

CALCESTRUZZO FIBRORINFORZATO NEL NUOVO CODICE MODELLO FIB

M. di Prisco¹, G. Plizzari², L. Vandewalle³

¹ Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Politecnico di Milano, Italia

² Dipartimento DICATA, Università di Brescia, Italia

³ Dipartimento di Ingegneria Civile, KULeuven, Belgio

SOMMARIO

L'uso di calcestruzzo fibrorinforzato (FRC) per applicazioni strutturali è significativamente incrementato negli ultimi anni, ma la mancanza di Codici Internazionali per le Costruzioni limita ancora il suo utilizzo.

All'interno del *fib* (Fédération Internationale du Béton), lo Special Activity Group 5 sta preparando il Nuovo Codice Modello *fib* che affronta, fra gli altri argomenti, nuovi materiali per il progetto strutturale, incluso il calcestruzzo fibrorinforzato.

Il *fib* Task Groups TG 8.3 "Fiber reinforced concrete" e il TG 8.6 "Ultra high performance fiber reinforced concrete" stanno preparando due capitoli del Nuovo Codice Modello, uno sul comportamento del materiale ed uno sul comportamento strutturale.

Lo scopo di questo articolo è di spiegare brevemente i principali concetti che stanno alla base della progettazione strutturale di elementi in FRC, contenuti in questi due capitoli.

ABSTRACT

The use of Fiber Reinforced Concrete (FRC) for structural applications has significantly increased during the last few years, but the lack of International Building Codes still limits its use.

Within *fib* (Fédération Internationale du Béton), the Special Activity Group 5 is preparing a New *fib* Model Code that addresses, among other topics, new materials for structural design, including FRC.

The *fib* Task Groups TG 8.3 "Fiber reinforced concrete" and TG 8.6 "Ultra high performance fiber reinforced concrete" are preparing two sections of the New Model Code, one about the material and the other one about structural behavior. This paper aims to briefly explain the main concepts behind the structural design of FRC included in these sections.

1 INTRODUZIONE

Il calcestruzzo fibrorinforzato (FRC) è un materiale composito caratterizzato da un'elevata resistenza residua a trazione post-fessurazione, definita anche in seguito tenacità, dovuta alla capacità delle fibre di collegare le superfici delle fessure.

Negli ultimi quattro decenni è stata condotta un'ampia ricerca sulle proprietà del materiale FRC, sia allo stato fresco che a quello indurito (ACI 544, 1996; Rossi et al., 2000; di Prisco et al., 2004; Reinhardt and Naaman, 2007; Gettu, 2008; di Prisco, 2009). La ricerca sulla risposta strutturale degli elementi in FRC è stata principalmente oggetto di indagine negli ultimi quindici anni. Esiste tuttavia ancora una mancanza di Codici Internazionali per le Costruzioni di elementi in FRC, anche se recentemente è stato sviluppato un certo numero di linee guida progettuali. Ciò

in parte spiega il limitato utilizzo di questo materiale fra i progettisti, che accettano difficilmente di adottare volontariamente linee guida o, ancora peggio, risultati di ricerche disponibili in articoli scientifici.

All'interno del *fib* (Fédération Internationale du Béton) lo Special Activity Group 5 (SAG 5) sta preparando il Nuovo Codice Modello *fib* che si propone di aggiornare il precedente Codice Modello CEB-FIP 90, pubblicato nel 1993, che può essere considerato come il documento di riferimento per i codici internazionali per le costruzioni e, in particolare, per l'Eurocodice 2 (2004). Il nuovo Codice Modello include diverse innovazioni e si occupa, fra gli altri argomenti, di nuovi materiali per il progetto di strutture. Grazie ad una migliore conoscenza del materiale FRC e ai recenti sviluppi in tutto il mondo di linee guida per il progetto strutturale, il SAG 5 ha deciso di introdurre alcune sezioni sul calcestruzzo fibrorinforzato. Per questa ragione, il *fib* TG 8.3 "Fiber reinforced concrete" e il TG 8.6 "Ultra high performance fiber reinforced concrete" stanno preparando queste sezioni del nuovo Codice Modello *fib* riguardanti regole progettuali per il calcestruzzo fibrorinforzato. L'obiettivo è quello di fornire una guida agli ingegneri per progettare in modo appropriato e sicuro elementi strutturali in FRC agli stati limite di Esercizio (SLE) e Ultimo (SLU), che si basi sull'esperienza acquisita.

Questo articolo si propone di presentare alcuni principi che governano il progetto strutturale di elementi in FRC realizzati in calcestruzzo tradizionale, introdotti principalmente dal *fib* TG 8.3. I concetti principali sono stati tratti da alcune linee guida nazionali per il progetto strutturale in FRC (DIN 1045, 2007; CNR, 2004) e dalle linee guida proposte dal RILEM TC162-TDF (Vandewalle et al., 2002; 2003). I principi qui discussi derivano soprattutto da ricerche su elementi in calcestruzzo, rinforzati con fibre in acciaio, caratterizzati da un comportamento post-fessurativo degradante (softening) in prove di trazione uniassiale (Figura 1a), anche se possono essere estesi a materiali incrudenti (hardening) (Figura 1b). Dal momento che il comportamento incrudente si ottiene principalmente grazie ad una matrice cementizia ad alte prestazioni e ad un elevato contenuto di fibre, il *fib* TG 8.3 sta cooperando con il TG 8.6 per regole di progetto riguardanti l' Ultra High Performance Fiber Reinforced Concrete coerenti.

2 CLASSIFICAZIONE DEL CALCESTRUZZO FIBRORINFORZATO

La classificazione è un importante requisito per i materiali strutturali. Quando ci si riferisce al calcestruzzo ordinario, i progettisti scelgono la sua resistenza a compressione, la sua lavorabilità o la classe di esposizione, che devono essere fornite dal produttore.

E' ben noto che le fibre riducono la lavorabilità del calcestruzzo fresco, ma le classi di lavorabilità per il calcestruzzo ordinario possono essere comunque adottate anche per il calcestruzzo fibrorinforzato. Ulteriori studi sono necessari per la classe di esposizione, dal momento che le fibre possono ridurre l'apertura di fessura (Vandewalle, 2000). Perciò, relativamente alle classi di esposizione descritte nella EN 206 (2006), possono essere adottate regole diverse nelle strutture in FRC (ad esempio minor copriferro, ecc.).

2.1 COMPORTAMENTO IN COMPRESSIONE

Quando si usa il calcestruzzo fibrorinforzato, la resistenza a compressione non è particolarmente influenzata dalla presenza delle fibre (fino ad un volume pari all'1%), perciò può essere utilizzata la classificazione che si ha per il calcestruzzo ordinario.

2.2 COMPORTAMENTO IN TRAZIONE

La resistenza a trazione residua post-fessurativa, che rappresenta un importante parametro progettuale per le strutture in FRC, è una proprietà meccanica significativamente influenzata dalla presenza delle fibre.

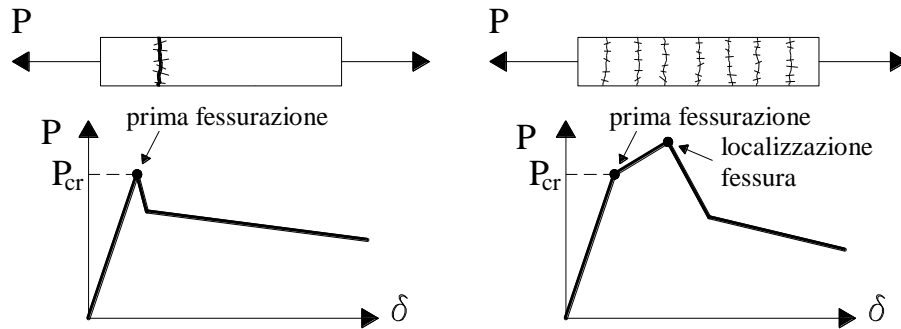


Figura 1 – Curva tipica carico (P) – deformazione (δ) per il calcestruzzo fibrorinforzato: degradante (a) e incrudente (b).

A causa delle ben note difficoltà che si riscontrano nell'eseguire test di trazione uniassiale, i metodi standardizzati si basano generalmente su prove a flessione di travetti piccoli e intagliati. Dal momento che il comportamento a flessione è estremamente differente da quello a trazione uniassiale, può accadere che materiali degradanti in trazione presentino un comportamento incrudente a flessione (Figura 2). Difatti, nelle prove a flessione, la fessurazione inizia prima del raggiungimento del carico di picco e può accadere che materiali degradanti in trazione uniassiale mostrino una propagazione stabile della fessura all'aumentare del carico (comportamento incrudente a flessione).

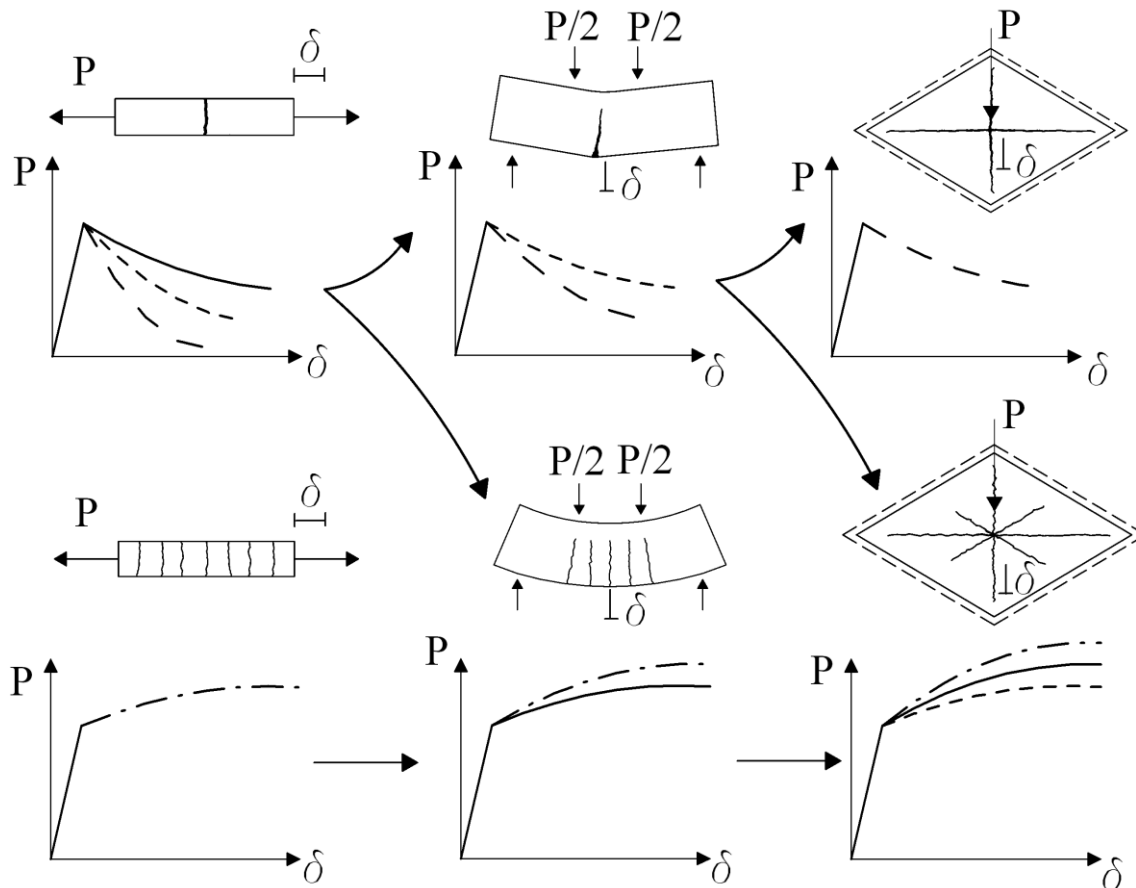


Figura 2 – Relazione fra comportamento degradante e incrudente dal livello del materiale a quello strutturale.

La classificazione del materiale FRC si basa sulle proprietà nominali riferite alla resistenza a trazione post-fessurativa, determinata da prove a flessione su prismi intagliati secondo quanto prescritto nella EN 14651 (2004) (Figura 3), sulla base delle quali si può ricavare il grafico sforzo nominale – deformazione (Figura 4). La deformazione è espressa in termini di apertura di fessura all’apice dell’intaglio (*Crack Mouth Opening Displacement* - CMOD) o di abbassamento in mezzaria (δ). Al fine di semplificare ulteriormente la classificazione, il comportamento del materiale allo SLU, prendendo come riferimento lo sforzo nominale a flessione (f_{R3k}), può essere correlato a quello allo SLE (f_{R1k}) e espresso come rapporto f_{R3k}/f_{R1k} (Figura 4).

Considerando le precedenti ipotesi, la tenacità del calcestruzzo fibrorinforzato può essere classificata utilizzando una coppia di parametri: il primo è un numero che rappresenta la classe di resistenza allo SLE (f_{R1k}), mentre il secondo è una lettera che rappresenta il rapporto tra le due tensioni nominali (f_{R3k}/f_{R1k}).

I valori previsti per f_{R1k} sono i seguenti:

$$1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0, 7.0, 8.0, \dots \text{ [MPa]}$$

Mentre il rapporto f_{R3k}/f_{R1k} è rappresentato dalle lettere *a*, *b*, *c*, *d*, *e* corrispondenti a:

$$\begin{aligned} a & \text{ se } 0.5 \leq f_{R3k}/f_{R1k} \leq 0.7 \\ b & \text{ se } 0.7 \leq f_{R3k}/f_{R1k} \leq 0.9 \\ c & \text{ se } 0.9 \leq f_{R3k}/f_{R1k} \leq 1.1 \\ d & \text{ se } 1.1 \leq f_{R3k}/f_{R1k} \leq 1.3 \\ e & \text{ se } 1.3 \leq f_{R3k}/f_{R1k} \end{aligned} \quad (1)$$

La resistenza residua a trazione per flessione f_{Rj} è definita come:

$$f_{R,j} = \frac{3 F_j l}{2 b h_{sp}^2}$$

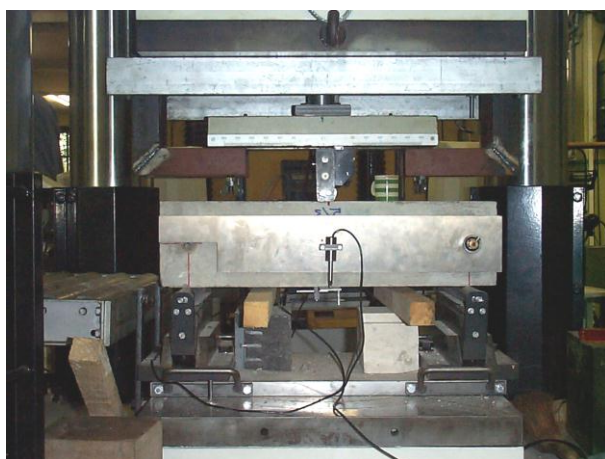


Figura 3 – Set-up per la prova di flessione a 3 punti (EN 14651, 2004).

La Figura 4 mostra la risposta tipica sforzo nominale-CMOD con la classificazione qui proposta.

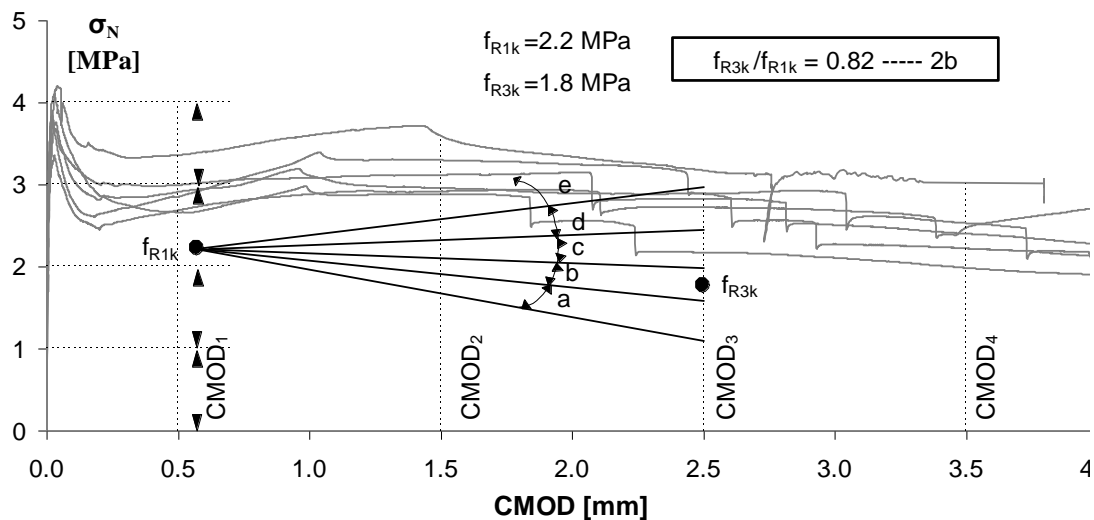


Figura 4 – Curva tipica sforzo nominale-CMOD con le regole di classificazione proposte.

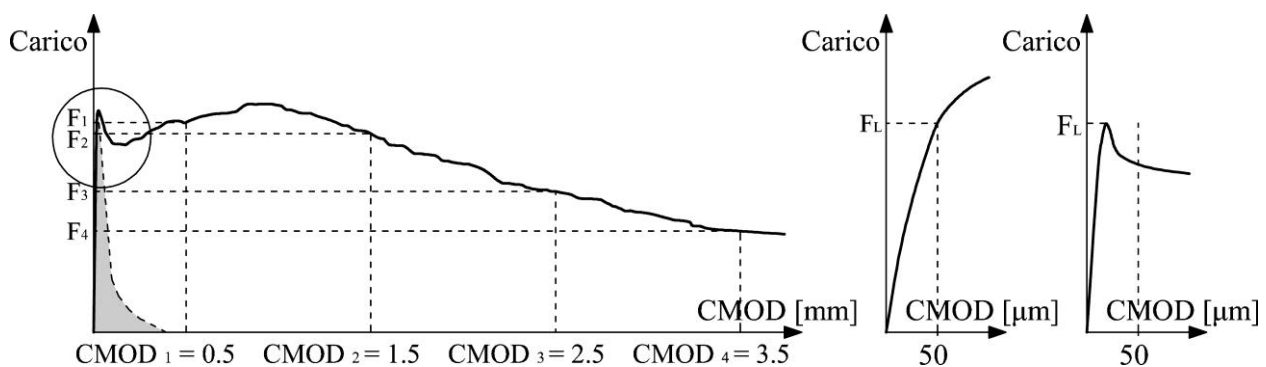


Figura 5 – Curva tipica carico-CMOD per FRC.

Dal momento che negli elementi strutturali la rottura fragile deve essere evitata, il rinforzo fibroso può sostituire (anche parzialmente) le barre o le reti saldate di armatura allo SLU solo se sono soddisfatte le seguenti relazioni:

$$f_{R1k}/f_{Lk} \geq 0.4 \quad (2)$$

$$f_{R3k}/f_{R1k} \geq 0.5 \quad (3)$$

dove f_{Lk} è il valore caratteristico della resistenza nominale, corrispondente al carico di picco (o al valore di carico maggiore nell'intervallo 0-0.05 mm), determinato con la prova su travetto (Figura 5).

2.3 COMPORTAMENTO A LUNGO TERMINE

Il comportamento a lungo termine dell'FRC fessurato sottoposto a trazione va propriamente considerato per quei materiali le cui prestazioni a lungo termine sono influenzate dalla viscosità e/o dalla rottura viscosa.

3 LEGGI COSTITUTIVE NELLA TRAZIONE UNIASSIALE

Nella fase post-fessurazione, la relazione sforzo-apertura di fessura nella trazione uniassiale è la principale proprietà di riferimento per il materiale. Dai risultati delle prove a flessione possono essere dedotte due leggi costitutive semplificate sforzo-apertura di fessura: un comportamento rigido plastico o un comportamento lineare post-fessurazione (incrudente o degradante), come schematicamente illustrato in Figura 6, dove:

- w_u è l'apertura di fessura corrispondente allo SLU;
- f_{Fts} rappresenta la resistenza residua in esercizio, definita come la resistenza post-fessurazione per un'apertura di fessura significativa per lo SLE;
- f_{Ftu} rappresenta la resistenza residua significativa per lo SLU.

Gli sforzi f_{Fts} e f_{Ftu} sono calcolati usando gli sforzi residui f_{R1} e f_{R3} .

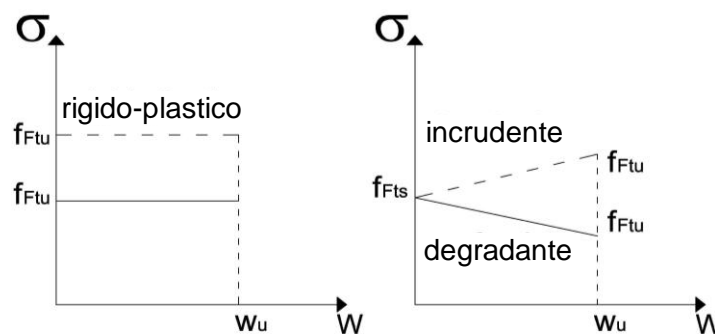


Figura 6 – Leggi costitutive semplificate: sforzo-apertura di fessura (le linee continua e tratteggiata si riferiscono rispettivamente a materiali degradanti e incrudenti).

Quando si considerano materiali degradanti, la definizione della legge sforzo-deformazione si basa sull'identificazione dell'apertura di fessura e della corrispondente lunghezza caratteristica strutturale, l_{cs} , dell'elemento. Questo concetto basilare rappresenta un "ponte" per connettere la meccanica del continuo, governata dalla relazione costitutiva sforzo-deformazione (σ - ϵ), con la meccanica della frattura, governata dalla legge sforzo-apertura di fessura (σ - w), proposta inizialmente da Hillerborg (1976). La lunghezza caratteristica strutturale è pari alla distanza fra le fessure quando si ha multi-fessurazione e può essere considerata pari allo spessore della trave quando nell'analisi si utilizza un approccio a sezioni piane. Quando si utilizza un Modello ad Elementi Finiti, per prevenire la dipendenza dei risultati dalla mesh possono essere usati diversi approcci correlati ad una lunghezza interna definita in relazione a parametri fisici, come la massima dimensione degli aggregati, per gli approcci non locali, o la dimensione dell'elemento, per gli approcci locali (di Prisco, 2009).

L'introduzione della lunghezza caratteristica permette al progettista di definire la deformazione come:

$$\epsilon = w/l_{cs} \quad (4)$$

La resistenza ultima a trazione, f_{Ftu} , nel modello lineare dipende dall'apertura di fessura consentita. L'apertura ultima di fessura può essere calcolata come:

$$w_u = \min (l_{cs} \cdot \epsilon_{Fu}, 2.5 \text{ mm}) \quad (5)$$

assumendo ϵ_{Fu} pari al 2% se l'asse neutro attraversa la sezione e all'1% se l'asse neutro è esterno alla sezione. Si considera inoltre il valore limite di 2.5 mm; questo limite è valido per tutte le strutture inflesse caratterizzate da uno spessore maggiore di 125 mm.

Per materiali incrudenti si ha in genere multi-fessurazione. Conseguentemente l'identificazione dell'apertura delle fessure non è necessaria perché può essere direttamente determinata una legge convenzionale sforzo-deformazione mediante una prova di trazione uniassiale, tipicamente con provino non intagliato (ad esempio ad osso di cane), dividendo lo spostamento relativo per la lunghezza misurata.

4 RELAZIONE SFORZO-DEFORMAZIONE

Una volta identificata la relazione lineare sforzo-apertura di fessura, la relazione sforzo-deformazione può essere dedotta introducendo la lunghezza caratteristica strutturale, l_{cs} , come mostrato in Figura 7 con riferimento a materiali degradanti e incrudenti (di Prisco et al., 2004). Per lo SLE si utilizza la medesima relazione costitutiva adottata per il calcestruzzo non fibrorinforzato in trazione uniassiale fino alla resistenza di picco (f_{ct}). Nella fase post-fessurazione si applica una relazione bilineare (Figura 7). La resistenza residua dovuta al meccanismo di pull-out (secondo ramo) è definita da due punti corrispondenti a $(\epsilon_{SLS}, f_{Fts})$ e $(\epsilon_{SLU}, f_{Ftu})$ dove:

$$\epsilon_{SLS} = CMOD_1/l_{cs}; \tag{6}$$

$$\epsilon_{SLU} = w_u/l_{cs} (=2\% \text{ or } 1\%). \tag{7}$$

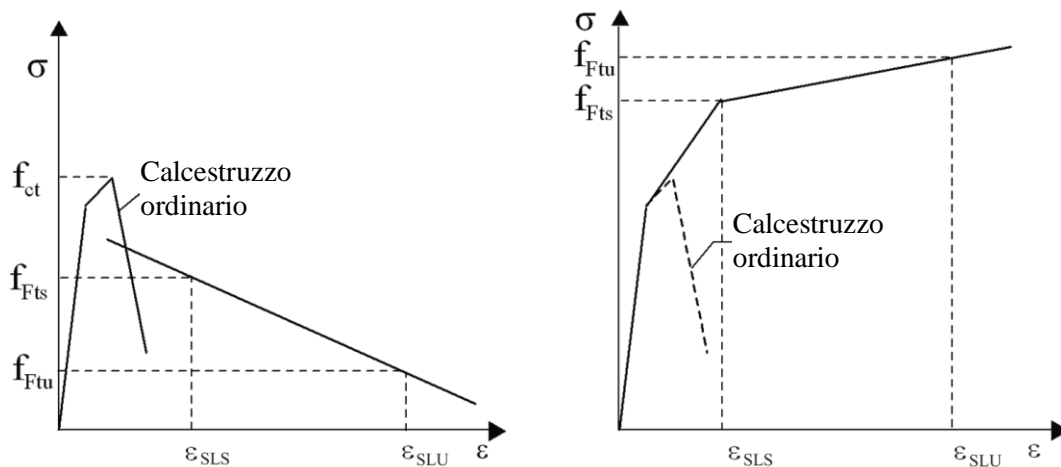


Figura 7 – Relazione sforzo-deformazione per FRC degradante (a) e incrudente (b).

5 FATTORI DI SICUREZZA PARZIALI

Nella Tabella 1 sono riportati i valori dei fattori di sicurezza parziali raccomandati per gli stati limite ultimi. Per gli Stati Limite di Esercizio (SLE), i fattori di sicurezza possono essere considerati pari a 1.0. Va tuttavia osservato che il calcestruzzo fibrorinforzato è scarsamente omogeneo e isotropo poiché la disposizione delle fibre è casuale e dipende principalmente dalla procedura di getto, dalla geometria del cassero e dalla consistenza del mix influenzata da fluidità, viscosità e capacità di riempimento.

Tabella 1 – Fattori di sicurezza parziali per FRC.

Materiale	γ_F
FRC compresso	come calcestruzzo ordinario
FRC teso (limite di linearità)	come calcestruzzo ordinario
FRC teso (resistenza residua)	1.5

Dunque, lo scarto della sua risposta dipende principalmente dal numero di fibre nella sezione fessurata, dalla loro collocazione e dalla loro orientazione. Sulla base delle precedenti considerazioni, la scelta dei coefficienti di sicurezza dovrebbe prendere in analisi:

- la rappresentatività dei provini utilizzati per caratterizzare la risposta meccanica del materiale, in relazione alla struttura considerata;
- il numero di campioni per la caratterizzazione;
- la capacità della struttura considerata di redistribuire lo sforzo;
- il volume di frattura coinvolto nel meccanismo di rottura.

6 ASPETTI FONDAMENTALI PER IL PROGETTO

Il rinforzo in fibre è adatto per strutture nelle quali sono presenti sforzi diffusi. In strutture con sforzi sia localizzati sia diffusi, come accade usualmente, è meglio che il rinforzo sia ottenuto combinando fibre e barre d'armatura.

Negli elementi strutturali in cui le fibre hanno lo scopo di sostituire (anche parzialmente) l'armatura convenzionale, sono applicate alcune restrizioni relative alla resistenza residua minima (Eq. 2 e 3). Questa resistenza residua diventa significativa in strutture caratterizzate da un alto grado di ridondanza, nelle quali si ha una notevole redistribuzione degli sforzi. Per questa ragione in strutture senza barre, nelle quali le fibre sostituiscono completamente l'armatura convenzionale, è richiesto un livello minimo di ridondanza degli elementi strutturali. Al contrario, in strutture con le barre, nelle quali le fibre costituiscono un rinforzo aggiuntivo, la duttilità è generalmente fornita dall'armatura convenzionale che apporta un importante contributo alla resistenza a trazione. Per elementi in FRC incrudente (in trazione uniassiale), le fibre possono essere usate come unico rinforzo (assenza di barre) anche in elementi strutturali staticamente determinati.

L'eterogeneità del comportamento meccanico nel regime post-fessurazione è spesso penalizzata significativamente dall'elevato scarto correlato principalmente alla distribuzione e all'orientazione delle fibre. L'indagine sperimentale ha sottolineato che, quando è garantita una ridondanza significativa della struttura, grazie alla sua geometria e alle condizioni al contorno, e quando un ampio volume della struttura è coinvolto nel processo di rottura, il comportamento meccanico tende al valore medio anziché a quello caratteristico. Per questa ragione un idoneo coefficiente k_{Rd} può essere calcolato, sulla base di indagini sperimentali o calcoli specifici, con lo scopo di incrementare la capacità portante della struttura.

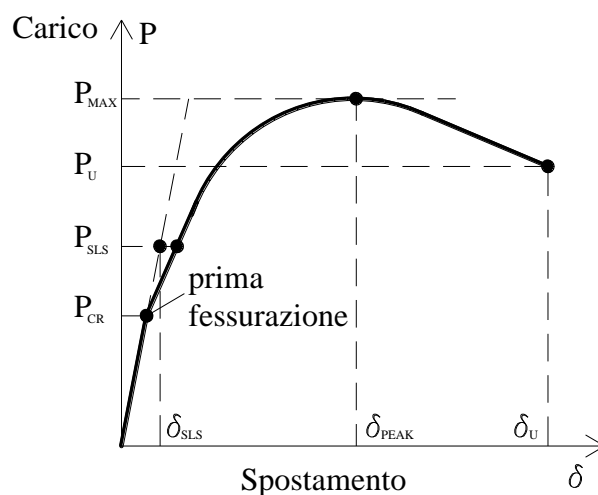


Figura 8 – Curva tipica carico (P) – spostamento per una struttura in FRC.

Inoltre, in tutte le strutture in FRC senza il rinforzo convenzionale minimo, devono essere soddisfatti opportuni requisiti di duttilità tradotti in termini di rapporto fra lo spostamento ultimo (δ_u , Figura 8), o lo spostamento al carico di picco (δ_{peak}), e lo spostamento elastico al carico di esercizio (δ_{SLS} calcolato eseguendo un'analisi elastica lineare, considerando la condizione non fessurata e il modulo elastico di Young iniziale). Il carico P_u deve inoltre essere sempre maggiore di P_{cr} (Figura 8).

7 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

L'implementazione di questo materiale nell'imminente Codice Modello *fib* è una pietra miliare molto importante nella ricerca sul calcestruzzo fibrorinforzato (FRC) che, nel futuro prossimo, condurrà ad un probabile sviluppo delle regole strutturali per elementi in FRC negli Eurocodici e nelle norme nazionali. In effetti, i nuovi materiali strutturali sono facilmente utilizzati dai progettisti solo quando le regole di progetto risultano presenti nei codici per le costruzioni.

Va comunque sottolineato che, sebbene il livello di conoscenza del materiale FRC sia enormemente aumentato durante gli ultimi quindici anni, sono necessarie future ricerche per verificare e ottimizzare le regole progettuali proposte e per indagare il comportamento a lungo termine di differenti calcestruzzi fibrorinforzati e altre problematiche ancora aperte, quali la fatica, il punzonamento, la resistenza a torsione, ecc.

Inoltre, si affaccerà al mercato una nuova generazione di calcestruzzi fibrorinforzati basata su una miscela di differenti tipi di fibre (materiale e/o geometria) per aumentare contemporaneamente diverse prestazioni strutturali (calcestruzzi fibrorinforzati ibridi).

8 BIBLIOGRAFIA

ACI Committee 544 (1996) Design considerations for steel Fiber Reinforced Concrete. ACI 544.4R-88, American Concrete Institute, ACI Farmington Hills, MI,.

CNR-DT 204 (2006) Guidelines for design, construction and production control of fiber reinforced concrete structures. National Research Council of Italy.

Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (DafStb) (August 2007) Guidelines for steel fiber reinforced concrete – 23th Draft – richtlinie Stahlfaserbeton – DIN 1045. Annex parts 1-4.

di Prisco M., Felicetti R., Iorio F., Gettu R. (2001) On the identification of SFRC tensile constitutive behavior. *Fracture mechanics of Concrete structures*, R. de Borst, J. Mazars, G. Pijaudier-Cabot, j.G.M. van Mier (Eds.), vol.1, A.A. Balkema Publishers, 541-548.

di Prisco M., Felicetti R., Lamperti M., Menotti G. (2004) On size effect in tension of SFRC thin plates. *Fracture Mechanics of Concrete Structures*, Li, V.C. et al. (eds.), 2, B.L. Schmick and A.D. Pollington, USA, 1075-1082.

di Prisco M., Felicetti R. and Plizzari G. (eds.) (2004) Fiber-Reinforced Concrete. BEFIB 2004, Bagnaux, France, RILEM Publications S.A.R.L., PRO39.

di Prisco M., Plizzari G.A., Vandewalle L. (2009) Fibre reinforced concrete: new design perspectives. *Materials and Structures Journal*, 1261-1281.

di Prisco M.(Ed) (2009) FRC structural applications and standards, *Materials and Structures Special Issue*, 42(9), 1169-1311.

Dozio D. (2008) SFRC structures: identification of the uniaxial tension characteristic constitutive law. Department of Structural Engineering, Politecnico di Milano.

EN 206-1, Concrete–Part 1 (2006) Specification, performance, production and conformity.

EN 14651 (2004) Test method for metallic fiber concrete – Measuring the flexural tensile strength (limit of proportionality, residual).

Eurocode 2 (2004) Design of concrete structures - Part 1-1: General Rules, and Rules for Buildings. UNI-ENV 1992-1-1, European Committee for Standardization.

fib SAG 5 (2009) Draft proposal the new *fib* Model Code, in preparation.

Gettu R. (Ed.) (2008) Fiber Reinforced Concrete: Design and Applications, BEFIB 2008, Bagnaux, France, RILEM Publications S.A.R.L., PRO60.

Hillerborg A., Modeer M., Peterson P.E. (1976) Analysis of crack formation and crack growth by means of fracture mechanics and finite elements. *Cement and Concrete Research*, 6, 773-782.

Reinhardt H.W., Naaman A.E. (eds.) (2007) High Performance Fiber Cement Composites (HPFRCC5). PRO53, RILEM Publications S.A.R.L.

Rossi P., Chanvillard G. (Eds.) (2000) 5th RILEM Symp. On Fiber Reinforced Concretes (BEFIB 2000), RILEM Publications S.A.R.L., Cachan, France.

Vandewalle L. et al. (2002) Recommendations of RILEM TC162-TDF: Test and design methods for steel fiber reinforced concrete: Design of steel fiber reinforced concrete using the σ -w method: principles and applications. *Materials and Structures*, Vol.35, 262-278.

Vandewalle L. et al. (2003) Recommendations of RILEM TC162-TDF: Test and design methods for steel fiber reinforced concrete: σ - ε -design method (final recommendation). *Materials and Structures*, Vol.36, 560-567.

Vandewalle L., (2000) Cracking behavior of concrete beams reinforced with a combination of ordinary reinforcement and steel fibers, *Materials and Structures*, Vol.33, 164-170.

RINGRAZIAMENTI

Un ringraziamento particolare va al Prof. J. Walraven per le fruttuose discussioni e al Prof. H. Falkner che ha condiviso la sua lunga esperienza progettuale. Gli autori sono anche riconoscenti nei confronti di tutti i membri del *fib* Task Groups TG 8.3 e del TG 8.6 per le discussioni costruttive avute durante diversi incontri, nei quali hanno assunto una forma definitiva molte delle idee presentate in questo articolo.