

RINFORZO A TAGLIO DI TRAVI IN C.A. MEDIANTE INCAMICIATURE IN CALCESTRUZZO AD ELEVATE PRESTAZIONI

Stefano Maringoni¹, Serena Mostosi², Alberto Meda³, Paolo Riva²

¹Tecnochem Italiana S.p.A.

²Dipartimento di Progettazione e Tecnologie, Università di Bergamo

³Dipartimento di Ingegneria Civile, Università di Roma "Tor Vergata"

SOMMARIO

La possibilità di rinforzare elementi in C.A. per incrementare la resistenza ultima a taglio mediante l'utilizzo di sottili camicie di calcestruzzi fibrorinforzati ad elevate prestazioni è stata studiata mediante prove sperimentali su travi in scala reale.

Nelle strutture in C.A., realizzate negli anni '60-'70, spesso l'armatura a taglio non è sufficiente per soddisfare i requisiti richiesti dalla corrente normativa e esse devono essere oggetto di adeguamento alle nuove disposizioni. Pertanto nel rinforzo di queste strutture è spesso necessario prevedere un incremento della resistenza a taglio. L'efficacia della tecnica di rinforzo è stata studiata attraverso prove in scala reale su travi di lunghezza pari a 3 m. Le camicie di rinforzo in calcestruzzo fibrorinforzato sono state realizzate con differenti spessori (dai 30 mm ai 50 mm) e mediante l'aggiunta di una rete in acciaio con diametro del filo pari a 2 mm. Una trave con le stesse caratteristiche ma senza camicia di rinforzo è stata utilizzata come campione di riferimento. I risultati ottenuti, che vengono qui presentati, mostrano l'efficacia della tecnica proposta.

SUMMARY

The possibility of strengthening RC elements for increasing the bearing capacity under shear actions is an important issue in the retrofitting field. In RC existing structures, made in the '60s and '70s, the shear reinforcement is often not sufficient to satisfy the prescription of current codes. Hence, in the retrofitting of these structures it is often necessary to increase the shear bearing capacity. A possible use of low thickness high performance jackets for shear strengthening purposes is analyzed herein. The jackets are made with a high performance fiber reinforced concrete, with or without an additional 2mm diameter steel-wire mesh. The different jackets were used for reinforcing 3m long beams. The elements were tested up to failure and the comparison between the obtained results is presented herein.

1. INTRODUZIONE

Negli ultimi anni l'interesse per la riparazione e il rinforzo di strutture in cemento armato è progressivamente aumentato, soprattutto per la presenza di numerosi edifici esistenti costruiti secondo normative superate e che non soddisfano gli attuali requisiti normativi. Inoltre fondamentale obiettivo del progettista è l'aumento della capacità portante di strutture esistenti, mediante il quale è possibile incrementare la vita utile delle strutture stesse. In questo campo, la possibilità di incrementare la capacità di elementi in cemento armato nei confronti di azioni taglianti è di grande interesse, a causa dell'elevato numero di edifici, realizzati principalmente negli anni 60' e 70', che presentano armature a taglio inadeguate e insufficienti. Le tradizionali tecniche di rinforzo sono caratterizzate dall'utilizzo di incamiciature in cemento armato con spessori elevati, spesso nell'ordine di 60-70 mm, (Fib Bulletin 24, 2003), che causano un incremento eccessivo nella geometria della struttura. La possibilità di poter ridurre notevolmente lo spessore di questa tipologia di rinforzo è stata studiata negli ultimi anni mediante l'utilizzo di incamiciature realizzate con calcestruzzi fibrorinforzati ad elevate

prestazioni (Martinola et al., 2010; Habel et al. 2007; Alaei and Karihaloo, 2003). Recentemente è stata messa a punto una nuova tecnica che combina l'uso di calcestruzzi fibrorinforzati ad elevate prestazioni con reti in acciaio con funzione strutturale (Marini and Meda 2009; Kuneida et al. 2010).

In questa ricerca è stata focalizzata l'attenzione sull'incremento di resistenza nei confronti di azioni taglianti, dovuta alla presenza di un incamiciatura con HPFRC (High Performance Fiber Reinforced Concrete) di ridotto spessore. Sono stati studiati due diverse tipologie di calcestruzzi fibrorinforzati ad elevate prestazioni: un calcestruzzo autolivellante, che può essere utilizzato in spessori ridotti, e un materiale tixotropico, che permette l'applicazione in assenza di casseforme. Al fine di verificare l'efficacia della soluzione proposta, sono state eseguite prove a flessione su quattro punti di travi in scala reale (con lunghezza 2.85 m e altezza 0.45 m) rinforzate con vari spessori di HPFRC.

2. INDAGINE SPERIMENTALE

L'efficacia della tecnica di intervento, basata sull'applicazione di una camicia di HPFRC, è stata studiata attraverso prove in scala reale su quattro travi con lunghezza di 2.85 m e sezione rettangolare con base di 200 mm e altezza di 500 mm, come è mostrato in figura 1. Le travi sono state armate con solo armatura longitudinale, costituita da quattro barre di acciaio del diametro di 20 mm, e il copriferro netto è di 30 mm. La percentuale di armatura è pari a 1.50%. La trave è stata progettata per presentare una rottura per taglio e pertanto non sono state posizionate staffe. In corrispondenza

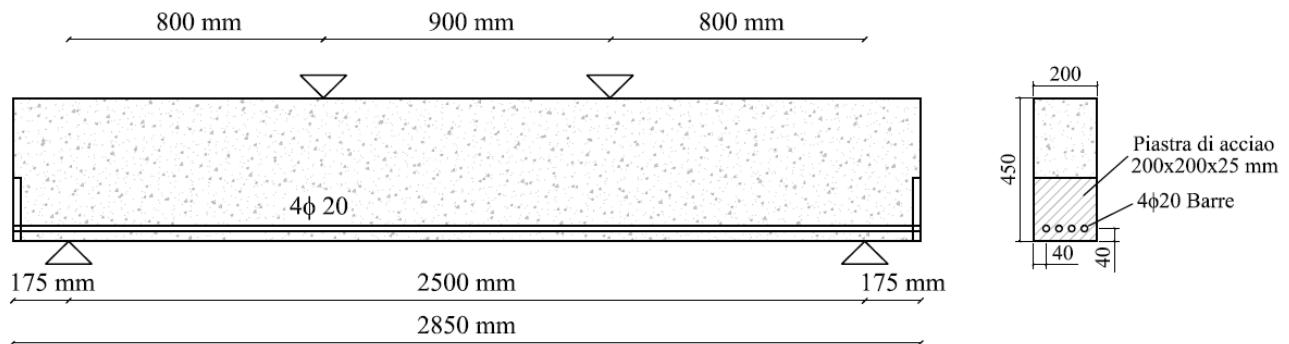


Figura 1 – Geometria delle travi non rinforzate

Una delle travi rinforzate è stata utilizzata come riferimento mentre alle altre tre travi è stata applicata una camicia di rinforzo in HPFRC. Per il rinforzo delle travi sono state utilizzate due differenti tipologie di calcestruzzi ad elevate prestazioni: un calcestruzzo autolivellante, che deve essere gettato all'interno di casseforme, e un calcestruzzo tixotropico che può essere applicato direttamente sulla superficie da rinforzare mediante staggiatura. L'HPFRC autolivellante è caratterizzato da resistenza a compressione di 130 MPa e da resistenza a trazione diretta di 6 MPa, mentre la versione tixotropica di questo materiale presenta valori leggermente minori, pari a 90 MPa per la resistenza a compressione e 5 MPa per quella di trazione. Entrambi i calcestruzzi fibrorinforzati contengono una percentuale volumetrica di fibre del 3.9%. Le fibre utilizzate sono in acciaio ed hanno una lunghezza di 15 mm e un diametro di 0.175 mm.

All'interno della camicia in HPFRC è stata posizionata una rete elettrosaldata in acciaio piegata ad U. Questa rete è realizzata con filo del diametro di 2.05 mm e presenta maglie quadrate di lato 25.4 mm. La resistenza massima del filo, ottenuta da prove di trazione diretta, è pari a 550 N/mm².

La camicia in HPFRC è stata applicata alle travi dopo aver sabbato la loro superficie in modo da realizzare una rugosità nell'ordine di 1 mm, che permetta di assicurare una perfetta aderenza tra il calcestruzzo esistente e l'HPFRC. L'efficacia di questa tecnica è stata ampiamente dimostrata in precedenti ricerche (Martinola et al. 2010). In figura 2 è mostrata l'operazione di sabbatura delle travi, mentre nella figura 3 è possibile osservare la differenza della superficie prima e dopo il trattamento.

Successivamente è stato eseguito il getto del rinforzo, come è possibile vedere in figura 4. Una delle travi (trave B) è stata rinforzata mediante una camicia di spessore 50 mm di

delle estremità della trave, alle armature longitudinali tese sono state saldate due piastre di acciaio al fine di garantire l'ancoraggio delle barre ed evitare scorrimenti delle stesse.

Le travi in calcestruzzo armato sono state appositamente realizzate con un calcestruzzo di modesta resistenza, tipico delle costruzioni realizzate negli anni 60' e 70': la resistenza a compressione media, provata su cubi con lato 150 mm, risulta essere pari a 32.63 N/mm². In accordo con l'Eurocodice 2 questo calcestruzzo può essere classificato come C20/25. Le barre di armatura presentano una resistenza allo snervamento pari a 517.94 N/mm² e una resistenza ultima pari a 616.21 N/mm².

calcestruzzo fibrorinforzato a colare. All'interno del rinforzo è stata posizionata la rete elettrosaldata in acciaio piegata ad U. Le altre due travi (travi D ed E) sono state rinforzate all'intradosso con uno spessore di 50 mm di calcestruzzo autolivellante, mentre sulle superfici laterali è stato applicato l'HPFRC tixotropico con spessore rispettivamente di 50 mm e 30 mm. Anche in questo caso all'interno del rinforzo è stata inserita una rete elettrosaldata in acciaio piegata ad U, che, nel caso della trave D, per comodità di applicazione, è stata tagliata in corrispondenza della ripresa di getto, mentre per la trave E prosegue solo fino ad un'altezza di 20 cm sulle superfici laterali. Le caratteristiche delle travi rinforzate sono mostrate in tabella 1.



Figura 2 – Sabbatura delle travi

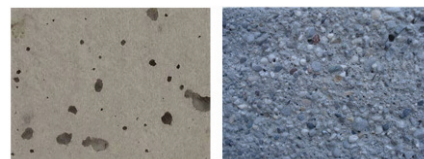
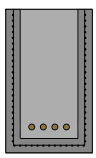
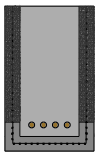
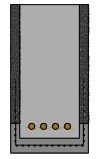


Figura 3 – Confronto della superficie delle travi prima e dopo il trattamento di sabbatura



Figura 4 – Particolari relativi al getto del rinforzo

Tabella 1 – Caratteristiche delle travi rinforzate

		Spessore	Materiale	Modalità di adesione	Caratteristiche della rete
 <p>Trave B</p>	Intradosso	50 mm	autolivellante	no primer	Rete elettrosaldata piegata ad U
	Superfici laterali	50 mm	autolivellante	no primer	
 <p>Trave D</p>	Intradosso	50 mm	autolivellante	no primer	Rete elettrosaldata piegata ad U
	Superfici laterali	50 mm	tixotropico	Primer epossidico	
 <p>Trave E</p>	Intradosso	50 mm	autolivellante	no primer	Rete elettrosaldata piegata ad U con altezza di 20 cm sulle superfici laterali
	Superfici laterali	30 mm	tixotropico	no primer	

Le travi sono state portate a rottura mediante prova a flessione su quattro punti, utilizzando un banco di prova costituito da un telaio di contrasto in acciaio ancorato alla soletta del laboratorio e da una struttura di carpenteria per applicare e ripartire il carico (Figura 5). La struttura di ripartizione del carico è costituita da due profili UPN350 accoppiati della lunghezza di 2.40 m, opportunamente irrigiditi con fazzoletti saldati in prossimità delle zone di trasferimento del carico. I due punti di carico, come si vede in figura 6, sono realizzati mediante cilindri di acciaio; tra i cilindri e la trave così come tra i cilindri e la struttura di ripartizione sono posizionate piastre di acciaio con il compito di uniformare e distribuire il carico. I due punti di applicazione del carico distano tra di loro 0.9 m. I supporti, mostrati in figura 7, sono realizzati in modo analogo: due cilindri, posti alla distanza di 2.5 m, hanno il compito di realizzare un vincolo in semplice appoggio. Anche qui sono utilizzate

piastre di acciaio per la ripartizione del carico. Tra tutte le piastre e la trave in cemento armato sono stati interposti dei fogli di neoprene dello spessore di 0.5 cm per distribuire meglio il carico e migliorare il contatto tra i due elementi.

Pertanto il rapporto tra la distanza dei punti di carico dai rispettivi supporti e l'altezza utile della trave risulta uguale a 1.9.

Il carico è stato applicato mediante un martinetto elettromeccanico con capacità massima di 1000 kN collegato al telaio di contrasto.

La strumentazione utilizzata è costituita da una serie di strumenti potenziometri lineari e LVDT, che ha permesso di misurare spostamenti e aperture di fessure della trave nei punti più significativi. Sono stati monitorati gli spostamenti della trave in mezzaria e sotto i punti di carico e i cedimenti degli appoggi, utilizzati per depurare i dati. Contemporaneamente vengono acquisite le informazioni relative alle aperture di

fessura: le aperture di fessure a taglio mediante potenziometri collocati nelle zone comprese tra i punti di carico e i rispettivi supporti e con un'inclinazione di circa 45°, mentre le fessure verticali mediante potenziometri collocati orizzontalmente ad una distanza di circa 5 m dall'estradosso della trave. Prima di posizionare la strumentazione, le travi sono state dipinte di bianco per poter visualizzare meglio le fessure presenti,

soprattutto nella fase iniziale. Inoltre nella zona centrale è stata disegnata una griglia con maglie 10x10 cm, in modo da facilitare l'inquadratura delle fessure sulla superficie dell'elemento e quindi la comprensione del quadro fessurativo. Nelle figure 8 e 9 viene mostrata la strumentazione utilizzata per la faccia anteriore e per quella posteriore della trave.

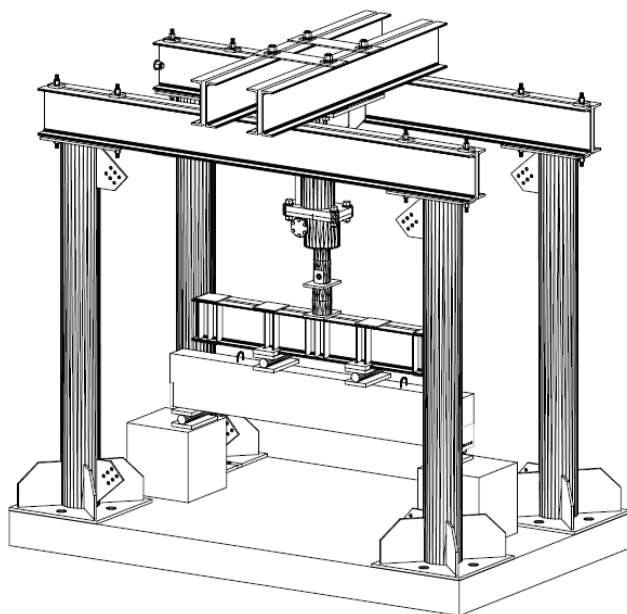


Figura 5 – Banco di prova

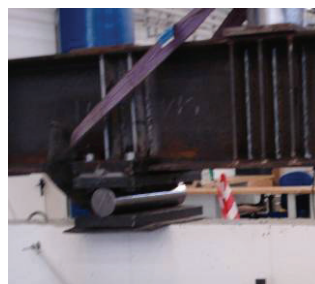
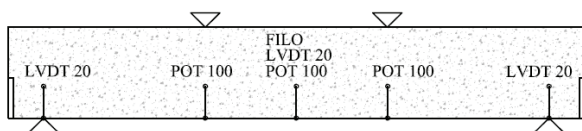


Figura 6 – Punti di carico

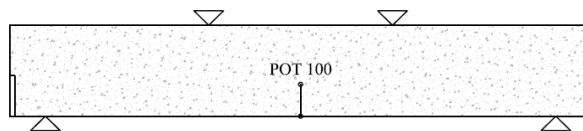


Figura 7 – Supporti della trave

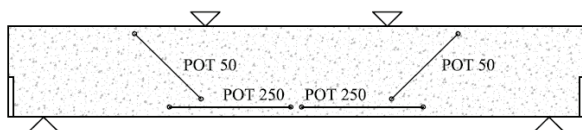
SPOSTAMENTI VERTICALI



SPOSTAMENTI VERTICALI



APERTURE DI FESSURA



APERTURE DI FESSURA

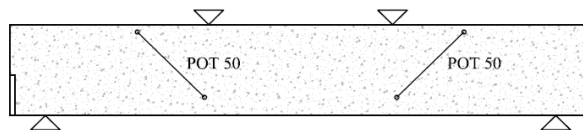


Figura 8 – Strumentazione faccia anteriore della trave

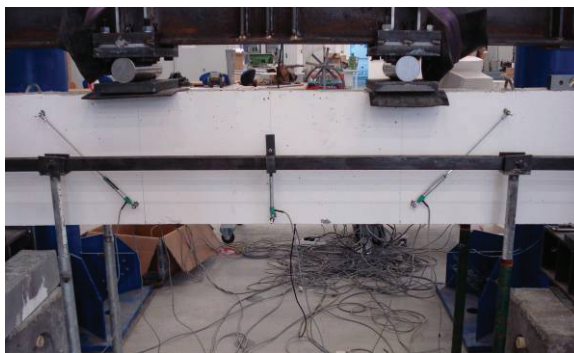


Figura 9 – Strumentazione faccia posteriore della trave

3. RISULTATI

3.1 Trave non rinforzata

La trave non rinforzata è stata provata per prima. In figura 10 è possibile vedere l'andamento della curva carico - freccia della trave, ottenuta dalla media delle letture dei due potenziometri collocati sulle due facce delle trave e depurata dai cedimenti degli appoggi.

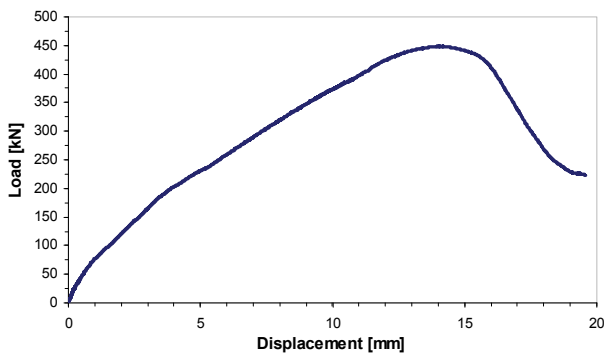


Figura 10 – Curva carico spostamento per la trave senza rinforzo

La trave ha mostrato un andamento elastico lineare fino ad un carico di 75kN, in corrispondenza del quale si sono formate le prime fessure verticali nella zona con momento flettente massimo compresa tra i due punti di carico. Con la formazione delle prime fessure è possibile notare un primo cambiamento di pendenza nella curva carico - spostamento.

Ad un carico di circa 200 kN è avvenuta la formazione delle prime fessure a taglio collocate nelle zone esterne della trave tra i punti di carico e i rispettivi appoggi. Si nota che in corrispondenza della formazione delle fessure a taglio si ha un ulteriore cambiamento di pendenza del diagramma carico - freccia che poi rimane costante fino al collasso. Queste fessure presentano un'inclinazione rispetto all'orizzontale di circa 30°. In corrispondenza del carico massimo, equivalente a circa 450 kN, si è verificata l'apertura improvvisa della fessura a taglio collocata sul lato destro della trave e un conseguente crollo repentino del carico sulla struttura. L'apertura di questa fessura, che ha causato il collasso della trave, ha portato alla chiusura delle altre fessure, sia quelle a taglio sul lato sinistro della trave sia le fessure verticali. La disposizione delle fessure a questi tre livelli di carico è riportata in figura 12. La prova è stata quindi interrotta ad un carico di 225 kN, corrispondente ad un abbassamento in mezzaria di circa 20mm, in modo da evitare il crollo improvviso della struttura.



Figura 11 – Fessure al collasso per la trave non rinforzata

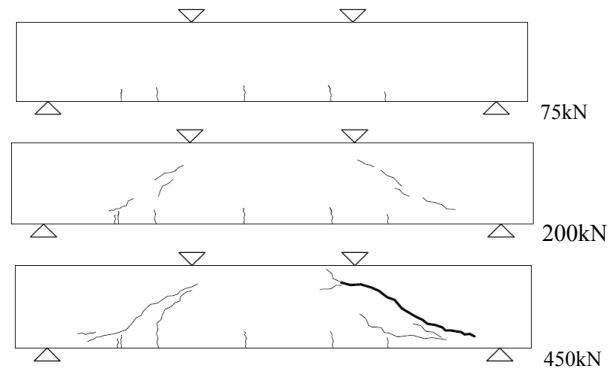


Figura 12 – Evoluzione del quadro fessurativo della trave senza rinforzo.

3.2 Travi rinforzate

Tutte le tre travi rinforzate mediante incamicatura con calcestruzzo rinforzato ad elevate prestazioni hanno mostrato un collasso per flessione. Il comportamento di queste tre travi è molto simile. Nella figura 13 è possibile vedere l'andamento della curva carico - freccia per le tre travi rinforzate.

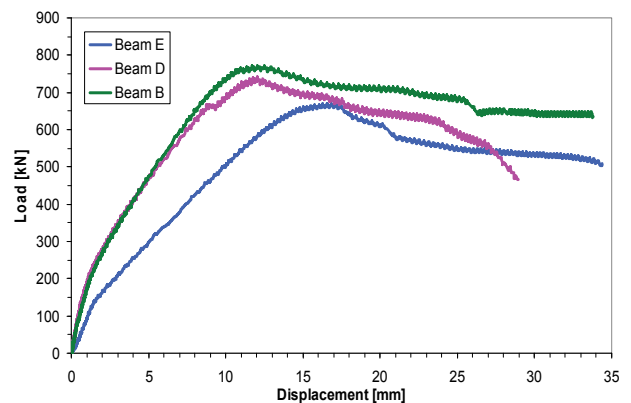


Figura 13 – Curve carico spostamento per le travi rinforzate

3.2.1 Trave E

La trave si è mantenuta in campo elastico lineare fino ad un carico di circa 135 kN quando si è verificata la comparsa della prima fessura verticale nella zona centrale del provino, compresa tra i due punti di carico. In concomitanza con questo fenomeno si è verificato un brusco cambio di pendenza nella curva carico-spostamento. Dopo la prima fessurazione numerose fessure verticali si sono formate nella zona centrale delle trave; all'aumentare del carico le fessure hanno aumentato la loro ampiezza e sono diventate più numerose fino a propagarsi anche nelle zone esterne ai due punti di carico.

Successivamente, ad un livello di carico pari a circa 290 kN, sono comparse le prime fessure inclinate dovute a fenomeni di taglio. Queste fessure si sono formate nelle zone della trave comprese tra i punti di carico e i corrispondenti appoggi. Queste fessure, nella parte inferiore delle trave, si sono propagate seguendo la ripresa di getto presente tra

l'HPFRC autolivellante e quello tixotropico, mantenendo un andamento orizzontale alla distanza di circa 10 cm dal bordo inferiore della trave.

In corrispondenza del carico massimo, pari a circa 670 kN, si è verificata l'apertura di una macro-fessura verticale, collocata nella zona compresa tra i due punti di carico, che ha causato il collasso della trave. Dopo il collasso è avvenuta una graduale discesa del carico, che si è stabilizzato ad un livello pari a circa l'80% del carico massimo. Dopo un significativo abbassamento in mezzaria della trave, si è verificato il cedimento per compressione del calcestruzzo nella zona superiore della trave. A causa di questo fenomeno la prova è stata interrotta.

In figura 14 sono mostrati i quadri fessurativi corrispondenti ai tre livelli di carico menzionati e in figura 15 la distribuzione delle fessure al collasso.

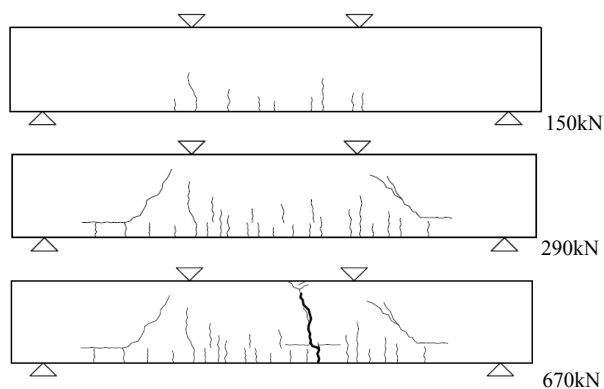


Figura 14 – Evoluzione del quadro fessurativo della trave E



Figura 15 – Distribuzione delle fessure al collasso per la trave E

3.2.2 Trave D

La trave D ha mostrato un comportamento analogo alla trave provata precedentemente. Le prime fessure verticali si sono formate ad un carico di circa 150 kN, in corrispondenza con un appiattimento della curva carico-freccia. Ad un livello di carico di circa 350 kN sono comparse fessure inclinate per taglio, che anche in questo caso si sono propagate lungo la ripresa di getto. Dopo il carico massimo, pari a 741 kN, il collasso è avvenuto per formazione di una macro fessura verticale nella porzione centrale della trave. La prova è stata

interrotta in corrispondenza di una freccia in mezzaria di 29 mm a causa di fenomeni di schiacciamento del calcestruzzo.

Nella figura 16 è mostrata l'evoluzione del quadro fessurativo per la trave D e in figura 17 la sua fessurazione al momento del collasso.

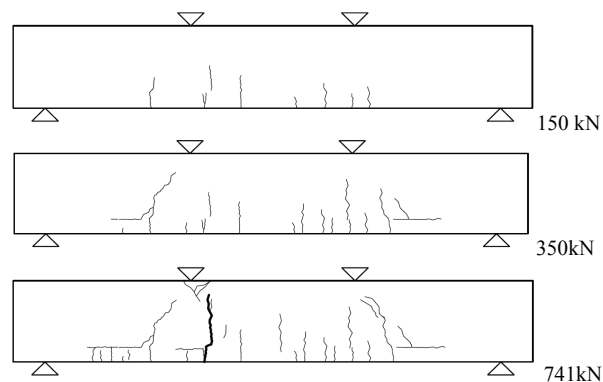


Figura 16 – Evoluzione del quadro fessurativo della trave D

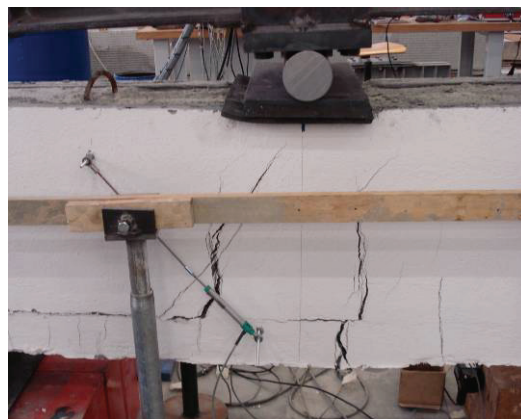


Figura 17 – Distribuzione delle fessure al collasso per la trave D

3.2.3 Trave B

Come è possibile osservare dal grafico mostrato in figura 13 la curva carico-spostamento relativa alla trave B è pressoché identica a quella della trave D fino ad un livello di carico pari a circa 500 kN. Anche il comportamento è molto simile: ad un carico di circa 210 kN è avvenuta la prima fessurazione, mentre a circa 380 kN si sono formate fessure a taglio nelle zone della trave esterne ai punti di carico. In questo caso, non essendo presente una ripresa di getto, le fessure hanno mantenuto una pendenza costante di circa 45° anche nella zona vicina all'estradosso della trave. Il carico massimo corrisponde a 773 kN, dopo di che è avvenuta l'apertura improvvisa di una fessura verticale che ha causato una graduale perdita di carico. La prova è stata fermata per uno spostamento in mezzaria di circa 34 mm a causa di rottura per compressione del calcestruzzo al lembo superiore della trave. Nella figura 18 è mostrata l'evoluzione del quadro fessurativo per la trave B e in figura 19 la sua fessurazione al momento del collasso.

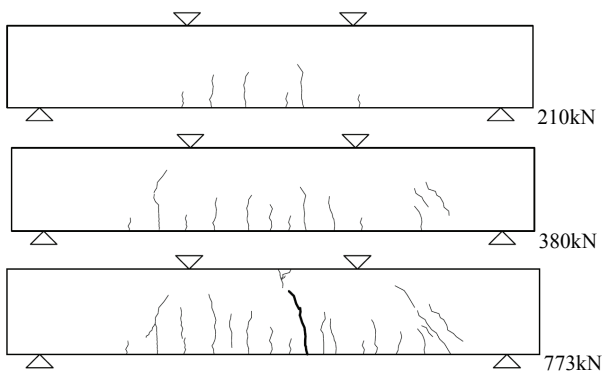


Figura 18 – Evoluzione del quadro fessurativo della trave B



Figura 19 – Distribuzione delle fessure al collasso per la trave B

4. DISCUSSIONE DEI RISULTATI

In figura 20 è riportato il confronto tra le curve carico spostamento della trave non rinforzata e delle tre travi con incamiciatura mediante HPFRC. Le prove effettuate hanno mostrato che l'utilizzo di incamiciatura in HPFRC influenza in modo determinante la tipologia di collasso così come il comportamento delle trave dopo la prima fessurazione e l'evoluzione del suo quadro fessurativo.

Le travi rinforzate mediante incamiciatura con HPFRC, a differenza della trave non rinforzata, hanno mostrato un collasso di tipo flessionale, con limitati effetti dovuti alle azioni taglianti. Pertanto si può affermare che la camicia ha svolto la medesima funzione di un'armatura a taglio e questo conferma la sua efficacia nel rinforzo a taglio di travi in C.A.

Possiamo inoltre notare che le tre travi rinforzate mostrano un notevole incremento del carico massimo. Le

travi D e B, che sono state rinforzate con uno spessore uniforme di calcestruzzo fibrorinforzato pari a 50 mm, hanno avuto un incremento di carico massimo pari a circa 1.7 volte, mentre la trave E, che presenta una camicia dello spessore di 30 mm sulle superfici laterali, ha mostrato un incremento di capacità portante di circa 1.5 volte.

Inoltre la tecnica di rinforzo proposta aumenta in modo considerevole la rigidità della trave. Questo fenomeno è più evidente per le travi D e B, mentre è molto meno accentuato per la trave E. Ciò può essere dovuto ad una non perfetta aderenza tra la camicia di rinforzo e la trave: nel primo tratto del grafico è stata caricata solo la trave senza rinforzo e questo spiega la bassa pendenza della curva in questo tratto. Successivamente, dopo la fessurazione della trave, i due materiali hanno cominciato a lavorare insieme e pertanto la curva relativa alla trave rinforzata assume una pendenza maggiore rispetto a quella senza rinforzo.

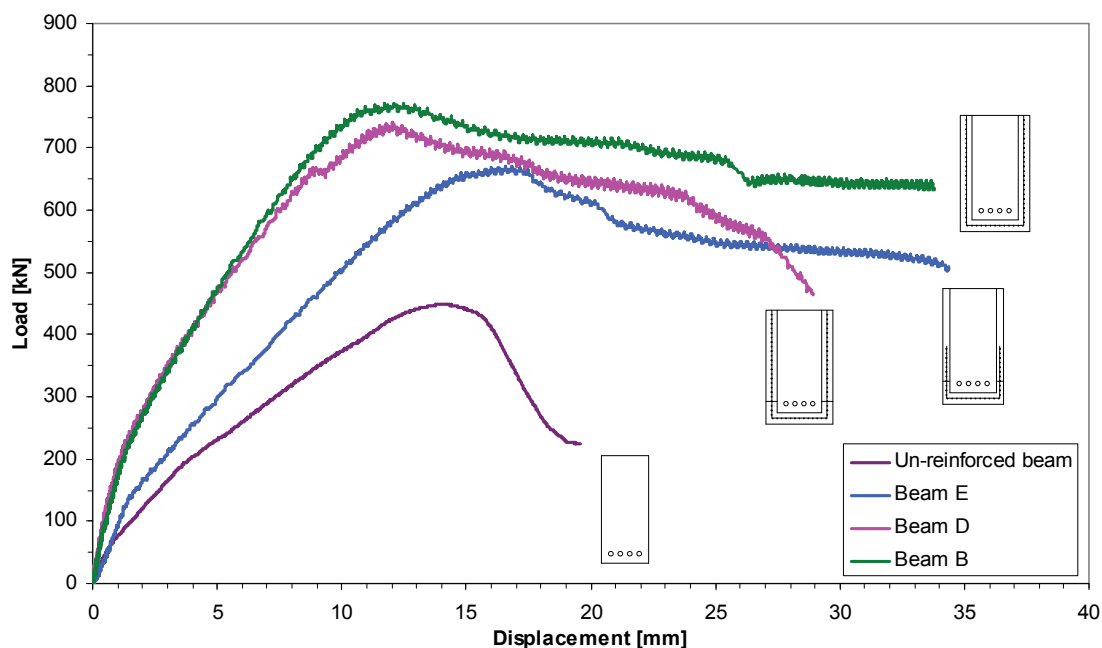


Figura 20 – Curve carico spostamento in mezzaria. Confronto dei risultati.

In riferimento alle due travi D e B, che hanno mostrato un aumento considerevole di rigidità, possiamo notare che se assumiamo un carico di esercizio pari a 80 kN, il corrispondente spostamento in mezzaria passa da 0.9 mm a 0.38 mm (pertanto è più che dimezzato).

Osserviamo infine una accentuata differenza di comportamento dopo il picco di carico tra trave non rinforzata e le tre travi rinforzate. La trave non rinforzata dopo il collasso

mostra un comportamento fragile con una rapida discesa del carico; per le travi incamiciate invece, il carico scende in modo lento e graduale, fino ad assestarsi ad un livello pari a circa l'80% del carico massimo. Per le travi rinforzate pertanto si sono potuti raggiungere livelli di spostamento in mezzaria di gran lunga maggiori.

In tabella 2 sono riportati i valori di carico e di spostamento raggiunti durante la prova per le tre travi rinforzate.

Tabella 2 – Carichi e spostamenti per le travi rinforzate osservati durante le prove.

	Carico di prima fessurazione	Carico corrispondente alla fessurazione a taglio	Carico massimo	Spostamento in mezzaria al carico massimo
	[kN]	[kN]	[kN]	[mm]
Trave E	135	290	670	16.9
Trave D	150	350	741	12.1
Trave B	210	380	773	11.9

5. CONCLUSIONI

La ricerca illustrata nel presente lavoro riguardante il rinforzo a taglio di travi in cemento armato mediante incamiciatura in HPFRC ha dimostrato l'efficacia della tecnica proposta. Sulla base dei risultati ottenuti si possono trarre le seguenti conclusioni:

- Il rinforzo con camicie in calcestruzzi fibrorinforzati ad elevate prestazioni ha fornito un incremento della capacità portante rispetto alla trave originaria non armata a taglio pari a circa 1.6 volte ed un notevole incremento di rigidità;
- Il comportamento a collasso delle travi rinforzate con camicia in HPFRC è governato da meccanismi flessionali, con una limitata influenza degli effetti del taglio. La resistenza a taglio di queste travi si è mostrata molto maggiore di quella a flessione.
- E' stato osservato che la capacità portante della trave aumenta proporzionalmente con l'incremento dello spessore del rinforzo;
- L'applicazione delle camicie in HPFRC è un intervento relativamente semplice e, grazie all'uso di questo nuovo materiale tixotropico, è facile da realizzare anche su elementi strutturali di difficile accessibilità per la realizzazione dei casseri.

Occorre infine ricordare che l'applicazione di una camicia in HPFRC può incrementare in modo significativo la durabilità e migliorare il comportamento globale di strutture danneggiate dall'esposizione al fuoco.

BIBLIOGRAFIA

- [1] ALAEE, F.J., KARIHALOO, B.L. – (2003), Retrofitting of reinforced concrete beams with CARDIFRC, *Journal of Composite Construction ASCE*, 7(3), 174–86.
- [2] FIB BULLETIN NO. 24. – (2003), Seismic assessment and retrofit of reinforced concrete buildings, State-of-art report, Losanne.
- [3] HABEL, K., DENARIE', E., BRÜHWILER, E. – (2007), Experimental investigation of composite ultra-high-performance fiber-reinforced concrete and conventional concrete members, *ACI Structural Journal*, 104(1), 10–20.
- [4] KUNIEDA, M., HUSSEIN, M., UEDA, N., NAKAMURA, H. – (2010), Enhancement of crack distribution of UHP-SHCC under axial tension using steel reinforcement, *Journal Advanced Concrete Technologies*, 8(1), 49–58.
- [5] MARINI, A., MEDA, A. – (2009), Retrofitting of R/C shear walls by means of high performance jackets, *Engineering Structures*, 31(12), 3059–64.
- [6] MARTINOLA, G., MEDA, A., PLIZZARI, G.A., RINALDI, Z. – (2010), Strengthening and repair of RC beams with fiber reinforced concrete, *Cement and Concrete Composites*, 32 (9), 731-739.

RINGRAZIAMENTI

La presente ricerca è stata finanziata dalla Tecnochem Italiana S.p.A. Gli autori ringraziano il Sig. Dario Rosignoli e il Dr. Giovanni Martinola.