

Seismic retrofitting of the Caldarola Viaduct along the SS 77 in the province of Macerata

Intervento di miglioramento sismico del Viadotto Caldarola sulla SS 77 in provincia di Macerata

Luigino Dezi¹, Gabriele Dezi¹, Marcello Merlino²

¹ DSD Dezi Steel Design srl, Ancona, Italy

² Kaltha srl, Florence, Italy

ABSTRACT: The paper describes the seismic retrofitting of the Caldarola Viaduct along the SS 77 “Val di Chienti”, after the Central Italy earthquake of 2016. The viaduct, crossing the Chienti River between the Serrapetrona and Caldarola towns in the province of Macerata, presents a total length of 397 m, with 11 spans of approximately 36 m constituted by simply supported 16 m wide decks containing two roadways. Each deck is constituted by 6 post-tensioned precast beams. The seismic retrofitting was obtained by introducing lead rubber isolators, able to produce a damping significant increase and consequently an important reduction of the horizontal seismic actions on piers and abutments. The isolation system was combined with elastic nonlinear devices, only reacting to compression, inserted over the piers among the ends of two beams, in order to avoid the deck pounding. / La memoria illustra gli interventi di ripristino e miglioramento sismico del Viadotto Caldarola ubicato sulla SS 77 “Val di Chienti” a seguito del terremoto del Centro Italia del 2016. Il viadotto, che attraversa il fiume Chienti fra i comuni di Serrapetrona e Caldarola in provincia di Macerata, ha uno sviluppo complessivo di 397 m, con 11 campate da circa 36 m costituite da impalcati semplicemente appoggiati larghi 16 m, in grado di ospitare due carreggiate stradali. Ogni impalcato è costituito da 6 travi pre-sollecitate con cavi post-tesi. Il miglioramento sismico è stato ottenuto introducendo degli isolatori in neoprene armato con nucleo in piombo, in grado di produrre un significativo aumento dello smorzamento e quindi una rilevante riduzione delle azioni sismiche orizzontali sulle sottostrutture. Il sistema di isolamento è stato abbinato a dispositivi elastici non lineari reagenti solo a compressione, posizionati tra le testate di due travi con funzione anti-martellamento.

KEYWORDS: Simply supported decks, precast concrete beams with post-tensioned cables, seismic retrofitting, lead rubber isolators, nonlinear elastic devices. / Impalcati a travi appoggiate, travi in cap con cavi post-tesi, miglioramento sismico, isolatori in gomma con nucleo in piombo, dispositivi elastici non lineari anti-martellamento.

1 INTRODUZIONE

Il Viadotto Caldarola è ubicato tra i km 62+213 e 62+623 della SS 77 “Val di Chienti” e attraversa il fiume Chienti fra i comuni di Serrapetrona e Caldarola in provincia di Macerata.

E' costituito da 11 campate aventi luce di circa 36 m in asse pile con impalcati semplicemente appoggiati, che ospitano due corsie per ogni senso di marcia, per una lunghezza complessiva di 397 m.

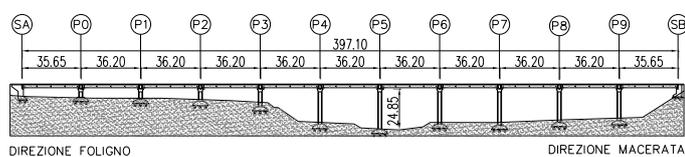


Figure 1. Longitudinal view of the viaduct / Prospetto longitudinale del viadotto.



Figure 1. Overview of the viaduct / Foto aerea del viadotto.

La costruzione dell'opera risale agli anni 1973-1976 e il collaudo al 1980.

A seguito del terremoto del Centro Italia del 2016 l'opera ha subito danni localizzati in corrispondenza dei baglioli con fessurazioni ed espulsione del copriferro.

Il Committente è pervenuto alla decisione di eseguire un intervento di miglioramento sismico basato sull'isolamento degli impalcati e al contempo operare il ripristino strutturale degli elementi danneggiati dal sisma o interessati da degrado, principalmente dovuto ad infiltrazione delle acque di piattaforma.

I lavori sono stati eseguiti nel periodo Giugno - Settembre 2018 per un importo pari a circa 1.758.000 €.

2 DESCRIZIONE DELL'OPERA

2.1 Impalcato

L'impalcato ha una larghezza complessiva di 16.00 m a contenimento della piattaforma stradale di 15.20 m e due cordoli di 0.40 m per l'alloggiamento delle barriere di sicurezza.

La campata tipo è costituita da 6 travi in c.a.p. lunghe 35 m aventi sezione a doppio T di 1.98 m di altezza, 5 traversi, di cui 3 intermedi e 2 d'appoggio, aventi sezione rettangolare larga 30 cm pre-sollecitati con cavi post-tesi e una soletta in c.a. di 22 cm di spessore.

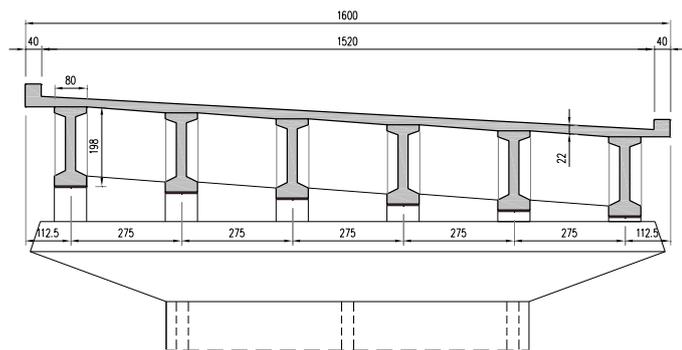


Figure 3. Cross section of the deck / Sezione trasversale dell'impalcato.



Figure 4. Photo from below / Foto dal basso.

L'armatura da precompressione delle travi principali è costituita da 6 cavi parabolici, di cui 4 da 16 e 2 da 12 trefoli da (1/2)''.

I traversi d'appoggio sono precompressi con 2 cavi da 8 trefoli da (1/2)'' , mentre quelli intermedi hanno in più un cavo da 16 trefoli.

Tutti i cavi sono post-tesi e caratterizzati da terminali d'ancoraggio tipo Morandi M5.

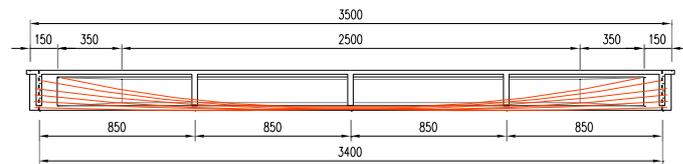


Figure 5. Longitudinal view of the main girder with cables trend / Prospetto longitudinale della trave principale con andamento dei cavi.

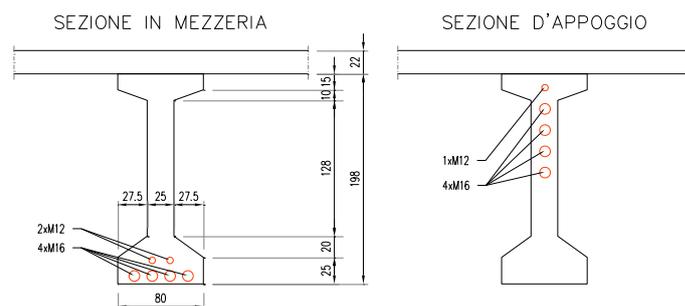


Figure 6. Main girder cross section and prestressing cables / Sezione trasversale e cavi di precompressione delle travi principali.

2.2 Pile

Le pile sono a fusto unico di sezione rettangolare cava di dimensioni 9.00x2.50 m con un setto intermedio ed hanno altezza variabile da 3.32 a 22.85 m. Le pareti del fusto hanno spessore di 40 cm, mentre gli elementi trasversali hanno spessore di 30 cm.

Le travi sono sostenute da un pulvino a sezione piena con sbalzi laterali di 3.375 m a sezione variabile da 2.00 m a 0.75 m.

Le fondazioni sono costituite da zattere di dimensioni 16.00x8.70 m su 14 pali di 1.00 m di diametro.

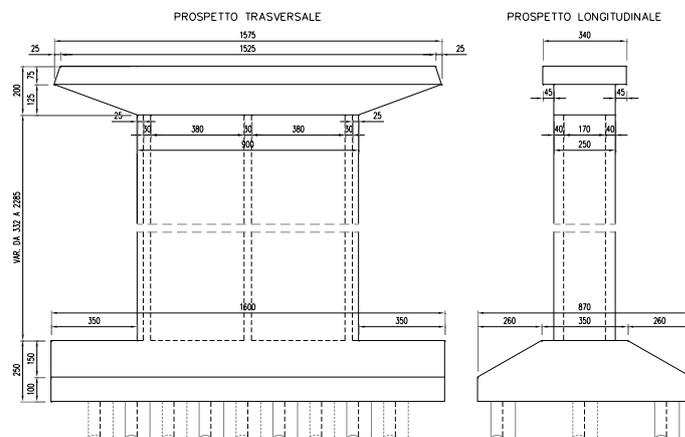


Figure 7. Pier geometry / Geometria delle pile.



Figure 8. Photo of a pier / Foto di una pila.

2.3 Spalle

Le spalle sono di tipo scatolare con parete frontale di 1.25 m di spessore, paraghiaia di 0.30 m, muri andatori di 1.95 m e risvolti laterali di 4.00 m. La spalla lato Macerata è addossata ad uno scatolare senza risvolti laterali. Entrambe le spalle sono fondate su 11 pali trivellati di 1.00 m di diametro disposti a quinconce.



Figure 9. Photo of the Foligno side abutment / Foto della spalla lato Foligno.

2.4 Appoggi

Gli appoggi delle travi sono in neoprene armato di dimensioni 600x800 mm con doppia lamina e spessore complessivo di 38 mm.

3 STATO DI CONSERVAZIONE

Lo stato di conservazione del viadotto, pur essendo in generale soddisfacente, era caratterizzato dalla presenza di alcune importanti criticità, riguardanti principalmente i giunti, i pulvini e le solette, tali da richiedere interventi di ripristino.

I giunti non erano più in grado di garantire la tenuta delle acque di piattaforma e gli intradossi delle solette che escono a sbalzo dalle testate delle travi risultavano interessati da un forte degrado superficiale con espulsione del copriferro e ossidazione delle barre di armatura.

I pulvini presentavano anch'essi un avanzato stato di degrado che interessava le superfici esposte alla percolazione delle acque fuoriuscite dai giunti, con ammaloramenti del copriferro e ossidazione delle barre.

Un ulteriore elemento di degrado era costituito dai discendenti pluviali, non tutti efficienti, che riversavano le acque di piattaforma all'intradosso degli sbalzi della soletta e sulle travi di bordo.

Da ultimo, il terremoto del Centro Italia del 2016 ha prodotto nei baggioli rotture localizzate con espulsione del copriferro.



Figure 10. Degradation of a) joints and pier caps, b) beams and slab and c) supports / Stato di degrado di a) giunti e pulvini, b) travi e soletta e c) baggioli.

4 DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI

4.1 Miglioramento sismico

Al fine di ridurre le sollecitazioni indotte dall'azione sismica sulle sottostrutture è stato previsto un sistema di isolamento degli impalcati attraverso l'inserimento di nuovi dispositivi d'appoggio in neoprene armato con nucleo in piombo (LRB, Lead Rubber Bearing), in grado di produrre un significativo aumento dello smorzamento con dissipazione d'energia e nel contempo un aumento seppure lieve del periodo proprio di vibrare della struttura.

Gli isolatori hanno dimensioni in pianta 300x500 mm per 104 mm di spessore e sono formati da un pacchetto di neoprene armato di 54 mm, composto da 7 strati di gomma da 6 mm e 6 lamierini d'acciaio da 2 mm, e due nuclei in piombo di 100 mm di diametro, compresi tra due piastre da 25 mm.

Gli isolatori hanno una capacità di spostamento pari a 70mm e di smorzamento pari al 30% con un legame costitutivo bi-lineare isteretico, caratterizzato da una rigidità iniziale di 29 kN/mm fino a 5 mm di spostamento e una rigidità residua di 2.9 kN/mm.

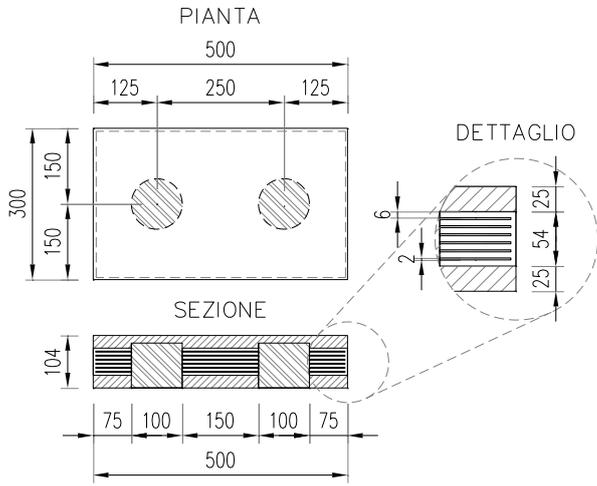


Figure 11. Geometry of LRB isolators / Geometria degli isolatori LRB.

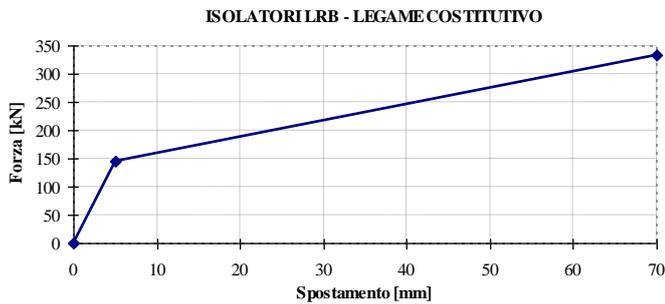


Figure 12. Constitutive law of LRB isolators / Legame costitutivo degli isolatori LRB.

Il sistema di isolamento è stato abbinato a dispositivi elastici non lineari posizionati tra le testate delle travi poggianti sulla stessa pila, caratterizzati da una rigidità a trazione nulla e da una rigidità a compressione molto bassa per spostamenti inferiori a 20 mm e molto alta nel range 20-40 mm, al fine di evitare il martellamento degli impalcati contigui per movimenti in controfase in situazione sismica.

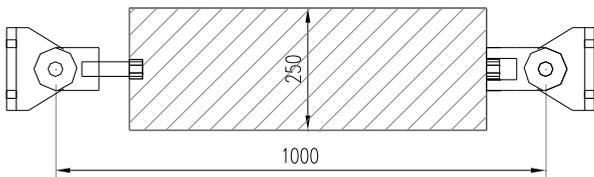


Figure 13. Geometry of nonlinear elastic devices / Geometria dei dispositivi elastici non lineari.

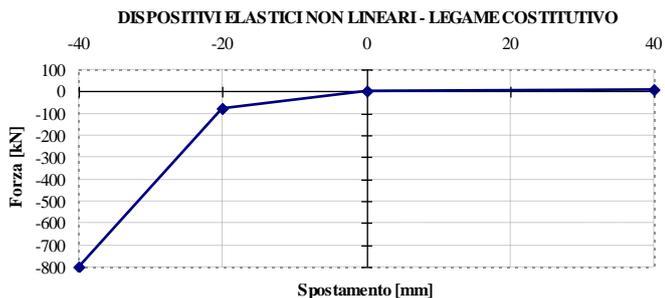


Figure 14. Constitutive law of nonlinear elastic devices / Legame costitutivo dei dispositivi elastici non lineari.

Sempre per garantire gli spostamenti sismici in controfase degli isolatori sono stati previsti nuovi giunti in gomma armata con i varchi allargati da 40 a 60 mm.

4.1.1 Modellazione e analisi

E' stato sviluppato un modello agli elementi finiti globale della struttura nello stato di fatto e nello stato di progetto, al fine di valutare gli effetti dell'isolamento in termini di spostamento dell'impalcato e sollecitazioni sulle sottostrutture.

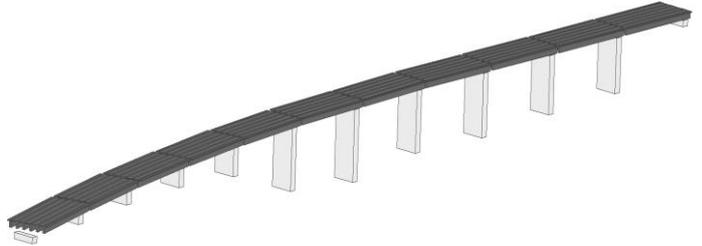


Figure 15. Global FEM model of the structure / Modello FEM globale della struttura.

Sono state eseguite analisi dinamiche lineari con spettro di risposta e analisi dinamiche non lineari con accelerogrammi artificiali spettro-compatibili allo Stato Limite di Collasso (SLC) con i parametri sismici riportati nella tabella che segue.

Table 1. Seismic analysis parameters / Parametri per le analisi sismiche.

Parametro	Valore
Longitudine sito	13° 13' 17.41 E
Latitudine sito	43° 9' 4.35" N
Vita nominale	50 anni
Classe d'uso	IV
Coefficiente d'uso	2
Vita di riferimento	100 anni
Stato Limite	SLC
Tempo di ritorno	1950 anni
Categoria di sottosuolo	B
Categoria topografica	T1
Fattore di struttura	1.000

L'isolamento sismico in termini di spettro di risposta elastico in pseudo-accelerazione produce principalmente un abbattimento delle ordinate spettrali per effetto dell'elevato smorzamento garantito dagli isolatori (30%) e, in misura più contenuta, un aumento del periodo del primo modo di vibrare della struttura, che passa da 0.52 a 0.68 s. In questo modo, l'accelerazione sismica è risultata significativamente ridotta, passando da 0.75 a 0.31 g.

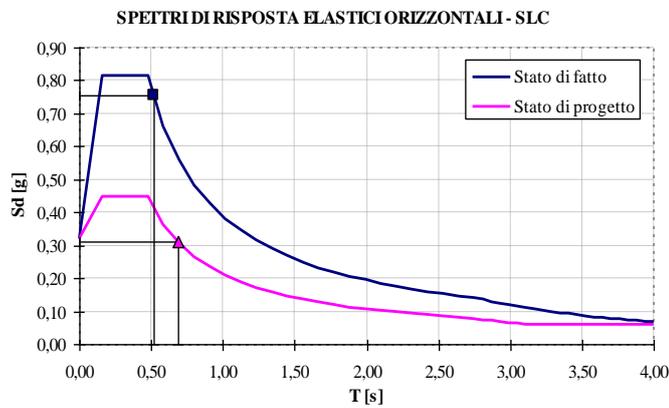


Figure 16. Response spectra with and without isolation / Spettri di risposta con e senza l'isolamento.

Dalle analisi dinamiche non lineari, effettuate per 3 gruppi di accelerogrammi, sono state ricavate le storie temporali delle seguenti grandezze:

- spostamenti degli isolatori;
- taglio su un allineamento di isolatori;
- spostamento relativo tra gli impalcati in corrispondenza di un giunto;
- forza assiale sui dispositivi anti-martellamento.

Nelle figure che seguono si riportano unicamente le storie temporali che hanno condotto ai valori massimi delle suddette grandezze, che fanno tutte riferimento all'allineamento destro sulla pila P5 e con cui sono state effettuate le verifiche allo SLC.

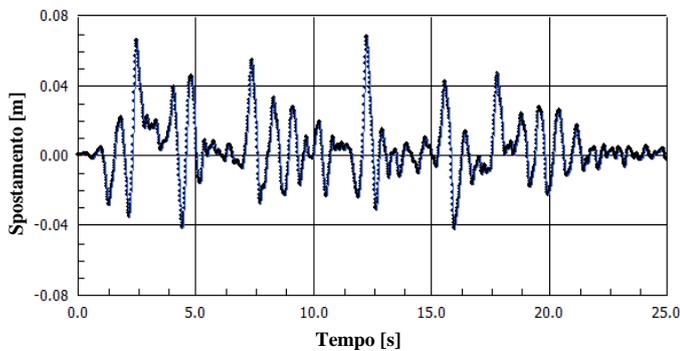


Figure 17. Isolator longitudinal displacement / Spostamento longitudinale di un isolatore.

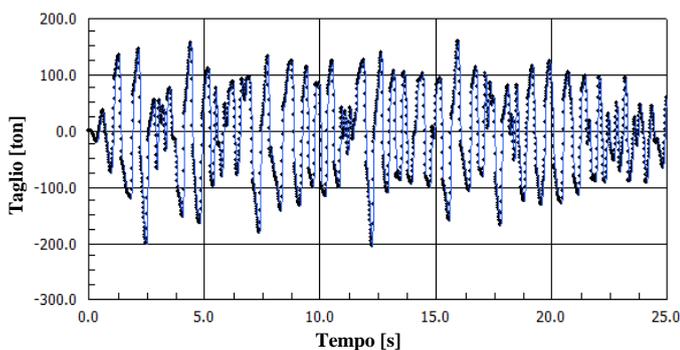


Figure 18. Isolator longitudinal shear force / Taglio longitudinale sugli isolatori.

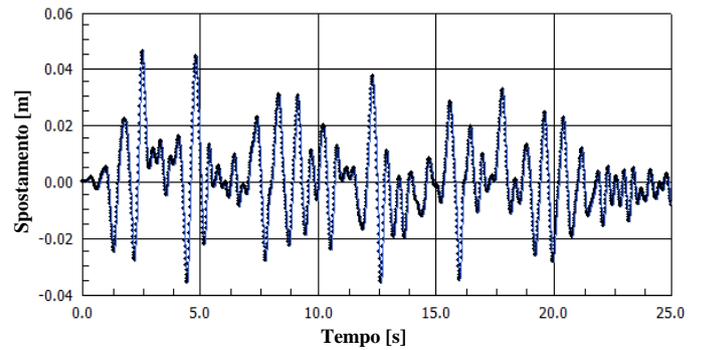


Figure 19. Joint longitudinal displacement / Spostamento longitudinale sul giunto.

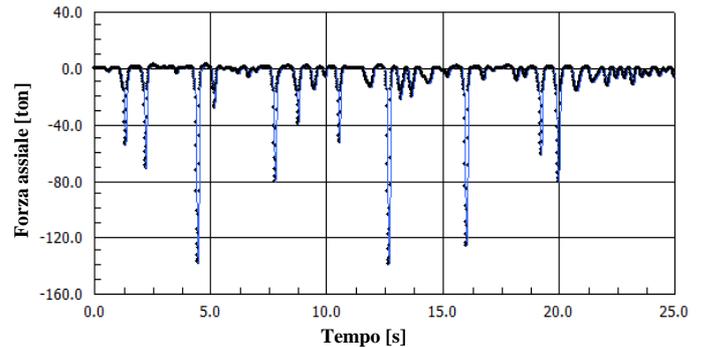


Figure 20. Nonlinear elastic device axial force / Forza assiale sui dispositivi elastici non lineari.

L'efficienza del sistema di isolamento può essere apprezzata esaminando la riduzione del massimo taglio trasmesso dagli isolatori alle pile, che è passato da 60.5 a 25.7 t, con una riduzione del 58 %.

4.2 Ripristino strutturale

Gli interventi di ripristino eseguiti possono essere così sintetizzati:

1. Ripristino dei pulvini e dei tratti ammalorati del fusto di alcune pile, mediante rimozione del copriferro, sabbatura e passivazione delle barre di armatura interessate da ossidazione e ricostruzione di copriferro con malte fibro-rinforzate.
2. Ripristino dei baggioli con allargamento delle dimensioni in pianta da 60x80 cm a 100x120 cm, previa demolizione delle parti ammalorate, passivazione delle armature ossidate e inserimento di barre di armatura d'ancoraggio sulle pareti dei pulvini e di staffe perimetrali di confinamento. L'allargamento dei baggioli è stato realizzato con un struttura metallica perimetrale in grado di esercitare un'azione di confinamento del calcestruzzo e nel contempo realizzare il collegamento dei perni dei nuovi isolatori.
3. Sostituzione dei giunti con aumento del varco.
4. Ripristino superficiale dell'intradosso delle solette in prossimità dei giunti e nei campi

interessati da degrado mediante rimozione del copriferro, sabbiatura e passivazione delle barre e ricostruzione di copriferro con malte fibro-rinforzate.

La posa in opera dei nuovi dispositivi d'appoggio ha determinato un innalzamento della livelletta stradale di circa 70 mm.

5 CONCLUSIONI

Extraordinary maintenance works are a necessary activity to stop the structural degradation and extend the service life of structures.

In prestressed concrete bridges, these works often include the replacement of the existing bearings, which is complex and expensive. Therefore, where possible, it is advisable to improve the seismic behavior of the structure by installing isolation devices in place of the existing bearings.

On the Caldarola Viaduct, in addition to the structural deterioration due to road platform waters, there were damages caused by recent earthquakes, which suggested a seismic retrofitting, achieved through lead rubber isolators coupled with nonlinear elastic devices.

The works lasted 4 months and were carried out with reduced road traffic, thus limiting inconvenience to road users.

I lavori di manutenzione straordinaria rappresentano un'operazione necessaria per interrompere l'avanzamento del degrado strutturale e prolungare la vita utile delle strutture.

Nei ponti in c.a.p. spesso questi lavori comprendono la sostituzione degli appoggi esistenti, che risulta complessa e onerosa. Pertanto, laddove possibile, è consigliabile sfruttare questa esigenza per migliorare il comportamento sismico della struttura installando dispositivi d'isolamento al posto degli appoggi esistenti.

Sul Viadotto Caldarola, oltre al degrado strutturale dovuto al cattivo funzionamento del sistema di raccolta e allontanamento delle acque da piattaforma, erano presenti danni prodotti dai recenti eventi sismici, che hanno consigliato un miglioramento sismico dell'opera, conseguito attraverso isolatori in neoprene armato con nucleo in piombo accoppiati a dispositivi elastici non lineari anti-martellamento.

I lavori sono durati 4 mesi e sono stati effettuati in presenza di traffico ridotto, limitando così gli inconvenienti agli utenti stradali.

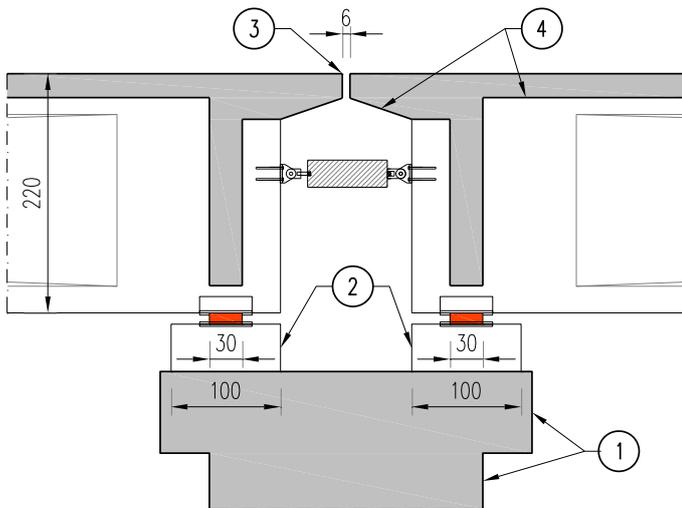


Figure 21. Structural repair works / Interventi di ripristino strutturale.

Particolare attenzione hanno richiesto le operazioni di sollevamento degli impalcati, effettuato con martinetti extra piatti posizionati davanti agli appoggi delle travi ed ulteriori martinetti posizionati sotto i traversi. Gli interventi di ripristino dei baggioli sono stati eseguiti con gli impalcati su supporti temporanei posizionati sotto i traversi.

Sono stati utilizzati 22 martinetti da 100 t a fronte di un peso di circa 1000 t.

Il traffico stradale sul viadotto è stato interdetto solamente durante le fasi di sollevamento e abbassamento, mentre durante le fasi di appoggio su supporti provvisori è stato limitato alle due corsie centrali.