

Intervento di miglioramento sismico di un edificio in c.a. a Coppito (AQ) classificato con esito E a seguito del sisma del 06.04.2009

Raffaele Bergamante¹, Pierluigi De Donato¹, Pierluigi Manetta¹, Stefano Maringoni² ■



Progetto/Nome dell'opera:

Miglioramento sismico edificio residenziale

Ubicazione:

Coppito (AQ)

Progettisti/Direzione lavori:

Studio Ing. Bergamante, Ing. De Donato, Ing. Manetta

Tecnologia U.H.P.F.R.C.C.:

Tecnochem Italiana S.p.A.

Anno completamento lavori:

2011

In questa scheda sono riassunte le caratteristiche peculiari dell'intervento di miglioramento sismico realizzato con tecnologia Ultra High Performance Fiber Reinforced Cementitious Composites (d'ora in avanti abbreviata in U.H.P.F.R.C.C.), descritta in varie pubblicazioni e congressi (Martinola et al., 2010; Mostosi et al., 2011; Maringoni et al., 2012; Rosignoli et al., 2010; Rosignoli et al., 2012).

L'edificio su cui è stato effettuato l'intervento, nella sua configurazione iniziale, si sviluppava su cinque livelli, oltre al sottotetto, ed aveva dimensioni in pianta di 24.5 x 12.6 m ed altezza pari a circa 19.00 m. Tale fabbricato era in adiacenza con un altro edificio di pari altezza e diviso strutturalmente da quest'ultimo da un giunto strutturale. Le fondazioni erano di tipo dirette superficiali, in particolare costituite da travi a sezione quadrata 70 x 70 cm intestatesi mediamente a -0.90 m dal piano campagna attuale.

Il progetto ha seguito la filiera prevista per il post-sisma aquilano composta da ReLUIS, FINTECNA, Comune e Genio Civile della provincia de L'Aquila. La struttura risultava particolarmente danneggiata in corrispondenza dei nodi trave-pilastro del primo impalcato (Figura 1) e le analisi strutturali svolte ante operam hanno evidenziato che il livello di sicurezza era pari al 20% di quello

¹ Studio Ing. Bergamante, Ing. De Donato, Ing. Manetta; Teramo
✉ pierluigi.dedonato@ingte.it

² Ufficio Assistenza Promozione Progettuale, Tecnochem Italiana Spa
✉ stefano.maringoni@tecnochem.it

corrispondente ad una struttura adeguata ai sensi della normativa vigente (CEN, 2005a, 2005b).

L'intervento progettuale di miglioramento sismico, pertanto, è stato finalizzato alla determinazione dell'entità massima delle azioni, considerate nelle combinazioni di progetto previste dalla normativa, cui la struttura poteva resistere con il grado di sicurezza pari al 60% dell'adeguamento sismico. Esso ha riguardato la struttura sia nel suo insieme, sia i singoli possibili meccanismi locali, allo scopo di cercare di migliorarne il comportamento globale.

In aggiunta, ai fini di una corretta e coerente determinazione della sicurezza e delle prestazioni della struttura sono state valutate e curate, oltre alla riparazione dei danni presenti, le carenze dovute ad errori grossolani di progettazione e di costruzione ed in particolare quelli relativi al sottodimensionamento delle strutture di fondazione; per questo motivo è stata appositamente realizzata una platea di fondazione di spessore pari a 70 cm, ridistribuendo opportunamente sul terreno, in questo modo, le tensioni provenienti dalla struttura sovrastante.

Oltre alle problematiche relative alle fondazioni, sono stati riscontrati quantitativi di armature in travi e pilastri inferiori ai limiti di norma e una resistenza media del calcestruzzo di circa 16-20 MPa. La scelta progettuale dell'incamiciatura in U.H.P.F.R.C.C. per il miglioramento sismico è stata finalizzata all'attivazione in maniera diffusa su tutta la costruzione di meccanismi duttili con la conseguente plasticizzazione delle sezioni senza comportare il collasso della struttura. L'incamiciatura è stata realizzata mediante micro calcestruzzo fibro-rinforzato (Tecnochem, 2012), consentendo di realizzare un rinforzo omogeneo e garantendo un opportuno effetto di confinamento oltre che un incremento della resistenza flessionale ed a taglio degli elementi strutturali, migliorando contemporaneamente la durabilità della struttura grazie alle prestazioni della matrice del micro calcestruzzo stesso.

Per la valutazione dello stato di sicurezza ante-operam è stato costruito un modello ad elementi finiti tenendo conto dei risultati forniti dalle indagini diagnostiche in situ in merito a geometria degli elementi strutturali e caratteristiche meccaniche di acciaio e calcestruzzo. Una volta sviluppata l'analisi strutturale si sono estrapolate le azioni sollecitanti di momento flettente, taglio, azione assiale e gli spostamenti per i diversi modi di vibrare associati al comportamento della struttura (Figura 2). Le verifiche strutturali eseguite hanno evidenziato, come già espresso precedentemente, alcune situazioni critiche associate ad un livello di sicurezza pari al 20% dell'adeguamento sismico.

Il progetto post-operam parte invece da un'analisi strutturale che prevede di identificare il momento

di inerzia della sezione rinforzata tenendo in considerazione i diversi moduli elastici dei materiali. Si sono definite quindi le nuove geometrie e si è inserita la platea prevista in fondazione per il progetto di miglioramento sismico. Una volta sviluppata l'analisi strutturale si sono estrapolate ancora una volta le azioni sollecitanti in termini di momento flettente, taglio, azione assiale e spostamenti per i principali modi di vibrare associati questa volta alla struttura rinforzata (Figura 3).

Le verifiche strutturali sono state eseguite considerando il contributo del micro-calcestruzzo sia in termini di compressione che di trazione secondo un modello di calcolo che prevede di sommare alla resistenza della sezione esistente il contributo della camicia di rinforzo nell'ipotesi di calcolo di perfetta aderenza tra i materiali, comprovata da risultati sperimentali. L'andamento delle tensioni di trazione nel materiale U.H.P.F.R.C.C. è ipotizzato costante lungo la zona tesa, in accordo con i documenti tecnici del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR, 2006); per le sollecitazioni di compressione è stata assunta la classica ipotesi di "stress-block" (Figura 4).

Per maggiore dettaglio, le caratteristiche meccaniche del micro-calcestruzzo fibrorinforzato utilizzato sono riassunte nella Figura 5.

Dai calcoli sviluppati, appare evidente il notevole incremento di resistenza dovuto all'intervento di rinforzo (Figura 6). In particolare, il miglioramento sismico al 60% porta ad un incremento notevole delle sollecitazioni nelle travi, come si può notare dai diagrammi di Figura 7. La stima del momento resistente delle travi incamiciate è stata fatta seguendo le stesse ipotesi di calcolo utilizzate per i pilastri ed applicando uno spessore di 4 cm. Tale modello di calcolo nasce da differenti esperienze sperimentali (Tecnochem, 2012), in particolare relativamente a tests di flessione e taglio. L'incamiciatura di 4 cm realizzata con la tecnologia sviluppata consente di incrementare notevolmente la capacità portante dell'elemento strutturale (mediamente del 100%), garantendo allo stato limite di esercizio una riduzione della freccia di circa 14 volte rispetto all'elemento strutturale non rinforzato (Figura 8).

L'applicazione dell'incamiciatura ha previsto dapprima la preparazione dei supporti, utile a garantire una perfetta aderenza tra il calcestruzzo esistente e il micro calcestruzzo di rinforzo, il successivo lavaggio e saturazione dei supporti con acqua, la cassetatura e il getto del microcalcestruzzo fibrorinforzato e da ultimo la protezione dei getti con telo in P.E. dopo scassetatura. La sequenza delle fasi di cantiere è descritta nelle immagini da 9 a 16 riportate nel seguito. In particolare, nelle figure 15 e 16 è mostrato un confronto tra la configurazione iniziale della struttura danneggiata e quella finale, a intervento ultimato.

Bibliografia

CEN (2005a) EN 1992 - Eurocode 2 - Design of Concrete Structures - Part 1-1: General Rules and Rules for Buildings, European Committee for Standardization, Brussels.

CEN (2005b) - EN 1998 - Eurocode 8 - Design of structures for earthquake resistance - Part 1: General rules, seismic actions and rules for building, European Committee for Standardization, Brussels.

CNR-DT 204 (2006) - Guidelines for the Design and Construction of Fibre-Reinforced Concrete Structures, Italian National Research Council, 62 pp.

Martinola G., Meda A., Pizzari G.A., Rinaldi Z. (2010) - Strengthening and Repair of R/C Beams with Fibre Reinforced Concrete, Cement and Concrete Composites, v. 32, n. 9, pp. 731-739.

Maringoni S., Meda A., Mostosi S., Riva P. (2012) - Strengthening of Reinforced Concrete Members by Means of High Performance Concrete, Twelfth International Conference On Recent Advances In Concrete Technology And Sustainability Issues

Canmet, Aci Conferences, Prague 2012.

Mostosi S., Meda A., Riva P., Maringoni S. (2011) - Shear Strengthening of R/C Beams with High Performance Jacket, *fib Symposium, Concrete Engineering for Excellence and Efficiency*, Prague 2011.

Rosignoli D., Maringoni S., Meda A. (2010) - Repair and Strengthening of Reinforced Concrete Columns and Beams, ICRI – International Concrete Repair Institute 2010 Fall Convention - Transportation Structures, Pittsburgh, Pennsylvania.

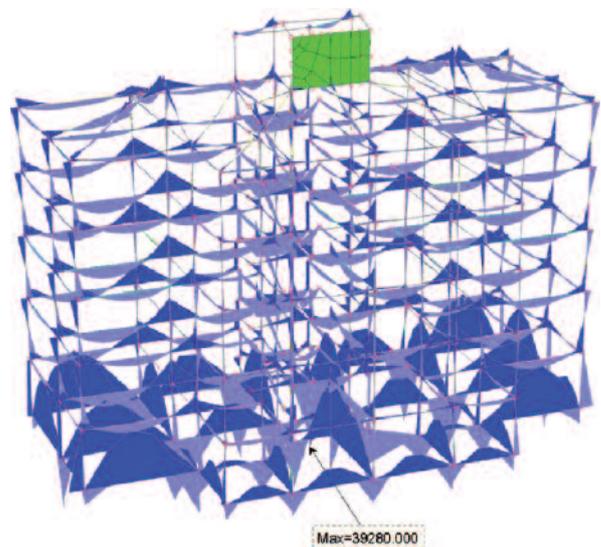
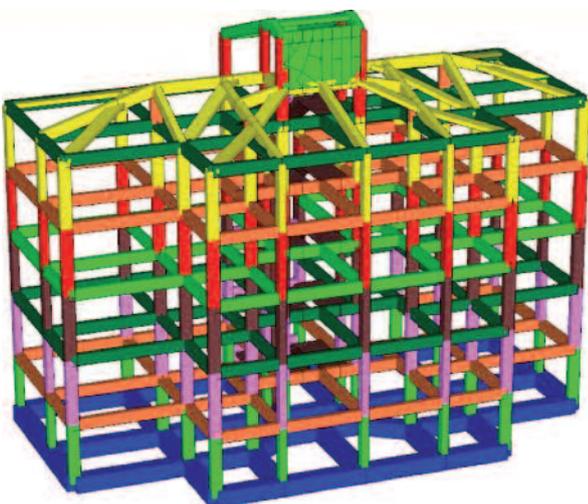
Rosignoli D., Simonelli F., Rosignoli R., Meda A. (2012) - High Performance Fiber Reinforced Concrete Jacketing in a Seismic Retrofitting Application, I.C.R.I Bulletin - International Concrete Repair Institute, Illinois USA - Progetto, sperimentazione ed esecuzione per il rinforzo strutturale ed adeguamento sismico di edificio scolastico in Zagarolo (Roma).

Tecnochem (2012) - Scheda tecnica REFOR-Tec, <http://www.tecnochem.it/images/loghetti-corpo/fascicoli/Refortec.pdf>.



Figura 1
Diverse tipologie di fessure rilevate in corrispondenza dei nodi trave-pilastro.

Figura 2
Schema strutturale condominio G4 ante-operam (a sinistra) e distribuzione dei momenti flettenti associati (a destra).



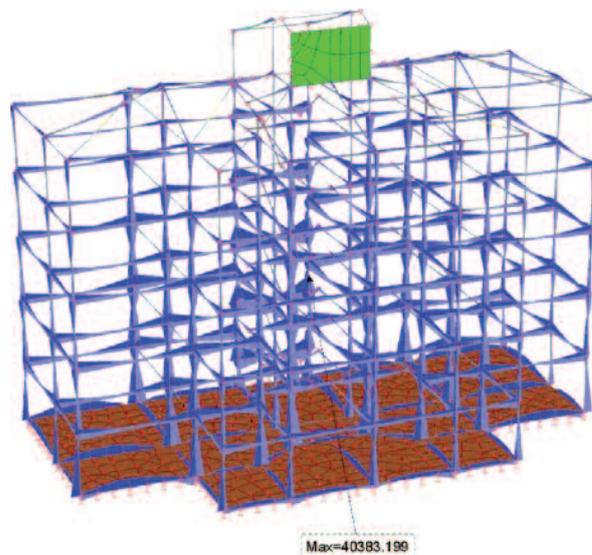
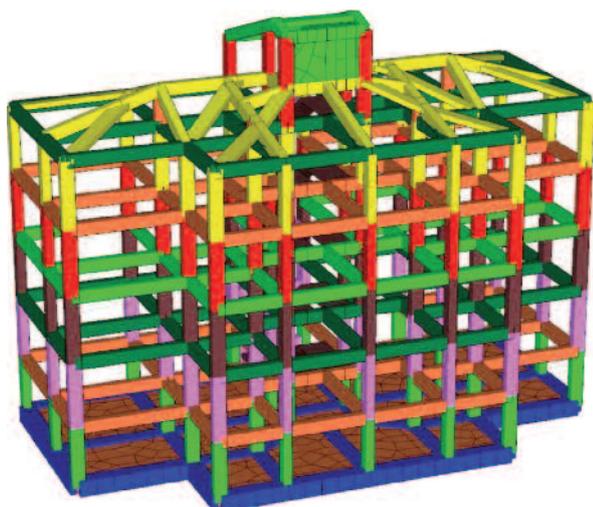


Figura 3
Schema strutturale
condominio G4 post-
operam (a sinistra) e
distribuzione dei momenti
flettenti associati (a destra).

Figura 4
Stress block nel calcestruzzo
e nel materiale
U.H.P.F.R.C.C.

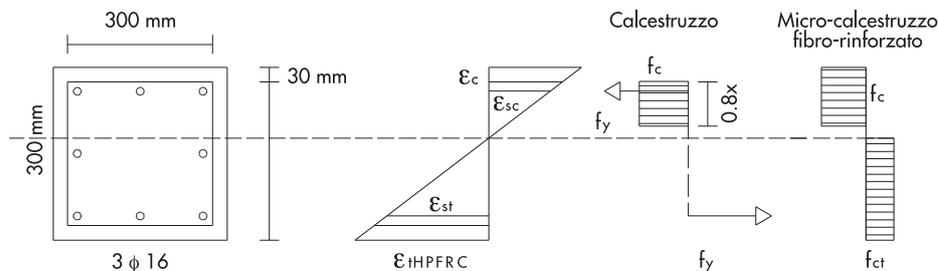


Figura 5
Caratteristiche del micro
calcestruzzo fibrorinforzato.

• Tempo di lavorabilità	≥ 1 h
• Pedonabilità	12 h a 20 °C
• Agibilità a traffico leggero	24 h a 20 °C
• Agibilità con massime sollecitazioni	3 gg. a 20 °C
• Densità	2450 Kg/m ³
• Resistenza alla compressione 1 gg**	48 MPa
• Resistenza alla compressione 28 gg**	130 MPa
• Resistenza alla trazione 28 gg***	8.5 MPa
• Resistenza alla flessotrazione 28 gg**	32 MPa
• Resistenza al taglio	16 MPa
• Modulo Elastico	38 GPa
• Energia di frattura	32500 N/m
• Ritiro endogeno	< 0.05 %
• Profondità di carbonatazione	0
Impermeabilità all'acqua EN 12390-8 5 bar x 3 gg.	< 2 mm
Resistenza ai cicli di gelo/disgelo in presenza di Sali cloruri secondo SIA 162 normativa svizzera: (dopo 28 cicli ≤ 600 gr/m ² corrisponde a ottima resistenza per applicazioni autostradali)	≤100 gr/m ²
Ritiro / espansione in fase libera (T = 20° U.R. = 50%) (UNI EN 1217-4 / UNI 6687-73)	± 10 μ/m a 90 giorni
Adesione al supporto (EN 1504 – 3)	>3 MPa a 28 giorni (rottura supporto)
Resistenza all'impatto (CSTB 3232)	Nessuna fessurazione dopo 25 impatti
Durezza superficiale (EN 13892-6)	≥ 150 N/mm ²
Durezza Shore (ISO 868)	D ≥ 75
Prova di penetrazione della piastra (EN 12697-21)	I < 0.1 mm
Resistenza all'usura per rullatura (XP P 11-101)	Δv _r ≤ 2 cm ³
Resistenza all'abrasione profonda (EN 102)	15 mm ³
Resistenza ai solfati UNI EN 196/1 ed ASTM C 88 (successione di 15 immersioni ed essiccazioni in soluzione di solfato di magnesio)	Nessun degrado
Resistenza agli agenti chimici (tempo di contatto di 24 ore)	Perdita di massa < 0.10%
	Nessuna alterazione della superficie con soda caustica, ammine, metanolo, tricloroetilene, benzina, olio motore, liquido freni.
Nota**: valori ottenuti con il dosaggio di liquido 11% su provini 4x4x16 cm (secondo UNI EN 1504-3)	
Nota***: valori ottenuti da prove eseguite su provini 10x10x50 cm *Resistenza a trazione indiretta	

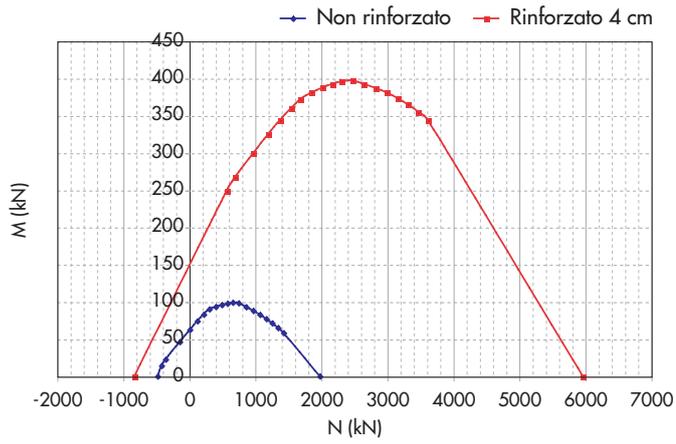


Figura 6
Confronto dei domini M-N di un pilastro non rinforzato (curva blu) e rinforzato con incamiciatura di 4 cm (curva rossa) (a destra).

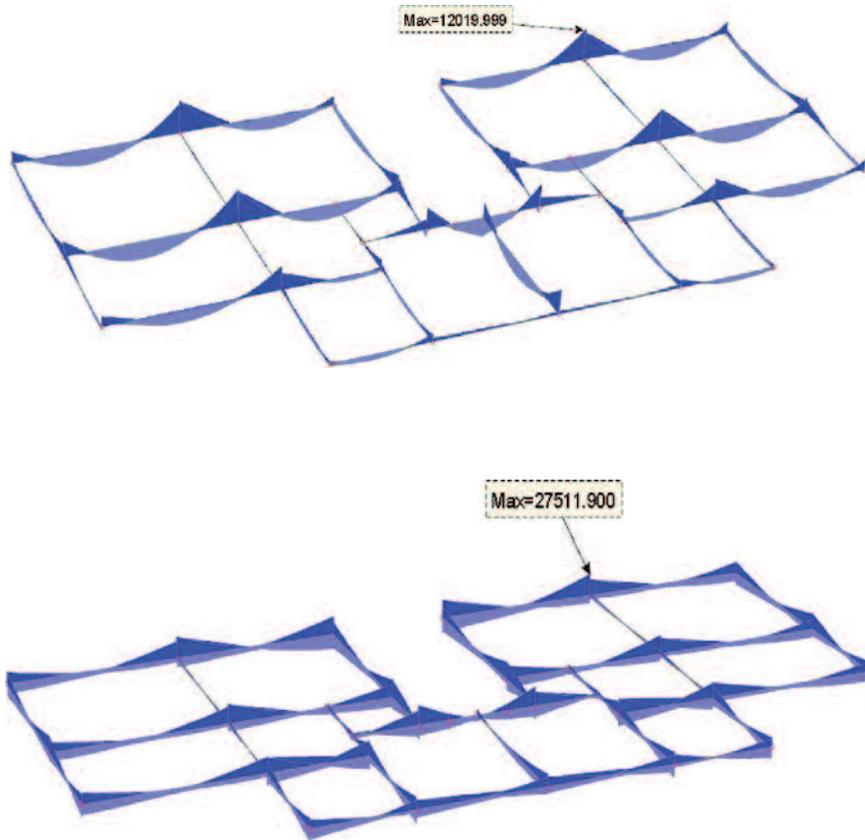


Figura 7
Momenti flettenti nelle travi di primo impalcato ante-operam (a sinistra) e post-operam (a destra).

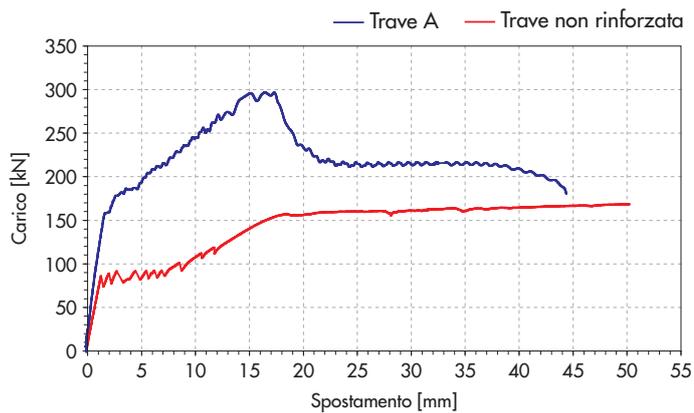


Figura 8
Comportamento strutturale a flessione di una trave con incamiciatura di spessore 4 cm (curva blu) confrontata con quello della stessa trave non rinforzata (curva viola).

Figura 9
Fase 1 - Preparazione e saturazione del supporto in calcestruzzo.



Figura 10
Fase 2 - Getto del pilastro prima parte.



Figura 11
Fase 3 - Protezione con telo in PE dopo scasseratura.



Figura 12
Fase 4 - Completamento cassetteria pilastri e travi con collaggio del micro calcestruzzo fibro-rinforzato dal piano superiore.



Figura 13
Fase 5 - Getto a maturazione avvenuta.



Figura 14
Facciavista dell'intradosso di trave rinforzata con incamiciatura di micro calcestruzzo rinforzato a contatto con casseri di legno.



Figura 15
Condominio G4, via Belfi, località Coppito, prima dell'intervento di adeguamento sismico.



Figura 16
Condominio G4, via Belfi, località Coppito, ad intervento di adeguamento ultimato.

