



PNRR-M4C1-I1.1 RIQUALIFICAZIONE E MESSA IN SICUREZZA NIDO SOLE

CODICE INTERVENTO: A_29601
CUP_J88I22000420001

PROGETTO ESECUTIVO *(ai sensi dell'articolo 23 comma 3 Dlgs 18 aprile 2016, n. 50)*

R.03.2 - RELAZIONE SUI MATERIALI

Responsabile Unico del Procedimento
Arch. Elena Melloni



Progettista
Ing. Carlo Lazzaretti

Coordinamento della Sicurezza in progettazione
Ing. Ermanno Panciroli

I materiali impiegati per la realizzazione delle opere in oggetto dovranno rispondere ai seguenti requisiti:

1. Ancoranti chimici

Per tutti i collegamenti, le resine epossidiche utilizzate dovranno essere tipo resina HILTI categoria C2: adesivo, composto da una resina base epossidica bisfenolo A/F (esente da stirene) con riempitivo inorganico e da una miscela indurente con poliammine, polvere di quarzo e cemento (vedi ETA 07/0260).

2. Malta inorganica M15

Per la realizzazione degli intonaci armati e del sistema FRCC si deve utilizzare una malta con le seguenti caratteristiche meccaniche:

Malta strutturale traspirante a grana fine di pura calce naturale NHL e legante Classe M15. Specifica come matrice minerale da accoppiare a tessuti di acciaio galvanizzato, reti di basalto-acciaio inox e barre elicoidali in acciaio inox nei sistemi certificati, intonaci armati con acciaio tipo B450 C per il rinforzo strutturale. Malta con classe di resistenza M15 secondo EN 998-2 e R1 secondo EN 1504-3, per interventi su murature altamente traspiranti e manufatti in calcestruzzo

3. Acciaio per intonaci armati

Per tutte le strutture si utilizzerà **acciaio B 450 C** avente le seguenti caratteristiche:

- Tensione caratteristica di rottura: $f_{yk} \geq 5400 \text{ kg/cm}^2$;
- Tensione caratteristica di snervamento: $f_{yk} \geq 4500 \text{ kg/cm}^2$;
- Tensione di progetto a rottura: $f_{td} = 3913 \text{ kg/cm}^2$;
- Allungamento uniforme: $(A_{gt})_k \geq 7.5 \%$
- Rapporto tra resistenza e tensione di snervamento: $1.15 \leq (f_t / f_y)_k < 1.35$
- Modulo elastico: $E = 2100000 \text{ kg/cm}^2$

4. Barre in Acciaio per connessione muratura in laterizio

Barre in acciaio elicoidale, diametro 8 – 10 – 12 mm

- Tensione caratteristica di rottura: $f_{yk} \geq 5400 \text{ kg/cm}^2$;
- Carico a rottura a trazione kN: 12.7 (d8) – 16.2 (d10) – 28.3 (d12)
- Carico a rottura a taglio kN: 7.2 (d8) – 9.5 (d10) – 17.0 (d12)
- Modulo elastico: $E = 1500000 \text{ kg/cm}^2$

5 Consolidamento muratura esistente

In ottemperanza alla Circolare CNR 215/2018, la Circolare 21.01.2019 n. 7 e le NTC 2018, valutati i coefficienti forniti dalle stesse circolari si adottano i seguenti parametri meccanici:

Muratura in mattoni semi-pieni di laterizio della Tabella C8.5.1 della Circolare NTC:

Tipologia di muratura	f	τ_0	f_{v0}	E	G	w
	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(kN/m ³)
	min-max	min-max		min-max	min-max	
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	1,0-2,0	0,018-0,032	- -	690-1050	230-350	19
Muratura a conci sbazzati, con paramenti di spessore disomogeneo (*)	2,0	0,035-0,051	- -	1020-1440	340-480	20
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	2,6-3,8	0,056-0,074	- -	1500-1980	500-660	21
Muratura irregolare di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.,)	1,4-2,2	0,028-0,042	- -	900-1260	300-420	13 ÷ 16(**)
Muratura a conci regolari di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.,) (**)	2,0-3,2	0,04-0,08	0,10-0,19	1200-1620	400-500	
Muratura a blocchi lapidei squadrati	5,8-8,2	0,09-0,12	0,18-0,28	2400-3300	800-1100	22
Muratura in mattoni pieni e malta di calce (***)	2,6-4,3	0,05-0,13	0,13-0,27	1200-1800	400-600	18
Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es.: doppio UNI foratura ≤40%)	5,0-8,0	0,08-0,17	0,20-0,36	3500-5600	875-1400	15

5.1 - Consolidamento FRCM con rete Geosteel 400 e malta inorganica tipo geocalce antismica F, in alternativa rete mapegrid B300 e malta mapewall intonaca e rinforza applicata su un entrambi i lati, spessore 1-1.5 cm, a cui si aggiungono connessioni trasversali per collegare la muratura: i valori sono moltiplicati per 1.2 rispetto alla (CNR 215 e alla documentazione fornita dalle case produttrici del sistema certificato).

Livello di conoscenza adottato LC2 - Fattore di confidenza 1.20 - Pertanto:

$$f_m = 650 \times 1.2 / 1.2 = 650 \text{ N/cm}^2 \quad t_o = 12.5 \times 1.2 / 1.2 = 12.5 \text{ N/cm}^2$$

coefficienti di sicurezza applicati:

$$\gamma_M = 2 \text{ per verifiche sismiche} \quad \gamma_M = 3 \text{ per verifiche statiche}$$

$$E = 4550 \times 0.5 \times 1.2 = 2.730 \text{ N/mm}^2 \quad G = 1137 \times 0.5 \times 1.2 = 682 \text{ N/mm}^2$$

5.2 - Consolidamento tipo Betoncino con rete diametro 5 mm passo 10x10 cm e malta M15 applicato su ambo i lati lato, spessore minimo 3,5 cm a cui si aggiungono connessioni trasversali per collegare la muratura: i valori sono moltiplicati per 1.3 come da circolare 2019

Livello di conoscenza adottato LC2 - Fattore di confidenza 1.2 - Pertanto:

$$f_m = 650 \times 1.3 / 1.2 = 704 \text{ N/cm}^2 \quad t_o = 12.5 \times 1.3 / 1.2 = 13.54 \text{ N/cm}^2$$

coefficienti di sicurezza applicati:

$$\gamma_M = 2 \text{ per verifiche sismiche} \quad \gamma_M = 3 \text{ per verifiche statiche}$$

$$E = 4550 \times 0.5 \times 1.3 = 2.958 \text{ N/mm}^2 \quad G = 1137 \times 0.5 \times 1.3 = 739 \text{ N/mm}^2$$

Giustificazione parametri FRCM adottati

La scelta del coefficiente 1.2 è giustificata sia dai calcoli secondo la CNR 215/2018, sia da prove sperimentali allegati in calce e forniti dall'azienda produttrice del sistema di consolidamento effettuate per una rete di minore prestazione (B250 e non B300) su muratura di minor resistenza sismica (laterizio pieno). Le prove sono state eseguite per questa tipologia di rete e per questa muratura perché, tra i casi in laterizio, è la combinazione più debole.

Si osserva che il miglioramento è pari a 1.83 volte rispetto al paramento non migliorato, addirittura ben superiore al coefficiente indicato nella circolare pari a 1.5 relativamente all'intonaco armato su 2 lati. Infatti la tipologia di intervento, disciplinata dalla CNR 215/2018 non è un normale betoncino ma un rinforzo a taglio ed eventualmente a pressoflessione (nel nostro caso è impostato un miglioramento a taglio), a basso spessore, con malte meno rigide rispetto a quelle usualmente impiegate nel classico betoncino/intonaco armato.

Applicando il metodo analitico si considera la resistenza di taglio della parete non rinforzata, poi il valore del rinforzo e infine si valuta l'incremento di resistenza in percentuale: come indicato nel capitolo 4 della CNR, 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.

Si considera il maschio murario in mattoni di laterizio di spessore $t = 250$ mm, altezza $\ell = 1$ m e larghezza $H = 1$ m sollecitato a taglio in orizzontale nel proprio piano. Si adopera un sistema FRCM di spessore equivalente della rete $f_t = 0.047$ mm (mapegrid B300).

Resistenza a taglio muro non rinforzato

$$V_t = H \cdot t \cdot \frac{1.5\tau_{0d}}{p} \sqrt{1 + \frac{\sigma_0}{1.5\tau_{0d}}} =$$

$$\begin{aligned} V_t &= H \times t \times (1.5 \times \tau_0 / p) \times (1 + \sigma_0 / (1.5 \times \tau_0))^{1/2} = \\ &= 1000 \times 250 \times 1.5 \times 0.08 / 1.5 \times (1 + 0.1 / (1.5 \times 0.08))^{1/2} = 27,080 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\tau_0 = 0.08 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_0 = 0.1 \text{ N/mm}^2 \quad \text{cautelativamente si è adottato il valore più basso}$$

Resistenza a taglio del rinforzo

$$V_{tf} = 0.5 \cdot n_f \cdot t_{fr} \cdot \ell_f \cdot \alpha_f \cdot \varepsilon_{fd} \cdot E_f =$$

$$V_{tf} = 0.5 \times 2 \times 0.047 \times 1000 \times 0.8 \times 800 = 30,080 \text{ kN}$$

n_f = numero totale di strati di rete di rinforzo = 2.0

t_{vf} = spessore equivalente singolo strato 0.047 mm/mq

e_f = 800 / E_f

Resistenza a taglio della parete rinforzata

$$V_f = V_t + V_{tf} = 27,08 + 30,08 = 57,16 < V_{t,c}$$

Si verifica infine che tale capacità a taglio non superi il taglio che produce lo schiacciamento diagonale della muratura

$$\begin{aligned} V_{t,c} &= 0.25 \times f_{md} \times t \times d_f, \\ &= 0.25 \times 2.5 \times 250 \times 1000 = 156,25 \text{ kN} \end{aligned}$$

Per determinare la percentuale di miglioria si riduce del 30% il valore del rinforzo, quindi

$$\text{Miglioramento} = 30.08 \times 0.7 = 21,06$$

$$\text{Percentuale incremento} = 21,06 / 27,080 \times 100 = 77\%$$

Pertanto il miglioramento è attorno a 1,77 (coefficiente applicabile secondo le CNR metodo analitico)

Conclusioni

Dalle prove sperimentali fornite dalla ditta produttrice del sistema di rinforzo si è ottenuto un incremento di resistenza grazie all'intervento pari a circa 1.83, analiticamente applicando la CNR 215/2018 al nostro caso il coefficiente risulta 1,77 entrambi notevolmente superiori al valore adottato nel nostro progetto pari a 1,20.

Pertanto per quanto sopra si può evidenziare che i coefficienti adottati sono più che idonei e giustificati, sempre a favore di sicurezza e nel rispetto di quanto ad oggi specificato in letteratura e nelle normative che disciplinano la materia.

6 – Caratteristiche minime rete sistema FRCM:

Nel progetto possono essere utilizzati due cicli di rinforzo mediante sistema FRCM: la mapegrid B300 o la geosteel 400. Sono state valutate entrambe le tipologie per permettere all'impresa esecutrice di poter scegliere la rete che al momento dell'approvvigionamento del materiale sia più facilmente reperibile sul mercato. Di seguito si riportano le caratteristiche meccaniche ed in particolare lo spessore equivalente della rete meno prestazionale. Non è possibile mescolare i sistemi in quanto dovranno essere allegati i relativi certificati (CVT e DOP), pertanto o si utilizza il sistema kerakoll o quello mapei.

Kerakoll: geogalce F + connettori dryfix 8mm (4 al mq) + rete geostell 400;

Mapei: Malta HDM maxi + fiocchi mapewrap B (2 al mq) + rete mapegrid B 300 . Si allega la scheda tecnica della rete mapegrid (più debole)

**Mapegrid
B 300**

DATI TECNICI (valori tipici)	
DATI IDENTIFICATIVI DEL PRODOTTO	
Tipo di fibra:	fibre di basalto
Grammatura (g/m ²):	300
Dimensione delle maglie (mm):	8 x 8
Densità della fibra (g/cm ³):	2,75
DATI APPLICATIVI	
Resistenza a trazione (kN/m):	80
Modulo elastico (GPa):	89
Area resistente per unità di larghezza (mm ² /m):	46,69
Spessore equivalente di tessuto secco (mm):	0,047
Allungamento a rottura (%):	1,8

Materiali esistenti nel manufatto:

E1. Muratura in mattoni semipieni di laterizio della Tabella C8.5.1 della Circolare NTC:

Tipologia di muratura	f	τ_0	f_{v0}	E	G	w
	(N/mm ²) min-max	(N/mm ²) min-max	(N/mm ²) -	(N/mm ²) min-max	(N/mm ²) min-max	(kN/m ³)
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	1,0-2,0	0,018-0,032	-	690-1050	230-350	19
Muratura a conci sbozzati, con paramenti di spessore disomogeneo (*)	2,0	0,035-0,051	-	1020-1440	340-480	20
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	2,6-3,8	0,056-0,074	-	1500-1980	500-660	21
Muratura irregolare di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.,)	1,4-2,2	0,028-0,042	-	900-1260	300-420	13 ÷ 16(**)
Muratura a conci regolari di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.,) (**)	2,0-3,2	0,04-0,08	0,10-0,19	1200-1620	400-500	
Muratura a blocchi lapidei squadriati	5,8-8,2	0,09-0,12	0,18-0,28	2400-3300	800-1100	22
Muratura in mattoni pieni e malta di calce (***)	2,6-4,3	0,05-0,13	0,13-0,27	1200-1800	400-600	18
Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es.: doppio UNI foratura ≤40%)	5,0-8,0	0,08-0,17	0,20-0,36	3500-5600	875-1400	15

Livello di conoscenza adottato LC1 - Fattore di confidenza 1.35 –

$$f_m = 650 / 1.2 = 541.7 \text{ N/cm}^2$$

$$t_o = 12.5 / 1.2 = 10.41 \text{ N/cm}^2$$

coefficienti di sicurezza applicati:

$$\gamma_M = 2 \text{ per verifiche sismiche}$$

$$\gamma_M = 3 \text{ per verifiche statiche}$$

$$E = 4550 \times 0.5 = 2.275 \text{ N/mm}^2$$

$$G = 1137 \times 0.5 = 569 \text{ N/mm}^2$$

E.3 Calcestruzzo

- Strutture in elevato: - Calcestruzzo Rck 30
- Cordoli di Fondazione: - Calcestruzzo Rck 25
- Fondazione a sacco: - Calcestruzzo Rck 15

Nome	E [N/mm ²]	G [N/mm ²]	Peso specifico [kN/m ³]	f _{cm} [N/mm ²]	f _{ck} [N/mm ²]	γ _c	α _{cc}
Rck 30	30.000,00	13.000,00	25	30	25,0	1,50	0,85
Rck 25	25.000,00	12.000,00	25	25	20,0	1,50	0,85
Rck 15	25.000,00	12.000,00	25	15	12,0	1,50	0,85

I valori meccanici sono ridotti del fattore di confidenza pari a 1.20

E.4 Acciaio per c.a. in opera,

Dopo sopralluogo e sondaggi in sito, visto il periodo di costruzione e sviluppate alcune ricerche basandosi su letteratura specializzata in materia si può confermare cautelativamente che l'acciaio è di tipo Fe B 32 o similare:

- Tensione caratteristica di snervamento: $f_{yk} \geq 3200 \text{ kg/cm}^2$;
- Modulo elastico: $E = 2100000 \text{ kg/cm}^2$