



UN CASO EMBLEMATICO DEL FARE OPERE PUBBLICHE IN ITALIA

Il ponte di Calatrava

SUL CANAL GRANDE

FABRIZIO BONOMO

Il quarto ponte sul Canal Grande, a Venezia, varato nell'agosto scorso e in fase di completamento, è un concentrato di eccellenze e criticità unico nel suo genere in Italia - così come la città stessa, anch'essa unica e caratterizzata da estremi e contraddizioni - perchè da un lato rappresenta un caso emblematico di come non si dovrebbe fare per costruire opere pubbliche straordinarie e complesse, espressione delle difficoltà del nostro Paese ad affrontare temi di questo tipo, dall'altro è un esempio di come questo stesso Paese sappia mettere in campo professionalità di altissimo livello, in grado di risolvere nodi progettuali e realizzativi particolarmente critici

Il progetto per il quarto ponte sul Canal Grande, in corso di realizzazione su disegno dell'ingegnere spagnolo Santiago Calatrava, riguarda un collegamento pedonale fra la stazione ferroviaria di Santa Lucia e il piazzale Roma, cioè l'ultimo approdo per le auto provenienti dalla terraferma; un'opera che si inserisce in un più vasto intervento di riordino degli accessi veicolari alla città, sbloccato dopo anni di discussioni, che comprende il miglioramento dell'ingresso alla storica autorimessa di piazzale Roma (realizzata negli anni Trenta), il riassetto della rete stradale, nuovi parcheggi alla Stazione Marittima e una metropolitana leggera a fune fra piazzale Roma, la stazione Marittima e l'isola del Tronchetto.

Il ponte ha una campata di 80,8 metri, è largo da 6 a 9 metri e si caratterizza per la particolare forma della struttura, ad arco fortemente ribassato, costituita da 74 costole in acciaio sulle quali poggiano gradini in pietra d'Istria e vetro temperato (l'una nella fascia centrale, l'altro nelle due fasce laterali), con parapetti in vetro e corrimano in bronzo.

Si tratta di un progetto complesso, un concentrato di eccellenze e criticità unico nel suo genere in Italia – non a caso collocato in un luogo anch'esso unico, dove non mancano estremi e contraddizioni – tanto da porsi come caso emblematico delle difficoltà di un Paese nel realizzare opere pubbliche di carattere straordinario, ma anche come esempio di come questo stesso Paese sappia mettere in campo professionalità di altissimo livello, capaci di risolvere nodi progettuali e realizzativi particolarmente critici.



Fotomontaggio del IV ponte sul Canal Grande a Venezia

Il tema delle grandi firme

Il progetto evoca innanzitutto il tema della qualità delle opere infrastrutturali e della necessità o meno di segni architettonicamente forti, capaci di catalizzare l'attenzione e valorizzare tutto quanto sta intorno a loro.

A questo si collega il tema delle grandi firme, cioè se (e come) coinvolgere progettisti di fama internazionale dai quali ottenere non solo delle vere opere d'arte ma anche elementi in grado di supportare efficacemente operazioni mediatiche e di marketing territoriale.

Da alcuni anni il nostro Paese si sta muovendo in questa direzione, a volte

con concorsi internazionali che premiano architetti di primissimo piano, come per le nuove stazioni dell'alta velocità, altre volte per incarico diretto, così da avere esattamente quel nome e quel tipo di immagine architettonica.

Venezia ha percorso questa seconda strada, anche se in un modo un po' contorto, affidando il progetto del quarto ponte sul Canal Grande a un artista come Santiago Calatrava, architetto e ingegnere di cultura raffinata, che parla sette lingue, ha due lauree, un dottorato di ricerca in meccanica strutturale ed è capace – come ha sottolineato Enzo Siviero (collaudatore dell'opera e uno dei maggiori esperti di ponti in Italia), in un suo appassionato



intervento al convegno Infrastructura, tenutosi nel novembre scorso al Lingotto di Torino – di essere il vero benchmark dell'architettura moderna, un uomo che ha messo alle corde i più grandi ingegneri del mondo.

Arte e marketing

Di certo il risultato è un'opera straordinaria, voluta dichiaratamente dal Comune per dare un preciso segnale ai veneziani, perchè non guardino solo al loro glorioso passato ma comincino a calarsi nel contemporaneo, proponendo Venezia come città-modello dell'arte e dell'architettura dell'oggi, proiettata al futuro.

Una chiara operazione di marketing territoriale quindi, che vuole ribaltare un'immagine di città in declino destinata a perdere progressivamente funzioni e abitanti, cosa del resto non del tutto vera (vedi dossier su Venezia, pubblicato nel numero di ottobre 2007 di Quarry and Construction).

Per questo si sfrutta a pieno il nome del suo progettista, che non a caso è divenuto anche il nome del ponte, senza bisogno di particolari discussioni su come chiamarlo: è il ponte di Calatrava, non il "Quarto ponte" o altro, e difficilmente se ne troverà un altro, per molto tempo.

La straordinarietà è del resto anche nella sua impostazione particolare – Santiago Calatrava lo definisce una passerella di luce – che nelle tipiche forme antropomorfe dell'ingegnere catalano sembra volere unire aria e acqua rendendo trasparente l'opera sia con un'esteso utilizzo del vetro come materiale per pavimentazione e parapetti sia attraverso l'alleggerimento visivo della struttura portante.

Un progetto regalato

Il ponte di Calatrava però è un'opera straordinaria anche sotto altri aspetti, a partire dalla sua impostazione ad arco fortemente ribassato, che è apparsa subito in contrasto con l'inconsistenza del terreno lagunare e richiesto quindi imponenti strutture di rinforzo.



Vedute del passaggio del concio centrale sotto i ponti del Canal Grande

Non meno problematico è il suo sviluppo dal punto di vista procedurale, dei tempi e dei costi: qui più che altrove emerge in tutta la sua complessità il tema dell'applicabilità o meno di procedure ordinarie per opere straordinarie, piuttosto che ricorrere invece a procedure o strumenti diversi, adottando anche differenti parametri di valutazione per quanto riguarda i tempi e costi, specie in rapporto con il valore aggiunto auspicato.

In sintesi, si è cominciato a parlare del ponte nel 1996, quando Calatrava regala al Comune un suo studio di fattibilità, dal costo stimato di circa 7 miliardi di lire, poco più di 3,6 milioni di euro; poi, ricorrendo a procedure discutibili, la progettazione è stata affidata nel 2001 allo stesso Calatrava; la complessità del progetto ha fatto il resto, portando a un ritardo di oltre tre anni rispetto al previsto e ad almeno il raddoppio dei costi.

Ufficialmente, questi ultimi sono ora

di 6,72 milioni di euro, ma è certo che cresceranno – del resto sono state fatte cinque perizie di variante e una sesta è in corso – tanto che si ipotizza già un costo finale di circa 10/12 milioni di euro, ai quali andranno aggiunti i costi di manutenzione, per i quali si parla di qualche decina di migliaia di euro l'anno.

Non è un caso che i veneziani cominciano a chiamarlo ponte "Calabraga".

Le sculture non si comprano a chilo

Il nodo però non è questo – ricorda Enzo Siviero – ma il fatto che nella realtà il ponte è concepito come una scultura a scala urbana, ricca di suggestioni e disegnata da un artista, da un vero scultore; quindi non dovrebbe essere giudicata secondo i parametri abituali, perchè nessuno pensa di comprare una scultura a chilo, o un

Il concio centrale, dopo la rotazione, è alzato e slitta nella posizione finale, mantenuto in tensione dai tiranti provvisori. Il calaggio ha richiesto molto tempo a causa delle tolleranze minime di spostamento, dell'ordine di millimetri





Particolare del sistema di trasduttori di spostamento utilizzati durante la prima prova di carico sul concio centrale del ponte



Particolare dei trasduttori di spostamento utilizzati durante la seconda prova di carico

Un arco fuori dal comune

L'unicità dell'opera sta anche e soprattutto nella sua forma, molto articolata, dove le 74 costole in acciaio sono solo l'elemento più appariscente di una struttura molto più complessa, che si basa su cinque sistemi portanti: l'arco centrale, due archi laterali e due archi

quadro al metro quadrato, o una poesia a rigo.

Questa è un'invenzione unica, un segno che resterà nel tempo; il problema è piuttosto quello di non avere affrontato il progetto come tale, sapendo che sarebbe costato molto ma avrebbe dato anche di più alla città.

Partendo con il piede giusto – puntualizza Siviero – forse si sarebbero evitate molte complicazioni, compreso lo slittamento dei tempi e l'aumento dei costi, perchè alla fine non costerà più di quello che era oggettivamente prevedibile, solo ci si è arrivati con tre anni di ritardo.

Da qui la constatazione che il problema non è Calatrava, è nostro, siamo noi come Paese ad avere difficoltà a gestire correttamente questo tipo di opere, nella forma e nella sostanza.

I costi sono alti? Come diceva una pubblicità della Rolls-Royce, se chiedi quanto costa significa che non te la puoi permettere; si vuole Calatrava? Bisogna essere coscienti del costo e lo si paga, fino in fondo.

Allo stesso modo, il quarto ponte sul Canal Grande dimostra che non ha senso adottare procedure d'appalto standard per un'opera d'arte, perchè la considera allo stesso modo di un appalto per un marciapiede, una rete fognaria o l'asfaltatura di una strada: se si pensa che la quantità e la qualità siano la stessa cosa si sbaglia – ha sostenuto Siviero a Infrastruttura – perchè nel ponte di Calatrava non c'è l'ingegnerizzazione del progetto, ma la concettualizzazione del fare colto, che vede tutti gli attori presenti attorno a un tavolo per risolvere problemi unici nel loro genere.

inferiori. Una sezione praticamente ad H, anch'essa unica nel suo genere e complessa dal punto di vista statico perchè non ha rigidità torsionale: il peso è supportato dall'arco centrale e dai due archi inferiori, mentre i due archi superiori hanno soprattutto una funzione di stabilizzazione; le costole sono l'orditura ortogonale di collegamento tra i cinque archi e di trasmissione degli sforzi di taglio.

Questa complessità strutturale e i margini statici estremamente ridotti hanno rappresentato una nuova frontiera anche per chi doveva verificarne e collaudarne l'effettiva stabilità in opera, trattandosi oltretutto di un sistema unico e mai sperimentato concretamente.

Abbiamo strumentato, monitorato, provato la struttura in tutte le maniere possibili e immaginabili – conferma Enzo Siviero – perchè era necessario il convincimento che reggesse, sia durante il trasporto sia in opera, il tutto in una situazione non riconducibile agli schemi di verifica utilizzati abitualmente: qui nulla è chiaro e sperimentato, se non il fatto che basta poco per trasformare l'arco in una trave, cioè i due centimetri di spostamento ammissibili.

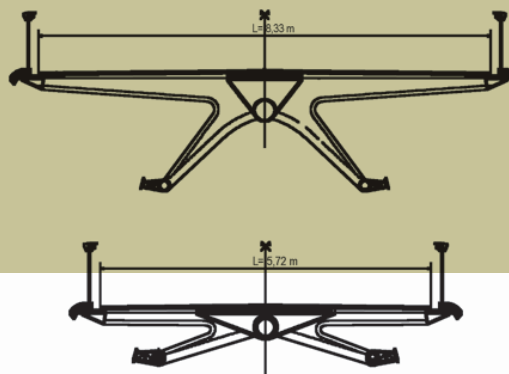
Per questo si è adottato un metodo basato sia su modelli ad elementi finiti sia sulla loro verifica sul campo, con prove di carico effettuate in cantiere sulla struttura portante, per verificare l'effettiva deformabilità del ponte, sia longitudinale che trasversale, ricalibrando poi il modello così da prevedere al meglio il comportamento in esercizio.

Di fatto, il gruppo di lavoro coordinato da Enzo Siviero ha preso atto che nonostante il notevole sviluppo delle tecniche di modellazione, i modelli ad elementi finiti non sempre riescono a simulare sufficientemente il reale comportamento statico e dinamico di strutture complesse come quella ideata da Calatrava.

Da qui il ricorso alla sperimentazione diretta sulla struttura, prima di essere messa in opera, perchè una prova di carico sul ponte completo e vincolato sarebbe stata costosa e difficile da realizzare, visti anche i margini di stabilità molto ristretti.

In particolare le prove sono state realizzate sul concio principale, lungo circa 60 metri, appoggiato su due punti distanti 25,60 metri, prevedendo numerosi punti di carico e applicando

Sezione trasversale in mezzeria e agli appoggi del IV ponte sul Canal Grande



anche dodici estensimetri, perchè si è ritenuto che non bastasse misurare le deformazioni ma era necessario valutare anche gli stati tensionali di alcuni punti significativi, specie nei nodi già teoricamente vicini a una situazione di snervamento.

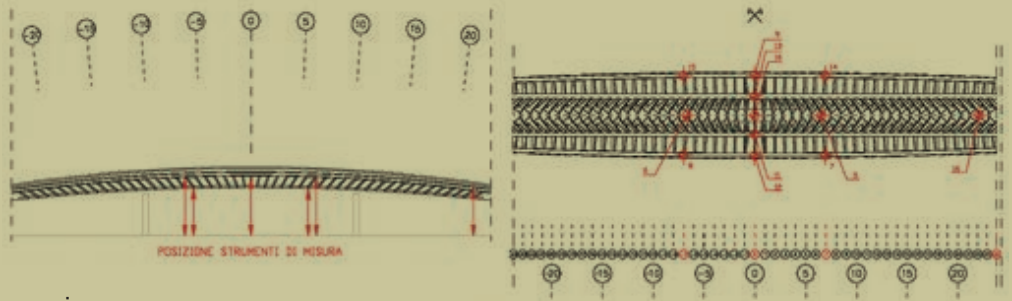
Il carico è applicato alla struttura

attraverso martinetti vincolati al ponte con delle fasce (nastri di sollevamento a doppio strato in poliestere) e alla struttura di contrasto realizzata attraverso un solettone rigido in cemento armato.

Le prove sono state tre: la prima con cinque carichi concentrati applicati in mezzeria dell'arco centrale; la seconda con cinque carichi concentrati in mezzeria dell'arco superiore destro (deformazione torsionale); la terza con due carichi concentrati a una estremità dell'arco centrale.

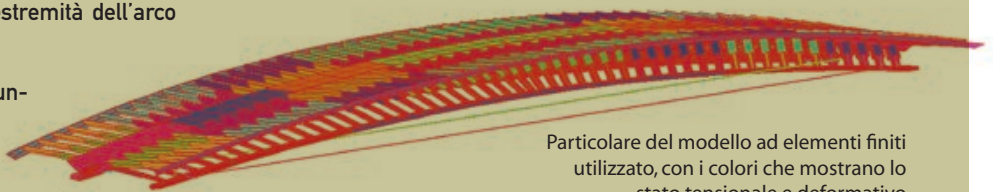
Risultato? I dati dimostrano che la struttura funziona meglio di quanto si pensasse – rivela Siviero – con una rigidità maggiore di circa il 20 per cento rispetto a quanto ottenuto con la modellazione ad elementi finiti.

Il modello, tarato sui risultati della sperimentazione, è stato successivamente utilizzato per simulare l'intera operazione di varo del ponte (curato per l'impresa da Bolina ingegneria e studio Romaro); anche in questo caso, vista la delicatezza delle operazioni, ogni singola fase è stata simulata in banchina per prevenire eventuali imprevisti o minimizzare le difficoltà in opera.



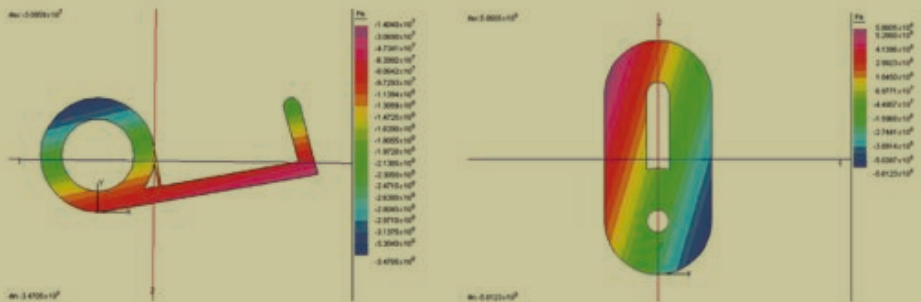
Posizione dei trasduttori di spostamento

Schema generale della posizione dei punti di carico utilizzati nelle prove

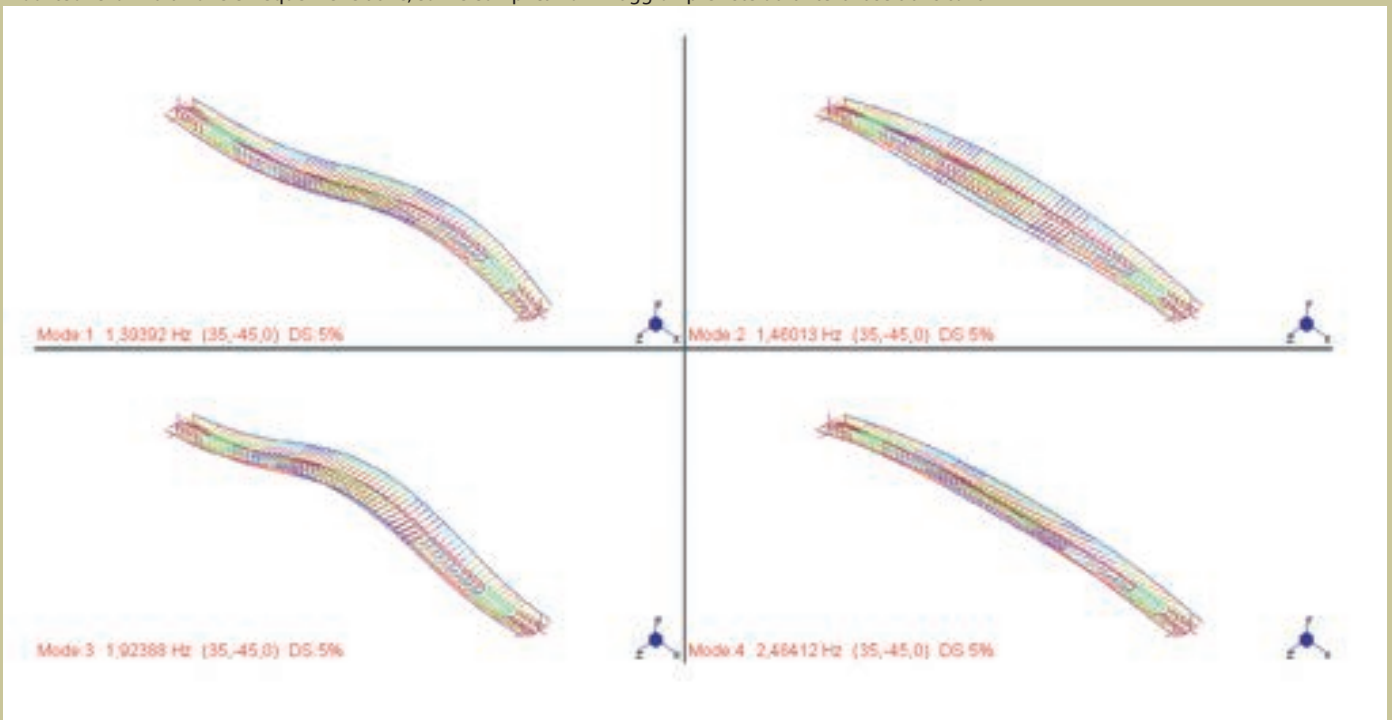


Particolare del modello ad elementi finiti utilizzato, con i colori che mostrano lo stato tensionale e deformativo

Particolare degli stati tensionali massimi registrati negli archi inferiori



Modi teorici di vibrazione e frequenze relative, con le complicazioni maggiori previste durante la fase transitoria



Trasporto e montaggio

Procedure contorte

Come già detto, si è cominciato a parlare del ponte nel 1996, quando Calatrava regala al Comune il suo studio di fattibilità (uno schizzo e un rendering), con un costo stimato nemmeno troppo alto, ma l'esperienza insegna che il costo indicato inizialmente per le opere di Calatrava deve essere poi moltiplicato per due volte o più.

Ancora una volta però, il problema non è il progettista, ma il committente, che non ha avuto il coraggio di fare propria una soluzione complessa ma di alto valore aggiunto; avrebbe dovuto forse forzare le normative, anche restando nel loro ambito, ad esempio commissariando l'opera, come è stato fatto per il teatro la Fenice (però quando ormai era troppo tardi), e affidando il progetto all'architetto che l'ha proposto.

Si arriva invece al paradosso che il progetto preliminare viene sviluppato e firmato dall'Ufficio tecnico del Comune, così che l'idea di Calatrava non porta la firma del suo autore nel momento in cui iniziano le procedure per realizzarla.

Il passo successivo suscita altrettante perplessità, perchè per la stesura del progetto definitivo e di quello esecutivo viene sì indetta una gara internazionale, che però viene vinta dallo stesso Calatrava, per fortuna o perchè non poteva essere altrimenti, visto la particolarità del progetto.

Il progetto di un ponte non può prescindere dal modo con cui lo si realizza – ricorda Enzo Siviero – perchè non c'è tradizione e quindi deve essere sempre calibrato caso per caso.

Quello di Calatrava si è scelto di realizzarlo in tre parti, in un cantiere allestito sulla terraferma veneziana, a Porto Marghera, e poi di trasportarne le componenti sul luogo d'installazione, con due viaggi, partendo da una chiatte appositamente inventata, allestita dal cantiere di assemblaggio.



Vista del sistema di appoggio e rotazione ideato per il trasporto e la messa in opera del concio centrale

Il viaggio dei conci, effettuato di notte, è avvenuto fra il luglio e l'agosto scorsi: prima i due conci laterali, lunghi circa 15 metri e pesanti circa 85 tonnellate ciascuno, poi quello centrale, di circa 60 metri e 270 tonnellate.

Si è trattato di un evento mediatico con pochi precedenti (forse più del trasporto del sommergibile Toti a Milano, nell'agosto 2005), seguito da tutta la stampa nazionale e internazionale.

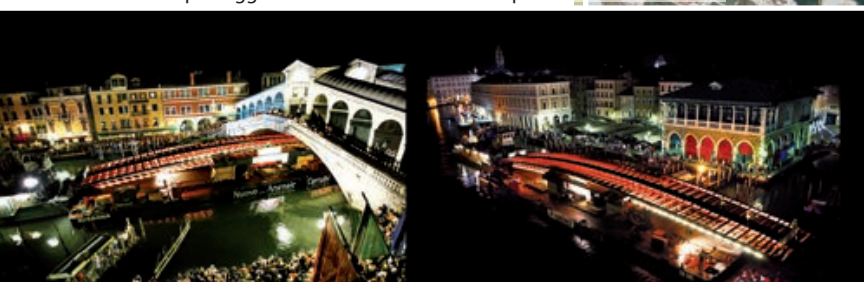
Alcuni passaggi sono stati altamente spettacolari e delicati,

specie quelli del tronco centrale sotto il ponte dell'Accademia e, soprattutto, sotto quello di Rialto, che ne permetteva il passaggio solo con il minimo di marea e con un margine di soli 30 centimetri; non a caso è avvenuto in quattro ore (su un totale di 30 dell'intera operazione) con andatura lentissima, manovre a mano di argani e verricelli e due motobarce ai lati del ponte per mantenere in asse la chiatte.



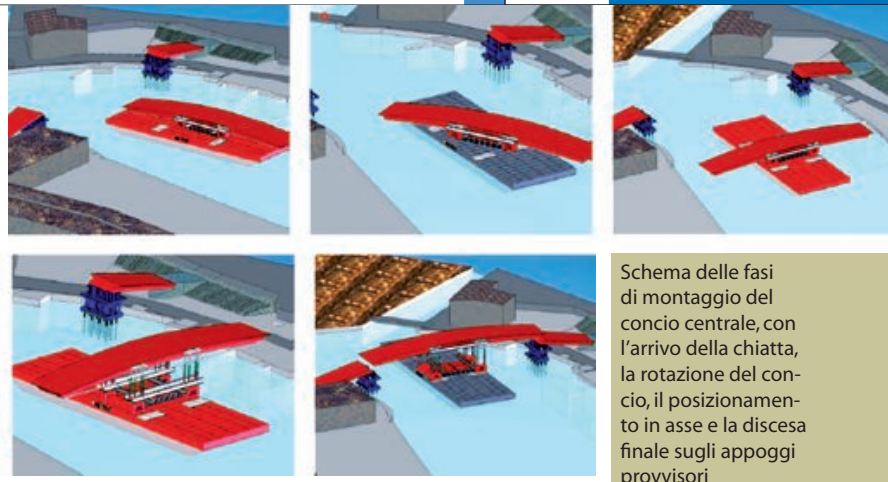
Pianta del percorso dei conci dal cantiere alla sua collocazione, che comprende l'attraversamento di tutto il Canal Grande e il passaggio sotto i ponti dell'Accademia e di Rialto, da effettuare con il più basso livello di marea

Vedute del passaggio del concio centrale sotto i ponti del Canal Grande



Il montaggio non è stato meno significativo e delicato, soprattutto dell'elemento centrale, effettuato prima con una lenta rotazione della struttura sulla chiatta, necessaria per limitare gli ingombri durante le fasi di navigazione, poi temporaneamente appoggiato su sostegni provvisori posizionati nel Canal Grande, smantellati dopo la saldatura con i conci laterali.

La fase di calaggio è durata un'ora e mezza, sempre per le tolleranze minime esistenti, dell'ordine di millimetri, sulle quali influiscono diverse condizioni anche ambientali, come le variazioni termiche, che vanno controllate costantemente perchè da sole possono provocare spostamenti di alcuni millimetri, così come il moto ondoso, che con un elemento di queste dimensioni potrebbe sbilanciare la struttura. La complessità del trasporto e del montaggio è tale che sono state predisposte circa 400 tavole di disegni e realizzati speciali sistemi di ancoraggio, provvisori ma delicati e costosi.



Schema delle fasi di montaggio del concio centrale, con l'arrivo della chiatta, la rotazione del concio, il posizionamento in asse e la discesa finale sugli appoggi provvisori

Particolare delle operazioni di avvicinamento e rotazione del concio centrale



Il concio centrale, dopo la rotazione, è alzato e slitta nella posizione finale, mantenuto in tensione dai tiranti provvisori. Il calaggio ha richiesto molto tempo a causa delle tolleranze minime di spostamento, dell'ordine di millimetri





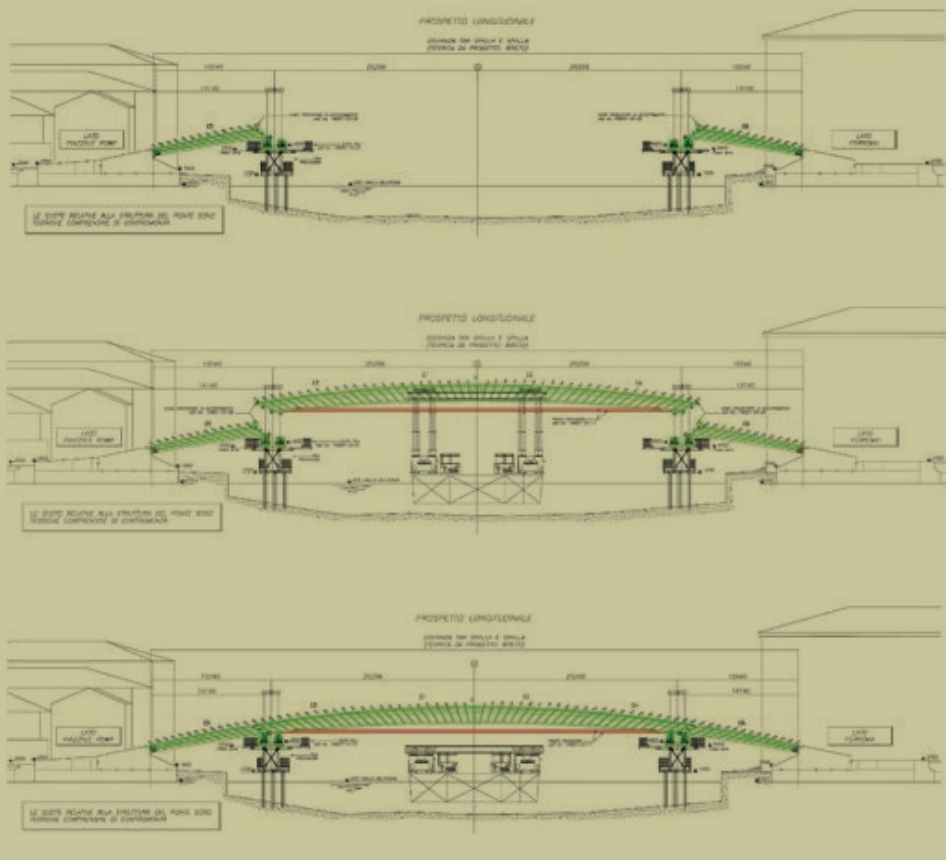
Particolare del dispositivo di ancoraggio dei cavi provvisori utilizzati per il trasporto



A ponte ormai montato è palpabile la soddisfazione generale, perchè non si sono verificati incidenti, grazie appunto all'enorme mole di analisi preventive e alla messa a punto di soluzioni adeguate.

Ma è l'aspetto economico che mette in luce più di tutto il valore dell'operazione: il trasporto costa da solo circa 7/800 mila euro; le prove di carico circa 4/500 mila euro.

Prospetti delle principali fasi di montaggio



L'appalto generico

I paradossi non mancano anche nella gara d'appalto.

“Il vero problema – ha spiegato alla stampa Massimo Cacciari, Sindaco di Venezia – è che un'opera di questo genere non può essere messa a gara come fosse un qualsiasi ponticello. Si doveva restringere la gara a imprese che avessero già realizzato almeno alcuni ponti dello stesso tipo, ma questo non è stato possibile, a causa delle famigerate norme sui lavori pubblici in Italia, che privilegiano l'offerta al massimo ribasso, e che alla fine si traduce in tempi più lunghi, costi maggiori e risultati spesso inferiori alle attese”.

Però va detto anche che la gara è stata concepita secondo standard usuali, nonostante si tratti di un'opera speciale.

Ad esempio il capitolato d'appalto dedica una sola pagina alla carpenteria metallica, considerata come semplice fornitura mentre nella realtà riguarda l'80 per cento del lavoro, costituito appunto di strutture in acciaio molto complesse; il resto del capitolato riguarda un'impresa generale, mentre forse sarebbe stato opportuno identificare almeno tre diverse categorie, cioè fondazioni speciali, carpenteria metallica e finiture generali.

Fondazioni molto speciali

Quello delle fondazioni è un'altro tema spinoso, perchè l'impostazione ad arco fortemente ribassato, con un rapporto luce/freccia di 1/16 (il vicino ponte degli Scalzi, realizzato nel 1934, ha un rapporto di 1/4), ha richiesto imponenti strutture di rinforzo sulle due sponde.

“La struttura del ponte, che è un'opera unica al mondo, non presenta alcun problema – ha affermato nei mesi scorsi Massimo Cacciari – ma bisogna fare molte prove, con calcoli molto difficili, per avere la totale sicurezza della tenuta delle spalle, che subiranno ciascuna una spinta di 1.500 tonnellate al momento della posa del ponte, e non possono subire un arretramento di più di due centimetri”.

Due centimetri di spostamento orizzontale sono apparentemente nulla ma, come è scritto nel capitolato e nella relazione di calcolo, sono sufficienti a trasformare l'arco in una trave, modificando lo schema statico e mettendo a rischio l'intera struttura.

Il problema è che le spinte orizzontali sono quanto di più difficile da gestire a Venezia, perchè le sue fondamenta poggiano su un fondale piuttosto molle; per questo è risultata subito evidente la necessità di intervenire pesantemente sulle fondazioni, realizzando una struttura scatolare rigida con diaframmi in cemento armato profondi fino a 22,5 metri.

La logica strutturale reinterpreta quella



Montaggio dei due conci laterali e particolare dei sostegni provvisori per il conccio centrale

adottata nel vicino ponte degli Scalzi, progettato da Eugenio Miozzi, che ha uno spessore in chiave simile (se non inferiore), a quello di Calatrava, però alle reni ha un carico enorme, proprio perchè per ricentrare una forza orizzontale è necessario intervenire con carichi verticali; nel nuovo ponte, non potendo mettere i carichi sopra li si è messi sotto.

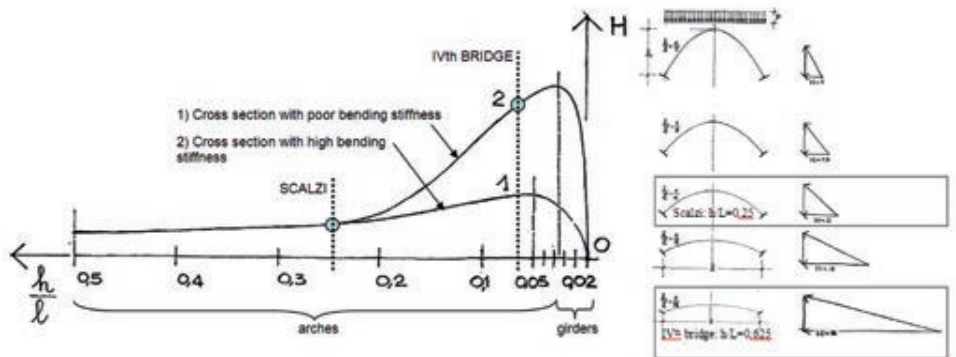
Risultato? Sotto terra sono stati costruiti praticamente due condomini in cemento armato, ciascuno di 20 metri per 20, per 15, facendo fondazioni tanto larghe da ottenere che la risultante delle forze ricada

almeno all'interno della base, mentre in origine era tutta all'esterno; di fatto si è trasformata la “C” allungata prevista dal progetto di Calatrava, profonda 20 metri e spessa 1, irrigidendola maggiormente e trasformando la “C” in una scatola.

Il problema è che quel blocco, per quanto di dimensioni notevoli, poggia comunque sul terreno instabile di Venezia.

L'ideale, secondo i tecnici, sarebbe stato riprendere l'arco con una catena, adottando uno schema strutturale classico e sperimentato: lo aveva proposto lo scomparso Giuseppe Creazza (morto nel

Confronto fra la differenza nella spinta orizzontale e il rapporto luce/freccia del IV ponte e quello degli Scalzi, a Venezia, che evidenzia come per il Ponte di Calatrava vi siano solo due centimetri di spostamento ammissibili per non trasformare l'arco in una trave



Vaduta del ponte degli Scalzi, davanti alla stazione ferroviaria di Santa Lucia, realizzato nel 1934 da Eugenio Miozzi, che ha un rapporto luce/freccia di circa 1/4 ed è equilibrato da un elevato carico alle reni



2002), Ordinario di Scienza delle costruzioni allo Iuav e consulente di Calatrava all'inizio del progetto, che ha ipotizzato fondazioni normali collegate fra loro da una catena in calcestruzzo sotto il Canal Grande, trasformabile in un tunnel.

Questa soluzione è stata definita geniale ed elegante, ma poi scartata per motivi burocratici e politici: nel primo caso perché proposta a progetto esecutivo approvato, nel secondo perché costava circa 770 mila euro in più; poi ne sono stati spesi dieci volte tanti, ma in quel momento avrebbero fatto saltare il meccanismo approvativo e l'aumento dei costi sarebbe arrivato al limite della tollerabilità politica.

Comunque quella della catena sembra rimanere ancora sul tavolo, da utilizzare eventualmente in un prossimo futuro nel caso le fondazioni non reggano a sufficienza; per ora si è aumentato il margine di sicurezza inserendo una serie di martinetti di grande dimensione, in grado di contrastare la spinta del ponte: la loro presenza si è dimostrata utile al momento del varo, cioè quello più delicato, per il quale erano stati previsti, ma non si esclude il loro utilizzo nel corso degli anni.

Alta professionalità e fuga di cervelli

Nel suo appassionato intervento a Infrastructura, Enzo Siviero non smette di ribadire e sottolineare la particolarità dell'opera e le numerose e complesse problematiche tecniche affrontate, una specie di Olimpiade per chi ci ha lavorato, che hanno richiesto una grande quantità di ingegno, a tutti i livelli, dal progetto alla realizzazione, dal montaggio alle verifiche statiche.

In effetti, il ponte di Calatrava è una realtà grazie al contributo di figure professionali e di imprese di primo piano, dal già citato Giuseppe Creazza alla pattuglia dei consulenti e collaudatori come Hermes Redi, Luigi Liccardo, Edoardo Dal Medico, Tullio Camprostrini, Giovanni Signor, Renato Vitaliani, Marco Romaro.

Ma Enzo Siviero cita anche alcuni suoi collaboratori che si sono rivelati essenziali nel lavoro di prove, modellazione e



Enzo Siviero, collaudatore del ponte, con i suoi collaboratori Bruno Briseghella (a sinistra), docente all'università di Zagabria, e Tobia Zordan, Corporate Professor al College of Civil Engineering della Tongji University di Shanghai

collaudo, in particolare Bruno Briseghella e Tobia Zordan, due dottori di ricerca allo Iuav che però lasceranno presto l'Italia: un esempio classico di fuga di cervelli dal nostro Paese, perché il primo sarà professore all'università di Zagabria, al Dipartimento di Ponti, mentre il secondo è oggi professore a contratto alla Tongji University di Shanghai, al Dipartimento di Ponti del College of Civil Engineering. ■

Scheda riassuntiva

DAL PROGETTO AL CANTIERE

Committente: Comune di Venezia
 Progetto architettonico e strutturale: Santiago Calatrava
 Responsabile unico del procedimento: Salvatore Vento
 Direttore dei lavori: Roberto Casarin.

REALIZZAZIONE

Impresa generale: Cignoni Srl
 (Responsabile di cantiere: Luca Greggio; Direttore di cantiere: Bruno Cignoni; Direttore tecnico: Franco Cignoni; Responsabile della sicurezza: Gino Grandi).

Strutture metalliche a piè d'opera:

Lorenzon Techmec System Spa, Siro Marin, Officina Metalmeccanica di Inzitari Obenito, Omar Costruzioni, La Fratta Saldature.

Trasporto e posa in opera: Fagioli Spa

Catene provvisorie per il montaggio: Tensacciai Spa

Attrezzatura compensazione e monitoraggio:

4Emme Service (Luciano Lionello, Giuseppe Caramel)

CONSULENTI DELL'IMPRESA

Progetto costruttivo fondazioni: Renato Vitaliani, con la consulenza geotecnica di Francesco Colleselli.

Progetto del montaggio: Bolina ingegneria Srl, con la consulenza di Roberto Di Marco.

Direzione montaggio e progetto particolari costruttivi di completamento: Studio Giorgio Romaro.

Collaudo statico: Enzo Siviero.

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE

Lunghezza totale: 80.8 metri

Larghezza dell'impalcato: da 6,5 a 9 metri

Altezza sezione resistente: da 1.702 a 2.084 millimetri

Freccia in mezzera: 4.76 metri

Schema statico: Arco fortemente ribassato.

Rapporto freccia/luce: circa 1/16

Peso struttura metallica: 407.300 chilogrammi.