

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



## LINEA FERROVIARIA CATANIA C.LE - GELA

## TRATTA FERROVIARIA CALTAGIRONE - GELA

### PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA

#### S.O. OPERE CIVILI

#### RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE - GELA

#### LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI - GELA

#### VIADOTTI

#### VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394

Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione

SCALA:

-

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

RS6K    00    R    09    CL    VI0100    002    A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	MP&A 	Mag. 2022	A.Ferri 	Mag. 2022	P. Mosca 	Mag. 2022	A. Vittozzi 

**VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394**

**Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 01 00 002	A	2 di 104

## INDICE

1	INTRODUZIONE .....	5
2	DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI .....	7
2.1	INTERVENTI SUGLI ARCHI.....	7
2.2	INTERVENTI SULLE PILE .....	7
2.3	INTERVENTI SULLE SPALLE .....	7
2.4	ALTRI INTERVENTI DI FINITURA E COMPLETAMENTO .....	8
3	NORMATIVA E BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO .....	9
4	MODELLAZIONE DELL'OPERA E METODI DI ANALISI .....	10
4.1	MODELLAZIONE.....	10
4.1.1	<i>Il modello di calcolo</i> .....	10
4.1.2	<i>Caratteristiche dei materiali</i> .....	15
4.2	TIPO DI ANALISI.....	17
5	ANALISI DEI CARICHI .....	18
5.1	PESI PROPRI STRUTTURALI (G1) .....	18
5.2	PESI PERMANENTI NON STRUTTURALI (G2) .....	18
5.3	AZIONI DA TRAFFICO FERROVIARIO (Q <sub>TRENI</sub> ).....	18
5.4	AZIONE DEL VENTO (Q <sub>VENTO</sub> ) .....	20
5.5	CEDIMENTO FONDAZIONALE (E <sub>GED</sub> ) .....	20
5.6	AZIONI SISMICHE (E) .....	20
6	ANALISI MODALE .....	25
7	ANALISI SISMICA .....	27
7.1	SISMA X - GRUPPO 1 .....	30
7.2	SISMA X - GRUPPO 2.....	34

**VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394**  
**Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di  
calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 01 00 002	A	3 di 104

7.3	SISMA Y - GRUPPO 1 .....	38
7.4	SISMA Y - GRUPPO 2 .....	42
7.5	SINTESI DEI RISULTATI .....	46
8	VERIFICA DELL'INTERVENTO DI RINFORZO DEGLI ARCHI .....	47
8.1	SOLLECITAZIONI ELEMENTARI .....	47
8.2	COMBINAZIONI DI CARICO .....	48
8.3	VERIFICHE STRUTTURALI.....	50
8.3.1	<i>Verifiche pressoflessione</i> .....	50
8.3.2	<i>Verifiche taglio</i> .....	53
9	VERIFICA DELL'INCAMICIATURA DELLE PILE .....	56
9.1	SOLLECITAZIONI ELEMENTARI .....	56
9.2	COMBINAZIONI DI CARICO .....	57
9.2.1	<i>Verifiche Sezione di spiccato</i> .....	59
10	VERIFICA DELLE IMPOSTE .....	66
10.1	SOLLECITAZIONI ELEMENTARI .....	66
10.2	VERIFICHE STRUTTURALI.....	67
10.2.1	<i>Verifiche a taglio</i> .....	70
11	VERIFICA DEGLI ANGOLARI METALLICI DI RINFORZO DELLE PILE.....	72
12	VERIFICA DEGLI INTERVENTI IN FONDAZIONE .....	74
12.1	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA .....	74
12.1.1	<i>Unità geotecniche</i> .....	74
12.1.2	<i>Falda</i> .....	74
12.1.3	<i>Parametri geotecnici di calcolo</i> .....	74
12.2	COMBINAZIONI DI CARICO .....	75
12.3	SOLLECITAZIONI .....	77



**RIPRISTINO LINEA CALTAGIRONE-GELA  
MIGLIORAMENTI STRUTTURALI PER CONSEGUIRE  
L'ADEGUAMENTO SISMICO DEI VIADOTTI  
LOTTO 2: NISCEMI - GELA**

**VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394**  
**Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di  
calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 01 00 002	A	4 di 104

12.4	VERIFICHE .....	80
12.4.1	<i>Verifiche geotecniche</i> .....	82
12.4.2	<i>Verifiche strutturali</i> .....	98
13	INCIDENZA ARMATURE .....	104
14	CONCLUSIONI.....	104

	<b>RIPRISTINO LINEA CALTAGIRONE-GELA MIGLIORAMENTI STRUTTURALI PER CONSEGUIRE L'ADEGUAMENTO SISMICO DEI VIADOTTI LOTTO 2: NISCEMI - GELA</b>					
<b>VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394</b> <b>Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione</b>	COMMESSA <b>RS6K</b>	LOTTO 00	CODIFICA R 09 CL	DOCUMENTO VI 01 00 002	REV. A	FOGLIO 5 di 104

## 1 INTRODUZIONE

La presente relazione ha per oggetto l'analisi della sicurezza strutturale in fase statica e sismica del ponte ad archi individuato alla chilometrica 339+394 della linea ferroviaria Caltagirone-Gela, a valle degli interventi di rinforzo strutturale resi necessari in base alle analisi dello stato di fatto (per le quali si rimanda al documento "Relazione sullo stato di fatto dell'opera" RS3K02D09CLVI0100001A).

L'opera è stata sottoposta ad un rilievo geometrico completo ed a una campagna di indagini strutturali e geotecniche, le cui risultanze sono contenute negli elaborati specifici.

Il viadotto a binario singolo sviluppa una lunghezza complessiva di circa 250m (spalla-spalla). Il tracciato che attraversa l'opera è planimetricamente in rettilineo; altimetricamente il ponte presenta una pendenza crescente secondo le progressive crescenti ( $i \approx 1.8\%$ ).

La struttura è costituita da 8 pile e due spalle che scandiscono 9 arcate con luce netta di circa 20 m.

Gli archi sono realizzati con elementi in calcestruzzo magro di spessore variabile tra 1.0m e 1.2m rispettivamente in chiave e alle reni. Sopra di essi si poggiano i muri andatori (o timpani) realizzati in muratura di pietra con spessore circa 1.2m, internamente è presente un riempimento in materiale sciolto.

Le pile sono realizzate in muratura di pietra, esternamente è presente una cortina di limitato spessore con pietrame squadrate e superfici regolari, mentre il nucleo risulta essere composto da elementi naturali di pezzatura molto disomogenea e il cui grado di compattezza, ossia la presenza di legante, è risultato molto variabile dalle indagini effettuate in situ.

Le fondazioni sono realizzate con plinto sottile in calcestruzzo con micropali indefiniti (è ignota l'eventuale presenza di armature) a pianta rettangolare con dimensioni di circa 9.7 m in direzione longitudinale e 13.4 m in direzione trasversale. La geometria delle fondazioni è stata ricostruita in analogia ai risultati dei sondaggi conoscitivi effettuati per la pila 4 del viadotto.



**Figura 1: Restituzione laser-scanner dell'opera.**

**VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394**  
**Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di  
calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 01 00 002	A	6 di 104



**Figura 2: Vista dell'opera**

	<b>RIPRISTINO LINEA CALTAGIRONE-GELA MIGLIORAMENTI STRUTTURALI PER CONSEGUIRE L'ADEGUAMENTO SISMICO DEI VIADOTTI LOTTO 2: NISCEMI - GELA</b>					
<b>VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394</b> <b>Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione</b>	COMMESSA <b>RS6K</b>	LOTTO 00	CODIFICA R 09 CL	DOCUMENTO VI 01 00 002	REV. A	FOGLIO 7 di 104

## 2 DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI

Ai fini del recupero della funzionalità dell'opera, che presuppone la rispondenza agli standard di sicurezza delle vigenti normative in materia di costruzioni esistenti (NTC2018), sono previsti interventi di natura strutturale che coinvolgono vari elementi dell'opera, come appresso specificato.

### 2.1 INTERVENTI SUGLI ARCHI

È prevista la realizzazione di una struttura in cemento armato a forma di cassone aperto internamente all'impalcato. Tale struttura continua ha lo scopo di realizzare una sorta di catena che colleghi tutte le arcate del viadotto, impedendo di fatto meccanismi di disarticolazione locali dell'opera.

Come intuibile, la sezione tipo della struttura di rinforzo ha forma di "U" ad altezza variabile, minima in corrispondenza della chiave degli archi e massima in asse pila (da 0.7m a 4.7 m), e larghezza di circa 3.25 m. Le pareti risultano gettate direttamente a ridosso dei paramenti in muratura delle arcate (timpani) e presentano uno spessore di 40 cm. Queste verranno collegate alle murature mediante inghisaggi diffusi di inserti metallici. La soletta inferiore (contro-soletta) presenta invece uno spessore corrente di 30 cm che riducendosi a circa 20 cm nella zona di chiave dell'arco. È previsto il collegamento con la struttura esistente dell'arco in calcestruzzo, impiegando la medesima tecnica summenzionata per gli elementi verticali.

La parte interna della nuova struttura sarà successivamente riempita con calcestruzzo alleggerito al fine di ristabilire il piano di posa per la sovrastruttura ferroviaria.

### 2.2 INTERVENTI SULLE PILE

Si prevedono due ordini di interventi per le elevazioni delle pile in muratura del viadotto:

1) Il nucleo interno degli elementi, il quale dalle analisi stratigrafiche effettuate presenta una notevole variabilità nella composizione con rilevamenti di ampie zone con materiale non legato, verrà interessato da un massiccio interventi di iniezione di malta. La cui natura (di calce, cementizia o resine) sarà scelta sulla base delle risultanze di analisi chimiche dei leganti preesistenti.

2) Esternamente è previsto il cerchiaggio attivo delle murature e la successiva incamiciatura mediante pareti in c.a. Il primo intervento si concretizza con l'apposizione di angolari metallici ai quattro vertici della sezione delle pile, intercalati con passo di circa 3m da barre dywidag orizzontali che saranno tensionate per fornire un confinamento laterale attivo alla muratura. Tali strutture metalliche verranno poi inglobate in pareti di cemento armato le quali avranno spessore 25cm nella direzione trasversale e spessore variabile tra 25 cm e 35 cm (rispettivamente ad imposta arco e base pila) nella direzione longitudinale.

Le fondazioni delle pile saranno poi rinforzate mediante la realizzazione di un cordolo sommitale che raccoglie la preesistente fondazione e che mette in continuità le nuove strutture di elevazione con le nuove fondazioni su pali. È prevista, infatti, la realizzazione di pali di medio diametro (D600) perimetralmente alla fondazione esistente su un'unica fila. I pali spazati, l'uno coll'altro di circa 85 cm, avranno lunghezza di 16m.

### 2.3 INTERVENTI SULLE SPALLE



RIPRISTINO LINEA CALTAGIRONE-GELA  
MIGLIORAMENTI STRUTTURALI PER CONSEGUIRE  
L'ADEGUAMENTO SISMICO DEI VIADOTTI  
LOTTO 2: NISCEMI - GELA

**VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394**  
**Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di**  
**calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 01 00 002	A	8 di 104

Le spalle, le cui analisi non evidenziano particolari criticità, saranno comunque precauzionalmente interessate da un intervento atto a prevenire fenomeni di cedimento fondazionale. È stata prevista dunque la realizzazione di due limitate palificate lungo i muri andatori del manufatto, collegate in testa da un cordolo che a sua volta viene solidarizzato alla fondazione esistente. Saranno impiegati pali del diametro pari a D600 e lunghezza 7 m.

#### **2.4 ALTRI INTERVENTI DI FINITURA E COMPLETAMENTO**

A completamento degli interventi riguardanti le opere civili, è prevista la realizzazione dei nuovi marciapiedi lungo tutto il viadotto, la sostituzione dei parapetti, la realizzazione delle impermeabilizzazioni dell'impalcato e del sistema di scolo delle acque meteoriche.

	<b>RIPRISTINO LINEA CALTAGIRONE-GELA MIGLIORAMENTI STRUTTURALI PER CONSEGUIRE L'ADEGUAMENTO SISMICO DEI VIADOTTI LOTTO 2: NISCEMI - GELA</b>					
<b>VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394</b> <b>Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione</b>	COMMESSA <b>RS6K</b>	LOTTO 00	CODIFICA R 09 CL	DOCUMENTO VI 01 00 002	REV. A	FOGLIO 9 di 104

### 3 NORMATIVA E BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO

Ai fini del presente studio sono stati presi a riferimento i seguenti documenti tecnici:

- D.M. 17 gennaio 2018 (G.U. 20 febbraio 2018 n. 42) - Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni».
- Circolare 21 Gennaio 2019 n. 7 C.S.LL.PP. (G.U. n. 35 del 11 febbraio 2019) - Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.
- RFI DTC SI PS MA IFS 001 C - Manuale di Progettazione delle Opere Civili - Parte II – Sezione 2 – Ponti e Strutture
- Progetto DOC-Reluis 2005-2008 – linea 3: Valutazione e riduzione del rischio sismico di ponti esistenti – “linee guida e manuale applicativo per la valutazione della sicurezza sismica e il consolidamento dei ponti esistenti in c.a.”, Marzo 2009.
- FEMA 440 “Improvement of Non-Linear static Seismic Analysis Procedures”, June 2005.
- ATC 40 “Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings. Vol.1”, Applied Technology Council, November 1996.
- Chopra, A.K., and Goel, R.K. (1999). “Capacity-demand-diagram methods for estimating seismic deformation of inelastic structures: SDF systems”. Report No. PEER-1999/02, Pacific Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, California.
- Fajfar P. “Capacity spectrum method based on inelastic demand spectra” Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 1999 (28).
- Albanesi T., Biondi S., Petrangeli M., “Pushover Analysis: an energy-based approach”, Elsevier Science Ltd 12<sup>th</sup> European Conference on Earthquake Engineering, London England, 2002.

	<b>RIPRISTINO LINEA CALTAGIRONE-GELA MIGLIORAMENTI STRUTTURALI PER CONSEGUIRE L'ADEGUAMENTO SISMICO DEI VIADOTTI LOTTO 2: NISCEMI - GELA</b>					
<b>VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394</b> <b>Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione</b>	COMMESSA <b>RS6K</b>	LOTTO 00	CODIFICA R 09 CL	DOCUMENTO VI 01 00 002	REV. A	FOGLIO 10 di 104

## 4 MODELLAZIONE DELL'OPERA E METODI DI ANALISI

### 4.1 MODELLAZIONE

L'opera è stata analizzata a mezzo di modelli di calcolo agli elementi finiti tridimensionali, impiegando elementi solidi "brick", infatti la particolarità dell'opera non consente una modellazione attraverso elementi finiti tipo mono ("beam") o bidimensionali ("shell") se non accettando una perdita significativa di accuratezza della risposta strutturale, specialmente in relazione alle azioni orizzontali quali quelle di natura sismica.

Inoltre, in considerazione dei materiali di costruzione (muratura e calcestruzzo magro), caratterizzati dall'assenza (o quasi) di resistenza a trazione, si è altresì optato per l'assunzione di un comportamento di materiale (legame costitutivo) non lineare.

Mentre la non linearità di materiale è abbastanza diffusa nei software commerciali di analisi strutturale per quanto riguarda gli elementi monodimensionali, nella modellazione con elementi 2D e 3D essa risulta disponibile solo in software specialistici, tendenzialmente orientati alla ricerca piuttosto che alla professione. Fra di essi certamente un posto di rilievo è occupato da MIDAS FEA NX, il cui ambito di applicazione è specificatamente rivolto alla modellazione solida lineare e non.

Tale software ha nella sua libreria di legami costitutivi (LC) il cosiddetto *Concrete Smeared Crack*. Tale legame, di natura isotropa, appartiene ai cosiddetti modelli costitutivi *smeared crack* ossia ai modelli con plasticità diffusa. Questo legame nasce per simulare il comportamento del calcestruzzo non armato, ma esistono già diverse applicazioni che applicano con successo il *Concrete Smeared Crack* su strutture in muratura. Questo perché il legame simula la parte in compressione del materiale usando un tipico modello isotropico elasto-plastico, e la parte in trazione con un modello a fessurazione diffusa. Questo permette di simulare la fessurazione regolando la tensione e la rigidità al punto di integrazione, senza riconfigurare la mesh.

In corrispondenza della formazione della fessura, la direzione della massima deformazione principale è la direzione della fessura stessa. Tale direzione è conservata per simulare l'anisotropia dovuta alla fessurazione negli step successivi. Le fessure successive andranno nella direzione ortogonale alla fessura esistente, tenendo in conto della tridimensionalità del modello. Se, a seguito della formazione della fessura, la deformazione elastica nella direzione della fessura è di trazione, essa viene considerata come un danneggiamento di tipo elastico per cui la fessura sarà considerata richiusa quando si manifesta la compressione.

#### 4.1.1 Il modello di calcolo

La non linearità di materiale è stata impiegata sugli elementi strutturali predominanti la risposta strutturale dell'opera, in particolare è stato usato il *Concrete Smeared Crack* per i seguenti componenti strutturali (con le dovute differenze nei parametri caratteristici tra elemento ed elemento illustrate in seguito):

- Archi realizzati in calcestruzzo non armato;
- Pile realizzate in muratura di pietra disomogenea;
- Muri andatori (o timpani) realizzati in muratura di pietra.

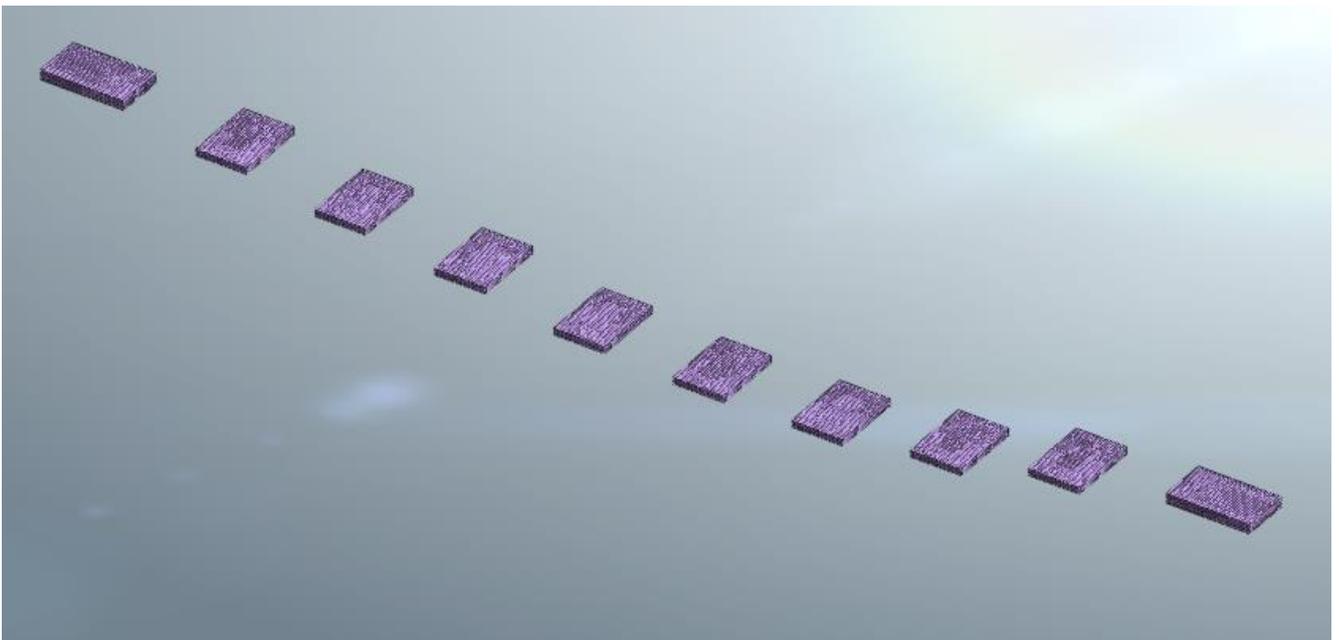
	<b>RIPRISTINO LINEA CALTAGIRONE-GELA MIGLIORAMENTI STRUTTURALI PER CONSEGUIRE L'ADEGUAMENTO SISMICO DEI VIADOTTI LOTTO 2: NISCEMI - GELA</b>					
<b>VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394</b> <b>Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione</b>	COMMESSA <b>RS6K</b>	LOTTO 00	CODIFICA R 09 CL	DOCUMENTO VI 01 00 002	REV. A	FOGLIO 11 di 104

- Elementi di rinforzo in c.a. (camicie esterne pile e interne archi)

Per gli altri elementi costituenti il ponte, ossia i riempimenti delle arcate e le fondazioni sono stati impiegati elementi con materiali elastico lineare. Tali elementi sono stati modellati per raggiungere sia una migliore definizione delle masse in gioco (riempimenti) che anche di possibili effetti di interazione col suolo (fondazioni). Tuttavia, con riferimento al riempimento, sono stati adottati gli accorgimenti opportuni per far sì che esso non collabori alla resistenza strutturale dell'opera (modulo elastico adeguatamente basso).

Per quanto riguarda le condizioni vincolari, si specifica che sono stati impediti tutti i gradi di libertà dei nodi all'intradosso dei plinti di fondazione. Si è preferito, poi, non vincolare le superfici verticali di contatto col terreno delle spalle, principalmente per due motivi: da un lato la definizione della reale geometria della spalla è ignota (vale a dire quanto essa si estende all'interno del terreno rispetto al rilievo del manufatto che chiaramente restituisce solo quanto fuori-terra), dall'altro, data anche l'indisponibilità di dati al riguardo non ritenendo opportuno scendere nel dettaglio di un'analisi valutativa del grado di interazione della spalla col terreno, si è preferito dare all'opera una capacità di deformazione maggiore. Infatti, specialmente in direzione longitudinale, l'eventuale blocco delle spalle impediva lo svilupparsi di cinematici apprezzabili che potessero mobilitare gli elementi strutturali dell'opera.

Di seguito si riportano le immagini estratte del modello relative alle definizioni dei succitati elementi strutturali e delle rispettive caratterizzazioni del materiale associato.



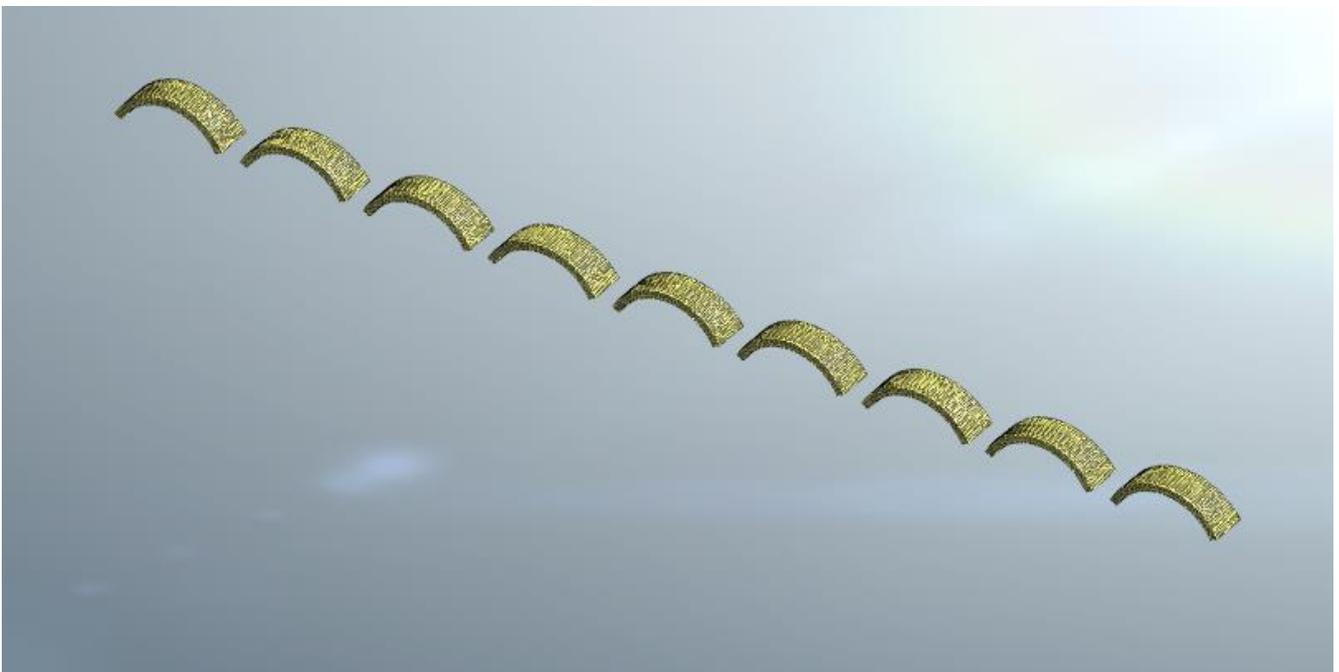
**Figura 3: Plinti di fondazione**

**VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394**  
Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di  
calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 01 00 002	A	12 di 104



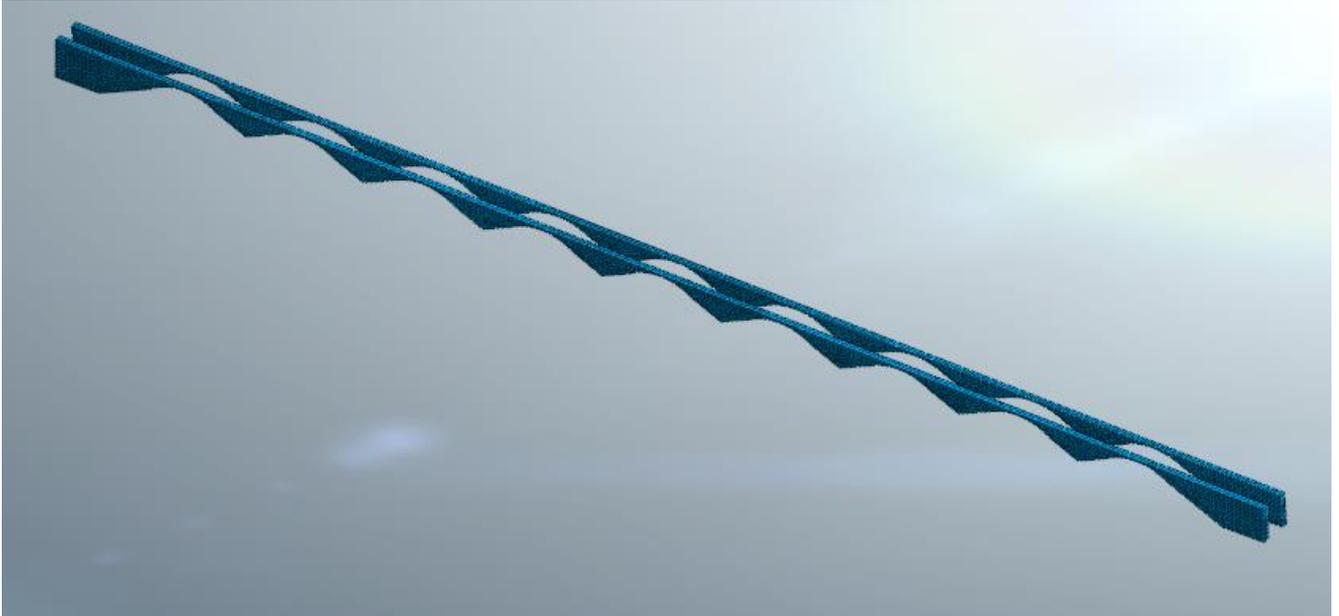
**Figura 4: Pile e Spalle**



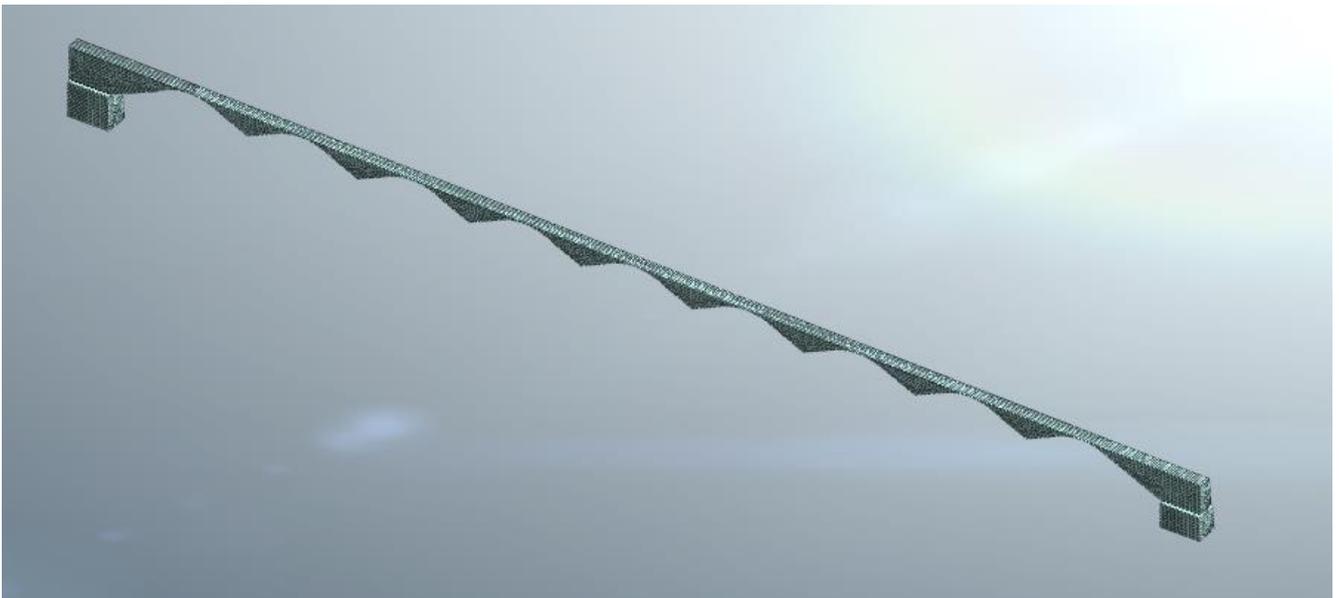
**Figura 5: Archi**

**VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394**  
**Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di**  
**calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 01 00 002	A	13 di 104



**Figura 6: Timpani**



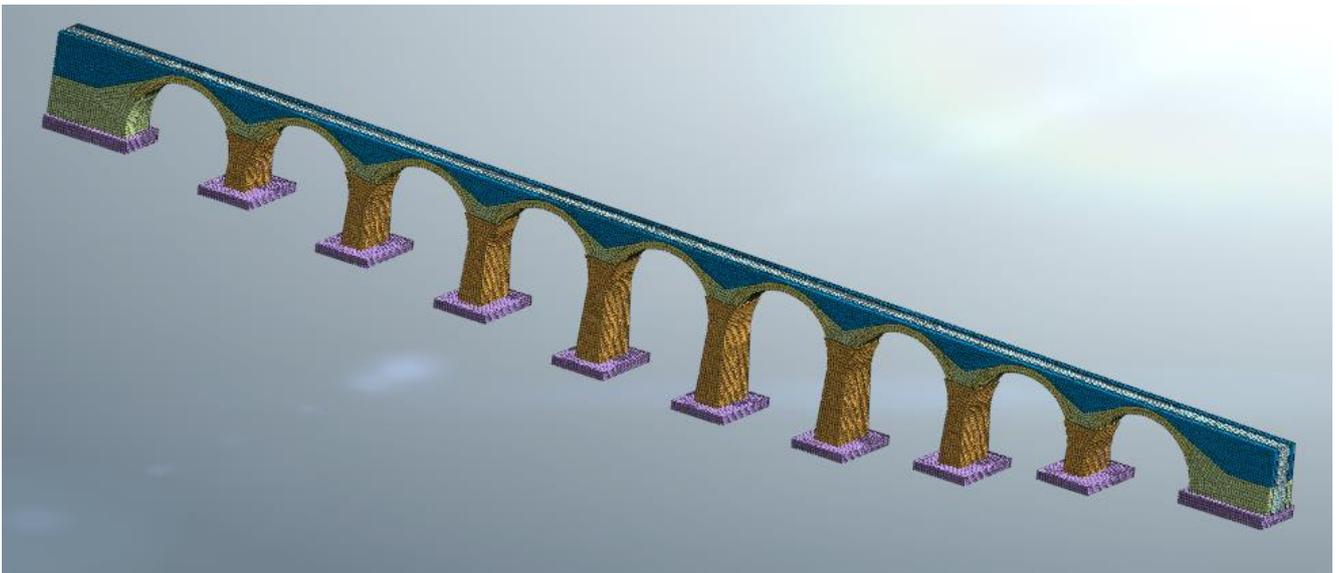
**Figura 7: Riempimento**

**VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394**  
Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di  
calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 01 00 002	A	14 di 104



**Figura 8: Strutture di rinforzo (camicia esterna pile e interna archi)**



**Figura 9: Modello completo**

**VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394**  
**Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di  
 calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 01 00 002	A	15 di 104

#### 4.1.2 Caratteristiche dei materiali

La tabella seguente riassume infine i principali parametri dei materiali impiegati, dove anche per i materiali non lineari sono specificate le caratteristiche in quanto esse sono impiegate sia nelle analisi modali sia per la definizione del ramo iniziale della risposta *stress-strain* del legame costitutivo non lineare.

Elemento Struttura Esistente	Arco	Pile	Timpani	Plinti
Descr. Materiale	Cls Magro	Muratura	Muratura	Cls
Modulo di Young E [Mpa]	6000	9000	8300	6000
Modulo di Poisson $\nu$ [-]	0.2	0.25	0.25	0.2
Peso Specifico [kN/m <sup>3</sup> ]	21	22	22	0
Tipo di Risposta	Non Lineare	Non Lineare	Non Lineare	Lineare
Resistenza a trazione $f_t$ [Mpa]	0.8	0.2	0.2	-
Resistenza a compr. $F_c$ [Mpa]	9	4	4	-

Elemento Nuova Struttura	Strutture in c.a.	Rinforzi Metallici	Armatura Pila	Riempimento
Descr. Materiale	Cls C32/40 <sup>(a)</sup>	Acciaio S355	Acciaio B450C	Cls Alleggerito
Modulo di Young E [Mpa]	30000	206000	210000	120
Modulo di Poisson $\nu$ [-]	0.2	0.3	0.3	0.2
Peso Specifico [kN/m <sup>3</sup> ]	25	78.5	70	18
Tipo di Risposta	Non Lineare	Non Lineare	Non Lineare	Lineare
Resistenza a trazione $f_t$ [Mpa]	1.7	338	391	-
Resistenza a compr. $F_c$ [Mpa]	17	338	391	-

- (a) In sede di modellazione, analisi e verifiche strutturali si sono utilizzate le caratteristiche meccaniche relative alla classe C30/37, tuttavia non è risultato necessario l'aggiornamento dei valori adottati essendo questi cautelativi rispetto a quelli del calcestruzzo C32/40 previsto per la realizzazione di tali opere.



**RIPRISTINO LINEA CALTAGIRONE-GELA  
MIGLIORAMENTI STRUTTURALI PER CONSEGUIRE  
L'ADEGUAMENTO SISMICO DEI VIADOTTI  
LOTTO 2: NISCEMI - GELA**

**VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394**  
**Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di  
calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 01 00 002	A	16 di 104

Per le strutture in muratura si è optato per mantenere i medesimi parametri di resistenza e rigidezza dello stato di fatto. Non sono stati considerati gli effetti dell'intervento di consolidamento mediante iniezioni di malta e del confinamento operato dai profili metallici e dalla camicia di c.a., anche in relazione all'oggettiva difficoltà di quantificare in maniera analitica e realistica le nuove caratteristiche del materiale in termini di resistenze e duttilità, in quanto le indicazioni reperibili nel quadro normativo attuale non risultano esaustive per le modellazioni qui impiegate. In definitiva, dunque, le iniezioni ed il confinamento della muratura vengono considerate dal progettista come un'ulteriore riserva di sicurezza strutturale di cui l'opera è dotata.

Nel modello non si è tenuto conto del peso del plinto per evitare la sovrapposizione dell'inerzia dello stesso con la risposta della sovrastruttura, peso e inerzia orizzontale sono stati poi considerati a posteriori in sede di verifica delle fondazioni.

Sebbene il progetto preveda una sostituzione del riempimento esistente con calcestruzzo alleggerito (con peso di volume paragonabile), in via conservativa, tale nuovo elemento non è stato tenuto in conto ai fini della rigidezza e resistenza strutturale dell'opera. Pertanto, sono stati mantenuti i medesimi parametri meccanici associati al riempimento sciolto impiegato per la valutazione dell'esistente.

Le camicie in calcestruzzo attorno alle pile sono state modellate come elementi tridimensionali, con il loro effettivo spessore. È stato quindi generato un solido che, oltre a rappresentare il reale ingombro volumetrico, potesse ospitare degli elementi monodimensionali rappresentanti le barre al suo interno.

Si è scelto infatti di modellare le barre longitudinali posizionate all'interno della camicia delle pile, assegnando ad ognuna di esse un diametro equivalente, in modo che nella loro totalità rappresentassero l'effettiva percentuale di armatura presente nel rinforzo in calcestruzzo. Ciò è stato possibile attraverso una modellazione "embedded" che permette ad elementi monodimensionali di essere annegati all'interno di solidi. Tale funzione permette che i due elementi comunichino tra di loro senza che questi siano collegati tramite nodi in comune.

	<b>RIPRISTINO LINEA CALTAGIRONE-GELA MIGLIORAMENTI STRUTTURALI PER CONSEGUIRE L'ADEGUAMENTO SISMICO DEI VIADOTTI LOTTO 2: NISCEMI - GELA</b>					
<b>VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394</b> <b>Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione</b>	COMMESSA <b>RS6K</b>	LOTTO 00	CODIFICA R 09 CL	DOCUMENTO VI 01 00 002	REV. A	FOGLIO 17 di 104

## 4.2 TIPO DI ANALISI

Per le analisi finalizzate alla definizione della sicurezza in fase sismica è stato applicato il metodo statico non lineare (analisi di spinta o Push-Over), il quale prevede l'applicazione di un predeterminato profilo di forze incrementale fino al raggiungimento della resistenza della struttura, ottenendo così la cosiddetta "curva di capacità" della struttura.

Il raggiungimento del carico massimo della struttura è stato individuato con criteri basati sui parametri meccanici dei materiali:

- Lato muratura, considerato che la normativa fornisce esclusivamente criteri di rottura della muratura applicabili a modelli discreti (pannelli murari e fasce di piano) che non risultano direttamente applicabili ad un modello continuo come quello adottato, **si è optato di individuare quale condizione limite della capacità del materiale il raggiungimento di una deformazione di compressione pari allo  $\epsilon_c^{\text{muratura}}=0.30\%$** . Si osserva un incremento del valore limite rispetto a quanto impiegato nelle valutazioni ante operam, giustificabile col fatto che la muratura è iniettata e confinata dalle strutture di rinforzo previste dal progetto.
- Lato rinforzo in calcestruzzo, la **condizione limite del materiale è stabilita nel raggiungimento di una deformazione di compressione pari allo  $\epsilon_c^{\text{calcestruzzo}}=0.35\%$** . in conformità al §4.1.2.1.1.4 delle NTC2018.
- Lato rinforzi metallici, essendo esclusi a priori fenomeni di instabilità dei profili angolari, si è assunto come limite del materiale il raggiungimento di una deformazione di trazione/compressione pari a  **$\epsilon_s^{\text{acciaio}}=1.0\%$** .



**RIPRISTINO LINEA CALTAGIRONE-GELA  
MIGLIORAMENTI STRUTTURALI PER  
L'ADEGUAMENTO SISMICO DEI VIADOTTI  
CONSEGUIRE  
LOTTO 2: NISCEMI - GELA**

**VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394  
Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di  
calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 01 00 002	A	18 di 104

## 5 ANALISI DEI CARICHI

### 5.1 PESI PROPRI STRUTTURALI (G1)

I carichi permanenti strutturali sono stati considerati implicitamente nel modello di calcolo a partire dai volumi degli elementi e dai loro pesi unitari.

Di seguito vengono riportati i pesi degli elementi principali dell'opera:

- Peso arco in cls:  $168 \text{ m}^3 * 21 \text{ kN/m}^3 \approx 3528 \text{ kN}$
- Peso timpano:  $704 \text{ m}^3 * 22 \text{ kN/m}^3 \approx 15488 \text{ kN}$
- Peso medio pila:  $440 \text{ m}^3 * 22 \text{ kN/m}^3 \approx 9680 \text{ kN}$
- Peso struttura rinforzo archi:  $653 \text{ m}^3 * 25 \text{ kN/m}^3 \approx 16325 \text{ kN}$
- Peso medio camicia pila:  $95 \text{ m}^3 * 25 \text{ kN/m}^3 \approx 2375 \text{ kN}$

### 5.2 PESI PERMANENTI NON STRUTTURALI (G2)

Di seguito i pesi permanenti non strutturali indicati dalle NTC18:

- Sovrastruttura ferroviaria (Armamento e ballast):  $0.8\text{m} * 3.35 \text{ m} * 20 \text{ kN/m}^3 = 53.6 \text{ kN/m}$
- Nuovo marciapiede e parapetto:  $6.0 \text{ kN/m} (x2)$

Come nel caso precedente, si riporta il valore del peso del riempimento in calcestruzzo alleggerito :

- Peso calcestruzzo alleggerito:  $1390 \text{ m}^3 * 18 \text{ kN/m}^3 \approx 25020 \text{ kN}$

### 5.3 AZIONI DA TRAFFICO FERROVIARIO ( $Q_{\text{TRENI}}$ )

La circolazione sul ponte è limitata al traffico del treno reale C3, che ha la seguente conformazione:

**VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394**  
**Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di  
 calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 01 00 002	A	19 di 104

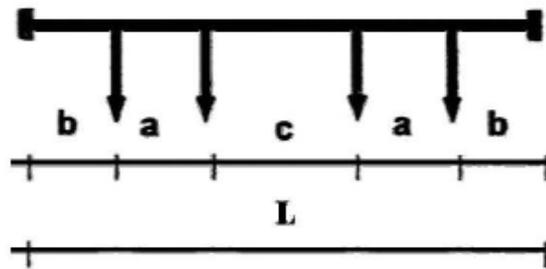


Figura 1: Schema geometrico di un carro

Tabella 3: Carri ferroviari suddivisi per categoria di linea

Categoria	Carico		a [m]	b [m]	c [m]	L [m]
	per asse $P_a$ [kN]	per ml $p$ [kN/m]				
A	160	48	1.8	1.5	6.75	13.35
B1	180	50	1.8	1.5	7.80	14.40
B2	180	64	1.8	1.5	4.65	11.25
C2	200	64	1.8	1.5	5.90	12.50
C3	200	72	1.8	1.5	4.50	11.10
C4	200	80	1.8	1.5	3.40	10.00
D2	225	64	1.8	1.5	7.45	14.05
D3	225	72	1.8	1.5	5.90	12.50
D4	225	80	1.8	1.5	4.65	11.25
E4	250	80	1.8	1.5	5.9	12.50
E5	250	88	1.8	1.5	4.75	11.35

Coefficiente dinamico (carichi reali):

Si considera la linea sottoposta a standard manutentivo NORMALE.

$$\varphi_{reale} = 1 + \varphi + \varphi^{**}$$

 Quale lunghezza caratteristica  $l_\varphi$  è stata preso il doppio della luce netta dell'arco (caso 5.6 manuale progettazione).

Manutenzione	Standard
$V_{progetto}$ [Km/h]	80.0
$V_{progetto}$ [m/s]	22.2
$L_\varphi$ [m]	39.0
$n0_{min}$ [Hertz]	2.695
$n0$ [Hertz]	15.400



**RIPRISTINO LINEA CALTAGIRONE-GELA  
MIGLIORAMENTI STRUTTURALI PER CONSEGUIRE  
L'ADEGUAMENTO SISMICO DEI VIADOTTI  
LOTTO 2: NISCEMI - GELA**

**VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394  
Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di  
calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 01 00 002	A	20 di 104

n0 [Hertz]	15.400
K	0.019
$\varphi'$	0.019
$\alpha$	1.010
$\varphi''$	0.073

$\varphi$	<b>1.092</b>
-----------	--------------

#### Frenatura/avviamento

Quale azione di frenatura /avviamento si è fatto riferimento alla massima forza di trazione esercitata dal locomotore C3 = pari a 292 KN.

#### Serpeggio

È stata considerata un'azione di serpeggio agente a livello della rotaia pari a +/-100 KN.

#### Forza centrifuga

Non pertinente in quanto l'opera è in rettilineo.

### **5.4 AZIONE DEL VENTO ( $Q_{VENTO}$ )**

Ai fini del calcolo delle azioni indotte dal vento, è stato preso a riferimento un valore di pressione incidente alla superficie dell'opera pari a 1.5 kPa; si considera che detta pressione agisca anche su una fascia di altezza H 4,0m al di sopra del p.f. (sagoma convenzionale del treno).

### **5.5 CEDIMENTO FONDAZIONALE ( $E_{CED}$ )**

Conformemente al p. 2.5.1.6 del Manuale di Progettazione, considerato che il ponte è continuo, si è tenuto in considerazione di un cedimento differenziale della fondazione, individuato nella posizione più sfavorevole e valutato pari a 1/5000 della luce media delle campate adiacenti ( $L= 20 \text{ m} \rightarrow \epsilon_{ced} = 4 \text{ mm}$ ).

### **5.6 AZIONI SISMICHE (E)**



**RIPRISTINO LINEA CALTAGIRONE-GELA  
MIGLIORAMENTI STRUTTURALI PER CONSEGUIRE  
L'ADEGUAMENTO SISMICO DEI VIADOTTI  
LOTTO 2: NISCEMI - GELA**

**VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394**  
**Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di  
calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 01 00 002	A	21 di 104

Nell'opera in oggetto, alla luce dei risultati ottenuti dalle prove geofisiche down-hole (per le quali si rimanda al documento "Relazione geotecnica" RS3K02D09RBVI0100001A) si è ritenuto opportuno eseguire un'analisi di risposta sismica locale (documento "Analisi di risposta sismica locale" RS3K02D09RHVI0500001A).

Tuttavia, gli spettri ottenuti a valle di tale analisi risultano meno cautelativi di quelli di norma, pertanto non sono stati considerati ai fini delle analisi.

Lo spettro sismico di riferimento è stato ricavato a partire dai seguenti parametri:

- Coordinate geografiche: 37.12333 Nord; 14.40833 Est
- Vita Nominale:  $V_n=50$  anni (opera su infrastruttura progettata prima delle NTC08)
- Classe d'uso: II ( $C_u=1$ )
- Vita di riferimento:  $V_r= V_n \times C_u= 50$  anni
- Categoria di sottosuolo: C
- Categoria topografica T1

Dati						
$V_N$	50.00	anni	Vita nominale			
CLASSE	2		Classe d'uso			
$C_U$	1	anni	Coefficiente d'uso			
$V_R$	50.0	anni	Vita di riferimento			
$P_{VR}$	10%		Prob. di sup. nel periodo di riferimento			
$T_R$	475	anni	Periodo di ritorno			
f	0.0021	1/anno	Frequenza di annuale di superamento			
Punto	ID	LONG	LAT	$a_g$	$F_0$	$T_C^*$
1	49631	14.36537	37.13144	0.132	2.361	0.427
2	49632	14.42783	37.13091	0.156	2.388	0.374
3	49853	14.36473	37.08144	0.131	2.359	0.426
4	49854	14.42713	37.08092	0.154	2.387	0.373
		LONG	LAT	$a_g$	$F_0$	$T_C^*$
P		14.408333	37.123333	<b>0.146</b>	<b>2.377</b>	<b>0.394</b>



**RIPRISTINO LINEA CALTAGIRONE-GELA  
MIGLIORAMENTI STRUTTURALI PER CONSEGUIRE  
L'ADEGUAMENTO SISMICO DEI VIADOTTI  
LOTTO 2: NISCEMI - GELA**

**VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394**  
**Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di  
calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 01 00 002	A	22 di 104

Terr. Tipo	C			
Cat. Topog.	1			
$\xi$	5%			
$\eta$	1			
$a_{g0}$	0.146 g			
$F_0$	2.377			
$T_C^*$	0.394 s			
$\gamma_I$	1			
$a_g$	0.146 g			
$q$	1			
$\beta$	0.2		<b>Ss</b>	<b>St</b>
			1.491	1.000
<b>Cc</b>	<b>S</b>	<b>TB</b>	<b>TC</b>	<b>TD</b>
1.428	1.491	0.187	0.562	2.186

Stato limite salvaguardia della vita (SLV,  $T_r=475$  anni)

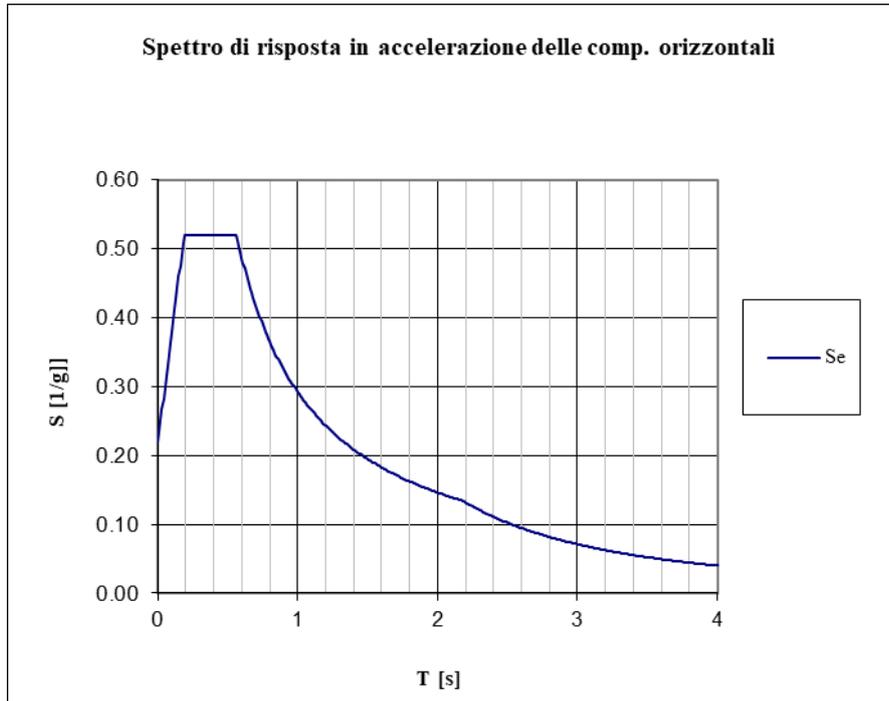
$PGA_{\text{orizzontale}} = 0.218 \text{ g}$

$PGA_{\text{verticale}} = 0.076 \text{ g}$

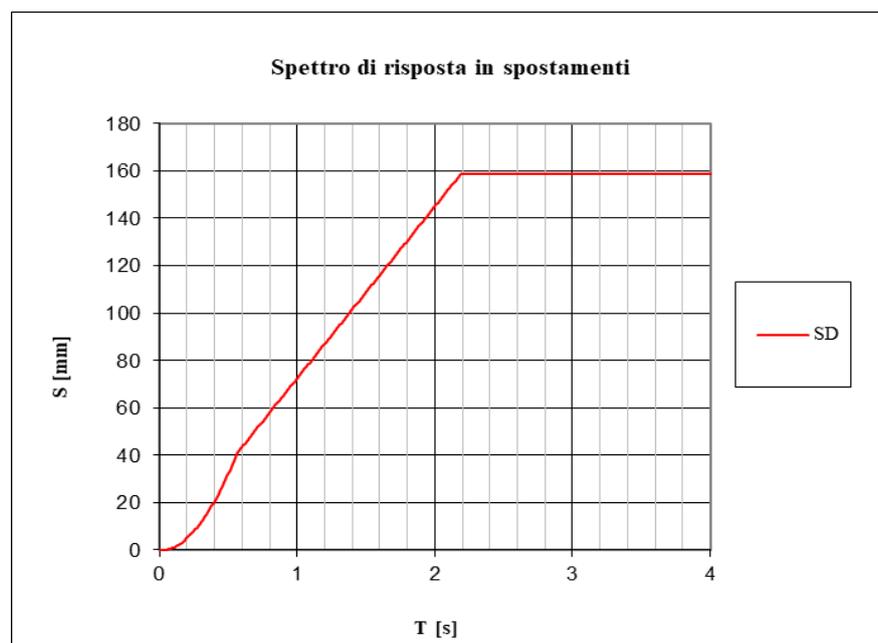
I grafici seguenti rappresentano l'azione sismica orizzontale di progetto attesa con periodo di ritorno  $T_r=475$  anni.

**VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394**  
**Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di  
calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 01 00 002	A	23 di 104



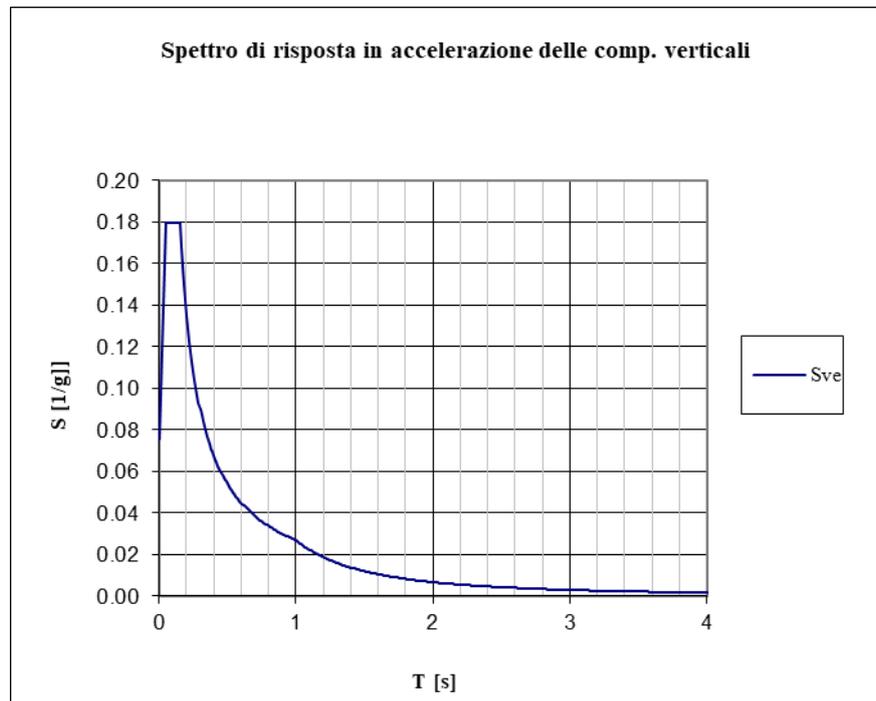
**Figura 10: Spettro accelerazioni orizzontali**



**Figura 11: Spettro spostamenti orizzontali**

**VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394**  
**Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di  
calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 01 00 002	A	24 di 104



**Figura 12: Spettro accelerazioni verticali**

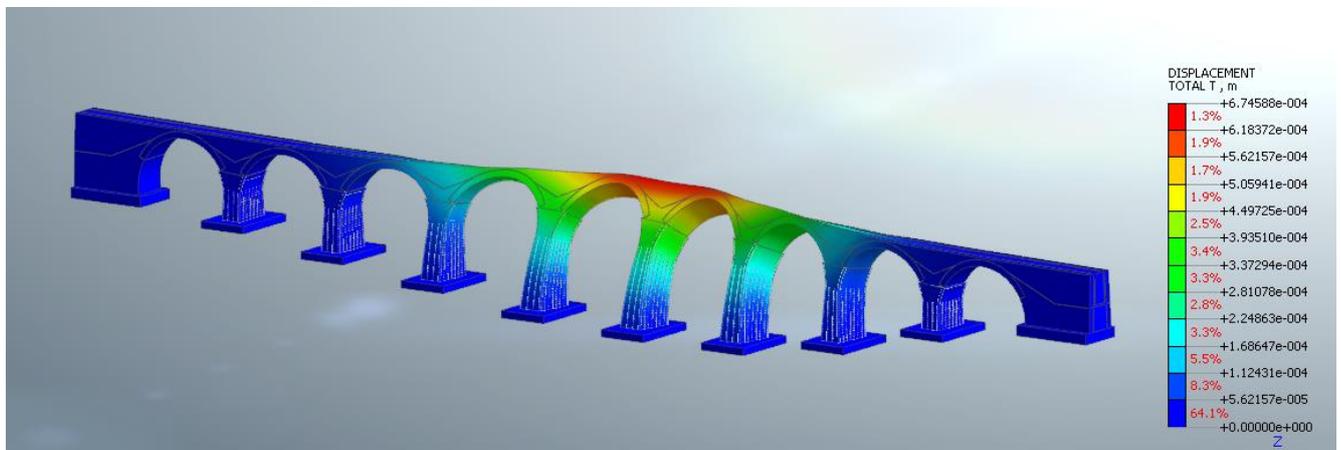
**VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394**  
**Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di  
calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 01 00 002	A	25 di 104

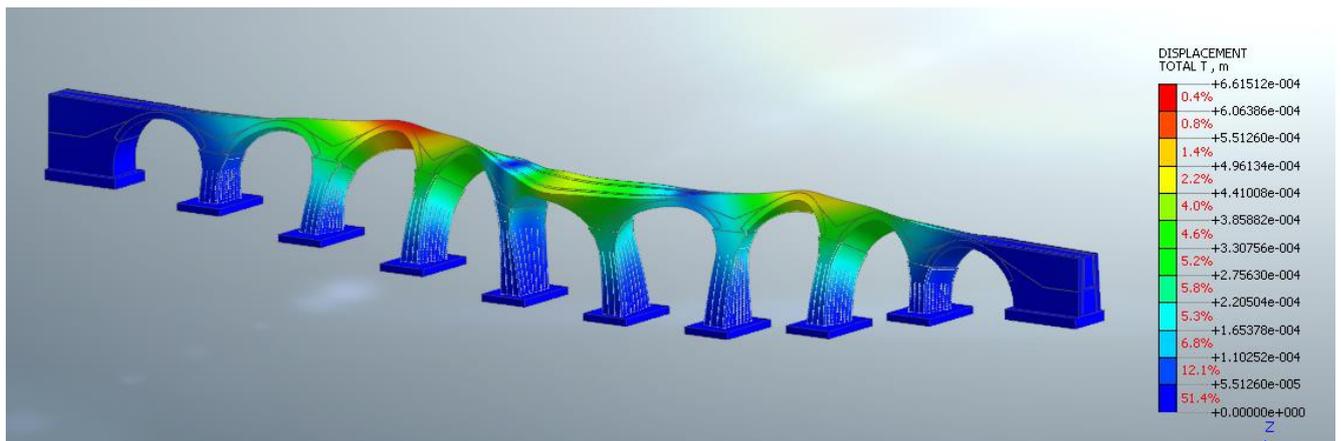
## 6 ANALISI MODALE

Preliminarmente all'analisi sismica, il modello di calcolo è stato sottoposto ad un'analisi modale onde ricavare utili informazioni circa il comportamento dinamico dell'opera in campo elastico-lineare.

Le immagini seguenti riportano le principali deformate modali dell'opera.



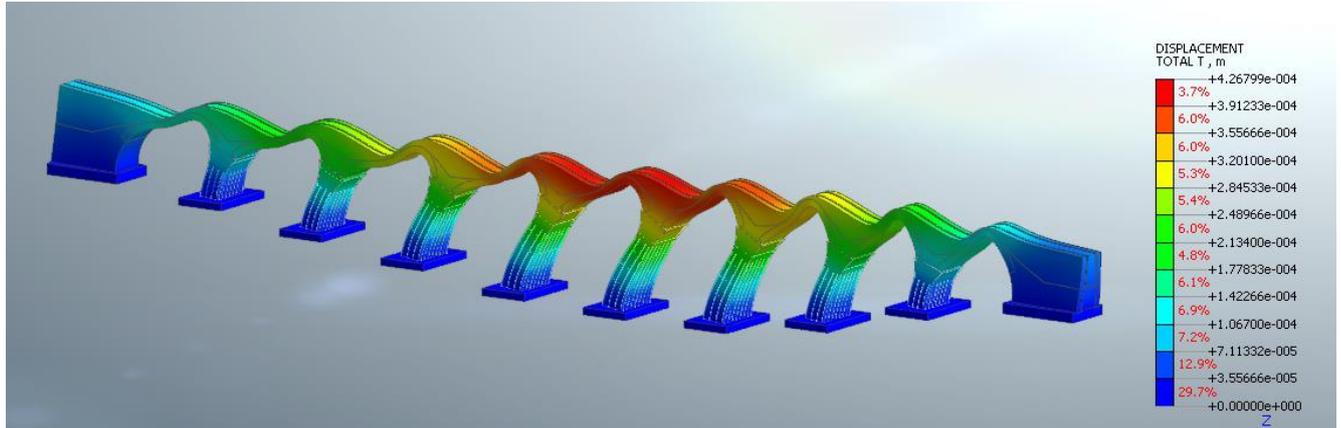
**Figura 13: 1° Modo di vibrare – modo fondamentale in direzione trasversale**



**Figura 14: 4° Modo di vibrare - secondo modo in direzione trasversale**

**VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394**  
**Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di  
calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 01 00 002	A	26 di 104



**Figura 15: 3° Modo di vibrare – modo fondamentale in direzione longitudinale**

No.	Period (s)	Massa X	Massa Y	Massa Z
1	2.93E-01	0.00%	29.60%	0.00%
2	2.60E-01	0.00%	0.17%	0.00%
3	2.31E-01	59.84%	0.00%	0.00%
4	2.29E-01	0.00%	13.94%	0.00%
5	2.03E-01	0.00%	0.23%	0.00%
6	1.81E-01	0.00%	14.32%	0.00%
7	1.78E-01	0.00%	3.15%	0.00%
8	1.62E-01	0.00%	0.40%	0.00%
9	1.51E-01	0.22%	0.00%	0.00%
10	1.46E-01	0.00%	4.34%	0.00%
11	1.37E-01	0.00%	4.88%	0.00%
12	1.31E-01	0.00%	0.33%	0.00%
13	1.21E-01	0.00%	0.07%	0.00%
14	1.17E-01	7.51%	0.00%	0.00%
15	1.11E-01	0.19%	0.00%	0.00%
16	1.03E-01	0.33%	0.00%	0.00%
17	1.03E-01	0.00%	0.01%	0.00%
18	9.89E-02	0.84%	0.00%	0.01%
19	9.12E-02	0.00%	0.00%	0.00%
20	8.74E-02	0.20%	0.00%	0.01%



RIPRISTINO LINEA CALTAGIRONE-GELA  
MIGLIORAMENTI STRUTTURALI PER CONSEGUIRE  
L'ADEGUAMENTO SISMICO DEI VIADOTTI  
LOTTO 2: NISCEMI - GELA

VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394  
Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di  
calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 01 00 002	A	27 di 104

## 7 ANALISI SISMICA

Lo studio della risposta sismica del viadotto è stato condotto attraverso il metodo della Analisi Statica Non Lineare, altrimenti conosciuta come analisi di Push-Over. Il metodo prevede l'applicazione incrementale di un prefissato profilo di forzanti statiche fino al raggiungimento della capacità ultima dell'opera. Essendo la risposta alle azioni orizzontali influenzata dalle presollecitazioni della struttura, la forzante orizzontale viene fatta agire successivamente all'applicazione dei carichi gravitazionali.

A tale scopo si è fatto uso della funzione *construction stages*, che permette la combinazione degli effetti dell'applicazione di specifici carichi su modelli parziali dell'opera.

Fase	Modello	Carichi
1	Strutture esistente (ad eccezione del riempimento)	Pesi propri
2	Struttura esistente + Interventi + Riempimento (Struttura completa)	Pesi propri degli interventi + pesi permanenti portati
3	Struttura completa	Azione sismica

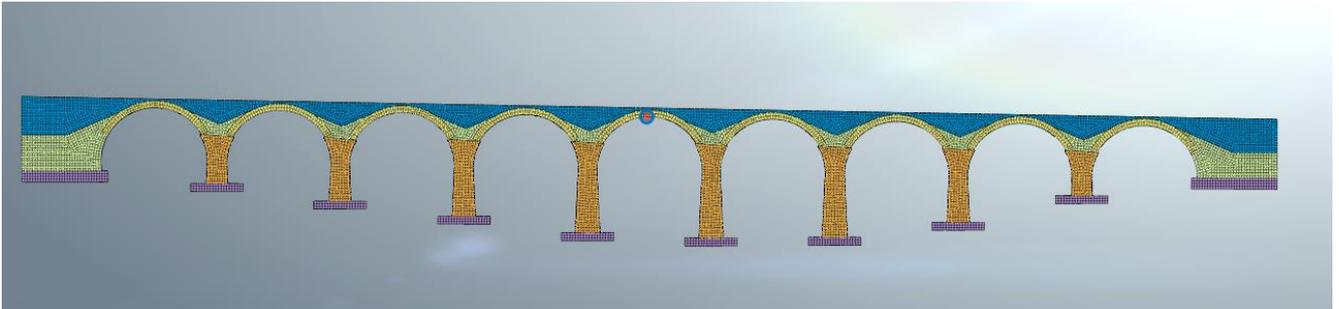
Sono stati presi in considerazione 4 profili di forze orizzontali, due per ciascuna direzione principale di applicazione del sisma (longitudinale, X, e trasversale Y):

- Gruppo 1: profilo di forze proporzionali al modo fondamentale nella direzione considerata;
- Gruppo 2: profilo di forze proporzionali alle masse.

Pertanto, sono state condotte quattro analisi distinte, così denominate:

- 1) SISMA X – GRUPPO 1 (FX-GR1)
- 2) SISMA X – GRUPPO 2 (FX-GR2)
- 3) SISMA Y – GRUPPO 1 (FY-GR1)
- 4) SISMA Y – GRUPPO 2 (FY-GR2)

Ciascuna analisi permette di costruire la curva di capacità della struttura, la quale descrive l'andamento dello spostamento di un punto di controllo in funzione del carico applicato. Generalmente come punto di controllo viene assunto il punto sulla struttura che presenta i maggiori spostamenti. Nel caso in esame il punto di controllo è posizionato sulla chiave dell'arco tra pila 4 e pila 5.



La verifica sismica del ponte viene condotta secondo le modalità indicate al § C7.3.4.2 della circolare n.7/2019.

In sintesi il metodo prevede la trasformazione della risposta strutturale del sistema globale in quella di un sistema equivalente ad un grado di libertà, attraverso degli opportuni coefficienti quali il fattore di partecipazione e la massa partecipante mutuati dalla analisi modale della struttura.

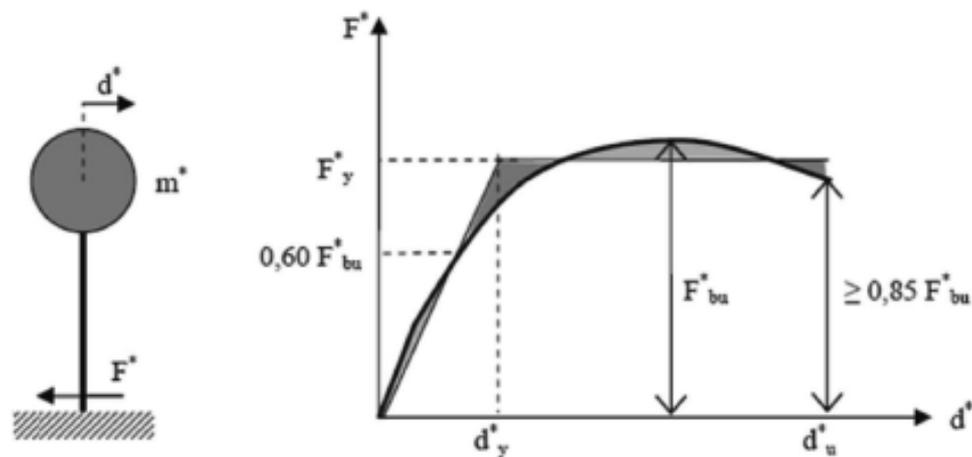


Figura C7.3.1 – Sistema e diagramma bilineare equivalente

Infine, il metodo di verifica sismica si risolve nell'individuazione del Performance Point della struttura vale a dire la coincidenza in termini di spostamento tra la **domanda** sismica e la **capacità** della struttura.

In particolare, fornendo la normativa due distinti metodi per raggiungere tale obiettivo, si specifica che nel caso in esame si è fatto riferimento al **metodo B**, che si basa sulla individuazione di uno spettro di capacità (Capacity Spectrum Method, CSM), in funzione dell'energia dissipata dalla struttura.

**VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394**  
**Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di  
calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 01 00 002	A	29 di 104

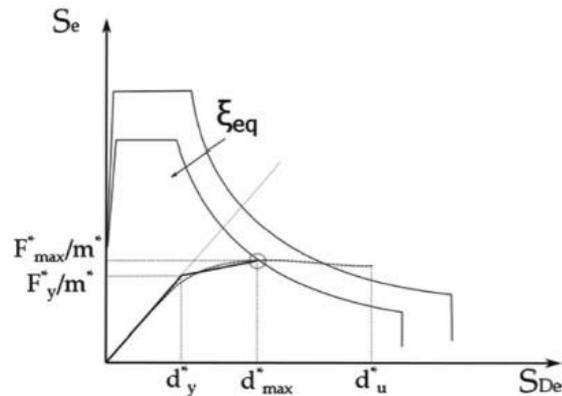


Figura C7.3.A– Individuazione del Punto di prestazione

Detto smorzamento assume un ruolo fondamentale nell'individuazione della capacità sismica della struttura. esso viene calcolato tramite la formula seguente:

$$\xi_{eq}^{(1)} = k \frac{63.7(F_y^{*(0)} d_{max}^{*(0)} - F_{max}^{*(0)} d_y^{*(0)})}{F_{max}^{*(0)} d_{max}^{*(0)}} + 5 \quad [C7.3.10]$$

dove i termini asteriscati rappresentano i valori di forza e spostamento del sistema ad 1GL, bilinearizzato sulla curva di capacità della struttura secondo criteri di equivalenza energetica. Mentre il parametro k rappresenta un opportuno coefficiente correttivo che tiene conto della natura della costruzione e delle sue capacità dissipative.

Nel caso in esame è stato adottato il valore più conservativo  $k=0.33$  (bassa capacità dissipativa). Inoltre, considerata la natura dell'opera e i materiali della struttura esistente, si è ritenuto opportuno limitare lo smorzamento equivalente a  $\xi_{eq} \leq 10\%$ .

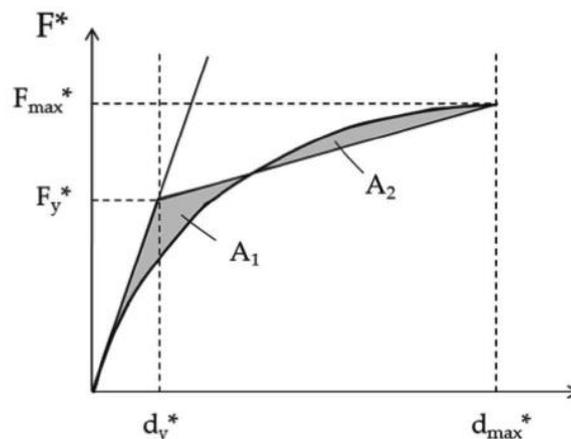
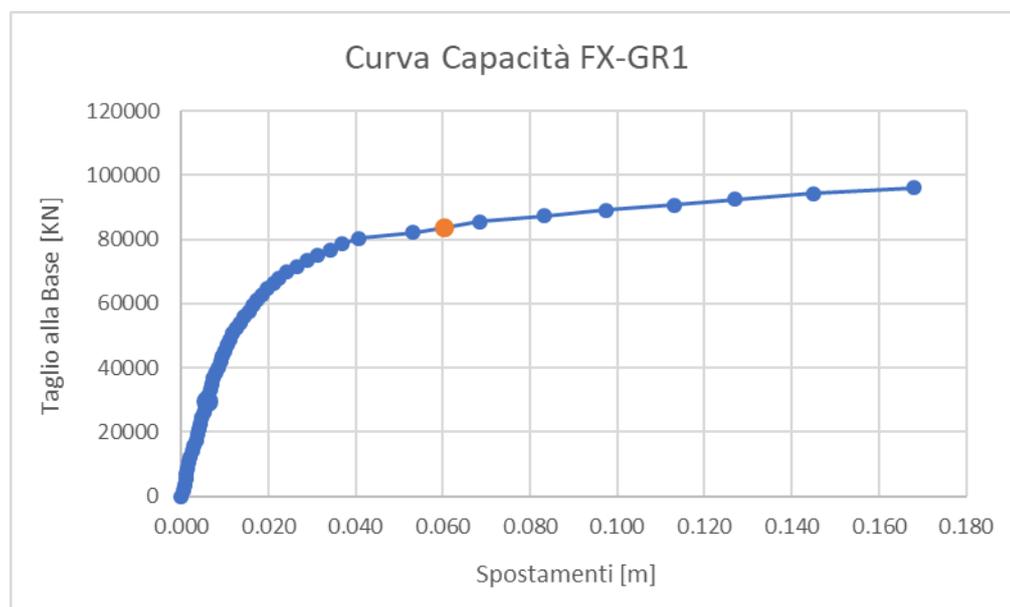


Figura C7.3.3– Bilinearizzazione equivalente

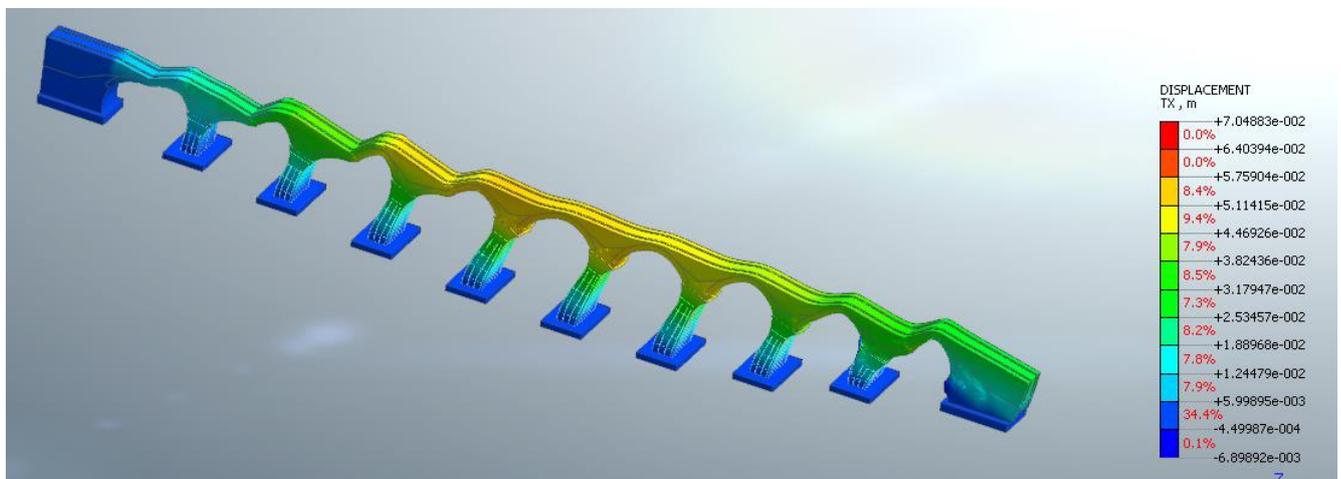
## 7.1 SISMA X - GRUPPO 1

Individuazione dello step di collasso della struttura:

Carichi Orizzontali	48	spost. (m)	Forza (KN)
STOP STEP (L.F. = 1.2)		<b>0.06</b>	<b>85543</b>



**Figura 16: Curva di capacità**



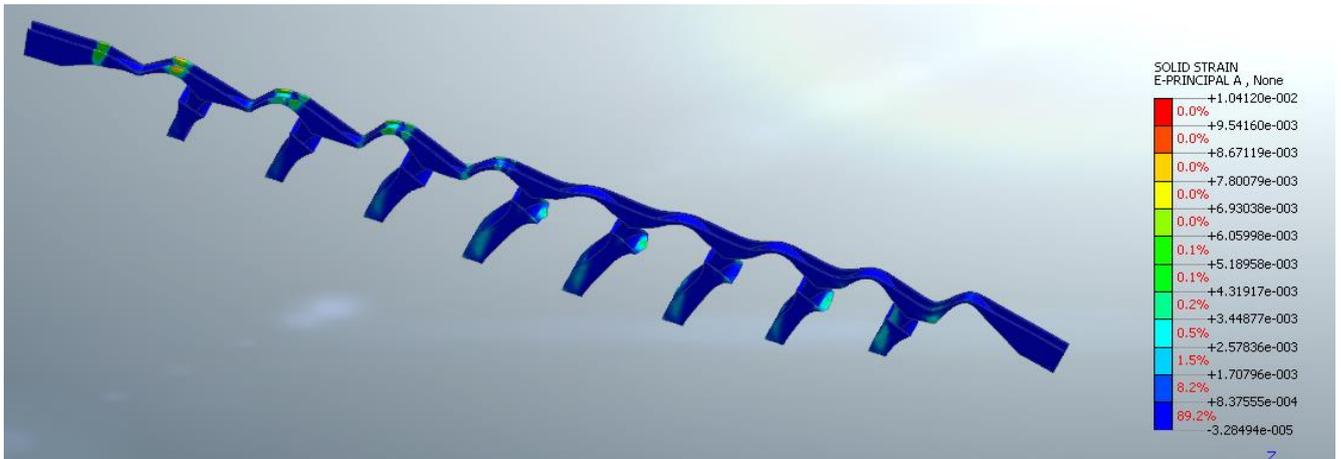
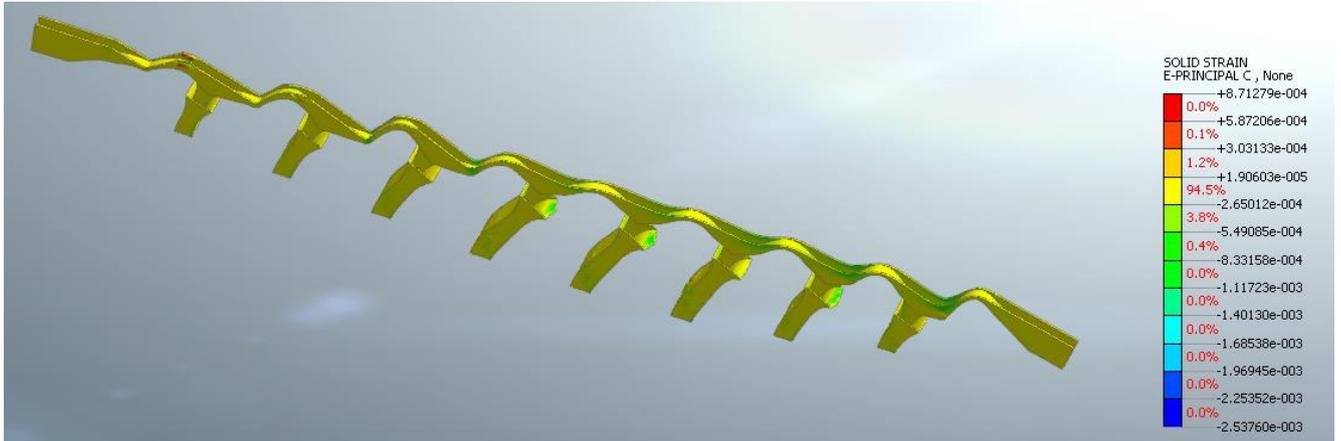
**Figura 17: Mappa cromatica spostamento DX step di collasso**



**RIPRISTINO LINEA CALTAGIRONE-GELA  
MIGLIORAMENTI STRUTTURALI PER CONSEGUIRE  
L'ADEGUAMENTO SISMICO DEI VIADOTTI  
LOTTO 2: NISCEMI - GELA**

**VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394**  
Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione

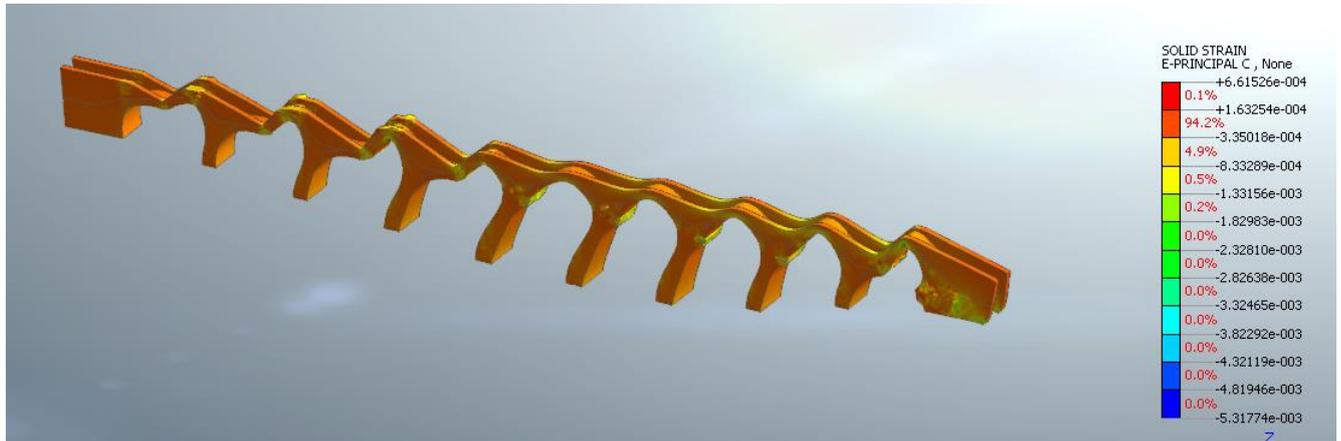
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 01 00 002	A	31 di 104



**Figura 18: Deformazione principali (E3 compressione sopra, E1 trazione sotto) negli elementi in c.a. di rinforzo allo step collasso**

**VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394**  
**Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di  
calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione**

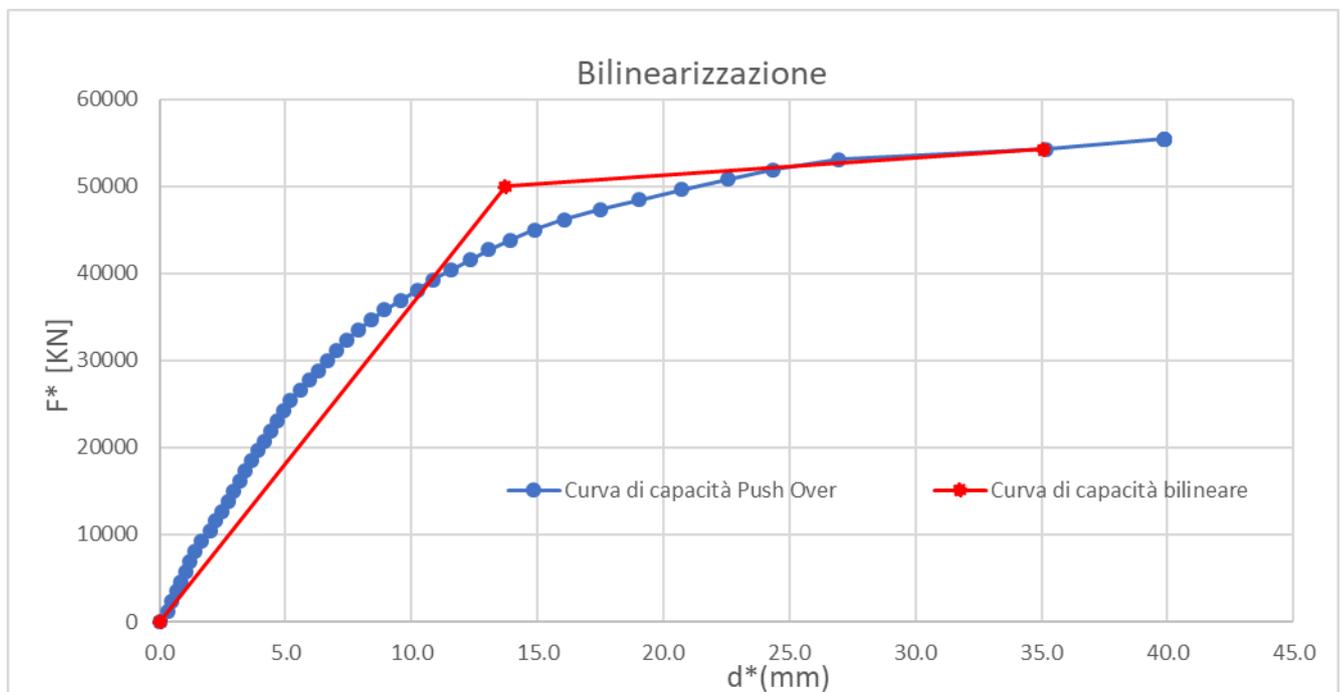
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 01 00 002	A	32 di 104



**Figura 19: Deformazione E3 (principale di compressione) nelle murature allo step di collasso**

Massa partecipante  $m^*=13464$  ton

Fattore di Partecipazione  $\Gamma^*=1.51$



**Figura 20: Bilinearizzazione curva di capacità 1GL.**

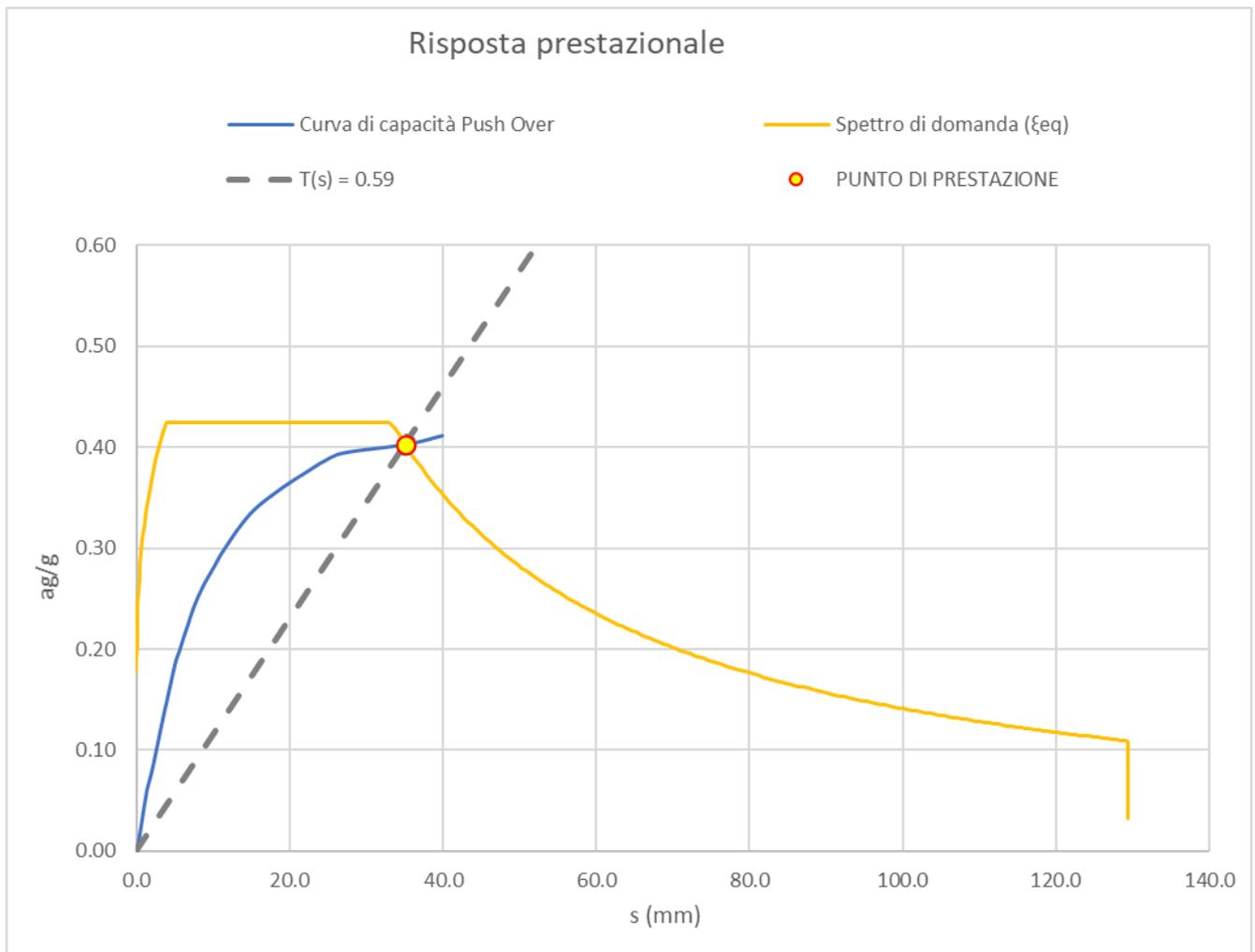
Smorzamento equivalente secondo C7.3.10, Circ.7 del 21/1/2019:

$\xi_{eq}=16.3\%$  -->  $\xi_{eq}=10\%$

**VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394**  
**Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di  
calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 01 00 002	A	33 di 104

Il grafico seguente sintetizza la verifica sismica nel piano accelerazioni/ spostamenti spettrali. La capacità di spostamento dell'opera risulta superiore a quella richiesta dall'azione sismica di progetto allo SLV ( $T_r = 475$  anni).



**Figura 21: Verifica Domanda vs Capacità sul piano spettrale pseudo accelerazioni – pseudo spostamenti.**

<b>d* domanda</b>	<b>0.035</b>	<b>m</b>
<b>d* capacità</b>	<b>0.040</b>	<b>m</b>
<b>fattore sicurezza</b>	<b>1.14</b>	<b>-</b>

**VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394**  
Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 01 00 002	A	34 di 104

## 7.2 SISMA X - GRUPPO 2

Individuazione dello step di collasso della struttura:

STOP STEP	<b>25</b>	<b>0.056</b>	<b>133503</b>
LF: 0.6		<b>spost. (m)</b>	<b>Forza (KN)</b>

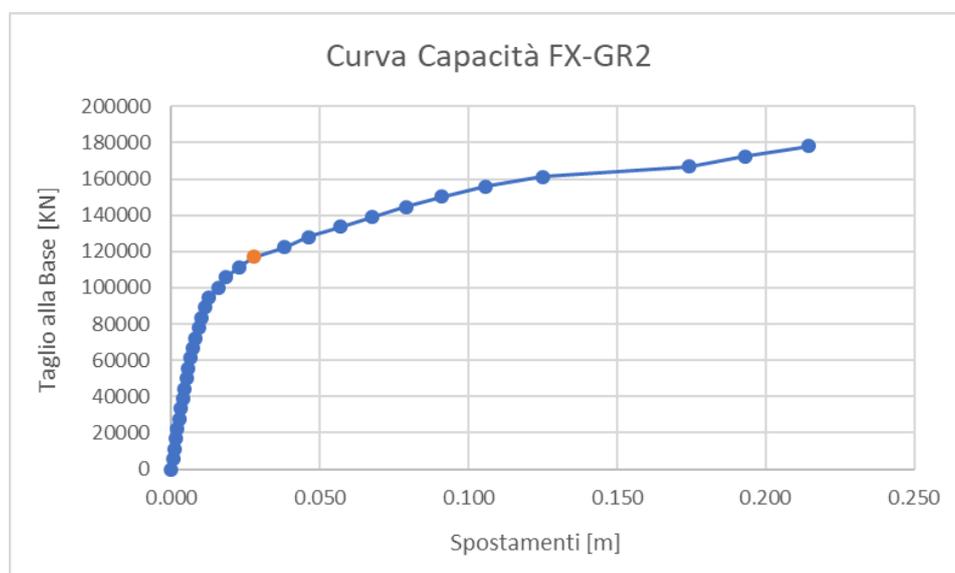


Figura 22: Curva di capacità

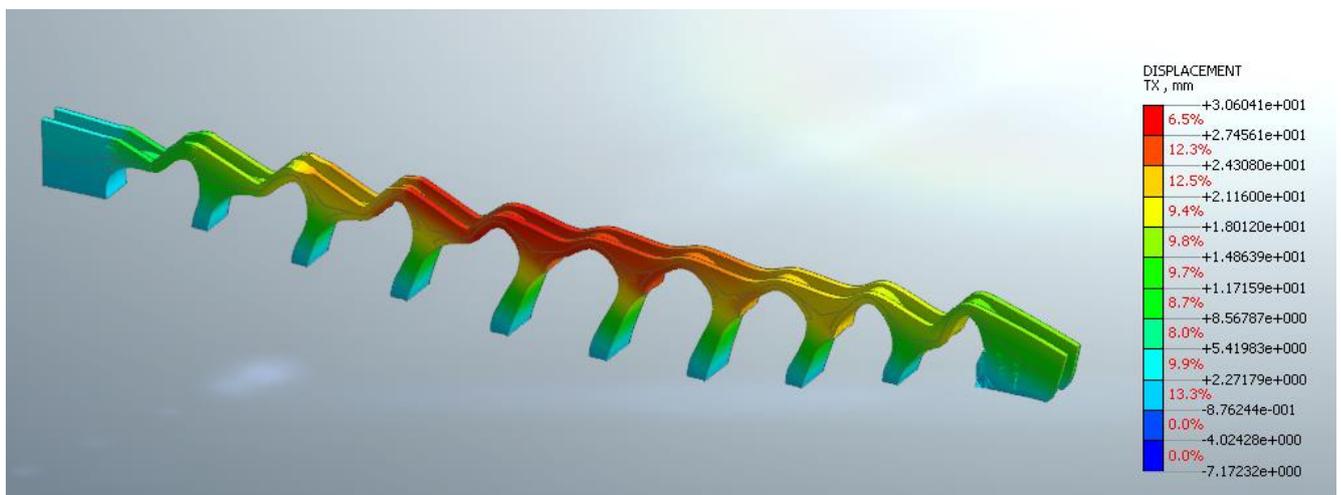
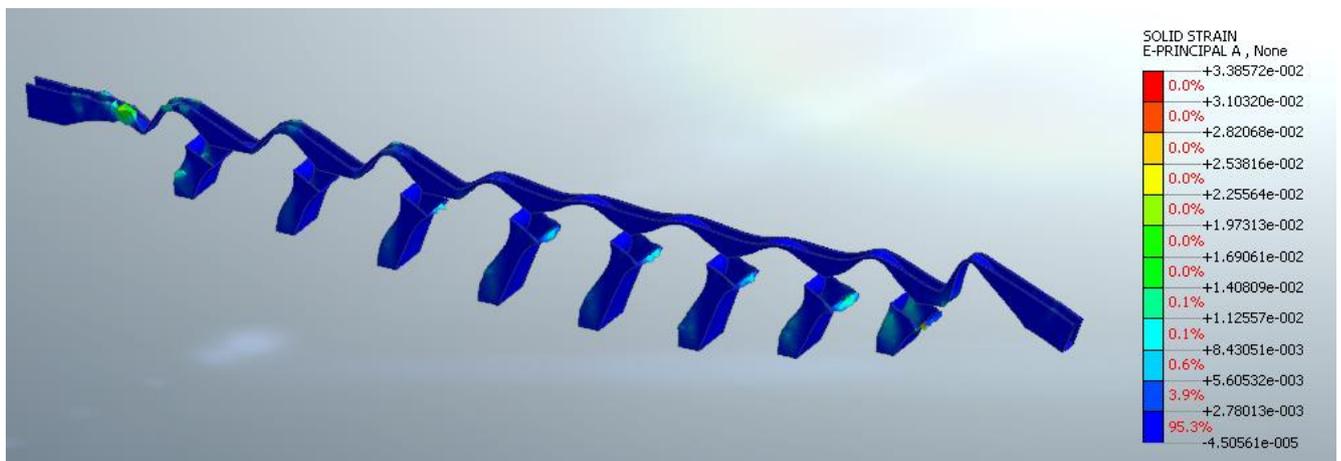
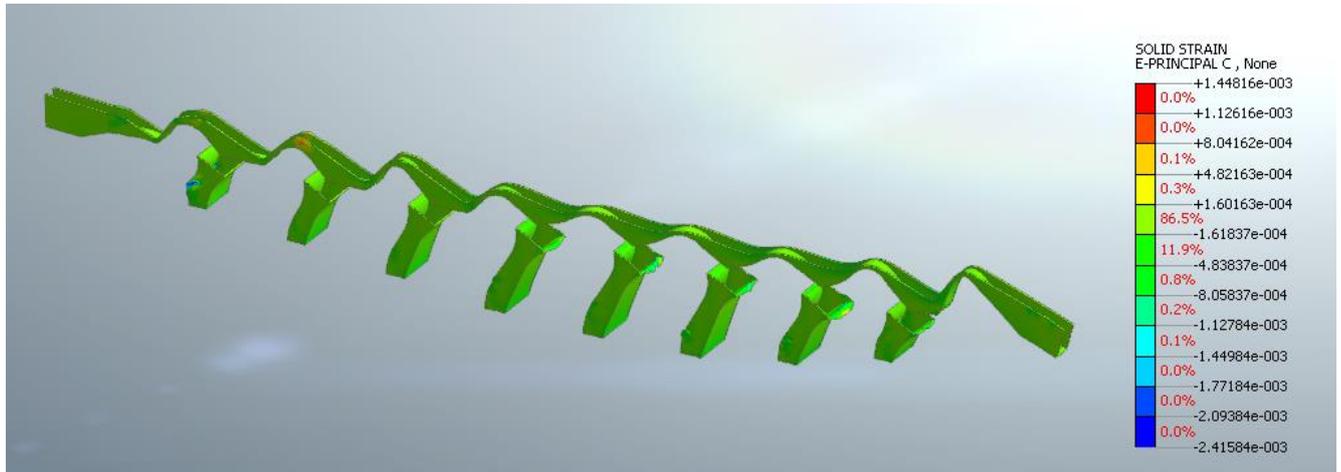


Figura 23: Mappa cromatica spostamento DX step di collasso

**VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394**  
**Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di  
calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione**

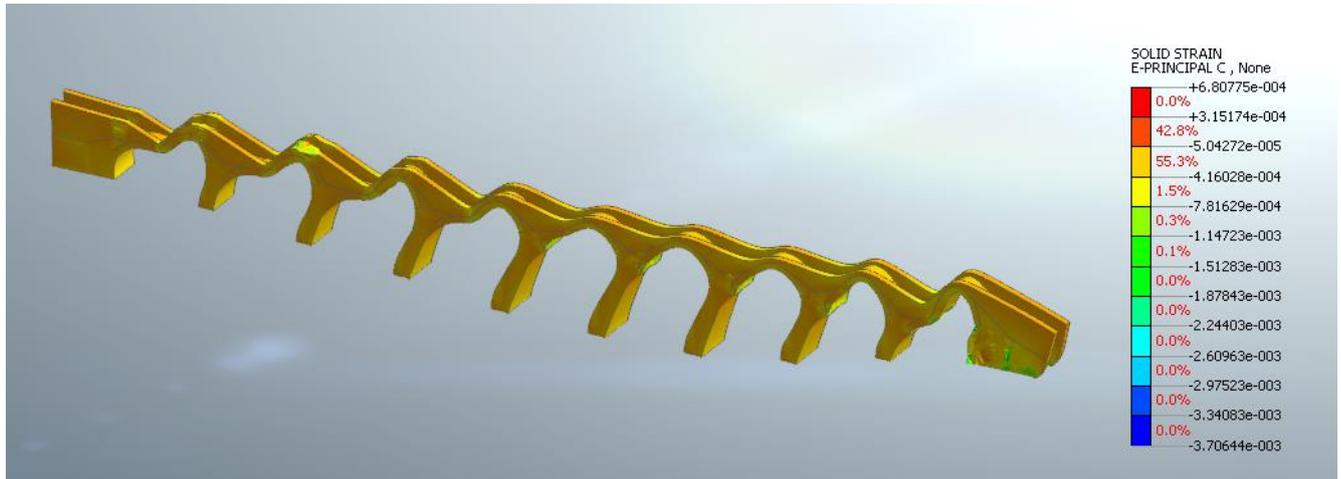
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 01 00 002	A	35 di 104



**Figura 24: Deformazione principali (E3 compressione sopra, E1 trazione sotto) negli elementi in c.a. di rinforzo allo step collasso**

**VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394**  
**Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di  
calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione**

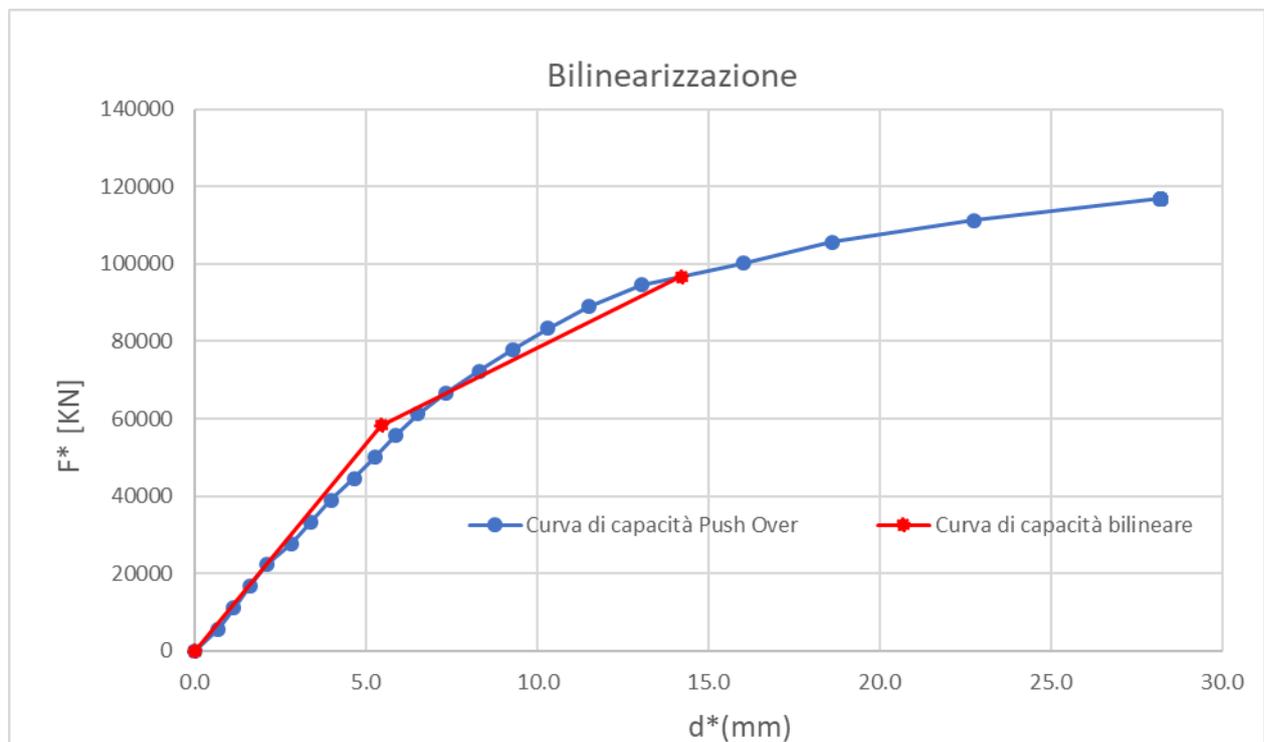
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 01 00 002	A	36 di 104



**Figura 25: Deformazione E3 (principale di compressione) nella muratura allo step di collasso**

Massa partecipante:  $m^* = 9927$  Ton

Fattore di Partecipazione:  $\Gamma^* = 1.0$



**Figura 26: Bilinearizzazione curva di capacità 1GL.**

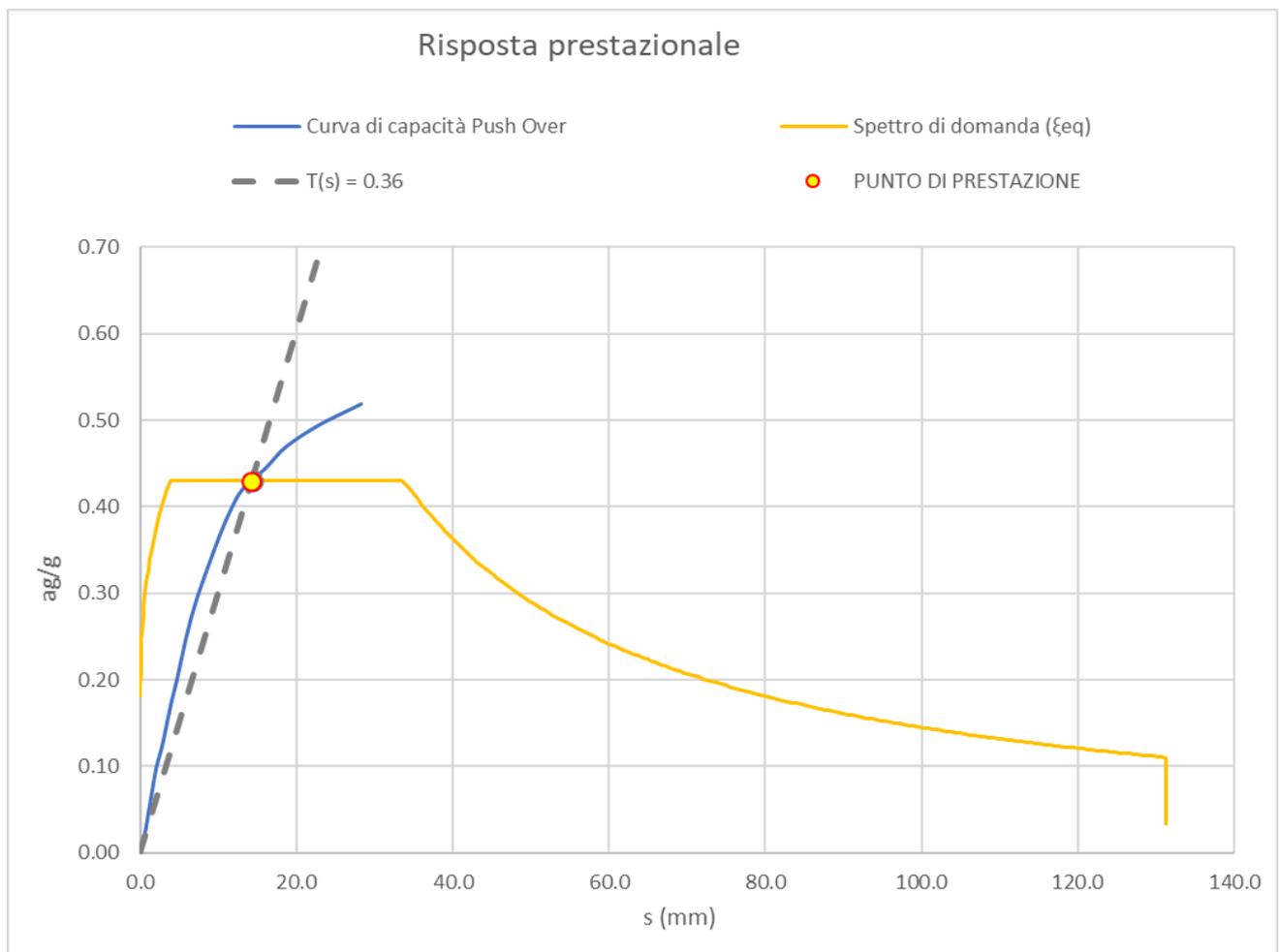
**VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394**  
**Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di  
calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 01 00 002	A	37 di 104

Smorzamento equivalente secondo C7.3.10, Circ.7 del 21/1/2019:

$$\xi_{eq}=10\%$$

Il grafico seguente sintetizza la verifica sismica nel piano accelerazioni/ spostamenti spettrali, si evince che la capacità di spostamento dell'opera risulta superiore a quella richiesta dall'azione sismica di progetto allo SLV (Tr= 475 anni).



**Figura 27: Verifica Domanda vs Capacità sul piano spettrale pseudo accelerazioni – pseudo spostamenti.**

<b>d* domanda</b>	<b>0.016</b>	<b>m</b>
<b>d* capacità</b>	<b>0.028</b>	<b>m</b>
<b>fattore sicurezza (&gt;1)</b>	<b>1.75</b>	<b>-</b>

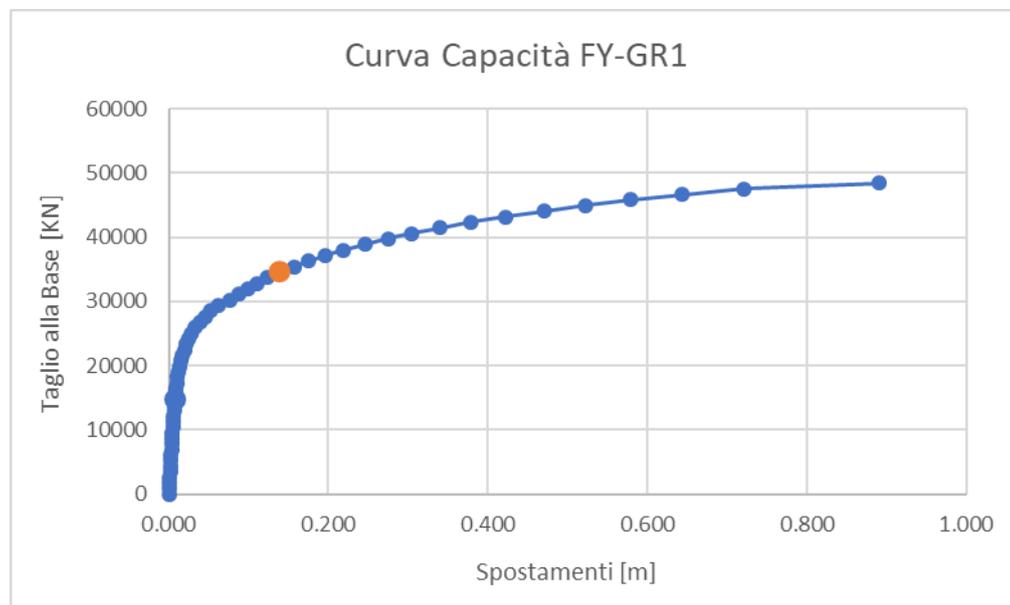
**VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394**  
**Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di  
calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 01 00 002	A	38 di 104

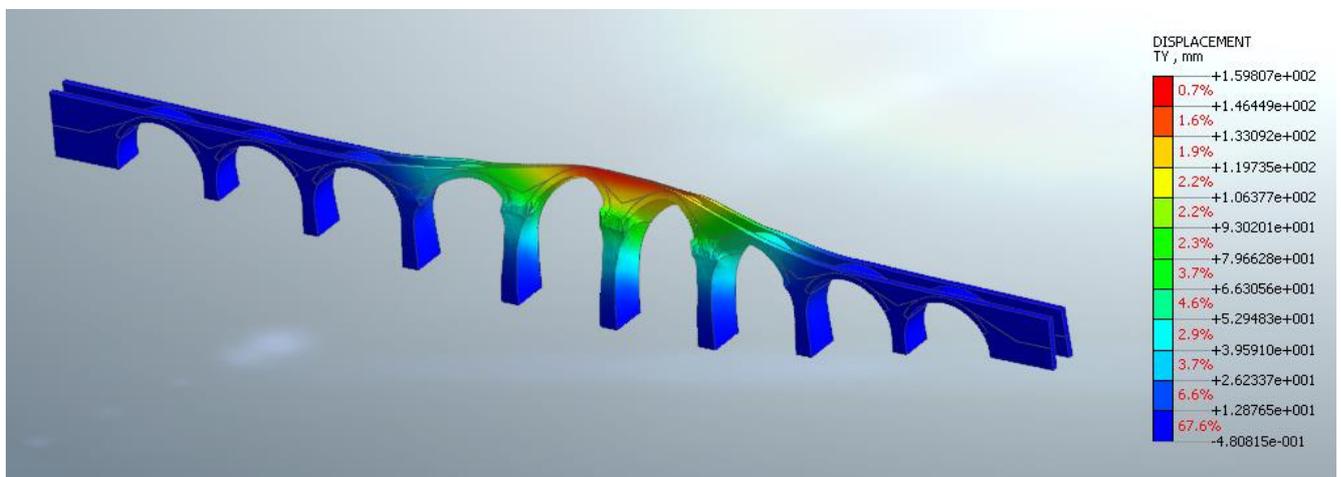
### 7.3 SISMA Y - GRUPPO 1

Individuazione dello step di collasso della struttura:

STOP STEP	<b>41</b>	<b>0.134</b>	<b>34577</b>
(LF : 1.0)		<b>spost. (m)</b>	<b>Forza (KN)</b>



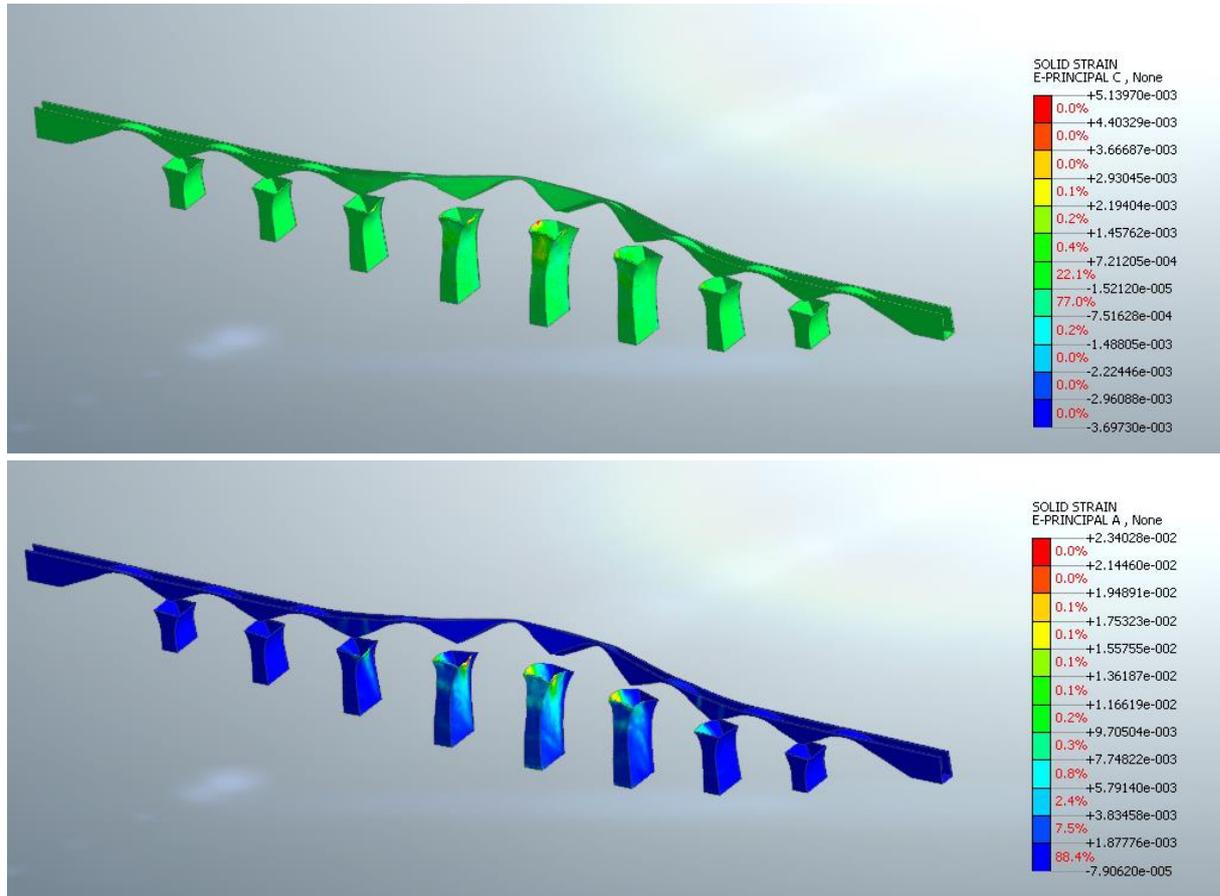
**Figura 28: Curva di capacità**



**Figura 29: Mappa cromatica spostamento DY step di collasso**

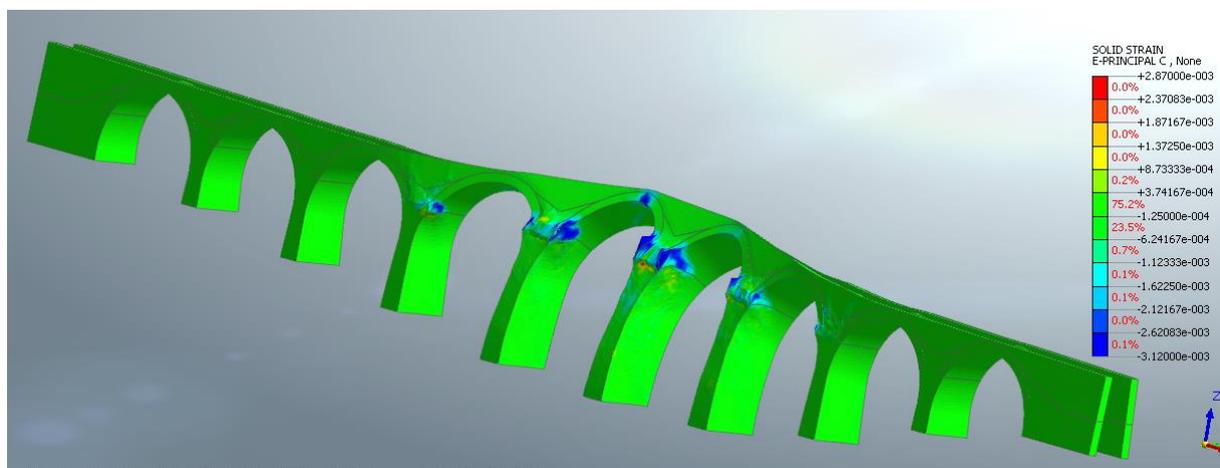
**VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394**  
**Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di  
calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 01 00 002	A	39 di 104



**Figura 30: Deformazione principali (E3 compressione sopra, E1 trazione sotto) negli elementi in c.a. di rinforzo allo step collasso**

Nella figura seguente si mette in evidenza lo step di carico a cui ci si è fermati nell'analisi Push Over.



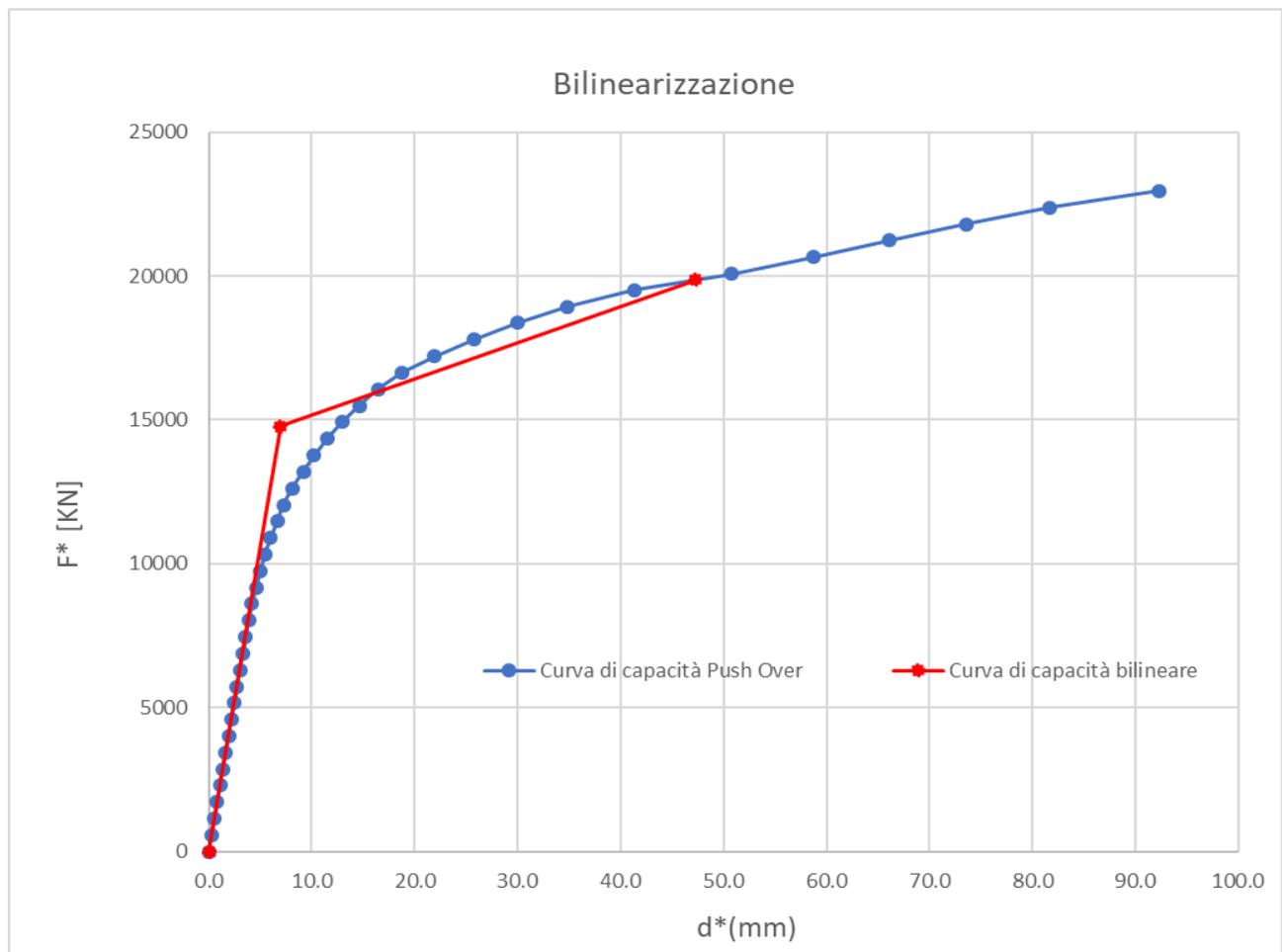
**Figura 31: Deformazione EZ nella muratura allo step di collasso**

**VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394**  
**Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di  
calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 01 00 002	A	40 di 104

Massa partecipante:  $m^* = 6660$  ton

Fattore di Partecipazione:  $\Gamma^* = 1.51$



**Figura 32: Bilinearizzazione curva di capacità 1GL**

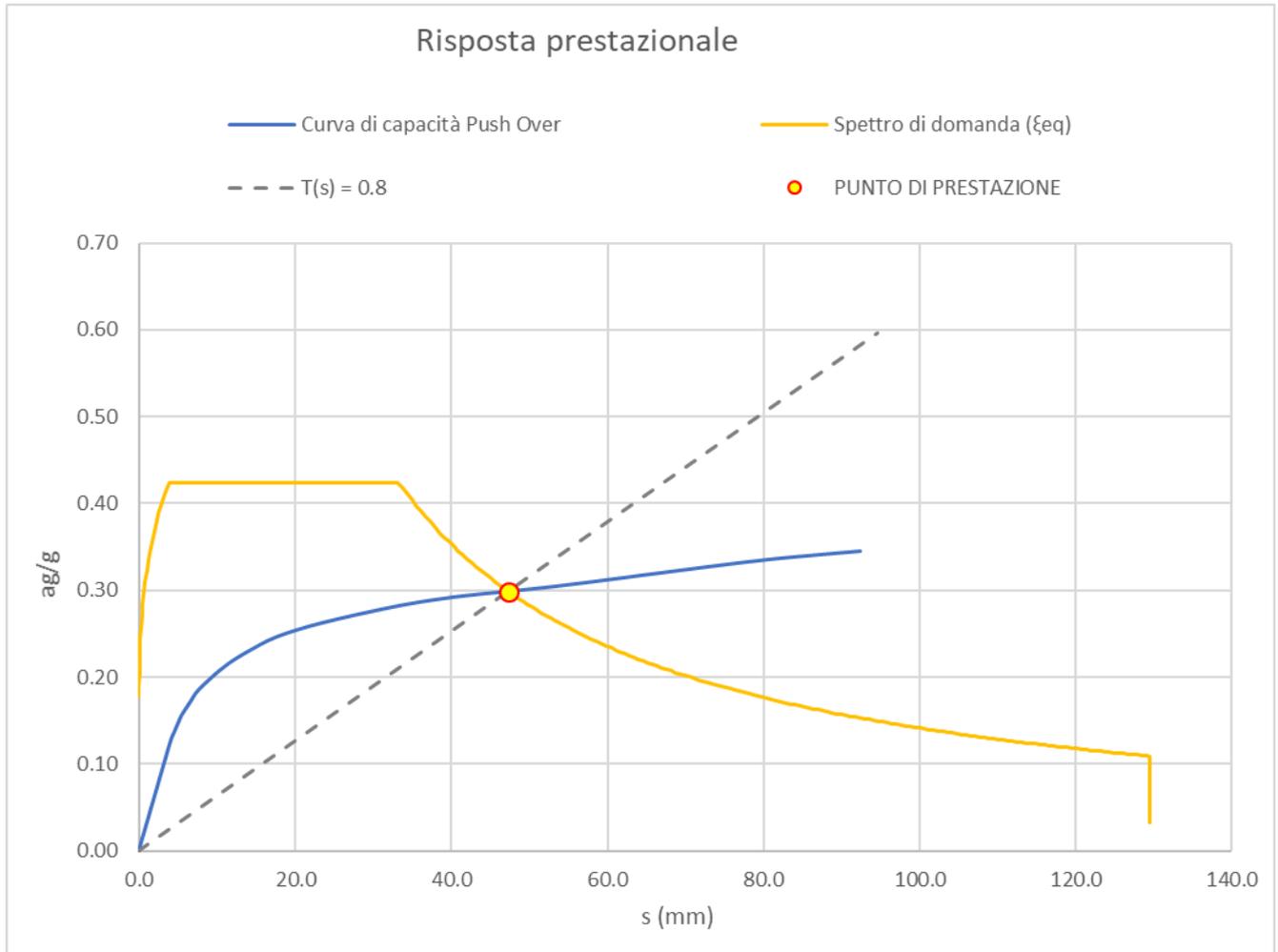
Smorzamento equivalente secondo C7.3.10, Circ.7 del 21/1/2019:

$\xi_{eq} = 10\%$

Il grafico seguente sintetizza la verifica sismica nel piano accelerazioni/ spostamenti spettrali, si evince che la capacità di spostamento dell'opera risulta superiore a quella richiesta dall'azione sismica di progetto allo SLV ( $T_r = 475$  anni).

**VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394**  
**Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di  
calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 01 00 002	A	41 di 104



**Figura 33: Verifica Domanda vs Capacità sul piano spettrale pseudo accelerazioni – pseudo spostamenti.**

<b>d* domanda</b>	<b>0.047</b>	<b>m</b>
<b>d* capacità</b>	<b>0.092</b>	<b>m</b>
<b>fattore sicurezza (&gt;1)</b>	<b>1.95</b>	<b>-</b>

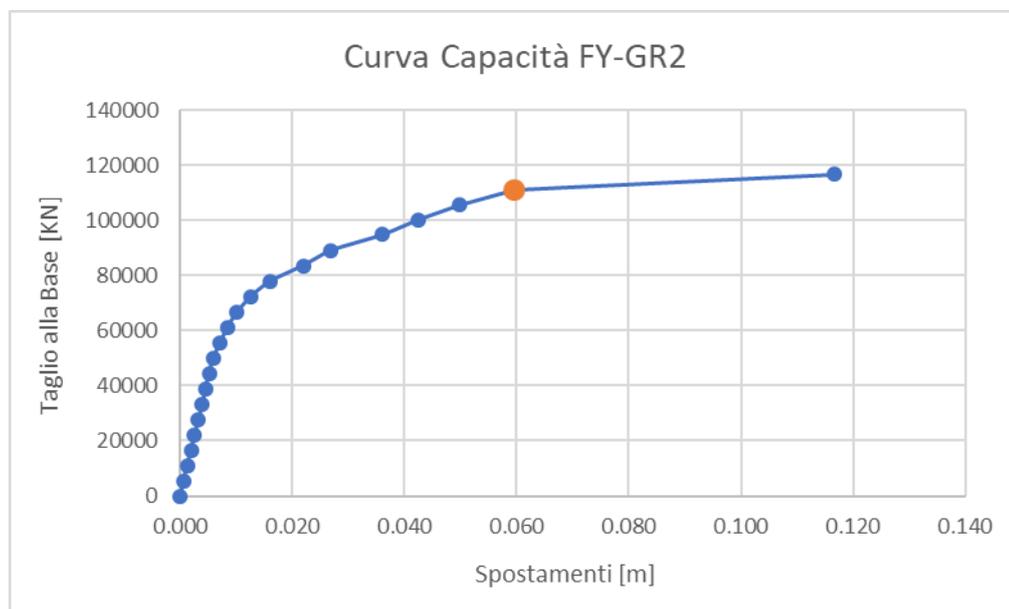
**VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394**  
Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 01 00 002	A	42 di 104

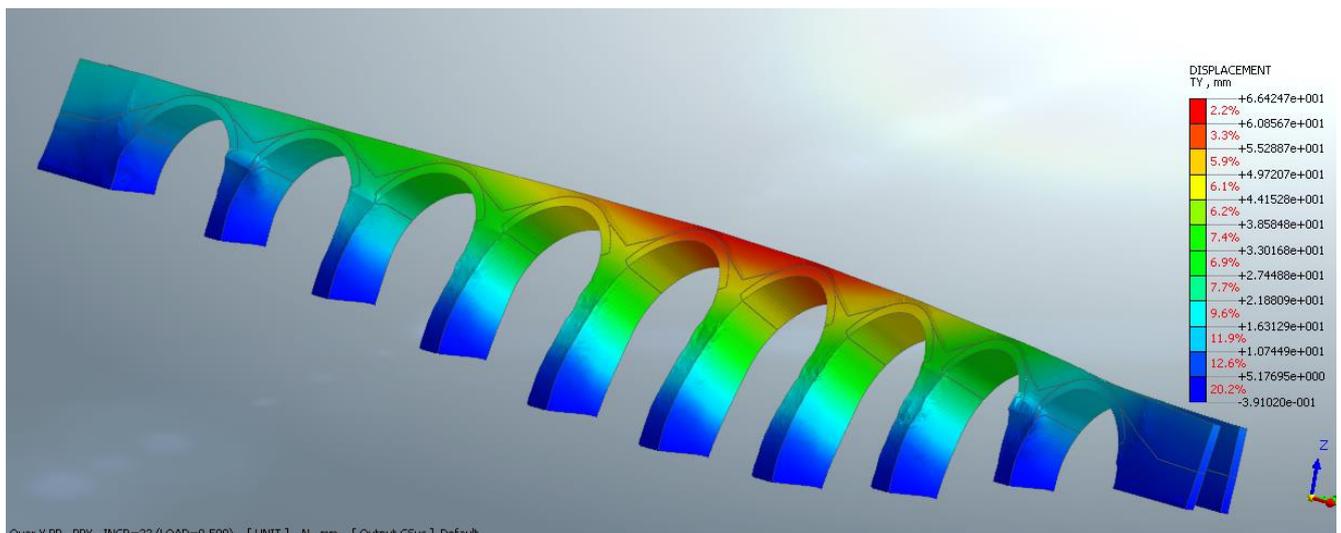
## 7.4 SISMA Y - GRUPPO 2

Individuazione dello step di collasso della struttura:

STOP STEP	<b>36</b>	<b>0.0059</b>	<b>111356</b>
(LF = 0.5)		spost. (m)	Forza (KN)



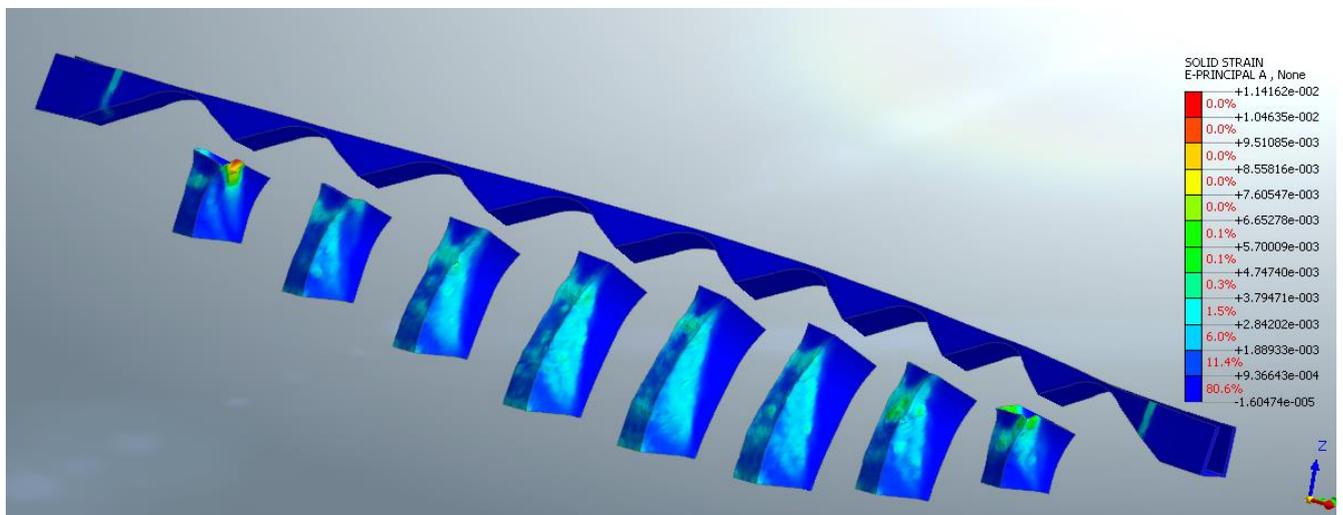
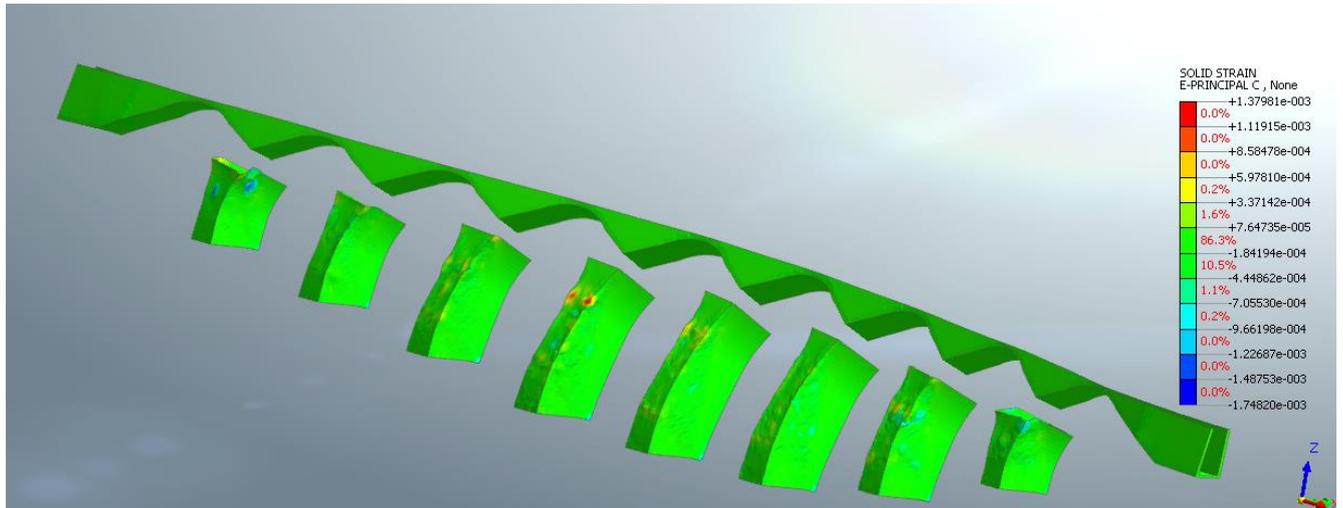
**Figura 34: Curva di capacità**



**Figura 35: Mappa cromatica spostamento DY step di collasso**

**VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394**  
Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione

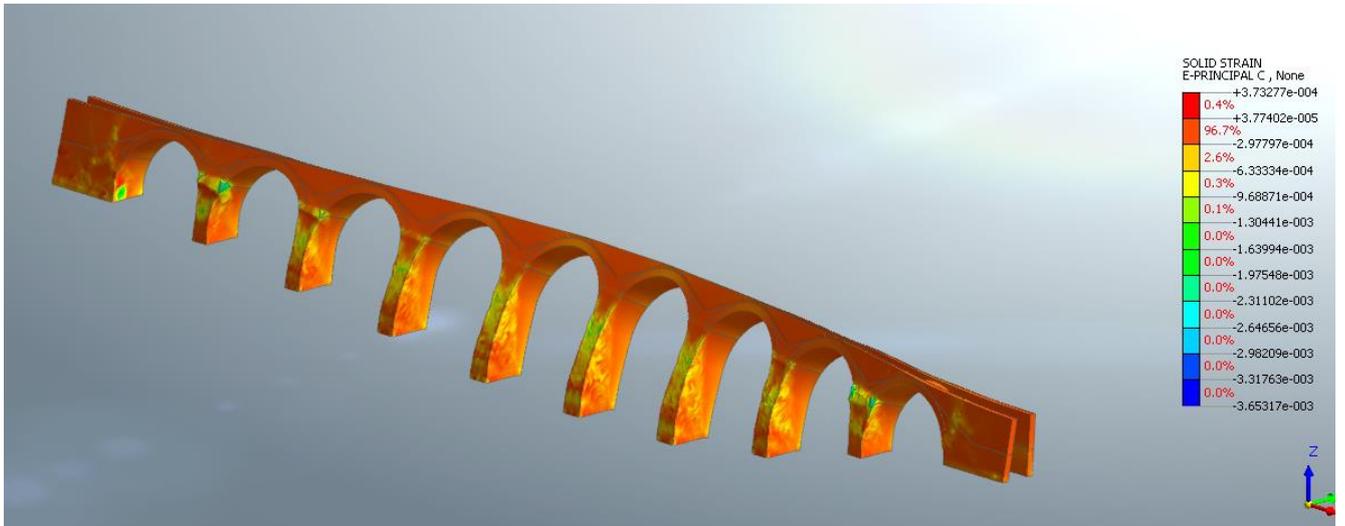
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 01 00 002	A	43 di 104



**Figura 36: Deformazione principali (E3 compressione sopra, E1 trazione sotto) negli elementi in c.a. di rinforzo allo step collasso**

**VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394**  
**Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di  
calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione**

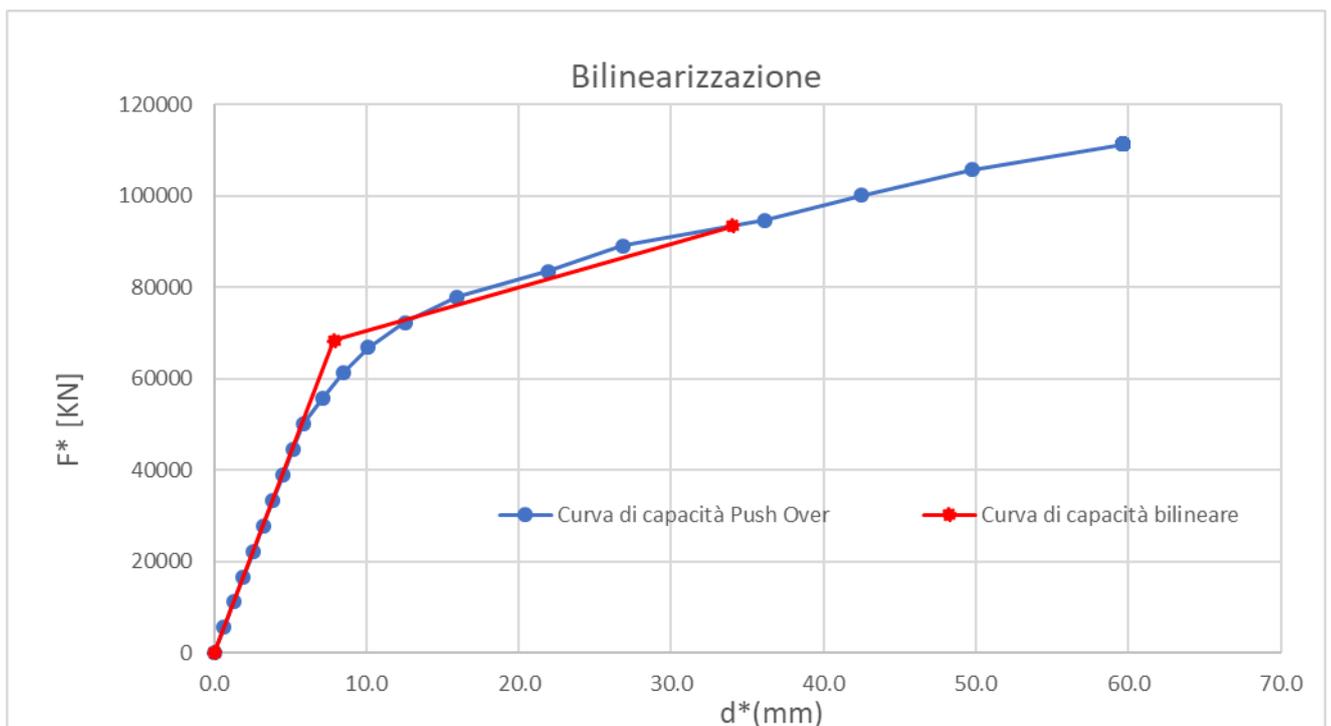
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 01 00 002	A	44 di 104



**Figura 37: Deformazione E3 (principale di compressione) nella muratura allo step di collasso**

Massa partecipante:  $m^*=22500$  ton

Fattore di Partecipazione:  $\Gamma^*= 1.0$



**Figura 38: Bilinearizzazione curva di capacità 1GL**

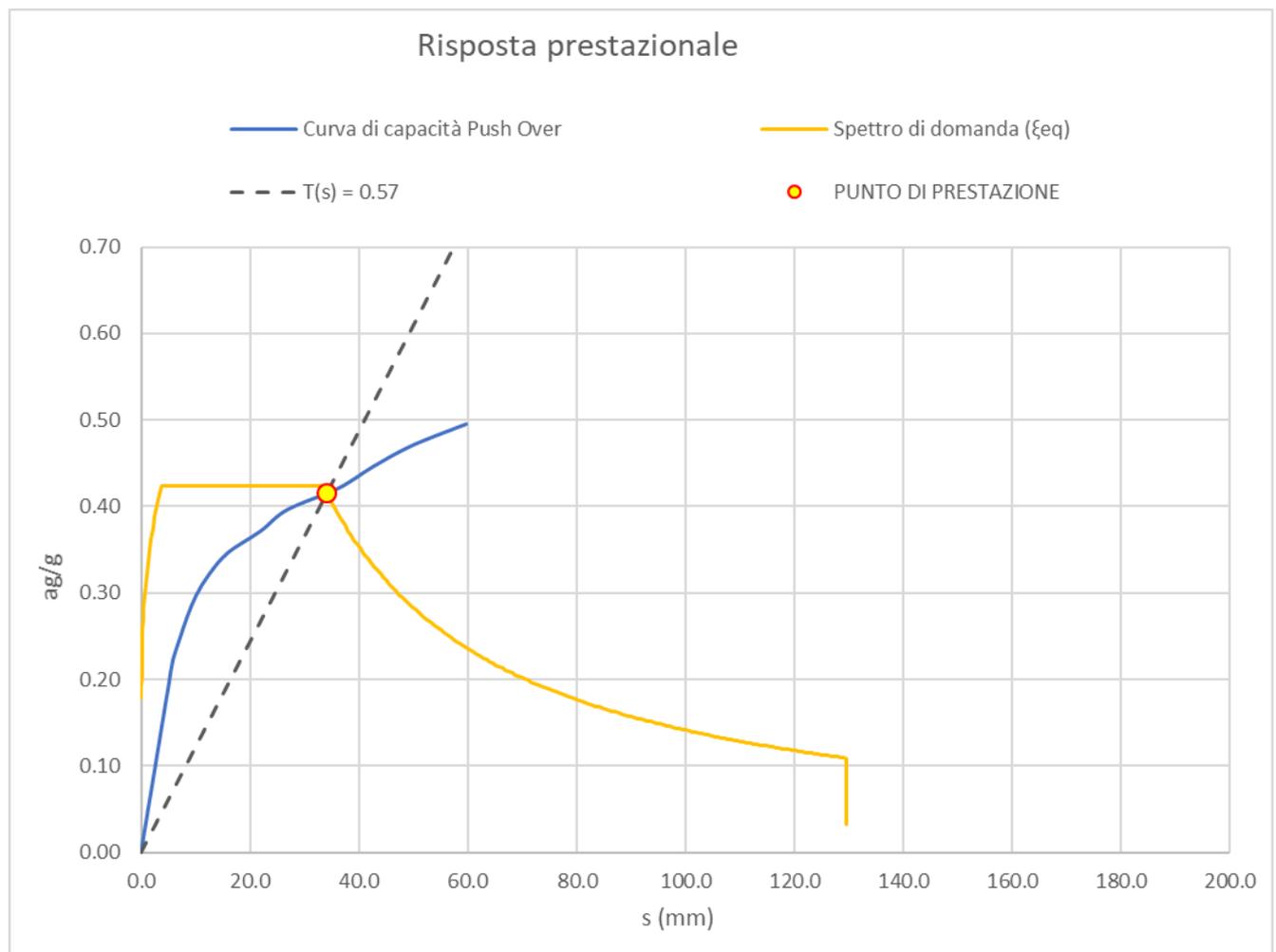
**VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394**  
**Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di  
 calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 01 00 002	A	45 di 104

Smorzamento equivalente secondo C7.3.10, Circ.7 del 21/1/2019:

 $\xi_{eq}=19\% \rightarrow \xi_{eq}=10\%$ 

Il grafico seguente sintetizza la verifica sismica nel piano accelerazioni/ spostamenti spettrali, si evince che la capacità di spostamento dell'opera risulta superiore a quella richiesta dall'azione sismica di progetto allo SLV (Tr= 475 anni).


**Figura 39: Verifica Domanda vs Capacità sul piano spettrale pseudo accelerazioni – pseudo spostamenti.**

<b>d* domanda</b>	<b>0.003</b>	<b>m</b>
<b>d* capacità</b>	<b>0.006</b>	<b>m</b>
<b>fattore sicurezza</b>	<b>1.73</b>	<b>-</b>



**RIPRISTINO LINEA CALTAGIRONE-GELA  
MIGLIORAMENTI STRUTTURALI PER CONSEGUIRE  
L'ADEGUAMENTO SISMICO DEI VIADOTTI  
LOTTO 2: NISCEMI - GELA**

**VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394**  
**Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di  
calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 01 00 002	A	46 di 104

## 7.5 SINTESI DEI RISULTATI

La tabella seguente riporta in formato sintetico i risultati dell'analisi globale dell'opera rapportata all'azione sismica di progetto allo SLV ( $T_r = 475$  anni).

Il fattore di sicurezza FS rappresenta il rapporto tra lo spostamento richiesto alla struttura dal sisma di progetto (*domanda*) e lo spostamento limite della struttura (*capacità*).

	<i>D*domanda</i>	<i>D*capacità</i>	<i>FS</i>
FX-GR1	0.035	0.040	1.14
FX-GR2	0.016	0.028	1.59
FY-GR1	0.047	0.092	1.96
FY-GR2	0.003	0.006	1.25
		<b>MIN FS</b>	<b>1.14</b>

**VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394**  
**Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di  
 calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 01 00 002	A	47 di 104

## 8 VERIFICA DELL'INTERVENTO DI RINFORZO DEGLI ARCHI

L'analisi delle sollecitazioni in condizioni non sismiche dell'opera è stata condotta a partire dal modello globale descritto in precedenza disattivando le non linearità di materiale. In altre parole per i carichi non sismici, si assume che l'opera reagisca con un comportamento elastico lineare.

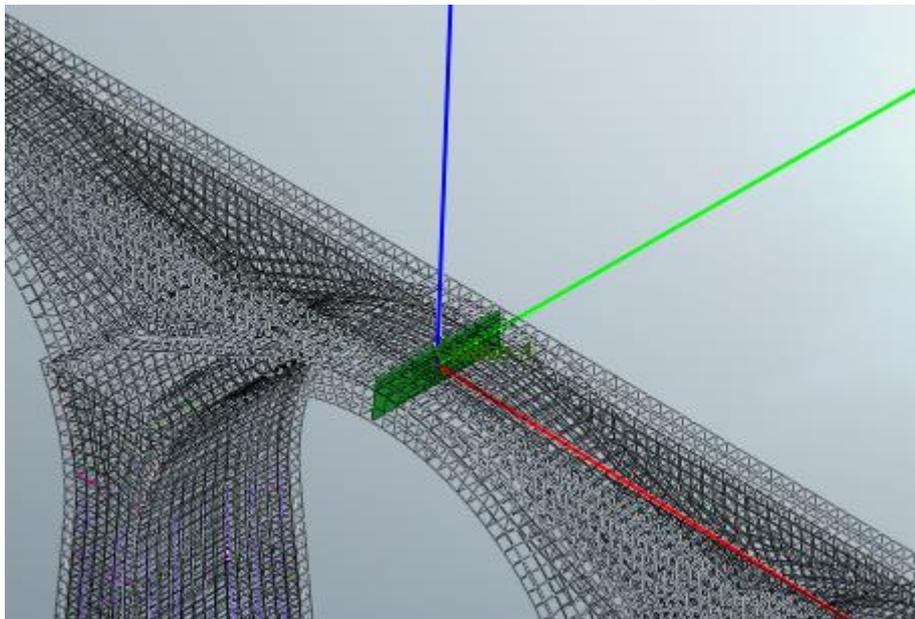
Ai fini dell'applicazione del carico da traffico ferroviario, il quale è stato considerato agente nel modello in maniera uniformemente distribuita, sono state caricate le campate in modo da massimizzare gli effetti nella sezione di verifica.

Le analisi sismiche, invece, sono state condotte mediante modelli non lineari, applicando una sequenza costruttiva che prevede prima l'applicazione di carichi verticali e successivamente quelli sismici.

### 8.1 SOLLECITAZIONI ELEMENTARI

Le sollecitazioni elementari sono state ottenute dal modello mediante l'integrazione su un prefissato piano di taglio (sezione) delle forze nodali associate ai vari elementi tridimensionali che costituiscono il modello di calcolo.

Il piano di taglio è stato individuato in corrispondenza della chiave dell'arcata in quanto la sezione dell'intervento di rinforzo ha altezza minima (70 cm).



**Figura 40: Sezione di integrazione delle forze nodali (Assi di riferimento: rosso=X, verde=Y, blu=Z)**

Il piano di taglio è stato quindi effettuato su tutta la sezione, comprendendo anche la struttura esistente (in questo caso la sezione dell'arco e i timpani). La sezione a cui si farà riferimento per le verifiche strutturali sarà quella composta dalla soletta e dall'arco sottostante. Si precisa che a tale sezione composta è stata assegnata una

**VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394**  
**Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di  
 calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 01 00 002	A	48 di 104

classe di calcestruzzo più scadente, per tenere in conto delle differenze prestazionali tra i calcestruzzi dei due elementi.

Si specifica che per i cedimenti sono state considerati due casi di cedimento delle pile adiacenti alla sezione di verifica, in modo da massimizzare/minimizzare le sollecitazioni generate.

Per le azioni sismiche sono stati riportati i valori per i due gruppi di azioni già citati nell'analisi push over, e la componente verticale SLV Z, andando a considerare l'effettiva accelerazione di sito per sisma verticale.

azioni elementari	N	Vz	Vy	My	Mz
<b>G1</b>	-2124	-76	0	-1001	7
<b>G2</b>	-75	-5	0	-41	0
<b>T1</b>	-407	-29	0	-465	3
<b>T2</b>	-446	-23	0	-466	3
<b>Vento</b>	-11	0	-1	-3	-112
<b>Frenatura</b>	-13	9	0	0	0
<b>Cedimento inf.</b>	-381	703	1	-121	1
<b>Cedimento sup.</b>	-319	-732	-1	14	0
<b>Serpeggio</b>	0	0	-21	0	-45
<b>FX GR1</b>	-18788	1447	6	2918	-314
<b>FX GR2</b>	-10394	1229	0	653	-5
<b>FY GR1</b>	-8210	-239	-903	-539	-17327
<b>FY GR2</b>	-2430	-98	-111	-103	-5780
<b>SLV Z</b>	-161	-6	0	-76	1

## 8.2 COMBINAZIONI DI CARICO

Come già indicato in precedenza in fase statica (non sismica), il modello di calcolo è elastico pertanto vale il principio di sovrapposizione degli effetti, quindi le varie sollecitazioni elementari vengono analizzate separatamente e poi assemblate secondo le varie combinazioni di riferimento.

Le analisi sismiche sono state condotte mediante modelli non lineari, applicando una sequenza costruttiva che prevede prima l'applicazione di carichi verticali poi quelli sismici. Il modello pertanto fornisce risultati complessivi (intesi come tensioni, deformazioni, sollecitazioni, etc.), su cui non è possibile applicare la regola della sovrapposizione degli effetti. Tuttavia ai fini delle verifiche strutturali onde soddisfare le richieste normative in merito di combinazione dei carichi, dell'elemento di rinforzo, si è optato per forzare la regola teorica summenzionata associando i risultati delle analisi sismiche non lineari con gli altri carichi eventualmente previsti dalle combinazioni da normativa e desunti dal modello di calcolo lineare (treni di carico, cedimenti etc.). Tale approccio è certamente conservativo in termini di sollecitazioni agenti sugli elementi strutturali. Diversamente, non risulta possibile combinare tra loro i risultati delle analisi sismiche, che sono state condotte separatamente per le direzioni principali dell'opera (longitudinale e trasversale). Pertanto le combinazioni di carico impiegate per la verifica contempleranno esclusivamente l'una o l'altra direzione di applicazione dell'azione sismica orizzontale, il sisma verticale invece è stato valutato come un'azione statica pertanto ricompreso nelle combinazioni.

**VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394**  
**Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di  
 calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 01 00 002	A	49 di 104

La tabella seguente riporta il dettaglio delle combinazioni di carico impiegate nella verifica dell'elemento strutturale.

- **Condizioni statiche**

	G1	G2	Treno 1C	Treno 2C	Frenatura	Serpeggio	Vento	Ced. inf.	Ced. sup.
SLU1	1.35	1.5	1.45	0	1.45	1.45	0.9	0	1.2
SLU2	1.35	1.5	0	1.45	1.45	1.45	0.9	0	1.2
SLU3	1.35	1.5	1.16	0	1.16	1.16	1.5	0	1.2
SLU4	1.35	1.5	0	1.16	1.16	1.16	1.5	0	1.2
SLU5	1.35	1.5	1.45	0	1.45	1.45	0.9	1.2	0
SLU6	1.35	1.5	0	1.45	1.45	1.45	0.9	1.2	0
SLU7	1.35	1.5	1.16	0	1.16	1.16	1.5	1.2	0
SLU8	1.35	1.5	0	1.16	1.16	1.16	1.5	1.2	0
SLU9	1.35	1.5	0	0	0	0	0	1.2	0
SLU10	1.35	1.5	0	0	0	0	0	0	1.2
SLU11	1	1	1.45	0	1.45	1.45	0.9	0	1.2
SLU12	1	1	0	1.45	1.45	1.45	0.9	0	1.2
SLU13	1	1	1.16	0	1.16	1.16	1.5	0	1.2
SLU14	1	1	0	1.16	1.16	1.16	1.5	0	1.2
SLU15	1	1	1.45	0	1.45	1.45	0.9	1.2	0
SLU16	1	1	0	1.45	1.45	1.45	0.9	1.2	0
SLU17	1	1	1.16	0	1.16	1.16	1.5	1.2	0
SLU18	1	1	0	1.16	1.16	1.16	1.5	1.2	0
SLU19	1	1	0	0	0	0	0	1.2	0
SLU20	1	1	0	0	0	0	0	0	1.2
SLE-K1	1	1	1	0	1	1	0.6	0	1
SLE-K2	1	1	0	1	1	1	0.6	0	1
SLE-K3	1	1	0.8	0	0.8	0.8	1	0	1
SLE-K4	1	1	0	0.8	0.8	0.8	1	0	1
SLE-K5	1	1	1	0	1	1	0.6	1	0
SLE-K6	1	1	0	1	1	1	0.6	1	0
SLE-K7	1	1	0.8	0	0.8	0.8	1	1	0
SLE-K8	1	1	0	0.8	0.8	0.8	1	1	0
SLE-K9	1	1	0	0	0	0	0	1	0
SLE-K10	1	1	0	0	0	0	0	0	1
SLE-QP1	1	1	0.2	0	0.2	0.2	0	0	1
SLE-QP2	1	1	0	0.2	0.2	0.2	0	0	1
SLE-QP3	1	1	0.2	0	0.2	0.2	0	1	0
SLE-QP4	1	1	0	0.2	0.2	0.2	0	1	0
SLE-QP5	1	1	0	0	0	0	0	1	0
SLE-QP6	1	1	0	0	0	0	0	0	1

SLU: Combinazione stati limite ultimi

SLE K: Combinazione caratteristica stati lime di esercizio

SLE QP: Combinazione quasi permanente stati lime di esercizio

**VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394**  
**Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di  
 calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 01 00 002	A	50 di 104

- **Condizioni sismiche**

	Treno 1C	Treno 2C	Frenatura	Serpeggio	FX gr1	FX gr2	FY gr1	FY gr2	SLV Z
SLV1	0.2	0	0.2	0.2	1	0	0	0	0.3
SLV2	0.2	0	0.2	0.2	1	0	0	0	-0.3
SLV3	0.2	0	0.2	0.2	0	1	0	0	0.3
SLV4	0.2	0	0.2	0.2	0	1	0	0	-0.3
SLV5	0.2	0	0.2	0.2	0	0	1	0	0.3
SLV6	0.2	0	0.2	0.2	0	0	1	0	-0.3
SLV7	0.2	0	0.2	0.2	0	0	0	1	0.3
SLV8	0.2	0	0.2	0.2	0	0	0	1	-0.3
SLV9	0	0.2	0.2	0.2	1	0	0	0	0.3
SLV10	0	0.2	0.2	0.2	1	0	0	0	-0.3
SLV11	0	0.2	0.2	0.2	0	1	0	0	0.3
SLV12	0	0.2	0.2	0.2	0	1	0	0	-0.3
SLV13	0	0.2	0.2	0.2	0	0	1	0	0.3
SLV14	0	0.2	0.2	0.2	0	0	1	0	-0.3
SLV15	0	0.2	0.2	0.2	0	0	0	1	0.3
SLV16	0	0.2	0.2	0.2	0	0	0	1	-0.3

### 8.3 VERIFICHE STRUTTURALI

Come precedentemente detto, in via prudentiale, le sollecitazioni agenti in chiave dell'arco non sono state associate a tutta la struttura, vale a dire che sono state ignorate ai fini della resistenza alcune porzioni (parte dell'arco in calcestruzzo e murature dei timpani).

La nuova struttura è realizzata con un calcestruzzo C32/40 armato con ferri classe B450C, tuttavia ai fini delle verifiche è stato utilizzato un calcestruzzo C20/25 per tener in conto delle caratteristiche di resistenza dell'arco. Di seguito sono esplicitati i valori di calcolo impiegati per le verifiche

CLS C20/25	Acciaio B450C
fcd = 11.3 Mpa	f <sub>yd</sub> = 391 MPa
ε <sub>cu</sub> = 0.35%	ε <sub>su</sub> 5%

#### 8.3.1 Verifiche pressoflessione

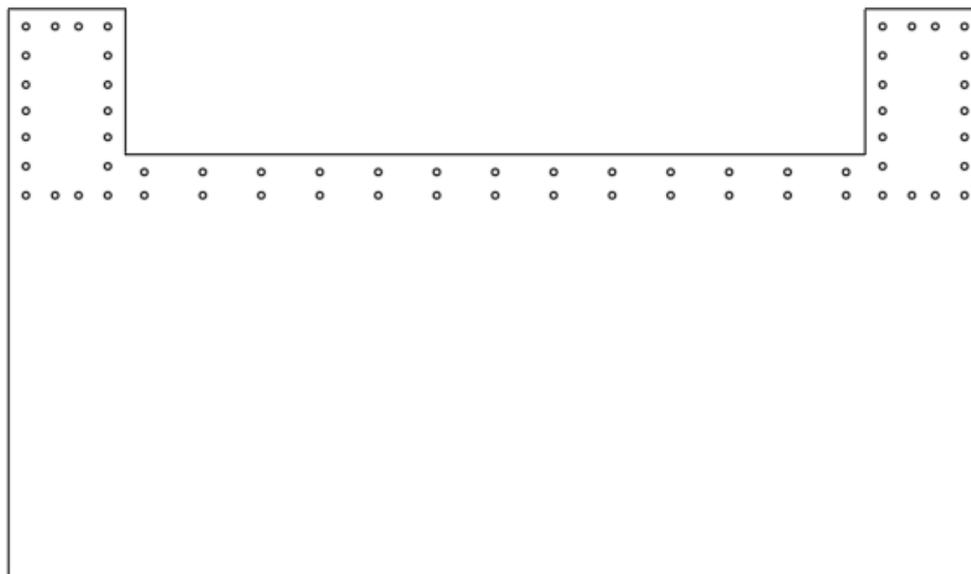
La sezione di verifica è rappresentata nell'immagine seguente, mentre i dati geometrici principali sono riportati nella tabella seguente.

dati sez

**VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394**  
**Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di  
calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 01 00 002	A	51 di 104

B tot	3.33 m
H max	1.95 m
B trave	0.40 m
Sp. Soletta	0.20 m
$\rho_s$ (Della soletta di intervento)	2.2%



**Figura 41: Sezione di verifica**

Si riporta il riepilogo dei livelli di sicurezza ottenuti per ciascuna combinazione nei riguardi delle verifiche a pressoflessione eseguite.

- Condizioni statiche**

<b>Combinazioni Statiche SLU</b>						
<b>Chiave Arco</b>	<b>N</b>	<b>Vz</b>	<b>Vy</b>	<b>My</b>	<b>Mz</b>	<b>Rd/Ed</b>
<i>comb</i>	(kN)	(kN)	(kN)	(kNm)	(kNm)	-
<b>SLU1</b>	-3983	-1018	-32	-2072	-152	2.62
<b>SLU2</b>	-4039	-1010	-32	-2073	-151	2.64
<b>SLU3</b>	-3867	-1013	-27	-1939	-207	2.77
<b>SLU4</b>	-3912	-1006	-27	-1940	-207	2.79
<b>SLU5</b>	-4057	704	-30	-2235	-151	2.42
<b>SLU6</b>	-4114	712	-30	-2236	-151	2.44
<b>SLU7</b>	-3942	710	-25	-2102	-206	2.55
<b>SLU8</b>	-3987	716	-25	-2103	-206	2.56
<b>SLU9</b>	-3438	733	1	-1558	12	3.37
<b>SLU10</b>	-3363	-989	-1	-1396	11	3.83

**VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394**  
 Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di  
 calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 01 00 002	A	52 di 104

<b>SLU11</b>	-3202	-989	-32	-1701	-155	2.88
<b>SLU12</b>	-3258	-981	-32	-1702	-154	2.91
<b>SLU13</b>	-3086	-984	-27	-1569	-210	3.1
<b>SLU14</b>	-3131	-977	-27	-1570	-209	3.12
<b>SLU15</b>	-3276	733	-30	-1864	-154	2.62
<b>SLU16</b>	-3332	741	-30	-1865	-153	2.64
<b>SLU17</b>	-3161.0	739	-25	-1731	-209	2.79
<b>SLU18</b>	-3205.9	745	-25	-1732	-208	2.81
<b>SLU19</b>	-2656.9	763	1	-1187	9	4.02
<b>SLU20</b>	-2582.2	-960	-1	-1025	8	4.76

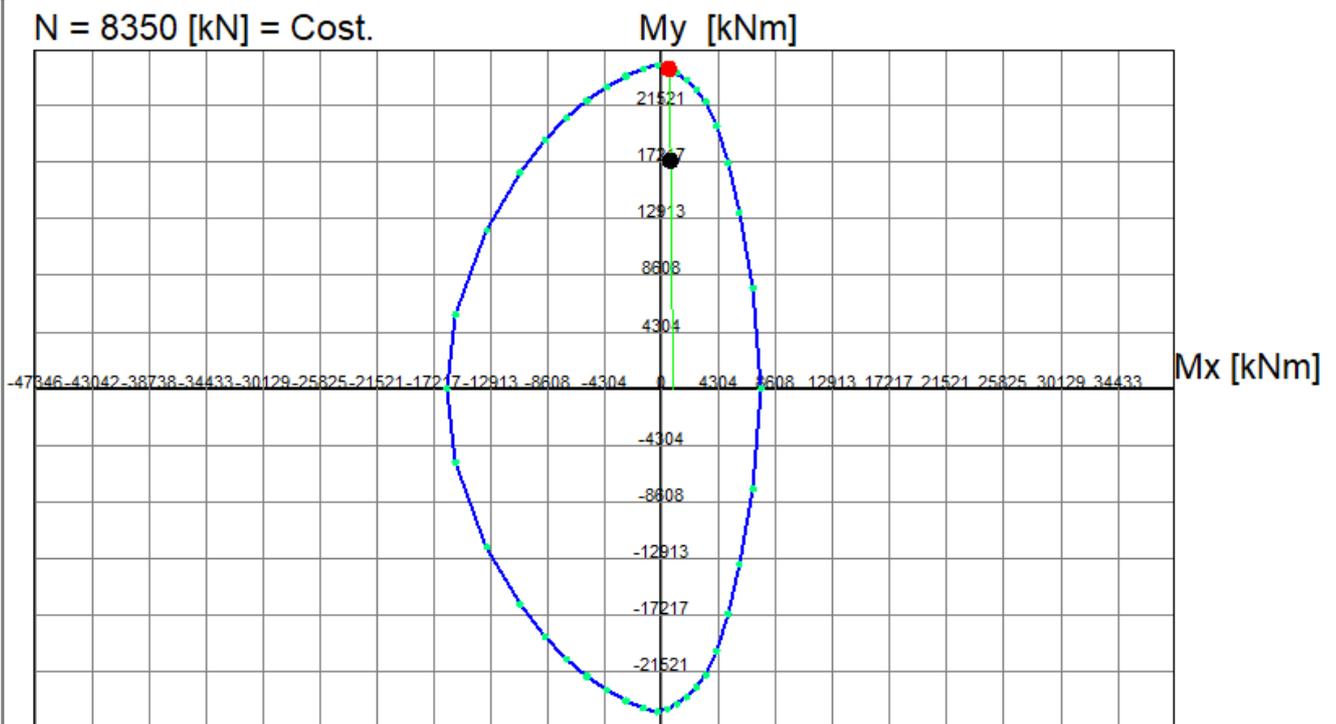
- Condizioni sismiche

Combinazioni Sismiche SLV						
Chiave Arco	N	Vz	Vy	My	Mz	Rd/Ed
<i>comb</i>	(kN)	(kN)	(kN)	(kNm)	(kNm)	-
<b>SLV1</b>	-18920	1441	2	2802	-323	4.22
<b>SLV2</b>	-18824	1445	2	2848	-323	4.19
<b>SLV3</b>	-10526	1223	-4	537	-14	11.74
<b>SLV4</b>	-10430	1226	-4	583	-14	11.44
<b>SLV5</b>	-8343	-245	-907	-655	-17335	1.4
<b>SLV6</b>	-8246	-242	-907	-609	-17336	1.4
<b>SLV7</b>	-2563	-104	-115	-219	-5789	2.99
<b>SLV8</b>	-2466	-100	-115	-174	-5789	2.98
<b>SLV9</b>	-18928	1442	2	2802	-323	4.22
<b>SLV10</b>	-18832	1446	2	2848	-323	4.19
<b>SLV11</b>	-10534	1224	-4	537	-13	11.73
<b>SLV12</b>	-10438	1228	-4	582	-14	11.44
<b>SLV13</b>	-8350	-244	-907	-655	-17335	1.4
<b>SLV14</b>	-8254	-240	-907	-609	-17336	1.4
<b>SLV15</b>	-2570	-102	-115	-219	-5789	2.99
<b>SLV16</b>	-2474	-99	-115	-174	-5789	2.98

Si riporta la verifica per la condizione più gravosa identificata nella combinazione SLV13.

VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394  
Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di  
calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 01 00 002	A	53 di 104



Passo Momenti Mx, My griglia = 4304 kNm

**Legenda**

- Punti calc. dom.
- Wireframe dom.
- Assi rifer. dom.
- Sforzi assegnati
- Sforzi ultimi

N [kN]

Mx [kNm]

My [kNm]

N°Punti Dominio

Scala grafico e passo griglia

Passo M(kNm)

**Visualizza**

- Punti calcolati dom.
- Griglia
- Sforzi dati e di frontiera
- Numerazione punti

### 8.3.2 Verifiche taglio

La verifica a taglio è stata eseguita prendendo il taglio massimo tra le condizioni statiche e quelle sismiche.

- DIREZIONE TRASVERSALE (Y)

La sezione resistente è costituita dalla controsoletta, si prevede una armatura resistente a taglio costituita da 2  $\phi 12$  passo 150 mm.

**VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394**  
**Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di  
calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 01 00 002	A	54 di 104

## Verifica a taglio in accordo a EC2-2

### Caratteristiche dei materiali

#### Cls

Rck= 37 MPa  
fck= 30 MPa  
 $\gamma_c$ = 1.50  
fcm= 38 MPa  
 $\alpha_{cc}$ = 0.85  
fcd= 17.0 MPa

coefficiente che tiene conto degli effetti a lungo termine, var 0.8-1

fctm= 2.90 MPa  
fctk<sub>0.05</sub>= 2.03 MPa  
fctk<sub>0.95</sub>= 3.77 MPa  
 $\alpha_{ct}$ = 1.00  
fctd= 1.35 MPa

coefficiente che tiene conto degli effetti a lungo termine, var 0.8-1

#### Acciaio c.a.

fyk= 450 MPa  
 $\gamma_s$ = 1.15  
fyd= 391 MPa

#### Azioni di taglio

$\gamma$   
Aed 907  $\times 1.00 =$  907 kN  
V<sub>Ed</sub> = 907 kN

Nsd= 2466 KN sforzo normale

bw = 0.200 m larghezza (6.16)  
h= 3.330 m altezza totale  
c= 0.060 m copri ferro  
d = 3.270 m altezza utile  
Ac= 1.066 mq area totale

#### Resistenza delle staffe:

$\phi_w$ = 12 mm diametro staffa  
n= 2.00 numero braccia  
Asw= 2.26 cmq  
z= 2.94 m =0.9\*d  
sen $\alpha$ = 1  $\alpha$  angolo tra le staffe e l'asse della trave ( $\alpha=90^\circ$  per staffe verticali)  
pw= 0.75 % =Asw/(s\*bw\*sin $\alpha$ )\*100 =>  
s= 0.15 m =passo staffe <= 2.45 m =0.75\*d\*(1+cot $\alpha$ )  
 $\theta$ = 45.0 °  
V<sub>Rd,s</sub>= 1737 kN =Asw/s\*z\* fywd \*cot $\theta$

**VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394**  
**Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di  
 calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 01 00 002	A	55 di 104

**Resistenza del puntone compresso:**

$$v = 0.528 = 0.6 \cdot (1 - f_{ck}/250) \text{ (from EN 6.6N)}$$

$$\sigma_{cp} = 2.31 = N_{sd}/A_c$$

$$\alpha_{cw} = 1.14$$

$$V_{Rd,max} = 3001 \text{ kN} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v \cdot f_{cd} / (\cot\theta + \tan\theta)$$

$$\gamma_{Bd1} = 1.25 \text{ (coefficiente di sicurezza (EN1998-2-5.6.2.b))}$$

$$V_{Rd} = 1389 \text{ kN} = \min(V_{Rd,s}; V_{Rd,max}) / \gamma_{Bd1}$$

$$V_{Ed} = 907 \text{ minore o uguale di } V_{Rd} = 1389 \text{ verifica soddisfatta}$$

- DIREZIONE VERTICALE (Z)**

La sezione resistente è costituita dalle due travi rettangolari laterali, si prevede una armatura resistente a taglio costituita da 2  $\phi 20$  passo 150 mm.

**Azioni di taglio**

$$A_{ed} = 1446 \text{ x } 0.50 = 723 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 723 \text{ kN}$$

$$N_{sd} = 2466 \text{ KN} \text{ sforzo normale}$$

$$b_w = 0.400 \text{ m larghezza (6.16)}$$

$$h = 0.700 \text{ m altezza totale}$$

$$c = 0.060 \text{ m copriferro}$$

$$d = 0.640 \text{ m altezza utile}$$

$$A_c = 1.066 \text{ mq area}$$

**Resistenza delle staffe:**

$$\phi_w = 20 \text{ mm diametro staffa}$$

$$n = 2.00 \text{ numero braccia}$$

$$A_{sw} = 6.28 \text{ cm}^2$$

$$z = 0.58 \text{ m} = 0.9 \cdot d$$

$$\sin\alpha = 1 \text{ } \alpha \text{ angolo tra le staffe e l'asse della trave } (\alpha = 90^\circ \text{ per staffe verticali)}$$

$$\rho_w = 1.05 \% = A_{sw} / (s \cdot b_w \cdot \sin\alpha) \cdot 100 \geq$$

$$s = 0.15 \text{ m} = \text{passo staffe} \leq 0.48 \text{ m} = 0.75 \cdot d \cdot (1 + \cot\alpha)$$

$$\theta = 45.0^\circ$$

$$V_{Rd,s} = 944 \text{ kN} = A_{sw} / s \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot\theta$$

**VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394**  
**Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di  
calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 01 00 002	A	56 di 104

**Resistenza del puntone compresso:**

$$v = 0.528 \quad = 0.6 \cdot (1 - f_{ck}/250) \text{ (from EN 6.6N)}$$

$$\sigma_{cp} = 2.31 \quad = N_{sd}/A_c$$

$$\alpha_{cw} = 1.14$$

$$V_{Rd,max} = 1175 \text{ kN} \quad = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v \cdot f_{cd} / (\cot\theta + \tan\theta)$$

$$\gamma_{Bd1} = 1.25 \quad \text{coefficiente di sicurezza ( EN1998-2-5.6.2.b)}$$

$$V_{Rd} = 755 \text{ kN} \quad = \min(V_{Rd,s}; V_{Rd,max}) / \gamma_{Bd1}$$

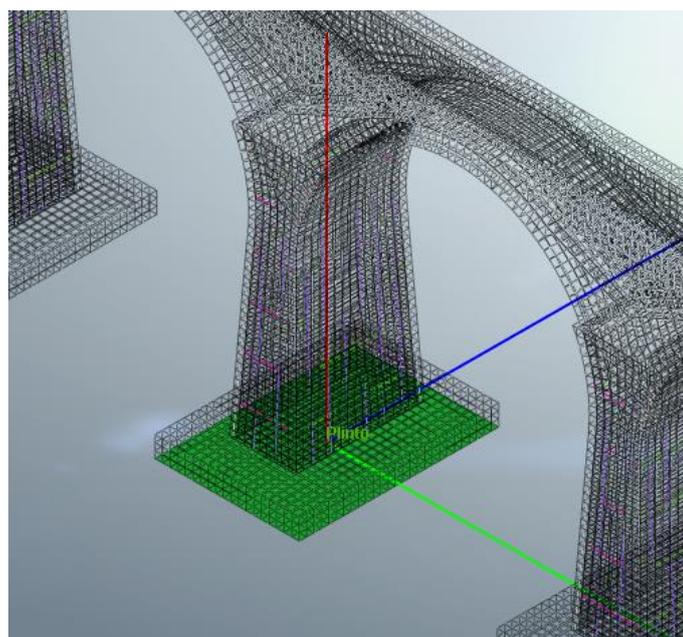
$$V_{Ed} = 723 \quad \text{minore o uguale di} \quad V_{Rd} = 755 \quad \text{verifica soddisfatta}$$

## 9 VERIFICA DELL'INCAMICIATURA DELLE PILE

### 9.1 SOLLECITAZIONI ELEMENTARI

Le sollecitazioni elementari sono state ottenute dal modello mediante l'integrazione su un prefissato piano di taglio (sezione) delle forze nodali associate ai vari elementi tridimensionali che costituiscono il modello di calcolo.

Il piano di taglio è stato individuato in corrispondenza del pinto appartenente alla pila di maggiore altezza. Si è scelto di tagliare il plinto e non lo spiccato pila, a seguito di considerazioni sulla diffusione del carico operata dal programma. Una volta estratte, le sollecitazioni sono state poi riportate sul piano di interfaccia plinto - pila.



**Figura 42: Sezione di integrazione delle forze nodali a base plinto (Assi di riferimento: rosso=z, verde=x, blu=y)**

**VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394**  
**Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di  
 calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 01 00 002	A	57 di 104

Il piano di taglio, come si evince dalla figura, è stato effettuato su tutta la sezione, comprendendo anche la struttura esistente. Si è scelto però di far portare tutte le sollecitazioni alla struttura di rinforzo, nella fattispecie la camicia in calcestruzzo.

Si specifica che per i cedimenti sono state considerati due casi di cedimento delle pile adiacenti alla sezione di verifica, in modo da massimizzare/minimizzare le sollecitazioni generate.

Per le azioni sismiche sono stati riportati i valori per i due gruppi di azioni già citati nell'analisi push over, e la componente verticale SLV Z, andando a considerare l'effettiva accelerazione di sito per sisma verticale.

Si precisa che la voce G1\_anteoperam comprende i pesi propri della struttura esistente svuotata dal riempimento originario. Le sollecitazioni derivanti dalla differenza tra G1 e G1\_anteoperam saranno quindi utilizzate per le verifiche, in modo da tenere in conto la aliquota di carico da peso proprio che la camicia di intervento deve portare.

Di seguito le azioni elementari riportate allo spiccato pila.

azioni elementari	N	Vx	Vy	My	Mx	T
<b>G1</b>	-23642	-71	5	-64	-174	21
<b>G2</b>	-230	-3	0	-26	-4	0
<b>T1</b>	-918	-283	0	-2035	-16	3
<b>T2</b>	-1860	-21	0	-156	-23	2
<b>Vento</b>	-15	-1	371	5	-6866	36
<b>Frenatura</b>	1	16	0	195	0	0
<b>Cedimento inf.</b>	1414	15	1	-62	-4	-1
<b>Cedimento sup.</b>	-765	410	-1	2746	9	1
<b>Serpeggio</b>	1	0	57	1	-1378	-8
<b>FX GR1</b>	-23384	8017	-6	86308	248	200
<b>FX GR2</b>	-23737	8133	-3	62893	-31	42
<b>FY GR1</b>	-23374	-129	9624	-341	-182886	-69
<b>FY GR2</b>	-23558	-126	9657	-57	-138171	442
<b>SLV Z</b>	-1790	-5	0	-5	-13	2
<b>G1_anteoperam</b>	-17590	-43	1	-84	-104	26

## 9.2 COMBINAZIONI DI CARICO

Come già indicato in precedenza in fase statica (non sismica), il modello di calcolo è elastico pertanto vale il principio di sovrapposizione degli effetti, quindi le varie sollecitazioni elementari vengono analizzate separatamente e poi assemblate secondo le varie combinazioni di riferimento.

Le analisi sismiche sono state condotte mediante modelli non lineari, applicando una sequenza costruttiva che prevede prima l'applicazione di carichi verticali poi quelli sismici. Il modello pertanto fornisce risultati complessivi (intesi come tensioni, deformazioni, sollecitazioni, etc.), su cui non è possibile applicare la regola della sovrapposizione degli effetti. Tuttavia ai fini delle verifiche strutturali onde soddisfare le richieste normative in merito di combinazione dei carichi, dell'elemento di rinforzo, si è optato per forzare la regola

**VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394**  
**Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di  
 calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 01 00 002	A	58 di 104

teorica summenzionata associando i risultati delle analisi sismiche non lineari con gli altri carichi eventualmente previsti dalle combinazioni da normativa e desunti dal modello di calcolo lineare (treni di carico, cedimenti etc.). Tale approccio è certamente conservativo in termini di sollecitazioni agenti sugli elementi strutturali. Diversamente, non risulta possibile combinare tra loro i risultati delle analisi sismiche, che sono state condotte separatamente per le direzioni principali dell'opera (longitudinale e trasversale). Pertanto le combinazioni di carico impiegate per la verifica contempleranno esclusivamente l'una o l'altra direzione di applicazione dell'azione sismica orizzontale, il sisma verticale invece è stato valutato come un'azione statica pertanto ricompreso nelle combinazioni.

La tabella seguente riporta il dettaglio delle combinazioni di carico impiegate nella verifica dell'elemento strutturale.

- **Condizioni statiche**

	G1	G2	Treno 1C	Treno 2C	Frenatura	Serpeggio	Vento	Ced. inf.	Ced. sup.
SLU1	1.35	1.5	1.45	0	1.45	1.45	0.9	0	1.2
SLU2	1.35	1.5	0	1.45	1.45	1.45	0.9	0	1.2
SLU3	1.35	1.5	1.16	0	1.16	1.16	1.5	0	1.2
SLU4	1.35	1.5	0	1.16	1.16	1.16	1.5	0	1.2
SLU5	1.35	1.5	1.45	0	1.45	1.45	0.9	1.2	0
SLU6	1.35	1.5	0	1.45	1.45	1.45	0.9	1.2	0
SLU7	1.35	1.5	1.16	0	1.16	1.16	1.5	1.2	0
SLU8	1.35	1.5	0	1.16	1.16	1.16	1.5	1.2	0
SLU9	1.35	1.5	0	0	0	0	0	1.2	0
SLU10	1.35	1.5	0	0	0	0	0	0	1.2
SLU11	1	1	1.45	0	1.45	1.45	0.9	0	1.2
SLU12	1	1	0	1.45	1.45	1.45	0.9	0	1.2
SLU13	1	1	1.16	0	1.16	1.16	1.5	0	1.2
SLU14	1	1	0	1.16	1.16	1.16	1.5	0	1.2
SLU15	1	1	1.45	0	1.45	1.45	0.9	1.2	0
SLU16	1	1	0	1.45	1.45	1.45	0.9	1.2	0
SLU17	1	1	1.16	0	1.16	1.16	1.5	1.2	0
SLU18	1	1	0	1.16	1.16	1.16	1.5	1.2	0
SLU19	1	1	0	0	0	0	0	1.2	0
SLU20	1	1	0	0	0	0	0	0	1.2
SLE-K1	1	1	1	0	1	1	0.6	0	1
SLE-K2	1	1	0	1	1	1	0.6	0	1
SLE-K3	1	1	0.8	0	0.8	0.8	1	0	1
SLE-K4	1	1	0	0.8	0.8	0.8	1	0	1
SLE-K5	1	1	1	0	1	1	0.6	1	0
SLE-K6	1	1	0	1	1	1	0.6	1	0
SLE-K7	1	1	0.8	0	0.8	0.8	1	1	0
SLE-K8	1	1	0	0.8	0.8	0.8	1	1	0
SLE-K9	1	1	0	0	0	0	0	1	0
SLE-K10	1	1	0	0	0	0	0	0	1

**VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394**  
**Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di  
 calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 01 00 002	A	59 di 104

SLE-QP1	1	1	0.2	0	0.2	0.2	0	0	1
SLE-QP2	1	1	0	0.2	0.2	0.2	0	0	1
SLE-QP3	1	1	0.2	0	0.2	0.2	0	1	0
SLE-QP4	1	1	0	0.2	0.2	0.2	0	1	0
SLE-QP5	1	1	0	0	0	0	0	1	0
SLE-QP6	1	1	0	0	0	0	0	0	1

SLU: Combinazione stati limite ultimi

SLE K: Combinazione caratteristica stati lime di esercizio

SLE QP: Combinazione quasi permanente stati lime di esercizio

- **Condizioni sismiche**

	Treno 1C	Treno 2C	Frenatura	Serpeggio	FX gr1	FX gr2	FY gr1	FY gr2	SLV Z
SLV1	0.2	0	0.2	0.2	1	0	0	0	0.3
SLV2	0.2	0	0.2	0.2	1	0	0	0	-0.3
SLV3	0.2	0	0.2	0.2	0	1	0	0	0.3
SLV4	0.2	0	0.2	0.2	0	1	0	0	-0.3
SLV5	0.2	0	0.2	0.2	0	0	1	0	0.3
SLV6	0.2	0	0.2	0.2	0	0	1	0	-0.3
SLV7	0.2	0	0.2	0.2	0	0	0	1	0.3
SLV8	0.2	0	0.2	0.2	0	0	0	1	-0.3
SLV9	0	0.2	0.2	0.2	1	0	0	0	0.3
SLV10	0	0.2	0.2	0.2	1	0	0	0	-0.3
SLV11	0	0.2	0.2	0.2	0	1	0	0	0.3
SLV12	0	0.2	0.2	0.2	0	1	0	0	-0.3
SLV13	0	0.2	0.2	0.2	0	0	1	0	0.3
SLV14	0	0.2	0.2	0.2	0	0	1	0	-0.3
SLV15	0	0.2	0.2	0.2	0	0	0	1	0.3
SLV16	0	0.2	0.2	0.2	0	0	0	1	-0.3

### 9.2.1 Verifiche Sezione di spiccato

Come già detto in precedenza, nelle pile di questo viadotto è stato necessario adottare una camicia di rinforzo con spessore 25 cm nella parete trasversale, e una di spessore variabile in quella longitudinale. Tale spessore varia da 25 cm ad imposta arco, fino ad arrivare a 35 cm nella base del plinto, con spessore medio quindi di 30 cm.

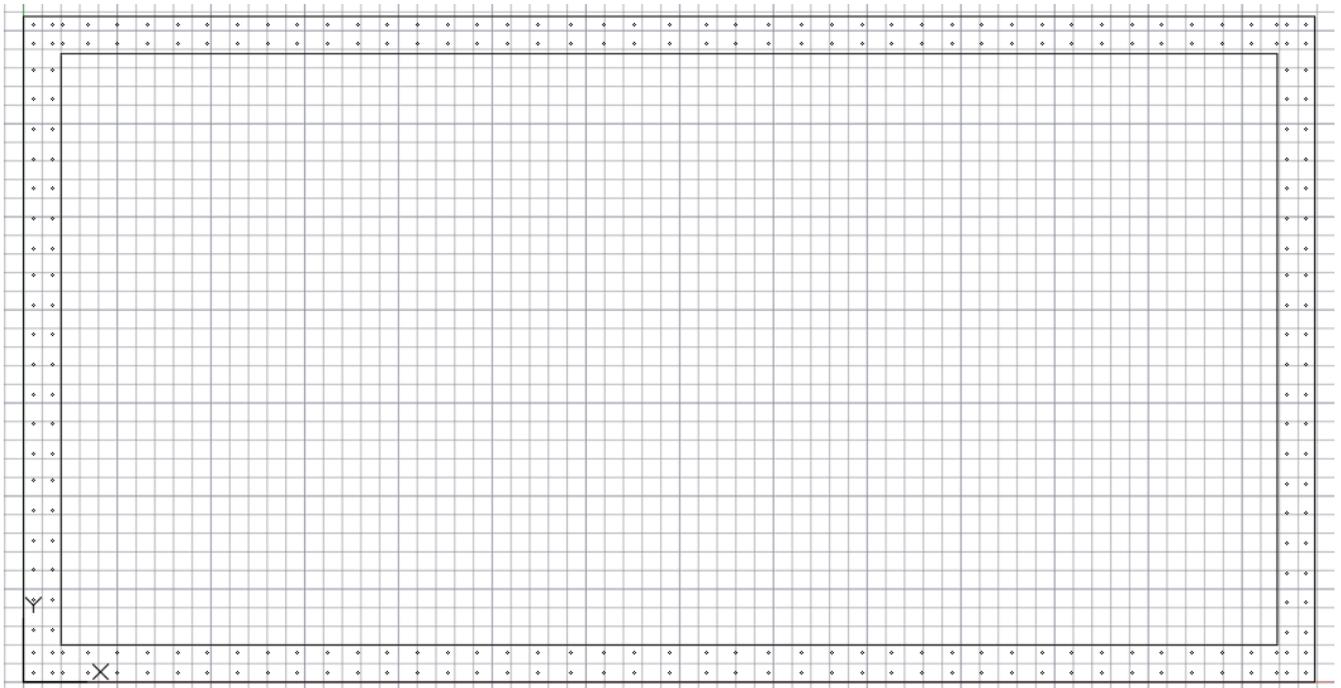
#### Verifiche pressoflessione SLU

La sezione di verifica è rappresentata nell'immagine seguente, mentre i dati geometrici principali sono riportati nella tabella seguente (l'armatura è costituita da una doppia maglia  $\phi 22$  passo 200mm.)

**VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394**  
**Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di  
 calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 01 00 002	A	60 di 104

<i>dati sez</i>	<i>BASE PILA</i>
B int	3.97 m
H int	8.11 m
Sp. Trasv.	0.25m
Sp. Long.	0.3 m
$\rho_s$ (%)	1.5%


**Figura 43: Sezione di verifica**

Si riporta il riepilogo dei livelli di sicurezza ottenuti per ciascuna combinazione nei riguardi delle verifiche a pressoflessione eseguite.

- **Condizioni statiche**

<b>Combinazioni Statiche SLU</b>						
<b>Spiccato</b>	<b>N</b>	<b>Vx</b>	<b>Vy</b>	<b>My</b>	<b>Mx</b>	<b>Rd/Ed</b>
<i>comb</i>	<i>(kN)</i>	<i>(kN)</i>	<i>(kN)</i>	<i>(kNm)</i>	<i>(kNm)</i>	-
<b>SLU1</b>	-34523	4	423	508	-8430	22.26
<b>SLU2</b>	-35888	383	423	3233	-8439	17.96
<b>SLU3</b>	-34266	81	629	1045	-12145	15.31
<b>SLU4</b>	-35358	384	629	3224	-12153	13.7
<b>SLU5</b>	-31907	-469	425	-2862	-8446	18.13
<b>SLU6</b>	-33272	-90	425	-138	-8456	22.19
<b>SLU7</b>	-31650	-392	631	-2326	-12162	14.07

**VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394**  
 Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di  
 calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 01 00 002	A	61 di 104

<b>SLU8</b>	-32742	-89	631	-146	-12170	15.35
<b>SLU9</b>	-30564	-82	8	-201	-246	40.43
<b>SLU10</b>	-33180	391	6	3169	-229	35.5
<b>SLU11</b>	-26133	30	422	544	-8367	20.58
<b>SLU12</b>	-27498	409	421	3268	-8377	16.96
<b>SLU13</b>	-25876	107	627	1080	-12082	14.1
<b>SLU14</b>	-26968	410	627	3260	-12090	12.84
<b>SLU15</b>	-23517	-442	424	-2827	-8383	16.91
<b>SLU16</b>	-24882	-64	423	-102	-8393	20.39
<b>SLU17</b>	-23260.4	-366	629	-2290	-12099	12.94
<b>SLU18</b>	-24352.4	-63	629	-110	-12107	14.04
<b>SLU19</b>	-22174.8	-55	6	-165	-183	45.55
<b>SLU20</b>	-24790.4	418	4	3205	-166	30

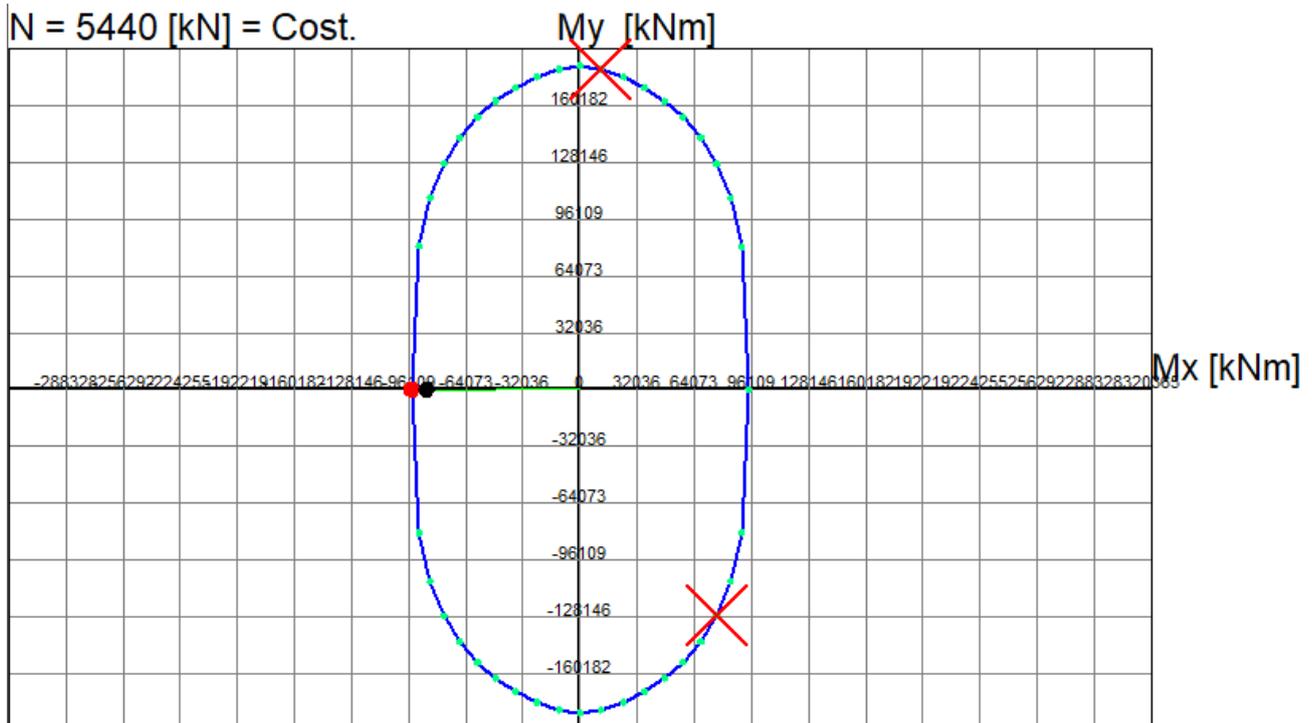
- **Condizioni sismiche**

<b>Combinazioni Sismiche SLV</b>						
<b>Spiccato</b>	<b>N</b>	<b>Vx</b>	<b>Vy</b>	<b>My</b>	<b>Mx</b>	<b>Rd/Ed</b>
<i>comb</i>	(kN)	(kN)	(kN)	(kNm)	(kNm)	-
<b>SLV1</b>	-6514	8006	4	86023	70	1.12
<b>SLV2</b>	-5440	8009	4	86025	78	1.1
<b>SLV3</b>	-6867	8121	7	62607	-209	1.55
<b>SLV4</b>	-5793	8124	7	62610	-201	1.52
<b>SLV5</b>	-6360	-95	8341	202	-157566	1.18
<b>SLV6</b>	-5286	-92	8340	205	-157558	1.16
<b>SLV7</b>	-6688	-138	9667	-342	-138349	1.35
<b>SLV8</b>	-5614	-134	9667	-339	-138341	1.33
<b>SLV9</b>	-6702	8058	4	86398	68	1.12
<b>SLV10</b>	-5629	8061	4	86401	76	1.1
<b>SLV11</b>	-7055	8173	7	62983	-211	1.55
<b>SLV12</b>	-5982	8176	7	62986	-203	1.52
<b>SLV13</b>	-6548	-43	8341	577	-157567	1.18
<b>SLV14</b>	-5475	-39	8340	580	-157559	1.16
<b>SLV15</b>	-6876	-85	9667	33	-138350	1.36
<b>SLV16</b>	-5803	-82	9667	36	-138343	1.33

Si riporta la verifica per la condizione più gravosa identificata nella combinazione SLV2.

VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394  
Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di  
calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 01 00 002	A	62 di 104



Passo Momenti  $M_x, M_y$  griglia = 32036 kNm

Legenda		N [kN]		Mx [kNm]		My [kNm]		N°Punti Dominio		Visualizza	
<span style="color: green;">•</span>	Punti calc. dom.	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Punti calcolati dom.
<span style="color: blue;">—</span>	Wireframe dom.	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Griglia
<span style="color: black;">—</span>	Assi rifer. dom.	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Sforzi dati e di frontiera
<span style="color: black;">•</span>	Sforzi assegnati	Scala grafico e passo griglia									
<span style="color: red;">•</span>	Sforzi ultimi	Passo M(kNm) <input type="text" value="32036.5"/>									
										<input type="checkbox"/>	Numerazione punti

### Verifiche taglio SLU

La sezione resistente è costituita dalle singole pareti costituenti la sezione cava in calcestruzzo. Trattandosi di una sezione chiusa è stata presa in considerazione anche la torsione. L'armatura resistente a taglio è costituita da barre orizzontali  $2\phi 18/150\text{mm}$  nella direzione longitudinale, e  $2\phi 18/250\text{ mm}$  in quella trasversale.

**VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394**  
**Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di  
calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 01 00 002	A	63 di 104

• DIREZIONE LONGITUDINALE (X)

In tale direzione è stata individuata SLV12 come la combinazione più gravosa.

Azioni di taglio

$$A_{ed} \cdot \gamma = 8176 \cdot 0.50 = 4088 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 4088 \text{ kN}$$

$$V^*_{Ed} = 4089 \text{ kN}$$

Azioni di torsione

$$A_{ed} \cdot \gamma = 15 \cdot 1.00 = 15 \text{ kNm}$$

$$T_{Ed} = 15 \text{ kNm}$$

$$1 \text{ kN}$$

$$N_{sd} = 5982 \text{ KN} \quad \text{sforzo normale}$$

$$b_w = 0.300 \text{ m} \quad \text{larghezza (6.16)}$$

$$h = 4.470 \text{ m} \quad \text{altezza totale}$$

$$c = 0.060 \text{ m} \quad \text{copriferro}$$

$$d = 4.410 \text{ m} \quad \text{altezza utile}$$

$$A_c = 7.488 \text{ mq} \quad \text{area totale}$$

$$L = 17.400 \text{ m}$$

**Resistenza delle staffe:**

$$\phi_w = 18 \text{ mm} \quad \text{diametro staffa}$$

$$n = 2.00 \quad \text{numero braccia}$$

$$A_{sw} = 5.09 \text{ cm}^2$$

$$z = 3.97 \text{ m} \quad = 0.9 \cdot d$$

$$\sin \alpha = 1 \quad \alpha \text{ angolo tra le staffe e l'asse della trave } (\alpha = 90^\circ \text{ per staffe verticali})$$

$$\rho_w = 1.13 \% \quad = A_{sw} / (s \cdot b_w \cdot \sin \alpha) \cdot 100 \geq$$

$$s = 0.15 \text{ m} \quad = \text{passo staffe} \leq 3.31 \text{ m} \quad = 0.75 \cdot d \cdot (1 + \cot \alpha)$$

$$\theta = 45.0^\circ$$

$$V_{Rd,s} = 5269 \text{ kN} \quad = A_{sw} / s \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta$$

**Resistenza del puntone compresso:**

$$v = 0.528 \quad = 0.6 \cdot (1 - f_{ck} / 250) \text{ (from EN 6.6N)}$$

$$\sigma_{cp} = 0.80 \quad = N_{sd} / A_c$$

$$\alpha_{cw} = 1.05$$

$$V_{Rd,max} = 5595 \text{ kN} \quad = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v \cdot f_{cd} / (\cot \theta + \tan \theta)$$

$$\gamma_{Bd1} = 1.25 \quad \text{coefficiente di sicurezza ( EN1998-2-5.6.2.b)}$$

$$V_{Rd} = 4216 \text{ kN} \quad = \min(V_{Rd,s}; V_{Rd,max}) / \gamma_{Bd1}$$

$$V_{Ed} = 4089 \quad \text{minore o uguale di} \quad V_{Rd} = 4216 \quad \text{verifica soddisfatta}$$

**VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394**  
**Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di  
calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 01 00 002	A	64 di 104

• DIREZIONE TRASVERSALE (Y)

In tale direzione è stata individuata SLV7 come la combinazione più gravosa.

Azioni di taglio

$$A_{ed} \uparrow 9667 \times 0.50 = 4833 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 4833 \text{ kN}$$

$$V^*_{Ed} = 4874 \text{ kN}$$

Azioni di torsione

$$A_{ed} \uparrow 415 \times 1.00 = 415 \text{ kNm}$$

$$T_{Ed} = 415 \text{ kNm}$$

$$41 \text{ kN}$$

$$= V_{ED} + T_{Ed} \cdot z / (2 \cdot A_k)$$

$$N_{sd} \leftarrow 5803 \rightarrow \text{KN} \quad \text{sforzo normale}$$

bw =	0.250	m	larghezza (6.16)
h =	8.610	m	altezza totale
c =	0.060	m	copri ferro
d =	8.550	m	altezza utile
Ac =	6.290	mq	area totale
L =	17.400	m	

**Resistenza delle staffe:**

$\phi_w =$	18	mm	di diametro staffa
n =	2.00		numero braccia
Asw =	5.09	cmq	
z =	7.70	m	= 0.9 * d
sen $\alpha =$	1		$\alpha$ angolo tra le staffe e l'asse della trave ( $\alpha = 90^\circ$ per staffe verticali)
$\rho_w =$	0.81	%	= Asw / (s * bw * sin $\alpha$ ) * 100 >=
s =	0.25	m	= passo staffe <= 6.41 m = 0.75 * d * (1 + cot $\alpha$ )
$\theta =$	45.0	°	
tan $\theta =$	1.00		
cot $\theta =$	1.00		
$\rho_{w,max} =$	3.19	=	$A_{sw,max} \cdot f_{yd} / (bw \cdot s) \leq 1/2 \cdot \alpha_{cw} \cdot v \cdot f_{cd} = 4.73$ <b>verifica soddisfatta</b>
$V_{Rd,s} =$	6130	kN	= Asw / s * z * f <sub>ywd</sub> * cot $\theta$

**Resistenza del puntone compresso:**

v =	0.528	= 0.6 * (1 - f <sub>ck</sub> / 250) (from EN 6.6N)	
$\sigma_{cp} =$	0.92	= N <sub>sd</sub> / Ac	
$\alpha_{cw} =$	1.05		
$V_{Rd,max} =$	9102	kN	= $\alpha_{cw} \cdot bw \cdot z \cdot v \cdot f_{cd} / (\cot \theta + \tan \theta)$
$\gamma_{Bd1} =$	1.25		coefficiente di sicurezza (EN1998-2-5.6.2.b)
$V_{Rd} =$	4904	kN	= min( $V_{Rd,s}$ ; $V_{Rd,max}$ )

$V_{Ed} = 4874$  **minore o uguale di**  $V_{Rd} = 4904$  **verifica soddisfatta**

**VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394**  
**Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di  
 calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 01 00 002	A	65 di 104

### Verifiche SLE

Nei confronti dello stato limite di esercizio si provvede a verificare la massima compressione nel calcestruzzo ed il controllo della fessurazione. In particolare, per lo spiccato pila, vista la presenza di barre pretensionate si verifica che nel calcestruzzo teso non si oltrepassi lo stato limite di formazione delle fessure.

- CONTROLLO COMPRESSIONE CALCESTRUZZO

Comb. rara :  $\sigma_{c, \text{limite}} = 0.55 f_{ck} = 16.5 \text{ MPa}$

Comb. QP :  $\sigma_{c, \text{limite}} = 0.40 f_{ck} = 12.0 \text{ MPa}$

- CONTROLLO APERTURA FESSURE

Comb. SLE :  $\sigma_{t, \text{limite}} = f_{ctm}/1.2 = 2.42 \text{ MPa}$

Spiccato	N	My	Mx	$\sigma C$	$\sigma C \text{ lim}$	verifica	$\sigma T$	$\sigma T \text{ lim}$	verifica
<i>comb</i>	(kN)	(kNm)	(kNm)	(MPa)	(MPa)	(-)	(MPa)	(MPa)	(-)
SLE-QP 1	-24821	2288	-447	4.21	12.0	OK	-3.68	2.42	OK
SLE-QP 2	-25009	2664	-448	4.28	12.0	OK	-3.67	2.42	OK
SLE-QP 3	-22641	-521	-461	3.69	12.0	OK	-3.51	2.42	OK
SLE-QP 4	-22829	-145	-462	3.68	12.0	OK	-3.58	2.42	OK
SLE-QP 5	-22458	-153	-182	3.60	12.0	OK	-3.54	2.42	OK
SLE-QP 6	-24637	2656	-168	4.20	12.0	OK	-3.63	2.42	OK
SLE-K 1	-25563	820	-5682	4.55	16.50	OK	-3.58	2.42	OK
SLE-K 2	-26504	2699	-5689	4.89	16.50	OK	-3.54	2.42	OK
SLE-K 3	-25385	1190	-8149	4.73	16.50	OK	-3.34	2.42	OK
SLE-K 4	-26139	2693	-8155	5.00	16.50	OK	-3.31	2.42	OK
SLE-K 5	-23383	-1988	-5695	4.32	16.50	OK	-3.12	2.42	OK
SLE-K 6	-24325	-109	-5702	4.28	16.50	OK	-3.46	2.42	OK
SLE-K 7	-23206	-1618	-8163	4.43	16.50	OK	-2.95	2.42	OK
SLE-K 8	-23959	-115	-8169	4.40	16.50	OK	-3.22	2.42	OK
SLE-K 9	-22458	-153	-182	3.60	16.50	OK	-3.54	2.42	OK
SLE-K 10	-24637	2656	-168	4.20	16.50	OK	-3.63	2.42	OK

## 10 VERIFICA DELLE IMPOSTE

Si è ritenuto opportuno verificare anche le sezioni di imposta degli archi che si intestano nella pila verificata, e le imposte dei due archi presenti sulle due spalle del viadotto.

Si riportano esclusivamente i risultati ottenuti per la sezione più gravosa di quelle indagate, ovvero quella relativa alla spalla destra.

### 10.1 SOLLECITAZIONI ELEMENTARI

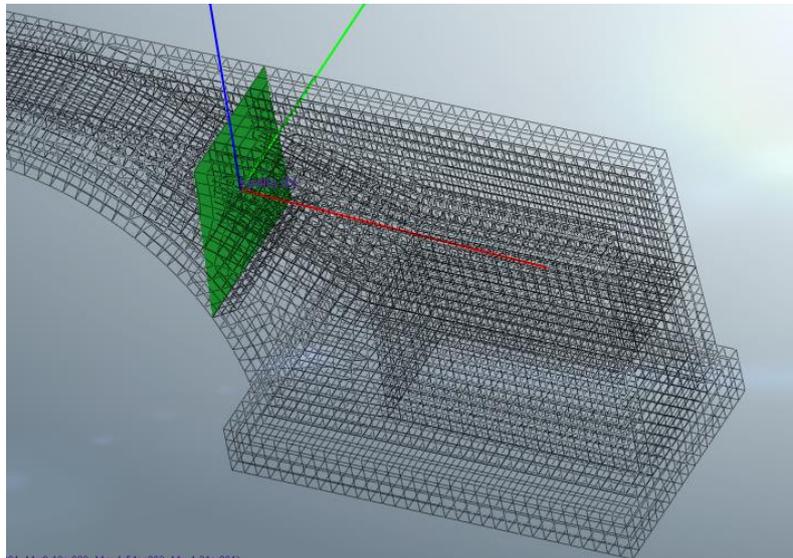


Figura 44: Cutting plane utilizzato per estrapolare le azioni elementari

azioni elementari	N	Vz	Vy	My	Mz
<b>G1</b>	-533	1124	-1	4078	-18
<b>G2</b>	-58	85	0	277	0
<b>T1</b>	-421	676	0	2214	-4
<b>T2</b>	-440	679	0	2223	-4
<b>Vento</b>	-10	5	-104	13	527
<b>Frenatura</b>	-63	8	0	14	1
<b>Cedimento inf.</b>	-86	734	2	6197	-42
<b>Cedimento sup.</b>	281	-58	0	-251	-2
<b>Serpeggio</b>	0	0	0	0	-1
<b>FX GR1</b>	-26016	5424	-84	9869	229
<b>FX GR2</b>	-16116	5816	-26	21532	133
<b>FY GR1</b>	-2094	3353	48	9019	-31
<b>FY GR2</b>	-2488	3276	-1475	7719	8351
<b>SLV Z</b>	-151	261	0	779	-1

**VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394**  
**Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di  
calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione**

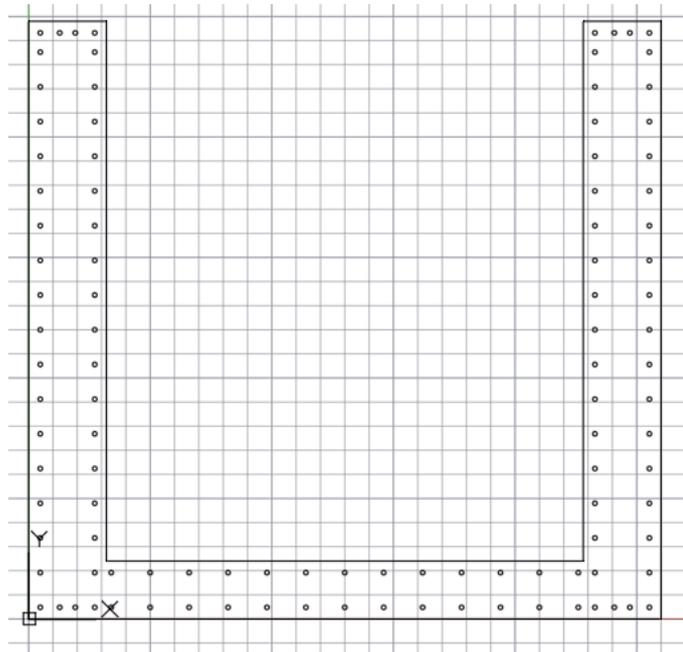
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 01 00 002	A	67 di 104

## 10.2 VERIFICHE STRUTTURALI

### Verifiche pressoflessione SLU

La sezione di verifica è rappresentata nell'immagine seguente, mentre i dati geometrici principali sono riportati nella tabella seguente.

<i>dati sez.</i>	<i>Soletta spalla destra</i>
B tot	3.33 m
H tot	3.15 m
sp	0.3 m
$\rho_s$ (%)	1.2%



**Figura 45: Sezione di verifica**

Si riporta il riepilogo dei livelli di sicurezza ottenuti per ciascuna combinazione nei riguardi delle verifiche a pressoflessione eseguite.

**VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394**  
Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 01 00 002	A	68 di 104

- **Condizioni statiche**

<b>Combinazioni Statiche SLU</b>						
Spalla Dx	N	Vz	Vy	My	Mz	Rd/Ed
<i>comb</i>	(kN)	(kN)	(kN)	(kNm)	(kNm)	-
SLU1	-1179	2572	-95	8862	441	2.19
SLU2	-1207	2576	-95	8874	441	2.19
SLU3	-1045	2377	-157	8223	759	2.34
SLU4	-1067	2380	-157	8233	759	2.34
SLU5	-1620	3523	-92	16599	393	1.2
SLU6	-1648	3527	-92	16611	393	1.2
SLU7	-1486	3327	-154	15960	711	1.24
SLU8	-1508	3330	-154	15970	711	1.24
SLU9	-910	2526	2	13357	-75	1.43
SLU10	-469	1576	-1	5620	-28	3.32
SLU11	-964	2136	-94	7296	447	2.63
SLU12	-992	2140	-94	7309	448	2.63
SLU13	-829	1941	-157	6658	765	2.85
SLU14	-852	1944	-157	6668	765	2.85
SLU15	-1405	3087	-92	15033	400	1.31
SLU16	-1433	3091	-92	15046	400	1.31
SLU17	-1270.3	2891	-154	14395	717	1.35
SLU18	-1292.8	2894	-154	14405	717	1.36
SLU19	-694.6	2090	2	11791	-69	1.6
SLU20	-253.5	1140	-1	4054	-21	4.55

- **Condizioni sismiche**

<b>Combinazioni Sismiche SLV</b>						
Spalla Dx	N	Vz	Vy	My	Mz	Rd/Ed
<i>comb</i>	(kN)	(kN)	(kN)	(kNm)	(kNm)	-
SLV1	-26158	5639	-84	10548	228	3.65
SLV2	-26068	5482	-84	10081	228	3.81
SLV3	-16258	6031	-26	22211	132	1.53
SLV4	-16168	5874	-26	21744	133	1.56
SLV5	-2236	3568	48	9698	-32	2.12
SLV6	-2146	3411	48	9231	-31	2.22
SLV7	-2630	3491	-1475	8398	8350	2.14
SLV8	-2539	3334	-1475	7930	8351	2.22
SLV9	-26162	5639	-84	10550	228	3.65
SLV10	-26071	5483	-84	10082	228	3.81

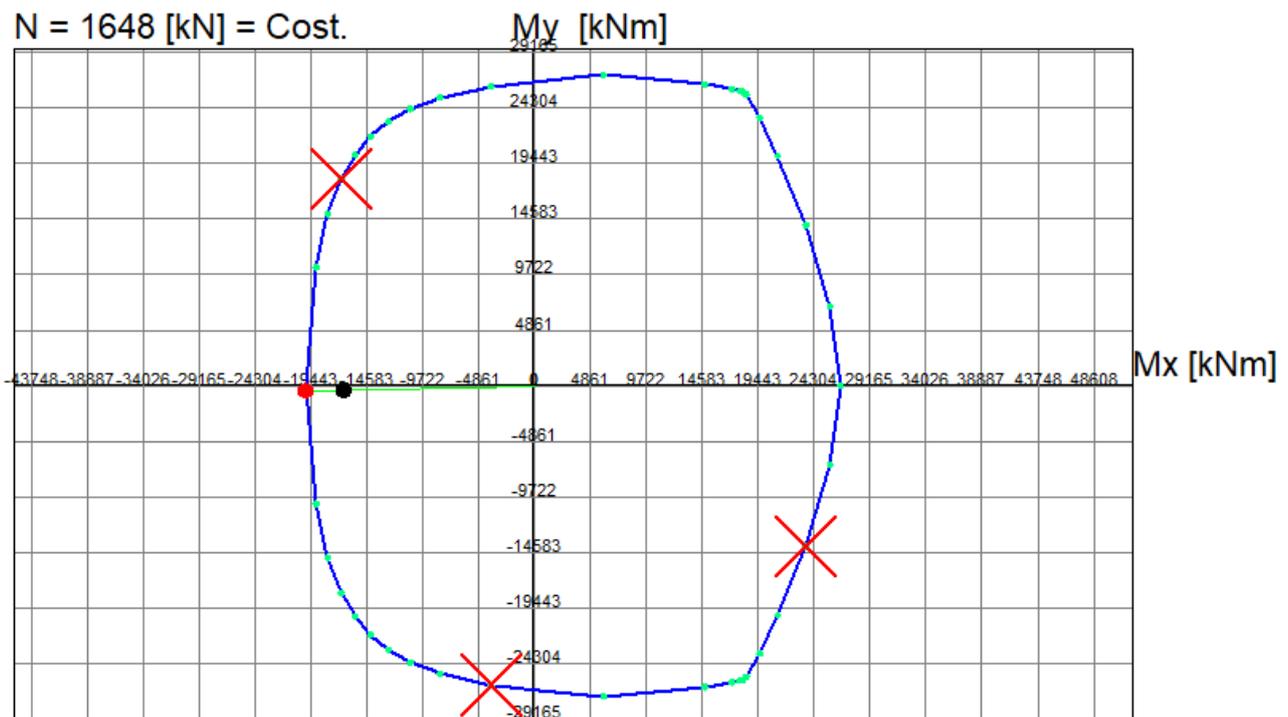
**VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394**  
**Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di  
calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 01 00 002	A	69 di 104

SLV11	-16262	6032	-26	22213	132	1.53
SLV12	-16171	5875	-26	21745	133	1.56
SLV13	-2240	3568	48	9700	-32	2.12
SLV14	-2150	3412	48	9233	-31	2.22
SLV15	-2633	3492	-1475	8400	8350	2.14
SLV16	-2543	3335	-1475	7932	8351	2.22

Si riporta la verifica per la condizione più gravosa identificata nella combinazione SLU6.

**N = 1648 [kN] = Cost.**



Passo Momenti Mx, My griglia = 4861 kNm

**Legenda**

- Punti calc. dom.
- Wireframe dom.
- Assi rifer. dom.
- Sforzi assegnati
- Sforzi ultimi

N [kN]

Mx [kNm]

My [kNm]

N°Punti Dominio

Scala grafico e passo griglia

Passo M(kNm)

**Visualizza**

- Punti calcolati dom.
- Griglia
- Sforzi dati e di frontiera
- Numerazione punti

**VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394**  
**Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di  
 calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 01 00 002	A	70 di 104

### 10.2.1 Verifiche a taglio

La verifica a taglio è stata eseguita prendendo il taglio massimo tra le condizioni statiche e quelle sismiche.

- DIREZIONE TRASVERSALE (Y)

La sezione resistente è costituita dalla controsoletta, si prevede una armatura resistente a taglio costituita da 2  $\phi 14$  passo 150 mm.

#### Azioni di taglio

$$A_{ed} = 1882 \times 1.00 = 1882 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 1882 \text{ kN}$$

$$N_{sd} = -1834 \text{ KN} \quad \text{sforzo normale}$$

$$b_w = 0.300 \text{ m} \quad \text{larghezza (6.16)}$$

$$h = 3.330 \text{ m} \quad \text{altezza totale}$$

$$c = 0.060 \text{ m} \quad \text{copriferro}$$

$$d = 3.270 \text{ m} \quad \text{altezza utile}$$

$$A_c = 3.279 \text{ mq} \quad \text{area totale}$$

#### Resistenza delle staffe:

$$\phi_w = 14 \text{ mm} \quad \text{diametro staffa}$$

$$n = 2.00 \quad \text{numero braccia}$$

$$A_{sw} = 3.08 \text{ cm}^2$$

$$z = 2.94 \text{ m} \quad = 0.9 \cdot d$$

$$\sin \alpha = 1$$

$$\rho_w = 0.68 \% \quad = A_{sw} / (s \cdot b_w \cdot \sin \alpha) \cdot 100 \geq$$

$$s = 0.15 \text{ m} \quad = \text{passo staffe} \leq$$

$$\theta = 45.0^\circ$$

$$V_{Rd,s} = 2364 \text{ kN} \quad = A_{sw} / s \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta$$

#### Resistenza del puntone compresso:

$$v = 0.528 \quad = 0.6 \cdot (1 - f_{ck} / 250) \quad (\text{from EN 6.6N})$$

$$\sigma_{cp} = 0.00 \quad = N_{sd} / A_c$$

$$\alpha_{cw} = 1.00$$

$$V_{Rd,max} = 3962 \text{ kN} \quad = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v \cdot f_{cd} / (\cot \theta + \tan \theta)$$

$$\gamma_{Bd1} = 1.25 \quad \text{coefficiente di sicurezza (EN1998-2-5.6.2.b)}$$

$$V_{Rd} = 1891 \text{ kN} \quad = \min(V_{Rd,s}; V_{Rd,max})$$

$$V_{Ed} = 1882 \quad \text{minore o uguale di} \quad V_{Rd} = 1891 \quad \text{verifica soddisfatta}$$

**VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394**  
**Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di  
 calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 01 00 002	A	71 di 104

- DIREZIONE VERTICALE (Z)

La sezione resistente è costituita dalle due travi rettangolari laterali, si prevede una armatura resistente a taglio costituita da 2  $\phi 20$  passo 150 mm.

**Azioni di taglio**

$$A_{ed} \cdot \gamma = 5514 \cdot 0.50 = 2757 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 2757 \text{ kN}$$

$$N_{sd} = -1156 \text{ kN} \quad \text{sforzo normale}$$

$$b_w = 0.400 \text{ m} \quad \text{larghezza (6.16)}$$

$$h = 3.150 \text{ m} \quad \text{altezza totale}$$

$$c = 0.060 \text{ m} \quad \text{copriferro}$$

$$d = 3.090 \text{ m} \quad \text{altezza utile}$$

$$A_c = 3.279 \text{ m}^2 \quad \text{area}$$

**Resistenza delle staffe:**

$$\phi_w = 20 \text{ mm} \quad \text{diametro staffa}$$

$$n = 2.00 \quad \text{numero braccia}$$

$$A_{sw} = 6.28 \text{ cm}^2$$

$$z = 2.78 \text{ m} \quad = 0.9 \cdot d$$

$$\sin \alpha = 1 \quad \alpha \text{ angolo tra le staffe e l'asse della trave } (\alpha = 90^\circ \text{ per staffe verticali})$$

$$\rho_w = 1.05 \% \quad = A_{sw} / (s \cdot b_w \cdot \sin \alpha) \cdot 100 \geq$$

$$s = 0.15 \text{ m} \quad = \text{passo staffe} \leq$$

$$\theta = 45.0^\circ$$

$$\tan \theta = 1.00$$

$$\cot \theta = 1.00$$

$$\rho_{w,max} = 4.10 = A_{sw,max} \cdot f_{yd} / (b_w \cdot s) \leq 1/2 \cdot \alpha_{cw} \cdot v \cdot f_{cd} = 4.49 \quad \text{verifica soddisfatta}$$

$$V_{Rd,s} = 4558 \text{ kN} = A_{sw} / s \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta$$

**Resistenza del puntone compresso:**

$$v = 0.528 = 0.6 \cdot (1 - f_{ck} / 250) \quad (\text{from EN 6.6N})$$

$$\sigma_{cp} = 0.00 = N_{sd} / A_c$$

$$\alpha_{cw} = 1.00$$

$$V_{Rd,max} = 4992 \text{ kN} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v \cdot f_{cd} / (\cot \theta + \tan \theta)$$

$$\gamma_{Bd1} = 1.25 \quad \text{coefficiente di sicurezza (EN1998-2-5.6.2.b)}$$

$$V_{Rd} = 3647 \text{ kN} = \min(V_{Rd,s}; V_{Rd,max})$$

$$V_{Ed} = 3016 \quad \text{minore o uguale di} \quad V_{Rd} = 3647 \quad \text{verifica soddisfatta}$$

	<b>RIPRISTINO LINEA CALTAGIRONE-GELA MIGLIORAMENTI STRUTTURALI PER L'ADEGUAMENTO SISMICO DEI VIADOTTI</b>					
	<b>LOTTO 2: NISCEMI - GELA</b>					
<b>VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394</b> <b>Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione</b>	COMMESSA <b>RS6K</b>	LOTTO 00	CODIFICA R 09 CL	DOCUMENTO VI 01 00 002	REV. A	FOGLIO 72 di 104

## 11 VERIFICA DEGLI ANGOLARI METALLICI DI RINFORZO DELLE PILE

Ai quattro vertici della sezione delle pile sono posti degli angolari metallici con profilo ad ELLE a lati uguali di dimensioni 250x250x20 mm. Tali elementi si attivano principalmente in presenza di azioni orizzontali, funzionando come delle bielle tese o compresse e contribuendo alla resistenza flessionale della pila.

Si riportano le caratteristiche principali dell'elemento strutturale oggetto di verifica:

Acciaio	S355
$f_{yd}$ (MPa)	338
Area (mm <sup>2</sup> )	1.0 E+4
$N_{Rd}$ (kN)	3380

L'elemento nel modello di calcolo è stato schematizzato come una biella elasto-plastica, il cui limite di elasticità è il valore di snervamento suindicato ( $N_{Rd}$ ). È esclusa la possibilità di instabilità in quanto ricoperto dalla camicia in cls, pertanto è garantito il suo funzionamento bidirezionale (trazione/compressione).

Quale verifica dell'elemento si riportano le immagini estrapolate dal modello di calcolo relative alle sollecitazioni massime a cui tali elementi sono sottoposti nelle quattro condizioni sismiche analizzate.

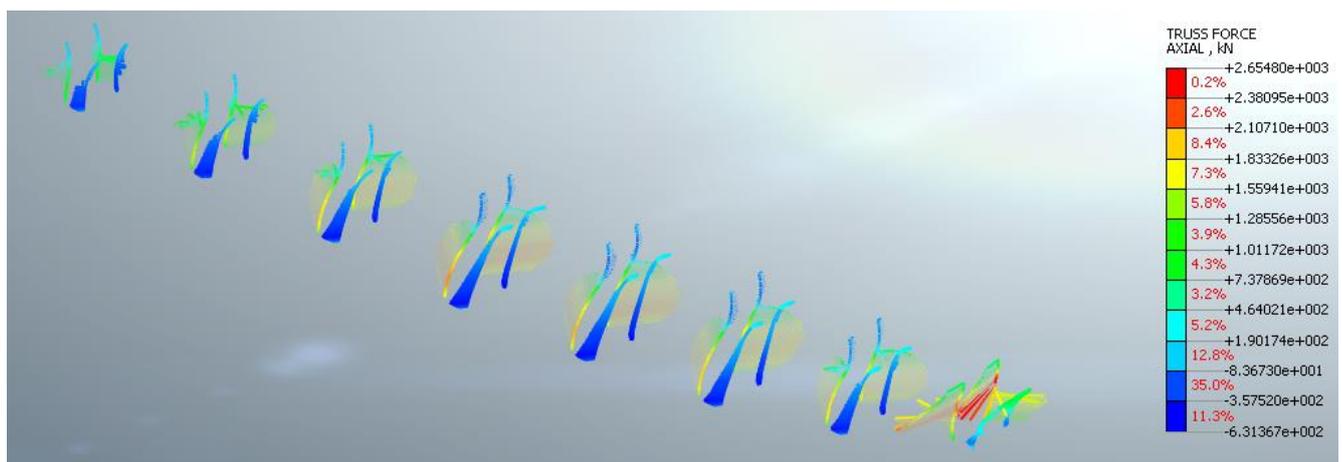


Figura 46: Analisi sismica FX-GR1 ( $N_{Ed\_max}=2655$  kN)

**VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394**  
Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 01 00 002	A	73 di 104

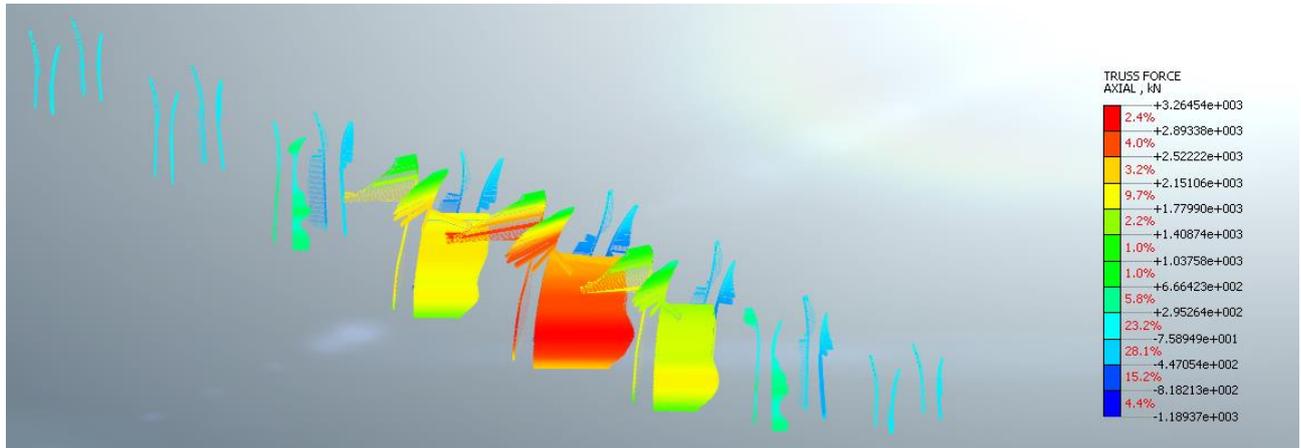


Figura 47: Analisi sismica FY-GR1 (NEd\_max=3264 kN)

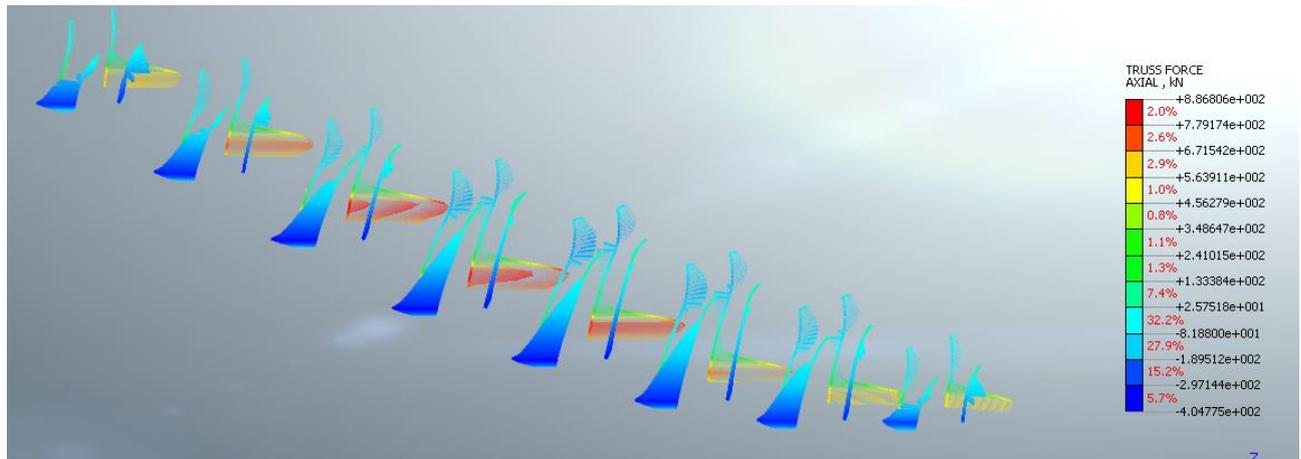


Figura 48: Analisi sismica FX-GR2 (NEd\_max=886 kN)

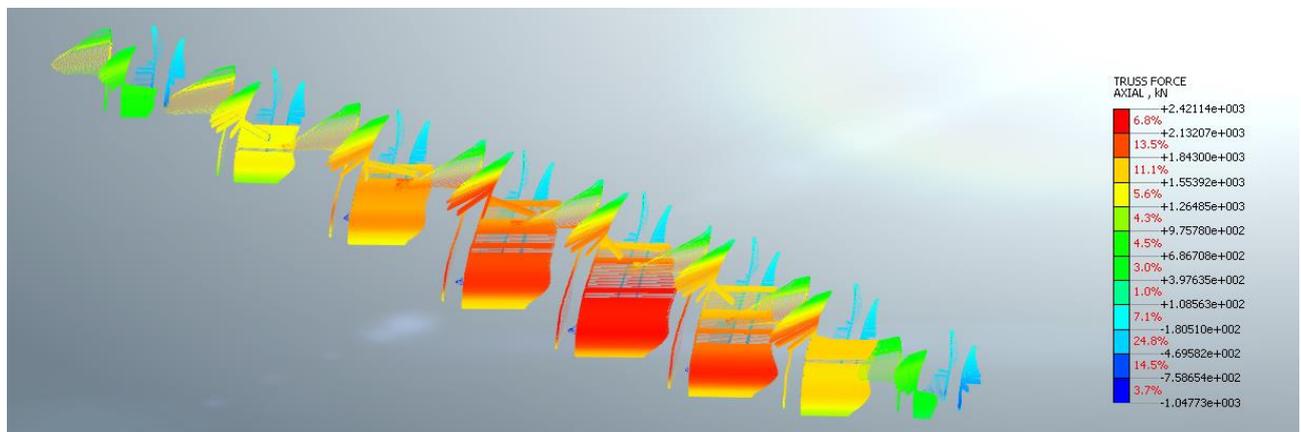


Figura 49: Analisi sismica FY-GR2 (NEd\_max=2421 kN)

**VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394**  
**Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di  
 calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 01 00 002	A	74 di 104

## 12 VERIFICA DEGLI INTERVENTI IN FONDAZIONE

### 12.1 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

#### 12.1.1 Unità geotecniche

- **Unità 1:** Depositi eluvio-colluviali di natura sabbioso-limosa e Sabbie limose argillose – limi sabbiosi argillosi, di colore giallastro, localmente quarzose, con intercalazioni di areniti-biocalcareniti. Lo spessore di tale unità risulta di circa 11 m da p.c.;
- **Unità 2:** Argille limose sabbiose e/o limi sabbiosi argillosi grigio-azzurre, intercettate a partire dalla profondità di circa 11 m da p.c..

#### 12.1.2 Falda

Il livello di falda assunto in questa sede è stato definito principalmente sulla base delle misure in fase di monitoraggio dei piezometri installati nei fori di sondaggio. E' stato attrezzato il sondaggio S3.

	S3
LIVELLO FALDA	-10.8 m (+219.5 m s.l.m.)

#### 12.1.3 Parametri geotecnici di calcolo

Nelle tabelle che seguono si sintetizzano gli schemi stratigrafici ed i parametri geotecnici caratteristici delle unità individuate, nel rispetto di quanto illustrato nella relazione geotecnica.

Parametri	Unità 1
$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	20
$\phi'$ (°)	30-35
$c'$ (kPa)	0-5
$C_u$ (kPa)	-
$E_{op}$ (MPa)	50
$E_u$ (MPa)	-
$k$ (m/s)	7.30E-07

**VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394**  
**Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di  
calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 01 00 002	A	75 di 104

Parametri	Unità	
$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	19	
$\varphi'$ (°)	20-25	
$c'$ (kPa)	5-20	
$C_u$ 1 (kPa)	150	da tetto strato a 25 m
$C_u$ 2 (kPa)	200	da 25 m a 40 m
$E_{op}$ 1 (MPa)	80	da tetto strato a 25 m
$E_{op}$ 2 (MPa)	80	da 25 m a 40 m
$E_u$ 1 (MPa)	100	da tetto strato a 25 m
$E_u$ 2 (MPa)	100	da 25 m a 40 m
$k$ (m/s)	1.85E-08	

## 12.2 COMBINAZIONI DI CARICO

Come già indicato in precedenza in fase statica (non sismica), il modello di calcolo è elastico pertanto vale il principio di sovrapposizione degli effetti, quindi le varie sollecitazioni elementari vengono analizzate separatamente e poi assemblate secondo le varie combinazioni di riferimento.

Le analisi sismiche sono state condotte mediante modelli non lineari, applicando una sequenza costruttiva che prevede prima l'applicazione di carichi verticali poi quelli sismici. Il modello pertanto fornisce risultati complessivi (intesi come tensioni, deformazioni, sollecitazioni, etc.), su cui non è possibile applicare la regola della sovrapposizione degli effetti. Tuttavia ai fini delle verifiche strutturali onde soddisfare le richieste normative in merito di combinazione dei carichi, dell'elemento di rinforzo, si è optato per forzare la regola teorica summenzionata associando i risultati delle analisi sismiche non lineari con gli altri carichi eventualmente previsti dalle combinazioni da normativa e desunti dal modello di calcolo lineare (treni di carico, cedimenti etc..). Tale approccio è certamente conservativo in termini di sollecitazioni agenti sugli elementi strutturali. Diversamente, non risulta possibile combinare tra loro i risultati delle analisi sismiche, che sono state condotte separatamente per le direzioni principali dell'opera (longitudinale e trasversale). Pertanto le combinazioni di carico impiegate per la verifica contempleranno esclusivamente l'una o l'altra direzione di applicazione dell'azione sismica orizzontale, il sisma verticale invece è stato valutato come un'azione statica pertanto ricompreso nelle combinazioni.

La tabella seguente riporta il dettaglio delle combinazioni di carico impiegate nella verifica dell'elemento strutturale, combinate considerando l'approccio A1.

**VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394**  
 Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di  
 calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 01 00 002	A	76 di 104

	G1	G2	Treno 1C	Treno 2C	Frenatura	Serpeggio	Vento	Ced. inf.	Ced. sup.
SLU1	1.35	1.5	1.45	0	1.45	1.45	0.9	0	1.2
SLU2	1.35	1.5	0	1.45	1.45	1.45	0.9	0	1.2
SLU3	1.35	1.5	1.16	0	1.16	1.16	1.5	0	1.2
SLU4	1.35	1.5	0	1.16	1.16	1.16	1.5	0	1.2
SLU5	1.35	1.5	1.45	0	1.45	1.45	0.9	1.2	0
SLU6	1.35	1.5	0	1.45	1.45	1.45	0.9	1.2	0
SLU7	1.35	1.5	1.16	0	1.16	1.16	1.5	1.2	0
SLU8	1.35	1.5	0	1.16	1.16	1.16	1.5	1.2	0
SLU9	1.35	1.5	0	0	0	0	0	1.2	0
SLU10	1.35	1.5	0	0	0	0	0	0	1.2
SLU11	1	1	1.45	0	1.45	1.45	0.9	0	1.2
SLU12	1	1	0	1.45	1.45	1.45	0.9	0	1.2
SLU13	1	1	1.16	0	1.16	1.16	1.5	0	1.2
SLU14	1	1	0	1.16	1.16	1.16	1.5	0	1.2
SLU15	1	1	1.45	0	1.45	1.45	0.9	1.2	0
SLU16	1	1	0	1.45	1.45	1.45	0.9	1.2	0
SLU17	1	1	1.16	0	1.16	1.16	1.5	1.2	0
SLU18	1	1	0	1.16	1.16	1.16	1.5	1.2	0
SLU19	1	1	0	0	0	0	0	1.2	0
SLU20	1	1	0	0	0	0	0	0	1.2

	Treno 1C	Treno 2C	Frenatura	Serpeggio	FX gr1	FX gr2	FY gr1	FY gr2	SLV Z
SLV1	0.2	0	0.2	0.2	1	0	0	0	0.3
SLV2	0.2	0	0.2	0.2	1	0	0	0	-0.3
SLV3	0.2	0	0.2	0.2	0	1	0	0	0.3
SLV4	0.2	0	0.2	0.2	0	1	0	0	-0.3
SLV5	0.2	0	0.2	0.2	0	0	1	0	0.3
SLV6	0.2	0	0.2	0.2	0	0	1	0	-0.3
SLV7	0.2	0	0.2	0.2	0	0	0	1	0.3
SLV8	0.2	0	0.2	0.2	0	0	0	1	-0.3
SLV9	0	0.2	0.2	0.2	1	0	0	0	0.3
SLV10	0	0.2	0.2	0.2	1	0	0	0	-0.3
SLV11	0	0.2	0.2	0.2	0	1	0	0	0.3
SLV12	0	0.2	0.2	0.2	0	1	0	0	-0.3
SLV13	0	0.2	0.2	0.2	0	0	1	0	0.3
SLV14	0	0.2	0.2	0.2	0	0	1	0	-0.3
SLV15	0	0.2	0.2	0.2	0	0	0	1	0.3
SLV16	0	0.2	0.2	0.2	0	0	0	1	-0.3

SLU: Combinazione stati limite ultimi

SLV: Combinazione Sismica

**VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394**  
**Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di  
calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 01 00 002	A	77 di 104

Tab. 5.2.V - Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU

Coefficiente			EQU <sup>(1)</sup>	A1	A2
Azioni permanenti	favorevoli	$\gamma_{G1}$	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00
Azioni permanenti non strutturali <sup>(2)</sup>	favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Ballast <sup>(3)</sup>	favorevoli	$\gamma_B$	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Azioni variabili da traffico <sup>(4)</sup>	favorevoli	$\gamma_Q$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,45	1,45	1,25
Azioni variabili	favorevoli	$\gamma_{Qi}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Precompressione	favorevole	$\gamma_P$	0,90	1,00	1,00
	sfavorevole		1,00 <sup>(5)</sup>	1,00 <sup>(6)</sup>	1,00
Ritiro, viscosità e cedimenti non imposti appositamente	favorevole	$\gamma_{Ce}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevole	d	1,20	1,20	1,00

### 12.3 SOLLECITAZIONI

Le sollecitazioni elementari sono state ottenute dal modello mediante l'integrazione su un prefissato piano di taglio (sezione) delle forze nodali associate ai vari elementi bi e tri dimensionali che costituiscono il modello di calcolo.

Il piano di taglio è stato individuato in corrispondenza dell'estradosso della fondazione, in corrispondenza della pila più alta del viadotto.

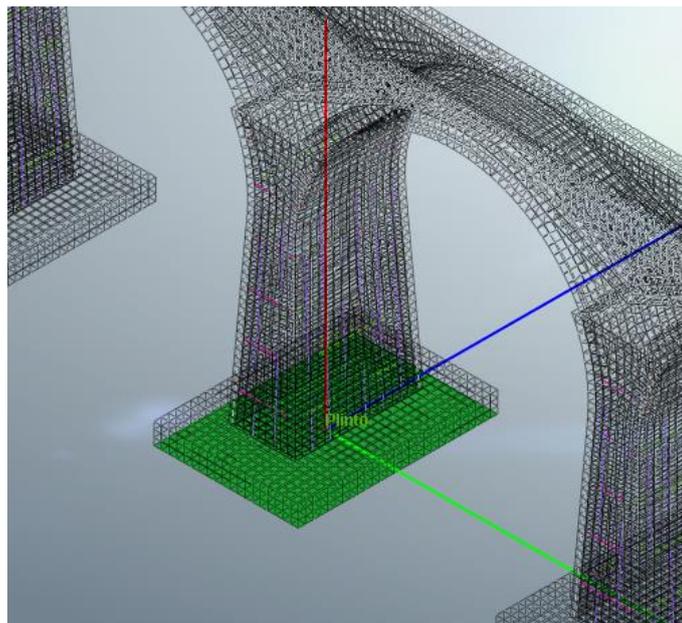


Figura 50: Sezione di integrazione delle forze nodali a base plinto (Assi di riferimento: rosso=z, verde=x, blu=y)

**VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394**  
**Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di  
 calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 01 00 002	A	78 di 104

Nella tabella seguente si riportano le azioni elementari da modello:

azioni elementari	N	Vx	Vy	My	Mx	T
G1 postoperam	-6052	-27	4	20	-70	-4
G2	-230	-3	0	-26	-4	0
Cedimento inf.	1414	15	1	-62	-4	-1
Cedimento sup.	-765	410	-1	2746	9	1
T1	-918	-283	0	-2035	-16	3
Frenatura	1	16	0	195	0	0
Centrifuga	0	0	0	0	0	0
T2	-1860	-21	0	-156	-23	2
Serpeggio	1	0	57	1	-1378	-8
Vento	-15	-1	371	5	-6866	36
FX GR1	-23384	8017	-6	86308	248	200
FX GR2	-23737	8133	-3	62893	-31	42
FY GR1	-23230	-83	8330	487	-157387	590
FY GR2	-23558	-126	9657	-57	-138171	442
SLV Z	-1790	-5	0	-5	-13	2
G1_anteoperam	-17590	-43	1	-84	-104	26

Si riportano quindi le azioni combinate all'estradosso della fondazione:

Comb	N	Vx	Vy	My	Mx	T
	kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm
_SLV1	-24104.2	7962.481	5.321798	85938.46	-34.496	198.9555
_SLV2	-23030.5	7965.691	5.095554	85941.37	-26.5859	197.9844
_SLV3	-24457.2	8077.581	8.754198	62523.32	-313.537	41.66849
_SLV4	-23383.5	8080.791	8.527954	62526.23	-305.627	40.69743
_SLV5	-23950.2	-138.03	8342.058	117.5813	-157670	589.9155
_SLV6	-22876.5	-134.82	8341.832	120.4981	-157662	588.9444
_SLV7	-24278.2	-180.859	9668.358	-426.408	-138453	441.7655
_SLV8	-23204.5	-177.649	9668.132	-423.491	-138445	440.7944
_SLV9	-24292.5	8014.702	5.276164	86314.24	-35.8675	198.6435
_SLV10	-23218.7	8017.911	5.04992	86317.16	-27.9574	197.6724
_SLV11	-24645.5	8129.802	8.708564	62899.1	-314.908	41.35651
_SLV12	-23571.7	8133.011	8.48232	62902.02	-306.998	40.38545
_SLV13	-24138.5	-85.8092	8342.012	493.3687	-157672	589.6035
_SLV14	-23064.7	-82.5999	8341.786	496.2855	-157664	588.6324
_SLV15	-24466.5	-128.638	9668.312	-50.6207	-138455	441.4535
_SLV16	-23392.7	-125.429	9668.086	-47.7039	-138447	440.4824

**VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394**  
**Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di  
 calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 01 00 002	A	79 di 104

Comb	N	Vx	Vy	My	Mx	T
	kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm
_SLU1	-34522.5	4.077788	423.3799	508.3465	-8429.51	38.43231
_SLU2	-35887.5	382.6757	423.049	3232.805	-8439.45	36.17046
_SLU3	-34265.5	81.01418	629.252	1044.814	-12145	61.57327
_SLU4	-35357.6	383.8925	628.9873	3224.381	-12153	53.44129
_SLU5	-31907	-468.818	425.3066	-2862.14	-8446.09	36.55602
_SLU6	-33272	-90.2203	424.9757	-137.679	-8456.03	34.29416
_SLU7	-31650	-391.882	631.1786	-2325.67	-12161.6	56.28283
_SLU8	-32742	-89.0035	630.914	-146.104	-12169.6	60.83799
_SLU9	-30564.5	-81.7388	7.68894	-201.024	-245.664	14.50322
_SLU10	-33180	391.1573	5.762256	3169.461	-229.082	16.37952
_SLU11	-26132.9	30.42984	421.6113	543.9517	-8366.78	27.46986
_SLU12	-27497.9	409.0277	421.2804	3268.411	-8376.72	31.53051
_SLU13	-25875.9	107.3662	627.4833	1080.419	-12082.3	56.93332
_SLU14	-26967.9	410.2446	627.2187	3259.986	-12090.3	51.70969
_SLU15	-23517.3	-442.466	423.5379	-2826.53	-8383.36	41.25229
_SLU16	-24882.4	-63.8683	423.2071	-102.074	-8393.31	38.99044
_SLU17	-23260.4	-365.53	629.41	-2290.07	-12098.9	64.39325
_SLU18	-24352.4	-62.6514	629.1453	-110.499	-12106.8	62.58377
_SLU19	-22174.8	-55.3867	5.920314	-165.418	-182.939	20.464
_SLU20	-24790.4	417.5093	3.99363	3205.066	-166.358	22.34029

Alle suddette azioni sono state poi aggiunte, nelle modalità che verranno specificate nei paragrafi successivi, le seguenti:

- Peso proprio del plinto esistente (stimato pari a 4549 kN), del nuovo cordolo di allargamento (stimato pari a 9553 kN) e del rinterro (stimato pari a 4166 kN);
- Inerzia del plinto esistente, del nuovo cordolo di allargamento e del rinterro (solo in condizioni sismiche);
- Momento dovuto al trasporto di Vx e Vy dallo spiccato della pila alla testa dei pali, calcolato con un braccio di 1.4 m;
- Momento generato dalle forze di inerzia.

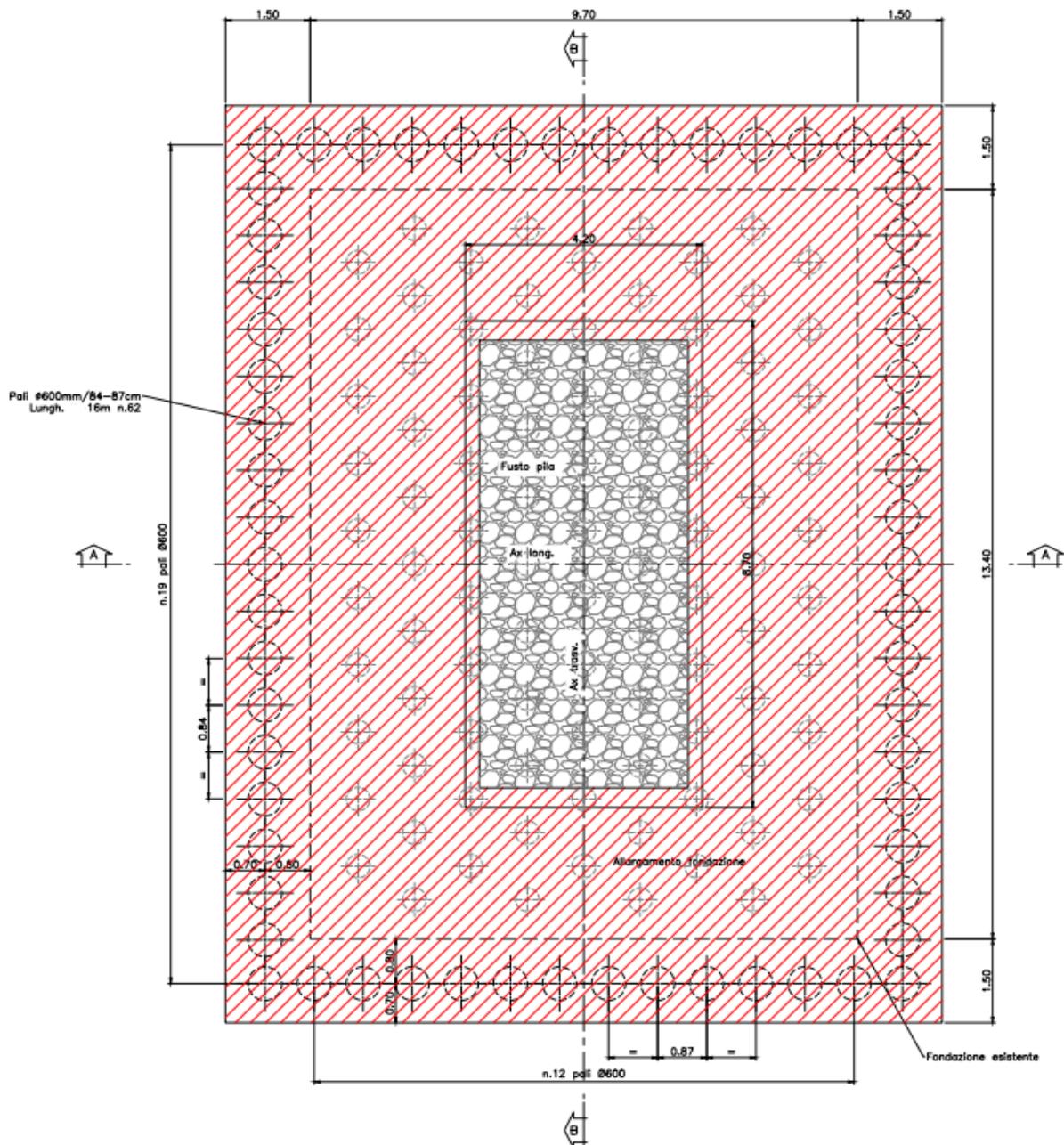
Il valore dell'accelerazione impiegato per il calcolo delle forze di inerzia è  $a_{max} = a_g S = 0.219g$ .

**VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394**  
**Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di  
calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 01 00 002	A	80 di 104

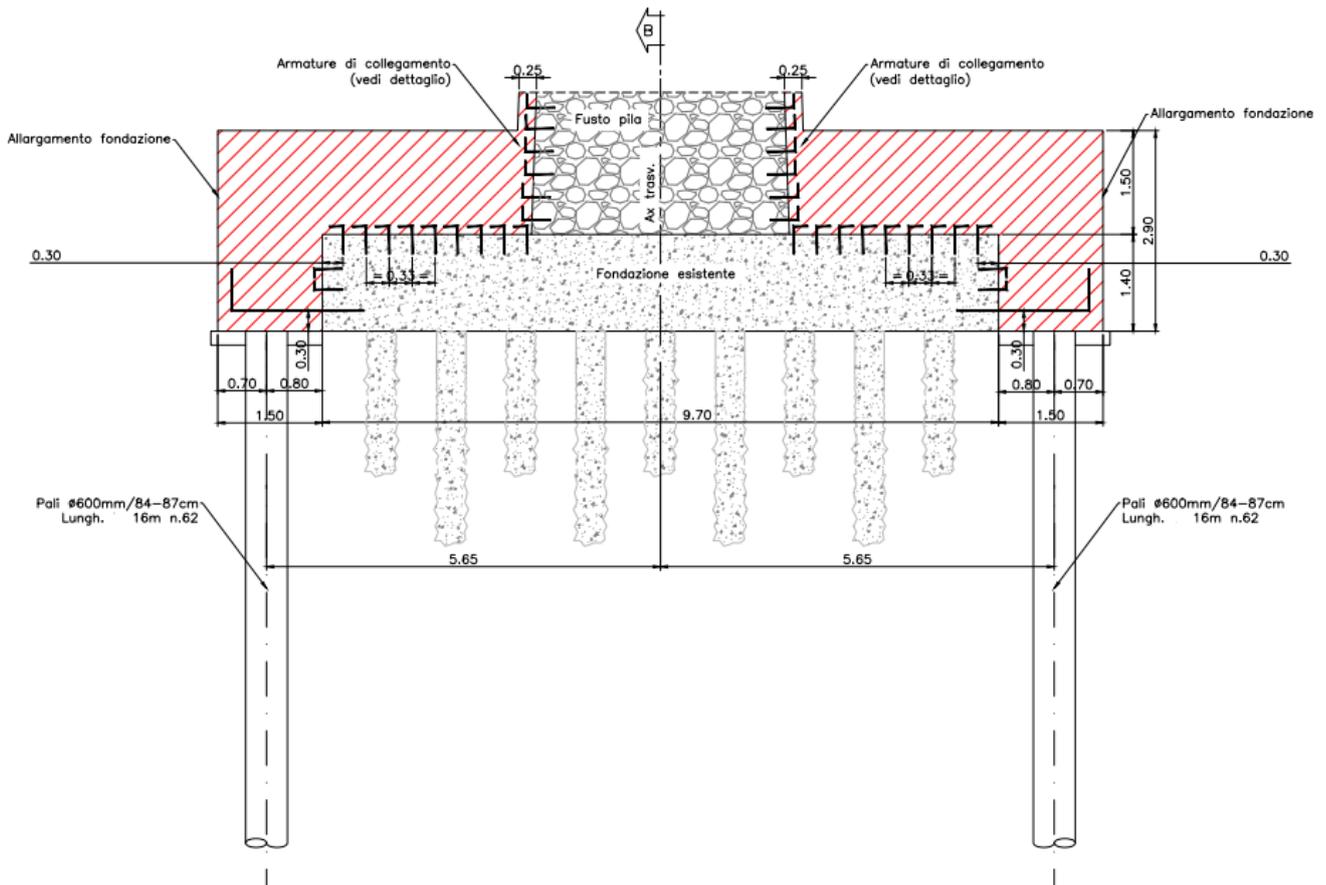
## 12.4 VERIFICHE

L'intervento prevede la realizzazione di un ringrosso del plinto tramite un cordolo di cinta con una fila di pali di medio diametro D600, spazati di circa 85cm e lunghezza 16m.



**Figura 51: pianta intervento**

Sezione A-A  
Scala 1:50



**Figura 52: sezione intervento**

La nuova struttura è realizzata con un calcestruzzo C25/30 armato con ferri classe B450C. Di seguito sono esplicitati i valori di calcolo impiegati per le verifiche del calcestruzzo armato:

<i>CLS C25/30</i>	<i>Acciaio B450C</i>
$f_{cd} = 14.2 \text{ Mpa}$	$f_{yd} = 391 \text{ MPa}$
$\epsilon_{cu} = 0.35\%$	$\epsilon_{su} 5\%$

**VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394**  
**Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di  
 calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 01 00 002	A	82 di 104

### 12.4.1 Verifiche geotecniche

Considerata la tipologia e la geometria della fondazione una volta realizzato l'intervento, si è optato per eseguire una verifica disaccoppiata, separando la verifica per carichi orizzontali da quella per carichi verticali.

Nello specifico, nella verifica per carichi orizzontali, si è ipotizzato un comportamento a pozzo, mentre per quella a carichi verticali si è ipotizzato un comportamento a palificata.

Al pozzo sono stati assegnati, oltre ai carichi orizzontali dovuti al sisma (comprensivi delle inerzie di fondazione esistente, nuovo cordolo di allargamento e rinterro), anche i carichi presenti pre-intervento dopo aver "svuotato" il viadotto; viceversa, tutto l'incremento di sforzo assiale dovuto all'intervento e al sisma è stato assegnato alla palificata, compresi i momenti derivanti sia dal sisma che dalle forze di inerzia.

Di conseguenza, le azioni di interesse per il pozzo (da modello, estradosso fondazione) sono le seguenti:

Pozzo	N	Vx	Vy	My	Mx	T
	kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm
_SLV1	-17590.00	7962.48	5.32	-84.10	-104.23	25.60
_SLV2	-17590.00	7965.69	5.10	-84.10	-104.23	25.60
_SLV3	-17590.00	8077.58	8.75	-84.10	-104.23	25.60
_SLV4	-17590.00	8080.79	8.53	-84.10	-104.23	25.60
_SLV5	-17590.00	-138.03	8342.06	-84.10	-104.23	25.60
_SLV6	-17590.00	-134.82	8341.83	-84.10	-104.23	25.60
_SLV7	-17590.00	-180.86	9668.36	-84.10	-104.23	25.60
_SLV8	-17590.00	-177.65	9668.13	-84.10	-104.23	25.60
_SLV9	-17590.00	8014.70	5.28	-84.10	-104.23	25.60
_SLV10	-17590.00	8017.91	5.05	-84.10	-104.23	25.60
_SLV11	-17590.00	8129.80	8.71	-84.10	-104.23	25.60
_SLV12	-17590.00	8133.01	8.48	-84.10	-104.23	25.60
_SLV13	-17590.00	-85.81	8342.01	-84.10	-104.23	25.60
_SLV14	-17590.00	-82.60	8341.79	-84.10	-104.23	25.60
_SLV15	-17590.00	-128.64	9668.31	-84.10	-104.23	25.60
_SLV16	-17590.00	-125.43	9668.09	-84.10	-104.23	25.60

**VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394**  
**Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di  
calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 01 00 002	A	83 di 104

Pozzo	N	Vx	Vy	My	Mx	T
	kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm
_SLU1	-23746.50	4.08	423.38	-113.54	-140.71	34.55
_SLU2	-23746.50	382.68	423.05	-113.54	-140.71	34.55
_SLU3	-23746.50	81.01	629.25	-113.54	-140.71	34.55
_SLU4	-23746.50	383.89	628.99	-113.54	-140.71	34.55
_SLU5	-23746.50	-468.82	425.31	-113.54	-140.71	34.55
_SLU6	-23746.50	-90.22	424.98	-113.54	-140.71	34.55
_SLU7	-23746.50	-391.88	631.18	-113.54	-140.71	34.55
_SLU8	-23746.50	-89.00	630.91	-113.54	-140.71	34.55
_SLU9	-23746.50	-81.74	7.69	-113.54	-140.71	34.55
_SLU10	-23746.50	391.16	5.76	-113.54	-140.71	34.55
_SLU11	-23746.50	15.31	422.10	-113.54	-140.71	34.55
_SLU12	-23746.50	393.91	421.77	-113.54	-140.71	34.55
_SLU13	-23746.50	92.25	627.98	-113.54	-140.71	34.55
_SLU14	-23746.50	395.12	627.71	-113.54	-140.71	34.55
_SLU15	-23746.50	-457.59	424.03	-113.54	-140.71	34.55
_SLU16	-23746.50	-78.99	423.70	-113.54	-140.71	34.55
_SLU17	-23746.50	-380.65	629.90	-113.54	-140.71	34.55
_SLU18	-23746.50	-77.77	629.64	-113.54	-140.71	34.55
_SLU19	-23746.50	-70.51	6.41	-113.54	-140.71	34.55
_SLU20	-23746.50	402.39	4.49	-113.54	-140.71	34.55

A queste vanno sommati il peso del plinto esistente e le forze di inerzia.

Mentre quelle di interesse per la palificata (da modello, spiccato pila) sono:

Palificata	N	Vx	Vy	My	Mx	T
	kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm
_SLV1	-6514.21	8005.68	3.91	86022.56	69.73	173.36
_SLV2	-5440.46	8008.89	3.69	86025.47	77.64	172.39
_SLV3	-6867.21	8120.78	7.35	62607.42	-209.31	16.07
_SLV4	-5793.46	8123.99	7.12	62610.33	-201.40	15.10
_SLV5	-6360.21	-94.83	8340.65	201.68	-157565.91	564.32
_SLV6	-5286.46	-91.62	8340.42	204.60	-157558.00	563.35
_SLV7	-6688.21	-137.66	9666.95	-342.31	-138349.09	416.17
_SLV8	-5614.46	-134.45	9666.72	-339.39	-138341.18	415.20
_SLV9	-6702.49	8057.90	3.87	86398.34	68.36	173.05
_SLV10	-5628.74	8061.11	3.64	86401.26	76.27	172.08
_SLV11	-7055.49	8173.00	7.30	62983.20	-210.68	15.76
_SLV12	-5981.74	8176.21	7.07	62986.12	-202.77	14.79
_SLV13	-6548.49	-42.61	8340.60	577.47	-157567.28	564.01
_SLV14	-5474.74	-39.40	8340.38	580.39	-157559.37	563.04
_SLV15	-6876.49	-85.44	9666.90	33.48	-138350.46	415.86
_SLV16	-5802.74	-82.23	9666.68	36.40	-138342.55	414.89

**VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394**  
**Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di  
 calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 01 00 002	A	84 di 104

Palificata	N	Vx	Vy	My	Mx	T
	kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm
_SLU1	-10776.00	62.40	421.48	621.88	-8288.80	3.88
_SLU2	-12141.05	441.00	421.15	3346.34	-8298.74	1.62
_SLU3	-10519.03	139.33	627.35	1158.35	-12004.33	27.02
_SLU4	-11611.07	442.21	627.09	3337.92	-12012.28	18.89
_SLU5	-8160.47	-410.50	423.40	-2748.60	-8305.38	2.00
_SLU6	-9525.51	-31.90	423.07	-24.14	-8315.32	-0.26
_SLU7	-7903.50	-333.56	629.28	-2212.14	-12020.91	21.73
_SLU8	-8995.54	-30.68	629.01	-32.57	-12028.86	26.28
_SLU9	-6817.98	-23.42	5.79	-87.49	-104.96	-20.05
_SLU10	-9433.51	449.48	3.86	3283.00	-88.38	-18.18
_SLU11	-8542.86	73.63	420.20	628.05	-8262.55	1.87
_SLU12	-9907.91	452.23	419.87	3352.51	-8272.50	5.93
_SLU13	-8285.89	150.57	626.07	1164.52	-11978.08	31.34
_SLU14	-9377.93	453.44	625.81	3344.09	-11986.04	26.11
_SLU15	-5927.33	-399.27	422.13	-2742.43	-8279.13	15.66
_SLU16	-7292.37	-20.67	421.80	-17.97	-8289.08	13.39
_SLU17	-5670.36	-322.33	628.00	-2205.97	-11994.66	38.80
_SLU18	-6762.40	-19.45	627.74	-26.40	-12002.62	36.99
_SLU19	-4584.84	-12.19	4.51	-81.32	-78.71	-5.13
_SLU20	-7200.37	460.71	2.58	3289.17	-62.13	-3.26

Tali azioni vengono trasportate alla testa dei pali e vengono addizionate con il peso del cordolo di allargamento ed i momenti generati dalle inerzie.

Le verifiche sono state eseguite secondo:

- Approccio 2 Combinazione A1+M1+R3 (§6.4.3.1)

Per i **pozzi**, il valore di progetto della resistenza  $R_d$  si ottiene a partire dal valore caratteristico  $R_k$  applicando i coefficienti parziali  $\gamma_r$ .

Il coefficiente  $\gamma_r$  da applicare alle resistenze caratteristiche vale:

**Tab. 6.4.I** – Coefficienti parziali  $\gamma_R$  per le verifiche agli stati limite ultimi di fondazioni superficiali

Verifica	Coefficiente parziale
	(R3)
Carico limite	$\gamma_R = 2,3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,1$

**VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394**  
**Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di  
 calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 01 00 002	A	85 di 104

Per i **pali** invece, il valore di progetto della resistenza  $R_d$  del singolo palo si ottiene a partire dal valore caratteristico  $R_k$  applicando i seguenti coefficienti parziali:

**Tab. 6.4.II** – Coefficienti parziali  $\gamma_R$  da applicare alle resistenze caratteristiche a carico verticale dei pali

Resistenza	Simbolo	Pali infissi (R3)	Pali trivellati (R3)	Pali ad elica continua (R3)
	$\gamma_R$	(R3)	(R3)	(R3)
Base	$\gamma_b$	1,15	1,35	1,3
Laterale in compressione	$\gamma_s$	1,15	1,15	1,15
Totale (*)	$\gamma$	1,15	1,30	1,25
Laterale in trazione	$\gamma_{st}$	1,25	1,25	1,25

(\*) da applicare alle resistenze caratteristiche dedotte dai risultati di prove di carico di progetto.

Con riferimento alle procedure analitiche che prevedano l'utilizzo dei parametri geotecnici o dei risultati di prove in sito, il valore caratteristico della resistenza  $R_{c,k}$  (o  $R_{t,k}$ ) è dato dal minore dei valori ottenuti applicando al valore medio e al valore minimo delle resistenze calcolate  $R_{c,cal}$  ( $R_{t,cal}$ ) i fattori di correlazione  $\xi$  riportati nella seguente tabella, in funzione del numero  $n$  di verticali di indagine.

**Tab. 6.4.IV** - Fattori di correlazione  $\xi$  per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali indagate

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	$\geq 10$
$\xi_3$	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
$\xi_4$	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

Per la verifica del **gruppo di pali** si sfrutterà la procedura descritta nell'Eurocodice 7 al §7.6.1.2, nella quale il gruppo di pali viene considerato come un blocco e la resistenza di quest'ultimo viene calcolata con modalità analoghe a quelle di un palo di grande diametro.

### Verifica del pozzo

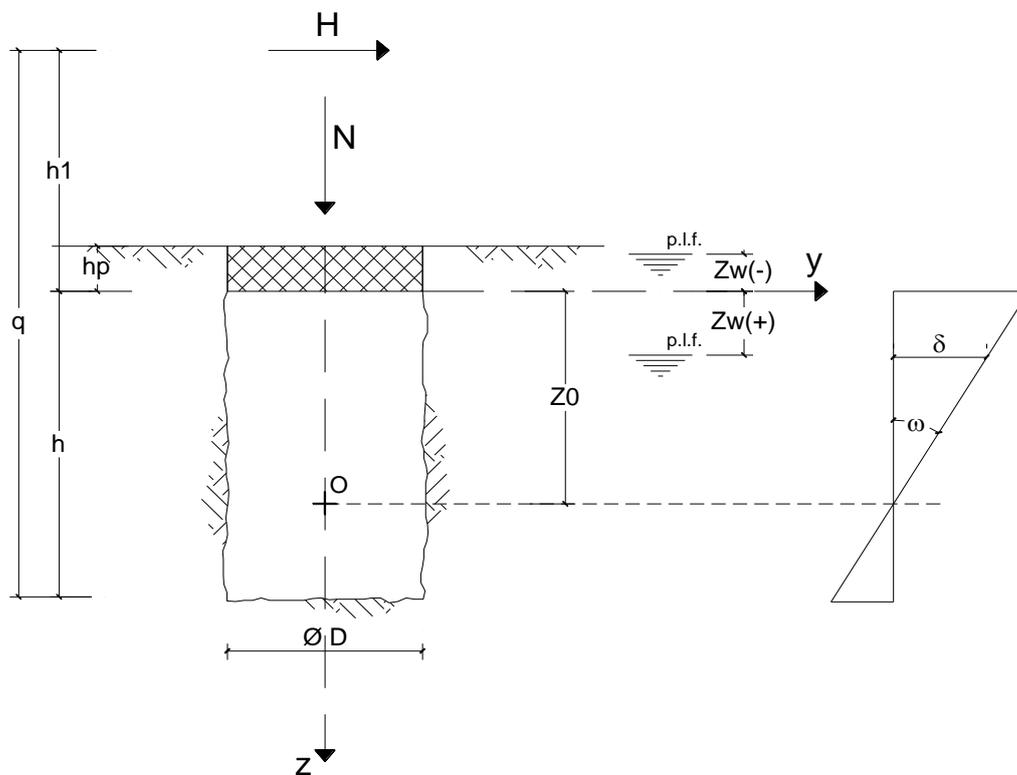
Sulla base delle ipotesi esposte e delle combinazioni riportate, risulta evidente come la combinazione più sfavorevole per la verifica geotecnica del pozzo sia quella sismica con taglio risultante maggiore. Il taglio risultante è definito come la somma vettoriale di  $V_x$  e  $V_y$ .

**VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394**  
**Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di  
calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 01 00 002	A	86 di 104

**CALCOLO DEI POZZI DI FONDAZIONE (Metodo di Jamiolkowski)**

**OPERA: VI-339+394**





**RIPRISTINO LINEA CALTAGIRONE-GELA  
MIGLIORAMENTI STRUTTURALI PER CONSEGUIRE  
L'ADEGUAMENTO SISMICO DEI VIADOTTI  
LOTTO 2: NISCEMI - GELA**

**VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394  
Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di  
calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 01 00 002	A	87 di 104

**TRATTAZIONE TEORICA**

**Formule utilizzate nei calcoli:**

$$z_0 = (\beta Dh^2(4q-h) + 6WD) / (2\beta Dh(3q-h)) \quad \beta = k_h / k_v$$

$$tg \omega = 6H / Rm_n h$$

$$R = (\beta Dh^3 + 18DW) / (2\beta(3q-h))$$

$$\sigma_h(z) = (6H / Rh)z(z_0 - z) \quad (\sigma_h(z)_{max} \text{ per } z = z_0/2)$$

$$\sigma_{z_{max}(min)} = Nt / A \pm (3DH) / (\beta R)$$

$$M(z) = (h_1 + z(1 - ((Dz^2)/(2Rh))(2z_0 - z)))$$

$$\delta_h = (z_0 - z) * tg \omega$$

**Verifica della condizione di fondazione infinitamente rigida:**

$$2,5 / h > ((m_h * D) / (Ep * Jp))^{1/5} \quad (\text{Silin e Zavrijev})$$

**DATI DI INPUT:**

**Caratteristiche geometriche del pozzo**

D = diametro del pozzo di fondazione =	13.85	(m)
hp = spessore del plinto di fondazione =	1.40	(m)
h = profondità del pozzo di fondazione =	16.00	(m)
A <sub>b</sub> = Area di base (πD <sup>2</sup> /4) =	150.66	(m <sup>2</sup> )
J <sub>p</sub> = Momento di inerzia (πD <sup>4</sup> /64) =	1806.21	(m <sup>4</sup> )
W <sub>p</sub> = Modulo di resistenza (πD <sup>3</sup> /32) =	260.82	(m <sup>3</sup> )
Ep = Modulo di elasticità del pozzo =	15000.00	(MPa)

N.B: IN QUESTO FOGLIO IL PESO DEL PLINTO E' STATO POSTO A ZERO IN QUANTO AGGIUNTO IN N. QUESTA CELLA SERVE QUINDI SOLAMENTE A DEFINIRE LA QUOTA DELL'ESTRADOSSO, IN CORRISPONDENZA DELLA QUALE SONO PRESE LE SOLLECITAZIONI

**VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394**  
**Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di  
calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 01 00 002	A	88 di 104

Metodo di calcolo		coefficienti parziali				
		azioni		proprietà del terreno		
		permanenti	temporanee variabili	tan $\varphi'$	c'	c <sub>u</sub>
Stato limite ultimo	<input type="radio"/>	1.00	1.30	1.25	1.25	1.40
Tensioni ammissibili	<input type="radio"/>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
definiti dall'utente	<input checked="" type="radio"/>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

### Parametri geotecnici

#### Terreno al contorno del fusto

condizioni  drenate  non drenate

		Valori caratteristici	Valori di progetto
peso specifico del terreno	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	20.00	20.00
coesione efficace	c' (kPa)	0.00	0.00
angolo di attrito interno del terreno	$\varphi'$ (°)	32.00	32.00

#### Terreno di base

condizioni  drenate  non drenate

		Valori caratteristici	Valori di progetto
peso specifico del terreno	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	19.00	19.00
resistenza al taglio non drenata	c <sub>u</sub> (kPa)	150.00	150.00

#### profondità della falda

z<sub>w</sub> = profondità della falda = 4.50 (m)

#### coefficienti di reazione

m<sub>h</sub> = modulo di reazione orizzontale = 505.4 (kN/m<sup>4</sup>) *pari ad nh/D. Con nh=7000 kN/m<sup>3</sup> per terreni granulari mediamente addensati*  
k<sub>h</sub> = coefficiente di reazione orizzontale alla base = 8086.64 (kN/m<sup>3</sup>)  
k<sub>v</sub> = coefficiente di reazione verticale = 5054.15 (kN/m<sup>3</sup>)  
 $\beta$  = rapporto tra le cost. di reazione = 1.60 (-)

#### Verifica della condizione di fondazione infinitamente rigida

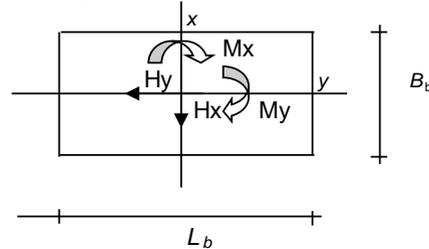
$2,5 / h > ((m_h * D) / (E_{pozzo} * J))^{1/5}$  (Silin e Zavrijev)  
 $2,5 / h = 0.16$  (-)  
 $((m_h * D) / (E_p * J_p))^{1/5} = 0.05$  (-)

condizione di fondazione infinitamente rigida verificata

**VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394**  
**Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di  
calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 01 00 002	A	89 di 104

**Sollecitazioni massime agenti alla base della pila:**



**AZIONI**

	valori di input		Valori di calcolo	
	permanenti	temporanee		
N [kN]	22139.30	0.00	22139.30	aggiunto peso plinto esistente
Mx [kNm]	104.20	0.00	104.20	
My [kNm]	84.10	0.00	84.10	
Hx [kN]	180.90	0.00	180.90	
Hy [kN]	14636.24	0.00	14636.24	aggiunte inerzie

Azioni sismiche provenienti dal modello amplificate per 1.1

**Dimensioni in pianta del plinto di fondazione**

hp = 1.40 (m)

Ap = 150.66 (m)

Pplinto = 0.00 (kN) Vedi quanto riportato sopra

**Sollecitazioni massime agenti alla testa del pozzo:**

Nt = N + Pplinto = 22139.30 (kN)

Ht =  $(Hx^2 + Hy^2)^{0.5}$  = 14637.36 (kN)

Mt =  $(Mxx^2 + Myy^2)^{0.5}$  = 20577.94 (kNm)

dove:

Mxx = Mx + Hy \* hp

Myy = My + Hx \* hp

e = Mt / Nt (eccentricità) = 0.93 (m) (riferita alla testa del pozzo)

h<sub>1</sub> (quota di applicazione Ht) = 1.41 (m)  
( h<sub>1</sub> = Mt / Ht )

q (somma di h e di h1) = 17.41 (m)

**VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394**  
**Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di  
calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 01 00 002	A	90 di 104

**Profondità del centro di rotazione del pozzo**

$$z_0 = (\beta Dh^2(4q-h) + 6WD) / (2\beta Dh(3q-h)) \quad \beta = k_h / k_v$$

$$z_0 = 12.69 \quad (\text{m})$$

**Rotazione del pozzo**

$$R = (\beta Dh^3 + 18DW) / (2\beta(3q-h))$$

$$R = 1344.23 \quad (-)$$

$$\text{tg } \omega = 6H / Rk_h h$$

$$\omega = \text{arctg}(6H / Rm_h h)$$

$$\omega = 0.00808 \quad (\text{rad})$$

$$\omega = 0.4629 \quad (^\circ)$$

**Profondità alla quale si verifica la massima pressione orizzontale**

$\sigma_h(z)_{\text{max}}$

$$z = z_0/2$$

$$z = 6.34 \quad (\text{m})$$

$$\sigma_h(z)_{\text{max}} = 164.36 \quad (\text{kN/m}^2)$$

**Raggio di Nocciolo della sezione del pozzo**

$$r = D/8$$

$$r = 1.73 \quad (\text{m})$$

**Sollecitazioni lungo il fusto del pozzo**

*Pressioni laterali*

$$\sigma_h(z)_{\text{lim}} = k_p \sigma_v'(z) + 2c'(k_p)^{0.5} \quad (\text{tensioni efficaci})$$

$$\sigma_h(z)_{\text{lim}} = \sigma_v(z) + 2cu \quad (\text{tensioni totali})$$

$$k_p = (1 + \sin\phi') / (1 - \sin\phi') = 3.25$$

*Caratteristiche di sollecitazione*

$$N = Nt + A_b \gamma_{cls}$$

$$M = H ((h_1 + z(1 - (Dz^2/(2Rh)))(2z_0 - z)))$$

$$T = H (1 - (Dz^2/(Rh)))(3z_0 - 2z)$$

$$\sigma_h(z) = ((6H)/(Rh))z(z_0 - z)$$

$$\delta_h = (z_0 - z) \text{tg } \omega$$

**VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394**  
**Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di  
 calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 01 00 002	A	91 di 104

z	N	M	T	e	$\sigma_h(z)$	$\sigma_v(z)$	$\sigma_h(z)_{lim}$	$\delta_h$
(m)	(kN)	(kNm)	(kN)	(m)	(kN/m <sup>2</sup> )	(kN/m <sup>2</sup> )	(kN/m <sup>2</sup> )	(cm)
0	22139.30	20577.94	14637.36	0.93	0.00	28.00	91.13	10.25
0.53	23746.31	28366.77	14538.16	1.19	26.47	38.67	125.84	9.82
1.07	25353.32	36052.07	14252.00	1.42	50.62	49.33	160.56	9.39
1.60	26960.33	43538.71	13796.04	1.61	72.45	60.00	195.28	8.96
2.13	28567.33	50740.71	13187.44	F.N.	91.95	70.67	229.99	8.53
2.67	30174.34	57581.23	12443.35	F.N.	109.13	81.33	264.71	8.10
3.20	31781.35	63992.58	11580.94	F.N.	123.99	92.00	299.42	7.67
3.73	33388.36	69916.25	10617.37	F.N.	136.52	102.67	334.14	7.24
4.27	34995.37	75302.84	9569.79	F.N.	146.73	113.33	368.85	6.80
4.80	36602.38	80112.14	8455.37	F.N.	154.62	118.67	386.21	6.37
5.33	38209.38	84313.07	7291.26	F.N.	160.19	124.00	403.57	5.94
5.87	39816.39	87883.70	6094.62	F.N.	163.43	129.33	420.93	5.51
6.40	41423.40	90811.26	4882.61	F.N.	164.35	134.67	438.28	5.08
6.93	43030.41	93092.14	3672.40	F.N.	162.94	140.00	455.64	4.65
7.47	44637.42	94731.86	2481.14	F.N.	159.22	145.33	473.00	4.22
8.00	46244.43	95745.10	1325.98	F.N.	153.17	150.67	490.36	3.79
8.53	47851.43	96155.71	224.09	F.N.	144.79	156.00	507.72	3.36
9.07	49458.44	95996.66	-807.37	F.N.	134.10	161.33	525.07	2.93
9.60	51065.45	95310.09	-1751.24	F.N.	121.08	166.67	542.43	2.50
10.13	52672.46	94147.29	-2590.37	F.N.	105.74	172.00	559.79	2.06
10.67	54279.47	92568.70	-3307.59	1.71	88.07	177.33	577.15	1.63
11.20	55886.48	90643.92	-3885.75	1.62	68.08	182.67	594.50	1.20
11.73	57493.49	88451.68	-4307.68	1.54	45.77	188.00	611.86	0.77
12.27	59100.49	86079.88	-4556.23	1.46	21.14	193.33	629.22	0.34
12.80	60707.50	83625.57	-4614.24	1.38	-5.82	198.67	646.58	-0.09
13.33	62314.51	81194.95	-4464.55	1.30	-35.10	204.00	663.94	-0.52
13.33	62314.51	81194.95	-4464.55	1.30	-35.10	204.00	663.94	-0.52
13.87	63921.52	78903.37	-4089.99	1.23	-66.70	209.33	681.29	-0.95
14.40	65528.53	76875.32	-3473.42	1.17	-100.63	214.67	698.65	-1.38
14.93	67135.54	75244.46	-2597.67	1.12	-136.88	220.00	716.01	-1.81
15.47	68742.54	74153.59	-1445.58	1.08	-175.45	225.33	733.37	-2.24
16.00	70349.55	73754.68	0.00	1.05	-216.34	230.67	750.72	-2.68

$N_b = 70349.55$  (kN)

$M_b = 73754.68$  (kNm)

**Sottospinta idrostatica alla base del pozzo**

$N_w = 17325.56$  (kN)

**Pressioni verticali alla base del pozzo**

$$\sigma_{zmax} = (N_b - N_w) / A_b + (3DH) / (\beta R)$$

$$\sigma_{zmin} = (N_b - N_w) / A_b - (3DH) / (\beta R)$$

$\sigma_{zmax} = 634.73$  (kN/m<sup>2</sup>)

$\sigma_{zmin} = 69.18$  (kN/m<sup>2</sup>)

**VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394**  
**Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di  
calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 01 00 002	A	92 di 104

**Valori Massimi delle caratteristiche di sollecitazione**

Nmax =	70349.55	(kN)	zNmax =	12.80	(m)
Mmax =	96155.71	(kNm)	zMmax =	8.53	(m)
Tmax =	14637.36	(kN)	zTmax =	0.00	(m)

**VERIFICHE GEOTECNICHE**

**Capacità portante limite**

$$q_{lim} = c'N_{csc} + qN_{qsq} + 0,5\gamma BN\gamma sy$$

$$q_{lim} = c_u N_c sc + q$$

$$q = 230.67 \quad (\text{kN/m}^2)$$

$$N_q = 1.00 \quad (-)$$

$$N_c = 5.14 \quad (-)$$

$$N_\gamma = 0.00 \quad (-)$$

$$sc = 1 + 0,2^*(B/L)$$

$$sq = 1$$

$$s_\gamma = 0$$

$$DC = 2(R - e)$$

$$AB = \sqrt{R^2 - e^2}$$

$$\frac{AB}{CD} = \frac{L^*}{B^*}$$

$$h' = R - e$$

$$B^* \cdot L^* = A^* = 2 \left( R^2 \cos^{-1} \left( \frac{R-h'}{R} \right) - (R-h') \sqrt{2Rh'-h'^2} \right)$$

$$e = 1.05 \quad (\text{m})$$

$$h' = 5.88 \quad (\text{m})$$

$$A^* = 121.73 \quad (\text{m}^2)$$

$$L^* = 11.91 \quad (\text{m})$$

$$B^* = 10.22 \quad (\text{m})$$

$$B^*/L^* = 0.86 \quad (\text{m})$$

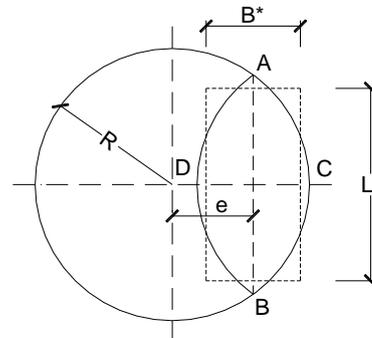
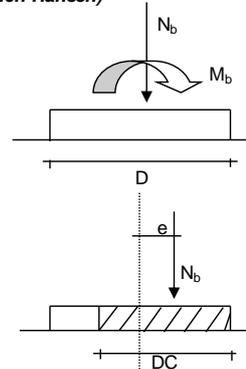
$$sc = 1.172 \quad (-)$$

$$sq = 1.000 \quad (-)$$

$$s_\gamma = 0.000 \quad (-)$$

$$q_{lim} = 1251.38 \quad (\text{kN/m}^2)$$

(Brinch-Hansen)



**VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394**  
**Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di  
calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 01 00 002	A	93 di 104

**Sforzo Verticale limite nel terreno**

$$N_{lim} = q_{lim} \cdot A^*$$

$$N_{lim} = 152327.60 \quad (\text{kN})$$

**Sforzo Verticale massimo nel terreno**

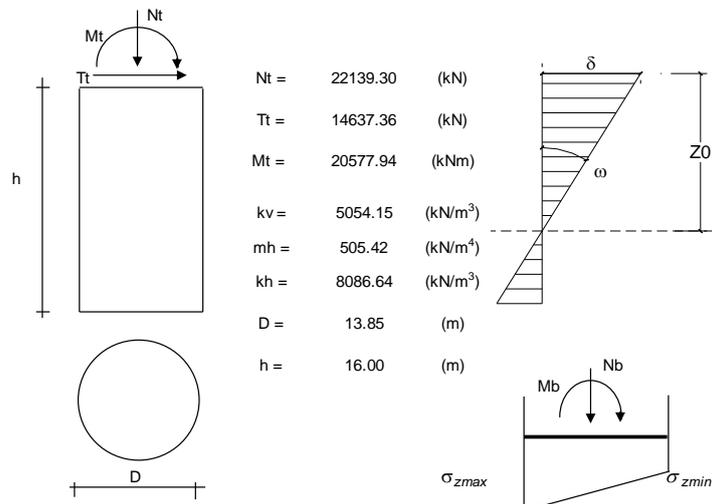
$$N_b - N_w = 53023.99 \quad (\text{kN})$$

**Coefficiente di Sicurezza**

$$F_s = N_{lim} / (N_b - N_w)$$

$$F_s = 2.87$$

**Tabella Riepilogativa**



**Riepilogo Caratteristiche di sollecitazione in corrispondenza dei valori Max di ciascuna**

	<b>N</b> (kN)	<b>M</b> (kNm)	<b>T</b> (kN)
$z_{Mmax} =$	8.53 (m)	54279.47	96155.71
$z_{Nmax} =$	12.80 (m)	70349.55	73754.68
$z_{Tmax} =$	0.00 (m)	22139.30	14637.36

**Caratteristiche di sollecitazione alla base**

$$N_b = 70349.55 \quad (\text{kN})$$

$$M_b = 73754.68 \quad (\text{kNm})$$

**Tensioni alla base**

$$\sigma_{zmax} = 634.73 \quad (\text{kN/m}^2)$$

$$\sigma_{zmin} = 69.18 \quad (\text{kN/m}^2)$$

**Spostamento in testa e rotazione**

$$\delta = 10.25 \quad (\text{cm})$$

$$\omega = 0.00808 \quad (\text{rad})$$

$$\omega = 0.463 \quad (^\circ)$$

**Profondità del centro di rotazione**

$$z_0 = 12.69 \quad (\text{m})$$

**Coefficiente di Sicurezza**

$$F_s = N_{lim} / N_b$$

$$F_s = 2.87 \geq 2.3 = \gamma_R$$

**Fs**

**1.25**



RIPRISTINO LINEA CALTAGIRONE-GELA  
MIGLIORAMENTI STRUTTURALI PER CONSEGUIRE  
L'ADEGUAMENTO SISMICO DEI VIADOTTI  
LOTTO 2: NISCEMI - GELA

**VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394**  
**Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di**  
**calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 01 00 002	A	94 di 104

Verifica a carico limite del palo più caricato

Al fine di calcolare il carico di compressione agente sul palo più caricato, si è proceduto con una ripartizione rigida delle azioni mediante la seguente relazione:

$$E_i = \frac{F}{n} \pm \frac{m_x}{\sum_{1,i}^n dy_i^2} d_{yi} \pm \frac{m_y}{\sum_{1,i}^n dx_i^2} dx_i$$

Si specifica che, analogamente a quanto fatto per il pozzo, le azioni ottenute dal modello in condizioni sismiche sono state amplificate secondo il coefficiente 1.1 nel rispetto del §7.2.5 NTC18.

Sono state prese in considerazione tutte le combinazioni (sia SLV che SLU), il carico risultante sul palo più caricato è quindi di 1149 kN.

La stessa relazione verrà utilizzata anche per il calcolo della massima trazione (ove presente).

**VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394**  
**Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di  
calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione**

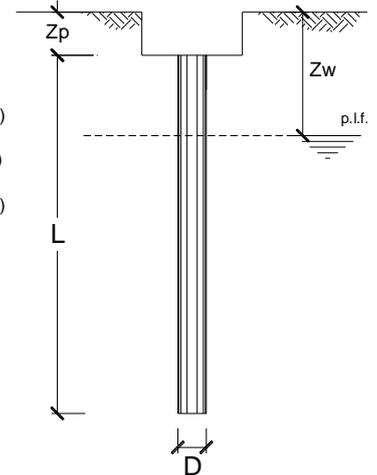
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 01 00 002	A	95 di 104

**CALCOLO DELLA CAPACITA' PORTANTE DI UN PALO TRIVELLATO DI MEDIO DIAMETRO**

OPERA: VI-339+394

**DATI DI INPUT:**

Diametro del Palo (D): 0.60 (m) Area del Palo (Ap): 0.283 (m<sup>2</sup>)  
 Quota testa Palo dal p.c. (z<sub>p</sub>): 3.90 (m) Quota falda dal p.c. (z<sub>w</sub>): 8.40 (m)  
 Carico Assiale Permanente (G): 1149 (kN) Carico Assiale variabile (Q): 0 (kN)  
 Numero di strati 2 Lpalo = 16.00 (m)



coefficienti parziali	Metodo di calcolo	azioni		resistenza laterale e di base	
		permanenti γ <sub>e</sub>	variabili γ <sub>q</sub>	γ <sub>b</sub>	γ <sub>s</sub>
Stato limite ultimo	○	1.00	1.30	1.60	1.30
Tensioni ammissibili	○	1.00	1.00	1.00	1.00
definiti dall'utente	●	1.00	1.00	1.35	1.15

n	1	2	3	4	5	7	10	T.A.	ut
ξ <sub>3</sub>	1.40	1.35	1.33	1.31	1.29	1.27	1.25	1.00	1.65
ξ <sub>4</sub>	1.40	1.27	1.23	1.20	1.15	1.12	1.08	1.00	1.55

Strato	Spess (m)	Tipo di terreno	Parametri del terreno						
			γ (kN/m <sup>3</sup> )	c' med (kPa)	c' min (kPa)	Φ' med (°)	Φ' min (°)	c <sub>u</sub> med (kPa)	c <sub>u</sub> min (kPa)
1	5.95	Unità 1	20.00			32.0	32.0		
2	10.05	Unità 2	19.00					150.0	150.0

Coefficienti di Calcolo			
k	μ	a	α
0.70	0.62		0.4

(n.b.: lo spessore degli strati è computato dalla quota di intradosso del plinto)

Strato	Spess (m)	Tipo di terreno
1	5.95	Unità 1
2	10.05	Unità 2

media				
Q <sub>si</sub> (kN)	N <sub>q</sub> (-)	N <sub>c</sub> (-)	q <sub>b</sub> (kPa)	Q <sub>bm</sub> (kN)
665.9				
1136.6	0.00	9.00	1738.0	491.4

minima				
Q <sub>si</sub> (kN)	N <sub>q</sub> (-)	N <sub>c</sub> (-)	q <sub>b</sub> (kPa)	Q <sub>bm</sub> (kN)
665.9				
1136.6	0.00	9.00	1738.0	491.4

**CARICO ASSIALE AGENTE**

$$N_d = N_g \cdot \gamma_g + N_q \cdot \gamma_q$$

$$N_d = 1149.0 \text{ (kN)}$$

**CAPACITA' PORTANTE MEDIA**

alla base  $R_{b,cal \text{ med}} = 491.4 \text{ (kN)}$

laterale  $R_{s,cal \text{ med}} = 1802.5 \text{ (kN)}$

totale  $R_{c,cal \text{ med}} = 2293.9 \text{ (kN)}$

**CAPACITA' PORTANTE MINIMA**

alla base  $R_{b,cal \text{ min}} = 491.4 \text{ (kN)}$

laterale  $R_{s,cal \text{ min}} = 1802.5 \text{ (kN)}$

totale  $R_{c,cal \text{ min}} = 2293.9 \text{ (kN)}$

**CAPACITA' PORTANTE CARATTERISTICA**

$$R_{b,k} = \text{Min}(R_{b,cal \text{ med}}/\xi_3 ; R_{b,cal \text{ min}}/\xi_4) = 297.8 \text{ (kN)}$$

$$R_{s,k} = \text{Min}(R_{s,cal \text{ med}}/\xi_3 ; R_{s,cal \text{ min}}/\xi_4) = 1092.4 \text{ (kN)}$$

$$R_{c,k} = R_{b,k} + R_{s,k} = 1390.2 \text{ (kN)}$$

**CAPACITA' PORTANTE DI PROGETTO**

$$R_{c,d} = R_{b,k}/\gamma_b + R_{s,k}/\gamma_s$$

$$R_{c,d} = 1170.5 \text{ (kN)}$$

$$F_s = R_{c,d} / N_d$$

$$F_s = 1.02$$

**VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394**  
**Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di  
calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 01 00 002	A	96 di 104

### Verifica a carico limite del palo in trazione

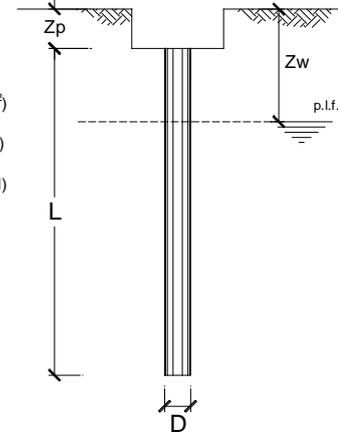
Dalla ripartizione rigida emerge un valore massimo di trazione sul singolo palo pari a 441 kN.

#### CALCOLO DELLA CAPACITA' PORTANTE DI UN PALO TRIVELLATO DI MEDIO DIAMETRO

OPERA: VI-339+394

##### DATI DI INPUT:

Diametro del Palo (D):	0.60 (m)	Area del Palo (Ap):	0.283 (m <sup>2</sup> )
Quota testa Palo dal p.c. (z <sub>p</sub> ):	3.90 (m)	Quota falda dal p.c. (z <sub>w</sub> ):	8.40 (m)
Carico Assiale Permanente (G):	-441 (kN)	Carico Assiale variabile (Q):	0 (kN)
Numero di strati	2	Lpalo =	16.00 (m)



coefficienti parziali	Metodo di calcolo	azioni		resistenza laterale e di base	
		permanenti γ <sub>G</sub>	variabili γ <sub>Q</sub>	γ <sub>b</sub>	γ <sub>s</sub>
Stato limite ultimo	○	1.00	1.30	1.60	1.30
Tensioni ammissibili	○	1.00	1.00	1.00	1.00
definiti dall'utente	●	1.00	1.00	1.35	1.25

n	1	2	3	4	5	7	10	T.A.	ut
ξ <sub>s</sub>	1.40	1.35	1.33	1.31	1.29	1.27	1.25	1.00	1.65
ξ <sub>t</sub>	1.40	1.27	1.23	1.20	1.15	1.12	1.08	1.00	1.55

Strato	Spess (m)	Tipo di terreno	Parametri del terreno						
			γ (kN/m <sup>3</sup> )	c' med (kPa)	c' min (kPa)	φ' med (°)	φ' min (°)	c <sub>u</sub> med (kPa)	c <sub>u</sub> min (kPa)
1	5.95	Unità 1	20.00			32.0	32.0		
2	10.05	Unità 2	19.00					150.0	150.0

Coefficienti di Calcolo			
k	μ	a	α
0.50	0.62		0.4

(n.b.: lo spessore degli strati è computato dalla quota di intradosso del plinto)

Strato	Spess (m)	Tipo di terreno
1	5.95	Unità 1
2	10.05	Unità 2

media				
Q <sub>si</sub> (kN)	N <sub>q</sub> (-)	N <sub>c</sub> (-)	q <sub>b</sub> (kPa)	Q <sub>bm</sub> (kN)
475.6	0.00	9.00	1738.0	491.4

minima				
Q <sub>si</sub> (kN)	N <sub>q</sub> (-)	N <sub>c</sub> (-)	q <sub>b</sub> (kPa)	Q <sub>bm</sub> (kN)
475.6	0.00	9.00	1738.0	491.4

##### CARICO ASSIALE AGENTE

$$N_d = N_g \cdot \gamma_g + N_q \cdot \gamma_q$$

$$N_d = -441.0 \text{ (kN)}$$

##### CAPACITA' PORTANTE MEDIA

$$\text{alla base } R_{b,cal \text{ med}} = .0 \text{ (kN)}$$

$$\text{laterale } R_{s,cal \text{ med}} = 1612.3 \text{ (kN)}$$

$$\text{totale } R_{c,cal \text{ med}} = 1612.3 \text{ (kN)}$$

##### CAPACITA' PORTANTE MINIMA

$$\text{alla base } R_{b,cal \text{ min}} = .0 \text{ (kN)}$$

$$\text{laterale } R_{s,cal \text{ min}} = 1612.3 \text{ (kN)}$$

$$\text{totale } R_{c,cal \text{ min}} = 1612.3 \text{ (kN)}$$

##### CAPACITA' PORTANTE CARATTERISTICA

$$R_{b,k} = \text{Min}(R_{b,cal \text{ med}}/\xi_3 ; R_{b,cal \text{ min}}/\xi_4) = .0 \text{ (kN)}$$

$$R_{s,k} = \text{Min}(R_{s,cal \text{ med}}/\xi_3 ; R_{s,cal \text{ min}}/\xi_4) = 977.1 \text{ (kN)}$$

$$R_{c,k} = R_{b,k} + R_{s,k} = 977.1 \text{ (kN)}$$

##### CAPACITA' PORTANTE DI PROGETTO

$$R_{c,d} = R_{b,k}/\gamma_b + R_{s,k}/\gamma_s$$

$$R_{c,d} = 781.7 \text{ (kN)}$$

$$F_s = R_{c,d} / N_d$$

$$F_s = 1.77$$

**VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394**  
**Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di  
calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 01 00 002	A	97 di 104

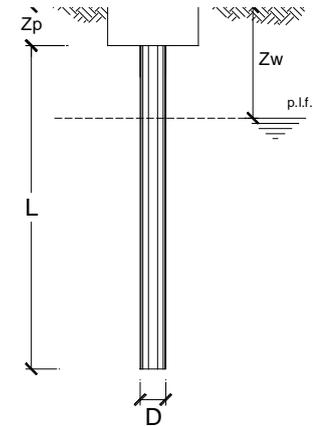
### Verifica a carico limite del blocco

L'azione agente sul blocco è la compressione massima agente sulla palificata. In questo caso risulta dimensionante la combinazione SLU che fornisce un carico pari a 32850 kN.

**OPERA:** V-339+394

**DATI DI INPUT:**

Diametro del Palo (D):	15.37 (m)	Area del Palo (Ap):	185.54 (m <sup>2</sup> )
Quota testa Palo dal p.c. (z <sub>p</sub> ):	3.90 (m)	Quota falda dal p.c. (z <sub>w</sub> ):	8.40 (m)
Carico Assiale Permanente (G):	32850 (kN)	Carico Assiale variabile (Q):	0 (kN)
Numero di strati	2 	Lpalo =	16.00 (m)



Metodo di calcolo		azioni		resistenza laterale e di base	
		permanenti γ <sub>G</sub>	variabili γ <sub>Q</sub>	γ <sub>b</sub>	γ <sub>s</sub>
Stato limite ultimo	○	1.00	1.30	1.60	1.30
Tensioni ammissibili	○	1.00	1.00	1.00	1.00
definiti dall'utente	●	1.00	1.00	1.35	1.15

n	1	2	3	4	5	7	10	T.A.	ut
ξ <sub>3</sub>	1.40	1.35	1.33	1.31	1.29	1.27	1.25	1.00	1.65
ξ <sub>4</sub>	1.40	1.27	1.23	1.20	1.15	1.12	1.08	1.00	1.55

Strato	Spess (m)	Tipo di terreno	Parametri del terreno						
			γ (kN/m <sup>3</sup> )	c' <sub>med</sub> (kPa)	c' <sub>min</sub> (kPa)	φ' <sub>med</sub> (°)	φ' <sub>min</sub> (°)	c <sub>u med</sub> (kPa)	c <sub>u min</sub> (kPa)
1	5.95	Unità 1	20.00			32.0	32.0		
2	10.05	Unità 2	19.00					150.0	150.0

Coefficienti di Calcolo			
k	μ	a	α
(-)	(-)	(-)	(-)
0.70	0.62		0.4

(n.b.: lo spessore degli strati è computato dalla quota di intradosso del plinto)

Strato	Spess (m)	Tipo di terreno
1	5.95	Unità 1
2	10.05	Unità 2

media				
Q <sub>si</sub> (kN)	N <sub>q</sub> (-)	N <sub>c</sub> (-)	q <sub>b</sub> (kPa)	Q <sub>bm</sub> (kN)
17057.4				
29116.6	0.00	9.00	1738.0	322459.3

minima				
Q <sub>si</sub> (kN)	N <sub>q</sub> (-)	N <sub>c</sub> (-)	q <sub>b</sub> (kPa)	Q <sub>bm</sub> (kN)
17057.4				
29116.6	0.00	9.00	1738.0	322459.3

**CARICO ASSIALE AGENTE**

$$N_d = N_g \cdot \gamma_g + N_q \cdot \gamma_q$$

$$N_d = 32850.0 \text{ (kN)}$$

**CAPACITA' PORTANTE MEDIA**

alla base  $R_{b,cal med} = 322459.3 \text{ (kN)}$

laterale  $R_{s,cal med} = 46174.1 \text{ (kN)}$

totale  $R_{c,cal med} = 368633.4 \text{ (kN)}$

**CAPACITA' PORTANTE MINIMA**

alla base  $R_{b,cal min} = 322459.3 \text{ (kN)}$

laterale  $R_{s,cal min} = 46174.1 \text{ (kN)}$

totale  $R_{c,cal min} = 368633.3 \text{ (kN)}$

**CAPACITA' PORTANTE CARATTERISTICA**

$$R_{b,k} = \text{Min}(R_{b,cal med}/\xi_3 ; R_{b,cal min}/\xi_4) = 195429.9 \text{ (kN)}$$

$$R_{s,k} = \text{Min}(R_{s,cal med}/\xi_3 ; R_{s,cal min}/\xi_4) = 27984.3 \text{ (kN)}$$

$$R_{c,k} = R_{b,k} + R_{s,k} = 223414.2 \text{ (kN)}$$

**CAPACITA' PORTANTE DI PROGETTO**

$$R_{c,d} = R_{b,k}/\gamma_b + R_{s,k}/\gamma_s$$

$$R_{c,d} = 169097.0 \text{ (kN)}$$

$$F_s = R_{c,d} / N_d$$

$$F_s = 5.15$$

**VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394**  
**Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di  
 calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 01 00 002	A	98 di 104

### 12.4.2 Verifiche strutturali

Oggetto delle verifiche strutturali è il palo D600 e la sua armatura a flessione e taglio.

Le sollecitazioni di taglio agenti sul singolo palo sono state stimate adottando una ripartizione rigida secondo la seguente formulazione:

$$V_{palo} = \frac{\sqrt{V_x^2 + V_y^2}}{n_{pali}} + M_t W_t$$

Per tener conto dell'effetto gruppo della palificata il valore del modulo di reazione orizzontale  $k_h$  è stato moltiplicato per 0.25 (come riportato in *Fondazioni, Viggiani*).

Nell'ipotesi di palo incastrato in testa, tramite la teoria della linea elastica si è ottenuta la lunghezza libera di inflessione del palo,  $\lambda$ , e la stima del momento massimo a cui l'elemento è sottoposto:

$$M_{max} = \frac{\lambda}{2} V_{palo}$$

Si riportano in tabella le grandezze di interesse:

n.ro pali	62	
E cls	25000000	kPa
D	0.6	m
J	0.006	m <sup>4</sup>
E op	40000	kPa
kh	66667	kN/m <sup>3</sup>
kh ridotto	16667	kN/m <sup>3</sup>
$\lambda$	2.82	m
<b>Wt</b>	<b>0.0026</b>	<b>1/m</b>

Si specifica in ultimo che le sollecitazioni di taglio in fase sismica sono state amplificate secondo il coefficiente 1.3, nel rispetto delle prescrizioni al §7.2.5 NTC18.

Le sollecitazioni di progetto sono quindi le seguenti:

**VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394**  
**Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di  
calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 01 00 002	A	99 di 104

Comb.	Sollecitazioni progetto palo	
	V	M
_SLV1	207.06	292.39
_SLV2	207.12	292.47
_SLV3	208.65	294.64
_SLV4	208.71	294.71
_SLV5	237.10	334.81
_SLV6	237.09	334.80
_SLV7	237.25	335.02
_SLV8	237.24	335.01
_SLV9	207.99	293.70
_SLV10	208.04	293.78
_SLV11	209.58	295.94
_SLV12	209.63	296.02
_SLV13	237.09	334.80
_SLV14	237.08	334.79
_SLV15	237.24	335.01
_SLV16	237.23	335.00
_SLU1	6.88	9.72
_SLU2	9.84	13.89
_SLU3	10.44	14.74
_SLU4	12.43	17.55
_SLU5	9.52	13.44
_SLU6	6.84	9.66
_SLU7	11.54	16.30
_SLU8	10.23	14.44
_SLU9	0.34	0.48
_SLU10	7.20	10.17
_SLU11	6.89	9.72
_SLU12	9.97	14.08
_SLU13	10.47	14.78
_SLU14	12.53	17.70
_SLU15	9.41	13.29
_SLU16	6.85	9.67
_SLU17	11.49	16.22
_SLU18	10.23	14.44
_SLU19	0.20	0.28
_SLU20	7.42	10.48

VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394  
Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di  
calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 01 00 002	A	100 di 104

- Armature longitudinali

Per il calcolo del momento resistente del palo si considera una sezione armata con 20Φ20.

Verifica C.A. S.L.U. - File

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo : \_\_\_\_\_

Sezione circolare cava

Raggio esterno 30 [cm]  
Raggio interno 0 [cm]  
N° barre uguali 20  
Diametro barre 2 [cm]  
Copriferro (baric.) 9 [cm]

N° barre 20 Zoom

Tipo Sezione  
 Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

File

Sollecitazioni  
 S.L.U.  Metodo n

P.to applicazione N  
 Centro  Baricentro cls  
 Coord.[cm] xN 0 yN 0

Tipo rottura  
Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Metodo di calcolo  
 S.L.U.+  S.L.U.-  
 Metodo n

Tipo flessione  
 Retta  Deviata

Vertici: 52 N° rett. 100

Calcola MRd Dominio M-N

L<sub>0</sub> 0 cm Col. modello

Precompresso

Materiali

B450C	C25/30
$\epsilon_{su}$ 67.5 ‰	$\epsilon_{c2}$ 2 ‰
$f_{yd}$ 391.3 N/mm <sup>2</sup>	$\epsilon_{cu}$ 3.5 ‰
$E_s$ 200,000 N/mm <sup>2</sup>	$f_{cd}$ 14.17
$E_s/E_c$ 15	$f_{cc}/f_{cd}$ 0.8
$\epsilon_{syd}$ 1.957 ‰	$\sigma_{c,adm}$ 9.75
$\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm <sup>2</sup>	$\tau_{co}$ 0.6
	$\tau_{c1}$ 1.829

M<sub>xRd</sub> 433.9 kN m

$\sigma_c$  -14.17 N/mm<sup>2</sup>

$\sigma_s$  391.3 N/mm<sup>2</sup>

$\epsilon_c$  3.5 ‰

$\epsilon_s$  5.471 ‰

d 51 cm

x 19.9 x/d 0.3901

$\delta$  0.9277

**VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394**  
**Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di  
calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 01 00 002	A	101 di 104

- Armature trasversali

Il palo, di diametro 600 mm, risulta essere armato a taglio con staffe  $\Phi 14$  passo 120mm.

**Verifica a taglio in accordo a EC2-2**  
**Caratteristiche dei materiali**

Cls

Rck= 30 MPa  
fck= 25 MPa  
 $\gamma_c$ = 1.50  
fcm= 33 MPa  
 $\alpha_{cc}$ = 0.85  
**fcd= 14.11 MPa**

coefficiente che tiene conto degli effetti a lungo termine, var 0.8-1

fctm= 2.56 MPa  
fctk<sub>0.05</sub>= 1.79 MPa  
fctk<sub>0.95</sub>= 3.33 MPa  
 $\alpha_{ct}$ = 1.00  
**fctd= 1.19 MPa**

coefficiente che tiene conto degli effetti a lungo termine, var 0.8-1

Acciaio c.a.

fyk= 450 MPa  
 $\gamma_s$ = 1.15  
fyd= **391 MPa**

Azioni di taglio

		$\gamma$	
Gk	0	x1.00=	<b>0 kN</b>
Pk	0	x1.00=	<b>0 kN</b>
Qk	0	x1.00=	<b>0 kN</b>
Aed	0	x1.30=	<b>0 kN</b>
<b>V<sub>Ed</sub> = 0 kN</b>			

Nsd= **0** KN sforzo normale

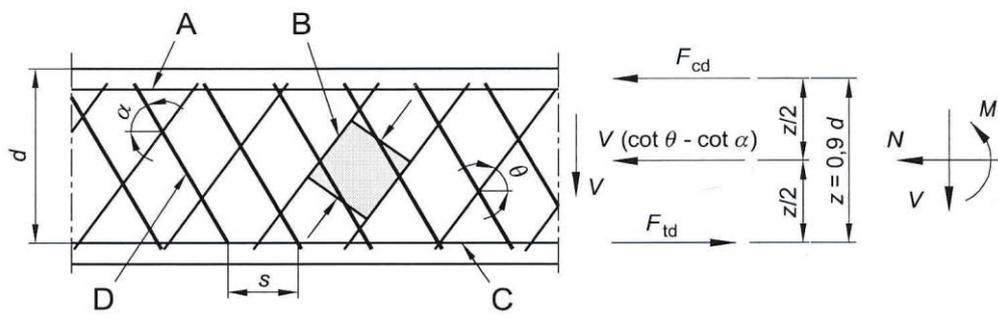
bw = 0.471 m larghezza (6.16)  
h= 0.600 m altezza totale  
c= 0.090 m copriferro  
d = 0.510 m altezza utile  
Ac= 0.283 mq area

VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394  
Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di  
calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 01 00 002	A	102 di 104

### elementi CA e CAP armati a taglio

- A Corrente compresso
- B Puntoni
- C Corrente teso
- D Armatura a taglio



### Resistenza delle staffe:

$\phi_w =$	14	mm	diametro staffa
$n =$	2.00		numero braccia
$A_{sw} =$	3.08	cmq	
$z =$	0.38	m	$= 0.75 \cdot d$
$\sin \alpha =$	1		$\alpha$ angolo tra le staffe e l'asse della trave ( $\alpha = 90^\circ$ per staffe verticali)
$\rho_w =$	0.54	%	$= A_{sw} / (s \cdot b_w \cdot \sin \alpha) \cdot 100 \geq$
$s =$	0.12	m	$=$ passo staffe $\leq$ 0.38 m $= 0.75 \cdot d \cdot (1 + \cot \alpha)$
$\theta =$	45.0	$^\circ$	$= \arcsin(\text{rad}q(A_{sw} \cdot f_{yd}) / (b_w \cdot s \cdot a_{cw} \cdot n \cdot f_{cd}))$ inclinazione puntone compresso, variabile tra $45^\circ$ to $21.8^\circ$
$\tan \theta =$	1.00		valore tra 1 (for $\theta = 45^\circ$ ) e 0.4
$\cot \theta =$	1.00		valore tra 1 (for $\theta = 45^\circ$ ) and 2.5
$\rho_{w,max} =$	2.13		$= A_{sw,max} \cdot f_{yd} / (b_w \cdot s) \leq 1/2 \cdot \alpha_{cw} \cdot v \cdot f_{cd} = 3.81$ <b>verifica soddisfatta</b>
$V_{Rd,s} =$	384	kN	$= A_{sw} / s \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta$

### Resistenza del puntone compresso:

$v =$	0.540		$= 0.6 \cdot (1 - f_{ck} / 250)$ (from EN 6.6N)
$\sigma_{cp} =$	0.00		$= N_{sd} / A_c$
$\alpha_{cw} =$	1.00		
$V_{Rd,max} =$	687	kN	$= \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v \cdot f_{cd} / (\cot \theta + \tan \theta)$
$\gamma_{Bd1} =$	1.00		coefficiente di sicurezza ( EN1998-2-5.6.2.b)
$V_{Rd} =$	384	kN	$= \min(V_{Rd,s}; V_{Rd,max}) / \gamma_{Bd1}$

**VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394**  
**Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di  
 calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 01 00 002	A	103 di 104

- Verifiche

Si riportano a seguire i valori dei coefficienti di sicurezza ottenuti nelle verifiche a taglio e flessione.

Comb.	Sollecitazioni progetto palo		Resistenze di progetto		Verifiche	
	V	M	Vrd	Mrd	FS taglio	FS momento
_SLV1	207.06	292.39	384.0	433.9	1.85	1.48
_SLV2	207.12	292.47	384.0	433.9	1.85	1.48
_SLV3	208.65	294.64	384.0	433.9	1.84	1.47
_SLV4	208.71	294.71	384.0	433.9	1.84	1.47
_SLV5	237.10	334.81	384.0	433.9	1.62	1.30
_SLV6	237.09	334.80	384.0	433.9	1.62	1.30
_SLV7	237.25	335.02	384.0	433.9	1.62	1.30
_SLV8	237.24	335.01	384.0	433.9	1.62	1.30
_SLV9	207.99	293.70	384.0	433.9	1.85	1.48
_SLV10	208.04	293.78	384.0	433.9	1.85	1.48
_SLV11	209.58	295.94	384.0	433.9	1.83	1.47
_SLV12	209.63	296.02	384.0	433.9	1.83	1.47
_SLV13	237.09	334.80	384.0	433.9	1.62	1.30
_SLV14	237.08	334.79	384.0	433.9	1.62	1.30
_SLV15	237.24	335.01	384.0	433.9	1.62	1.30
_SLV16	237.23	335.00	384.0	433.9	1.62	1.30
_SLU1	6.88	9.72	384.0	433.9	55.80	44.65
_SLU2	9.84	13.89	384.0	433.9	39.03	31.23
_SLU3	10.44	14.74	384.0	433.9	36.80	29.44
_SLU4	12.43	17.55	384.0	433.9	30.90	24.73
_SLU5	9.52	13.44	384.0	433.9	40.35	32.29
_SLU6	6.84	9.66	384.0	433.9	56.12	44.91
_SLU7	11.54	16.30	384.0	433.9	33.26	26.62
_SLU8	10.23	14.44	384.0	433.9	37.55	30.05
_SLU9	0.34	0.48	384.0	433.9	1141.15	913.14
_SLU10	7.20	10.17	384.0	433.9	53.32	42.66
_SLU11	6.89	9.72	384.0	433.9	55.77	44.63
_SLU12	9.97	14.08	384.0	433.9	38.52	30.82
_SLU13	10.47	14.78	384.0	433.9	36.68	29.35
_SLU14	12.53	17.70	384.0	433.9	30.64	24.52
_SLU15	9.41	13.29	384.0	433.9	40.80	32.64
_SLU16	6.85	9.67	384.0	433.9	56.09	44.88
_SLU17	11.49	16.22	384.0	433.9	33.43	26.75
_SLU18	10.23	14.44	384.0	433.9	37.55	30.05
_SLU19	0.20	0.28	384.0	433.9	1957.81	1566.62
_SLU20	7.42	10.48	384.0	433.9	51.74	41.40



RIPRISTINO LINEA CALTAGIRONE-GELA  
MIGLIORAMENTI STRUTTURALI PER CONSEGUIRE  
L'ADEGUAMENTO SISMICO DEI VIADOTTI  
LOTTO 2: NISCEMI - GELA

**VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394**  
**Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di**  
**calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 01 00 002	A	104 di 104

### 13 INCIDENZA ARMATURE

- Camicia rinforzo pile (incidenza media sull'altezza): 130 kg/m<sup>3</sup>
- Struttura interna rinforzo archi: 250 kg/m<sup>3</sup>
- Cordolo allargamento fondazione: 110 kg/m<sup>3</sup>
- Pali D600: 240 kg/m<sup>3</sup>

### 14 CONCLUSIONI

La presente relazione ha illustrato le analisi eseguite, in fase statica e sismica, attraverso cui sono stati progettati gli interventi di rinforzo strutturale dell'opera.

Gli interventi previsti, che interessano le fondazioni, i fusti pile e le arcate, consentono di raggiungere l'adeguamento sismico del viadotto, nonché migliorare la sicurezza strutturale nei confronti dei carichi di esercizio.

Lo studio numerico dell'opera nei confronti dell'evento sismico è stato condotto impiegando la metodologia dell'analisi statica non lineare (Push Over), questa prevede l'analisi e la verifica globale della struttura in termini di spostamenti. Sono state condotte verifiche di dettaglio dei vari elementi strutturali limitatamente alle parti più sollecitate dell'opera.