



RINFORZO STRUTTURALE MEDIANTE APPLICAZIONE DI MATERIALI COMPOSITI DI UN PONTE STRADALE SULLA SP N. 158 “MOLINO SIGNORA – MONTEACUTO - S. ALBANO” PV

AUTORI: *Alberto Grandi – Amministratore – DACSA Engineering srl Milano – info@dacsengineering.it*
Maurizio Rolandi – Progettista – STUDIO ROLANDI RAVAZZOLI - ravazzoli_rolandi@libero.it

Con il decreto ministeriale n°225/2021 (pubblicato nella GU Serie Generale n.169 del 16-07-2021) il Governo ha stabilito di utilizzare parte dei fondi provenienti dal PNRR nella messa in sicurezza di ponti e di viadotti lungo le strade provinciali. Per tale motivo si stanno realizzando in questi ultimi anni innumerevoli interventi di rinforzo strutturale anche di piccoli manufatti stradali.

Nel presente articolo si descrive un semplice intervento su un manufatto sulla Strada Provinciale di Pavia n°158 nel tratto tra MOLINO SIGNORA – MONTEACUTO - S. ALBANO” piccolo ma strategico ponte per la vallata dove da anni vi era la necessità di un recupero sia corticale quanto strutturale.

In particolare vi era la necessità di un incremento di resistenza alla flessione ed al taglio delle travi in calcestruzzo armato gettato in opera. L'applicazione di materiale composito fibroso a matrice polimerica (*Carbon Fiber Reinforced Polymer*) ormai molto diffuso in Italia, è stato fondamentale per tale rinforzo in quanto ha permesso un incremento di resistenza senza modifiche sostanziali sulle rigidità, sulle masse e sulle dimensioni dell'opera.

Inoltre, grazie alla leggerezza e la praticità di posa dei materiali compositi, la chiusura del manufatto è stata circoscritta ad un periodo limitato. In questo articolo si descrive la problematica riscontrata, l'approccio alla progettazione e l'intervento realizzato.

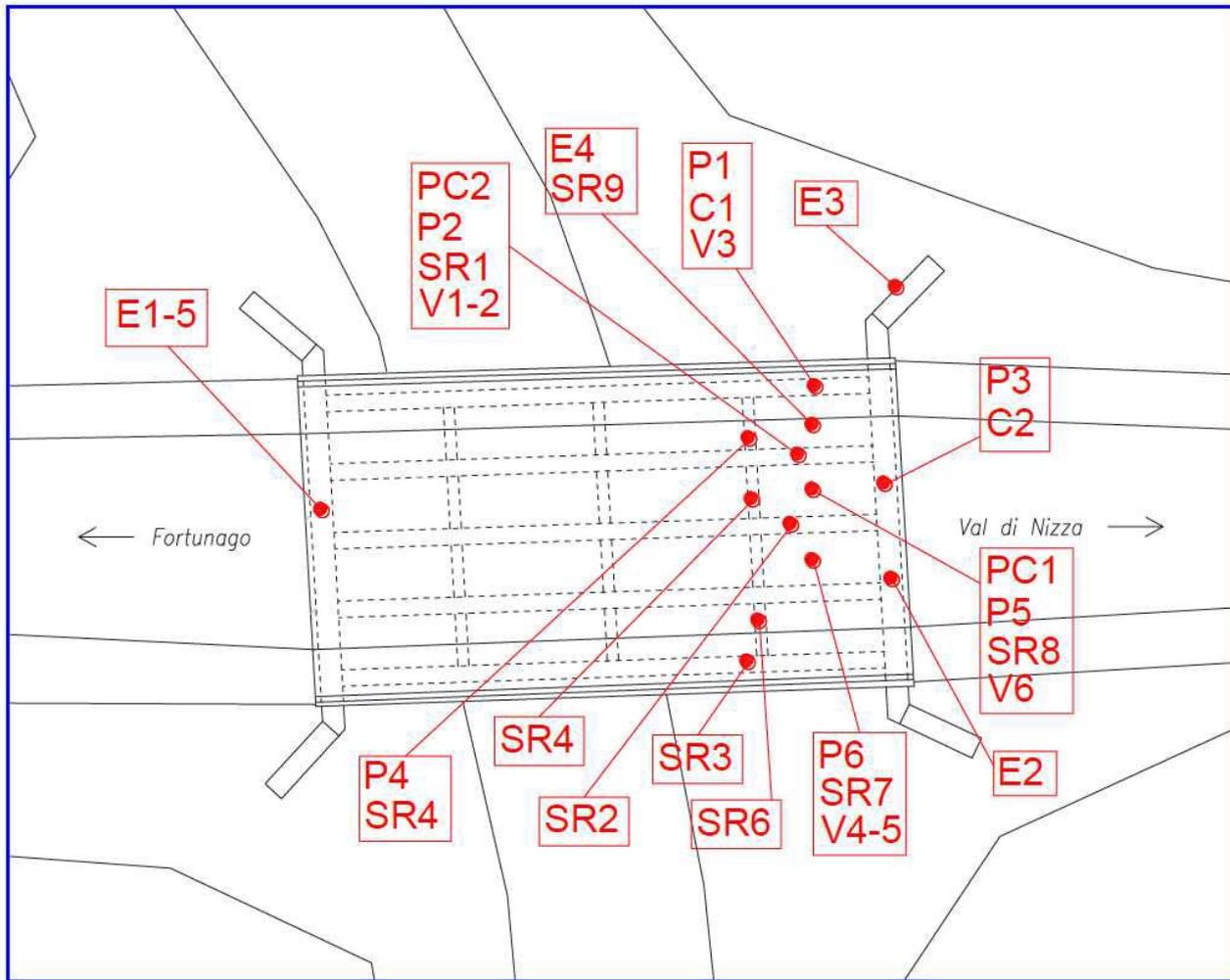
Descrizione del manufatto e diagnosi sullo stato di fatto

Il ponte oggetto del presente articolo è un'opera in calcestruzzo armato a servizio della Strada Provinciale n. 158 “Molino Signora - Monteacuto – Sant'Alberto” situato al Km 1+800 in Località Cappelletta di Fortunago a confine con il comune di Val di Nizza. Il ponte sul torrente Ardivestra vanta una luce di circa ml. 12,00 ai fili spalle ed una larghezza di carreggiata massima (comprensiva degli sbordi laterali) di ml. 5,00.

L'opera venne realizzata a cavallo degli anni '60-'70, ed è complessivamente costituita da una campata unica di luce pari a ml. 12,00 che poggia su due spalle terminali. Tutte le opere di sostegno sono realizzate in calcestruzzo armato ordinario. Lo schema statico del ponte può essere descritto come travi isostatiche poggianti su spalle.

Al fine di studiare il progetto di rinforzo calzante con il degrado del manufatto, sono state eseguite inizialmente prove semi distruttive e non distruttive sul manufatto. Nella tabella sotto riportata vi è un riassunto delle indagini eseguite in fase preliminare e le loro localizzazioni.

- P – Indagine pacometrica
- C – Carotaggi e carbonatazione
- V – Indagine Vickers
- E – Indagine tramite endoscopio
- SR – Indagine SonReb
- PC – Potenziale di corrosione



Localizzazione in pianta delle indagini

Fig.1- localizzazione in pianta di tutti gli interventi diagnostici effettuati

La fase diagnostica ha evidenziato un marcato dissesto strutturale delle travi del ponte, dovuta alla forte corrosione delle armature longitudinali principali e di molte staffe situate vicino all'appoggio. La profonda carbonatazione è stata la principale causa del degrado dei ferri che -con la loro ossidazione - hanno causato copiosi distacchi del calcestruzzo.

Alla luce di quanto emerso durante la fase della diagnostica, si è reso necessario - oltre ad una ricostruzione del calcestruzzo - anche una integrazione delle armature con lamine in fibra di carbonio. Tutte le prove distruttive e semi distruttive hanno indicato - con una certa precisione - una classe del calcestruzzo pari a C20/25. Visti i risultati della campagna di indagini si sono ritenuti soddisfatti i requisiti delle NTC2018 (par. C8.5.4) pertanto il progetto del rinforzo è stato effettuato utilizzando un Livello di Conoscenza 3 con un fattore di confidenza pari a 1.

Il modello strutturale utilizzato nella relazione progettuale è realizzato con aste FEM che riproducono le nervature esistenti. Considerando le armature previste nel progetto originale, in condizioni integre, il ponte risulta verificato con i seguenti carichi di progetto, congruenti con l'uso del manufatto:

- carichi permanenti non strutturali: $2000 \text{ kg/mc} \times 0.27 \text{ m} = 540 \text{ kg/mq}$
- carichi variabili: 1440 kg/mq

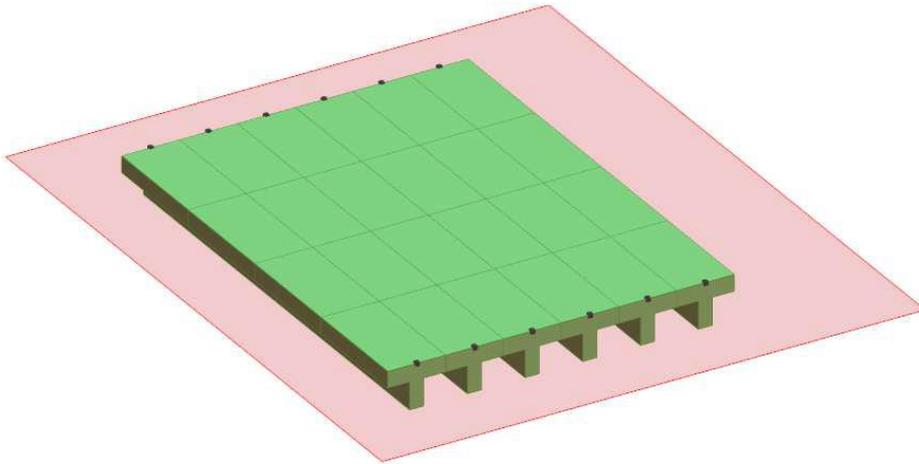


Fig. 2 modellazione del manufatto nella parte estradossale

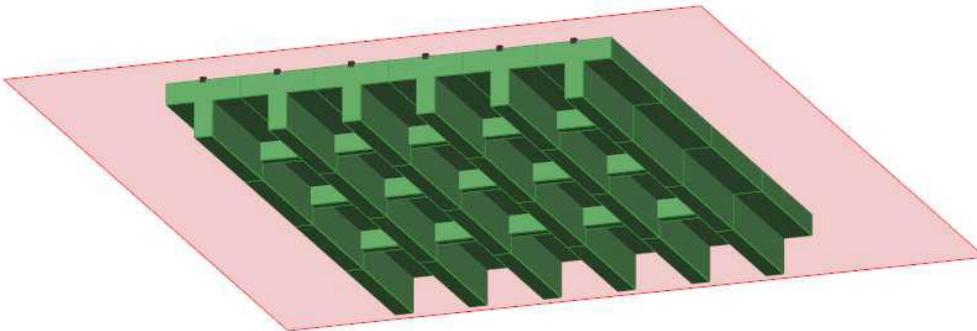


Fig. 3 modellazione del manufatto nella parte intradossale

In fase progettuale le armature ossidate sono state integrate con la posa di lamine in fibra di carbonio aventi lo stesso modulo elastico dell'acciaio ma con resistenza a trazione decisamente superiore ovvero pari a 1800 Mpa.

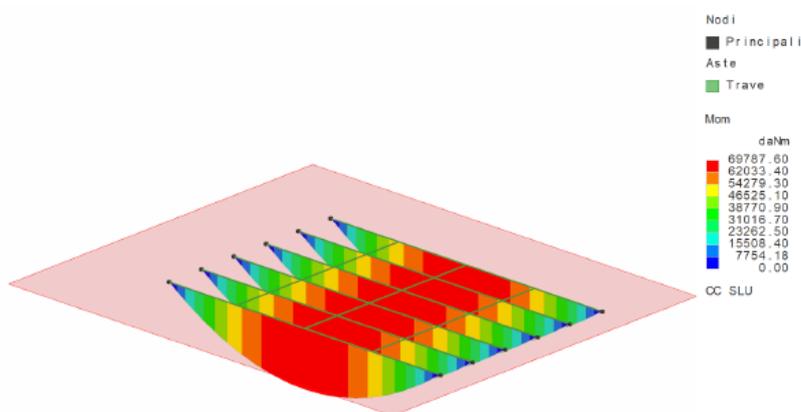


Diagramma momento flettente SLU

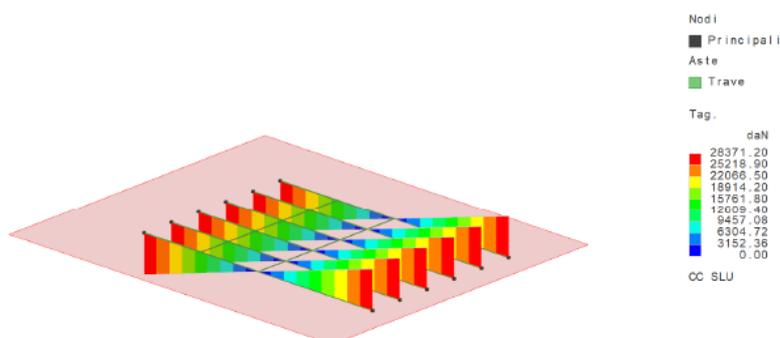


Diagramma taglio SLU

Figg. 4 e 5 Diagramma dei Momento Flettente e del taglio – si nota come in alcune sezioni non fossero verificati

Lo studio dell'intervento di recupero

Il consolidamento delle n°5 travi in c.a., aventi ciascuna n°5 barre longitudinali da 28 mm fortemente ammalorate, è stato progettato in modo tale da integrare le armature corrose con l'applicazione di armature aggiunte in fibra di carbonio.

Il lavoro di rinforzo strutturale è stato eseguito lo scorso autunno e ha riguardato, nello specifico, l'integrazione a flessione di ciascuna delle n°5 barre longitudinali da 28 mm ammalorate mediante la posa di [n°2 lamine in fibra di carbonio della linea Betontex di Fibre Net SpA, classe C200/1800](#), con geometrie pari a 100x1,4 mm.

Per quanto riguarda il taglio, si sono utilizzati [tessuti in fibra di carbonio della linea Betontex](#), impregnati a U in modalità discontinua, classe 210C, con una grammatura pari a 300 gr/mq, secondo uno schema chiaramente identificabile nei disegni sotto riportati.



Al fine di migliorare le condizioni di vincolo delle estremità libere dei compositi (non avvolte completamente attorno agli angoli delle sezioni), così come da indicazioni delle RACCOMANDAZIONI TECNICHE del DT200/2002 (vedi par. 4.3.2 Configurazioni per il rinforzo a taglio), si sono utilizzati connettori (in totale 180 pezzi) in fibra di carbonio da 12 mm di diametro opportunamente ancorati in testata con resina epossidica come da disegni esecutivi in parte qui sotto riportati.

Nella posa dei tessuti al taglio è stato effettuato un preventivo arrotondamento degli spigoli degli elementi rinforzati, allo scopo di evitare pericolose concentrazioni di tensione ivi localizzate, che avrebbero potuto provocare una rottura prematura del composito. Il raggio di curvatura dell'arrotondamento è stato pari a 20 mm.

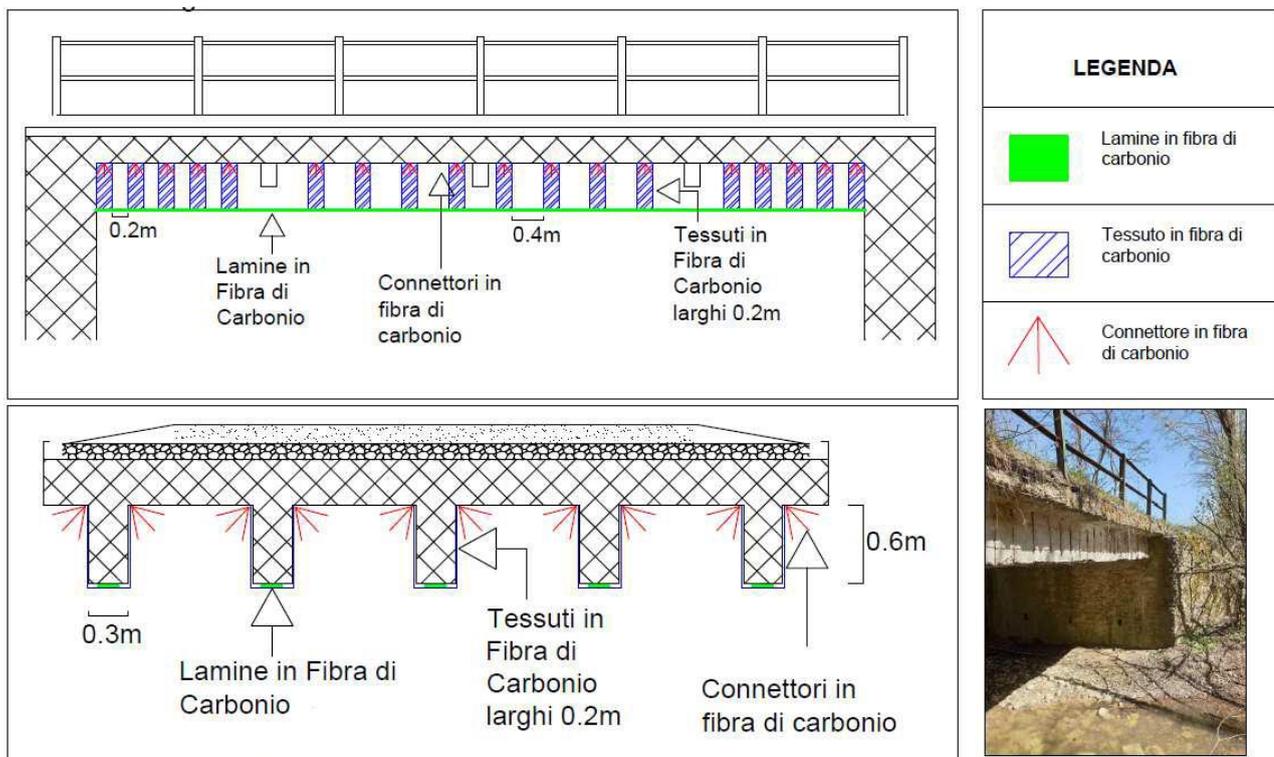


Fig. 6 Sezioni longitudinali e trasversali del manufatto, con evidenziato il posizionamento dei rinforzi

L'applicazione del rinforzo strutturale

I lavori sono stati eseguiti dalla DACSA Engineering srl di Milano – società specializzata da anni negli adeguamenti sismici e rinforzi strutturali e corticali – presentatasi in RETE DI IMPRESE con la società RIME SRL di Milano. L'intervento del solo rinforzo è iniziato nel mese di Settembre 2024 ed è durato circa 30 giorni lavorativi diurni e continuativi; successivamente sono stati effettuati i lavori sull'estradosso che sono durati circa un altro mese. In particolare, sulla parte stradale oltre a rimuovere l'esistente, è stato effettuato un ulteriore getto integrativo di calcestruzzo con connettori e rete elettrosaldata e, successivamente, la nuova pavimentazione in asfalto.



La chiusura del manufatto ha creato dei disagi per la cittadinanza in quanto il percorso è stato allungato di diversi km.

Tuttavia, grazie all'utilizzo dei materiali compositi in fibra di carbonio tali disagi sono stati contenuti in un periodo di tempo più limitato; il cambio del *guard rail* e l'asfaltatura sono, invece, durate più del previsto.

Una squadra composta da 3 operai specializzati e 1 preposto ha effettuato il lavoro di pulizia, ricostruzione e rinforzo in 4 settimane così suddivise:

1 settimana: cantierizzazione e idroscarifica del calcestruzzo;

2 settimana: ricostruzione con malte cementizie R4 secondo la UNI EN 1504;

3 settimana: posa delle lamine in fibra di carbonio;

4 settimana: posa di tessuti e fiocchi in fibra di carbonio.

Di seguito si riportano le varie fasi delle lavorazioni intradossali a partire dallo stato di fatto del manufatto.

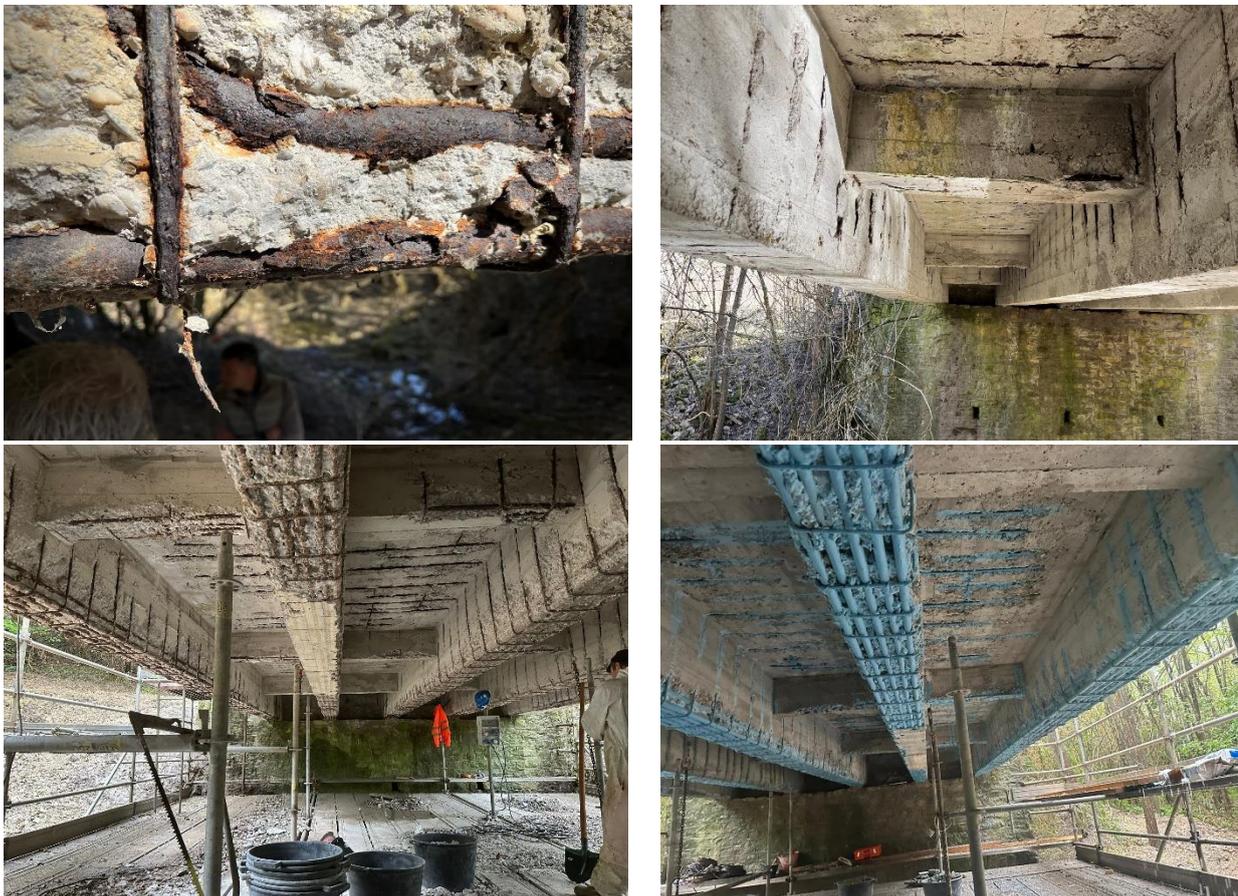


Fig. 7 Pulizia del sottofondo con spazzolatura dei ferri di armatura e loro inibizione con lo specifico prodotto



Fig. 8 Ricostruzione delle zone ammalorate mediante applicazione a mano di specifiche malte cementizie aventi classe R4 secondo la normativa UNI EN 1504



Fig. 9 Applicazione di sistemi FRP della Linea Betontex di Fibre Net



Highlights dell'intervento

Alla luce di quanto menzionato sintetizziamo i principali *highlight* di questo articolo:

- Il PNRR sta finanziando interventi su molti manufatti provinciali o comunali di minore importanza dove per tanti decenni non si è mai eseguita una vera e propria manutenzione.
- La diagnosi della struttura e la progettazione del suo recupero è comunque simile ad analoghi interventi di manufatti più importanti
- L'utilizzo dei materiali compositi è certamente strategico in quanto si integrano le armature degradate senza intervenire con getti integrativi del calcestruzzo o con pesanti elementi metallici.
- Anche l'utilizzo di cavi di post tensione non è di grande aiuto per queste strutture quasi sempre in calcestruzzo armato non precompresso.

SCHEMA DEL LAVORO

Intervento: RISTRUTTURAZIONE DEL PONTE SUL TORRENTE ARDIVESTRA

LUNGO SP 158 "MOLINO SIGNORA-MONTEACUTO-S. ALBANO" AL KM 1+800 NEI COMUNI DI FORTUNAGO E VAL DI NIZZA –

Committente: Provincia di Pavia

Località : MOLINO DELLA SIGNORA PV

R.U.P.: Geom. Pierluigi Cristiani

Progettista: Ing. Maurizio ROLANDI

Impresa Appaltatrice: DACSA Engineering SRL – RIME SRL



Fibre Net sviluppa e produce in Italia **sistemi certificati di rinforzo strutturale** che trovano utilizzo nell'ambito degli interventi di risanamento, ripristino e miglioramento del patrimonio infrastrutturale esistente; ogni giorno traduce le esigenze progettuali ed esecutive della committenza sviluppando soluzioni tecniche e prodotti, anche customizzati, **in grado di rispondere efficacemente alle differenti problematiche del cantiere**. Grazie ad una solida competenza progettuale ed esecutiva, l'azienda coniuga know-how tecnico e tecnologico ad un'ampia capacità produttiva di prodotti e di sistemi di rinforzo in FRP, unitamente a malte tecniche di ripristino e consolidamento.

La divisione Infrastrutture di **Fibre Net** non si occupa solo di sviluppo di prodotto, ma fornisce anche **servizi aggiuntivi utili a migliorare il processo applicativo** attraverso il supporto al personale tecnico e alle maestranze sia in fase di formazione che di assistenza in cantiere coadiuvando l'impresa nelle operazioni di preparazione e di posa in opera dei materiali. Il servizio **Fibre Net** prevede, inoltre un'accuratissima **programmazione logistica** che gioca un ruolo importante nel procedere dei lavori.

L'azienda mette a disposizione dei propri partners **laboratori, attrezzature e competenza** per l'esecuzione di prove, anche on-site, per la diagnosi delle problematiche, per la caratterizzazione meccanica e chimica di materiali e cicli di intervento. Inoltre, sviluppa attività di **ricerca e sperimentazione** in collaborazione con università, istituti di ricerca ed enti indipendenti. Da queste sinergie derivano attività di validazione e certificazione di prodotti e sistemi a supporto del progettista, DL e committenza in accordo con le normative nazionali ed europee.

Fibre Net concorre alla **sostenibilità ambientale** realizzando prodotti a basso impatto, sviluppati per ridurre il consumo energetico, compatibili e riciclabili, facili da trasportare e movimentare.