

RIPRISTINO E RINFORZO PER I VIADOTTI PIANA DEL CERRO E SANTA CECILIA I



**LA MANUTENZIONE STRAORDINARIA CON MALTE SPECIALI E MATERIALI COMPOSITI
FIBRORINFORZATI BASF PER IL RISANAMENTO CORTICALE DELLE PORZIONI STRUTTURALI DEGRADATE
AL FINE DI RIPRISTINARE L'ORIGINARIA INTEGRITÀ DELL'OPERA D'ARTE**

Nell'ambito dei lavori di ripristino dei viadotti ANAS lungo la S.S. 647 "Fondo Valle del Biferno", in Molise, sono stati definiti gli interventi per il ripristino e la riparazione dei pulvini delle pile appartenenti al viadotto Santa Cecilia I (al km 8) e delle travi di bordo del viadotto Piana del Cerro (al km 14). Le opere presentano diffusamente uno stato fisiologico di degrado superficiale e di corrosione dell'armatura dovuto prevalentemente all'effetto degli agenti atmosferici e, in casi peculiari e circostanziati, a difetti costruttivi connessi con le complessità esecutive rapportate all'epoca di realizzazione. Una scarsa attenzione nelle fasi di getto dei calcestruzzi, insieme a un insufficiente copriferro risultano essere le più frequenti cause di degrado che, con il tempo, possono individuare zone più esposte all'ammaloramento corticale delle parti d'opera.

Le opere d'arte summenzionate sono state oggetto di manutenzione straordinaria incentrata sul risanamento corticale delle porzioni strutturali degradate, con lo scopo di ripristinare l'originaria integrità dell'opera d'arte mediante ripristini con malte speciali e rinforzo con materiali compositi fibrorinforzati.

DESCRIZIONE DELLE OPERE D'ARTE

I viadotti sono entrambi costituiti da impalcati semplicemente appoggiati su pile e spalle. Gli impalcati sono costituiti da un graticcio di quattro travi precomprese unite da quattro traversi (due intermedi e due di testata) e una soletta superiore in c.a. Le pile in c.a. sono realizzate da un fusto unico in c.a. a sezione circolare e da un pulvino, anch'esso in c.a. a sezione variabile.

Dall'epoca di costruzione non sono stati rintracciati atti o riferimenti ad interventi di manutenzione straordinaria sulle strutture, a meno della ordinaria e straordinaria manutenzione effettuata periodicamente sulla sovrastruttura dell'impalcato.

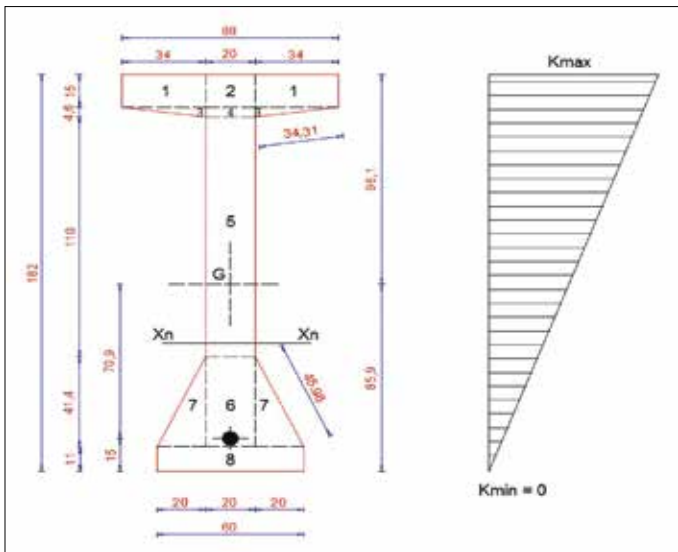
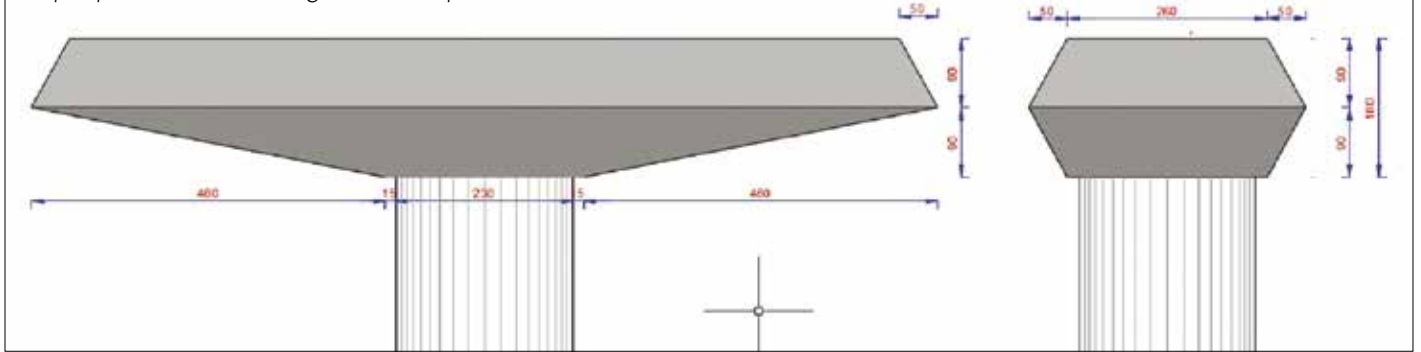
Per la definizione degli interventi e il dimensionamento e verifica del rinforzo è stato necessario preliminarmente acquisire i dati geometrici dei pulvini e delle travi.

Di seguito si riportano i due prospetti con le misure principali dei quattro pulvini del viadotto Santa Cecilia I (Figure 1 e 2) e la sezione delle travi precomprese a cavi post-tesi del viadotto Piana del Cerro (Figure 3, 4A e 4B).



1. Lo stato di degrado dei pulvini del viadotto Santa Cecilia I

2. I prospetti trasversale e longitudinale del pulvino del viadotto Santa Cecilia I



3. La sezione della trave di impalcato del viadotto Piana del Cerro



A seguito del degrado per corrosione delle armature, il pulvino e le travi di bordo presentavano allo stato attuale sia un degrado corticale del calcestruzzo di copriferro, causato dalle reazioni espansive conseguenti alla corrosione delle barre, sia una diminuzione delle loro caratteristiche resistenti a causa della diminuzione di area dell'acciaio.



4A e 4B. La trave di bordo del viadotto Piana del Cerro

Dall'analisi dello stato attuale è risultato necessario un intervento di:

- ripristino e rinforzo dei pulvini finalizzato a riportare il taglio e il momento resistente al valore obiettivo originario, prima che avvenisse il degrado per corrosione delle armature,
- ripristino della capacità portante a momento flettente per le travi di bordo, per le quali risultavano corrosi alcuni cavi di precompressione.

I sistemi di rinforzo sono inquadrati nell'ambito delle "Riparazioni o interventi locali che interessano elementi isolati, e che comunque comportino un miglioramento delle condizioni di sicurezza preesistenti" ai sensi delle NTC 2008 con l'obiettivo ultimo di rimediare al degrado strutturale, incrementare la durabilità nel tempo dell'opera oltre che rendere maggiormente efficiente la capacità di resistenza agli sforzi. In sintesi, tutti gli interventi di risanamento sono stati tesi a elevare i livelli generali di sicurezza dell'opera d'arte.

La tecnica di rinforzo è basata sull'utilizzo di malta premiscelata ad espansione contrastata MasterEmaco S1160 TIX per ripristinare del tutto il copriferro, applicazione di strisce in fibra di carbonio MasterBrace FIB CFH (ad Alto Modulo Elastico) trasversalmente alla sezione per fronteggiare il contributo perso dalle staffe dei pulvini, applicazione di lamine MasterBrace LAM CFS (ad alta resistenza) disposte all'estradosso parallelamente all'asse dei pulvino per fronteggiare il contributo perso dalle armature longitudinali superiori (tirante primario) e all'intradosso delle travi in c.a.p..

È stato necessario determinare preventivamente i parametri che governano il fenomeno di delaminazione FRP-calcestruzzo esistente attraverso le indicazioni fornite dal documento CNR-DT 200/2004 e s.s. m.m..

Il tessuto MasterBrace FIB 300/50CFH ha le seguenti caratteristiche:

- classe secondo certificato di idoneità tecnica all'impiego: 350/1750 C;
- resistenza caratteristica a trazione $f_{tk} = 1.800 \text{ MPa}$;
- modulo elastico a trazione: $E_f = 380.000 \text{ MPa}$;
- deformazione ultima media a trazione: 0,5%;
- spessore nominale di uno strato = 0,165 mm.

La lamina pultrusa MasterBrace LAM CFS ha le seguenti caratteristiche:

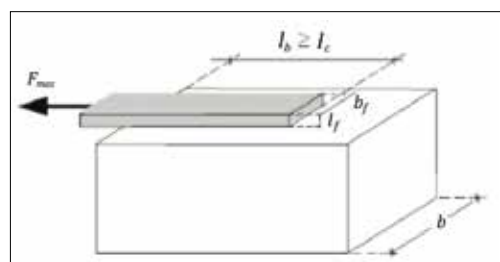
- classe secondo certificato di idoneità tecnica all'impiego: C150/2300;
- resistenza caratteristica a trazione $f_{tk} = 3.000 \text{ MPa}$;
- modulo elastico a trazione: $E_f = 150.000 \text{ MPa}$;
- deformazione ultima media a trazione: 1,8%;
- spessore nominale = 1,4 mm.

A titolo esemplificativo si riportano di seguito:

- i tabulati di calcolo sviluppati in ambiente MathCad-SMath per la valutazione dell'aderenza al supporto (delaminazione) per i rinforzi dei pulvini attraverso il metodo CNR (Figura 5 ed equazioni consecutive);
- lo schema applicativo delle fasce FRP per la riparazione degli stessi (Figure 6A e 6B).

LA RESISTENZA DEL SISTEMA NEI CONFRONTI DELLA DELAMINAZIONE SECONDO CNR DT 200/2004

La determinazione della resistenza si esplica come di seguito riportato.



5. La forza max trasmissibile da un rinforzo di FRP

Coefficienti geometrici e di carico:

$$k_{geo} \cong \max\left(\frac{b_f}{b}, 0.25\right) = 0.7143 \quad (1)$$

$$k_q \cong 1 \quad (2)$$

$$k_b \cong \max\left(\sqrt{\frac{2-k_{geo}}{1+k_{geo}}}, 1\right) = 1 \quad (3)$$

$$k_G \cong 0.037 \text{ mm} \quad (4)$$

$$k_{G,2} \cong 0.10 \text{ mm} \quad (5)$$

Calcolo dell'energia specifica di frattura:

$$\Gamma_{fd} \cong \frac{k_b \cdot k_G}{FC} \cdot \sqrt{f_{cm} \cdot f_{ctm}} = 0.1537 \text{ MPamm} \quad (6)$$

Calcolo della tensione ultima di ancoraggio FRP-cla:

$$f_{bd} \cong \frac{2 \cdot \Gamma_{fd}}{0.25 \text{ mm}} = 1.2294 \text{ MPa} \quad (7)$$

Calcolo della lunghezza ottimale di ancoraggio:

$$l_{ed} \cong \max\left(\left[\frac{1}{1.25 \cdot f_{bd}} \cdot \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E_f \cdot \Gamma_{fd}}{2}}\right], 200 \text{ mm}\right) = 200 \text{ mm} \quad (8)$$

Calcolo della tensione massima del sistema FRP per delaminazione di estremità (modo 1):

$$f_{td1} \cong \frac{1}{\gamma_{td}} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot E_f \cdot \Gamma_{fd}}{t_f}} = 701.1133 \text{ MPa} \quad (9)$$

Calcolo della tensione massima del sistema FRP per delaminazione intermedia (modo 2):

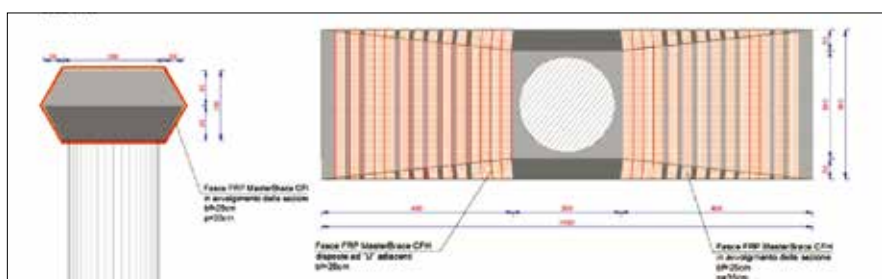
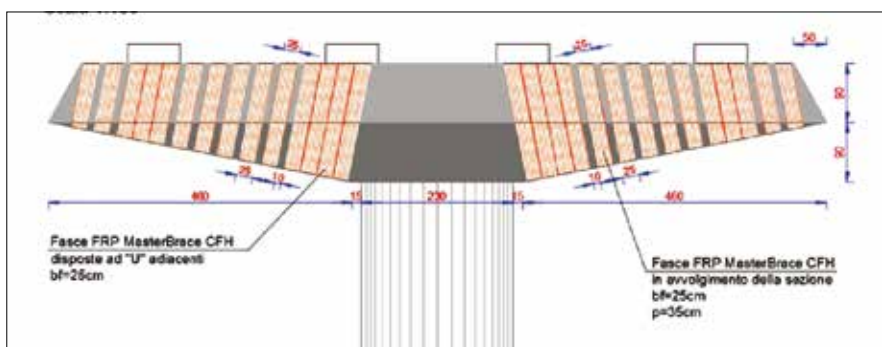
$$f_{td2} \cong \frac{k_{G,2}}{\gamma_{td}} \cdot \sqrt{\frac{E_f \cdot 2 \cdot k_b \cdot k_{G,2}}{FC}} \cdot \sqrt{f_{cm} \cdot f_{ctm}} = 1152.6231 \text{ MPa}$$

Calcolo di deformazione massima per distacco intermedio:

$$\epsilon_{td} \cong \frac{f_{td2}}{E_f} = 0.3033\% \quad (11)$$

Calcolo di deformazione massima di progetto (modo 2):

$$\epsilon_{td} \cong \min\left(\frac{\eta_a \cdot \epsilon_{fk}}{\gamma_f}, \epsilon_{td}\right) = 0.3033\% \quad (12)$$



6A e 6B. Gli schemi per la riparazione dei pulvini del viadotto Santa Cecilia I con fasce di tessuto MasterBrace FIB CFH e malta da riparazione strutturale R4 MasterEmaco S1160 TIX

LE FASI DI LAVORO DEL RISANAMENTO CON PRODOTTI DELLA BASF

Ordine delle lavorazioni da svolgere per il ripristino e rinforzo dei pulvini (Figure 7 e 8):

- demolizione meccanica per uno spessore tale da raggiungere il calcestruzzo non carbonatato e comunque tale da by-passare le armature corrose, mediante idroscarifica in pressione > 2.000 bar;
- passivazione con passivante cementizio monocomponente per la protezione attiva delle barre di armatura contenente opportuni inibitori di corrosione dato a pennello in due mani (MasterEmaco P 5000 AP - Basf CC Italia SpA). Attesa la fase di presa, si è proceduto alla saturazione del supporto mediante acqua nebulizzata;



8. L'impregnazione del tessuto MasterBrace FIB CFH

- ripristino corticale del calcestruzzo con malta MasterEmaco S1160 TIX;
- arrotondamento degli spigoli dove saranno applicate le strisce FRP (raggio di curvatura >20 mm);



7. La fase di applicazione del tessuto MasterBrace FIB CFH sul pulvino del viadotto Santa Cecilia I

- applicazione di strisce di tessuto MasterBrace FIB 300/50 CFH (Alto modulo elastico) di larghezza $bf = 25$ cm e passo $p = 35$ cm in avvolgimento della sezione; chiusura delle estremità delle fasce con una sovrapposizione di almeno 25 cm.

Fasi specifiche per l'applicazione di lamine pultruse MasterBrace LAM in fibra di carbonio all'intradosso delle travi: da applicare per ripristinare il contributo a flessione dei fili pretesi corrosi e spezzati.

Dopo aver proceduto al ripristino del copriferro analogamente a quanto descritto per i pulvini:

- applicare lo strato del primer (promotore di adesione) MasterBrace P 3500 a rullo o a pennello (consigliato solo su legno);
- stendere a spatola dentata l'adesivo MasterBrace ADH 4000 sulla faccia della lamina (dopo averla pulita con acetone o diluente nitro e asciugata) e quindi anche sul supporto, a spessore millimetrico;



9.

- appoggiare la lamina MasterBrace LAM al supporto e con l'appropriato rullino (gomma dura) esercitare una costante pressione muovendo lo strumento nei due versi nella direzione delle fibre stesse sino a far rifluire l'adesivo in eccesso;
- a conclusione del ciclo di ripristino e di rinforzo, sull'intera struttura risanata è stata prevista l'applicazione di un protettivo bicomponente, elastomerico poliuretano ad elevato contenuto di solidi in volume. Il sistema di verniciatura, costituito dal protettivo (MasterProtect 220) insieme al suo primer specifico (MasterProtect P 210), individua un rivestimento filmogeno avente capacità di fessura (Crack Bridging Ability) ed elevata capacità protettiva agli ambienti aggressivi. Mediante uno spessore di film secco di 250 micron, il film protettivo combinato garantisce adesione al calcestruzzo, permeabilità alla CO_2 e impermeabilità all'acqua misurata come coefficiente di assorbimento capillare;
- dopo aver miscelato i due componenti, l'applicazione della finitura è stata effettuata a rullo dopo aver steso il primer.



10. L'applicazione del Masterflow 960 per l'ancoraggio delle barriere



11. Il colaggio del Masterflow 960



12. Il lavoro finito

Inoltre, l'ancoraggio sul cordolo delle barriere è stato realizzato mediante impiego di MasterFlow 960, una speciale malta cementizia a granulometria finissima, monocomponente per l'ancoraggio ad elevata funzione strutturale di barre filettate e barre ad aderenza migliorata, anche su fori di grande diametro ed in presenza di umidità.

Permette di effettuare applicazioni fino a temperature di -5°C ed è utilizzata in sostituzione delle tradizionali resine strutturali negli ancoraggi ad alto tasso strutturale, semplificando notevolmente le fasi applicative (Figure 10 e 11).

CONCLUSIONI

Può concludersi che il significativo ammaloramento registrato sia visivamente che strumentalmente è stato sanificato mediante un esteso intervento appositamente studiato per il contingente degrado constatato.

Il pacchetto di risanamento applicato ed articolato in idrodemolizione, passivazione e sostituzione dei ferri, risanamento con malte strutturali speciali, rinforzo localizzato con composti fibrorinforzati, protezione delle superfici con vernici bicomponenti, ha permesso di restituire alla superficie risanata l'originaria integrità con l'effetto di incrementare i livelli di sicurezza dell'opera, migliorarne la risposta al sisma e prolungarne la vita utile in esercizio ordinario. ■

⁽¹⁾ *Ingegnere, Libero Professionista e Strutturista con Master Post-Lauream in Progettazione sismica delle strutture presso il Politecnico di Milano e Consulente per il consolidamento con materiali fibrorinforzati*

⁽²⁾ *Ingegnere, Direttore Tecnico dell'Impresa Elle 2013 Srl*

⁽³⁾ *Ingegnere, Libero Professionista, Strutturista e Dottore di Ricerca in Progettazione e Riabilitazione delle strutture convenzionali e innovative presso l'Università di Chieti-Pescara*

DATI TECNICI

Stazione Appaltante: ANAS SpA

Project Manager: Ing. Armando Pallante

Progetto Esecutivo: Ing. Domenico Perrella

Progetto migliorativo proposto dall'Impresa: Ing. Armando Pallante, Ing. Luigi Petroni, Ing. Vincenzo Castaldi, Ing. Oreste Mammana e Ing. Nicola Ricamato

Collaudo: Ing. Silvia Parmegiani

RUP: Ing. Roberto Sciancalepore

Direzione Lavori: Ing. Vincenzo Lomma

Coordinatore per la Sicurezza in fase di esecuzione: Geom. Renzo Rossi

Ispettore di cantiere: Geom. Adriano Di Somma

Esecutrice dei Lavori: ELLE 2013 Srl

Importo dei Lavori: 1.942.762,35 Euro

Durata dei lavori: 180 giorni

Data di consegna: 15 Maggio 2017

Data di ultimazione: 10 Novembre 2017