

5.8 INSTALLAZIONE E PARTICOLARI COSTRUTTIVI

5.8.1 Controllo e preparazione preventiva del substrato

5.8.2 Raccomandazioni per l'esecuzione a regola d'arte

5.8.2.1 Condizioni di umidità e temperatura dell'ambiente e del substrato

5.8.2.2 Particolari costruttivi e norme di esecuzione

5.8.2.3 Protezione del sistema di rinforzo

5.8 INSTALLAZIONE E PARTICOLARI COSTRUTTIVI

(1) Il funzionamento ottimale di un sistema di rinforzo è subordinato a diversi fattori. Oltre ai fattori già richiamati nei precedenti paragrafi giocano un ruolo rilevante la preparazione preventiva del substrato su cui il rinforzo deve essere applicato e la messa in opera del composito.

5.8.1 Controllo e preparazione preventiva del substrato

(1) L'applicazione di un sistema di rinforzo con FRP richiede il preventivo controllo delle condizioni di deterioramento del substrato, adottando provvedimenti atti a migliorarne lo stato, ovvero rimuovendo e ricostruendo le parti degradate per umidità, per presenza di microvegetazione o alterazione dei materiali lapidei o di laterizio.

(2) I sistemi tecnologici utilizzati per l'ancoraggio delle estremità di lamine o tessuti devono essere oggetto di idonee indagini sperimentali condotte secondo criteri normalizzati. Il protocollo di applicazione deve riguardare sia i materiali utilizzati (adesivi e rinforzi) che la successione delle fasi indicate dal Produttore e/o dal Fornitore per la preparazione del substrato, i tempi di esecuzione, le condizioni ambientali, ecc.. L'indagine deve saggiare anche l'eventuale sensibilità dei risultati nei confronti di tali parametri.

5.8.1.1 Valutazione del deterioramento del substrato

(1) Prima dell'applicazione del rinforzo è necessario verificare le caratteristiche del substrato eseguendo prove di omogeneità su tutta l'area da rinforzare ed effettuando il rilievo strutturale del degrado del materiale, per esempio mediante reticoli metallici. Il periodo di osservazione non dovrebbe essere inferiore a sei mesi.

(2) Le prove di caratterizzazione meccanica della muratura vanno previste in ragione di almeno 1 prova per 100 m² di area da rinforzare, con un minimo di 2 prove per ogni zona omogenea, secondo una almeno delle seguenti modalità:

- prova di compressione su campione di muratura;
- prova a taglio su campione di muratura;
- prova con martinetti piatti;
- prova di taglio con martinetto;
- prova dilatometrica per muratura a sacco;
- prove con ultrasuoni.

(3) Le prove di omogeneità su tutta l'area da rinforzare, qualora eseguite, vanno distribuite secondo una griglia a maglia quadrata con passo di 1 m per estensioni inferiori a 5 m² e

proporzionalmente maggiore per estensioni superiori, ad eccezione delle zone critiche. Esse possono essere effettuate mediante:

- ispezioni manuali a mezzo di battitura;
- analisi radiografica;
- velocità degli ultrasuoni in modalità omeo superficiale;
- velocità di impulsi sonici (con martello strumentato e accelerometri);
- penetrometria;
- termografia;
- tomografia.

5.8.1.2 Rimozione e ricostruzione del substrato

(1) Il substrato della muratura può risultare danneggiato a causa di un deterioramento fisico chimico, fisico-meccanico, biologico o in conseguenza di un eventuale impatto. La muratura ammalorata va rimossa da tutta la zona danneggiata.

(2) La suddetta rimozione consente di accertare lo stato del materiale lapideo, naturale o artificiale, e della malta e quindi di eseguire gli eventuali interventi atti eliminare ove possibile le cause del deterioramento della muratura. Tali interventi sono assolutamente necessari prima di procedere alla ricostruzione delle parti murarie rimosse. Se è in corso un processo di esfoliazione, di polverizzazione, di fessurazione o un attacco chimico-fisico, è necessario rimuovere lo strato deteriorato mediante spazzolatura o sabbiatura e poi trattare la superficie con idonei inibitori del processo in atto.

(3) Una volta che il substrato deteriorato sia stato rimosso e siano stati adottati gli opportuni provvedimenti per bloccare i processi di degrado dei materiali, nonché tutti gli altri fenomeni che siano causa di esso (ad esempio infiltrazioni d'acqua o presenza di micro vegetazione), si può procedere alla ricostruzione delle parti rimosse mediante l'utilizzo di prodotti compatibili con la muratura stessa.

Al ripristino delle parti di murature ammalorate è opportuno associare il livellamento di eventuali asperità superficiali superiori a 10 mm, da effettuarsi con stucco epossidico compatibile; nel caso in cui la zona da colmare abbia profondità superiore a 20 mm si deve utilizzare un apposito materiale di apporto. Infine, se l'elemento da rinforzare presenta delle fessure di ampiezza superiore a 0.5 mm, è opportuno che queste ultime siano sigillate mediante iniezione prima di applicare il rinforzo.

5.8.1.3 Preparazione del substrato

(1) Dopo aver accertato la qualità del substrato ed aver eventualmente provveduto al ripristino della muratura ammalorata, può essere opportuno ricorrere ad un ulteriore provvedimento di sabbiatura a carico della superficie interessata dal rinforzo. La sabbiatura deve assicurare un grado di ruvidezza almeno pari a 0.3 mm, valutabile mediante appositi strumenti quali, ad esempio, un profilometro *laser* oppure un'apparecchiatura per rugosimetria ottica.

(2) Nel caso in cui si operi su una superficie di muratura che non necessiti di ripristino, ma che sia di qualità scadente, è opportuno valutare la possibilità di applicare su di essa un consolidante prima della stesura del *primer*.

(3) È necessario assicurarsi che le parti degli elementi interessate dal rinforzo con composito siano perfettamente pulite, rimuovendo da esse polveri, grassi, idrocarburi e tensioattivi.

5.8.2 Raccomandazioni per l'esecuzione a regola d'arte

(1) La qualità dell'esecuzione del rinforzo con materiali compositi dipende fortemente dalle condizioni di temperatura ed umidità ambientali, nonché da quelle del substrato su cui il rinforzo è applicato.

5.8.2.1 Condizioni di umidità e temperatura dell'ambiente e del substrato

(1) Si sconsiglia di installare rinforzi di composito se l'ambiente è molto umido in quanto un elevato grado di umidità può ritardare la stagionatura delle resine nonché inficiare la perfetta realizzazione del composito nel caso di sistemi con polimerizzazione *in situ*.

(2) I compositi devono essere applicati nelle condizioni igrometriche e termiche definite nelle schede tecniche.

(3) In condizioni di pioggia, eccessivo soleggiamento, forti gradienti termici, elevata umidità o in presenza di polveri può essere opportuno avvalersi di teli protettivi o di altri provvedimenti succedanei.

5.8.2.2 Particolari costruttivi e norme di esecuzione

(1) Deve essere prevista una lunghezza di ancoraggio almeno pari a 150 mm. In alternativa è possibile ricorrere all'impiego di connettori meccanici.

(2) In tutti i casi in cui il materiale composito di rinforzo debba essere applicato su spigoli, è opportuno procedere ad un preventivo arrotondamento di questi ultimi, allo scopo di evitare pericolose concentrazioni di tensione ivi localizzate, che potrebbero provocare una rottura prematura del composito. Il raggio di curvatura, r_c , dell'arrotondamento deve essere almeno pari a 20 mm.

(3) Nella messa in opera di sistemi di rinforzo realizzati *in situ* le fibre deve essere disposte secondo l'orientamento previsto in progetto e devono essere esenti da ondulazioni.

(4) In vista di prove di controllo semi-distruttive da doversi eseguire successivamente, è buona norma prevedere zone aggiuntive ("testimoni") di rinforzo in parti della struttura opportunamente selezionate. Tali zone, suddivise in fazzoletti di dimensioni superiori a 500X300 mm², devono presentare un'estensione totale minima di 0.15 m² e comunque non inferiore allo 0.5% di quella complessiva del rinforzo. I fazzoletti vanno realizzati contestualmente all'intervento di rinforzo, con gli stessi materiali e tecniche costruttive, in zone in cui la loro rimozione non comporti alterazione dei meccanismi di collasso, curando che siano esposti alle stesse condizioni ambientali del rinforzo principale. Se sono più di uno i fazzoletti devono essere distribuiti in maniera uniforme rispetto all'intervento complessivo.

5.8.2.3 Protezione del sistema di rinforzo

(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 dall'applicazione sul composito di intonaci o malte (preferibilmente di natura cementizia). Tali intonaci, i cui spessori sono generalmente consigliati dai Produttori e/o Fornitori, vanno 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 i Produttori e/o i Fornitori devono indicare il grado di protezione 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 fibre.

L'intonaco intumescente, corrispondente alla soluzione maggiormente utilizzata come strato protettivo, deve essere applicato sul composito seguendo le indicazioni riportate al punto (2).