IABMAS

BRIDGE INSPECTION, MAINTENACE, SAFETY AND MANAGEMENT

Politecnico di Milano14÷15 ottobre 2013

ISPEZIONE, MANUTENZIONE, SICUREZZA E GESTIONE DEI PONTI

RILIEVI SPERIMENTALI E CONTROLLI DOPO 18 ANNI DI ESERCIZIO DEL PONTE AD ARCO DI ALBENGA

Ing. Luca ROMANO – Albenga

INDICE

PREMESSE 3

DESCRIZIONE DEL PONTE. 5

NORME PROGETTUALI ADOTTATE 7

PROGETTO DELLA MANUTENZIONE E DELLA DURABILITA' 13

PROBLEMI COSTRUTTIVI 17

CONTROLLI E PROVE DI COLLAUDO E SPERIMENTALI 19

PIANO DI MANUTENZIONE 27

CONTROLLO A 5 ANNI DI ESERCIZIO 35

CONTROLLO A 6 ANNI DI ESERCIZIO 36

CONTROLLO A 18 ANNI DI ESERCIZIO 42

PRESCRIZIONI DOPO VERIFICA ISPETTIVA 63

PREMESSE

A seguito dell'alluvione del novembre 1994, in 12 mesi si è progettato, appaltato e realizzato il nuovo ponte sul fiume Centa ad Albenga.

Ponte ad arco a spinta eliminata, di 98 metri di luce in campata unica, a sospensione centrale, con cassone torsio-rigido.

Arco reticolare in acciaio, formato da tre tubi principali ϕ609.6 x40 mm

Impalcato a cassone in acciaio, di spessore ridotto a 140 cm, sostenuto da un'unica serie di funi spiroidali ϕ65 mm ogni 5 m, poste al centro delle carreggiate, areato con fori all'intradosso ogni 5 metri: da questi fori si accede al cassone, che è totalmente ispezionabile.

Remi esterni che hanno il compito di riportare i carichi eccentrici al cassone attraverso un comportamento schematizzabile in uno schema puntone-tirante; alleggeriti con vari fori per aumentarne la leggerezza ed evidenziarne il funzionamento.

DESCRIZIONE DEL PONTE.

La struttura portante è costituita da un arco che regge un cassone posto al di sotto, il tutto è in acciaio e forma una struttura portante ad arco a spinta eliminata, poiché il cassone inferiore funziona come catena per l'arco.

Il ponte misura 98 metri di lunghezza tra gli assi vincolo, ha un'altezza in chiave di 21 metri ed una larghezza totale di 15.4 metri.

L'arco è formato da tre tubi di diametro ϕ609.6 x 40 mm, collegati tra loro da tubi più piccoli (ϕ139.7 x 12.5 mm), il tutto per formare una struttura reticolare spaziale.

Ogni 5 metri una fune spiroidale chiusa di 65 mm di diametro appende l'impalcato all'arco, per mezzo di un capocorda fisso sull'arco ed uno regolabile all'interno del cassone.

L'impalcato è costituito da un cassone metallico, dotato ogni 5 metri di traversi reticolari interni che portano l'apparecchio di aggancio dei cavi e di remi esterni che hanno la funzione di reggere la soletta in cemento armato. Tali remi hanno il compito di riportare i carichi eccentrici al cassone attraverso un comportamento schematizzabile in uno schema puntone-tirante; essi sono alleggeriti con vari fori per aumentarne la leggerezza ed evidenziarne il funzionamento.

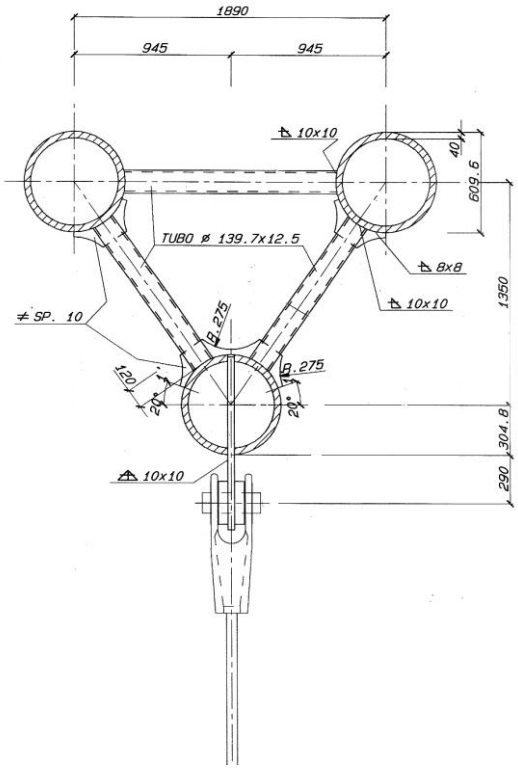
Il cassone metallico è l'elemento torsio-rigido della struttura; esso resiste alle sollecitazioni derivanti dalle eccentricità di carico, mentre all'insieme arco-impalcato sono demandati i compiti di sopportare carichi verticali.

Il fondo del cassone è forato ogni 5 metri, tra un traverso e l'altro, tali aperture hanno diametro di 150 cm e servono per tener aerato l'interno del ponte ed impedire fenomeni di condensa che potrebbero pregiudicarne la durabilità. Da tali fori si accede al cassone, che è totalmente isezionabile.

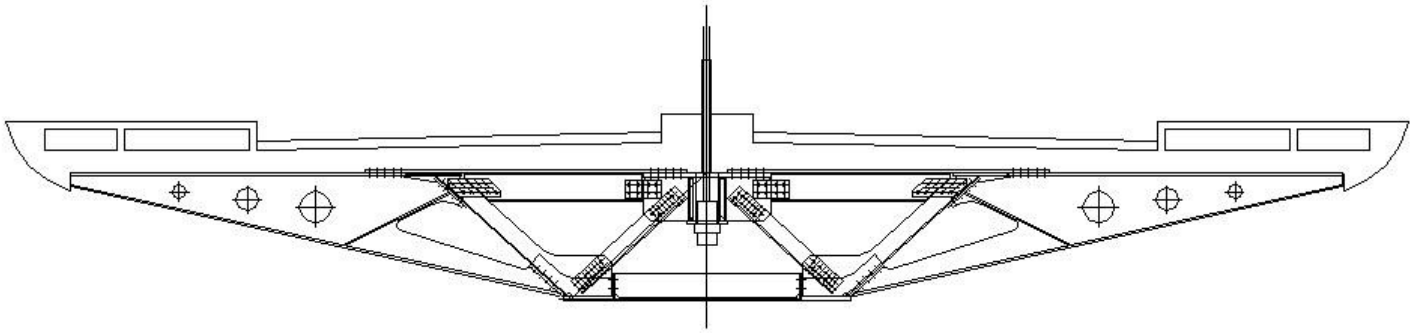
Il piano viabile è costituito da una soletta in cemento armato spessa 25 cm, ordita in direzione dell'asse principale del ponte, cioè nella direzione degli sforzi di trazione derivanti dal comportamento di catena; essa poggia ogni 5 metri sui traversi interni al cassone e sui remi esterni.

La pendenza trasversale dell'impalcato è del 2% a partire dal centro verso l'esterno delle carreggiate ed è stata realizzata con la soletta.

La pavimentazione è costituita da un pacchetto spesso 11 cm. così costituito: 1 cm di impermeabilizzazione a contatto con la soletta, 7 cm di binder, 3 cm di manto di usura.



arco e attacco tirante: capocorda fisso tipo ‘fork’



Sezione trasversale cassone e particolare attacco inferiore funi sul traverso: capocorda regolabile

NORME PROGETTUALI ADOTTATE

Nel 1994, anno del progetto, erano in vigore e sono state utilizzate le seguenti normative:

- **D. Min. LL.PP. 4 maggio 1990 -** Aggiornamento delle norme tecniche per la progettazione, la esecuzione e il collaudo dei ponti stradali.

- **Circ. LL.PP.--Pres.Cons.Sup.Serv. Tecnico Centr. 25 febbraio 1991, n. 34233 -** Legge 2-2-1974, n. 64-- Art.1 D.M. 4-5-1990--Istruzioni relative alla normativa tecnica dei ponti stradali.

- **C.N.R. n.10011-85 –** costruzioni di acciaio – Istruzioni per il calcolo, l'esecuzione, il collaudo e la manutenzione.

Tali normative prevedevano già alcune prescrizioni di durabilità ma soprattutto prevedevano come l'Ente proprietario del ponte dovesse vigilare, ispezionare ed effettuare la manutenzione.

DM 1990 sui ponti

Le norme, anche se mantenevano l'impostazione delle tensioni ammissibili, già obbligavano ad alcune verifiche di esercizio tipiche degli Stati Limite:

- Verifiche agli stati limite di fatica
- Verifiche agli stati limite di fessurazione
- Verifiche agli stati limite di deformazione

Sono comprese anche alcune prescrizione sui controlli, manutenzione, sostituzione, ecc:

- 6.2 assicurare l'accessibilità ai vincoli, per controllo, manutenzione e sostituzione
- 7.1 giunti che raccolgano le acque e le allontanino dalle strutture
- 7.3 impermeabilizzazione che protegga le strutture
- 7.4 prevedere lo smaltimento delle acque piovane
- 7.5 progettare l'ispezionabilità delle varie parti dell'opera

Circolare relativa alle Istruzioni del DM 1990 sui ponti

Tale Circolare esplicita ed approfondisce gli articoli del DM per garantire un corretto grado di sicurezza, esercizio, durabilità, controllo e manutenzione.

Infatti ai seguenti articoli si specifica:

- 5. Strutture portanti (traversi, pendenze, spessori minimi, copriferri, ispezionabilità, controlli sulle saldature, drenaggio acque, snellezze minime, …)
- 6. Vincoli (tipologie e relative limitazioni, protezione, …)
- 7.1 Giunti (sostituibilità, impermeabilità, funzionalità)
- 7.3 Impermeabilizzazione (resistenza, deformabilità, durabilità)
- 7.4 Smaltimento delle acque piovane (efficacia, sezione minima, allontanamento, fori di evacuazione nei cassoni)
- 7.5 Ispezionabilità (anche interna, con passi d'uomo)

Tale circolare riporta al cap. 9 “la gestione dei ponti stradali”, dove si evidenzia:

9. LA GESTIONE DEI PONTI STRADALI

9.1 Generalita'

Le strutture da ponte inserite nella rete stradale nazionale devono presentarsi in permanente stato di agibilita' tecnica, con riferimento, ovviamente, alle caratteristiche dei tronchi stradali cui esse sono a servizio.

Gli enti preposti alla gestione delle strade ai vari livelli esistenti (strade statali, regionali, provinciali, comunali, vicinali) e, per essi, gli Uffici Tecnici competenti, devono avere conoscenza, per quanto possibile completa, delle caratteristiche delle opere a loro affidate. Tali conoscenze devono essere sostenute da adeguata documentazione tecnica, da istituire per ogni opera o per gruppi di opere, contenente tutti i dati salienti relativi al progetto, alla esecuzione, al collaudo, alla gestione.

La necessita' di assicurare le dovute condizioni di sicurezza dell' utente, esige una assidua attenzione da parte degli enti gestori al fine di garantire una buona e corretta conservazione delle opere: in tal senso vanno tenute in particolare considerazione la vetusta' di molti ponti, la riclassificazione delle strade cui essi sono a servizio, l' aumento dei carichi circolanti.

La gestione dei ponti stradali si esplica attraverso le seguenti operazioni:

--vigilanza;

--ispezione;

--manutenzione: ordinaria-straordinaria;

--interventi statici; restauro-adeguamento-ristrutturazione.

9.2 Vigilanza

La vigilanza sullo stato di conservazione dei ponti deve essere permanente.

Il personale incaricato effettuera' con frequenza prestabilita visita ai manufatti, anzitutto per il controllo dello stato del piano viabile e poi per un esame di superficie delle strutture visibili degli impalcati e dei sostegni, onde accertare ogni fatto nuovo, l' insorgere di anomalie esterne, come fessurazioni, deformazioni anomale, armature scoperte, spostamenti relativi, movimenti del terreno, e dovra' immediatamente segnalare tali fatti all' Ufficio da cui dipende.

Lo stesso personale, nel caso in cui riscontri gravi anomalie, prendera' provvedimento immediato di chiusura del ponte al traffico o di limitazione della carreggiata.

L' Ufficio, dietro la segnalazione di cui sopra, disporra' una ispezione o un controllo adeguati alla importanza dell' anomalia segnalata.

Ispezioni o controlli straordinari dovranno essere altresi' disposti per quei manufatti che dovessero essere stati interessati da eventi eccezionali quali alluvioni, piene, sismi, gravi incidenti stradali che

9.3 Ispezione

Gli Uffici Tecnici delle Amministrazioni proprietarie delle strade, o alle quali la gestione delle strade e' affidata, devono predisporre un sistematico controllo delle condizioni statiche e di buona conservazione dei ponti. La frequenza delle ispezioni deve essere commisurata alle caratteristiche ed alla importanza dell' opera, nonche' alle risultanze della vigilanza.

Il controllo, da eseguire sulla base della documentazione disponibile, sara' volto ad accertare periodicamente le condizioni di stabilita' dell' opera e dei suoi elementi strutturali e lo stato di conservazione delle strutture stesse e delle parti accessorie. Le ispezioni, di norma visuali, devono riguardare, oltre che le strutture e le pertinenze dell' opera, anche le fondazioni, lo stato dei pendii, le situazioni in alveo, con particolare riferimento a stati di erosione.

L' esito di ogni ispezione deve formare oggetto di uno specifico rapporto da conservare insieme alla documentazione tecnica di cui al punto 9.1. A conclusione di ogni ispezione, inoltre, il tecnico incaricato deve, se necessario, indicare gli eventuali interventi a carattere manutentorio da eseguire ed esprimere un giudizio riassuntivo sullo stato dell' opera.

In caso in cui l' opera presentasse segni di gravi anomalie, il tecnico dovra' promuovere ulteriori controlli specialistici e nel frattempo adottare direttamente, in casi di urgenza, eventuali limitazioni all' esercizio dell' opera.

9.4 Manutenzione

Per manutenzione deve intendersi il complesso di operazioni necessarie a mantenere l' opera nella sua piena efficienza, nel rispetto delle sue originarie caratteristiche.

Le operazioni di manutenzione possono essere ordinarie o straordinarie.

9.4.1 Manutenzione ordinaria

Le operazioni di manutenzione ordinaria di regola comprendono:

--pulizia delle varie parti dell' opera compresi gli appoggi, anche con mezzi meccanici, al fine di asportare tutti i materiali estranei;

-- sostituzione di elementi accessori deteriorati con operazioni di semplice smontaggio e montaggio;

--riparazioni localizzate superficiali delle parti strutturali, da effettuare anche con materiali speciali;

--riparazioni localizzate di impermeabilizzazione e pavimentazione;

--interventi localizzati contro la corrosione;

--operazioni di riparazione dei giunti di dilatazione.

9.4.2 Manutenzione straordinaria

Le operazioni di manutenzione straordinaria di regola comprendono:

--ripristino di parti strutturali in calcestruzzo armato da eseguire anche con materiali speciali;

--protezione delle armature scoperte, estesa ad ampie zone;

--protezione dei calcestruzzi da azione disgreganti (gelo, sali solventi, ambiente aggressivo, ecc.) con eventuale applicazione di film protettivi;

--sigillatura di fessure di strutture in c.a. od in c.a.p., che non richiedano interventi piu' specifici;

--interventi su bullonature, saldature o parti comunque danneggiate di strutture metalliche;

--protezione contro la corrosione su grandi superfici in strutture metalliche;

--ripristino di strutture di mattoni o pietra da taglio;

--protezione delle armature da azioni disgreganti (gelo, sali, ambiente aggressivo, ecc.);

--riparazione e ricostruzione di ampie porzioni o della totalita' della pavimentazione e dell' impermeabilizzazione degli impalcati;

--sostituzione di giunti di dilatazione;

--interventi sugli appoggi e dispositivi di vincolo con messa in ripristino o sostituzione totale o parziale.

9.5 Restauro statico, adeguamento, ristrutturazione

9.5.1 Definizioni

Per restauro statico si intende il complesso di interventi volti al ripristino della capacita' portante originaria di un ponte deteriorato.

Per adeguamento si intende il complesso di interventi che, nel rispetto sostanziale della geometria e dello schema statico originario, pongano in grado la struttura di far fronte ad azioni maggiori o diverse da quelle del progetto originario.

Per ristrutturazione si intende infine il complesso di interventi volti al ripristino od anche all' aumento della capacita' portante, interventi comportanti peraltro una modifica delle caratteristiche geometriche (ad es. allargamento della sede stradale) o dello schema statico originario dell' opera.

L' adeguamento e la ristrutturazione possono interessare ovviamente anche opere in buono stato di conservazione.

9.5.2 Progettazione degli interventi

Per importanti interventi di restauro ed, in ogni caso, per gli interventi di adeguamento e ristrutturazione, si dovra' procedere alla redazione di un progetto completo, che prenda in esame, sotto tutti gli aspetti, la struttura esistenti ed il suo futuro assetto statico.

In particolare, in funzione delle caratteristiche dell' opera e dell' importanza dell' intervento, dovranno prendersi in considerazione e svilupparsi alcune o tutte le seguenti operazioni:

--rilievo geometrico completo dell' opera e confronto con la documentazione tecnica esistente;

--indagini sulle fondazioni, sul loro stato e sulla loro capacita' di portanza in rapporto con le caratteristiche del terreno;

--indagini sui materiali, mediante opportune serie di prove distruttive e/o non distruttive;

--rilievo del reale stato dell' opera con indicazione di stati fessurativi, di eventuale degrado e dello stato dei vincoli;

--relazione tecnica che illustri la natura e l' opportunita' delle scelte progettuali effettuate, le tecniche e le modalita' esecutive da adottare, i materiali normali e speciali da impiegare;

--elaborati di calcolo estesi anche ad eventuali fasi transitorie dell' intervento, con particolare riferimento ad eventuali problemi di ridistribuzione delle sollecitazioni e delle deformazioni.

Ulteriori indagini e studi potranno rendersi necessari in relazione alle singole tipologie ed alle specifiche situazioni.

Ad interventi conclusi, le opere dovranno essere assoggettate a collaudo statico secondo le modalita' previste nelle norme tecniche e nelle presenti istruzioni.

Quindi la Circolare individua esattamente chi è il responsabile della gestione del ponte ed i relativi compiti, e specifica che gli interventi importanti devono essere progettati e collaudati.

C.N.R. n.10011-85

Si riportano le prescrizioni della norma CNR:

11.3. Sorveglianza e manutenzione

11.3.1. Durante la loro vita le opere metalliche devono essere ispezionate periodicamente da tecnici qualificati incaricati di ciò dal committente.

11.3.2. Una prima visita di controllo deve essere fatta ad un anno dall'entrata in esercizio della struttura. In tale occasione deve essere stabilito l'intervallo di tempo massimo tra due ispezioni consecutive di dipendenza della natura, delle caratteristiche dell'opera e delle località in cui essa sorge; in ogni caso tale intervallo di tempo non può essere maggiore di 10 anni.

11.3.3. Le ispezioni periodiche devono essere estese per quanto possibile a tutte le parti dell'opera per accertarne lo stato generale di conservazione e disporre, se del caso, i lavori di manutenzione. In particolare, devono essere verificati l'efficienza delle chiodature o saldature dei collegamenti, il funzionamento degli apparecchi di appoggio e l'integrità delle murature di sostegno.

Quindi le Istruzioni CNR prevedevano chi deve fare le ispezioni (il committente), quando farle e cosa si deve controllare.

PROGETTO DELLA MANUTENZIONE E DELLA DURABILITA'

- Scelta dell'acciaio e sua preparazione
- Interno cassone: verniciatura, areazione pendenze e scolo acque
- Esterno cassone: verniciatura
- Arco: verniciatura e iniezione interna ai tubi di calcestruzzo
- Passi d'uomo e ispezionabilità di ogni parte del cassone
- Predisposizioni irrigidimenti nel traverso di testa dimensionati per sollevamento e sostituzione appoggi
- Predisposizioni per sostituzione pendini di apprensione e relative verifiche con traffico limitato

Progetto del ciclo di protezione della carpenteria metallica del ponte di Albenga:

per le indicazioni progettuali del piano di manutenzione, si è fatto riferimento alle seguenti indicazioni:

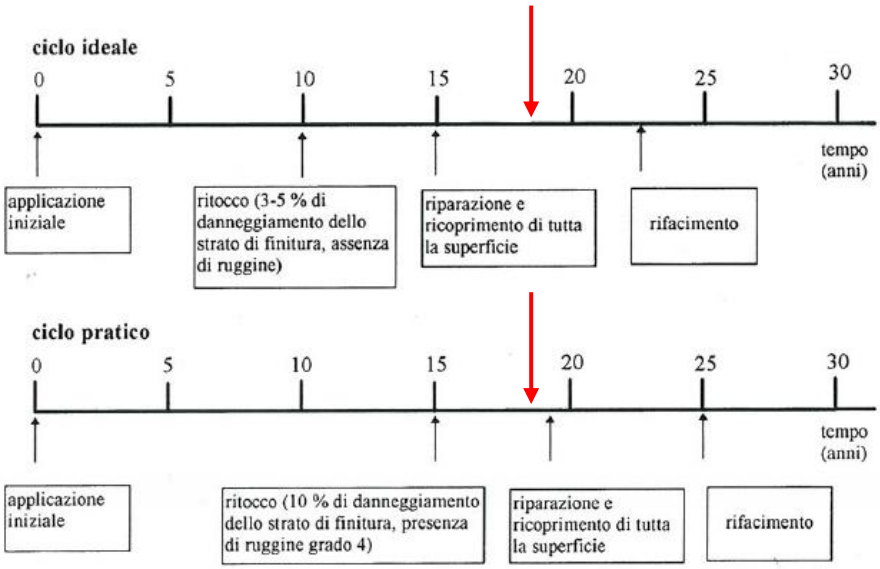


Figura 16. Cicli di manutenzione per strutture rivestite (da Brevoort e Roebuck).

Il ciclo protettivo scelto ha fatto riferimento alle seguenti indicazioni:

Ciclo	Preparazione superficiale	Spessore minimo (µm)	Ambiente marino (anni)	Ambiente urbano (anni)
HB ST epossidico/HB ST epossidico/ poliestere uretanico	SP 6 = Sa 2	300	12 (16)	14 (21)
uretanico allo zinco/HB acrilico uretanico/acrilico uretanico	SP 10 = Sa 2½	250	12 (16)	14 (21)
zinco inorganico/HB epossidico/HB epossidico	SP 10	280	12 (16)	15 (22.5)
zinco inorganico/HB acrilico uretanico/HB acrilico uretanico	SP 10	280	12 (16)	15 (22.5)
zinco inorganico/HB epossidico/poliestere uretanico	SP 10	225	12 (16)	15 (22.5)
zinco inorganico/HB epossidico/acrilico uretanico	SP 10	225	12 (16)	14 (21)
zinco epossidico/HB epossidico/HB epossidico	SP 10	280	12 (16)	14 (21)
zinco organico/HB acrilico uretanico/HB acrilico uretanico	SP 10	280	12 (16)	15 (22.5)
zinco epossidico/HB epossidico/poliestere uretanico	SP 10	225	12 (16)	14 (21)
zinco inorganico/HB vinilico/HB vinilico	SP 10	280	12 (16)	13 (19.5)
zinco inorganico	SP 10	75	(15)	(17)
zinco organico	SP 10	75	(6)	(5)
HB = alto spessore; ST = surface tollerant; SP10 = sabbiatura a metallo bianco;				

Tabella 2. Vita prevista prima del primo ritocco per alcuni tipi di cicli di pitturazione in ambiente marino ed urbano. Valori riferiti ad un ciclo di manutenzione ideale e, tra parentesi, pratico (da Brevoort e Roebuck).

In conformità alle precedenti tabelle, la progettazione esecutiva della protezione delle strutture metalliche ha imposto:

- Acciaio:

  Fe 510 grado C per spessori minori o uguali di 20 mm

  Fe 510 grado D per spessori maggiori di 20 mm

- Preparazione superficiale prima della verniciatura in officina:

  sabbiatura Sa $2_{1/2}$ a metallo quasi bianco

  prima mano di verniciatura (primer): immediatamente dopo la preparazione

- Ciclo protettivo: basato su tre strati di verniciatura:

  mano di fondo (primer)

  mano intermedia (copertura)

  mano di finitura

I cicli sono stati così differenziati:

- <u>Esterno cassone ed esterno arco</u>: verniciatura su tre mani così specificate:

Primer:	zinco epossidico	spessore:	80 μm
Strato intermedio:	epossidico alto spessore	spessore:	100 μm
Strato finitura:	poliuretanico	spessore:	50 μm

Spessore totale: 230 μm

- Interno cassone: verniciatura ciclo “B” ANAS:

Primer:	zinco epossidico	spessore:	40 μm
Strato intermedio:	epossidico alto spessore	spessore:	100 μm
Strato finitura:	poliuretanico	spessore:	40 μm

Spessore totale: 180 μm

Per evitare l’insorgenza di microclimi aggressivi negli interni delle strutture scatolari, il cassone è stato progettate areato, con importanti forature nella lamiera inferiore.
Tali forature permettono anche l’accesso al cassone e ne disegnano l’intradosso, pur mantenendo il funzionamento torsio – rigido dell’impalcato.
Il drenaggio è stato garantito da fori sul fondo lamiera, in tutte le zone di rischio di accumulo d’acqua.

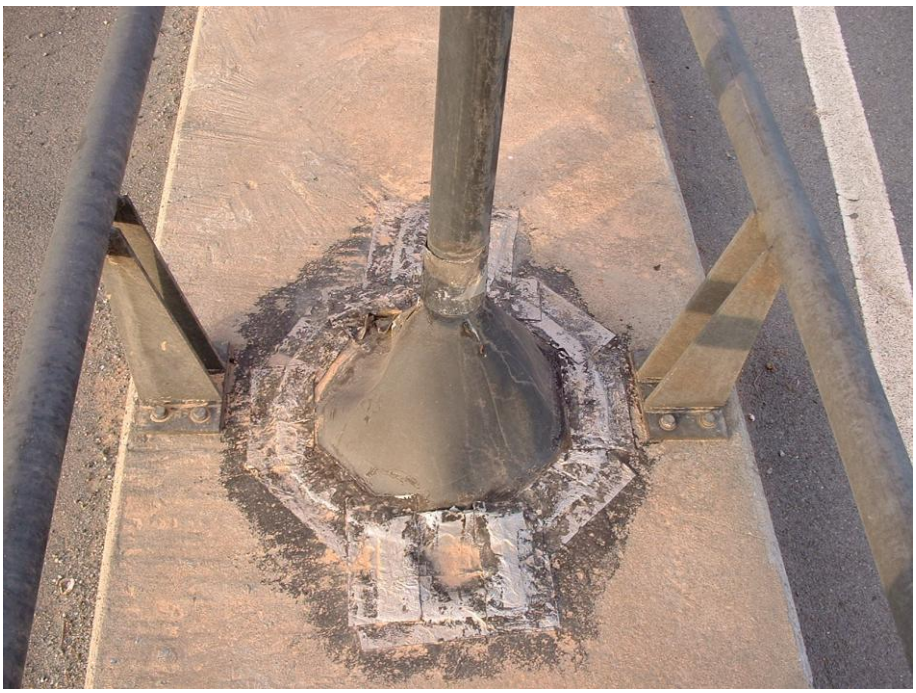
- Interno dei tubi dell’Arco: considerata la difficoltà di verniciare l’interezza della parte interna dei tubi, le alternative erano quelle di accettare una certa corrosione limitata alla poca aria presente nei tubi, stagni, oppure iniettare i tubi con una miscela cementizia che ne proteggesse l’interno col suo ambiente basico. La seconda scelta è stata effettuata al termine della costruzione, iniettando da un foro nei tubi, fino alla fuoriuscita da un foro contrapposto.

PROBLEMI COSTRUTTIVI

- Giunti verniciati e necessità di serraggio ripetuto dei bulloni:

- Impermeabilizzazione non adeguata con semplice guaina e apertura al traffico anticipata:

- Protezione inadeguata dell’attacco funi:



Insufficiente impermeabilizzazione dei pendini di sospensione e mancanza di protezione

CONTROLLI E PROVE DI COLLAUDO E SPERIMENTALI

- Montaggio: prescrizioni e controlli
- Bullonature: prescrizioni e controlli
- Saldature: prescrizioni e controlli
- Collaudo statico in tre diversi configurazioni: max flettente, max emisimmetrico, max torcente
- Prova dinamica di validazione del modello numerico del ponte: passaggio su traversina, frenatura longitudinale, frenatura trasversale, eccitazione arco

Progetto del montaggio

La connessione strutturali dei conci del ponte era così organizzata:

Giunti dell'arco:	saldati
Giunti di forza del cassone:	bullonati ad attrito
Giunti di connessione di remi e traversi:	bullonati a taglio

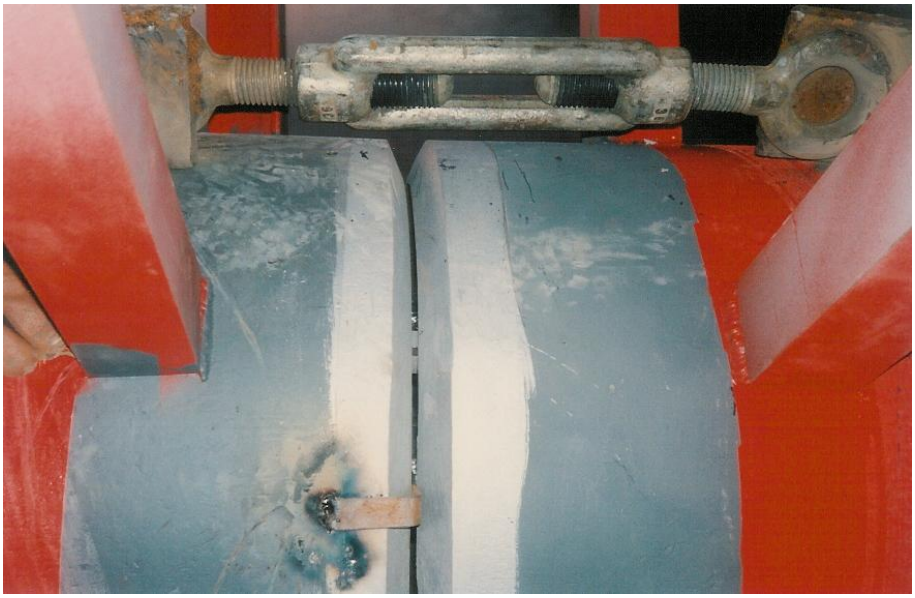
Prescrizioni di controllo ed esecuzione

Premontaggio in officina:

Il premontaggio ha permesso l'ottimizzazione degli accoppiamenti e la minimizzazione dei difetti costruttivi. E' stato effettuato sia per il cassone che per l'arco.

Saldature dei tubi dell'arco:

Saldature a piena penetrazione dei tubi Φ609.6x40: sono state organizzate con l'Istituto Italiano della Saldatura, provate all'Istituto con saldatori qualificati e controllate tutte in opera, con ultrasuoni sul 100% dello sviluppo:



Preparazione saldatura piena penetrazione tubi arco: no piatto di sostegno, gap di 4 mm

Giunti bullonati: prescrizioni di controllo sulle coppie di serraggio bulloni

Le prescrizioni di controllo sulle coppie di serraggio dei bulloni delle varie connessioni sono state direttamente controllate dalla DL, con chiave dinamometrica tarata.

Per ogni giunto è stato controllato almeno il 10% dei bulloni, se uno solo non raggiungeva la corretta coppia di serraggio, tutti i bulloni del giunto venivano controllati e riserrati.

Poiché in cantiere sono arrivati completamente verniciate anche le zone di giunto, si è imposto un nuovo serraggio e controllo di tali giunti prima dell'apertura del ponte ed un controllo ad un anno dall'entrata in esercizio.
Il rischio era il minor attrito tra le superfici a contatto ed il rifluimento viscoso della vernice.

Prescrizioni di controllo sulle saldature

Nel capitolato di progetto erano stati imposti controlli sulle saldature, effettuati da controllore indipendente (Istituto Italiano della Saldatura):

NUOVO PONTE SUL FIUME CENTA

Controlli da effettuare sulle saldature delle opere in carpenteria metallica

Per tutte le saldature facenti parte dell'arco e dell'impalcato si raccomanda un controllo visivo e dimensionale.
Nel seguito si specifica il tipo di controllo da effettuare per ogni parte strutturale e la percentuale di controlli da effettuare sulle stesse.

N.B. dove si e' indicato saldatura in "piena penetrazione" eseguire controlli ad ultrasuoni sul 100% delle saldature

ARCO

- tubi principali: controlli con ultrasuoni sulle saldature di tutti i giunti
- tubo principale inferiore: ultrasuoni sulla lamiera del tubo nel punto di attacco delle bielle , per controllare che non presenti sfogliature
- attacco tirante: controlli con magnaflux sul 100% delle saldature degli attacchi sia superiori che inferiori
- saldature tubo inferiore-bielle di collegamento: magnaflux sul 100%
- saldature tubo superiore-bielle di collegamento: magnaflux sul 30%
- primi due ordini di diagonali tra tubo sup.e inf.: ultrasuoni 100%
- controventi a croce di S.Andrea tra i tubi superiori dell'arco: magnaflux sul 15%

CASSONE

- composizione travi: magnaflux sul 15% delle saldature
- attacco superiore ed inferiore dei remi correnti: magnaflux sul 100% delle saldature degli attacchi e dei corrispondenti irrigidimenti interni nel cassone
- cassone di testa:
  - lamiere di innesto con i tubi: magnaflux sul 100% delle saldature coinvolte
  - penultimo ed ultimo traverso: magnaflux sul 100% delle saldature coinvolte
  - rimanenti saldature del concio di testa: magnaflux sul 30%

prove di collaudo statico

Posizionati 10 camion del peso di circa 40 ton l'uno, in tre diverse posizioni, in modo da massimizzare le sollecitazioni per l'intera struttura:

1) 4+4 automezzi solo su metà ponte (max carico emisimmetrico)
2) 5+5 automezzi al centro del ponte (max carico flettente)
3) 10 automezzi sulla sola corsia esterna del ponte (max carico torcente)

Misurazioni:

- freccia dell'impalcato in mezzeria ed ai quarti
- freccia dell'arco in mezzeria ed ai quarti
- allungamento dell'impalcato in prossimità degli appoggi sulla spalla mobile
- deformata trasversale al centro del ponte
- tensioni nell'acciaio sulla piattabanda inferiore del cassone e sul tubo inferiore dell'arco al quarto della luce ed all'incastro.

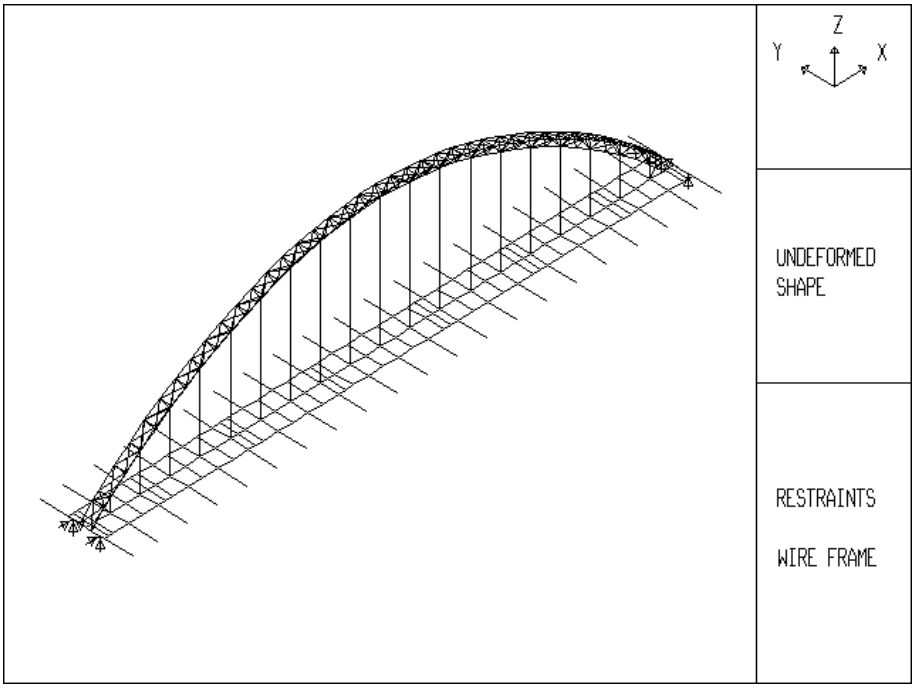
Nella tabella che segue sono confrontabili i principali risultati sperimentalmente misurati, con le previsioni teoriche fatte:

punto di misura	carico emisimmetrico (abbassamento mm)		max. flessionale (abbassamento mm)		max torsionale (abbassamento mm)	
	teorico	misurato	teorico	misurato	teorico	misurato
¼ impalcato	-76.4	-61.0	-4.8	-19.1	-17.1	-11.1
½ impalcato	-12.0	-36.0	-45.1	-38.7	-19.4	-15.9
¾ impalcato	+52.1	+31.3	-14.5	-29.6	-8.4	-10.2
¼ arco	-67.5	-63.0				
½ arco	-3.7	-14.0	-26.8	-28.0	-8.0	-13.0
¾ arco	+56.0	+51.0				

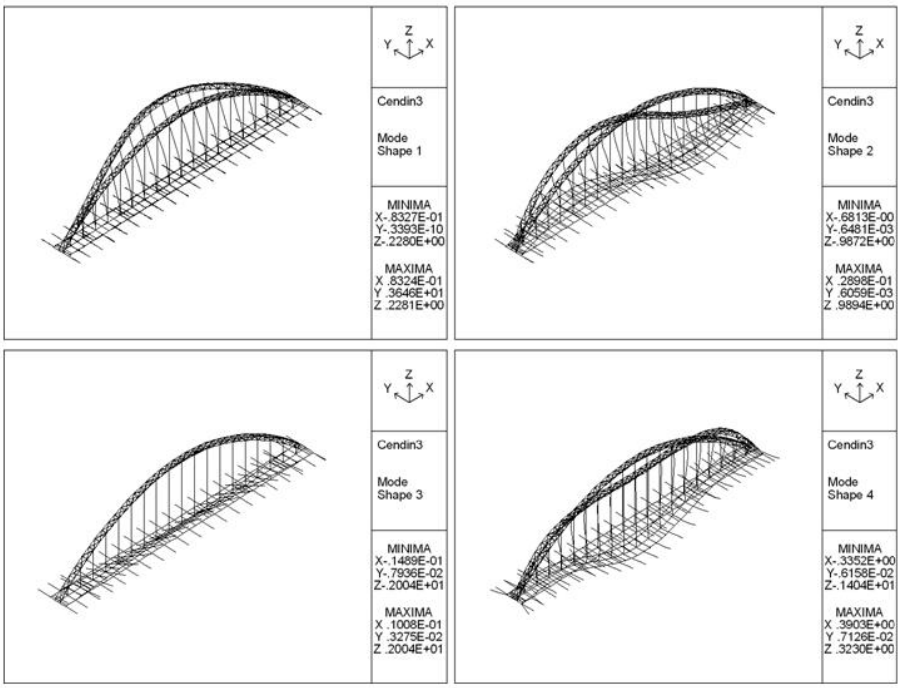
Confronto deformate teoriche-sperimentali

Prova dinamica di validazione del modello FEM del ponte

E' stata organizzata una prova dinamica di validazione del modello FEM del ponte:



Modello FEM



Prime quattro frequenze proprie

La prova era così organizzata:

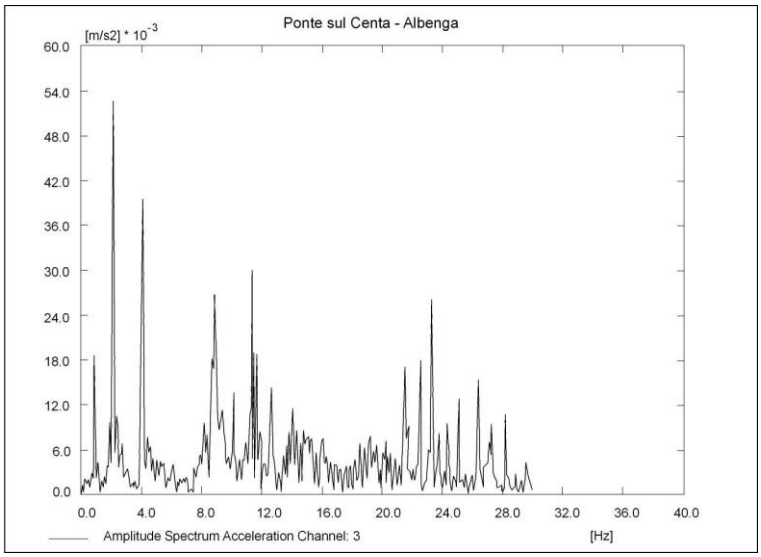
- passaggio di un camion pesante 40 ton sopra ad una traversina, 'bump', di sezione 12x12 cm

- Frenatura del camion al centro dell'impalcato sia in direzione longitudinale che leggermente trasversale

- eccitazione ortogonale dell’arco per mezzo di un cavo d'acciaio collegato in chiave e tirato da una ruspa agente nel greto del fiume: il cavo era dotato di un provino con sezione di rottura tarata a 4 tonnellate che, rompendosi improvvisamente metteva in vibrazione l'arco.

Sotto tutte queste eccitazioni dinamiche sono state registrate le oscillazioni strutturali attraverso accelerometri posizionati sia sull'impalcato che sull'arco.
Dai segnali ottenuti sono state calcolate le trasformate di Fourier e, quindi, gli spettri di accelerazione per individuare i picchi di frequenza ed i modi principali di vibrare ad essi collegati.

Nella figura che segue si riporta il risultato sperimentale per l'arco, fuori dal piano, in termini di spettro d'accelerazione:



Accelerazioni spettrali dell’arco fuori dal piano

La prova ha permesso di valutare l'affidabilità del modello FEM, la bontà delle analisi di progetto e verifica effettuate e la capacità del modello di rispondere a future simulazioni.

ARCO	teorico	sperimentale
1° flessionale arco fuori dal piano verticale	0.871 Hz	0.8 Hz
2° flessionale arco nel piano verticale	0.997 Hz	0.8 Hz
3° flessionale arco nel piano verticale	1.856 Hz	1.9 Hz
2°flessionale arco fuori dal piano verticale	1.999 Hz	2.1 Hz

tabella - confronto teorico-sperimentale dei modi principali di vibrazione dell'arco

IMPALCATO	teorico	sperimentale
2° flessionale intero ponte nel piano verticale	0.997 Hz	1.1 Hz
modo torsionale dell'impalcato	1.648 Hz	1.6 Hz
3° flessionale intero ponte nel piano verticale	1.856 Hz	1.9 Hz
1° flessionale impalcato nel piano orizzontale	1.999 Hz	1.8 Hz

tabella - confronto teorico-sperimentale dei modi principali di vibrazione dell'impalcato

PIANO DI MANUTENZIONE

Nel 1994 il piano di manutenzione non era un documento previsto nel progetto esecutivo.

Considerata la delicatezza dell'opera mi ero posto il problema di indicare all'Ente proprietario come gestire il ponte. Per questo avevo inserito nel capitolato speciale di appalto un capitolo riguardante i controlli da effettuare dopo l'esercizio del ponte.

Sapendo che tale documento non sarebbe stato più considerato una volta terminati i lavori, d'accordo col collaudatore, avevamo inserito un capitolo di addendum alla relazione di collaudo, che facesse riferimento ad un documento di manutenzione obbligatoria del ponte.

Si riporta il documento originario.

COMUNE DI ALBENGA

PROVINCIA DI SAVONA

PONTE AD ARCO SUL FIUME CENTA

PROGETTO ESECUTIVO

PROGRAMMA DI CONTROLLO E MANUTENZIONE

PROGETTO: ING. LUCA ROMANO - STUDIO TECNICO ASSOCIATO ROMANO - ALBENGA SV

DATA: Dicembre 1994

REVISIONE: 1.0

FILE: Manutenzione.doc

CONTROLLI E MANUTENZIONE

Data la complessità strutturale dell'opera si ritiene importante dare delle indicazioni minimali di controllo sullo stato di conservazione del ponte nei suoi elementi più significativi, con l'invito al Committente di eseguire quanto di seguito descritto per mantenere un adeguato stato di conservazione.

Le opere di manutenzione da compiersi saranno definite sulla base dei risultati ottenuti nella campagna di controllo, da effettuarsi con personale idoneo a valutare lo stato di conservazione e gli eventuali interventi di ripristino e/o manutenzione che si rendessero necessari.

Al riguardo si richiama l'attenzione sulla delicatezza del controllo di tesatura delle funi, controllo che dovrà essere effettuato da personale della Ditta esecutrice dei cavi o equivalente.

I controlli saranno effettuati a 12 mesi ed a 5 anni dall'apertura al traffico del ponte.

Campagne di controllo successive saranno valutate sulla base dei risultati ottenuti e comunque con periodo non superiore a 10 anni.

CONTROLLI A 12 MESI DALL'APERTURA AL TRAFFICO

- Impermeabilizzazione della soletta:
    - Data la modifica delle fasi di montaggio rispetto all'originaria previsione del progettista, è divenuto più significativo lo stato di fessurazione della soletta per maggiori trazioni. Così come l'accelerata tempistica di esecuzione della soletta stessa e dell'impermeabilizzazione, non rende conto dell'efficienza di quest'ultima. Si prescrive pertanto un controllo dello stato di efficienza dell'impermeabilizzazione a 12 mesi dell'apertura al traffico. In caso di controllo positivo sarebbe opportuno ripeterlo dopo successivi 12 mesi. In caso di esito negativo si consiglia di sostituire l'impermeabilizzazione con una di tipo poliuretanico, al fine di ridurne nel tempo i costi di controllo e manutenzione.
- Funi:
    - controllo visivo dell'integrità della protezione delle funi;
    - controllo visivo dell'integrità e funzionalità dei capicorda:
    - controllo tesatura.
- Bulloni:
    - Le superfici dei giunti risultavano verniciate, per cui si ritiene necessario controllare la coppia di serraggio dei bulloni a 12 mesi dall'apertura al traffico.
- Cassone:
    - controllo delle vie d'acqua interne ed eventuale esecuzione di fori sul fondo per smaltimento delle acque infiltrate;
    - controllo sigillatura irrigidenti in corrispondenza dei coprigiunti.

MANUTENZIONE:

- Pulizia del sistema di scolo delle acque di piattaforma.

CONTROLLI A 5 ANNI DALL'APERTURA AL TRAFFICO

I controlli correnti raccomandati sono i seguenti:

- Apparecchi d'appoggio:
  - libertà d'escursione;
  - stato di conservazione del piano di scorrimento.
- Cassone d'impalcato:
  - controllo stato di conservazione della verniciatura;
  - controllo del serraggio bulloni;
  - controllo visivo delle saldature correnti;
  - controllo u.s. e/o magnaflux per nodi dei remi e attacchi delle funi
  - controllo delle vie d'acqua interne ed eventuale esecuzione di fori sul fondo per smaltimento delle acque infiltrate;
  - controllo del sistema di smaltimento delle acque di piattaforma.
- Arco:
  - verniciatura;
  - controllo visivo 100% delle saldature;
  - controllo u.s. 10% giunti principali
  - controllo visivo dei particolari d'attacco delle funi.

- Funi:
  - controllo della tesatura delle funi;
  - controllo visivo dell'integrità della protezione delle funi;
  - controllo visivo dell'integrità e funzionalità dei capicorda.

- Soletta:
  - controllo dell'impermeabilizzazione;
  - controllo dell'integrità dei copriferri;
  - controllo dello stato di fessurazione e dell'ampiezza delle stesse (ove possibile).

- Spalle:
  - controllo visivo, per quanto possibile, atto a verificare l'eventuale presenza di fessurazioni, lesioni o cedimenti.

MANUTENZIONE:

- Pulizia del sistema di scolo delle acque di piattaforma.

CONTROLLI OGNI 10 ANNI DALL'APERTURA AL TRAFFICO

- Apparecchi d'appoggio:
  - libertà d'escursione;
  - stato di conservazione del piano di scorrimento.

- Cassone d'impalcato:
  - controllo stato di conservazione della verniciatura;
  - controllo del serraggio bulloni;
  - controllo visivo delle saldature correnti;
  - controllo u.s. e/o magnaflux per nodi dei remi e attacchi delle funi
  - controllo delle vie d'acqua interne ed eventuale esecuzione di fori sul fondo per smaltimento delle acque infiltrate;
  - controllo del sistema di smaltimento delle acque di piattaforma.

- Arco:
  - verniciatura;
  - controllo visivo 100% delle saldature;
  - controllo u.s. 10% giunti principali
  - controllo visivo dei particolari d'attacco delle funi.

- Funi:
  - controllo della tesatura delle funi;
  - controllo visivo dell'integrità della protezione delle funi;
  - controllo visivo dell'integrità e funzionalità dei capicorda.
- Soletta:
  - controllo dell'impermeabilizzazione;
  - controllo dell'integrità dei copriferri;
  - controllo dello stato di fessurazione e dell'ampiezza delle stesse (ove possibile).

- Spalle:
  - controllo visivo, per quanto possibile, atto a verificare l'eventuale presenza di fessurazioni, lesioni o cedimenti.

- Verifica di tutta la verniciatura della struttura metallica

MANUTENZIONE:

- Pulizia del sistema di scolo delle acque di piattaforma.

- Ritocchi dello strato di vernice protettiva della struttura metallica (circa il 30%)

CONTROLLI A 20 ANNI DALL'APERTURA AL TRAFFICO

- Apparecchi d'appoggio:
  - libertà d'escursione;
  - stato di conservazione del piano di scorrimento.

- Cassone d'impalcato:
  - controllo delle vie d'acqua interne ed eventuale esecuzione di fori sul fondo per smaltimento delle acque infiltrate;
  - controllo del sistema di smaltimento delle acque di piattaforma.
  - controllo stato di conservazione della verniciatura;
  - controllo del serraggio bulloni;
  - controllo visivo delle saldature correnti;

- Arco:
  - verniciatura;
  - controllo visivo 100% delle saldature;
  - controllo u.s. 10% giunti principali
  - controllo visivo dei particolari d'attacco delle funi.

- Funi:
  - controllo della tesatura delle funi;
  - controllo visivo dell'integrità della protezione delle funi;
  - controllo visivo dell'integrità e funzionalità dei capicorda.

- Soletta:
  - controllo dell'impermeabilizzazione;
  - controllo dell'integrità dei copriferri;
  - controllo dello stato di fessurazione e dell'ampiezza delle stesse (ove possibile).

- Spalle:
  - controllo visivo, per quanto possibile, atto a verificare l'eventuale presenza di fessurazioni, lesioni o cedimenti.

- Verifica di tutta la verniciatura della struttura metallica

MANUTENZIONE:

- Pulizia del sistema di scolo delle acque di piattaforma.

- Valutare la ri-verniciatura completa della struttura metallica.

- Controllo tesatura funi.

TABELLA RIASSUNTIVA DEGLI INTERVENTI OTTIMALI DI MANUTENZIONE E CONTROLLO E RELATIVI COSTI

Tipo di controllo/manutenzione	**Cadenza del controllo**	**Costo in Lire**	**Incidenza annuale**
Visivo funi e capicorda	annuale	500.000	500.000
Pulizia sistema di smaltimento acque	annuale	500.000	500.000
Libertà e funzionalità appoggi	5 anni	300.000	60.000
Visivo protezione struttura metallica, saldature e bulloni	5 anni	5.000.000	1.000.000
Controllo tesatura delle funi	10 anni	50.000.000	5.000.000
Impermeabilizzazione e integrità soletta	10 anni	1.000.000	100.000
Ritocco verniciatura	20 anni	10.000.000	500.000
Riverniciatura totale	40 anni	30.000.000	750.000
			8.410.000/anno

CONTROLLO A 5 ANNI DI ESERCIZIO

Nel 2000, il collaudatore amministrativo doveva ancora concludere il proprio collaudo a causa di riserve presentate dall'impresa e problemi legati al suo fallimento.
Trovandosi in mano il documento di collaudo statico con le prescrizioni di manutenzione a 5 anni dall'entrata in esercizio, si è trovato costretto a far eseguire le prescrizioni di controllo indicate.

La ditta incaricata del controllo delle coppie di serraggio e delle saldature del ponte ha prodotto il seguente documento:

- *Positivo: il controllo ultrasonoro sull'integrità dei bulloni, perni capocorda dei pendini e saldatura delle lamiere*
- *Positivo: il controllo magnetoscopico sulla saldatura delle lamiere, saldatura degli irrigidimenti, dei remi esterni, dei punti di fissaggio inferiori e superiori delle funi, delle saldature di testa dei tubi principali e di collegamento, degli irrigidimenti degli appoggi.*
- *Positivo: il controllo generali sui remi esterni, sulle lamiere del cassone, sull'arco, sulle funi.*
- *Non positivo: il controllo sulla coppia di serraggio dei bulloni nei due conci di testa, circa il 30% degli stessi presenta una carenza di serraggio*
- *Non positivo: il controllo sulla coppia di serraggio dei bulloni nel concio corrispondente all'apertura n.1, contata a partire dal centro città, circa il 30% degli stessi presenta una carenza di serraggio*
- *Non positivo: il controllo sulla coppia di serraggio dei bulloni nel concio corrispondente all'apertura n.3, contata a partire dal centro città, circa il 25% degli stessi presenta una carenza di serraggio*

Nessun intervento è stato ordinato o programmato dal collaudatore amministrativo !

CONTROLLO A 6 ANNI DI ESERCIZIO

Nel 2001, per iniziativa personale, ho voluto controllare l'interno del cassone del ponte ed il suo stato di conservazione.
Entrando ho verificato una situazione di forte degrado dovuta a improvvidi interventi da parte di un elettricista del Comune.
Infatti per riparare i proiettori che illuminavano l'arco, mal funzionanti, avevano deciso di alimentarli separatamente e così facendo, avevano realizzato due fori nella soletta, nella zona spartitraffico, non impermeabilizzandoli.
Inoltre, durante l'esecuzione dei fori, avevano intasato i fori di drenaggio del cassone coi residui di calcestruzzo, determinando accumuli d'acqua e ambiente aggressivo.

Il risultato è visibile nelle foto di seguito allegate.

Ho personalmente eseguito il progetto d'intervento di manutenzione, che è costato 110.000 euro, una cifra cinque volte superiore a quella di una corretta manutenzione quinquennale.

Nelle immagini che seguono si documentano i problemi riscontrati e la loro soluzione.

Cassoni d’estremità: accumuli d’acqua e forte arrugginimento di bulloni e lamiere

Stato delle lamiere e bulloni dopo idonea spazzolatura meccanica

Controllo e ripristino coppie di serraggio con chiave dinamometrica

Stato finale dell’interno del cassone a manutenzione completata

Stato finale dell’interno del cassone a manutenzione completata

Parte esterna del concio di testa del cassone: bulloni sostituiti e ri-verniciatura

Protezione e impermeabilizzazione dei pendini di sospensione

Ripristino della protezione dei capicorda danneggiati

CONTROLLO A 18 ANNI DI ESERCIZIO

Il Comune, più volte sollecitato, non ha provveduto a fare né incaricare nessun controllo e ispezione.

Nel 2013, sempre su iniziativa personale ho deciso di controllare l'interno del cassone del ponte ed il suo stato di conservazione generale al raggiungimento della "maggior età".

Nelle immagini che seguono si documenta lo stato generale di conservazione, i problemi riscontrati e la loro motivazione.

STATO DI CONSERVAZIONE GENERALE DELLA PROTEZIONE INTERNA

L'interno del cassone presenta un generale buono stato di conservazione, indice che sabbiatura e verniciatura sono stati efficaci:

Fianco cassone interno e nodi di attacco traversi e remi esterni

Conservazione giunti interni al cassone

STATO DI CONSERVAZIONE GENERALE DELLA PROTEZIONE ESTERNA

Le zone sabbiate e verniciate in officina si presentano ben conservate:

Le zone di giunto saldato, verniciate in cantiere, presentano deterioramento notevole e ruggine diffusa:

Zona giunto saldato del primo concio di arco

Non essendo mai stata eseguita una manutenzione preventiva, consistente in ritocchi e ricoperture parziali, il deterioramento della vernice è tale da richiedere riparazioni e ricoprimento su tutta la superficie.

E' evidente anche la perdita di colore generalizzata, dovuta all'aggressione atmosferica ed all'azione degli ultravioletti

PROBLEMI ALL'IMPERMEABILIZZAZIONE DELL'ATTACCO FUNI-IMPALCATO

fune 16: 3 cm di varco nell'impermeabilizzazione

CONSEGUENTI DANNI ALL’ATTACCO INFERIORE DEI PENDINI

Appensione 16: infiltrazioni, deterioramento di vernice e ruggine

PROBLEMI ALLE GUARNIZIONI DI IMPERMEABILIZZAZIONE FUNI

fune 12: fessure millimetriche nella guarnizione

Appensione 12: infiltrazione d'acqua nella fune con aggressione alla testa filettata

PROBLEMI INFILTRAZIONI D'ACQUA DA POZZETTI E ACCESSORI VARI

Rottura pozzetto del corpo illuminante con acqua nel pozzetto non impermeabilizzato

DANNI RICONDUCIBILI ALLE INFILTRAZIONI DA POZZETTI E ACCESSORI VARI

Effetti dentro il cassone: infiltrazioni, deterioramento protezione e ruggine diffusa

PROBLEMI DI TENUTA E FUNZIONAMENTO GIUNTI

Deterioramento meccanico del giunto, no manutenzione – mancanza di tenuta all'acqua

Mancanza sigillatura dei bulloni – vie d'infiltrazione d'acqua

DANNI RICONDUCIBILI AI GIUNTI

Scolatura sulle strutture e danno diffuso

Deterioramento protezione e ruggine diffusa

DANNI RICONDUCIBILI AI GIUNTI

Deterioramento protezione e ruggine diffusa

PROBLEMI AGLI APPOGGI

Appoggio fisso: rottura inghisaggio per mancanza spine di ancoraggio (solo resina)

Appoggio unidirezionale longitudinale: escursione 40 mm sui 50 mm ammissibili

PROBLEMI DOVUTI ALLA SCARSA QUALITA' DELL'IMPERMEABILIZZAZIONE

infiltrazioni dentro il cassone: danneggiamento protezione della carpenteria e ruggine

infiltrazioni dentro il cassone: inizio processo di danneggiamento soletta c.a.

PROBLEMI DOVUTI ALLO SMALTIMENTO DELLE ACQUE PIOVANE

Mancanza di pulizia delle griglie raccolta acque e dei bocchettoni sulla carreggiata

Tubi di evacuazione troppo corti, scolo e danno sulla soletta

Necessità di pulizia griglie, manutenzione e sostituzione tubi di evacuazione

PROBLEMI ALLE SOLETTINE DEI MARCIAPIEDI

Solettine sopra ai vani sottoservizi, mai impermeabilizzate né protette: usura, carbonatazione ed ossidazione armature

Necessità di impermeabilizzazione e pavimentazione (resina ÷ poliurea)

PROBLEMI AI RILEVATI DI ACCESSO: CEDIMENTI

Mancanza di soletta di transizione tra rilevato e spalla e conseguenti cedimenti

PROBLEMI CONSEGUENTI AI CEDIMENTI

Dislivello di 10 cm: urto dinamico ed incremento del danno

Dislivello di 5 cm sulla pista ciclabile e disagio per gli utenti

MANCANZA DI PULIZIA ALVEO

Vegetazione in alveo ed insufficienza del deflusso idraulico

Rischio di alluvione (ultima nel 1994, subito prima dell'allargamento dell'alveo e della realizzazione del nuovo ponte)

PRESCRIZIONI DOPO VERIFICA ISPETTIVA

Considerato il livello di danno riscontrato, si prescrivono vari interventi classificabili in:

- **Urgenti**: devono essere progettati ed eseguiti nell'arco di pochi mesi perché possono pregiudicare la stabilità o la vita utile del ponte
- **Programmabili**: devono essere comunque programmati ed eseguiti entro due anni per il corretto funzionamento del ponte ed il suo futuro servizio.

INTERVENTI URGENTI:

1. Riparazione della protezione di tutti i giunti dell'arco (spazzolatura meccanica e verniciatura)
2. Rifacimento impermeabilizzazione di tutti gli inserimenti funi nell'impalcato
3. Sigillatura delle guarnizioni tra funi di sospensione e coni protettivi
4. Riparazione della protezione di tutti gli apparecchi di aggancio inferiori delle funi (spazzolatura meccanica e verniciatura)
5. Riparazione cassette del sistema illuminante ed impermeabilizzazione di tutti i pozzetti
6. Riparazione protezione interna dei due conci di testa del cassone (spazzolatura meccanica e verniciatura)
7. Sostituzione integrale dei giunti stradali, con modelli di pari escursione e raccolta d'acqua fuori dalle zone di scolo
8. Riparazione della protezione dei traversi di testa (spazzolatura meccanica e verniciatura)
9. Riparazione del danno nelle spalle in calcestruzzo (idropulizia, passivazione armature, ricostruzione copriferri e trattamento anticarbonatazione)
10. Consolidamento del baggiolo ed inghisaggio dell'appoggio fisso in spalla destra
11. Pulizia griglie smaltimento acqua, rifacimento tubi di scolo ed impermeabilizzazione
12. Riparazione del danno all'intradosso soletta nelle zone di scolo (picchettatura, passivazione armature, ricostruzione copriferri)
13. Passivazione armature esposte sui marciapiedi
14. Impermeabilizzazione generale di marciapiedi e spartitraffico centrale con "poliurea"
15. Ripristino zona di transizione tra rilevati e spalle con realizzazione di misto cementato e rifacimento pavimentazione

INTERVENTI PROGRAMMABILI:

1. Ricoprimento di tutta la superficie verniciata
2. Spazzolatura e verniciatura di tutti i giunti principali interni al cassone
3. Controllo funi da parte della ditta esecutrice “Tensoteci”: tesatura, valutazione stato di conservazione testa filettata inferiore, realizzazione di fori di scolo acque nel dado di blocco del capocorda regolabile inferiore