

VALUTAZIONE SPERIMENTALE DELL'EFFICACIA DEL RINFORZO CAM SU TRAVI IN CEMENTO ARMATO

**Piero Colajanni¹, Natale Maugeri², Antonino Recupero², Nino Spinella², Mauro Cilia³,
Ines Cipolla³, Roberto Marnetto⁴**

1 Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale, Aerospaziale e dei Materiali, Università di Palermo

2 Dipartimento di Ingegneria Civile, Informatica, Edile, Ambientale e Matematica Applicata, Università di Messina

3 Chimetec Sas, ABI Srl, Ragusa

4 EDIL CAM Sistemi Srl, Roma

SOMMARIO

Il sistema di rinforzo CAM (Cucitura Attiva dei Manufatti) si basa sull'impiego di nastri in acciaio presollecitati, capaci di costituire armatura aggiuntiva e di indurre un effetto confinante nell'elemento strutturale da rinforzare. Inizialmente, il sistema di rinforzo CAM è stato pensato con lo scopo di incrementare la resistenza e la duttilità di elementi in muratura, trovando in tale ambito un'ampia diffusione grazie ai notevoli, e per certi aspetti anche sorprendenti, prestazioni ottenute. Proprio gli ottimi risultati ottenuti nel rinforzo di elementi in muratura di diverse tipologie, hanno incoraggiato la successiva applicazione del sistema di rinforzo CAM anche per elementi strutturali in cemento armato, finalizzata all'adeguamento di edifici esistenti; il sistema si presta particolarmente all'adeguamento di edifici realizzati prima che le stringenti normative sismiche venissero definitivamente adottate nel nostro paese.

Nel presente lavoro sono presentati i risultati sperimentali di test realizzati presso il Laboratorio Materiali e Strutture dell'Università di Messina su quindici travi in cemento armato. Gli elementi di prova sono stati progettati in modo da riprodurre nel maniera più fedele possibile le reali condizioni di travi di edifici esistenti con alta vulnerabilità nei confronti delle azioni sismiche. In dettaglio, i campioni sono stati confezionati con un calcestruzzo a bassa resistenza. Gli elementi sono stati divisi in due gruppi: un primo gruppo di sei travi è stato dotato di insufficiente armatura longitudinale, in modo da indurre, nei campioni non rinforzati, una crisi per flessione; un secondo gruppo di nove travi fortemente armate a flessione, ha staffe rade e di piccolo diametro, in modo da indurre la crisi, nei campioni non rinforzati, per taglio. I risultati ottenuti sono analizzati criticamente, evidenziando le capacità del sistema di rinforzo CAM nell'incrementare la resistenza e la duttilità delle travi in cemento armato.

EXPERIMENTAL EVALUATION OF EFFECTIVENESS OF CAM REINFORCEMENT FOR RC BEAMS

SUMMARY

The CAM (Active Confinement of Manufacts or Masonry) reinforcement system is based on the use of pre-stressed steel ribbons, which can play the role of adjunctive reinforcement as well as induce a confinement effect in the structural element. Initially, the CAM reinforcement system has been designed in order to increase the strength and ductility of masonry elements, finding a wide spread in this area thanks to the remarkable efficiency. The excellent results obtained in the reinforcement of various masonry elements, have encouraged the subsequent application of the CAM reinforcement system for the concrete buildings also, especially those built before the stringent seismic codes were adopted in our country.

In this paper, the experimental results obtained from tests carried out at the Laboratory of Materials and Structures, Università di Messina on fifteen reinforced concrete beams are presented. The specimens were been designed so as to reproduce as closely as possible the real conditions of the beams forming part of the structural skeleton of buildings with high vulnerability to seismic actions. In detail, specimens were cast with low strength concrete, and the structural elements were divided into two groups: a first group of six beams with deficient in longitudinal reinforcement, so as to induce in the unreinforced specimens a collapse for bending moment; and a second group of nine beams strongly reinforced in flexure and poorly reinforced in shear, so as to induce in the unreinforced specimens the collapse for shear. The results are critically analyzed, highlighting the ability of the CAM reinforcement system in increasing the strength and ductility of RC beams.

1. INTRODUZIONE

Gli edifici in cemento armato (CA) esistenti, e in particolare quelli costruiti negli anni '60-'70, presentano notevoli carenze strutturali, legate principalmente alla scarsa qualità dei calcestruzzi e ad un'insufficiente quantitativo di armature longitudinali e/o trasversali. Tali carenze si traducono spesso in capacità di resistenza e duttilità inadeguate alle funzioni che i singoli elementi strutturali debbono svolgere, specialmente in presenza di azioni dovute ad eventi eccezionali come quelle sismiche.

In tale scenario, è oggi impossibile prescindere dall'intervenire sugli elementi strutturali in CA al fine di adeguarne o quantomeno migliorarne le capacità prestazionali in termini di resistenza e duttilità.

Gli interventi sulle travi in CA per incrementare resistenza e duttilità perseguono il loro scopo attraverso un incremento dell'armatura longitudinale e/o trasversale, il quale può essere ottenuto con diverse tecnologie fra le quali le più comuni sono: tassellatura meccanica o incollaggio di lastre in acciaio (*beton plaqué*); incollaggio di fibre di carbonio (CFRP) mediante resina epossidica [1,2] o fibre in PBO (poliparafenilenbenzobisoxazolo) mediante malta cementizia (FRCM) [3,4] sulla superficie dell'elemento. Ciascuno di questi sistemi presenta caratteristiche diverse in termini di efficacia, costi e difficoltà esecutive, che si differenziano anche in relazione alla forma della sezione dell'elemento da rinforzare. In generale, l'impiego di lastre in acciaio dal peso specifico elevato è condizionato da una difficoltà nel trasporto legata anche alle loro dimensioni, nonché alla necessità di apparecchiature per il loro posizionamento e puntello. L'incollaggio delle fibre di carbonio richiede una certa manualità e precisione, inoltre l'efficacia dell'intervento è condizionata dalla scarsa resistenza al fuoco.

Nel presente lavoro, si presentano i risultati sperimentali ottenuti mediante prove su travi in CA rinforzate a flessione o taglio mediante il sistema CAM. Tale campagna sperimentale è parte del progetto di ricerca In.CAM.M.I.N.O., incentrato sulla valutazione dell'efficacia del sistema di rinforzo CAM su elementi a piena scala in muratura ed elementi in CA in zona sismica.

2. IL SISTEMA CAM PER IL RINFORZO DI TRAVI IN CA

Il sistema CAM è realizzato con nastri in acciaio, di spessore 0.8-1.0 mm e larghezza di 18-20 mm ed elementi in acciaio frapposti tra il manufatto e i nastri, (angolari, piastre imbutite) (Fig. 1). Nelle applicazioni alle travi in CA i nastri vengono utilizzati come armatura aggiuntiva e di confinamento attraverso cerchiatura delle travi, richiudendo il singolo nastro ad anello sopra o sotto solaio, mediante una macchina capace di imprimere una pretensione regolabile al nastro, e dunque un leggero confinamento nella trave. Il sistema comprende altresì due angolari in acciaio bugnati, collegati agli spigoli dell'intradosso della trave per mezzo di malta. Angolari continui, resi solidali attraverso la malta di collegamento e l'attrito generato dal pretensionamento dei nastri, consentono sia di aumentare la capacità flessionale della trave che di ridurre gli attriti durante la messa in tensione dei nastri. I nastri in acciaio hanno la principale funzione di incrementare la resistenza a taglio della trave inducono un leggero confinamento del calcestruzzo e, come accennato

incrementano l'efficacia del collegamento degli angolari con la trave,

I ridotti spessori e la flessibilità dei nastri di acciaio rendono agevole la loro posa in opera anche in spazi ristretti, minimizzando le demolizioni delle parti non strutturali a contatto con le travi (tamponature e tramezzature). Inoltre, quando i nastri in acciaio non possono cerchiare l'intera trave, ad esempio per la presenza di solette, essi vengono fatti passare in fori di limitato diametro preventivamente realizzati all'intradosso del solaio.



Figura 1 – Elementi in acciaio del sistema di rinforzo CAM: a) piastre imbutite; b) angolari; c) nastri

3. DESCRIZIONE DELLA CAMPAGNA SPERIMENTALE

3.1 Materiali impiegati e geometria dei provini

L'indagine sperimentale effettuata, finalizzata a valutare gli incrementi di duttilità e resistenza di travi in CA rinforzate a flessione e/o taglio con sistema CAM e sottoposte a trasversali prove di carico trasversale su quattro o tre punti, ha riguardato 15 provini realizzati con calcestruzzo di bassa resistenza ($f_{cm} \sim 11$ MPa), scelto per riprodurre le condizioni tipiche delle costruzioni in CA realizzate in Italia negli anni '60-'70.

Sono state progettate e realizzate due differenti tipologie di provini (Fig. 2a,b): 1) 6 travi aventi sezione trasversale 150×250 mm e lunghezza di 3250 mm, con armatura longitudinale formata da 2 ϕ 12 e staffe ϕ 6/100 mm; 2) 9 travi aventi sezione trasversale 150×350 mm e lunghezza di

1450 mm, con armatura longitudinale formata da 3 ϕ 18 e staffe ϕ 6/200 mm. L'acciaio utilizzato per le armature è del tipo B450C.

La prima tipologia, indicata con il codice FX, è stata progettata per indurre una rottura a flessione e lo schema di prova è quello a quattro punti con luce di taglio pari a 1000 mm; la seconda tipologia, indicata con il codice TG, è stata progettata per indurre una rottura a taglio e lo schema di prova è quello di carico su tre punti con luce di taglio pari a 650 mm (Tab. 1).

Per la tipologia FX, sono state realizzate due travi per ciascuno degli schemi che si è scelto di considerare: a) schema che non prevede alcun rinforzo (FX-NR); c) schema di rinforzo con angolari continui e tre nastri sovrapposti disposti con passo 100 mm (FX-3N-P10); e) schema di rinforzo con angolari continui e tre nastri sovrapposti disposti con passo 200 mm (FX-3N-P20) (Fig. 2a,c,e).

Per la tipologia TG, sono state realizzate tre travi per ciascuno degli schemi: b) schema che non prevede alcun rinforzo (TG-NR); d) schema con rinforzo realizzato con tre nastri sovrapposti disposti con passo 200 mm e parzialmente lungo l'altezza della sezione trasversale, in modo da simulare la condizione comune di trave sotto solaio (FX-P-3N-P20); f) schema di rinforzo con tre nastri sovrapposti disposti con passo 200 mm e lungo l'intera altezza della sezione trasversale (FX-T-3N-P20) (Fig. 2b,d,f).

Gli angolari impiegati hanno dimensioni 40×40×4 mm e l'acciaio è del tipo S235. I nastri utilizzati hanno larghezza pari a 19 mm e spessore eguale a 9 mm, mentre la tensione minima di snervamento del materiale è pari a 850 MPa.

Tabella 1 – Caratteristiche delle travi con e senza rinforzo

codice	n° provini	n° nastri	passo (mm)
FX-NR	2	0	0
FX-3N-P20	2	3	200
FX-3N-P10	2	3	100
TG-NR	3	0	0
TG-P-3N-P20	3	3	200
TG-T-3N-P20	3	3	200

3.2 Configurazione di prova

Tutte le travi sono state sottoposte a prova di carico utilizzando un telaio di contrasto in acciaio appositamente progettato (Fig. 3). Il telaio è costituito da due colonne e due travi in modo da formare un sistema chiuso. La trave d'acciaio disposta inferiormente consente di fissare gli appoggi per il provino, anche questi in acciaio, a distanze variabili, così da modificarne la luce della trave in funzione della lunghezza del provino da sottoporre a test.

Tutte le prove sono state eseguite a controllo di spostamento, utilizzando un martinetto, il cui estremo superiore è stato posto a contatto con il traverso in acciaio del telaio di contrasto, e l'estremo inferiore diverso collegato con dispositivi diversi, a seconda delle modalità di carico scelte caricare per i diversi provini.

Per la tipologia di travi FX, poiché la configurazione di prova prevista era quella di trave appoggiata alle estremità e caricata su due punti equidistanti dagli appoggi, si è interposto un profilo di acciaio sufficientemente rigido tra il martinetto ed il provino, in modo da distribuire equamente la forza applicata sui due punti di carico.

Per la tipologia di travi TG, poiché la configurazione di prova prevista era quella di trave appoggiata alle estremità e caricata su un solo punto equidistante dagli appoggi, la forza è stata applicata direttamente sulla mezzeria del provino.

Sia per gli appoggi che per i punti di carico, sono state previste delle piastre d'acciaio delle dimensioni 150×150×40 mm a diretto contatto con la trave in CA da sottoporre a prova, così da distribuire le tensioni ed evitare concentrazioni di sforzo che avrebbero potuto indurre crisi localizzate e premature; pertanto sono stati impiegati dei cilindri in acciaio del diametro di 40 mm per riprodurre la condizione di puntualità del carico e degli appoggi.

3.3 Schema e modalità di acquisizione dei risultati

In ciascuna prova sono stati acquisiti gli spostamenti in mezzeria su entrambe le facce del provino mediante comparatori millesimali, inoltre sono stati monitorati gli spostamenti degli appoggi.

Per le travi provviste del sistema di rinforzo CAM, sono stati utilizzati degli estensimetri elettrici al fine di acquisire le deformazioni degli elementi che costituiscono il sistema di rinforzo. In dettaglio, si sono acquisite le deformazioni degli angolari continui in diverse sezioni per i provini appartenenti alla tipologia FX, e le deformazioni dei nastri verticali più esterni per i provini appartenenti alla tipologia TG.

Il sistema di acquisizione dei dati era costituito da una centralina della HBM, modello MGCPlus, in grado di acquisire simultaneamente 64 estensimetri a resistenza, 8 segnali in volt (eventuali celle di carico esterne) e 4 segnali a ponte intero (eventuali trasduttori induttivi esterni); la centralina era interfacciata con l'utente attraverso il software CATMAN fornito dalla stessa HBM.

4. RISULTATI DELLA CAMPAGNA SPERIMENTALE

Nel seguito vengono descritti ed analizzati i risultati delle prove sperimentali, la cui sintesi in termini di carico massimo (P_{max}) e freccia ultima (δ_u) è riportata in Tabella 2.

4.1 Travi FX

Le travi non rinforzate, FX-NR, hanno raggiunto il carico massimo di 45 kN ed una freccia ultima compresa tra i 45 ed i 75 mm (Fig. 4a,d). La crisi, come previsto, si è verificata per flessione con fessure verticali equispaziate nella parte di trave compresa tra i due punti di carico, soggetta a momento costante e taglio nullo (prove con carico su quattro punti) (Fig. 6a).

Per i provini rinforzati, FX-3N-P20, in cui i tre nastri sovrapposti sono stati disposti con passo 200 mm, la crisi è avvenuta secondo un meccanismo di interazione taglio-flessione con prevalenti fessure verticali nella zona a momento costante e fessure diagonali lungo la luce di taglio (Fig. 6b). L'incremento di armatura a flessione ottenuto attraverso l'impiego degli angolari continui ha notevolmente incrementato la resistenza a flessione della trave. Così, il rinforzo ha contribuito, in entrambi i casi (A e B), a incrementare il carico di rottura da 45 kN a 118 kN e la freccia ultima tra 85 e 93 mm (Fig. 4b,e).

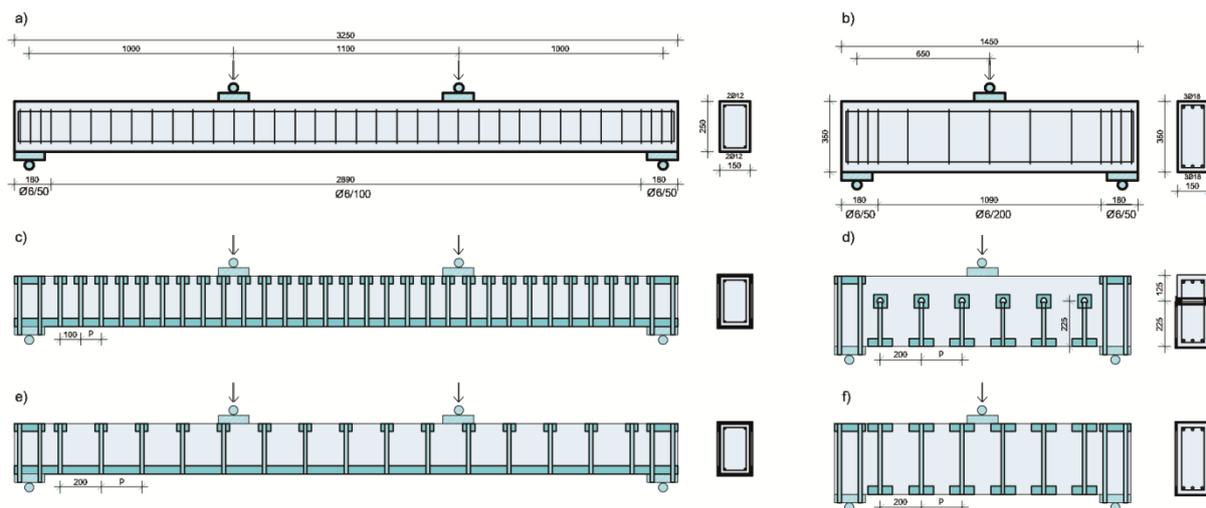


Figura 2 – Geometria e schema di carico delle travi con e senza rinforzo

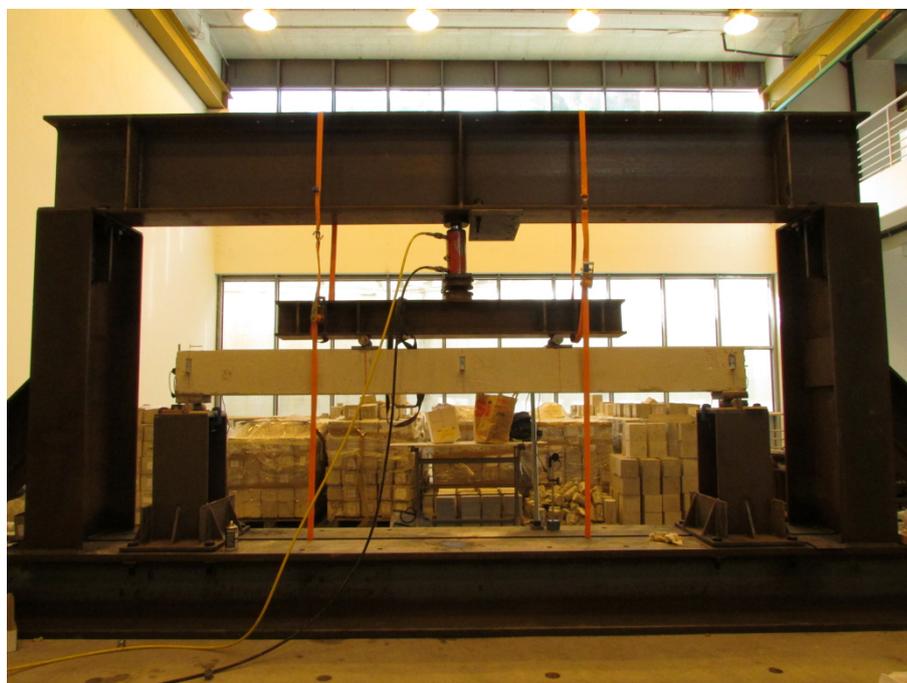


Figura 3 – Telaio di contrasto e setup di prova

I nastri pretesi hanno contribuito, incrementando l'attrito tra l'armatura e il substrato, ad evitare lo scorrimento degli angolari in acciaio rispetto al calcestruzzo e, contemporaneamente, hanno contribuito a migliorare la resistenza a taglio dell'elemento, portando la resistenza dei due meccanismi (flessione e taglio) a valori prossimi.

Le due ultime travi della tipologia FX differiscono dalle precedenti esclusivamente per il passo scelto tra i nastri verticali, che in questo caso è stato ridotto a 100 mm (FX-3N-P10). Rispetto alle travi con passo 200 mm, si è ottenuto un incremento della resistenza a taglio, ma la capacità flessionale è rimasta sostanzialmente invariata (Fig. 4c,f). Infatti, la crisi si è raggiunta in corrispondenza di un carico di 120 kN, ma il meccanismo di rottura osservato è stato puramente flessionale, proprio perché l'infittimento del passo dei nastri ha contribuito

ad aumentare la capacità di resistere alle azioni taglianti dei due provini (A e B) (Fig. 6c).

4.2 Travi TG

Le travi della tipologia TG sono state testate secondo uno schema di carico su tre punti ed hanno raggiunto la crisi per taglio, come previsto in fase progettuale.

I provini non rinforzati, TG-NR, hanno raggiunto la crisi in corrispondenza di un carico di 188 kN ed una freccia in mezzzeria variabile tra i 14 ed i 22 mm (Fig. 5a,d,g). Il quadro fessurativo a rottura è stato caratterizzato da una fessura diagonale principale estesa dal punto di carico alla prossimità dell'appoggio (Fig. 6d).

Tabella 2 – Sintesi dei risultati delle prove sperimentali in termini di carico massimo (P_{max}) e freccia ultima (δ_u).

Codice	A		B		C		Media	
	P_{max} kN	δ_u mm	P_{max} kN	δ_u mm	P_{max} kN	δ_u mm	P_{max} kN	δ_u mm
FX-NR	45.7	44.7	44.4	75.0			45.0	59.9
FX-3N-P20	117.6	85.4	118.5	92.6			118.1	89.0
FX-3N-P10	117.2	110.6	123.2	148.9			120.2	129.7
TG-NR	188.7	21.9	187.6	18.4	188.5	18.3	188.2	19.5
TG-P-3N-P20	230.2	20.0	228.7	20.0	226.7	31.1	228.5	23.7
TG-T-3N-P20	271.7	14.6	290.8	22.2	268.3	19.2	276.9	18.7

Le travi progettate con sistema di rinforzo CAM per un'altezza parziale della trave (TG-P-3N-P20), al fine di rappresentare un intervento di rinforzo in presenza del solaio e della conseguente impossibilità di fasciare la trave nella sua totalità, hanno raggiunto la crisi per taglio in corrispondenza di un carico pari a 228 kN ed una freccia ultima compresa tra i 20 ed i 31 mm (Fig. 5b,e,h).

In corrispondenza della crisi per taglio, la zona non rinforzante e sovrastante le piastre imbutite è risultata ampiamente fessurata e caratterizzata dallo schiacciamento del calcestruzzo. La porzione di trave interessata dal rinforzo verticale ottenuto mediante i nastri, e quindi sottostante le piastre imbutite, è stata caratterizzata da numerose fessure diagonali tipiche delle rotture per taglio.

I nastri in acciaio hanno contenuto l'apertura delle fessure principali e permesso la formazione di altre fessure da taglio sostanzialmente parallele. Le fessure diagonali hanno attraversato i fori necessari per il passaggio dei nastri, seguendo dei percorsi di minima resistenza. Tale meccanismo evidenzia la capacità del sistema di rinforzo CAM nell'incrementare la resistenza al taglio dell'elemento strutturale (Fig. 6e). E' importante evidenziare che le travi TG-P-3N-P20 sono state progettate tenendo conto della

presenza di una soletta all'estradosso, la quale certamente fornisce un contributo importante alla trave sia nell'incrementare la resistenza del corrente superiore compresso, che nel resistere alle sollecitazioni taglianti. La geometria del campione utilizzata in queste prove non è in grado di riprodurre tale effetto, e pertanto l'incremento di resistenza evidenziato dalle prove stima per difetto l'efficacia di un intervento su una struttura reale.

Infine, le travi rinforzate a taglio con tre nastri sovrapposti disposti lungo la totalità dell'altezza della trave e con passo 200 mm (TG-T-3N-P20), hanno raggiunto la crisi per taglio in corrispondenza di un carico variabile tra 270 e 291 kN, mentre la freccia ultima in mezzera è risultata compresa tra i 14 ed i 22 mm (Fig. 5c,f,i). Le fessure diagonali osservate si sono estese dal punto di carico all'appoggio. Proprio in prossimità del supporto si è verificato lo schiacciamento del calcestruzzo compresso ed il conseguente collasso per taglio dei provini. L'impiego del sistema di rinforzo CAM ha permesso di raggiungere livelli di carico assai elevati rispetto a quelli osservati per le travi prive di rinforzo, ed inoltre di ottenere un quadro fessurativo a rottura caratterizzato da numerose fessure diagonali (Fig. 6f).

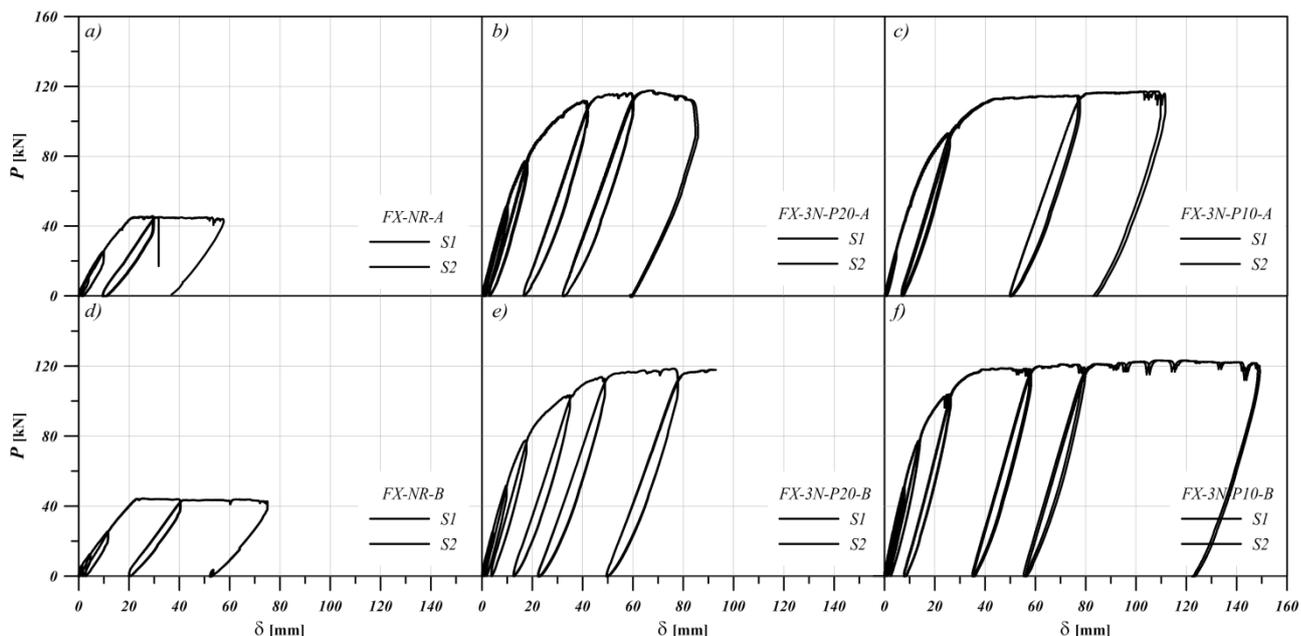


Figura 4 – Curve P- δ per le travi della tipologia FX

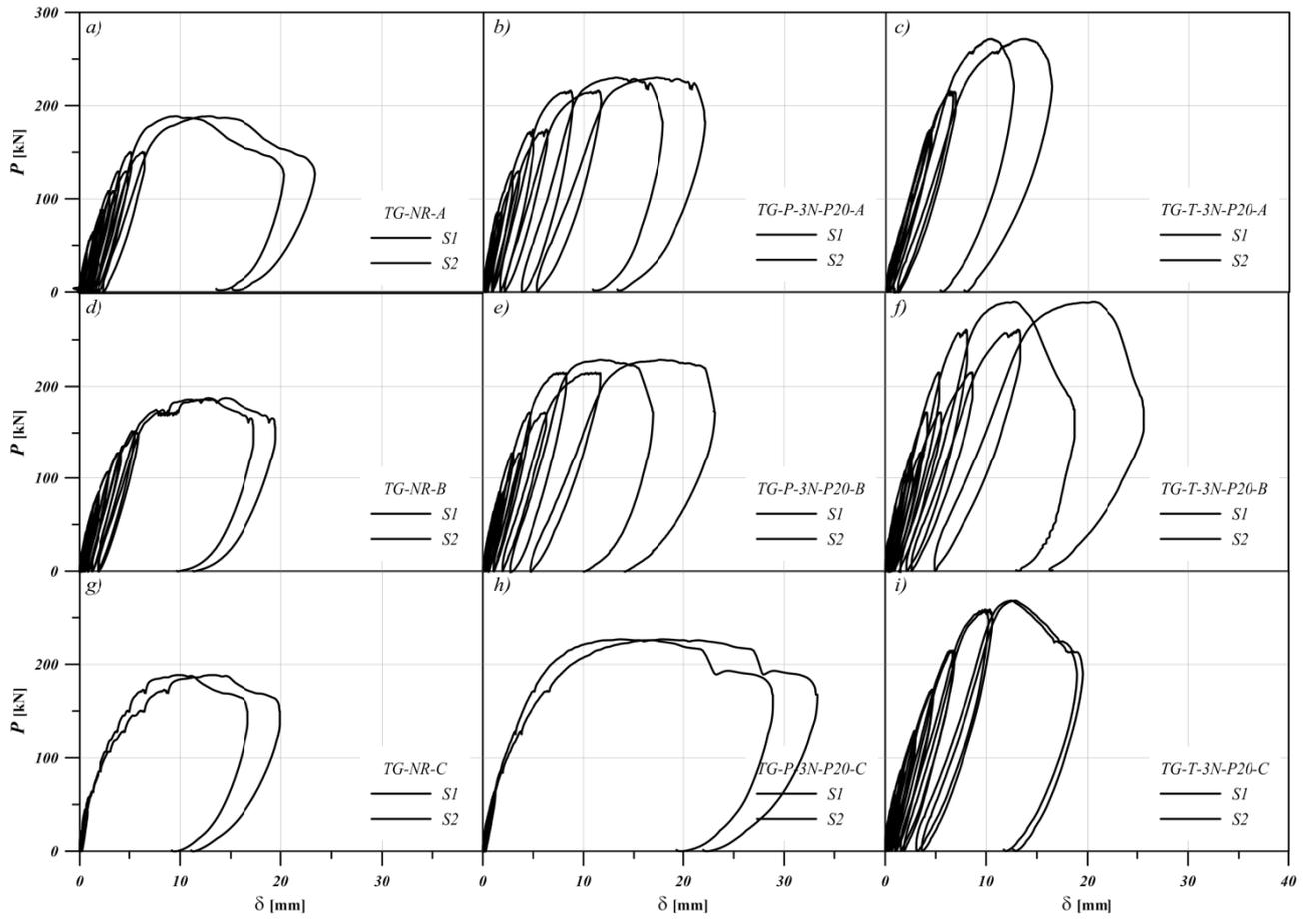


Figura 5 – Curve $P-\delta$ per le travi della tipologia TG

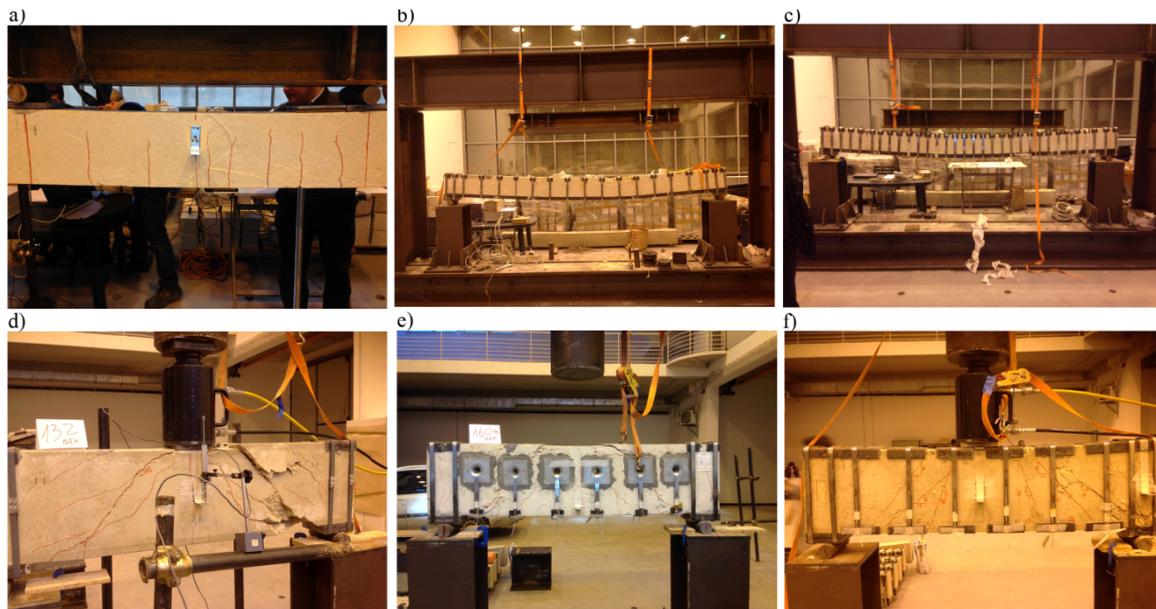


Figura 6 – Travi a rottura: a) FX-NR-B; b) FX-3N-P20-B; c) FX-3N-P10-A; d) TG-NR-A; e) TG-P-3N-P20-A; f) TG-P-3N-T20-B

5. CONCLUSIONI

Nel presente lavoro sono stati presentati e discussi i risultati sperimentali ottenuti dai test realizzati presso il Laboratorio di Materiali e Strutture dell'Università di Messina su quindici travi in CA con e senza sistema di rinforzo CAM. I campioni provati sono stati divisi in due gruppi: un primo gruppo di sei travi con ridotta resistenza flessionale; ed un secondo gruppo di nove travi con ridotta resistenza a taglio.

I risultati delle prove effettuate sul primo gruppo di travi (FX) hanno evidenziato l'efficacia degli angolari longitudinali del sistema di rinforzo CAM, la cui aderenza al substrato e all'elemento strutturale è significativamente incrementata dall'attrito attivato dal sistema di nastri pretesi trasversali, ad incrementare la resistenza flessionale e la duttilità dell'elemento strutturale. I valori di capacità portante sono aumentati, rispetto al caso di trave priva di rinforzo, di oltre il 160%. Lo stesso andamento si è osservato per la duttilità, la quale è aumentata del 49% nel caso di nastri con passo 200 mm e del 117% nel caso di nastri con passo 100 mm.

I risultati delle prove effettuate sul secondo gruppo di travi (TG) sono stati altrettanto soddisfacenti. Infatti, la capacità a taglio delle travi rinforzate con il sistema CAM è aumentata, rispetto al caso di trave priva di rinforzo, del 21% per elementi con nastri disposti lungo parte dell'altezza della trave, e del 47% per elementi con nastri disposti lungo tutta l'altezza della trave. Inoltre, la presenza del sistema di rinforzo CAM ha indotto una fessurazione diffusa lungo la luce di taglio, a dimostrazione di uno sfruttamento maggiore della resistenza del calcestruzzo.

I risultati ottenuti consentono di confermare l'efficacia dell'impiego del sistema di rinforzo CAM per elementi strutturali in CA, e forniscono slancio nel proseguire il lavoro di studio e ricerca intrapreso. Il naturale sviluppo della ricerca sarà quello di definire modelli analitici in grado di riprodurre il comportamento sperimentale osservato tenendo conto delle specificità del sistema di rinforzo di confinamento semi-attivo. Alcune formulazioni teoriche, fondate sulla teoria della plasticità e basate su modelli già proposti dagli autori per elementi in CA con diverse tipologie di rinforzo [5-8], sono in fase di sviluppo. Inoltre, si impiegheranno modellazioni agli elementi finiti basate su formulazioni teoriche consolidate [9].

6. RINGRAZIAMENTI

Questo lavoro è stato finanziato con fondi relativi al progetto In.CAM.M.I.N.O. - PO. FESR 2007-2013 – Sicilia – Linea di Intervento 4.1.1.2 – Soggetti coinvolti: ABI Srl Ragusa, Chimetec Sas Ragusa e Dipartimento di Ingegneria

Civile, Informatica, Edile, Ambientale e Matematica Applicata (DICIEAMA) dell'Università di Messina.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Campione G., La Mendola L., Colajanni P., Spinella N. - (2007), Ductility of Reinforced Concrete Members Externally Wrapped with Fiber-Reinforced Polymer Sheets, *Journal of Composites for Construction*, ASCE, Vol. 11(3), 279-290.
- [2] Colajanni P., Papia M., Spinella N. - (2013), Stress-Strain Law for Confined Concrete with Hardening or Softening Behavior. *Advances in Civil Engineering*, Volume 2013, Article ID 804904, 11 pages
- [3] Colajanni P., De Domenico F., Maugeri N., Recupero A., Spinella N., Mantegazza G. - (2012), Experimental results of RC columns strengthened with Fibre Reinforced Cementitious Mortars. 3rd International Conference on Concrete Repair, Rehabilitation and Retrofitting, ICCRRR-3, Pilate Moyo CRC Press (eds), 1137-1143, 3-5 September 2012, Cape Town, South Africa. Print ISBN: 978-0-415-89952-9 eBook ISBN: 978-0-203-12425-3
- [4] Colajanni P., De Domenico F., Recupero A., Spinella N. - (2014), Concrete Columns Confined with Fibre Reinforced Cementitious Mortars: Experimentation and Modelling. *Construction and Building Materials*, Elsevier, Vol. 52, 375-384
- [5] Colajanni, P.; Recupero, A.; Spinella, N. - (2008), Shear strength prediction by modified plasticity theory for SFRC beams. In: *Proceedings of Seismic Engineering Conference: Commemorating the 1908 Messina and Reggio Calabria Earthquake*, Reggio Calabria (Italy), 8-11 July 2008, 888-895.
- [6] Spinella, N.; Colajanni, P.; Recupero, A. - (2010), Simple plastic model for shear critical SFRC beams. *Journal of Structural Engineering*, ASCE, Vol. 136(4), 390-400.
- [7] Colajanni, P.; Recupero, A.; Spinella, N. - (2010), Generalization of shear truss model to the case of SFRC beams with stirrups. *Computers & Concrete*, Vol. 9(3), 227-244.
- [8] Spinella N. - (2013), Shear strength of full-scale steel fibre-reinforced concrete beams without stirrups. *Computers & Concrete*, Vol. 11(5), 365-382.
- [9] Spinella, N.; Colajanni, P.; La Mendola, L. - (2012) Nonlinear analysis of beams reinforced in shear with stirrups and steel fibers. *ACI Structural Journal*, Vol. 109(1), 53-64.

