



# MANUTENZIONE STRAORDINARIA DEL PONTE NORD A REGGIO EMILIA

**OPERAZIONI DI RITESAGGIO DEI CAVI DEL PONTE STRALLATO NORD CON RIALLINEAMENTO DELLE SOLLECITAZIONI PROGETTUALI E MIGLIORAMENTO DELLE COMPONENTI NON STRUTTURALI TRAMITE IMPERMEABILIZZAZIONE E ASFALTATURA CON BITUME MODIFICATO AD ELEVATO CONTENUTO POLIMERICO**

## LA STORIA

Il ponte è ubicato più a Nord del sistema dei ponti nella zona settentrionale di Reggio Emilia, che comprende due ponti strallati denominati Nord e Sud e il ponte centrale ad arco, tutti progettati dall'Ing. Architetto Santiago Calatrava.

I lavori di costruzione del ponte Nord, oggetto del presente progetto di riqualificazione, partirono nel 2004 nell'ambito dei lavori dell'Alta Velocità Milano-Bologna e terminarono nel 2008 con il successivo collaudo.

Questa importante infrastruttura, che si sviluppa al di sopra della rotonda di Via Trattati di Roma a Reggio Emilia, misura 179 m da spalla a spalla. La struttura è così detta a strallo con pilone centrale con altezza di 70 m e raggiunge l'apice di 103,4 m s.l.m.. La carreggiata è realizzata da un cassone in acciaio sospeso da 26 coppie di cavi.

I cavi in strallo hanno un andamento a iperbole che culminano nel punto massimo al centro del pilone arcuato. La carreggiata misura 14,7 m comprensivi di: due corsie (da 3,5 m l'una), banchine laterali (1,75 m per senso di marcia), margine interno (2,1 m) e guard rail (1,05 m per senso di marcia). Le corsie poggiano su delle costole a sbalzo collegate al cassone centrale in acciaio, il quale è sospeso dal pilone arcuato mediante coppie di cavi collegati ad una struttura d'acciaio posta sul cassone centrale.

Il pilone ha forma ottagonale con una larghezza variabile da 2,4 m a 3,4 m.



1. Vista dall'alto del sistema dei tre ponti di Calatrava



2. L'impermeabilizzazione del ponte Nord

Le spalle del ponte sono in calcestruzzo armato fondate su pali. Il Comune di Reggio Emilia - Servizio Cura della Città, al fine di preservare e mantenere il proprio patrimonio, ha ottenuto diversi finanziamenti nell'ambito del Decreto del 08/11/2021 del Dipartimento per gli Affari interni e territoriali del Ministero dell'Interno - Direzione Centrale per la finanza locale gli investimenti relativi a opere pubbliche di messa in sicurezza degli edifici e del territorio, poi confluiti negli "Interventi per la resilienza, la valorizzazione del territorio e l'efficienza energetica dei Comuni - M2C4 - Investimento 2.2" nell'ambito del Piano nazionale di ripresa e resilienza (PNRR) dei quali circa 375.000 Euro dedicati alle manutenzioni straordinarie dei ponti dell'area Nord.

I fondi così ottenuti, essendo confluiti nel PNRR, hanno fatto sì di dover attuare degli interventi di manutenzione straordinaria con target europeo, ovvero a basso impatto ambientale.

Il progetto, quindi, doveva prevedere l'utilizzo di tecnologie a minor consumo energetico, alta durabilità e miglior comfort di circolazione, senza trascurare tutte le azioni volte a mantenere in perfetta efficienza il sistema strutturale dell'opera.

Con questo intento l'intervento ha previsto un'attenta analisi delle migliori modalità operative, individuando non solo le ope-

razioni di ritesaggio dei cavi, con un riallineamento delle sollecitazioni progettuali, in modo da trasferire correttamente le sollecitazioni all'impalcato, migliorando la durabilità delle componenti non strutturali, quali la pavimentazione, impermeabilizzazioni e giunti, ma anche una serie di interventi sul tipo di materiale utilizzato per migliorare l'aderenza tra la pavimentazione e l'impalcato metallico.

Proprio per ottemperare agli input innovativi e di controllo derivanti dal PNRR, i lavori si sono concretizzati attraverso il rifacimento completo del pacchetto stradale aderente all'impalcato in acciaio utilizzando materiali tecnologicamente innovativi, allestendo un campo prova, ed effettuando il tesaggio dei cavi con il controllo delle fasi ante e post operam.

Altre opere accessorie hanno fatto da corollario al progetto con accorgimenti tecnici volti ad allontanare l'acqua all'interno dei carter dei cavi del ponte e la sigillatura del sistema del deflusso delle acque meteoriche.

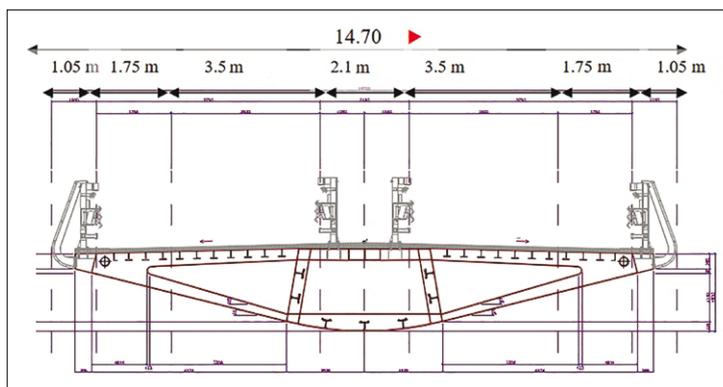
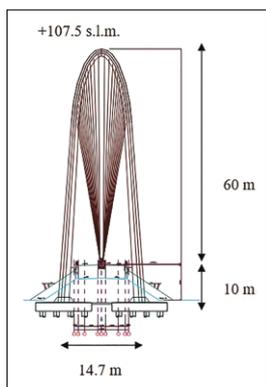
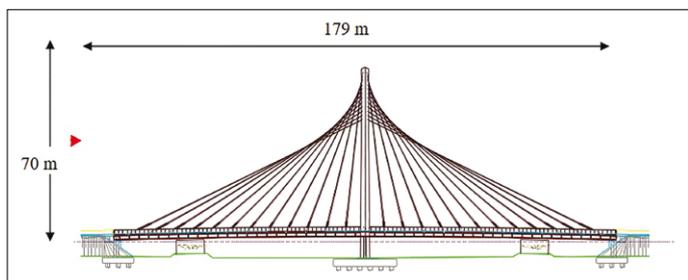
Sia la parte progettuale che la parte esecutiva di questo intervento sono state impostate e sviluppate in modo da costituire una sorta di laboratorio sperimentale per le prossime manutenzioni straordinarie dell'intero sistema dei ponti di Calatrava al fine di mantenere in perfetta efficienza queste strutture che, per la loro bellezza e imponenza, sono diventate delle vere e proprie icone rappresentative della città di Reggio Emilia.

**L'IMPERMEABILIZZAZIONE DELL'IMPALCATO METALLICO**

L'impermeabilizzazione dell'impalcato metallico è stata effettuata con un'armata continua (IAC) realizzata con bitume modificato Drenoval PBT ad elevato contenuto polimerico e con un TNT a fiocco in poliestere.

La scelta di questa tipologia di legante è stata determinata per poter garantire una maggior resistenza dell'impermeabilizzazione alle escursioni termiche ed evitare così possibili scorrimenti del conglomerato con le alte temperature estive e formazione di fessurazioni alle basse temperature invernali. Prima della stesa della IAC, si è proceduto alla pallinatura della struttura in acciaio così da rimuovere lo strato di ossido presente e che avrebbe potuto impedire la corretta adesione del bitume.

Immediatamente dopo la pallinatura è stato steso un velo di primer bituminoso al solvente per evitare che l'ossido potesse riformarsi prima della stesa del bitume. Si è poi passati alla stesa con una cisterna spanditrice automatica della prima mano di



3A, 3B e 3C. Le dimensioni del ponte Nord



4. L'applicazione in contemporanea del bitume e del TNT

bitume modificato spruzzato a 195 °C in ragione di 1,8 kg/m<sup>2</sup>.

Con la stessa cisterna spanditrice, in contemporanea al bitume è stato applicato il TNT come in Figura 4.

La seconda mano di bitume modificato è stata applicata successivamente in ragione di 1,2 kg/m<sup>2</sup> per un totale di 4 mm di spessore.

Per evitare che i mezzi di cantiere potessero danneggiare l'impermeabilizzazione, gli è stato spolverato sopra del filler.

Le caratteristiche della membrana impermeabile sono riportate in Figura 6.

Per quanto riguarda la pavimentazione, a causa di spessori limitati a disposizione, occorre progettare un conglomerato bituminoso, in un unico strato da 6 cm, che potesse garantire sia caratteristiche di portanza che di aderenza e allo stesso tempo resistere alle sollecitazioni causate dalle oscillazioni tipiche di un ponte strallato, che si generano con il passaggio dei veicoli. In laboratorio è stato condotto uno studio per testare le varie tipologie di conglomerato così da valutare in base alle prestazioni raggiunte quello più adatto alla specifica tipologia di intervento. Sulle miscele sono stati eseguiti test di modulo di rigidità secondo la Normativa UNI EN 12697-26 a 10, 20 e 40 °C per valutare la capacità del conglomerato a deformarsi in funzione delle tensioni generate con l'applicazione di un carico e test Fracture Energy a 10 °C per determinare le soglie energetiche di innesco delle fratture.

Per poter meglio caratterizzare da un punto di vista prestazionale il materiale, in funzione della tipologia di applicazione, si è deciso di eseguire test di Fracture Energy perché con la valutazione del fenomeno di innesco e propagazione delle microfessure nel conglomerato si può avere la corretta identificazione della risposta prestazionale del materiale a lungo termine.

Dai risultati ottenuti dalle prove condotte si è deciso di optare per un conglomerato di usura di tipo SMA, con granulometria 0/16 mm (Figura 7), prodotto con granulato di conglomerato bituminoso e con bitume modificato a elevato contenuto polimerico Drenoval PBT, lo stesso utilizzato per l'impermeabilizzazione.



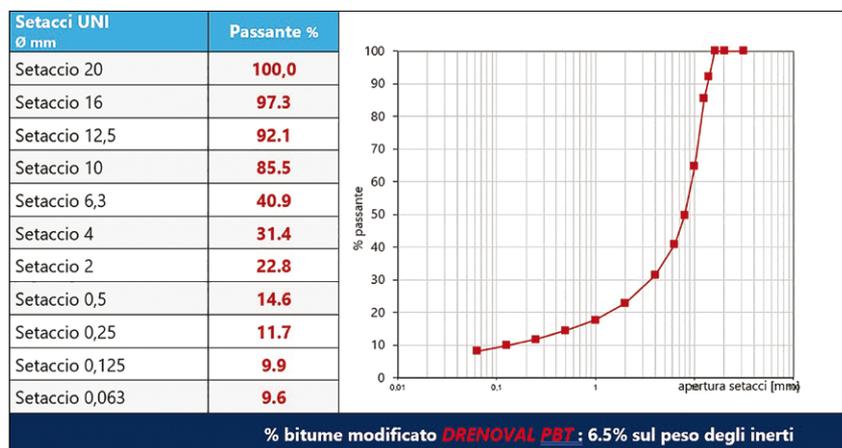
5. Vista dall'alto dell'impermeabilizzazione

Con questa miscela si è riusciti a ottimizzare un conglomerato che contenga materiale di recupero (fresato) così da ridurre l'impatto ambientale e con un mastice bituminoso a forte componente elastica che possa così rallentare la formazione di microfessurazioni all'interno del conglomerato che con il tempo tenderebbero ad accumularsi e a propagare fino a portare al collasso precocemente la pavimentazione.

#### CARATTERISTICHE IMPERMEABILIZZAZIONE CON DRENOVAL PBT E TNT

	Unità di misura	Valore
Permeabilità all'acqua	kPa	≥ 60
Resistenza a trazione longitudinale	N	≥ 500
Resistenza a trazione trasversale	N	≥ 500
Allungamento a rottura longitudinale	%	≥ 125
Allungamento a rottura trasversale	%	≥ 125
Resistenza alla lacerazione longitudinale	N	≥ 245
Resistenza alla lacerazione trasversale	N	≥ 245
Resistenza alla punzonatura	PS	≥ 3
Adesione al supporto cementizio longitudinale	N	≥ 200
Adesione al supporto cementizio trasversale	N	≥ 200

6. Le caratteristiche della membrana IAC



7. La curva granulometrica del conglomerato SMA 0/12 mm

Il conglomerato è stato prodotto da Emiliana Conglomerati SpA nell'impianto della Barcaccia (RE) e steso dall'Impresa R.C.M. di Ricò Massimo. Alla stesa con il laboratorio mobile di Valli Zabban il conglomerato è stato campionato e compattato direttamente sul posto con la pressa giratoria per non dover successivamente riscaldare il materiale che andrebbe ad alterarne le caratteristiche.

I risultati dei test sono riportati in Figura 8.

I valori riscontrati di resistenza a trazione indiretta e di modulo alle varie temperature evidenziano un comportamento meccanico ottimale della miscela nonostante il granulato di conglomerato bituminoso presente. I valori dei moduli sono in linea con quelli della miscela di progetto.

La prova di Fracture Energy ha rilevato un valore del modulo resiliente soddisfacente, superiore a 10 GPa.

Il valore di creep compliance a 1.000 secondi misura il tasso di deformazione permanente: essendo il processo di crescita della frattura manifestato da elevate deformazioni accumulate, le miscele con elevato valore di creep mostrano elevati tassi di crescita della frattura. L'm-value rappresenta il coefficiente angolare della parte finale della curva di creep statico: più alta è la pendenza, più è elevato il tasso di deformazione permanente. Il processo di crescita delle fessure è chiaramente funzione dell'accumulo di deformazioni permanenti; pertanto, miscele con alti valori di m-value e creep compliance mostrano tassi più rapidi di crescita delle fessure. In questi termini, il valore riscontrato di 1,20 1/GPa è segnale di una miscela a elevate prestazioni.

Dal test di rottura si sono ricavati i valori di resistenza a trazione indiretta  $T_s$ , la relativa deformazione ultima  $\epsilon_f$  (indi-

CARATTERISTICHE CONGLOMERATO BITUMINOSO SMA			
	Normativa	UdM	Valore
<b>Compattazione con pressa giratoria (UNI EN 12697-31) a 145 °C</b>			
Vuoti a N initial (10 giri)	UNI EN 12697-8 4	%	12.4
Vuoti a N Design (100 giri)	UNI EN 12697-8 4	%	3.2
Vuoti a N Max (180 giri)	UNI EN 12697-8 4	%	2.1
<b>Compressione diametrale su provini compattati a Ndesign (UNI EN 12697-23)</b>			
Resistenza a trazione indiretta a 25 °C		MPa	1.07
Coefficiente di trazione indiretta a 25 °C		MPa	62.7
<b>Modulo di rigidezza su provini compattati a Ndesign</b>			
Modulo a 10 °C	UNI EN 12697-26	MPa	14575
Modulo a 20 °C	UNI EN 12697-26	MPa	6470
Modulo a 40 °C	UNI EN 12697-26	MPa	1240
<b>Fracture Energy a 10 °C</b>			
Modulo resiliente		GPa	13.61
Creep Compliance @1.000 sec		1/GPa	1.20
m-value			0.38
DCSEf (Dissipated Creep Strain Energy)		KJ/m <sup>3</sup>	1.36
FE (Fracture Energy)		KJ/m <sup>3</sup>	1.78

8. Le caratteristiche del conglomerato SMA 0/12 mm



9. Il conglomerato SMA 0/12 mm



10. La spruzzatura del bitume modificato con cisterna spanditrice

viduati al punto di innesco della prima macrofrattura) e i due parametri energetici FE e DCSE che sono risultati molto buoni (maggiore di 1 per la Fracture Energy e maggiore di 0,8 per la DCSE, come da letteratura).

Ad oggi il conglomerato bituminoso non presenta nessun fenomeno di deformazioni permanenti e di fessurazioni a fatica. ■

<sup>(1)</sup> Dirigente del Servizio Cura della città del Comune di Reggio Emilia

<sup>(2)</sup> Ingegnere funzionario tecnico del Comune di Reggio Emilia

<sup>(3)</sup> Direttore Tecnico di Valli Zabban SpA

## DATI TECNICI

**Stazione Appaltante:** Comune di Reggio Emilia

**Contraente Generale e Esecutori dei Lavori:** Consorzio Corma (Emiliana Conglomerati SpA, Ricò Srl, R.C.M. Impresa di costruzioni di Ricò Massimo, Claudio e Ivo e B.M. Scavi Srl)

**Dirigente del servizio cura della città:** Ing. Ursula Montanari

**Progetto esecutivo, Direzione dei Lavori, Responsabile Sicurezza e Direzione di Cantiere:** Ing. Marco Arduini

**RUP:** Ing. Claudia Di Sano

**Subaffidamento:** Valli Zabban SpA

**Importo dei lavori:** 282.000,00 Euro

**Quadro economico:** 375.000,00 Euro

**Durata dei lavori:** 105 giorni

**Data di consegna:** 29 Marzo 2023

**Data di sospensione:** 1° Settembre 2023

**Data di ultimazione:** 17 Aprile 2024