

Analysis and rehabilitation of the Generale Franco Romano viaduct

Verifica Strutturale e miglioramento sismico del viadotto Generale Franco Romano

L. Lafranconi¹, G. Massone¹, G. Pasqualato¹

¹ *Sineco S.p.A.*

M. Deiana

Autostrada Torino - Savona S.p.A.

ABSTRACT: The aging of the structures, together with the new seismic design guidelines, brings the Autostrada Torino Savona S.p.A. to investigate and control with more details the viaducts and bridges along the highway. One of the peculiarity of this motorway is that was built in three different stages, from 1960 to 2000, and it crosses a very rough path with different climate from mountains to sea area. In this paper is presented the seismic analysis, structure vulnerability and the design solution applied to the structural rehabilitation of the one of the most important viaduct: Generale Franco Romano, located near Fossano in Cuneo district. The first part of the paper describes in details the innovative way of construction and unusually structure solution for those year together with the studies of the seismic risk assessment applied. The critical situations detected in the dynamic analysis, in particular to the connection between pier/deck and longitudinal beams close to the expansion joints, are presented. The second part describes the strengthening design solution defined to solve the problems together the cost/benefits studies that are performed to define the best seismic retrofitting in according with economic budget and out of service of the highway during the work.

L'introduzione di nuove normative tecniche relative alla progettazione in zone soggette ad evento sismico ed il trascorrere degli anni delle strutture in calcestruzzo, ha portato la società Autostrada Torino Savona S.p.A. ad investigare e controllare con maggiori approfondimenti i viadotti e i ponti lungo la propria rete autostradale. L'autostrada Torino Savona risulta essere una delle più particolari reti stradali visti i percorsi tortuosi attraversati, passando dalle montagne al mare, e le differenti condizioni climatiche che si incontrano percorrendo tale tracciato. In questo articolo viene presentata la verifica sismica effettuata, l'analisi strutturale e la soluzione progettuale adottata per il miglioramento prestazionale di uno dei viadotti più importanti dell'autostrada: il viadotto Generale Franco Romano, situato nei comuni di Fossano e Salmour (CN). La prima parte dell'articolo descrive nel dettaglio l'innovativo metodo di costruzione attuato e l'inusuale soluzione strutturale adottata per quegli anni, l'analisi di vulnerabilità sismica effettuata e le criticità emerse dall'analisi dinamica soffermandosi in particolare sulla connessione iperstatica tra le pile e l'impalcato e le problematiche riscontrate nelle zone giunto sia in senso trasversale sia longitudinale. La seconda parte dell'articolo descrive il progetto di rinforzo redatto per ottimizzare i problemi riscontrati in fase di analisi strutturale definendo così il miglior metodo di intervento di miglioramento sismico in accordo con il budget economico e la chiusura del percorso autostradale per la durata dei lavori.

KEYWORDS: bridge, highway, structural analysis, strengthening design / ponte, autostrada, analisi strutturale, progetto di rinforzo

1 INTRODUZIONE

Il viadotto fu progettato nel 1968 dall'illustre ingegnere Silvano Zorzi (1921-1994). Oltrepassa con i suoi 2317 m di lunghezza il fiume Stura di Demonte e si sviluppa in altezza oltre gli 85 m dal piano campagna. La conformazione strutturale presenta una scelta ardua per la conformazione ed il metodo realizzativo considerando l'epoca di costruzione.

Il particolare schema statico prevede il susseguirsi di telai zoppi in c.a. precompresso per un totale di 52 campate composte da impalcato di 45 m di lunghezza ciascuna e 12.3 m di larghezza.

L'impalcato è costituito da due nervature verticali in c.a.p. con spessore variabile tra 60 e 70 cm poste ad un interasse trasversale di 6.30 m. Su tali nervature si trova la soletta anch'essa in c.a.p. che presenta spessore minimo sullo sbalzo di 20 cm e massimo di 30 cm in mezzera alla sezione, ottenendo pertanto un profilo a schiena d'asino. L'altezza complessiva della sezione (misurata in corrispondenza dell'asse impalcato) risulta pari a circa 2.55 m per tutto il tratto centrale della campata, mentre ad una distanza di 4.0 m dalle pile si ha una zona di raccordo verticale che porta l'altezza complessiva a 3.55 m.



Figure 1: Generale Franco Romano panoramic view / panoramica del viadotto Generale Franco Romano

Longitudinalmente lo schema strutturale prevede le nervature dell'impalcato rigidamente connesse alle pile e, ad 11.25 m dall'asse pila di ciascuna campata, la presenza di una sella Gerber impiegata nel procedimento costruttivo dell'opera stessa. È da notare che alcune di queste selle sono state solidarizzate mediante precompressione e getto di sutura in modo che vengano a formarsi dei telai iperstatici sequenziali. Sulle selle non connesse sono presenti appoggi in neoprene armato e giunto di dilatazione. Dallo schema strutturale risulta pertanto una sola sella di dilatazione per campata, ad eccezione della campata centrale del viadotto Generale Franco Romano che, per esigenze costruttive, ha una campata di raccordo isostatica con luce appoggi pari a 22.5 m, supportata da 2 selle Gerber.

Le pile presentano una sezione scatolare con lati di 6.8 m e 3.0 m rispettivamente in direzione trasversale e longitudinale dell'impalcato; lo spessore delle pareti risulta rispettivamente pari a 25 e 50 cm. L'altezza dei fusti varia fra un minimo di 11.70 m ed un massimo di 77.20 m. Tutte le pile presentano in sommità un pulvino pieno sormontato da due setti verticali che terminano nelle nervature dell'impalcato realizzando così un incastro mutuo tra l'impalcato e le pile stesse.

È altresì da notare che originariamente sull'impalcato dei viadotti vi era il doppio senso di marcia mentre, a seguito dell'ampliamento autostradale che ha comportato la realizzazione di un altro viadotto affiancato a quelli in oggetto, il traffico è diventato a senso unico nella direzione Torino.

L'ambiente ha caratteristiche climatologiche decisamente avverse e con escursioni termiche particolarmente ampie, variando dai +35° C estivi ai -15° C invernali, come punte massime estreme ma non eccezionali: tale fatto comporta elevate salature invernali, con le conseguenti azioni aggressive che si generano sulle strutture in cemento armato.

2 ANALISI STRUTTURALE

Particolare di fondamentale importanza da sottolineare, visto l'anno di realizzazione del progetto, la struttura non era stata dimensionata considerando i carichi dovuti ad un eventuale evento sismico. Il par-

ticolare schema strutturale di impalcato costituito da due nervature verticali che corrono parallele longitudinalmente senza connessioni trasversali in campata, aveva però richiesto l'adattamento del limite di velocità, da 130 Km/h a 100 Km/h, riducendo così gli sforzi originati dai carichi di traffico nelle zone di giunto.

L'introduzione di nuove normative tecniche relative alla progettazione in zone soggette ad evento sismico ed il trascorrere degli anni delle strutture in calcestruzzo, ha portato la società Autostrada Torino Savona S.p.A. ad investigare e controllare con maggiori approfondimenti i viadotti e i ponti lungo la propria rete autostradale.

Dalle analisi effettuate, le pile, le fondazioni e le spalle sono comunque risultate adeguate a sopportare l'azione sismica.

Per ottenere il miglior adeguamento sismico, si ritiene importante definire il concetto di valutazione di rischio sismico. Il rischio sismico può essere definito come: *"...la misura dei danni attesi in un dato intervallo di tempo, in base al tipo di sismicità, di resistenza delle costruzioni e di antropizzazione (natura, qualità e quantità dei beni esposti)."* (GNDT-CNR group 1999).

Il rischio sismico è determinato dalla combinazione della pericolosità, della vulnerabilità e dell'esposizione:

- la pericolosità viene definita come la probabilità che in una data area ed in un certo intervallo di tempo si verifichi un terremoto che superi una soglia di intensità;
- la vulnerabilità sismica è la propensione di una struttura a subire un danno di un determinato livello, a fronte di un evento sismico di una data intensità;
- esposizione, compresi aspetti sociali ed economici, del luogo in cui viene realizzata l'opera.

Ottenute tutte le informazioni riguardanti la struttura è opportuno definire e realizzare un modello matematico agli elementi finiti. La scelta della tipologia del modello di calcolo è volta a riprodurre nel modo più rappresentativo possibile il funzionamento strutturale dell'opera, cercando di mantenere un'adeguata facilità di accesso e gestione degli output delle analisi numeriche.

Al fine di determinare le effettive sollecitazioni di verifica per le parti strutturali del viadotto in oggetto, sono state eseguite diverse tipologie di analisi in funzione dei carichi agenti e degli elementi sollecitati. In generale sono state realizzate:

- analisi statiche lineari per determinare le sollecitazioni strutturali causate dai carichi gravitazionali (p.e. carichi strutturali);
- analisi dinamiche lineari e non lineari per determinare le sollecitazioni strutturali causate dall'azione sismica. Come prescritto nel capitolo §7.3.4.2 delle NTC, è stata eseguita un'analisi modale con spettro di risposta di

progetto al fine di controllare eventuali differenze in termini di sollecitazioni globali.

E' stata effettuata infine la verifica di ogni elemento strutturale con approccio semi-probabilistico agli stati limite. In particolare:

- giunti di impalcato: spostamento relativo longitudinale e trasversale
- travi e degli elementi di impalcato: resistenza e deformazione;
- appoggi: resistenza e deformazione;
- pile: momento e taglio alla base delle pile;
- fondazioni;
- spalle.

2.1 Indagini sullo stato di fatto, analisi e modello strutturale

In base a quanto riportato dalle Norme Tecniche per le Costruzioni del 2008 con relative Istruzioni per l'applicazione del 2009, per i viadotti o ponti esistenti è fondamentale la conoscenza della struttura in termini di geometria e dettagli costruttivi e dei materiali che la costituiscono (cfr. cap. 8 e cap. C8).

Per la acquisizione dei dati necessari sono state considerate le seguenti fonti:

- gli elaborati grafici costruttivi e di contabilità e la documentazione dell'epoca di costruzione;
- la documentazione relativa a interventi successivi alla costruzione del viadotto;
- i risultati delle ispezioni annuali svolte dal personale tecnico Sineco che per conto della Concessionaria che monitora lo stato di conservazione dei differenti elementi strutturali costituenti le opere mediante ispezione visiva, battute sclerometriche e prove di carbonatazione. In particolare l'esame visivo permette di rilevare la presenza eventuale di fessurazioni e lesioni, barre di armature scoperte, macchie di ruggine, delaminazioni superficiali di calcestruzzo, distacchi, permeazione e rigonfiamenti ecc..
- i risultati delle verifiche e degli accertamenti geometrici, strutturali e funzionali svolti specificatamente per questo progetto al fine di definire il livello di conoscenza dell'opera.

In base alla documentazione raccolta è stato possibile definire il livello di conoscenza, ed in particolare:

- la geometria degli elementi strutturali;
- le proprietà meccaniche dei materiali;
- la classificazione del terreno.

Particolare attenzione è rivolta alla scelta della tipologia del Modello ad elementi finiti di calcolo volta a riprodurre nel modo più rappresentativo possibile il funzionamento strutturale dell'opera, cercando di mantenere un'adeguata facilità di accesso e gestione degli output delle analisi numeriche. Per questo motivo, in generale, si ricorre a soli elementi di tipo "beam".

Gli impalcati del viadotto sono modellati tramite l'utilizzo di due elementi, "beam" e "plate".

Il collegamento tra l'impalcato e le pile è stato realizzato inserendo elementi di tipo "beam" in grado di riprodurre il comportamento della zona di transizione rastremata in calcestruzzo armato. Inoltre, i vari elementi sono collegati tra di loro da link rigidi che permettono di rispettare le effettive eccentricità degli elementi strutturali.

Per quanto riguarda invece le zone di appoggio:

- il contatto verticale e il ritegno in direzione longitudinale tra due impalcati contigui è garantito da dispositivi di appoggio in gomma. Tali connessioni vengono modellate con elementi di altezza $h = 15$ cm in grado di trasferire l'azione assiale e le azioni di taglio dirette longitudinalmente all'asse del viadotto. Le inerzie proprie dell'elemento sono state determinate in modo da garantire una rigidezza effettiva k dell'appoggio pari a 6.00 kN/mm;
- sono stati inseriti nel modello degli elementi di tipo "contact" di lunghezza $l = 15$ mm, (lunghezza del varco di giunto) per poter valutare l'entità dell'eventuale fenomeno di martellamento. Questi elementi sono in grado di sviluppare una specifica rigidezza assiale solo nel momento in cui lo spostamento (in avvicinamento) relativo tra i due punti collegati è superiore alla lunghezza dell'elemento stesso, cioè quando si verifica la chiusura del varco di giunto;
- le azioni di taglio dirette trasversalmente all'asse del viadotto sono assorbite dall'elemento che modella il ritegno orizzontale posizionato alla quota della soletta. In mezzeria di tale elemento, inoltre, è posta una cerniera strutturale in modo tale da non permettere la trasmissione dell'azione flettente.

Infine, i vincoli applicati alla base delle pile, tenuto conto dei sondaggi geognostici riportati negli elaborati di progetto, della tipologia di fondazione adottata e delle strutture di sottofondazione realizzate, è ipotizzabile un comportamento "rigido" del sistema fondazione. Di conseguenza nella modellazione si adottano vincoli rigidi di incastro.

Si riporta nell'immagine successiva un dettaglio della modellazione agli elementi finiti, nel quale viene rappresentato il sistema pila – impalcato con il dettaglio della sella gerber.

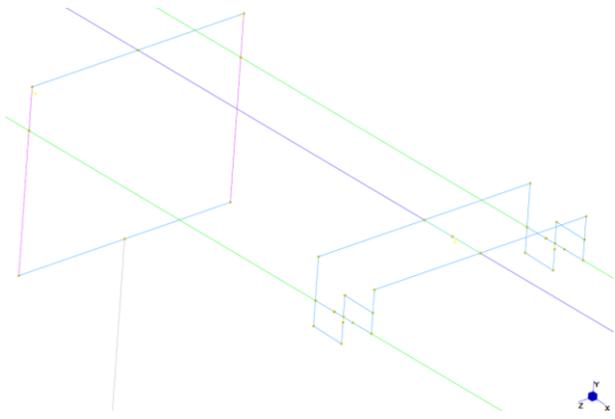


Figure 2. F.E.M. Model/Modello agli elementi finiti.

2.2 Principali risultati ottenuti dall'analisi di vulnerabilità sismica

Come Descritto in precedenza la struttura fu progettata senza considerare i carichi dovuti ad un eventuale evento sismico, ma dalle analisi effettuate, le pile, le fondazioni e le spalle sono comunque risultate adeguate a sopportare l'azione sismica.

Dalle analisi effettuate, quindi, risulta che le maggiori problematiche strutturali sono localizzati nella parte alta dell'opera; in particolare la connessione pila impalcato e la stabilità delle travi in prossimità dei giunti strutturali.

Allo stato di fatto, in direzione trasversale al viadotto, il nodo pila-impalcato si presenta costituito da due setti indipendenti collegati superiormente dalla sola soletta ed incastrati inferiormente nel fusto della pila rettangolare cava.

Per la conformazione degli elementi strutturali, l'intera azione orizzontale trasversale si scarica quindi sui due setti verticali provocando una forte sollecitazione flessionale.

In base alle analisi sismiche svolte, l'azione in testa alla pila è pari a circa 1800 kN. Questa da luogo ad un taglio di 900 kN ed un momento flettente pari a 4000 kNm su ciascun setto, a fronte di un momento resistente dell'ordine di 3000 kNm considerando un'azione di compressione di 4800 kN, come rappresentato in figura.

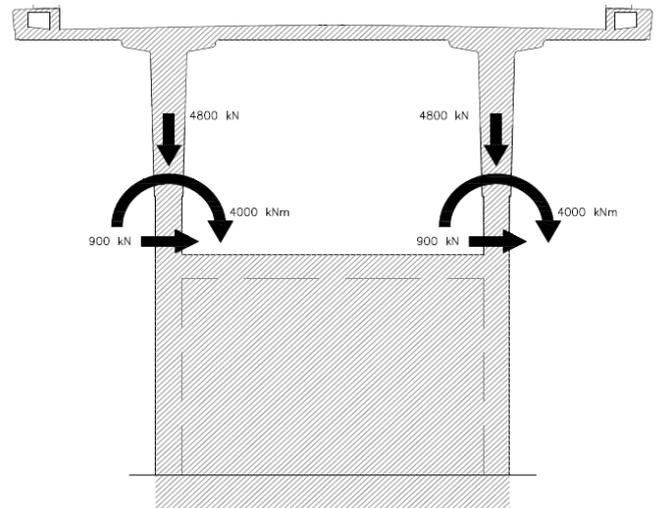


Figure 3. Particular of the connection pier/deck (1/2)/particolare connessione pila impalcato (1/2).



Figure 4. Particular of the connection pier/deck (2/2)/particolare connessione pila impalcato (2/2).

In direzione trasversale il viadotto presenta due travi isolate che corrono longitudinalmente senza alcuna connessione rigida trasversale. Questa particolare scelta strutturale provoca, sotto evento sismico, lo spostamento relativo tra le travi di due impalcati adiacenti con conseguente "unseating" dalla base di appoggio. Si riporta, nella figura 3, una suscettiva vista dell'impalcato, ove si evince il particolare schema strutturale, che non presenta traversi intermedi di impalcato lungo tutto lo sviluppo del viadotto. Apprezzabile la struttura voluta dal progettista che sfortunatamente non ben si colloca con le richieste di resistenza agli sforzi sismici.

3 MIGLIORAMENTO STRUTTURALE

In accordo con l'analisi statica e quella sismica, è stato redatto un progetto al fine di migliorare le caratteristiche funzionali dell'opera, con l'obiettivo di

non modificare sostanzialmente lo spirito progettuale originario.

Gli interventi per il miglioramento strutturale sono suddivisi in due categorie di lavorazione:

1. ADEGUAMENTO SISMICO

- riqualifica del nodo pila impalcato;
- rinforzo strutturale dell'impalcato in prossimità dei giunti. (La riqualifica strutturale permetterà di rimuovere il limite di velocità attuale e riportarlo a quello standard autostradale).

2. LAVORI DI MANUTENZIONE

- rinforzo strutturale delle selle gerber;
- sostituzione dei giunti strutturali;
- sostituzione degli appoggi;
- nuovo sistema di raccolta acque di impalcato.

3.1 Miglioramento sismico

a. Rinforzo del nodo pila-impalcato

Al fine quindi di adeguare il nodo pila-impalcato alle sollecitazioni sismiche trasversali, si interviene realizzando due setti in corrispondenza delle pareti trasversali della pila, in grado di ricevere nel loro piano l'azione sismica e di riportarla al fusto.

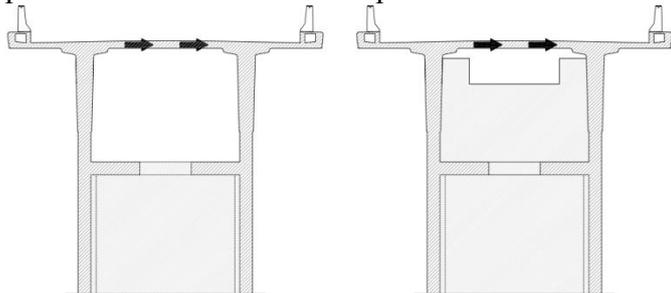


Figura 5: Retrofit design solution)/soluzione di rinforzo adottata.

La rappresentazione con un modello tirante-puntone dell'intervento è riportata nello schema seguente. Sono indicati sia il comportamento "locale", relativo alle mensole di attacco all'impalcato, sia il comportamento globale, relativo all'intero corpo della pila.

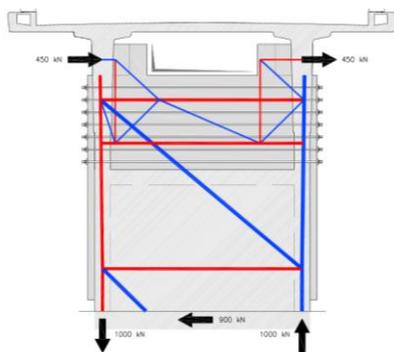


Figura 6: Dynamic system with seismic actions /rappresentazione del sistema dinamico con le azioni sismiche.

La resistenza di progetto del nodo pila-impalcato risulta superiore alla sollecitazione, risulta quindi verificato.

b. Rinforzo dell' impalcato in prossimità delle aree di giunto

In prossimità del giunto tra gli impalcato, in corrispondenza delle selle Gerber, è prevista la realizzazione di traversi metallici all'intradosso delle solette con il duplice scopo di:

- rinforzare la soletta in corrispondenza del giunto, irrigidendola e limitando così gli effetti dinamici tipici delle zone di giunto (si veda relazione statica);
- accogliere gli elementi strutturali deputati al trasferimento delle azioni sismiche orizzontali tra un impalcato e l'altro (ritegni trasversali).

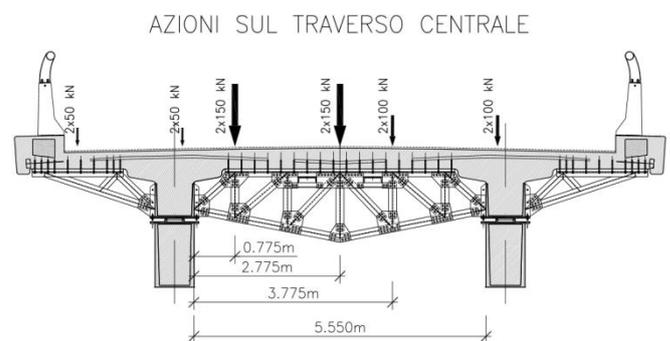


Figura 7: Particular of metal transversal beam)/particolare del traverso metallico.

Dall'analisi sismica risulta che il taglio massimo orizzontale che si trasferisce da un impalcato all'altro in corrispondenza del giunto in condizioni sismiche è pari a circa 600 kN, mentre il momento massimo risulta essere 150 kNm. E' prevista, in progetto, una coppia di travi UNP350 disposta a cavallo del giunto, con asse parallelo all'asse del viadotto, e vincolata su ogni impalcato alla soletta per rispondere alle sollecitazioni create.

La resistenza di progetto dei profili UNP350 è:

$$VRd = 994 \text{ kN} > 300 \text{ kN}$$

$$MRd = 248 \text{ kNm} > 150 \text{ kNm}$$

E' rivolta particolare attenzione al dimensionamento degli elementi metallici al fine di poterli fissare in fase di esecuzione senza complicazioni.

La struttura di progetto risulta adeguata a sostenere anche le azioni risultanti dai carichi derivanti dal traffico veicolare, consentendo la così l'adattamento del limite di velocità autostradale.



Figure 8: Particular of cantilever girder)/particolare sella gerber.

3.2 Interventi di manutenzione

In concomitanza con gli interventi di miglioramento sismico, verranno realizzati lavori di manutenzione allo scopo di riqualificare i calcestruzzi ammalorati e garantire una maggiore durabilità dell'opera..

a. Rinforzo dell'impalcato in prossimità delle aree di giunto

La peculiarità dello schema strutturale dell'opera che vede il posizionamento delle selle gerber a una distanza di 11.25 m rispetto all'asse delle pile, ha richiesto interventi di manutenzione al fine di ripristinare i calcestruzzi ammalorati e le barre di armatura esposte ormai corrose, come riportato nella figura seguente.



Figure 9: Damage areas close to cantilever girder /ammaloramento delle selle gerber.

Il progetto prevede di reintegrare l'armatura esistente, in parte non più totalmente efficace a causa della corrosione, aggiungendo piastre metalliche esterne, rese collaboranti alla matrice cementizia mediante barre trasversali a serraggio dei vari elementi. Tali piastre avranno la duplice funzione di rinforzare le selle gerber e fungere come base di ancoraggio del nuovo traverso metallico.

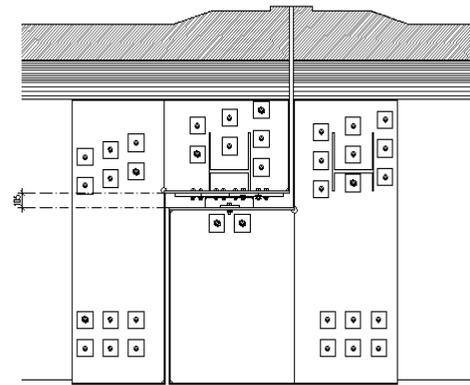
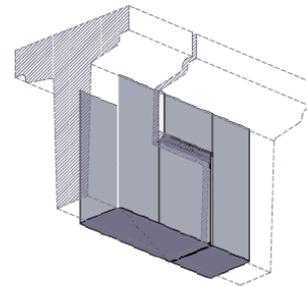


Figure 10: Particular of positions of metal slabs /posizionamento delle piastre metalliche



b. Sostituzione dei giunti strutturali

I varchi esistenti tra le solette degli impalcati contigui presentano uno spessore variabile, si andrà quindi a ripristinare un varco minimo di 3 cm tramite idroscarifica e rimozione del giunto esistente.

Si ammette, nel caso di evento sismico eccezionale, il fenomeno del battimento; a tal fine verranno installati tamponi longitudinali di fine corsa, composti da un unico strato di neoprene di dimensioni 600x500 e spessore 10 mm.

I giunti di nuova fornitura sono del tipo sottopavimentazione a tampone viscoelastico da realizzarsi mediante tagli trasversali, asportazione della pavimentazione e pulizia, impermeabilizzazione di tutte le pareti, posa della scossalina, fissaggio del giunto alle strutture e riempimento con conglomerato bituminoso viscoelastico.

Particolare cura dovrà essere posta per assicurare la continuità dell'impermeabilizzazione della soletta sul giunto e il corretto allontanamento delle acque percolanti attraverso il giunto stesso in modo tale da evitare ogni e qualsiasi stillicidio, anche nel tratto interessato dai cordoli, sulle strutture sottostanti.

c. Sostituzione degli apparecchi di appoggio

Contestualmente al rinforzo delle travi, per alcuni giunti a sella gerber verranno sostituiti gli appoggi in

gomma armata esistenti per poter installare appoggi mobili a disco elastomerico confinato.

La sostituzione puntuale degli appoggi esistenti con appoggi mobili risulta necessaria per ridurre le azioni orizzontali longitudinali tra pile adiacenti di altezza significativamente differente.

Per permettere le attività di sostituzione degli appoggi, sarà necessario il sollevamento dell'impalcato per mezzo di martinetti idraulici ed apposite carpenterie metalliche per la presa in carico temporanea degli impalcati.

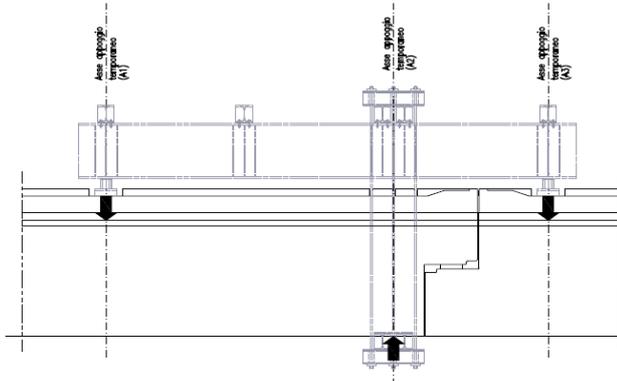


Figure 11: Steel framework for the lifting of the deck/struttura in acciaio per il sollevamento dell'impalcato.

d. nuovo sistema di raccolta acque di impalcato

Al fine di prevenire ammaloramenti dei calcestruzzi strutturali soggetti a dilavamento, è prevista, in progetto, la posa in opera di nuove bocchette di raccolta in prossimità del cordolo laterale per il corretto allontanamento delle acque di impalcato.

I raccordi con le bocchette di raccolta saranno realizzati con tubazione in PVC, saldamente ancorata al cordolo mediante staffe in acciaio inox e tasselli ad espansione metallici inox, secondo quanto meglio specificato negli elaborati grafici e nelle norme tecniche.

La riqualificazione idraulica di sottoimpalcato consiste nella raccolta delle tubazioni verticali degli scarichi da impalcato con tubazione sub orizzontale e scarico a terra in prossimità di alcune pile e con convogliamento mediante canalette prefabbricate a ricettori esistenti ovvero mediante tubazioni interrate a vasche drenanti poste longitudinalmente al viadotto. La scelta di realizzare vasche drenanti per smaltire le acque della carreggiata è motivata dalla distanza delle discenderie stesse da un idoneo recettore idraulico.

4 CANTIERIZZAZIONE ED INTERFERENZE

Le lavorazioni sottoimpalcato, sulle selle gerber e su tutti i nodi pila e impalcato, saranno effettuate per mezzo di ponteggi sospesi e piattaforme auto sollevanti per il raggiungimento delle quote di lavorazio-

ne dal piano campagna, non interessando la normale viabilità autostradale.

Tutte le lavorazioni d'impalcato saranno effettuate in chiusura della carreggiata autostradale per un periodo ridotto di tempo, come specificato nel corono programma di progetto, in due turni da 60 gg ciascuno.

Tutte le attività previste verranno svolte secondo la sequenza temporale indicata nel cronoprogramma allegato al progetto, per una durata complessiva dei lavori stimata in 670 giorni naturali e consecutivi, di cui 120 gg per lavori in chiusura di carreggiata.

5 CONCLUSIONI

The paper outlines the methodology adopted to analyze: structural vulnerability, seismic risk assessment and retrofit design strategies of existing viaducts.

The case of viaduct Generale Franco Romano has been presented.

The first part of the paper is focused on the activities of surveys and structural analysis. The second part carry out the analyses of the viaduct at the existing configuration where it was underlined the lack of:

- the connection between pier-deck in a transverse direction;
- the transversal stiffness close to the expansion joints;
- the bearings and the expansion joints gap.

Otherwise it was described the good original design of the piers and foundations.

The last part describes the measures adopted to improve the performance to seismic action increasing the global structural safety.

The principal rehab application are focus to:

- pier connection;
- the girder structure;
- expansion joint gap;
- substitution of bearings.

The retrofit structure design have showed that the viaduct will be now able to sustain the seismic actions and to remove also all the static existing limit.

The project analyzes both the structural design and construction stages, in particular to the traffic diversion, and it is actually ready to be executed.

L' articolo presenta le metodologie adottate per analizzare la vulnerabilità strutturale, il comportamento sismico dell'opera e la conseguente strategia studiata per il miglioramento delle caratteristiche tecniche del viadotto Generale Franco Romano.

La prima parte della memoria è focalizzata sulle attività di sorveglianza e sulla metodologia di analisi strutturale effettuata, mentre nella seconda parte vengono presentate le analisi svolte sullo stato attuale dell' opera che sottolinea carenze strutturali:

- del nodo pila-impalcato;
- nella direzione trasversale in prossimità dei giunti strutturali;
- degli apparecchi di appoggio e dei giunti strutturali.

Le analisi svolte hanno inoltre evidenziato il buono stato di conservazione di pile e fondazioni.

Nella parte conclusiva del presente elaborato sono descritti gli interventi di miglioramento previsti al fine di incrementare il livello prestazionale della struttura nei confronti di eventi sismici.

I principali interventi interessano:

- nodo pila impalcato;
- gli elementi strutturali di impalcato;
- il varco di giunto;
- gli apparecchi di appoggio.

Le analisi e le verifiche sulle strutture a seguito degli interventi previsti hanno mostrato che il viadotto soddisfa tutte le verifiche fino ad un sisma di intensità corrispondente a un tempo di ritorno previsto dalla normativa vigente per opere di questa importanza. Si conclude pertanto che l'opera, a seguito degli interventi previsti, risulta adeguata alle prescrizioni della normativa vigente per quanto riguarda la sicurezza nei confronti di eventi sismici, rendendo pertanto possibile eliminare il vincolo di velocità.

Il progetto ha rispettato gli input richiesti dal committente in termini di:

- costi;
- cronoprogramma dei lavori;
- limitazioni d'esercizio della carreggiata.

RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia l'Ing. Pier Giorgio Malerba, professore del Politecnico di Milano, consulente strutturale della Sineco S.p.A., per l'apporto tecnico e la disponibilità.

REFERENCES

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti 2008. *Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni, DM 14 Gennaio 2008*. Italy.

Circolare del Dipartimento della Protezione Civile del 21 ottobre 2003

Circolare del Dipartimento della Protezione Civile del 21 aprile 2010

UNI EN 1998-1 2005. *Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance - Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings*.

prEN 1998-2, 2005. *Eurocode 8 - Design of structures for earthquake resistance -Part 2: Bridges*.

Wai-Fan Chen, Lian Duan 2003. *Bridge Engineering Seismic Design*. CRC Press.

Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, *Bozza di Istruzioni per l'Applicazione delle Norme Tecniche per le Costruzioni*.

Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n°3274 del 20.03.03: *Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*.

Eurocode 1: Actions on structures – Part1-5: General actions – Thermal actions.

Circolare 23 Gennaio 1965, n.1398 *Norme Tecniche per l'impiego delle strutture in cemento armato precompresso*.

Circolare 14 Febbraio 1962, n.384 *Norme relative ai carichi per il calcolo dei ponti stradali*.

UNI EN 1337-3:2005 *Appoggi strutturali – Parte 3: Appoggi elastomerici*

INCO Ingegneri Consulenti