

CALCESTRUZZO FIBRORINFORZATO: L'EVOLUZIONE NORMATIVA

Bruno ROSSI *

* *Ingegnere Civile Edile; Corporate Technical Specialist, Officine Maccaferri S.p.A*

INTRODUZIONE

Si definisce calcestruzzo fibrorinforzato “*un materiale composito costituito da calcestruzzo di base nel quale è inglobato un rinforzo fibroso diffuso ed omogeneamente distribuito*” (UNI 11039-1_03 Calcestruzzo rinforzato con fibre d'acciaio – Definizioni, classificazione e designazione) L'aggiunta di fibre nel calcestruzzo ha lo scopo di ridurre la fragilità, di contrastare gli effetti del ritiro e, in definitiva, di aumentarne la durezza.

Il calcestruzzo fibrorinforzato è utilizzato nelle pavimentazioni, industriali e commerciali, nella prefabbricazione e nel settore delle gallerie, sia nelle opere provvisorie sia nei rivestimenti finali, dove è utilizzato anche per il rinforzo secondario dei conci prefabbricati. Negli ultimi anni è in atto un'intensa attività normativa, a livello Nazionale e Comunitario.

NORMATIVA

Le norme si possono raggruppare come di seguito:

- *norme di controllo della conformità delle fibre (UNI 11037_03, EN 14889_06);*
- *norme di esecuzione (Raccomandazioni AICAP_90, UNI 10834_99, UNI U73041440, EN 14650_05, EN 14721_05);*
- *norme di controllo delle proprietà meccaniche del calcestruzzo fibrorinforzato (UNI 11039_03, EN 14651_05);*
- *norme di controllo delle proprietà meccaniche del calcestruzzo fibrorinforzato proiettato (UNI 10834, EN 14487-1, pr EN 14488-1, ...,7);*
- *norme armonizzate di controllo della conformità di manufatti prefabbricati in calcestruzzo fibrorinforzato (UNI EN 1916_04, UNI EN 1917_04);*
- *norme di progettazione (Istruzioni CNR_DT_204_06, UNI U73041440);*

In questo articolo si esamineranno alcune di queste norme mettendone in evidenza gli aspetti positivi e quelli discutibili.

NORME SULLE FIBRE

In Italia è in vigore la norma UNI 11037_03 che definisce i requisiti per le fibre d'acciaio impiegate nel calcestruzzo. Essa classifica le fibre in base al semilavorato, al tipo di processo produttivo, alla resistenza a trazione, alla forma longitudinale ed alla protezione superficiale. A sua volta, la resistenza a trazione è definita sia come valore medio a rottura sia come valore di scostamento dalla proporzionalità, ed è classificata in funzione del diametro e della sagoma. La norma prescrive le tolleranze dimensionali, il relativo piano di campionamento e una serie di elementi da dichiarare nella marcatura dell'imballo.

Nello spirito della Direttiva Prodotti da Costruzione (CPD 89/106), la Commissione Europea, tramite i suoi Organismi Tecnici, ha dato mandato al CEN (Mandato M/128-1999 – Product related to concrete, mortar and grout) di redigere i seguenti progetti di norma, recentemente sottoposti a voto formale ed approvati:

- *EN 14489-1 Fibres for concrete – Part. 1 Steel fibres*
- *EN 14489-2 Fibres for concrete – Part. 2 Polymer fibres*

Le due norme, quando recepite a livello nazionale, imporranno l'obbligo dell'apposizione del Marchio CE al prodotto fibra per il calcestruzzo, sia essa in acciaio o polimerica. Il mandato M/128 richiedeva di analizzare gli aspetti riguardanti (nella versione originale inglese):

- 1- *Tensile strength / Modulus of elasticity;*
- 2- *Pull-out behaviour;*
- 3- *Potential reaction to alkali;*
- 4- *Effect on strength of concrete;*
- 5- *Workability (tendency to form balls).*

Alcuni di questi requisiti, 2 e 3, sono risultati di difficile traduzione operativa e quindi sono stati abbandonati, mentre l'effetto sulla lavorabilità, requisito 5, è stato trasformato in una generica raccomandazione che il Produttore di Fibre dovrà indicare, per una corretta procedura d'impasto, ma che non risponde all'esigenza espressa nel Mandato, vale a dire quella di garantire dalla formazione di “palle di fibre”.

L'aspetto più controverso delle norme sulle fibre (EN 14889-1,2) è quello relativo alla definizione pratica del requisito 4. Effect on strength of concrete, poiché esso implica la dichiarazione, da parte del produttore, e quindi l'assunzione di responsabilità, di un dosaggio minimo necessario al raggiungimento di determinati livelli di resistenza residua a flessione (EN 14651). Affinché tali norme armonizzate diventino operative sono necessarie altre norme europee, non necessariamente a carattere di obbligatorietà, una delle quali già approvata nel 2005 ed altre due sottoposte al voto formale nel corso di questo anno:

- EN 14651_05 Test method for metallic fibre concrete – Measuring the flexural strength;
- pr EN 14845-1 Test method for fibres in concrete – Part. 1 Reference concretes;
- pr EN 14845-2 Test method for fibres in concrete – Part. 2 Effect on strength.

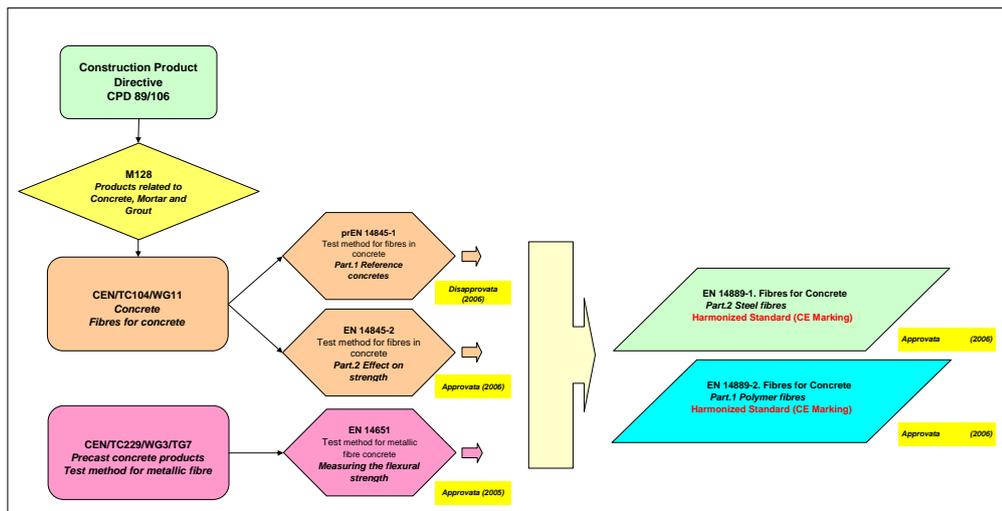


Figura 1

Il progetto di norma pr EN 14845-1 sui Reference Concretes è stato bocciato nel maggio 2006, non avendo ottenuto la maggioranza qualificata (71%) dei voti espressi. A questo esito negativo ha contribuito l'opposizione Italiana, motivata con l'assenza di verifiche sperimentali sulla ripetibilità e sull'affidabilità dei Reference Concretes. Ciò comporterà un riesame da parte del CEN/TC104/WG11, Gruppo di Lavoro autore della bozza di norma ed una successiva sottomissione a Voto Formale Europeo. La discussione sulle suddette norme sarebbe troppo lunga. Mi limito solo ad evidenziarne gli aspetti discutibili:

- *Attribuzione al Produttore di fibre (componente) della responsabilità sulle prestazioni del calcestruzzo fibrorinforzato (composito) (resistenze residue a flessione e lavorabilità);*
- *Mancanza di qualsiasi indicazione sul dosaggio minimo (mentre in Italia il dosaggio minimo viene trattato dalla UNI 11039-1 e dalle Istruzioni CNR_DT204_2006);*
- *Indicazione di livelli prestazionali espressi in termini ASSOLUTI, a prescindere dalla classe di resistenza del calcestruzzo: ciò comporta che la duttilità richiesta è via via più bassa all'aumentare della resistenza a compressione del composito. Si rischia di prescrivere livelli insufficienti di duttilità per calcestruzzi di resistenza crescente.*

Si conclude questa parte sulle norme sulle Fibre facendo notare che per nessun altro ingrediente del calcestruzzo, armato e non (cemento, sabbia, additivo, barre di armatura), sottoposto a Marcatura CE, viene richiesto di garantire una prestazione del composito calcestruzzo.

DOSAGGIO MINIMO

Nell'elencare le criticità delle norme Europee si è fatto cenno al dosaggio minimo delle fibre nel calcestruzzo. La norma UNI 11039 – Calcestruzzo rinforzato con fibre d'acciaio – Parte I, fissa un valore minimo di 25 kg/m^3 ammettendo dosaggi inferiori che siano giustificati attraverso dati sperimentali ottenuti in sede di prequalifica del fibrorinforzato, nei casi seguenti:

- *Per rapporti di aspetto delle fibre maggiori di 60;*
- *In applicazioni speciali, per esempio getti con spessore paragonabile alla lunghezza delle fibre.*

Nelle recenti Istruzioni CNR_DT204_2006 il dosaggio minimo inderogabile è fissato in 0.3 % in volume che, per le fibre d'acciaio, corrisponde ai 25 kg/m^3 di cui sopra. In nessuna delle norme europee citate si stabilisce un minimo dosaggio. Nella EN 14487-1 Sprayed concrete - Part.1 Definitions specifications and conformity – Annex A (informative) si indica un criterio per fissare il dosaggio minimo delle fibre a partire dalla teoria sulla sovrapposizione minima tra le fibre (D.C.

Mc Kee). Tale criterio coniuga tale concetto teorico con la minima sovrapposizione tra due fibre, espressa in funzione della lunghezza. In sintesi, si afferma che l'efficacia delle fibre è correlabile con il rapporto d'aspetto (rapporto tra lunghezza e diametro), quindi, maggiore è il rapporto d'aspetto, minore sarà il dosaggio minimo teorico.

È singolare osservare come, nonostante che di questa teoria ormai quarantennale non sia mai stata fornita la minima evidenza sperimentale, essa sia entrata a far parte di una norma europea.

NORME SUI METODI DI PROVA

Nel 2005 è stata approvata la norma europea EN 14651_05 *Test method for metallic fibre concrete – Measuring the flexural strength*, di tipo volontario, per gli elementi prefabbricati in calcestruzzo fibrorinforzato.

Questa norma riguarda la prova di flessione su travetto intagliato per la determinazione del limite di proporzionalità e delle resistenze residue. In sede di votazione formale, essa ricevette, da parte Italiana, diverse critiche. In particolare, fu segnalata la discutibile pretesa di legare, con una relazione empirica, il valore dello spostamento verticale del provino, ancora in uso in norme quali la ASTM C1018 e la JCI-SF4, per citarne qualcuna, con il valore d'apertura di fessura CMOD. Va detto che l'intenzione di correlare spostamento ed apertura di fessura va ricercata, probabilmente, nell'esigenza di "attualizzare" risultati di prove sperimentali effettuati con norme basate, appunto, sul legame Carico – Spostamento verticale.

Ancora, si stabiliva di determinare la resistenza residua in corrispondenza di specifici valori d'apertura di fessura, con ciò esponendo al rischio di un'accentuata variabilità dei risultati, mentre nella norma omologa Italiana, UNI 11039, si fissano degli intervalli d'apertura di fessura, integrando i quali si ricavano le resistenze equivalenti, e quindi gli indici di duttilità.

La norma in questione, pur se di tipo volontario, rischia di fatto di imporsi come procedura di riferimento perché espressamente richiamata dalle norme armonizzate (cogenti) sulle fibre.

Per terminare questa parte sulla prova di flessione, è doveroso segnalare che, nell'ambito delle norme che regolano gli aspetti prestazionali dello sprayed concrete (calcestruzzo proiettato), nel caso di fibrorinforzati, è stata proposta una prova di flessione su travetto (pr EN 14488-3) che si differenzia notevolmente da quella dianzi trattata (EN 14651).

Sono diverse le dimensioni, non c'è l'intaglio, si misura lo spostamento verticale, il carico viene applicato in due punti, e non in uno come nella EN 14651, la resistenza di prima fessurazione e gli indici di duttilità vengono determinati diversamente.

Viene da chiedersi perché un operatore del settore, sia esso produttore o utilizzatore di fibre, debba essere costretto ad utilizzare modalità di prova differenti per differenti applicazioni.

NORME SUI MANUFATTI IN CALCESTRUZZI FIBRORINFORZATI

Un rapido cenno merita la norma armonizzata UNI EN 1917_04 Pozzetti e camere di ispezione di calcestruzzo, rinforzato con fibre di acciaio e con armature tradizionali, dove addirittura si prescrivono un certo tipo di fibra ed una resistenza minima della stessa, in contrasto con l'approccio prestazionale della norma tendendo ad escludere altri tipi di fibre d'acciaio e fibre prodotte con materiali diversi. Questo tipo di prescrizione è in contrasto con lo spirito stesso della Direttiva Prodotti da Costruzione che, tra le altre finalità, ha quella di liberalizzare il mercato e di impedire le barriere protezionistiche da parte di questo o di quel Paese o del tal Produttore.

ISTRUZIONI CNR

Ci sono anche notizie positive: nel corso di questo anno sono state pubblicate le Istruzioni CNR-DT 204/2006 per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Strutture di Calcestruzzo Fibrorinforzato. Il documento ha per oggetto l'impiego strutturale del calcestruzzo fibrorinforzato, inteso come composito cementizio additivato con fibre di vario tipo, a cui si possano aggiungere in opera barre di armatura, lente o pretese.

Per impieghi strutturali deve essere garantito un dosaggio minimo di fibre (*0,3 % in volume*) ed una duttilità minima intesa come rapporto tra la resistenza residua a trazione e la resistenza di prima fessurazione ($f_{Rtsk} / f_{ctk} > 0,2$).

Sono richiesti livelli minimi prestazionali sulle strutture. Le Istruzioni CNR trattano della durabilità stabilendo, in funzione delle classi di esposizione e della permeabilità, le fibre che possono essere utilizzate e non. Nel testo del CNR non trovano spazio teorie strambe quali quelle sulla spaziatura minima, oppure correlazioni tra Apertura di Fessura e Spostamento.

Considerata l'importanza di questo documento, sarebbe utile integrare e rivedere le normative relative alle strutture nelle quali sia previsto l'impiego del calcestruzzo fibrorinforzato al fine di definire correttamente le modalità di esecuzione, progettazione e controllo: un esempio è costituito dai pavimenti ad uso industriale, la cui norma applicativa, UNI 11146, fa cenno all'utilizzo di fibre.

CONCLUSIONI

La tecnologia del calcestruzzo fibrorinforzato sta conoscendo un periodo di forte sviluppo in termini di regolamentazione. La normativa Italiana è sicuramente tra le più avanzate. A livello comunitario si registra, viceversa, qualche nota stonata: due metodi di prova a flessione per il calcestruzzo fibrorinforzato, assenza di indicazioni sul dosaggio minimo, impropria attribuzione di responsabilità ai produttori di fibre, ricorso a teorie e relazioni empiriche di dubbia validità.

Sarebbe un peccato se, a causa dell'obbligo di recepimento delle norme Europee, ci si dovesse trovare costretti ad accettare regole peggiori di quelle nazionali.

NORMATIVA

Di seguito sono riportate tutte le norme che riguardano le metodologie per testare il materiale, sia sotto l'aspetto meccanico, sia per tutti gli aspetti fisico-chimico. Sono riportate anche tutte le normative relative ai principi di progettazione basati sulle proprietà del materiale ed in funzione dell'assetto statico.

- ACI Committee - Report 544.1R – State-of-the-Art Report on Fiber Reinforced Concrete
- ACI Committee - Report 544.2R – Measurement of Properties of Fiber Reinforced Concrete
- ACI Committee – Report 544.4R – Design Considerations for Steel Fiber Reinforced Concrete
- ASTM C39 - Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens
- ASTM C157 - Standard Test Method for Length Change of Hardened Hydraulic-cement Mortar and Concrete
- ASTM C418 - Standard Test Method for Abrasion Resistance of Concrete by Sandblasting
- ASTM C496 - Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens
- ASTM C512 - Standard Test Method for Creep of Concrete in Compression
- ASTM C666 - Standard Test Method for Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing
- ASTM C779 - Standard Test Method for Abrasion Resistance of Horizontal Concrete Surfaces
- ASTM C1018 - Standard Test Method for Flexural Toughness and First-Crack Strength of Fiber Reinforced Concrete
- ASTM C1116 - Standard Specification for Fiber Reinforced Concrete and Shotcrete
- ASTM C1399 – Standard Test Method for Obtaining Average Residual-Strength of Fiber Reinforced Concrete
- ASTM C1550 - Standard Test Method for Flexural Toughness of Fiber Reinforced Concrete (Using Centrally Loaded Round Panel)
- ASTM C1579 - Standard Test Method for Evaluating Plastic Shrinkage Cracking of Restrained Fiber Reinforced Concrete (Using a Steel Form Insert)
- CRD-C 63-80 - Test Method for Abrasion-Erosion Resistance of Concrete (Underwater Method), U.S. Army Corps of Engineers
- AASHTO PP34-98 - Standard Practice for Estimating the Crack Tendency of Concrete
- EFNARC - European Specification for Sprayed Concrete
- EN 206-1 - Concrete - Part 1: Specification, performance, production and conformity
- EN 12390-3 - Testing hardened concrete - Compressive strength of test specimens
- EN 12390-6 - Testing hardened concrete - Tensile splitting strength of test specimens
- EN 12390-8 - Testing hardened concrete - Depth of penetration of water under pressure
- EN 13581 - Products and systems for the protection and repair of concrete structures - Test method - Determination of loss of mass of hydrophobic impregnated concrete after freeze-thaw salt stress
- EN 13687-1 - Products and systems for the protection and repair of concrete structures - Test methods – Determination of thermal compatibility - Freeze-thaw cycling with de-icing salt immersion
- EN 14651 – Precast concrete products - Test method for metallic fibre concrete - Measuring the flexural tensile strength
- CEN EN 1992-1-1 - Eurocode 2 – Design of concrete structures - Part 1-1: general rules and rules for buildings
- CEN/TR 15177 - Testing the freeze-thaw resistance of concrete - Internal structural damage
- RILEM TC 162-TDF: Test and design methods for steel fibre reinforced concrete – Bending test
- RILEM TC 162-TDF: Test and design methods for steel fibre reinforced concrete – σ - ϵ Design Method
- RILEM CPC-18 – Measurement of hardened concrete carbonation depth
- NF P18-409 – Beton avec Fibres Metalliques. Essai de flexion
- UNE 83-510 – Determination del Indice de Tenacidad y Resistencia a Primera Fisura
- NBN B 15-238 – Essai des bétons renforcés des fibres. Essai de Flexion sur éprouvettes prismatiques
- JCI-SF4 – Method of Tests for Flexural Strength and Flexural Toughness of Fiber Reinforced Concrete
- UNI 7087 - Calcestruzzo - Determinazione della resistenza al degrado per cicli di gelo e disgelo
- UNI 9944 - Corrosione e protezione dell'armatura del calcestruzzo. Determinazione della profondità di carbonatazione e del profilo di penetrazione degli ioni cloruro nel calcestruzzo
- UNI 11039-1 – Calcestruzzo rinforzato con fibre di acciaio. Part. I: Definizioni, classificazione e designazione
- UNI 11039-2 – Calcestruzzo rinforzato con fibre di acciaio. Part. II. Metodo di prova per la determinazione della resistenza di prima fessurazione e degli indici di duttilità
- UNI U73041440 - Progettazione, esecuzione e controllo degli elementi strutturali in calcestruzzo rinforzato con fibre d'acciaio - Norme Tecniche per le Costruzioni – Decr. 14/09/05 – G.U. 23/09/05
- CNR_DT204_2006 - Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Strutture di Calcestruzzo Fibrorinforzato
- ISO 834 – Fire resistance tests - Elements of building construction
- BS 476 - Fire tests on building materials and structures