

The works of the rebirth of the Polcevera helical ramp in Genoa

Interventi per la rinascita della rampa elicoidale del Polcevera a Genova

S. G. Morano¹

¹ *Department of Civil and Environmental Engineering, Università degli Studi di Firenze, Florence, Italy*

ABSTRACT: The Elicoidale ramp is the only remaining part of the original Polcevera Viaduct after the demolition in 2019. The paper describes the deterioration it suffered and the complex of works carried out between 2019 and 2020 to remedy it and to completely retrofit the viaduct to current regulations also for seismic actions. Retrofitting for horizontal actions was also achieved by changing the static scheme and making some half-joints continuous. / La rampa Elicoidale è l'unica parte rimasta dell'originale Viadotto Polcevera dopo la demolizione del 2019. La memoria descrive gli ammaloramenti di cui soffriva e il complesso degli interventi eseguiti tra il 2019 e il 2020 per porvi rimedio e per adeguare completamente l'opera alle attuali normative anche per le azioni sismiche. L'adeguamento per le azioni orizzontali è stato ottenuto anche con la modifica dello schema statico e rendendo continue alcune selle Gerber.

KEYWORDS: Morandi; seismic retrofitting; half-joint; R.C. bridge retrofitting / Morandi; adeguamento sismico; selle Gerber; adeguamento ponti C.A.

1 DESCRIZIONE DELL'OPERA ORIGINALE

La rampa elicoidale di svincolo tra A10/A7 in dir. Milano, a Genova, è stata progettata dall'Ing. Riccardo Morandi e realizzata dalla Società Condotte d'Acqua tra il 1963 e il 1967, contestualmente al viadotto "Polcevera". L'opera è interamente in calcestruzzo armato gettato in opera e si sviluppa planimetricamente in curva con raggio 45 m, per quasi 175 m nel tratto iniziale, poi in rettilineo per 89 m e quindi di nuovo in curva, con curvatura opposta a quella iniziale, per altri 44 m (sviluppo complessivo 308 m). L'impalcato è costituito da due cassoni monocellulari con anime di spessore variabile da 0,50 m in appoggio a 0,20 m, soletta di spessore 0,13 m e controsoletta di spessore 0,12 m. La larghezza complessiva dell'impalcato è di 9,5 m dei quali, originariamente, 7,5 m carrabili. L'impalcato è continuo a tratti, intervallato da cinque giunti interni realizzati con selle Gerber. Tra la spalla (SP18) e la pila P26 sono presenti 8 campate di 25m di luce con giunti gerber in corrispondenza delle pile P22 e P26. Tra le pile P27-P28 e P29-P30 sono presenti cantilever, mentre due campate tampone collegano P26 con lo sbalzo di P27 e completano la campata P28-P29 tra gli sbalzi delle cantilever.

La quasi totalità delle pile è costituita da due fusti monolitici con l'impalcato. Le pile più alte raggiungono quasi i 40 m e presentano un cavalletto alla base.



Figure 1. Aerial view of the helical ramp under construction / Vista aerea della rampa elicoidale in costruzione

Nel corso degli anni l'opera aveva subito alcuni interventi quali l'installazione di barriere di sicurezza in calcestruzzo e di barriere antirumore, il rifacimento dei cordoli con allargamento a 8,5 m della parte carrabile con posa di pavimentazione di spessore pari a più del doppio di quella originale, la realizzazione, per le pile, di una camicia protettiva in malta senza rinforzo di armatura. Tutti questi interventi avevano causato un incremento dei carichi verticali e, anche, delle azioni orizzontali per l'aumento della superficie esposta al vento.

2 CAMPAGNA DI INDAGINE E CRITICITÀ

Con la costruzione del nuovo Ponte San Giorgio, in sostituzione del Viadotto Polcevera quasi interamente demolito, la rampa Elicoidale sarebbe ritornata in esercizio, costituendo una porzione vecchia di oltre 50 anni a completamento di un'opera interamente nuova. Il gestore, Autostrade per l'Italia (ASPI), temeva che l'affidabilità dell'opera nuova potesse essere vanificata dall'adiacente opera esistente, che avrebbe potuto richiedere nel tempo numerosi e complessi interventi di manutenzione, e affidò allo scrivente una approfondita valutazione di sicurezza.

Le attività iniziarono con un'articolata campagna di indagine per valutare lo stato di conservazione dell'opera e indagarne i dettagli e le caratteristiche dei materiali e ottenere il Livello di Conoscenza LC3, il più elevato ai sensi delle vigenti normative nazionali. Si disponeva di parte del progetto originale, che è stato integrato con un rilievo laser scanner completo dell'opera. Sono state eseguite indagini visive ravvicinate, carotaggi passanti in controsoletta in corrispondenza delle fessure e indagini con microcamera in alcuni dei cassoni non ispezionabili. Inoltre, per le armature, sono stati eseguiti rilievi magnetometrici, saggi con rimozione del copriferro e prelievo di campioni con prove di trazione. Per il calcestruzzo si sono effettuati carotaggi con prove di schiacciamento e misura di carbonatazione e prove pull-out.

A fronte di uno stato apparente generalmente soddisfacente, la campagna di indagine ha evidenziato diverse criticità:

- Stato fessurativo delle controsolette;
- Degrado del c.a. con cls carbonatato e ossidazioni e principi di corrosione delle armature;
- Difficoltà a controllare lo stato interno dei cassoni, in maggioranza non accessibili;
- Difficoltà ad individuare le effettive condizioni dei dispositivi di vincolo;
- Difficoltà ad individuare le effettive condizioni delle selle Gerber;



Figure 2. Cracks in the reinforced concrete sub-slab / Fessurazioni nella controsoletta in c.a..

Successivamente sono state condotte le verifiche di sicurezza, sia impiegando i carichi e i criteri previsti dalla normativa vigente all'epoca della costruzione, sia quelli previsti dalle attuali NTC2018. Si è osservato che le modifiche introdotte nel corso del tempo avevano eroso i modesti margini di sicurezza originariamente presenti. In particolare sono emerse carenze nelle armature delle controsolette dei cassoni impegnate per flessione e torsione, prevalentemente nei tratti in curva planimetrica, in buon accordo con gli stati fessurativi riscontrati all'intradosso.

Inoltre si è evidenziato che la struttura risultava particolarmente sensibile alle azioni orizzontali, soprattutto vento, frenatura e sisma. Rispetto a quest'ultimo, benché non fosse stato considerato all'epoca della costruzione, vento e frenatura, in alcune condizioni, hanno dato effetti maggiori.

Le azioni di vento e frenatura sono risultate, nelle verifiche con la normativa oggi vigente, sensibilmente più elevate di quelle originariamente considerate sia a causa del cambio di normativa che per l'incremento della superficie esposta, dovuta all'installazione delle barriere antirumore. Tutto ciò portava ad avere carenze in molte pile.



Figure 3. View of the computational model / Vista del modello computazionale.

3 FINALITÀ E STRATEGIA DI INTERVENTO

Verificate le carenze e le criticità dell'opera, si è deciso, di concerto con il Committente, Autostrade per l'Italia, di intervenire ponendosi due obiettivi: l'adeguamento dell'opera alle vigenti normative, sia per azioni sismiche che non sismiche, e il miglioramento delle sue caratteristiche di durabilità e manutenibilità.

Per tutti i carichi accidentali sono stati assunti i valori indicati da NTC 2018 per le nuove opere, con coefficienti parziali γ e coefficienti di combinazione ψ pari a quelli validi per le opere nuove.

In particolare, per il sisma, con riferimento alla circolare esplicativa delle NTC 2018, sono stati assunti:

- costruzione in classe d'uso IV (costruzioni con funzioni strategiche importanti, $c_u=2$);
- vita nominale 100 anni, a seguito di esplicita indicazione del concedente MIMS;
- fattore di comportamento per le azioni orizzontali $q=1,5$ prudenzialmente pari al valore minimo nell'intervallo $q=1.50 - 3.00$ riportato al C.8.5.5.2 per le costruzioni esistenti in c.a.;
- fattore di comportamento per le azioni verticali $q=1,0$ prudenzialmente pari al valore indicato nel C.7.3.1. per i ponti nuovi;
- livello di adeguamento sismico raggiunto in coerenza con le prescrizioni per gli interventi di adeguamento sui ponti riportate al punto C.8.8.7 ossia $\xi_E=0.80$.

Il raggiungimento di tali obiettivi è stato possibile con una strategia di intervento specifica per l'opera e, per alcuni versi, coraggiosa che si può sostanzialmente sintetizzare in questi cinque punti:

- Modifica dello schema statico per le azioni orizzontali rendendo l'impalcato il più possibile continuo, svincolandolo dai punti fissi di estremità (spalla SP18 e pila P30);
- Eliminazione delle selle gerber con continuizzazione integrale o defunzionalizzazione con inserimento di sostegni metallici;
- Riparazione e rinforzo mirato delle parti che ne necessitavano;
- Creazione dell'accessibilità per tutti i cassoni;
- Rendere facilmente ispezionabili e sostituibili tutti gli elementi più delicati.

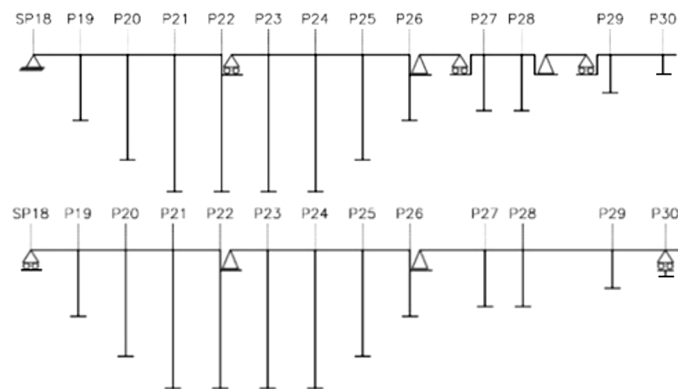


Figure 4. Original (above) and modified (below) static diagram / Schema statico originale (sopra) e modificato (sotto).

L'idea di base è stata quella di rendere l'impalcato il più possibile continuo, svincolandolo però dai punti fissi di estremità, sfruttando la ripartizione delle azioni sulle pile in funzione della loro rigidezza elastica, caricando maggiormente le pile basse a van-

taggio di quelle alte. Lo svincolamento dai punti in estremità ha permesso di mitigare gli effetti delle dilatazioni termiche ed ottenere una struttura "naturalmente sismicamente isolata" in quanto caratterizzata da periodi di vibrazione sufficientemente lunghi per i primi modi.

Questa strategia d'intervento ha consentito di superare le criticità nei confronti delle azioni orizzontali limitando l'intervento di rinforzo sull'intera altezza e sulle fondazioni a un numero ridotto di pile, la P19, la P28 e la P29, senza interessare quelle più alte che si trovano nel tratto da P20 a P25. Un modesto rinforzo sommitale legato anche all'assorbimento delle azioni orizzontali è stato necessario per la pila P27 mentre per le sommità delle pile P22 e P26 il rinforzo è, soprattutto, legato al modesto avanzamento del punto di appoggio conseguente all'intervento di defunzionalizzazione delle relative selle. Le pile rinforzate in sommità non hanno richiesto interventi in fondazione.

Per effetto delle azioni orizzontali sul nuovo schema statico insorgono nell'impalcato momenti flettenti orizzontali che hanno richiesto uno specifico rinforzo che è stato facilmente ottenuto anche ospitando un'apposita armatura longitudinale all'interno dei cordoli il cui rifacimento era comunque previsto per restringere la carreggiata e installare le nuove barriere di sicurezza.

La continuizzazione dei cinque giunti interni dell'impalcato ha comportato due strategie di intervento. I tre giunti su selle gerber poste tra una porzione a sbalzo e una campata tampone sono stati oggetto di intervento di continuizzazione integrale che ha reso le campate monolitiche, con evidenti vantaggi anche in termini di manutenibilità e durabilità. Tra questi i due giunti tra le pile P28 e P29 posti sulla sede autostradale.

Nei due giunti su selle gerber che aggettano dal traverso di testa pila, nelle posizioni P22 e P26, l'intervento di continuizzazione integrale è stato escluso per la forte perturbazione che esso avrebbe arrecato al regime flessionale dell'impalcato con la trasformazione di un'estremità appoggiata su pila in una sezione di continuità su pila. In queste due posizioni le selle gerber in c.a. sono state defunzionalizzate e l'appoggio è stato riportato al di sotto della campata, ponendolo in sommità a una nuova mensola metallica connessa al fusto della pila. In ciascuna di queste posizioni i due nuovi dispositivi di appoggio, in sostituzione dei quattro presenti sulle selle gerber, sono cerniere sferiche con tutti gli spostamenti orizzontali liberi. La continuità per gli effetti orizzontali assiali, trasversali e flessionali, è stata comunque ricostituita con l'uso di una serie di barre di connessione sostituibili a collegare i traversi di testa delle due campate che si affacciano nel giunto. Ai fini statici è ricostituita la continuità nel piano orizzontale. Ai fini funzionali è presente un giunto di

rotazione in cui le traslazioni relative sono molto modeste a vantaggio della possibilità di garantire nel tempo la tenuta del giunto stradale all'acqua anche con l'adozione di un giunto sotto pavimentazione.

4 ESECUZIONE DEGLI INTERVENTI

La strategia di intervento intrapresa si è concretizzata in fase di sviluppo del progetto esecutivo nei seguenti principali interventi:

- Solidarizzazione integrale selle Gerber in prossimità pile P27, P28 e P29;
- Defunzionalizzazione selle Gerber su pile P22 e P26 con inserimento nuovi appoggi;
- Eliminazione «punto fisso» su spalla SP18 e pila P30 con inserimento nuovi appoggi;
- Rinforzo fusti e fondazioni pile P19, P28 e P29;
- Rinforzo sommità fusti pile P22, P26 e P27;
- Rinforzo controsoletta d'impalcato;
- Creazione degli accessi per tutte le cellule chiuse dei cassoni;
- Impermeabilizzazione della piattaforma e protezione di tutte le superfici in cls esposte.

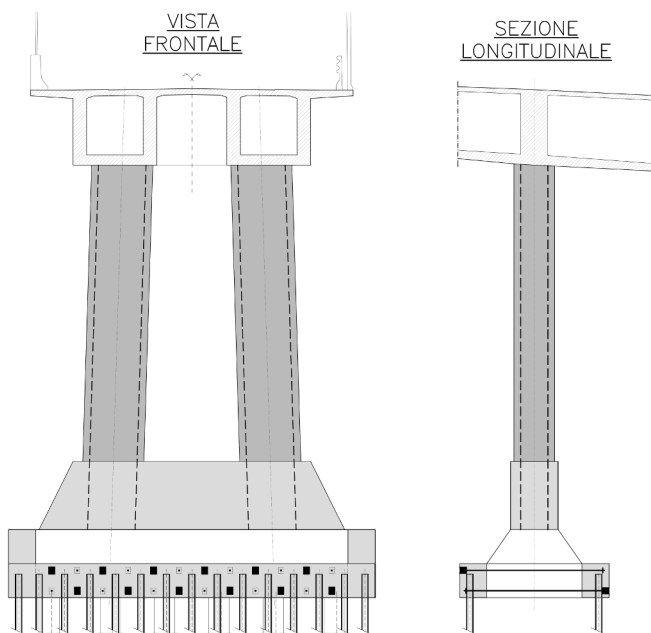


Figure 5. Reinforcement intervention on pile P28 / Intervento di rinforzo su pila P28.

La solidarizzazione delle selle in prossimità delle pile P27, P28 e P29, è stata eseguita mettendo in opera dei sistemi di sostegno metallici provvisori di sicurezza, posti all'estradosso degli impalcati e progettati in modo da avere un ridottissimo ingombro all'intradosso. Infatti, in particolare la campata tampone tra P28 e P29, si trova sopra l'autostrada A7 e le quote dal piano carrabile non consentivano di por-

re in opera sostegni ingombranti, stante la volontà di eseguire le lavorazioni in condizioni di apertura al traffico sottopassante. Con la soluzione proposta, tutte le lavorazioni sono state eseguite in condizioni di apertura al traffico dell'autostrada sottopassante, con solo alcune limitate chiusure in orario notturno per le operazioni più delicate.

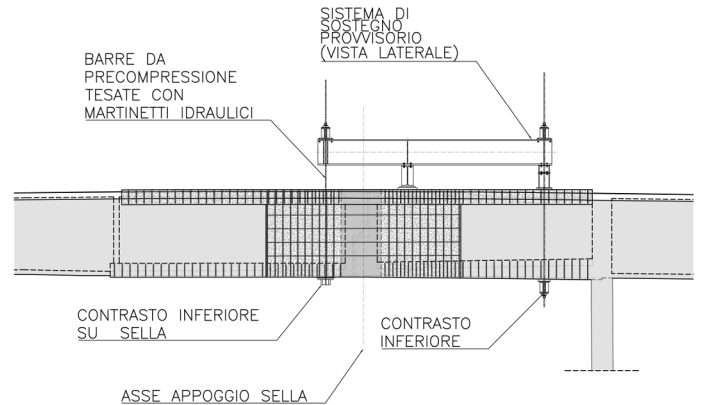


Figure 6. Intervention of solidarity in the half-joint / Intervento di solidarizzazione selle gerber.

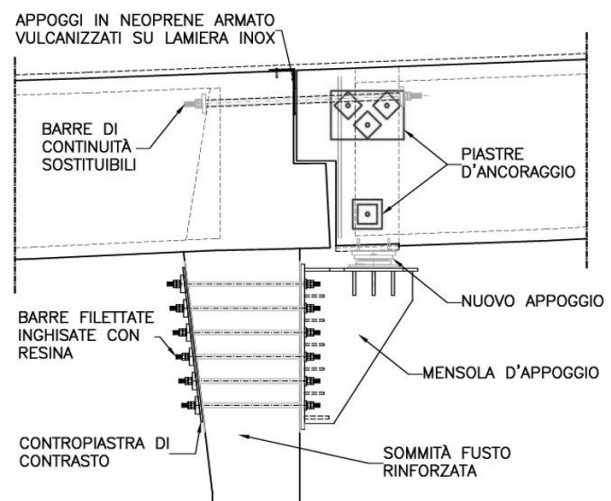


Figure 7. Half-joint defunctional intervention / Intervento di defunzionalizzazione selle gerber.

La solidarizzazione è stata ottenuta disponendo sulle travi staffe integrative e armatura longitudinale di continuità sia inferiormente e che superiormente. Inoltre i traversi delle selle portante e portata sono stati solidarizzati con demolizioni parziali, messa in opera di un'unica staffatura circonferenziale e con getto di continuità.

La defunzionalizzazione delle selle sulle pile P22 e P26 è avvenuta ponendo in opera degli elementi di sostegno metallici ancorati alle pile. Tali elementi ospitano una coppia di appoggi multidirezionali per ciascun allineamento che sostengono l'impalcato, contrastando su traversi rinforzati realizzati a tergo della sella gerber portata.



Figure 8. Provisional support systems / Sistemi di sostegno provvisori.



Figure 9. Interventions on buffer span between P28 and P29 piles/ Interventi su campata tampono tra pile P28 e P29.

La realizzazione del rinforzo di tali traversi sui nuovi appoggi si è resa necessaria sia per ragioni geometriche, connesse al modesto arretramento del punto di appoggio, ma anche per motivi statici. Infatti, originariamente, gli appoggi erano 4 e disposti sulle selle gerber in corrispondenza delle anime dei due cassoni. Nella nuova configurazione i dispositivi sono solo 2 e al traverso è affidato anche il compito di trasferire le reazioni di appoggio dai dispositivi alle anime dei cassoni. Il traverso rinforzato è stato ottenuto ampliando quello esistente con un getto integrativo e precomprimendo il tutto con barre di acciaio armonico.

Il collegamento degli elementi di carpenteria metallica alle pile ha richiesto il rinforzo della sommità di queste ultime e dell'estremità delle campate collegate solidali con le pile.



Figure 10. Intervention of solidarity in the half-joint / Intervento di solidarizzazione selle gerber.

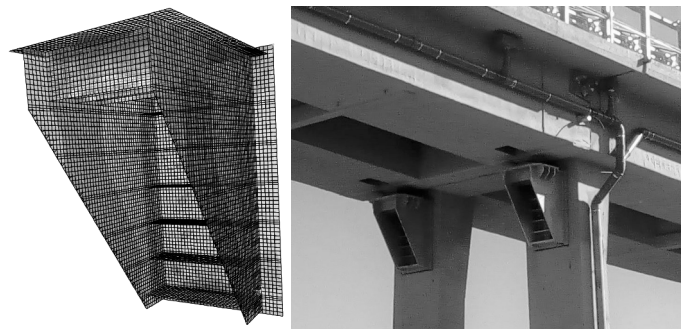


Figure 11. Metal support for defunctionalization of the gerber saddle/ Sostegno metallico per defunzionalizzazione della sella gerber.

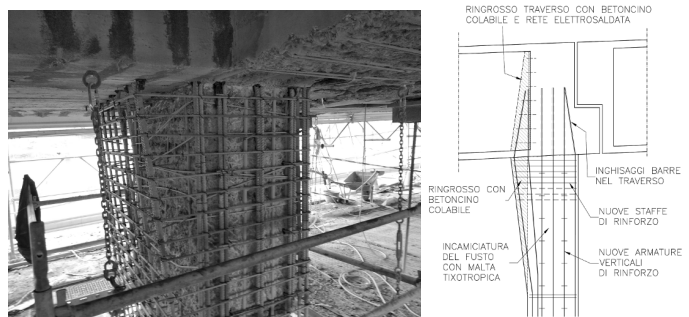


Figure 12. Pile top reinforcement / Rinforzo sommità pile.

La continuità assiale dell'impalcato in corrispondenza dei sostegni metallici sulle pile P22 e P26 è garantita da n. 10 barre filettate, poste subito al di sotto della soletta, che opportunamente tesate collegano i traversi su pila e i nuovi traversi sulle campate in appoggio. Quattro di queste barre sono poste all'interno di ciascun cassone mentre due barre sono poste tra un cassone e l'altro. Sono tutte completamente estraibili per cui il loro stato di degrado può essere verificato nel corso delle ispezioni manutentive e, se necessario, la loro sostituzione è agevole.

Recentemente, dopo un anno dal completamento dei lavori, nel corso dei controlli programmati, è stata verificata la loro perfetta efficienza.



Figure 13. New support devices placed on the SP18 abutment / Nuovi dispositivi di appoggio su spalla SP18.



Figure 14. New support devices placed on the P30 pier / Nuovi dispositivi di appoggio su pila P30.

Al fine di eliminare i punti fissi alle estremità del viadotto è stata inserita una coppia di appoggi scorrevoli in corrispondenza di ciascuno degli allineamenti sulla spalla SP18 e sulla pila P30.

Sulla spalla SP18, per poter creare lo spazio necessario per l'inserimento dei nuovi dispositivi sostituibili, è stato eseguito un ringrosso ribassato sulla sommità del muro frontale, avendo cura di prevedere anche la realizzazione di ritegni trasversali in c.a. e fine corsa longitudinali in c.a. (posteriori) e metallici (anteriori).

Sulla pila P30, che è una pila a lama molto bassa e sottile, i cassoni dell'impalcato risultavano direttamente appoggiati sul testa pila e collegati ad essa con armature disposte ad "X" in corrispondenza delle anime. Per poter installare i nuovi dispositivi di appoggio scorrevoli si è dovuto abbassare la sommità della pila, tagliando i collegamenti ad "X" e sostenendo provvisoriamente l'impalcato contrastando direttamente sulla fondazione.

In entrambi gli allineamenti sono stati realizzati traversi di impalcato rinforzati per le motivazioni e con le modalità esecutive già descritte per gli allineamenti P22 e P26.

Il rinforzo delle pile a tutta altezza è stato condotto in maniera analoga nei tre allineamenti P19, P28 e P29, benchè le prime due siano pile a

doppio fusto e la terza sia una pila con fusto unico a lama. Nei tre casi sono state eseguite incamicciature armate dei fusti e un rinforzo fondale con micropali attestati su un ampliamento del plinto. Le caratteristiche dell'incamicciatura sono state scelte in modo da ottenere l'opportuna rigidità e la resistenza necessaria nel nuovo schema statico. Per ottenere questi obiettivi sulla pila P28, che è quella maggiormente irrobustita, è stato eseguito anche un rialzo dello spiccato del basamento.

Ulteriori rinforzi hanno interessato, oltre le pile P22 e P26 di cui si è già detto, la pila P27 che è stata oggetto di interventi di incamicciatura armata modesti e estesi solo nel tratto sommitale dei fusti, senza conseguente necessità di eseguire un rinforzo fondale.

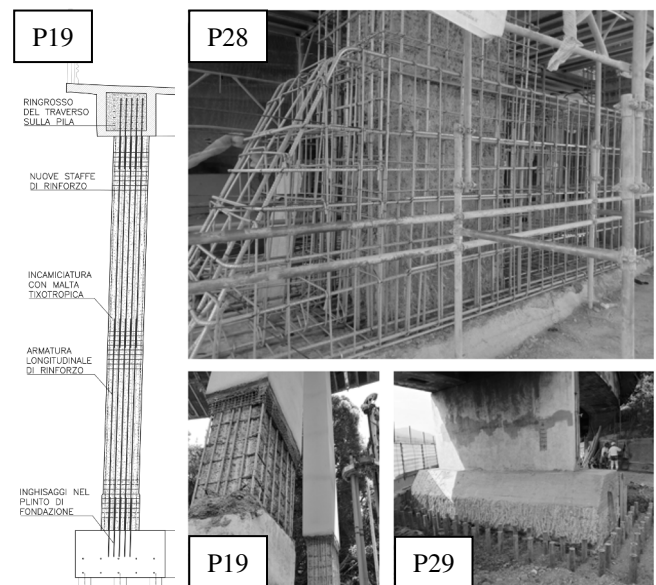


Figure 15. Reinforcement of the piers and foundations of P19, P28 and P29 / Rinforzo delle pile e delle fondazioni di P19, P28 e P29.

Per rimediare al problema delle numerose fessurazioni nella controsoletta di impalcato, per tutta la sua lunghezza è stato realizzato un rinforzo con una soletta armata posta al suo estradosso connessa all'esistente con inghisaggi e con una staffa angolare. Le armature sono state dimensionate per superare le carenze a torsione e per riquadrare le aperture di ispezione di nuova realizzazione. Nei cordolini laterali di tale soletta sono state ospitati, dove necessari, alcuni modesti rinforzi delle armature di flessione a momento positivo.

Anche la soletta superiore è stata rinforzata con una soletta di estradosso nella quale sono stati ospitati, dove necessari, anche i rinforzi delle travi a momento negativo. In estradosso è stata eseguita anche la ricostruzione dei cordoli per l'installazione delle nuove barriere fonoassorbenti e il restringi-

mento della parte carrabile da 8,5 m a 7,5 m. Nei nuovi cordoli sono state ospitate anche le armature di rinforzo per i momenti flettenti orizzontali.

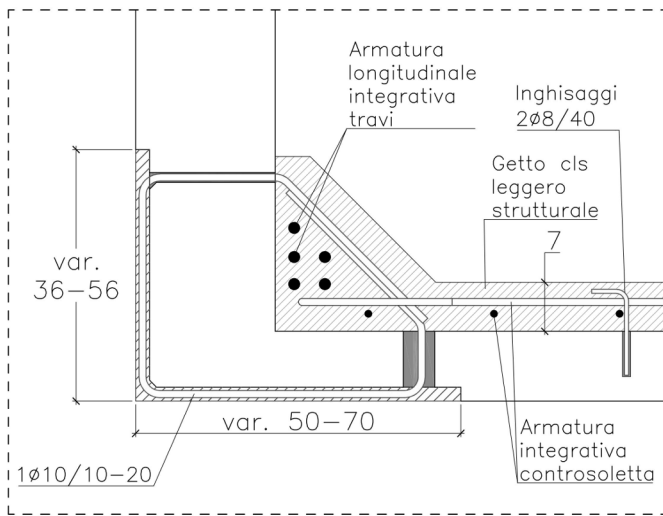


Figure 16. Reinforcements on the beams and counter-slab/ Rinforzi sulle travi e in controsoletta.

traversi e la riparazione di staffe corrose sulle anime dei cassoni oltre a estesi ripristini corticali per l'impalcato e le sottostrutture

Per ottenere l'ispezionabilità di tutte le cellule dei cassoni sono state praticate con una carotatrice di grande diametro n. 66 nuove aperture circolari in controsoletta che sono state dotate delle opportune armature di rinforzo locale.



Figure 19. Waterproofing of the deck / Impermeabilizzazione dell'impalcato.



Figure 17. Reinforcements in the counter-slab/ Rinforzi in controsoletta.



Figure 20. New openings in the counter-slab/ Nuove aperture in controsoletta.



Figure 18. Reinforcements in the slab and crossbeams/ Rinforzi in soletta e traversi.

Per migliorare la durabilità tutta l'armatura impiegata per gli interventi in elevazione è zincata a caldo. Al termine degli interventi strutturali si è provveduto alla completa impermeabilizzazione dell'estradosso e all'applicazione di protettivi su tutte le superfici in calcestruzzo esposte di impalcato e sottostrutture. È stato inoltre riprogettato e rivisto il sistema di smaltimento acque meteoriche.

5 DURATA DEI LAVORI

La tempistica estremamente ristretta ha condizionato il modo di operare. Le attività di indagine sono state condotte tra Luglio 2019 e Ottobre 2019. Parallelamente sono state condotte le verifiche di sicurezza,

Ulteriori interventi di più modesta entità hanno riguardato il rinforzo a taglio e momento positivo dei

aggiornandole in tempo reale con i risultati che provenivano dalle indagini.

Il progetto è stato suddiviso in cinque stralci Applicativi in modo da alimentare le lavorazioni in cantiere durante lo sviluppo completo del progetto. Difatti le attività in cantiere sono iniziate già nel Dicembre 2019 con la consegna del progetto delle opere propedeutiche all'intervento e l'inizio delle attività preliminari.

Nei mesi successivi sono stati predisposti gli elaborati per gli altri stralci Applicativi.

I lavori strutturali di maggior rilievo sono iniziati a fine aprile del 2020 e sono stati ultimati in data 25/07/2020. Le prove di carico per il collaudo statico sono state eseguite il 26 e 27 Luglio e il certificato di collaudo statico delle opere è stato emesso in data 02/08/2020, ossia il giorno precedente all'inaugurazione del nuovo Ponte San Giorgio.

Il complesso dei lavori è durato circa 6 mesi. Nonostante la complessità e la delicatezza delle lavorazioni il tutto è stato portato a termine senza ritardi e senza registrare alcun incidente di rilievo in cantiere.



Figure 23. Construction work on the helical ramp (1963-67)/ Lavori di costruzione della rampa elicoidale (1963-67).



Figure 22. The testing / Il collaudo.

6 CONCLUSIONI

Al termine degli interventi progettati e diretti dallo scrivente, le prove di collaudo hanno dato esiti pienamente soddisfacenti.

Dopo aver rischiato di seguire il triste destino del Viadotto principale, la Rampa Elicoidale del Viadotto Polcevera è ora adeguata alle normative attuali e migliorata nella durabilità e manutenibilità.

Il progetto e l'esecuzione degli interventi sono stati condotti in tempi molto ristretti e in clima emergenziale anche a causa della pandemia Covid 19, tuttavia, grazie anche agli oltre 150 tra tecnici ed operai messi in campo, all'apertura del nuovo Ponte San Giorgio la Rampa Elicoidale risultava già perfettamente transitabile.

At the end of the interventions, the acceptance tests gave fully satisfactory results.

After having risked following the sad fate of the main Viaduct, the Helical Ramp of the Polcevera Viaduct is now adapted to current regulations and improved in terms of durability and maintainability.

The design and execution of the interventions were carried out in a very short time and in an emergency climate also due to Covid19 Pandemia, however, thanks also to the more than 150 technicians and workers deployed, at the opening of the new Ponte San Giorgio the Helical Ramp was already perfectly in service.



Figure 24. The helical ramp at the end of the works (2020) / La rampa elicoidale al termine dei lavori (2020).

RINGRAZIAMENTI

Al Committente, Autostrade per l'Italia, per la fiducia accordata seguendo un'idea progettuale "impegnativa";
Al Concedente MIMS, per lo spirito sempre collaborativo;
Al Politecnico di Torino, Prof. Chiaia e Prof. Marano, per i preziosi consigli;
Agli oltre 150, tra tecnici e operai, senza i quali il risultato non sarebbe stato raggiungibile.