

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

Vulnerabilità NV 03

SCALA:

-

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

I A 5 F 0 1 D 0 9 C L N V 0 3 0 0 0 0 1 A

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

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

File: IA6F03D09CLNV0300001A_Vulnerabilità NV03_rev1.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 – Vulnerabilità NV03</i>	COMMESSA IA5F	LOTTO 01D0	CODIFICA 09CL	DOCUMENTO NV0300001	REV. A

INDICE

1.	INTRODUZIONE	4
2.	RIFERIMENTI NORMATIVI	5
3.	ELABORATI DI RIFERIMENTO	5
4.	MATERIALI	6
5.	DESCRIZIONE DELL'OPERA	7
5.1	Descrizione delle carpenterie e delle armature	10
6.	ANALISI DEI CARICHI	14
6.1	Carichi permanenti g1, g2	14
7.	AZIONE SISMICA	16
8.	FATTORE DI COMPORTAMENTO	24
9.	METODO DI ANALISI	24
10.	MODELLO DI CALCOLO	25
11.	RISULTATI DELLE ANALISI	28
11.1	Analisi modale	28
11.1.1	<i>Modello 1</i>	28
11.1.2	<i>Modello 2</i>	29
11.2	Sezione di base fusto pila (modello 1)	30
11.3	Sistema pila-appoggio (modello 2)	31
12.	VERIFICHE DI SICUREZZA	32
12.1	Pile	32
12.1.1	<i>Verifica del meccanismo duttile dei fusti</i>	32
12.1.2	<i>Verifica del meccanismo fragile dei fusti</i>	35
12.1.3	<i>Indice di rischio in resistenza delle pile</i>	38
12.2	Appoggi	39
12.2.1	<i>Verifica in spostamento degli appoggi</i>	39
12.2.2	<i>Indice di rischio in spostamento degli appoggi</i>	40
12.2.3	<i>Perdita dell'appoggio</i>	41
12.2.4	<i>Indice di rischio per perdita dell'appoggio</i>	42

	<p>Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p>					
<i>Relazione di calcolo – Vulnerabilità NV03</i>	COMMESSA IA5F	LOTTO 01D0	CODIFICA 09CL	DOCUMENTO NV0300001	REV. A	FOGLIO 3 di 43

13. CONCLUSIONI43

	Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale PROGETTO DEFINITIVO					
	<i>Relazione di calcolo – Vulnerabilità NV03</i>	COMMESSA IA5F	LOTTO 01D0	CODIFICA 09CL	DOCUMENTO NV0300001	REV. A

1. INTRODUZIONE

Oggetto della presente relazione è la definizione della vulnerabilità sismica del Cavalcavia NV03 – cavalcavia stradale provinciale 211, al km 09+283, che scavalca la linea Ferrandina Matera.

L'opera giace su un tracciato planimetrico curvilineo e si compone di 9 campate da 28 m, con un impalcato di larghezza 13.25 m e schema statico di travi poggiate.

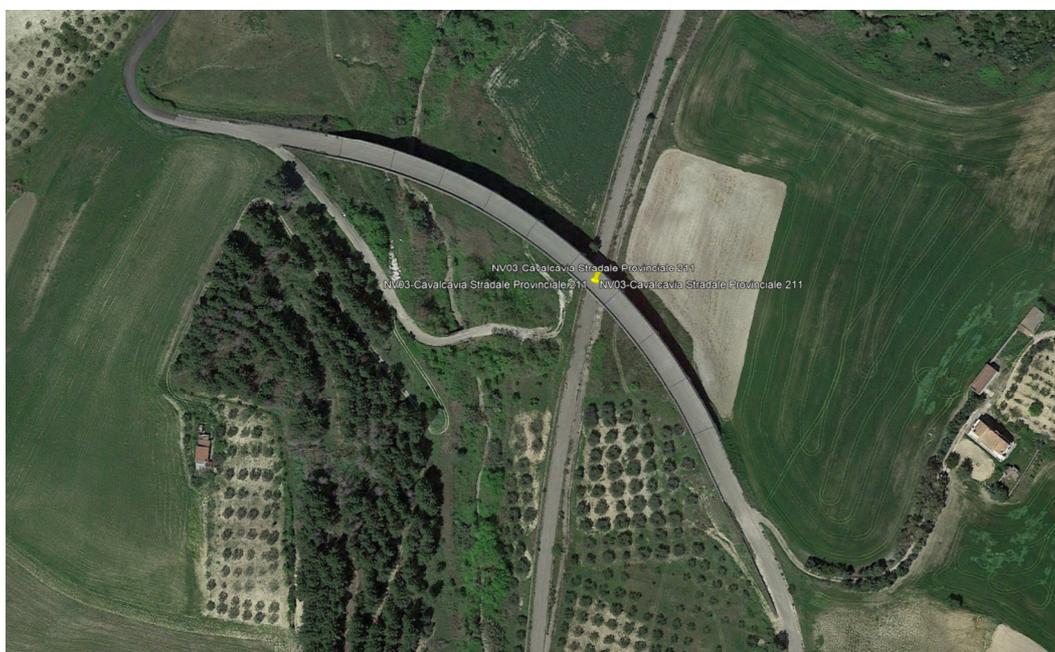


Figura 1 – Vista dell'opera

La risposta sismica dell'opera determina delle soggezioni alla sicurezza della sottostante linea ferroviaria. Pertanto il presente studio è volto a valutare l'entità di tali soggezioni. Considerata la tipologia di opera, l'obiettivo ricercato è ottenibile attraverso l'esecuzione di un'analisi sismica del cavalcavia limitata alle sole strutture relative alla campata di scavalco.

Gli elementi/meccanismi presi a riferimento nello studio sono i seguenti:

- Collasso degli elementi verticali
- Collasso degli apparecchi d'appoggio;
- Perdita d'appoggio delle travi.

 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 – Vulnerabilità NV03</i>	COMMESSA IA5F	LOTTO 01D0	CODIFICA 09CL	DOCUMENTO NV0300001	REV. A

Per ciascuno dei meccanismi indicati è stato valutato l'indice di rischio sismico nei vari stati limite di riferimento, espresso attraverso il rapporto tra l'accelerazione sismica al suolo di capacità (PGA_c) e quella di domanda (PGA_d):

$$I_R = \frac{PGA_c}{PGA_d}$$

In generale il valore minimo ottenuto tra tutti i meccanismi indagati è rappresentativo del grado di sicurezza sismica dell'opera.

2. RIFERIMENTI NORMATIVI

- [1] D.M. 17 gennaio 2018 (G.U. 20 febbraio 2018 n. 42) - Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni».
- [2] RFI DTC SI PS MA IFS 001 C - Manuale di Progettazione delle Opere Civili - Parte II – Sezione 2 – Ponti e Strutture
- [3] Circolare 21 Gennaio 2019 n. 7 C.S.LL.PP. (G.U. n. 35 del 11 febbraio 2019) - Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.
- [4] Progetto DOC-Reluis 2005-2008 – linea 3: Valutazione e riduzione del rischio sismico di ponti esistenti – “linee guida e manuale applicativo per la valutazione della sicurezza sismica e il consolidamento dei ponti esistenti in c.a.” marzo 2009
- [5] EUROCODE 1998-1 Progettazione delle strutture per la resistenza sismica. Parte 1: Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici
- [6] EUROCODE 1998-2 Progettazione delle strutture per la resistenza sismica. Parte 2: Ponti

3. ELABORATI DI RIFERIMENTO

TITOLO ELABORATO	CODICE ELABORATO
relazione di calcolo	RT.VP.2.12.E
relazione appoggi	RT.1
carpenteria impalcato	SV.POM.03

 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 – Vulnerabilità NV03</i>	COMMESSA IA5F	LOTTO 01D0	CODIFICA 09CL	DOCUMENTO NV0300001	REV. A

armatura spalle	v.p.2.9.e
armatura pile	v.p.2.10.e
armatura trave	V.P.2.12.E
acciaio armature pile spalle e fondazioni	CM Armatura Pile, Fondazioni Pila1 e Spalla A, Gabbie armatura pali
acciaio armature solette e muri andatori	CM Armatura solette e muri andatori
acciaio armature pile spalle	Fiery_BW_14017
cuscinetti neoprene	CM cuscinetti neoprene
calcestruzzo pile 2 3 5 7 8	CM cls Pila ,2,3,5,7,8 viadotto 9+283
calcestruzzo muro sottoscarpa spalla	CM CLS muro di sottoscarpa spalla A

4. MATERIALI

La tabella seguente riassume le caratteristiche dei materiali impiegate nell'analisi sismica dell'opera, rimandando, per maggiori informazioni circa prove effettuate e livello di conoscenza raggiunto alla specifica relazione illustrativa (IA5F01D09ROVI0000001A).

Pile	Meccanismi duttili	Meccanismi fragili
resistenza a compressione cls f_c (Mpa)	16.67	11.11
resistenza a trazione armatura f_y (Mpa)	312.5	272.7
deformazione ultima del calcestruzzo ϵ_{cc}	0.35%	-
deformazione di snervamento armatura ϵ_{sy}	0.19%	-
deformazione ultima armatura ϵ_{su}	4.0%	-

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione di calcolo – Vulnerabilità NV03	COMMESSA IA5F	LOTTO 01D0	CODIFICA 09CL	DOCUMENTO NV0300001	REV. A

5. DESCRIZIONE DELL'OPERA

L'opera oggetto delle analisi è un cavalcavia stradale che attraversa la linea ferroviaria Ferrandina-Matera a binario singolo, di lunghezza complessiva 255m. Il cavalcavia è costituito da tre campate in c.a.p. in semplice appoggio di luce pari a 28m (Lc=26.55m in asse ponte); l'opera planimetricamente presenta una curvatura di raggio R= 250m.

Le pile sono di due tipologie differenti:

- formati da tre fusti di sezione rettangolare 1.60x1.40m
- formati con un setto unico di sezione rettangolare, smussata in corrispondenza degli spigoli, di dimensioni 10.30x0.80m (lorde).

Le fondazioni sono di tipo profondo su pali D800.

Le spalle sono costituite da strutture scatolari in c.a. (muro frontale di spessore variabile tra 1.14m e 1.86m, muri andatori di spessore 1.00m, zattera di fondazione di spessore 1.50m) con fondazione su pali D800.

Di seguito le tabelle riassuntive dei dati del cavalcavia in esame:

pile	h fusto	dim fusto	h pulvino	dim plinto	sp plinto
-	m	mxm	m	mxm	m
1	6.25	3x1.40x1.60	min 1.25m; max 2.04m	5.00x12.00	1.5
2	8.20	3x1.40x1.60	min 1.25m; max 2.04m	5.00x12.00	1.5
3	9.35	3x1.40x1.60	min 1.25m; max 2.04m	5.00x12.00	1.5
4	10.20	3x1.40x1.60	min 1.25m; max 2.04m	5.00x12.00	1.5
5	11.00	3x1.40x1.60	min 1.25m; max 2.04m	5.00x12.00	1.5
6	9.65	3x1.40x1.60	min 1.25m; max 2.04m	5.00x12.00	1.5
7	10.85	10.30x0.80	min 1.25m; max 2.04m	5.00x12.00	1.5
8	9.80	10.30x0.80	min 1.25m; max 2.04m	5.00x12.00	1.5

spalle	h muro front.	sp muro	h paragh.	sp paragh.	dim plinto	sp plinto
-	m	m	m	m	mxm	m
A	5.7	1.14-1.86	1.5	0.6	12.75x10.60	1.5
B	7.4	1.14-1.86	1.5	0.6	12.75x10.60	1.5

Le travi d'impalcato poggiano su cuscinetti in gomma armata di dimensioni 20cm x 40cm x 3.2cm.

Le figure seguenti rappresentano alcuni estratti significativi degli elaborati di progetto originali:

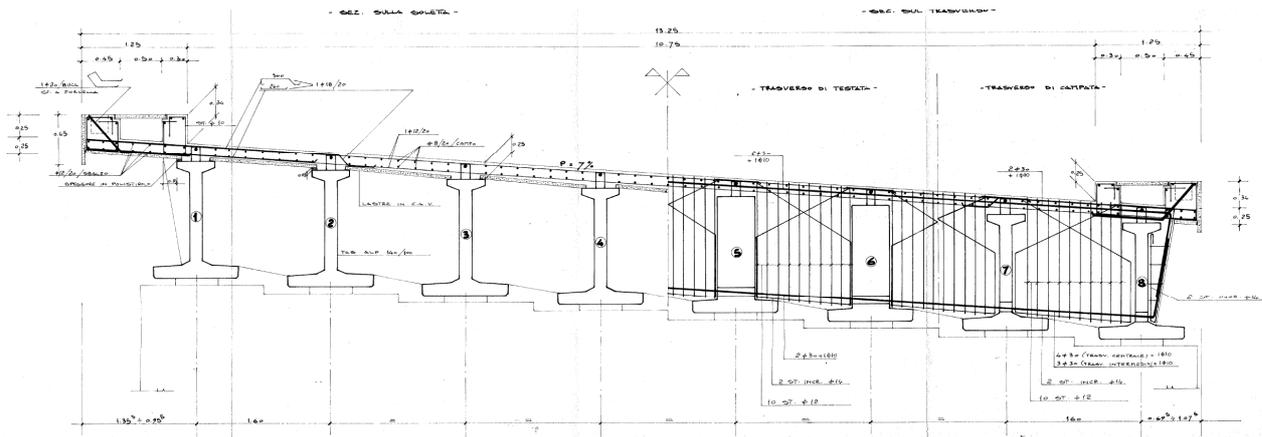


Figura 2 - Sezione trasversale impalcato

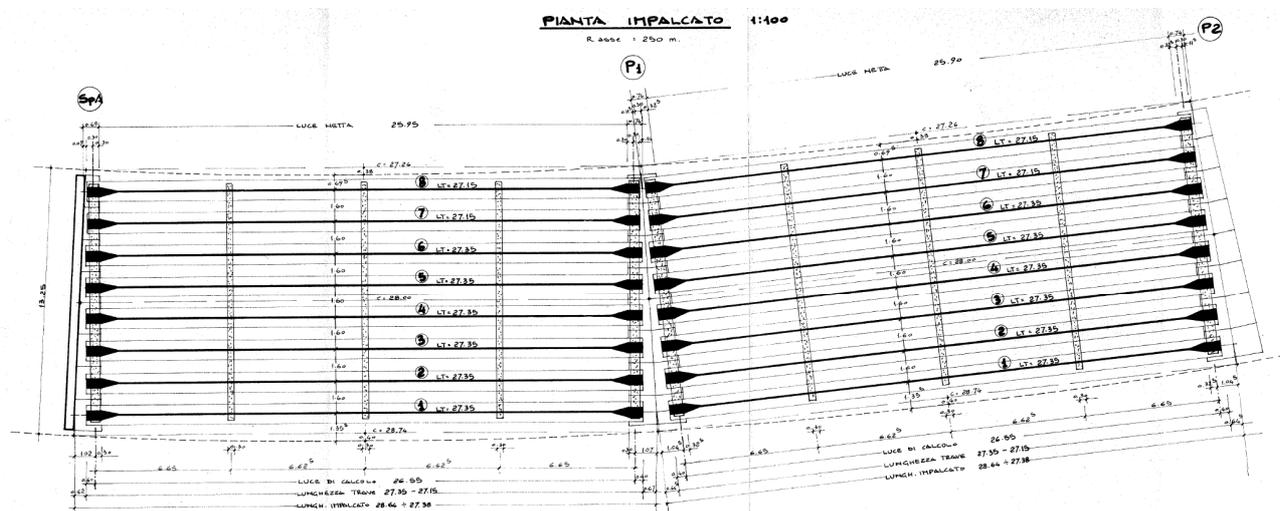


Figura 3 – Pianta (porzione)

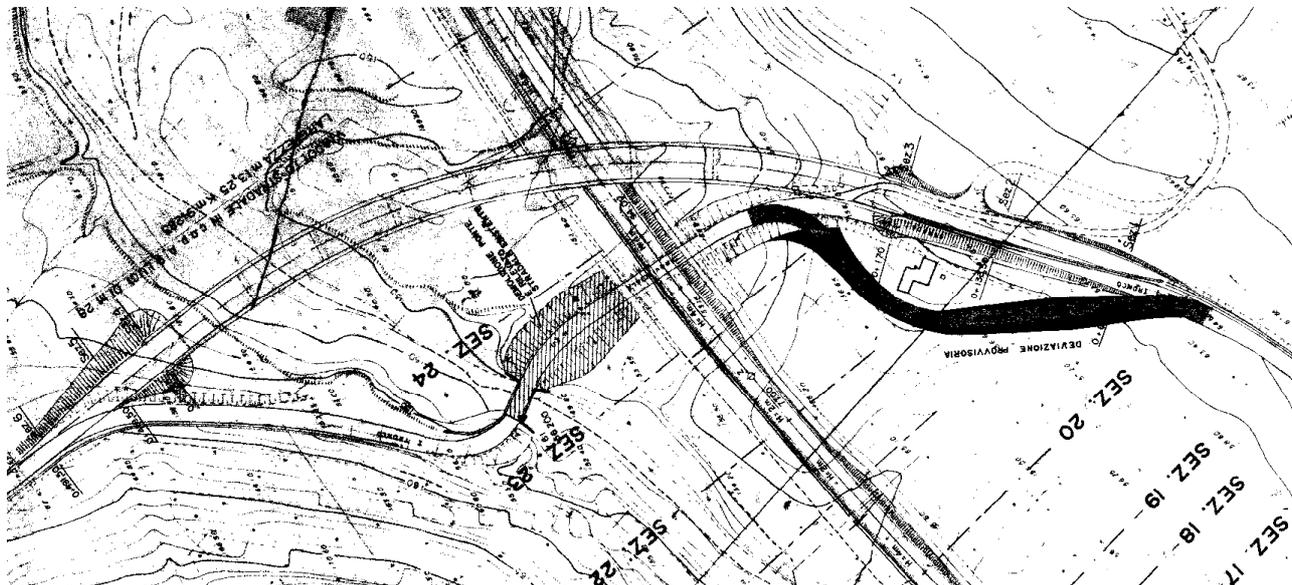


Figura 4 – Planimetria

Dal momento che le strutture di elevazione di interesse per il presente studio sono quelle di scavalco della linea ferroviaria, le analisi si concentreranno sulle pile P3 e P4.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione di calcolo – Vulnerabilità NV03	COMMESSA IA5F	LOTTO 01D0	CODIFICA 09CL	DOCUMENTO NV0300001	REV. A

5.1 Descrizione delle carpenterie e delle armature

Dagli elaborati del progetto originale si evince la configurazione delle carpenterie e delle armature relative ai vari elementi strutturali; confermate dalle indagini realizzate sull'opera di cui alla relazione **IA5F03D09ROVI0000003A**. In particolare, per le analisi di interesse della presente relazione, si riporta il dettaglio delle armature delle pile:

fusto pile

pile a 3 fusti

armatura	flessione	fi24/10
	taglio	fi12/25

I pali di fondazione, hanno diametro $d=0.8\text{m}$ e armatura costituita da:

pali di fondazione pile

diametro 800 mm

		pila 1		pile 2-8	
		superiore	inferiore	superiore	inferiore
armatura	flessione	12fi18	6fi18	10fi20	5fi20
	taglio	fi8/10	fi8/20	fi8/10	fi8/20

Di seguito il dettaglio delle tavole di progetto.

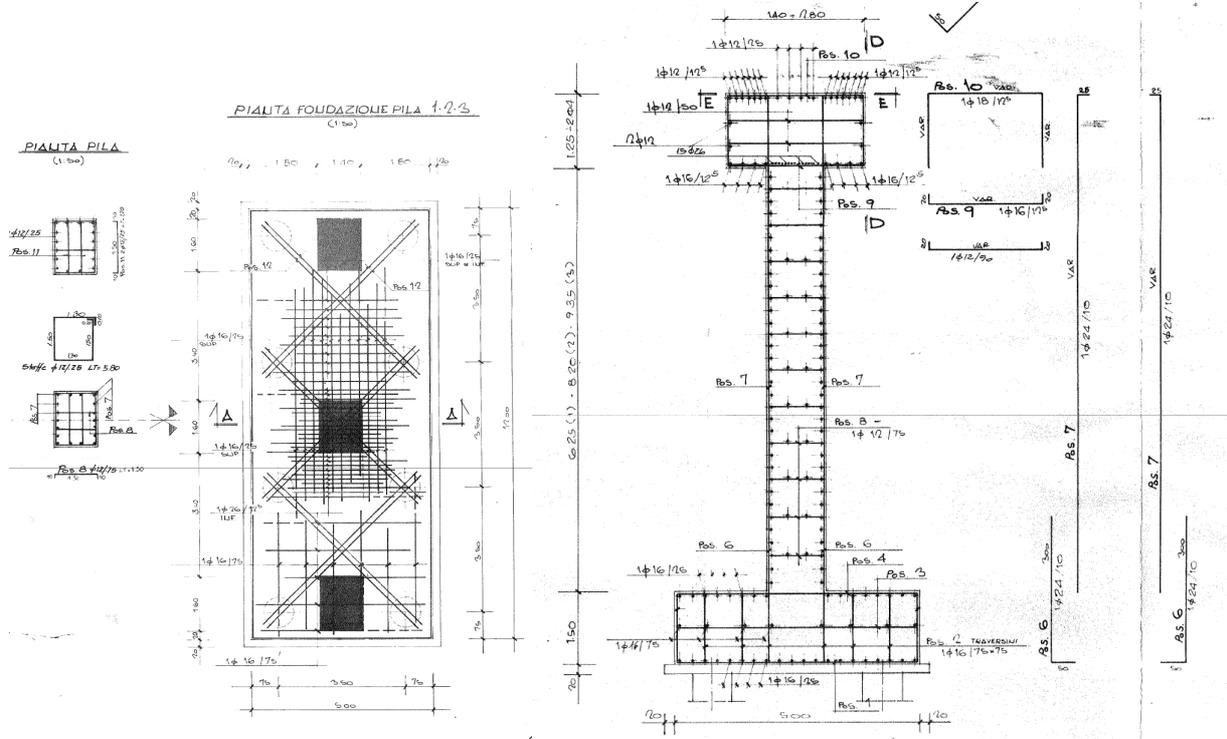


Figura 5 – pianta e sezione - pile 1-3

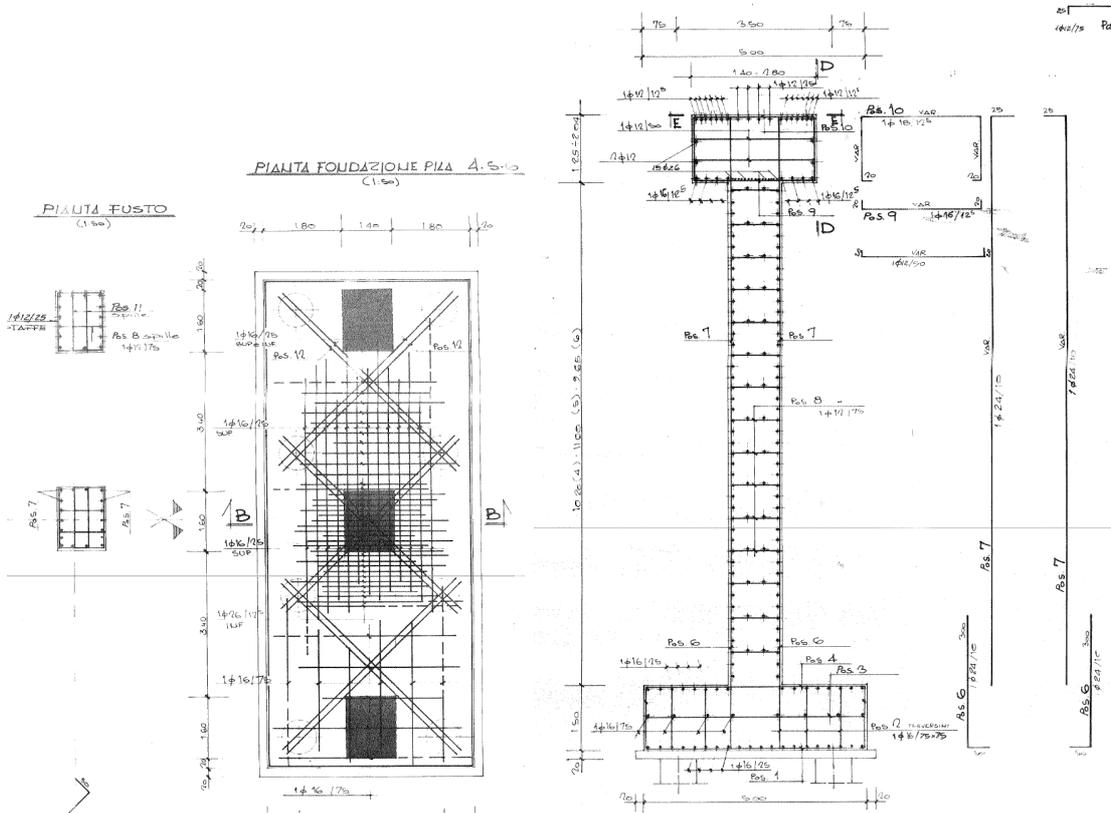


Figura 6 – pianta e sezione - pile 4-6

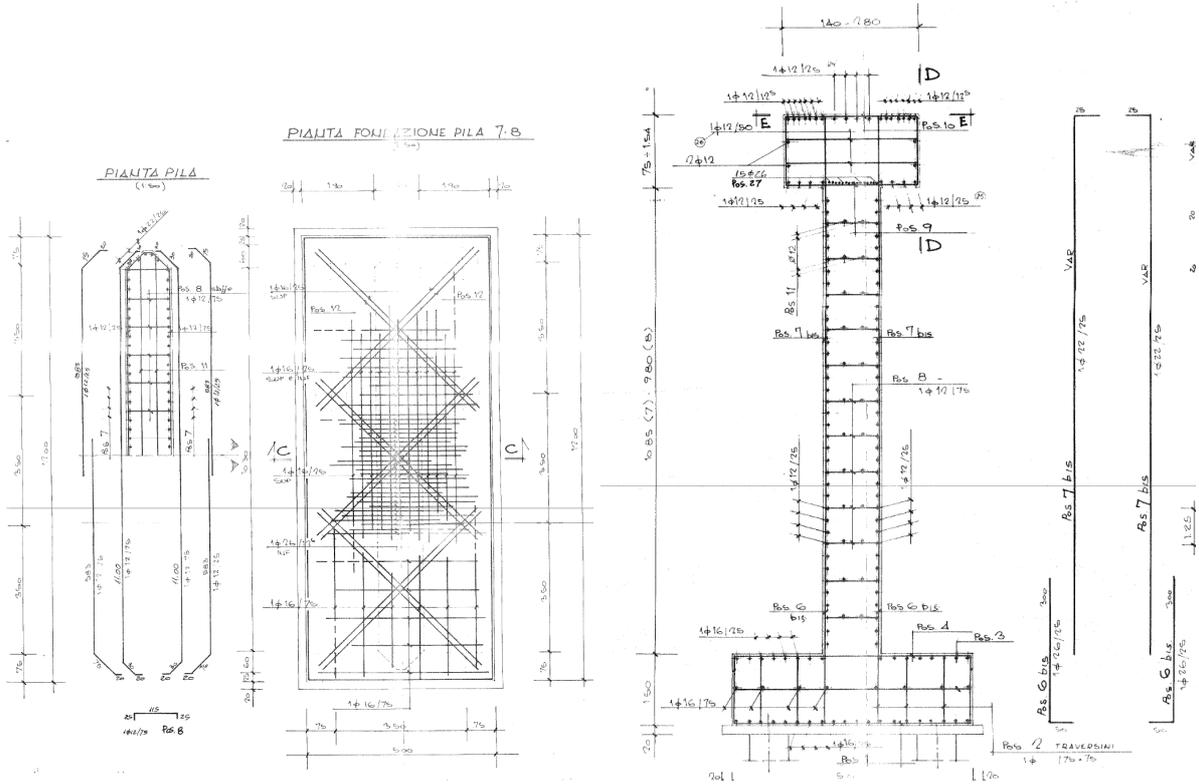
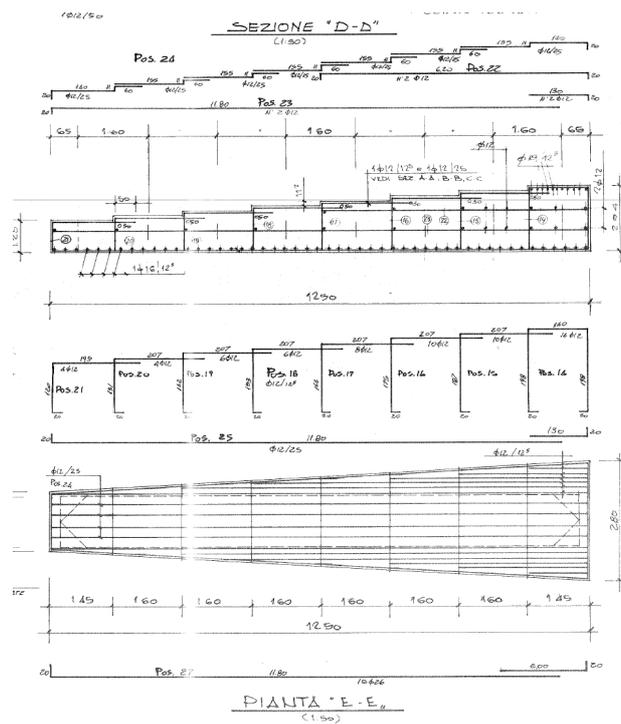


Figura 7 – pianta e sezione – pile 7-8



 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p>					
	<p>Relazione di calcolo – Vulnerabilità NV03</p>	<p>COMMESSA IA5F</p>	<p>LOTTO 01D0</p>	<p>CODIFICA 09CL</p>	<p>DOCUMENTO NV0300001</p>	<p>REV. A</p>

Figura 8 – dettaglio pulvino

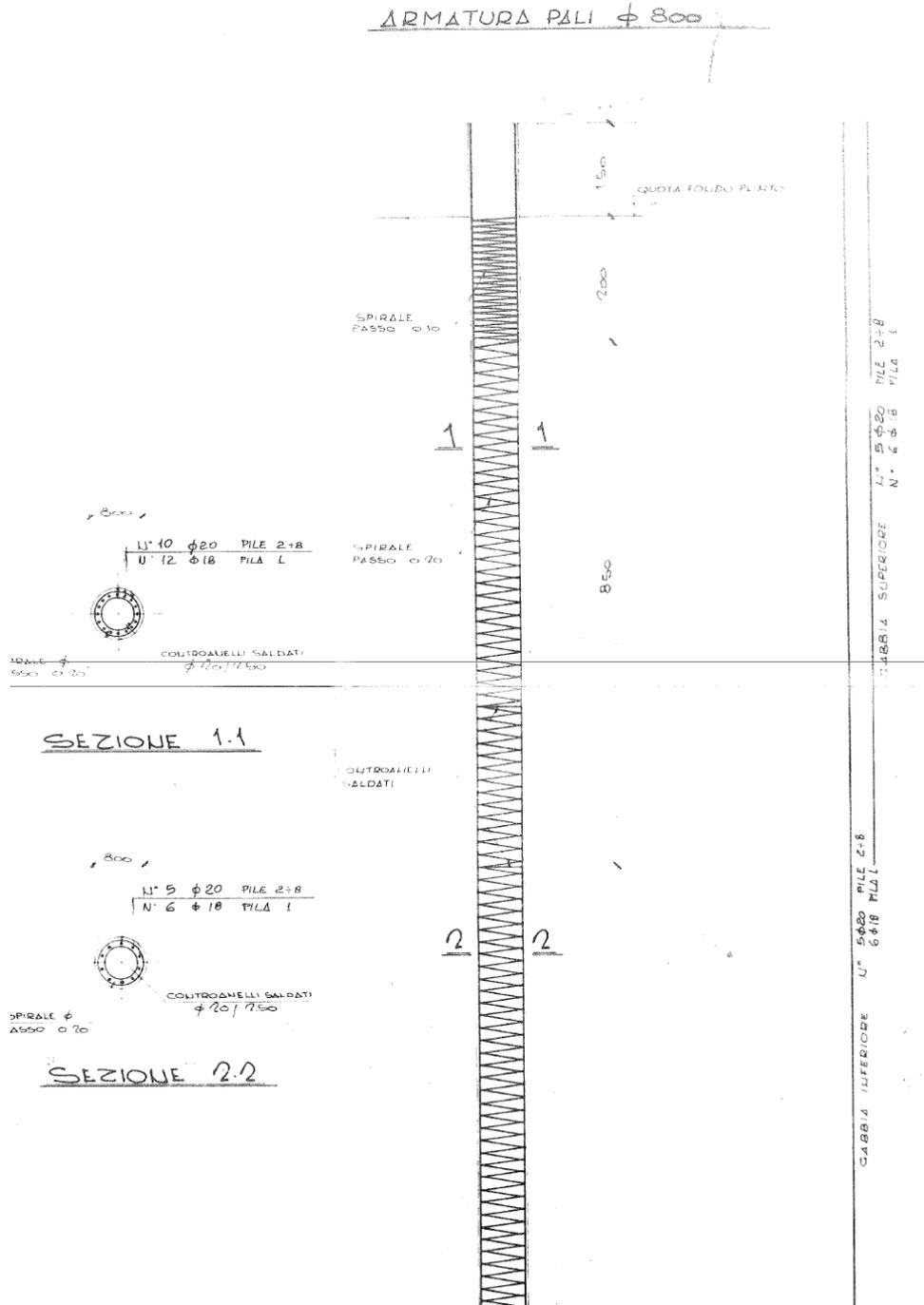


Figura 9 – Armatura del palo di fondazione

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione di calcolo – Vulnerabilità NV03	COMMESSA IA5F	LOTTO 01D0	CODIFICA 09CL	DOCUMENTO NV0300001	REV. A

6. ANALISI DEI CARICHI

Il peso proprio strutturale delle opere è valutato sulla base dei pesi per unità di volume dei diversi materiali da costruzione.

Cemento armato:

$$\gamma_c = 25.00 \text{ KN/m}^3$$

Bitume per pavimentazione:

$$\gamma_p = 20.00 \text{ KN/m}^3$$

6.1 Carichi permanenti g1, g2

impalcato

pesi g1+g2 tot	21000 kg/m
	210 kN/m
L calcolo	26.55 m
L trave	27.35 m
P	5744 kN

pp pile

P3	
L long	1.4 m
L trasv	1.6 m
num fusti	3 m
H fusto	9.35 m
Vol	62.8 m ³
peso	1571 kN
P4	
L long	1.4 m
L trasv	1.6 m
num fusti	3 m
H fusto	10.20 m
Vol	68.5 m ³
peso	1714 kN

pp pulvino

L	12.5 m
b1	1.4 m
b2	2.8 m
h1	1.25 m
h2	2.04 m
Vol	44.33 m ³
peso pulv.	1108 kN

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione di calcolo – Vulnerabilità NV03	COMMESSA IA5F	LOTTO 01D0	CODIFICA 09CL	DOCUMENTO NV0300001	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:

V_N	=	50 [anni]
Classe d'uso		II
C_u	=	1
V_R	=	50 x 1 = 50 [anni]
Categoria di sottosuolo	=	C

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.

Per la determinazione della categoria di sottosuolo si fa riferimento alla relazione **IA5F03D09ROVI0000003A**.

Si riportano nelle figure che seguono la determinazione dello spettro elastico per il caso del cavalcavia in esame.

FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate

LONGITUDINE: 16.55000 LATITUDINE: 40.58700

Ricerca per comune

REGIONE: Basilicata PROVINCIA: Matera COMUNE: Matera

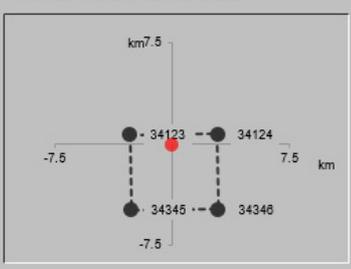
Elaborazioni grafiche

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: superficie rigata

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 50 info

Coefficiente d'uso della costruzione - c_U 1 info

Valori di progetto

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) - V_R 50 info

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

Stati limite di esercizio - SLE

- SLO - $P_{VR} = 81\%$ 30
- SLD - $P_{VR} = 63\%$ 50

Stati limite ultimi - SLU

- SLV - $P_{VR} = 10\%$ 475
- SLC - $P_{VR} = 5\%$ 975

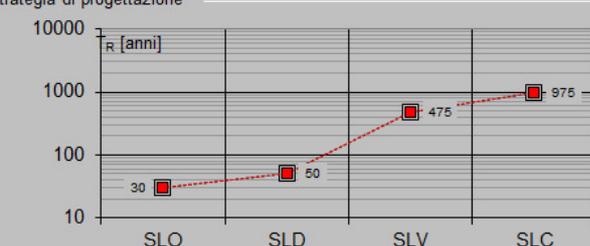
Elaborazioni

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

LEGENDA GRAFICO

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

Strategia di progettazione



SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
SLO	30	0.040	2.458	0.289
SLD	50	0.055	2.496	0.303
SLV	475	0.159	2.477	0.331
SLC	975	0.205	2.497	0.334

Stato limite di collasso - SLC

FASE 3. DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO

Stato Limite
Stato Limite considerato SLC ▼ info

Risposta sismica
 Categoria di sottosuolo C ▼ info $S_S =$ 1.393 $C_C =$ 1.508 ▼ info
 Categoria topografica T1 ▼ info $h/H =$ 0.000 $S_T =$ 1.000 ▼ 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_o 3 Regol. in altezza si ▼ info

Compon. verticale
 Spettro di progetto Fattore q 1 $\eta =$ 1.000 ▼ info

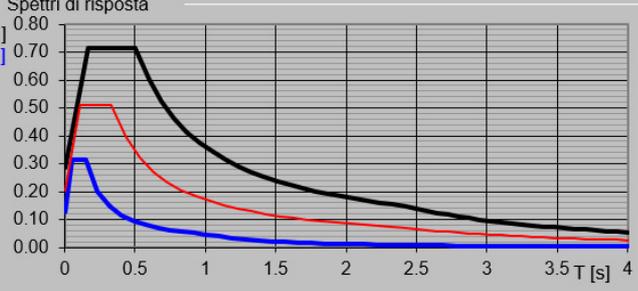
Elaborazioni
 Grafici spettri di risposta ▶▶▶
 Parametri e punti spettri di risposta ▶▶▶

$S_{d,o}$ [g]

$S_{d,v}$ [g]

S_e [g]

Spettri di risposta



— Spettro di progetto - componente orizzontale
 — Spettro di progetto - componente verticale
 — Spettro elastico di riferimento (Cat. A-T1, $\xi = 5\%$)

INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione di calcolo – Vulnerabilità NV03	COMMESSA IA5F	LOTTO 01D0	CODIFICA 09CL	DOCUMENTO NV0300001	REV. A

Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLC

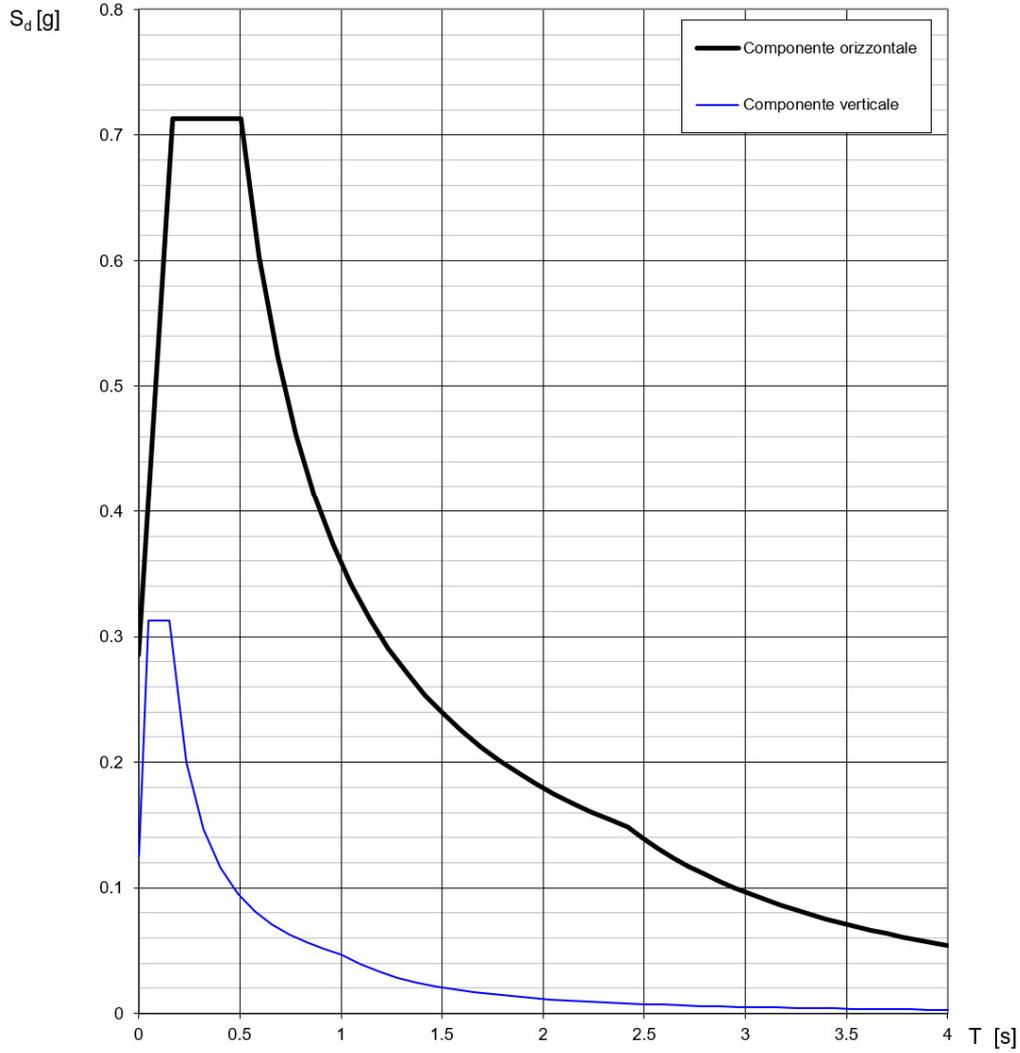
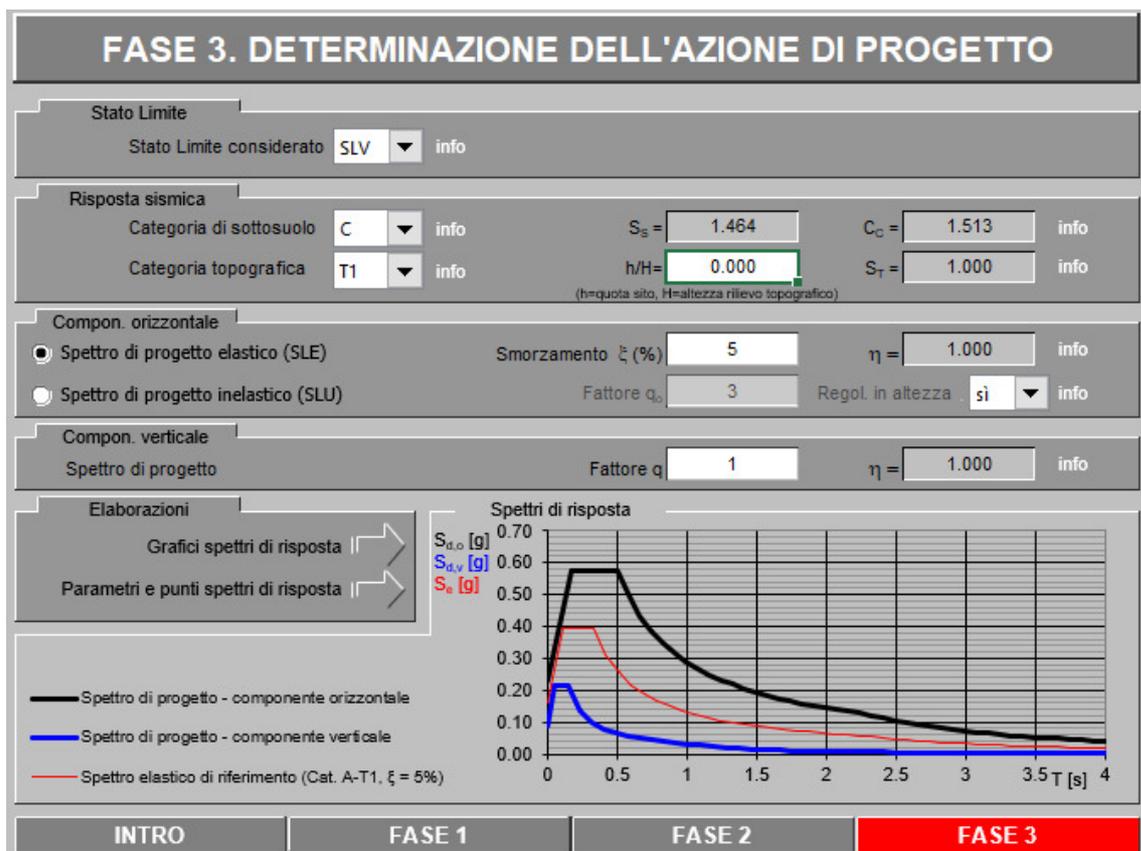


Figura 10 - Spettro elastico SLC

Stato limite di salvaguardia della vita - SLV



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

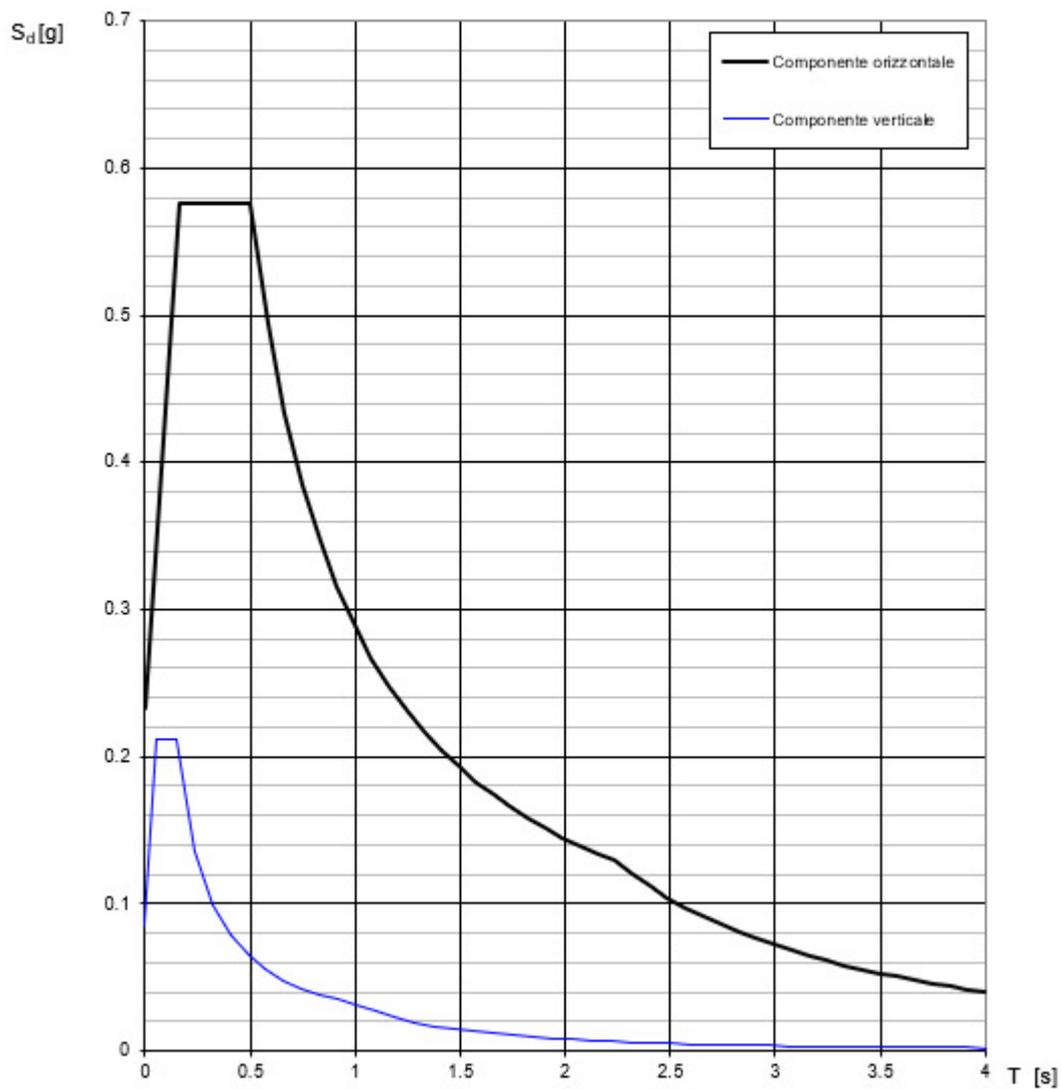


Figura 11 - Spettro elastico SLV

Stato limite di danno – SLD

FASE 3. DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO

Stato Limite
Stato Limite considerato: SLD [info](#)

Risposta sismica
 Categoria di sottosuolo: C [info](#) $S_S =$ 1.500 $C_C =$ 1.556 [info](#)
 Categoria topografica: T1 [info](#) $h/H =$ 0.000 $S_T =$ 1.000 [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_o 3 Regol. in altezza si [info](#)

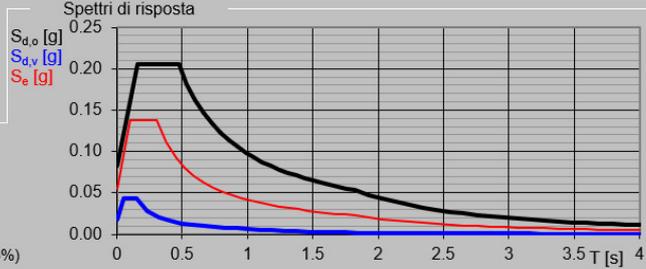
Compon. verticale
 Spettro di progetto Fattore q 1 $\eta =$ 1.000 [info](#)

Elaborazioni
[Grafici spettri di risposta](#)
[Parametri e punti spettri di risposta](#)

$S_{d,o}$ [g]

$S_{d,v}$ [g]

S_e [g]



— Spettro di progetto - componente orizzontale

— Spettro di progetto - componente verticale

— Spettro elastico di riferimento (Cat. A-T1, $\xi = 5\%$)

INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLD

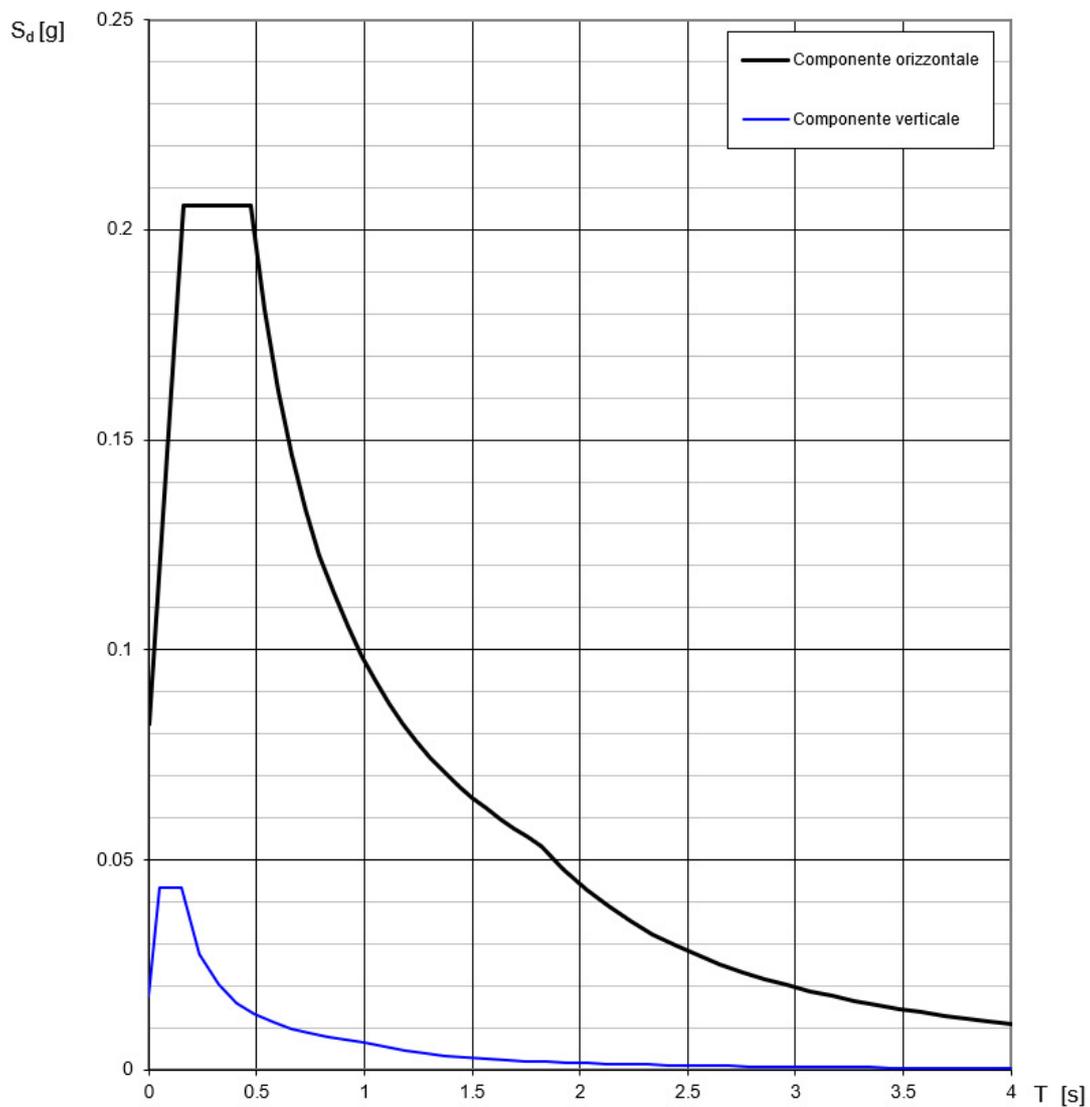


Figura 12 - Spettro elastico SLD

	Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione di calcolo – Vulnerabilità NV03	COMMESSA IA5F	LOTTO 01D0	CODIFICA 09CL	DOCUMENTO NV0300001	REV. A

8. FATTORE DI COMPORTAMENTO

Il fattore di struttura viene utilizzato, ove non si eseguano delle analisi dinamiche in campo non lineare, secondo quanto indicato al par. 3.2.3.5 delle NTC18, quale fattore riduttivo delle forze corrispondenti allo spettro elastico che “... *tiene conto in modo semplificato della capacità dissipativa anelastica della struttura, della sua sovreresistenza, dell’incremento del suo periodo proprio a seguito delle plasticizzazioni ...* “. Per la struttura in esame viene scelto un **fattore di struttura** minimo pari ad **1.5**, in accordo con la tab. 7.3.II delle NTC18.

9. METODO DI ANALISI

Lo schema statico del cavalcavia in esame, dal punto di vista dei carichi verticali, può essere considerato ad impalcati semplicemente poggianti su ogni singola campata in quanto sono presenti, in corrispondenza di ciascuna pila, dei giunti di espansione in soletta.

Per quanto riguarda invece il comportamento statico e soprattutto dinamico nel piano orizzontale dell’impalcato, esso è fortemente influenzato da quello degli appoggi elastomerici armati su cui sono disposte le travi, infatti questi particolari tipi di apparecchio realizzano un vincolo intermedio tra gli apparecchi di tipo fisso e quelli di tipo mobile. In effetti essi permettono le rotazioni intorno ad un qualsiasi asse e le traslazioni in una qualunque direzione del loro piano. Gli spostamenti consentiti mobilitano però delle reazioni antagoniste che tendono a far riprendere agli apparecchi la loro configurazione indeformata. La caratteristica di questi appoggi è pertanto quella di trasmettere sotto forma di reazioni antagoniste delle spinte orizzontali di intensità proporzionale alle corrispondenti traslazioni. Ne consegue che un apparecchio di appoggio in gomma può essere considerato sia come un appoggio fisso con limitazione della reazione orizzontale, sia come un appoggio mobile con limitazione della traslazione consentita.

Alla luce di quanto appena descritto la struttura in esame dovrebbe essere considerata come iperstatica, tuttavia nel caso in esame si assume la semplificazione di trattare l’opera come isostatica e di analizzare la vulnerabilità sismica delle sole strutture che interessano la campata centrale di scavalco della ferrovia. Infatti l’attenzione dello studio di vulnerabilità è concentrato sull’infrastruttura ferroviaria e d’altronde l’assunzione di isostaticità risulta senz’altro conservativa per le pile di scavalco nella situazione attuale, essendo generalmente quelle più alte e dunque più flessibili del viadotto.

 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 – Vulnerabilità NV03</i>	COMMESSA IA5F	LOTTO 01D0	CODIFICA 09CL	DOCUMENTO NV0300001	REV. A

10. MODELLO DI CALCOLO

Sotto le ipotesi appena descritte, si procede considerando la pila più alta tra le due pile di scavalco dell'infrastruttura ferroviaria (P3 e P4), cioè la pila 4, formata da tre fusti a sezione rettangolare (1.40x1.60m) e altezza 10.20m, incastrati alla base.

Per l'opera in esame è prevista l'adozione del software per analisi ad elementi finiti "SAP2000 v.15", con il quale si conduce una modellazione ad elementi di tipo *frame*.

In particolare si svilupperanno due differenti modelli:

- Modello 1: viene schematizzata la pila come rigidamente connessa all'impalcato (appoggi rigidi); questo modello, che rappresenta una possibile situazione di miglioramento/adequamento attraverso la sostituzione degli appoggi con dispositivi tradizionali di tipo rigido, permetterà la determinazione delle sollecitazioni più gravose nella sezione di base dei tre fusti della pila, con i quali saranno effettuate le verifiche di resistenza delle sottostrutture (pile con $q=1.5$ e fondazioni con $q=1$).
- Modello 2: al modello precedente viene aggiunto l'elemento appoggio in neoprene; il modello rappresenta la situazione attuale del ponte e viene utilizzato per effettuare le verifiche in spostamenti dell'appoggio in neoprene per gli spettri di elastici associati ai diversi stati limite considerati (SLC, SLD, $q=1$).

Ogni fusto della pila ha la seguente geometria della sezione: 1.40 x 1.60m.

La fondazione, in quanto di tipo profondo, viene schematizzata come un incastro alla base, mentre l'impalcato è considerato esclusivamente come massa eccitata.

A favore di sicurezza tutte masse sono assegnate al nodo in sommità dell'elemento frame rappresentante il collegamento tra pila e impalcato (nodo 8), secondo il prospetto seguente:

	traslazionale	rotazionale
	ton	ton m2
massa impalcato	585	8566
0.3 massa pila	52	-
massa pulvino	113	166
Tot.	755	8735

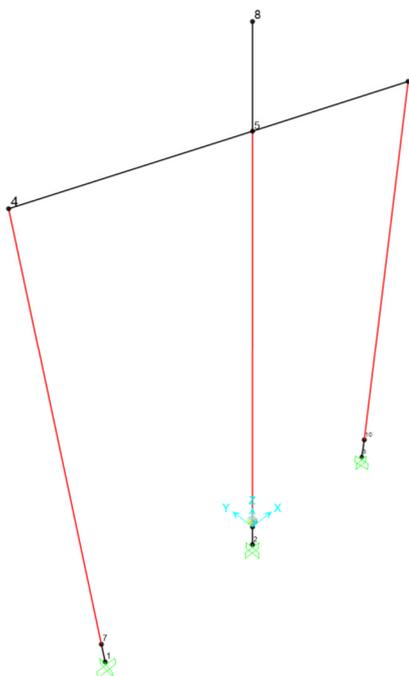


Figura 13 – Modello 1 (pila)

Il modello 2 differisce dal precedente solo per l'inserimento dell'elemento *frame* che definisce l'appoggio in neoprene. A questo elemento vengono date le seguenti caratteristiche geometriche e di materiale:

appoggio

Num (2 allineamenti)	16 -
b	0.2 m
l	0.5 m
A	1.6 m ²
sp tot appoggio	0.032 m
sp gomma	0.026 m
G neoprene	900 kN/m ²
k neopr. = GA/sp.	55385 kN/m

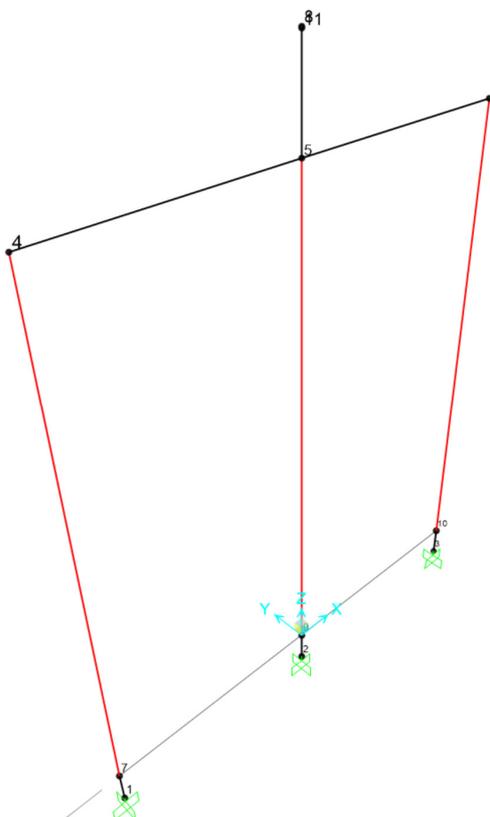


Figura 14 – Modello 2 (pila + appoggi)

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione di calcolo – Vulnerabilità NV03	COMMESSA IA5F	LOTTO 01D0	CODIFICA 09CL	DOCUMENTO NV0300001	REV. A

11. RISULTATI DELLE ANALISI

11.1 Analisi modale

11.1.1 Modello 1

I primi due modi di vibrare sono:

StepNum	Period	UX	UY	SumUX	SumUY
-	Sec	-	-	-	-
1	1.238	0%	83%	0%	83%
2	0.476	83%	0%	83%	83%

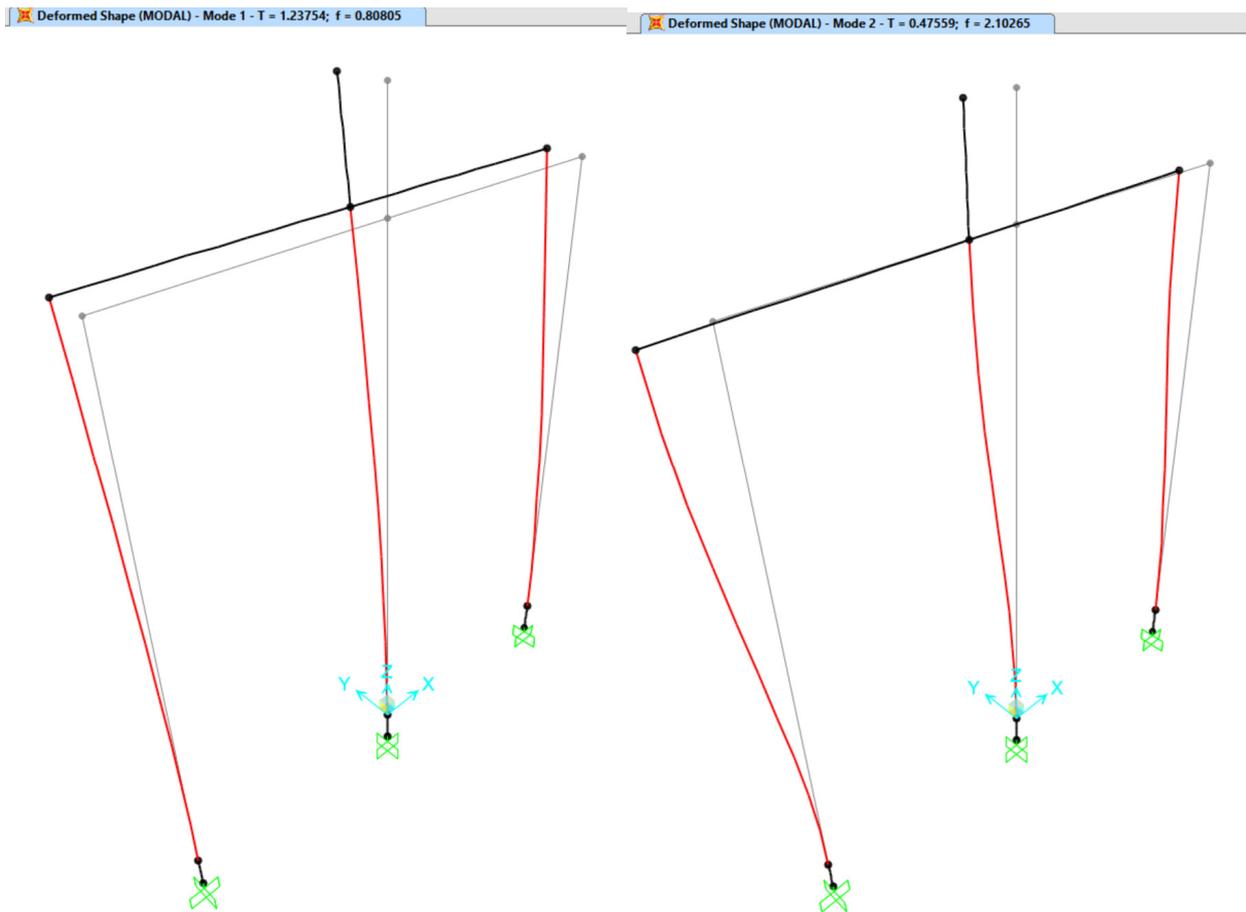


Figura 15 – Prime due forme modali – modello 1

(x = direzione trasversale del ponte, y = direzione longitudinale del ponte)

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione di calcolo – Vulnerabilità NV03	COMMESSA IA5F	LOTTO 01D0	CODIFICA 09CL	DOCUMENTO NV0300001	REV. A

11.1.2 Modello 2

I primi due modi di vibrare sono:

StepNum	Period	UX	UY	SumUX	SumUY
-	Sec	-	-	-	-
1	1.419	0%	81%	0%	81%
2	0.856	74%	0%	74%	81%

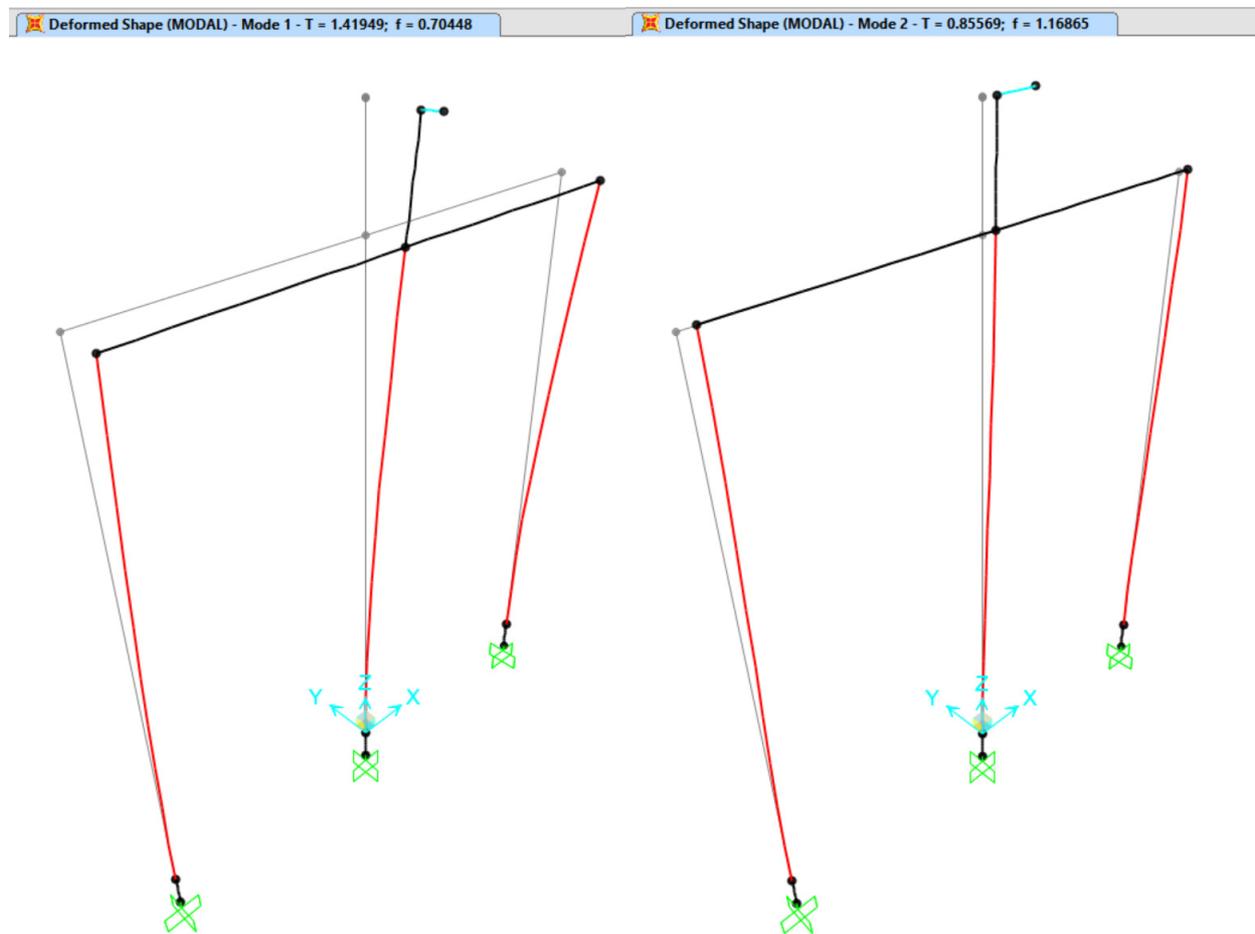


Figura 16 – Prime due forme modali – modello 2

(x = direzione trasversale del ponte, y = direzione longitudinale del ponte)

 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 – Vulnerabilità NV03</i>	COMMESSA IA5F	LOTTO 01D0	CODIFICA 09CL	DOCUMENTO NV0300001	REV. A

11.2 Sezione di base fusto pila (modello 1)

Si esegue un'analisi dinamica lineare con spettro di risposta SLV e fattore di struttura $q=1.5$, nelle due direzioni separate longitudinale (x) e trasversale (y).

Si considera la condizione “fessurata” del calcestruzzo, utilizzando un modulo elastico ridotto.

Le sollecitazioni alla base di ciascun fusto della pila 4 sono le seguenti:

		P	V2	V3	M2	M3
		KN	KN	KN	KN-m	KN-m
fusti esterni	SLV x +	-619	0	479	6025	0
	SLV x -	-619	0	-479	-6025	0
	SLV y +	1895	1183	0	0	6667
	SLV y -	-3133	-1183	0	0	-6667

		P	V2	V3	M2	M3
		KN	KN	KN	KN-m	KN-m
fusti interni	SLV x +	-619	0	472	6009	0
	SLV x -	-619	0	-472	-6009	0
	SLV y +	-619	1186	0	0	6679
	SLV y -	-619	-1186	0	0	-6679

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione di calcolo – Vulnerabilità NV03	COMMESSA IA5F	LOTTO 01D0	CODIFICA 09CL	DOCUMENTO NV0300001	REV. A

11.3 Sistema pila-appoggio (modello 2)

Il modello di calcolo è del tutto analogo al precedente con l'unica differenza che, in questo caso, è presente l'elemento di appoggio in neoprene.

Si considerano quindi gli spostamenti relativi tra il nodo superiore (nodo 8) e quello inferiore (nodo 11) dell'elemento *frame* "appoggio" allo stato limite di collasso (SLC) e allo stato limite di danno (SLD).

Effettuando un'analisi indipendente per le azioni sismiche nelle due direzioni x (longitudinale) e y (trasversale), si ottengono i seguenti risultati:

SLC (q=1)			
Joint	OutputCase	U1	U2
-	-	m	m
8	SLC_elastico_long	0.134	0.000
8	SLC_elastico_trasv	0.000	0.080
11	SLC_elastico_long	0.098	0.000
11	SLC_elastico_trasv	0.000	0.022

SLC	$\Delta U1$	$\Delta U2$
	m	m
sisma x	0.036	0.000
sisma y	0.000	0.058

SLD (q=1)			
Joint	OutputCase	U1	U2
-	-	m	m
8	SLD_elastico_long	0.036	0.000
8	SLD_elastico_trasv	0.000	0.022
11	SLD_elastico_long	0.027	0.000
11	SLD_elastico_trasv	0.000	0.006

SLD	$\Delta U1$	$\Delta U2$
	m	m
sisma x	0.010	0.000
sisma y	0.000	0.016

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione di calcolo – Vulnerabilità NV03	COMMESSA IA5F	LOTTO 01D0	CODIFICA 09CL	DOCUMENTO NV0300001	REV. A

12. VERIFICHE DI SICUREZZA

12.1 Pile

12.1.1 Verifica del meccanismo duttile dei fusti

Si considerano due sezioni resistenti differenti per le due direzioni di azione del sisma.

Direzione longitudinale

B x H = 1.60 x 1.40 m

Armatura resistente a flessione = 4 ϕ 24 tesi + 4 ϕ 24 compressi

Armatura a taglio = ϕ 12/250 (n. bracci = 4)

Direzione trasversale

B x H = 1.40 x 1.60 m

Armatura resistente a flessione = 7 ϕ 24 tesi + 7 ϕ 24 compressi

Armatura a taglio = ϕ 12/250 (n. bracci = 4)

direzione longitudinale

fusto	comb.		N	M long
			kN	kNm
esterno	SLV_x	+	619	6025
esterno	SLV_x	-	619	-6025
interno	SLV_x	+	619	6009
interno	SLV_x	-	619	-6009

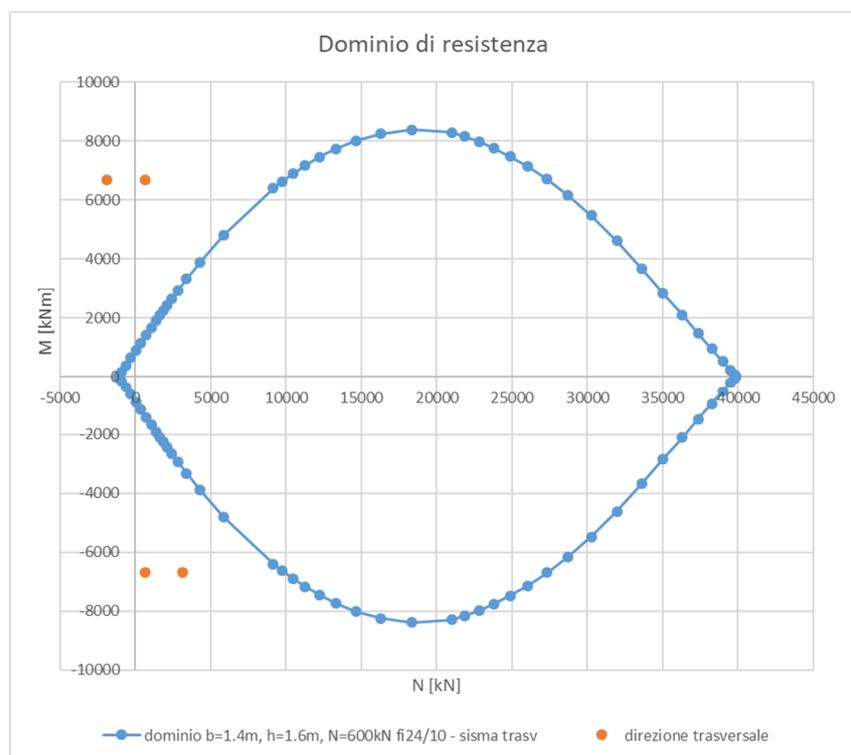
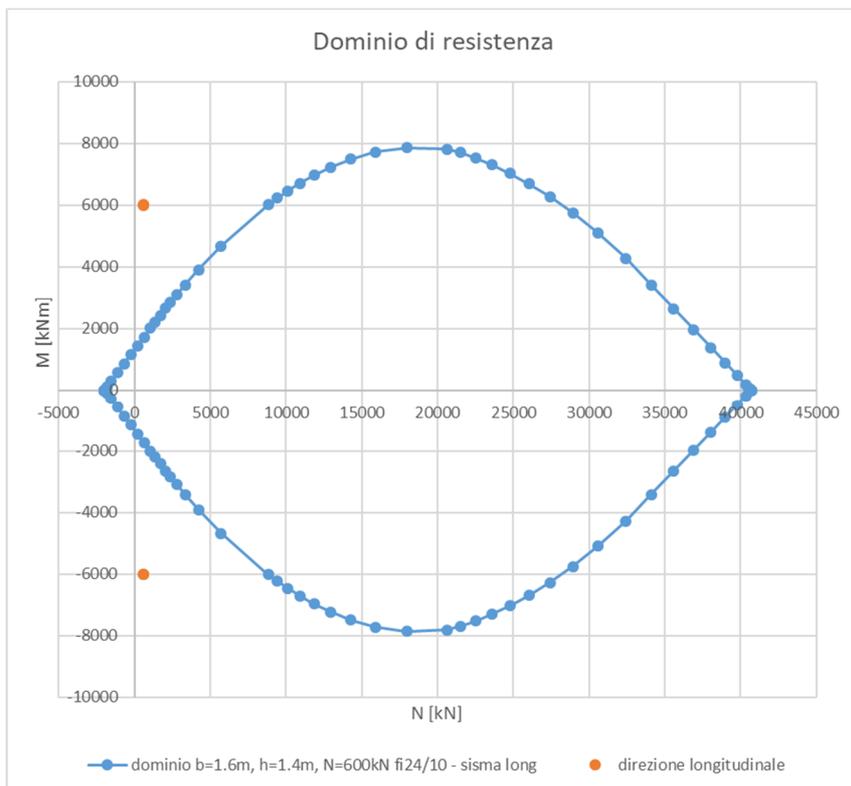
MRd long	ρ long flessione
kNm	-
1722	3.50
1722	3.50
1722	3.49
1722	3.49

direzione trasversale

fusto	comb.		N	M trasv
			kN	kNm
esterno	SLV_y	+	-1895	6667
esterno	SLV_y	-	3133	-6667
interno	SLV_y	+	619	6679
interno	SLV_y	-	619	-6679

MRd trasv	ρ trasv flessione
kNm	-
579	11.52
3144	2.12
1340	4.98
1340	4.98

(N di compressione = positiva)



 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 – Vulnerabilità NV03</i>	COMMESSA IA5F	LOTTO 01D0	CODIFICA 09CL	DOCUMENTO NV0300001	REV. A

Si combinano i coefficienti ρ ottenuti dalle verifiche sopra riportati per le due direzioni secondo la relazione seguente:

$$\rho = \sqrt{\rho_x^2 + \rho_y^2}$$

duttile

fusto
esterno
interno

ρ_x	ρ_y	ρ
3.50	11.52	12.04
3.49	4.98	6.08

Relazione di calcolo – Vulnerabilità NV03	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA5F	01D0	09CL	NV0300001	A	35 di 43

12.1.2 Verifica del meccanismo fragile dei fusti

direzione sisma longitudinale

resist. Cls media	f_{cm}	20	N/mm ²
	f_{cd}	11.11	
coeff. parziale	γ_c	1.5	
larghezza membratura resistente a V	b_w	1400	mm
altezza membratura resistente a V	H	1600	mm
altezza utile	d	1560	mm
area della sezione	A_{TOT}	2184000	mm ²
sforzo assiale dovuto ai carichi o precompressione	N	600000	N
attenzione	σ_{cp}	0.27	N/mm ²
	α_c	1.02	
Acciaio	f_{ym}	375	N/mm ²
Feb38k	f_{yd}	271.74	N/mm ²
diametro staffe (spille)	\varnothing_w	12	mm
Area staffa (spilla)	A_{\varnothing_w}	113	mm ²
0.9 d	z	1404	mm
passo delle staffe (spille)	s_w	250	mm
	n° bracci	4	
angolo di inclinazione	θ	21.8	°
deve essere compreso tra 1 e 2.5	$\cot(\theta)$	2.5	
angolo di inclinazione armatura rispetto asse palo	α	90	°
	$\cot(\alpha)$	0.00	
	A_{s_w} / s_w	1.81	mm ² /mm

Taglio resistente per "taglio trazione"	V_{Rsd}	1726	kN
Taglio resistente per "taglio compressione"	V_{Rcd}	3856	kN
taglio resistente	V_{Rd}	1726	kN

direzione sisma trasversale

resist. Cls media	f_{cm}	20	N/mm ²
	f_{cd}	11.11	
coeff. parziale	γ_c	1.5	
larghezza membratura resistente a V	b_w	1600	mm
altezza membratura resistente a V	H	1400	mm
altezza utile	d	1360	mm
area della sezione	A_{TOT}	2176000	mm ²
sforzo assiale dovuto ai carichi o precompressione	N	600000	N
attenzione	σ_{cp}	0.27	N/mm ²
	α_c	1.02	
Acciaio	f_{ym}	375	N/mm ²
Feb38k	f_{yd}	271.74	N/mm ²
diámetro staffe (spille)	\varnothing_w	12	mm
Area staffa (spilla)	A_{\varnothing_w}	113	mm ²
0.9 d	z	1224	mm
passo delle staffe (spille)	s_w	250	mm
	n° bracci	4	
angolo di inclinazione	θ	21.8	°
deve essere compreso tra 1 e 2.5	$\cot(\theta)$	2.5	
angolo di inclinazione armatura rispetto asse palo	α	90	°
	$\cot(\alpha)$	0.00	
	A_{s_w} / s_w	1.81	mm ² /mm

Taglio resistente per "taglio trazione"	V_{Rsd}	1505	kN
Taglio resistente per "taglio compressione"	V_{Rcd}	3842	kN
taglio resistente	V_{Rd}	1505	kN

Riassumendo si ha:

direzione longitudinale

fusto	comb.		F trasv	V Rd
			kN	kN
esterno	SLV_x	+	1183	1726
esterno	SLV_x	-	-1183	1726
interno	SLV_x	+	1186	1726
interno	SLV_x	-	-1186	1726

p long taglio
-
0.28
0.28
0.27
0.27

direzione trasversale

fusto	comb.		F trasv	V Rd	ρ trasv taglio
			kN	kN	
esterno	SLV_y	+	1183	1505	-
esterno	SLV_y	-	-1183	1505	0.79
interno	SLV_y	+	1186	1505	0.79
interno	SLV_y	-	-1186	1505	0.79

Si combinano i coefficienti ρ ottenuti dalle verifiche sopra riportati per le due direzioni secondo la relazione seguente:

$$\rho = \sqrt{\rho_x^2 + \rho_y^2}$$

fragile

fusto	ρx	ρy	ρ
esterno	0.28	0.79	0.83
interno	0.27	0.79	0.83

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione di calcolo – Vulnerabilità NV03	COMMESSA IA5F	LOTTO 01D0	CODIFICA 09CL	DOCUMENTO NV0300001	REV. A

12.1.3 *Indice di rischio in resistenza delle pile*

Si determina l'indice di rischio in resistenza I_R delle pile, ottenuto confrontando l'accelerazione di picco al suolo che porta alla rottura dell'elemento (PGA di capacità), con l'accelerazione di picco al suolo attesa nel sito (PGA di domanda). Nel caso in esame considerato l'esito delle verifiche si può indicare:

$$I_R = \frac{PGA_c}{PGA_d}$$

Indice di rischio - meccanismo duttile

SLV	Capacità	Domanda
PGA [g]	0.019	0.233
Tr [anni]	< 30	475
I_R	0.083	

Indice di rischio - meccanismo fragile

SLV	Capacità	Domanda
PGA [g]	0.279	0.233
Tr [anni]	896	475
I_R	1.199	

 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> <i>Vulnerabilità NV03</i>	COMMESSA IA5F	LOTTO 01D0	CODIFICA 09CL	DOCUMENTO NV0300001	REV. A

12.2 Appoggi

12.2.1 Verifica in spostamento degli appoggi

La capacità in termini di massimi **spostamenti orizzontali** tra i due piani superiore ed inferiore dell'appoggio può essere stimata, cautelativamente, come:

$$d_{C,app} = h_{gamma}$$

ossia assumendo una deformazione a taglio pari a 45°.

La verifica è soddisfatta se:

$$d_{D,app} \leq d_{C,app}$$

I valori dei coefficienti di sicurezza **p = Domanda/Capacità** vengono prima determinati per le due direzioni principali, longitudinale e trasversale, quindi vengono combinati e verificati secondo la seguente espressione:

$$\sqrt{\left(\frac{D_x}{C_x}\right)^2 + \left(\frac{D_y}{C_y}\right)^2} \leq 1$$

La domanda, per i due stati limite considerati (SLC e SLD) Δu , viene calcolata come differenza tra spostamento del nodo superiore rispetto a quello inferiore:

SLC	<i>domanda</i>	<i>capacità</i>
	Δu	$\delta \max$
	m	m
dir x	0.036	0.026
dir y	0.058	0.026

SLD	<i>domanda</i>	<i>capacità</i>
	Δu	$\delta \max$
	m	m
dir x	0.010	0.026
dir y	0.016	0.026

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione di calcolo – Vulnerabilità NV03	COMMESSA IA5F	LOTTO 01D0	CODIFICA 09CL	DOCUMENTO NV0300001	REV. A

Si ottengono i seguenti coefficienti di sicurezza per ciascuna direzione, che combinati definiscono il coefficiente ρ globale per l'appoggio:

	ρ_x	ρ_y	ρ
SLC	-	-	-
appoggio	1.38	2.24	2.63

	ρ_x	ρ_y	ρ
SLD	-	-	-
appoggio	0.38	0.60	0.71

12.2.2 Indice di rischio in spostamento degli appoggi

Si determina l'indice di rischio in resistenza I_R degli appoggi confrontando l'accelerazione di picco al suolo che porta alla rottura dell'elemento (PGA di capacità), con l'accelerazione di picco al suolo attesa nel sito (PGA di domanda):

$$I_R = \frac{PGA_c}{PGA_d}$$

SLC	Capacità	Domanda
PGA [g]	0.108	0.285
Tr [anni]	84	975
I_R	0.380	

SLD	Capacità	Domanda
PGA [g]	0.116	0.082
Tr [anni]	> 50	50
I_R	1.405	

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione di calcolo – Vulnerabilità NV03	COMMESSA IA5F	LOTTO 01D0	CODIFICA 09CL	DOCUMENTO NV0300001	REV. A

12.2.3 Perdita dell'appoggio

Per non avere la caduta dell'impalcato dalla sottostruttura, si deve verificare la lunghezza di sovrapposizione della trave sul pulvino sia superiore a:

$$d_{tot} = l_0 + d_{eg} + d_{es} + 0.5d_{\Delta t}$$

dove

l_0 è un valore di sicurezza posto pari a 400mm;

d_{eg} è lo spostamento sismico relativo del terreno tra le due sottostrutture che sostengono il medesimo impalcato calcolato conformemente al pt. 3.2.4.2 delle NTC18;

d_{es} è lo spostamento sismico relativo tra le due sottostrutture che sostengono il medesimo impalcato derivante dall'analisi, assunto pari alla radice quadrata della somma dei quadrati dei singoli spostamenti delle pile adiacenti;

$d_{\Delta t}$ è lo spostamento dell'impalcato dovuto all'azione termica uniforme (assunta pari a 30°C).

Si procede al calcolo dei singoli contributi:

- Spostamento relativo del terreno (d_{eg})

$$d_g = 0,025 \cdot a_g \cdot S \cdot T_c \cdot T_D$$

$$d_{ij\max} = 1,25 \sqrt{d_{gi}^2 + d_{gj}^2}$$

$$d_{ij}(x) = \frac{d_{ij\max}}{v_i} \cdot 3,0x \text{ per sottosuolo di tipo diverso da D.}$$

a_g	0.285 g
S	1.393 -
T_c	0.503 s
T_D	2.420 s
v_s	270 m/s
x	26.55 m
$d_{gi}=d_{gj}$	0.1188 m
$d_{ij\max}$	0.210 m
$d_{ij}(x) = deg$	0.0619 m

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione di calcolo – Vulnerabilità NV03	COMMESSA IA5F	LOTTO 01D0	CODIFICA 09CL	DOCUMENTO NV0300001	REV. A

- Spostamento relativo delle sottostrutture adiacenti (d_{es})

$$d_{es} = \sqrt{d_{pila\ 1}^2 + d_{pila\ 2}^2}$$

d pila 1	0.098 m
d pila 2	0.098 m
d_{es}	0.138 m

- Spostamento per deformazione termica dell'impalcato (d_{Dt})

L trave	27.35 m
α	1.00E-05 1/°C
Δt	30 °C
d termica (dDt)	0.008 m

Si ottiene:

Domanda:

$$d_{tot} = 0.604 \text{ m}$$

Capacità:

$$L_{\text{disponibile appoggio}} = 0.730 \text{ m}$$

La lunghezza di sovrapposizione disponibile per l'appoggio delle travi è maggiore dello spostamento massimo che si può verificare allo stato limite di collasso, per cui la verifica risulta soddisfatta.

12.2.4 Indice di rischio per perdita dell'appoggio

Dalla verifica condotta l'indice di rischio per perdita d'appoggio delle travi risulta maggiore di 1.

$$I_R = \frac{PGA_c}{PGA_d} > 1$$

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione di calcolo – Vulnerabilità NV03	COMMESSA IA5F	LOTTO 01D0	CODIFICA 09CL	DOCUMENTO NV0300001	REV. A

13. CONCLUSIONI

Come risultato dell'analisi di vulnerabilità del cavalcavia in oggetto, si riportano gli indici di rischio I_R per i meccanismi indagati, quindi l'indice di rischio dell'opera (I_R minimo):

ELEMENTO	MECCANISMO	PGA CAPACITÀ [g]	PGA DOMANDA [g]	I_R
Appoggi SLC	distorsione	0.108	0.285	0.380
Appoggi SLD	distorsione	0.116	0.082	>1
Perdita appoggio SLC	cinematico	0.345	0.285	>1
Pile SLV	pressoflessione	0.038	0.233	0.164
Pile SLV	taglio	0.279	0.233	>1
OPERA				0.164

La vulnerabilità sismica dell'opera è determinata dal comportamento duttile delle pile che evidentemente non sono in grado di fornire l'adeguata resistenza a pressoflessione per l'azione sismica di progetto. Al contrario, per il meccanismo fragile, esse risultano avere sufficiente resistenza.

Anche gli appoggi realizzati in *pad* in neoprene armato di limitato spessore (3.2cm), allo stato limite di collasso non sono in grado di fornire l'adeguata resistenza e deformabilità per l'azione sismica di progetto.

In ogni caso è escludibile la possibilità di caduta dell'impalcato per perdita di appoggio delle travi.