

REALIZZAZIONI

Rosso veneziano

Margherita Toffalon

Un segno connaturato al luogo. È il ponte di cristallo e acciaio rosso che l'architetto Calatrava ha realizzato a Venezia, fra Piazzale Roma e la ferrovia. Da settembre, una delle meraviglie sul Canal Grande





Pochi lo conoscono con il nome di ponte della Costituzione, per tutti, non solo a Venezia, è il ponte di Calatrava ossia il quarto ponte sul Canal Grande. Al di là delle polemiche per costi, tempi e inaccessibilità alle persone con difficoltà motorie (risolta con la realizzazione di un'ovovia sotto l'arcata) che ne hanno contrassegnato i lavori, dalla sua apertura ha attirato un flusso incessante di visitatori e ammiratori. Sono infatti in molti ad attraversarlo solo per godere del panorama sul Canal Grande, come era nelle intenzioni dell'architetto Santiago Calatrava che ha invertito i canoni costruttivi dei ponti tradizionali (con restringimento al centro) per progettare una struttura più ampia al centro, proprio per consentire ai visitatori di sostarvi senza ostacolare il cammino altrui. Un'architettura-scultura il cui colore richiama il rosso dei tramonti sulla laguna. Un arco trasparente di giorno e lucente di notte, quando viene illuminato dai faretti incassati nei parapetti e nei gradini in vetro e pietra d'Istria.

Struttura architettonica

Il ponte è costituito da due strutture: le fondazioni (spalle, diaframmi e solettone) in cemento armato e l'arco portante in acciaio. Le fondazioni delle spalle appoggiano singolarmente su 31 diaframmi in calcestruzzo di 2,50x1,00 m e con profondità di 22,00 m dalla quota +1,20 smm.

Il solettone (11,00x25,00x1,30 m), costruito sopra i diaframmi, funge da base alle spalle che sono rivestite in pietra d'Istria, lo stesso materiale delle scalinate e del rivestimento dei muri. La forma della spalla, ottenuta tramite tecniche computerizzate, è stata realizzata con una centina in polistirolo e ancorata con cassature particolari.

La struttura portante in acciaio è composta da 75 elementi speculari a partire dalla sezione in mezzeria RO. In pianta il ponte ha una larghezza complessiva all'attacco delle spalle di 6,40 m e di 9,20 m in mezzeria.

Il peso della struttura in acciaio (comprensiva della sottostruttura dei gradini) è di circa 420.000 kg. La sezione geometrica di ogni singolo elemento è formata da un tubo centrale e due laterali più bassi, uniti da elementi denominati gambe; le mensole, invece, che compongono l'unione superiore tra i triangoli laterali e il cassone centrale, fungono da appoggio agli elementi strutturali dei gradini.

All'interno degli archi inferiori sono alloggiati i corpi illuminanti che proiettano la luce verso i gradini in vetro dei camminamenti laterali del ponte; quello centrale è infatti in pietra d'Istria.

La struttura in acciaio è stata sottoposta prima a un procedimento di anticorrosione, denominato "metallizzazione" a caldo (sabbatura+fissaggio di zinco e alluminio),



Le operazioni di pulizia prima della posa

poi a spruzzatura con primer e verniciatura (rosso Ral 3011 opaco 300 micron).

A completamento del ponte, il parapetto (90 lastre) in vetro temperato e stratificato 15+15 mm e il corrimano in ottone con armilla esterna in pietra d'Istria.

I gradini del ponte sono di tre tipologie: la parte centrale ha le alzate in pietra d'Istria e le pedate in trachite su sottofondo in leca; i corridoi laterali hanno per poco più di metà le alzate in pietra d'Istria e le pedate costituite da 4 strati (da 10 mm) di vetro temperato e stratificato con fogli di Pvb da 1,52, l'ultimo dei quali con serigrafia anticivolo, mentre in sommità e precisamente partendo dalla sezione RO a valle, da destra a sinistra, per 17 m i gradini sono formati dalla sola pedata, una sorta di dolce rampa, completamente in vetro.

I gradini sono ancorati alla struttura da pressori in bronzo che contornano completamente la pedata.



Collaudo dei gradini



Fase finale posa dei gradini



Tutto sul vetro

Le parti calpestabili in vetro stratificato sono costituite da: lastra esterna 10 mm vetro SGG Planilux con lavorazione di molatura dei bordi e successivo trattamento con particolare serigrafia antiscivolo - processo termico complementare "Heat Soak Test"; Pvb con spessore minimo di 1,52 mm interposto tra le lastre mediante processo di stratificazione con assemblaggio sfalsato; lastra interna di SGG Securit 10 mm con lavorazione di molatura dei bordi e successivo processo termico complementare "Heat Soak Test"; Pvb con spessore minimo di 1,52 mm interposto tra le lastre mediante processo di stratificazione; lastra interna di SGG Securit 10 mm con lavorazione di molatura dei bordi e successivo processo termico complementare "Heat Soak Test"; pvb con spessore minimo di 1,52 mm interposto tra le lastre mediante processo di stratificazione; lastra interna di SGG Securit 10 mm

con lavorazione di molatura dei bordi e successivo processo termico complementare "Heat Soak Test". In base alla geometria studiata dall'architetto Calatrava, che prevedeva l'allineamento fra i bordi delle lastre esterne e i pressori dei gradini sul lato destro e sinistro e, contemporaneamente, il mantenimento dell'appoggio necessario al gradino, l'assemblaggio delle vetrate è stato realizzato tramite una "sfalsatura geometrica" dell'ultima lastra rispetto alle altre, ovvero i lati dell'ultima lastra sfalsati non presentano parallelismo con le lastre sottostanti. In questo modo l'ultima lastra riesce a seguire il "filo" della linea immaginaria trasversale e a mantenere una fuga di 5 mm con il pressore in bronzo, e la base garantisce l'appoggio richiesto. La parte più difficoltosa del cantiere è stata la rilevazione delle dime che sono state realizzate in materiale rigido per rispettare tutte le condizioni im-

IL PROGETTO

Progettista: arch. Santiago Calatrava

Direttore dipartimento del territorio/R.U.P.:
ing. Salvatore Vento

Direttore dei lavori: ing. Roberto Casarin

Appalto: Impresa Cignoni, Rovigo

Fornitore vetro:

Saint-Gobain Glass Italia, Milano

Trasformazione e posa vetro:

VIS Vetrania Industriale Saint-Gobain, Varedo (MI)

Fornitore del pvb:

Solzita Italia, Romano d'Ezzelino (VI)

Fornitore dei siliconi:

Dow Corning, Sesto Uterlano (MI)

Controllo processo e prodotto:

Stazione Sperimentale del Vetro, Murano - Venezia

Serigrafia antiscivolo:

Glasslet, Erba (LC)

Assistenza sicurezza in cantiere (vetro):

Ceper, Milano

Cementi armati:

Tiziano Grandeso, Venezia

Diaframmi e fondazioni: Esse, Milano

Calcestruzzi: Mosole, Venezia

Ferro e armature:

Capital Ferro, Valli di Chioggia (VE)

Struttura in acciaio:

Lorenzon Technec System, Noventa di Piave (VE)

Varo: Fagioli, Reggio Emilia

Montaggio:

Omar Costruzioni e montaggi, Venezia

Corrimano:

Costruzioni metalliche Inzitari, Rovigo

Marmi:

Sirigaglia Perfidi, Padova

Pitana Marmi, Pordenone

Achille Grassi, Vicenza

Pressori in bronzo:

Ghifer, Vicenza

Pezzi speciali in ottone:

Fonderie Gobbi, Venezia

Impianti elettrici: Covedi, Venezia

TUTTI I NUMERI DEL PONTE

Struttura portante: acciaio Fe 510 d
Lunghezza struttura in acciaio: 80,77 m
Lunghezza struttura più gradini sulle spalle in c.a.: 94,78 m
Lunghezza da testa a testa monolitici: 100,74 m
Lunghezza della struttura in acciaio: da 6,40 a 9,10 m in sommità
Altezza dal pelo acqua tubi archi inferiori: circa 7,00 m
Frezza: 4,76 m
Cestole: 37+1 (R0)+37
Gradini sulla parte della spalla in c.a.: 14+14
Gradini sulla struttura in acciaio: 39+39
Trattamento di protezione: 2.200 m²
Martineti amovibili: 4 da 400 ton e 8 da 250 ton

Fondazioni

31 diaframmi in cls: 3400 mc
Ferro d'armatura delle fondazioni Feb 44K: 730 ton
Calcestruzzo S.C.C. auto-compattante: 1.500 mc
Predisposizione di otto vasche (4 per fondazione) dentro le fondazioni e sotto la pavimentazione per l'eventuale impiego di tiranti

Struttura in acciaio

Struttura in acciaio del ponte: 420 ton
Incastri in acciaio annegati nelle spalle in c.a. kg/cad: 19.500 ton

Materiali di rivestimento della struttura e delle opere ai piedi del ponte

Vetro (gradini e parapetti): 50 ton
Marmo: 50 ton
Pressori in fusione di bronzo a forma unica 17 ml: 7 ton
Viti in ottone fissaggio pressori: 5.000
Canaletta in pietra d'Istria: 190 m
Copertina in pietra d'Istria smontabile (copertura viti di blocco ai piedi del parapetto): 190 m
Alzate in pietra d'Istria: 1050 m
Pedate in pietra d'Istria: 215 m²
Pedate in trachite grigia dei Colli Euganei: 250 m²
Parapetti in vetro temperato con trattamento hst: 90
Pedate in vetro: 300
Corrimano in ottone con quattro parti terminali: 190 m
Led di illuminazione: 190 m
Copertura vani illuminanti inferiori in vetro: 190 m
Piafoniere stagne per illuminazione archi inferiori: 360 m

Ai piedi del ponte

Pavimento in porfido del Trentino: 500 m²
Pavimento in trachite grigia dei Colli Euganei: 600 m²
Calcestruzzo di sottofondazione scale e pavimenti: 200 mc
Pietra d'Istria per blocchi monolitici e rivestimenti: 30 mc
Faretti da incasso per l'illuminazione delle scalinate e dei rivestimenti ai fabbricati: 60
Reclinazione in acciaio verniciato ed corrimano in ottone: 40 m



I test in azienda con stazione sperimentale del vetro

Vetro antiscivolo

La superficie esterna dei gradini presenta una serigrafia antiscivolo che è stata realizzata con smalto costituito da una soluzione di frittura vetrosa inglobante granuli antiscivolo altofondenti. Durante il processo di tempra lo smalto vetrifica inglobando i granuli antiscivolo che risultano quindi essere un corpo unico con il vetro.

La serigrafia è stata sottoposta, presso i laboratori del "Centro di ricerca e sperimentazione per l'industria ceramica" di Bologna, ai seguenti test: misura del coefficiente di attrito eseguita con dispositivo Tortus (misuratore del coefficiente di attrito dinamico tra un elemento scivolante e la superficie di prova) secondo DM 236 del 14/06/89 che prevede i valori minimi del coefficiente di attrito per l'agibilità ($\mu > 0,4$) e per la classificazione antiscivolo della superficie ($\mu > 0,7$), i valori rilevati sia per le prove effettuate con cuoio su asciutto e gomma su bagnato, sono risultati essere di gran lunga superiori al riferimento per la classificazione antiscivolo del prodotto; metodo di prova con il pendolo - superfici bagnate AS/NZS 4586/2004 Resistenza allo scivolamento - classificazione di materiali per superfici calpestabili. Tale prova viene effettuata su 5 campioni differenti con un

poste dal progetto e le differenze di sfalsatura di qualche millimetro, nello stesso tempo realizzare trecento gradini di diverse dimensioni. Per ottenere tutto questo è stato creato un programma ad hoc che consentisse di inserire, trasferire in produzione e archiviare tutte le misure di tutti i gradini e dei parapetti.

Le vetrate dei parapetti a figura trapezia, tutte con una propria dimensione e geometria per seguire l'andamento e mantenere l'allineamento con l'arco del ponte, sono costituite da: lastra esterna SGG Securit 15

mm, lavorazione a filo lucido dei bordi, fori cilindrici per fissaggio, con speciale molatura a "V" sui lati verticali per sigillatura silconica a protezione del Pvb, processo termico complementare "Heat Soak Test"; Pvb spessore minimo di 1,52 mm interposto tra le lastre mediante processo di stratificazione; lastra esterna SGG Securit 15 mm, lavorazione a filo lucido dei bordi, fori cilindrici per fissaggio, con speciale molatura a "V" sui lati verticali per sigillatura silconica a protezione del Pvb, processo termico complementare "Heat Soak Test".



Foto: Studio Leonardi



Foto: Studio Leonardi

pendolo rivestito di gomma tri (durezza TRHD 55+- 5), in funzione del valore di attrito rilevato viene classificato il materiale. Nel caso specifico la classificazione di questa serigrafia è stata nella classe "V" ovvero la migliore; determinazione di resistenza alle macchie (UNI EN ISO 10545-14 2000). Anche questa prova viene effettuata su 5 campioni e viene determinata la resistenza alla pulizia verificata con macchie con componenti chimici standard e, anche in questo caso, la classificazione è stata in classe di resistenza 4 o 5 (a seconda dell'agente chimico) ovvero le migliori per semplicità di pulizia. Ulteriori prove di durabilità sono state effettuate presso i laboratori Saint-Gobain di Pisa (Cass, Nebbia salina neutra e alta umidità) e presso il Centro ricerca e sviluppo (CRDC) di Saint-Gobain a Chantraine (Francia), anche in questo caso le prove non hanno evidenziato alcuna corrosione significativa o variazione della superficie.

Il cantiere

Tutti i vetri sono stati trasportati via mare. I cavalletti, una volta in banchina, sono stati caricati su un moto-pontone che, da punta della Dogana, ha percorso tutto il Canal Grande (la mattina molto presto) fino ad arrivare sotto il ponte in costruzione, sopra

il quale è stata posizionata una gru che ha sollevato e posizionato i cavalletti nella parte centrale, larga 15 cm in più della base dei cavalletti medesimi (il cavalletto veniva posato nella corsia fra i vetri già posati lateralmente). La produzione, il trasporto e la posa dei vetri (senza alcuna rottura) è stata sequenziale e ha richiesto, contemporaneamente, da 6 a 10 posatori specializzati. Per una equa distribuzione del carico sono stati posati prima i parapetti e poi i gradini partendo dalla parte centrale fino alle basi. La posa dei gradini della parte centrale e dei parapetti è stata effettuata con l'assistenza costante del moto-pontone dotato di trabattello di appoggio posto sotto la struttura.

I collaudi

In occasione della prova di carico del ponte sono poi stati effettuati, sempre in collaborazione con la Stazione Sperimentale del Vetro di Venezia, i collaudi degli elementi in vetro e del loro fissaggio, che hanno superato tutte le prove.

Per i parapetti sono state eseguite:

- prova di carico statico distribuito secondo UNI 10805;
- prova dinamica di urto con doppia ruota sulla struttura del parapetto secondo



Le riunioni con Calltrava

UNI 10807 (impattatore come da norma UNI EN 12600-2004);

- carichi statici distribuiti secondo UNI 10805;
- prova di resistenza post-frattura, non è una prova prevista dalla normativa, ma si è verificata la staticità della struttura in caso di rottura di entrambe le lastre di vetro.

Per i gradini, secondo le direttive del collaudatore, sono state effettuate le seguenti prove:

- prova di carico concentrato (DM 14/09/05) (impronta 50x50 mm): la norma prevede un sovraccarico accidentale concentrato di 4KN (10KN è stata la richiesta del collaudatore);
- prova di carico distribuito (DM 14/09/05), carico isolato di 10kn su un'impronta di 700x 700 mm.