



# Aspetti tecnico-applicativi dell'intervento di miglioramento sismico con FRP su capannone industriale - parte 2

Alberto Grandi | Angelo Maurizio Novara

Nel presente articolo, verranno approfonditi gli aspetti esecutivi dell'intervento di miglioramento sismico con FRP su un capannone industriale prefabbricato del 2002. Dopo aver esaminato [nella prima parte la diagnosi della vulnerabilità sismica e la fase progettuale](#), ci concentreremo ora sulle tecniche e metodologie applicative impiegate durante l'esecuzione dei lavori di miglioramento di due classi sismiche eseguito su un capannone industriale edificato nel 2002. La struttura, sita sulle colline emiliane in prossimità di Porretta Terme (BO) è di proprietà della Società [CAFFITALY SYSTEM SPA](#), azienda leader nella produzione dei cialde per caffè. In un intervento simile, la scelta di adottare sistemi FRP, di semplice e veloce posa rappresenta una soluzione efficace che non interferisce con le attività produttive in corso. Considerata, quindi, l'oggettiva necessità di non interrompere il processo produttivo, si è optato per l'utilizzo di materiali compositi del sistema [Betontex di Fibre Net](#), che [dispone di una vasta gamma di tessuti e preformati disponibili in numerose geometrie e grammature coperti da CVI](#).



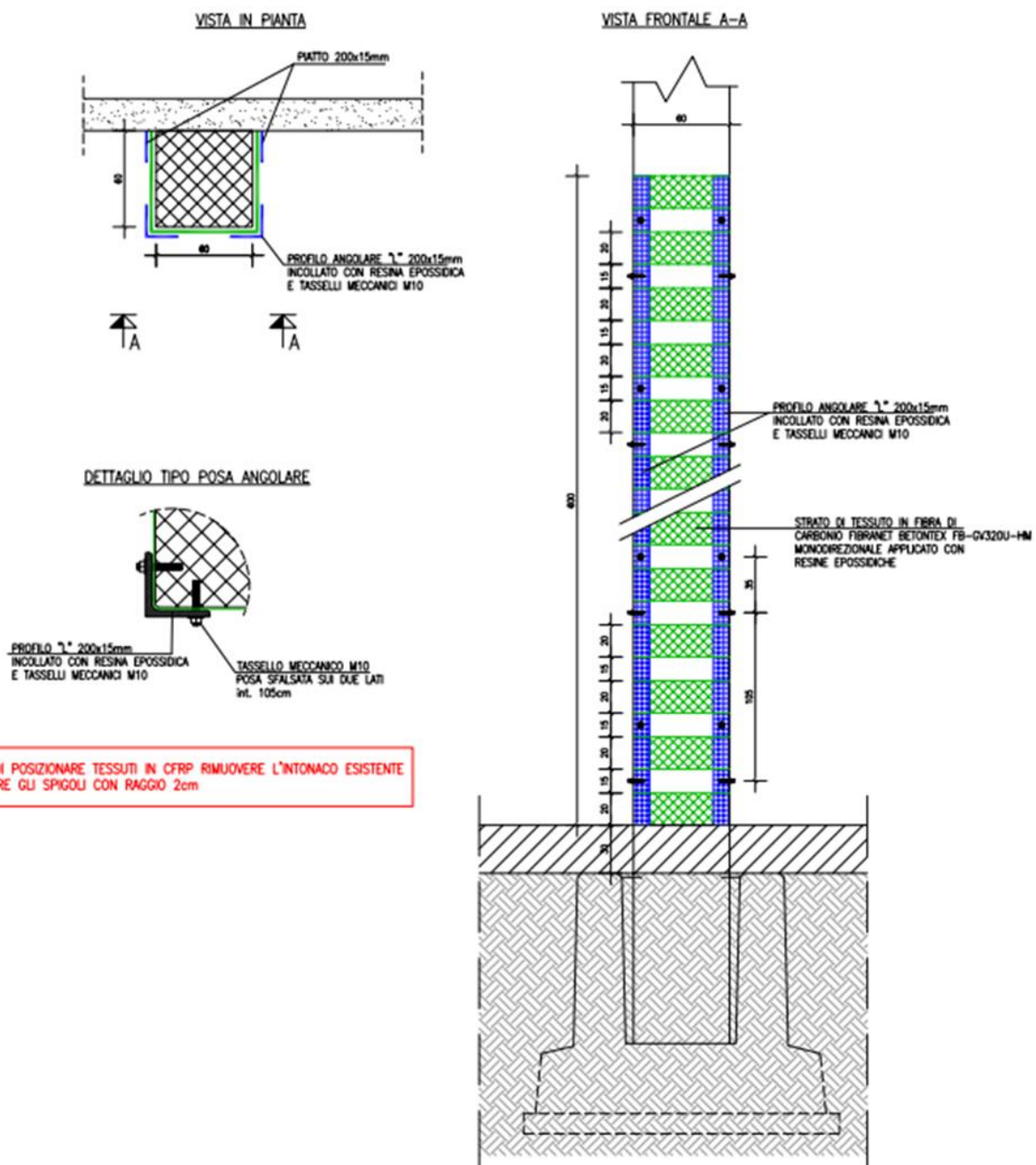
La struttura portante a telaio in c.a. presenta plinti di fondazione a bicchiere su cui poggiano pilastri in c.a. prefabbricati collegati tra di loro da travi precomprese sia perimetrali che interne. La copertura del capannone è composta da tegoli prefabbricati e precompressi di due tipologie di sezione differenti. La copertura è stata realizzata con pannelli in lastrine fissate all'estremità dei tegoli. Le pareti di chiusura del capannone sono realizzate con pannelli prefabbricati vincolati ai pilastri in c.a. con squadrette, tipo HALFEN, non efficaci agli spostamenti di ribaltamento indotti da possibili azioni sismiche. Tutti i 40 pilastri in c.a. hanno sezione 60x60 cm con altezze leggermente differenti tra di loro a seconda dell'allineamento considerato. L'armatura longitudinale in angolo è  $\Phi 20$  e staffe  $\Phi 6/25$ ; nella parte inferiore sono presenti 3 barre longitudinali per ciascun angolo che si riducono fino ad una sola per ciascun angolo in sommità.

## La Diversa Tipologia dei Rinforzi

Alla luce di quanto detto si sono identificati per i 40 pilastri del fabbricato 5 diverse tipologie di interventi di rinforzo che andremo qui di seguito a descrivere:

- Intervento G1: Questa tipologia di intervento è la più diffusa e consiste nel confinamento discreto del pilastro con un tessuto in CFRP ad alto modulo elastico e angolari metallici e piatti di acciaio al fine di contenere le compressioni.

### INTERVENTO G1





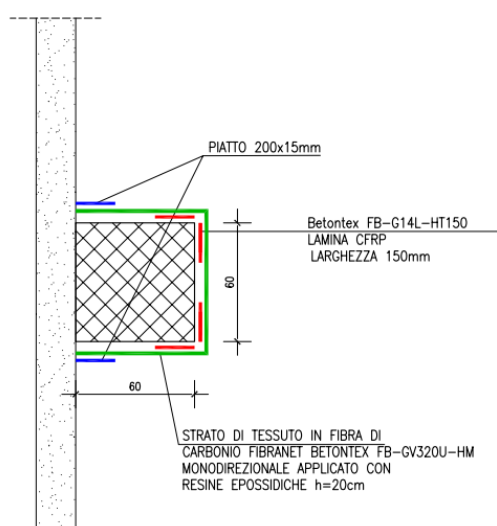
- Intervento G2: Questa tipologia di intervento riguarda i pilastri centrali con tutti i lati da rinforzare e consiste nel confinamento discreto del pilastro con un tessuto in CFRP ad alto modulo elastico e lamine in fibra di carbonio su tutti i lati per un'altezza di 5 metri.
- Intervento G3: Questa tipologia di intervento riguarda i pilastri posti ai vertici della struttura e consiste nel confinamento discreto del pilastro con un tessuto in CFRP ad alto modulo elastico e fiocchi da inserire nella struttura del pilastro. Completa l'intervento un getto di fondazione al fine di contenere le azioni del terreno.
- Intervento G4: Questa tipologia di intervento riguarda i pilastri laterali con deboli azioni taglianti e consiste nel confinamento discreto del pilastro con triplice strato di tessuto in CFRP ad alto modulo elastico di confinamento e lamine in fibra di carbonio su tutti i lati per un'altezza di 5 metri.



#### INTERVENTO G5

- Intervento G5: Questa tipologia di intervento riguarda i pilastri centrali con tutti i lati da rinforzare e consiste nel confinamento discreto del pilastro con triplice strato di tessuto in CFRP ad alto modulo elastico di confinamento e lamine in fibra di carbonio su tutti i lati per un'altezza di 5 metri.

VISTA IN PIANTA





## Esecuzione dell'Intervento

### Preparazione della Superficie

La prima fase dell'intervento ha riguardato la preparazione delle superfici dei pilastri in cemento armato destinati al rinforzo.



Questo ha comportato la rimozione di qualsiasi strato superficiale danneggiato o contaminato, garantendo così un'adesione ottimale dei materiali FRP. Le operazioni di pulizia sono state effettuate utilizzando tecniche di sabbatura leggera e idrosabbatura, seguite dall'applicazione di primer specifici per migliorare la coesione tra il substrato e i rinforzi in FRP.

### Applicazione dei Materiali FRP

Per incrementare la resistenza a pressoflessione e taglio dei pilastri, sono state applicate fasce di tessuto in fibra di carbonio impregnate con resina epossidica.

Le fasce sono state posizionate verticalmente e orizzontalmente attorno ai pilastri, seguendo le indicazioni progettuali e assicurando una copertura uniforme. L'impregnazione con resina epossidica ha permesso di consolidare il tessuto FRP, conferendogli le proprietà meccaniche necessarie per resistere alle sollecitazioni sismiche.

In generale, in un intervento di incremento di sicurezza di capannoni industriali, la scelta di adottare sistemi FRP, di semplice e veloce posa, rappresenta una soluzione efficace che non interferisce con le attività produttive in corso.



In particolare, **per la pressoflessione** sono state utilizzate [lamine in CFRP ad alta tenacità classe 150/2300C - FB-G14L-HT](#) aventi classe C150/2300; poiché occorre una elevata area di composto per ciascun lato del pilastro, la scelta è stata indirizzata verso un prodotto avente dimensioni 150x1,4 mm, in modo tale da ridurre il numero delle lamine da posare.

**Per le azioni di taglio** si sono utilizzati [tessuti unidirezionali in fibra di carbonio ad alto modulo 300 g/m<sup>2</sup> - FB-GV320U-HM in classe 350/2800C](#), impregnati in situ secondo la metodologia "a secco" con specifiche resine [Fibre Net](#) in avvolgimento orizzontale a passo 40 cm e larghezza 20 cm. Il problema dell'accoppiamento di due materiali aventi potenziale elettrico diverso, potrebbero generare corrosione galvanica localizzata, è stato risolto interponendo tra acciaio e carbonio con uno strato di dielettrico.

**Per le compressioni** sono stati progettati angolari metallici da 15 mm di spessore che – incollati con la specifica resina – consentono di integrare il rinforzo progettato con i compositi. Per gli angolari si è scelta la tecnica di elementi presso piegati per garantire spigoli con raggio di curvatura adeguati almeno di 20 mm.



Le fasi di posa (acciaio-carbonio) sono state eseguite in modo tale da eliminare possibili innesco di spinte a vuoto.

### **Risoluzione di Criticità Specifiche**

Una condizione di vulnerabilità dei pilastri riguarda la presenza della pavimentazione industriale strettamente aderente alla base dei pilastri. Tale condizione genera una sollecitazione di taglio importante in caso di evento sismico. Si è pertanto progettato un giunto di pochi centimetri dalla base del pilastro da realizzare con una fresatura e da riempire con materiali morbidi siliconici. I restanti elementi principali, quali travi e tegoli di copertura, essendo disposti in orizzontale e in semplice appoggio sulle teste dei pilastri o poggianti tra di loro, non presentano criticità in termini di resistenza, risultando pienamente verificati. Anche l'appoggio - che potrebbe presentare condizione di vulnerabilità a causa di eccessivi spostamenti differenziati - risulta verificato. Gli elementi secondari che presentano criticità sono rappresentati dai pannelli di tamponamento che sono vincolati ai pilastri ed alle travi principali con sistemi tipo "Halfen" che normalmente tengono conto solo delle azioni di tipo gravitazionale e quindi necessariamente devono essere rinforzati per evitare la caduta in caso di evento sismico. Anche in questo caso la soluzione è rappresentata dal posizionamento di specifiche squadre in acciaio da applicare tra l'elemento portante e il pannello portato.

### **Problematiche Riscontrate in Cantiere**

Come già spiegato precedentemente, **tutta la nostra lavorazione è avvenuta con la produzione industriale aperta 24 ore per 7 giorni settimanali**. Studiando però le varie fasi di produzione delle cialde del caffè - che avvenivano in zone diverse dello stabilimento - si è notato che la fase della tostatura impegnava solo due giorni lavorativi, quella della miscelazione solo tre alla settimana mentre la confezione delle cialde non era continua per tutta la settimana. In virtù di tale considerazione, di concerto con il Responsabile della produzione e della Qualità si sono studiati gli interventi in funzione dei vari tempi morti della produzione industriale. In altre parole, quando la zona della tostatura era ferma si interveniva in quei pilastri e via dicendo. Questo ha permesso di operare in sicurezza e professionalità ma per un tempo ben preciso che in alcuni casi era di due giorni. **[DACSA ENGINEERING](#)**, con il suo personale specializzato, quando si aveva l'area pronta, provvedeva subito a proteggere con teli in polietilene la zona, ad installare un piccolo ponteggio per un'altezza tale da permettere di operare fino a 5 metri d'altezza e ad applicare lamine e tessuti in fibra di carbonio previa una molatura con specifici aspiratori. La molatura è stata la fase più delicata dell'intervento in quanto anche un piccolo granello di polvere non poteva entrare nel ciclo produttivo del caffè. Tutte le mole pertanto, oltre al normale aspiratore, sono state dotate di uno specifico "carterino" laterale che ha certamente rallentato la fase di molatura ma ne ha incrementato la sicurezza. **La posa delle lamine e dei tessuti in fibra di carbonio è stata la lavorazione ovviamente più semplice**. Essendo però un miglioramento sismico, si è avuta la necessità di intervenire anche con piatti in acciaio dello spessore di 5 mm e della larghezza di 200 mm. La lunghezza di ogni piatto di acciaio era di 5 metri pertanto, nelle zone più "facili", si è posata con la sua specifica resina in un unico pezzo, mentre nelle zone più insidiose la lamina è stata tagliata e successivamente saldata in opera.



### **Tempistiche e Calcolo della Posa**

Come è stato già spiegato nell'articolo precedente, si sono rinforzati 40 pilastri con 5 tipologie diverse di rinforzo. La tipologia di intervento G2 è stata – per la sua particolare posizione – la più difficile e lunga in quanto i pilastri erano posizionati vicino ad una macchina che rimaneva ferma solamente dal venerdì notte al lunedì mattina. Pertanto, durante tale tempistica, occorreva montare il ponteggio, proteggere le macchine, molare il calcestruzzo, posare il tessuto e le lamine nonché verniciare con vernice elastomerica con primer d'aggrappo. La tipologia G3, al contrario, era abbastanza semplice ma, per motivi progettuali, occorreva rinforzare i plinti di fondazione con un nuovo getto di calcestruzzo avente classe 40 Mpa. **Facendo una sintesi del lavoro, sono stati posati circa 1000 metri lineari di [lamine in CFRP ad alta tenacità classe 150/2300C – FB-G14L-HT 100X1,4](#) – circa 750 mq di [tessuti unidirezionali in fibra di carbonio ad alto modulo 300 g/m<sup>2</sup> – FB-GV320U-HM in classe 350/2800C](#), entrambi del sistema BETONTEX di Fibre Net – e quasi 60 piatti in acciaio con geometria 5000x5x200 mm . DACSA ENGINEERING ha operato con 2 squadre di operai specializzati con un Preposto – quindi in totale 6 persone – per circa 2 mesi lavorando in continuità senza tempi morti, compresi sabato e domenica. **Alla fine del lavoro, oltre alle normali prove di accettazione del materiale eseguite dal POLITECNICO DI MILANO, si sono effettuate alcune prove di pull off in situ sul materiale posato. Tutte le prove hanno dato esito positivo.****

### **Conclusioni**

Non è certamente facile raccontare due mesi di lavoro in un articolo tecnico. Ogni giorno era un'avventura e si doveva accettare i cambiamenti imposti dalle esigenze produttive della Committenza che – e qui mi permetto di sottolinearlo - si è sempre dimostrata attenta, puntuale ed estremamente collaborativa. Senza la loro collaborazione un lavoro così delicato difficilmente si sarebbe potuto realizzare.

Eventuali approfondimenti tecnici possono essere richiesti direttamente agli Autori ovvero per la Progettazione all'Ing. Angelo NOVARA mentre per la parte esecutiva all'Ing. Alberto GRANDI.

Contatti:

Ing. Angelo Novara – Progettista – [info@gimaingegneria.it](mailto:info@gimaingegneria.it)

Ing. Alberto Grandi – Impresa – [info@dacsengineering.it](mailto:info@dacsengineering.it)