

GRANDI STRUTTURE.

Il calcestruzzo precompresso, scelta affidabile per il ponte che scavalca la laguna alla Scaffa

34 ANNI DI ESERCIZIO CONFERMANO LA VALIDITÀ DELLE SOLUZIONI PROGETTUALI E REALIZZATIVE

La strada statale 195 "Sulcitana" è l'unico itinerario che consente un collegamento rapido tra la città di Cagliari e la costa occidentale della Sardegna dove, accanto a siti archeologici e belle spiagge, sorgono anche alcuni centri abitati di modesta estensione ma di antichissima origine. La strada corre per i primi nove chilometri su uno stretto istmo, basso e sabbioso, che separa il mare dalla laguna di Santa Gilla, un esteso specchio di acqua ubicato ad ovest della città, che lambisce con la sue acque salmastre gli insediamenti più bassi del capoluogo, affacciati sulla laguna.

Fino alla metà del secolo scorso, la Sulcitana attraversava con tre ponti il largo canale che collega il mare aperto con la laguna nella quale riversano le loro acque due dei maggiori fiumi della Sardegna: il Mannu e il Cixerri. Le improvvise piene di questi fiumi, durante la stagione piovosa, provocano delle forti correnti ed è da attribuire al loro impeto il crollo dei numerosi ponti, prima in legno e poi in ferro, che nei secoli passati assicuravano l'attraversamento del canale.

Con l'affermarsi dell'area industriale di Macchiareddu, al di là dei ponti della Scaffa e il sorgere di una grande raffineria di petrolio nella nuova zona industriale di Sarroch, la veneranda Sulcitana manifestò difficoltà sempre maggiori ad assorbire la gran mole di traffico che su di essa si riversava giornalmente. I ponti della Scaffa con la loro limitata larghezza, che in certi punti non superava i sei metri, si rivelarono inadeguati al transito dei mezzi di ultima generazione e, su uno di essi, si verificarono anche casi di incastro durante il transito di mezzi dalla sagoma ingombrante.

L'Anas corse ai ripari e, nell'estate del 1972, istituì sui ponti un sistema di circolazione a senso unico alternato, regolato semaforicamente. Poco tempo

dopo, indisse una gara d'appalto per la costruzione di un nuovo ponte. Alla gara parteciparono poche imprese, forse perché per la presentazione delle offerte si era scelto il mese di agosto, un mese tradizionalmente dedicato alle vacanze, e la Ferrocemento Sarda (oggi Gecopre) si aggiudicò l'appalto, con un ribasso tutto sommato accettabile. Alcuni mesi dopo il Casic affidò alla Ferrocemento Sarda anche la costruzione delle rampe di collegamento tra il nuovo ponte e la strada, per evitare che la nuova opera rimanesse un monumento incompiuto in mezzo alla laguna.

Il progetto Anas. Il progetto predisposto dall'Anas, in collaborazione col Casic, prevedeva un unico ponte in cemento armato a quattro corsie, largo 18 metri, lungo 410, suddiviso in 10 campate non tutte della stessa lunghezza, e posto ad un'altezza di otto metri sulla laguna, per consentire il transito di piccoli natanti sotto le sue arcate.

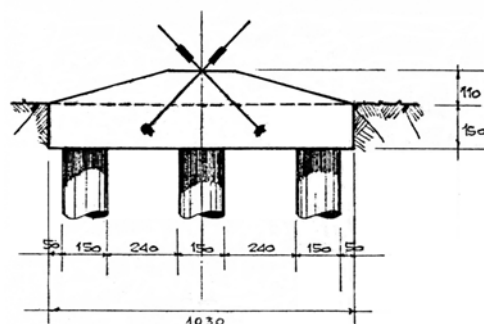
Per l'impalcato si era scelta una soluzione a trave continua, interrotta da cerniere in posizione opportuna per renderla isostatica, ossia una classica trave Gerber, dal nome dell'ingegnere che per primo l'aveva ideata, cent'anni prima, per la costruzione di un ponte sul fiume Reno a Magonza. La trave Gerber era la scelta progettuale più logica per conferire all'opera una elevata affidabilità riguardo a un prevedibile assestamento delle fondazioni, particolarmente sensibile in presenza di corsi d'acqua e nei lunghi viadotti insistenti su terreni di natura variabile. I plinti di fondazione poggiavano su pali e l'unica nota di originalità del progetto erano le pile dalla inconsueta forma a V, con i due bracci dall'apertura accentuata e la sezione poligonale variabile con l'altezza.

Il progetto esecutivo. Quando si pose mano al progetto esecutivo, apparve subito chiara la necessità di ricorrere alla tecnica della precompressione di

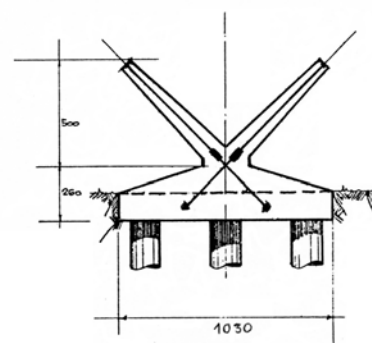
L'AUTORE.

L'ingegnere **Romano Sandri**, iscritto all'Albo d'oro dell'Ordine di Cagliari, è stato responsabile tecnico e amministratore delegato della Ferrocemento/Gecopre.

telefono: 070.493482



Ponte della Scaffa: i pali e il plinto di fondazione di una pila, con indicate le barre di acciaio armonico Φ 32 millimetri ancorate nel cuore del plinto.



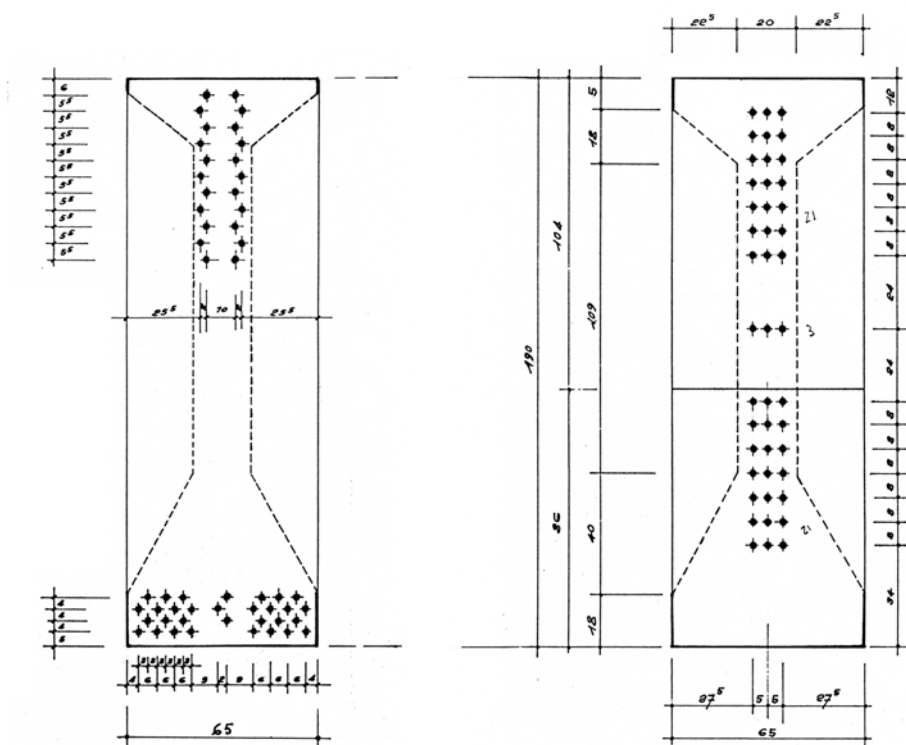
Una pila a V gettata in loco con l'impiego di casseforme mobili standard. È indicata la posizione delle barre di acciaio armonico Φ 32 millimetri per la precompressione della pila. Le barre sono ancorate ai manicotti sporgenti del plinto.

tutte le strutture in elevazione, già in parte prevista dall'Anas, per conservare la linea architettonica scelta, che conferiva all'opera una particolare leggerezza. Come è noto agli specialisti, per calcestruzzo precompresso si intende un calcestruzzo pre-sollecitato. Detto in altre parole ad un componente di una struttura in calcestruzzo viene applicata una forza prima che essa sia posta in esercizio. La posizione e la grandezza di questa forza è scelta in modo da eliminare tutti gli sforzi di tensione che si prevede tendano a prodursi sotto i carichi di esercizio.

Per applicare una precompressione al calcestruzzo si usano fili di acciaio ad alta resistenza, tesi e mantenuti in tensione o dalla aderenza del calcestruzzo che li ingloba, o per mezzo di ancoraggi alle estremità della struttura. Nel primo caso si parla di pre-tensione, nel secondo caso di post-tensione. Nel ponte della Scaffa si sono usati entrambi i metodi. Le rampe di accesso al ponte, costruite parte in rilevato e parte in cemento armato normale e precompresso, non hanno presentato particolari problemi di progettazione esecutiva, in quanto realizzate al di fuori della laguna.

Le fondazioni. Si sapeva che il terreno sul quale realizzare le fondazioni del ponte era particolarmente infido e per questo furono eseguiti numerosi sondaggi e prove penetrometriche, anche ripetute. Le analisi sui campioni indisturbati di terreno, prelevati a varie profondità, eseguite presso il Laboratorio Prove e Materiali dell'Università di Cagliari e presso lo Studio di Geotecnica stradale di Roma, evidenziarono che in tutta la zona interessata dai pali di fondazione vi è uno strato di scarsissima consistenza, che ha uno spessore variabile tra i 12 e i 17 metri. Tale strato, oltre a non avere alcuna capacità portante, è soggetto ad assestamenti e quindi potrebbe costituire in futuro un aggravio per le fondazioni.

Al di sotto di tale strato i sondaggi evidenziarono, fino alla profondità di circa 30 metri, un altro strato costituito da argille plastiche, di scarsa capacità portante, e solo al di sotto di 32 metri si sono trovati degli strati di ghiaia su cui fare affidamento, per cui fu necessario prevedere per i pali una profondità me-



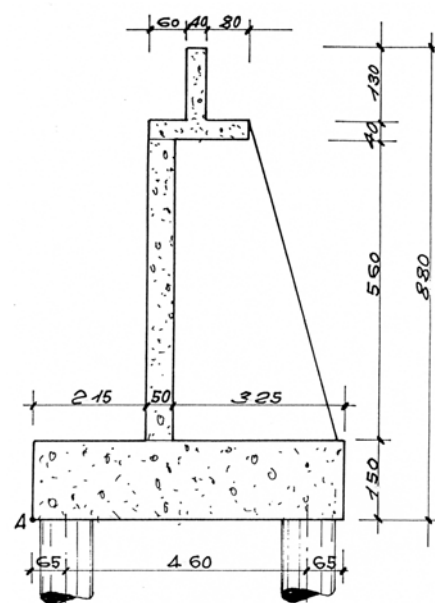
Particolare della disposizione dei trefoli in acciaio armonico da 1/2 pollice sulla testata della trave da 31,60 metri (a sinistra) e su quella da 14,60 metri.

dia di 45 metri, con punte di 52 metri in corrispondenza della terza e quarta pila per chi percorre il ponte arrivando da Cagliari. La fondazione di ogni pila è costituita da un plinto in cemento armato ordinario che unisce otto pali, aventi ciascuno un diametro di metri 1,50. Anche i pali sono in cemento armato ordinario gettato in sito, all'interno di una cassaforma metallica recuperata dopo il getto.

Le pile. La particolare forma geometrica delle pile ha comportato il ricorso alla precompressione (mediante post-tensione), raramente usata in questo tipo di strutture, e l'esecuzione di calcoli molto accurati, che è stato possibile svolgere con l'aiuto del calcolatore elettronico Olivetti "Programma 101", a quei tempi una meraviglia rispetto alle vecchie calcolatrici elettriche.

Come già accennato, le pile sono a sezione poligonale con dimensioni variabili con l'altezza e sono composte da due elementi a V affiancati. Dopo il getto e la maturazione del calcestruzzo, la precompressione è stata applicata separatamente su ognuno dei quattro elementi che compongono la pila, in modo da controllare il regime di tensio-

ne indotto, per permettere la maggior parte dei movimenti sia elastici che differiti. Con la precompressione inoltre le travi dell'impalcato sono rese solidali ai montanti a V in modo da comporre con essi un telaio rigido tre volte iperstatico.



Particolare della spalla di sostegno del rilevato in terra che forma la rampa di accesso al ponte sul lato della strada statale 195.

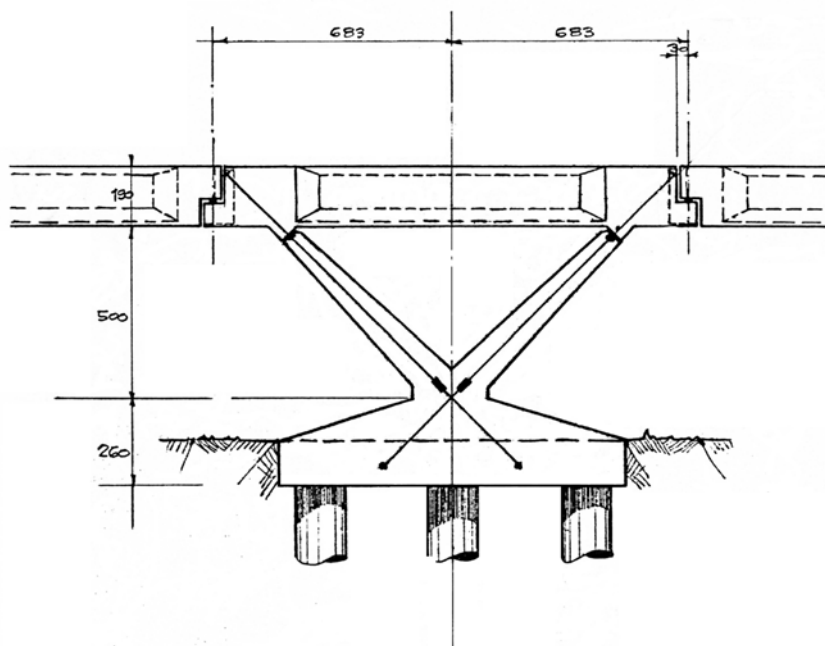
Ognuna delle quattro gambe della pila è precompressa con 36 barre di acciaio ad elevato limite elastico, del diametro di 32 millimetri, con ancoraggio morto nel cuore del plinto e manicotto di ripresa all'estradosso. In totale ogni pila è precompressa con 144 barre inclinate di 45 gradi, più 12 barre verticali.

Struttura d'impalcato. Nel progetto esecutivo l'impalcato fu previsto con travi e solette precomprese ad armatura aderente e con traverse precomprese a cavi scorrevoli. Inoltre, per ridurre i tempi di costruzione del manufatto e per evitare le costose centinature da appoggiare sul cedevole fondale della laguna, l'intero impalcato fu prefabbricato fuori opera, in due cantieri allestiti uno nelle immediate vicinanze delle rampe e l'altro nello stabilimento per la produzione di manufatti che la Ferrocemento Sarda (ora Gecopre) possiede ancora oggi nel comune di Assemini.

La precompressione delle travi e delle solette ad armature aderenti pretese è costituita da trefoli a 7 fili da 1/2 pollice, con caratteristiche di rottura non inferiori a 180 kg/mm². Le travi principali sono lunghe 31,60 metri e pesano 48,60 tonnellate, quelle secondarie 14,60 metri e 22,41 tonnellate. Entrambe le travi sono del tipo a doppio T, alte 1,95 metri, con sezione costante e con staffe sporgenti dal bulbo superiore in determinati punti per solidarizzare con le solette prefabbricate, secondo una tecnica originale ideata dalla Ferrocemento di Roma.

Si tratta di un tipo di impalcato che rientra nella tipizzazione e nelle tecniche costruttive studiate ed impiegate dalla Ferrocemento di Roma, sulla base di una esperienza di prefabbricazione nel campo degli impalcati da ponte che risale ai primi anni del dopoguerra. Il fatto più caratteristico e qualificante di questo prodotto sta nel tipo e nel sistema di precompressione adottato per le travi, che già nel lontano 1956 aveva consentito di risolvere il problema dell'uso integrale delle armature pretese, con dispositivi deviatori delle stesse sulla traccia del cavo risultante teorico nelle grandi travi da ponte. Questo sistema, a conferma della sua bontà, è rimasto a tutt'oggi immutato.

Si ritiene a questo punto utile ed importante un accenno alla tecnica di



Le travi prefabbricate e precomprese da 14,60 metri di diametro sono posate sopra le pile e rese solidali mediante delle barre di acciaio Φ 32 millimetri ancorate a manicotti sporgenti dalle pile. Sono indicate anche le selle d'appoggio delle travi da 31,60 metri.

precompressione ad armature aderenti pretese, che rappresenta - nel campo di applicazione ad esso congeniale - il modo più corretto di porre in coazione i calcestruzzi. Esso infatti elimina i rischi connessi con i sistemi a cavi scorrevoli post-tesi, dal pericolo d'innesco di corrosione sotto sforzo, per prolungate attese degli acciai nelle guaine, prima della loro tesatura a quello di imperfetta o difettosa esecuzione delle iniezioni.

Il precompresso ad armature aderenti realizza peraltro il più intimo connubio fra l'acciaio ed il calcestruzzo, con conseguente assoluta protezione delle armature che, senza elementi intermediari e operazioni sussidiarie, risultano direttamente inglobate nei getti. Pertanto, quando si opera nel campo delle strutture isostatiche e quando il numero delle travi da costruire è sufficiente a giustificare il costo di casseri (chiaramente più robusti e impegnativi, poiché chiamati a sostenere l'intero sforzo di precompressione prima ancora che la trave sia costruita) allora il precompresso ad armature aderenti diventa, sotto ogni aspetto, la soluzione principe e non vi è motivo per non scegliere questa eccellente tecnica costruttiva. Oggi gli esperti concordano nel riconoscere ad essa i suoi indiscutibili meriti, che significano, in

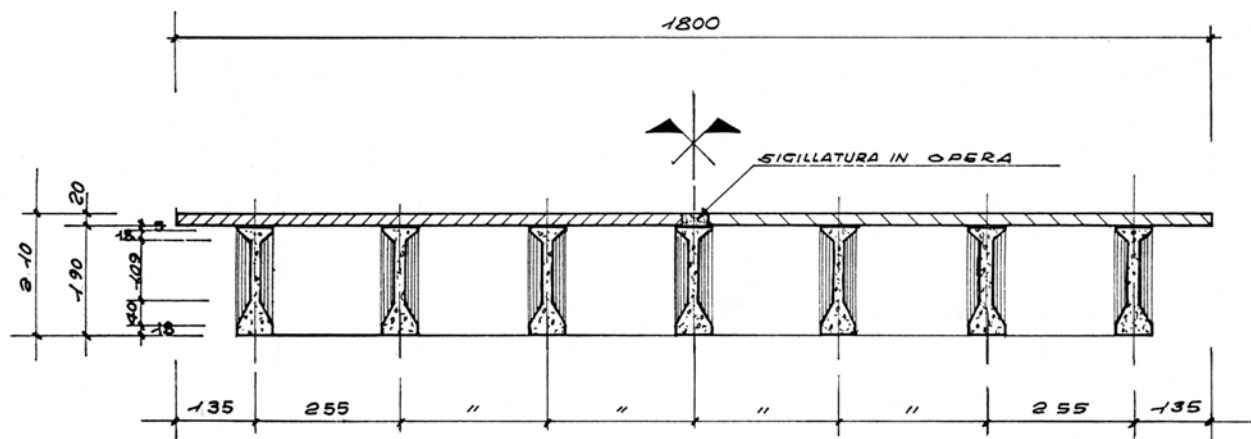
definitiva, superiori caratteristiche meccaniche e grande durabilità.

Per quanto concerne gli appoggi della trave principale su quella secondaria in corrispondenza del giunto, essi sono stati previsti del tipo in gomma e piastre d'acciaio incorporate.

Organizzazione del cantiere e attrezzature. Il cantiere principale fu organizzato in una spaziosa area disponibile tra il villaggio dei pescatori e la laguna, nelle immediate vicinanze di una delle rampe di accesso al ponte, mentre in un cantiere secondario realizzato nello stabilimento di Assemini furono costruite le travi da 14 metri, perché più corte, di minor peso e quindi più facilmente trasportabili.

Val la pena di indicare qui di seguito le principali attrezzature adoperate nella costruzione e nella messa in opera delle strutture prefabbricate, che a quei tempi erano all'avanguardia in campo non solo nazionale.

Le casseforme reggispinta in acciaio, oltre alla funzione di cassero, avevano quella di contrastare la forza totale esercitata dai trefoli posti in tensione. Tale forza raggiungeva per le travi maggiori il valore di 900 tonnellate. Le testate per l'ancoraggio provvisorio dei trefoli sono costituite da crociere a doppio T, realizzate con elementi di



Sezione trasversale dell'impalcato interamente prefabbricato fuori opera e precompresso.

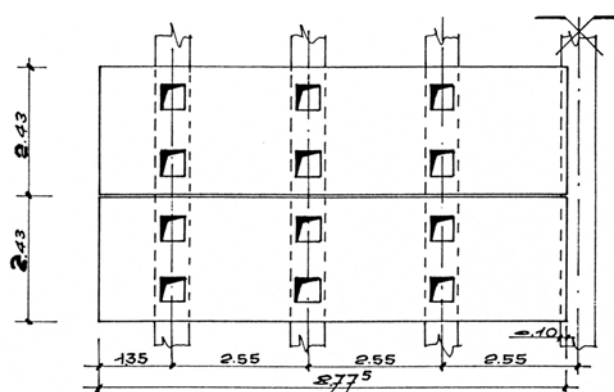
carpenteria metallica saldati, e hanno la funzione di ripartire sul cassero reggi-spinta la forza esercitata dai trefoli posti in tensione.

La camera a vapore per la maturazione accelerata del calcestruzzo era costituita da un telone di nylon coibentato sostenuto da carpenteria metallica e misurava per le travi maggiori 36 metri in lunghezza, con una sezione di 3,00 x 4,00 metri.

Il carro ponte autovarante impiegato nella posa in opera degli elementi prefabbricati aveva una struttura di forza realizzata in doppia trave reticolare ed una volata a sbalzo di lunghezza pari a circa il 60% della luce da coprire. Era provvisto di due carrelli-argano della portata di 62 tonnellate ciascuno, scorrevoli su rotaie per la giustapposizione del prefabbricato in fase di aggancio ed in fase di posizionamento in opera. Si tratta di macchine originali, particolarmente duttili ed efficienti, le prime attrezzature in grado di realizzare negli anni Sessanta l'autovaro sulle grandi luci senza l'ausilio di appoggi provvisori intermedi.

I carrelloni per il trasporto dei prefabbricati dal cantiere di produzione al carro ponte di varo erano costituiti da una struttura in acciaio scatolare elettrosaldato, provvista di sospensione elastica compensativa trasversale e longitudinale capace di ripartire equamente il carico sulle ruote gommate in presenza di dislivelli ed asperità di percorso. I carrelloni adibiti al trasporto delle travi maggiori avevano uno scartamento di 3,60 metri, un interasse di 3,00 metri, un peso di 25 tonnellate ed un carico utile al gancio di 60 tonnellate.

La tecnica costruttiva nel suo in-



Nel particolare è illustrato il sistema ideato dalla Ferrocemento per collegare le lastre prefabbricate alle travi portanti. Ogni lastra copre metà della carreggiata ed è collegata alle tre travi laterali, mentre sulla trave centrale il collegamento è continuo mediante sei asole armate e sigillate dopo la posa in opera.

sieme e quella di prefabbricazione in particolare, nonché le attrezzature di costruzione, di trasporto e di varo in essa implicate, furono ideate e messe a punto negli uffici tecnici della Ferrocemento, con la collaborazione di specialisti dei vari settori. Il loro utilizzo consentì di ridurre in modo significativo i tempi di esecuzione del ponte e in definitiva anche i costi finali.

L'inaugurazione. Le migliaia di automobilisti che quotidianamente transitavano sui vecchi ponti della Scaffa seguivano con impazienza il progredire della nuova opera e la stampa locale si rese interprete dei loro sentimenti con una informazione costante e talvolta anche colorita. Nel giugno del 1974 un quotidiano locale se ne uscì con un lungo articolo intitolato "Il ponte dei sospiri", che ben interpretava i sentimenti delle persone intrappolate per ore nella chilometriche file che si formavano davanti ai semafori.

Il 6 dicembre del 1974, in occa-

sione della posa dell'ultima lastra dell'impalcato, l'Anas organizzò una cerimonia in cantiere, alla quale parteciparono le autorità regionali e cittadine, per verificare che i lavori principali erano conclusi, mancavano solo alcune rifiniture. Il discorso di circostanza fu pronunciato dal sindaco di Cagliari Franco Murtas, che ebbe modo di esprimere tutta la sua soddisfazione per il completamento di un'opera che rendeva più fluido il traffico in uno dei nodi di accesso alla città e che con la sua linearità e discrezione non turbava il panorama della città, visto dalla laguna.

Il primo maggio del 1975, superati tutti i nodi burocratici, la tradizionale processione di Sant'Efisio transitò per prima sul ponte. La scelta della data per l'inaugurazione non fu casuale: nel 1880 infatti, con la stessa cerimonia, era stato inaugurato il primo ponte in ferro costruito alla foce della laguna.

Romano Sandri