

La manutenzione dei ponti in ghisa

di Ivano Turlon

La ghisa è un prodotto siderurgico, che consiste principalmente in una lega di ferro-carbonio e di altri elementi, tra cui impurità presenti nei minerali di partenza o appositamente aggiunti. I tipi di ghisa possiedono buone caratteristiche di *colabilità*, cioè la possibilità di riempimento di forme preordinate nel classico processo di colata. La colabilità è legata al tipo di diagramma di stato (condizioni di equilibrio delle diverse fasi degli elementi componenti la lega) ed è maggiore nel caso di una lega composta da elementi che presentano un punto di fusione unitario più basso di quello dei singoli componenti (eutettico). Nella ghisa il carbonio abbassa la temperatura di fusione del ferro da 1.535 °C a 1.145 °C.

Gli elementi caratteristici che compongono la ghisa sono, tra tutti, il carbonio (C), il silicio (Si), il manganese (Mn), il fosforo (P), lo zolfo (S), presenti mediamente nelle seguenti percentuali:

Elementi	C	Si	Mn	P	S
media %	2,4-3,8	1,5-4	1,2-1,4	0,1-1	0,05-0,15

Elementi quali il silicio e il manganese favoriscono, secondo i valori di presenza, la formazione di ghisa grigia o ghisa bianca. Valori elevati di silicio e minori di manganese favoriscono la formazione di ghisa grigia; valori elevati di manganese favoriscono l'ottenimento della ghisa bianca. Oltre la presenza di questi elementi è importante la velocità di raffreddamento per orientare la solidificazione della fusione verso una delle due "ghise": la solidificazione secondo il sistema ferro-grafite¹ produce la ghisa grigia, mentre secondo il sistema ferro-cementite² produce la ghisa bianca. La ghisa bianca è una lega dura e fragile, difficile da lavorarsi, resistente all'abrasione e all'usura. La ghisa grigia, come la bianca, manca di capacità di allungamento, ma è meno dura e quindi più lavorabile.

Gli elementi indesiderati sono il fosforo (P) e lo zolfo (S) perché provocano disomogeneità e fragilità. Alla metà dell'Ottocento veniva inserita una maggiore quantità di fosforo per abbassare la temperatura di fusione al fine di sfruttare al meglio le potenzialità dei forni di quell'epoca che stentavano a raggiungere la temperatura utile di 1.145°C.

Le qualità meccaniche della ghisa di tipo grigio si

possono ritenere dipendenti essenzialmente dai seguenti fattori:

1. Natura della matrice metallica
2. Grado di suddivisione della grafite
3. Tipo di distribuzione della grafite
4. Quantità di grafite

La quantità di grafite agisce in senso negativo sul carico di rottura a trazione in quanto le cavità da essa occupate sono responsabili di irregolarità e riduzione della sezione efficace.

Più è disomogenea la distribuzione e la dimensione della grana grafitica e più è fragile il materiale e meno elastico il suo comportamento.

I ponti in ghisa a Venezia

La ghisa dei ponti di Venezia, costruiti tra il 1850 e il 1871, è grigia a grafite lamellare. Le lamelle di grafite annullano la deformazione plastica dell'elemento in ghisa. La disomogeneità della distribuzione tridimensionale della grafite è la principale causa della scarsa resistenza meccanica e resilienza di queste "ghise", che presentano anche una grossolanità della matrice perlitica³. Tali leghe presentano anche un'elevata percentuale di steadite⁴, composto dannoso legato alla presenza del fosforo, che abbassa la resistenza meccanica e la resilienza.

L'affinamento delle tecniche di fusione e lavorazione del materiale ferroso determina uno sviluppo repentino del suo utilizzo a cominciare dalla metà del XIX secolo. I successivi accorgimenti e le innovazioni tecnologiche degli altiforni, iniziate dal Bessemer nel 1856 e progredite negli anni successivi, permisero una maggiore diminuzione della presenza del carbonio nelle fusioni ottenendo così l'acciaio, materiale oggi ben noto in tutte le sue caratteristiche ed applicazioni.

Nel 1851 fu costruito il primo ponte in ghisa di Venezia: il ponte Corona a S. Zaccaria a cura della fonderia Collalto. Dalla lettura dei documenti dell'epoca si registra un certo ottimismo per le novità del materiale chiamato "ferro fuso". Da quell'anno sino al 1895 furono costruiti a Venezia cinquanta ponti metallici. Sino al 1871 si utilizzò quasi esclusivamente la ghisa mentre in seguito apparvero in città ponti di un metallo più prossimo all'acciaio. Tra il 1851 e il 1871 furono installati ventuno ponti pubblici in ghisa e le fonderie che li hanno prodotti furono la Neville (con 9), la Collalto (con 6), ed altre sei ditte: Piscietta, Avon, Mansutti,

Pascotti, Ronfini, Layet (con uno ciascuna). La diffusione di questo tipo d'opera pubblica si ha soprattutto dal 1858 in poi, con la fabbricazione di ben sedici ponti metallici quasi quanti quelli costruiti nello stesso periodo in muratura. Mentre la determinazione del materiale impiegato è sufficientemente precisa per ciò che riguarda il ventennio 1851-1871, è meno facile, in assenza di analisi di campioni, interpretare il significato della dizione "ferro fuso" presente nei documenti relativi ai ponti costruiti dal 1875 al 1920. Dal 1953, quando riprese la costruzione di ponti in "ferro", si utilizzò esclusivamente l'acciaio, e ai nostri giorni, l'acciaio inox.

La ghisa è un materiale duro e fragile, poco adatto alla flessione e quindi all'allungamento; lo schema strutturale da utilizzarsi è l'arco e non la trave orizzontale. Lo schema ad arco garantisce un miglior funzionamento della struttura, utilizzando gli appoggi per scaricare verticalmente i pesi ed ottenere il contrasto orizzontale. Lo schema ad arco è preferibile alla trave orizzontale, perché permette il collegamento tra le due rive senza dover applicare su di loro le rampe utili per innalzare la quota di camminamento, necessaria per assicurare il passaggio delle imbarcazioni.

Le imbarcazioni sono però una delle cause del degrado strutturale dei ponti ad arco in ghisa: gli urti ledono le imposte sino alla loro rottura e perdita. Altro elemento di degrado per i ponti in ghisa è l'ossidazione causata dall'ambiente umido e salino, soprattutto per le parti a diretto contatto con le escursioni di marea. L'intensità di tale degrado è legata allo spessore del manufatto, allo stato della superficie, alla forma del getto, alle condizioni di colata; caratteristiche che possono far variare, punto per punto, le condizioni in cui avvengono i fenomeni corrosivi.

Le modalità d'intervento

All'interno del progetto integrato dell' *insula* dei Frari era previsto il risanamento e il recupero strutturale di due ponti in ghisa: quelli de la Latte e della Donna Onesta.

Il ponte de la Latte fu realizzato dalla fonderia Pisciotta nel 1860, in ghisa grigia con tipologia ad arco a sezione variabile e a due centine, ognuna realizzata in tre parti giuntate; quello della Donna Onesta fu realizzato dalla fonderia Layet nel 1871, in ghisa grigia con tipologia ad arco ribassato, con sezione variabile e a due centine.

Il progetto di *Insula* mirava alla massima conservazione delle parti componenti i ponti, mediante l'unione di due parti in chiave, recuperando le funzioni strutturali dell'insieme oltre alle geometrie originali alterate da precedenti interventi di saldatura nelle parti centrali degli archi che li avevano resi acuti. Gli interventi si inseriscono all'interno del recupero delle strutture

in ghisa a Venezia ed è argomento interessante e nuovo, sia per la particolarità della diversa ghisa presente sia per le tecnologie da adottarsi e quelle da svilupparsi nel futuro per un loro utilizzo nel processo di manutenzione. A riguardo vi sono studi, sperimentazioni e applicazioni in corso per l'utilizzo di materiali compositi nel recupero strutturale dei ponti metallici lesionati. L'utilizzo di tale tecnologia è interessante perché può permettere il recupero strutturale del manufatto senza doverlo asportare per le necessarie lavorazioni di carpenteria. A fianco delle applicazioni realizzate in Inghilterra e in Francia si sta avviando uno studio per le applicazioni a Venezia, condotto dal Dipartimento di Costruzione dell'Architettura dell'Istituto Universitario di Architettura di Venezia in collaborazione con una primaria industria europea sotto il patrocinio di *Insula* SpA. L'obiettivo da raggiungere nel restauro dei ponti in ghisa è quello di recuperare la funzionalità statica di strutture le cui componenti sono fortemente compromesse nella integrità del materiale, nella geometria originale (anche a causa di precedenti interventi) oltre ad integrare le parti mancanti a causa di profonde azioni di corrosione e in alcuni casi di urti di natanti. Anche quando la struttura non presenta danni palesi, si può ridurre la vulnerabilità all'impatto. La conoscenza ad oggi, si ferma alle applicazioni sperimentate per recuperare tali "ghise" mediante saldatura degli elementi fessurati o spezzati o mediante riporto di parti mancanti con particolari elettrodi utilizzati sugli elementi riscaldati a certe temperature. Questa procedura permette di recuperare strutturalmente oltre che fisicamente gli elementi, ingenerando in essi una diminuzione della steadite e l'eliminazione delle porosità, raggiungendo una matrice molto fine ed omogenea. Inoltre, si è potuto constatare che l'utilizzo di tale saldatura non produce cricche e tensioni residue nel materiale, mentre ne migliora la qualità e la resistenza meccanica. Pertanto la rifusione puntuale mediante l'operazione di saldatura è a vantaggio della sicurezza, e si ottiene inoltre il recupero dei pezzi originari nella loro integrità.

La composizione della ghisa per i principali elementi del Ponte della Donna Onesta, confrontata con un altro ponte costruito nel 1871 e riferita ai valori medi in percentuale, è riportata nella seguente tabella:

<i>Elementi</i>	<i>C</i>	<i>Si</i>	<i>Mn</i>	<i>P</i>	<i>S</i>
media %	2,4-3,8	1,5-4	1,2-1,4	0,1-1	0,05-0,15
Ponte Zecca	3,45	1,25	1,31	0,84	0,05
Pte Donna Onesta	3,28	1,5	0,84	1,14	0,07

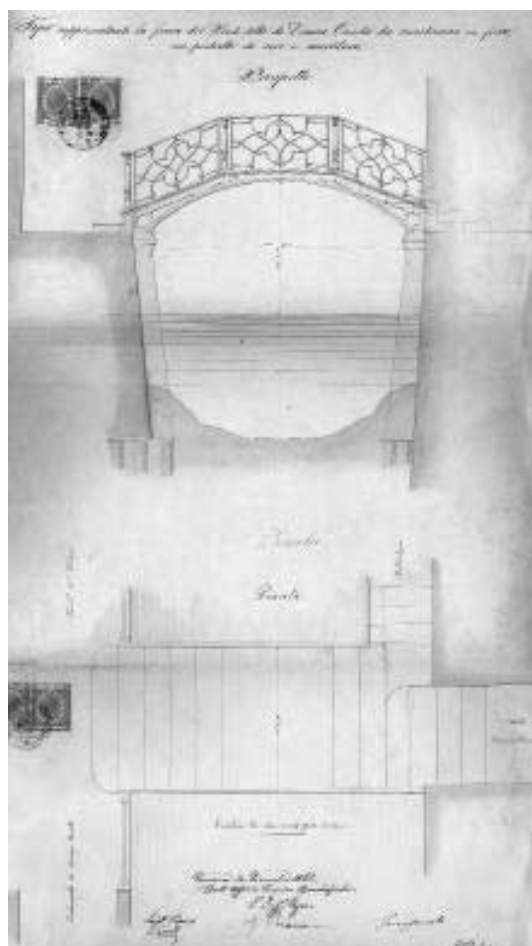
Per il Ponte de la Latte non si è proceduto all'analisi di campioni in quanto l'intervento non richiedeva integrazioni di parti mancanti.

Oltre al recupero materiale e geometrico delle travi principali, al fine di migliorare la funzione statica tendente al rispetto delle norme attuali, si è dimostrato possibile rinforzare le travi restaurate imbullonandovi all'interno delle lamiere in acciaio, per permettere al ponte di resistere al carico (richiesto) di 600 Kg/mq. In origine, i ponti erano dimensionati per un carico di 350 Kg/mq; oggi è ragionevole aggiornare tale carico riferendosi alla folla compatta in movimento. Di fatto, durante eventi quali il Carnevale, si può presumere il manifestarsi di sollecitazioni dinamiche di particolare entità.

Il Ponte della Donna Onesta

La costruzione del ponte della Donna Onesta fu oggetto del bando di gara effettuato il 5 dicembre 1870 a cui rimase aggiudicatario Federico Layet. La didascalia del disegno, allegato al bando di gara, recitava essere il "Tipo rappresentante la forma del ponte di Donna Onesta da ricostruirsi in ferro con piedritti di vivo e muratura". Il disegno in scala di metri 0,04 per 1,00 riporta la data del 12 dicembre 1868. Il bando di gara specifica che il "ponte sarà in ferro fuso⁵ ad un arco e precisamente secondo il tipo che si richiede... Il piano camminabile sarà sostenuto da due arcate che appoggeranno sui manufatti o pile erette alle sponde del rivo, in guisa da non esercitare alcuna spinta orizzontale sui manufatti stessi.... Le ringhiere in ferro fuso saranno solide e saldamente unite al fronte ed avranno l'altezza di centimetri 85.... Tutto il palio in ferro sarà definito a minio a due mani e due altre con tinta a bronzo". Si noti la diversità del tipo riportato nel disegno a base di gara con il ponte realizzato (v. foto pag. seguente). A opera compiuta, il bando prevedeva l'esecuzione del collaudo statico mediante l'applicazione di un carico di 450 Kg/mq, uniformemente disposto sul piano camminabile, per ventiquattro ore.

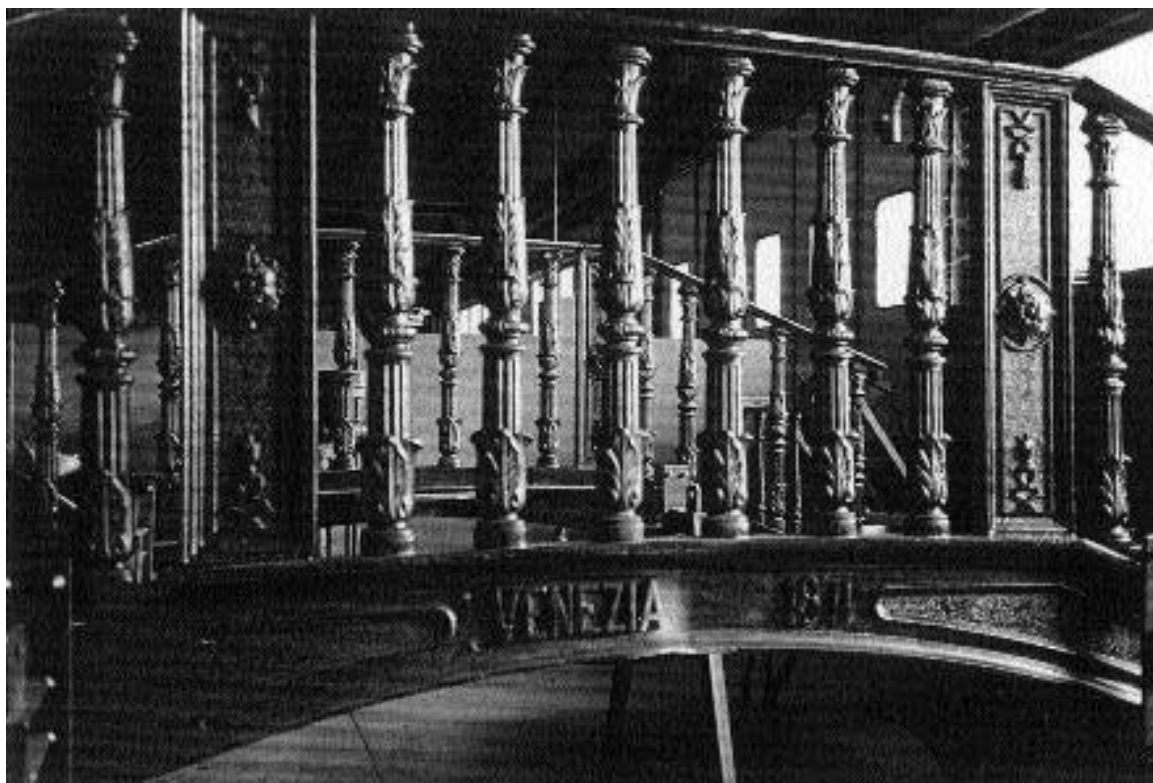
Nel 1998 è iniziato l'intervento di recupero e risanamento statico del ponte. Le due arcate a sostegno del ponte presentavano una saldatura nella sezione di mezzo, probabilmente dovuta a interventi precedenti non documentati; interventi che non avevano risolto il problema e dimostravano una bassa qualità probabilmente dovuta all'aver agito *in loco*. Con tali saldature l'arco del ponte aveva assunto una leggera forma acuta. Le saldature presentavano ai bordi una fessurazione. Nella parte di appoggio, verso la Fondamenta Del Forno, la trave ad ovest (riportante la scritta "VENEZIA 1871") presentava una integrazione all'ala inferiore all'altezza della foratura dell'anima. Tale integrazione, effettuata in epoca non documentabile, era risultata necessaria a seguito di una probabile rottura dell'originale causata presumibilmente dall'urto di un'imbarcazione. Un altro elemento di rilievo per il funzionamento



Progetto del Ponte della Donna Onesta del 12 dicembre 1868

strutturale, il corrimano, risultava fortemente compromesso nella sua integrità e non più recuperabile quale elemento di congiunzione e fissaggio degli elementi verticali delle ringhiere. Il corrimano posto a ovest presentava al centro un incavo nel quale era avvitata una barra di fusione riportante il nome del proprietario della fonderia "Federico Layet".

Il processo del recupero formale e strutturale dell'intero ponte ha visto lo smontaggio di tutte le parti componenti il ponte e il loro trasporto in una officina specializzata di carpenteria metallica. Tutte le parti, preventivamente numerate, sono state depositate in officina per le lavorazioni. Si è proceduto con la pulizia di ogni elemento, mediante sabbatura, al fine di togliere i molteplici strati di pittura fissatisi negli anni in cui è avvenuta la manutenzione. Dalla pulizia sono emerse, soprattutto nelle colonnine delle ringhiere, le caratteristiche soffiature di fusione e le asperità dovute alla sabbia che rivestiva gli stampi. Lo stato conservativo risultato buono ha permesso il recupero totale delle colonnine e il trattamento protettivo adottato permette di leggere le caratteristiche della fusione. È stato invece



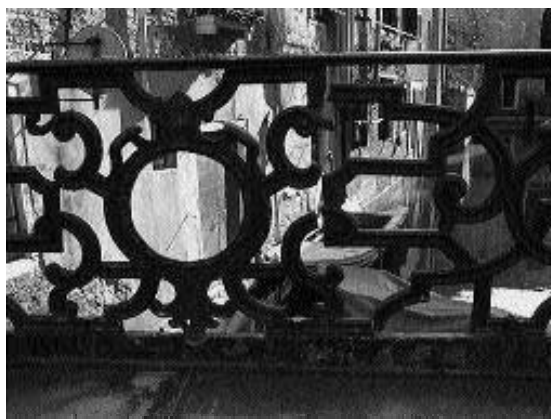
Manutenzione del ponte della Donna Onesta in officina

necessario fondere nuovamente il corrimano e il pezzo di elemento mancante, precedentemente sostituito da un elemento in ferro. La fusione di ghisa è stata eseguita con componenti aventi le stesse caratteristiche di quelle esistenti, sulla base delle analisi chimiche eseguite sui campioni originali. Sono state rimosse le vecchie saldature negli archi delle travi che sono state risaldate secondo un nuovo procedimento tecnologico. (A riguardo si evidenzia che la parte terminale della lettera "A" della parola "FONDERIA", già compromessa dalla preesistente saldatura, è stato necessario ricostruirla con apposito stucco. Così anche la lettera "A" della parola "VENEZIA" posta nell'altra trave).

Dopo la ricomposizione delle travi si è proceduto ad affiancare sulla parte interna delle stesse, una lama di acciaio a valenza strutturale e a supporto degli elementi portanti e decorativi delle ringhiere. La lama di acciaio è stata sagomata per il rispetto degli elementi di rinforzo originali presenti nell'interno alle basi delle travi, mentre si è dovuto sostituire tutta la parte strutturale dei gradini, oramai fatiscente e non più rispondente alla necessaria portata del piano di calpestio. Tali parti, non risanabili, sono state realizzate in acciaio, mentre quelle a vista, sono state ricostruite con le stesse lavorazioni delle preesistenti mediante l'utilizzo del pantografo.

Il Ponte de la Latte

L'intervento su questo ponte è risultato per un verso più semplice del precedente in quanto non vi erano parti mancanti o così degradate da richiederne la sostituzione. La caratteristica, ovvero la peculiarità, di questo ponte è data dal fatto di avere riscontrato che gli elementi formanti le ringhiere sono assemblaggi di pannelli fusi, così come i due corrimani, in stampi uguali. Le due ringhiere non sono simmetriche, bensì antimetriche: l'elemento più evidente è la scritta in rilievo della fonderia, presente sul corrimano. I pannelli dei fregi erano e sono assemblati mediante



Ponte de la Latte. Particolare della ringhiera prima del restauro

bulloni passanti attraverso ingrossamenti della loro sezione. Le molte "saldature", trovate coperte dalla vernice o rotte, denotavano le molteplici vicissitudini di questo ponte che più che ad un prodotto coerente e curato, composto di elementi fusi con adeguati stampi, rispondeva ad una situazione costruttiva conseguente ad una *raffazzonatura* di moduli fusi nel tentativo di risparmiare stampi. Il fatto che si tratti di un ponte sghembo, ove ogni elemento deve rispondere ad una forma e ad una dimensione, ha forse costretto il costruttore a rispondere in tale maniera alle richieste del bando di gara. Le arcate, di lunghezza diversa, non sono il prodotto di un'unica fusione, ma ricavate dall'unione di tre pezzi: quello centrale orizzontale e i due laterali inclinati. Così come per il Ponte della Donna Onesta, le travi realizzate furono diverse dal "Tipo" allegato al bando di gara. Il ponte presentava un generale degrado dovuto all'ossidazione e alla presenza di fessurazioni nei punti di giunzione delle travi. La trave più corta presentava inoltre, nel pezzo centrale, una saldatura conseguente ad un intervento non documentato. A causa di tale saldatura l'arco della trave risultava leggermente acuto e denotava una perdita di materiale evidenziata dall'alterata spaziatura tra le lettere "Z" e "O" della parola "NAZIONALE", fusa in bassorilievo sulla trave. A riguardo, l'intervento, pur migliorando la qualità della saldatura e il ripristino della geometria dell'arco, ha previsto la conservazione di tale caratteristica. Lasciando inalterato l'interspazio tra

le lettere, la licenza operativa del fabbro ha posto, nel mezzo, una ricostruita lettera "I", per dare correttezza lessicale alla parola. L'intervento, basato sul massimo recupero materico dell'esistente, ha mantenuto, e in un caso accentuato, tutte le caratteristiche degli elementi formanti il manufatto. Dopo la generale pulitura di tutti gli elementi, mediante sabbiatura, è stato ricomposto a terra il profilo del ponte ripristinando la corretta geometria dell'arco venutasi nel tempo a deformare. Sono state rifatte le saldature esistenti e bonificati gli interventi precedentemente eseguiti. Sono state saldate le fessurazioni presenti nelle travi, all'altezza dei piedritti di sostegno della ringhiera ed è stato eseguito il loro rinforzo mediante l'applicazione di una lama di acciaio sulla faccia interna. A conclusione delle operazioni di restauro, il ponte è stato riassemblato in officina prima di essere ricollocato in sito.

¹ La matrice è ferritica e il carbonio si presenta sotto forma di lamelle di grafite.

² Abbondante presenza di carburi, composti di carbonio, ferro e manganese; sostanze cristalline difficilmente fusibili, di elevata durezza.

³ Miscuglio di tipo eutettico formato da ferrite e cementite durante la fase di solidificazione della fusione.

⁴ Costituente presente nelle leghe ferrose contenenti più di 0,1% di fosforo.

⁵ Le analisi del campione del materiale presentano una prevalenza di silicio sul manganese che indica trattarsi di ghisa grigia, mentre la forte presenza di fosforo indica la fragilità della stessa.



Il ponte della Donna Onesta durante le operazioni di smontaggio



Ponte della Bergama



SINCERT



di Cavalletto Paolo

Sede e officina: 30030 GAMBARE DI MIRA(Venezia)
Via Maestri del Lavoro, 19 - Tel. 041.5875364 - Fax
041.5675238