

Bogenbrücke über dem Isorno

Der Kanton Tessin, zwischen Poebene und Alpen gebettet, verfügt über eine vielfältige Infrastruktur mit einem breiten Strassen- und Eisenbahnnetz, historischen und modernen Transportstrukturen sowie zahlreichen Brücken, von denen einige aus Stahl sind und im Laufe der Jahrhunderte erbaut wurden. Text: Ing. Piergiorgio Rossi, Officine Ghidoni SA, Ing. E. Fregni, FART SA

Solche Brücken sind Beispiele für wertvolle und exemplarische Metallkonstruktionen und müssen erhalten werden. Sie sind Zeitzeugen und Beispiele für die Bauweise vergangener Epochen und damit Teil unserer Geschichte.

Seit jeher ist das Tessin ein Durchgangsgebiet für die Überquerung der Alpen. Bedingt durch seine Geografie schuf die Bevölkerung die notwendigen Infrastrukturen, um die Handelsbeziehungen und den Warenaustausch mit den angrenzenden Regionen und Ländern zu erleichtern.

In diesem Zusammenhang spielten Brücken zur Überquerung von Flüssen und Bächen eine entscheidende Rolle, da sie dem Reisenden lange Umwege ersparten. Die ersten Stahlbrücken entstanden ab dem Ende des 18. Jahrhunderts und waren hauptsächlich Konstruktionen aus Gusseisen (Eisen mit hohem Kohlenstoffgehalt). Der Name der gusseisernen Brücke über dem Fluss Severn in Shropshire (England), «Iron Bridge» (1779-1781), erinnert an diese alte Bautechnik. Die Brücke gehört heute zum Weltkulturerbe der UNESCO und war die erste ihrer Art. Sie schuf nicht nur eine Verbindung von einem Flussufer zum anderen, sondern bewies auch das grosse Potenzial des Materials, aus dem sie erbaut wurde und das nach wie vor beim Bau von Brücken und Viadukten Verwendung findet.

In diesem Beitrag stellen wir die 1915 erbaute Isorno-Brücke der Centovalli-Bahnlinie bei Intragna vor. Die Gewagtheit der Konstruktionstechnik dieses Viadukts ist beeindruckend: Es ist ein Meisterwerk des Stahlhochbaus mit einer extrem



Iron Bridge 1779-1781, Shropshire (England). UNESCO-Weltkulturerbe.

Iron Bridge 1779-1781 Shropshire (Inghilterra). Patrimonio dell'UNESCO.

schlanken genieteten Stahlstruktur, einer Spannweite von 120 m, wovon 90 m den zentralen Teil der Brücke bilden, getragen von den Hauptpfeilern in einer Höhe von 75 m über dem Flussbett. Im Lauf ihrer hundertjährigen Geschichte hat sie weder im Hinblick auf die Tragstruktur noch auf ihre Ästhetik an Vitalität eingebüsst.

Geschichte

Die Konstruktion stellt in Anbetracht der zu Beginn des 20. Jahrhunderts verfügbaren Mittel sicherlich ein Wagnis der Baukunst dar. Die statische Berechnung wurde präzise von Hand durchgeführt, teils mit dem Rechenschieber und teils mit Logarithmen. Die Kräfte in den ebenen Balken wurden mit einem zeichnerischen Verfahren ermittelt, dem berühmten Seilpolygon, das der älteren Generation sicherlich noch ein

Begriff ist. Es versteht sich von selbst, dass auch die Ausführungspläne von Hand erstellt und vervielfältigt wurden. Da Verbindungstechniken wie das Schweißen damals noch in den Kinderschuhen steckten, wurde ein grosser Teil dieser Bogenkonstruktion mit Winkelprofilen realisiert, die durch Niete verbunden wurden. Das Niete erfolgte direkt vor Ort auf der Baustelle, indem ein Niet durch die Löcher der beiden zu verbindenden Bauteile geführt und der Schliesskopf anschliessend durch Feuerschweißen geformt wurde. Dies erwies sich als kein leichtes Unterfangen, insbesondere angesichts der Tatsache, dass häufig in luftiger Höhe gearbeitet wurde. Bei dieser Art von Konstruktion wurden die benötigten Abschnitte gefertigt und die lokale Festigkeit optimiert, indem das Grundprofil, normalerweise ein Winkelprofil, zusätzlich mit Versteifungsblechen versehen wurde, die man vernietete, oder indem andere zusammengesetzte Teile hergestellt wurden. Die Montage brachte erhebliche Probleme mit sich, da sich die damaligen Möglichkeiten zum Heben von Bauteilen stark von denen unterschieden, die wir heute zur Verfügung haben. Die Montage dieser oft aus relativ leichten Elementen bestehenden Strukturen erfolgte mit Hilfe eines Derrickkrans mit einem an der Konstruktion befestigten und verschiebbaren Ausleger zum Heben der Bauteile. In diesem spezifischen Fall wurde neben dem Derrickausleger auch ein kleiner, auf dem Überbau fahrbarer Kran eingesetzt, der von beiden Ufern aus, die Konstruktion selbst als tragendes Element nutzend, die Montage der

TECNICA DI GIUNZIONE / CHIODATURA

Ponte ad arco sull'Isorno

Il Canton Ticino, inserito tra la Pianura Padana e la cresta delle Alpi, caratterizzato da molte vie di comunicazione - stradali e ferroviarie, antiche e moderne - è un paese ricco di ponti, alcuni dei quali in acciaio, costruiti nel corso dei secoli.

Opere da salvaguardare in quanto esempi di costruzione metallica ancora valida e esemplare. Essi sono la testimonianza della loro epoca, un esempio di un modo di costruire e costituiscono la nostra memoria storica. Il territorio ticinese è da sempre uno dei passaggi obbligati per

l'attraversamento delle Alpi; la sua morfologia ha obbligato gli abitanti a costruire manufatti per facilitare le relazioni, i commerci e gli scambi tra le varie regioni e nazioni.

In questo contesto il ponte rivestiva un ruolo determinante nell'attraversamento dei fiumi e dei torrenti,

evitando ai viandanti lunghissimi percorsi di aggiramento. I primi ponti in struttura metallica, sostanzialmente in ghisa (ferro con elevato tenore di carbonio), risalgono alla fine del XVIII secolo ed erano stati realizzati praticamente in elementi ad aste fuse. Quello sul fiume Severn nel

Shropshire (Inghilterra), chiamato ovviamente «Iron Bridge» (1779 - 1781) e attualmente patrimonio dell'UNESCO, fu il primo e servì, oltre che per collegare le due sponde del fiume, anche per dimostrare le elevate potenzialità di questo materiale, potenzialità tuttora indiscutibili soprattutto



Die 1915 erbaute Isorno-Brücke der Centovalli-Bahnlinie bei Intragna. Die Spannweite beträgt 120 m, wovon 90 m den zentralen Teil der Brücke bilden. Il ponte sull'Isorno della Ferrovia delle Centovalli a Intragna costruito nel 1915. La lunghezza complessiva è di 120 m, di cui il tratto centrale del ponte misura 90 m.

Stäbe des Fachwerks ermöglichte. Diese Vorgehensweise ist auf interessanten Fotografien von Valentino Monotti aus dem Jahr 1916 dokumentiert. In der Mitte wurden die beiden Halbbögen durch ein Gelenk miteinander verbunden, da das statische Schema das eines Dreigelenkbogens ist. Die beiden Halbbögen wurden während der Montage mit provisorischen Streben abgesteift.

Es wäre interessant, die angewandten Sicherheitsmassnahmen, vor allem bei der Montage bzw. die Statistik der Arbeitsunfälle zu untersuchen. Leider sind diesbezüglich keine Daten verfügbar, doch kann man gewiss behaupten, dass auch in diesem Kontext die Entwicklung rasant war.

Heutiger Zustand geprüft

Die Struktur wurde angepasst, das Grundgerüst blieb aber im Wesentlichen gleich. Natürlich wurden die notwendigen Wartungsarbeiten durchgeführt, die grundsätzlich in einem Überprüfen der Konstruktion bestehen und vor allem im Erhalten und Wiederherstellen der Oberflächenbehandlung als entscheidendes Element für die Garantie der Lebensdauer von Stahlkonstruktionen.



Tausende von Niete halten das Bauwerk zusammen.

La struttura è tenuta insieme da migliaia di chiodi.



Das Verfahren der Prüfung des Nietkopfs ist in der einschlägigen Literatur beschrieben und erläutert, wie der Nietkopf des zu prüfenden Nies axial mit einem kleinen Hammer abzuklopfen ist. Il procedimento di verifica della testa del chiodo, descritto nella relativa letteratura, spiega come battere assialmente, con un piccolo martello, la testa del chiodo in esame.

nen. Seit dem Inkrafttreten der Normenreihe SIA 269 wurde das Bauwerk genauestens auf seinen Zustand sowie die statische bzw. dynamische Konformität überprüft. Die Norm SIA 269/3 aus dem Jahr 2011 regelt die Grundsätze im Rahmen

der Erhaltung von bestehenden Tragwerken aus Stahl. Es handelt sich um eine wichtige Norm, die in gewisser Weise die beeindruckende Lebensdauer von Stahlbrücken bescheinigt. Denn die Inspektion spielt eine tragende Rolle, >

nella costruzione di ponti e viadotti. Il nostro articolo è dedicato alla presentazione del ponte sull'Isorno della Centovallina ad Intragna, costruito nel 1915. Un viadotto che colpisce per la sua arditezza: un capolavoro di ingegneria metallica, caratterizzato da una struttura d'acciaio chiodata estremamente esile, che si sviluppa su una lunghezza complessiva di circa 120 m, di 90 m quella del tratto centrale, tra le pile principali e posizionata a circa 75 m di altezza per rapporto al letto dell'Isorno. A cento anni di vita non ha ancora

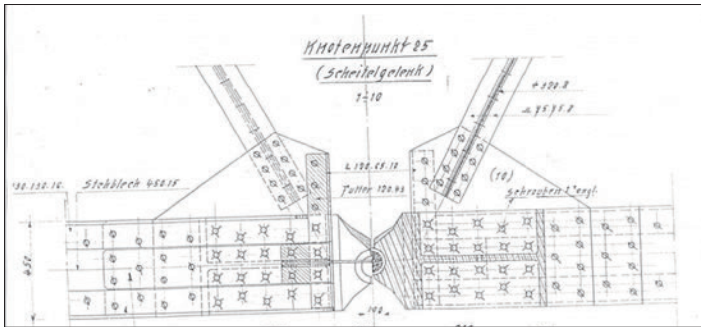
perso la sua freschezza sia per quel che riguarda la struttura portante sia per l'estetica.

Storia

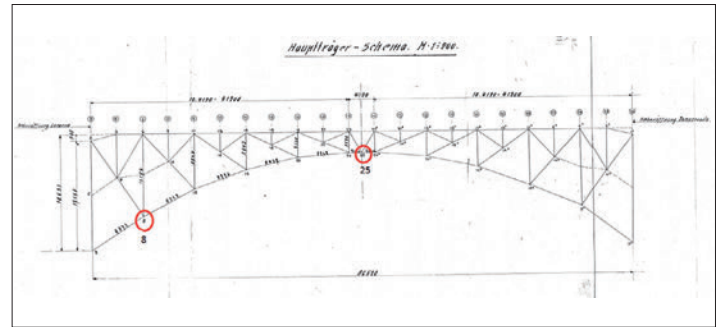
Quest'opera è sicuramente audace se consideriamo i mezzi a disposizione agli inizi del novecento. Il calcolo statico è stato eseguito rigorosamente a mano, in parte con calcoli effettuati con il regolo calcolatore e in parte con i logaritmi. Per quanto riguarda le forze presenti nelle aste, esse venivano valutate con dei metodi grafici, i famosi poligoni funicolari

che i non più giovani ricorderanno sicuramente. Inutile ricordare che anche i piani esecutivi sono stati eseguiti e riprodotti a mano. Gran parte di questa struttura ad arco è stata realizzata con dei profili d'acciaio a sezione a «L», assiemati mediante chiodatura, considerato che l'impiego di bulloni e saldatura era ancora agli albori. La chiodatura veniva fatta sul posto e consisteva nel forgiare a caldo la testa di un ribattino infilato in un foro passato tra due elementi da assiemare. Operazione non molto semplice, soprattutto se si conside-

ra che spesso veniva effettuata nel vuoto. In questo tipo di costruzioni si formavano le sezioni necessarie e si ottimizzava la resistenza locale aggiungendo al profilo di base, in genere un profilo a «L», delle lamiere di rinforzo assiemate tramite chiodatura, oppure formando altre sezioni composte. Notevoli le problematiche di montaggio affrontate a quel tempo, considerato che i mezzi disponibili per il sollevamento erano ben diversi rispetto a quelli attuali. Spesso queste strutture, formate da elementi relativamente leggeri, venivano >



Der Knotenpunkt des Scheitelgelenks.
Punto nodale della cerniera in chiave d'arco



In der Mitte sind die beiden Halbbögen durch ein Gelenk miteinander verbunden.
Al centro i due semiarchi sono accoppiati da una cerniera.

> wenn es darum geht, nachzuvollziehen, wie gut erhalten die Bauwerke sind und welche Bautechniken ursprünglich zum Einsatz kamen. Das verwendete Material, der Zustand der Oberflächenbehandlung und die Art der Verbindungen sowie deren Zustand sind wichtige Elemente im Rahmen der Kontrolle. Natürlich ermöglicht eine Stichprobe der Komponenten eine Gesamtüberwachung unter Berücksichtigung der in Norm SIA 269/1 aufgeführten Lasten und der in Norm SIA 269/3 festgelegten Bemessung bei bestehenden Stahlbauten. Ein Feststellen eventueller Defekte muss entsprechende Einschränkungen in der Nutzung der Brücke nach sich ziehen. Unter Berücksichtigung der Entstehungszeit der Brücke kann die Norm SIA 269/3 Hinweise bezüglich der Eigenschaften von ursprünglich verwendeten Materialien, Bearbeitungstechniken und Kom-



Die Montage dieser oft aus relativ leichten Elementen bestehenden Strukturen erfolgte mit Hilfe eines Derrickkrans.
Spesso queste strutture, formate da elementi relativamente leggeri, venivano montate con l'aiuto di un «falcone».

ponenten liefern. So können quantitative Aspekte des zu untersuchenden Bauwerks ermittelt werden. Heute ist es dank statistischer und dynamischer Analyse-Tools sowie Methoden zur Untersuchung des Materialzustands möglich, die bestehende Konstruktion einer detaillierten Analyse zu unterziehen. Tatsächlich kann bei guter Wartung sowie unter Berücksichtigung der Tatsache, dass die verwendeten Materialien und Techniken in der Regel Eigenschaften besitzen, die die Erwartungen an vergangene Epochen übertreffen, in Fällen besonderer Lasten bezüglich der Normgebung eventuell eine leichte Nonkonformität vorliegen. Auch die Isorno-Brücke wurde einer Prüfung gemäss SIA 269/3 unterzogen. Dabei wurden keine schwerwiegenden Probleme festgestellt, was natürlich auch der grossen Sorgfalt zu verdanken ist, >

TECNICA DI GIUNZIONE / CHIODATURA

> montate con l'aiuto di un «falcone», costituito da un'asta fissata alla struttura e spostato ripetutamente sulla struttura stabilizzata, grazie al quale venivano sollevati gli elementi consecutivi. Nel caso specifico, oltre al «falcone», era stata utilizzata una piccola gru che, scorrendo sul piano superiore del manufatto, aveva permesso di montare le aste strutturali, partendo dalle due sponde e utilizzando la struttura stessa come elemento portante. Il procedimento è documentato anche da interessanti foto di Valentino Monotti del 1916. Al centro i due semiarchi sono stati accoppiati con una cerniera, considerato che lo schema statico è quello di un arco con tre cerniere. I due semiarchi, durante la fase di montaggio, sono stati sbadacchiati con dei puntoni provvisori Sarebbe anche interessante esaminare, soprattutto nelle fasi di montaggio, le misure di sicurezza adottate, rispettivamente la casistica degli incidenti

sul lavoro. Purtroppo non vi sono a riguardo dati disponibili, ma si può certamente affermare che, anche in questo contesto, l'evoluzione è stata enorme.

Stato attuale

La struttura è stata adeguata, ma la sostanza è rimasta fondamentalemente la stessa. Ovviamente nel tempo è stata effettuata la necessaria manutenzione che consiste essenzialmente nel controllo strutturale e, soprattutto, nel mantenimento e ripristino del trattamento di superficie, elemento determinante a garantire la necessaria durata di vita delle strutture metalliche. Dall'entrata in vigore della norma SIA 269, la struttura è stata verificata minuziosamente, sia dal profilo delle ispezioni dello stato dell'opera sia da quello della conformità statica e dinamica della struttura. La norma SIA 269/3, pubblicata nel 2011, è riferita appunto alla verifica di strutture in acciaio esistenti. Si tratta di una

norma importante che, in un certo senso, attesta la rilevante durata di vita dei manufatti in acciaio. Di fatto, l'ispezione del manufatto, riveste un ruolo determinante per capirne lo stato di mantenimento e le tecniche impiegate al momento della costruzione. Il materiale impiegato, lo stato del trattamento di superficie, la tipologia dei giunti e il loro stato, sono elementi significativi della verifica. Naturalmente una prova sperimentale delle componenti permette un controllo complessivo della struttura, tenendo conto dei carichi indicati dalla norma SIA 269/1 e del dimensionamento dalla norma SIA 269/3 inerente le strutture in metallo esistenti. Eventuali difetti locali vanno valutati in modo da porre dei nuovi limiti all'utilizzo. La norma SIA269/3, tenuto conto del periodo di costruzione del manufatto, è in grado di dare indicazioni relative alle caratteristiche dei materiali/lavorazioni e alle componenti dell'epoca presa in considerazione: questo permette di

poter verificare gli aspetti quantitativi della struttura da esaminare. Oggi, grazie a strumenti di analisi statica - ed eventualmente dinamica e grazie a metodi d'indagine sullo stato dei materiali, è possibile radiografare dettagliatamente la struttura esistente. Di fatto, in presenza di una buona manutenzione, e in considerazione del fatto che i materiali e le tecniche impiegate possiedono di regola caratteristiche reali superiori rispetto a quanto immaginato in epoche passate, potrebbero sussistere delle lievi non conformità - in rapporto alle norme - per casi di carico particolari. Anche questo ponte è stato verificato secondo la norma SIA 269/3; non sono emersi gravi problemi considerata anche la cura con la quale il manufatto è stato mantenuto negli ultimi cento anni...!

La chiodatura

In passato, la giunzione delle aste dei tralicci metallici, veniva realizzata tramite chiodatura metallica, pro- >

> mit der die Brücke über einhundert Jahre hinweg instand gehalten wurde.

Die Nietung

In der Vergangenheit wurden die Verbindungen der Stäbe des Fachwerks mit Metallnieten hergestellt, wodurch der Bau von Tragwerken aus Metall möglich wurde. Heutzutage wird dieses Verfahren, zumindest die Warmnietung, nicht mehr angewandt. Doch erfolgt häufig noch die Kaltnietung, die interessante Eigenschaften in der Umsetzung aufweist und sich vor allem im Fall von dynamischer Belastung als zuverlässig erweist.

Bei solchen alten Konstruktionen kommt auch der regelmässigen Kontrolle der Niete eine grundlegende Bedeutung zu, handelt es sich hierbei doch um Metallbauteile, die das Fachwerk zusammenhalten und daher der Kräfteübertragung der Knotenpunkte übergeordnet sind. Noch heute wird die Funktionalitätsprüfung der Niete handwerklich durchgeführt. Dabei prüft der Fachmann den Zusammenbau akustisch und mechanisch. Das Verfahren ist in der einschlägigen Literatur beschrieben und erläutert, wie der Nietkopf des zu prüfenden Niets axial mit einem kleinen Hammer abzuklopfen ist und wie eventuelle Verformungen festgestellt werden können, indem ein Finger an den Nietkopf gelegt wird. Ferner stellt der Klang, wie im Fall von elektrisch geschweissten Nietungen für Verbundplatten, einen wichtigen Indikator für den Zustand der Verbindungen dar. In der Tat «klingen» lose Niete anders als beanspruchte. Es sei darauf hingewiesen, dass



Die Lagerungen solcher Brücken erfolgte auf Rollen. Gli appoggi di questi ponti sono costituiti da rulli.

eine Nietverbindung aufgrund der praktischen Unkontrollierbarkeit der durch die Implementierung erzeugten Axialbelastung prinzipiell auf Abscherung beansprucht wird. Der ursprünglich von Hand ausgeführte Vorgang zum Formen des Schliesskopfs wurde später durch pneumatisch-hydraulische Nietpressen ersetzt, die für eine verbesserte Qualität der Nietung sorgen. Die Verbindung ist i. d. R. vorgebohrt und ihre Qualität hängt stark von der geometrischen Präzision sowie der Qualität von Materialien und Implementierung ab.

Das Verfahren besteht grundsätzlich im Erhitzen des Niets, der unterschiedliche Formen aufweisen kann, auf ca. 1000 °C und dem Einführen in das Nietloch. Dann wird das dem vorgefertigten Setzkopf entgegengesetzte Ende bearbeitet. Da das zu verbindende Element eine deutlich niedrigere Temperatur besitzt,

bewirkt die Abkühlung des Niets eine axiale Beanspruchung, die interessante Auswirkungen hinsichtlich der Dichte sowie der Umverteilung der Lasten des Verbindungsstücks selbst auf die Verbindung hat.

Fazit

Zweifelsohne sind die baulichen und strukturellen Lösungen das Ergebnis hoher Professionalität und Kompetenz seitens der Planer, Konstrukteure und Monteure. Die Dokumente, die uns von der FART zur Verfügung gestellt wurden, sind leider unvollständig, da die komplette Akte nach einem Archivbrand nicht mehr auffindbar war. Doch auch anhand der durch das Bundesamt für Verkehr erhaltenen Basisdokumentation lassen sich die hohe Professionalität bei der Konzeption und die Qualität der getroffenen Entscheidungen nachvollziehen, die ein über hundertjähriges Funktionieren des Bauwerks unter minimalem Instandhaltungsaufwand ermöglichten. Zudem sei auf die Möglichkeit einer vollständigen Abbaubarkeit der Materialien nach Beendigung des Lebenszyklus der Brücke hingewiesen.

Dieser kurze Beitrag erhebt weder einen Anspruch auf Vollständigkeit der Informationen noch soll er einen Ersatz für die Normen darstellen, sondern er wurde mit der Absicht verfasst, den Wert der in der Vergangenheit mit dem Pioniergeist der Konstrukteure getroffenen Entscheidungen hervorzuheben, die uns noch heute als Lehre und Vorbild dienen. Ausserdem soll die hohe Bedeutung korrekter und kontinuierlicher Instandhaltung für die Lebensdauer von Bauwerken betont werden. ■

TECNICA DI GIUNZIONE / CHIODATURA

> cesso che ha permesso lo sviluppo delle strutture portanti in metallo. Oggi questo procedimento, almeno a caldo, non è più in uso, mentre è spesso ancora impiegata la rivettatura a freddo che ha interessanti caratteristiche realizzative e, soprattutto, ha un buon comportamento in caso di sollecitazioni dinamiche.

In queste vecchie costruzioni anche il controllo periodico pratico dei chiodi riveste un'importanza fondamentale, considerato che stiamo parlando di elementi metallici che collegano le aste e quindi preposti alla trasmissione degli sforzi nodali. Ancora oggi la verifica della «funzionalità» dei chiodi viene eseguita in modo artigianale. L'operatore verifica acusticamente e meccanicamente l'assieme. Il procedimento descritto nella letteratura descrive come battere assialmente, con un piccolo martello, la testa del chiodo

esaminato e, con il dito posizionato tra la testa esposta del chiodo, si possa percepire un eventuale scorrimento relativo. Inoltre, come nel caso di chiodi elettrosaldati per le solette miste, il suono risulta un indicatore importante dello stato dell'assieme. In effetti i chiodi lenti «suonano» in modo diverso rispetto a quelli pretesi. Da notare che un giunto chiodato funziona essenzialmente al taglio, a causa dell'incontrollabilità pratica dello sforzo assiale generato nella messa in opera. Il processo applicato per la ribattitura della testa, inizialmente eseguita a mano, è stato poi sostituito da presse pneumatiche e idrauliche che garantiscono una migliore qualità del giunto stesso. La giunzione è in generale pre-forata e la qualità della stessa dipende molto dalla precisione geometrica, da quella dei materiali e dalla perizia nella messa in opera. Il

procedimento consiste essenzialmente nel riscaldamento del chiodo, che può essere di diversa forma, a circa 1000 °C e nell'inserimento nel foro da accoppiare. Si procede quindi alla ribattitura della testa opposta a quella preformata. Il raffreddamento del chiodo, considerato che l'elemento da giuntare rimane a una temperatura nettamente inferiore, induce un sforzo assiale che pre-carica la giunzione con interessanti effetti a livello di ermeticità e di redistribuzione dei carichi del giunto stesso.

Conclusioni

È indubbio che le soluzioni costruttive e strutturali adottate siano state frutto di grande professionalità e competenza dei progettisti, dei costruttori e dei montatori. I documenti messi a disposizione dalla FART sono purtroppo parziali, considerato che l'incarto completo è scomparso a

seguito di un incendio degli archivi. Tuttavia anche dai documenti di base, ottenuti dall'Ufficio Federale dei Trasporti, si percepisce l'elevata professionalità progettuale e il valore delle scelte fatte che hanno permesso a questo manufatto di funzionare per oltre cento anni con dei costi di manutenzione sicuramente minimi.

Da notare la completa riciclabilità del manufatto a fine del ciclo di vita. Questo piccolo contributo non ha la pretesa di essere esaustivo e non vuole nemmeno sostituirsi alle norme ma vuole evidenziare la validità delle scelte fatte in passato, con l'evidente spirito pionieristico dei progettisti e costruttori che ancora oggi servono da insegnamento, e sottolineare come la corretta e continua manutenzione sia determinante per la durata di vita delle strutture. ■