

Il Dipartimento di Ingegneria Strutturale e Geotecnica dell'Università La Sapienza di Roma ha condotto nel 2003, in collaborazione con Interbau, una campagna sperimentale su travi in calcestruzzo rinforzate a taglio mediante i compositi CFRP ad alto modulo *Carbostru*, *UDHM 400* (tessuti unidirezionali in carbonio da 400 gr/m² con modulo elastico $E = 390$ GPa, resine epossidiche AD e CS85).

Sono state realizzate 14 travi-campione, volutamente sottodimensionate nella resistenza a taglio sia per calcestruzzo di scarse caratteristiche, sia per staffatura insufficiente, al fine di simulare le condizioni più frequenti di adeguamento strutturale. Le travi, di dimensioni 300x45x25 cm con calcestruzzo classe R_{ck} 13,5 N/mm² e armate a flessione con 4 ϕ 22 ed a taglio con staffe ϕ 8/40 cm FeB 44 k, sono state, successivamente, rinforzate secondo diverse configurazioni (figura 1).

Nel corso del 2004 il Dipartimento di Meccanica, Strutture, Ambiente e Territorio dell'Università di Cassino ha avviato un'analogha campagna sperimentale su 20 travi di identica tipologia, rinforzate con tessuti *Sikawrap*, *400 C MidMod*, di medesime caratteristiche meccani-

che. Nel contempo il DISG decideva di ampliare la propria campagna di prove, realizzando altre 14 travi-campione rinforzate a taglio da Interbau con l'apposito sistema *Carbostru T-System*.

Tutte le travi-campione delle due campagne di prova condotte al DISG hanno medesimo tipo e disposizione di armature, medesima classe di resistenza di calcestruzzo; si sono variati esclusivamente i parametri geometrici dei rinforzi esterni in CFRP: i rinforzi in Side Bonding (rinforzo applicato sui fianchi della trave) ed in U-Jacketing (rinforzo applicato in continuità sui fianchi e all'intradosso) sono, a seconda delle travi-campione, realizzati con fasce in composito continuo ovvero discontinuo, inclinato a 45° ovvero a 60° oppure ad inclinazione variabile di 60° / 45° / 30°.

Nella sperimentazione del Dipartimento di Meccanica, Strutture, Ambiente e Territorio dell'Università di Cassino si è preferito unificare il tipo e la geometria del CFRP di rinforzo, ed indagare sull'influenza della variazione del passo delle staffe in acciaio nelle travi (f 8/20, 30 e 40 cm) in presenza di rinforzi in CFRP.

Sperimentazione di rinforzi a taglio in CFRP di travi in calcestruzzo

di Marc'Antonio Liotta
Antonino Montalbano
Alessandro Rasulo

1

Schema travi	Schema rinforzo
Sigla	
REF1	
US90	
SS90	
SS45	
SSVA	
US 60	
SF90	
USVA	
UF90	
US45+	
USV+	
US45+An	
WS45+	

Grazie a queste campagne sperimentali si è giunti alla formulazione di nuove e più efficienti equazioni predittive per i rinforzi a taglio in CFRP. Esse permettono di cogliere aspetti che prima non erano chiariti né dal Bollettino N° 14 "Design and use of externally bonded FRP for reinforced concrete structures" preparato dal Task Group 9.3 della *Fib*, né tantomeno dal documento di riferimento USA ACI 440.2R-02 "Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures" preparato dalla commissione tecnica 440 costituitasi fin dal 1991.

I progettisti possono ora fare affidamento su equazioni che determinano e descrivono:

- la **resistenza efficace**, intesa come massima tensione di trazione trasferibile al rinforzo in CFRP all'atto della delaminazione, nelle tre diverse configurazioni Side-Bonding- U-Jacketing- Wrapping (cfr Eq. (4.28), (4.30), (4.31) del CNR-DT 200/04);
- il **meccanismo resistente di "cucitura" delle strisce** nel Side Bonding e relativo contributo (cfr Eq. (4.2.5) del CNR-DT 200/04);
- il **contributo delle strisce nell'U-Jacketing e nel Wrapping** (cfr Eq. (4.26) e (4.27) del CNR-DT 200/04)
- **limitazioni per il passo delle fasciature** (cfr § 4.3.3.3 del CNR-DT 200/04).

Le nuove equazioni sopra richiamate pongono finalmente il progettista nella condizione di:

- > percepire le reali potenzialità evitando sopravvalutazioni delle capacità di rinforzo dei CFRP; valga ad esempio la totale mancanza di aumento del contributo resistente nel caso di fasciature con interasse mal proporzionato (figura 2);
- > dimensionare il composito a taglio, tenendo conto anche della qualità della posa in opera del CFRP e della certificazione del sistema di rinforzo (*Applicazione di tipo A e Tipo B – cfr § 2.5.1 del CNR-DT 200/04*);
- > ottimizzare la disposizione e la quantità dei tessuti in composito a seconda della conformazione geometrica della trave e del deficit di armatura resistente (figure 3, 4).

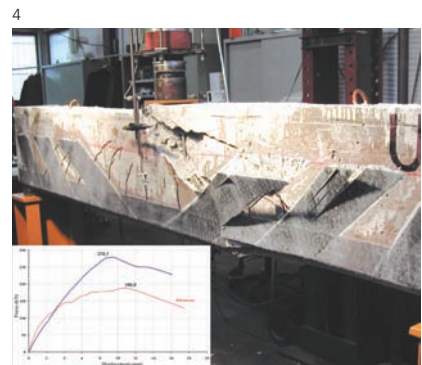
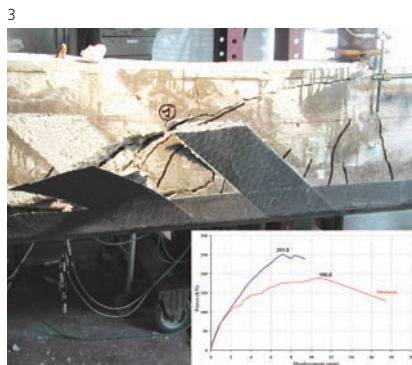
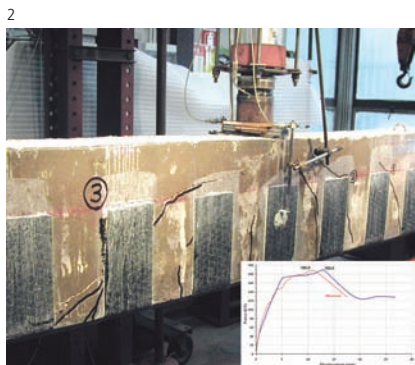
Nella seconda campagna sperimentale 2004-2005 del DI-SG, si è anche potuto verificare la migliore efficacia dei rinforzi a taglio realizzati con il *Carbostru T-System* rispetto alle formulazioni sopra richiamate.

E' importante evidenziare che avere a disposizione equazioni certe per il dimensionamento dei CFRP di rinforzo non è, come nel caso di nuove strutture, l'unico aspetto per la riuscita dell'intervento, ma assumono molta importanza la fase diagnostica, la fase operativa, e la fase controlli, in particolare:

- > l'analisi dello stato di fatto con l'esatta determinazione sia delle caratteristiche meccaniche di calcestruzzi ed armature sia la disposizione delle stesse rilevando passo e diametro della staffatura;
- > la determinazione della causa, dell'entità e dell'orientamento di eventuali fessurazioni esistenti, in quanto se il composito è unidirezionale offre il proprio contributo esclusivamente nella direzione delle fibre;
- > la competenza specialistica di chi realizza i compositi, curando planarità dei calcestruzzi, condizioni ambientali quali polveri e temperature di polimerizzazione, tempi operativi, modalità applicative (figure 5, 6);
- > la validazione del progetto di rinforzo da parte di specialisti del settore;
- > il collaudo dei compositi di rinforzo: ove si sia in grado di verificare le tensioni dei compositi sotto i carichi di esercizio, non solo si avrà la certezza della buona esecuzione dell'opera, ma si potranno trarre indicazioni per futuri miglioramenti qualitativi.

RINGRAZIAMENTI

Si ringraziano il Prof. Giorgio Monti, lo staff di ricerca del Dipartimento di Ingegneria Strutturale e Geotecnica dell'Università di Roma La Sapienza, il responsabile del laboratorio F. Di Nino, la Prof.ssa Maura Imbimbo del Dipartimento di Meccanica, Strutture, Ambiente e Territorio dell'Università di Cassino, nonché le società Sika spa ed Interbau srl.



1. Schema Rinforzo Travi Sperimentazione taglio 2003-2004. 2. Trave US90. 3. Trave US45 . 4. Trave USV. 5. Curing dei compositi di rinforzo di un pilastro. 6. Qualità della stratificazione del composito posto in due strati di diversa larghezza).