

## LE INNOVAZIONI DI TASSULLO NEI SISTEMI DI RINFORZO PER LE MURATURE

La proposta dei rinforzi strutturali Tassullo integra materiali performanti in soluzioni innovative e funzionali, pensate per garantire la massima resa tecnica e ottimizzare l'economia degli interventi.

**Autore: Ing. Phd Ermes Rizzi**

### Introduzione

Sulla base del censimento ISTAT del 2011 il patrimonio edilizio italiano è composto per più del 50% da edifici a struttura portante in muratura, più del 70% dei quali risulta costruito prima degli anni '70. Sono quindi particolarmente numerosi gli edifici costruiti prima dell'emanazione delle prime leggi che hanno previsto a livello nazionale l'introduzione di criteri antisismici a livello normativo. Considerando inoltre le caratteristiche che rendono la muratura un materiale intrinsecamente vulnerabile all'azione sismica, è evidente come il rinforzo degli edifici esistenti a struttura muraria sia ad oggi un tema di estrema attualità.

Le problematiche più frequenti riscontrabili negli edifici di questa tipologia sono rappresentate da carenze a livello di dettagli costruttivi (scarso ammortamento tra le murature, orizzontamenti inefficaci nel conferire adeguato collegamento tra gli elementi resistenti verticali) e nella scarsa qualità realizzativa delle murature, condizione spesso aggravata dalla presenza di meccanismi di degrado o da danneggiamenti che possono aver interessato la struttura durante la sua vita.

Negli anni sono state largamente utilizzate diverse tecniche di rinforzo, spesso ricorrendo all'utilizzo di materiali caratterizzati da resistenze e rigidità molto elevate, con lo scopo di massimizzare la resistenza degli elementi rinforzati e talvolta mettendo in secondo piano aspetti di compatibilità e di durabilità. Ad esempio, l'utilizzo di elementi rigidi in cemento armato può portare all'introduzione di elevate rigidità potenzialmente incompatibili con il comportamento delle murature in termini di deformabilità. L'utilizzo di intonaci armati tradizionali, composti da calcestruzzo o malte cementizie ad alte prestazioni e reti metalliche, comporta inoltre elevati spessori di applicazione che si rendono necessari per garantire il corretto ricoprimento delle reti nelle zone di sovrapposizione delle stesse. Questo aspetto, unito agli elevati moduli elastici tipici dei conglomerati cementizi, porta ad interventi che possono influenzare in maniera significativa il comportamento delle strutture originarie, soprattutto quando i rinforzi non sono applicati alla totalità degli elementi resistenti. In termini di durabilità risulta inoltre difficile garantire adeguati spessori di copriferro, favorendo la comparsa di fenomeni di degrado legati alla corrosione delle barre di armatura. In aggiunta, la mancanza a livello normativo di indicazioni relative ai dettagli costruttivi (tra i quali la sovrapposizione dei fogli di rete adiacenti e la disposizione di elementi di connessione trasversale) ha in alcuni casi portato a difetti di funzionamento dei sistemi di rinforzo.



*Didascalìa:* Tassullo è in grado di offrire le migliori tecnologie per ogni tipo di cantiere, con protagonista assoluta la Calce Idraulica Naturale. Render: sistema CRM RESTAURO di Tassullo.

L'utilizzo su murature di sistemi FRP composti da resine polimeriche e tessuti di fibre presenta una serie di svantaggi legati principalmente all'utilizzo delle resine per l'incollaggio e l'impregnazione dei tessuti. Queste richiedono la presenza di superfici il più possibile regolari e con bassi contenuti di umidità, condizioni che difficilmente si riscontrano sulle murature esistenti, soprattutto se storiche. Inoltre, le modeste proprietà di resistenza superficiale delle murature, in particolar modo di quelle realizzate con elementi teneri in laterizio o tufo, limitano in modo importante la capacità di trasferire gli sforzi all'interfaccia muratura-rinforzo e di conseguenza l'efficacia degli interventi. Le murature realizzate con elementi lapidei maggiormente resistenti sono d'altra parte caratterizzate da superfici altamente irregolari, tanto da richiedere l'utilizzo di strati intermedi di livellamento che influiscono a loro volta sull'efficacia del rinforzo.

Partendo da questo contesto i sistemi CRM ed FRCM hanno gradualmente preso piede sul mercato grazie alla loro migliore compatibilità con le murature. I primi rappresentano l'evoluzione degli intonaci armati tradizionali e si compongono di reti in materiale composito annegate in strati di malta di spessore variabile tra i 3 ed i 5 centimetri. La maggior parte dei sistemi CRM sul mercato è composto da reti rigide che richiedono l'impiego di specifici elementi angolari preformati per dare continuità al rinforzo negli angoli tra le pareti. I sistemi FRCM riprendono invece il concetto dei sistemi FRP risolvendone le principali problematiche a livello di compatibilità grazie alla sostituzione delle matrici polimeriche con malte strutturali applicate in spessori variabili tra 5 e 15 mm ed utilizzano sempre reti flessibili che possono essere avvolte attorno agli spigoli, favorendo la fasciatura degli elementi strutturali da rinforzare.

Al fine di solidarizzare il rinforzo al supporto evitando la comparsa di fenomeni di distacco, i sistemi CRM e FRCM vengono spesso posti in opera in abbinamento a specifici sistemi di connessione.

Tra le tipologie di connettori maggiormente diffuse sul mercato si distinguono i connettori preformati ad "L" e quelli semi-impregnati, noti nel gergo anche come "connettori a fiocco" o più semplicemente "fiocchi". I primi presentano una geometria che richiama la barra di armatura piegata ad L tipica degli intonaci armati. I secondi seguono invece un concetto che deriva dai sistemi FRP e sono costituiti da una porzione rettilinea preformata e da una o due estremità di fibre secche che vengono inglobate negli strati di intonaco applicati sui paramenti murari. In entrambi i casi i connettori vengono ancorati al supporto murario per mezzo di resine oppure mediante miscele di leganti inorganici. L'utilizzo dei sistemi di connessione risulta, in accordo alle norme

specifiche, obbligatorio nella maggior parte delle applicazioni e rappresenta una componente importante sia per quanto riguarda il costo degli interventi (tanto in termini di materiali quanto in termini di mano d'opera richiesta) sia in termini di tempistiche necessarie per l'applicazione dei rinforzi.

Le principali ragioni del successo dei sistemi CRM e FRCM sul mercato sono da ricercare nei punti seguenti:

1. L'utilizzo di malte strutturali garantisce una migliore compatibilità con le murature esistenti tanto dal punto di vista meccanico (moduli elastici contenuti) quanto dal punto di vista fisico-chimico. Il tutto è massimizzato se si utilizzano malte formulate con leganti di calce idraulica naturale ed esenti da cemento;
2. L'impiego di reti e connettori in materiale composito, resistenti agli ambienti aggressivi ed esenti da fenomeni corrosivi tipici delle armature metalliche;
3. Il ridotto spessore delle reti, compreso nella maggior parte dei casi entro i 3 mm, permette di realizzare rinforzi in spessori contenuti. Di conseguenza, l'invasività in termini di riduzione degli spazi interni può essere ridotta al minimo e gli incrementi di rigidità legati ai rinforzi contenuti in modo significativo;

## Le innovazioni TASSULLO nei sistemi di rinforzo

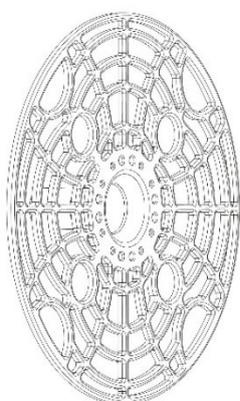
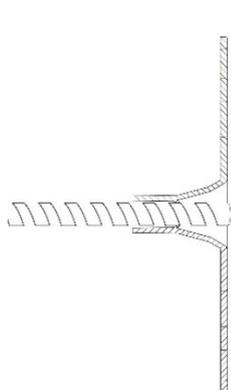
La proposta tecnica TASSULLO rivolta al rinforzo delle murature si presenta sul mercato con una serie di innovazioni e caratteristiche distintive che la rendono unica. I sistemi CRM ed FRCM facenti parte della linea Rinforzi Strutturali sono basati sull'esaltazione delle caratteristiche della calce idraulica naturale NHL 5 pura prodotta da Tassullo, capace di garantire elevate prestazioni meccaniche dei prodotti premiscelati ed eccellenti caratteristiche di compatibilità e di durabilità. L'innovazione non si ferma al tipo di legante impiegato ma interessa anche gli elementi in FRP (reti e connettori), introducendo importanti novità anche in questi ambiti. Da una parte il sistema CRM RESTAURO, composto dalla rete flessibile in fibra di vetro alcalino resistente ARMIS VETROAR 50x50, permette di realizzare la continuità nelle zone d'angolo piegando la rete stessa senza la necessità di disporre elementi angolari, componente che incide in modo significativo sui costi di intervento.

Il sistema ARMIS ALL-IN-ONE ([presentato nel dettaglio qui](#)) rappresenta invece una importante innovazione nell'ambito dei sistemi di connessione e si presenta sul mercato come alternativa ai connettori preformati e semi-impregnati, raggruppandone i pregi e minimizzandone i difetti. I connettori preformati infatti, pur necessitando dei cosiddetti fazzoletti di ripartizione, sono particolarmente pratici per applicazioni su singolo paramento ma richiedono lavorazioni più complesse per applicazioni su doppio paramento e non sono compatibili con i sistemi FRCM per via degli eccessivi spessori richiesti per inglobare il connettore nell'intonaco strutturale. I connettori semi-impregnati permettono invece di realizzare connessioni passanti con un unico elemento e si abbinano efficacemente anche ai sistemi FRCM, ma richiedono lavorazioni aggiuntive per le operazioni di sfiocco, tanto da renderne l'applicazione maggiormente laboriosa. I connettori preformati e semi-impregnati richiedono inoltre la disponibilità di articoli di diversa misura per rispondere alle diverse esigenze di cantiere, complicandone di fatto la logistica. Il punto di forza del sistema ARMIS ALL-IN-ONE risiede nell'impiego di un connettore assemblabile composto dalla barra in fibra di vetro alcalino resistente ARMIS STRONG BAR e dalla flangia ARMIS STRONG BLOCK. Il connettore viene assemblato in cantiere tagliando in misura la barra e solidarizzandola alla flangia tramite la resina in vinilestere senza stirene RESINA VE. Tutti i tipi di connessione (su singolo paramento o passante, per sistemi CRM ed FRCM) possono quindi essere realizzati con gli stessi 2 articoli, semplificando in modo importante la logistica di cantiere. Il sistema ARMIS ALL-IN-ONE presenta una doppia opzione per l'ancoraggio al supporto:

# TASSULLO

1. Ancoraggio chimico realizzato con RESINA VE, resina vinilestere senza stirene in cartucce predosate, soluzione che massimizza la facilità applicativa a scapito di maggiori costi e una limitata compatibilità con i supporti storici;
2. Ancoraggio minerale con ARMIS BFLUID CONNECT, ancorante inorganico di calce idraulica naturale NHL 5 totalmente esente da cemento. Questa soluzione risulta economicamente più vantaggiosa e massimizza gli aspetti di compatibilità con le murature esistenti.

Tutti i sistemi CRM, FRCM e di connessione Tassullo sono marcati CE per uso strutturale sulla base di ETA rilasciati in accordo ai pertinenti documenti di valutazione tecnica europei. La tecnologia del sistema di connessione ARMIS ALL-IN-ONE è inoltre coperta da brevetto.



**Didascalia:** ARMIS ALL-IN-ONE è il rivoluzionario sistema di connessione di Tassullo, brevettato come invenzione industriale, marcato CE secondo ETA.

## Verifiche sperimentali

Il sistema CRM RESTAURO, posto in opera con sistema di connessione ARMIS ALL-IN-ONE su muratura in laterizio è stato sottoposto ad una serie di verifiche sperimentali svolte in collaborazione con il Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Meccanica dell'Università Degli Studi di Trento. Nello specifico, sono state condotte prove di compressione diagonale come definite dalla norma ASTM E519/519M-15 e prove in scala reale su pareti di diverse dimensioni soggette ad una combinazione di azioni verticali e orizzontali. In entrambi i casi il sistema di rinforzo è stato applicato su murature in mattoni di laterizio tipo UNI allettati con malta di calce idraulica naturale di classe M 2.5. La muratura è stata realizzata con tessitura a 2 teste per uno spessore complessivo di 25 cm.

Il sistema di rinforzo testato è così composto:

- Malta strutturale di calce idraulica naturale NHL 5 FORTE CALCE M 10, totalmente esente da cemento, applicata per uno spessore di 30 mm;

- Rete morbida in fibra di vetro alcalino resistente ARMIS VETROAR 50x50;
- Sistema di connessione ARMIS ALL-IN-ONE inghisato nella muratura con miscela di calce idraulica naturale NHL 5 ARMIS BFLUID CONNECT.

I provini sono stati testati nelle configurazioni non rinforzata (muratura senza l'applicazione del rinforzo), rinforzata con applicazione del sistema di rinforzo su singolo paramento e rinforzata con applicazione del sistema di rinforzo su entrambi i paramenti. Maggiori dettagli relativi alle prove sperimentali condotte sono riportati [QUI](https://www.ingegno-web.it/articoli/rinforzo-strutturale-test-su-varia-scala-dimostrano-significativi-aumenti-di-resistenza-con-il-sistema-armis-all-in-one-di-tassullo/) ( <https://www.ingegno-web.it/articoli/rinforzo-strutturale-test-su-varia-scala-dimostrano-significativi-aumenti-di-resistenza-con-il-sistema-armis-all-in-one-di-tassullo/> ) .

## Prove di compressione diagonale

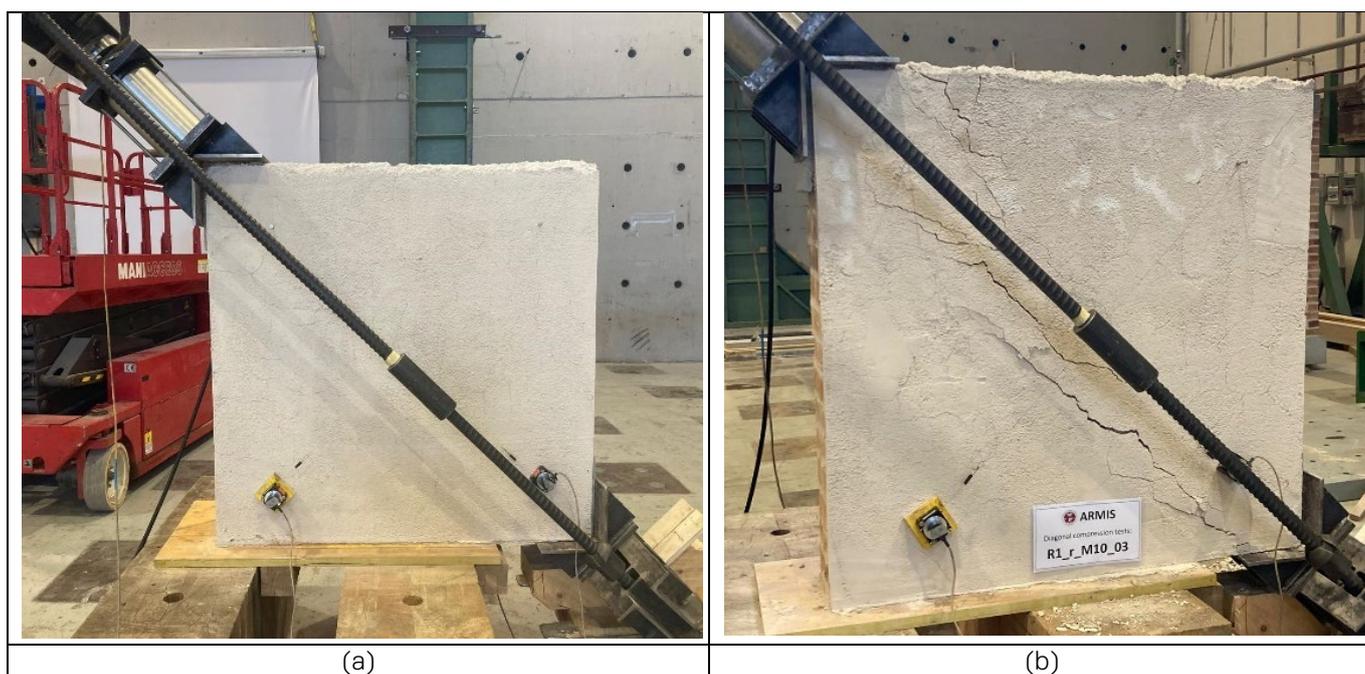
Nelle prove di compressione diagonale i campioni prismatici di dimensioni  $1.2 \times 1.2 \text{ m}^2$  sono sollecitati da una forza di compressione diretta lungo una diagonale e giungono a rottura manifestando una fessurazione diretta parallelamente alla direzione di carico. Dal massimo valore di forza sopportata dal provino durante il test si ricava la resistenza a taglio della muratura in base alla formulazione proposta dalla norma ASTM E519/519M-15.

Il sistema di rinforzo è stato applicato ai campioni utilizzando 5 connettori per provino, con un connettore in corrispondenza di ciascun vertice (rispettando una distanza minima dai bordi del provino di almeno 20 cm) e disponendo un ulteriore connettore nel centro del provino. La forza di compressione diagonale è stata applicata mediante una serie di semi-cicli in controllo di forza di ampiezza via via crescente secondo incrementi di 25 kN fino alla rottura del provino, avvenuta in tutti i casi per fessurazione diagonale. I risultati medi ottenuti sono riassunti nella **Tabella 1**, dove  $s_s$  rappresenta la resistenza a taglio calcolata secondo ASTM E219/519M-15 ed  $r_s$  rappresenta il rapporto tra la resistenza a taglio misurata nella configurazione considerata e quella relativa ai campioni non rinforzati.

**Tabella 1.** Prove di compressione diagonale, confronto dei risultati medi per le diverse configurazioni.

Configurazione	$s_s$ [MPa]	$r_s$ [--]
Non rinforzato	0.27	1
Rinforzo singolo paramento	0.47	1.74
Rinforzo doppio paramento	0.71	2.64

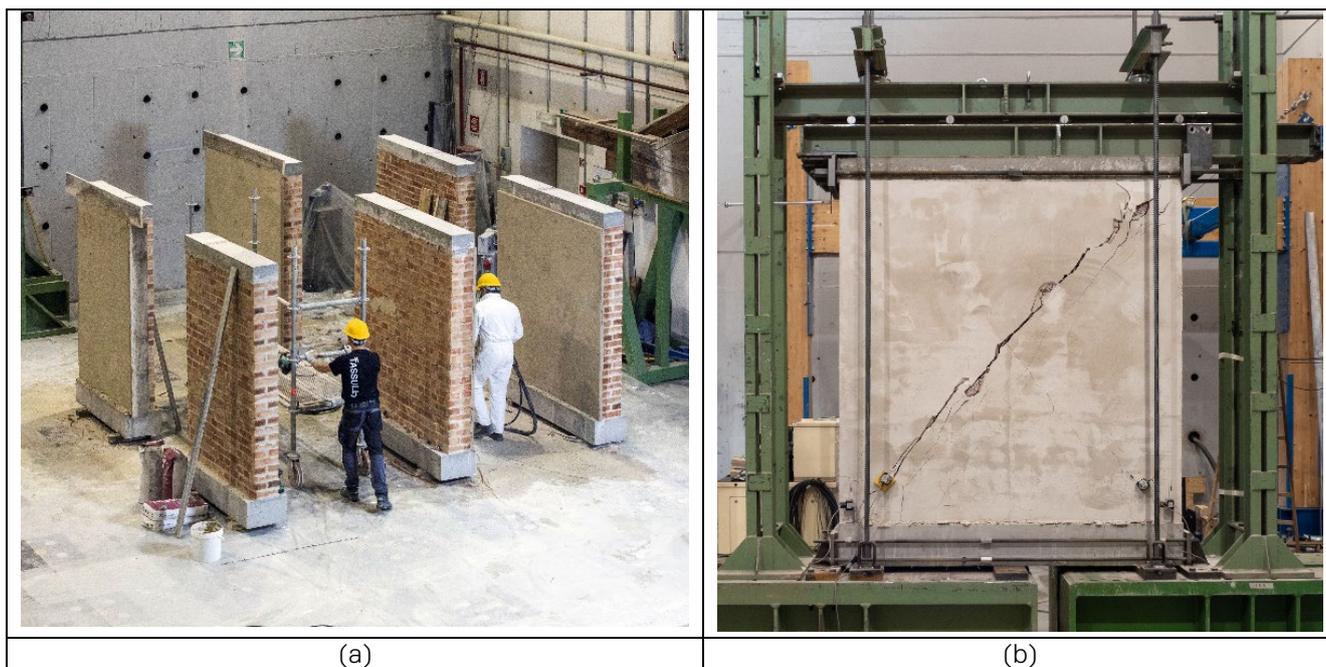
I provini rinforzati su un singolo paramento hanno mostrato incrementi di resistenza superiori al 70% nel confronto con i provini non rinforzati, mentre i provini rinforzati in modo simmetrico hanno esibito incrementi di resistenza rispetto alla configurazione non rinforzata dell'ordine del 160%, dimostrando l'efficacia del rinforzo analizzato. I valori ottenuti sono superiori rispetto all'incremento di resistenza previsto dalla Circolare Ministeriale 21/01/2019 n.7 per intonaci armati che, per applicazioni su muratura in mattoni pieni e malta di calce in configurazione su doppio paramento, consiglia di incrementare le resistenze del 50%.



**Didascalia:** Prove di compressione diagonale: a) Vista del setup di prova; b) provino danneggiato a seguito della sequenza di prova.

## Prove in scala reale

La campagna sperimentale è stata successivamente estesa a provini in scala reale considerando pareti caratterizzate da diversi rapporti di snellezza. Pareti tozze di dimensioni 2m x 2m e pareti snelle di dimensioni 1.4m x 2m. In tutti i casi i sistemi di rinforzo sono stati applicati posando i connettori nei vertici di una maglia quadrata di lato 50 cm, configurazione corrispondente a 4 connettori/m<sup>2</sup>. I provini sono stati inizialmente sottoposti ad un precarico verticale rappresentativo delle azioni gravitazionali. Successivamente è stato applicato un carico orizzontale ciclico in condizioni quasi-statiche, mantenendo invariato il carico di compressione verticale.



**Didascalia:** Prove sperimentali in scala reale: a) gruppo di provini in scala reale; b) setup di prova e modalità di rottura tipica.

I risultati ottenuti sono riassunti nella **Tabella 2**, dove  $F_{max}$  è la massima forza orizzontale applicata nel test e corrispondente alla massima capacità della parete,  $\delta_u$  è la capacità di spostamento orizzontale definita come lo spostamento per il quale la forza residua nella fase post-picco è uguale all'80% della forza massima,  $k_e$  è la rigidezza secante iniziale nei confronti della forza orizzontale. I rapporti  $r_F$  e  $r_{dr}$  rappresentano l'incremento di capacità dei provini nelle configurazioni considerate e la configurazione non rinforzata in termini di forza e di spostamento, rispettivamente

**Tabella 2.** Prove in scala reale: principali risultati dei singoli test.

Provino	Configurazione	$F_{max}$ [kN]	$dr_u$ [%]	$k_e$ [kN/mm]	$r_F$ [--]	$r_{dr}$ [--]
Snello	Non rinforzata	112	0.64	12.5	--	--
Snello	Rinforzo 1 paramento	190	1.62	9.3	70%	154%
Tozzo	Non rinforzata	154	0.61	35.6	--	--
Tozzo	Rinforzo 1 paramento	244	0.89	32.3	58%	45%
Tozzo	Rinforzo 2 paramenti	325	1.57	26.9	111%	157%

I test in scala reale hanno sostanzialmente confermato le evidenze riscontrate nelle prove di compressione diagonale, con incrementi di resistenza superiori al 50% nel caso di rinforzo su singolo paramento e superiori al 100% per rinforzi applicati su doppio paramento. Incrementi simili sono stati misurati anche per quanto riguarda la capacità di spostamento delle pareti. Per quanto riguarda invece le rigidezze iniziali non sono state osservate differenze tra la configurazione non rinforzata e le configurazioni rinforzate, a conferma di quanto esposto nel §0.



**Didascalia:** Il sistema CRM RESTAURO abbinato al sistema di connessione ARMIS ALL-IN-ONE è stato testato sperimentalmente su varia scala in collaborazione con l'Università Degli Studi di Trento, mostrando elevati incrementi di resistenza e di capacità di spostamento senza comportare incrementi di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali.

## Conclusioni

I sistemi di rinforzo per le murature Tassullo rappresentano una proposta tecnica unica sul mercato. Da una parte l'utilizzo di prodotti premiscelati formulati con calce idraulica naturale NHL 5 pura esenti da cemento permette di massimizzare la compatibilità degli interventi di rinforzo con le murature storiche rispettando al massimo le caratteristiche dell'esistente. L'innovazione riguarda anche i componenti in FRP, grazie ad una rete morbida che si adatta alle geometrie irregolari delle murature e non richiede angolari ed al rivoluzionario sistema di connessione brevettato ARMIS ALL-IN-ONE che ingloba in un unico sistema i pregi dei sistemi di connessione ad oggi maggiormente diffusi sul mercato. Il sistema CRM RESTAURO abbinato al sistema ARMIS ALL-IN-ONE è stato testato sperimentalmente su varia scala in collaborazione con l'Università Degli Studi di Trento, mostrando elevati incrementi di resistenza e di capacità di spostamento senza comportare incrementi di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali.

## Note

La documentazione tecnica relativa a tutti i sistemi Tassullo è disponibile per il download sul sito [www.tassullo.it](http://www.tassullo.it). Per informazioni contattare il servizio tecnico Tassullo all'indirizzo [tecnico@tassullo.it](mailto:tecnico@tassullo.it).