

## Task 14.1.3 - Interventi mediante compositi di tipo HPFRC

## Task 14.1.4 - Interventi mediante compositi a matrice inorganica (FRCM, CRM, HPFRC) per il rinforzo strutturale e l'efficientamento energetico

### UR 13 Università degli Studi di Brescia [Task 14.1.4] Responsabile: Prof. Giovanni Plizzari

➤ **Proposta di Linea Guida per la progettazione di interventi di rinforzo su edifici esistenti effettuati con calcestruzzi/malte fibrorinforzate (HPFRC/FRM)**

**TAGLIO E FLESSIONE NEL PIANO**

**TAGLIO DIAGONALE**

$$V_{R,t} = \min(V_{tm} + V_{Lcoat}, V_{Rmax})$$

Resistenza a taglio diagonale dell'intonaco FRM  
Modello "Tirante-puntone" proposto dagli autori

$$V_{Lcoat} = m \cdot f_{ct} \cdot n_{Lcoat} \cdot \frac{h}{2 \cdot \sin^2 \theta}$$

CON:

$$m = \max\left[1; \left(2 \cdot \frac{L}{h} - 1\right)\right];$$

$$f_{ct} = \max(0.9 \cdot f_{cti}; f_{cti} - 0.25);$$

$$\theta = \min\left[\arctan\left(\frac{L + \alpha_0}{b \cdot \nu_{cr}}\right); 90^\circ\right] \geq \arctan\left(\frac{h}{L}\right);$$

$$\nu_{cr} = \frac{f_{ct}}{b} \cdot \sqrt{1 + \frac{2 \cdot L}{h}}$$

Massima sollecitazione fuori piano agente sulla muratura rinforzata:

$$W_{max} = W_{dead} + W_{live} + W_{wind} + W_{seismic} + W_{soil} + W_{acc}$$

$$W_{dead} = (2 + t_m + 2 \cdot t_{coat} - 0.8 \cdot x_u - 0.8 \cdot x_p) \cdot \frac{W_{tot}}{b \cdot h^2} + (2 + t_m + 2 \cdot t_{coat} - 0.8 \cdot x_u - 0.8 \cdot x_p) \cdot \beta \cdot 0.8 \cdot x_p + \beta \cdot 0.8 \cdot x_p$$

$$W_{live} = (2 + t_m + 2 \cdot t_{coat} - 0.8 \cdot x_u - 0.8 \cdot x_p) \cdot \frac{W_{tot}}{b \cdot h^2} + (2 + t_m + 2 \cdot t_{coat} - 0.8 \cdot x_u - 0.8 \cdot x_p) \cdot \beta \cdot 0.8 \cdot x_p + \beta \cdot 0.8 \cdot x_p$$

$$W_{wind} = (2 + t_m + 2 \cdot t_{coat} - 0.8 \cdot x_u - 0.8 \cdot x_p) \cdot \frac{W_{tot}}{b \cdot h^2} + (2 + t_m + 2 \cdot t_{coat} - 0.8 \cdot x_u - 0.8 \cdot x_p) \cdot \beta \cdot 0.8 \cdot x_p + \beta \cdot 0.8 \cdot x_p$$

$$W_{seismic} = (2 + t_m + 2 \cdot t_{coat} - 0.8 \cdot x_u - 0.8 \cdot x_p) \cdot \frac{W_{tot}}{b \cdot h^2} + (2 + t_m + 2 \cdot t_{coat} - 0.8 \cdot x_u - 0.8 \cdot x_p) \cdot \beta \cdot 0.8 \cdot x_p + \beta \cdot 0.8 \cdot x_p$$

$$W_{soil} = (2 + t_m + 2 \cdot t_{coat} - 0.8 \cdot x_u - 0.8 \cdot x_p) \cdot \frac{W_{tot}}{b \cdot h^2} + (2 + t_m + 2 \cdot t_{coat} - 0.8 \cdot x_u - 0.8 \cdot x_p) \cdot \beta \cdot 0.8 \cdot x_p + \beta \cdot 0.8 \cdot x_p$$

$$W_{acc} = (2 + t_m + 2 \cdot t_{coat} - 0.8 \cdot x_u - 0.8 \cdot x_p) \cdot \frac{W_{tot}}{b \cdot h^2} + (2 + t_m + 2 \cdot t_{coat} - 0.8 \cdot x_u - 0.8 \cdot x_p) \cdot \beta \cdot 0.8 \cdot x_p + \beta \cdot 0.8 \cdot x_p$$

**TAGLIO SCORRIMENTO**

$$V_{R,s} = x_s \cdot (V_{s,coat} \cdot n_{t,coat} + v_{s,m} \cdot t_m) + V_d$$

Resistenza data dall'attrito dell'intonaco FRM

$$v_{s,coat} = 0.5 \cdot \eta \cdot f_c$$

Resistenza data dall'attrito della MURATURA

$$v_{s,m} = 0.4 \cdot \sigma_{0,s} + f_{v0}$$

**Esempi di calcolo applicativi inerenti il rinforzo nel piano e fuori piano di paramenti murari rinforzati con intonaci FRM. Simulazioni numeriche applicate a casi studio reali, inerenti la progettazione di interventi di rinforzo realizzati con intonaci FRM. Esempio di calcolo progettuale: verifica di un edificio in muratura esistente rinforzato con intonaco FRM.**

➤ **Sinergie con altri WP del DPC ReLuis 2022-2024**

**Caso studio:** In collaborazione con il Prof. G. Metelli, responsabile per UniBS del Task 5.1 «Capacità nel piano di solai in legno con doppio assito per la formazione di diaframmi», è stato analizzato un edificio sito in Pieve Torina (MC) (colpito da sisma il 30/10/16), per il quale era già stata formulata un'ipotesi d'intervento di rinforzo sismico (intonaco FRM+ assito incrociato) nell'ambito del DPC-ReLuis 2019/21.

**Risultati delle simulazioni numeriche basate su modelli FEM semplificati (telaio equivalente)**

➤ **Caratterizzazione termica di pannelli murari provvisti di intonaco fibrorinforzato FRM in combinazione con isolamento termico**

La ricerca svolta ha avuto come obiettivo quello di **caratterizzare sperimentalmente e numericamente il comportamento termico di pannelli in muratura, realizzata con blocchi forati, accoppiati ad un sistema multistrato FRM+isolante, applicato su un solo lato.** Nello studio numerico sono state considerate diverse tipologie di pannelli (fibra di legno, Areogel, ecc.) adatti all'isolamento termico degli edifici. Le simulazioni numeriche con il software EnergyPlusTM hanno inoltre consentito di verificare l'efficacia della tecnica proposta applicata ad un **caso studio reale.**

### UR 18 Università di Roma «Tor Vergata» [Task 14.1.3] Responsabile: Prof.ssa Zila Rinaldi

➤ **Proposta di Linea Guida per la progettazione di interventi di rinforzo su edifici esistenti effettuati con calcestruzzi/malte fibrorinforzate (HPFRC/FRM)**

Proposta di modelli analitici per la verifica di travi e pilastri rinforzati con incamicatura in HPFRC

**ELEMENTI SOGGETTI A FLESSIONE**

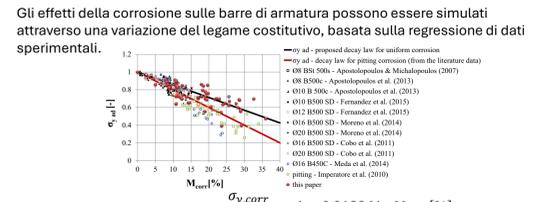
**ELEMENTI SOGGETTI A PRESSO-FLESSIONE**

**ELEMENTI SOGGETTI A TAGLIO**

$$V_{Rd} = \min(V_{Rd,s} + V_{Rd,FRM}, V_{Rd,c})$$

$$V_{Rd,FRM} = \frac{1}{\gamma_{Rd}} \cdot 0.9 \cdot 2 \cdot s_L \cdot H \cdot f_{FRM} \cdot (\cot \theta)$$

Introduzione di modelli per considerare il degrado dovuto alla corrosione delle armature nella verifica degli interventi di rinforzo effettuati con incamicatura in HPFRC

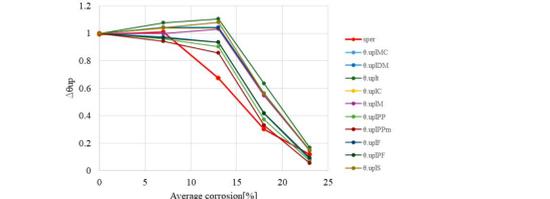


La variazione delle tensioni di snervamento ( $\Delta f_{y,cor}$ ) ed ultime ( $\Delta f_{u,cor}$ ) può considerarsi lineare con la corrosione espressa in termini di perdita di massa percentuale ( $M_{corr} [\%]$ ), con le seguenti relazioni:

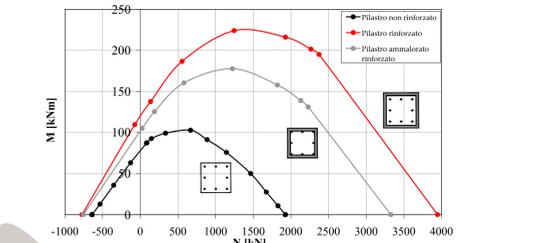
$$\Delta f_{y,cor} = \frac{f_{y,corr}}{f_y} = (1 - \alpha_y M_{corr} [\%])$$

$$\Delta f_{u,cor} = \frac{f_{u,corr}}{f_u} = (1 - \alpha_u M_{corr} [\%])$$

Influenza della corrosione sulla rotazione plastica adimensionalizzata:



Confronto domini M-N per pilastro non rinforzato; rinforzato con applicazione della camicia sull'intera sezione e rinforzato con applicazione della camicia sulla sezione ridotta:



### UR 1 Università del Salento [Task 14.1.4] Responsabile: Prof.ssa Maria Antonietta Aiello

➤ **Test termici su malte innovative**

**ASTM C518-04**

➤ **Indagine bibliografica inerente lo stato dell'arte dei modelli analitici per la previsione della resistenza nel piano di pannelli in muratura rinforzati con sistemi FRCM**

### UR 8 Politecnico di Milano [Task 14.1.3 e 14.1.4] Responsabile: Prof. Marco di Prisco

➤ **Studio del comportamento di aderenza tra supporto in calcestruzzo e materiali compositi per il rinforzo/ripristino (HPFRC)**

**Idroscarifica e analisi rugosità superficiale**

**Pull-off test**

**Triple block shear test**

**Det. Indici di rugosità**

➤ **Valutazione degli effetti dell'esposizione ambientale su pannelli di copertura per l'efficientamento energetico realizzati in materiali compositi cementizi innovativi (VHPFRC e TRC)**

Prove diagnostiche distruttive/non distruttive: mappatura potenziale

Mappatura del potenziale di corrosione, dell'apertura di fessura e prove di carbonatazione

- Potenziale di corrosione significativo solo per aperture superiori a 0.4 mm (post prova e post stoccaggio non protetto per 8 mesi)
- Prove di carbonatazione

### UR 15 Università degli Studi di Napoli "Federico II" [Task 14.1.3] Responsabile: Prof. Andrea Prota

➤ **Proposta di modello a taglio per jacketing con materiali HPFRC**

$$V_n = V_0 + V_f$$

$$V_{f,pre} = V_{f,crack}$$

$$V_{f,crack} = \tau_{crack} \cdot A$$

$$\tau_{crack} = f_{t,peak} \cdot \sqrt{1 + \frac{P}{f_{t,peak} \cdot A}}$$

$$V_{f,post} = V_{f,fibre}$$

$$V_{f,fibre} = 0.9 \cdot d \cdot 2 l_{f,crack} \cdot \cot \theta$$

➤ **Rinforzo fuori piano di pannelli in muratura con sistemi FRM (Fibre Reinforced Mortar)**

Prove sperimentali su pannelli in muratura di mattoni e muratura di tufo

### UR 19 Università di Salerno [Task 14.1.3 e 14.1.4] Responsabile: Prof. Luciano Feo

➤ **Interventi mediante compositi di tipo HPFRC. Durabilità: cicli di gelo e disgelo, ambienti aggressivi**

**FORMULAZIONE E VALIDAZIONE DI UN MODELLO CRACKED-HINGE**

Calibrazione dei parametri dell'energia di frattura su base sperimentale

Calibrazione dei parametri della legge bond-slip delle fibre di acciaio

➤ **Interventi mediante compositi a matrice inorganica per il rinforzo strutturale e l'efficientamento energetico - Rinforzo sismo-energetico con malte fibrorinforzate con nanofibre**

Dal punto di vista sperimentale, l'UR ha svolto in ambito ReLuis una campagna di prove preliminari presso il Laboratorio Strutture (STRENGTH) del Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università degli Studi di Salerno finalizzata a valutare l'effetto del quantitativo di nanofiller (nel caso in esame nanotubi di carbonio - CNTs) sul comportamento meccanico ed elettrico di nanocompositi. Dai risultati sperimentali ottenuti si evince che, in alcuni casi, **nessun miglioramento, in termini di resistenza a compressione, può essere ottenuto.** Infatti, l'aumento del dosaggio di nanotubi in carbonio (CNT) può provocare la loro indesiderata aggregazione e, di conseguenza, i prodotti di idratazione del cemento possono difficilmente formarsi all'interno delle reti di CNT; ciò comporta un aumento dei pori e, conseguentemente, una riduzione della resistenza a compressione.