

RINFORZO DI NODI TRAVE-PILASTRO CON INCAMICIATURA IN CALCESTRUZZO FIBRO-RINFORZATO AD ELEVATE PRESTAZIONI

Consuelo Beschi¹, Alberto Meda², Paolo Riva³, Francesca Simonelli⁴

1 Dipartimento di Ingegneria Civile, Architettura, Territorio e Ambiente, Università di Brescia

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

3 Dipartimento di Progettazione e Tecnologie, Università di Bergamo

4 ENCO srl

SOMMARIO

In questa memoria è presentata una tecnica innovativa per il rinforzo di strutture in c.a. esistenti, basata sull'applicazione di una camicia in calcestruzzo fibrorinforzato ad elevate prestazioni. Scopo della ricerca è lo studio dell'efficacia di questa tecnica per l'adeguamento sismico. Sono presentati i risultati di una prova sperimentale su un nodo trave-pilastro in scala reale: il campione è stato sottoposto, in una prima fase, ai carichi statici di esercizio e successivamente ad azioni cicliche di ampiezza crescente fino a collasso. La prova ha dimostrato che, con l'applicazione di una camicia in HPFRC, è possibile incrementare significativamente la capacità flessionale del pilastro e la resistenza del nodo trave-pilastro, raggiungendo inoltre un adeguato livello di duttilità.

SUMMARY

The possibility of strengthening existing R/C structures with a new technique based on the application of a High Performance Fiber Reinforced Concrete jacket is investigated herein, with the aim of studying the effectiveness of this technique for seismic retrofitting. The results of a beam-column joint full scale test simulating the behavior of existing beam-column joints are presented. The specimen have been subjected first to static loads and after to cyclic actions with increasing amplitude, up to failure. The tests demonstrated that, with the application of a high performance jacket, it was possible to remarkably increase the bearing capacity of the columns and the resistance of the beam column joints, reaching also an adequate level of ductility.

1. INTRODUZIONE

Le indagini diagnostiche effettuate su numerosi edifici sull'intero territorio nazionale a seguito dall'emanazione delle recenti normative sismiche, hanno mostrato come in passato si siano spesso utilizzati calcestruzzi di scarsa qualità, con resistenze a compressione dai 10 ai 15 MPa [1]. Di conseguenza, per questi edifici, non solo nascono problemi di verifica nei confronti dei carichi verticali, ma, quando si passa a una verifica di tipo sismico, diventa essenziale provvedere ad interventi di adeguamento o miglioramento.

In quest'ambito, lo sviluppo di una tecnica innovativa di semplice messa in opera, che permetta il rinforzo degli elementi strutturali, risulta di sicuro interesse.

Differenti tecniche sono solitamente proposte per l'adeguamento sismico di strutture esistenti in c.a. [2-5]. Per quanto concerne il rinforzo dei pilastri, la possibilità di adottare incamiciature in c.a. è spesso presa in considerazione, in particolare nel caso in cui gli elementi siano realizzati con calcestruzzi di bassa resistenza. Le incamiciature tradizionali, tuttavia, presentano un inconveniente, dal momento che lo spessore della camicia è governato dal copriferro. Questo porta spesso a spessori dell'incamiciatura superiori a 70-

100 mm [2], con un conseguente aumento delle dimensioni delle sezioni e quindi della massa e della rigidità degli elementi, richiedendo particolare attenzione nella valutazione della risposta della struttura rinforzata nei confronti delle azioni sismiche.

Per l'adeguamento delle strutture in c.a. sono state recentemente proposte diverse tecniche di rinforzo, tra le quali, ad esempio, rinforzi con FRP. Tuttavia, fasciature in FRP sono utili per aumentare la duttilità, ma non del tutto idonee quando sia richiesto un notevole incremento della resistenza degli elementi [3,4].

Recentemente è stata messa a punto una nuova tecnica di rinforzo basata sull'utilizzo di incamiciature in calcestruzzo ad alte prestazioni fibrorinforzato [6,7].

La tecnica proposta consiste nell'applicare agli elementi strutturali, una camicia in HPFRC di spessore contenuto entro i 30-40 mm. Prima dell'applicazione si procede alla sabbatura della superficie di calcestruzzo, allo scopo di ottenere una rugosità di 1-2 mm, sufficiente a non richiedere l'utilizzo di adesivi chimici, grazie alle buone proprietà di aderenza dell'HPFRC [6].

Il materiale utilizzato per il rinforzo è caratterizzato da un comportamento incrudente a trazione associato a un'elevata

resistenza a compressione e grande capacità deformativa, se confrontato con i tradizionali calcestruzzi fibrorinforzati.

In questa memoria sono presentati i risultati di una prova sperimentale su un nodo trave-pilastro in scala 1:1 rinforzato con la tecnica proposta.

La prova effettuata si inserisce nell'ambito dell'intervento di adeguamento di un edificio di edilizia scolastica localizzato nel Comune di Zagarolo (Roma). Numerose indagini in situ, effettuate allo scopo di definire i dettagli strutturali e le resistenze di calcestruzzo e acciaio d'armatura, hanno mostrato come il calcestruzzo utilizzato avesse una resistenza media di 11 MPa e come fosse necessario provvedere ad un intervento di rinforzo.

I risultati ottenuti da analisi numeriche non lineari sull'edificio hanno evidenziato come la struttura non fosse in grado di sostenere la combinazione sia di carichi statici che di carichi sismici, in accordo con la normativa italiana [8,9]. Il progetto dell'intervento di adeguamento prevedeva il rinforzo dei pilastri e dei nodi trave-pilastro mediante applicazione di una camicia in HPFRC di 40 mm di spessore e il rinforzo delle travi all'estradosso con strisce in FRP, per aumentarne la capacità portante nei confronti dei carichi verticali.

Vista la scelta di utilizzare questa innovativa tecnica di intervento, il progetto è stato sottoposto alla valutazione del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici che ha richiesto la realizzazione di due prove sperimentali su elementi in scala 1:1 rappresentativi di un pilastro e di un nodo trave-pilastro dell'edificio oggetto di intervento. Le prove sono state effettuate presso l'Università degli Studi di Bergamo, con lo scopo, oltre che di valutare il buon funzionamento dal punto di vista strutturale, anche di dimostrare l'applicabilità tecnologica di un getto di spessore così limitato.

Ai campioni è stato inizialmente applicato il carico assiale risultante dalle analisi e successivamente un carico ciclico orizzontale di ampiezza crescente fino a rottura. I risultati

della prova sul nodo pilastro-fondazione sono riportati in [10,11].

Le prove hanno mostrato l'efficacia della tecnica proposta e hanno consentito di ottenere le necessarie autorizzazioni per la realizzazione di questo intervento pilota.

2. PROVE SPERIMENTALI

2.1 Preparazione dei campioni di prova

Il campione di prova è caratterizzato da un pilastro di sezione 300x300 mm nella parte superiore e 400x400 mm in quella inferiore e da una trave di sezione 300x600 mm. L'altezza del pilastro è pari a 3.55 m e la lunghezza della trave pari a 5 m. La geometria del campione è rappresentata in Figura 1.

La resistenza dell'acciaio di armatura e del calcestruzzo, nonché i dettagli costruttivi, sono rappresentativi delle costruzioni in c.a. realizzate in Italia negli anni 60. Nella parte superiore del pilastro sono previste 6 barre longitudinali $\phi 12$, nella parte inferiore 8 barre $\phi 12$, mentre nella trave sono stati utilizzati 3 $\phi 12$ al lembo inferiore e 4 $\phi 12$ al lembo superiore.

Le staffe, di diametro 8 mm, sono state disposte a un interasse pari a 300 mm in tutto il campione. Per quanto riguarda le travi, sono state disposte staffe all'interno del nodo, secondo una pratica costruttiva tipica degli anni 60.

Le caratteristiche dei materiali sono riportate in Tabella 1. Una volta eseguito il getto degli elementi, si è proceduto, dopo 14 giorni di maturazione, alla sabbiatura delle superfici del campione, al fine di garantire l'aderenza tra il calcestruzzo originario e il getto del rinforzo. Per quanto riguarda le travi, prima dell'applicazione delle strisce in FRP, è stata effettuata la rasatura delle superfici all'estradosso e la stesura dell'adesivo. Le strisce in FRP sono state piegate a 90° e incollate per circa 15 cm al pilastro, così da essere inglobate nel successivo getto della camicia in HPFRC (Figg. 2a,b).

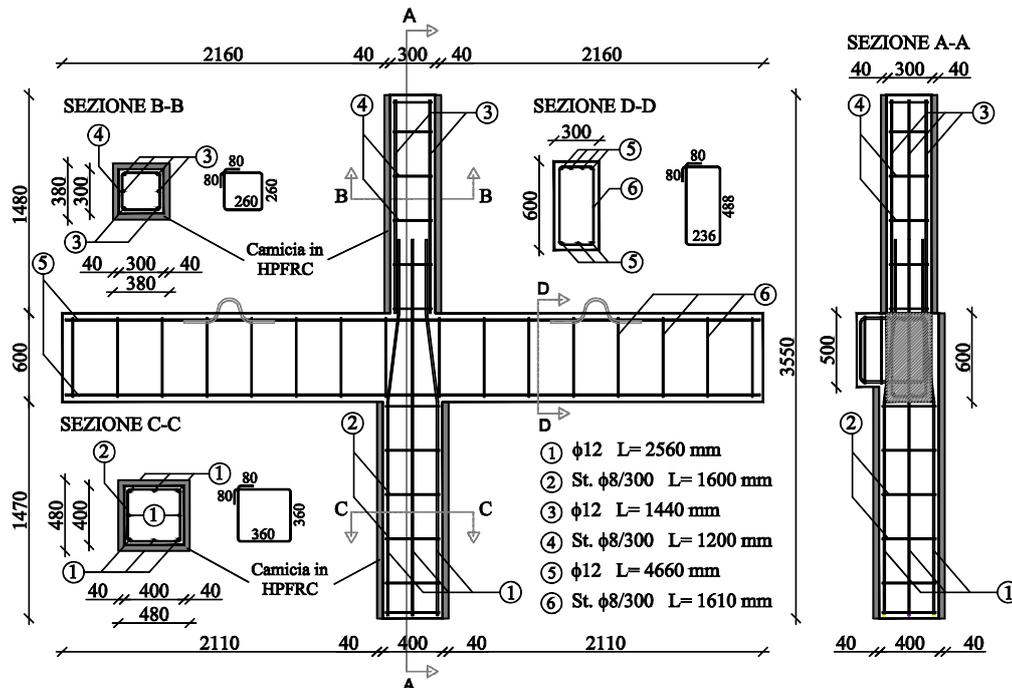


Figura 1 – Geometria del campione di prova

Il getto della camicia, di spessore pari a 40 mm, è stato realizzato utilizzando un calcestruzzo fibrorinforzato ad elevate prestazioni autocompattante, avente le caratteristiche meccaniche riportate in Tabella 1 (Fig. 3). Per quanto riguarda le strisce in FRP, le principali caratteristiche del materiale adottato sono un elevato modulo elastico e una resistenza a trazione di circa 3000 MPa (Tabella 1).



(a)



(b)

Figura 2 – Preparazione del campione: (a) Stesura dell'adesivo sulla superficie di estradosso delle travi; (b) Applicazione dell'FRP



Figura 3 – Getto della camicia in HPFRC

Tabella 1 – Caratteristiche dei materiali

CALCESTRUZZO		
Resistenza a compressione media	17	MPa
ACCIAIO ARMATURA		
Resistenza a snervamento media	486	MPa
Resistenza a rottura media	587	MPa
HPFRC		
Resistenza a compressione	130	MPa
Resistenza a trazione	6	MPa
Modulo elastico	42	GPa
Lunghezza delle fibre	15	mm
Diametro equivalente delle fibre	0.18	mm
Volume delle fibre	1.5%	
FRP		
Resistenza a trazione	300	MPa
Modulo elastico a trazione	400	GPa
Deformazione a rottura	1.1%	
Spessore dei fogli	0.220	mm
Densità	1.8	g/cm ³
Peso	420	g/cm ²

2.2 Banco di prova

La prova sul nodo trave-pilastro è stata fatta utilizzando il banco rappresentato in Figura 4. Il banco è stato progettato in modo da sviluppare vincoli a cerniera alla base e in sommità al pilastro e vincoli a carrello alle estremità delle travi, così che il campione fosse rappresentativo della parte di un telaio multipiano compresa tra i suoi punti d'inflessione e soggetto ad azioni orizzontali.

Il carico assiale, pari a 140 kN, in accordo con la combinazione di progetto per il pilastro all'interno dell'edificio, è stato applicato utilizzando due martinetti idraulici. Per ottenere la combinazione di taglio e momento nel nodo sotto i carichi di esercizio, prima del carico ciclico orizzontale, sono state applicate alle estremità delle travi due forze verticali pari a 24 kN.

Successivamente, è stato imposto un carico ciclico orizzontale in sommità al pilastro, utilizzando un martinetto elettro-meccanico fissato alla parete di contrasto del laboratorio.

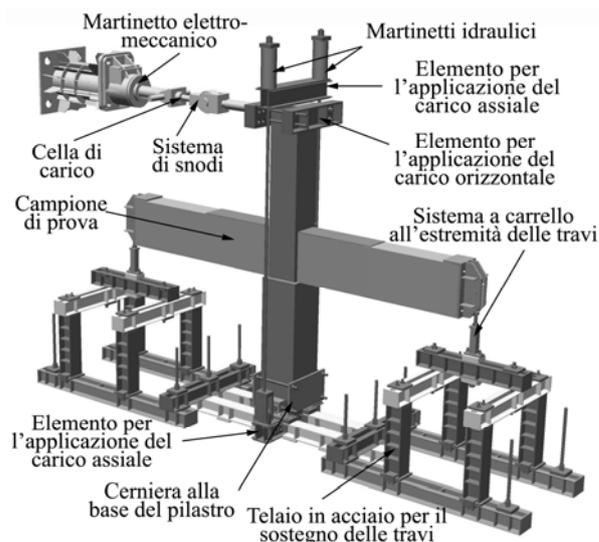


Figura 4 – Banco di prova

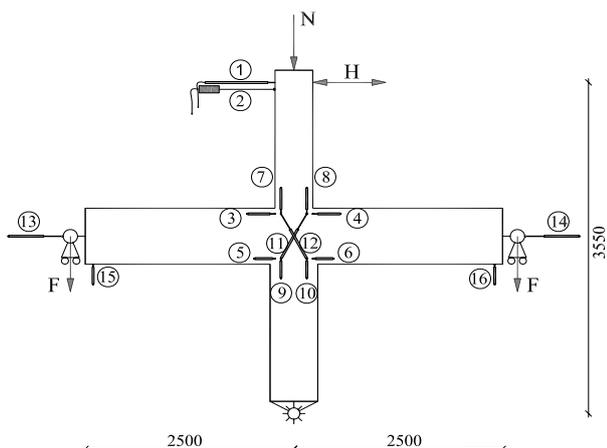


Figura 5 – Schema della strumentazione utilizzata

2.3 Strumentazione

Per la misura degli spostamenti orizzontali, sono stati posizionati in sommità al pilastro, in corrispondenza del punto di applicazione del carico, un potenziometro a filo e una molla (POS 1 e 2 in Fig. 5). Le rotazioni relative tra le travi e il pilastro sono state misurate con una serie di strumenti potenziometrici (POS 3-4-5-6 in Fig. 5) e le rotazioni delle due metà del pilastro sono state misurate con i potenziometri in POS 7-8-9-10. Inoltre, sono stati previsti due strumenti (POS 13 e 14 in Fig. 5) per la misura degli spostamenti orizzontali delle estremità delle travi e due strumenti (POS 15 e 16) per la misura degli spostamenti verticali.

Il carico orizzontale è stato misurato utilizzando una cella di carico, posizionata nel sistema di snodi tra il martinetto e la testa del pilastro, mentre i carichi verticali in testa alle travi sono stati monitorati attraverso barre filettate strumentate avvitate alle piastre di estremità.

2.4 Storia di carico

In una prima fase il campione è stato sottoposto a una combinazione di forze tale da simulare i carichi di esercizio agenti sul nodo. Successivamente è stato applicato il carico orizzontale imponendo cicli di spostamento di ampiezza crescente fino al collasso.

La storia di carico utilizzata nella prova è rappresentata in Figura 6; la prova è stata effettuata imponendo uno spostamento orizzontale in sommità al pilastro.

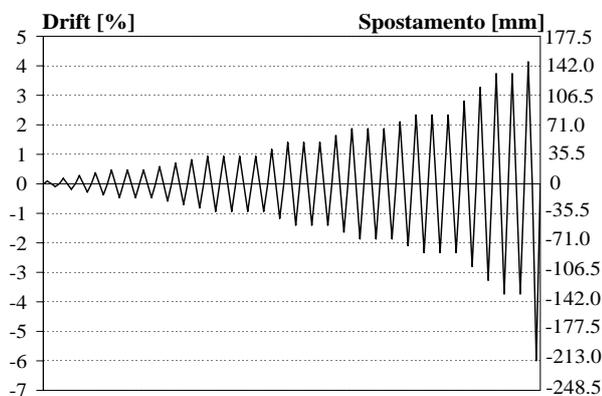


Figura 6 – Storia di carico

Sono stati eseguiti trentadue cicli di ampiezza crescente, fino a raggiungere uno spostamento massimo pari a 147 mm in una direzione e 212 mm nella direzione opposta. Per valori di drift pari allo 0.5%, 1%, 1.5%, 2% e 2.5%, sono stati effettuati tre cicli. Successivamente, sono stati applicati cicli con incremento di drift pari allo 0.5% fino a rottura.

2.5 Risultati sperimentali

I risultati, in termini di diagramma carico–spostamento orizzontale del punto di applicazione del carico, sono mostrati in Figura 7.

Dal grafico di Figura 8 si osserva che il comportamento del nodo si è mantenuto stabile fino a un drift dello 0.95%, in corrispondenza del quale è stato osservato nel campione un danneggiamento limitato. Si sottolinea che la forza orizzontale raggiunta per un drift dello 0.95% è comunque più elevata della forza di progetto allo Stato Limite Ultimo, come è risultato dalle verifiche sull'edificio rinforzato.

In corrispondenza di un drift pari allo 0.5%, compatibile con le richieste della normativa per lo Stato Limite di Danno [12], è stata osservata nella camicia in HPFRC alla base della parte superiore del pilastro una singola fessura capillare.

Durante il ciclo all'1% di drift, si è riscontrata una rotazione localizzata all'estremità di una delle travi, contemporaneamente alla delaminazione delle strisce in FRP all'estradosso delle travi stesse. Come conseguenza, i cicli successivi sono caratterizzati da un pronunciato pinching.

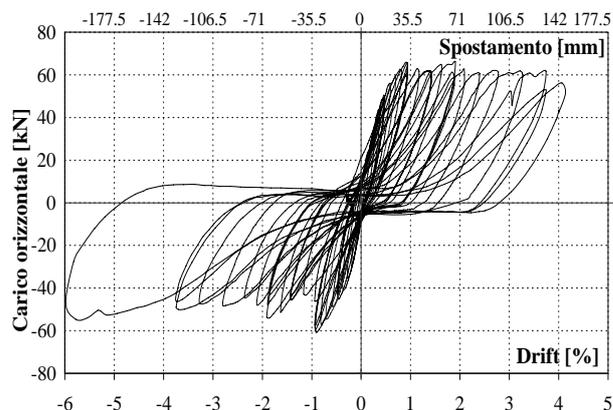


Figura 7 – Diagramma carico orizzontale – spostamento

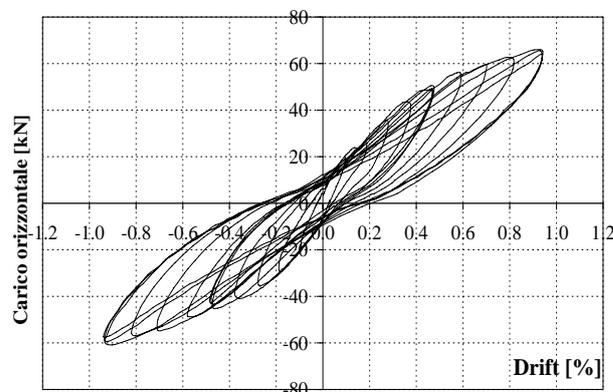


Figura 8 – Diagramma carico orizzontale – spostamento fino a drift dell'1%

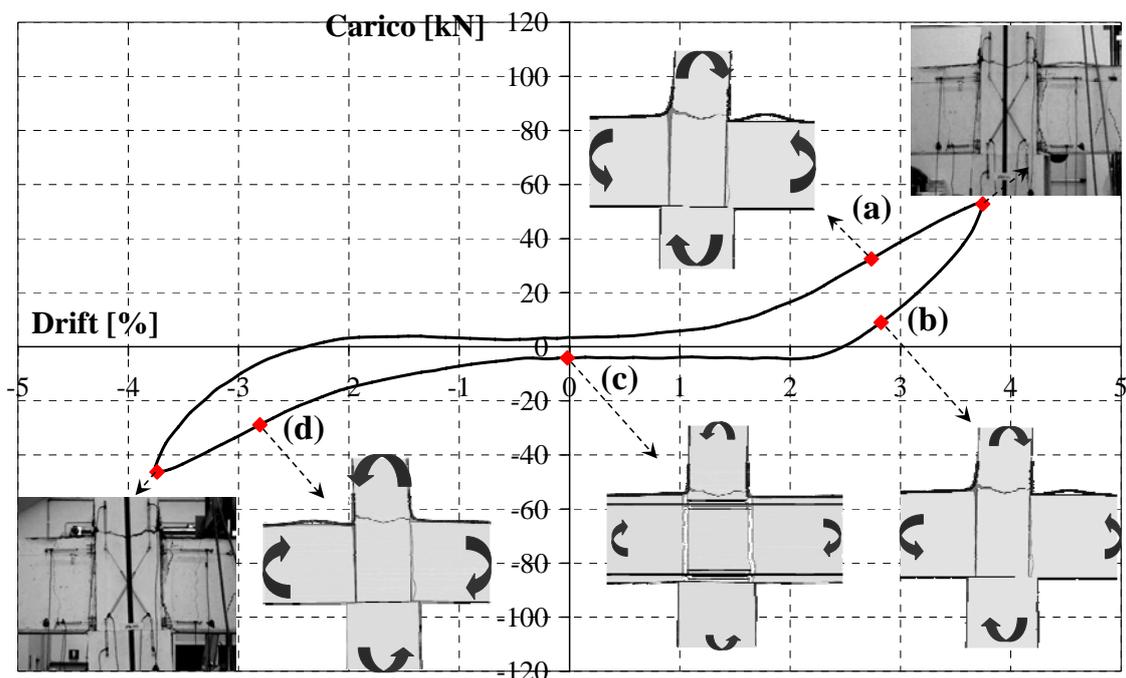


Figura 9 – Meccanismo responsabile del fenomeno del pinching nei cicli a spostamento elevato

Il meccanismo osservato è descritto in Figura 9: a causa della delaminazione dell'FRP, i fogli nella fase di compressione presentano un pronunciato imbozzamento (punto a); invertendo il carico, il lato teso dell'FRP si scarica rapidamente, mentre quello precedentemente compresso rimane inattivo (punto b); nella parte centrale del ciclo entrambi i fogli sono inattivi e si ha lo scorrimento delle armature con conseguente rigidità nulla (punto c); successivamente il lato teso dell'FRP si carica portando a un recupero di rigidità (punto d). In aggiunta al meccanismo appena descritto, è stata osservata la formazione di una singola fessura all'interfaccia trave-pilastro, completamente aperta per gran parte del ciclo (punto c di Fig. 9), con conseguente scorrimento delle barre longitudinali di armatura.

La parte superiore del pilastro ha raggiunto il collasso per un drift del 4% (142 mm), come mostrato in Figura 10.

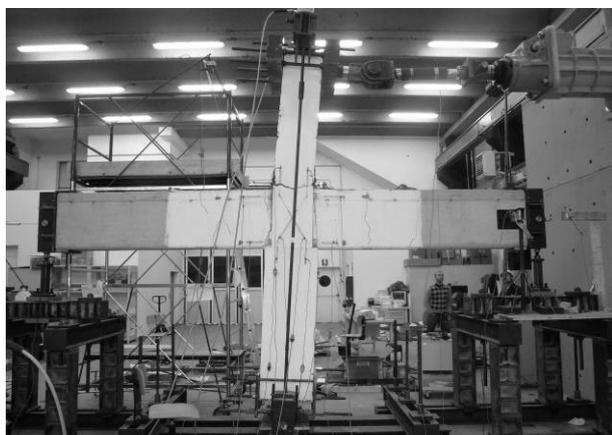


Figura 10 – Campione di prova per un drift del -4%

La rottura del campione è stata causata dalla delaminazione delle strisce in FRP, che ha portato al distacco della camicia in HPFRC e dalla conseguente rottura del calcestruzzo della camicia nella parte superiore del nodo (Figg. 11a,b). La prova è stata conclusa in corrispondenza di un drift del 6%.



(a)



(b)

Figura 11 – (a) Delaminazione dell'FRP nelle travi; (b) Distacco della camicia in HPFRC



Figura 12 – Quadro fessurativo del nodo nella parte posteriore

Il quadro fessurativo al termine della prova non ha evidenziato un danneggiamento evidente sulla superficie del nodo, mentre qualche fessura si è sviluppata nella parte posteriore del nodo in corrispondenza dell'innesto con il moncone di calcestruzzo rappresentativo della trave trasversale (Fig. 12)

A prova conclusa, la camicia in HPFRC nel nodo è stata rimossa per verificare le condizioni del calcestruzzo originario. Come mostrato in Figura 13, il nucleo interno di calcestruzzo è risultato seriamente danneggiato. E' possibile, inoltre, osservare che le armature longitudinali si sono spostate durante il getto del campione. Questa anomalia, che spesso si verifica anche nella realtà, giustifica qualche incongruenza e asimmetria nella risposta osservata durante la prova.



Fig.13 – Danneggiamento all'interno del nodo dopo la rimozione della camicia in HPFRC

3. ANALISI DEI RISULTATI

I risultati presentati nel seguente paragrafo mostrano come la resistenza degli elementi rinforzati sia notevolmente più alta di quella degli elementi originari e come una stima sufficientemente accurata della resistenza delle sezioni possa essere effettuata con semplici metodi di verifica.

Per quanto riguarda la verifica del pilastro, sono stati disegnati i diagrammi di interazione M-N, prima e dopo l'applicazione della camicia in HPFRC.

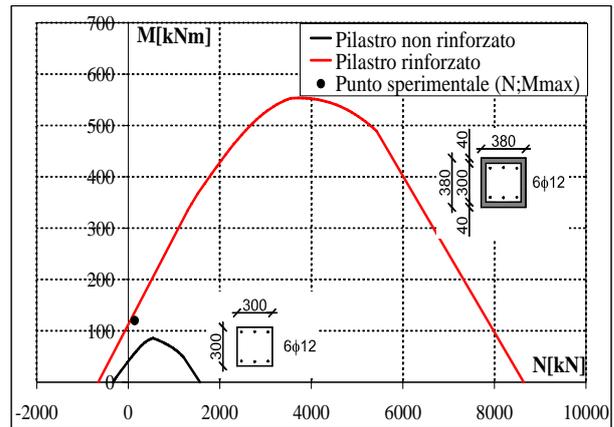


Figura 14 – Diagramma M-N per la sezione della parte superiore del pilastro

Per la sezione non rinforzata, il diagramma M-N è stato calcolato seguendo il classico approccio semplificato: ipotesi di Navier-Bernoulli; resistenza a trazione del calcestruzzo nulla; perfetta aderenza tra acciaio e calcestruzzo; compressione nel calcestruzzo modellata utilizzando uno stress-block rettangolare [13].

Per l'HPFRC sono state adottate le stesse ipotesi. Inoltre, poiché il materiale è caratterizzato da un comportamento incrudente a trazione, è stata presa in considerazione la resistenza a trazione del calcestruzzo fibrorinforzato, assumendo una distribuzione degli sforzi costante, una deformazione ultima a trazione pari all'1% e perfetta aderenza tra la camicia in HPFRC e il substrato [14]. Le curve sono state tracciate considerando per i materiali i valori medi delle resistenze, anziché i loro valori di progetto, come prescritto dalle norme.

In Figura 14 è rappresentato il diagramma M-N per la sezione rinforzata, confrontata con quella originaria per la parte superiore del pilastro, con l'indicazione del punto sperimentale corrispondente a un momento flettente massimo pari a 120 kN per un'azione assiale di circa 140 kN. È possibile osservare un notevole aumento della resistenza, grazie all'applicazione della camicia in HPFRC.

È stata inoltre svolta una valutazione del momento ultimo delle travi prima e dopo l'applicazione delle strisce in FRP, considerando l'FRP elastico lineare fino a rottura, come specificato in [15].

Adottando per i materiali i valori medi delle resistenze, il momento ultimo è pari a 121 kNm per la sezione originaria e 216 kNm per la sezione rinforzata. Nel calcolo del momento ultimo della sezione rinforzata, è stata assunta una deformazione ultima a trazione dell'FRP ridotta, pari allo 0.66%, per tenere in conto l'effetto della delaminazione [15].

In accordo alla normativa italiana [9], la verifica della resistenza del nodo trave-pilastro non rinforzato può essere svolta secondo l'Equazione 1 di seguito riportata:

$$\sigma_{nt} = \frac{N}{2A_g} - \sqrt{\left(\frac{N}{2A_g}\right)^2 + \left(\frac{V_n}{A_g}\right)^2} \leq 0.3\sqrt{f_{ck}} \quad (1)$$

dove A_g = sezione del pilastro; V_n = taglio totale agente nel nodo; N = azione assiale nel pilastro.

Il taglio nel nodo si calcola come differenza tra la forza di

tiro nell'armatura della trave e il taglio nella parte superiore del nodo, come indicato nell'Equazione 2:

$$V_n = (A_{s,sup} - A_{s,inf}) \cdot f_{yd} - V_{Sd} \quad (2)$$

dove $A_{s,sup}$ = area dell'armatura al lembo superiore della trave; $A_{s,inf}$ = area dell'armatura al lembo inferiore della trave; f_{yd} = tensione di snervamento di progetto dell'armatura; V_{Sd} = taglio sollecitante nella parte superiore del nodo.

Per il campione rinforzato, l'Equazione 1 può essere modificata, per tenere in conto il contributo alla resistenza a trazione della camicia in HPFRC, nel modo seguente:

$$\sigma_{nt} = \left| \frac{N}{2A_g} - \sqrt{\left(\frac{N}{2A_g} \right)^2 + \left(\frac{V_n}{A_g} \right)^2} \right| \leq \frac{0.3 \sqrt{f_{ck}} \cdot A_g + \frac{f_{tk,HPFRC}}{\gamma_{HPFRC}}}{A_T} \quad (3)$$

dove: $f_{tk,HPFRC}$ = resistenza a trazione dell'HPFRC; γ_{HPFRC} = coefficiente di sicurezza per l'HPFRC; $A_T = A_g + A'_g$ con A_g = area della sezione del pilastro non rinforzato e A'_g = area della camicia in HPFRC applicata al pilastro.

Per il campione della prova sperimentale, le resistenze del campione originario e di quello rinforzato sono state valutate adottando i valori medi per i materiali e un coefficiente di sicurezza unitario per l'HPFRC.

Il taglio totale agente nel nodo è stato calcolato applicando i principi della Gerarchia delle Resistenze, come segue:

$$V_n = \frac{M_1}{z_1} + \frac{M_2}{z_2} - V_C \quad (4)$$

dove M_1 e M_2 sono i momenti resistenti delle travi, come mostrato in Figura 15; z_1 è pari a $0.9d$ per la sezione originaria e $0.9h$ per la sezione rinforzata, con h = altezza della sezione; z_2 è pari a $0.9d$ in entrambi i casi.

Il taglio nel pilastro è definito come segue:

$$V_C = (M_1 + M_2) \cdot \frac{L}{L'} \cdot \frac{1}{H} \quad (5)$$

dove L = luce della trave; L' = luce netta della trave; H = altezza del pilastro.

Considerando il campione della prova sperimentale, per il nodo non rinforzato, il taglio nel pilastro V_C è pari a 65 kN e il taglio totale agente nel nodo V_n è pari a 358 kN. Con un carico assiale di 140 kN, lo sforzo nel nodo, calcolato secondo l'Equazione 1, è pari a 3.27 MPa, ben superiore alla resistenza del nodo, pari a 1.14 MPa. Il nodo nelle condizioni originarie non è pertanto verificato.

Per il nodo rinforzato, il taglio nel pilastro V_C è pari a 94 kN e il taglio totale agente nel nodo V_n è pari a 468 kN. Con un carico assiale di 140 kN, lo sforzo nel nodo, calcolato secondo l'Equazione 3, è pari a 2.92 MPa, poco minore della resistenza del nodo, pari a 2.97 MPa. In questo caso, la verifica di resistenza per il nodo è soddisfatta.

Per provare la validità di questa formulazione, è presentato un confronto con i risultati sperimentali. A questo scopo si assume come M_1 il massimo valore del momento negativo nella trave durante la prova, pari a 187 kNm, come M_2 il corrispondente valore positivo dalla parte opposta del nodo, pari a 76 kNm e come V_C il taglio nel pilastro, pari a 53 kN. Applicando l'Equazione 3, lo sforzo nel nodo è pari a 2.67 MPa, minore della resistenza del nodo, pari a 2.97 MPa. Il risultato è in accordo con l'evidenza sperimentale, dal momento che il nodo non ha mostrato evidenti segni di danneggiamento durante la prova.

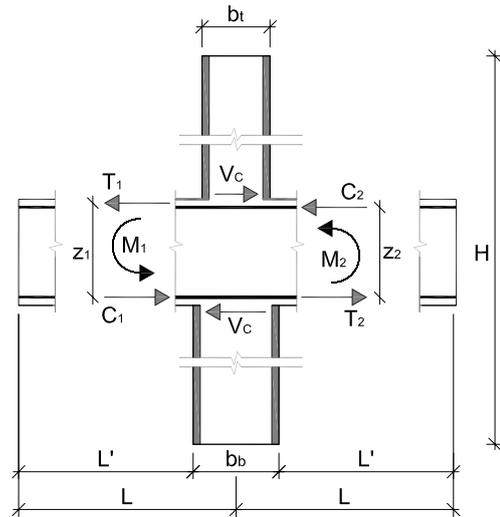


Figura 15 – Forze per il calcolo della resistenza del nodo

4. CONCLUSIONI

La prova sperimentale presentata ha dimostrato l'efficacia della tecnica di rinforzo proposta, basata sull'applicazione di una camicia in HPFRC. I risultati hanno mostrato che con un'incamiciatura in HPFRC è possibile incrementare la resistenza del pilastro e del nodo trave-pilastro, raggiungendo contemporaneamente un adeguato livello di duttilità.

La tecnica proposta risulta adatta per il rinforzo di strutture esistenti in c.a. caratterizzate da calcestruzzi di bassa resistenza e da basse percentuali di armatura.

Inoltre, la possibilità di applicare una camicia di spessore limitato, non altera sostanzialmente la rigidità degli elementi strutturali che può diventare rilevante quando la distribuzione delle rigidità della struttura originaria non può essere modificata in modo significativo.

Infine, è importante sottolineare che l'uso di un calcestruzzo ad elevate prestazioni autocompattante permette di ottenere superfici particolarmente lisce e regolari, eliminando la necessità di utilizzare intonaci di finitura, con un ovvio vantaggio in termini di riduzione della variazione della geometria degli elementi.

5. RINGRAZIAMENTI

Un particolare ringraziamento va al comune di Zagarolo (Roma), proprietario dell'edificio, per il supporto economico e alla ditta Tecnochem Italiana s.p.a., produttrice del calcestruzzo ad elevate prestazioni utilizzato.

Infine, si ricorda che il presente lavoro fa parte della ricerca all'interno del progetto Re-LUIS 2009-2012.

BIBLIOGRAFIA

- [1] M. FERRINI, N. SIGNORINI, P. PELLICCIA, F. PISTOLA, V. PRESTIFILIPPO, G. SABIA, (2008) - Risultati delle campagne d'indagine svolte dalla Regione Toscana per la valutazione della resistenza del calcestruzzo di edifici esistenti in cemento armato. Valutazione e riduzione della vulnerabilità sismica di edifici esistenti in c.a. Roma, 29-30 maggio 2008.

- [2] Fib Bulletin n. 24 (2003) - Seismic assessment of reinforced concrete buildings.
- [3] Fib Bulletin n. 32 (2006) - Retrofitting of concrete structures by externally bonded FRPs.
- [4] Fib Bulletin n. 35 (2006) - Retrofitting of concrete structures by externally bonded FRPs, with emphasis on seismic applications.
- [5] Fib Report 1991 - Repair and strengthening of concrete strengthening of concrete structures. Guide to good practice.
- [6] G. MARTINOLA, A. MEDA, G.A. PLIZZARI AND Z. RINALDI (2007) - An application of high performance fiber reinforced cementitious composites for R/C beams strengthening, FRAMCOS 6, Catania (Italy), 18–21 June 2007.
- [7] L. MAISTO, A. MEDA, G.A. PLIZZARI AND Z. RINALDI (2007) - R/C beams strengthening and repair with high performance fiber reinforced concrete jacket, 4th International Conference on the Conceptual Approach to Structural Design, Venezia (Italy), 27–29 June, 2007.
- [8] DM 2008, Nuove norme tecniche per le costruzioni, 14 gennaio 2008.
- [9] Circolare n. 617, Istruzioni per l'applicazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni, 2 febbraio 2009.
- [10] C. BESCHI, A. MEDA AND P. RIVA (2009) - Rinforzo di pilastri con incamicature ad elevate prestazioni, XIII Convegno ANIDIS, Bologna, 28/06-2/07/2009.
- [11] C. BESCHI, A. MEDA AND P. RIVA (2009) - High Performance Fiber Reinforced Concrete Jacketing in a Seismic Retrofitting Application, ATC & SEI conference on Improving the Seismic Performance of Existing Buildings and Other Structures, San Francisco 9-11/12/2009.
- [12] EN 1998-1-1 (2004) - EUROCODE 8: Design structures for earthquake resistance, part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings.
- [13] EN 1992-1-1 (2004) - EUROCODE 2: Design of Concrete Structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings.
- [14] CNR-DT 204 (2006) - Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Strutture di Calcestruzzo Fibrorinforzato, Consiglio Nazionale delle Ricerche.
- [15] CNR-DT 200 (2004) - Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Interventi di Consolidamento Statico mediante l'utilizzo di Compositi Fibrorinforzati, Consiglio Nazionale delle Ricerche.