

The cover image features a photograph of a modern, curved concrete bridge structure spanning a lush green valley. The bridge has a distinctive, almost organic, flowing design. In the foreground, a large, dark, textured rock face is visible on the left side. The background is filled with dense green trees and foliage. A white geometric pattern, consisting of a series of connected triangles, is overlaid on the lower portion of the image, partially obscuring the bridge and the trees.

rassegna tecnica

del Friuli Venezia Giulia

1

ANNO LXVIII - GENNAIO/FEBBRAIO 2017

POSTE ITALIANE S.p.A. - Sped. in abbonamento postale - D.L. 353/2003 (conv. in L. 27/02/2004 n. 46) art. 1, comma 1, DCB UDINE

**Pubblicazione bimestrale sotto gli auspici delle Associazioni e degli Ordini
degli Ingegneri Architetti Agronomi Forestali e Geologi del Friuli Venezia Giulia**

I.P.

La ristrutturazione del **ponte sul Lumiei** a Sauris

Francesco Alessandrini, Lionello Caproni, Alessandro D'Agostino, Dario Fedrigo, Paolo Vidoni



L'avanzata età del ponte ad arco in calcestruzzo che attraversa la gola del torrente Lumiei, in corrispondenza della progressiva km 6+850 della strada provinciale "del Lumiei" tra Ampezzo e Sauris, ha richiesto degli urgenti lavori di consolidamento. Il ponte si posiziona in uno dei punti più difficili dell'unica significativa arteria di collegamento tra i due comuni e una sua sostituzione avrebbe richiesto un'opera di grande importanza tecnica ed economica.

La Provincia di Udine, che gestisce la strada, dopo attenti studi, ha deciso di procedere alla sua ristrutturazione che, seppur di non semplice esecuzione, è risultata tecnicamente "ragionevole" ed economicamente affrontabile.

Il ponte, costruito un'ottantina di anni fa, è stato oggetto di verifiche e rilievi strutturali che hanno evidenziato uno stato di degrado particolarmente elevato per la zona dell'impalcato, ma tutto sommato relativamente bassa per la sottostante struttura ad arco.

Il ponte e la sua struttura

Il ponte si presenta come un'ardita opera ingegneristica edificata negli anni Trenta (dal 1930 al 1934) dall'impresa locale Nigris, sulla base del progetto originale del 1925, poi significativamente modificato, dell'ingegnere Tristano Valentini e dell'architetto Benvenuto Elia Fior. Famose sono le foto dell'Antonelli¹, che ne ricordano la spettacolare e difficoltosa costruzione. Una vera e propria opera d'arte può essere considerata la centina in legno a sostegno dei getti degli archi.

Sono ultimati i lavori di ristrutturazione del ponte sul Lumiei, esemplare opera di ingegneria degli anni Trenta lungo la strada che collega Ampezzo con Sauris. Il ponte scavalca la gola del torrente Lumiei a un'altezza di un centinaio di metri dal fondo, con un arco in calcestruzzo di stupefacente esecuzione. L'età avanzata dei calcestruzzi e i nuovi carichi stradali hanno richiesto una sua parziale ristrutturazione che gli regalerà ancora molti anni di vita adeguandosi alle attuali esigenze di sicurezza e del traffico



Fig. 1

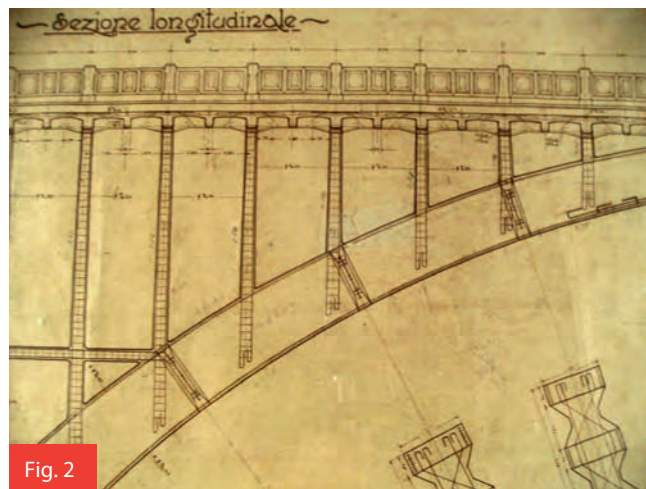


Fig. 2

Il ponte è stato realizzato completamente in calcestruzzo armato. La struttura è sostenuta da tre archi approssimativamente paralleli, variamente controventati nel loro piano mediante elementi in calcestruzzo. Gli archi presentano una luce massima all'imposta di circa 70 metri, e freccia in mezzzeria di 20 metri circa. I tre elementi hanno una sezione variabile con spessore da 0,70 a 1 metro e altezza da 1,75 circa, in chiave, a oltre 3,50 metri, all'imposta. Essi si sviluppano su tre piani quasi paralleli: l'interasse trasversale tra gli archi esterni misurato in chiave è pari a 4,40 metri, mentre all'imposta si arriva a 6,40 circa. I tre archi sono collegati tra loro mediante traversi e controventi "a croce di San Andrea", costituiti da aste a sezione variabile, rastremate in altezza con un minimo nella zona centrale.

Dall'estradosso degli archi spicca una serie di telai in cemento armato, controventati trasversalmente e disposti a interasse longitudinale regolare di 3 metri, che si sviluppano fino all'intradosso dell'impalcato. I pilastri hanno sezione quadrata che si rastrema all'estremità superiore, passando dai 60 di lato alla base ai 40 centimetri in sommità. Le travi orizzontali (trasversali o longitudinali) hanno invece sezione costante pari a 40 x 40; i controventi sono costituiti da aste disposte a "croce di San Andrea", con sezione pari a 30 x 30 (nella zona superiore della struttura) e a 40 x 40 (nella zona inferiore della struttura). Lato Ampezzo sono presenti 12 pilastrate, mentre lato Sauris ve ne sono 13; tra le pilastrate è presente un tratto "pieno" appoggiato direttamente sull'arco lungo circa 18 metri.

La sommità dei pilastri è legata da un graticcio di travi in calcestruzzo che, grazie anche a una soletta di chiusura, sostengono il piano viario. Le travi del graticcio d'impalcato (longitudinali e trasversali), hanno una sezione pari a 45 x 75/50 circa (quelle longitudinali) e 20 x 50 circa (quelle trasversali); la soletta che le collega è in cemento armato con spessore medio di 22 centimetri.

La larghezza della sede stradale è di 5 metri; il piano viabile effettivo è largo 4,10 metri, a cui vanno aggiunti 45 centimetri per parte prima di giungere ai marciapiedi; la larghezza complessiva dei marciapiedi laterali (soprelevati rispetto il piano stradale) è pari a

85 centimetri, di cui solo una cinquantina sono disponibili per pedoni a causa dell'ingombro dei pilastri del parapetto (quadrati con lato di 22 centimetri circa).

La lunghezza complessiva dell'impalcato è pari a 93,70 metri, superiore alla luce dell'arco portante in quanto le estremità dell'impalcato sono sorrette da una serie di telai che spiccano direttamente dalla base rocciosa sottostante.

I rilievi strutturali e dimensionali

La struttura è stata oggetto, negli ultimi anni (2008, 2011, 2013), di una campagna di indagini volte, da un lato, a rilevare lo stato di degrado dei vari elementi e, dall'altro, a caratterizzarne il comportamento statico e dinamico.

Sulla base dei disegni originali dell'opera (risultati poi non sempre corrispondenti all'opera eseguita) è stata pianificata una serie di indagini conoscitive volte a comprendere la struttura e lo stato di degrado.

Oltre ai rilievi geometrici della struttura (rilievo celestematico di superficie e rilievo complessivo dell'opera mediante laser-scan che ha permesso di ricostruire il modello 3D della stessa) è stata fatta tutta una serie di indagini per determinare lo stato di ammaloramento dei suoi principali elementi costitutivi. È stata eseguita una consistente indagine fotografica a più riprese, con tecniche alpinistiche e supporto di mezzi in superficie dotati di cestello (*automatic bridge control*) con i quali, percorrendo i lati esterni del ponte, ci si è abbassati sotto il livello dell'impalcato e lo si è potuto analizzare da sotto, rilevando la posizione delle zone maggiormente ammalorate. Sono poi state condotte numerose prove sclerometriche e di carbonatazione sui calcestruzzi; sugli stessi sono stati eseguiti dei carotaggi e prelevati degli elementi di acciaio dell'armatura per verificarne le caratteristiche meccaniche in laboratorio. È stata eseguita una stima delle caratteristiche dinamiche del ponte mediante l'utilizzo di un semplice tromografo portatile che ha permesso di misurare le risposte del sistema in più punti della struttura.

Da tutti i rilievi eseguiti è risultata evidente la presenza di numerosi punti soggetti a degrado.



Fig. 3

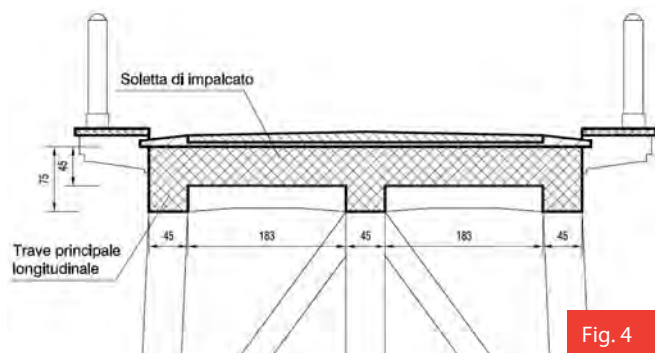


Fig. 4

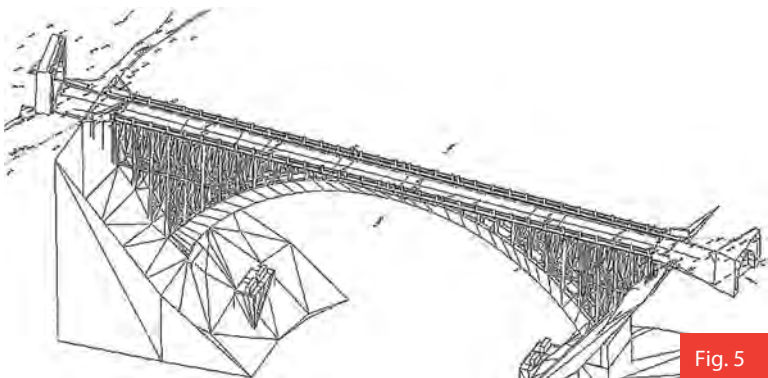


Fig. 5

In generale appariva buona la statica della struttura principale di sostegno (archi e pilastrate) e i calcestruzzi apparivano generalmente ben conservati, con relativamente pochi episodi di fessurazione. Pur tuttavia sono stati identificati numerosi punti singolari in cui erano evidenti delle sbecchature, delle armature arrugginite o delle sfaldature dei calcestruzzi. Gli unici problemi statici evidenti erano relativi allo sgretolamento, con taglio pressoché completo della sezione, dei traversi longitudinali convergenti alla prima pilastrata lato Sauris e un analogo problema al traverso longitudinale, lato monte, convergente al pilastro della settima pilastrata lato Sauris.

Ben diversa è apparsa invece la situazione dell'impalcato, che aveva subito uno stress statico notevole e soprattutto un avanzato degrado dei calcestruzzi alimentato dai sali disgelanti utilizzati sulla sede stradale. L'impalcato, in generale, presentava un'elevata corrosione delle solette e soprattutto di molte delle travi reggisole. In certi casi l'armatura all'intradosso appariva completamente corrosa e si evidenziavano anche dei cedimenti a livello di impalcato (con rottura degli asfalti soprastanti). Analoghi e forse anche più grave problema riguardavano i marciapiedi esterni e i parapetti: i marciapiedi si presentavano con le armature inferiori a vista e corrosive, le mensole che reggevano i marciapiedi manifestavano fenomeni di corrosione con ferri piegati arrugginiti a vista. I pilastri del parapetto che sorreggevano i traversi in calcestruzzo in alcuni casi erano quasi tranciati. I giunti di impalcato erano completamente riempiti di bitume; i coprigiunti laterali erano inesistenti o completamente arrugginiti.

Nei ripetuti controlli eseguiti dal 2008 al 2013 si è evidenziato un graduale peggioramento che, anche se non inquadrabile come un "tracollo degenerativo", ha reso evidente lo stato comunque "grave" dell'impalcato per il quale era necessario un intervento immediato.

I risultati delle prove sui calcestruzzi hanno mostrato la presenza di un calcestruzzo con resistenza mediamente superiore a 40 MPa ed evidenziato la presenza di un calcestruzzo di ottima composizione iniziale, anche se talvolta non ottimamente vibrato, apparentemente con basso rapporto acqua/cemento iniziale. Le barre di acciaio inserite nel calcestruzzo, classificabili come un FeB 30, invero poco cosa rispetto alle "abitudini" attuali, sono risultate essere lisce e ancorate mediante piegature a gancio alle estremità. Molto basso è risultato il livello di staffatura a taglio.

Le prove dinamiche

A fine ottobre 2008 sono state stimate (a cura della Provincia di Udine) le caratteristiche dinamiche della strut-



Fig. 6



Fig. 7

tura tramite l'utilizzo di un tromografo portatile (Tromino®): tale strumento permette l'acquisizione del rumore ambientale "filtrato" dalla struttura su cui è posizionato lo strumento. Il rapporto tra quanto rilevato sulla struttura e quanto rilevato su un punto di riferimento (affioramento roccioso esterno all'opera) viene espresso come rapporto spettrale e diagrammato in funzione della frequenza. I picchi che si osservano in tale diagramma evidenziano le frequenze proprie della struttura, le frequenze cioè in corrispondenza delle quali la struttura tende ad andare in risonanza.

Sulla base di questo studio sono state stimate le principali forme modali e le relative frequenze proprie della struttura. Ad esempio i primi modi di vibrare sono risultati essere un *modo flessionale trasversale* con ridotta amplificazione anche in senso longitudinale (modo n. 1: frequenza $\approx 2,60$ Hz – $T \approx 0,384$ s, schema fig. 9).

Si è poi rilevato un *modo flessionale verticale* con amplificazione anche in senso longitudinale: è un modo composto da un movimento in senso verticale (con possibile nodo in corrispondenza della sezione di chiave dell'arco) accompagnato da traslazione in senso longitudinale (modo n. 2: frequenza $\approx 4,81$ Hz – $T \approx 0,208$ s, schema fig. 10).

Si è poi riscontrato un *modo flessionale trasversale* con nodo in corrispondenza della sezione di chiave dell'arco, con moti in opposizione di fase tra punti simmetrici appartenenti alle due semicampate (modo n. 3: frequenza $\approx 5,19$ Hz – $T \approx 0,193$ s, schema fig. 11).

Infine si è trovato un *modo flessionale verticale* con picco in corrispondenza della sezione di chiave dell'arco, con moti in fase tra punti simmetrici appartenenti alle due semicampate (modo n. 4: frequenza $\approx 6,59$ Hz – $T \approx 0,152$ s, schema fig. 12).

Questa indagine, per quanto approssimata, ha permesso una prima stima di alcuni parametri deformativi dell'opera nel suo complesso, rilevando per esempio la non efficienza dei giunti di impalcato, utili alla definizione del successivo modello numerico di calcolo.

La caratterizzazione strutturale su modello 3D

Sulla base del rilievo geometrico del ponte è stato possibile realizzare un modello numerico agli elementi finiti della struttura (schemi 5, 6).

Le prove dinamiche sulla struttura del ponte hanno "fotografato" il suo comportamento dinamico d'insieme (almeno a piccole deformazioni) e hanno permesso una prima calibrazione del modello di calcolo agli elementi finiti, in modo che soddisfacesse i risultati sperimentali ottenuti in termini di forme modali e frequenze di vibrazione. A partire da tale modello, integrato con le informazioni provenienti dal rilievo geometrico, e da quelle ricavabili dal progetto originario della struttura, sono state eseguite delle analisi strutturali, in condizioni statiche e sismiche, al fine di valutare la resistenza dei principali elementi strutturali del manufatto, a fronte delle azioni definite dalle normative vigenti.

I risultati delle verifiche hanno messo in evidenza come gli elementi strutturali abbiano, in generale, un ridotto quantitativo di armatura rispetto al necessario, sia longitudinale sia trasversale.

In condizioni statiche l'attenzione si è focalizzata su alcuni elementi dell'impalcato, che sono risultati non essere in grado, nel loro complesso, di resistere ai carichi variabili previsti dalla vigente normativa.

In condizioni sismiche sono stati presi in esame più elementi strutturali: alcuni di questi risultano non essere in grado di assorbire le sollecitazioni che derivano da sismi, anche con limitato periodo di ritorno e quindi di bassa intensità; il ridotto quantitativo di armatura trasversale non permette inoltre di conferire alle sezioni un elevato livello di duttilità, il che comporta una bassa capacità di ridistribuzione delle sollecitazioni una volta che parte della struttura esce dal campo elastico.

Si consideri comunque che i risultati delle verifiche di resistenza sono legati alle assunzioni cautelative fatte sui materiali – in particolare l'acciaio – e sul quantitativo di armatura, quest'ultimo identificato dai disegni originali di progetto. Inoltre le sollecitazioni agenti nelle sezioni di verifica derivano dal modello strutturale adottato e le sue caratteristiche sono calibrate sulla base dei risultati dell'indagine che permette, sì, di cogliere i modi e le frequenze proprie della struttura, ma lo fa sfruttando una "forzante" di intensità molto bassa. Sotto l'azione di forzanti più intense, quale può essere il sisma, è possibile che i vincoli della struttura non si comportino come assunto nel modello numerico, ma manifestino una minore rigidità oppure un comportamento monolatero. Ciò comporta una diversa risposta di tutta la struttura rispetto quanto determinato cautelativamente nell'analisi fatta, e in particolare una diversa distribuzione delle sollecitazioni nei diversi elementi resistenti.

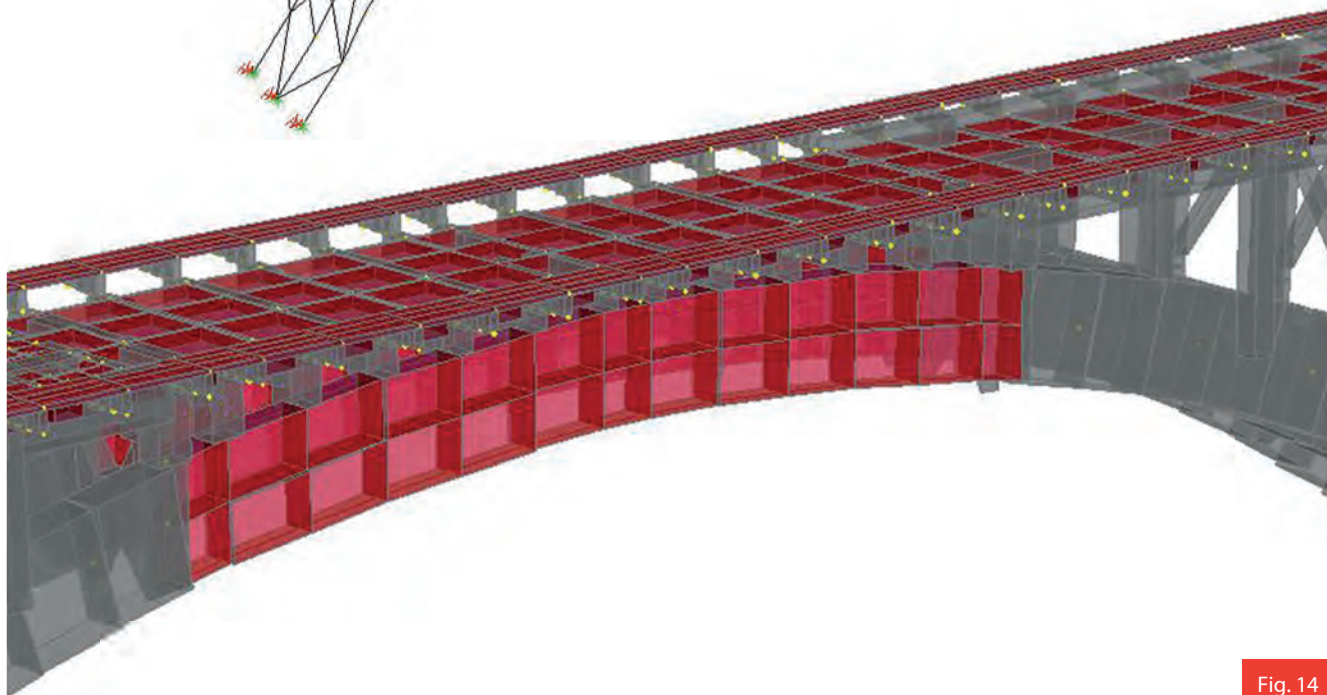
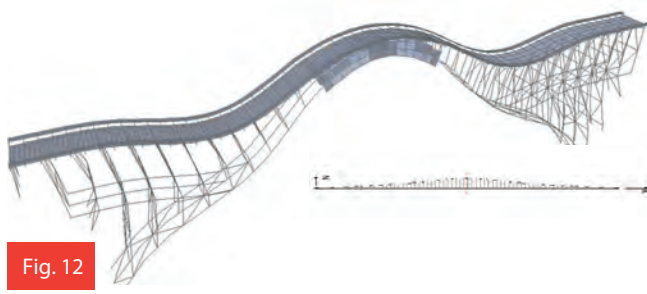
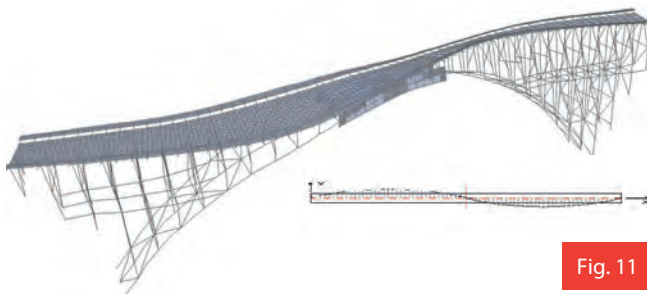
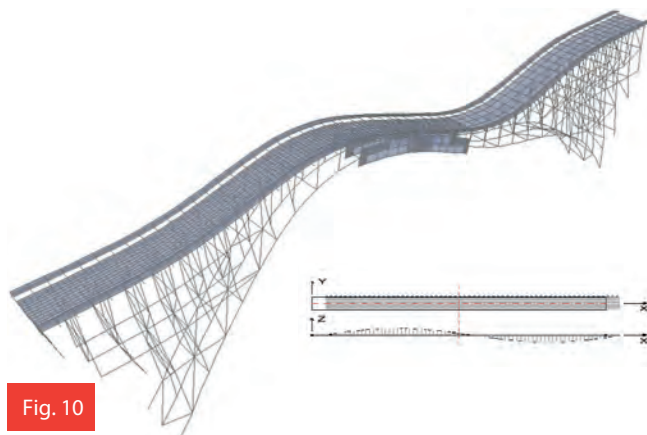
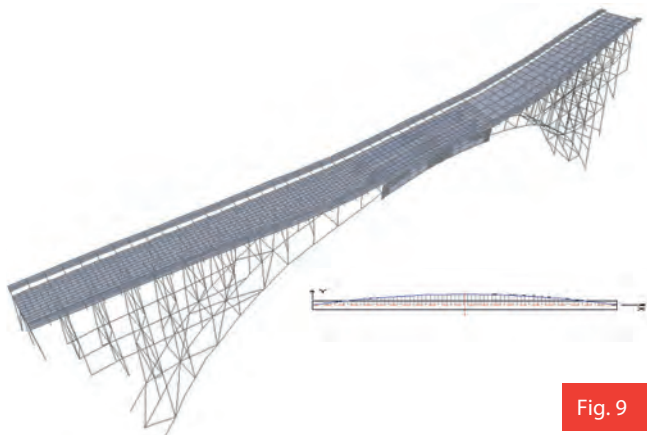
Queste considerazioni possono quindi giustificare lo stato del manufatto, che si presenta in generale in buone condizioni, migliori di quanto risulterebbe dai calcoli, nonostante l'età e gli eventi sismici che lo hanno colpito.

Dalle analisi numeriche effettuate e sulla base di tutti i dati in possesso, è stato possibile comunque trarre delle indicazioni – ritenute affidabili – sulla vulnerabilità complessiva della struttura così come rilevata prima della ristrutturazione:

- in condizioni statiche l'impalcato manifesta una ridotta capacità portante, focalizzata in primo luogo nelle travi principali longitudinali e poi sulla soletta del marciapiede;
- in condizioni sismiche gli elementi che per primi possono entrare in crisi sono i pilastri della zona centrale e



Fig. 8



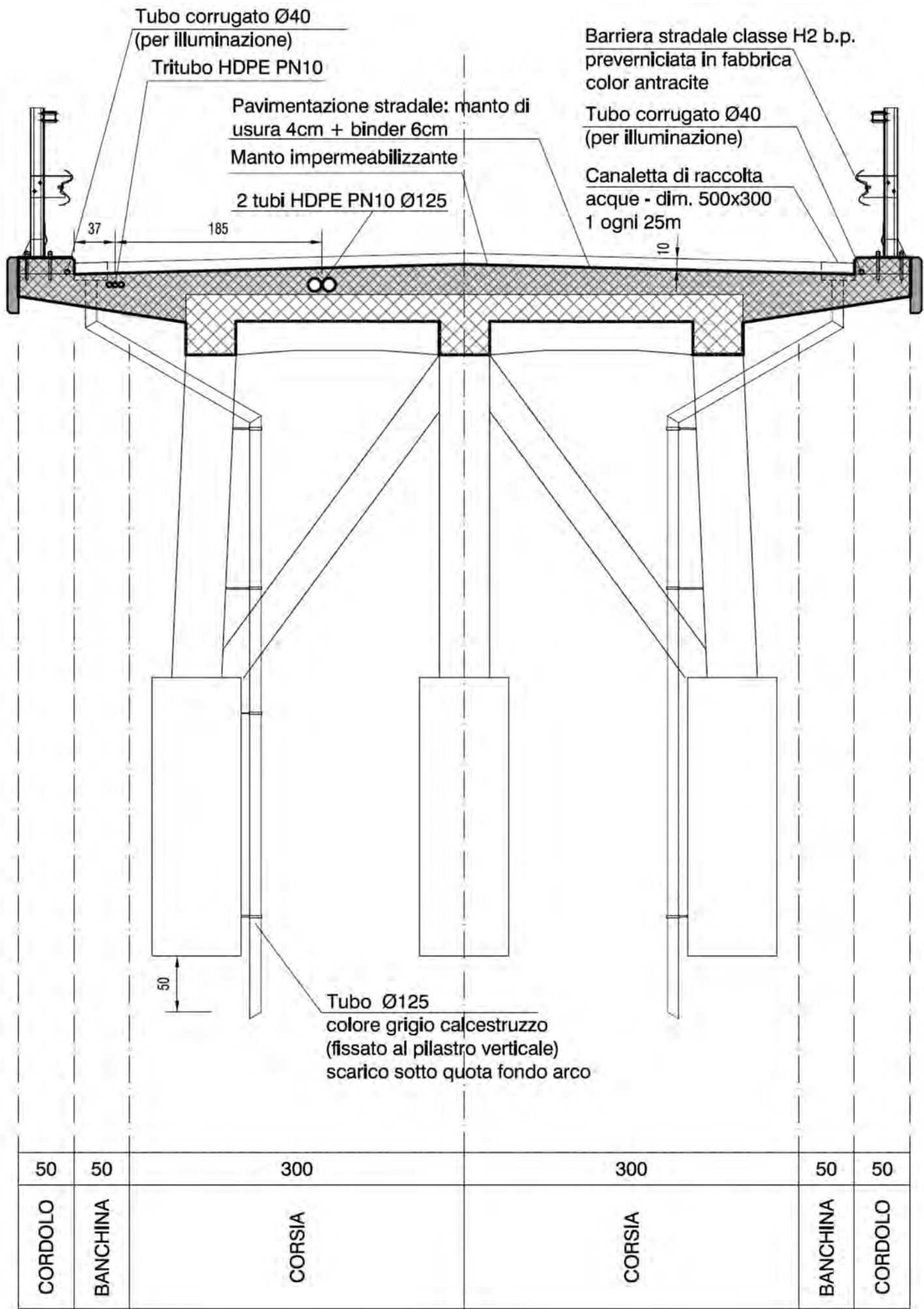


Fig. 15



Fig. 16

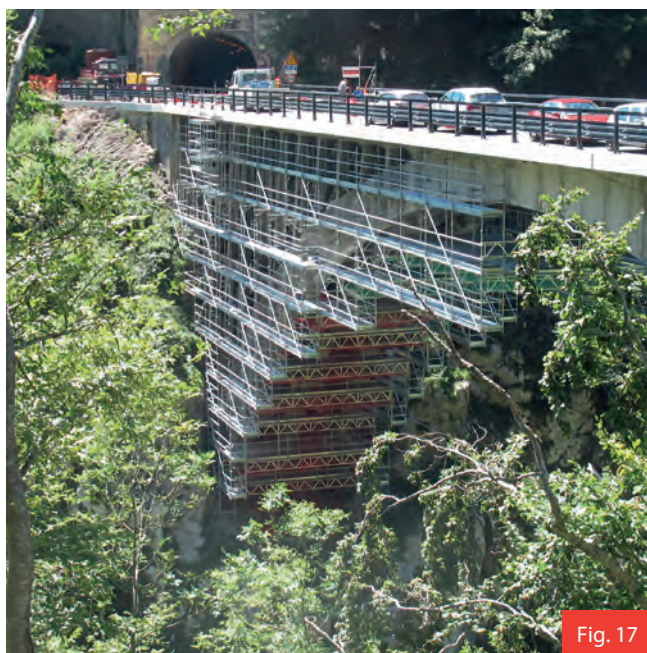


Fig. 17

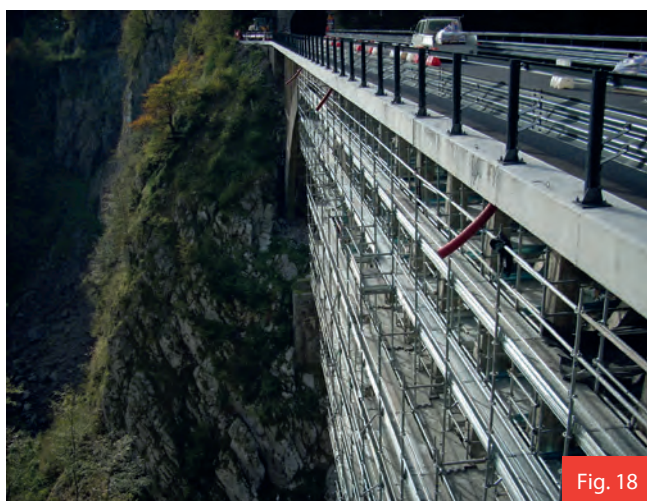


Fig. 18

- 1 Costruzione iniziale del ponte: smontaggio della centina (foto Antonelli, 1934)
- 2 Disegni originali di progetto del ponte: particolare della zona prossima alla sezione in chiave
- 3 Vista da sotto dei tre archi paralleli che evidenzia la snellezza e la notevole dimensione della struttura
- 4 Sezione trasversale di rilievo dell'impalcato
- 5 Rilievo 3D del ponte dedotto dal rilievo celerimetrico e laser scan
- 6 Trave laterale e traverso intermedio notevolmente ammalorati
- 7 Trave di collegamento dei pilastri sopra-arco tranciata a una estremità
- 8 Passivazione delle armature presso uno dei pilastri di sottoimpalcato
- 9 Deformata modale attesa nel modo 1 (pianta impalcato)
- 10 Deformata modale attesa nel modo 2 (pianta e sezione impalcato)
- 11 Deformata modale attesa nel modo 3 (pianta impalcato)
- 12 Deformata modale attesa nel modo 4 (sezione impalcato)
- 13 Vista tridimensionale del modello agli elementi finiti del ponte esistente
- 14 Particolare della modellazione f.e.m. del tratto centrale dell'impalcato
- 15 Sezione trasversale di progetto con evidenziata la nuova soletta
- 16 Vista da sotto dell'importante ponteggio predisposto sotto l'impalcato
- 17 Ponteggio predisposto sotto l'impalcato, lato Ampezzo
- 18 Vista laterale del ponteggio sotto l'impalcato
- 19 Vista laterale durante lo smontaggio del ponteggio sotto l'impalcato
- 20 Impalcato con appoggiati gli elementi prefabbricati tralicciati in attesa del getto della soletta

Accanto al titolo: costruzione iniziale del ponte: armatura del cassero e cassero per il getto degli archi (foto Antonelli, 1934)

gli elementi di collegamento trasversale e diagonale degli archi. La ridotta o assente staffatura di tali elementi ne riduce poi la possibilità di resistenza in campo plastico, limitando quindi la ridistribuzione delle sollecitazioni nelle altre zone integre. Le sezioni maggiormente sollecitate di questi elementi entrano in crisi già con sismi aventi tempo di ritorno ridotti.

Gli archi, grazie anche alle elevate dimensioni delle sezioni, vanno in crisi per sismi con tempo di ritorno minimo centenario e la zona critica si attesta nei primi 10-15 metri, oltre i quali la resistenza delle sezioni è comparabile o superiore alle sollecitazioni derivanti da sismi con tempo di ritorno di circa 400 anni.

L'impalcato, con il suo comportamento nel piano, manifesta una limitata resistenza solo nella zona centrale, e comunque per sismi con tempo di ritorno centenario.

Le considerazioni di cui sopra hanno guidato la successiva progettazione del consolidamento del ponte che è stata portata avanti nell'ottica della riparazione locale.



Fig. 19

Gli interventi previsti sull'impalcato

L'analisi dell'esistente ha evidenziato un'inderogabile necessità di intervento sull'impalcato del ponte, piuttosto ammalorato e fuori norma in relazione alle attuali esigenze di sicurezza stradale, nonché geometricamente insufficiente in relazione alle attuali esigenze del traffico veicolare.

Inoltre vari punti della struttura sottostante presentavano fenomeni di degrado localizzato che andavano riparati se si voleva evitare un loro rapido incremento nel tempo.

Sulla base di quanto sopra si è proceduto alla progettazione di una serie di interventi finalizzati:

- al rifacimento dell'impalcato, con l'ottica di non variare significativamente la geometria e le masse dell'esistente, pur adeguandolo alle esigenze statiche e funzionali del traffico odierno;
- alla ricostruzione/ripristino delle zone ammalorate al di sotto dell'impalcato;
- al posizionamento di guard rail rispettosi dell'attuale normativa, sia sul ponte sia nelle zone di ingresso su banchettoni in cemento armato appositamente realizzati.

Per quanto riguarda l'impalcato, in particolare, si è realizzata la demolizione e ricostruzione della sua parte superiore, allargandolo leggermente rispetto all'esistente per renderlo compatibile con il passaggio contemporaneo di due veicoli in direzione opposta.

Si è proceduto alla completa demolizione dei marciapiedi e dello strato superiore dell'impalcato, comprensivo dell'asfalto e del sottostante riempimento, fino a raggiungere la soletta originale in cemento armato.

È stata realizzata una serie di perforazioni sulle travi principali esistenti per posizionare e inghisare delle barre in modo da rendere il successivo getto della soletta strutturalmente collaborante alle travi stesse. Sono poi stati posizionati dei prefabbricati (lastre in cemento armato e tralici a esse collegati) in grado di delimitare e accogliere il getto della soletta. La sezione risultante ha compreso anche la realizzazione di due cordoli laterali su cui è stato posizionato il guard rail metallico.

Tra i cordoli è stata poi posizionata l'asfaltatura (binder più strato di usura), fermata in corrispondenza delle interruzioni originali dell'impalcato che sono state attrezzate con giunti in gomma-acciaio. L'asfaltatura è stata posizionata sopra una guaina impermeabilizzante e sono stati utilizzati asfalti antigelivi per evitare il degrado nell'ambiente potenzialmente umido e molto freddo.

I guard rail metallici posizionati sono di classe H2, zincati e dipinti in grigio antracite nell'ottica di favorire un minore impatto paesaggistico. Gli stessi elementi (guard rail a semplice onda e corrente superiore in profilo rettangolare) sono stati integrati, nelle zone di accesso al ponte, da elementi in plastica posizionati al di sotto dell'onda principale. Tali elementi, che non alterano la funzionalità e l'omologazione del guard rail principale, costituiscono un importante elemento di protezione per i motociclisti che eventualmente dovessero cadere in uscita dalle gallerie e sbattere contro le protezioni di ingresso al ponte. La parte rimanente di barriera protettiva non è stata dotata di analogo dispositivo in quanto la probabilità di caduta dei motociclisti in rettilineo è molto minore e lo spazio vuoto sotto l'onda principale del guard rail è necessario per lo scarico della neve.

Nell'impalcato sono state annegate le tubazioni di servizio: tritubo per telefonia, numerosi condotti a disposizione, tubi per predisposizione illuminazione stradale. Il bordo del cordolo del guard rail è stato dotato di profilo

metallico di protezione per evitare la disgregazione del calcestruzzo a causa dell'urto delle lame degli spazzaneve.

Sono stati infine realizzati degli scarichi dell'acqua di impalcato, otto scarichi complessivi, di cui quattro in corrispondenza delle spalle e quattro in mezzo all'impalcato. Gli scarichi in mezzo all'impalcato sono stati prolungati fino al di sotto degli archi per evitare il dilavamento della struttura in calcestruzzo con acque miscelate ai sali disgelanti.

Gli interventi sotto l'impalcato e in uscita dal ponte

La parte sottostante l'impalcato presentava – come detto – numerosi degradi localizzati composti da sbeccature dei calcestruzzi, sfaldature, calcestruzzi disgregati e armature arrugginite a vista e, in quattro punti specifici, delle rotture strutturali. In tutte queste zone sono stati previsti degli interventi ad hoc, previa una pulizia generalizzata (sabbatura) in grado di rimuovere ed evidenziare tutte le parti necessitanti di potenziale ripristino.

Gli interventi sono consistiti nella rimozione dell'ossido e passivazione delle armature arrugginite – eventualmente ripetuta a più riprese –, stesura di primer aggrappante e ripristino dei calcestruzzi con resine o calcestruzzi fibrorinforzati. Nei casi di problematiche strutturali è stato necessario il rinforzo mediante aggiunta di armatura (perforazioni e inghisaggi di nuova armatura). La realizzazione di questi interventi ha richiesto la costruzione di un importante ponteggio, realizzato in due fasi distinte, una prima sulla metà ponte lato Ampezzo e uno successivo sulla metà lato Sauris.

L'intervento è stato completato dalla realizzazione di banchettoni stradali fondati su micropali negli ingressi del ponte. Tale realizzazione è risultata necessaria per consolidare le zone dei muri d'ala dietro le spalle e ottenere un solido punto di ancoraggio dei guard rail subito oltre le spalle stesse.



Fig. 20

L'approccio strutturale e le modalità operative

L'intervento di ripristino ha seguito un approccio di tipo misto dal punto di vista strutturale, prevedendo, da un lato, l'adeguamento statico per i carichi accidentali derivanti dal traffico e, dall'altro, il miglioramento strutturale in relazione ai carichi sismici.

Per quanto riguarda i carichi da traffico veicolare, si è scelto di adeguare l'opera alle attuali richieste di normativa. A tale scopo è stato significativamente irrobustito l'impalcato, prima insufficiente, mentre la parte sottostante ha dimostrato resistenze già adeguate ai carichi attuali.

Vista la difficoltà e l'enormità di spesa necessaria per affrontare un intervento di "adeguamento" sismico strutturale dell'intera opera, ovvero di portarla al livello di sicurezza sismica richiesto dall'attuale normativa per le nuove opere, si è scelto di seguire la strada del "miglioramento" strutturale, concessa da normativa. Si è andati cioè a sistemare l'opera in modo da raggiungere comunque un livello di sicurezza sismica superiore all'attuale, pur non raggiungendo le prestazioni strutturali richieste per un'opera nuova.

Il miglioramento sismico è stato attuato tramite l'incremento di resistenza dell'impalcato e tramite i ripristini localizzati della zona inferiore che riducono significativamente la vulnerabilità degli archi e della pilastratura tralicciata che sorregge l'impalcato.

Ora, a intervento concluso, la struttura è in grado di assorbire senza collassare sismi con tempo di ritorno centenario, sismi in corrispondenza dei quali, però, la struttura potrebbe iniziare a non essere in grado di garantire una funzionalità completa.

In generale, comunque, gli archi molto resistenti e la grande iperstaticità dell'intelaiatura che regge l'impalcato riducono di molto la possibilità di collassi improvvisi, pur non garantendo l'assenza di significativi danneggiamenti in corrispondenza di punti specifici dell'intelaiatura.

La riparazione dell'impalcato ha richiesto la soluzione di numerosi aspetti problematici dal punto di vista operativo e della sicurezza.

Le operazioni eseguite hanno richiesto la possibilità di raggiungere tutte le zone del ponte al di sotto dell'impalcato. Viste le numerose lavorazioni nella zona al di sotto del piano viabile, è stato necessario predisporre dei percorsi di lavoro pressoché continui al di sotto dell'impalcato e in corrispondenza di tutta la sottostante struttura, realizzando un ponteggio appoggiato sulle travi orizzontali o collegato ai pilastri e agli archi. I piani di lavoro così predisposti hanno permesso una grande facilità di movimentazione nel passaggio da una zona all'altra della struttura, di visione/individuazione in dettaglio degli ammaloramenti e della loro riparazione.

Per l'impalcato è stato attuato un recupero completo delle porzioni demolite, soprattutto dei marciapiedi, in modo da non farli cadere nel vuoto.

Molto dettagliata e attenta è stata la gestione della sicurezza dei lavoratori, soprattutto durante le fasi di demo-

Committente:
Provincia di Udine/Regione autonoma Friuli Venezia Giulia

Supervisione:
ing. Daniele Fabbro, Provincia di Udine/ Regione autonoma Friuli Venezia Giulia

Responsabile unico del procedimento:
geom. Paolo Vidoni, Provincia di Udine (area montagna) uffici di Tolmezzo/Regione autonoma Friuli Venezia Giulia

Analisi preliminari e progetto:
Alpe Progetti società di ingegneria, Udine

Direzione lavori e sicurezza:
ing. Lionello Caproni, Udine

Collaudatore statico:
ing. Alessandro D'Agostino, Tolmezzo

Imprese esecutrici:
Edilverde, Martignacco (UD), Cimenti, Ovaro (UD), Sils, Sauris (UD)

Piano di sicurezza e coordinamento:
arch. Antonio Fabiani, Tolmezzo

Validazione del progetto:
ing. Gian Paolo Guaran, Udine

Variante strutturale in corso d'opera:
ing. Massimo Blasone, Udine

lizione dell'impalcato esistente e del posizionamento dei prefabbricati, durante i getti e durante la costruzione e rimozione del ponteggio.

Le lavorazioni sono iniziate nel mese di aprile 2016 e concluse nelle parti principali sette mesi dopo circa. Esse hanno richiesto una chiusura completa del traffico nei primi tre mesi, durante i quali è stato rimosso e ricostruito l'impalcato. Nei mesi successivi si è proceduto alle riparazioni delle zone sottoimpalcato, prima lato Ampezzo e poi lato Sauris, con circolazione a senso unico controllata da impianto semaforico.

Dopo la prova di carico dell'impalcato del 21 dicembre 2016 la circolazione a doppio senso di marcia è stata riaperta.

I lavori hanno richiesto una spesa complessiva di circa 880.000 euro.

Note
1 Da *La Carnia di Antonelli. Ideologia e realtà*, Centro Editoriale Friulano, 1980.

dott. ing. **Alessandrini Francesco** (progettista), Alpe Progetti società di ingegneria, Udine
dott. ing. **Lionello Caproni** (direttore dei lavori), libero professionista in Udine
dott. ing. **Alessandro D'Agostino** (collaudatore statico), libero professionista in Tolmezzo
dott. ing. **Dario Fedrigo** (progettista), Alpe Progetti, società di ingegneria, Udine
geom. **Paolo Vidoni** (responsabile unico del procedimento), Provincia di Udine/Regione autonoma Friuli Venezia Giulia