



Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici
Servizio Tecnico Centrale

***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***

Dicembre 2018

1. SCOPO E CAMPO DI APPLICAZIONE	4
2. CARATTERISTICHE DEL COMPOSITO E DEI RELATIVI COMPONENTI	4
2.1 Caratteristiche prestazionali ai fini della qualificazione	8
2.1.1 Caratteristiche meccaniche	8
2.1.2 Caratteristiche del prodotto nei confronti delle sollecitazioni termiche ed eventuali prove di comportamento al fuoco	10
3. QUALIFICAZIONE DEL SISTEMA	10
3.1 Qualificazione del Fabbricante e del sistema di rinforzo	10
3.2 Prove di qualificazione	11
3.2.1 Prove di qualificazione per il rilascio del CVT (prove iniziali di tipo)	11
3.2.2 Prove per il controllo permanente di produzione in stabilimento	12
3.3 Prove di caratterizzazione meccanica (prove iniziali di tipo)	14
3.3.1 Prove di trazione	15
3.3.1.1 Prove di trazione sulla rete	15
3.3.1.2 Prove di trazione su provini di FRCM	15
3.3.2 Prove di distacco dal supporto	16
3.3.3 Prove di trazione in presenza di sovrapposizione delle reti	16
3.3.4 Prove di trazione per le fibre di acciaio sottoposte a piegature	17
3.4 Prove per l'accertamento della durabilità ambientale	17
3.4.1 Prove cicliche di gelo e disgelo	18
3.4.2 Prove di invecchiamento artificiale	18
3.4.3 Prove di comportamento alle sollecitazioni termiche	19
3.4.4 Prove di durabilità delle fibre di acciaio dopo la piegatura	20
3.4.5 Tabella di sintesi delle prove di qualificazione	20
3.5 Certificazione dei risultati delle prove iniziali di tipo	21
3.6 Scheda Tecnica di prodotto	21
4. PROCEDURA DI QUALIFICAZIONE	22
4.1 Documenti da allegare all'istanza	22
4.2 Istruttoria del Servizio Tecnico Centrale	24
4.3 Durata e rinnovo del Certificato di Valutazione Tecnica	25
4.4 Sospensione e Ritiro del Certificato di Valutazione Tecnica	25
4.5 Prodotti provenienti dall'estero	26
4.6 Identificazione e rintracciabilità dei prodotti qualificati	26
5. PROCEDURE DI ACCETTAZIONE IN CANTIERE	27
6. INSTALLAZIONE	29
7. RIFERIMENTI NORMATIVI	30
ALLEGATO 1	31
PROVE DI TRAZIONE	31

Prova di trazione sulla rete (tessuto)	31
Prova di trazione su provini di <i>FRCM</i>	34
Prova di trazione sulla rete (tessuto) in acciaio piegata	36
ALLEGATO 2	38
Prova di distacco dal supporto	38
ALLEGATO 3	42
Scheda tecnica tipo per sistema per ogni diverso numero di reti e per ogni tipo di supporto convenzionale	42

1. SCOPO E CAMPO DI APPLICAZIONE

Le vigenti Norme Tecniche per le Costruzioni, approvate con Decreto Ministeriale del 17 gennaio 2018 (nel seguito NTC 2018) prescrivono, al § 11.1, che tutti i materiali e prodotti da costruzione, quando impiegati per uso strutturale, debbano essere identificabili, in possesso di specifica qualificazione all'uso previsto e debbano altresì essere oggetto di controllo in fase di accettazione da parte del Direttore dei lavori.

A tal fine le norme predette prevedono che i materiali e i prodotti da costruzione per uso strutturale, quando non marcati CE ai sensi del Regolamento (UE) n.305/2011 (nel seguito Regolamento) sulla scorta di una norma armonizzata o di una Valutazione Tecnica Europea (ETA) ai sensi dell'art. 26 del Regolamento, debbano essere in possesso di un Certificato di Valutazione Tecnica (nel seguito CVT) rilasciato dal Servizio Tecnico Centrale (nel seguito STC), anche sulla base di linee guida approvate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, ove disponibili.

La presente Linea Guida fornisce pertanto le procedure per l'identificazione, la qualificazione ed il controllo di compositi fibrorinforzati a matrice inorganica, denominati *FRCM* (*Fiber Reinforced Cementitious Matrix*), impiegati per il consolidamento strutturale. Tali compositi vengono denominati anche *TRC* (*Textile Reinforced Concrete*), *TRM* (*Textile Reinforced Mortars*) o anche *IMG* (*Inorganic Matrix-Grid composites*).

I compositi *FRCM* sono utilizzabili per realizzare "sistemi di rinforzo" esterni di strutture esistenti in muratura o in conglomerato cementizio armato.

Rientrano nel campo di applicazione della presente Linea Guida i sistemi di rinforzo *FRCM* il cui spessore è compreso, nel caso di una singola rete, tra 5 e 15 mm, al netto del livellamento del supporto. Nel caso di più reti lo spessore massimo non può essere superiore a 30 mm.

Le procedure per la qualificazione ed accettazione dei sistemi di rinforzo *FRCM* forniscono curve di comportamento e relativi parametri meccanici utilizzabili per la progettazione e la verifica degli interventi di rinforzo, quali la resistenza ultima a trazione del sistema di rinforzo *FRCM* e la resistenza nei confronti di prove di distacco dal supporto (o distacco di estremità).

2. CARATTERISTICHE DEL COMPOSITO E DEI RELATIVI COMPONENTI

I compositi *FRCM* presi in considerazione nella presente Linea Guida costituiscono sistemi o *kit*, analogamente a quanto previsto dalla definizione di cui al punto 2 dell'art. 2 del Regolamento UE 305/2011.

Essi possono infatti essere costituiti esclusivamente da: matrice inorganica, rinforzo, eventuali connettori, dispositivi di ancoraggio, elementi angolari, eventuali additivi ed eventuali adesivi, da aggiungere secondo le istruzioni del Manuale di Preparazione e nel Manuale di Installazione. Il rinforzo può essere costituito da una

rete ovvero da elementi monodirezionali organizzati su un supporto a rete. Nel presente documento, per semplicità, si userà comunque, per i casi suddetti, la denominazione di “rete” o di “tessuto”.

Il “sistema di rinforzo” in FRCM è realizzato *in situ* applicando alla struttura da consolidare il composito ed eventuali dispositivi di ancoraggio e/o speciali adesivi atti ad impedire il distacco prematuro del composito dal supporto (vedere § 3.2.1). Può essere qualificato come sistema di rinforzo FRCM una singola rete di rinforzo annegata in uno spessore definito di malta, ovvero più reti in un unico spessore di malta sulla base di modalità definite dal Fabbricante.

I sistemi di rinforzo FRCM devono essere posti in commercio da un unico Fabbricante, che assume la responsabilità della dichiarazione delle prestazioni, analogamente a quanto previsto dalle definizioni di cui al Regolamento. Nel caso in cui sia necessario regolarizzare il supporto *in situ* prima dell’applicazione del rinforzo FRCM, il Fabbricante deve riportare sulla scheda di installazione le indicazioni sul tipo di prodotto da utilizzare.

Nei sistemi di rinforzo FRCM la matrice inorganica, a base di cemento o di calce, nel seguito denominata anche malta, viene rinforzata con reti realizzate con fibre continue di una o più delle seguenti tipologie di materiali:

- acciaio ad alta resistenza;
- arammide;
- basalto;
- carbonio;
- poliparafenilenbenzobisoxazolo (nel seguito PBO);
- vetro AR.

Le fibre continue della rete sono raggruppate in fili o *yarn*, e possono essere secche o con resine di tipo organico (apprettate o impregnate). I tessuti in acciaio devono essere realizzati con acciaio ad alta resistenza (UHTSS – Ultra High Tensile Strength Steel), protetti nei confronti dei fenomeni ossidativi tramite procedimento di galvanizzazione o altro procedimento la cui equivalenza prestazionale deve essere comprovata, oppure con acciaio inox. Le fibre di acciaio devono essere conformi alle seguenti norme tecniche: ISO 16120-1/4, EN 10244-2, ISO 17823:2009.

Nel caso delle fibre di acciaio ad alta resistenza, il rinforzo è costituito da micro-trefoli.

Elementi caratteristici della rete sono la distanza tra i fili/trefoli nelle due direzioni di orditura della rete stessa (di seguito indicati, convenzionalmente, con i termini di “ordito” e “trama”) e le rispettive grammature, nonché le modalità di orditura.

È possibile che nello strato di malta siano presenti più reti di rinforzo, sovrapposte e opportunamente distanziate, nel qual caso occorre definirne la distanza.

La matrice funge anche da adesivo al substrato interessato dall’intervento di rinforzo.

Nel sistema *FRCM* possono essere presenti anche altre componenti organiche, quali:

- eventuali promotori di adesione rete-matrice;
- eventuali additivi per migliorare le proprietà reologiche (di presa, ecc.) della matrice.

La percentuale complessiva in peso delle predette componenti organiche, rispetto a quelle del solo legante inorganico (cemento e/o calce), deve essere esplicitamente indicata dal Fabbricante sulle confezioni in cui il legante è contenuto per la commercializzazione. In ogni caso non può essere superiore al 10% in peso del legante inorganico.

Ulteriori componenti organiche possono essere aggiunte *in situ* per promuovere l'adesione "fresco su fresco", quando indicato nel Manuale di Preparazione e nel Manuale di Installazione. Queste componenti fanno parte del "sistema di rinforzo" ai fini della sua qualificazione e devono essere tenute in conto nei riguardi del non superamento del predetto limite del 10% in peso del legante inorganico.

Può essere altresì presente un eventuale rivestimento della rete di rinforzo allo stato secco, che non rientra nel limite del 10% suddetto. Il Fabbricante è tenuto a dichiarare il ruolo, la natura chimica e la quantità in peso di componente organica utilizzata per il rivestimento, riferita all'unità di superficie della rete.

L'utilizzatore deve essere informato dal Fabbricante che, all'aumentare della percentuale complessiva delle componenti organiche, il sistema *FRCM* può conseguire un decadimento delle proprietà di permeabilità, durabilità e di comportamento al fuoco.

Il Fabbricante è tenuto a fornire, in riferimento alla rete presente all'interno della malta, indicazioni utili per il progettista, quali lo spessore equivalente, gli interassi tra i fili/trefoli, nella direzione di trama e ordito e le relative grammature.

Lo spessore equivalente di una rete di rinforzo nella direzione della trama (ordito) va calcolato applicando la seguente formula:

$$t_{eq} = 1000 \cdot G/g$$

dove t_{eq} è lo spessore equivalente, espresso in mm, G la grammatura (in Kg/m²) dei soli fili/trefoli nella direzione della trama (ordito) e g la densità (in Kg/m³) del materiale costitutivo della rete.

Nel caso di una rete avente, in trama e ordito, lo stesso numero e lo stesso tipo di fili/trefoli, G è ovviamente pari alla metà della grammatura della rete e lo spessore equivalente è uguale nelle due suddette direzioni. In casi differenti, lo spessore equivalente è diverso a seconda che si consideri la direzione della trama o dell'ordito.

La distanza netta tra il contorno dei fili o i trefoli, nelle direzioni in cui sono presenti, non può essere superiore a 2 volte lo spessore della malta e comunque non può essere maggiore di 30 mm.

Il tipico legame costitutivo tensione - deformazione di un sistema di rinforzo *FRCM* in una prova di trazione monoassiale (Allegato 1) è assimilabile ad una polilinea costituita da tre rami consecutivi (Figura 1), corrispondenti, nell'ordine, allo stadio di campione non fessurato (Stadio A), a quello in fase di fessurazione (Stadio B) e a quello fessurato (Stadio C), dove la tensione (o sforzo), espressa in MPa, è definita come:

$$\sigma = F/A_f \quad (\text{con } A_f \text{ area del tessuto senza matrice inorganica})$$

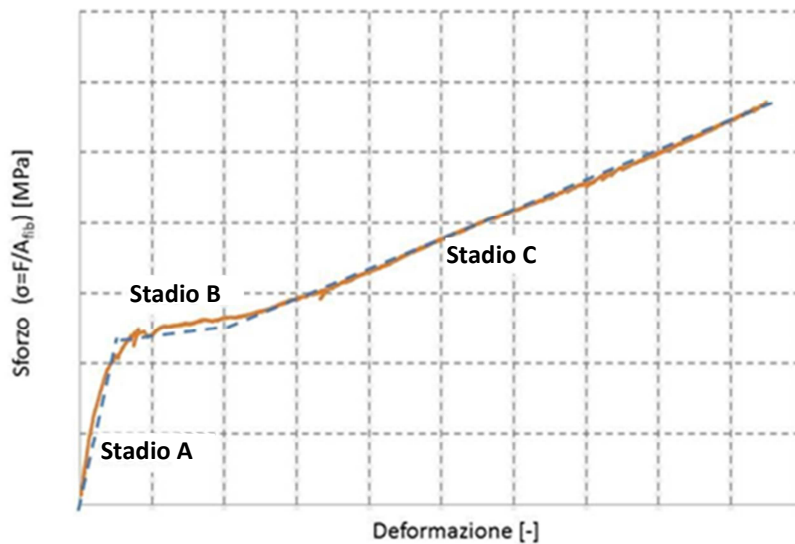


Figura 1-Legame costitutivo tipo a trazione uniassiale di un provino di *FRCM* (A_f area del tessuto senza matrice inorganica)

Tale legame non è sufficiente a caratterizzare il comportamento meccanico di un sistema *FRCM*, in quanto l'impiego di quest'ultimo come rinforzo di un elemento strutturale porta a dover considerare i molteplici meccanismi di crisi che possono verificarsi in seguito all'interazione substrato-sistema di rinforzo *FRCM*. Essi sono descritti in Figura 2 ed includono:

- A. il distacco con rottura coesiva del supporto del sistema di rinforzo;
- B. il distacco all'interfaccia matrice-supporto;
- C. il distacco all'interfaccia matrice-tessuto/rete;
- D. lo scorrimento del tessuto nella matrice;
- E. lo scorrimento del tessuto/rete e fessurazione dello strato di malta più esterno;
- F. la rottura a trazione del tessuto/rete.

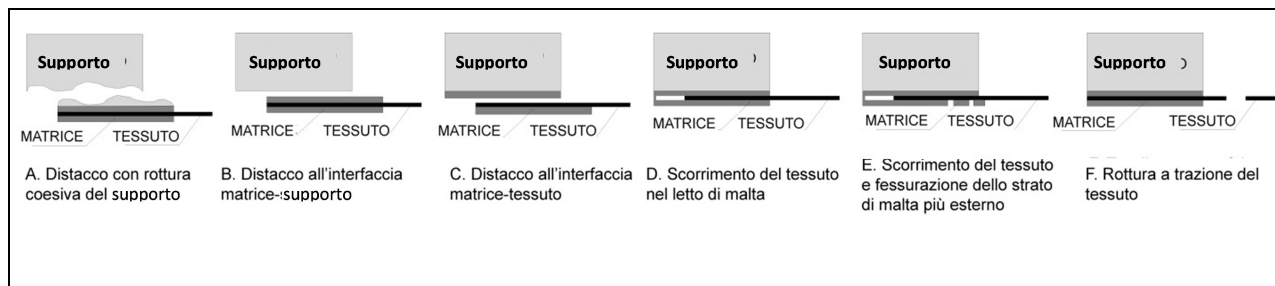


Figura 2 – Meccanismi di crisi

Per questi motivi, è necessario che la caratterizzazione meccanica includa, oltre alla prova di trazione del sistema *FRCM* e del tessuto secco, anche la prova di distacco dal supporto, ed eventuali altre prove appropriate, in relazione alle caratteristiche specifiche del sistema *FRCM*. A tale riguardo, il Fabbricante deve indicare nell'istanza, il tipo/i tipi di supporto per cui intende conseguire la qualificazione. Le prove devono essere effettuate per ogni tipo di supporto indicato

Il legante inorganico, con l'aggiunta degli eventuali additivi, deve essere preconfezionato dal Fabbricante e commercializzato in apposite confezioni, con chiara indicazione della data di scadenza, secondo la composizione ponderale indicata dal Fabbricante nella fase di qualificazione, di cui al successivo § 4, e devono recare il marchio indicato dallo stesso Fabbricante.

Qualora il sistema di rinforzo *FRCM* preveda l'adozione di connettori meccanici, di angolari o accessori simili, il Fabbricante è tenuto a sottoporre al Servizio Tecnico Centrale, fin dalla fase di qualificazione, la richiesta di CVT per il kit complessivo costituito dal composito *FRCM* e dai connettori meccanici - allo scopo dettagliatamente descritti, sia dal punto di vista geometrico, che delle proprietà meccaniche - e il CVT, ove rilasciato, riguarderà il kit complessivo.

Si evidenzia che per la produzione dei sistemi di rinforzo devono essere utilizzati materiali e componenti qualificati secondo le procedure applicabili.

2.1 Caratteristiche prestazionali ai fini della qualificazione

2.1.1 Caratteristiche meccaniche

I sistemi di rinforzo *FRCM* oggetto della presente Linea Guida sono qualificati sulla base delle seguenti proprietà meccaniche determinate mediante prove di trazione monoassiale e prove di distacco dal supporto (Allegati 1 e 2):

- tensione limite convenzionale $\sigma_{lim,conv}$ (valore caratteristico) e deformazione limite convenzionale $\varepsilon_{lim,conv}$, come di seguito definiti;
- modulo elastico a trazione E_1 (valore medio) del campione di *FRCM* nello stadio A, se rilevabile;
- tensione ultima σ_u (valore caratteristico) e deformazione ultima ε_u (valore medio) del campione di *FRCM* a rottura per trazione;
- tensione ultima σ_{ut} a rottura per trazione (valore caratteristico) della rete (tessuto)-senza matrice inorganica;

- e) modulo elastico E_f (valore medio) della rete (tessuto) senza matrice inorganica;
- f) deformazione ultima a trazione ε_{uf} ($\varepsilon_{uf} = \sigma_{uf}/E_f$), della rete (tessuto) senza matrice inorganica;
- g) resistenza a compressione della matrice/malta $f_{c,mat}$, caratteristica o nominale (quest'ultima assunta come caratteristica).

Le tensioni sono riferite all'area (A_f) della sezione trasversale del rinforzo senza matrice inorganica presente nel provino di *FRCM*, prescindendo cioè dalla presenza della matrice/malta.

La tensione limite convenzionale $\sigma_{lim,conv}$, per uno specifico sistema *FRCM*, rappresenta la resistenza del sistema di rinforzo ricavata mediante prove di distacco da supporti convenzionali e come tale è dipendente dal tipo di supporto; essa si ottiene dividendo il valore caratteristico dei picchi della forza traente F , registrati durante le prove di distacco dal supporto, per l'area A_f (§ 7.2).

La deformazione limite convenzionale è pari a $\varepsilon_{lim,conv} = \sigma_{lim,conv}/E_f$ (Figura 3).

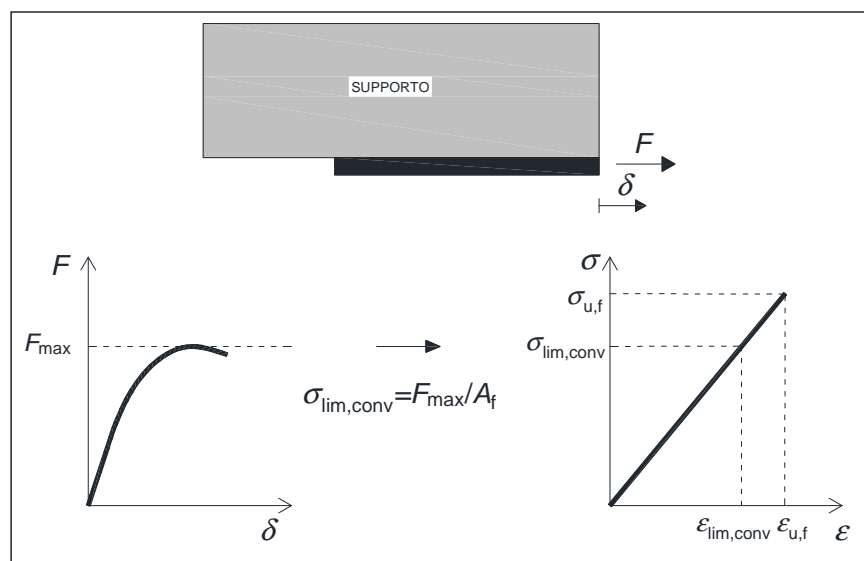


Figura 3- Determinazione della $\sigma_{lim,conv}$ e della $\varepsilon_{lim,conv}$.

(la curva tensione-deformazione è relativa al tessuto senza matrice inorganica)

I valori limite di tensione e deformazione convenzionali possono pertanto dipendere dal tipo di supporto.

Nel caso dei trefoli di acciaio, nella presente Linea Guida si deve intendere come tensione ultima la tensione di snervamento (tensione al limite elastico), poiché il legame costitutivo post-elastico deve essere escluso dalle prestazioni negli interventi di rinforzo. Essa è assunta pari alla tensione che corrisponde ad una deformazione residua allo scarico dello 0,1% determinata sul diagramma tensioni-deformazioni.

Qualora in un sistema di rinforzo *FRCM* la tensione limite convenzionale ricada nel tratto A del diagramma costitutivo (matrice non fessurata), tale fatto deve essere dichiarato dal Fabbricante e il Servizio Tecnico Centrale dovrà riportare tale informazione nel Certificato di Valutazione Tecnica, indicando nel certificato stesso le eventuali limitazioni all'impiego del rinforzo, sentita eventualmente la competente Sezione del Consiglio superiore dei lavori pubblici.

Nel caso di sistemi di rinforzo non bilanciati, le proprietà meccaniche sopra elencate devono essere valutate in entrambe le direzioni della rete di rinforzo.

I valori delle proprietà meccaniche devono risultare opportunamente stabili nei confronti del degrado indotto da azioni ambientali, come di seguito descritto (§ 3.4).

2.1.2 Caratteristiche del prodotto nei confronti delle sollecitazioni termiche ed eventuali prove di comportamento al fuoco

Le caratteristiche prestazionali dei sistemi di rinforzo *FRCM* e, in particolare, quelle meccaniche, possono essere influenzate dalle sollecitazioni termiche. Tale fatto deve essere tenuto in debito conto dal Progettista e deve essere chiaramente evidenziato dal Fabbricante nella documentazione illustrativa dei prodotti ed in quella di accompagnamento degli stessi.

3. QUALIFICAZIONE DEL SISTEMA

Ai fini della qualificazione di un sistema di rinforzo *FRCM* sono richieste sia la qualificazione del processo di produzione nello stabilimento del Fabbricante, in termini di organizzazione e qualità, sia la qualificazione del sistema stesso in termini di caratteristiche tecniche e prestazionali, anche mediante idonee prove iniziali di tipo.

3.1 Qualificazione del Fabbricante e del sistema di rinforzo

I sistemi di rinforzo *FRCM* - e quindi le relative fasi costituenti - devono essere prodotti con un sistema permanente di controllo interno della produzione in stabilimento e di gestione della qualità, in coerenza con le norme UNI EN 9001:2000 ed UNI EN 45012 (cfr. § 4.1). Tale sistema permanente di controllo interno, che deve essere attivato secondo quanto previsto nei *Piani dei controlli interni* di cui al § 4.1, deve assicurare il mantenimento del livello di affidabilità nella conformità del prodotto finito e del sistema di rinforzo nel suo complesso, nonché l'affidabilità delle relative prestazioni, indipendentemente dal lotto di produzione.

A tal fine, sia durante il processo di produzione in stabilimento, sia ai fini della qualificazione del prodotto mediante il rilascio della Certificato di Valutazione Tecnica (CVT), devono essere eseguite le prove descritte nei successivi paragrafi, con le modalità ivi precisate.

Le prove devono riguardare tutti i diversi sistemi di rinforzo *FRCM* presenti in catalogo, intendendo, come tali, prodotti che siano realizzati con matrici (leganti ed

eventuali additivi) e/o reti di natura differente, o con differenti grammature della rete di rinforzo, ovvero con disposizioni di quest'ultima su più strati. Per sistemi di rinforzo non bilanciati, ciò vale per ognuna delle due direzioni, longitudinale e trasversale, del rinforzo (trama e ordito).

I risultati del controllo della produzione in fabbrica devono essere registrati e valutati dal Fabbricante conformemente alle disposizioni dei predetti *Piani dei controlli interni* e delle relative *Istruzioni operative* (§ 4.1).

Le registrazioni devono includere le seguenti informazioni:

- denominazione del sistema di rinforzo e dei relativi materiali e componenti;
- tipo di controllo;
- data di produzione e data del controllo/collaudo del sistema di rinforzo e dei relativi materiali e componenti;
- risultati dei controlli e delle prove eseguite e raffronto con i requisiti richiesti;
- data e firma della persona responsabile del controllo della produzione in fabbrica.

Le registrazioni vanno conservate per almeno dieci anni e, su richiesta, devono essere presentate al Servizio Tecnico Centrale (cfr. § 4).

3.2 Prove di qualificazione

3.2.1 Prove di qualificazione per il rilascio del CVT (prove iniziali di tipo)

Ai fini del rilascio del CVT devono essere eseguite le seguenti prove di qualificazione, correntemente denominate *prove iniziali di tipo*:

a) prove di caratterizzazione meccanica:

- prove di trazione sulla rete senza matrice inorganica;
- prove di trazione su provini di *FRCM*;
- prove di distacco dal supporto;
- prove di trazione in presenza di sovrapposizione delle reti;

b) prove di durabilità ambientale su provini di *FRCM*:

- prove cicliche di gelo e disgelo;
- prove di invecchiamento artificiale;
- prove di comportamento alle sollecitazioni termiche.

Le suddette prove sono descritte nei paragrafi che seguono e negli Allegati 1 e 2.

Qualora il Fabbricante intenda qualificare il sistema di rinforzo anche in relazione al comportamento al fuoco, il Servizio Tecnico Centrale effettuerà l'istruttoria per la valutazione di tale specifico aspetto, di concerto con la Direzione Centrale per la prevenzione e sicurezza tecnica del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco.

Le *prove iniziali di tipo* devono essere effettuate presso uno dei laboratori di cui all'art. 59 del DPR 380/2001, con comprovata esperienza nello specifico settore delle prove

da eseguire e dotato di strumentazione adeguata. Un laboratorio con i predetti requisiti viene nel seguito denominato "Laboratorio incaricato".

Le prove devono essere condotte da personale qualificato con comprovata esperienza nella caratterizzazione dei materiali compositi e devono essere eseguite utilizzando attrezzature di prova idonee ed opportunamente tarate.

Il Fabbricante deve qualificare il prodotto commercializzato anche nei riguardi della lunghezza da attribuire alle zone di sovrapposizione delle reti di rinforzo e degli eventuali accessori ai fini di una corretta installazione.

Inoltre - come già ricordato al § 2 - qualora il sistema proposto preveda l'adozione di connettori meccanici, angolari o simili, il Fabbricante è tenuto a sottoporre al Servizio Tecnico Centrale, fin dalla fase di qualificazione, la richiesta di CVT per il *kit* complessivo costituito dal composito FRCM e dai connettori meccanici, angolari o simili, allo scopo dettagliatamente descritti sia dal punto di vista geometrico che delle proprietà meccaniche. Queste ultime devono essere supportate da una campagna di prove sperimentali i cui risultati siano valutabili su basi statistiche, in termini di valori caratteristici. Il CVT, ove rilasciato, riguarderà il *kit* complessivo.

Per ogni prodotto deve essere redatto un *Registro delle prove iniziali di tipo* (§ 4.1), dove devono essere riportati, per le elaborazioni statistiche, i risultati delle prove effettuate sui singoli campioni e ogni altra informazione significativa.

Si precisa che le prove, eseguite sui vari materiali e componenti che costituiscono il prodotto oggetto della richiesta di rilascio del Certificato di Valutazione Tecnica, devono essere svolte, per quanto possibile, sulla base di metodi e procedure di prova definiti dalle vigenti Norme Tecniche per le Costruzioni oppure da altre normative di comprovata validità ai sensi del Capitolo 12 delle Norme Tecniche per le Costruzioni 2008, da Linee Guida approvate dal Consiglio Superiore relative al prodotto oggetto dell'istanza o ad esso applicabili, da EAD (*European Assessment Document*). In assenza di riferimenti normativi, le prove devono essere eseguite dal Laboratorio incaricato secondo modalità e procedure concordate con il Servizio Tecnico Centrale, in modo da assicurare la loro ripetibilità e tali da consentire la valutazione delle prestazioni del prodotto dichiarate dal Fabbricante, tenendo conto delle indicazioni fornite negli Allegati 1 e 2. Al riguardo, si evidenzia che le prove eseguite non sono una valutazione dell'adeguatezza all'uso del sistema di rinforzo FRCM nelle condizioni di specifico utilizzo, che spetta esclusivamente al progettista, ma una determinazione delle prestazioni del sistema stesso dichiarate dal Fabbricante. Le prove concorrono, quindi, a determinare il giudizio complessivo ai fini del rilascio del CVT relativo al sistema di rinforzo oggetto dell'istanza.

3.2.2 Prove per il controllo permanente di produzione in stabilimento

Il sistema di controllo interno permanente del processo di produzione in fabbrica, di cui al § 3.1, deve assicurare il mantenimento di un adeguato livello di affidabilità nella produzione e nell'impiego dei singoli materiali e dei componenti, nonché la conformità del prodotto finale ai requisiti richiesti.

Il controllo della produzione in fabbrica deve essere effettuato conformemente ai *Piani dei controlli* trasmessi dal Fabbricante al Servizio Tecnico Centrale.

Ai fini del controllo permanente della produzione in stabilimento, il Fabbricante, nel proprio laboratorio o presso un laboratorio incaricato, deve effettuare prove di trazione, di cui al § 3.3.1, ad intervalli non superiori a dodici mesi, operando su n. 6 campioni realizzati in una unica soluzione, secondo le procedure indicate nel Manuale di preparazione (§ 4.1) e nel Manuale di installazione (§ 6) del Fabbricante stesso.

I risultati di dette prove, siano essi positivi o negativi, devono essere trascritti nel *Registro di controllo della produzione*, nel quale devono essere anche riportati, ai fini delle elaborazioni statistiche, i dati caratteristici relativi alle prove sui materiali base impiegati, ai campioni esaminati, e ad ogni altra informazione significativa.

Qualora i risultati delle prove fossero negativi, il lotto da cui sono stati prelevati i campioni non potrà essere commercializzato. Il Fabbricante dovrà ovviare alle cause che hanno dato luogo al risultato insoddisfacente e quindi far ripetere sia le prove di trazione di cui al § 3.3.1, sia le altre prove di cui ai §§ 3.3.2, 3.3.3, 3.4, 3.4.1 e 3.4.2.

Esclusivamente per l'esecuzione delle prove per il controllo permanente di produzione in stabilimento, il Fabbricante può dotarsi di un laboratorio interno di controllo che disponga di tutte le attrezzature appropriate per la verifica del sistema di rinforzo e dei relativi materiali e componenti, secondo le procedure del controllo interno permanente del processo di produzione in stabilimento; in tal caso, come precisato al § 4.1, deve dichiarare al Servizio Tecnico Centrale gli strumenti di prova utilizzati ed il personale dedicato a tale attività di prova.

Il Servizio Tecnico Centrale, previa eventuale visita al laboratorio stesso, deve espressamente autorizzare tale modalità esecutiva delle prove, che è esclusivamente riferita al controllo permanente di produzione in fabbrica e non alle *prove iniziali di tipo*.

Nel caso in cui le prove sul sistema di rinforzo e sui relativi materiali e componenti siano eseguite in un laboratorio esterno anche nella fase del controllo permanente di produzione in stabilimento, il Fabbricante deve conferire l'incarico ad uno dei laboratori di cui all'art. 59 del DPR 380/2001, previa comunicazione del nominativo al Servizio Tecnico Centrale, che deve rilasciare apposito nulla-osta (cfr. § 4).

I risultati del controllo della produzione in fabbrica devono essere registrati e valutati dal Fabbricante conformemente alle disposizioni dei predetti "Piani dei controlli" e delle relative "Istruzioni operative".

Le registrazioni dovranno includere le seguenti informazioni:

- denominazione del materiale e dei componenti;
- tipo di controllo o collaudo;
- lotto/data di produzione e data del controllo/collaudo del materiale e/o dei componenti;

- risultati dei controlli e dei test e raffronto con i requisiti richiesti;
- data e firma della persona responsabile del controllo della produzione in fabbrica.

I risultati delle prove interne, anche se svolte da un laboratorio incaricato esterno, devono essere disponibili presso il Fabbricante per almeno 10 anni e messi a disposizione del Servizio Tecnico Centrale per le verifiche periodiche.

Inoltre, qualsiasi modifica che il Fabbricante intenda apportare ai materiali o ai componenti costituenti il prodotto qualificato, deve essere preventivamente autorizzata dal Servizio Tecnico Centrale.

Il Fabbricante è responsabile della conformità del sistema di rinforzo al Certificato di Valutazione Tecnica (CVT) rilasciato, nonché della sua idoneità all'impiego previsto.

3.3 Prove di caratterizzazione meccanica (prove iniziali di tipo)

Sui sistemi di rinforzo *FRCM*, ai fini del rilascio del CVT, devono essere eseguite le seguenti prove:

- prove di trazione sulla rete (tessuto);
- prove di trazione su provini di *FRCM*;
- prove di distacco da supporti *standard*;
- prove di trazione in presenza di sovrapposizione di reti.

Per le modalità di esecuzione delle prove di trazione e per la determinazione dei relativi parametri meccanici rilevanti, di cui al § 2.1.1, si deve far riferimento all'Allegato 1 della presente Linea Guida. Per le modalità di esecuzione delle prove di distacco dal supporto e per la determinazione dei relativi parametri meccanici rilevanti, di cui al § 2.1.1, si deve far riferimento all'Allegato 2.

Nel caso in cui il risultato di una prova non dovesse risultare soddisfacente, essa deve essere ripetuta allo stesso modo per escludere che si sia verificata una non conformità nell'esecuzione della prova stessa; qualora anche la prova ripetuta dia un esito non soddisfacente, la procedura di qualificazione deve essere sospesa ed il Laboratorio incaricato deve darne comunicazione al Fabbricante ed al Servizio Tecnico Centrale. Il Fabbricante deve individuare le cause dell'esito negativo, verificando le caratteristiche dei materiali e componenti del sistema ed il relativo processo produttivo e, a seguito di tale verifica, deve apportare le opportune modifiche al sistema di rinforzo, ovviando alle cause che hanno determinato il risultato negativo della prova, dandone quindi comunicazione al Laboratorio incaricato, affinché vengano eseguite nuove prove sui campioni del sistema modificato. Ciò comporta altresì la necessità di modificare opportunamente la documentazione tecnica relativa al sistema di rinforzo e di ripetere dalla fase iniziale l'iter di qualificazione del sistema modificato, dato che è necessario che tutti i campioni sottoposti a prova siano realizzati con gli stessi componenti per i quali il Fabbricante qualifica il sistema.

3.3.1 Prove di trazione

3.3.1.1 Prove di trazione sulla rete

Le prove di trazione su campioni di rete, come indicato in Allegato 1, sono finalizzate a definire la rigidità e la resistenza della rete.

I campioni da sottoporre a prova di trazione sono in numero minimo di 9, per ognuno delle reti utilizzate nei prodotti commercializzati.

Le prove devono essere eseguite in un ambiente caratterizzato da una temperatura di $20 \pm 5^\circ\text{C}$, e da una umidità relativa UR di 40-70 %.

Sui campioni devono essere determinati, a cura del Laboratorio incaricato, i valori delle grandezze meccaniche di cui al § 2.1.1, di seguito richiamate:

- la tensione ultima σ_{uf} (valore caratteristico) della rete a rottura per trazione;
- il modulo elastico E_f della rete (valore medio).

Il valore caratteristico è calcolato sottraendo dal valore medio la corrispondente deviazione standard moltiplicata per 2 oppure, in caso di un numero di prove maggiore di 9, per il coefficiente k_n individuato dalla tabella D1 dell'annesso D della EN 1990.

3.3.1.2 Prove di trazione su provini di FRCM

Devono essere effettuate apposite prove su campioni del sistema di rinforzo *FRCM* di opportune dimensioni, come indicato in Allegato 1, realizzati secondo le procedure indicate nel Manuale di preparazione (§ 4.1) e nel Manuale di installazione (§ 6) del Fabbricante, con i compositi commercializzati.

I campioni da sottoporre a prova sono in numero minimo di 9 per ognuno dei tipi commercializzati (eventualmente differenti per natura delle fasi, grammatura della rete di rinforzo, numero di reti di rinforzo, eventuali additivi). Tali campioni sono realizzati dal Fabbricante, in collaborazione con il Laboratorio incaricato, secondo le indicazioni del Manuale di installazione.

I campioni devono essere maturati in condizioni *standard* ($23 \pm 2^\circ\text{C}$, $50 \pm 5\%$ UR).

Le prove devono essere eseguite in un ambiente caratterizzato da una temperatura di $20 \pm 5^\circ\text{C}$, e da una umidità relativa UR di 40-70 % sui campioni estratti dall'ambiente di maturazione da non oltre due ore.

Sui campioni devono essere determinati, a cura del Laboratorio incaricato, i valori delle grandezze meccaniche di cui al § 2.1.1, di seguito richiamate:

- modulo di rigidità a trazione E_t (valore medio) del campione nello stadio A, se rilevabile;
- tensione ultima σ_u (valore caratteristico) e deformazione ultima ε_u (valore medio) del sistema di rinforzo *FRCM* a rottura per trazione.

Il valore caratteristico è calcolato sottraendo dal valore medio la corrispondente deviazione standard moltiplicata per 2 oppure, in caso di un numero di prove maggiore di 9, per il coefficiente k_n individuato dalla tabella D1 dell'annesso D della EN 1990.

3.3.2 Prove di distacco dal supporto

Il Fabbricante deve effettuare, presso il Laboratorio incaricato, prove di distacco da supporti standard, di campioni di *FRCM* realizzati attenendosi alle Istruzioni operative fornite nel Manuale di Installazione del Fabbricante, di cui al § 6 della presente Linea Guida. Le prove devono essere effettuate per ogni tipo di supporto indicato nell'istanza di qualificazione.

È richiesto che tutti i campioni sottoposti a prova siano realizzati con gli stessi componenti per i quali il Fabbricante qualifica il sistema.

I campioni da sottoporre a prova, come anche i relativi supporti sono realizzati dal Fabbricante, in collaborazione con il Laboratorio incaricato, secondo quanto indicato nel Manuale di Installazione.

La sezione del rinforzo (spessore e larghezza) deve essere la stessa di quella della prova di trazione con tolleranza $\pm 10\%$.

I campioni devono essere maturati in condizioni *standard* (23 ± 2 °C, 50 ± 5 % UR).

Le prove devono essere eseguite in un ambiente caratterizzato da una temperatura di 20 ± 5 °C, e da una umidità relativa UR di 40-70 % sui campioni estratti dall'ambiente di maturazione da non oltre due ore.

Le prove di prove di distacco dal supporto, da eseguire secondo le indicazioni dell'Allegato 2, sono in numero minimo di 9 per ognuno dei sistemi di rinforzo *FRCM* commercializzati dal Fabbricante e per ognuno dei tipi di supporto scelti dallo stesso Fabbricante nell'istanza di rilascio del CVT, tra quelli previsti dalla presente Linea Guida (Allegato 2): calcestruzzo, muratura di mattoni pieni, muratura di tufo, pietrame.

Lo scopo delle prove è quello di quantificare la massima forza che può essere trasferita al supporto e di identificare il meccanismo di crisi fra quelli indicati nella Figura 2.

Le suddette prove devono inoltre fornire il valore caratteristico della tensione limite convenzionale $\sigma_{lim,conv}$, sottraendo dal suo valore medio la deviazione *standard* moltiplicata per 2.

3.3.3 Prove di trazione in presenza di sovrapposizione delle reti

La lunghezza di sovrapposizione fra due reti deve essere indicata nel *Manuale di installazione* di cui al § 4.1. L'indicazione di una lunghezza di sovrapposizione richiede, nell'ambito della procedura di qualificazione, che si effettuino ulteriori 9 prove di trazione su campioni di *FRCM* realizzati con un unico strato di rinforzo nel quale sia presente una sovrapposizione della rete di lunghezza pari a quella per la quale il Fabbricante intende qualificare il sistema.

I provini devono avere le stesse dimensioni di quelli confezionati per le altre prove di trazione, ad eccezione della lunghezza, che deve essere maggiorata della lunghezza di sovrapposizione.

L'esito della prova di qualificazione per la lunghezza della sovrapposizione indicata risulta positivo se il valore caratteristico della tensione di rottura, determinato in base ai risultati della prova di trazione in presenza di sovrapposizione delle reti calcolato come sopra indicato, non è inferiore al 95% del valore della tensione caratteristica calcolata per la prova di trazione (§ 3.3.1.1).

3.3.4 Prove di trazione per le fibre di acciaio sottoposte a piegature

Nel caso di fibre di acciaio, la prova di trazione su campioni di rete piegata è finalizzata a definire il modulo elastico e la resistenza della rete dopo avere subito la piegatura; a tal fine il Fabbricante deve effettuare apposite prove su campioni di rete realizzate secondo le procedure indicate in Allegato 1.

I campioni da sottoporre a prova di trazione dopo la piegatura sono in numero minimo di nove, per ognuna delle reti utilizzate nei prodotti commercializzati.

Devono essere eseguite sia prove in ambiente caratterizzato da una temperatura di $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$, e da una umidità relativa UR di 40-70 %, sia prove di invecchiamento secondo quanto indicato al § 3.4.2.

3.4 Prove per l'accertamento della durabilità ambientale

Al fine della qualificazione dei compositi *FRCM*, relativamente all'accertamento della durabilità ambientale di cui ai successivi §§ 3.4.1 e 3.4.2, sono inoltre previste esclusivamente le seguenti prove di trazione, nel numero indicato al § 3.5, da eseguirsi su campioni corrispondenti ad uno stesso prodotto in catalogo e confezionati assieme.

Nel caso di prodotti che differiscano solo per il numero di strati, le prove di durabilità possono essere limitate al prodotto con un solo strato.

Per l'esecuzione di tali prove, cinque (n. 5) campioni non condizionati sono sottoposti a prova di trazione come descritta nell'Allegato 1 ed i risultati delle prove sono utilizzati come riferimento. Altri campioni sono condizionati, nel numero e con le modalità appresso indicate.

È segnalata l'importanza della stabilità delle proprietà di aderenza al supporto nei confronti delle azioni ambientali. Essendo coinvolte anche le proprietà fisico-meccaniche del supporto, tale accertamento non è incluso nel presente processo di qualificazione. Tuttavia, è raccomandato ai Fabbricanti di corredare i propri cataloghi con i risultati di opportune prove, scegliendo i tipi di supporto di maggiore interesse per i propri fini commerciali.

Le prove di durabilità ambientale prevedono:

- prove cicliche di gelo e disgelo (§ 3.4.1);
- prove di invecchiamento artificiale (§ 3.4.2);
- prove di comportamento alle sollecitazioni termiche (§ 3.4.3);

Nel caso in cui le verifiche di seguito indicate non dovessero essere soddisfatte, le relative prove devono essere ripetute allo stesso modo per escludere che si sia verificata una non conformità nella loro esecuzione; qualora anche le prove ripetute diano un esito non soddisfacente, la procedura di qualificazione deve essere sospesa ed il Laboratorio incaricato deve darne comunicazione al Fabbricante ed al Servizio Tecnico Centrale. Il Fabbricante deve individuare le cause dell'esito negativo, verificando le caratteristiche dei materiali ed il relativo processo produttivo. A seguito di tale verifica, deve apportare le opportune modifiche al sistema di rinforzo, richiedendo al Laboratorio incaricato nuove prove sui campioni del sistema modificato. Ciò comporta altresì la necessità di modificare opportunamente la documentazione tecnica relativa al sistema di rinforzo e di ripetere, a partire dalla fase iniziale, l'iter di qualificazione del sistema modificato, dato che è necessario che tutti i campioni sottoposti a prova siano realizzati con gli stessi componenti per i quali il Fabbricante qualifica il sistema.

3.4.1 Prove cicliche di gelo e disgelo

Ai fini della qualificazione devono essere effettuate prove cicliche di gelo e disgelo. A tale scopo devono essere effettuate prove di trazione su ulteriori n. 5 campioni con le stesse modalità di cui al § 3.3.1; i campioni devono essere preventivamente sottoposti a cicli di gelo-disgelo. A tal fine, detti campioni devono essere condizionati in una camera umida per una settimana, ad una umidità relativa non inferiore al 90% e ad una temperatura di 38°C; successivamente, gli stessi campioni devono essere sottoposti a cicli di gelo-disgelo. Ciascun ciclo consiste di almeno 4 ore a -18 °C, seguite da 12 ore in una camera umida (umidità relativa non inferiore al 90%; temperatura di 38 °C).

Alla fine del numero di cicli di gelo-disgelo dichiarati dal Fabbricante - comunque non inferiori a 20 - i campioni condizionati devono essere controllati visivamente, da parte dei tecnici del Laboratorio, (anche avvalendosi di una lente di ingrandimento 5x) per eventuali presenze di alterazioni superficiali, come erosioni, fessurazioni e screpolature. I campioni condizionati sono infine sottoposti a prova di trazione (Allegato 1) nella direzione delle fibre.

La prova si ritiene superata se non viene rilevata alcuna alterazione superficiale a carico dei provini condizionati ed inoltre se il valore medio della tensione ultima non risulta più bassa del 15% rispetto al corrispondente valore medio calcolato sui campioni non condizionati.

3.4.2 Prove di invecchiamento artificiale

Sempre ai fini della qualificazione, devono essere effettuate prove di invecchiamento artificiale. A tale scopo, con le stesse modalità di cui al § 3.3.1, devono essere effettuate prove di trazione su ulteriori n. 3 gruppi di campioni, ciascuno formato da n. 5 coppie (15 coppie in tutto).

Ciascun gruppo si riferisce ad un tipo di ambiente: umido, alcalino e salino.

Uno dei campioni di ciascuna coppia deve essere preventivamente sottoposto al processo di invecchiamento indicato in Tabella 1, della durata di 1000 ore; l'altro, allo stesso processo di invecchiamento, ma della durata di 3000 ore. Successivamente, i campioni condizionati devono essere controllati visivamente (anche avvalendosi di una lente di ingrandimento 5x) per riscontrare eventuali alterazioni superficiali, come erosioni, desquamazioni, fessurazioni o screpolature. I campioni così condizionati devono essere infine sottoposti a prova di trazione (Allegato 1) nella direzione di maggiore grammatura dei fili. Lo standard della prova tiene conto delle indicazioni delle attuali norme europee in materia.

La prova di invecchiamento artificiale si ritiene superata se non viene rilevata alcuna alterazione superficiale a carico dei provini condizionati ed inoltre se il valore medio della tensione ultima di questi ultimi non risulta più basso del 15% (percentuale conservata: 85%) del corrispondente valore medio calcolato sui campioni non condizionati, nel caso di invecchiamento di 1000 ore, e del 20% (percentuale conservata: 80%) nel caso di invecchiamento di 3000 ore (Tabella 1).

<i>Tipo di prova</i>	<i>Norma di riferimento</i>	<i>Condizioni di prova</i>	<i>Durata della prova (ore)</i>	<i>Percentuale conservata (%)</i>
Resistenza all'umidità	ASTM D 2247-11 ASTM E 104-02	umidità relativa: non inferiore al 90% temperatura: 38 ± 2 °C	1000 e 3000	85 (1000ore) 80 (3000 ore)
Resistenza agli ambienti salini	ASTM D 1141-98 ASTM C 581-03	immersione a 23 ± 2 °C		
Resistenza agli ambienti alcalini	ASTMD7705/D7705M	immersione in soluzione con pH= 9,5; temperatura: 23 ± 2 °C		

Tabella 1 - Prove di invecchiamento artificiale

In caso di utilizzo di sistemi di rinforzo *FRCM* all'esterno o in ambienti umidi, il Fabbricante è tenuto a dichiararne la specifica idoneità all'impiego (vedere § 3.7 e Allegato 3 - Scheda tecnica).

3.4.3 Prove di comportamento alle sollecitazioni termiche

Le caratteristiche prestazionali dei sistemi di rinforzo *FRCM*, in particolare quelle meccaniche, possono essere fortemente condizionate dalle sollecitazioni termiche.

Tale fatto deve essere tenuto in debito conto dal progettista e deve essere chiaramente evidenziato dal Fabbricante nella documentazione illustrativa del prodotto ed in quella di accompagnamento della fornitura degli stessi.

Il Fabbricante è altresì tenuto ad indicare nella scheda tecnica l'intervallo di temperatura all'interno del quale sono garantite le caratteristiche prestazionali del prodotto.

Nell'ambito di tale intervallo di temperatura, occorre procedere con prove di trazione (par. 3.3.1.1) su 5 campioni provati alla temperatura superiore dell'intervallo indicato calcolando per la predetta temperatura estrema superiore di riferimento la curva media e verificando che tale curva media non si discosti più del 15% dalla curva media determinata alla temperatura di 20 °C per ogni livello di deformazione.

La temperatura estrema superiore di riferimento sarà raggiunta con gradienti termici non superiori a 30 °C/h e ciascun provino sarà mantenuto alla temperatura estrema per almeno 6 h.

3.4.4 Prove di durabilità delle fibre di acciaio dopo la piegatura

Sulle fibre di acciaio dopo la piegatura devono essere eseguite prove di durabilità in ambiente salino secondo la stessa procedura indicata al § 3.2

3.4.5 Tabella di sintesi delle prove di qualificazione

La Tabella 2 sintetizza il numero dei provini sui quali effettuare le prove ai fini della qualificazione di ciascuno dei sistemi di rinforzo *FRCM* presenti nel catalogo di un Fabbricante.

Tipo di prova	Numero di provini
<i>Numero minimo di prove di tipo meccanico sul FRCM</i>	
Prove di trazione su rete (tessuto)	9
Prove di trazione su provini di <i>FRCM</i>	9
Prove di trazione in presenza di sovrapposizione di reti	9
<i>Numero minimo di prove di durabilità sul FRCM</i>	
Provini non condizionati	5
Resistenza a cicli di gelo-disgelo	5
Resistenza all'umidità	2 x 5 = 10
Resistenza agli ambienti salini	2 x 5 = 10
Resistenza agli ambienti alcalini	2 x 5 = 10
Comportamento alle sollecitazioni termiche	5
Totale	72

Tabella 2 - Numero di prove

Tipo di prova	Numero di provini
<i>Numero minimo di prove di tipo meccanico sul FRCM</i>	
Prove di trazione sulle fibre di acciaio dopo la piegatura	9
<i>Numero minimo di prove di durabilità sul FRCM</i>	
Resistenza agli ambienti salini delle fibre in acciaio dopo la piegatura	2 x 5=10
Totale	19

Tabella 3 - Ulteriori prove per FRCM a base di rinforzo metallico

Oltre alle prove indicate nelle Tabelle 2 e 3 dovrà essere eseguito un numero minimo di 9 prove di distacco per ciascun tipo di supporto per cui si chiede la qualificazione del sistema FRCM.

3.5 Certificazione dei risultati delle prove iniziali di tipo

I certificati di prova rilasciati dai Laboratori incaricati devono contenere almeno:

- l'identificazione univoca del certificato (numero di serie e data di emissione) e di ciascuna sua pagina, oltre al numero totale di pagine; il luogo di effettuazione delle prove;
- l'identificazione del "Fabbricante" e dell'eventuale "Mandatario";
- i materiali costituenti il rinforzo con la composizione in termini di fasi (compresi eventuali componenti organici ed additivi) e di eventuali ancoraggi;
- le dimensioni del provino;
- la tecnica utilizzata per la preparazione dei campioni;
- il loro orientamento rispetto alle due direzioni della rete di rinforzo (trama e ordito);
- il loro eventuale condizionamento;
- le condizioni ambientali dell'area di prova;
- la modalità di allineamento dei campioni ed il sistema di afferraggio utilizzato;
- la velocità di prova ed il tipo di controllo;
- il tipo di trasduttori utilizzati per la misura delle deformazioni;
- i risultati delle prove eseguite ed i conseguenti valori caratteristici e medi di cui al § 2.1.1, con l'indicazione delle relative norme, raccomandazioni internazionali o linee guida di riferimento utilizzate per le prove.

3.6 Scheda Tecnica di prodotto

Al completamento delle *prove iniziali di tipo* (§ 3.2.1), il Fabbricante è tenuto a predisporre apposite Schede tecniche relative a tutti i prodotti che intende

commercializzare. In particolare si precisa che deve essere redatta una specifica Scheda tecnica in primo luogo per ogni tipo di supporto fra quelli indicati in Allegato 2, nell'ambito dello stesso tipo di supporto per ogni tipo di reti impiegate, infine per ogni diverso numero di reti previste, rammentando al riguardo che il sistema può prevedere l'impiego di più reti e fino ad uno spessore complessivo massimo di 30 mm.

La Scheda tecnica del prodotto, la cui struttura tipo è riportata in Appendice (Allegato 3), oltre alla descrizione del sistema, con tipo di rinforzo interno, composizione della matrice, numero di strati, eventuale marcatura, deve contenere almeno le informazioni minime indicate nel seguito.

Per le caratteristiche geometriche e fisiche:

- spessore nominale del sistema di rinforzo
- grammatura della rete in ordito
- grammatura della rete in trama
- spessore equivalente della rete di rinforzo in trama
- spessore equivalente della rete di rinforzo in ordito
- percentuale in peso delle componenti organiche
- reazione al fuoco
- intervallo delle temperature di lavoro.

Per le proprietà meccaniche:

- Tensione limite convenzionale $\sigma_{lim,conv}$
- Deformazione limite convenzionale $\epsilon_{lim,conv}$
- Modulo di rigidezza E_1 nello stadio A
- Tensione ultima σ_u del composito *FRCM*
- Deformazione ultima ϵ_u del composito *FRCM*
- Tensione ultima, σ_{uf} della rete (tessuto) a rottura per trazione
- Modulo elastico E_f della rete (tessuto)
- Deformazione ultima a trazione, ϵ_{uf} della rete (tessuto)
- Resistenza a compressione della matrice/malta, $f_{c,mat}$, caratteristica o nominale

Nelle prove di distacco dal supporto, deve essere indicato anche il tipo di rottura manifestato.

La scheda tecnica può includere anche altre informazioni esplicative di ulteriori caratteristiche prestazionali.

4. PROCEDURA DI QUALIFICAZIONE

4.1 Documenti da allegare all'istanza

Il Fabbricante di sistemi di rinforzo *FRCM* è tenuto ad inoltrare al STC richiesta di Certificato di Valutazione Tecnica, ai sensi del § 11.1, lettera C, delle vigenti Norme Tecniche per le Costruzioni; a supporto dell'istanza dovrà essere prodotta almeno la seguente documentazione, sottoscritta dal legale rappresentante, da trasmettere in copia cartacea oltre che su supporto informatico:

- *Relazione illustrativa/descrittiva* concernente il sistema di rinforzo *FRCM* oggetto dell'istanza, che specifichi i materiali e i componenti di base utilizzati nonché:
 1. le caratteristiche del sistema di rinforzo (valori attesi delle proprietà meccaniche di cui al § 2.1.1) e l'elenco delle tipologie che si intende qualificare;
 2. la composizione in termini di fasi (malta, reti, eventuali additivi, ancoraggi);
 3. i tipi di supporto, tra quelli standard previsti nella presente Linea Guida (Allegato 2), per i quali è richiesta la qualificazione di ciascun sistema di rinforzo.
- *Indicazione* delle fonti di approvvigionamento delle fasi.
- *Dichiarazione*, resa dai Produttori delle fasi (matrice inorganica e reti), circa le caratteristiche prestazionali delle fasi stesse.
- *Modalità di marchiatura* che si intende adottare per l'identificazione del sistema di rinforzo;
- *Scheda tecnica di prodotto* (Allegato 3) relativa a ciascun sistema di rinforzo *FRCM* oggetto dell'istanza ed ai materiali e componenti impiegati (non devono essere inseriti riferimenti ad altri prodotti che non sono oggetto dell'istanza stessa).
- *Relazione* riguardante gli aspetti della durabilità e della compatibilità di ciascun sistema di rinforzo con le condizioni ambientali che possono verificarsi nell'impiego del prodotto stesso;
- *Istruzioni* per la protezione di ciascun sistema di rinforzo *FRCM* e dei relativi materiali e componenti dall'esposizione agli agenti atmosferici e dal danneggiamento meccanico durante lo stoccaggio, l'imballaggio e il trasporto.
- *Manuale di preparazione dei prodotti* di ciascun sistema di rinforzo, dove sono fornite le istruzioni operative per la corretta realizzazione in opera del sistema di rinforzo.
- *Manuale di installazione dei prodotti* di ciascun sistema di rinforzo, dove sono fornite le istruzioni operative per la corretta applicazione del sistema di rinforzo.
- *Istruzioni operative per la manutenzione di ciascun sistema di rinforzo*; tali istruzioni dovranno riportare, anche attraverso illustrazioni grafiche, le modalità da seguire per la manutenzione periodica del prodotto, nonché per gli interventi di manutenzione a seguito di eventi eccezionali (ad esempio impatti), le caratteristiche delle attrezzature da utilizzare nonché la frequenza e il tipo di controlli, in ragione delle possibili condizioni di impiego.
- *Indicazione del Laboratorio* incaricato presso il quale il Fabbricante intende svolgere le prove per la valutazione delle prestazioni del prodotto oggetto dell'istanza, accompagnata da una breve Relazione predisposta dal Laboratorio stesso, che illustri la propria organizzazione, le procedure interne adottate, le competenze e la specifica esperienza maturata dal personale nello specifico settore oggetto della valutazione delle prestazioni del prodotto in parola, nonché le attrezzature impiegate per le prove e ogni altra informazione utile al Servizio Tecnico Centrale per esprimere il proprio avviso sull'idoneità di detto Laboratorio. Se ritenuto opportuno, il Servizio potrà effettuare una visita ispettiva presso il predetto Laboratorio per verificare i requisiti dichiarati. Sulla base della citata Relazione ed eventualmente degli esiti

della visita di sopralluogo, il Servizio provvederà a rilasciare o meno il predetto nulla-osta all'esecuzione delle prove.

- *Eventuali Certificati o Rapporti di prove*, rilasciati da un Laboratorio ex art. 59 del DPR 380/2001, ovvero da un Organismo di prova di cui al Regolamento, già in possesso del Richiedente. I predetti Certificati o Rapporti di prova devono essere recenti e riguardare il prodotto oggetto dell'istanza. Il Servizio Tecnico Centrale in fase di esame dell'istanza valuterà se prendere in considerazione o meno tale documentazione ai fini dell'istruttoria.
- *Manuale di qualità aziendale*, di cui alla norma UNI EN 9001:2000, comprendente l'organigramma aziendale aggiornato.
- *Certificazione del sistema di gestione della qualità*, rilasciata da apposito Organismo accreditato, relativamente alle tipologie di cui si richiede la qualificazione.
- *Relazione descrittiva del processo di produzione*, con l'indicazione delle eventuali attività svolte in outsourcing. In detta Relazione il Fabbricante deve altresì descrivere come sono organizzate le procedure di controllo adottate in fabbrica, dall'approvvigionamento al prodotto finito.
- *Piani dei controlli interni*, dall'approvvigionamento al prodotto finito, comprese le relative procedure e/o Istruzioni operative adottate, la modulistica utilizzata, le procedure di marchiatura e di tracciabilità del prodotto.
- *Modello del registro del Fabbricante*.
- *Dichiarazione del Fabbricante* riguardo alla presenza, nel sistema di rinforzo, di eventuali materiali e componenti nocivi.

All'istanza potrà essere allegata ogni altra documentazione ritenuta dal Fabbricante pertinente ed utile ai fini dell'istruttoria del Servizio, purché strettamente attinente al prodotto per cui si richiede il rilascio del "Certificato di Valutazione Tecnica".

Infine, qualora il Fabbricante non sia stabilito sul territorio dell'Unione Europea, deve essere altresì trasmessa copia della nomina, mediante mandato scritto, di un Mandatario stabilmente collocato sul territorio italiano.

4.2 Istruttoria del Servizio Tecnico Centrale

Il STC, nell'ambito delle proprie competenze, effettua l'istruttoria dell'istanza presentata, verificando:

- la completezza e congruità della documentazione presentata;
- l'idoneità del Laboratorio incaricato;
- lo svolgimento e l'esito delle prove di qualificazione;
- il possesso, da parte del Fabbricante, di tutti i requisiti richiesti.

Completata l'istruttoria, con esito favorevole, il STC provvede a rilasciare il CVT a firma del Presidente del Consiglio Superiore ll.pp..

Nel caso in cui dall'istruttoria emergano criticità sia in ordine agli aspetti tecnici che in ordine agli aspetti organizzativi, il STC provvede a richiedere alla ditta le opportune integrazioni al fine della risoluzione delle predette criticità, sospendendo il procedimento. Nel caso in cui non si ritiene che particolari criticità possano essere risolte con le integrazioni, o anche quando si riscontrino aspetti tecnici che richiedano

opportuni approfondimenti, il STC può comunque richiedere il parere del Consiglio Superiore, al fine di ottenere le necessarie indicazioni sul prosieguo della procedura di qualificazione.

Ottenuto il parere del Consiglio Superiore, il STC completa la procedura di rilascio del CVT in caso di parere favorevole, ovvero provvede a richiedere le necessarie integrazioni in caso di parere interlocutorio, ovvero respinge l'istanza in caso di parere non favorevole.

Il CVT, anche sulla base di eventuali indicazioni fornite dalla competente Sezione del Consiglio Superiore, conterrà tutte le prescrizioni, raccomandazioni ed osservazioni utili ai fini di una corretta commercializzazione e applicazione del sistema di rinforzo *FRCM*.

In linea con gli indirizzi sopra descritti, il STC provvederà a redigere una apposita dettagliata procedura, nella quale saranno definiti i tempi e le modalità per la presentazione della domanda, l'esecuzione delle prove, l'invio della documentazione completa; la procedura dovrà essere resa nota anche attraverso pubblicazione sul sito web.

4.3 Durata e rinnovo del Certificato di Valutazione Tecnica

Il CVT ha una durata di 5 anni dalla data del rilascio e può essere rinnovato su richiesta del Fabbricante, il quale entro 6 mesi dalla scadenza deve presentare al STC (Divisione 2[^]) apposita istanza di rinnovo corredata:

- dalla documentazione di cui al precedente punto 4.1; nella procedura emanata dal STC verranno eventualmente precisati tutti i documenti che, qualora non abbiano subito modifiche o integrazioni rispetto all'istanza originaria, potranno essere sostituiti con un'unica dichiarazione;
- breve relazione sull'attività svolta nell'ultimo anno;
- esito delle ultime prove di controllo effettuate.

Alla ricezione della domanda di rinnovo del CVT, il STC provvede ad un riesame di tutta la documentazione prodotta dal Fabbricante unitamente a quello delle dichiarazioni annuali presentate e procede ad eventuali ispezioni all'impianto di produzione.

In caso di positiva valutazione, ed a seguito di eventuale visita di controllo, provvede a rinnovare al Fabbricante il CVT.

4.4 Sospensione e Ritiro del Certificato di Valutazione Tecnica

La mancata applicazione, anche solo di una delle condizioni poste a base del rilascio, è titolo per la sospensione del CVT.

In particolare, sono motivo di sospensione:

- la modifica della composizione del prodotto e/o del sistema di produzione;
- l'adozione di un diverso sistema di marchiatura;
- l'esternalizzazione di una fase della produzione senza la preventiva positiva valutazione del STC.

Il verificarsi, nell'anno, di prove non soddisfacenti relativamente alle proprietà meccaniche del prodotto, documentate da prove di accettazione in cantiere, dovranno essere comunicati al Servizio Tecnico Centrale e valutati dal Servizio stesso. Per i casi più gravi il STC può procedere alla revoca del CVT.

4.5 Prodotti provenienti dall'estero

Gli adempimenti di cui alle presenti Linee Guida si applicano anche a Fabbricanti esteri e ai sistemi di rinforzo *FRCM* realizzabili con reti e matrici da loro prodotte e commercializzate.

Nel caso in cui tali Fabbricanti siano provvisti di un'analogia qualificazione rilasciata dalle rispettive Autorità estere competenti, il Fabbricante può inoltrare al STC domanda intesa ad ottenere il riconoscimento dell'equivalenza della procedura adottata nel Paese di origine, trasmettendo contestualmente la competente documentazione relativa ai prodotti che intende commercializzare sul territorio italiano ed il corrispondente marchio. Tale equivalenza, previa valutazione positiva del STC, è sancita con decreto del Presidente del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, sentita la competente Sezione.

Devono comunque essere eseguiti i controlli di accettazione in cantiere di cui al § 5.

E' consentito al Fabbricante impiegare, nella produzione del sistema *FRCM*, un componente proveniente dall'estero a condizione che tale componente sia preventivamente qualificato secondo la normativa applicabile e sotto la sua esclusiva responsabilità.

4.6 Identificazione e rintracciabilità dei prodotti qualificati

Ciascun prodotto qualificato deve costantemente essere riconoscibile per quanto concerne le caratteristiche qualitative e riconducibile allo stabilimento di produzione attraverso la marchiatura depositata presso il STC, dalla quale risulti, in modo inequivocabile, il riferimento al Fabbricante, allo stabilimento di produzione ed agli eventuali fornitori esterni di fasi.

Ogni prodotto deve essere marchiato con identificativi diversi da quelli di prodotti aventi differenti caratteristiche, ma fabbricati nello stesso stabilimento e con identificativi differenti da quelli di prodotti con uguali caratteristiche, ma fabbricati in altri stabilimenti, siano essi o meno dello stesso Fabbricante. La marchiatura, ove possibile, deve essere inalterabile nel tempo e senza possibilità di manomissione.

Per stabilimento si intende un'unità produttiva a sé stante, con impianti propri e magazzini per il prodotto finito. Nel caso di unità produttive multiple appartenenti allo stesso Fabbricante, la qualificazione deve essere ripetuta per ognuna di esse e per ogni tipo di prodotto in esse fabbricato e presente in catalogo.

In relazione all'uso del prodotto, il Fabbricante è tenuto a marciare ogni singola confezione, affinché il prodotto sia riconducibile al Fabbricante, al relativo nome commerciale, nonché al numero del lotto di produzione.

Il Fabbricante deve rispettare le modalità di marchiatura dichiarate nella documentazione presentata al STC e deve comunicare tempestivamente eventuali modifiche apportate.

La mancata marchiatura, la non corrispondenza a quanto depositato o la sua illeggibilità, anche parziale, rendono il prodotto non impiegabile.

Qualora, sia presso gli utilizzatori, sia presso eventuali rivenditori intermedi, per motivazioni diverse, l'unità marchiata perda, in parte o totalmente, l'originale marchiatura, è responsabilità sia degli utilizzatori, sia dei rivenditori, documentarne la provenienza mediante i documenti di accompagnamento e gli estremi del deposito del marchio presso il STC. In tal caso, i campioni destinati al Laboratorio incaricato delle prove di cantiere devono essere accompagnati dalla sopraindicata documentazione e da una dichiarazione di provenienza rilasciata dal Direttore dei Lavori, quale risulta dai documenti di accompagnamento del materiale.

I Fabbricanti e gli eventuali Distributori devono assicurare una corretta archiviazione della documentazione di accompagnamento dei materiali, garantendone la disponibilità per almeno dieci anni. Ai fini della rintracciabilità dei prodotti, l'Appaltatore deve inoltre assicurare la conservazione della medesima documentazione, unitamente a marchiature o etichette di riconoscimento ed alle eventuali annotazioni trasmesse dal Direttore dei lavori, fino al completamento delle operazioni di collaudo statico.

Tutti i certificati relativi alle prove eseguite, sia in stabilimento che in cantiere, devono riportare l'indicazione del marchio identificativo, rilevato quando possibile a cura del Laboratorio incaricato dei controlli, sui campioni da sottoporre a prove. Ove i campioni fossero sprovvisti di tale marchio, oppure il marchio non dovesse rientrare fra quelli depositati presso il STC, ed in assenza della predetta certificazione di provenienza rilasciata dal Direttore dei lavori, le certificazioni emesse dal laboratorio non sono valide per i fini per cui sono state richieste e di ciò deve essere fatta esplicita menzione sul certificato stesso.

In tal caso il materiale non può essere utilizzato ed il Laboratorio incaricato è tenuto ad informare di ciò il STC.

5. PROCEDURE DI ACCETTAZIONE IN CANTIERE

I controlli di accettazione in cantiere:

- sono obbligatori e devono essere eseguiti a cura e sotto la responsabilità del Direttore dei lavori;
- devono essere effettuati realizzando campioni contestualmente alla messa in opera del sistema di rinforzo dell'elemento strutturale da consolidare e nelle stesse condizioni ambientali;
- devono essere eseguiti su campioni del rinforzo realizzati, o ricavati, in cantiere con la procedura di installazione prescritta dal Fabbricante (cfr. § 6), impiegando gli stessi addetti del cantiere ed utilizzando i medesimi materiali.

I campioni devono essere in numero di 6 per ognuno dei tipi di sistemi di rinforzo da installare, tenendo anche conto dell'eventuale diversa natura delle fasi (in particolare

della grammatura del rinforzo e del numero di strati di quest'ultimo). Le dimensioni sono quelle indicate per la prova di trazione (Allegato 1).

Tali campioni devono essere inviati dal Direttore dei lavori ad un Laboratorio di cui all'art. 59 del DPR n. 380/2001. A tal fine, il Direttore dei Lavori deve assicurare, mediante sigle, etichettature indelebili, ecc., che i campioni inviati al Laboratorio incaricato siano effettivamente quelli da lui prelevati.

La richiesta di prove al Laboratorio deve essere sottoscritta dal Direttore dei Lavori e deve contenere indicazioni sui campioni di rete e di legante prelevati. In caso di mancata sottoscrizione della richiesta di prove da parte del Direttore dei Lavori, le certificazioni emesse dal Laboratorio non possono assumere valenza ai fini del presente documento e di ciò deve essere fatta esplicita menzione sul certificato stesso.

Sui campioni consegnati in laboratorio devono essere eseguite le prove di trazione, con determinazione del valore medio della tensione ultima σ_u .

Attese le condizioni non ottimali di realizzazione dei provini realizzati in cantiere, la prova si ritiene superata se:

1. il valore medio della tensione ultima σ_u risulta non inferiore all'85% della tensione caratteristica ultima $\sigma_{u,c}$, come determinata nella fase di qualificazione del sistema *FRCM* di cui si effettua il controllo di accettazione, riportata sulla Scheda tecnica che accompagna il prodotto;
2. il valore medio tensione ultima σ_u risulta superiore almeno del 15% rispetto alla tensione limite convenzionale $\sigma_{lim,conv}$, su supporto analogo, come determinata nella fase di qualificazione, del sistema *FRCM* di cui si effettua il controllo di accettazione, riportata sulla Scheda tecnica che accompagna il prodotto.

In caso di risultato negativo della prova, il Direttore dei lavori, dopo averne data notizia al Fabbricante, preleva in cantiere dei campioni di rete del rinforzo, nonché del legante a base della matrice e dei componenti organici per il miglioramento dell'adesione nelle fasi di applicazione "fresco su fresco", in quantità opportuna per la realizzazione di ulteriori n. 6 provini del tipo sopra descritto, e li invia al medesimo Laboratorio incaricato, insieme con il *Manuale di installazione* del Fabbricante.

Il Laboratorio, sulla base delle procedure descritte nel *Manuale di installazione*, avvalendosi di maestranze e mezzi messi a disposizione dal Direttore dei lavori e dal Fabbricante, fa realizzare da questi ultimi, sotto la propria supervisione, 6 provini, del tipo sopra descritto, da sottoporre a prova di trazione. Il Direttore dei lavori ed il Fabbricante possono richiedere di assistere alle successive prove.

La prova si ritiene superata se:

1. il valore medio della tensione ultima di rottura, calcolata sui dodici campioni complessivamente sottoposti a prova (i primi 6 più gli attuali ulteriori 6), risulta non inferiore all'85% della tensione caratteristica ultima σ_u , come determinata nella fase di qualificazione del sistema *FRCM* di cui si effettua il controllo di accettazione;

2. il medesimo valore medio risulta superiore almeno del 15% rispetto alla tensione limite convenzionale $\sigma_{lim,conv}$, (valore caratteristico) su supporto analogo, come determinata nella fase di qualificazione del sistema FRCM di cui si effettua il controllo di accettazione.

In caso di ulteriore esito negativo, il Direttore dei lavori assume le determinazioni più opportune e ne dà comunicazione al STC.

In tal caso l'intero lotto di spedizione è da considerarsi non conforme e come tale non deve essere utilizzato per il previsto rinforzo strutturale.

Il Direttore dei Lavori, in fase di accettazione, deve verificare che i prodotti costituenti ciascun lotto di spedizione siano coperti da Certificato di Valutazione Tecnica in corso di validità, di cui una copia deve essere allegata ai documenti di trasporto.

Nel caso di materiali e prodotti recanti la Marcatura CE è onere del Direttore dei Lavori, in fase di accettazione, accertarsi del possesso della marcatura stessa e richiedere ad ogni Fabbricante, per ogni diverso prodotto, il Certificato di Conformità alla parte armonizzata della specifica norma europea, ovvero la dichiarazione di conformità D.O.P. (*Declaration of Performance*) in relazione alla normativa europea sui prodotti da costruzione applicabile.

In ogni caso, è inoltre onere del Direttore dei Lavori verificare che i prodotti consegnati in cantiere rientrino nelle tipologie previste nella detta documentazione.

Il Direttore dei Lavori, prima della messa in opera, è tenuto a rifiutare le eventuali forniture non conformi, ferme restando le responsabilità del Fabbricante.

Ai fini della rintracciabilità, ove necessario, il Direttore dei lavori deve annotare con cura l'ubicazione, nell'ambito della struttura consolidata, dei sistemi di rinforzo corrispondenti ai diversi lotti di spedizione, trasmettendo le annotazioni, debitamente sottoscritte, all'Appaltatore o all'esecutore dell'intervento.

Il Fabbricante deve assicurare una corretta archiviazione della documentazione di accompagnamento dei materiali garantendone la disponibilità per almeno dieci anni.

Ai fini della rintracciabilità dei prodotti, l'Appaltatore deve inoltre assicurare la conservazione della medesima documentazione, unitamente a marchiature o etichette di riconoscimento ed alle eventuali annotazioni trasmesse dal Direttore dei lavori, fino al completamento delle operazioni di collaudo statico.

6. INSTALLAZIONE

Alla documentazione di accompagnamento di ogni lotto di spedizione del sistema di rinforzo, il Fabbricante deve allegare il *Manuale di preparazione dei prodotti* di ciascun sistema di rinforzo, dove sono fornite le istruzioni operative per la corretta preparazione in opera dei componenti del sistema di rinforzo, nonché il *Manuale di installazione dei prodotti* di ciascun sistema di rinforzo, in cui sono fornite le *Istruzioni operative* per la corretta applicazione del sistema di rinforzo, con particolare riguardo

ai trattamenti da porre in essere a carico del supporto preliminarmente all'installazione del sistema *FRCM*.

Nel *Manuale di installazione* deve essere indicato lo spessore massimo e minimo di utilizzo del sistema di rinforzo.

Il Direttore dei Lavori deve verificare la scrupolosa osservanza delle modalità di installazione del sistema, con particolare riguardo alla preparazione del supporto, all'eventuale applicazione di promotori di adesione, alla corretta applicazione e stagionatura del sistema *FRCM*, atteso che una inadeguata applicazione potrebbe compromettere l'adesione al supporto e quindi la efficacia del sistema stesso di rinforzo.

E' facoltà del Direttore dei Lavori, oltre alle prove di accettazione di cui al § 5, eseguire anche prove *in situ* (ad esempio prove di strappo), i cui risultati potranno essere messi in relazione con quanto accertato nella procedura di qualificazione del sistema e con i valori di progetto assunti nel calcolo.

7. RIFERIMENTI NORMATIVI

Le fibre ed i fili, nonché le malte utilizzate come matrici dei compositi *FRCM* devono essere conformi alle seguenti norme europee e specifiche tecniche:

- fibre: UNI EN 13002-2 e ISO 13002 (fibre di carbonio); UNI EN 15422 , UNI 8746 ed UNI 9409 (fibre di vetro e di basalto); UNI EN 14889-2 (fibre polimeriche); UNI EN 13003-1-2-3 (fibre di arammide e di PBO); ISO 16120-1/4; EN 10244-2 (fili di acciaio);
- matrice: UNI EN 998-2 e UNI EN 1504-3.

PROVE DI TRAZIONE

Prova di trazione sulla rete (tessuto)

Caratteristiche del metodo di prova

La prova di trazione su campioni di rete (tessuto) è finalizzata a definire il modulo elastico e la resistenza della rete. Questi valori devono essere determinati sperimentalmente e certificati dal Laboratorio incaricato per la Qualificazione del composito *FRCM*. Il Fabbricante è tenuto a riportare tali valori sulle Schede tecniche del sistema in quanto sono di utilizzo per la progettazione del sistema di rinforzo.

Caratteristiche dei campioni

I provini di rete per le prove di qualificazione come indicato al § 3.3.1.1, sono tagliati dal rotolo di rete fornito dal Fabbricante nella direzione dell'ordito.

La rete utilizzata per realizzare i campioni in oggetto deve essere identica a quella utilizzata per il sistema *FRCM*. Se la rete è fornita con un rivestimento organico questo deve essere presente anche nei campioni oggetto di prova.

La prova deve essere effettuata con una macchina di trazione a controllo di spostamento, su un campione di rete (tessuto) che comprenda un numero di fili/*yarn* (trefoli nel caso di tessuti metallici) uguale a quello dei provini utilizzati per le prove di trazione nell'ambito del processo di qualificazione del sistema *FRCM* (Figura A.1). Una prova significativa e complementare può essere quella effettuata su un singolo *yarn*. Questo permette di verificare la corretta esecuzione della prova sulla rete e le eventuali non uniformità nella distribuzione degli sforzi. I risultati ottenuti per un singolo *yarn* in termini di caratteristiche meccaniche possono essere proporzionalmente superiori a quelli ottenuti per i campioni di rete ma questa differenza deve essere ragionevolmente limitata. Anche in questo caso il singolo *yarn* deve presentare le caratteristiche sopra specificate per la rete.

La larghezza del provino non deve essere maggiore di quella degli afferraggi della macchina di trazione. In caso contrario, non sarebbe assicurata una distribuzione uniforme delle tensioni nel provino.

La lunghezza minima del provino, al netto delle porzioni necessarie per gli afferraggi, deve essere almeno pari a 5 volte la larghezza del provino stesso. Ad esempio è consigliabile una lunghezza libera di almeno 20 cm se la larghezza dei campioni è di 40 mm per minimizzare gli effetti degli ancoraggi. Per i campioni costituiti da un singolo *yarn* si suggerisce una lunghezza libera pari a 15-20 cm.

I campioni devono essere provvisti di talloni alle estremità, ovvero nelle zone di afferraggio, per garantire omogenea distribuzione degli sforzi. I talloni possono essere metallici (alluminio o acciaio), di materiale polimerico anche fibrorinforzato (es. *GFRP*) od anche di cartone con adeguato spessore. E' necessario rispettare i tempi e le condizioni ambientali per la completa reazione dell'adesivo prima di sottoporre il campione a prove.

I talloni, due per ogni estremità, devono avere la stessa larghezza del campione e sono fissati a quest'ultimo utilizzando adesivi indicati per l'uso specifico. La lunghezza dei talloni può essere calcolata sulla base del carico massimo previsto e della resistenza dell'adesivo tra tallone e campione. Si raccomanda comunque una lunghezza minima dei talloni di almeno 50 mm. Lo spessore dei talloni deve essere adeguato a distribuire uniformemente la forza di afferraggio a tutta la larghezza del campione. Si raccomanda uno spessore minimo di almeno 2 mm.

Per evitare una dispersione dei risultati è necessario prestare la massima cura alla preparazione dei provini, ai loro afferraggi ed all'allineamento del provino nella macchina di prova. Errori di non allineamento delle fibre causano una non omogenea distribuzione degli sforzi tra gli *yarn* che costituiscono il campione di rete. Inoltre un sistema non appropriato di afferraggi può causare rotture dei provini alle estremità o una rottura parziale dei fili e, conseguentemente, una notevole dispersione dei risultati.

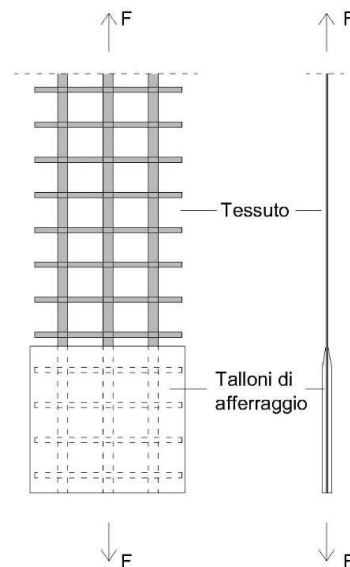


Fig. A.1 - Geometria dei campioni di rete (tessuto) e dei talloni.

Determinazione della sezione del campione

L'area resistente della rete (tessuto) può essere determinata solo dopo aver calcolato l'area del singolo *yarn* per mezzo del peso di un suo spezzone. La lunghezza di questo spezzone è valutata in base alla risoluzione dello strumento utilizzato per determinarne il peso. L'area deve essere calcolata per il singolo *yarn*, e moltiplicata per il numero di *yarn* presenti nel campione. L'area di un singolo *yarn* (A_{fv}), espressa in mm^2 , viene calcolata come:

$$A_{fv} = 1000 \cdot p / (l \cdot \rho)$$

dove:

- p indica il peso dello spezzone di *yarn* [g],
- l indica la lunghezza dello spezzone di *yarn* [mm],
- ρ indica la densità delle fibre [g/cm³].

La densità delle fibre verrà determinata su un campione di filato in accordo alla UNI EN ISO 1183-1:2013 o con metodi equivalenti. Per il calcolo dell'area resistente della rete (tessuto) è sconsigliabile assumere la densità nominale.

L'area resistente della rete è determinata moltiplicando l'area A_{fv} del singolo *yarn*, per il numero di *yarn*.

Procedura di prova

Il campione deve essere posizionato nella macchina di prova ponendo particolare attenzione al suo allineamento con l'asse della macchina. Nella fase di preparazione della prova è possibile applicare al provino una forza assiale, non superiore al 5% del valore ultimo previsto, allo scopo di allineare il provino.

Il carico deve essere applicato con modalità di controllo di spostamento; per la velocità della traversa è raccomandato un valore non superiore a 0,5 mm/min.

Sul campione deve essere applicato uno strumento appropriato per la misurazione delle deformazioni (estensimetro), di cui è consigliata una lunghezza base minima di 25 mm. Per facilitare l'applicazione dell'estensimetro e per solidarizzare le fibre, in particolare quando i singoli *yarn* sono costituiti da un numero considerevole di fibre, è possibile applicare al campione una quantità limitata di resina epossidica o di un legante idoneo.

Durante la prova si devono registrare i valori: del carico, dello spostamento dell'estremità mobile della macchina, della deformazione fornita dall'estensimetro. Le registrazioni devono essere eseguite in continuo.

Il valore della tensione è definito come il rapporto del carico sull'area resistente della rete.

Per ogni prova dovranno essere determinati il valore della tensione ultima $F_u / n A_{fy}$ (dove F_u indica il valore di picco della forza traente ed n il numero di *yarn*), ed il valore del modulo elastico. Quest'ultimo deve essere determinato seguendo la procedura UNI EN 2561 per i materiali fibrorinforzati, ovvero quale modulo secante tra i valori di tensione $F_u / (10 n A_{fy})$ e $F_u / (2 n A_{fy})$.

Nel caso delle fibre di acciaio si deve intendere come tensione ultima la tensione di snervamento (tensione al limite elastico), assunta pari alla tensione che, sul diagramma tensioni-deformazioni, corrisponde ad una deformazione residua allo scarico dello 0,1%.

I valori di qualificazione sono la media dei valori E_f , ed il valore caratteristico della tensione ultima σ_u , ottenuto secondo quanto indicato al § 3.3.1.1.

Certificazione delle prove

La certificazione delle prove deve essere conforme a quanto richiesto al § 3.6.

Prova di trazione su provini di FRCM

Caratteristiche del metodo di prova

La prova deve essere effettuata con macchine di trazione a controllo di spostamento su un campione piano di materiale avente una sezione trasversale rettangolare costante.

E' necessario prestare la massima cura alla preparazione dei provini, ai loro afferraggi ed all'allineamento del provino nella macchina durante la prova. I risultati delle prove possono risultare molto dispersi a causa di preparazioni non adeguate dei provini che presentano non allineamento delle fibre o difetti nel taglio e nella finitura. Un sistema non appropriato di afferraggi può causare rotture dei provini in prossimità delle mordacchie e, conseguentemente, una notevole dispersione dei risultati. I difetti ed i non allineamenti sopra elencati possono causare, inoltre, sforzi aggiuntivi dovuti a flessioni indesiderate. Parimenti, un sistema non appropriato di afferraggi può consentire slittamenti, non ammessi, del provino all'interno delle mordacchie e/o scorrimenti delle fibre all'interno della matrice.

L'accuratezza degli strumenti utilizzati per la misura delle dimensioni dei provini deve essere tale da consentire la lettura di quantità pari all'1% della larghezza del provino stesso.

Caratteristiche dei campioni

I provini per le prove di qualificazione, nel numero indicato al § 3.3.1.2, possono essere prodotti singolarmente utilizzando degli stampi oppure possono essere tagliati da pannelli piani di dimensioni maggiori.

Il processo di taglio deve essere eseguito con tecniche che evitino di danneggiare i provini e di produrre fessurazioni all'interno del provino. I provini devono essere numerati, riconoscibili e deve essere possibile risalire alle caratteristiche della lastra da cui sono stati ricavati, deve cioè essere assicurata la loro tracciabilità.

I campioni devono essere di forma rettangolare; la loro larghezza deve essere un multiplo della griglia ed avere larghezza almeno pari a quattro volte il passo della rete; lo spessore è quello nominale indicato nella scheda tecnica con tolleranza $\pm 10\%$. La rete deve essere disposta nel piano medio del provino.

E' tollerata una non planarità del campione non superiore al 2%.

Nel caso in cui siano presenti più strati di rete e questi ultimi siano posizionati in modo sfalsato, è preferibile che nella larghezza del provino sia presente lo stesso numero di fili per ognuno degli strati.

La larghezza del provino non deve essere maggiore di quella degli afferraggi della macchina di trazione. In caso contrario, non sarebbe assicurata nel provino una distribuzione uniforme delle tensioni normali di trazione.

La lunghezza minima del provino, al netto delle porzioni necessarie per gli afferraggi, deve essere almeno pari a 4 volte la larghezza del provino. È comunque preferibile avere campioni più lunghi della suddetta lunghezza per minimizzare gli effetti degli ancoraggi. La lunghezza del provino non può comunque essere superiore a 15 volte la larghezza.

I campioni devono essere provvisti di talloni alle estremità, nelle zone di afferraggio, per evitare rotture dei campioni localizzate in tali zone. I talloni possono essere metallici (alluminio o acciaio) o di materiale polimerico anche fibrorinforzato (es. GFRP). I talloni, due per ogni estremità, devono avere la stessa larghezza del campione e sono fissati a quest'ultimo utilizzando adesivi indicati per l'uso specifico.

È necessario rispettare i tempi e le condizioni ambientali per la completa reazione dell'adesivo prima di sottoporre il campione a prove.

La lunghezza dei talloni può essere calcolata sulla base del carico massimo previsto, della resistenza dell'adesivo tra tallone e campione e della lunghezza di ancoraggio delle fibre della rete nella matrice. Si raccomanda comunque una lunghezza minima dei talloni di almeno 80 mm.

Lo spessore dei talloni deve essere adeguato a distribuire uniformemente la forza di afferraggio a tutta la larghezza del campione. Si suggerisce uno spessore minimo di almeno 2 mm.

Maturazione dei campioni

I campioni da sottoporre a prova devono aver avuto un periodo di maturazione di almeno 14 giorni dalla data di preparazione. La conservazione dei provini deve essere fatta in ambiente controllato di laboratorio. I provini non devono subire sbalzi di temperatura durante il trasporto e la loro conservazione.

Procedura di prova

A conclusione del periodo di maturazione dei provini è richiesta la determinazione delle dimensioni dei provini.

Queste sono misurate in almeno tre sezioni diverse del provino. Le misure effettuate sono riportate nel certificato di prova e di esse viene calcolata la media. Se il massimo scarto percentuale dal corrispondente valor medio è maggiore del 15%, il provino deve essere scartato.

Al completamento della prova, il provino deve essere tagliato in corrispondenza della fessura più larga per permettere di contare il numero di fili o trefoli contenuti nella sezione.

Il campione deve essere posizionato nella macchina di prova ponendo particolare attenzione al suo allineamento con l'asse della macchina. Nella fase di preparazione della prova è possibile applicare al provino una forza assiale, non superiore al 5% del valore ultimo previsto, allo scopo di annullare possibili inflessioni causate dal serraggio delle mordacchie.

Il carico deve essere applicato con modalità di controllo di spostamento; per la velocità della traversa è raccomandato un valore non superiore a 0.2 mm/min nello stadio non fessurato (A) e di formazione delle fessure (B), mentre può essere aumentato sino a 0.5 mm/min al termine dello stadio fessurato. La pressione nella zona di afferraggio non deve lesionare il provino localmente.

Durante la prova è necessario registrare il valore del carico e dello spostamento della traversa mobile. Le registrazioni devono essere eseguite in continuo o a intervalli di tempo regolari.

Il valore della tensione σ_u è definito come il rapporto del carico sull'area della rete. Il valore della deformazione deve essere misurato direttamente attraverso strumenti di misura su una lunghezza rappresentativa del campione. È consigliabile una lunghezza di misura tale da comprendere un numero significativo di fessure. Ad esempio, per un provino di lunghezza totale 400 mm, ovvero di lunghezza utile circa 240 mm, è consigliabile una lunghezza di misura di 200 mm.

Come deformazione a rottura ε_u , si assume il valore medio delle deformazioni rilevate, nelle 9 prove richieste, in corrispondenza del valore di picco della forza di trazione.

Il valore (caratteristico) della tensione ultima di rottura, σ_u , è calcolato secondo quanto indicato al § 3.3.1.1. Il modulo di rigidezza a trazione del campione non fessurato, E_1 (stadio A), se rilevato, è ricavato come media aritmetica dei moduli relativi alle 9 prove.

Certificazione delle prove

La certificazione delle prove deve essere conforme a quanto richiesto al § 3.6.

Prova di trazione sulla rete (tessuto) in acciaio piegata

Caratteristiche del metodo di prova

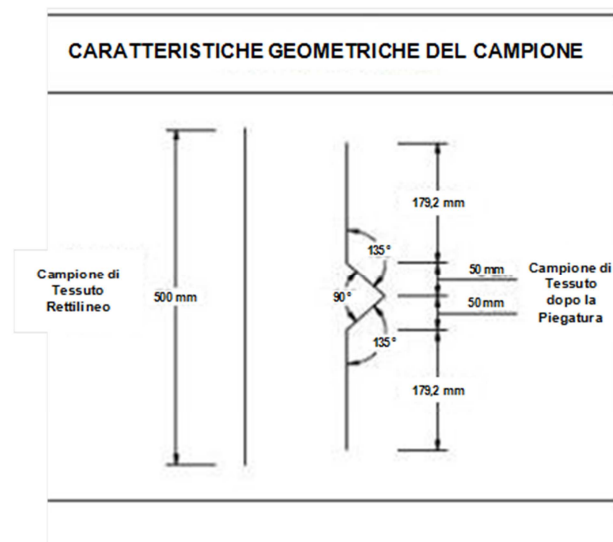
La prova di trazione su campioni di rete (tessuto) piegata è finalizzata a valutare un eventuale degrado del materiale dovuto alla piegatura. La prova deve essere effettuata secondo le stesse modalità indicate per la rete dritta sia in condizioni ambientali sia in ambiente salino, per determinare il modulo elastico e la resistenza. Questi valori devono essere determinati sperimentalmente e certificati dal Laboratorio incaricato per la qualificazione del composito *FRCM*. Il Fabbricante è tenuto a riportare tali valori sulle schede tecniche del sistema in quanto sono di utilizzo per la progettazione del sistema di rinforzo.

Caratteristiche dei campioni

I provini di rete per le prove di qualificazione della piegatura devono essere tagliati nella direzione dell'ordito dal rotolo di rete fornito dal Fabbricante per le prove di trazione.

La rete utilizzata per realizzare i campioni in oggetto deve essere identica a quella utilizzata per il sistema *FRCM*. Se la rete è fornita con un rivestimento organico questo deve essere presente anche nei campioni oggetto di prova.

I campioni da piegare devono essere identici a quelli delle prove di trazione sulle fibre dritte e devono essere piegati nella parte centrale realizzando la sagoma di un triangolo rettangolo isoscele con due lati di 5cm.



I valori di qualificazione sono: la media dei valori per E_t , ed il valore caratteristico della tensione ultima, σ_u , ottenuto secondo quanto indicato al 3.3.1.1.

Certificazione delle prove

La certificazione delle prove deve essere conforme a quanto richiesto al § 3.6.

Prova di distacco dal supporto

Generalità

Stanti le differenti modalità di rottura che possono manifestarsi nei sistemi di rinforzo *FRCM*, come già evidenziato, la loro qualificazione richiede l'esecuzione di prove di distacco dal supporto.

In relazione al tipo di applicazione per cui il sistema *FRCM* deve essere qualificato, in fase di qualificazione devono essere eseguite prove di distacco dai supporti scelti dal Fabbrikante ed indicati nell'istanza di rilascio del CVT.

Lo scopo della prova è:

- caratterizzare il tipo di crisi, che può manifestarsi per decoesione all'interno del supporto o all'interfaccia supporto/sistema di rinforzo, o all'interno della matrice, ovvero per sfilamento delle fibre, o ancora per rottura a trazione della rete (tessuto) di rinforzo;
- fornire il valore della forza massima applicata nel corso della prova allorché si manifesta la rottura in una qualsiasi delle modalità sopra indicate (§ 3.3.2);
- determinare il valore caratteristico della tensione limite convenzionale, $\sigma_{lim,conv}$.

L'aderenza del composito dipende dall'adesione tra la rete (tessuto) e la matrice e dalle caratteristiche della matrice e del supporto, in termini meccanici (resistenza a trazione ed energia di frattura) e fisico-chimici (trattamento della superficie prima dell'applicazione, dimensione dei grani, presenza di porosità, compatibilità tra la matrice e il supporto, etc.). Le prove di aderenza devono quindi essere condotte nelle condizioni previste nel *Manuale di installazione*, in particolare per quanto attiene al trattamento della superficie del supporto.

Anche le prove devono essere condotte con modalità che devono tendere a riprodurre in modo più fedele possibile le condizioni effettive di applicazione del rinforzo.

I campioni da sottoporre a prova, come anche i relativi supporti, sono realizzati a cura dello stesso Fabbrikante in collaborazione con il Laboratorio incaricato. Le prove devono essere condotte in condizioni di pressione e temperatura *standard* ($20 \pm 5^\circ\text{C}$, e da una umidità relativa UR di 40-70 %).

Caratteristiche del supporto e realizzazione dei provini

Date le inevitabili differenze tra i possibili materiali delle strutture oggetto del rinforzo, la qualificazione dei materiali deve essere condotta realizzando/scegliendo provini del supporto con criteri che assicurino la conduzione delle prove in condizioni per quanto possibile standardizzate.

I campioni da sottoporre a prova devono essere almeno nove, per ciascuno dei tipi di sistemi di rinforzo per i quali il Fabbrikante ha richiesto il CVT.

Il supporto e le dimensioni dei provini devono quindi soddisfare le indicazioni riportate nei paragrafi seguenti.

La superficie del supporto deve essere preparata per garantire la rugosità desiderata, anche mediante impregnatura con un *primer* o un promotore di adesione ed ogni altra lavorazione prescritta nel *Manuale di installazione* di cui al § 6.

La sezione del campione del sistema di rinforzo deve essere la stessa di quella adottata per la prova di trazione con tolleranza $\pm 10\%$. La lunghezza del rinforzo adeso al supporto deve essere pari a 300 mm, salvo che nel caso di qualificazione di lunghezze di aderenza inferiori a 300 mm.

Supporto di calcestruzzo

Il calcestruzzo deve essere realizzato secondo le seguenti prescrizioni (Tabella 3):

Resistenza media	Rapporto acqua/cemento	Massimo diametro degli aggregati	Massima quantità di cemento
25 \pm 5 MPa	0,65	16 mm	350 kg/m ³

Tabella 3 –Supporto di conglomerato cementizio

La resistenza media effettiva del calcestruzzo realizzato deve essere valutata secondo quanto previsto dalle UNI EN 206-1:2006. I valori medi degli intervalli caratterizzano il calcestruzzo standard.

I provini di calcestruzzo per la prova di adesione devono essere preferibilmente di dimensioni 200 mm x 150 mm x 400 mm; il rinforzo deve essere applicato sulla superficie di larghezza 150 mm.

Supporto di murature di tufo

Per le prove di distacco dal supporto su murature di tufo deve essere scelto un materiale di supporto con caratteristiche meccaniche e fisico-chimiche per quanto possibile omogenee per ridurre la dispersione dei risultati.

La resistenza del supporto in tufo deve essere prossima a 8 MPa (resistenza di riferimento del materiale standard), e comunque compresa nell'intervallo 4-12 MPa. La resistenza media effettiva del tufo prescelto deve essere valutata mediante prove di compressione su cubi di lato 150 mm, in numero pari almeno a 6.

Per la realizzazione dei provini in muratura di tufo deve essere impiegata una malta di classe non superiore a M5.

I provini di muratura di tufo per la prova di adesione devono essere di dimensioni 200 mm x 150 mm x 400 mm; il rinforzo deve essere applicato sulla faccia di larghezza 150 mm dopo aver adeguatamente preparato la superficie.

Supporto di murature di laterizio

Per le prove di distacco dal supporto su murature di laterizio deve essere scelto un materiale di supporto con caratteristiche meccaniche e fisico-chimiche per quanto

possibile omogenee, per ridurre la dispersione dei risultati. Le prove dovranno essere condotte su muretti e non su singoli mattoni e questi ultimi non devono avere una finitura superficiale specifica (es. finitura a sabbia). La tessitura muraria sarà a cortina, con giunti di malta aventi uno spessore non superiore ai 10 mm.

La resistenza del supporto di laterizio (mattono pieno) deve essere prossima a 20 MPa (resistenza di riferimento), e comunque compresa nell'intervallo 15-25 MPa. Tale resistenza media effettiva deve essere valutata mediante almeno sei prove di compressione sugli elementi di laterizio. Per la realizzazione dei provini in muratura deve essere impiegata una malta di classe non superiore a M5.

I provini di muratura di laterizio per la prova di adesione devono essere realizzati con dimensioni della faccia ove è applicato il rinforzo di larghezza pari ad almeno 125 mm e lunghezza di almeno 400 mm. Su tale faccia va operata la preparazione superficiale indicata nel manuale di installazione del sistema di rinforzo.

Supporto di murature di pietrame

Per le prove di distacco dal supporto su murature di pietrame deve essere scelto un materiale di supporto con caratteristiche geometriche, meccaniche e fisico-chimiche per quanto possibile omogenee, al fine di ridurre la dispersione dei risultati.

Le prove dovranno essere condotte su muretti ad un paramento realizzati con pietre di calcari compatti, di forma irregolare, non squadrate, la cui dimensione maggiore sia inferiore a 150 mm. La resistenza a compressione delle pietre deve essere valutata mediante almeno sei prove di compressione (UNI EN 1926:2007) ed i valori di resistenza ottenuti devono essere compresi nell'intervallo 50-150 MPa. Per la realizzazione dei provini in muratura deve essere impiegata una malta di classe non superiore a M2.5.

I provini di muratura di pietrame per le prove di adesione devono essere realizzati con dimensioni della faccia ove è applicato il rinforzo di larghezza pari ad almeno 150 mm e lunghezza di almeno 400 mm. Su tale faccia va operata la preparazione superficiale indicata nel manuale di installazione del sistema di rinforzo.

Caratteristiche del dispositivo di prova

Per l'esecuzione della prova di distacco dal supporto è necessario fare uso di un sistema meccanico sufficientemente rigido (macchine universali o altri sistemi dimensionati per una forza di almeno 100 kN) e in grado di condurre prove in controllo di spostamento.

Il set-up di prova dovrà seguire lo schema tira-spingi ponendo particolare attenzione ad equilibrare la coppia generata dall'eventuale disallineamento tra azione e reazione. Il rinforzo deve essere adeso fino ad una distanza di almeno 20 mm dalla faccia anteriore del provino. Il rinforzo può essere applicato su una sola faccia (*single-lap*) del provino, oppure su due opposte sollecitate contemporaneamente (*double-lap*); nel secondo caso, particolare cura deve essere posta nel controllo di una sufficiente simmetria del sistema durante l'esecuzione della prova.

Per la misura degli spostamenti si deve fare uso di strumenti idonei con precisione pari ad almeno $5 \cdot 10^{-3}$ mm; la forza deve essere misurata mediante cella di carico di capacità correlata alla massima forza attesa.

Nel caso di misura delle deformazioni, possono essere usati estensimetri resistivi o altre metodologie di comprovata validità.

Tutte le misure provenienti dalla strumentazione devono essere opportunamente registrate con frequenza non inferiore a 2 Hz.

Procedura di prova

La prova deve essere eseguita in controllo di spostamento con una velocità di 0,2 mm/min e condotta con modalità che consentano di assicurare l'allineamento della forza di trazione applicata con l'asse del rinforzo. Tale allineamento deve essere assicurato durante tutto lo svolgimento della prova.

Durante la prova deve essere misurata la forza applicata e lo spostamento della sezione iniziale del rinforzo rispetto al supporto.

La forza di distacco dal supporto corrisponde al valore massimo (valore di picco) registrato durante la prova. Il relativo valore caratteristico si ricava sottraendo dal valore medio, ottenuto nelle nove prove previste, due volte la deviazione standard. Rapportando il valore così determinato all'area del rinforzo si ottiene la tensione limite convenzionale di cui al § 2.1.1 della presente Linee Guida.

Certificazione delle prove

La certificazione delle prove deve essere conforme a quanto richiesto al § 3.6.

Scheda tecnica tipo per sistema per ogni diverso numero di reti e per ogni tipo di supporto convenzionale

Descrizione

Nome commerciale, tipo di rinforzo interno, tipo di matrice, numero di reti, marcatura e ogni altra informazione generale ritenuta utile.

Caratteristiche geometriche e fisiche

Proprietà	Unità di misura	Metodo di prova Normativa di riferimento
Spessore nominale del sistema di rinforzo	[mm]	
Grammatura della rete in ordito	[g/m ²]	ISO 11667:1997
Grammatura della rete in trama	[g/m ²]	ISO 11667:1997
Spessore equivalente della rete di rinforzo in trama	[mm]	Questa Linea Guida (§ 2)
Spessore equivalente della rete di rinforzo in ordito	[mm]	Questa Linea Guida (§ 2)
Densità del materiale costituente la rete di rinforzo	[g/cm ³]	
Percentuale in peso delle componenti organiche	%	
Reazione al fuoco		Dichiarazione secondo classi di UNI EN 13501-1
Permeabilità al vapore acqueo		Dichiarazione del valore riportato nei prospetti di EN 1745
Intervallo temperature di esercizio	°C	

Proprietà meccaniche

Proprietà	Unità di misura	Metodo di prova normativa di riferimento
Tensione limite convenzionale $\sigma_{lim,conv}$	[MPa]	Questa Linea Guida (§§ 2.1-7.2)
Deformazione limite convenzionale $\epsilon_{lim,conv}$	%	Questa Linea Guida (§§ 2.1-7.1)
Modulo di rigidezza E_1 nello stadio A	[MPa]	Questa Linea Guida (§§ 2.1-7.1.2)
Tensione ultima σ_u del composito <i>FRCM</i>	[MPa]	Questa Linea Guida (§§ 2.1-7.1.2)
Deformazione ultima ϵ_u del composito <i>FRCM</i>	%	Questa Linea Guida (§§ 2.1-7.1.2)

Tensione ultima, σ_{uf} della rete (tessuto) a rottura per trazione	[MPa]	Questa Linea Guida (§§ 2.1-7.1.1)
Modulo elastico E_f della rete (tessuto)	[MPa]	Questa Linea Guida (§§ 2.1-7.1.1)
Deformazione ultima a trazione, ε_{uf} , della rete (tessuto)	[MPa]	Questa Linea Guida (§§ 2.1-7.1.1)
Resistenza a compressione della matrice/malta, $f_{c,mat}$, caratteristica o nominale	[MPa]	UNI EN 1015-11

Note

Descrizione

Condizioni di stoccaggio

Descrizione

Precauzioni d'uso e sicurezza