

Nuova struttura per un ponte vetusto sul fiume Adige a Borgo Sacco, Rovereto (TN)

R. Boller - S. Odorizzi

New structure for an old bridge over the River Adige in Borgo Sacco, Rovereto (TN)

La ricostruzione del vecchio ponte sul fiume Adige a Borgo Sacco è stata caratterizzata da forti vincoli dimensionali e storico-ambientali. Le scelte progettuali sono state abbastanza inusuali, e la realizzazione - un cassone a struttura mista, a sezione variabile ed altezza molto contenuta - è stata complessivamente apprezzabile, sia per la tecnologia impiegata, che per il buon inserimento dell'opera nell'ambiente. Sono questi gli aspetti di rilievo del lavoro, per il resto di comune pratica ingegneristica.

The rebuilding of the old bridge over the River Adige in Borgo Sacco was conditioned by restrictive constraints of both dimensional and environmental-historical natures. The design decisions were somewhat unusual and the work - a composite concrete-steel box-girder with variable cross section and exceptionally shallow depth - was significant for the technological solutions applied and the environmental setting. These are the unusual aspects of the work, which in its other aspects is common engineering practice.



Fig. 1 - Vista d'insieme ponte.

Fig. 1: General view of the work.

1. INTRODUZIONE

1.1 Ambientazione storica

Il fiume Adige taglia da nord a sud tutto il Trentino quasi in due metà simmetriche, conferendo una particolare fisionomia orografica ed idrografica a questa regione montana.

Nel corso dei secoli l'importante corso d'acqua ha condizionato sostanzialmente l'attività commerciale ed, in genere, i contatti tra le popolazioni della Val d'Adige (da Bolzano a Trento) e della Vallagarina (dall'arco di Rovereto alla Chiesa di Verona), dividendo nettamente i territori e le comunità delle sponde opposte.

Dai tempi lontani gli abitanti del luogo, non disponendo che

1. INTRODUCTION

1.1 Historical setting

The Adige river cuts the Trentino region into two almost symmetrical parts from north to south, hence giving a particular orographic and hydrographic appearance to the mountainous country.

In the course of time, the important river has substantially conditioned the trade exchanges and, in general, the contacts between the populations of the Adige Valley (from Bolzano to Trento) and Vallagarina (from the arch of Rovereto to the narrowing of Verona), by dividing the territory, and hence the communities of the two banks.

di limitatissime disponibilità di guado per l'irruenza e l'ampiezza del fiume, furono costretti a realizzare strutture di attraversamento adeguate. Tra queste venne costruito alla fine del secolo decimonono - e secondo la disciplina dell'impero austroungarico - un ponte in legno destinato a collegare l'abitato di Borgo Sacco, in sponda sinistra, con Isera, in sponda destra. Negli anni '20, anche in conseguenza degli avvenimenti bellici che avevano interessato direttamente tutta la vallata, fu necessario intervenire sull'intera struttura: vennero conservate fondazioni e pile, e l'impalcato fu sostituito da un ponte metallico a travatura reticolare, a via inferiore.

In tempi recenti (1992) un controllo strutturale complessivo pose in evidenza la precarietà e fatiscenza del vecchio manufatto, che, su ordinanza del sindaco di Rovereto, fu quindi chiuso al traffico.

1.2. Scelte per la ricostruzione

La situazione creatasi, e la pressione della popolazione locale, che reclamava la necessità di un collegamento tra le sponde pienamente efficiente ed adeguato alle esigenze attuali del traffico, pose il problema della ricostruzione.

L'amministrazione pubblica si dimostrò solerte, invitando però i tecnici a contenere le spese di ricostruzione e, quindi, in particolare, a conservare, per quanto possibile, le sottostrutture esistenti. Nel dibattito iniziale fu anche, in un primo tempo, fortemente sostenuto il principio di testimonianza storica del ponte: non doveva essere alterato l'ambiente, di cui la struttura metallica dell'opera sembrava ormai fare definitivamente parte, come l'antica piazza di Borgo Sacco e la sua fontana settecentesca.

Delle due esigenze la prima fu sostanzialmente accolta dai progettisti - pur comportando essa necessari accorgimenti tecnici - la seconda fu invece rimossa e superata dagli stessi esperti di tutela del paesaggio, che asserirono come la massa metallica del vecchio ponte sembrasse piuttosto spezzare le linee armoniche degli abitati serviti e del verde delle coste: una soluzione di minore impatto visivo avrebbe, invece, giovato al panorama rispettandone le linee naturali.

Altre circostanze tecniche (il profilo longitudinale del ponte è pendente dalla sponda destra alla sinistra: il magistrato alle acque di Venezia impose un franco idraulico di 1.50 m rispetto alla piena centenaria) suggerirono in definitiva ai progettisti la scelta di un ponte con struttura a cassone metallico a sezione variabile, soletta superiore in calcestruzzo, e controsolette interne inferiori in calcestruzzo, disposte in corrispondenza agli appoggi intermedi per contenere l'altezza complessiva dell'impalcato (figura 1).

2. CARATTERISTICHE GENERALI DELL'OPERA

2.1 Aspetti geologico-geotecnici ed idraulici

Dalla campagna di rilievi geologici e geotecnici è emerso che il terreno di fondazione è costituito interamente da rocce basaltiche ben compatte, ed affioranti in superficie. Saggi sulle pile e sulle spalle hanno segnalato il buono stato e le buone caratteristiche meccaniche delle stesse, fatta eccezione per la spalla lato Isera. Nel complesso è risultato oggettivamente plausibile riutilizzare per il nuovo ponte le sottostrutture esistenti, salvo interventi di regolarizzazione ed adeguamento marginali.

I dati di progetto di natura idrologico-idraulica sono stati ottenuti attraverso un modello matematico che permettesse di prevedere i livelli attesi di piena centenaria e bicentenaria. Il modello è stato costruito a partire dalle informazioni e dalle registrazioni disponibili alla sezione idraulica di Trento ed a quella di Rovereto, tenendo conto delle variazioni dovute ai

Since olden times the inhabitants, with very few points in the wide, fast flowing river where it was possible to cross, were forced to build suitable bridge structures. One of these - a timber structure connecting Borgo Sacco on the left bank with Isera on the right - was erected at the end of the nineteenth century when the region was under the control of the Austro-Hungarian empire. In the twenties, partly as a consequence of the war that had involved the entire valley, it was necessary to rebuild the structure: the foundation and the piles were kept as they were, and the deck was rebuilt as a truss bridge with lower deck-plate.

Recently (1992) a structural inspection showed the precarious nature of the work, which was closed to traffic by order of the mayor of Rovereto.

1.2. Design decisions

The situation, and the pressure of the local residents, who wanted a fully efficient connection between the two sides of the river and in line with the modern traffic requirements, was such that rebuilding was the only option.

The local government reacted promptly, but applied rather restrictive cost control constraints, insisting on the preservation of the existing substructure. Moreover, in the initial discussion, the principle of the historical significance of the bridge was asserted. The environment was to remain unaltered, and the steel work of the bridge was part of this, as well as the old square of Borgo Sacco with its eighteenth-century fountain. The first request was accepted by the designers - even though this implied consequent technical choices - while the second was removed and superseded by the environmental defence experts themselves, who stated that the mass of the old steel work was breaking up the harmonious lines of the built-up areas and the surrounding greenery, while a solution with limited visual impact could be well inserted into the landscape.

Further technical constraints - such as the longitudinal profile which slants from the right to the left bank, or the hydraulic allowance which was set by the Magistrato alle Acque di Venezia to 1.5 m with respect to the flood with 100 years return time - led to the choice of a steel box-girder bridge, with variable cross section, concrete bridge floor, and internal bottom concrete slabs at the supports, to keep the depth as shallow as possible (figure 1).

2. GENERAL CHARACTERISTICS OF THE WORK

2.1 Geological, geotechnical and hydraulic features

The geological and geotechnical survey showed that the foundation ground is highly compact basalt rock in places emerging to the surface. Tests on the piles and abutments showed a good state and mechanical properties, with the exception of the abutment on the Isera side. In general it emerged that the existing substructures were acceptable and required only marginal modification work.

The hydrological-hydraulic design data were drawn from a numerical model giving the expected flood levels with respect to 100 and 200 years return times. The model was set up starting from the information and records which were available at the hydraulic sections of Trento and Rovereto, taking into account the alterations due to the user basins over the Trento-Rovereto stretch, and steady state conditions. The design con-

bacini di utenza sottesi al tratto Trento-Rovereto, e ragionando in regime permanente. Sono così stati individuati i limiti per l'intradosso del ponte, dovuti al rispetto di un franco idraulico di 150 cm in relazione alla piena centenaria e di 100 cm in relazione alla piena bicentenaria.

2.2 Caratteristiche dimensionali generali dell'opera

La scelta e le dimensioni generali dell'opera sono condizionate da vincoli progettuali stringenti. Tra questi: l'esistenza di pile e spalle - che condiziona la struttura a svilupparsi su tre luci obbligate, rispettivamente di 26, 26 e 33 metri, a partire dalla spalla di Borgo Sacco -, i limiti di quota all'intradosso ed all'estradosso e la pendenza longitudinale - che rendono necessario un impalcato ad altezza variabile, da un minimo di 75 cm lato Borgo Sacco, ad un massimo di 175 cm lato Isera, con pendenza longitudinale massima del 4%.

Il ponte è di prima categoria. La sua lunghezza complessiva è di 87 metri; la larghezza totale è di 9.92 metri, di cui 6.40 di sede stradale, 2.13 di marciapiede pedonale (a valle, e corrispondente alla normativa esistente per l'uso da parte di handicappati), 1.39 di marciapiede di servizio (a monte, per gli addetti alla manutenzione). La pendenza trasversale all'estradosso è di 1.5%. Nel marciapiede di valle sono inserite le canalizzazioni per i servizi (corrente elettrica, illuminazione, Telecom, etc.): nel marciapiede di monte è situato il collettore fognario intercomunale. Le pile sono alte circa 7 metri, a partire dal piano fondazionale. La spalla lato Isera è alta circa 8 metri. L'aspetto complessivo della struttura è illustrato nella figura 2.

3. RIFERIMENTI PROGETTUALI

3.1 Schema statico

L'impalcato ha sezione scatolare trapezia ed è disposto in continuità sulle tre campate; è vincolato longitudinalmente da un appoggio fisso in corrispondenza della spalla di Sacco e libero - sempre longitudinalmente - sugli appoggi collocati sulle due pile e sulla spalla lato Isera. Trasversalmente i vincoli sono disposti su pile e spalle.

Complessivamente la disposizione degli apparecchi di appoggio è quella tradizionale, con un appoggio fisso ed un appoggio unidirezionale longitudinale sulla spalla di Sacco, ed una appoggio unidirezionale trasversale ed uno multidirezionale sulla spalla lato Isera e sulle pile.

La distanza in senso trasversale tra gli appoggi è di 5 metri: essa costituisce braccio per il trasferimento degli effetti torsionali, realizzato mediante traversi infinitamente rigidi.

straints at the intrados were hence fixed with a 150 cm allowance for centenary flooding and 100 cm allowance for bicentenary flooding.

2.2 Dimensions of the work

The main dimensions of the work are conditioned by highly restrictive constraints, including keeping the substructures - which lead to a continuous three span bridge of 26 m, 26 m, and 33 m respectively, from the Borgo Sacco abutment - limiting the depth of the deck, and respecting a 4% longitudinal slope of the floor - which leads to a variable cross section, with 75 cm deck depth on the Borgo Sacco bank, and 175 cm deck depth on the Isera bank -.

The bridge belongs to class one. The total length is 87 m, and the total width is 9.92 m (6.40 m for the roadway; 2.13 m for the downstream pavement, in accordance with the standards for handicapped persons; and 1.39 for the service side-way). The transverse slope of the floor is 1.5 %. The downstream pavement contains the trunking for the service equipment, such as electric power lines, lighting, and telephone lines. The upstream side-way contains the drain trunk line.

The piles are approximately 7 m from the foundation. The abutment on the Isera bank is 8 m.

The structure is shown in figure 2.

3. DESIGN REFERENCES

3.1. Static scheme

The deck is a three-span continuous box-girder with trapezoidal cross section. It has fixed longitudinal constraints on the Sacco abutment, while is free to move longitudinally on the piles and on the Isera abutment. Transversely, it is fixed on all the piles and on the abutments. This corresponds to the standard layout of the bearings, with a pair of fixed and longitudinally unidirectional bearings on the Sacco abutment, and a couple of multidirectional and transversally unidirectional bearings on the piles and Isera abutment.

The transverse distance between a couple of bearings is 5 m. This gives the arm for the torsional effects, taken by a rigid diaphragm.

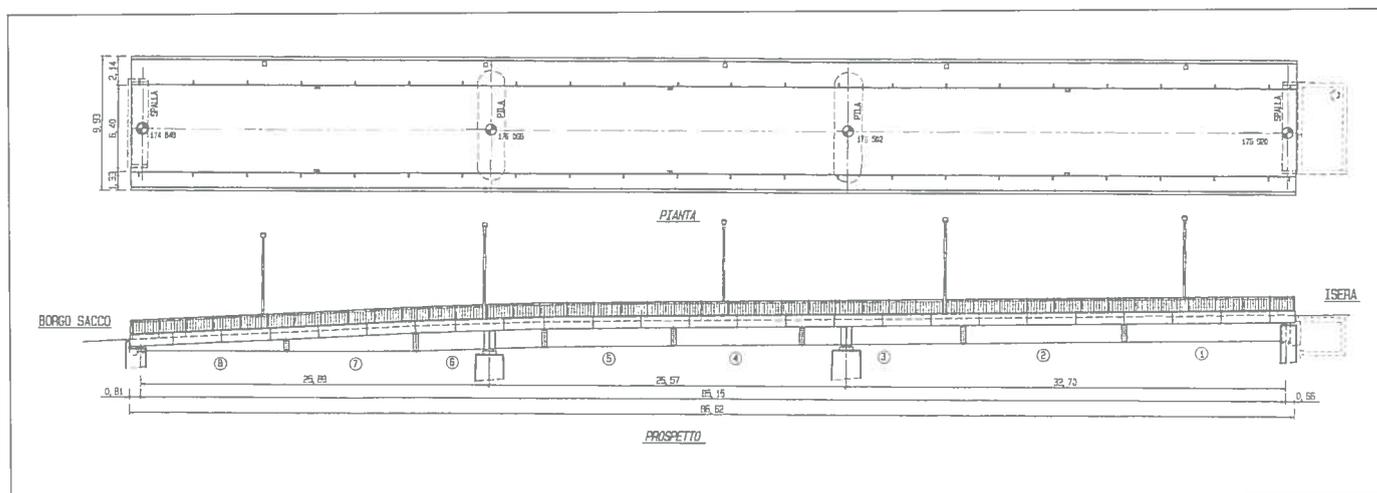


Fig. 2 - Disegno d'assieme.

Fig. 2 - Overall drawing.

3.2 Impalcato

3.2.1 Comportamento strutturale complessivo

Per contenere l'altezza dell'impalcato sono state disposte, in corrispondenza delle pile, controsolette in calcestruzzo armato, di altezza variabile da 25 a 40 cm, progettate per essere collaboranti con la lamiera del fondo del cassone.

Nella campata di riva lato Borgo Sacco, dove il problema della riduzione dell'altezza è esasperato, la tipologia strutturale scelta è quella di cassone bicellulare, ottenuto mediante inserimento di un diaframma mediano longitudinale.

L'impalcato è stato quindi calcolato con riferimento a tre fasi successive: in prima fase, a struttura metallica varata, questa sopporta il proprio peso e quello dei getti in calcestruzzo delle controsolette e della soletta superiore; in seconda fase, a maturazione avvenuta dei getti in calcestruzzo, la struttura complessiva solidarizzata sostiene i sovraccarichi permanenti (pavimentazione, marciapiedi, etc.); in terza fase, e tenuto conto dei fenomeni lenti, l'impalcato sopporta i carichi mobili di esercizio.

3.2.2 Travata metallica

La trave metallica è divisa in 16 semiconci, di lunghezza variabile da 9 a 12 metri (figura 3). Tutte le giunzioni, sia quelle longitudinali tra semiconci, che quelle di forza trasversali, sono bullonate con bulloni ad alta resistenza, e progettate ad attrito. Trasversalmente alla sezione, e ad interasse non superiore a 2.5 metri, sono inseriti diaframmi parziali, realizzati con sagoma a T e saldati. La sezione è completata da nervature longitudinali (profili a sezione aperta), sia sulle pareti che, dove necessario, sul fondo, e continue rispetto ai diaframmi. I diaframmi parziali diventano diaframmi completi in corrispondenza delle pile e delle spalle, a meno del passo d'uomo lasciato per l'ispezione e la manutenzione.

La sezione è completata superiormente da un controvento, necessario in fase provvisoria.

Il collegamento con le solette in calcestruzzo è realizzato con pioli tipo Nelson, elettrosaldati in officina.

La sezione (figura 4) è mantenuta di altezza invariata e pari a 1460 mm nella campata centrale e nella campata lato Isera. La campata lato Borgo Sacco è risolta invece con una coppia di anime longitudinali centrali opportunamente diaframmate ed irrigidite, a formare una sezione scatolata bicellulare (figura 5). La trave metallica di questa campata, di lunghezza complessiva pari a 26 metri, ha altezza variabile da 450 mm e 1430 mm.

3.2.3 Materiali impiegati

Per tutte le strutture metalliche è impiegato acciaio autoprotetto, avente le caratteristiche seguenti:

- acciaio per lamiere e profilati, con spessore inferiore a 20 mm: Fe510/C;

3.2. Deck

3.2.1 Overall structural behaviour

To keep the depth of the deck as shallow as possible, bottom concrete slabs (25 to 40 cm) were placed at the intermediate supports connected with the bottom steel plate of the box-girder. For the span on the Borgo Sacco bank, where the problem of reducing the depth is crucial, a double-box section is used. This is obtained by inserting a mid longitudinal diaphragm.

The deck was designed with reference to three phases. In the first phase, after the erection of the steel structure, this carries the selfweight as well as the weight of the concrete castings of the deck-floor and the bottom reinforcing slabs at the supports; in the second phase the concrete parts become integral with the steel structure, and the two take the permanent loads of the wearing surface, side-ways, and service equipment; in the third phase the creep and shrinkage effects are taken into account, and the structure takes the live traffic loads.

3.2.2 Main girder

The main girder is divided into 16 half-segments with length varying from 9 to 12 metres (figure 3). All the connections, including the longitudinal connections between the halves of the segments and the main transverse connections are bolted, using high strength bolts and a friction approach. Transversely, and with a step of approximately 2.5 metres, T-shaped partial diaphragms are welded to the main girder. The section is completed by open section parallel ribs, closely spaced both longitudinally and transversally. Integral diaphragms are placed at the piles and abutments, including utility openings for inspection and maintenance.

An upper bracing is inserted, to cover the erection phase.

The connection between the main girder and the concrete slabs is produced by means of Nelsen stud share connectors, end-welded in the shop.

The section (figure 4) is kept constant over the mid-span and the span on the Isera bank, and the depth is 1460 mm. The span on the Sacco bank is designed with a pair of longitudinal rib webs, with stiffeners and diaphragms, which form a double-box section (figure 5). The girder in this span has a depth varying from 450 mm to 1430 mm.

3.2.3 Materials

All the steelwork is built in self-protected steel of the following types and grades:

- plates and shapes with thickness less than 20 mm: steel type Fe510/C;

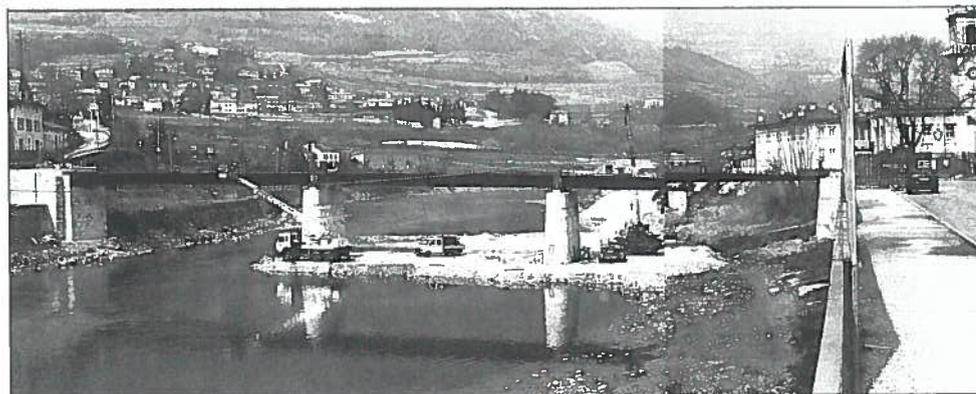
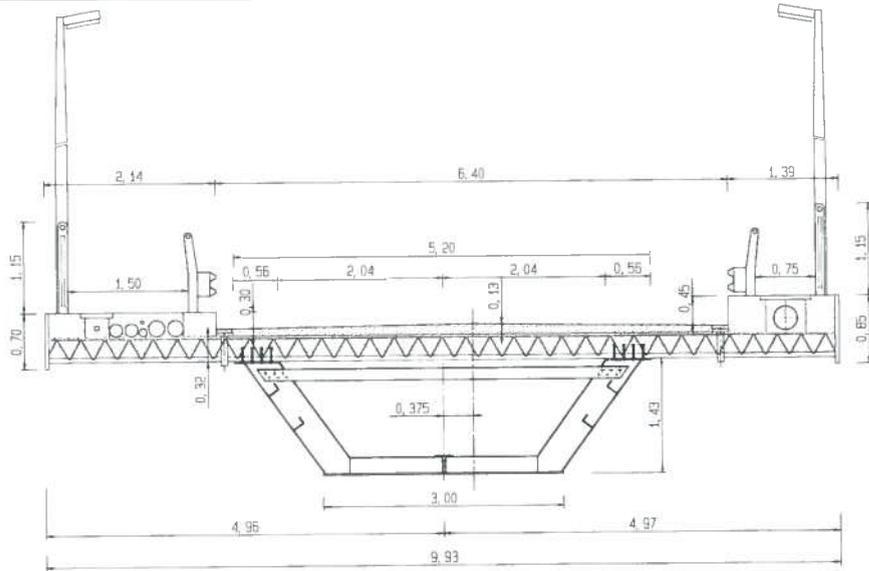
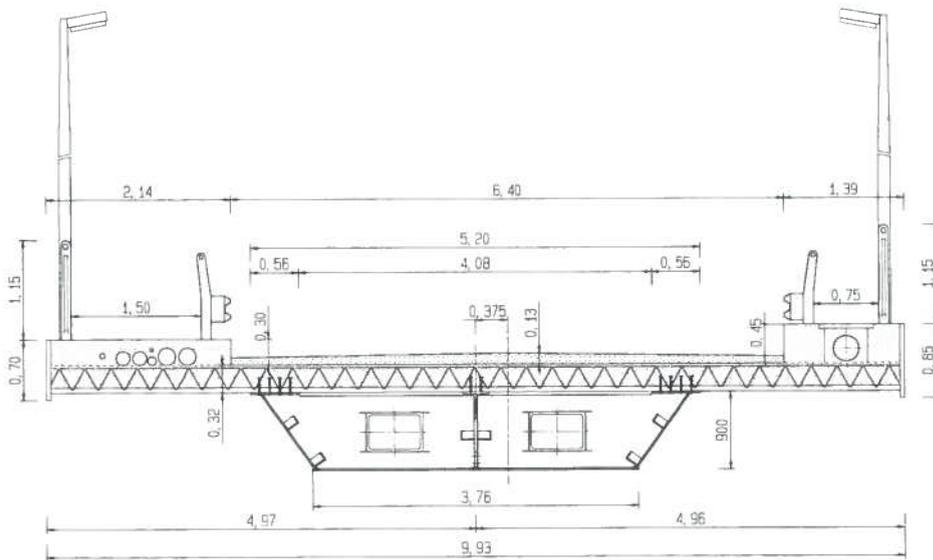


Fig. 3 - Vista d'insieme travata metallica.

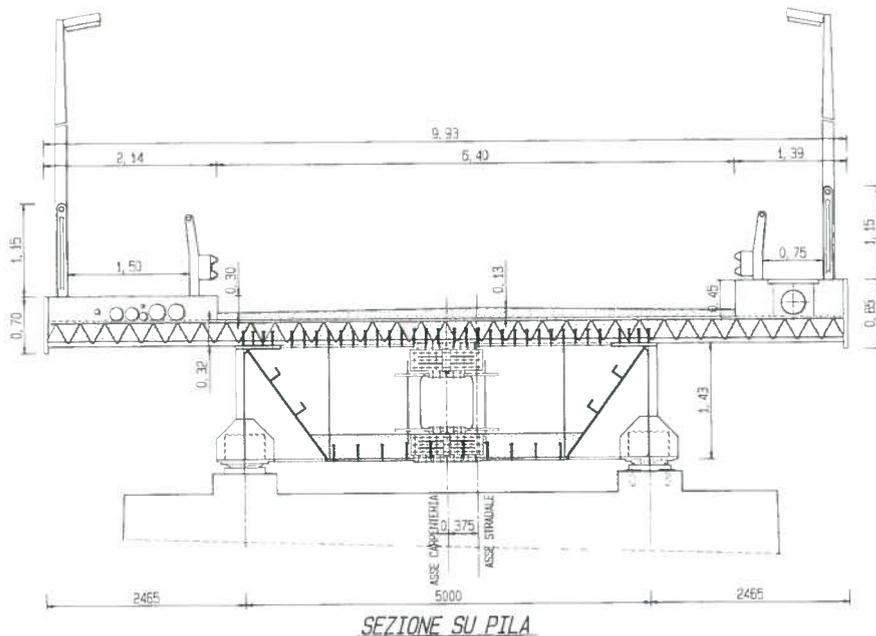
Fig. 3 - Overall view of the steel girder.



SEZIONE TIPICA



SEZIONE CONCIO n° 8



SEZIONE SU PILA

Fig. 4 - Sezioni trasversali.

Fig. 4 - Cross sections.

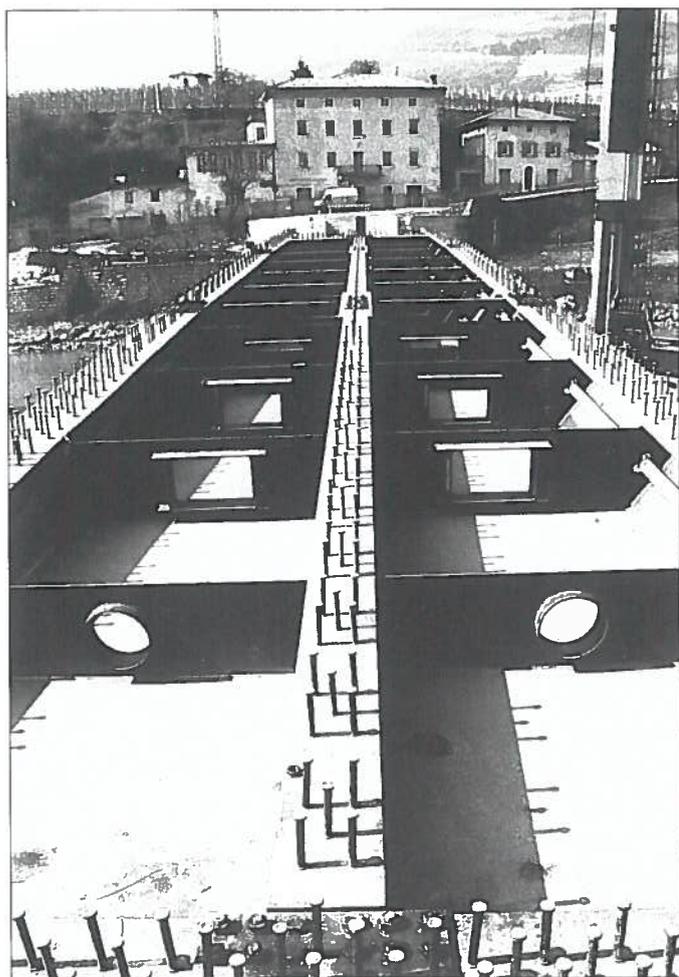


Fig. 5 - Vista dall'alto prima campata.
Fig. 5: View from above the first span.

- acciaio per lamiere e profilati, con spessore superiore a 20 mm: Fe510/D;
- acciaio per la controventatura provvisoria del cassone: Fe430/B
- acciaio per pioli elettrosaldati: St 37-3 DIN 17100;
- bulloni ad alta resistenza, classe 10.9.

3.2.4 Controlli di esecuzione

In officina sono stati eseguiti controlli adeguati alle caratteristiche dell'opera. In particolare, per quanto attiene alle saldature, ne è stata verificata l'esecuzione specializzando il controllo all'importanza ed al tipo di saldatura, differenziando controlli visivi e dimensionali, controlli ultrasonici, controlli magnetoscopici e controlli radiografici.

Le piolature sono state verificate secondo norma (CNR-UNI 10016/85).

Tutte queste attività sono state svolte con la supervisione dell'Istituto Italiano della Saldatura.

È inoltre stata verificata la complanarità delle lamiere in corrispondenza delle giunzioni di forza principali.

In cantiere sono state controllate le coppie di serraggio dei bulloni previste a progetto, nonché i getti in calcestruzzo. Per questi sono stati accertati i fusi granulometrici da utilizzarsi operando con provini eseguiti preventivamente; è stato poi verificato lo slump ad ogni getto omogeneo, e sono state determinate le caratteristiche meccaniche del conglomerato su provini prelevati all'atto del getto. In tutti i calcestruzzi utilizzati per la soletta e per le controsolette è stato impiegato additivo fluidificante in ragione del 2% in peso.



Fig. 6 - Vista laterale 1a campata.
Fig. 6 - Side view of the first span.

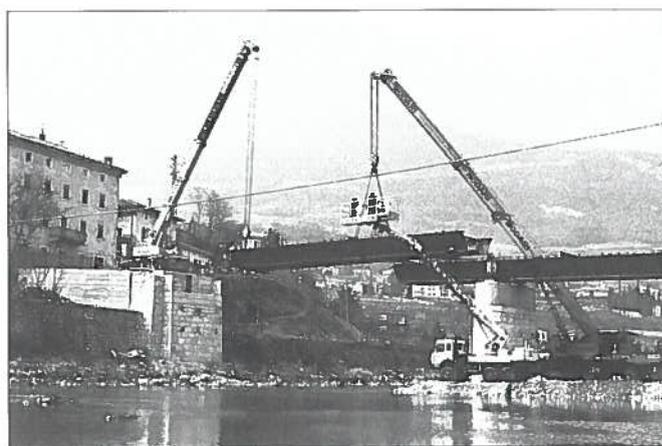


Fig. 7 - Varo terza campata.
Fig. 7 - Launching of the third span.

- plates and shapes with thickness over 20 mm: steel type Fe510/D;
- upper bracing: steel type Fe430/B;
- Nelsen stud connectors: steel type St 37-3 DIN 17199;
- high strength bolts: grade 10.9.

3.2.4 Construction checks

A variety of checks was carried out in the shop regarding the characteristics of the steelwork. In particular, for the welds, the inspection technology was tailored to the type and importance of the joints, including dimensional and visual inspection, and ultrasonic, magnetic-particle and radiographic inspection.

The steel flange/concrete slab connectors were checked in accordance with the CNR-UNI 10016/85 standard.

All these operations were supervised of the Italian Welding Institute.

In the yard, the design bolt-torques were checked, as well as the concrete castings. For the latter, the granulometry was set in advance on test specimens; the slump test was also carried out on any homogeneous casting, and the mechanical properties of the material were assessed on test specimens collected during casting. All the castings were treated with a 2% liquefying additive.

3.2.5 Montaggio e varo

La struttura metallica è stata assemblata a terra in tre tronconi corrispondenti il primo alla campata lato Borgo Sacco, il secondo alla campata intermedia ed un tratto a sbalzo verso Isera, il terzo a completare l'impalcato. I tronconi sono poi stati montati in sequenza (figure 6-7-8).

3.2.6 Controsolette in calcestruzzo armato

A varo avvenuto è stato eseguito il getto delle controsolette in corrispondenza alle pile, per tratti di lunghezza 9,7 e 13,3 metri rispettivamente dal lato di Borgo Sacco e da quello di Isera. Per i getti è stato utilizzato calcestruzzo classe Rck 450 Kg/cm² (figura 9). Le solette sono state rese solidali alla lamiera del fondo mediante pioli Nelson.

3.2.7 Soletta in calcestruzzo armato

La soletta superiore è stata gettata utilizzando lastre autoportanti in calcestruzzo armato, disposte trasversalmente, di lunghezza 9,83 metri, con sbalzi di 2,40. Per poter limitare in quantitativo di armatura inserito nelle lastre preconfezionate, il getto della soletta è stato eseguito in due fasi, trattando prima la fascia centrale, per una larghezza di circa 7 metri; successivamente, dopo quindici giorni, e dopo aver accertato la classe di resistenza ottenuta nel primo getto, sono stati completati gli sbalzi. Successivamente ancora sono stati ultimati i marciapiedi.

È stato utilizzato calcestruzzo classe Rck 350 Kg/cm², e barre di acciaio classe FeB44k.

3.2.8 Apparecchi di appoggio e giunti

Gli apparecchi di appoggio utilizzati sono del tipo a neoprene confinato, con piano di scorrimento in PTFE. La disposizione degli apparecchi è stata descritta più sopra.

È stato eseguito un giunto di dilatazione in corrispondenza alla spalla lato Isera, dimensionato per consentire uno scorrimento massimo di 100 mm. Il giunto è del tipo impermeabile a gomma armata. Sull'altra spalla è stato eseguito un giunto tampone di tipo metallico, con scorrimento massimo inferiore a 10 mm.

3.3 Sottostrutture

3.3.1 Pile

Sono state mantenute le pile preesistenti in pietra, intervenendo però con opportuni rinforzi ed integrazioni. In particolare sono state rinforzate le fondazioni in pietra - poggianti direttamente sullo strato roccioso affiorante - mediante esecuzione di una corona di calcestruzzo armato, collegata all'esistente

3.2.5 Erection and launching

The steelwork was assembled on the ground in three parts: the first corresponding for span on the Borgo Sacco bank, the second for the mid-span, including a cantilever towards Isera, and the third to complete the deck. The three parts were then launched in sequence (figures 6-7-8).

3.2.6 Base concrete slabs

After launching, two base concrete slabs were cast inside the box-girder, at the piles, the first on the Borgo Sacco bank with a total length of 9.7 m, and the second on the other bank, with a total length of 13.3 m. Rck 450 Kg/cm² concrete was used (figure 9). The slabs were connected to the bottom of the box-girder by means of Nelsen studs.

3.2.7 Concrete deck plate

The concrete deck plate was cast on a formwork made of concrete self-supporting slabs, laid transversely and with side 2.4 m cantilevers. To limit the amount of reinforcing bars in the self-supporting slabs, the casting of the deck plate was carried out in two phases: first a mid longitudinal band of 7 m was cast, then the side parts, and finally the side-ways.

The concrete is Rck 350 Kg/cm², and the bars are in FeB44k steel.

3.2.8 Bearings and expansion joints

The bearings are of the "neoprene restricted" type, with PTFE sliding plane. The layout of the bearings is described above.

An expansion joint at the abutment on the Isera side was built, allowing a maximum relative displacement of 100 mm. The joint is of the waterproof reinforced rubber type. On the other side of the bridge, a slave steel type expansion joint was inserted, allowing a maximum relative displacement of 10 mm.

3.3 Substructures

3.3.1 Piles

The existing stone piles were kept, with some reinforcements. In particular the pile footings - which lie directly on the basaltic rock emerging layer - were strengthened with a concrete ring, which was connected to the existing one by means of $\varnothing 24$ bars clogged with epoxy resin. The footing of the pile

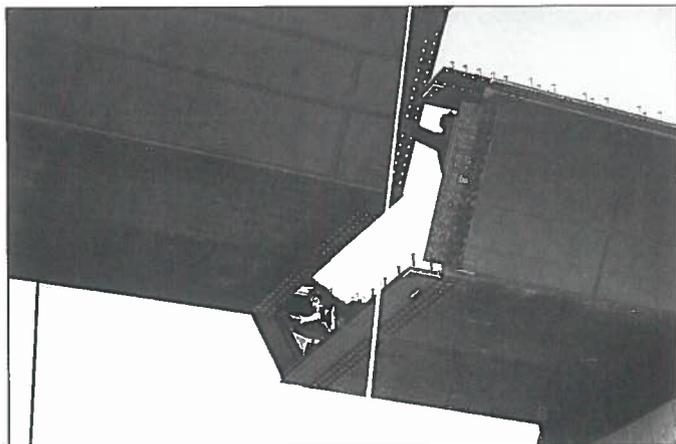


Fig. 8 Assemblaggio in opera.
Fig. 8 - Assembly in the yard.



Fig. 9 - Controsolette.
Figure 9: Base concrete slabs.

con chiodatura in barre \varnothing 24 inghisate con resine epossidiche. Per la pila lato Borgo Sacco, la cui fondazione è parzialmente fuori appoggio nei confronti dello strato roccioso affiorante, sono stati disposti, ad integrazione dell'intervento, sei micropali \varnothing 78.6, a spessore 6 mm e lunghezza sei metri.

La sommità delle pile è stata demolita per un'altezza di circa 1.20 m, e ricostruita in calcestruzzo armato. Il collegamento alla struttura esistente è stato realizzato con barre di cucitura \varnothing 24 inghisate con resine epossidiche.

3.3.2 Spalle

La spalla lato Borgo Sacco, in buono stato, è stata trattata in modo simile alle pile - e, quindi, ricostruita nella parte sommitale - per poter ospitare un impalcato di dimensioni diverse dal precedente. È stata inoltre eseguita una paratia in micropali, ancorati tramite barre Diwidag ad un getto di calcestruzzo realizzato a 14 metri di distanza dalla spalla stessa. La paratia è stata dimensionata per assorbire integralmente le sollecitazioni dovute alla spinta del terreno, al sovraccarico stradale a tergo, ed agli effetti di frenatura sul ponte. Alla struttura della spalla preesistente sono quindi affidati i soli carichi verticali e le azioni legate agli effetti di attrito degli apparecchi di appoggio.

La spalla lato Isera, del tutto inadeguata a sopportare i carichi indotti dalla nuova sovrastruttura non consente di intervenire come fatto per l'altra spalla. Né trova luogo l'ipotesi originale di demolirla e ricostruirla integralmente, per la volontà di conservare quanto possibile dell'opera preesistente. È stata quindi realizzata, a tergo dell'opera esistente, una struttura autonoma in calcestruzzo armato, progettata per sopportare integralmente i carichi trasmessi dal nuovo ponte.

4. CENNI AL METODO DI CALCOLO

La struttura è stata calcolata in conformità alla normativa italiana vigente, facendo largo uso di programmi di simulazione al computer, sia di tipo commerciale, che scritti specificamente per svolgere verifiche di dettaglio. Programmi commerciali quali Systus - codice ad elementi finiti prodotto da Framasoft+Csi - sono stati utilizzati per la determinazione dei parametri di sollecitazione e delle deformazioni di riferimento. Nel modello è stato tenuto conto degli effetti fessurativi della soletta, come anche delle diverse fasi di vita dell'opera, e degli effetti di ritiro e deformazione differita del calcestruzzo.

Un programma specifico è stato messo a punto per trattare i carichi mobili, ed individuare quindi le condizioni più gravose sia dal punto di vista flessionale che da quello torsionale, ricavate a partire da 10 configurazioni di carico di riferimento.

Altri codici sono stati impiegati per svolgere le verifiche di dettaglio - eseguite, a documento dell'opera, in 20 sezioni distinte - e per correggere il calcolo delle frecce tenendo conto della deformazione tagliante e della deformabilità dei connettori.

5. COLLAUDO STATICO

Il collaudo statico è stato formalizzato in cinque prove di carico - utilizzando un numero massimo di 16 autocarri da 33 t - sufficienti a verificare le condizioni di sollecitazioni flettenti e torcenti massime (figura 10).

La corrispondenza tra i valori calcolati e quelli misurati è stata molto buona. La freccia massima è risultata inferiore ad 1/1200 della luce maggiore.

Nel complesso i lavori di ricostruzione del manufatto sono iniziati nel giugno del 1995. Il nuovo ponte è entrato in esercizio nel luglio del 1996.

on the Borgo Sacco bank, which does not partially meet the rock layer, was strengthened with six micropiles with 78.6 mm diameter, 6 mm thickness and 6 m length.

The top of the piles was pulled down by a total of approximately 1.2 m, and rebuilt in reinforced concrete. The connection with the existing stone pile was obtained by means of \varnothing 24 bars clogged with epoxy resin.

3.3.2 Abutments

The abutment on the Borgo Sacco bank, which was in reasonably good condition, was given the same treatment as the piles, with the top part rebuilt to seat a deck with a different size from the existing one. A sheet piling was also erected, which is anchored by Diwidag tie rods to a dead concrete block placed 14 m at the back of the abutment. The sheet piling was designed to fully retain the pressure of the earth, the live traffic load and the braking longitudinal forces on the deck. Hence the existing substructure takes only the vertical loads and the action caused by friction at the bearings.

The abutment on Isera cannot carry any load from the superstructure, nor can it be strengthened like the opposite abutment. Rebuilding the work as it was before is technically and economically unfeasible. Hence an independent new concrete structure was built at the back of the existing one, and was designed to carry all the loads from the superstructure.

4. NOTES ON THE CALCULATION METHOD

The structure was designed in accordance with the Italian standards in force, with extensive use of computer programs, both those found on the market and others specifically implemented to carry out given detail checks. Programs such as Systus - a finite element code produced by Framasoft+CSI - were used to determine the stress parameters and the displacement fields. The model was built to take into account the cracking effects of the concrete deck plate, as well as the erection phases and the life of the work, with the creep and shrinkage effects developed by the materials.

A specific computer program was implemented to deal with the moving live loads, and hence to find out the combinations giving the maximum bending and torsional effects, starting from 10 different reference load patterns. Other codes were used to carry out detail checks - in 20 different cross-sections, to document the design throughout - and to correct the computed displacements, taking into account the shear deformation and the deformation of the stud connectors.

5. STATIC TESTING

The testing of the work was drawn to five test load patterns - using a total of 16 standard 33 t trucks - to cover the maximum bending and torsional effects (figure 10).

The correspondence between the recorded and computed values is excellent. The maximum measured deflection was less than 1/1200 of the maximum span.

The work started in June 1995. The new bridge was put into operation in July 1996.

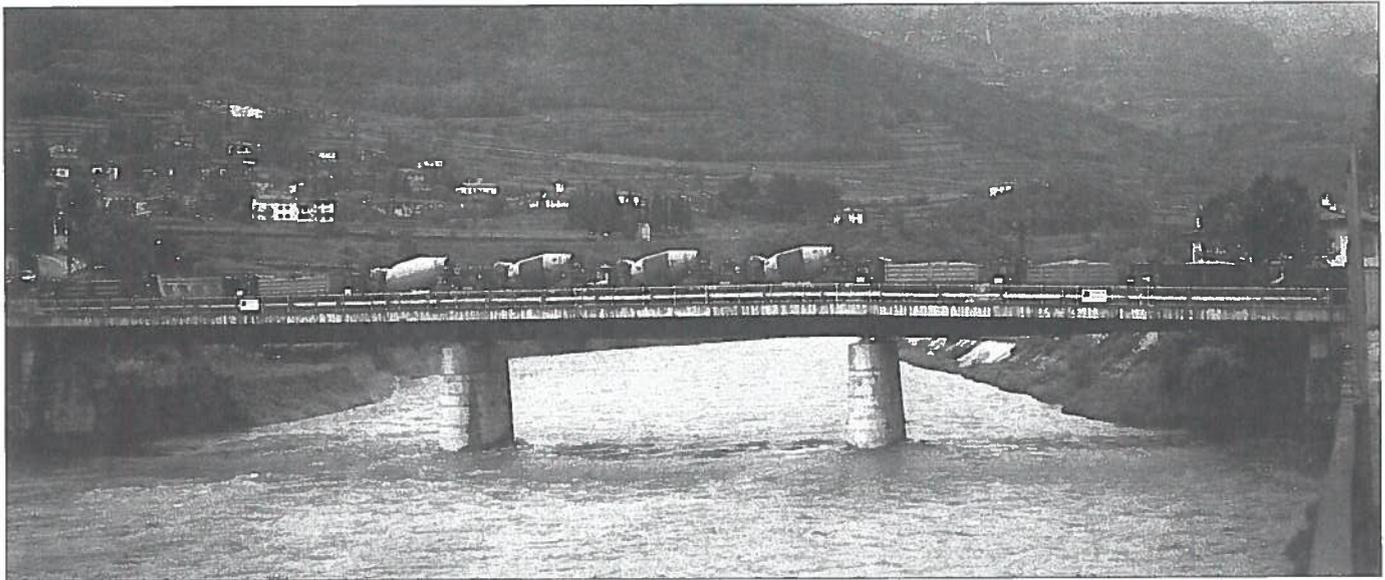


Fig. 10 - Fase di collaudo.
Fig. 10: Testing.

6. CONCLUSIONI

L'opera qui sommariamente descritta, seppur di proporzioni modeste, documenta, a parere degli scriventi, un lavoro di progettazione e realizzazione fortemente condizionato da vincoli dimensionali e storico-ambientali. La soluzione prospettata è particolare, sia per la presenza della sezione variabile, che per le diverse tipologie di cassone mono o bicellulare utilizzate, che, infine, per l'impiego di controsolette in presenza di rapporti geometrici inusuali. Anche l'intervento sulle sottostrutture, a mantenimento dell'esistente e contenuto ai minimi tecnicamente plausibili, è risultato complessivamente apprezzabile.

6. CONCLUSIONS

The bridge that has been briefly described above is certainly rather modest but in the opinion of the authors bears witness to design and erection work which was highly restricted by environmental and size constraints. The solution is unusual, both for the variable cross section of the box-girder, and the different types of single and coupled boxes, as well as the girder base concrete slabs which allow for particularly shallow section depth. The strengthening of the substructures, which was aimed towards keeping the existing structure with minimum re-arrangement, is in general significant.

PONTE SUL FIUME ADIGE / BRIDGE OVER THE ADIGE RIVER

Committente / *Customer*:

Amministrazione comunale di Rovereto (TN)

Impresa esecutrice / *Construction contractor*:

Pre-Metal spa. Rovereto

Direttore tecnico / *Technical manager*:

geom. Sergio Turella

Direzione Lavori / *Supervision of construction*:

Sws srl Trento - ing. Roberto Boller

Collaudo statico / *Static testing*:

ing. Roberto Lorenzi

Progetto esecutivo / *Final design*:

Sws srl Trento - ingg. Roberto Boller e Stefano Odorizzi