

RINFORZO STRUTTURALE



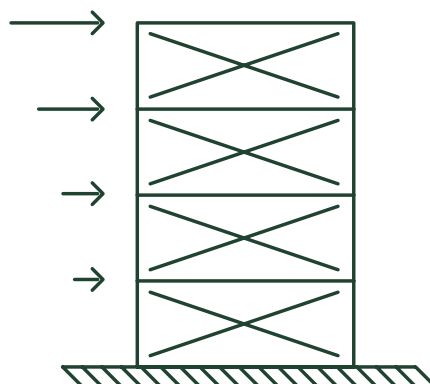
LA SICUREZZA STRUTTURALE NELL'EDILIZIA

La sicurezza strutturale nell'edilizia rappresenta un argomento di grande attualità per il quale sempre maggiori risorse vengono impiegate, specialmente nel rinforzo di strutture esistenti.

La vulnerabilità sismica degli edifici, in particolare, è un argomento molto discusso, soprattutto negli ultimi decenni, a seguito dei numerosi eventi sismici che hanno colpito un patrimonio edilizio ormai vetusto. Gran parte delle strutture esistenti sono state realizzate in anni in cui le norme tecniche di costruzione non contemplavano correttamente le sollecitazioni orizzontali legate alle forze inerziali sismiche. Proprio per questo motivo, seppur originariamente progettate e realizzate “a norma”, molte di queste strutture hanno subito notevoli danni durante i successivi eventi sismici.

Il tema del rinforzo di strutture esistenti non è tuttavia legato esclusivamente a problemi derivanti ad eventi sismici. Le strutture possono infatti essere soggette a differenti problematiche, come:

- degrado dei materiali che costituiscono la struttura (corrosione delle barre di armatura, calcestruzzo ammalorato, degrado della muratura, ecc.);
- cambio di destinazione d'uso con conseguente modifica dell'assetto strutturale o dei carichi agenti;
- semplice incremento dei carichi agenti;
- altri eventi imprevedibili (incendio, dissesti idrogeologici, impatti, ecc.)
- cedimenti del terreno.



In tale contesto, **la conduzione di molteplici ricerche scientifiche e lo sviluppo di materiali innovativi hanno notevolmente favorito, specialmente nel corso degli ultimi decenni, lo sviluppo di nuove tecnologie** orientate al rinforzo di strutture esistenti.

Anche in questo campo MAPEI si contraddistingue da più di vent'anni nella sviluppo di nuove tecniche, vantando una proficua collaborazione fra i laboratori interni di R&S e numerose università italiane e straniere.

Il processo di sviluppo ha seguito soprattutto le evoluzioni normative e tecnologiche legate ai più importanti eventi sismici internazionali, portando allo sviluppo di sistemi di rinforzo specifici per ogni diversa problematica.

Nella **prima parte** del manuale verranno presentate le principali tecnologie di rinforzo, individuando per ciascuna di esse i campi di applicazione, i vantaggi e la ricca sperimentazione scientifica che le accompagna.

Nella **seconda parte** verranno invece presentate le applicazioni pratiche delle tecnologie precedentemente descritte, in funzione della tipologia strutturale dell'edificio da rinforzare, con lo scopo di sottolinearne gli aspetti applicativi più importanti.

MAPEI: innovazione tecnologica in costante evoluzione



FRP SYSTEM



FRG SYSTEM



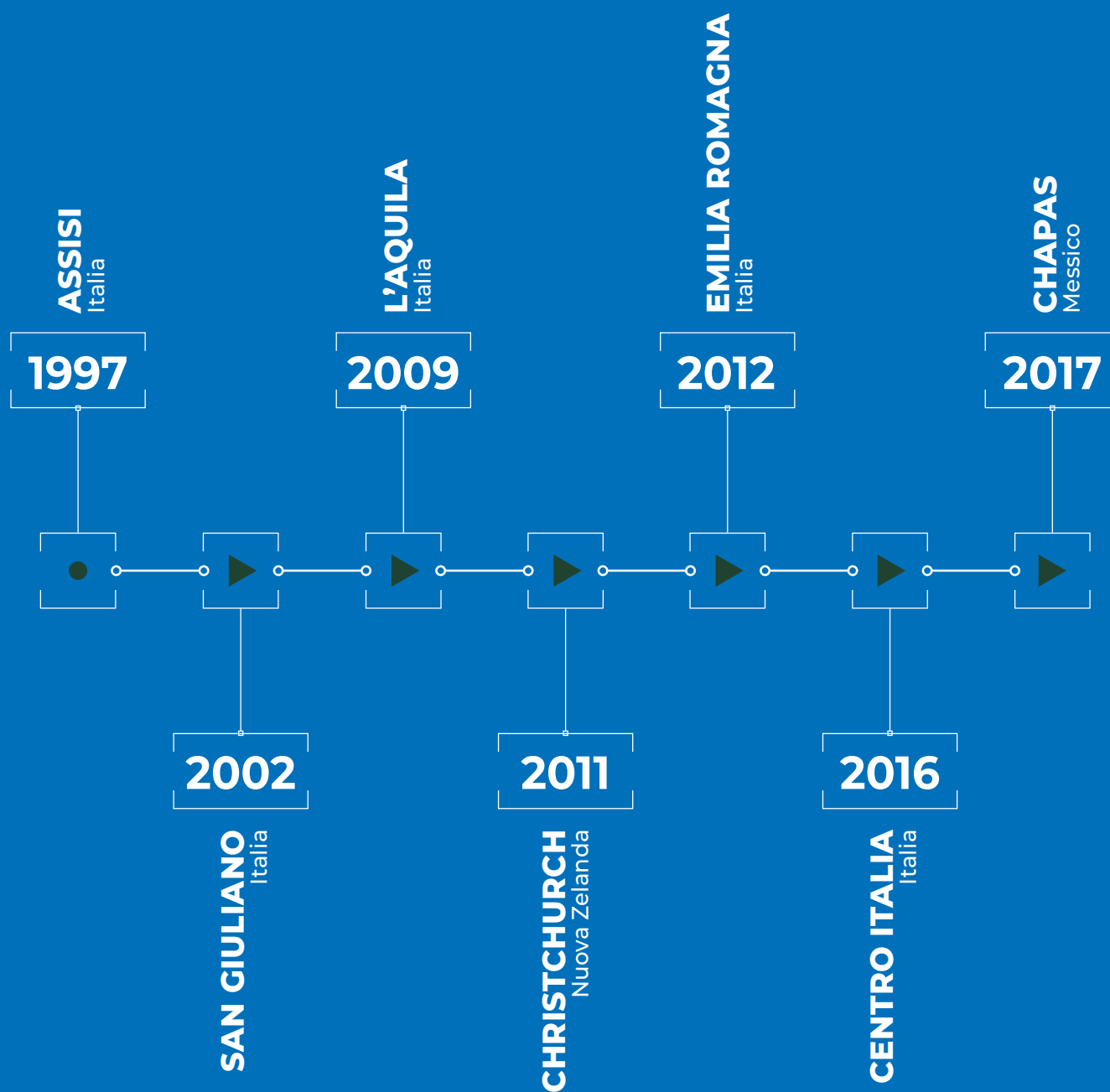
HPC SYSTEM



**MAPEWRAP
EQ SYSTEM**

LA NOSTRA ESPERIENZA

A SEGUITO DEGLI EVENTI SISMICI

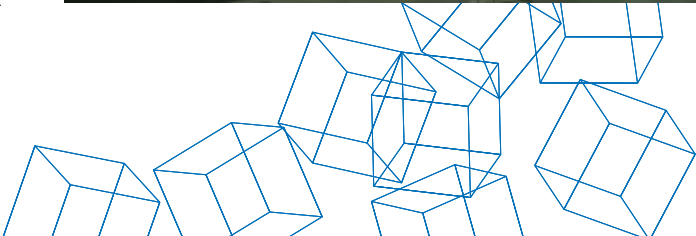


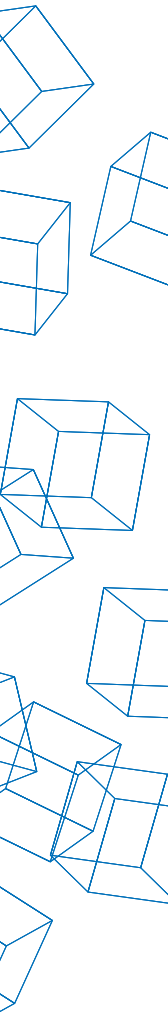


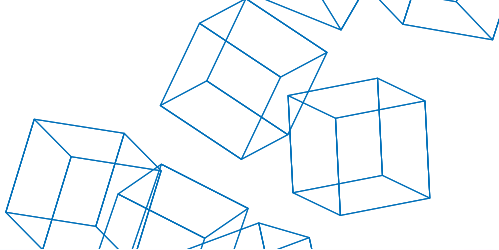
MAPEI

NEL MONDO

BASILICA DI SAN FRANCESCO D'ASSISI
Assisi - Italia - 1998

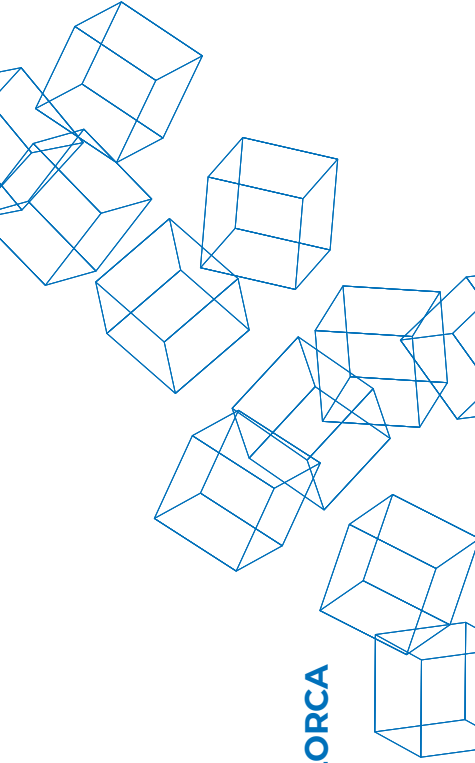




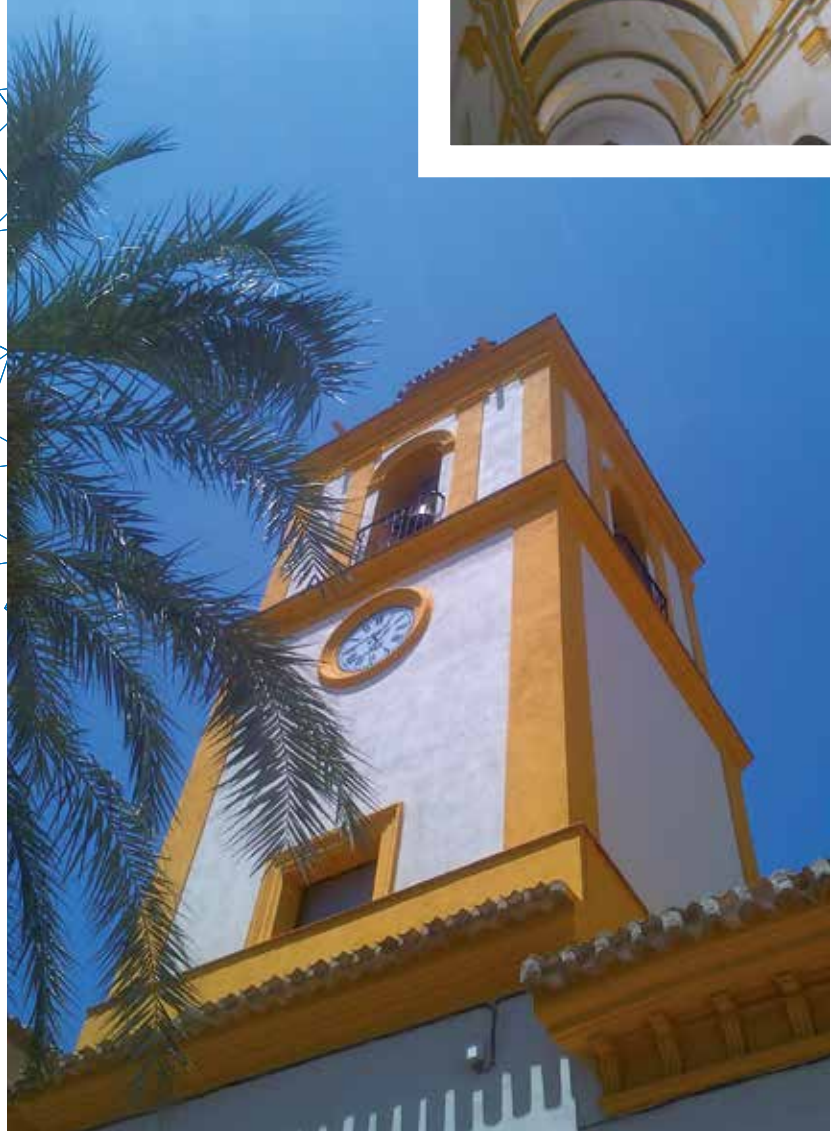


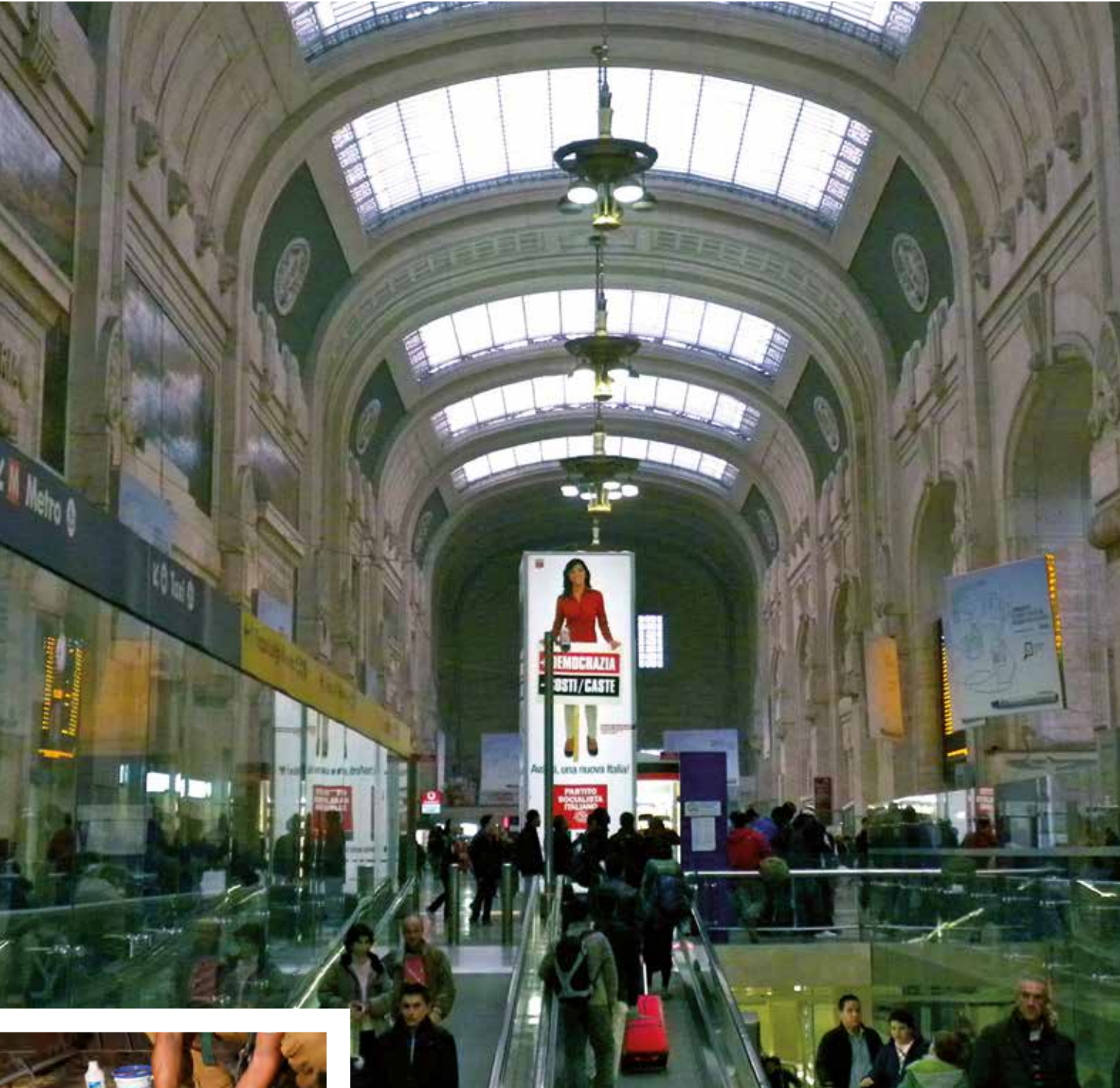
↓
HOUSING & DEVELOPMENT BOARD
Singapore | 2013





IGLESIA DE SAN CRISTÓBAL EN LORCA
Spagna - 2013

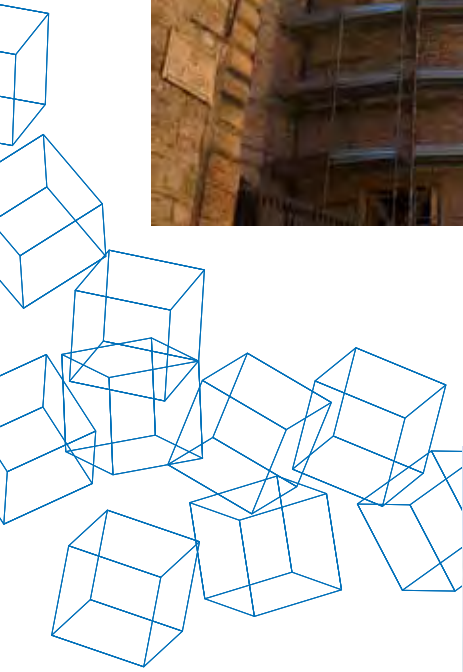




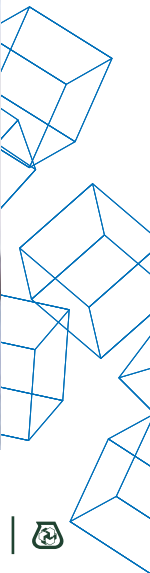
STAZIONE CENTRALE DI MILANO
Milano - Italia - 2007



**ABSIDE CATTEDRALE DI SANTA MARIA
ANNUNZIATA DI CAMERINO**
Camerino - Italia - 2017

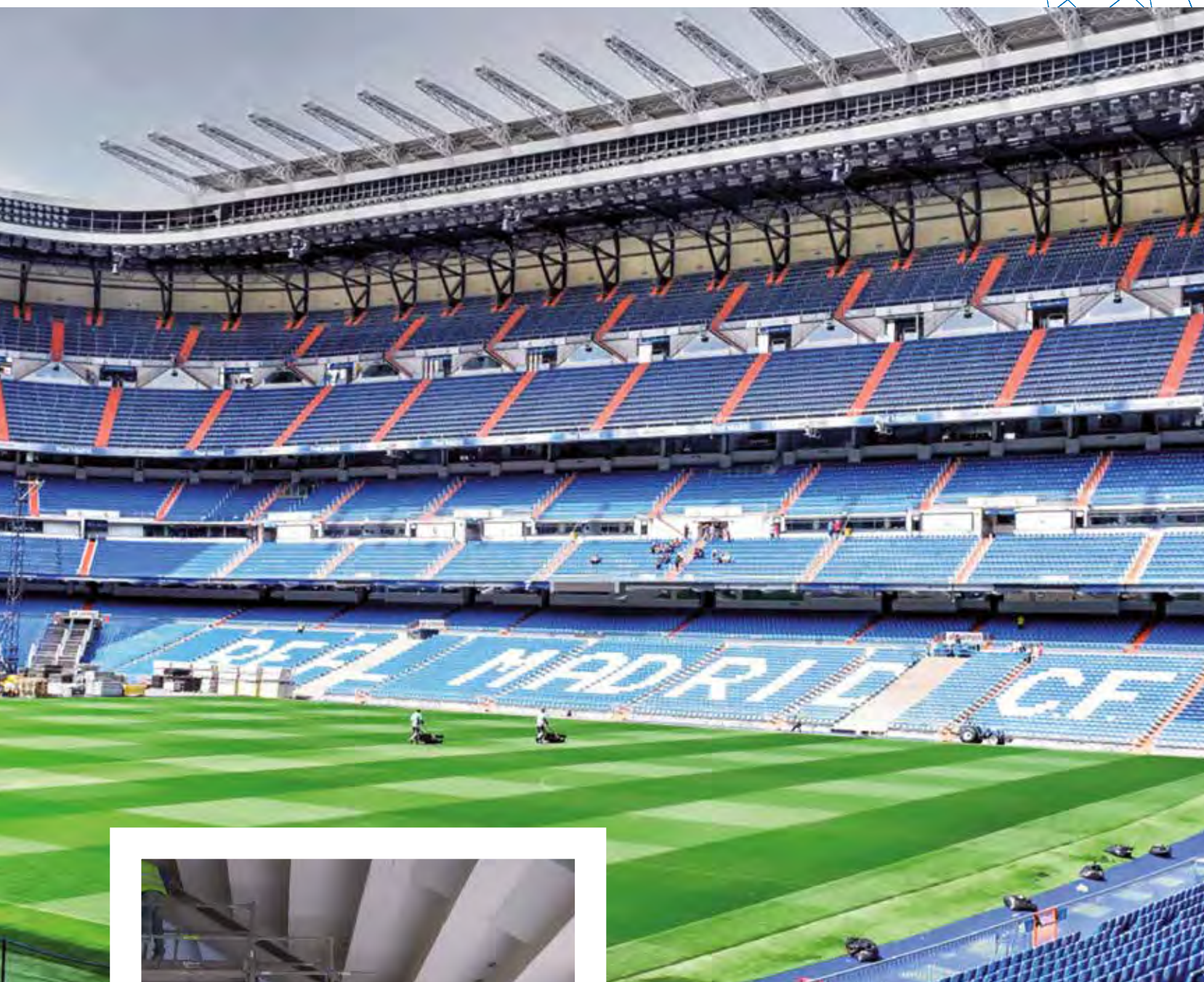


CHAMPLAIN BRIDGE MONTREAL
Quebec - 2013





SHALE PEAK BRIDGE
Nuova Zelanda - 2015



SANTIAGO BERNABEU
Madrid - Spagna - 2011

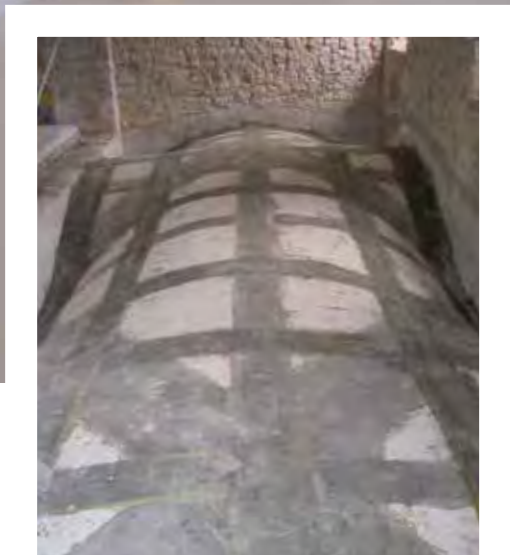
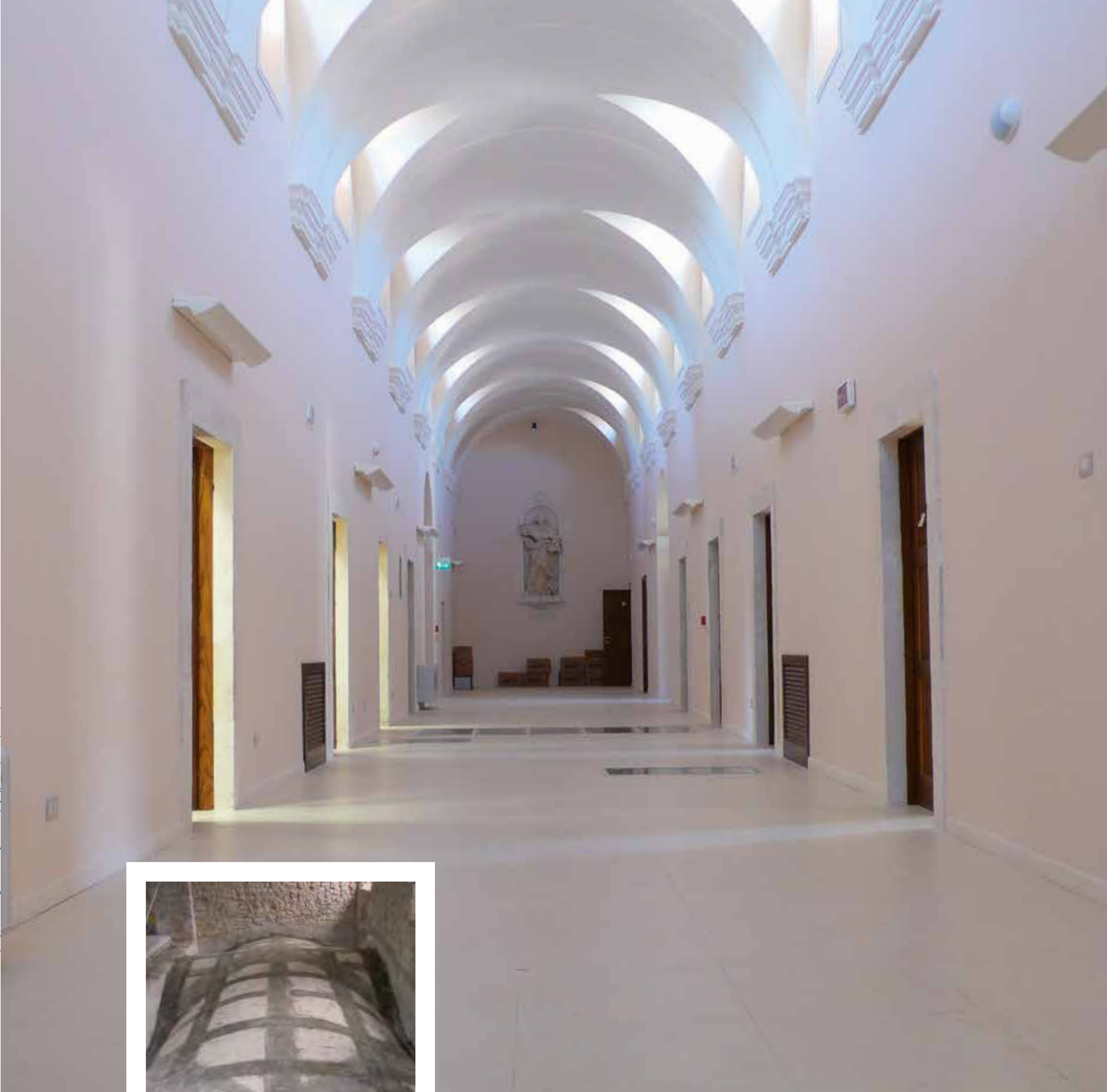


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
Messico - 2018



CHURCH OF ST. JOHN THE BAPTIST
Croazia - 2016





EX CONVENTO SAN DOMENICO
L'Aquila - Italia - 2008

INDICE

01 . TECNOLOGIE MAPEI

1.1	FRP SYSTEM	18
1.1.1	DEFINIZIONE	18
1.1.2	TIPOLOGIE DI MATERIALI E CAMPI DI APPLICAZIONE	20
1.1.3	SPERIMENTAZIONE	26
1.2	FRG SYSTEM	36
1.2.1	DEFINIZIONE	36
1.2.2	TIPOLOGIE DI MATERIALI E CAMPI DI APPLICAZIONE	37
1.2.3	SPERIMENTAZIONE	42
1.3	HPC SYSTEM: MALTE CEMENTIZIE FIBRORINFORZATE (FRC) AD ALTISSIME PRESTAZIONI MECCANICHE	50
1.3.1	DEFINIZIONE	50
1.3.2	TIPOLOGIE DI MATERIALI E CAMPI DI APPLICAZIONE	52
1.3.3	SPERIMENTAZIONE	60

1.4	MAPEWRAP EQ SYSTEM	64
1.4.1	DEFINIZIONE, MATERIALI E CAMPI DI APPLICAZIONE	64
1.4.2	SPERIMENTAZIONE	66
1.5	SISTEMI COMPLEMENTARI	68
1.5.1	BARRE ELICOIDALI IN ACCIAIO INOSSIDABILE	68
1.5.2	RESINE DI INGHISAGGIO	69
1.5.3	SISTEMI DI INIEZIONI IN MURATURA	71
1.5.4	MAPEWRAP FIOCCO	73
1.5.5	MAPEWRAP CONNECTOR	74
1.5.6	SPERIMENTAZIONE	75

02 . **APPLICAZIONI PRATICHE** SCHEDE DI RINFORZO

2.1	RINFORZO DI EDIFICI IN CALCESTRUZZO ARMATO	78
2.2	RINFORZO DI EDIFICI IN MURATURA E LEGNO	116
2.3	INTERVENTI SU ELEMENTI NON PORTANTI	162

**RINFORZO
STRUTTURALE**



7

TECNOLOGIE MAPEI



1.1

FRP SYSTEM

1.1.1

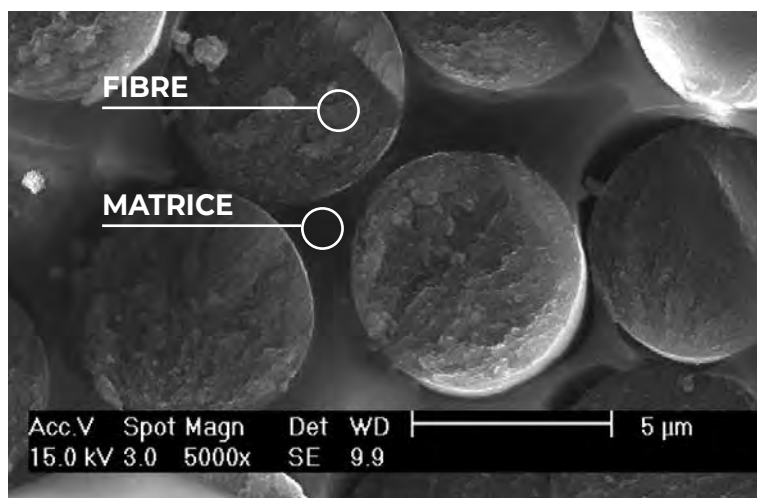
DEFINIZIONE

I Fiber Reinforced Polymers, comunemente denominati FRP o materiali fibrorinforzati a matrice polimerica, costituiscono una vasta gamma di materiali compositi costituiti da una matrice polimerica di natura organica (resina epossidica) con la quale viene impregnato un rinforzo in fibra lunga e continua di elevate proprietà meccaniche.

Come visibile dalla fotografia al microscopio elettronico realizzata nei Laboratori R&S di MAPEI, i materiali compositi FRP sono materiali costituiti da due distinti elementi, fibre e matrice, con due diverse funzioni: le fibre hanno il compito di sopportare le sollecitazioni, la matrice ha il compito di trasferire le sollecitazioni dall'elemento da rinforzare alle fibre di rinforzo.

Oltre alle consolidate applicazioni nel campo dell'ingegneria aeronautica, navale e meccanica, l'utilizzo degli FRP si è ormai affermato anche in edilizia, in particolare nel campo del rinforzo di strutture esistenti.

Tale diffusione, iniziata alla fine degli anni '80, si è sempre più ampliata grazie alla continua sperimentazione scientifica, all'affinamento delle modalità di applicazione con la messa in opera sul campo e allo sviluppo di un comparto normativo sempre più completo. Data la loro diffusione, in realtà gli FRP non dovrebbero più essere definiti una tecnica di rinforzo "innovativa" ma rientrare nel campo dei "comuni" interventi di rinforzo strutturale, soprattutto in ambito di adeguamento sismico.



Gli FRP rappresentano un miglioramento rispetto a tecniche esistenti più tradizionali, grazie ai loro molteplici vantaggi, riassumibili nei seguenti punti:

- elevata resistenza chimica e durabilità nel tempo;
- incremento delle resistenze meccaniche degli elementi rinforzati, senza incrementare le masse e le rigidità della struttura. Tale caratteristica rappresenta un vantaggio di fondamentale importanza soprattutto nei rinforzi in campo sismico;
- spessori di applicazione esigui che, a differenza dei tradizionali interventi di rinforzo (ringrossi di sezione, travi rompi-tratta, *beton plaqué*, ecc.) non modificano l'aspetto estetico della struttura, non portando ad alcuna variazione della geometria originale;
- aumento della duttilità della struttura;
- velocità e semplicità dell'intervento;
- reversibilità dell'intervento.

Gli FRP, ad esempio, possono sostituire il tradizionale intervento di placcaggio con piatti di acciaio di strutture inflesse: la sostituzione di piastre in acciaio (pesanti, soggette a rapida corrosione e necessariamente da bullonare alla struttura) con fogli di tessuto FRP rappresenta un avanzamento tecnologico che permette di eliminare il problema della corrosione, semplificare le operazioni di posa, ridurre i tempi di intervento e non modificare le dimensioni dell'elemento rinforzato.

Contrariamente a quanto si potrebbe pensare, i sistemi FRP risultano vantaggiosi anche dal punto di vista economico. Grazie alla loro estrema leggerezza, vengono messi in opera senza l'ausilio di particolari attrezzature e macchinari, da un numero limitato di operatori, in tempi estremamente brevi e spesso senza che risulti necessario interrompere l'esercizio della struttura. Di conseguenza, l'applicazione di questi sistemi permette di ridurre i tempi di applicazione e le attrezzature necessarie per l'intervento.

**Gli FRP
rappresentano
un miglioramento
rispetto a tecniche
esistenti più
tradizionali, grazie
ai loro molteplici
vantaggi.**

1.1.2

TIPOLOGIE DI MATERIALI

E CAMPI DI APPLICAZIONE

Una costante spinta innovativa nel campo degli FRP è data dal continuo sviluppo di fibre con diverse prestazioni meccaniche, in grado di rispondere sempre meglio alle molteplici necessità tecniche e applicative.

Le fibre impiegabili, infatti, possono essere di diversa natura (carbonio, vetro, basalto, aramide), con differenti proprietà meccaniche (resistenza a trazione, modulo elastico, allungamento a rottura) e differenti proprietà fisico-chimiche (resistenza alla corrosione, ecc.).

Grazie alla ventennale esperienza maturata nel mondo degli FRP, MAPEI dispone di una gamma completa di materiali compositi, costituita da differenti tipi di resine e di fibre.

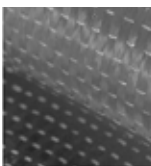
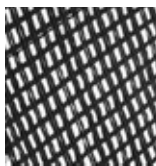
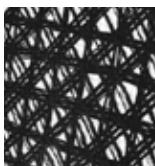
Gli FRP della gamma MAPEI possono essere suddivisi nelle macro famiglie di seguito indicate.



MAPEWRAP SYSTEM

MAPEWRAP SYSTEM, sistema di rinforzo strutturale composto da tessuto in fibra di carbonio, vetro o basalto ad alta resistenza con elevato modulo elastico e resine epossidiche di impregnazione e incollaggio. La possibilità di orientare e dosare le fibre di rinforzo nelle effettive direzioni secondo cui agiscono le sollecitazioni, consente la realizzazione di specifici tessuti che permettono di operare in condizioni e con risultati impensabili impiegando rinforzi tradizionali.

MAPEWRAP C
tessuti in fibra di carbonio

Direzione delle fibre	UNI-Direzionale		BI-Direzionale	QUADRI-Direzionale
				
Modulo elastico a trazione	252 GPa	390 GPa	230 GPa	230 GPa
Grammatura	300 e 600 g/m ²	300 e 600 g/m ²	230 e 360 g/m ²	380 g/m ²

MAPEWRAP G
tessuti in fibra di vetro

MAPEWRAP B
tessuti in fibra di basalto

MAPEWRAP S FABRIC
tessuti in acciaio

Direzione delle fibre	UNI-Direzionale	UNI-Direzionale	UNI-Direzionale	
				
Modulo elastico a trazione	80 GPa	89 GPa	230 GPa	
Grammatura	900 g/m ²	400 e 600 g/m ²	650 g/m ²	2000 g/m ²

In alcuni casi è possibile utilizzare una diversa tipologia di tessuto, realizzata con fibre in acciaio (**MAPEWRAP S FABRIC**) in abbinamento a una matrice polimerica. Questo tipo di sistema, non è però attualmente contemplato all'interno delle Istruzioni di calcolo CNR DT 200 R1/2013 (Già Linee Guida nazionali per la progettazione di rinforzi con FRP).



Rinforzo di un nodo trave-pilastro con
MAPEWRAP C SYSTEM



MAPEWRAP SYSTEM:
tessuti in fibra di
carbonio, vetro o
basalto e resine
epossidiche di
incollaggio



Rinforzo di ciminiera in mattoni con
MAPEWRAP C SYSTEM

CARBOPLATE SYSTEM

CARBOPLATE SYSTEM, sistema di rinforzo strutturale composto da lamine pultruse in fibra di carbonio ad elevata resistenza e resine epossidiche di incollaggio. Il sistema può essere realizzato con diverse tipologie di lamine, differenziate per modulo elastico e dimensioni.

CARBOPLATE | lamine pultruse in fibra di carbonio

	CARBOPLATE E 170	CARBOPLATE E 200	CARBOPLATE E 250
			
Modulo elastico a trazione	≥ 160 GPa	≥ 190 GPa	250 GPa
Larghezza disponibile	Rotoli con larghezze di 50, 100 e 150 mm		



Rinforzo a flessione di travi e solai con CARBOPLATE SYSTEM



CARBOPLATE SYSTEM: lamine pultruse in fibra di carbonio ad alta resistenza e resine epossidiche di incollaggio



Applicazione di CARBOPLATE SYSTEM su travetti di solaio latero-cemento



Rinforzo a flessione di trave in legno mediante placcaggio con CARBOPLATE SYSTEM

MAPEROD SYSTEM

MAPEROD SYSTEM, barre pultruse piene ad aderenza migliorata e alta resistenza a trazione, in fibre di carbonio o vetro e resine epossidiche di incollaggio, per il rinforzo strutturale di elementi in calcestruzzo, legno e muratura.

	<u>MAPEROD C</u> barre in fibra di carbonio	<u>MAPEROD G</u> barre in fibra di vetro
		
Modulo elastico a trazione	155 GPa	40,8 GPa
Diametri	10-12 mm	10 mm
Resistenza a trazione	2000 MPa	760 MPa
Confezioni	Scatole da 10 pezzi da 2 m cad.	Scatola da 10 pezzi da 6 m cad.



MAPEROD SYSTEM: barre pultruse piene ad alta resistenza a trazione e resine epossidiche di incollaggio



Rinforzo di trave in legno con MAPEROD SYSTEM



Inquadramento normativo

Il riferimento per la progettazione dei rinforzi in FRP sono le Istruzioni CNR-DT 200 R1/2013 (revisione delle originarie CNR DT200/2004) 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, assunte come Linee Guida del Servizio Tecnico Centrale del C.S.LL.PP. a tutti gli effetti già nell'anno 2009.

Tali Istruzioni sono state messe a punto unendo le conoscenze e l'esperienza dei produttori, degli utilizzatori (progettisti e costruttori) e degli esponenti del mondo universitario, seguendo un approccio alla sicurezza congruente con l'assetto normativo degli Eurocodici.

Le indicazioni per la qualificazione dei sistemi e per la loro accettazione in cantiere sono invece riportate nella Linea Guida per la identificazione, la qualificazione ed il controllo di accettazione di compositi fibrorinforzati a matrice polimerica (FRP) da utilizzarsi per il consolidamento strutturale di costruzioni esistenti, emanata dal C.S.LL.PP., nella sua prima versione, con il DPCS LL.PP. n. 220 del 9.7.2015, valida fino a scadenza dei rispettivi CVT per tutti i sistemi con essa qualificati, e successivamente aggiornata e ri-emanata con il DPCS LL.PP. n. 293 del 29.5.2019. Essa è indirizzata principalmente ai Produttori di tali sistemi, che devono provare la validità delle soluzioni da loro proposte, e ai Direttori dei Lavori, che hanno la responsabilità di controllare e accettare il materiale in cantiere.

Sulla base di tale Linea Guida, il Servizio Tecnico Centrale (STC) del C.S.LL.PP. rilascia ai Produttori un Certificato di Valutazione Tecnica (CVT) (ex CIT NTC 2008) per i sistemi di rinforzo FRP richiesti.

Approccio di calcolo

L'intervento di rinforzo deve essere progettato in base ai risultati ottenuti da una analisi preliminare svolta sulla struttura esistente.

Il miglioramento delle prestazioni delle strutture esistenti soggette ad azioni sismiche può essere effettuato o migliorando la capacità di risposta della struttura oppure limitando la richiesta a cui la struttura stessa è soggetta in caso di terremoto.

Un progetto di rinforzo che prevede l'utilizzo di FRP può essere classificato come un intervento di tipo selettivo, mirato ad intervenire su alcuni elementi della struttura migliorandone le prestazioni, soprattutto in termini di duttilità, ed evitando i meccanismi di collasso di tipo fragile.

I problemi di irregolarità in termini di rigidezza non possono essere risolti attraverso l'impiego di FRP. Le irregolarità in termini di resistenza possono, invece, essere risolte mediante il rinforzo di alcuni elementi della struttura, controllando comunque che non venga ridotta la duttilità globale della stessa.

AZIONE	NORMATIVA	STRUMENTO MAPEI
Qualificazione	Linea Guida FRP (DPCSLLPP n.220 09/07/2015; DPCSLLPP n.293 29/05/2019)	Certificato CIT / CVT
Progettazione	CNR-DT 200 R1/2013 (Linea Guida CSLLPP 24/07/2009)	MAPEI FRP FORMULA
Accettazione in cantiere	Linea Guida FRP (DPCSLLPP n.220 09/07/2015; DPCSLLPP n.293 29/05/2019)	Certificato CIT / CVT

1.1.3

SPERIMENTAZIONE



Progetto finanziato dalla Regione Campania - programma operativo plurifondo azione 5.4.3 - annualità 1999 - II bando

Prove sperimentali sui solai in latero-cemento rinforzati con lamine in CFRP

ANNO: 1999 - 2001

SEDE: LABORATORIO EDIL-TEST S.R.L. Viale delle Industrie - 84091 Battipaglia (SA)

RESP. SCI.: A. Balsamo, R. Erra, E. Erra

SPERIMENTAZIONE: Sono stati realizzati n. 8 campi di solaio piano in scala reale di dimensioni ciascuno pari a 490 cm x 200 cm semplicemente appoggiati agli estremi, adottando le tipologie più diffuse di solai misti in latero-cemento ed utilizzando varie classi di calcestruzzo. I campi di solaio sono stati sottoposti a prove di carico in configurazione "as-built" e con rinforzo in lamine CFRP **CARBOPLATE** applicate all'intradosso dei travetti.

RISULTATI: La sperimentazione ha mostrato come il solaio rinforzato raggiunge la stessa freccia massima dell'"as-built" sopportando fino al doppio del carico applicato.

REFERENCE:

"Sperimentazione di materiali compositi in resina e fibra di carbonio con relative tecniche applicative per l'utilizzo nel consolidamento strutturale delle opere in cemento armato semplice e cemento armato precompresso" - Progetto finanziato dalla Regione Campania - Assessorato all'Università e Ricerca Scientifica, Innovazione Tecnologica e Nuova Economia, Sistemi Informativi e Statistica, Musei e Biblioteche - Programma Operativo Plurifondo Azione 5.4.3 - Annualità 1999 - II Bando, (dal 1999 al 2001)





Progetto ICONS (Innovative seismic design concepts for new and existing structures)

Edificio in c.a. in scala reale, rinforzato con CFRP

ANNO: 2001

SEDE: ELSA Laboratory, Joint Research Centre, European Commission, Ispra (VA)

RESP. SCI.: A. Balsamo, A. Colombo, G. Manfredi, P. Negro, A. Prota, P. Zaffaroni

SPERIMENTAZIONE: Struttura a telaio in c.a. in scala reale costituita da due telai paralleli collegati da diaframmi rigidi; progettata secondo le regole dell'Eurocodice 8, seguendo l'approccio del Displacement Based Design (Dbd). La struttura è stata prima sottoposta a due prove pseudo-dinamiche, la prima corrispondente al terremoto di progetto e la seconda ad un terremoto pari a 1,5 volte il precedente. A seguito dei danni significativi, si è proceduto preliminarmente alla riparazione dei telai originari con sarcitura delle lesioni ed iniezioni con resine epossidiche di idonea viscosità. Successivamente si è proceduto all'applicazione del rinforzo utilizzando tessuti in fibra di carbonio (CFRP) unidirezionali per la fasciatura dei pilastri (**MAPEWRAP C UNI-AX**) e quadriassiali per la riparazione dei setti e dei nodi trave-pilastro (**MAPEWRAP C QUADRI-AX**).

RISULTATI: La crisi del telaio riparato e rinforzato con CFRP è stata prodotta dalla rottura delle barre metalliche longitudinali nella sezione alla base dei setti, laddove si è prodotto il completo distacco delle armature dalla fondazione. La struttura riparata e rinforzata con CFRP ha mostrato sotto sisma una risposta molto simile rispetto a quella originaria, ma ha esibito una maggiore capacità deformativa. Inoltre, a differenza della struttura originaria, essa è



stata in grado di sostenere gli effetti prodotti da un terremoto pari a 1,5 volte quello di progetto.

REFERENCE:

A. Balsamo, A. Colombo, G. Manfredi, P. Negro, A. Prota, (2005). Seismic behavior of a full-scale RC frame repaired using CFRP laminates. *ENGINEERING STRUCTURES*, 10.1016/j.engstruct.2005.01.002

Balsamo A.; Colombo A.; Manfredi G.; Negro P.; Prota A. (2002). Full-Scale Test on a RC Dual System Repaired with Advanced Composites. 12th European Conference on Earthquake Engineering, London (UK), 9-13 September 2002

G. Manfredi; A. Prota; M. Pecce; A. Balsamo (2003). L'uso dei Compositi nelle Strutture in Cemento Armato. *Rivista L'EDILIZIA*

Progetto SPEAR (Seismic Performance Assessment and Rehabilitation of existing buildings)

Edificio in c.a. in scala reale, rinforzato con GFRP



ANNO: 2001

SEDE: ELSA Laboratory, Joint Research Centre, European Commission, Ispra (VA)

RESP. SCI.: A. Balsamo, M. Di Ludovico, G. Manfredi, A. Prota, E. Mola, P. Negro, E. Cosenza, P. Zaffaroni

SPERIMENTAZIONE: Rinforzo con GFRP (confinamento dei pilastri, rinforzo a taglio per prevenire meccanismi di rottura fragile e confinamento dei nodi esterni) di una struttura a telaio in c.a. in scala reale con tre piani fuori terra, regolare in elevazione ma doppiamente non simmetrica in pianta, progettata per soli carichi gravitazionali, rappresentativa dell'attuale patrimonio edilizio dell'Europa meridionale. Rinforzo eseguito con **MAPEWRAP G UNI-AX** e **MAPEWRAP G QUADRI-AX**.

RISULTATI: La sperimentazione ha mostrato per la struttura post danno, riparata e rinforzata con GFRP:

- incremento di duttilità globale pari a 123%;
- incremento di sollecitazione sismica pari a 50% con assenza di danni strutturali;
- nessuna modifica della massa della struttura e, di conseguenza, della domanda sismica;
- reversibilità dell'intervento di rinforzo in GFRP.

REFERENCE:

M. Di Ludovico; E. Mola; G. Manfredi; P. Negro; A. Balsamo (2007). Rinforzo sismico di una struttura in c.a. in scala reale – PARTE I: Analisi Prove Sperimentali Pseudodinamiche. XXII Convegno Nazionale ANIDIS, Pisa, 10-14 giugno 2007

M. Di Ludovico; A. Balsamo; A. Prota; G. Manfredi; E. Cosenza (2006). Design of Seismic Strengthening of an Irregular RC Structure by Using FRP laminates or RC Jacketing. Proceedings of the 2nd International fib Congress, Napoli, 5-8 June 2006



A. Balsamo; G. Manfredi; E. Mola; P. Negro; A. Prota (2005). Seismic Rehabilitation of a Full-Scale RC Structure using GFRP Laminates. 7th International Symposium on FRP Reinforcement for Concrete Structures, Farmington Hills (MI), 7-10 November 2005

M. Di Ludovico; A. Balsamo; A. Prota; G. Manfredi (2008). Comparative Assessment of Seismic Rehabilitation Techniques on a Full-Scale 3-Story RC Moment Frame Structure. STRUCTURAL ENGINEERING AND MECHANICS, 2-s2.0-41449089254

A. Balsamo; M. Di Ludovico; G. Manfredi; A. Prota. Rinforzo sismico con FRP: la struttura SPEAR. REALTÀ MAPEI INTERNATIONAL

Balsamo A.; Di Ludovico M.; Manfredi G.; Prota A. (2009). Studio sul rinforzo strutturale con FRP System. COMPOSITI MAGAZINE

Progetto MITRAS (Materiali, Tecnologie e Metodi di Progettazione Innovativi per il Ripristino ed il Rinforzo di Infrastrutture di Trasporto Stradale)

Rinforzo con CFRP di travi da ponte in c.a.p. in scala reale



ANNO: 2008

SEDE: Laboratorio a “cielo aperto” a Brindisi progettato dal Dipartimento di Strutture per l’Ingegneria e l’Architettura DiSt, Università degli Studi di Napoli Federico II

RESP. SCI.: M. Di Ludovico, A. Balsamo, A. Prota, G. Manfredi, E.Cosenza, P. Di Stasio

SPERIMENTAZIONE: Sono stati realizzati 5 campioni in scala reale di travi in c.a.p. sui quali è stata condotta una validazione sperimentale dell’utilizzo di tessuti in CFRP (**MAPEWRAP C UNI-AX**) per ripristinare la resistenza a flessione di travi in c.a.p. utilizzate per ponti autostradali, danneggiate da urti accidentali (per impatto di automezzi fuori sagoma) che causano la parziale perdita per tranciamento dei trefoli costituenti le armature longitudinali.

RISULTATI: Il rinforzo in CFRP ha consentito un recupero sia in termini di rigidezza che di resistenza a flessione (recupero di momento ultimo pari a 13% e 17% rispetto alle travi con percentuale di trefoli recisi per effetto del danno pari al 17% ed al 33% del totale).

REFERENCE:

M. Di Ludovico; A. Balsamo; A. Prota; G. Manfredi (2009). FRP strengthening of full scale PC girders. 9th International Symposium on Fiber-Reinforced Polymer Reinforcement for Concrete Structures, Sydney (Australia), 13-15 July 2009

M. Di Ludovico; A. Balsamo; A. Prota; G. Manfredi; E. Cosenza (2008). Rinforzo di travi da ponte in c.a.p. mediante l’uso di FRP. XVII Congresso CTE, Roma, 5-8 novembre 2008



Progetto TE.M.P.E.S. (Tecnologie e Materiali Innovativi per la Protezione Sismica degli Edifici Storici)

Prove su tavola vibrante di edifici in muratura di tufo "a sacco", in scala 1:2, consolidati con GFRP



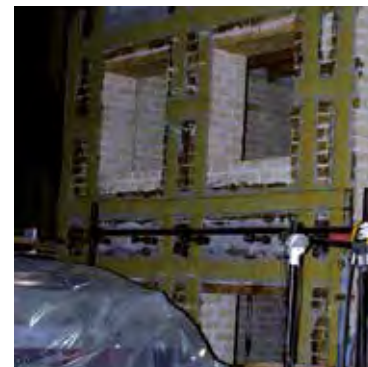
ANNO: 2005-2006

SEDE: Laboratorio CESI di Seriate (BG)

RESP. SCI.: G. Bergamo, A. Balsamo, A. Prota, I. Langone, G. Manfredi

SPERIMENTAZIONE: Nell'ambito dell'attività sperimentale svolta sono stati realizzati due modelli in "muratura di tufo a sacco" nel rapporto di scala delle lunghezze 1:2. I due modelli sono stati sottoposti a prova su tavola vibrante utilizzando accelerogrammi naturali registrati sul territorio Italiano (Calitri 1980, Colfiorito 1997). I modelli non rinforzati dopo il danneggiamento sono stati consolidati utilizzando tecniche di rinforzo reversibili ed innovative basate sull'uso di materiali compositi con fibre di vetro (GFRP).

RISULTATI: I due modelli, con e senza rinforzo, hanno mostrato un meccanismo di collasso del tipo a blocchi rigidi (Rocking Mechanism) con formazione di lesioni orizzontali all'interfaccia maschio-fascia. Per i modelli rinforzati le prove dinamiche condotte hanno evidenziato un incremento della rigidezza laterale attestando l'efficacia delle tecniche di rinforzo adottate per contrastare il meccanismo attivato. La tecnica di rinforzo con fasce in GFRP si è confermata adeguata per interventi di riparazione nei riguardi di "aftershocks". Le prove di invecchiamento accelerato condotte in camera climatica hanno permesso di escludere fenomeni di degrado della matrice epossidica a causa di esposizioni estreme di gelo e disgelo.



REFERENCE:

I. Langone, A. Prota, G. Bergamo, G. Manfredi. Analisi sperimentale su tavola vibrante di due modelli in muratura di tufo consolidati mediante materiali compositi. XII Convegno Anidis, 10-14 Giugno 2007, Pisa

Mapei S.p.A. CERTIFICAZIONE ICC-ES DI MAPEWRAP FRP SYSTEM

Colonne in scala in c.a. confinante con CFRP



ANNO: 2014

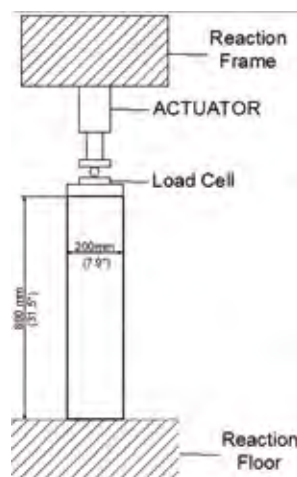
SEDE: Dipartimento di Strutture per l'Ingegneria e l'Architettura DiSt, Università degli Studi di Napoli Federico II

RESP. SCI.: A. Balsamo, A. Prota, A. Nanni, F. De Caso y Basalo, D. Pisapia, P. Campanella

SPERIMENTAZIONE: Il programma sperimentale è stato eseguito su colonne in calcestruzzo armato in scala, aventi sezione trasversale quadrata con lato pari a 200 mm ed altezza 800 mm. Sono stati sottoposti a prove di compressione assiale quattro pilastri: due "as-built" di controllo e due rinforzati con un confinamento costituito da una fasciatura continua in CFRP **MAPEWRAP C UNI-AX** per tutta l'altezza dell'elemento. Sono state considerate due classi di calcestruzzo (bassa e alta resistenza) e due percentuali di CFRP **MAPEWRAP C UNI-AX** (basso e alto livello di rinforzo).

RISULTATI: Le prove sono state condotte nell'ambito della certificazione ICC ES AC 125 ed hanno convalidato i criteri di progettazione previsti dai codici ACI 318, ACI 440 e di accettazione del materiale in CFRP in accordo agli standard AC 125. L'applicazione del sistema di rinforzo in CFRP **MAPEWRAP C UNI-AX** ha fornito agli elementi strutturali incrementi di resistenza a compressione e di capacità di spostamento assiale (pseudo-duttilità) senza nessuna modifica della rigidezza iniziale.

REFERENCE:
CERTIFIED TEST REPORT EVALUATION OF EXTERNALLY APPLIED FRP STRENGTHENING COMPOSITE SYSTEMS - Per ICC-ES Acceptance Criteria AC125 -ESR-3499 Report Number: R-5.10_12-12-02_MAP.3 Date: July 28, 2016 REVISION 3



ReLUIS “RETE DI LABORATORI UNIVERSITARI DI INGEGNERIA SISMICA”

Task 2.1.1: Reinforced Concrete Structures PE 2010-2013

Rinforzo di nodi in c.a. rinforzati con CFRP



ANNO: 2010 - 2014

SEDE: Dipartimento di Strutture per l'Ingegneria e l'Architettura DiSt, Università degli Studi di Napoli Federico II

RESP. SCI.: M. Di Ludovico, A. Balsamo, A. Prota, G. Manfredi, M. Dolce, C. Del Vecchio, G.M. Verderame

SPERIMENTAZIONE: Sono stati realizzati 9 campioni in scala reale di nodi trave-pilastro non confinati, con l'intento di riprodurre gli edifici esistenti in c.a. progettati per sole azioni gravitazionali e senza alcun riferimento ad azioni sismiche ovvero con riferimenti normativi obsoleti per la valutazione delle azioni sismiche.

RISULTATI: I risultati delle prove su nodi trave-pilastro rinforzati con CFRP, hanno dimostrato:

- incremento della resistenza a taglio del pannello di nodo;
- efficace confinamento delle estremità del pilastro concorrenti nel nodo;
- incremento a taglio delle estremità delle travi concorrenti nel nodo;
- nessuna modifica della rigidezza del nodo.

REFERENCE:

Balsamo, A.; Del Vecchio C.; Di Ludovico, M.; Prota, A.; Manfredi G.; Dolce, M. (2012). *Rinforzo con FRP di nodi trave-pilastro esistenti: analisi sperimentale e modelli di capacità. (in Italian). 19° Congresso CTE, Bologna*

Del Vecchio C, Di Ludovico M, Balsamo A, Prota A, Manfredi G, Dolce M. 2014. *Experimental Investigation of Exterior RC Beam-Column Joints Retrofitted with FRP Systems. ASCE Journal of Composites for Construction. V. 18 (4). pp. 1-13. DOI: 10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0000459*



Di Ludovico M.; Balsamo A.; Prota A.; Verderame G.M.; Dolce M.; G. Manfredi (2012). *Preliminary Results of an Experimental Investigation on RC beam-column joints. Proceedings of 6th International Conference on FRP Composites in Civil Engineering, Roma, 13-15 June 2012*

ReLUIS “RETE DI LABORATORI UNIVERSITARI DI INGEGNERIA SISMICA”

Task 2.1.1: Reinforced Concrete Structures PE 2010-2013

Rinforzo di pilastri a taglio e flessione, rinforzati con CFRP



ANNO: : 2015-2017

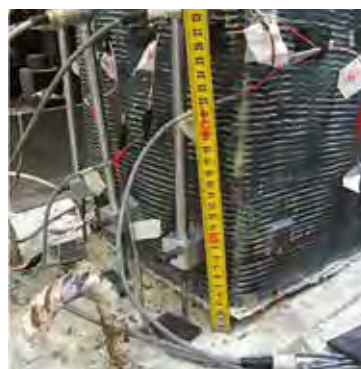
SEDE: Dipartimento di Strutture per l'Ingegneria e l'Architettura DiSt, Università degli Studi di Napoli Federico II

RESP. SCI.: M. Di Ludovico, A. Balsamo, A. Prota, G. Manfredi, M. Del Zoppo

SPERIMENTAZIONE: Il programma sperimentale è costituito da due set di pilastri: tre pilastri snelli ($L = 1500$ mm) a comportamento flessionale e cinque pilastri tozzi ($L = 900$ mm) a comportamento fragile governato da crisi a taglio prima del raggiungimento della capacità flessionale. I pilastri sono stati progettati in modo da essere rappresentativi di elementi tipici di edifici esistenti in Italia. I pilastri snelli, governati da crisi flessionale, sono stati rinforzati mediante fasciature in CFRP nella zona della potenziale cerniera plastica. I pilastri governati da crisi tagliante sono stati, invece, rinforzati con fasciatura discontinua in CFRP, per tutta l'altezza dell'elemento. Diverse classi di calcestruzzo e percentuali di CFRP sono state investigate. Il comportamento sismico dei pilastri è stato valutato mediante prove cicliche in controllo di spostamento, applicando una sforzo normale adimensionalizzato pari a 0,1, come tipicamente trovato in edifici esistenti.

RISULTATI: I risultati delle prove hanno dimostrato dopo l'applicazione di CFRP:

- incremento della duttilità nei pilastri confinati alla base;
- incremento della capacità a taglio nei pilastri tozzi rinforzati con CFRP;
- cambiamento della modalità di crisi da fragile a duttile per i pilastri tozzi rinforzati con CFRP;
- nessuna modifica di rigidità dei pilastri.



REFERENCE:

Del Zoppo, M., Di Ludovico, M., Balsamo, A., Prota, A., Manfredi, G. (2017). FRP for seismic strengthening of shear controlled RC columns: experience from earthquakes and experimental analysis. Composite Part B, 10.1016/j.compositesb.2017.07.028

Del Zoppo, M.; Di Ludovico, M.; Balsamo, A.; Prota, A. Comparative Analysis of Existing RC Columns Jacketed with CFRP or FRCC. *Polymers* 2018, 10, 361



ReLUIS (Linea di Ricerca n.8); Progetto MACE (Materiali Compositi Innovativi per l'Edilizia)

Compressione su colonne in muratura in scala reale e ridotta rinforzate con sistemi in FRP

ANNO: 2008-2013

SEDE: Dipartimento di Strutture per l'Ingegneria e l'Architettura DiSt, Università degli Studi di Napoli Federico II

RESP. SCI.: A. Prota, M. Di Ludovico, A. Balsamo, E. Fusco, G. Maddaloni, C. D'Ambra, F. Micelli, G. Manfredi

SPERIMENTAZIONE: I test di compressione assiale su provini in scala reale e ridotta, realizzati con differenti tipologie murarie (tufo, mattoni e pietra calcarea), hanno permesso di evidenziare l'efficacia di tecniche di confinamento con sistemi di fasciatura continua o discontinua in FRP con diversa tipologia di fibre (carbonio, vetro, basalto) impregnate con resine epossidiche.

RISULTATI: Le diverse tecniche di confinamento in FRP hanno conferito alle colonne un aumento sia in termini di resistenza che in termini di duttilità, esibendo un significativo comportamento dissipativo rispetto alla risposta fragile degli analoghi campioni non rinforzati.

REFERENCE: Di Ludovico M., D'Ambra C., Prota A., Manfredi G., (2010), "FRP Confinement of Tuff and Clay Brick Columns: Experimental Study and Assessment of Analytical Models", *ASCE - Journal of Composites for Construction*, Vol. 14, No. 5, pp. 583-596, Sept- Oct. 2010 (ISSN: 1090-0268)

Micelli F., Di Ludovico M., Balsamo A., and Manfredi G., (2014) "Mechanical behaviour of FRP-confined masonry by testing of full-scale columns". *Special Issue "S.I.: Advanced in composites applied to masonry" SPRINGER Materials and Structures*, Volume 47, Issue 12, October 21 2014, pp. 2081-2100, DOI: 10.1617/s11527-014-0357-9

Di Ludovico, M., Fusco, E., Prota, A., & Manfredi, G. (2008, October). *Experimental behavior of masonry columns confined using advanced materials*. In *The 14th world conference on earthquake engineering*



1.2

FRG SYSTEM

1.2.1

DEFINIZIONE

I diversi sistemi raggruppati nella macro-famiglia degli FRG (*Fibre Reinforced Grout*) sono composti, diversamente dagli FRP, da una matrice di natura inorganica (malta) nella quale viene inglobato un rinforzo in fibra sotto forma di rete.

Lo scopo di queste tecnologie è quello di migliorare le proprietà meccaniche della muratura e di aumentare il grado di collaborazione tra gli elementi che la compongono (tipicamente mattoni e malta).

La tecnica tradizionale di rinforzo consiste nell'applicazione di un intonaco armato composto da rete elettrosaldata e diversi centimetri di betoncino cementizio. Tale tecnica, seppur capace di incrementare le resistenze della muratura, genera rilevanti problematiche, sia a causa dei notevoli incrementi di rigidità dovuti all'elevato modulo elastico del betoncino (generalmente cementizio e quindi poco compatibile con il supporto), sia a causa della rete di armatura metallica, la quale spesso presenta

problemi di corrosione e, soprattutto su supporti irregolari, di applicazione.

A fronte di queste problematiche, MAPEI ha sviluppato i sistemi FRG che propongono la sostituzione della rete metallica con reti in fibra di vetro A.R., in basalto o in carbonio. Il tradizionale betoncino cementizio viene invece sostituito da malte duttili fibrorinforzate, compatibili sia meccanicamente sia chimicamente con la muratura.

I sistemi FRG possono essere suddivisi nelle seguenti famiglie: **Sistemi FRCM** (*Fibre Reinforced Cementitious Matrix*) e **CRM** (*Composite Reinforced Mortar*) ossia intonaci armati con reti in fibra di vetro.

1.2.2

TIPOLOGIE DI MATERIALI E CAMPI DI APPLICAZIONE

CRM SYSTEM

I **sistemi CRM** si compongono di malte adatte ad essere applicate in spessori di 3-4 cm, in grado di coprire anche murature molto irregolari, abbinate a reti in fibra di vetro A.R.. Dato lo spessore di applicazione, il sistema necessita di essere connesso meccanicamente alla muratura con connettori in fibra di vetro.



Applicazione del rinforzo per incremento di resistenza a taglio-trazione e compressione

MALTE		MAPEWALL INTONACA & RINFORZA		MAPE-ANTIQUE STRUTTURALE NHL	
					
Natura chimica		Malta fibrorinforzata per intonaci e da muratura traspirante, a base di calce idraulica naturale		Malta per intonaci traspiranti e da muratura a base di calce idraulica naturale ed Eco-Pozzolana, esente da cemento	
Spessore di applicazione (per mano)		Da 10 a 30 mm		Da 10 a 40 mm	
Modulo elastico a compressione		10 GPa		10 GPa	

RETI	MAPENET EM 30		MAPENET EM 40	CONNETTORI	MAPENET EM CONNECTOR
					
Natura chimica	Fibra di vetro A.R.		Fibra di vetro A.R.	Natura chimica	Fibra di vetro alcali resistsente
Maglia	30 x 30 mm		40 x 40 mm	Maglia	100 x 200; 100 x 500; 100 x 700 (mm)

In attesa della Linea Guida nazionale per la progettazione dei CRM, è possibile dimensionare questo tipo di rinforzo come intonaco armato, utilizzando le tabelle della Circolare Esplicativa delle NTC 2018. Qualifica dei sistemi secondo 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) di cui al DPCSLPP n.292 del 29/05/2019 o con ETA corrispondente.



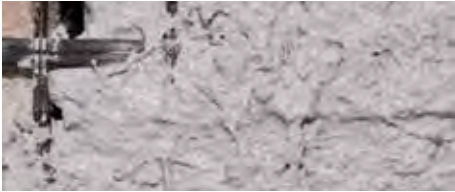
FRCM SYSTEM

I **sistemi FRCM** sono composti da particolari malte fibrorinforzate da applicare in basso spessore (circa 1-1,5 cm) in abbinamento a diverse tipologie di reti di rinforzo in fibra (vetro, basalto o carbonio). Tali sistemi permettono di ridurre efficacemente le masse e le rigidzze dell'intervento di rinforzo a fronte di un significativo incremento delle resistenze meccaniche. L'elevatissima adesione al supporto delle malte utilizzate permette di evitare la realizzazione di connettori trasversali. Nel caso in cui sia indispensabile la presenza di una connessione meccanica, è possibile utilizzare specifici ancoraggi (fiocchi in fibra di vetro, basalto o carbonio) **MAPEWRAP FIOCCO**.

MALTE

PLANITOP HDM MAXI

PLANITOP HDM RESTAURO

		
Natura chimica	Malta cementizia a base di leganti a reattività pozzolanica, fibrorinforzata, bicomponente a elevata duttilità	Malta a base di calce idraulica (NHL) ed ECO-POZZOLANA, fibrorinforzata, bicomponente esente da cemento
Spessore di applicazione (per mano)	Da 6 a 25 mm	Da 3 a 10 mm
Modulo elastico a compressione	10 GPa	8 GPa

RETI

MAPEGRID G 220

MAPEGRID B 250

		
Natura chimica	Fibra di vetro A.R.	Fibra di basalto
Maglia	25 x 25 mm	6 x 6 mm



Applicazione del rinforzo in basso spessore per incrementare la resistenza a taglio-trazione di maschi murari



Connessione meccanica aggiuntiva con fiocchi in fibra di carbonio



Applicazione di sistema FRCM come antiribaltamento di tramezze e tamponamenti



Rinforzo estradossale di volte in muratura

La progettazione è possibile tramite Istruzioni CNR DT 215/2018 o come da cap. 11 NTC2018, con codici Internazionali come ACI 549-4R-13 (Mapei FRCM Software Design).

Qualifica dei sistemi secondo 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 di cui al DPCSLPP n.1 del 08/01/2019 o con ETA corrispondente.



		Spessore di applicazione	Incremento di rigidezza	Incremento delle masse	Praticità di messa in opera	Realizzazione di connessione meccanica
INTONACO ARMATO TRADIZIONALE CON RETE IN ACCIAIO		Almeno 5 cm	L'incremento dello spessore della muratura e l'impiego di una rete rigida in acciaio incrementano le rigidzze globali della struttura	L'incremento dello spessore della muratura incrementa le masse globali della struttura (necessità di incrementare la capacità delle fondazioni)	Necessarie connessioni meccaniche Difficile movimentazione in cantiere	Realizzazione e pulizia fori, innesto connettori
INTONACO ARMATO CON RETE IN FIBRA DI VETRO		Da 3-5 cm	L'incremento dello spessore della muratura incrementa le rigidzze globali della struttura	L'incremento dello spessore della muratura incrementa le masse globali della struttura (necessità di incrementare la capacità delle fondazioni)	Facile movimentazione e applicazione della rete in fibra rispetto alla rete in acciaio Necessarie connessioni meccaniche	Realizzazione e pulizia fori, innesto connettori
SISTEMA FRCM		Da 1 a 2 cm	Il limitato incremento dello spessore della muratura aumenta di poco le rigidzze della struttura.	Il limitato incremento dello spessore della muratura aumenta di poco le masse della struttura	Facile movimentazione e applicazione della rete in fibra rispetto alla rete in acciaio Possibilità di evitare connessioni meccaniche, generalmente è sufficiente un irruvidimento del supporto	Possibilità di evitare o limitare connessioni meccaniche grazie all'elevata adesione delle malte bicomponenti

Velocità di messa in opera	Incremento resistenza taglio	Incremento resistenza compressione	Incremento duttilità	Compatibilità con il supporto	Durabilità
 Rete in acciaio tradizionale rigida e difficile da tagliare e posare (soprattutto su volte)		 Aumento dell'area agente a compressione grazie all'aumento di spessore		 Utilizzo di malte e reti con moduli di elasticità troppo elevati	 Utilizzo di reti non chimicamente resistenti
 Rete in fibra di vetro facile da tagliare e posare Malte applicabili anche a spruzzo		 Aumento dell'area agente a compressione grazie all'aumento di spessore		 Utilizzo di malte e reti con bassi moduli di elasticità compatibili con il supporto	 Reti in fibra di vetro A.R. resistenti all'ambiente alcalino delle malte (richiedere sempre il certificato)
 Rete in fibra di vetro o basalto facile da tagliare e posare Malte applicabili anche a spruzzo		 Minore incremento di area agente a compressione	 Elevato incremento di resistenza e di deformazioni plastiche pre-rottura (richiedere test report)	 Utilizzo di malte e reti con bassi moduli di elasticità, compatibili con il supporto	 Reti in fibra di vetro A.R. resistenti all'ambiente alcalino delle malte (richiedere sempre il certificato) o in basalto

 Sufficiente

 Discreto

 Buono

 Ottimo

1.2.3 SPERIMENTAZIONE

MAPEI S.p.A.; Progetto ReLUIS-DPC 2010-2013 (LINE AT1-1.1 Valutazione e riduzione della vulnerabilità di edifici in muratura)

Prove di compressione diagonale su diverse tipologie di pannelli murari rinforzati con FRGM/CRM

ANNO: 2004 - 2018 (in corso)

SEDE: Dipartimento di Strutture per l'Ingegneria e l'Architettura DiSt, Università degli Studi di Napoli Federico II

RESP. SCI.: A. Balsamo, I. Iovinella, G. Maddaloni, P. Di Stasio, F. Parisi, N. Augenti, M. Di Ludovico, G.P. Lignola, A. Prota, G. Manfredi, G. Morandini

SPERIMENTAZIONE: La campagna sperimentale con test di compressione diagonale si sviluppa su un elevatissimo numero di campioni caratterizzati da numerose tipologie di murature (tufo napoletano, mattoni rossi, conci sbozzati, pietra disordinata, ecc.), con diversa tessitura e con numerosissime configurazioni di rinforzo e diverse tipologie di connessioni trasversali (tirantini).

RISULTATI: Lo scopo della campagna sperimentale è quello di studiare l'interazione fra le diverse tipologie di murature ed i diversi sistemi di rinforzo **MAPEI FRG (FRGM/CRM)**. I risultati non solo mostrano la conformità dei sistemi di rinforzo con l'approccio normativo, ma evidenziano:

- aumento della capacità a taglio/trazione;
- ritardo dell'innesco della fessurazione;
- elevato incremento di duttilità.

REFERENCE:

Balsamo A., Iovinella I., Morandini G., Maddaloni G., (2014). *Experimental Investigation on IMG masonry reinforcement*, 37th IABSE – International Association for Bridge and Structural Engineering, Madrid, Spagna, Settembre 2014



Balsamo, A.; Iovinella, I.; Di Ludovico, M.; Prota, A. (2014). *Masonry reinforcement with IMG Composites: Experimental Investigation*. 4th International Conference on Mechanics of Masonry Structures Strengthened with Composite Materials, Ravenna, 9-11 September 2014

Balsamo Alberto, Iovinella Ivano (2014). *Sistemi di rinforzo con FRG per strutture in muratura*. REHABEND 2014, 1-4 April, 2014, Santander, España

Balsamo A., Iovinella I., Morandini G. (2014). *FRG Strengthening Systems for Masonry Building*, 2014 NZSEE Conference, Auckland

F. Parisi; I. Iovinella; A. Balsamo; N. Augenti; A. Prota (2012). *In-plane behaviour of tuff masonry strengthened with inorganic matrix-grid composites in diagonal compression*. Proceedings of the 15th



European Conference Composite Materials, Venezia, 24-28 June 2012

Parisi F.; Iovinella I.; Balsamo A.; Augenti N.; Prota A. (2011). Indagine sperimentale sulla resistenza a taglio della muratura di tufo rinforzata con materiali compositi a matrice inorganica. XIV Convegno ANIDIS, Bari, 18-22 settembre 2011

Balsamo Alberto, Iovinella Ivano, Morandini Giulio (2011). Experimental Campaign on Tuff Masonry Strengthened with FRG. SEWC 2011 - Structural Engineering World congress, Como, 4-6 Giugno 2011

Balsamo, A.; Di Ludovico, M.; Prota, A.; Manfredi, G. (2011). Masonry Walls Strengthened with Innovative Composites. Proceedings of the FRPRCS-10 - 10th International Symposium on Fiber-Reinforced Polymer Reinforcement for Concrete Structures, Farmington Hills

(MI), 2-4 April 2011

Balsamo A.; Iovinella I.; Morandini G.; Prota A. (2010). Comportamento sperimentale di muratura di tufo rinforzata con FRP a base di ecopozzolana. COMPOSITI MAGAZINE

Balsamo A.; Iovinella I.; Di Ludovico M.; Prota A. (2010). Experimental Behavior of Tuff Masonry Strengthened with Lime Matrix - Grid Composites. Proceedings of the 3rd International Workshop on Conservation of Heritage Structures Using FRM and SHM, Ottawa (Canada), 11-13 August 2010

Balsamo A.; Prota A.; Iovinella I.; Morandini G. (2010). Comportamento sperimentale di muratura di tufo rinforzata con FRG a base di ecopozzolana. Sicurezza e Conservazione dei Beni Culturali colpiti da Sisma, Venezia, 8-9 aprile 2010

Progetto PROVACI (Tecnologie per la PROtezione sismica e la VALorizzazione di Complessi di Interesse culturale) DISTRETTO STRESS

Campagna sperimentale su elementi voltati in scala reale, rinforzati con FRCM



ANNO: 2013

SEDE: Dipartimento di Strutture per l'Ingegneria e l'Architettura DiSt, Università degli Studi di Napoli Federico II

RESP. SCI.: A. Balsamo, G.P. Lignola, G. Manfredi, A. Prota, I. Iovinella, G. Maddaloni, V. Giamundo, G. Ramaglia, M. Pallecchia, A. Zinno, F. da Porto

SPERIMENTAZIONE: L'elemento voltato testato su tavola vibrante rappresenta la geometria tipica delle coperture di ambienti di chiese ed edifici storici. Il test mira a studiare il comportamento dinamico della sola volta muraria per effetto di azioni sismiche severe e l'incremento prestazionale raggiungibile a seguito del loro rinforzo della stessa mediante sistemi FRCM.

RISULTATI: Sono stati applicati in maniera incrementale un accelerogramma reale (evento Irpinia 1980) ed uno artificiale, ad hoc per la prova. I risultati hanno mostrato un incremento di resistenza che ha consentito alla volta di resistere ad eventi con intensità di oltre 2,5 volte la PGA iniziale. La compatibilità meccanica del sistema di rinforzo testato è stata dimostrata dall'assenza di fenomeni di delaminazione tra l'interfaccia malta/mattone e malta/rinforzo. Il rinforzo non ha inoltre provocato un significativo incremento di massa del campione rispetto a quello originario.

REFERENCE:

V. Giamundo; G.P. Lignola; G. Maddaloni; A. Balsamo; A. Prota; G. Manfredi (2015). *Experimental investigation of the seismic performances of IMG reinforcement on curved masonry elements. COMPOSITES PART B, ENGINEERING*, 10.1016/j.compositesb.2014.10.039



V. Giamundo, G.P. Lignola, G. Maddaloni, F. da Porto, A. Prota and G. Manfredi. *Shaking table tests on a full-scale unreinforced and IMG-retrofitted clay brick masonry barrel vault. SPRINGER Bulletin of Earthquake Engineering*, Volume 14 No. 6, 2016:1663-1693 DOI: 10.1007/s10518-016-9886-7

V. Giamundo; G. Ramaglia; A. Balsamo; G.P. Lignola; A. Prota; G. Manfredi; G. Maddaloni; A. Zinno. *Rinforzo di una volta in muratura: valutazione dell'efficacia mediante test su tavola vibrante. XVI Convegno Anidis 2015, L'Aquila, Italia, Settembre 2015*

A. Prota, M. Pellecchia, G.P. Lignola, A. Zinno, A. Balsamo, I. Iovinella, G. Maddaloni. *Valutazione sperimentale mediante prova su tavola vibrante dell'efficacia di interventi con sistemi FRG su volte in muratura. INGEGNO Magazine dossier #31 "Sistemi di rinforzo e consolidamento strutturale" Vol.31, Aprile 2015:1-24. ISSN 2307-8928*



Progetto PROVACI (Tecnologie per la PROtezione sismica e la VALorizzazione di Complessi di Interesse culturale) DISTRETTO STRESS

Campagna sperimentale su elementi voltati con piedritti, in scala reale, rinforzati con FRCM

ANNO: 2014-2015

SEDE: Dipartimento di Strutture per l'Ingegneria e l'Architettura DiSt, Università degli Studi di Napoli Federico II

RESP. SCI.: A. Balsamo, G.P. Lignola, G. Manfredi, A. Prota, G. Ramaglia, I. Iovinella

SPERIMENTAZIONE: La campagna di prove su tavola vibrante è stata svolta con lo scopo di studiare il comportamento dinamico di volte in muratura con geometria tipica e l'interazione con le pareti sottostanti con lo scopo di proteggere dal danno la porzione voltata mediante sistemi FRCM con reti in basalto e tessuto in acciaio.

RISULTATI: Sono stati applicati in maniera incrementale due accelerogrammi reali, Friuli 1976 ed Irpinia 1980. La struttura muraria è stata dunque sottoposta a numerosi eventi sismici simulati di intensità crescente e repliche (sciame sismico). La struttura non rinforzata è crollata nella sua porzione voltata. A seguito della ricostruzione e dell'applicazione del rinforzo in FRCM, accoppiato ad una frenellatura tradizionale, la struttura non ha mostrato danni nella porzione voltata, anche per eventi di intensità doppia, in termini di PGA, rispetto all'evento che ha causato il crollo della struttura.

REFERENCE:

Giancarlo Ramaglia; Gian Piero Lignola; Alberto Balsamo; Andrea Prota, 2017. *Seismic Strengthening of Masonry Vaults with Abutments Using Textile-Reinforced Mortar*. DOI: 10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0000733. © 2016 American Society of Civil Engineers



Progetto ReLUIS-DPC 2010–2013 (LINEA TI-1.1 –Valutazione e riduzione della vulnerabilità di edifici in muratura)

Campagna sperimentale su parete in scala reale, forata in muratura, rinforzata con FRCM



ANNO: 2010

SEDE: Dipartimento di Strutture per l'Ingegneria e l'Architettura, Università degli Studi di Napoli Federico II

RESP. SCI.: N. Augenti, F. Parisi, A. Balsamo, A. Prota, G. Manfredi, I. Iovinella

SPERIMENTAZIONE: Le prove sono state eseguite su una parete forata in muratura di tufo realizzata in scala reale e progettata in modo che gran parte del danneggiamento potesse concentrarsi nel pannello di fascia, dissesto che spesso si verifica in edifici esistenti in muratura.

RISULTATI: Il sistema di rinforzo esterno FRCM applicato alla fascia di piano non solo ha consentito il completo ripristino della capacità portante orizzontale, ma anche di aumentare notevolmente la capacità di spostamento “traslando” la perdita di resistenza a grandi livelli di spostamento laterale. Il sistema FRCM ha anche fornito una dissipazione aggiuntiva dovuta alla diffusione del danneggiamento in tutto il pannello di fascia piuttosto che lungo le sue diagonali per effetto della crisi per taglio e della tessitura della muratura.

REFERENCE:

N. Augenti; F. Parisi; A. Prota and G. Manfredi. In-Plane Lateral Response of a Full-Scale Masonry Subassembly with and without an Inorganic Matrix-Grid Strengthening System. *Journal of Composites for Construction*, Vol. 15, No. 4, August 1, 2011. ©ASCE, ISSN 1090-0268/2011/4-578-590/\$25.00

Parisi F.; Augenti N.; Balsamo A.; Prota A.; Manfredi G.(2010). Lateral Loading Tests on a Masonry System With and Without External Reinforcement. 14th European Conference on Earthquake Engineering, Ohrid (FYRoM), 30 August - 3 September 2010



ReLUIs (Linea di Ricerca n.8); Progetto MACE (Materiali Compositi Innovativi per l'Edilizia); Progetto METRICS (Metodologie e Tecnologie per la gestione e Riqualificazione dei Centri Storici e degli edifici di pregio) DISTRETTO STRESS



Prove di compressione su colonne in muratura in scala reale e ridotta, di diverse tipologie murarie, rinforzate con FRCM

ANNO: 2008-2013-2017

SEDE: Dipartimento di Strutture per l'Ingegneria e l'Architettura DiSt, Università degli Studi di Napoli Federico II

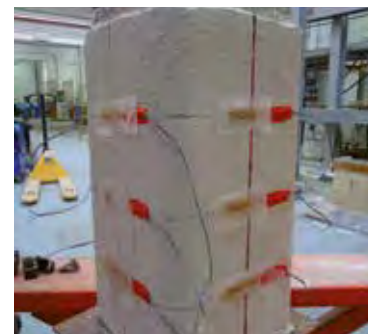
RESP. SCI.: Balsamo A., Di Ludovico M., Prota A., Fusco E., Maddaloni G., D'Ambra C., F. Micelli, A. Cascardi, M.A. Aiello, Manfredi G., I. Iovinella

SPERIMENTAZIONE: Le prove condotte hanno permesso di indagare l'efficacia di tecniche di confinamento passivo con l'utilizzo di sistemi in FRCM su colonne in muratura di tufo, mattoni e pietra calcarea in scala ridotta e in scala reale. I campioni testati in compressione centrata sono stati rinforzati con reti in fibra di vetro (**MAPEGRID G 220**) o basalto (**MAPEGRID B 250**) immerse in matrici inorganiche (**PLANITOP HDM RESTAURO**), con o senza la presenza di tirantini.

RISULTATI: Le diverse tecniche di confinamento utilizzate in FRCM hanno conferito alle colonne un aumento sia in termini di resistenza che in termini di duttilità, evidenziando un significativo comportamento dissipativo rispetto alla configurazione fragile dei campioni non rinforzati.

REFERENCE:

A. Balsamo; G. Maddaloni; F. Micelli; A. Prota; G. Melcangi (2018). "Experimental behaviour of full scale masonry columns confined with FRP or FRCM systems", REHABEND 2018 Euro-American Congress on Construction Pathology, Rehabilitation Technology and Heritage Management, Caceres, Spagna, Maggio 2018
G. Maddaloni, A. Cascardi, A. Balsamo, M. Di Ludovico, F. Micelli, M.A. Aiello, A. Prota (2017). "Confinement of Full-Scale Masonry Columns



with FRCM Systems", MURICO 5 CONFERENCE – Mechanics Of Masonry Structures Strengthened With Composite Materials - Key Engineering Materials ISSN: 1662-9795, Vol. 747, pp 374-381

Di Ludovico, M., Fusco, E., Prota, A., & Manfredi, G. (2008). Experimental behavior of masonry columns confined using advanced materials. In The 14th world conference on earthquake engineering

Progetto METRICS (Metodologie e Tecnologie per la gestione e Riqualificazione dei Centri Storici e degli edifici di pregio) DISTRETTO STRESS

Sperimentazione su tavola vibrante di edificio in muratura, in scala 1:2, rinforzato con FRCM



ANNO: 2016

SEDE: Dipartimento di Strutture per l'Ingegneria e l'Architettura DiSt, Università degli Studi di Napoli Federico II

RESP. SCI.: M. Di Ludovico, A. Balsamo, G. Maddaloni, N. Iuliano, G. Maddaloni, A. Prota, G. Manfredi

SPERIMENTAZIONE: Nell'ambito del progetto di ricerca Metrics è stato studiato il comportamento sismico di una struttura in scala 1:2 realizzata in muratura di tufo a una testa con piattabande e solaio in legno, rappresentativa di un edificio del napoletano, riparata e rinforzata a seguito del danno con sistemi innovativi in FRCM.

RISULTATI: La struttura è stata testata su tavola vibrante e sottoposta ad una serie di sequenze sismiche simulate con accelerogrammi relativi a recenti eventi avvenuti in Italia, tra i quali L'Aquila 2009 ed Amatrice 2016. Sono stati studiati i meccanismi di rottura e danno tipici degli organismi strutturali scapolari in muratura. La struttura dopo il danneggiamento, è stata riparata con tecnologie tradizionali e mediante:

- iniezione delle lesioni con malta a base di calce ed Eco-Pozzolana, esente da cemento molto fluida (**MAPE-ANTIQUE F21**);
- ammorsamento dei cantonali e cucitura delle lesioni sub-orizzontali con barre elicoidali in acciaio inox applicate a secco (**MAPEI STEEL DRY 316**).

La struttura è stata rinforzata con i seguenti interventi innovativi:

- cucitura delle lesioni diagonali con sistema FRCM (**MAPEGRID G 220 + PLANITOP HDM RESTAURO**);
- fasciatura in sommità con sistema FRCM (**MAPEGRID G 220 + PLANITOP HDM RESTAURO**);



- Intonaco esterno e interno di nuova generazione costituito da malta di calce fibrorinforzata (**PLANITOP INTONACO ARMATO**).

Dopo la riparazione ed il rinforzo la struttura non ha mostrato alcun danno anche per eventi di intensità significativamente superiore (+40%), in termini di PGA, rispetto alla sequenza sismica che aveva causato il danneggiamento.

REFERENCE:

Gennaro Maddaloni, M. Di Ludovico, A. Balsamo, Giuseppe Maddaloni, A. Prota (2018). "Dynamic assessment of innovative retrofit techniques for masonry buildings", *Composites Part B* 147 (2018) 147-161, <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.04.038>

Marco Di Ludovico, Alberto Balsamo, Gennaro Maddaloni, Nunzia Iuliano, Giuseppe Maddaloni, Andrea Prota, Gaetano Manfredi (2017). "Shaking Table Tests on 1/2 Scale One Story Masonry Structure", *7AESE - 7th International Conference on Advances in Experimental Structural Engineering*, Pavia, Settembre 2017

1.3

HPC SYSTEM

MALTE CEMENTIZIE
FIBRORINFORZATE (FRC)
AD ALTISSIME PRESTAZIONI
MECCANICHE

1.3.1

DEFINIZIONE

Fra le diverse tecnologie orientate al rinforzo delle strutture esistenti, MAPEI propone una nuova famiglia di malte appartenenti alla linea PLANITOP HPC ossia malte cementizie fibrorinforzate con fibre strutturali d'acciaio diffuse omogeneamente all'interno di una matrice cementizia ad elevatissime prestazioni meccaniche.



Fibre disperse
nella matrice cementizia

Tali materiali, classificabili come HPFRCC (*High Performance Fiber Reinforced Cementitious Concrete*), si contraddistinguono rispetto alle malte tradizionali per le loro elevatissime resistenze meccaniche e l'elevata duttilità.

Oggi esistono diverse tipologie di fibre impiegabili all'interno di matrici cementizie. Quelle maggiormente utilizzate sono polimeriche, metalliche, in vetro, in carbonio o in materiale naturale (cellulosa, legno ecc.).

A differenza delle tradizionali fibre sintetiche, comunemente utilizzate nelle

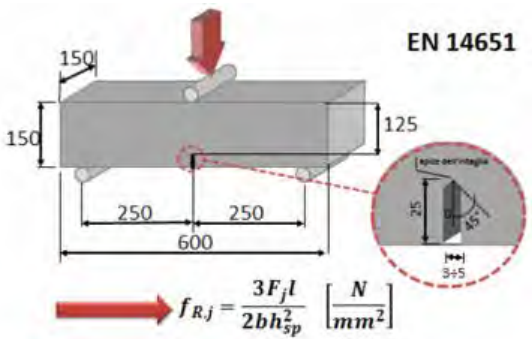
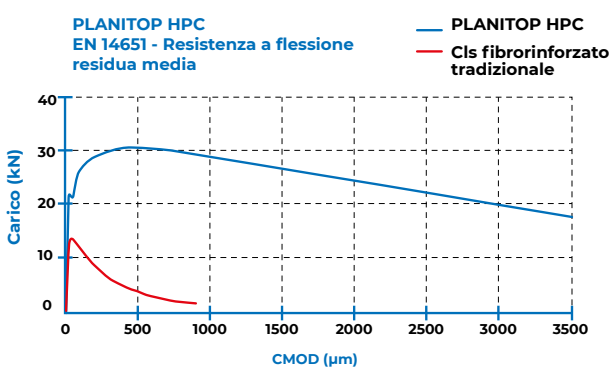
malte cementizie (orientate perlopiù a ridurre i fenomeni fessurativi), l'aggiunta di fibre in acciaio (**FIBRE HPC**) incrementa la **duttilità** e la **tenacità** della malta cementizia conferendole una maggiore capacità resistente in fase plastica (post-fessurazione) e, spesso, un **comportamento a trazione** di tipo **in-crudente**.

La presenza di queste fibre metalliche conferisce quindi al materiale un comportamento tale da poter ridurre, in molti casi sostituire completamente, la presenza dell'armatura tradizionale.

Le malte **PLANITOP HPC** e **PLANITOP HPC FLOOR** sono caratterizzate da una matrice cementizia ad elevatissime prestazioni meccaniche le cui prestazioni sono facilmente confrontabili con quelle delle malte da ripristino del calcestruzzo nella seguente tabella:

	CALCESTRUZZO TRADIZIONALE	MALTA CEMENTIZIA	PLANITOP HPC
Resistenza a compressione	15 - 40 MPa	15 - 60 MPa	130 MPa
Resistenza a trazione	-	-	8,5 MPa
Resistenza a flessione	-	4 - 8 MPa	32 MPa

Grafico resistenza a flessione residua
in accordo alla norma EN 14651



La progettazione, l'esecuzione e la caratterizzazione di elementi strutturali con l'utilizzo di PLANITOP HPC richiedono regole e modelli di calcolo diversi da quelli normalmente impiegati per le opere in conglomerato cementizio ordinario. Tali materiali non sono attualmente trattati nelle norme tecniche sulle costruzioni nazionali ed europee. Per ovviare a questo limite, un'apposita commissione di esperti, predisposta dal CNR nel 2006, ha emesso un documento tecnico (CNR DT 204/2006 - Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Strutture di Calcestruzzo Fibrorinforzato) dove vengono riassunte le principali proprietà dei calcestruzzi fibrorinforzati e fornite le indicazioni sufficienti a consentire il dimensionamento e la verifica di strutture realizzate mediante l'impiego di calcestruzzi armati con fibre in sostituzione o in aggiunta alle armature ordinarie. In queste Istruzioni vengono fornite anche le indicazioni necessarie per la verifica in laboratorio delle proprietà dei materiali cementizi fibro-rinforzati e per la determinazione delle grandezze significative ai fini del calcolo strutturale. A livello di qualificazione, tali prodotti rientrano sia nella categoria delle malte strutturali per ripristino di strutture esistenti (marcature CE secondo EN 1504-3;-6) sia nella categoria degli FRC (Fiber Reinforced Concrete) con qualificazione secondo Linea Guida di cui al DPCSLPP n.208 09/04/2019.



1.3.2

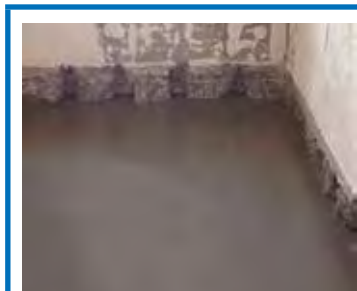
TIPOLOGIE DI MATERIALI E CAMPI DI APPLICAZIONE

PLANITOP HPC FLOOR SYSTEM

Uno dei principali campi di applicazione di questa tecnologia consiste negli interventi di rinforzo di solai esistenti mediante la realizzazione con **PLANITOP HPC FLOOR** di una cappa collaborante a basso spessore, applicabile su diverse tipologie di solaio, come:

- solai in legno
- solai in latero-cemento o solette in c.a.
- solai in acciaio.

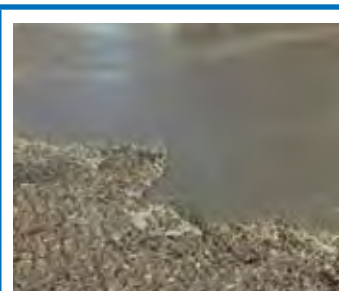
PLANITOP HPC FLOOR



PLANITOP HPC FLOOR T



PLANITOP HPC FLOOR 46





Rinforzo estradosale di solaio in latero-cemento



Rinforzo estradosale di solaio in legno



Rinforzo estradosale di solaio in latero-cemento

La tecnica più tradizionale per il rinforzo di solai esistenti consiste nel realizzare una cappa estradosale con un getto di calcestruzzo (tradizionale o alleggerito) armato con una rete di acciaio, in uno spessore di almeno 4-5 cm.

Questo sistema di rinforzo, seppur largamente impiegato, presenta dei punti deboli legati soprattutto agli elevati spessori di applicazione, i quali fanno aumentare massa e rigidità della struttura e risultano molto invasivi sia a livello operativo sia a livello architettonico, creando non pochi problemi nella riprogettazione delle quote interne e dei pacchetti impiantistici e di finitura.

Nel seguito viene presentato un confronto fra la tecnica tradizionale di rinforzo (cappa collaborante armata con rete in acciaio) e l'impiego di **PLANITOP HPC FLOOR** su un solaio in latero-cemento.



CAPPA COLLABORANTE CON CALCESTRUZZO
TRADIZIONALE



CAPPA COLLABORANTE A BASSO SPESSORE CON
PLANITOP HPC FLOOR

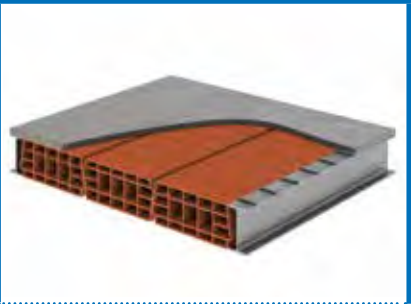
Spessore di applicazione	Almeno 4-5 cm	Da 1,5 a 3 cm
Invasività	Necessarie connessioni meccaniche (pioli) o chimiche (resine epossidiche)	È sufficiente un adeguato irruvidimento superficiale del supporto
Interventi di ristrutturazione	Elevati spessori non compatibili con le quote interne esistenti (es. infissi)	Limitati spessori compatibili con quote interne esistenti, possibilità di posare impianti riscaldanti o isolamento acustico
Incremento di rigidezza		Il superiore modulo di elasticità compensa il ridotto spessore di applicazione
Incremento delle masse	Aumento forze inerziali (sismiche) a causa dell'aumento del peso proprio (per elevato spessore), necessità di rinforzare le fondazioni	Limitato incremento di peso proprio per il limitato spessore, inferiore anche a sistemi con calcestruzzi alleggeriti
Velocità di messa in opera	Realizzazione e pulizia fori, innesto connettori e loro legatura all'armatura di rinforzo	NO connettori (salvo casi specifici), elevate resistenze meccaniche dopo 24h, calpestabile dopo poche ore dall'applicazione
Incremento resistenza flessione		
Dimensione dei travetti	Spesso le dimensioni ridotte dei travetti non consentono l'applicazione dei connettori meccanici e quindi risulta necessario l'utilizzo di una resina epossidica (tipo EPORIP) per la ripresa di getto come ancoraggio chimico.	Tale sistema non richiede una dimensione minima del travetto
Iperstaticità della struttura		Ideale anche per strutture iperstatiche (travi su più appoggi o mensole) per resistenza a trazione del materiale

Al contrario della tecnica tradizionale, la cappa collaborante realizzata con **PLANITOP HPC FLOOR** o **PLANITOP HPC FLOOR T** permette di incrementare le prestazioni del solaio con alcuni vantaggi fondamentali:

- il basso spessore di applicazione (da 1,5-3 cm) permette di limitare l'incremento dei carichi e mantenere le quote interpiano;
- l'adesione del sistema, su supporto correttamente irruvidito, è tale da limitare o evitare la connessione meccanica o chimica con il supporto;
- nessuna necessità di rete di armatura;
- elevata duttilità e resistenza a sollecitazioni cicliche.

La leggerezza del rinforzo svolge un ruolo fondamentale in quanto un ridotto carico permanente strutturale permette un aumento dei carichi portati o accidentali e soprattutto riduce le masse e le forze sismiche indotte sulla struttura. Nella successiva tabella vengono confrontati i pesi medi delle varie tipologie di rinforzo.

	<u>SPESSORE</u>	<u>PESO SPECIFICO</u>	<u>PESO COMPLESSIVO DELL'INTERVENTO</u>	
Calcestruzzo tradizionale	5 cm	2400 kg/m ³	125 kg/m ²	-
Calcestruzzo alleggerito	5 cm	1400 kg/m ³	75 kg/m ²	- 44 %
PLANITOP HPC FLOOR	2,5 cm	2400 kg/m ³	60 kg/m ²	- 53 %

<u>SOLAIO IN LATERO CEMENTO</u>	<u>SOLAIO IN LEGNO</u>	<u>SOLAIO IN ACCIAIO-CALCESTRUZZO</u>
		
Vedi scheda di rinforzo edifici in c.a. N. 8 A	Vedi scheda di rinforzo edifici in muratura e legno N. 10 A	Vedi scheda di rinforzo edifici in muratura e legno N. 10 B

PLANITOP HPC SYSTEM

Attraverso l'intervento di rinforzo dei pilastri con incamiciatura in HPFRCC (*High Performance Fiber Reinforced Cementitious Concrete*) è possibile incrementarne la capacità portante (azione assiale, momento flettente e taglio). Attraverso il confinamento del calcestruzzo si aumentano la capacità in termini di spostamento e la duttilità della sezione.

PLANITOP HPC



PLANITOP HPC TIXO



L'elevato contenuto di fibre consente di utilizzare il prodotto con un'armatura tradizionale estremamente ridotta o addirittura senza, così come in accordo al documento tecnico di riferimento CNR DT 204/2006. Lo spessore di applicazione di **PLANITOP HPC** è variabile mediamente tra i 20 e 40 mm.



Rinforzo di pilastri con incamiciatura in basso spessore



Rinforzo di travi e pilastri con incamiciatura in basso spessore



Rinforzo di solai di copertura in falda

		Spessore di applicazione	Praticità di messa in opera	Incremento di rigidezza	Incremento delle masse	Velocità di messa in opera
RINGROSSO TRADIZIONALE CON CALCESTRUZZO ARMATO		Almeno 5-10 cm	Necessarie connessioni meccaniche (pioli) o chimiche (resine epossidiche)	Incremento di rigidezza della struttura per l'elevato spessore di ringrosso	Incremento delle masse per l'elevato spessore di ringrosso (necessità di incrementare la capacità delle fondazioni)	Realizzazione e pulizia fori, innesto connettori
RINGROSSO A BASSO SPESSORE CON PLANITOP HPC		Spessore tipico da 1,5 a 3 cm	È sufficiente un adeguato irruvidimento superficiale del supporto	Limitato incremento di rigidezza della struttura per limitato spessore di ringrosso	Limitato incremento di masse per il limitato spessore di ringrosso	Elevate resistenze meccaniche già dopo 24 ore possibile rimozione del cassero dopo 48 ore
FASCIATURA CON SISTEMA FRP		Trascurabile	Rimozione selezionata degli elementi secondari	Trascurabile incremento di rigidezza per il trascurabile spessore di ringrosso	Trascurabile incremento di rigidezza per il trascurabile spessore di ringrosso	Applicazione immediata (fresco su fresco) di tutti gli strati del sistema

Incremento resistenza a taglio di pilastri o travi	Incremento resistenza a flessione di pilastri	Incremento resistenza a compressione di pilastri	Incremento resistenza di nodi trave/pilastro	Incremento resistenza a flessione di travi	Incremento duttilità	Resistenza al fuoco
 Significativo per aggiunta staffe	 Significativo ma richiesto un minimo di armatura orizzontale	 Significativo ma richiesto un minimo di armatura aggiuntiva	 Grande difficoltà e invasività nella messa in opera	 Grande difficoltà e invasività nella messa in opera		 Il calcestruzzo ha elevata resistenza al fuoco
 Significativo per aggiunta fibre	 Significativo anche limitando o evitando l'integrazione di armatura tradizionale	 Significativo anche limitando o evitando l'integrazione di armatura tradizionale		 Difficoltà e invasività intermedie, significativo irrigidimento travi ma limitato incremento di resistenza		 La presenza di fibre in acciaio non modifica l'elevata resistenza al fuoco della malta
 (Con fasciatura orizzontale) significativo, soprattutto per pilastri debolmente armati	 (Con applicazione verticale e orizzontale) discreto incremento		 Facilità di messa in opera	 Facilità e bassa invasività nella messa in opera, significativo soprattutto per travi debolmente armate		 Proteggere con pannelli in calcio silicato o specifiche malte ignifughe

 Sufficiente
  Discreto
  Buono
  Ottimo

1.3.3 SPERIMENTAZIONE



Progetto DPC-Reluis “RETE DI LABORATORI UNIVERSITARI DI INGEGNERIA SISMICA” PE 2014-2018

Prove sperimentali su nodi trave-pilastro in c.a., in scala reale, prelevati da edifici danneggiati a seguito di eventi sismici

ANNO: 2016

SEDE: Dipartimento di Strutture per l'Ingegneria e l'Architettura DiSt, Università degli Studi di Napoli Federico II

RESP. SCI.: A. Balsamo, C. Del Vecchio, M. Di Ludovico, A. Prota, G. Manfredi

SPERIMENTAZIONE: Le attività di prova hanno riguardato due nodi trave-pilastro estratti da un edificio esistente in c.a. realizzato negli anni '60 a L'Aquila e danneggiato del sisma del 2009. Il sistema strutturale a telaio era caratterizzato da proprietà scadenti del calcestruzzo e da dettagli d'armatura tipici degli edifici esistenti progettati prima degli anni '70. Il rinforzo è stato realizzato mediante la rimozione del calcestruzzo corticale, per una profondità di circa 40 mm, fino a portare a nudo i ferri perimetrali di armatura longitudinale di travi e pilastri. Il copriferro è stato poi ripristinato con l'applicazione di **PLANITOP HPC** e **FIBRE HPC**.

RISULTATI: Il quadro fessurativo ha mostrato come il sistema di rinforzo realizzato tramite la sostituzione del copriferro con **PLANITOP HPC** sia in grado di spostare la modalità di crisi, passando dalla crisi fragile del pannello di nodo allo sviluppo della cerniera plastica all'interfaccia trave-nodo in corrispondenza della estremità finale del rinforzo. Il cambio di modalità di crisi da fragile (rottura nodo) a duttile (snervamento della trave in entrambe le direzioni) produce un notevole incremento di energia dissipata (+85%).



REFERENCE:

"Del Vecchio C, Di Ludovico M, Balsamo A, Prota A. 2018. Seismic retrofit of real beam-column joints using Fiber Reinforced Cement (FRC) composites. *ASCE Journal of Structural Engineering* Vol. 144, issue 5, DOI: 10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0001999

Del Vecchio C, Di Ludovico M, Balsamo A, Prota A, Manfredi G, (2017), Innovative solutions for seismic retrofit of existing RC buildings with poor quality concrete. *COST Action TU1207, Next Generation Design Guidelines for Composites in Construction, Proceedings of the End of Action Conference, 3-5 April 2017 Budapest, Hungary, pp. 8*

Test report UNINA - Experimental tests on existing RC members strengthened with thin jacketing of high performance fiber reinforced cement composite, shrinkage-free and high ductility, with stiff steel fibers, namely PLANITOP HPC (Mapei S.p.A.)



Progetto DPC-Reluis “RETE DI LABORATORI UNIVERSITARI DI INGEGNERIA SISMICA” PE 2014-2018

Prove sperimentali su pilastri in c.a., in scala reale, prelevati da edifici danneggiati a seguito di eventi sismici

ANNO: 2016

SEDE: Dipartimento di Strutture per l'Ingegneria e l'Architettura DiSt, Università degli Studi di Napoli Federico II

RESP. SCI.: C. Del Vecchio, M. Di Ludovico, A. Balsamo, A. Prota

SPERIMENTAZIONE: Le attività di prova hanno riguardato due pilastri estratti da un edificio esistente in c.a. realizzato negli anni '60 a L'Aquila e danneggiato del sisma del 2009. Il sistema strutturale a telaio era caratterizzato da proprietà scadenti del calcestruzzo e da dettagli d'armatura tipici degli edifici esistenti progettati prima degli anni '70. Il rinforzo è stato realizzato mediante la rimozione del copriferro per una profondità di circa 40 mm e successivo ripristino con l'applicazione di **PLANITOP HPC** e **FIBRE HPC**.

RISULTATI: I risultati sperimentali evidenziano l'efficacia del sistema di rinforzo realizzato mediante **PLANITOP HPC** e **FIBRE HPC** nel posticipare la crisi a compressione del pilastro ottenendo un incremento di resistenza di circa il 37%. Inoltre il quadro fessurativo finale mostra come il sistema di rinforzo sia riuscito ad impedire il buckling delle barre d'armatura longitudinale verso l'esterno.

REFERENCE:

Test report UNINA - Experimental tests on existing RC members strengthened with thin jacketing of high performance fiber reinforced cement composite, shrinkage-free and high ductility, with stiff steel fibers, namely PLANITOP HPC (Mapei S.p.A.)



Mapei S.p.A.

Prove sperimentali su solai in latero-cemento, in scala reale, con caldana estradossale rinforzata con getto integrativo in HPC



ANNO: 2016

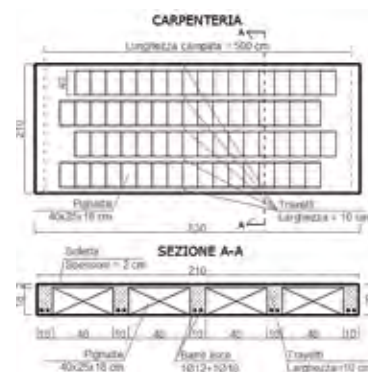
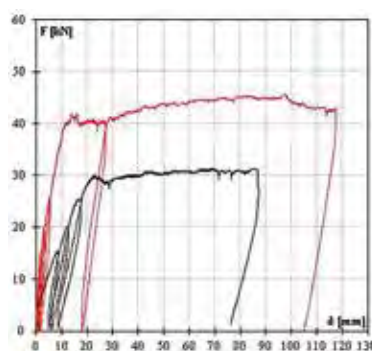
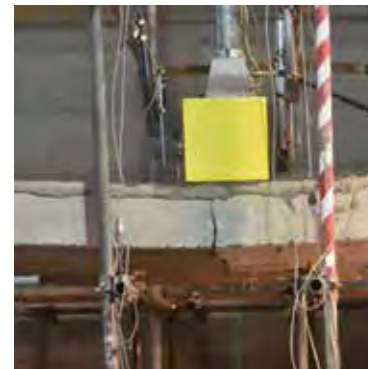
SEDE: Laboratorio La.Sp.ed Tirreno S.r.l – Cava dè Tirreni (SA) – Campagna di prove progettata da Dipartimento di Strutture per l'Ingegneria e l'Architettura DiSt, Università degli Studi di Napoli Federico II

RESP. SCI.: A. Balsamo, G. Morandini, I. Iovinella, G. Maddalonì, A. Prota, M. Di Ludovico

SPERIMENTAZIONE: Sono stati realizzati due campi di solaio gemelli adiacenti in latero-cemento gettati in opera, separati da idoneo giunto, con destinazione d'uso per civile abitazione, rappresentativi di un solaio degli anni '60 - '70 e dimensionati secondo l'approccio alle tensioni ammissibili tipico per l'epoca di costruzione. I solai presentavano una sola campata con luce tra gli appoggi di 5 m ed un'altezza complessiva di 200 mm (180 di blocco in laterizio e 20 mm di caldana estradossale), pari a 1/25 della luce. Un solaio è stato testato dopo aver applicato uno strato integrativo all'estradosso della caldana di **PLANITOP HPC FLOOR** di spessore contenuto (circa 20 mm) su supporto adeguatamente preparato. L'altro solaio è stato testato "as-built".

RISULTATI: Dal confronto fra il solaio non rinforzato e il solaio gemello rinforzato con **PLANITOP HPC FLOOR**, si evince:

- un incremento della resistenza a flessione del solaio pari al 50%;
- un incremento della rigidezza iniziale pari al 220% con conseguente diminuzione della freccia in fase di esercizio;
- un incremento della duttilità pari al 125% con conseguente incremento delle deformazioni plastiche.



REFERENCE:

Test Report UNINA - Prova in scala reale su solaio latero-cementizio gettato in opera rinforzato con getto integrativo all'estradosso della caldana realizzato con malta cementizia monocomponente ad elevatissime fluidità e prestazioni meccaniche a ritiro compensato e ad elevata duttilità denominata Planitop HPC Floor (Mapei S.p.A.)

1.4

MAPEWRAP
EQ SYSTEM

1.4.1

DEFINIZIONE, MATERIALI

E CAMPI DI APPLICAZIONE

Nell'ambito del presidio degli elementi non strutturali, un innovativo sistema di protezione nei confronti delle azioni sismiche è rappresentato da MAPEWRAP EQ SYSTEM. Il sistema si presenta sottoforma di “seismic wallpaper”, una “carta da parati” che permette di aumentare il tempo di evacuazione degli edifici in caso di sisma.

Una delle maggiori criticità negli edifici durante un terremoto, è la difficoltà di evacuare i locali a causa del danneggiamento o del crollo degli elementi secondari (tramezzi, tamponamenti o controsoffitti).

L'applicazione di **MAPEWRAP EQ SYSTEM** migliora la distribuzione delle tensioni indotte dalle sollecitazioni dinamiche delle strutture e riduce la vulnerabilità sismica delle partizioni secondarie, conferendo agli elementi così rinforzati un'elevata duttilità.

Tale sistema permette di migliorare anche le prestazioni dei solai in laterocemento, riducendone il rischio di sfondellamento. L'aumento di tempo utile così ottenuto può risultare fondamentale per permettere a tutte le persone presenti nell'edificio di completare indenni l'evacuazione.

Il rinforzo aderisce perfettamente anche ai supporti intonacati, purché questi risultino solidi e compatti. **MAPEWRAP EQ SYSTEM** può essere applicato sia all'interno sia all'esterno dell'edificio.



Il terremoto dell'Aquila del 2009 ha messo in rilievo l'importanza del rischio del ribaltamento degli elementi non strutturali, quali tamponamenti e tramezze, a causa delle sollecitazioni indotte dal sisma. Per tale problema, benché già noto, si è purtroppo rivelata la necessità di ulteriore attenzione e non a caso proprio le fotografie del sisma dell'Aquila sono diventate tra le più familiari agli addetti ai lavori.

A partire dal 2009 diversi sistemi antiribaltamento sono stati studiati e pubblicizzati, molto spesso prendendo spunto da quello proposto nelle Linee Guida della Protezione Civile pubblicate proprio in seguito al terremoto dell'Aquila.

Come per il ribaltamento semplice delle facciate degli edifici in muratura, il ribaltamento della partizione in laterizio avviene intorno ad una cerniera cilindrica posta alla sua base. Affinché essa risulti stabile anche se soggetta alle sollecitazioni sismiche, è necessario verificare l'equilibrio alla rotazione intorno alla cerniera, considerando l'effetto della forza sismica e della forza esercitata dal sistema di antiribaltamento. Il distacco può avvenire in corrispondenza dell'elemento strutturale o di quello non strutturale, pertanto è necessario verificare quali dei due valori della forza di adesione al supporto risulta minore e quindi da considerare.

**MAPEWRAP EQ SYSTEM
migliora la distribuzione
delle tensioni indotte dalle
sollecitazioni dinamiche
e riduce la vulnerabilità
sismica delle partizioni
secondarie, conferendo
un'elevata duttilità.**

MAPEWRAP EQ NET

MAPEWRAP EQ ADHESIVE

		
Natura chimica	Tessuto bidirezionale in fibra di vetro apprettato per il presidio sismico delle partizioni secondarie degli edifici.	Adesivo monocomponente all'acqua pronto all'uso a base di dispersione poliuretanica a bassissima emissione di sostanze organiche volatili (VOC) per l'impregnazione del tessuto bidirezionale apprettato in fibra di vetro MAPEWRAP EQ NET.

1.4.2 SPERIMENTAZIONE



Progetto ReLUIS/DPC RS8 “capacità sismica di componenti non strutturali”

Prove sperimentali su partizioni in laterizio, in scala reale, soggette a ribaltamento

ANNO: 2016

SEDE: Dipartimento di Strutture per l'Ingegneria e l'Architettura DiSt, Università degli Studi di Napoli Federico II

RESP. SCI.: G. Magliulo, F. Celano, A. Balsamo, A. Prota, G. Morandini, I. Iovinella

SPERIMENTAZIONE: Il setup di prova consiste in:

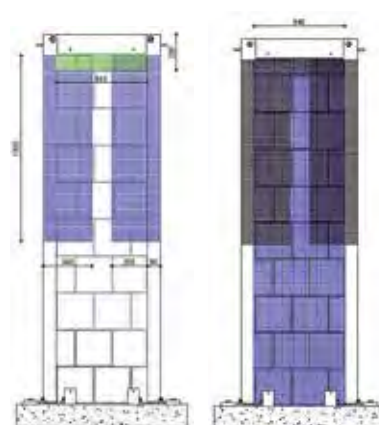
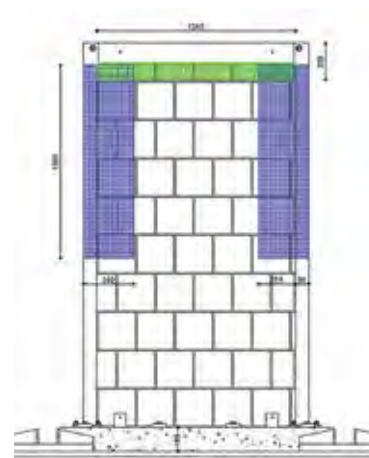
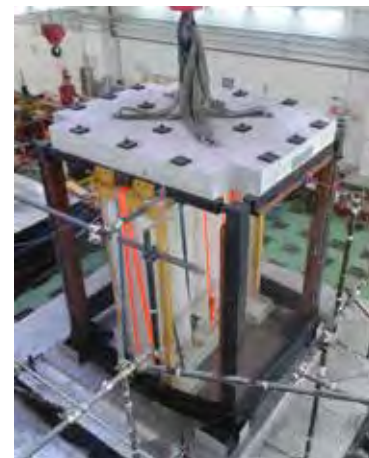
- telaio tridimensionale in acciaio per il trasferimento dell'input sismico al provino;
- provino costituito da partizioni in laterizio forato provvisto di sistema di rinforzo **MAPEWRAP EQ SYSTEM**;
- tavola vibrante per l'esecuzione di dieci prove dinamiche.

RISULTATI: Al termine delle prove della campagna sperimentale non è avvenuto alcun ribaltamento delle pareti, dimostrando l'efficacia del sistema.

REFERENCE:

G.Magliulo, F.Celano, A. Balsamo, A. Prota 2016. Shaking table tests on infill retrofitted with foam and net. Available at <http://www.reluis.it>.

Test report UNINA - Prova dinamica su tramezzature in laterizio forato con rinforzo per anti-ribaltamento e rotture nel piano: MAPEWRAP EQ SYSTEM (Mapei S.p.A.)





Mapei S.p.A.

Prove sperimentali su solaio in latero-cemento, in scala reale, soggetto a sfondellamento

ANNO: 2016

SEDE: Laboratorio La.Sped Tirreno S.r.l. – Cava dè Tirreni (SA) – Campagna di prove progettata da Dipartimento di Strutture per l'Ingegneria e l'Architettura DiSt, Università degli Studi di Napoli Federico II

RESP. SCI.: A. Balsamo, M. Di Ludovico, G. Maddaloni, I. Iovinella, A. Prota, G. Morandini

SPERIMENTAZIONE: Sono state eseguite una serie di prove di carico su un solaio in latero-cemento per civile abitazione, rappresentativo di un solaio esistente degli anni '60 - '70, dimensionato secondo l'approccio alle tensioni ammissibili, simulando un fenomeno di sfondellamento al fine di indagare l'efficacia.

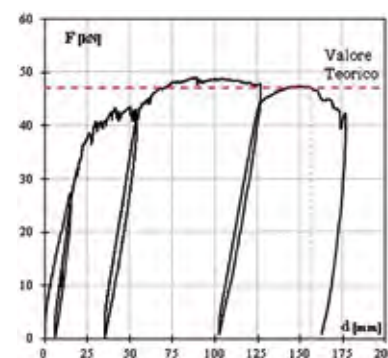
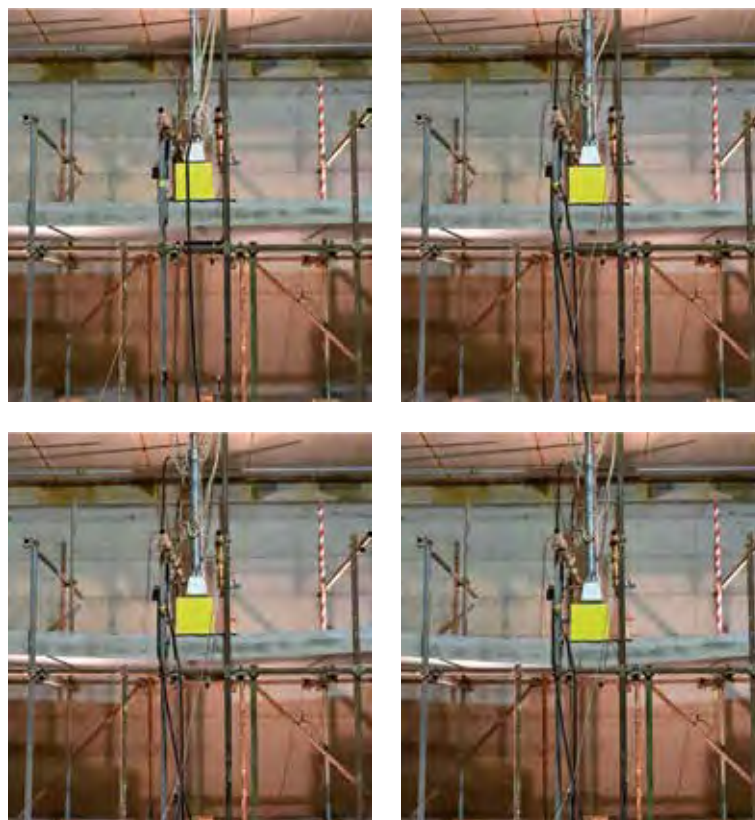
RISULTATI: L'utilizzo di **MAPEWRAP EQ SYSTEM** quale sistema di rinforzo per evitare lo sfondellamento del solaio, ha dimostrato la propria efficacia evitando la caduta dei blocchi in laterizio danneggiati e distaccati a seguito dello stato deformativo del solaio.

REFERENCE:

A. Balsamo, M. Di Ludovico, G. Maddaloni, G. Morandini A. (2016). "A new FRP based technique to restore damaged cast in place rc floors: experimental validation", CICE – 8th International Conference on Fiber Reinforced Polymers (FRP) Composites in Civil Engineering, Hong Kong, Cina, Dicembre 2016

Balsamo A., Di Ludovico M., Maddaloni G., Iovinella I., Prota A. (2016). "Un innovativo sistema anti-sfondellamento per solai in c.a. gettati in opera: validazione sperimentale e caso studio applicativo", Rivista InConcreto n.142

Test report UNINA - Prova in scala reale su solaio latero-cementizio con rinforzo per anti-sfondellamento MAPEWRAP EQ SYSTEM (Mapei S.p.A.)



1.5

SISTEMI
COMPLEMENTARI

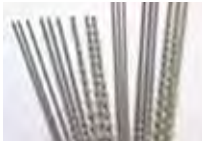
1.5.1

BARRE ELICOIDALI

IN ACCIAIO INOSSIDABILE

MAPEI STEEL BAR e MAPEI STEEL DRY sono barre elicoidali in acciaio inossidabile disponibili nella tipologia AISI 304 e AISI 316 caratterizzate da elevatissima resistenza meccanica e stabilità chimica.

La particolare geometria della barra garantendo una notevole aderenza meccanica permette di realizzare ancoraggi garantendo la massima sicurezza.

	MAPEI STEEL BAR	MAPEI STEEL DRY
		
Materiali	Acciaio INOX AISI 304 o AISI 316	
Diametri	6 mm	6, 8, 10, 12 mm
Lunghezze disponibili	10 m	25, 40, 60, 80, 100 cm
Campi di applicazione	• Stilatura armata di giunti in pareti in muratura faccia a vista. • Interventi di collegamento di pareti in muratura non ammorsate. • Riparazione di lesioni locali.	• Collegamento di maschi murari a doppia fodera (<i>cavity-wall</i>). • Cuciture armate in muri cantonali e a martello. • Riparazione di lesioni su muratura. • Sistema di connessione fra solai in legno e cappa collaborante a basso spessore realizzato con PLANITOP HPC FLOOR T. • Interventi di collegamento di solai in legno alle pareti in muratura.

1.5.2

RESINE DI INGHISAGGIO

La gamma MAPEFIX propone soluzioni mirate per le diverse esigenze di fissaggio, dai carichi leggeri fino alle necessità strutturali più gravose.

L'affidabilità dei prodotti della gamma **MAPEFIX** è confermata dal rispetto delle norme degli Eurocodici e dalle indicazioni dei Technical Report elaborati dall'EOTA, che definiscono le linee guida più severe nel campo dei fissaggi (ETAG 001, TR029, TR023 e ETAG 029).

Mapei mette inoltre a disposizione un software tecnico gratuito, **MAPEFIX SOFTWARE DESIGN**, sviluppato in accordo con le vigenti normative Europee, per il corretto dimensionamento di un fissaggio con l'utilizzo delle resine **MAPEFIX**.



Tecnici e progettisti possono contare sul software gratuito MAPEFIX SOFTWARE DESIGN per il dimensionamento del fissaggio con MAPEFIX.

	MAPEFIX PE WALL	MAPEFIX VE SF	MAPEFIX EP470 SEISMIC
			
Base chimica	Poliestere senza stirene	Vinilestere senza stirene	Epossidica pura
Tempo di inizio presa (+20 °C)	6'	6'	50'
Tempo di indurimento finale (+20 °C)	45'	45'	16 h
Muratura (ETAg 029)	(M8-M12)		
Calcestruzzo (ETA option 1 e 7)		(M12-M30/ ϕ 12- ϕ 32)	(M12-M24)
Certificazione sismica (C1 o C2)		(M12-M30/ ϕ 12- ϕ 32)	(M16-M24)
Fissaggio di barre ad aderenza migliorata per riprese di getto (ETA Rebar)		(ϕ 8- ϕ 25)	(ϕ 8- ϕ 32)
Resistenza al fuoco		(120')	

1.5.3

SISTEMI DI

INIEZIONI IN MURATURA

In generale le iniezioni di boiacca vengono utilizzate per omogeneizzare il comportamento delle murature, saturando le cavità e reintegrando il materiale sciolto.

L'iniezione di boiacca è indicata per riaggregare piccoli inerti, come ad esempio nel riempimento di muri a sacco o in murature in pietrame sbozzato. Per evitare la formazione di zone contigue con diversa rigidità e diversa capacità resistente, l'intervento deve essere eseguito su tutta la parete.



L'iniezione di boiacca risulta molto utile nelle zone interessate dall'applicazione di carichi concentrati e di possibili punzonamenti locali

L'iniezione di boiacca permette inoltre di reintegrare la malta di allettamento originaria, degradata e polverulenta, delle murature, permettendo di regolarizzare le superfici di contatto tra i vari blocchi.

Sia che la muratura sia danneggiata o integra, se la qualità della tessitura muraria è insufficiente a causa della mancanza di adeguate connessioni tra i paramenti, l'iniezione di boiacca deve essere accompagnata da interventi di riconnessione come, ad esempio, l'esecuzione di cuciture.

L'iniezione di boiacca risulta molto utile nelle zone interessate dall'applicazione di carichi concentrati e di possibili punzonamenti locali, come in corrispondenza di appoggi di travi o di capichieve.

I prodotti Mapei appositamente formulati per eseguire iniezioni sono i seguenti:

	MAPE-ANTIQUE I	MAPE-ANTIQUE I-15	MAPE-ANTIQUE F2I	MAPEWALL INIETTA&CONSOLIDA
				
Materiale	Malte fluide a base di calce idraulica naturale ed Eco-Pozzolana (senza cemento)			Malta a base calce
Resistenza a compressione	18 [MPa]	15 [MPa]	10 [MPa]	15 [MPa]

La miscela da iniezione deve presentare un basso tenore di sali idrosolubili e deve essere compatibile fisicamente e chimicamente con i componenti utilizzati nelle murature storiche, con caratteristiche meccaniche similari.

La miscela da iniezione, così formulata, presenta i seguenti vantaggi:

- elevata fluidità con basso rapporto acqua/legante;
- caratteristiche meccaniche comparabili a quelle della struttura muraria, permettendo un comportamento strutturale omogeneo e isotropo della muratura risanata;
- basso tenore di sali idrosolubili;
- alta traspirabilità;
- elevato potere di penetrazione con conseguente saturazione di piccole fessure e cavità;
- assenza di segregazione nell’impasto durante l’iniezione;
- compatibilità chimica con i materiali utilizzati negli edifici storici;
- ridotto ritiro idraulico.

CARBOTUBE SYSTEM è un sistema di barre cave ad aderenza migliorata, in fibre di carbonio, preformate con resina epossidica, ad alta resistenza a trazione, per il rinforzo strutturale di elementi in calcestruzzo, legno e muratura, impiegabili anche in abbinamento alle iniezioni di boiacche fluide per realizzare cuciture armate nella muratura.

	CARBOTUBE Barre cave in fibra di carbonio
	
Modulo elastico a trazione	170 GPa
Diametri	est. 10 mm; int. 8 mm

1.5.4

MAPEWRAP

FIOCCO

Corde in fibre unidirezionali

I prodotti denominati **MAPEWRAP FIOCCO** sono corde in fibre unidirezionali di carbonio, vetro, basalto o acciaio ad alta resistenza da impregnare con resina epossidica bicomponente superfluida (tipo **MAPEWRAP 21** o **MAPEWRAP 31**).

	MAPEWRAP C FIOCCO	MAPEWRAP B FIOCCO	MAPEWRAP G FIOCCO	MAPEWRAP SG FIOCCO
				
Materiale	Carbonio	Basalto	Vetro	Acciaio
Diametri	6, 8, 10, 12 [mm]	3, 10, 12 [mm]	6, 8, 10, 12 [mm]	5, 10 [mm]
Resistenza a trazione	4830 [MPa]	3101 [MPa]	2560 [MPa]	2086 [MPa]
Campi di applicazione	 Sistema di connessione che può essere utilizzato in combinazione con i sistemi MAPEWRAP SYSTEM, CARBOPLATE SYSTEM e FRCC System			

1.5.5

MAPEWRAP

CONNECTOR

I **MAPEWRAP CONNECTOR** sono connettori preformati costituiti da un gambo rigido e da un'estremità libera non impregnata da “sfioccare” all'esterno.

MAPEWRAP FIOCCO e **MAPEWRAP CONNECTOR** possono essere utilizzati in abbinamento ai tessuti della gamma **MAPEWRAP**, alle lamine **CARBOPLATE** e ai i sistemi di rinforzo realizzati con le reti della gamma **MAPEGRID**, per migliorarne l'ancoraggio, in particolare negli interventi di rinforzo a flessione e a taglio.

A differenza di **MAPEWRAP FIOCCO**, il gambo rigido dei **MAPEWRAP**

CONNECTOR è già preformato e non ha bisogno di essere impregnato il giorno precedente. Questa tipologia di connettore risulta quindi di più facile e rapida applicazione rispetto a **MAPEWRAP FIOCCO** ma, di contro, presenta lunghezze fisse e non modificabili.

MAPEWRAP FIOCCO può invece essere formato in opera con lunghezza, sia del gambo sia dello sfiocco, a piacere.

MAPEWRAP C CONNECTOR

MAPEWRAP G CONNECTOR

		
Materiale	Carbonio	Vetro
Diametri	6, 8, 10 [mm]	10 [mm]

1.5.6 SPERIMENTAZIONE



Progetto PROVACI (Tecnologie per la PROtezione sismica e la VALorizzazione di Complessi di Interesse culturale) DISTRETTO STRESS *Campagna sperimentale su cantonale in muratura in scala reale*

ANNO: 2015

SEDE: Dipartimento di Strutture per l'Ingegneria e l'Architettura DiSt, Università degli Studi di Napoli Federico II

RESP. SCI.: Balsamo A., Di Ludovico M., Prota A., Maddaloni G., Iuliano N.

SPERIMENTAZIONE: Le prove sono state eseguite su un elemento in scala reale rappresentativo di un martello murario al piano terra di un edificio a due piani in muratura di tufo, realizzato con ridotta ammortatura tra le pareti mutuamente ortogonali. Il provino, a seguito del danno, rappresentativo di un meccanismo di ribaltamento semplice fuori piano con la formazione di un cuneo di trascinamento nel muro di spina, è stato riparato e consolidato adottando le tecniche tradizionali (iniezioni delle lesioni con malta a base di calce ed Eco-Pozzolana, esente da cemento molto fluida - **MAPE-ANTIQUÉ F21**) e successivamente rinforzato con la tecnica delle cuciture armate, sostituendo le "classiche" barre metalliche con un sistema innovativo costituito da tubi pultrusi cavi in fibra di carbonio (**CARBOTUBE**) dotati di protesi aggiuntiva realizzata con trefoli in acciaio inox, ricavati da tessuto unidirezionale (**MAPEWRAP S FABRIC**), disposti longitudinalmente e a spirale, al fine di migliorarne la resistenza al tranciamento e l'ingranamento con la malta da iniezione, quest'ultima costituita da boiaccia superfluida a base di leganti idraulici naturali e sabbie ultrafini (**MAPE-ANTIQUÉ I**).

RISULTATI: La tecnica di rinforzo innovativa ha consentito un significativo incremento di resistenza riducendo la connessione tra i due muri ortogonali.



Ciò ha consentito al martello rinforzato di dissipare una maggiore energia rispetto al campione non rinforzato, senza modificarne in maniera sostanziale la rigidità iniziale, scongiurando un meccanismo di ribaltamento osservato nel provino non rinforzato.

REFERENCE:

Maddaloni G., Di Ludovico M., Balsamo A., Prota A. (2016), "Out-of-plane experimental behaviour of T-shaped full scale masonry wall strengthened with composite connections", *Composites Part B* 93 (2016) 328 e 343

Balsamo A., Di Ludovico M., Morandini G., Maddaloni G., (2016) "Comportamento sperimentale fuori piano di un martello murario in scala reale rinforzato con sistema in composito", *REHABEND 2016 Euro-American Congress on Construction Pathology, Rehabilitation Technology and Heritage Management*, Burgos, Spagna, Maggio 2016

Maddaloni G., Balsamo A., Di Ludovico M., Prota A., (2016). "Out of plane experimental behavior of T-shaped full scale masonry orthogonal walls strengthened with innovative composite systems", *4th International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies*, Las Vegas, Nevada, USA, Agosto 2016

Balsamo A., Di Ludovico M., Iuliano N., Maddaloni G., Prota A., (2015) "Analisi sperimentale sul comportamento fuori piano di martelli murari in scala reale", *XVI Convegno Anidis 2015*, L'Aquila, Italia, Settembre 2015

**RINFORZO
STRUTTURALE**

