

**LEON BEKAERT SPA**  
VIA FANTOLI 11/2  
20138 MILANO (MI)  
TELEFONO 02. 484811  
TELEFAX 02.48490141  
CAPITALE SOCIALE € 120.000,00  
CODICE FISCALE 00230870164  
PARTITA IVA IT 03802140156  
TRIB. MI 176914/5140  
C.C.I.A.A. 672.756

---

## **RELAZIONE ILLUSTRATIVA SULL'UTILIZZO DI CALCESTRUZZI FIBRORINFORZATI CON FIBRE DI ACCIAIO (SFRC) IN CABINE ELETTRICHE PREFABBRICATE**

---

Milano, 23/01/2018

**Il consulente tecnico**

Dott. Ing. Christian Pierini

## Sommario

1. PREMESSA .....	2
2. PROPRIETÀ MECCANICHE DEL SFRC .....	3
2.1 Comportamento a compressione .....	3
2.2 Comportamento a trazione .....	3
2.3 Aspetti relativi alla conduttanza/resistività elettrica .....	3
3. QUADRO NORMATIVO ATTUALE .....	5
3.1 Normative per la definizione del materiale .....	5
3.2 Norme tecniche cogenti a livello nazionale .....	5
4. CONCLUSIONI .....	7

## 1. PREMESSA

La presente relazione viene redatta a seguito della richiesta della Edilceem s.r.l. sugli effettivi benefici dell'utilizzo di calcestruzzi fibrorinforzati nell'eventualità di utilizzo nella produzione di cabine elettriche prefabbricate.

Nel seguito il sottoscritto illustrerà il quadro normativo attuale relativo all'impiego di calcestruzzi fibrorinforzati con fibre di acciaio (SFRC, *Steel Fiber Reinforced Concrete*), dimostrando che già oggi le Normative nazionali consentono l'utilizzo di tale prodotto come "materiale da costruzione".

I manufatti realizzati con SFRC si sono progressivamente diffusi negli ultimi anni in tutto il mondo, tanto da rendere indispensabile la redazione di diverse Linee Guida ed Istruzioni Tecniche al fine di disciplinare l'impiego di tali materiali.

Nel dettaglio, il calcestruzzo fibrorinforzato è un calcestruzzo cementizio additivato con fibre corte (discrete e discontinue) di acciaio: l'aggiunta delle fibre conferisce al cls un miglior comportamento nei confronti dell'apertura delle fessure e, dopo la fessurazione, una significativa resistenza residua a trazione (tenacità). Una volta superato il limite elastico della matrice, le fibre sono in grado di manifestare il proprio contributo, conferendo al composito una resistenza a trazione nettamente superiore rispetto ad un normale calcestruzzo. Il rinforzo fibroso consente inoltre di limitare l'ampiezza delle fessure causate dai carichi, dagli effetti termici e dal ritiro, particolarmente importante per elementi prefabbricati esposti agli agenti atmosferici. Infine, le fibre migliorano anche la resistenza agli urti che possono subire gli elementi strutturali prefabbricati durante la loro movimentazione.

**È importante specificare che le fibre migliorano il comportamento del calcestruzzo dopo la fessurazione dello stesso, ovvero allo Stato Limite Ultimo. Per elementi progettati per resistere in campo elastico, le fibre non forniscono alcun contributo, se non migliorare gli aspetti reologici del calcestruzzo durante le fasi di maturazione (ritiro).**

Si sottolinea inoltre che l'utilizzo di calcestruzzi fibrorinforzati risulta normativamente comprovato e trattato in diverse istruzioni e linee guida, tra le quali il testo di riferimento risulta la norma nazionale CNR-DT 204/2006 "*Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione ed il controllo di strutture di calcestruzzo fibrorinforzato*".

## 2. PROPRIETÀ MECCANICHE DEL SFRC

### 2.1 *Comportamento a compressione*

In accordo al punto 2.5.2.1 delle CNR-DT 204/2006, *le fibre sono generalmente in grado di ridurre la fragilità della matrice, ma non di influenzarne sensibilmente il comportamento a compressione. Nella pratica, il legame costitutivo del calcestruzzo fibrorinforzato ed in particolare la sua resistenza possono essere assimilati a quelli del materiale non rinforzato.*

### 2.2 *Comportamento a trazione*

In accordo al punto 2.5.2.2 delle CNR-DT 204/2006, *è possibile affermare che le fibre migliorano il comportamento a trazione della matrice fessurata. In particolare, a seconda del contenuto di fibre, il comportamento post-fessurativo può essere degradante (basso contenuto di fibre) o incrudente (alto contenuto di fibre).*

### 2.3 *Aspetti relativi alla conduttanza/resistività elettrica*

La *conduttanza elettrica (G)* è l'attitudine di un conduttore ad essere percorso da corrente elettrica. Il suo reciproco è la *resistività elettrica (R)*, ovvero l'attitudine di un materiale ad opporre resistenza al passaggio delle cariche elettriche.

La resistività o resistenza elettrica specifica è una proprietà fondamentale del calcestruzzo in quanto influisce sulla resistenza del manufatto alla corrosione delle armature, fenomeno notoriamente di natura elettrochimica: il processo di corrosione si avvale infatti di un mezzo elettrolitico (il calcestruzzo umido) e di un agente reattivo (l'ossigeno) attraverso una reazione catodica ed una reazione anodica.

Nel conglomerato cementizio la resistenza elettrica specifica varia in funzione di numerosi fattori quali la densità, il rapporto acqua/cemento, il tipo di cemento, ecc. In linea di massima, a parità dei fattori intrinseci citati, la variazione di resistività è ancora strettamente connessa con il variare della condizione: da valori dell'ordine di 10<sup>-3</sup>, nello stato umido, a valori dell'ordine di 10<sup>-11</sup> nello stato asciutto.

Nel caso del calcestruzzo armato, il passaggio di corrente avviene per trasporto di elettroni nel corpo del metallo, e per trasporto di specie ioniche nella soluzione che permea le porosità del calcestruzzo (fessurazioni). Questo flusso di corrente è accompagnato da una variazione del potenziale elettrico tra diverse zone dell'armatura d'acciaio.

Riassumendo quindi, nel calcestruzzo armato la resistività elettrica risulterà tanto minore quanto maggiore sarà lo stato fessurativo del calcestruzzo e, al contrario, aumenterà in calcestruzzi non fessurati.

Appare quindi evidente il vantaggio nell'utilizzo di calcestruzzi fibrorinforzati per quel che concerne l'aumento di resistività elettrica del calcestruzzo armato: l'aggiunta delle fibre conferisce al cls un miglior comportamento nei confronti dell'apertura delle fessure, con conseguente diminuzione delle porosità nel composto.

Si riporta a validazione di quanto affermato, una ricerca effettuata dalla Facoltà di Ingegneria Civile dell'Università di Praga, pubblicata nel 2016 dalla Elsevier, "Experimental study on electrical properties of steel-fibre reinforced concrete" da cui si riporta il seguente grafico esplicativo.

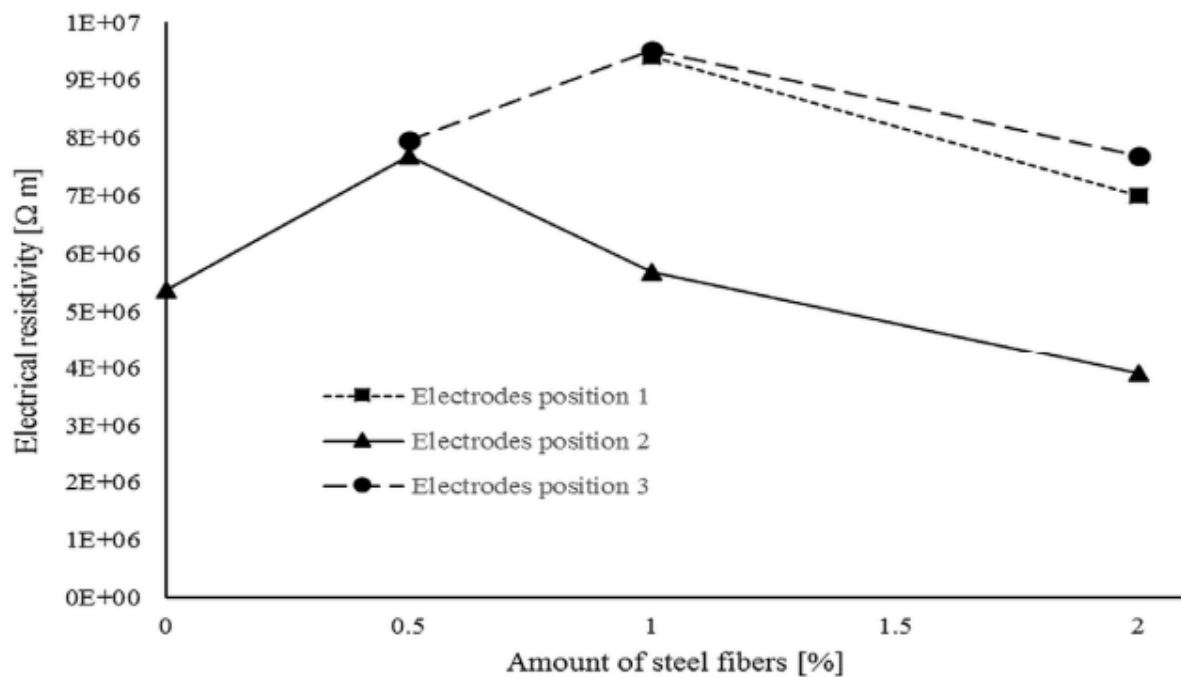


Figura 1: Dipendenza della resistività elettrica dal quantitativo di fibre metalliche in condizioni di calcestruzzo asciutto.

Come si osserva dal grafico, per quantitativi di fibre inferiori allo 0,5% si ha un incremento della resistività elettrica del calcestruzzo, dovuto appunto da un miglior comportamento fessurativo. Sopra a tale percentuale si possono avere delle sensibili diminuzioni della resistività dovute all'alta percentuale di fibre di acciaio.

**Si precisa che, usualmente, il quantitativo di fibre utilizzate nei manufatti prefabbricati è pari a circa lo 0,3-0,4% in volume.**

### 3. QUADRO NORMATIVO ATTUALE

Il quadro normativo attuale relativo ai calcestruzzi fibrorinforzati con fibre di acciaio è molto ampio e comprende Norme specifiche per la *definizione del materiale*, per la *progettazione*, *esecuzione e controllo* di opere realizzate in calcestruzzo fibrorinforzato.

#### 3.1 Normative per la definizione del materiale

- **UNI 11037:2003** Fibre di acciaio da impiegare nel conglomerato cementizio rinforzato;
- **UNI U73041440** Progettazione, esecuzione e controllo degli elementi strutturali in calcestruzzo rinforzato con fibre d'acciaio;
- **UNI 11039-1:2003** Calcestruzzo rinforzato con fibre d'acciaio: definizioni, classificazione e designazione;
- **UNI 11039-2:2003** Calcestruzzo rinforzato con fibre d'acciaio: Metodo di prova per la determinazione della resistenza di prima fessurazione e degli indici di duttilità;
- **UNI EN 14889-1:2006** Fibers for concrete: definitions, specifications and conformity;
- **UNI EN 14651:2007** Test method for metallic fibered concrete;
- **Rilem TC 162** Test and design methods for steel fiber reinforced concrete.

#### 3.2 Norme tecniche cogenti a livello nazionale

- **D.M. 14/01/2008 “Norme Tecniche per le Costruzioni”**

Le NTC2008 trattano i calcestruzzi fibrorinforzati aventi scopi strutturali al Par. 4.6, del quale si riporta nel seguito uno stralcio:

- Par. 4.6 Costruzioni di altri materiali: *“I materiali non tradizionali o non trattati nelle presenti norme tecniche potranno essere utilizzati per la realizzazione di elementi strutturali od opere, previa autorizzazione del Servizio Tecnico Centrale su parere del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici ...”. “Si intende qui riferirsi a materiali quali (...) calcestruzzi fibrorinforzati...”.*

Appare evidente quindi che, qualora si voglia utilizzare tale materiale per scopi strutturali, come ad esempio in sostituzione dell'armatura tradizionale, occorre richiedere preventivamente l'autorizzazione al CSLLP.

Qualora invece si voglia utilizzare il materiale per scopi non strutturali, come ad esempio per migliorare gli aspetti reologici del calcestruzzo o per limitare lo stato fessurativo dello stesso, il DM 2008 riporta al Cap.12:

- Cap. 12: *“Per quanto non diversamente specificato nella presente norma, si intendono coerenti con i principi alla base della stessa, le indicazioni riportate nei seguenti documenti (**Eurocodici, Norme UNI EN armonizzate, Norme UNI per prove**). Inoltre, in mancanza di specifiche indicazioni, a integrazione delle presenti norme e per quanto con esse non in contrasto, possono essere utilizzati i documenti di seguito indicati che costituiscono riferimenti di comprovata validità (**Istruzioni CSLLP, Linee Guida STC, Istruzioni CNR**). Possono essere utilizzati anche altri codici internazionali, purché sia dimostrato che garantiscano livelli di sicurezza non inferiori a quelli delle presenti Norme tecniche”.*

Overo consente di potersi riferire a normative di comprovata validità, tra cui le Istruzioni CNR, delle quali fanno parte le CNR-DT 204/2006 di seguito riportate.

- **CNR-DT 204/2006 “Istruzioni per la Progettazione, l’Esecuzione ed il Controllo di Strutture di Calcestruzzo Fibrorinforzato”**

Tali istruzioni risultano complete ed esaustive e trattano diversi argomenti tra cui:

- Materiali e Concetti basilari di progetto;
- Verifiche SLU e SLE, Resistenza al fuoco;
- Esecuzione e Collaudo.

Overo tutto ciò che serve per caratterizzare il materiale, per progettare elementi e per effettuare le procedure di controllo in linea con il DM2008.

- **Revisioni delle “Norme Tecniche per le Costruzioni”**

Infine si riporta il Par. 11.2.12 delle revisioni delle NTC, nelle quali compare direttamente nella norma il calcestruzzo fibrorinforzato come materiale per uso strutturale.

- Par. 11.2.12. Calcestruzzo fibrorinforzato (FRC): *“Il calcestruzzo fibrorinforzato (FRC) è caratterizzato dalla presenza di fibre discontinue nella matrice cementizia; tali fibre possono essere realizzate in acciaio o in materiale polimerico e devono essere marcate CE in accordo alle norme europee armonizzate, quali la UNI EN 14889-1 ed UNI EN 14889-2 per le fibre realizzate in acciaio o materiale polimerico. La miscela di calcestruzzo fibrorinforzato deve essere sottoposta a valutazione preliminare secondo le indicazioni riportate nel precedente § 11.2.3 con determinazione dei valori di resistenza a trazione residua  $f_{R1k}$  per lo Stato Limite di Esercizio e  $f_{R3k}$  per lo Stato Limite Ultimo determinati secondo le UNI EN 14651:2007. Per la qualificazione del calcestruzzo fibrorinforzato e la progettazione delle strutture in FRC si dovrà fare esclusivo riferimento a specifiche disposizioni emanate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.”*

## 4. CONCLUSIONI

L'aggiunta di fibre metalliche nel calcestruzzo armato, nelle percentuali volumetriche considerate, ovvero 0,3-0,4% in volume, consente di migliorare diversi aspetti del calcestruzzo tra cui:

- Aumento della resistenza a trazione;
- Aumento della duttilità;
- Miglioramento del comportamento alla fessurazione;
- Aumento della resistività elettrica, ovvero diminuzione della conduttanza.

Si precisa inoltre che, qualora l'utilizzo delle fibre non rivesta carattere strutturale, ovvero quando le fibre vengono aggiunte al calcestruzzo regolarmente armato al solo fine di migliorarne gli aspetti reologici e realizzativi, l'utilizzo è consentito dal DM 14/01/2008 anche senza l'autorizzazione del Servizio Tecnico Centrale del CSLLP, in quanto a livello nazionale è già presente una Normativa di comprovata validità, ovvero le istruzioni CNR-DT 204/2006 "Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Strutture di Calcestruzzo Fibrorinforzato".

Infine si precisa che, essendo in fase di pubblicazione nel GU le revisioni delle Norme Tecniche per le Costruzioni, a breve sarà possibile utilizzare liberamente i calcestruzzi fibrorinforzati anche in ambito strutturale, senza l'autorizzazione del CSLLP, essendo tale materiale inserito all'interno del capitolo 11: *"Materiali e prodotti per uso strutturale"*.