

**NUOVA LINEA TORINO LIONE - NOUVELLE LIGNE LYON TURIN  
PARTE COMUNE ITALO-FRANCESE - PARTIE COMMUNE FRANCO-ITALIENNE  
SEZIONE TRANSFRONTALIERA PARTE IN TERRITORIO ITALIANO  
SECTION TRANSFRONTALIERE PARTIE EN TERRITOIRE ITALIEN**

**LOTTO COSTRUTTIVO 1 / LOT DE CONSTRUCTION 1  
CANTIERE OPERATIVO 04C/CHANTIER DE CONSTRUCTION 04C  
SVINCOLO DI CHIOMONTE IN FASE DI CANTIERE  
ECHANGEUR DE CHIOMONTE DANS LA PHASE DE CHANTIER  
PROGETTO ESECUTIVO - ETUDES D'EXECUTION  
CUP C11J05000030001 - CIG 6823295927**

**OPERE D'ARTE  
OPERE D'ARTE MAGGIORI  
ADEGUAMENTO VIADOTTO CLAREA  
ANALISI SISMICA NON-LINEARE DELLO SVINCOLO CON TIME HISTORY**

Indice	Date/ Data	Modifications / Modifiche	Etablish par / Concepito da	Vérifié par / Controllato da	Autorisé par / Autorizzato da
0	30/04/2017	Première diffusion / Prima emissione	C.BELTRAMI (-)	L.BARBERIS (MUSINET ENG.)	F.D'AMBRA (MUSINET ENG.)
A	30/09/2017	Révision suite aux commentaires TELT/ Revisione a seguito commenti TELT	C.BELTRAMI (-)	L.BARBERIS (MUSINET ENG.)	F.D'AMBRA (MUSINET ENG.)
B	29/06/2018	Modifica titolo progetto/ Modifications titre du project	P.LESCE (MUSINET ENG.)	P.D'ALOISIO (MUSINET ENG.)	L.BARBERIS (MUSINET ENG.)

<b>1</b>	<b>0</b>	<b>4</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>1</b>	<b>6</b>	<b>1</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>N</b>	<b>V</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>W</b>	<b>A</b>	
Cat.Lav. Cat.Trav.	Lotto/Lot		Contratto/Contrat				Opera/Oeuvre			Tratto Tronçon	Parte Partie					

<b>E</b>	<b>C</b>	<b>L</b>	<b>O</b>	<b>C</b>	<b>0</b>	<b>8</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>B</b>
Fase Phase	Tipo documento Type de document		Oggetto Object		Numero documento Numéro de document			Indice Index	

**INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE/  
/INTEGRATION SPECIALISTE**



Dott. Ing. Piero D'ALOISIO  
Albo di Torino  
N° 5193 S

Empty box for specialist integration details.

**SCALA / ÉCHELLE**

-

**I PROGETTISTI/LES DESIGNERS**



Dott. Arch. Corrado GIOVANNETTI  
Albo di Torino  
N° 2736

**L'APPALTATORE/L'ENTREPRENEUR**

Empty box for contractor details.

**IL DIRETTORE DEI LAVORI/LE MAÎTRE D'ŒUVRE**

Empty box for project director details.

**SOMMAIRE / INDICE**

1. INTRODUZIONE .....	5
2. SELEZIONE DELL'INPUT .....	6
3. DEFINIZIONE E MODELLAZIONE DELLE PROPRIETÀ NON LINEARI DEGLI ISOLATORI FP.....	9
4. DEFINIZIONE E MODELLAZIONE DELLE PROPRIETÀ NON LINEARI DEGLI SMORZATORI VISCOSI.....	9
5. DEFINIZIONE E MODELLAZIONE DEI GIUNTI TRA GLI IMPALCATI .....	10
6. DEFINIZIONE DEI PARAMETRI DELLA ANALISI DINAMICA AL PASSO.....	10
7. VALUTAZIONE DEI RISULTATI DEI DUE SVINCOLI CON INCASTRI A TERRA O MODELLANDO LE RIGIDENZE DELLE FONDAZIONI.....	10
8. SVINCOLO DISCESA .....	11
9. SVINCOLO SALITA.....	17
10. CONFRONTI CON LE SOLLECITAZIONI ASSUNTE IN PROGETTO .....	31
11. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	32

## LISTE DES FIGURES / INDICE DELLE FIGURE

<b>Figura 1</b> - Parametri principali e spettro di progetto per il sito di Chiomonte (TO). Sono inclusi gli effetti di risposta sismica locale e topografici secondo quanto previsto della NTC08 .....	7
<b>Figura 2</b> - Confronto tra lo spettro medio (rosso) dei segnali selezionati per le analisi dinamiche e lo spettro di progetto da NTC08. Per ogni registrazione è riportata la media geometrica delle componenti orizzontali. ....	8
<b>Figura 3</b> - Modello di calcolo agli elementi finiti (in Midas Civil) dello Svincolo Discesa (i simboli indicano i numeri identificativi delle pile e delle spalle dei viadotti) .....	11
<b>Figura 4</b> - Modello agli elementi finiti in Midas Civil dello Svincolo Discesa. Gli isolatori sono collocati tra la pila IP1 e l'impalcato. Gli smorzatori alla spalla Sp3 (Clarea) e alla Sp2 (Rampa). ....	11
<b>Figura 5</b> - Cicli forza-spostamento nel piano (rispetto al sistema di riferimento locale) di uno dei due isolatori posti sulla testa della pila IP1 per effetto del segnale G2S1 (il primo segnale S1 del Gruppo 2 dei 7 eventi considerati).....	14
<b>Figura 6</b> - Cicli forza-spostamento assiali degli smorzatori viscosi alla spalla Sp2 e alla spalla Sp3 per effetto del segnale G2S2.....	14
<b>Figura 7</b> - Cicli forza-spostamento assiali degli smorzatori viscosi alla spalla Sp2 e alla spalla Sp3 per effetto del segnale G2S3.....	14
<b>Figura 8</b> - Cicli forza-spostamento nel piano (rispetto al sistema di riferimento locale) di uno dei due isolatori posti sulla testa della pila IP1 per effetto del segnale G2S1 (il primo segnale S1 del Gruppo 2 dei 7 eventi considerati) - Modello con le rigidzze delle fondazioni .....	16
<b>Figura 9</b> - Cicli forza-spostamento assiali dello smorzatore viscoso alla spalla Sp2 per effetto dei segnali G2S2 e G2S3 - Modello con le rigidzze delle fondazioni .....	16
<b>Figura 10</b> - Modello di calcolo agli elementi finiti (in Midas Civil) dello Svincolo Salita (i simboli indicano i numeri identificativi delle pile e delle spalle dei viadotti) .....	17
<b>Figura 11</b> - Modello agli elementi finiti in Midas Civil dello Svincolo Salita. Gli isolatori sono collocati tra impalcato e pile UP6, UP5, UP4, UP3, UP2, UP1. Gli smorzatori sono disposti sulla spalla Sp1(Clarea). ....	17
<b>Figura 12</b> - Cicli forza-spostamento nel piano (rispetto al sistema di riferimento locale) di uno dei due isolatori posti sulla testa della pila UP4_D per effetto del segnale G2S4 (il segnale S4 del Gruppo 2 dei 7 eventi considerati).....	25
<b>Figura 13</b> - Cicli forza-spostamento assiali degli smorzatori viscosi alla spalla Sp1 per effetto dei segnali G2S1 e G2S4.....	25
<b>Figura 14</b> - Cicli forza-spostamento nel piano (rispetto al sistema di riferimento locale) di uno dei due isolatori posti sulla testa della pila UP4_D per effetto del segnale G2S4 (il segnale S4 del Gruppo 2 dei 7 eventi considerati) – Modello con le rigidzze delle fondazioni .....	30
<b>Figura 15</b> - Cicli forza-spostamento assiali degli smorzatori viscosi alla spalla Sp1 per effetto dei segnali G2S1 e G2S3 – Modello con le rigidzze delle fondazioni.....	31

## LISTE DES TABLES / INDICE DELLE TABELLE

<b>Tabella 1</b> - Pericolosità sismica di base - Parametri che governano la forma dello spettro di risposta per il sito di Chiomonte (TO)[VN=100y; cu = 2).....	6
<b>Tabella 2</b> - Dati principali delle 7 registrazioni utilizzate nelle analisi dinamiche .....	8
<b>Tabella 3</b> - Proprietà degli isolatori FP collocati in testa alla pila IP1 .....	12
<b>Tabella 4</b> - Proprietà non lineari degli smorzatori viscosi.....	12
<b>Tabella 5</b> - Reazioni (nel sistema di riferimento globale) alla base delle pile – Modello con incastri a terra.....	12
<b>Tabella 6</b> - Reazioni (nel sistema di riferimento locale) degli smorzatori e degli isolatori – Modello con incastri a terra.....	13
<b>Tabella 7</b> - Deformazioni (nel sistema di riferimento locale) degli smorzatori e degli isolatori – Modello con incastri a terra.....	13
<b>Tabella 8</b> - Reazioni (nel sistema di riferimento globale) alla base delle pile – Modello con le rigidzze delle fondazioni.....	15
<b>Tabella 9</b> - Reazioni (nel sistema di riferimento locale) degli smorzatori e degli isolatori – Modello con le rigidzze delle fondazioni.....	15
<b>Tabella 10</b> - Deformazioni (nel sistema di riferimento locale) degli smorzatori e degli isolatori – Modello con le rigidzze delle fondazioni .....	15
<b>Tabella 11</b> - Distribuzione degli isolatori FP e loro tipologia, come da progetto.....	17
<b>Tabella 12</b> - Proprietà degli isolatori FP collocati in testa alle pile da UP1 a UP6 e sulla spalla Sp1 (Figura 10).....	18
<b>Tabella 13</b> - Proprietà non lineari degli smorzatori viscosi alla spalla Sp1 (Clarea).....	19
<b>Tabella 14</b> - Reazioni (nel sistema di riferimento globale) alla base delle pile .....	19
<b>Tabella 15</b> - Reazioni (nel sistema di riferimento locale) degli smorzatori e degli isolatori..	20
<b>Tabella 16</b> - Deformazioni (nel sistema di riferimento locale) degli smorzatori e degli isolatori .....	21
<b>Tabella 17</b> - Deformazione del giunto tra gli impalcati "A" e "in affiancamento" in direzione longitudinale.....	25
<b>Tabella 18</b> - Deformazione del giunto tra gli impalcati "B" e "in affiancamento" in direzione trasversale .....	26
<b>Tabella 19</b> - Deformazione del giunto tra gli impalcati "A" e "B" in direzione longitudinale	26
<b>Tabella 20</b> - Deformazione del giunto tra gli impalcati "A" e "B" in direzione trasversale ...	26
<b>Tabella 21</b> - Reazioni (nel sistema di riferimento globale) alla base delle pile – Modello con le rigidzze delle fondazioni.....	26
<b>Tabella 22</b> - Reazioni (nel sistema di riferimento locale) degli smorzatori e degli isolatori – Modello con le rigidzze delle fondazioni.....	28
<b>Tabella 23</b> - Deformazioni (nel sistema di riferimento locale) degli smorzatori e degli isolatori – Modello con le rigidzze delle fondazioni .....	29

## 1. Introduzione

La Svincolo “La Maddalena” è un’opera strutturale complessa, composta da due elementi principali: il Viadotto Clarea e il suo allargamento lato in discesa, denominato, nel seguito, “Svincolo Discesa”; il Viadotto Clarea ed il suo allargamento lato in salita, “Svincolo Salita”. Il modello dello svincolo lato salita include il viadotto in allargamento propriamente detto, e i viadotti “A” e “B”.

I modelli agli elementi finiti per il codice di calcolo Midas Civil dell’intero Svincolo (con prevalenza di elementi tipo “beam”), già utilizzati per i dimensionamenti statici e le analisi sismiche con spettro di risposta sono stati modificati introducendo gli isolatori, gli smorzatori viscosi e due giunti tra gli impalcati consecutivi del Viadotto Salita. In una prima fase di analisi, le pile degli Svincoli “Salita” e “Discesa” sono state considerate fisse a terra (modellando il nodo di base delle pile con un incastro perfetto). Successivamente, si è tenuto conto delle rigidezze delle fondazioni per valutarne gli effetti sulla risposta dell’opera.

Si rimanda alla relazione di calcolo delle sottostrutture delle singole opere per le disposizioni e le proprietà dei vincoli impalcato/pile e impalcato/spalle; Per disposizioni e proprietà degli isolatori Friction Pendulum (FP) e degli smorzatori viscosi posti in corrispondenza delle spalle del viadotto esistente e della spalla Sp2 della rampa di immissione si rimanda agli elaborati di progetto.

La selezione delle terne di accelerogrammi spettro compatibili da utilizzare come input sismico è sinteticamente descritta al paragrafo 2. Il calcolo delle rigidezze delle fondazioni, tenendo conto della geometria propria e delle condizioni dinamiche del terreno secondo il consolidato approccio Gazetas/Foundation vibrations

## 2. Selezione dell'input

La selezione dell'input sismico sottoforma di storie temporali di accelerazione è stata condotta a partire dallo spettro di progetto allo Stato Limite di salvaguardia della vita (SLV) definito secondo quanto riportato nelle NTC08 ed in particolare al paragrafo 3.2.3.6 "Impiego di accelerogrammi". Data l'importanza dell'opera è stata considerata una vita nominale pari a 100 anni ed una classe d'uso IV, da cui la vita di riferimento risulta:

$$V_R = V_N \cdot c_u = 100 \cdot 2 = 200y$$

I principali parametri dello spettro di progetto in direzione orizzontale per il sito di Chiomonte (TO) sono riportati nella seguente tabella, in cui  $a_g$  rappresenta l'accelerazione orizzontale massima al sito,  $F_o$  il valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro,  $T_c^*$  il periodo di inizio del tratto a velocità costante e  $P_{VR}$  la probabilità di superamento del periodo di riferimento.

**Tabella 1** - Pericolosità sismica di base - Parametri che governano la forma dello spettro di risposta per il sito di Chiomonte (TO) [VN=100y;  $c_u = 2$ ]

STATO LIMITE	$P_{VR}$	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_c^*$ [s]
SLO	81%	120	0.078	2.433	0.246
SLD	63%	201	0.097	2.441	0.254
<b>SLV</b>	<b>10%</b>	<b>1898</b>	<b>0.202</b>	<b>2.530</b>	<b>0.282</b>
SLC	5%	2475	0.218	2.545	0.285

Lo spettro rappresentativo della pericolosità sismica di base è stato modificato per tener conto della risposta sismica locale assumendo categoria di sottosuolo C (tipica di terreni a grana grossa mediamente addensati) e categoria topografica T2 (pendii con inclinazione media  $> 15^\circ$ ). I parametri dello spettro di progetto sono riepilogati in **Figura 1**

Nell'ambito del progetto in esame si è scelto di selezionare 7 registrazioni naturali composte di due componenti orizzontali ed una verticale con caratteristiche adatte a rappresentare l'azione sismica di progetto.

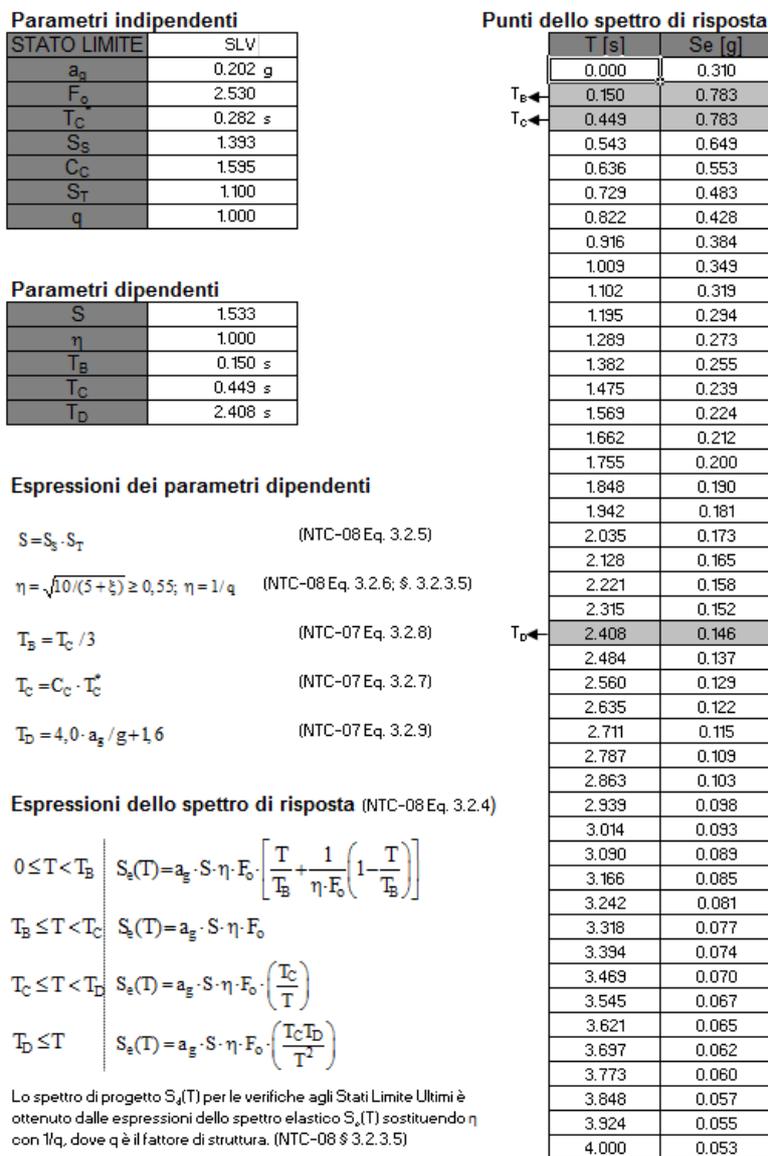
La ricerca è stata effettuata all'interno della banca dati PEER Pacific Earthquake Engineering Research Centre (<http://ngawest2.berkeley.edu/>) con i seguenti criteri di guida, rappresentativi delle condizioni al sito in esame: Magnitudo momento compresa tra 5.5 e 7.0, distanza dalla proiezione in superficie del piano di faglia  $r_{jb} = 0 \div 50$  km e velocità delle onde di taglio nei primi 30m  $V_{S30} = 300 \div 400$  m/s.

Al fine di individuare l'insieme di registrazioni più adatto all'analisi, dati 7 record candidati, la media geometrica delle componenti orizzontali è stata scalata linearmente in modo che lo spettro medio dei segnali ottenuti fosse compatibile con lo spettro di progetto.

L'applicazione di un fattore di scala lineare è stata preferita in modo da mantenere inalterato il contenuto in frequenza del segnale. Come mostrato nella figura seguente, le ordinate spettrali dello spettro medio ottenuto non presentano uno scarto in difetto maggiore del 10% né una differenza in eccesso maggiore del 30% rispetto allo spettro di progetto.

Data la complessità dell'opera, l'intervallo di coerenza, ossia l'intervallo di periodi in cui viene rispettata la spettrocompatibilità, non è stato limitato in funzione dei periodi propri della struttura ma esteso a tutto lo spettro di progetto. Alla componente verticale delle registrazioni è stato applicato lo stesso fattore di scala individuato per quelle orizzontali.

L'insieme di registrazioni è stato selezionato con l'obiettivo di minimizzare i fattori di scala necessari alla spettro-compatibilità. Le caratteristiche degli eventi da cui sono tratte le registrazioni sono riportati sinteticamente nella tabella di seguito, unitamente ai fattori di scala ottenuti (inferiori a 5).



**Figura 1** - Parametri principali e spettro di progetto per il sito di Chiomonte (TO). Sono inclusi gli effetti di risposta sismica locale e topografici secondo quanto previsto della NTC08.

Tabella 2 - Dati principali delle 7 registrazioni utilizzate nelle analisi dinamiche

Result ID	Scale Factor	Sa (T=0.01) scaled (g)	5-95% Duration (sec)	Arias Intensity (m/sec)	Earthquake Name	Year	Station Name	Magnitude	Rjb (km)	Vs30 (m/sec)
1	4.50	0.298	27.1	0.1	"Livermore-01"	1980	"San Ramon Fire Station"	5.80	15.8	384
2	0.94	0.360	15.4	0.9	"Corinth_Greece"	1981	"Corinth"	6.60	10.2	361
3	0.70	0.392	13.7	2.1	"Superstition Hills-02"	1987	"Poe Road (temp)"	6.54	11.1	316
4	2.02	0.299	22.0	0.2	"Big Bear-01"	1992	"San Bernardino - 2nd & Arrowhead"	6.46	33.5	325
5	2.28	0.316	21.6	0.2	"Northridge-01"	1994	"Inglewood - Union Oil"	6.69	37.1	316
6	0.70	0.345	13.9	1.8	"Chuetsu-oki_Japan"	2007	"Kawanishi Izumozaki"	6.80	0.0	338
7	3.33	0.378	12.9	0.1	"Christchurch_New Zealand"	2011	"CSTC"	6.20	36.1	332

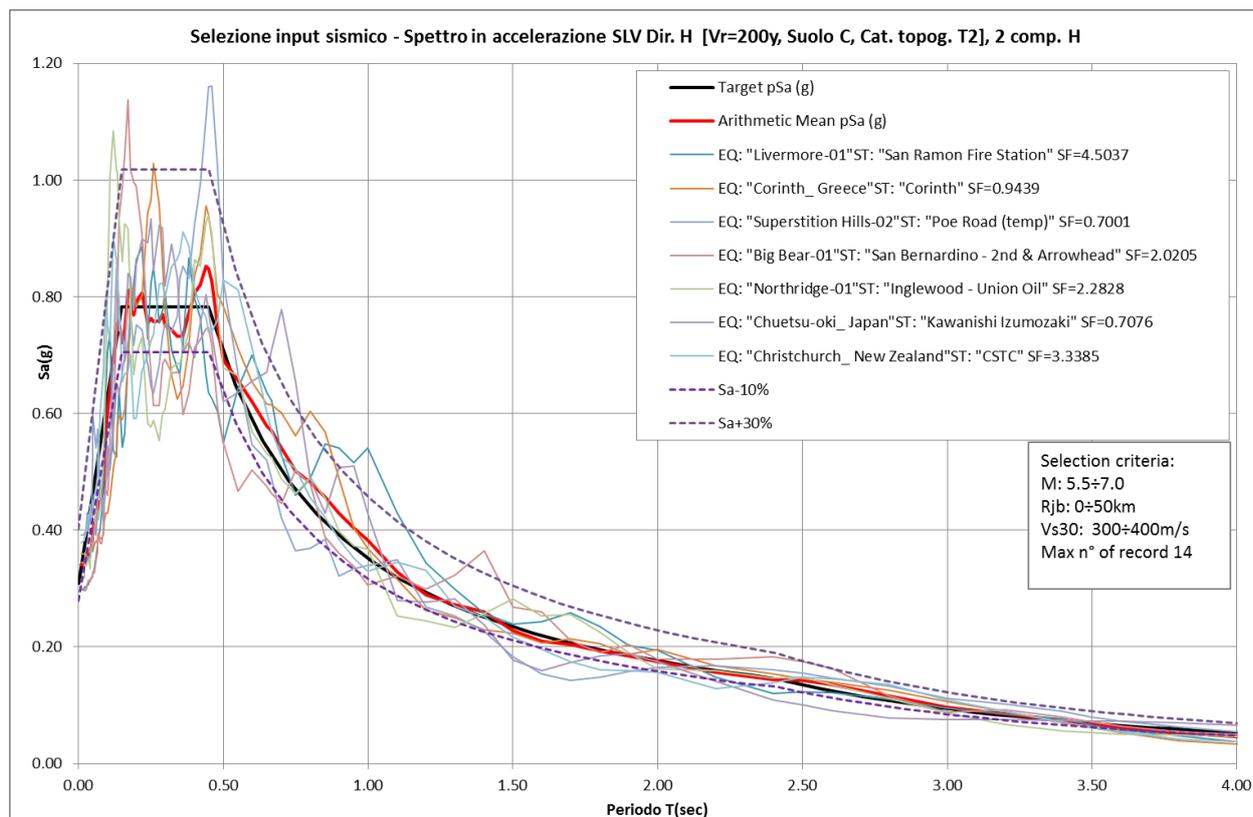


Figura 2 - Confronto tra lo spettro medio (rosso) dei segnali selezionati per le analisi dinamiche e lo spettro di progetto da NTC08. Per ogni registrazione è riportata la media geometrica delle componenti orizzontali.

### 3. Definizione e modellazione delle proprietà non lineari degli isolatori FP

I dispositivi di isolamento scelti in fase di progetto sono isolatori a scorrimento a superficie curva. Per definire correttamente le proprietà non lineari di ogni isolatore FP è necessario calcolarne il coefficiente di attrito dinamico e una rigidezza equivalente.

In base ai dati di progetto, il materiale di scorrimento previsto nella superficie di scorrimento primaria degli isolatori è del tipo FIP Friction Material (FFM) M, a cui, da catalogo del produttore è associato un coefficiente di attrito minimo pari al 5.5%. Il valore del coefficiente di attrito dinamico è stato calcolato utilizzando la formula presente sul Catalogo FIP per FFM tipo M per tener conto della sua dipendenza dal carico verticale:

$$\mu = 5.5 (N_{sd}/N_{ed})^{-0.563} \quad (1)$$

dove:

$N_{sd}$  = somma del carico verticale dovuto al peso proprio e del carico verticale dovuto ai carichi permanenti, ricavati dai modelli di calcolo utilizzati in fase di progetto, dove gli isolatori sono stati modellati come elementi tipo “beam” a comportamento elastico.

$N_{ed}$  = carico verticale massimo di progetto, legato al dispositivo FP prescelto.

La rigidezza equivalente di ogni dispositivo FP è stata calcolata utilizzando la formula riportata nel Catalogo del produttore:

$$K_e = N_{sd} (1/R + \mu/d) \quad (2)$$

dove:

$\mu$  = coefficiente di attrito dinamico calcolato in Eq. (1),

$R$  = raggio di curvatura equivalente dell'isolatore FP prescelto,

$d$  = spostamento massimo dell'isolatore FP prescelto.

Per la modellazione della risposta non lineare di ogni isolatore FP in Midas/Civil, si è utilizzato un “General Link”, “Application Type: Friction Pendulum System Isolator” di cui sono state definite le proprietà lineari e non lineari secondo gli assi di riferimento locali x, y e z che corrispondono alla direzione verticale (x), e orizzontale (y e z) del singolo dispositivo modellato.

Tre sono le tipologie di isolatori FP considerate nel progetto:

- FIP-D M 3050/400 (3100) con  $N_{ed} = 14.000$  kN e spostamento di  $\pm 0.2$  m, per lo Svincolo Discesa;
- FIP-D M 1000/500 (3100) con  $N_{ed} = 3.100$  kN e spostamento di  $\pm 0.25$  m, per lo Svincolo Salita;
- FIP-D M 2200/500 (3100) con  $N_{ed} = 9.300$  kN e spostamento di  $\pm 0.25$  m, per lo Svincolo Salita.

La disposizione degli isolatori FP verrà presentata nelle Sezioni successive relative agli svincoli.

### 4. Definizione e modellazione delle proprietà non lineari degli smorzatori viscosi

Sono da includere nella modellazione smorzatori viscosi posti in prossimità delle spalle. Il legame forza-spostamento dei dissipatori viscosi è non lineare e tiene conto della capacità del dispositivo di dissipare energia. Come legame costitutivo di riferimento si è scelto il legame costitutivo riportato tipico [2]:

$$F=C v^\alpha \quad (3)$$

In Midas/Civil si è utilizzato un “General Link”, “Application Type: Viscoelastic Damper” di cui sono state definite le proprietà lineari e non lineari secondo l’asse longitudinale di ogni dispositivo. Il tipo di Damper prescelto è “Maxwell model”. Le proprietà lineari e non lineari in termini di forza di smorzamento, velocità di riferimento, rigidità e coefficiente esponenziale sono date assegnate in base a dati di progetto e a parametri derivati da letteratura.

Negli Svincoli Discesa e Salita sono previsti smorzatori viscosi tipo OP 3000/400 orientati in direzione longitudinale. Tali elementi sono tarati per funzionare da vincolo fisso sotto carichi statici di esercizio, e per attivarsi in condizione di carico dinamico. Il numero di dispositivi e la loro collocazione sulle spalle degli Svincoli sono descritti nelle Sezioni successive.

## 5. Definizione e modellazione dei giunti tra gli impalcati

Come verrà presentato nel seguito, l’allargamento in salita dello Svincolo “Salita” è composto da viadotti con impalcati successivi non continui. Per monitorare in modo completo la risposta non lineare dei viadotti, sono stati modellati i giunti tra due impalcati successivi in modo da monitorare le escursioni longitudinali e trasversali e le deformazioni dei giunti. Queste informazioni consentono di verificare il dimensionamento dei dispositivi di giunto, svolto in fase di progetto.

In Midas/Civil i giunti sono stati modellati con degli elementi “Elastic Link” che connettono i nodi di impalcati successivi con rigidità nel piano molto basse (~0.001 kN/m), in modo da poter monitorare le deformazioni dei giunti per effetto dell’azione sismica. La collocazione dei giunti rispetto alla nomenclatura assegnata agli impalcati dello Svincolo Salita sarà presentata nella Sezione dedicata a tale svincolo.

## 6. Definizione dei parametri della analisi dinamica al passo

La risposta sismica degli Svincoli è stata valutata svolgendo analisi dinamiche non lineari al passo ad integrazione modale, utilizzando i vettori di Ritz. Questo tipo di analisi si basa su un metodo di integrazione al passo che consente di calcolare accuratamente la risposta non lineare delle strutture. Il metodo è stato sviluppato da Ibrahimbegovic and Wilson (1989) e Wilson (1993). Il codice di calcolo Midas Civil supporta questo tipo di analisi dinamica non lineare per ponti con sistemi di isolamento [3]. Sono state applicate sette terne di accelerogrammi spettro compatibili da utilizzare come input sismico. I sette segnali considerati hanno due componenti nel piano e la componente verticale, ad eccezione di uno dei segnali (il segnale n. 3) a cui sono associate solo le due componenti orizzontali.

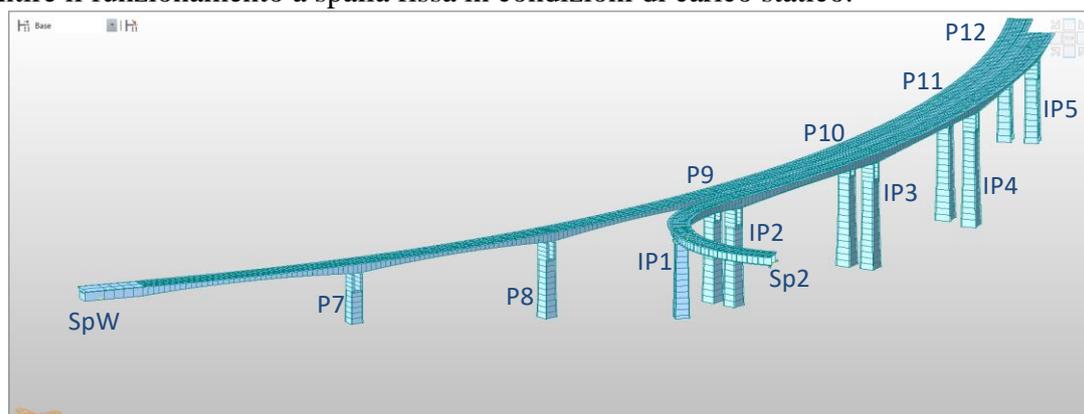
## 7. Valutazione dei risultati dei due Svincoli con incastri a terra o modellando le rigidità delle fondazioni

In una prima fase di analisi, si è considerato che le pile degli svincoli fossero perfettamente incastrate a terra. Una seconda valutazione, più accurata, della risposta non lineare dei viadotti è stata poi ottenuta modellando opportunamente le rigidità delle fondazioni. La stima di queste rigidità tiene conto della geometria propria delle fondazioni e delle condizioni dinamiche del terreno secondo l’approccio Gazetas / Foundation vibrations. Queste rigidità sono state inserite nel modello di calcolo per le analisi dinamiche non lineari. La rigidità di ogni fondazione è una matrice con sei termini diagonali (tre traslazioni e tre rotazioni) e due termini extra-diagonali che accoppiano il grado di libertà traslazionale e

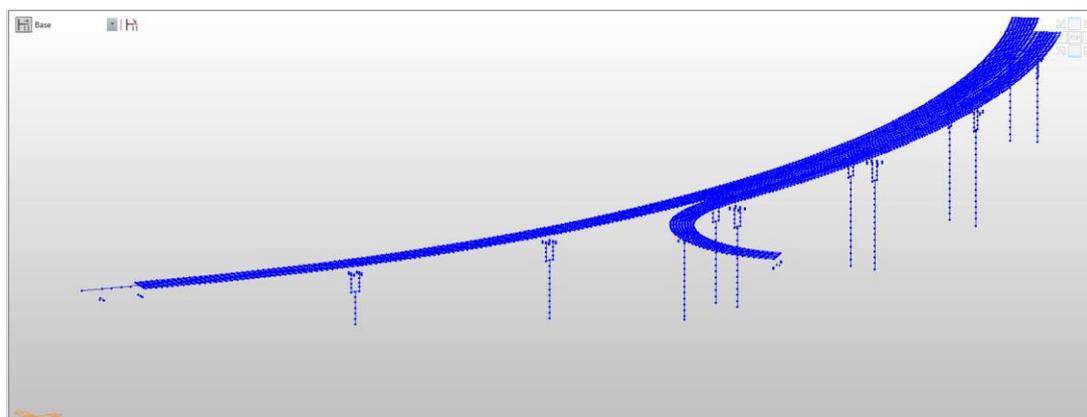
rotazionale orizzontale, come tipico delle fondazioni profonde. In Midas, le rigidzze di fondazione sono state modellate introducendo “General Spring”, “Define General Spring Type (Coupled  $6 \times 6$  spring)”. Sono stati definiti i coefficienti di rigidzza di ogni matrice  $6 \times 6$  associata alla tipologia di fondazione progettata per la pila presa in considerazione per i viadotti nuovi ed esistenti.

## 8. Svincolo Discesa

Come già anticipato nel Capitolo 1, lo Svincolo Discesa è composto da un viadotto esistente e da un viadotto di affiancamento nuovo. Le pile P7 ÷ P12 sono relative al viadotto esistente mentre le IP1 ÷ IP5 sono le pile del viadotto di affiancamento (Figura 3). Due isolatori FP sono stati introdotti tra la pila IP1 e l’impalcato. Da progetto, la tipologia dei due isolatori è FIP-D M 3050/400 (3100) con Ned = 14.000 kN e spostamento di  $\pm 0.2$  m. I due FP saranno di seguito indicati con FP\_IP1, specificando quando ci si riferisce al dispositivo collocato sull’esterno (FP\_IP1ext) e a quello collocato all’interno (FP\_IP1int). In corrispondenza della spalla Sp2 del viadotto di affiancamento, è previsto l’uso di due smorzatore viscoso tipo FIP 1500/300 (modellati come un unico elemento) diretto longitudinalmente. In corrispondenza della spalla SP3 del viadotto esistente, sono previsti quattro smorzatori viscosi tipo FIP OP 3000/400, diretti longitudinalmente in grado di garantire il funzionamento a spalla fissa in condizioni di carico statico.



**Figura 3** - Modello di calcolo agli elementi finiti (in Midas Civil) dello Svincolo Discesa (i simboli indicano i numeri identificativi delle pile e delle spalle dei viadotti)



**Figura 4** - Modello agli elementi finiti in Midas Civil dello Svincolo Discesa. Gli isolatori sono collocati tra la pila IP1 e l’impalcato. Gli smorzatori alla spalla Sp3 (Clarea) e alla Sp2 (Rampa).

Le proprietà non lineari dei due dispositivi FP e degli smorzatori sono state calcolate utilizzando le formule riportate nelle Sezioni precedenti. Tali proprietà, riassunte in Tabella 3 e in Tabella 4, sono state assegnate ai “General Links” introdotti nel modello di calcolo per simularne la risposta (Figura 4).

**Tabella 3 - Proprietà degli isolatori FP collocati in testa alla pila IP1**

	N. General Link	N <sub>ed</sub> (kN)	R (m)	$\mu$	d (m)	K (kN/m)	N <sub>ed_max</sub> (kN)
FP_IP1int	4	6398.28	3.1	<b>0.085</b>	0.2	<b>4798</b>	14000
FP_IP1ext	3	6145.75	3.1	<b>0.087</b>	0.2	<b>4669</b>	14000

**Tabella 4 - Proprietà non lineari degli smorzatori viscosi**

	N. General Link	Damping C <sub>d</sub> (kN)	Reference velocity (m/s)	Damping exponent s	Bracing stiffness k <sub>b</sub> (kN/m)
Sp2(rampa)	1	3000	0.4	0.2	300000
Sp3 (Clarea)	2	12000	0.4	0.2	1200000

I risultati sono stati valutati combinando gli effetti delle sette terne di segnali. E' stata calcolata la risposta massima tra i massimi di ogni segnale (data dall'involuppo dei risultati dei 7 segnali) e la risposta media dei massimi di ogni segnale – MAXMAX(all) e AVGMAX(all), rispettivamente. Vengono riportati i valori delle reazioni a terra delle pile, delle forze e delle deformazioni degli isolatori e degli smorzatori.

I primi risultati presentati (Tabella 5 ÷ Tabella 7, Figura 5 ÷ Figura 7) sono relativi alle analisi dinamiche non lineari dello Svincolo Discesa dove il modello di calcolo ha le pile incastrate a terra.

**Tabella 5 - Reazioni (nel sistema di riferimento globale) alla base delle pile – Modello con incastri a terra**

Pila	Node	Load	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kN*m)	MY (kN*m)	MZ (kN*m)
P12	351	MAXMAX(all)	4982.53	-4530.72	45895.9	-84779.4	120369.6	6878.292
P12	351	AVGMAX(all)	4380.418	-3063.85	43703.24	-75941.3	105843.5	5593.961
IP5	3270	MAXMAX(all)	4385.859	-3428.56	31884.79	-86493.9	108436.5	26.28224
IP5	3270	AVGMAX(all)	3244.454	2678.134	30061.23	-75547.1	90376.68	20.91214
P11	289	MAXMAX(all)	7559.038	-6087.7	60327.08	176551.7	172568.3	-3461.16
P11	289	AVGMAX(all)	5725.177	-4701.67	56877.01	140285.9	130727	-2644.17
IP4	1767	MAXMAX(all)	5760.901	-4582.38	45892.37	141301.8	-132656	-2816.52
IP4	1767	AVGMAX(all)	4570.598	-3482.63	43909.44	111672.3	-108285	-2179.49
P10	230	MAXMAX(all)	8460.193	-5443.75	59059.34	153428.4	192205.3	-4307.18
P10	230	AVGMAX(all)	5249.933	-4465.57	55503.14	133758.2	125927.4	-3350.12
IP3	1791	MAXMAX(all)	6175.663	-4057.28	44657.87	118624.7	142992.7	-3455.82
IP3	1791	AVGMAX(all)	3916.149	3334.466	43211.8	102254.1	93116.29	-2679.41
P9	172	MAXMAX(all)	6786.216	-4474	55144.59	106250.8	129004.9	-8642.69
P9	172	AVGMAX(all)	4337.136	-3507.09	52204.91	89587.56	-79135.9	-6686.34
IP2	1812	MAXMAX(all)	5549.176	-3862.92	38639.01	93928.39	102531.9	-6758.56

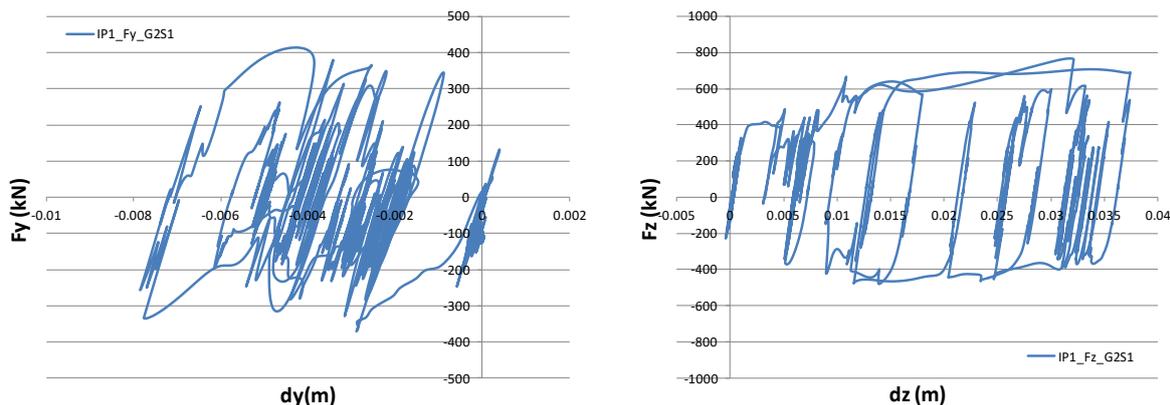
Pila	Node	Load	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kN*m)	MY (kN*m)	MZ (kN*m)
IP2	1812	AVGMAX(all)	3698.884	-3025.76	35819.95	78275.79	-80688.7	-5281.21
P8	114	MAXMAX(all)	6112.592	-6105.27	50920.21	-166890	96832.52	5618.17
P8	114	AVGMAX(all)	4574.915	5220.248	46346.31	-132723	62572.27	4297.019
IP1	6236	MAXMAX(all)	-2391.8	2134.21	27890.36	22550.42	-50444.9	1295.945
IP1	6236	AVGMAX(all)	-2120.61	1306.689	24630.59	19295.96	-42471.6	984.2342
P7	56	MAXMAX(all)	-3295.34	-7202.2	44546.44	157105.1	37491.9	12621.65
P7	56	AVGMAX(all)	2734.871	5650.737	41759.02	122265.2	29494.75	9515.565

**Tabella 6** - Reazioni (nel sistema di riferimento locale) degli smorzatori e degli isolatori – Modello con incastri a terra

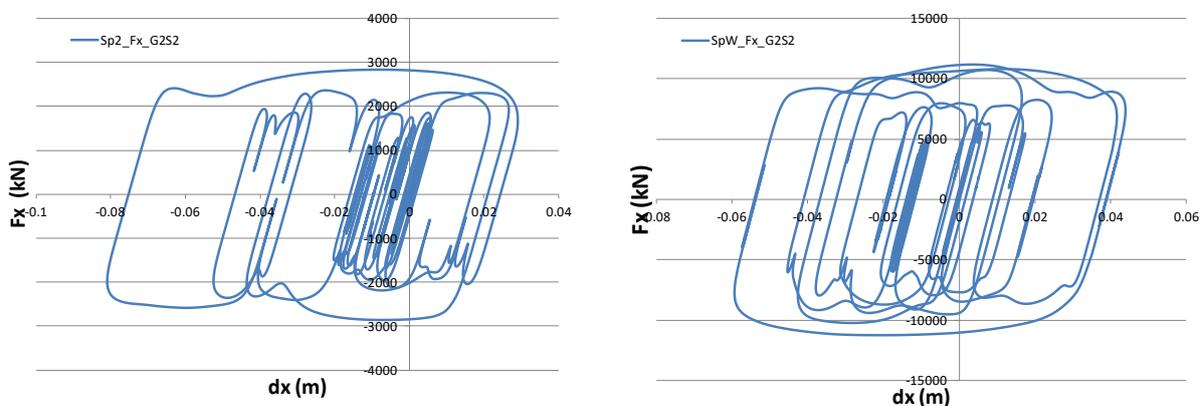
	Load	Node	Axial	Shear-y	Shear-z	Torsion	Moment-y	Moment-z
			Force (kN)	Force (kN)	Force (kN)	Force (kN*m)	Force (kN*m)	Force (kN*m)
Smorzatore_Sp2	MAXMAX(all)	1916	-2853.29	0	0	0	0	0
Smorzatore_Sp2	AVGMAX(all)	1916	2631.86	0	0	0	0	0
Smorzatore_Sp3	MAXMAX(all)	1578	11506.46	0	0	0	0	0
Smorzatore_Sp3	AVGMAX(all)	1578	10995.02	0	0	0	0	0
FPS_IP1ext	MAXMAX(all)	6233	-11036.9	-591.84	905.7	0	0	0
FPS_IP1ext	AVGMAX(all)	6233	-9328.98	-511.07	775.31	0	0	0
FPS_IP1int	MAXMAX(all)	6231	-10364	529.02	741.61	0	0	0
FPS_IP1int	AVGMAX(all)	6231	-8843.15	455.73	664.31	0	0	0

**Tabella 7** - Deformazioni (nel sistema di riferimento locale) degli smorzatori e degli isolatori – Modello con incastri a terra

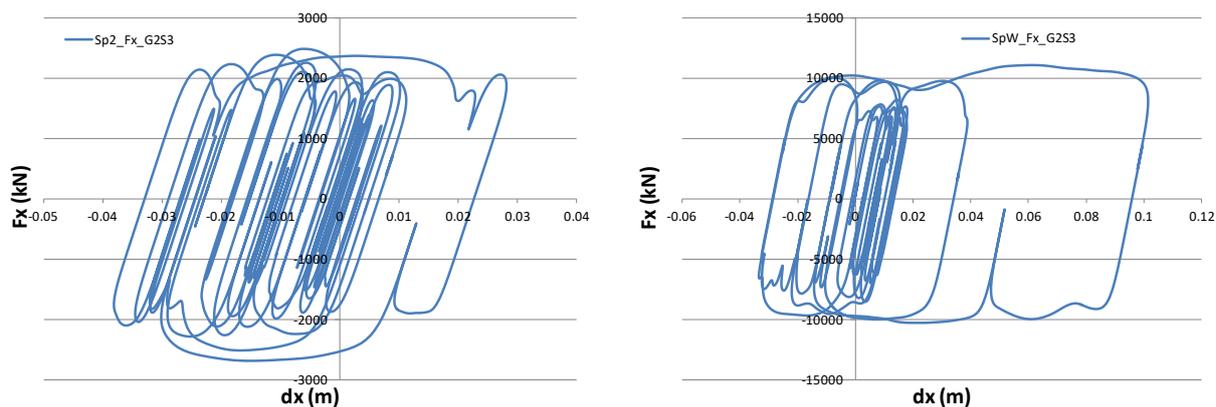
	Load	Node 1	Node 2	DX	DY	DZ	RX	RY	RZ
				Deformation (m)	Deformation (m)	Deformation (m)	Deformation ((rad))	Deformation ((rad))	Deformation ((rad))
Smorzatore_Sp2	MAXMAX(all)	1916	6341	-0.08	0	0	0	0	0
Smorzatore_Sp2	AVGMAX(all)	1916	6341	-0.05	0	0	0	0	0
Smorzatore_Sp3	MAXMAX(all)	1578	6342	0.1	0	0	0	0	0
Smorzatore_Sp3	AVGMAX(all)	1578	6342	-0.06	0	0	0	0	0
FPS_IP1ext	MAXMAX(all)	6233	6234	-0.03	0.02	0.08	0	0	0.01
FPS_IP1ext	AVGMAX(all)	6233	6234	-0.02	0.01	0.05	0	0	0
FPS_IP1int	MAXMAX(all)	6231	6232	-0.03	0.02	0.08	0	0	0.01
FPS_IP1int	AVGMAX(all)	6231	6232	-0.02	0.01	0.04	0	0	0



**Figura 5** - Cicli forza-spostamento nel piano (rispetto al sistema di riferimento locale) di uno dei due isolatori posti sulla testa della pila IP1 per effetto del segnale G2S1 (il primo segnale S1 del Gruppo 2 dei 7 eventi considerati)



**Figura 6** - Cicli forza-spostamento assiali degli smorzatori viscosi alla spalla Sp2 e alla spalla Sp3 per effetto del segnale G2S2



**Figura 7** - Cicli forza-spostamento assiali degli smorzatori viscosi alla spalla Sp2 e alla spalla Sp3 per effetto del segnale G2S3

I risultati riportati in Tabella 8 ÷ Tabella 10 e in Figura 8 e Figura 9 sono relativi alle analisi dinamiche non lineari dello Svincolo Discesa dove il modello di calcolo include le rigidità delle fondazioni.

**Tabella 8** - Reazioni (nel sistema di riferimento globale) alla base delle pile – Modello con le rigidzze delle fondazioni

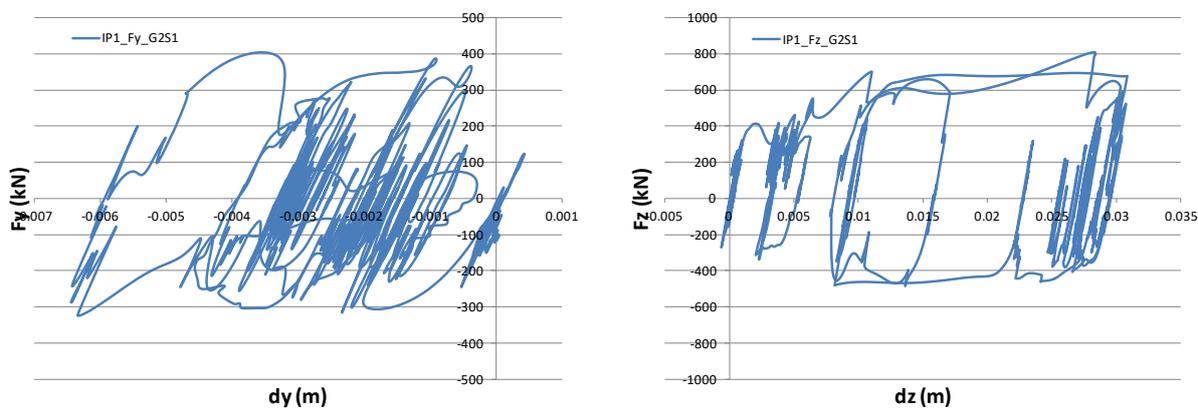
Pila	Node	Load	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kN*m)	MY (kN*m)	MZ (kN*m)
P12	351	MAXMAX(all)	5133.368	-4780.76	46507.29	-84269.8	120277	7128.527
P12	351	AVGMAX(all)	4520.233	-3215.81	43920.72	-76213.9	105322.5	5843.786
IP5	3270	MAXMAX(all)	4349.739	-3403.15	32768.89	-80013.6	104880.2	23.60202
IP5	3270	AVGMAX(all)	3306.483	2750.184	30372.47	-72218.2	90730.71	19.55436
P11	289	MAXMAX(all)	7545.213	-6236.67	60087.38	177945.6	148755	-3397.28
P11	289	AVGMAX(all)	5604.835	-4483.74	56303.9	132394.7	-122379	-2580
IP4	1767	MAXMAX(all)	5897.005	-4921.57	47037.81	145811.6	-127102	-2717.86
IP4	1767	AVGMAX(all)	4585.7	-3619.27	44949.42	115760.9	-103592	-2105.56
P10	230	MAXMAX(all)	8481.833	-5532.63	58053.84	151992.2	180768.3	-4421.54
P10	230	AVGMAX(all)	5397.53	-4345.4	54923.91	128832.2	124204.1	-3389.08
IP3	1791	MAXMAX(all)	5993.141	-3875.66	46066.77	119092.6	134456.5	-3563.36
IP3	1791	AVGMAX(all)	4044.96	3279.333	44076.1	100320.9	93771.12	-2730.48
P9	172	MAXMAX(all)	7120.477	-4579.37	53967.2	107447.3	127598.9	-8480.21
P9	172	AVGMAX(all)	4648.197	-3516.08	51298.63	84527.52	80766.51	-6770.13
IP2	1812	MAXMAX(all)	5653.626	-3703.54	39401.73	91761.13	98316.15	-6492.71
IP2	1812	AVGMAX(all)	3804.294	-2991.79	36289.73	75647.24	-77869.6	-5298.46
P8	114	MAXMAX(all)	6229.144	6071.9	51729.96	-169205	94970.87	5128.448
P8	114	AVGMAX(all)	4585.701	5166.253	46626.91	-128743	-60550.6	3922.262
IP1	6236	MAXMAX(all)	-2646.87	2028.341	28393.76	22934.81	-50781.4	-1143.55
IP1	6236	AVGMAX(all)	-2098.14	1306.035	24730.52	19525.09	-41526.9	946.5707
P7	56	MAXMAX(all)	-3669.2	6894.7	45239.09	-147334	37447.34	12549.9
P7	56	AVGMAX(all)	-2961.33	5625.99	42014.03	-117244	29249.97	9163.192

**Tabella 9** - Reazioni (nel sistema di riferimento locale) degli smorzatori e degli isolatori – Modello con le rigidzze delle fondazioni

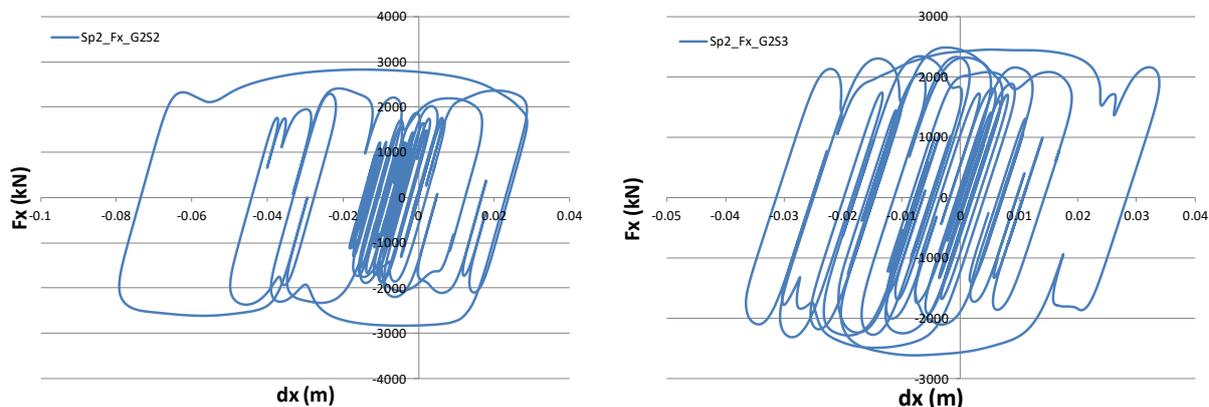
	Load	Node	Axial	Shear-y	Shear-z	Torsion	Moment-y	Moment-z
			Force (kN)	Force (kN)	Force (kN)	Force (kN*m)	Force (kN*m)	Force (kN*m)
Smorzatore_Sp2	MAXMAX(all)	1916	-2835.73	0	0	0	0	0
Smorzatore_Sp2	AVGMAX(all)	1916	-2618.91	0	0	0	0	0
Smorzatore_Sp3	MAXMAX(all)	1578	11686.73	0	0	0	0	0
Smorzatore_Sp3	AVGMAX(all)	1578	10997.81	0	0	0	0	0
FPS_IP1ext	MAXMAX(all)	6233	-11862.2	-638.24	1002.23	0	0	0
FPS_IP1ext	AVGMAX(all)	6233	-9742.27	-522.33	795.58	0	0	0
FPS_IP1int	MAXMAX(all)	6231	-11149.1	-567.11	782.1	0	0	0
FPS_IP1int	AVGMAX(all)	6231	-9049.25	-490.83	666.15	0	0	0

**Tabella 10** - Deformazioni (nel sistema di riferimento locale) degli smorzatori e degli isolatori – Modello con le rigidzze delle fondazioni

	Load	Node1	Node2	DX	DY	DZ	RX	RY	RZ
				Deformation (m)	Deformation (m)	Deformation (m)	Deformation (rad)	Deformation (rad)	Deformation (rad)
Smorzatore_Sp2	MAXMAX(all)	1916	6341	-0.08	0	0	0	0	0
Smorzatore_Sp2	AVGMAX(all)	1916	6341	-0.06	0	0	0	0	0
Smorzatore_Sp3	MAXMAX(all)	1578	6342	0.1	0	0	0	0	0
Smorzatore_Sp3	AVGMAX(all)	1578	6342	-0.06	0	0	0	0	0
FPS_IP1ext	MAXMAX(all)	6233	6234	-0.03	-0.02	0.08	0	0	0.01
FPS_IP1ext	AVGMAX(all)	6233	6234	-0.02	0.01	0.04	0	0	0
FPS_IP1int	MAXMAX(all)	6231	6232	-0.03	-0.02	0.08	0	0	0.01
FPS_IP1int	AVGMAX(all)	6231	6232	-0.02	0.01	0.04	0	0	0



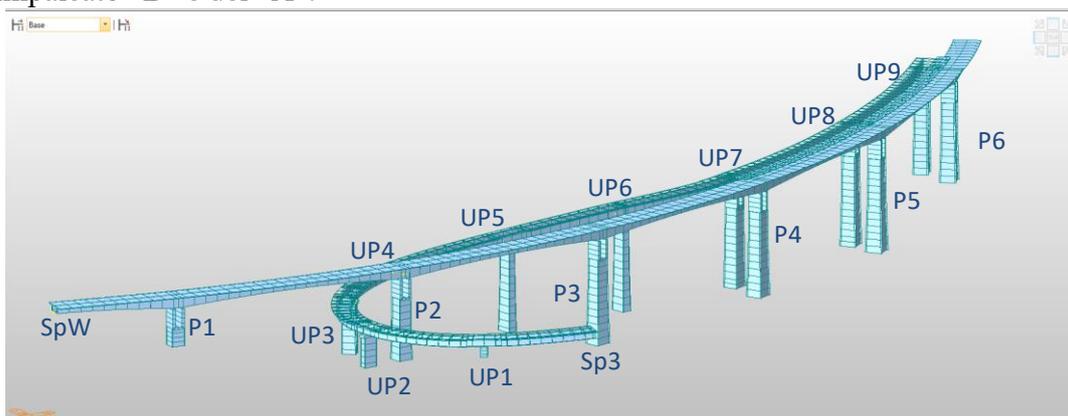
**Figura 8** - Cicli forza-spostamento nel piano (rispetto al sistema di riferimento locale) di uno dei due isolatori posti sulla testa della pila IP1 per effetto del segnale G2S1 (il primo segnale S1 del Gruppo 2 dei 7 eventi considerati) - Modello con le rigidzze delle fondazioni



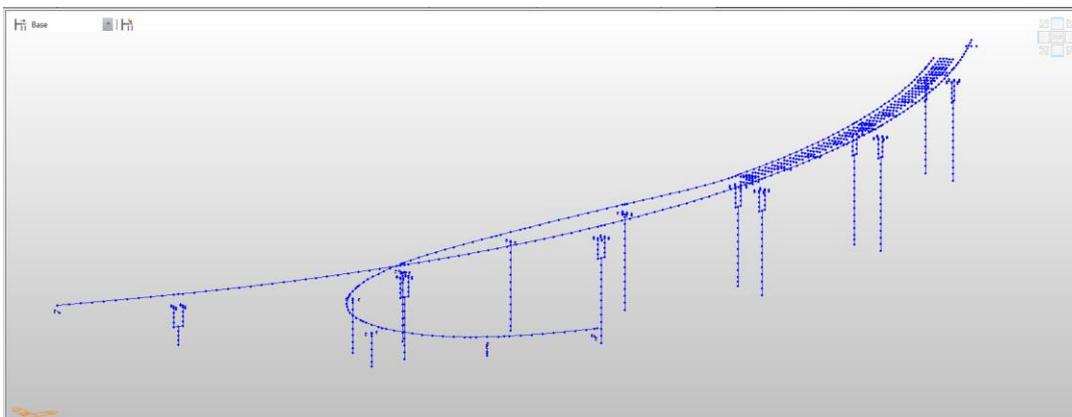
**Figura 9** - Cicli forza-spostamento assiali dello smorzatore viscoso alla spalla Sp2 per effetto dei segnali G2S2 e G2S3 - Modello con le rigidzze delle fondazioni

## 9. Svincolo Salita

Il modello agli elementi finiti sviluppato in Midas/Civil per lo Svincolo Salita è riportato in Figura 10 e in Figura 11. Lo svincolo è composto da un viadotto esistente e da un viadotto in affiancamento nuovo. Le pile P1 ÷ P6 sono relative al viadotto esistente mentre le UP1 ÷ UP9 sono le pile del viadotto in affiancamento. Quest'ultimo è composto da: impalcato in affiancamento, sostenuto dalle pile UP9 fino alla UP6; impalcato "B" dalla pila UP6 alla UP4; impalcato "A" dalla pila UP4 fino alla spalla Sp1. Per modellare i giunti tra i diversi impalcati e monitorarne le deformazioni massime e residue, sono stati introdotti degli "Elastic link" tra i nodi di estremità dell'impalcato in affiancamento ed impalcato "B" e i nodi dell'impalcato "B" e del "A".



**Figura 10** - Modello di calcolo agli elementi finiti (in Midas Civil) dello Svincolo Salita (i simboli indicano i numeri identificativi delle pile e delle spalle dei viadotti)



**Figura 11** - Modello agli elementi finiti in Midas Civil dello Svincolo Salita. Gli isolatori sono collocati tra impalcato e pile UP6, UP5, UP4, UP3, UP2, UP1. Gli smorzatori sono disposti sulla spalla Sp1(Clarea).

La distribuzione degli isolatori tra le pile e gli impalcati "A" e "B" e la spalla Sp1 è riassunta in Tabella 11, dove è riportata anche la tipologia di FP come da Catalogo FIP [1]. Lo spostamento ammissibile di questi dispositivi è di  $\pm 0.25$  m. Il carico massimo verticale cambia a seconda della tipologia di FP considerato (3100 kN – tipo A, 9300 kN per tipo B).

**Tabella 11** - Distribuzione degli isolatori FP e loro tipologia, come da progetto

**Impalcato "A"**

			Tipologia
Pila	UP4_C	2 FP	(A)
Pila	UP3	2 FP	(B)
Pila	UP2	2 FP	(B)
Pila	UP1	2 FP	(B)
Spalla	Sp1	2 FP	(A)

**Impalcato "B"**

Pila	UP4_D	2 FP	(A)
Pila	UP5	2 FP	(B)
Pila	UP6	2 FP	(A)

(A) FP 1000\_500(3100) con  $N_{ed\_max} = 3100$  kN(B) FP 2200\_500(3100) con  $N_{ed\_max} = 9300$  kN

Gli isolatori saranno di seguito indicati con una simbologia che fa riferimento alla pila o alla spalla e, dove necessario, all'impalcato, e verrà specificato se il dispositivo si colloca sul lato esterno o interno.

In corrispondenza della spalla 1 del viadotto esistente, sono previsti quattro smorzatori viscosi tipo FIP OP 3000/400, diretti longitudinalmente; tali elementi sono tarati per assorbire un carico statico di 8000 kN (valore caratteristico), che garantisce il funzionamento a spalla fissa in condizioni statiche.

Le proprietà non lineari degli isolatori e degli smorzatori sono state calcolate utilizzando le formule riportate nelle Sezioni precedenti. Tali proprietà, riassunte in Tabella 12 e Tabella 13, sono state assegnate ai "General Links" introdotti nel modello di calcolo (Figura 11) per simulare in modo appropriato la risposta dinamica non lineare dell'opera.

**Tabella 12** - Proprietà degli isolatori FP collocati in testa alle pile da UP1 a UP6 e sulla spalla Sp1 (Figura 10)

	N. General Link	$N_{ed}$ (kN)	R (m)	$\mu$	d (m)	K (kN/m)	$N_{ed\_max}$ (kN)
FP_UP4_Aext	15	1360.83	3.1	<b>0.087</b>	0.25	<b>915</b>	3100
FP_UP4_Aint	16	1086.31	3.1	<b>0.099</b>	0.25	<b>782</b>	3100
FP_UP4_Bext	1	2208.15	3.1	<b>0.067</b>	0.25	<b>1300</b>	3100
FP_UP4_Bint	2	1300.36	3.1	<b>0.090</b>	0.25	<b>886</b>	3100
FP_UP5ext	3	5795.75	3.1	<b>0.072</b>	0.25	<b>3534</b>	9300
FP_UP5int	4	5227.65	3.1	<b>0.076</b>	0.25	<b>3277</b>	9300
FP_UP5ext	3	5795.75	3.1	<b>0.072</b>	0.25	<b>3534</b>	9300
FP_UP5int	4	5227.65	3.1	<b>0.076</b>	0.25	<b>3277</b>	9300
FP_UP6ext	5	1634.17	3.1	<b>0.079</b>	0.25	<b>1043</b>	3100
FP_UP6int	6	1757.88	3.1	<b>0.076</b>	0.25	<b>1099</b>	3100
FP_UP3int	14	4154.86	3.1	<b>0.087</b>	0.25	<b>2779</b>	9300
FP_UP3ext	13	4003.39	3.1	<b>0.088</b>	0.25	<b>2707</b>	9300
FP_UP2ext	11	3385.94	3.1	<b>0.097</b>	0.25	<b>2408</b>	9300
FP_UP2int	12	4617.47	3.1	<b>0.082</b>	0.25	<b>2996</b>	9300

	N. General Link	N <sub>ed</sub> (kN)	R (m)	$\mu$	d (m)	K (kN/m)	N <sub>ed_max</sub> (kN)
FP_UP1ext	10	3321.93	3.1	<b>0.098</b>	0.25	<b>2376</b>	9300
FP_UP1int	9	3902.56	3.1	<b>0.090</b>	0.25	<b>2659</b>	9300
FP_Sp1ext	8	1291.93	3.1	<b>0.090</b>	0.25	<b>882</b>	3100
FP_Sp1int	7	908.67	3.1	<b>0.110</b>	0.25	<b>692</b>	3100

**Tabella 13** - Proprietà non lineari degli smorzatori viscosi alla spalla Sp1 (Clarea)

	N. General Link	Damping C <sub>d</sub> (kN)	Reference velocity (m/s)	Damping exponent s	Bracing stiffness k <sub>b</sub> (kN/m)
Sp1(Clarea)	2	12000	0.4	0.2	1200000

I risultati sono stati valutati combinando gli effetti delle sette terne di segnali ed è stata calcolata la risposta massima – MAXMAX(all) – tra i massimi di ogni segnale (data dall'involuppo dei risultati dei sette segnali) e la risposta media dei massimi – AVGMAX(all). Vengono riportati i valori delle reazioni a terra delle pile, delle forze e delle deformazioni degli isolatori e degli smorzatori, e delle deformazioni dei giunti degli impalcati.

I risultati riportati in Tabella 14 ÷ Tabella 16 , Figura 12 ÷ Figura 13 sono relativi al modello dello Svincolo Salita con le pile incastrate a terra. La Tabella 14 riassume i valori massimi e medi delle reazioni, nel sistema di riferimento globale, in corrispondenza di pile e spalle. Per quanto riguarda invece le forze e le deformazioni di isolatori e smorzatori, i valori massimi e medi sono riportati in Tabella 15 e Tabella 16. La Figura 12 mostra i cicli di forza-spostamento di un isolatore FP posto sulla pila UP4\_B per effetto di uno dei segnali applicati durante l'analisi dinamica non lineare dello Svincolo. Un esempio di risposta ciclica degli smorzatori collocati in prossimità della spalla SP1 del viadotto Clarea è mostrato in Figura 13.

**Tabella 14** - Reazioni (nel sistema di riferimento globale) alla base delle pile

Pila/Spalla	Node	Load	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kN*m)	MY (kN*m)	MZ (kN*m)
P6	318	MAXMAX(all)	4828.248	-5462.62	46890.88	-119002	125362.5	-7248.34
P6	318	AVGMAX(all)	-3460.51	-4120.43	45444.7	-106125	87717.26	-5679.38
UP9	1760	MAXMAX(all)	3468.477	-3787.83	28526.97	-108654	104335.2	-4614.63
UP9	1760	AVGMAX(all)	2529.181	2598.366	27331.53	-79980.5	75028.32	-3388.25
P5	261	MAXMAX(all)	6378.003	7168.68	56866.18	-158986	-141079	-3402.05
P5	261	AVGMAX(all)	5052.147	5119.769	54565.59	116663.5	-116711	-2510.56
UP8	1793	MAXMAX(all)	4901.132	5356.926	44786.13	-131623	-117141	-2944.03
UP8	1793	AVGMAX(all)	3644.218	3806.622	43107.79	88911.35	-84995.2	2192.907
P4	204	MAXMAX(all)	6052.196	5339.342	54375.2	139196.3	131389.7	6777.517
P4	204	AVGMAX(all)	4652.482	4613.392	52019.64	113768.8	102057.4	5249.993
UP7	1828	MAXMAX(all)	4624.946	4160.34	36426.21	129437.9	-96524.6	4827.752
UP7	1828	AVGMAX(all)	3668.442	3689.874	34987.59	97937.56	-84474.2	3828.736
UP6	1695	MAXMAX(all)	1336.279	3351.838	17562.52	-82256.7	25416.85	-1938.2
UP6	1695	AVGMAX(all)	1042.131	-2270.06	16628.72	65420.84	20072.6	-1625.42
UP5	1738	MAXMAX(all)	1823.177	-2027.48	21429.04	-44753.4	-27568.1	-57.2089

Pila/Spalla	Node	Load	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kN*m)	MY (kN*m)	MZ (kN*m)
UP5	1738	AVGMAX(all)	1397.264	-1547.83	20446.2	39955.18	-23359.5	-38.8272
UP4	1528	MAXMAX(all)	1218.178	1594.638	13553.94	30423.96	-20107.1	-233.35
UP4	1528	AVGMAX(all)	919.049	1163.649	12641.44	25910.32	-16397.2	-160.833
UP3	1737	MAXMAX(all)	-2030.61	1786.73	14133.76	-29586.4	-28467.9	25.11807
UP3	1737	AVGMAX(all)	-1463.21	1322.765	13631.57	-21238.5	-22707.2	19.24326
UP2	1736	MAXMAX(all)	1996.321	1813.842	12015.57	-17057	-19039.2	90.24619
UP2	1736	AVGMAX(all)	1606.71	1273.549	11639.92	12674.71	-16561.3	51.94823
UP1	1735	MAXMAX(all)	-473.512	593.2376	10339.08	3328.546	-2845.7	51.64428
UP1	1735	AVGMAX(all)	409.6709	451.6876	9322.527	2657.422	-1912.28	33.84668
Sp1 (Rampa)	1741	MAXMAX(all)	-154.218	144.5085	1402.22	0	0	0
Sp1 (Rampa)	1741	AVGMAX(all)	-136.094	126.8513	1248.756	0	0	0
Sp1 (Rampa)	1742	MAXMAX(all)	-149.921	149.1719	1705.972	0	0	0
Sp1 (Rampa)	1742	AVGMAX(all)	-131.675	127.1752	1475.158	0	0	0
P3	146	MAXMAX(all)	-6304.48	-7322.93	51890.45	207098.5	-137559	-11231.2
P3	146	AVGMAX(all)	-4803.57	-5367.17	49643.58	182107.7	103893.8	-8202.25
P2	88	MAXMAX(all)	-4440.23	8185.474	45876.9	-236818	78875.32	-14118.8
P2	88	AVGMAX(all)	3723.031	6036.815	44697.34	-172580	60891.04	-11370.8
P1	30	MAXMAX(all)	-2452.34	6327.213	34633.74	-115882	-87901.3	13706.48
P1	30	AVGMAX(all)	1794.19	5376.747	32635.1	-97201.6	-81942.7	-11294.8
Sp1 (Clarea)	2174	MAXMAX(all)	-11148.2	1174.03	0	0	0	0
Sp1 (Clarea)	2174	AVGMAX(all)	-10765.4	1133.718	0	0	0	0
Sp1 (Clarea)	1562	MAXMAX(all)	0	0	16911.52	0	0	0
Sp1 (Clarea)	1562	AVGMAX(all)	0	0	14497.35	0	0	0
Sp1 (Clarea)	1564	MAXMAX(all)	2678.426	25431.01	-16901.3	0	0	0
Sp1 (Clarea)	1564	AVGMAX(all)	2245.776	21323.1	-14062.8	0	0	0
dopo UP9	1568	MAXMAX(all)	-21123.6	14908.78	-16099.3	0	0	0
dopo UP9	1568	AVGMAX(all)	-18343.1	12946.38	-13768	0	0	0
dopo UP9	1569	MAXMAX(all)	0	0	16637.09	0	0	0
dopo UP9	1569	AVGMAX(all)	0	0	14398.42	0	0	0

*Tabella 15 - Reazioni (nel sistema di riferimento locale) degli smorzatori e degli isolatori*

Pila/Spalla	FP/Smorzatore	Load	Node	Axial	Shear- y	Shear- z	Torsion	Moment- y	Moment- z
				Force (kN)	Force (kN)	Force (kN)	Force (kN*m)	Force (kN*m)	Force (kN*m)
UP6	FP_UP6ext	MAXMAX(all)	1682	-2456.67	-213.81	-193.59	0	0	0
UP6	FP_UP6ext	AVGMAX(all)	1682	-2199.98	-186.74	-171.51	0	0	0
UP6	FP_UP6int	MAXMAX(all)	1684	-2309.36	222.97	179.54	0	0	0
UP6	FP_UP6int	AVGMAX(all)	1684	-2124.15	188.5	163.99	0	0	0
UP5	FP_UP5ext	MAXMAX(all)	1716	-7752.47	-634.9	473.27	0	0	0
UP5	FP_UP5ext	AVGMAX(all)	1716	-7182.07	-537.55	422.36	0	0	0
UP5	FP_UP5int	MAXMAX(all)	1718	-6067	496.42	-407.48	0	0	0
UP5	FP_UP5int	AVGMAX(all)	1718	-5809.69	-432.48	-375.53	0	0	0
UP4_B	FP_UP4_Bext	MAXMAX(all)	1226	-2875.94	-215.55	-221.16	0	0	0

Pila/Spalla	FP/Smorzatore	Load	Node	Axial	Shear-y	Shear-z	Torsion	Moment-y	Moment-z
UP4_B	FP_UP4_Bext	AVGMAX(all)	1226	-2662.93	-182.45	-203.03	0	0	0
UP4_B	FP_UP4_Bint	MAXMAX(all)	1228	-1819.21	178.45	-184.59	0	0	0
UP4_B	FP_UP4_Bint	AVGMAX(all)	1228	-1701.88	159.08	-170.15	0	0	0
UP4_A	FP_UP4_Aext	MAXMAX(all)	1227	-1701.47	145.4	162.72	0	0	0
UP4_A	FP_UP4_Aext	AVGMAX(all)	1227	-1559.58	134.72	130.15	0	0	0
UP4_A	FP_UP4_Aint	MAXMAX(all)	1229	-1512.53	149.48	171.07	0	0	0
UP4_A	FP_UP4_Aint	AVGMAX(all)	1229	-1391.42	136.46	131.93	0	0	0
UP3	FP_UP3ext	MAXMAX(all)	1233	-4890.18	-414.89	459.93	0	0	0
UP3	FP_UP3ext	AVGMAX(all)	1233	-4639.71	-363.6	405.96	0	0	0
UP3	FP_UP3int	MAXMAX(all)	1234	-5064.37	389.51	476.55	0	0	0
UP3	FP_UP3int	AVGMAX(all)	1234	-4760.13	-361.94	398.79	0	0	0
UP2	FP_UP2ext	MAXMAX(all)	1200	-4080.58	388.72	396.31	0	0	0
UP2	FP_UP2ext	AVGMAX(all)	1200	-3952.08	-358.16	365.5	0	0	0
UP2	FP_UP2int	MAXMAX(all)	1198	-5389.44	439.99	457.07	0	0	0
UP2	FP_UP2int	AVGMAX(all)	1198	-5112.2	405.7	412.36	0	0	0
UP1	FP_UP1ext	MAXMAX(all)	1192	-4488.55	456.95	-412.33	0	0	0
UP1	FP_UP1ext	AVGMAX(all)	1192	-4015.4	393.58	-367.63	0	0	0
UP1	FP_UP1int	MAXMAX(all)	1190	-4906.79	459.45	423.44	0	0	0
UP1	FP_UP1int	AVGMAX(all)	1190	-4419.62	397.23	388.65	0	0	0
Sp1 (Rampa)	FP_Sp1ext (Rampa)	MAXMAX(all)	1742	-1705.97	149.17	149.92	0	0	0
Sp1 (Rampa)	FP_Sp1ext (Rampa)	AVGMAX(all)	1742	-1475.16	127.18	131.68	0	0	0
Sp1 (Rampa)	FP_Sp1int (Rampa)	MAXMAX(all)	1741	-1402.22	144.51	154.22	0	0	0
Sp1 (Rampa)	FP_Sp1int (Rampa)	AVGMAX(all)	1741	-1248.76	126.85	136.09	0	0	0
Sp1 (Clarea)	Smorzatore SP1(Clarea)	MAXMAX(all)	2174	11209.87	0	0	0	0	0
Sp1 (Clarea)	Smorzatore SP1(Clarea)	AVGMAX(all)	2174	10824.96	0	0	0	0	0

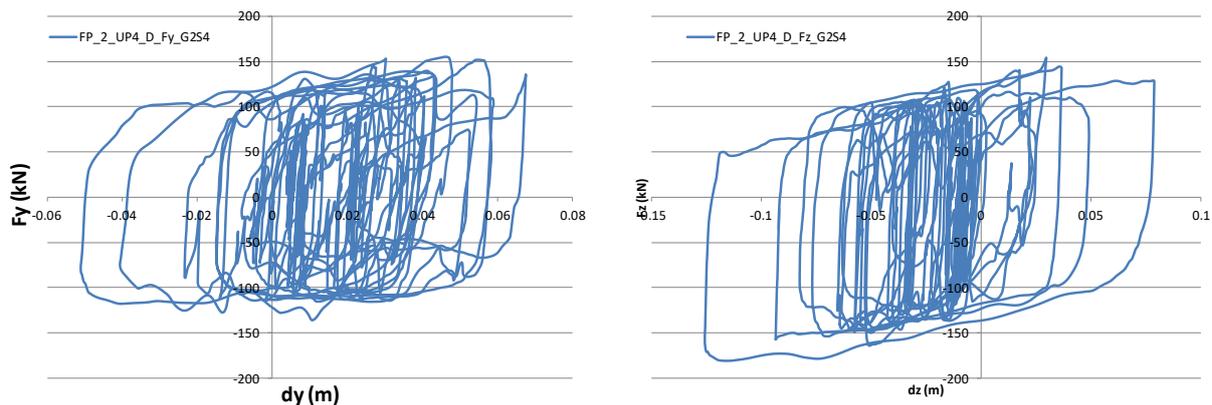
**Tabella 16** - Deformazioni (nel sistema di riferimento locale) degli smorzatori e degli isolatori

Pila/Spalla	FP/Smorzatore	Load	Nod e1	Nod e2	DX	DY	DZ	RX	RY	RZ
					Deformat ion (m)	Deformat ion (m)	Deformat ion (m)	Deformat ion ([rad])	Deformat ion ([rad])	Deformat ion ([rad])
UP6	FP_UP6ext	MAXMAX (all)	1682	1683	-0.02	0.1	-0.1	0	-0.01	0
UP6	FP_UP6ext	AVGMAX( all)	1682	1683	-0.02	0.07	0.06	0	-0.01	0
UP6	FP_UP6int	MAXMAX (all)	1684	1685	-0.02	0.1	-0.1	0	-0.01	0
UP6	FP_UP6int	AVGMAX( all)	1684	1685	-0.02	0.07	0.06	0	-0.01	0
UP5	FP_UP5ext	MAXMAX (all)	1716	1717	-0.02	0.08	-0.04	0	0	0

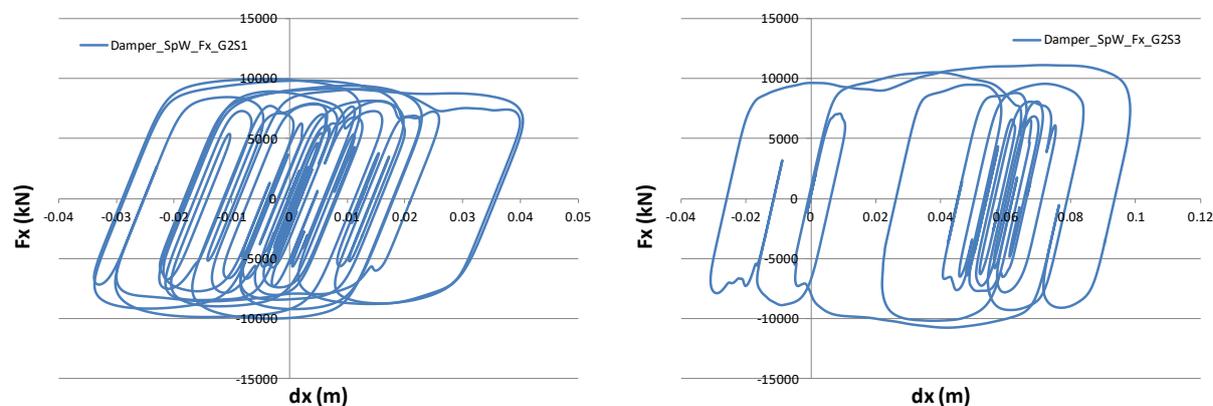
UP5	FP_UP5ext	AVGMAX( all)	1716	1717	-0.02	0.04	-0.02	0	0	0
UP5	FP_UP5int	MAXMAX (all)	1718	1719	-0.02	0.08	-0.04	0	0	0
UP5	FP_UP5int	AVGMAX( all)	1718	1719	-0.02	0.04	-0.02	0	0	0
UP4_B	FP_UP4_Bext	MAXMAX (all)	1226	1208	-0.02	0.09	-0.12	0	0	0
UP4_B	FP_UP4_Bext	AVGMAX( all)	1226	1208	-0.02	0.07	-0.09	0	0	0
UP4_B	FP_UP4_Bint	MAXMAX (all)	1228	1212	-0.02	0.09	-0.13	0	0	0
UP4_B	FP_UP4_Bint	AVGMAX( all)	1228	1212	-0.02	0.06	-0.09	0	0	0
UP4_A	FP_UP4_Aext	MAXMAX (all)	1227	1209	-0.02	0.08	0.08	0	0	0
UP4_A	FP_UP4_Aext	AVGMAX( all)	1227	1209	-0.02	0.05	0.04	0	0	0
UP4_A	FP_UP4_Aint	MAXMAX (all)	1229	1213	-0.02	0.09	0.08	0	0	0
UP4_A	FP_UP4_Aint	AVGMAX( all)	1229	1213	-0.01	0.05	0.04	0	0	0
UP3	FP_UP3ext	MAXMAX (all)	1233	1203	-0.02	0.06	0.08	0	0	0
UP3	FP_UP3ext	AVGMAX( all)	1233	1203	-0.02	0.03	0.04	0	0	0
UP3	FP_UP3int	MAXMAX (all)	1234	1205	-0.02	0.06	0.08	0	0	0
UP3	FP_UP3int	AVGMAX( all)	1234	1205	-0.02	0.03	0.04	0	0	0
UP2	FP_UP2ext	MAXMAX (all)	1200	1197	-0.02	0.06	0.08	0	0	0
UP2	FP_UP2ext	AVGMAX( all)	1200	1197	-0.02	0.04	0.04	0	0	0
UP2	FP_UP2int	MAXMAX (all)	1198	1195	-0.02	0.06	0.08	0	0	0
UP2	FP_UP2int	AVGMAX( all)	1198	1195	-0.02	0.04	0.04	0	0	0
UP1	FP_UP1int	MAXMAX (all)	1190	1187	-0.02	0.06	0.08	0	0	0
UP1	FP_UP1int	AVGMAX( all)	1190	1187	-0.02	0.04	0.04	0	0	0
UP1	FP_UP1ext	MAXMAX (all)	1192	1189	-0.02	0.06	0.08	0	0	0
UP1	FP_UP1ext	AVGMAX( all)	1192	1189	-0.02	0.04	0.04	0	0	0
Sp1 (Rampa)	FP_Sp1 (rampa)int	MAXMAX (all)	1741	1261	-0.01	0.05	0.08	0	0	0
Sp1 (Rampa)	FP_Sp1 (rampa)int	AVGMAX( all)	1741	1261	-0.01	0.04	0.04	0	0	0
Sp1 (Rampa)	FP_Sp1 (rampa)ext	MAXMAX (all)	1742	1262	-0.02	0.05	0.08	0	0	0
Sp1	FP_Sp1	AVGMAX( all)	1742	1262	-0.01	0.04	0.04	0	0	0

Pila/Spalla	FP/Smorzatore	Load	Nod e1	Nod e2	DX	DY	DZ	RX	RY	RZ
					Deformat ion (m)	Deformat ion (m)	Deformat ion (m)	Deformat ion ([rad])	Deformat ion ([rad])	Deformat ion ([rad])
UP6	FP_UP6ext	MAXMAX (all)	1682	1683	-0.02	0.1	-0.1	0	-0.01	0
UP6	FP_UP6ext	AVGMAX( all)	1682	1683	-0.02	0.07	0.06	0	-0.01	0
UP6	FP_UP6int	MAXMAX (all)	1684	1685	-0.02	0.1	-0.1	0	-0.01	0
UP6	FP_UP6int	AVGMAX( all)	1684	1685	-0.02	0.07	0.06	0	-0.01	0
UP5	FP_UP5ext	MAXMAX (all)	1716	1717	-0.02	0.08	-0.04	0	0	0
UP5	FP_UP5ext	AVGMAX( all)	1716	1717	-0.02	0.04	-0.02	0	0	0
UP5	FP_UP5int	MAXMAX (all)	1718	1719	-0.02	0.08	-0.04	0	0	0
UP5	FP_UP5int	AVGMAX( all)	1718	1719	-0.02	0.04	-0.02	0	0	0
UP4_B	FP_UP4_Bext	MAXMAX (all)	1226	1208	-0.02	0.09	-0.12	0	0	0
UP4_B	FP_UP4_Bext	AVGMAX( all)	1226	1208	-0.02	0.07	-0.09	0	0	0
UP4_B	FP_UP4_Bint	MAXMAX (all)	1228	1212	-0.02	0.09	-0.13	0	0	0
UP4_B	FP_UP4_Bint	AVGMAX( all)	1228	1212	-0.02	0.06	-0.09	0	0	0
UP4_A	FP_UP4_Aext	MAXMAX (all)	1227	1209	-0.02	0.08	0.08	0	0	0
UP4_A	FP_UP4_Aext	AVGMAX( all)	1227	1209	-0.02	0.05	0.04	0	0	0
UP4_A	FP_UP4_Aint	MAXMAX (all)	1229	1213	-0.02	0.09	0.08	0	0	0
UP4_A	FP_UP4_Aint	AVGMAX( all)	1229	1213	-0.01	0.05	0.04	0	0	0
UP3	FP_UP3ext	MAXMAX (all)	1233	1203	-0.02	0.06	0.08	0	0	0
UP3	FP_UP3ext	AVGMAX( all)	1233	1203	-0.02	0.03	0.04	0	0	0
UP3	FP_UP3int	MAXMAX (all)	1234	1205	-0.02	0.06	0.08	0	0	0
UP3	FP_UP3int	AVGMAX( all)	1234	1205	-0.02	0.03	0.04	0	0	0
UP2	FP_UP2ext	MAXMAX (all)	1200	1197	-0.02	0.06	0.08	0	0	0
UP2	FP_UP2ext	AVGMAX( all)	1200	1197	-0.02	0.04	0.04	0	0	0
UP2	FP_UP2int	MAXMAX (all)	1198	1195	-0.02	0.06	0.08	0	0	0
(Rampa)	(rampa)ext	all)								
Sp1 (Clarea)	Smorzatore Sp1 (Clarea)	MAXMAX (all)	2174	1563	0.12	0	0	0	0	0
Sp1	Smorzatore	AVGMAX(	2174	1563	0.07	0	0	0	0	0

Pila/Spalla	FP/Smorzatore	Load	Nod e1	Nod e2	DX	DY	DZ	RX	RY	RZ
					Deformat ion (m)	Deformat ion (m)	Deformat ion (m)	Deformat ion ([rad])	Deformat ion ([rad])	Deformat ion ([rad])
UP6	FP_UP6ext	MAXMAX (all)	1682	1683	-0.02	0.1	-0.1	0	-0.01	0
UP6	FP_UP6ext	AVGMAX( all)	1682	1683	-0.02	0.07	0.06	0	-0.01	0
UP6	FP_UP6int	MAXMAX (all)	1684	1685	-0.02	0.1	-0.1	0	-0.01	0
UP6	FP_UP6int	AVGMAX( all)	1684	1685	-0.02	0.07	0.06	0	-0.01	0
UP5	FP_UP5ext	MAXMAX (all)	1716	1717	-0.02	0.08	-0.04	0	0	0
UP5	FP_UP5ext	AVGMAX( all)	1716	1717	-0.02	0.04	-0.02	0	0	0
UP5	FP_UP5int	MAXMAX (all)	1718	1719	-0.02	0.08	-0.04	0	0	0
UP5	FP_UP5int	AVGMAX( all)	1718	1719	-0.02	0.04	-0.02	0	0	0
UP4_B	FP_UP4_Bext	MAXMAX (all)	1226	1208	-0.02	0.09	-0.12	0	0	0
UP4_B	FP_UP4_Bext	AVGMAX( all)	1226	1208	-0.02	0.07	-0.09	0	0	0
UP4_B	FP_UP4_Bint	MAXMAX (all)	1228	1212	-0.02	0.09	-0.13	0	0	0
UP4_B	FP_UP4_Bint	AVGMAX( all)	1228	1212	-0.02	0.06	-0.09	0	0	0
UP4_A	FP_UP4_Aext	MAXMAX (all)	1227	1209	-0.02	0.08	0.08	0	0	0
UP4_A	FP_UP4_Aext	AVGMAX( all)	1227	1209	-0.02	0.05	0.04	0	0	0
UP4_A	FP_UP4_Aint	MAXMAX (all)	1229	1213	-0.02	0.09	0.08	0	0	0
UP4_A	FP_UP4_Aint	AVGMAX( all)	1229	1213	-0.01	0.05	0.04	0	0	0
UP3	FP_UP3ext	MAXMAX (all)	1233	1203	-0.02	0.06	0.08	0	0	0
UP3	FP_UP3ext	AVGMAX( all)	1233	1203	-0.02	0.03	0.04	0	0	0
UP3	FP_UP3int	MAXMAX (all)	1234	1205	-0.02	0.06	0.08	0	0	0
UP3	FP_UP3int	AVGMAX( all)	1234	1205	-0.02	0.03	0.04	0	0	0
UP2	FP_UP2ext	MAXMAX (all)	1200	1197	-0.02	0.06	0.08	0	0	0
UP2	FP_UP2ext	AVGMAX( all)	1200	1197	-0.02	0.04	0.04	0	0	0
UP2	FP_UP2int	MAXMAX (all)	1198	1195	-0.02	0.06	0.08	0	0	0
(Clarea)	Sp1(Clarea)	all)								



**Figura 12** - Cicli forza-spostamento nel piano (rispetto al sistema di riferimento locale) di uno dei due isolatori posti sulla testa della pila UP4\_D per effetto del segnale G2S4 (il segnale S4 del Gruppo 2 dei 7 eventi considerati)



**Figura 13** - Cicli forza-spostamento assiali degli smorzatori viscosi alla spalla Sp1 per effetto dei segnali G2S1 e G2S4

I valori massimi assoluti di deformazione massima e residua dei giunti collocati tra gli impalcati "A" e "B" e gli impalcati "A" e "in affiancamento" sono riportati da Tabella 17 a Tabella 20.

**Tabella 17** - Deformazione del giunto tra gli impalcati "A" e "in affiancamento" in direzione longitudinale

Segnale	Max (m)	Residuo (m)
G2S1	0.115	0.022
G2S2	0.190	0.106
G2S3	0.132	0.076
G2S4	0.164	0.093
G2S5	0.108	0.001
G2S6	0.098	0.036
G2S7	0.168	0.067
massimi assoluti	<b>0.190</b>	<b>0.106</b>

**Tabella 18** - Deformazione del giunto tra gli impalcati "B" e "in affiancamento" in direzione trasversale

Segnale	Max (m)	Residuo (m)
G2S1	0.109	0.020
G2S2	0.119	0.035
G2S3	0.065	0.033
G2S4	0.099	0.050
G2S5	0.077	0.030
G2S6	0.074	-0.001
G2S7	0.091	0.005
massimi assoluti	<b>0.119</b>	<b>0.050</b>

**Tabella 19** - Deformazione del giunto tra gli impalcati "A" e "B" in direzione longitudinale

Segnale	Max (m)	Residuo (m)
G2S1	0.068	-0.001
G2S2	0.092	-0.003
G2S3	0.098	-0.007
G2S4	0.110	0.001
G2S5	0.072	0.010
G2S6	0.079	-0.031
G2S7	0.068	0.006
massimi assoluti	0.110	0.010

**Tabella 20** - Deformazione del giunto tra gli impalcati "A" e "B" in direzione trasversale

Segnale	Max (m)	Residuo (m)
G2S1	0.071	0.007
G2S2	0.069	-0.006
G2S3	0.050	0.008
G2S4	0.067	-0.012
G2S5	0.065	-0.005
G2S6	0.065	0.010
G2S7	0.091	0.020
massimi assoluti	<b>0.091</b>	<b>0.020</b>

Anche per lo Svincolo Salita, la seconda fase di analisi della risposta dinamica non lineare dell'opera è stata svolta includendo le rigidità delle fondazioni. Le reazioni alla base delle pile e delle spalle, le forze e le deformazioni degli isolatori e degli smorzatori sono riportate da Tabella 21 a Tabella 23 e da Figura 14 a Figura 15.

**Tabella 21** - Reazioni (nel sistema di riferimento globale) alla base delle pile – Modello con le rigidità delle fondazioni

Pila/Spalla	Node	Load	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kN*m)	MY (kN*m)	MZ (kN*m)
P6	318	MAXMAX(all)	5101.303	-5425.36	47704.53	-117489	125332.7	-7222.49
P6	318	AVGMAX(all)	-3702.84	-4081.35	46185.11	-106769	86990.05	-5600.11
UP9	1760	MAXMAX(all)	3647.094	3415.892	29388.06	-106975	107240.1	-4603.34
UP9	1760	AVGMAX(all)	2572.318	2618.237	27787.07	-80184	73056.02	-3312.99

Pila/Spalla	Node	Load	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kN*m)	MY (kN*m)	MZ (kN*m)
P5	261	MAXMAX(all)	7163.104	6545.822	57749.17	-160568	150847.1	-3377.64
P5	261	AVGMAX(all)	5104.696	4965.426	55162.41	113795.5	-108489	2579.185
UP8	1793	MAXMAX(all)	4924.58	5218.572	45590.6	-124319	109368.8	-2900.94
UP8	1793	AVGMAX(all)	3599.249	3692.264	43583.11	88501.67	-81648.5	2295.34
P4	204	MAXMAX(all)	5910.63	5526.262	55385.49	132371	128788.7	6524.217
P4	204	AVGMAX(all)	4533.345	4483.899	52294.8	-108357	97825.95	5344.57
UP7	1828	MAXMAX(all)	4773.81	4703.278	37079.18	129945.5	-96726.6	4534.209
UP7	1828	AVGMAX(all)	3764.858	3886.157	35297.82	98222.24	-85213.6	3904.97
UP6	1695	MAXMAX(all)	1572.001	3803.681	17872.42	-84489.1	23444.16	1927.533
UP6	1695	AVGMAX(all)	1154.39	-2288.52	17140.57	63473.92	20052.1	-1599.69
UP5	1738	MAXMAX(all)	-1737.1	-2103.38	21937.14	-47638.7	-29785.5	-53.4888
UP5	1738	AVGMAX(all)	1323.558	-1579.15	20901.69	39135.72	-23330.3	-40.3781
UP4	1528	MAXMAX(all)	1205.117	1584.867	13846.84	28655.53	-21435.4	-248.147
UP4	1528	AVGMAX(all)	-930.286	1154.424	12994.73	24519.21	-17121.7	-157.638
UP3	1737	MAXMAX(all)	-1864.25	1510.796	14381.22	-27184.9	-28740.6	25.7891
UP3	1737	AVGMAX(all)	-1258.51	1220.633	13863.67	-21152.9	-21474.3	18.77801
UP2	1736	MAXMAX(all)	1895.92	1759.039	12326.71	-17143.7	-17801.8	102.8256
UP2	1736	AVGMAX(all)	1570.479	1186.231	11879.59	-12557.4	-16183.2	54.05364
UP1	1735	MAXMAX(all)	-708.199	852.2124	10217.48	3676.984	-2836.56	51.97851
UP1	1735	AVGMAX(all)	-563.434	780.8831	9359.919	2980.754	-2157.46	31.0121
Sp1(rampa)	1741	MAXMAX(all)	-157.23	-148.801	1386.217	0	0	0
Sp1(rampa)	1741	AVGMAX(all)	-139.007	126.4355	1251.68	0	0	0
Sp1(rampa)	1742	MAXMAX(all)	-155.458	153.1368	1686.214	0	0	0
Sp1(rampa)	1742	AVGMAX(all)	-133.766	129.1911	1479.033	0	0	0
P3	146	MAXMAX(all)	-6031.86	-7839.15	55163.13	201882.8	-125569	-10836.4
P3	146	AVGMAX(all)	-4739.58	-5595.4	51081.79	177642.9	100344.6	-7725.22
P2	88	MAXMAX(all)	-4777.57	8317.249	47167.44	-233417	72243.52	-13974.7
P2	88	AVGMAX(all)	-3800.99	6111.242	45772.7	-166465	59228.8	-11588.4
P1	30	MAXMAX(all)	-2712.41	6357.533	35233.94	-113638	-85949.8	12717.04
P1	30	AVGMAX(all)	2030.711	5379.695	33408.32	94444.2	-82646.3	-11084.5
Sp1(Clarea)	2174	MAXMAX(all)	-11135	1172.638	0	0	0	0
Sp1(Clarea)	2174	AVGMAX(all)	-10720.6	1128.997	0	0	0	0
Sp1(Clarea)	1562	MAXMAX(all)	0	0	16837.79	0	0	0
Sp1(Clarea)	1562	AVGMAX(all)	0	0	12650.08	0	0	0
Sp1(Clarea)	1564	MAXMAX(all)	1400.801	13300.26	16679.56	0	0	0
Sp1(Clarea)	1564	AVGMAX(all)	1320.078	12533.82	-13623	0	0	0
dopo UP9	1568	MAXMAX(all)	-9005.02	6355.635	-19478.3	0	0	0
dopo UP9	1568	AVGMAX(all)	-7743.91	5465.562	-16809	0	0	0
dopo UP9	1569	MAXMAX(all)	0	0	10441.8	0	0	0
dopo UP9	1569	AVGMAX(all)	0	0	7991.609	0	0	0

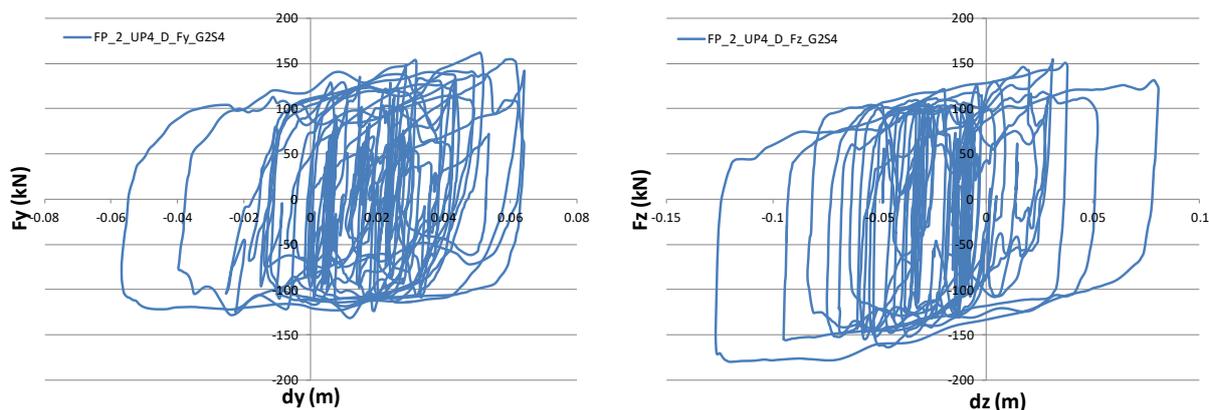
**Tabella 22** - Reazioni (nel sistema di riferimento locale) degli smorzatori e degli isolatori – Modello con le rigidzze delle fondazioni

Pila/Spalla	FP/Smorzatore	Load	Node	Axial	Shear-y	Shear-z	Torsion	Moment-y	Moment-z
				Force (kN)	Force (kN)	Force (kN)	Force (kN*m)	Force (kN*m)	Force (kN*m)
UP6	FP_UP6ext	MAXMAX(all)	1682	-2510.93	-205.1	-185.19	0	0	0
UP6	FP_UP6ext	AVGMAX(all)	1682	-2250.9	-184.61	-169.81	0	0	0
UP6	FP_UP6int	MAXMAX(all)	1684	-2313.32	216.3	183.21	0	0	0
UP6	FP_UP6int	AVGMAX(all)	1684	-2149.23	187.32	166.88	0	0	0
UP5	FP_UP5ext	MAXMAX(all)	1716	-7859.31	-641.23	471.88	0	0	0
UP5	FP_UP5ext	AVGMAX(all)	1716	-7212.98	-536.57	423.23	0	0	0
UP5	FP_UP5int	MAXMAX(all)	1718	-6226.01	-493.36	-420.16	0	0	0
UP5	FP_UP5int	AVGMAX(all)	1718	-5904.35	-432.28	-378.24	0	0	0
UP4_B	FP_UP4_Bext	MAXMAX(all)	1226	-2956.83	-224.31	-226.69	0	0	0
UP4_B	FP_UP4_Bext	AVGMAX(all)	1226	-2697.4	-185.4	-205.49	0	0	0
UP4_B	FP_UP4_Bint	MAXMAX(all)	1228	-1839.08	182.98	-192.12	0	0	0
UP4_B	FP_UP4_Bint	AVGMAX(all)	1228	-1729.83	161.97	-173.09	0	0	0
UP4_A	FP_UP4_Aext	MAXMAX(all)	1227	-1696.04	147.15	158.23	0	0	0
UP4_A	FP_UP4_Aext	AVGMAX(all)	1227	-1564.34	134.73	131.39	0	0	0
UP4_A	FP_UP4_Aint	MAXMAX(all)	1229	-1555.15	145.7	171.33	0	0	0
UP4_A	FP_UP4_Aint	AVGMAX(all)	1229	-1392.78	134.07	135.58	0	0	0
UP3	FP_UP3ext	MAXMAX(all)	1233	-4878.54	-416.13	482.5	0	0	0
UP3	FP_UP3ext	AVGMAX(all)	1233	-4656.84	-364.36	408.41	0	0	0
UP3	FP_UP3int	MAXMAX(all)	1234	-5048.49	392.69	488.41	0	0	0
UP3	FP_UP3int	AVGMAX(all)	1234	-4752.96	-368.21	393.05	0	0	0
UP2	FP_UP2ext	MAXMAX(all)	1200	-4097.58	392.03	402.18	0	0	0
UP2	FP_UP2ext	AVGMAX(all)	1200	-3986.2	-359.23	367.83	0	0	0
UP2	FP_UP2int	MAXMAX(all)	1198	-5391.06	440.01	468.06	0	0	0
UP2	FP_UP2int	AVGMAX(all)	1198	-5134.26	404.54	411.73	0	0	0
UP1	FP_UP1ext	MAXMAX(all)	1192	-4494.77	445.77	402.09	0	0	0
UP1	FP_UP1ext	AVGMAX(all)	1192	-4029.07	391.94	368.55	0	0	0
UP1	FP_UP1int	MAXMAX(all)	1190	-4864.69	447.61	418.85	0	0	0
UP1	FP_UP1int	AVGMAX(all)	1190	-4409.53	397.05	386.95	0	0	0
Sp1 (Rampa)	FP_Sp1 (rampa)ext	MAXMAX(all)	1742	-1686.21	153.14	155.46	0	0	0
Sp1 (Rampa)	FP_Sp1 (rampa)ext	AVGMAX(all)	1742	-1479.03	129.19	133.77	0	0	0
Sp1 (Rampa)	FP_Sp1 (rampa)int	MAXMAX(all)	1741	-1386.22	-148.8	157.23	0	0	0
Sp1 (Rampa)	FP_Sp1 (rampa)int	AVGMAX(all)	1741	-1251.68	126.44	139.01	0	0	0
Sp1 (Clarea)	Smorzatore Sp1(Clarea)	MAXMAX(all)	2174	11196.58	0	0	0	0	0
Sp1 (Clarea)	Smorzatore Sp1(Clarea)	AVGMAX(all)	2174	10779.88	0	0	0	0	0

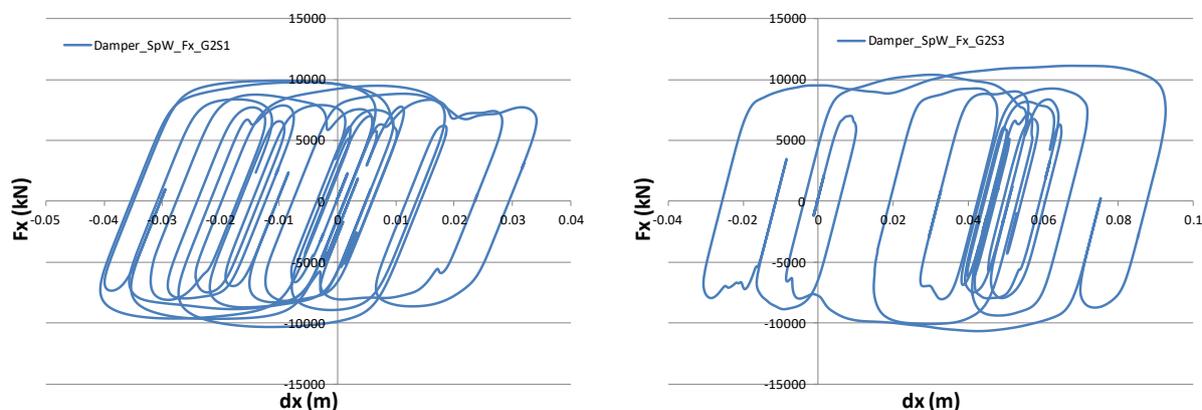
**Tabella 23** - Deformazioni (nel sistema di riferimento locale) degli smorzatori e degli isolatori – Modello con le rigidzze delle fondazioni

Pila/Spalla	FP/Smorzatore	Load	Node 1	Node 2	DX	DY	DZ	RX	RY	RZ
					Deformazione (m)	Deformazione (m)	Deformazione (m)	Deformazione (rad)	Deformazione (rad)	Deformazione (rad)
UP6	FP_UP6ext	MAXMAX(all)	1682	1683	-0.03	0.1	-0.09	0	-0.01	0
UP6	FP_UP6ext	AVGMAX(all)	1682	1683	-0.02	0.07	0.06	0	-0.01	0
UP6	FP_UP6int	MAXMAX(all)	1684	1685	-0.02	0.1	-0.1	0	-0.01	0
UP6	FP_UP6int	AVGMAX(all)	1684	1685	-0.02	0.07	0.06	0	-0.01	0
UP5	FP_UP5ext	MAXMAX(all)	1716	1717	-0.02	0.08	-0.04	0	0	0
UP5	FP_UP5ext	AVGMAX(all)	1716	1717	-0.02	0.04	-0.02	0	0	0
UP5	FP_UP5int	MAXMAX(all)	1718	1719	-0.02	0.08	-0.04	0	0	0
UP5	FP_UP5int	AVGMAX(all)	1718	1719	-0.02	0.04	-0.02	0	0	0
UP4_B	FP_UP4_Bext	MAXMAX(all)	1226	1208	-0.02	0.1	-0.12	0	0	0
UP4_B	FP_UP4_Bext	AVGMAX(all)	1226	1208	-0.02	0.06	-0.09	0	0	0
UP4_B	FP_UP4_Bint	MAXMAX(all)	1228	1212	-0.02	0.1	-0.13	0	0	0
UP4_B	FP_UP4_Bint	AVGMAX(all)	1228	1212	-0.02	0.06	-0.09	0	0	0
UP4_A	FP_UP4_Aext	MAXMAX(all)	1227	1209	-0.02	0.08	0.09	0	0	0
UP4_A	FP_UP4_Aext	AVGMAX(all)	1227	1209	-0.02	0.05	0.04	0	0	0
UP4_A	FP_UP4_Aint	MAXMAX(all)	1229	1213	-0.02	0.08	0.09	0	0	0
UP4_A	FP_UP4_Aint	AVGMAX(all)	1229	1213	-0.01	0.05	0.04	0	0	0
UP3	FP_UP3ext	MAXMAX(all)	1233	1203	-0.02	0.07	0.09	0	0	0
UP3	FP_UP3ext	AVGMAX(all)	1233	1203	-0.02	0.03	0.04	0	0	0
UP3	FP_UP3int	MAXMAX(all)	1234	1205	-0.02	0.07	0.09	0	0	0
UP3	FP_UP3int	AVGMAX(all)	1234	1205	-0.02	0.03	0.04	0	0	0
UP2	FP_UP2ext	MAXMAX(all)	1200	1197	-0.02	0.07	0.09	0	0	0
UP2	FP_UP2ext	AVGMAX(all)	1200	1197	-0.02	0.04	0.04	0	0	0
UP2	FP_UP2int	MAXMAX(all)	1198	1195	-0.02	0.07	0.09	0	0	0
UP2	FP_UP2int	AVGMAX(all)	1198	1195	-0.02	0.04	0.04	0	0	0

UP1	FP_UP1int	MAXMAX(a ll)	1190	1187	-0.02	0.06	0.08	0	0	0
UP1	FP_UP1int	AVGMAX(al l)	1190	1187	-0.02	0.04	0.04	0	0	0
UP1	FP_UP1ext	MAXMAX(a ll)	1192	1189	-0.02	0.06	0.08	0	0	0
UP1	FP_UP1ext	AVGMAX(al l)	1192	1189	-0.02	0.04	0.04	0	0	0
Sp1 (Rampa)	FP_Sp1 (Rampa)int	MAXMAX(a ll)	1741	1261	-0.01	0.06	0.08	0	0	0
Sp1 (Rampa)	FP_Sp1 (Rampa)int	AVGMAX(al l)	1741	1261	-0.01	0.03	0.05	0	0	0
Sp1 (Rampa)	FP_Sp1 (Rampa)int	MAXMAX(a ll)	1742	1262	-0.02	0.06	0.08	0	0	0
Sp1 (Rampa)	FP_Sp1 (Rampa)int	AVGMAX(al l)	1742	1262	-0.01	0.03	0.05	0	0	0
Sp1 (Clarea)	Smorzatore Sp1 Clarea)	MAXMAX(a ll)	2174	1563	0.12	0	0	0	0	0
Sp1 (Clarea)	Smorzatore Sp1 Clarea)	AVGMAX(al l)	2174	1563	0.08	0	0	0	0	0



**Figura 14** - Cicli forza-spostamento nel piano (rispetto al sistema di riferimento locale) di uno dei due isolatori posti sulla testa della pila UP4\_D per effetto del segnale G2S4 (il segnale S4 del Gruppo 2 dei 7 eventi considerati) – Modello con le rigidezze delle fondazioni



**Figura 15** - Cicli forza-spostamento assiali degli smorzatori viscosi alla spalla Sp1 per effetto dei segnali G2S1 e G2S3 – Modello con le rigidità delle fondazioni

## 10. Confronti con le sollecitazioni assunte in progetto

Le verifiche delle sezioni più sollecitate di impalcati e sottostrutture, descritte nelle specifiche relazioni, sono basate su sollecitazioni derivate da analisi modali con spettro di risposta, in cui il comportamento non lineare dei dispositivi è stato opportunamente linearizzato mediante successive iterazioni.

Le sollecitazioni ottenute dalle analisi non lineari con integrazione di time histories, presentate in questa relazione sono risultate generalmente inferiori ai valori assunti in fase di progetto, ricavati dalle analisi sismiche con spettro di risposta descritte nelle relazioni specifiche.

Nelle tabelle seguente è mostrato un confronto sui momenti flettente a base pila, con il rapporto tra le sollecitazioni ottenute dalle analisi lineari con spettro di risposta e le sollecitazioni ottenute dalle analisi con time history.

Tale rapporto è minore di 1.0, si conclude che il dimensionamento sismico effettuato risulta confermato.

VIADOTTI "A", "B" e ALLARGAMENTO SALITA							
CONFRONTO SOLLECITAZIONI TRA ANALISI SISMICHE NON LINEARI E ANALISI LINEARI CON SPETTRO DI RISPOSTA							
TIME HISTORY				SPETTRO			RAPPORTO
(INVILUPPO DI AVG_MAX NELLE DUE IPOTESI DI VINCOLO)							
Pila	MX (kN*m)	MY (kN*m)	Mh,vett (kN*m)	MX (kN*m)	MY (kN*m)	Mh,vett (kN*m)	Mh,vett
P1	97202	82646	127587	123206	102339	160165	0.797
P2	172580	60891	183007	172340	84722	192038	0.953
P3	182108	103894	209660	237592	132060	271826	0.771
P4	113769	102057	152837	208518	124750	242986	0.629
P5	116663	116711	165021	186379	185424	262905	0.628
P6	106769	87717	138181	107738	166033	197925	0.698
UP1	2981	2157	3680	6084	2850	6718	0.548
UP2	12675	16561	20855	17049	14226	22204	0.939
UP3	21238	22707	31092	30973	30214	43269	0.719
UP4	25910	17122	31056	57945	51297	77389	0.401
UP5	39955	23359	46283	85352	67686	108933	0.425
UP6	65421	20073	68431	84453	34833	91354	0.749
UP7	98222	85214	130034	149130	121472	192341	0.676
UP8	88911	84995	123002	126156	142041	189977	0.647
UP9	80184	75028	109812	68520	152918	167567	0.655
Fx = Taglio longitudinale							
Fy = Taglio trasversale							
Fz = Azione verticale							
Mx = momento trasversale (attorno all'asse x longitudinale)							
My = momento longitudinale (attorno all'asse y trasversale)							

VIADOTTO ALLARGAMENTO DISCESA							
CONFRONTO SOLLECITAZIONI TRA ANALISI SISMICHE NON LINEARI E ANALISI LINEARI CON SPETTRO DI RISPOSTA							
TIME HISTORY				SPETTRO			RAPPORTO
(INVILUPPO DI AVG_MAX NELLE DUE IPOTESI DI VINCOLO)							
Pila	MX (kN*m)	MY (kN*m)	Mh,vett (kN*m)	MY (kN*m)	MZ (kN*m)	Mh,vett (kN*m)	Mh,vett
IP1	19525	42472	46745	33292	311	68121	0.686
IP2	78276	80689	112418	146232	6911	198500	0.566
IP3	102254	93771	138740	127292	4354	233159	0.595
IP4	115761	108285	158512	151411	3532	239748	0.661
IP5	75547	90731	118065	139055	29	168563	0.700
P07	122265	29495	125773	48433	12104	162516	0.774
P08	132723	62572	146733	78913	9298	187013	0.785
P09	89588	80767	120620	145328	8132	244167	0.494
P10	133758	125927	183709	154408	5572	312863	0.587
P11	140286	130727	191754	221504	4587	342406	0.560
P12	76214	105844	130428	158163	9845	215384	0.606
Fx = Taglio longitudinale							
Fy = Taglio trasversale							
Fz = Azione verticale							
Mx = momento trasversale (attorno all'asse x longitudinale)							
My = momento longitudinale (attorno all'asse y trasversale)							

Tale rapporto è minore di 1.0, si conclude che il dimensionamento sismico effettuato risulta confermato.

## 11. Riferimenti bibliografici

- [1] Catalogo FIP S04 (2017). Isolatori a scorrimento a superficie curva, FIP Industriale. URL [www.fipindustriale.it/](http://www.fipindustriale.it/)
- [2] Catalogo FIP S00 (2017). Dispositivi antisismici, FIP Industriale. URL [www.fipindustriale.it/](http://www.fipindustriale.it/)
- [3] Midas/Civil tutorial (2014). Nonlinear time history analysis of a bridge with seismic isolators. URL [http://eng.midasuser.com/training/tutorial\\_read.asp?idx=399&pg=4&so=&sort=&bid=6&nCat=&nCat2=127&bType=&totCount=30](http://eng.midasuser.com/training/tutorial_read.asp?idx=399&pg=4&so=&sort=&bid=6&nCat=&nCat2=127&bType=&totCount=30)