

**LINEE GUIDA PER LA QUALIFICAZIONE
ED IL CONTROLLO DI ACCETTAZIONE
DEI MATERIALI COMPOSITI
FIBRORINFORZATI A MATRICE
POLIMERICA (FRP) PER IL RINFORZO
STRUTTURALE DI STRUTTURE ESISTENTI**

Luigi Ascione

Dipartimento di Ingegneria Civile, Università di Salerno
l.ascione@unisa.it

Carlo Poggi

Dipartimento ABC Architettura ed Ingegneria delle Costruzioni, Politecnico di Milano
carlo.poggi@polimi.it

LE LINEE GUIDA MINISTERIALI PER LA QUALIFICAZIONE ED IL CONTROLLO DEGLI FRP

Inquadramento normativo

I materiali non tradizionali quali i materiali fibrorinforzati possono essere utilizzati nell'ambito di interventi di consolidamento di costruzioni esistenti in accordo a quanto riportato al punto 8.6 delle Norme Tecniche per le Costruzioni [2]. A tal fine nel luglio del 2009 l'Assemblea Generale del CSSLLPP ha approvato le "Linee Guida per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Collaudo di Interventi di Rinforzo di Strutture di c.a., c.a.p. e murarie mediante FRP" [4] che sono state pubblicate a cura del Servizio Tecnico Centrale (STC). Queste Linee Guida furono predisposte sulla base di quanto riportato nelle precedenti Linee Guida del CNR DT200 [3]. Entrambe forniscono ai progettisti e direttori dei lavori, collaudatori ed in generale a tutti gli operatori del settore, indicazioni utili riguardo ai principi e regole per la progettazione, l'esecuzione ed il controllo degli interventi di consolidamento. Le Linee guida necessitavano però di un'integrazione per quanto concerne la qualificazione e certificazione degli stessi materiali fibrorinforzati.

Le vigenti Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC), come riportato nel D.M. 14.01.2008 al cap. 11, par. 11.1 lett C), prescrivono infatti che tutti i materiali e prodotti da costruzione devono essere identificabili ed opportunamente controllati sia in fase di produzione che di accettazione. Quando i prodotti non sono marcati CE ai sensi dell'attuale Regolamento UE 305/2011 o non sono in possesso di un ETAS (European Technical Assessment) che ne definisce le caratteristiche prestazionali, è necessario che siano accompagnati da un **Certificato di Idoneità tecnica all'impiego (CIT)** rilasciato dal Servizio Tecnico Centrale sulla base di linee guida approvate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici CSLPP. La sua validità è limitata al territorio nazionale.

A questo scopo il Gruppo di Lavoro 10 (Materiali) del C.S.LL.PP costituito nel 2010 (componenti: Ing. Pietro Baratono (Coordinatore), Arch. Mario Avagnina, Ing. Antonio Lucchese, Ing. Emanuele Renzi, Prof. Luigi Ascione, Prof. Gaetano Manfredi, Prof. Giorgio Monti, Prof. Antonio Nanni, Prof. Carlo Poggi, Prof. Marco Savoia, Prof. Gianni Royer) aveva predisposto già nel 2012 una bozza di "Linea guida per la Qualificazione ed il Controllo di accettazione di materiali compositi fibrorinforzati a matrice polimerica da utilizzarsi per il consolidamento strutturale di costruzioni esistenti". Questo documento era stato trasmesso inizialmente alla Presidenza del Consiglio Superiore dei LL. PP. in data 6 maggio 2012. Per diversi motivi tali Linee guida sono però state approvate definitivamente solo nel febbraio 2015 e diventano oggi finalmente utilizzabili dai produttori che desiderano sottoporre al STC una richiesta di CIT per i suddetti prodotti fibrorinforzati. Il prodotto può essere immesso sul mercato solo dopo l'ottenimento del CIT, che ha validità 5 anni e che dovrà essere allegato in copia ad ogni fornitura. E' necessario verificare con il C.S.LL.PP. il periodo di entrata in vigore delle regole riportate nelle Linee Guida in oggetto [1] per evitare che la loro obbligatorietà immediata impedisca la commercializzazione dei prodotti stessi.

Campo di applicazione

La linea guida riguardano due diversi di sistemi di rinforzo

- **Sistemi preformati**_lastre e lamine sottili preformate in stabilimento, di solito mediante pultrusione o sistemi equivalenti, che vengono applicati all'elemento strutturale mediante collanti. Ai fini della qualificazione il sistema è da intendersi comprensivo dell'adesivo da adoperarsi come collante.
- **Sistemi impregnati in situ**_costituiti da tessuti unidirezionali o multidirezionali impregnati in cantiere con resine polimeriche che fungono anche da adesivo al substrato dell'elemento da rinforzare. Ai fini della qualificazione il sistema è da intendersi comprensivo del tessuto e della resina.

Nel seguito vengono riassunti i principi su cui si basano la procedura di qualificazione, i controlli della produzione e quelli di accettazione in cantiere.

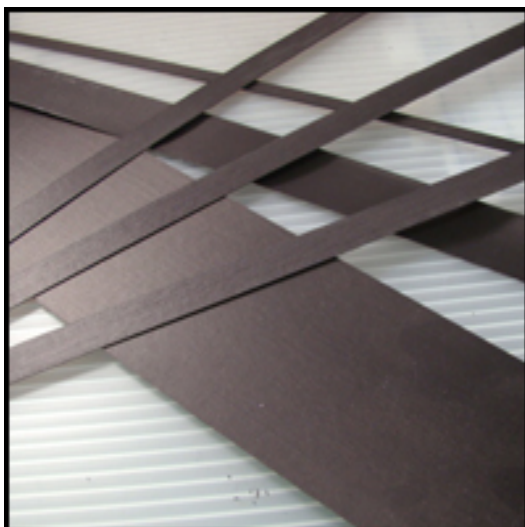
Per entrambi i sistemi considerati, i materiali costituenti devono essere conformi a specifiche norme tecniche Europee di riferimento. Per le caratteristiche dei materiali costituenti è possibile fare riferimento alle Linee guida [1] od alle norme specifiche di prodotto.

SISTEMI DI RINFORZO PREFORMATI

Classificazione dei sistemi di rinforzo preformati

Nell'ambito della Linea Guida i sistemi di rinforzo preformati considerati sono esclusivamente quelli costituiti da lastre (figura 1) con caratteristiche tali da poter essere utilizzate quali elementi di rinforzo esterno applicabili al supporto mediante un adesivo (figura 2). Non sono quindi considerati in questa linea guida altri profili pultrusi con forme diverse dalla semplice lastra ed utilizzabili come elementi strutturali indipendenti.

I sistemi di rinforzo in oggetto sono classificati in base ai valori del modulo elastico e della resistenza a trazione. Entrambe le quantità sono riferite alla sezione trasversale reale del campione includendo quindi anche il contributo della matrice epossidica nel computo dell'area. Questo è ragionevole in quanto trattasi di campioni ottenuti con la tecnica della pultrusione caratterizzati quindi da regolarità dello spessore.



1. Lastre pultruse per il rinforzo esterno di elementi strutturali. **2.** Rinforzo di una trave in acciaio mediante elementi pultrusi in carbonio.

I valori, riportati nella tabella 1, tratta dalle Linea Guida [1], sono nominali. Pertanto tutti i valori delle prove meccaniche devono essere superiori ai valori nominali della classe corrispondente.

Tabella 1. Classi degli FRP preformati.

Classe	Natura della fibra	Modulo elastico a trazione nella direzione delle fibre [GPa]	Resistenza a trazione nella direzione delle fibre [MPa]
E17	Vetro	17	170
E23	Vetro	23	240
G38/600	Vetro	38	600
G38/800	Vetro	38	800
G45	Vetro	45	1000
C120	Carbonio	120	1800
C150/1800	Carbonio	150	1800
C150/2300	Carbonio	150	2300
C190/1800	Carbonio	190	1800
C200/1800	Carbonio	200	1800
A55	Arammide	55	1200

Qualificazione

Il processo di qualificazione iniziale del produttore prevede i comuni controlli sul sistema di gestione ed il controllo della produzione attraverso un monitoraggio della documentazione, degli strumenti tecnici utilizzati e di tutte quelle attività tipiche della normativa ISO 10002.

La produzione in stabilimento deve prevedere gli usuali controlli sui materiali base che costituiscono il composito (fibre, tessuti, resine etc.) ed un programma di prove, sia di tipo iniziale per determinare le caratteristiche e la classe del prodotto, che di controlli periodici della produzione condotti su base statistica.

Prove iniziali di tipo

Risultano particolarmente importanti per l'ottenimento del CIT le prove iniziali di tipo.

Queste devono essere effettuate presso un laboratorio autorizzato ai sensi dell'art 59 del DPR 380/2001, con comprovata esperienza, dotato di attrezzature adeguate per la sperimentazione dei compositi e che sia stato preventivamente incaricato dal Servizio Tecnico Centrale.

Sono considerati prodotti diversi quelli che appartengono a classi diverse (tabella 1) oppure quelli per cui, pur se appartenenti alla stessa classe, siano stati realizzati con diverse tecniche o diversi materiali.

Tabella 2. Sintesi delle prove di qualificazione per compositi preformati.

Tipo di prova	Numero di provini	Numero di lotti di produzione interessati
Resistenza meccanica	15	3
Resistenza a cicli di gelo-disgelo	4 x 2 = 8	2
Resistenza all'umidità	4 x 2 = 8	2
Resistenza agli ambienti salini	4 x 2 = 8	2
Resistenza agli ambienti alcalini	4 x 2 = 8	2
Totale delle prove	47	

Si sottolinea che le prove di qualificazione iniziale comprendono prove meccaniche e prove di durabilità in diversi ambienti (gelo-disgelo, umidità, ambienti salini e ambienti alcalini). Tutti i dettagli tecnici sono riportati nelle Linee Guida [1]. In tabella 2 è riassunta la numerosità dei provini ai fini della qualificazione dei sistemi di rinforzo preformati ed il numero dei lotti di produzione da cui effettuare il prelievo.

A conclusione del processo di qualificazione i produttori devono predisporre le schede tecniche di ogni prodotto che riportino, oltre alle caratteristiche meccaniche, la resistenza e la reazione al fuoco, l'intervallo di temperatura entro cui sono garantite le caratteristiche prestazionali, le condizioni di impiego.

In appendice al testo della Linee Guida [1] è riportata la struttura di una scheda tecnica tipo con le informazioni tecniche minime ed obbligatorio da doversi includere.

Prove periodiche di verifica della qualità

Le prove di controllo continuo in fabbrica, che il produttore deve eseguire con regolarità dopo l'ottenimento del CIT, sono limitate alle prove meccaniche di resistenza e rigidità nella direzione delle fibre. Il Laboratorio incaricato deve invece effettuare controlli saltuari almeno annuali operando su almeno 6 campioni prelevati da almeno due lotti di produzione.

Sono anche previste prove periodiche sui materiali base utilizzando gli stessi standard con cui le ditte produttrici hanno caratterizzato tali prodotti.

Procedure per il rilascio del Certificato di Idoneità Tecnica (CIT)

La richiesta di qualificazione deve essere inoltrata dal Produttore al STC allegando idonea documentazione nella quale siano riportati:

- relazione tecnica descrittiva dell'impianto di produzione indicazione dello stabilimento e descrizione degli impianti e dei processi di produzione con l'indicazione delle eventuali attività effettuate in *outsourcing*;
- indicazione del Direttore Tecnico di Stabilimento con allegato *curriculum* dove sono rappresentate le esperienze lavorative e la conoscenza del processo produttivo;

- descrizione dell'organizzazione del controllo interno di qualità con indicazione delle responsabilità aziendali tra cui i nominativi del Direttore tecnico, del Responsabile di produzione, del Responsabile attrezzature/officine, del Responsabile della qualità aziendale e degli eventuali responsabili delle singole procedure di controllo di produzione;
- copia del manuale di qualità aziendale, coerente alla norma UNI EN 9001, e della certificazione del controllo di produzione in fabbrica, che specifichi gli aspetti dell'effettiva attuazione del sistema di garanzia di qualità, il trattamento delle non conformità;
- disegni tecnici completi e dettagliati di ciascun prodotto di cui si richiede la qualificazione, comprensivi di sezioni e particolari costruttivi, con indicazione di materiali, trattamenti, finiture superficiali e quanto necessario per individuarne ogni aspetto; i disegni devono riportare l'approvazione del Direttore tecnico dello Stabilimento;
- dichiarazione di non tossicità dei prodotti e dei relativi materiali e componenti;
- modalità di marchiatura che si intende adottare per l'identificazione del prodotto finito; le modalità di rintracciabilità del prodotto adottate nei documenti del Produttore e nel documento di trasporto;
- indicazione del Direttore tecnico del Laboratorio interno con allegato *curriculum* e descrizione particolareggiata delle apparecchiature e degli strumenti del Laboratorio per il controllo continuo di qualità;
- dichiarazione attestante che il servizio di controllo interno della qualità sovrintende ai controlli di produzione ed è indipendente dai servizi di produzione;
- scheda tecnica con le caratteristiche meccaniche delle materie prime utilizzate nel processo produttivo con indicazione delle norme di riferimento per fibre e resine;
- indicazione di un Laboratorio di prova, con caratteristiche di cui al punto 4.3. della Linee Guida [1];
- certificati di prove iniziali di tipo suddivise per ogni prodotto oggetto di richiesta di CIT, eseguite ai sensi della Linea Guida in oggetto, da un Laboratorio incaricato;
- caratteristiche dei prodotti che si intende qualificare con indicazione della loro composizione (fibre, resine, eventuali additivi);
- il Registro di controllo della produzione adottato per la conservazione ed elaborazione statistica dei controlli di produzione effettuati su ogni singolo prodotto costruito;
- una relazione su tutti gli aspetti logistici, di stoccaggio e di carico, nella quale devono essere descritte le seguenti fasi:
 - lo stoccaggio delle materie prime (allegando una pianta dello stabilimento);
 - l'eventuale arrotolamento del prodotto (modalità ed attrezzature impiegate atte a salvaguardare la qualità del prodotto in arrotolamento);
 - l'imballaggio (criteri e modalità impiegati per preservare il prodotto);
 - lo stoccaggio del prodotto finito (modalità di stoccaggio del prodotto finito e criteri adottati per assicurare la rintracciabilità, la movimentazione, l'etichettatura ecc.);
 - il carico su mezzo di trasporto (modalità di carico sul mezzo di trasporto).

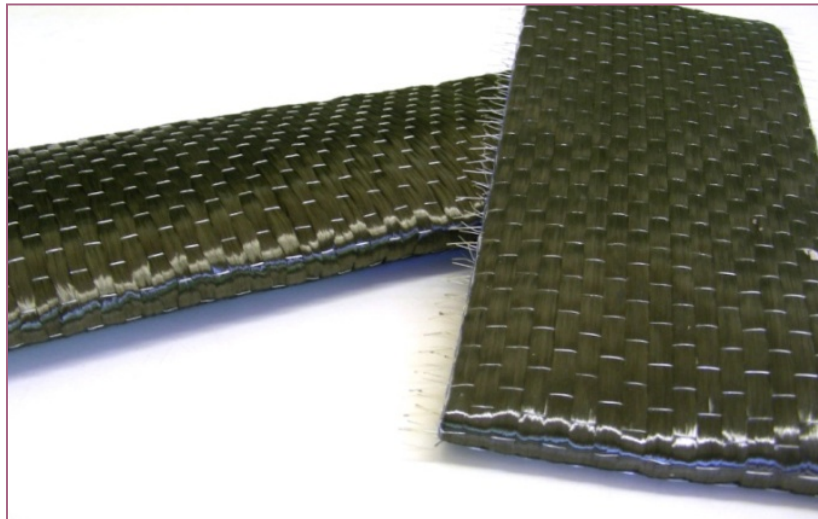
Un aspetto di rilievo riguarda la rintracciabilità dei prodotti qualificati che devono riportare un marchio che li renda identificabili e dal quale sia possibile risalire allo stabilimento di produzione. Il sistema di identificazione viene proposto dal produttore ed è oggetto di valutazione da parte del STC durante l'istruttoria per il rilascio del CIT. Ulteriori dettagli relativi alle fasi dell'istruttoria sono riportati nel testo delle Linee Guida [1] al paragrafo 4.5.2

Controlli di accettazione in cantiere

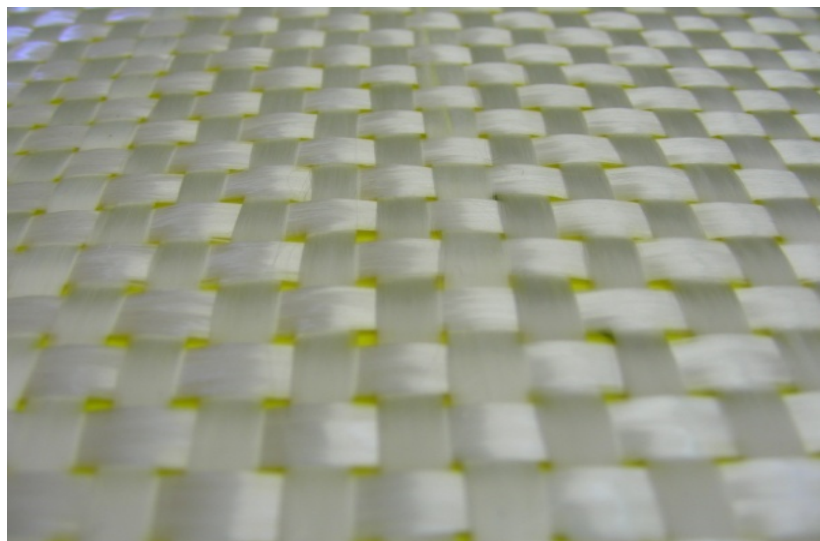
I controlli in cantiere sono obbligatori e ovviamente di competenza del Direttore dei Lavori che deve effettuare un prelievo di campioni da sottoporre a prova e verificare la provenienza dei prodotti e la loro marchiatura per la rintracciabilità. In questo caso sono previsti solo controlli di tipo meccanico e le prove sono considerate accettabili se i valori della resistenza a trazione e del modulo elastico risultano superiori o uguali ai valori nominali della classe dichiarata dal produttore (tabella 1). E' consigliato effettuare le prove su almeno tre campioni nominalmente identici per ogni prelievo. E' previsto anche un controllo sulla resina per l'incollaggio del pultruso al supporto da rinforzare.

SISTEMI DI RINFORZO REALIZZATI IN SITU

Per sistemi realizzati in situ si intendono esclusivamente i sistemi di rinforzo costituiti da due fasi specifiche (tessuto e resina) fornite e commercializzate insieme per produrre un laminato composito (figure 3,4). La ditta che fornisce il sistema (nel seguito indicata come "Fornitore") deve assicurare che i componenti posseggano caratteristiche di compatibilità.



3. Tessuto unidirezionale in carbonio.



4. Tessuto bidirezionale in vetro.

Classificazione

Analogamente a quanto visto per i sistemi preformati, i sistemi realizzati in situ sono classificati in base ai valori del modulo elastico e della resistenza a trazione in accordo a quanto riportato in tabella 3. Tutti i valori sperimentali ottenuti da provini realizzati con uno specifico sistema devono risultare almeno superiori ai valori nominali della corrispondente classe per legittimare l'appartenenza.

I valori nominali riportati in tabella 3 sono riferiti alla direzione delle fibre nel caso di tessuti unidirezionali o alla direzione di prevalente interesse nel caso di tessuti con fibre multidirezionali.

Tabella 3. Classi dei rinforzi FRP realizzati in situ.

Classe	Natura della fibra	Modulo elastico a trazione nella direzione delle fibre [GPa]	Resistenza a trazione nella direzione delle fibre [MPa]
60G	Vetro	60	1300
210C	Carbonio	210	2700
350/1750C	Carbonio	350	1750
350/2800C	Carbonio	350	2800
500C	Carbonio	500	2000
100A	Arammide	100	2200

Qualificazione degli FRP prodotti in situ

Il processo di qualificazione per i materiali compositi prodotti in situ comprende una prima fase in cui sono previsti controlli sull'organizzazione ed il sistema produttivo della ditta produttrice ed una seconda fase in cui vengono eseguite prove iniziali di tipo per la verifica delle proprietà meccaniche e di accertamento della durabilità ambientale dei prodotti.

Le prove devono riguardare almeno un prodotto per ogni classe a condizione che il prodotto selezionato sia rappresentativo di tutti i prodotti analoghi appartenenti alla stessa classe. In caso contrario è necessario sottoporre a controlli più prodotti anche della stessa classe.

Controllo del sistema di gestione della qualità dei Fornitori

I fornitori devono essere dotati di un sistema di gestione della qualità coerente con le norme UNI EN 9001 che sia certificato da un organismo indipendente.

Per la richiesta del Certificato di Idoneità Tecnica è necessario produrre una documentazione come richiesto nelle Norme Tecniche per le Costruzioni [2] al punto 11.1.

Tali documenti, dettagliati al punto 5.2.2 delle Linee Guida [1], riguardano:

- le caratteristiche dei sistemi di rinforzo;
- la marcatura di identificazione del sistema;
- le fonti delle forniture delle materie costituenti e la loro certificazione;
- la documentazione relativa al sistema di qualità aziendale;
- la documentazione ed i manuali per la preparazione ed installazione dei sistemi di rinforzo.

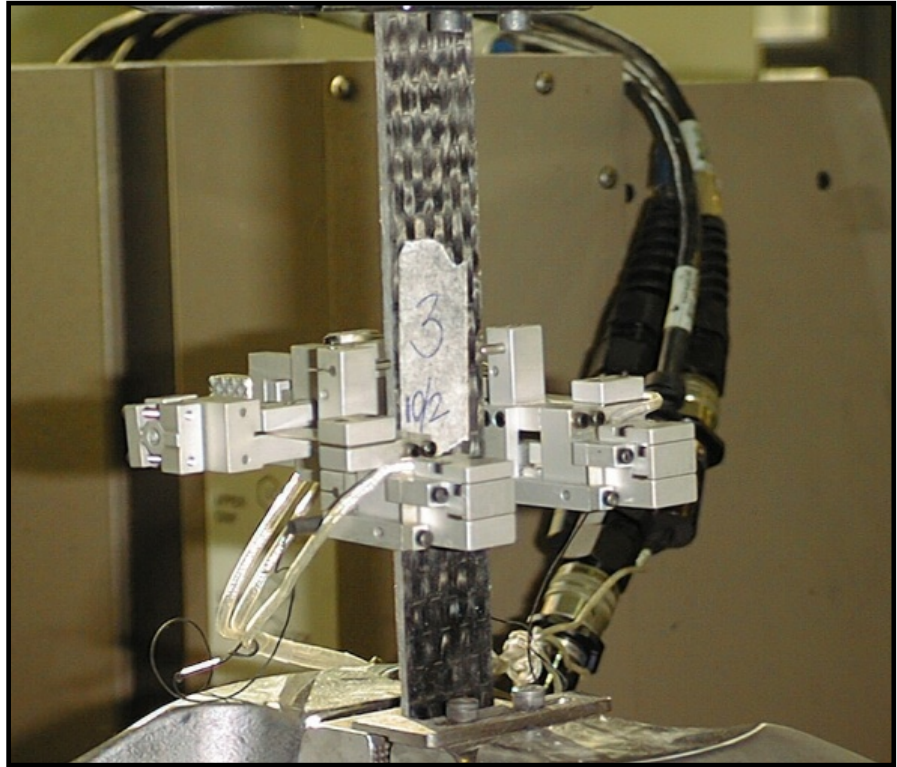
La seconda fase della qualificazione prevede l'esecuzione di prove sperimentali svolte e certificate da un laboratorio autorizzato ai sensi dell'art 59 del DPR 380/2001, che sia stato preventivamente incaricato dal Servizio Tecnico Centrale.

Prove di qualificazione di tipo meccanico

Il Fornitore deve preparare una serie di almeno 18 campioni da sottoporre a prova di trazione monoassiale utilizzando tecniche analoghe a quelle usualmente adottate in cantiere. I campioni devono essere ottenuti dai seguenti due gruppi di laminati:

- un primo gruppo (A) composto da n. 3 lastre , realizzate con tre strati sovrapposti di tessuto, le cui dimensioni in pianta siano sufficientemente grandi da consentire la realizzazione di almeno 3 provini da ciascun laminato (ad es di dimensioni A4) per un totale di 9 provini;
- un secondo gruppo (B) composto da n. 3 lastre , realizzate con un numero di strati ritenuto significativo per la propria offerta commerciale, le cui dimensioni in pianta siano sufficientemente grandi da consentire la realizzazione di almeno 3 provini da ciascun laminato: in totale 9 provini.

Il Laboratorio incaricato svolgerà le prove meccaniche di trazione dei campioni determinando il valor medio del modulo elastico ed il valore caratteristico della resistenza a trazione (figura 5). Il valore caratteristico è determinato sottraendo al valor medio delle tensioni di rottura ottenute la sua deviazione standard moltiplicata per una costante pari a 2.33. I suddetti valori medi e caratteristici devono risultare non inferiori ai corrispondenti valori nominali della classe prescelta.



5. Campione di FRP in carbonio sottoposto a prova di trazione con estensometro biassiale.

Prove di qualificazione per l'accertamento della durabilità ambientale

Il Fornitore deve predisporre almeno 32 campioni preparati secondo quanto indicato nelle Linee Guida [1] al punto 5.2.4, che saranno mantenuti in camera umida per almeno una settimana e poi sottoposti ai cicli termici e di resistenza ambientale secondo le modalità previste al punto 4.3.2 e 4.3.3 delle stesse Linee Guida. Si riporta in tabella 4 l'elenco delle prove di durabilità per i campioni realizzati in situ da sottoporre ad invecchiamento artificiale.

Tabella 4. Sintesi delle prove richieste per la qualificazione dei compositi prodotti in situ.

Laminato	Tipo di prova		Numero campioni	N. campioni per laminato
gruppo (A)	Resistenza meccanica	Determinazione modulo elastico e tensione di rottura	9	41
	Resistenza a cicli di gelo/disgelo	Verifica alterazioni superficiali e determinazione di modulo elastico e tensione di rottura	4 (sottoposti a ciclo) + 4 (controllo)	
	Resistenza all'umidità		4 (sottoposti a ciclo) + 4 (controllo)	
	Resistenza agli ambienti salini		4 (sottoposti a ciclo) + 4 (controllo)	
	Resistenza agli ambienti alcalini		4 (sottoposti a ciclo) + 4 (controllo)	
gruppo (B)	Resistenza meccanica	Determinazione modulo elastico e tensione di rottura	9	9
Numero totale di prove				50

Anche in questo caso i campioni, terminato il trattamento preventivo per la verifica della durabilità, vengono sottoposti a prove di trazione per determinarne la resistenza residua. Questa deve risultare non inferiore all'85 % dei valori ottenuti in condizioni ambientali normali per prove di resistenza all'umidità e agli ambienti salini o non inferiore all' 80% nel caso di prove di resistenza agli ambienti alcalini.

Ulteriori dettagli tecnici sono riportati ai paragrafi 4.3.2 e 4.3.3 delle Linee Guida [1].

A conclusione del processo di qualificazione i produttori devono predisporre le schede tecniche di ogni prodotto che riportino, oltre alle caratteristiche meccaniche, la resistenza e la reazione al fuoco, l'intervallo di temperatura entro cui sono garantite le caratteristiche prestazionali, le condizioni di impiego.

In appendice al testo della Linee Guida [1] è riportata la struttura di una scheda tecnica tipo con le informazioni tecniche minime ed obbligatorio da doversi includere.

Prove periodiche di verifica della qualità

Sono previste solo prove periodiche sui materiali base, da eseguirsi utilizzando gli stessi standard con cui le ditte produttrici hanno caratterizzato tali prodotti.

Controlli di accettazione in cantiere

I controlli in cantiere sono obbligatori e rivestono una notevole importanza soprattutto per questa tipologia di compositi dove le caratteristiche meccaniche possono essere fortemente influenzate dal processo di realizzazione, dalle relative condizioni ambientali e dal rispetto di tutte le indicazioni tecniche suggerite dal Fornitore. I controlli sono ovviamente di competenza del Direttore dei Lavori che deve effettuare un prelievo in cantiere esigendo che la realizzazione dei campioni sia eseguita dagli stessi operatori addetti, possibilmente con le stesse condizioni ambientali, ma comunque utilizzando sempre gli stessi materiali di base. Sono

consigliati almeno tre campioni da sottoporre a prove meccaniche di trazione per la determinazione del modulo elastico e della resistenza ultima. In questo caso sono previsti solo controlli di tipo meccanico e le prove sono considerate accettabili se i valori della resistenza a trazione e del modulo elastico risultano superiori o uguali ai valori nominali della classe dichiarata dal produttore. Il Direttore dei Lavori deve anche verificare la provenienza dei prodotti utilizzati e la loro marchiatura per la rintracciabilità.

BIBLIOGRAFIA | REFERENCES

[1] Linee Guida del C.S.LL.PP. "Linee guida per la Qualificazione ed il Controllo di accettazione di materiali compositi fibrorinforzati a matrice polimerica (FRP) da utilizzarsi per il consolidamento strutturale di costruzioni esistenti" , approvate dal Consiglio Sup. LL. PP. il 19.02.2015. disponibili sul sito www.ateservizi.it

[2] Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC), D.M. 14.01.2008

[3] Linee guida CNR DT200 R1, "Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Interventi di Consolidamento Statico mediante l'utilizzo di Compositi Fibrorinforzati" Materiali, strutture in c.a. e in c.a.p. e strutture murarie", 2013. Disponibili sul sito CNR www.cnr.it

[4] Linee guida del C.S.LL.PP. "Linee Guida per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Collaudo di Interventi di Rinforzo di Strutture di c.a., c.ap. e murarie mediante FRP" approvate dal Consiglio Sup. LL.PP. nel 2009. Disponibili sul sito www.ateservizi.it