

## Prove sperimentali su travi in c.a. rinforzate con metodo CAM<sup>®</sup>: valutazione dei meccanismi di flessione (parte 2)

Mauri Cilia<sup>1</sup>, Ines Cipolla<sup>2</sup>, Piero Colajanni<sup>3</sup>, Roberto Marnetto<sup>4</sup>, Antonio Recupero<sup>5</sup>, Nino Spinella<sup>6</sup> ■



### Nome dell'opera/progetto:

Inserito nel contesto del Progetto di Ricerca “INnovazione del CAM<sup>®</sup> Mediante Impiego di Nuove Opzioni di processo”

### Tipo di progetto:

Prove sperimentali su travi in c.a. rinforzate con sistema CAM<sup>®</sup>

### Responsabile scientifico:

Ing. Roberto Marnetto

### Organizzazioni coinvolte:

Università degli Studi di Messina

### Università coinvolte:

Università degli Studi di Messina

### Imprese coinvolte:

CHIMETEC S.a.s. (Ragusa), ABI S.r.l. (Ragusa)

### 1. Introduzione

Nel presente contributo sono descritti e valutati criticamente i risultati discendenti da un lavoro finalizzato allo studio del comportamento di travi in calcestruzzo armato (c.a.) rinforzate mediante il sistema CAM<sup>®</sup>. Il lavoro è inserito nell'ambito del progetto di ricerca “INnovazione del CAM<sup>®</sup> Mediante Impiego di Nuove Opzioni di processo”, che ha visto coinvolte l'Università degli Studi di Messina, CHIMETEC S.a.s. e ABI S.r.l. di Ragusa. In particolare sono stati studiati il comportamento, l'evoluzione del danneggiamento ed i possibili meccanismi di rottura di quindici travi in c.a. in scala reale rinforzate mediante un sistema di nastri in acciaio di spessore 0.9 mm e larghezza 19 mm ed elementi in acciaio frapposti tra i manufatti e i nastri, come angolari e piastre imbutite (Figura 1). È stato pianificato di studiare i meccanismi di rottura per flessione e misto taglio-flessione. In questo secondo contributo verrà esaminato il primo dei meccanismi indicati. Il meccanismo misto taglio-flessione è stato descritto nel contributo

<sup>1</sup> Direttore Tecnico, Chimetec S.a.s., Ragusa - ✉ [info@chimetec.com](mailto:info@chimetec.com)

<sup>2</sup> Dipendente, Chimetec S.a.s., Ragusa - ✉ [info@chimetec.com](mailto:info@chimetec.com)

<sup>3</sup> Professore Associato, Università di Palermo, Dip. Di Ingegneria Civile, Ambientale, Aerospaziale e dei Materiali (DICAM) - ✉ [piero.colajanni@unipa.it](mailto:piero.colajanni@unipa.it)

<sup>4</sup> Responsabile Ricerca e Sviluppo, EdilCAM Sistemi S.r.l., Roma - ✉ [r.marnetto@libero.it](mailto:r.marnetto@libero.it)

<sup>5</sup> Università di Messina – Dipartimento di Ingegneria - ✉ [antonio.recupero@unime.it](mailto:antonio.recupero@unime.it)

<sup>6</sup> Università di Messina – Dipartimento di Ingegneria - ✉ [nino.spinella@unime.it](mailto:nino.spinella@unime.it)

“*Prove sperimentali su travi in c.a. rinforzate con metodo CAM®: valutazione del comportamento a taglio*” contenuto nel numero 3 del 2015 di Progettazione Sismica. È utile ricordare, in questa parte introduttiva, che nelle applicazioni sulle travi in c.a. i nastri in acciaio, richiusi ad anello sopra o sotto solaio mediante una macchina capace di imprimere una pretensione regolabile, possono essere utilizzati sia come armatura aggiuntiva a taglio, sia come confinamento aggiuntivo indotto per incrementare la resistenza a compressione. Il sistema comprende altresì angolari in acciaio bugnati, disposti agli spigoli dell'intradosso della trave per mezzo di malta. Gli 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, sia di ridurre gli attriti durante la messa in tensione dei nastri.

## 2. Organizzazione del progetto

La sperimentazione ha avuto luogo presso il laboratorio del Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università di Messina. Il ruolo di gestione della strategia operativa nello sviluppo del progetto e di raccordo con altre aziende (ABI S.r.l.) è stato ricoperto da CHIMETEC S.a.s. L'Università di Messina ha partecipato alle scelte progettuali ed operative, alla valutazione dei risultati delle prove ed alle definizioni di processo.

A.B.I. S.r.l. ha condotto la parte più specificatamente operativa, rivestendo di fatto il ruolo di componente applicativa del sistema, ed ha fornito il necessario supporto nelle fasi di allestimento e smantellamento delle prove presso il laboratorio sperimentale. Il Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università di Messina ha avuto altresì il compito di sviluppare, in concorso con il responsabile del progetto, i piani sperimentali, il progetto delle prove, la definizione delle attrezzature di complemento e delle apparecchiature necessarie. Ha curato l'allestimento e la conduzione delle prove, nonché l'acquisizione dei risultati. I prototipi di prova sono stati realizzati dalla Prefabbricati Sgarioto s.r.l. sulle indicazioni progettuali sviluppate dalla componente tecnica (CHIMETEC S.a.S. e Università di Messina). Il calcestruzzo è stato fornito da UNICAL S.p.a.

## 3. Contesto e descrizione della campagna sperimentale

La campagna sperimentale prende in considerazione lo studio di 6 travi, da sottoporre a prove di flessione, aventi lunghezza  $L = 325$  cm e sezione trasversale  $B \times H = 15 \times 25$  cm; le travi sono state armate longitudinalmente con (2+2)  $\phi 12$  e trasversalmente con  $\phi 6/5$  cm agli appoggi e  $\phi 6/10$  cm in mezzeria; per le barre longitudinali e trasversali si è utilizzato l'acciaio B450; per il calcestruzzo si è appositamente utilizzato un calcestruzzo scadente di classe C12/15.

Le operazioni di preparazione alle prove sperimentali sono state:

1. la preparazione delle gabbie metalliche presso gli stabilimenti della Prefabbricati Sgarioto s.r.l.;
2. il getto del calcestruzzo fornito dalla UNICAL s.p.a. ed effettuato presso gli stabilimenti della Prefabbricati Sgarioto s.r.l. comprensivo di prelievo di 4 cubetti e 4 cilindri e prova del cono di Abrams;
3. disarmo delle travi e, sulle travi in cui era previsto il rinforzo, applicazione degli angolari e dei nastri in acciaio effettuato da parte della A.B.I. s.r.l.;
4. trasporto presso il laboratorio del Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università di Messina.

Ultimate le fasi preparatorie, sono state effettuate le prove secondo il seguente cronoprogramma:

Data	Descrizione delle operazioni	
13/01/2014	Prova a flessione della trave senza rinforzo	FX NR_1
20/01/2014	Prova a flessione della trave senza rinforzo	FX NR_2
20/01/2014	Prova a flessione della trave con rinforzo	FX 3N P10_1
24/01/2014	Prova a flessione della trave con rinforzo	FX 3N P20_1
24/01/2014	Prova a flessione della trave con rinforzo	FX 3N P20_2
28/01/2014	Prova a flessione della trave con rinforzo	FX 3N P10_2

## 4. Risultati delle prove

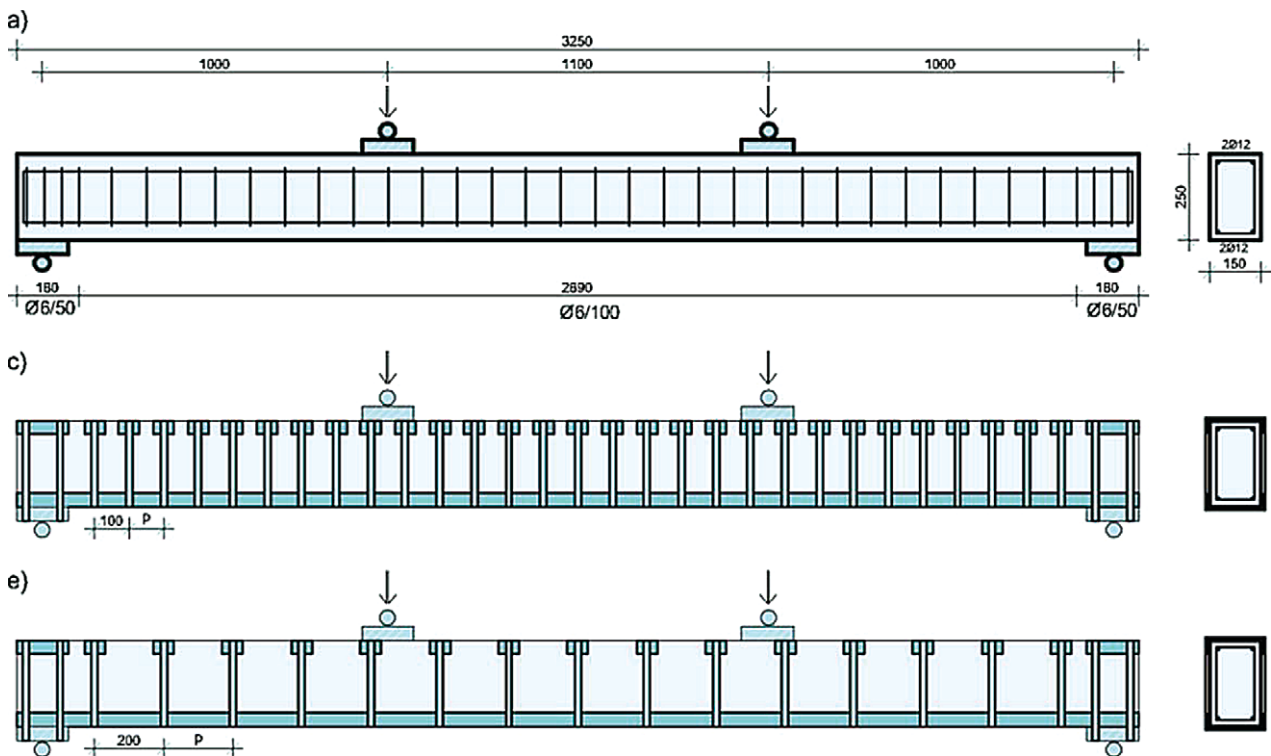
### 4.1 Prove a flessione

Sei travi sono state portate a rottura mediante una 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. I due punti di carico, come si vede in Figura 1, sono realizzati mediante cilindri di acciaio; tra i cilindri e la trave così come tra i cilindri e la struttura di ripartizione sono state posizionate piastre di acciaio con il compito di uniformare e distribuire il carico. I due punti di applicazione del carico distano tra loro 1.10 m. Gli appoggi sono realizzati in modo analogo: due cilindri, posti alla distanza di 3.10 m, hanno il compito di realizzare un vincolo in semplice appoggio. Anche qui sono state utilizzate piastre di acciaio per la ripartizione del carico.

Il carico è stato applicato mediante un martinetto idraulico collegato al telaio di contrasto (Figura 2).

Il sistema di acquisizione dei dati è 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 si interfaccia con l'utente attraverso il software CATMAN fornito dalla stessa HBM. Durante la prova a flessione, sono state studiate due travi per ciascuna delle seguenti configurazioni:

- trave senza alcun rinforzo (FX-NR);
  - trave avente come rinforzo angolari continui all'intradosso e tre nastri sovrapposti disposti con passo 100 mm (FX-3N-P10);
  - trave avente come rinforzo angolari continui all'intradosso e tre nastri sovrapposti disposti con passo 200 mm (FX-3N-P20).
- Gli angolari impiegati hanno dimensioni 40x40x4 mm in acciaio S235. I nastri utilizzati hanno larghezza pari a 19 mm e spessore 9 mm, in acciaio inox.



**Figura 1**  
Schema raffigurante le tre tipologie di provini (in alto).

**Figura 2**  
Telaio di prova.



#### 4.2 Risultati attesi

I valori analitici di carico e momento flettente resistente delle travi sono stati calcolati in funzione delle caratteristiche meccaniche dei materiali ottenute dalle prove di compressione del calcestruzzo e dalle prove di trazione sugli acciai.

La valutazione analitica del momento flettente è stata effettuata considerando:

- la sola presenza degli angolari in trazione disposti all'intradosso delle travi;
- la presenza degli angolari in trazione e l'incremento di resistenza del calcestruzzo indotto dal confinamento realizzato con i nastri in acciaio.

I valori attesi ottenuti sono riportati in Tabella 1.

Tabella 1 - Risultati attesi

Descrizione trave	$f_{cd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Carico 2 P <sub>MAX</sub> [kN]	Momento M <sub>Rd</sub> [kNm]
FX NR	11.05	50.19	25.10
FX 3N P10 (angolari)	11.05	110.72	55.36
FX 3N P10 (angolari+confinamento)	17.39	124.21	62.10
FX 3N P20 (angolari)	11.05	110.72	55.36
FX 3N P20 (angolari+confinamento)	12.68	122.45	61.23

#### 4.3 Trave nuda

La prova a flessione della trave nuda ha lo scopo di valutare lo zero di riferimento per le successive prove in cui si è introdotto il sistema CAM® come rinforzo per armatura aggiuntiva a trazione.

Nel corso della prova a tal fine sono state rilevate: il carico applicato dall'attuatore idraulico, lo spostamento verticale tramite n. 2 trasduttori di spostamento tipo LVDT posti in mezzzeria e la rotazione della sezione agli appoggi.

I dati di prova sono stati registrati con continuità mediante un sistema di acquisizione ed elaborazione dati gestito da un computer. Le due travi testate (FX NR\_1 e FX NR\_2) hanno raggiunto la rottura rispettivamente con dei valori di momento resistente pari a 22.83 kNm e 22.52 kNm avendo assegnato al martinetto idraulico dei carichi ultimi pari di 45.67 kN nel primo caso e di 45.05 kN nel secondo caso.

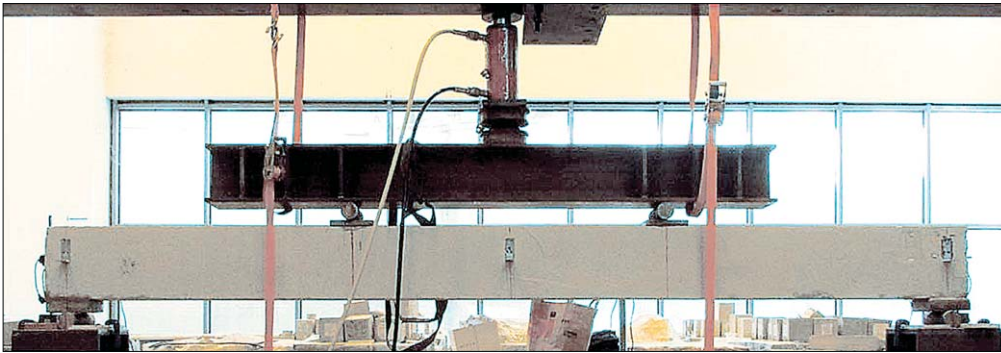
La rottura in entrambi i casi, come si vede dalle Figure 5 e 6, consiste nella formazione delle classiche fessure a pettine.

Il valore dei momenti resistenti ottenuti durante le prove è rispondente a quanto atteso.

L'analisi dei grafici riportati in termini di momento-spostamento in mezzzeria mostra un comportamento molto buono delle sezioni, in cui, è chiaro nel tratto post-elastico il comportamento delle barre disposte come armatura inferiore (Figura 7).

**Figura 3**  
Cilindri in acciaio per realizzare il vincolo d'appoggio semplice e come punti di carico.

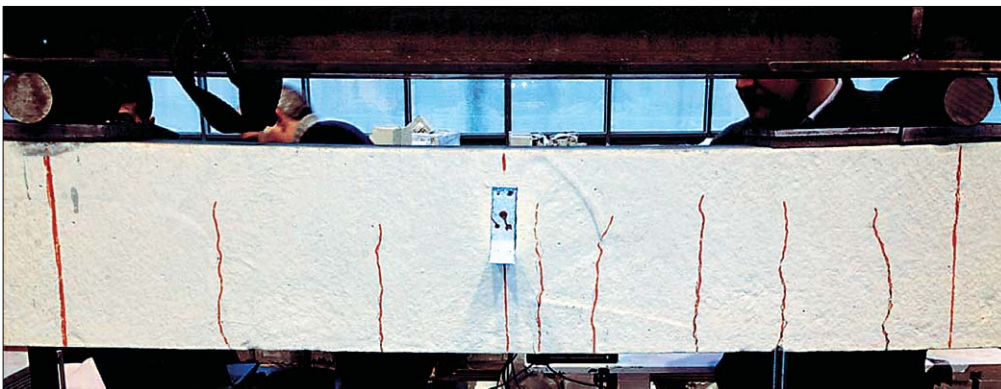




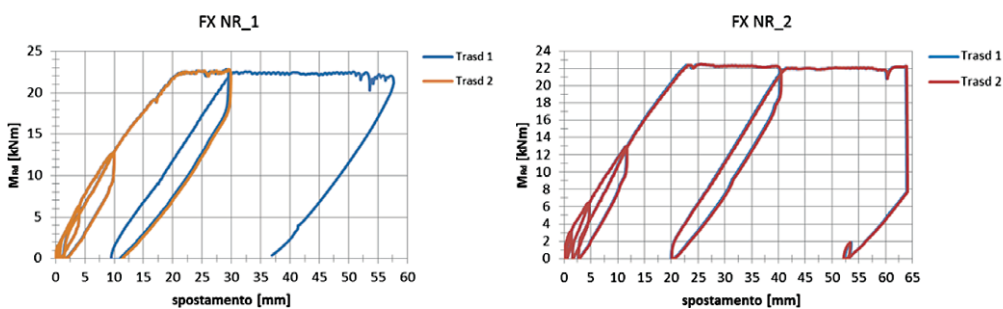
**Figura 4**  
Setup di prova.



**Figura 5**  
Trave flessa durante il test.



**Figura 6**  
Meccanismo di rottura.



**Figura 7**  
Momento-spostamento della trave FX NR\_1 e della trave FX NR\_2.

#### 4.4 Trave rinforzata con passo 10 cm

La prova a flessione delle travi rinforzate con angolari continui all'intradosso e tre nastri sovrapposti disposti con passo 100 mm ha lo scopo di (Figura 8):

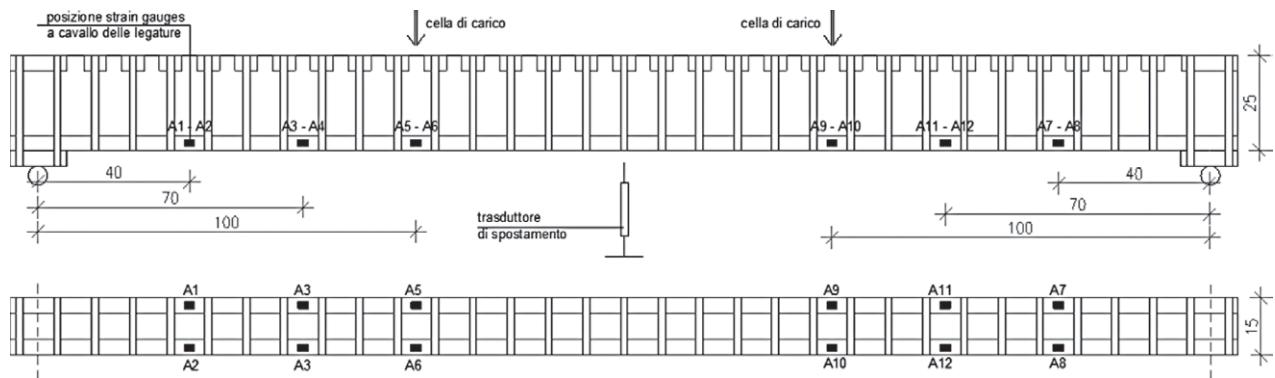
- valutare il contributo a flessione dell'angolare in acciaio S235 di dimensioni 40x40x4 mm disposto all'intradosso della trave;
- verificare se l'aderenza tra angolare e calcestruzzo possa influenzare il contributo a flessione offerto dall'angolare;
- verificare se il passo dei nastri possa influenzare l'aderenza;
- valutare il contributo del rinforzo nel confinamento indotto.



Nel corso delle prove sono state rilevate le seguenti grandezze fisiche:

- il carico applicato dall'attuatore idraulico;
- lo spostamento verticale mediante n. 2 trasduttori di spostamento tipo LVDT posti in mezzzeria;
- la rotazione della sezione agli appoggi;
- lo stato tensionale e deformativo degli angolari disposti all'intradosso della trave. Sono stati utilizzati n. 12 strain gauges per trave, n. 6 per angolare.

I dati di prova sono stati registrati con continuità mediante un sistema di acquisizione ed elaborazione dati gestito da un computer. Nella Figura 8 è riportata la disposizione della strumentazione di prova.



**Figura 8**  
Schema disposizione  
strumentazione di prova  
(in alto).

**Figura 9**  
Fotografia raffigurante  
la disposizione della  
strumentazione di prova.



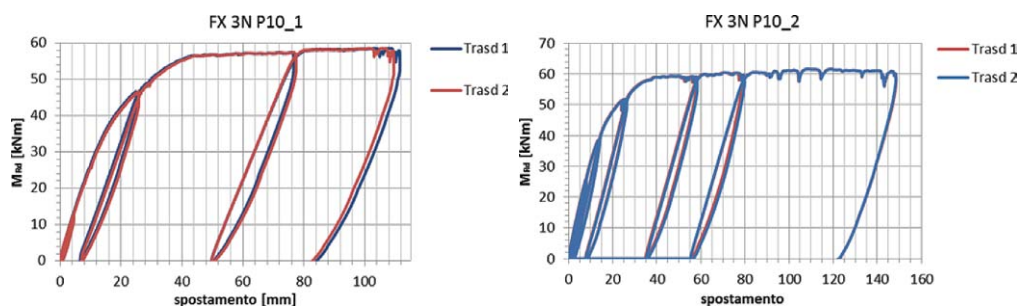
**Figura 10**  
Foto disposizione  
strumentazione di prova.



La trave FX 3N P10\_1 è giunta a rottura con un valore di momento resistente pari a 58.58 kNm, e avendo assegnato al martinetto idraulico un carico ultimo pari a 117.16 kN. La rottura è avvenuta con la formazione delle classiche fessure a pettine. Il valore di momento resistente ottenuto durante la prova è rispondente a quanto atteso (Figura 11).

La trave FX 3N P10\_2 è giunta a rottura con un valore di momento resistente pari a 61.62 kNm, e avendo assegnato al martinetto idraulico un carico ultimo pari a 123.24 kN. La rottura è avvenuta con la formazione delle classiche fessure a pettine. Il valore di momento resistente ottenuto durante la prova è rispondente a quanto atteso (Figura 13).

Dal confronto dei risultati analitici con quelli sperimentali, si osserva inoltre come il sistema CAM® con angolari all'intradosso e nastri in acciaio di cerchiaggio abbia effetto sul valore del momento resistente della trave, in quanto apporta sia un incremento di armatura a trazione sia un incremento della resistenza a compressione del calcestruzzo per effetto del confinamento indotto. Considerando per l'acciaio dell'angolare un legame costitutivo elastico perfettamente plastico, dalle deformazioni è stato



**Figura 11**  
Provino FX 3N P10\_1 flesso durante il test (in alto).

**Figura 12**  
Momento-spostamento della trave FX 3N P10\_1 e della trave FX 3N P10\_2.

*Tabella 2* - Confronto tra i risultati attesi e i risultati ottenuti nella prova FX 3N P10\_1

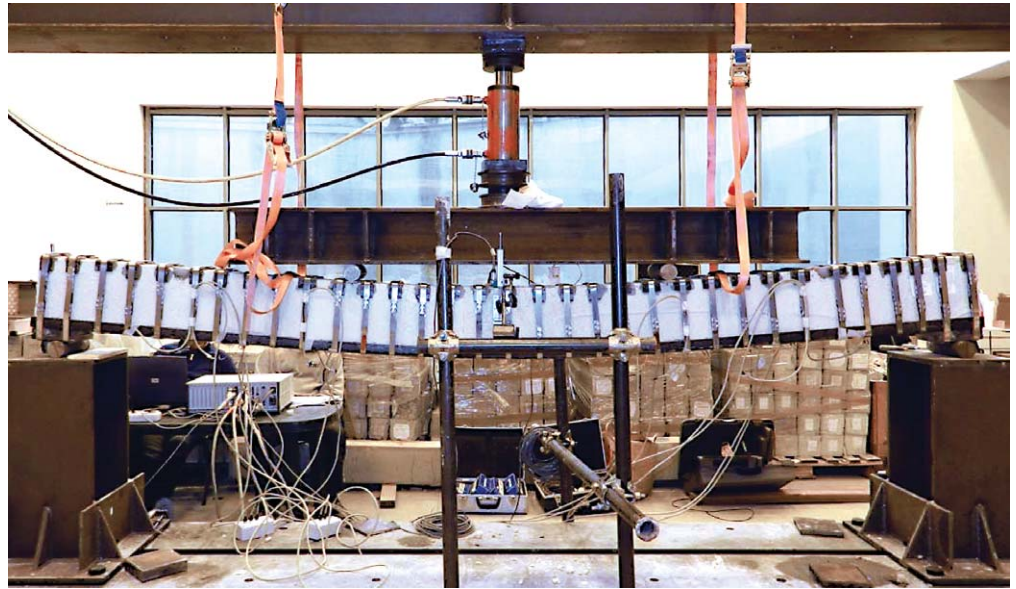
Descrizione Trave	Momento atteso $M_{Rd, atteso}$ [kNm]	Carico di prova $2P_{MAX}$ [kN]	Momento di prova $M_{Rd, prova}$ [kNm]	$\frac{M_{Rd, prova}}{M_{Rd, atteso}}$
FX 3N P10_1 (angolari)	55,36	117,16	58,58	1,06
FX 3N P10_1 (angolari+confinamento)	62,10			0,94

*Tabella 3* - Confronto tra i risultati attesi e i risultati ottenuti nella prova FX 3N P10\_2

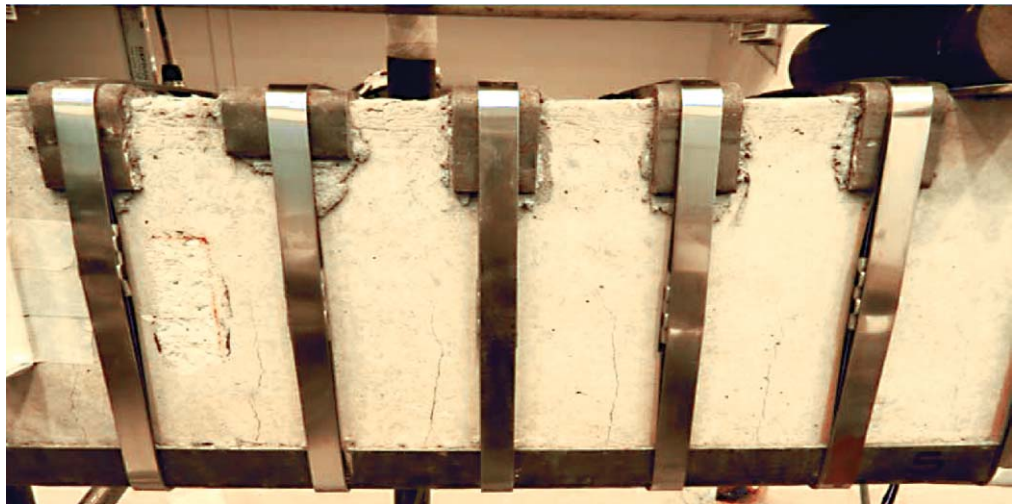
Descrizione Trave	Momento atteso $M_{Rd, atteso}$ [kNm]	Carico di prova $2P_{MAX}$ [kN]	Momento di prova $M_{Rd, prova}$ [kNm]	$\frac{M_{Rd, prova}}{M_{Rd, atteso}}$
FX 3N P10_2 (angolari)	55,36	123,24	61,62	1,11
FX 3N P10_2 (angolari+confinamento)	62,10			0,99



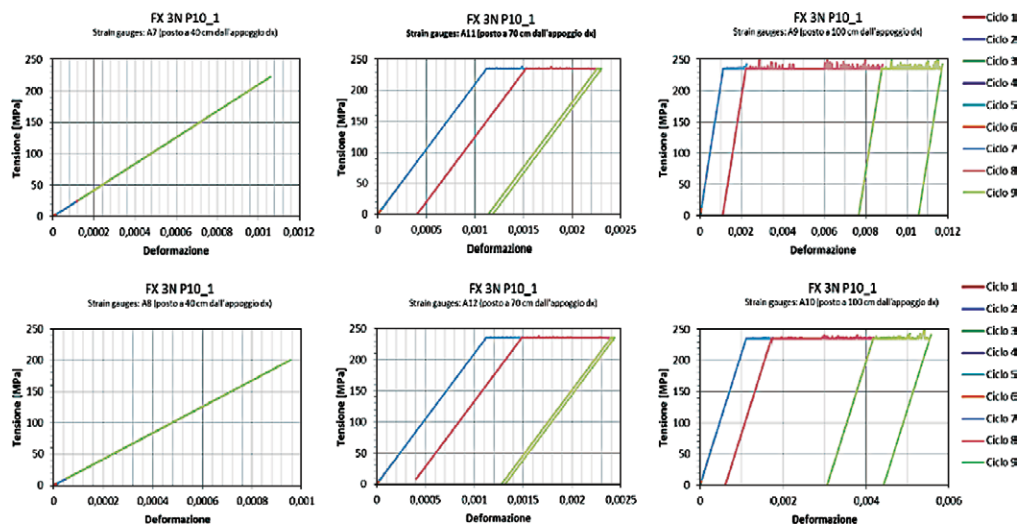
**Figura 13**  
Provino FX 3N P10\_2 flesso durante il test.



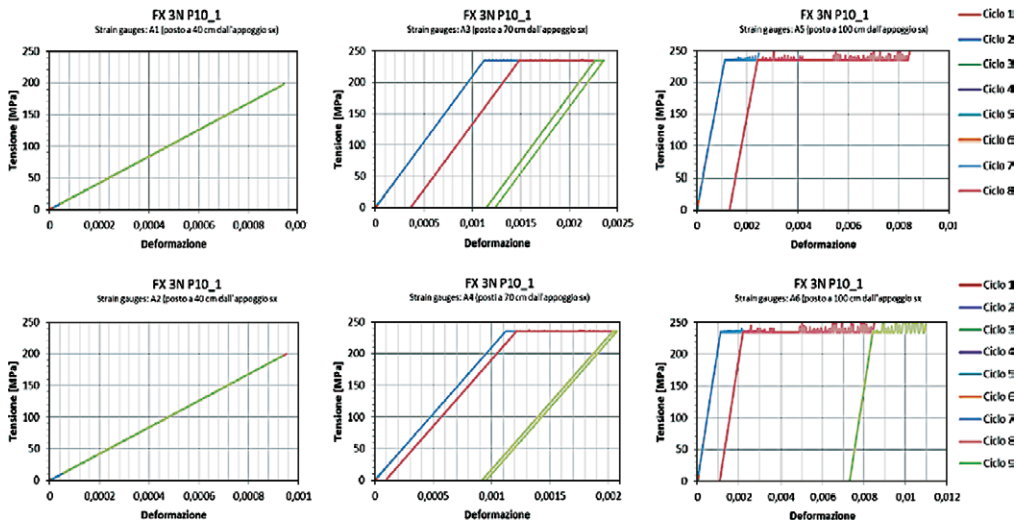
**Figura 14**  
Meccanismo di rottura.



**Figura 15**  
Stato tensionale registrato a 40,70 e 100 cm dagli appoggi registrato dagli strain gauges posizionati sugli angolari in acciaio della trave.







**Figura 15**  
Stato tensionale registrato a 40,70 e 100 cm dagli appoggi registrato dagli strain gauges posizionati sugli angolari in acciaio della trave.

**Figura 16**  
Schema disposizione strumentazione di prova (in basso).

possibile risalire allo stato tensionale degli angolari a 40 cm dagli appoggi, a 70 cm dagli appoggi e a 100 cm dagli appoggi, e si è potuto notare (Figura 15) che a partire dalle sezioni distanti 70 cm dagli appoggi, gli angolari abbiamo raggiunto, in entrambi i casi, la tensione di snervamento.

#### 4.5 Trave rinforzata con passo 20 cm

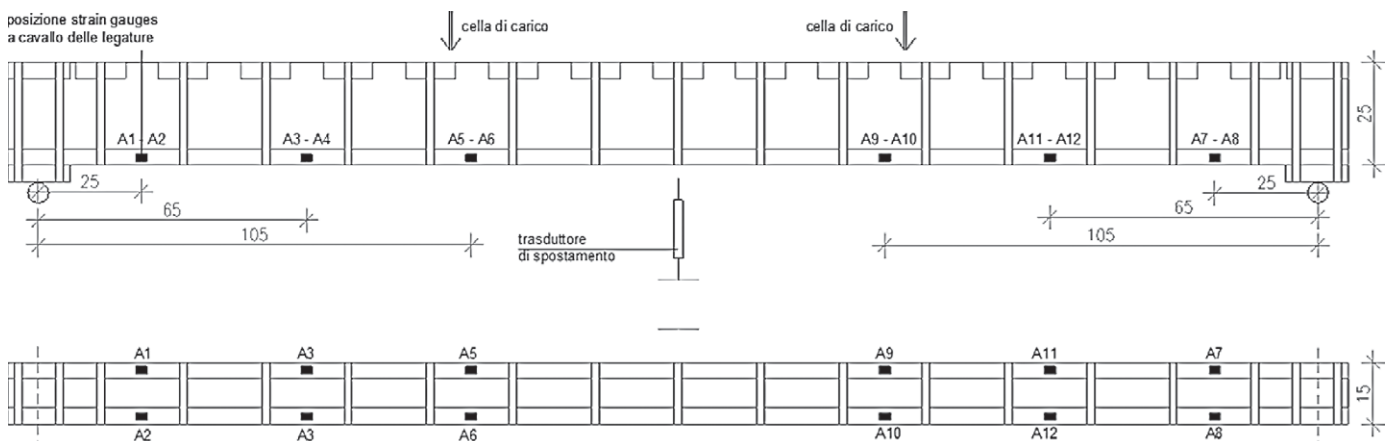
La prova a flessione delle travi rinforzate con angolari continui all'intradosso e tre nastri sovrapposti disposti con passo 200 mm ha lo scopo di:

- valutare il contributo a flessione dell'angolare in acciaio S235 di dimensioni 40x40x4 mm disposto all'intradosso della trave;
- verificare se l'aderenza tra angolare e calcestruzzo possa influenzare il contributo a flessione offerto dall'angolare;
- verificare se il passo dei nastri possa influenzare l'aderenza;
- valutare il contributo del rinforzo nel confinamento indotto.

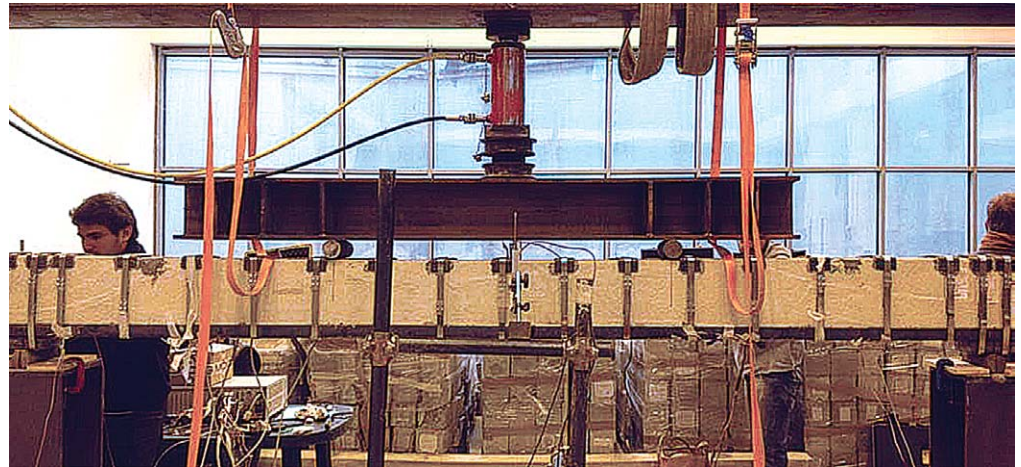
Nel corso delle prove sono state rilevate le seguenti grandezze fisiche:

- il carico applicato dall'attuatore idraulico;
- lo spostamento verticale mediante n. 2 trasduttori di spostamento tipo LVDT posti in mezzzeria;
- la rotazione della sezione agli appoggi;
- lo stato tensionale e deformativo degli angolari disposti all'intradosso della trave. Sono stati utilizzati n. 12 strain gauges per trave, n. 6 per angolare.

I dati di prova sono stati registrati con continuità mediante un sistema di acquisizione ed elaborazione dati gestito da un computer. Nella Figura 16 è riportata la disposizione della strumentazione di prova.



**Figura 17**  
Foto setup di prova.



La trave FX 3N P20\_1 è giunta a rottura con un valore di momento resistente pari a 58.81 kNm, e avendo assegnato al martinetto idraulico un carico ultimo pari a 117.62 kN. Il valore di momento resistente ottenuto durante la prova è rispondente a quanto atteso. Il CAM® interviene sia con un incremento di armatura a trazione sia con un incremento della resistenza a compressione del calcestruzzo per effetto del confinamento indotto.

**Figura 18**  
Meccanismo di rottura.



**Figura 19**  
Rottura corrente compresso (a sinistra).

**Figura 20**  
Rottura corrente compresso e instabilizzazione delle barre (a destra).

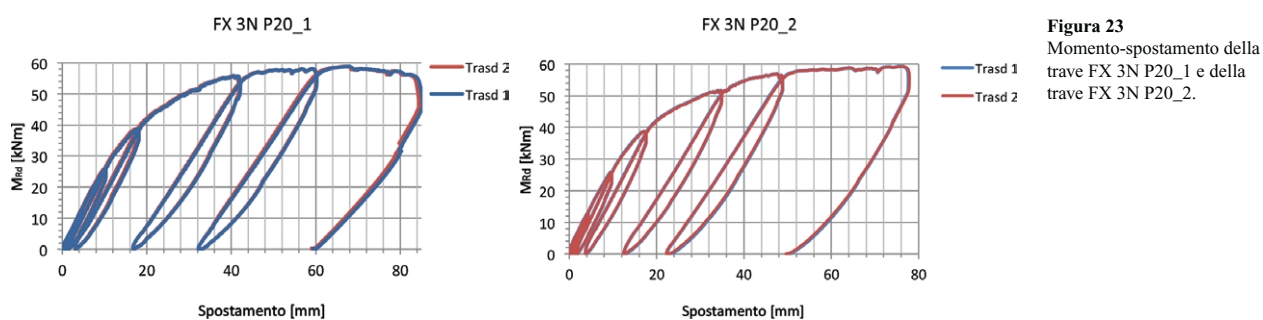






**Figura 21**  
Meccanismo di rottura.

**Figura 22**  
Lesione a taglio.



**Figura 23**  
Momento-spostamento della trave FX 3N P20\_1 e della trave FX 3N P20\_2.

*Tabella 4 - Confronto tra i risultati attesi e i risultati ottenuti nella prova FX 3N P20\_1*

Descrizione Trave	Momento atteso $M_{Rd, atteso}$ [kNm]	Carico di prova $2P_{MAX}$ [kN]	Momento di prova $M_{Rd, prova}$ [kNm]	$\frac{M_{Rd, prova}}{M_{Rd, atteso}}$
FX 3N P20_1 (angolari)	55,36	117,62	51,81	1,06
FX 3N P20_1 (angolari+confinamento)	61,23			0,96

*Tabella 5 - Confronto tra i risultati attesi e i risultati ottenuti nella prova FX 3N P20\_2*

Descrizione Trave	Momento atteso $M_{Rd, atteso}$ [kNm]	Carico di prova $2P_{MAX}$ [kN]	Momento di prova $M_{Rd, prova}$ [kNm]	$\frac{M_{Rd, prova}}{M_{Rd, atteso}}$
FX 3N P20_2 (angolari)	55,36	118,53	59,26	1,07
FX 3N P20_2 (angolari+confinamento)	61,23			0,97

La trave FX 3N P20\_2 è giunta a rottura con un valore di momento resistente pari a 59.26 kNm, e avendo assegnato al martinetto idraulico un carico ultimo pari a 118.53kN. Il valore di momento resistente ottenuto durante la prova è rispondente a quanto atteso. Anche in questo caso, il CAM® interviene sia con un incremento di armatura a trazione sia con un incremento della resistenza a compressione del calcestruzzo per effetto del confinamento indotto.

## 5. Conclusioni

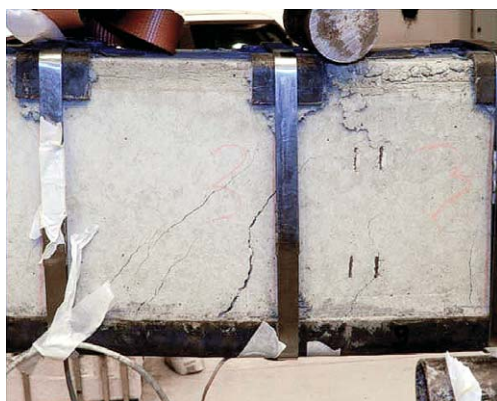
Una campagna sperimentale è stata condotta per valutare la resistenza a flessione e a taglio di travi in c.a. rinforzate mediante sistema CAM®. In questo contributo è stata valutata la resistenza a flessione di 6 travi di cui 2 senza alcun rinforzo e 4 provviste di 2 tipi differenti di rinforzo.



**Figura 24**  
Deformazione residua della trave.



**Figura 25**  
Lesioni a taglio.



**Figura 26**  
Schiacciamento del corrente superiore compresso.



Sulla base dei dati ottenuti, e discussi all'interno dell'articolo, è emerso quanto segue: il valore del momento resistente ottenuto dalle prove è estremamente stabile, come mostrano i grafici momento-spostamento in mezzeria.

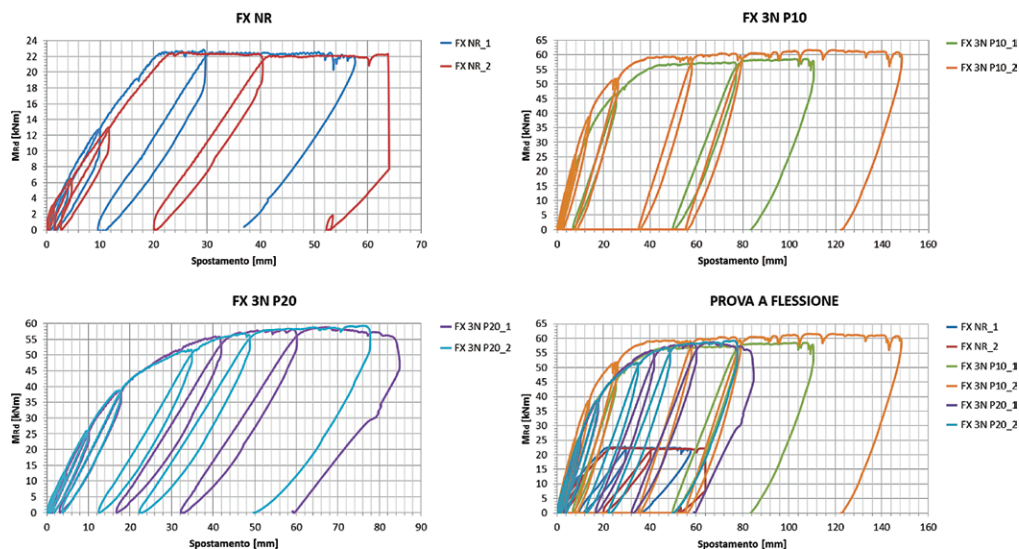
Le due travi non rinforzate (FX NR) sono giunte a rottura con lo stesso valore di momento resistente e con un analogo comportamento al collasso (Figura 27). Le curve di capacità mostrano quanto detto.

Le due travi rinforzate con 3 nastri ogni 10 cm (FX 3N P10) hanno raggiunto lo stesso carico di rottura, con un meccanismo di collasso analogo (formazione di lesioni a flessione). Anche in questo caso, le curve di capacità sono perfettamente sovrapponibili.

In ultimo, le due travi rinforzate con 3 nastri ogni 20 cm (FX 3N P20) hanno raggiunto lo stesso carico di rottura e con il medesimo meccanismo di collasso. Rispetto alle prove condotte sulle travi FX 3N P10, in cui il meccanismo di rottura è stato di pura flessione, in quest'ultime, essendo il passo dei nastri più rado e quindi avendo una resistenza a taglio più bassa, si sono generate delle lesioni da flessione e taglio, con lo schiacciamento del corrente superiore compresso e lesioni che nascono dal bordo inferiore teso con direzione verticale e si propagano verso il centro inclinandosi via via, fino a raggiungere i 45° in corrispondenza dell'asse neutro (Figure 18, 19, 20, 21, 22 e Figure 25, 26).

Il miglioramento in termini di prestazione per effetto dell'angolare inferiore e del confinamento indotto è estremamente elevato. Rispetto alla trave priva di rinforzo, il sistema CAM® con n. 2 angolari di dimensione 40x40x4 mm in acciaio S235, consente un incremento di momento flettente del 160% quando il rinforzo prevede la fasciatura con 3 nastri ogni 20 cm, e un incremen-

**Figura 27**  
Confronto valori momento-spostamento in mezzeria dei provini non rinforzati (in alto a sx) dei due provini rinforzati con passo 10 (in alto a dx) e di tutti i provini (in basso a sx) e di tutti i provini (in basso a dx).



to di momento flettente del 165% quando il rinforzo prevede la fasciatura con 3 nastri ogni 10 cm.

I risultati sembrano non essere influenzati né dal passo dei nastri né dalla perdita di aderenza tra calcestruzzo e angolare. I nastri pretesi hanno contribuito ad evitare lo scorrimento degli angolari in acciaio rispetto al calcestruzzo, incrementando l'attrito tra l'armatura e il substrato. La Figura 28 mostra come nella malta di allettamento disposta per fissare l'angolare al calcestruzzo, vi siano le medesime lesioni riscontrate nel calcestruzzo. Ciò è indicativo che non vi è stato slittamento tra l'angolare e il calcestruzzo.

Un passo dei nastri più fitto induce solo un maggior incremento della resistenza del calcestruzzo confinato e impedisce l'e-spulsione del calcestruzzo in zona compressa.

Il confronto tra i risultati teorici e quelli sperimentali ha evidenziato come l'angolare disposto all'intradosso della trave interviene come armatura aggiuntiva a trazione, come il momento resistente della trave rinforzata calcolato analiticamente è confrontabile con quello determinato sperimentalmente, indice che non è imputabile una riduzione di resistenza flessionale dovuta alla perdita di aderenza tra l'angolare e il calcestruzzo; come il cerchiaggio dei nastri in acciaio intervenga come incremento di resistenza a compressione del calcestruzzo e come il passo dei nastri sembri non influenzare in maniera sostanziale l'aderenza.



**Figura 28**  
Lesioni formatesi nella malta di allettamento.

*Tabella 6 - Confronto dei risultati analitici con quelli delle prove sperimentali*

Descrizione Trave	Valori di Prova		Valori Analitici		Confronto	
	Momento	Momento (Angolare)	Momento (Angolare+Confinamento)	(Angolare)	(Angolare+Confinamento)	
	$M_{Rd,prova}$ [kNm]	$M_{Rd,prova}$ [kNm]	$M_{Rd,prova}$ [kNm]	$\frac{M_{Rd,prova}}{M_{Rd,atteso}}$	$\frac{M_{Rd,prova}}{M_{Rd,atteso}}$	
FX NR_1	22,83		25,10		0,91	
FX NR_2	22,52		25,10		0,90	
FX 3N P10_1	58,58	55,36	62,10	1,06	0,94	
FX 3N P10_2	61,62	55,36	62,10	1,11	0,99	
FX 3N P20_1	58,81	55,36	61,23	1,06	0,96	
FX 3N P20_2	59,26	55,36	61,23	1,07	0,97	

*Tabella 7 - Confronto incrementi di resistenza travi rinforzate*

Descrizione Trave	Momento $M_{Rd,prova}$ [kNm]	Incremento Rispetto a FX NR_1	Incremento Rispetto a FX NR_2	Incremento Rispetto a FX 3N P20_1	Incremento Rispetto a FX 3N P20_2
FX NR_1	22,83	–	–	–	–
FX NR_2	22,52	–	–	–	–
FX 3N P20_1	58,81	158%	161%	–	–
FX 3N P20_2	59,26	160%	163%	–	–
FX 3N P10_1	58,58	157%	160%	0%	0%
FX 3N P10_2	61,62	170%	174%	5%	4%



Mantieniti collegato con

# Progettazione Sismica



*follow us*



[www.progettazioneSismica.it](http://www.progettazioneSismica.it)