

4 RINFORZO DI STRUTTURE MURARIE

Il rinforzo delle strutture in muratura rappresenta una delle applicazioni più importanti per i sistemi FRCM. Tali rinforzi possono essere estesi all'intera superficie dell'elemento murario o essere applicati a strisce di ampiezza sufficiente a contenere opportunamente la sollecitazione tangenziale all'interfaccia muratura - rinforzo.

Le verifiche di sicurezza possono essere condotte nei confronti del solo stato limite ultimo come di seguito indicato.

Di regola, l'incremento della capacità di calcolo dell'elemento rinforzato con FRCM non può risultare superiore del 50% rispetto a quella dell'elemento non rinforzato. La limitazione non si applica per le azioni sismiche.

4.1 RINFORZO DI PARETI SOLLECITATE NEL PROPRIO PIANO

Per migliorare la capacità portante di pareti sollecitate nel proprio piano si possono utilizzare rinforzi FRCM. Nei casi di muratura con caratteristiche meccaniche scadenti, quali ad esempio le murature a sacco, è necessario affiancare all'intervento di rinforzo con composito FRCM altri tipi di intervento allo scopo di assicurare la compagine interna della parete e permettere il corretto trasferimento degli sforzi al rinforzo FRCM.

I paragrafi seguenti riportano indicazioni per il progetto e/o la verifica di interventi di rinforzo a taglio e a pressoflessione di pareti murarie nel proprio piano.

4.1.1 Capacità a taglio

Allo scopo di incrementare la portanza a taglio di pareti sollecitate nel proprio piano, si può prevedere l'applicazione di rinforzi FRCM disposti preferibilmente in modo simmetrico sulle due facce, ed estesi solitamente all'intera loro superficie con le fibre preferibilmente dirette nelle direzioni verticale e orizzontale. Ai fini del progetto del rinforzo a taglio si considera l'area delle fibre disposte parallelamente alla forza di taglio; in ogni caso, per garantire l'efficacia di tale rinforzo, anche a seguito di fessurazione, è consigliabile prevedere anche fibre disposte ortogonalmente.

La resistenza a taglio della parete rinforzata ($V_{t,R}$) è calcolata come somma del contributo della muratura non rinforzata (V_t), valutato in accordo con la Normativa vigente per le pareti non rinforzate che vanno in crisi per taglio trazione, e di quello del rinforzo ($V_{t,f}$).

Quest'ultimo è valutato con la relazione seguente:

$$V_{t,f} = \frac{1}{\gamma_{Rd}} \cdot n_f \cdot t_{vf} \cdot \ell_f \cdot \alpha \cdot \varepsilon_t \cdot f_d \cdot E_f \quad (4.1a)$$

dove:

- γ_{Rd} è un fattore parziale di modello cui si attribuisce valore 2, allo stato delle attuali conoscenze;
- n_f è il numero totale degli strati di rinforzo disposti sulle facce della parete;
- t_{vf} è lo spessore equivalente di uno strato di rete con fibre disposte in direzione parallela alla forza di taglio;

- ℓ_f è la dimensione di calcolo del rinforzo misurata ortogonalmente alla forza di taglio, ed in ogni caso non può essere assunta superiore alla dimensione H della parete (Figura 4.1).

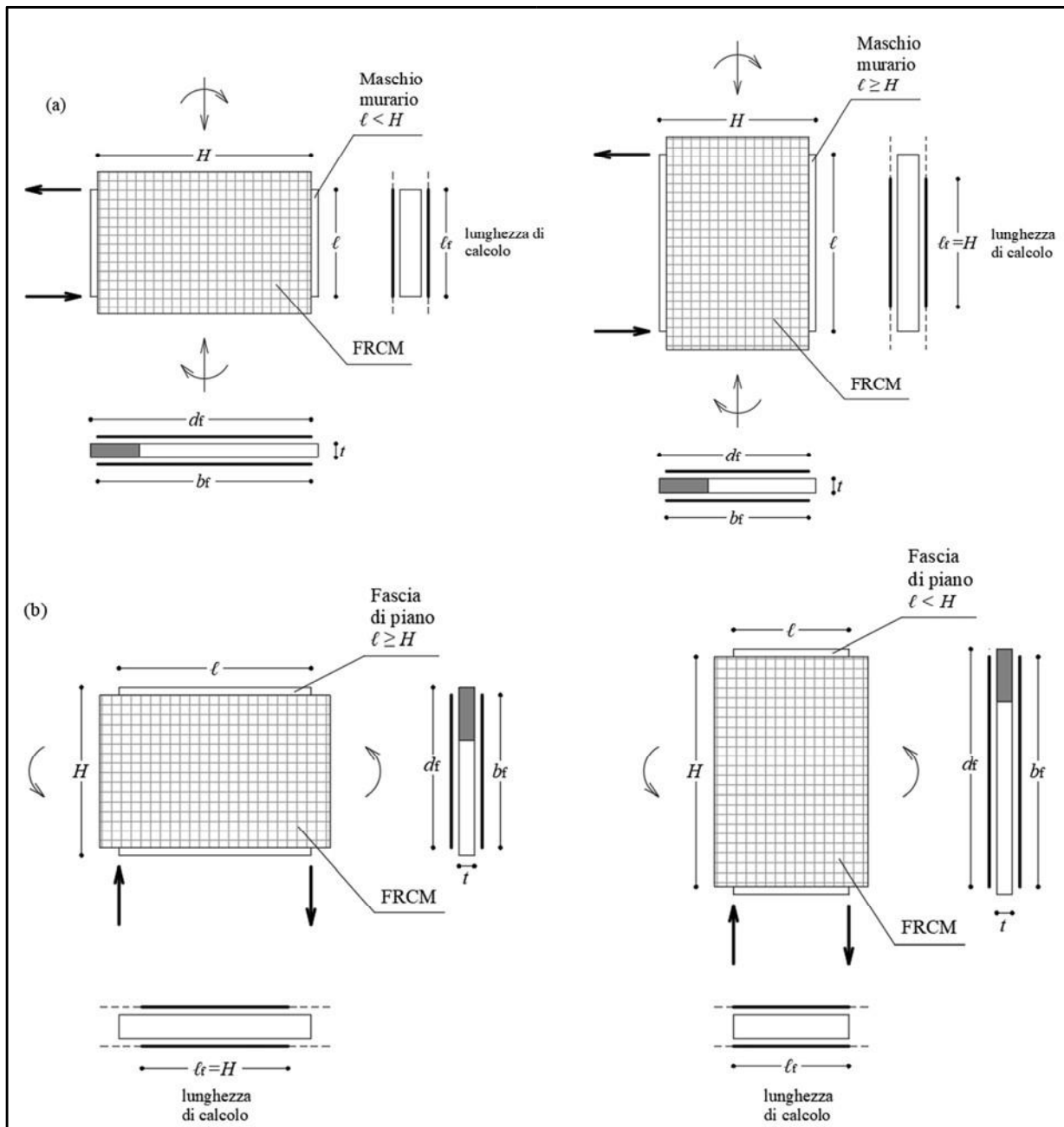


Figura 4.1 - Rinforzo con FRCM di pannelli sollecitati nel piano: (a) rinforzo di un maschio murario; (b) rinforzo di una fascia di piano.

Il prodotto $n_f \cdot t_{vf} \cdot \ell_f$ rappresenta l'area della sezione equivalente del rinforzo efficace a taglio, disposto in direzione parallela alla forza di taglio, che interseca una lesione a taglio inclinata di 45° . Di qui la limitazione $\ell_f \leq H$.

Il valore della ϵ_{fd} è ricavato dalla $\epsilon_{lim,conv}(\alpha)$ per il tramite della (3.1). Il coefficiente αt tiene conto della ridotta resistenza estensionale delle fibre quando sollecitate a taglio. In mancanza di comprovati risultati sperimentali, ad esso può essere assegnato il valore 0.80.

In presenza di rinforzo su un solo lato della parete, il contributo $V_{t,f}$ deve essere ridotto almeno del 30% e devono essere applicati connettori che rendano solidale il rinforzo alla parete.

In presenza di fibre ortogonali alla direzione del taglio ed efficacemente ancorate deve essere altresì verificato che il taglio agente non superi il seguente valore di schiacciamento diagonale della muratura:

$$V_{t,c} = 0.25 \cdot f_{md} \cdot t \cdot d_f, \quad (4.1b)$$

dove:

- t è lo spessore della parete;
- f_{md} è la resistenza a compressione di progetto della muratura;
- d_f è la distanza tra l'estremo lembo compresso della muratura e l'estremo lembo teso del rinforzo FRCM (fibre ortogonali alla direzione del taglio - Figura 4.1).

Nella (4.1b) intervengono esclusivamente le proprietà della muratura non rinforzata in quanto il rinforzo FRCM non contribuisce alla resistenza a compressione della muratura.

In maniera semplificata, il calcolo della capacità della muratura rinforzata può essere effettuato incrementando forfettariamente, mediante opportuni coefficienti moltiplicativi, il parametro tensionale della resistenza media a taglio della muratura non rinforzata in assenza di tensioni normali. Tali coefficienti amplificativi, utilizzabili solo per spessori di muratura non superiori a 400 mm, nel caso di rinforzi disposti simmetricamente sull'intera superficie delle due facce delle pareti e soddisfacenti la limitazione $\sigma_{u,f} t_f \geq \bar{q}_{u,f}$, sono esposti nella Tabella 4.1.

Tipo di muratura	Coefficiente correttivo	$\bar{q}_{u,f}$ (N/mm)
Muratura di pietrame disordinato (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	1.5	44.60
Muratura a conci sbozzati con paramenti di spessore disomogeneo	1.5	44.60
Muratura di pietre a spacco con buona tessitura	2.0	32.20
Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	2.0	44.60
Muratura a blocchi lapidei squadrati	1.2	44.60
Muratura di mattoni pieni e malta di calce	1.7	24.50
Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia	1.3	44.60

Tabella 4.1 - Coefficienti correttivi delle proprietà meccaniche della muratura rinforzata.

I valori esposti in Tabella 4.1 sono stati desunti da prove eseguite in laboratorio, senza tener conto delle condizioni di esposizione di cui alla Tabella 3.1. Pertanto i risultati da essi ottenuti devono essere opportunamente ridotti, moltiplicandoli per il fattore η_a di Tabella 3.1 corrispondente alla competente condizione di esposizione.

Nei casi in cui tali riduzioni comportino dei coefficienti correttivi prossimi all'unità, incrementi superiori possono essere conseguiti con l'utilizzo della (4.1a) o con i risultati di un'opportuna campagna sperimentale condotta come indicato al § 9.

4.1.2 Capacità a pressoflessione

Allo scopo di incrementare la portanza a pressoflessione nel piano di pannelli murari può essere prevista l'applicazione di rinforzi FRCCM in cui siano presenti fibre disposte nella direzione dell'asse dell'elemento strutturale. I rinforzi sono applicati preferibilmente su entrambe le facce del pannello, ricoprendone di solito la quasi totalità della superficie (Figura 4.1).

Rinforzi così disposti incrementano il momento resistente di calcolo di una sezione del pannello solo se sono efficacemente ancorati. Si intendono efficacemente ancorati rinforzi prolungati almeno di 300 mm a partire dalla sezione di verifica oppure connessi alla muratura per mezzo di idonei dispositivi. Il momento resistente associato ad un assegnato sforzo normale N_{sd} di compressione, $M_{Rd}(N_{sd})$, può essere calcolato assumendo come valide le seguenti ipotesi:

- conservazione della planarità delle sezioni rette; - perfetta aderenza tra rinforzo FRCCM e supporto.

Il legame costitutivo σ - ε della muratura per stati tensionali monoassiali può essere schematizzato come segue:

- trazione: resistenza nulla;
- compressione: comportamento lineare fino alla resistenza di progetto, f_{md} , cui compete il valore $\bar{\varepsilon}_m$ della deformazione; tensione nulla per deformazioni maggiori a quella ultima, ε_{mu} ; tensione costante, pari a f_{md} , per deformazioni comprese nell'intervallo $\bar{\varepsilon}_m \leq \varepsilon \leq \varepsilon_{mu}$.

In assenza di dati sperimentali la deformazione ultima di progetto, ε_{mu} , può essere assunta pari a 3.5‰. Il legame costitutivo σ - ε del rinforzo per tensioni di trazione è elastico lineare fino alla deformazione limite ε_{fd} ottenuta dalla 3.1 a partire dalla deformazione convenzionale $\varepsilon_{lim,conv}^{(\alpha)}$ nel caso in cui la modalità di crisi attesa sia per distacco o scorrimento intermedio ovvero a partire dalla deformazione convenzionale $\varepsilon_{lim,conv}$ nel caso in cui la modalità di crisi attesa sia per distacco o scorrimento di estremità. Il modulo elastico del rinforzo è E_f come definito al paragrafo 2 (tessuto secco). Il rinforzo è privo di rigidità e di resistenza a compressione. Pertanto nel caso in cui l'asse neutro tagli la sezione del rinforzo, questa viene suddivisa dall'asse neutro stesso in due parti di cui una tesa ed una non reagente.

La verifica è soddisfatta se:

$$M_{Sd} \leq M_{Rd} . \quad (4.2)$$

essendo M_{Sd} e M_{Rd} rispettivamente i momenti di calcolo, sollecitante e resistente, quest'ultimo valutato in funzione del concomitante sforzo normale di calcolo, associato a M_{Sd} .

Non appare superfluo ribadire che la distanza della sezione estrema, in cui è richiesto il contributo del rinforzo FRCCM, dai bordi del pannello rinforzato deve essere almeno pari a quella di ancoraggio, sopra indicata (vedere anche § 6), salvo l'adozione di idonei dispositivi di ancoraggio.

Nell'Appendice 1 sono riportate le formule predittive per la valutazione di $M_{Rd}(N_{sd})$ nelle diverse situazioni di crisi.