

# Comune di SANGINETO

Provincia di Cosenza - Regione Calabria



**LAVORI DI ADEGUAMENTO SISMICO E DI  
RIQUALIFICAZIONE DELL'EDIFICIO SCOLASTICO  
COMUNALE SCUOLA MATERNA ED ELEMENTARE DI  
VIALE MARIO ARAGONA IN SANGINETO LIDO**

Protocollo

## PROGETTO ESECUTIVO

Scala:

Data: **novembre 2019**

ELABORATO

RELAZIONE DI PROGETTO FIBRE  
RINFORZATE (PBO)

**LA PROGETTISTA**

Ing. Albina R. Farace

**IL R.U.P.**

Geom. Marco Antonucci



**IL SINDACO**

Am. Michele Guardia

TAVOLA N.

# R.23

## INDICE

<b>1. PREMESSA .....</b>	<b>2</b>
<b>2. NORME E SPECIFICHE.....</b>	<b>2</b>
<b>3. MATERIALI FIBRORINFORZATI.....</b>	<b>3</b>
3.1 DESCRIZIONE DEI SISTEMI FIBRORINFORZATI .....	3
<b>4. MATERIALI PER NUOVI INTERVENTI STRUTTURALI.....</b>	<b>7</b>
4.1 RETI IN FIBRA DI PBO.....	7
4.2 MALTA PER ANCORAGGIO RETI IN FIBRA DI PBO .....	7
<b>5. MOTIVAZIONE DELLA SCELTA DI RINFORZO STRUTTURALE CON FRCC.....</b>	<b>7</b>

## 1. PREMESSA

Il contributo che si vuole dare con la presente relazione è quello di illustrare la tecnica d'intervento per eseguire il rinforzo strutturale sulla Scuola di Sangineto, nel progetto per la realizzazione degli *Interventi strutturali di miglioramento sismico municipio-uffici comunale – Classe d'uso IV ai sensi delle NTC 2018*.

L'intervento strutturale si inquadra come intervento di miglioramento sismico, ai sensi del D.M. 17.01.2018 (*Norme Tecniche per le Costruzioni*).

I lavori per l'intervento di miglioramento sismico, riguarderanno la messa in opera di un sistema di rinforzo con reti di fibra a bassa grammatura di massa trascurabile e quindi non saranno introdotti carichi aggiuntivi ma si manterrà pressoché invariato il regime dei carichi sui terreni fondali.

Il progetto degli interventi strutturali deve, in effetti, rispettare molteplici criteri, in quanto, oltre ad ottenere l'obiettivo di aumentare la capacità resistente di un organismo esistente in condizioni di esercizio come anche in presenza di sisma, deve garantire la durabilità della efficacia degli interventi in relazione alla vita utile della struttura ai sensi delle prescrizioni normative; deve inoltre possedere un comportamento soddisfacente anche in caso di incendio e quindi buona resistenza al fuoco, ed infine non avere incidenza sui costi di manutenzione e di gestione dell'opera.

Il raggiungimento degli obiettivi precedentemente elencati, lo si raggiunge prevedendo il rinforzo degli elementi strutturali, con materiali *FRCM (Fiber Reinforced Cementitious Matrix)* ovvero matrici cementizie di ultima generazione armate con fibre lunghe di *PBO*.

Nei paragrafi che seguono si illustrano i vantaggi legati alla soluzione individuata anche in comparazione con i sistemi *FRP* che utilizzano resine epossidiche quali matrici di collegamento.

## 2. NORME E SPECIFICHE

Il dimensionamento dei rinforzi è stato redatto tenendo in considerazione la normativa seguente:

- **D.M. 17.01.2018** - *Norme tecniche per le costruzioni*;
  - **CNR – DT 200/2013** - *Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione ed il controllo di interventi di consolidamento statico mediante l'utilizzo di compositi fibrorinforzati* (Ottobre 2013);
  - **ACI 549-4R-13** - *Guide to Design and Construction of Externally Bonded Fabric-Reinforced Cementitious Matrix (FRCM) Systems for Repair and Strengthening Concrete and Masonry Structures* (December 2013);
-

- **Linea Guida per la identificazione, la qualificazione ed il controllo di accettazione di compositi fibrorinforzati a matrice inorganica (FRCM) da utilizzarsi per il consolidamento strutturale di costruzioni esistenti**, approvate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici a luglio 2018.

### 3. MATERIALI FIBRORINFORZATI

“È sensazione comune, da parte di quanti sono impegnati in attività di ricerca o di progettazione nel campo del consolidamento con materiali compositi fibrorinforzati, che l'Italia stia assumendo una posizione particolare in ambito internazionale, sia per il valore dei contributi di conoscenza forniti, sia per la presenza di un patrimonio edilizio particolarmente vario ed importante, nonché di aziende all'avanguardia che continuano ad investire sulla ricerca anche con Università estere”.

Ne fanno parte, infatti, costruzioni di rilevante importanza storica ed architettonica, oltre che realizzazioni più recenti di muratura, di c.a., di c.a.p. e di acciaio. La maggior parte di queste ultime ha superato abbondantemente i trent'anni di vita, (è il caso dell'edificio oggetto di rinforzo strutturale destinato a Casa Comunale), per cui molte di esse necessitano di interventi più o meno urgenti di “riabilitazione strutturale” (...).<sup>1</sup>

Proprio nell'ottica della “riabilitazione strutturale”, questo capitolo si è reso necessario per esporre, quanto più chiaramente possibile, quello che è il sorprendente ma altrettanto poco conosciuto mondo dei rinforzi strutturali che utilizzano sistemi compositi fibrosi, ossia quei materiali che sono costituiti da due elementi:

- **Il rinforzo**, presente in forma discontinua e caratterizzato da elevate proprietà meccaniche (fibre di PBO, fibre di carbonio, aramidiche, vetro, etc);
- **La matrice**, identificabile come elemento continuo, di solito meccanicamente più debole delle fibre ma che assolve due fondamentali compiti: tenere uniti fra loro rinforzo ed elemento strutturale rinforzato e trasmettere le sollecitazioni dalla struttura alla fibra.

#### 3.1 DESCRIZIONE DEI SISTEMI FIBRORINFORZATI

I sistemi di rinforzo in fibra di carbonio sono utilizzati già da parecchi anni in settori come quello navale, aeronautico e militare dove vengono sfruttati per la loro ineguagliabile resistenza specifica (resistenza a trazione per unità di peso); ma, per effetto della riduzione dei costi delle materie prime e dell'ottimizzazione dei processi produttivi, questi materiali hanno fatto la loro comparsa nel campo dell'edilizia da

---

<sup>1</sup> CNR DT 200/2004 – “Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Interventi di Consolidamento

circa trent'anni e fin dal loro esordio sono stati apprezzati per il binomio resistenza-leggerezza, che determina alte prestazioni e bassa invasività dell'intervento sulla struttura esistente.

L'utilizzo degli **FRP** (*Fiber Reinforced Polymer*) nel campo dell'ingegneria civile riguarda essenzialmente il settore del restauro delle strutture degradate o danneggiate e quello dell'adeguamento statico delle strutture edificate in zona sismica; in questi settori è evidente la difficoltà operativa alla quale si va in contro se si volessero utilizzare tecniche di intervento che sfruttano materiali tradizionali.

I motivi per cui è opportuno intervenire con sistemi compositi fibrosi sono:

- l'estrema leggerezza del rinforzo, da cui ne deriva un incremento pressoché nullo delle masse sismiche ed allo stesso tempo un considerevole aumento della duttilità strutturale;
- messa in opera senza l'ausilio di particolari attrezzature da un numero limitato di operatori, da cui un minore costo della mano d'opera;
- posizionamento in tempi brevi e spesso senza interrompere l'esercizio della struttura.

Il parametro principale che definisce le caratteristiche di un rinforzo fibroso non è la resistenza a trazione, che risulta essere ben al di sopra dei tassi di lavoro cui sono soggette le fibre, bensì il modulo elastico, di fatti, più tale valore è elevato maggiore sarà il contributo irrigidente che il rinforzo potrà fornire all'elemento strutturale sul quale è applicato.

Generalmente per il rinforzo di strutture in c.a. (per l'intervento in progetto, quindi) si preferiscono fibre sia con resistenza a trazione medio-alta ( $>2000$  MPa) che con modulo elastico medio-alto ( $E=170-250$  GPa), mentre per il recupero degli edifici in muratura o con struttura in legno si scelgono fibre con modulo di elasticità più basso ( $E=80$  GPa) tipo quelle aramidiche che meglio si accordano con la rigidità propria del supporto rinforzato.

In questo contesto, ormai ampiamente ben disposto nei confronti dei compositi, negli ultimi anni si sono affermate nuove generazioni di rinforzi.

A gli ormai "classici" **FRP**, realizzati con fibre di carbonio o fibre di vetro accoppiate a matrici organiche (*resine epossidiche*), si accostano fortemente gli **FRCM** (*Fiber Reinforced Cementitious Matrix*)<sup>2</sup>, i **TRM** (*Textile Reinforced Mortars*) e gli **SRG** (*Steel Reinforced Grout*) che sfruttano sia le eccezionali proprietà di fibre di nuova concezione come quelle in **PBO** (*Poliparafenilenbenzobisoxazolo*), sia un

<sup>2</sup> Materiale, quest'ultimo, scelto per gli interventi di adeguamento sismico della Casa Comunale di San Nicola Arcella

materiale come l'acciaio, che, per quanto comune nel campo dell'edilizia, viene caratterizzato da lavorazioni innovative che ne migliorano le prestazioni meccaniche.

Tutte queste ultime ed innovative tipologie di compositi, nonostante siano state annoverate con nomenclature così differenti, sono però accomunate dall'elemento che ne permette il funzionamento e l'adesione al supporto: **la matrice cementizia**.

### 3.2 DESCRIZIONE DELLE FIBRE DI PBO

Le fibre di **PBO** (*Poliparafenilenbenzobisoxazolo*) sono l'ultimissimo ritrovato nel campo dei rinforzi strutturali. Sviluppate dalla *TOYOBO Co.* giapponese precisamente con il nome di *Pbo Zylon®* sono state inizialmente introdotte nel campo militare (*vestiario antiproiettile*) nel 1998 e solo negli ultimi anni si sono affermati nel campo dell'ingegneria civile andando a sostituire la ormai "classica" fibra di carbonio.

Questa fibra presenta tenacità, modulo, resistenza all'abrasione, al taglio ed ai raggi UV di gran lunga superiori a qualsiasi fibra aramidica oltre ad avere anche una eccezionale resistenza alla fiamma ed al calore. Tutte queste eccezionali caratteristiche meccaniche e fisiche si arricchiscono ancora di più per il fatto che la fibra in *PBO* possiede una ottima stabilità ed un bassissimo assorbimento in ambiente umido (0,6%). Nonostante queste caratteristiche, rimane una fibra morbida e molto malleabile, di peso leggerissimo (*ma forse di costo elevato, comunque di gran lunga inferiore a quello della fibra al carbonio*).



**Fig. 1:** Tessuto in PBO

La particolare formulazione chimica delle fibre in *PBO* nel campo dei rinforzi strutturali le rende particolarmente adatte all'utilizzo in abbinamento ad una

matrice cementizia come proposto dal brevetto "Ruregold XT – Ruregold XP"<sup>3</sup> elaborato dalla Ruredil spa ([www.ruredil.it](http://www.ruredil.it)).

Questo polimero di sintesi presenta una struttura molecolare con numerosi siti attivi (*atomi di azoto, etc.*) in grado di stabilire legami chimici covalenti con i composti idrati della matrice inorganica a reazione idraulica alla quale viene abbinata nella realizzazione del composito.

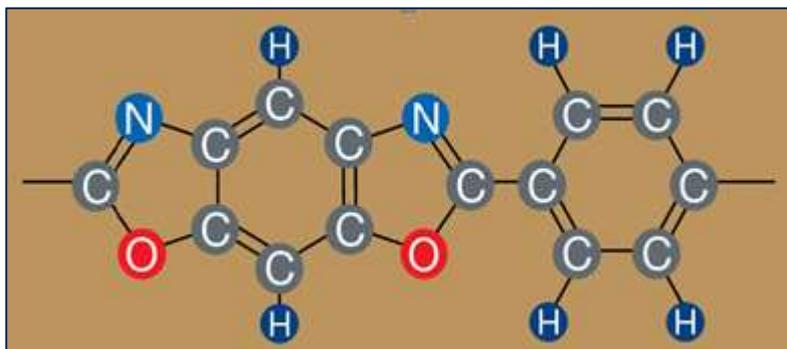


Fig. 2: Composizione chimica delle fibre in PBO

Per ciò che riguarda l'esecuzione degli interventi sulle opere strutturali, dovendo fare degli interventi di consolidamento sulle strutture esistenti, saranno utilizzati:

- **MALTA CEMENTIZIA ANTICORROSIVA BICOMPONENTE** per la protezione dei ferri di armatura, successivamente alla spazzolatura degli stessi; detta malta è una malta a base di polimeri in dispersione acquosa, leganti cementizi ed inibitori di corrosione; la stesura di detta malta avverrà a pennello sulle barre di armatura, pulite da ruggine, sostanze grasse e parti incoerenti con energica spazzolatura o sabbatura; la malta anticorrosiva da utilizzare, dovrà rispondere ai requisiti minimi richiesti dalla *EN 1504-7*;
- **MALTA CEMENTIZIA FIBRORINFORZATA** per la copertura delle armature e livellamento delle superfici ammalorate di travi e pilastri, successivamente al trattamento con la precedente malta anticorrosiva, data a pennello. La malta cementizia fibrorinforzata è una particolare malta composta da un premiscelato in polvere a base di cemento portland, inerti selezionati di opportuna granulometria, fibre poliestere, modificato con un particolare polimero in polvere. Il premiscelato descritto, mescolato con acqua, deve dar luogo ad una malta ideale al ripristino delle strutture in calcestruzzo deteriorate, sia all'interno che all'esterno, anche in ambienti particolarmente aggressivi. Lo strato da spalmare dovrà essere portato finito affinché sullo

<sup>3</sup> Per tutte le caratteristiche si faccia riferimento alla scheda tecnica allegata

stesso si possa posare direttamente la fibra al carbonio di rinforzo.

## 4. MATERIALI PER NUOVI INTERVENTI STRUTTURALI

### 4.1 RETI IN FIBRA DI PBO

Per gli interventi di rinforzo dei pilastri e dei nodi trave-pilastro si utilizzeranno delle reti bidirezionali, mentre per le travi si utilizzeranno delle reti unidirezionali in fibre di poliparafenilenbenzobisoxazolo (PBO), ancorate al calcestruzzo mediante speciale matrice inorganica stabilizzata fibrorinforzata.

Le fibre di PBO avranno le seguenti caratteristiche:

- **tensione di rottura a trazione delle fibre di PBO**       $f_{PBO} = 5800 \text{ N/mm}^2$ ;
- **modulo elastico a trazione delle fibre di PBO**       $E_{PBO} = 270000 \text{ N/mm}^2$ ;
- **peso per unità di volume delle fibre di PBO**       $P_{PBO} = 15.6 \text{ kN/m}^3$ .

### 4.2 MALTA PER ANCORAGGIO RETI IN FIBRA DI PBO

Per collegare le reti di PBO al calcestruzzo si utilizzerà una speciale matrice fibrorinforzata con le seguenti caratteristiche:

- **resistenza caratteristica a compressione minima**       $40.00 \text{ N/mm}^2$ ;
- **resistenza caratteristica a flessione minima**       $4.00 \text{ N/mm}^2$ ;
- **modulo elastico**       $12500.00 \text{ N/mm}^2$ .

## 5. MOTIVAZIONE DELLA SCELTA DI RINFORZO STRUTTURALE CON FRCM

La rete in fibra di PBO sarà una rete a maglia aperta, messa in opera con matrice inorganica nanotecnologica stabilizzata fibrorinforzata, in luogo dei più diffusi adesivi strutturali a matrice di resina epossidica.

Si osserva che grazie al ricorso ad un sistema di rinforzo a matrice cementizia, non è necessario attendere i tempi di stagionatura della malta utilizzata per la ricostruzione del calcestruzzo, come invece sarebbe stato necessario se si fosse scelto un sistema a base epossidica.

---

La soluzione di rinforzo è mirata ad ottenere la massima celerità esecutiva, in considerazione delle obiettive condizioni del cantiere, e a garantire una maggiore durabilità nel tempo dell'efficacia degli interventi di rinforzo.

Per entrambi i motivi si è scelto di ricorrere all'uso di sistemi di rinforzo tipo **FRCM (Fiber Reinforced Cementitious Matrix)** a base di fibre di PBO e matrici idrauliche, piuttosto che sistemi FRP (Fiber Reinforced Polymers) costituiti da fibre di carbonio e matrici epossidiche vista la scarsa durabilità delle resine epossidiche che non garantiscono la vita utile degli interventi strutturali, ed alla luce del fatto che la posa in opera dei sistemi FRP è possibile solo dopo aver atteso la stagionatura delle malte fissotropiche utilizzate per la ricostruzione degli elementi da rinforzare; con i sistemi FRCM invece, è possibile eseguire l'intervento di rinforzo immediatamente a ridosso dei ripristini in quanto la matrice inorganica di ancoraggio delle reti di PBO è pienamente compatibile con la natura del calcestruzzo.

**Inoltre, la speciale matrice idraulica dei sistemi FRCM è pienamente compatibile con gli elementi su cui si interviene e non risente di fattori di degradazione ambientali**, mentre, al contrario, le matrici di collegamento polimeriche a base di resina epossidica utilizzate nei sistemi FRP presentano l'inconveniente di risentire fortemente delle componenti ambientali e quindi, pur se inizialmente hanno buone proprietà adesive, non riescono a mantenerle a medio termine, rendendo in definitiva vano l'intervento di rinforzo già molto prima dell'esaurimento della vita utile degli edifici su cui si interviene.

Occorre, inoltre considerare, che è la temperatura di transizione vetrosa ( $T_g$ ) delle resine epossidiche - solitamente compresa tra 40 e 60 °C - la grandezza chimico-fisica che influenza le prestazioni di un sistema FRP indipendentemente dalla fibra impiegata (carbonio, aramide, ecc.). Quando la temperatura esterna supera la temperatura di transizione vetrosa, la resina epossidica non è più in grado di svolgere la funzione di trasferimento delle sollecitazioni dalla struttura alla fibra ad alto modulo in essa annegata vanificando l'efficacia come rinforzo strutturale. Questo comportamento è da attribuirsi alla perdita totale del legame adesivo tra la resina e la fibra e/o la resina ed il supporto. In questi ultimi anni molti autorevoli istituti universitari, anche italiani, hanno eseguito ricerche circa l'efficacia strutturale dei sistemi FRP in funzione della temperatura e dell'umidità, arrivando alla conclusione che gli FRP devono essere protetti con materiali speciali quali vernici, malte ecc., nelle condizioni ambientali di esercizio o addirittura da non potersi applicare in particolari condizioni termoigrometriche.

---

Al riguardo la revisione n.1 del 2013 della linea guida del CNR – DT200 “Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Interventi di Consolidamento Statico mediante l'utilizzo di Compositi Fibrorinforzati”, ha introdotto il concetto di temperatura di esercizio dei sistemi FRP, data dalla temperatura di transizione vetrosa della resina epossidica diminuita di 15°C. In seguito a questa indicazione da ora in poi sarà necessario che i fornitori di sistemi FRP riportino in scheda tecnica il valore della temperatura di transizione vetrosa della resina.

*DT200 revisione n.1 del 2013 - Cap. n. 3.5.1:” [...] Effetti di temperature estreme e di cicli termici. Gli effetti primari della temperatura riguardano la risposta viscosa della resina e quindi del composito. Al crescere della temperatura si manifesta una diminuzione del modulo di elasticità normale della resina. Se la temperatura supera quella di transizione vetrosa, il livello di prestazione del composito si riduce in maniera significativa. I cicli termici, in generale, non sortiscono effetti deleteri, anche se possono favorire la formazione di microfratture nei sistemi che utilizzano resina ad alto modulo. Per gli intervalli di temperatura tipici delle infrastrutture civili è possibile evitare indesiderati decadimenti delle prestazioni scegliendo il sistema di rinforzo in modo che la temperatura di transizione vetrosa sia sempre più elevata della massima temperatura di esercizio. Si sconsiglia l'impiego di materiali FRP in presenza di temperature di esercizio superiori a quella di transizione vetrosa ridotta di 15°C. Se del caso, devono essere previsti protettivi con funzione di isolanti termici”.*

Infine, i sistemi FRCM da gennaio 2014 rientrano nelle Normative USA - ACI 549.4R-13 *Guide to Design and Construction of Externally Bonded Fabric-Reinforced Cementitious Matrix (FRCM) Systems for Repair and Strengthening Concrete and Masonry Structures* - e rappresentano la prima linea guida cogente a livello internazionale dei sistemi FRCM. Questo vuole anche dire che la ACI 549, in mancanza di normative nazionali, può essere presa come riferimento per la progettazione dei rinforzi dell'edilizia preesistente in ogni nazione.

---