

Franco Laner

IL PONTE DELL'ACCADEMIA

permanenza del provvisorio



07

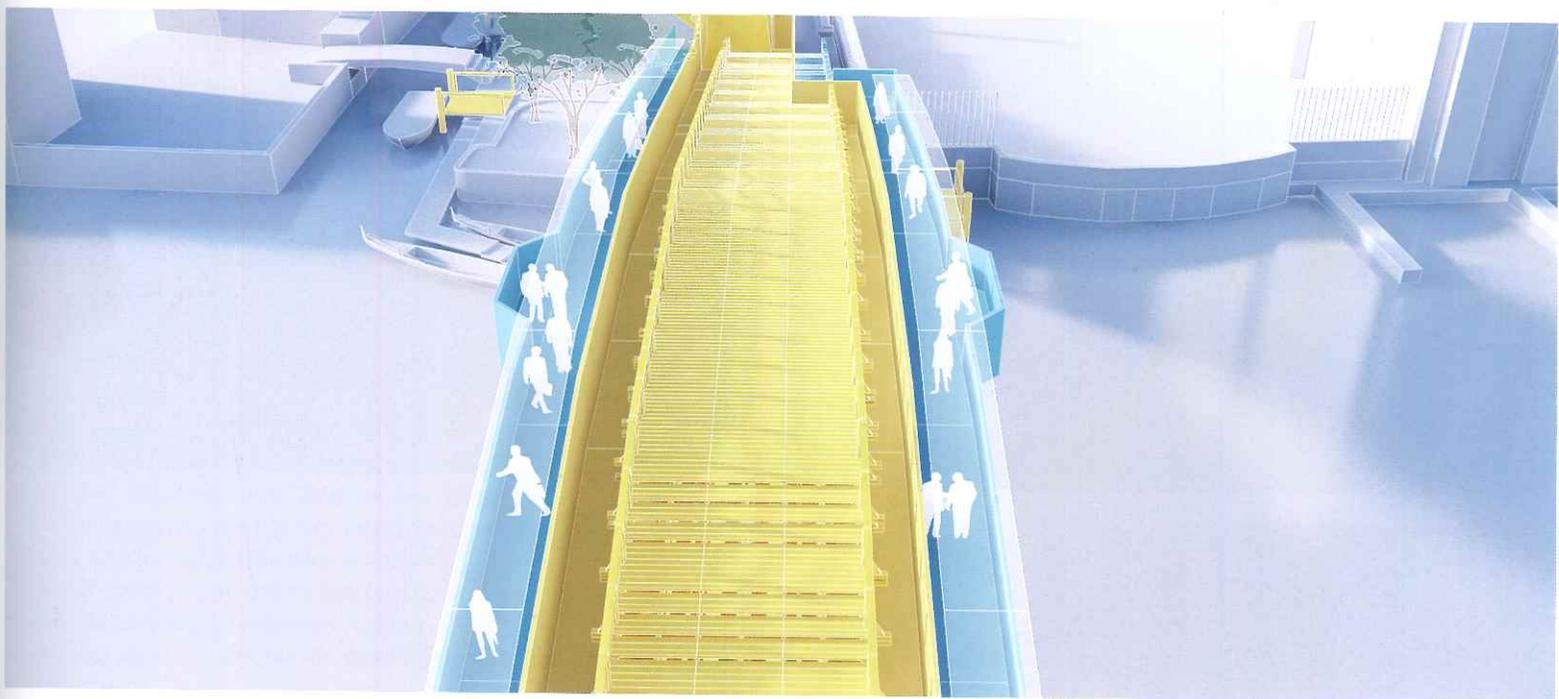
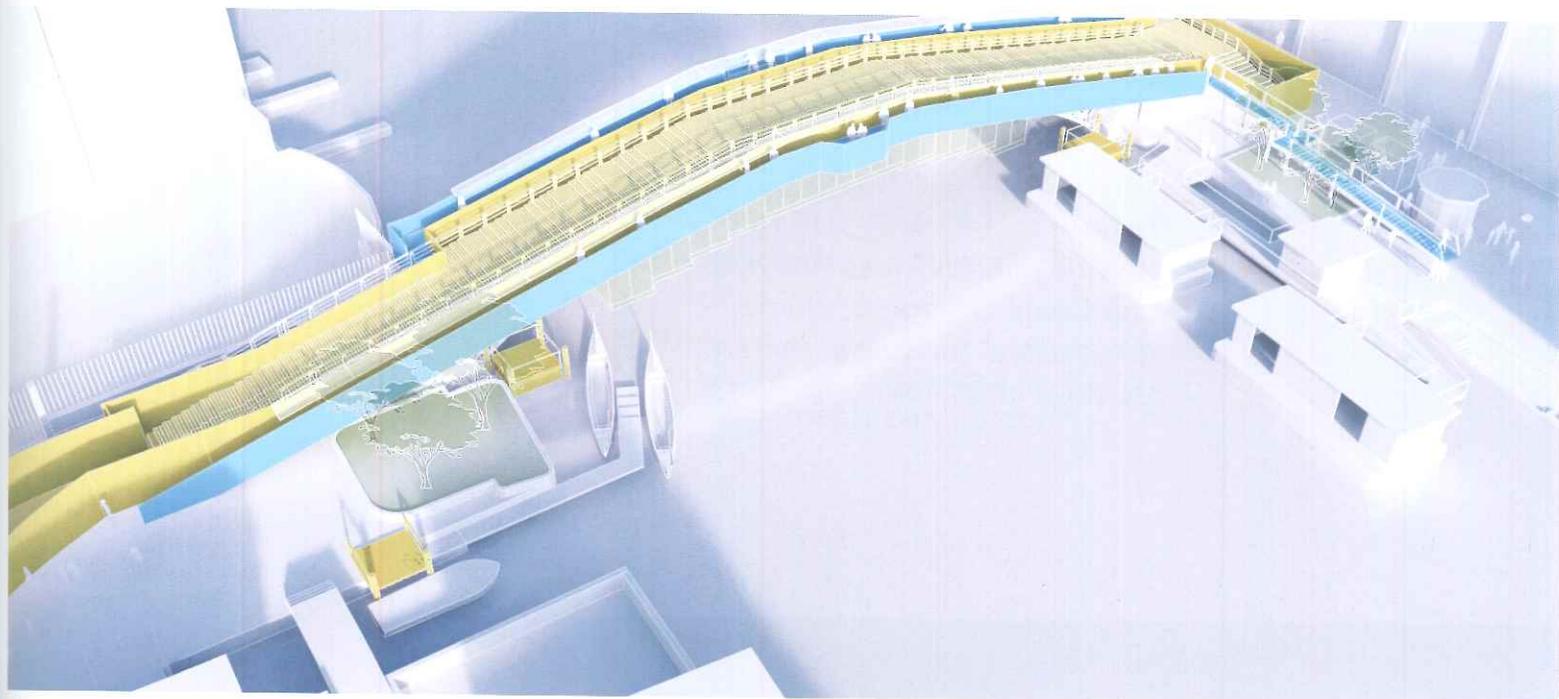
Il progetto di gara, sicurezza strutturale e collaudo



arch. Michele Carrano
arch. Piero Giovannini
arch. Carlo Pagan
ing. Antonio Pantuso

H&A Associati, Marghera

Tanti pochi fa un assai



La gara

La sintesi del contributo dello studio H&A, incaricato da ATI Pasqualucci-Salmistrari, potrebbe essere resa con esautività dai due rendering. L'eloquenza visiva infatti esprime col linguaggio grafico le idee che hanno contribuito all'assegnazione dei lavori. L'enfasi comunque va temperata, poiché l'aggiudicazione ha altri severi ed impegnativi gradi di punteggio. Pur tuttavia, per un team di progettisti, significa essere protagonisti, perché l'esito positivo di una

proposta di realizzazione, il progetto, gioca un ruolo determinante, o almeno c'è questa forte illusione.

L'idea progettuale ha puntato su due aspetti importanti:

- permettere il transito in sicurezza delle persone in zone nettamente separate dal cantiere,
- creare una particolare area di cantiere tale da poter mettere a nudo tutta la struttura del ponte per poterla ispezionare ed intervenire in ogni sua parte. Da qui "le ali", due passerelle ester-

in alto

Vista 3D del progetto di ponteggio. In celeste le ali

in basso

Altra vista 3D delle ali per il passaggio dei pedoni

in alto
Struttura del ponteggio in fase di conclusione

in basso
Ponteggio concluso. La vista sul Canal Grande è, ahimè, preclusa ai turisti per evitare soste e intasamenti



ne solidali al ponte destinate esclusivamente alle persone, successivamente battezzate dalla cronaca locale come "il quinto ponte sul Canal Grande" e, "il sottoponte", una struttura appesa all'intradosso del ponte, con le molteplici funzioni, di cantiere, di transito delle maestranze, di piano di lavoro per gli operatori ed i tecnici in grado di osservare ed intervenire nelle parti più intime della struttura gerarchica principale in carpenteria metallica del ponte. Il progetto a base di gara prevedeva la suddivisione dell'impalcato del ponte in due aree longitudinali: una di cantiere e l'altra destinata al passaggio delle persone; conclusi i lavori su una parte, si invertivano le funzioni delle due aree. Idea progettuale brillante è nata da una discussione sul tema tra Laner e Pantuso in un mattino presto, in macchina, in viaggio per andar a parlar di legno in un corso di formazione per professionisti. Per la precisione, Laner insisteva su una passerella provvisoria realizzabile con la struttura del ponte votivo del Redentore e della Salute. Buona idea, ma soccombente rispetto a quella geniale di Pantuso.

Indagini e diagnostica strutturale

Prima di trattare tale argomento che si mostrerà significativo per la verifica di vulnerabilità sismica del ponte e per il progetto di adeguamento, si descrive brevemente la struttura del ponte.

Il ponte è un arco realizzato da due coppie di travi composte, una superiore e l'altra inferiore, collegate da una struttura reticolare. La distanza tra tali travi composte varia, riducendosi, dalle spalle verso la chiave. Le coppie di travi sono collegate da travature reticolari con passo variabile compreso tra 3000 e 4500 mm. Tale struttura, risalente all'intervento del 1948 costituisce la struttura gerarchica principale.

Superiormente a tale struttura, insiste una seconda struttura reticolare in carpenteria metallica sulla quale è collegata tutta la carpenteria lignea del piano di calpestio e dei parapetti. Questa, risalente all'intervento eseguito nel 1984, costituisce la struttura gerarchica secondaria, messa completamente a nudo dopo la rimozione dell'impalcato ligneo. Quanto emerso da tale operazione denunciava un avanzato stato di degrado con perdita della continuità strutturale in corrispondenza di alcune sezioni. La struttura è stata oggetto di completa sostituzione nell'intento di garantire maggiore durabilità al manufatto; per tale ragione sono stati utilizzati profili a sezione aperta, sagomando le parti esterne ai due archi a sezione chiusa, per il rispetto del vincolo monumentale.



a sinistra
 Schede di rilievo per le indagini
 di degrado

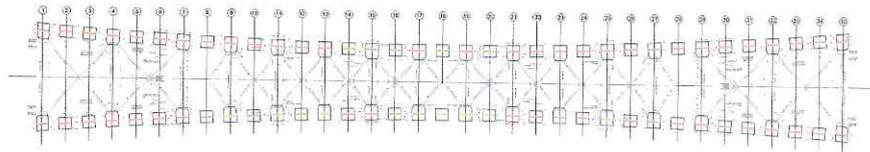


a destra
 Fenomeno di corrosione
 della struttura gerarchica principale

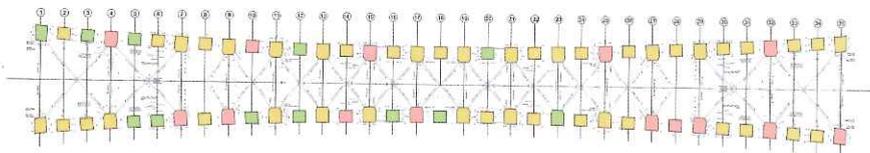
in basso
 Mappatura del degrado
 dei collegamenti degli arconi



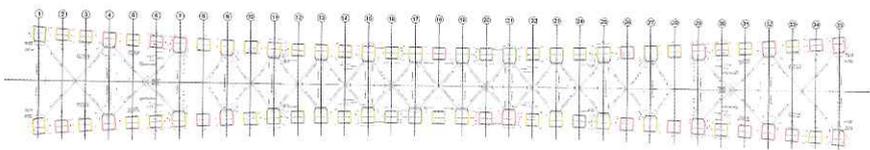
Zona 5
 Fazzoletto



Zona 4
 Piastra B



Zona 1 - 2
 Piattabanda



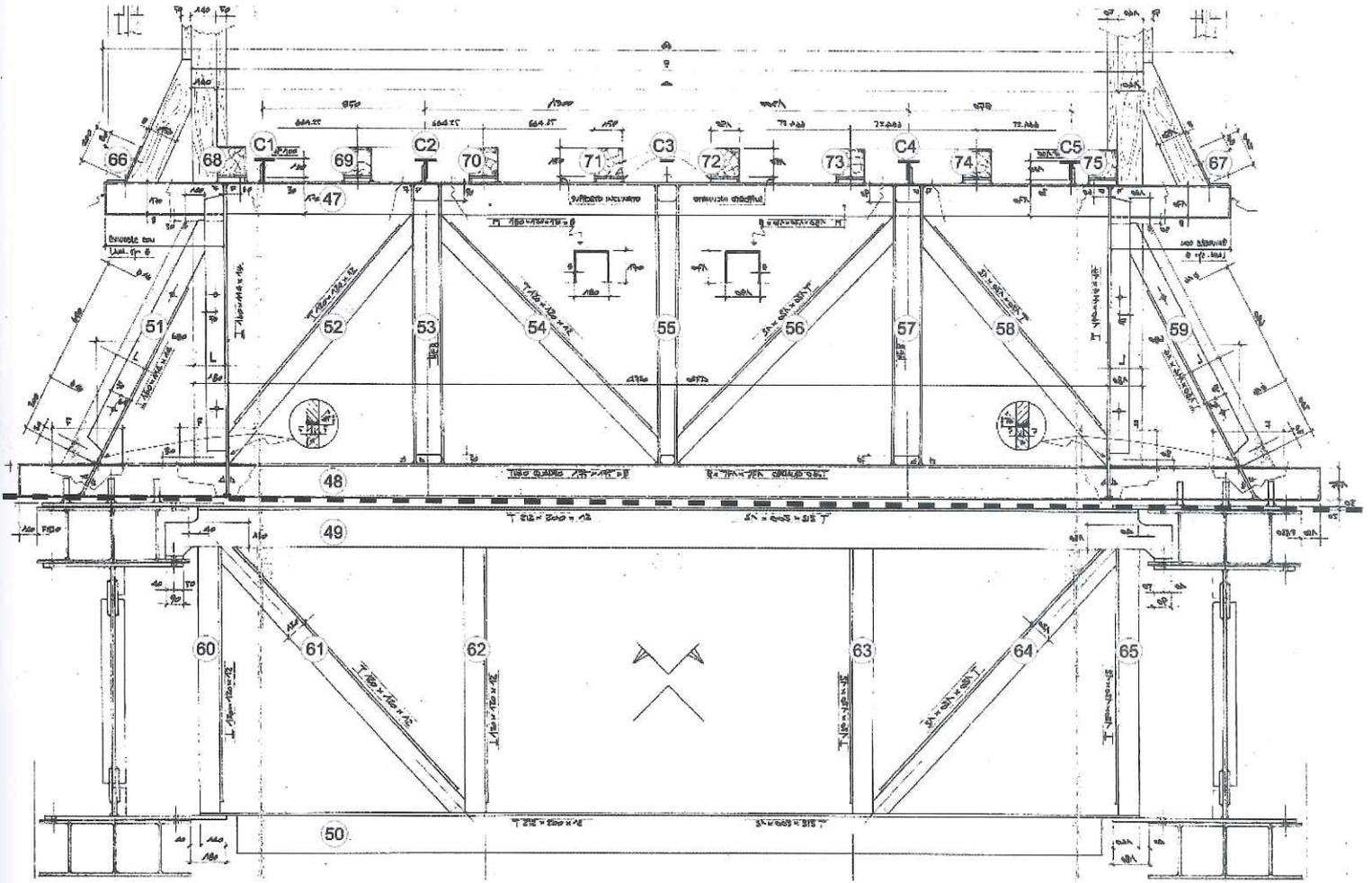


in alto a sinistra
Particolare del degrado della struttura gerarchica secondaria

in alto a destra
Prova Brinell in situ sugli arconi

in basso
Stato di fatto sulle rampe

STRUTTURA GERARCHICA SECONDARIA



STRUTTURA GERARCHICA PRIMARIA

in alto Sezione tipo delle strutture gerarchiche del Ponte

La situazione di degrado, sebbene meno marcata, si è evidenziata anche sulla struttura gerarchica principale, perfettamente accessibile ed ispezionabile grazie al sottoponte costruito. Tale parte della struttura è stata oggetto di una attenta campagna di diagnostica strutturale, finalizzata alla valutazione delle sezioni residue resistenti ed alla stima delle proprietà elastiche e meccaniche delle strutture in acciaio. Tali caratteristiche hanno permesso di eseguire le verifiche di vulnerabilità sismica e progettare

le opere di restauro. La stima delle proprietà meccaniche è stata eseguita mediante prove di durezza Brinell eseguite in situ dall'Ing. Tiziano Lucca e prove meccaniche di trazione, piega e resilienza eseguite presso il Laboratorio di Scienza delle Costruzioni dell'Università Iuav di Venezia. Sui provini sottoposti a prove di laboratorio sono state eseguite sempre prove di durezza Brinell al fine di costruire una curva di correlazione propria per la struttura gerarchica principale del ponte.

Vulnerabilità sismica

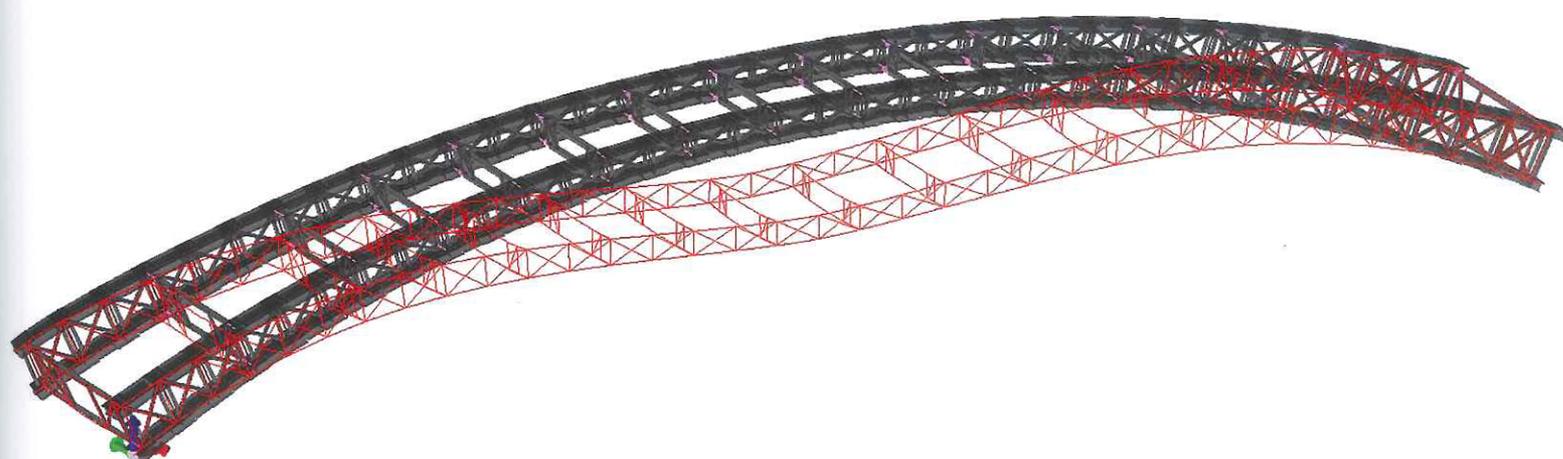
Considerato il carattere strategico del ponte in base alle NTC 2018 si è proceduto ad una modellazione FEM estremamente puntuale simulando l'effettiva geometria e grado di connessione dei vari elementi strutturali a seguito di un percorso di conoscenza dell'opera condotto attraverso dati documentali e indagini sui materiali. E' stata condotta un'analisi modale con spettro di risposta determinando le condizioni di crisi allo SLU, SLE, la frequenza propria ed i modi di vibrare fondamentali. La determinazione dei parametri dinamici dell'opera hanno evidenziato frequenze proprie di 6.11 Hz e 7.48 Hz per i modi flessionali e 9.80 Hz per quelli torsionali, tali da non determinare condizioni di risonanza per le frequenze associate alle usuali condizioni di esercizio, passaggio dei pedoni,

anche in corsa, (1.4 e 3.4 Hz). In tutte le condizioni il ponte conferisce situazioni di comfort in armonia alle BS 5400. Sono state altresì verificate le condizioni dinamiche generate dalla spinta del vento.

Grazie alla determinazione analitica delle frequenze proprie e dei modi di vibrare, è stato proposto un monitoraggio di identificazione dinamica, il quale, una volta tarato il modello numerico sulle stesse frequenze naturali della struttura, permette di valutare nel corso del tempo le variazioni di rigidità della struttura e quindi l'innescò di potenziali danneggiamenti, a parità di altre condizioni.

L'opera, restaurata, soddisfa le verifiche previste dalle NTC 2018 per gli elementi in acciaio che compongono entrambe le strutture gerarchiche del ponte.

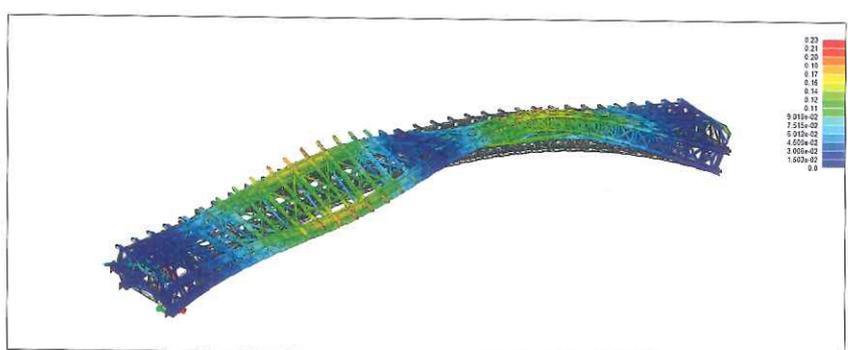
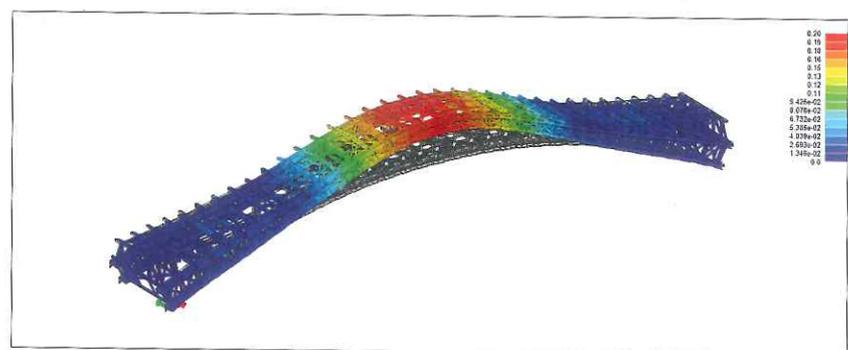
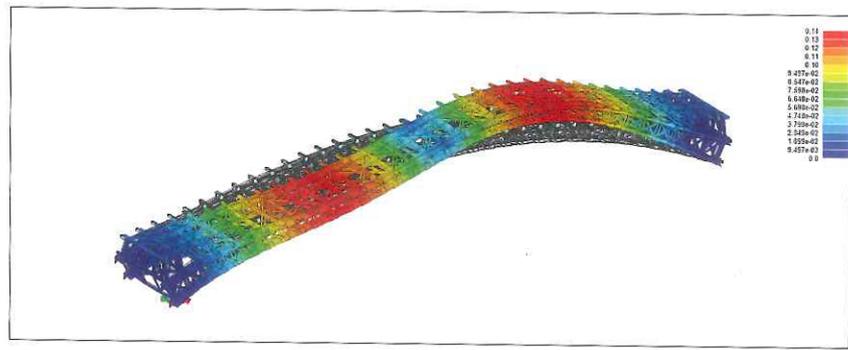




nella pagina a fianco
 Intervento di rinforzo
 della connessione delle aste
 degli arconi

nella pagina corrente
 Verifica con elementi finiti.

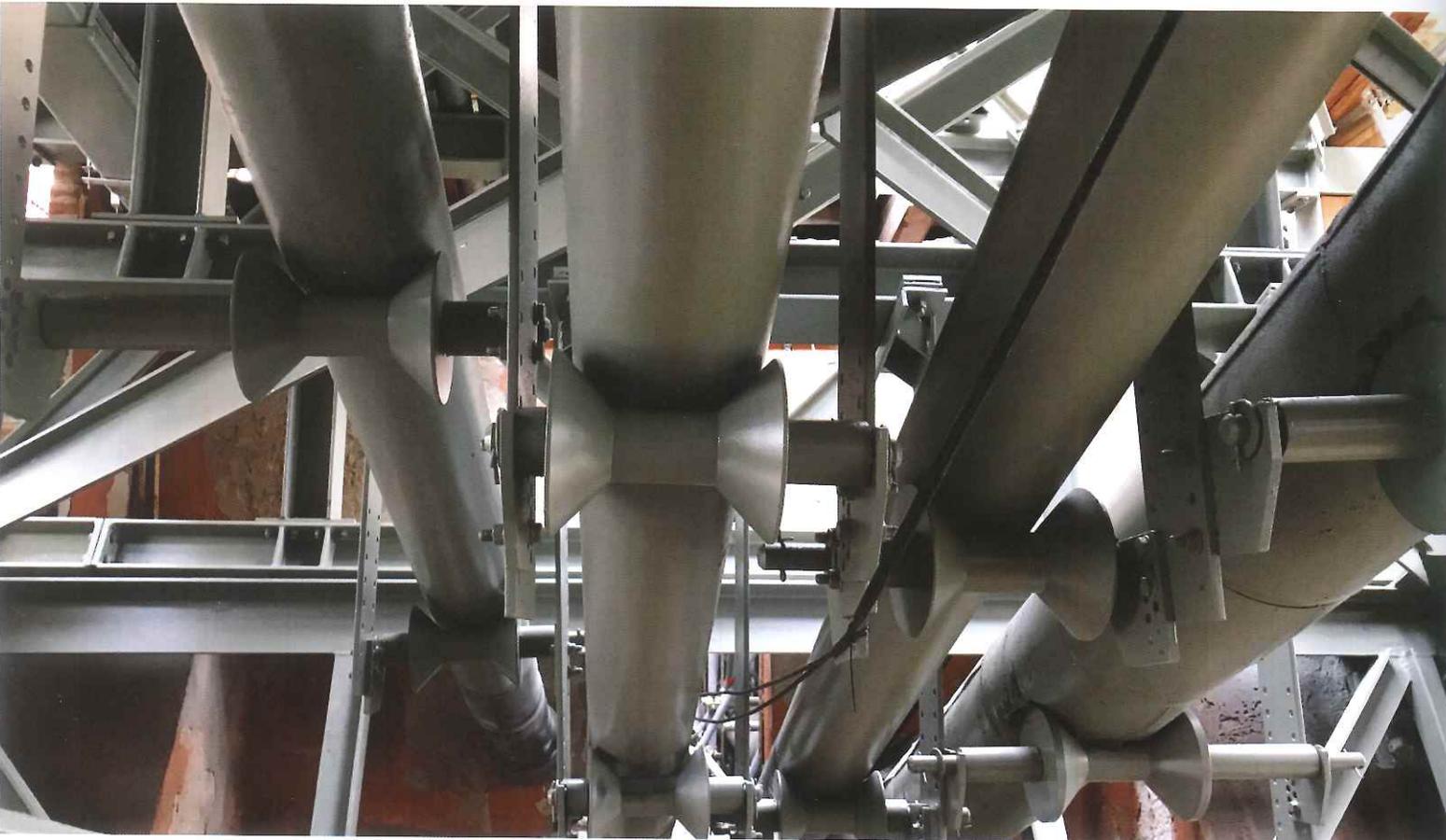
1. Deformata e indeformata per la combinazione di carico allo SLU
2. Forma modale del primo modo flessionale
3. Forma modale del secondo modo flessionale
4. Forma modale del primo modo torsionale





in alto e nella pagina a fianco
Intervento sulla struttura
metallica delle rampe
e sostituzione dei profili

in basso
Intervento sulla struttura
dei sottoservizi





Progetto di restauro

Il tema fondamentale seguito nel progetto di restauro è stato il rispetto della concezione strutturale e non quello della conservazione della materia; il ponte è un'opera funzionante e non un reperto da museo.

I risultati dell'analisi allo SLU hanno permesso di eseguire il progetto, in collaborazione con l'ingegnere Adelio Rossi dell'Impresa Pasqualucci, dell'intervento di recupero della struttura gerarchica principale la cui progettazione, e successiva esecuzione, paragonabile ad un intervento di microchirurgia: si è intervenuti solo laddove necessario con interventi puntuali nel rispetto della tipologia strutturale e del vincolo monumentale. La struttura gerarchica secondaria, oggetto di completa sostituzione, è stata progettata mediante profili a sezione aperta al fine di garantire una maggiore durabilità dell'opera e favorire le condizioni di analisi per le future ispezioni visive. Particolare attenzione è stata dedicata alla progettazione dei nodi, finalizzata

alla riduzione del ristagno d'acqua e dell'infiltrazione in corrispondenza delle sezioni forate. Tutte le parti esterne agli arconi sono state ricostruite in modo del tutto simile alle sezioni esistenti.

Anche la parte in carpenteria lignea è stata oggetto di verifica secondo i contenuti delle NTC 2018. Le verifiche hanno riguardato la struttura del parapetto e l'impalcato; per entrambi sono state eseguite le verifiche locali e globali previste, tenendo conto della pertinente classe di servizio.

Si è intervenuti anche in corrispondenza delle rampe, in merito alle opere di calcestruzzo e muratura, oltre che quelle in acciaio. Sono state ricostruite le parti di muratura non più coese, ripristinate le opere di calcestruzzo armato danneggiate dalla carbonatazione e dal rigonfiamento delle armature ossidate. Infine, sono state migliorate le condizioni di scarico delle strutture delle rampe mediante l'introduzione di elementi metallici verticali e di controventi.

PRESCRIZIONI MATERIALI:

1) ACCIAIO CARPENTERIA E PROFILATI (seconde DAI 14-1-2009 e UNI di riferimento):
 - Specifiche generali S275, EN 10025
 - Tensione caratteristica di snervamento $f_y \geq 275$ MPa;
 - Tensione caratteristica di rottura $R_m \geq 430$ MPa;
 - Piastre di saldatura:
 - Classe di esecuzione EXC3, UNI EN 1090-2

2) BULLONI, VITI, BCC (secondo D.M. 14-1-2008 e UNI di riferimento):
 - Viti e bulloni zincati, UNI EN ISO 898-1:2012;
 - D.M. di acciaio zincato, UNI EN ISO 9005:2012;
 - Piastre acciaio zincato C 50 UNI EN 10083-2:2003, temperato e rinverdito MRC 32-40;
 - Piastre acciaio zincato C 50 UNI EN 10083-1:2005, temperato e rinverdito MRC 32-40;
 - Contorni, filettati e cernigliati S275, zincati, UNI EN 10025.

CARATTERISTICHE DELLE SALDATURE

Saldature di prima classe a completa penetrazione della sezione metallica coperte in ufficio, secondo specifiche UNI EN ISO 585:2010. Classifica secondo i procedimenti di cui alla UNI EN ISO 4303:2011, sottoposto degli acciai di grado S 275.

SALDATURE ANGOLARI: TIPICHE DOVE NON DIVERSAMENTE INDICATO

SALDATURE IN 1° CLASSE A COMPLETA PENETRAZIONE

IMPORTANTE:

- Verificare le misure con lo stato di fatto in cantiere
- Disegni d'ufficio a cura dell'impresa esecutrice
- Prevedere fori di fissaggio su HEB per staffe porta sottoservizi
- Prevedere elementi di fissaggio parapetto

LEGENDA:

- STRUTTURE METALLICHE ESISTENTI
- PIASTRE IN SOSTITUZIONE PER RIPRISTINO SEZIONE

COMUNE DI VENEZIA
 DIREZIONE LAVORI PUBBLICI

OGGETTO E LUOGO
 Ponte dell'Accademia, Venezia

INTERVENTO
 RESTAURO DEL PONTE
 DELL'ACCADEMIA

ESIBITO
 INTERVENTO TIPO DI
 ADEGUAMENTO PIASTRE DI
 COLLEGAMENTO

SCALA 1:10
 DATA APRILE 2018
 REV. 002_00_V01

IMPRESA ESECUTRICE
PAGGUALUCCI
 IMPRESA DI COSTRUZIONI
G. SALISTRARI

PROGETTISTI
 Ing. Andrea Sartori
 Ing. Marco Rossi

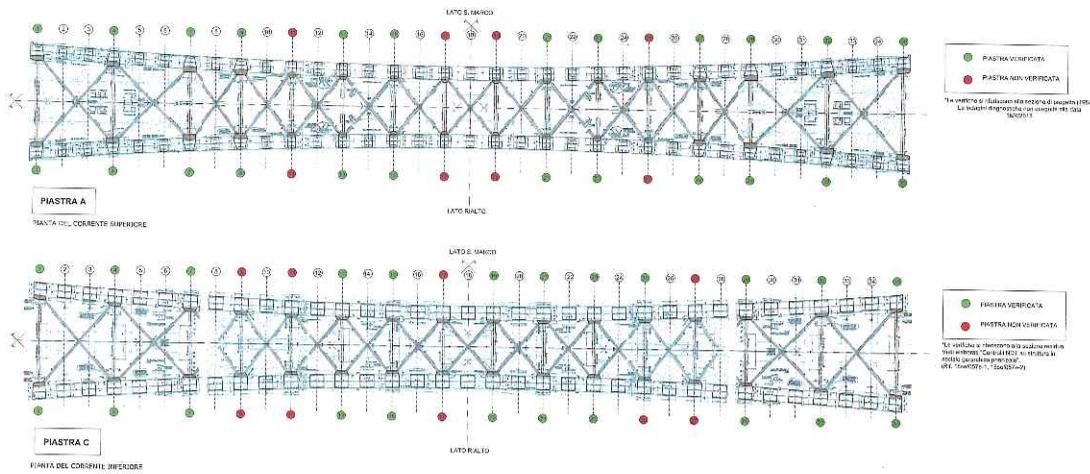
GRUPPO LAVORO
 Ing. Andrea Sartori
 Ing. Marco Rossi
 Arch. Francesco Sartori

ELABORAZIONE
H&A

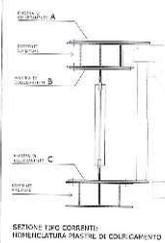
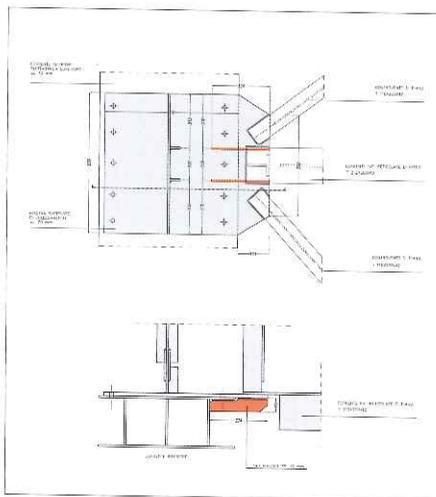
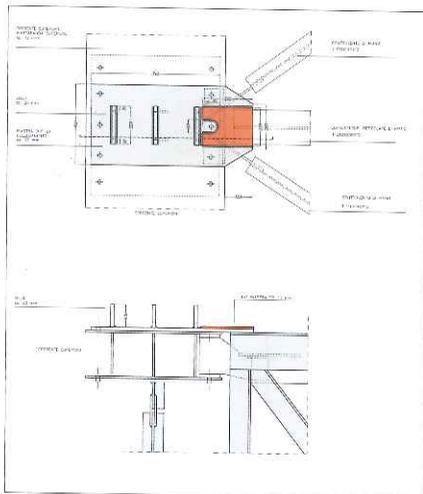
H&A ASSOCIATI - Via S. Maria della Salute 1500 - 30139 Venezia (VE)
 Tel. 041/529888 fax 041/529897 e-mail: info@handa.it

in alto
 Particolare
 del progetto
 di adeguamento
 delle connessioni
 della struttura
 gerarchica
 principale

nella pagina a fianco
 Dettagli
 dell'intervento
 di sostituzione
 della struttura
 gerarchica
 secondaria



PIANTA DEL CORRENTE INFERIORE



Collaudo statico

L'atto finale per restituire l'opera alla sua città ed al mondo. Il battesimo del nascituro per farlo cristiano! Di fatto il ponte è stato aperto prima di questo atto ufficiale ed operativamente collaudato in occasione della regata storica.

Le verifiche ed il comportamento del ponte, eseguite tramite modellazione FEM, nonché i risultati dell'analisi modale avevano dato margini di sicurezza tali da permettere ai progettisti di acconsentire alla riapertura del ponte senza il collaudo statico vero e proprio. La prova di collaudo è stata eseguita mediante l'applicazione di sei forze concentrate, tre per ogni arco, applicate in prossimità della chiave al fine di raggiungere le massime sollecitazioni, nonché la forma, di quelle corrispondenti al carico di collaudo previsto di 500 daN/m². Attraverso il modello FEM è stata simulata la condizione di carico prevista per la prova di collaudo, valutando le misure sperimentali attese. Le frecce previste per i punti in chiave sugli archi avevano un valore di 1.8 mm. Le misure effettive acquisite dopo lo step di carico finale hanno determinato valori di 2.25 mm e 2.01 mm, rispettivamente per l'arco lato Cà Foscari e l'arco lato S. Marco. La prova è stata eseguita in notturno mediante l'ausilio di un pontone, avente funzione di zavorra e di piano di lavoro per le forze da applicare. Il comportamento del ponte è stato ottimale poiché, sotto la condizione di carico di esercizio, si sono determinati spostamenti proporzionali ai carichi e spostamenti residui inferiori al 15% di quelli massimi misurati.

Il valore degli spostamenti, maggiore di quello teorico, trova giustificazione nella modalità di prova non perfettamente coincidente con quella simulata nel modello FEM. Considerando il rapporto freccia/luce, dell'ordine di 10⁻⁵, si evince chiaramente come la variazione tra la freccia sperimentale e quella teorica non determini stati deformativi e di sollecitazione tali da eccedere qualunque stato limite di verifica. Il ponte ha salutato i suoi uomini alle 5.30 del mattino del 14 settembre 2018 con un meraviglioso buongiorno: sto proprio bene!

Ringraziamenti

Al caro e fraterno amico prof. Franco Laner per l'opportunità, l'impegno ed il tempo dedicato ai ragazzi dello studio durante la fase della gara.

Ai validi e preziosi colleghi dello studio H&A Associati: Omar Benetti, Seihyung Cho, Elena Franceschini, Giovanni Sarandrea e Francesco Scomparin per la redazione degli elaborati di

gara. A Silvia Ientile, Anna Pattaro e Francesco Scomparin per la progettazione, la diagnostica, l'analisi di vulnerabilità sismica e le verifiche.

H&A Associati: Michele Carrano, Piero Giovannini, Carlo Pagan, Antonio Pantuso.

in basso

Immagine della prova di collaudo statico. Fissaggio delle funi in mezzzeria del Ponte.

In primo piano i blocchi di calcestruzzo





a sinistra
Diagramma del
momento flettente
per la condizione
di carico distribuito
in combinazione rara
e per la condizione
di carico di collaudo

