



PROVE DI TAGLIO SU ELEMENTI CONTENENTI GIUNTI “DRYTECH”



Richiedente: Drytech S.r.l.

Responsabili:

Ing. Sara Cattaneo

Ing. Francesca Giussani

Prof. Gianpaolo Rosati

Milano, Maggio 2011

1. Introduzione

La presente relazione riporta e analizza i risultati ottenuti da un'indagine sperimentale finalizzata a studiare il comportamento a taglio di elementi in calcestruzzo armato contenenti giunti "Drytech".

Il giunto è costituito da un profilo in plastica di forma trapezoidale ed è impiegato per la formazione mirata di fessure e per l'impermeabilizzazione delle stesse per mezzo di iniezione di resina elastica espansiva. Per queste caratteristiche è utilizzato per la creazione di giunti in strutture di fondazione.

Al fine di indagare il comportamento a taglio sono stati confezionati ventiquattro campioni in c.a. (dimensioni 35cmx 50cmx 400cm).

I campioni si differenziavano per la presenza o meno di giunto Drytech con uno o due denti o alternativamente per la presenza di ripresa di getto.

Le travi si differenziavano inoltre per il diverso rapporto geometrico d'armatura (minimo, circa 0.5%, circa 1%).

Tutti i campioni sono stati sottoposti a prova di taglio secondo schema proposto dalla norma ASTM C1469 (figura 1.1).

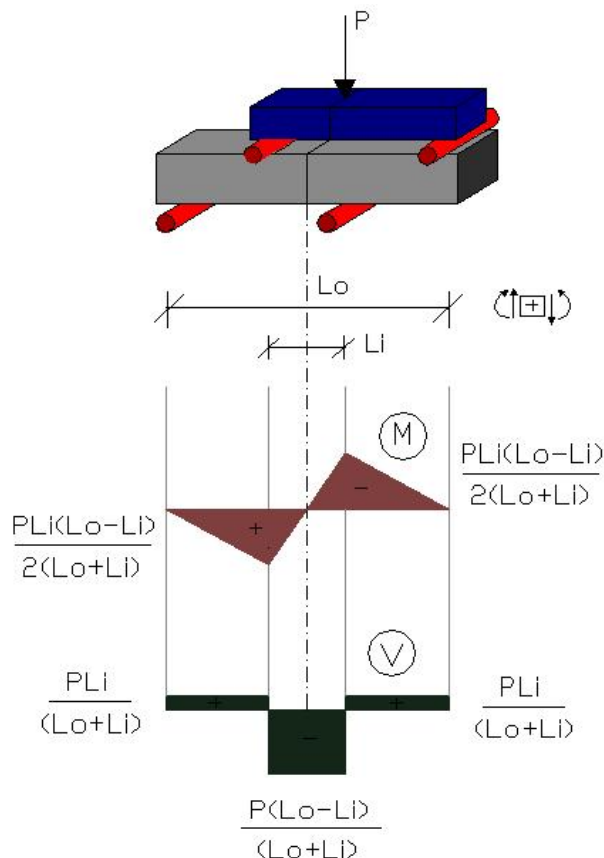


Figura 1.1 Schema di prova

Le prove sono state effettuate nei mesi di Gennaio e Febbraio 2011, presso il Laboratorio Prove Materiali del DIS- Politecnico di Milano.

2. Identificazione dei campioni

I campioni hanno le seguenti dimensioni: 35cm x 50cm x 400cm e si differenziano per la presenza o meno di giunti, armatura e/o riprese di getto.

Il giunto “Drytech” denominato dall’azienda DRYset EFP (Elemento di Fessurazione Programmata), è un profilo in plastica di forma trapezoidale (Fig.2.1), con un condotto d’iniezione mediano.

I codici attribuiti ai singoli campioni sono i seguenti:

- RIF: trave di riferimento priva di giunti;
- DRY: trave con giunto “Drytech”;
- RG: trave con ripresa di getto;
- DRY2: trave con doppio giunto “Drytech”.

A ogni codice sono stati associati tre diversi diametri di armatura: $\phi 12$, $\phi 16$, $\phi 24$ (indicati nel seguito come F 12, F 16, F 24), per un totale di dodici tipologie di trave. L’armatura trasversale è costante e pari a staffe $\phi 8/150$ mm nelle aree a taglio minimo, mentre nella zona centrale non sono state inserite staffe al fine di valutare la portanza a taglio in assenza di armature. I dettagli delle armature sono riportati nel Certificato N.2011/1500 del 23/5/2011 del Laboratorio Prove Materiale del Politecnico di Milano.

Per ogni tipologia sono state testate 2 travi, per un totale di 24 travi.

Le travi sono state gettate nella settimana 9/11/2011.

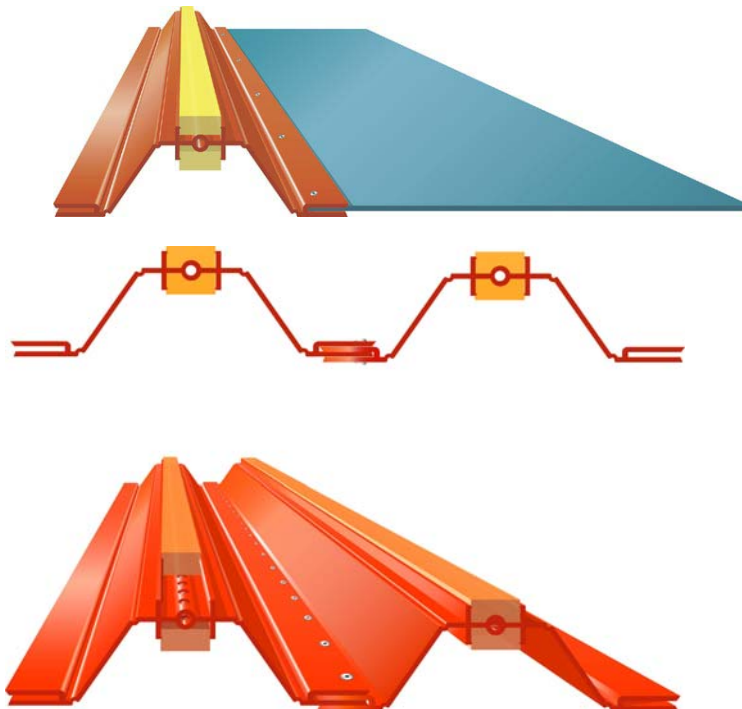


Figura 2.1 Giunto Drytech singolo e doppio

3. Procedura di prova

I campioni sono stati sottoposti a prova secondo lo schema mostrato in Figura (figure 3.1 e 3.2), in modo da avere taglio massimo e momento nullo in mezzeria. Il carico è stato applicato mediante martinetto MTS da 1000kN e con un ripartitore di carico. Le prove sono state condotte in controllo di spostamento con una velocità di 0.015mm/s.

Il giunto e la ripresa di getto sono stati posizionati nella mezzeria della trave, in corrispondenza di taglio massimo e momento nullo.

Oltre al carico e allo spostamento dell'attuatore (Stroke) sono stati misurati gli spostamenti relativi alla parte centrale della trave (1m x 0.50m), attraverso trasduttori di spostamento posizionati su una delle due facce laterali della trave secondo lo schema mostrato in figura 3.2.

Su tutte le travi sono stati posti cinque trasduttori orizzontali: uno a cavallo della mezzeria a 25 cm dai lembi superiore ed inferiore (centrale orizzontale CH) e gli altri quattro in prossimità degli angoli del rettangolo centrale di riferimento (superiore appoggio SA, superiore carico SC, inferiore appoggio IA, inferiore carico IC). Inoltre è stato posizionato un ultimo trasduttore a 5 cm dalla mezzeria ed allineato con essa (centrale verticale CV), con il quale è stato possibile registrare lo scorrimento relativo tra due sezioni a cavallo della mezzeria. Nel caso E2 i contrasti dei trasduttori SA e SC sono stati posti ad una distanza di 8 cm dalla mezzeria, mentre nel caso D1 il contrasto del CV è stato posizionato ad una distanza di 7 cm dal lembo superiore. Tali misure sono state acquisite con finalità di pura ricerca, pertanto, per brevità, non verranno nel seguito riportati grafici corrispondenti.

Tutti i dati sono stati acquisiti elettronicamente con centralina di acquisizione HBM Spider 8.



Figura 3.1 Campione

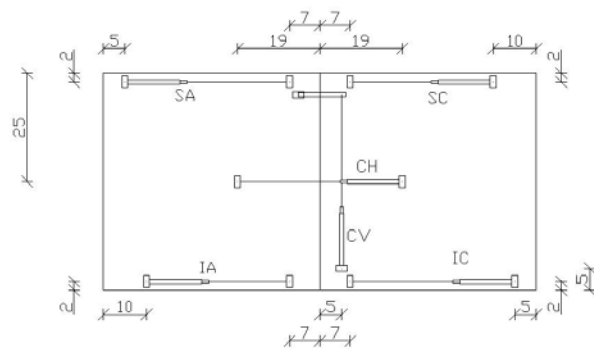
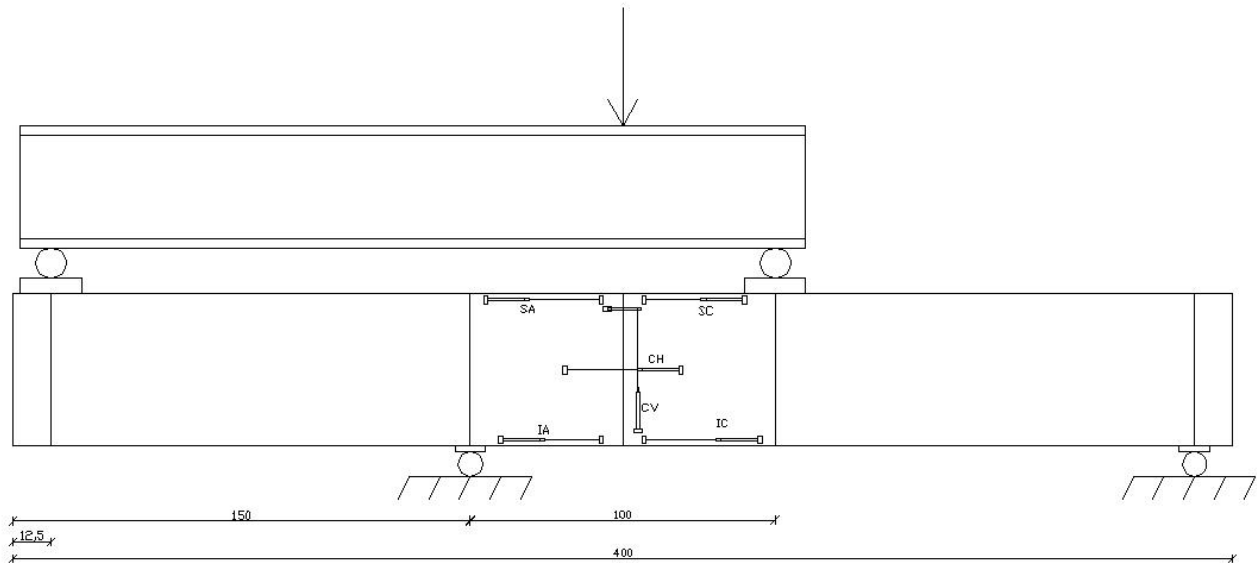


Figura 3.2 Disposizione trasduttori



4. Risultati sperimentali

I risultati sperimentali relativi alle prove oggetto della presente relazione sono riportati nel Certificato N. N.2011/1500 del 23/5/2011 del Laboratorio Prove Materiali del Dipartimento di Ingegneria Strutturale del Politecnico di Milano.

In Tabella 4.1 sono riportati i valori di carico massimo, momento e taglio massimo, il valore medio e il coefficiente di variazione del taglio massimo, la tipologia di rottura osservata.

Le prove sperimentali hanno evidenziato sostanzialmente tre tipologie di rottura:

- rottura per flessione con snervamento dell'armatura longitudinale (Flex)
- rottura per taglio con armatura longitudinale snervata (V + Flex)
- rottura per taglio (V).

Si osserva che le diverse tipologie di rottura sono prevalentemente associate al quantitativo di armatura longitudinale.

| TRAVE | Codice | Carico massimo (kN) | Vmax (kN) | Mmax (kNm) | Media Vmax (kN) | cov (%) | Rottura |
|-------|-----------|---------------------|-----------|------------|-----------------|---------|---------|
| A1 | F 12 RIF | 232.84 | 134.80 | 67.40 | 138.05 | 3.32% | Flex |
| A2 | F 12 RIF | 244.04 | 141.29 | 70.64 | | | Flex |
| B1 | F 12 DRY | 223.44 | 129.36 | 64.68 | 131.76 | 2.57% | Flex |
| B2 | F 12 DRY | 231.72 | 134.15 | 67.08 | | | Flex |
| C1 | F 12 RG | 229.67 | 132.96 | 66.48 | 133.85 | 0.93% | Flex |
| C2 | F 12 RG | 232.72 | 134.73 | 67.36 | | | Flex |
| D1 | F 12 DRY2 | 221.08 | 127.99 | 64.00 | 126.84 | 1.29% | Flex |
| D2 | F 12 DRY2 | 217.09 | 125.69 | 62.84 | | | Flex |
| E1 | F 16 RIF | 662.23 | 383.40 | 191.70 | 376.46 | 2.61% | V+flex |
| E2 | F 16 RIF | 638.27 | 369.53 | 184.76 | | | V+flex |
| F1 | F 16 DRY | 325.95 | 188.71 | 94.35 | 185.14 | 2.72% | V |
| F2 | F 16 DRY | 313.63 | 181.57 | 90.79 | | | V |
| G1 | F 16 RG | 660.93 | 382.64 | 191.32 | 381.49 | 0.43% | V+flex |
| G2 | F 16 RG | 656.94 | 380.34 | 190.17 | | | V+flex |
| H1 | F 16 DRY2 | 425.97 | 246.61 | 123.31 | 244.65 | 1.14% | V |
| H2 | F 16 DRY2 | 419.19 | 242.69 | 121.34 | | | V |
| I1 | F 24 RIF | 944.49 | 546.81 | 273.41 | 543.50 | 0.86% | V |
| I2 | F 24 RIF | 933.04 | 540.18 | 270.09 | | | V |
| L1 | F 24 DRY | 386.76 | 223.91 | 111.96 | 263.91 | 21.43% | V |
| L2 | F 24 DRY | 524.93 | 303.91 | 151.95 | | | V |
| M1 | F 24 RG | 367.87 | 212.98 | 106.49 | 236.35 | 13.99% | V |
| M2 | F 24 RG | 448.63 | 259.73 | 129.87 | | | V |
| N1 | F 24 DRY2 | 521.82 | 302.11 | 151.05 | 291.26 | 5.27% | V |
| N2 | F 24 DRY2 | 484.35 | 280.41 | 140.21 | | | V |

Tabella 4.1 - Risultati sperimentali



Dai risultati relativi alle prove di compressione sul calcestruzzo si può classificare il calcestruzzo adottato come calcestruzzo di classe C28/35. La resistenza a trazione media f_{ctm} risulta pertanto pari a

$$f_{ctm} = 0.30 f_{ck}^{2/3} = 2.76 \text{ MPa}$$

5. Analisi dei risultati

5.1 Travi con armatura $\phi 12$

Le travi con armatura $\phi 12$ presentano il minimo di armatura previsto dalla norma.

In particolare deve risultare:

$$A_{s,\min} = 0.26 \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} b \cdot d = 0.26 \frac{2.76}{450} 350 \cdot 460 = 242 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,\min} > 0.13 \cdot b \cdot d = 0.13 \cdot 350 \cdot 460 = 210 \text{ mm}^2$$

Si è pertanto adottata un'armatura pari a $2\phi 12$ pertanto $A_s = 226 \text{ mm}^2$ in quanto l'assunzione di altre tipologie di armatura avrebbe innalzato notevolmente la percentuale geometrica d'armatura.

Al fine di indagare il comportamento a taglio si è scelto di lasciare l'armatura minima nella sola zona centrale (a taglio massimo) e di aumentare l'armatura longitudinale con ulteriori $2\phi 12$ nelle zone esterne ai carichi dove il taglio è minore. Ciò nonostante si è osservata per tutte le tipologie di trave considerate rottura per flessione (Fig. 5.1), associata a valori di carico molto simili. Nella maggior parte dei casi la prova è stata arrestata durante una fase di carico ancora crescente, al fine di evitare la pericolosa rottura (osservata in un caso) dell'armatura longitudinale.

Si rileva comunque che il momento massimo misurato risulta sempre superiore al momento previsto da normativa $M_{Rd} = 41 \text{ kNm}$.

Pare pertanto evidente che, nel caso di armatura minima, la presenza o meno del giunto drytech non influenzi minimamente i risultati, come evidenziato anche dalle curve momento-spostamento (Fig.5.2) e dall'istogramma (Fig.5.3) che rappresenta il rapporto tra il taglio massimo delle varie tipologie e il taglio portato da una trave non armata a taglio valutato secondo Eurocodice 2 pari a circa 51kN.

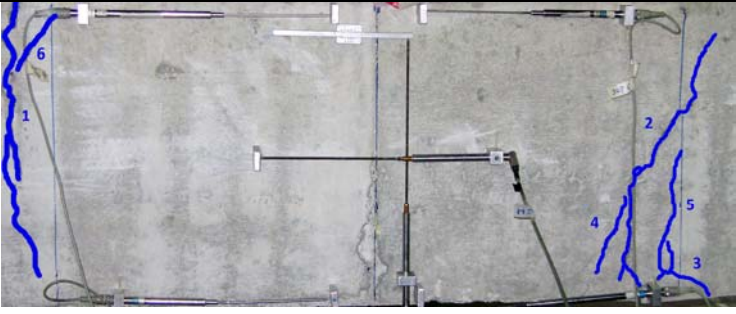
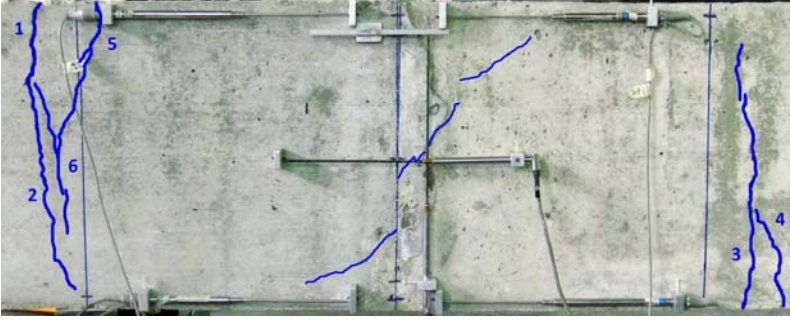
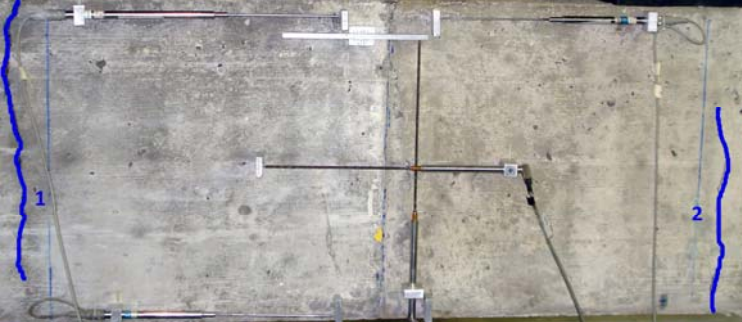
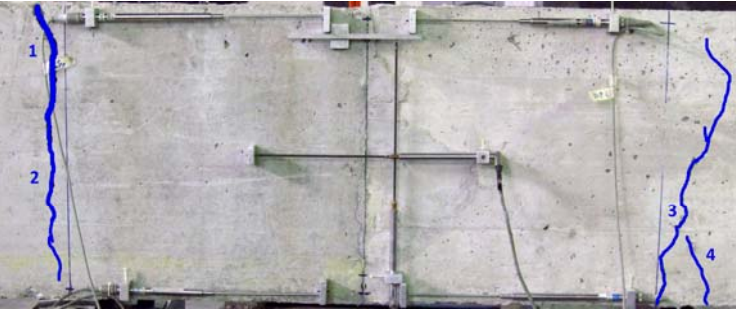
| | |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| RIF |  |
| DRY |  |
| RG |  |
| DRY2 |  |

Figura 5.1 – Quadro fessurativo per le diverse tipologie di trave.

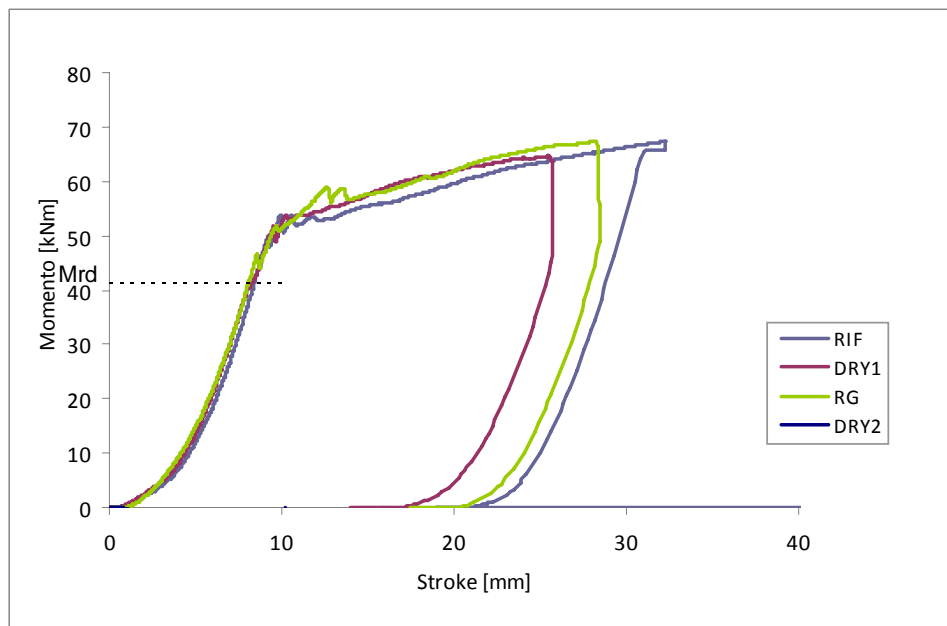


Figura 5.2 – Curve carico-spostamento attuatore per le diverse tipologie di trave.

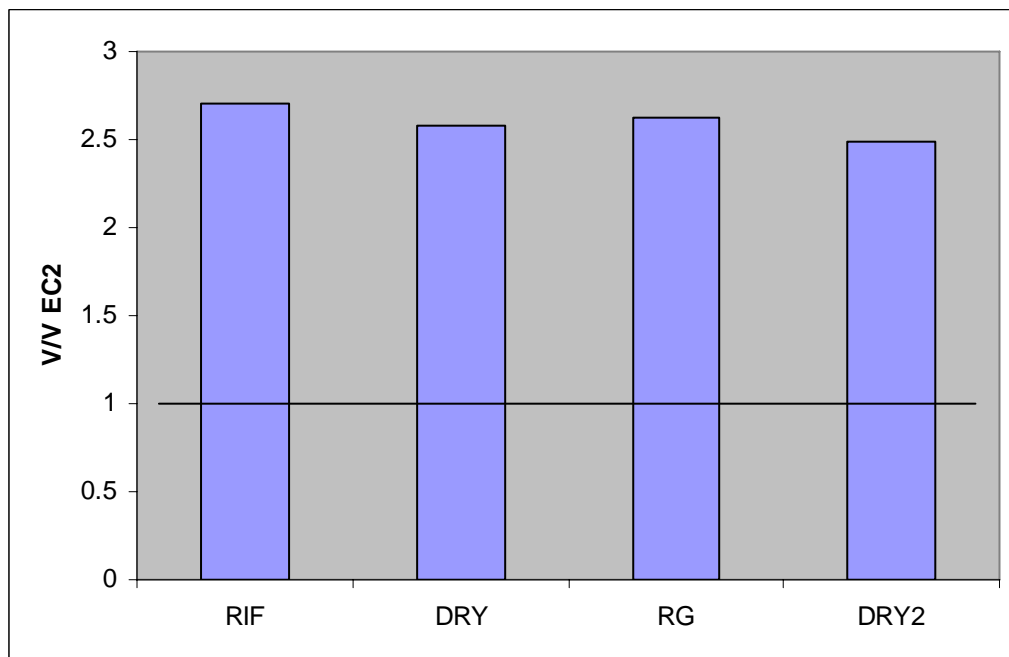


Figura 5.3 – Rapporto taglio/taglio resistente trave non armata a taglio secondo EC2.

5.2 Travi con armatura $\phi 16$

Le travi con armatura $\phi 16$ presentano un rapporto geometrico d'armatura pari a circa lo 0.5%.

In particolare, avendo assunto $4\phi 16$, pertanto $A_s = 804 \text{ mm}^2$, risulta:

$$\rho_s = \frac{A_s}{b \cdot d} = \frac{4 \cdot \pi \cdot 16^2}{4 \cdot 350 \cdot 460} = 0.499\%$$

Questa percentuale ha portato sempre alla rottura per taglio (Fig. 5.4), a volte associata allo snervamento delle armature longitudinali.

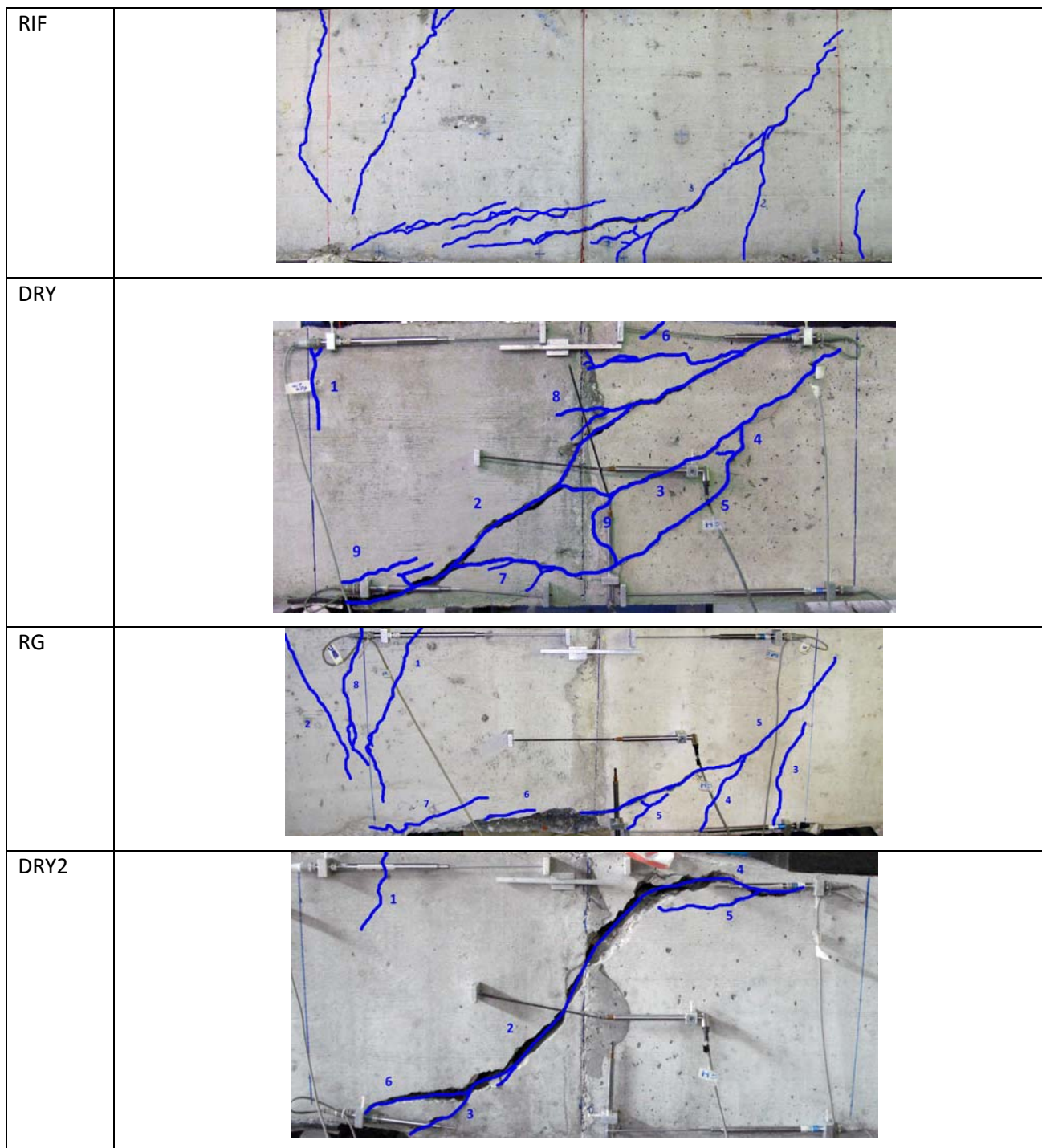


Figura 5.4 – Quadro fessurativo per le diverse tipologie di trave.

In questo caso il momento massimo misurato risulta superiore al momento previsto da normativa $M_{Rd} = 136$ kNm solo per la trave di riferimento e per la trave con ripresa di getto, mentre la presenza del giunto drytech porta a valori di momento massimo inferiori come evidenziato nelle figure 5.5 e 5.6.

Vi è tuttavia da osservare che per quanto riguarda il taglio resistente previsto da normativa nel caso di elementi non armati a taglio (essendo la zona a taglio massimo priva di armature trasversali) tutte le tipologie considerate superano ampiamente il taglio minimo previsto pari a $V_{rdc} = 77\text{kN}$.

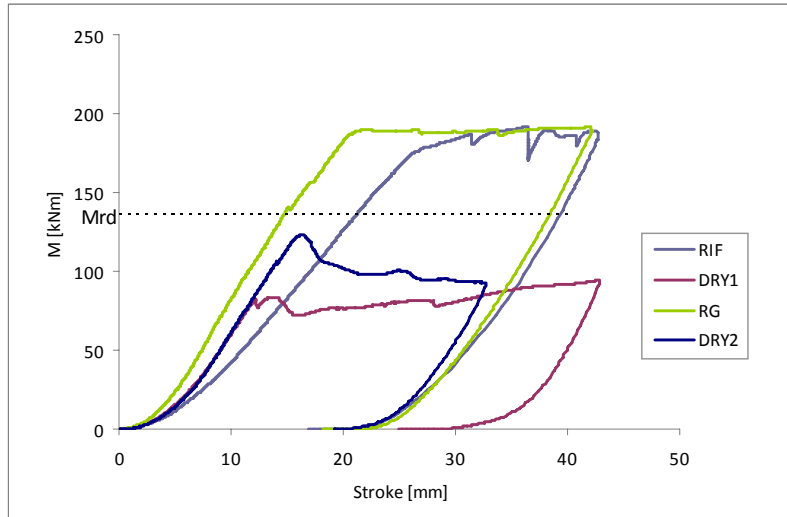


Figura 5.5 – Curve carico-spostamento attuatore per le diverse tipologie di trave.

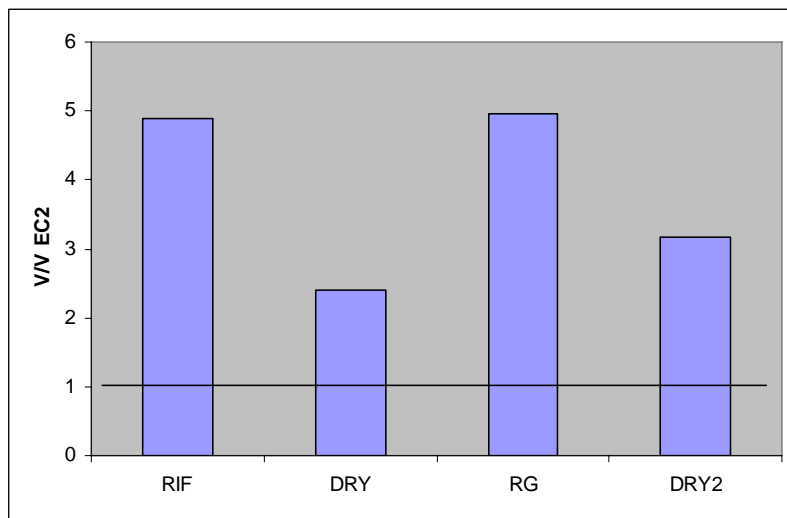


Figura 5.6 – Rapporto taglio/taglio resistente trave non armata a taglio secondo EC2

5.3 Travi con armatura $\phi 24$

Le travi con armatura $\phi 24$ presentano un rapporto geometrico d'armatura pari a circa l'1%.

In particolare, avendo assunto $4\phi 24$, pertanto $A_s = 1810\text{ mm}^2$, risulta:

$$\rho_s = \frac{A_s}{b \cdot d} = \frac{4 \cdot \pi \cdot 24^2}{4 \cdot 350 \cdot 460} = 1.03\%$$

Questa percentuale ha portato sempre alla rottura per taglio (Fig. 5.7); nel solo caso di trave di riferimento la rottura per taglio era associata allo snervamento delle armature longitudinali.

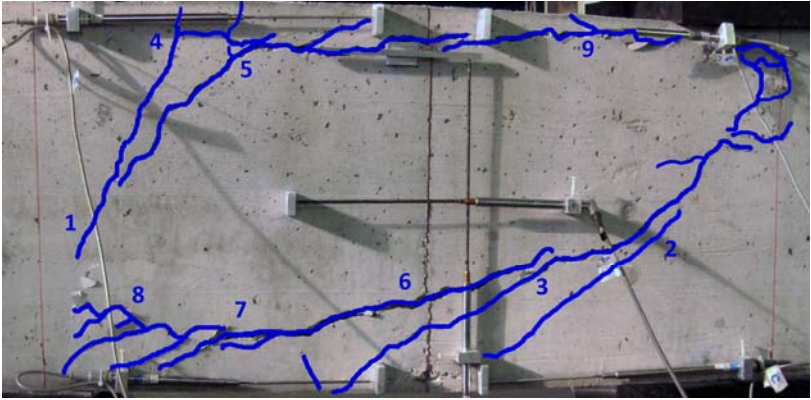
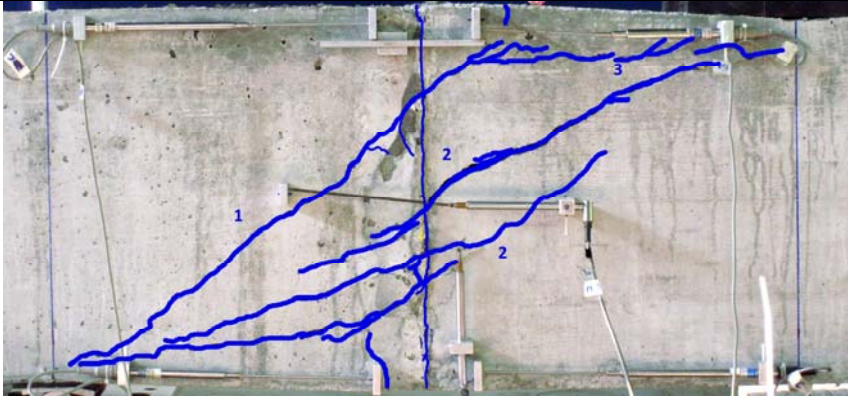
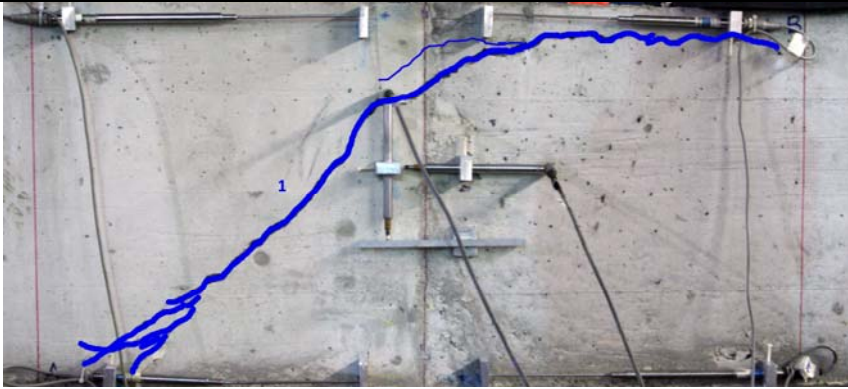
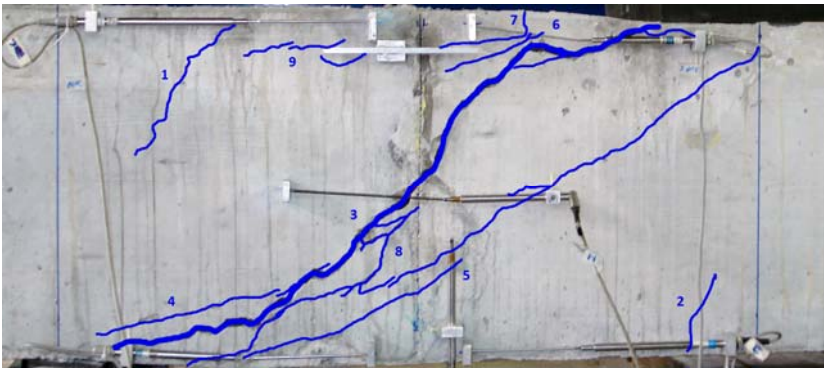
| | |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| RIF |  |
| DRY |  |
| RG |  |
| DRY2 |  |

Figura 5.7 – Quadro fessurativo per le diverse tipologie di trave.

In questo caso il momento massimo misurato risulta comunque sempre inferiore (anche nel caso di riferimento) al momento previsto da normativa $M_{Rd} = 300$ kNm. La trave di riferimento presenta comunque valori di taglio nettamente superiori a quelli delle travi con i giunti drytech e con ripresa di getto. Quest'ultima in particolare fornisce, per questa percentuale d'armatura, le peggiori prestazioni come evidenziato nelle figure 5.8 e 5.9.

Vi è tuttavia da osservare che per quanto riguarda il taglio resistente previsto da normativa nel caso di elementi non armati a taglio (essendo la zona a taglio massimo priva di armature trasversali) tutte le tipologie considerate superano ampiamente il taglio minimo previsto pari a circa $V_{rdc} = 101$ kN.

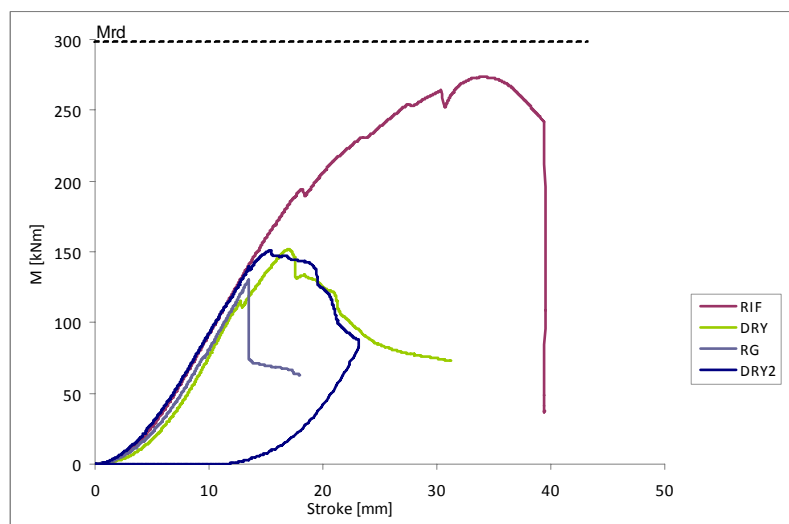


Figura 5.8 – Curve carico-spostamento attuatore per le diverse tipologie di trave.

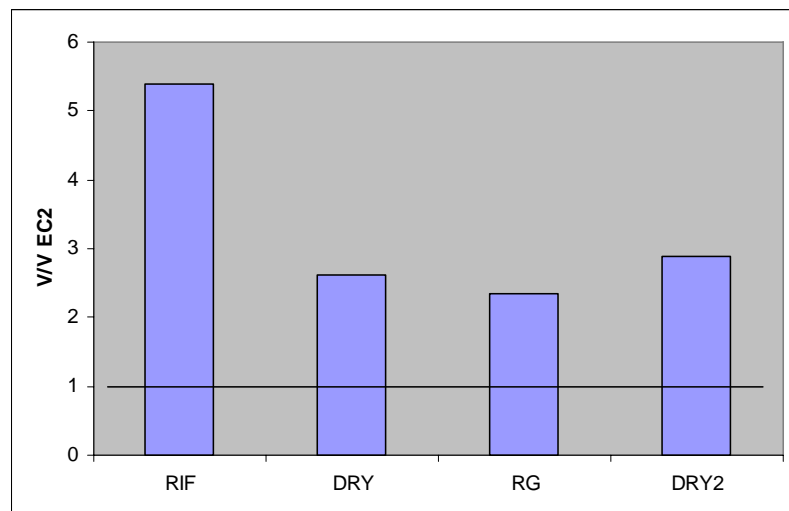


Figura 5.9 - Rapporto taglio/taglio resistente trave non armata a taglio secondo EC2



6. Conclusioni

La sperimentazione eseguita ha confermato che la percentuale geometrica d'armatura longitudinale (ρ) gioca un ruolo fondamentale nel comportamento di elementi soggetti a taglio.

In particolare si è evidenziato che per basse percentuali di armatura (minimo da norma) prevale la rottura per flessione (Fig.5.1, 5.2), associata a valori di taglio nettamente superiori rispetto a quelli previsti dalla norma in assenza di armatura trasversale (Fig.5.3). Aumentando la percentuale d'armatura si osserva la transizione da rottura per flessione a rottura per taglio (Fig.5.4-5.7).

Con una percentuale geometrica pari a 0.5% si osserva che le travi di riferimento e le travi con ripresa di getto raggiungono il momento ultimo pur presentando evidenti fessurazioni tipiche di rotture da taglio (Fig.5.4-5.5). Le travi con giunti drytech invece non raggiungono il momento ultimo, tuttavia la portanza a taglio mostrata risulta superiore a quanto previsto dalla normativa in assenza di armatura tagliante (Fig.5.6). Incrementando ulteriormente la percentuale d'armatura (1%) nessuna tipologia di trave raggiunge il momento di progetto previsto dalla norma (Fig.5.8), verificandosi prima la rottura per taglio. In questo caso tuttavia si osserva che la trave di riferimento raggiunge carichi nettamente più elevati, mentre le travi con ripresa di getto mostrano le prestazioni peggiori, sia in termini di carico massimo che in termini di comportamento post-picco che denota una elevata fragilità. Si osserva infatti che la presenza del giunto drytech (sia singolo che doppio) migliora le prestazioni in termini di comportamento post-picco. In tutti i casi (anche con la ripresa di getto) viene comunque raggiunto il taglio resistente previsto da normativa (Fig.5.9).

Vi è tuttavia da osservare che le travi con ripresa di getto mostrano un comportamento anomalo. Nel caso di percentuale geometrica d'armatura pari a 0.5% si osserva infatti che le prestazioni di tali travi risultano simili, se non superiori a quelle di riferimento. Tale comportamento risulta poco spiegabile considerando anche il fatto che per percentuale d'armatura maggiore ($\rho=1\%$) tali travi mostrano il peggior comportamento. L'unica ipotesi possibile (tuttavia non verificabile) è che per le travi con $\rho = 0.5\%$ il secondo getto sia stato effettuato in una fase prematura, consentendo di fatto la solidarizzazione tra primo e secondo getto.

Concludendo si osserva che la presenza dei giunti drytech per basse percentuali d'armatura (tipiche delle strutture di fondazione) non influenza il comportamento globale della struttura (confermando i risultati ottenuti nella precedente ricerca). Incrementando la percentuale d'armatura si osserva che per percentuali intermedie ($\rho = 0.5\%$) la presenza del giunto, pur non consentendo il raggiungimento della piena capacità flessionale, consente di raggiungere la piena portanza a taglio. Nel caso di percentuali maggiori ($\rho = 1\%$) la presenza dei denti del giunto consente di ottenere un comportamento post-picco migliore rispetto alla semplice ripresa di getto).