

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

VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857





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 VI0700 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  Mag. 2022

VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857

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 07 00 002	A	2 di 105

INDICE

1	INTRODUZIONE	4
2	DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI	6
2.1	INTERVENTI SUGLI ARCHI.....	6
2.2	INTERVENTI SULLE PILE	6
2.3	INTERVENTI SULLE SPALLE	7
2.4	ALTRI INTERVENTI DI FINITURA E COMPLETAMENTO	7
3	NORMATIVA E BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO	8
4	MODELLAZIONE DELL'OPERA E METODI DI ANALISI	9
4.1	MODELLAZIONE.....	9
4.1.1	<i>Il modello di calcolo</i>	9
4.1.2	<i>Caratteristiche dei materiali</i>	13
4.2	TIPO DI ANALISI.....	15
5	ANALISI DEI CARICHI	15
5.1	PESI PROPRI STRUTTURALI (G1)	16
5.2	PESI PERMANENTI NON STRUTTURALI (G2)	16
5.3	AZIONI DA TRAFFICO FERROVIARIO (Q _{TRENI}).....	16
5.4	AZIONE DEL VENTO (Q _{VENTO})	18
5.5	CEDIMENTO FONDAZIONALE (E _{CED})	18
5.6	AZIONI SISMICHE (E)	19
6	ANALISI MODALE	22
7	ANALISI SISMICA	24
7.1	SISMA X - GRUPPO 1	27
7.2	SISMA X - GRUPPO 2	31

VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857

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 07 00 002	A	3 di 105

7.3	SISMA Y - GRUPPO 1	35
7.4	SISMA Y - GRUPPO 2	39
7.5	SINTESI DEI RISULTATI	43
8	VERIFICA DELL'INTERVENTO DI RINFORZO DEGLI ARCHI	43
8.1	SOLLECITAZIONI ELEMENTARI	43
8.2	COMBINAZIONI DI CARICO	45
8.3	VERIFICHE STRUTTURALI	47
8.3.1	<i>Verifiche pressoflessione</i>	47
8.3.2	<i>Verifiche taglio</i>	50
9	VERIFICA DELL'INCAMICIATURA DELLE PILE	53
9.1	SOLLECITAZIONI ELEMENTARI	53
9.2	COMBINAZIONI DI CARICO	55
9.2.1	<i>Verifiche Sezione di spiccato</i>	57
10	VERIFICA DELLE IMPOSTE	64
10.1	SOLLECITAZIONI ELEMENTARI	64
10.2	VERIFICHE STRUTTURALI	65
10.2.1	<i>Verifiche a taglio</i>	68
11	VERIFICA DEGLI ANGOLARI METALLICI DI RINFORZO DELLE PILE	71
12	VERIFICA DELLE FONDAZIONI	74
13	INCIDENZA ARMATURE	104
14	CONCLUSIONI	105

VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857

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 07 00 002	A	4 di 105

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 350+857 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" RS3K02D09CLVI0700001A).

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 221m (spalla-spalla). Il tracciato è in curva con un raggio di curvatura di circa 495 m; altimetricamente il ponte presenta una pendenza discendente secondo le progressive crescenti ($\approx 1.0\%$).

La struttura è costituita da 10 pile e due spalle che scandiscono 11 arcate con luce netta di circa 15 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 squadrato 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 massiccio a gradoni in calcestruzzo (è ignota l'eventuale presenza di armature) a pianta rettangolare con dimensioni di circa 8.8 m in direzione longitudinale e 16.3 m in direzione trasversale. La geometria delle fondazioni è stata ricostruita in analogia ai risultati delle perforazioni conoscitive effettuate per la pila 2 del viadotto.

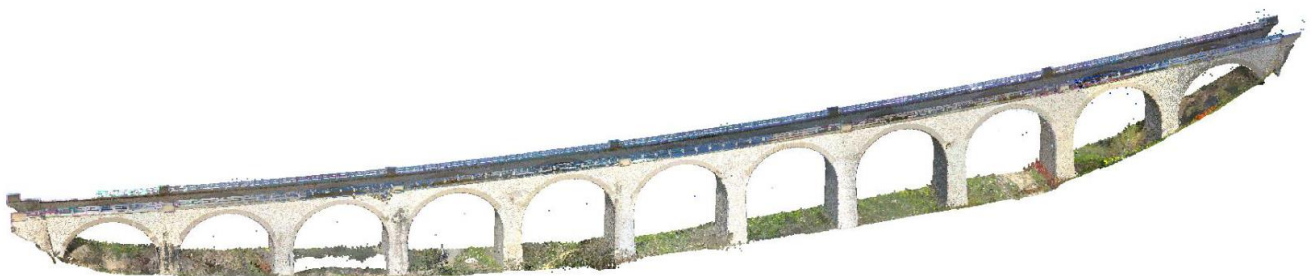


Figura 1: Restituzione laser-scanner dell'opera.

VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857

**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 07 00 002	A	5 di 105



Figura 2: Vista dell'opera



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

VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857

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 07 00 002	A	6 di 105

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 spaziati, l'uno coll'altro di circa 85 cm, avranno lunghezza di 11m.



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

VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857

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 07 00 002	A	7 di 105

2.3 INTERVENTI SULLE SPALLE

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 di diametro pari a D600 e lunghezza 10 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.

	RIPRISTINO LINEA CALTAGIRONE-GELA MIGLIORAMENTI STRUTTURALI PER CONSEGUIRE L'ADEGUAMENTO SISMICO DEI VIADOTTI LOTTO 2: NISCEMI - GELA					
VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857 Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione	COMMESSA RS6K	LOTTO 00	CODIFICA R 09 CL	DOCUMENTO VI 07 00 002	REV. A	FOGLIO 8 di 105

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 12th European Conference on Earthquake Engineering, London England, 2002.

	<p style="text-align: center;">RIPRISTINO LINEA CALTAGIRONE-GELA MIGLIORAMENTI STRUTTURALI PER CONSEGUIRE L'ADEGUAMENTO SISMICO DEI VIADOTTI LOTTO 2: NISCEMI - GELA</p>					
<p>VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857 Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione</p>	<p>COMMESSA RS6K</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA R 09 CL</p>	<p>DOCUMENTO VI 07 00 002</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 9 di 105</p>

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

VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857

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 07 00 002	A	10 di 105

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 cinematismi 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.

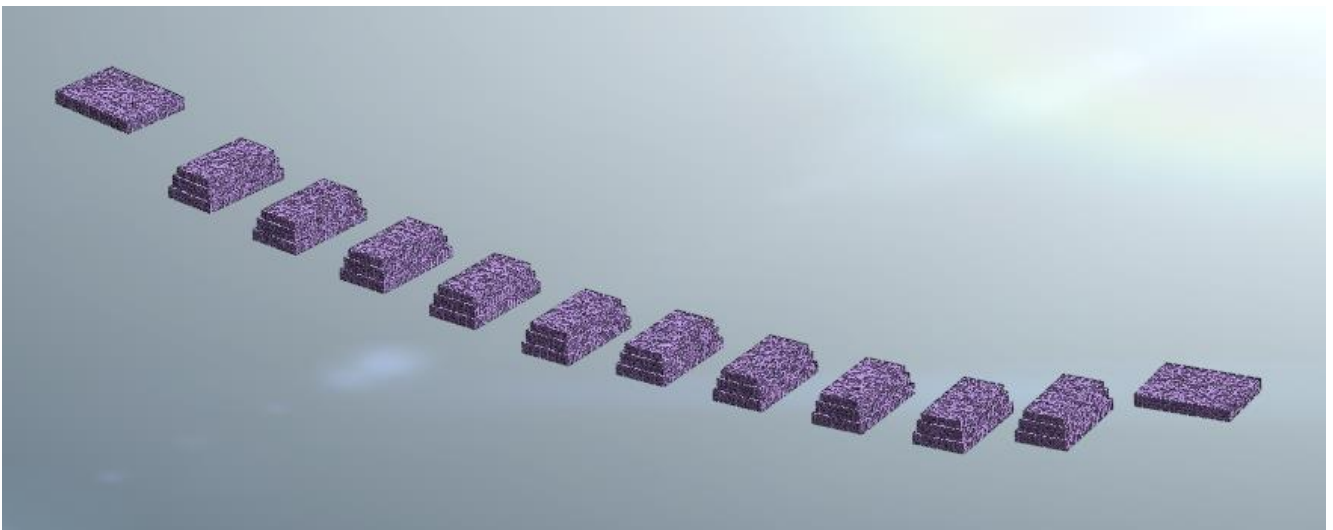


Figura 3: Plinti di fondazione

VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857

**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 07 00 002	A	11 di 105

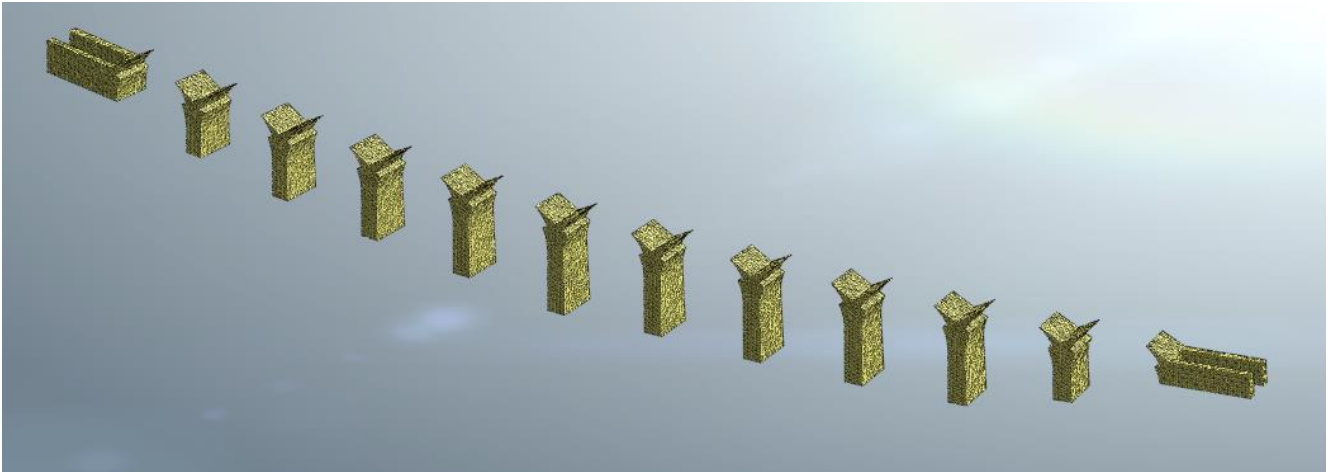


Figura 4: Pile e Spalle

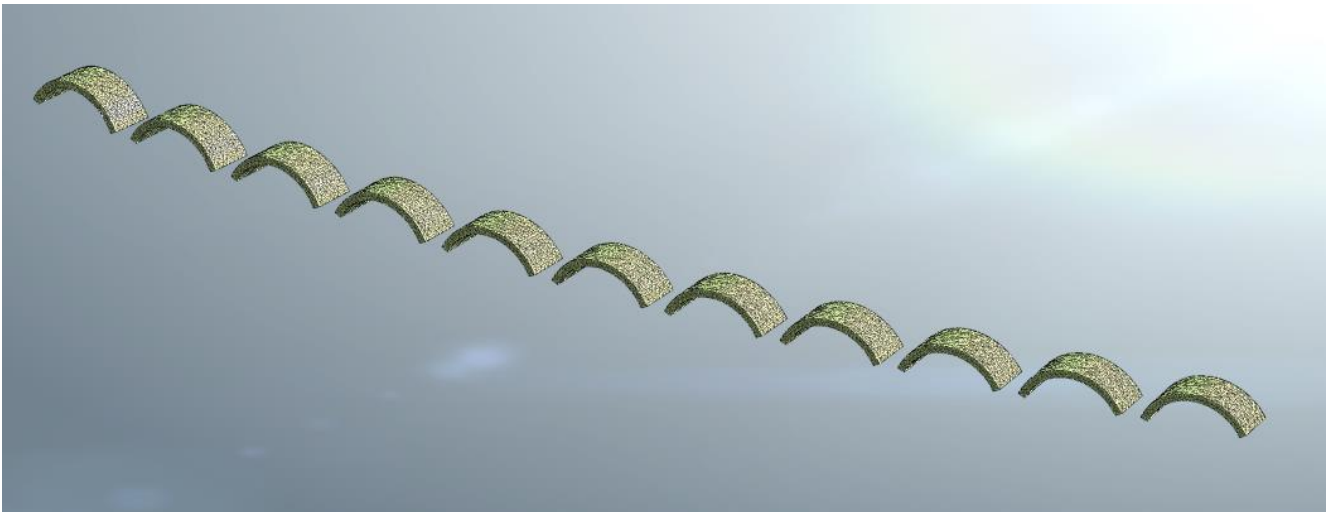


Figura 5: Archi

VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857

**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 07 00 002	A	12 di 105

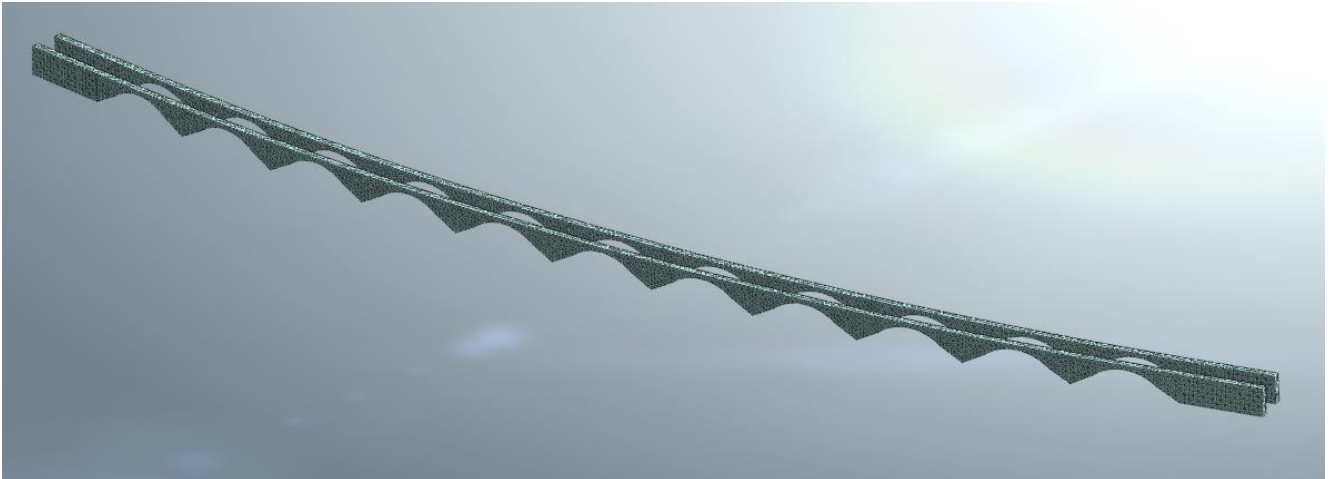


Figura 6: Timpani

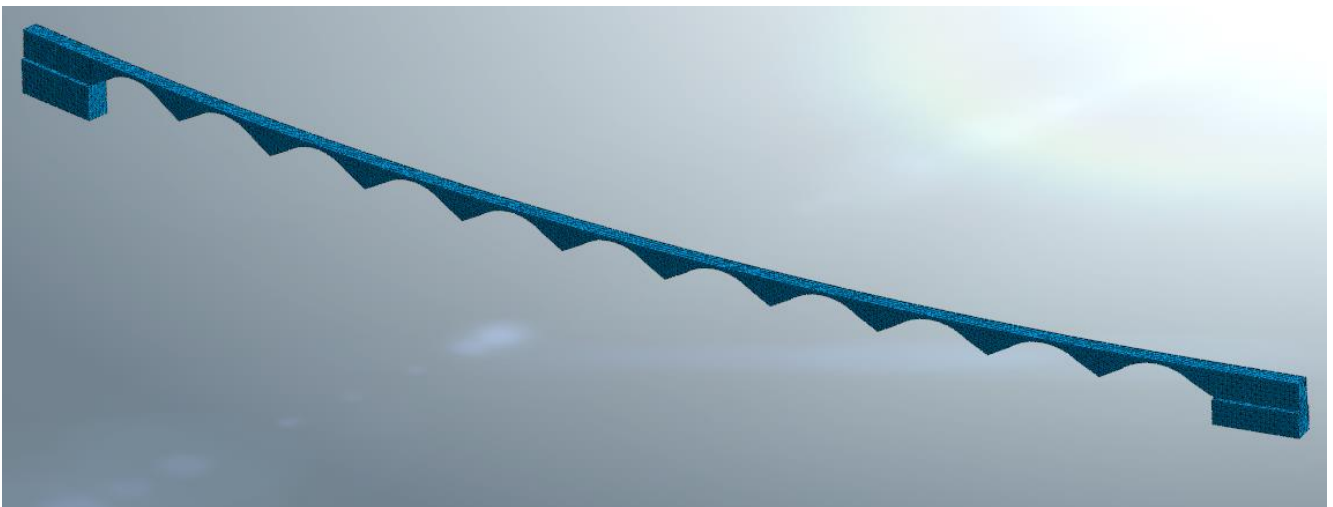


Figura 7: Riempimento

VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857

**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 07 00 002	A	13 di 105

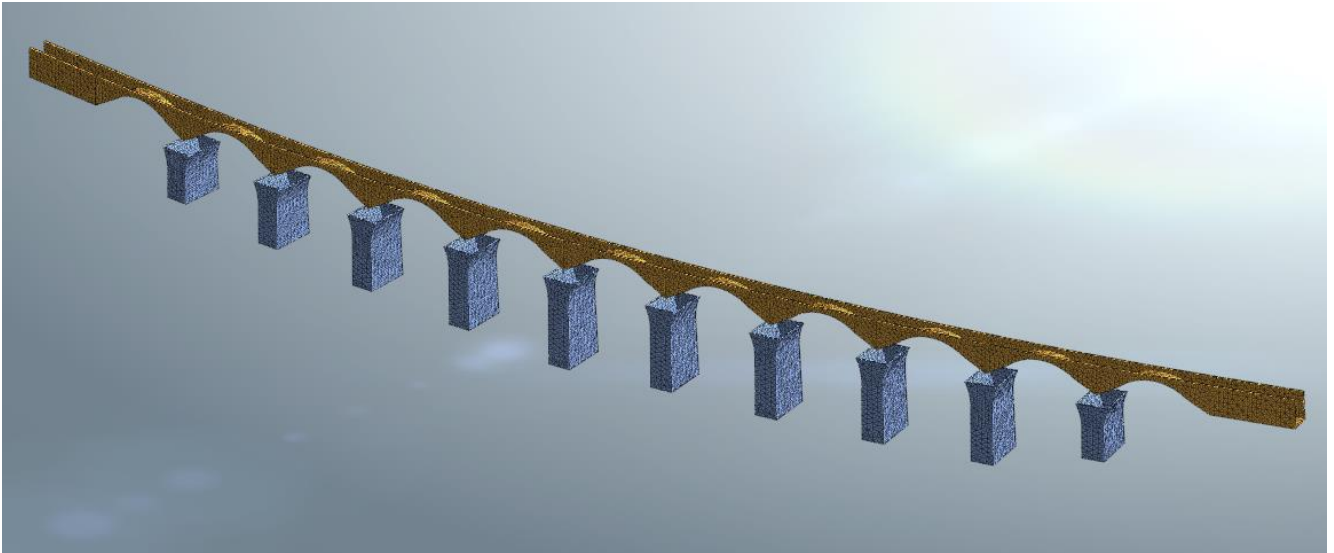


Figura 8: Strutture di rinforzo (camicia esterna pile e interna archi)

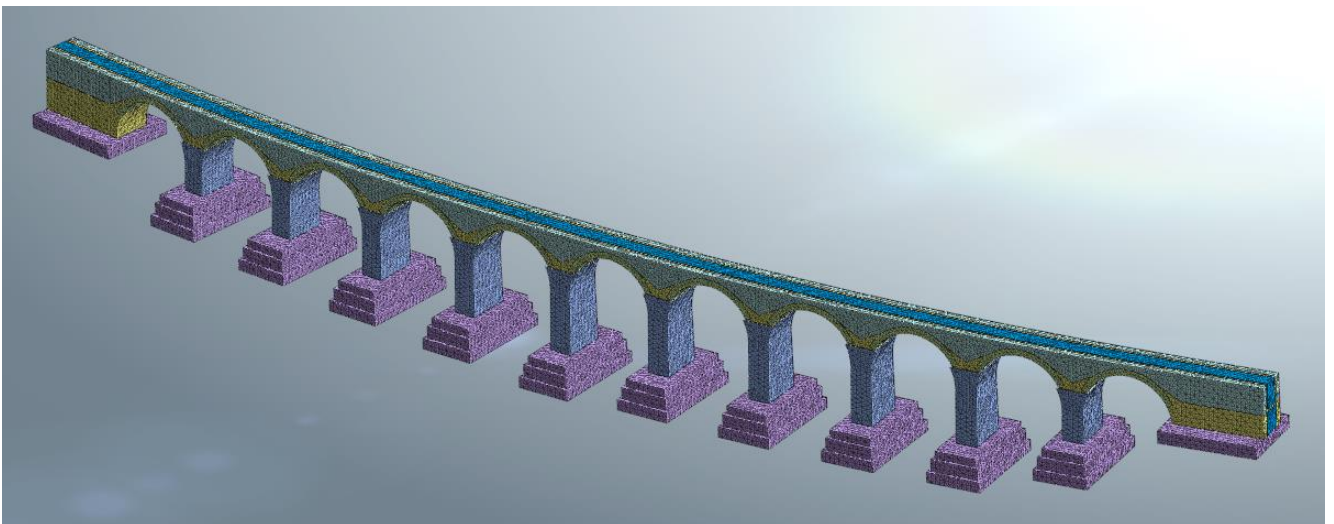


Figura 9: Modello completo

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.

VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857
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 07 00 002	A	14 di 105

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 v [-]	0.2	0.25	0.25	0.2
Peso Specifico [kN/m3]	21	22	22	0
Tipo di Risposta	Non Lineare	Non Lineare	Non Lineare	Lineare
Resistenza a trazione ft [Mpa]	0.8	0.2	0.2	-
Resistenza a compr. Fc [Mpa]	9	4	4	-

Elemento Nuova Struttura	Strutture in c.a.	Rinforzi Metallici	Armatura Pila	Riempimento
Descr. Materiale	Cls C32/40 ^(a)	Acciaio S355	Acciaio B450C	Cls Alleggerito
Modulo di Young E [Mpa]	30000	206000	210000	120
Modulo di Poisson v [-]	0.2	0.3	0.3	0.2
Peso Specifico [kN/m3]	25	78.5	70	18
Tipo di Risposta	Non Lineare	Non Lineare	Non Lineare	Lineare
Resistenza a trazione ft [Mpa]	1.7	338	391	-
Resistenza a compr. Fc [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.

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.

	RIPRISTINO LINEA CALTAGIRONE-GELA MIGLIORAMENTI STRUTTURALI PER CONSEGUIRE L'ADEGUAMENTO SISMICO DEI VIADOTTI LOTTO 2: NISCEMI - GELA					
VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857 Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione	COMMESSA RS6K	LOTTO 00	CODIFICA R 09 CL	DOCUMENTO VI 07 00 002	REV. A	FOGLIO 15 di 105

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.

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 **$\epsilon_s^{\text{acciaio}}=1.0\%$** .

5 ANALISI DEI CARICHI

	RIPRISTINO LINEA CALTAGIRONE-GELA MIGLIORAMENTI STRUTTURALI PER CONSEGUIRE L'ADEGUAMENTO SISMICO DEI VIADOTTI LOTTO 2: NISCEMI - GELA					
VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857 Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione	COMMESSA RS6K	LOTTO 00	CODIFICA R 09 CL	DOCUMENTO VI 07 00 002	REV. A	FOGLIO 16 di 105

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: $100 \text{ m}^3 * 21 \text{ kN/m}^3 \approx 2100 \text{ kN}$
- Peso timpani: $660 \text{ m}^3 * 22 \text{ kN/m}^3 \approx 14520 \text{ kN}$
- Peso medio pila: $266 \text{ m}^3 * 22 \text{ kN/m}^3 \approx 5852 \text{ kN}$
- Peso struttura rinforzo archi: $606 \text{ m}^3 * 25 \text{ kN/m}^3 \approx 15150 \text{ kN}$
- Peso medio camicia pila: $61 \text{ m}^3 * 25 \text{ kN/m}^3 \approx 1525 \text{ kN}$

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 rinfianco sciolto: $1223 \text{ m}^3 * 18 \text{ kN/m}^3 \approx 22014 \text{ kN}$

5.3 AZIONI DA TRAFFICO FERROVIARIO (Q_{TRENI})

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

VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857

**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 07 00 002	A	17 di 105

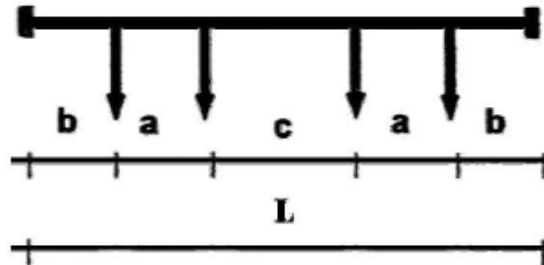


Figura 1: Schema geometrico di un carro

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_φ 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_φ [m]	30.0
n_0 [Hertz]	18.310

VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857

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 07 00 002	A	18 di 105

n0 [Hertz]	18.310
K	0.020
φ'	0.021
α	1.010
φ''	0.312

φ	1.333
-----------	--------------

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

Di seguito il calcolo della forza centrifuga

v	80	km/h
r	495	m
qv _k	72	kN/m
f	1	v<120km/h
α	1	
q_{tk}	7.3	kN/m

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= 15 m → $\epsilon_{ced} = 3$ mm).

VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857
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 07 00 002	A	19 di 105

5.6 AZIONI SISMICHE (E)

Nell'opera in oggetto, alla luce dei risultati ottenuti dalle prove geofisiche down-hole (per le quali si rimanda al documento "Relazione geotecnica" RS3K02D09RBVI0700001A) si è ritenuto opportuno eseguire un'analisi di risposta sismica locale (documento "Analisi di risposta sismica locale" RS3K02D09RHVI0700001A).

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: 37.067778 Nord; 14.341944 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: B
- Categoria topografica T1

Terr. Tipo	C			
Cat. Topog.	1			
ξ	5%			
η	1			
a_{g0}	0.120 g			
F_0	2.378			
T_C^*	0.431 s			
γ_I	1			
a_g	0.120 g			
q	1			
β	0.2		Ss	St
			1.500	1.000
Cc	S	TB	TC	TD
1.386	1.500	0.199	0.597	2.082

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

$PGA_{\text{orizzontale}} = 0.181$ g

$PGA_{\text{verticale}} = 0.056$ g

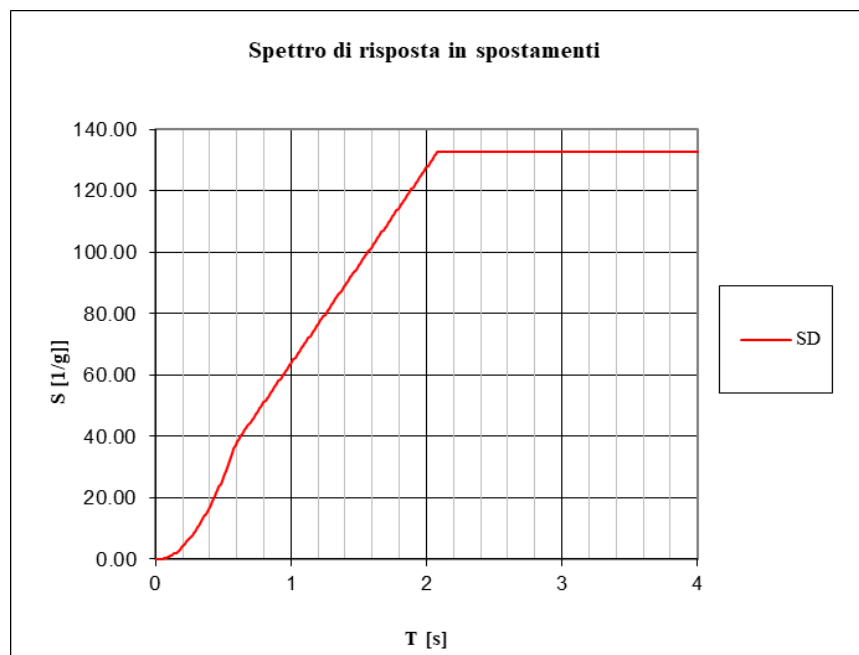
VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857
**Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di
calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 07 00 002	A	20 di 105

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



Figura 10: Spettro accelerazioni orizzontali



VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857

**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 07 00 002	A	21 di 105

Figura 11: Spettro spostamenti orizzontali

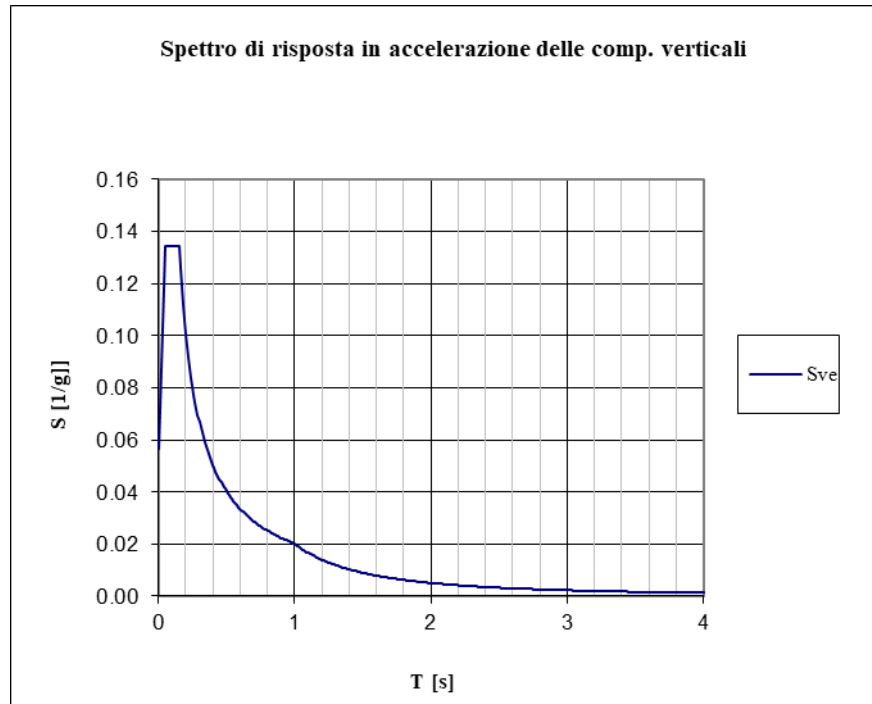


Figura 12: Spettro accelerazioni verticali

VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857
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 07 00 002	A	22 di 105

6 ANALISI MODALE

Nel presente capitolo si riportano i risultati ottenuti dall'analisi modale eseguita per il ponte in esame.

Le immagini seguenti riportano le configurazioni deformate dei modi principali dell'opera.

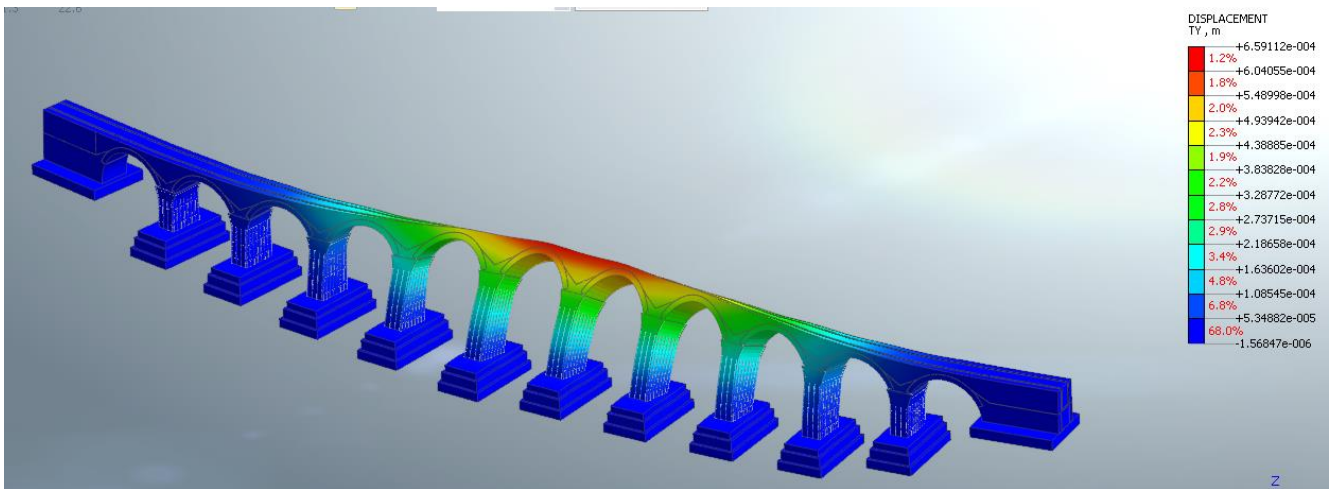


Figura 13: 1° Modo di vibrare – modo fondamentale in direzione trasversale

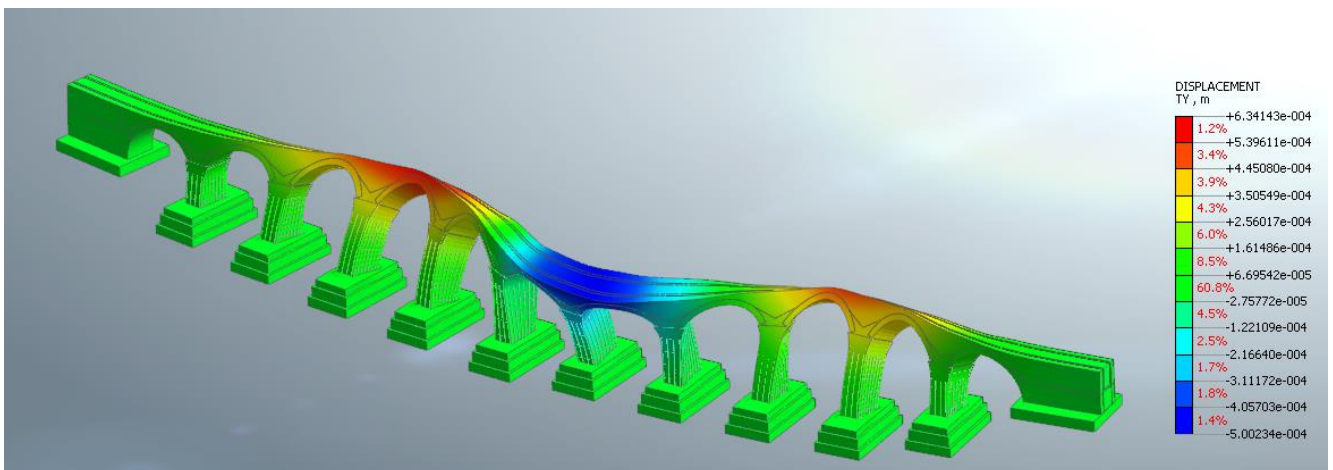


Figura 14: 3° Modo di vibrare - secondo modo in direzione trasversale

VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857

**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 07 00 002	A	23 di 105

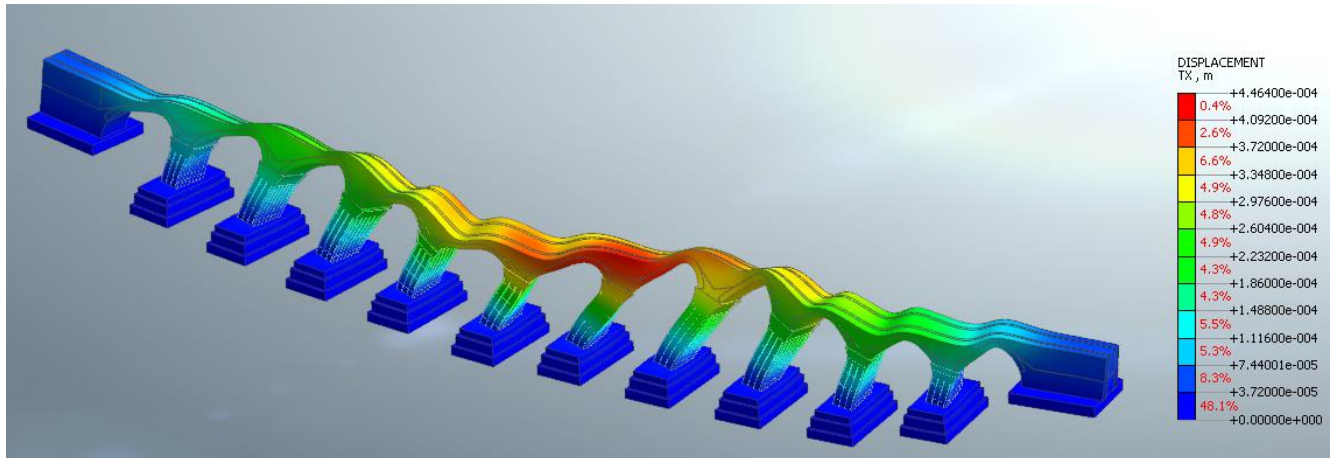


Figura 15: 5° Modo di vibrare – modo fondamentale in direzione longitudinale

No.	Period (s)	Massa X	Massa Y	Massa Z
1	2.40E-01	0.00%	37.59%	0.00%
2	2.24E-01	1.43%	0.09%	0.00%
3	2.00E-01	0.14%	12.29%	0.00%
4	1.85E-01	55.10%	0.05%	0.00%
5	1.79E-01	7.50%	1.02%	0.00%
6	1.60E-01	0.02%	7.17%	0.00%
7	1.43E-01	0.08%	0.25%	0.00%
8	1.29E-01	0.18%	8.07%	0.00%
9	1.24E-01	0.02%	1.77%	0.00%
10	1.22E-01	0.25%	0.21%	0.00%
11	1.11E-01	0.02%	2.35%	0.00%
12	1.02E-01	0.09%	3.47%	0.00%
13	9.64E-02	0.14%	1.13%	0.00%
14	9.50E-02	8.76%	0.01%	0.00%
15	8.81E-02	0.02%	0.06%	0.00%
16	8.06E-02	0.00%	0.00%	0.00%
17	7.97E-02	0.00%	0.13%	0.00%
18	7.78E-02	0.11%	0.03%	0.00%
19	7.57E-02	0.03%	0.01%	0.00%
20	7.35E-02	0.88%	0.01%	0.01%

VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857

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 07 00 002	A	24 di 105

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.

<i>Fase</i>	<i>Modello</i>	<i>Carichi</i>
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

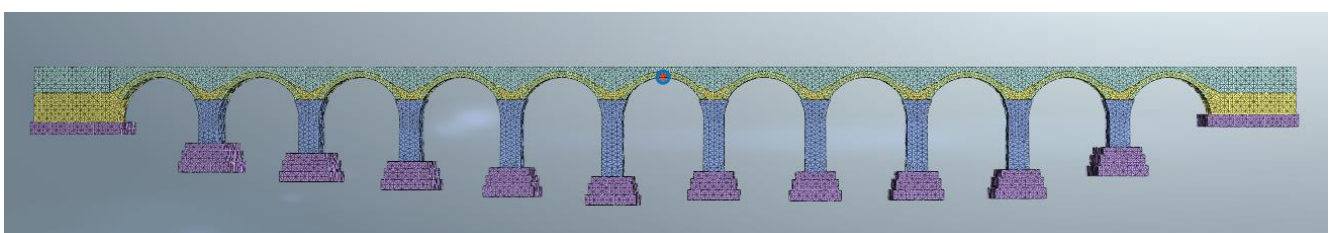
Sono stati presi in considerazione 4 profili di forze orizzontali, due per ciascuna direzione principale di applicazione del sisma (longitudinale, X, e trasversale Y):

- 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 a destra della pila più alta.



VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857
**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 07 00 002	A	25 di 105

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.

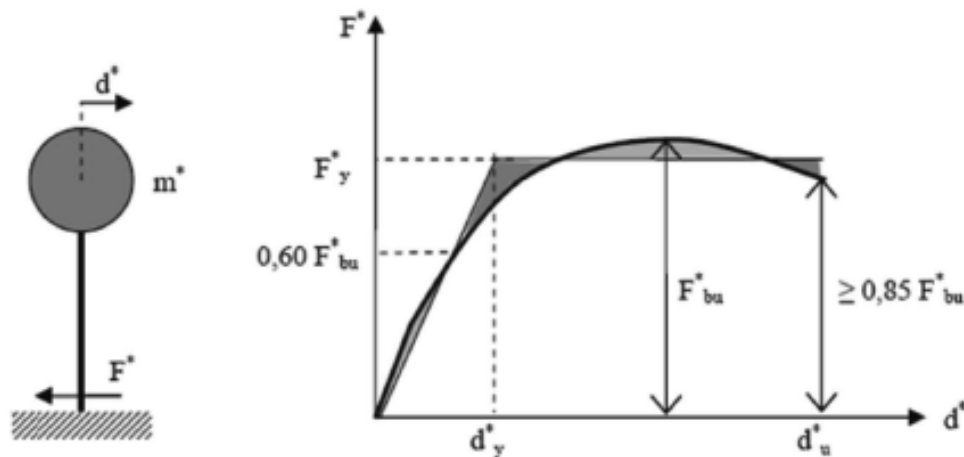


Figura C7.3.1 – Sistema e diagramma bilineare equivalente

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.

VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857

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 07 00 002	A	26 di 105

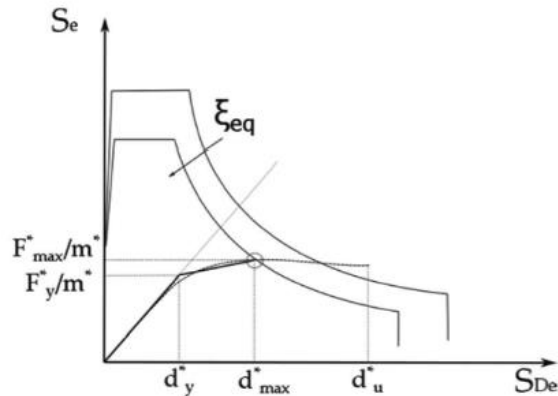


Figura C7.3.4– Individuazione del Punto di prestazione

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 $\xi_{eq} \leq 10\%$.

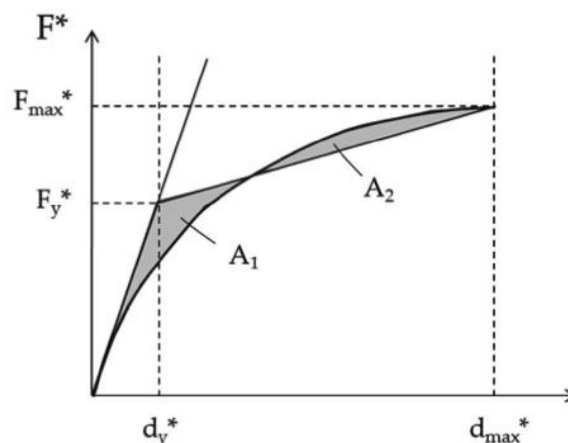


Figura C7.3.3– Bilinearizzazione equivalente

VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857
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 07 00 002	A	27 di 105

7.1 SISMA X - GRUPPO 1

Individuazione dello step di collasso della struttura:

Carichi Orizzontali		spost. (m)	Forza (KN)
STOP STEP	44	0.016	62659

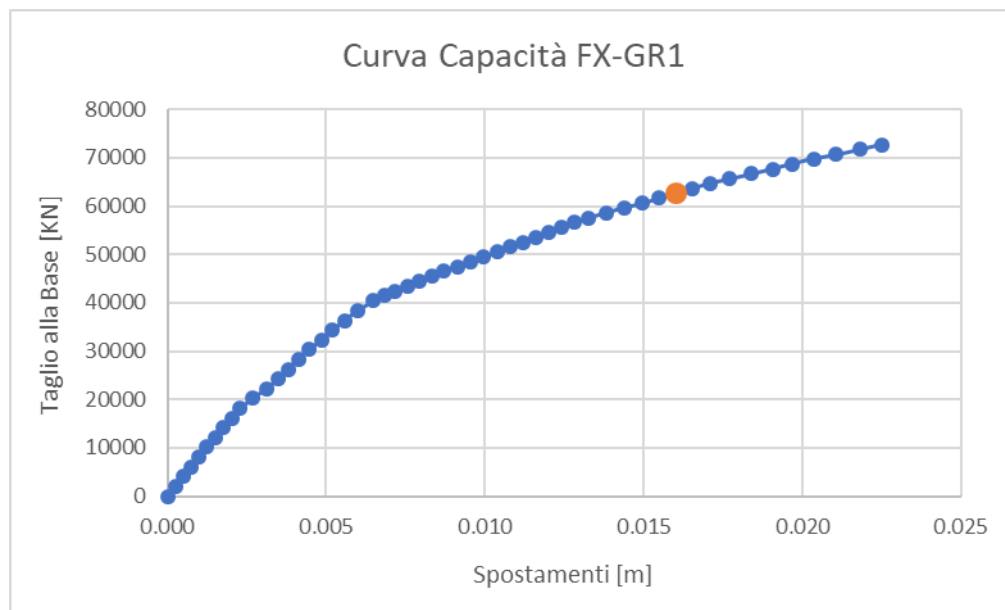


Figura 16: Curva di capacità

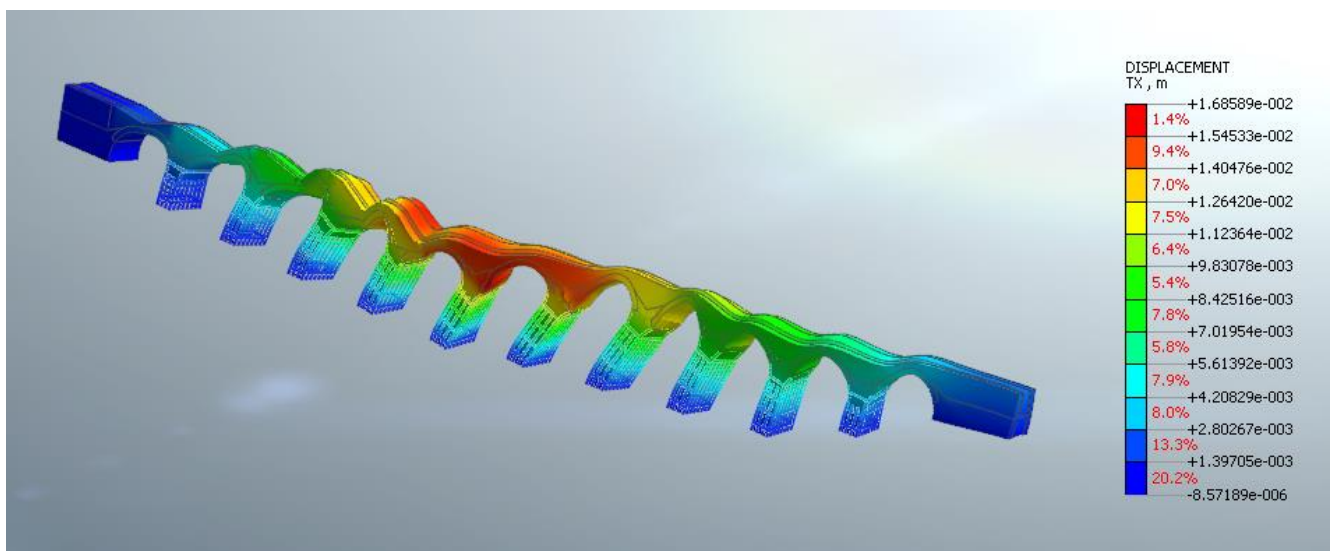


Figura 17: Mappa cromatica spostamento DX step di collasso

VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857

**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 07 00 002	A	28 di 105

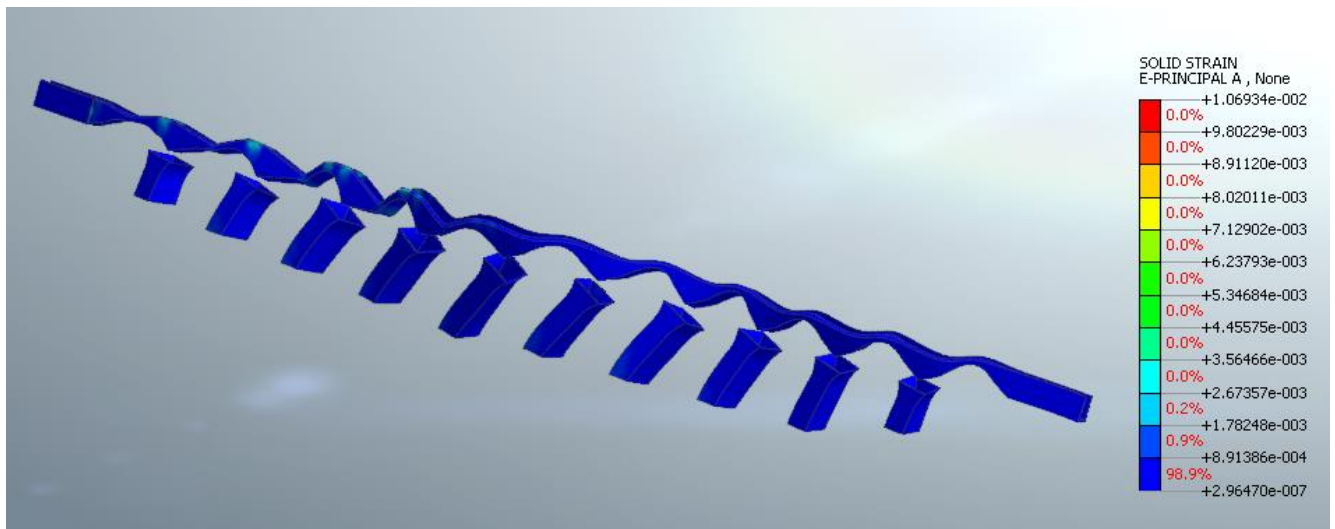
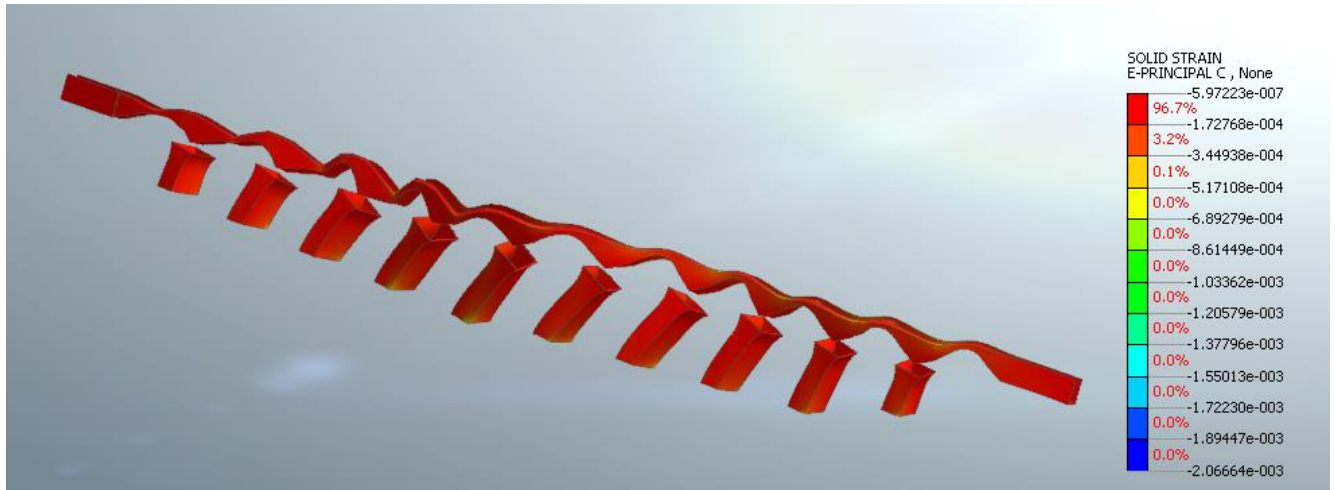


Figura 18: Deformazione principali (E3 compressione sopra, E1 trazione sotto) negli elementi in c.a. di rinforzo allo step collasso

VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857
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 07 00 002	A	29 di 105

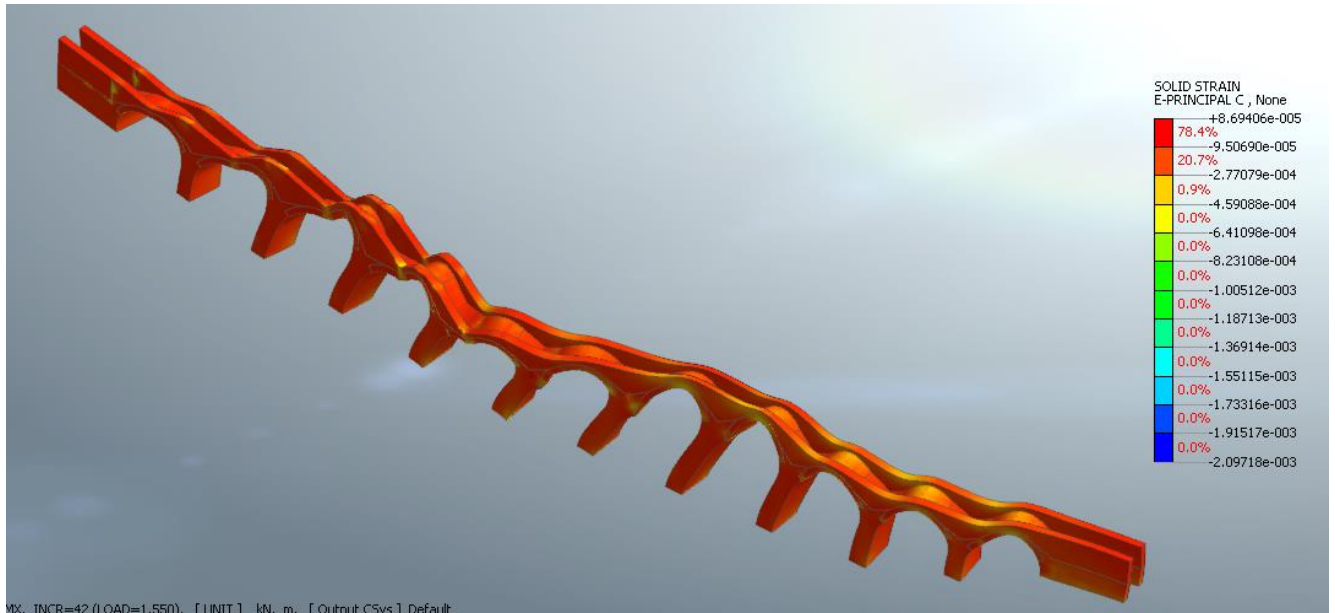


Figura 19: Deformazione E3 (principale di compressione) nelle murature allo step di collasso

Massa partecipante $m^*=98016$ ton

Fattore di Partecipazione $\Gamma^*= 1.37$

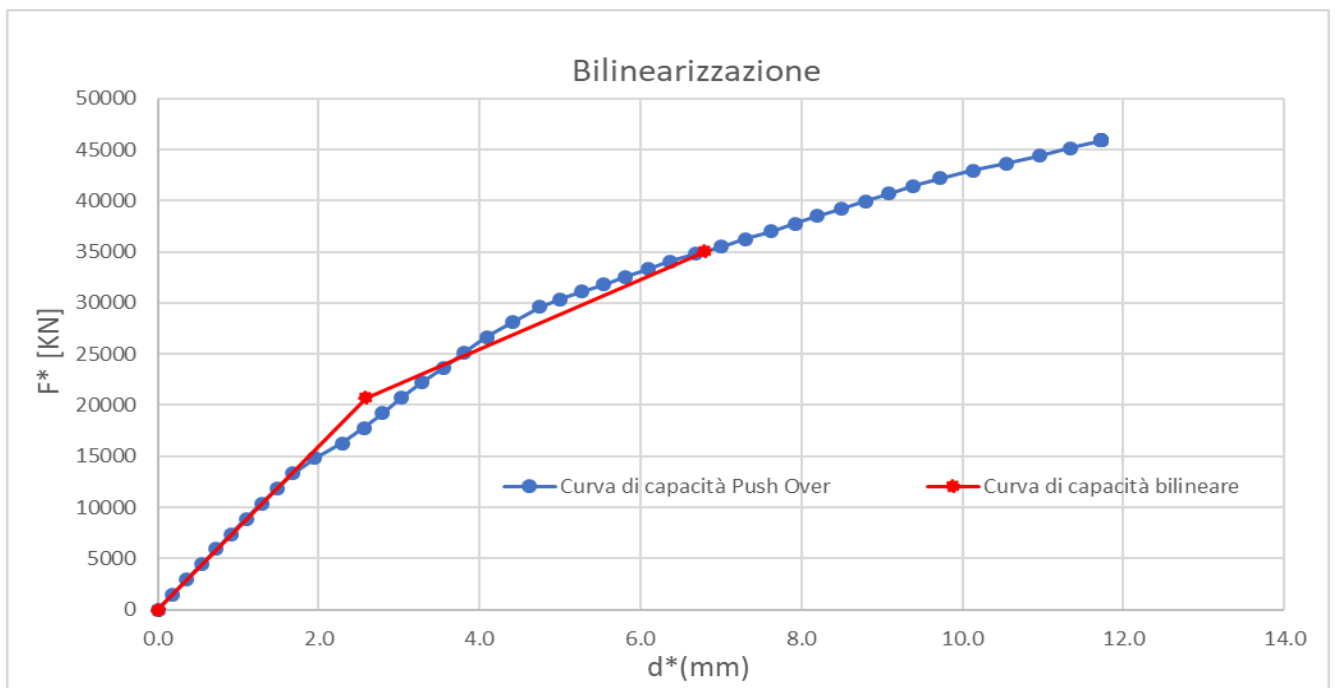


Figura 20: Bilinearizzazione curva di capacità 1GL.

VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857

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 07 00 002	A	30 di 105

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).

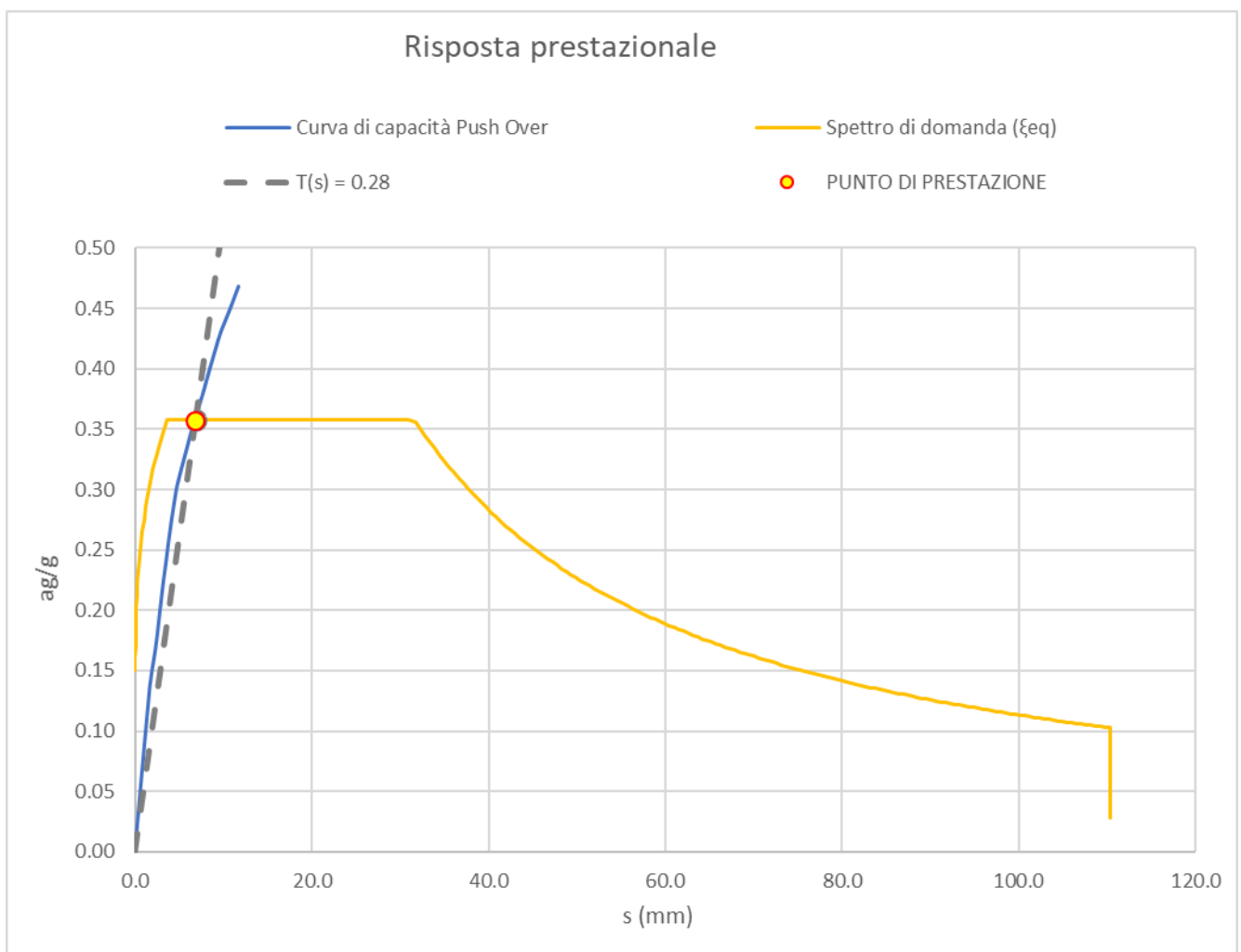


Figura 21: Verifica Domanda vs Capacità sul piano spettrale pseudo accelerazioni – pseudo spostamenti.

d* domanda	0.007	m
d* capacità	0.012	m
fattore sicurezza (>1)	1.71	-

VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857
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 07 00 002	A	31 di 105

7.2 SISMA X - GRUPPO 2

Individuazione dello step di collasso della struttura:

STOP STEP	16	0.006	74638
LF: 0.525		spost. (m)	Forza (KN)

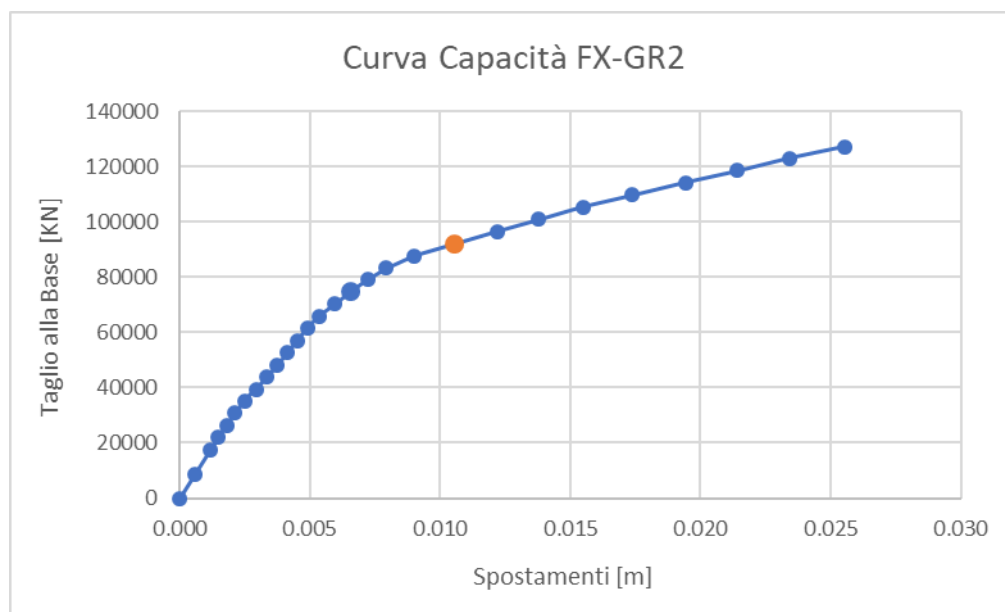


Figura 22: Curva di capacità

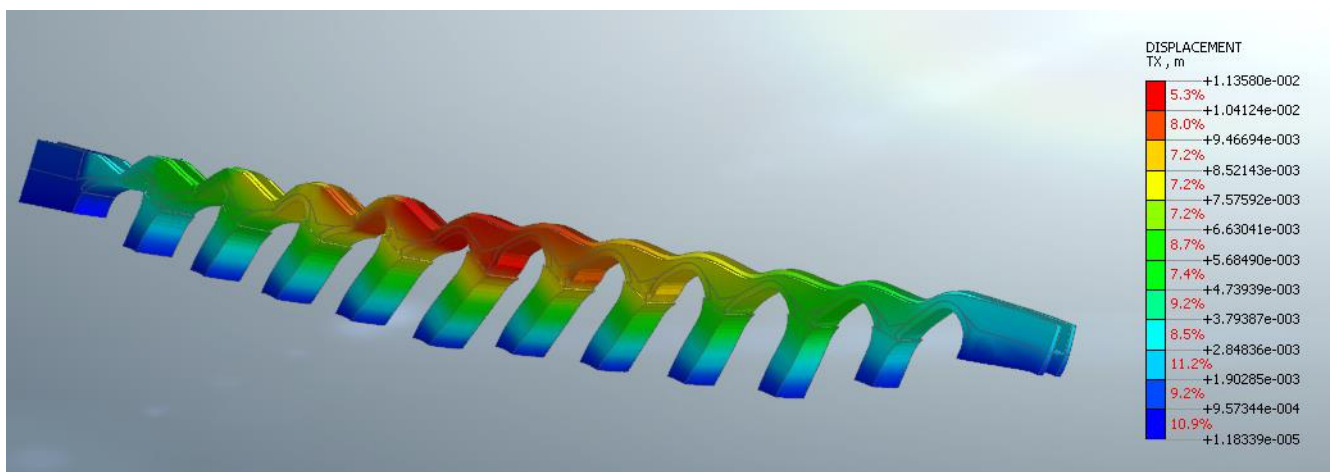


Figura 23: Mappa cromatica spostamento DX step di collasso

VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857
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 07 00 002	A	32 di 105

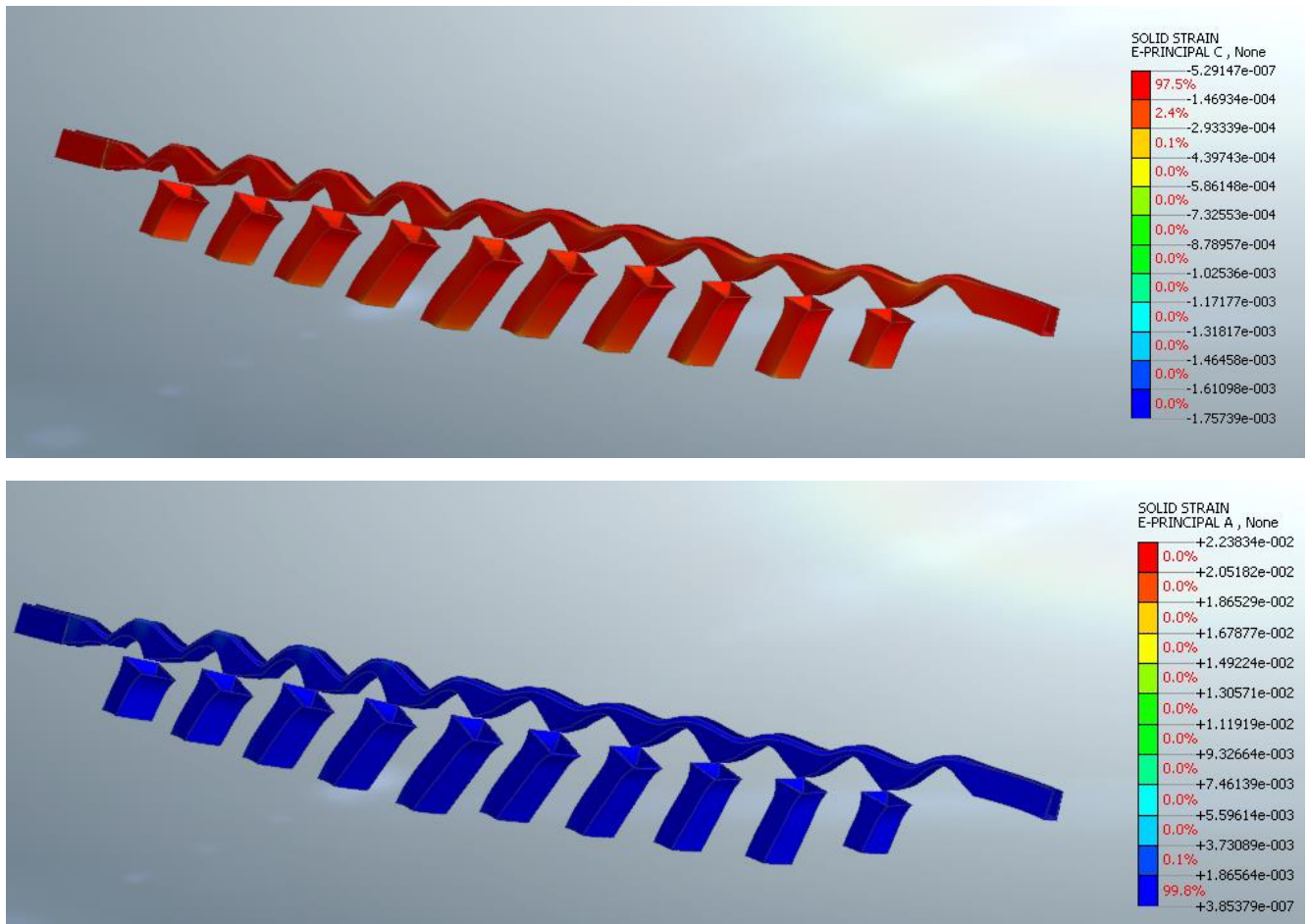


Figura 24: Deformazione principali (E3 compressione sopra, E1 trazione sotto) negli elementi in c.a. di rinforzo allo step collasso

VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857
Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOLGIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 07 00 002	A	33 di 105



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

Massa partecipante: $m^*=17778$ Ton

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

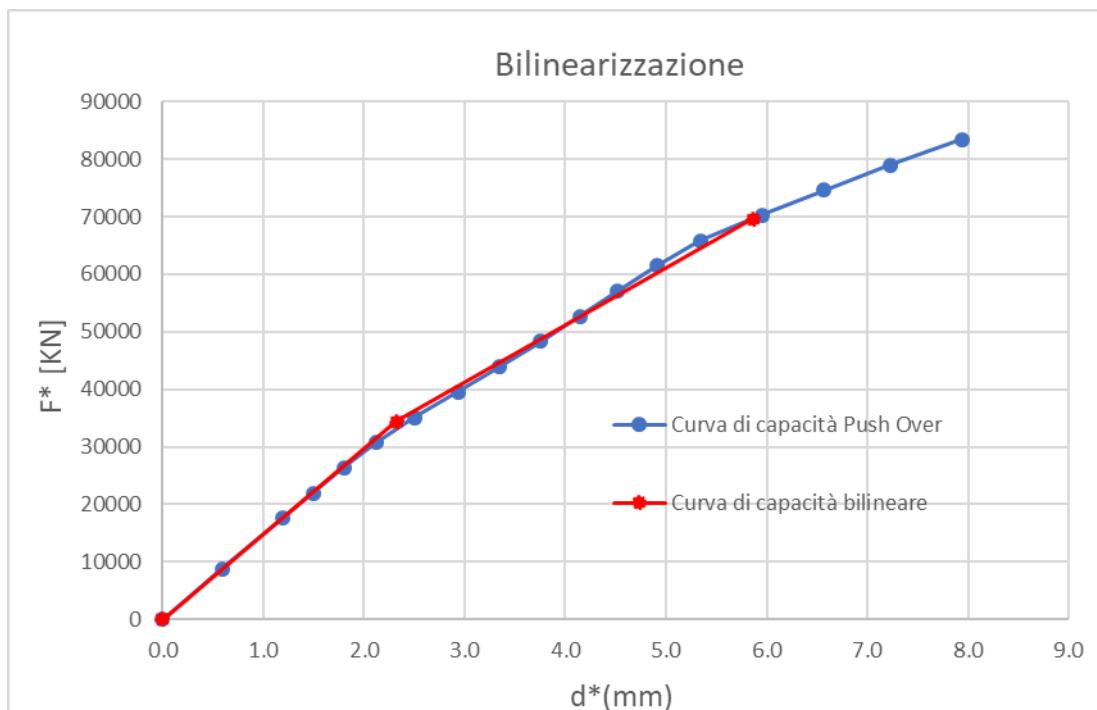


Figura 26: Bilinearizzazione curva di capacità 1GL.

Smorzamento equivalente secondo C7.3.10, Circ.7 del 21/1/2019: $\xi_{eq}=10\%$

VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857

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 07 00 002	A	34 di 105

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).

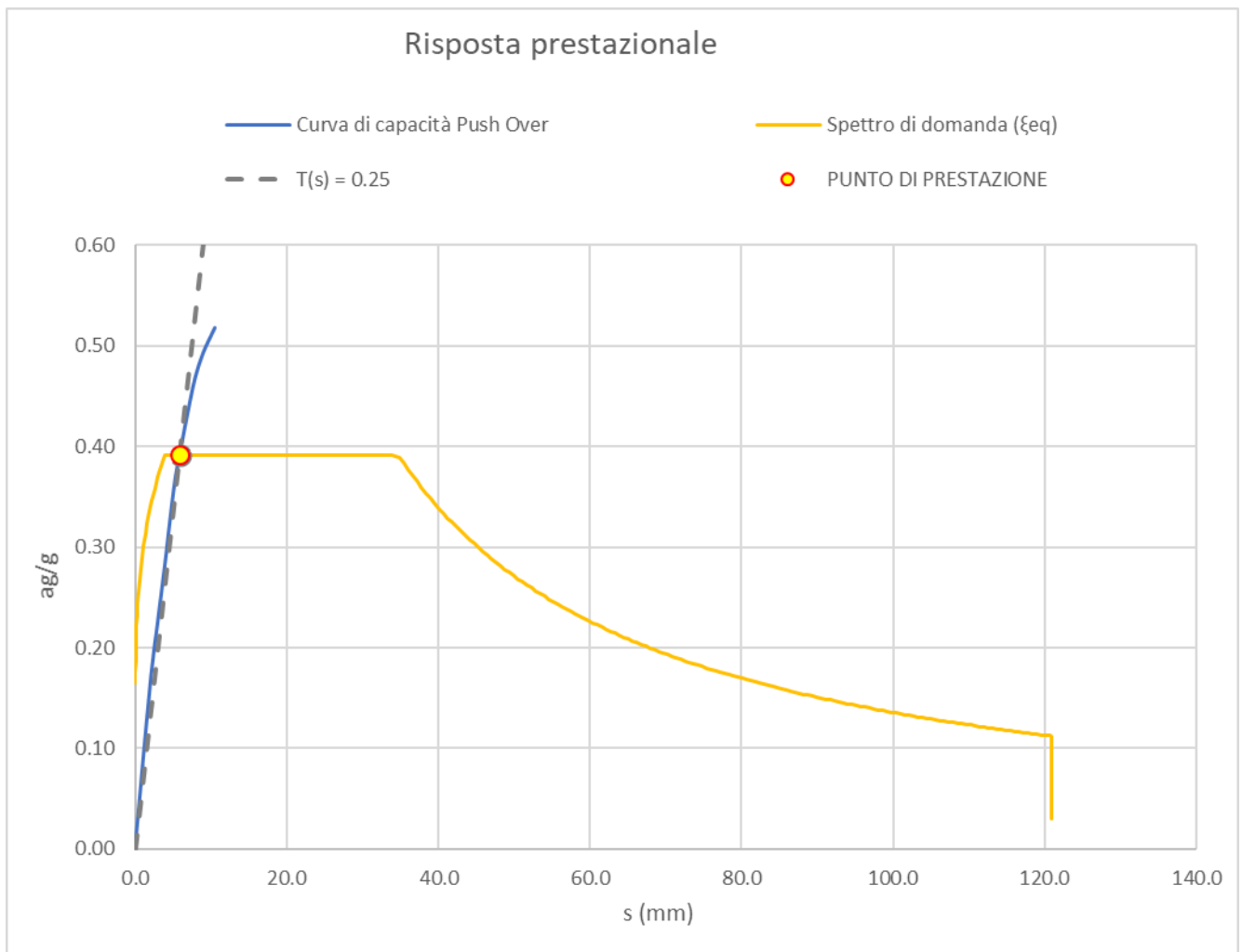


Figura 27: Verifica Domanda vs Capacità sul piano spettrale pseudo accelerazioni – pseudo spostamenti.

d* domanda	0.006	m
d* capacità	0.011	m
fattore sicurezza (>1)	1.83	-

VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857
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 07 00 002	A	35 di 105

7.3 SISMA Y - GRUPPO 1

Individuazione dello step di collasso della struttura:

STOP STEP	31	0.035	34463
(LF 1.175)		spost. (m)	Forza (KN)

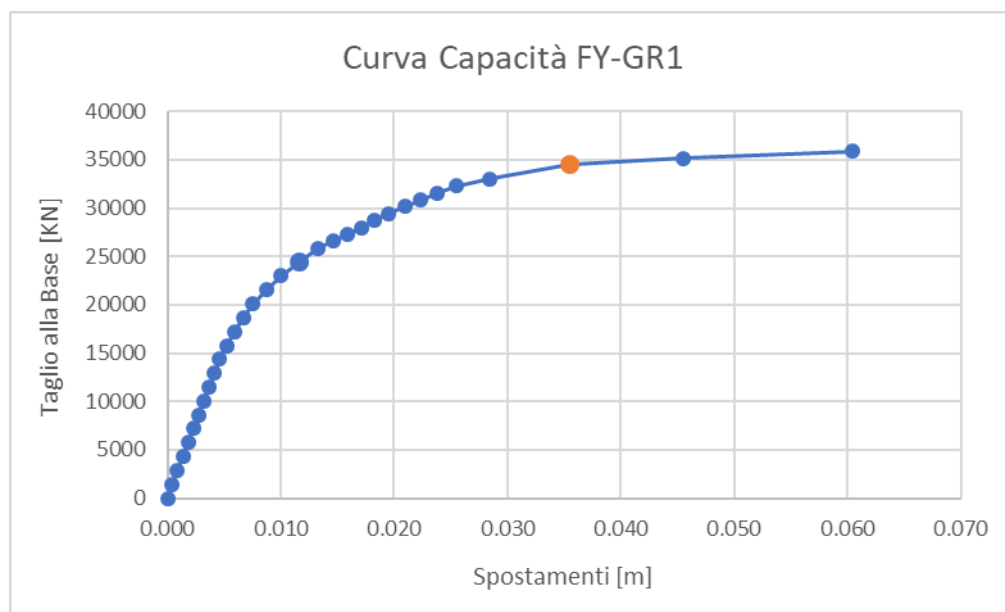


Figura 28: Curva di capacità

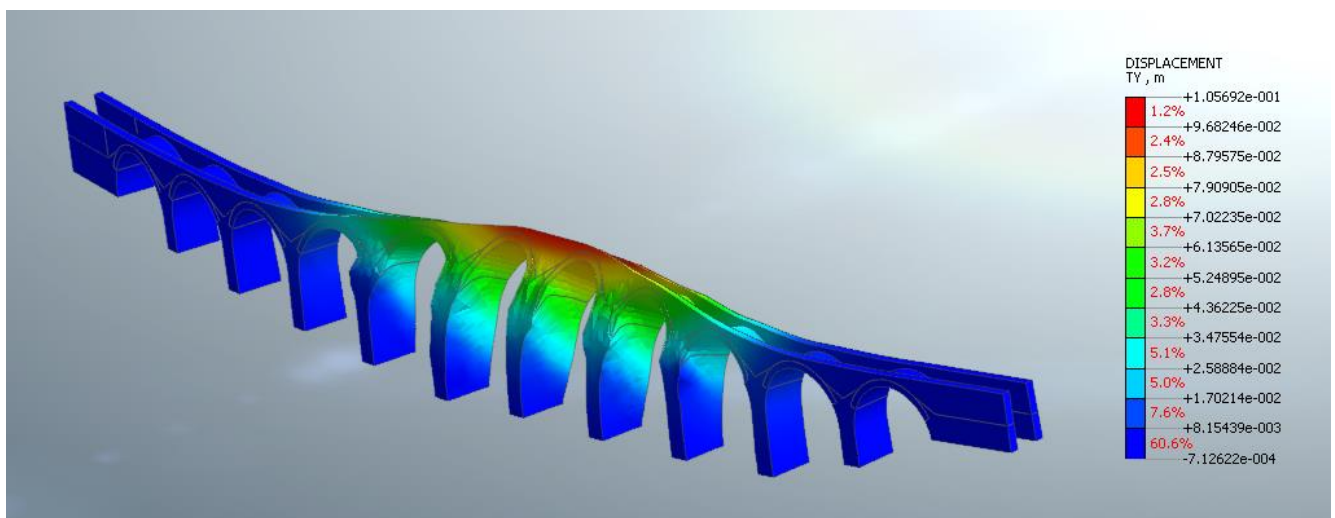


Figura 29: Mappa cromatica spostamento DY step di collasso

VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857

**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 07 00 002	A	36 di 105

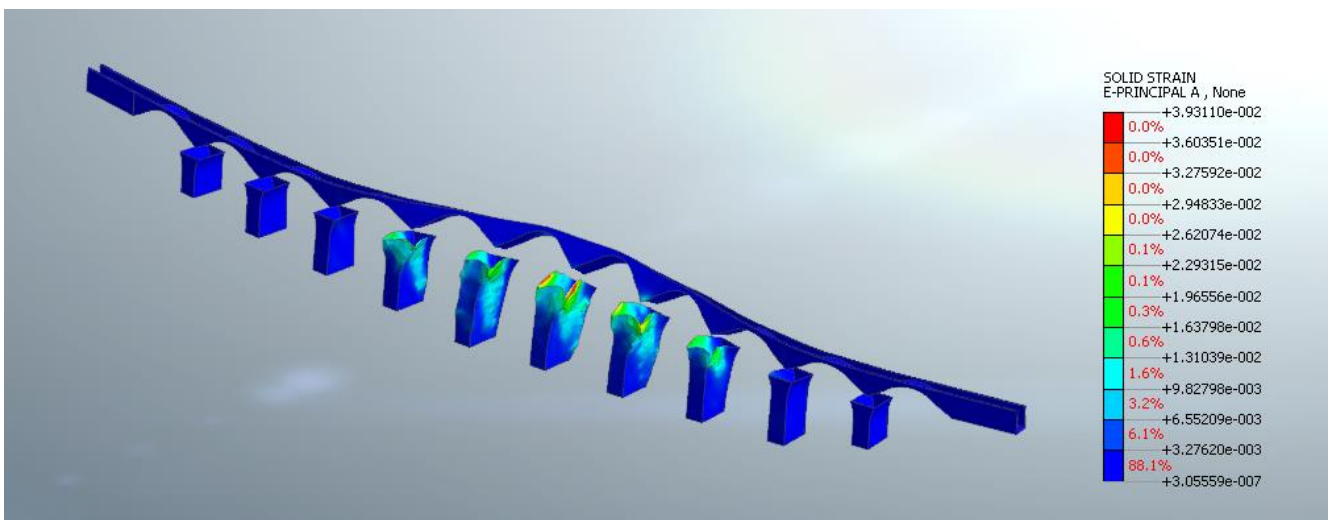
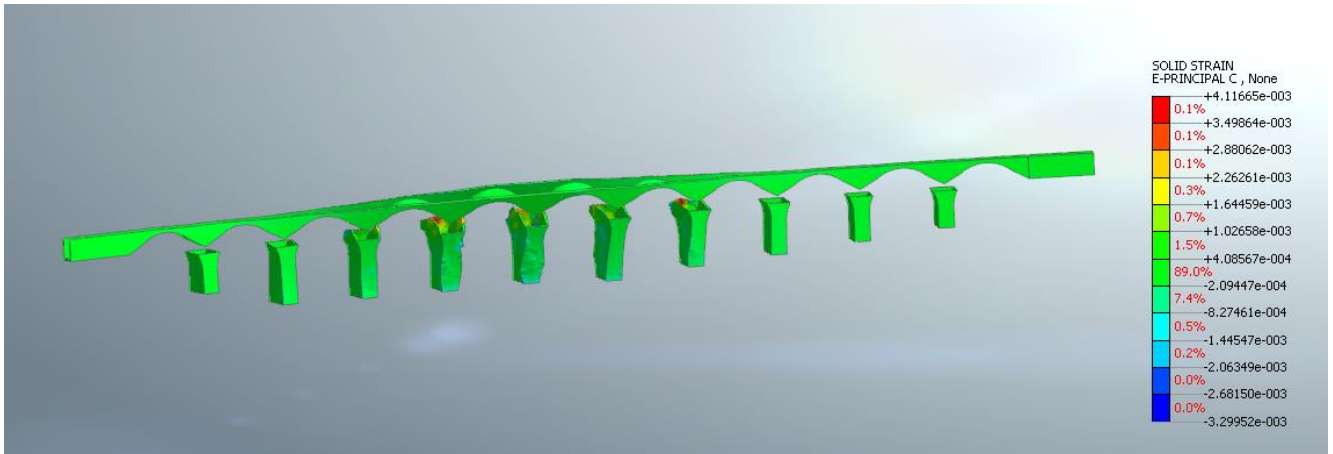


Figura 30: Deformazione principali (E3 compressione sopra, E1 trazione sotto) negli elementi in c.a. di rinforzo allo step collasso

VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857
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 07 00 002	A	37 di 105

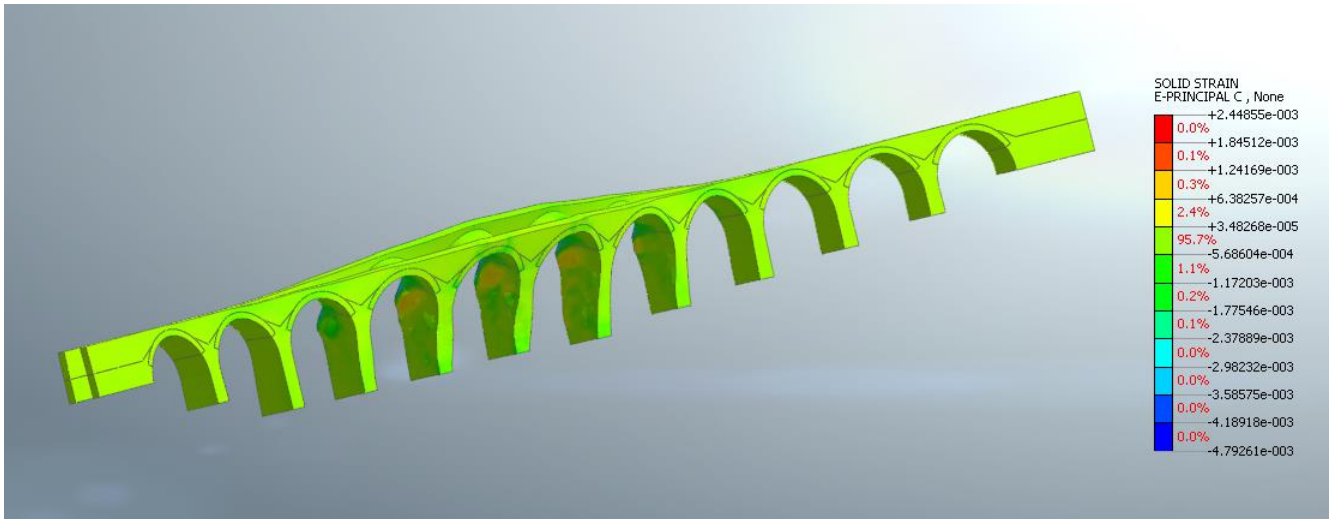


Figura 31: Deformazione principale di compressione nella muratura allo step di collasso

Massa partecipante: $m^* = 6686$ ton

Fattore di Partecipazione: $\Gamma^* = 1.506$

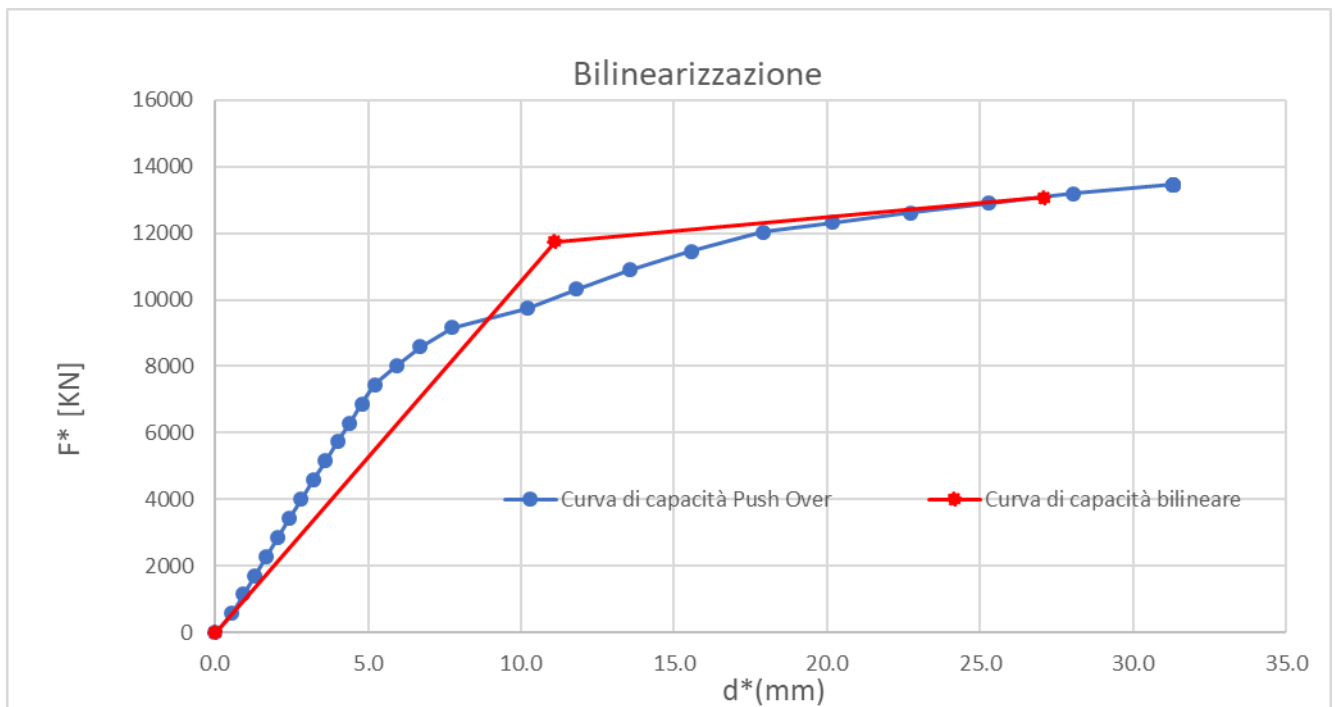


Figura 32: Bilinearizzazione curva di capacità 1GL

VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857

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 07 00 002	A	38 di 105

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).

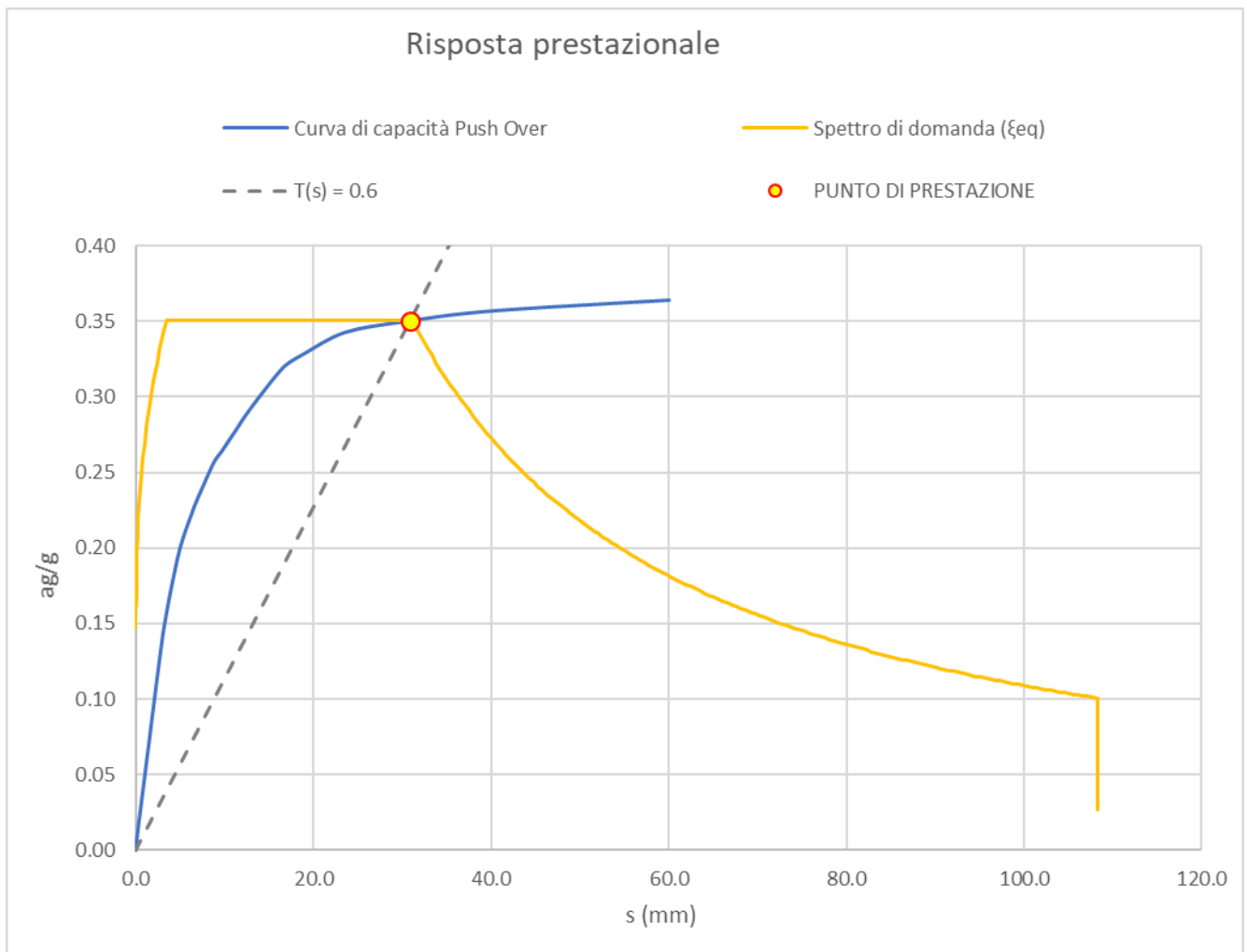


Figura 33: Verifica Domanda vs Capacità sul piano spettrale pseudo accelerazioni – pseudo spostamenti.

d* domanda	0.032	m
d* capacità	0.060	m
fattore sicurezza (>1)	1.87	-

VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857
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 07 00 002	A	39 di 105

7.4 SISMA Y - GRUPPO 2

Individuazione dello step di collasso della struttura:

STOP STEP	10	0.032	109762
(LF 0.625)		spost. (m)	Forza (KN)

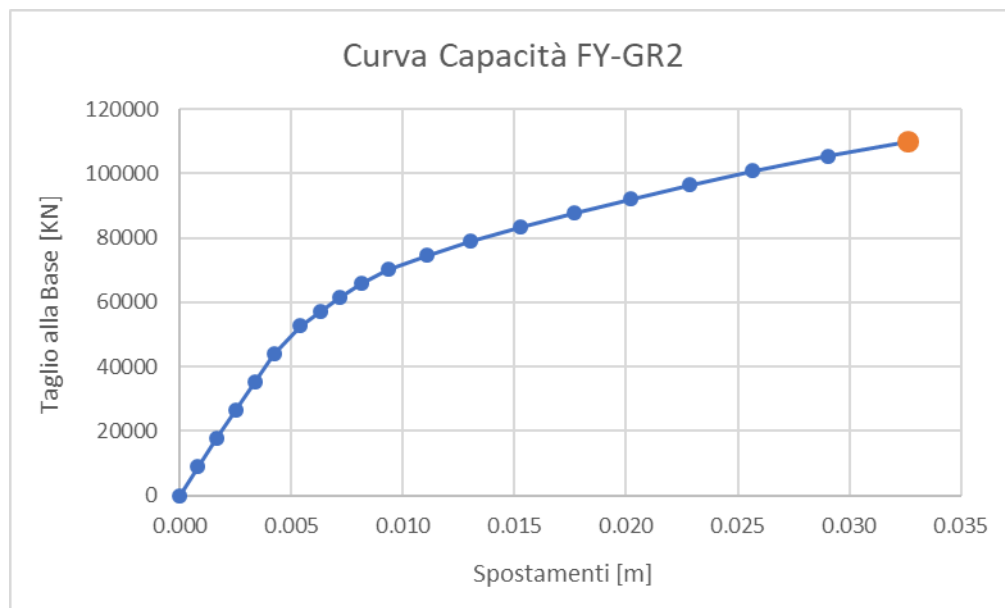


Figura 34: Curva di capacità

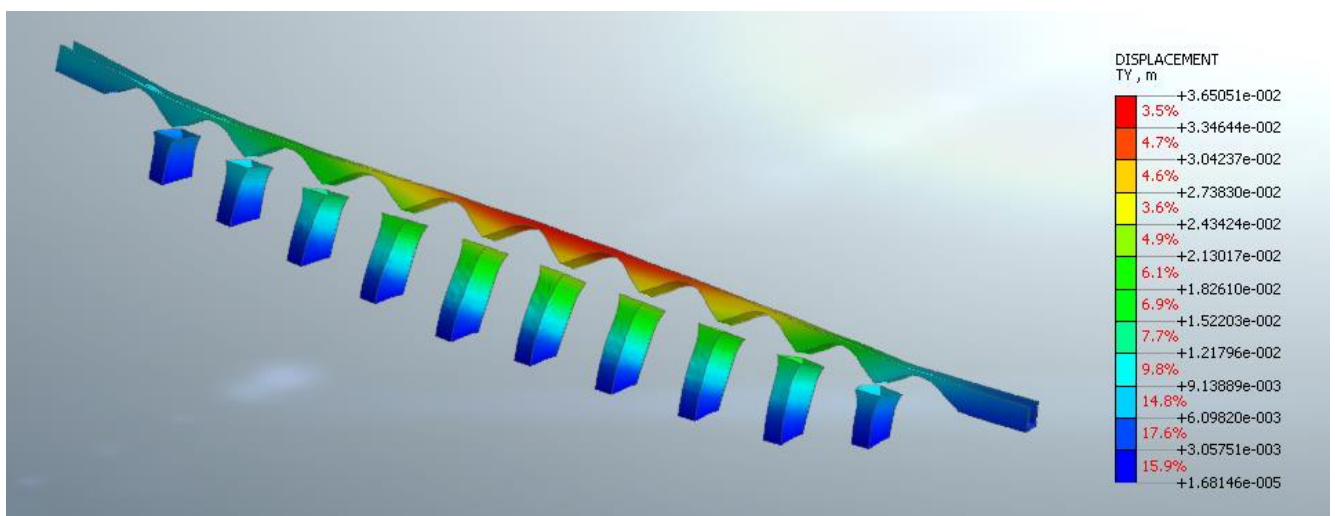


Figura 35: Mappa cromatica spostamento DY step di collasso

VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857
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 07 00 002	A	40 di 105

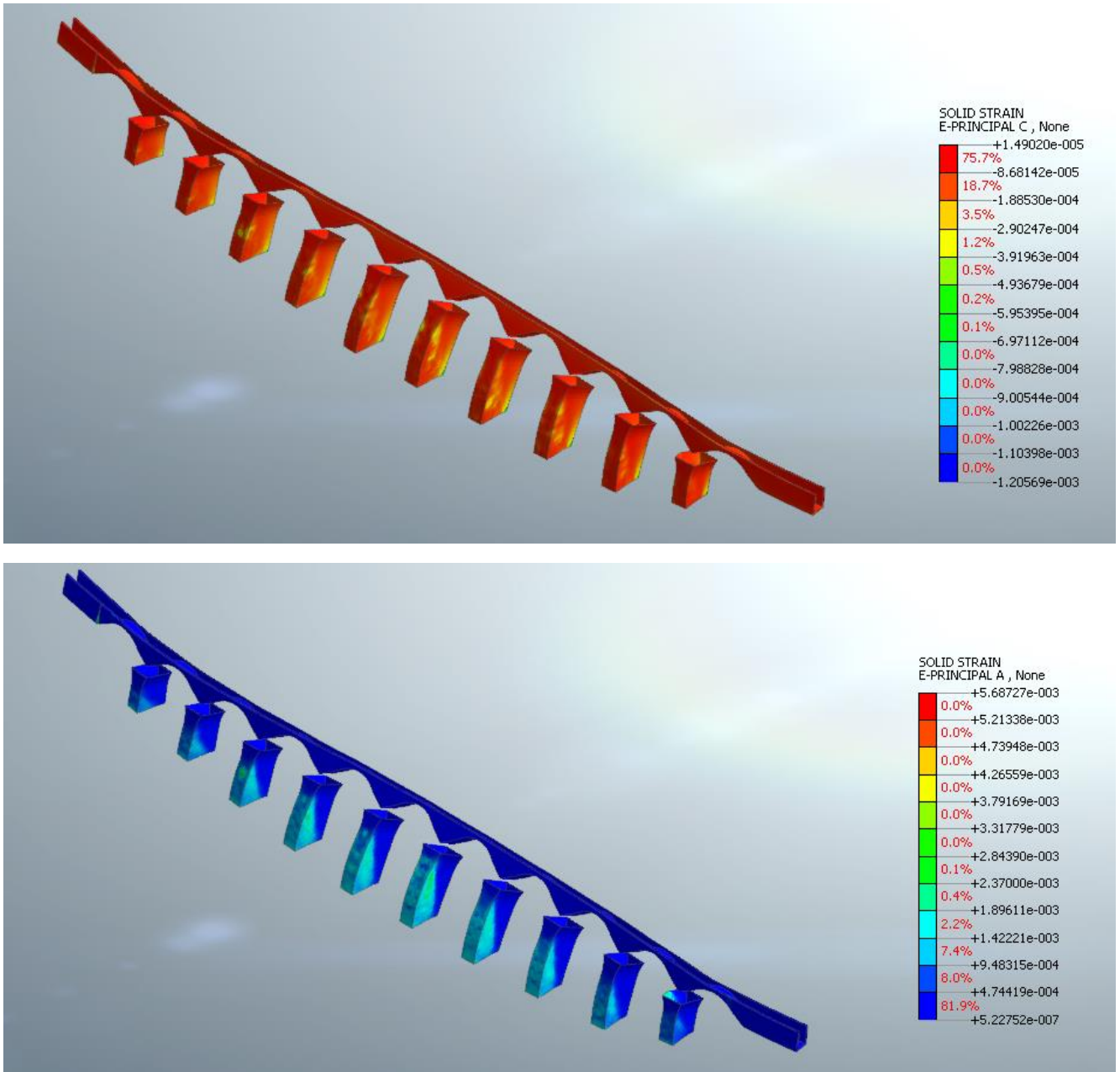


Figura 36: Deformazione principali (E3 compressione sopra, E1 trazione sotto) negli elementi in c.a. di rinforzo allo step collasso

VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857
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 07 00 002	A	41 di 105

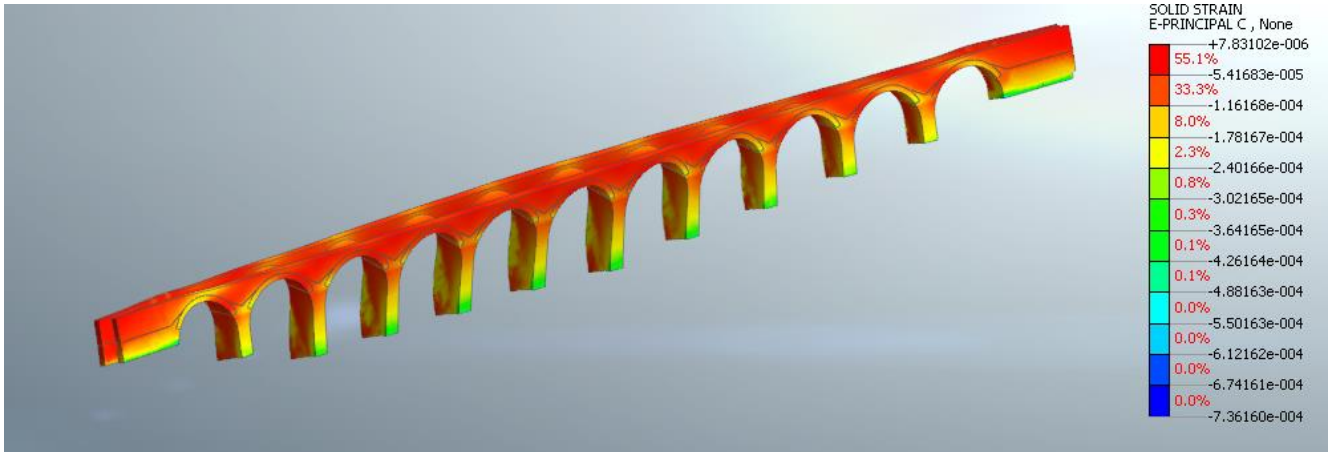


Figura 37: Deformazione EC (principale di compressione) nella muratura allo step di collasso

Massa partecipante: $m^*=17788$ ton

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

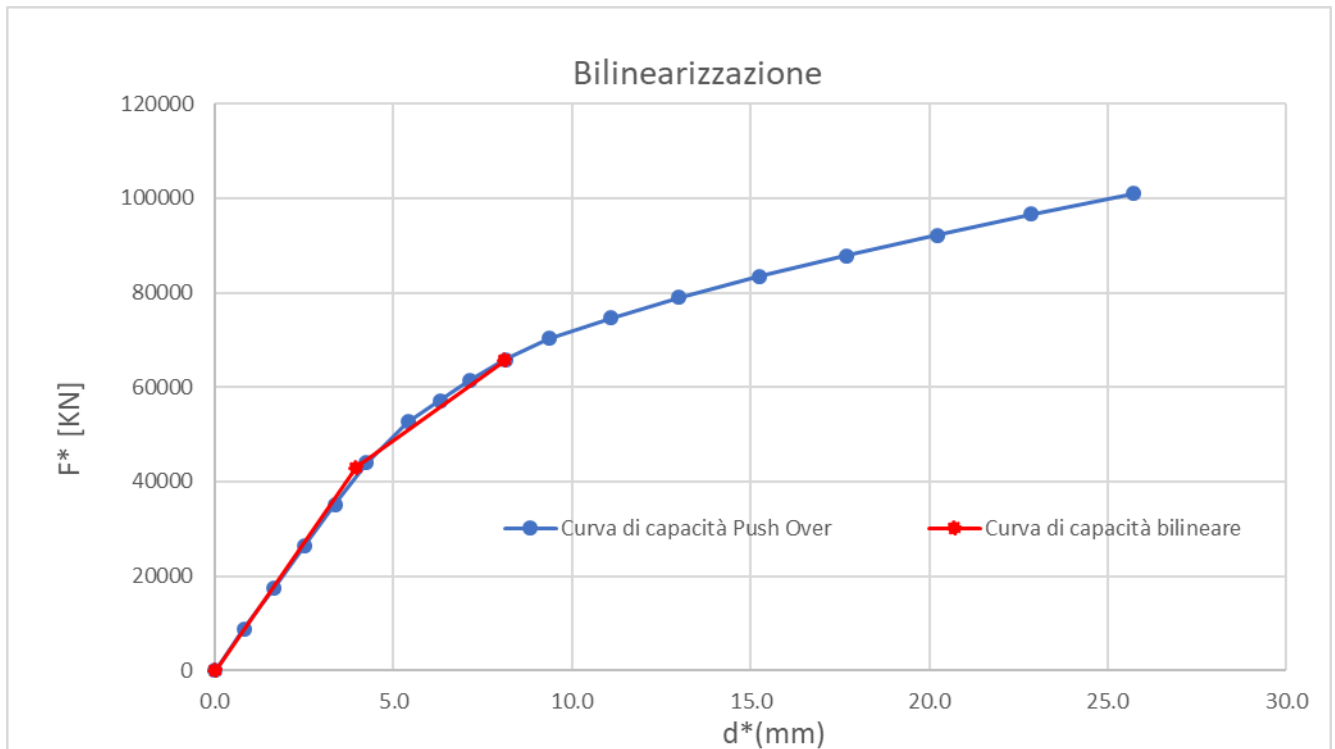


Figura 38: Bilinearizzazione curva di capacità 1GL

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

$\xi_{eq}=10\%$

VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857
**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 07 00 002	A	42 di 105

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).

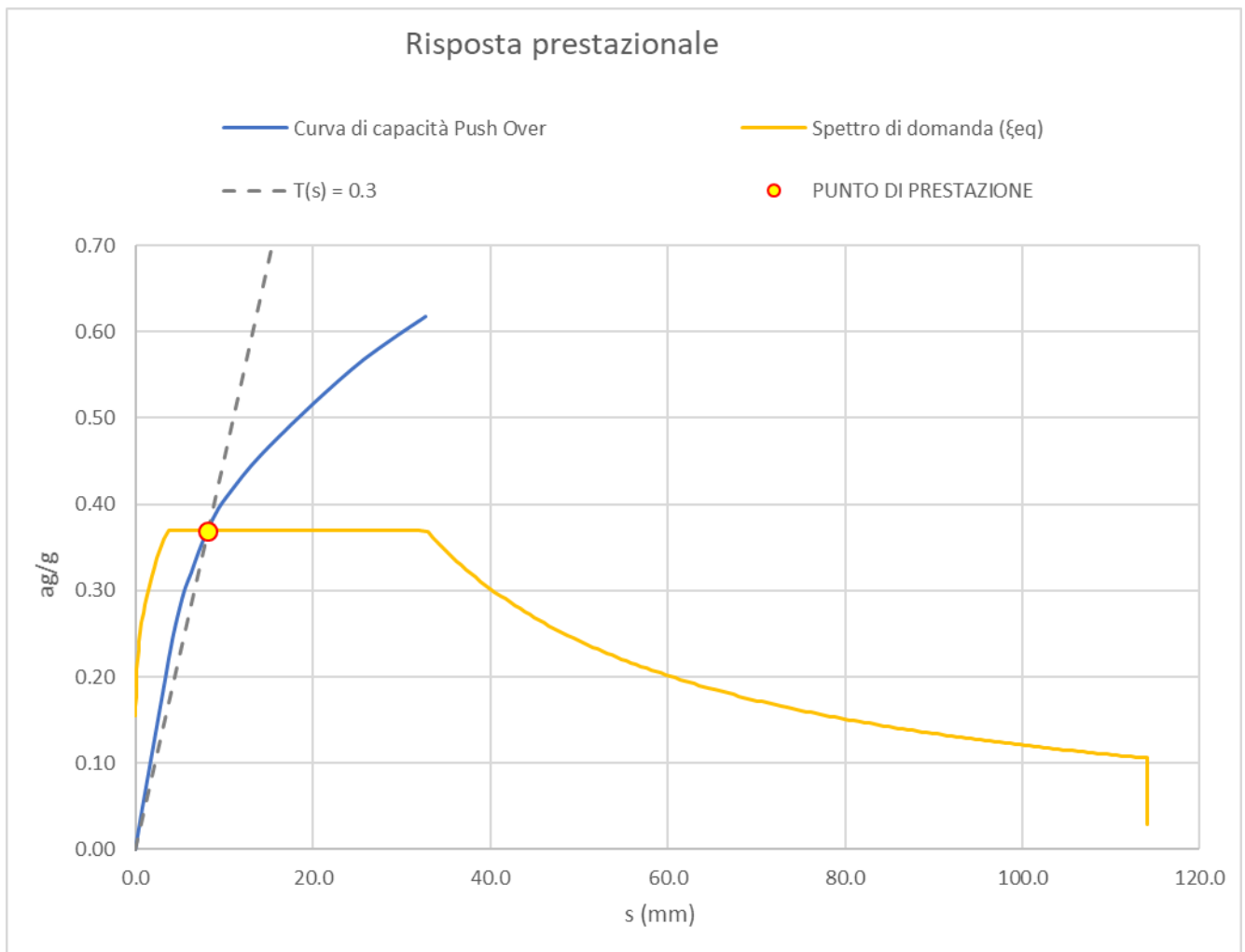


Figura 39: Verifica Domanda vs Capacità sul piano spettrale pseudo accelerazioni – pseudo spostamenti.

d* domanda	0.08	m
d* capacità	0.031	m
fattore sicurezza	3.87	-



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

VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857

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 07 00 002	A	43 di 105

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	0.007	0.012	1.71
FX-GR2	0.006	0.011	1.83
FY-GR1	0.032	0.060	1.88
FY-GR2	0.008	0.031	3.87
		MIN FS	1.83

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).

VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857

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 07 00 002	A	44 di 105

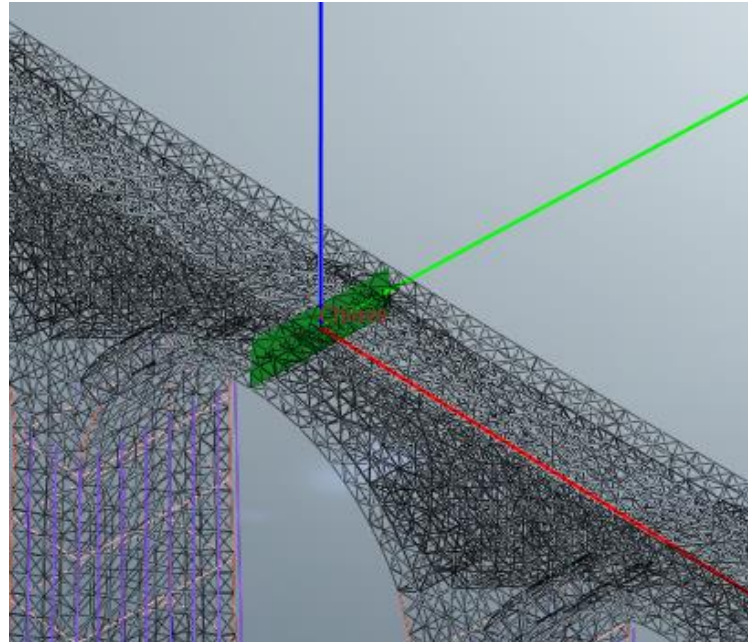


Figura 40: Sezione di integrazione delle forze nodali (Assi di riferimento: rosso=X, verde=Y, blu=Z)

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 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
G1	-1452	35	-5	-691	-4
G2	-51	1	0	-27	0
T1	-404	14	-1	-331	2
T2	-433	20	-1	-338	2
Vento	76	1	8	11	68
Frenatura	1	11	0	0	0
Cedimento inf.	216	-148	0	149	-29
Cedimento sup.	-538	1019	8	-176	85
Serpeggio	5	0	27	1	61
Forza Centrifuga	31	2	4	5	26

	RIPRISTINO LINEA CALTAGIRONE-GELA MIGLIORAMENTI STRUTTURALI PER CONSEGUIRE L'ADEGUAMENTO SISMICO DEI VIADOTTI LOTTO 2: NISCEMI - GELA					
VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857 Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione	COMMESSA RS6K	LOTTO 00	CODIFICA R 09 CL	DOCUMENTO VI 07 00 002	REV. A	FOGLIO 45 di 105

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.

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

- **Condizioni statiche**

VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857
**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 07 00 002	A	46 di 105

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

VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857

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 07 00 002	A	47 di 105

- **Condizioni sismiche**

	Treno 1C	Treno 2C	Frenatura	Centrifuga	Serpeggio	FX gr1	FX gr2	FY gr1	FY gr2	SLV Z
SLV1	0.2	0	0.2	0.2	0.2	1	0	0	0	0.3
SLV2	0.2	0	0.2	0.2	0.2	1	0	0	0	-0.3
SLV3	0.2	0	0.2	0.2	0.2	0	1	0	0	0.3
SLV4	0.2	0	0.2	0.2	0.2	0	1	0	0	-0.3
SLV5	0.2	0	0.2	0.2	0.2	0	0	1	0	0.3
SLV6	0.2	0	0.2	0.2	0.2	0	0	1	0	-0.3
SLV7	0.2	0	0.2	0.2	0.2	0	0	0	1	0.3
SLV8	0.2	0	0.2	0.2	0.2	0	0	0	1	-0.3
SLV9	0	0.2	0.2	0.2	0.2	1	0	0	0	0.3
SLV10	0	0.2	0.2	0.2	0.2	1	0	0	0	-0.3
SLV11	0	0.2	0.2	0.2	0.2	0	1	0	0	0.3
SLV12	0	0.2	0.2	0.2	0.2	0	1	0	0	-0.3
SLV13	0	0.2	0.2	0.2	0.2	0	0	1	0	0.3
SLV14	0	0.2	0.2	0.2	0.2	0	0	1	0	-0.3
SLV15	0	0.2	0.2	0.2	0.2	0	0	0	1	0.3
SLV16	0	0.2	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 tenere 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 _{yd} = 391 MPa
ε _{cu} = 0.35%	ε _{su} 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.

VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857

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 07 00 002	A	48 di 105

<i>dati sez</i>	
B tot	3.27 m
H max	1.72 m
B trave	0.40 m
Sp. Soletta	0.20 m
ρ_s (Della soletta di intervento)	2.2%

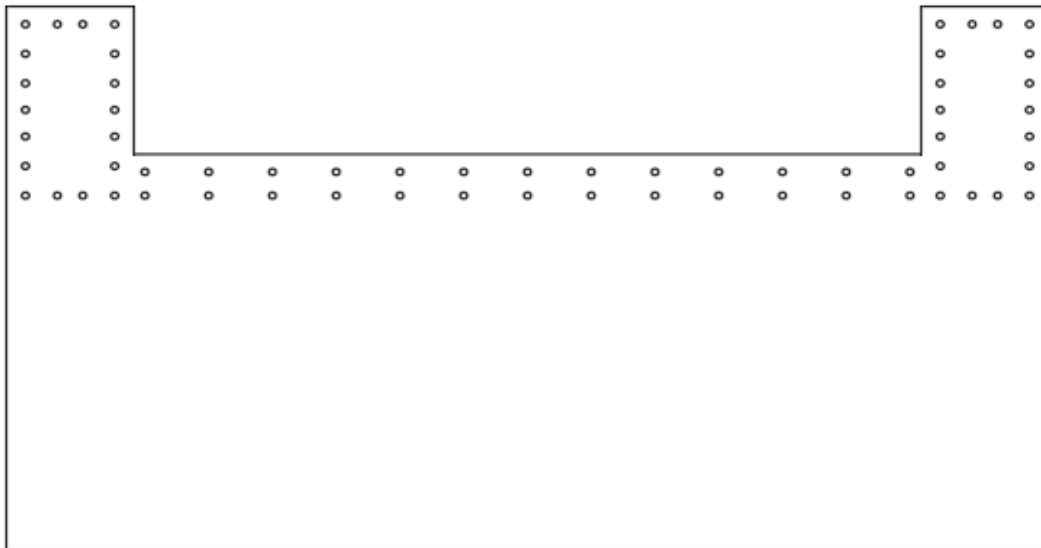


Figura 41: Sezione di verifica

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

- **Condizioni statiche**

Combinazioni Statiche SLU						
Chiave Arco	N	Vz	Vy	My	Mz	Rd/Ed
<i>comb</i>	(kN)	(kN)	(kN)	(kNm)	(kNm)	-
SLU1	-3149	1313	54	-1645	288	2.66
SLU2	-3191	1322	54	-1655	288	2.67
SLU3	-2996	1306	51	-1544	303	2.8
SLU4	-3030	1313	51	-1552	303	2.79
SLU5	-2244	-87	44	-1254	151	3.11

VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857
**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 07 00 002	A	49 di 105

SLU6	-2286	-78	44	-1264	151	3.11
SLU7	-2092	-94	41	-1154	165	3.32
SLU8	-2125	-87	41	-1162	165	3.31
SLU9	-1778	-128	-7	-794	-40	4.88
SLU10	-2683	1272	3	-1184	98	3.67
SLU11	-2615	1300	56	-1390	289	2.95
SLU12	-2657	1309	56	-1400	289	2.95
SLU13	-2463	1293	52	-1289	304	3.13
SLU14	-2496	1300	52	-1297	304	3.13
SLU15	-1710	-100	46	-999	152	3.61
SLU16	-1752	-91	46	-1009	152	3.61
SLU17	-1558.1	-107	42	-899	167	3.93
SLU18	-1591.6	-100	42	-907	167	3.93
SLU19	-1244.6	-141	-5	-539	-39	6.73
SLU20	-2149.1	1259	5	-929	99	4.4

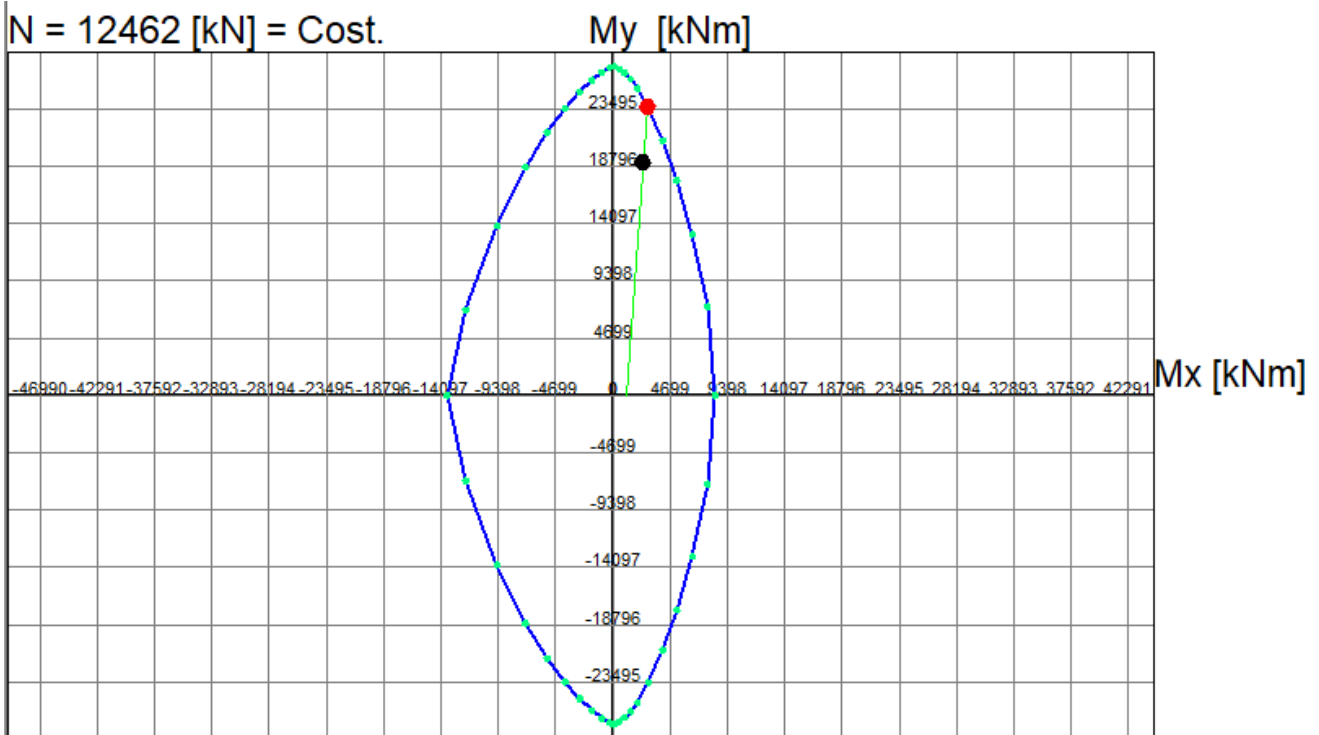
- Condizioni sismiche

Combinazioni Sismiche SLV						
Chiave Arco	N	Vz	Vy	My	Mz	Rd/Ed
<i>comb</i>	(kN)	(kN)	(kN)	(kNm)	(kNm)	-
SLV1	-5777	1673	751	-1059	2348	5.73
SLV2	-5728	1672	751	-1035	2348	5.8
SLV3	-3749	1425	-21	-980	90	6.05
SLV4	-3700	1424	-21	-956	90	6.2
SLV5	-12462	-58	629	-2467	-19083	1.24
SLV6	-12413	-59	629	-2444	-19083	1.24
SLV7	-2088	3	-56	-655	-1049	5.74
SLV8	-2039	2	-55	-631	-1049	5.88
SLV9	-5783	1675	751	-1060	2348	5.73
SLV10	-5734	1674	751	-1037	2348	5.8
SLV11	-3755	1426	-21	-981	90	6.05
SLV12	-3706	1425	-21	-958	90	6.19
SLV13	-12468	-56	629	-2468	-19083	1.24
SLV14	-12419	-58	629	-2445	-19083	1.24
SLV15	-2094	4	-56	-656	-1049	5.72
SLV16	-2045	3	-55	-633	-1049	5.92

VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857
**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 07 00 002	A	50 di 105

Si riporta la verifica per la condizione più gravosa identificata nella combinazione SLV5.



Passo Momenti Mx, My griglia = 4699 kNm

Legenda		N [kN]		Mx [kNm]		My [kNm]		N°Punti Dominio		Visualizza	
•	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.
—	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
—	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
•	Sforzi assegnati	Scala grafico e passo griglia		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="checkbox"/>	Numerazione punti
•	Sforzi ultimi			<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>			
				Passo M(kNm)		4699.0					

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.

VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857

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 07 00 002	A	51 di 105

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

Cls

Rck= 37 MPa

fck= 30 MPa

γ_c = 1.50

fcm= 38 MPa

α_{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_{0.05}= 2.03 MPa

fctk_{0.95}= 3.77 MPa

α_{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

γ_s = 1.15

fyd= 391 MPa

Azioni di taglio

Aed 751 x 1.00= 751 kN

V_{Ed} = 751 kN

Nsd= 1245 KN sforzo normale

bw = 0.200 m larghezza (6.16)

h= 3.270 m altezza totale

c= 0.060 m copriferro

d = 3.210 m altezza utile

Ac= 1.050 mq area totale

VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857

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 07 00 002	A	52 di 105

Resistenza delle staffe:

$\phi_w =$	12	mm	diametro staffa		
$n =$	2.00		numero braccia		
$A_{sw} =$	2.26	cmq			
$z =$	2.89	m	$= 0.9 \cdot d$		
$\sin \alpha =$	1		α angolo tra le staffe e l'asse della trave ($\alpha = 90^\circ$ per staffe verticali)		
$\rho_w =$	0.75	%	$= A_{sw} / (s \cdot b_w \cdot \sin \alpha) \cdot 100 \geq$		
$s =$	0.15	m	$=$ passo staffe \leq	2.41	m $= 0.75 \cdot d \cdot (1 + \cot \alpha)$
$\theta =$	45.0	°			
$V_{Rd,s} =$	1705	kN	$= A_{sw} / s \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta$		

Resistenza del puntone compresso:

$v =$	0.528		$= 0.6 \cdot (1 - f_{ck} / 250)$ (from EN 6.6N)		
$\sigma_{cp} =$	1.19		$= N_{sd} / A_c$		
$\alpha_{cw} =$	1.07				
$V_{Rd,max} =$	2774	kN	$= \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v \cdot f_{cd} / (\cot \theta + \tan \theta)$		
$\gamma_{Bd1} =$	1.25		coefficiente di sicurezza (EN1998-2-5.6.2.b)		
$V_{Rd} =$	1364	kN	$= \min(V_{Rd,s}; V_{Rd,max}) / \gamma_{Bd1}$		

$V_{Ed} = 751$ minore o uguale di $V_{Rd} = 1364$ verifica soddisfatta

• DIREZIONE VERTICALE (Z)

La sezione resistente è costituita dalle due travi rettangolari laterali, si prevede una armatura resistente a taglio costituita da $3\phi 18$ passo 150 mm.

Azioni di taglio

$A_{ed} = 1675 \cdot \gamma = 1675 \cdot 0.50 = 837 \text{ kN}$
 $V_{Ed} = 837 \text{ kN}$

$N_{sd} = 1245 \text{ KN}$ sforzo normale

$b_w =$	0.400	m	larghezza (6.16)
$h =$	0.700	m	altezza totale
$c =$	0.060	m	copriferro
$d =$	0.640	m	altezza utile
$A_c =$	1.050	m ²	area

VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857

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 07 00 002	A	53 di 105

Resistenza delle staffe:

$\phi_w =$	18	mm	diametro staffa		
$n =$	3.00		numero braccia		
$A_{sw} =$	7.63	cmq			
$z =$	0.58	m	$= 0.9 \cdot d$		
$\sin \alpha =$	1		α angolo tra le staffe e l'asse della trave ($\alpha = 90^\circ$ per staffe verticali)		
$\rho_w =$	1.27	%	$= A_{sw} / (s \cdot b_w \cdot \sin \alpha) \cdot 100 \geq$		
$s =$	0.15	m	$=$ passo staffe \leq	0.48	m $= 0.75 \cdot d \cdot (1 + \cot \alpha)$
$\theta =$	45.0	°			
$V_{Rd,s} =$	1147	kN	$= A_{sw} / s \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta$		

Resistenza del puntone compresso:

$v =$	0.528		$= 0.6 \cdot (1 - f_{ck} / 250)$ (from EN 6.6N)		
$\sigma_{cp} =$	1.19		$= N_{sd} / A_c$		
$\alpha_{cw} =$	1.07				
$V_{Rd,max} =$	1106	kN	$= \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v \cdot f_{cd} / (\cot \theta + \tan \theta)$		
$\gamma_{Bd1} =$	1.25		coefficiente di sicurezza (EN1998-2-5.6.2.b)		
$V_{Rd} =$	885	kN	$= \min(V_{Rd,s}; V_{Rd,max}) / \gamma_{Bd1}$		

$V_{Ed} = 837$ minore o uguale di $V_{Rd} = 885$ 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 pinto 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 pinto - pila.

VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857

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 07 00 002	A	54 di 105

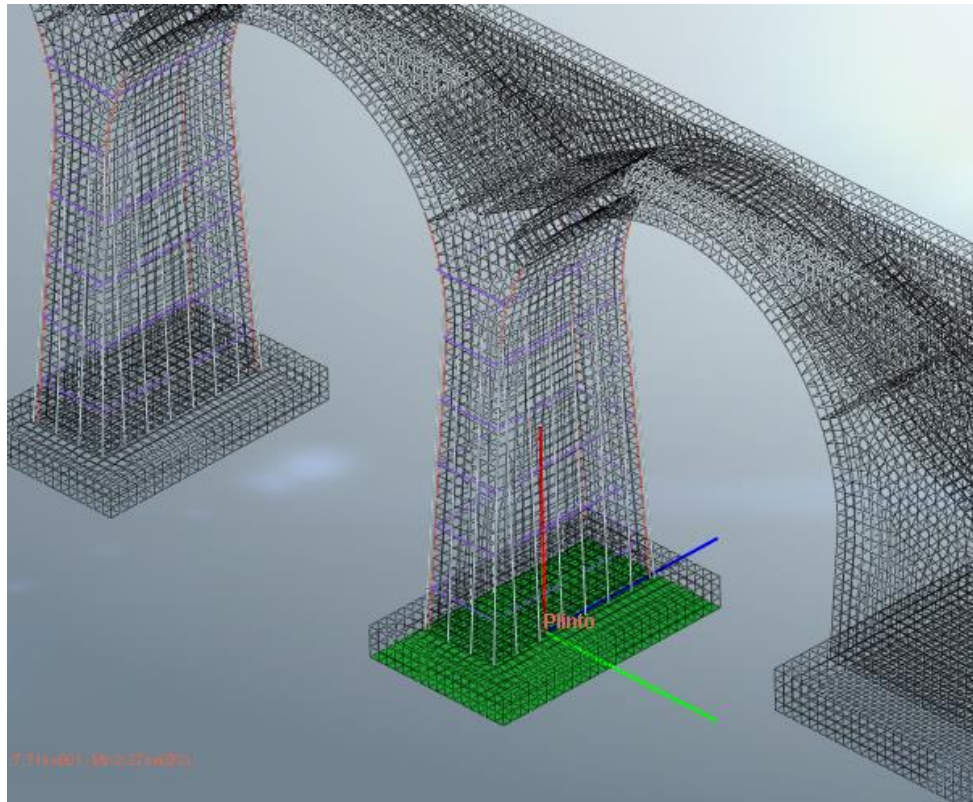


Figura 42: Sezione di integrazione delle forze nodali a base plinto (Assi di riferimento: rosso=z, verde=x, blu=y)

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 stati 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.

VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857
**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 07 00 002	A	55 di 105

azioni elementari	N	Vx	Vy	My	Mx	T
G1	-14913	3	-26	87	394	-12
G2	-173	0	-1	1	15	0
T1	-851	-258	-3	-515	35	-9
T2	-1720	1	-7	15	59	-2
Vento	-6	3	-308	23	3980	-31
Frenatura	0	23	2	100	-27	-2
Cedimento inf.	2054	-3	3	-14	114	1
Cedimento sup.	-1172	-649	-13	-1129	121	-60
Serpeggio	0	1	-52	5	856	-1
Forza centrifuga	0	6	-131	33	2123	-16
G1_anteoperam	-10450	1	-16	69	297	-4

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 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**

VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857
**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 07 00 002	A	56 di 105

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

VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857

**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 07 00 002	A	57 di 105

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

9.2.1 Verifiche Sezione di spiccato

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 $\phi 18$ passo 200mm.)

<i>dati sez</i>	<i>BASE PILA</i>
B int	3.1 m
H int	6.62 m
Sp. Trasv.	0.25m
Sp. Long.	0.30 m
ρ_s (%)	0.8%

VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857

**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 07 00 002	A	58 di 105

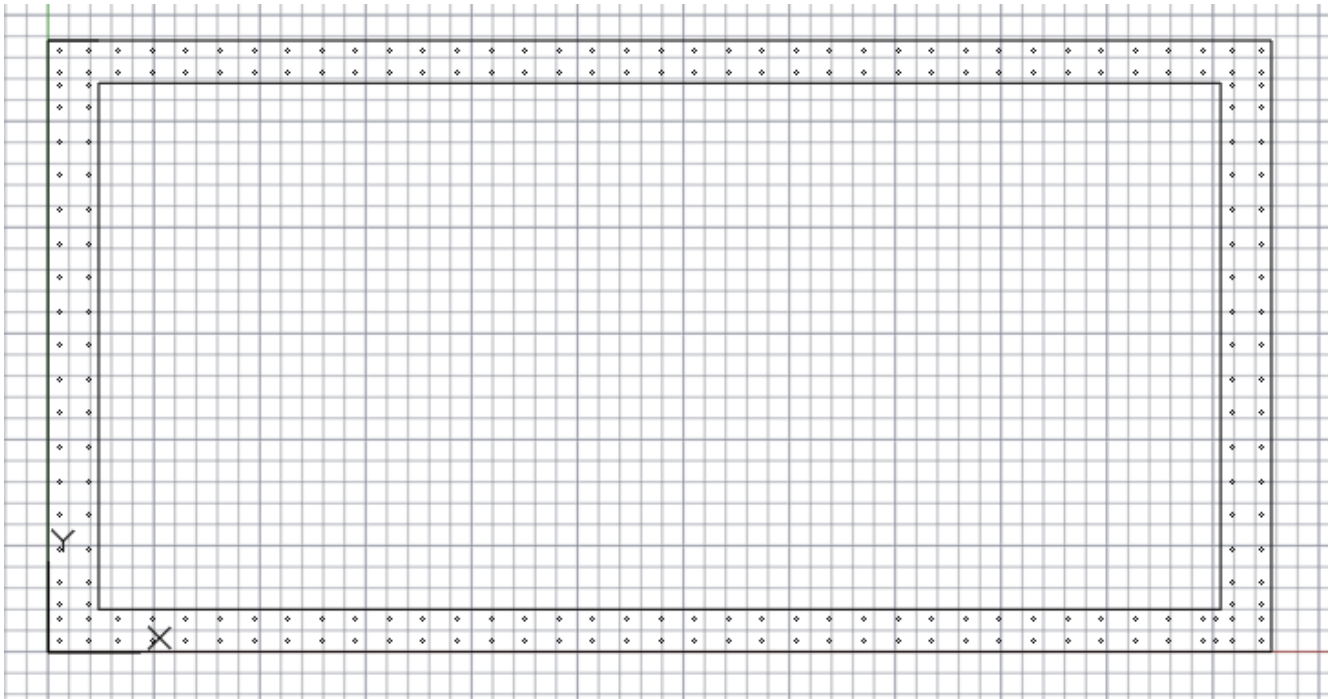


Figura 43: Sezione di verifica

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

- **Condizioni statiche**

Combinazioni Statiche SLU						
Spiccato	N	Vx	Vy	My	Mx	Rd/Ed
<i>comb</i>	(kN)	(kN)	(kN)	(kNm)	(kNm)	-
SLU1	-8931	-1105	-576	-1854	8210	10.27
SLU2	-10191	-729	-581	-1086	8245	11.07
SLU3	-8687	-1037	-707	-1731	9732	8.79
SLU4	-9695	-737	-711	-1117	9760	9.27
SLU5	-5060	-330	-556	-516	8201	9.41
SLU6	-6320	45	-561	252	8236	9.89
SLU7	-4817	-263	-687	-393	9723	7.87
SLU8	-5825	38	-691	221	9751	8.2
SLU9	-3821	-2	-11	10	289	239.41
SLU10	-7691	-777	-30	-1329	297	31.86
SLU11	-7282	-1105	-572	-1861	8169	9.81
SLU12	-8542	-730	-577	-1093	8204	10.55
SLU13	-7039	-1038	-703	-1738	9691	8.37

VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857

**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 07 00 002	A	59 di 105

SLU14	-8047	-737	-707	-1124	9719	8.81
SLU15	-3411	-331	-552	-523	8160	8.8
SLU16	-4672	45	-557	246	8195	9.28
SLU17	-3168.0	-263	-683	-400	9682	7.35
SLU18	-4176.1	37	-687	215	9710	7.67
SLU19	-2172.0	-3	-7	3	248	263.03
SLU20	-6042.6	-777	-26	-1335	256	29.8

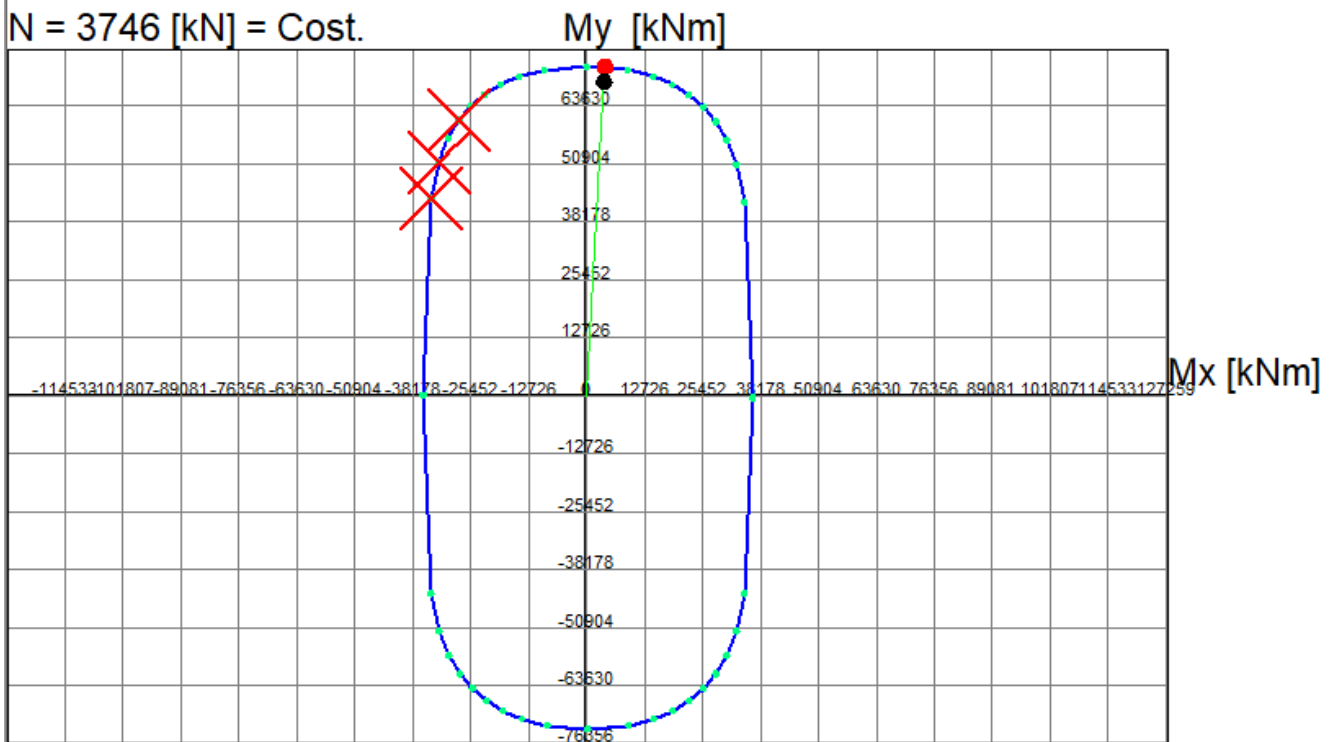
- **Condizioni sismiche**

Combinazioni Sismiche SLV						
Spiccato	N	Vx	Vy	My	Mx	Rd/Ed
<i>comb</i>	(kN)	(kN)	(kN)	(kNm)	(kNm)	-
SLV1	-4634	5947	-2168	22382	25201	1.61
SLV2	-4129	5947	-2167	22379	25188	1.57
SLV3	-4761	6319	226	19192	-1848	1.96
SLV4	-4256	6319	227	19189	-1861	1.92
SLV5	-4251	-839	5795	-3945	-68804	1.07
SLV6	-3746	-839	5796	-3948	-68817	1.05
SLV7	-4933	-329	5681	-1067	-55998	1.36
SLV8	-4428	-330	5682	-1070	-56011	1.33
SLV9	-4808	5999	-2168	22488	25206	1.61
SLV10	-4303	5999	-2168	22485	25193	1.58
SLV11	-4935	6371	226	19298	-1843	1.96
SLV12	-4430	6371	226	19295	-1856	1.92
SLV13	-4425	-788	5794	-3839	-68799	1.08
SLV14	-3920	-788	5795	-3842	-68813	1.06
SLV15	-5107	-278	5681	-961	-55993	1.37
SLV16	-4602	-278	5681	-964	-56007	1.34

Si riporta la verifica per la condizione più gravosa identificata nella combinazione SLV6.

VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857
**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 07 00 002	A	60 di 105



Passo Momenti Mx, My griglia = 12726 kNm

Legenda		N°Punti Dominio		Visualizza	
•	Punti calc. dom.	N [kN]	<input type="text"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Punti calcolati dom.
—	Wireframe dom.	Mx [kNm]	<input type="text"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Griglia
—	Assi rifer. dom.	My [kNm]	<input type="text"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Sforzi dati e di frontiera
•	Sforzi assegnati	Scala grafico e passo griglia		<input type="checkbox"/>	Numerazione punti
•	Sforzi ultimi	Passo M(kNm) <input type="text" value="12725.9"/>			

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 $2\phi 14/150 \text{ mm}$ in quella trasversale.

- DIREZIONE LONGITUDINALE (X)

In tale direzione è stata individuata SLV11 come la combinazione più gravosa.

VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857

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 07 00 002	A	61 di 105

Azioni di taglio

$$A_{ed} = 6371 \times 0.50 = 3186 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 3186 \text{ kN}$$

$$V_{Ed}^* = 3202 \text{ kN}$$

Azioni di torsione

$$A_{ed} = 269 \times 1.00 = 269 \text{ kNm}$$

$$T_{Ed} = 269 \text{ kNm}$$

$$17 \text{ kN}$$

$$N_{sd} = 4935 \text{ KN} \quad \text{sfuerzo normale}$$

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

$$h = 3.600 \text{ m} \quad \text{altezza totale}$$

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

$$d = 3.540 \text{ m} \quad \text{altezza utile}$$

$$A_c = 5.470 \text{ mq} \quad \text{area totale}$$

Resistenza delle staffe:

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

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

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

$$z = 3.24 \text{ m} \quad = 0.9 \cdot d$$

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

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

$$s = 0.15 \text{ m} \quad = \text{passo staffe} \leq 2.66 \text{ m} \quad = 0.75 \cdot d \cdot (1 + \cot \alpha)$$

$$\theta = 45.0^\circ$$

$$V_{Rd,s} = 4302 \text{ kN} \quad = A_{sw} / s \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta$$

Resistenza del puntone compresso:

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

$$\sigma_{cp} = 0.90 \quad = N_{sd} / A_c$$

$$\alpha_{cw} = 1.05$$

$$V_{Rd,max} = 4594 \text{ kN} \quad = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v \cdot f_{cd} / (\cot \theta + \tan \theta)$$

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

$$V_{Rd} = 3441 \text{ kN} \quad = \min(V_{Rd,s}, V_{Rd,max}) / \gamma_{Bd1}$$

$V_{Ed} = 3202$ **minore o uguale di** $V_{Rd} = 3441$ **verifica soddisfatta**

VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857

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 07 00 002	A	62 di 105

• DIREZIONE TRASVERSALE (Y)

In tale direzione è stata individuata SLV5 come la combinazione più gravosa.

Azioni di taglio

$$A_{ed} = 5795 \times 0.50 = 2898 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 2898 \text{ kN}$$

$$V_{Ed}^* = 3219 \text{ kN}$$

Azioni di torsione

$$A_{ed} = 2562 \times 1.00 = 2562 \text{ kNm}$$

$$T_{Ed} = 2562 \text{ kNm}$$

$$322 \text{ kN}$$

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

$$N_{sd} = 3920 \text{ KN} \quad \text{sfuerzo normale}$$

$$b_w = 0.250 \text{ m} \quad \text{larghezza (6.16)}$$

$$h = 7.220 \text{ m} \quad \text{altezza totale}$$

$$c = 0.060 \text{ m} \quad \text{copri ferro}$$

$$d = 7.160 \text{ m} \quad \text{altezza utile}$$

$$A_c = 5.470 \text{ mq} \quad \text{area totale}$$

Resistenza delle staffe:

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

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

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

$$z = 5.73 \text{ m} \quad = 0.8 * d$$

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

$$\rho_w = 0.82 \% \quad = A_{sw} / (s * b_w * \sin \alpha) * 100 \geq$$

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

$$5.37 \text{ m} \quad = 0.75 * d * (1 + \cot \alpha)$$

$$\theta = 45.0^\circ$$

$$\tan \theta = 1.00$$

$$\cot \theta = 1.00$$

$$\rho_{w,max} = 3.21 = A_{sw,max} * f_{yd} / (b_w * s) \leq 1/2 * \alpha_{cw} * v * f_{cd} = 4.68$$

verifica soddisfatta

$$V_{Rd,s} = 4600 \text{ kN} \quad = A_{sw} / s * z * f_{ywd} * \cot \theta$$

Resistenza del puntone compresso:

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

$$\sigma_{cp} = 0.72 \quad = N_{sd} / A_c$$

$$\alpha_{cw} = 1.04$$

$$V_{Rd,max} = 6698 \text{ kN} \quad = \alpha_{cw} * b_w * z * v * f_{cd} / (\cot \theta + \tan \theta)$$

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

$$V_{Rd} = 3680 \text{ kN} \quad = \min(V_{Rd,s}, V_{Rd,max}) / \gamma_{Bd1}$$

$$V_{Ed} = 3219$$

minore o uguale di

$$V_{Rd} = 3680$$

verifica soddisfatta

VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857
**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 07 00 002	A	63 di 105

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	σC	$\sigma C \text{ lim}$	verifica	σT	$\sigma T \text{ lim}$	verifica
comb	(kN)	(kNm)	(kNm)	(MPa)	(MPa)	(-)	(MPa)	(MPa)	(-)
SLE-QP 1	-5978	-1185	829	1.36	12.0	OK	-0.83	2.42	OK
SLE-QP 2	-6152	-1079	834	1.37	12.0	OK	-0.88	2.42	OK
SLE-QP 3	-2753	-70	822	0.59	12.0	OK	-0.41	2.42	OK
SLE-QP 4	-2927	36	827	0.62	12.0	OK	-0.45	2.42	OK
SLE-QP 5	-2583	5	225	0.49	12.0	OK	-0.45	2.42	OK
SLE-QP 6	-5808	-1110	232	1.26	12.0	OK	-0.87	2.42	OK
SLE-K 1	-6663	-1473	5607	1.98	16.50	OK	-0.46	2.42	OK
SLE-K 2	-7532	-943	5631	2.06	16.50	OK	-0.70	2.42	OK
SLE-K 3	-6495	-1388	6602	2.03	16.50	OK	-0.35	2.42	OK
SLE-K 4	-7190	-964	6621	2.09	16.50	OK	-0.54	2.42	OK
SLE-K 5	-3437	-357	5599	1.21	16.50	OK	-0.04	2.42	OK
SLE-K 6	-4306	172	5624	1.35	16.50	OK	-0.23	2.42	OK
SLE-K 7	-3269	-273	6594	1.27	16.50	OK	0.07	2.42	OK
SLE-K 8	-3965	151	6614	1.38	16.50	OK	-0.07	2.42	OK
SLE-K 9	-2583	5	225	0.49	16.50	OK	-0.45	2.42	OK
SLE-K 10	-5808	-1110	232	1.26	16.50	OK	-0.87	2.42	OK

VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857

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 07 00 002	A	64 di 105

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

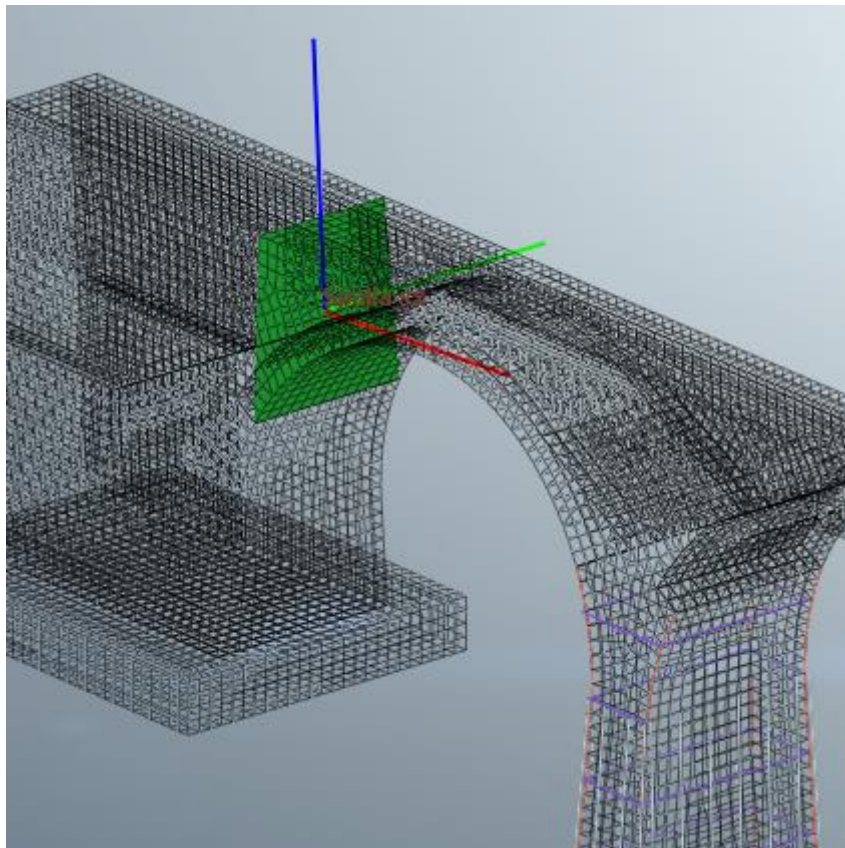


Figura 44: Cutting plane utilizzato per estrapolare le azioni elementari

azioni elementari	N	Vz	Vy	My	Mz
G1	-157	-1326	1	4074	133
G2	-64	-87	1	293	8
T1	-412	-714	1	2539	47
T2	-432	-674	3	2216	64
Vento	-22	-4	-154	8	-1021

VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857

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 07 00 002	A	65 di 105

Frenatura	93	11	0	-25	6
Cedimento inf.	-416	-829	-9	7479	42
Cedimento sup.	79	100	1	-754	-1
Serpeggio	-1	0	1	0	-44
Forza centrifuga	-12	1	-161	-7	-1049

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	3.27 m
H tot	3.20 m
sp	0.3 m
ρ_s (%)	1.2%

VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857

**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 07 00 002	A	66 di 105

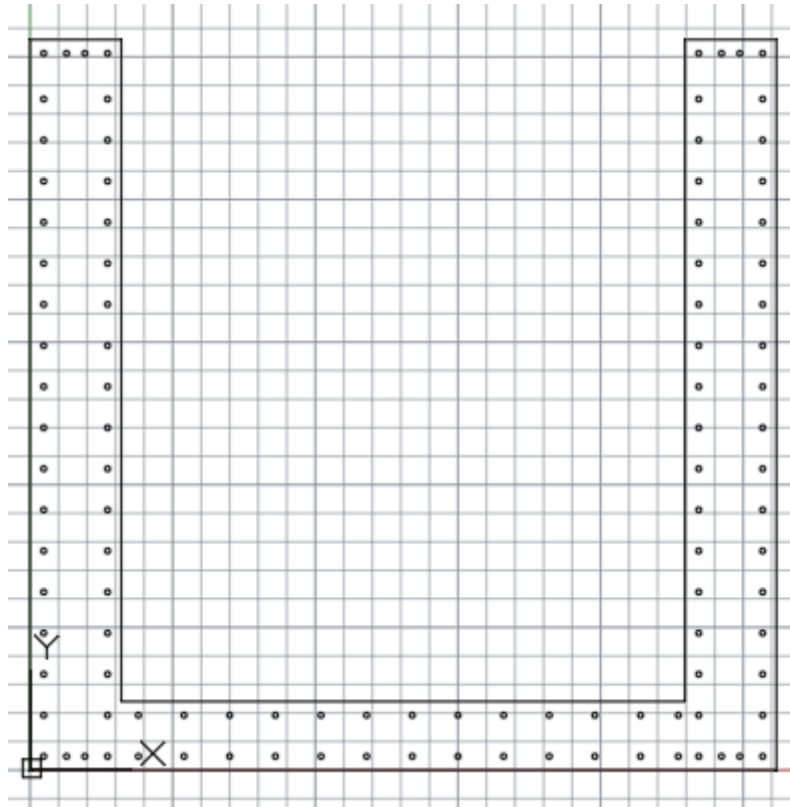


Figura 45: Sezione di verifica

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

- **Condizioni statiche**

Combinazioni Statiche SLU						
Spalla Dx	N	Vz	Vy	My	Mz	Rd/Ed
<i>comb</i>	(kN)	(kN)	(kN)	(kNm)	(kNm)	-
SLU1	-575	1823	185	3316	-1082	5.58
SLU2	-76	950	201	1184	-1074	13.82
SLU3	-448	1654	238	2931	-1337	6.18
SLU4	-49	956	252	1225	-1332	12.66
SLU5	-1483	3619	136	12075	-1178	1.64
SLU6	-984	2746	152	9943	-1170	1.93
SLU7	-1356	3450	190	11690	-1433	1.68
SLU8	-957	2752	203	9984	-1427	1.92
SLU9	-1054	2793	-58	10076	-72	1.92

VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857

**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 07 00 002	A	67 di 105

SLU10	-145	998	-9	1317	23	13.96
SLU11	-418	1510	185	2830	-1085	6.43
SLU12	81	637	202	698	-1078	18.47
SLU13	-291	1342	239	2444	-1341	7.24
SLU14	108	643	252	739	-1335	15.61
SLU15	-1326	3306	136	11589	-1181	1.69
SLU16	-827	2433	153	9457	-1173	2.01
SLU17	-1199.6	3137	190	11203	-1436	1.73
SLU18	-800.3	2439	204	9498	-1430	2
SLU19	-897.1	2480	-57	9589	-75	2
SLU20	11.1	685	-9	830	20	21.92

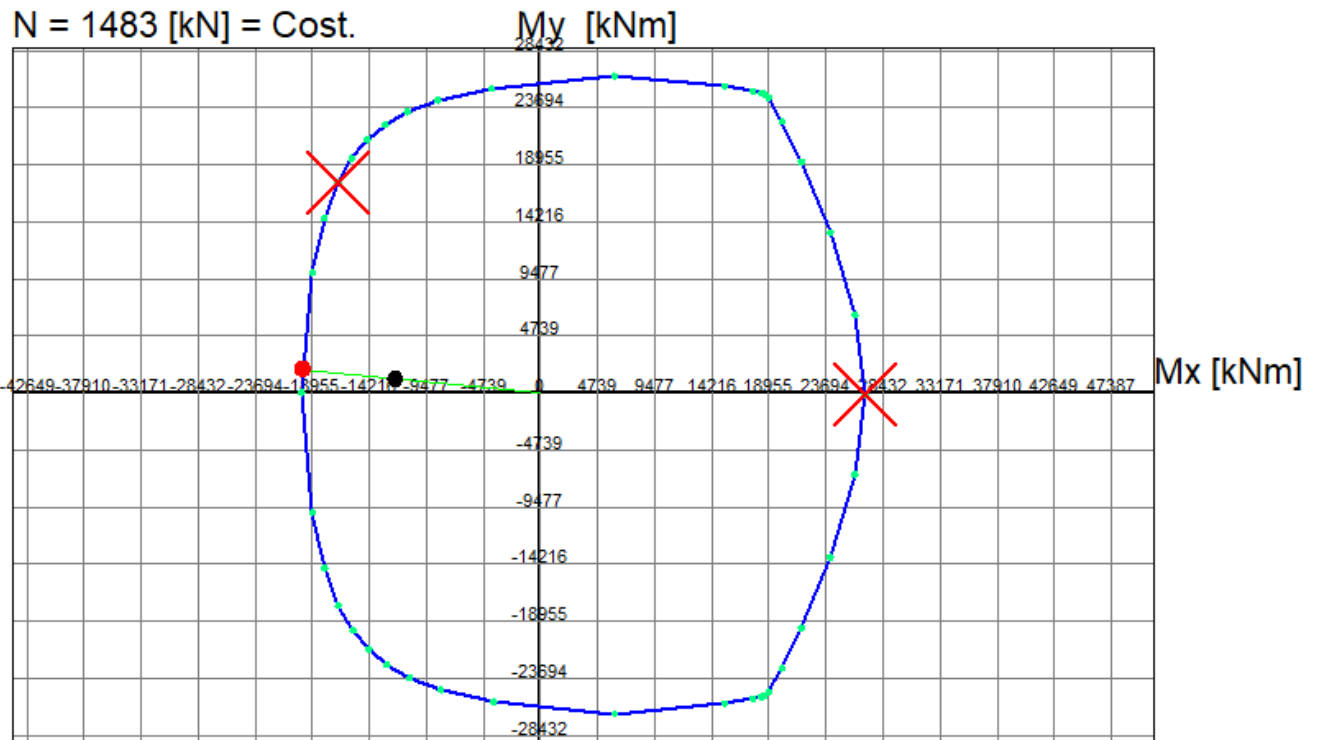
- **Condizioni sismiche**

Combinazioni Sismiche SLV						
Spalla Dx	N	Vz	Vy	My	Mz	Rd/Ed
<i>comb</i>	(kN)	(kN)	(kN)	(kNm)	(kNm)	-
SLV1	-11932	3547	767	2855	-4413	6.78
SLV2	-11897	3466	768	2717	-4411	6.91
SLV3	-10577	3759	373	4683	-1639	6.07
SLV4	-10542	3678	373	4545	-1638	6.24
SLV5	-7670	3197	562	3510	569	7.54
SLV6	-7635	3116	563	3371	570	7.84
SLV7	-2442	2709	-1378	4346	7379	3.15
SLV8	-2407	2628	-1377	4207	7380	3.17
SLV9	-11863	3426	770	2561	-4412	7.06
SLV10	-11828	3346	770	2422	-4410	7.19
SLV11	-10508	3638	375	4389	-1638	6.44
SLV12	-10473	3558	376	4250	-1637	6.63
SLV13	-7601	3077	565	3216	570	8.21
SLV14	-7566	2996	565	3077	571	8.56
SLV15	-2373	2588	-1376	4052	7380	3.2
SLV16	-2338	2508	-1375	3913	7381	3.23

Si riporta la verifica per la condizione più gravosa identificata nella combinazione SLU5.

VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857
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 07 00 002	A	68 di 105



Passo Momenti M_x, M_y griglia = 4739 kNm

Legenda	Input	Visualizza
• Punti calc. dom.	N [kN] <input type="text"/>	<input checked="" type="checkbox"/> Punti calcolati dom.
— Wireframe dom.	M_x [kNm] <input type="text"/>	<input checked="" type="checkbox"/> Griglia
— Assi rifer. dom.	M_y [kNm] <input type="text"/>	<input checked="" type="checkbox"/> Sforzi dati e di frontiera
• Sforzi assegnati	N°Punti Dominio <input type="text" value="40"/>	<input type="checkbox"/> Numerazione punti
• Sforzi ultimi	Scala grafico e passo griglia	
	Passo M(kNm) <input type="text" value="4738.7"/>	

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.

VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857

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 07 00 002	A	69 di 105

Azioni di taglio

$$A_{ed} \cdot \gamma = 1378 \cdot 1.00 = 1378 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 1378 \text{ kN}$$

$$N_{sd} = -2617 \text{ KN} \quad \text{sforzo normale}$$

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

$$h = 3.270 \text{ m} \quad \text{altezza totale}$$

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

$$d = 3.210 \text{ m} \quad \text{altezza utile}$$

$$A_c = 3.215 \text{ mq} \quad \text{area totale}$$

Resistenza delle staffe:

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

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

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

$$z = 2.89 \text{ m} \quad = 0.9 \cdot d$$

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

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

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

$$\theta = 45.0^\circ$$

$$V_{Rd,s} = 2320 \text{ kN} \quad = A_{sw} / s \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta$$

Resistenza del puntone compresso:

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

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

$$\alpha_{cw} = 1.00$$

$$V_{Rd,max} = 3890 \text{ kN} \quad = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v \cdot f_{cd} / (\cot \theta + \tan \theta)$$

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

$$V_{Rd} = 1856 \text{ kN} \quad = \min(V_{Rd,s}; V_{Rd,max})$$

$$V_{Ed} = 1378 \quad \text{minore o uguale di} \quad V_{Rd} = 1856 \quad \text{verifica soddisfatta}$$

• DIREZIONE VERTICALE (Z)

La sezione resistente è costituita dalle due travi rettangolari laterali, si prevede una armatura resistente a taglio costituita da 2 $\phi 16$ passo 150 mm.

VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857

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 07 00 002	A	70 di 105

Azioni di taglio

$$A_{ed} \cdot \gamma = 3759 \cdot 0.50 = 1879 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 1879 \text{ kN}$$

$$N_{sd} = -2617 \text{ KN} \quad \text{sforzo normale}$$

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

$$h = 3.200 \text{ m} \quad \text{altezza totale}$$

$$c = 0.060 \text{ m} \quad \text{copri ferro}$$

$$d = 3.140 \text{ m} \quad \text{altezza utile}$$

$$A_c = 3.215 \text{ mq} \quad \text{area}$$

Resistenza delle staffe:

$$\phi_w = 16 \text{ mm} \quad \text{diametro staffa}$$

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

$$A_{sw} = 4.02 \text{ cm}^2$$

$$z = 2.83 \text{ m} \quad = 0.9 \cdot d$$

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

$$\rho_w = 0.67 \% \quad = A_{sw} / (s \cdot b_w \cdot \sin \alpha) \cdot 100 \geq$$

$$s = 0.15 \text{ m} \quad = \text{passo staffe} \leq 2.36 \text{ m} \quad = 0.75 \cdot d \cdot (1 + \cot \alpha)$$

$$\theta = 45.0^\circ$$

$$\tan \theta = 1.00$$

$$\cot \theta = 1.00$$

$$\rho_{w,max} = 2.62 = A_{sw,max} \cdot f_{yd} / (b_w \cdot s) \leq 1/2 \cdot \alpha_{cw} \cdot v \cdot f_{cd} = 4.49 \quad \text{verifica soddisfatta}$$

$$V_{Rd,s} = 2965 \text{ kN} \quad = A_{sw} / s \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta$$

Resistenza del puntone compresso:

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

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

$$\alpha_{cw} = 1.00$$

$$V_{Rd,max} = 5073 \text{ kN} \quad = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v \cdot f_{cd} / (\cot \theta + \tan \theta)$$

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

$$V_{Rd} = 2372 \text{ kN} \quad = \min(V_{Rd,s}, V_{Rd,max})$$

$$V_{Ed} = 1879$$

minore o uguale di

$$V_{Rd} = 2372 \quad \text{verifica soddisfatta}$$

VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857

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 07 00 002	A	71 di 105

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 ²)	100 E2
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, come si potrà verificare tali elementi rimangono in campo elastico, pertanto risulta superflua qualsiasi verifica in termini di deformazione (allungamento massimo), nonché qualsiasi verifica per casi di carico non sismici.

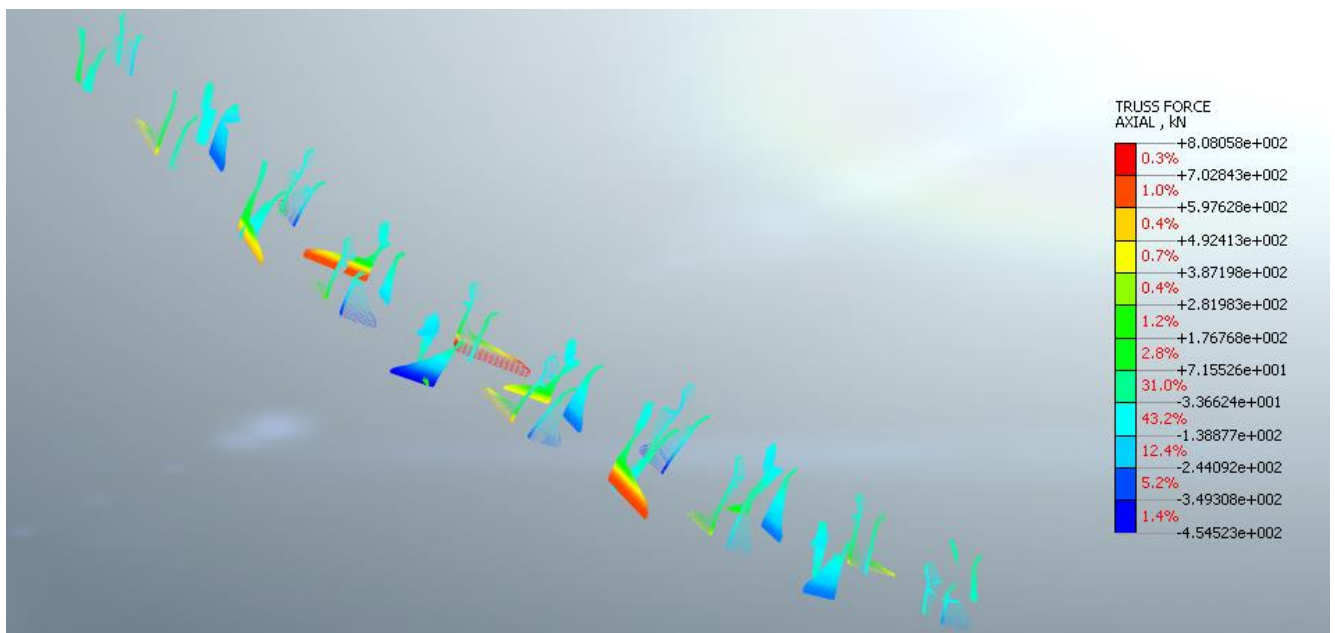


Figura 46: Analisi sismica FX-GR1 (NED_max=808 kN)

VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857

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 07 00 002	A	72 di 105

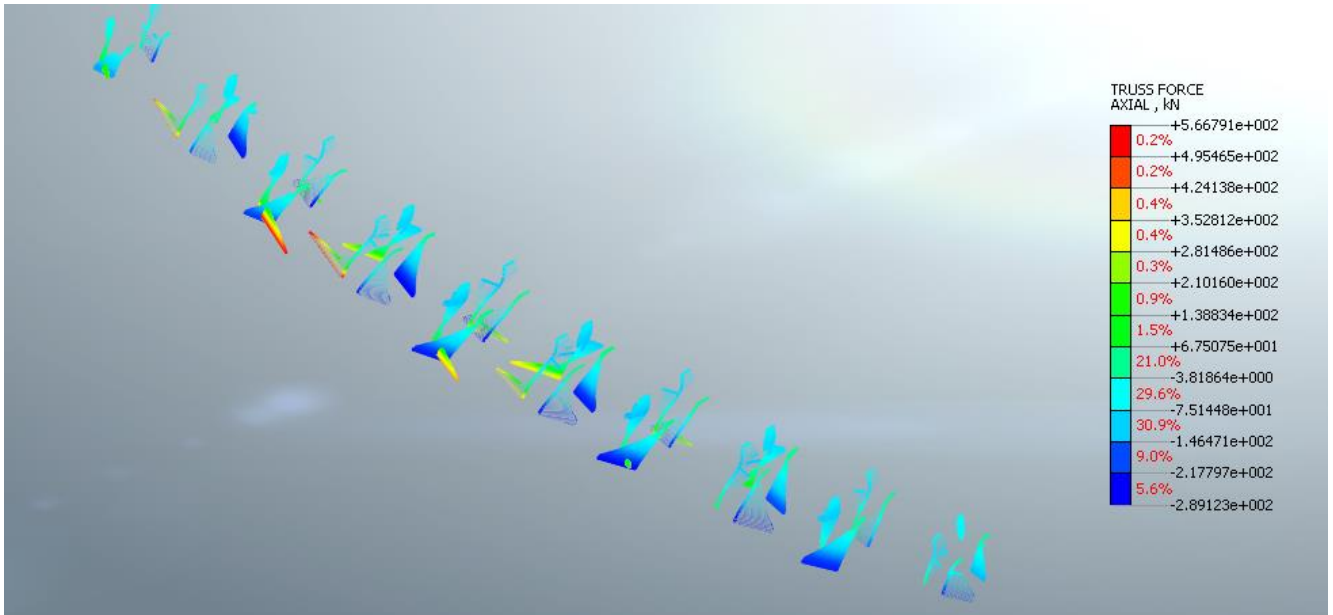


Figura 47: Analisi sismica FX-GR2 (NEd_max=567 kN)

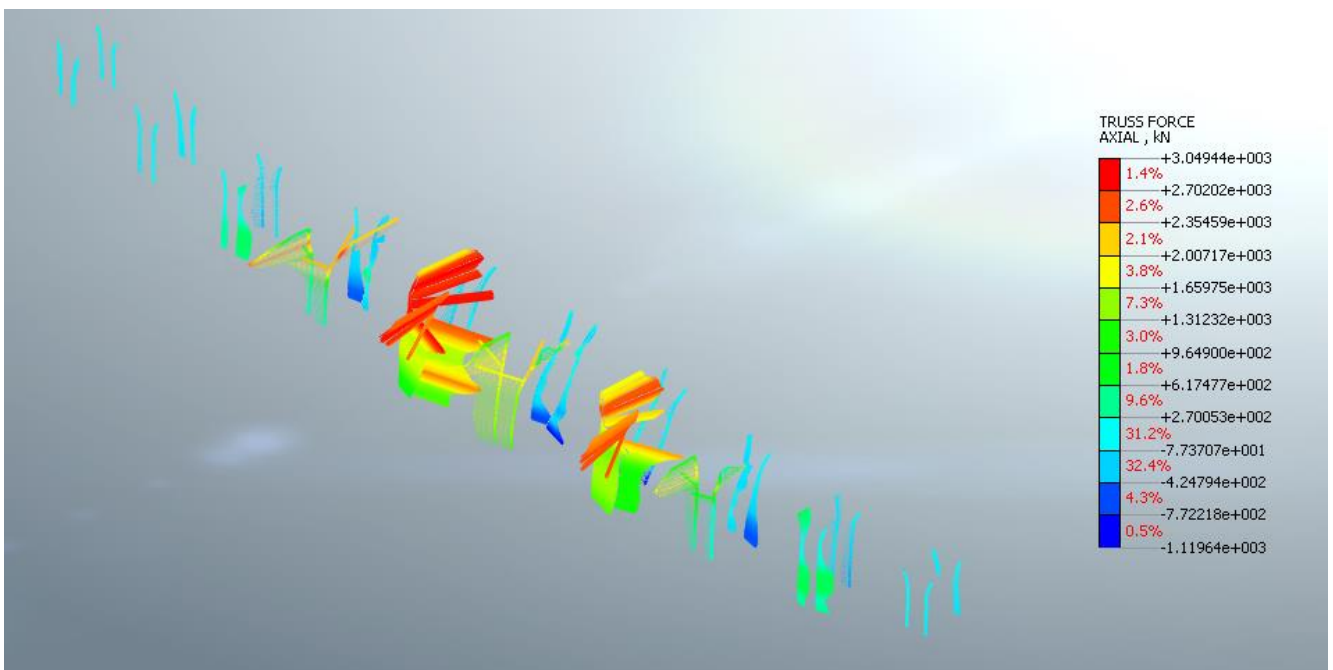


Figura 48: Analisi sismica FY-GR1 (NEd_max=3049 kN)

VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857

**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 07 00 002	A	73 di 105

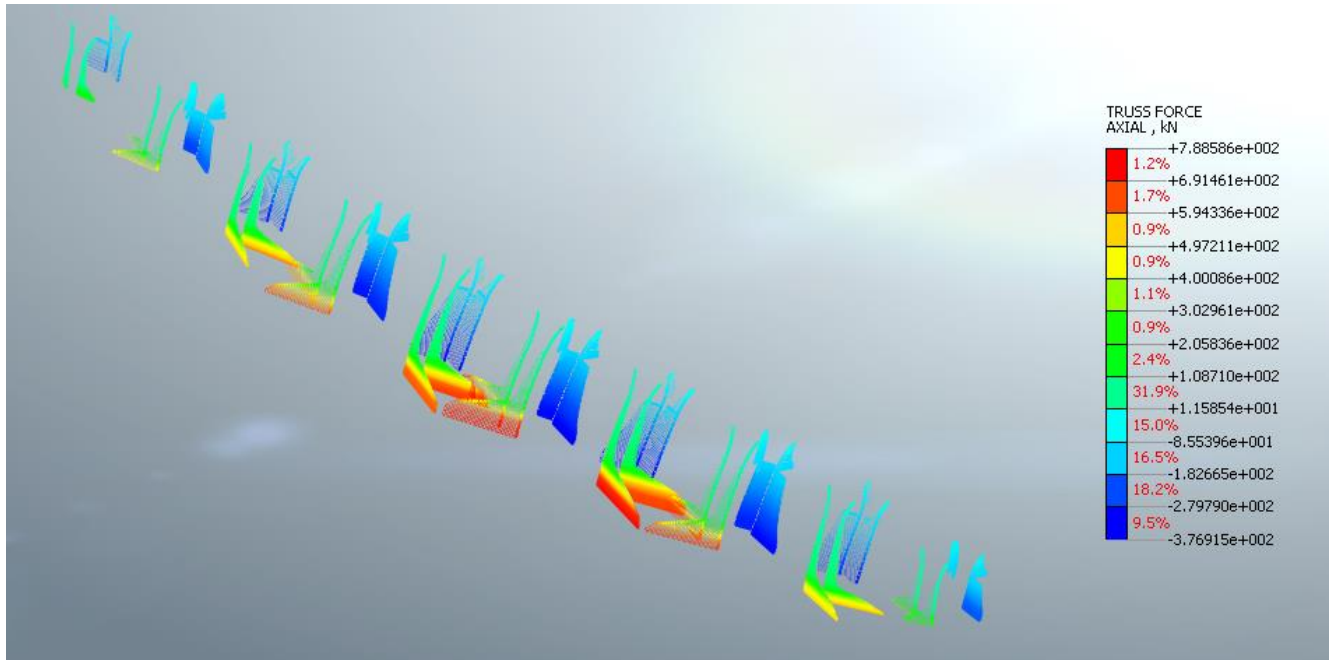


Figura 49: Analisi sismica FY-GR2 (NEd_max=788 kN)

VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857

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 07 00 002	A	74 di 105

12 VERIFICA DELLE FONDAZIONI

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 variabile da circa 5.5 a 8 m da p.c. in corrispondenza dei sondaggi;
- **Unità 2:** Argille limose sabbiose e/o limi sabbiosi argillosi grigio-azzurre, intercettate a partire dalla profondità variabile da circa 5.5 a 8 m da p.c. in corrispondenza dei sondaggi.

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 S17.

	S17
LIVELLO FALDA	-6.5 m (+63.8 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.

VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857

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 07 00 002	A	75 di 105

Parametri	Unità 1
γ (kN/m ³)	20
φ' (°)	29-34
c' (kPa)	0-5
C_u (kPa)	-
E_{op} (MPa)	30
E_u (MPa)	-
k (m/s)	6.75E-07

Parametri	Unità 2	
γ (kN/m ³)	19.5	
φ' (°)	23-28	
c' (kPa)	5-15	
C_u 1 (kPa)	190	da tetto strato a 25 m
C_u 2 (kPa)	170	da 25 m a 40 m
E_{op} 1 (MPa)	80	da tetto strato a 25 m
E_{op} 2 (MPa)	70	da 25 m a 40 m
E_u 1 (MPa)	90	da tetto strato a 25 m
E_u 2 (MPa)	70	da 25 m a 40 m
k (m/s)	1.70E-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.

VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857
**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 07 00 002	A	76 di 105

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

	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

VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857

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 07 00 002	A	77 di 105

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

Coefficiente			EQU ⁽¹⁾	A1	A2
Azioni permanenti	favorevoli	γ_{G1}	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00
Azioni permanenti non strutturali ⁽²⁾	favorevoli	γ_{G2}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Ballast ⁽³⁾	favorevoli	γ_B	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Azioni variabili da traffico ⁽⁴⁾	favorevoli	γ_Q	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,45	1,45	1,25
Azioni variabili	favorevoli	γ_{Qi}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Precompressione	favorevole	γ_P	0,90	1,00	1,00
	sfavorevole		1,00 ⁽⁵⁾	1,00 ⁽⁶⁾	1,00
Ritiro, viscosità e cedimenti non imposti appositamente	favorevole	γ_{Ced}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevole		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.

VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857

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 07 00 002	A	78 di 105

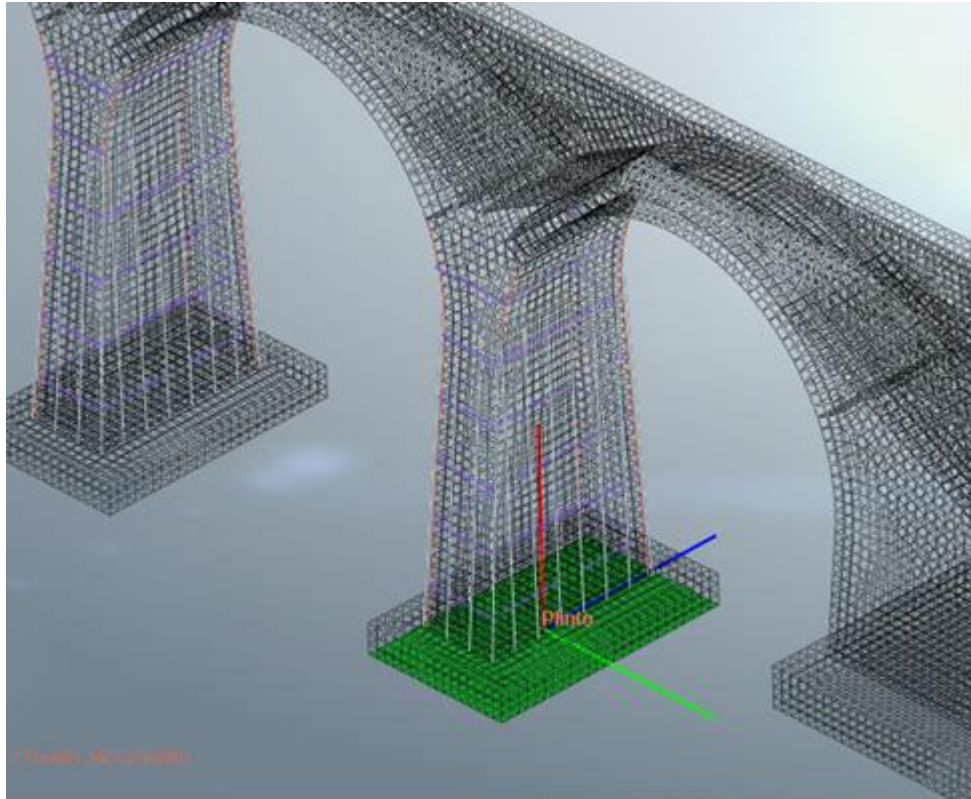


Figura 50: Sezione di integrazione delle forze nodali a base pinto (Assi di riferimento: rosso=z, verde=x, blu=y)

Nella tabella seguente si riportano le azioni elementari da modello:

azioni elementari	N	Vx	Vy	My	Mx	T
G1 postoperam	-4463	1	-10	18	96	-8
G2	-173	0	-1	1	15	0
Cedimento inf.	2054	-3	3	-14	114	1
Cedimento sup.	-1172	-649	-13	-1129	121	-60
T1	-851	-258	-3	-515	35	-9
Frenatura	0	23	2	100	-27	-2
Forza centrifuga	0	6	-131	33	2123	-16
T2	-1720	1	-7	15	59	-2
Serpeggio	0	1	-52	5	856	-1
Vento	-6	3	-308	23	3980	-31
FX GR1	-14661	5994	-2146	22524	24895	4616
FX GR2	-14788	6366	248	19335	-2155	-269
FY GR1	-14278	-793	5817	-3802	-69111	2562
FY GR2	-14960	-283	5703	-924	-56305	1093
SLV Z	-842	0	-1	5	22	-1
G1_anteoperam	-10450	1	-16	69	297	-4

VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857

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 07 00 002	A	79 di 105

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

Comb	N	Vx	Vy	My	Mx	T
	kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm
_SLV1	-15083.7	5948.762	-2183.73	22450.29	25498.68	4610.356
_SLV2	-14578.8	5948.674	-2182.86	22447.35	25485.34	4610.778
_SLV3	-15210.7	6320.662	210.1911	19260.82	-1550.6	-274.634
_SLV4	-14705.8	6320.574	211.0619	19257.88	-1563.93	-274.212
_SLV5	-14700.7	-838.078	5779.071	-3876.19	-68506.7	2555.956
_SLV6	-14195.8	-838.166	5779.942	-3879.13	-68520.1	2556.378
_SLV7	-15382.7	-328.158	5665.271	-998.297	-55700.8	1087.256
_SLV8	-14877.8	-328.246	5666.142	-1001.23	-55714.1	1087.678
_SLV9	-15257.5	6000.564	-2184.48	22556.26	25503.51	4611.911
_SLV10	-14752.6	6000.476	-2183.61	22553.33	25490.18	4612.334
_SLV11	-15384.5	6372.464	209.4424	19366.8	-1545.76	-273.079
_SLV12	-14879.6	6372.376	210.3131	19363.86	-1559.1	-272.656
_SLV13	-14874.5	-786.276	5778.322	-3770.21	-68501.9	2557.511
_SLV14	-14369.6	-786.364	5779.193	-3773.15	-68515.2	2557.934
_SLV15	-15556.5	-276.356	5664.522	-892.32	-55695.9	1088.811
_SLV16	-15051.6	-276.444	5665.393	-895.255	-55709.3	1089.234

Comb	N	Vx	Vy	My	Mx	T
	kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm
_SLU1	-23038.2	-1103.22	-597.243	-1761.27	8611.4	-157.92
_SLU2	-24298.3	-727.66	-602.672	-992.934	8646.449	-146.643
_SLU3	-22794.8	-1035.61	-728.307	-1638.56	10133.57	-168.274
_SLU4	-23802.8	-735.162	-732.65	-1023.9	10161.61	-159.253
_SLU5	-19167.6	-328.624	-577.675	-423.091	8602.582	-84.3752
_SLU6	-20427.7	46.94051	-583.104	345.2456	8637.63	-73.0985
_SLU7	-18924.2	-261.013	-708.739	-300.385	10124.75	-94.7298
_SLU8	-19932.2	39.43859	-713.082	314.2843	10152.79	-85.7084
_SLU9	-17928.2	-0.43106	-32.4165	102.3788	690.0627	-15.7512
_SLU10	-21798.8	-775.032	-51.9843	-1235.8	698.8814	-89.2958
_SLU11	-17732.1	-1104.15	-587.65	-1792.13	8466.272	-153.483
_SLU12	-18992.1	-728.587	-593.078	-1023.8	8501.321	-142.206
_SLU13	-17488.6	-1036.54	-718.713	-1669.43	9988.44	-163.838
_SLU14	-18496.7	-736.089	-723.056	-1054.76	10016.48	-154.816
_SLU15	-13861.5	-329.551	-568.082	-453.955	8457.453	-79.9383
_SLU16	-15121.5	46.01335	-573.511	314.3817	8492.502	-68.6617
_SLU17	-13618	-261.94	-699.145	-331.249	9979.622	-90.2929
_SLU18	-14626.1	38.51142	-703.488	283.4204	10007.66	-81.2716
_SLU19	-12622	-1.35822	-22.823	71.51493	544.9346	-11.3143
_SLU20	-16492.6	-775.959	-42.3908	-1266.67	553.7534	-84.8589



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

VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857

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 07 00 002	A	80 di 105

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 14925 kN), del nuovo cordolo di allargamento (stimato pari a 11387 kN) e del rinterro (stimato pari a 8299 kN);
- Inerzia del plinto esistente, del nuovo cordolo di allargamento e del rinterro (solo in condizioni sismiche);
- Momento dovuto al trasporto di V_x e V_y dallo spiccatto della pila alla testa dei pali, calcolato con un braccio di 3.2 m;
- Momento generato dalle forze di inerzia.

Il valore dell'accelerazione impiegato per il calcolo delle forze di inerzia è $a_{\max} = a_g S = 0.182g$.

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 11m.

VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857
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 07 00 002	A	81 di 105

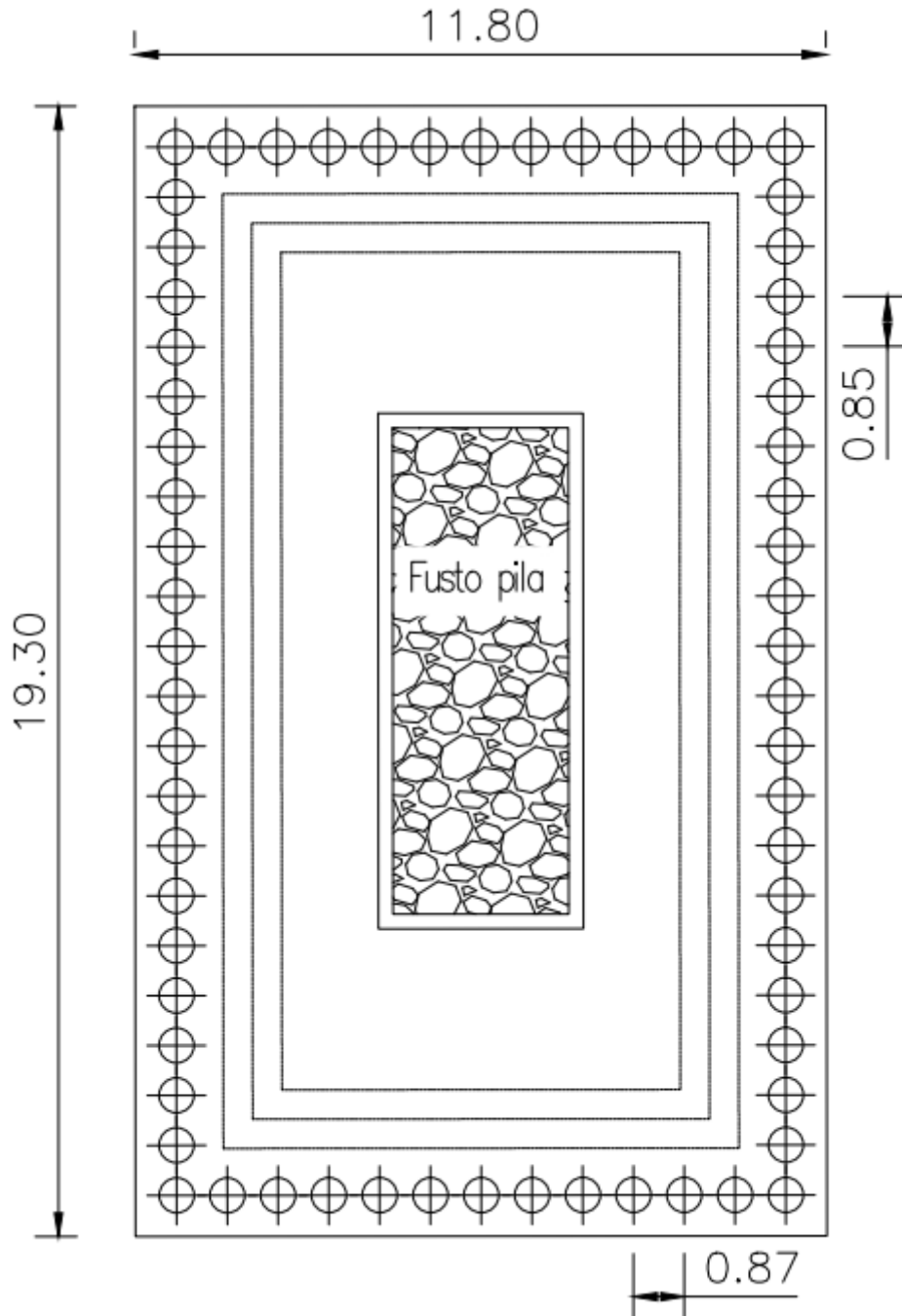


Figura 51: pianta intervento

VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857

**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 07 00 002	A	82 di 105

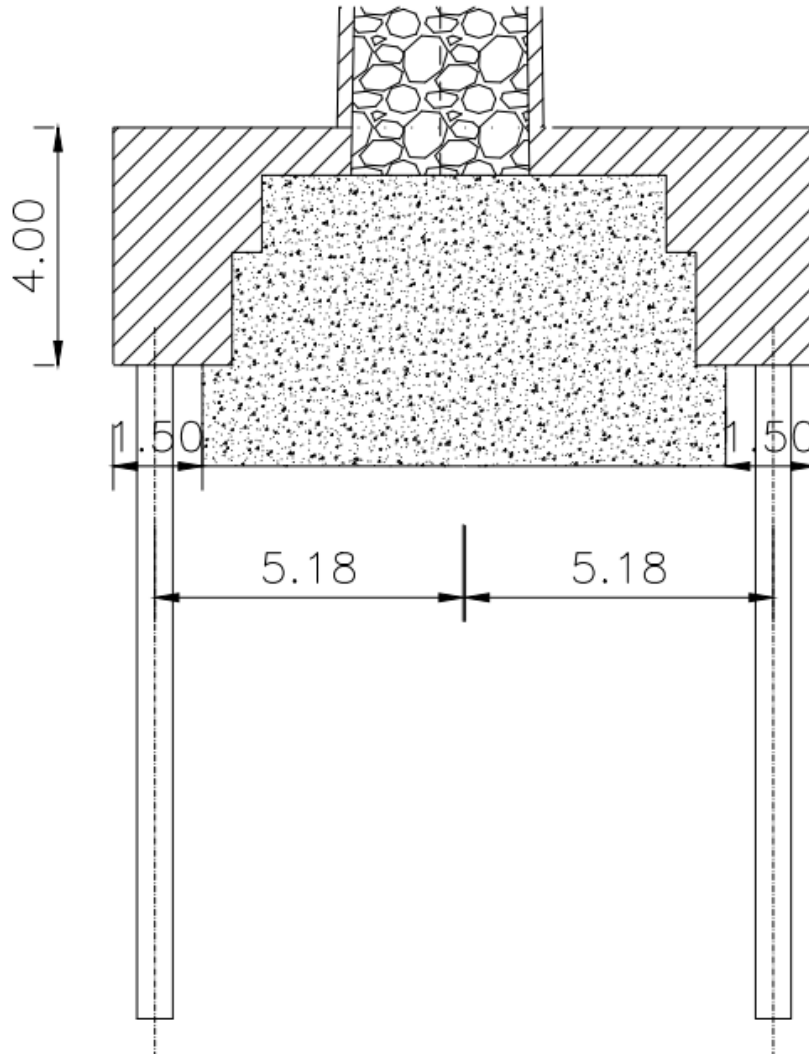


Figura 52: sezione intervento

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>
$f_{cd} = 14.2 \text{ Mpa}$	$f_{yd} = 391 \text{ MPa}$
$\epsilon_{cu} = 0.35\%$	$\epsilon_{su} 5\%$

VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857
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 07 00 002	A	83 di 105

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	-10450.00	5948.76	-2183.73	68.75	297.35	-4.01
_SLV2	-10450.00	5948.67	-2182.86	68.75	297.35	-4.01
_SLV3	-10450.00	6320.66	210.19	68.75	297.35	-4.01
_SLV4	-10450.00	6320.57	211.06	68.75	297.35	-4.01
_SLV5	-10450.00	-838.08	5779.07	68.75	297.35	-4.01
_SLV6	-10450.00	-838.17	5779.94	68.75	297.35	-4.01
_SLV7	-10450.00	-328.16	5665.27	68.75	297.35	-4.01
_SLV8	-10450.00	-328.25	5666.14	68.75	297.35	-4.01
_SLV9	-10450.00	6000.56	-2184.48	68.75	297.35	-4.01
_SLV10	-10450.00	6000.48	-2183.61	68.75	297.35	-4.01
_SLV11	-10450.00	6372.46	209.44	68.75	297.35	-4.01
_SLV12	-10450.00	6372.38	210.31	68.75	297.35	-4.01
_SLV13	-10450.00	-786.28	5778.32	68.75	297.35	-4.01
_SLV14	-10450.00	-786.36	5779.19	68.75	297.35	-4.01
_SLV15	-10450.00	-276.36	5664.52	68.75	297.35	-4.01
_SLV16	-10450.00	-276.44	5665.39	68.75	297.35	-4.01

VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857

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 07 00 002	A	84 di 105

Pozzo	N	Vx	Vy	My	Mx	T
	kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm
_SLU1	-14107.50	-1103.22	-597.24	92.81	401.42	-5.42
_SLU2	-14107.50	-727.66	-602.67	92.81	401.42	-5.42
_SLU3	-14107.50	-1035.61	-728.31	92.81	401.42	-5.42
_SLU4	-14107.50	-735.16	-732.65	92.81	401.42	-5.42
_SLU5	-14107.50	-328.62	-577.68	92.81	401.42	-5.42
_SLU6	-14107.50	46.94	-583.10	92.81	401.42	-5.42
_SLU7	-14107.50	-261.01	-708.74	92.81	401.42	-5.42
_SLU8	-14107.50	39.44	-713.08	92.81	401.42	-5.42
_SLU9	-14107.50	-0.43	-32.42	92.81	401.42	-5.42
_SLU10	-14107.50	-775.03	-51.98	92.81	401.42	-5.42
_SLU11	-14107.50	-1103.71	-593.28	92.81	401.42	-5.42
_SLU12	-14107.50	-728.15	-598.71	92.81	401.42	-5.42
_SLU13	-14107.50	-1036.10	-724.34	92.81	401.42	-5.42
_SLU14	-14107.50	-735.65	-728.69	92.81	401.42	-5.42
_SLU15	-14107.50	-329.11	-573.71	92.81	401.42	-5.42
_SLU16	-14107.50	46.46	-579.14	92.81	401.42	-5.42
_SLU17	-14107.50	-261.50	-704.78	92.81	401.42	-5.42
_SLU18	-14107.50	38.95	-709.12	92.81	401.42	-5.42
_SLU19	-14107.50	-0.92	-28.45	92.81	401.42	-5.42
_SLU20	-14107.50	-775.52	-48.02	92.81	401.42	-5.42

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:

VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857
**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 07 00 002	A	85 di 105

Palificata	N	Vx	Vy	My	Mx	T
	kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm
_SLV1	-4633.74	5947.50	-2167.64	22381.54	25201.33	4614.37
_SLV2	-4128.76	5947.41	-2166.77	22378.60	25187.99	4614.79
_SLV3	-4760.74	6319.40	226.28	19192.07	-1847.95	-270.62
_SLV4	-4255.76	6319.31	227.15	19189.14	-1861.28	-270.20
_SLV5	-4250.74	-839.34	5795.16	-3944.94	-68804.07	2559.97
_SLV6	-3745.76	-839.43	5796.03	-3947.88	-68817.40	2560.39
_SLV7	-4932.74	-329.42	5681.36	-1067.05	-55998.10	1091.27
_SLV8	-4427.76	-329.51	5682.23	-1069.98	-56011.44	1091.69
_SLV9	-4807.54	5999.30	-2168.39	22487.52	25206.16	4615.92
_SLV10	-4302.56	5999.21	-2167.52	22484.58	25192.83	4616.34
_SLV11	-4934.54	6371.20	225.53	19298.05	-1843.11	-269.07
_SLV12	-4429.56	6371.11	226.40	19295.11	-1856.45	-268.65
_SLV13	-4424.54	-787.54	5794.41	-3838.96	-68799.24	2561.52
_SLV14	-3919.56	-787.63	5795.28	-3841.90	-68812.57	2561.94
_SLV15	-5106.54	-277.62	5680.61	-961.07	-55993.27	1092.82
_SLV16	-4601.56	-277.71	5681.48	-964.00	-56006.60	1093.24

Palificata	N	Vx	Vy	My	Mx	T
	kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm
_SLU1	-8930.75	-1104.93	-575.53	-1854.08	8209.98	-152.50
_SLU2	-10190.80	-729.36	-580.96	-1085.75	8245.03	-141.23
_SLU3	-8687.29	-1037.32	-706.59	-1731.38	9732.14	-162.86
_SLU4	-9695.33	-736.87	-710.93	-1116.71	9760.18	-153.84
_SLU5	-5060.15	-330.33	-555.96	-515.90	8201.16	-78.96
_SLU6	-6320.20	45.24	-561.39	252.43	8236.21	-67.68
_SLU7	-4816.69	-262.72	-687.02	-393.20	9723.33	-89.31
_SLU8	-5824.73	37.73	-691.37	221.47	9751.37	-80.29
_SLU9	-3820.70	-2.14	-10.70	9.57	288.64	-10.34
_SLU10	-7691.30	-776.74	-30.27	-1328.61	297.46	-83.88
_SLU11	-7282.08	-1105.41	-571.56	-1860.88	8168.92	-149.47
_SLU12	-8542.13	-729.85	-576.99	-1092.55	8203.97	-138.20
_SLU13	-7038.63	-1037.80	-702.63	-1738.18	9691.09	-159.83
_SLU14	-8046.67	-737.35	-706.97	-1123.51	9719.13	-150.81
_SLU15	-3411.48	-330.81	-552.00	-522.70	8160.10	-75.93
_SLU16	-4671.53	44.75	-557.43	245.63	8195.15	-64.65
_SLU17	-3168.03	-263.20	-683.06	-400.00	9682.27	-86.28
_SLU18	-4176.07	37.25	-687.40	214.67	9710.31	-77.26
_SLU19	-2172.03	-2.62	-6.74	2.77	247.58	-7.30
_SLU20	-6042.63	-777.22	-26.31	-1335.41	256.40	-80.85

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

VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857
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 07 00 002	A	86 di 105

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 γ_r .

Il coefficiente γ_r da applicare alle resistenze caratteristiche vale:

Tab. 6.4.I – Coefficienti parziali γ_R per le verifiche agli stati limite ultimi di fondazioni superficiali

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

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 γ_R da applicare alle resistenze caratteristiche a carico verticale dei pali

Resistenza	Simbolo	Pali infissi (R3)	Pali trivellati (R3)	Pali ad elica continua (R3)
	γ_R	(R3)	(R3)	(R3)
Base	γ_b	1,15	1,35	1,3
Laterale in compressione	γ_s	1,15	1,15	1,15
Totale (*)	γ	1,15	1,30	1,25
Laterale in trazione	γ_{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 ξ riportati nella seguente tabella, in funzione del numero n di verticali di indagine.

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

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	≥ 10
ξ_3	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
ξ_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

VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857

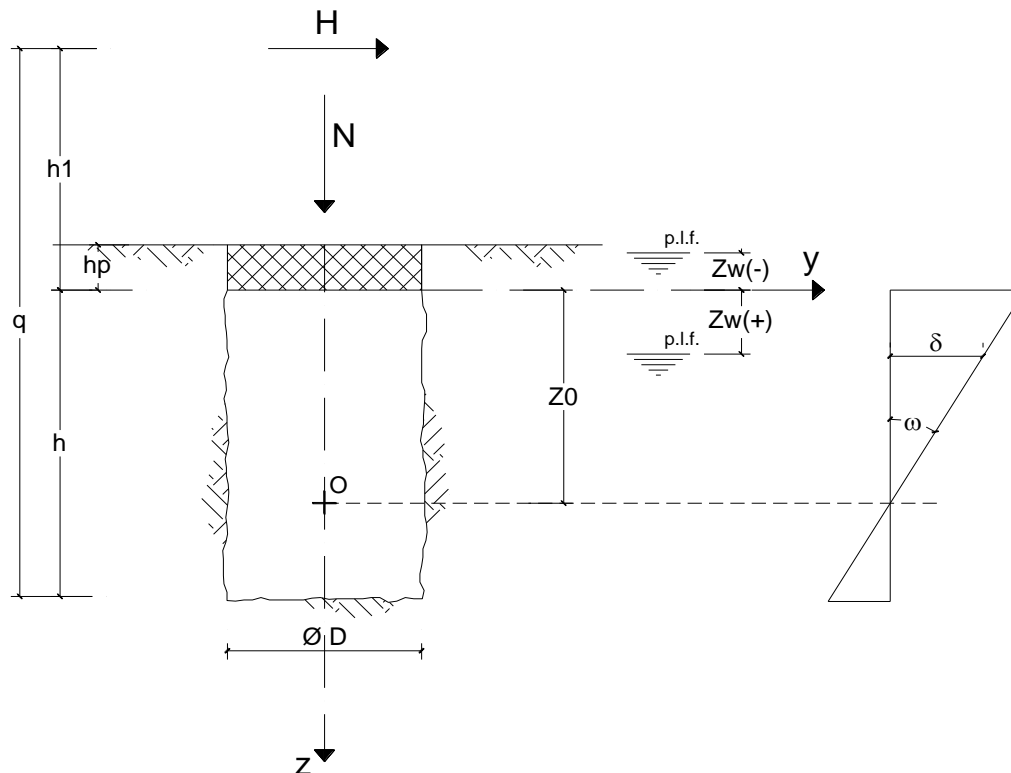
**Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di
calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 07 00 002	A	87 di 105

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 .

CALCOLO DEI POZZI DI FONDAZIONE (Metodo di Jamiolkowski)

OPERA: VI-350+857





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

VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857
**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 07 00 002	A	88 di 105

TRATTAZIONE TEORICA

Formule utilizzate nei calcoli:

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

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

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

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

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

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

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

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 =	13.60	(m)	<i>equivalenza su inerzia</i>
hp = spessore del plinto di fondazione =	3.20	(m)	←
h = profondità del pozzo di fondazione =	11.00	(m)	
Ab = Area di base ($\pi D^2/4$) =	145.27	(m ²)	
Jp = Momento di inerzia ($\pi D^4/64$) =	1679.29	(m ⁴)	
Wp = Modulo di resistenza ($\pi D^3/32$) =	246.95	(m ³)	
Ep = Modulo di elasticità del pozzo =	15000.00	(MPa)	

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

VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857

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 07 00 002	A	89 di 105

coefficienti parziali

Metodo di calcolo		azioni		proprietà del terreno		
		permanenti	temporanee variabili	tan ϕ'	c'	c _u
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	γ (kN/m ³)	19.50	19.50
resistenza al taglio non drenata	c _u (kPa)	190.00	190.00

Terreno di base

condizioni drenate non drenate

		Valori caratteristici	Valori di progetto
peso specifico del terreno	γ (kN/m ³)	19.50	19.50
resistenza al taglio non drenata	c _u (kPa)	190.00	190.00

profondità della falda

z_w = profondità della falda = -1.50 (m)

coefficienti di reazione

m_n = modulo di reazione orizzontale = 257.4 (kN/m⁴) *pari ad nh/D (Matlock e Reese). Con nh=3500 kN/m³*
k_n = coefficiente di reazione orizzontale alla base = 2830.88 (kN/m³)
k_v = coefficiente di reazione verticale = 2573.53 (kN/m³)
 β = rapporto tra le cost. di reazione = 1.10 (-)

Verifica della condizione di fondazione infinitamente rigida

$2,5 / h > ((m_n * D) / (E_p * J))^{1/5}$ (Silin e Zavrjiev)
2,5 / h = 0.23 (-)
 $((m_n * D) / (E_p * J))^{1/5} = 0.04$ (-)

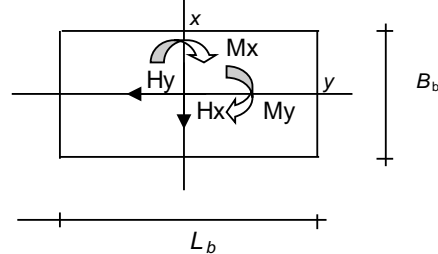
condizione di fondazione infinitamente rigida verificata

VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857

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 07 00 002	A	90 di 105

Sollecitazioni massime agenti alla base della pila:



AZIONI

	valori di input		Valori di calcolo
	permanenti	temporanee	
N [kN]	20498.20	0.00	20498.20
Mx [kNm]	297.40	0.00	297.40
My [kNm]	68.70	0.00	68.70
Hx [kN]	12900.98	0.00	12900.98
Hy [kN]	2420.66	0.00	2420.66

aggiunto peso plinto esistente

aggiunte inerzie

Dimensioni in pianta del plinto di fondazione

$h_p = 3.20$ (m)

$A_p = 145.27$ (m)

$P_{plinto} = 0.00$ (kN) *Vedi quanto riportato sopra*

Sollecitazioni massime agenti alla testa del pozzo:

$N_t = N + P_{plinto} = 20498.20$ (kN)

$H_t = (H_x^2 + H_y^2)^{0.5} = 13126.11$ (kN)

$M_t = (M_{xx}^2 + M_{yy}^2)^{0.5} = 42308.54$ (kNm)

dove:

$M_{xx} = M_x + H_y \cdot h_p$

$M_{yy} = M_y + H_x \cdot h_p$

$e = M_t / N_t$ (eccentricità) = 2.06 (m) *(riferita alla testa del pozzo)*

h_1 (quota di applicazione H_t) = 3.22 (m)
($h_1 = M_t / H_t$)

q (somma di h e di h_1) = 14.22 (m)

VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857

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 07 00 002	A	91 di 105

Profondità del centro di rotazione del pozzo

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

$$z_0 = 9.90 \quad (\text{m})$$

Rotazione del pozzo

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

$$R = 1153.47 \quad (-)$$

$$\text{tg } \omega = 6H / Rk_{hh}$$

$$\omega = \text{arctg}(6H / Rm_{hh})$$

$$\omega = 0.02411 \quad (\text{rad})$$

$$\omega = 1.3816 \quad (^\circ)$$

Profondità alla quale si verifica la massima pressione orizzontale

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

$$z = z_0/2$$

$$z = 4.95 \quad (\text{m})$$

$$\sigma_h(z)_{\text{max}} = 152.20 \quad (\text{kN/m}^2)$$

Raggio di Nocciolo della sezione del pozzo

$$r = D/8$$

$$r = 1.70 \quad (\text{m})$$

Sollecitazioni lungo il fusto del pozzo

Pressioni laterali

$$\sigma_h(z)_{\text{im}} = kp \cdot \sigma'_v(z) + 2 \cdot c' \cdot (kp)^{0.5} \quad (\text{tensioni efficaci})$$

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

$$kp = (1 + \sin\phi') / (1 - \sin\phi') = 1.00$$

Caratteristiche di sollecitazione

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

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

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

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

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

VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857

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 07 00 002	A	92 di 105

z	N	M	T	e	$\sigma_h(z)$	$\sigma_v(z)$	$\sigma_h(z)_{lim}$	δ_h
(m)	(kN)	(kNm)	(kN)	(m)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	(cm)
0	20498.20	42308.54	13126.11	F.N.	0.00	62.40	442.40	23.89
0.37	21563.49	47114.70	13071.30	F.N.	21.71	69.55	449.55	23.00
0.73	22628.79	51881.44	12912.42	F.N.	41.74	76.70	456.70	22.12
1.10	23694.08	56572.11	12657.78	F.N.	60.11	83.85	463.85	21.23
1.47	24759.37	61153.12	12315.71	F.N.	76.81	91.00	471.00	20.35
1.83	25824.67	65593.96	11894.54	F.N.	91.84	98.15	478.15	19.46
2.20	26889.96	69867.13	11402.58	F.N.	105.20	105.30	485.30	18.58
2.57	27955.25	73948.22	10848.16	F.N.	116.89	112.45	492.45	17.70
2.93	29020.54	77815.84	10239.61	F.N.	126.91	119.60	499.60	16.81
3.30	30085.84	81451.67	9585.24	F.N.	135.26	126.75	506.75	15.93
3.67	31151.13	84840.43	8893.38	F.N.	141.95	133.90	513.90	15.04
4.03	32216.42	87969.91	8172.35	F.N.	146.96	141.05	521.05	14.16
4.40	33281.72	90830.94	7430.47	F.N.	150.31	148.20	528.20	13.27
4.77	34347.01	93417.39	6676.07	F.N.	151.98	155.35	535.35	12.39
5.13	35412.30	95726.21	5917.47	F.N.	151.99	162.50	542.50	11.51
5.50	36477.60	97757.38	5162.99	F.N.	150.33	169.65	549.65	10.62
5.87	37542.89	99513.93	4420.96	F.N.	147.00	176.80	556.80	9.74
6.23	38608.18	101001.95	3699.69	F.N.	142.00	183.95	563.95	8.85
6.60	39673.48	102230.59	3007.52	F.N.	135.33	191.10	571.10	7.97
6.97	40738.77	103212.03	2352.75	F.N.	126.99	198.25	578.25	7.08
7.33	41804.06	103961.53	1743.73	F.N.	116.99	205.40	585.40	6.20
7.70	42869.36	104497.38	1188.76	F.N.	105.31	212.55	592.55	5.31
8.07	43934.65	104840.91	696.18	F.N.	91.97	219.70	599.70	4.43
8.43	44999.94	105016.55	274.30	F.N.	76.96	226.85	606.85	3.55
8.80	46065.23	105051.73	-68.55	F.N.	60.27	234.00	614.00	2.66
9.17	47130.53	104976.95	-324.05	F.N.	41.92	241.15	621.15	1.78
9.17	47130.53	104976.95	-324.05	F.N.	41.92	241.15	621.15	1.78
9.53	48195.82	104825.78	-483.88	F.N.	21.90	248.30	628.30	0.89
9.90	49261.11	104634.82	-539.71	F.N.	0.21	255.45	635.45	0.01
10.27	50326.41	104443.72	-483.22	F.N.	-23.15	262.60	642.60	-0.88
10.63	51391.70	104295.20	-306.09	F.N.	-48.17	269.75	649.75	-1.76
11.00	52456.99	104235.01	0.00	F.N.	-74.87	276.90	656.90	-2.64

$$N_b = 52456.99 \quad (\text{kN})$$

$$M_b = 104235.01 \quad (\text{kNm})$$

Sottospinta idrostatica alla base del pozzo

$$N_w = 18158.41 \quad (\text{kN})$$

Pressioni verticali alla base del pozzo

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

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

$$\sigma_{zmax} = 658.19 \quad (\text{kN/m}^2)$$

$$\sigma_{zmin} = -185.98 \quad (\text{kN/m}^2)$$

VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857
**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 07 00 002	A	93 di 105

Valori Massimi delle caratteristiche di sollecitazione

N _{max} =	52456.99	(kN)	zN _{max} =	8.80	(m)
M _{max} =	105051.73	(kNm)	zM _{max} =	8.80	(m)
T _{max} =	13126.11	(kN)	zT _{max} =	0.00	(m)

VERIFICHE GEOTECNICHE

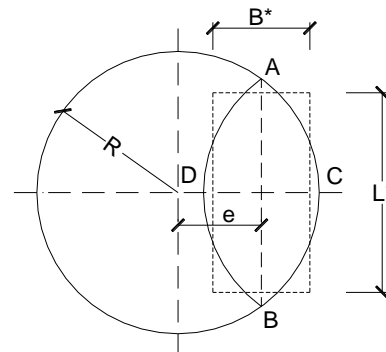
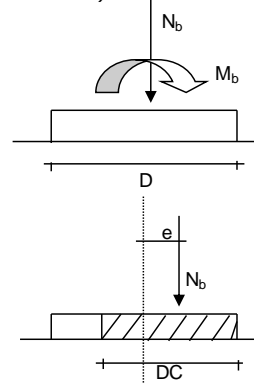
Capacità portante limite

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

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

q =	276.90	(kN/m ²)
N _q =	1.00	(-)
N _c =	5.14	(-)
N _γ =	0.00	(-)
sc =	1 + 0,2*(B/L)	
sq =	1	
s _γ =	0	

(Brinch-Hansen)



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

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

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

$$h' = R - e$$

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

e =	1.99	(m)
h' =	4.81	(m)
A* =	92.00	(m ²)
L* =	11.15	(m)
B* =	8.25	(m)
B*/L* =	0.74	(m)
sc =	1.148	(-)
sq =	1.000	(-)
s _γ =	0.000	(-)
q _{lim} =	1398.05	(kN/m ²)

VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857
**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 07 00 002	A	94 di 105

Sforzo Verticale limite nel terreno

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

$$N_{lim} = 128619.10 \quad (\text{kN})$$

Sforzo Verticale massimo nel terreno

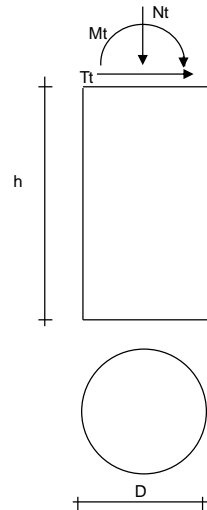
$$N_b - N_w = 34298.59 \quad (\text{kN})$$

Coefficiente di Sicurezza

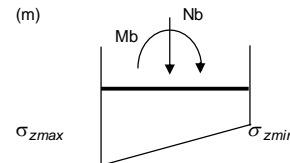
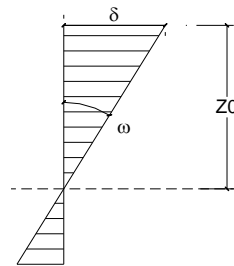
$$F_s = N_{lim} / (N_b - N_w)$$

$$F_s = 3.75$$

Tabella Riepilogativa



Nt =	20498.20	(kN)
Tt =	13126.11	(kN)
Mt =	42308.54	(kNm)
kv =	2573.53	(kN/m ³)
mh =	257.35	(kN/m ⁴)
kh =	2830.88	(kN/m ³)
D =	13.60	(m)
h =	11.00	(m)



Riepilogo Caratteristiche di sollecitazione in corrispondenza dei valori Max di ciascuna

		N (kN)	M (kNm)	T (kN)
zMmax =	8.80 (m)	52456.99	105051.73	-68.55
zNmax =	8.80 (m)	52456.99	104235.01	0.00
zTmax =	0.00 (m)	20498.20	42308.54	13126.11

Caratteristiche di sollecitazione alla base

$$N_b = 52456.99 \quad (\text{kN})$$

$$M_b = 104235.01 \quad (\text{kNm})$$

Tensioni alla base

$$\sigma_{zmax} = 658.19 \quad (\text{kN/m}^2)$$

$$\sigma_{zmin} = -185.98 \quad (\text{kN/m}^2)$$

Spostamento in testa e rotazione

$$\delta = 23.89 \quad (\text{cm})$$

$$\omega = 0.02411 \quad (\text{rad})$$

$$\omega = 1.382 \quad (^\circ)$$

Profondità del centro di rotazione

$$z_0 = 9.90 \quad (\text{m})$$

Coefficiente di Sicurezza

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

$$F_s = 3.75 \geq 2.3 = \gamma_R$$

Fs

1.63



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

VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857

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 07 00 002	A	95 di 105

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:

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

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 748 kN.

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

VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857
Relazione di vulnerabilità sismica dell'opera e di
calcolo degli interventi in fondazione ed elevazione

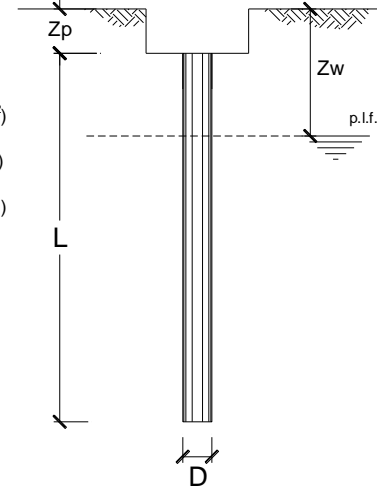
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 07 00 002	A	96 di 105

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

OPERA: VI-350+857

DATI DI INPUT:

Diametro del Palo (D):	0.60	(m)	Area del Palo (Ap):	0.283	(m ²)
Quota testa Palo dal p.c. (Zp):	5.50	(m)	Quota falda dal p.c. (Zw):	4.00	(m)
Carico Assiale Permanente (G):	748	(kN)	Carico Assiale variabile (Q):	0	(kN)
Numero di strati	1		Lpalo =	11.00	(m)



coefficienti parziali		azioni		resistenza laterale e di base	
Metodo di calcolo		permanenti	variabili	γ_b	γ_s
		γ_G	γ_Q		
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_3	1.40	1.35	1.33	1.31	1.29	1.27	1.25	1.00	1.65
ξ_4	1.40	1.27	1.23	1.20	1.15	1.12	1.08	1.00	1.55

Strato	Spess	Tipo di terreno	Parametri del terreno						
			γ	c'_{med}	c'_{min}	ϕ'_{med}	ϕ'_{min}	$c_{u,med}$	$c_{u,min}$
(-)	(m)		(kN/m ³)	(kPa)	(kPa)	(°)	(°)	(kPa)	(kPa)
1	11.00	Unità 2	19.50					190.0	190.0

Coefficienti di Calcolo			
k	μ	a	α
(-)	(-)	(-)	(-)
0.00	0.00		0.4

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

Strato	Spess	Tipo di terreno
(-)	(m)	
1	11.00	Unità 2

media				
Qsi	Nq	Nc	qb	Qbm
(kN)	(-)	(-)	(kPa)	(kN)
1575.8	0.00	9.00	2031.8	574.5

minima				
Qsi	Nq	Nc	qb	Qbm
(kN)	(-)	(-)	(kPa)	(kN)
1575.8	0.00	9.00	2031.8	574.5

CARICO ASSIALE AGENTE

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

$$N_d = 748.0 \text{ (kN)}$$

CAPACITA' PORTANTE MEDIA

alla base $R_{b,cal med} = 574.5 \text{ (kN)}$

laterale $R_{s,cal med} = 1575.8 \text{ (kN)}$

totale $R_{c,cal med} = 2150.3 \text{ (kN)}$

CAPACITA' PORTANTE MINIMA

alla base $R_{b,cal min} = 574.5 \text{ (kN)}$

laterale $R_{s,cal min} = 1575.8 \text{ (kN)}$

totale $R_{c,cal min} = 2150.3 \text{ (kN)}$

CAPACITA' PORTANTE CARATTERISTICA

$$R_{b,k} = \text{Min}(R_{b,cal med}/\xi_3 ; R_{b,cal min}/\xi_4) = 348.2 \text{ (kN)}$$

$$R_{s,k} = \text{Min}(R_{s,cal med}/\xi_3 ; R_{s,cal min}/\xi_4) = 955.0 \text{ (kN)}$$

$$R_{c,k} = R_{b,k} + R_{s,k} = 1303.2 \text{ (kN)}$$

CAPACITA' PORTANTE DI PROGETTO

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

$$R_{c,d} = 1088.4 \text{ (kN)}$$

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

$$F_s = 1.46$$

VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857
**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 07 00 002	A	97 di 105

Verifica a carico limite del palo in trazione

Omessa in quanto nessun palo va in trazione.

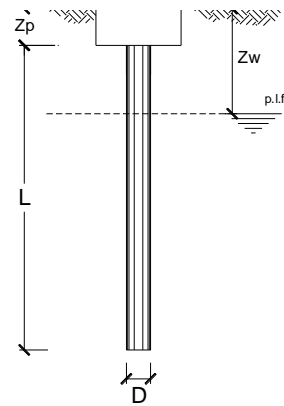
Verifica a carico limite del blocco

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 39034 kN.

OPERA: VI-350+857

DATI DI INPUT:

Diametro del Palo (D):	16.10 (m)	Area del Palo (Ap):	##### (m ²)
Quota testa Palo dal p.c. (z _p):	5.50 (m)	Quota falda dal p.c. (z _w):	4.00 (m)
Carico Assiale Permanente (G):	39034 (kN)	Carico Assiale variabile (Q):	0 (kN)
Numero di strati	1	Lpalo =	11.00 (m)



coefficienti parziali	azioni		resistenza laterale e di base	
	permanenti	variabili	γ _b	γ _s
Metodo di calcolo	γ _G	γ _Q		
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 _s	1.40	1.35	1.33	1.31	1.29	1.27	1.25	1.00	1.65
ξ _{st}	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 ³)	c' med (kPa)	c' min (kPa)	φ' med (°)	φ' min (°)	c _u med (kPa)	c _u min (kPa)	
1	11.00	Unità 2	19.50						190.0	190.0

Coefficienti di Calcolo			
k	μ	a	α
(-)	(-)	(-)	(-)
0.00	0.00		0.4

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

Strato	Spess (-) (m)	Tipo di terreno
1	11.00	Unità 2

media				
Q _{si} (kN)	N _q (-)	N _c (-)	q _b (kPa)	Q _{bm} (kN)
42284.6	0.00	9.00	2031.8	413629.9

minima				
Q _{si} (kN)	N _q (-)	N _c (-)	q _b (kPa)	Q _{bm} (kN)
42284.6	0.00	9.00	2031.8	413629.9

CARICO ASSIALE AGENTE

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

$$N_d = 39034.0 \text{ (kN)}$$

CAPACITA' PORTANTE MEDIA

alla base $R_{b,cal \text{ med}} = 413629.9 \text{ (kN)}$

laterale $R_{s,cal \text{ med}} = 42284.6 \text{ (kN)}$

totale $R_{c,cal \text{ med}} = 455914.5 \text{ (kN)}$

CAPACITA' PORTANTE MINIMA

alla base $R_{b,cal \text{ min}} = 413629.9 \text{ (kN)}$

laterale $R_{s,cal \text{ min}} = 42284.6 \text{ (kN)}$

totale $R_{c,cal \text{ min}} = 455914.5 \text{ (kN)}$

CAPACITA' PORTANTE CARATTERISTICA

$$R_{b,k} = \text{Min}(R_{b,cal \text{ med}}/\xi_s; R_{b,cal \text{ min}}/\xi_a) = 250684.8 \text{ (kN)}$$

$$R_{s,k} = \text{Min}(R_{s,cal \text{ med}}/\xi_s; R_{s,cal \text{ min}}/\xi_a) = 25627.0 \text{ (kN)}$$

$$R_{c,k} = R_{b,k} + R_{s,k} = 276311.8 \text{ (kN)}$$

CAPACITA' PORTANTE DI PROGETTO

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

$$R_{c,d} = 207976.8 \text{ (kN)}$$

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

$$F_s = 5.33$$

VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857

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 07 00 002	A	98 di 105

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, λ , 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	66	
E cls	25000000	kPa
D	0.6	m
J	0.006	m4
E op	30000	kPa
kh	50000	kN/m3
kh ridotto	12500	kN/m3
λ	3.03	m
Wt	0.0024	1/m

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:

VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857

**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 07 00 002	A	99 di 105

Comb.	Sollecitazioni progetto palo	
	V	M
_SLV1	272.77	413.90
_SLV2	272.77	413.90
_SLV3	260.13	394.72
_SLV4	260.13	394.72
_SLV5	258.90	392.86
_SLV6	258.92	392.89
_SLV7	250.94	380.78
_SLV8	250.96	380.81
_SLV9	273.88	415.59
_SLV10	273.88	415.58
_SLV11	261.26	396.43
_SLV12	261.26	396.43
_SLV13	258.81	392.72
_SLV14	258.83	392.75
_SLV15	250.90	380.72
_SLV16	250.92	380.75
_SLU1	18.52	28.10
_SLU2	13.80	20.93
_SLU3	18.63	28.28
_SLU4	15.15	22.99
_SLU5	9.61	14.59
_SLU6	8.37	12.71
_SLU7	10.93	16.59
_SLU8	10.30	15.63
_SLU9	0.14	0.21
_SLU10	11.58	17.57
_SLU11	18.50	28.08
_SLU12	13.77	20.90
_SLU13	18.61	28.24
_SLU14	15.12	22.95
_SLU15	9.57	14.52
_SLU16	8.32	12.63
_SLU17	10.89	16.52
_SLU18	10.25	15.55
_SLU19	0.09	0.14
_SLU20	11.59	17.59

VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857
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 07 00 002	A	100 di 105

- Armature longitudinali

Per il calcolo del momento resistente del palo si considera una sezione armata con 18Φ24.

Verifica C.A. S.L.U. - File: 18fi24

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: 18
 Diametro barre: 2.4 [cm]
 Copriferro (baric.): 9 [cm]

N° barre: 0 Zoom

Tipo Sezione

Rettan.re Trapezi
 a T Circolare
 Rettangoli Coord.

Sollecitazioni

S.L.U. Metodo n

N_{Ed}: 0 kN
 M_{xEd}: 0 kNm
 M_{yEd}: 0

P.to applicazione N

Centro Baricentro cls
 Coord.[cm] xN: 0 yN: 0

Tipo rottura
Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Materiali

B450C C25/30

ε_{su}: 67.5 ‰ ε_{c2}: 2 ‰
 f_{yd}: 391.3 N/mm² ε_{cu}: 3.5 ‰
 E_s: 200,000 N/mm² f_{cd}: 14.17
 E_s/E_c: 15 f_{cc}/f_{cd}: 0.8 ?
 ε_{syd}: 1.957 ‰ σ_{c,adm}: 9.75
 σ_{s,adm}: 255 N/mm² τ_{co}: 0.6
 τ_{c1}: 1.829

M_{xRd}: 538.8 kN m

σ_c: -14.17 N/mm²
 σ_s: 391.3 N/mm²
 ε_c: 3.5 ‰
 ε_s: 4.858 ‰
 d: 51 cm
 x: 21.36 x/d: 0.4188
 δ: 0.9635

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

L₀: 0 cm Col. modello

Precompresso

VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857

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 07 00 002	A	101 di 105

- 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
 γ_c = 1.50
fcm= 33 MPa
 α_{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_{0.05}= 1.79 MPa
fctk_{0.95}= 3.33 MPa
 α_{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
 γ_s = 1.15
fyd= 391 MPa

Azioni di taglio

		γ	
Gk	0	x1.00=	0 kN
Pk	0	x1.00=	0 kN
Qk	0	x1.00=	0 kN
Aed	0	x1.30=	0 kN
V_{Ed} = 0 kN			

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

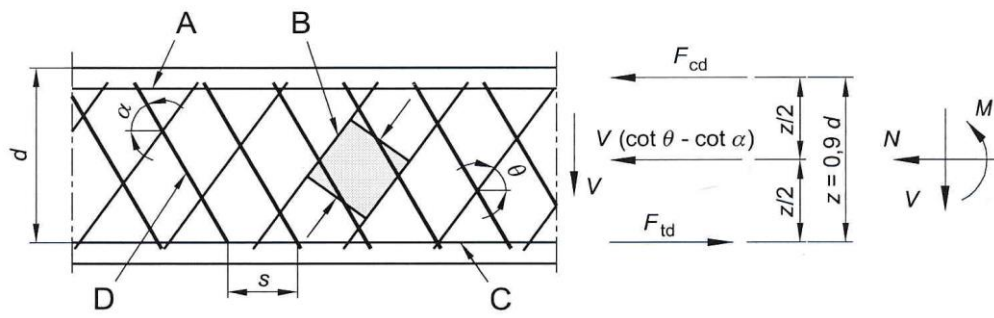
VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857

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 07 00 002	A	102 di 105

elementi CA e CAP armati a taglio

- A Corrente compresso
- B Puntone
- C Corrente teso
- D Armatura a taglio



Resistenza delle staffe:

$\phi_w =$	14	mm	diámetro staffa
$n =$	2.00		numero braccia
$A_{sw} =$	3.08	cmq	
$z =$	0.38	m	$= 0.75 \cdot d$
$\text{sen} \alpha =$	1		α 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	$= \text{passo staffe} \leq$ 0.38 m $= 0.75 \cdot d \cdot (1 + \cot \alpha)$
$\theta =$	45.0	°	$= \arcsin(\text{rad}q(A_{sw} \cdot f_{yd}) / (b_w \cdot s \cdot \alpha_{cw} \cdot n \cdot f_{cd}))$ inclinazione puntone compresso, variabile tra 45° to 21.8°
$\tan \theta =$	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	=	$A_{sw, \max} \cdot f_{yd} / (b_w \cdot s) \leq 1/2 \cdot \alpha_{cw} \cdot v \cdot f_{cd} = 3.81$ verifica soddisfatta
$V_{Rd, s} =$	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	$= \min(V_{Rd, s}; V_{Rd, \max}) / \gamma_{Bd1}$

VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857
**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 07 00 002	A	103 di 105

- 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	272.77	413.90	384.0	538.8	1.41	1.30
_SLV2	272.77	413.90	384.0	538.8	1.41	1.30
_SLV3	260.13	394.72	384.0	538.8	1.48	1.37
_SLV4	260.13	394.72	384.0	538.8	1.48	1.37
_SLV5	258.90	392.86	384.0	538.8	1.48	1.37
_SLV6	258.92	392.89	384.0	538.8	1.48	1.37
_SLV7	250.94	380.78	384.0	538.8	1.53	1.41
_SLV8	250.96	380.81	384.0	538.8	1.53	1.41
_SLV9	273.88	415.59	384.0	538.8	1.40	1.30
_SLV10	273.88	415.58	384.0	538.8	1.40	1.30
_SLV11	261.26	396.43	384.0	538.8	1.47	1.36
_SLV12	261.26	396.43	384.0	538.8	1.47	1.36
_SLV13	258.81	392.72	384.0	538.8	1.48	1.37
_SLV14	258.83	392.75	384.0	538.8	1.48	1.37
_SLV15	250.90	380.72	384.0	538.8	1.53	1.42
_SLV16	250.92	380.75	384.0	538.8	1.53	1.42
_SLU1	18.52	28.10	384.0	538.8	20.74	19.18
_SLU2	13.80	20.93	384.0	538.8	27.83	25.74
_SLU3	18.63	28.28	384.0	538.8	20.61	19.06
_SLU4	15.15	22.99	384.0	538.8	25.34	23.43
_SLU5	9.61	14.59	384.0	538.8	39.95	36.94
_SLU6	8.37	12.71	384.0	538.8	45.85	42.40
_SLU7	10.93	16.59	384.0	538.8	35.12	32.47
_SLU8	10.30	15.63	384.0	538.8	37.27	34.47
_SLU9	0.14	0.21	384.0	538.8	2722.46	2517.44
_SLU10	11.58	17.57	384.0	538.8	33.16	30.66
_SLU11	18.50	28.08	384.0	538.8	20.75	19.19
_SLU12	13.77	20.90	384.0	538.8	27.88	25.78
_SLU13	18.61	28.24	384.0	538.8	20.63	19.08
_SLU14	15.12	22.95	384.0	538.8	25.39	23.48
_SLU15	9.57	14.52	384.0	538.8	40.12	37.10
_SLU16	8.32	12.63	384.0	538.8	46.15	42.67
_SLU17	10.89	16.52	384.0	538.8	35.27	32.61
_SLU18	10.25	15.55	384.0	538.8	37.47	34.65
_SLU19	0.09	0.14	384.0	538.8	4156.93	3843.89
_SLU20	11.59	17.59	384.0	538.8	33.12	30.63

VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857

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 07 00 002	A	104 di 105

13 INCIDENZA ARMATURE

- Cordolo allargamento fondazione: 110 kg/m3
- Pali D600: 260 kg/m3
- Camicia rinforzo pile (incidenza media sull'altezza): 130 kg/m3
- Struttura interna rinforzo archi: 230 kg/m3



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

VI07 - VIADOTTO AL KM 350+857

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 07 00 002	A	105 di 105

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.