

BETONTEX



MANUALE DI INSTALLAZIONE DEI PRODOTTI DEL SISTEMA DI RINFORZO

Sistemi di rinforzo FRP impregnati in situ BETONTEX EPOXY

Sistemi di rinforzo impregnati in situ BETONTEX EPOXY
Manuale di installazione dei prodotti del sistema di rinforzo

Indice dei contenuti

1. Campo di applicazione	2
2. Possibili utilizzi nel rinforzo degli elementi strutturali.....	2
3. Installazione dei prodotti del sistema di rinforzo	3
3.1. Indicazioni generali per la preparazione della resina	3
3.2. Supporto muratura	3
3.3. Supporto calcestruzzo.....	5
4. Controlli.....	7
4.1. Livello 1	7
4.2. Livello 2	8
4.3. Livello 3	8
5. Condizioni di utilizzo dei sistemi di rinforzo una volta applicati.....	9
5.1. Temperature limiti di utilizzo	9
5.2. Protezione dei sistemi applicati	10
Appendice - Indicazioni per la preparazione dei provini per le prove di accettazione in cantiere.....	18

1. Campo di applicazione

Il presente manuale si applica ai seguenti sistemi di rinforzo:

- | | |
|---|---|
| (1) BETONTEX FB-GV330U-HT-RC02: | Tessuto di fibra in carbonio e resina epossidica; |
| (2) BETONTEX FB-GV420U-HT-RC02: | Tessuto di fibra in carbonio e resina epossidica; |
| (3) BETONTEX FB-GV620U-HT-RC02: | Tessuto di fibra in carbonio e resina epossidica; |
| (4) BETONTEX FB-GV320U-HM-RC02: | Tessuto di fibra in carbonio e resina epossidica; |
| (5) BETONTEX FB-GV420U-HM-RC02: | Tessuto di fibra in carbonio e resina epossidica; |
| (6) BETONTEX FB-GV620U-HM-RC02: | Tessuto di fibra in carbonio e resina epossidica; |
| (7) BETONTEX FB-Multiax400-RC02: | Tessuto di fibra in carbonio e resina epossidica; |
| (8) BETONTEX FB-RC225-TH12-RC02: | Rete di fibra in carbonio e resina epossidica; |

oggetto di qualificazione ai sensi della "Linea Guida per la identificazione, la qualificazione ed il controllo di accettazione di compositi fibrorinforzati a matrice polimerica (FRP) da utilizzarsi per il consolidamento strutturale di costruzioni esistenti" (in seguito "Linea Guida") approvata con Decreto del Presidente del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici n. 220 del 09 luglio 2015.

2. Possibili utilizzi nel rinforzo degli elementi strutturali

I materiali compositi possono essere impiegati per il rinforzo di strutture in cemento armato, muratura, legno e acciaio. Le principali applicazioni dei sistemi di rinforzo comprendono:

A) Interventi di rinforzo e recupero di **strutture in muratura**

I rinforzi in materiale composito conferiscono alla muratura la resistenza a trazione, che per sua natura non possiede.

In generale per le murature i materiali compositi possono essere utilizzati per:

- **Incatenamenti** di edifici mediante cerchiature esterne o interne/esterne;
- **Consolidamento di volte e archi**, i rinforzi lasciano inalterata la loro funzionalità strutturale;
- **Rinforzo taglio e flessione**, per azione nel piano e fuori dal piano;
- **Confinamento di colonne**, per incrementarne la resistenza e la duttilità.

B) Interventi di rinforzo e recupero di **strutture in calcestruzzo**

In generale per il calcestruzzo armato i materiali compositi possono essere utilizzati per:

- **colonne e pilastri**, per incrementarne la resistenza a taglio, pressoflessione e la duttilità;
- **travi** per incrementarne la resistenza a flessione, torsione e taglio;
- **nodi trave-pilastro**: confinamento dei nodi per garantire la necessaria gerarchia delle resistenze nel caso di interventi sismici;
- **solai e piastre**, per incrementarne la resistenza a flessione e a taglio;
- **volte e gallerie**;
- **condotte, vasche e serbatoi**.

C) Interventi di rinforzo e recupero di **strutture di legno**:

- **travi**, per incrementarne la resistenza a flessione e a taglio e ridurre gli effetti dovuti alla presenza di nodi e altri difetti;
- **capriate lignee**, per incrementarne la resistenza a trazione degli elementi tesi.

D) Interventi di rinforzo di strutture in acciaio:

I sistemi di rinforzo, ove applicati efficacemente, incrementano la resistenza degli elementi strutturali:

- **travi** per incrementare la resistenza a flessione;
- **capriate-reticolari** per incrementare la resistenza a trazione degli elementi tesi;
- **nodi** per incrementare la resistenza delle giunzioni a taglio e a flessione.

3. Installazione dei prodotti del sistema di rinforzo

3.1. Indicazioni generali per la preparazione della resina

Tutte le resine sono bicomponenti, componente "A" resina e componente "B" induritore dovranno essere miscelati nei corretti rapporti di peso e no di volume.

Disporre sulla bilancia un contenitore in polietilene pulito privo di solventi, grassi e/o olii, effettuata la tara versare nel barattolo il componente "A" e successivamente versare la quantità corretta in peso di componente "B". Mescolare i due componenti utilizzando una frusta (frusta per miscelazione vernici). La miscelazione deve essere eseguita a bassi giri per evitare di inglobare aria e deve durare fin quando la miscela diventa omogenea e di colore uniforme.

Il range di temperatura ambiente per l'applicazione dei materiali compositi è pari 5÷30°C.

Durante l'applicazione il supporto, il primer, l'adesivo non dovranno essere oggetto di irraggiamento diretto da parte di fonti di calore e/o umidità. Non è consentita l'applicazione in ambienti particolarmente umidi o in presenza di fenomeni di condensa sulle superfici da rinforzare: le superfici devono essere completamente asciutte e pulite.

Le stesse condizioni ambientali devono essere garantite come minimo nei 3 giorni successivi all'applicazione, allo scopo di garantire una corretta maturazione della resina.

Per quanto non esplicitamente contenuto nel presente paragrafo, si rimanda al "Manuale di preparazione dei prodotti del sistema di rinforzo".

3.2. Supporto muratura

I punti relativi all'applicazione dei prodotti dei sistemi di rinforzo sono i seguenti:

A. Tracciamento della esatta posizione dei rinforzi sull'elemento in muratura.

Al fine di ottenere la massima prestazione meccanica del rinforzo in materiale composito, è necessario che il supporto in muratura si presenti pulito, privo di olii e/o grassi e/o disarmanti e asciutto.

Si farà riferimento alle schede tecniche di sistema e/o altra documentazione allegata per ulteriori precisazioni sulla preparazione del supporto (irregolarità, scabrezza, altre problematiche, ecc.).

Previa rimozione dell'intonaco eventualmente esistente, al termine della preparazione del supporto, i rimanenti punti relativi all'applicazione dei prodotti dei sistemi di rinforzo sono i seguenti:



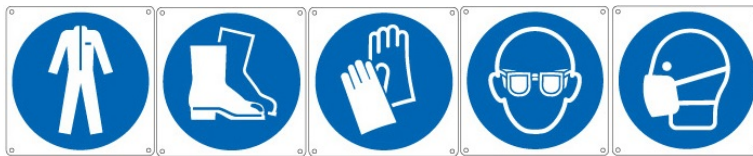
Leggere attentamente la scheda tecnica di prodotto e la Scheda di Sicurezza delle fasi componenti il sistema.

Pericoli



Prodotto nocivo se ingerito, nocivo per contatto con la pelle, nocivo se inalato, provoca gravi ustioni cutanee e gravi lesioni oculari, provoca grave irritazione oculare, può provocare una reazione allergica della pelle. Nocivo per gli organismi acquatici, con effetti di lunga durata.

Obblighi



Indossare abiti da lavoro con maniche lunghe e calzature di sicurezza. Proteggere le mani con guanti da lavoro. Indossare occhiali protettivi ermetici. L'utilizzo di mezzi di protezione delle vie respiratorie, come maschere con cartuccia per vapori organici e per polveri/nebbie, è necessario in assenza di misure tecniche per limitare l'esposizione del lavoratore.



Non fumare durante la manipolazione. Non bere o mangiare nelle zone di lavoro. Lavarsi sempre accuratamente le mani prima degli intervalli e a fine lavoro.

Per indicazioni più dettagliate sugli aspetti della sicurezza relativi all'applicazione del sistema di rinforzo consultare il "Manuale di preparazione dei prodotti del sistema di rinforzo".

- B. Applicazione del primer bicomponente epossidico, laddove necessario, in ragione di 300 g/m² di superficie da trattare. La stesura del primer può essere seguita a pennello o rullo (pelo corto) distribuendolo in modo uniforme su tutta la superficie. Ripassare fino ad ottenere uno strato superficiale filmogeno omogeneo;
- C. Attendere un'ora e non superare le tre ore di maturazione del primer di cui al punto precedente. Il primer non si deve asciugare, nel caso in cui dovesse seccare è fondamentale procedere alla rimozione meccanica. Per il passaggio alla fase successiva, il primer deve risultare appiccicoso al tatto;
- D. Nell'attesa della maturazione del primer provvedere al taglio dei nastri della lunghezza e larghezza prevista dal progetto di rinforzo;
- E. Arrotolare il nastro di cui al punto precedente e depositarlo in un luogo/ contenitore privo di polvere

- F. Applicazione sul supporto primerizzato del primo strato di adesivo(matrice) epossidico tipo **BETONTEX FB-RC02** circa 300 g/m² per un nastro in carbonio da 300 g/m² per tessuti di grammatura superiore incrementare proporzionalmente la quantità di adesivo applicato;
- G. Applicazione del rinforzo, avendo cura di disporlo precisamente lungo la direzione di lavoro prevista da progetto;
- H. Rullare con rullino speciale scanalato frangibolle, la rullatura dovrà essere ripetuta più volte fino a quando la resina dello strato inferiore non fuoriesce (almeno in parte) sulla faccia superiore del filo di rinforzo costituente il tessuto;
- I. Ripete le fasi F, G e H per il numero di strati previsti;
- J. Secondo strato di adesivo impregnante (matrice) **BETONTEX FB-RC02** a saturazione di tutto il tessuto, circa 300 g/m² per un nastro in carbonio da 300g/m²per tessuti di grammatura superiore incrementare proporzionalmente la quantità di adesivo applicato;
- K. Rullatura con rulli speciale frangibolle;
- L. Rimozione della resina in eccesso, finitura a pennello della superficie;
- M. Spolvero di sabbia quarzifera asciutta sull'ultimo strato di resina ancora fresca;
- N. Protezione e/o finitura con intonaco civile e/o vernice resistente agli UV esempio vernice poliuretanaica.

3.3. Supporto calcestruzzo

Al fine di ottenere la massima prestazione meccanica del rinforzo in materiale composito, è necessario che il supporto in calcestruzzo si presenti pulito, privo di olii e/o grassi e/o disarmanti.

Prima rimozione dell'intonaco eventualmente esistente, al termine della preparazione del supporto (punti riportati nella documentazione sopraccitata), i punti relativi all'installazione dei prodotti dei sistemi di rinforzo sono i seguenti:

- A. Tracciamento della esatta posizione dei rinforzi sull'elemento in calcestruzzo;

Indicazioni di sicurezza



Sono applicabili le indicazioni riportate al paragrafo 3.2.

- B. Applicazione del primer bicomponente epossidico laddove necessario in ragione di 300 g/m² di superficie da trattare. La stesura del primer può essere seguita a pennello o rullo (pelo corto) distribuendolo in modo uniforme su tutta la superficie. Ripassare fino ad ottenere uno strato superficiale filmogeno omogeneo;
- C. Attendere un'ora e non superare le tre ore di maturazione del primer di cui al punto precedente. Il primer non si deve asciugare, nel caso in cui dovesse seccare è fondamentale procedere alla rimozione meccanica. Per il passaggio alla fase successiva, il primer deve risultare appiccicoso al tatto;
- D. Nell'attesa della maturazione del primer provvedere al taglio dei nastri della lunghezza e larghezza prevista dal progetto di rinforzo;
- E. Arrotolare il nastro di cui al punto precedente e depositarlo in un luogo/ contenitore privo di polvere
- F. Applicazione sul supporto *primerizzato* del primo strato di adesivo(matrice) epossidico tipo **BETONTEX FB-RC02** (per la miscelazione vedi nota) circa 300 g/m² per un nastro in carbonio da 300 g/m² per tessuti di grammatura superiore incrementare proporzionalmente la quantità di adesivo applicato;
- G. Applicazione del rinforzo, avendo cura di disporlo precisamente lungo la direzione di lavoro, sono sufficienti pochi gradi di disallineamento rispetto alla direzione di lavoro che la resistenza del rinforzo si riduce notevolmente;
- H. Rullare con rullino speciale scanalato frangibolle, la rullatura dovrà essere ripetuta più volte fino a quando la resina dello strato inferiore non fuoriesce (almeno in parte) sulla faccia superiore del filo di rinforzo costituente il tessuto;
- I. Ripete le fasi F, G e H per il numero di strati previsti;
- J. Secondo strato di adesivo impregnante (matrice) **BETONTEX FB-RC02** a saturazione di tutto il tessuto, circa 300 g/m² per un nastro in carbonio da 300 g/m² per tessuti di grammatura superiore incrementare proporzionalmente la quantità di adesivo applicato;
- K. Rullatura con rulli speciale frangibolle;
- L. Rimozione della resina in eccesso, finitura a pennello della superficie;
- M. Spolvero di sabbia quarzifera asciutta sull'ultimo strato di resina ancora fresca;
- N. Protezione e/o finitura con intonaco civile e/o vernice resistente agli UV esempio vernice poliuretanica.

Indicazioni di sicurezza per lo smaltimento dei rifiuti



Trattamento dei rifiuti - Prodotto non completamente indurito:

La generazione di rifiuti dovrebbe essere evitata o minimizzata qualora possibile. I contenitori vuoti o i rivestimenti possono trattenere dei residui di prodotto. Non disfarsi del prodotto e del recipiente se non con le dovute precauzioni. Smaltire i prodotti in eccedenza e non riciclabili tramite azienda autorizzata allo smaltimento dei rifiuti. Lo smaltimento di questo prodotto e di qualsiasi sottoprodotto deve essere effettuato attendendosi sempre alle indicazioni di legge sulla protezione dell'ambiente e sullo smaltimento dei rifiuti ed ai requisiti di ogni altra autorità locale pertinente. Evitare la dispersione ed il deflusso del materiale versato e il contatto con terreno, corsi d'acqua, scarichi e fogne.

Codice rifiuto europeo: 08.04.09 Adesivi e sigillanti di scarto contenenti solventi organici o altre sostanze pericolose

Trattamento dei rifiuti - Prodotto indurito:

Ad indurimento avvenuto (dopo miscelazione con Componente B nelle proporzioni indicate) il prodotto diviene rifiuto speciale non pericoloso.

Codice rifiuto europeo: 08.04.10 Adesivi e sigillanti di scarto, diversi da quelli di cui alla voce 08.04.09

4. Controlli

L'esecuzione degli interventi di cui sopra dovrà avvenire in ottemperanza a quanto previsto dal documento tecnico CNR DT 200 R1/2013 nella versione più recente. Per le opere di rinforzo in materiale composito sono previsti n. 3 livelli di controllo:

- 1- il **Livello 1** riguarda il supporto;
- 2- il **Livello 2** ha come oggetto i materiali costituenti il sistema di rinforzo FRP;
- 3- il **Livello 3** prevede la verifica della corretta posa in opera.

4.1. Livello 1

Prima dell'applicazione dei rinforzi è necessario rimuovere l'intonaco esistente per una fascia di larghezza pari alla larghezza dell'intonaco + 100 mm. La regolarizzazione del supporto dovrà avvenire con adeguati materiali da costruzione (si rimanda alle schede tecniche dei sistemi di rinforzo).

La superficie deve essere regolare, planare e non liscia ma scabra con finitura a frattazzo, indicativamente l'indice di ruvidezza (scabrezza) dovrà essere almeno pari a 0.3 mm.

Una volta rimosso l'intonaco, prima di procedere con la preparazione delle cosiddette piste, è necessaria una visita della DL che valuti lo stato del supporto e l'adeguatezza della malta proposta dall'impresa applicatrice in relazione alle caratteristiche meccaniche della stessa e agli spessori di malta d'apportare.

Attendere i tempi di maturazione della malta prima di passare alla fase successiva, il contenuto di umidità residua dovuta all'acqua d'impasto deve essere inferiore al 10%.

L'impresa dovrà disporre in cantiere di un termometro ed un igrometro che permettano di misurare la temperatura e l'umidità del supporto.

E' necessario disporre dei testimoni di prova in zone omogenee di muratura rispetto alla zona da rinforzare e dove i medesimi operatori utilizzando gli stessi materiali eseguono tutte le operazioni previste dal progetto esecutivo per i vari livelli di controllo ed accettazione del materiale.

A descrizione della Direzione Lavori, prima di procedere con l'applicazione dei rinforzi potranno essere eseguite prove di *pull-off* sulla malta di preparazione del supporto (testimone) al fine di valutare l'aderenza della malta alla

muratura e/o calcestruzzo in un numero minimo di 3. Il risultato sarà ritenuto valido solo se il distacco avverrà al livello della muratura e/o del calcestruzzo e non all'interfaccia supporto malta.

4.2. Livello 2

I materiali vengono consegnati in cantiere etichettati e con una completa identificazione (ivi compresa l'indicazione del numero di lotto), accompagnati dalla documentazione necessaria per il corretto utilizzo:

- Certificato di Idoneità Tecnica all'Impiego rilasciato dal STC per lo specifico sistema di rinforzo fornito;
- copia del "Manuale di preparazione del prodotto";
- copia del presente "Manuale di installazione del prodotto".

E' compito dell'impresa che esegue i lavori e della Direzione dei Lavori assicurare la rintracciabilità del prodotto all'interno del cantiere, in modo tale da potere accertare quali lotti di materiale (resine e tessuto) sono stati impiegati:

- in ogni singolo elemento strutturale o parte della struttura oggetto di rinforzo;
- nella confezione dei laminati destinati alla preparazione dei provini per le prove di accettazione in cantiere descritte in seguito.

I controlli di accettazione in cantiere sono quelli previsti dalla Linea Guida, paragrafo 5.2.9, le cui indicazioni si riassumono in seguito:

- sono obbligatori e di competenza del Direttore dei lavori;
- sono esclusivamente di tipo meccanico;
- devono essere eseguiti su campioni ricavati da laminati realizzati in cantiere con i materiali base oggetto di fornitura e con la procedura di installazione prescritta dal presente Manuale e dal "Manuale di preparazione dei prodotti del sistema di rinforzo", impiegando gli stessi addetti del cantiere.

Le prove meccaniche devono essere effettuate da un Laboratorio autorizzato ai sensi dell'art. 59 del DPR 380/2001, in tempo ritenuto utile dal Direttore dei Lavori ai fini dell'accertamento della qualità e della conformità alle specifiche di progetto dei rinforzi oggetto di fornitura e comunque non oltre 30 gg. Le condizioni ambientali devono essere le medesime di quelle di installazione.

I laminati devono essere tanti quante sono le classi dei sistemi di rinforzo da installare e devono essere costituiti da 3 strati. Da ciascun laminato devono essere ricavati almeno 3 campioni, in riferimento ad ogni lotto di spedizione e comunque ogni 500 mq o frazione di sistema di rinforzo, sempre che il marchio e la documentazione di accompagnamento dimostrino la provenienza del sistema di rinforzo da uno stesso Fornitore.

Per la preparazione dei laminati e il ricavo dei relativi provini vanno seguite le "**INDICAZIONI PER LA PREPARAZIONE DEI PROVINI PER LE PROVE DI ACCETTAZIONE IN CANTIERE**" riprodotte in appendice.

4.3. Livello 3

Verificata la corretta esecuzione della preparazione del supporto si passerà all'applicazione dei rinforzi.

Per tutti i successivi controlli distruttivi, si consiglia la predisposizione di cosiddetti testimoni con muratura e/o calcestruzzo avente caratteristiche omogenee rispetto alla zona d'intervento.

Per le singole fasi di esecuzione del rinforzo si rimanda ai capitoli precedenti.

Le prove per la corretta posa in opera sono di tipo distruttive in numero > di 3 per ciascuno lotto di produzione di resina e fibra in fase di accettazione e in numero di una prova per ogni 30 m² di applicazione per le strutture di c.a., e di una prova per ogni 50 m² di applicazione per quelle murarie. La loro numerosità non deve essere comunque inferiore a 3 per ogni tipo di prova ritenuta significativa in sede di definizione della campagna di controllo.

Trattasi di prove di tipo *Pull-off* e/o prove di strappo tangenziale eseguite da personale abilitato all'esecuzione delle stesse e certificate da tecnici abilitati.

Oltre ai controlli distruttivi sui testimoni il Direttore dei lavori potrà richiedere all'impresa esecutrice l'esecuzione di prove non distruttive di tipo termico o acustico stimolato finalizzate a verificare la continuità dell'incollaggio nelle zone di applicazione. L'impresa dovrà dotarsi di termometro e igrometro per l'esecuzione della misura di temperatura ed umidità prima dell'inizio dell'applicazione del rinforzo in ogni zona di applicazione.

L'applicazione dei rinforzi potrà essere eseguita solo dopo che il Direttore dei Lavori avrà verificato la corretta esecuzione della preparazione del supporto, avrà accettato i materiali costituenti il sistema fibrorinforzato ed avrà verificato le reali condizioni termoigrometriche del supporto.

Il Direttore dei Lavori, dovrà essere avvertito con congruo anticipo prima dell'esecuzione delle varie fasi del rinforzo strutturale con materiali compositi. Tutte le fasi di esecuzione del rinforzo dovranno essere documentate con immagini fotografiche messe a disposizione della DL. Tutta la documentazione inerente i vari livelli di controllo ed accettazione dovrà essere disponibile in cantiere per il Direttore dei Lavori.

5. Condizioni di utilizzo dei sistemi di rinforzo una volta applicati

Il rispetto delle indicazioni fornite nel presente Manuale è condizione necessaria per l'ottenimento delle caratteristiche prestazionali dei sistemi di rinforzo riportate nelle singole Schede Tecniche, riprodotte in forma riassuntiva nella **Tabella 1**.

Per il mantenimento di queste caratteristiche prestazionali è necessario garantire:

- il rispetto delle temperature minima e massima di utilizzo;
- la predisposizione, ove necessarie, di adeguate protezioni per i sistemi applicati.

5.1. Temperature limiti di utilizzo

a) Temperatura limite inferiore di utilizzo

La temperatura limite inferiore di utilizzo viene stabilita a partire dalla performance dei sistemi quando sottoposti alla prova di durabilità sotto cicli di gelo e disgelo.

I materiali sono stati sottoposti alle prove di gelo/disgelo, secondo protocollo proposto dal Laboratorio Autorizzato (CIRI dell'Università di Bologna), consistente basicamente nell'applicazione di 20 cicli di gelo/disgelo. Ciascun ciclo consiste di almeno 4 ore a -18°C, seguite da 12 ore in camera umida (100% di umidità relativa, 38°C).

I provini vengono ispezionati visivamente prima della realizzazione dei cicli di gelo/disgelo e, nuovamente, una volta che i cicli sono stati eseguiti, identificando eventuali alterazioni superficiali significative. Vengono determinate le caratteristiche meccaniche (resistenza a trazione e modulo elastico) del materiale sottoposto a trattamento e confrontate con quelle del materiale originale non trattato.

Considerando:

- che i materiali non hanno subito nessuna alterazione superficiale significativa;
- che le alterazioni sulle caratteristiche meccaniche sono molto limitate, con perdite inferiori a quelle massime consentite del 15 %;

si ritiene che il materiale possa essere impiegato alle stesse temperature raggiunte nelle prove (-18 °C) senza che le proprietà prestazionali risultino compromesse.

Adottando un margine di sicurezza aggiuntiva, viene stabilita una temperatura limite inferiore di utilizzo pari a -15°C.

b) Temperatura limite superiore di utilizzo (T_{Isu})

Per stabilire questa temperatura si adotta il criterio di determinazione mediante sottrazione di un certo margine di sicurezza alla temperatura di transizione vetrosa (T_g) del materiale, trattandosi della temperatura nella quale avviene il passaggio da un materiale rigido (sotto la T_g), ad uno visco-elastico (al di sopra della T_g).

A tale scopo sono state realizzate delle prove di determinazione della temperatura di transizione vetrosa, realizzate su campioni di materiale composito (e non sulla semplice resina) ritenendo che tale condizione è più rappresentativa della condizione reale di uso. Infatti, in questo modo nella performance complessiva del materiale viene coinvolto anche il tessuto, nelle specifiche proporzioni presenti nel composito.

Le prove sono state realizzate presso il Dipartimento di Ingegneria "Enzo Ferrari" (DIEF) dell'Università di Modena e Reggio Emilia, utilizzando il metodo di calorimetria a scansione differenziale (DSC) secondo la norma ASTM D3418 (equivalente alla norma ISO 11357-2). Le prove sono state eseguite distintamente per la resina impregnante Betontex FB-LC02 e per il primer Betontex FB-LC01, Dai termogrammi DSC ottenuti è stato determinato un valore di temperatura di transizione vetrosa (T_g) pari a 74°C e 69°C rispettivamente.

Per definire il margine di sicurezza da adottare tra la temperatura limite superiore di utilizzo e la temperatura di transizione vetrosa (T_g) sono utili le indicazioni del documento tecnico CNR-DT 200 R1/2013 (*Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Interventi di Consolidamento Statico mediante l'utilizzo di Compositi Fibrorinforzati*) che si riproducono in seguito:

"Per gli intervalli di temperatura tipici delle infrastrutture civili è possibile evitare indesiderati decadimenti delle prestazioni scegliendo il sistema di rinforzo in modo che la temperatura di transizione vetrosa sia sempre più elevata della massima temperatura di esercizio. Si sconsiglia l'impiego di materiali FRP in presenza di temperature di esercizio superiori a quella di transizione vetrosa ridotta di 15°C. Se del caso, devono essere previsti protettivi con funzione di isolanti termici."

Si adotta perciò un margine di sicurezza di 15° C rispetto alla temperatura di transizione vetrosa.

Sottraendo questo margine alla temperatura di transizione vetrosa ottenuta nelle prove di laboratorio si ottiene una temperatura limite superiore di utilizzo di 59°C per la resina impregnante Betontex FB-RC02 e 54°C per il primer Betontex FB-LC01.

La temperatura limite superiore di utilizzo dei sistemi di rinforzo dipenderà dal fatto che, per ogni determinata applicazione, sia previsto o meno l'utilizzo del primer Betontex FB-RC01, dato che in caso affermativo la sua minore temperatura di transizione vetrosa sarà quella condizionante.

Riassumendo, le temperature limite di utilizzo proposte per i sistemi di rinforzo qui considerati sono:

temperatura limite inferiore: -15°C

temperatura limite superiore:

a) Per applicazioni che NON prevedano l'utilizzo del primer Betontex FB-RC01: +59°C

b) Per applicazioni che prevedano l'utilizzo del primer Betontex FB-RC01: +54°C

5.2. Protezione dei sistemi applicati

Nella fase di progettazione del sistema di rinforzo e durante la vita utile della struttura, possono rendersi necessarie eventuali misure di protezione dei sistemi di rinforzo FRP contro possibili azioni aggressive.

In linea di massima, sono da rispettare le indicazioni del documento tecnico CNR-DT 200 R1/2013 (*Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Interventi di Consolidamento Statico mediante l'utilizzo di Compositi Fibrorinforzati*), paragrafi 4.8.2.3 e 5.8.2.3, che si riproducono in seguito:

- (1) Nel caso di applicazioni in ambiente esterno è opportuno proteggere il sistema di rinforzo dall'azione diretta dell'irraggiamento solare, che può produrre alterazioni chimico-fisiche nella matrice epossidica. Ciò può essere ottenuto mediante l'impiego di vernici acriliche protettive, sia in dispersione acquosa sia in solvente, previa pulitura della superficie del composito mediante l'uso di una spugna satura d'acqua saponata.*
- (2) In alternativa, una protezione più elevata può essere garantita con l'applicazione sul composito di intonaci o malte (preferibilmente di natura cementizia). Tali intonaci, i cui spessori sono generalmente consigliati dai Produttori e/o Fornitori, devono essere posati sul sistema di rinforzo previa preparazione della superficie mediante applicazione di resina epossidica con successivo spolvero "fresco su fresco" di polvere di quarzo.*
- (3) Ai fini della protezione al fuoco possono essere adottate due tecniche differenti: l'uso di pannelli intumescenti o l'applicazione di intonaci protettivi. In entrambi i casi Produttori e/o Fornitori devono indicare sulle schede tecniche il grado di protezione conseguibile in relazione allo spessore del rivestimento. I pannelli – in genere a base di calciosilicati – vengono posati sul rinforzo previo inserimento di tasselli che non devono mai tagliare o forare le fibre. L'intonaco intumescente, di più frequente utilizzazione, deve essere applicato sul composito seguendo le indicazioni riportate al punto (2).*

Il seguente quadro riassuntivo presenta le potenziali azioni aggressive sui sistemi di rinforzo in FRP e i relativi sistemi di protezione che possono essere utilizzati (l'elenco non è esaustivo, visto che sono sempre possibili particolari condizioni di esposizione in funzione del cantiere):

Potenziale azione aggressiva sul sistema di rinforzo in FRP	Sistemi di protezione che possono essere utilizzati				
	Verniciatura ¹	Intonaco protettivo ²	Pannelli isolanti ³	Pannelli resistenti ³	Barriere meccaniche ³
Azioni meccaniche (urto, graffio, ecc.)		✓		✓	✓
Irraggiamento ultravioletta (UV)	✓	✓	✓	✓	
Irraggiamento infrarosso (IR) ⁴	✓	✓	✓	✓	
Temperature estreme ⁵		✓	✓		
Fuoco ⁶	(7)	✓	✓	✓	
Aggressione chimica	✓	✓			
Umidità	✓	✓	✓	✓	

Note:

- 1 La resina epossidica utilizzata nei sistemi di rinforzo possiede una elevata resistenza chimica alle sostanze abitualmente utilizzate nelle vernici. Ciò nonostante è necessario verificare che le vernici, i solventi e/o eventuali primer applicati non risultino chimicamente aggressivi.
- 2 Lo spessore dell'intonaco protettivo dovrà essere progettato in modo tale di assicurare la prestazione e la durabilità desiderati per la/le funzioni di protezione previste (resistenza meccanica, isolamento termico, protezione contro il fuoco, ecc.).
- 3 Per il fissaggio di questi tipi di sistemi può essere necessario inserire degli ancoraggi sulla stessa struttura scopo di rinforzo in FRP. Ovviamente, questi ancoraggi devono essere effettuati in zone adiacenti alla zona di applicazione del rinforzo e mai direttamente sul rinforzo stesso, il che provocherebbe sicuramente una lesione sul materiale composito e la conseguente riduzione della sezione effettiva resistente. Ugualmente sono da evitare fissaggi per adesione che implicino sforzi significativi di trazione nella superficie di interfaccia tra il sistemi di rinforzo in FRP e la superficie sulla quale è stato applicato.
- 4 E' da verificare che il sistema di protezione, oltre ad evitare l'incidenza diretta delle radiazioni sulla superficie del sistema di rinforzo FRP, eviti il raggiungimento della temperatura limite superiore di utilizzo.
- 5 Il sistema di protezione dovrà essere progettato in modo tale da garantire un livello di isolamento termico che, nei tempi di esposizione alle temperature estreme previsti, eviti il raggiungimento delle temperature limite inferiore e superiore di utilizzo.
- 6 Il sistema di protezione dovrà essere progettato in modo tale di fornire - per le prestazioni di resistenza (R), tenuta (E) e isolamento (I) - una resistenza al fuoco uguale o superiore a quella prevista per l'elemento costruttivo al quale risulta applicato il sistema di rinforzo FRP. In particolare, la capacità di isolamento (I) dovrà assicurare il non raggiungimento della temperatura limite superiore di utilizzo del sistema FRP nei tempi corrispondenti alla Classe EI o I di progetto.
- 7 Le pitture ignifughe possono evitare la propagazione del fuoco sul sistema di rinforzo FRP, ma non evitano il raggiungimento di temperature elevate che riducono la loro performance meccanica. Per questa ragione non devono essere utilizzate come sistema di protezione, se non per quanto riguarda la protezione contro la reazione al fuoco del materiale.

Per altre condizioni specifiche di esposizione o per l'applicazione di sistemi di protezione alternativi si suggerisce di contattare l'Ufficio Tecnico di Fibre Net srl.

In ogni caso, è molto importante che la progettazione e la messa in opera del sistema di protezione siano realizzati in stretta osservanza delle specifiche tecniche del produttore/fornitore di tali sistemi, per cui sarà necessario ricorrere a tale documentazione nel caso specifico, in modo tale di assicurare l'efficacia della protezione applicata, nonché la sua durabilità nel tempo.

Tabella 1

Scheda riassuntiva delle caratteristiche prestazionali dei sistemi di rinforzo impregnati in situ e delle relative fasi costitutive tessuto e resina (per maggiori dettagli si veda la Scheda Tecnica specifica per ogni sistema di rinforzo)

Proprietà	Metodo di prova	n. strati	Identificazione del sistema di rinforzo impregnato in situ								
			Betontex FB-GV330U-HT -RC02	Betontex FB-GV420U-HT -RC02	Betontex FB-GV620U-HT -RC02	Betontex FB-GV320U-HM -RC02	Betontex FB-GV420U-HM -RC02	Betontex FB-GV620U-HM -RC02	Betontex FB-RC225-TH12 -RC02	Betontex FB-Multiax400 -RC02	
Caratteristiche meccaniche del sistema di rinforzo (si indicano i risultati ottenuti nelle prove di qualificazione, rientranti nei limiti della Classe prevista per ogni sistema in questione)											
Classe ^{Nota 1}		---	210C	210C	210C	350/2800C	350/2800C	350/2800C	210C	210C	
Modulo elastico del laminato riferito all'area netta di fibre, E_f , valore medio, GPa	UNI EN 2561	1	271	269	267	418	405	409	285	359	
		2	273	266	269	406	390	410	288		
		3	270	270	267	407	394	407	282	344	
		4	269								
		5	271								
Resistenza a trazione del laminato riferito all'area di fibre, f_{fib} , valore caratteristico, MPa	UNI EN 2561	1	3.156	3.352	3.551	3.312	2.985	3.211	3.073	4.030	
		2	3.225	3.603	3.280	3.172	2.824	3.615	3.041		
		3	3.148	3.507	3.394	3.062	2.917	3.229	2.913	4.461	
		4	3.097								
		5	3.503								
Deformazione a rottura del laminato, ϵ_{fib} , valore medio	UNI EN 2561	1	1,42 %	1,62 %	1,66 %	0,94 %	0,94 %	1,01 %	1,20 %	1,44 %	
		2	1,46 %	1,62 %	1,60 %	0,93 %	0,94 %	1,02 %	1,34 %		
		3	1,45 %	1,50 %	1,60 %	0,93 %	0,90 %	0,96 %	1,18 %	1,45 %	
		4	1,50 %								
		5	1,56 %								

Nota 1: per la **Classe 210C** la Linea Guida prevede un modulo elastico del laminato riferito all'area netta di fibre (E_f) di 210 GPa (valore medio che è garantito) e una resistenza a trazione del laminato riferito all'area di fibre (f_{fib}) di 2.700 MPa (valore caratteristico che è garantito). Per la **Classe 350/2800C**, invece, questi valori sono di 350 GPa (E_f) e 2.800 MPa (f_{fib}).

(continua)

(continua)

Proprietà	Metodo di prova	n. strati	Identificazione del sistema di rinforzo impregnato in situ							
			Betontex FB-GV330U- HT -RC02	Betontex FB-GV420U- HT -RC02	Betontex FB-GV620U- HT -RC02	Betontex FB-GV320U- HM -RC02	Betontex FB-GV420U- HM -RC02	Betontex FB-GV620U- HM -RC02	Betontex FB-RC225- TH12 -RC02	Betontex FB- Multiax400 -RC02
Altre caratteristiche del sistema di rinforzo										
Frazione in peso delle fibre nel composito	metodo interno	1	25 %	32%	38%	25%	26%	38%	20%	27%
		2	30 %	37%	37%	28%	30%	42%	24%	
		3	32 %	41%	39%	33%	41%	40%	27%	40%
		4	34 %							
		5	37 %							
Frazione in volume delle fibre nel composito	metodo interno	1	17 %	22%	25%	16%	18%	27%	13%	16%
		2	22 %	26%	25%	20%	21%	31%	17%	
		3	23 %	30%	28%	23%	30%	31%	18%	26%
		4	24 %							
		5	27 %							
Area equivalente di fibra, per ciascuno strato di tessuto, A_{rt}	UNI EN 2561		169 mm ² /m	225 mm ² /m	337 mm ² /m	167 mm ² /m	222 mm ² /m	333 mm ² /m	56 mm ² /m	56 mm ² /m
Spessore equivalente di fibra, per ciascuno strato di tessuto, t_{eq}	UNI EN 2561		0.169 mm	0.225 mm	0.337 mm	0.167 mm	0.222 mm	0.333 mm	0.056 mm	0.056 mm
Temperature limiti di utilizzo										
-per applicazioni del sistema che prevedano l'utilizzo del primer Betontex FB-RC01 ^{Nota 2}	metodo interno		15 °C / +54 °C	15 °C / +54 °C	15 °C / +54 °C	15 °C / +54 °C	15 °C / +54 °C	15 °C / +54 °C	15 °C / +54 °C	15 °C / +54 °C
-per applicazioni del sistema che NON prevedano l'utilizzo del primer Betontex FB-RC01			-15 °C / +59 °C	-15 °C / +59 °C	-15 °C / +59 °C	-15 °C / +59 °C	-15 °C / +59 °C	-15 °C / +59 °C	-15 °C / +59 °C	-15 °C / +59 °C
Temperature limiti di applicazione	metodo interno		+5 °C / +30 °C	+5 °C / +30 °C	+5 °C / +30 °C	+5 °C / +30 °C	+5 °C / +30 °C	+5 °C / +30 °C	+5 °C / +30 °C	+5 °C / +30 °C
Resistenza al fuoco	EN 13501-2		n.p.d.	n.p.d.	n.p.d.	n.p.d.	n.p.d.	n.p.d.	n.p.d.	n.p.d.
Reazione al fuoco	EN 13501-1		n.p.d.	n.p.d.	n.p.d.	n.p.d.	n.p.d.	n.p.d.	n.p.d.	n.p.d.

Nota 2: l'applicazione del sistema di rinforzo può prevedere o meno l'utilizzo del primer Betontex FB-RC01, mentre prevede sempre l'utilizzo della resina impregnante Betontex FB-RC02.

(continua)

(continua)

Proprietà	Metodo di prova	n. strati	Identificazione del sistema di rinforzo impregnato in situ							
			Betontex FB-GV330U-HT -RC02	Betontex FB-GV420U-HT -RC02	Betontex FB-GV620U-HT -RC02	Betontex FB-GV320U-HM -RC02	Betontex FB-GV420U-HM -RC02	Betontex FB-GV620U-HM -RC02	Betontex FB-RC225-TH12 -RC02	Betontex FB-Multiax400 -RC02
Caratteristiche della fase tessuto										
Tipo di tessuto	-		unidirezionale in fibra di carbonio HT			unidirezionale in fibra di carbonio HM			rete bidirezionale in fibra di carbonio HT	tessuto multiassiale in fibra di carbonio HT
Resistenza a trazione della fibra	ISO 10618		5000 MPa			4700 MPa			5000 MPa	4900 MPa
Modulo elastico della fibra	ISO 10618		240 GPa			390 GPa			240 GPa	230 GPa
Allungamento a rottura della fibra	ISO 10618		2.0 %			1.2 %			2.0 %	2.1 %
Massa della fibra per unità di area, p_x	ISO 3374		300 g/m ²	400 g/m ²	600 g/m ²	300 g/m ²	400 g/m ²	600 g/m ²	200 g/m ²	400 g/m ²
Massa della fibra per ciascuna direzione			n.a.						100 g/m ²	100 g/m ²
Densità delle fibre, ρ_{fib}	ASTM D792, ISO 1183-1		1.78 g/cm ³			1.80 g/cm ³			1.78 g/cm ³	1.78 g/cm ³

(continua)

(continua)

Proprietà	Metodo di prova	n. strati	Identificazione del sistema di rinforzo impregnato in situ							
			Betontex FB-GV330U-HT -RC02	Betontex FB-GV420U-HT -RC02	Betontex FB-GV620U-HT -RC02	Betontex FB-GV320U-HM -RC02	Betontex FB-GV420U-HM -RC02	Betontex FB-GV620U-HM -RC02	Betontex FB-RC225-TH12 -RC02	Betontex FB-Multiax400 -RC02
Caratteristiche della fase resina										
Tipo di resina	-		epossidica							
Rapporto di catalisi (A : B)	-		2 :1							
Densità della resina, ρ_m										
Prodotto: Betontex FB-RC01 ^{Nota 3} (primer)	ASTM D792, ISO 1183-1		1,05 g/cm ³							
Prodotto: Betontex FB-RC02 ^{Nota 4} (resina impregnante)			1,10 g/cm ³							
Temperatura di transizione vetrosa ^{Nota 5} , T_g										
Prodotto: Betontex FB-RC01 ^{Nota 3} (primer)	ISO 11357- 2:1999 (DSC)		69 °C							
Prodotto: Betontex FB-RC02 ^{Nota 4} (resina impregnante)			74 °C							

Nota 3: l'applicazione del sistema di rinforzo può prevedere o meno l'utilizzo del primer Betontex FB-RC01.

Nota 4: l'applicazione del sistema di rinforzo prevede sempre l'utilizzo della resina impregnante Betontex FB-RC02.

Nota 5: valutata sul composito.

Appendice - Indicazioni per la preparazione dei provini per le prove di accettazione in cantiere

Al fine di garantire una preparazione univoca dei campioni da realizzare relativamente a quanto riportato nel Cap. 5.2.9. della Linea Guida, Controlli di accettazione in cantiere, e successive fasi di testing ed elaborazione dei risultati da parte di un Laboratorio Ufficiale viene fornita la seguente informazione accompagnando ogni fornitura.

Informazione generale

La opportuna esecuzione delle prove di accettazione in cantiere è di competenza del Direttore dei Lavori, seguendo quanto disposto nel punto 5.2.9 della Linea Guida e le particolari specifiche del presente documento.

Preparazione dei laminati

Quantità e tipo di laminati

Ogni tipologia di sistema di rinforzo (cioè ogni abbinamento di tipo di tessuto e di resina) viene sottoposta a prove di accettazione specifiche. Per ogni tipologia di sistema di rinforzo viene preparato un laminato con dimensioni adatte ad ottenere come minimo tre campioni (provini) con le dimensioni indicate in seguito.

I laminati dai quali prelevare i campioni destinati alle prove meccaniche di accettazione in cantiere vengono preparati con tre strati di tessuto, indipendentemente dalla quantità di strati che vengano effettivamente impiegati nell'applicazione del sistema FRP in cantiere.

Modalità di preparazione

Le procedura da seguire per la preparazione dei laminati in composito sono quelle indicate nel "*Manuale di preparazione dei prodotti del sistema di rinforzo*" e nel "*Manuale di installazione dei prodotti del sistema di rinforzo*", che accompagnano ogni fornitura, con le particolari precisazioni del presente documento.

Sarà data particolare attenzione alle condizioni ambientali nelle quali vengono prodotti i laminati, con una temperatura ambiente compresa tra 5°C e 30°C e un valore ridotto di umidità relativa (lavorando in ambienti ventilati e non particolarmente umidi). Le operazioni di laminazione saranno realizzate dagli stessi addetti alla posa dei sistemi FRP nel cantiere, che dovranno essere opportunamente qualificati dal Direttore dei Lavori sulla base della loro formazione ed esperienza.

Come piano di lavoro per la confezione dei laminati è necessario disporre di un supporto resistente e robusto, sufficientemente rigido per potere applicare la necessaria pressione su ogni strato di tessuto impregnato in resina. Come stampo è necessaria una superficie piana orizzontale e priva di imperfezioni (ad esempio una lastra in PVC o teflon) sulla quale verrà applicato un sottile strato di materiale distaccante (come per esempio cera od altri materiali a base siliconica) per facilitare il distacco del laminato una volta indurito.

A differenza di quanto previsto nel "*Manuale di preparazione dei prodotti del sistema di rinforzo*" per le applicazioni in cantiere, il primo strato di tessuto deve essere preventivamente impregnato di resina,

mediante rullatura con rullo anti-bolle, prima di essere posto sul piano di stampaggio. Gli strati successivi possono essere posati direttamente sul laminato, senza necessità di pre-impregnazione.

Nel posizionamento di ogni singolo strato deve essere data la massima attenzione al parallelismo delle fibre di ogni singolo strato rispetto a quello precedente. Inoltre, nel caso particolare delle reti, è necessario assicurare la coincidenza o sovrapposizione dei fili di rete appartenente agli strati successivi, in modo tale di non lesionare i fili durante le operazioni di taglio dei provini

Nota: per la realizzazione di campioni contenenti reti si suggerisce di tagliare preventivamente i tessuti e ricavare i campioni singolarmente anziché per taglio di un laminato, al fine di raggiungere un adeguato controllo sull'area resistente effettivamente presente.

Dopo l'impregnazione con resina di ogni singolo strato, è consigliabile uniformare la distribuzione della resina mediante il passaggio ripetuto di una spatola larga, eliminando anche la resina in eccesso.

Per sformare i laminati dallo stampo è consigliabile un tempo minimo di indurimento di 24 ore.

Taglio dei provini

Misure

Le misure dei provini sono quelle stabilite dalla norma UNI EN 2561 - Allegato A, con una lunghezza e larghezza previste di 250 ± 1 mm e 15 ± 0.5 mm, rispettivamente, mentre lo spessore resta dettato dal valore risultante sul laminato dai tre strati.

Queste dimensioni possono essere aumentate di fronte a particolari esigenze del laboratorio di prova o per il caso dei provini di rete, per i quali è necessario che la larghezza includa almeno 4 fili interi. La larghezza dei provini può essere così aumentata fino a un massimo di 50 mm, modificando coerentemente la lunghezza del provino e assicurando in ogni caso un rapporto lunghezza/larghezza non minore di 10.

Quantità di provini

Da ogni laminato viene ricavato un numero minimo di tre provini. E' consigliato produrre un certo numero addizionale di provini per eventuali scarti (dovuti a misure fuori tolleranza, presenza di difetti nel laminato, rotture anomale durante la prova, ecc.).

Modalità di taglio

Per le operazioni di taglio è possibile adoperare sistemi del tipo "water jet" (getto di acqua ad alta pressione) oppure mediante sega diamantata refrigerata con acqua. E' sconsigliato il taglio con sega a secco, che può danneggiare le fibre sui bordi dei provini.

Nella definizione della linea di taglio longitudinale è fondamentale il corretto allineamento con le fibre dei tessuti, evitando assolutamente la mancanza di parallelismo.

Le operazioni di taglio vanno realizzate quando sia trascorso un tempo minimo di 48 ore a partire dalla preparazione dei laminati. La produzione dei laminati a basse temperature può richiedere un tempo maggiore per assicurare il completo indurimento del materiale.

Conservazione e trasporto dei provini

Una volta finite le operazioni di taglio i provini vengono lavati e asciugati, controllando che le dimensioni rientrino nelle tolleranze previste. Immediatamente i provini vengono identificati mediante scritte o etichettature che fanno riferimento alla fornitura oggetto di controllo. I provini sono conservati fino al momento della consegna al Laboratorio assicurando il rispetto delle condizioni ambientali sopraindicate.

Modalità di invio al Laboratorio Ufficiale;

I campioni, adeguatamente protetti contro potenziali danneggiamenti, vengono consegnati al Laboratorio per l'esecuzione delle prove, unitamente a tutta l'informazione che consenta di collegare le diciture risultanti sull'etichettatura o sui provini stessi alla fornitura oggetto di controllo, assicurando la rintracciabilità.

Al laboratorio è richiesta la determinazione, su ogni singolo provino, delle seguenti caratteristiche meccaniche secondo la norma UNI EN 2561:

- modulo elastico del laminato riferita all'area netta delle fibre
- resistenza del laminato riferita all'area netta delle fibre
- deformazione a rottura

Se non specificamente determinati dal Laboratorio, i valori di densità delle fibre e di massa per unità di superficie di ogni strato di tessuto (necessari per il calcolo dei risultati) sono quelli risultanti sulla Scheda Tecnica del sistema di rinforzo oggetto di controllo.

E' necessario che, prima della realizzazione della prova, le estremità dei provini vengano preparate mediante la applicazione di talloni o "tabs" come previsto dal metodo di prova (UNI EN 2561, Allegato A), onde garantire una distribuzione uniforme degli sforzi nella zona di presa ed evitare rotture anomale.



Fibre Net S.r.l.
Via Jacopo Stellini, 3 - Z.I.U.
33050 Pavia di Udine (Ud) ITALY
Tel. +39 0432 600918
www.fibre.net.it - info@fibre.net.info

Azienda certificata
ISO 9001:2008



MEMBER OF

