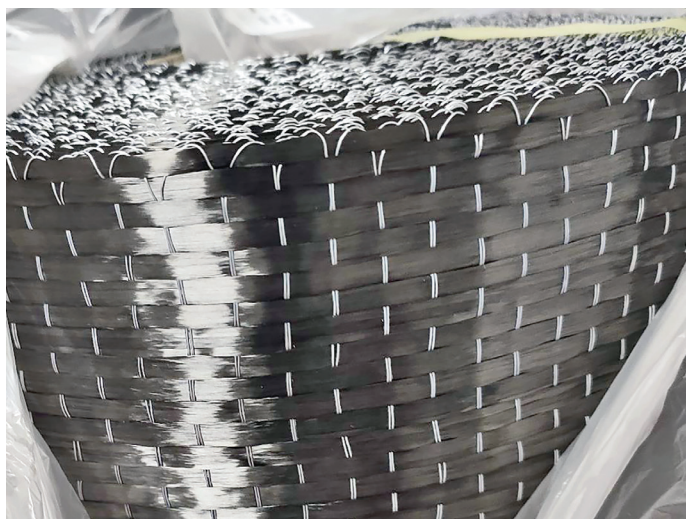


LA FIBRA DI CARBONIO PER IL RINFORZO STRUTTURALE

L'UTILIZZO DI MATERIALI COMPOSITI DI FIBRE NET PERMETTE INTERVENTI RAPIDI, NEL RISPETTO DELLE GEOMETRIE DELL'OPERA E CON LA GARANZIA DI UNA LUNGA DURATA NEL TEMPO

L'utilizzo di materiali compositi in fibra di carbonio per il ricondizionamento strutturale delle infrastrutture di trasporto rappresenta una soluzione tecnologicamente avanzata, molto efficace, rapida e in grado di garantire risultati di lunga durata nel tempo.

Originariamente introdotte nei settori dell'ingegneria aeronautica e meccanica, le fibre di carbonio sono oggi utilizzate in edilizia per la maggior parte degli interventi di rinforzo strutturale in virtù della loro versatilità, della leggerezza e della resistenza a fattori ambientali anche aggressivi.



1. Tessuto unidirezionale in carbonio (armatura tela)

Fra le Aziende specializzate nell'applicazione di sistemi di rinforzo FRP ci sono Cams Servizi Edili Srl e F.Ili B.Systems Srl. Per i loro interventi si avvalgono dei prodotti e delle competenze tecniche di Fibre Net, realtà specializzata nello sviluppo, nell'ingegnerizzazione e nella produzione di sistemi e materiali compositi per il rinforzo strutturale da oltre 20 anni.

Fibre Net è fra le poche Aziende in Italia costantemente impegnata in ricerca e sviluppo su questo fronte. Vanta un'ampia gamma di prodotti certificati e tempi di consegna molto rapidi su tutto il territorio nazionale. Non è tutto. Spiega Marco Caprara, Responsabile Tecnico Commerciale di Cams e di B.Systems: "Collaboriamo spesso con l'Ufficio Tecnico di Fibre Net per l'ottimizzazione dei progetti soprattutto quando la richiesta è quella di fornire soluzioni di intervento migliorative dal punto di vista tecnologico."



2A e 2B. Tessuto in carbonio con armatura twill (2A) e con tela piatta (2B)



3. Il cavalferrovia con l'impalcato a graticcio con travi a cassoncino in c.a.p. e pile a portale



4A, 4B, 4C e 4D. Lo stato di ammaloramento del cavalferrovia ferroviario

Questa capacità di problem solving è per noi molto importante, perché ci aiuta a dare risposta a problematiche poste con molta frequenza. Aggiungo, infine, che l'esperienza del Gruppo Fibre Net nell'individuazione e indicazione di tecniche di intervento con materiali e sistemi diversi si coniuga sempre felicemente con una attenta valutazione dei costi e delle incidenze degli interventi proposti".

IL TIPO DI INTERVENTI E I VANTAGGI

L'uso di materiali compositi è indicato in tutti quei casi in cui l'analisi strutturale evidenzia una carenza nell'armatura, in particolare laddove l'incremento di capacità della componente di trazione generi un miglioramento della struttura nel suo complesso. "Dove ci siano problemi di trazione, i materiali compositi esprimono il loro massimo vantaggio e valore. Questo - spiega Gianluca Ussia, Ingegnere Senior che da anni collabora con Fibre Net - vale non solo in scenari in cui troviamo armature ammalorate e occorre, dunque, ripristinare le condizioni di sicurezza dell'opera, ma si applica anche ai casi in cui serva adeguare la struttura ai carichi previsti da nuove Normative". Come abbiamo già accennato, i vantaggi di usare materiali compositi in fibra di carbonio sono molteplici. In primis c'è la riduzione delle tempistiche degli interventi, sicuramente più rapidi rispetto a soluzioni di ripristino tradizionali. Dati gli spessori ridotti dei tessuti in carbonio, che in un'unione con le resine epossidiche di incollaggio raggiungono soltanto pochi millimetri, si ha poi un maggior rispetto delle geometrie originali dell'opera. Conferma Marco Caprara: "Rispetto a maglie metalliche tradizionali o ingrossamenti in calcestruzzo, gli strati di carbonio applicati sono sottilissimi. Si ottengono così interventi poco invasivi sulla struttura, che consentono di evitare i carotaggi o i fori necessari negli interventi tradizionali.

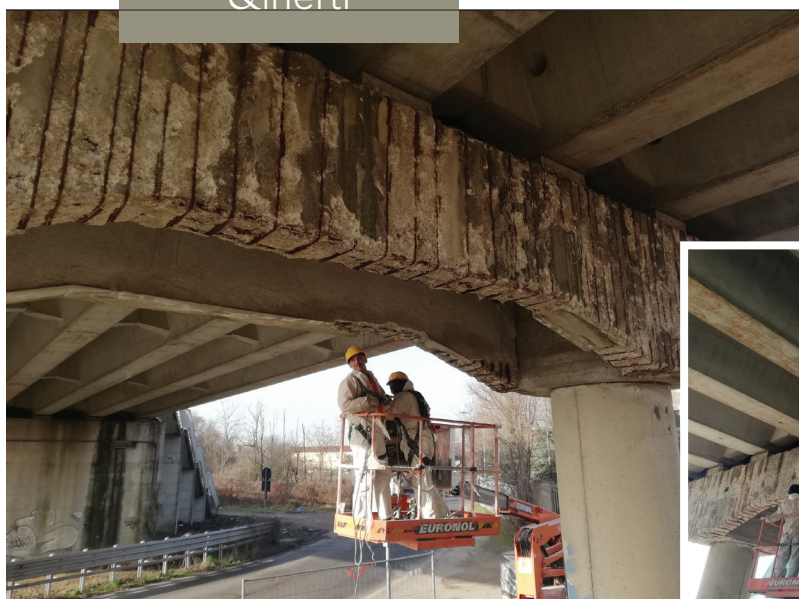
Tutto ciò porta vantaggi anche economici, perché contiene i costi per gli approntamenti di sicurezza, ponteggi e piattaforme".

LA PREPARAZIONE DEL SUPPORTO

Le fasi preliminari dell'intervento di rinforzo, quelle relative alla preparazione del manufatto, sono tra gli aspetti fondamentali per il buon esito dell'intervento. Le superfici, infatti, devono essere perfettamente preparate ad accogliere il rivestimento di rinforzo e le resine per l'incollaggio. Se non c'è la giusta preparazione del supporto, il risultato non potrà essere in linea con le aspettative del Progettista. La preparazione quindi varia a seconda se si lavora su calcestruzzo o su laterizio.

In quest'ultimo, caso occorre dapprima rimuovere l'eventuale intonaco e poi fare un lavaggio ad alta pressione. In seguito, nelle zone dove il Progettista ha previsto l'intervento di rinforzo con il carbonio, si realizza una pista con una malta tecnica. Successivamente si procede con l'applicazione della fibra.

"Per quanto riguarda invece gli interventi sul calcestruzzo - spiega Marco Caprara - la prima verifica consiste in una battitura superficiale per verificare se ci sono distacchi non visibili esternamente. Se invece il progetto prevede un'opera di idro-demolizione, si passa subito a questo intervento per gli spessori richiesti dal progetto. Quando vengono utilizzate le fibre, si fa comunque un lavaggio ad alta pressione per rimuovere materiali poco coesi e polvere. Dopodiché, si verificano le zone in cui ci sono distacchi corticali e, se c'è del ferro a vista, prima lo si spazzola per togliere l'eventuale ruggine e poi si procede alla sua passivazione. Si applica quindi una malta tecnica di classe R4 per riprofilare le geometrie iniziali del manufatto. Si levigano infine le superfici, sia quelle trattate sia quelle non ammalorate, per renderle il più possibile lisce e planari, per ospitare al meglio il rivestimento in tessuto di carbonio".



5A e 5B. La lavorazione relative alla preparazione del supporto per il degrado del pulvino



L'APPLICAZIONE E LE EVENTUALI PROBLEMATICHE

L'intervento di posa della fibra di carbonio prevede una serie di passaggi.

Il primo è costituito dall'applicazione di un primer, che favorisce l'adesione del rinforzo alla struttura. Penetrando per qualche decimo di millimetro la parte corticale, consolida la superficie trattata.

Ogni passaggio con il primer deve essere effettuato entro 60 minuti dall'applicazione delle fibre, per ottenere una buona adesione. Mediante rullo viene poi applicato sul manufatto un

primo strato di resina epossidica bicomponente e quindi il tessuto in fibra. Si effettua quindi un secondo passaggio di resina, per impregnare a fondo il materiale composito e, se richiesto dal progetto, si ripete il tutto per più strati di resina e carbonio. Come trattamento finale, a resina ancora fresca, viene solitamente effettuato uno spargimento quarzifero, per favorire l'adesione di intonaco o vernice in eventuali fasi seguenti di ripristino della struttura.

Sul fronte di eventuali problematiche, ammonisce Gianluca Ussia, "il controllo contemporaneo di temperatura e umidità sono aspetti fondamentali per una perfetta posa in opera del rinforzo". Il freddo infatti può ostacolare l'attivazione del processo di polimerizzazione delle resine epossidiche mentre il caldo lo rende molto più rapido, tanto che è sconsigliabile operare sotto i 5 e sopra i 35 °C. L'attenzione va posta anche al

luogo di stoccaggio dei prodotti, che deve consentire il mantenimento di un range di temperature tali da non alterare le caratteristiche chimiche e fisiche dei prodotti.

C'è di più. Prosegue Marco Caprara: "Va posta attenzione, in particolare quando si lavora su ponti e viadotti, alla presenza di vibrazioni sulle campate generate dal traffico veicolare, perché possono avere conseguenze indesiderate sull'adesione del carbonio. Se l'adesione iniziale può essere perfetta, durante la fase

di polimerizzazione delle resine, le vibrazioni possono staccare il tessuto di carbonio dalla superficie. Per quanto riguarda invece l'umidità, quando si va ad applicare il carbonio su piste in malta, applicate sul laterizio, è importante verificare preventivamente che la pista sia perfettamente asciutta. Altrimenti, in poco tempo, l'umidità può far staccare la fibra dal supporto".



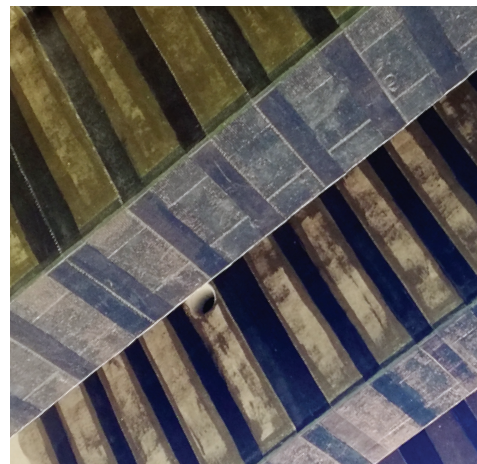
6A, 6B e 6C. Il ripristino del pulvino e il degrado della spalla e del muro di risvolto

LA DURATA NEL TEMPO

Le principali garanzie di durata nel tempo dell'intervento di rinforzo sono legate all'utilizzo di materiali con un alto standard qualitativo e alla loro corretta posa in opera da parte dell'operatore specializzato. Per il resto, una delle caratteristiche che contraddistingue i materiali compositi è proprio quella di avere un'elevata durabilità, anche in ambienti aggressivi.



7. Vista d'insieme dell'impalcato e delle pile



9. Rinforzi in CFRP sulle travi



8A e 8B. Il rinforzo di estremità dei cassoncini in c.a.p.



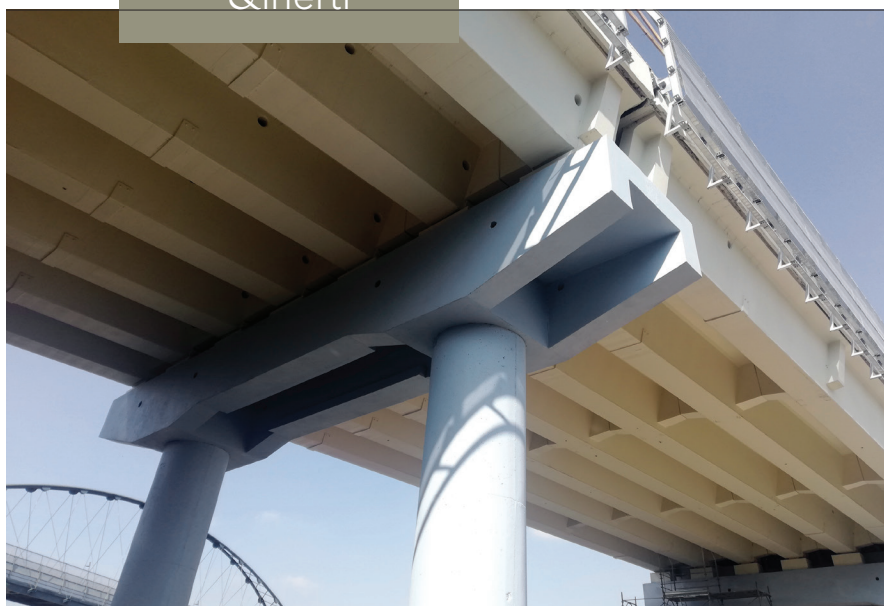
"In particolare quelli a base di carbonio e resina epossidica, impiegati per rinforzi di elementi strutturali e di componenti di infrastrutture, sono i materiali compositi che, fra tutti, presentano garanzie di durata maggiore - afferma Gianluca Ussia. Il rinforzo esterno con materiali compositi di strutture in calcestruzzo armato e calcestruzzo armato compresso ha inoltre un effetto positivo nel limitare o interrompere i fenomeni di propagazione degli agenti contaminanti, ad esempio i cloruri, e la carbonatazione che possono generare nel tempo fenomeni di degrado del calcestruzzo". In generale, l'applicazione di materiali compositi di rinforzo risulta efficace per aumentare la vita utile dell'opera ed eventualmente modificare la frequenza e la calendarizzazione degli interventi di manutenzione da parte del Gestore.



10. L'armatura del cordolo e la soletta laterale

UN ESEMPIO PRATICO: IL CAVALCAFERROVIA BUONARROTI

Il viadotto, sito a Rho (MI) e risalente all'inizio 1990, è composto da dieci campate di cui due - la D e la H - di luce netta pari a 29,70 m e le otto rimanenti di luce netta pari a 21,70 m. L'impalcato invece è costituito da travi prefabbricate a cassoncino di altezza pari a 145 cm per le campate più lunghe e 130 cm per le campate più corte e da una soletta collaborante completamente gettata in opera di spessore 28 cm. Sono presenti sette travi per ogni campata da 21,70 m e otto travi per ogni campata da 29,70 m. La larghezza dell'impalcato è di 12,50 m, di cui 9,30 di carreggiata (composta da due corsie per senso di marcia) e i restanti di marciapiede.



11. Un particolare del pulvino dopo l'intervento di ripristino e di rinforzo

I traversi d'impalcato hanno sezione rettangolare ad altezza variabile ($h_{\min} = 90$ cm) e base pari a 35 cm; sono posti ad interasse di circa 7 m per la campata corte e di circa 7,5 m per quelle lunghe. I traversi di testata invece hanno sezione a U rovescia ad altezza variabile ($h_{\min} = 90$ cm), base superiore 2,20 m e base delle ali pari a 50 cm; la loro lunghezza totale è pari a circa 12,30 m, di cui 1,95 m di luce netta di sbalzo per ogni estremità.

I traversi di pila poggiano su due pile a sezione circolare di diametro 1,20 m fondate su plinti rettangolari superficiali. Solo per le pile P3 e P4, ovvero quelle sulle quali poggia la campata D, sono presenti dei pali.

In particolare, la campata D passa sopra una linea ferroviaria composta da quattro rami di competenza RFI. Le due spalle infine sono composte da un muro paraghiaia di spessore 1,30 m e da due muri di risvolto; entrambe sono fondate su plinti superficiali.

Il cavalcavia Buonarroti è stato oggetto di un recente intervento di ricondizionamento strutturale da parte di Cams e F.Ili B.Systems Srl, che hanno operato con le soluzioni di Fibre Net. In particolare, per il ripristino di banchi, pile e pulvini sono state utilizzate malte tecniche mentre per i rinforzi di travi a taglio e flessione è stato utilizzato carbonio alto modulo del sistema Betontex.

Il progetto esecutivo ha previsto il rinforzo delle travi prefabbricate d'impalcato, dei traversi di pila e della soletta con materiale composito a matrice polimerica e fibre di carbonio CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer).

In particolare, per le travi d'impalcato ha previsto un rinforzo a flessione e taglio mentre per i traversi di pila un rinforzo all'intradosso a sola flessione. Per la soletta era previsto un rinforzo con nastri sull'estradosso sulle parti sovrastanti i traversi di estremità delle travate.

Per tutti gli altri elementi strutturali era previsto il ripristino del calcestruzzo degradato (localizzato nei pulvini delle pile, parti delle pile, spalle, estremità delle travi, intradosso e pareti esterne delle travi e dei relativi traversi e della soletta).

"In Fibre Net cerchiamo sempre di creare sinergia fra le nostre competenze tecnologiche e quelle applicative dei nostri partner, per raggiungere l'obiettivo fissato dal Progettista del rinforzo. La nostra assistenza - conclude Gianluca Ussia - è principalmente di natura tecnologica e può riguardare lo studio del supporto, la scelta dei cicli di rinforzo opportuni, le fasi costruttive, lo studio delle interferenze con eventuali altre lavorazioni, anche l'accettazione dei materiali. In alcuni casi ci spingiamo oltre, offrendo un supporto tecnico, ad esempio con elaborati grafici e relazioni da sottoporre a Progettisti o alla Direzione Lavori".



12. Un dettaglio delle fasi lavorative finali

DATI TECNICI

Stazione Appaltante: Area 3 del Comune di Rho

Contraente Generale: TMG Scavi Srl

Project Manager: Arch. Ing. Mario V. Serini

Progetto preliminare, definitivo ed esecutivo:

Gruppo di progettazione CSA Studio

RUP: Arch. Angelo Lombardi

Direzione dei Lavori: Ing. Marco Zanetti per M2B Srl

Direzione di Cantiere: Geom. Gianpiero Sertori di TMG Scavi Srl

Subappaltatori: CAMS Servizi Edili Srl

Importo dei lavori: 3.057.846,86 Euro (ammontare complessivo dei lavori)

Durata dei lavori: 231 giorni