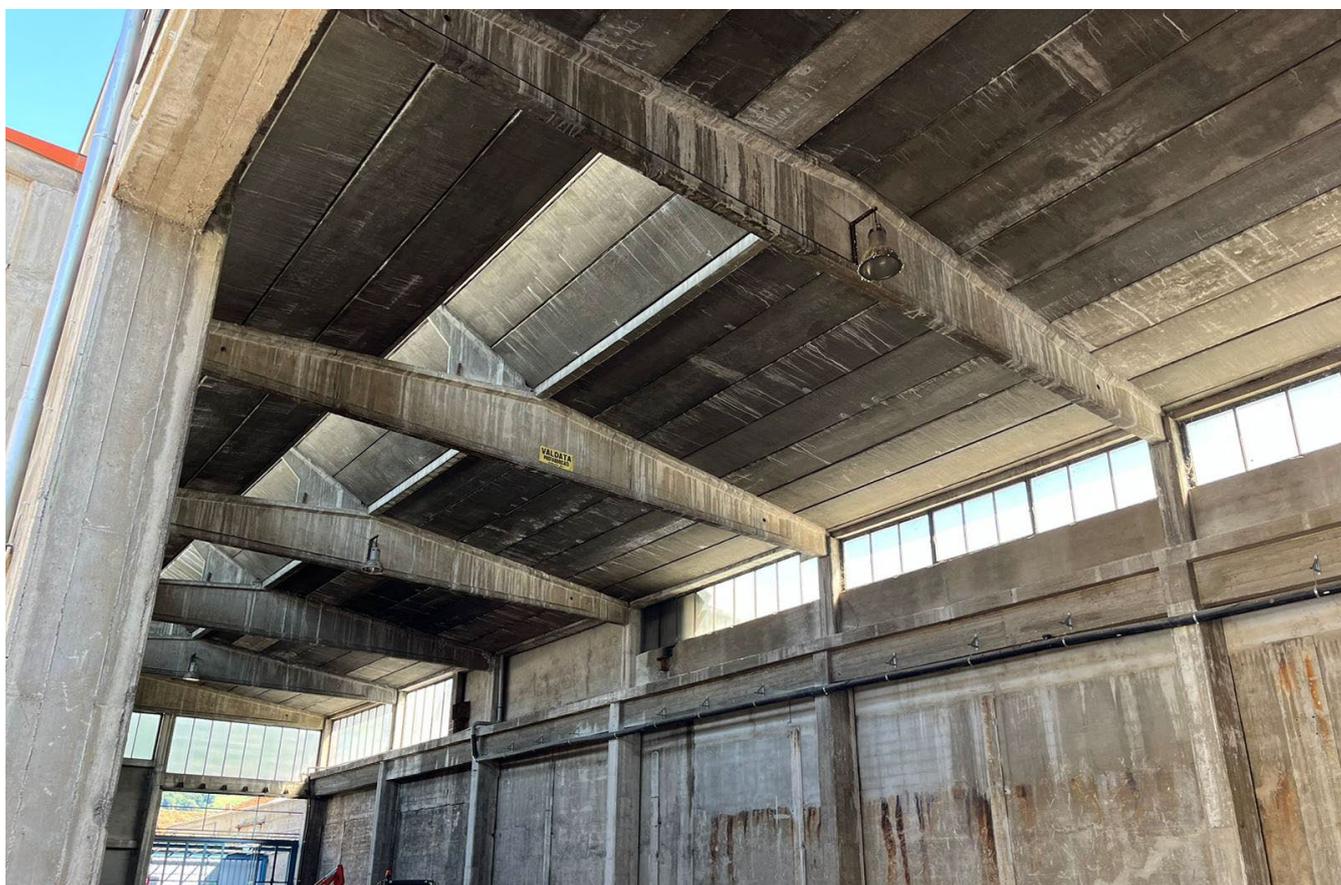




INTERVENTO DI RINFORZO STRUTTURALE CON FRP DI TRAVI IN C.A. PER IL POSIZIONAMENTO DI UN NUOVO CARRO PONTE

Ing. Alberto GRANDI – Amministratore Dacsca Engineering srl - Milano

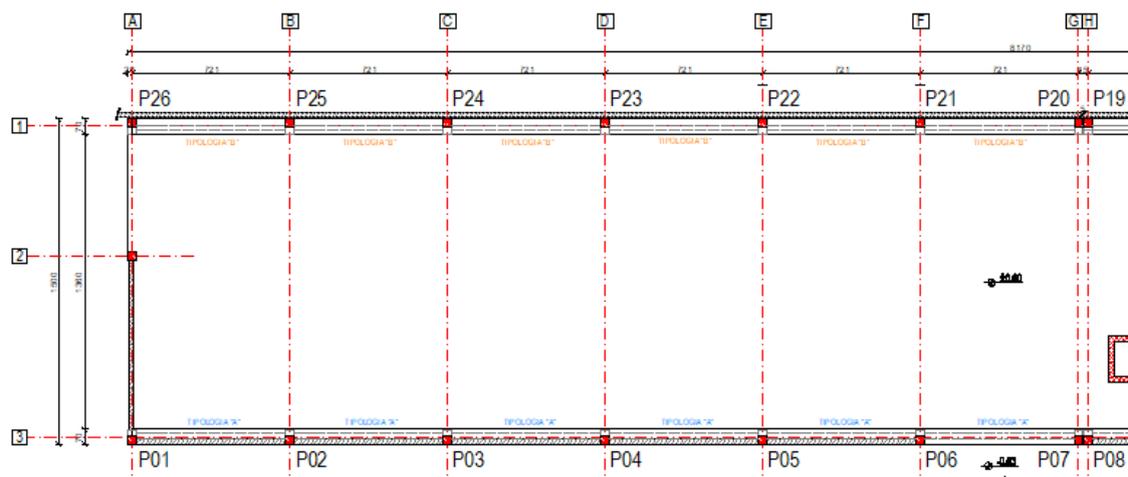
Una delle applicazioni più consuete per i materiali compositi è il rinforzo di elementi strutturali di impianti industriali. L'elevata prestazione della fibra in carbonio permette di risolvere problematiche strutturali tipiche degli alti carichi delle industrie. L'esempio che viene qui brevemente riportato, consiste nel rinforzo di n°11+11 travi in calcestruzzo armato che necessitavano di un rinforzo a causa del posizionamento di un nuovo e più pesante carro ponte. Questa tipologia di intervento è estremamente delicata da un punto di vista progettuale in quanto – oltre al classico carico statico – la normativa richiede l'analisi di varie combinazioni di carico in modo tale da considerare tutte le posizioni deboli. In taluni casi – non questo – oltre ad una mancanza di armatura a trazione compensata dai CFRP, vi può essere anche un problema alle compressioni. In questo caso l'utilizzo di piatti in acciaio, combinati con i compositi, costituisce una interessante soluzione tecnica.





STATO DI FATTO

La struttura portante del capannone è caratterizzata da due telai paralleli tra loro a sostegno della copertura; i pilastri in c.a. presentano interasse di 721 cm per tutte le campate ad eccezione di una che ha interasse 875 cm.

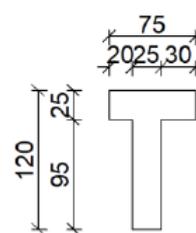
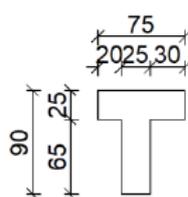
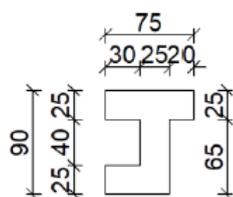


Le travi presentano tre differenti sezioni classificate come segue:

TIPOLOGIA "A"

TIPOLOGIA "B"

TIPOLOGIA "C"



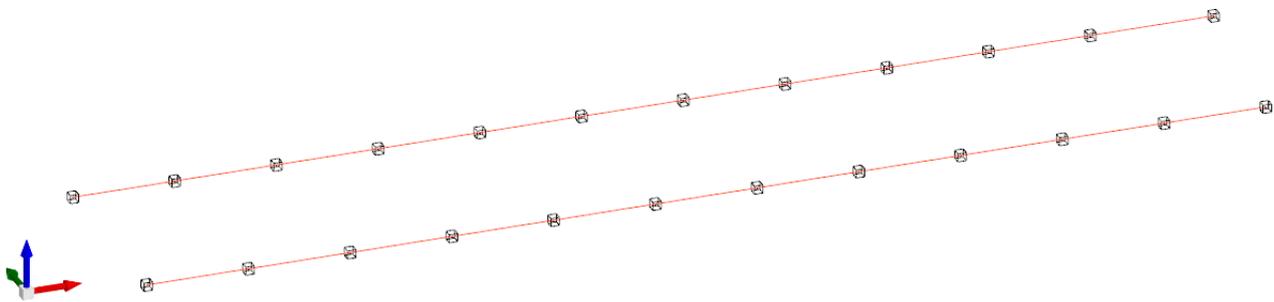
In particolare nel lato SUD vi sono 11 travi della TIPOLOGIA "A" di luce pari a 721 cm, mentre il lato NORD vi sono 10 travi della TIPOLOGIA "B" con luce sempre da 721 cm e 1 trave avente TIPOLOGIA "C" ma con luce pari a 875 cm. Non sono state fatte particolari indagini sulla struttura pertanto in fase di progettazione si è considerato un livello con conoscenza LC1. Da alcuni disegni costruttivi, in considerazione della natura delle travi erano prefabbricate, era nota la presenza e la tipologia delle armature (aderenza migliorata tipo Feb44 k diametro 12 mm).

Per quanto riguarda la qualità del calcestruzzo sono state effettuate alcune prove sclerometriche che hanno dato risultati congruenti in tutte le parti della struttura con valori intorno a C30/35. Al fine di rimanere in sicurezza, tutta la progettazione ha considerato una classe pari a C25/30.



APPROCCIO ALLA PROGETTAZIONE

Per definire le sollecitazioni da applicare per la verifica delle travi si è utilizzato il programma agli elementi finiti "Sismicad 12.22" prodotto e commercializzato da Concrete. Nello specifico si sono modellate le due campate inserendo dei vincoli a cerniera in corrispondenza di ciascun pilastro mentre i carichi concentrati dovuti al carro ponte, sono applicati in differenti posizioni della campata in modo tale da amplificare le sollecitazioni a taglio ed a flessione. Si riporta nell'immagine qui sotto la modellazione agli elementi finiti:



Per quanto riguarda i carichi si sono considerati, oltre al peso proprio, anche:

Carico permanente non strutturale [Gk2]

Dato dal peso proprio del carro ponte e del carrello; quello dovuto al carro ponte si ripartisce su 4 appoggi equamente ripartiti tra le due capriate; il carrello lo si applica solamente ai due appoggi che insistono su una sola capriata al fine di massimizzare il carico concentrato sulla singola campata/appoggio.

Carico concentrato per singolo appoggio:
$$G_{k2} = \frac{P_p}{4} + \frac{P_f + P_c}{2} = 3450 \text{ kg}$$

Carico variabile [Qk]

Il carico variabile lo si applica solamente a due appoggi che insistono su una sola capriata al fine di massimizzare il carico concentrato sulla singola campata/appoggio.

Carico concentrato per singolo appoggio:
$$Q_k = \frac{Q}{2} = 10000 \text{ kg}$$



Considerando tutte queste combinazioni di carico si sono ottenuti dei valori delle sollecitazioni qui sotto brevemente riportate:

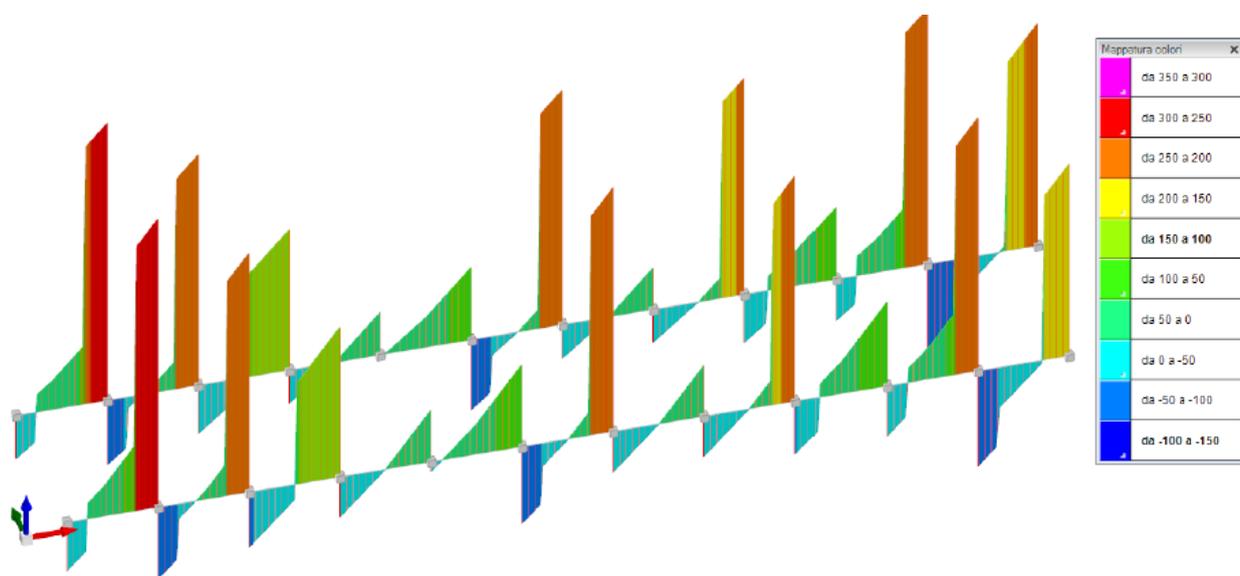


Figura 16: Involuppo taglio F3 - Valori massimi

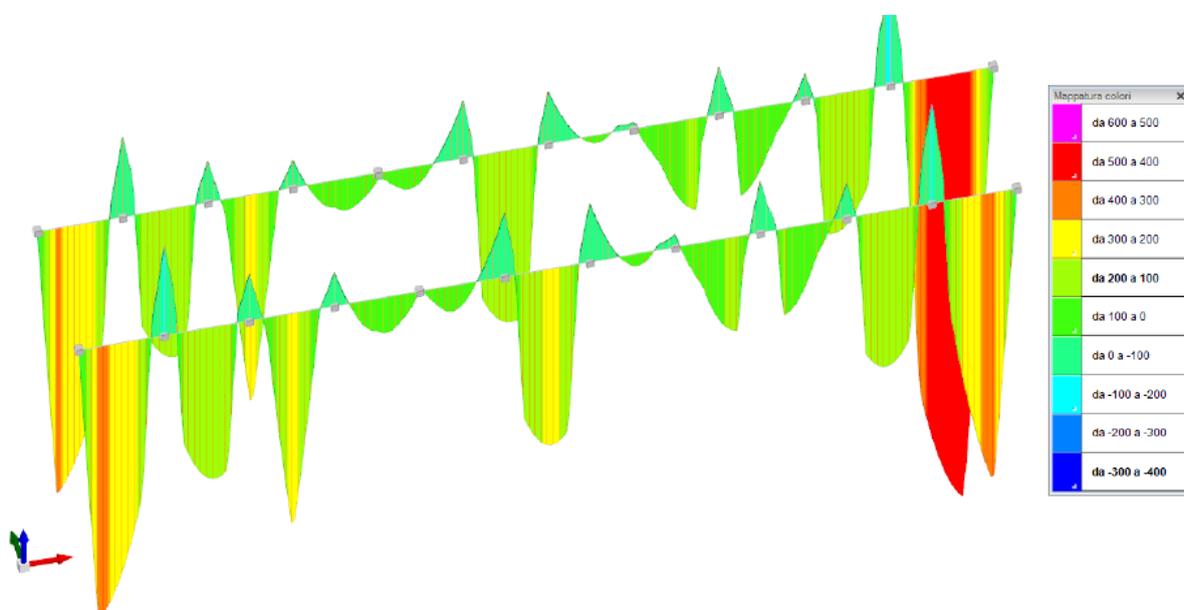


Figura 14: Involuppo momento M3 - Valori massimi

Con tali valori di sollecitazione le travi non risultavano verificate sia a flessione che a taglio. Si è, pertanto, intervenuti ad una integrazione delle armature mediante CFRP; nel caso delle flessioni si è optato per lamine ad alto modulo elastico (classe C 200/1800) mentre per il taglio per strati di tessuto in fibra di carbonio ad alta tenacità con classe C210 ma grammatura da 600 g. al m²



PROGETTAZIONE DEI CFRP

Per la progettazione del rinforzo a flessione si è preso in considerazione l'utilizzo dei preformati in quanto vi era la necessità di un'area di CFRP molto elevata che è stata compensata mediante l'applicazione della lamina pultrusa in fibra di carbonio ad alto modulo Betontex [FB-G14L-HM](#) di Fibre Net che, con i suoi 210 mm² di area rispondeva ampiamente alle nostre richieste.

Tale lamina utilizzabile nel rinforzo di strutture in calcestruzzo armato, legno e acciaio con la tecnica del placcaggio fibrorinforzato viene facilmente incollata al supporto con resine polimeriche termoindurenti facenti parte del sistema della Società Fornitrice. Tutto il sistema è coperto da regolare Certificato di Validità Tecnica rilasciato dal Ministero dei Lavori Pubblici.

Per il rinforzo al taglio si è considerato un rinforzo strutturale eseguito con la tecnica del placcaggio fibrorinforzato di Fibre Net realizzato "in situ" e costituito da tessuti in fibra di carbonio abbinati a resine di impregnazione di tipo epossidico. In particolare si è scelto il prodotto Betontex [FB-GV620U-HT-RC02](#), ovvero un tessuto ad alta tenacità da applicare a secco con grammatura da 600 g. al m² e classe C210 come da indicazioni della normativa. Anche in questo caso tutto il sistema costituito da primer, impregnante e tessuto è coperto da CVT. In basso la disposizione dei due prodotti a seconda delle due diverse tipologie di trave:

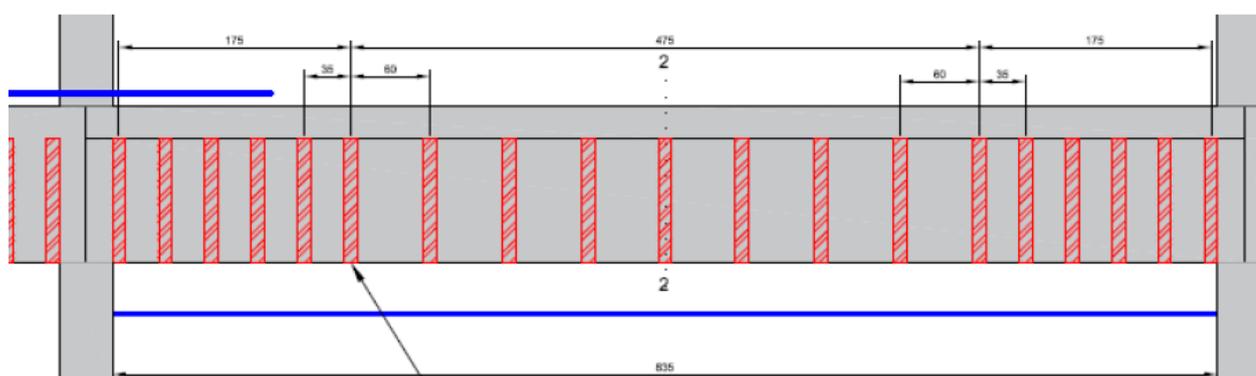
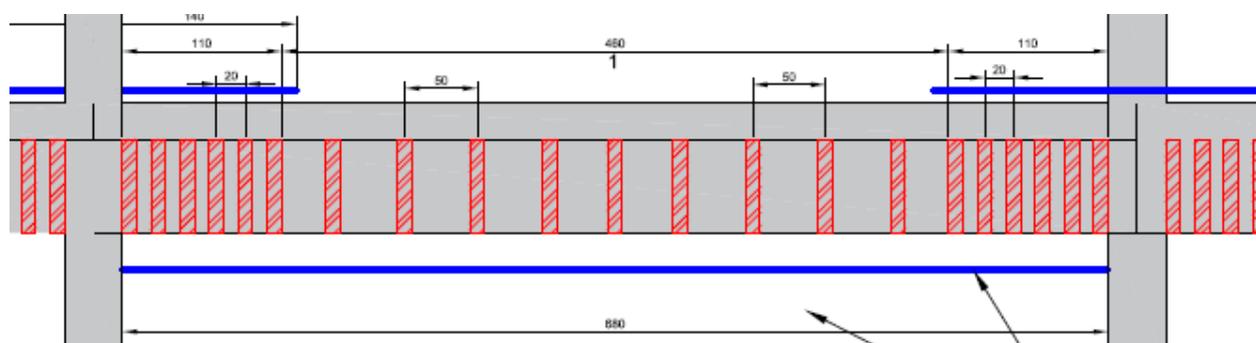


Figura 3 Campate travi tipologia C (sezione di riferimento n°2)



LE FASI APPLICATIVE



L'intervento ha previsto l'applicazione di tessuti – [Betontex](#) FB-GV620U-HT-RC02 - e lamine - Betontex FB-G14L-HM - per il rinforzo a taglio e flessione come da disegni progettuali riportati nel paragrafo precedente. La fase più delicata dell'intero lavoro è certamente la preparazione del sottofondo che deve avvenire sempre mediante profonda molatura con dischi diamantati al fine di eliminare il lattime di cemento e tutte le parti non più coerenti col calcestruzzo. Nel caso in oggetto, il calcestruzzo presentava buona consistenza e la classe era abbastanza alta C25/30. Visto che si sono applicati strati di tessuto ad U si sono smussati gli spigoli della trave con un raggio di curvatura pari a 20 mm come da indicazioni delle Raccomandazioni Tecniche del DT200/2004. In alcune parti il calcestruzzo è stato leggermente ricostruito con la resina epossidica a consistenza di stucco [FB-RC30/3](#). Subito dopo aver effettuato la preparazione del sottofondo al fine di migliorare l'adesione delle resine, si è applicato un primer d'aggrappo facente parte sempre dello stesso sistema. Grazie all'utilizzo del primer sia la resina delle lamine che quella dei tessuti si è ottenuta una profonda adesione. Nelle superfici che potrebbero dare il problema dello spolvero, l'uso del primer è fondamentale. Si consiglia di rispettare sempre le tempistiche di posa indicate nella scheda tecnica della Società Fornitrice del sistema

L'intervento nella sua complessità è durato 9 giorni lavorativi e consecutivi, utilizzando una squadra formata da 1 preposto e 3 operai specializzati.

È bastato l'utilizzo di un solo pantografo per le lavorazioni in quota che non superavano gli 8 metri di altezza.

CONCLUSIONI

L'intervento si presentava alquanto complesso e visto l'arrivo imminente del nuovo carroponete non vi era spazio per studiare ed applicare altre tecnologie. La progettazione ha seguito la normativa vigente ovvero il DM 17.01.2018 Norme Tecniche per le Costruzioni ed il famoso CNR-DT 200/2004 R1 2013 - Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione ed il controllo di interventi di consolidamento statico mediante l'utilizzo di compositi fibrorinforzati. La posa è avvenuta da società da anni specializzata nel settore. La Direzione Lavori ha eseguito prove in situ di verifica dell'applicazione effettuata con esito positivo.

I costi complessivi sono stati competitivi con altre tecnologie che avrebbero comportato lavorazioni in situ molto più lunghe o invasive.