

Pilastri in c.a. confinati con FRP: risultati sperimentali

C. Faella¹, A. Napoli², R. Realfonzo³ e G. Rizzano⁴

ABSTRACT: This paper presents some results of a wide experimental program – still in progress at the Laboratory of Structures of the University of Salerno – carried out in order to investigate the monotonic and cyclic behaviour of FRP confined r/c columns and of columns strengthened by using both the FRP confining system and longitudinal steel angles. Specimens were longitudinally reinforced by using both smooth and deformed steel rebars. Test results have highlighted the entity of the improvement – especially in terms of ductility – of the FRP confined columns, and differences between the response of members reinforced with smooth and deformed steel rebars have been observed. Significant Increments of strength have been measured in case of columns retrofitted with both FRP confining systems and steel angles.

1 INTRODUZIONE

In questo lavoro sono presentati alcuni risultati di un ampio programma sperimentale ancora in corso presso il Laboratorio di Strutture dell'Università di Salerno.

Il programma riguarda prove monotone e cicliche condotte su pilastri in c.a. applicando, in controllo di spostamento, una forza orizzontale variabile in sommità.

I test sono eseguiti in condizioni di sforzo normale costante e, per gli elementi fin qui testati, l'azione orizzontale è stata applicata ad una distanza di 1.70 m dalla base.

Il programma sperimentale è articolato come segue:

- ✓ n°24 prove su colonne aventi sezione quadrata (300x300 mm) ed altezza 2.20 m;
- ✓ n°9 prove su colonne di sezione rettangolare (300x700 mm) ed altezza 2.50 m.

I pilastri sono stati armati con ferri longitudinali e staffe adoperando sia barre lisce che barre ad aderenza migliorata. Entrambe le tipologie presentavano un'ampia base di appoggio in c.a. di dimensioni 1400x600x600 mm nel caso delle colonne quadrate e 1400x600x800 mm per quelle rettangolari.

I test sono condotti sia su elementi in c.a. non rinforzati che su colonne preventivamente confinate con materiali polimerici fibro-rinforzati (FRP); ulteriori prove sono state eseguite su pilastri confinati con FRP ed ulteriormente rinforzati con dispositivi metallici.

Al momento sono stati eseguiti 13 test portando gli elementi provati fino ad un livello di spostamento – definito come “collasso convenzionale” – cui corrisponde un degrado di resistenza - valutato sull'involuppo monotono - pari al 10%. Infine, sono state effettuate 3 prove su colonne precedentemente provate fino al collasso convenzionale, quindi riparate (con le tecniche di seguito presentate) e nuovamente sottoposte al test.

1.1 Tipologia degli elementi testati

I pilastri sono stati progettati e realizzati in modo da potere essere rappresentativi di e-

¹ Professore Ordinario, Dipartimento di Ingegneria Civile, Università di Salerno

² Studentessa del Dottorato, Dipartimento di Ingegneria Civile, Università di Salerno

³ Professore Associato, Dipartimento di Ingegneria Civile, Università di Salerno

⁴ Ricercatore, Dipartimento di Ingegneria Civile, Università di Salerno

lementi ricorrenti in strutture intelaiate esistenti; a tal fine non sono stati adottati dettagli costruttivi corretti per pilastri progettati solo a sforzo normale (posizione, passo e geometria delle staffe, etc.) ed è stato adoperato un calcestruzzo caratterizzato da una resistenza a compressione relativamente modesta (resistenza cilindrica media a compressione pari a circa 28 MPa). Inoltre, sempre per lo stesso motivo, come già ricordato in precedenza alcuni elementi (circa la metà) sono stati armati con tondi di acciaio lisci. I valori medi delle proprietà meccaniche degli acciai impiegati sono stati dedotti mediante prove di trazione e sono riportati in Tabella 1.

In tabella sono elencati i valori delle seguenti grandezze: resistenza allo snervamento (f_y) e corrispondente deformazione (ϵ_y); resistenza massima (f_u) e corrispondente deformazione (ϵ_u).

Tabella 1. Provini cilindrici: risultati sperimentali.

Tipo di barre	f_y (MPa)	ϵ_y (%)	f_u (MPa)	ϵ_u (%)
Lisce	346	0.165	498	23.80
Aderenza migliorata	556	0.265	655	16.73

Il getto di ciascun pilastro, coerentemente con la pratica costruttiva, è stato effettuato in verticale eseguendo dapprima il getto del plinto di fondazione e quindi quello del pilastro vero e proprio.

La geometria del plinto e dei pilastri a sezione quadrata (gli unici fino ad ora provati) nonché i dettagli delle armature longitudinali e trasversali sono riportati in Figura 1: le barre longitudinali hanno un diametro pari a 14 mm e presentano una zona di sovrapposizione di lunghezza 600 mm (la sovrapposizione dei ferri ed il tipico gancio di ancoraggio è ben visibile nella fotografia a destra); l'armatura trasversale, invece, è costituita da staffe $\phi 8$ disposte con un passo costante e pari a 200 mm.

Maggiori dettagli sulla geometria degli elementi e sulle caratteristiche del rinforzo longitudinale e trasversale, sono riportati in (Faella et al. 2006a, b, c,d).

Le tipologie di rinforzo adottate sono schematicamente mostrate in Figura 2, dove è possibile distinguere:

1. pilastri confinati fasciando l'elemento in maniera discontinua con tessuti unidirezionali in fibre di vetro (rinforzo tipo "G") o di carbonio (rinforzo tipo "C");
2. colonne rinforzate mediante uso combinato di FRP (in particolare fibre di carbonio) ed elementi metallici (rinforzi tipo "A").

Nel primo caso l'intervento di rinforzo si poneva principalmente lo scopo di conseguire un incremento della duttilità disponibile. A tal fine è stata confinata la zona al piede della colonna ("cerniera plastica") e per scongiurare una rottura prematura delle fibre gli spigoli degli elementi sono stati arrotondati (con raggio di curvatura pari a 30 mm).

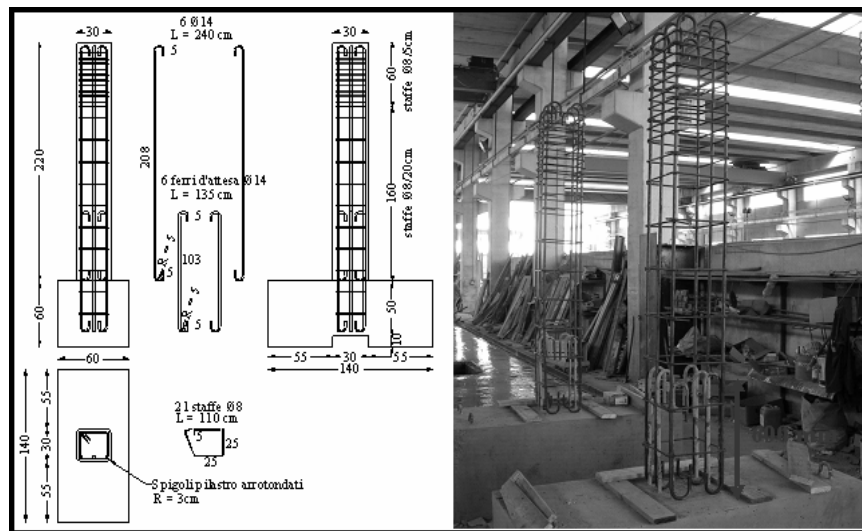


Figura 1. Disposizione delle armature longitudinali e delle staffe

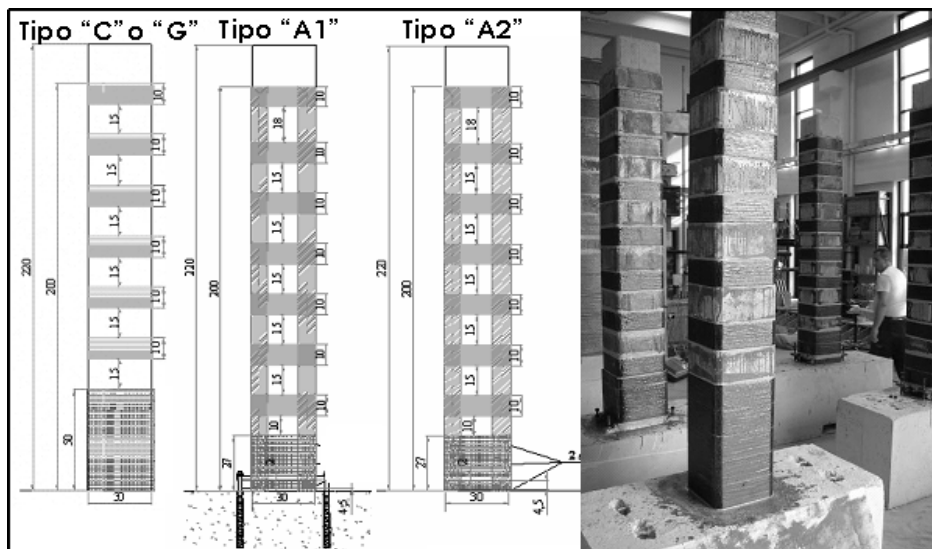


Figura 2. Tipologie di rinforzo

La Tabella 2 riporta le principali proprietà dei tessuti in FRP adoperati.

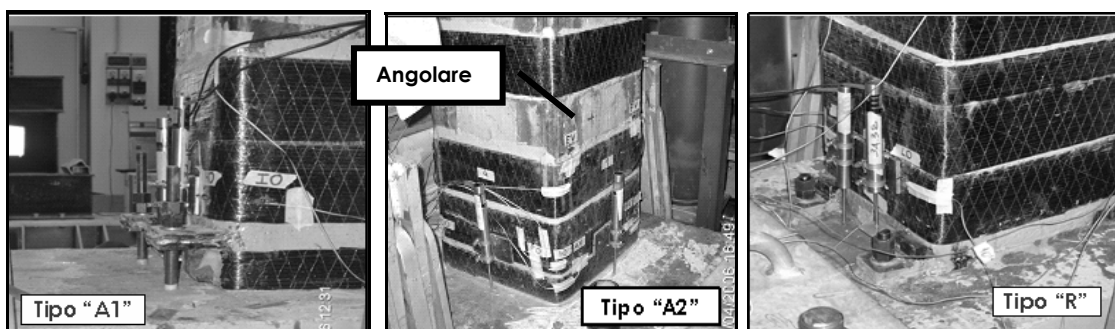
Tabella 2. Caratteristiche meccaniche del tessuto secco (come dichiarate dai venditori)

Fibre	tj [mm]	EFRP [GPa]	fu,FRP [MPa]	εu,FRP [%]
Carbonio	0.22	390	3000	0.80
Vetro	0.48	80.6	2560	3.0-3.5

Nel secondo caso, in corrispondenza degli spigoli del pilastro sono stati posizionati quattro angolari in acciaio pressopiegati (acciaio tipo Fe360); il collegamento angolare-pilastro è stato affidato ad uno strato di adesivo epossidico interposto tra ciascun angolare ed il substrato in calcestruzzo; l'intervento è stato quindi completato con l'avvolgimento di uno o più strati di tessuti in carbonio (CFRP).

Per quanto riguarda il collegamento angolare-plinto, sono state previste due diverse configurazioni:

- ✓ in un primo caso, ogni angolare è stato collegato alla base mediante un perno di acciaio inghisato nel plinto (rinforzo tipo "A1" - immagine a sinistra in Fotografia 1); in tal modo, consentendo il trasferimento degli sforzi di trazione, si voleva ottenere un significativo incremento di resistenza a presso-flessione del pilastro; va notato che il collegamento è stato volutamente reso "unilaterale", mantenendo l'elemento orizzontale di connessione (una piccola mensola) sollevato dal suolo in modo da scongiurare lo svergolamento dell'angolare sul lato compresso. Le prove sperimentali, come meglio si vedrà in seguito, hanno dato risultati confortanti sull'effetto del rinforzo messo in opera;
 - ✓ una seconda soluzione - con la quale si perseguiva lo scopo di ottenere ulteriori incrementi di duttilità rispetto al caso di solo confinamento con FRP - non ha previsto alcun collegamento degli angolari al plinto (rinforzo tipo "A2" - Fotografia 1 al centro).
- Tutti i sistemi di rinforzo sono stati forniti e messi in opera dalla INTERBAU Srl di Milano.



Fotografia 1. Collegamento dell'angolare al plinto nei rinforzi "A1" ed "A2" e negli interventi di riparazione "R"

Maggiori dettagli sulle tipologie di rinforzo sono riportate in (Faella et al 2006c). Come già accennato, alcuni pilastri portati alla soglia del "collasso convenzionale", e quindi vistosamente danneggiati, sono stati successivamente riparati e nuovamente sottoposti a prova.

L'intervento di riparazione (indicato nel seguito con la sigla "R") è consistito nel mettere in opera angolari metallici oltre al confinamento con FRP. Tuttavia, in tal caso rispetto agli interventi tipo "A1" sono state effettuate alcune modifiche al particolare del collegamento angolare-plinto: infatti, la mensola di sostegno dei perni inghisati è stata poggiata sul plinto in c.a. (rinforzo tipo "R": immagine a destra in Fotografia 1).

1.2 Il set-up di prova

Il sistema di prova, mostrato nella Fotografia 2, è stato progettato per sottoporre gli elementi ad azioni verticali costanti ed a forze orizzontali variabili (monotone o cicliche). Il carico verticale è stato applicato mediante un martinetto idraulico da 1000 kN, posizionato tra l'estremità superiore del pilastro ed una traversa in acciaio molto rigida; in tal modo sono state messe in trazione una coppia di barre Diwidag, del diametro di 32 mm, connesse alla traversa superiore e ad un ulteriore elemento in acciaio passante al di sotto del plinto di base.

Il programma di prove in svolgimento comprende tests da condurre ad N costante; lo sforzo assiale è stato controllato collegando il martinetto ad un accumulatore ad azoto. Le prove fin qui svolte sono state effettuate per un valore di N corrispondente ad uno sforzo assiale adimensionale v pari a circa 0.14; il parametro v è calcolato come rapporto $N / (f_{cm} \cdot A_c)$, essendo: A_c l'area della sezione trasversale del pilastro ed f_{cm} la resistenza cilindrica media del calcestruzzo ottenuta da prove di compressione su provini in calcestruzzo prelevati al momento del getto di ciascun elemento.

L'azione orizzontale è stata applicata, invece, adoperando un attuatore MTS reso solido all'elemento mediante appositi dispositivi di collegamento in acciaio.

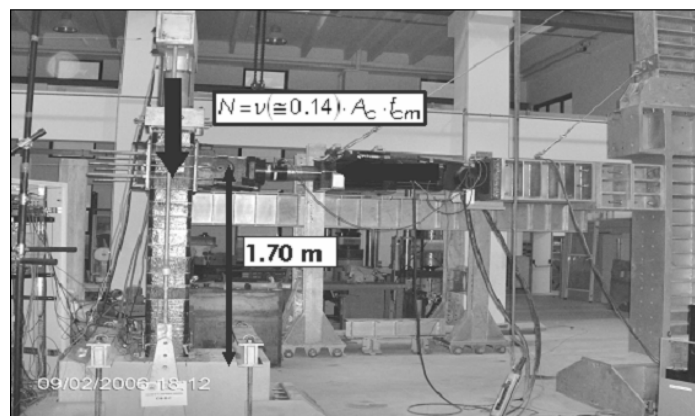
Le prove sono state condotte in controllo di spostamento, eseguendo tre cicli per ciascun livello di spostamento imposto; durante le prove, appositi vincoli hanno inibito ogni possibile movimento (rotazione o traslazione) del blocco di fondazione.

Per ciò che concerne le misurazioni sono stati predisposti:

- strain gauges per la misura delle deformazioni verticali ed orizzontali alla base della colonna e per la misura delle deformazioni longitudinali degli angolari metallici;
- potenziometri ed LVDT per la misura di spostamenti ed aperture di fessure;
- una cella di carico per la misura dello sforzo verticale.

2 IL PROGRAMMA SPERIMENTALE

Il quadro completo del programma sperimentale in corso è mostrato in tabella 3: come si può notare al momento è stata eseguita solo una prima parte delle 33 prove previste.



Fotografia 2. Test set-up

La prima colonna della tabella riporta una sigla identificativa di ciascuna prova; la sigla sintetizza le seguenti informazioni: tipo di prova (M = monotona; C = ciclica); numero della colonna (da 1 a 33); tipo di barre longitudinali (S = barre lisce; D = ad aderenza migliorata); tipo di rinforzo (G = confinamento con GFRP; C = confinamento con CFRP; A1=confinamento con CFRP + angolari collegati al plinto; A2=confinamento + angolari non collegati al plinto).

Va sottolineato che per tre delle prove elencate in tabella è stato assunto un valore di ν pari a circa 0.125 invece di 0.140.

3 RISULTATI DEI TEST

Le 13 prove effettuate fino a questo momento sono state tutte condotte su pilastri di sezione quadrata 30x30 cm; la Tabella 3 presenta anche alcuni risultati, ossia:

- la resistenza cilindrica media del calcestruzzo relativa a ciascun test;
- la massima resistenza di picco registrata nelle due direzioni di carico (F^+_{max} , F^-_{max});
- il drift massimo (δ_{max}) misurato al raggiungimento del collasso convenzionale.

La tabella non comprende i test effettuati sulle colonne riparate.

Osservando i dati in tabella possono essere tratte alcune prime conclusioni:

- ✓ la presenza del solo confinamento ha consentito di ottenere notevoli incrementi di duttilità rispetto a quella mostrata da elementi non rinforzati, ma non ha prodotto benefici in termini di resistenza. Questo risultato è anche dovuto al valore piuttosto basso del carico assiale applicato;
- ✓ anche il rinforzo tipo "A2" (con angolari non ancorati al plinto) non ha prodotto benefici in termini di resistenza, ma l'incremento di duttilità è stato ancora superiore;
- ✓ nel caso, infine, di pilastri rinforzati con sistemi tipo "A1" sono stati evidenziati, invece, cospicui incrementi anche della resistenza flessionale.

Le conclusioni descritte trovano una chiara conferma nei grafici riportati in Figura 4.

Tabella 3. Prove sperimentali: dettagli dei pilastri

TEST	bxH	Tipo di prova	fibre	N. strati	ν	f_{cm} (MPa)	N (KN)	F^+_{max} (kN)	F^-_{max} (kN)	δ_{max} (%)
M5-S	30x30	monotona	-	-	0.14	26.4	335	-	51.15	8.80
C1-S-G		ciclica	vetro	4	0.14	28.8	363	62.45	56.51	7.36
C2-S-A1		ciclica	carbonio	2	0.14	27.5	345	83.75	76.89	6.65
C3-S		ciclica	-	-	0.14	25.7	325	52.73	50.91	3.62
C4-S-G		ciclica	vetro	2	0.14	24.8	310	55.07	50.31	7.22
C6-S-A2		ciclica	carbonio	2	0.14	26.5	335	40.64	63.32	10.83
C10-S-C		ciclica	carbonio	2	0.14	26.0	330	49.71	51.02	4.89
C11-S-A1		ciclica	carbonio	2	0.12	35.3	380	97.53	95.69	7.77
C12-S-A1		ciclica	carbonio	2	0.14	-	-	-	-	-
C13-S-C		ciclica	carbonio	2	0.14	28.9	365	49.08	48.14	5.81
C17-S-C		ciclica	carbonio	2	0.60	-	-	-	-	-
C22-S		ciclica	-	-	0.60	-	-	-	-	-
C23-S-A1		ciclica	carbonio	2	0.60	-	-	-	-	-
C29-S-C		ciclica	carbonio	4	0.60	-	-	-	-	-
C30-S-A1		ciclica	carbonio	2	0.60	-	-	-	-	-
C7-D-C		ciclica	carbonio	2	0.14	26.1	330	65.33	69.10	6.99
C8-D-C		ciclica	carbonio	2	0.14	26.5	335	69.74	63.51	6.44
C9-D		ciclica	-	-	0.128	31.8	365	71.08	66.32	3.51
C14-D-C		ciclica	carbonio	2	0.12	35.3	380	62.87	58.65	6.46
C15-D-C		ciclica	carbonio	4	0.60	-	-	-	-	-
C16-D-C	ciclica	carbonio	2	0.60	-	-	-	-	-	
C24-D	ciclica	-	-	0.60	-	-	-	-	-	
C25-D-A1	ciclica	carbonio	2	0.14	-	-	-	-	-	
C31-D-A1	ciclica	carbonio	2	0.60	-	-	-	-	-	
C19-S-C	30x70	ciclica	carbonio	4	0.25	-	-	-	-	-
C20-S-C		ciclica	carbonio	2	0.25	-	-	-	-	-
C26-S		ciclica	-	-	0.25	-	-	-	-	-
C27-S-A1		ciclica	carbonio	4	0.25	-	-	-	-	-
C18-D-C		ciclica	carbonio	4	0.25	-	-	-	-	-
C21-D-C		ciclica	carbonio	2	0.25	-	-	-	-	-
C32-D		ciclica	-	-	0.25	-	-	-	-	-
C28-D-A1		ciclica	carbonio	4	0.25	-	-	-	-	-
C33-D-C		ciclica	carbonio	4	0.14	-	-	-	-	-

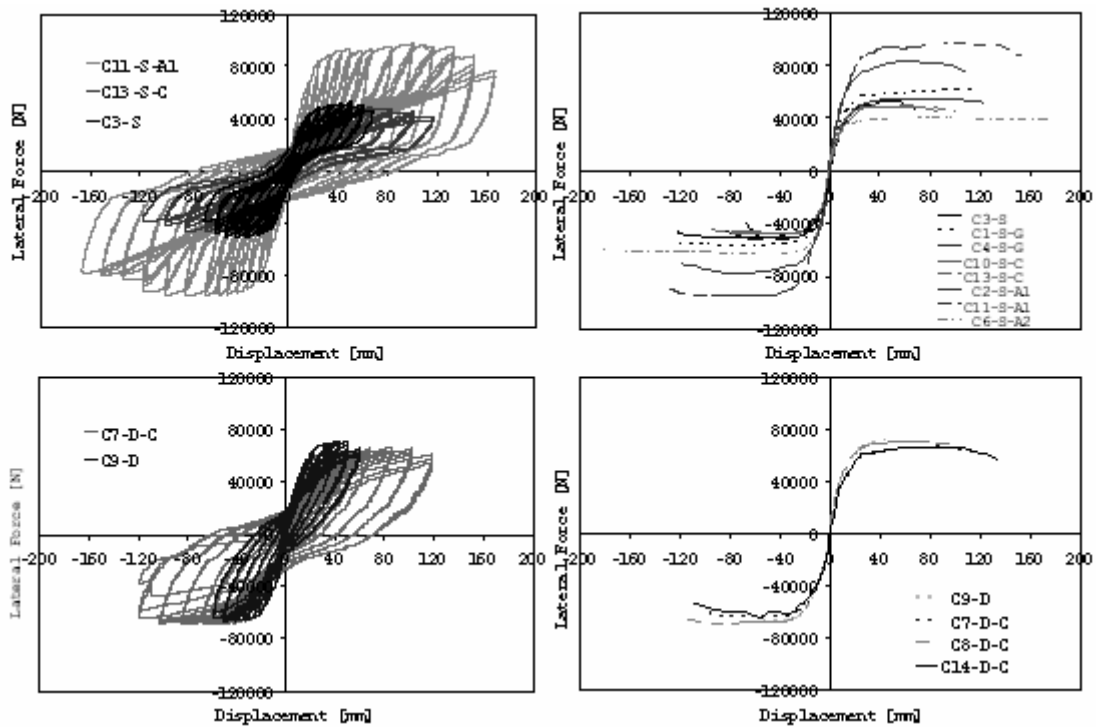


Figura 4. Cicli di isteresi ed involucri F- δ (in alto pilastri con b. lisce; in basso elementi armati con barre ad a.m.)

Inoltre, le Figure consentono di evidenziare come nel caso di elementi armati con barre lisce il comportamento ciclico sia caratterizzato da un forte fenomeno di "pinching", fenomeno praticamente assente, invece, nel caso dei cicli di isteresi registrati per i pilastri armati con tondi ad aderenza migliorata.

L'influenza della tipologia di barre longitudinali sulla risposta strutturale risulta ancora più evidente se si osservano le curve di Figura 5, dove sono mostrati alcuni cicli, ad eguale ampiezza di spostamento, rilevati nel caso delle due prove condotte su pilastri non rinforzati (indispensabili per avere un riferimento), ossia sul pilastro "C3-S", armato con barre lisce, e sul pilastro "C9-D", armato con barre ad aderenza migliorata.

Dalla figura emerge con chiarezza che la "strizione" del ciclo (il "pinching", appunto) è significativa nel caso dell'elemento 3, mentre si osserva una maggiore ampiezza dei cicli nel caso dell'elemento 9; a questa maggiore ampiezza si associa, ovviamente, un comportamento più dissipativo.

3.1 Pilastri riparati

In tabella 4 sono riportati i principali dati sperimentali riguardanti tre prove eseguite su colonne riparate dopo essere state già provate e danneggiate: le prove, sono indicate con le sigle "C1-S/R", "C3-S/R" e "C9-D/R".

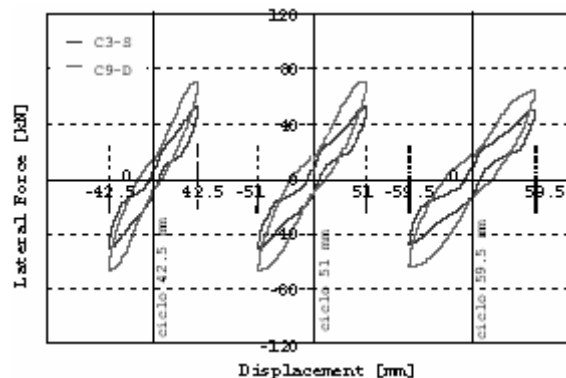


Figura 5. Cicli di Isteresi: confronto tra pilastri armati con barre lisce ed elementi armati con barre ad a.m.

Pertanto, le prime due riguardano elementi armati con barre lisce, mentre la terza è relativa ad un pilastro armato con tondi ad aderenza migliorata.

Della tecnica di riparazione si è già detto in precedenza; tuttavia, è opportuno sottolineare che nel corso della riparazione del pilastro "1" è stata modificata, migliorandola, la geometria della mensola di ancoraggio in modo da scongiurare la rottura fragile delle saldature ed ottenere un comportamento più duttile del collegamento (su queste questioni maggiori dettagli sono contenuti in Faella et al 2006c).

L'osservazione dei dati in Tabella consente di verificare che con l'intervento di riparazione adottato si consegue un livello di resistenza decisamente maggiore rispetto a quello del pilastro di partenza, mentre si registra una riduzione del drift a collasso.

Fa eccezione la prova "C1-S/R"; in tal caso, infatti, la modifica del sistema di ancoraggio ha consentito di ottenere un livello di duttilità notevolissimo se confrontato con quello mostrato negli altri due test (il drift massimo risulta più che raddoppiato), addirittura superiore alla duttilità mostrata dal pilastro originario ("1") che, contrariamente al caso dei pilastri "3" e "9", risultava confinato passivamente con un sistema in GFRP.

Tabella 4. Pilastri danneggiati e riparati: confronto dei risultati sperimentali

TEST	Tipo barre	Tipo fibre	N° strati	f_{cm} (MPa)	N (kN)	F^*_{max} (kN)	F_{max} (kN)	d_{max} (mm)	δ_{max} (%)
C3-S	Lisce	-	-	25.7	325	52.73	50.91	61.54	3.62
C3-S/R		carbonio	2	25.7	325	69.34	71.21	56.31	3.31
C1-S-G		vetro	4	28.8	363	62.45	56.51	125.12	7.36
C1-S/R		carbonio	2	28.8	363	112.09	102.75	126.65	7.45
C9-D	Aderenza migliorata	-	-	31.8	365*	71.08	66.32	59.67	3.51
C9-D/R		carbonio	2	31.8	365*	105.13	113.92	52.92	3.11

La Figura 6 mostra, a destra, gli involuipi monotoni relativi alle prove condotte sui pilastri 1, 3 e 9 prima e dopo la riparazione ed a sinistra i cicli di isteresi relativi alle due prove condotte sul pilastro numero 1.

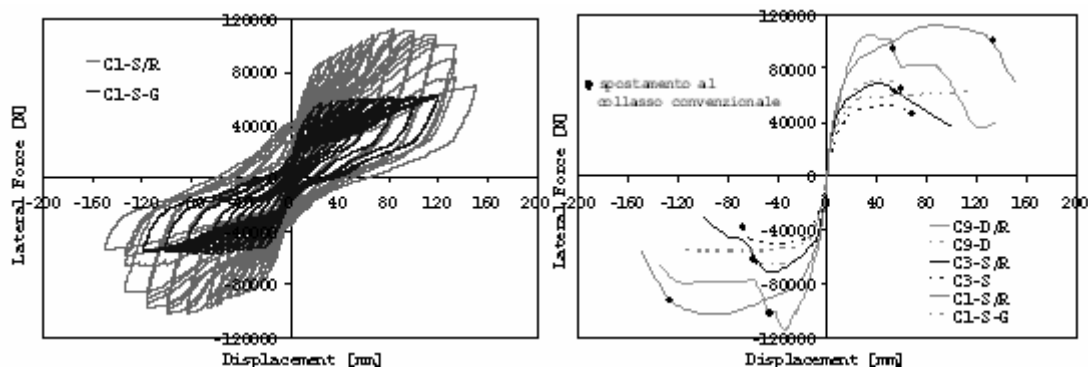


Figura 6. Pilastri riparati: cicli di isteresi ed involuipi forza-spostamento

3.2 Modalità di collasso

Per ciò che concerne le modalità di collasso si osserva quanto segue:

- ✓ nel caso di elementi armati con barre lisce è stata osservata la formazione di un'ampia fessura di base; inoltre, è stato possibile notare la formazione di un'altra ampia fessura in corrispondenza della zona di sovrapposizione dei ferri longitudinali (a circa 600 mm dalla base);
- ✓ una maggiore diffusione della fessurazione ed una minore ampiezza della fessura di base è stata osservata, invece, per i pilastri armati con barre ad aderenza migliorata;
- ✓ la crisi per trazione del sistema confinante in FRP è sempre sopraggiunta per valori piuttosto elevati del drift, con uno "strappo" per lo più avvenuto in corrispondenza degli spigoli della colonna;
- ✓ nel caso di pilastri rinforzati con angolari pressopiegati collegati alla base (rinforzo tipo "A1"), è stata osservata una prematura rottura del sistema in carbonio in corrispondenza del collegamento, dovuta ad un'eccessiva deformazione dell'angolare; il

collasso convenzionale è stato raggiunto allorché si è verificata la rottura del collegamento tra l'angolare ed il plinto, crisi, quest'ultima, sempre osservata in corrispondenza della saldatura tra l'angolare e la mensola di ancoraggio alla fondazione (maggiori dettagli sono riportati in Faella et al. 2006c);

✓ nel caso dei pilastri riparati "C3-S" e "C9-D" è stata osservata una prematura crisi del collegamento in corrispondenza dei due piatti che costituiscono l'elemento ad "L" su cui viene avvitato il perno; tale crisi non è stata osservata durante la prova eseguita sul pilastro C1-S/R anche se, in questo caso, si è manifestata una prematura rottura del sistema confinante sul lato compresso dell'elemento, in prossimità della base.

4 CONCLUSIONI

In questo lavoro sono stati presentati alcuni risultati di un ampio programma sperimentale messo a punto al fine di esaminare il comportamento sotto azioni taglianti, monotone o cicliche, di pilastri in cemento armato rinforzati adoperando tecniche di intervento che fanno uso di materiali tradizionali (angolari in acciaio) ed innovativi (FRP).

In particolare, le prove - eseguite in controllo di spostamento ed in condizioni di sforzo normale costante - hanno riguardato pilastri confinati con FRP ed elementi rinforzati combinando il confinamento con angolari di acciaio disposti negli spigoli dei pilastri in direzione longitudinale; sono state eseguite anche prove su colonne non rinforzate in modo da potere valutare i benefici conseguiti con le tecniche di rinforzo utilizzate.

Per valutare l'influenza della tipologia di armature longitudinali sulla risposta strutturale, alcuni pilastri sono stati armati con barre lisce, altri con barre ad aderenza migliorata.

Alcuni elementi, già provati fino al collasso convenzionale - corrispondente ad un degrado di resistenza del 10% (valutato sul ramo softening dell'involuppo monotono) - sono stati anch'essi riparati con sistemi in FRP ed angolari metallici e risottoposti al test.

I risultati sperimentali hanno messo in luce l'entità del miglioramento della risposta - in particolare in termini di duttilità - dei pilastri confinati con FRP ed evidenziato le differenze tra il comportamento ciclico delle colonne armate con barre lisce rispetto a quelle armate con barre ad aderenza migliorata; in quest'ultimo caso è stato osservato un minore fenomeno di pinching ed una più uniforme distribuzione del quadro fessurativo alla base del pilastro.

Incrementi di resistenza significativi sono stati ottenuti solo quando al confinamento con FRP è stata associata la disposizione di angolari metallici ancorati al plinto di base.

Le prove su pilastri danneggiati e riparati hanno confermato la bontà dell'intervento: i pilastri riparati hanno mostrato una resistenza superiore rispetto al pilastro di partenza.

5 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Faella, C., Realfonzo, R., Rizzano, G. 2006 "Experimental behaviour of R/C columns confined by FRP". 2nd fib Congress, Naples, Italy, 5-8 June 2006.

Faella, C., Napoli, A., Realfonzo, R., Rizzano, G. 2006. "Seismic behaviour of square r/c columns confined with FRP". First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, Geneva, Switzerland, 3-8 September 2006.

Faella, C., Iannone, F., Napoli, A., Realfonzo, R., Rizzano, G., Cersosimo, G. 2006. "Comportamento ciclico di pilastri in c.a. rinforzati con impiego di FRP". 16° Congresso C.T.E., Parma.

Faella, C., Napoli, A., Realfonzo, R. 2006. "Sul comportamento di pilastri in cemento armato rinforzati con materiali compositi (FRP) ed angolari metallici". Convegno Nazionale: Sperimentazione su Materiali e Strutture, Venezia, 6-7 Dicembre 2006.

RINGRAZIAMENTI

Questo studio è stato parzialmente finanziato con fondi relativi al Progetto sviluppato in collaborazione tra il Dipartimento di Protezione Civile (DPC) ed la **Rete dei Laboratori Universitari di Ingegneria Sismica** (Consorzio ReLUIS).