C30/37	C30/37	C35/45
Contenuto minimo di cemento (kg/m³)	-	260	280	280	300	300	320	340	300	300	320	300	300	320	340	300	320	360
Contenuto minimo di aria (%)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,0 ⁽¹⁾	4,0 ⁽¹⁾	4,0 ⁽¹⁾	-	-	-
Altri requisiti												Aggregati in accordo alla EN 12620 con sufficiente resistenza al gelo/disgelo				Cemento resistente ai solfati ⁽²⁾		
a)	Quando il calcestruzzo non contiene aria aggiunta, le sue prestazioni dovrebbero essere verificate conformemente ad un metodo di prova appropriato rispetto ad un calcestruzzo per il quale è provata la resistenza al gelo/disgelo per la relativa classe di esposizione.																	
b)	Qualora la presenza di SO ₄ comporti le classi di esposizione XA2 e XA3, è essenziale utilizzare un cemento resistente ai solfati. Se il cemento è classificato a moderata o ad alta resistenza ai solfati, il cemento dovrebbe essere utilizzato in classe di esposizione XA2 (e in classe di esposizione XA1 se applicabile) e il cemento ad alta resistenza, ai solfati dovrebbe essere utilizzato in classe di esposizione XA3.																	

7 CALCOLO DELLA STRUTTURA

7.1 Analisi dei carichi

7.1.1 Peso proprio degli elementi strutturali (g_1)

Il peso proprio degli elementi strutturali è valutato automaticamente dal programma di calcolo note le caratteristiche della sezione, considerando un peso specifico del calcestruzzo armato pari a 25,00 kN/m³ e dell'acciaio pari a 78,50 kN/m³.

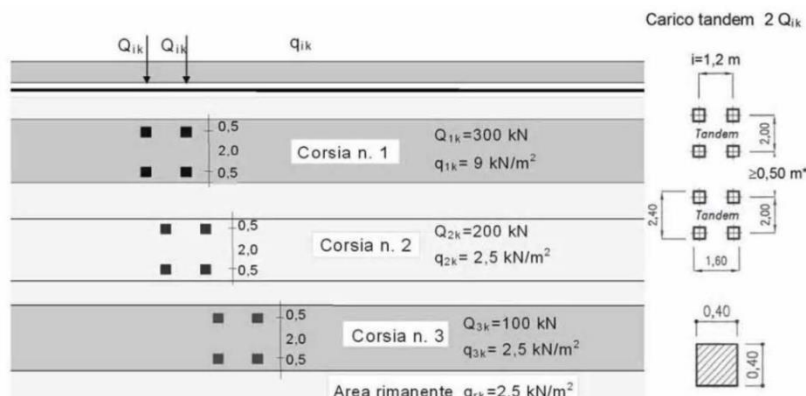
7.1.2 Carichi permanenti portati (g_2)

I carichi permanenti portati che insistono sull'impalcato sono di seguito riportati:

Pavimentazione:	3,00 kN/m ² ;
Cordolo (h = 15 cm):	3,75 kN/m ² ;
Barriera di sicurezza:	1,50 kN/m;
New Jersey:	8,00 kN/m;
Veletta:	1,00 kN/m.

7.1.3 Carichi mobili (q_1)

I carichi da traffico transitanti sui ponti sono definiti nella norma D.M. 17 gennaio 2018 e relativa Circolare esplicativa n.7 del 21 gennaio 2019. Con riferimento al caso di ponti per il transito di carichi mobili, ai fini delle verifiche globali della struttura e dei sostegni, si ricorre allo schema di carico 1, composto da carichi concentrati su due assi in tandem, di intensità paria Q_{ik} , applicati su impronte di pneumatico di forma quadrata e lato 40 cm, e da carichi uniformemente distribuiti sull'intera corsia convenzionale, di intensità pari a q_{ik} . Il valore del carico tandem Q_{ik} e del carico distribuito q_{ik} varia a seconda della corsia convenzionale considerata, come descritto nello schema seguente:



Tab. 5.1.II - Intensità dei carichi Q_{ik} e q_{ik} per le diverse corsie

Posizione	Carico asse Q_{ik} [kN]	q_{ik} [kN/m²]
Corsia Numero 1	300	9,00
Corsia Numero 2	200	2,50
Corsia Numero 3	100	2,50
Altre corsie	0,00	2,50

I carichi mobili forniti dalla normativa sono comprensivi degli effetti dinamici per pavimentazioni di media rugosità.

Le corsie convenzionali agenti sull'impalcato sono state posizionate, di caso in caso, in modo da massimizzare le sollecitazioni di interesse per ciascun elemento strutturale oggetto di analisi e verifica.

7.1.4 Azione del vento (q_{vento})

Per quanto riguarda il carico da vento si fa riferimento a quanto indicato al capitolo 3.3 del D.M. 17 gennaio 2018 e relativa Circolare esplicativa n.7 del 21 gennaio 2019. La norma tuttavia non risulta essere particolarmente chiara in materia di ponti, pertanto, ai fini della valutazione del carico da vento si fa riferimento, se non in contrasto con le NTC, all'Eurocodice 1 parte 4.

L'azione del vento è assimilata ad un carico orizzontale statico, diretto ortogonalmente all'asse del ponte e agente sulla proiezione nel piano verticale delle superfici direttamente investite. In caso di ponte carico, la superficie dei veicoli transitanti sul ponte esposta al vento si assimila ad una parete rettangolare continua dell'altezza di 3,00 m a partire dal piano stradale.

Con riferimento a ponti stradali l'azione caratteristica del vento può essere ricavata dalla seguente espressione:

$$F_{wk,i} = 0,5 \rho v_b^2 c_e c_d c_{p,i} A_{ref,i}$$

Con:

- ρ densità dell'aria assunta convenzionalmente pari a 1,25 kg/m³;
- v_b velocità di riferimento del vento;
- c_e coefficiente di esposizione;
- c_d coefficiente dinamico;
- $c_{p,i}$ coefficiente di forma in direzione "i";
- $A_{ref,i}$ area di riferimento in direzione "i".

Di tale forza si considerano solamente le due componenti:

$F_{wk,x}$: orizzontale trasversale all'impalcato;

$F_{wk,z}$: verticale perpendicolare all'impalcato.

La componente $F_{wk,y}$, lungo l'asse longitudinale del ponte, non risulta essere significativa per il caso in esame.

Componente in direzione x (trasversale)

Il valore dell'azione caratteristica (combinazione con i carichi mobili) del vento in direzione x vale:

$$F_{wk,x} = 0,5 \rho v_b^2 c_e c_d c_{p,x} A_{ref,x}$$

L'area di riferimento per l'impalcato è pari a $A_{ref,x} = d_{tot} \times L$, in cui d_{tot} è valutata considerando la superficie dei carichi transitanti sul ponte esposta al vento, assimilata ad una parete rettangolare continua con altezza pari a 3,00 m a partire dal piano stradale.

L'area di riferimento per la pila è pari a $A_{ref,x} = b \times H$ (lato x altezza), ossia la superficie di prospetto laterale esposta al vento.

Il coefficiente di forma in direzione x per l'impalcato (trasversale) è definito come:

$$c_{p,x} = c_{fx,0} \times \min\{[1+(3/100)\arctan(p); 1,25\} \times \max\{[1-(0,5/100)\alpha; 0,70\}$$

in cui:

$c_{fx,0}$ coefficiente di forza relativo all'impalcato senza flusso di estremità libera;

p pendenza trasversale dell'impalcato;

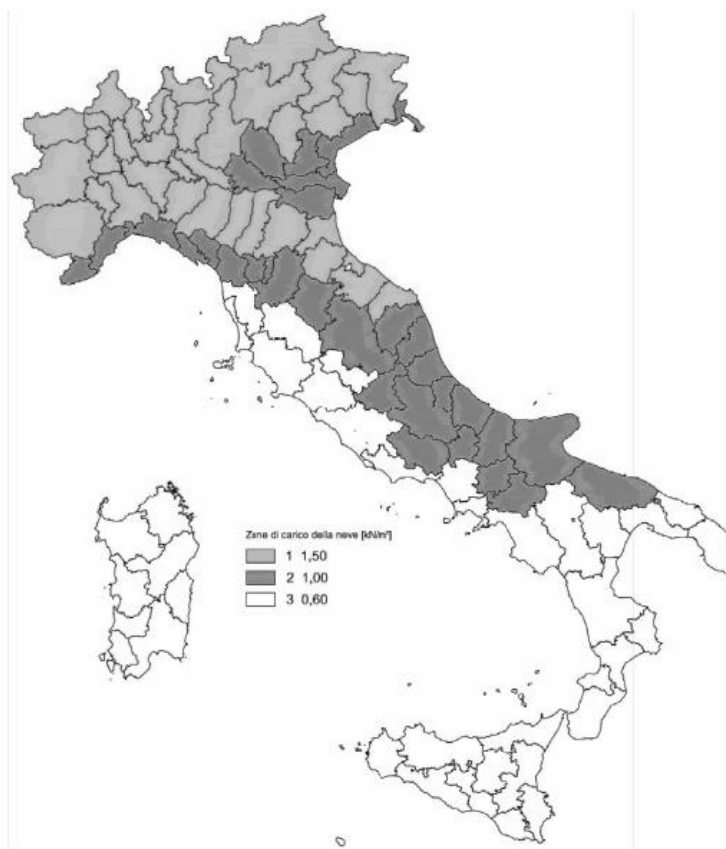
α inclinazione della trave rispetto alla verticale.

Il coefficiente di forma in direzione x per le pile (trasversale), consente di definire una azione del vento uniformemente distribuita lungo il fusto sia in direzione trasversale che longitudinale adottando gli opportuni coefficienti di forma:

$$c_{p,x} = C_{f,0} \psi_\lambda \psi_r$$

7.1.5 Azione della neve (q_5 -neve)

Per quanto riguarda l'azione della neve questo viene valutato secondo quanto previsto nel paragrafo 3.4.1 delle NTC 2018. Questo carico viene assunto come applicato in direzione verticale ed il suo valore viene assegnato in funzione della posizione dell'opera nel territorio nazionale.



Zone di carico della neve

In questo caso l'opera è situata nella regione Lombardia, tra le provincie di Lodi e Cremona e per questo motivo ricade nella classificazione di Zona 1 – Mediterranea essendo il carico distribuito dovuto all'azione della neve uguale a $q_{neve} = 1.50 \text{ kN/m}^2$ che corrisponde ad una altezza minore di 200 mslm.

7.1.6 Effetti della temperatura (q_7)

I criteri per la determinazione degli effetti della temperatura sono contenuti nel capitolo 3.5 del D.M. 17 gennaio 2018. Dal momento che la normativa italiana non riporta prescrizioni specifiche per il calcolo degli effetti della temperatura per i ponti (in particolare i gradienti termici), si farà riferimento ai criteri contenuti negli Eurocodici, in particolare all'Eurocodice EN 1991-1-5.

Componente termica uniforme

$$T_{max} = +42 - 2 a_s/1000 = +42 \text{ °C}$$

$$T_{min} = -2 - 9 a_s/1000 = -9 \text{ °C}$$

7.1.7 Cedimenti vincolari (ϵ_4)

Si ritiene lecito assumere che allo stato attuale la struttura sia completamente assestata e, quindi, esente da effetti indotti da cedimenti vincolari differenziali tra le pile.

7.1.8 Azione sismica (E)

PREMESSA

Secondo il D.M. 2018 l'azione sismica è valutata a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione, definita in termini di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione, $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di superamento, P_R , nel periodo di riferimento, V_R , definito come: $V_R = V_N c_u$. Per la struttura in esame si considera una vita nominale $V_N = 50$ anni, una classe d'uso IV e, quindi, un coefficiente d'uso $c_u = 2,0$. Si deduce, pertanto, un periodo di riferimento $V_R = 50 \times 2,0 = 100$ anni.

La probabilità di superamento nel periodo di riferimento, P_{VR} , ed il periodo di riferimento, T_R , a cui riferirsi per descrivere l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite indicati dalla normativa valgono:

Stato limite		P_{VR} [%]	T_R [anni]
SLE	SLO	81	60
	SLD	63	101
SLU	SLV	10	949
	SLC	5	1 950

Noto il periodo di ritorno dell'azione sismica, si possono definire le forme spettrali, a partire dai parametri di riferimento su sito di riferimento rigido orizzontale.

Stato limite		T_R [anni]	a_g [g]	F_0	T^*_c [s]
SLE	SLO	60	0.052	2.578	0.263
	SLD	101	0.061	2.602	0.280
SLU	SLV	949	0.123	2.598	0.320
	SLC	1950	0.133	2.598	0.324

La normativa precisa che l'azione sismica è caratterizzata da tre componenti traslazionali, due orizzontali ed una verticale, da considerare tra loro indipendenti. Le due componenti ortogonali indipendenti che descrivono il moto orizzontale sono caratterizzate dallo stesso spettro di risposta, la componente che descrive il moto verticale, invece, è descritta da un proprio spettro di risposta.

Ai fini della completa definizione dell'azione sismica, pertanto, sono necessari due spettri di risposta, uno per le componenti orizzontali ed uno per la componente verticale.

DEFINIZIONE DEL FATTORE DI COMPORTAMENTO q

Ai fini della definizione dell'azione sismica, per le due componenti orizzontali e per la componente verticale, è stato adottato un fattore di comportamento q pari a 1, quindi, di fatto, l'azione sismica è stata computata considerando lo spettro elastico.

DEFINIZIONE DELLA MASSA SISMICA

In accordo con quanto prescritto dalla normativa al punto 2.5.3, gli effetti dell'azione sismica devono essere valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:

$$G_1 + G_2 + \sum_j \psi_{2j} Q_{kj}$$

SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO IN ACCELERAZIONE

La capacità della struttura di sopportare le azioni sismiche in campo non lineare, permette di considerare azioni sismiche minori di quelle corrispondenti ad una risposta elastica lineare. Per evitare di compiere analisi strutturali inelastiche, in fase di progettazione, la capacità della struttura di dissipare energia, mediante il comportamento duttile dei suoi elementi e/o altri meccanismi, può essere tenuta in conto svolgendo un'analisi elastica basata su uno spettro di risposta ridotto rispetto a quello puramente elastico (*spettro di progetto*). Questa riduzione è ottenuta abbattendo le ordinate dello spettro elastico attraverso il fattore di comportamento q , definito in precedenza.

Per il caso in esame, avendo deciso di assumere un fattore di comportamento $q=1$, lo spettro di progetto coincide con lo spettro elastico.

Localizzazione geografica:

Lat. : 45°8'47" N

Long. : 9°51'16" E

Vita nominale $V_N = 50$ anni

Classe d'uso IV

Coefficiente d'uso $C_U = 2,0$

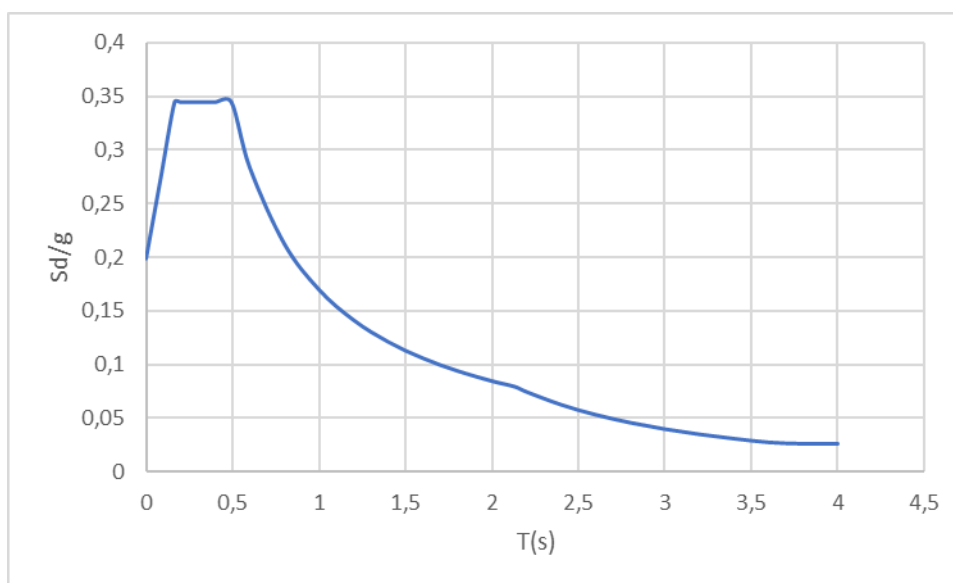
Categoria Sottosuolo C

Categoria Topografica T1

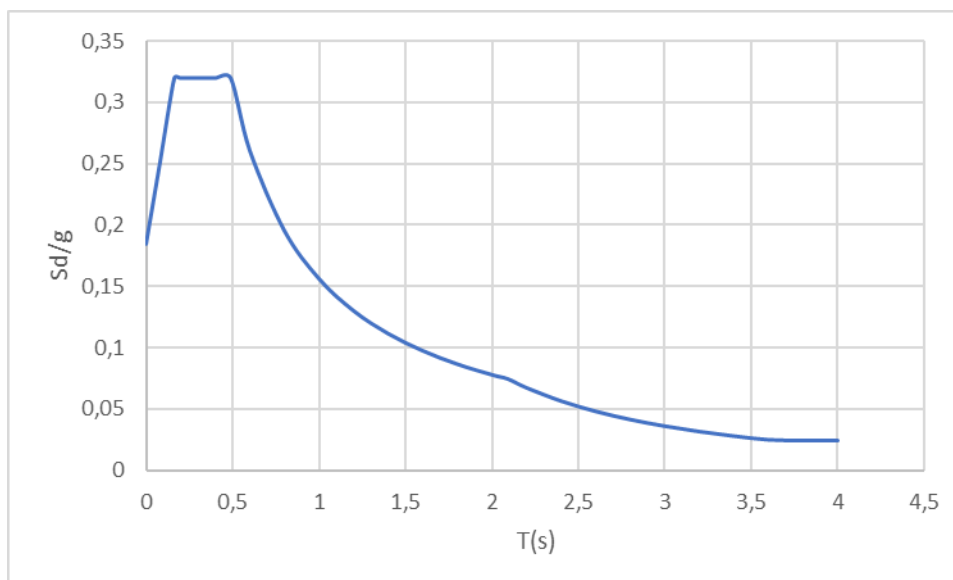
Sulla base di quanto sopra esposto, si riportano nel seguito i parametri e gli spettri di risposta di progetto (ossia elastici, in quanto $q_H = q_V = 1,0$) della componente orizzontale e della componente verticale per gli stati limite ultimi (SLV) e per gli stati limite di esercizio (SLD), forniti dal geologo.

Spettri per componente orizzontale del sisma

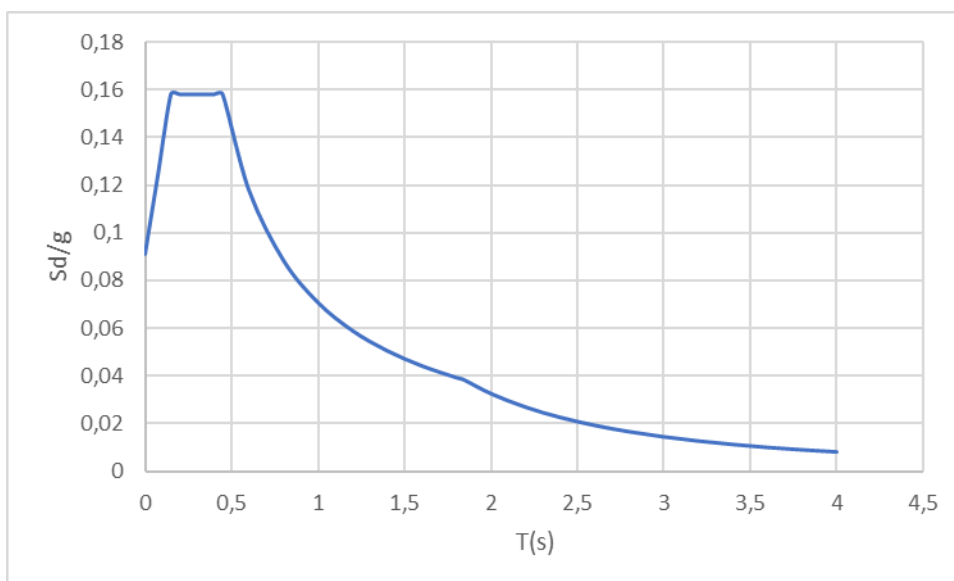
SLC



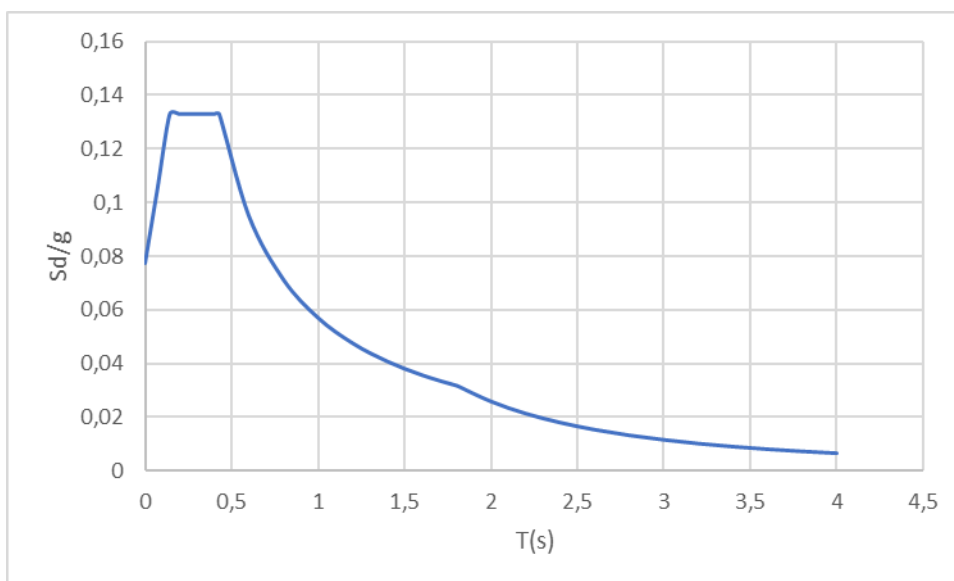
SLV



SLD

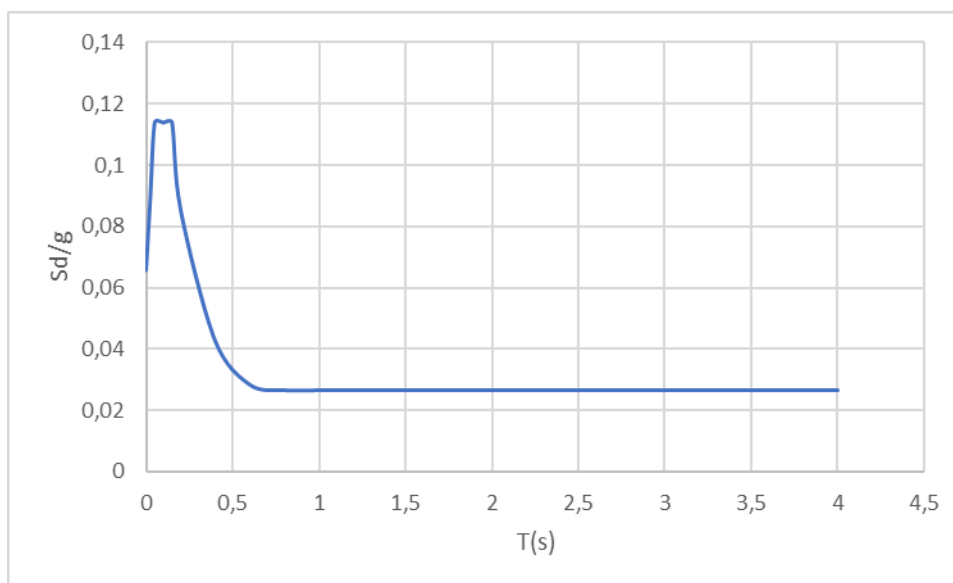


SLO

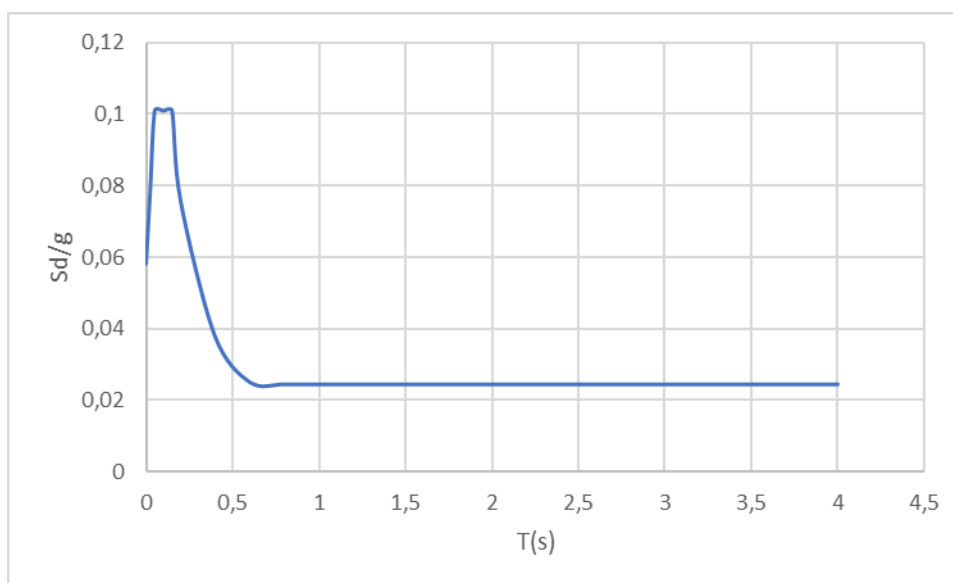


Spettri per componente verticale del sisma

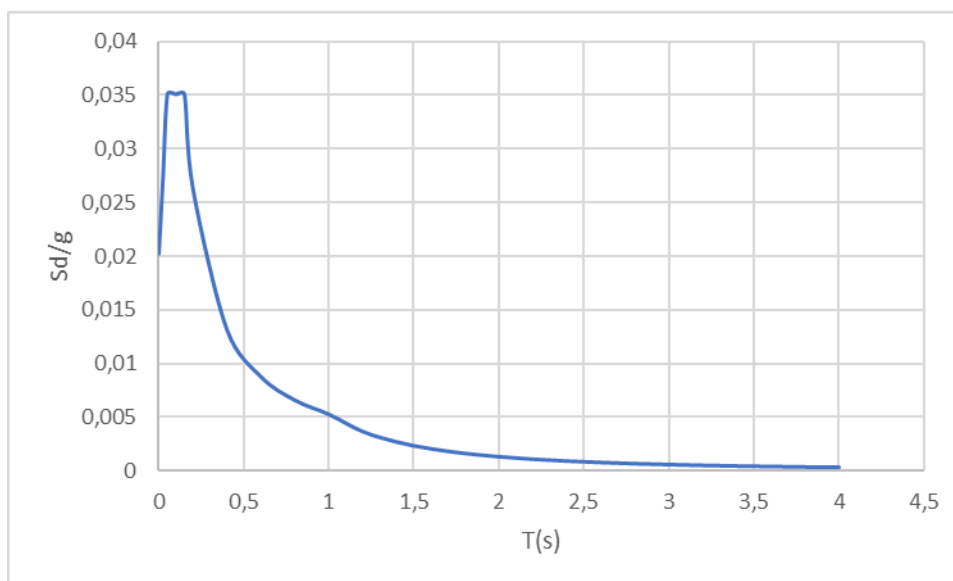
SLC



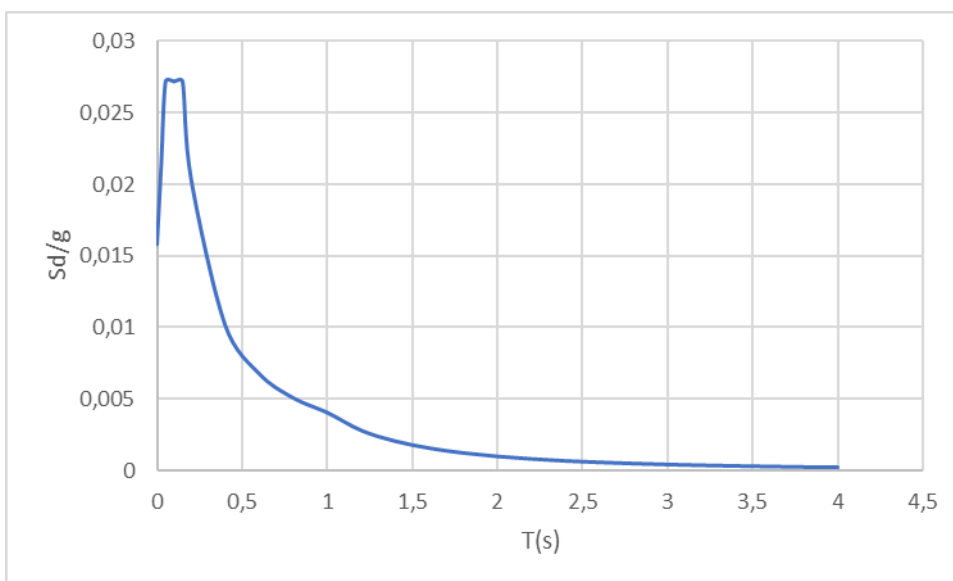
SLV



SLD



SLO

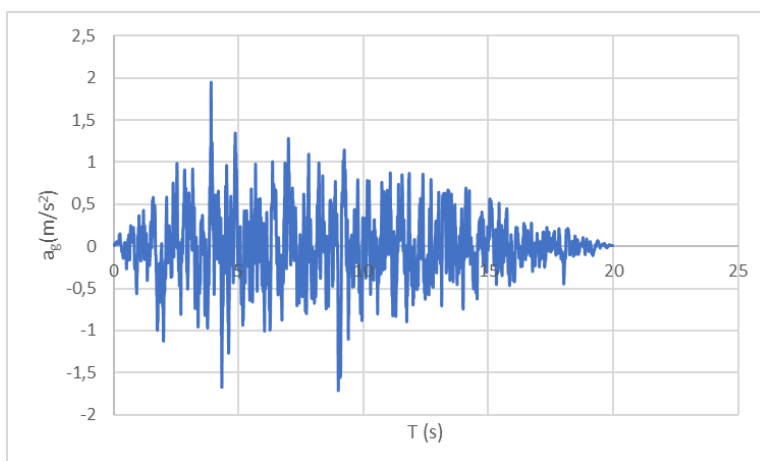
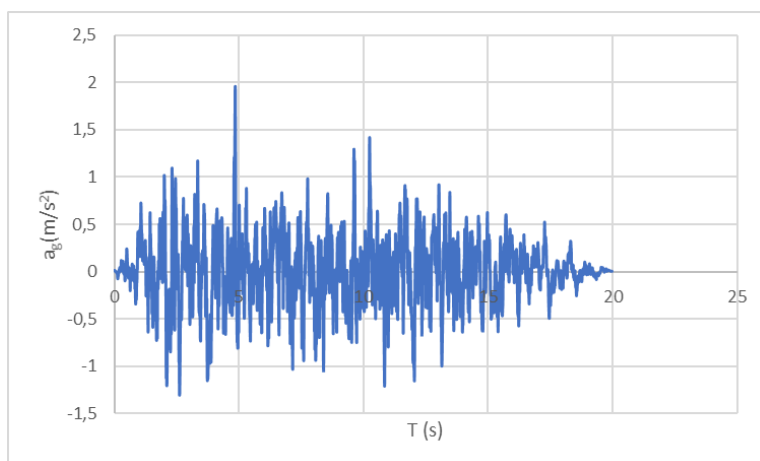
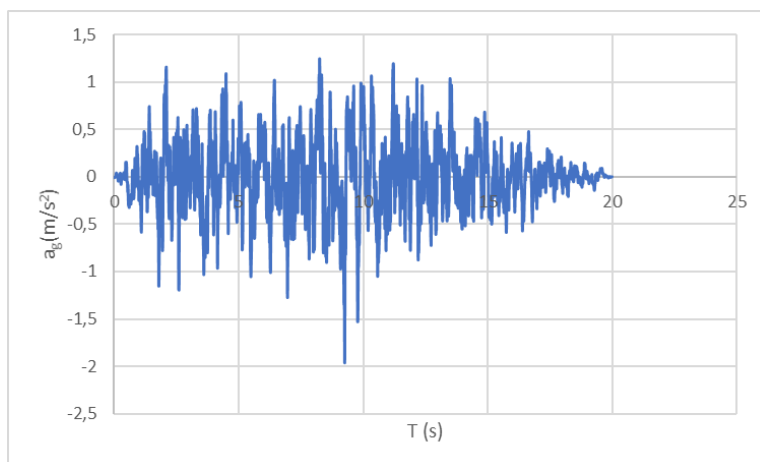


I picchi di accelerazione rilevati in fase di indagine geologica hanno suggerito l'adozione di una analisi che potesse restituire il comportamento strutturale il più fedele possibile alla realtà. L'analisi dinamica, pertanto, è stata effettuata in campo non lineare con integrazione al passo nel dominio del tempo delle equazioni del moto (Analisi Time History).

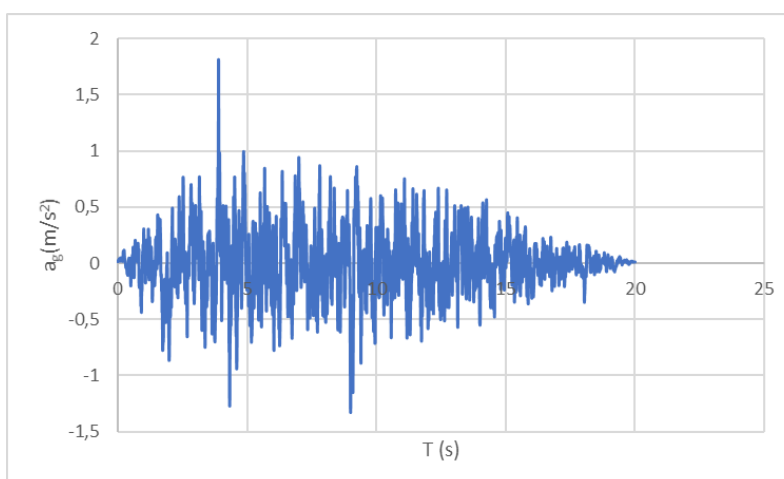
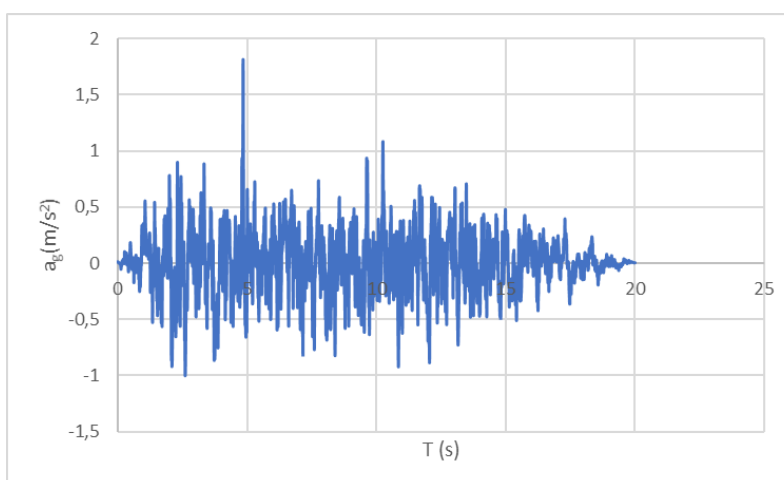
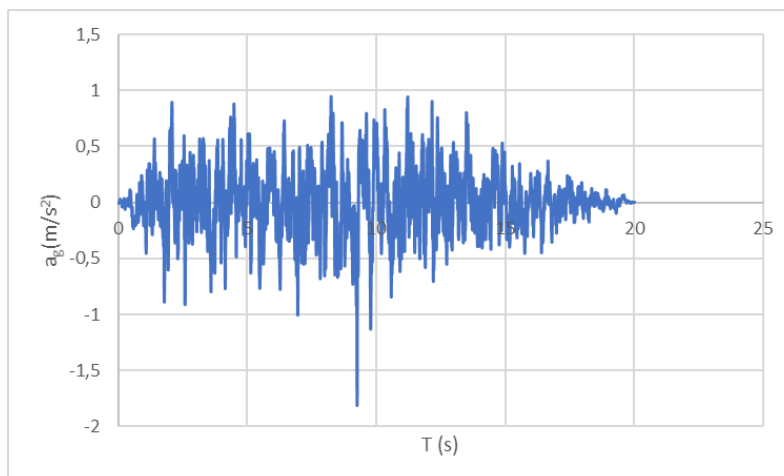
Sulla base di questa scelta, il segnale sismico è stato implementato attraverso accelerogrammi artificiali spettro compatibili. Si riportano nel seguito gli accelerogrammi adottati nelle analisi. In base alle indicazioni delle NTC 2018 nel paragrafo 7.3.5 vengono adottate 3 storie temporali statisticamente indipendenti e gli effetti sulla struttura vengono valutati utilizzando i valori più sfavorevoli.

Componente orizzontale

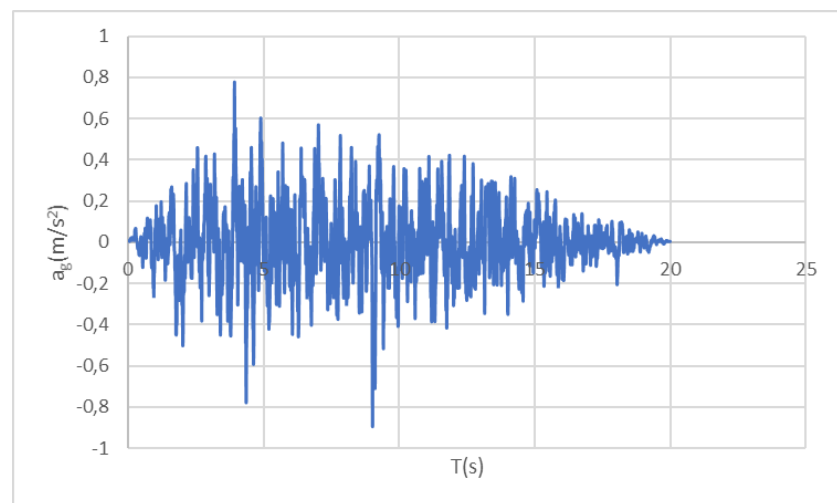
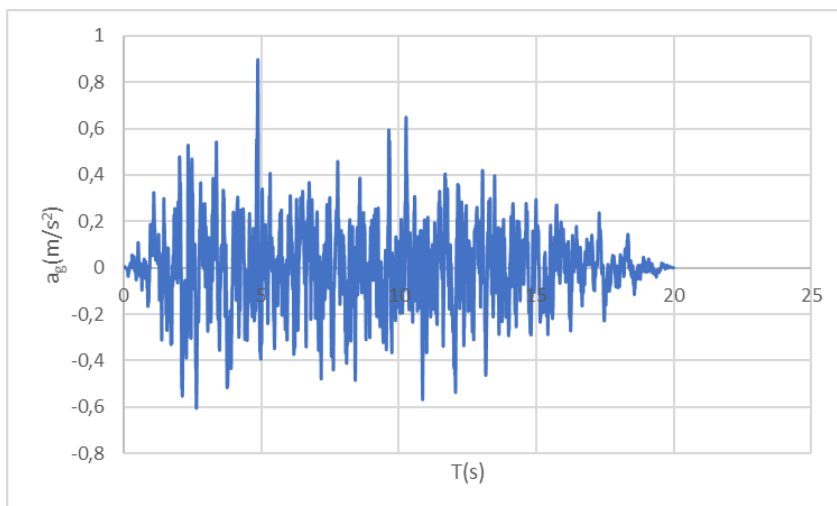
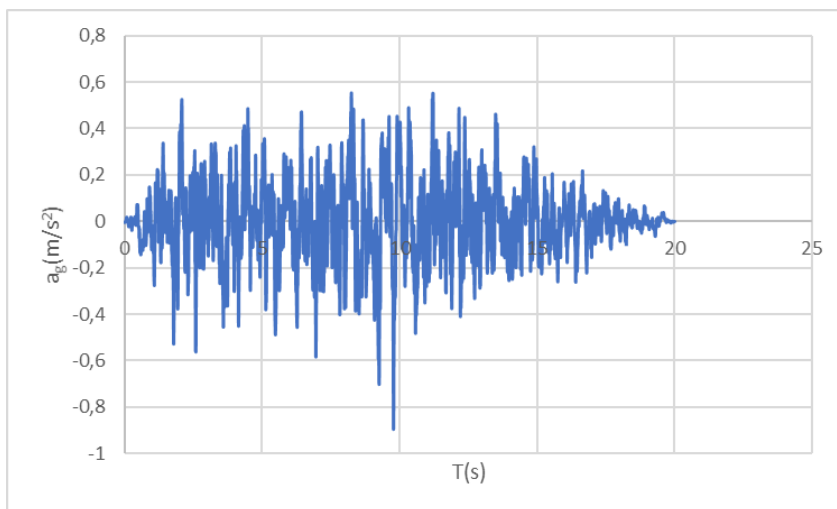
SLC



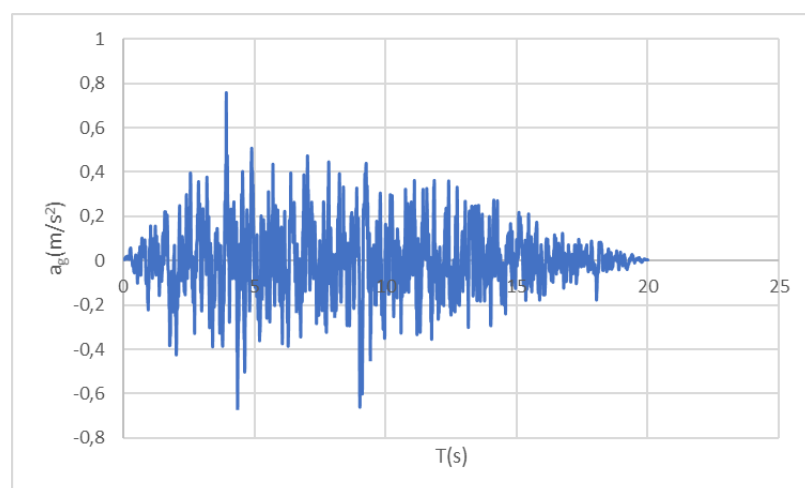
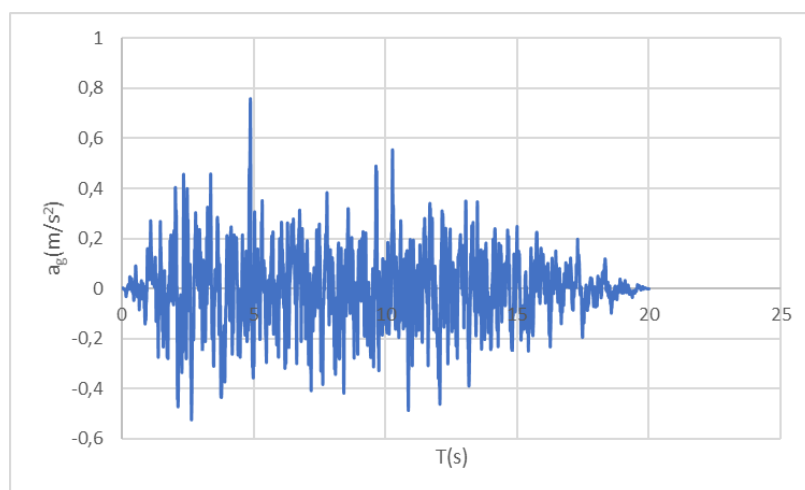
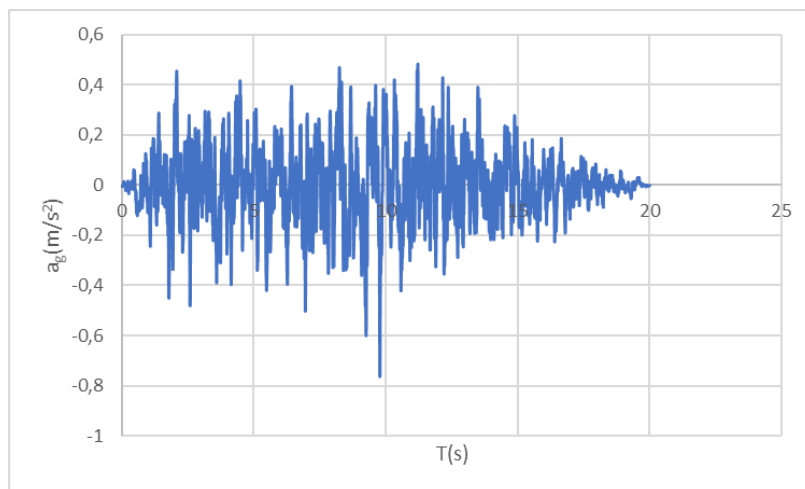
SLV



SLD

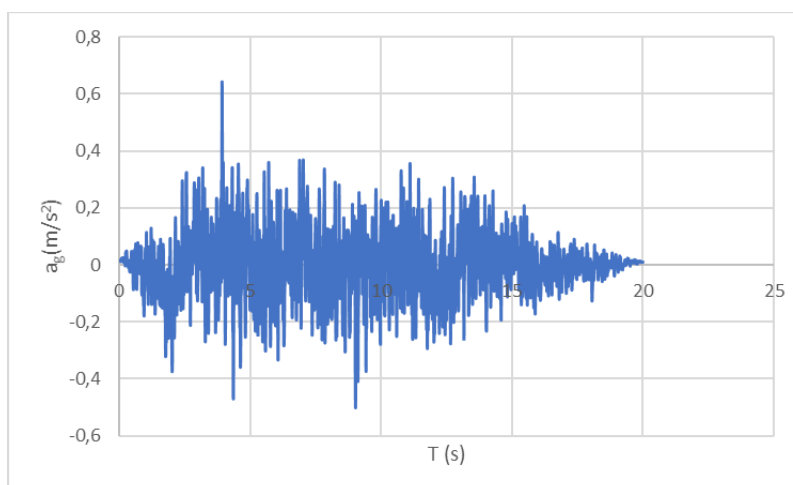
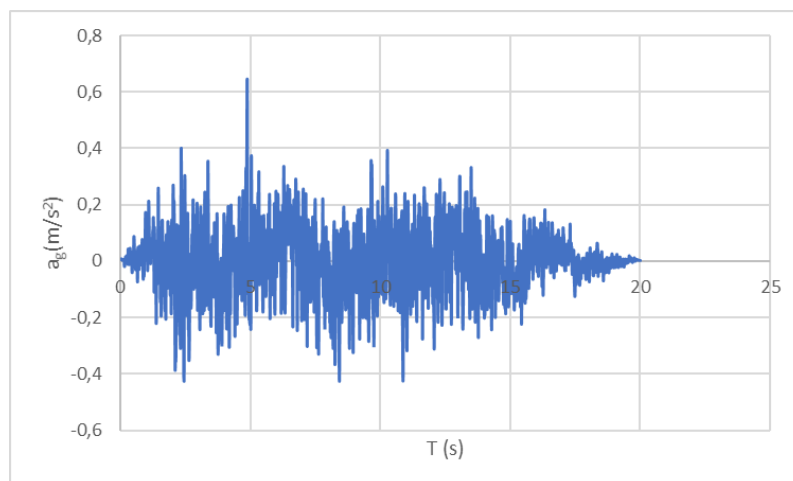
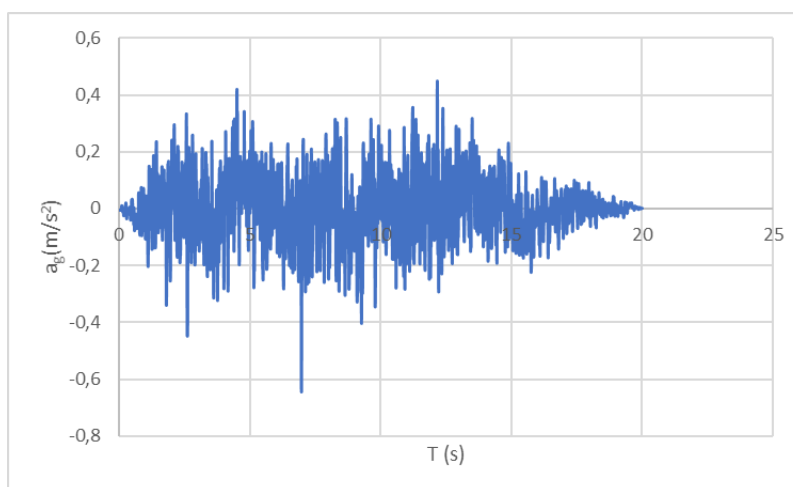


SLO

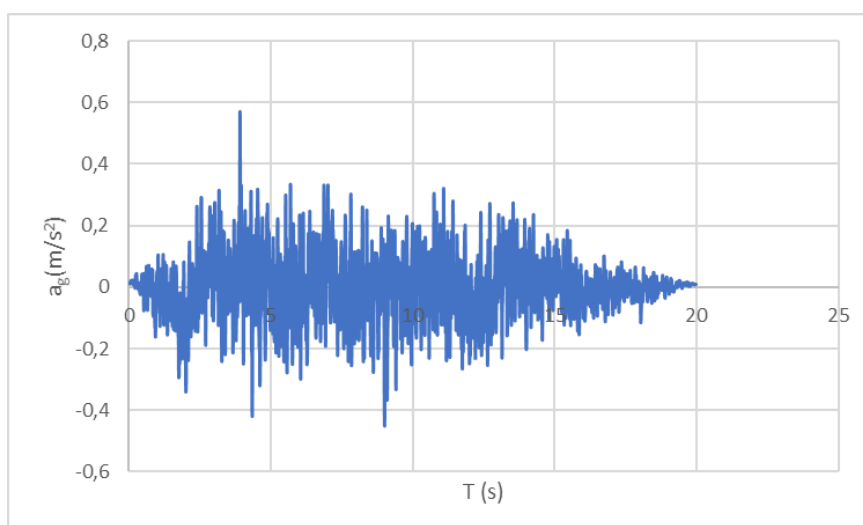
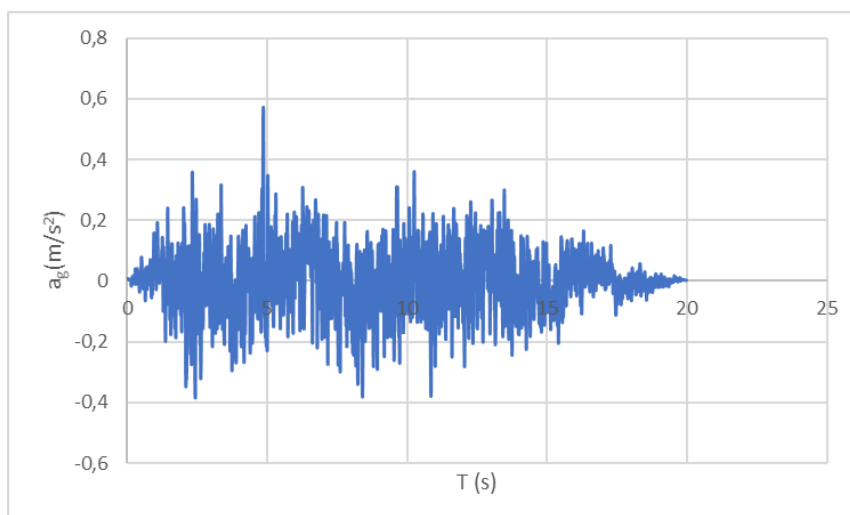
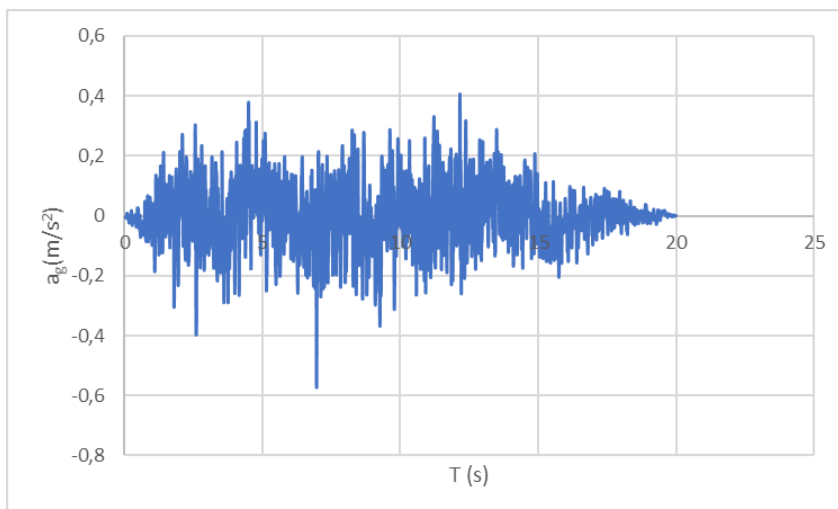


Componente verticale

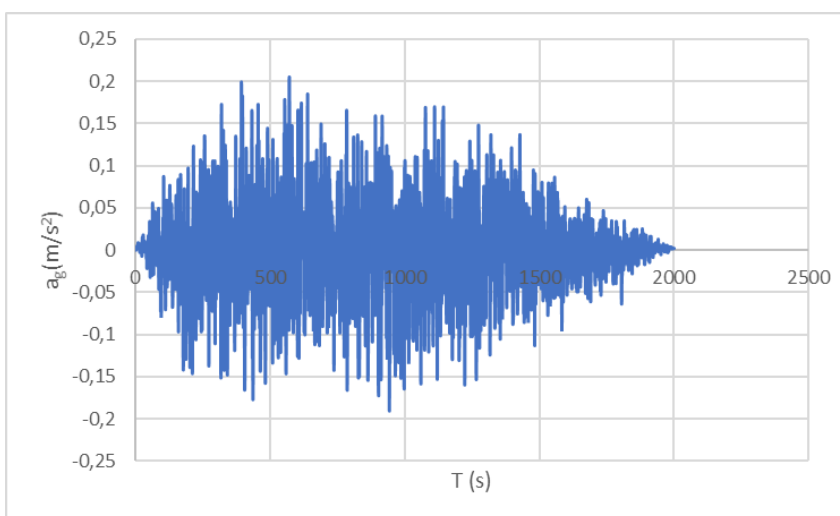
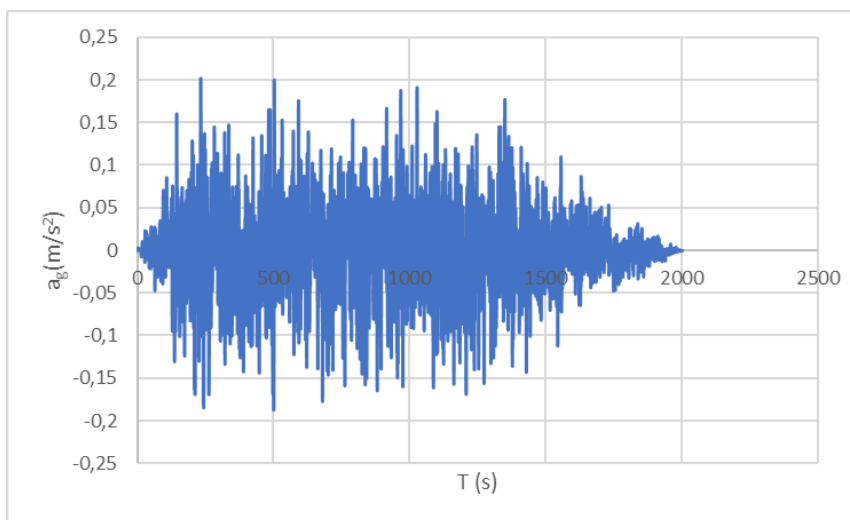
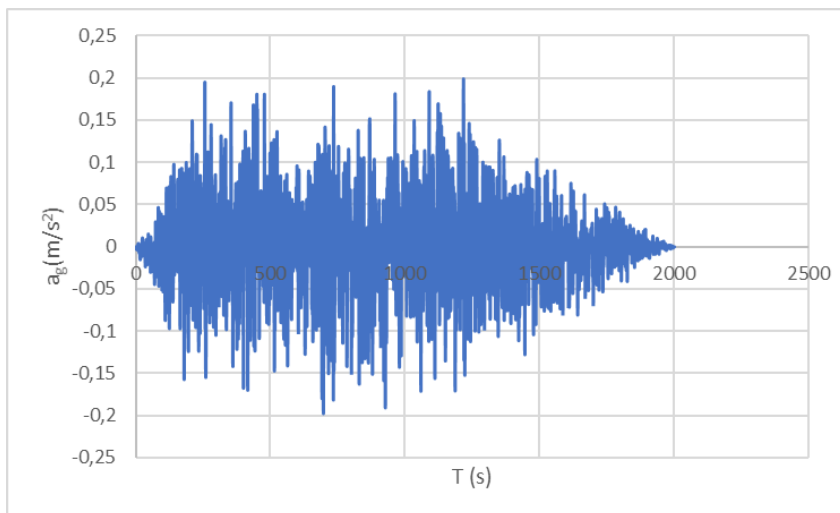
SLC



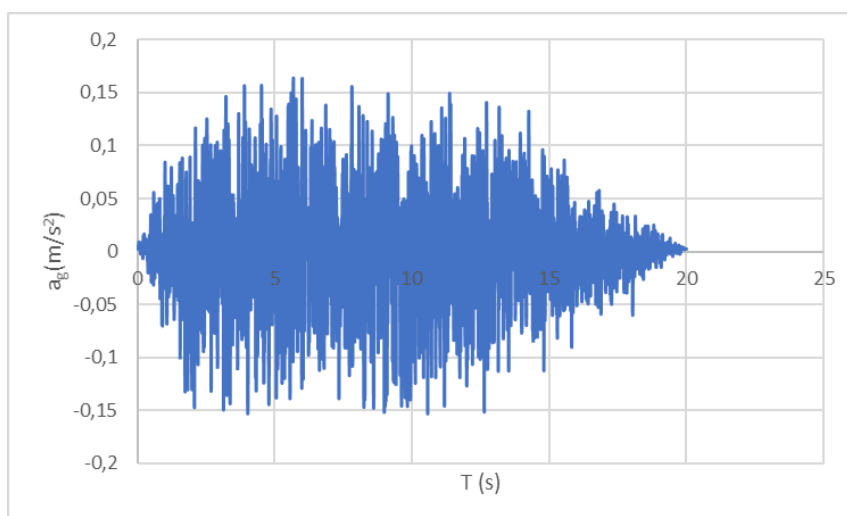
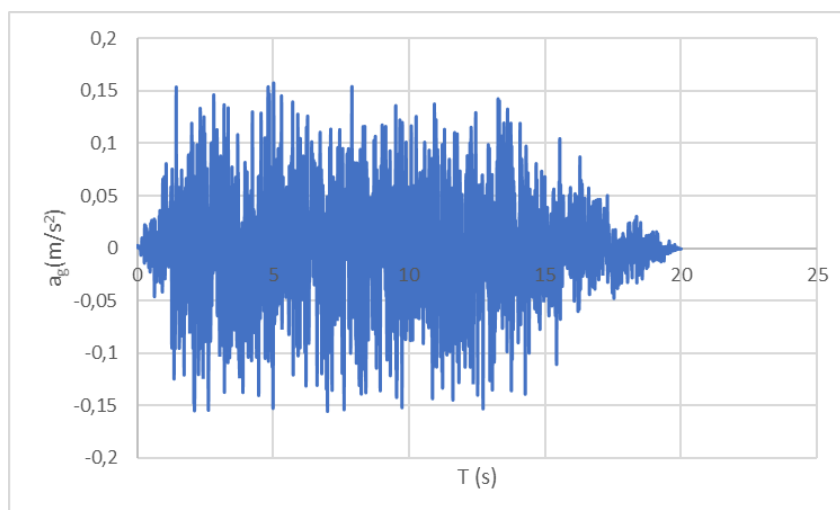
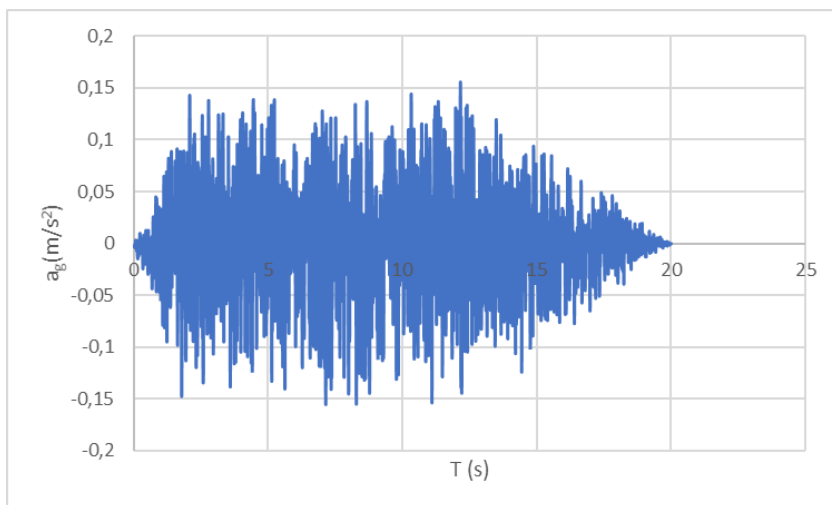
SLV



SLD



SLO



7.2 Combinazioni di carico

7.2.1 Introduzione

Le combinazioni di carico considerate sono quelle indicate dal D.M. 17 gennaio 2018 al punto 5.1.3.14. Tali combinazioni devono essere stabilite in modo da garantire la sicurezza in conformità a quanto prescritto dalla normativa.

I carichi di interesse ai fini della verifica del viadotto, secondo la definizione riportata dalla suddetta normativa, sono:

- *Azioni permanenti:*

- peso proprio degli elementi strutturali: g_1 ;
- carichi permanenti portati: g_2 (pavimentazione stradale, marciapiedi, barriere acustiche, barriere di sicurezza stradale, parapetti, finiture, sistema di smaltimento acque, attrezzature stradali, rinfilanti e simili);
- altre azioni permanenti: g_3 (spinta delle terre, spinte idrauliche, ecc.);

- *Distorsioni e deformazioni impresse:*

- distorsioni e presollecitazioni di progetto: ε_1 ;
- effetti reologici:
 - ritiro: ε_2 ;
 - viscosità: ε_3 ;
 - cedimenti vincolari: ε_4 ;

- *Azioni variabili da traffico:*

- carichi verticali: q_1 ;

- *Azioni variabili di vento e neve:* q_5 ;

- *Azioni idrodinamiche:* q_6 ;

- *Azioni della temperatura:* q_7 ;

- *Azioni sismiche:* E ;

Ai fini della determinazione dei valori caratteristici delle azioni dovute al traffico, sono da considerare le combinazioni riportate nella tabella seguente:

Tab. 5.1.IV – Valori caratteristici delle azioni dovute al traffico

	Carichi sulla superficie carrabile					Carichi su marciapiedi e piste ciclabili non sormontabili
	Carichi verticali			Carichi orizzontali		Carichi verticali
Gruppo di azioni	Modello principale (schemi di carico 1, 2, 3, 4 e 6)	Veicoli speciali	Folla (Schema di carico 5)	Frenatura	Forza centrifuga	Carico uniformemente distribuito
1	Valore caratteristico					Schema di carico 5 con valore di combinazione 2,5KN/m ²
2a	Valore frequente			Valore caratteristico		
2b	Valore frequente				Valore caratteristico	
3 (*)						Schema di carico 5 con valore caratteristico 5,0KN/m ²
4 (**)			Schema di carico 5 con valore caratteristico 5,0KN/m ²			Schema di carico 5 con valore caratteristico 5,0KN/m ²
5 (***)	Da definirsi per il singolo progetto	Valore caratteristico o nominale				

(*) Ponti pedonali
 (**) Da considerare solo se richiesto dal particolare progetto (ad es. ponti in zona urbana)
 (***) Da considerare solo se si considerano veicoli speciali

I coefficienti parziali delle azioni da assumere nell'analisi per la determinazione degli effetti delle azioni, nelle verifiche agli stati limite ultimi, valgono:

Tab. 5.1.V – Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU

		Coefficiente	EQU ⁽¹⁾	A1	A2
Azioni permanenti g_1 e g_3	favorevoli	γ_{G1} e γ_{G3}	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00
Azioni permanenti non strutturali ⁽²⁾ g_2	favorevoli	γ_{G2}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Azioni variabili da traffico	favorevoli	γ_Q	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,35	1,35	1,15
Azioni variabili	favorevoli	γ_{Qi}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Distorsioni e presollecitazioni di progetto	favorevoli	γ_{e1}	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,00 ⁽³⁾	1,00 ⁽⁴⁾	1,00
Ritiro e viscosità, Cedimenti vincolari	favorevoli	$\gamma_{e2}, \gamma_{e3}, \gamma_{e4}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,20	1,20	1,00

I coefficienti $\psi_{0,j}$, $\psi_{1,j}$ e $\psi_{2,j}$ per le diverse categorie di azioni valgono:

Tab. 5.1.VI - Coefficienti ψ per le azioni variabili per ponti stradali e pedonali

Azioni	Gruppo di azioni (Tab. 5.1.IV)	Coefficiente ψ_0 di combi- nazione	Coefficiente ψ_1 (valori frequent)	Coefficiente ψ_2 (valori quasi permanent)
Azioni da traffico (Tab. 5.1.IV)	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
Vento	a ponte scarico SLU e SLE	0,6	0,2	0,0
	in esecuzione	0,8	0,0	0,0
	a ponte carico SLU e SLE	0,6	0,0	0,0
Neve	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
	in esecuzione	0,8	0,6	0,5
Temperatura	SLU e SLE	0,6	0,6	0,5

Le azioni devono essere combinate in modo da rispettare quanto prescritto al punto 2.5.3 del D.M. 17.01.2018

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

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.1]$$

- Combinazione caratteristica, cosiddetta rara, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili:

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.2]$$

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

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.3]$$

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

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.4]$$

- Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E:

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad [2.5.5]$$

- Combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali A:

$$G_1 + G_2 + P + A_d + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad [2.5.6]$$

Nelle combinazioni si intende che vengano omessi i carichi Q_{kj} che danno contributo favorevole ai fini delle verifiche e, se dal caso, i carichi G_2 .

Il coefficiente parziale della precompressione si assume pari a 1,0.

Gli effetti dell'azione sismica saranno valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:

$$G_1 + G_2 + \sum_j \psi_{2j} Q_{kj} \quad [2.5.7]$$

7.2.2 Casi elementari di carico

Si riporta nel seguito la lista dei casi elementari di carico considerati nell'analisi:

CONDIZIONI DI CARICO	
Permanenti strutturali	g_1
Permanenti non strutturali	g_2
Folla compatta	q_1
Vento	q_{vento}
Neve	q_{neve}
Temperatura	q_{temp}
Sisma	E

7.2.3 Combinazioni Stato Limite Ultimo (SLU) – Statica

	COMBINAZIONI ALLO STATO LIMITE ULTIMO							
	SLU - 01		SLU - 02		SLU - 03		SLU - 04	
	SLU-01a	SLU-01b	SLU-02a	SLU-02b	SLU-03a	SLU-03b	SLU-04a	SLU-04b
g_1	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35
g_2	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
q_1	1,35	1,35	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
q_{vento}	0,90	0,90	1,50	1,50	0,90	0,90	0,90	0,90
q_{neve}	0,90	0,90	0,90	0,90	1,50	1,50	0,90	0,90
q_{temp}^+	0,00	0,90	0,00	0,90	0,00	0,90	0,00	1,50
q_{temp}^-	0,90	0,00	0,90	0,00	0,90	0,00	1,50	0,00

Con la campitura in giallo si indica il carico variabile assunto come dominante

Considerando carichi mobili e frenamento come unico carico da traffico:

- SLU-01 = folla dominante;
- SLU-02 = vento dominante ;
- SLU-03 = neve dominante;
- SLU-04 = termica dominante;

7.2.4 Combinazioni Stato Limite Esercizio (SLE)

COMBINAZIONI ALLO STATO LIMITE DI ESERCIZIO								
COMBINAZIONE CARATTERISTICA - RARA								
	SLER - 01		SLER - 02		SLER - 03		SLER - 04	
	SLER-01a	SLER-01b	SLER-02a	SLER-02b	SLER-03a	SLER-03b	SLER-04a	SLER-04b
g_1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
g_2	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
q_1	1,00	1,00	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
q_{vento}	0,60	0,60	1,00	1,00	0,60	0,60	0,60	0,60
q_{neve}	0,60	0,60	0,60	0,60	1,00	1,00	0,60	0,60
q_{temp}^{+}	0,00	0,60	0,00	0,60	0,00	0,60	0,00	1,00
q_{temp}^{-}	0,60	0,00	0,60	0,00	0,60	0,00	1,00	0,00
COMBINAZIONE FREQUENTE								
	SLEF - 01		SLEF - 02		SLEF - 03		SLEF - 04	
	SLEF-01a	SLEF-01b	SLEF-02a	SLEF-02b	SLEF-03a	SLEF-03b	SLEF-04a	SLEF-04b
g_1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
g_2	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
q_1	0,75	0,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
q_{vento}	0,00	0,00	0,20	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00
q_{neve}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,20	0,00	0,00
q_{temp}^{+}	0,00	0,50	0,00	0,50	0,00	0,50	0,00	0,60
q_{temp}^{-}	0,50	0,00	0,50	0,00	0,50	0,00	0,60	0,00

Combinazione Quasi Permanente

COMBINAZIONE QUASI-PERM		
	SLEQP-01a	SLEQP-01b
g_1	1,00	1,00
g_2	1,00	1,00
q_1	0,00	0,00
q_{vento}	0,00	0,00
q_{neve}	0,00	0,00
q_{temp}^{+}	0,00	0,50
q_{temp}^{-}	0,50	0,00

Con la campitura in giallo si indica il carico variabile assunto come dominante.

Considerando carichi mobili e frenamento come unico carico da traffico:

SLE-01 = carichi mobili dominante;

SLE-02 = vento dominante ;

SLE-03 = neve dominante;

SLE-04 = termica dominante;

7.2.5 Stato Limite Salvaguardia della Vita (SLV) - Sismica SLU

	SLV - EX		SLV - EY	
	SLVEX-01	SLVEX-02	SLVEY-01	SLVEY-02
g_1	1,00	1,00	1,00	1,00
g_2	1,00	1,00	1,00	1,00
q_{temp}^+	0,00	0,50	0,00	0,50
q_{temp}^-	0,50	0,00	0,50	0,00
ESLV-XY	1,00	1,00	1,00	1,00
ESLV-YX	0,00	0,00	0,00	0,00

Nota: Nelle combinazioni sismiche non è stata considerata la presenza di carichi mobili.

7.2.6 Stato Limite di Collasso (SLC) - Sismica SLU

	SLC - EX		SLC - EY	
	SLCEX-01	SLCEX-02	SLCEY-01	SLCEY-02
g_1	1,00	1,00	1,00	1,00
g_2	1,00	1,00	1,00	1,00
q_{temp}^+	0,00	0,50	0,00	0,50
q_{temp}^-	0,50	0,00	0,50	0,00
ESLC-XY	1,00	1,00	1,00	1,00
ESLC-YX	0,00	0,00	0,00	0,00

Nota: Nelle combinazioni sismiche non è stata considerata la presenza di carichi mobili.

8 MODELLAZIONE E ANALISI

8.1 Opera esistente

Il ponte a Crotta d’Adda (CR) sulla S.P. n. 47, attraversa il Fiume Adda e serve di collegamento fra Crotta d’Adda (CR) e Maccastorna (LO). Presenta elementi e superfici ammalorate, in particolare all'intradosso dell'impalcato del ponte, sulle travi di appoggio e sulle pile in alveo. Il tratto stradale attuale è caratterizzato da: una carreggiata da 6,00 m (corrispondente ad un'unica corsia a doppio senso di marcia alternato); banchine da 1,00 m; assenza di adeguate barriere di protezione.



Ponte a Crotta d’Adda – Stato attuale



Ponte a Crotta d’Adda – Stato attuale



Ponte a Crotta d’Adda – Stato attuale



Ponte a Crotta d’Adda – Stato attuale

Per la realizzazione del Lotto funzionale prioritario nel tratto da San Rocco al Porto (CR) a Stagno Lombardo (CR) della Ciclovia Turistica Nazionale Vento è prevista la realizzazione di una passerella ciclabile parallela al ponte per l’attraversamento del fiume Adda che verrà collegata al ponte esistente.

Inoltre a questo si prevede la valutazione del rischio sismico dell’opera esistente e l’eventuale adeguamento statico e sismico.

8.1.1 Inquadramento Planimetrico

L’opera esistente ha lo scopo di attraversare il Fiume Adda sulla SP 47 Soresina, collegando i comuni di Maccastorna (LO) e Crotta d’Adda (CR).

Per quanto riguarda la piattaforma dell’opera esistente, questa è composta da un’unica carreggiata formata da due corsie (1 per senso di marcia) da 3,00 m, banchine in sinistra e destra da 1,00 m per una larghezza complessiva pari a 8,00 m.



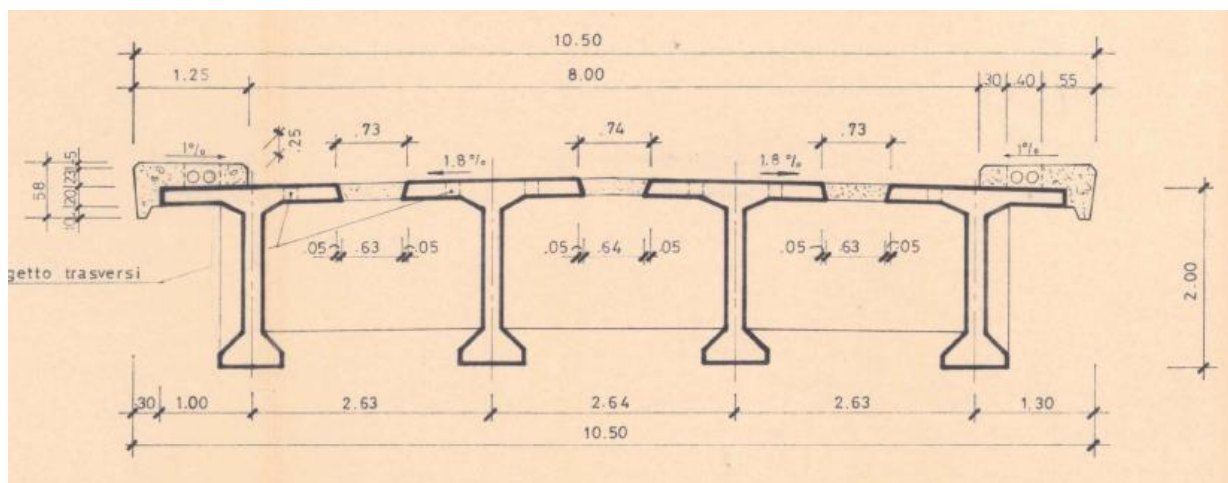
Planimetria generale

8.1.2 Impalcato

Dal punto di vista geometrico l'impalcato è caratterizzato da una lunghezza complessiva di **220.70 m** con 2 luci uguali di 30.85 m, in corrispondenza con le due spalle ed altre 5 campate uguali di 31.80 m.

La larghezza complessiva è di **10.50 m** di cui 8.50 m carrabili e 1.25 m di cordolo laterale per l'alloggiamento delle barriere di sicurezza esistenti tipo guard-rail.

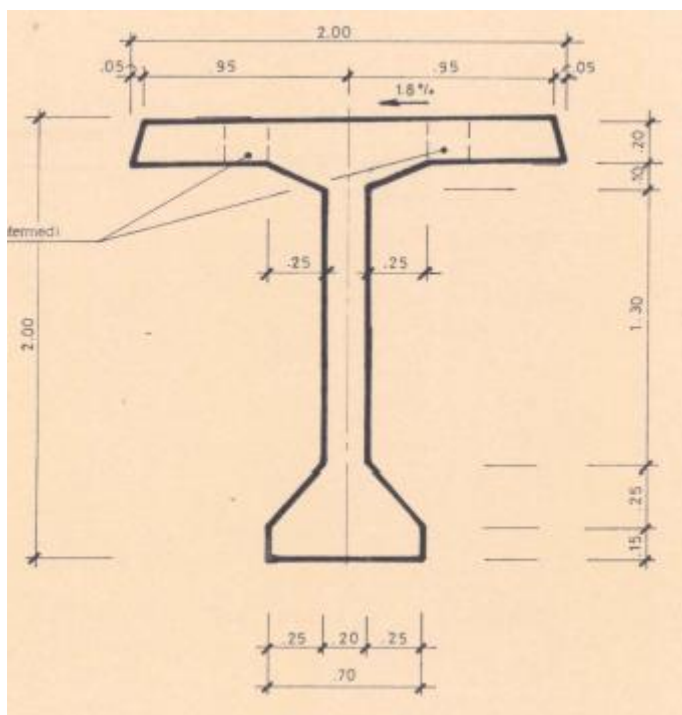
L'impalcato è costituito da **n.4 travi in calcestruzzo armato precompresso** a sezione uniforme poste ad un **interasse di 2.63 m**, in corrispondenza delle piattebande delle travi esterne vengono realizzati i due cordoli per le barriere di sicurezza.



Sezione trasversale in mezzeria

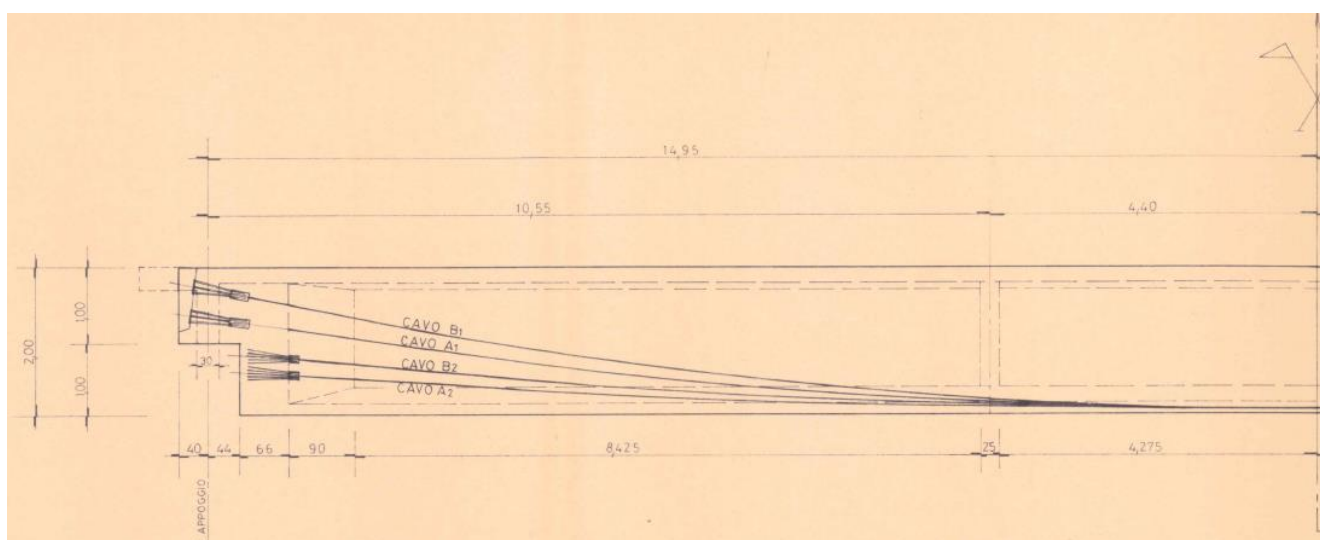
[illegible][illegible]

Pag. 37 di 79



Posizione del getto di completamento

Come armatura di precompressione ogni trave ha 4 cavi 8 BT 06 con andamento parabolico.

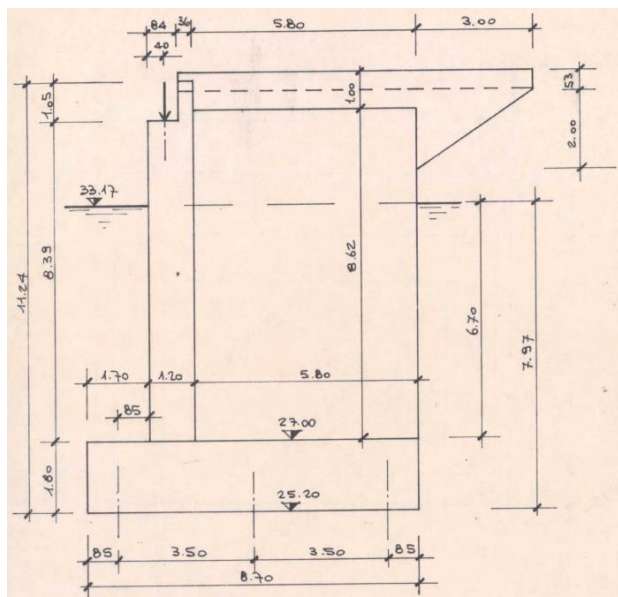


Tracciamento dei cavi di precompressione

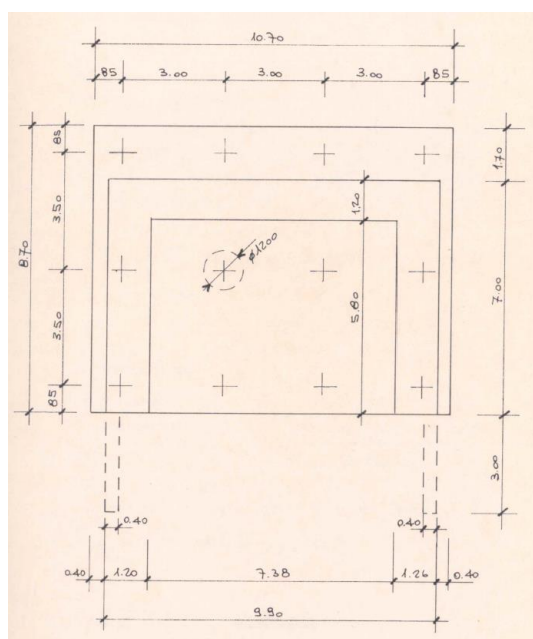
8.1.3 Spalle e fondazioni

Le spalle su cui poggia la sovrastruttura hanno una larghezza di 10.70 m con spessore costante in fondazione di 1.80 m, l'altezza è per entrambe le spalle di 8.40 m a partire dall'attacco della stessa con la fondazione fino alla quota in cui si intestano i baggioli per l'alloggiamento dei dispositivi di vincolo.

E' inoltre presente un prolungamento al fine di intestare i paraghiaia.

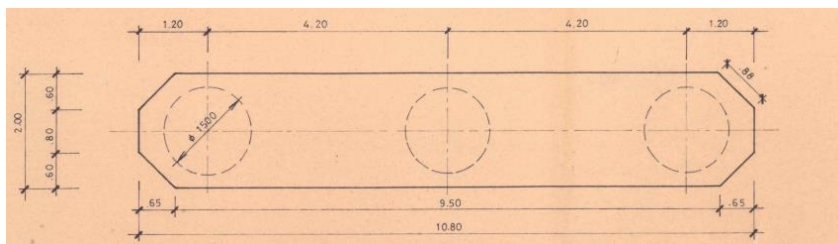


Sezione spalle



Pianta spalle

Le opere di fondazione della struttura di progetto vengono fatte con fondazione profonda realizzata su pali in c.a. collegati tra di loro da un plinto di dimensioni 10.70 x 8.70 x 1.80 m. I **n. 12 pali** per spalla hanno **diametro 120 cm e lunghezza di 15 m oltre la quota di scalzamento.**

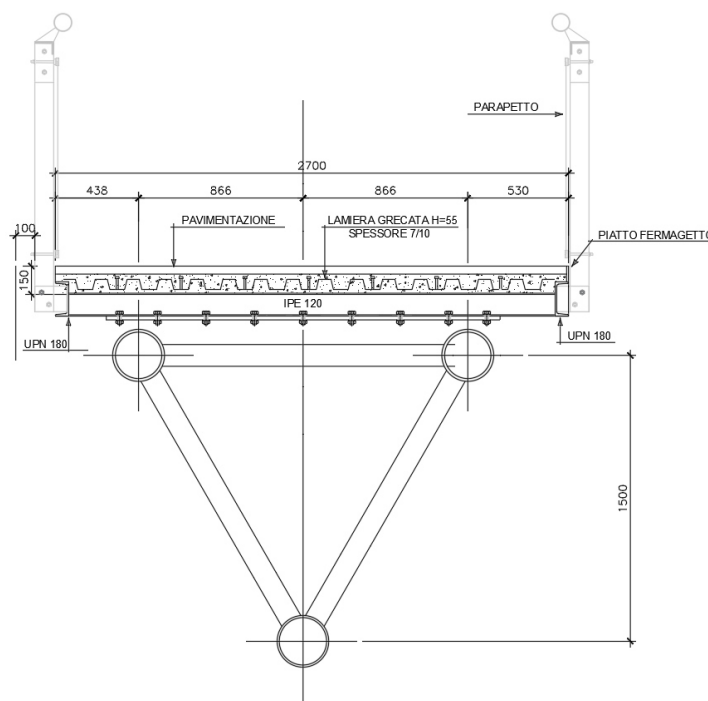


Pianta fondazioni

La zattera di fondazione ha dimensioni 10.80 x 2.00 m e poggia su **3 pali** in c.a. di **diametro 1.50 m** ed una **lunghezza totale di 20 m**.

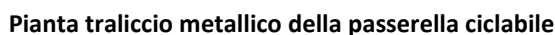
8.2 Opera nuova

Come parte della realizzazione della Ciclovia Turistica Nazionale Vento nel tratto da San Rocco al Porto a Stagno Lombardo è prevista la realizzazione di una passerella ciclabile dal lato valle del ponte a Crotta d'Adda. La sezione trasversale della passerella ciclabile viene mostrata in seguito.



Sezione passerella ciclabile

Questa passerella ha una larghezza totale di 2.70 m e l'impalcato è fatto con una struttura metallica a forma di traliccio tridimensionale con profili tubolari.



Particolare della mensola di collegamento con il ponte esistente

Technical drawing of a road layout showing a roundabout and a side road. The roundabout has two lanes in each direction, labeled "SUD" (South) and "NORD" (North). The side road is labeled "COURS COULABLE". Dimensions are provided for the roundabout lanes (1.40m, 0.60m, 3.00m, 0.60m, 1.40m) and the side road (0.40m, 3.20m, 0.40m). A 5.00m dimension is also shown for the side road width.

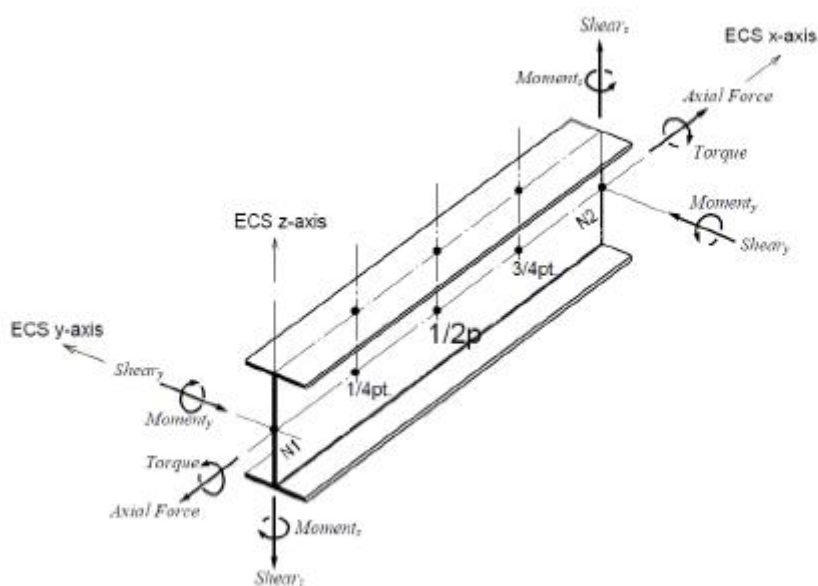
Sezione in corrispondenza con la spalla della passerella

8.3 Modellazione strutturale

L'analisi della struttura è stata condotta in campo lineare, mediante una modellazione tridimensionale dell'impalcato, basata sul metodo degli elementi finiti.

Il modello tridimensionale per la verifica di vulnerabilità della struttura è costituito di elementi tipo trave (beam) per tutti gli elementi che hanno un comportamento unidimensionale.

Il modello strutturale è stato realizzato con l'utilizzo del software d'analisi FEM Midas Civil. Gli elementi tipo trave (beam) in Midas Civil hanno 6 gradi di libertà per ogni nodo, e quindi caratterizzati di rigidità assiale, di taglio, flessionale e torsionale.

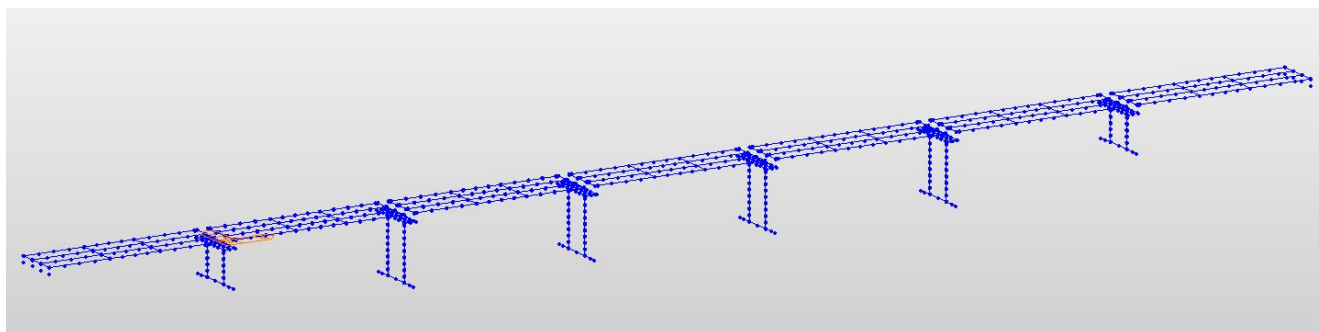


Elemento tipo trave in Midas CIVIL

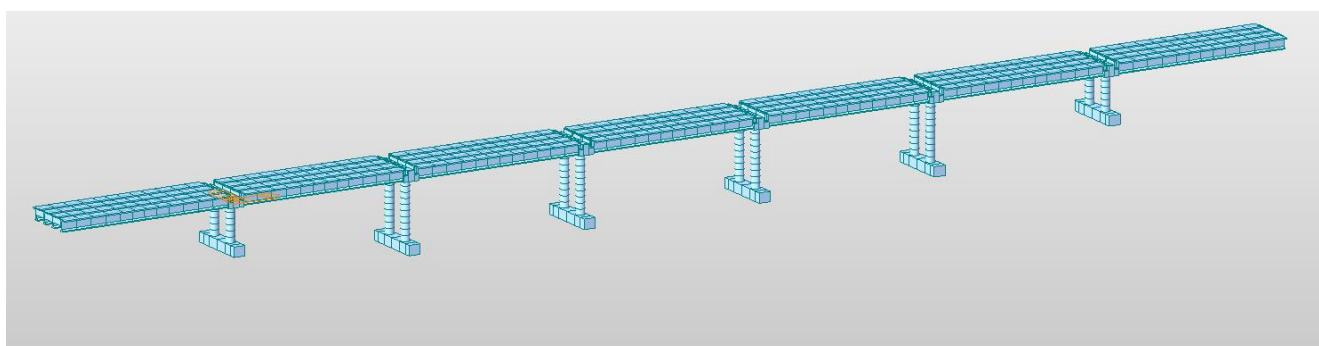
Per la corretta valutazione della vulnerabilità della struttura sono state individuate due fasi costruttive, ante-operam e post-operam. Per ogni fase costruttiva è stato creato un modello di calcolo individuale, in maniera tale da valutare il comportamento della struttura al suo stato di fatto ed il comportamento della struttura dopo la costruzione della nuova passerella pedonale. In seguito viene descritto il processo di modellazione.

8.3.1 Modello Ante-operam

Il modello ante-operam è composto da 729 nodi e 755 elementi del tipo trave (beam), in questo modello sono stati rappresentati le travi principali del impalcato, i pulvini, le pile e le travi di fondazione. Come riportato in figura.

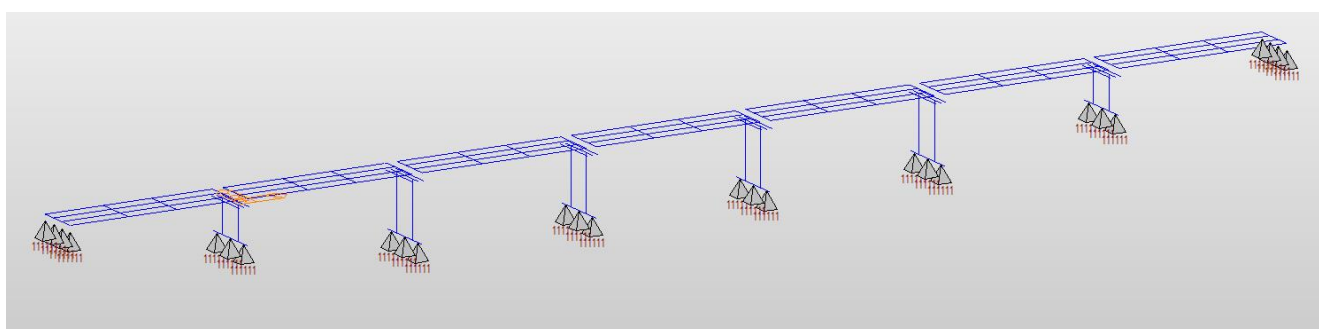


Modello FEM ante-operam



Modello FEM ante-operam estruso

Per le pile gli appoggi vengono assegnati in corrispondenza con la posizione delle pile, e in tutti casi vengono bloccati tutti i gradi di libertà (incastro). Mentre che per gli appoggi in corrispondenza con le spalle l'interazione tra le travi e la spalla è stata rappresentata con elementi tipo "elastic link" (molle elastiche) aventi una rigidezza equivalente alla rigidezza degli appoggi esistenti in neoprene, queste "link" vengono poi collegati a nodi a cui è stato assegnato un vincolo d'incastro.



Appoggi in corrispondenza con le pile e con le spalle

Per la modellazione degli appoggi la loro rigidezza viene definita in funzione del modulo di taglio del neoprene, l'area di base dell'appoggio in neoprene e lo spessore dell'appoggio in base a la seguente relazione.

$$K_{\text{neoprene}} = G \cdot A_{\text{base}} / (\chi \cdot t_{\text{real}})$$

Dove:

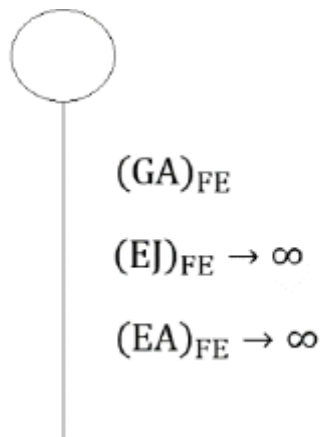
G: Modulo di taglio del neoprene = 10 kg/cm²

A_{base}: Area dell'appoggio in neoprene = 180000 mm²

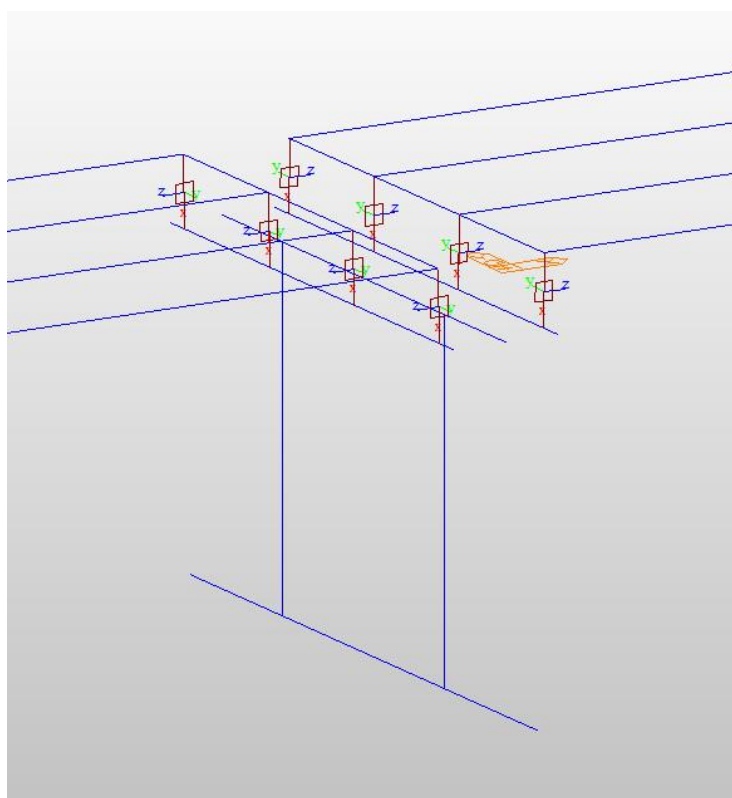
t_{real}: Spessore del neoprene = 40 mm

χ: Fattore che considera la deformabilità al taglio = 1.2 (sezione rettangolare)

Il valore usato per definire la rigidezza del neoprene nel modello è $k_{\text{neoprene}} = 3750 \text{ kN/m}$, questo valore viene assegnato come rigidezza nelle direzioni orizzontali degli appoggi in neoprene mentre che per la direzione verticale l'elemento ha una rigidezza infinita. La deformazione a flessione degli appoggi viene anche trascurata, assegnando anche per le rotazioni una rigidezza infinita.



Schematizzazione elementi "link" degli appoggi

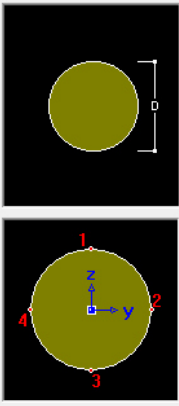


Assegnazione elementi "link" degli appoggi nel modello

Per quanto riguardano le sezioni dei diversi elementi, queste sono stati assegnate in base alle sezioni ricavate dalla contabilità dell'opera. Sono state individuate 7 tipi di sezioni:

- Pila

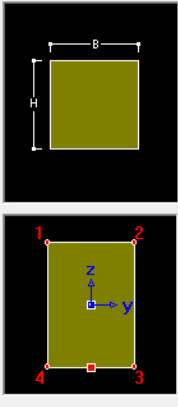
Section ID: 1
Name: PILA
☒ User ☐ DB
AISC10(US)
Sect. Name:
☒ Built-Up Section
Get Data from Single Angle
DB Name: AISC10(US)
Sect. Name:
D: 1.5 m



	Value	Unit
Area	1.767146e+00	m^2
Asy	1.590431e+00	m^2
Asz	1.590431e+00	m^2
Ixx	4.970098e-01	m^4
Iyy	2.485049e-01	m^4
Izz	2.485049e-01	m^4
Cyp	7.500000e-01	m
Cym	7.500000e-01	m
Czp	7.500000e-01	m
Czm	7.500000e-01	m
Qyb	1.875000e-01	m^2
Qzb	1.875000e-01	m^2
Peri:O	4.712389e+00	m
Peri:I	0.000000e+00	m
Center:y	7.500000e-01	m
Center:z	7.500000e-01	m
y1	0.000000e+00	m
z1	7.500000e-01	m
y2	7.500000e-01	m
z2	0.000000e+00	m
y3	0.000000e+00	m
z3	-7.500000e-01	m
y4	-7.500000e-01	m
z4	0.000000e+00	m

- Trave sezione all'appoggio

Section ID: 2
Name: TRAVE_APPOGGIO
☒ User ☐ DB
AISC10(US)
Sect. Name:
☒ Built-Up Section
Get Data from Single Angle
DB Name: AISC10(US)
Sect. Name:
H: 1 m
B: 0.7 m



	Value	Unit
Area	7.000000e-01	m^2
Asy	5.833333e-01	m^2
Asz	5.833333e-01	m^2
Ixx	6.492117e-02	m^4
Iyy	5.833333e-02	m^4
Izz	2.858333e-02	m^4
Cyp	3.500000e-01	m
Cym	3.500000e-01	m
Czp	5.000000e-01	m
Czm	5.000000e-01	m
Qyb	1.250000e-01	m^2
Qzb	6.125000e-02	m^2
Peri:O	3.400000e+00	m
Peri:I	0.000000e+00	m
Center:y	3.500000e-01	m
Center:z	5.000000e-01	m
y1	-3.500000e-01	m
z1	5.000000e-01	m
y2	3.500000e-01	m
z2	5.000000e-01	m
y3	3.500000e-01	m
z3	-5.000000e-01	m
y4	-3.500000e-01	m
z4	-5.000000e-01	m

- Trave sezione corrente

Section ID: 3 PSC-I

Name: TRAVE ☐ Mesh Size for Stiff. Calc.

Section Name: Left Right

☒ Symmetry

Joint On/Off

☐ J1 ☐ JR1
☐ J2 ☐ JR2
☐ J3 ☐ JR3
☐ J4 ☐ JR4

Shear Check

Z1: 1.7 m ☒ Auto
Z2: Centroid
Z3: 0.4 m ☒

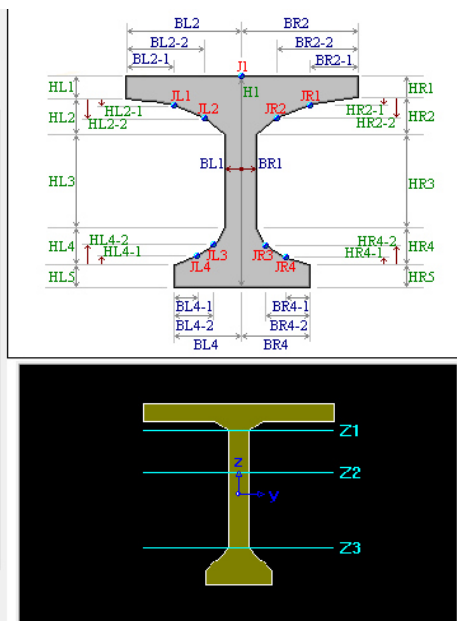
Web Thick. for Shear (total) Auto

t1: 0 m ☐
t2: 0 m ☐
t3: 0 m ☐

for Torsion (min.) ☐

☒ Consider Shear Deformation.
☐ Consider Warping Effect (7th DOF)

Left	Right
H1: 0 m	HR1: 0.2 m
HL1: 0.2 m	HR2: 0.1 m
HL2: 0.1 m	HR2-1: 0 m
HL2-2: 0 m	HR2-2: 0 m
HL3: 1.3 m	HR3: 1.3 m
HL4: 0.25 m	HR4: 0.25 m
HL4-1: 0 m	HR4-1: 0 m
HL4-2: 0 m	HR4-2: 0 m
HL5: 0.15 m	HR5: 0.15 m
BL1: 0.1 m	BR1: 0.1 m
BL2: 1 m	BR2: 1 m
BL2-1: 0.75 m	BR2-1: 0.75 m
BL2-2: 0 m	BR2-2: 0 m
BL4: 0.35 m	BR4: 0.35 m
BL4-1: 0 m	BR4-1: 0 m
BL4-2: 0 m	BR4-2: 0 m



	Value	Unit
Area	9.125000e-01	m^2
Asy	4.124745e-01	m^2
Asz	3.637221e-01	m^2
Ixx	1.735748e-02	m^4
Iyy	4.840433e-01	m^4
Izz	1.413948e-01	m^4
Cyp	1.000000e+00	m
Cym	1.000000e+00	m
Czp	7.608676e-01	m
Czm	1.239132e+00	m
Qyb	0.000000e+00	m^2
Qzb	6.214583e-02	m^2
Peri.O	8.567662e+00	m
Peri.I	0.000000e+00	m
Center.y	1.000000e+00	m
Center.z	1.239132e+00	m
y1	-1.000000e+00	m
z1	7.608676e-01	m
y2	1.000000e+00	m
z2	7.608676e-01	m
y3	3.500000e-01	m
z3	-1.239132e+00	m
y4	-3.500000e-01	m
z4	-1.239132e+00	m

- Trasverso

Section ID: 5 Solid Rectangle

Name: TRASVERSO_CAMP ☒ User ☐ DB AISC10(US)

Sect. Name: ☒ Built-Up Section

Get Data from Single Angle

DB Name: AISC10(US)
Sect. Name:

H: 1.6 m
B: 0.25 m

	Value	Unit
Area	4.000000e-01	m^2
Asy	3.333333e-01	m^2
Asz	3.333333e-01	m^2
Ixx	7.513062e-03	m^4
Iyy	8.533333e-02	m^4
Izz	2.083333e-03	m^4
Cyp	1.250000e-01	m
Cym	1.250000e-01	m
Czp	8.000000e-01	m
Czm	8.000000e-01	m
Qyb	3.200000e-01	m^2
Qzb	7.812500e-03	m^2
Peri.O	3.700000e+00	m
Peri.I	0.000000e+00	m
Center.y	1.250000e-01	m
Center.z	8.000000e-01	m
y1	-1.250000e-01	m
z1	8.000000e-01	m
y2	1.250000e-01	m
z2	8.000000e-01	m
y3	1.250000e-01	m
z3	-8.000000e-01	m
y4	-1.250000e-01	m
z4	-8.000000e-01	m

- Pulvino

Section ID:

Name:

☒ User ☐ DB

Sect. Name:

☒ Built-Up Section

Get Data from Single Angle

DB Name:

Sect. Name:

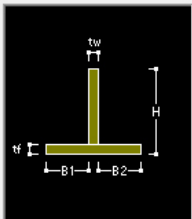
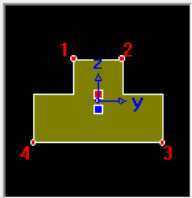
H: m

B1: m

B2: m

tw: m

tf: m

	Value	Unit
Area	3.498600e+00	m^2
Asy	2.295000e+00	m^2
Asz	1.785000e+00	m^2
Ixx	1.271389e+00	m^4
Iyy	7.205927e-01	m^4
Izz	1.737612e+00	m^4
Cyp	1.350000e+00	m
Cym	1.350000e+00	m
Czp	1.053776e+00	m
Czm	6.962245e-01	m
Qyb	5.552214e-01	m^2
Qzb	9.112500e-01	m^2
Peri:O	8.900000e+00	m
Peri:I	0.000000e+00	m
Center:y	1.350000e+00	m
Center:z	6.962245e-01	m
y1	-5.100000e-01	m
z1	1.053776e+00	m
y2	5.100000e-01	m
z2	1.053776e+00	m
y3	1.350000e+00	m
z3	-6.962245e-01	m
y4	-1.350000e+00	m
z4	-6.962245e-01	m

- Trave fondazione

Section ID:

Name:

☒ User ☐ DB

Sect. Name:

☒ Built-Up Section

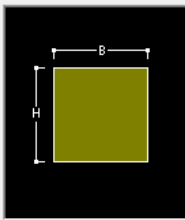
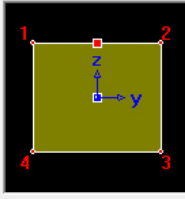
Get Data from Single Angle

DB Name:

Sect. Name:

H: m

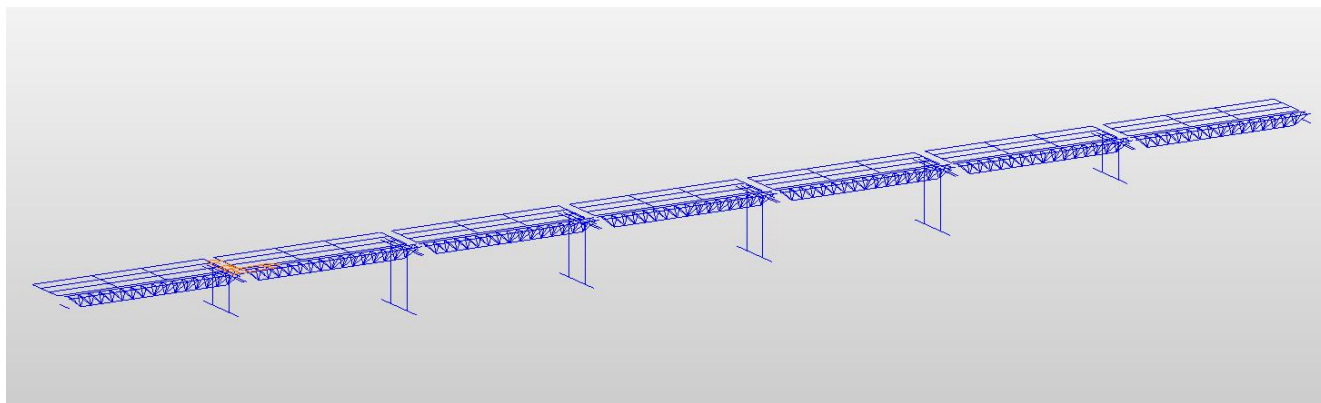
B: m

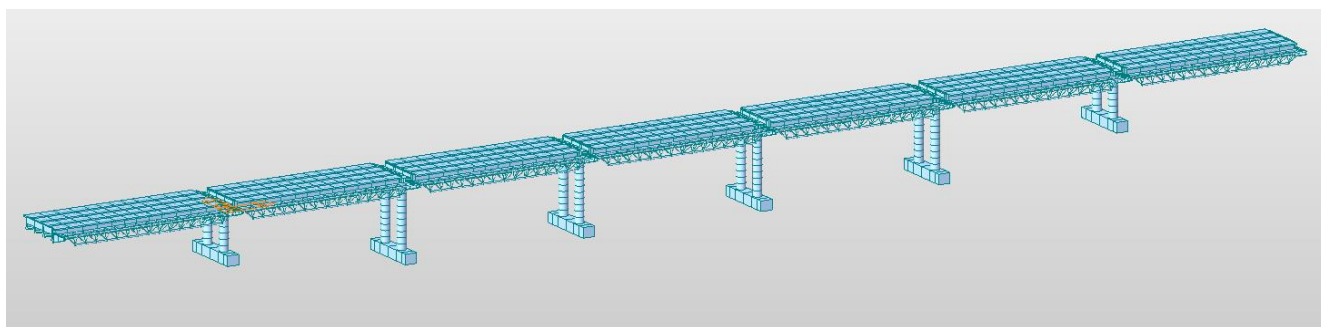
	Value	Unit
Area	3.400000e+00	m^2
Asy	2.833333e+00	m^2
Asz	2.833333e+00	m^2
Ixx	1.597690e+00	m^4
Iyy	8.188333e-01	m^4
Izz	1.133333e+00	m^4
Cyp	1.000000e+00	m
Cym	1.000000e+00	m
Czp	8.500000e-01	m
Czm	8.500000e-01	m
Qyb	3.612500e-01	m^2
Qzb	5.000000e-01	m^2
Peri:O	7.400000e+00	m
Peri:I	0.000000e+00	m
Center:y	1.000000e+00	m
Center:z	8.500000e-01	m
y1	-1.000000e+00	m
z1	8.500000e-01	m
y2	1.000000e+00	m
z2	8.500000e-01	m
y3	1.000000e+00	m
z3	-8.500000e-01	m
y4	-1.000000e+00	m
z4	-8.500000e-01	m

8.3.2 Modello Post-operam

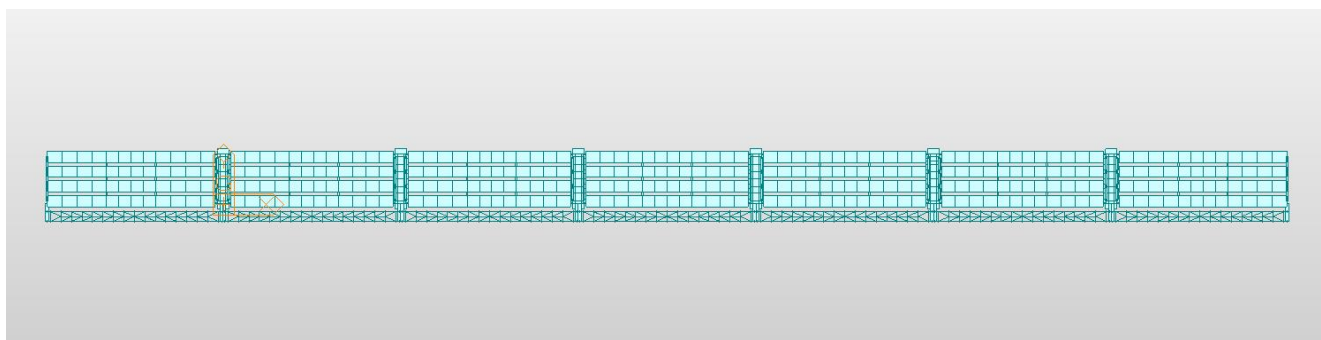
Per modellare il comportamento della struttura dopo la realizzazione della passerella pedonale al modello descritto in precedenza per l'anteoperam è stato aggiunta la struttura metallica della passerella ciclabile in maniera tale di valutare il comportamento della struttura con il carico aggiuntivo della passerella. Tutte le scelte di modellazione descritte nel paragrafo 8.3.1 sono uguali per il modello post – operam.



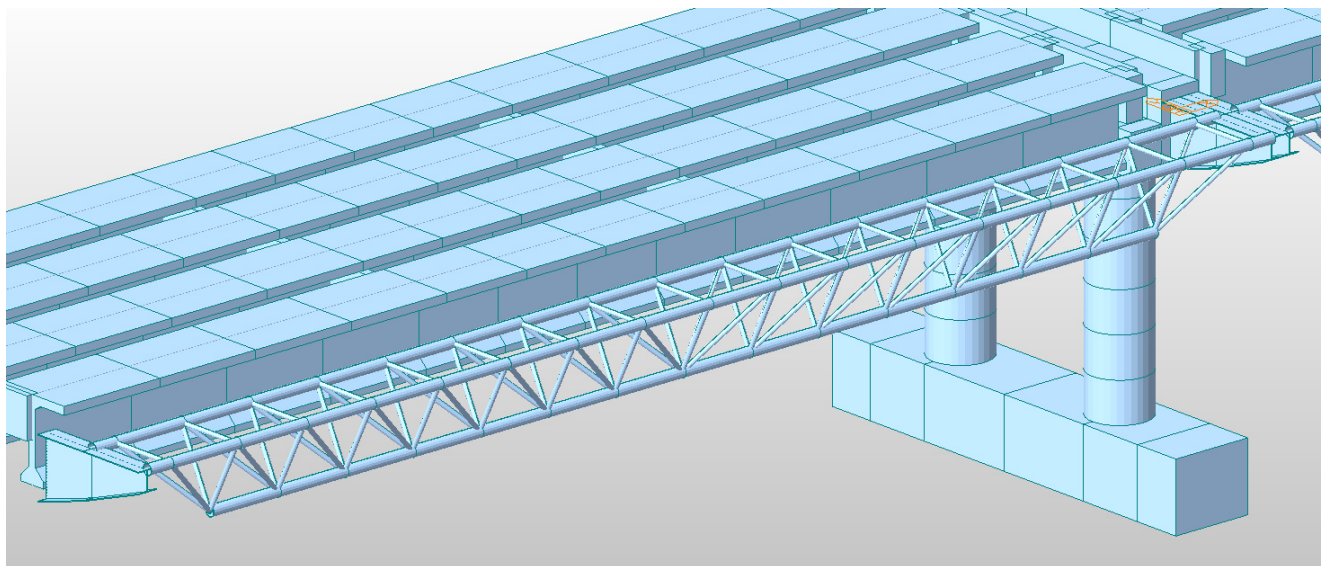
Modello FEM post-operam



Modello FEM post-operam estruso



Modello FEM post-operam vista in pianta



Particolare travata reticolare di nuova realizzazione

Gli elementi della reticolare sono stati assegnati secondo le sezioni riportate nella corrispondente relazione di calcolo.

8.4 Analisi modale modello anteoperam

L'analisi dinamica è stata effettuata in campo non lineare con integrazione al passo nel dominio del tempo delle equazioni del moto (*Analisi Time History Non Lineare*).

L'analisi modale viene svolta tramite un'analisi con "vettori di Ritz" (*Ritz-vector analysis*), con la quale si determinano i modi di vibrare utilizzando particolari combinazioni di vettori applicati alla struttura.

Nel seguito si riportano i risultati dell'analisi modale riferita al modello aggiornato, in cui sono state inserite le nuove geometrie strutturali, con l'indicazione dei periodi e delle masse partecipanti.

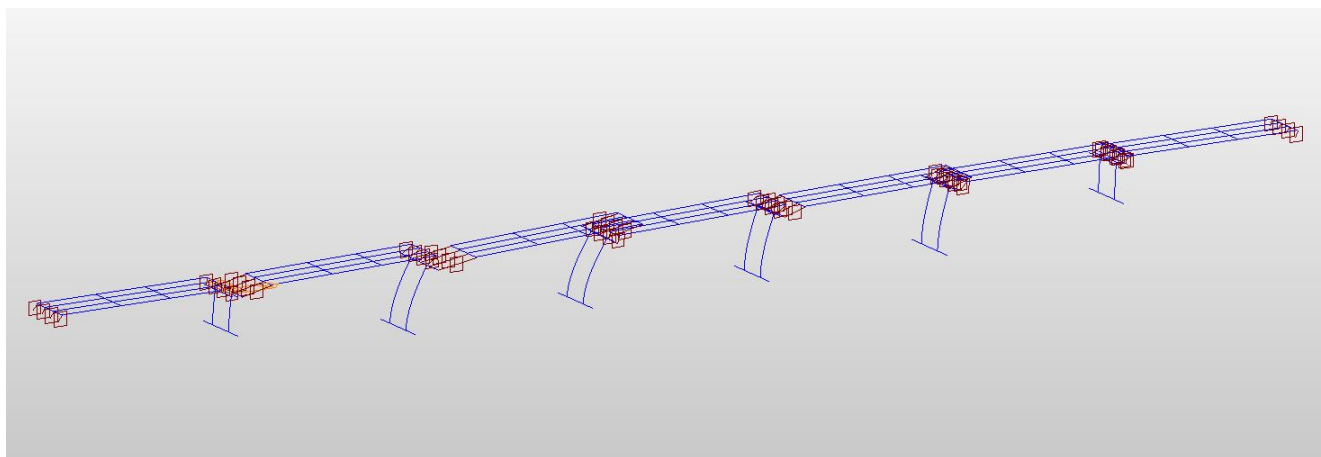
Vengono inoltre riportate in forma grafica le deformate modali significative.

RISULTATI DELL'ANALISI MODALE											
Mode No	Frequency		Period	Mode No	Frequency		Period	Mode No	Frequency		Period
	(rad/sec)	(cycle/sec)	(sec)		(rad/sec)	(cycle/sec)	(sec)		(rad/sec)	(cycle/sec)	(sec)
1	7,71	1,23	0,82	51	65,02	10,35	0,10	101	136,30	21,69	0,05
2	8,14	1,30	0,77	52	68,41	10,89	0,09	102	140,36	22,34	0,04
3	9,20	1,46	0,68	53	68,49	10,90	0,09	103	141,28	22,49	0,04
4	9,39	1,49	0,67	54	68,49	10,90	0,09	104	142,44	22,67	0,04
5	9,70	1,54	0,65	55	69,11	11,00	0,09	105	145,69	23,19	0,04
6	9,75	1,55	0,64	56	69,14	11,00	0,09	106	146,72	23,35	0,04
7	13,07	2,08	0,48	57	69,26	11,02	0,09	107	147,10	23,41	0,04
8	13,09	2,08	0,48	58	69,29	11,03	0,09	108	151,36	24,09	0,04
9	13,56	2,16	0,46	59	71,87	11,44	0,09	109	158,94	25,30	0,04
10	14,29	2,27	0,44	60	73,39	11,68	0,09	110	163,21	25,98	0,04
11	14,78	2,35	0,42	61	74,50	11,86	0,08	111	166,61	26,52	0,04
12	14,85	2,36	0,42	62	75,96	12,09	0,08	112	173,44	27,60	0,04
13	15,16	2,41	0,41	63	77,23	12,29	0,08	113	183,04	29,13	0,03
14	15,56	2,48	0,40	64	77,60	12,35	0,08	114	192,26	30,60	0,03
15	25,21	4,01	0,25	65	85,73	13,64	0,07	115	195,10	31,05	0,03
16	25,71	4,09	0,24	66	88,60	14,10	0,07	116	197,03	31,36	0,03
17	25,92	4,12	0,24	67	88,60	14,10	0,07	117	199,34	31,73	0,03
18	25,98	4,13	0,24	68	89,71	14,28	0,07	118	204,25	32,51	0,03
19	26,17	4,17	0,24	69	89,74	14,28	0,07	119	206,83	32,92	0,03
20	26,81	4,27	0,23	70	90,24	14,36	0,07	120	208,87	33,24	0,03
21	26,97	4,29	0,23	71	90,32	14,38	0,07	121	220,60	35,11	0,03
22	26,98	4,29	0,23	72	99,00	15,76	0,06	122	229,50	36,53	0,03
23	28,43	4,53	0,22	73	99,55	15,84	0,06	123	230,31	36,65	0,03
24	28,43	4,53	0,22	74	99,88	15,90	0,06	124	244,86	38,97	0,03
25	28,56	4,55	0,22	75	99,90	15,90	0,06	125	250,14	39,81	0,03
26	28,62	4,55	0,22	76	100,26	15,96	0,06	126	268,41	42,72	0,02
27	29,08	4,63	0,22	77	101,20	16,11	0,06	127	281,58	44,81	0,02
28	29,09	4,63	0,22	78	101,24	16,11	0,06	128	284,11	45,22	0,02
29	29,13	4,64	0,22	79	101,88	16,22	0,06	129	285,84	45,49	0,02
30	29,33	4,67	0,21	80	102,09	16,25	0,06	130	299,42	47,65	0,02
31	29,59	4,71	0,21	81	102,50	16,31	0,06	131	308,50	49,10	0,02
32	29,61	4,71	0,21	82	102,68	16,34	0,06	132	324,84	51,70	0,02
33	29,86	4,75	0,21	83	103,22	16,43	0,06	133	358,57	57,07	0,02
34	31,79	5,06	0,20	84	104,48	16,63	0,06	134	362,15	57,64	0,02
35	32,47	5,17	0,19	85	105,67	16,82	0,06	135	377,63	60,10	0,02
36	33,38	5,31	0,19	86	106,35	16,93	0,06	136	424,91	67,63	0,01
37	35,27	5,61	0,18	87	114,67	18,25	0,05	137	457,20	72,77	0,01
38	35,76	5,69	0,18	88	117,86	18,76	0,05	138	484,35	77,09	0,01
39	36,62	5,83	0,17	89	117,97	18,78	0,05	139	573,85	91,33	0,01
40	37,09	5,90	0,17	90	118,99	18,94	0,05	140	592,08	94,23	0,01
41	38,06	6,06	0,17	91	119,36	19,00	0,05	141	602,37	95,87	0,01
42	38,68	6,16	0,16	92	120,24	19,14	0,05	142	676,94	107,74	0,01
43	47,54	7,57	0,13	93	122,68	19,53	0,05	143	761,02	121,12	0,01
44	47,54	7,57	0,13	94	125,25	19,93	0,05	144	839,90	133,67	0,01
45	51,18	8,14	0,12	95	126,19	20,08	0,05	145	958,08	152,48	0,01
46	51,21	8,15	0,12	96	126,43	20,12	0,05	146	1232,47	196,15	0,01
47	57,68	9,18	0,11	97	130,13	20,71	0,05	147	1243,82	197,96	0,01
48	59,00	9,39	0,11	98	130,66	20,79	0,05	148	1514,04	240,97	0,00
49	59,55	9,48	0,11	99	134,38	21,39	0,05	149	2028,11	322,78	0,00
50	61,98	9,86	0,10	100	135,72	21,60	0,05	150	4255,56	677,29	0,00

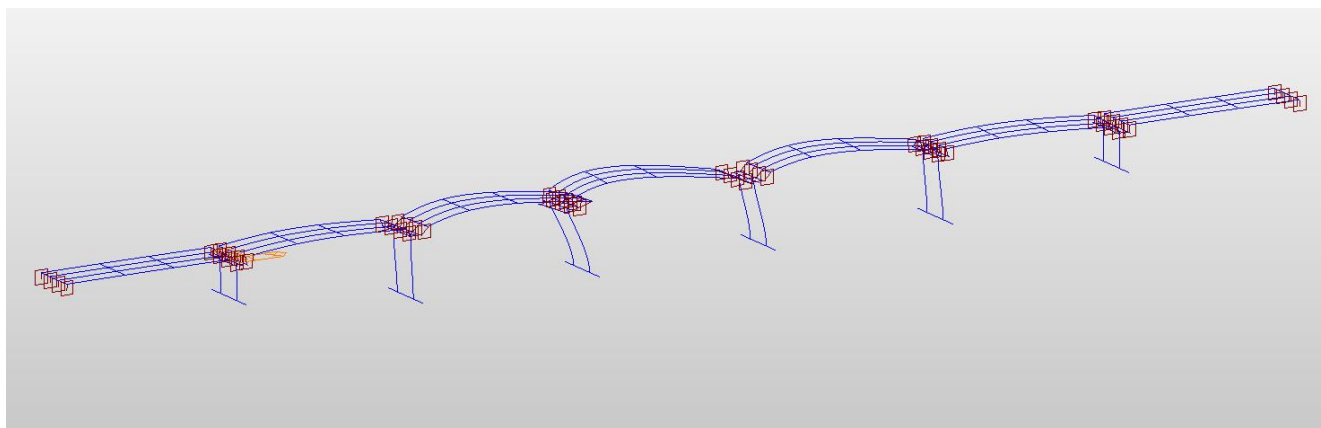
Mode No	FATTORI DI PARTECIPAZIONE MODALE					
	TRAN-X		TRAN-Y		TRAN-Z	
	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)
1	52,24	52,24	0,00	0,00	0,00	0,00
2	3,17	55,42	0,00	0,00	0,00	0,00
3	8,69	64,11	0,00	0,00	0,00	0,00
4	1,35	65,46	0,00	0,00	0,00	0,00
5	6,99	72,45	0,00	0,00	0,00	0,00
6	0,65	73,10	0,00	0,00	0,00	0,00
7	0,33	73,42	40,03	40,03	0,00	0,00
8	3,23	76,65	4,30	44,33	0,00	0,00
9	0,00	76,65	0,00	44,33	0,00	0,00
10	0,00	76,66	9,26	53,60	0,00	0,00
11	0,00	76,66	0,00	53,60	0,00	0,00
12	0,00	76,66	11,41	65,00	0,00	0,00
13	0,00	76,66	0,00	65,00	0,00	0,00
14	0,00	76,66	0,29	65,29	0,00	0,00
15	0,00	76,66	0,00	65,29	0,01	0,01
16	0,40	77,06	0,00	65,29	0,38	0,40
17	0,05	77,11	0,00	65,29	5,45	5,84
18	0,10	77,21	0,00	65,29	3,83	9,67
19	0,53	77,74	0,00	65,29	1,13	10,81
20	0,00	77,75	0,00	65,29	0,00	10,81
21	0,06	77,80	0,00	65,29	2,06	12,87
22	0,00	77,81	0,00	65,29	38,26	51,12
23	0,00	77,81	0,01	65,31	0,00	51,12
24	0,00	77,81	0,00	65,31	0,00	51,12
25	0,01	77,81	0,15	65,46	0,00	51,12
26	1,72	79,54	0,00	65,46	0,00	51,12
27	0,00	79,54	0,24	65,71	0,00	51,12
28	0,01	79,54	0,00	65,71	0,00	51,12
29	0,95	80,49	0,00	65,71	0,00	51,12
30	0,10	80,59	0,00	65,71	0,00	51,12
31	0,00	80,59	0,00	65,71	0,00	51,12
32	0,00	80,59	0,00	65,71	0,00	51,12
33	0,00	80,59	0,04	65,75	0,00	51,12
34	0,00	80,60	0,00	65,75	0,00	51,12
35	0,00	80,60	0,01	65,76	0,00	51,12
36	0,00	80,60	1,42	67,18	0,00	51,12
37	0,00	80,60	6,34	73,52	0,00	51,12
38	0,01	80,61	0,02	73,54	0,00	51,12
39	0,00	80,61	0,06	73,59	0,00	51,12
40	0,01	80,61	0,00	73,59	0,00	51,12
41	0,00	80,61	0,50	74,09	0,00	51,12
42	0,01	80,62	0,00	74,09	0,00	51,12
43	2,16	82,79	0,00	74,09	0,00	51,13
44	2,17	84,95	0,00	74,09	0,00	51,13
45	0,00	84,95	0,07	74,17	0,00	51,13
46	0,00	84,95	5,18	79,34	0,00	51,13
47	0,04	84,99	0,00	79,34	0,00	51,13
48	0,01	85,00	0,78	80,12	0,00	51,13
49	0,04	85,04	0,33	80,45	0,00	51,13
50	0,01	85,05	0,02	80,47	0,00	51,13

Mode No	FATTORI DI PARTECIPAZIONE MODALE					
	TRAN-X		TRAN-Y		TRAN-Z	
	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)
51	0,00	85,06	1,14	81,61	0,00	51,13
52	0,00	85,06	0,00	81,61	0,00	51,13
53	0,00	85,06	0,00	81,61	0,00	51,13
54	0,00	85,06	0,00	81,61	0,00	51,13
55	0,00	85,06	0,00	81,61	0,00	51,13
56	0,00	85,06	0,00	81,61	0,00	51,13
57	0,00	85,06	0,00	81,61	0,00	51,13
58	0,00	85,06	0,00	81,61	0,00	51,13
59	0,00	85,06	1,08	82,69	0,00	51,13
60	0,00	85,06	0,14	82,83	0,00	51,13
61	0,00	85,06	0,82	83,65	0,00	51,13
62	0,00	85,06	1,00	84,65	0,00	51,13
63	0,00	85,06	0,00	84,65	0,00	51,13
64	0,00	85,06	0,31	84,96	0,00	51,13
65	0,01	85,07	0,00	84,96	0,00	51,13
66	0,00	85,07	0,00	84,96	0,00	51,13
67	0,00	85,07	0,00	84,96	0,00	51,13
68	0,00	85,07	0,00	84,96	0,00	51,13
69	0,00	85,07	0,00	84,96	0,00	51,13
70	0,00	85,07	0,00	84,96	0,00	51,13
71	0,00	85,07	0,00	84,96	0,00	51,13
72	0,49	85,56	0,00	84,96	0,00	51,13
73	0,00	85,56	0,00	84,96	0,00	51,13
74	0,05	85,61	0,00	84,96	0,00	51,13
75	0,00	85,61	0,00	84,96	0,02	51,15
76	0,08	85,69	0,00	84,96	0,00	51,15
77	0,00	85,69	0,00	84,96	0,01	51,16
78	0,16	85,84	0,00	84,96	0,00	51,16
79	0,00	85,84	0,00	84,96	0,00	51,16
80	0,00	85,84	0,07	85,03	0,00	51,16
81	0,00	85,84	0,00	85,03	0,00	51,16
82	0,00	85,84	0,00	85,03	0,00	51,16
83	0,00	85,84	0,00	85,03	0,00	51,16
84	0,00	85,84	0,00	85,03	0,00	51,16
85	0,00	85,84	0,00	85,03	0,00	51,16
86	0,00	85,84	0,00	85,03	0,00	51,16
87	0,00	85,84	0,00	85,03	0,00	51,16
88	0,00	85,84	0,00	85,03	0,00	51,16
89	0,00	85,84	0,00	85,03	0,00	51,16
90	0,00	85,84	0,00	85,03	0,00	51,16
91	0,00	85,84	0,00	85,03	0,00	51,16
92	0,00	85,84	0,00	85,04	0,00	51,16
93	0,00	85,84	0,00	85,04	0,00	51,16
94	0,00	85,84	0,00	85,04	0,00	51,16
95	0,00	85,84	0,00	85,04	0,00	51,16
96	0,00	85,84	0,00	85,04	0,00	51,16
97	0,00	85,84	0,02	85,05	0,00	51,16
98	0,00	85,84	0,13	85,18	0,00	51,16
99	0,00	85,84	0,00	85,18	0,00	51,16
100	0,00	85,84	0,00	85,18	0,00	51,16

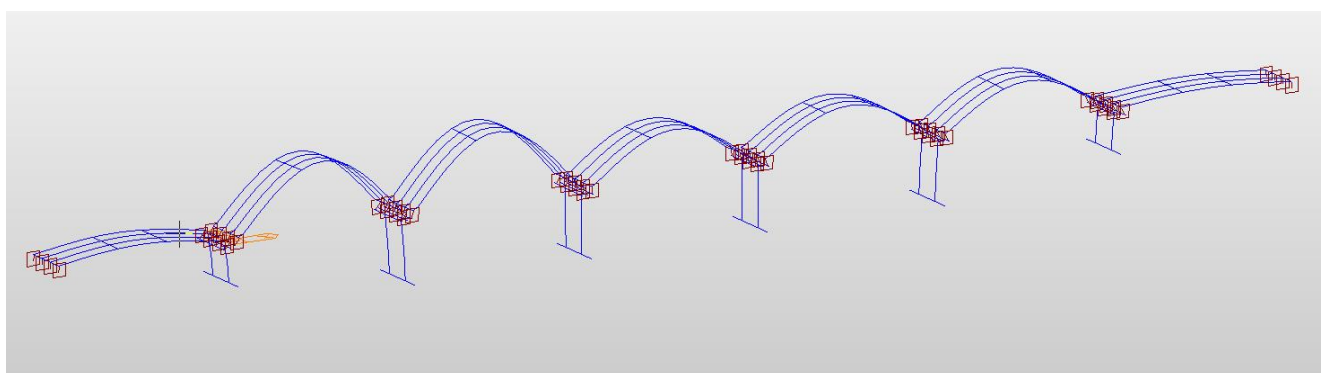
Mode No	FATTORI DI PARTECIPAZIONE MODALE					
	TRAN-X		TRAN-Y		TRAN-Z	
	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)
101	0,00	85,84	0,00	85,18	0,00	51,16
102	0,00	85,84	0,00	85,19	0,00	51,16
103	0,00	85,84	0,10	85,29	0,00	51,16
104	0,00	85,84	0,00	85,29	0,00	51,16
105	0,00	85,85	0,00	85,29	0,00	51,16
106	0,00	85,85	0,00	85,29	0,00	51,17
107	0,01	85,86	0,00	85,29	0,00	51,17
108	0,16	86,02	0,00	85,29	0,00	51,17
109	0,00	86,02	0,00	85,29	0,00	51,17
110	0,30	86,32	0,00	85,29	0,03	51,20
111	1,90	88,22	0,00	85,29	0,00	51,20
112	0,00	88,22	0,00	85,29	0,00	51,20
113	0,00	88,22	0,37	85,66	0,01	51,22
114	0,00	88,22	0,00	85,66	16,22	67,44
115	0,00	88,23	0,04	85,70	0,05	67,48
116	0,16	88,39	0,00	85,70	0,15	67,63
117	0,00	88,39	0,00	85,70	1,53	69,16
118	0,00	88,39	0,24	85,94	0,00	69,16
119	0,00	88,39	0,00	85,94	4,88	74,05
120	0,29	88,69	0,00	85,94	0,02	74,06
121	0,17	88,85	0,00	85,94	0,00	74,06
122	0,00	88,85	0,02	85,96	0,00	74,07
123	0,01	88,86	0,00	85,96	0,07	74,14
124	0,13	88,99	0,00	85,96	0,00	74,14
125	0,00	88,99	1,01	86,97	0,00	74,14
126	0,00	88,99	0,00	86,97	3,10	77,24
127	0,37	89,36	0,01	86,97	0,11	77,35
128	0,01	89,37	0,57	87,54	0,07	77,43
129	0,00	89,37	0,01	87,55	4,58	82,00
130	0,00	89,37	0,00	87,55	6,19	88,19
131	0,00	89,37	0,46	88,01	0,00	88,19
132	0,78	90,15	0,00	88,01	0,00	88,19
133	0,01	90,16	0,00	88,01	1,89	90,08
134	0,47	90,63	0,00	88,01	0,02	90,10
135	0,00	90,64	0,12	88,14	0,00	90,10
136	0,68	91,32	0,00	88,14	0,00	90,10
137	0,00	91,32	0,07	88,21	0,00	90,10
138	0,00	91,32	0,00	88,21	0,19	90,29
139	1,88	93,20	0,00	88,21	0,01	90,30
140	0,06	93,26	0,00	88,21	0,41	90,71
141	0,00	93,26	1,86	90,08	0,00	90,71
142	1,22	94,47	0,00	90,08	0,00	90,71
143	0,00	94,48	0,66	90,74	0,00	90,71
144	0,00	94,48	0,00	90,74	3,91	94,62
145	2,90	97,37	0,00	90,74	0,00	94,62
146	0,00	97,37	3,64	94,38	0,01	94,63
147	0,00	97,37	0,01	94,39	2,94	97,57
148	2,61	99,98	0,00	94,39	0,00	97,57
149	0,00	99,98	4,32	98,71	0,00	97,57
150	0,00	99,98	0,00	98,71	0,79	98,36



Modo 1



Modo 7



Modo 22

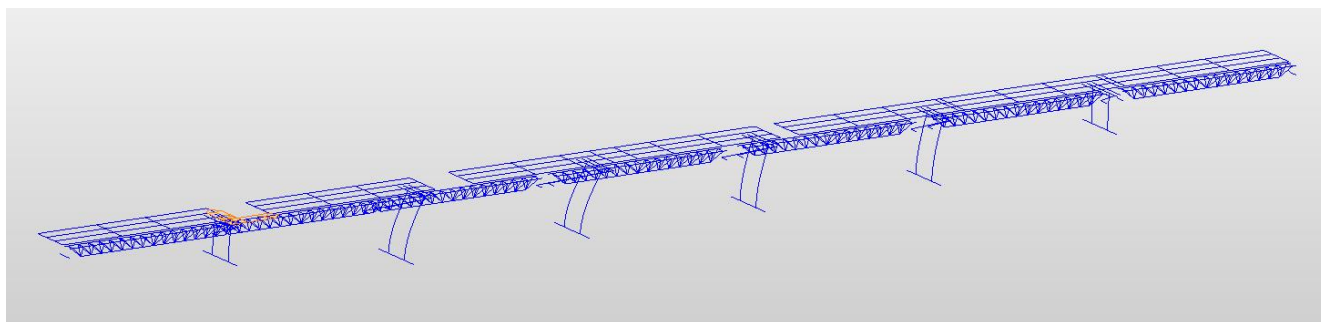
8.5 Analisi modale postoperam

L'analisi dinamica è stata effettuata in campo non lineare con integrazione al passo nel dominio del tempo delle equazioni del moto (*Analisi Time History Non Lineare*).

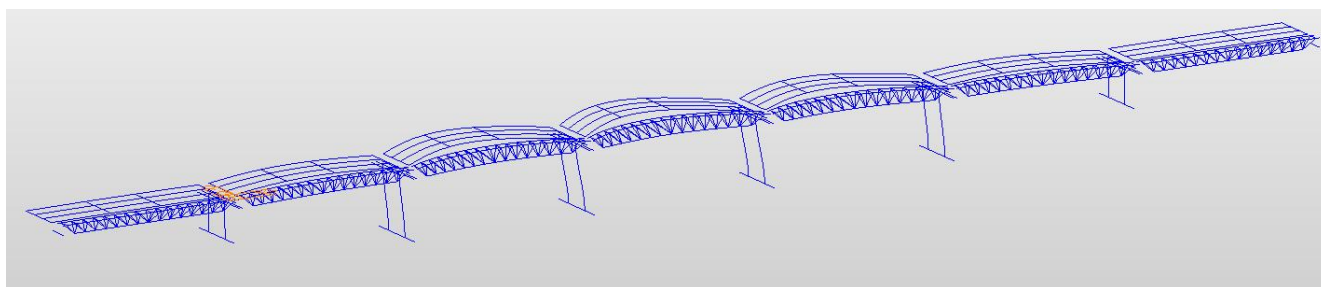
L'analisi modale viene svolta tramite un'analisi con "vettori di Ritz" (*Ritz-vector analysis*), con la quale si determinano i modi di vibrare utilizzando particolari combinazioni di vettori applicati alla struttura.

Nel seguito si riportano i risultati dell'analisi modale riferita al modello aggiornato, in cui sono state inserite le nuove geometrie strutturali, con l'indicazione dei periodi e delle masse partecipanti.

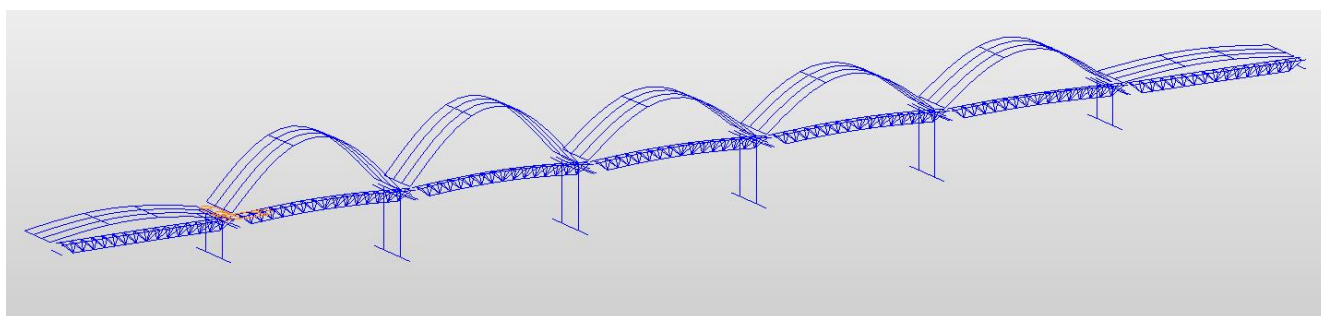
Vengono inoltre riportate in forma grafica le deformate modali significative.



Modo 8



Modo 14



Modo 36

RISULTATI DELL'ANALISI MODALE											
Mode No	Frequency		Period	Mode No	Frequency		Period	Mode No	Frequency		Period
	(rad/sec)	(cycle/sec)	(sec)		(rad/sec)	(cycle/sec)	(sec)		(rad/sec)	(cycle/sec)	(sec)
1	5,25	0,84	1,20	51	31,87	5,07	0,20	101	75,63	12,04	0,08
2	6,46	1,03	0,97	52	31,93	5,08	0,20	102	77,00	12,26	0,08
3	6,50	1,03	0,97	53	32,03	5,10	0,20	103	77,35	12,31	0,08
4	6,52	1,04	0,96	54	32,09	5,11	0,20	104	85,66	13,63	0,07
5	6,53	1,04	0,96	55	32,23	5,13	0,19	105	86,30	13,73	0,07
6	6,54	1,04	0,96	56	32,24	5,13	0,19	106	87,23	13,88	0,07
7	6,54	1,04	0,96	57	32,44	5,16	0,19	107	89,33	14,22	0,07
8	7,77	1,24	0,81	58	32,99	5,25	0,19	108	90,25	14,36	0,07
9	8,16	1,30	0,77	59	34,01	5,41	0,18	109	91,89	14,63	0,07
10	9,21	1,47	0,68	60	34,60	5,51	0,18	110	95,80	15,25	0,07
11	9,39	1,49	0,67	61	34,60	5,51	0,18	111	96,35	15,33	0,07
12	9,70	1,54	0,65	62	34,67	5,52	0,18	112	96,67	15,39	0,06
13	9,75	1,55	0,64	63	34,77	5,53	0,18	113	99,21	15,79	0,06
14	13,02	2,07	0,48	64	34,91	5,56	0,18	114	100,14	15,94	0,06
15	13,12	2,09	0,48	65	34,91	5,56	0,18	115	101,20	16,11	0,06
16	13,52	2,15	0,46	66	35,83	5,70	0,18	116	101,34	16,13	0,06
17	14,26	2,27	0,44	67	36,13	5,75	0,17	117	101,85	16,21	0,06
18	14,78	2,35	0,43	68	36,62	5,83	0,17	118	105,08	16,72	0,06
19	14,85	2,36	0,42	69	37,09	5,90	0,17	119	119,30	18,99	0,05
20	15,15	2,41	0,41	70	38,04	6,05	0,17	120	125,60	19,99	0,05
21	15,56	2,48	0,40	71	38,61	6,14	0,16	121	128,61	20,47	0,05
22	17,15	2,73	0,37	72	40,70	6,48	0,15	122	129,43	20,60	0,05
23	17,15	2,73	0,37	73	40,75	6,49	0,15	123	133,50	21,25	0,05
24	17,16	2,73	0,37	74	40,82	6,50	0,15	124	141,12	22,46	0,04
25	17,17	2,73	0,37	75	40,83	6,50	0,15	125	142,68	22,71	0,04
26	17,18	2,74	0,37	76	40,86	6,50	0,15	126	149,02	23,72	0,04
27	17,25	2,75	0,36	77	40,91	6,51	0,15	127	156,50	24,91	0,04
28	17,25	2,75	0,36	78	40,95	6,52	0,15	128	161,36	25,68	0,04
29	25,22	4,01	0,25	79	47,49	7,56	0,13	129	167,31	26,63	0,04
30	25,72	4,09	0,24	80	47,50	7,56	0,13	130	185,12	29,46	0,03
31	25,92	4,13	0,24	81	51,09	8,13	0,12	131	187,56	29,85	0,03
32	25,98	4,13	0,24	82	51,12	8,14	0,12	132	195,08	31,05	0,03
33	26,18	4,17	0,24	83	57,63	9,17	0,11	133	206,25	32,82	0,03
34	26,53	4,22	0,24	84	58,96	9,38	0,11	134	207,80	33,07	0,03
35	26,96	4,29	0,23	85	59,49	9,47	0,11	135	212,56	33,83	0,03
36	26,98	4,29	0,23	86	61,87	9,85	0,10	136	251,60	40,04	0,02
37	28,33	4,51	0,22	87	64,72	10,30	0,10	137	253,08	40,28	0,02
38	28,43	4,52	0,22	88	67,33	10,72	0,09	138	279,74	44,52	0,02
39	28,43	4,52	0,22	89	67,80	10,79	0,09	139	299,12	47,61	0,02
40	28,63	4,56	0,22	90	67,99	10,82	0,09	140	317,22	50,49	0,02
41	29,04	4,62	0,22	91	68,00	10,82	0,09	141	321,88	51,23	0,02
42	29,04	4,62	0,22	92	68,18	10,85	0,09	142	410,97	65,41	0,02
43	29,15	4,64	0,22	93	68,54	10,91	0,09	143	421,57	67,10	0,01
44	29,34	4,67	0,21	94	68,75	10,94	0,09	144	451,04	71,79	0,01
45	29,58	4,71	0,21	95	69,12	11,00	0,09	145	632,66	100,69	0,01
46	29,60	4,71	0,21	96	69,23	11,02	0,09	146	648,75	103,25	0,01
47	29,77	4,74	0,21	97	69,46	11,05	0,09	147	814,51	129,63	0,01
48	30,92	4,92	0,20	98	71,73	11,42	0,09	148	1181,26	188,00	0,01
49	31,38	4,99	0,20	99	73,15	11,64	0,09	149	1472,51	234,36	0,00
50	31,79	5,06	0,20	100	74,22	11,81	0,08	150	2005,52	319,19	0,00

Mode No	FATTORI DI PARTECIPAZIONE MODALE					
	TRAN-X		TRAN-Y		TRAN-Z	
	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)
1	0,35	0,35	0,00	0,00	0,00	0,00
2	6,60	6,94	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,04	6,99	0,00	0,00	0,00	0,00
4	0,39	7,38	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,04	7,41	0,00	0,00	0,00	0,00
6	0,15	7,56	0,00	0,00	0,00	0,00
7	0,08	7,64	0,00	0,00	0,00	0,00
8	46,00	53,64	0,00	0,00	0,00	0,00
9	3,03	56,67	0,00	0,00	0,00	0,00
10	8,44	65,11	0,00	0,00	0,00	0,00
11	1,32	66,43	0,00	0,00	0,00	0,00
12	6,74	73,17	0,00	0,00	0,00	0,00
13	0,64	73,80	0,00	0,00	0,00	0,00
14	0,01	73,81	44,51	44,51	0,00	0,00
15	3,43	77,24	0,18	44,69	0,00	0,00
16	0,00	77,24	0,00	44,69	0,00	0,00
17	0,00	77,24	9,14	53,82	0,00	0,00
18	0,00	77,24	0,00	53,83	0,00	0,00
19	0,00	77,24	11,33	65,15	0,00	0,00
20	0,00	77,25	0,00	65,15	0,00	0,00
21	0,00	77,25	0,29	65,44	0,00	0,00
22	0,00	77,25	0,11	65,55	0,00	0,00
23	0,00	77,25	0,00	65,55	0,00	0,00
24	0,00	77,25	0,03	65,58	0,00	0,00
25	0,00	77,25	0,00	65,58	0,00	0,00
26	0,00	77,25	0,03	65,61	0,00	0,00
27	0,00	77,25	0,14	65,75	0,00	0,00
28	0,00	77,25	0,16	65,91	0,00	0,00
29	0,00	77,25	0,00	65,91	0,01	0,02
30	0,37	77,62	0,00	65,91	0,42	0,43
31	0,04	77,66	0,00	65,91	5,38	5,81
32	0,11	77,77	0,00	65,91	3,70	9,51
33	0,50	78,27	0,00	65,91	1,06	10,57
34	0,01	78,28	0,00	65,92	0,00	10,57
35	0,05	78,34	0,00	65,92	0,92	11,49
36	0,00	78,34	0,00	65,92	38,77	50,26
37	0,00	78,34	0,14	66,06	0,00	50,26
38	0,00	78,34	0,00	66,06	0,00	50,26
39	0,00	78,34	0,03	66,08	0,00	50,26
40	1,69	80,02	0,00	66,08	0,00	50,26
41	0,00	80,02	0,26	66,34	0,01	50,27
42	0,00	80,03	0,01	66,36	0,00	50,27
43	0,93	80,96	0,00	66,36	0,00	50,27
44	0,10	81,06	0,00	66,36	0,00	50,27
45	0,00	81,06	0,00	66,36	0,00	50,27
46	0,00	81,06	0,00	66,36	0,00	50,27
47	0,00	81,06	0,03	66,38	0,00	50,27
48	0,01	81,07	0,00	66,38	0,00	50,27
49	0,00	81,07	0,00	66,38	0,00	50,27
50	0,00	81,07	0,00	66,39	1,06	51,33

Mode No	FATTORI DI PARTECIPAZIONE MODALE					
	TRAN-X		TRAN-Y		TRAN-Z	
	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)
51	0,00	81,07	0,00	66,39	0,00	51,33
52	0,00	81,07	0,01	66,39	0,18	51,51
53	0,00	81,07	0,00	66,39	0,00	51,51
54	0,00	81,07	0,00	66,39	0,04	51,55
55	0,00	81,07	0,00	66,40	0,12	51,66
56	0,00	81,07	0,00	66,40	0,14	51,80
57	0,00	81,07	0,02	66,42	0,00	51,80
58	0,00	81,07	3,13	69,55	0,00	51,80
59	0,00	81,07	0,84	70,39	0,00	51,80
60	0,00	81,07	0,04	70,42	0,00	51,81
61	0,00	81,07	0,00	70,42	0,00	51,81
62	0,00	81,07	0,02	70,45	0,00	51,81
63	0,00	81,08	0,00	70,45	0,00	51,81
64	0,00	81,08	0,10	70,55	0,00	51,81
65	0,00	81,08	0,00	70,55	0,00	51,81
66	0,01	81,08	0,02	70,57	0,00	51,81
67	0,00	81,08	3,17	73,74	0,01	51,82
68	0,00	81,08	0,18	73,93	0,00	51,82
69	0,01	81,09	0,00	73,93	0,00	51,82
70	0,00	81,09	0,50	74,43	0,00	51,82
71	0,01	81,10	0,00	74,43	0,00	51,82
72	0,00	81,10	0,00	74,43	0,00	51,82
73	0,00	81,10	0,24	74,67	0,00	51,82
74	0,00	81,10	0,00	74,67	0,00	51,82
75	0,00	81,10	0,00	74,67	0,00	51,82
76	0,00	81,10	0,00	74,67	0,00	51,82
77	0,00	81,10	0,02	74,69	0,00	51,82
78	0,00	81,10	0,00	74,69	0,00	51,82
79	2,11	83,21	0,00	74,69	0,00	51,83
80	2,11	85,32	0,00	74,69	0,00	51,83
81	0,00	85,32	0,07	74,76	0,00	51,83
82	0,00	85,32	5,08	79,84	0,00	51,83
83	0,04	85,35	0,00	79,84	0,00	51,83
84	0,01	85,36	0,72	80,56	0,00	51,83
85	0,04	85,40	0,33	80,89	0,00	51,83
86	0,01	85,41	0,02	80,92	0,00	51,83
87	0,00	85,42	1,09	82,01	0,00	51,83
88	0,00	85,42	0,00	82,01	0,00	51,83
89	0,00	85,42	0,03	82,04	0,00	51,83
90	0,00	85,42	0,07	82,10	0,00	51,83
91	0,00	85,42	0,01	82,11	0,00	51,83
92	0,00	85,42	0,00	82,11	0,00	51,83
93	0,00	85,42	0,00	82,11	0,00	51,83
94	0,00	85,42	0,00	82,11	0,00	51,83
95	0,00	85,42	0,00	82,11	0,00	51,83
96	0,00	85,42	0,00	82,11	0,00	51,83
97	0,00	85,42	0,00	82,11	0,00	51,83
98	0,00	85,42	1,02	83,13	0,00	51,83
99	0,00	85,42	0,10	83,23	0,00	51,83
100	0,00	85,42	0,81	84,04	0,00	51,83

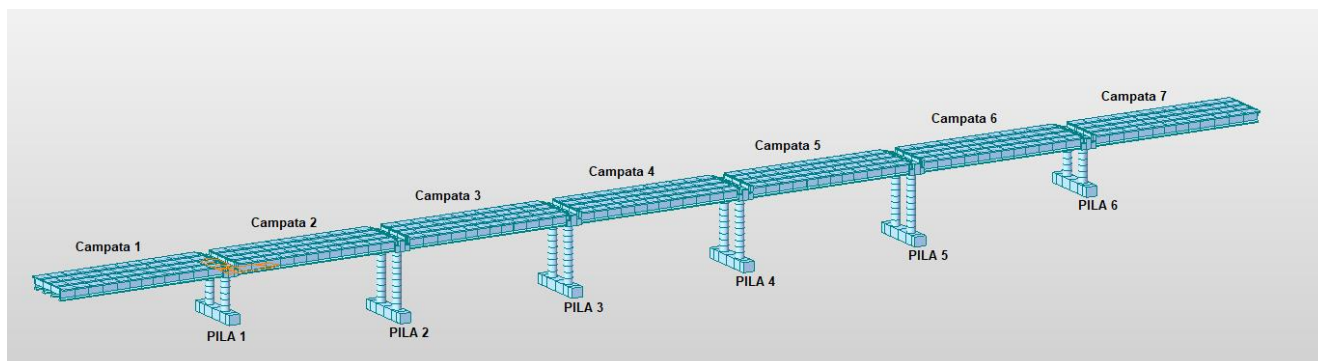
Mode No	FATTORI DI PARTECIPAZIONE MODALE					
	TRAN-X		TRAN-Y		TRAN-Z	
	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)
101	0,00	85,42	0,87	84,91	0,00	51,83
102	0,00	85,42	0,00	84,91	0,00	51,83
103	0,00	85,42	0,26	85,17	0,00	51,83
104	0,01	85,43	0,00	85,17	0,00	51,83
105	0,00	85,43	0,01	85,18	0,00	51,83
106	0,00	85,43	0,02	85,20	0,00	51,83
107	0,00	85,43	0,00	85,20	0,00	51,83
108	0,00	85,43	0,00	85,20	0,00	51,83
109	0,00	85,43	0,01	85,21	0,00	51,83
110	0,00	85,43	0,01	85,22	0,00	51,83
111	0,01	85,44	0,01	85,23	0,00	51,83
112	0,01	85,45	0,01	85,24	0,00	51,83
113	0,55	86,00	0,00	85,24	0,00	51,83
114	0,02	86,02	0,00	85,24	0,02	51,85
115	0,14	86,16	0,01	85,25	0,00	51,86
116	0,01	86,17	0,07	85,32	0,00	51,86
117	0,01	86,18	0,00	85,32	0,01	51,86
118	0,00	86,18	0,01	85,32	0,00	51,86
119	0,00	86,18	0,00	85,32	0,01	51,87
120	0,00	86,18	0,00	85,32	0,00	51,87
121	0,00	86,18	0,04	85,36	0,00	51,87
122	0,00	86,18	0,04	85,40	0,00	51,88
123	0,00	86,18	0,10	85,50	0,00	51,88
124	0,00	86,19	0,01	85,51	0,07	51,95
125	0,00	86,19	0,08	85,58	0,00	51,95
126	0,11	86,30	0,00	85,58	0,01	51,96
127	0,01	86,30	0,09	85,67	1,08	53,04
128	0,50	86,81	0,00	85,67	0,02	53,06
129	1,72	88,53	0,00	85,67	0,00	53,06
130	0,01	88,53	0,16	85,83	2,12	55,18
131	0,01	88,54	0,15	85,98	0,24	55,42
132	0,01	88,55	0,00	85,98	16,35	71,77
133	0,02	88,57	0,26	86,24	0,09	71,86
134	0,44	89,01	0,00	86,24	0,84	72,70
135	0,07	89,08	0,01	86,25	2,27	74,97
136	0,27	89,35	0,18	86,43	0,02	75,00
137	0,05	89,40	0,95	87,37	0,03	75,03
138	0,00	89,40	0,02	87,39	9,71	84,74
139	0,00	89,40	0,89	88,29	0,20	84,94
140	0,80	90,20	0,00	88,29	1,54	86,48
141	0,35	90,55	0,00	88,29	3,23	89,71
142	0,51	91,06	0,00	88,29	0,46	90,17
143	0,63	91,69	0,00	88,29	0,32	90,50
144	0,01	91,70	0,31	88,60	0,00	90,50
145	3,34	95,04	0,01	88,61	0,00	90,50
146	0,02	95,06	2,41	91,02	0,00	90,50
147	0,00	95,06	0,00	91,02	5,02	95,52
148	4,65	99,71	0,00	91,02	0,00	95,52
149	0,00	99,71	6,89	97,91	0,00	95,52
150	0,00	99,71	0,00	97,91	2,53	98,05

9 ANALISI DI VULNERABILITÀ SISMICA ANTEOPERAM

L'analisi di vulnerabilità sismica della struttura esistente considerando lo stato di fatto è stato realizzato in campo non lineare con integrazione al passo nel dominio del tempo delle equazioni del moto (*Analisi Time History Non Lineare*).

L'azione sismica utilizzata per l'analisi viene descritta nella sezione 7.1.10 dove vengono inoltre presentati gli spettri di progetto e gli accelerogrammi spettro-compatibili utilizzati per l'analisi.

In seguito viene mostrata la designazione delle campate e delle pile per una sua corretta identificazione.

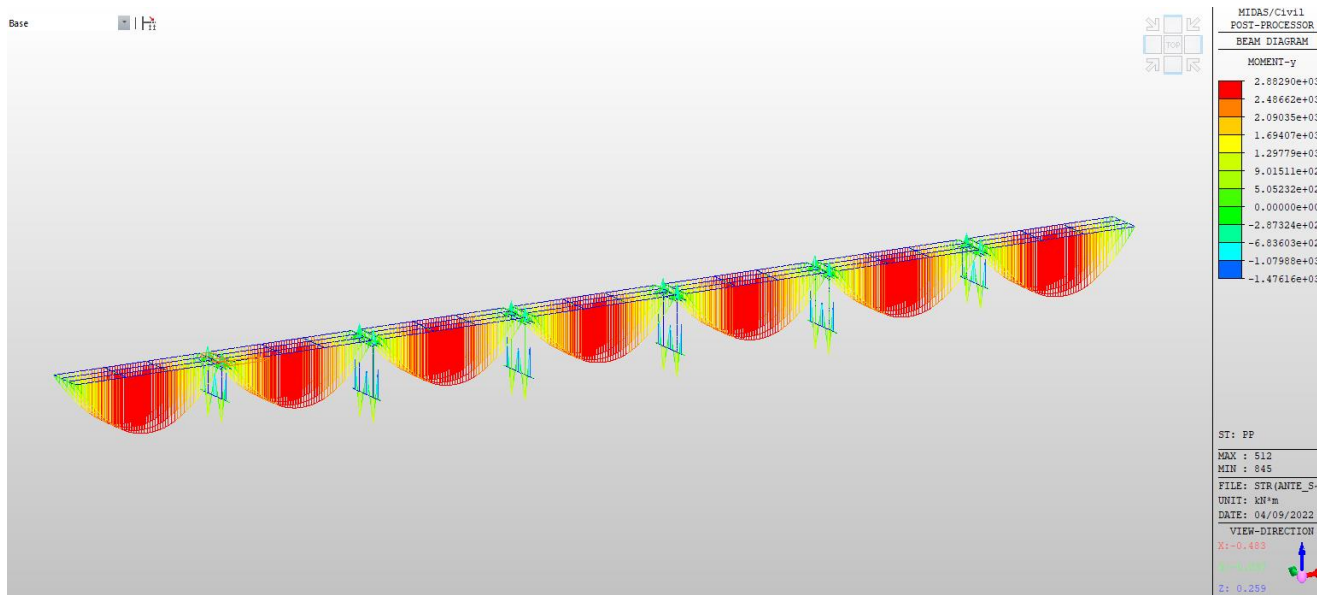


Per le caratteristiche dei materiali, di seguito vengono riportati in modo riassuntivo i valori di calcolo utilizzati per l'analisi di vulnerabilità.

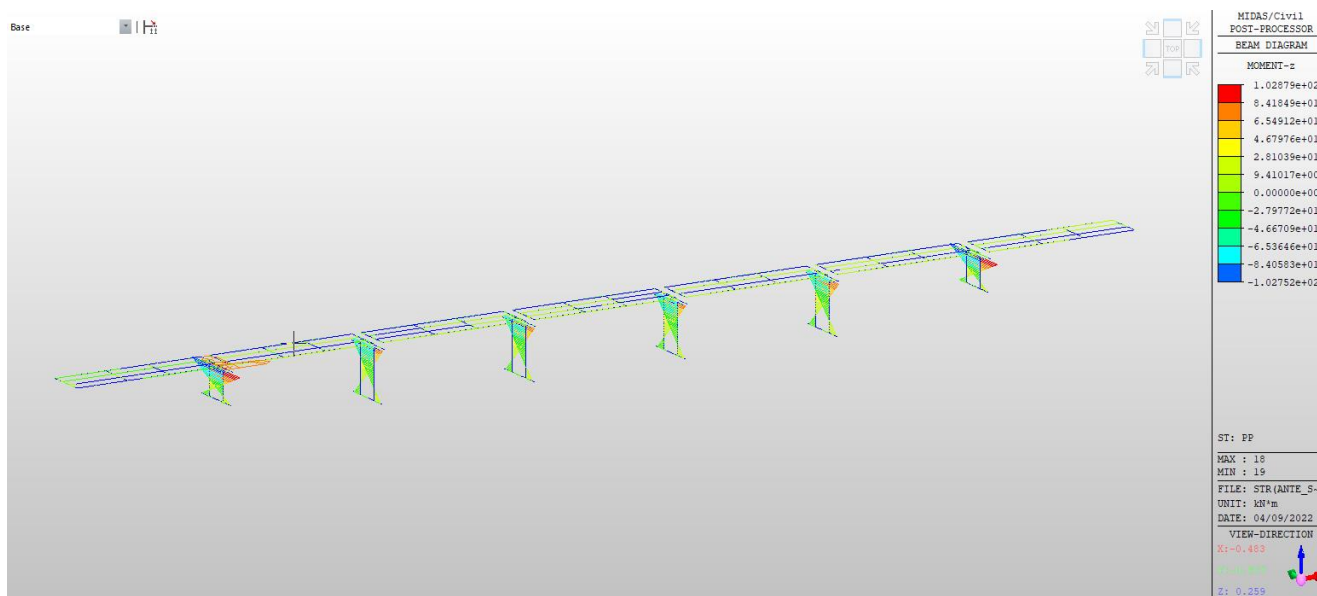
Sottostrutture			
Calcestruzzo	f_{ck}	42	N/mm ²
Acciaio (snervamento)	f_{yk}	350	N/mm ²
Acciaio (rottura)	f_{uk}	505	N/mm ²
Impalcato			
Calcestruzzo	f_{ck}	43	N/mm ²
Acciaio (snervamento)	f_{yk}	396	N/mm ²
Acciaio (rottura)	f_{uk}	623	N/mm ²

9.1 Sollecitazioni massime

9.1.1 Permanenti strutturali (g1)

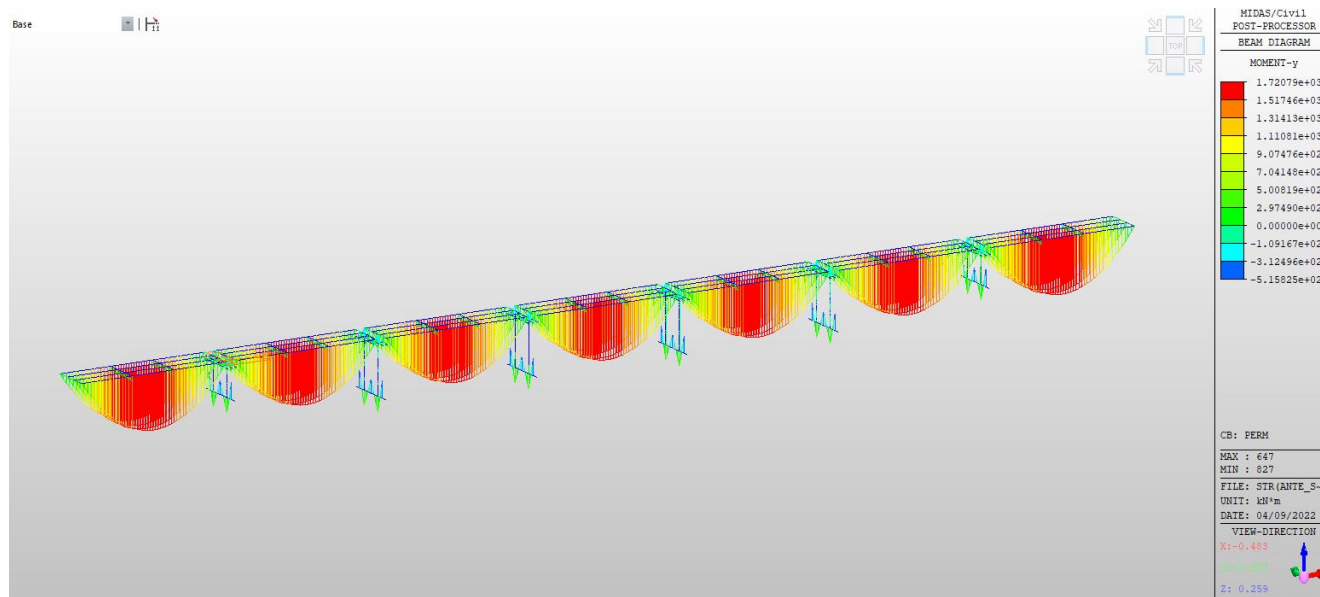


$M_{2-2} - M_{\max} = 2883 \text{ kNm}$ (travi principali)
 $M_{2-2} - M_{\min} = -1476 \text{ kNm}$ (trave di fondazione pila 2)



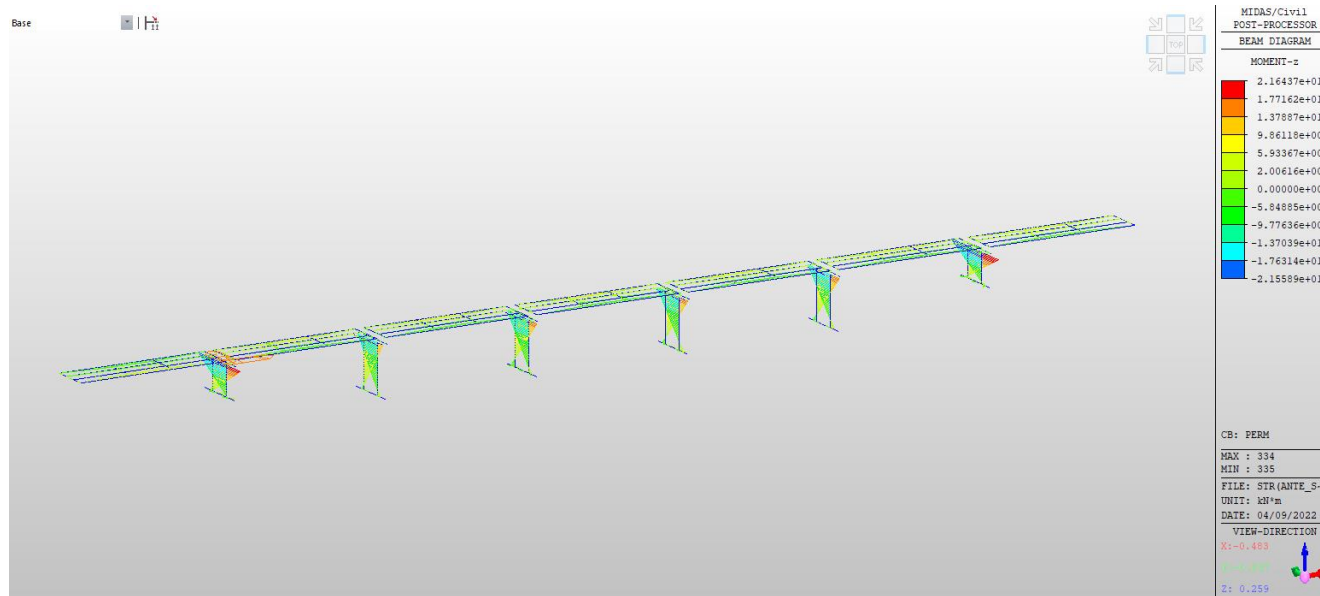
$M_{3-3} - M_{\max} = 103 \text{ kNm}$ (Pila 1)
 $M_{3-3} - M_{\min} = -103 \text{ kNm}$ (Pila 1)

9.1.2 Permanenti non strutturali (g_2)



$M_{2-2} - M_{\max} = 1720 \text{ kNm}$ (travi principali)

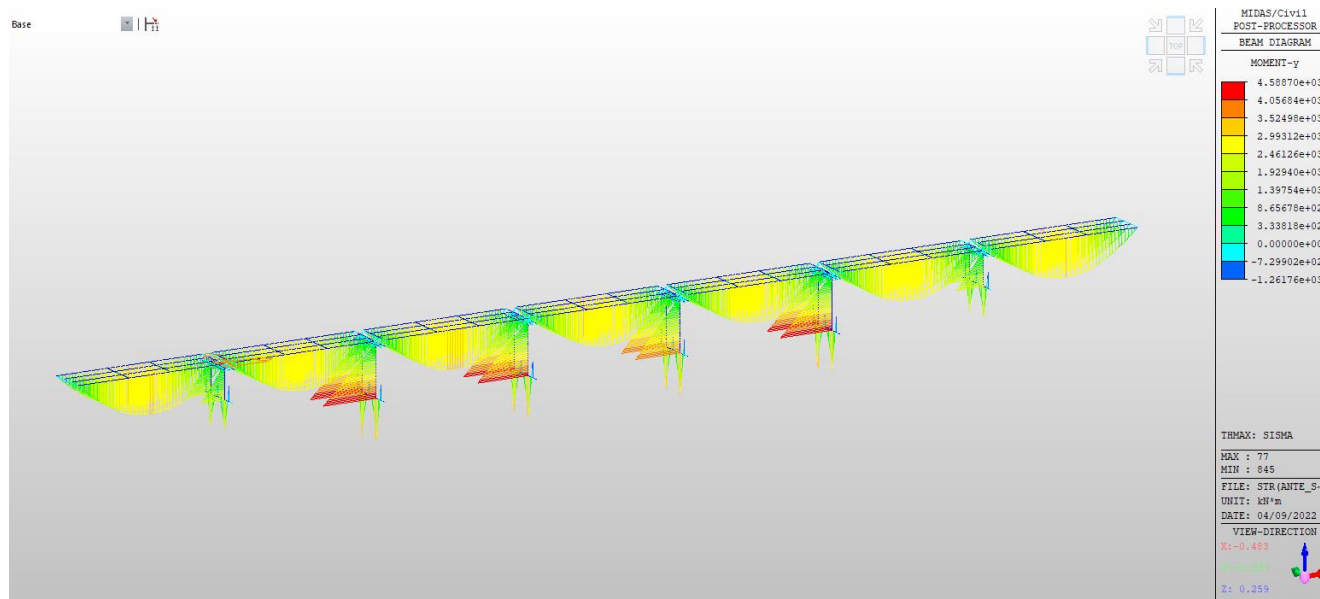
$M_{2-2} - M_{\min} = -516 \text{ kNm}$ (trave di fondazione pila 2)



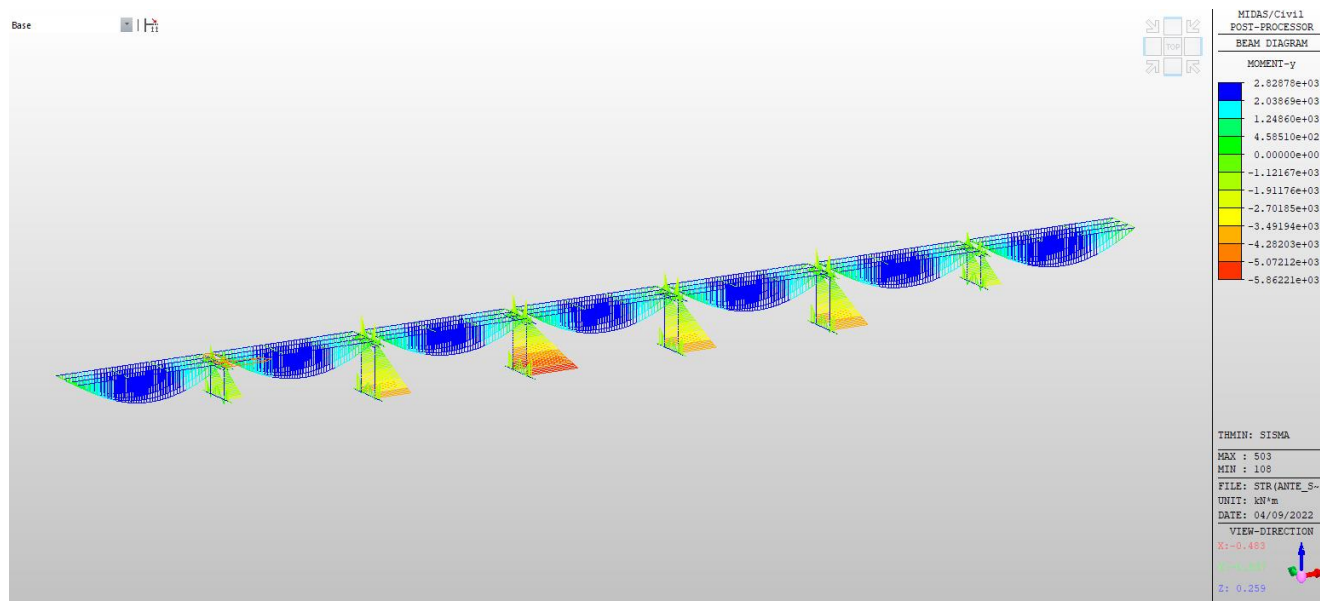
$M_{3-3} - M_{\max} = 1030 \text{ kNm}$ (Pila 6)

$M_{3-3} - M_{\min} = -1030 \text{ kNm}$ (Pila 6)

9.1.3 Sisma (Direzione X)

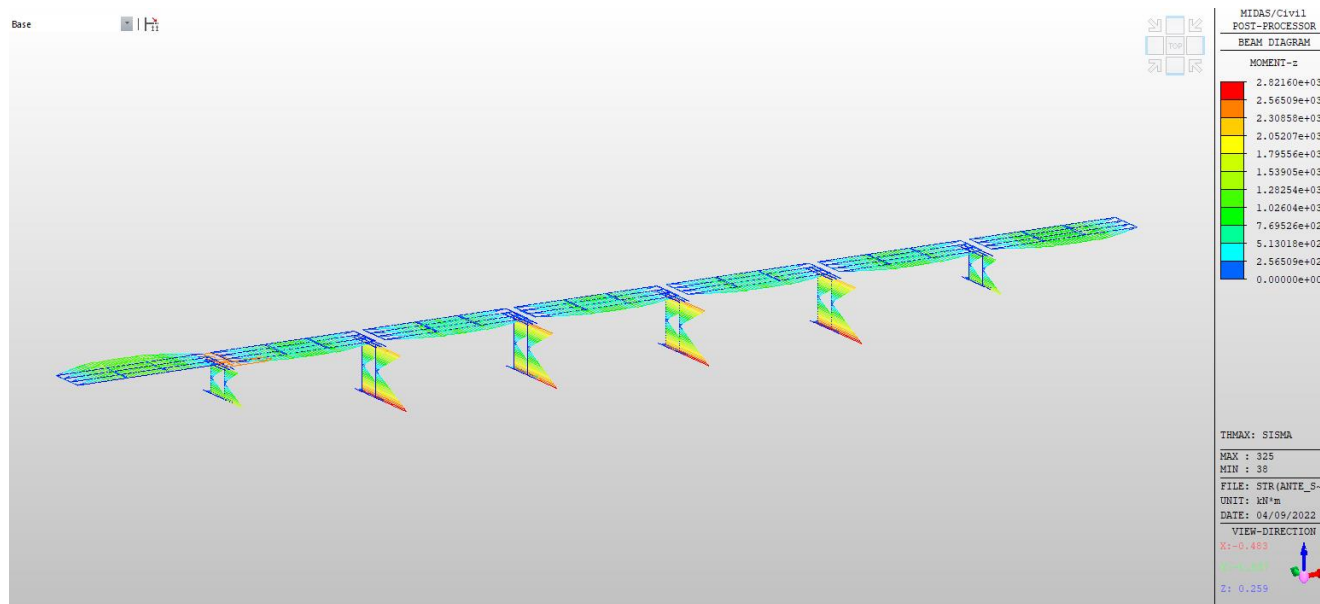


$M_{2-2} - M_{\max} = 4590 \text{ kNm (Pila 2)}$

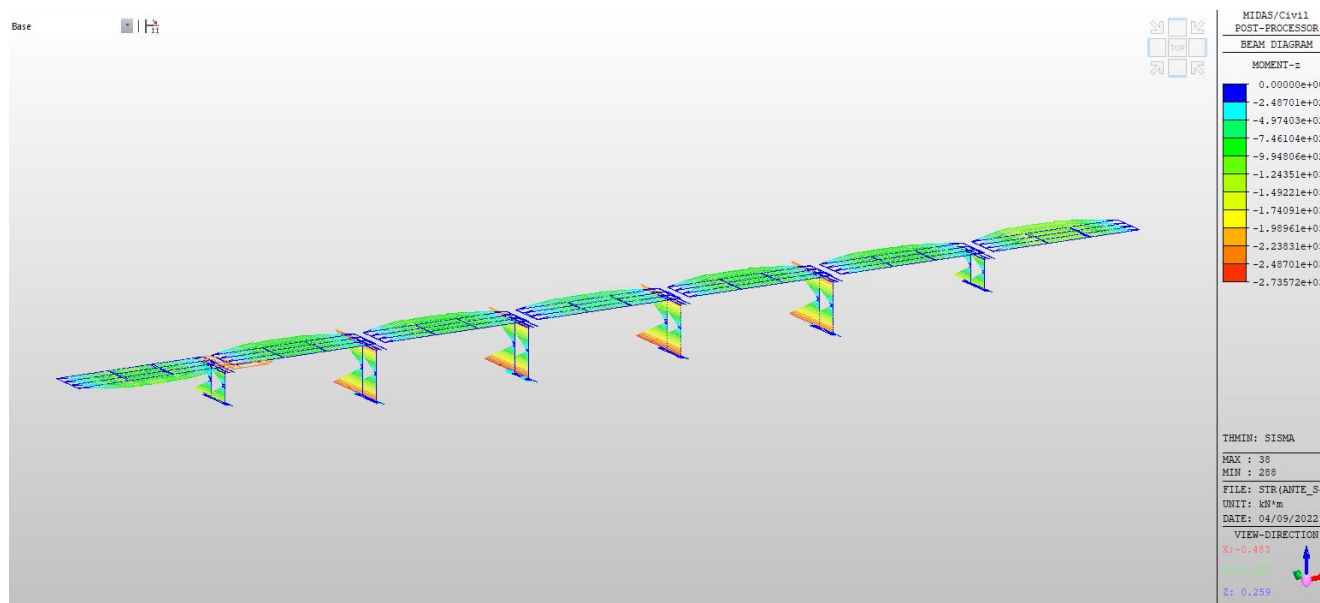


$M_{2-2} - M_{\min} = -5862 \text{ kNm (Pila 3)}$

9.1.4 Sisma (Direzione Y)



$M_{3-3} - M_{\max} = 2822 \text{ kNm (Pila 2)}$



$M_{3-3} - M_{\max} = -2736 \text{ kNm (Pila 4)}$

9.2 Vulnerabilità sismica delle pile

Considerando le combinazioni di verifica, nella tabella seguente vengono mostrate le massime sollecitazioni alla base delle pile, considerazione la azione sismica massima e minima.

SOLLECITAZIONI MASSIME ANTEOPERAM							
FORZA ASSIALE							
N (kN)		PILA 1	PILA 2	PILA 3	PILA 4	PILA 5	PILA 6
1	1	4637	4516	4610	4564	4477	4624
	2	4669	4624	4554	4504	4671	4667
TAGLIO DIREZIONE X							
Vx-x (kN)		PILA 1	PILA 2	PILA 3	PILA 4	PILA 5	PILA 6
1	1	321	388	550	421	418	345
	2	327	395	592	410	423	334
TAGLIO DIREZIONE Y							
Vy-y (kN)		PILA 1	PILA 2	PILA 3	PILA 4	PILA 5	PILA 6
1	1	422	478	509	517	478	423
	2	535	528	560	567	532	537
MOMENTO FLETTENTE My-y							
My-y (kNm)		PILA 1	PILA 2	PILA 3	PILA 4	PILA 5	PILA 6
1	1	1973	4586	4397	3800	4412	2397
	2	1981	4517	4414	3837	4380	2346
MOMENTO FLETTENTE Mz-z							
Mz-z (kNm)		PILA 1	PILA 2	PILA 3	PILA 4	PILA 5	PILA 6
1	1	1703	2838	2708	2746	2874	1701
	2	1580	2733	2600	2639	2754	1576

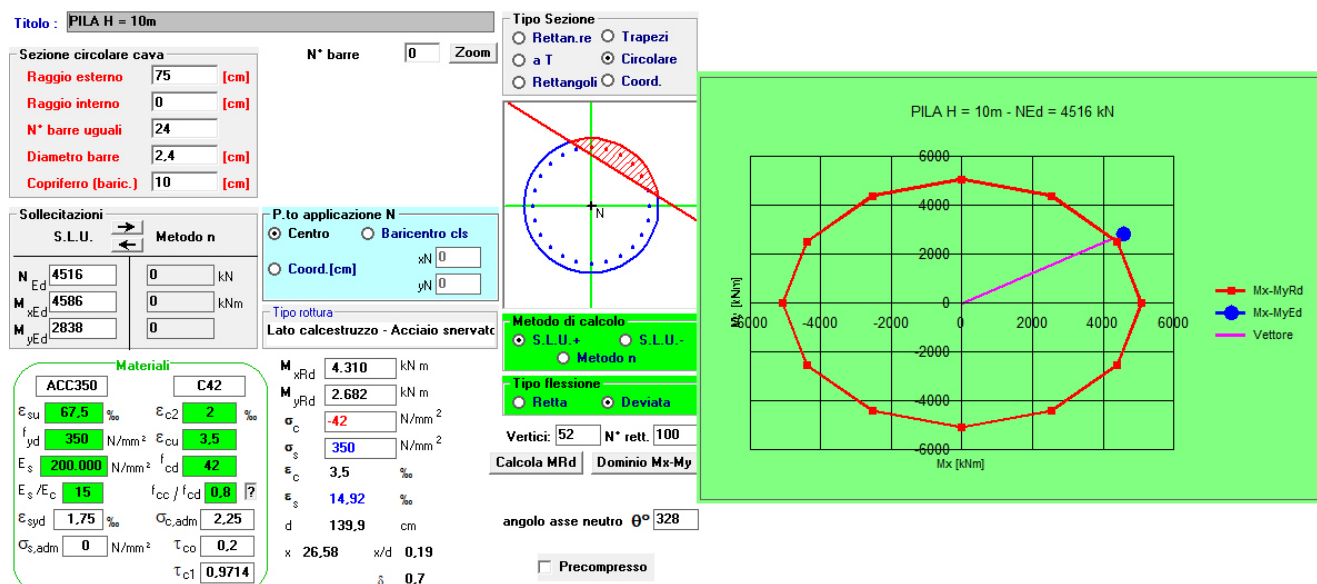
SOLLECITAZIONI MINIME ANTEOPERAM							
FORZA ASSIALE							
N (kN)		PILA 1	PILA 2	PILA 3	PILA 4	PILA 5	PILA 6
1	1	7865	8779	8801	8768	8739	7876
	2	7928	8863	8749	8739	8965	7914
TAGLIO DIREZIONE X							
Vx-x (kN)		PILA 1	PILA 2	PILA 3	PILA 4	PILA 5	PILA 6
1	1	323	466	432	378	439	385
	2	325	447	452	382	435	361
TAGLIO DIREZIONE Y							
Vy-y (kN)		PILA 1	PILA 2	PILA 3	PILA 4	PILA 5	PILA 6
1	1	584	567	553	559	573	583
	2	471	517	502	509	520	470
MOMENTO FLETTENTE My-y							
My-y (kNm)		PILA 1	PILA 2	PILA 3	PILA 4	PILA 5	PILA 6
1	1	2090	3946	5632	4220	4240	2146
	2	2111	3985	5839	4163	4271	2115
MOMENTO FLETTENTE Mz-z							
Mz-z (kNm)		PILA 1	PILA 2	PILA 3	PILA 4	PILA 5	PILA 6
1	1	1425	2540	2634	2672	2537	1428
	2	1546	2645	2742	2778	2655	1554

In base ai valori riportati in precedenza si procede a verificare il meccanismo di rottura duttile di pressoflessione deviata, riportando in tabella i valori delle resistenze per le pile.

MOMENTO RESISTETE ANTEOPERAM - SOLLECITAZIONI MASSIME							
MOMENTO RESISTENTE DIREZIONE X-X							
		PILA 1	PILA 2	PILA 3	PILA 4	PILA 5	PILA 6
M_{Rdx-x} (kN)	1	3124	4310	4352	4128	4197	3340
	2	3228	4358	4370	4157	4329	3441
MOMENTO RESISTENTE DIREZIONE Y-Y							
		PILA 1	PILA 2	PILA 3	PILA 4	PILA 5	PILA 6
M_{Rdy-y} (kN)	1	2714	2682	2708	2994	2820	2432
	2	2615	2712	2621	2903	2802	2331

MOMENTO RESISTETE ANTEOPERAM - SOLLECITAZIONI MINIME							
MOMENTO RESISTENTE DIREZIONE X-X							
		PILA 1	PILA 2	PILA 3	PILA 4	PILA 5	PILA 6
M_{Rdx-x} (kN)	1	4746	5970	6396	5966	6081	4808
	2	4646	5931	6376	5887	6104	4641
MOMENTO RESISTENTE DIREZIONE Y-Y							
		PILA 1	PILA 2	PILA 3	PILA 4	PILA 5	PILA 6
M_{Rdy-y} (kN)	1	3314	3866	3130	3864	3651	3234
	2	3496	3991	3120	3960	3805	3492

Mentre che per la pila 2 il dominio di rottura viene rappresentato in seguito.



9.3 Vulnerabilità sismica delle fondazioni

Per le analisi delle fondazioni si procede a verificare la duttilità in testa ai pali, questo perché tutto il carico della struttura viene affidato a un sistema di una trave di fondazioni su tre pali di grande diametro, un sistema che non garantisce la adeguata robustezza strutturale in caso di rottura di uno degli elementi che compongono il sistema di fondazione.

9.3.1 Sollecitazioni massime e verifica di vulnerabilità pali di fondazione

Di seguito vengono riportate le sollecitazioni massime in testa ai pali.

FORZA ASSIALE (kN)						
	PILA 1	PILA 2	PILA 3	PILA 4	PILA 5	PILA 6
1	4438	5186	5216	5211	5161	4454
2	4469	4704	4672	4685	4705	4454
3	4530	5288	5182	5179	5335	4520

FORZA DI TAGLIO DIREZIONE X-X (kN)						
	PILA 1	PILA 2	PILA 3	PILA 4	PILA 5	PILA 6
1	208	238	331	265	252	208
2	251	286	437	302	308	248
3	222	246	391	241	265	210

FORZA DI TAGLIO DIREZIONE Y-Y (kN)						
	PILA 1	PILA 2	PILA 3	PILA 4	PILA 5	PILA 6
1	278	288	324	329	287	277
2	391	400	443	450	402	390
3	320	306	343	348	308	319

MOMENTO FLETTENTE M _{x-x} (kNm)						
	PILA 1	PILA 2	PILA 3	PILA 4	PILA 5	PILA 6
1	3420	3755	3770	3750	3735	3429
2	219	114	130	132	151	219
3	-1447	-1441	-1395	-1366	-1445	-1448

MOMENTO FLETTENTE M _{y-y} (kNm)						
	PILA 1	PILA 2	PILA 3	PILA 4	PILA 5	PILA 6
1	1214	2340	3361	2488	2515	1290
2	1684	3225	4682	3399	3463	1772
3	1224	2358	3459	2462	2530	1275

In base ai valori riportati in precedenza si procede a verificare il meccanismo di rottura duttile di pressoflessione deviata, riportando in tabella i valori delle resistenze per i singoli pali calcolati nella loro testa.

MOMENTO RESISTENTE M_{Rdx-x} (kNm)						
	PILA 1	PILA 2	PILA 3	PILA 4	PILA 5	PILA 6
1	3625	3423	3770	3388	3335	3605
2	467	137	68	136	137	467
3	-2976	-2170	-1534	-2036	-2057	-2928

MOMENTO RESISTENTE M_{Rdy-y} (kNm)						
	PILA 1	PILA 2	PILA 3	PILA 4	PILA 5	PILA 6
1	1311	2216	2737	2281	2333	1375
2	3829	3934	3929	3928	3934	3824
3	2489	3486	3779	3530	3570	2539

9.4 Calcolo dell'indice di rischio sismico anteoperam ζ_E

Il livello di sicurezza delle costruzioni viene quantificato utilizzando il rapporto ζ_E ovvero l'indice di rischio sismico che viene definito come il rapporto tra l'azione sismica massima sopportabile dalla struttura e l'azione sismica massima che si utilizzerebbe nel progetto di una nuova costruzione.

Di seguito vengono riportati i valori del ζ_E sia per le pile che per le fondazioni.

INDICE DI RISCHIO PILE							
ζ_E		PILA 1	PILA 2	PILA 3	PILA 4	PILA 5	PILA 6
	1	1,58	0,94	0,99	1,09	0,95	1,39
	2	1,63	0,96	0,99	1,08	0,99	1,47

ζ_E PALI DI FONDAZIONE						
	PILA 1	PILA 2	PILA 3	PILA 4	PILA 5	PILA 6
1	1,06	0,91	0,81	0,90	0,89	1,05
2	2,13	1,20	0,84	1,03	0,91	2,13
3	2,03	1,48	1,09	1,43	1,41	1,99

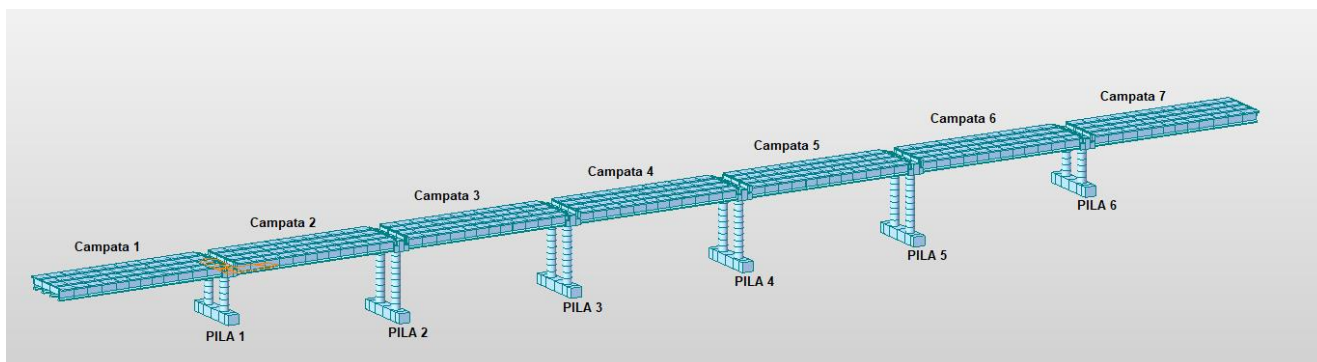
Dalle tabelle riportate sopra si evince che l'indice di rischio ζ_E per le pile è 0.94. Mentre che per i pali di fondazione l'indice di rischio ζ_E è 0.81.

10 ANALISI DI VULNERABILITÀ SISMICA POSTOPERAM

L’analisi di vulnerabilità sismica della struttura esistente considerando la costruzione della passerella ciclabile è stato realizzato in campo non lineare con integrazione al passo nel dominio del tempo delle equazioni del moto (*Analisi Time History Non Lineare*).

L’azione sismica utilizzata per l’analisi viene descritta nella sezione 7.1.10 dove vengono inoltre presentati gli spettri di progetto e gli accelerogrammi spettro-compattibili utilizzati per l’analisi.

In seguito viene mostrata la designazione delle campate e delle pile per una sua corretta identificazione.

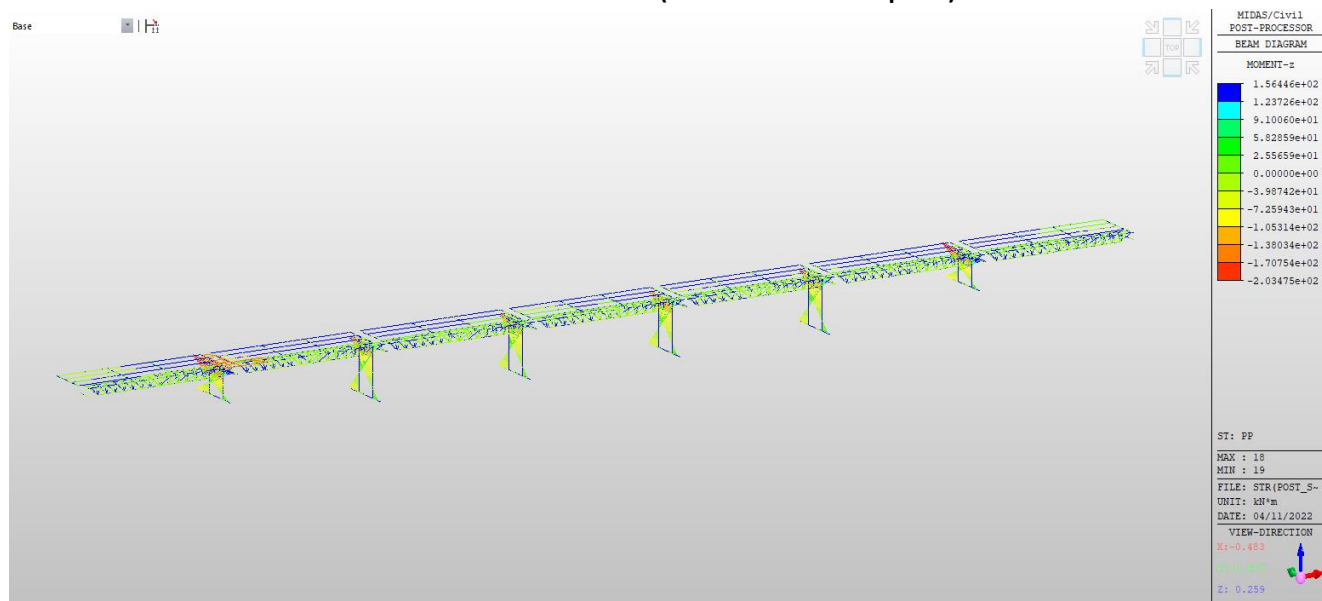
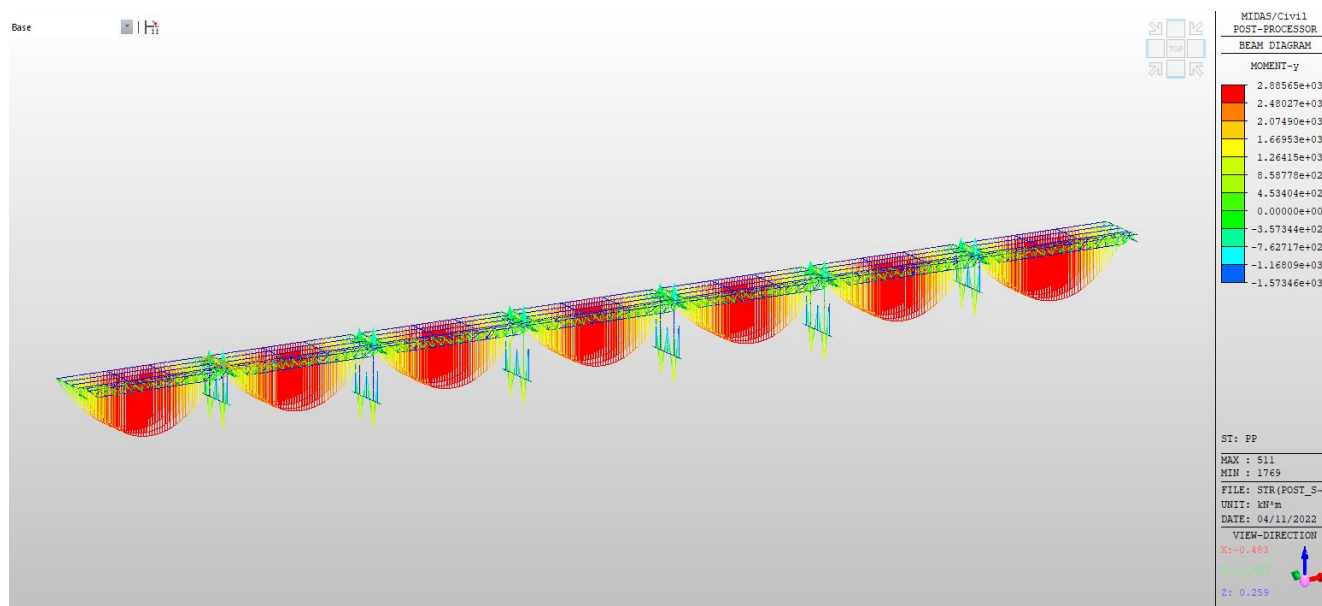


Per le caratteristiche dei materiali, di seguito vengono riportati in modo riassuntivo i valori di calcolo utilizzati per l’analisi di vulnerabilità.

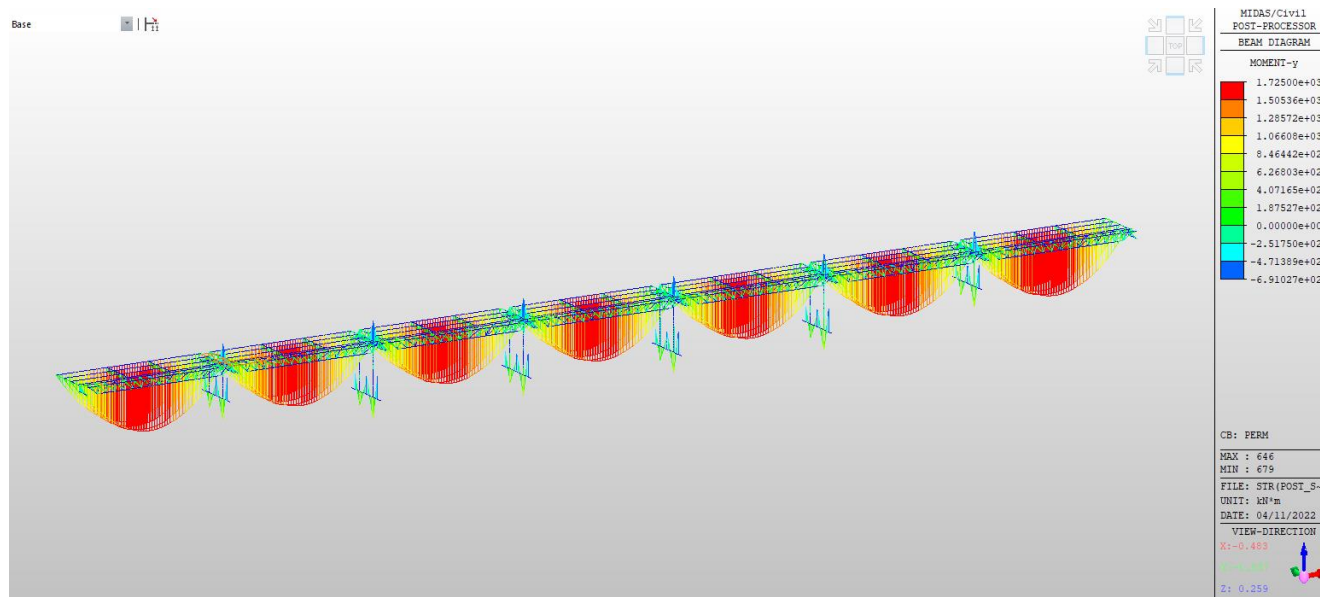
Sottostrutture			
Calcestruzzo	f_{ck}	42	N/mm ²
Acciaio (snervamento)	f_{yk}	350	N/mm ²
Acciaio (rottura)	f_{uk}	505	N/mm ²
Impalcato			
Calcestruzzo	f_{ck}	43	N/mm ²
Acciaio (snervamento)	f_{yk}	396	N/mm ²
Acciaio (rottura)	f_{uk}	623	N/mm ²

10.1 Sollecitazioni massime

10.1.1 Permanenti Strutturali (g_1)

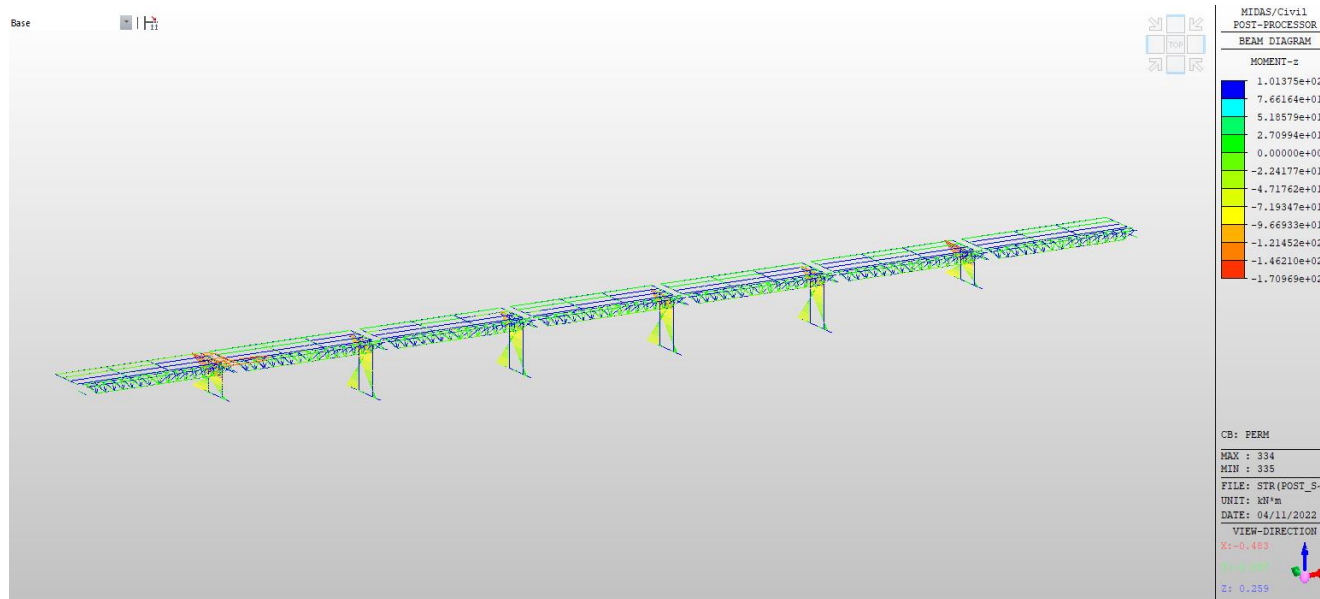


10.1.2 Permanenti non strutturali (g_2)



$M_{2-2} - M_{\max} = 1725 \text{ kNm}$ (travi principali)

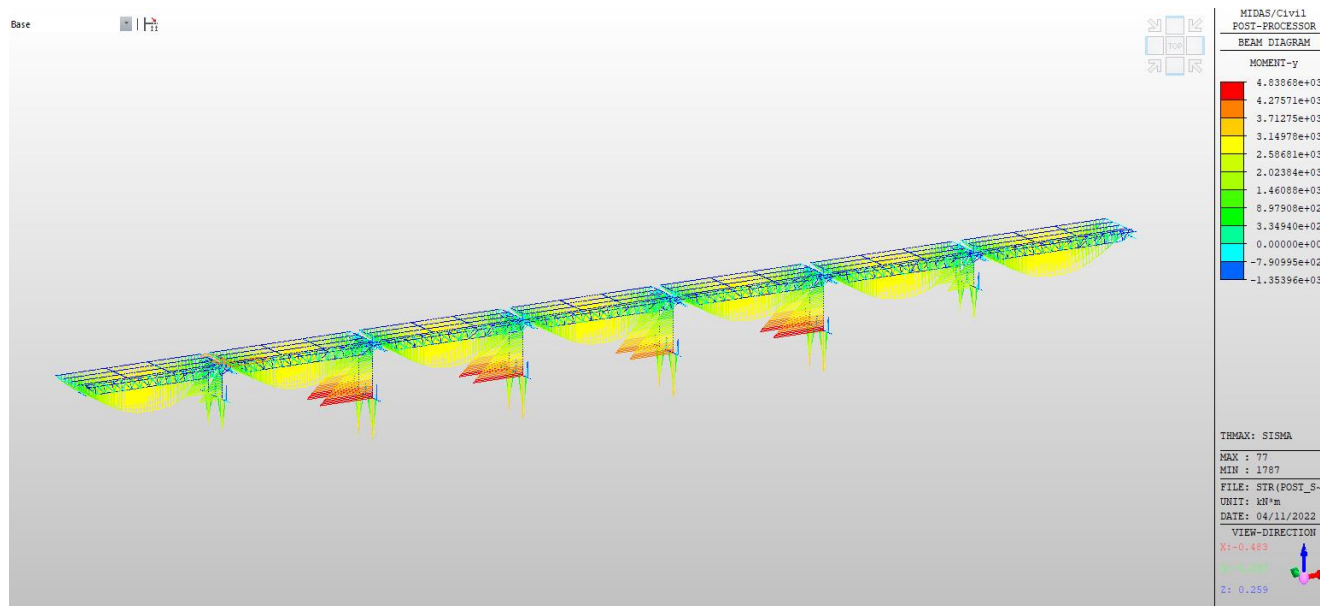
$M_{2-2} - M_{\min} = -691 \text{ kNm}$ (pulsino pila 2)



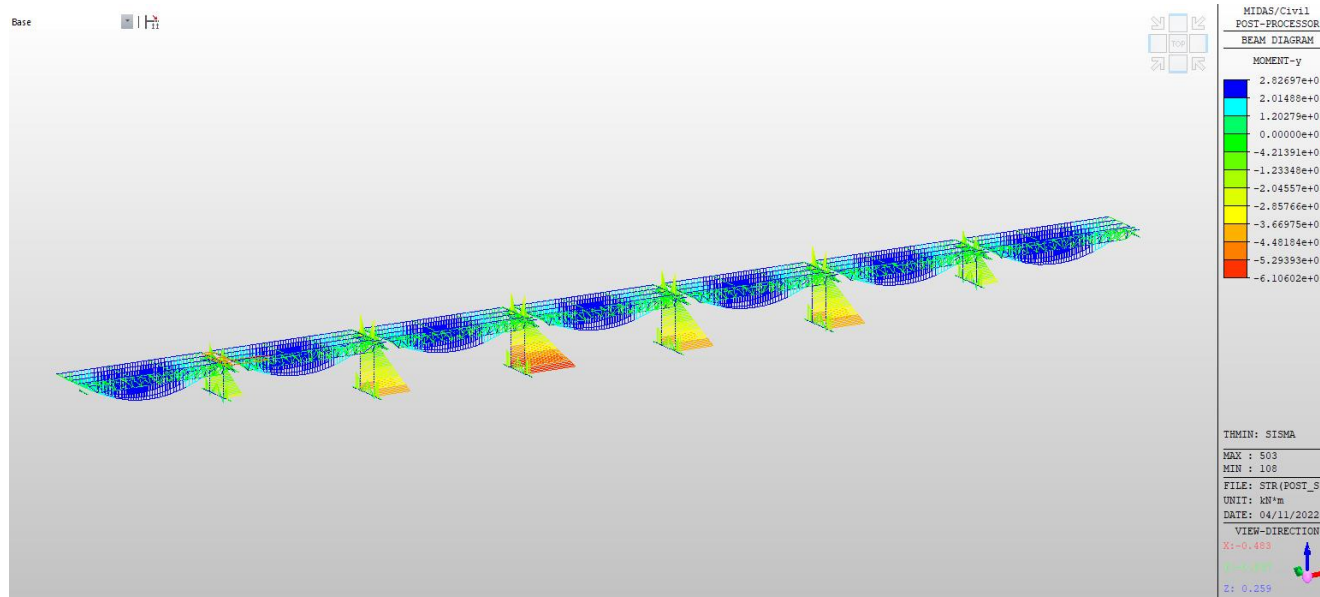
$M_{3-3} - M_{\max} = 101 \text{ kNm}$ (Pila 1)

$M_{3-3} - M_{\min} = -171 \text{ kNm}$ (Pila 1)

10.1.3 Sisma (Direzione X)

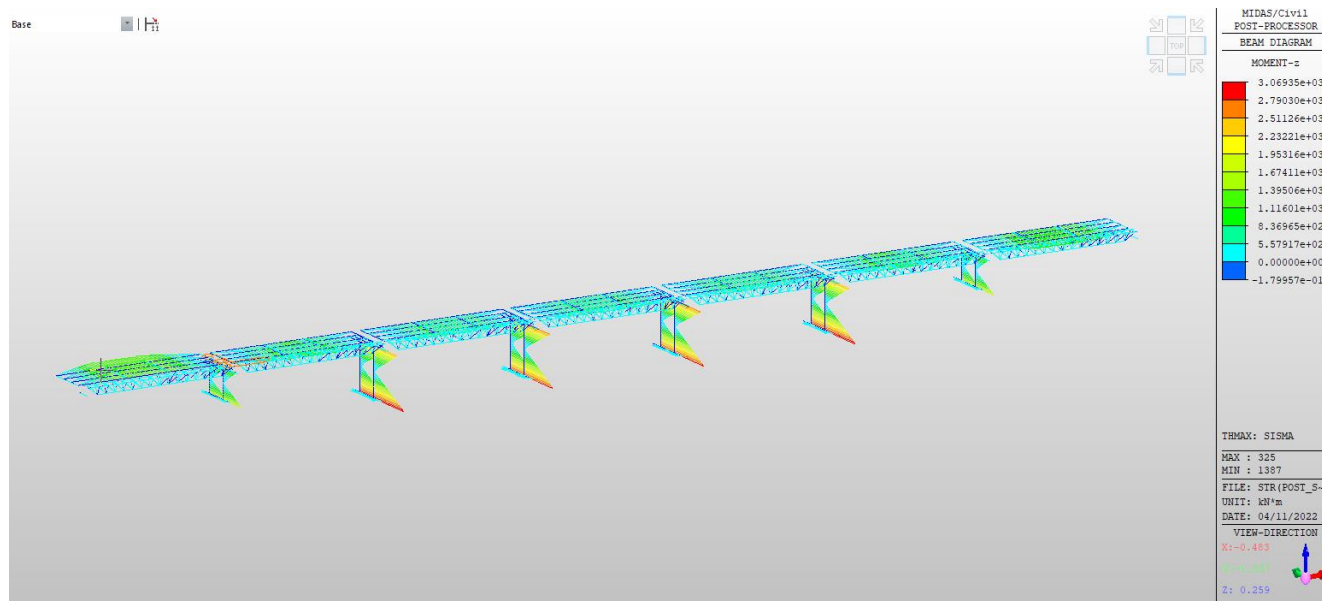


$M_{2-2} - M_{\max} = 4840 \text{ kNm (Pila 2)}$

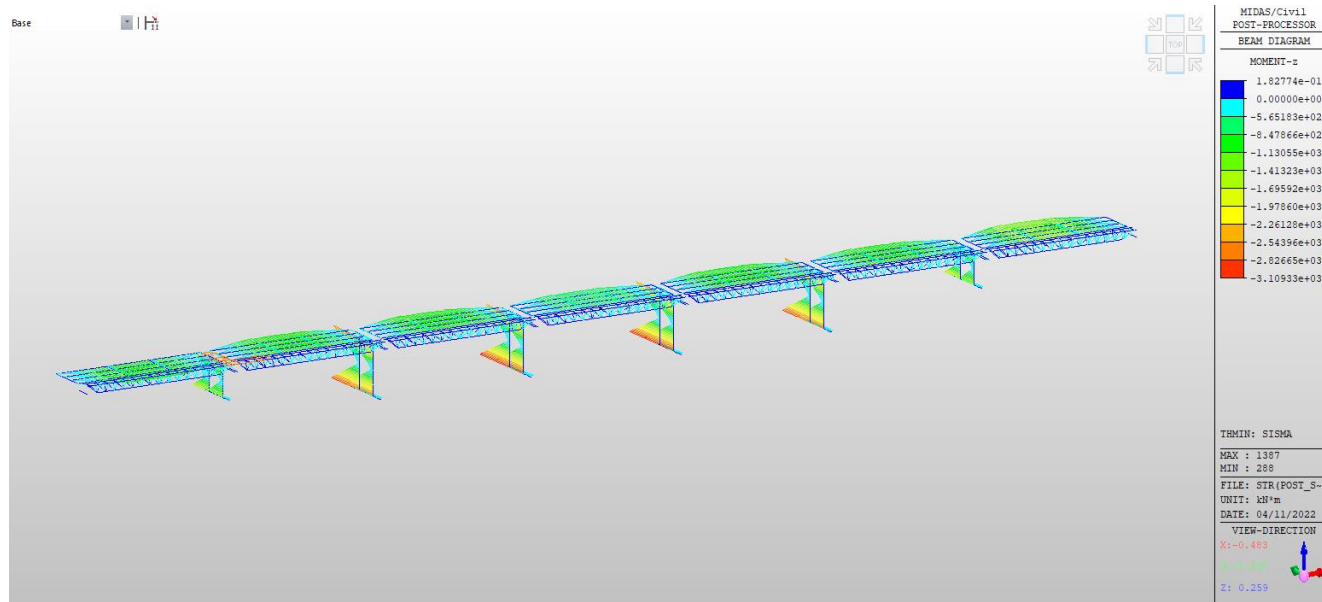


$M_{2-2} - M_{\min} = -6110 \text{ kNm (Pila 3)}$

10.1.4 Sisma (Direzione Y)



$M_{3-3} - M_{\max} = 3070 \text{ kNm (Pila 2)}$



$M_{3-3} - M_{\min} = -3110 \text{ kNm (Pila 3)}$

10.2 Vulnerabilità sismica delle pile

Considerando le combinazioni di verifica, nella tabella seguente vengono mostrate le massime sollecitazioni alla base delle pile, considerazione la azione sismica massima e minima.

SOLLECITAZIONI MASSIME POSTOPERAM							
FORZA ASSIALE							
N (kN)		PILA 1	PILA 2	PILA 3	PILA 4	PILA 5	PILA 6
1	1	5293	5142	5242	5194	5097	5282
	2	4319	4232	4124	4077	4275	4343
TAGLIO DIREZIONE X							
Vx-x (kN)		PILA 1	PILA 2	PILA 3	PILA 4	PILA 5	PILA 6
1	1	356	412	570	441	438	381
	2	353	418	616	432	447	369
TAGLIO DIREZIONE Y							
Vy-y (kN)		PILA 1	PILA 2	PILA 3	PILA 4	PILA 5	PILA 6
1	1	398	489	541	550	488	398
	2	659	606	657	666	609	662
MOMENTO FLETTEnte My-y							
My-y (kNm)		PILA 1	PILA 2	PILA 3	PILA 4	PILA 5	PILA 6
1	1	2045	4835	4585	3981	4648	2548
	2	2080	4778	4633	4020	4607	2505
MOMENTO FLETTEnte Mz-z							
Mz-z (kNm)		PILA 1	PILA 2	PILA 3	PILA 4	PILA 5	PILA 6
1	1	1869	3118	2964	3008	3157	1885
	2	1503	2806	2647	2689	2830	1499

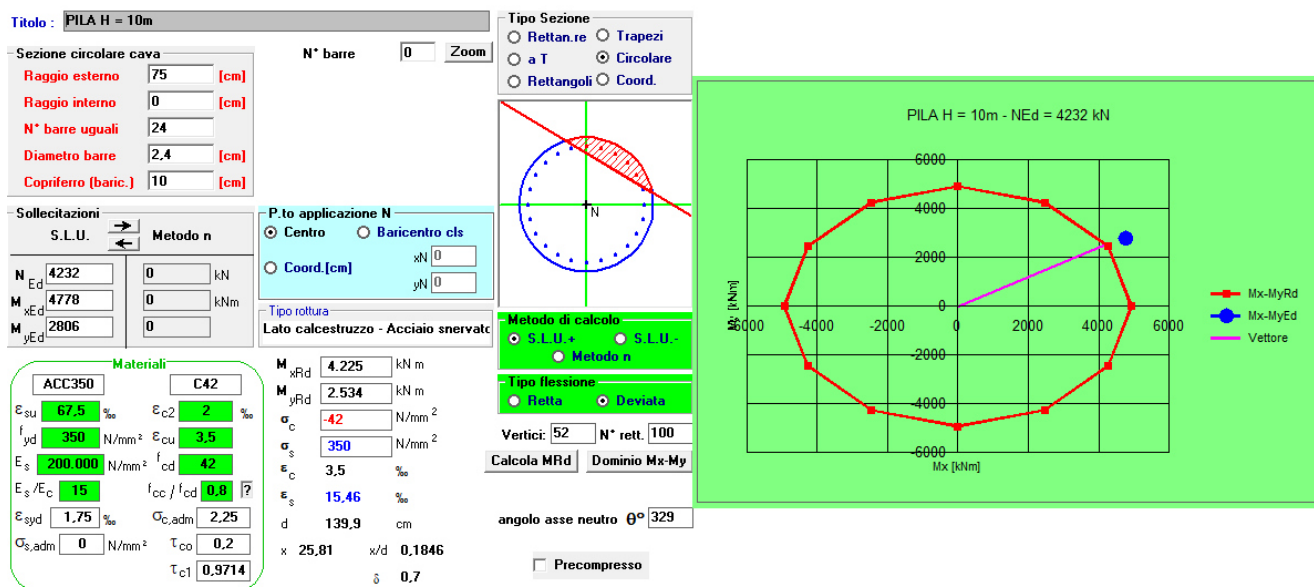
SOLLECITAZIONI MINIME POSTOPERAM							
FORZA ASSIALE							
N (kN)		PILA 1	PILA 2	PILA 3	PILA 4	PILA 5	PILA 6
1	1	8801	9789	9835	9809	9743	8837
	2	-7587	8556	8435	8422	8655	7573
TAGLIO DIREZIONE X							
Vx-x (kN)		PILA 1	PILA 2	PILA 3	PILA 4	PILA 5	PILA 6
1	1	330	492	449	394	464	416
	2	341	471	481	400	462	383
TAGLIO DIREZIONE Y							
Vy-y (kN)		PILA 1	PILA 2	PILA 3	PILA 4	PILA 5	PILA 6
1	1	709	647	630	638	654	709
	2	447	529	511	519	533	445
MOMENTO FLETTEnte My-y							
My-y (kNm)		PILA 1	PILA 2	PILA 3	PILA 4	PILA 5	PILA 6
1	1	2299	4198	5856	4431	4459	2361
	2	2287	4225	6083	4382	4515	2326
MOMENTO FLETTEnte Mz-z							
Mz-z (kNm)		PILA 1	PILA 2	PILA 3	PILA 4	PILA 5	PILA 6
1	1	1512	2713	2928	2970	2705	1512
	2	1940	3057	3269	3311	3061	1946

In base ai valori riportati in precedenza si procede a verificare il meccanismo di rottura duttile di pressoflessione deviata, riportando in tabella i valori delle resistenze per le pile.

		MOMENTO RESISTENZE POSTOPERAM					
		MOMENTO RESISTENTE DIREZIONE X-X					
M_{Rdx-x} (kN)		PILA 1	PILA 2	PILA 3	PILA 4	PILA 5	PILA 6
	1	3291	4527	4568	4071	4403	3579
	2	2901	4225	4218	3826	4202	4275
		MOMENTO RESISTENTE DIREZIONE Y-Y					
M_{Rdy-y} (kN)		PILA 1	PILA 2	PILA 3	PILA 4	PILA 5	PILA 6
	1	3059	2939	2968	3008	3081	3408
	2	2701	2534	2435	2701	2616	2052

		MOMENTO RESISTENZE POSTOPERAM					
		MOMENTO RESISTENTE DIREZIONE X-X					
M_{Rdx-x} (kN)		PILA 1	PILA 2	PILA 3	PILA 4	PILA 5	PILA 6
	1	5163	5970	6396	5966	6081	5236
	2	4265	5931	6376	5887	6104	4324
		MOMENTO RESISTENTE DIREZIONE Y-Y					
M_{Rdy-y} (kN)		PILA 1	PILA 2	PILA 3	PILA 4	PILA 5	PILA 6
	1	3480	3866	3130	3864	3651	3399
	2	3710	3991	3120	3960	3805	3629

Mentre che per la pila 2 il dominio di rottura viene rappresentato in seguito.



10.3 Vulnerabilità sismica delle fondazioni

Per le analisi delle fondazioni si procede a verificare la duttilità in testa ai pali, questo perché tutto il carico della struttura viene affidato a un sistema di una trave di fondazioni su tre pali di grande diametro, un sistema che non garantisce la adeguata robustezza strutturale in caso di rottura di uno degli elementi che compongono il sistema di fondazione.

10.3.1 Sollecitazioni massime e verifica di vulnerabilità pali di fondazione

Di seguito vengono riportate le sollecitazioni massime in testa ai pali.

FORZA ASSIALE (kN)						
	PILA 1	PILA 2	PILA 3	PILA 4	PILA 5	PILA 6
1	4438	5186	5216	5211	5161	4454
2	4469	4704	4672	4685	4705	4454
3	4530	5288	5182	5179	5335	4520

FORZA DI TAGLIO DIREZIONE X-X (kN)						
	PILA 1	PILA 2	PILA 3	PILA 4	PILA 5	PILA 6
1	208	238	331	265	252	208
2	251	286	437	302	308	248
3	222	246	391	241	265	210

FORZA DI TAGLIO DIREZIONE Y-Y (kN)						
	PILA 1	PILA 2	PILA 3	PILA 4	PILA 5	PILA 6
1	278	288	324	329	287	277
2	391	400	443	450	402	390
3	320	306	343	348	308	319

MOMENTO FLETTENTE M _{x-x} (kNm)						
	PILA 1	PILA 2	PILA 3	PILA 4	PILA 5	PILA 6
1	3420	3755	3770	3750	3735	3429
2	219	114	130	132	151	219
3	-1447	-1441	-1395	-1366	-1445	-1448

MOMENTO FLETTENTE M _{y-y} (kNm)						
	PILA 1	PILA 2	PILA 3	PILA 4	PILA 5	PILA 6
1	1214	2340	3361	2488	2515	1290
2	1684	3225	4682	3399	3463	1772
3	1224	2358	3459	2462	2530	1275

In base ai valori riportati in precedenza si procede a verificare il meccanismo di rottura duttile di pressoflessione deviata, riportando in tabella i valori delle resistenze per i singoli pali calcolati nella loro testa.

MOMENTO RESISTENTE MRdx-x (kNm)						
	PILA 1	PILA 2	PILA 3	PILA 4	PILA 5	PILA 6
1	3758	3623	3254	3601	3536	3741
2	-204	-280	-211	-212	-212	-204
3	-2698	-1912	-1316	-1705	-1792	-2598

MOMENTO RESISTENTE MRdy-y (kNm)						
	PILA 1	PILA 2	PILA 3	PILA 4	PILA 5	PILA 6
1	1374	2174	2732	2249	2295	1440
2	3930	3988	3982	3986	3993	3926
3	2698	3597	3816	3656	3672	2792

10.4 Calcolo dell'indice di rischio sismico postoperam ζ_E

Il livello di sicurezza delle costruzioni viene quantificato utilizzando il rapporto ζ_E ovvero l'indice di rischio sismico che viene definito come il rapporto tra l'azione sismica massima sopportabile dalla struttura e l'azione sismica massima che si utilizzerebbe nel progetto di una nuova costruzione.

Di seguito vengono riportati i valori del ζ_E sia per le pile che per le fondazioni.

INDICE DI RISCHIO PILE							
		PILA 1	PILA 2	PILA 3	PILA 4	PILA 5	PILA 6
ζ_E	1	1,61	0,94	1,00	1,00	0,95	1,40
	2	1,39	0,88	0,91	0,95	0,91	1,37

ζ_E PALI DI FONDAZIONE						
	PILA 1	PILA 2	PILA 3	PILA 4	PILA 5	PILA 6
1	0,98	0,86	0,77	0,85	0,85	0,97
2	2,13	1,16	0,82	1,12	1,09	2,02
3	2,03	1,44	1,06	1,41	1,37	1,99

Dalle tabelle riportate sopra si evince che l'indice di rischio ζ_E per le pile è 0.91. Mentre che per i pali di fondazione l'indice di rischio ζ_E è 0.77.

11 CONCLUSIONI

Dall'analisi della vulnerabilità sismica, considerando le condizioni esistenti dell'opera si evince che considerando le condizioni della struttura allo stato di fatto e considerando l'indice di rischio per le sottostrutture ($\zeta_E = 0.94$) e l'indice di rischio per le fondazioni ($\zeta_E = 0.81$) secondo quanto previsto nel paragrafo 8.4.3 delle NTC 2018 e il paragrafo 8.8.7 della Circolare esplicativa alle NTC 2018 la struttura risulterebbe adeguata senza richiedere nessun intervento di adeguamento.

Mentre che nel caso postoperam l'indice di rischio viene diminuito a $\zeta_E = 0.91$ per le sottostrutture e $\zeta_E = 0.77$ per le fondazioni e in questo caso secondo quanto previsto nel paragrafo 8.4.3 delle NTC 2018 se si considera l'ampliamento della costruzione mediante un'opera strutturalmente connessa all'esistente (passerella pedonale connessa al ponte esistente) l'indice di rischio richiesto dalla normativa è $\zeta_E > 1.00$ e per questo motivo è necessario un'intervento d'adeguamento sismico delle sottostrutture in maniera tale di arrivare all'indice di rischio richiesto dalla normativa.