A close-up photograph of a brick wall with a white, fibrous material (FRCM) applied in a starburst pattern over a crack. The material consists of many thin, white fibers radiating from a central point.

FRCM AQSISTEM

SOLUZIONI PER IL CONSOLIDAMENTO

E IL RINFORZO STRUTTURALE
DI ELEMENTI IN MURATURA

A photograph of a brick wall with a green, grid-like mesh (CRM) applied over it. The mesh is made of thick, green plastic or metal strips forming a rectangular grid.

CRM AQSISTEM

S I S T E M I D I R I N F O R Z O

A decorative pink zigzag line graphic located in the bottom right corner of the page.



I N D I C E

| | |
|--|-----------|
| Sistemi di rinforzo FRCM | 5 |
| Reti strutturali AQMESH | 7 |
| Connettori in fibra AQNECTOR | 9 |
| Rinforzo diffuso di murature portanti con sistema FRCM | 10 |
| Sistemi di rinforzo CRM | 12 |
| Reti strutturali CRMNET | 13 |
| Angolari preformati e connettori pultrusi a L | 15 |
| Intonaci strutturali | 17 |
| Rinforzo diffuso di murature portanti con sistema CRM | 18 |
| Qualificazione dei sistemi di rinforzo | 20 |
| Prove di accettazione dei sistemi di rinforzo | 21 |



Gli edifici in muratura costituiscono una parte importante del patrimonio edilizio italiano, soprattutto nelle regioni mediterranee. Decenni di studi ed investimenti sui beni culturali portano a crescente necessità di protezione di queste strutture in tutto il mondo, al fine di preservare il patrimonio architettonico esistente e trasmetterlo alle generazioni future. L'estrema vulnerabilità degli edifici storici in muratura è stata evidenziata durante i recenti terremoti, come quello dell'Aquila 2009, Emilia 2012, Centro Italia 2016 e dipende principalmente dalla scarsa capacità legante dei giunti di malta che indebolisce l'apparecchiatura muraria ed è particolarmente evidente quando la malta è combinata con unità forti, come spesso osservato per la muratura in pietra.

La consapevolezza dei limiti del materiale ha condotto già nel 1600 all'uso del legno all'interno delle murature per attutire lo sforzo sismico con una tecnica che risulta adottata anche nelle successive epoche costituendo l'origine delle contemporanee controventature. Questa tipologia costruttiva conosciuta come "muratura alla beneventana", consta di un sistema di montanti e traversi in legno adeguatamente connessi, i quali formano un'intelaiatura inserita all'interno di un pannello in elementi lapidei.

L'utilizzo di rinforzi fibrosi è stato sviluppato nel corso degli anni fino alle soluzioni moderne ed innovative di intervento su strutture esistenti con i materiali compositi come i polimeri fibrorinforzati (FRP), gli intonaci armati con reti in fibra (CRM) o le matrici inorganiche fibrorinforzate (FRCM). Queste tecnologie consistono nell'utilizzo di materiali compositi caratterizzati da fibre lunghe uni o bidirezionali che hanno dimostrato di essere efficaci nell'aumentare la capacità di carico degli elementi in muratura e migliorandone il comportamento strutturale attraverso la riduzione delle modalità critiche di rottura fragile.



SISTEMI DI RINFORZO FRCM

I materiali compositi FRCM (Fiber Reinforced Cementitious Matrix) si compongono di una matrice inorganica in cui è immersa un tessuto o una rete di armatura.

La malta ad alta resistenza meccanica (EN 998-2/M15, EN 1504-3/R2) presenta una migliore traspirabilità e resistenza al fuoco della resina organica impiegata negli FRP e permette inoltre una futura reversibilità dell'intervento strutturale.

La particolare formulazione dello STRUTTURA FRCM consente di sfruttare tutta la potenzialità della fibra fino alla rottura su ogni tipologia di supporto murario.

Basso modulo elastico

L'impiego della calce NHL3.5 rende compatibile il rinforzo con ogni tipologia di muratura.

Cultura e tradizione

La malta rispetta e soddisfa le applicazioni su edifici sottoposti a restauro storico tutelato dalle Soprintendenze dei Beni Ambientali e Architettonici e su costruzioni della tradizione.

Matrice ideale nei sistemi di rinforzo strutturale

Unita alle reti AQMesh realizza un innovativo sistema monolitico in grado di generare straordinarie prestazioni meccaniche certificate e validate tramite test su campioni in scala reale.



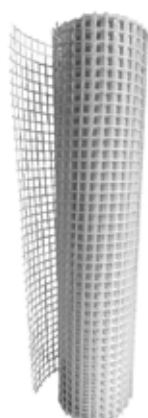


RETI STRUTTURALI AQMESH

Le fibre di vetro di cui sono costituite le reti strutturali AQMesh sono ottenute da materie prime rinnovabili, facilmente reperibili in natura: caolino, allumina, silice. Vengono prodotte facendo reagire miscele di materiali inorganici in forni speciali a temperature molto alte, comprese tra i 1300°C e 1600°C. Il materiale allo stato liquido viene estruso attraverso le filiere, fornetti in platino recanti alla base un numero prestabilito di fori del diametro di alcuni millimetri, assumendo così la forma di sottili bastoncini, che vengono raccolti e lanciati su un fuso rotante ad altissima velocità, creando un rapido stiramento del vetro fuso. In tal modo si ottiene un filamento del diametro di pochi micron e dall'insieme dei filamenti si ricava un filo.

Si tratta di un processo produttivo ampiamente consolidato che fu introdotto per la prima volta nel 1893 dall'americano Edward D. Libbey.

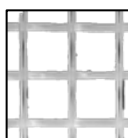
Le reti AQMesh in fibra di vetro AR, a differenza delle altre tipologie di vetro, non teme l'aggressione degli agenti alcalini, grazie all'alto contenuto di ossido di zirconio (maggiore del 16% conformemente alla UNI EN 15422) che gli conferisce alta durabilità e resistenza in ambiente alcalino. Grazie a speciali trattamenti di impregnazione, presentano quindi elevata efficienza del composito, un costante mantenimento delle performance nel tempo e peso e spessore ridotti.



AQMesh 240V



AQMesh 315V



AQMesh 240V



AQMesh 315V

| | | |
|--|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Dimensioni della maglia: | 25x25 mm | 18x18 mm |
| Massa totale comprensiva di rivestimento protettivo: | 243 g/m ² | 305 g/m ² |
| Spessore equivalente della rete: | 0,038 mm ordito 0,036 mm trama | 0,049 mm ordito 0,050 mm trama |
| Modulo di elasticità della rete: | 63 GPa | 64 GPa |
| Resistenza a trazione per unità di larghezza: | 51,5 kN/m trama 55,3 kN/m ordito | 74,4 kN/m trama 79,9 kN/m ordito |



CONNETTORI IN FIBRA AQNECTOR

L'inserimento di diatoni nella tessitura muraria è utile a migliorare la riposta del pannello in termini di:

- redistribuzione dei carichi nello spessore murario;
- resistenza alla sollecitazione di trazione che nasce per effetto dell'azione dei carichi verticali agenti su pannelli costituiti da una tessitura muraria per lo più irregolare;
- resistenza all'azione tangenziale che provoca lo scorrimento tra i paramenti per effetto dell'azione di ribaltamento del pannello in modo da garantire il collegamento tra i paramenti che non risponderanno al momento ribaltante in modo isolato ma con un assetto monolitico, capace di offrire un maggiore effetto stabilizzante.

In funzione della resistenza di progetto sono disponibili connettori in fibra di diverso materiale e diametro. La corda viene inserita direttamente nel foro nella muratura ed inghisata con l'iniezione di malta colabile C115. Per i connettori in basalto è necessario eseguire una pre-impregnazione con resina al fine di proteggere la fibra dalla saponificazione. Successivamente, con le ulteriori fasi del rinforzo, sono sfioccati a raggera sulla superficie ed inglobati nella matrice minerale, STRUTTURA FRCM.



AQNector FVAR



AQNector FC



AQNector FA



AQNector FPBO



AQNector FB

| | AQNector FVAR | AQNector FC | AQNector FA | AQNector FPBO | AQNector FB |
|-----------------------------------|---|---|---|--|---|
| Diametro: | 8, 10, 12 mm | 6, 8, 10, 12 mm | 6, 8, 10, 12 mm | 3, 6 mm | 10, 12 mm |
| Sezione resistente: | 18,81 mm ² , 24,18 mm ² , 28,66 mm ² | 15,43 mm ² , 20,72 mm ² , 25,77 mm ² , 31,08 mm ² | 19,00 mm ² , 24,94 mm ² , 31,47 mm ² , 37,41 mm ² | 8,80 mm ² , 17,61 mm ² | 23,97 mm ² , 28,46 mm ² |
| Resistenza a trazione diretta: | 781 MPa | 1261 MPa | 1426 MPa | 2885 MPa | 645 MPa |
| Carico di rottura: | 14,69 kN, 18,89 kN, 22,38 kN | 19,46 kN, 26,13 kN, 32,49 kN, 39,19 kN | 27,09 kN, 35,56 kN, 44,88 kN, 53,35 kN | 25,38 kN, 50,80 kN | 15,46 kN, 18,36 kN |
| Modulo di elasticità della fibra: | 72 GPa | 234 GPa | 99 GPa | 270 GPa | 85 GPa |



AQNector FAG



AQNector FI









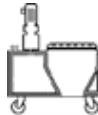








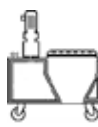



| | AQNector FAG | AQNector FI |
|-----------------------------------|---|-----------------------|
| Diametro: | 5, 8, 10 mm | 10 mm |
| Sezione resistente: | 11,12 mm ² , 17,96 mm ² , 23,09 mm ² | 23,88 mm ² |
| Resistenza a trazione diretta: | 1946 MPa | 1350 MPa |
| Carico di rottura: | 21,64 kN, 34,95 kN, 44,93 | 32,24 kN |
| Modulo di elasticità della fibra: | 200 GPa | 200 GPa |

Rinforzo diffuso di murature portanti con sistema FRCM CE

Rinforzo strutturale mediante placcaggio diffuso con rete in fibra di vetro AR e malta a base di pura calce idraulica naturale NHL3.5

- Rinforzo diffuso che migliora la resistenza a taglio e pressoflessione della muratura.
- Elevata traspirabilità e compatibilità con le murature storiche.
- La natura della matrice lo rende ideale nei restauri conservativi dei beni vincolati.
- Spessore dell'intervento di soli 15 mm.
- Sovrapposizione di 10 cm.
- Assenza di pezzi speciali.



| | | | |
|---|---|---|---|
| 1 |  | <p>Preparazione del supporto Il supporto deve essere solido, planare, privo di parti friabili, polvere, oli, muffe, efflorescenze saline, umidità di risalita e vecchie pitture. Arrotondare gli spigoli concavi e convessi con raggio di curvatura di almeno 20 mm. Bagnare il fondo a rifiuto prima di applicare il prodotto, avendo cura di evitare il ristagno d'acqua superficiale.</p> |  |
| 2 |  | <p>Inghisaggio del connettore Realizzare i fori impiegando un trapano a rotazione con punta $\Phi 22$ mm ed eseguendoli leggermente inclinati verso il basso. Svasare con punta conica l'estremità del foro al fine di evitare lo spigolo vivo. Pulire con aria compressa e successivamente lavare con acqua. Inserire il connettore AQNector aiutandosi con un ferro a forchetta. Sigillare il perforo ed iniettare con malta colabile C15.</p> |    |
| 3 |  | <p>Primo strato di matrice Applicare con spatola metallica o con intonacatrice uno strato uniforme di circa 8 mm di STRUTTURA FRCM.</p> |   |
| 4 |  | <p>Stesura della rete Sul prodotto "fresco" annegare la rete AQMesh nella malta applicata applicando una leggera pressione. Fare cura a disporre una sovrapposizione tra i fogli di rete, sia longitudinalmente che trasversalmente, pari almeno a 10 cm.</p> |   |
| 5 |  | <p>Sfiocco del connettore Sulla malta ancora fresca inglobare il fiocco aprendolo a raggiera sulla rete.</p> |   |
| 5 |  | <p>Secondo strato di matrice Applicare un secondo strato uniforme di circa 7 mm, "fresco su fresco", a totale copertura della rete. L'intervento finito dovrà avere uno spessore di circa 15 mm.</p> |   |
| 6 |  | <p>Finitura Applicare la finitura CF COLORE a grana media, a base di calce idraulica naturale, altamente traspirante.</p> |   |

SISTEMI DI RINFORZO CRM

I materiali compositi CRM (Composite Reinforced Mortar) sono soluzioni di consolidamento ad "alto spessore" realizzate secondo la tecnica dell'intonaco armato attraverso l'impiego di una rete preformata in materiali compositi (FRP) inserita in una malta per uso strutturale e vincolata tramite connettori alla muratura da rinforzare.

La rete ha la funzione di assorbire le sollecitazioni di trazione, mentre la malta strutturale contribuisce ad assorbire gli sforzi di compressione. Il trasferimento delle tensioni dalla muratura alla rete d'armatura è garantito anche dalla presenza dei connettori.

Spessore

Lo spessore dell'intervento è compreso tra 40 e 50 mm al netto del livellamento del supporto.

Angolari preformati in GFRP

Differentemente dai sistemi FRCM è previsto l'impiego di angolari preformati in GFRP.

Posa in opera

Fissaggio a secco della rete prima dell'applicazione della malta.



RETI STRUTTURALI CRMNET

Le reti strutturali CRMNET sono impregnate con resine termoindurenti che garantiscono la protezione della fibra di vetro dall'ambiente alcalino della matrice inorganica.



CRMNET 305

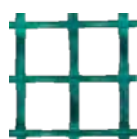
CRMNET 350

CRMNET 550

CRMNET 615

CRMNET 780

CRMNET 1050



CRMNET 305



CRMNET 350



CRMNET 550



CRMNET 615



CRMNET 780



CRMNET 1050

| | | | | | | |
|--|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| Dimensioni della maglia: | 38x38 mm | 120x120 mm | 80x80 mm | 38x38 mm | 40x80 mm | 40x40 mm |
| Massa totale comprensiva di rivestimento protettivo: | 305 g/m ² | 350 g/m ² | 550 g/m ² | 615 g/m ² | 780 g/m ² | 1050 g/m ² |
| Modulo di elasticità della rete: | 29 GPa trama 48 GPa ordito | 61 GPa trama 38 GPa ordito | 56 GPa trama 37 GPa ordito | 18 GPa trama 27 GPa ordito | 59 GPa trama 45 GPa ordito | 59 GPa trama 45 GPa ordito |
| Resistenza a trazione per unità di larghezza: | 59 kN/m trama 66 kN/m ordito | 61 kN/m trama 46 kN/m ordito | 93 kN/m trama 74 kN/m ordito | 86 kN/m trama 106 kN/m ordito | 80 kN/m trama 131 kN/m ordito | 155 kN/m trama 97 kN/m ordito |



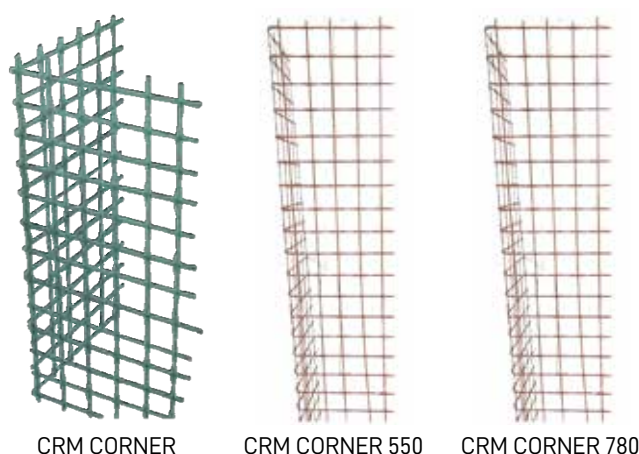


ANGOLARI PREFORMATI E CONNETTORI PULTRUSI A L

La continuità del rinforzo in corrispondenza degli angoli concavi e convessi è garantito da elementi angolari presagomati da tagliare in base all'altezza interpiano.

È possibile inserire un doppio angolare con la rete nel mezzo in modo da garantire resistenze equiparabili a quelle della rete utilizzata. La sovrapposizione dei fogli di rete deve essere sempre maggiore di 15 cm.

I connettori in fibra di vetro ECR impregnata con resina termoindurente epossidica sono inghiassati nella muratura con ancorante chimico bicomponente vinilestere senza stirene per carichi pesanti e strutturali, marcato CE e qualificato ETA per fissaggi su elementi in calcestruzzo. Tale prodotto è qualificato in categoria sismica C1 e C2 ed è idoneo anche per installazione su calcestruzzo fessurato. Grazie alla sua speciale formulazione può essere applicato anche sott'acqua e in murature umide.

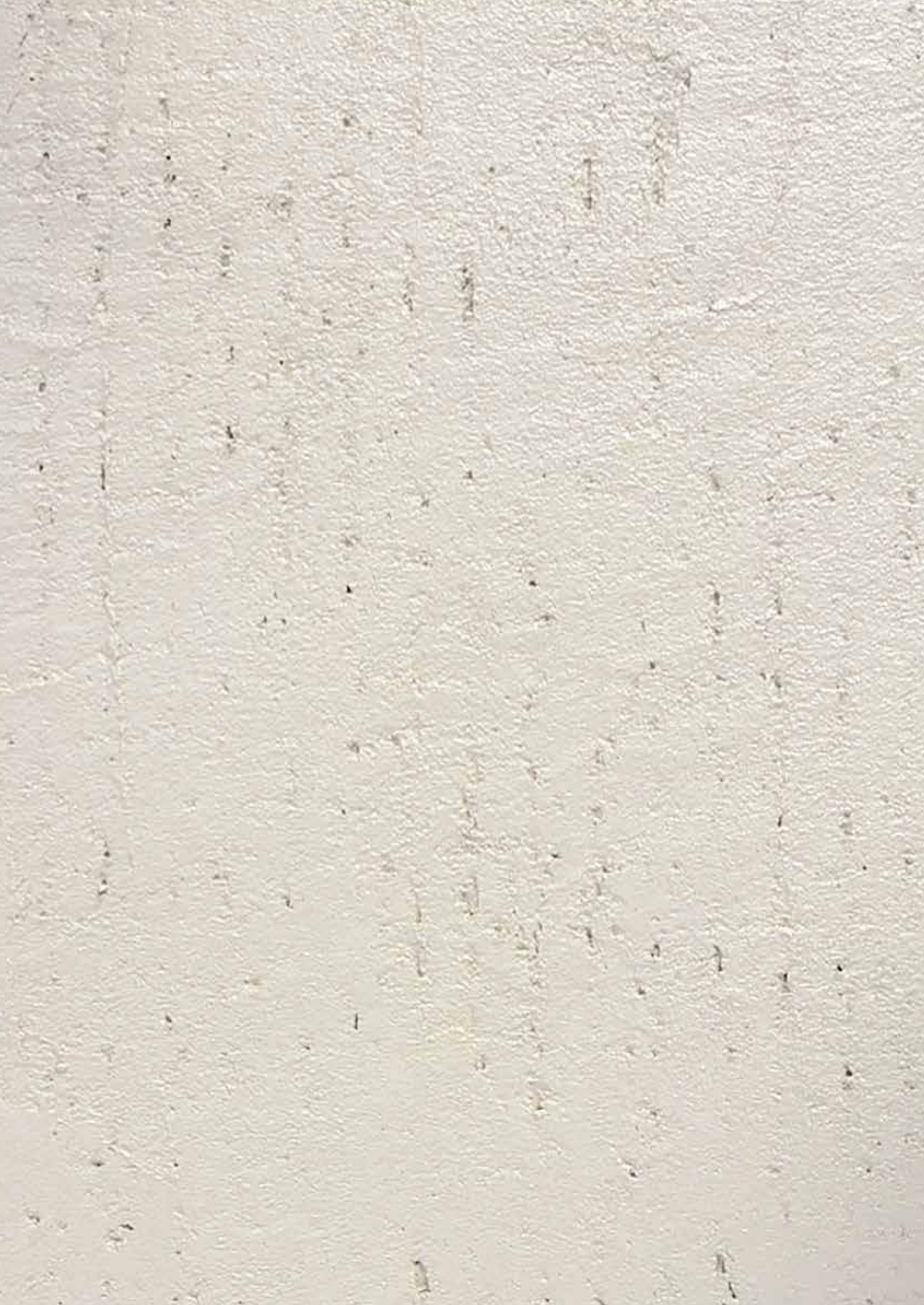


| | CRM CORNER | CRM CORNER 550 | CRM CORNER 780 |
|--|----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Dimensioni della maglia: | 38x38 mm | 80x80 mm | 40x80 mm |
| Massa totale comprensiva di rivestimento protettivo: | 305 g/m ² | 550 g/m ² | 780 g/m ² |
| Lunghezza lati: | 25 cm | 40 cm | 40 cm |
| Altezza: | 1 m | 2 m | 2 m |



CRM CONNECTOR

| | |
|---------------------------|------------------------|
| Diametro nominale: | 8,2 mm |
| Lunghezza del lato corto: | 10 cm |
| Lunghezza lato lungo: | 20, 40, 60, 80, 100 cm |



INTONACI STRUTTURALI

Il sistema di rinforzo è certificato con diverse tipologie di malte a prestazione garantita, sia a base cementizia che a base di calce idraulica naturale NHL 3.5. Tutte le malte sono monocomponenti, hanno un modulo elastico compatibile con quello della muratura da rinforzare e consentono la reversibilità del sistema.

MATRICI CEMENTIZIE



| | BHR 100F | BHR 150F | BHR 200F | BHR 300F |
|-----------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Diametro massimo aggregato: | 3,2 mm | 3,2 mm | 3,2 mm | 3,2 mm |
| Resistenza a compressione: | 10 MPa | 15 MPa | 20 MPa | 30 MPa |
| Reazione al fuoco: | A1 | A1 | A1 | A1 |
| Fornitura: | sfuso | sfuso | Sacco/sfuso | Sacco/sfuso |

MATRICI A BASE DI CALCE IDRAULICA NATURALE



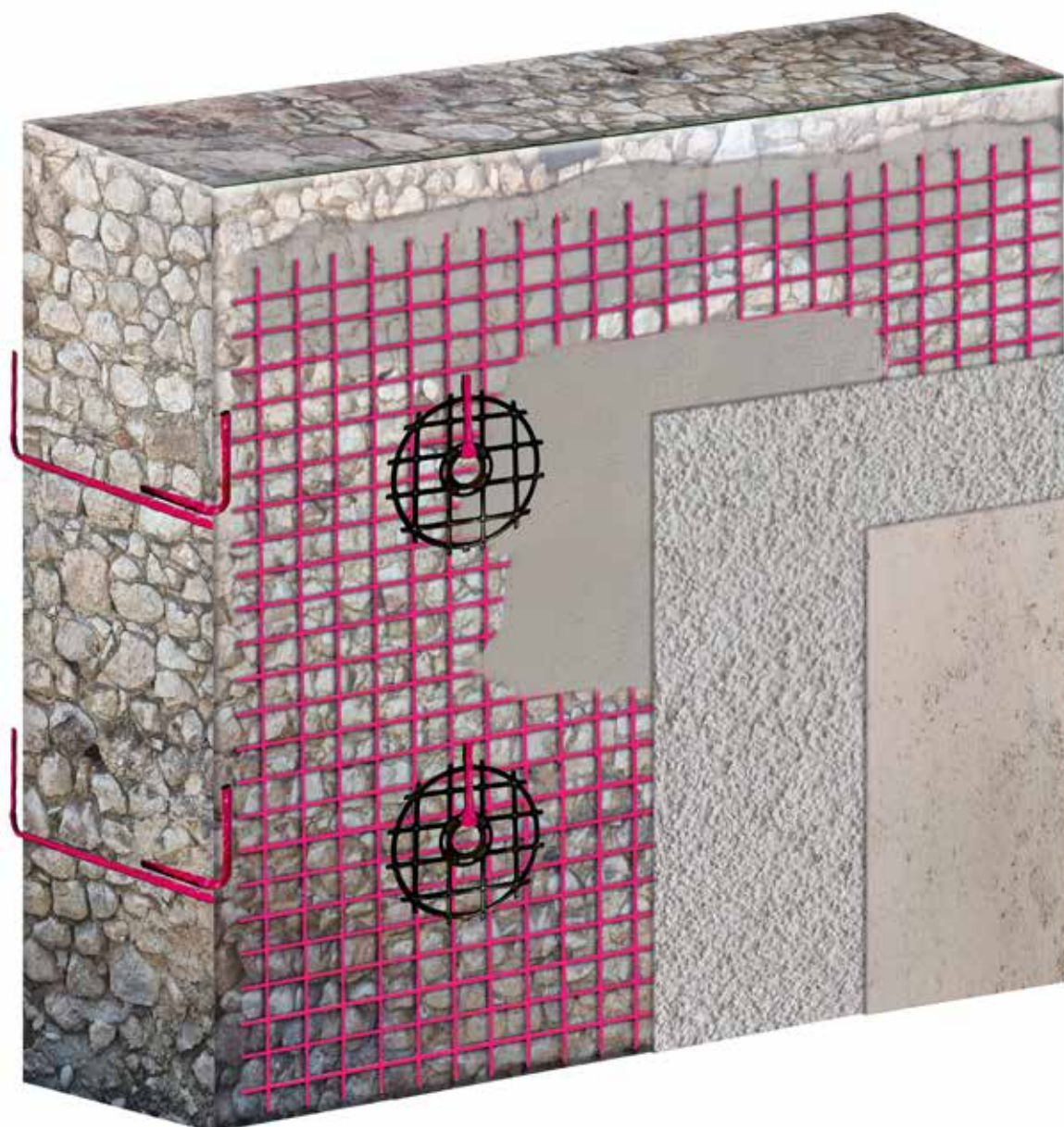
| | STRUTTURA 10 | STRUTTURA 15 | CH10 | CH15 | CH20 |
|-----------------------------|---------------------|---------------------|-------------|-------------|-------------|
| Diametro massimo aggregato: | 3,2 mm | 3,2 mm | 3,2 mm | 3,2 mm | 3,2 mm |
| Resistenza a compressione: | 10 MPa | 15 MPa | 10 MPa | 15 MPa | 20 MPa |
| Reazione al fuoco: | A1 | A1 | A1 | A1 | A1 |
| Fornitura: | Sacco/sfuso | Sacco/sfuso | Sacco/sfuso | Sacco/sfuso | Sacco/sfuso |

Rinforzo diffuso di murature portanti con sistema CRM



Rinforzo strutturale ad "alto spessore" mediante placcaggio diffuso con rete in fibra di vetro e malta

- Rinforzo diffuso che migliora la resistenza a taglio e pressoflessione della muratura.
- Spessore dell'intervento compreso tra 40 mm e 50 mm.
- Connettori pultrusi facili da inghisare nel supporto murario.



| | | | |
|---|---|--|---|
| 1 |  | <p>Preparazione del supporto Il supporto deve essere solido, planare, privo di parti friabili, polvere, oli, muffe, efflorescenze saline, umidità di risalita e vecchie pitture. Arrotondare gli spigoli concavi e convessi con raggio di curvatura di almeno 20 mm. Bagnare il fondo a rifiuto prima di applicare il prodotto, avendo cura di evitare il ristagno d'acqua superficiale.</p> |  |
| 2 |  | <p>Realizzazione dei fori Realizzare i fori impiegando un trapano a rotazione con punta $\Phi 14$ mm ed eseguendoli leggermente inclinati verso il basso. Pulire con aria compressa e successivamente iniettare il foro con resina vinilestere in cartuccia.</p> |  |
| 3 |  | <p>Inghisaggio del connettore Prima che la resina indurisca inserire il connettore a L nel foro facendo attenzione che non sporga troppo dalla parete.</p> |  |
| 4 |  | <p>Stesura della rete Tagliare a misura la rete e predisporla sulla parete passandola attraverso i connettori. Per reti a maglie larghe predisporre i fazzoletti di ripartizione.</p> |  |
| 5 |  | <p>Applicazione della matrice Applicare la matrice inorganica a totale copertura della rete. L'intervento finito dovrà avere uno spessore di circa 40 mm.</p> |  |
| 6 |  | <p>Intonaco di fondo Terminata la stagionatura dell'intonaco strutturale applicare l'intonaco di fondo.</p> |  |
| 7 |  | <p>Finitura Applicare la finitura CF COLORE a grana media, a base di calce idraulica naturale, altamente traspirante.</p> |  |

QUALIFICAZIONI DEI SISTEMI DI RINFORZO

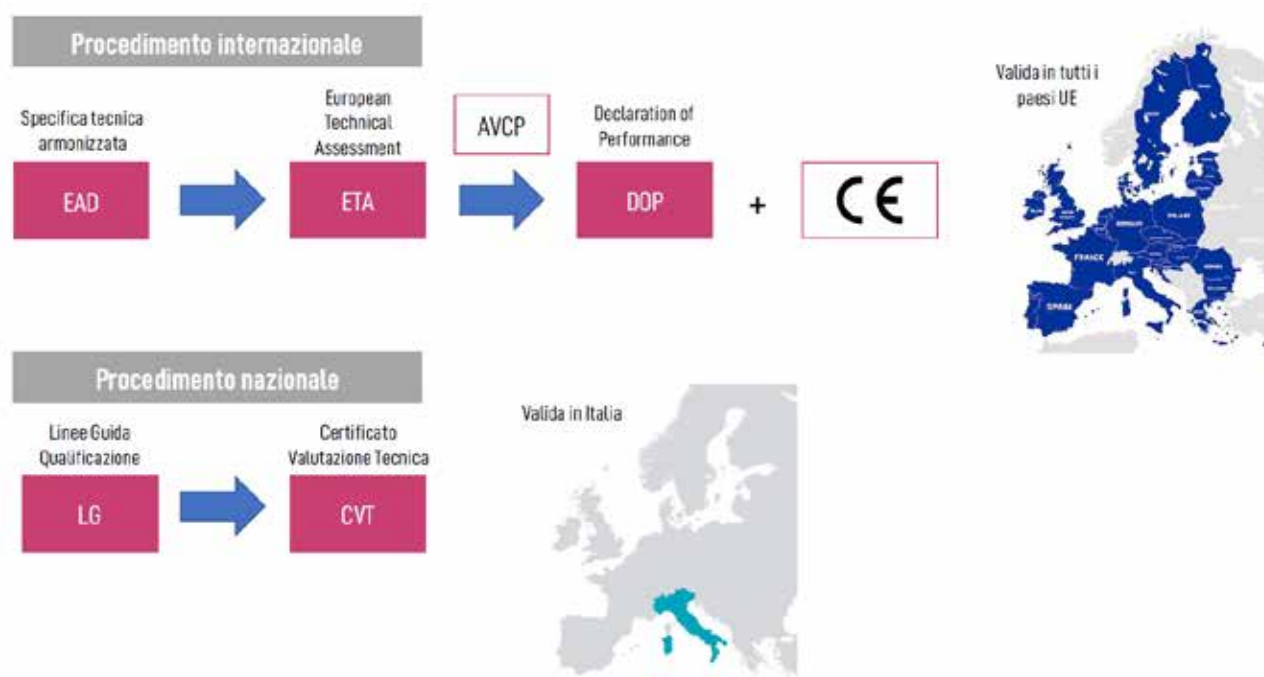
Ai sensi del cap. 11.1 delle Norme tecniche per le costruzioni del 2018 i materiali e prodotti per uso strutturale devono essere:

- identificati univocamente a cura del fabbricante;
- qualificati sotto la responsabilità del fabbricante;
- accettati dal Direttore dei lavori mediante acquisizione e verifica della documentazione di identificazione e qualificazione, nonché mediante eventuali prove di accettazione.

In particolare, per quanto attiene l'identificazione e la qualificazione, possono configurarsi i seguenti casi:

- materiali e prodotti per i quali sia disponibile, per l'uso strutturale previsto, una norma europea armonizzata il cui riferimento sia pubblicato su GUUE;
- materiali e prodotti per uso strutturale per i quali non sia disponibile una norma europea armonizzata, per i quali sia invece prevista la qualificazione con le modalità e le procedure indicate nelle NTC;
- materiali e prodotti per uso strutturale non ricadenti in una delle tipologie A) o B). In tali casi il fabbricante dovrà pervenire alla Marcatura CE sulla base della pertinente "Valutazione Tecnica Europea" (ETA), oppure dovrà ottenere un "Certificato di Valutazione Tecnica" rilasciato dal Presidente del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, previa istruttoria del Servizio Tecnico Centrale, anche sulla base di Linee Guida approvate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, ove disponibili.

Nel caso dei rinforzi FRCC e CRM la normativa consente di ottenere l'idoneità all'impiego sia mediante marcatura CE che mediante CVT. L'unica differenza è l'ambito geografico di applicazione del sistema.



PROVE DI ACCETTAZIONE DEI SISTEMI DI RINFORZO

I controlli di accettazione in cantiere sono obbligatori, eseguiti a cura e sotto la responsabilità del Direttore dei Lavori. I campioni da inviare ad un laboratori autorizzato di cui all'art. 59 del DPR n. 380/2001, devono essere prelevati nell'ambito di ciascun lotto di spedizione in riferimento al lotto di produzione e riguardare tutti i componenti del sistema di rinforzo oggetto di fornitura.

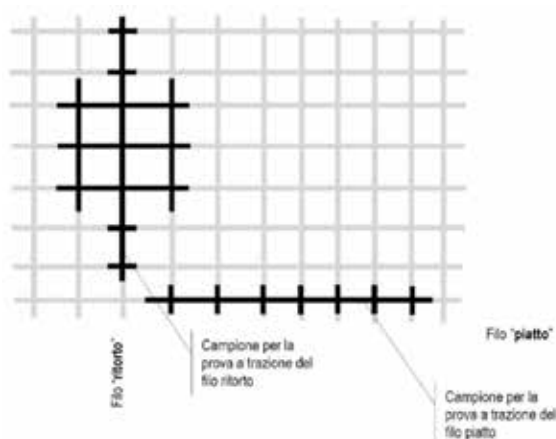
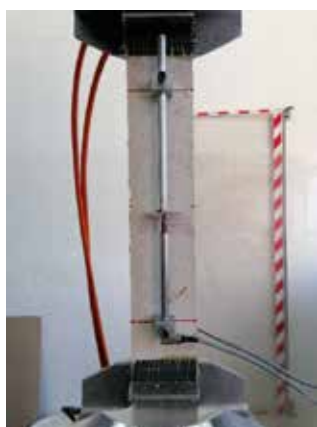
Per i sistemi FRCM si devono eseguire test di trazione diretta su almeno 6 campioni per ognuno dei tipi di sistemi di rinforzo da installare, tenendo anche conto dell'eventuale diversa natura delle fasi (in particolare della grammatura del rinforzo e del numero di strati di quest'ultimo).

Attese le condizioni non ottimali di realizzazione dei provini confezionati in cantiere, la prova si ritiene superata se:

- 1) il valore medio della tensione ultima σ_u risulta non inferiore all'85% della tensione caratteristica ultima $\sigma_{u,k}$, come determinata nella fase di qualificazione del sistema FRCM di cui si effettua il controllo di accettazione, riportata sulla scheda tecnica che accompagna il prodotto;
- 2) il valore medio tensione ultima σ_u risulta superiore almeno del 15% rispetto alla tensione limite convenzionale, su supporto analogo, come determinata nella fase di qualificazione, del sistema FRCM di cui si effettua il controllo di accettazione, riportata sulla scheda tecnica che accompagna il prodotto.

Per i sistemi CRM I campioni devono essere 3 per ognuno dei componenti dei sistemi di rinforzo da installare, tenendo anche conto dell'eventuale diversa natura delle fasi (in particolare della grammatura del rinforzo) e delle eventuali diverse caratteristiche delle reti nelle due direzioni. Le prove da eseguire sono unicamente quelle di trazione sui componenti in FRP del sistema e due provini di dimensioni 40x40x160 mm sulla malta impiegata.

Per ciascun campione i valori della tensione di rottura a trazione e del modulo elastico devono risultare non inferiori ai corrispondenti valori nominali dichiarati nella scheda tecnica mentre le proprietà della malta devono soddisfare i valori dichiarati dal Fabbricante.



NOTE



A series of horizontal lines for writing notes.





AQUILAPREM Srl

Via Carlo Forti - Nucleo Ind.le Bazzano • 67100 L'Aquila (AQ) - ITALY

Tel. +39 0862 441894 - Fax +39 0862 67143

info@aquilaprem.it

www.aquilaprem.it