

## Interventi di ispezione, manutenzione e ripristino dei ponti strallati

Alessio Pipinato\*

*Università degli Studi di Padova*

**ABSTRACT:** *In this study the cable types mostly used for these bridges and bridges abroad are describe: locked coil ropes, parallel wire cables and parallel strand cables. Furthermore, general requirements for the inspection of bridges are dealt with and special techniques for the inspection of stay-cables are presented.*



**Figura 1: Ponte strallato di Waterford, 2009.**

### INTRODUZIONE

I ponti strallati rappresentano una tipologia costruttiva che in Italia è ancora poco diffusa. Tuttavia appaiono recentemente molti progetti di piccole e medie dimensioni, in cui i ponti strallati sono stati utilizzati come tipologia spesso utile a risolvere con un disegno semplice e ottimale situazioni urbane che impediscono, per quantità di vincoli l'utilizzo della convenzionale tipologia a travata. Nella tipica impostazione progettuale però, spesso si trascurano alcuni dettagli costruttivi e alcune

attenzioni progettuali che possono rendere più o meno agevole a strutture di questa importanza il raggiungimento della completa vita utile.

## **ISPEZIONE E MANUTENZIONE**

Non esistono norme specifiche che consentano di dettagliare con precisione le modalità di ispezione e manutenzione dei ponti strallati, tuttavia è possibile in mancanza di una normativa nazionale fare riferimento a norme e documenti tecnici in vigore in sede internazionale. A tale scopo, si da cenno nel seguito ad alcuni documenti rilevanti: ZTV-K96 Additional Technical Prescriptions for Engineering Structures and Design of Structures for Ease of Maintenance; DIN 1076 Observation and Inspection of Engineering Structures; BWPrüf Expert System for Compilation and Evaluation of the Inspections acc. to DIN 1076; RAB-Brü90 Guidelines for the design of bridges for ease of access, checking and maintenance.

In accord con tali istruzioni tecniche, questa tipologia di ponti deve essere progettata non solo per la relative capacità ultima, ma anche per per i c.d. stati limite di servizio, per la c.d. robustezza e durabilità, e al tempo stesso al fine di semplificare le modalità di ispezione e manutenzione. Per esemplificare, la DIN 1076 specifica le seguenti tipologie di ispezione: controlli regolari da parte di personale specializzato; controllo dell'integrità e della funzionalità delle barriere bordo ponte, dell'illuminazione del ponte, della pavimentazione, dei giunti; ispezioni speciali ogni tre anni di esercizio: in questo frangente tutti gli elementi visibili dovrebbero essere controllati (rivestimenti delle strutture d'acciaio, superfici delle strutture in cca, sistemi di allontanamento delle acque); ispezioni principali: ogni sei anni è consigliabile effettuare ispezioni molto approfondite, volte al controllo di elementi nascosti, di difettosità come ad es. le mancanze di bullonature e/o chiodature, fratture in corrispondenza di giunti e saldature, effettuazione di campagne prove NDT o MDT finalizzate ad un adeguato e sufficiente stato di conoscenza ed approfondimento della struttura. Il risultato di tutte le ispezioni e dei controlli, dovrebbe essere di norma collezionati nel cosiddetto bridge-book (solitamente elettronico), una sorta di manuale d'uso del manufatto, che tiene memoria delle varie ispezioni, manutenzioni e controlli effettuati.

## **OPERAZIONI ISPETTIVE**

### **Ispezioni visuali**

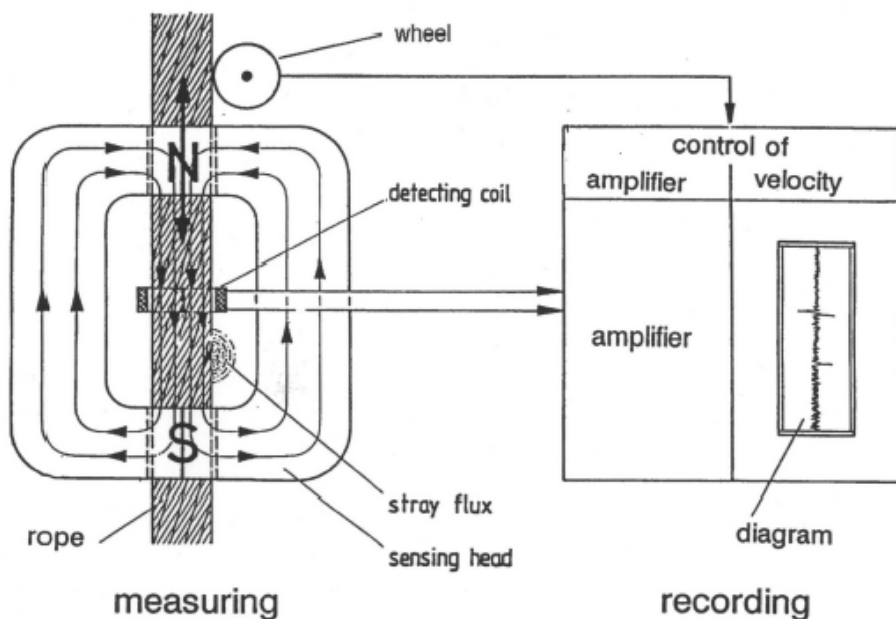
Le ispezioni visuali rappresentano al solito uno dei momenti fondamentali volti allo studio inerente lo stato di condizione dei ponti. L'oggetto primario consiste nel determinare le condizioni delle strutture principali, e nel caso in esame, dei cavi di sospensione. I cavi dovrebbero essere provvisti

**esempi di Architettura**

di “finestre” di ispezione, che consentano di introdurre adeguate sonde ispettive (endoscopi connessi a videoregistratori) nell’intercapedine cavo-protezione. In molti casi, in ponti eseguiti in anni passati, spesso questa semplice operazione ispettiva non è possibile, e tale aspetto costituisce un vero problema alla procedura di ispezione, in quanto si è rilevato che l’80% dei danni siano ascrivibili proprio ai cavi (Reiner and Karl 2000). L’ispezione visuale viene spesso effettuata per mezzo di carrelli in grado di muoversi autonomamente sui cavi o su cavi ausiliari, e spesso le singole unità di gestione di tratte stradali hanno sviluppato indipendenti expertise che consentono loro di effettuare agevolmente le indagini menzionate.

**Ispezione elettromagnetica**

Tale modalità di ispezione consente di esaminare la parte interna dei cavi e di mettere in luce punti interessati da fratture e da rotture localizzate, abrasioni, corrosioni, comportamenti anomali, spesso non visibili nella parte esterna dei cavi stessi.



**Figura 2: Schematizzazione di una apparecchiatura in grado di effettuare una ispezione elettromagnetica.**

**Ispezione a raggi X o  $\gamma$**

Tale modalità di ispezione è stata già applicata anche in via sperimentale ad una vasta gamma di tipologie di cavi (Reiner and Karl 2000). Oggi tale metodologia appare di più semplice applicazione nelle zone di sviluppo normale del cavo piuttosto che in quelle di ancoraggio. La metodologia offre indiscutibile precisione nell’output, ma necessita di notevoli approfondimenti quanto a maneggevolezza delle apparecchiature e protezione del personale ispettivo.

### Ispezione ultrasonica

Le ispezioni ultrasoniche sono spesso utilizzate nelle analisi dei punti critici di ancoraggio delle strutture strallate, al fine di evidenziare difettosità spesso correlate a fenomeni di fatica o corrosione.

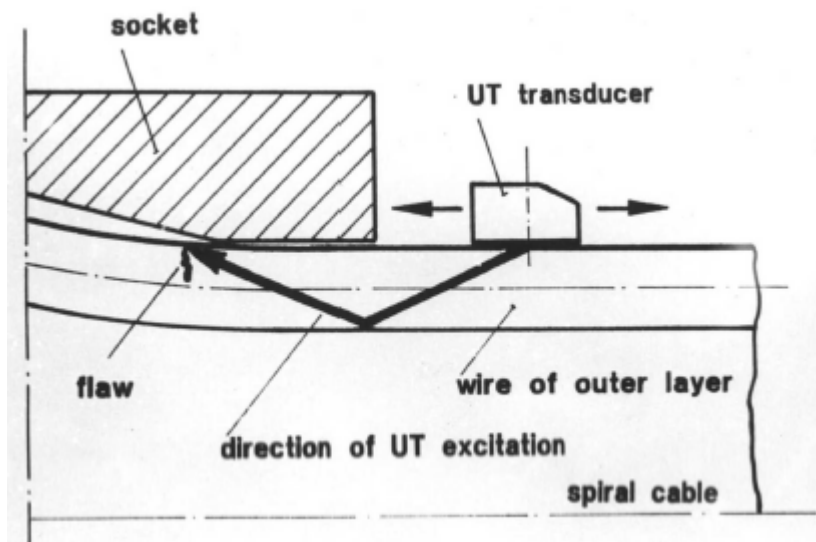


Figura 3: Schematizzazione di una apparecchiatura in grado di effettuare una ispezione ultrasonica.

### Controllo dei cavi

Lo stato di tensione dei cavi può essere controllato per mezzo di semplici operazioni di misura della frequenza naturale del singolo cavo, esistendo note relazioni matematiche che consentono di risalire in funzione della vibrazione stessa alla forza di trazione in esercizio nel cavo oggetto di indagine. Molti ricercatori hanno utilizzato molte risorse per indagare per mezzo di accelerometri le frequenze naturali (Casas 1994), anche se altre più semplici modalità sono state recentemente introdotte e consentono di addivenire a risultati anche più precisi, basandosi su assunti non così semplificativi che la pratica accelerometrica assume di prassi. Un esempio su tutti quello utilizzato dalla FHWA, che ha sviluppato il cosiddetto vibrometro Doppler-laser.

### Altre modalità ispettive

Assai numerose sono le procedure che in special modo in USA, Giappone e Cina sono state ideate e utilizzate in maniera estesa, al fine di recuperare strutture da ponte del valore di svariate decine di milioni di euro, poste in esercizio meno di 20 anni fa, e che oggi richiedono assai onerosi interventi di ripristino anche localizzato.

**DANNEGGIAMENTI FREQUENTI E MODALITA' DI INTERVENTO**

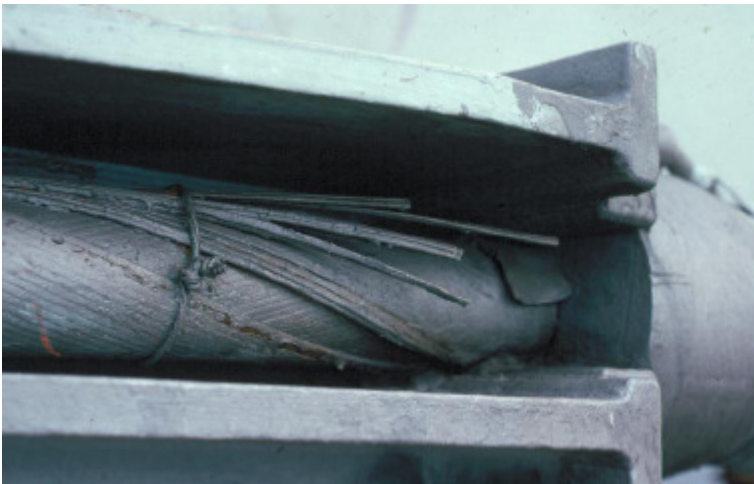
Si riportano nel seguito alcuni esempi di danneggiamenti riportati in letteratura e delle conseguenti modalità di intervento attuate. Questa sezione ha carattere meramente esemplificativo, e non correla l'illustrazione della casistica alla condivisione totale dell'autore con le modalità di intervento attuate. Ciò nonostante, tutti i casi riportati evidenziano sostanzialmente i danni più frequentemente osservati, e le strategie di intervento attuate.

**Ponte Köhlbrand, Hamburg**

**Figura 4: Vista laterale del ponte.**

Realizzato dal 1969 al 1974, questo ponte è caratterizzato da 88 cavi di tipo *locked-coil* con diametro variabile da 54 a 104 mm, con le seguenti protezioni dalla corrosione: olio di lino e 2 strati di ftalato di spessore 50  $\mu\text{m}$ . Durante le ispezioni dei cavi del 1976, furono osservati 25 cavi danneggiati; i relativi fattori di danneggiamento sono stati individuati: nel dettaglio strutturale, nel dimensionamento, nella progettazione delle protezioni nei confronti della corrosione. Per quanto alla progettazione, l'ancoraggio era stato posto non in posizione di tangenza ma di secanza, causando tensioni secondarie correlate alla rigidità flessionale delle funi; ancora, si riscontrarono problemi connessi all'assenza delle dovute protezioni all'umidità e all'acqua nelle connessioni e conseguenti danneggiamenti locali (fratture, corrosioni) vennero riscontrate proprio in queste posizioni. Per quanto al dimensionamento, i cavi non vennero dimensionati a fatica, infatti non era richiesto all'epoca della costruzione. Frequenti oscillazioni dei cavi con ampiezze ragguardevoli venivano osservate in esercizio. Oltre a questo, i cavi non erano galvanizzati. Infine 22 dei 25 fili

erano rotti in corrispondenza dell'attacco inferiore, a dimostrazione che un notevole contributo era stato dato dai Sali decongelanti usati sull'impalcato. A causa di tutte queste difettosità riscontrate, il ponte è stato quindi rinnovato completamente in tutte le strutture di sospensione, cavi e ancoraggi compresi (Reiner and Karl 2000).



**Figura 5: Danneggiamento dei cavi all'ancoraggio.**

### **Ponte di Maracaibo, Venezuela**

Il ponte sul lago di Maracaibo in Venezuela venne realizzato dal 1959 al 1962. Le sue identiche 5 campate centrali, a cui si accede da una serie di viadotti di ingresso in quota, hanno una luce di 235m, sospese con funi da 74 mm di diametro di tipo locked coil. La protezione dalla corrosione è identica al ponte precedentemente descritto (Reiner and Karl 2000). Le funi passano attraverso l'impalcato per mezzo di tubi, e si ancorano ad una trave/traverso in cca. Questi condotti vennero poi riempiti di asfalto e protetti nella parte superiore di impalcato per mezzo di giunti in legno e neoprene. Dal 1974 al 1978 vennero identificati numerosi danni, 500 fili rotti nel 1978 e 3 funi completamente rotte nel 1979. I danni erano stati causati prevalentemente dalla mancanza di manutenzione alle pitturazioni in un ambiente caldo e marittimo, e dalla mancanza di alcuni giunti in neoprene, eliminati durante una delle varie operazioni di ispezione. A causa di tutte queste difettosità riscontrate, il ponte è stato quindi rinnovato completamente in tutte le strutture di sospensione, cavi e ancoraggi compresi (Reiner and Karl 2000).

### **Ponte di Luling, Luisiana (USA)**

Il ponte di Luling in Luisiana (USA) attraversa il fiume Missisipi con una campata di 377m. I 77 stralli sono protetti da una membrana superficiale in PE iniettata di boiaccia di cemento. Dopo aver

superato alcuni problemi di messa a punto delle fasi costruttive di posa e tesatura dei cavi, il ponte venne completato nel 1983. Già nel 1985 si riscontrarono i primi problemi di fratture e cricche in vari punti di saldatura di alcuni cavi di ancoraggio. In seguito a numerose operazioni di ispezione si riscontrarono tensioni molto elevate nei cavi in PE; inoltre, analizzando le varie fasi costruttive venne riscontrato che l'operazione di iniezione dei cavi era stata effettuata durante la stagione calda; per evitare ulteriori danneggiamenti, si decise la ri-copertura di tali cavi con fasciature in polivinile (tipo Tedlar).



**Figura 6: Pointe di Luling, Luisiana (USA).**

## **CONCLUSIONI**

Nel presente articolo sono stati presentati alcuni interventi relativi alla realizzazione, ispezione e manutenzione dei ponti strallati. Come se ne evince, anche dalla analisi di alcuni casi studio, è possibile osservare come le maggiori cause di degrado in tale tipologia di ponti sia concentrata nei cavi, e sia relazionata soprattutto a inadatte modalità di posa, o ancora a errata posa delle protezioni contro i fenomeni di umidità, o ancora ad una sottostima delle conseguenze che tali fenomeni avrebbero avuto nella vita utile del manufatto, o infine ad attività ispettive non corrette e dilazionate eccessivamente nel tempo. Come è possibile evincere dunque dalla totalità dei casi analizzati, nella maggior parte dei casi gli interventi si sono spinti fino alla completa sostituzione degli stralli, fattore che ha comportato chiaramente un notevole dispendio economico, che si sarebbe potuto evitare con una più corretta progettazione (si veda l'articolo Pipinato, 2010).

## RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Si riportano nel seguito alcuni riferimenti bibliografici e note su alcuni documenti da cui è possibile trarre spunto per lo studio delle operazioni di manutenzione dei ponti strallati.

*Reiner Saul, Karl Humpf (2000), Inspection And Maintenance Of Cable-Stayed Bridges, First International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management, IABMAS 2002, Barcelona, 14 – 17 July, 2002.*

*Höhle, H.-W.: Expert System for Integrated Cable Inspection. Wire Rope News & Sling Technology,*

*October 1993. Höhle, H.-W., Wecker, K., Fuchs, D. and Nöller, H.: Seile unter Zugebelastung (Ropes under Tensile Loads). Materialprüfung 35. Jg 1993/3, p. 59 - 62.*

*Pipinato A. (2010), Il progetto dei ponti strallati: perfezionamento del progetto, dimensionamento, dettagli strutturali ed elementi di protezione dai fenomeni di invecchiamento, EDA-Esempi di Architettura, EDA-online, ISSN 2035-7982.*

*Saul, R., and Svensson, H.S.: On the Corrosion Protection of Stay Cables. Stahlbau 59 (1990), p. 165 - 176.*

*Saul, R., Höhle, H.-W.: Damages of Stay Cables and Prevention Thereof. Proceedings of the Int'l HKCEC Bridge Conference 'Bridges into the 21st Century' 2 - 5 Oct 1995 in Hong Kong.*

\*: *Dr. Ing., Università degli Studi di Padova, Italia*