

COMMITTENTE:



DIREZIONE INVESTIMENTI  
DIREZIONE PROGRAMMI INVESTIMENTI  
DIRETTRICE SUD - PROGETTO ADRIATICA

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**

*Analisi con isolamento VI06*

SCALA:

-

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

**I A 5 F    0 3    D    0 9    C L    V I 0 0 0 0    0 0 6    A**

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato	Data
A	Emissione Esecutiva	G. Grimaldi	Mar. 2019	S.Di Spigno	Mar. 2019	F.Gernone	Mar. 2019	A.Vittozzi	Mar. 2019
								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: IA5F03D09CLVI0000006A.docx

n. Elab.:

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale</b>  <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	ANALISI <i>Analisi con isolamento V106</i>	COMMESSA <b>IA5F</b>	LOTTO <b>03</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>VI0000006</b>	REV. <b>A</b>

## INDICE

1	PREMESSA .....	3
2	RIFERIMENTI NORMATIVI.....	4
3	MATERIALI ESISTENTI.....	5
4	MODELLAZIONE DELLA STRUTTURA .....	6
4.1	Impalcato.....	7
4.2	Pile.....	10
4.3	Pulvini.....	10
4.4	Dispositivi di connessione tra impalcato e sottostrutture.....	12
5	ANALISI DELLA STRUTTURA .....	24
5.1	Analisi sul modello “fisso-mobile”.....	24
5.1.1	<i>Analisi modale del viadotto nelle condizioni precedenti all’attivazione dell’isolamento</i> .....	24
5.1.2	<i>Valutazione del gap minimo da assegnare ai dissipatori</i> .....	34
5.1.3	<i>Valutazione delle sollecitazioni sulle sottostrutture al momento della rottura dei fusibili</i> .....	34
5.2	Analisi dinamiche non lineari sul modello “isolato”.....	36
6	RISULTATI E VERIFICHE.....	45
6.1	Verifiche delle sottostrutture per SLV.....	45
6.1.1	<i>Definizione del dominio sostanzialmente elastico di una sezione</i> .....	45
6.1.2	<i>Verifiche a pressoflessione delle pile pre-rottura dei fusibili</i> .....	47
6.1.3	<i>Verifiche a pressoflessione delle pile post rottura dei fusibili</i> .....	48
6.1.4	<i>Verifiche a taglio delle pile pre-rottura dei fusibili</i> .....	50
6.1.5	<i>Verifiche a taglio delle pile post rottura dei fusibili</i> .....	51
6.2	Verifiche dei dispositivi di isolamento allo SLC.....	52
6.3	Verifiche dei giunti allo SLC.....	67

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale</b>  <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	ANALISI CON ISOLAMENTO VI06	COMMESSA <b>IA5F</b>	LOTTO <b>03</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>VI0000006</b>	REV. <b>A</b>

## 1 PREMESSA

Nella prima parte della presente relazione, sono illustrate le analisi svolte al fine di valutare il comportamento e la risposta sotto azione sismica del viadotto Dragone (VI06) in seguito all'intervento di miglioramento.

Nella seconda parte sono riportate le verifiche dei vari elementi costituenti la struttura esistente e di quelli facenti parte del sistema di isolamento.

Data la ripetitività della tipologia di impalcato e pile e tenuto conto dell'uniformità del valore di  $a_g$  lungo tutto lo sviluppo della linea, le analisi con isolamento sono state condotte su un numero significativo di viadotti (5) tale da involuppare tutte le situazioni possibili. In particolare, si è tenuto conto della categoria sismica del terreno, delle altezze delle pile e del tipo di fondazione, del raggio di curvatura del tracciato ed infine della lunghezza del viadotto, elemento quest'ultimo meno significativo.

Nella successiva tabella si riportano le caratteristiche suddette:

	N° CAMP	Hmin	Hmax	Tipo Fond.	Rcurv.	T.Terreno	Analogia calcolo
<b>VI01 BASENTO</b>	40	3,85	11,8	P	800-805	<b>C</b>	<b>1</b>
<b>VI02 CONCHE</b>	1	-	-	P	1200	<b>C</b>	<b>1</b>
<b>VI03 CROCE</b>	6	5,65	7,1	P	oo/RP	<b>C</b>	<b>5</b>
<b>VI04 SINATRA</b>	19	5,4	11,8	P	RP/oo/RP	<b>E</b>	<b>2</b>
<b>VI06 DRAGONE</b>	6	6	7,5	D cons	oo	<b>B</b>	<b>3</b>
<b>VI07 LA CHIESA</b>	5	5,7	7,1	P	oo	<b>E</b>	<b>2</b>
<b>VI09 LA COPETA</b>	20	5,9	15,3	P	900	<b>E</b>	<b>4</b>
<b>VI10 MARCHESE</b>	9	6,9	16,25	P/D cons	oo	<b>E</b>	<b>2</b>
<b>VI11 MIROGALLO</b>	3	7,4	7,9	P	oo	<b>E</b>	<b>2</b>
<b>VI12 RIDOLA</b>	12	6,1	17,3	P	oo/RP	<b>C</b>	<b>5</b>

In tale caso i risultati riportati nella seguente relazione fanno riferimento al solo viadotto VI06 Dragone.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale</b>  <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	ANALISI <b>IA5F</b>	LOTTO <b>03</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>VI0000006</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>4 di 70</b>

*Analisi con isolamento V106*

## 2 RIFERIMENTI NORMATIVI

- [1] D.M. 17 gennaio 2018 (G.U. 20 febbraio 2018 n. 42) - Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni».
- [2] Circolare 21 Gennaio 2019 n. 7 C.S.I.L.L.P.P. (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.
- [3] Linee guida per la valutazione delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo in opera, 2017
- [4] RFI DTC SI PS MA IFS 001 C - Manuale di Progettazione delle Opere Civili - Parte II - Sezione 2 – Ponti e Strutture
- [5] RFI DTC SI CS MA IFS 001 C - Manuale di Progettazione delle Opere Civili - Parte II - Sezione 3 - Corpo Stradale
- [6] 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
- [7] RFI DTC SI SP IFS 001 A – “Capitolato generale tecnico d'appalto delle opere civili”

	<b>Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	ANALISI <b>IA5F</b>	LOTTO <b>03</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>VI000006</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>5 di 70</b>

*Analisi con isolamento V106*

### 3 MATERIALI ESISTENTI

Si rimanda alla relazione tecnico illustrativa “Materiali, fattore di confidenza e criteri di calcolo”.

	<b>Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	COMMESSA <b>IA5F</b>	LOTTO <b>03</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>VI0000006</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>6 di 70</b>

*Analisi con isolamento V106*

#### 4 MODELLAZIONE DELLA STRUTTURA

Le analisi sono state condotte mediante l'ausilio di MIDAS/CIVIL, un software basato sul calcolo F.E.M. (Finite Element Method) prodotto dalla MIDAS Information Technology Co. Ltd.

Sono stati realizzati dei modelli tridimensionali della struttura attraverso elementi “beam” caratterizzati da comportamento lineare. Le non linearità nel modello sono concentrate in corrispondenza dei dispositivi di isolamento.

In particolare, i modelli realizzati sono due:

1. “modello fisso-mobile”: rappresenta la situazione che precede la rottura dei fusibili e, quindi, è caratterizzato dalla presenza di connessioni elastiche tra impalcato e sottostrutture, tali da riprodurre uno schema di appoggi fisso-mobile;
2. “modello isolato”: viene riprodotta la situazione che segue la rottura dei fusibili. Si hanno dunque delle connessioni impalcato-sottostrutture modellate attraverso particolari “link” caratterizzati da comportamento non lineare. Questi rappresentano i dispositivi di isolamento.

In entrambi i modelli i vincoli esterni sono costituiti da incastri perfetti alla base degli elementi che rappresentano le pile, trascurando quindi la deformabilità del sistema terreno-fondazione.

Tale approssimazione è stata possibile a seguito della analisi di sensibilità svolte e riportate nella relazione tecnico-illustrativa IA5F03D09ROVI0000001.

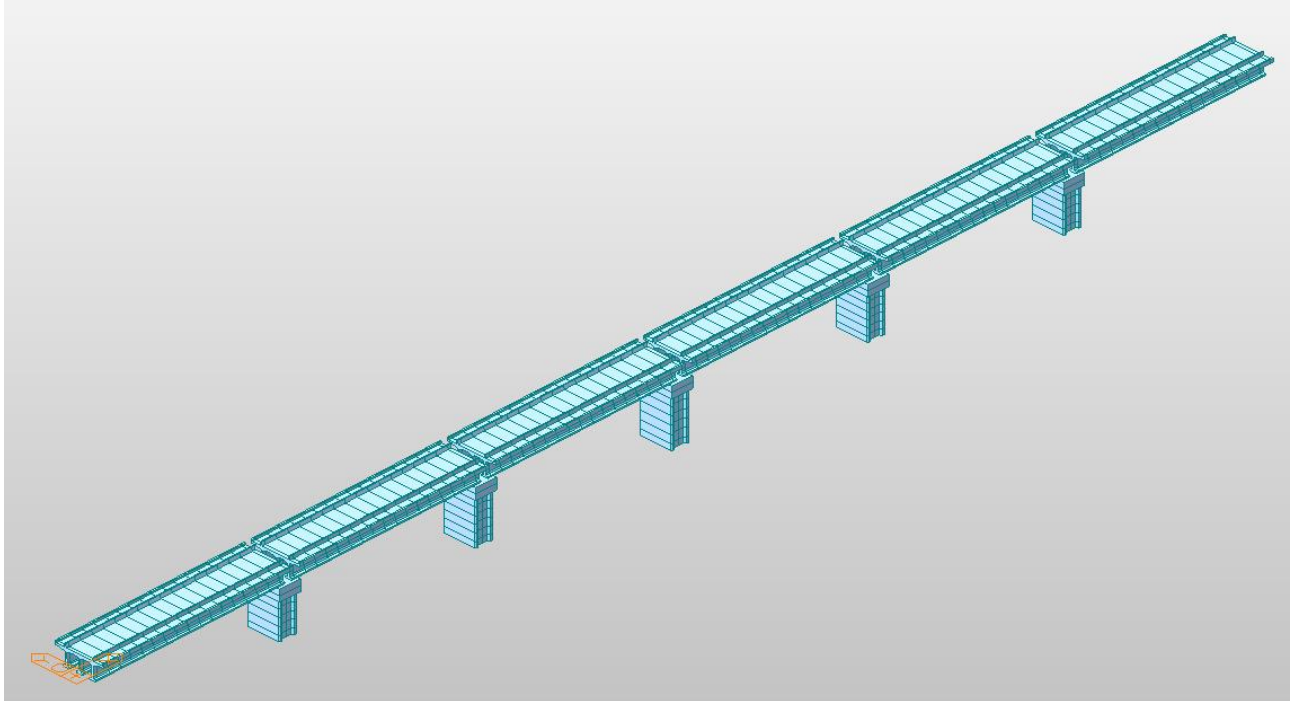
Le spalle sono state modellate con vincoli esterni.

La rigidità dei pulvini e delle pile è definita assumendo totale assenza di fessurazione. Tale assunzione è giustificata dal fatto che le azioni trasferite alle sottostrutture, quando corrispondenti a condizioni sismiche severe, sono abbattute dalla presenza del sistema di isolamento.

Le masse sono considerate concentrate nei nodi del modello. La discretizzazione degli elementi finiti è adeguata alla reale distribuzione delle masse.

	<b>Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	COMMESSA <b>IA5F</b>	LOTTO <b>03</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>VI000006</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>7 di 70</b>

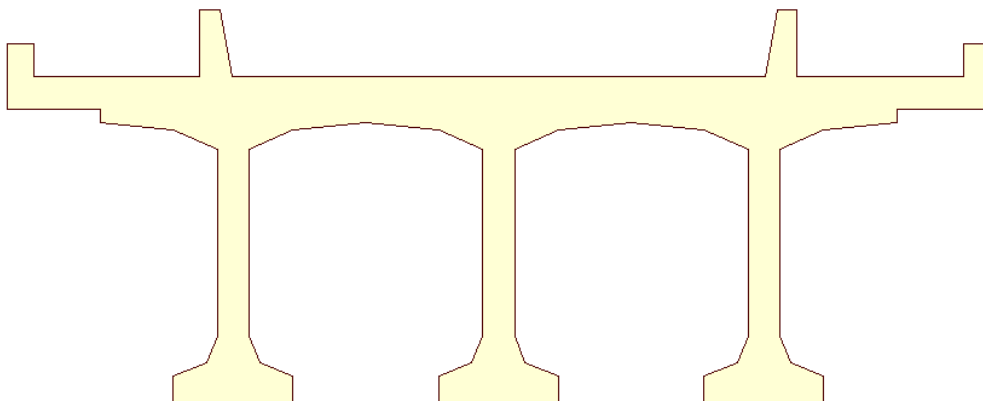
*Analisi con isolamento V106*



*Figura 4.1 – Modello agli elementi finiti del viadotto*

#### 4.1 Impalcato

L'impalcato è stato modellato attraverso un unico elemento beam, opportunamente discretizzato, rappresentativo dell'insieme travi più soletta, il quale è stato disposto alla quota del centro delle masse dell'impalcato (a circa 1.84 m dalla testa della pila).



*Figura 4.2 – Modellazione dell'impalcato tramite elementi beam unifilari*

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale</b>  <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	ANALISI <b>IA5F</b>	LOTTO <b>03</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>VI0000006</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>8 di 70</b>

Analisi con isolamento V106

Per tener conto della reale distribuzione delle masse, l'elemento "impalcato" è stato connesso attraverso dei vincoli rigidi (realizzati attraverso link elastici di rigidezza molto elevata) a due file di nodi disposte rispettivamente alle quote corrispondenti al centro delle masse dei carichi permanenti portati G2 e a 1.80m dall'asse del ferro (dove si ipotizza il centro di massa del treno). Sulla prima fila di nodi sono stati applicati i carichi concentrati, poi tenuti in conto chiaramente anche come masse, rappresentativi del peso di ballast, armamento, impermeabilizzazione, corrimano e canalette (la massa e il peso di cordoli e muretti sono già tenuti in conto nell'elemento "impalcato"). Sulla seconda fila sono stati applicati dei carichi concentrati per simulare la presenza del treno. Questi sono presi in considerazione, sia in termini di massa che di peso, con un fattore pari a 0.2, come indicato al paragrafo 2.5.1.8.3 della sezione 2 della parte II del Manuale di Progettazione delle Opere Civili (RFI DTC SI PS MA IFS 001 C).

La presenza dei traversi e dei ringrossi delle travi è stata presa in considerazione assegnando dei carichi uniformemente distribuiti lungo gli elementi "impalcato".

Per l'analisi dei carichi si fa riferimento a quanto riportato nelle relazioni originali del progetto.

Nella tabella 4.1 è riportata la disposizione delle masse nel modello.


Nell'immagine 4.3 è riportato un dettaglio di come sono stati collegati i nodi sopra citati agli elementi beam "impalcato".

	<b>m (ton)</b>	<b>z(m) *</b>
impalcato (CA/CAP)	363.1	
traversi + ringrossi	71.9	
cordoli	7.6	
muretti parballast	15.3	
<b>G1 tot</b>	<b>458.0</b>	<b>1.84</b>
ballast + armamento	154.1	3.00
Impermeabilizzazione	67.9	2.60
corrimano/canalette	12.2	2.60
<b>G2 tot</b>	<b>234.3</b>	<b>2.86</b>
<b>Qv, Treno A (0.2)</b>	<b>53.2</b>	<b>5.10</b>

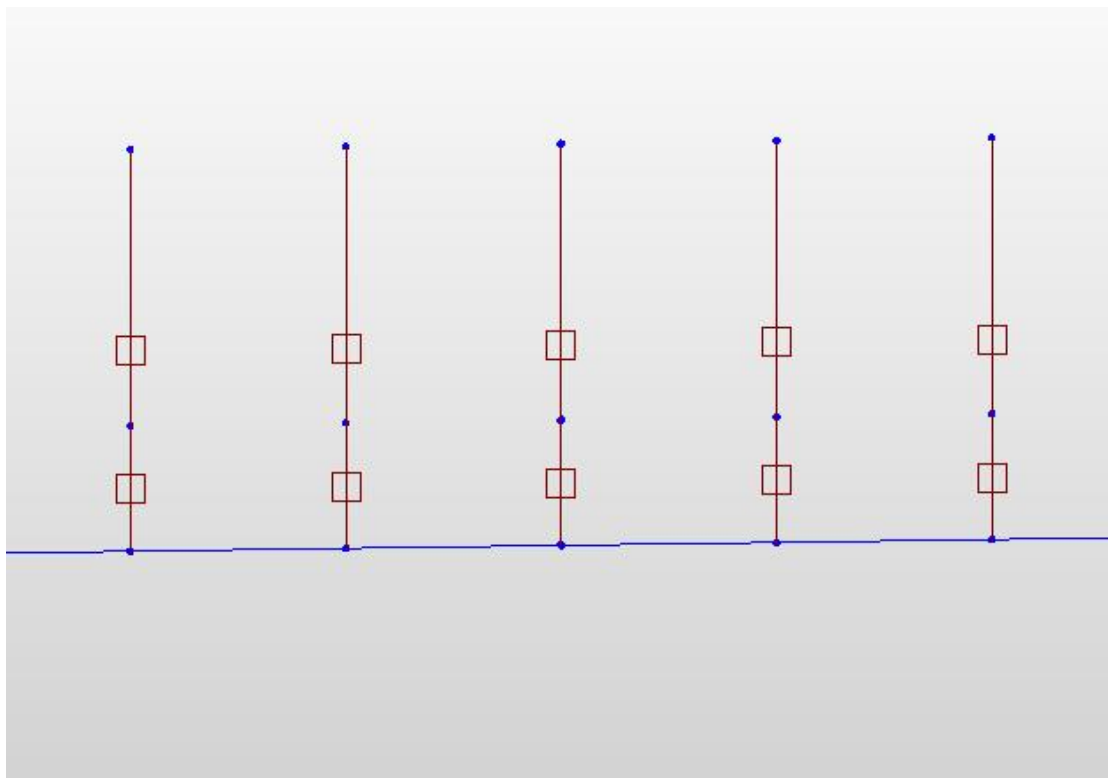
\* Quota rispetto a testa pulvino

Tabella 4.1 – Disposizione delle masse lungo l'altezza dell'impalcato



	<b>Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	COMMESSA <b>IA5F</b>	LOTTO <b>03</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>VI000006</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>9 di 70</b>

*Analisi con isolamento V106*




*Figura 4.3 – Modellazione della disposizione delle masse lungo l'altezza dell'impalcato*

Per collegare l'impalcato, modellato come detto nel suo centro delle masse, ai nodi rappresentativi degli estradossi dei dispositivi di appoggio/isolamento, sono stati utilizzati dei vincoli di tipo cinematico ("Rigid Link"). Questo tipo di vincolo riproduce un comportamento rigido tra i nodi che connette.

A sua volta i nodi corrispondenti agli intradossi di tali apparecchi sono stati connessi alla testa del pulvino tramite gli stessi vincoli cinematici (vedi figura 4.4).

Tra i nodi posti a quota estradosso e intradosso appoggio sono quindi localizzati gli elementi utili a rappresentare i sistemi di isolamento, modellati tramite "Elastic Link" per ciò che riguarda il modello atto a rappresentare la situazione precedente alla rottura dei fusibili o tramite "General Link" per la situazione post-rottura dei fusibili.

Tali elementi sono meglio descritti nei paragrafi seguenti.

	<b>Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	COMMESSA <b>IA5F</b>	LOTTO <b>03</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>VI000006</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>10 di 70</b>

Analisi con isolamento V106

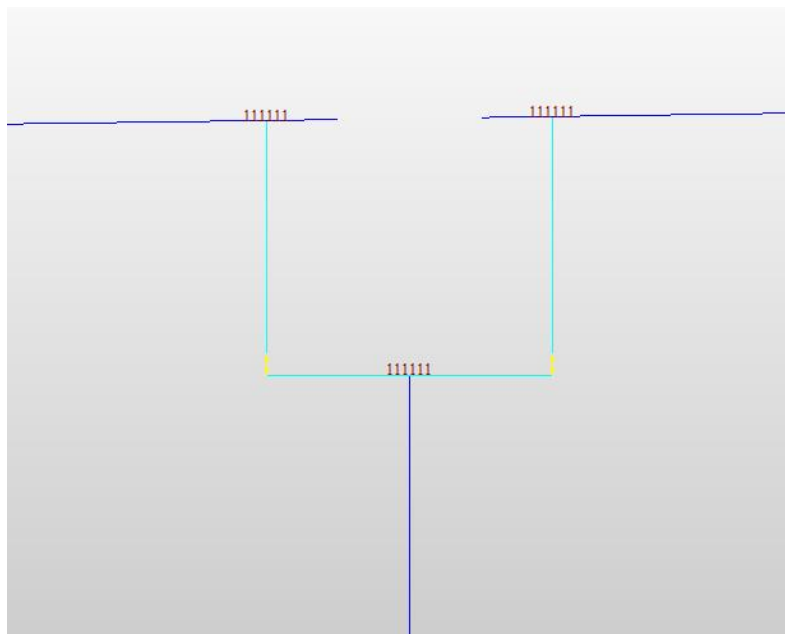


Figura 4.4 – Modellazione del collegamento tra impalcato e sottostrutture

## 4.2 Pile

Per il viadotto in esame si hanno 5 pile, di altezza variabile tra un minimo di 6.00m a un massimo di 7.50m, caratterizzate tutte dalla stessa sezione trasversale.

Le pile sono modellate tutte con elementi frame, considerando, come specificato precedentemente, totale assenza di fessurazione.

Tutte le pile sono state prolungate di 0.80 m sotto lo spiccatto per tenere in conto della deformabilità del sistema fondazione-terreno. A tale quota è stato applicato il vincolo di incastro.

Alle pile è stato assegnato come materiale un calcestruzzo Rck250, a cui corrisponde un modulo elastico pari a  $E = 5700 (Rck)^{0.5} = 28500 \text{ MPa}$  (formulazione da DM96).

## 4.3 Pulvini

Per quanto riguarda la geometria si ha una dimensione in pianta pari a 5.50x3.20 e un'altezza di 1.60m.

I pulvini sono modellati tutti con elementi frame e si considerano anch'essi non fessurati.

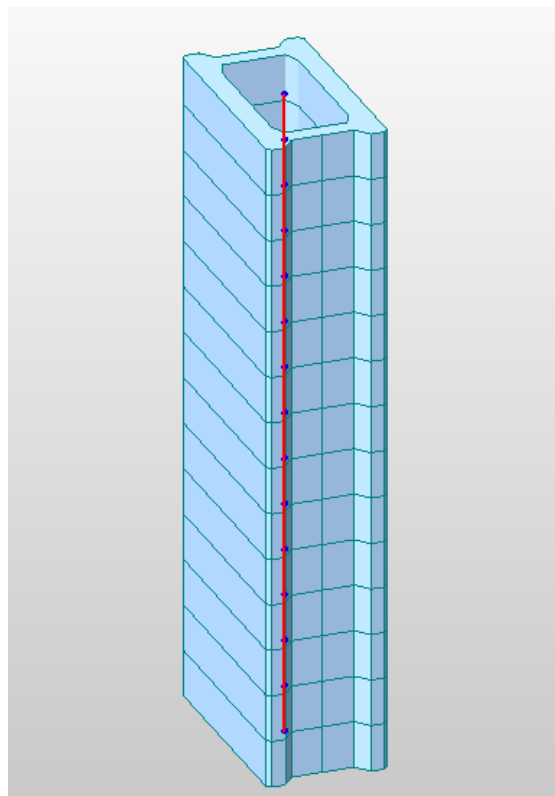


Figura 4.5 – Elemento beam rappresentativo della pila tipo

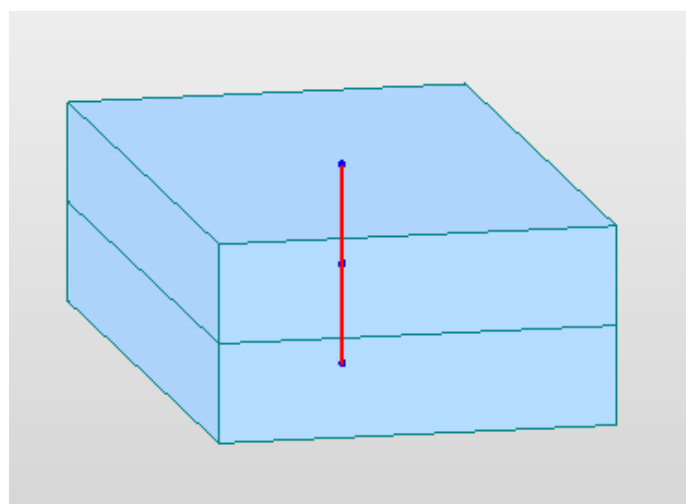



Figura 4.6 – Elemento beam rappresentativo del pulvino

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	COMMESSA <b>IA5F</b>	LOTTO <b>03</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>VI0000006</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>12 di 70</b>

*Analisi con isolamento V106*

#### 4.4 Dispositivi di connessione tra impalcato e sottostrutture

I dispositivi di collegamento tra impalcato e sottostrutture sono costituiti da apparecchi d'appoggio in elastomero armato (appoggi cedevoli/isolatori), i quali sono posti in parallelo o a dissipatori con comportamento isteretico, oppure a connettori rigido-fragili di tipo fisso o scorrevole.


Nella figura 4.7 è riportato lo schema di vincolo di progetto della singola campata.



Figura 4.7 – Schema di vincoli impalcato-sottostrutture post operam

I dispositivi 2 e 5 sono costituiti da isolatori/appoggi in elastomero armato posti in parallelo a dei connettori a rottura rispettivamente di tipo fisso e scorrevole. La presenza di questi “fusibili” fa sì che, fino al raggiungimento di una soglia di forza per la quale avviene la rottura a taglio degli stessi, in corrispondenza dell’elemento di connessione n°2 si abbia un comportamento congruente a quello di un appoggio fisso, mentre, in corrispondenza del n°5 si abbia un comportamento congruente a quello di un appoggio unidirezionale longitudinale.

I restanti dispositivi sono ancora costituiti da isolatori/appoggi in elastomero armato, posti però, in tale circostanza, in parallelo a dei dissipatori isteretici a piolo con spostamento iniziale a vuoto. Questo “gap”

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale</b>  <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	COMMESSA <b>IA5F</b>	LOTTO <b>03</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>VI000006</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>13 di 70</b>

*Analisi con isolamento V106*

interposto tra la testa del piolo e il foro circolare delle piastre ancorate ai pulvini, è necessario ad evitare che i dissipatori entrino in gioco per effetto degli spostamenti causati dalle combinazioni non sismiche. In realtà è sufficiente che tale gap sia presente solo nei dispositivi 4 e 6, così da permettere che, sotto le condizioni appena citate, l'impalcato possa deformarsi come se fosse vincolato alla sottostruttura attraverso un sistema classico del tipo fisso-mobile. Per uniformità si è deciso poi assegnare lo stesso gap anche agli altri dissipatori per riprodurre una situazione omogenea in tutte le direzioni. Il gap assunto risulta pari a 5.0 cm. La valutazione è riportata nel capitolo successivo.

Successivamente alla rottura dei fusibili l'impalcato è quindi vincolato alle sottostrutture attraverso degli appoggi fissi cedevoli/isolatori posti in parallelo a dei dissipatori a piolo con comportamento isteretico e dotati gap.

In sostanza lo schema di appoggi risponde in maniera differente a seconda dell'entità dell'azione:

- A) schema del tipo fisso-mobile per azioni corrispondenti all'esercizio ferroviario, azioni del vento e azioni sismiche di entità contenuta;
- B) schema di vincolo caratterizzato dalla presenza di isolatori elastomerici e di dissipatori elastoplastici a piolo metallico con comportamento di tipo isteretico, per azioni sismiche severe.

Sono stati scelti dei dissipatori a piolo di caratteristiche commerciali, i cui parametri sono esposti nella tabella di seguito.

Nella figura 4.8 è riportati il legame corrispondente al singolo piolo.

Fy (kN)	Fmax (kN)	$\delta y$ (mm)	$\delta_{max}$ (mm)	Ke (kN/mm)	Kp (kN/mm)	Kp/Ke -	smorzamento %
90	110	12	100	7.5	0.227	0.0303	44.4

*Tabella 4.2 – Caratteristiche meccaniche del dissipatore a piolo*

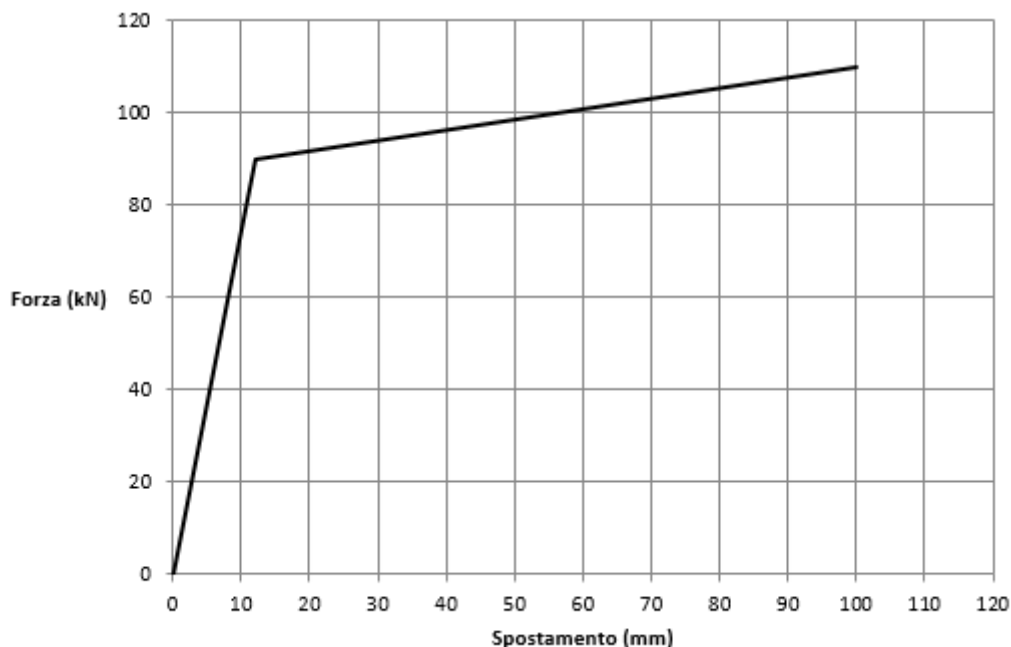



Figura 4.8 – Legame costitutivo del dissipatore a piolo

In particolare è stato inserito un solo dissipatore a piolo per ognuno degli appoggi 1,3,4 e 6.

Il numero di tali elementi è stato scelto in funzione di considerazioni riguardanti le massime sollecitazioni che si vogliono trasmettere alle sottostrutture e in funzione dei massimi spostamenti accettabili dal sistema di isolamento.

Per quanto riguarda gli isolatori elastomerici, sono stati scelti dei dispositivi tipo SI-N 400-75 della FIP. Questi dispositivi, che permettono un massimo spostamento orizzontale pari a 150 mm, sono caratterizzati da un coefficiente di smorzamento viscoso equivalente pari al 10-15%.

Le caratteristiche meccaniche e geometriche sono riportate nella tabella di seguito.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale</b>  <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	ANALISI CON ISOLAMENTO V106	COMMESSA <b>IA5F</b>	LOTTO <b>03</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>VI0000006</b>	REV. <b>A</b>

SI-N	V kN	F <sub>zd</sub> kN	K <sub>e</sub> kN/mm	K <sub>v</sub> kN/mm	D <sub>g</sub> mm	t <sub>e</sub> mm	h mm	H mm	Z mm	W kg
SI-N 300/76	550	1780	0.74	602	300	76	152	202	350	92
SI-N 350/75	990	2800	1.03	796	350	75	143	193	400	118
SI-N 400/75	1760	4680	1.34	1216	400	75	143	193	450	153
SI-N 450/78	2410	6530	1.63	1415	450	78	154	204	500	202
SI-N 500/78	3610	9380	2.01	1954	500	78	154	204	550	247
SI-N 550/77	4380	9820	2.47	2296	550	77	147	197	600	287
SI-N 600/80	5380	10310	2.83	2539	600	80	147	197	650	335
SI-N 650/81	6400	10830	3.28	2857	650	81	145	195	700	384
SI-N 700/80	7420	11370	3.85	3272	700	80	151	211	750	508
SI-N 800/80	11470	14990	5.03	4918	800	80	151	211	850	659
SI-N 900/84	14980	21220	6.06	5628	900	84	158	218	950	848
SI-N 1000/84	18230	22590	7.48	6667	1000	84	164	244	1050	1252
SI-N 1100/84	22800	27460	9.05	8890	1100	84	164	244	1150	1509
SI-N 1200/96	24240	28700	9.43	8903	1200	96	176	256	1250	1807


**Legenda**

<b>V</b>	Carico verticale massimo agente sull'isolatore in presenza di sisma corrispondente allo SLC
<b>F<sub>zd</sub></b>	Carico verticale massimo agente sull'isolatore in assenza di sisma (SLU), concomitante con rotazione 0 e spostamento orizzontale 10 mm
<b>K<sub>e</sub></b>	Rigidezza orizzontale equivalente
<b>K<sub>v</sub></b>	Rigidezza verticale
<b>D<sub>g</sub></b>	Diametro elastomero
<b>t<sub>e</sub></b>	Spessore totale gomma
<b>h</b>	Altezza escluse piastre di ancoraggio
<b>H</b>	Altezza totale incluse piastre di ancoraggio
<b>Z</b>	Lato piastre di ancoraggio
<b>W</b>	Peso isolatore escluse zanche

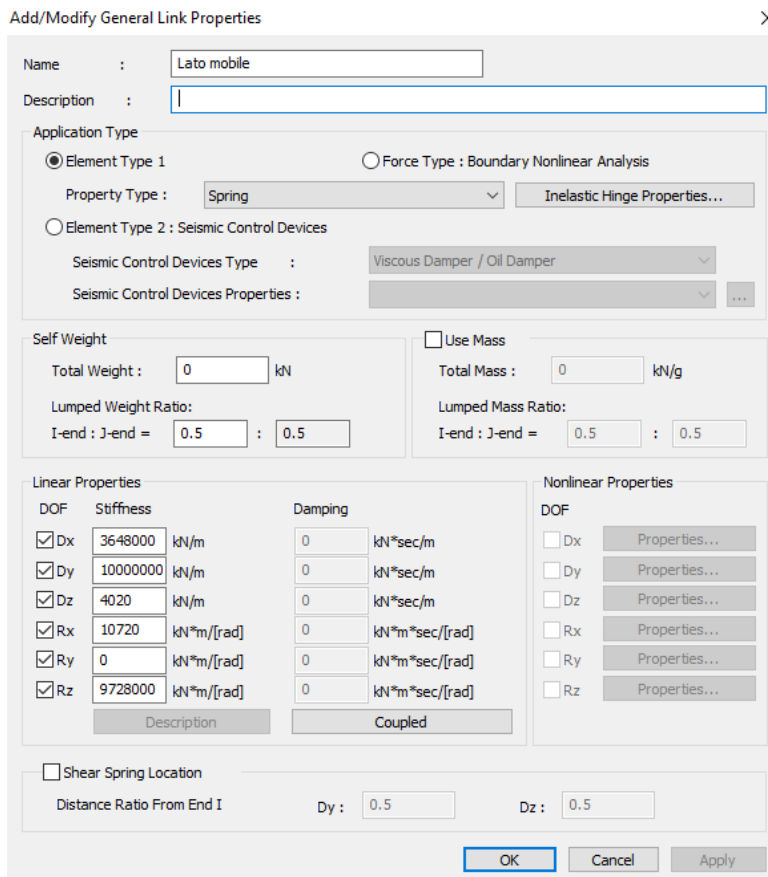
Figura 4.9 – Caratteristiche meccaniche e geometriche di tipologie di isolatori

Con riferimento ai due modelli prima descritti, nel primo dei due la presenza dei fusibili fa sì che il comportamento sia perfettamente congruente a quello di uno schema di appoggi fisso-mobile. I collegamenti sono stati allora realizzati attraverso dei “General Link” tipo “Spring” (elastici lineari). Vista la geometria del modello, il singolo link, interposto tra il pulvino e l’impalcato, rappresenta il comportamento d’insieme dei tre appoggi che si hanno nella realtà.

Per quanto riguarda l’elemento di connessione “lato mobile”, le rigidezze assiali  $R_{Dx}$  (3648000 kN/m) e a taglio longitudinale  $R_{Dz}$  (4020 kN/m) sono state definite semplicemente considerando la presenza dei 3 dispositivi di appoggio (isolatori elastomerici), i quali lavorano tra loro in parallelo.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	ANALISI <b>IA5F</b>	LOTTO <b>03</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>VI000006</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>16 di 70</b>

Analisi con isolamento V106



**Add/Modify General Link Properties**

Name : Lato mobile

Description :

Application Type

Element Type 1  Force Type : Boundary Nonlinear Analysis

Property Type : Spring

Element Type 2 : Seismic Control Devices

Seismic Control Devices Type : Viscous Damper / Oil Damper

Seismic Control Devices Properties :

Self Weight  Use Mass

Total Weight : 0 kN Total Mass : 0 kN/g

Lumped Weight Ratio: I-end : J-end = 0.5 : 0.5 Lumped Mass Ratio: I-end : J-end = 0.5 : 0.5

Linear Properties			Nonlinear Properties		
DOF	Stiffness	Damping	DOF		
<input checked="" type="checkbox"/> Dx	3648000 kN/m	0 kN*sec/m	<input type="checkbox"/> Dx	Properties...	
<input checked="" type="checkbox"/> Dy	10000000 kN/m	0 kN*sec/m	<input type="checkbox"/> Dy	Properties...	
<input checked="" type="checkbox"/> Dz	4020 kN/m	0 kN*sec/m	<input type="checkbox"/> Dz	Properties...	
<input checked="" type="checkbox"/> Rx	10720 kN*m/[rad]	0 kN*m*sec/[rad]	<input type="checkbox"/> Rx	Properties...	
<input checked="" type="checkbox"/> Ry	0 kN*m/[rad]	0 kN*m*sec/[rad]	<input type="checkbox"/> Ry	Properties...	
<input checked="" type="checkbox"/> Rz	9728000 kN*m/[rad]	0 kN*m*sec/[rad]	<input type="checkbox"/> Rz	Properties...	

Shear Spring Location

Distance Ratio From End I Dy : 0.5 Dz : 0.5

Figura 4.10 – Link per la modellazione degli appoggi lato mobile

La rigidezza torsionale e la rigidezza rotazionale in direzione trasversale all’impalcato sono state assunte considerando che siano date dal solo effetto tira e spingi che forniscono i dispositivi posti sotto le travi esterne. Sono dunque state definite nel seguente modo:

$$R_{,Rx} = \frac{1}{2} i^2 K_{e,IS} = 10720 \text{ kNm/rad}$$


$$R_{,Rz} = \frac{1}{2} i^2 K_{v,IS} = 9728000 \text{ kNm/rad}$$

Dove “i” è l’interasse tra le travi esterne.  $K_{e,IS}$  e  $K_{v,IS}$  sono rispettivamente le rigidezze orizzontale e verticale del singolo isolatore.

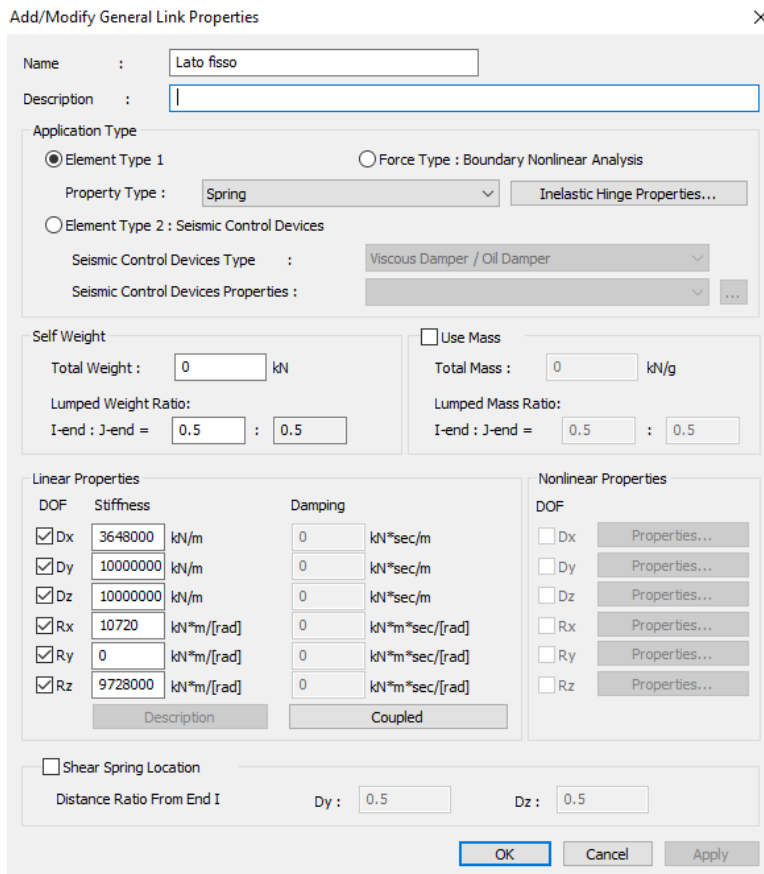
La rigidezza rotazionale in direzione longitudinale è stata assunta pari a zero.

Per rappresentare invece la presenza del fusibile è stata assunta una rigidezza molto elevata per ciò che riguarda la rigidezza traslazionale in direzione trasversale ( $R_{,Dy} = 10^8 \text{ kN/m}$ ).



 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale</b>					
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<i>Analisi con isolamento V106</i>	COMMESSA <b>IA5F</b>	LOTTO <b>03</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>VI0000006</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>17 di 70</b>

Per quanto riguarda i link rappresentativi degli appoggi “lato fisso”, le caratteristiche di rigidezza sono tutte uguali a quelle del link “lato mobile”, fatta eccezione per la traslazione longitudinale, per la quale è stata assegnata rigidezza molto elevata per rappresentare il contributo dei fusibili.



**Add/Modify General Link Properties**

Name : Lato fisso

Description :

Application Type

Element Type 1  Force Type : Boundary Nonlinear Analysis

Property Type : Spring

Element Type 2 : Seismic Control Devices

Seismic Control Devices Type : Viscous Damper / Oil Damper

Seismic Control Devices Properties :

Self Weight

Use Mass

Total Weight : 0 kN Total Mass : 0 kN/g

Lumped Weight Ratio: I-end : J-end = 0.5 : 0.5

Lumped Mass Ratio: I-end : J-end = 0.5 : 0.5

Linear Properties

DOF	Stiffness	Damping
<input checked="" type="checkbox"/> Dx	3648000 kN/m	0 kN*sec/m
<input checked="" type="checkbox"/> Dy	10000000 kN/m	0 kN*sec/m
<input checked="" type="checkbox"/> Dz	10000000 kN/m	0 kN*sec/m
<input checked="" type="checkbox"/> Rx	10720 kN*m/[rad]	0 kN*m*sec/[rad]
<input checked="" type="checkbox"/> Ry	0 kN*m/[rad]	0 kN*m*sec/[rad]
<input checked="" type="checkbox"/> Rz	9728000 kN*m/[rad]	0 kN*m*sec/[rad]

Nonlinear Properties

DOF

Dx

Dy

Dz

Rx

Ry

Rz


Shear Spring Location

Distance Ratio From End I Dy : 0.5 Dz : 0.5

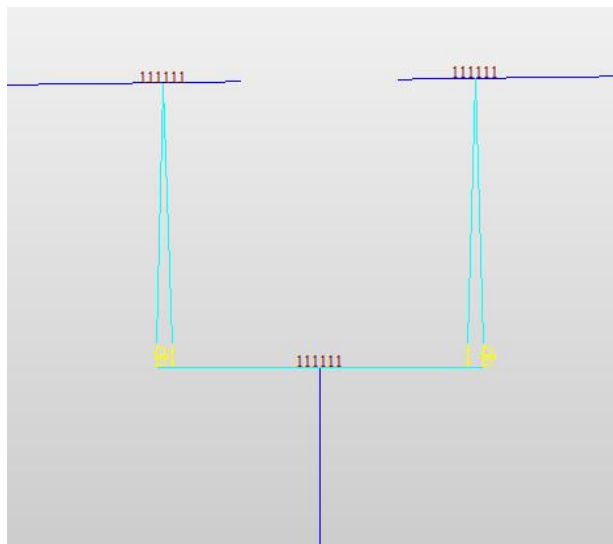
Figura 4.11 – Link per la modellazione degli appoggi lato fisso

Questo modello è stato utilizzato per verificare se la forza per cui avviene la rottura dei fusibili, superiore alla forza in gioco in condizioni di esercizio, non comporti l’entrata in campo plastico delle sezioni critiche delle sottostrutture.

Nel secondo modello, poiché si vuole rappresentare la situazione in cui, a causa di un evento sismico severo, i fusibili sono già arrivati a rottura, le connessioni tra implacato e sottostrutture sono realizzate attraverso due collegamenti posti in parallelo allo scopo di modellare il comportamento degli isolatori in elastomero e dei dissipatori elastoplastici a piolo.

	<b>Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	COMMESSA <b>IA5F</b>	LOTTO <b>03</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>VI000006</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>18 di 70</b>

*Analisi con isolamento V106*




*Figura 4.12 – Dettaglio della modellazione degli isolatori e dei dissipatori*

Gli isolatori sono stati modellati attraverso degli “General Link” tipo “Spring and Linear Dashpot”, ossia attraverso organi viscoelastici equivalenti, le cui caratteristiche sono riportate nella figura 4.13.

Le rigidzze assunte sono congruenti a quelle dei link utilizzati per rappresentare le connessioni pile-impalcato nel primo modello, fatte eccezione per le traslazioni longitudinali e trasversali, per le quali, non essendo più presenti i fusibili, sono state assegnate le rigidzze corrispondenti agli isolatori.

Lo smorzamento nominale dei dispositivi di isolamento è pari al 15%. Nel calcolo è stato comunque assunto uno smorzamento viscoso equivalente ridotto pari a  $\xi=12\%$ .

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	ANALISI CON ISOLAMENTO V106	COMMESSA <b>IA5F</b>	LOTTO <b>03</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>VI000006</b>	REV. <b>A</b>

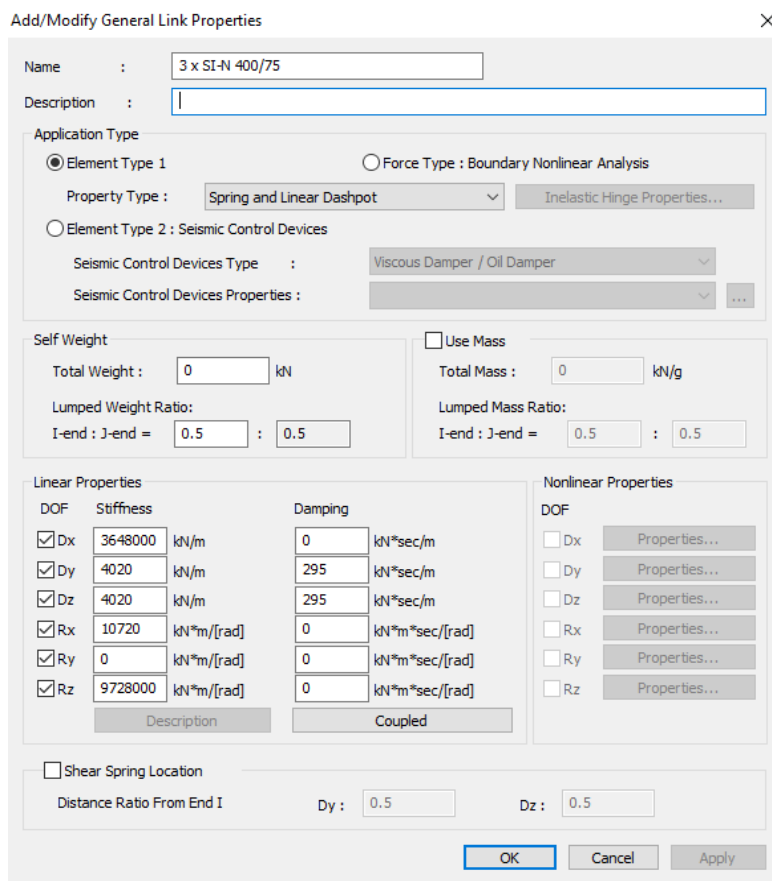


Figura 4.13 – General Link “3 x SI-N 400/75”

Dato  $\xi$ , il valore del parametro C deve essere riferito al periodo di oscillazione della massa isolata riferito a sua volta allo spostamento di progetto.

In via semplificata, allo scopo di evitare un calcolo iterativo per poter valutare quale fosse effettivamente lo spostamento di progetto per i diversi stati limite, per il calcolo dello smorzamento C sono state assunte una massa pari a metà di quella dell’impalcato (circa 375 tonnellate) e una rigidezza pari a quella dei 3 dispositivi posti su un appoggio (4020 kN/m).

$$C = 2 \omega m \xi = 2 (k/m)^{0.5} m \xi = 2 (4020/375)^{0.5} 375 \cdot 0.12 = 295 \text{ kNsec/m}$$

Così facendo si sta trascurando che parte della massa è in realtà trasferita alle pile tramite i dissipatori. Dunque, volendo eseguire un calcolo più preciso, nella formula precedente si avrebbe una massa minore: infatti, considerando per esempio uno spostamento di progetto pari a quello ultimo di 15 cm, la rigidezza equivalente di due dissipatori in parallelo è pari a  $220\text{kN}/0.1\text{m} = 2200 \text{ kN/m}$ . Ciò significa che agli isolatori spetterebbe in realtà circa il 65% della massa dell’impalcato e non il 100%.

	<b>Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	COMMESSA <b>IA5F</b>	LOTTO <b>03</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>VI0000006</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>20 di 70</b>

*Analisi con isolamento V106*

Si avrebbe quindi:

$$C = 2 \omega m \xi = 2 (k/0.65m)^{0.5} 0.65m \xi = 2 (4020/245)^{0.5} 245 \cdot 0.12 = 240 \text{ kNsec/m}$$

Tale assunzione è coperta dal fatto che è stato considerato uno smorzamento  $\xi$  pari al 12%, a fronte del valore nominale pari al 15%.

Per quanto riguarda i dissipatori, si è rappresentato il comportamento d'insieme dei due pioli presenti, uno per ognuna delle travi esterne, attraverso due "General Link" posti tra loro in serie, così strutturati:

- Un "general link" al quale vengono assegnate delle rigidità nulle in corrispondenza di tutti i gradi di libertà, fatta eccezione per le traslazioni longitudinale e trasversale. Per quest'ultime viene infatti assegnata una rigidità pari a quella del ramo elastico che caratterizza i 2 dissipatori (figura 4.14). Tramite poi il comando "Inelastic Hinge Properties" è stato assegnato il comportamento elastoplastico (Multi-Linear Plastic Kinematic) che caratterizza i dissipatori in direzione longitudinale e trasversale. Il legame è quello riportato in figura 4.15.
- Un "general link" avente una rigidità molto elevata in corrispondenza degli stessi gradi di libertà nei quali si ha rigidità nulla nel primo link ( $D_x, R_x, R_y, R_z$ ). Per gli altri gradi di libertà, ossia  $D_y$  e  $D_z$  (traslazioni nel piano), si considera una rigidità molto bassa, praticamente trascurabile rispetto alla rigidità degli isolatori (vedere figura 4.16). Per quanto riguarda le traslazioni orizzontali, tramite il comando "Inelastic Hinge Properties", viene poi assegnato un comportamento elastico non lineare (Multi-Linear Elastic), il cui legame è rappresentato in figura 4.17. La lunghezza del ramo orizzontale, partendo dall'origine, è pari proprio al gap, ossia 5 cm. Il ramo finale presenta invece una rigidità molto elevata rispetto a quella dei dissipatori.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	ANALISI <b>IA5F</b>	LOTTO <b>03</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>VI000006</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>21 di 70</b>

Analisi con isolamento V106

Add/Modify General Link Properties

Name : Birilli 2x90/110

Description :

Application Type

Element Type 1  Force Type : Boundary Nonlinear Analysis

Property Type : Spring

Element Type 2 : Seismic Control Devices

Seismic Control Devices Type : Viscous Damper / Oil Damper

Seismic Control Devices Properties :

Self Weight  Use Mass

Total Weight : 0 kN Total Mass : 0 kN/g

Lumped Weight Ratio: I-end : J-end = 0.5 : 0.5 Lumped Mass Ratio: I-end : J-end = 0.5 : 0.5

Linear Properties

DOF	Stiffness	Damping
<input checked="" type="checkbox"/> Dx	0 kN/m	0 kN*sec/m
<input checked="" type="checkbox"/> Dy	15000 kN/m	0 kN*sec/m
<input checked="" type="checkbox"/> Dz	15000 kN/m	0 kN*sec/m
<input checked="" type="checkbox"/> Rx	0 kN*m/[rad]	0 kN*m*sec/[rad]
<input checked="" type="checkbox"/> Ry	0 kN*m/[rad]	0 kN*m*sec/[rad]
<input checked="" type="checkbox"/> Rz	0 kN*m/[rad]	0 kN*m*sec/[rad]

Description Coupled

Nonlinear Properties

Dx

Dy

Dz

Rx

Ry

Rz

Shear Spring Location

Distance Ratio From End I Dy : 0.5 Dz : 0.5

Figura 4.14 – General Link “Birilli 2x90/110”

Directional Hinge Properties : Multi-Linear Plastic Kinematic

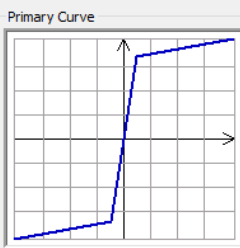
Type  Both  Tens. Only  Comp. Only

Multi-Linear Force & Deformation

	Displacement (m)	Force (kN)
1	-0.1000	-220.0000
2	-0.0120	-180.0000
3	0.0000	0.0000
4	0.0120	180.0000
5	0.1000	220.0000
6		

Scale Factor : Displ. 1 Force 1

Initial Stiffness (+) 15000 kN/m (-) 15000 kN/m

Primary Curve 

Deformation Indices Ductility Factor :  D/D1  D/D2

Hinge Status

Level	(+)	(-)
1	0.5	0.5
2	1	1
3	2	2
4	4	4
5	8	8

Figura 4.15 – Inelastic hinge “Birilli 2x90/110”

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	ANALISI <b>IA5F</b>	LOTTO <b>03</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>VI000006</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>22 di 70</b>

Analisi con isolamento V106

Add/Modify General Link Properties

Name :

Description :

Application Type

Element Type 1  Force Type : Boundary Nonlinear Analysis

Property Type :

Element Type 2 : Seismic Control Devices

Seismic Control Devices Type :

Seismic Control Devices Properties :

Self Weight  Use Mass

Total Weight :  kN Total Mass :  kN/g

Lumped Weight Ratio: I-end : J-end =  :

Lumped Mass Ratio: I-end : J-end =  :

Linear Properties

DOF	Stiffness	Damping
<input checked="" type="checkbox"/> Dx	<input type="text" value="10000000"/> kN/m	<input type="text" value="0"/> kN*sec/m
<input checked="" type="checkbox"/> Dy	<input type="text" value="10"/> kN/m	<input type="text" value="0"/> kN*sec/m
<input checked="" type="checkbox"/> Dz	<input type="text" value="10"/> kN/m	<input type="text" value="0"/> kN*sec/m
<input checked="" type="checkbox"/> Rx	<input type="text" value="10000000"/> kN*m/[rad]	<input type="text" value="0"/> kN*m*sec/[rad]
<input checked="" type="checkbox"/> Ry	<input type="text" value="10000000"/> kN*m/[rad]	<input type="text" value="0"/> kN*m*sec/[rad]
<input checked="" type="checkbox"/> Rz	<input type="text" value="10000000"/> kN*m/[rad]	<input type="text" value="0"/> kN*m*sec/[rad]

Nonlinear Properties

DOF	Properties...
<input type="checkbox"/> Dx	<input type="button" value="Properties..."/>
<input type="checkbox"/> Dy	<input type="button" value="Properties..."/>
<input type="checkbox"/> Dz	<input type="button" value="Properties..."/>
<input type="checkbox"/> Rx	<input type="button" value="Properties..."/>
<input type="checkbox"/> Ry	<input type="button" value="Properties..."/>
<input type="checkbox"/> Rz	<input type="button" value="Properties..."/>

Shear Spring Location

Distance Ratio From End I Dy :  Dz :

Figura 4.16 – General Link “Gap 5cm”

Directional Hinge Properties : Multi-Linear Elastic

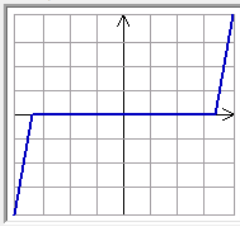
Type  Both  Tens. Only  Comp. Only

Multi-Linear Force & Deformation

	Displacement (m)	Force (kN)
1	-0.0600	-10000.0000
2	-0.0500	-65.0000
3	-0.0495	-15.0000
4	-0.0490	-5.0000
5	-0.0480	-2.0000
6	-0.0450	-1.0000
7	-0.0400	-0.4000
8	0.0000	0.0000
9	0.0400	0.4000
10	0.0450	1.0000
11	0.0490	5.0000
12	0.0495	15.0000
13	0.0495	65.0000
14	0.0500	10000.0000

Scale Factor : Displ.  Force

Initial Stiffness (+)  kN/m (-)  kN/m

Primary Curve 

Deformation Indices

Ductility Factor :  D/D1  D/D2

Hinge Status

Level	(+)	(-)
1	0.5	0.5
2	1	1
3	2	2
4	4	4
5	8	8

Figura 4.17 – Inelastic hinge “Gap 5cm”

Nella seguente figura è schematizzato il comportamento di un dissipatore isteretico con spostamento iniziale a vuoto.

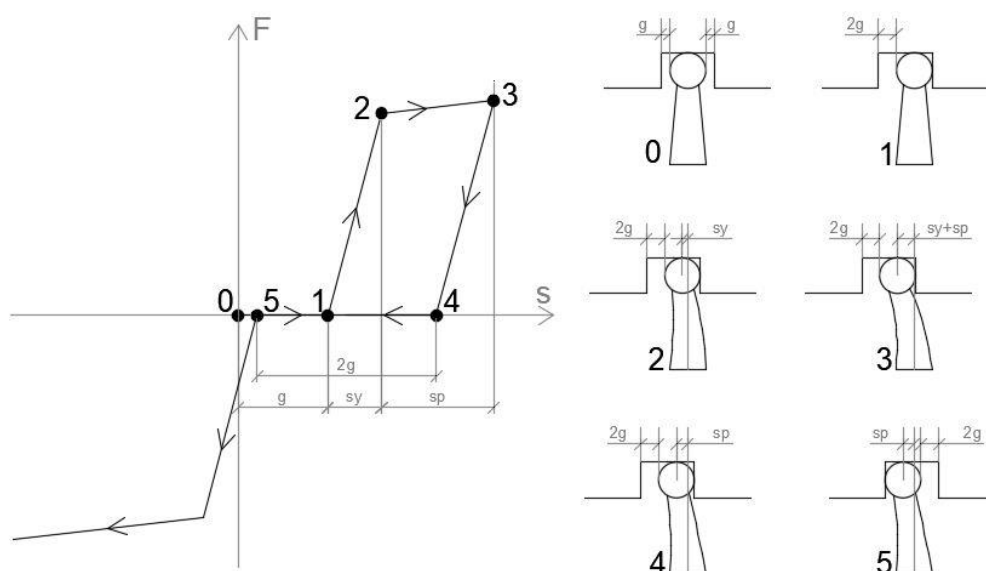


Figura 4.18 – Comportamento di un dissipatore isteretico con spostamento iniziale a vuoto

Ponendo i link sopra descritti in serie, si ottiene il seguente comportamento per ciò che riguarda il taglio longitudinale e trasversale: inizialmente, avendo posto due elementi in serie di cui uno presenta rigidità iniziale molto bassa ( $K=10$  kN/m), anche l'intero elemento presenta rigidità molto bassa (circa 9.99 kN/m), la quale è pressoché trascurabile rispetto alla rigidità dell'isolatore, circa 400 volte più grande. In particolare, il punto rappresentativo dello stato tensionale si muove lungo il primo ramo del legame di figura 4.17, ossia ci si trova nella condizione 0-1 della figura 4.18 e dunque il comportamento è governato dalla rigidità dell'elastomero. Quando viene raggiunto lo spostamento a cui corrisponde il passaggio dal ramo a bassa rigidità a quello a rigidità molto elevata, allora il comportamento che governa l'elemento diventa quello di figura 4.15, ossia si sta descrivendo il tratto 1-2-3-4. Eseguito lo scarico (punto 4), ci si muove in senso inverso sul ramo a pendenza orizzontale, fino a giungere ad uno scorrimento che è pari a due volte il gap (punto 5), in corrispondenza del quale si ha ancora una volta rigidità infinita (figura 4.17) e quindi il comportamento diviene governato dal legame rappresentato al 3° quadrante della figura 4.15.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale</b>  <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	ANALISI CON ISOLAMENTO V106	COMMESSA <b>IA5F</b>	LOTTO <b>03</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>VI000006</b>	REV. <b>A</b>

## 5 ANALISI DELLA STRUTTURA

Come specificato al capitolo precedente, sono stati realizzati due modelli distinti atti a riprodurre il comportamento del viadotto prima e dopo la rottura dei fusibili.

Il primo dei due modelli, il “fisso-mobile”, è costituito da soli elementi con comportamento lineare. Per valutare dunque la risposta in condizioni di sisma frequente, è stato sufficiente applicare una analisi dinamica lineare con spettri di risposta.

Il paragrafo 7.3.4.1 “Analisi non lineare dinamica” delle NTC-2018 richiede di effettuare un’analisi dinamica non lineare obbligatoria quando l’eventuale sistema d’isolamento non può essere rappresentato da un modello lineare equivalente, come stabilito nel paragrafo 7.10.5.3.1 delle NTC-2018.

Per valutare la risposta della struttura in condizioni post rottura dei fusibili e dunque con sistema di isolamento attivato, si è quindi ricorso a delle analisi non lineari Time-History basate sull’integrazione diretta delle equazioni del moto.

### 5.1 Analisi sul modello “fisso-mobile”

Le seguenti analisi sono state condotte allo scopo di:

- dimensionare il gap da attribuire ai dissipatori;
- valutare le azioni agenti sulle sottostrutture un attimo prima dell’attivazione dell’isolamento.

#### 5.1.1 Analisi modale del viadotto nelle condizioni precedenti all’attivazione dell’isolamento

Le valutazioni suddette sono state condotte attraverso analisi spettrali del viadotto, le quali sono basate sull’analisi modale, di cui si fa un breve richiamo.

L’equazione del moto della struttura si presenta nella seguente forma:

$$\underline{M} \underline{u}''(t) + \underline{C} \underline{u}'(t) + \underline{K} \underline{u}(t) = -\underline{M} \underline{x}_g''(t)$$

Considerando lo stesso sistema, libero e privo di smorzamento, si ha:

$$\underline{M} \underline{u}''(t) + \underline{K} \underline{u}(t) = 0$$

Se si considera che gli spostamenti possano essere rappresentati come il prodotto tra un vettore costante  $\underline{\Phi}$  ed una funzione scalare del tempo  $q(t) = A \cdot \cos(\omega t) + B \cdot \sin(\omega t)$  si ha:



	<b>Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	ANALISI <b>IA5F</b>	LOTTO <b>03</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>VI0000006</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>25 di 70</b>

$$(-\omega^2 \underline{M} \underline{\Phi} + \underline{K} \underline{\Phi}) q(t) = 0$$

Poiché deve essere  $q(t) \neq 0$ , allora vale che

$$(-\omega^2 \underline{M} + \underline{K}) \underline{\Phi} = 0$$

Ovvero si ottiene un problema agli autovalori e autovettori.

In particolare, si hanno “n” equazioni omogenee in “n” incognite. Tale sistema ammette soluzione diversa dalla soluzione banale se e solo se

$$\det(-\omega^2 \underline{M} + \underline{K}) = 0$$

Da tale equazione di grado “n” si ottengono gli n autovalori  $\omega^2$ , dai quali si determinano le n pulsazioni  $\omega$  corrispondenti ai modi di vibrare della struttura.

Note le frequenze naturali è poi possibile calcolare i corrispondenti “n” autovettori  $\underline{\Phi}$  i quali rappresentano le forme modali della struttura.

La soluzione del problema si ricava per sovrapposizione degli effetti, ossia la deformata della struttura si ottiene come combinazione lineare di “n” deformate elementari variabili nel tempo secondo funzioni armoniche, ciascuna caratterizzata dalla sua forma e dal suo periodo proprio di oscillazione.

Di seguito si riportano i risultati dell’analisi modale ottenuti dal modello.

Il primo modo di vibrare della struttura, corrispondente al primo modo longitudinale della pila più alta (7.50 m), è pari a 0.247 secondi. Il primo modo longitudinale della pila più bassa (6.0 m) è invece pari a 0.231 secondi.

Il primo modo di vibrare trasversale risulta pari a 0.204 secondi ed è il settimo modo complessivo della struttura.

Per eseguire l’analisi spettrale sono stata considerati i primi 130 modi di vibrare della struttura. In questo modo si riesce a tenere in conto di una massa partecipante maggiore dell’85% per ciò che riguarda i gdl traslazionali.

Nel seguente grafico sono riportati i periodi e le masse partecipanti traslazionali (esprese come quota parte della massa complessiva) dei 130 modi considerati.

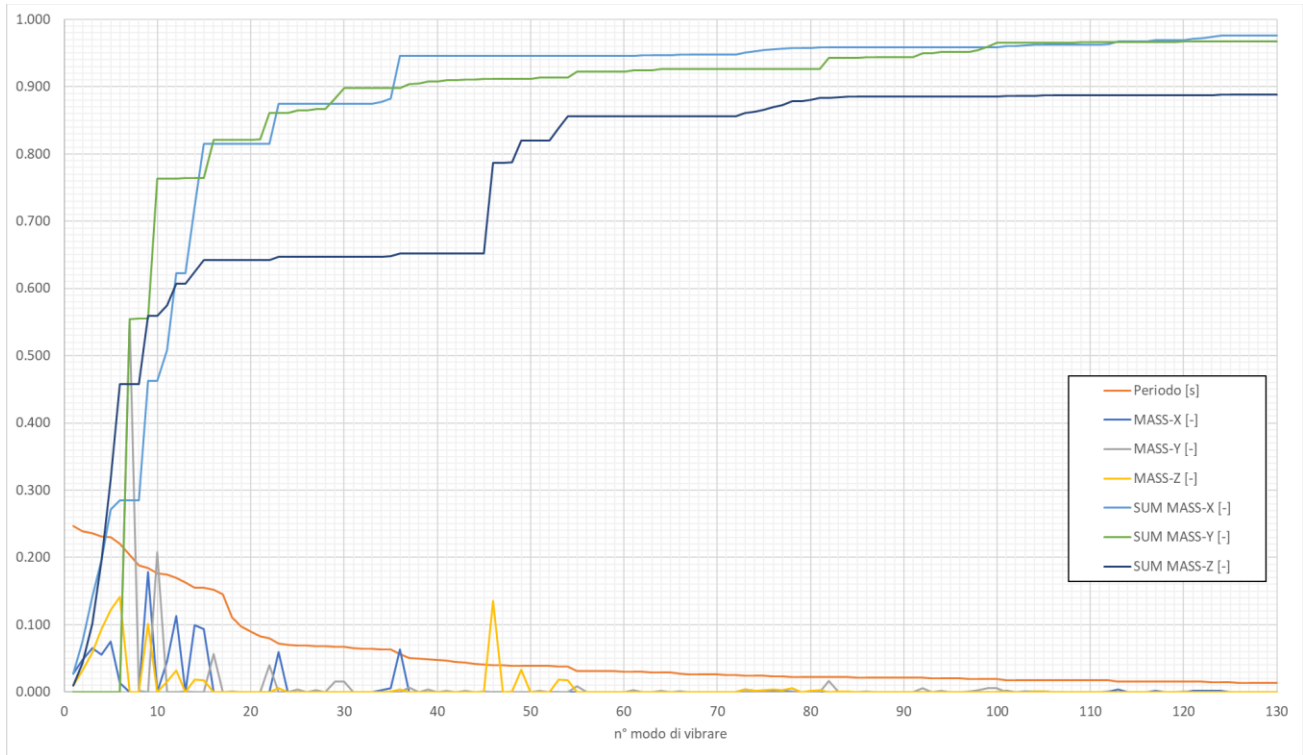


Figura 5.1 – Risultati dell'analisi modale del viadotto pre-rottura dei fusibili

Mode No	Frequency		Period (sec)
	(rad/sec)	(cycle/sec)	
1	25.432	4.048	0.247
2	26.259	4.179	0.239
3	26.601	4.234	0.236
4	27.234	4.334	0.231
5	27.321	4.348	0.230
6	28.510	4.537	0.220
7	30.853	4.910	0.204
8	33.463	5.326	0.188
9	34.060	5.421	0.184
10	35.652	5.674	0.176
11	35.998	5.729	0.175
12	37.107	5.906	0.169
13	38.648	6.151	0.163
14	40.412	6.432	0.155
15	40.465	6.440	0.155
16	41.293	6.572	0.152
17	43.152	6.868	0.146
18	56.631	9.013	0.111

Mode No	Frequency		Period (sec)
	(rad/sec)	(cycle/sec)	
19	64.321	10.237	0.098
20	70.273	11.184	0.089
21	75.896	12.079	0.083
22	78.842	12.548	0.080
23	87.299	13.894	0.072
24	90.149	14.348	0.070
25	90.923	14.471	0.069
26	91.445	14.554	0.069
27	91.890	14.625	0.068
28	92.032	14.647	0.068
29	93.721	14.916	0.067
30	93.786	14.926	0.067
31	96.042	15.286	0.065
32	97.074	15.450	0.065
33	98.092	15.612	0.064
34	98.982	15.753	0.063
35	99.712	15.870	0.063
36	112.116	17.844	0.056
37	123.677	19.684	0.051
38	126.434	20.123	0.050
39	129.285	20.576	0.049
40	132.771	21.131	0.047
41	135.772	21.609	0.046
42	140.803	22.410	0.045
43	144.361	22.976	0.044
44	149.204	23.747	0.042
45	153.961	24.504	0.041
46	157.570	25.078	0.040
47	158.428	25.215	0.040
48	159.605	25.402	0.039
49	161.191	25.654	0.039
50	162.558	25.872	0.039
51	162.805	25.911	0.039
52	163.406	26.007	0.038
53	164.948	26.252	0.038
54	166.204	26.452	0.038
55	200.343	31.886	0.031
56	201.824	32.121	0.031
57	204.204	32.500	0.031

Mode No	Frequency		Period (sec)
	(rad/sec)	(cycle/sec)	
58	205.245	32.666	0.031
59	205.373	32.686	0.031
60	206.325	32.838	0.030
61	209.647	33.366	0.030
62	211.657	33.686	0.030
63	213.883	34.041	0.029
64	217.186	34.566	0.029
65	217.944	34.687	0.029
66	227.384	36.189	0.028
67	236.406	37.625	0.027
68	239.721	38.153	0.026
69	242.130	38.536	0.026
70	244.469	38.909	0.026
71	246.272	39.195	0.026
72	246.600	39.248	0.025
73	258.169	41.089	0.024
74	261.665	41.645	0.024
75	264.167	42.043	0.024
76	267.913	42.640	0.023
77	272.036	43.296	0.023
78	276.042	43.933	0.023
79	277.089	44.100	0.023
80	277.803	44.214	0.023
81	278.412	44.311	0.023
82	279.675	44.512	0.022
83	279.781	44.528	0.022
84	279.899	44.547	0.022
85	289.761	46.117	0.022
86	292.823	46.604	0.021
87	293.345	46.687	0.021
88	293.581	46.725	0.021
89	293.862	46.770	0.021
90	294.063	46.802	0.021
91	294.137	46.813	0.021
92	294.989	46.949	0.021
93	304.130	48.404	0.021
94	305.898	48.685	0.021
95	313.082	49.828	0.020
96	315.268	50.176	0.020

Mode No	Frequency		Period (sec)
	(rad/sec)	(cycle/sec)	
97	321.086	51.102	0.020
98	323.471	51.482	0.019
99	331.755	52.800	0.019
100	331.862	52.817	0.019
101	351.896	56.006	0.018
102	355.902	56.644	0.018
103	361.298	57.502	0.017
104	363.524	57.857	0.017
105	366.601	58.346	0.017
106	366.638	58.352	0.017
107	366.767	58.373	0.017
108	367.073	58.421	0.017
109	367.428	58.478	0.017
110	368.278	58.613	0.017
111	368.390	58.631	0.017
112	368.640	58.671	0.017
113	398.722	63.459	0.016
114	408.392	64.998	0.015
115	408.887	65.076	0.015
116	409.649	65.198	0.015
117	410.158	65.279	0.015
118	410.460	65.327	0.015
119	411.403	65.477	0.015
120	411.580	65.505	0.015
121	416.959	66.361	0.015
122	419.653	66.790	0.015
123	430.855	68.573	0.015
124	431.447	68.667	0.015
125	449.086	71.474	0.014
126	450.542	71.706	0.014
127	452.498	72.017	0.014
128	454.790	72.382	0.014
129	456.167	72.601	0.014
130	456.520	72.657	0.014

Mode No	TRAN-X		TRAN-Y		TRAN-Z	
	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)
1	2.73	2.73	0.00	0.00	1.00	1.00

Mode No	TRAN-X		TRAN-Y		TRAN-Z	
	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)
2	4.80	7.53	0.00	0.00	3.23	4.24
3	6.56	14.10	0.00	0.00	5.87	10.10
4	5.55	19.65	0.00	0.00	9.38	19.48
5	7.48	27.13	0.00	0.00	12.14	31.62
6	1.34	28.46	0.00	0.00	14.12	45.74
7	0.00	28.46	55.41	55.41	0.00	45.74
8	0.00	28.46	0.15	55.57	0.00	45.74
9	17.82	46.28	0.00	55.57	10.14	55.88
10	0.00	46.28	20.76	76.33	0.00	55.88
11	4.61	50.89	0.00	76.33	1.59	57.46
12	11.33	62.22	0.00	76.33	3.22	60.68
13	0.00	62.22	0.05	76.38	0.00	60.68
14	9.90	72.12	0.00	76.38	1.81	62.49
15	9.36	81.48	0.00	76.38	1.73	64.22
16	0.00	81.48	5.68	82.06	0.00	64.22
17	0.00	81.48	0.00	82.06	0.00	64.22
18	0.00	81.48	0.07	82.13	0.00	64.22
19	0.00	81.48	0.00	82.13	0.00	64.22
20	0.00	81.48	0.00	82.13	0.00	64.22
21	0.00	81.48	0.01	82.14	0.00	64.22
22	0.00	81.48	3.96	86.10	0.00	64.22
23	5.98	87.46	0.00	86.10	0.52	64.73
24	0.00	87.46	0.00	86.10	0.00	64.73
25	0.00	87.46	0.33	86.43	0.00	64.73
26	0.00	87.46	0.00	86.43	0.00	64.73
27	0.00	87.46	0.25	86.68	0.00	64.73
28	0.00	87.46	0.00	86.68	0.00	64.73
29	0.00	87.46	1.53	88.21	0.00	64.73
30	0.00	87.46	1.55	89.76	0.00	64.73
31	0.00	87.46	0.00	89.76	0.00	64.73
32	0.00	87.46	0.00	89.76	0.00	64.73
33	0.02	87.48	0.00	89.76	0.00	64.73
34	0.26	87.74	0.00	89.76	0.00	64.74
35	0.52	88.26	0.00	89.76	0.05	64.79
36	6.33	94.59	0.00	89.76	0.36	65.15
37	0.00	94.59	0.66	90.42	0.00	65.15
38	0.00	94.59	0.00	90.43	0.00	65.15
39	0.00	94.59	0.35	90.78	0.00	65.15
40	0.00	94.59	0.00	90.78	0.00	65.15

Mode No	TRAN-X		TRAN-Y		TRAN-Z	
	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)
41	0.00	94.59	0.17	90.95	0.00	65.15
42	0.00	94.59	0.00	90.95	0.00	65.15
43	0.00	94.59	0.13	91.08	0.00	65.15
44	0.00	94.59	0.00	91.08	0.00	65.15
45	0.00	94.59	0.09	91.17	0.00	65.15
46	0.01	94.59	0.00	91.17	13.54	78.69
47	0.00	94.59	0.00	91.17	0.00	78.69
48	0.00	94.59	0.00	91.17	0.04	78.72
49	0.00	94.59	0.00	91.17	3.26	81.98
50	0.00	94.59	0.00	91.17	0.00	81.98
51	0.00	94.59	0.15	91.32	0.00	81.98
52	0.00	94.59	0.00	91.32	0.00	81.98
53	0.01	94.60	0.00	91.32	1.84	83.82
54	0.02	94.62	0.00	91.32	1.75	85.57
55	0.00	94.62	0.91	92.23	0.00	85.57
56	0.00	94.62	0.00	92.23	0.00	85.57
57	0.00	94.62	0.00	92.23	0.00	85.57
58	0.00	94.62	0.00	92.24	0.00	85.57
59	0.00	94.62	0.00	92.24	0.02	85.59
60	0.00	94.62	0.00	92.24	0.03	85.61
61	0.00	94.62	0.23	92.46	0.00	85.61
62	0.03	94.65	0.00	92.46	0.00	85.61
63	0.00	94.65	0.00	92.46	0.00	85.61
64	0.00	94.65	0.16	92.62	0.00	85.61
65	0.00	94.65	0.00	92.62	0.00	85.61
66	0.09	94.74	0.00	92.62	0.01	85.62
67	0.00	94.74	0.00	92.62	0.00	85.62
68	0.00	94.74	0.00	92.62	0.00	85.62
69	0.00	94.74	0.01	92.62	0.00	85.62
70	0.00	94.74	0.00	92.62	0.00	85.62
71	0.00	94.74	0.00	92.62	0.00	85.62
72	0.00	94.74	0.00	92.62	0.00	85.62
73	0.37	95.11	0.00	92.62	0.42	86.04
74	0.13	95.24	0.00	92.62	0.22	86.26
75	0.17	95.41	0.00	92.62	0.29	86.55
76	0.13	95.54	0.00	92.62	0.39	86.95
77	0.15	95.69	0.00	92.62	0.30	87.25
78	0.07	95.76	0.00	92.62	0.61	87.86
79	0.00	95.76	0.00	92.62	0.00	87.86

Mode No	TRAN-X		TRAN-Y		TRAN-Z	
	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)
80	0.03	95.79	0.00	92.62	0.18	88.04
81	0.01	95.80	0.00	92.62	0.27	88.31
82	0.00	95.80	1.63	94.26	0.00	88.31
83	0.03	95.83	0.00	94.26	0.10	88.41
84	0.02	95.86	0.00	94.26	0.11	88.52
85	0.00	95.86	0.01	94.27	0.00	88.52
86	0.00	95.86	0.09	94.36	0.00	88.52
87	0.00	95.86	0.00	94.36	0.00	88.52
88	0.00	95.86	0.01	94.37	0.00	88.52
89	0.00	95.86	0.00	94.37	0.00	88.52
90	0.00	95.86	0.00	94.37	0.00	88.52
91	0.00	95.86	0.00	94.37	0.00	88.52
92	0.00	95.86	0.59	94.96	0.00	88.52
93	0.00	95.86	0.02	94.98	0.00	88.52
94	0.00	95.86	0.17	95.15	0.00	88.52
95	0.00	95.86	0.00	95.15	0.00	88.52
96	0.00	95.86	0.00	95.15	0.00	88.52
97	0.00	95.86	0.04	95.19	0.00	88.52
98	0.00	95.86	0.29	95.48	0.00	88.52
99	0.00	95.86	0.52	95.99	0.00	88.52
100	0.00	95.86	0.57	96.57	0.00	88.52
101	0.21	96.06	0.00	96.57	0.07	88.58
102	0.03	96.09	0.00	96.57	0.01	88.59
103	0.06	96.15	0.00	96.57	0.03	88.62
104	0.08	96.23	0.00	96.57	0.04	88.66
105	0.05	96.28	0.00	96.57	0.07	88.73
106	0.00	96.28	0.00	96.57	0.00	88.73
107	0.00	96.28	0.01	96.58	0.00	88.73
108	0.00	96.28	0.00	96.58	0.00	88.73
109	0.00	96.28	0.02	96.59	0.00	88.73
110	0.00	96.28	0.01	96.60	0.00	88.73
111	0.00	96.28	0.02	96.62	0.00	88.73
112	0.07	96.35	0.00	96.62	0.03	88.76
113	0.36	96.71	0.00	96.62	0.01	88.77
114	0.00	96.71	0.00	96.62	0.00	88.77
115	0.00	96.71	0.00	96.62	0.00	88.77
116	0.00	96.71	0.00	96.62	0.00	88.77
117	0.19	96.90	0.00	96.62	0.00	88.77
118	0.00	96.90	0.01	96.63	0.00	88.77



Mode No	TRAN-X		TRAN-Y		TRAN-Z	
	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)
119	0.00	96.90	0.00	96.63	0.00	88.77
120	0.00	96.90	0.06	96.69	0.00	88.77
121	0.22	97.12	0.00	96.69	0.01	88.77
122	0.14	97.26	0.00	96.69	0.00	88.77
123	0.17	97.43	0.00	96.69	0.00	88.77
124	0.13	97.56	0.00	96.69	0.00	88.78
125	0.00	97.56	0.00	96.69	0.00	88.78
126	0.00	97.56	0.01	96.70	0.00	88.78
127	0.00	97.56	0.00	96.70	0.00	88.78
128	0.00	97.56	0.01	96.71	0.00	88.78
129	0.00	97.56	0.00	96.71	0.00	88.78
130	0.00	97.56	0.00	96.71	0.00	88.78

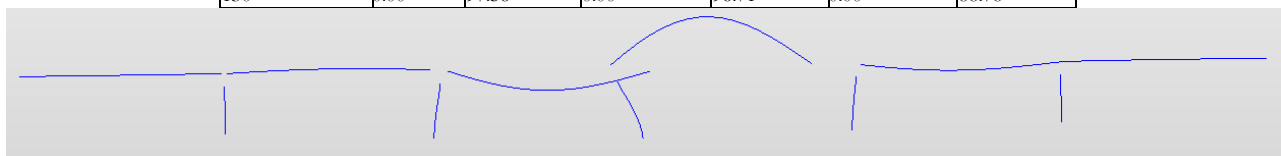


Figura 5.2 – Deformata del primo modo di vibrare del viadotto ( $T = 0.247$  sec)

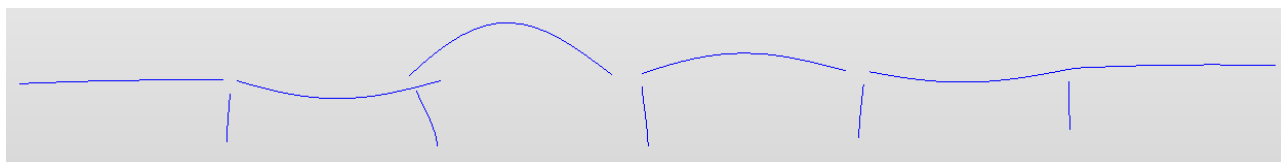


Figura 5.3 – Deformata del secondo modo di vibrare del viadotto ( $T = 0.239$  sec)

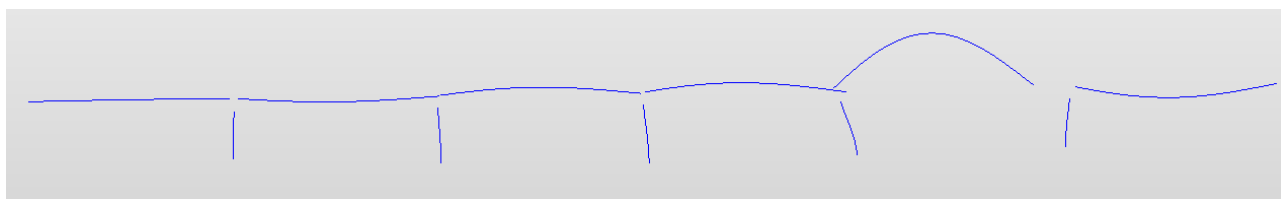


Figura 5.4 – Deformata del terzo modo di vibrare del viadotto ( $T = 0.236$  sec)

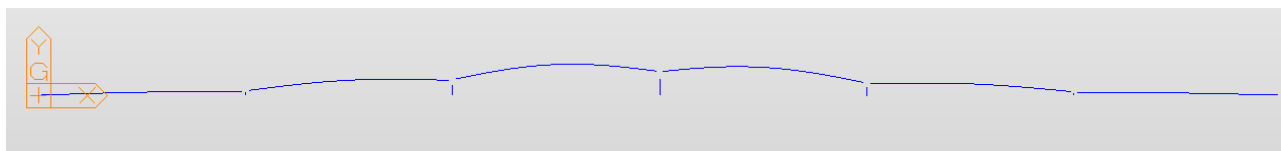


Figura 5.5 – Deformata del settimo modo di vibrare del viadotto ( $T = 0.204$  sec)

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale</b>  <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	ANALISI CON ISOLAMENTO VI06	COMMESSA <b>IA5F</b>	LOTTO <b>03</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>VI0000006</b>	REV. <b>A</b>

### 5.1.2 Valutazione del gap minimo da assegnare ai dissipatori


Si rimanda al paragrafo 5.1.2 della relazione di calcolo IA5F03D09CLVI0000001 (relativa ai viadotti VI10, VI11, VI07 e VI04).

### 5.1.3 Valutazione delle sollecitazioni sulle sottostrutture al momento della rottura dei fusibili

È stato necessario valutare l'entità delle azioni trasmesse alle sottostrutture nelle condizioni antecedenti alla rottura dei fusibili poiché, in accordo con quanto espresso al 7.10.2 delle NTC18, tali sollecitazioni non devono comportare l'entrata in campo plastico delle pile (permanenza in campo sostanzialmente elastico).

A tale scopo è stata eseguita una analisi spettrale con spettro elastico SLD (applicato nelle due direzioni principali del viadotto), dalla quale sono state ricavate le seguenti azione agenti sugli appoggi.

No.	Load	Node	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN*m)	Moment-y (kN*m)	Moment-z (kN*m)
1	SLD/Ex(RS)	4002	277.2	0.0	<b>722.9</b>	0.0	0.0	0.0
2	SLD/Ex(RS)	4012	319.0	0.0	<b>921.7</b>	0.0	0.0	0.0
3	SLD/Ex(RS)	4022	352.7	0.0	<b>909.3</b>	0.0	0.0	0.0
4	SLD/Ex(RS)	4032	405.4	0.0	<b>940.0</b>	0.0	0.0	0.0
5	SLD/Ex(RS)	4042	367.5	0.0	<b>910.1</b>	0.0	0.0	0.0
6	SLD/Ex(RS)	4052	348.2	0.0	<b>908.1</b>	0.0	0.0	0.0
7	SLD/Ex(RS)	4005	220.3	0.0	2.9	0.0	0.0	0.0
8	SLD/Ex(RS)	4015	280.4	0.0	3.4	0.0	0.0	0.0
9	SLD/Ex(RS)	4025	345.6	0.0	3.0	0.0	0.0	0.0
10	SLD/Ex(RS)	4035	400.3	0.0	5.5	0.0	0.0	0.0
11	SLD/Ex(RS)	4045	355.1	0.0	4.3	0.0	0.0	0.0
12	SLD/Ex(RS)	4055	315.8	0.0	4.2	0.0	0.0	0.0
1	SLD/Ey(RS)	4002	0.0	<b>343.6</b>	0.0	0.5	0.0	782.1
2	SLD/Ey(RS)	4012	0.0	<b>511.8</b>	0.0	0.5	0.0	1158.2
3	SLD/Ey(RS)	4022	0.0	<b>665.9</b>	0.0	0.6	0.0	1497.5
4	SLD/Ey(RS)	4032	0.0	<b>701.4</b>	0.0	0.4	0.0	1554.5
5	SLD/Ey(RS)	4042	0.0	<b>549.7</b>	0.0	0.3	0.0	1232.0
6	SLD/Ey(RS)	4052	0.0	<b>431.7</b>	0.0	0.2	0.0	973.3
7	SLD/Ey(RS)	4005	0.0	<b>423.4</b>	0.0	0.2	0.0	956.4
8	SLD/Ey(RS)	4015	0.0	<b>554.5</b>	0.0	0.4	0.0	1238.0
9	SLD/Ey(RS)	4025	0.0	<b>735.6</b>	0.0	0.5	0.0	1634.9
10	SLD/Ey(RS)	4035	0.0	<b>607.9</b>	0.0	0.8	0.0	1371.0
11	SLD/Ey(RS)	4045	0.0	<b>525.2</b>	0.0	0.6	0.0	1188.4
12	SLD/Ey(RS)	4055	0.0	<b>344.9</b>	0.0	0.6	0.0	785.8

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale</b>  <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	ANALISI CON ISOLAMENTO V106	COMMESSA <b>IA5F</b>	LOTTO <b>03</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>VI000006</b>	REV. <b>A</b>

Gli appoggi dal N° 1 (spalla SA) al 6 sono quelli in corrispondenza del “lato fisso”. Dal N° 7 al 12 (spalla SB) sono quelli in corrispondenza del “lato mobile”.

Dai risultati ottenuti si nota come, al contrario di altri viadotti analizzati (VI10, VI12), non si raggiunga la rottura dei fusibili per condizioni sismiche SLD (ciò è dovuto al fatto che il viadotto Dragone è l'unico che si trova su un terreno tipo B).

È stata eseguita allora una ulteriore analisi spettrale, nella quale è stato assunto come spettro quello corrispondente ad un periodo di ritorno pari a 100 anni (contro i 50 anni di quello a SLD).

Si hanno le seguenti azioni sugli appoggi:

No.	Load	Node	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN*m)	Moment-y (kN*m)	Moment-z (kN*m)
1	100anni/Ex(RS)	4002.0	397.1	0.0	<b>1034.9</b>	0.0	0.0	0.0
2	100anni/Ex(RS)	4012.0	458.1	0.0	<b>1323.8</b>	0.0	0.0	0.0
3	100anni/Ex(RS)	4022.0	506.5	0.0	<b>1306.1</b>	0.0	0.0	0.0
4	100anni/Ex(RS)	4032.0	582.3	0.0	<b>1350.1</b>	0.0	0.0	0.0
5	100anni/Ex(RS)	4042.0	527.9	0.0	<b>1307.2</b>	0.0	0.0	0.0
6	100anni/Ex(RS)	4052.0	500.1	0.0	<b>1304.4</b>	0.0	0.0	0.0
7	100anni/Ex(RS)	4005.0	315.7	0.0	4.1	0.0	0.0	0.0
8	100anni/Ex(RS)	4015.0	402.7	0.0	4.8	0.0	0.0	0.0
9	100anni/Ex(RS)	4025.0	496.3	0.0	4.3	0.0	0.0	0.0
10	100anni/Ex(RS)	4035.0	575.0	0.0	7.8	0.0	0.0	0.0
11	100anni/Ex(RS)	4045.0	510.0	0.0	6.1	0.0	0.0	0.0
12	100anni/Ex(RS)	4055.0	453.6	0.0	6.1	0.0	0.0	0.0
1	100anni/Ey(RS)	4002.0	0.0	<b>493.3</b>	0.0	0.8	0.0	1123.1
2	100anni/Ey(RS)	4012.0	0.0	<b>735.2</b>	0.0	0.8	0.0	1663.5
3	100anni/Ey(RS)	4022.0	0.0	<b>956.5</b>	0.0	0.9	0.0	2150.9
4	100anni/Ey(RS)	4032.0	0.0	<b>1007.4</b>	0.0	0.5	0.0	2232.8
5	100anni/Ey(RS)	4042.0	0.0	<b>789.5</b>	0.0	0.5	0.0	1769.5
6	100anni/Ey(RS)	4052.0	0.0	<b>620.1</b>	0.0	0.2	0.0	1398.0
7	100anni/Ey(RS)	4005.0	0.0	<b>608.1</b>	0.0	0.3	0.0	1373.6
8	100anni/Ey(RS)	4015.0	0.0	<b>796.4</b>	0.0	0.5	0.0	1778.2
9	100anni/Ey(RS)	4025.0	0.0	<b>1056.6</b>	0.0	0.8	0.0	2348.3
10	100anni/Ey(RS)	4035.0	0.0	<b>873.2</b>	0.0	1.1	0.0	1969.3
11	100anni/Ey(RS)	4045.0	0.0	<b>754.4</b>	0.0	0.8	0.0	1706.9
12	100anni/Ey(RS)	4055.0	0.0	<b>495.3</b>	0.0	0.8	0.0	1128.4

	<b>Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	COMMESSA <b>IA5F</b>	LOTTO <b>03</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>VI0000006</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>36 di 70</b>

Analisi con isolamento V106

Si nota come l'azione agente sugli appoggi delle pile nelle condizioni in cui si ha sisma longitudinale (Ex) corrispondente ad un periodo di ritorno pari a 100 anni sia pressoché sempre maggiore alla massima resistenza che i fusibili "lato fisso" offrono in direzione longitudinale (pari a **1200 kN**).

Considerando i tagli in direzione trasversale per condizioni in cui si ha sisma trasversale (Ey) corrispondente a  $T_r=100$  anni, si nota come anche in questo caso l'azione tagliante sia (quasi) sempre maggiore della resistenza dei fusibili (**600 kN** in direzione trasversale) posti sulle pile.

Si può dunque concludere che, sicuramente, i fusibili giungeranno a rottura per condizioni sismiche più contenute rispetto a quella corrispondente allo SLD.

Per valutare le azioni agenti sulle sottostrutture nelle condizioni di incipiente rottura dei fusibili sono state assunte le seguenti azioni:

- Azione tagliante in testa alla pila pari alla resistenza dei fusibili (può essere diretta in qualsiasi direzione);
- azioni inerziali dovute alle masse delle sottostrutture ipotizzate, in via cautelativa, sottoposte ad una accelerazione corrispondente a quella del plateau dello spettro corrispondente a  $T_r=100$  anni ( $a=0.237g$ ). La forza d'inerzia della pila è stata applicata in testa alla stessa, considerando l'intera massa del pulvino e il 25% della massa del fusto.

Tale assunzione è sicuramente a favore di sicurezza poiché, da quanto si può osservare dai risultati riportati nella tabella precedente le accelerazioni presenti in concomitanza della rottura dei fusibili saranno sicuramente minori di quelle corrispondenti ad una azione sismica con  $T_r=100$  anni.

Le verifiche delle sottostrutture precedenti alla rottura dei fusibili sono riportate al capitolo "Risultati e verifiche".

## 5.2 Analisi dinamiche non lineari sul modello "isolato"

Per valutare le sollecitazioni e gli spostamenti in seguito all'attivazione dell'isolamento, è stato necessario implementare all'interno del software MIDAS delle analisi dinamiche non lineari.

Queste sono state condotte attraverso l'integrazione nel tempo delle equazioni del moto utilizzando il metodo di Newmark.

Il metodo di Newmark appartiene alla famiglia dei metodi alle differenze finite. Tale metodo prevede la discretizzazione dell'intervallo temporale di analisi in passi temporali " $\Delta t$ " uguali fra loro.

	<b>Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	COMMESSA <b>IA5F</b>	LOTTO <b>03</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>VI0000006</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>37 di 70</b>

*Analisi con isolamento V106*

Conoscendo la configurazione del sistema all'istante iniziale, questo metodo permette di ricavare la soluzione all'istante temporale successivo. Tale soluzione diviene la condizione iniziale per il successivo step di calcolo.

In particolare, il metodo si basa sulle seguenti equazioni:

$$\dot{u}_{i+1} = \dot{u}_i + [(1 - \gamma)\Delta t]\ddot{u}_i + (\gamma\Delta t)\ddot{u}_{i+1}$$

$$u_{i+1} = u_i + (\Delta t)\dot{u}_i + [(0.5 - \beta)(\Delta t)^2]\ddot{u}_i + [\beta(\Delta t)^2]\ddot{u}_{i+1}$$

Queste due equazioni, combinate con l'equazione del moto allo step "i+1", permettono di ricavare i valori di spostamento, velocità e accelerazione allo step "i+1", conoscendo i valori delle stesse tre grandezze allo step "i".

I parametri  $\gamma$  e  $\beta$  definiscono in che modo varia l'accelerazione all'interno di ogni step  $\Delta t$ . Nella figura 5.8 sono riportati i casi in cui viene assunto che l'accelerazione sia costante e pari a quella media, oppure vari linearmente all'interno dello step di calcolo.

Prendere  $\gamma = 1/2$  e  $\beta = 1/4$  equivale ad assumere un valore costante dell'accelerazione.

Prendere  $\gamma = 1/2$  e  $\beta = 1/6$  equivale ad assumere che l'accelerazione vari linearmente in  $\Delta t$ .

Nelle analisi svolte in questo lavoro si è sempre assunta un'accelerazione costante all'interno degli intervalli di discretizzazione ( $\gamma = 1/2$  e  $\beta = 1/4$ ).

Gli steps temporali di integrazione  $\Delta t$  sono costanti ed ognuno pari a 0.01 sec.

Constant Average Acceleration

Linear Acceleration

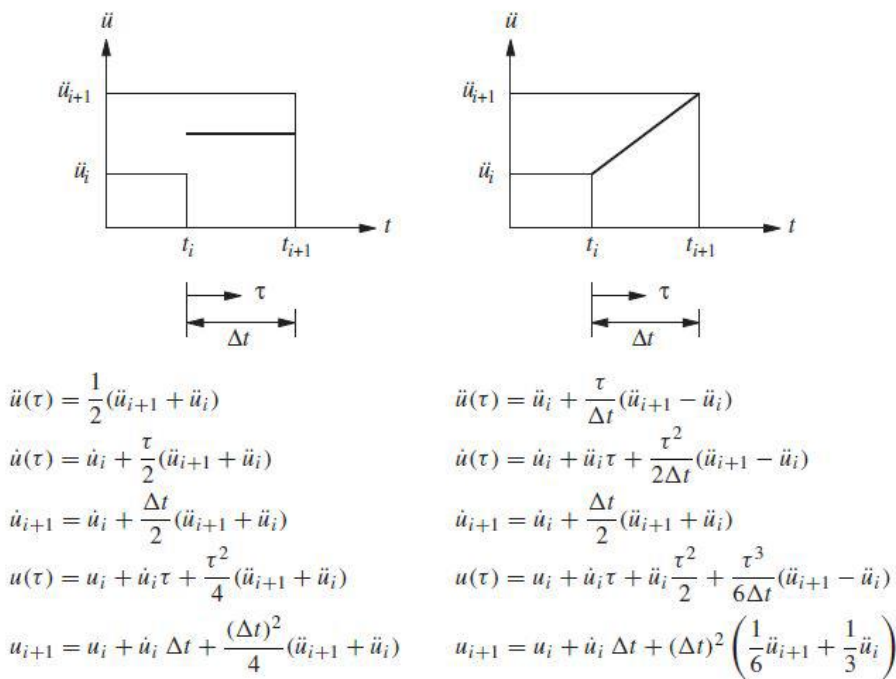


Figura 5.8 – Metodo di Newmark con accelerazione costante e variabile linearmente

Per tener conto delle dissipazioni di energia supplementari, ossia quelle che non vengono direttamente rappresentate nel modello, nell'equazione dinamica:

$$M \ddot{u}(t) + C \dot{u}(t) + K u(t) = -M \ddot{x}_g(t)$$

la matrice dello smorzamento  $C$  è stata assegnata attraverso il metodo di Rayleigh:


$$C = \alpha M + \beta K$$

Dove  $\alpha$  e  $\beta$  sono dei coefficienti che vengono calibrati in maniera tale da ottenere un certo smorzamento in corrispondenza di determinati modi di vibrare della struttura, i quali sono ritenuti più significativi.

Riscrivendo infatti l'espressione precedente per l' $n$ -esimo modo, si ottiene:

$$\xi = \alpha / (2\omega) + \beta \omega / 2$$

Il vantaggio di questo metodo in una analisi time-history è quello di consentire una modellazione dello smorzamento corrispondente ad ogni modo senza dover ricorrere a metodi che si basano sull'analisi modale (aventi maggior onere computazionale).

 <b>ITAFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	COMMESSA <b>IA5F</b>	LOTTO <b>03</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>VI000006</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>39 di 70</b>

Analisi con isolamento V106

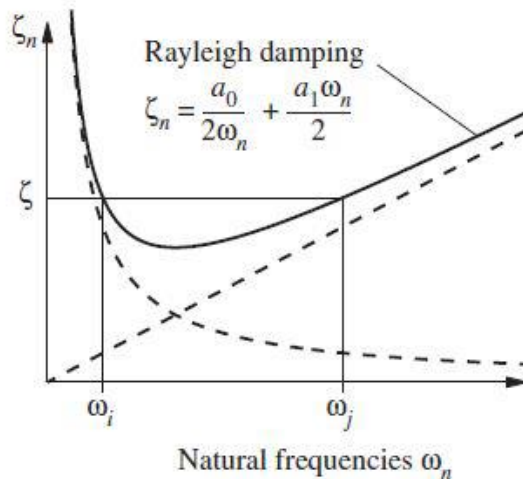


Figura 5.9 – Metodo di Rayleigh per la modellazione dello smorzamento


Nelle analisi svolte, il coefficiente  $\alpha$  è stato assunto pari a zero e si è calibrato  $\beta$  in modo tale che lo smorzamento corrispondente ai modi di vibrare delle pile più basse sia circa pari al 5%.

La scelta di imporre coefficiente  $\alpha$  nullo, è motivata dal fatto che, poiché si sta eseguendo un'analisi non lineare, si vuole evitare di sovrastimare in maniera eccessiva lo smorzamento dei modi di vibrare caratterizzati da periodo elevato, i quali possono presentarsi dal momento che la struttura (in particolare il sistema di isolamento) entra in campo plastico. Considerando l' $n$ -esimo modo di vibrare si ha infatti:

$$\xi = \alpha/(2\omega) + \beta\omega/2$$

Dunque, si nota come, dando un valore finito ad  $\alpha$ , al tendere del periodo a infinito (ossia per  $\omega$  che va a zero), anche lo smorzamento tende all'infinito (si è in prossimità per primo tratto della curva  $\xi(\omega)$ ).

Per quanto riguarda invece la definizione del parametro  $\beta$ , si è deciso di rinunciare a calibrarlo in modo tale da avere uno smorzamento pari al 5% in corrispondenza dei primi modi di vibrare che caratterizzano la struttura, ossia quelli che coinvolgono le masse (isolate) degli impalcati. In effetti, così facendo, si andrebbe incontro ad una sovrastima dello smorzamento per i periodi associati alle masse delle sottostrutture (aumenta la pendenza della retta di figura 5.10 e ne conseguono valori di  $\xi$  in corrispondenza di periodi pari a 0.1-0.2 secondi, ossia quelli che caratterizzano le masse delle pile, che risultano essere troppo elevati). Tale sovrastima dello smorzamento comporterebbe una sottostima degli effetti inerziali provocati dalle masse di pile e pulvini.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	COMMESSA <b>IA5F</b>	LOTTO <b>03</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>VI000006</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>40 di 70</b>

*Analisi con isolamento V106*

Si è dunque deciso di calibrare il coefficiente  $\beta$  imponendo che in corrispondenza di un periodo pari a 0.1 secondi (valore rappresentativo dei periodi associati alle masse delle pile) si avesse uno smorzamento pari al 5%.

Si ha dunque:

$$\alpha = 0$$

$$\beta = \xi T / \pi = 0.05 \cdot 0.1 / \pi = 0.00159$$

Tale scelta pur se cautelativa (per il viadotto isolato si arriva a periodi equivalenti superiori a 1.5 secondi, per i quali si ha, se  $T_{eq}=1.5s$ ,  $\xi = \beta\omega/2 = 0.00159 \cdot 2\pi/1.5s/2 \cdot 100 = 0.33\%$ ), è giustificata dal fatto che nei primi modi di vibrare lo smorzamento è in realtà causato principalmente dalle deformazioni che avvengono all'interno degli isolatori in elastomero e nei dissipatori isteretici, i quali, come visto al capitolo precedente, sono direttamente modellati all'interno dell'analisi.

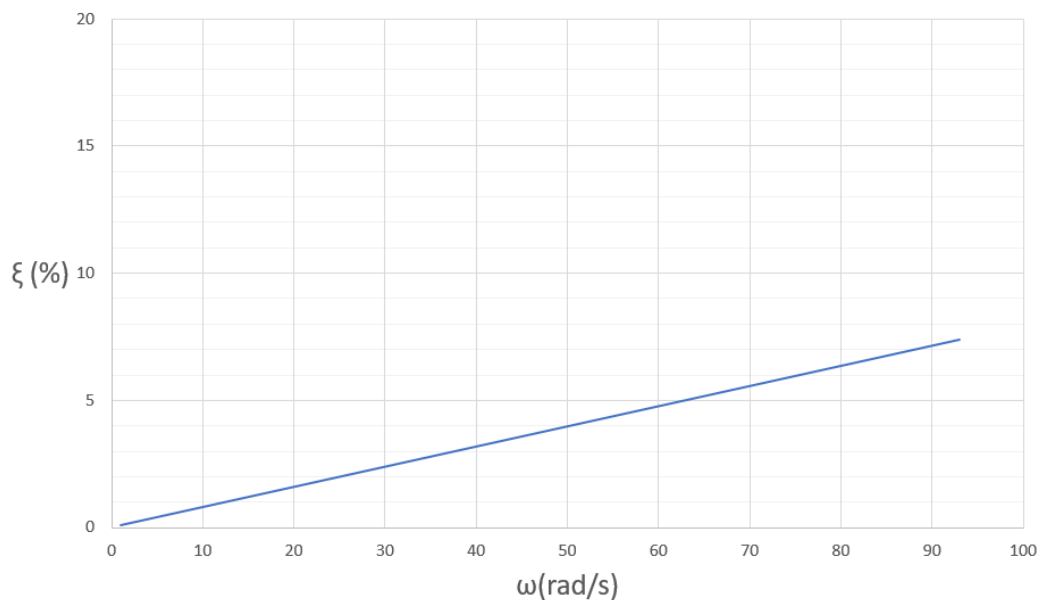



Figura 5.10 – Curva di smorzamento in funzione di  $\omega$  assunta nelle analisi



	<b>Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	COMMESSA <b>IA5F</b>	LOTTO <b>03</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>VI000006</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>41 di 70</b>

Analisi con isolamento V106

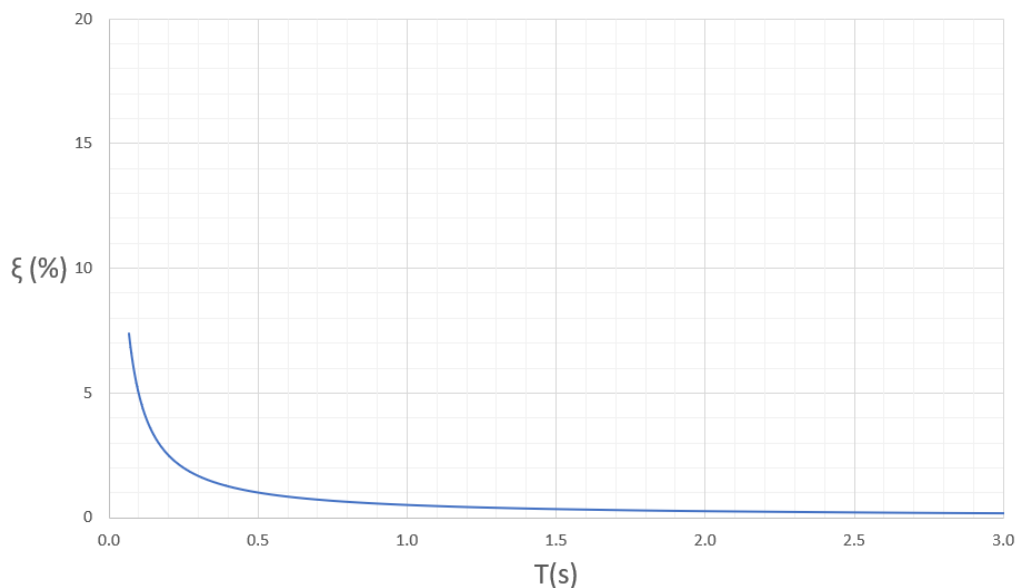


Figura 5.11 – Curva di smorzamento in funzione di T assunta nelle analisi

In accordo con il punto 7.3.5 del D.M.17.01.2018, sono stati definiti 3 gruppi di accelerogrammi artificiali (per gruppo si intende l'insieme delle due componenti orizzontali e di quella verticale) di durata 25, 30 e 45 secondi, come meglio indicato nella relazione IA5F03D09CLVI0000009.

L'analisi time-history è stata dunque eseguita per ognuno dei 3 gruppi, considerando le tre possibili condizioni che vedono come direzione principale dell'azione sismica quella longitudinale e quella trasversale al viadotto oppure quella verticale.

Per quanto riguarda invece la valutazione degli effetti dovuti alla variabilità spaziale del moto (tenuta in conto solo per calcolare gli spostamenti allo SLC), sono state effettuate delle analisi time-history nelle quali è stato applicato lo stesso input sismico su tutto il viadotto, tenendo conto però di un tempo di arrivo differente per ogni pila.

Questo è stato possibile applicando ai nodi di base di ognuna delle pile uno stesso spostogramma con diversi tempi di arrivo. Tali spostogrammi sono quelli ottenuti per integrazione degli accelerogrammi.

Per tale viadotto è stata considerata come unica combinazione quella che vede come direzione di propagazione dell'azione sismica quella inclinata di circa  $16^\circ$  rispetto l'asse longitudinale del viadotto (combinazione  $E_x + 0.3E_y + 0.3E_z$ ).

Il tempo di arrivo degli input sismici (100% in direzione longitudinale e 30% in direzione trasversale) applicati agli incastri di ognuna delle pile è differenziato di un  $\Delta t$  tale per cui si hanno spostamenti massimi

	<b>Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	COMMESSA <b>IA5F</b>	LOTTO <b>03</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>VI000006</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>42 di 70</b>

*Analisi con isolamento V106*

differenziali in direzione longitudinale tra pile consecutive pari circa al massimo spostamento relativo del terreno in condizioni di SLC, valutato come indicato al 3.2.4.2 delle NTC2018 (condizione a favore di sicurezza, infatti il  $\Delta t$  dovrebbe essere tarato su uno spostamento relativo del terreno calcolato per la distanza delle pile proiettata lungo la direzione di propagazione del sisma).

Per maggiori dettagli sulla valutazione del tempo di ritardo di propagazione si rimanda alla relazione IA5F03D09CLVI0000009.

L'analisi dinamica non lineare deve partire da una configurazione in cui la struttura è caricata da i carichi permanenti e da una quota parte dei carichi variabili. Occorre pertanto specificare che tali analisi debbano proseguire dalla fine dei casi di carico riguardanti i carichi appena menzionati.

Va dunque spuntata l'opzione "subsequent to" e selezionato il caso di carico nominato "carichi statici" all'interno dei "Time History Load Cases".

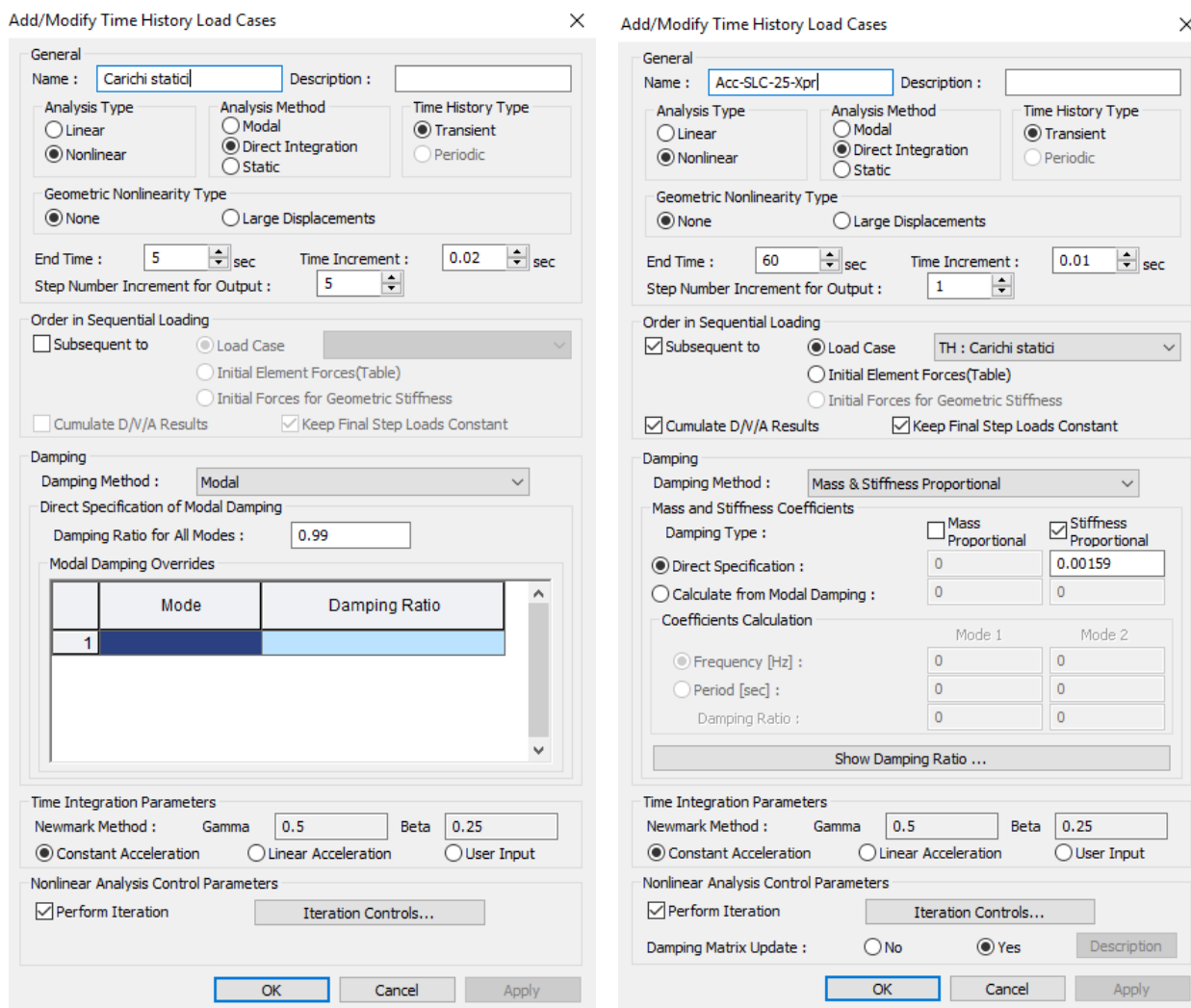


Figura 5.12 – Esempio di un caso di carico dinamico associato ad una analisi dinamica non lineare

È necessario che il caso di carico precedente alla time-history sia anch'esso di tipo dinamico. Per rappresentare allora dei carichi statici come dinamici è stato sufficiente associarli ad una storia temporale costituita da una rampa normalizzata.

Per far sì che gli effetti delle amplificazioni dinamiche siano trascurabili, ad ogni modo di vibrare preso in considerazione nell'analisi è stato assegnato uno smorzamento pari al 99%.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	COMMESSA <b>IA5F</b>	LOTTO <b>03</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>VI000006</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>44 di 70</b>

Analisi con isolamento V106

Add/Modify/Show Time History Functions

Function Name:

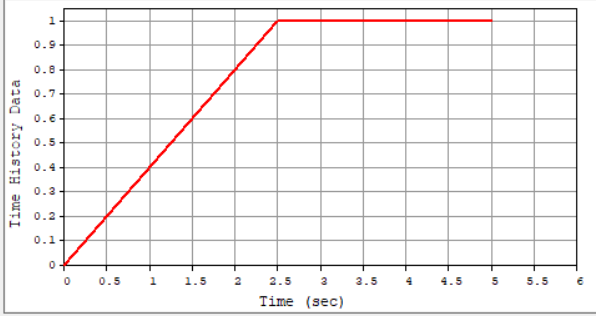
Time Function Data Type:  Normalized Accel.  Acceleration  Force  Moment  Normal

Scaling:  Scale Factor:   Maximum Value:

Gravity:  m/sec<sup>2</sup>

Graph Options:  X-axis log scale  Y-axis log scale  F.F.T

	Time (sec)	Function
1	0.0000	0.0000
2	2.5000	1.0000
3	5.0000	1.0000
4		



Description:

Generate Earthquake Response Spectrum...

OK Cancel Apply

Figura 5.13 – Rampa normalizzata

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale</b>  <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	ANALISI <b>IA5F</b>	LOTTO <b>03</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>VI0000006</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>45 di 70</b>

*Analisi con isolamento V106*

## 6 RISULTATI E VERIFICHE

Un intervento di miglioramento sismico, secondo quanto riportato al paragrafo 8.4 delle NTC2018, è finalizzato ad ottenere un aumento della sicurezza strutturale preesistente, senza necessariamente raggiungere livelli di sicurezza fissati al paragrafo 8.4.2 della stessa norma (il parametro  $\zeta_E$  deve essere necessariamente  $\geq 1$  nelle verifiche dei sistemi di isolamento rispetto alle azioni sismiche, mentre può essere anche minore dell'unità nelle verifiche della parte "esistente").

Da questo punto in poi si indicherà con  $E_x$  l'azione sismica diretta lungo la direzione longitudinale al viadotto e con  $E_y$  quella ad esso trasversale. Con  $E_z$  si indica l'azione sismica verticale.

### 6.1 Verifiche delle sottostrutture per SLV


Per evitare effetti indesiderati che possono essere causati dalla plasticizzazione delle sottostrutture in viadotti dotati di isolamento, è necessario che le stesse sottostrutture (pile e fondazioni) rimangano in campo sostanzialmente elastico anche in concomitanza di eventi sismici rari (come indicato al 7.10.2 delle NTC2018).

Più in particolare, per la struttura in esame, è richiesto dalla norma che le sottostrutture rimangano in campo sostanzialmente elastico durante un evento sismico SLV, sia prima della rottura dei fusibili, ovvero quando la struttura si comporta come se non fosse isolata, sia dopo che questi sono giunti a rottura e si è attivato il sistema di isolamento.

#### 6.1.1 Definizione del dominio sostanzialmente elastico di una sezione

Per momento resistente sostanzialmente elastico si intende quello corrispondente ad una curvatura pari a quella di primo snervamento dell'acciaio o alla curvatura corrispondente alla deformazione di picco del calcestruzzo  $\epsilon_{c2}$  (0.002) nel caso in cui questa curvatura (snervamento apparente) risulti minore di quella di snervamento.

Per la definizione del dominio a pressoflessione sostanzialmente elastico delle pile, si è fatto uso del software V.C.A.S.L.U. del professor Piero Gelfi. Poiché tale programma consente la sola definizione di domini a stato limite ultimo, allo scopo di ottenere un dominio elastico, si è impostato come input, per ciò che riguarda le caratteristiche dei materiali, che le deformazioni ultime coincidessero rispettivamente con quelle di snervamento per l'acciaio ( $f_{yd} / E_s$ ) e di picco per il calcestruzzo (0.002).

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	COMMESSA <b>IA5F</b>	LOTTO <b>03</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>VI0000006</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>46 di 70</b>

Analisi con isolamento V106

Il software V.C.A.S.L.U. fa riferimento come legami di calcestruzzo e acciaio rispettivamente a quello parabola-rettangolo (figura 12.1 a) e a quello elastico perfettamente plastico (figura 12.a), definiti ai paragrafi 4.1.2.1.2.1 e 4.1.2.1.2.2 delle NTC18.

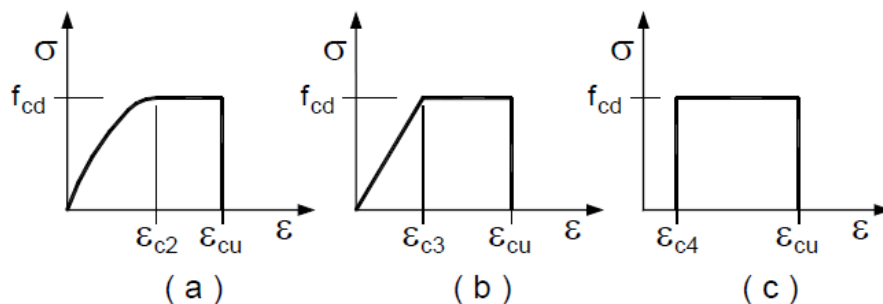


Figura 6.1 – Diagrammi di progetto tensione-deformazione del calcestruzzo (NTC2018)

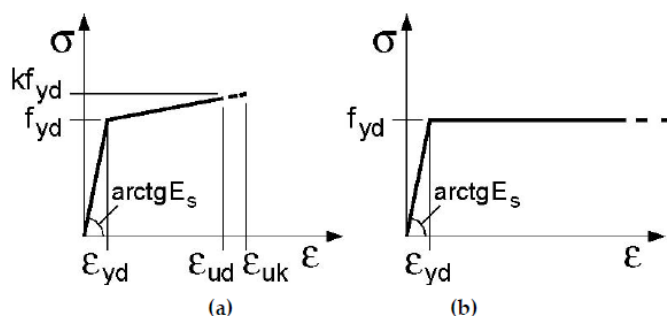


Figura 6.2 – Diagrammi di progetto tensione-deformazione dell'acciaio (NTC2018)

I valori di progetto  $f_{cd}$  e  $f_{yd}$  sono stati ottenuti abbattendo i valori caratteristici (assunti come da progetto originario -vedere elaborato IAF03D09ROVI0000001-) per i corrispondenti coefficienti di sicurezza  $\gamma_c$  e  $\gamma_s$  e per i fattori di confidenza  $FC$ , definiti al C8.5.4. della Circolare 21/01/2019.

In accordo con quanto esposto al paragrafo 8.7.2 delle NTC2018 si è assunto  $\gamma_c = \gamma_s = 1$  poiché si sta eseguendo una verifica a pressoflessione e quindi una verifica di un meccanismo non fragile di un ponte esistente.

Per quanto riguarda invece i coefficienti di confidenza, poiché si intende raggiunto un livello di conoscenza dei materiali costituenti le pile pari a LC2, si è assunto  $FC=1.2$  (paragrafo C8.5.4. della Circolare 21/01/2019).

Si ha per il calcestruzzo delle pile un valore di  $f_{cd}$  pari a  $20 \text{ MPa} / 1.2 = 16.67 \text{ Mpa}$ .

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale</b>					
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<i>Analisi con isolamento V106</i>	COMMESSA <b>IA5F</b>	LOTTO <b>03</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>VI0000006</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>47 di 70</b>

Per l'acciaio Feb38k delle armature si ha  $f_{yd}$  pari a  $375 \text{ MPa} / 1.2 = 312.5 \text{ MPa}$ .

La deformazione ultima, che come detto deve essere pari alla deformazione di snervamento per l'acciaio e a quella di snervamento apparente per il calcestruzzo, è stato imposta essere pari al 1.563‰ per l'acciaio e 2‰ per il calcestruzzo.

Materials	
FeB38k	C20/25
$\epsilon_{su}$ <b>1.563</b> ‰	$\epsilon_{c2}$ <b>2</b> ‰
$f_{yd}$ <b>312.5</b> N/mm <sup>2</sup>	$\epsilon_{cu}$ <b>2</b>
$E_s$ <b>200.000</b> N/mm <sup>2</sup>	$f_{cd}$ <b>16.67</b>
$E_s/E_c$ <b>15</b>	$f_{cc}/f_{cd}$ <b>1</b> ?
$\epsilon_{syd}$ <b>1.563</b> ‰	$\sigma_{c,adm}$ <b>8.5</b>
$\sigma_{s,adm}$ <b>215</b> N/mm <sup>2</sup>	$\tau_{co}$ <b>0.5333</b>
	$\tau_{c1}$ <b>1.686</b>

Figura 6.3 – Caratteristiche dei materiali assunte come input nel software V.C.A.S.L.U.

Per le verifiche delle sezioni delle pile ringrossate, il dominio resistente corrispondente alla condizione post-intervento è stato calcolato considerando anche per i materiali “nuovi” le caratteristiche meccaniche dei materiali già presenti abbattute di  $FC=1.2$ .


### 6.1.2 Verifiche a pressoflessione delle pile pre-rottura dei fusibili

Per il viadotto in esame, essendo le sottostrutture caratterizzate da altezze tra loro poco variabili, le verifiche sono state condotte sulla sezione di spicco della pila più alta (P3) per poi estendere i risultati alle restanti pile.

Facendo riferimento a quanto riportato sugli elaborati grafici del progetto dell'epoca, poiché tutte le pile hanno altezza minore a 13m, queste sono armate lungo tutta l'altezza con  $116\Phi 16$ .

Per il viadotto Dragone non sono previsti rinforzi delle pile.

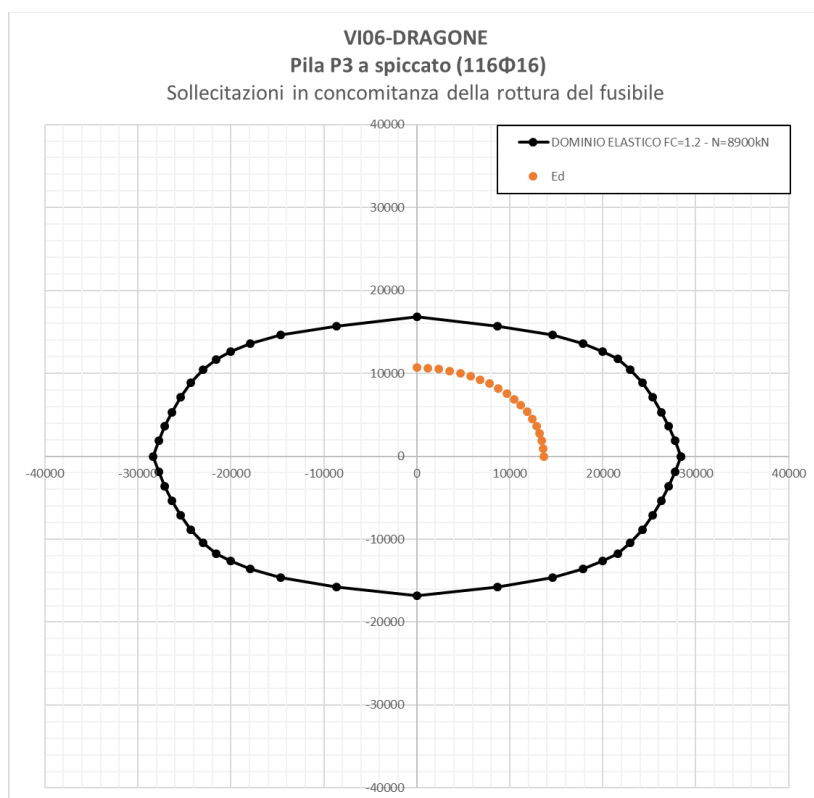
Le sollecitazioni utilizzate per le seguenti verifiche sono state ricavate adottando il calcolo semplificato esposto al paragrafo “Valutazione delle sollecitazioni sulle sottostrutture al momento della rottura dei fusibili” della presente relazione di calcolo.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	COMMESSA <b>IA5F</b>	LOTTO <b>03</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>VI0000006</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>48 di 70</b>

Analisi con isolamento V106

I domini riportati di seguito sono calcolati per una forza assiale pari a quella provocata da soli carichi statici e variabili di traffico (quest'ultimi considerati con un coefficiente pari a 0.2).

Il restringimento del dominio per effetto di un decremento dei carichi assiali agenti sulla pila dovuto all'azione sismica risulta essere trascurabile.



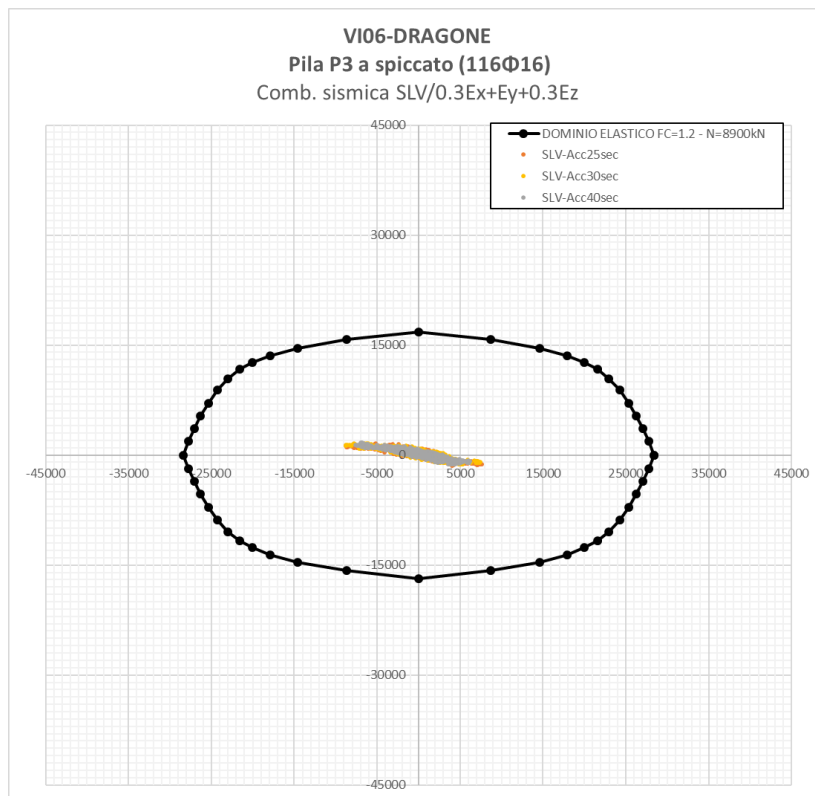
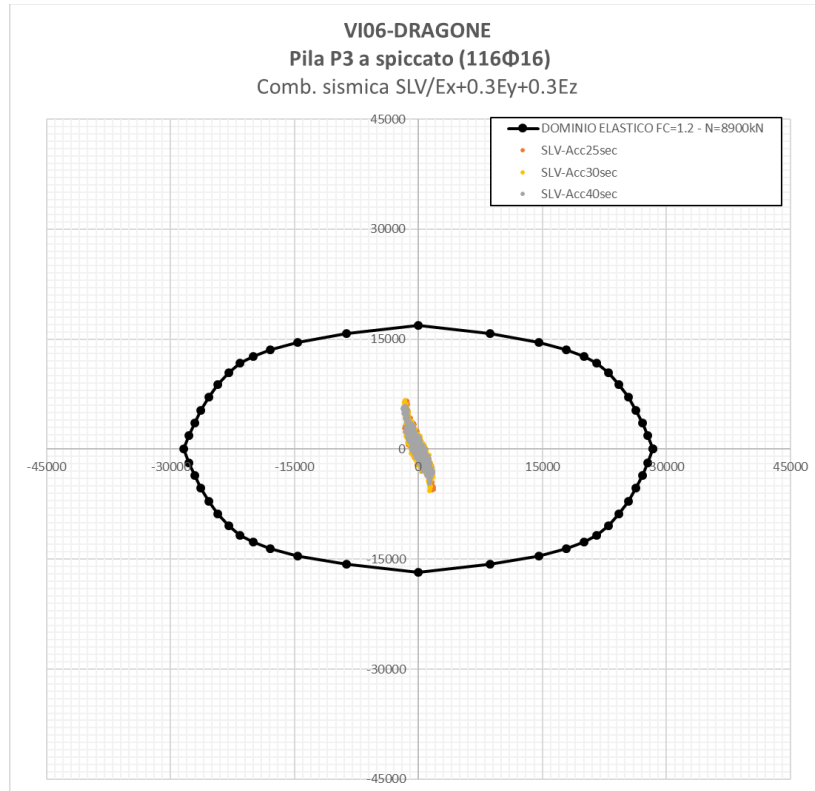
### 6.1.3 Verifiche a pressoflessione delle pile post rottura dei fusibili


Le sollecitazioni sottoposte alle seguenti verifiche sono state ricavate dalle analisi dinamiche non lineari applicate sul modello “isolato” esposte al capitolo “Analisi della struttura”.

Sono state considerate le combinazioni sismiche corrispondenti allo SLV.

Per la scelta delle sezioni di verifica vale quanto esposto al paragrafo precedente.





	<b>Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	COMMESSA <b>IA5F</b>	LOTTO <b>03</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>VI000006</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>50 di 70</b>

Analisi con isolamento V106

Le sollecitazioni agenti sulle pile del Dragone sono tutte interne al dominio sostanzialmente elastico sia prima che dopo della rottura dei fusibili.

Grazie all'abbattimento delle sollecitazioni ottenuto con l'isolamento, la totalità delle pile rimane in campo sostanzialmente elastico per condizioni sismiche corrispondenti allo SLV.

#### **6.1.4 Verifiche a taglio delle pile pre-rottura dei fusibili**

Le verifiche sono state effettuate sulla sola pila P3. I risultati si estendono, come fatto anche per le verifiche a pressoflessione, anche alle restanti pile.

Le sollecitazioni utilizzate per le seguenti verifiche sono state ricavate adottando il calcolo semplificato esposto al paragrafo “Valutazione delle sollecitazioni sulle sottostrutture al momento della rottura dei fusibili” della presente relazione di calcolo.

Di seguito sono riportate le massime azione di taglio a base pile che possono verificarsi al momento della rottura dei fusibili.

	$T_{j,long,max}$ [kN]	$T_{j,trasv,max}$ [kN]
P3	1423	1423

Il taglio resistente, in accordo con quanto esposto al 4.1.2.3.5.2 delle NTC2018, e considerando una armatura trasversale composta da staffe  $\Phi 14$  a 4 bracci con passo 25 cm, è pari a:

$V_{Rd} = 3861.0$  kN in direzione longitudinale

$V_{Rd} = 6433.2$  kN in direzione trasversale

In quanto si sta verificando un meccanismo fragile, le resistenze dei materiali sono state abbattute, come indicato al paragrafo 8.7.2 delle NTC2018, per i corrispondenti coefficienti parziali (1.15 per l'acciaio e 1.5 per il calcestruzzo) e per il fattore di confidenza ( $FC=1.2$ ).

Le verifiche risultano ampiamente soddisfatte.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale</b>					
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<i>Analisi con isolamento V106</i>	COMMESSA <b>IA5F</b>	LOTTO <b>03</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>VI000006</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>51 di 70</b>

### 6.1.5 Verifiche a taglio delle pile post rottura dei fusibili

Nella seguente tabella sono riportati i tagli massimi ottenuti dalle analisi dinamiche non lineari applicate sul modello “isolato” esposte al capitolo “Analisi della struttura”.

Elem	Load	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)
1	Acc-SLV-25-Xpr(all)	-8735.9	207.7	894.8
2	Acc-SLV-25-Xpr(all)	-8909.1	215.6	913.3
3	Acc-SLV-25-Xpr(all)	-8980.7	216.4	955.9
4	Acc-SLV-25-Xpr(all)	-8869.3	214.9	905.4
5	Acc-SLV-25-Xpr(all)	-8737.5	207.6	887.5
1	Acc-SLV-25-Ypr(all)	-8724.6	-927.9	-215.0
2	Acc-SLV-25-Ypr(all)	-8898.5	-938.6	-233.4
3	Acc-SLV-25-Ypr(all)	-8978.1	-939.1	-234.7
4	Acc-SLV-25-Ypr(all)	-8860.0	-929.4	-228.6
5	Acc-SLV-25-Ypr(all)	-8727.8	-927.7	-217.5
1	Acc-SLV-25-Zpr(all)	-9486.2	207.5	-212.4
2	Acc-SLV-25-Zpr(all)	-9694.4	214.3	-233.0
3	Acc-SLV-25-Zpr(all)	-9780.7	219.0	-234.7
4	Acc-SLV-25-Zpr(all)	-9652.7	212.5	-228.5
5	Acc-SLV-25-Zpr(all)	-9491.1	207.5	-219.7
1	Acc-SLV-30-Xpr(all)	-8755.5	-214.1	892.5
2	Acc-SLV-30-Xpr(all)	-8946.7	-221.6	916.2
3	Acc-SLV-30-Xpr(all)	-9014.3	-225.3	958.4
4	Acc-SLV-30-Xpr(all)	-8893.3	-220.2	898.3
5	Acc-SLV-30-Xpr(all)	-8771.4	-214.1	893.9
1	Acc-SLV-30-Ypr(all)	-8757.0	-924.3	-218.7
2	Acc-SLV-30-Ypr(all)	-8941.4	-937.4	-230.6
3	Acc-SLV-30-Ypr(all)	-9015.5	-921.9	-236.2
4	Acc-SLV-30-Ypr(all)	-8893.3	-937.3	-222.9
5	Acc-SLV-30-Ypr(all)	-8761.5	-924.1	-218.1
1	Acc-SLV-30-Zpr(all)	-9600.4	-213.8	-217.4
2	Acc-SLV-30-Zpr(all)	-9826.8	-221.1	-233.5
3	Acc-SLV-30-Zpr(all)	-9910.2	-225.5	-238.5
4	Acc-SLV-30-Zpr(all)	-9773.9	-219.0	-228.3
5	Acc-SLV-30-Zpr(all)	-9604.2	-213.8	-215.9
1	Acc-SLV-40-Xpr(all)	-8734.2	-227.4	803.8
2	Acc-SLV-40-Xpr(all)	-8912.8	-235.3	843.7
3	Acc-SLV-40-Xpr(all)	-8984.8	-240.7	866.6
4	Acc-SLV-40-Xpr(all)	-8867.2	-233.2	828.9

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale</b>  <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	ANALISI CON ISOLAMENTO V106	COMMESSA <b>IA5F</b>	LOTTO <b>03</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>VI000006</b>	REV. <b>A</b>

5	Acc-SLV-40-Xpr(all)	8740.6	227.4	805.0
1	Acc-SLV-40-Ypr(all)	8729.9	822.4	227.7
2	Acc-SLV-40-Ypr(all)	8910.4	854.6	230.7
3	Acc-SLV-40-Ypr(all)	8985.5	868.4	239.5
4	Acc-SLV-40-Ypr(all)	8864.8	848.6	230.1
5	Acc-SLV-40-Ypr(all)	8733.1	822.0	229.2
1	Acc-SLV-40-Zpr(all)	9508.2	227.6	227.0
2	Acc-SLV-40-Zpr(all)	9725.5	235.2	232.1
3	Acc-SLV-40-Zpr(all)	9809.1	241.0	240.2
4	Acc-SLV-40-Zpr(all)	9675.4	232.8	227.7
5	Acc-SLV-40-Zpr(all)	9510.7	227.6	230.3

**Il massimo taglio in direzione longitudinale risulta essere pari a 958 kN.**

**Il massimo taglio in direzione trasversale risulta essere pari a 939 kN.**

Come visto al paragrafo precedente, i tagli resistenti nelle due direzioni sono pari a:

$V_{Rd} = 3861.0 \text{ kN}$  in direzione longitudinale

$V_{Rd} = 6433.2 \text{ kN}$  in direzione trasversale


Le verifiche risultano ampiamente soddisfatte.

## 6.2 Verifiche dei dispositivi di isolamento allo SLC

In accordo con quanto esposto al 7.10.6.2.2 delle NTC2018, i dispositivi di isolamento devono essere in grado di sostenere, senza rotture, gli spostamenti  $d_2$ , valutati per una azione sismica riferita allo SLC.

Per quanto riguarda i dissipatori a piolo, poiché hanno comportamento non lineare, allo spostamento ottenuto con l'azione sismica detta, occorre aggiungere il maggiore tra lo spostamento residuo allo SLD e il 50% dello spostamento corrispondente all'annullamento della forza, seguendo il ramo di scarico a partire dal punto di massimo spostamento raggiunto allo SLD.

Poiché per condizioni sismiche corrispondenti allo SLD i fusibili non giungono a rottura (vedere paragrafo 5.1.3), il viadotto si comporta come se avesse uno schema di appoggi fisso-mobile e dunque non si attiva l'isolamento. Lo spostamento residuo dei dissipatori allo SLD è chiaramente pari a zero.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale</b>  <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	COMMESSA <b>IA5F</b>	LOTTO <b>03</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>VI0000006</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>53 di 70</b>

Analisi con isolamento V106

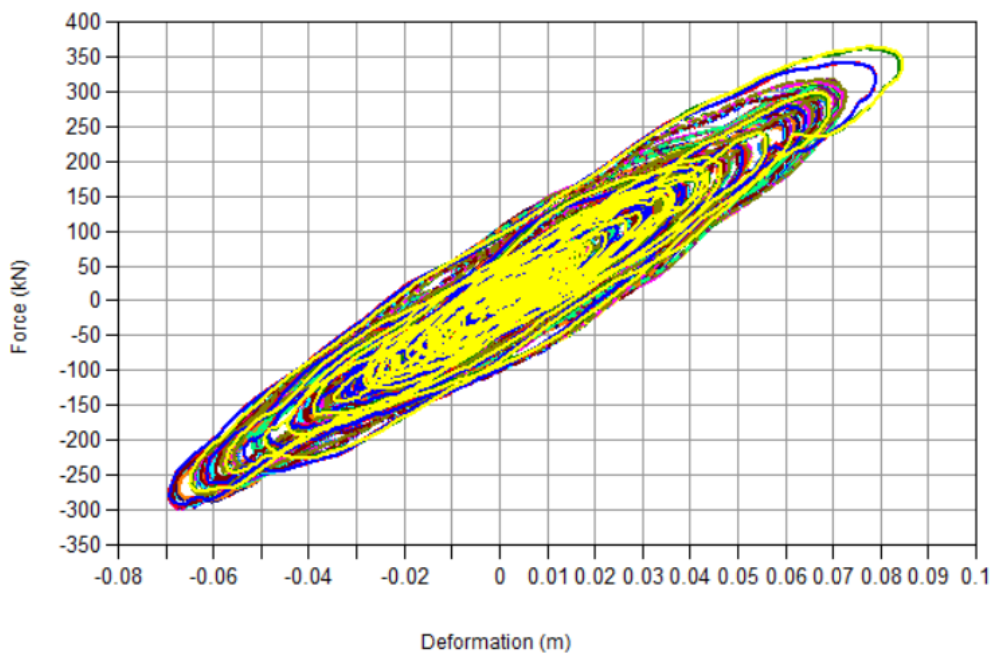
Per le verifiche dei dispositivi è stata considerata anche la combinazione che prevede variabilità spaziale del moto sismico (direzione di propagazione dell'azione sismica sub-longitudinale  $E_x+0.3E_y+0.3E_z$ ), così come descritto nel capitolo “Analisi della struttura” e nell’elaborato IA5F03D09CLVI0000009 per la descrizione della rappresentazione dell’azione sismica.

Nelle figure di seguito si riportano i grafici forza-spostamento descritti dagli isolatori elastomerici per le combinazioni sismiche  $E_x+0.3E_y+0.3E_z$ , considerando anche il caso di variabilità spaziale del moto, e  $0.3E_x+E_y+0.3E_z$ , corrispondenti allo SLC.

Successivamente sono riportati anche i grafici degli spostamenti longitudinali interni agli isolatori in funzione del tempo per le combinazioni che tengono conto della variabilità spaziale del moto. Per tale combinazione si hanno i massimi spostamenti ottenuti dalle analisi.

*Diagramma forza-spostamenti dei dissipatori presenti sul viadotto in direzione longitudinale*

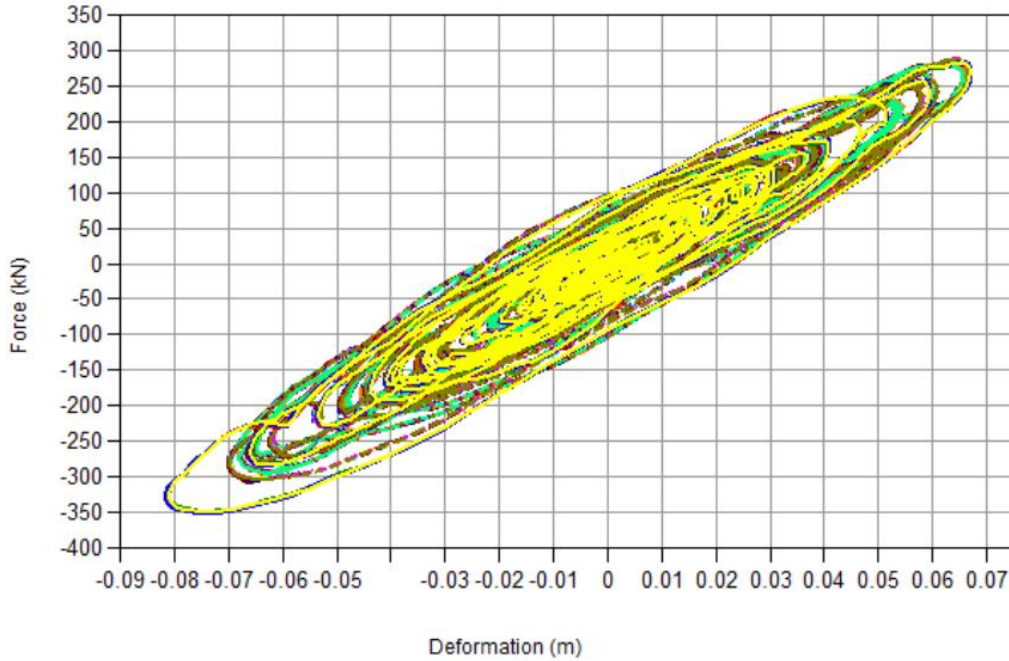
*Sisma principale in direzione X con accelerogrammi di durata 25,30 e 40 secondi*



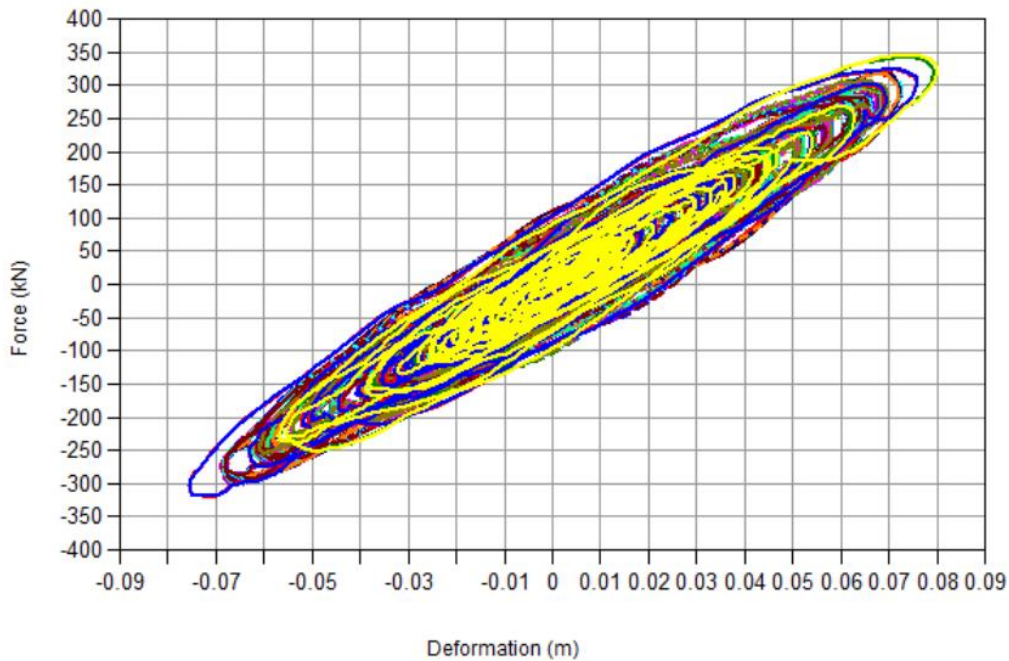
 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	COMMESSA <b>IA5F</b>	LOTTO <b>03</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>VI0000006</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>54 di 70</b>

Analisi con isolamento V106

*Diagramma forza-spostamenti dei dissipatori presenti sul viadotto in direzione trasversale  
 Sisma principale in direzione Y con accelerogrammi di durata 25,30 e 40 secondi*

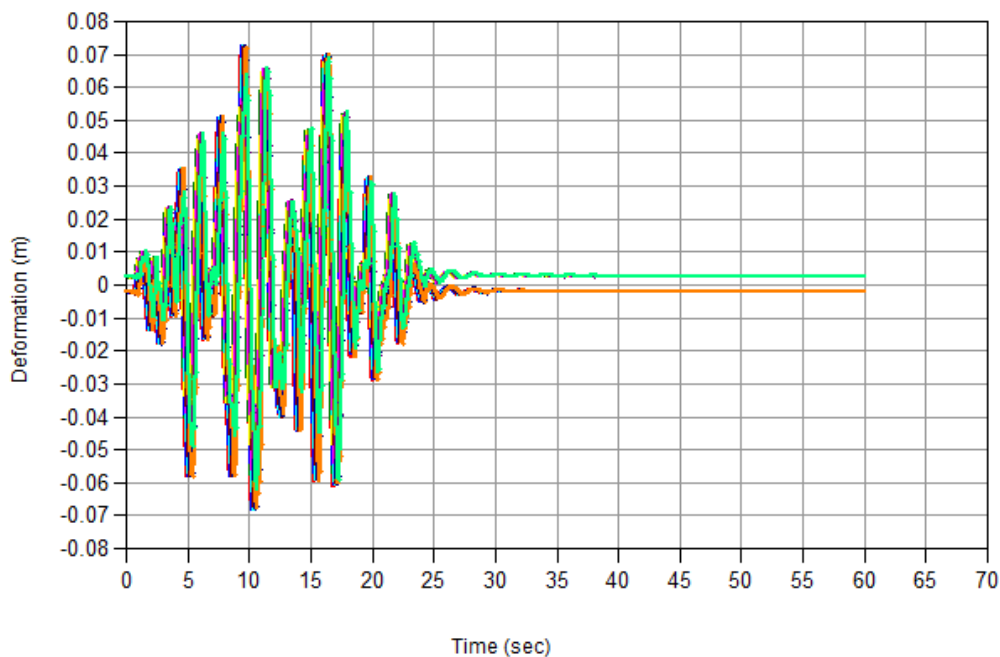


*Diagramma forza-spostamenti dei dissipatori presenti sul viadotto in direzione longitudinale  
 Sisma principale in direzione X con accelerogrammi di durata 25,30 e 40 secondi – con variabilità spaziale del moto*



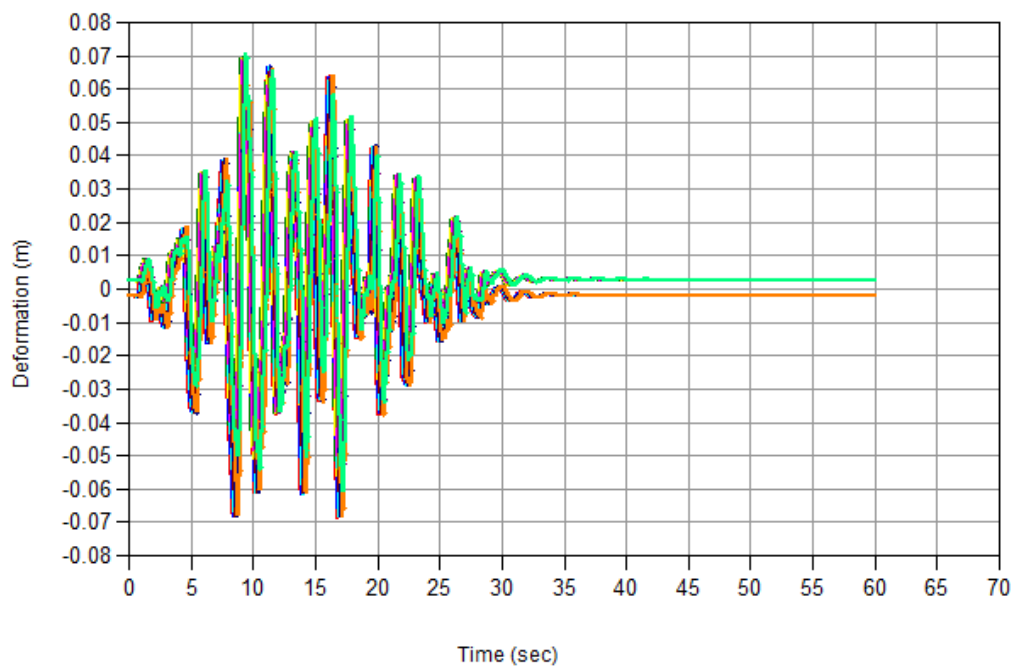
*Spostamenti longitudinali nel tempo degli isolatori presenti sul viadotto*

*Sisma principale in direzione X con accelerogrammi di durata 25 secondi – con variabilità spaziale del moto*



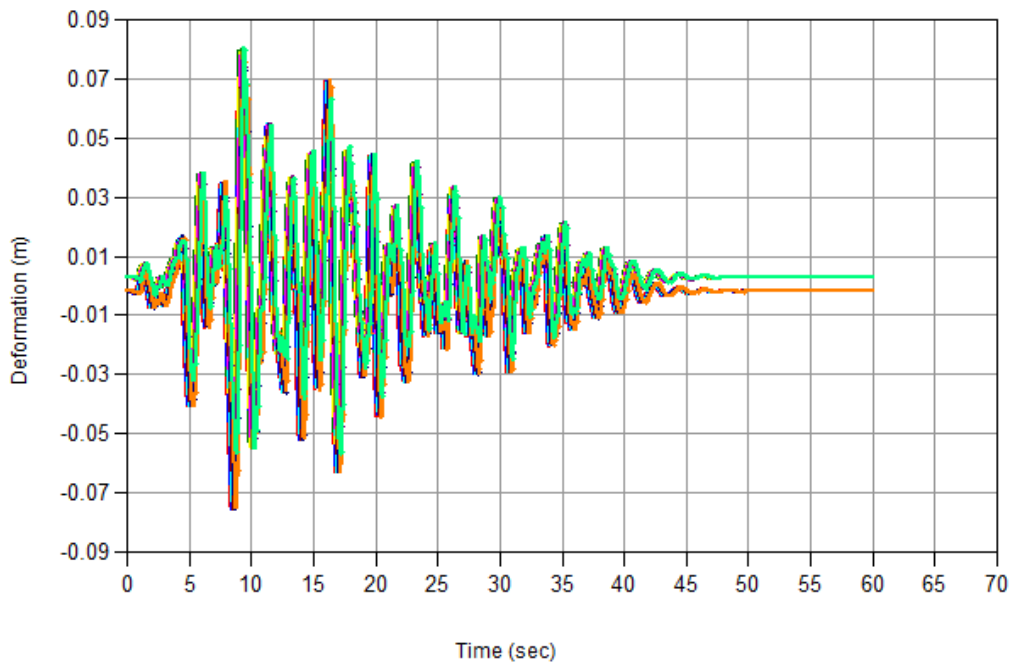
*Spostamenti longitudinali nel tempo degli isolatori presenti sul viadotto*

*Sisma principale in direzione X con accelerogrammi di durata 30 secondi – con variabilità spaziale del moto*



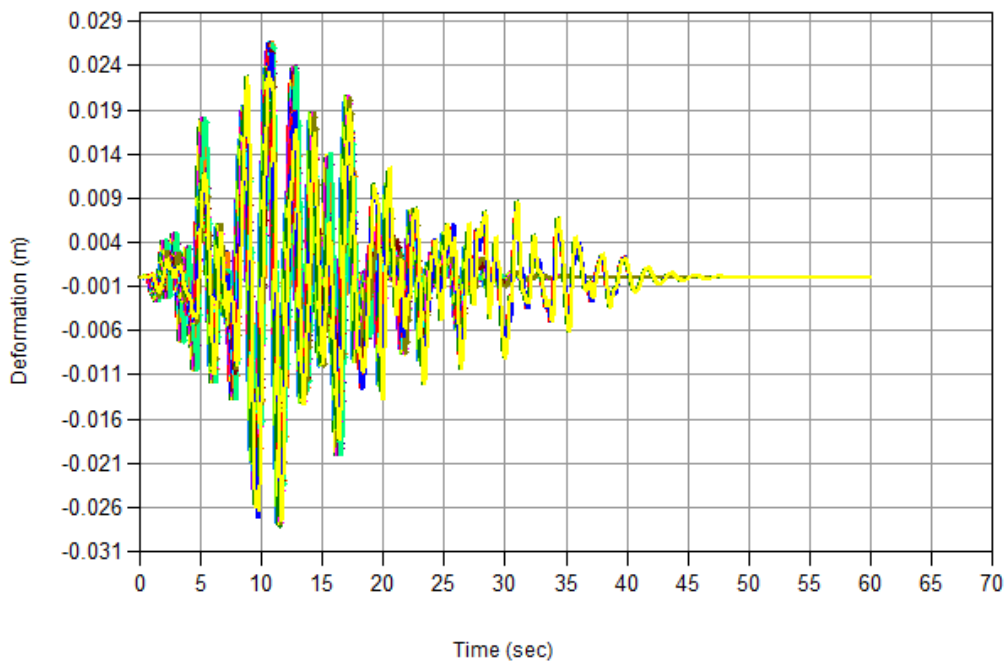
*Spostamenti longitudinali nel tempo degli isolatori presenti sul viadotto*

*Sisma principale in direzione X con accelerogrammi di durata 40 secondi – con variabilità spaziale del moto*



*Spostamenti trasversali nel tempo degli isolatori presenti sul viadotto*

*Sisma principale in direzione X con accelerogrammi di durata 25, 30, 40 secondi – con variabilità spaziale del moto*

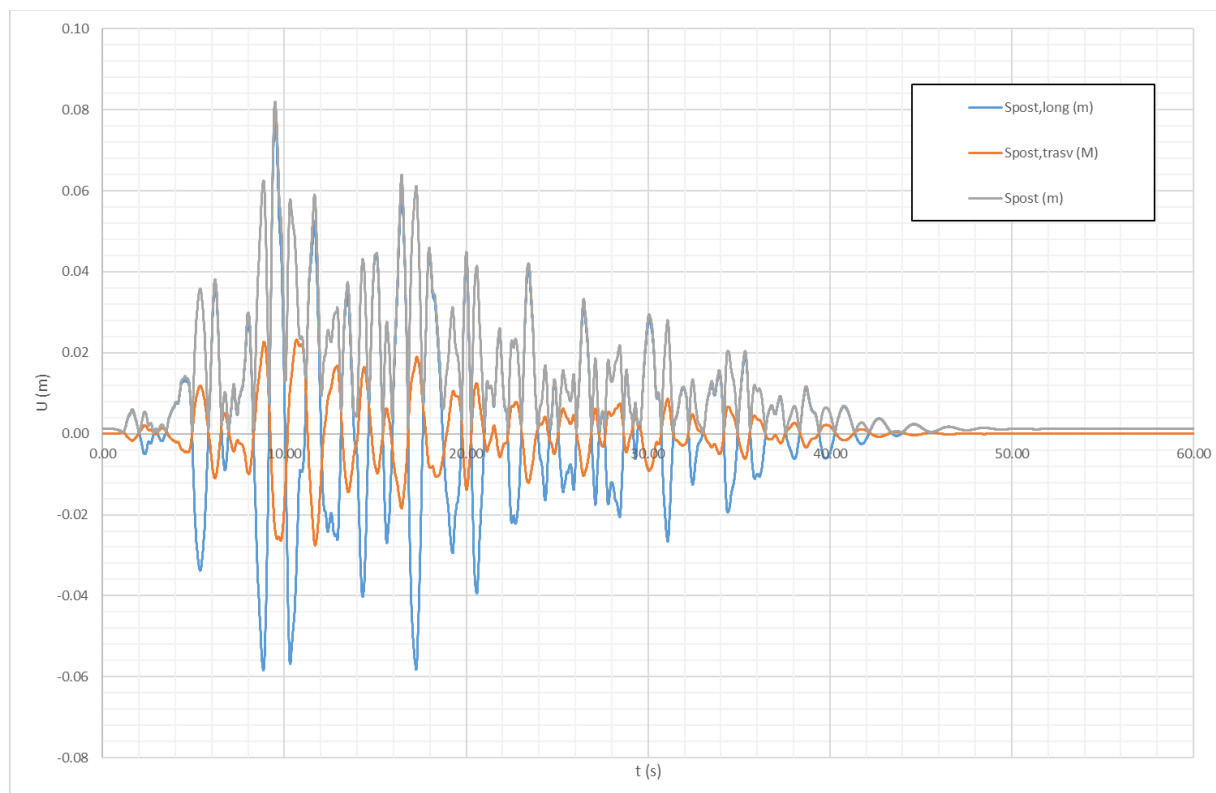





Il massimo spostamento (nella direzione principale dell'azione sismica) è causato da una delle combinazioni che tiene conto della variabilità spaziale del moto, in particolare quella con accelerogramma di durata 40 s. Per tale condizione si ha un uno spostamento longitudinale massimo pari a 8.0 cm per uno dei link rappresentativi dei dispositivi di isolamento situati in testa alla spalla SB (link n°36 sul modello).

Poiché si stanno modellando i tre isolatori attraverso un unico link, per valutare lo spostamento longitudinale dei dispositivi esterni è necessario considerare anche la quota parte dovuta alla rotazione del link intorno all'asse verticale. Visti i risultati ottenuti dalle analisi del viadotto Marchese (relazione di calcolo IA5F03D09CLVI0000002), tale contributo viene trascurato.

Nel grafico successivo sono riportati gli spostamenti longitudinali (comprensivi del contributo dell'effetto dovuto ad una variazione termica dell'impalcato), trasversali e in modulo del link 36 per la combinazione con accelerogramma  $t=40s$  che considera variabilità spaziale del moto.



**Max spostamento (longitudinale) per condizione sismica  $E_x+0.3E_y+0.3E_z$  allo SLC = 8.00 cm**

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale</b>  <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	ANALISI <b>IA5F</b>	LOTTO <b>03</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>VI0000006</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>58 di 70</b>

Analisi con isolamento V106

**Spostamento longitudinale dovuto a variazione termica = 0.16 cm**

**Max spostamento (trasversale) per condizione sismica  $E_x+0.3E_y+0.3E_z$  allo SLC = 2.80 cm**

**Max (Spostamento residuo SLD; 50% spostamento annullamento forza) = 0 cm**

**Max spostamento in modulo per comb. sismica  $0.5\Delta T+E_x+0.3E_y+0.3E_z$  allo SLC = 8.20 cm**

**Massimo spostamento ammissibile del dispositivo tipo SI-N 400/75= 15.00 cm**

La verifica risulta soddisfatta.

Una ulteriore verifica richiesta per gli isolatori elastomerici è quella per carichi verticali.

La massima azione assiale sopportabile da tali dispositivi è pari a (vedere figura 4.9):

$F_{zd} = 4680$  kN in assenza di sisma

$V = 1760$  kN in presenza di sisma corrispondente allo SLC.

La verifica è stata effettuata considerando la sola condizione post-rottura dei fusibili in quanto, fino a che quest'ultimi non giungono a rottura, le deformazioni negli isolatori sono nulle sul lato fisso e comunque trascurabili rispetto ad uno spostamento allo SLC sul lato mobile.

Nelle seguenti tabelle sono riportate le massime sollecitazioni (massime in modulo) ottenute dalle diverse analisi, agenti sui link rappresentativi delle terzine di isolatori presenti su ogni appoggio.

Nell'ultima colonna è riportata la massima azione assiale agente sull'isolatore esterno più caricato, calcolata come:

$$N_{iso,est} = Axial/n + Moment-z / i$$

Dove "i" è la distanza tra le travi esterne, pari a 4m, ed "n" è il numero di isolatori per ogni appoggio, pari a 3.

No.	Load	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN*m)	Moment-y (kN*m)	Moment-z (kN*m)	$N_{iso,est}$ (kN)
25	Acc-SLC-25-Xpr(all)	-3798.3	110.5	296.5	0.1	0.0	244.3	-1327.2
26	Acc-SLC-25-Xpr(all)	-3782.8	110.4	313.8	0.1	0.0	239.5	-1320.8
27	Acc-SLC-25-Xpr(all)	-3833.4	111.3	299.0	0.1	0.0	243.9	-1338.8
28	Acc-SLC-25-Xpr(all)	-3796.4	110.9	315.1	0.1	0.0	242.8	-1326.2
29	Acc-SLC-25-Xpr(all)	-3841.3	111.6	298.5	0.1	0.0	245.1	-1341.7
30	Acc-SLC-25-Xpr(all)	-3819.1	111.3	316.3	0.1	0.0	244.0	-1334.0
31	Acc-SLC-25-Xpr(all)	-3840.5	111.8	297.4	0.1	0.0	244.8	-1341.4

No.	Load	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN*m)	Moment-y (kN*m)	Moment-z (kN*m)	N <sub>iso,est</sub> (kN)
32	Acc-SLC-25-Xpr(all)	-3803.7	111.0	316.5	-0.2	0.0	243.6	-1328.8
33	Acc-SLC-25-Xpr(all)	-3825.7	111.4	297.1	-0.1	0.0	243.6	-1336.1
34	Acc-SLC-25-Xpr(all)	-3789.7	110.7	316.6	-0.2	0.0	242.6	-1323.9
35	Acc-SLC-25-Xpr(all)	-3789.9	110.9	295.9	0.1	0.0	240.6	-1323.5
36	Acc-SLC-25-Xpr(all)	-3794.4	110.0	313.7	-0.2	0.0	243.2	-1325.6
25	Acc-SLC-25-Ypr(all)	-3772.5	-303.4	-118.2	0.6	0.0	-1084.5	-1528.6
26	Acc-SLC-25-Ypr(all)	-3759.1	-304.9	114.3	-0.3	0.0	-1065.6	-1519.4
27	Acc-SLC-25-Ypr(all)	-3791.6	-305.5	-118.9	0.4	0.0	-1083.8	-1534.8
28	Acc-SLC-25-Ypr(all)	-3771.5	-306.8	114.9	-0.4	0.0	-1086.3	-1528.7
29	Acc-SLC-25-Ypr(all)	-3796.5	-307.2	-119.3	0.4	0.0	-1091.4	-1538.3
30	Acc-SLC-25-Ypr(all)	-3774.3	-307.9	115.2	-0.5	0.0	-1092.3	-1531.2
31	Acc-SLC-25-Ypr(all)	-3795.8	-308.1	-119.1	0.3	0.0	-1091.4	-1538.1
32	Acc-SLC-25-Ypr(all)	-3771.3	-306.3	115.0	0.6	0.0	-1089.2	-1529.4
33	Acc-SLC-25-Ypr(all)	-3788.8	-306.3	-118.6	0.3	0.0	-1084.3	-1534.0
34	Acc-SLC-25-Ypr(all)	-3768.9	-305.3	114.7	-0.5	0.0	-1082.8	-1527.0
35	Acc-SLC-25-Ypr(all)	-3770.3	-305.1	-117.9	-0.2	0.0	-1065.8	-1523.2
36	Acc-SLC-25-Ypr(all)	-3751.4	-303.2	114.8	0.7	0.0	-1084.3	-1521.5
25	Acc-SLC-25-Zpr(all)	-4295.1	110.5	-119.0	0.1	0.0	244.3	-1492.8
26	Acc-SLC-25-Zpr(all)	-4285.4	110.4	115.6	0.1	0.0	239.5	-1488.3
27	Acc-SLC-25-Zpr(all)	-4341.5	111.2	-119.3	0.1	0.0	243.9	-1508.1
28	Acc-SLC-25-Zpr(all)	-4326.3	110.9	116.0	0.1	0.0	242.8	-1502.8
29	Acc-SLC-25-Zpr(all)	-4352.4	111.6	-119.7	-0.1	0.0	245.1	-1512.1
30	Acc-SLC-25-Zpr(all)	-4341.0	111.3	116.4	0.1	0.0	243.9	-1508.0
31	Acc-SLC-25-Zpr(all)	-4350.6	111.7	-119.5	0.1	0.0	244.8	-1511.4
32	Acc-SLC-25-Zpr(all)	-4336.9	111.0	116.3	-0.2	0.0	243.6	-1506.5
33	Acc-SLC-25-Zpr(all)	-4342.9	111.3	-119.1	-0.1	0.0	243.5	-1508.5
34	Acc-SLC-25-Zpr(all)	-4323.0	110.7	116.0	-0.2	0.0	242.6	-1501.6
35	Acc-SLC-25-Zpr(all)	-4302.4	110.9	-118.5	0.1	0.0	240.6	-1494.3
36	Acc-SLC-25-Zpr(all)	-4272.7	110.0	115.9	-0.2	0.0	243.2	-1485.0
25	Acc-SLC-30-Xpr(all)	-3793.7	-114.4	-296.7	0.1	0.0	-253.0	-1327.8
26	Acc-SLC-30-Xpr(all)	-3797.0	-114.6	311.9	0.1	0.0	-248.6	-1327.8
27	Acc-SLC-30-Xpr(all)	-3825.7	-115.0	-297.6	0.1	0.0	-252.8	-1338.4
28	Acc-SLC-30-Xpr(all)	-3806.6	-115.0	311.3	-0.1	0.0	-252.5	-1332.0
29	Acc-SLC-30-Xpr(all)	-3828.0	-115.5	-296.1	0.1	0.0	-254.1	-1339.5
30	Acc-SLC-30-Xpr(all)	-3812.2	-115.2	310.2	-0.1	0.0	-253.0	-1334.0
31	Acc-SLC-30-Xpr(all)	-3816.7	-115.7	-296.0	-0.1	0.0	-254.1	-1335.7
32	Acc-SLC-30-Xpr(all)	-3796.6	-114.9	312.6	-0.2	0.0	-252.6	-1328.7
33	Acc-SLC-30-Xpr(all)	-3819.3	-115.4	-295.3	-0.1	0.0	-253.4	-1336.4
34	Acc-SLC-30-Xpr(all)	-3800.1	-114.5	313.3	-0.2	0.0	-251.5	-1329.6

No.	Load	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN*m)	Moment-y (kN*m)	Moment-z (kN*m)	N <sub>iso,est</sub> (kN)
35	Acc-SLC-30-Xpr(all)	-3818.2	-115.1	-294.9	-0.1	0.0	-249.8	-1335.2
36	Acc-SLC-30-Xpr(all)	-3775.7	-113.9	315.9	-0.2	0.0	-251.8	-1321.5
25	Acc-SLC-30-Ypr(all)	-3784.8	-304.2	-109.7	0.6	0.0	-1106.7	-1538.3
26	Acc-SLC-30-Ypr(all)	-3768.2	-305.0	126.0	0.3	0.0	-1091.6	-1529.0
27	Acc-SLC-30-Ypr(all)	-3804.9	-303.9	-110.4	0.4	0.0	-1101.6	-1543.7
28	Acc-SLC-30-Ypr(all)	-3786.3	-303.2	126.7	-0.4	0.0	-1096.3	-1536.2
29	Acc-SLC-30-Ypr(all)	-3811.4	-303.1	-111.0	0.4	0.0	-1099.5	-1545.3
30	Acc-SLC-30-Ypr(all)	-3791.0	-302.7	127.1	-0.5	0.0	-1096.5	-1537.8
31	Acc-SLC-30-Ypr(all)	-3805.9	-303.3	-110.8	-0.3	0.0	-1096.8	-1542.8
32	Acc-SLC-30-Ypr(all)	-3786.8	-302.7	127.1	-0.6	0.0	-1099.1	-1537.1
33	Acc-SLC-30-Ypr(all)	-3805.5	-303.9	-110.3	-0.3	0.0	-1097.5	-1542.9
34	Acc-SLC-30-Ypr(all)	-3787.9	-303.6	126.7	-0.6	0.0	-1100.2	-1537.7
35	Acc-SLC-30-Ypr(all)	-3790.2	-305.5	-109.2	-0.3	0.0	-1092.2	-1536.4
36	Acc-SLC-30-Ypr(all)	-3769.7	-303.7	126.0	-0.8	0.0	-1106.0	-1533.1
25	Acc-SLC-30-Zpr(all)	-4348.5	-114.4	-110.1	0.1	0.0	-253.0	-1512.7
26	Acc-SLC-30-Zpr(all)	-4335.8	-114.7	126.8	0.1	0.0	-249.0	-1507.5
27	Acc-SLC-30-Zpr(all)	-4413.2	-115.1	-110.2	0.1	0.0	-252.6	-1534.2
28	Acc-SLC-30-Zpr(all)	-4393.0	-115.0	127.4	-0.1	0.0	-252.2	-1527.4
29	Acc-SLC-30-Zpr(all)	-4429.1	-115.5	-111.1	0.1	0.0	-253.6	-1539.8
30	Acc-SLC-30-Zpr(all)	-4406.9	-114.9	127.8	-0.1	0.0	-252.2	-1532.0
31	Acc-SLC-30-Zpr(all)	-4422.2	-115.4	-110.8	-0.1	0.0	-253.2	-1537.4
32	Acc-SLC-30-Zpr(all)	-4400.8	-114.9	127.7	-0.2	0.0	-252.4	-1530.0
33	Acc-SLC-30-Zpr(all)	-4412.6	-115.5	-110.4	-0.1	0.0	-253.4	-1534.2
34	Acc-SLC-30-Zpr(all)	-4392.8	-114.6	127.5	-0.2	0.0	-251.4	-1527.1
35	Acc-SLC-30-Zpr(all)	-4360.2	-115.2	-109.4	-0.1	0.0	-250.2	-1516.0
36	Acc-SLC-30-Zpr(all)	-4330.7	-113.9	126.9	-0.2	0.0	-251.8	-1506.5
25	Acc-SLC-40-Xpr(all)	-3809.6	-114.4	344.0	0.1	0.0	-252.5	-1333.0
26	Acc-SLC-40-Xpr(all)	-3778.8	-114.6	360.4	-0.1	0.0	-250.0	-1322.1
27	Acc-SLC-40-Xpr(all)	-3814.0	-115.4	341.9	0.1	0.0	-254.6	-1335.0
28	Acc-SLC-40-Xpr(all)	-3783.5	-115.0	360.2	-0.1	0.0	-253.1	-1324.5
29	Acc-SLC-40-Xpr(all)	-3814.5	-115.8	341.4	0.1	0.0	-255.4	-1335.3
30	Acc-SLC-40-Xpr(all)	-3793.9	-115.2	359.6	-0.2	0.0	-253.5	-1328.0
31	Acc-SLC-40-Xpr(all)	-3812.7	-115.9	340.3	0.1	0.0	-254.7	-1334.6
32	Acc-SLC-40-Xpr(all)	-3776.1	-115.0	361.0	-0.2	0.0	-253.9	-1322.1
33	Acc-SLC-40-Xpr(all)	-3817.8	-115.6	341.4	0.1	0.0	-254.7	-1336.3
34	Acc-SLC-40-Xpr(all)	-3771.4	-114.7	361.0	-0.2	0.0	-252.9	-1320.3
35	Acc-SLC-40-Xpr(all)	-3803.5	-115.3	341.2	-0.1	0.0	-251.5	-1330.7
36	Acc-SLC-40-Xpr(all)	-3757.1	-113.7	363.5	-0.3	0.0	-251.0	-1315.1
25	Acc-SLC-40-Ypr(all)	-3785.0	-350.2	107.5	0.7	0.0	-1205.9	-1563.2

No.	Load	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN*m)	Moment-y (kN*m)	Moment-z (kN*m)	N <sub>iso,est</sub> (kN)
26	Acc-SLC-40-Ypr(all)	-3759.1	-350.7	125.0	0.3	0.0	-1182.0	-1548.5
27	Acc-SLC-40-Ypr(all)	-3787.4	-349.9	107.7	0.5	0.0	-1199.2	-1562.3
28	Acc-SLC-40-Ypr(all)	-3758.4	-348.9	125.6	-0.5	0.0	-1192.6	-1551.0
29	Acc-SLC-40-Ypr(all)	-3787.9	-349.0	107.7	0.4	0.0	-1196.5	-1561.7
30	Acc-SLC-40-Ypr(all)	-3763.9	-348.7	125.9	-0.5	0.0	-1190.0	-1552.1
31	Acc-SLC-40-Ypr(all)	-3787.2	-349.8	107.3	0.3	0.0	-1190.8	-1560.1
32	Acc-SLC-40-Ypr(all)	-3760.7	-348.2	126.0	-0.7	0.0	-1196.9	-1552.8
33	Acc-SLC-40-Ypr(all)	-3788.5	-350.1	107.2	0.3	0.0	-1195.5	-1561.7
34	Acc-SLC-40-Ypr(all)	-3762.3	-349.1	125.9	-0.7	0.0	-1197.5	-1553.5
35	Acc-SLC-40-Ypr(all)	-3782.3	-351.7	106.8	-0.3	0.0	-1183.4	-1556.6
36	Acc-SLC-40-Ypr(all)	-3755.2	-349.2	125.1	-0.9	0.0	-1205.0	-1553.0
25	Acc-SLC-40-Zpr(all)	-4333.9	-114.4	109.3	0.1	0.0	-252.5	-1507.7
26	Acc-SLC-40-Zpr(all)	-4308.2	-114.6	125.2	-0.1	0.0	-250.0	-1498.6
27	Acc-SLC-40-Zpr(all)	-4339.4	-115.4	108.9	0.1	0.0	-254.6	-1510.1
28	Acc-SLC-40-Zpr(all)	-4309.1	-115.0	125.8	-0.1	0.0	-253.1	-1499.6
29	Acc-SLC-40-Zpr(all)	-4347.4	-115.8	109.1	0.1	0.0	-255.3	-1512.9
30	Acc-SLC-40-Zpr(all)	-4321.5	-115.2	126.4	-0.2	0.0	-253.4	-1503.8
31	Acc-SLC-40-Zpr(all)	-4341.7	-115.9	108.8	0.1	0.0	-254.7	-1510.9
32	Acc-SLC-40-Zpr(all)	-4317.1	-115.0	126.2	-0.2	0.0	-253.8	-1502.5
33	Acc-SLC-40-Zpr(all)	-4340.7	-115.6	108.7	0.1	0.0	-254.6	-1510.6
34	Acc-SLC-40-Zpr(all)	-4311.7	-114.7	126.1	-0.2	0.0	-252.9	-1500.5
35	Acc-SLC-40-Zpr(all)	-4332.1	-115.3	108.1	-0.1	0.0	-251.5	-1506.9
36	Acc-SLC-40-Zpr(all)	-4303.1	-113.7	125.2	-0.3	0.0	-250.9	-1497.1

La massima forza assiale si ha in corrispondenza del general link 25 (spalla SA) per la combinazione sismica SLC 0.3Ex+Ey+0.3Ez con accelerogramma di durata 40 s:

$$N = 1563 \text{ kN} < 1760 \text{ kN (massimo sforzo normale in condizioni sismiche SLC)}$$

La verifica risulta soddisfatta.

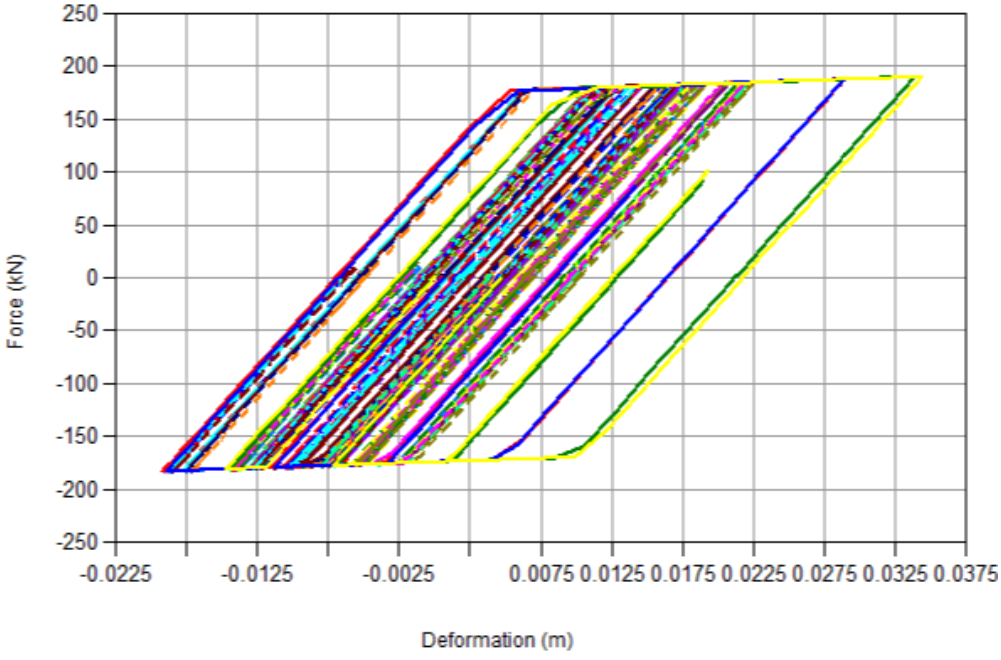
Nelle figure di seguito si riportano i grafici forza-spostamento descritti durante l'analisi dai dissipatori elastoplastici per le combinazioni sismiche corrispondenti allo SLC.

Nella tabella successiva sono riportate le massime azioni agenti sui dissipatori.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	COMMESSA <b>IA5F</b>	LOTTO <b>03</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>VI000006</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>62 di 70</b>

*Analisi con isolamento V106*

*Diagramma forza-spostamenti dei dissipatori presenti sul viadotto in direzione longitudinale  
 Sisma principale in direzione X con accelerogrammi di durata 25,30 e 40 secondi*



*Diagramma forza-spostamenti dei dissipatori presenti sul viadotto in direzione trasversale  
 Sisma principale in direzione Y con accelerogrammi di durata 25,30 e 40 secondi*

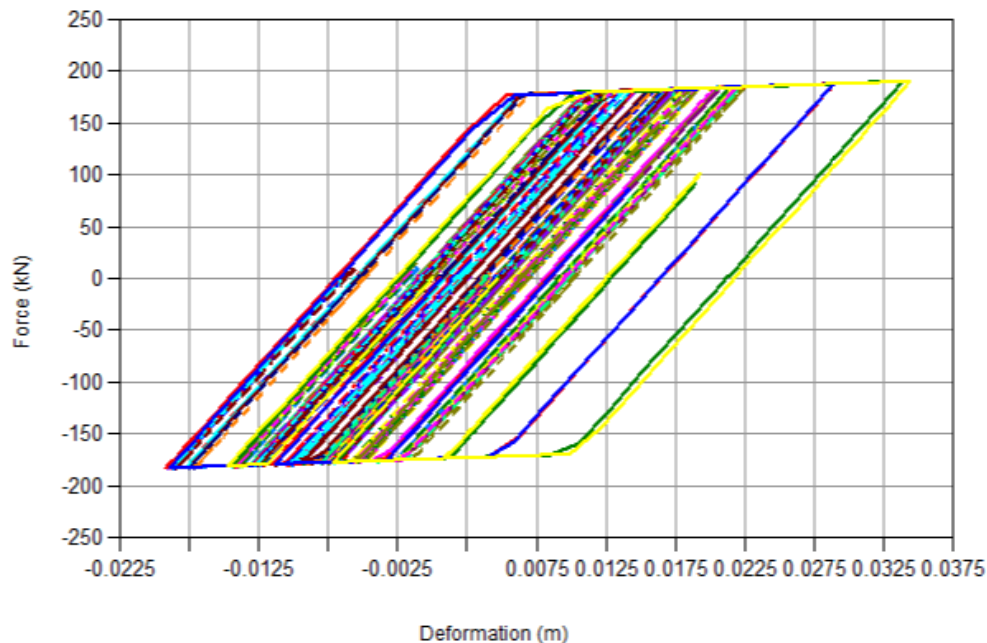
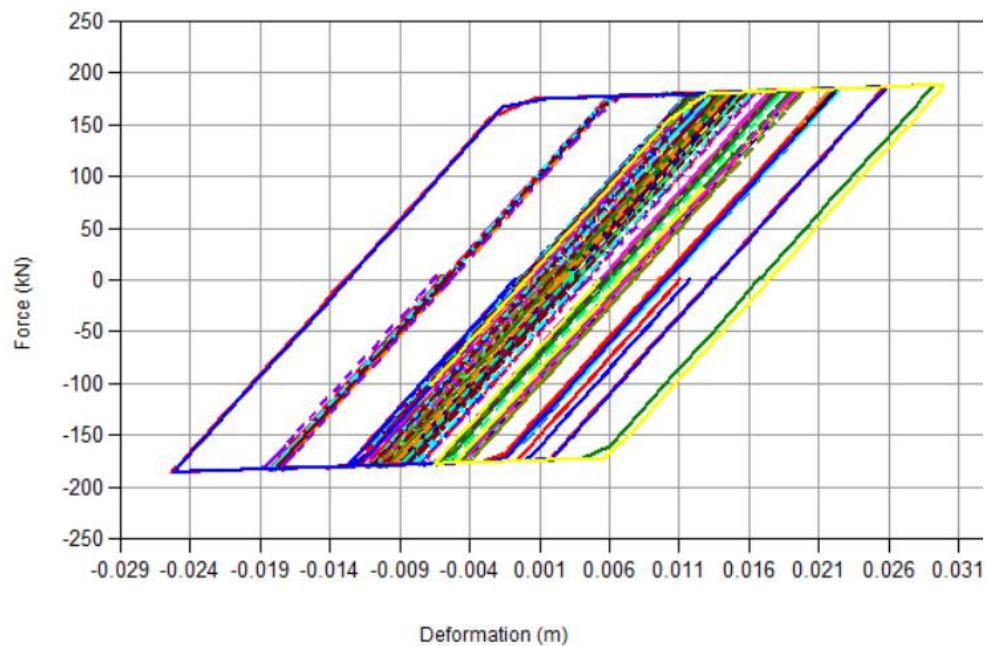


Diagramma forza-spostamenti dei dissipatori presenti sul viadotto in direzione longitudinale

Sisma principale in direzione X con accelerogrammi di durata 25,30 e 40 secondi – con variabilità spaziale del moto



No.	Load	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN*m)	Moment-y (kN*m)	Moment-z (kN*m)
13	Acc-SLC-25-Xpr(all)	0.0	0.3	-182.6	0.0	0.0	0.0

No.	Load	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN*m)	Moment-y (kN*m)	Moment-z (kN*m)
14	Acc-SLC-25-Xpr(all)	0.0	0.3	184.3	0.0	0.0	0.0
15	Acc-SLC-25-Xpr(all)	0.0	0.3	-182.6	0.0	0.0	0.0
16	Acc-SLC-25-Xpr(all)	0.0	0.3	184.5	0.0	0.0	0.0
17	Acc-SLC-25-Xpr(all)	0.0	0.3	-182.6	0.0	0.0	0.0
18	Acc-SLC-25-Xpr(all)	0.0	0.3	184.6	0.0	0.0	0.0
19	Acc-SLC-25-Xpr(all)	0.0	0.3	-182.5	0.0	0.0	0.0
20	Acc-SLC-25-Xpr(all)	0.0	0.3	184.6	0.0	0.0	0.0
21	Acc-SLC-25-Xpr(all)	0.0	0.3	-182.5	0.0	0.0	0.0
22	Acc-SLC-25-Xpr(all)	0.0	0.3	184.6	0.0	0.0	0.0
23	Acc-SLC-25-Xpr(all)	0.0	0.3	-182.3	0.0	0.0	0.0
24	Acc-SLC-25-Xpr(all)	0.0	0.3	184.6	0.0	0.0	0.0
13	Acc-SLC-25-Ypr(all)	0.0	-183.3	-0.3	0.0	0.0	0.0
14	Acc-SLC-25-Ypr(all)	0.0	-183.3	0.3	0.0	0.0	0.0
15	Acc-SLC-25-Ypr(all)	0.0	-183.4	-0.3	0.0	0.0	0.0
16	Acc-SLC-25-Ypr(all)	0.0	-183.4	0.3	0.0	0.0	0.0
17	Acc-SLC-25-Ypr(all)	0.0	-183.4	-0.3	0.0	0.0	0.0
18	Acc-SLC-25-Ypr(all)	0.0	-183.4	0.3	0.0	0.0	0.0
19	Acc-SLC-25-Ypr(all)	0.0	-183.4	-0.3	0.0	0.0	0.0
20	Acc-SLC-25-Ypr(all)	0.0	-183.4	0.3	0.0	0.0	0.0
21	Acc-SLC-25-Ypr(all)	0.0	-183.4	-0.3	0.0	0.0	0.0
22	Acc-SLC-25-Ypr(all)	0.0	-183.4	0.3	0.0	0.0	0.0
23	Acc-SLC-25-Ypr(all)	0.0	-183.4	-0.3	0.0	0.0	0.0
24	Acc-SLC-25-Ypr(all)	0.0	-183.3	0.3	0.0	0.0	0.0
13	Acc-SLC-25-Zpr(all)	0.0	0.3	-0.3	0.0	0.0	0.0
14	Acc-SLC-25-Zpr(all)	0.0	0.3	0.3	0.0	0.0	0.0
15	Acc-SLC-25-Zpr(all)	0.0	0.3	-0.3	0.0	0.0	0.0
16	Acc-SLC-25-Zpr(all)	0.0	0.3	0.3	0.0	0.0	0.0
17	Acc-SLC-25-Zpr(all)	0.0	0.3	-0.3	0.0	0.0	0.0
18	Acc-SLC-25-Zpr(all)	0.0	0.3	0.3	0.0	0.0	0.0
19	Acc-SLC-25-Zpr(all)	0.0	0.3	-0.3	0.0	0.0	0.0
20	Acc-SLC-25-Zpr(all)	0.0	0.3	0.3	0.0	0.0	0.0
21	Acc-SLC-25-Zpr(all)	0.0	0.3	-0.3	0.0	0.0	0.0
22	Acc-SLC-25-Zpr(all)	0.0	0.3	0.3	0.0	0.0	0.0
23	Acc-SLC-25-Zpr(all)	0.0	0.3	-0.3	0.0	0.0	0.0
24	Acc-SLC-25-Zpr(all)	0.0	0.3	0.3	0.0	0.0	0.0
13	Acc-SLC-30-Xpr(all)	0.0	-0.3	-183.2	0.0	0.0	0.0
14	Acc-SLC-30-Xpr(all)	0.0	-0.3	184.3	0.0	0.0	0.0
15	Acc-SLC-30-Xpr(all)	0.0	-0.3	-183.1	0.0	0.0	0.0
16	Acc-SLC-30-Xpr(all)	0.0	-0.3	184.3	0.0	0.0	0.0
17	Acc-SLC-30-Xpr(all)	0.0	-0.3	-183.1	0.0	0.0	0.0




No.	Load	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN*m)	Moment-y (kN*m)	Moment-z (kN*m)
18	Acc-SLC-30-Xpr(all)	0.0	-0.3	184.3	0.0	0.0	0.0
19	Acc-SLC-30-Xpr(all)	0.0	-0.3	-183.0	0.0	0.0	0.0
20	Acc-SLC-30-Xpr(all)	0.0	-0.3	184.4	0.0	0.0	0.0
21	Acc-SLC-30-Xpr(all)	0.0	-0.3	-183.0	0.0	0.0	0.0
22	Acc-SLC-30-Xpr(all)	0.0	-0.3	184.5	0.0	0.0	0.0
23	Acc-SLC-30-Xpr(all)	0.0	-0.3	-182.9	0.0	0.0	0.0
24	Acc-SLC-30-Xpr(all)	0.0	-0.3	184.8	0.0	0.0	0.0
13	Acc-SLC-30-Ypr(all)	0.0	-183.5	-0.3	0.0	0.0	0.0
14	Acc-SLC-30-Ypr(all)	0.0	-183.6	0.3	0.0	0.0	0.0
15	Acc-SLC-30-Ypr(all)	0.0	-183.5	-0.3	0.0	0.0	0.0
16	Acc-SLC-30-Ypr(all)	0.0	-183.4	0.3	0.0	0.0	0.0
17	Acc-SLC-30-Ypr(all)	0.0	-183.4	-0.3	0.0	0.0	0.0
18	Acc-SLC-30-Ypr(all)	0.0	-183.4	0.3	0.0	0.0	0.0
19	Acc-SLC-30-Ypr(all)	0.0	-183.5	-0.3	0.0	0.0	0.0
20	Acc-SLC-30-Ypr(all)	0.0	-183.4	0.3	0.0	0.0	0.0
21	Acc-SLC-30-Ypr(all)	0.0	-183.5	-0.3	0.0	0.0	0.0
22	Acc-SLC-30-Ypr(all)	0.0	-183.4	0.3	0.0	0.0	0.0
23	Acc-SLC-30-Ypr(all)	0.0	-183.6	-0.3	0.0	0.0	0.0
24	Acc-SLC-30-Ypr(all)	0.0	-183.5	0.3	0.0	0.0	0.0
13	Acc-SLC-30-Zpr(all)	0.0	-0.3	-0.3	0.0	0.0	0.0
14	Acc-SLC-30-Zpr(all)	0.0	-0.3	0.3	0.0	0.0	0.0
15	Acc-SLC-30-Zpr(all)	0.0	-0.3	-0.3	0.0	0.0	0.0
16	Acc-SLC-30-Zpr(all)	0.0	-0.3	0.3	0.0	0.0	0.0
17	Acc-SLC-30-Zpr(all)	0.0	-0.3	-0.3	0.0	0.0	0.0
18	Acc-SLC-30-Zpr(all)	0.0	-0.3	0.3	0.0	0.0	0.0
19	Acc-SLC-30-Zpr(all)	0.0	-0.3	-0.3	0.0	0.0	0.0
20	Acc-SLC-30-Zpr(all)	0.0	-0.3	0.3	0.0	0.0	0.0
21	Acc-SLC-30-Zpr(all)	0.0	-0.3	-0.3	0.0	0.0	0.0
22	Acc-SLC-30-Zpr(all)	0.0	-0.3	0.3	0.0	0.0	0.0
23	Acc-SLC-30-Zpr(all)	0.0	-0.3	-0.3	0.0	0.0	0.0
24	Acc-SLC-30-Zpr(all)	0.0	-0.3	0.3	0.0	0.0	0.0
13	Acc-SLC-40-Xpr(all)	0.0	-0.3	188.0	0.0	0.0	0.0
14	Acc-SLC-40-Xpr(all)	0.0	-0.3	189.8	0.0	0.0	0.0
15	Acc-SLC-40-Xpr(all)	0.0	-0.3	187.8	0.0	0.0	0.0
16	Acc-SLC-40-Xpr(all)	0.0	-0.3	189.8	0.0	0.0	0.0
17	Acc-SLC-40-Xpr(all)	0.0	-0.3	187.7	0.0	0.0	0.0
18	Acc-SLC-40-Xpr(all)	0.0	-0.3	189.8	0.0	0.0	0.0
19	Acc-SLC-40-Xpr(all)	0.0	-0.3	187.6	0.0	0.0	0.0
20	Acc-SLC-40-Xpr(all)	0.0	-0.3	189.9	0.0	0.0	0.0
21	Acc-SLC-40-Xpr(all)	0.0	-0.3	187.7	0.0	0.0	0.0

No.	Load	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN*m)	Moment-y (kN*m)	Moment-z (kN*m)
22	Acc-SLC-40-Xpr(all)	0.0	-0.3	189.9	0.0	0.0	0.0
23	Acc-SLC-40-Xpr(all)	0.0	-0.3	187.7	0.0	0.0	0.0
24	Acc-SLC-40-Xpr(all)	0.0	-0.3	190.2	0.0	0.0	0.0
13	Acc-SLC-40-Ypr(all)	0.0	-188.7	-0.3	0.0	0.0	0.0
14	Acc-SLC-40-Ypr(all)	0.0	-188.7	0.3	0.0	0.0	0.0
15	Acc-SLC-40-Ypr(all)	0.0	-188.6	-0.3	0.0	0.0	0.0
16	Acc-SLC-40-Ypr(all)	0.0	-188.6	0.3	0.0	0.0	0.0
17	Acc-SLC-40-Ypr(all)	0.0	-188.6	-0.3	0.0	0.0	0.0
18	Acc-SLC-40-Ypr(all)	0.0	-188.5	0.3	0.0	0.0	0.0
19	Acc-SLC-40-Ypr(all)	0.0	-188.6	-0.3	0.0	0.0	0.0
20	Acc-SLC-40-Ypr(all)	0.0	-188.5	0.3	0.0	0.0	0.0
21	Acc-SLC-40-Ypr(all)	0.0	-188.7	-0.3	0.0	0.0	0.0
22	Acc-SLC-40-Ypr(all)	0.0	-188.5	0.3	0.0	0.0	0.0
23	Acc-SLC-40-Ypr(all)	0.0	-188.8	-0.3	0.0	0.0	0.0
24	Acc-SLC-40-Ypr(all)	0.0	-188.6	0.3	0.0	0.0	0.0
13	Acc-SLC-40-Zpr(all)	0.0	-0.3	-0.3	0.0	0.0	0.0
14	Acc-SLC-40-Zpr(all)	0.0	-0.3	0.3	0.0	0.0	0.0
15	Acc-SLC-40-Zpr(all)	0.0	-0.3	-0.3	0.0	0.0	0.0
16	Acc-SLC-40-Zpr(all)	0.0	-0.3	0.3	0.0	0.0	0.0
17	Acc-SLC-40-Zpr(all)	0.0	-0.3	-0.3	0.0	0.0	0.0
18	Acc-SLC-40-Zpr(all)	0.0	-0.3	0.3	0.0	0.0	0.0
19	Acc-SLC-40-Zpr(all)	0.0	-0.3	-0.3	0.0	0.0	0.0
20	Acc-SLC-40-Zpr(all)	0.0	-0.3	0.3	0.0	0.0	0.0
21	Acc-SLC-40-Zpr(all)	0.0	-0.3	-0.3	0.0	0.0	0.0
22	Acc-SLC-40-Zpr(all)	0.0	-0.3	0.3	0.0	0.0	0.0
23	Acc-SLC-40-Zpr(all)	0.0	-0.3	-0.3	0.0	0.0	0.0
24	Acc-SLC-40-Zpr(all)	0.0	-0.3	0.3	0.0	0.0	0.0

Si nota come per la combinazione con sisma principale in direzione X, i tagli nei pioli in direzione trasversale siano nulli, mentre per la combinazione con sisma principale in direzione Y, siano stavolta i tagli in direzione longitudinale ad essere nulli.

Il massimo spostamento che subiscono i dissipatori coincide allora con il massimo spostamento in direzione longitudinale, per la combinazione  $E_x + 0.3E_y + 0.3E_z$ , e con il massimo spostamento trasversale per la combinazione  $0.3E_x + E_y + 0.3E_z$ .

**Max spostamento nei dissipatori ottenuto da analisi in condizioni sismiche SLC = 3.44 cm**

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale</b>  <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	COMMESSA <b>IA5F</b>	LOTTO <b>03</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>VI000006</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>67 di 70</b>

Analisi con isolamento V106

**Spostamento longitudinale dovuto a variazione termica = 0.16 cm**

**Max (Spostamento residuo SLD; 50% spostamento annullamento forza) = 0 cm**

**Spostamento SLC = 3.50 cm**

**Massimo spostamento ammissibile = 10.00 cm**

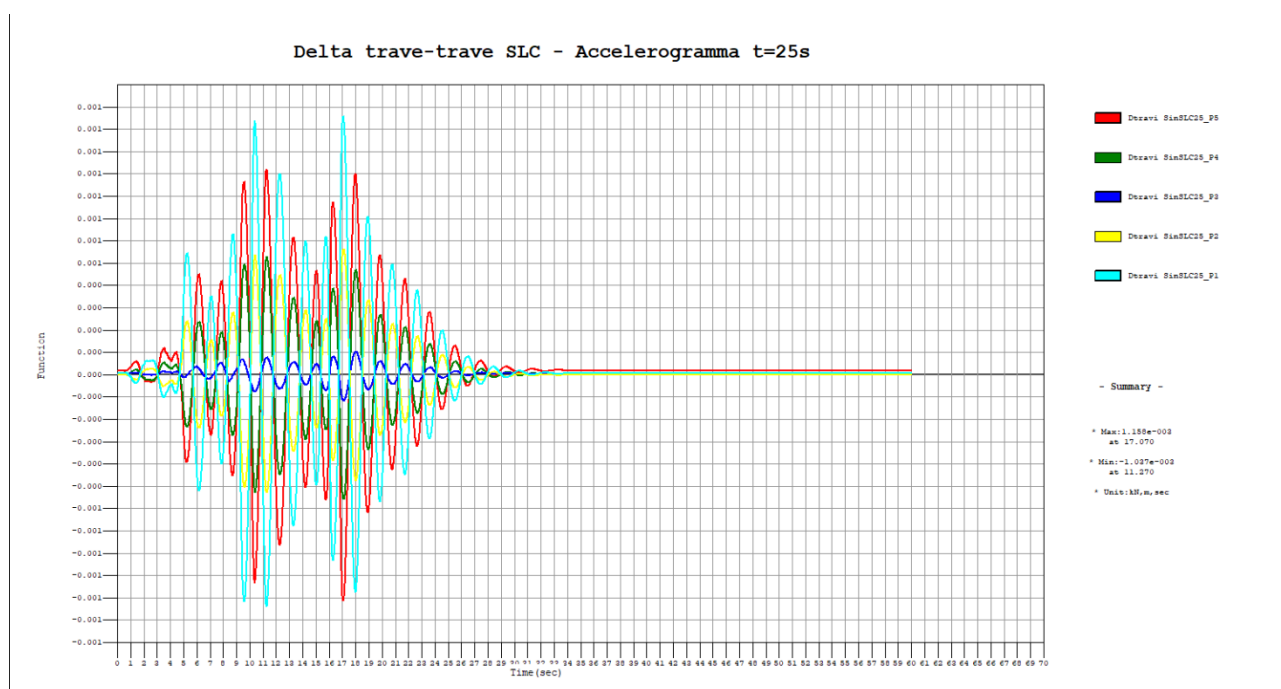
### 6.3 Verifiche dei giunti allo SLC

Le verifiche dei giunti sono state effettuate adottando come azioni sismiche quelle corrispondenti allo SLC.

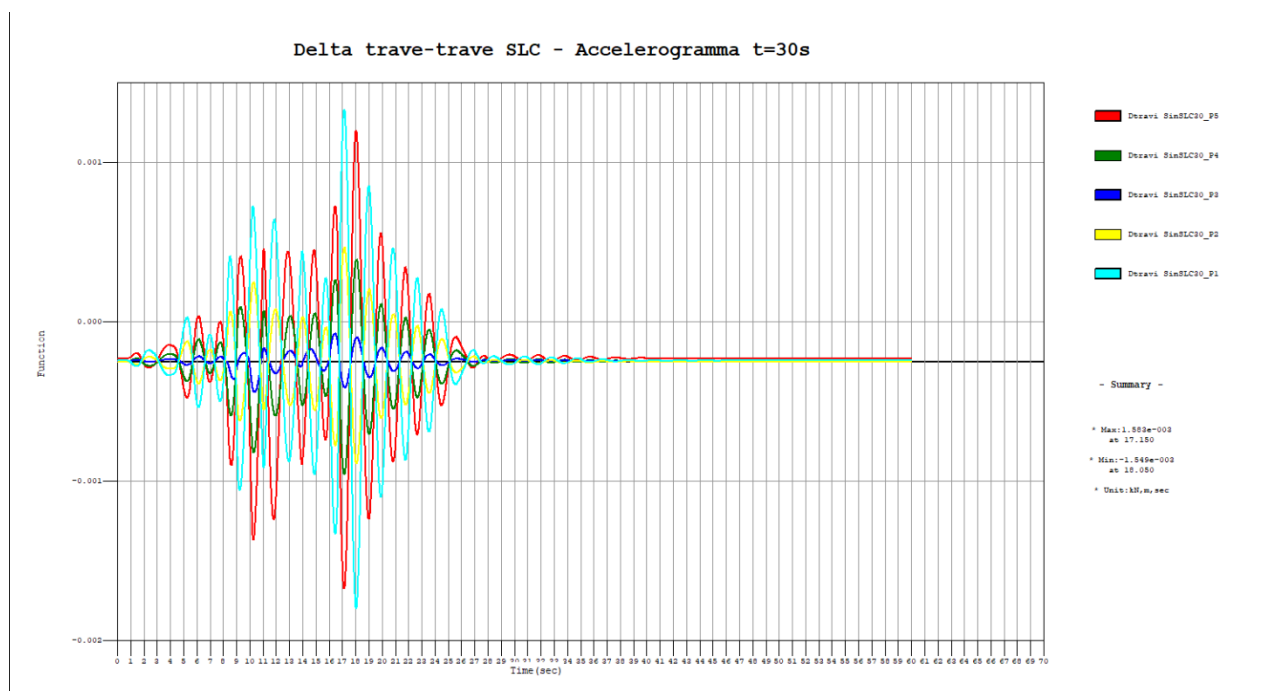
Le deformazioni sottoposte alle seguenti verifiche sono state ricavate dalle analisi dinamiche non lineari applicate sul modello “isolato” espone al capitolo precedente.

Di seguito si riportano i soli risultati delle analisi eseguite in riferimento alle combinazioni con sisma principale in direzione longitudinale, le quali risultano essere più gravose per i giunti.

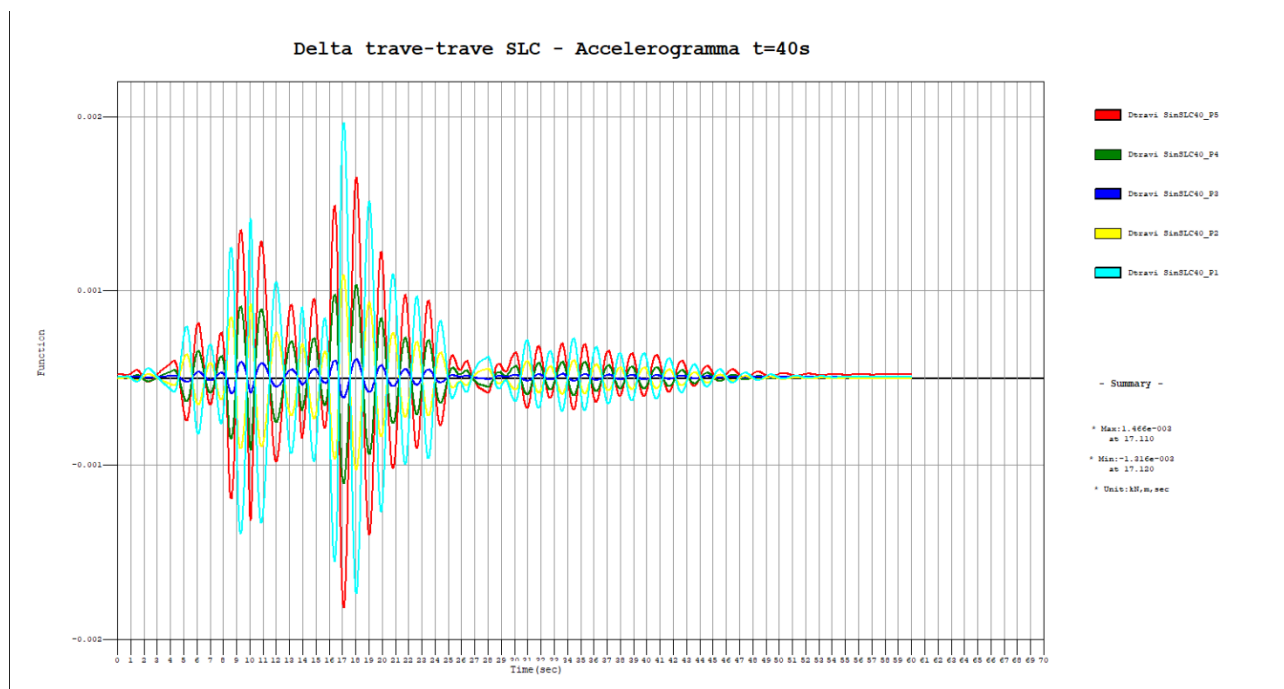
*Avvicinamento/ allontanamento in direzione longitudinali trave-trave  
 Sisma principale in direzione X con accelerogrammi di durata 25 secondi*



*Avvicinamento/allontanamento in direzione longitudinale trave-trave  
Sisma principale in direzione X con accelerogrammi di durata 30 secondi*

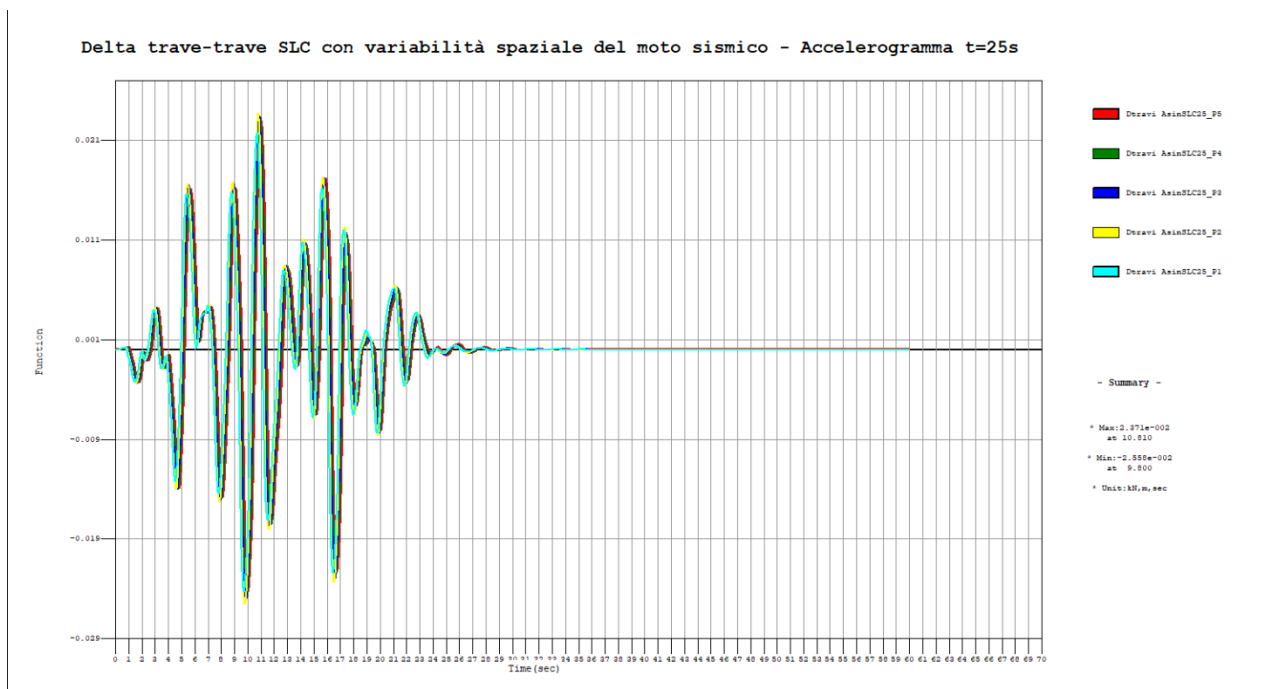


*Avvicinamento/allontanamento in direzione longitudinale trave-trave  
Sisma principale in direzione X con accelerogrammi di durata 40 secondi*



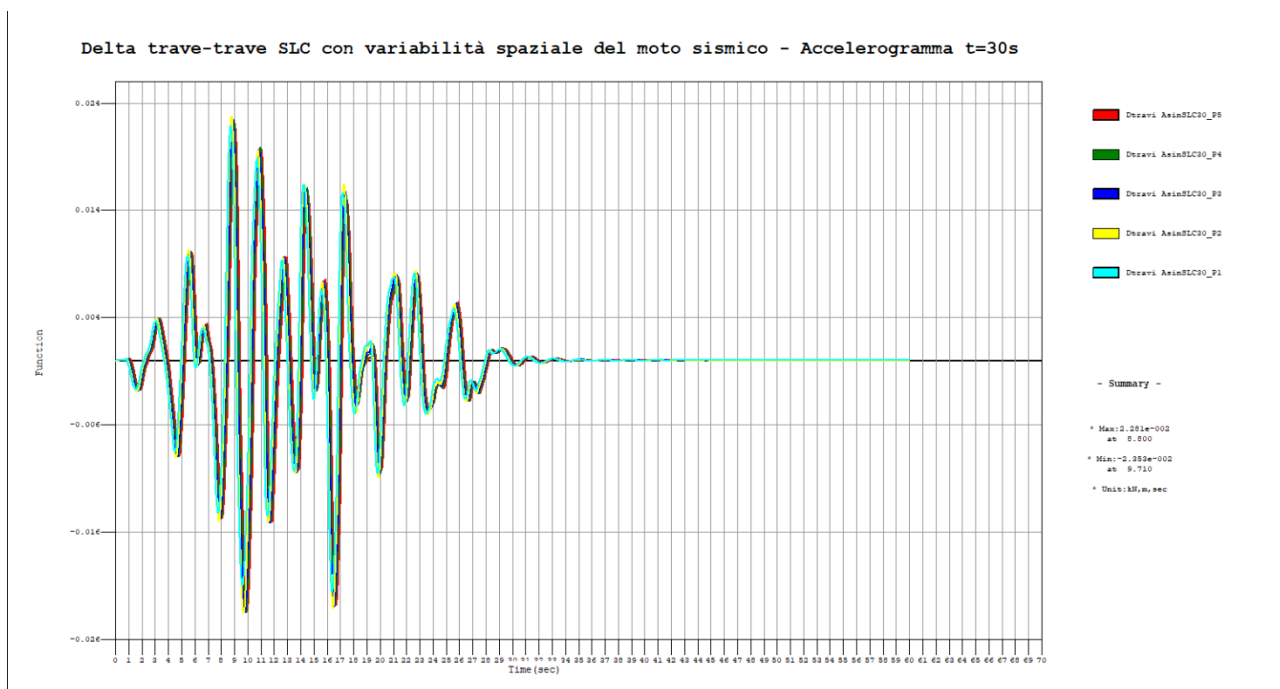
*Avvicinamento/allontanamento in direzione longitudinale trave-trave*

*Sisma principale in direzione X con accelerogrammi di durata 25 secondi – con variabilità spaziale del moto*



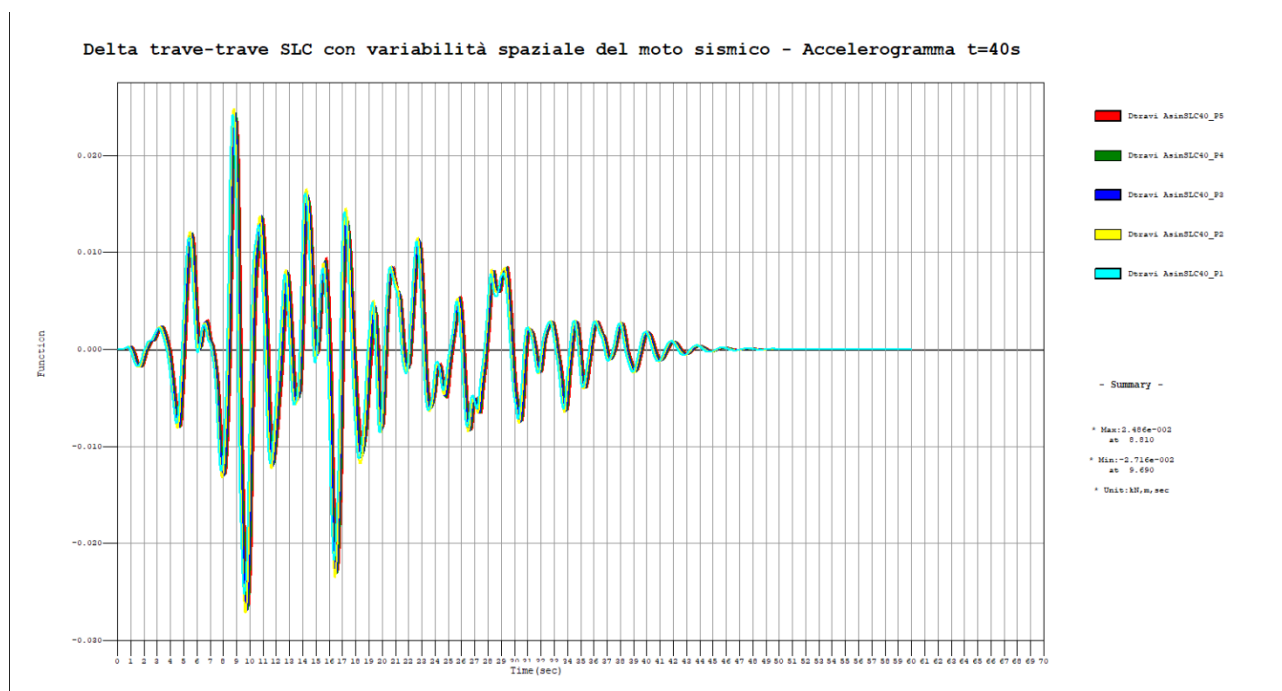
*Avvicinamento/allontanamento in direzione longitudinale trave-trave*

*Sisma principale in direzione X con accelerogrammi di durata 30 secondi – con variabilità spaziale del moto*



*Avvicinamento/allontanamento in direzione longitudinale trave-trave*

*Sisma principale in direzione X con accelerogrammi di durata 40 secondi – con variabilità spaziale del moto*



Massimo spostamento relativo tra travi contigue = 2.72 cm

Il massimo spostamento si ha per la combinazione che considera un accelerogramma di 40 secondi in presenza di variabilità spaziale del moto.

Ipotizzando trascurabili le rotazioni dell'impalcato, gli spostamenti dei nodi rappresentati dei baricentri delle travi risultano essere pari agli spostamenti a "quota giunto".

**Si assume dunque un avvicinamento/allontanamento massimo in prossimità del giunto pari a  $\pm 2.72$  cm.**

**Il massimo avvicinamento/allontanamento ammissibile del giunto tipo FIP Beta 60/200 è pari a  $\pm 10$  cm.**

La verifica risulta soddisfatta.