



LINEA GUIDA

Consolidamento strutturale

FRP - FRCM - CRM



La sicurezza al tuo fianco

www.gpintech.com

INDICE

PREMESSA	5
1 INQUADRAMENTO NORMATIVO PER I SISTEMI FRP, FRCM E CRM	8
Quadro normativo per i sistemi FRP.....	8
Quadro normativo per i sistemi FRCM.....	8
Quadro normativo per i sistemi CRM	9
2 LINEA FRP - SRP SYSTEM®	10
Elenco dei prodotti FRP - SRP certificati	10
APPLICATIVO EXCEL LINEA FRP – SRP SYSTEM®	13
3 LINEA FRCM - SRG SYSTEM®	14
Elenco dei prodotti FRCM - SRG.....	14
Prescrizioni generali FRCM - SRG SYSTEM	17
APPLICATIVO EXCEL LINEA FRCM – SRG SYSTEM®	18
FRCM_WALL	18
4 LINEA CRM SYSTEM®	19
Elenco dei prodotti CRM	19
Prescrizioni generali CRM SYSTEM.....	20
APPLICATIVO EXCEL LINEA CRM SYSTEM®	21
CRM_WALL.....	21
5 OTTIMIZZAZIONE SISTEMI COMPOSITI	22
EDIFICI IN CEMENTO ARMATO.....	24
6 RINFORZI IN FRP - SRP PER STRUTTURE IN C.A.	25
Rinforzo pilastri.....	25
Rinforzo travi	27
Rinforzo nodi trave-pilastro	31
Rinforzo di setti in c.a. mediante applicazione di tessuti in fibra di carbonio (CFRP).....	34
Rinforzo di travetti di solai in latero-cemento	36
7 FENOMENO DI SFONDELLAMENTO DEI SOLAI	38
Diagnosi e fasi di intervento per il ripristino dei solai	38
Messa in sicurezza di solai in laterocemento dal fenomeno di sfondellamento mediante tecnica a secco.....	39
Messa in sicurezza di solai in laterocemento dal fenomeno di sfondellamento mediante intonaci armati tassellati alla struttura	40
8 PRESIDI ANTIBALTA TAMPONATURE.....	42
SOFTWARE STG_SISMA.....	43

Sistema Antiribalta – STG (Strong Tie Glass).....	44
Sistema Antiribalta – FRCM SYSTEM	48
EDIFICI IN MURATURA PORTANTE.....	52
9 RINFORZI DI STRUTTURE IN MURATURA.....	53
Iniezioni in massa di boiacche in calce idraulica naturale	53
Rinforzo di pareti in muratura mediante applicazione di tessuti in fibra di carbonio (CFRP).....	54
Fasciatura di piano mediante applicazione di tessuti in fibra di carbonio (CFRP).....	55
Rinforzo di archi e/o volte in muratura mediante applicazione di tessuti in fibra di carbonio (CFRP)	56
Rinforzo di pareti in muratura mediante applicazione di intonaco armato FRCM	58
Rinforzo di pareti in muratura mediante applicazione di tessuti in acciaio galvanizzato UHTSS (SRG System).....	61
Fasciatura di piano mediante applicazione di tessuti in fibra di acciaio galvanizzato UHTSS (SRG System).....	63
Realizzazione di cordoli sommitali in muratura armata (SRG System)	65
Rinforzo di archi e/o volte in muratura mediante applicazione di tessuti in acciaio (SRG System) ..	68
Rinforzo di pareti in muratura mediante applicazione di intonaco armato CRM	70
10 RINFORZO PER MURATURE FACCIA A VISTA	73
Sistema ANCHORSTEEL NET per faccia a vista	73
Ristilatura armata dei giunti di malta di paramenti murari in laterizio regolare a vista con barre elicoidali in acciaio inox e connessioni ortogonali di ancoraggio (SAC).....	77
11 REFERENZE SULLE LINEE DI PRODOTTI PER IL CONSOLIDAMENTO E IL RINFORZO STRUTTURALE.	79
12 APPENDICE A – ESEMPI NUMERICI FRP SU CALCESTRUZZO	88
13 APPENDICE B – ESEMPI NUMERICI FRCM - CRM SU MURATURE.....	101
14 APPENDICE C – INDAGINI SPERIMENTALI	108
Indagine sperimentale di elementi prefabbricati in c.a.p. pre-esistenti rinforzati con compositi a matrice organica	108
Prove soniche su murature portanti pre e post intervento di consolidamento con iniezioni in massa di boiacche in calce idraulica	111
Prove di compressione diagonale su pannelli murari in pietra non rinforzati e rinforzati con tecnologia FRCM System	112
Prove di compressione diagonale su pannelli murari in pietra rinforzati con tecnologia CRM System: risultati dei test e confronto normativo	115
15 APPENDICE D – PROPRIETÀ MECCANICHE FRCM SYSTEM.....	125
Proprietà meccaniche del sistema FRCM G-NET 251 BA utili ai fini della progettazione e dell'accettazione in cantiere.....	125
Proprietà meccaniche del sistema FRCM G-NET 301 BAL utili ai fini della progettazione e dell'accettazione in cantiere.....	125

Proprietà meccaniche del sistema FRCM G-NET 401 BAL utili ai fini della progettazione e dell'accettazione in cantiere.....	126
Proprietà meccaniche del sistema FRCM G-NET 601 BAL utili ai fini della progettazione e dell'accettazione in cantiere.....	126
Proprietà meccaniche del sistema FRCM B-NET 250 BA utili ai fini della progettazione e dell'accettazione in cantiere.....	127
Proprietà meccaniche del sistema FRCM B-NET 450 BA utili ai fini della progettazione e dell'accettazione in cantiere.....	127
Proprietà meccaniche del sistema SRG STEEL-NET G 80 utili ai fini della progettazione e dell'accettazione in cantiere.....	128
Proprietà meccaniche del sistema SRG STEEL-NET G 135 utili ai fini della progettazione e dell'accettazione in cantiere.....	128
Proprietà meccaniche del sistema SRG CC STEEL-NET G 220 utili ai fini della progettazione e dell'accettazione in cantiere.....	129
Proprietà meccaniche del sistema FRCM MC-NET 220 BL utili ai fini della progettazione e dell'accettazione in cantiere.....	129
Proprietà meccaniche del sistema FRCM CC-NET 220 BL utili ai fini della progettazione e dell'accettazione in cantiere.....	130
16 APPENDICE E – PROPRIETÀ MECCANICHE CRM SYSTEM.....	131
Proprietà meccaniche della rete preformata in GFRP RG33 NET BA utili ai fini della progettazione e dell'accettazione in cantiere.....	131
Proprietà meccaniche della rete preformata in GFRP RG66 NET BA utili ai fini della progettazione e dell'accettazione in cantiere.....	131
Proprietà meccaniche della rete preformata in GFRP RG99 NET BA utili ai fini della progettazione e dell'accettazione in cantiere.....	131
Connettori preformati rigidi ad L in materiale composito GFRP – RG-FIX 10.....	132
Angolare preformato in GFRP ad angolo retto – E-corner RG L25	132
17 APPENDICE F – SCHEDE TECNICHE.....	133
Schede tecniche FRP – SRP System®	133
Schede tecniche FRCM – SRG System®	133
Supporti in muratura	133
Supporti in calcestruzzo	134
Schede tecniche CRM System®	134
Schede tecniche sistemi di connessione	134
18 APPENDICE G – DISEGNI ESECUTIVI	135
Edifici in cemento armato.....	135
Edifici in muratura portante	135

PREMESSA

L'Italia è un paese caratterizzato da tipologie costruttive molto disparate che vanno dall'edificio monumentale costruito diversi secoli or sono, a costruzioni storiche anch'esse di qualche secolo, ma che costituiscono ancora oggi il nucleo di vita delle popolazioni con residenze e piccole attività, a costruzioni più recenti in muratura o in cemento armato, a volte anche rimaneggiate nel tempo con interventi privi di criterio. Un patrimonio edilizio secolare, l'assenza di criteri sismici nella progettazione in quanto non richiesti all'epoca, gli interventi di modifica architettonica senza le adeguate verifiche strutturali, sono alcuni dei fattori che rendono il patrimonio edilizio italiano a maggiore rischio sismico. Le più recenti normative sismiche hanno preso atto della presenza di una pericolosità sismica diffusa che non risparmia zone. L'evoluzione e l'aggiornamento della mappa di classificazione sismica del territorio ha accentuato la presenza di edifici, anche abbastanza recenti, che benché costruiti a norma di legge, non rispondono ai requisiti delle zone sismiche.

Negli ultimi 50 anni ben 17 terremoti hanno interessato il nostro Paese con gravi conseguenze in termini di vite umane e patrimonio costruito.

L'individuazione delle zone sismiche, in Italia, è avvenuta agli inizi del '900 attraverso lo strumento del regio decreto, emanato a seguito dei terremoti distruttivi di Reggio Calabria e Messina del 28 dicembre 1908. Dal 1927 le località colpite sono state distinte in due categorie, in relazione al loro grado di sismicità ed alla loro costituzione geologica. Pertanto, la mappa sismica in Italia non era altro che la mappa dei territori colpiti dai forti terremoti avvenuti dopo il 1908, mentre tutti i territori colpiti prima di tale data - la maggior parte delle zone sismiche d'Italia - non erano classificati come sismici e, conseguentemente, non vi era alcun obbligo di costruire nel rispetto della normativa antisismica. La lista originariamente consisteva, quindi, nei comuni della Sicilia e della Calabria gravemente danneggiati dal terremoto del 1908, che veniva modificata dopo ogni evento sismico aggiungendovi semplicemente i nuovi comuni danneggiati.

Solamente nel 1974, attraverso la legge n. 64, è stata approvata una nuova normativa sismica nazionale che ha stabilito il quadro di riferimento per le modalità di classificazione sismica del territorio nazionale, oltre che di redazione delle norme tecniche. Successivamente, gli studi di carattere sismologico effettuati all'indomani del terremoto del Friuli Venezia Giulia del 1976 e di quello in Irpinia del 1980, svolti all'interno del Progetto finalizzato "Geodinamica" del CNR, hanno portato ad un notevole aumento delle conoscenze sulla sismicità del territorio nazionale ed hanno consentito la formulazione di una proposta di classificazione sismica presentata dal CNR al Governo, che è stata tradotta in una serie di decreti del Ministero dei lavori pubblici approvati tra il 1980 ed il 1984, che hanno costituito, pertanto, la classificazione sismica italiana fino all'emanazione dell'ordinanza n. 3274 del 20 marzo 2003. Si ricorda che la proposta del CNR, per la prima volta in Italia, è stata basata su indagini di tipo probabilistico della sismicità italiana e che la classificazione sismica ha preso in considerazione tre categorie sismiche, di cui la terza (la meno pericolosa, introdotta con il DM 3 giugno 1981, n. 515), ha compreso solo alcuni comuni della Campania, Puglia e Basilicata, interessati dal terremoto di Irpinia e Basilicata del 1980, ma che non è stata estesa alle altre zone d'Italia con pari livello di pericolosità.

Immediatamente dopo il terremoto del 31 ottobre 2002 che ha colpito i territori al confine fra il Molise e la Puglia, la Protezione civile ha adottato l'ordinanza 20 marzo 2003, n. 3274, al fine di fornire una risposta immediata alla necessità di aggiornamento della classificazione sismica e delle norme antisismiche.

A differenza di quanto previsto dalla normativa precedente, tutto il territorio nazionale è stato classificato come sismico e suddiviso in 4 zone, caratterizzate da pericolosità sismica decrescente. Le prime tre zone della nuova classificazione corrispondono, dal punto di vista degli adempimenti previsti dalla legge n. 64 del 1974, alle zone di sismicità alta, media e bassa, mentre per la zona 4, di nuova introduzione, viene data facoltà alle regioni di imporre l'obbligo della progettazione antisismica. In ogni zona è, infatti, prevista l'applicazione della progettazione sismica con livelli differenziati di severità, salvo, come anzidetto, nella zona 4. Il collegamento

tra la classificazione e le norme tecniche risulta, pertanto, molto stretto. Oltre ai criteri per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone, con l'ordinanza sono state, infatti, approvate le norme tecniche che riguardano, per la prima volta, la quasi totalità di tipologie di costruzioni: edifici, ponti ed opere di fondazione e di sostegno dei terreni.

Relativamente, invece, alle norme tecniche, già con il DM del 3 marzo 1975, sono state emanate le prime disposizioni per le costruzioni in zona sismica. La normativa progressivamente si è evoluta, soprattutto nell'ultimo ventennio. Con il DM 14 settembre 2005 sono state approvate le Norme tecniche per le costruzioni, allo scopo di riunire in un unico testo la disciplina tecnica relativa alla progettazione ed all'esecuzione delle costruzioni e di realizzarne nel contempo l'omogeneizzazione e la razionalizzazione. Il documento ha rappresentato il primo tentativo di raccogliere in un unico volume tutte le norme tecniche. Tentativo che, invece, andò in porto qualche anno dopo, quando a seguito del terremoto dell'Aquila del 6 aprile 2009 entrarono in vigore, sostituendo tutte le norme precedenti, le "Norme Tecniche per le Costruzioni" (NTC-2008) DM 14 gennaio 2008, aggiornate poi dalle NTC-2018 Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018 con la successiva Circolare applicativa 7/2019 del Consiglio superiore dei Lavori Pubblici. Queste inglobano in un testo unico tutte le norme tecniche, comprese quelle sismiche.

Con le Norme Tecniche delle Costruzioni (Decreto 14/01/2008 del Ministero delle Infrastrutture), la valutazione delle azioni non si basa più su una classificazione legata al confine amministrativo del Comune, ma dipende dalla valutazione della pericolosità sismica definita sulla base di parametri legati, tra l'altro, alla natura della zona, del sottosuolo e del suolo in esame.

Il testo, composto da un'introduzione e dodici capitoli, rappresenta una messa a punto completa della complessa normativa in materia di costruzioni, relativa alla progettazione strutturale degli edifici ed alle principali opere di ingegneria civile, accanto alle caratteristiche dei materiali e dei prodotti utilizzati, e consiste, inoltre, in un ampio aggiornamento del quadro legislativo nazionale in campo strutturale, basato sulle leggi fondamentali n. 1086 del 1971 e n. 64 del 1974.

Le NTC-2018, come già le NTC-2008, dedicano un capitolo alle costruzioni esistenti. Infatti la sfida, che purtroppo dobbiamo ancora affrontare compiutamente, è quella delle costruzioni esistenti che rappresentano il vero problema della sicurezza nel nostro paese. Preso atto che non è pensabile la demolizione e ricostruzione di gran parte del patrimonio edilizio esistente, sia per motivi economici ma, in molti casi, anche e soprattutto per motivi storici e culturali, ricerca e tecnologia devono trovare le soluzioni più idonee per conservare l'esistente senza rinunciare ai necessari requisiti di sicurezza, soprattutto per gli edifici di particolare rilevanza e strategici.

Il presente documento nasce con l'obiettivo di fornire un servizio altamente qualificato per il settore dei consolidamenti strutturali, dell'adeguamento antisismico e della riqualificazione funzionale di edifici civili, industriali, monumentali e delle infrastrutture con materiali compositi e dispositivi antisismici. Nel tempo G&P Intech ha deciso di focalizzare l'attenzione soprattutto nell'ambito della ricostruzione e della prevenzione sismica, investendo ingenti risorse nella ricerca, certificazione e sviluppo di tecnologie altamente all'avanguardia, atte a mitigare il rischio sismico nazionale per il costruito residenziale, industriale, monumentale e infrastrutturale. G&P Intech opera con la propria attività sia in fase progettuale che esecutiva: dalla consulenza di ingegneria strutturale e sismica alla progettazione con software dedicati, alla produzione e fornitura di tecnologie e soluzioni antisismiche, all'assistenza all'impresa e al cantiere. Tra i prodotti citiamo i sistemi di rinforzo strutturale con materiali compositi quali gli FRP-FRCM-CRM (es. fibre di carbonio, reti strutturali in fibra, abbinati a malte e resine omologate).

Considerati come tecnologie "innovative" perché di più recente introduzione rispetto ai più classici materiali da costruzione, i compositi rappresentano un'opzione ormai imprescindibile per chi progetta interventi di consolidamento strutturale.

Sono tra i materiali più utilizzati per gli interventi di miglioramento sismico degli edifici esistenti grazie ai numerosi vantaggi che assicurano, come l'elevata leggerezza, le alte resistenze meccaniche, l'invasività contenuta e la facilità di posa.

L'identificazione e la qualificazione dei materiali FRP, FRCM e CRM è disciplinata alla lettera c) del capitolo 11.1 delle NTC 2018, rientrando tra quelli muniti di un "Certificato di Valutazione Tecnica" rilasciato dal Presidente del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, sulla base di Linee Guida ove disponibili, non essendo disponibili delle norme tecniche europee armonizzate.

Le tre linee guida emanate con i decreti del Presidente del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici n.293 del 29.05.2019, n. 627 del 3 dicembre 2019 e n.292 del 29 maggio 2019, appunto riguardano l'identificazione, la qualificazione ed il controllo di accettazione di

- compositi fibrorinforzati a matrice polimerica (FRP)
- compositi fibrorinforzati a matrice inorganica (FRCM)
- sistemi a rete preformata in materiali compositi fibrorinforzati a matrice polimerica CRM (Composite Reinforced Mortar) con la tecnica dell'intonaco armato

da utilizzarsi per il consolidamento strutturale di costruzioni esistenti.

All'interno del capitolo 8 delle NTC 2018 "Costruzioni esistenti" sono individuati i criteri generali per la valutazione della sicurezza e per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo degli interventi sulle costruzioni esistenti. Al punto 8.6 "Materiali" si dispone che "gli interventi sulle strutture esistenti devono essere effettuati con i materiali previsti dalle citate norme, potendo altresì essere utilizzati materiali non tradizionali, purché nel rispetto di normative e documenti di comprovata validità, ovvero quelle elencati al cap. 12, tra cui le linee guida di progettazione per i materiali compositi redatte dal CNR.

- DT 200 R1/2013 Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Interventi di Consolidamento Statico mediante l'utilizzo di Compositi Fibrorinforzati. Materiali, strutture di c.a. e di c.a.p., strutture murarie;
- DT 215/2018 Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Interventi di Consolidamento Statico mediante l'utilizzo di Compositi Fibrorinforzati a Matrice Inorganica (FRCM);
- DT 203/2006 Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione ed il controllo di strutture di calcestruzzo armato con barre di materiale composito fibrorinforzato (CRM).

Il presente fascicolo illustra i 28 sistemi compositi qualificati da G&P intech con le caratteristiche tecniche dei materiali e dei connettori ove applicabili. Vengono inoltre illustrate le varie casistiche di intervento, su supporti in muratura e calcestruzzo ed i cicli applicativi da eseguire per una corretta in opera dei sistemi proposti.

1 INQUADRAMENTO NORMATIVO PER I SISTEMI FRP, FRCM E CRM

Per la progettazione e l'esecuzione degli interventi di consolidamento strutturale, si fa riferimento alla normativa tecnica vigente in materia e la relativa circolare esplicativa, ossia:

- D.M. 17/01/18 "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni", in seguito denominate "NTC 18";
- Circolare C.S.LL.PP. n.7 del 21/01/19 "Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018".

Il capitolo 12 delle *NTC 18* prevede l'elenco dei documenti normativi, per tutti quei sistemi non analizzati all'interno delle stesse *NTC 18*, che possono rappresentare riferimenti di comprovata validità. Tra questi documenti si citano le "Istruzioni e documenti tecnici del Consiglio Nazionale delle Ricerche" (CNR) e le "Linee Guida del Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici".

Quadro normativo per i sistemi FRP

Dal 2009, dopo il sisma che colpì l'Abruzzo il 6 aprile dello stesso anno e in particolar modo la città dell'Aquila con una magnitudo momento (Mw) pari a 6,3 (5,8 o 5,9 sulla scala della magnitudo locale) e con bilancio definitivo di 309 vittime, oltre 1600 feriti e oltre 10 miliardi di euro di danni stimati, il progetto e il dimensionamento degli interventi che prevedono l'impiego dei sistemi *FRP* è regolamentato dal documento tecnico *CNR DT 200/2004*, approvato dal C.S.LL.PP. nel luglio 2009 assieme alle nuove *Norme Tecniche per le Costruzioni 2008*.

Nel 2013 e successivamente nel 2014 il CNR ha emanato una nuova revisione del documento tecnico DT 200-04 denominato *CNR DT 200-R1 2013* che ha sostituito la versione del 2004.

Infine, nel 2015 il C.S.LL.PP. ha emanato le "Linee Guida per la Qualificazione ed il Controllo di accettazione di compositi fibrorinforzati a matrice polimerica (FRP) da utilizzarsi per il consolidamento strutturale di costruzioni esistenti" che hanno consentito la certificazione CVT dei sistemi di consolidamento FRP, licenziata con parere favorevole n. 115/2013 del 19 febbraio 2015 dalla Prima Sezione del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici che è stata aggiornata nel maggio 2019.

Il gruppo G&P intech ha ottenuto il rilascio dei C.V.T per i propri sistemi *FRP* dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

Quadro normativo per i sistemi FRCM

Per quanto concerne la progettazione dei sistemi *FRCM* il documento tecnico di riferimento è il *CNR DT 215/2018* "Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione e il Controllo di interventi di Consolidamento Statico mediante l'utilizzo di Compositi Fibrorinforzati a Matrice Inorganica".

Il documento tecnico sopracitato, fornisce principi e regole di applicazione per la progettazione, la verifica, il collaudo e la manutenzione di interventi di rinforzo strutturale con materiali compositi fibrorinforzati a matrice inorganica - *FRCM* (Fiber Reinforced Cementitious Matrix). Tali materiali sono utilizzati per il miglioramento delle prestazioni strutturali di costruzioni esistenti, sia in muratura, che in calcestruzzo armato.

Il documento *CNR DT 215/2018* tratta in particolare le regole di progetto relative alle principali applicazioni strutturali, per le quali sono disponibili in letteratura modelli di calcolo ampiamente condivisi dalla comunità tecnica e scientifica, sia a livello nazionale che internazionale, sottolineando invece che applicazioni diverse devono essere necessariamente suffragate da approfondite indagini preliminari in laboratorio su elementi strutturali in scala reale e da verifiche di tipo numerico.

Con Decreto del Presidente del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici n. 1 dell'8 gennaio 2019, è stata approvata la *"Linea Guida per la identificazione, la qualificazione ed il controllo in accettazione di compositi fibrorinforzati a matrice inorganica (FRCM), da utilizzarsi per il consolidamento strutturale di costruzioni esistenti"*.

Nel febbraio 2022 il C.S.LL.PP. ha approvato una nuova revisione della Linea Guida di qualificazione, la quale sostituisce la versione del 2019. In sostanza, il documento disciplina matrici e fibre impiegate nei vari sistemi e quali prove il produttore debba sostenere e superare al fine di ottenere il C.V.T..

Quadro normativo per i sistemi CRM

Ad oggi in Italia, non esiste alcuna indicazione normativa specifica che fornisca indicazioni per la progettazione dell'intonaco armato CRM (*Composite Reinforced Mortar*) pertanto, ai fini della verifica strutturale può essere utile far riferimento alla Circolare esplicativa delle NTC 18 la quale al capitolo 8.5.3.1 prevede: *"Consolidamento con intonaco armato: l'effetto di questa tipologia di consolidamento può essere stimato attraverso opportune valutazioni che considerino gli spessori della parete e dell'intonaco armato, oltre che i relativi parametri meccanici. In assenza di queste è possibile adottare il coefficiente indicato in tabella, diversificato per le varie tipologie, applicabile ai valori sia dei parametri di resistenza (f_{t0} e f_{v0}), sia dei moduli elastici (E e G).*

Inoltre, la stessa Circolare indica che: *"...il consolidamento con intonaco armato non ha alcuna efficacia in assenza di sistematiche connessioni trasversali e la sua efficacia è ridotta quando realizzato su un solo paramento"*, senza però dare indicazioni quantitative circa numero e caratteristiche delle connessioni trasversali e circa l'entità della riduzione della efficacia nel caso di un solo paramento.

Nel maggio 2019, con Decreto del Presidente del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici n. 292 del 29 maggio 2019, è stata approvata la *"Linea Guida per la identificazione, la qualificazione ed il controllo di accettazione dei sistemi a rete preformata in materiali compositi fibrorinforzati a matrice polimerica da utilizzarsi per il consolidamento strutturale di costruzioni esistenti con la tecnica dell'intonaco armato CRM (Composite Reinforced Mortar)"*. Tale Linea Guida fornisce le procedure per l'identificazione, la qualificazione ed il controllo di "sistemi di rinforzo" costituiti da reti in compositi fibrorinforzate a matrice polimerica (FRP-Fiber Reinforced Polymer), da applicare sulle superfici degli elementi strutturali per il consolidamento degli stessi con malte cementizie e/o di calce, ovvero mediante la tecnica dell'intonaco armato di tipo CRM.

2 LINEA **FRP - SRP SYSTEM**[®]

Per il consolidamento delle strutture in cemento armato, cemento armato precompresso e muratura, una delle tecnologie più efficaci è sicuramente il sistema FRP. La tecnica del rinforzo FRP consiste nell'**applicare le fibre**, alle strutture da consolidare, **mediante resine polimeriche** tipicamente di natura **epossidica**.

Elenco dei prodotti FRP - SRP certificati

Le **resine** e gli adesivi **RESIN** marcati **CE** (EN 1504-4) sono impiegati per regolarizzare le superfici e incollare/impregnare il rinforzo **FRP**; sono per la maggior parte bicomponenti, e si dividono in **primer, adesivi in pasta e fluidi**.

Le principali resine sono:

Nome prodotto	Descrizione
RESIN PRIMER	Primer epossidico per la preparazione del supporto all'incollaggio del tessuto.
RESIN 75	Adesivo epossidico per l'incollaggio e l'impregnazione dei tessuti in carbonio.
RESIN 90	Adesivo epossidico in pasta per l'incollaggio dei tessuti in acciaio e delle lamelle pultruse.

Tabella 1: Elenco resine G&P Intech marcate CE.

I **tessuti in fibra di carbonio** messi a disposizione da G&P Intech per la realizzazione di rinforzi **CFRP** sono i seguenti:

Nome prodotto	Tipologia	Classe	Grammatura [g/m ²]	Adesivo	Spessore [mm]
C-SHEET 240/300	Tessuto unidirezionale	210 C	300	RESIN 75	0,165
C-SHEET 240/400	Tessuto unidirezionale	210 C	400	RESIN 75	0,220
C-SHEET 240/600	Tessuto unidirezionale	210 C	600	RESIN 75	0,330
C-SHEET 390/300 HM	Tessuto unidirezionale	350/2800 C	300	RESIN 75	0,165
C-SHEET 390/400 HM	Tessuto unidirezionale	350/2800 C	400	RESIN 75	0,220
C-SHEET 390/600 HM	Tessuto unidirezionale	350/2800 C	600	RESIN 75	0,330
CTB 240/360	Tessuto bidirezionale	210 C	360	RESIN 75	0,100 ⁽¹⁾

Nome prodotto	Tipologia	Classe	Grammatura [g/m ²]	Adesivo	Spessore [mm]
<u>C-SHEET 240/380/127Q</u>	Tessuto quadriassiale	210 C	380	RESIN 75	0,053 ⁽¹⁾

Tabella 2: Elenco prodotti CFRP G&P Intech certificati CVT.

⁽¹⁾ Lo spessore equivalente deve intendersi come il valore di spessore per ognuna delle direzioni in cui è ordito il tessuto.

Di seguito si riportano le **lamelle** pultruse in fibra di carbonio, a basso e ad alto modulo elastico, fornite di **CVT**:

Nome prodotto	Classe	Larghezza [cm]	Adesivo	Spessore [mm]
<u>CFK 150/2000</u>	C 150/2300	5-6-8-10-12-15	RESIN 90	1,40
<u>CFK 200/2000</u>	C 200/1800	5-6-8-10-12-15	RESIN 90	1,40

Tabella 3: Elenco lamelle pultruse G&P Intech certificate CVT.

I **tessuti** unidirezionali in **acciaio galvanizzato** ad alta resistenza UHTSS (Ultra High Tensile Strength Steel) per i sistemi di rinforzo SRP (Steel Reinforced Polymers), per i quali la qualificazione è prevista dalla nuova Linea Guida n.293 del 29.05.2019, che il gruppo G&P intech mette a disposizione, sono:

Nome prodotto	Tipologia	Classe	Grammatura [g/m ²]	Adesivo	Spessore [mm]
<u>STEEL NET G 220</u>	Tessuto in trefoli di acciaio UHTSS	190 S	2200	RESIN 90	0,27
<u>STEEL NET G 350</u>	Tessuto in trefoli di acciaio UHTSS	190 S	3500	RESIN 90	0,44

Tabella 4: Elenco prodotti SRP G&P Intech.

Nella tabella che segue si riportano i **tessuti** unidirezionali e bidirezionali in fibra di **basalto** messi a disposizione dalla G&P intech per sistemi di rinforzo in FRP:

Nome prodotto	Tipologia	Classe	Grammatura [g/m ²]	Adesivo	Spessore [mm]
<u>B-SHEET 90/300 U</u>	Tessuto unidirezionale	60 B	300	RESIN 75	0,111
<u>B-SHEET 90/400 B</u>	Tessuto bidirezionale	60 B	400	RESIN 75	0,074 ⁽¹⁾

Tabella 5: Elenco prodotti BFRP G&P Intech certificati CVT.

⁽¹⁾ Lo spessore equivalente deve intendersi come il valore di spessore per ognuna delle direzioni in cui è ordito il tessuto.

Prescrizioni generali FRP - SRP SYSTEM

Il ciclo applicativo di un rinforzo strutturale per cemento armato, cemento armato precompresso o muratura con il sistema FRP-SRP richiede una preventiva **accurata preparazione del supporto**. Il calcestruzzo deve garantire una resistenza allo strappo di almeno 0,9 MPa e deve essere irruvidito a mezzo di sabbiatura o spazzolatura meccanica. Il **supporto** deve inoltre essere **asciutto** (< 4% di umidità) e privo di olii, grassi e materiale incoerente. Nel caso di superfici fortemente deteriorate è necessario **ricostruire le volumetrie mancanti** con malte ad alta resistenza **CONCRETE ROCK**. Qualora la superficie da rinforzare sia intonacata, **l'intonaco deve essere preventivamente rimosso**. In presenza di **spigoli** sui quali è prevista la stesura dei tessuti di fibra, questi **devono essere arrotondati** (raggio ≥ 25 mm) per assicurare l'efficacia dell'intervento, senza pervenire ad una rottura prematura a causa del possibile tranciamento del tessuto. Tale accorgimento non è richiesto per tessuti in acciaio SRP. L'applicazione del rinforzo deve avvenire nell'intervallo di temperatura 10-35 °C. Dopo la **depolveratura** della superficie, **applicare** a rullo o pennello il **primer epossidico RESIN PRIMER**.

- **LAMELLE:** Nel caso di applicazione di lamelle CFK, **entro le 24 ore dall'applicazione del primer RESIN PRIMER** e dopo la **pulizia delle lamelle con idoneo diluente RESIN CLEANER**, **stendere sul supporto e sulla lamella l'adesivo epossidico RESIN 90** e posizionare quindi la lamella sulla superficie **premendo** con le mani e successivamente con un rullo di gomma dura **fino alla fuoriuscita dell'adesivo** tra lamella e supporto ed infine rimuovere l'adesivo in eccesso.
- **TESSUTI:** Nel caso, di applicazione di tessuti, **entro le 24 ore dall'applicazione del primer RESIN PRIMER**, viene applicata, se richiesta, la **rasatura con lo stucco epossidico RESIN 90** a mezzo spatola; **applicare** quindi **l'adesivo di incollaggio RESIN 75** a mezzo pennello o rullo. **Stendere accuratamente il tessuto in fibra di carbonio secondo l'orientamento di progetto** ed esercitare una pressione costante con rullino **fino a completa impregnazione delle fibre**. Dopo **alcune ore** e comunque **entro 24-48 ore stendere una seconda mano di adesivo RESIN 75** a mezzo rullo **sino alla completa impregnazione delle fibre**. Ripetere il ciclo se sono previsti più strati di tessuto, applicando l'adesivo RESIN 75 a rullo per gli strati successivi. Sulla mano finale di adesivo potrà essere applicata della **sabbia di quarzo fresco su fresco, qualora si dovessero realizzare intonaci** o rivestimenti successivi in aderenza.
- **SRP:** Nel caso di applicazione di tessuti in acciaio SRP, **entro le 24 ore dall'applicazione del primer RESIN PRIMER**, viene applicato **lo stucco epossidico RESIN 90** a mezzo spatola. **Stendere accuratamente il rinforzo in acciaio STEEL NET G secondo l'orientamento di progetto** ed esercitare una pressione costante con rullo **fino a completa impregnazione delle fibre**. Dopo **alcune ore** e comunque **entro 24-48 ore stendere una seconda mano di adesivo RESIN 90** a mezzo rullo **sino alla completa impregnazione delle fibre**. Ripetere il ciclo se sono previsti più strati di rinforzo. Sulla mano finale di adesivo potrà essere applicata della **sabbia di quarzo fresco su fresco, qualora si dovessero realizzare intonaci** o rivestimenti successivi in aderenza.

Indipendentemente dalla tipologia di rinforzo è di **fondamentale** importanza **l'adozione di sistemi d'ancoraggio** in modo da trasmettere adeguatamente le forze alla struttura di supporto **evitando** fenomeni di **delaminazione** terminale e intermedia.

APPLICATIVO EXCEL LINEA FRP – SRP SYSTEM®

FRP SOFTWARE

FRP SOFTWARE è uno strumento di calcolo per il progettista che intende rinforzare elementi in calcestruzzo armato (c.a.) con compositi FRP. L'applicativo di calcolo è aggiornato sulla base delle ultime normative DT 200 R1/2013 e Linee Guida di qualificazione.

L'applicazione presenta un'interfaccia intuitiva e di semplice utilizzo. Fornisce tre diversi pannelli a seconda dei tipi di rinforzo.



FRP NODE

FRP NODE è un software destinato alla progettazione del rinforzo dei nodi trave-pilastro di edifici esistenti in cemento armato (c.a.) con materiali compositi fibrorinforzati (FRP). Il nuovo software è aggiornato sulla base delle ultime normative DT 200 R1/2013 e Linee Guida di qualificazione.

L'approccio di calcolo utilizzato è quello proposto dalle "Linee Guida Reluis per riparazione e rafforzamento di elementi strutturali, tamponature e partizioni". L'approccio impiegato risulta in accordo con le vigenti norme tecniche D.M. 17 gennaio 2018 "Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni" (NTC2018) e con le formulazioni di verifica dei nodi esistenti riportate nella relativa Circolare n.7 del 21 gennaio 2019 "Istruzioni per l'applicazione dell'aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018" (Circolare 2019).

 A screenshot of the FRP NODE software interface. It displays a detailed calculation table for the design of FRP reinforcement at a beam-column joint. The table includes columns for various parameters such as section dimensions, material properties, and calculated values. To the right, there is a table of material properties for different FRP systems, with columns for system name, tensile strength, and elongation at break. The software logo 'G&P Intech' is visible in the top right corner.

3 LINEA **FRCM - SRG SYSTEM**[®]

Per il consolidamento delle strutture in muratura e in calcestruzzo, la tecnologia **FRCM - SRG System** prevede l'uso di rinforzi sotto forma di **intonaci strutturali armati con materiali compositi sotto forma di reti (non rigide) o tessuti in acciaio**.

Elenco dei prodotti FRCM - SRG

Le **malte**, marcate **CE** in conformità alla normativa europea, possono essere impiegate per regolarizzare le superfici (anche per **FRP**) e fissare il rinforzo **FRCM - SRG** al supporto.

Le principali malte da impiegare sono:

Nome prodotto	Descrizione
LIMECRETE	Malta a base di calce idraulica M15, marcata CE ai sensi della EN 998-1,2, è compatibile con le murature storiche.
CONCRETE ROCK S	Malta classe R2 a reattività pozzolanica, marcata CE ai sensi della EN 1504-3, ideale per murature e CLS.
CONCRETE ROCK V2	Malta cementizia tixotropica bicomponente classe R4, marcata CE ai sensi della EN 1504-3, ideale per CLS.

Tabella 6: Elenco malte G&P Intech marcate CE.

Di seguito si riportano le **reti** e i **tessuti in acciaio galvanizzato UHTSS** messi a disposizione da G&P Intech per la realizzazione dei rinforzi **FRCM - SRG** su supporti in muratura (tufo, laterizio e pietrame):

Nome prodotto	Tipologia	Maglia [mm]	Peso [g/m ²]	Sormonto [cm]	Malta
G-NET 251 BA	Rete in vetro AR bidirezionale	25 x 25	250	15	LIMECRETE M15
G-NET 301 BAL	Rete in vetro AR bidirezionale	34 x 34	300	15	LIMECRETE M15
G-NET 401 BAL	Rete in vetro AR bidirezionale	26 x 26	400	15	LIMECRETE M15
G-NET 601 BAL	Rete in vetro AR bidirezionale	30 x 30	600	15	LIMECRETE M15
B-NET 250 BA	Rete in basalto bidirezionale	28 x 28	250	15	LIMECRETE M15
B-NET 450 BA	Rete in basalto bidirezionale	25 x 25	450	10	LIMECRETE M15
MC-NET 220 BL	Rete in carbonio bidirezionale	15 x 15	220	20	CONCRETE ROCK S
STEEL-NET G 80	Tessuto in acciaio unidirezionale	-	700	15 L	LIMECRETE M15

Nome prodotto	Tipologia	Maglia [mm]	Peso [g/m ²]	Sormonto [cm]	Malta
<u>STEEL-NET G 135</u>	Tessuto in acciaio unidirezionale	-	1350	20 L	LIMECRETE M15

Tabella 7: Elenco reti e tessuti FRCM-SRG su supporti in muratura.

Per quanto concerne i supporti in calcestruzzo le **reti** e i **tessuti in acciaio galvanizzato UHTSS** messi a disposizione da G&P intech sono i seguenti:

Nome prodotto	Tipologia	Maglia [mm]	Peso [g/m ²]	Sormonto [cm]	Malta
<u>CC NET 220 BL</u>	Rete in carbonio bidirezionale	15 x 15	220	20	CONCRETE ROCK V2
<u>CC STEEL-NET G 220</u>	Tessuto in acciaio unidirezionale	-	2200	20 L	CONCRETE ROCK V2

Tabella 8: Elenco reti e tessuti FRCM-SRG su supporti in cls.

La tabella che segue, riporta gli accoppiamenti sistema FRCM – connettori, secondo quanto indicato nel Certificato di Valutazione Tecnica (CVT):

NOME	TIPI DI CONNETTORI ALTERNATIVI											
	GFIX 10	GFIX AR 10	BFIX 10	AFIX 10	CFIX 10	I-FIX 40	SFIX G 10	STEEL ANCHORFIX 08	STEEL ANCHORFIX 10-12	STFIX G 80	STFIX G 135	RG FIX 10
SISTEMA G-NET 251 BA												
SISTEMA G-NET 301 BAL												
SISTEMA G-NET 401 BAL												
SISTEMA G-NET 601 BAL												
SISTEMA B-NET 250 BA												
SISTEMA B-NET 450 BA												
SISTEMA M C-NET 220 BL												

NOME	TIPI DI CONNETTORI ALTERNATIVI											
	GFIX 10	GFIX AR 10	BFIX 10	AFIX 10	CFIX 10	I-FIX 40	SFIX G 10	STEEL ANCHORFIX 08	STEEL ANCHORFIX 10-12	STFIX G 80	STFIX G 135	RG FIX 10
SISTEMA STEEL-NET G 80												
SISTEMA STEEL-NET G 135												
SISTEMA C C-NET 220 BL												
SISTEMA CC STEEL-NET G 220												

Tabella 9: Abbinamento connettori-sistemi FRCC-SRG.

Nella tabella seguente, invece, sono riportati gli accoppiamenti connettori-supporto-tipologia di ancorante, secondo quanto indicato nel Certificato di Valutazione Tecnica (CVT):

NOME	SUPPORTO		TIPOLOGIA DI ANCORANTE			
	LATERIZIO, TUFO, PIETREME	CALCESTRUZZO	RESIN 75	RESIN RG 380	LIMECRETE IR	A SECCO
GFIX 10						
GFIX 10 AR						
BFIX 10						
AFIX 10						
CFIX 10						

NOME	SUPPORTO		TIPOLOGIA DI ANCORANTE			
	LATERIZIO, TUFO, PIETRA	CALCESTRUZZO	RESIN 75	RESIN RG 380	LIMECRETE IR	A SECCO
I-FIX 40						
SFIX G 10						
STEEL ANCHORFIX 08						
STEEL ANCHORFIX 10-12						
STFIX G 80						
STFIX G 135						
RG FIX 10						

Tabella 10: Abbinamento connettori connettori-supporto-tipologia di ancorante.

Prescrizioni generali FRCCM - SRG SYSTEM

Il ciclo applicativo di un rinforzo strutturale con FRCCM System richiede una preventiva **accurata preparazione del supporto**. L'intonaco preesistente deve essere rimosso, vanno eliminate eventuali pitturazioni, verniciature, oli, grassi a mezzo di bruschinatura, di idrolavaggio o idonei e approvati sistemi di irruvidimento superficiali. La superficie dovrà essere ripristinata nelle volumetrie mancanti con malte adeguate, in presenza di forti irregolarità, lesioni importanti e/o cavità. In presenza di spigoli sui quali è prevista la stesura di rinforzi, soprattutto se per il confinamento, questi **devono essere arrotondati** (raggio ≥ 25 mm) per assicurare l'efficacia dell'intervento, in modo da non pervenire ad una rottura prematura del rinforzo (tale operazione non è richiesta per il tessuto in acciaio). **Bagnare** accuratamente il fondo fino a saturazione, operazione che consente di ridurre la cessione d'acqua da parte della malta **evitando la formazione di fessurazioni e una scarsa adesione al fondo**. Se necessario, stendere un rinzaffo di buona aderenza prima di applicare il ciclo dell'intonaco strutturale armato.

Stendere la malta scelta per il tipo di intervento con lo spessore richiesto a mezzo frattazzo metallico, cazzuola, o a spruzzo con intonacatrice. Mediamente **realizzare 1 cm di spessore di malta**. Spessori diversi possono essere realizzati per esigenze di supporto.






Annegare, nella malta fresca, la rete in fibra di vetro AR, alcali resistente, in basalto, carbonio o il tessuto in trefoli di acciaio UHTSS galvanizzato.

APPLICATIVO EXCEL LINEA FRCM – SRG SYSTEM®

FRCM_WALL

FRCM_WALL è uno strumento di calcolo che consente la verifica e il progetto di interventi di rinforzo strutturale, mediante sistemi FRCM (Fiber Reinforced Cementitious Matrix) in fibra di carbonio, basalto, vetro e acciaio galvanizzato UHTSS anegati in una matrice inorganica. Il nuovo software è aggiornato sulla base delle ultime normative DT 215/2018 e Linee Guida di qualificazione. L'approccio di calcolo impiegato risulta in accordo con le vigenti norme tecniche D.M. 17 gennaio 2018 "Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni" (NTC2018) e con le formulazioni di verifica dei nodi esistenti riportate nella relativa Circolare n.7 del 21 gennaio 2019 "Istruzioni per l'applicazione dell'aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018" (Circolare 2019).

L'applicativo è un foglio Excel che presenta un'interfaccia intuitiva e di semplice utilizzo e fornisce tre diversi pannelli attraverso i quali l'utente può effettuare una verifica a flessione fuori piano, a taglio nel piano e a confinamento del pannello murario ante e post intervento di consolidamento strutturale mediante i sistemi FRCM - SRG.

  Via Retrone, 39 36077 Altavilla Vicentina (VI)  0444 522797  www.gpintech.com  info@gpintech.com			
Caratteristiche della muratura esistente			
Livello di conoscenza		LC2	
Fattore di confidenza	FC	1,20	
Coefficiente di sicurezza	γ_{w1}	2	
Deformazione a rottura della muratura	$\epsilon_{m,r}$	0,0035	
Modulo elastico della muratura	E_m	650	MPa
Resistenza a compressione media della muratura	$f_{m,c}$	1,30	MPa
Resistenza a compressione di calcolo della muratura	$f_{m,d}$	0,54	MPa
Larghezza della muratura	b	2,00	m
Altezza del maschio murario	h	2,70	m
Spessore della muratura	t	0,25	m
Sollecitazioni agenti			
Forza assiale agente	N_{ed}	5	kN
Carico agente in direzione orizzontale	q	1,17	kN/m
Momento massimo agente di progetto	M_{ed}	1,07	kNm
Verifica della parete non rinforzata (stato di fatto)			
Distanza dell'asse neutro dal lembo compresso	x	15,51	mm
Momento resistente di progetto della muratura non rinforzata	$M_{r,d}$	0,60	kNm/m
VERIFICA ANTE OPERAM		Verifica non soddisfatta	
Rinforzo FRCM			
Prodotto		G-NET 301 BAL	
Tipo di fibra		Vetro AR	
Numero di strati di tessuto di rinforzo	n_f	1	
Tipologia supporto		Laterizio	
Condizione di esposizione		Esterna	
Fattore di conversione ambientale	η_a	0,8	
Coefficiente parziale di sicurezza	γ_{w2}	1,5	
Spessore equivalente del tessuto secco (per direzione)	t_{f1}	0,051	mm
Modulo elastico del tessuto secco	E_f	63970	MPa
Tensione limite convenzionale caratteristica	$\sigma_{f,lim,conv}$	799,59	MPa
Deformazione limite convenzionale	$\epsilon_{f,lim,conv}$	0,0125	
Deformazione di progetto	$\epsilon_{f,d}$	0,010	
Area resistente	A_f	51	mm ² /m

4 LINEA CRM SYSTEM®

L'intonaco armato **CRM** (Composite Reinforced Mortar), è realizzato mediante una rete preformata rigida in composito (FRP) inserita in una malta ad uso strutturale e applicata sulla superficie dell'elemento strutturale in muratura da rinforzare. In detto sistema la rete in FRP è in grado di assorbire gli sforzi di trazione, mentre la malta strutturale contribuisce ad assorbire gli sforzi di compressione. Il trasferimento degli sforzi fra il supporto e la rete di rinforzo è garantito anche dalla presenza dei connettori, che assicurano la collaborazione strutturale fra l'elemento murario e l'intonaco armato.

Tale tipologia di rinforzo può essere adottata al fine di incrementare la resistenza a taglio, a flessione nel piano e a flessione fuori piano (verticale o orizzontale) di un paramento murario.

Elenco dei prodotti CRM

Per le reti CRM, le principali **malte** marchate **CE** in conformità alla normativa europea, oltre ai betoncini e cls, sono le seguenti:

Nome prodotto	Descrizione
<u>LIMECRETE</u>	Malta a base di calce idraulica M15, marcata CE ai sensi della EN 998-1,2, è compatibile con le murature storiche.
<u>CONCRETE ROCK S</u>	Malta classe R2 a reattività pozzolanica, marcata CE ai sensi della EN 1504-3, ideale per murature e CLS.
<u>CONCRETE ROCK V2</u>	Malta cementizia tixotropica bicomponente classe R4, marcata CE ai sensi della EN 1504-3, ideale per CLS.

Tabella 11: Elenco malte G&P Intech marchate CE.

Di seguito si riportano i principali connettori che è possibile impiegare:

Nome prodotto	Descrizione
<u>RG FIX 10</u>	Connettori rigidi a L in GFRP preformati (per tutte le reti)
<u>STEEL ANCHORFIX</u>	Barra elicoidale in INOX, che piegata può essere impiegata come connettore per reti e acciaio

Tabella 12: Elenco connettori per CRM System della G&P Intech.

Le principali resine per fissare il connettore al supporto, escluse barre elicoidali, sono:

Nome prodotto	Descrizione
<u>RESIN 75</u>	Adesivo epossidico per l'incollaggio strutturale
<u>RESIN RG 380</u>	Adesivo bicomponente in cartuccia per ancoraggi rapidi

Tabella 13: Elenco connettori per CRM System della G&P Intech.

Di seguito si riportano le **reti** messi a disposizione da G&P Intech per la realizzazione dei rinforzi **CRM**:

Nome prodotto	Tipologia	Grammatura [g/m ²]	Maglia [mm]	Classe	Barre/m
<u>RG33-NET BA</u>	Rete preformata in vetro AR bidirezionale	760	33 x 33	G38/600	30
<u>RG66-NET BA</u>	Rete preformata in vetro AR bidirezionale	380	66 x 66	G38/600	15
<u>RG99-NET BA</u>	Rete preformata in vetro AR bidirezionale	250	99 x 99	G38/600	10

Tabella 14: Elenco reti CRM System della G&P Intech.

Prescrizioni generali CRM SYSTEM






Il ciclo applicativo di rinforzo strutturale con CRM System richiede una preventiva **accurata preparazione del supporto**. Le modalità per la preparazione sono analoghe a quelle del [FRCM System](#).

Perforazione della muratura con diametro 14-16 mm e **installazione dei connettori rigidi ad L RG FIX 10** a una profondità pari almeno al 60% dello spessore murario ed ancorati a **mezzo di resina epossidica RESIN 75** o in cartucce [RESIN RG 380](#) nel foro. Nel caso di **rinforzo su entrambe i lati** della muratura questi **connettori saranno passanti** per lo spessore della muratura stessa e saranno collegati alle reti su entrambi i lati. Il **numero minimo di connettori è di 4 al mq**. **Posa della rete preformata RG NET BA** e fissaggio ai connettori. Posizionamento in corrispondenza agli **angoli** degli **elementi speciali tipo RG L25** secondo indicazioni del fornitore. Sormonto minimo della rete 10 cm o quanto previsto negli elaborati progettuali. Nel caso di applicazione della rete su entrambi i paramenti murari il collegamento passante dei connettori può essere realizzato sormontando gli stessi di almeno 10 cm avendo in tal caso cura di perforare la muratura con diametro di 24-26 mm per consentire il sormonto delle barre. **Posa**, con intonacatrice, **di idonea malta** a base di calce idraulica tipo [LIMECRETE M15](#), a reattività pozzolanica tipo [CONCRETE ROCK S](#), cementizia bicomponente [CONCRETE ROCK V2](#) o betoncini per lo spessore richiesto. **Spessore minimo della malta 30 mm**. Temperatura di applicazione + 5 °C, + 35 °C.

APPLICATIVO EXCEL LINEA CRM SYSTEM®

CRM_WALL

CRM_WALL è un applicativo Excel il quale consente la verifica e il progetto di interventi di rinforzo strutturale, mediante intonaco armato CRM (Composite Reinforced Mortar) composto da reti rigide preformate in fibra di vetro (GFRP). Ad oggi in Italia, non esiste alcuna indicazione normativa specifica che fornisca indicazioni per la progettazione dell'intonaco armato CRM pertanto, ai fini della verifica strutturale, può essere utile far riferimento al capitolo 8.5.3.1 della Circolare esplicativa delle NTC 18.

  Via Natrona, 39 36077 Altavilla Vicentina (VI)  0444 523757  www.gpintech.com  info@gpintech.com		
PANNELLO MURARIO ESISTENTE		
GEOMETRIA	Spessore muratura t_m [mm]	400
	Altezza Pannello murario h [mm]	1000
	Largezza Pannello murario l [mm]	1000
Tab. C8A.2.1	Resistenza media compressione muratura f_{cm} [MPa]	2
	Resistenza media compressione muratura f_{td} [MPa]	0,04
	Modulo elastico medio muratura E [MPa]	1410
	Modulo elastico tangenziale medio muratura G [MPa]	450
	Peso specifico medio muratura γ [kN/m ³]	15
MATRICE INTONACO		
MALTA LIMCRETE M15	Spessore singolo lato [mm]	30
	Modulo elastico intonaco E_{int} [MPa]	15000
	Resistenza a compressione intonaco f_{cm} [MPa]	15
	Resistenza a trazione media intonaco f_{td} [MPa]	1
RETE CRM		RG83 NET RA+LIMCRETE M15
CRM SYSTEM	Spessore equivalente t_{eq} [mm]	0,212
	Resistenza caratteristica f_{ct} [MPa]	613,11
	Numero strati di rinforzo n_f	2
PANNELLO MURARIO RINFORZATO		
Resistenza media a compressione f_{cm}		3,696
Modulo elasticità normale parete rinforzata E_w		3183
Modulo elasticità tangenziale parete rinforzata G_w		1273
Resistenza media a taglio τ_{wm}		0,266
Incremento percentuale a taglio		5,65

5 OTTIMIZZAZIONE SISTEMI COMPOSITI

I sistemi compositi vengono impiegati negli interventi di consolidamento strutturale, sia nei casi in cui si abbia la necessità di eseguire miglioramenti strutturali sia ove si debbano realizzare interventi locali e operazioni di messa in sicurezza.

In base alla tipologia d'intervento da mettere in atto è necessario valutare in fase progettuale quale sistema sia più appropriato al caso, in relazione alle caratteristiche e ai materiali con cui è realizzata la struttura su cui intervenire e alle proprietà dei compositi stessi.

Per le strutture in muratura portante, è possibile impiegare sistemi di rinforzo sia a matrice organica (FRP) che a matrice inorganica (FRCM e CRM) le quali apportano un adeguato incremento in termini di resistenza e di duttilità dell'elemento rinforzato. Invece, nel caso di strutture in cemento armato e in particolare per le opere infrastrutturali come ponti e viadotti, soggetti ad elevate sollecitazioni e in cui proprietà meccaniche dei materiali sono più rilevanti, trovano un maggiore impiego i compositi a matrice organica di tipo FRP.

Di seguito si riporta una tabella relativa all'ottimizzazione dei sistemi compositi fibrorinforzati a matrice organica e inorganica in termini di resistenza, rigidezza e duttilità:

		SISTEMI FRP	SISTEMI FRCM	SISTEMI CRM
Incremento di resistenza a flessione di pilastri in c.a.		■ ■ □	■ □ □	□ □ □
Incremento di resistenza a taglio/confinamento di pilastri in c.a.		■ ■ ■	■ ■ □	□ □ □
Incremento di resistenza a flessione di travi in c.a.		■ ■ ■	■ ■ □	□ □ □
Incremento di resistenza di nodi trave-pilastro in c.a.		■ ■ ■	■ □ □	□ □ □
Incremento di resistenza a taglio di pannelli murari		■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ □
Incremento di resistenza a compressione di pannelli murari		■ □ □	■ ■ □	■ ■ ■
Rinforzo archi, volte, cupole		■ □ □	■ ■ □	■ ■ ■
Incremento di rigidezza		■ □ □	■ ■ □	■ ■ ■
Incremento di duttilità		■ ■ □	■ ■ ■	■ ■ □
Incremento del peso		■ □ □	■ ■ □	■ ■ ■
Compatibilità con il supporto	Calcestruzzo	■ ■ ■	■ ■ □	■ □ □
	Muratura	■ □ □	■ ■ ■	■ ■ ■

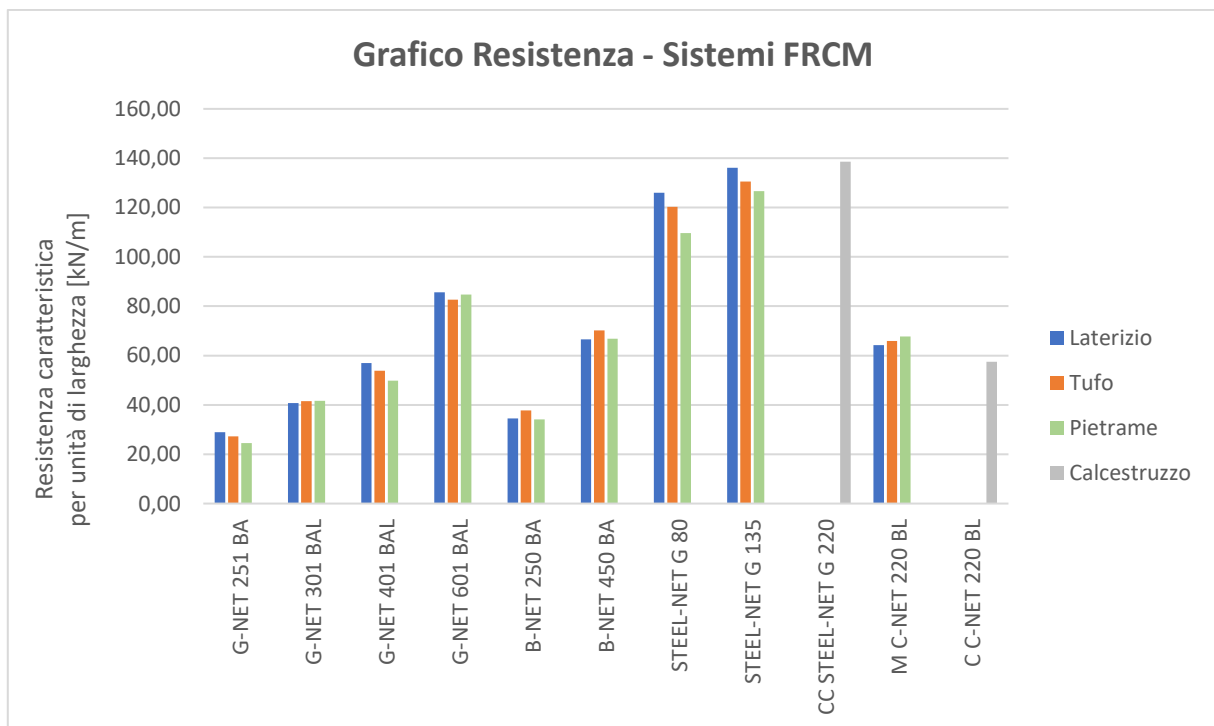
	SISTEMI FRP	SISTEMI FRCM	SISTEMI CRM
Durabilità	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■
Resistenza al fuoco	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■

■ ■ ■ BASSO

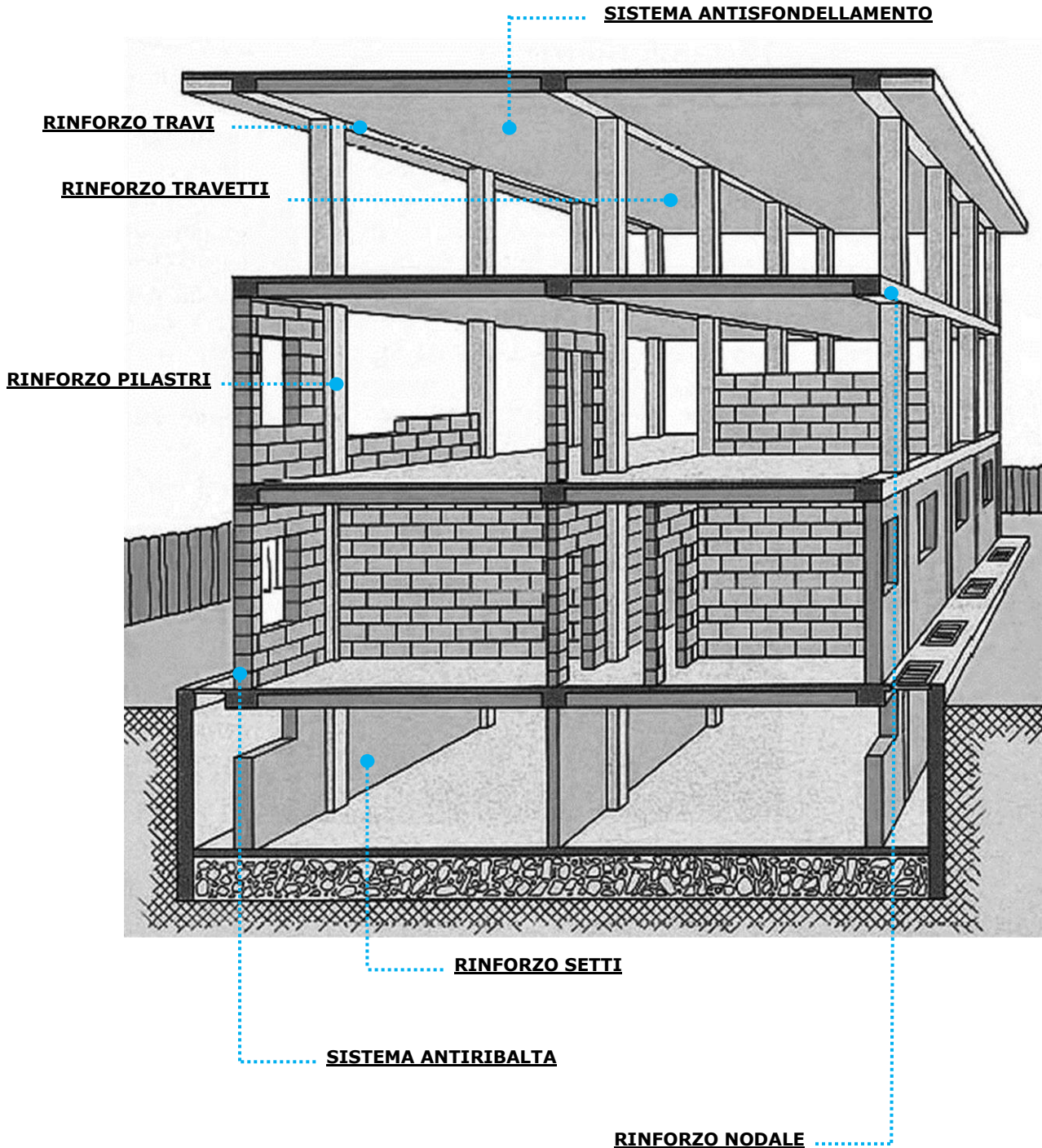
■ ■ ■ MEDIO

■ ■ ■ ALTO

Infine, nel grafico sottostante vengono messi a confronto le resistenze per unità di larghezza dei sistemi FRCM dotati di CVT (Certificato di Valutazione Tecnica) in funzione delle tipologie di supporto (tufo, laterizio, pietrame e calcestruzzo) per i quali sono stati qualificati ai sensi della "Linea Guida per la identificazione, la qualificazione ed il controllo di accettazione di compositi fibrorinforzati a matrice inorganica(FRCM) da utilizzarsi per il consolidamento strutturale di costruzioni esistenti - Aggiornamento Febbraio 2022":



EDIFICI IN CEMENTO ARMATO



6 RINFORZI IN FRP - SRP PER STRUTTURE IN C.A.

Rinforzo pilastri

L'intervento di rinforzo strutturale antisismico di pilastri in calcestruzzo armato con tecnologia FRP System realizzata con tessuti in fibra di carbonio o tessuti in acciaio galvanizzato UHTSS impregnati in situ con resina epossidica bicomponente, ha come obiettivo principale quello di incrementare la resistenza a presso-flessione e la duttilità degli elementi.

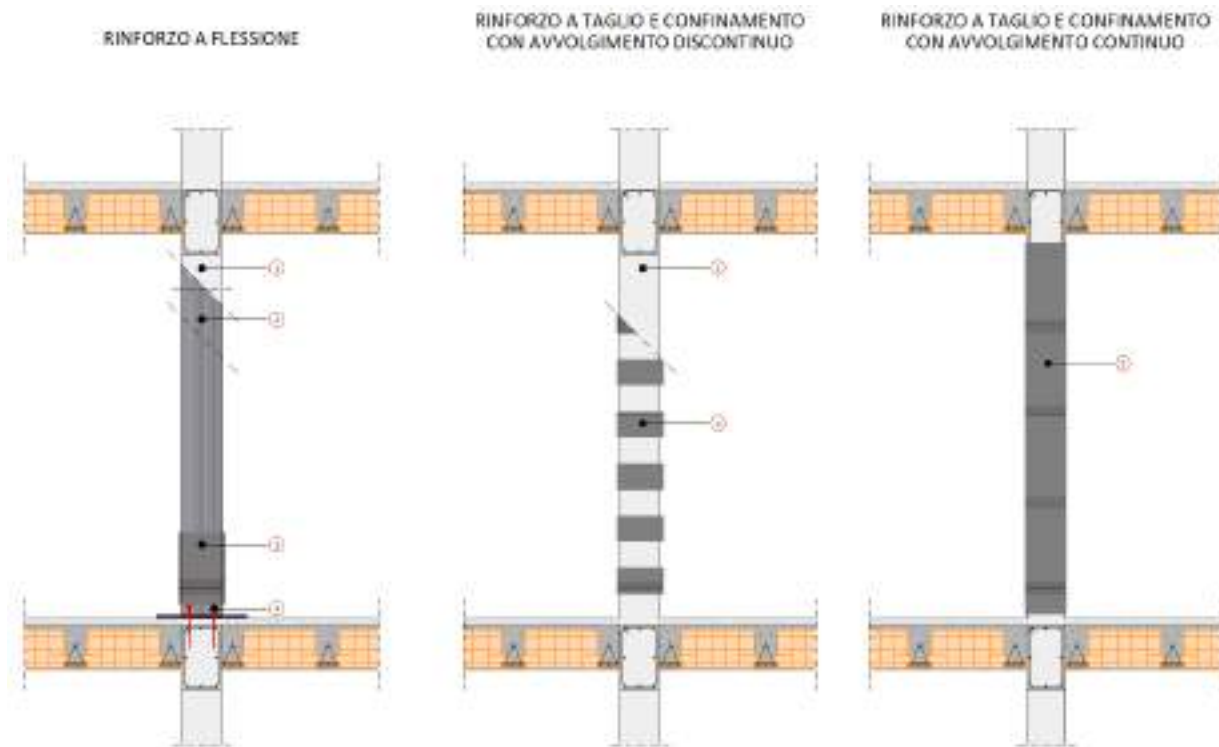


Immagine 1: (a) Rinforzo a flessione; (b) Rinforzo a taglio e confinamento con avvolgimento discontinuo; (c) Rinforzo a taglio e confinamento con avvolgimento continuo.

FASI DI RINFORZO PILASTRI IN C.A.:

1. Preparazione del supporto con rimozione dell'eventuale intonaco e di porzioni incoerenti di calcestruzzo; eventuale ripristino delle armature ossidate, integrazione dell'area persa e passivazione delle stesse mediante passivante **FERROSAN** o **RESIN 78**; ricostruzione delle superfici ammalorate di calcestruzzo con malta cementizia bicomponente **CONCRETE ROCK V2**. Arrotondamento degli spigoli con raggio minimo $r = 2.5$ cm;
2. Applicazione del primer epossidico **RESIN PRIMER** e del rinforzo a flessione con tessuti in fibra di carbonio a basso modulo elastico **C-SHEET 240/300-400-600** classe 210C CVT, oppure ad alto modulo elastico **C-SHEET 390/300-400-600** classe 35/2800 CVT, impregnati in situ con resina epossidica **RESIN 75**; in alternativa è possibile impiegare il sistema SRP costituito da tessuti in acciaio galvanizzato UHTSS ad altissima resistenza **STEEL NET G 220-350** impregnati in situ con resina epossidica **RESIN 90**;

3. Applicazione di strisce di tessuto in fibra di carbonio **C-SHEET 240/300-400-600** classe 210C CVT, oppure ad alto modulo **C-SHEET 390/300-400-600** classe 35/2800 CVT impregnati in situ con resina epossidica **RESIN 75**, in avvolgimento discontinuo o continuo per il rinforzo a taglio e a confinamento del pilastro, con sovrapposizioni verticali di 2 cm ed orizzontali di 20 cm; in alternativa è possibile impiegare il sistema SRP costituito da tessuti in acciaio galvanizzato UHTSS ad altissima resistenza **STEEL NET G 220-350** impregnati in situ con resina epossidica **RESIN 90**;
4. Per il miglioramento dell'ancoraggio alle estremità del rinforzo flessionale in alternativa alle strisce di tessuto in avvolgimento per il rinforzo a taglio, è possibile disporre anche dei connettori a fiocco. Tali connettori possono essere in fibra di carbonio **CFIX** o in fibra aramidica **AFIX** per sistemi FRP inghisati nel foro adeguatamente predisposto con adesivo **RESIN 75.**, oppure connettori a fiocco in acciaio galvanizzato **SFIX G 10** per i sistemi SRP inghisati nel foro adeguatamente predisposto con adesivo **RESIN 90**.
5. Eventuali finiture con intonaco civile o di altro tipo, previo spolvero al quarzo su resina ancora fresca.

NOTA

- L'importanza dei connettori è fondamentale per migliorare l'ancoraggio all'estremità delle strisce di tessuto. Il posizionamento dei connettori deve avvenire in maniera da garantire anche la trasmissione degli sforzi alle strutture circostanti fino ad arrivare in fondazione.





Immagine 2: Applicazione CFRP System su pilastri in c.a.

Rinforzo travi

Rinforzo a flessione di travi in c.a. e c.a.p. con **tecnologia FRP - SRP System** realizzata con tessuti di carbonio oppure lamine pultruse in fibra di carbonio oppure tessuti in acciaio galvanizzato UHTSS ad altissima resistenza impregnati in situ con resina epossidica.

Disponendo le strisce di tessuto all'intradosso o all'estradosso di travi in c.a. o c.a.p. è possibile rinforzare a flessione gli elementi strutturali soggetti ad un momento flettente di progetto maggiore della corrispondente resistenza. Invece, disponendo le strisce di tessuto in avvolgimento completo o ad U-Wrap agli estremi della trave è possibile rinforzare a taglio gli elementi strutturali soggetti ad una forza di taglio maggiore dalla corrispondente resistenza.

Di seguito si riportano le fasi applicative dell'intervento di rinforzo strutturale:

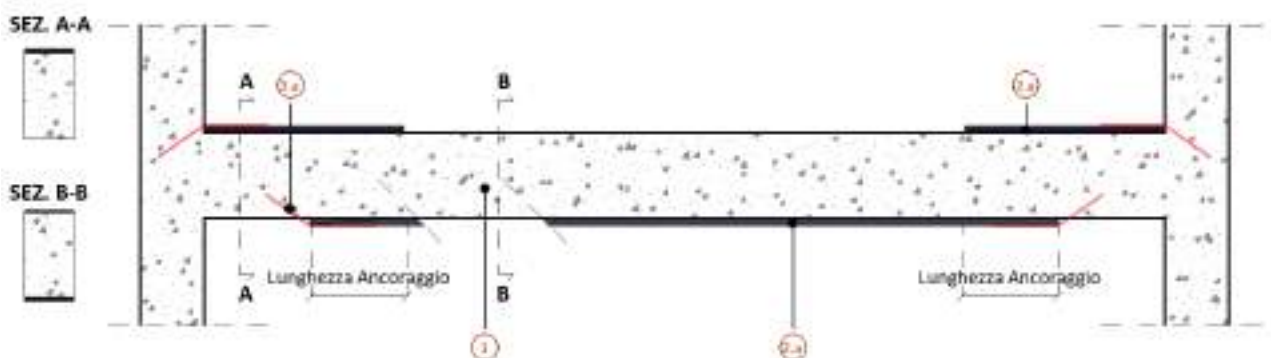


Immagine 3: Rinforzo a flessione.

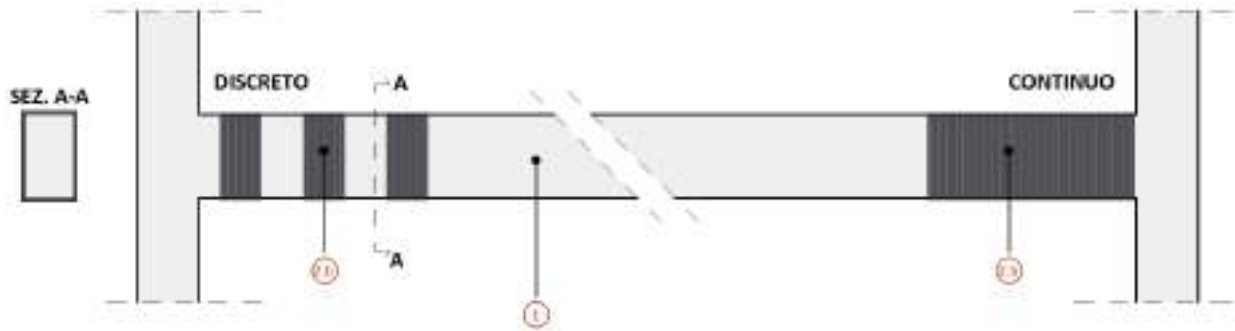


Immagine 4: Rinforzo a taglio Full-Wrap.

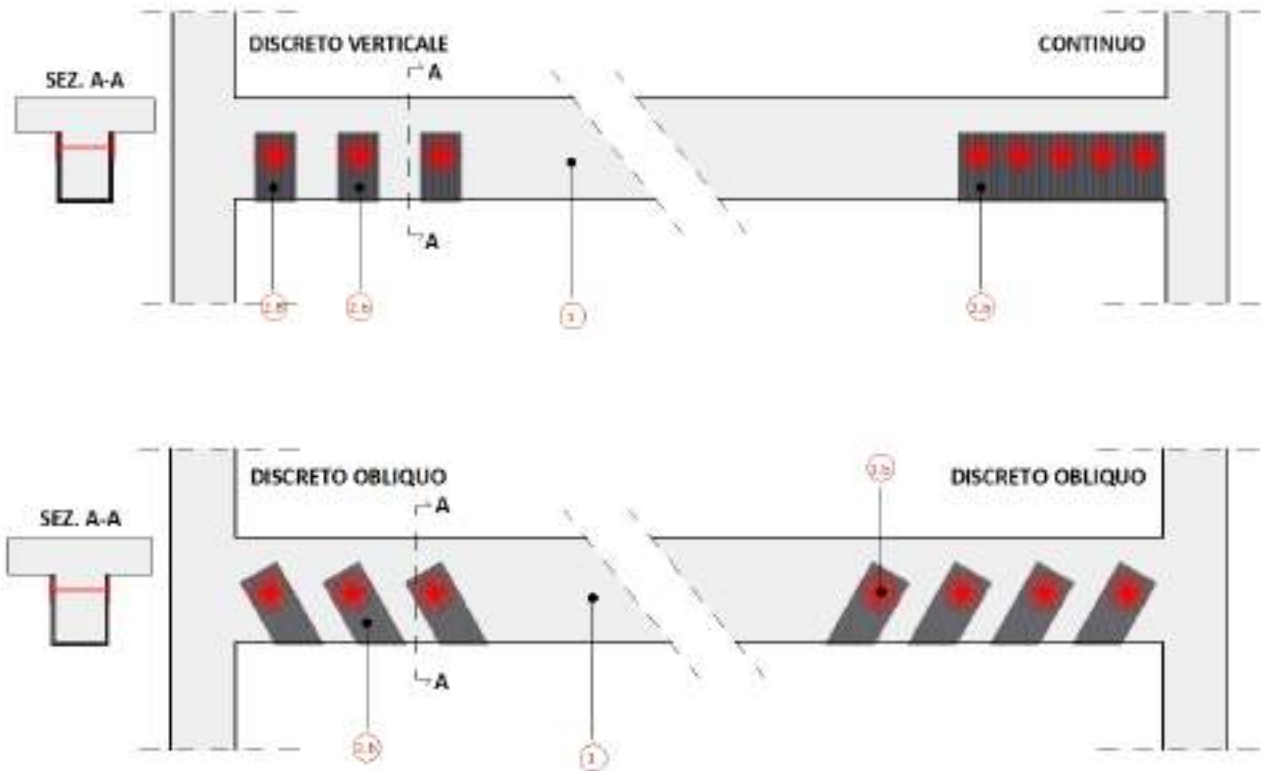


Immagine 5: Rinforzo a taglio U-Wrap.

FASI DI RINFORZO TRAVI IN C.A. – C.A.P.:

1. Preparazione del supporto con rimozione dell'eventuale intonaco e di porzioni incoerenti di calcestruzzo; eventuale ripristino delle armature ossidate, integrazione dell'area persa e passivazione delle stesse mediante passivante **FERROSAN** o **RESIN 78**; ricostruzione delle superfici ammalorate di calcestruzzo con malta cementizia bicomponente **CONCRETE ROCK V2**. Arrotondamento degli spigoli con raggio minimo $r = 2.5$ cm;

2.

2.a RINFORZO A FLESSIONE:

Applicazione del primer epossidico **RESIN PRIMER** e del rinforzo a flessione con tessuti in fibra di carbonio a basso modulo elastico **C-SHEET 240/300-400-600** classe 210C CVT, oppure ad alto modulo elastico **C-SHEET 390/300-400-600** classe 35/2800 CVT, impregnati in situ con resina epossidica **RESIN 75**. In alternativa il rinforzo può essere eseguito mediante applicazione di lamelle pultruse in fibra di carbonio **CFK 150/2000** Classe C150/2300 CVT, oppure ad alto modulo **CFK 200/2000** Classe C200/1800 CVT fissate con adesivo tixotropico in pasta **RESIN 90**, sempre

previa stesura di RESIN PRIMER. Infine, è possibile impiegare il sistema SRP costituito da tessuti in acciaio galvanizzato UHTSS ad altissima resistenza **STEEL NET G 220-350** impregnati in situ con resina epossidica **RESIN 90**.

NB: il rinforzo va applicato all'intradosso o all'estradosso a seconda che il momento flettente agente sia positivo o negativo rispettivamente;

2.b RINFORZO A TAGLIO:

Applicazione del primer epossidico **RESIN PRIMER** e quindi di strisce di tessuto disposte ad "U" o ad avvolgimento completo (se possibile) per il rinforzo a taglio delle estremità della trave mediante tessuti in fibra di carbonio a basso modulo elastico **C-SHEET 240/300-400-600** classe 210C CVT, oppure ad alto modulo elastico **C-SHEET 390/300-400-600** classe 35/2800 CVT, impregnati in situ con resina epossidica **RESIN 75**; in alternativa è possibile impiegare il sistema SRP costituito da tessuti in acciaio galvanizzato UHTSS ad altissima resistenza **STEEL NET G 220-350** impregnati in situ con resina epossidica **RESIN 90**;

3.

3.a Installazione, all'estremità del rinforzo a flessione al fine di migliorarne l'ancoraggio, di connettori a fiocco in fibra di carbonio **CFIX** o in fibra aramidica **AFIX**, per sistemi FRP, inghisati in foro adeguatamente predisposto con adesivo **RESIN 75**, oppure connettori a fiocco in acciaio galvanizzato **SFIX G 10**, per sistemi SRP, inghisati nel foro adeguatamente predisposto con adesivo **RESIN 90**; in alternativa ai connettori a fiocco è possibile garantire l'ancoraggio di estremità mediante strisce di tessuto disposte ad "U-Wrap" o ad avvolgimento completo mediante tessuti in fibra di carbonio C-SHEET 240/300-400-600 o tessuti in acciaio galvanizzato UHTSS ad altissima resistenza **STEEL NET G 220-350**, impiegati per il rinforzo a taglio;

3.b Connettori a fiocco all'estremità del rinforzo a taglio al fine di migliorarne l'ancoraggio e possono essere in fibra di carbonio **CFIX** o in fibra aramidica **AFIX**, inghisati in foro adeguatamente predisposto con adesivo **RESIN 75**, passanti o no;

Eventuali finiture con intonaco civile o di altro tipo, previo spolvero al quarzo su resina ancora fresca.



Immagine 6: Rinforzo travi in c.a. o c.a.p. con tessuti CFRP.



Immagine 7: Rinforzo travi in c.a. o c.a.p. con lamelle pultruse CFK.

Rinforzo nodi trave-pilastro

Il rinforzo dei nodi trave-pilastro viene condotto in maniera da incrementare il confinamento e la resistenza a taglio del nodo, tenendo presente anche l'azione tagliante esercitata dai tamponamenti sul nodo in condizioni sismiche, secondo quanto previsto dalle "Linee guida per riparazione e rafforzamento di elementi strutturali, tamponature e partizioni" della ReLUIS.

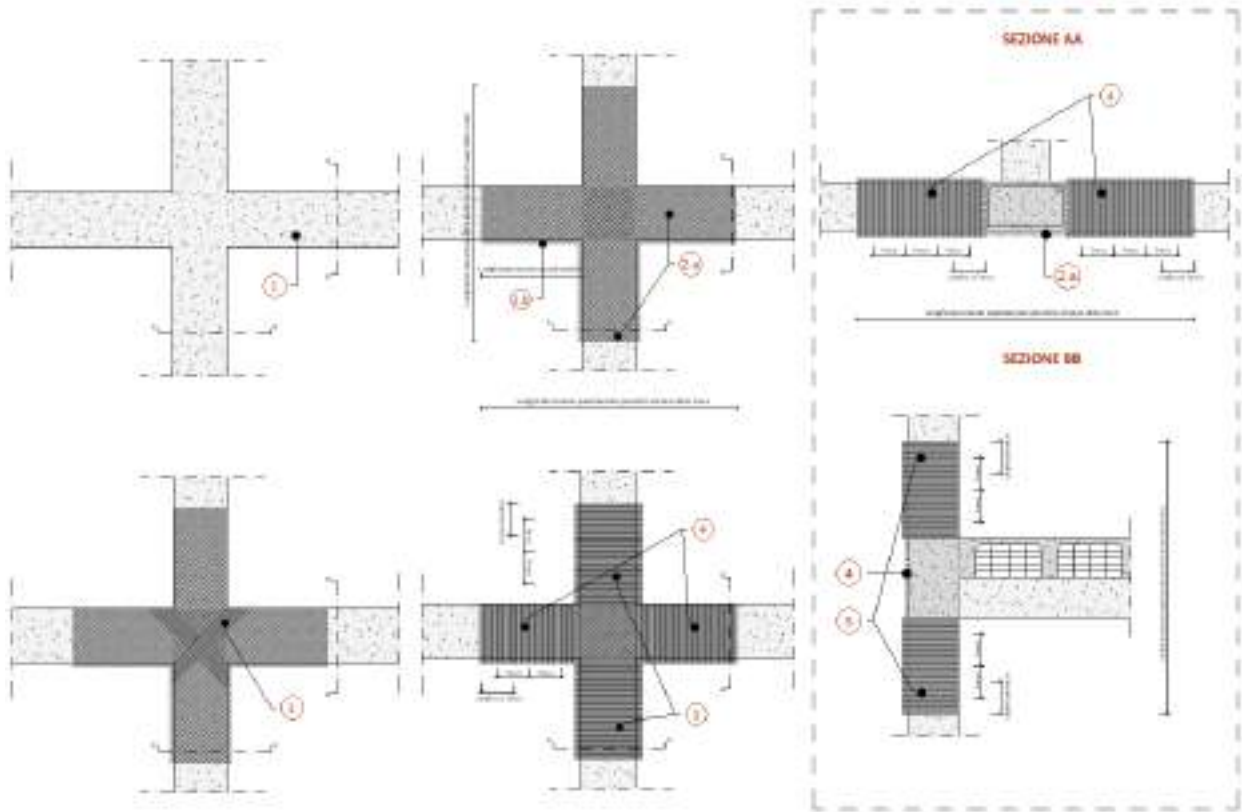


Immagine 8: Rinforzo nodo di parete con CFRP.

NODO D'ANGOLO

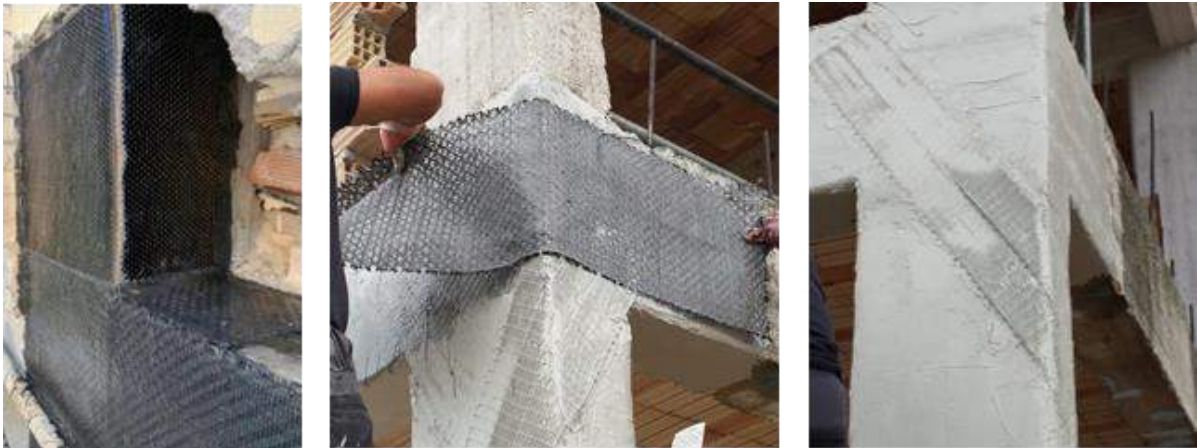
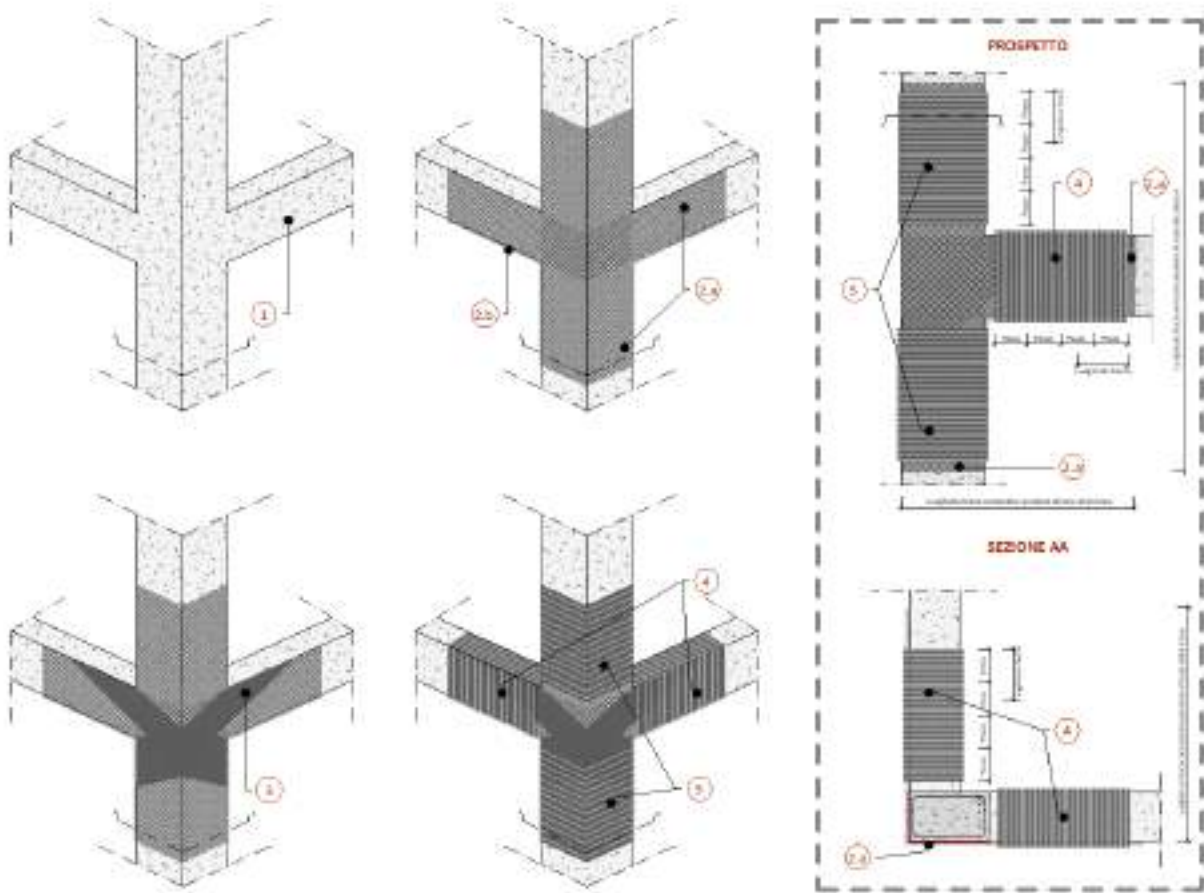


Immagine 9: Rinforzo nodo d'angolo con CFRP.

FASI DI RINFORZO NODO DI PARETE E D'ANGOLO:

1. Trattamento del supporto esistente con pulizia e consolidamento dello stesso;
2. Procedura di applicazione del tessuto:
 - Impregnazione di primer epossidico tipo **RESIN PRIMER**;
 - Regolarizzazione (se necessario) con stucco epossidico tixotropico tipo **RESIN 90**;
 - Stesura di adesivo epossidico tipo **RESIN 75**.
- 2.a Applicazione del tessuto in fibra di carbonio quadriassiale **C-SHEET 240/380/127 Q**, una striscia in orizzontale e una in verticale (ad incrocio sul nodo) per il rinforzo a taglio, impregnati in situ con resina epossidica **RESIN 75**;
- 2.b Per aumentare il rinforzo nei confronti di questo meccanismo è possibile applicare delle fasciature con tessuto quadriassiale **C-SHEET 240/380/127 Q** disposto ad L sotto lo spigolo d'incrocio tra trave e pilastro.
3. Applicazione di strisce in tessuto unidirezionale tipo **C-SHEET 240/300-400-600** Classe 210C oppure alto modulo **390/300-400-600** Classe 350/2800C inclinate per contrastare la forza di taglio esercitata dalla muratura di tamponamento.
4. Rinforzo a taglio delle estremità delle travi mediante applicazione del primer epossido **RESIN PRIMER** e quindi del tessuto in fibra di carbonio (**C-SHEET 240/300-400-600** classe 210C CVT, oppure ad alto modulo tipo **C-SHEET 390/300-400-600** classe 350/2800 CVT) disposto ad U o in completo avvolgimento, impregnati in situ con resina epossidica **RESIN 75**;
5. Rinforzo a confinamento e a taglio delle estremità del pilastro mediante applicazione del primer epossido **RESIN PRIMER** e quindi del tessuto in fibra di carbonio (**C-SHEET 240/300-400-600** classe 210C CVT, oppure ad alto modulo tipo **C-SHEET 390/300-400-600** classe 350/2800 CVT) in avvolgimento completo, impregnati in situ con resina epossidica **RESIN 75**;
6. Eventuali finiture con intonaco civile o di altro tipo, previo spolvero al quarzo su resina ancora fresca.

NOTE

- L'applicazione del rinforzo prevede, in taluni casi, la parziale demolizione dei tamponamenti in corrispondenza al nodo al fine di avere lo spazio necessario all'applicazione del rinforzo;
- Il tessuto applicato nelle fasi 4 e 5 consente anche di migliorare l'ancoraggio dei tessuti messi in opera nelle fasi precedenti;
- Ove necessario, prevedere l'installazione dei connettori per migliorare l'ancoraggio all'estremità delle strisce di tessuto. Tali connettori possono essere in fibra di carbonio **CFIX** o in fibra aramidica **AFIX**, inghisati con adesivo epossidico bicomponente **RESIN 75** in foro adeguatamente predisposto;
- Per il calcolo dei rinforzi nodali può essere impiegato il software FRPnode®.

Rinforzo di setti in c.a. mediante applicazione di tessuti in fibra di carbonio (CFRP)

I travetti che compongono un tipico solaio in latero-cemento presentano a volte carenze di armatura longitudinale a flessione per differenti condizioni di carico o per degrado dei materiali dovuto a umidità, incendio, ecc. Disponendo le strisce di tessuto o lamine su ogni singolo travetto e per l'intera lunghezza è possibile integrare l'armatura longitudinale e pertanto rinforzare a flessione il solaio in latero-cemento.

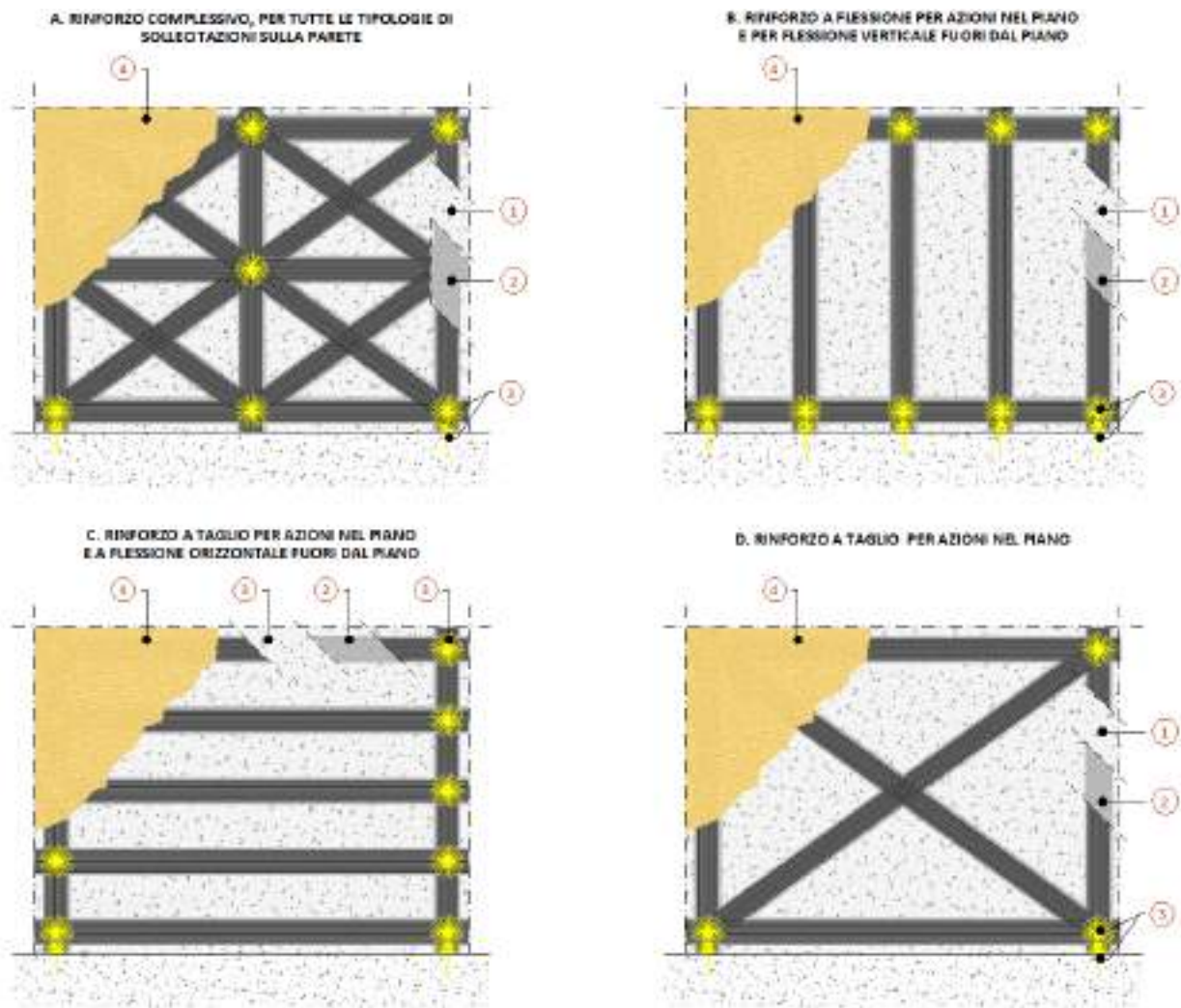


Immagine 10: Rinforzo setti in c.a. con CFRP.

FASI DI RINFORZO SETTI IN C.A.:

1. Trattamento del supporto esistente con pulizia e consolidamento dello stesso;
2. Applicazione delle strisce di tessuto in fibra di carbonio secondo ciclo FRP:
 - Impregnazione della superficie con Primer epossidico a solvente **RESIN PRIMER**;
 - Regolarizzazione (se necessario) con stucco epossidico tixotropico **RESIN 90**;
 - Stesura di adesivo epossidico **RESIN 75**;
 - Posa del tessuto in carbonio uniassiale **C-SHEET 240**, classe FRP 210C, oppure tessuto ad alto modulo **C-SHEET 390**, classe FRP 350/2800C; grammature 300 g/m², 400 g/m² o 600 g/m²;

- Impregnazione finale del tessuto con adesivo **RESIN 75**.
In presenza di più strati di tessuto ripetere le operazioni di cui sopra. Sovrapposizione minima: longitudinale 15-20 cm, trasversale 2 cm.
- 3. Installazione (da valutare in sede di progetto), in corrispondenza alle intersezioni dei tessuti, dei connettori a fiocco in fibra aramidica **AFIX 10** o in fibra di carbonio **CFIX 10**:
 - Esecuzione del foro di 14 - 16 mm di diametro prima della stesura del tessuto;
 - Inghisaggio del connettore nel foro con **RESIN 75**, per almeno 30 cm, previa pulizia del foro stesso;
 - Dopo la stesura del tessuto, sfiocatura del fiocco sul tessuto, per almeno 15 cm, e impregnazione con **RESIN 75**.
- 4. Eventuali finiture con intonaco civile o di altro tipo, previo spolvero al quarzo su resina ancora fresca.

NOTE

- Su superfici in calcestruzzo è solitamente consigliabile il recupero del copriferro e del cls con malte cementizie **CONCRETE ROCK V -V2** Classe R4
- L'installazione delle fibre di rinforzo può anche non comprendere tutte quelle rappresentate nell'immagine 6 e dipende dalla tipologia di rinforzo che si vuole realizzare
- Per il calcolo dei rinforzi è disponibile gratuitamente il software FRPSoftware®.



Immagine 11: Realizzazione rinforzo su setti in c.a. con CFRP.

Rinforzo di travetti di solai in latero-cemento

I travetti che compongono un tipico solaio in latero-cemento presentano a volte carenze di armatura longitudinale a flessione per differenti condizioni di carico o per degrado dei materiali dovuto a umidità, incendio, ecc. Disponendo le strisce di tessuto o lamine su ogni singolo travetto e per l'intera lunghezza è possibile integrare l'armatura longitudinale e pertanto rinforzare a flessione il solaio in latero-cemento.

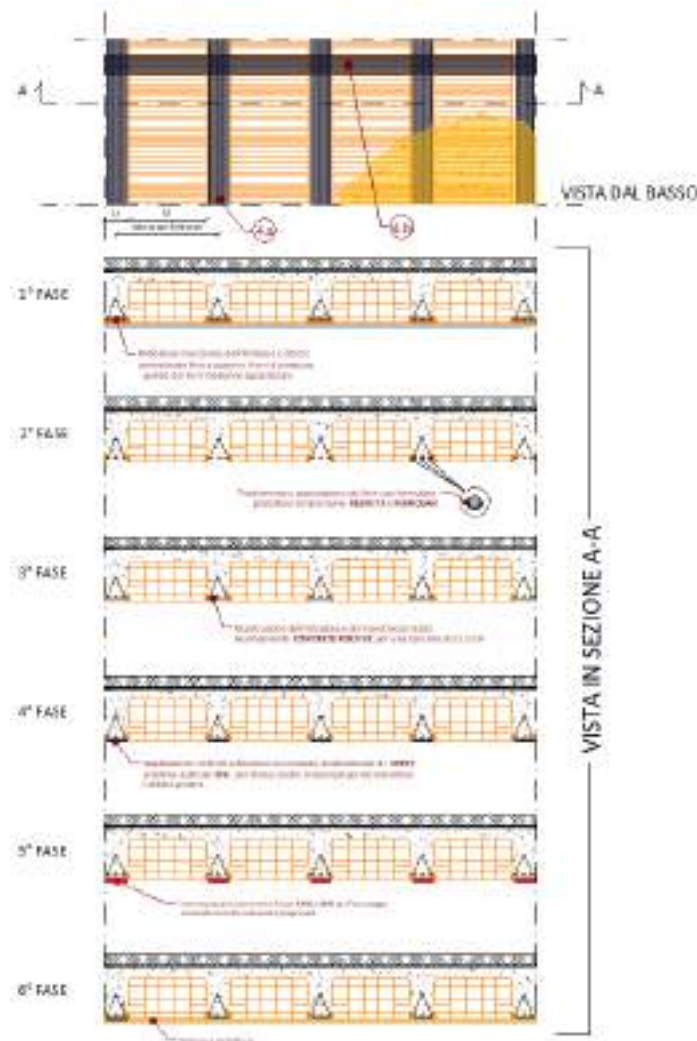


Immagine 12: Rinforzo travetti solaio in latero-cemento con CFRP.

FASI DI RINFORZO TRAVETTI DI SOLAIO IN LATERO-CEMENTO:

1. Demolizione dell'intonaco presente sul soffitto al fine di mettere a nudo la superficie dei travetti; eventuale demolizione del calcestruzzo ammalorato fino a scoprire i ferri d'armatura; pulitura della superficie dei ferri mediante spazzolatura a secco;
2. Trattamento dei ferri e della superficie di calcestruzzo mediante applicazione a pennello di formulato bicomponente **FERROSAN**, ad azione di inibitore della corrosione e in miglioramento dell'adesione tra vecchia superficie e nuovo materiale di ripristino;
3. Ricostruzione dell'intradosso del travetto con malta bicomponente **CONCRETE ROCK V2** Classe R4 compatibile con il sottofondo;

4. Applicazione delle strisce di tessuto o di lamelle in fibra di carbonio secondo ciclo FRP:
 - 4.a
 - Impregnazione della superficie con Primer epossidico a solvente **RESIN PRIMER**;
 - Regolarizzazione (se necessario) con stucco epossidico tixotropico **RESIN 90**;
 - Stesura di adesivo epossidico **RESIN 75** per i soli tessuti;
 - Posa del tessuto in carbonio uniassiale **C-SHEET 240**, classe FRP 210C, oppure tessuto ad alto modulo **C-SHEET 390**, classe FRP 350/2800C; grammature 300 g/m², 400 g/m² o 600 g/m²; o posa di lamelle pultruse in carbonio basso modulo **CFK 150/2000**, classe C150/2300, o alto modulo **CFK 200/2000** classe C200/1800, mediante adesivo epossidico **RESIN 90**;
 - Impregnazione finale con adesivo RESIN 75 solo per i tessuti C-SHEET.
 - 4.b Applicazione del rinforzo trasversale con fibra di carbonio tipo **C-SHEET 240/300/20** dotata di CVT Classe 210C a miglioramento dell'ancoraggio e ripartizione dei carichi, in direzione ortogonale a quella dei travetti ad intercettare la parte terminale e centrale del travetto stesso secondo indicazioni progettuali: secondo la medesima procedura al punto 4;
5. Inghisaggio dei connettori a fiocco tipo AFIX o CFIX per l'ancoraggio terminale delle fasce in carbonio con RESIN 75, secondo indicazioni progettuali;
6. Eventuali finiture con intonaco civile o di altro tipo, previo spolvero al quarzo su resina ancora fresca.



Immagine 13: Applicazione tessuti CFRP su travetti solaio in latero-cemento.

7 FENOMENO DI SFONDELLAMENTO DEI SOLAI

Con il termine "sfondellamento" si intende il distacco e la successiva caduta della parte inferiore dei blocchi di alleggerimento (pignatte) inseriti nei solai in laterocemento. Tale fenomeno è un problema non strutturale, in quanto il solaio mantiene la sua stabilità, ma non può essere sottovalutato perché mette a rischio la sicurezza delle persone.

La **rottura è di tipo fragile**, quindi per sua natura veloce e, spesso, senza segnali premonitori, con potenziali conseguenze molto gravi per le persone e per l'agibilità stessa dei locali.



Immagine 14: Fenomeno sfondellamento solaio.

Le cause per le quali si arriva a un cedimento improvviso della tenuta del fondello delle pignatte sono molteplici; in generale è possibile asserire che, a parte difetti legati alla cattiva qualità dei materiali costituenti il laterizio, le cause delle rotture sono sempre di origine esterna. La cattiva qualità dei materiali (esempio la difettosità del laterizio in sede di produzione), l'errata posa in opera dei blocchi e delle armature, possono essere cause determinante di uno sfondellamento; in questi casi, si hanno effetti di caduta per causa diretta. Più spesso però, tali difettosità sono concausa di cadute che avvengono a distanza di tempo rilevante rispetto alla realizzazione dell'opera.

Per tale motivo, la valutazione e l'eventuale prevenzione di fenomeni di sfondellamento assumono oggi considerevole rilievo visto il patrimonio edilizio esistente e l'elevata percentuale di fabbricati che presentano solai realizzati con le tecniche descritte.

Diagnosi e fasi di intervento per il ripristino dei solai

Preliminarmente alla realizzazione dell'intervento di messa in sicurezza dei solai, è opportuno eseguire una campagna di indagini sul solaio oggetto di dissesto valutando, inoltre, lo stato di degrado dei travetti e in particolar modo delle armature in essi presenti.

Nel caso in cui i travetti presentino carenze strutturali si procederà ad una preliminare demolizione dell'intonaco presente sul soffitto al fine di mettere a nudo la superficie dei travetti in calcestruzzo esistente. Eventuale demolizione del calcestruzzo ammalorato fino a scoprire i ferri d'armatura la cui superficie sarà pulita mediante spazzolatura a secco. Successivamente i ferri d'armatura saranno trattati mediante applicazione a pennello di un formulato bicomponente a base di additivi, resine ed antiossidanti **FERROSAN** ad azione di

inibitore della corrosione. A seguire, ricostruzione delle sezioni e delle parti ammalorate con malta tixotropica polimerica bicomponente, fibrorinforzata a ritiro compensato tipo **Concrete Rock V2**, a basso modulo elastico, compatibile con il sottofondo.

Nel caso fosse necessario integrare l'armatura a flessione dei travetti è possibile intervenire (senza aggravio in termini di pesi aggiunti) con l'impiego di rinforzi strutturali in materiali compositi in FRP costituiti da tessuti o lamine in fibra di carbonio annegati in una matrice organica epossidica bicomponente previo trattamento dei ferri.

Messa in sicurezza di solai in laterocemento dal fenomeno di sfondellamento mediante tecnica a secco

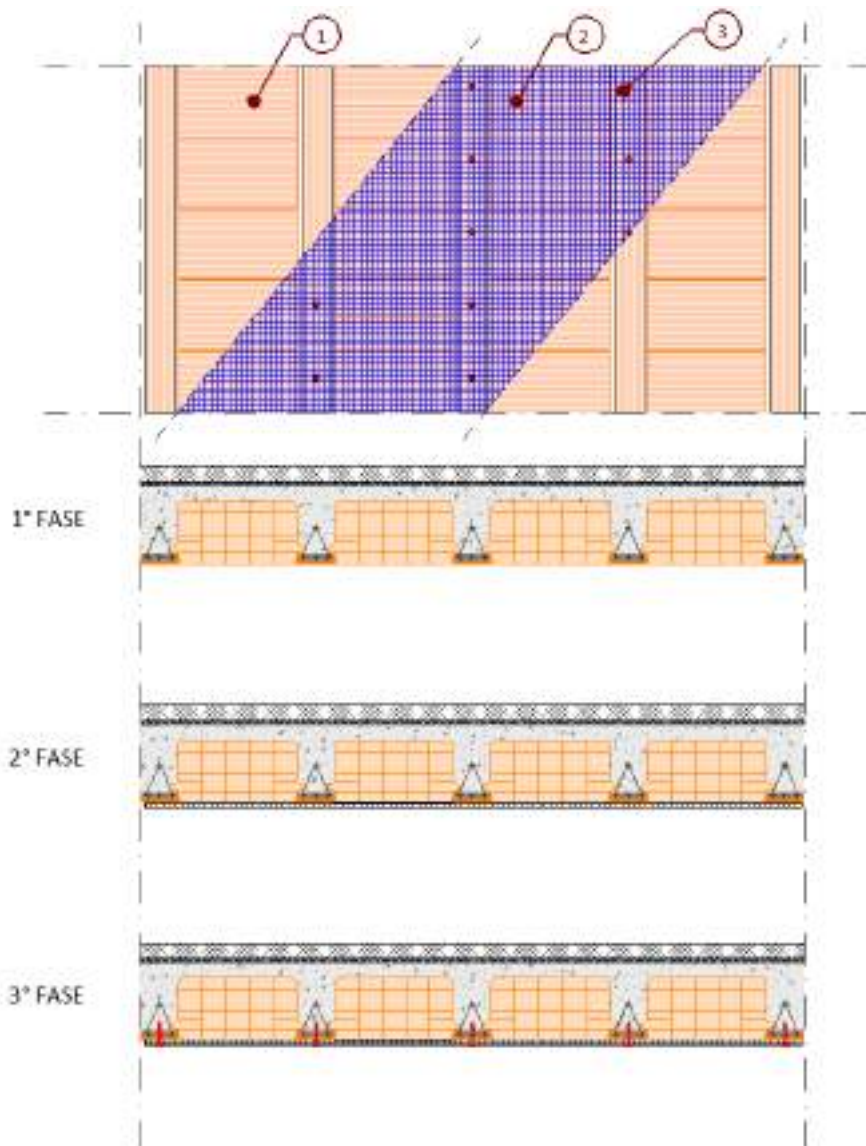


Immagine 15: Messa in sicurezza di solai in laterocemento dal fenomeno di sfondellamento mediante tecnica a secco.

FASI ANTISFONDELLAMENTO SOLAIO A SECCO:

- 1 Preparazione del supporto mediante rimozione di tutte le parti non perfettamente coese, eliminazione dell'eventuale intonaco presente sul soffitto ove necessario, al fine di mettere a nudo la superficie del solaio; eventuale ripristino di parti mancanti e/o rinzaffi con malte strutturali; successiva pulizia della superficie
- 2 Posa della rete preformata in fibra di vetro GFRP con maglia 66x66 mm **RG66 NET BA**. Sovrapposizione minima delle reti 10 cm.
- 3 Fissaggio della rete all'intradosso del solaio mediante tasselli ad espansione in acciaio galvanizzato di dimensione 8x100 mm con tassello in nylon, completi di rondella Ø50 mm, da applicare in misura di 4/mq; se necessario, eventuale ancoraggio alle pareti parallele all'orditura del solaio con fissaggio angolare con interasse massimo di 100 cm.
- 4 Eventuali finiture.

Messa in sicurezza di solai in laterocemento dal fenomeno di sfondellamento mediante intonaci armati tassellati alla struttura

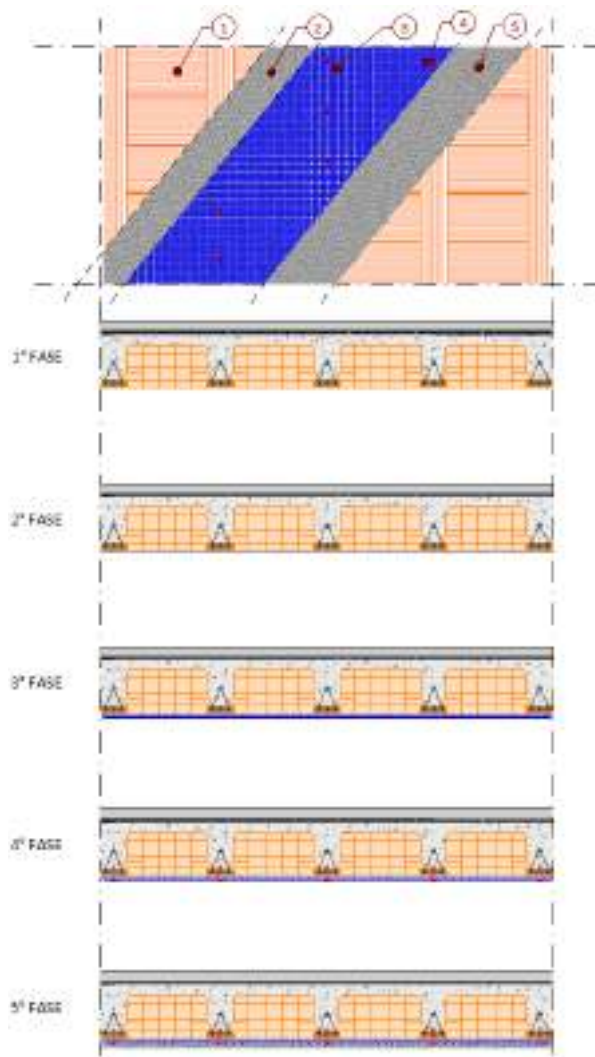


Immagine 16: Messa in sicurezza di solai in laterocemento dal fenomeno di sfondellamento mediante tecnica a umido.

FASI ANTISFONDELLAMENTO SOLAIO A UMIDO:

- 1 Preparazione del supporto mediante rimozione di tutte le parti non perfettamente coese, eliminazione dell'eventuale intonaco presente sul soffitto ove necessario, al fine di mettere a nudo la superficie del solaio; eventuale ripristino di parti mancanti e/o rinzaffi con malte strutturali; successiva pulizia della superficie;
- 2 Applicazione di un primo strato di malta strutturale a base di calce idraulica tipo **LIMECRETE** o a reattività pozzolanica tipo **CONCRETE ROCK S**;
- 3 Posa della rete preformata in materiale composito fibrorinforzato GFRP (Glass Fiber Reinforced Polymer), costituita da fibra di vetro alcalino resistente e resina termoindurente di tipo epossidico **RG66 NET BA** oppure rete in vetro AR apprettata **G-NET 301 BAL** oppure rete in basalto apprettata **B-NET 250 BA**. Sormonti minimi di 10-15 cm circa.
- 4 Fissaggio della rete all'intradosso del solaio mediante connettori metallici ad espansione di dimensione 8 x 100 mm con tassello in nylon, completi di rondella Ø 50 mm, in numero di 4 al m² o in funzione delle caratteristiche del solaio e l'ancoraggio, se necessario, alle pareti parallele all'orditura dei travetti, con fissaggio angolare di interasse massimo 100 cm, conteggiato in misura del 15% rispetto alla superficie totale;
- 5 Applicazione di un secondo strato di malta strutturale a base di calce idraulica tipo **LIMECRETE** o a reattività pozzolanica tipo **CONCRETE ROCK S** a ricoprire integralmente la rete per uno spessore di 10-15 mm ca, previa bagnatura della superficie ove necessario.
- 6 Eventuali finiture

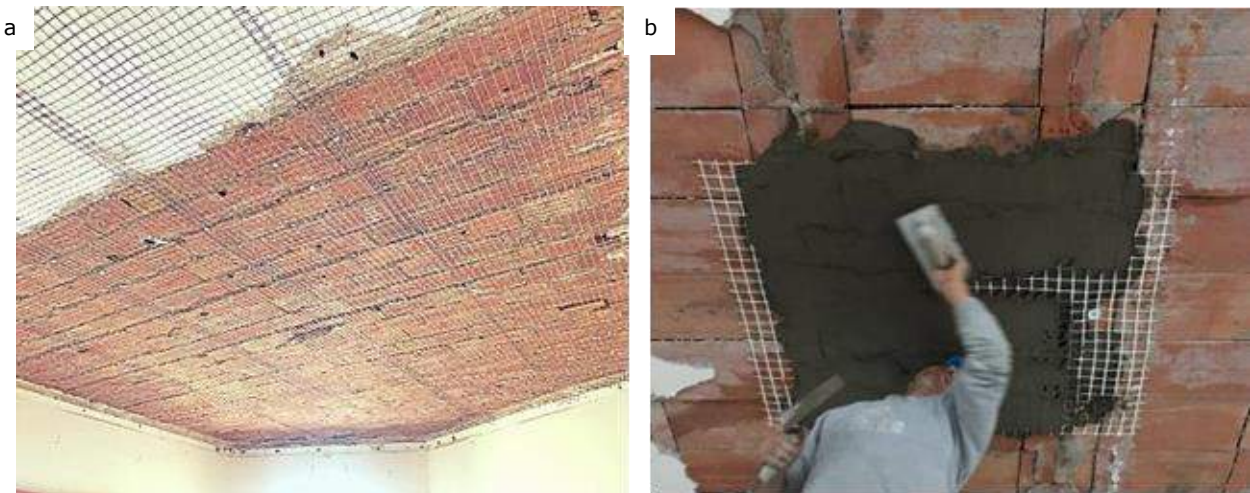


Immagine 17: Tecnica a secco (a); Tecnica intonaco armato (b).

8 PRESIDI ANTIBALTA TAMPONATURE

Nella progettazione edilizia le tamponature vengono prevalentemente considerate come l'involucro dell'edificio, di notevole importanza dal punto di vista energetico. Tuttavia, sebbene queste siano elementi non strutturali, il fenomeno di espulsione delle stesse fuori dal proprio piano diviene di fatto un problema di salvaguardia della vita delle persone, oltre che causa di ingenti perdite economiche.

Tale fenomeno di espulsione si verifica sia per azioni fuori piano e sia come conseguenza della deformazione del telaio circostante abbinato alle scarse resistenze a taglio della tamponatura. Pertanto, durante un evento sismico, in cui le tamponature vengono sollecitate sia nel proprio piano e sia fuori piano, è bene considerare l'effetto combinato di tali sollecitazioni per poter progettare e garantire una maggior sicurezza delle stesse.

Tali elementi non strutturali, in passato trascurati, in realtà risultano importanti per la sicurezza degli utenti delle strutture tanto quanto gli elementi strutturali, come evidenziato dalle immagini relative al danneggiamento degli edifici prodotto dai più recenti eventi sismici.

In generale, le Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 pongono particolare attenzione al tema degli elementi non strutturali che, se non progettati correttamente, possono generare collassi e ridurre la sicurezza delle strutture. In particolare vengono chiariti i concetti espressi in precedenza dalle vecchie norme ed aggiunte nuove prescrizioni per analizzare questi elementi. Preme evidenziare che le tamponature, durante un terremoto, oltre ad essere soggette ad azioni fuori piano, risultano contemporaneamente sottoposte ad azioni nel piano, generate dalla deformazione del telaio circostante. Il danneggiamento nel piano della tamponatura, provocato dalla deformazione del telaio circostante e dovuto alla scarsa resistenza a taglio delle stesse, ne causa una riduzione della resistenza fuori piano, rendendola ancor più vulnerabile rispetto al fenomeno di espulsione.



Immagine 18: Pareti di tamponamento danneggiate in seguito a un sisma.

Sistema Antiribalta – STG (Strong Tie Glass)

I Sistemi STG Strong Tie Glass sono soluzioni particolarmente idonee per antiribalta a basso spessore nel rinforzo locale di elementi strutturali secondari e non strutturali quali tramezzature, tamponamenti, collegamenti perimetrali. L'impiego di tali sistemi migliorano la duttilità del paramento murario e la ripartizione delle sollecitazioni dinamiche.

ANTIRIBALTA STG PERIMETRALE

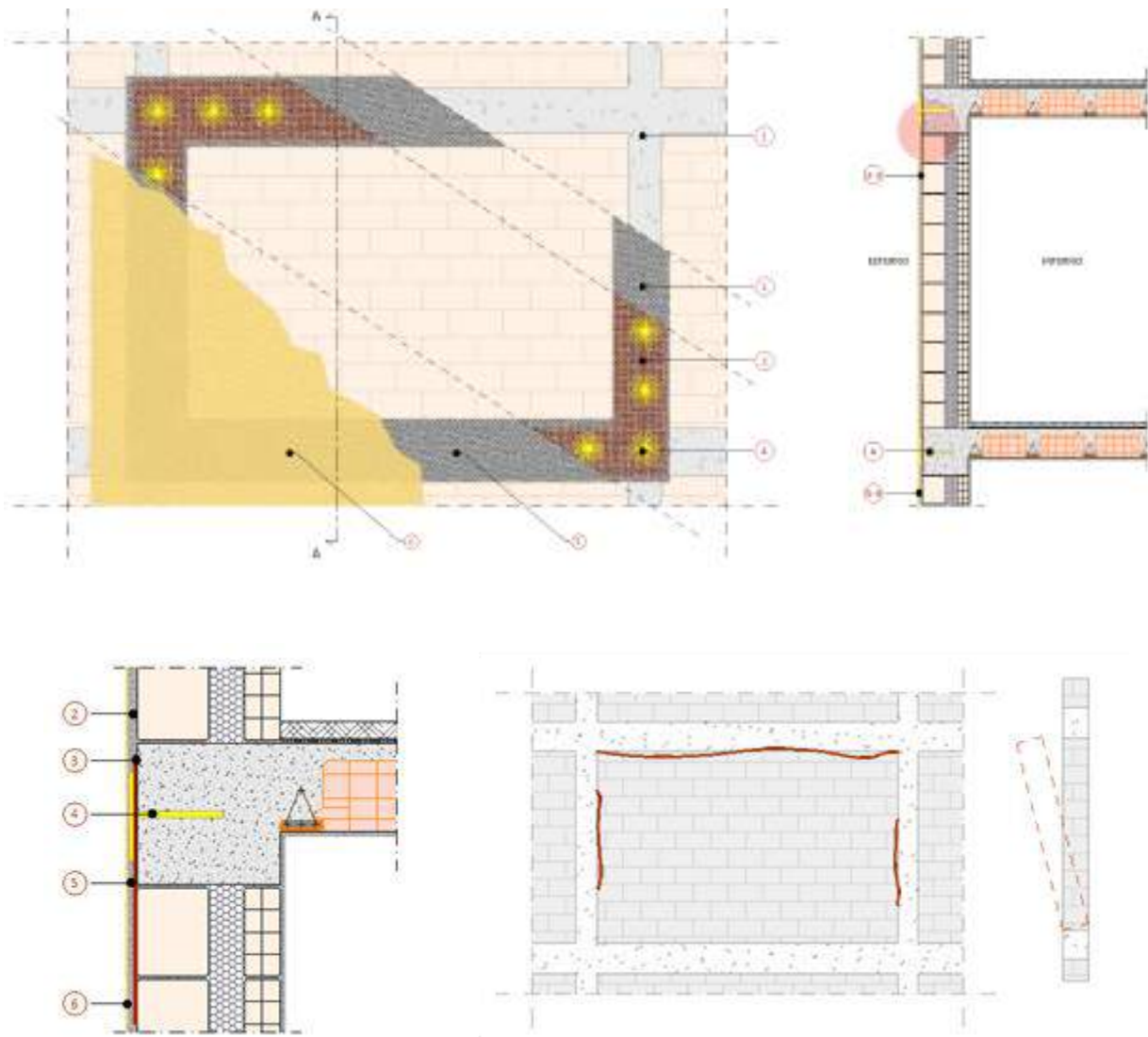


Immagine 19: Sistema antiribalta perimetrale.

FASI PER ANTIRIBALTA PERIMETRALE:

1. La superficie di applicazione deve essere adeguatamente preparata, deve presentarsi senza pitture esistenti, sana e pulita per una fascia di ca 50 cm; gli intonaci se ammalorati o distaccati vanno rimossi;
2. Stendere dopo preparazione la malta bicomponente **RASEDIL AS** a mezzo frattazzo;

3. Annegare nella malta ancora fresca uno strato di rete in fibra di vetro alcali resistente **G-NET 250 B** o **G-NET 251 BA** oppure della rete in basalto apprettata **B-NET 250 BA**
4. Inghisaggio sulla cornice in c.a. dei connettori a fiocco in fibra di vetro **GFIX 10** o in fibra di basalto **BFIX 10** oppure dei connettori semirigidi preformati in vetro AR alcali resistente a fiocco **GFIX SR** e successiva sfiocatura e impregnazione con resina epossidica **RESIN 75**; alternativamente è possibile impiegare barre elicoidali in acciaio inox **STEEL ANCHORFIX Ø 8-10** mm inserite a secco;
5. Copertura della rete con lo strato finale di malta, da applicare quando il primo strato presenta consistenza ancora umida. Spessore totale della malta 6 - 10 mm;
6. Eventuali finiture con **Limecrete F1** o altro tipo, secondo le esigenze.

ANTIRIBALTA STG DIFFUSO

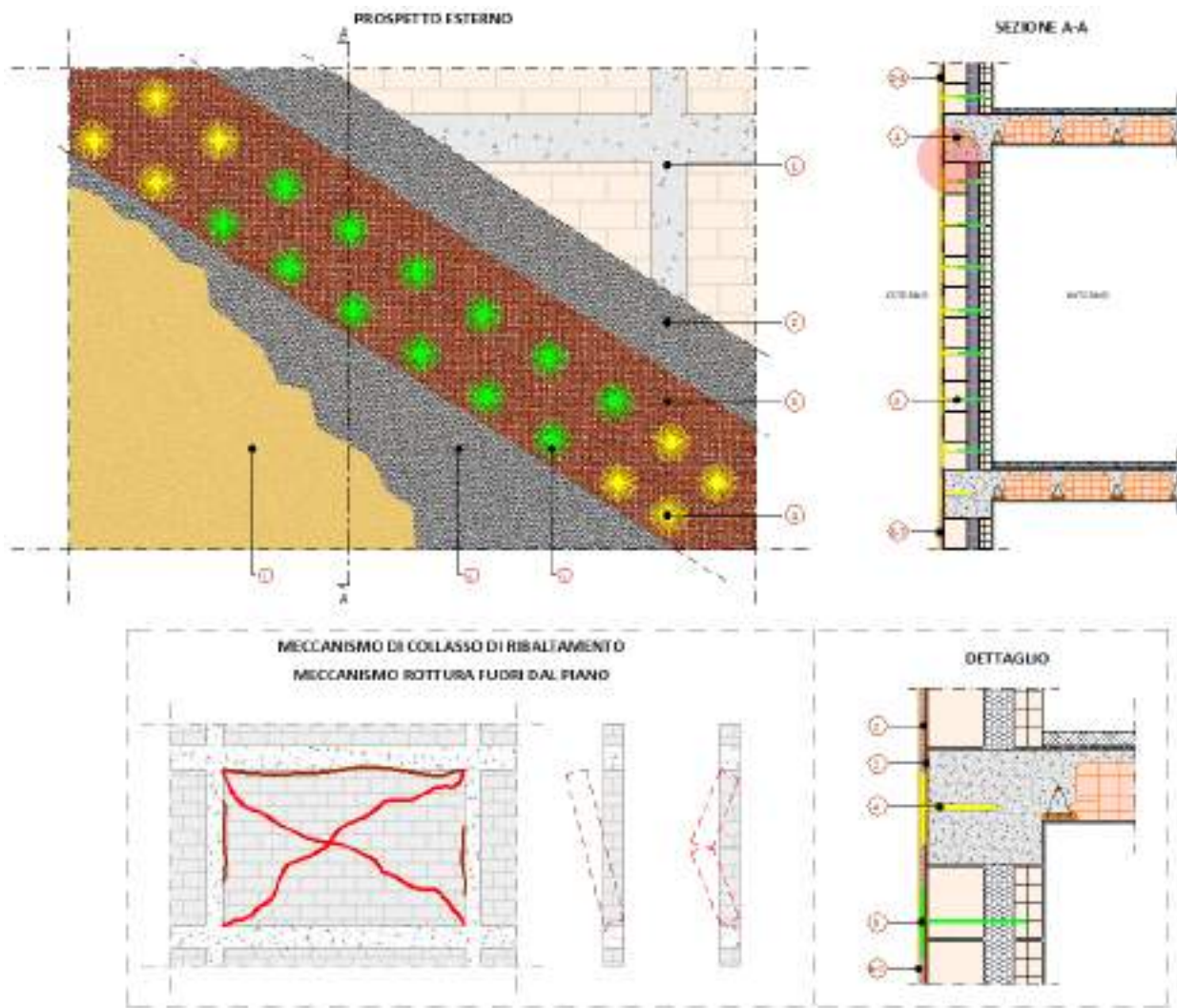


Immagine 20: Sistema antiribalta diffuso.

FASI PER ANTIRIBALTA DIFFUSO:

1. La superficie di applicazione deve essere adeguatamente preparata, deve presentarsi senza pitture esistenti, sana e pulita; gli intonaci se ammalorati o distaccati vanno rimossi;
2. Stendere dopo preparazione la malta bicomponente tipo **RASEDIL AS** a mezzo frattazzo;
3. Annegare nella malta ancora fresca uno strato di rete in fibra di vetro alcali resistente **G-NET 250 B** o **G-NET 251 BA** oppure della rete in basalto apprettata tipo B-NET 250 BA;
4. Inghisaggio sulla cornice in c.a. dei connettori a fiocco in fibra di vetro **GFIX 10** o in fibra di basalto **BFIX 10** oppure dei connettori semirigidi preformati in vetro AR alcali resistente a fiocco tipo **GFIX SR** e successiva sfiocatura e impregnazione con resina epossidica tipo **RESIN 75**; alternativamente è possibile impiegare barre elicoidali in acciaio inox tipo **STEEL ANCHORFIX Ø 8-10** mm inserite a secco;
5. Copertura della rete con lo strato finale di malta, da applicare quando il primo strato presenta consistenza ancora umida. Spessore totale della malta 6 - 10 mm;
6. Eventuali finiture con **Limecrete F1** o di altro tipo, secondo le esigenze.

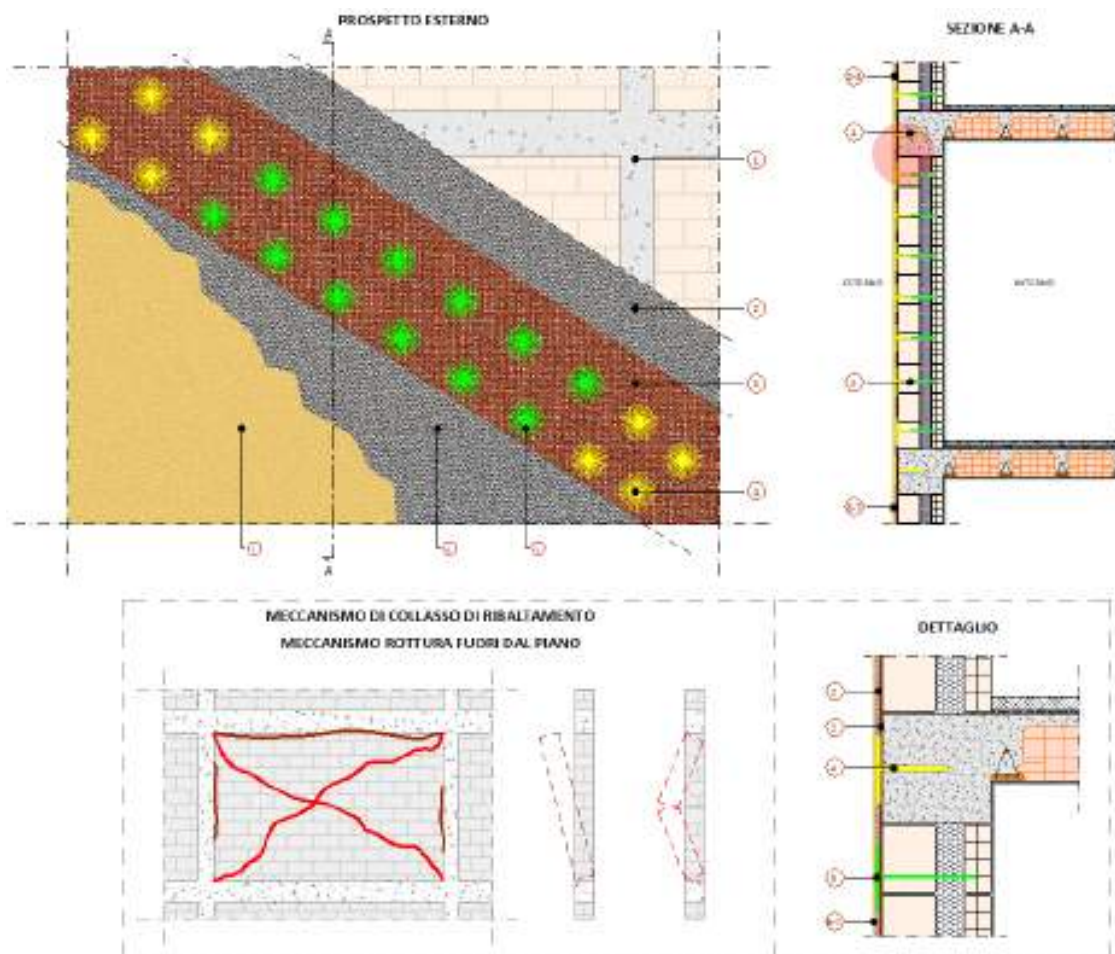
ANTIRIBALTA STG PER TAMPONATURA CON INTERCAPEDINE

Immagine 21: Sistema antiribalta tamponatura con intercapedine.

FASI PER ANTIRIBALTA IN CASO DI MURATURA CON INTERCAPEDINE:

1. La superficie di applicazione deve essere adeguatamente preparata, deve presentarsi senza pitture esistenti, sana e pulita; gli intonaci se ammalorati o distaccati vanno rimossi;
2. Stendere dopo preparazione la malta bicomponente tipo RASEDIL AS a mezzo frattazzo;
3. Annegare nella malta ancora fresca uno strato di rete in fibra di vetro alcali resistente **G-NET 250 B** o **G-NET 251 BA** oppure della rete in basalto apprettata **B-NET 250 BA**;
4. Inghisaggio sulla cornice in c.a. dei connettori a fiocco in fibra di vetro **GFIX 10** o in fibra di basalto **BFIX 10** e successiva sfiocatura e impregnazione con resina epossidica tipo **RESIN 75**; alternativamente è possibile impiegare barre elicoidali in acciaio inox tipo **STEEL ANCHORFIX Ø 8-10** inserite a secco;
5. Per il collegamento della tamponatura con intercapedine realizzare un foro di 16 mm all'interno del quale sarà inserita una bussola retinata in acciaio di diametro 16 mm **STEEL LINK**; inserimento del connettore a fiocco in fibra di vetro **GFIX 10** o in fibra di basalto **BFIX 10** o del connettore semirigido in fibra di vetro **GFIX SR** e sigillatura nella bussola retinata **STEEL LINK** con adesivo epossidico **RESIN 75**; creazione dell'ancoraggio mediante impregnazione del fiocco con adesivo epossidico **RESIN 75** sullo strato di rete già posizionata;
6. Copertura della rete con lo strato finale di malta, da applicare quando il primo strato presenta consistenza ancora umida. Spessore minimo totale della malta 6 - 10 mm;
7. Eventuali finiture con **Limecrete F1** o di altro tipo, secondo le esigenze.

NOTA

- Per il calcolo dei tamponamenti, per mezzo della tecnologia STG, può essere impiegato il software **STG_SISMA®**.

Sistema Antiribalta – FRCM SYSTEM

Il sistema antiribalta con FRCM migliora anch'esso la duttilità del paramento murario e la ripartizione delle sollecitazioni dinamiche ed è impiegato per il rinforzo locale di elementi strutturali secondari e non strutturali quali tramezzature, tamponamenti, collegamenti perimetrali.

ANTIRIBALTA FRCM PERIMETRALE

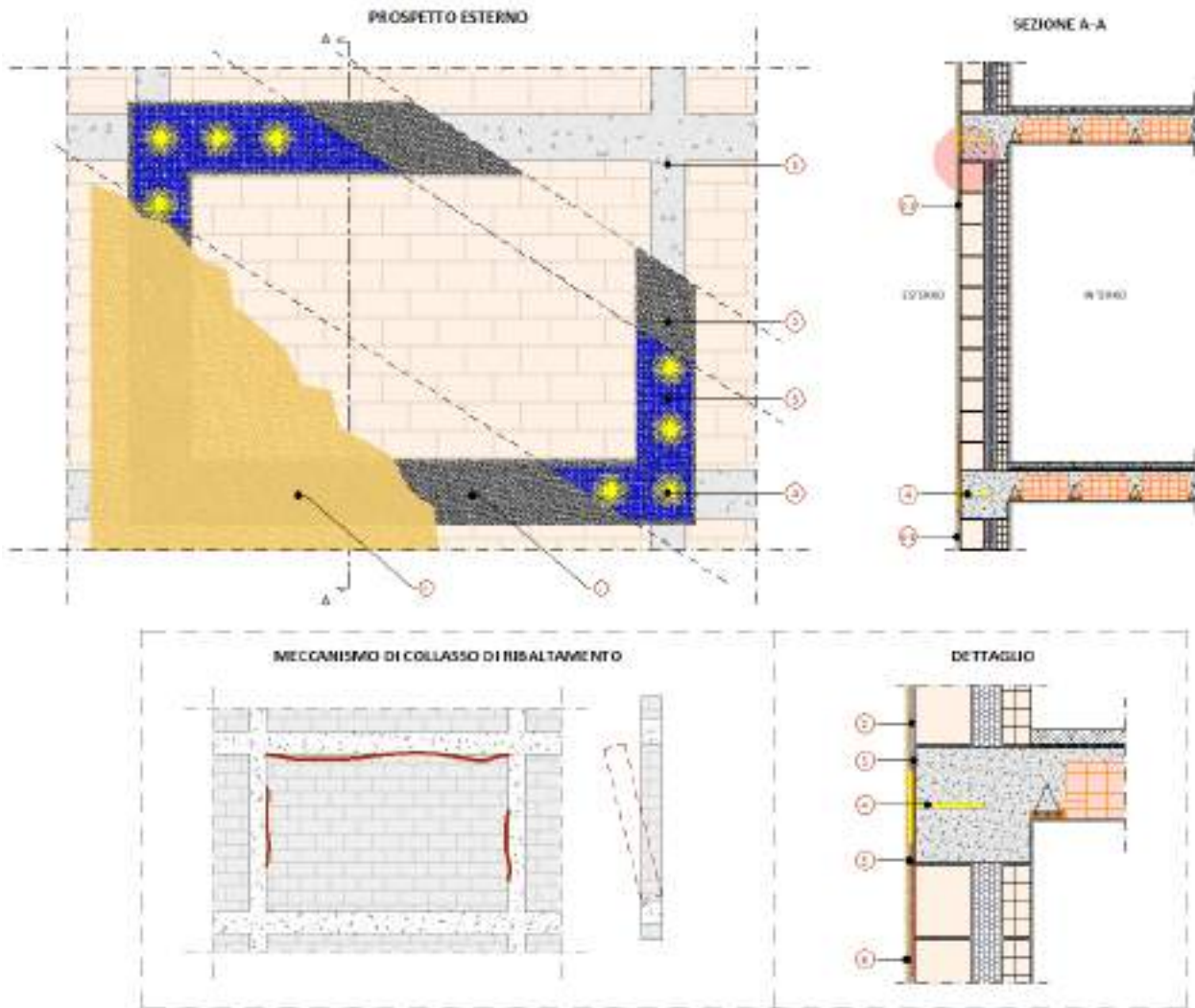


Immagine 22: Sistema antiribalta FRCM perimetrale.

FASI PER ANTIRIBALTA PERIMETRALE:

1. La superficie di applicazione deve essere adeguatamente preparata, deve presentarsi senza pitture esistenti, sana e pulita per una fascia di ca 50 cm; gli intonaci se ammalorati o distaccati vanno rimossi;
2. Stendere dopo preparazione la malta in calce idraulica **LIMECRETE** a mezzo frattazzo;
3. Annegare nella malta ancora fresca uno strato di rete in fibra di basalto apprettata **B-NET 250 BA**;

4. Inghisaggio sulla cornice in c.a. dei connettori a fiocco in fibra di vetro **GFIX 10** o in fibra di basalto **BFIX 10** oppure dei connettori semirigidi preformati in vetro AR alcali resistente a fiocco **GFIX SR** e successiva sfioccatura e impregnazione con resina epossidica tipo **RESIN 75**; alternativamente è possibile impiegare barre elicoidali in acciaio inox tipo **STEEL ANCHORFIX Ø 8-10** mm inserite a secco;
5. Copertura della rete con lo strato finale di malta, da applicare quando il primo strato presenta consistenza ancora umida;
6. Eventuali finiture con **Limecrete F1** o altro tipo, secondo le esigenze.

ANTIRIBALTA FRCM DIFFUSO

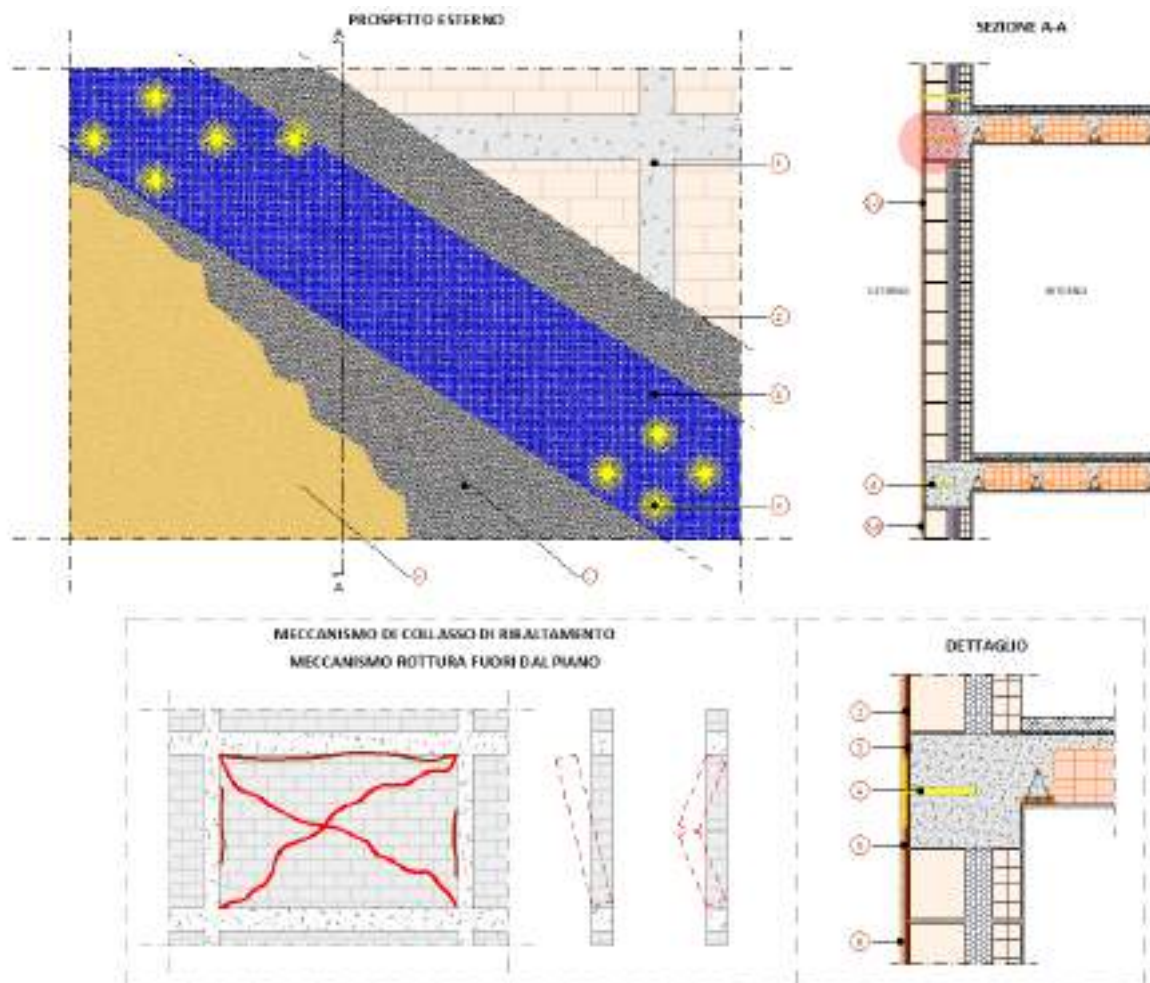


Immagine 23: Sistema antiribalta FRCM diffuso.

FASI PER ANTIRIBALTA DIFFUSO:

1. La superficie di applicazione deve essere adeguatamente preparata, deve presentarsi senza pitture esistenti, sana e pulita; gli intonaci se ammalorati o distaccati vanno rimossi;
2. Stendere dopo preparazione la malta in calce idraulica **LIMECRETE** a mezzo frattazzo;
3. Annegare nella malta ancora fresca uno strato di rete in fibra di basalto **B-NET 250 BA**;
4. Inghisaggio sulla cornice in c.a. dei connettori a fiocco in fibra di vetro **GFIX 10** o in fibra di basalto **BFIX 10** oppure dei connettori semirigidi preformati in vetro AR alcali resistente a

fiocco **GFIX SR** e successiva sfioccatura e impregnazione con resina epossidica **RESIN 75**; alternativamente è possibile impiegare barre elicoidali in acciaio inox **STEEL ANCHORFIX Ø 8-10** mm inserite a secco;

5. Copertura della rete con lo strato finale di malta, da applicare quando il primo strato presenta consistenza ancora umida;
6. Eventuali finiture con **Limecrete F1** o di altro tipo, secondo le esigenze.

ANTIRIBALTA FRCM PER TAMPONATURA CON INTERCAPEDINE

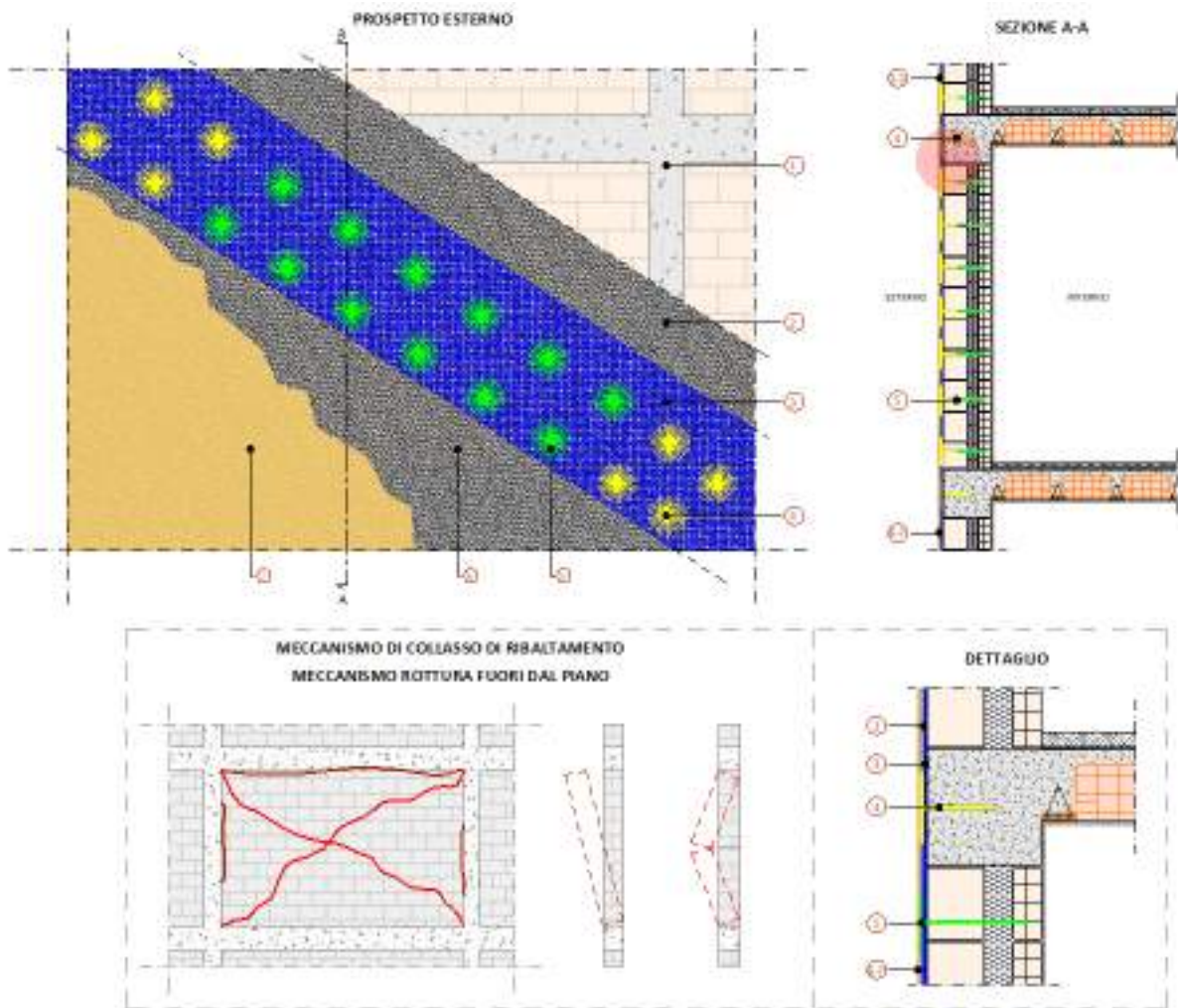


Immagine 24: Sistema antiribalta FRCM tamponatura con intercapedine e connessione per mezzo di barre fioccate pultruse in basalto.

FASI PER ANTIRIBALTA IN CASO DI MURATURA CON INTERCAPEDINE:

1. La superficie di applicazione deve essere adeguatamente preparata, deve presentarsi senza pitture esistenti, sana e pulita; gli intonaci se ammalorati o distaccati vanno rimossi;
2. Stendere dopo preparazione la malta in calce idraulica **LIMECRETE** a mezzo frattazzo;
3. Annegare nella malta ancora fresca uno strato di rete in fibra di basalto **B-NET 250 BA**;
4. Inghisaggio sulla cornice in c.a. dei connettori a fiocco in fibra di vetro **GFIX 10** o in fibra di basalto **BFIX 10** oppure dei connettori semirigidi preformati in vetro AR alcali resistente a fiocco **GFIX SR** e successiva sfioccatura e impregnazione con resina epossidica tipo **RESIN 75**; alternativamente è possibile impiegare barre elicoidali in acciaio inox tipo **STEEL ANCHORFIX Ø 8-10** mm inserite a secco;
5. Per il collegamento della tamponatura con intercapedine realizzare un foro di 16 mm all'interno del quale sarà inserita una bussola retinata in acciaio di diametro 16 mm **STEEL LINK**; inserimento del connettore a fiocco in fibra di vetro **GFIX 10** o in fibra di basalto **BFIX 10** o del connettore semirigido in fibra di vetro **GFIX SR** e sigillatura nella bussola retinata **STEEL LINK** con adesivo epossidico **RESIN 75**; creazione dell'ancoraggio mediante impregnazione del fiocco con adesivo epossidico **RESIN 75** sullo strato di rete già posizionata;
6. Copertura della rete con lo strato finale di malta, da applicare quando il primo strato presenta consistenza ancora umida;
7. Eventuali finiture con **Limecrete F1** o di altro tipo, secondo le esigenze.

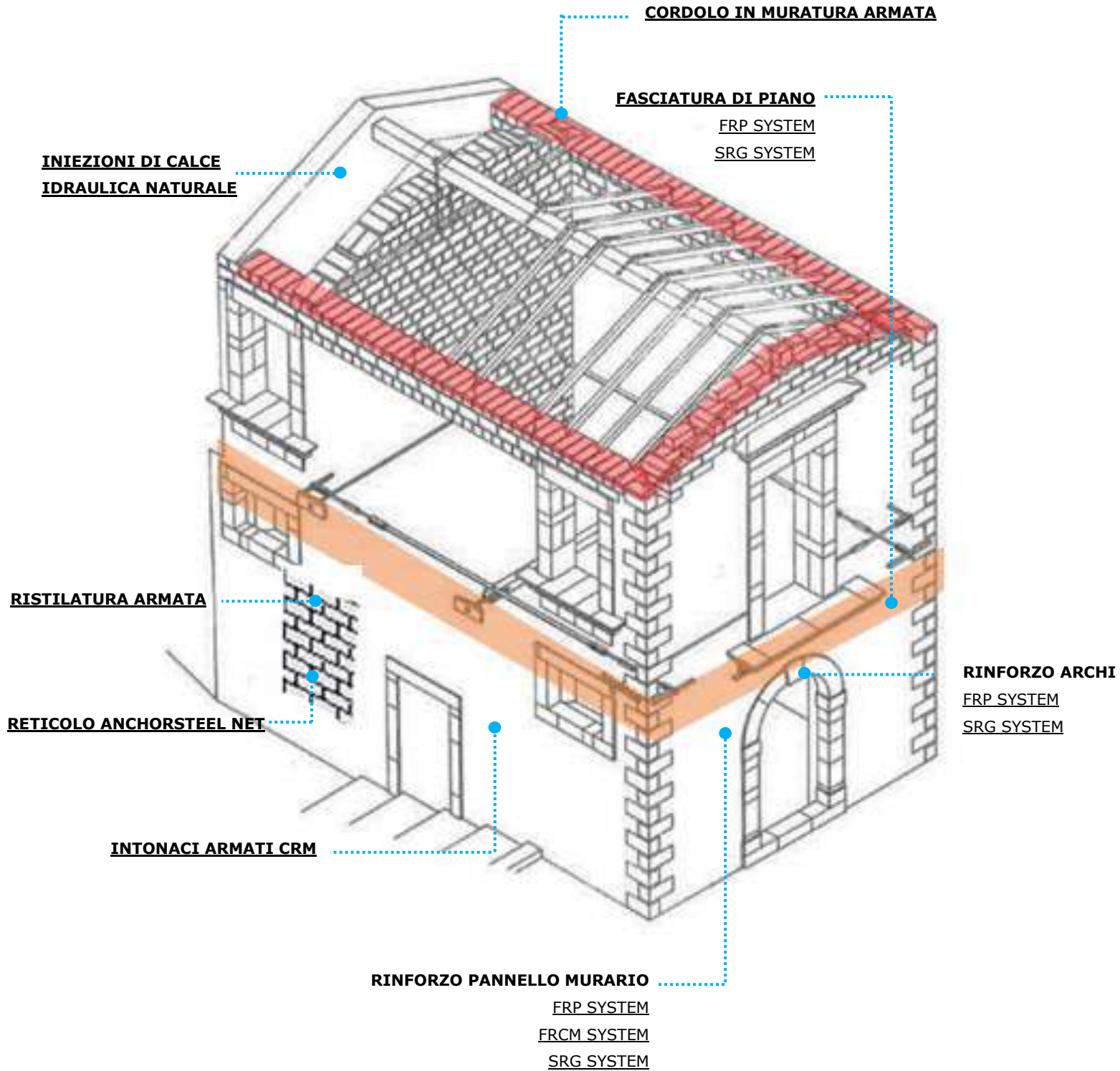
NOTA

- Per il calcolo dei tamponamenti, per mezzo della tecnologia FRCM, può essere impiegato il software **STG_SISMA®**.



Immagine 25: Antiribalta tamponature.

EDIFICI IN MURATURA PORTANTE



9 RINFORZI DI STRUTTURE IN MURATURA

Iniezioni in massa di boiacche in calce idraulica naturale

L'intervento di rinforzo mediante iniezione consiste nell'iniettare del materiale all'interno di murature in pietrame con lo scopo di colmare i vuoti presenti al loro interno. Infatti, tali murature spesso risultano riempite con materiali di recupero che nel tempo, sia per sedimentazione che per scarsa qualità del riempimento, risultano ricche di cavità e non adeguate al compito strutturale a loro richiesto.

L'assenza di consistenza della parte interna della muratura infatti si associa a dei bassi valori di resistenza e rigidità della muratura. Lo scopo dell'iniezione è quello di ripristinare la continuità interna del materiale fessurato o sconnesso che sia, consentendo di rinforzare la parete muraria e di migliorarne il comportamento nel piano.

Questo tipo di tecnica è definita "passiva", perché non richiede l'esecuzione di operazioni che alterano l'equilibrio o l'aspetto esteriore della struttura.

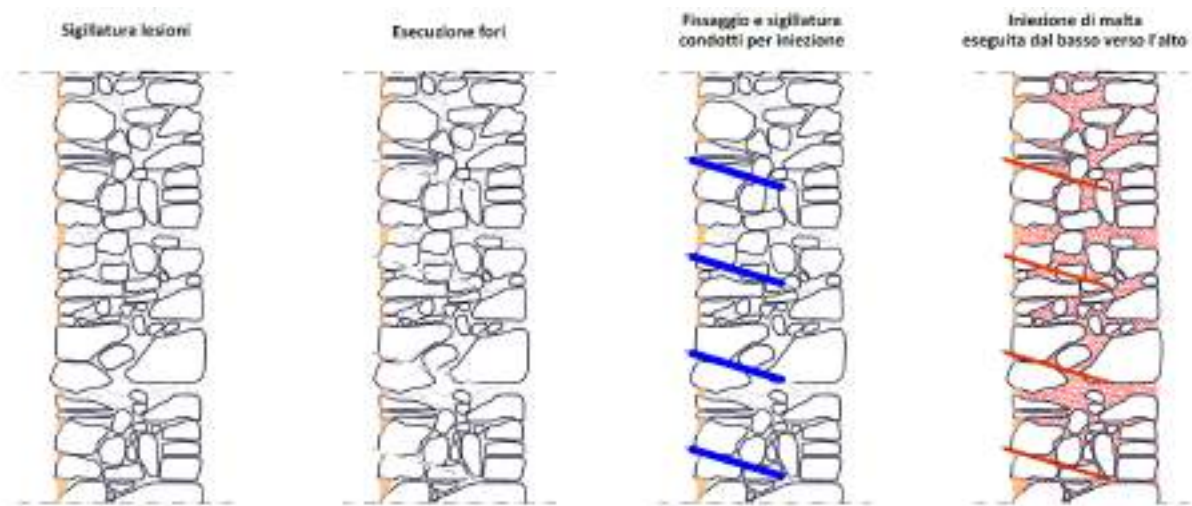


Immagine 26: Schema applicativo iniezioni di malta.

FASI DI RINFORZO PANNELLI MURARI:

1. Preiniezione di acqua in tutto il volume murario da trattare per il lavaggio dello stesso;
2. sigillatura delle lesioni nelle murature e degli altri possibili punti di fuoriuscita della miscela con malta in calce idraulica Limecrete, previa pulizia e lavaggio, e successivo rinzafo della muratura con Limecrete o malta bastarda;
3. fissaggio e sigillatura dei condotti di iniezione di diametro $\frac{3}{4}$ "h inseriti per una profondità adeguata nei fori precedentemente praticati per mezzo di trapanazione spinta fino a $\frac{2}{3}$ dello spessore murario, disposti a quinconce con interasse non superiore a 50 cm;
4. iniezione di miscela legante di tipo **LIMECRETE IR** Classe M15 ai sensi della Norma UNI EN 998-2, con caratteristiche di traspirabilità, fluidità e resistenza meccanica compatibili con la muratura da iniettare, eseguita a bassa pressione fino alla fuoriuscita della miscela dai condotti immediatamente superiori;
5. asportazione dalla parete e suo lavaggio, se necessario.

Rinforzo di pareti in muratura mediante applicazione di tessuti in fibra di carbonio (CFRP)

Il rinforzo di una parete in muratura qualsiasi può essere impiegato per incrementare la resistenza a taglio, a scorrimento, a flessione nel piano e a flessione fuori piano (verticale o orizzontale).

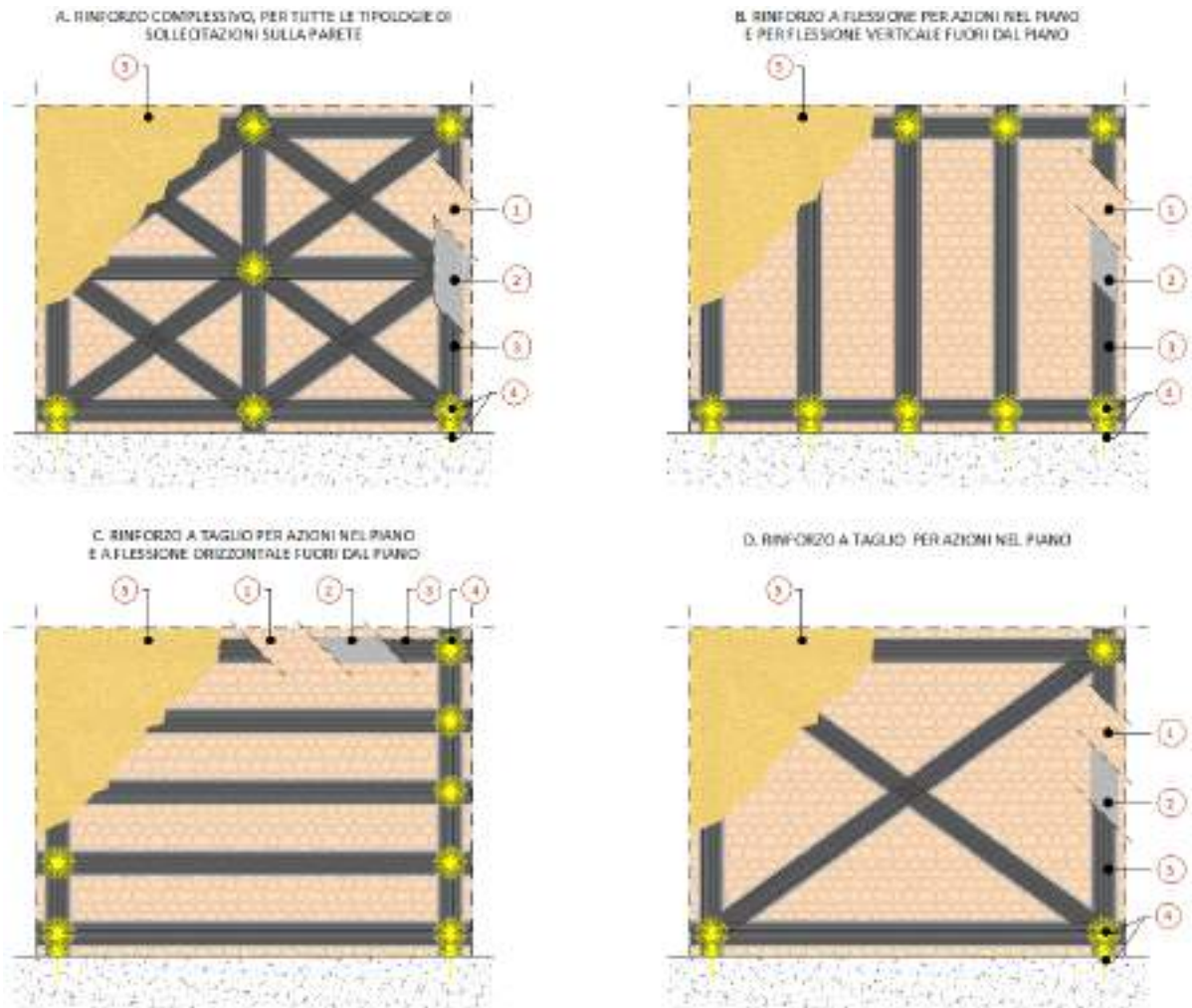


Immagine 27: Rinforzi murature con CFRP.

FASI DI RINFORZO PANNELLI MURARI:

1. Trattamento del supporto esistente con pulizia e consolidamento dello stesso;
2. Applicazione di uno strato di regolarizzazione in malta, tipicamente in calce idraulica **LIMECRETE M15** e a reattività pozzolanica tipo **CONCRETE ROCK S R2** nel caso di murature;
3. Applicazione del rinforzo FRP a flessione e/o a taglio con tessuto unidirezionale **C-SHEET 240/300-400-600** o tessuto bidirezionale **CTB 240/360** impregnato in situ con resina tipo RESIN 75;
4. Impiego di connettori a fiocco in aramide AFIX 10 o in carbonio **CFIX 10** per l'ancoraggio del rinforzo e impregnati con resina sul rinforzo;
5. Eventuali operazioni di finitura e intonacatura.

NOTE

- L'impiego di malte di calce idraulica o a reattività pozzolanica, per la regolarizzazione del supporto, è preferibile per murature storiche dove è essenziale garantire una buona compatibilità e traspirabilità;
- L'installazione delle fibre di rinforzo può anche non comprendere tutte quelle rappresentate in figura ed è funzione della tipologia di rinforzo che si vuole realizzare.



Immagine 28: Applicazione tessuti CFRP su muratura portante.

Fasciatura di piano mediante applicazione di tessuti in fibra di carbonio (CFRP).

Rinforzo di porzioni di edificio in muratura mediante fasce di piano con tecnologia FRP System realizzata con tessuti in fibra di carbonio, impregnati in situ. Con tale sistema è possibile migliorare il collegamento e l'incatenamento delle pareti ortogonali fra loro, incrementare la resistenza a flessione orizzontale e favorire un comportamento scatolare dell'edificio.

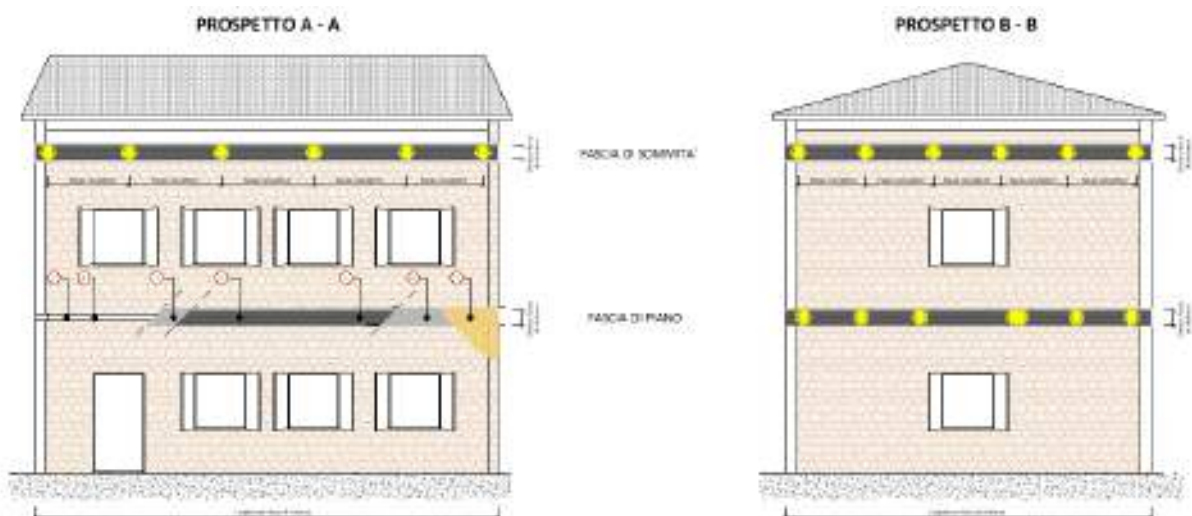


Immagine 29: Fasciature di piano e/o di sommità con CFRP.

FASI DI RINFORZO PARETI IN MURATURA CON FRP SYSTEM:

- 1 Rimozione eventuale intonaco esistente e consolidamento delle zone ammalorate con malte base calce **LIMECRETE** o a reattività pozzolanica **CONCRETE ROCK S**. Arrotondare gli spigoli su cui è previsto il passaggio del tessuto.
- 2 Realizzare le corsie di regolarizzazione con malta a reattività pozzolanica tipo **CONCRETE ROCK S** o **LIMECRETE M15** per la posa del tessuto, previa bagnatura del supporto.
- 3 Procedura di applicazione:
 - a. Impregnazione di primer epossidico tipo **RESIN PRIMER**
 - b. Stesura di adesivo epossidico tipo **RESIN 75**
 Applicazione del rinforzo FRP con tessuto unidirezionale
 - c. Fascia di sommità in doppio strato tipo **C-SHEET 240/300-400** impregnato in situ con resina tipo **RESIN 75**.
 - d. Fascia di piano in singolo strato tipo **C-SHEET 240/300-400** impregnato in situ con resina tipo **RESIN 75**.
- 4 Impiego di connettori a fiocco in aramide tipo **AFIX** o in carbonio tipo **CFIX** per l'ancoraggio del rinforzo e impregnati con resina tipo **RESIN 75** sul rinforzo.
- 5 Eventuali operazioni di finitura e intonacatura.

Rinforzo di archi e/o volte in muratura mediante applicazione di tessuti in fibra di carbonio (CFRP)

Il rinforzo all'intradosso consente l'incremento del carico di collasso dell'arco conseguente alla formazione di cerniere plastiche. L'ancoraggio del tessuto può essere realizzato con fasce disposte ad "U-wrap" (caso A) che consentono anche un rinforzo a taglio dell'arco e un parziale confinamento dello stesso, oppure con connettori a fiocco fissati direttamente all'intradosso (caso B).

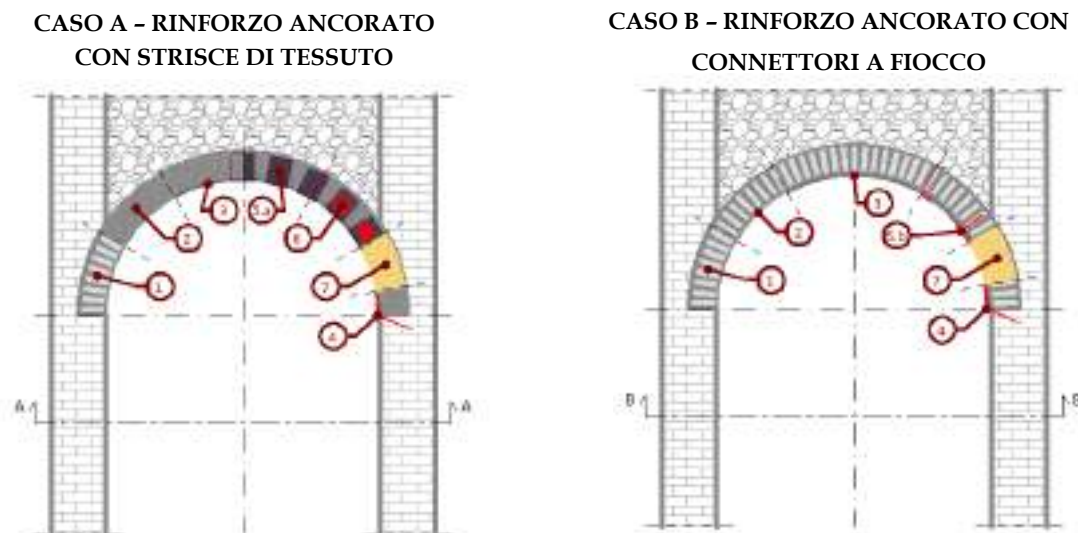


Immagine 30: Rinforzi archi e/o volte con tessuti CFRP.

FASI DI RINFORZO ARCHI/VOLTE:

1. Messa a nudo degli elementi strutturali mediante pulizia delle superficie; ricostruzione delle zone ammalorate e sigillatura di eventuali lesioni con malta in calce idraulica tipo **LIMECRETE** o a reattività pozzolanica tipo **CONCRETE ROCK S**; arrotondamento spigoli su cui è previsto il passaggio del tessuto con raggio minimo $r=2.5$ cm;
2. Regolarizzazione della superficie con malta a reattività pozzolanica tipo **CONCRETE ROCK S** o **LIMECRETE** in calce idraulica per la posa del tessuto, previa bagnatura del supporto;
3. Applicazione all'intradosso del tessuto in fibra di carbonio secondo ciclo FRP:
 - Impregnazione con primer epossidico a solvente tipo **RESIN PRIMER**;
 - Regolarizzazione con stucco epossidico tixotropico tipo RESIN 90 (se necessario);
 - Stesura adesivo epossidico tipo RESIN75;
 - Posa tessuto in carbonio uniassiale tipo **C-SHEET 240/300-400-600** O bidirezionale tipo **CTB 240/360**;
 - Impregnazione finale del tessuto con tipo **RESIN 75**;

In presenza di più strati ripetere le operazioni 3-4-5. Sovrapposizione minima: longitudinale 15/20 cm;
4. Installazione connettori a fiocco in fibra aramidica tipo **AFIX** o in carbonio tipo **CFIX** in corrispondenza delle estremità del rinforzo (sull'imposta dell'arco):
 - Esecuzione foro 14-16 mm prima della stesura del tessuto
 - Inghisaggio connettore nel foro con resina tipo **RESIN 75** per almeno 20 cm, previa pulizia del foro
 - Dopo la stesura del tessuto, sfiocatura del fiocco per almeno 15 cm e impregnazione con resina tipo **RESIN 75**
5. Installazione dei connettori a fiocco per ancoraggio tessuto all'intradosso (2 alternative):

5.a – 5.b: fasce di tessuto in fibra di carbonio tipo **C-SHEET 240/300-400-600** disposte a "U-Wrap", aventi anche funzione di rinforzo a taglio (eventuale inserimento di ulteriori connettori a fiocco per ancoraggio tessuto U-Wrap)
6. inserimento di connettori a fiocco in aramide tipo **AFIX** o in carbonio tipo **CFIX** con interasse massimo di 50 cm
7. eventuali finiture con intonaco civile o di altro tipo, previo spolvero al quarzo su resina ancora fresca





Immagine 31: Applicazione CFRP System su archi/volte in muratura.

Rinforzo di pareti in muratura mediante applicazione di intonaco armato FRCM

Il rinforzo di una parete in muratura mediante intonaco armato a basso spessore FRCM, può essere adottato al fine di incrementare la resistenza a taglio, a flessione nel piano e a flessione fuori piano (verticale o orizzontale).

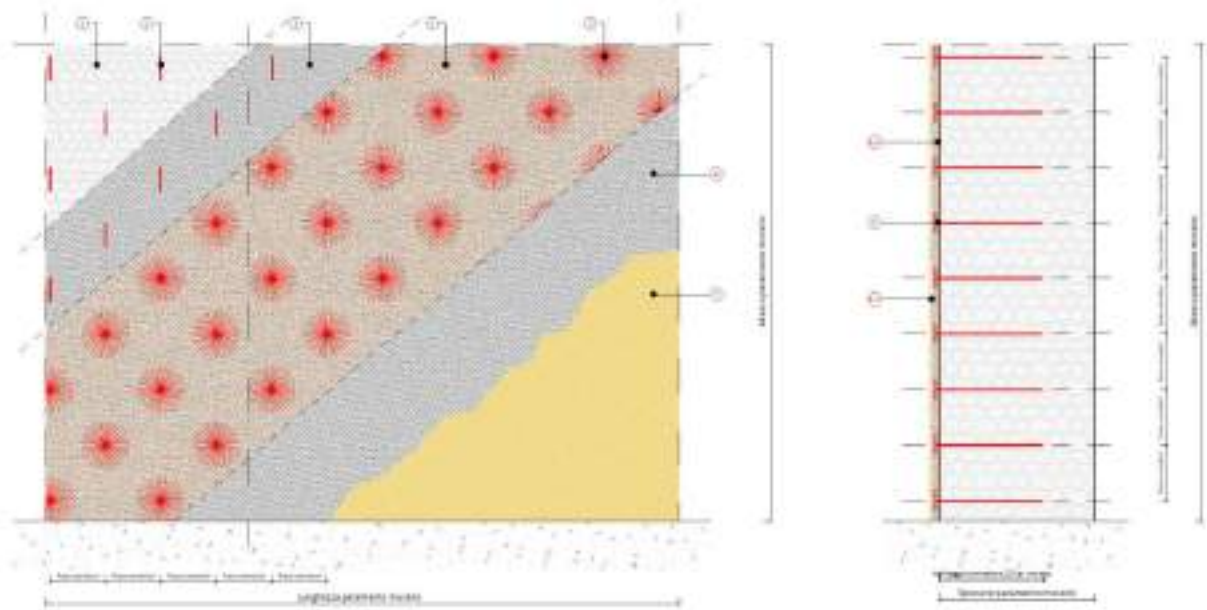


Immagine 32: Rinforzo pareti in muratura su un solo lato con FRCM.

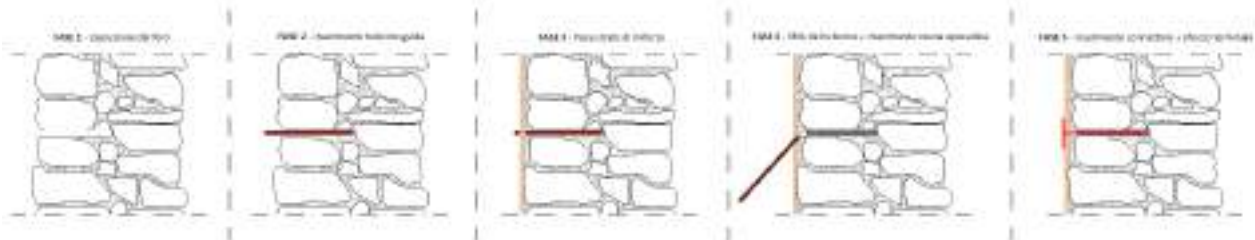


Immagine 33: Connessione a fiocco non passante.

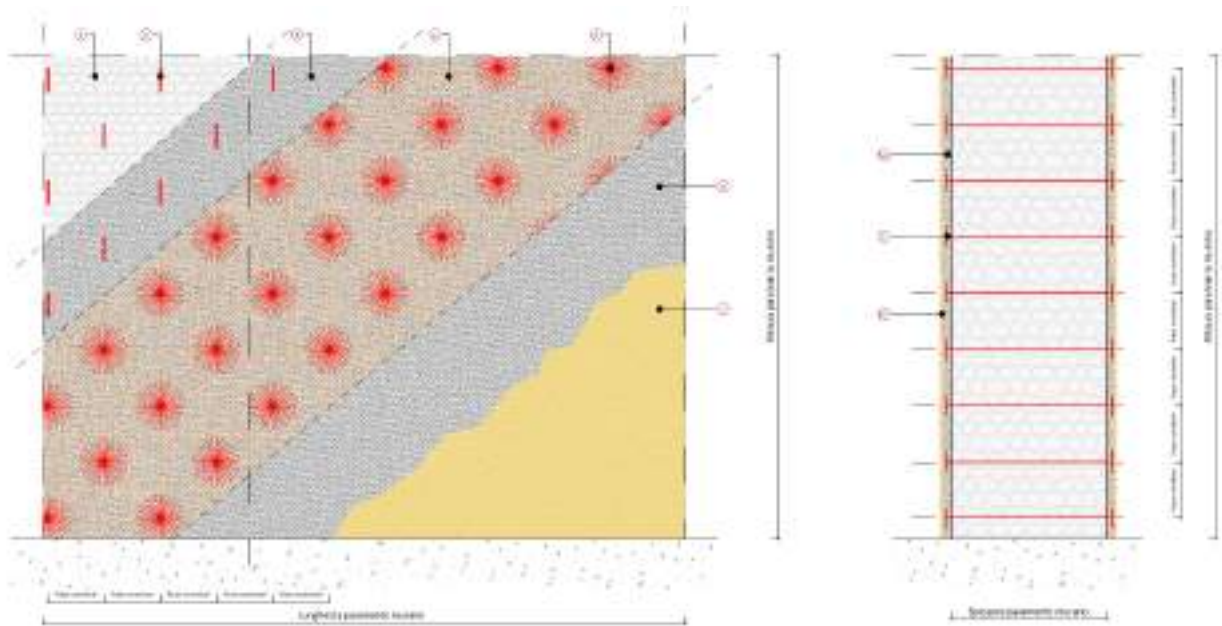


Immagine 34: Rinforzo pareti in muratura su entrambi i lati con FRCM.

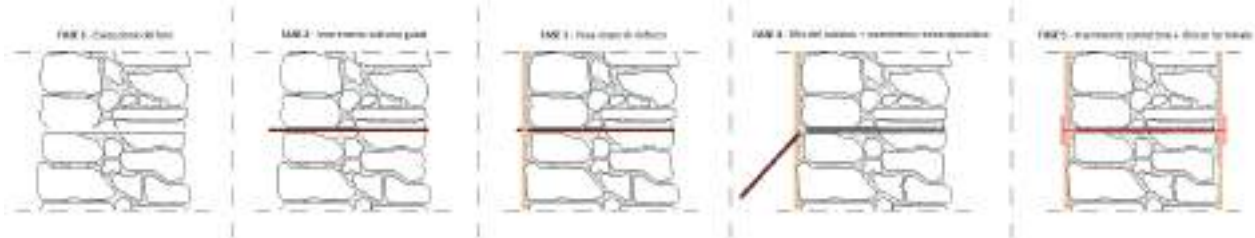


Immagine 35: Connessione a fiocco passante.

FASI DI RINFORZO PARETI IN MURATURA CON FRCM SYSTEM:

1. Trattamento della muratura esistente con rimozione dell'intonaco, degli strati incoerenti ed eventuale consolidamento della stessa;
2. Realizzazione dei fori e installazione dei connettori a fiocco (4/mq);
3. Realizzazione del primo strato di malta su tutta la superficie da rinforzare;
4. Stesura della rete in fibra con sormonto minimo definito nel CVT e in progetto;
5. Sfioccatore dei connettori a fiocco sulla rete e fissaggio degli stessi con resina epossidica **RESIN 75**;
6. Copertura della rete con lo strato finale di malta, da applicare quando il primo strato presenta consistenza ancora umida. Spessore totale dei due strati di malta 15 - 20 mm;
7. Eventuali finiture.

NOTA

- Per il calcolo dei rinforzi FRCM sui paramenti murari può essere impiegato il software **FRCMwall®**.



Immagine 36: Applicazione sistema FRM.



Immagine 37: Inghisaggio e sfioccatura connettore.

Rinforzo di pareti in muratura mediante applicazione di tessuti in acciaio galvanizzato UHTSS (SRG System)

Il rinforzo di una parete in muratura qualsiasi può essere impiegato per incrementare la resistenza a taglio, a scorrimento, a flessione nel piano e a flessione fuori piano (verticale o orizzontale).

Disponendo le strisce di tessuto in maniera adeguata è possibile rinforzare la muratura nei confronti di tutte le principali sollecitazioni (schema A), oppure per singole tipologie di sollecitazione: pressoflessione nel piano e fuori piano (schema B); flessione nel piano orizzontale (schema C) e taglio (schemi C e D).

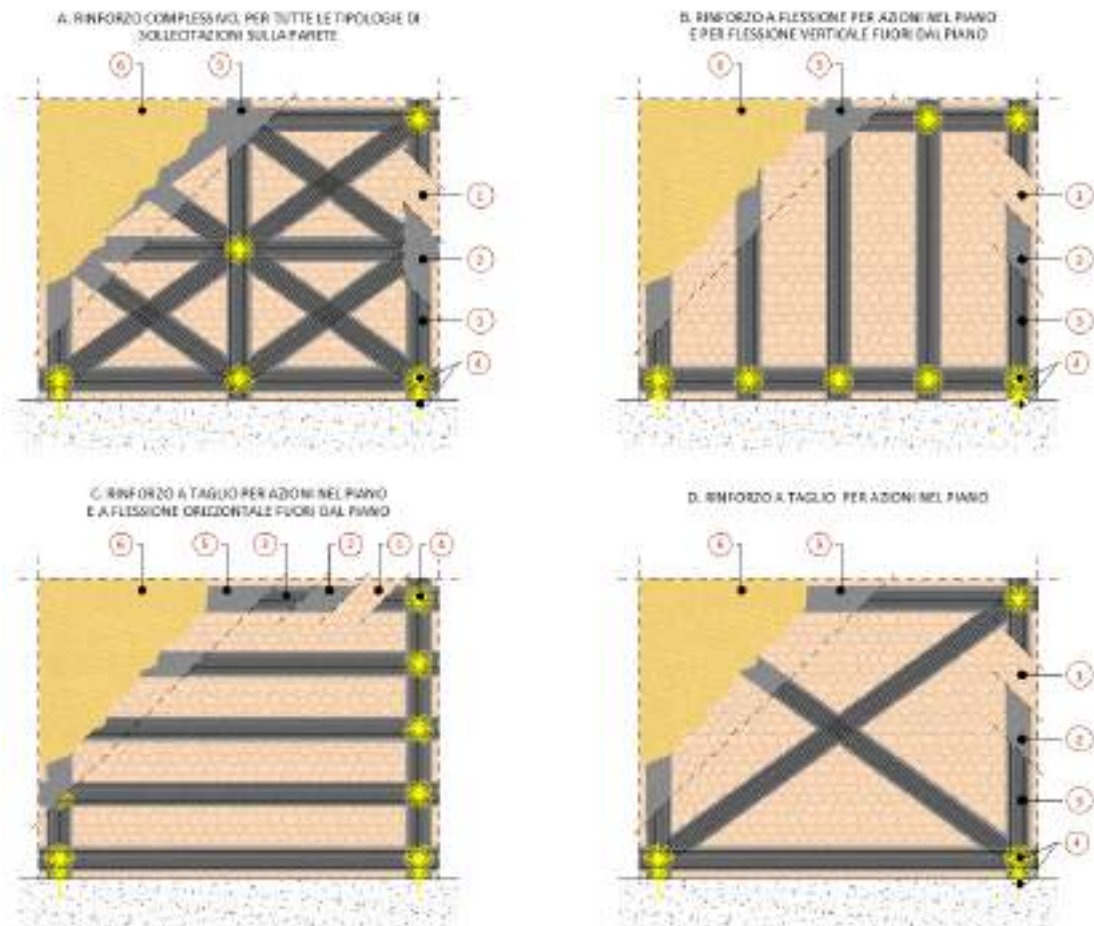


Immagine 38: Rinforzo murature con SRG.

FASI DI RINFORZO PARETI IN MURATURA CON SRG SYSTEM:

1. Rimozione dell'eventuale intonaco esistente e consolidamento della muratura con ricostruzione delle zone ammalorate;
2. Realizzazione delle corsie di regolarizzazione con il primo strato di malta tipo LIMECRETE;
3. Annegare, nella malta ancora fresca, le strisce di tessuto in acciaio UHTSS galvanizzato **STEEL NET G80** o **STEEL NET G135**. Sovrapposizione longitudinale minima 20 cm;
4. Installazione (da valutare in sede di progetto), in corrispondenza alle intersezioni dei tessuti, dei connettori a trefoli in acciaio galvanizzato **SFIX G10**:
 - Esecuzione del foro di 14 - 16 mm di diametro prima della stesura del tessuto;
 - Inghisaggio del connettore, per almeno 20 cm o passante, nel foro con malta da iniezione tipo **LIMECRETE IR**, previa pulizia dello stesso;

- Dopo la stesura del tessuto, sfioccatura, per almeno 15 cm, del fiocco sul tessuto e fissaggio con malta **LIMECRETE**;
5. Stesura del secondo strato di malta **LIMECRETE** a copertura del tessuto finché il primo strato presenta ancora consistenza umida. Spessore totale della malta 15 - 20 mm;
 6. Eventuali finiture con **LIMECRETE F1** o di altro tipo.

NOTE

- L'impiego di malte di calce idraulica è preferibile per murature storiche dove è essenziale garantire compatibilità e una buona traspirabilità;
- L'installazione delle fibre di rinforzo può anche non comprendere tutte quelle rappresentate in figura ed è funzione della tipologia di rinforzo che si vuole realizzare;
- Per il calcolo dei rinforzi è disponibile gratuitamente il software FRCMwall®.



Immagine 39: Applicazione con SRG system su murature.

Fasciatura di piano mediante applicazione di tessuti in fibra di acciaio galvanizzato UHTSS (SRG System)

Rinforzo di porzioni di edificio in muratura mediante fasce di piano con tecnologia SRG System realizzata con tessuti in acciaio, applicati con malte strutturali a base di calce idraulica. Con tale sistema è possibile migliorare il collegamento e l'incatenamento delle pareti ortogonali fra loro, incrementare la resistenza a flessione orizzontale e favorire un comportamento scatolare dell'edificio.



Immagine 40: Fasciatura di piano e/o di sommità con SRG.

FASI DI RINFORZO FASCIATURA DI PIANO E/O DI SOMMITÀ:

1. Rimozione eventuale intonaco esistente e consolidamento delle zone ammalorate con malte base calce tipo **LIMECRETE**;
2. Installazione di connettori in acciaio tipo **SFIX G10** con resina epossidica tipo **RESIN 90**;
3. Realizzare le corsie di regolarizzazione con malta a base calce idraulica tipo **LIMECRETE** per la posa del tessuto, previa bagnatura del supporto;
4. Applicazione del rinforzo SRG System con tessuto in acciaio unidirezionale UHTSS tipo **STEEL NET G80 o G135** nella malta ancora fresca. Sovrapposizione minima longitudinale 20 cm;
5. Sfiocatura dei connettori a fiocco per l'ancoraggio del rinforzo e impregnati con resina tipo **RESIN 90** sul rinforzo;
6. Copertura del tessuto con lo strato finale di malta tipo **LIMECRETE**. Spessore totale ca 20 mm;
7. Eventuali operazioni di finitura.

NOTE

- A. In alternativa, come connettori, è possibile impiegare:
- Lo stesso tessuto **STEEL-NET** impiegato per il rinforzo, arrotolato e inghisato nel foro di 20-24 mm con malta da iniezione tipo **LIMECRETE IR** e profilo per iniezione tipo **INJECT CONNECT**, sfiocato sul tessuto e fissato con malta **LIMECRETE**.

- Barre elicoidali tipo **STEEL ANCHORFIX** da 8 o 10 mm. Le barre andranno inserite nella muratura a secco previa realizzazione di un preforo e poi ripiegate sul tessuto. Questa metodologia è fortemente sconsigliata in presenza di supporti non adeguati, come murature incoerenti o con tessitura in blocchi forati.
- B. L'importanza dei connettori è fondamentale per migliorare l'ancoraggio delle strisce di tessuto. Il posizionamento dei connettori deve avvenire in maniera da garantire la trasmissione degli sforzi alle strutture d'ambito.

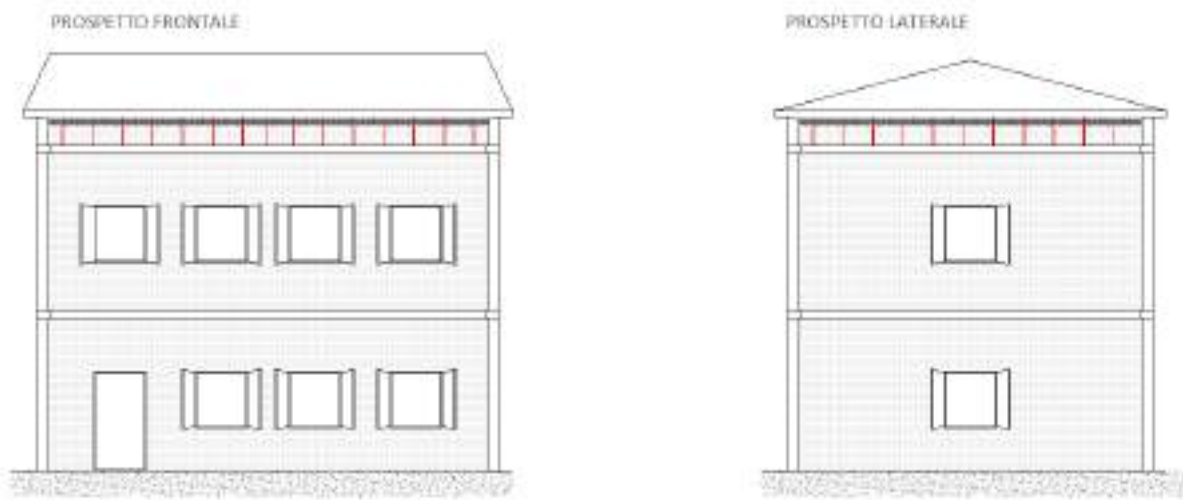


Immagine 41: Applicazione fasciatura di piano e/o di sommità con tessuto SRG.

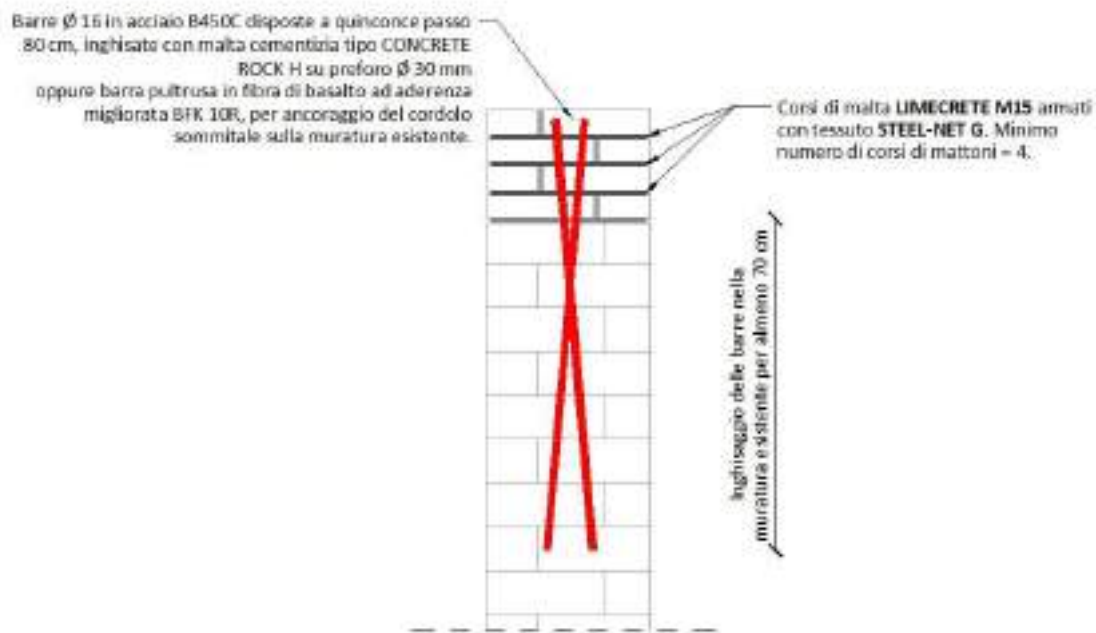
Realizzazione di cordoli sommitali in muratura armata (SRG System)

Realizzazione di cordoli sommitali in muratura armata con tessuto in fibra di acciaio UHTSS galvanizzato, che, garantendo una buona resistenza meccanica, risultano più leggeri, meno rigidi e più duttili rispetto ad un normale cordolo in cemento armato, comportandosi, quindi, in modo più consono rispetto alla struttura muraria in cui viene inserito. Prove sperimentali hanno dimostrato l'ottimo comportamento del cordolo in muratura armata a carichi crescenti e ciclici. L'intervento consente la creazione di una fascia di cerchiatura in sommità che contribuisce ad evitare il ribaltamento fuori piano delle murature superiori.

L'azienda offre un servizio tecnico per il calcolo del cordolo e l'assistenza in cantiere.



CORDOLO PER MURATURE IN LATERIZIO REGOLARE



CORDOLO PER MURATURE MISTE

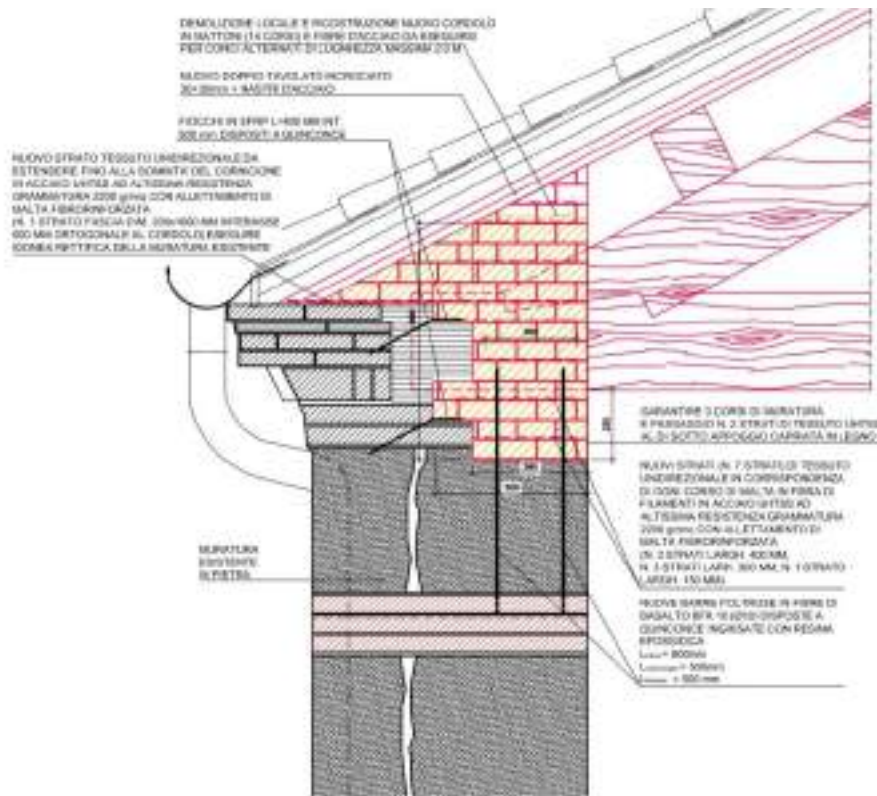


Immagine 42: Schemi applicativi cordolo sommitale in muratura armata.

FASI DI RINFORZO CORDOLO IN SRG SYSTEM:

1. Messa a nudo degli elementi strutturali mediante pulizia delle superfici; rincocciatura e sigillatura di eventuali lesioni con malta in calce idraulica tipo **LIMECRETE**;
2. Realizzazione del primo corso di malta con calce idraulica tipo **LIMECRETE** sulla muratura e stesura del tessuto in acciaio tipo **STEEL-NET G 80 – 135**, da annegare nella malta fresca, con sormonto minimo longitudinale di 20 cm;
3. Procedere con un nuovo corso di mattoni con le stesse modalità per un'altezza del cordolo pari almeno 4 corsi di mattoni e comunque secondo i dettagli costruttivi;
4. Realizzazione di fori di diametro $\varnothing 30$ nella parte sommitale della muratura esistente per 70 cm di profondità, o comunque secondo progetto, inserimento di barre $\varnothing 16$ in acciaio B450C disposte a quinconce passo 80 cm, inghisate con malta cementizia tipo **CONCRETE ROCK H** oppure inserimento di barre pultruse in fibra di basalto ad aderenza migliorata tipo **BFK 10R** su preforo da 16 - 18 mm, inghisate con resina epossidica tipo **RESIN 70 - 75 - 97** o malte speciali, disposte a quinconce passo 50 cm.

NOTA

- Particolare attenzione deve essere posta nell'ancoraggio del cordolo alla muratura esistente e alle intersezioni d'angolo secondo disposizioni progettuali.



Immagine 43: Applicazione SRG System su cordolo esistente in muratura portante.

Rinforzo di archi e/o volte in muratura mediante applicazione di tessuti in acciaio (SRG System)

Il rinforzo all'intradosso consente l'incremento del carico di collasso dell'arco conseguente alla formazione di cerniere plastiche. L'ancoraggio del tessuto viene realizzato con connettori a fiocco fissati direttamente all'intradosso.

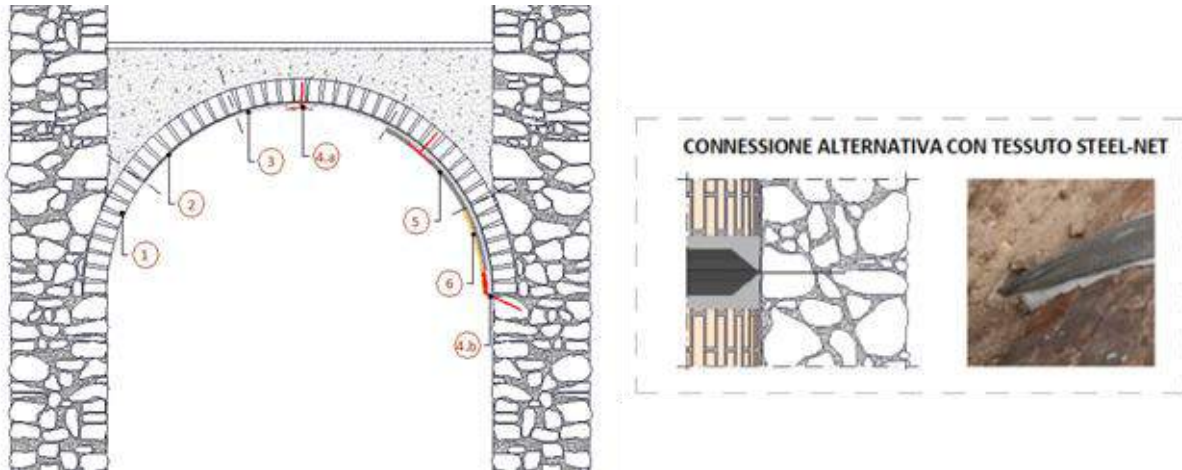


Immagine 44: Rinforzi archi e/o volte con SRG.



Immagine 45: Installazione dei connettori.

FASI DI RINFORZO ARCHI/VOLTE:

1. Rimozione dell'eventuale intonaco esistente e consolidamento della muratura con ricostruzione delle zone ammalorate per mezzo di malte a base calce tipo LIMECRETE. In presenza di murature incoerenti valutare la possibilità di procedere con iniezioni di malta tipo **LIMECRETE IR**.
2. Realizzazione del primo strato di malta in calce idraulica naturale tipo **LIMECRETE** per la posa del tessuto di rinforzo, previa bagnatura del supporto.
3. Annegare, nella malta ancora fresca, le strisce di tessuto in acciaio UHTSS galvanizzato: tipo **STEEL-NET G80** o **STEEL-NET G135**. Sovrapposizione longitudinale minima 20 cm.
4. Installazione dei connettori a trefoli in acciaio galvanizzato tipo **SFIX G 10**, fissati in corrispondenza di:

- Intradosso dell'arco ad un interasse massimo di 50 cm;
- Estremità del rinforzo (sull'imposta dell'arco).

L'installazione dovrà avvenire secondo le seguenti fasi:

- Esecuzione del foro di 14 - 16 mm di diametro prima della stesura del tessuto;
- Inghisaggio del connettore, per almeno 20 cm o passante, nel foro con malta da iniezione tipo LIMECRETE IR, previa pulizia dello stesso;

- Dopo la stesura del tessuto, sfioccatura, per almeno 15 cm, del fiocco sul tessuto e fissaggio con malta tipo LIMECRETE.
5. Stesura del secondo strato di malta di calce idraulica naturale tipo LIMECRETE a copertura del tessuto finché il primo strato presenta ancora consistenza umida. Spessore totale della malta 15 - 20 mm.
 6. Eventuali finiture con LIMECRETE F1 o di altro tipo.

NOTE

- A. In alternativa, come connettori, è possibile impiegare:
 - Lo stesso tessuto **STEEL-NET** impiegato per il rinforzo, arrotolato e inghisato nel foro di 20-24 mm con malta da iniezione tipo **LIMECRETE IR** e profilo per iniezione tipo **INJECT CONNECT**, sfioccato sul tessuto e fissato con malta tipo **LIMECRETE**.
 - Barre elicoidali tipo **STEEL ANCHORFIX** da 8 o 10 mm. Le barre andranno inserite nella muratura a secco e previa realizzazione di un preforo e poi ripiegate sul tessuto. Questa metodologia è fortemente sconsigliata in presenza di supporti non adeguati, come murature incoerenti o con tessitura in blocchi forati.
- B. L'importanza dei connettori è fondamentale per migliorare l'ancoraggio all'estremità delle strisce di tessuto e per contrastare possibili fenomeni di debonding del tessuto dovuti alle spinte a vuoto. Il posizionamento dei connettori deve avvenire in maniera da garantire anche la trasmissione degli sforzi alle strutture d'ambito.



Immagine 46: Applicazione SRG System su volte in muratura.

Rinforzo di pareti in muratura mediante applicazione di intonaco armato CRM

Il rinforzo di una parete in muratura portante per mezzo di intonaco armato CRM, è impiegato per incrementare la resistenza a taglio, a flessione nel piano e a flessione fuori piano (verticale o orizzontale).

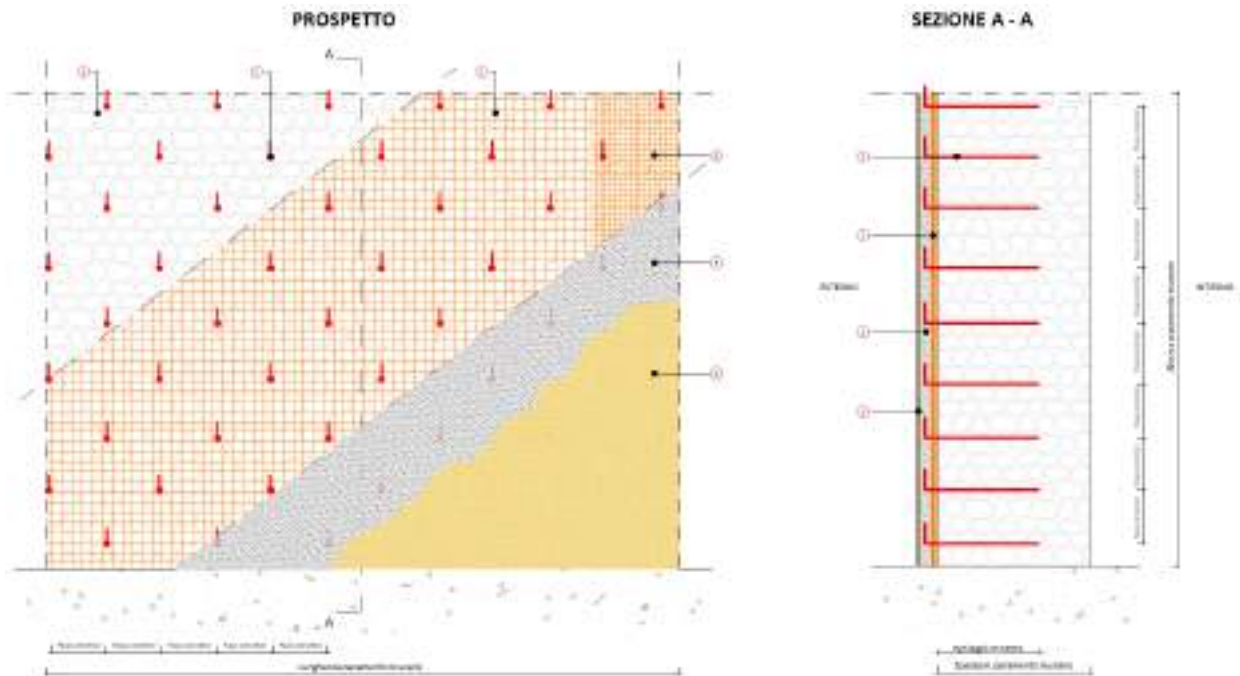


Immagine 47: Rinforzo pareti in muratura su un solo lato con CRM.

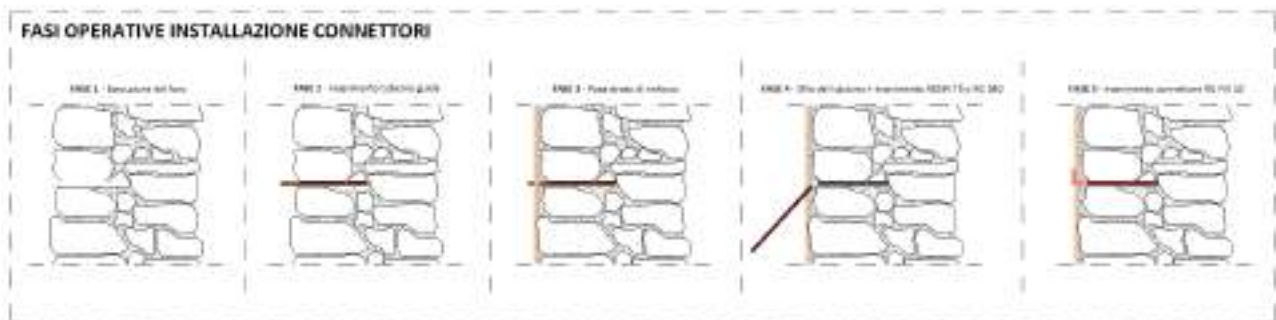


Immagine 48: Connessione non passante.

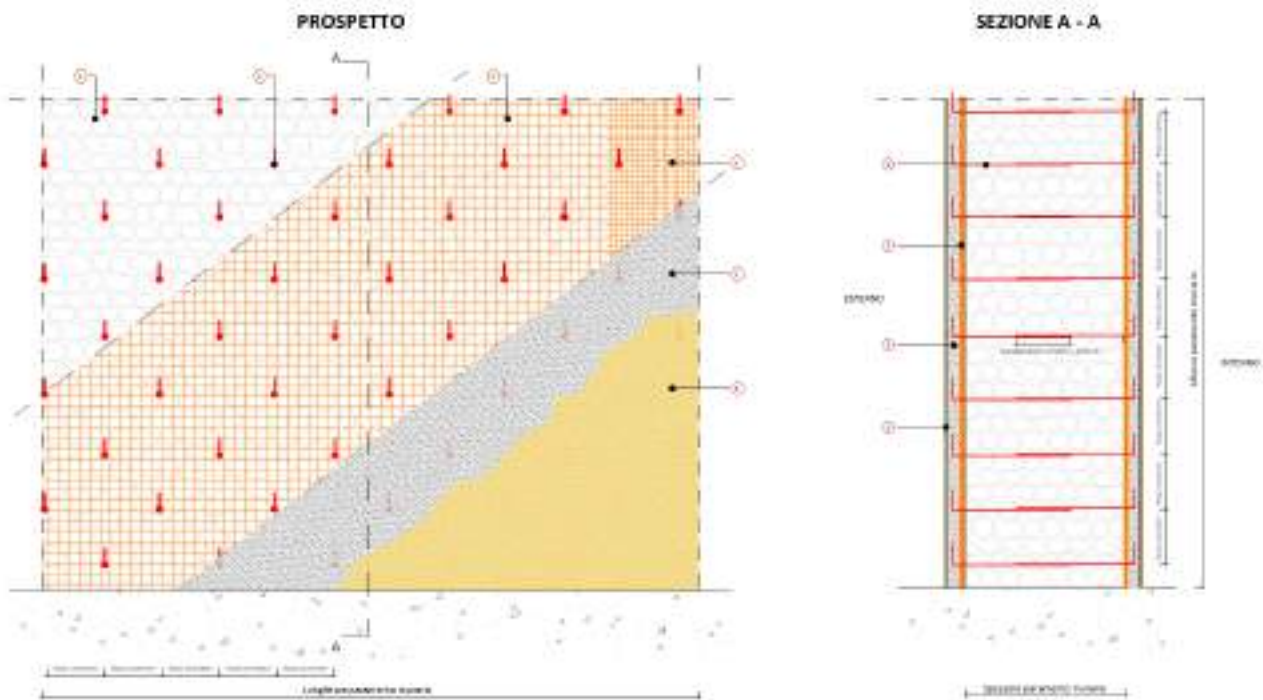


Immagine 49: Rinforzo pareti in muratura su entrambi i lati con CRM.

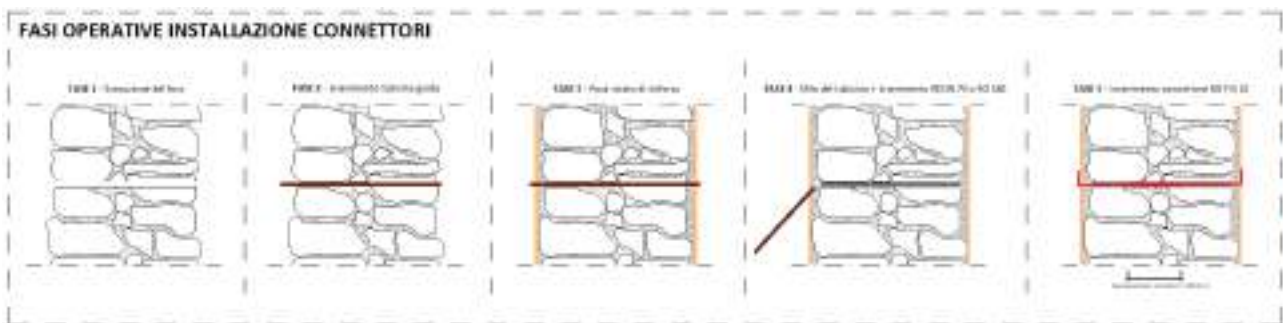


Immagine 50: Connessione passante.

FASI DI RINFORZO CRM SYSTEM:

- 1 Trattamento della muratura esistente con rimozione dell'intonaco, degli strati incoerenti ed eventuale consolidamento della stessa;
- 2 Inghisaggio dei connettori preformati, ad "L" in fibra di vetro, **RG - FIX 10**:
 - Esecuzione del foro non passante di 14 - 16 mm di diametro;
 - Inghisaggio del connettore nel foro con **RESIN 75** o adesivo in cartucce **RESIN RG 380**, previa pulizia del foro stesso. Il connettore dovrà essere inserito per almeno il 60% dello spessore della muratura.
È consigliato disporre almeno n. 4/mq a quinconce. Per connessioni passanti (foro di partenza pari a circa 24 mm di diametro) la sovrapposizione degli stessi dovrà essere di 10/15 cm circa.
- 3 Posa della rete preformata in GFRP con maglia 33x33 **RG33 NET BA**, 66x66 mm **RG66 NET BA**, 99x99 **RG99 NET BA**. Sovrapposizione minima delle reti 10 cm.
- 4 Posa, nelle zone d'angolo, dei pezzi speciali, con piegatura predisposta a 90°, **E-CORNER RG L25**.
- 5 Posa della matrice inorganica costituita da idonea malta di calce idraulica **Limecrete**

Spessore minimo 30 mm.

- 6 Eventuali finiture con intonaco civile o di altro tipo.

NOTE

- In alternativa, come connettori, è possibile impiegare barre elicoidali **STEEL ANCHORFIX** da 8 o 10 mm. Le barre andranno inserite nella muratura a secco e previa realizzazione di un preforo e poi ripiegate sulla rete. Questa metodologia è fortemente sconsigliata in presenza di supporti non adeguati, come murature incoerenti o con tessitura in blocchi forati.
- In alternativa alle malte indicate si possono impiegare altri betoncini o anche un comune calcestruzzo strutturale. Le reti rigide **RG NET** possono essere impiegate come armatura alternativa ad una tradizionale rete elettrosaldata in acciaio, con tutti i vantaggi in termini di durabilità e leggerezza.
- L'importanza dei connettori è fondamentale per migliorare l'ancoraggio della rete. I connettori, se passanti, fungono anche da diatoni di collegamento per i paramenti murari. Il posizionamento dei connettori deve avvenire in maniera da garantire la trasmissione degli sforzi alle strutture circostanti fino ad arrivare in fondazione.



Immagine 51: Applicazioni reti CRM.

10 RINFORZO PER MURATURE FACCIA A VISTA

Il consolidamento e il rinforzo strutturale delle murature a "faccia a vista", soggette oltre che ai carichi verticali anche alle possibili azioni dinamiche dovute a eventi sismici, rappresenta uno degli interventi più complessi per il raggiungimento di un adeguato livello di sicurezza degli edifici.

A oggi numerose sono le tecniche proposte come migliorative delle caratteristiche meccaniche della muratura; fra le più recenti possono essere ricordate quelle che prevedono il placcaggio con compositi a base di fibre unidirezionali, la realizzazione di un intonaco armato con rete in FRP (Fiber Reinforced Polymer), o interventi con compositi fibrorinforzati con matrici inorganiche (FRCM). Tali tecniche hanno tuttavia il limite applicativo di non preservare l'originario aspetto della muratura su cui si interviene.

Pertanto su murature storiche per le quali è necessario preservare la finitura faccia a vista dei paramenti murari è possibile intervenire con il cosiddetto sistema ANCHORSTEEL NET di seguito descritto.

Sistema ANCHORSTEEL NET per faccia a vista

Il Sistema **ANCHORSTEEL NET** è un sistema di rinforzo per murature faccia a vista in pietrame grossolanamente squadrato o in laterizio regolare, che consiste nell'inserimento nei giunti di malta, scarniti per una profondità di 50 - 60 mm, di una maglia continua realizzata con trefoli di acciaio UHTSS galvanizzato, i cui nodi, generalmente uno ogni due, sono fissati al paramento murario mediante le barre trasversali elicoidali in acciaio inox **STEEL ANCHORFIX**, secondo uno schema a maglie di opportune dimensioni.

La ristilatura finale dei giunti con la malta **LIMECRETE TA**, che ricopre completamente sia i trefoli che le teste delle barre trasversali, permette di conservare la finitura faccia-a-vista della muratura.

Il gruppo G&P intech offre un servizio tecnico per la definizione del tracciato e il calcolo del rinforzo ai fini del miglioramento a taglio e a pressoflessione del pannello murario e, inoltre, offre assistenza in cantiere alla posa in opera.

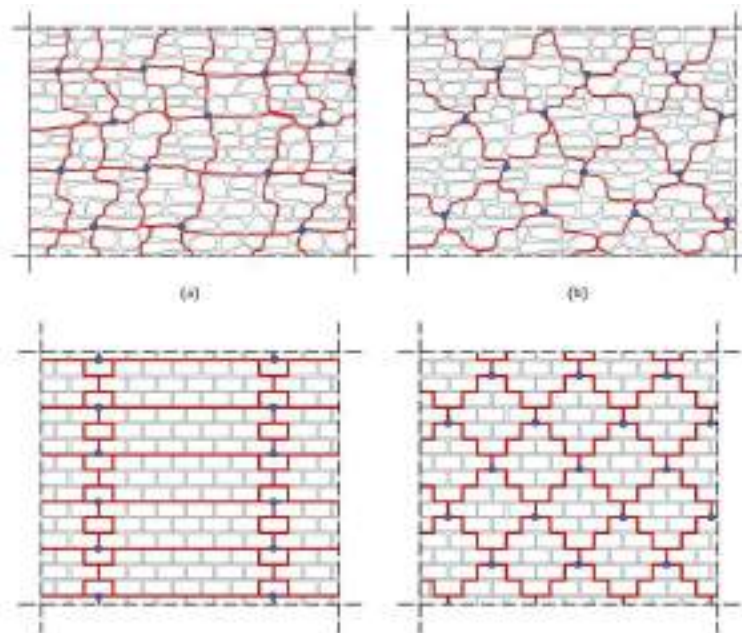
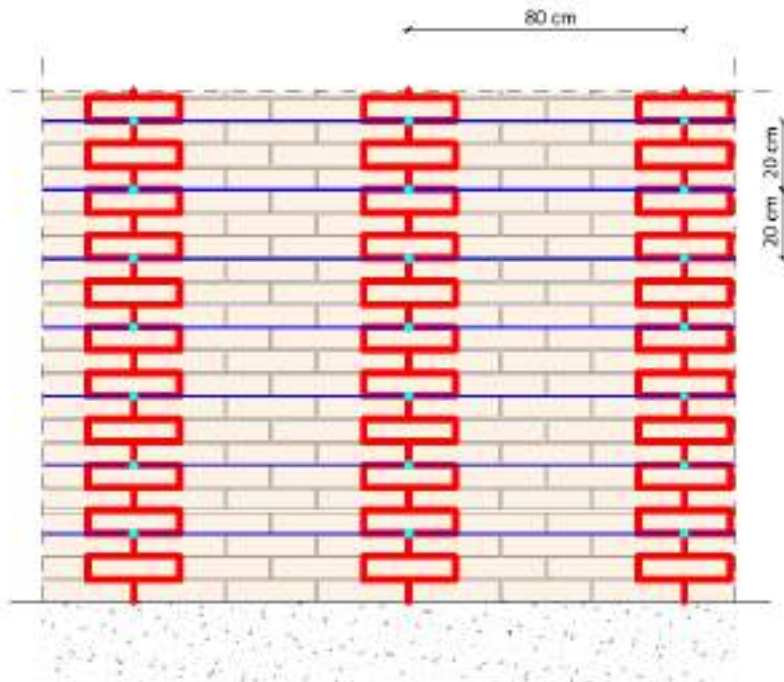


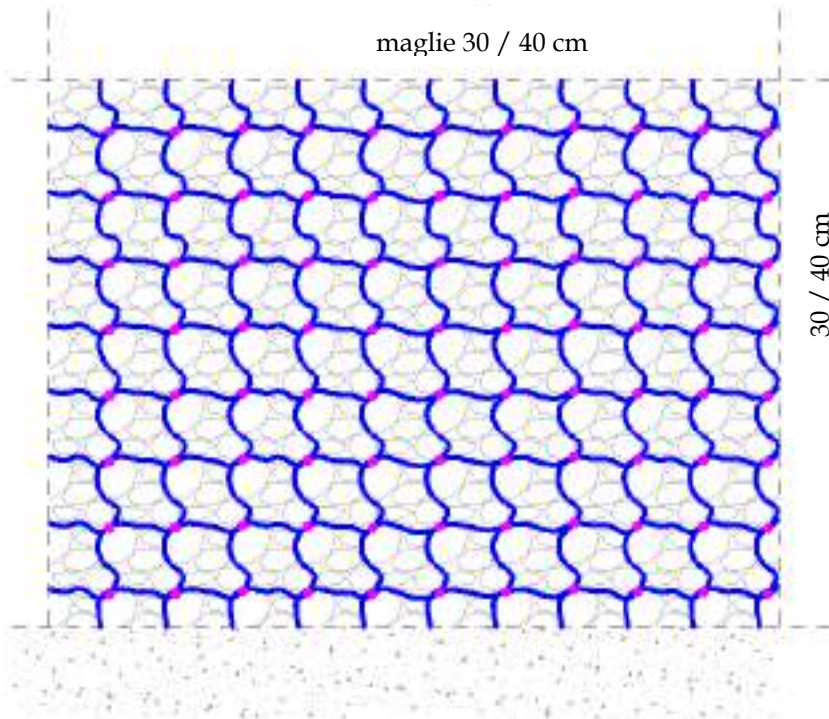
Immagine 52: Possibili disposizioni delle funi metalliche su murature di conci irregolari (a-b) e regolari (c-d). In blu sono rappresentate le posizioni dei connettori trasversali.

SCHEMA APPLICATIVO PER MURATURE REGOLARI



Esempi di maglie:
 Maglia: 80X40 (6 corsi di mattoni)
 Maglia: 80X20 (3 corsi di mattoni)

SCHEMA APPLICATIVO PER MURATURE IRREGOLARI



Fasi di intervento

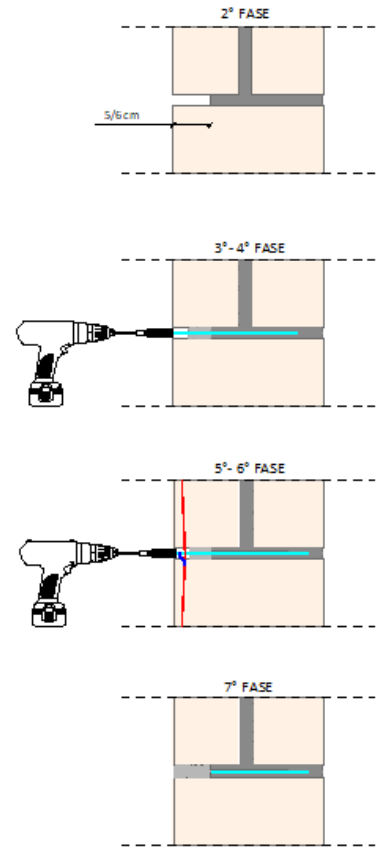


Immagine 53: Schemi applicativi ANCHORSTEEL NET.

FASI SISTEMA ANCHORSTEEL NET:

1. Preliminare studio della tessitura muraria per decidere il tracciato secondo cui disporre i trefoli metallici e la posizione dei nodi in cui realizzare le perforazioni per le barre.
2. Esecuzione della scarifica dei giunti di malta per una profondità di almeno 50-60 mm e idropulizia degli stessi. Applicazione di un primo strato di malta in calce idraulica da stilatura tipo **LIMECRETE TA** nei corsi precedentemente scarificati (tale operazione può non essere richiesta in presenza di giunti regolari e non molto profondi).
3. Esecuzione del foro pilota diametro 8 mm con trapano a rotazione sulla faccia da trattare (se la tipologia muraria lo consente tale lavorazione può essere eliminata). Successiva pulizia per mezzo di getto d'aria.
4. Inserimento a secco delle barre elicoidali in inox tipo **STEEL ANCHORFIX Ø10** in funzione delle dimensioni del reticolo, o quanto previsto in progetto, a mezzo speciale mandrino e trapano a percussione di adeguata potenza per una profondità di ca. 2/3 dello spessore murario o quanto definito in progetto, avendo cura di lasciare sporgere i sistemi di ritegno posti nella parte superiore delle barre.
5. Stesura dei trefoli di acciaio galvanizzato UHTSS lungo le traiettorie individuate a formare
 - per murature in conci irregolari una maglia quadrata di lato 30-40 cm o in alternativa con andamenti sempre mutuamente ortogonali fra loro, ma diagonali rispetto ai giunti di malta;
 - per murature regolari disporre i trefoli nei corsi orizzontali di malta (tipicamente ogni tre o sei rispettivamente 20/40 cm) da collegarsi fra loro da coppie di trefoli verticali disposte a una distanza di 80 cm l'uno dall'altro e comunque secondo le indicazioni progettuali, avendo cura di far passare i trefoli all'interno dei ritegni presenti sulla parte terminale delle barre.
6. Tensionamento dei trefoli mediante avvitamento finale con trapano a percussione delle teste sporgenti delle barre con contemporaneo inserimento finale della barra nella muratura.
7. Ristilatura finale dei giunti con malta tipo **LIMECRETE TA**.



Immagine 54: Sistema ANCHORSTEEL NET su laterizio regolare e pietrame squadrato.

Ristilatura armata dei giunti di malta di paramenti murari in laterizio regolare a vista con barre elicoidali in acciaio inox e connessioni ortogonali di ancoraggio (SAC)

Ristilatura armata di murature storiche di pregio architettonico a vista in laterizio regolare mediante barre elicoidali in acciaio inox **STEEL ANCHORFIX** disposte longitudinalmente e trasversalmente, collegate tra di loro tramite speciale connettore in acciaio inox **STEEL ANCHORFIX CONNECT (SAC)** disposto alle estremità delle barre trasversali, e malta di allettamento. La ristilatura armata consente di incrementare la resistenza a flessione e a taglio, nonché la cucitura delle murature in laterizio.

L'azienda offre un servizio tecnico per la definizione del tracciato, il calcolo della stilatura armata e l'assistenza in cantiere.

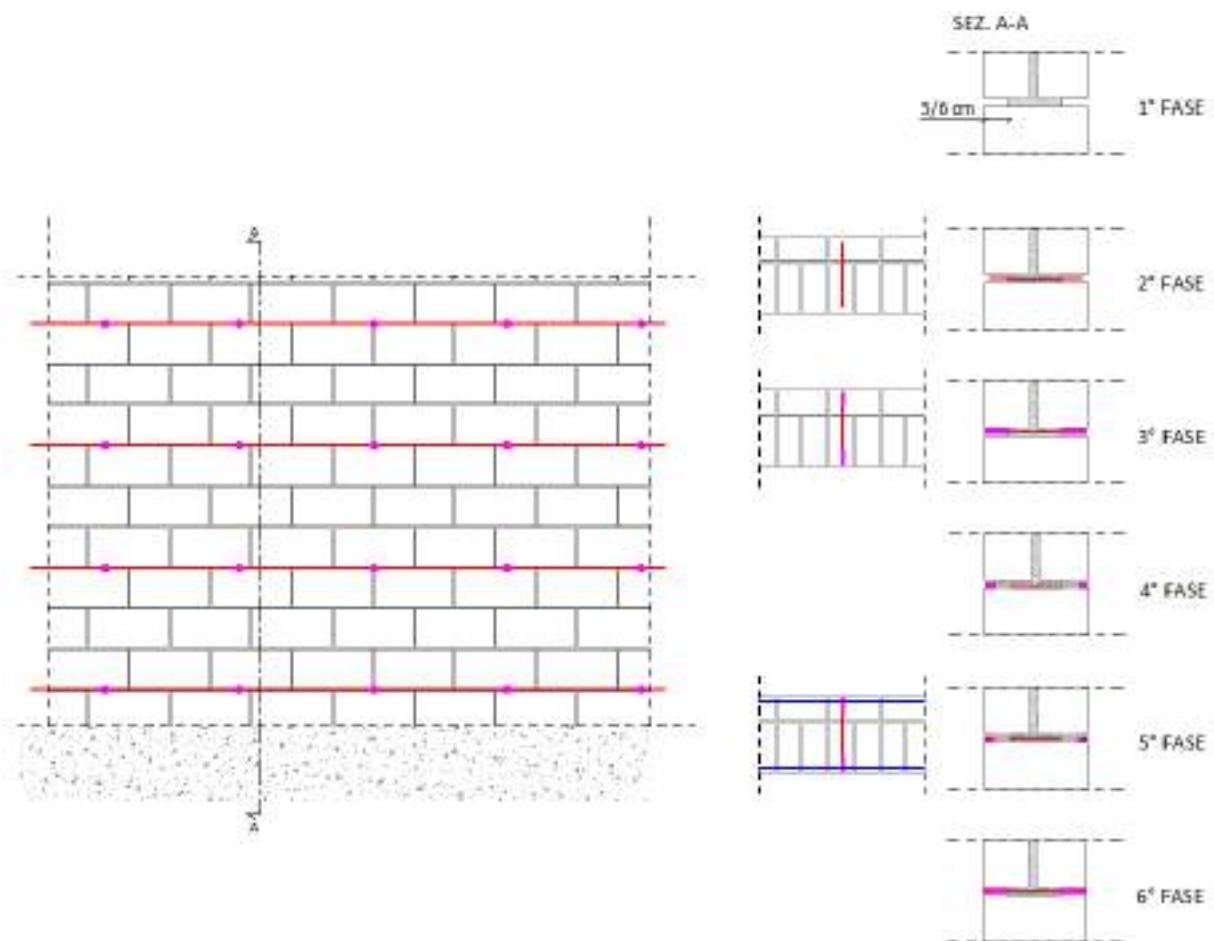


Immagine 55: Schema applicativo ristilatura armata (SAC).

FASI SISTEMA SAC:

1. Esecuzione della scarifica dei giunti interessati dall'intervento per una profondità di circa 50/60 mm; soffiatura con aria compressa dei giunti al fine di rimuovere parti incoerenti e polvere, bagnatura degli stessi;
2. Realizzazione dei prefori per l'inserimento a secco delle barre trasversali nello spessore del muro e allargamento dei prefori stessi a 14 mm di diametro per i primi 80 mm di profondità; inserimento a secco delle barre trasversali tipo **STEEL ANCHORFIX 10** nello spessore del muro
3. Fissaggio, in testa alle barre elicoidali, dei connettori tipo **STEEL ANCHORFIX CONNECT** (SAC)
4. Applicazione del primo strato di malta di allettamento in calce idraulica naturale tipo LIMECRETE TA M10 nei corsi precedentemente scarificati;
5. Posizionamento delle barre elicoidali tipo **STEEL ANCHORFIX Ø 6** mm in acciaio inox all'interno dei giunti prevedendone il passaggio all'interno dei fori predisposti in testa al connettore e sovrapposte se richiesto;
6. Ristilatura finale dei giunti con la stessa malta di allettamento tipo **LIMECRETE TA M10**.



Immagine 56: Applicazione ristilatura armata (SAC).

11 REFERENZE SULLE LINEE DI PRODOTTI PER IL CONSOLIDAMENTO E IL RINFORZO STRUTTURALE

Di seguito si riportano alcune referenze di lavori di consolidamento e di rinforzo strutturale svolti nell'ambito dei beni culturali, nell'ambito civile e industriale, infrastrutturale (ponti e gallerie) e nel settore dei rinforzi strutturali di condòmini in cemento armato e muratura portante.

LINEA FRP - SRP SYSTEM

Condominio via M.te dei Nove Draghi (RM)

Al fine di migliorare sismicamente il condominio in c.a. sito nel comune di Roma in via Monte dei Nove Draghi, è stato realizzato il consolidamento dei pilastri e delle pareti in c.a. mediante impiego di sistema CFRP costituito da tessuti in fibra di carbonio Classe 210 C ancorati al supporto tramite connettori a fiocco in fibra di carbonio $\Phi 10$ mm. Inoltre, allo scopo di scongiurare fenomeni di antiribaltamento delle tamponature è stato effettuato il presidio delle stesse attraverso l'applicazione di un sistema FRCM costituito da reti apprettate in fibra di basalto annegate in una matrice inorganica a base calce idraulica naturale M15 e ancorate al supporto in laterizio con sistemi di connessione a fiocco in basalto, inghisati con resina epossidica bicomponente.



Immagine 57: Applicazione CFRP System.



Immagine 58: Applicazione FRCM System.



Immagine 59: Connettori a fiocco.

Condominio Reccia (CE)

Il consolidamento strutturale del condominio in c.a. sito nel comune di Aversa (CE), il progetto ha previsto l'impiego del sistema CFRP mediante applicazione di tessuti unidirezionali alto modulo C-SHEET 240/600 HM impregnati in situ con adesivo epossidico RESIN 75 marcato CE e di lamelle pultruse in fibra di carbonio alto modulo CFK C200/2000 di spessore 1,4 mm applicate con adesivo epossidico strutturale RESIN 90 anch'esso marcato CE.



Immagine 60: Applicazione tessuti in CFRP.



Immagine 61: Applicazione lamelle in CFRP.

Viadotti Autostrada A14 tratto Cattolica - Fano

Al fine di migliorare le caratteristiche meccaniche della struttura in c.a. costituente un importante viadotto dell'autostrada A14 nel tratto tra Cattolica e Fano sono stati realizzati interventi di rinforzo strutturale sia a flessione con impiego di lamelle in fibra di carbonio CFK 150/200 applicate in situ con adesivo epossidico bicomponente RESIN 90 sia a taglio impiegando tessuti in fibra di carbonio alto modulo C-SHEET 390/300 applicati con resina epossidica RESIN 75 e connettori di ancoraggio in fibra aramidica AFIX 10.



Immagine 62: Applicazione CFRP System.

Viadotto della Scafa Roma- Fiumicino

Per il viadotto della Scafa a Roma, allo scopo di migliorare le caratteristiche meccaniche della struttura, si è reso necessario il consolidamento delle pile in c.a. prevedendo un intervento di confinamento delle stesse per mezzo di tessuti in fibra di carbonio basso modulo elastico C-SHEET 240/300 Classe 210C applicati in situ mediante adesivo epossidico bicomponente RESIN 75.



Immagine 63: Impiego di tessuti CFRP sul viadotto della Scafa a Roma.

LINEA FRCM - SRG SYSTEM

Scuola "Collodi" di Rettorgole (VI)

L'edificio scolastico "Collodi" di Rettorgole in provincia di Vicenza oggetto dell'adeguamento sismico presentava una struttura mista costituita da un telaio con pilastri in c.a., pareti di tamponamento in laterizio forato ed alcuni setti in muratura portante.

Per rinforzare e consolidare i paramenti murari a pressoflessione e per contrastare il loro ribaltamento fuori piano è stata prevista la tecnica dell'intonaco armato a basso spessore FRCM utilizzando una rete in fibra di vetro alcali resistente AR apprettata e connettori di ancoraggio rigidi. Le fasi operative del rinforzo hanno previsto una preventiva rimozione dell'intonaco e l'applicazione al supporto murario di un primo strato di malta strutturale. Il passaggio successivo è stato quello di annegare nella malta ancora fresca la rete in fibra di vetro AR prevedendo l'ancoraggio della stessa al supporto murario tramite connettori rigidi ad L ancorati a mezzo di perfori riempiti di resina epossidica. Il pacchetto di rinforzo è stato poi successivamente completato con uno strato finale di malta in modo tale da inglobare completamente la rete. Nella parte superiore e inferiore dei paramenti murari sono stati utilizzati connettori a fiocco.



Immagine 64: Applicazione FRCM System.



Immagine 65: Inghisaggio e sfiocatura del connettore.

Gallerie autostrada A1 Bologna-Firenze

Il consolidamento delle gallerie Castello e del Colle sulla tratta autostradale A1 Bologna-Firenze e della galleria di base lungo la variante di Valico ha previsto l'impiego del sistema SRG realizzato con tessuti in acciaio galvanizzato UHTSS ad altissima resistenza STEEL NET G 220 immersi in una matrice inorganica bicomponente cementizia CONCRETE ROCK V2 in classe R4 e sistema di connessione costituito da connettori a fiocco in acciaio galvanizzato SFIX G 10.



Immagine 66: Applicazione SRG System.

Ponte di San Giuliano di Mestre

Sul ponte di San Giuliano di Mestre, in gestione a Veneto Strade, è stato eseguito un rinforzo strutturale della spalla del ponte stesso con applicazione di strisce di tessuto in acciaio galvanizzato di larghezza 300 mm in direzione verticale e successiva applicazione di strisce in direzione orizzontale di tessuti in acciaio galvanizzato UHTSS ad altissima resistenza STEEL NET G 220 annegati in una matrice inorganica bicomponente cementizia CONCRETE ROCK V2.



Immagine 67: Applicazione SRG System.

Edificio residenziale in Fiesole (FI)

Il rinforzo strutturale antisismico eseguito su una villa del 1200 in muratura mista ubicata nel comune di Fiesole (FI) con l'obiettivo di ottenere un elevato miglioramento sismico valutabile come decremento della Classe di Rischio Sismico, ha previsto l'impiego del sistema FRCM, applicato su entrambi i lati dei suoi paramenti murari interni, costituito da rete in fibra di carbonio C-NET 220 BL associata a una malta a reattività pozzolanica CONCRETE ROCK S e ancorata al supporto mediante connettori in fibra aramidica AFIX 10 in n. di 6/mq.



Immagine 68: Applicazione FRCM System.

Basilica di Santa Maria di Collemaggio (AQ)

La Basilica di Santa Maria di Collemaggio (AQ), a seguito del Sisma che colpì la città dell'Aquila il 6 aprile del 2009, è stata interessata da importanti interventi di miglioramento sismico; in particolare i paramenti murari e il colonnato delle navate sono stati rinforzati mediante il sistema a reticolo ANCHORSTEEL NET mentre per le superfici voltate è stato impiegato il sistema FRCM composto da malte in calce idraulica naturale LIMECRETE M15 armate con reti bidirezionali in fibra di carbonio C-NET.





Immagine 69: Applicazione ANCHORSTEEL NET.

Torre dell'orologio di Massa (MS)

L'imponente torre, a base quadrata alta circa 50 metri risalente al 1933, è composta da una struttura interna in calcestruzzo armato, composta da pilastri rettangolari e una scala voltata che irrigidisce l'intero edificio, oltre a un paramento interno in calcestruzzo ed uno esterno in mattoni. Per l'intervento di messa in sicurezza del paramento esterno, realizzato in mattoni pieni, è stato impiegato il sistema a reticolo ANCHORSTEEL NET, invece i setti interni in calcestruzzo sono stati rinforzati mediante intonaco armato CRM costituito da reti preformate rigide in GFRP. La realizzazione dell'intonaco armato CRM, inoltre, permette non solo di garantire un migliore comportamento complessivo della struttura, in quanto collega le pareti in calcestruzzo ai pilastri in cemento armato, ma assicura la presenza di un sistema di aggancio ai trefoli di acciaio laddove non vi siano pilastri nei quali fissare i trefoli con barre metalliche.

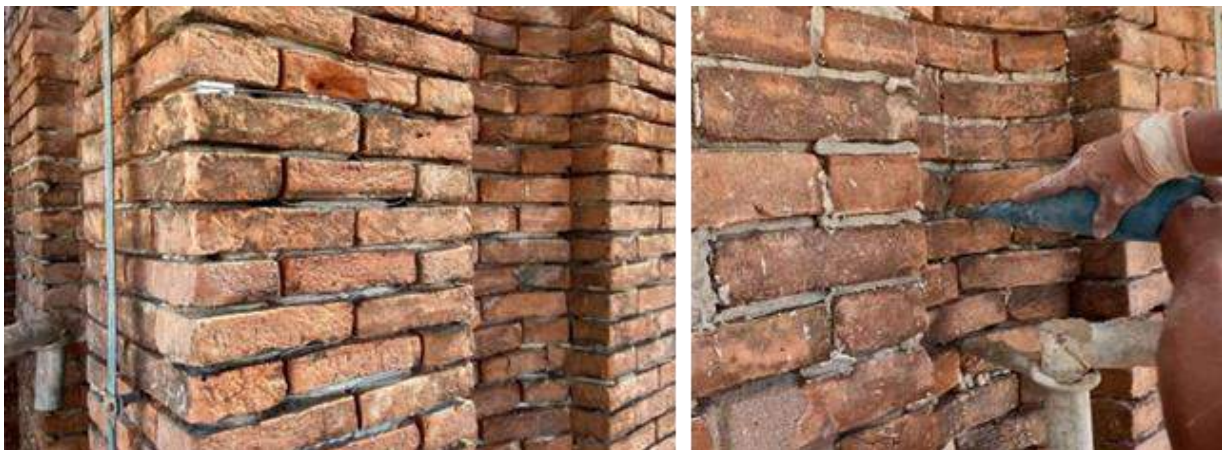


Immagine 70: Applicazione ANCHORSTEEL NET e ristilatura dei giunti con malta LIMECRETE TA



Immagine 71: Applicazione CRM System.

Scuola dell'infanzia e primaria - Albino Pierro

Il complesso edilizio ospitante la scuola elementare Albino Pierro, realizzato tra la fine degli anni '50 e l'inizio degli anni '60 costituito da 3 corpi di fabbrica, è sito all'incrocio tra via Roma – SP154 e via Olanda del Comune di Tursi (MT) ed è stato oggetto di un importante intervento di riabilitazione strutturale sfruttando l'innovativa tecnologia CRM System.

Di seguito vengono descritti gli interventi di rinforzo strutturale antisismici finalizzati al miglioramento sismico e al recupero funzionale del Corpo A sviluppato su tre piani (seminterrato, piano rialzato e primo piano) e ospita aule e uffici. La struttura portante verticale è realizzata per la maggior parte in muratura di tufo a doppio paramento avente uno spessore complessivo pari a 50 cm. Gli orizzontamenti sono costituiti da solai latero-cementizi ben ammortati alle murature verticali portanti tramite cordoli di piano in c.a.

In particolare, i paramenti murari in tufo sono stati rinforzati mediante la tecnica dell'intonaco armato CRM System la quale prevede l'impiego di reti in fibra di vetro preformate rigide alcali resistenti AR in GFRP RG33 NET BA con maglia 33x33 mm posate con malta in calce idraulica naturale NHL 5,0 LIMECRETE M15 insieme ad angolari in GFRP ECORNER RG L25 e connettori preformati rigidi a "L" ad aderenza migliorata RG FIX 10 anch'essi in GFRP (Glass Fiber Reinforced Polymer).



Immagine 72: Applicazione CRM System.

12 APPENDICE A – ESEMPI NUMERICI FRP SU CALCESTRUZZO

Nella presente Appendice si analizzano alcuni esempi numerici relativi ad interventi di rinforzo con CFRP eseguiti su elementi di un edificio di c.a. per civile abitazione.

Il progetto dell'intervento è limitato allo SLU e non sono invece trattate le verifiche allo SLE, dal momento che esse non presentano caratteri di particolare interesse e novità rispetto alle analoghe ed usuali verifiche su strutture di c.a.

Verifica a flessione e a taglio di una trave esistente

Di seguito è riportato il dimensionamento dei rinforzi a flessione per una trave esistente in c.a., mediante l'impiego di materiali compositi fibrorinforzati in fibra di carbonio (CFRP SYSTEM), previsti per uno stabilimento ospedaliero.

Dalle verifiche eseguite in sede di sopralluogo, è emerso che la struttura portante è costituita da solaio tipo predalle avente dimensioni pari a $h = 40$ cm interasse dei travetti pari a $i = 60$ cm con soletta inferiore di 4 cm, soletta superiore di 5 cm e larghezza della nervatura pari a 12 cm; la trave, oggetto della presente verifica invece, presenta una sezione rettangolare avente dimensioni 40 x 130 cm, armata con 15 Φ 16 inferiori e 40 mm di copriferro.

Le caratteristiche dei materiali di base sono: calcestruzzo avente resistenza caratteristica cilindrica pari a 20 MPa e acciaio avente tensione caratteristica di snervamento pari a 430 MPa.

Il carico per la verifica agli SLU, è pari a:

$$q_d(\text{solaio}) = (\gamma_{G1} \cdot G_{k1} + \gamma_{G2} \cdot G_{k2} + \gamma_q \cdot Q_k) \cdot l_{trave} = 116,15 \text{ kN/m}$$

$$P.P.(\text{trave}) = b_{trave} \cdot h_{trave} \cdot l_{trave} \cdot \gamma_{cls} = 13,00 \text{ kN/m} \cdot \gamma_{G1} = 16,90 \text{ kN/m}$$

$$q_d(\text{totale}) = q_d(\text{solaio}) + P.P.(\text{trave}) = 133,05 \text{ kN/m}$$

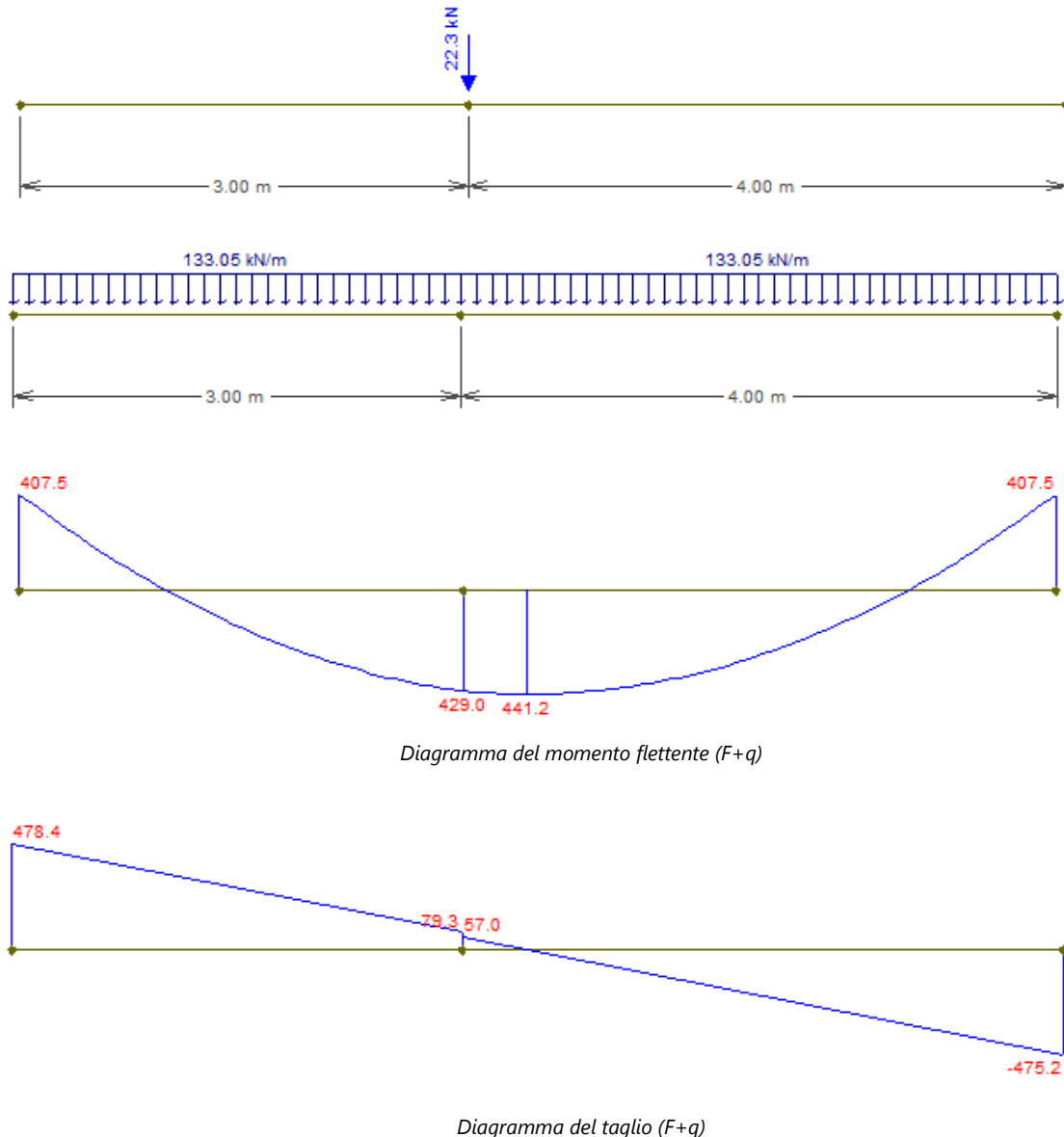
Il carico quasi permanente all'applicazione del rinforzo vale:

$$q_o = (G_{k1} + G_{k2}) \cdot l_{trave} = 66,70 \text{ kN/m}$$

Di seguito si riportano i diagrammi dei momenti relativi al carico uniformemente distribuito sulla trave di lunghezza pari a 7,00 m e al carico aggiuntivo concentrato, quest'ultimo pari a:

$$F = 40,00 \cdot 1,3 = 52 \text{ kN}$$

$$R_b = \frac{F \cdot a}{l} = \frac{52,00 \cdot 3}{7} = 22,30 \text{ kN}$$



Come è possibile evincere dalle immagini precedenti, il valore massimo del momento agente in mezzeria sulla trave è pari a $M_{Ed} = 441,20$ kNm il quale risulta maggiore del momento resistente della trave $M_{Rd} = 361,63$ kNm.

$M_{Ed} \leq M_{Rd}$ non verificato

Dato che la disuguaglianza non risulta soddisfatta in corrispondenza della mezzeria della trave, di luce pari a 7,00 m, si conviene di intervenire realizzando un rinforzo con strati sovrapposti di tessuti in CFRP e la verifica è stata condotta ai sensi del documento *CNR DT 200 R1-2013 "Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Interventi di Consolidamento Statico mediante l'utilizzo di Compositi Fibrorinforzati"*.

Il dimensionamento del rinforzo è stato effettuato impiegando l'applicativo FRPsoftware scaricabile gratuitamente al seguente [LINK](#).

In particolare, la trave in c.a. è stata rinforzata, a momento positivo, mediante l'impiego di tessuti in triplo strato in fibra di carbonio tipo **C-SHEET 240/600** (600 g/m²) da 60 cm di altezza e spessore pari a 0,33 mm Classe 210C secondo CVT ministeriali. Di seguito uno screen della verifica condotta:

File Coefficienti Aiuto

Flessione **Taglio** Confinamento

CA FRP M_{Ed} ANCORAGGIO EP

Geometria

Rettagonale

w_f [mm]	h_f [mm]
1.300	400
a [mm]	0
l [mm]	7000

Rinforzo Acciaio

N° strati di barre: 1

n_k	ϕ_k [mm]	d_k [mm]	A_k [mm ²]
13	16	340	3.016

f_{yk} [MPa]: 430

E_s [MPa]: 210000

γ_s : 1.15

Rinforzo FRP

Tessuto

C-Sheet 240/600

w_f [mm]: 600

u_f : 3

t_f [mm]: 0.33

E_f [MPa]: 230000.0

ϵ_{fu} : 0.0124

γ_{fd} : 1.35

T_f : 1.10

η_s : 0.95

FC: 1.53

Carico distribuito

Calcestruzzo

f_{ck} [MPa]: 20

T_c : 1.50

Parametri di Progetto

CNR-DT 200 R1/2013

k_b : 1.026

Γ_{Rk} [N/mm]: 0.138

l_k [mm]: 200.0

f_{td0} [MPa]: 187.24

$f_{td0,1}$ [MPa]: 483.03

ϵ_{td0} [MPa]: 0.00212

ϵ_{td1} : 0.00212

Risultati

x [mm]: 149.7

σ_c [MPa]: -11.28

σ_s [MPa]: 373.91

ϵ_r : 0.00212

M_{Rd} [kNm]: 361.63

$M_{Rd,s}$ [kNm]: 443.35

$M_{Rd,s}/M_{Rd}$: 22.60%

Sezione

Carico Applicato

Momento Agente

M_E [kNm]: 204.27

M_{Ed} [kNm]: 441.3

Dai risultati ottenuti si evince come il valore del momento resistente $M_{Rd,s}$ della trave rinforzata sia maggiore del valore del momento sollecitante M_{Ed} :

$$M_{Rd,s} = 443,35 \text{ kNm} > M_{Ed} = 441,20 \text{ kNm}$$

Pertanto, l'impiego del rinforzo ha apportato un incremento in termini di capacità di resistenza a flessione pari al **22,60%** della capacità originaria.

Infine, per quanto concerne il rinforzo a taglio si è ipotizzato di non considerare la presenza di alcuna armatura resistente e, di conseguenza, l'incremento di resistenza a taglio è fornito dalle sole fasciature discrete, disposte a U-WRAP, di tessuto in doppio strato **C-SHEET 240/600** di altezza pari a 30 cm e passo pari a 20 cm.

File Coefficienti Auto

Flessione Taglio Confinamento

CA FRP U-Wrap

Geometria

Rettilineare

w_1 [mm] h_1 [mm]

1.300 400

r_1 [mm] 20

Rinforzo FRP

C-Sheet 240-600

Strisce discrete

w_f [mm] 400

p_f [mm] 200

n_f 3

θ [°] 90

t_f [mm] 0.33

E_f [MPa] 230000.0

ϵ_{fu} 0.0124

$\gamma_{e,f}$ 1.35

γ_f 1.10

γ_{Rd} 1.20

η_x 0.95

FC 1.35

Carico distribuito

Calcestruzzo

f_{cd} [MPa] 20

γ_c 1.50

θ_c [°] 45

CNR-DT 200 R1/2013

k_b 1.000

Γ_{Rd} [N/mm] 0.216

l_p [mm] 200.0

f_{Rd} [MPa] 406.10

$f_{Rd,2}$ [MPa] 451.81

ϵ_{Rd} 6.00209

Risultati

f_{Rd} [MPa] 322.54

$V_{Rd,s}$ [kN] 229.82

$V_{Rd,f}$ [kN] 344.86

V_{Rd} [kN] 574.67

$V_{Rd}/V_{Rd,s}$ 150.06%

Sezione

Forza Normale Applicata

N_{Ed} [kN] 0

Dai risultati ottenuti, si evince come il valore del taglio resistente V_{Rd} della sezione rinforzata con CFRP sia maggiore del valore del taglio sollecitante V_{Ed} :

$$V_{Rd} = 574,67 \text{ kN} > V_{Ed} = 478,40 \text{ kN}$$

il che ha apportato un incremento in termini di capacità di resistenza a taglio pari a circa il **20%** della capacità originaria.

Verifica nodi trave - pilastro

Nel presente paragrafo viene riportato un esempio di calcolo relativo alla progettazione di un rinforzo a taglio di un nodo trave-pilastro in cemento armato con materiali compositi fibrorinforzati (CFRP). A titolo meramente esemplificativo è stato scelto di analizzare un nodo d'angolo non confinato appartenente a un edificio esistente in c.a.

L'esempio di calcolo di seguito analizzato fa riferimento alla soluzione progettuale che prevede l'applicazione del rinforzo del nodo d'angolo dal solo lato esterno ed è stato svolto utilizzando come strategia progettuale quella del "Rinforzo locale" ai sensi del §8.4.1 delle NTC (MIT 2018).

Il nodo selezionato per questo esempio di calcolo è un nodo d'angolo non confinato relativo al primo impalcato a quota + 4,20 m; gli elementi in c.a. presentano le seguenti caratteristiche:

Calcestruzzo

Resistenza cilindrica media a compressione:

$f_{cm} = 20,00$ MPa

Fattore di confidenza:

FC = 1,20 (LC2)

Resistenza a compressione di progetto

$f_{cd} = 11,11$ MPa

Acciaio

Tensione media di snervamento:

$$f_{ym} = 535,32 \quad \text{MPa}$$

Le verifiche di resistenza sono effettuate in accordo a quanto prescritto nella Circolare n.7 del 2019, equazione C8.7.2.11, secondo la quale la tensione principale di trazione agente nel nodo σ_{jt} deve essere minore o uguale alla resistenza a trazione offerta dal solo calcestruzzo ($0,3\sqrt{f_{cd}}$):

$$\sigma_{jt} = \sqrt{\left(\frac{f_a}{2}\right)^2 + (v_{jh}^d)^2} - \left(\frac{f_a}{2}\right) \leq 0,3 \cdot \sqrt{f_{cd}}$$

dove $v_{jh}^d = V_{jh,d}/(b_j \cdot h_j)$ è la tensione tangenziale agente nel nodo ed $f_a = N_{Ed}/(b_j \cdot h_j)$ è la tensione normale agente nel nodo.

Quest'ultima può essere calcolata come:

$$f_a = \frac{N_{Ed}}{b_j \cdot h_j}$$

in cui:

- N_{Ed} sforzo normale alla base del pilastro superiore convergente nel nodo;
- b_j è la larghezza effettiva del nodo determinata in accordo con §7.4.4.3.1 delle NTC 2018.
- h_j è l'altezza della sezione del nodo determinata come la distanza tra le giaciture più esterne delle armature del pilastro in accordo con §7.4.4.3.1 delle NTC 2018.

Per stimare il taglio di nodo di progetto, $V_{jh,d}$ è necessario conoscere la massima richiesta di momento flettente trasmissibile al nodo, che può essere calcolata in corrispondenza dello snervamento del più debole degli elementi convergenti nel nodo attraverso la seguente equazione:

$$M_{yd} = \frac{\min(M_{yc}; M_{yb})}{\left(\frac{L_b}{3}\right)} \cdot \left[\left(\frac{L_b}{3}\right) \cdot \left(\frac{h_c}{2}\right)\right]$$

dove:

- M_{yc} è la somma dei momenti di snervamento dei pilastri traslata nel nodo determinata come segue:

$$M_{yc} = \frac{M_{yc,inf}}{\left(\frac{h_{int,inf}^{-h_b}}{2}\right)} \cdot \left(\frac{h_{int,inf}}{2}\right) + \frac{M_{yc,sup}}{\left(\frac{h_{int,sup}^{-h_b}}{2}\right)} \cdot \left(\frac{h_{int,sup}}{2}\right)$$

- $M_{yc,inf} = M_{yc,sup}$ è il momento di snervamento del pilastro (valutato in pressoflessione);
- $h_{j,inf} = h_{j,sup}$ sono le altezze di interpiano superiore e inferiore al nodo;
- h_b è l'altezza della sezione della trave convergente nel nodo;
- M_{yb} somma dei momenti di snervamento delle travi traslata nel nodo:

$$M_{yb} = \frac{\max(M_{yb-}; M_{yb+})}{\left(\frac{L_b}{3} - \frac{h_c}{2}\right)} \cdot \left(\frac{L_b}{3}\right)$$

- M_{yb-} è il momento di snervamento negativo della trave (fibre tese superiori);
- $M_{yb,+}$ è il momento di snervamento positivo della trave (fibre tese inferiori);

- L_b è la lunghezza della campata;
- h_c è l'altezza della sezione del pilastro convergente nel nodo.

Il taglio di nodo di progetto in questo caso è assunto pari al massimo taglio trasmissibile al nodo ed è calcolabile come:

$$V_{jh,d} = V_{jh,d,max} = T - V_c = \frac{M_{yd}}{0,9 \cdot (h_b - c)} - \frac{M_{yd}}{\left(\frac{L_b}{3} - \frac{h_c}{2}\right)} \cdot \left(\frac{L_b}{3} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{2}{h_{int,media}}\right)$$

dove:

- M_{yd} è il momento di snervamento di progetto nel nodo;
- h_b è l'altezza della sezione della trave convergente nel nodo;
- h_c è l'altezza della sezione del pilastro convergente nel nodo;
- c è il copriferro della trave;
- L_b è la lunghezza della campata adiacente al nodo;
- $h_{int,media}$ è la media delle altezze di interpiano superiore e inferiore al nodo.

La tensione tangenziale agente nel nodo può essere calcolata come:

$$v_{jh}^d = \frac{V_{jh,d}}{b_j \cdot h_j}$$

In definitiva, nel caso in esame si ottiene il seguente valore di tensione principale di trazione agente nel nodo σ_{jt} :

$$\sigma_{jt} = \sqrt{\left(\frac{f_a}{2}\right)^2 + (v_{jh}^d)^2} - \left(\frac{f_a}{2}\right) = 1,20 > 0,3 \cdot \sqrt{f_{cd}} = 1$$

Come è possibile evincere dal risultato ottenuto, la verifica del nodo non risulta soddisfatta ed il nodo, pertanto, necessita di essere rinforzato. Di seguito viene illustrato il progetto di un rinforzo con CFRP per incrementarne la resistenza a taglio trazione.

Il progetto del rinforzo mediante **CFRP SYSTEM** consiste nel determinare la tipologia di tessuto, il suo spessore, ed il numero di strati di materiale composito da applicare sul pannello di nodo per incrementarne la resistenza in termini di tensione principale di trazione calcolata in accordo a quanto prescritto al §8.7.4.3 della *Circolare n. 7 del 2019* e secondo l'Approccio 2 del *fib Bulletin 90 (2019)*. Tale approccio consente di valutare l'incremento di tensione principale di trazione nel pannello di nodo dovuto al rinforzo in FRP, $\sigma_{jt,FRP}$, che va ad aggiungersi alla resistenza del solo calcestruzzo ($0,3\sqrt{f_c}$).

Per il caso in esame, si è optato di impiegare 2 strati di tessuto quadriassiale in fibra di carbonio **C-SHEET 240/380/127Q** di spessore equivalente del tessuto secco, $t_f = 0,052$ mm, modulo elastico $E_f = 320000$ MPa e deformazione $\epsilon_{fk} = 0,017$.

L'area equivalente del rinforzo, con tessuto quadriassiale in fibra di carbonio, applicata sul pannello di nodo può essere calcolata come:

$$A_f = n_s \cdot n_l \cdot t_f \cdot h_c \cdot \cos \theta \cdot [1 + \tan \theta + 2 \cdot (\tan \theta)^2] = 143,84 \text{ mm}^2$$

dove:

- $n_s = 1$ è il numero di lati del pannello di nodo rinforzati a taglio (dato che una delle facce è occupata dalla trave ortogonale convergente nel nodo);
- $n_l = 2$ è il numero di strati di rinforzo;
- $\theta = \arctan(h_b/h_c) = 0.84$ rad;
- $h_b = 500$ mm è l'altezza della sezione della trave convergente nel nodo;
- $h_c = 450$ mm è l'altezza della sezione del pilastro inferiore convergente nel nodo.

L'incremento di tensione principale di trazione può essere calcolato come:

$$\sigma_{jt,FRP} = \frac{\varepsilon_{f,d} \cdot E_f \cdot A_f}{\left(b_j \cdot \frac{h_j}{\sin \theta}\right)} = 0,62 \text{ MPa}$$

dove:

$$\varepsilon_{fd} = \min \left[\varepsilon_{f,u}; 34 \left(\frac{f_{cm}^{2/3}}{A_f \cdot E_f} \right)^{0,6} \right] = 0,00284$$

- $b_j = 400$ mm è la base della sezione del nodo;
- $h_j = 390$ mm è l'altezza della sezione del nodo;
- $f_{cm} = 20,00$ MPa è la resistenza a compressione del calcestruzzo;
- $\varepsilon_{fu} = \eta \cdot \varepsilon_{fk} / \gamma_f$ è la deformazione ultima di rottura del composito;
- $\varepsilon_{fk} = 0,014$ è la deformazione caratteristica a rottura del composito;
- $\eta = 0,85$ è il fattore di conversione ambientale scelto in accordo con la Tabella 3-2 delle CNR DT-200 considerando un'esposizione esterna per fibre di carbonio;
- $\gamma_f = 1.1$ è il coefficiente parziale secondo quanto riportato in Tabella 3-1 delle CNR DT-200.

Nota il contributo fornito dal rinforzo in FRP è possibile effettuare la verifica di resistenza del nodo rinforzato e quantificare l'incremento di resistenza ottenuto come segue:

$$\sigma_{jt,tot} = 0,3 \cdot \sqrt{f_{cd}} + \sigma_{jt,FRP} = 1 + 0,62 = 1,62 \text{ MPa} > \sigma_{jt} = 1,20 \text{ MPa}$$

ottenendo, per il nodo d'angolo oggetto di verifica, un incremento percentuale di resistenza a taglio-trazione del nodo pari a:

$$\text{Incremento} = \frac{\sigma_{jt,tot} - 0,3 \cdot \sqrt{f_{cd}}}{0,3 \cdot \sqrt{f_{cd}}} \cdot 100 = 62 \%$$

Verifica antiribaltamento per le tamponature

Gli interventi di antiribaltamento delle tamponature rientrano tra gli **interventi locali** per la **messa in sicurezza** di elementi non strutturali e svolgono un ruolo importante al fine di garantire la sicurezza delle persone.

I meccanismi di rottura delle tamponature sono principalmente di tipo fragile, in particolar modo i meccanismi di ribaltamento fuori piano, e possono riguardare l'intero manufatto in muratura oppure possono manifestarsi in una sola porzione dell'elemento non strutturale, sempre per ribaltamento fuori piano o per flessione verticale.

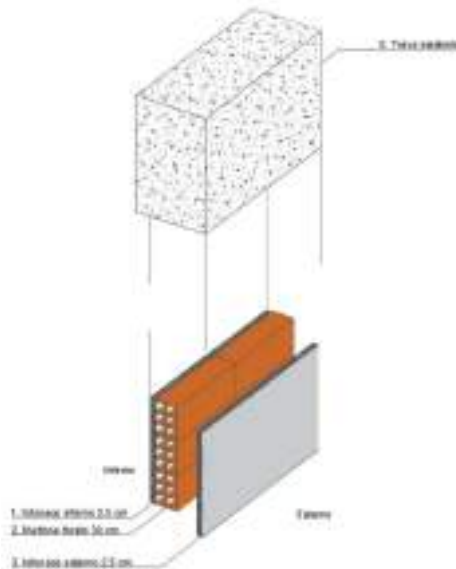
Tra le cause più frequenti che possono innescare tali pericolosi meccanismi citiamo:

- paramenti non connessi trasversalmente,

- scarsa qualità della tessitura muraria,
- degrado o modifiche localizzate,
- infine, assenza di collegamento alla struttura principale in cemento armato.

Vediamo ora come intervenire per **mettere in sicurezza le tamponature**. Per farlo utilizzeremo l'applicativo Excel **STG_SISMA** il quale permette di progettare e verificare le tamponature mediante l'impiego di sistemi **STG** (Strong Tie Glass), costituiti da rasanti a basso spessore (8-10 mm) armati con reti bidirezionali in fibra di vetro o in fibra di basalto, oppure sistemi **FRCM**, realizzati con malte strutturali in calce idraulica naturale M15 LIMECRETE armate anch'esse con reti bidirezionali in fibra di vetro o in fibra di basalto.

L'elemento non strutturale oggetto di verifica, come si evince dall'immagine sottostante, presenta una stratigrafia costituita da mattoni forati di spessore 30 cm intonacati con uno spessore di 2,5 cm internamente ed esternamente.



La soluzione proposta prevede, per le superfici esterne della tamponatura, l'impiego di intonaco armato a basso spessore (sistema FRCM) costituito da una rete bidirezionale in fibra di basalto **B-NET 250 BA**, annegata in una matrice inorganica a base calce idraulica naturale NHL 5.0 **LIMECRETE M15**, ancorata al telaio perimetrale in c.a. mediante barre elicoidali in acciaio inox AISI 316 **STEEL ANCHORFIX 10** installate a secco, previa realizzazione di un foro pilota pari a circa 8 mm di diametro, e inclinate di 45°.

Per la progettazione e l'esecuzione del presente intervento di consolidamento è stata considerata la normativa tecnica vigente in materia e la relativa circolare esplicativa:

- D.M. 17/01/18 "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni", in seguito "NTC18".
- Circolare C.S.LL.PP. n.7 del 21/01/19 "Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018", in seguito "Circolare".

Per quanto non adeguatamente trattato dalle NTC18, e purché non espressamente in contrasto con esse, sono state applicate le seguenti Normative di "Comprovata validità" (in linea con quanto specificato al capitolo 12 delle stesse NTC18):

- CNR-DT 215/2018 "Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Interventi di Consolidamento Statico mediante l'utilizzo di Compositi Fibrorinforzati a Matrice Inorganica".
- Decreto del Presidente del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici n. 1 del 08/01/2019, recante "Linea Guida per la identificazione, la qualificazione ed il controllo di accettazione di compositi fibrorinforzati a matrice inorganica (FRCM) da utilizzarsi per il consolidamento strutturale di costruzioni esistenti".
- Aggiornamento Febbraio 2022 della "Linea Guida per la identificazione, la qualificazione ed il controllo di accettazione di compositi fibrorinforzati a matrice inorganica (FRCM) da utilizzarsi per il consolidamento strutturale di costruzioni esistenti".

Per la definizione degli spettri di risposta rappresentativi delle azioni sismiche di progetto si considerano i seguenti dati di input:

- Latitudine 42,4082
- Longitudine 12,8601
- Vita nominale dell'opera VN=50 anni
- Classe d'uso II CU=1,0;

L'analisi del sito, finalizzata al calcolo dei coefficienti di amplificazione stratigrafica e topografica, restituisce che l'edificio sorge su sottosuolo di categoria A ed appartiene ad una categoria topografica T1.

Inseriti i dati di input è possibile ricavare i parametri per i periodi di ritorno associati a ciascun stato limite:

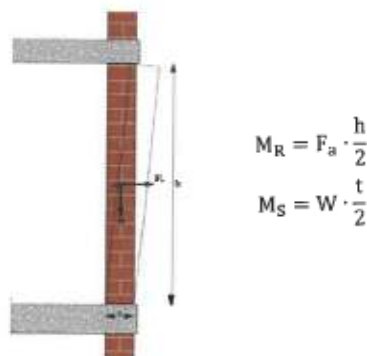
SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_c^* [s]
SLO	30	0,061	2,493	0,272
SLD	50	0,076	2,473	0,282
SLV	475	0,185	2,405	0,331
SLC	975	0,233	2,442	0,347

Parametri azione sismica associati ai diversi stati limite

Per le successive verifiche della tamponatura sono stati considerati i parametri relativi allo SLV.

Verifiche stato di fatto

Le tamponature, negli edifici esistenti non sono collegate al telaio circostante, ma risultano essere libere in sommità e lateralmente. Tale configurazione permetterebbe alla muratura di comportarsi come una mensola, che soggetta ad una forza orizzontale, come il sisma, porterebbe ad una rotazione attorno alla cerniera formatasi alla base, con il rischio di ribaltamento. La verifica più immediata e appropriata consiste nel confrontare il momento ribaltante dovuto alle azioni sismiche ortogonali al piano e il momento stabilizzante dovuto ai pesi gravanti sul tamponamento.



L'effetto dell'azione sismica viene valutato considerando un sistema di forze proporzionali alle masse (concentrate o distribuite) dell'elemento non strutturale, la cui forza risultante F_a agente sul baricentro dell'elemento stesso, viene calcolata secondo la formula seguente:

$$F_a = \frac{S_a * W_a}{q_a}$$

dove:

- W_a è il peso dell'elemento non strutturale;
- S_a è l'accelerazione spettrale massima che subisce il pannello durante il sisma in corrispondenza dello stato limite considerato (SLV);
- q_a è il fattore di struttura dell'elemento che per i pannelli di tamponamento può assumersi pari a 2

Lo spettro di risposta di piano del generico elemento non strutturale è dato dall'involuppo dei valori di accelerazione massima normalizzata rispetto all'accelerazione di gravità (S_a) al variare del periodo proprio di vibrazione dell'elemento non strutturale (T_a) secondo le indicazioni riportate al paragrafo 7.2.3 della Circolare del D.M. del 17 Gennaio 2018.

Si riporta, di seguito, la verifica al ribaltamento delle pareti ubicate all'ultimo piano della struttura in quanto maggiormente sollecitate dall'azione sismica.

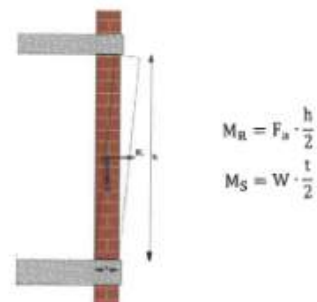
$n=4$		Numero di piani dell'edificio
$\eta=0,8165$		Fattore di smorzamento
$H=15,7$	m	Altezza della costruzione misurata a partire dal piano di fondazione
$C_1=0,075$		0,075 per c.a.
$T_1=0,5915$	s	Periodo edificio [C7.3.2]
$\zeta_1=5$	%	Smorzamento equivalente della costruzione
$Z=14,2$	m	Quota del baricentro dell'elemento non strutturale misurata a partire dal piano di fondazione
$\Psi_1=0,90$		Prima forma modale
$\gamma_1=1,33$		Coefficiente di partecipazione modale
$\gamma_{mur}=8,0$	kN/m ³	Peso specifico muratura
$\gamma_{int}=20,0$	kN/m ³	Peso specifico intonaco
$t_{int}=0,05$	m	Spessore intonaco
$t_{tot}=0,55$	m	Spessore complessivo
$\gamma_a=11,3$	kN/m ²	Peso specifico apparente
$h=3,00$	m	Altezza netta muro
$L=1,00$	m	Lunghezza della tamponatura
$t_{mur}=0,30$	m	Spessore muratura al netto dell'intonaco
$E=2000$	MPa	Modulo elastico muratura
$\gamma_c=1,35$		Fattore di confidenza
$\gamma_M=2,00$		Coefficiente parziale di sicurezza
$f_c=2,00$	MPa	Resistenza a compressione caratteristica della muratura
$f_{td}=0,08$	MPa	Resistenza media a taglio della muratura
$T_{p1}=0,1410$	s	Primo periodo proprio della tamponatura
$\zeta_1=5$	%	Smorzamento equivalente della tamponatura [C8.7.1.2.1.4]
$q_1=2,00$		Fattore di comportamento
$\alpha=0,8$		$b=1,1$ $a_{T1}=0,473$ $b_{T1}=0,651$
$S_d(T_{1,S1})=0,414$	a/g	Accelerazione spettrale valutata in corrispondenza di T_1 e dello smorzamento ζ_1
$a_1(x)=0,502$	a/g	Accelerazione massima di piano
$S_1=0,743$	a/g	Accelerazione spettrale elastica alla quota considerata
$S_d=0,571$	a/g	Accelerazione spettrale di progetto alla quota considerata

VERIFICA A RIBALTAMENTO STATO DI FATTO

$M_R=5,68$	kNm	Momento ribaltante
$M_S=1,08$	kNm	Momento stabilizzante
$M_S/M_R=0,19$		Rapporto capacità/domanda

VERIFICA RIBALTAMENTO

NON SODDISFATTA



Dal momento che la verifica a ribaltamento fuori piano non risulta soddisfatta, è necessario eseguire l'intervento di collegamento della tamponatura alla cornice strutturale.

Verifiche allo stato di progetto

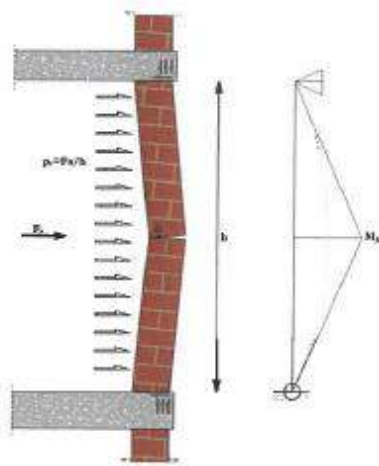
Nello stato di progetto le verifiche da effettuare su una tamponatura sono le seguenti:

- Verifica a pressoflessione fuori piano
- Verifica a taglio nel piano

Le verifiche sono state condotte ipotizzando una rete **B-NET 250 BA** da 250 g/m² applicata con malta in calce idraulica **LIMECRETE M15**.

Verifica a pressoflessione fuori piano

Nel momento in cui si solidarizza la tamponatura alla cornice strutturale si innesca un ulteriore meccanismo di collasso del tipo arco a tre cerniere con momento massimo in mezzeria. Per cui si è in presenza di un'azione fuori dal piano di tipo flessionale.



I rinforzi con FRCM sono spesso impiegati per migliorare la resistenza dei pannelli murari alle azioni fuori dal piano, tipicamente nel caso di azioni di tipo sismico. Con riferimento ad una striscia di muratura di larghezza unitaria (sviluppo lineare) la verifica a pressoflessione dell'elemento rinforzato, sia in direzione verticale (tipicamente) che orizzontale, risulta soddisfatta se:

$$M_{Sd} \leq M_{Rd}$$

essendo M_{Sd} e M_{Rd} rispettivamente i momenti specifici di calcolo, sollecitante e resistente.

Il valore del momento resistente specifico, M_{Rd} , della sezione di muratura rinforzata è esprimibile in funzione delle caratteristiche meccaniche della muratura e del composito FRCM, dello spessore t , della parete, del valore del concomitante sforzo normale specifico di calcolo, associato a M_{Sd} .

Il pannello soggetto ad azioni sismiche fuori dal piano presenta tipicamente momento massimo al centro del pannello e sollecitazioni trascurabili alle estremità. In questo caso, pertanto, la modalità di crisi da distacco dall'estremità non si instaura e la deformazione massima che può raggiungere il rinforzo è significativamente superiore.

Il momento resistente specifico, M_{Rd} , 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 $\sigma - \varepsilon$ 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 ε_m della deformazione; tensione nulla per deformazioni maggiori a quella ultima, ε_{mu} ; tensione costante, pari a f_{md} , per deformazioni comprese nell'intervallo ε_m e ε_{mu} .

In assenza di dati sperimentali la deformazione ultima di progetto, ε_{mu} , può essere assunta pari a 3.5%.

Il momento resistente specifico, M_{Rd} , può essere calcolato come segue:

$$M_{Rd} = M_{0d} + \frac{1}{\gamma_{Rd}} \cdot (M_{1d} - M_{0d})$$

essendo M_{0d} il momento specifico di progetto della sezione muraria non rinforzata,

$$M_{0d} = N_{sd} \cdot \left(\frac{t}{2} - \beta \frac{y_n}{2} \right)$$

M_{1d} quello della sezione rinforzata

$$M_{1d} = F_m \cdot \left(\frac{t}{2} - 0,7 \frac{y_n}{2} \right) + F_m \cdot \frac{t}{2}$$

e γ_{Rd} è un fattore parziale di modello cui si attribuisce il valore 2, allo stato delle attuali conoscenze.

Il momento resistente della sezione rinforzata è determinato considerando la deformazione di progetto, ε_{fd} a partire dalla deformazione convenzionale $\varepsilon^{(\alpha)}_{lim,conv}$ 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. Tale deformazione va moltiplicata per il modulo di rigidezza E_f ($\varepsilon_{fd} \times E_f = \sigma_{fd}$). Non si deve tener conto del composito FRCCM compresso.

$n = 4$	Numero di piani dell'edificio
$\eta = 0,8105$	Fattore di smorzamento
$H = 15,7$ m	Altezza della costruzione misurata a partire dal piano di fondazione
$C = 0,075$	0,075 per c.a.
$T_1 = 0,9815$ s	Periodo edificio [C7.8.2]
$\beta_1 = 5$ N	Sincronismo equivalente della costruzione
$Z_1 = 14,1$ m	Quota del baricentro dell'elemento non strutturalmente sicuro a partire dal piano di fondazione
$\eta_1 = 0,90$	Prima forma modale
$\gamma_1 = 1,28$	Coefficiente di partecipazione modale
$\gamma_{1m} = 8,0$ (kN/m ²)	Peso specifico muratura
$\gamma_m = 20,0$ (kN/m ²)	Peso specifico intonaco
$t_m = 0,05$ m	Spessore intonaco
$t_w = 0,05$ m	Spessore complessivo
$\gamma_w = 11,5$ (kN/m ²)	Peso specifico apparente
$h = 5,00$ m	Altezza netta muro
$l = 1,00$ m	Lunghezza della temperatura
$t_m = 0,20$ m	Spessore muratura al netto dell'intonaco
$E = 3000$ MPa	Modulo elastico muratura
$R_C = 1,25$	Fattore di confidenza
$\gamma_w = 3,00$	Coefficiente parziale di sicurezza
$f_t = 1,00$ MPa	Resistenza a compressione caratteristica della muratura
$\alpha = 0,08$ MPa	Resistenza media a taglio della muratura
$T_1 = 0,0508$ s	Primo periodo proprio della temperatura
$\beta_1 = 10$ N	Sincronismo equivalente della temperatura [C6.7.1.1.4]
$\alpha = 3,00$	Fattore di sovrapposizione
$\alpha = 0,8$	
$S_d(T_1, \xi) = 0,414$ $a_g/8$	Accelerazione spettrale valutata in corrispondenza di T_1 e dello smorzamento ξ
$S_d(0) = 0,301$ $a_g/2$	Accelerazione massima di primo
$S_d = 0,571$ $a_g/8$	Accelerazione spettrale elastica alla quota considerata
$S_d = 0,286$ $a_g/2$	Accelerazione spettrale di progetto alla quota considerata
	$b = 1,1$ $\alpha T_1 = 0,475$ $b T_1 = 0,851$

VERIFICA A FLESSIONE FUORI PIANO

$F_d = 2,92$ kN Risultante della forza statica equivalente
 $M_{sd} = 1,09$ kNm Momento flettente sollecitante

DELAMINAZIONE INTERMEDIA		
Rinforzo:	B-NET 250 BA4, MICROTE M21	
ϵ_{cu}	0,0095	Scegliere la tipologia di sistema mediante il menù a tendina
$\epsilon_{s,lim}$	0,0127	Deformazione a compressione di calcolo della muratura
E_s	88510 MPa	Deformazione convenzionale
t_r	0,091 mm	Modulo elastico a trazione rete
α	1,5	Spessore equivalente rete
$\epsilon^2_{s,lim}$	0,009	Coefficiente per delaminazione intermedia
γ_{pr}	1,50	Coefficiente parziale di sicurezza
η_s	0,80	Fattore di conversione (asportazione esterna)
δ_{pr}	0,030	Deformazione di progetto del rinforzo FRCM
η_r	1	Numero di strati rinforzo
A_r	31 mm ² /m	Area resistente rinforzo
t_{pr}	150 mm	Spessore muratura al netto dell'intonaco
RECORDE 2 Azione per flessione nel riquadro		
x	149,64 mm	Altezza dell'asse neutro
f_{cm}	0,37 MPa	Resistenza a compressione di calcolo della muratura
F_{cd}	32977,11 N/m	Risultante specifica degli sforzi di compressione nelle murature, calcolata con lo stressblocc
F_{td}	27877,11 N/m	Risultante specifica degli sforzi di trazione nei sistemi di rinforzo
N_{td}	5,1 kN/m	Azione assiale in h/2
ϵ_{td}	-4,27190	Deformazione strato muratura più distante dall'asse neutro
Check IPOTESI NON VERIFICATA		
Nel caso di ipotesi NON VERIFICATA procedere con la RECORDE 1		
M_{Rd}	1,84 kNm/m	Momento flettente resistente della muratura rinforzata
M_{Ed}	1,84 kNm/m	Momento flettente resistente della muratura rinforzata ridotto
M_{Rd}/M_{Ed}	1,30	Rapporto capacità/domanda
VERIFICA POST OPERAM		SODDISFATTA

Dai risultati della verifica a flessione fuori piano della muratura secondo le ipotesi fatte in precedenza, l'utilizzo della rete **B-NET 250 BA** porta al soddisfacimento della verifica applicando n°1 strato di rete su di una sola faccia della muratura ottenendo nel caso in esame:

$$M_{Rd} > M_{sd} \quad \rightarrow \quad 1,84 \text{ kNm/m} > 1,09 \text{ kNm/m}$$

Verifica a taglio nel piano

Nella presente relazione, la verifica a taglio della tamponatura soggetta all'azione sismica viene effettuata seguendo le indicazioni del §4.2 del CNR-DT 215/2018 ovvero verificando che il valore del taglio sollecitante specifico, V_{sd} , non ecceda in alcuna sezione il taglio resistente calcolato come:

$$V_{Rd,m} = 1 * x * f_{vd}$$

essendo f_{vd} la resistenza di progetto a taglio della muratura non rinforzata, valutata in accordo con la Normativa vigente, in funzione della tensione normale media σ_n calcolata come rapporto tra la risultante degli sforzi di compressione, F_m , e l'area della superficie compresa tra l'estremo lembo e l'asse neutro.

Dai risultati della verifica a taglio per azioni fuori dal piano della muratura secondo le ipotesi fatte in precedenza, l'utilizzo della rete **B-NET 250 BA** porta al soddisfacimento della verifica applicando n° 1 strato di rete su di una sola faccia della muratura.

13 APPENDICE B – ESEMPI NUMERICI FRCM - CRM SU MURATURE

FRCM SYSTEM - Capacità a taglio

Si riporta in questo paragrafo un esempio numerico di verifica a taglio per fessurazione diagonale relativo a un metro quadro di maschio murario, in condizioni di esposizione esterna, realizzato in muratura di pietrame disordinato avente spessore $t = 25 \text{ cm}$.

In particolare, al fine di incrementare la resistenza a taglio del pannello murario, si adotterà un sistema **FRCM** (*Fiber Reinforced Cementitious Matrix*) costituito da una rete in fibra di basalto apprettata **B-NET 450 BA**, da malta a base calce idraulica naturale classe **M15 LIMECRETE** e connettori di ancoraggio a fiocco in fibra basalto **BFIX 10**. Il sistema descritto ha una tensione limite convenzionale $\sigma_{lim,conv} = \varepsilon_{lim,conv} \cdot E_f = 1184,62 \text{ MPa}$ e spessore della rete $t_{vf} = 0,056 \text{ mm}$, bilanciato con fibre in direzione verticale ed orizzontale della parete, che la ricopre interamente ($l_f = H$).

Per la progettazione e l'esecuzione del presente intervento di consolidamento sono state considerate le seguenti Normative:

- D.M. 17/01/18 "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni", in seguito "NTC18".
- Circolare C.S.LL.PP. n.7 del 21/01/19 "Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018", in seguito "Circolare".
- CNR-DT 215/2018 "Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Interventi di Consolidamento Statico mediante l'utilizzo di Compositi Fibrorinforzati a Matrice Inorganica".
- Decreto del Presidente del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici n. 1 del 08/01/2019, recante "Linea Guida per la identificazione, la qualificazione ed il controllo di accettazione di compositi fibrorinforzati a matrice inorganica (FRCM) da utilizzarsi per il consolidamento strutturale di costruzioni esistenti".
- Aggiornamento Febbraio 2022 della "Linea Guida per la identificazione, la qualificazione ed il controllo di accettazione di compositi fibrorinforzati a matrice inorganica (FRCM) da utilizzarsi per il consolidamento strutturale di costruzioni esistenti".

Si riportano di seguito i dati di progetto della muratura ricavati dai valori minimi indicati dalla tabella C8.5.I della Circolare C.S.LL.PP. n.7 del 21/01/19:

Muratura:

- Tipologia: muratura in pietrame disordinato (ciottoli, pietre erratiche e irregolari);
- Livello di conoscenza: LC1
- Fattore di confidenza $\rightarrow FC = 1,35$
- Coefficiente di sicurezza: $\gamma_m = 2$

Caratteristiche meccaniche muratura (valori minimi):

- $W = 19,00 \text{ kN/m}^3$
- $E = 690 \text{ N/mm}^2$
- $G = 230 \text{ N/mm}^2$
- $f_m = 1,00 \text{ N/mm}^2$
- $\tau_0 = 0,018 \text{ N/mm}^2$
- $f_d = 0,37 \text{ N/mm}^2$
- $\tau_{0d} = 0,0067 \text{ N/mm}^2$

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	-	600-1050	230-350	19
Muratura a conci sbalzati, 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 S40%)	5,0-8,0	0,08-0,17	0,20-0,36	3500-5600	875-1400	15

Tabella C8.5.1 della **Circolare** recante i valori di riferimento dei parametri meccanici della muratura, da usarsi nei criteri di resistenza di seguito specificati (comportamento a tempi brevi), e peso specifico medio per diverse tipologie di muratura. I valori si riferiscono a: f = resistenza media a compressione, τ_0 = resistenza media a taglio in assenza di tensioni normali (con riferimento alla formula riportata, a proposito dei modelli di capacità, nel paragrafo C8.7.1.3 della circolare esplicativa delle norme tecniche per le costruzioni), f_{v0} = resistenza media a taglio in assenza di tensioni normali (con riferimento alla formula riportata, a proposito dei modelli di capacità, nel paragrafo C8.7.1.3 della circolare esplicativa), E = valore medio del modulo di elasticità normale, G = valore medio del modulo di elasticità tangenziale, w = peso specifico medio.

Con riferimento alla muratura rinforzata mediante intonaco armato a basso spessore (FRCM), la resistenza di progetto a taglio della parete rinforzata $V_{t,R}$ può essere calcolata come somma del contributo della muratura non rinforzata V_t e di quello fornito dal rinforzo $V_{t,f}$ tramite le seguenti formule:

$$V_{t,R} = V_t + V_{t,f}$$

$$V_t = l \cdot t \cdot \frac{1,5 \tau_{0d}}{b} \cdot \sqrt{1 + \frac{\sigma_0}{1,5 \cdot \tau_{0d}}} = l \cdot t \cdot \frac{f_{td}}{b} \cdot \sqrt{1 + \frac{\sigma_0}{f_{td}}}$$

$$V_{t,f} = 0,5 \cdot n_f \cdot t_{vf} \cdot b_f \cdot \alpha_t \cdot \varepsilon_{fd} \cdot E_f$$

Dove:

- l è la lunghezza del pannello ipotizzata pari a 1,00 m = 1000 mm;
- t è lo spessore del pannello pari a 0,25 m = 250 mm;
- σ_0 (P) è la tensione normale media, riferita all'area totale della sezione (= P/lt , con P forza assiale agente, positiva se di compressione) pari a 0,5 N/mm²;
- f_{td} e τ_{0d} sono, rispettivamente, i valori di calcolo della resistenza a trazione per fessurazione diagonale e della corrispondente resistenza a taglio di riferimento della muratura pari a 0,0067 N/mm²;
- b è un coefficiente correttivo legato alla distribuzione degli sforzi sulla sezione, dipendente dalla snellezza della parete. Si può assumere $b = h/l$, comunque non superiore a 1,5 e non inferiore a 1, dove h è l'altezza del pannello. In questo caso è stato assunto $b=1$.

Pertanto si ottiene:

$$V_t = 1000 \text{ (mm)} \cdot 250 \text{ (mm)} \cdot \frac{1,5 \cdot 0,0067}{1} \cdot \sqrt{1 + \frac{0,50}{1,5 \cdot 0,0067}} = 17899,03 \text{ N} = 17,90 \text{ kN}$$

Si determina ora il contributo sulla muratura fornito dal rinforzo $V_{t,f}$ applicato su entrambi i lati della muratura, con la seguente formulazione:

$$V_{t,f} = 0,5 \cdot n_f \cdot t_{vf} \cdot \ell_f \cdot \alpha_t \cdot \varepsilon_{fd} \cdot E_f$$

In cui:

- $n_f = 2$ è il numero totale degli strati di rinforzo disposti sulle facce della parete;
- $t_{vf} = 0,056$; spessore equivalente di uno strato di rete con fibre disposte in direzione parallela alla forza di taglio;
- $\ell_f = 1000 \text{ mm}$ è la dimensione del rinforzo misurata ortogonalmente alla forza di taglio;
- $\alpha_t = 0,8$ è un coefficiente che tiene conto della ridotta resistenza estensionale delle fibre quando sollecitate a taglio;
- $\varepsilon_{fd} = \eta_a \cdot \frac{\varepsilon_{lim,conv}^\alpha}{\gamma_m} = 0,8 \cdot \frac{1,5 \cdot 1184,62/E_f}{1,5} = \frac{947,70}{E_f}$ è la deformazione di progetto del rinforzo FRCM;
- $\eta_a = 0,8$ è il coefficiente ambientale (esterno);
- $\gamma_m =$ fattore parziale (pari a 1,5 per lo SLU e pari a 1,00 per lo SLE)

$$V_{t,f} = 0,5 \cdot 2 \cdot 0,056 \cdot 1000 \cdot 0,8 \cdot 947,70 = 42450,96 \text{ N} = 42,46 \text{ kN}$$

Pertanto, la resistenza a taglio per fessurazione diagonale della muratura sarà data dalla somma dei due contributi appena calcolati e pari a:

$$V_{t,R} = V_t + V_{t,f} = 60,36 \text{ kN}$$

La resistenza media a taglio τ_0 della parete rinforzata può essere calcolata, con la seguente formula:

$$\tau_0 = f_{vk0} + 0,4 \cdot \frac{n_f \cdot t_{vf} \cdot \sigma_{lim,conv}}{(t_m + t_{int} \cdot n_f)}$$

con $t_m + t_{int} \cdot n_f =$ spess. complessivo del paramento rinforzato (compreso lo spess. dell'intonaco armato t_{int})

dove:

$t_m =$ spessore muratura = 30 cm

$t_{int} =$ spessore intonaco = 2,00 cm

ottenendo nel caso in esame di muratura rinforzata con sistema B-NET 450 BA:

$$\tau_0 = 0,0067 + 0,4 \cdot \frac{2 \cdot 0,056 \cdot 1184,62}{250 + 20 \cdot 2} = 0,190 \text{ MPa}$$

Nell'ipotesi in cui l'intervento di rinforzo strutturale antisismico sarà realizzato su un solo lato del maschio murario, ai sensi delle Linea Guida di progettazione DT 215/2018, il contributo $V_{t,f}$ a taglio del rinforzo FRCM deve essere ridotto almeno del 30%. Per cui si ha:

$$V_{t,f,r} = 29,72 \text{ kN}$$

Pertanto, la resistenza a taglio per fessurazione diagonale della muratura in presenza di rinforzo su un solo lato è pari a:

$$V_{t,R} = V_t + V_{t,f,r} = 47,62 \text{ kN}$$

Infine, la resistenza media a taglio τ_0 della parete rinforzata su un solo lato è pari a:

$$\tau_0 = 0,0067 + 0,4 \cdot \frac{1 \cdot 0,056 \cdot 1184,62}{250 + 20} = 0,105 \text{ MPa}$$

CRM SYSTEM

Si consideri un maschio murario in pietrame disordinato avente larghezza pari a $L = 1000$ mm, altezza pari a $h = 1000$ mm e spessore $t_m = 400$ mm.

Per la progettazione e l'esecuzione del presente intervento di consolidamento sono state considerate le seguenti Normative:

- D.M. 17/01/18 "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni", in seguito "NTC18".
- Circolare C.S.LL.PP. n.7 del 21/01/19 "Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018", in seguito "Circolare".
- Linea Guida per la identificazione, la qualificazione ed il controllo di accettazione dei sistemi a rete preformata in materiali compositi fibrorinforzati a matrice polimerica da utilizzarsi per il consolidamento strutturale di costruzioni esistenti con la tecnica dell'intonaco armato CRM (Composite Reinforced Mortar).

Si riportano di seguito i dati di progetto della muratura ricavati dai valori minimi indicati dalla tabella C8.5.I della Circolare C.S.LL.PP. n.7 del 21/01/19.

Muratura:

- Tipologia: muratura in pietrame disordinata;
- Livello di conoscenza: LC1
- Fattore di confidenza $\rightarrow FC = 1,35$
- Coefficiente di sicurezza: $\gamma_m = 2$

Caratteristiche meccaniche muratura (valori minimi):

- $w = 19,00 \text{ kN/m}^3$
- $E_m = 690 \text{ N/mm}^2$
- $G_m = 230 \text{ N/mm}^2$
- $f_m = 1,00 \text{ N/mm}^2$
- $\tau_0 = 0,018 \text{ N/mm}^2$

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	-	600-1050	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 S40%)	5,0-8,0	0,08-0,17	0,20-0,36	3500-5600	875-1400	15

Tabella C8.5.1 della Circolare recante i valori di riferimento dei parametri meccanici della muratura, da usarsi nei criteri di resistenza di seguito specificati (comportamento a tempi brevi), e peso specifico medio per diverse tipologie di muratura. I valori si riferiscono a: f = resistenza media a compressione, τ_0 = resistenza media a taglio in assenza di tensioni normali (con riferimento alla formula riportata, a proposito dei modelli di capacità, nel paragrafo C8.7.1.3 della circolare esplicativa delle norme tecniche per le costruzioni), f_{v0} = resistenza media a taglio in assenza di tensioni normali (con riferimento alla formula riportata, a proposito dei modelli di capacità, nel paragrafo C8.7.1.3 della circolare esplicativa), E = valore medio del modulo di elasticità normale, G = valore medio del modulo di elasticità tangenziale, w = peso specifico medio.

Inserite le caratteristiche geometriche e meccaniche del muro all'interno del modulo "Pannello murario esistente", la tipologia di rete preformata rigida mediante il menù a tendina ed il numero di strati di rinforzo, il foglio calcola la resistenza equivalente a compressione di progetto $f_{c,eq}$, il modulo elastico equivalente E_{eq} , il modulo elastico trasversale equivalente G_{eq} e la resistenza a taglio di progetto f_{vd} .

L'intervento di rinforzo consiste nell'applicazione su un solo lato del pannello murario di un intonaco armato realizzato mediante:

- rete preformata rigida in fibra di vetro GFRP (Glass Fiber Reinforced Polymer) RG66 NET BA;
- malta in calce idraulica naturale LIMECRETE M15;
- angolare preformato in fibra di vetro E-corner RG L25;
- connettori rigidi in fibra di vetro RG-FIX 10 (n.4/mq)

Lo spessore dello strato di intonaco è pari a $t_{mat}=30$ mm. La verifica è stata condotta con l'ausilio dell'applicativo Excel CRM_WALL distribuito dalla G&P intech.

PANNELLO MURARIO ESISTENTE		
GEOMETRIA	Spessore muratura t_m [mm]	400
	Altezza Pannello murario h [mm]	1000
	Larghezza Pannello murario L [mm]	1000
Tab. C8A.2.1	Resistenza media compressione muratura f_m [MPa]	1
	Resistenza a taglio muratura τ_0 [MPa]	0,018
	Modulo elastico medio muratura E_m [MPa]	690
	Modulo elastico tangenziale medio muratura G_m [MPa]	230
	Peso specifico medio muratura w [KN/m ³]	19

NOTA

I valori di resistenza meccanica dovranno essere ridotti mediante il coefficiente di sicurezza sul materiale γ_m e dal fattore di confidenza opportuno FC.

MATRICE INTONACO		
MALTA LIMECRETE M15	Spessore singolo lato t_{mat} [mm]	30
	Modulo elastico intonaco E_{int} [MPa]	10000
	Resistenza a compressione intonaco f_{int} [MPa]	15
	Resistenza a trazione media intonaco $f_{t,int}$ [MPa]	1
RETE CRM		RG66 NET BA+LIMECRETE M15
CRM SYSTEM	Spessore equivalente rete t_{ef} [mm]	0,106
	Tensione caratteristica a rottura della rete σ_{ef} [MPa]	612,86
	Numero strati di rinforzo n_f	1

PANNELLO MURARIO RINFORZATO	
Resistenza media a compressione $f_{c,rd}$	1,98
Modulo elasticità normale parete rinforzata $E_{m,r}$	1340
Modulo elasticità tangenziale parete rinforzata $G_{m,r}$	536
Resistenza media a taglio f_{vd}	0,078
Incremento percentuale a taglio	3,36

COEFFICIENTI CORRETTIVI	
Resistenza media a compressione $f_{c,rd}$	1,98
Modulo elasticità normale parete rinforzata $E_{m,r}$	1,94
Modulo elasticità tangenziale parete rinforzata $G_{m,r}$	2,33
Resistenza media a taglio f_{vd}	4,36

14 APPENDICE C – INDAGINI SPERIMENTALI

Indagine sperimentale di elementi prefabbricati in c.a.p. pre-esistenti rinforzati con compositi a matrice organica

Il lavoro condotto presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Università di Padova descrive l'indagine sperimentale in scala reale di quattro travi di copertura in c.a.p. con sezione a ω ricavate da un edificio industriale di lunghezza pari a 1167 cm, una larghezza di 128.5 cm ed un'altezza di 40 cm (con uno spessore dell'ala di 5 cm). Ognuna delle anime ha uno spessore di 9.5 cm ed il suo asse è posto ad una distanza di 510 mm dalla mezzeria della sezione. Ognuna delle anime è armata con staffe $\phi 5/200$ mm, armature lente longitudinali consistenti in $2\phi 5$ in zona compressa e $2\phi 5$ in zona tesa, due trefoli con diametro di $1/2''$ e due con diametro di $3/8''$ posizionati come riportato in figura 72.

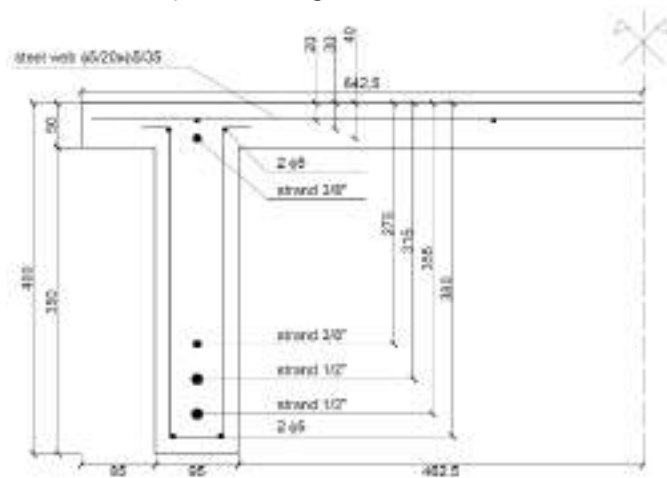


Figura 73: Sezione trasversale delle travi (dimensioni in mm).

Modalità di rinforzo

Una delle travi ω in c.a.p. è stata utilizzata come trave di controllo non rinforzata al fine di confrontare il suo comportamento con quello delle travi rinforzate.

La seconda trave è stata rinforzata tramite un laminato in carbonio incollato al lembo inferiore di entrambe le anime avente uno spessore di 1.4 mm ed una larghezza di 60 mm; è stato applicato lungo tutta la lunghezza dell'asse longitudinale delle anime fino ad una distanza di 10 cm dagli appoggi.

La terza trave è stata rinforzata con due fogli sovrapposti di rete in fibra di carbonio applicati al lembo inferiore delle anime e risvoltati sulle facce laterali delle stesse per un'altezza di circa 95 mm annegata in una matrice inorganica.

La quarta trave è stata rinforzata per mezzo di uno strato di tessuti in acciaio UHTSS ad altissima resistenza applicate al lembo inferiore delle anime e risvoltate per un'altezza di circa 98 mm.

Ognuno dei materiali coinvolti nella presente sperimentazione è stato testato al fine di ottenerne le principali proprietà meccaniche.

Risultati sperimentali

Il carico è stato applicato utilizzando una configurazione di flessione su quattro punti ed applicando le forze in corrispondenza delle due anime. I supporti sono stati realizzati tramite due cavalletti in acciaio.

Le travi in c.a.p. sono state strumentate per mezzo di trasduttori di spostamento (LVDT) che ne misurassero l'abbassamento in mezzeria; sensori induttivi (DD1) sono stati applicati al calcestruzzo al fine di misurare l'ampiezza delle fessure. Infine, solo nel caso della trave rinforzata con CFRP, sono state misurate le deformazioni in alcuni punti della lamina di carbonio per mezzo di strain gauges.

Di seguito si riporta il diagramma carico-abbassamento in mezzeria per ognuna delle travi testate e un'immagine della trave non rinforzata portata a rottura.

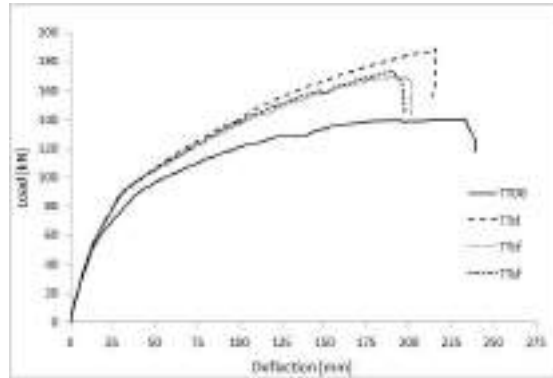


Figura 74: Curva carico-abbassamento in mezzeria per le travi ϖ in c.a.p.



Figura 75: Rottura della trave di controllo non rinforzata.

La rottura della trave rinforzata con lamine CFRP si è verificata improvvisamente al raggiungimento di un carico di 189 kN, corrispondente ad un abbassamento di 214.5 mm. Il collasso è stato causato dal distacco improvviso di una delle due lamine applicate alle anime, la quale è rimasta incollata al supporto solo per un breve tratto della sua lunghezza. La superficie di calcestruzzo, inoltre, è risultata particolarmente deteriorata in corrispondenza della mezzeria della trave (Figura 75).



Figura 76: Dettaglio della trave rinforzata con lamine in CFRP a prova conclusa.

Il collasso della terza trave rinforzata per mezzo di due strati di reti in fibra di carbonio e matrice inorganica, è stato causato dal distacco del composito in corrispondenza della mezzeria. Si è osservato un quadro fessurativo diffuso a gran parte della lunghezza ed alcune porzioni di malta sono state completamente espulse dal supporto, in particolare in corrispondenza della mezzeria. In alcune sezioni le fibre di carbonio sono risultate completamente tranciate (Figura 76).



Figura 77: Dettaglio delle fibre di carbonio dopo la rimozione della malta.

Infine, il collasso della quarta trave rinforzata per mezzo di uno strato di fibra d'acciaio e matrice inorganica è stato causato dal distacco della fibra in acciaio partito dall'estremità e propagatosi lungo l'asse longitudinale della trave (Figura 77).



Figura 78: Rottura del rinforzo a matrice inorganica con tessuti in acciaio UHTSS.

Conclusioni

I risultati hanno mostrato come la modalità di rottura/delaminazione per flessione nella trave rinforzata con laminati sia simile alle travi rinforzate con compositi reti in carbonio e tessuti UHTSS in acciaio a matrice inorganica. Quest'ultima tecnica si è inoltre rivelata in grado di fornire un contributo significativo alla resistenza a flessione delle travi sia nel caso di utilizzo di fibra di carbonio che di fibra d'acciaio. In particolare i provini rinforzati hanno mostrato una crescita nel carico ultimo, rispetto alla trave di controllo non rinforzata, del 35% per la trave rinforzata con laminati CFRP applicati con resina epossidica, del 20% per la trave rinforzata con fibra di carbonio e matrice inorganica, e del 24% per la trave rinforzata con tessuti in acciaio galvanizzato UHTSS e matrice inorganica.

Prove soniche su murature portanti pre e post intervento di consolidamento con iniezioni in massa di boiacche in calce idraulica

Le indagini diagnostiche eseguite sui paramenti murari di una Villa padronale, risalente alla seconda metà dell'800 e ubicata nel comune di Montecchio Maggiore (VI), hanno previsto l'esecuzione di n. 6 prove soniche pre e post intervento di consolidamento mediante iniezioni con malta a base calce idraulica naturale M15 LIMECRETE IR. Lo scopo delle indagini è verificare la compattezza, l'omogeneità ed eventualmente la presenza di degrado delle murature prima e dopo l'intervento di consolidamento. La metodologiaonica si basa sullo studio della velocità di propagazione di onde di vibrazione nel materiale in esame. La velocità con cui un'onda di vibrazione si propaga all'interno di un mezzo è funzione della densità e dei parametri elastici e quindi gli impulsi di vibrazione sono sensibili allo stato locale del materiale. Le misure vengono eseguite applicando in un punto della misura un impulso di compressione e rilevandone gli effetti nella posizione opposta.

Si possono attuare tre tipi di rilevazioni a seconda delle circostanze: trasmissione diretta (indagine sonica per trasparenza), semi-diretta o (indagine sonica di superficie), ed indiretta (indagine sonica radiale).

Nel caso in esame sono state effettuate n. 4 prove soniche in modalità diretta e n. 2 prove in modalità indiretta sulle murature oggetto di indagine.



Figura 79: (a) Esempio di indagine sonica eseguita in modalità diretta; (b) Esempio di indagine sonica eseguita in modalità indiretta.

Di seguito si riporta una tabella riepilogativa dei risultati ottenuti dalle prove eseguite.

PROVA	UBICAZIONE DELLA PROVA	TIPO DI MURATURA	METODO DI INDAGINE	VELOCITÀ [m/s]	INCREMENTO [%]
S1	Muratura interna al piano terra, prima del consolidamento	Blocchi lapidei e pietre allettati con malta	Diretta	1260	-
S2	Muratura interna al piano primo, prima del consolidamento		Diretta	1406	-
S3	Muratura perimetrale al piano terra, prima del consolidamento		Indiretta	1718	-
S4	Muratura interna al piano terra, dopo il consolidamento		Diretta	2205	75 %
S5	Muratura interna al piano primo, dopo il consolidamento		Diretta	2244	63 %
S6	Muratura perimetrale al piano terra, dopo il consolidamento		Indiretta	2509	68 %

Prove di compressione diagonale su pannelli murari in pietra non rinforzati e rinforzati con tecnologia FRCM System

Di seguito si riportano i risultati delle prove di compressione diagonale eseguite presso il cantiere di Caporciano (AQ) svolte presso il Laboratorio prove su strutture e materiali dell'Università degli Studi di Perugia. Il programma di indagini ha previsto:

- una prova di compressione diagonale su pannello non rinforzato;
- una prova di compressione diagonale su pannello rinforzato con le seguenti tecniche: iniezioni di consolidamento mediante boiaccia confezionata con legante idraulico naturale di calce NHL 5.0 "LIMECRETE IR"; placcaggio diffuso su ambo le facce della muratura, con un betoncino confezionato con malta premiscelata da muratura (classe M15) fibrorinforzata per muratura ad alta resistenza in calce idraulica naturale NHL 5.0 LIMECRETE, armato con una rete in fibra di vetro AR alcali resistente G-NET 301BAL e collegamento tra le due facce con connettori a fiocco in fibra di vetro AR GFIX AR, iniettati con la medesima boiaccia LIMECRETE IR.

Il campione non rinforzato era situato al piano terra dell'edificio, quello rinforzato al piano primo.

La prova di compressione diagonale eseguita in opera (Figura 79) consiste nell'applicazione di un carico di compressione lungo la diagonale del pannello in muratura in modo da provocare la rottura a taglio per fessurazione diagonale. Il campione viene isolato dalla parete esistente grazie alla realizzazione di quattro tagli, lasciando solamente una porzione del lato inferiore ancorato alla muratura. L'analisi dei risultati consente la determinazione della resistenza e rigidezza a taglio della muratura esistente.

La prova è codificata dalla norma ASTM E 519-81 ed è generalmente realizzata su pannelli quadrati di dimensioni 1200 x 1200 mm e spessore variabile tra 250 e 700 mm.

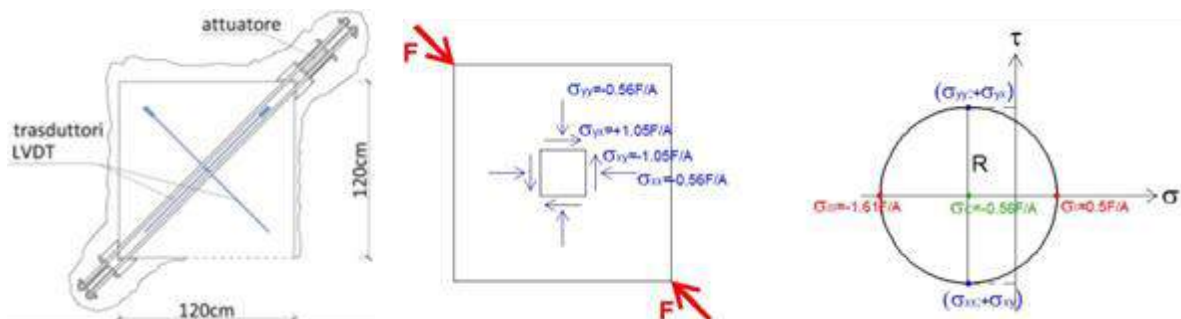


Figura 80: Schematizzazione della prova di compressione diagonale in situ.

Pannello non rinforzato (N°1)

La muratura del pannello sul quale è stata eseguita la prova è in pietrame, erratica ed irregolare a due paramenti con assenza di elementi passanti l'intero spessore murario; una parte del paramento relativo al lato A risulta essere stata ricostruita in laterizio in seguito a danneggiamento avvenuto durante la preparazione del campione. Gli elementi lapidei sono di medie dimensioni e lo spessore murario medio è di 540 mm.

Alla fine della prova il quadro fessurativo presentava una lesione diagonale in direzione del carico applicato su entrambi i lati localizzata all'interfaccia tra la malta e gli elementi lapidei (Figura 80) e la rottura è avvenuta con ampia deformazione delle diagonali, fenomeno dovuto presumibilmente al danneggiamento subito dal campione durante le fasi di preparazione dello stesso.



Figura 81: Configurazione fessurata del pannello non rinforzato N°1 al termine della prova di compressione diagonale.

Pannello rinforzato (N°2)

Il campione, prima di effettuare il taglio, è stato sottoposto ad alcune lavorazioni quali la pulizia e messa a vivo dei conci con spazzola a fili di acciaio e lavaggio della superficie; iniezioni di consolidamento a bassa pressione con pompe manuali, di boiaccia confezionata con legante idraulico naturale in calce NHL 5.0 LIMECRETE IR; applicazione di intonaco armato FRCM, su ambo le facce del pannello murario, realizzato con malta a base calce idraulica naturale fibrorinforzata ad alta resistenza NHL 5.0 LIMECRETE M15, armata con rete in fibra di vetro AR G-NET 301BAL ancorata al supporto mediante connettori passanti a fiocco in fibra di vetro AR "GFIX AR" in numero di quattro connettori per ogni m² di superficie muraria, iniettati con la medesima boiaccia LIMECRETE IR impiegata per le iniezioni. Lo spessore murario medio del pannello a fine lavorazione è risultato pari a 551 mm.

Alla fine della prova il quadro fessurativo mostrava delle lesioni diagonali in direzione del carico applicato su entrambi i lati localizzate nella zona centrale del pannello, molto più evidenti nel lato A rispetto al lato B (Figura 81) e la rottura del pannello è avvenuta con deformazione delle diagonali ed evidente uscita del pannello fuori dal piano.

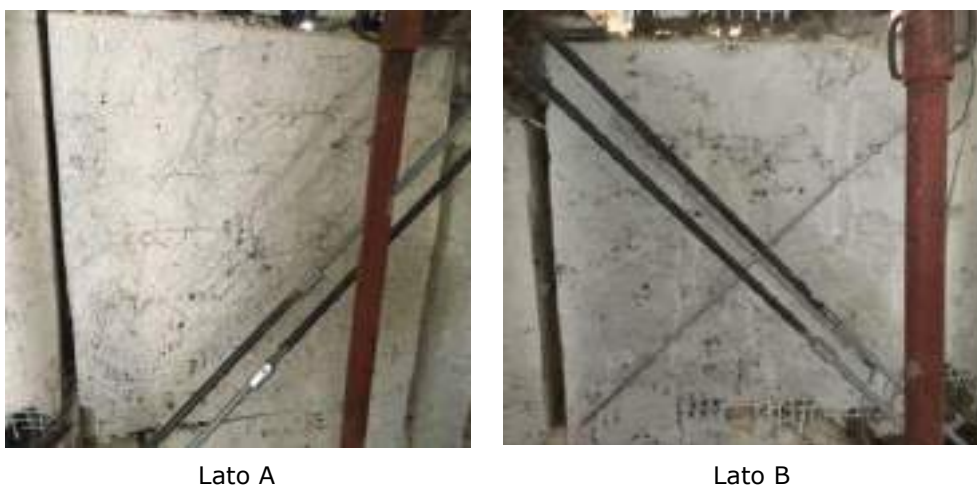


Figura 82: Configurazione fessurata del pannello rinforzato N°2 al termine della prova di compressione diagonale.

Sintesi dei risultati

Si riportano in Tabella 15 i dati riassuntivi dei risultati delle prove di compressione diagonale eseguite sui 2 provini, riportando il carico ultimo di fessurazione (P_{max}), la resistenza a trazione per fessurazione diagonale ($f_{t,max}$), la resistenza a taglio (τ_0), la deformazione angolare (γ_{max}) e i valori del modulo di taglio rispettivamente secante e bilineare (G_{sec} e G_{bil}). Di seguito le formule analitiche per il calcolo analitico:

$$f_{t,max} = 0,5 \frac{F_{max}}{A} \quad \tau_0 = \frac{f_t}{1,5} \quad G_{sec} = \frac{1,05}{A} \frac{F}{\gamma}$$

Prova pannello non rinforzato N° 1			Prova pannello rinforzato N°2		
P_{max}	38,176	[kN]	P_{max}	165,792	[kN]
$f_{t,max}$	0,0293	[MPa]	$f_{t,max}$	0,1269	[MPa]
τ_0	0,0195	[MPa]	τ_0	0,0846	[MPa]
γ_{max}	23,360	[%]	γ_{max}	13,209	[%]
* G_{sec}	28,0	[MPa]	* G_{sec}	1390,6	[MPa]
G_{bil}	9,56	[MPa]	G_{bil}	50,37	[MPa]

Tabella 15: Dati riassuntivi delle prove di compressione diagonale N° 1 e N°2.

* G_{sec} : calcolato tra il 10% e il 40% di P_{max} .

Di seguito (Figura 82) si riporta il grafico tensione tangenziale - deformazione angolare ($\tau - \gamma$) delle due prove di compressione diagonale messe a confronto (campione non rinforzato N°1 e campione rinforzato N°2):

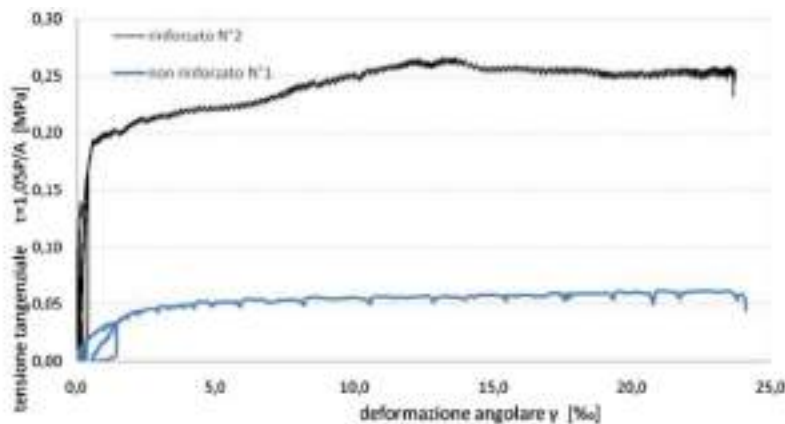


Figura 83: Grafico tensione tangenziale - deformazione angolare.

Campione	$\tau_{i,0}$ [MPa]	Rapporto τ_{n+1} / τ_n Coefficiente correttivo
n.1 Pannello non rinforzato	$\tau_1 = 0,0195$	-
n.2 Pannello rinforzato con iniezioni + intonaco armato	$\tau_2 = 0,0846$	$\tau_2 / \tau_1 = 4,34$

Tabella 16: Incremento resistenza a taglio dei due campioni.

Dalla Tabella 16 è possibile evincere come l'incremento di resistenza a taglio τ_0 del pannello rinforzato mediante iniezioni di malta LIMECRETE IR e intonaco armato con rete in fibra di vetro AR G-NET 301BAL, rispetto al pannello non rinforzato, risulta essere pari al 333% con un coefficiente correttivo pari a 4,34.

Prove di compressione diagonale su pannelli murari in pietra rinforzati con tecnologia CRM System: risultati dei test e confronto normativo

Di seguito si riportano i risultati delle prove di compressione diagonale eseguite in opera su un edificio esistente con struttura portante in muratura di pietrame.

Il programma di indagini ha previsto:

- Una prova di compressione diagonale su un pannello di muratura allo stato di fatto (**Campione 03-UR**);
- Una prova di compressione diagonale su un pannello rinforzato con iniezioni di malta in calce idraulica LIMECRETE IR (**Campione 01-IN**);
- Una prova di compressione diagonale su pannello rinforzato con iniezioni di malta LIMECRETE IR M10 e l'applicazione su entrambe le facce murarie di un intonaco in calce idraulica LIMECRETE M10 (spessore 30mm) armato con rete RG66 - NET BA e connettori preformati rigidi ad L RG FIX 10 (**Campione 02-IN+CRM**).

La prova di compressione diagonale eseguita in opera consiste nell'applicazione di un carico di compressione lungo la diagonale del pannello in muratura in modo da provocare la rottura a taglio per fessurazione diagonale. Il campione viene isolato dalla parete esistente grazie alla realizzazione di quattro tagli, lasciando solamente una porzione del lato inferiore ancorato alla muratura. L'analisi dei risultati consente la determinazione della resistenza e rigidità a taglio della muratura esistente.



Figura 84: Prove di compressione diagonale eseguite in situ sui 3 pannelli in muratura.

Nella tabella che segue sono riassunti i risultati delle prove di compressione diagonale eseguite sui 3 provini, riportando il carico ultimo di fessurazione (F_{max}), la resistenza a trazione per fessurazione diagonale (f_t), la resistenza a taglio (τ_0), il rapporto tra la resistenza a taglio del campione rinforzato e di quello non rinforzato ($\tau_{0,r}/\tau_{0,UR}$) e i valori del modulo di taglio rispettivamente secante e bilineare (G_{sec} e G_{bil}). Di seguito le formule analitiche per il calcolo analitico:

$$f_{t,max} = 0,5 \frac{F_{max}}{A} \quad \tau_0 = \frac{f_t}{1,5} \quad G_{sec} = \frac{1,05}{A} \frac{F}{\gamma}$$

campione	Larghezza (mm)	Spessore (mm)	Altezza (mm)	F_{max} (kN)	f_i (MPa)	τ_0 (MPa)	$\tau_{0,0} / \tau_{0,NR}$ (%)	G_{si} (MPa)	G_{inc} (MPa)
01 -IN	1205	722	1220	131.98	0.076	0.051	117%	111	176
02 - IN+CRM	1215	605	1200	265.16	0.180	0.120	279%	285	530
03 - UR	1213	588	1200	92.29	0.065	0.043	-	147	459

Tabella 17: Dati riassuntivi delle prove di compressione diagonale.

In Figura 84 vengono riportate le curve di involuppo della tensione tangenziale - deformazione angolare ottenute per ognuno dei tre pannelli.

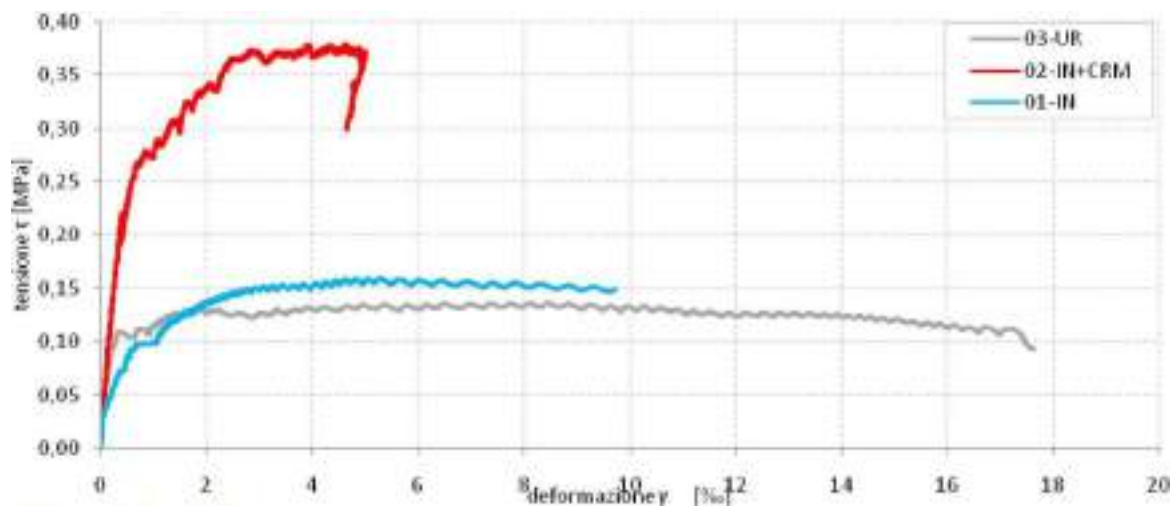


Figura 85: Grafico tensione tangenziale - deformazione angolare

Tabella riassuntiva	$\tau_{i,0}$ [MPa]	Rapporto τ_{n+1}/τ_n Coefficiente maggiorativo
A. Pannello in muratura non rinforzata (Campione UR)	$\tau_{A,0} = 0,043$	-
B. Pannello in muratura rinforzata con iniezioni (Campione IN)	$\tau_{B,0} = 0,051$	$\tau_{B,0}/\tau_{A,0} = 1,19$
C. Pannello in muratura rinforzata con iniezioni + intonaco armato (Campione IN + NR)	$\tau_{C,0} = 0,12$	$\tau_{C,0}/\tau_{B,0} = 2,35$ $\tau_{C,0}/\tau_{A,0} = 2,79$

Dalla Tabella riassuntiva dei risultati delle prove si può notare come l'incremento della resistenza a taglio τ_0 del pannello non rinforzato risulta essere rispettivamente del 19% (coeff. maggiorativo 1,19) per quanto concerne il consolidamento mediante sole iniezioni di malta LIMECRETE IR e ben del 179% mediante il consolidamento combinato di iniezioni di malta e intonaco armato con rete preformata RG66 NET BA. L'incremento di resistenza apportato dal solo intonaco armato, ottenuto scorporando il contributo delle iniezioni con malta, risulta essere pari al 135% con un coefficiente maggiorativo pari a 2,35.

Confronto con le Norme Tecniche NTC 2018

E' noto che la muratura presenta a scala nazionale una notevole varietà per tecniche costruttive e materiali impiegati ed un inquadramento in tipologie precostituite può risultare problematico. In aiuto a questo la *Tabella C8.5.I* della *Circolare C.S.LL.PP. n.7 del 21/01/19* riporta, per le tipologie murarie più ricorrenti, delle indicazioni non vincolanti sui parametri meccanici di riferimento che possono essere adottati nelle analisi in funzione del rilievo degli aspetti costruttivi e del livello di conoscenza acquisto. Le precise condizioni per quali è consigliato utilizzare tali valori sono: malta di calce di modeste caratteristiche (resistenza media a compressione stimabile tra 0,7 e 1,5 MPa), assenza di ricorsi (listature), paramenti semplicemente accostati o mal collegati, muratura non consolidata.

Tipologia di muratura	f	τ_0	f_{yk}	E	G	w
	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(kN/m ²)
	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 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 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 $\leq 40\%$)	5,0-8,0	0,08-0,17	0,20-0,36	3500-5600	875-1400	15

Dalla descrizione della tessitura dei campioni sopra riportata, la tipologia muraria oggetto delle prove può essere classificata come muratura in pietrame disordinato. Considerando la presenza nei tre campioni di elementi lapidei di medie dimensioni, l'assenza di vuoti all'interno della sezione e la presenza, seppur alquanto ridotta, di una porzione in laterizio, si considera il valore Max della *Tabella C8.5.I* per la determinazione dei parametri meccanici.

La resistenza media a taglio che viene presa come riferimento risulta essere pari a $\tau_0 = 0,032$ MPa.

Come specificato sempre nella Circolare 2019, in presenza di muratura consolidate, o nel caso in cui si debba valutare la sicurezza dell'edificio rinforzato, è possibile valutare le caratteristiche meccaniche delle murature in uno stato di fatto migliore di quello indicato utilizzando i coefficienti correttivi riportati in *Tabella C8.5.II*. Tali coefficienti correttivi verranno applicati ai valori di riferimento dei parametri meccanici della *Tabella C8.5.I* a seconda del tipo di consolidamento adottato. La Circolare specifica che i coefficienti riportati devono essere considerati essenzialmente un utile riferimento in assenza di specifiche valutazioni sui valori da adottare per il caso in esame.

Tipologia di muratura	Stato di fatto			Interventi di consolidamento			
	Malta buona	Ricorsi o listature	Connessione trasversale	Iniezione di miscele leganti (*)	Intonacoarmato (**)	Ristituita armata con connessione dei paramenti (**)	Massimo coefficiente complessivo
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	1,5	1,3	1,5	2	2,5	1,6	3,5
Muratura a conci sbozzati, con paramenti di spessore disomogeneo	1,4	1,2	1,5	1,7	2,0	1,5	3,0
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	1,3	1,1	1,3	1,5	1,5	1,4	2,4
Muratura irregolare di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.,)	1,5	1,2	1,3	1,4	1,7	1,1	2,0
Muratura a conci regolari di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.,)	1,6	-	1,2	1,2	1,5	1,2	1,8
Muratura a blocchi lapidei squadrati	1,2	-	1,2	1,2	1,2	-	1,4
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	(***)	-	1,3 (****)	1,2	1,5	1,2	1,8
Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es: doppio UNI foratura ≤40%)	1,2	-	-	-	1,3	-	1,3

(*) I coefficienti correttivi relativi alle iniezioni di miscele leganti devono essere commisurati all'effettivo beneficio apportato alla muratura, riscontrabile con verifiche sia nella fase di esecuzione (iniettabilità) sia a posteriori (riscontri sperimentali attraverso prove soniche o similari).

(**) Valori da ridurre convenientemente nel caso di pareti di notevole spessore (p.es. > 70 cm).

Nel caso specifico saranno quindi considerati i coefficienti correttivi per:

- iniezione di miscele leganti nel caso del (Campione 01-IN);
- intonaco armato nel caso del (Campione 02-IN+CRM).

TABELLA RIASSUNTIVA Muratura in pietrame disordinata	NTC2018 + Circolare Esplicativa		Prove diagonali sperimentali	
	Coefficienti correttivi amplificativi Tab. CA. 5. II	$\tau_{0,1}$ [MPa]	Coefficienti correttivi risultanti dalle prove sperimentali	$\tau_{0,2}$ [MPa]
Muratura non rinforzata	-	0,032	-	-
Muratura rinforzata con iniezioni di malta LIMECRETE IR	2	0,064	1,59	0,051
Muratura rinforzata con intonaco armato con rete RG66 NET	2,5	0,08	3,12	0,10
Muratura rinforzata con iniezioni di malta LIMECRETE IR + intonaco armato con rete RG66 NET	3,5 *	0,112 *	3,75	0,12

*Nel caso di uso combinato di diverse tecniche di consolidamento, il valore del coefficiente complessivo non può superare il valore massimo indicato nell'ultima colonna della Tabella C8.5.II che per il caso di muratura in pietrame disordinata risulta pari a 3,5.

Confronto analitico

In riferimento alla muratura rinforzata con intonaco armato la resistenza di progetto a taglio della parete rinforzata $V_{t,R}$ può essere calcolata come somma del contributo della muratura non rinforzata V_t e di quello fornito dal rinforzo $V_{t,f}$ tramite le seguenti formule:

$$V_{t,R} = V_t + V_{t,f}$$

$$V_{t,f} = 0.5 \cdot n_f \cdot t_{vf} \cdot b_f \cdot \alpha_t \cdot \sigma_{ud}$$

Con riferimento alle equazioni precedenti, la resistenza media a taglio τ_0 della parete rinforzata può essere calcolata, depurando i coefficienti parziali, con la seguente formula:

$$\tau_0 = f_{vk0} + 0,4 \cdot \frac{n_f \cdot t_{vf} \cdot \sigma_{uf}}{(t_m + t_{int} \cdot n_f)}$$

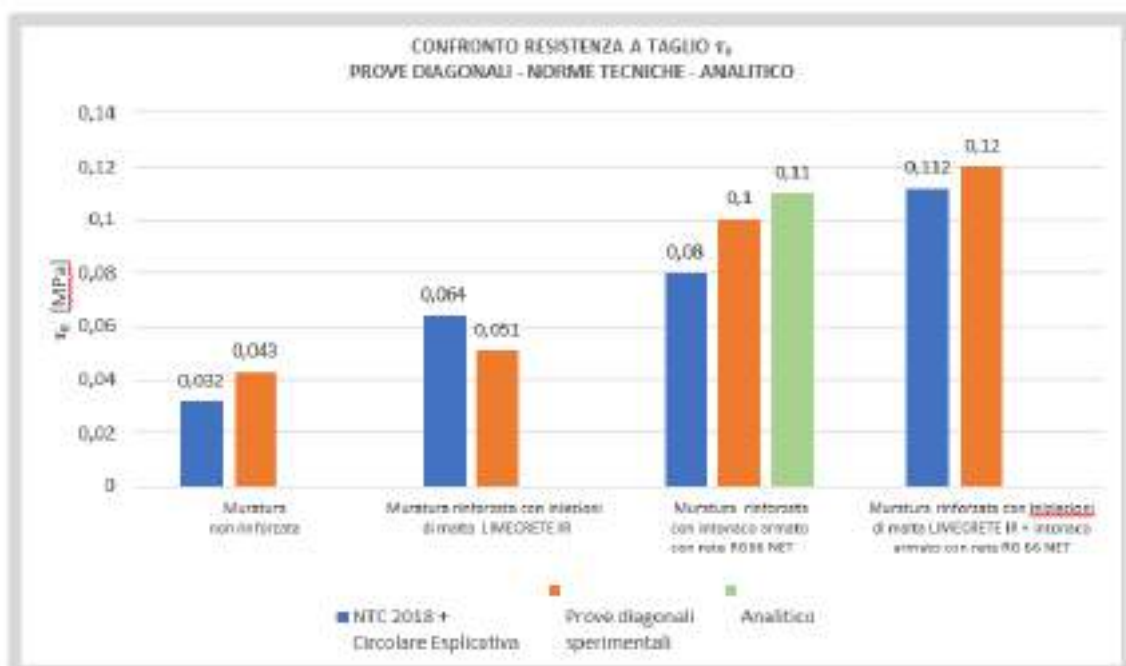
$t_{tot} = t_m + t_{int} \cdot n_f$ = spessore complessivo del paramento rinforzato (compreso lo spessore dell'intonaco armato t_{int})

$$\tau_0 = 0,032 + 0,4 \cdot \frac{2 \cdot 0,106 \cdot 613}{605 + 30 \cdot 2} = 0,110 \text{ MPa}$$

Confronto finale: prove diagonali – Norme Tecniche – Analitico

Nella Tabella seguente e nel grafico sottostante viene riportato il confronto dei risultati ottenuto seguendo i tre diversi criteri di calcolo adottati per la determinazione della resistenza media a taglio del campione di muratura in esame a seconda della tipologia di consolidamento adottata.

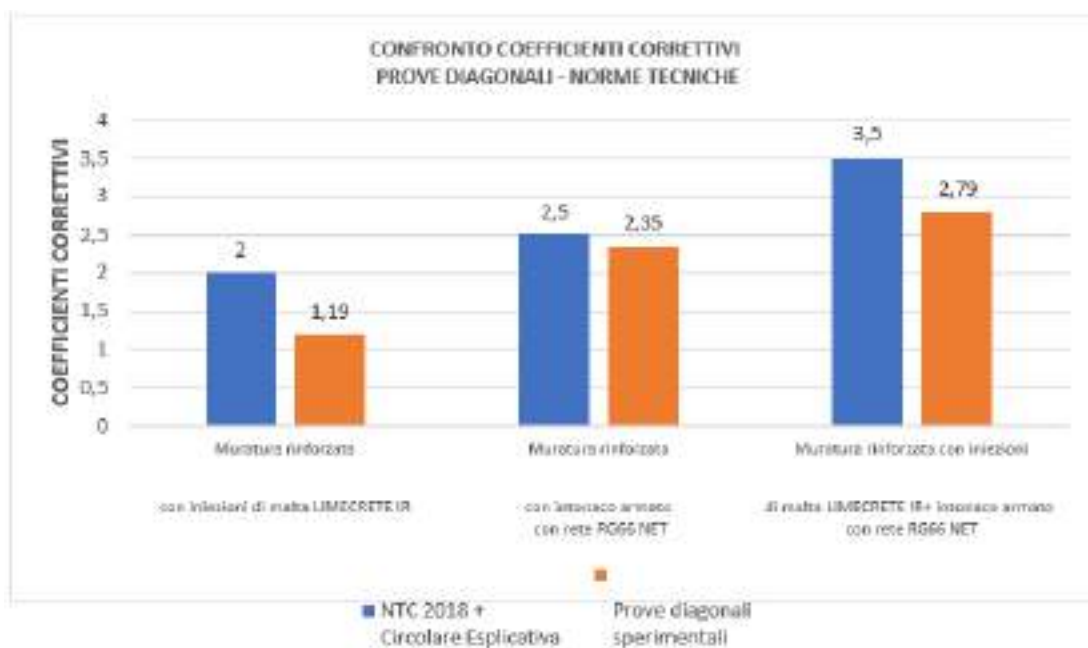
TABELLA RIASSUNTIVA	<i>NTC 2018 + Circolare Esplicativa</i>	<i>Prove diagonali sperimentali</i>	<i>Calcolo analitico</i>
	$\tau_{0,1}$ [MPa]	$\tau_{0,2}$ [MPa]	$\tau_{0,3}$ [MPa]
<i>Muratura non rinforzata</i>	0,032	0,043	/
<i>Muratura rinforzata con iniezioni di malta LIMECRETE IR</i>	0,064	0,051	/
<i>Muratura rinforzata con intonaco armato con rete RG66 NET</i>	0,08	0,10	0,110
<i>Muratura rinforzata con iniezioni di malta LIMECRETE IR + intonaco armato con rete RG66 NET</i>	0,112	0,12	/



Conclusioni

Dal confronto dei risultati si evince che:

- I coefficienti correttivi della *Tabella C8.5. II* della Circolare 2019 risultano essere, nel caso indagato, sovradimensionati per quanto concerne il consolidamento mediante iniezioni con miscele leganti (Tabella3.). La valutazione dell'effettivo incremento di resistenza apportato da iniezioni deve essere quindi rigorosamente valutato dal progettista caso per caso (attenta valutazione della tessitura muraria, presenza o meno di vuoti all'interno del paramento, indagini soniche o di altro tipo per valutare l'effettivo consolidamento raggiunto, ecc.). Un coefficiente correttivo elevato, posto da Normativa pari a 2 come nel caso in esame, risulta essere un valore di riferimento a ns. parere elevato che porta ad ottenere valori di resistenza non conformi all'effettivo incremento ottenuto dal consolidamento a mezzo iniezioni, come riscontrato da test sperimentali.



- L'utilizzo di un intonaco armato con rete preformata rigida in fibra in GFRP RG66 NET applicato su ambo le facciate del paramento con 4 connettori RG FIX 10 a mq, ha consentito di ottenere un ottimo incremento di resistenza a taglio ed un buon riscontro, in termini di confronto, con i coefficienti correttivi proposti dalla Normativa vigente.
- La precedente Circolare Esplicativa NTC08 non esplicitava il corretto modo di combinare tra loro i coefficienti correttivi in caso di un uso combinato di più sistemi di consolidamento. L'applicazione in forma moltiplicativa dei singoli coefficienti, senza la presenza di un valore di soglia, poteva infatti causare errori di sopravvalutazione dell'effettivo incremento di resistenza apportato dai rinforzi. Per chiarire tale punto la Circolare 2019 ha introdotto un coefficiente correttivo massimo da applicare nel caso di un utilizzo contemporaneo di più sistemi di consolidamento. Nel caso indagato il coefficiente complessivo proposto dalla Normativa 3,5 risulta essere in linea sia con i test sperimentali complessivi, sia con il calcolo analitico.

Indagini sperimentali per lo studio del comportamento a taglio di pareti murarie rinforzate con materiali innovativi

L'attività sperimentale, condotta dal Centro Interdipartimentale di Ricerca Industriale (CIRI) Alma Mater Studiorum - Università di Bologna, ha previsto di sottoporre a prova di compressione diagonale, svolta in accordo con la Norma ASTM E519 [1], n. 4 pannelli di muratura in laterizio realizzati con mattoni pieni e malta a base calce aventi dimensioni $1300 \times 1300 \times 250 \text{ mm}^3$, con l'obiettivo di indagare l'efficacia di vari tipi di layout di rinforzo, che prevedono l'impiego del sistema a "reticolo" per murature faccia a vista, intonaco armato a basso spessore FRCM e intonaco armato CRM.



Figura 86: Realizzazione dei pannelli murari.

Modalità di rinforzo dei pannelli murari

La tecnica di rinforzo per murature faccia a vista ANCHORSTEEL NET è consistita nell'utilizzo di una maglia continua realizzata con trefoli di acciaio galvanizzato UHTSS ad altissima resistenza inserita all'interno dei giunti orizzontali e verticali della malta e fissati al pannello in muratura tramite barre elicoidali in acciaio inox AISI 316 di diametro $\Phi 10 \text{ mm}$. Il sistema FRCM era composto da una matrice di malta a base di calce idraulica naturale NHL 5,0 classe M15 LIMECRETE e da una rete in fibra di vetro G-NET 401 BAL, caratterizzata da spessore equivalente fibra di $0,076 \text{ mm}$ per direzione, dimensione delle maglie $30 \times 30 \text{ mm}$ e densità di peso pari a 400 g/m^2 . Il sistema CRM era composto da una matrice di malta a base calce e da una maglia preformata in polimero rinforzato con fibra di vetro (GFRP), caratterizzata da sezione nominale della barra di $7,065 \text{ mm}^2$, diametro nominale della barra di 3 mm , dimensione delle maglie di $66 \times 66 \text{ mm}$ e peso netto di 380 g/m^2 .

La seguente tabella riepilogativa riporta le diverse configurazioni di rinforzo adottate:

Pannello	Tipologia di rinforzo	Ancoraggio	Layout simmetrico
CD_URM	Non rinforzato	-	-
CD_2	Lato A: ANCHORSTEEL NET Lato B: FRCM	Barre elicoidali	No
CD_3	Lato A: reinforced repointing Lato B: CRM	Barre elicoidali	No
CD_4	Entrambi i lati: FRCM	Connettori a fiocco in vetro	Yes



Figura 87: Fasi di applicazione del rinforzo per il pannello CD_2, lato A (sinistra) lato B (destra).



Figura 88: Fasi di applicazione del rinforzo per il pannello CD_3, lato A e lato B.



Figura 89: Fasi di applicazione del rinforzo per il pannello CD_4, lato A e lato B.

Risultati sperimentali

In Fig. 89 e Fig. 90, sono mostrati i diagrammi di carico-spostamento per tutti i pannelli. Il pannello vergine CD_URM, dopo una diramazione elastica quasi lineare fino al carico di picco, era caratterizzato da una modalità di guasto fragile, come previsto. Le curve dei campioni rinforzati hanno mostrato un ramo iniziale che può essere considerato elastico lineare fino al primo picco, significativamente superiore al carico di picco del corrispondente campione CD_URM, e un comportamento post-picco più duttile. In particolare, in Fig. 89, viene riportato un confronto tra CD_2 e CD_4 per comprendere il comportamento di diversi layout di rinforzo FRCM, simmetrici o meno. L'FRCM applicato su entrambi i lati ha determinato un maggiore aumento della capacità del pannello, fornendo anche una maggiore pseudo-duttilità nel ramo non lineare.

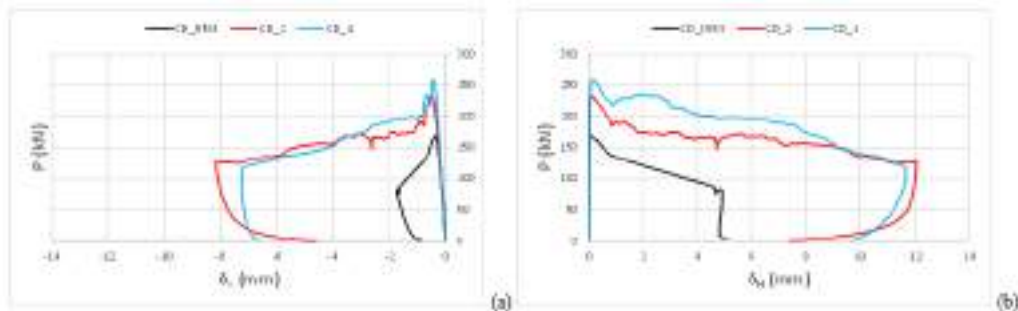


Fig. 90: Confronto dei risultati per i pannelli rinforzati con FRCM: (a) diagramma di carico vs spostamento verticale medio; b) diagramma di carico vs spostamento orizzontale medio.

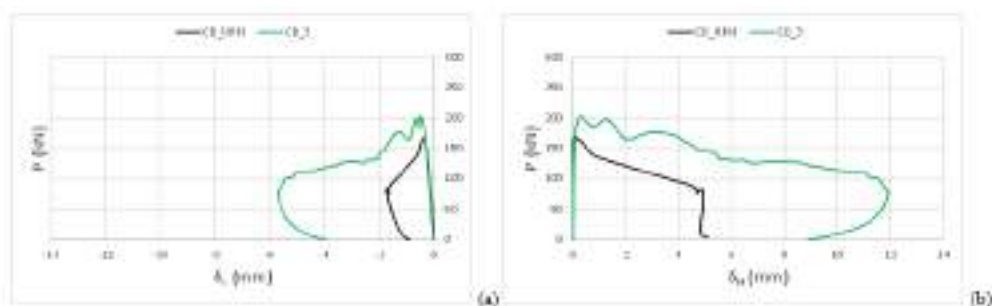


Fig. 91: Confronto dei risultati per pannello rinforzato con CRM: (a) diagramma di carico vs spostamento verticale medio; b) diagramma di carico vs spostamento orizzontale medio.

Infine, i risultati delle prove, in termini di carico di picco e di incremento di resistenza sono riportati nella tabella seguente:

Pannello	P_{max} (kN)	Incremento di forza media $P_{max}/P_{max (CD_URM)}$	τ (MPa)	G (MPa)
CD_URM	168.8	-	0.37	1790
CD_2	232.1	+37.50%	0.49	1736
CD_3	202.3	+19.88%	0.44	1315
CD_4	259.2	+53.61%	0.57	1924

I risultati soprariportati hanno mostrato che i sistemi di rinforzo adottati sono stati in grado di migliorare il comportamento strutturale dei pannelli in muratura, sia in termini di capacità portante che di deformazioni finali. Ciò conferma l'idoneità degli schemi di rinforzo considerati nel migliorare il comportamento a taglio dei pannelli in muratura senza determinare forti variazioni di rigidità negli edifici esistenti. L'efficienza delle soluzioni ibride che coinvolgono il sistema ANCHORSTEEL NET da un lato e intonaco armato FRCM o CRM dall'altro, rappresenta un risultato importante, considerando che questa tecnica è l'unica applicabile quando la tessitura muraria deve mantenere il faccia-vista per motivi conservativi, come nelle costruzioni storiche.

15 APPENDICE D – PROPRIETÀ MECCANICHE FRCM SYSTEM

Proprietà meccaniche del sistema FRCM G-NET 251 BA utili ai fini della progettazione e dell'accettazione in cantiere

Proprietà meccaniche	U.M.	Supporto		
		Laterizio	Tufo	Pietrame
Tensione limite convenzionale $\sigma_{lim,conv}$ (valore caratteristico)	[MPa]	823,20	773,91	697,94
Deformazione limite convenzionale $\epsilon_{lim,conv}$	[%]	1,40	1,32	1,19
Tensione ultima σ_u del composito FRCM (valore caratteristico)	[MPa]	1154,41		
Tensione ultima σ_{uf} della rete a rottura per trazione (valore caratteristico)	[MPa]	1055,54		
Modulo elastico E_r della rete (valore medio)	[GPa]	58,65		
Deformazione ultima a trazione ϵ_{uf} della rete	[%]	1,80		

Proprietà meccaniche del sistema FRCM G-NET 301 BAL utili ai fini della progettazione e dell'accettazione in cantiere

Proprietà meccaniche	U.M.	Supporto		
		Laterizio	Tufo	Pietrame
Tensione limite convenzionale $\sigma_{lim,conv}$ (valore caratteristico)	[MPa]	799,59	815,17	817,78
Deformazione limite convenzionale $\epsilon_{lim,conv}$	[%]	1,25	1,27	1,28
Tensione ultima σ_u del composito FRCM (valore caratteristico)	[MPa]	1063,48		
Tensione ultima σ_{uf} della rete a rottura per trazione (valore caratteristico)	[MPa]	961,55		
Modulo elastico E_r della rete (valore medio)	[GPa]	63,97		
Deformazione ultima a trazione ϵ_{uf} della rete	[%]	1,50		

Proprietà meccaniche del sistema FRCM **G-NET 401 BAL** utili ai fini della progettazione e dell'accettazione in cantiere

Proprietà meccaniche	U.M.	Supporto		
		Laterizio	Tufo	Pietrame
Tensione limite convenzionale $\sigma_{lim,conv}$ (valore caratteristico)	[MPa]	826,84	782,07	722,72
Deformazione limite convenzionale $\epsilon_{lim,conv}$	[%]	1,21	1,14	1,06
Tensione ultima σ_u del composito FRCM (valore caratteristico)	[MPa]	1128,05		
Tensione ultima σ_{uf} della rete a rottura per trazione (valore caratteristico)	[MPa]	1001,37		
Modulo elastico E_r della rete (valore medio)	[GPa]	68,32		
Deformazione ultima a trazione ϵ_{uf} della rete	[%]	1,47		

Proprietà meccaniche del sistema FRCM **G-NET 601 BAL** utili ai fini della progettazione e dell'accettazione in cantiere

Proprietà meccaniche	U.M.	Supporto		
		Laterizio	Tufo	Pietrame
Tensione limite convenzionale $\sigma_{lim,conv}$ (valore caratteristico)	[MPa]	954,38	921,89	944,28
Deformazione limite convenzionale $\epsilon_{lim,conv}$	[%]	1,36	1,32	1,35
Tensione ultima σ_u del composito FRCM (valore caratteristico)	[MPa]	1177,21		
Tensione ultima σ_{uf} della rete a rottura per trazione (valore caratteristico)	[MPa]	1037,98		
Modulo elastico E_r della rete (valore medio)	[GPa]	70,01		
Deformazione ultima a trazione ϵ_{uf} della rete	[%]	1,48		

Proprietà meccaniche del sistema FRCM B-NET 250 BA utili ai fini della progettazione e dell'accettazione in cantiere

Proprietà meccaniche	U.M.	Supporto		
		Laterizio	Tufo	Pietrame
Tensione limite convenzionale $\sigma_{lim,conv}$ (valore caratteristico)	[MPa]	1122,51	1228,12	1111,67
Deformazione limite convenzionale $\epsilon_{lim,conv}$	[%]	1,27	1,39	1,26
Tensione ultima σ_u del composito FRCM (valore caratteristico)	[MPa]	1538,20		
Tensione ultima σ_{uf} della rete a rottura per trazione (valore caratteristico)	[MPa]	1447,91		
Modulo elastico E_r della rete (valore medio)	[GPa]	88,51		
Deformazione ultima a trazione ϵ_{uf} della rete	[%]	1,64		

Proprietà meccaniche del sistema FRCM B-NET 450 BA utili ai fini della progettazione e dell'accettazione in cantiere

Proprietà meccaniche	U.M.	Supporto		
		Laterizio	Tufo	Pietrame
Tensione limite convenzionale $\sigma_{lim,conv}$ (valore caratteristico)	[MPa]	1181,22	1244,27	1184,62
Deformazione limite convenzionale $\epsilon_{lim,conv}$	[%]	1,45	1,53	1,46
Tensione ultima σ_u del composito FRCM (valore caratteristico)	[MPa]	1493,02		
Tensione ultima σ_{uf} della rete a rottura per trazione (valore caratteristico)	[MPa]	1396,84		
Modulo elastico E_r della rete (valore medio)	[GPa]	81,40		
Deformazione ultima a trazione ϵ_{uf} della rete	[%]	1,72		

Proprietà meccaniche del sistema SRG **STEEL-NET G 80** utili ai fini della progettazione e dell'accettazione in cantiere

Proprietà meccaniche	U.M.	Supporto		
		Laterizio	Tufo	Pietrame
Tensione limite convenzionale $\sigma_{lim,conv}$ (valore caratteristico)	[MPa]	1467,91	1401,05	1277,71
Deformazione limite convenzionale $\epsilon_{lim,conv}$	[%]	0,73	0,69	0,63
Tensione ultima σ_u del composito FRCCM (valore caratteristico)	[MPa]	2518,95		
Tensione ultima σ_{uf} della rete a rottura per trazione (valore caratteristico)	[MPa]	2025,21		
Modulo elastico E_r della rete (valore medio)	[GPa]	201,76		
Deformazione ultima a trazione ϵ_{uf} della rete	[%]	1,00		

Proprietà meccaniche del sistema SRG **STEEL-NET G 135** utili ai fini della progettazione e dell'accettazione in cantiere

Proprietà meccaniche	U.M.	Supporto		
		Laterizio	Tufo	Pietrame
Tensione limite convenzionale $\sigma_{lim,conv}$ (valore caratteristico)	[MPa]	812,81	779,80	756,21
Deformazione limite convenzionale $\epsilon_{lim,conv}$	[%]	0,41	0,39	0,38
Tensione ultima σ_u del composito FRCCM (valore caratteristico)	[MPa]	1855,29		
Tensione ultima σ_{uf} della rete a rottura per trazione (valore caratteristico)	[MPa]	2037,99		
Modulo elastico E_r della rete (valore medio)	[GPa]	198,73		
Deformazione ultima a trazione ϵ_{uf} della rete	[%]	1,03		

Proprietà meccaniche del sistema SRG **CC STEEL-NET G 220** utili ai fini della progettazione e dell'accettazione in cantiere

Proprietà meccaniche	U.M.	Supporto	
		Calcestruzzo	
Tensione limite convenzionale $\sigma_{lim,conv}$ (valore caratteristico)	[MPa]	509,04	
Deformazione limite convenzionale $\epsilon_{lim,conv}$	[%]	0,28	
Tensione ultima σ_u del composito FRCCM (valore caratteristico)	[MPa]	1120,35	
Tensione ultima σ_{uf} della rete a rottura per trazione (valore caratteristico)	[MPa]	1558,02	
Modulo elastico E_r della rete (valore medio)	[GPa]	183,05	
Deformazione ultima a trazione ϵ_{uf} della rete	[%]	0,85	

Proprietà meccaniche del sistema FRCCM **MC-NET 220 BL** utili ai fini della progettazione e dell'accettazione in cantiere

Proprietà meccaniche	U.M.	Supporto		
		Laterizio	Tufo	Pietrame
Tensione limite convenzionale $\sigma_{lim,conv}$ (valore caratteristico)	[MPa]	1074,79	1102,89	1132,36
Deformazione limite convenzionale $\epsilon_{lim,conv}$	[%]	0,50	0,52	0,53
Tensione ultima σ_u del composito FRCCM (valore caratteristico)	[MPa]	1387,64		
Tensione ultima σ_{uf} della rete a rottura per trazione (valore caratteristico)	[MPa]	1299,97		
Modulo elastico E_r della rete (valore medio)	[GPa]	213,74		
Deformazione ultima a trazione ϵ_{uf} della rete	[%]	0,61		

Proprietà meccaniche del sistema FRCM CC-NET 220 BL utili ai fini della progettazione e dell'accettazione in cantiere

Proprietà meccaniche	U.M.	Supporto
		Calcestruzzo
Tensione limite convenzionale $\sigma_{lim,conv}$ (valore caratteristico)	[MPa]	962,13
Deformazione limite convenzionale $\epsilon_{lim,conv}$	[%]	0,45
Tensione ultima σ_u del composito FRCM (valore caratteristico)	[MPa]	1368,51
Tensione ultima σ_{uf} della rete a rottura per trazione (valore caratteristico)	[MPa]	1299,97
Modulo elastico E_r della rete (valore medio)	[GPa]	213,74
Deformazione ultima a trazione ϵ_{uf} della rete	[%]	0,61

16 APPENDICE E – PROPRIETÀ MECCANICHE CRM SYSTEM

Proprietà meccaniche della rete preformata in GFRP RG33 NET BA utili ai fini della progettazione e dell'accettazione in cantiere

Proprietà meccaniche	U.M.	Valore
		Minimo valore tra le due direzioni
Tensione ultima σ_{uf} della rete a rottura per trazione (valore medio)	[MPa]	653,37
Tensione ultima σ_{uf} della rete a rottura per trazione (valore caratteristico)	[MPa]	613,11
Modulo elastico E_r della rete (valore medio)	[GPa]	39,60
Deformazione a rottura della rete (valore caratteristico)	[%]	1,55

Proprietà meccaniche della rete preformata in GFRP RG66 NET BA utili ai fini della progettazione e dell'accettazione in cantiere

Proprietà meccaniche	U.M.	Valore
		Minimo valore tra le due direzioni
Tensione ultima σ_{uf} della rete a rottura per trazione (valore medio)	[MPa]	658,44
Tensione ultima σ_{uf} della rete a rottura per trazione (valore caratteristico)	[MPa]	612,86
Modulo elastico E_r della rete (valore medio)	[GPa]	39,44
Deformazione a rottura della rete (valore caratteristico)	[%]	1,55

Proprietà meccaniche della rete preformata in GFRP RG99 NET BA utili ai fini della progettazione e dell'accettazione in cantiere

Proprietà meccaniche	U.M.	Valore
		Minimo valore tra le due direzioni
Tensione ultima σ_{uf} della rete a rottura per trazione (valore medio)	[MPa]	648,31
Tensione ultima σ_{uf} della rete a rottura per trazione (valore caratteristico)	[MPa]	612,43
Modulo elastico E_r della rete (valore medio)	[GPa]	39,21

Deformazione a rottura della rete (valore caratteristico)	[%]	1,56
---	-----	------

Connettori preformati rigidi ad L in materiale composito GFRP – RG-FIX 10

Proprietà meccaniche	U.M.	Valore
Tensione ultima a rottura per trazione (valore medio)	[MPa]	687,92
Tensione ultima a rottura per trazione (valore caratteristico)	[MPa]	613,44
Modulo elastico (valore medio)	[GPa]	49,33
Deformazione a rottura (valore caratteristico)	[%]	1,29

Angolare preformato in GFRP ad angolo retto – E-corner RG L25

Proprietà meccaniche	U.M.	Valore
		Minimo valore tra le due direzioni
Tensione ultima σ_{uf} della rete a rottura per trazione (valore medio)	[MPa]	680,89
Tensione ultima σ_{uf} della rete a rottura per trazione (valore caratteristico)	[MPa]	639,11

17 APPENDICE F – SCHEDE TECNICHE

N.B.: Le schede tecniche dei singoli prodotti sono scaricabili gratuitamente nella versione digitale del presente documento.

Schede tecniche FRP – SRP System®

C-SHEET 240/300	Clicca qui per il download gratuito
C-SHEET 240/400	Clicca qui per il download gratuito
C-SHEET 240/600	Clicca qui per il download gratuito
C-SHEET 390/300	Clicca qui per il download gratuito
C-SHEET 390/400	Clicca qui per il download gratuito
C-SHEET 390/600	Clicca qui per il download gratuito
CTB 240/360	Clicca qui per il download gratuito
C-SHEET 240/380/Q	Clicca qui per il download gratuito
B-SHEET 90/300 U	Clicca qui per il download gratuito
B-SHEET 90/400 B	Clicca qui per il download gratuito
CFK 150/2000	Clicca qui per il download gratuito
CFK 200/2000	Clicca qui per il download gratuito
STEEL-NET G 220	Clicca qui per il download gratuito
STEEL-NET G 350	Clicca qui per il download gratuito

Schede tecniche FRCM – SRG System®

Supporti in muratura

G-NET 251 BA	Clicca qui per il download gratuito
G-NET 301 BAL	Clicca qui per il download gratuito
G-NET 401 BAL	Clicca qui per il download gratuito
G-NET 601 BAL	Clicca qui per il download gratuito

B-NET 250 BA	Clicca qui per il download gratuito
B-NET 450 BA	Clicca qui per il download gratuito
STEEL-NET G 80	Clicca qui per il download gratuito
STEEL-NET G 135	Clicca qui per il download gratuito

Supporti in calcestruzzo

CC STEEL-NET G 220	Clicca qui per il download gratuito
M C-NET 220 BL	Clicca qui per il download gratuito
C C-NET 220 BL	Clicca qui per il download gratuito

Schede tecniche CRM System®

RG33 NET BA	Clicca qui per il download gratuito
RG66 NET BA	Clicca qui per il download gratuito
RG99 NET BA	Clicca qui per il download gratuito

Schede tecniche sistemi di connessione

AFIX 10	Clicca qui per il download gratuito
BFIX 10	Clicca qui per il download gratuito
CFIX 10	Clicca qui per il download gratuito
GFIX 10	Clicca qui per il download gratuito
GFIX 10 AR	Clicca qui per il download gratuito
I-FIX 40	Clicca qui per il download gratuito
SFIX G 10	Clicca qui per il download gratuito
STEEL ANCHORFIX 8	Clicca qui per il download gratuito
STEEL ANCHORFIX 10	Clicca qui per il download gratuito

STEEL ANCHORFIX 12	Clicca qui per il download gratuito
STFIX G 80	Clicca qui per il download gratuito
STFIX G 135	Clicca qui per il download gratuito
RG FIX 10	Clicca qui per il download gratuito

18 APPENDICE G – DISEGNI ESECUTIVI

In questa sezione del manuale è possibile effettuare il download gratuito degli schemi applicativi, sia in formato DWG sia in formato PDF, delle tre diverse linee FRP-FRCM-CRM.

N.B.: I dettagli esecutivi dei singoli sistemi sono scaricabili nella versione digitale del presente documento.

Edifici in cemento armato

Rinforzo pilastri	Clicca qui per il download gratuito
Rinforzo travi	Clicca qui per il download gratuito
Rinforzo nodi	Clicca qui per il download gratuito
Rinforzo setti in c.a.	Clicca qui per il download gratuito
Rinforzo travetti solai con CFRP system	Clicca qui per il download gratuito
Antisfondellamento solai	Clicca qui per il download gratuito
Antiribalta tamponature con STG system	Clicca qui per il download gratuito
Antiribalta tamponature con FRCM system	Clicca qui per il download gratuito

Edifici in muratura portante

Consolidamento mediante iniezioni di malta	Clicca qui per il download gratuito
Rinforzo pareti in muratura con CFRP system	Clicca qui per il download gratuito
Rinforzo pareti in muratura con SRG system	Clicca qui per il download gratuito
Rinforzo pareti in muratura con FRCM system	Clicca qui per il download gratuito
Rinforzo pareti in muratura con CRM system	Clicca qui per il download gratuito

Fasciature di piano con CFRP system	Clicca qui per il download gratuito
Fasciature di piano con SRG system	Clicca qui per il download gratuito
Rinforzo volte e archi con CFRP system	Clicca qui per il download gratuito
Rinforzo volte e archi con FRCM system	Clicca qui per il download gratuito
Rinforzo volte e archi con SRG system	Clicca qui per il download gratuito
Cordoli in muratura armata con SRG system	Clicca qui per il download gratuito
Faccia a vista murature con ANCHORSTEEL NET	Clicca qui per il download gratuito
Faccia a vista murature con sistema SAC	Clicca qui per il download gratuito

TRENTENNALE
ESPERIENZA
NELLE
TECNOLOGIE
INNOVATIVE
DELLE
COSTRUZIONI.

Tecnologie e materiali per il consolidamento strutturale, per l'adeguamento antisismico e riabilitazione funzionale delle strutture con particolare riferimento ai materiali compositi, in matrice organica ed inorganica, **FRP - FRCM - SRG - CRM**, agli isolatori sismici alla base, l'isolamento termico degli edifici a mezzo di termointonaci biocompatibili, ecosostenibili, minerali, naturali, fibrorinforzati, a basso spessore.

Consulenza di ingegneria strutturale, fornitura di prodotti e tecnologie, assistenza tecnica nei cantieri in tutto il territorio nazionale.

BRANDS

- Dual Seal*
- Bentosil*
- FRP System*
- FRCM System*
- CRM System*
- Steel Net*
- Armophall*
- Matarcyl*
- Superstop*
- Waterstop*
- Idroswell*
- Impergen*
- Maclim*
- Cemesan*
- Damp Stop*
- Concrete Rock*
- Floor System*
- GPSunZenit*
- HIRUN INTERNATIONAL*
- Termal U*

Sede G&P Intech s.r.l.

📍 Via Bettone 39,
36077 Altavilla Vicentina (VI) - ITALY
☎ 0444.522797 - Fax: 0444.349110
✉ info@gpintech.com
🌐 www.gpintech.com

Uffici e magazzino

📍 Via della Tecnica 19, Int9
36100 Vicenza - ITALY

Uffici Area Nord Ovest

📍 Via Idioni, 1/2
20057 Assago (MI) - ITALY
☎ 02.97130589
✉ milano@gpintech.com

Uffici e magazzino Area Centro

📍 Contrada Rancia 12
62029 Tolentino (MC) - ITALY
☎ 0733.1878600
✉ tolenino@gpintech.com

