

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



DIREZIONE TECNICA

U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI

PROGETTO DEFINITIVO

Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale

MIGLIORAMENTO SISMICO E OPERE DI COMPLETAMENTO DEI VIADOTTI ESISTENTI DELLA LINEA FERRANDINA MATERA

Relazione di calcolo

Miglioramento sismico VI05 - Viadotto Bradano

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA Progr. REV.

I A 5 F 0 1 D 0 9 C L V I 0 5 0 0 0 0 2 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Definitiva	I. Lardani	LUGLIO 2019	S.Di Spigno / F. Bonifacio	LUGLIO 2019	F. Gernone	LUGLIO 2019	A. Vittozzi LUGLIO 2019

ITALFERR S.p.A.
U.O. Opere Civili e Gestione delle varianti
Dott. Ing. Angelo Vittozzi
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Salerno
N° A20783

File: IA5F01D09CLVI0500002A_Miglioramento Bradano.docx

n. Elab.:

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale PROGETTO DEFINITIVO					
	<i>Relazione di calcolo</i>	COMMESSA IA5F	LOTTO 01D	CODIFICA 09CL	DOCUMENTO VI0500002	REV. A

INDICE

1.	INTRODUZIONE	3
2.	RIFERIMENTI NORMATIVI	4
3.	DESCRIZIONE DELL'OPERA	5
4.	DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI DI MIGLIORAMENTO	6
4.1	Sostituzione degli appoggi e ricostruzione dei ritegni dell'impalcato	6
4.2	Interventi di rinforzo dei fusti pila	6
5.	MATERIALI	7
6.	ANALISI DEI CARICHI	8
6.1	Carichi permanenti	8
6.2	Carico da traffico	10
7.	AZIONE SISMICA	11
8.	COMBINAZIONI DELLE AZIONI	15
9.	METODO DI ANALISI E MODELLI AGLI EF	16
9.1	Modello globale del viadotto	16
9.2	Modellazione della campata reticolare	19
10.	RISULTATI DELLE ANALISI	20
10.1.1	<i>Analisi modale del modello globale</i>	20
10.1.2	<i>Analisi modale del modello locale dell'impalcato reticolare</i>	20
10.1.1	<i>Sollecitazioni base pila</i>	21
10.1.1	<i>Azioni in fondazione</i>	23
11.	VERIFICA DEGLI INTERVENTI DI MIGLIORAMENTO SISMICO DELL'IMPALCATO RETICOLARE	24
11.1	Trasverso superiore di testata dell'impalcato reticolare	25
11.1.1	<i>Verifiche di resistenza</i>	26
11.1.2	<i>Verifiche di stabilità</i>	26
11.1.3	<i>Conclusioni</i>	27
11.2	Montante di parete del primo campo	27
11.2.1	<i>Verifiche di resistenza</i>	28
11.2.2	<i>Verifiche di stabilità</i>	28
11.2.3	<i>Conclusioni</i>	29
11.3	Elemento interno del controvento inferiore	29



Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo

COMMESSA
IA5F

LOTTO
01D

CODIFICA
09CL

DOCUMENTO
VI0500002

REV.
A

FOGLIO
2 di 32

11.3.1	Verifiche di resistenza	30
11.3.2	Verifiche di stabilità	30
11.3.3	Conclusioni	31

	Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale PROGETTO DEFINITIVO					
	<i>Relazione di calcolo</i>	COMMESSA IA5F	LOTTO 01D	CODIFICA 09CL	DOCUMENTO VI0500002	REV. A

1. INTRODUZIONE

Oggetto della presente relazione è la definizione degli interventi di miglioramento sismico del viadotto VI05 “Bradano”, nell’ambito del progetto definitivo per la realizzazione della Nuova linea ferroviaria Ferrandina – Matera La martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale.

La presente relazione risulta intrinsecamente collegata al documento IA5F01D09CLVI0500001A relazione di calcolo – Vulnerabilità sismica del viadotto VI05 Bradano, redatto nell’ambito del medesimo progetto ed al quale si rimanda per eventuali ulteriori dettagli relativamente alle strutture esistenti.



Figura 1 – Viadotto Bradano (VI05) della linea Ferrandina-Matera

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale PROGETTO DEFINITIVO					
	<i>Relazione di calcolo</i>	COMMESSA IA5F	LOTTO 01D	CODIFICA 09CL	DOCUMENTO VI0500002	REV. A

2. RIFERIMENTI NORMATIVI

- Legge 5 novembre 1971 n. 1086: Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato normale e precompresso ed a struttura metallica.
- D.P.R. n. 380/2001 – Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia;
- Decreto Ministeriale del 17 gennaio 2018: “Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»”, G.U. n.8 del 20 febbraio 2018.
- Circolare 21 gennaio 2019, n. 7 - Istruzioni per l'applicazione dell' «Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 17 gennaio 2018.
- RFI DTC SI PS MA IFS 001 A: “Manuale di progettazione delle opere civili - Parte II - sez.2: Ponti e strutture “ del 30/12/2016.
- RFI DTC SI CS MA IFS 001 A: Manuale di progettazione delle opere civili - Parte II - sez.3.: Corpo stradale” del 30/12/2016.
- Regolamento (UE) N.1299/2014 della Commissione del 18 novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema “infrastruttura” del sistema ferroviario dell’Unione Europea.
- EN 1991-2 “Eurocodice 1 - Azioni sulle strutture - Parte 2 : carichi da traffico sui ponti”
- EN 1992-1 “Eurocodice 2 - Progettazione delle strutture in calcestruzzo - Parte 1-1 : Regole generali e regole per edifici”
- EN 1992-1 “Eurocodice 2 - Progettazione delle strutture in calcestruzzo - Parte 2: ponti di calcestruzzo - Progettazione e dettagli costruttivi.”
- EN 1993-1 “Eurocodice 3 - Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 1-1: Regole generali e regole per edifici”
- EN 1993-1-8 “Eurocodice 3 - Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 1-8: Progettazione dei collegamenti”
- EN 1993-1-9 “Eurocodice 3 - Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 1-8: Fatica”
- EN 1993-2 “Eurocodice 3 - Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 2: Ponti di acciaio”
- EN 1994-2 “Eurocodice 4 - Progettazione delle strutture composte acciaio- calcestruzzo - Parte 2 : Ponti”
- EN 1997-1 “Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica- Parte 1 : Regole generali.”
- UNI EN 1337 – Appoggi strutturali.

3. DESCRIZIONE DELL'OPERA

Il viadotto Bradano (VI05), compreso tra le progressive km 12+785.30 e km 13+030.10 della Nuova linea Ferrandina-Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale, sviluppa una lunghezza complessiva di 245 metri.

Il viadotto, a singolo binario, si compone di 5 campate: la campata centrale è caratterizzata da una luce di 120m realizzata mediante una travatura reticolare a via inferiore, le campate laterali sono invece costituite da impalcati in cap con due di luci da 30 e 35 metri.

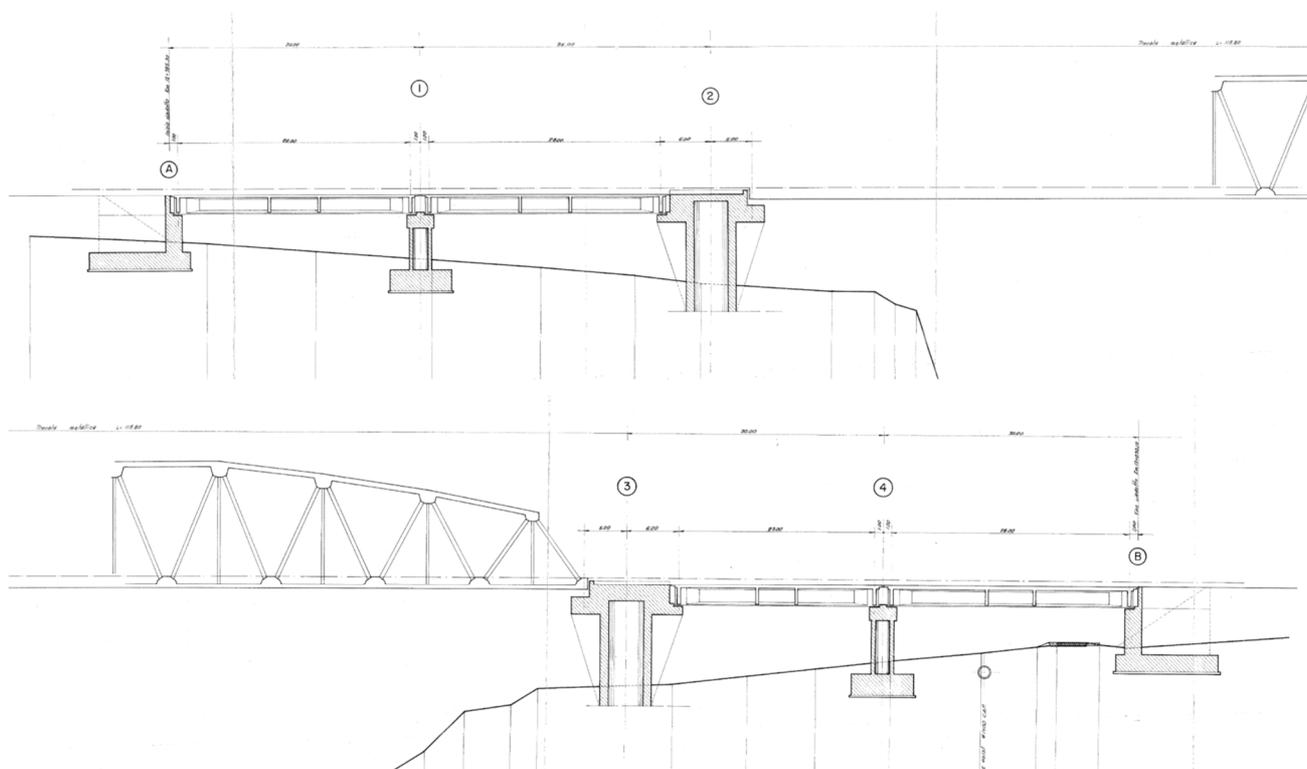


Figura 2: Sezione longitudinale viadotto (da elaborati originali di progetto)

Le pile hanno altezza variabile e sezione monocellulare in c.a. Le fondazioni sono su micropali per le pile delle campate in CAP, mentre le pile della campata in acciaio hanno una fondazione “a pozzo”.

Le spalle sono costituite da strutture in c.a. (muro frontale di spessore 2.00m, muri andatori di spessore variabile tra 1.0m e 0.5 m, zattera di fondazione di spessore 2.00m) con fondazione su micropali.

	Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale PROGETTO DEFINITIVO					
	<i>Relazione di calcolo</i>	COMMESSA IA5F	LOTTO 01D	CODIFICA 09CL	DOCUMENTO VI0500002	REV. A

4. DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI DI MIGLIORAMENTO

Le analisi di vulnerabilità condotte hanno messo in luce la sostanziale non idoneità delle strutture del viadotto a far fronte alle azioni sismiche di progetto associate alla sismicità del sito e alla tipologia di opera in questione.

Sinteticamente le parti strutturali su cui si deve intervenire sono:

- Appoggi;
- Elevazioni Pile
- Fondazioni Pile
- Campata reticolare in acciaio

4.1 Sostituzione degli appoggi e ricostruzione dei ritegni dell'impalcato

Dovranno essere sostituiti tutti gli appoggi delle campate in cap; si prevede l'impiego di appoggi a calotta sferica conformi alle prescrizioni RFI in materia di dispositivi di appoggio. Si manterrà la medesima disposizione di vincolo della situazione attuale.

Le sollecitazioni sismiche che detti apparecchi di appoggio dovranno garantire sono riportati nell'apposito paragrafo della presente relazione.

Per quanto riguarda la travata reticolare, è previsto l'adeguamento degli appoggi esistenti mediante l'introduzione rinforzi metallici che impediscano il ribaltamento del dispositivo che le analisi condotte dimostrano essere il meccanismo determinante la crisi dell'appoggio in condizioni sismiche.

È prevista, inoltre, la realizzazione di nuovi elementi per il ritegno sismico degli impalcato in acciaio per evitare la possibilità di perdita d'appoggio delle travi.

4.2 Interventi di rinforzo dei fusti pila

Le pile 1 e 4 saranno interessate da interventi di rinforzo mediante allargamento della sezione resistente. L'intervento prevede la realizzazione di uno spessore aggiuntivo di **50 cm** con l'aggiunta di due strati di armatura opportunamente annegata nel plinto di fondazione.

	Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale PROGETTO DEFINITIVO					
	<i>Relazione di calcolo</i>	COMMESSA IA5F	LOTTO 01D	CODIFICA 09CL	DOCUMENTO VI0500002	REV. A

5. MATERIALI

Il viadotto, così come tutti quelli della linea, è stato oggetto di una campagna di indagini volta a determinare le proprietà dei materiali. Gli esiti delle indagini hanno confermato le proprietà dei materiali da costruzioni indicati negli elaborati di progetto. Nelle analisi di verifica sismica sono stati impiegati i valori di resistenza indicati nei disegni e relazioni originali di progetto, ridotti applicando il fattore di confidenza $FC=1.2$ (livello di conoscenza LC2) come da indicazioni di normativa. Per maggiori dettagli sulle indagini e sull'individuazione del livello di conoscenza si rimanda alla relazione IA5F01D09ROVI0000001A - *Relazione tecnico-illustrativa - Materiali, Fattore di confidenza e criteri di calcolo*.

Di seguito si riportano le caratteristiche dei materiali risultanti dal progetto.

Pile/Spalle

- Materiali di progetto

Calcestruzzo R_{ck} 250 Kg/cm²

Acciaio armature FeB38k

Impalcati acciaio

- Materiali di progetto

Acciaio da carpenteria Fe430

Impalcati in cap

- Materiali di progetto

Calcestruzzo travi R_{ck} 500 Kg/cm²

Calcestruzzo soletta R_{ck} 300 Kg/cm²

Acciaio armature ordinarie FeB38k

Acciaio armature precompressione $f_{ptk} > 1860$ Mpa

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale PROGETTO DEFINITIVO					
	<i>Relazione di calcolo</i>	COMMESSA IA5F	LOTTO 01D	CODIFICA 09CL	DOCUMENTO VI0500002	REV. A

6. ANALISI DEI CARICHI

6.1 Carichi permanenti

I carichi considerati nel presente studio fanno riferimento alle relazioni originali di progetto (elaborato V.B.9.2.E).

Impalcato cap

pp cassone	17.80 ton/m
pp cordoli	0.75 ton/m
pp impermeab	1.48 ton/m
pp ballast	5.04 ton/m
pp corrimano+canaletta	0.4 ton/m
Trasversi di campata	2.83 ton/cad

Per un peso complessivo ~ **258 kN/m**

Impalcato acciaio

peso proprio + armamento ~ **70 kN/m**

Il valore sopra riportato è stato estrapolato dalla relazione di calcolo del progetto originale. Il dato è stato comunque verificato attraverso la modellazione tridimensionale della struttura alla quale sono state associate le caratteristiche geometriche e sezionali effettivamente presenti. Infatti il modello fornisce un peso strutturale pari a

$G1 = 62 \text{ KN/m}$ (da modello)

La restante parte di carico di circa 8 KN/m è imputabile ai carichi permanenti portati ($G2$), il cui valore appare realistico, considerato che solo l'armamento (singolo binario) pesa intorno a 4 KN/m a cui si dovranno aggiungere i pesi dei camminamenti e dalle altre opere di finitura.

Pulvino pile 1 e 4

Peso pulvino	$1.60\text{m} \times 3.20\text{m} \times 7.60\text{m} \times 25\text{kN/m}^3$	973 kN
Ritegni	$1.60\text{m} \times 3.20\text{m} \times 0.5\text{m} \times 25 \text{ kN/m}^3$	64 kN
Per un peso complessivo		~ 1040 kN

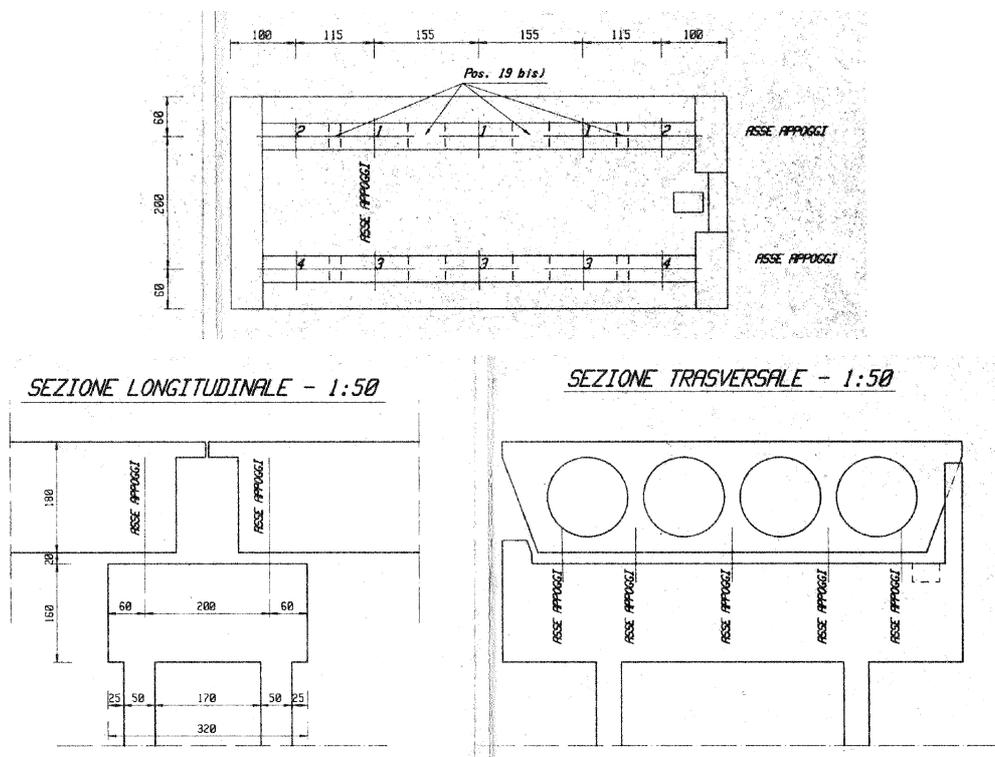
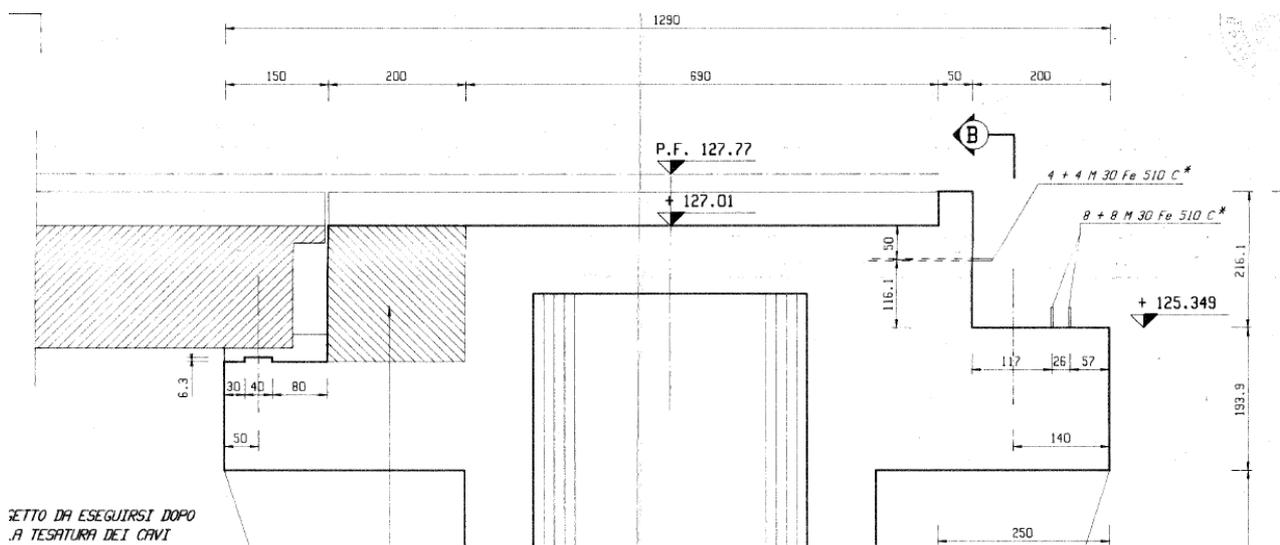


Figura 3 - Pianta e prospetto pulvino pile 1 e 4

Pulvino pile 2 e 3

Peso pulvino (Area longitudinale = 32 m²)

32.0m x 10.0 m x 25kN/m³ 8000 kN



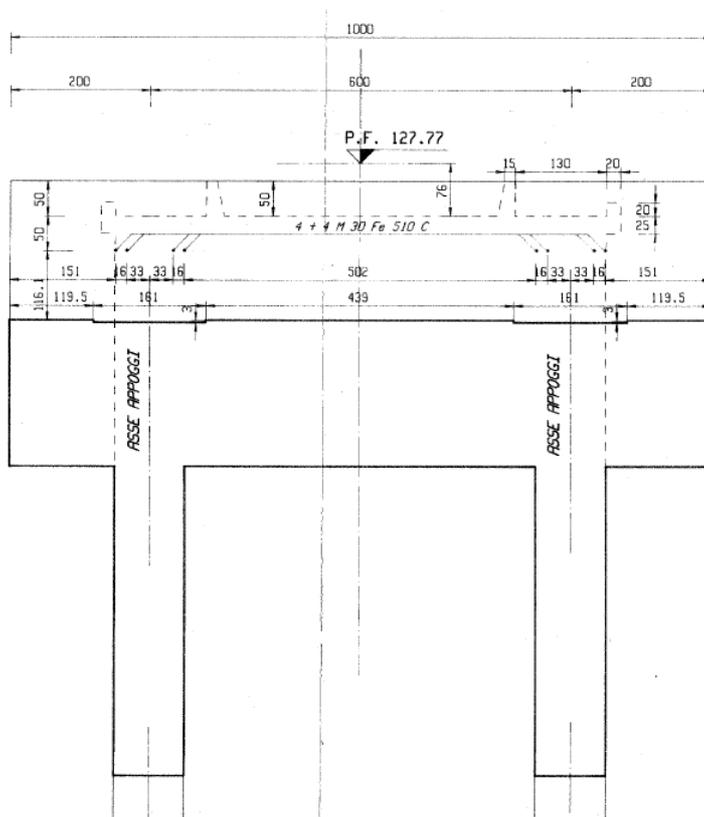


Figura 4 - Pianta e prospetto pulvino pile 2 e 3

6.2 Carico da traffico

Ai fini delle analisi di adeguamento sismico dell'opera si considera la coesistenza del traffico ferroviario previsto per le nuove strutture (LM71 o SW2) nella percentuale del 20% (sia in termini di masse che di pesi).

Resta inteso che, coerentemente con l'inquadramento generale del progetto del quale la presente relazione è parte integrante, il miglioramento delle opere ai sensi delle NTC 2018 è **limitato all'ambito sismico** (rif. elab. IA5F01D09ROVI0000001A). Pertanto i suddetti carichi da traffico ferroviario (LM71 o SW2) sono stati considerati solo per le analisi di adeguamento sismico e non per le verifiche dei requisiti relativi agli stati limite SLE e SLU statico.

	Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale PROGETTO DEFINITIVO					
	<i>Relazione di calcolo</i>	COMMESSA IA5F	LOTTO 01D	CODIFICA 09CL	DOCUMENTO VI0500002	REV. A

7. AZIONE SISMICA

Lo spettro di progetto è stato identificato nel rispetto del §2.4 e del §3.2 delle norme NTC2018.

Si definiscono quindi i parametri per individuare lo spettro da utilizzare nelle analisi di adeguamento:

V_N	=	50 [anni]
Classe d'uso		II
C_u	=	1
V_R	=	$50 \times 1 = 50$ [anni]
Categoria di sottosuolo	=	E
Categoria topografica	=	T4

L'azione sismica viene determinata a partire dalla definizione della pericolosità sismica di base del sito in cui ricade l'opera, definita mediante spettro di risposta elastico in accelerazione in accordo a quanto prescritto al § 3.2 NTC2018, espresso da uno spettro normalizzato riferito ad uno smorzamento convenzionale del 5%, moltiplicato per il valore dell'accelerazione orizzontale massima a_g su sito di riferimento rigido orizzontale. Per la sua determinazione si è fatto uso del software free *SPETTRI-NTC ver. 1.0.3* fornito dal MIT, del quale si riportano i passaggi essenziali, con simboli come dal punto citato delle NTC 2018 e riferimento al sito in cui è ubicata l'opera.

Si riporta in *Figura* la determinazione dello spettro elastico allo SLV per il caso del viadotto in esame.

Stato limite di salvaguardia della vita – SLV

FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate

LONGITUDINE: LATTITUDINE:

Ricerca per comune

REGIONE: PROVINCIA: COMUNE:

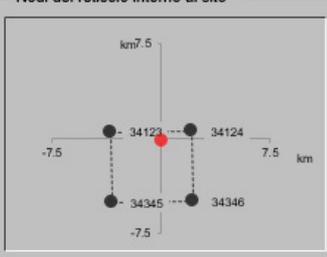
Elaborazioni grafiche

Grafici spettri di risposta ||>
Variabilità dei parametri ||>

Elaborazioni numeriche

Tabella parametri ||>

Nodi del reticolo intorno al sito



Reticolo di riferimento

Controllo sul reticolo

- Sito esterno al reticolo
- Interpolazione su 3 nodi
- Interpolazione corretta

Interpolazione:



La "Ricerca per comune" utilizza le coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

INTRO **FASE 1** FASE 2 FASE 3

FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

Vita nominale della costruzione (in anni) - V_N info

Coefficiente d'uso della costruzione - C_U info

Valori di progetto

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) - V_R info

Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) - T_R info

Stati limite di esercizio - SLE

- SLO - $P_{VR} = 81\%$
- SLD - $P_{VR} = 63\%$

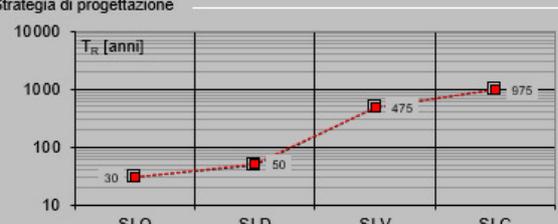
Stati limite ultimi - SLU

- SLV - $P_{VR} = 10\%$
- SLC - $P_{VR} = 5\%$

Elaborazioni

Grafici parametri azione ||>
Grafici spettri di risposta ||>
Tabella parametri azione ||>

Strategia di progettazione



LEGENDA GRAFICO

- Strategia per costruzioni ordinarie
- - - ■ - - - Strategia scelta

INTRO FASE 1 **FASE 2** FASE 3

FASE 3. DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO

Stato Limite

Stato Limite considerato **SLV** info

Risposta sismica

Categoria di sottosuolo **E** info

$S_g = 1.567$

$C_D = 1.791$ info

Categoria topografica **T4** info

$h/H = 1.000$

$S_T = 1.400$ info

(h=quota sito, H=altezza rilievo topografico)

Compon. orizzontale

Spettro di progetto elastico (SLE)

Smorzamento ξ (%) **5**

$\eta = 1.000$ info

Spettro di progetto inelastico (SLU)

Fattore q_s **3**

Regol. in altezza **si** info

Compon. verticale

Spettro di progetto

Fattore q **1**

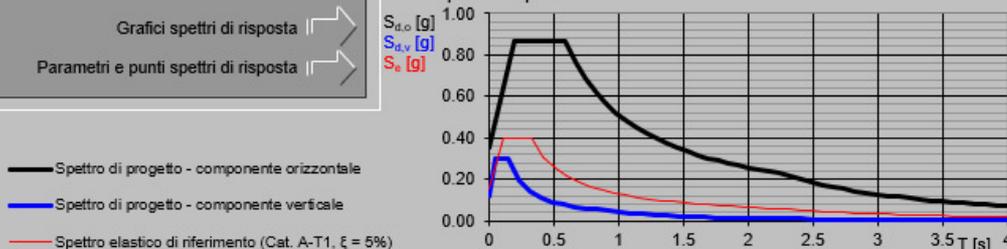
$\eta = 1.000$ info

Elaborazioni

Grafici spettri di risposta

Parametri e punti spettri di risposta

Spettri di risposta



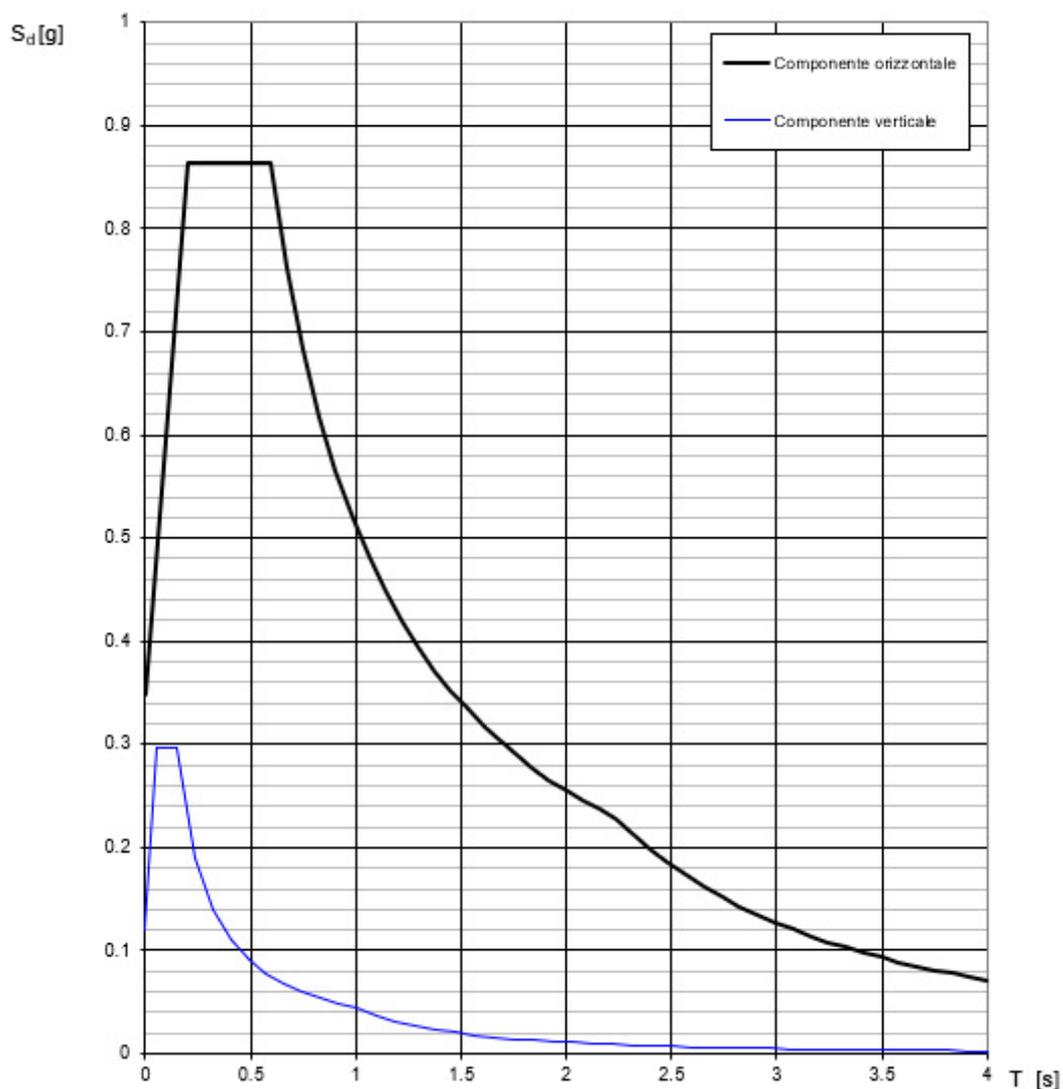
INTRO

FASE 1

FASE 2

FASE 3

Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato lim SLV



8. COMBINAZIONI DELLE AZIONI

Ai fini delle verifiche si è fatto riferimento alla combinazione sismica:

$$G_1 + G_2 + P + E + \sum_i \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$$

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

$$G_K + \sum_i \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$$

Le NTC 2018 prevedono l'applicazione di un'aliquota del 20% del carico ferroviario in presenza dell'azione sismica di progetto allo SLU, sia per il nuovo che per l'esistente, quindi con il relativo valore di ψ_2 pari a 0.20. Analogo fattore si applica per la valutazione delle masse eccitate per le analisi dinamiche ai fini della risposta sismica del viadotto.

	SLV1	SLV2	SLV3	SLV4
Peso proprio (permanente + portato)	1.00	1.00	1.00	1.00
Carico accidentale (treno)	0.20	0.20	0.20	0.20
Sisma long	1.00	1.00	0.30	0.30
Sisma trasv	0.30	0.30	1.00	1.00
Sisma vert	0.30	-0.30	0.30	-0.30

	Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale PROGETTO DEFINITIVO					
	<i>Relazione di calcolo</i>	COMMESSA IA5F	LOTTO 01D	CODIFICA 09CL	DOCUMENTO VI0500002	REV. A

9. METODO DI ANALISI E MODELLI AGLI EF

La metodologia di analisi con cui è stata valutata la risposta sismica del viadotto post-interventi di adeguamento/miglioramento sismico è l'analisi dinamica modale associata allo spettro di risposta.

9.1 Modello globale del viadotto

Per l'opera in esame è prevista l'adozione del software per analisi ad elementi finiti "SAP2000 v.15.1.0", con il quale si conduce una modellazione ad elementi di tipo *frame*.

In particolare si modellano tutti gli elementi costituenti il viadotto: campate in cap, campata in acciaio e pile, incastrate alla base (estradosso plinto di fondazione).



Figura 5 – Modello di calcolo - vista globale

Si è considerata una rigidezza fessurata delle pile, dimezzando il valore del modulo elastico del materiale assegnato. Dove presente, si è tenuto conto delle variazioni di sezione lungo il fusto della pila.

Le pile sottoposte ad intervento di adeguamento sismico (pila 1 e 4) sono state modellate con una sezione maggiorata, per considerare l'aumento di rigidezza delle pile stesse rispetto alla modellazione di vulnerabilità sismica.

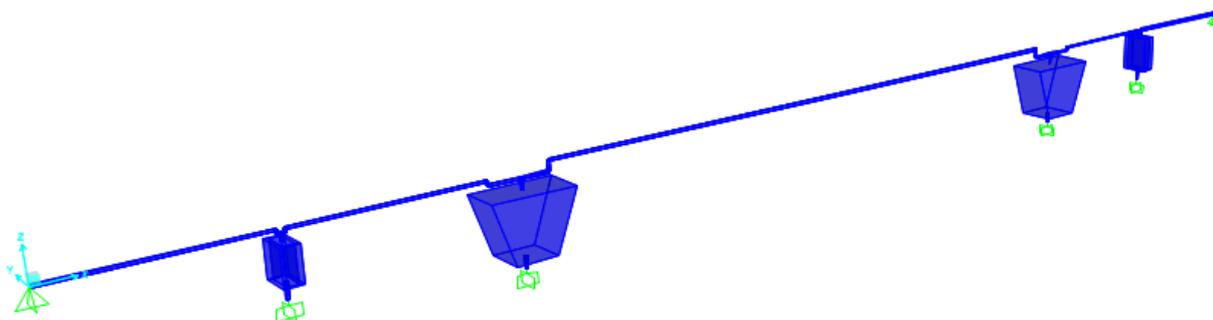


Figura 6 – Modello di calcolo – vista estrusa

	Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale PROGETTO DEFINITIVO					
	<i>Relazione di calcolo</i>	COMMESSA IA5F	LOTTO 01D	CODIFICA 09CL	DOCUMENTO VI0500002	REV. A

Per schematizzare i dispositivi di appoggio sono stati utilizzati elementi *frame* rigidi di collegamento tra pulvino e baricentro delle campate.

Visto lo schema statico degli impalcati, su ogni pila sarà presente un appoggio svincolato alla sola rotazione flessionale e un appoggio svincolato sia alla rotazione che alla traslazione longitudinale (parallela all'asse del viadotto).

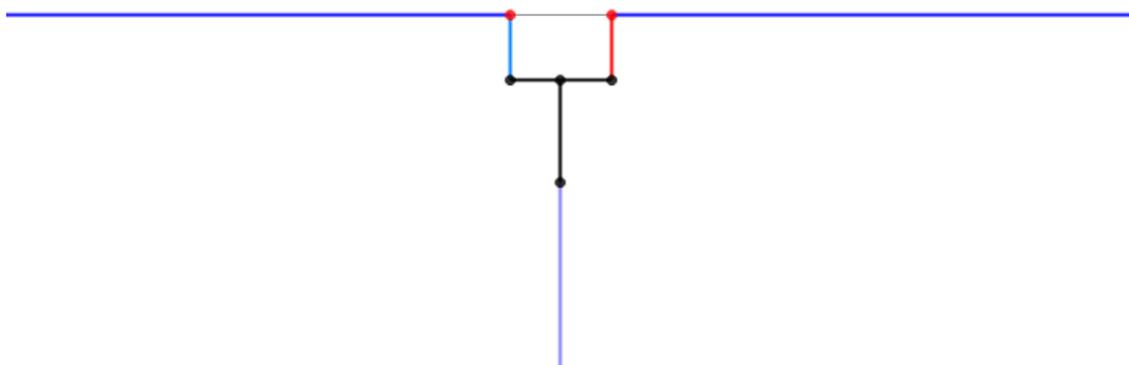


Figura 7 – Modello di calcolo- particolare: dispositivi di appoggio

I due tipi di impalcato sono stati modellati con elementi *frame* a cui sono state attribuite le caratteristiche geometriche ed inerziali coerenti con la loro reale geometria:

	Impalcato cap	Impalcato reticolare acciaio
A [mm²]	7.40	0.234
Jx [mm⁴]	3.08	11.54
Jy [mm⁴]	35.17	0.575
J tors. [mm⁴]	7.95	0.991
Avx [mm²]	2.26	-
Avy [mm²]	3.7	-

Le caratteristiche per gli impalcati, sopra indicate, sono state calcolate in base alla geometria degli stessi.

Le inerzie della campata reticolare (Jx, Jy e Jtors) sono state ricavate dall' apposito modello (struttura reticolare tridimensionale).

	Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione di calcolo	COMMESSA IA5F	LOTTO 01D	CODIFICA 09CL	DOCUMENTO VI0500002	REV. A

I carichi permanenti sono modellati come carichi statici applicati ai relativi elementi.

Gli effetti del traffico ferroviario sia in termini di azioni che di masse sono state considerate nello studio di vulnerabilità pari al 0.2 del valore caratteristico (ossia pari al valore quasi permanente).

Le masse sono state attribuite ai nodi di collegamento tra gli elementi di appoggio e i *frame* delle campate.

La tabella sottostante riporta i valori delle masse associate al modello:

	massa traslazionale	massa rotazionale
	ton	ton*m ²
Campata Acciaio	420	1535*
Campata cap 28m	382	2054*
Campata cap 23m	318	1712*
Pulvino campata cap	97	-
Pulvino campata acciaio	800	-

*le masse indicate comprendono quelle dovute ai pesi permanenti e quelle legate alla quota parte del carico variabile.

	Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale PROGETTO DEFINITIVO					
	<i>Relazione di calcolo</i>	COMMESSA IA5F	LOTTO 01D	CODIFICA 09CL	DOCUMENTO VI0500002	REV. A

9.2 Modellazione della campata reticolare

Al fine di effettuare la verifica di adeguamento sismico dell'impalcato reticolare si esegue una modellazione più dettagliata della struttura, rispetto a quella impiegata per la modellazione dell'intero viadotto.

La struttura reticolare è stata modellata al vero, con tutti gli elementi che la compongono ed è stata inserita al di sopra delle pile P2 e P3, anch'esse modellate secondo la geometria effettiva.

Le pile sono state poi considerate incastrate alla base.

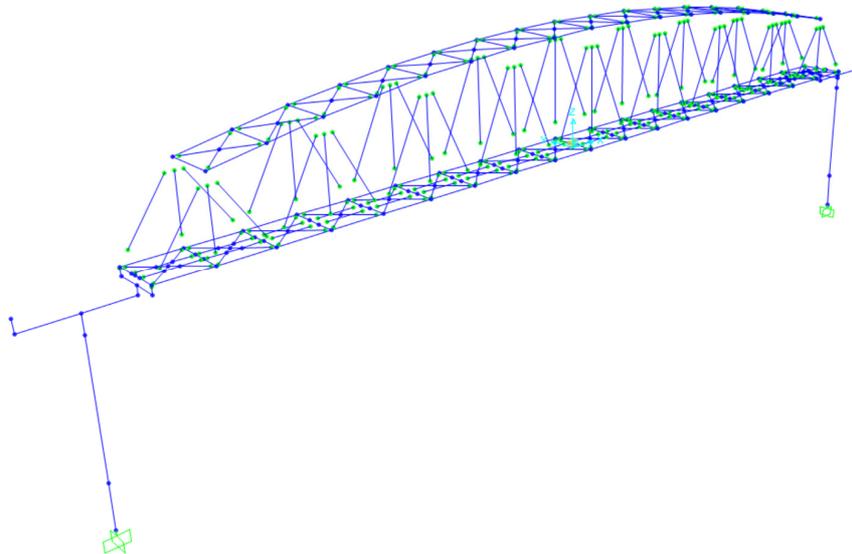


Figura 8 – Modello di calcolo della campata reticolare

Le masse considerate sono le seguenti:

$$G1 + G2 + 0.2 Q_{\text{treno}}$$

Le campate adiacenti, non rappresentate nella modellazione, sono state considerate quale massa agente in corrispondenza dei pulvini, coerentemente con il tipo di vincolo effettivamente presente (mobile o fisso longitudinale). Analogamente anche i pulvini sono stati schematizzati come masse concentrate.

	M traslazionale	M rotazionale
	ton	ton*m ²
Massa impalcato cap 28m	382	2054
Massa impalcato cap 23m	318	1712
Massa pulvino campata	800	-

10. RISULTATI DELLE ANALISI

Si riportano in sintesi i risultati dell'analisi dinamica lineare ottenuti dai modelli di calcolo.

10.1.1 Analisi modale del modello globale

Sono stati considerati un numero di modi la cui massa partecipante sia superiore all'85%, come richiesto dal DM18.

StepNum	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ
Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
1	1.626	0.0%	7.2%	0.0%	0%	7%	0%
2	0.483	0.1%	0.0%	7.1%	0%	7%	7%
3	0.227	18.5%	0.0%	0.2%	19%	7%	7%
16	0.090	11.4%	0.0%	0.0%	87%	78%	12%
18	0.080	0.0%	5.9%	0.0%	97%	84%	13%
23	0.061	0.4%	0.0%	8.6%	98%	85%	22%
36	0.030	0.0%	0.0%	17.1%	99%	88%	88%

10.1.2 Analisi modale del modello locale dell'impalcato reticolare

Sono stati considerati un numero di modi la cui massa partecipante sia superiore all'85%, come richiesto dal DM18. Di seguito si riportano i modi di vibrare più significativi.

StepNum	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ
Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
1	1.397	0.0%	36.5%	0.0%	0%	37%	0%
2	1.012	46.6%	0.0%	0.3%	47%	37%	0%
4	0.742	34.5%	0.0%	0.4%	81%	37%	1%
5	0.669	0.0%	43.7%	0.0%	81%	80%	1%
7	0.456	0.0%	0.0%	14.1%	81%	82%	15%
68	0.072	0.0%	0.0%	7.7%	83%	83%	27%
74	0.063	0.0%	0.0%	46.9%	83%	83%	79%
76	0.060	0.0%	0.0%	9.5%	83%	83%	89%
88	0.050	0.0%	16.3%	0.0%	83%	100%	93%
90	0.050	9.9%	0.0%	0.0%	93%	100%	93%

10.1.1 Sollecitazioni base pila

Si riportano le sollecitazioni agenti alla base delle pile avendo assunto un fattore di struttura $q=1.5$.

Pila	Comb.	N	V2	V3	M2	M3
-	-	KN	KN	KN	KN-m	KN-m
1	SLV1 (q=1.5)	-9116	4931	1040	8537	32702
1	SLV1 (q=1.5)	-10666	-4931	-1040	-8537	-32634
1	SLV3 (q=1.5)	-9312	1495	3467	28457	9940
1	SLV3 (q=1.5)	-10470	-1495	-3467	-28457	-9872
1	SLV2 (q=1.5)	-9116	4931	1040	8537	32702
1	SLV2 (q=1.5)	-10666	-4931	-1040	-8537	-32634
1	SLV4 (q=1.5)	-9312	1495	3467	28457	9940
1	SLV4 (q=1.5)	-10470	-1495	-3467	-28457	-9872

Pila	Comb.	N	V2	V3	M2	M3
-	-	KN	KN	KN	KN-m	KN-m
2	SLV1 (q=1.5)	-14320	8012	2382	28811	92770
2	SLV1 (q=1.5)	-18344	-8012	-2382	-28811	-93227
2	SLV3 (q=1.5)	-15293	2535	7942	96043	29084
2	SLV3 (q=1.5)	-17370	-2535	-7942	-96043	-29541
2	SLV2 (q=1.5)	-14320	8012	2382	28811	92770
2	SLV2 (q=1.5)	-18344	-8012	-2382	-28811	-93227
2	SLV4 (q=1.5)	-15293	2535	7942	96043	29084
2	SLV4 (q=1.5)	-17370	-2535	-7942	-96043	-29541

Pila	Comb.	N	V2	V3	M2	M3
-	-	KN	KN	KN	KN-m	KN-m
3	SLV1 (q=1.5)	-13664	3815	2275	27223	39053
3	SLV1 (q=1.5)	-17630	-3815	-2275	-27223	-46122
3	SLV3 (q=1.5)	-14612	1284	7585	90748	10622
3	SLV3 (q=1.5)	-16683	-1284	-7585	-90748	-17692
3	SLV2 (q=1.5)	-13664	3815	2275	27223	39053
3	SLV2 (q=1.5)	-17630	-3815	-2275	-27223	-46122
3	SLV4 (q=1.5)	-14612	1284	7585	90748	10622
3	SLV4 (q=1.5)	-16683	-1284	-7585	-90748	-17692

Pila	Comb.	N	V2	V3	M2	M3
-	-	KN	KN	KN	KN-m	KN-m
4	SLV1 (q=1.5)	-8863	4489	1033	9621	35688
4	SLV1 (q=1.5)	-10442	-4489	-1033	-9621	-35072
4	SLV3 (q=1.5)	-9076	1356	3444	32072	10985
4	SLV3 (q=1.5)	-10229	-1356	-3444	-32072	-10369
4	SLV2 (q=1.5)	-8863	4489	1033	9621	35688
4	SLV2 (q=1.5)	-10442	-4489	-1033	-9621	-35072
4	SLV4 (q=1.5)	-9076	1356	3444	32072	10985
4	SLV4 (q=1.5)	-10229	-1356	-3444	-32072	-10369

10.1.1 Azioni in fondazione

Si riportano le sollecitazioni agenti alla base delle pile avendo assunto un fattore di struttura $q=1$.

Nel seguente paragrafo si riportano le sollecitazioni agenti all'estradosso dei plinti di fondazione a seguito degli interventi di adeguamento della struttura.

Si utilizza la seguente nomenclatura:

N = azione verticale

M long = momento che inflette l'asse parallelo all'asse longitudinale dell'impalcato

M trasv = momento che inflette l'asse perpendicolare all'asse longitudinale dell'impalcato

V long = taglio agente in direzione longitudinale (parallelo all'asse del ponte)

V trasv = taglio agente in direzione trasversale (perpendicolare all'asse del ponte)

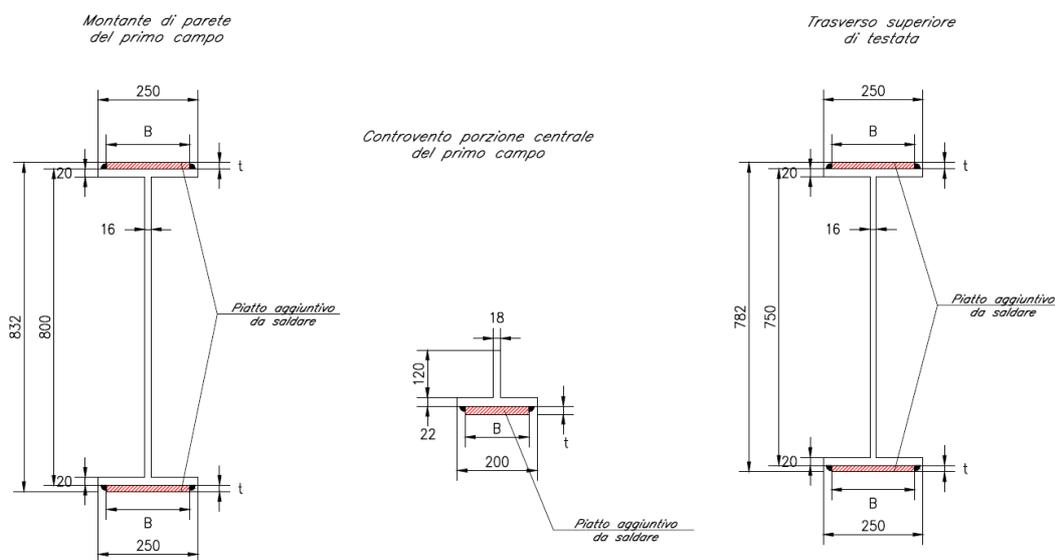
pila	comb.	N	M long	M trasv	V long	V trasv
		kN	kNm	kNm	kN	kN
1	SLV_x	11053	48965	12805	7396	1560
	SLV_x	8729	-49034	-12805	-7396	-1560
	SLV_y	10759	14825	42684	2243	5201
	SLV_y	9023	-14893	-42684	-2243	-5201
2	SLV_x	19349	139720	43217	12017	3574
	SLV_x	13314	-139263	-43217	-12017	-3574
	SLV_y	17889	44197	144057	3803	11912
	SLV_y	14774	-43740	-144057	-3803	-11912
3	SLV_x	18622	67413	40835	5722	3413
	SLV_x	12673	-60343	-40835	-5722	-3413
	SLV_y	17201	24770	136115	1926	11376
	SLV_y	14094	-17701	-136115	-1926	-11376
4	SLV_x	10836	52759	14432	6734	1550
	SLV_x	8469	-53375	-14432	-6734	-1550
	SLV_y	10517	15708	48106	2034	5166
	SLV_y	8787	-16324	-48106	-2034	-5166

11. VERIFICA DEGLI INTERVENTI DI MIGLIORAMENTO SISMICO DELL'IMPALCATO RETICOLARE

L'adeguamento dell'impalcato reticolare ha previsto l'impiattamento degli elementi che sono risultati inadeguati in fase di vulnerabilità sismica, in particolare:

- Trasverso superiore di testata
- Montante di parete del primo campo
- Elemento interno del controvento inferiore

Le immagini seguenti rappresentano lo schema di intervento previsto sui vari elementi strutturali della reticolare.



Elemento	Dimensioni piatto aggiuntivo		
	B [mm]	t [mm]	num.
Montante di parete	210	18	2
Controvento inferiore centrale	160	22	1
Trasverso superiore di testata	210	14	2

L'obiettivo dell'intervento proposto è il raggiungimento della resistenza almeno pari all'80% di quella richiesta ad una nuova struttura.

L'esito delle verifiche è riassunto dall'indice ρ che rappresenta il rapporto tra la sollecitazione e la resistenza della sezione verificata: $\rho = \text{Domanda/Capacità} = \frac{E_d}{R_d}$. In conseguenza di quanto indicato sopra la verifica di resistenza dell'elemento strutturale è considerata superata se $\rho < 1.25$.

Si riportano le verifiche delle analisi effettuate per i succitati elementi in termini di:

- verifiche di resistenza a trazione
- verifiche di stabilità a compressione e pressoflessione

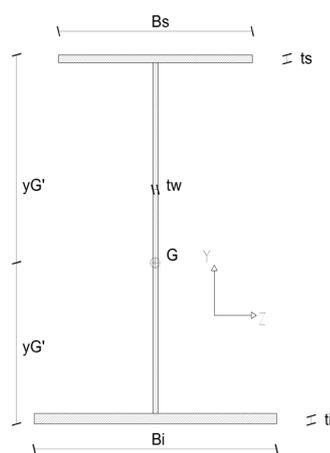
Le sollecitazioni sismiche fanno riferimento ad un fattore di comportamento $q = 1$.

11.1 Trasverso superiore di testata dell'impalcato reticolare

SOLLECITAZIONI						
comb.	P	V2	V3	T	M2	M3
M3 max	118	739	2	0	6	1734
M3 min	38	-736	-2	0	-5	-1739

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE SEZIONE

SEZIONE		
Altezza H	750	mm
Larghezza ala sup. Bs	250	mm
Spessore ala sup. ts	34	mm
Larghezza ala inf. Bi	250	mm
Spessore ala inf. ti	34	mm
Spessore anima tw	16	mm
Altezza anima hw	682	mm
Area A	27912	mm ²
Baricentro yG	375	mm
Baricentro yG'	375	mm
Momento d'inerzia Iz	2.60.E+09	mm ⁴
Modulo elastico Wz,el(+)	6.94.E+06	mm ³
Modulo elastico Wz,el(-)	6.94.E+06	mm ³
Momento d'inerzia Iy	8.88.E+07	mm ⁴
Modulo elastico Wy,el	7.10.E+05	mm ³
Area di taglio Av Z	17000	mmq
Area di taglio Av Y	12000.00	mmq
Parametro a	0.39	-
Lunghezza libera di inf. L0	5600.0	mm
coefficiente inst β_z	1.0	-



§4.2.19

§4.2.19

§4.2.38

Relazione di calcolo	COMMESSA IA5F	LOTTO 01D	CODIFICA 09CL	DOCUMENTO VI0500002	REV. A	FOGLIO 26 di 32
----------------------	------------------	--------------	------------------	------------------------	-----------	--------------------

coefficiente inst β_y	1.0	-
Giratore di inerzia pz	305	mm
Giratore di inerzia py	56	mm

11.1.1 Verifiche di resistenza

Tipo Verifica	M3 max		M3 min	
	XRd	$\rho(<1)$	XRd	$\rho(<1)$
Trazione/Compressione [kNm]	7310	0.02	7310	0.01
Flessione retta Z [kNm]	1818	0.95	1818	0.96
Flessione retta Y [kNm]	186	0.03	186	0.03
Presso/Tenso flessione retta Z [kNm]	1818	0.95	1818	0.96
Presso/Tenso flessione retta Y [kNm]	186	0.03	186	0.03
Presso/Tenso flessione biax	//	0.98	//	0.99
Taglio Z [kN]	2571	0.29	2571	0.29
Taglio Y [kN]	1815	0.00	1815	0.00
Taglio-flessione Z	NON NECESS	0.29	NON NECESS	0.29
MyVrd,Z [kNm]	-	-	-	-
Taglio-flessione Y	NON NECESS	0.00	NON NECESS	0.00
MyVrd,Z [kNm]	-	-	-	-

11.1.2 Verifiche di stabilità

Compressione semplice

Parametro	z	y	[-]
Snellezza critica λ_c	86.81	86.81	-
Lunghezza libera di inflessione	5600	5600	mm
Snellezza λ	18.3	99.3	-
Snellezza normalizzata λ_{norm}	0.21	1.14	-
tf	34	34	mm
Curva di instabilità α	0.34	0.49	-
Coefficiente Φ	1	1	-
Coefficiente χ	0.996	0.461	-
Resistenza Nb,rd	7281	3373	kN

	M3 max	M3 min
$\rho(<1.25)$	SEZ.TESA	SEZ.TESA

Pressoflessione (metodo A)

Parametro	M3 max		M3 min	
	z	y	z	y
Lunghezza libera di inflessione [mm]	5600	5600	5600	5600
Carico critico Euleriano Ncr	172060	172060	172060	172060
M m Ed [kNm]	1300	4	1304	4
M eq Ed [kNm]	1690	6	1696	5
χ min	0.461		0.461	
TEST (ok se <1.25)	SEZ.TESA		SEZ.TESA	

11.1.3 Conclusioni

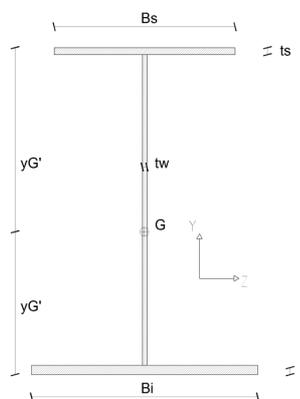
Il coefficiente ρ massimo per le verifiche di questi elementi è pari a $0.99 < 1.25$, pertanto le verifiche sono soddisfatte.

11.2 Montante di parete del primo campo

SOLLECITAZIONI						
comb.	P	V2	V3	T	M2	M3
M3 max	856	440	0	0	0	1797
M3 min	-676	-443	0	0	0	-1822

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE SEZIONE

SEZIONE			
Altezza H	800	mm	
Larghezza ala sup. Bs	250	mm	
Spessore ala sup. ts	48	mm	
Larghezza ala inf. Bi	250	mm	
Spessore ala inf. ti	48	mm	
Spessore anima tw	16	mm	
Altezza anima hw	704	mm	
Area A	35264	mm ²	
Baricentro yG	400	mm	
Baricentro yG'	400	mm	
Momento d'inerzia Iz	3.86.E+09	mm ⁴	
Modulo elastico Wz,el(+)	9.66.E+06	mm ³	
Modulo elastico Wz,el(-)	9.66.E+06	mm ³	
Momento d'inerzia Iy	1.25.E+08	mm ⁴	
Modulo elastico Wy,el	1.00.E+06	mm ³	
Area di taglio Av Z	12800	mmq	§4.2.19
Area di taglio Av Y	24000.00	mmq	§4.2.19
Parametro a	0.32	-	§4.2.38



Lunghezza libera di inf. L0	6600	mm
coefficiente inst β_z	1.0	-
coefficiente inst β_y	1.0	-
Giratore di inerzia pz	331	mm
Giratore di inerzia py	60	mm

11.2.1 Verifiche di resistenza

Tipo Verifica	M3 max		M3 min	
	XRd	$\rho(<1)$	XRd	$\rho(<1)$
Trazione/Compressione [kNm]	9236	0.09	9236	0.07
Flessione retta Z [kNm]	2529	0.71	2529	0.72
Flessione retta Y [kNm]	262	0.00	262	0.00
Presso/Tenso flessione retta Z [kNm]	2529	0.71	2529	0.72
Presso/Tenso flessione retta Y [kNm]	262	0.00	262	0.00
Presso/Tenso flessione biax	//	0.71	//	0.72
Taglio Z [kN]	1935	0.23	1935	0.23
Taglio Y [kN]	3629	0.00	3629	0.00
Taglio-flessione Z	NON NECESS	0.23	NON NECESS	0.23
MyVrd,Z [kNm]	-	-	-	-
Taglio-flessione Y	NON NECESS	0.00	NON NECESS	0.00
MyVrd,Z [kNm]	-	-	-	-

11.2.2 Verifiche di stabilità

Compressione semplice

Parametro	z	y	[-]
Snellezza critica λ_c	86.81	86.81	-
Lunghezza libera di inflessione	6600	6600	mm
Snellezza λ	19.9	110.7	-
Snellezza normalizzata λ_{norm}	0.23	1.28	-
tf	48	48	mm
Curva di instabilità α	0.49	0.76	-
Coefficiente Φ	1	2	-
Coefficiente χ	0.985	0.347	-
Resistenza Nb,rd	9096	3207	kN

	M3 max	M3 min
$\rho(<1.25)$	SEZ.TESA	0.21

Pressoflessione (metodo A)

Parametro	M3 max		M3 min	
	z	y	z	y
Lunghezza libera di inflessione [mm]	6600	6600	6600	6600
Carico critico Euleriano Ncr	183797	183797	183797	183797
M m Ed [kNm]	1348	0	1367	0
M eq Ed [kNm]	1753	0	1777	0
χ min	0.347		0.347	
TEST (ok se <1.25)	SEZ.TESA		0.97	

11.2.3 Conclusioni

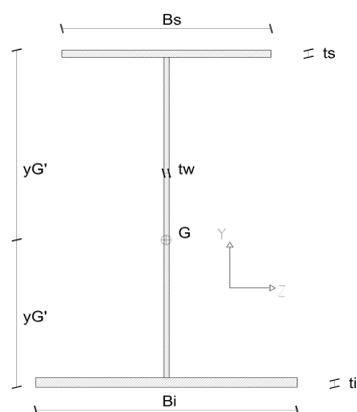
Il coefficiente ρ massimo per le verifiche di questi elementi è pari a $0.97 < 1.25$, pertanto le verifiche sono soddisfatte.

11.3 Elemento interno del controvento inferiore

SOLLECITAZIONI						
comb.	P	V2	V3	T	M2	M3
Trazione max	1667	3	83	0	40	3
Compressione max	-1430	-3	-83	0	-49	-4

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE SEZIONE

SEZIONE		
Altezza H	164	mm
Larghezza ala sup. Bs	0	mm
Spessore ala sup. ts	0.0	mm
Larghezza ala inf. Bi	200	mm
Spessore ala inf. ti	44.0	mm
Spessore anima tw	18.0	mm
Altezza anima hw	120.0	mm
Area A	10960	mm ²
Baricentro yG	34	mm
Baricentro yG'	130	mm
Momento d'inerzia Iz	1.08.E+08	mm ⁴
Modulo elastico Wz,el(+)	3.21.E+06	mm ³
Modulo elastico Wz,el(-)	8.33.E+05	mm ³
Momento d'inerzia Iy	2.94.E+07	mm ⁴
Modulo elastico Wy,el	2.94.E+05	mm ³
Area di taglio Av Z	8800	mmq
Area di taglio Av Y	2160.00	mmq



§4.2.19

§4.2.19

Parametro a	0.20	-	§4.2.38
Lunghezza libera di inf. L0	600.0	mm	
coefficiente inst β_z	1.0	-	
coefficiente inst β_y	1.0	-	
Giratore di inerzia p_z	99	mm	
Giratore di inerzia p_y	52	mm	

11.3.1 Verifiche di resistenza

Tipo Verifica	Trazione max		Compressione max	
	XRd	$\rho(<1)$	XRd	$\rho(<1)$
Trazione/Compressione [kNm]	2870	0.58	2870	0.50
Flessione retta Z [kNm]	218	0.01	218	0.02
Flessione retta Y [kNm]	77	0.52	77	0.64
Presso/Tenso flessione retta Z [kNm]	101	0.03	121	0.03
Presso/Tenso flessione retta Y [kNm]	59	0.67	66	0.75
Presso/Tenso flessione biax	//	0.31	//	0.49
Taglio Z [kN]	1331	0.00	1331	0.00
Taglio Y [kN]	327	0.25	327	0.25
Taglio-flessione Z	NON NECESS	0.00	NON NECESS	0.00
MyVrd,Z [kNm]	-	-	-	-
Taglio-flessione Y	NON NECESS	0.25	NON NECESS	0.25
MyVrd,Z [kNm]	-	-	-	-

11.3.2 Verifiche di stabilità

Compressione semplice

Parametro	z	y	[-]
Snellezza critica λ_c	86.81	86.81	-
Lunghezza libera di inflessione	600	600	mm
Snellezza λ	6.0	11.6	-
Snellezza normalizzata λ_{norm}	0.07	0.13	-
tf	44	44	mm
Curva di instabilità α	0.49	0.76	-
Coefficiente Φ	0	0	-
Coefficiente χ	1.000	1.000	-
Resistenza Nb,rd	2870	2870	kN

	Trazione max	Compressione max
$\rho(<1.25)$	SEZ.TESA	0.50

Pressoflessione (metodo A)

Parametro	Trazione max		Compressione max	
	z	y	z	y
Lunghezza libera di inflessione [mm]	600	600	600	600
Carico critico Euleriano Ncr	624480	624480	624480	624480
M m Ed [kNm]	2	30	3	37
M eq Ed [kNm]	3	39	4	48
χ min	1.000		1.000	
TEST (ok se <1)	SEZ.TESA		1.22	

11.3.3 Conclusioni

Il coefficiente p massimo per le verifiche di questi elementi è pari a $1.22 < 1.25$, pertanto le verifiche sono soddisfatte.