

Il rafforzamento dei pilastri in c.a. mediante il sistema CAM

M. Dolce, R. Gigliotti, M. Laterza, D. Nigro

Dipartimento di Strutture, Geotecnica, Geologia applicata all'ingegneria, Università della Basilicata, Potenza, Italy

R. Marnetto

TIS S.p.A., Roma, Italy

SOMMARIO: Uno dei motivi principali di debolezza delle strutture esistenti in c.a. nei confronti delle azioni sismiche è spesso da ricercarsi nella scarsa resistenza e duttilità dei pilastri. Come è noto, la duttilità migliora sensibilmente se il calcestruzzo viene confinato lateralmente mediante cerchiature. Queste ultime, tradizionalmente effettuate con angolari e calastrelli, spesso implicano incrementi di dimensioni dei pilastri e difficoltà esecutive. La loro efficacia è peraltro condizionata da una corretta messa in opera, che garantisca il contatto degli angolari con il calcestruzzo ed una presollecitazione mediante riscaldamento. Il sistema CAM (Cerchiaggio Attivo dei Manufatti) rappresenta una valida ed efficiente alternativa. Esso si realizza mediante angolari a spigoli smussati e nastri in acciaio ad elevata resistenza di spessore 0,8-1,0 mm, messi in opera con una pretensione tale da garantire un benefico stato di precompressione nel calcestruzzo ed un'immediata efficacia sotto incrementi di carico. Gli ingombri di un intervento effettuato con il CAM sono dell'ordine di 6-8 mm, e rientrano pertanto nello spessore di un normale intonaco. L'efficacia del sistema CAM nella cerchiatura di pilastri in c.a. è stata verificata mediante una serie di prove sperimentali a compressione su 34 pilastri in c.a. 25x25 cm, valutando il guadagno ottenibile in termini di incrementi di resistenza e di duttilità. Nell'articolo vengono descritti sia il sistema di rafforzamento che i principali risultati delle prove effettuate.

ABSTRACT: One of the main reasons of weakness of existing R/C structures with respect to seismic actions is often to be ascribed to the low strength and ductility of columns. As known, ductility improves considerably if concrete is laterally confined. Such confinement is traditionally realised by angles and brackets, and implies increase of dimension and difficulties of implementation. Their effectiveness is also conditioned by a correct implementation, to obtain a perfect contact of the angles with the existing concrete as well as a pre-strain through pre-heating of the cross stiffening brackets. The CAM system (Active Confinement of Manufacts) represents an effective alternative solution. It is implemented by using angles with smoothed edge and high strength steel ribbons 0.8-1.0 mm thick, which are pre-tensioned to give a beneficial pre-compression state in concrete and to be immediately effective when increasing loads. Its total thickness of being of the order of 6-8 mm, the confining device can be easily contained within the normal plaster. The effectiveness of the CAM system for the confinement of R/C concrete columns has been verified through several experimental compression tests on 34 squared section columns with 25 cm side, by evaluating the improvement of strength and ductility. In this paper the CAM strengthening system is presented, along with the main results of the experimental tests.

1 INTRODUZIONE

Gli edifici in c.a. esistenti, soprattutto quelli costruiti negli anni '60-'70, presentano notevoli carenze strutturali, legate principalmente alla scarsa qualità dei calcestruzzi e ad un'insufficiente

quantitativo di armature trasversali. Tali carenze si traducono spesso in caratteristiche di resistenza e duttilità inadeguate alle funzioni che i singoli elementi strutturali debbono svolgere. Tali inadeguatezze, che anno portate nel passato, nei casi più drammatici, a crolli catastrofici in condizioni di carico statico, risultano ancor più gravi quando strutture progettate per sostenere i soli carichi verticali sono soggette ad azioni sismiche. Casi di questo tipo sono presenti in gran numero in Italia, costituendo quasi la regola nelle aree classificate in zona sismica dopo il 1980, che costituiscono circa il 20% del territorio nazionale. Tale numero, peraltro, è destinato a crescere in occasione di una futura nuova classificazione che accogliesse le proposte più recenti (Gavarini 1999). In questo scenario, gli elementi strutturali che maggiormente risentono di tali carenze, sono senza dubbio i pilastri, sia per la loro funzione, che li rende i più critici in termini di sicurezza globale della costruzione, che per la presenza di un considerevole sforzo normale di compressione. Gli interventi sui pilastri in c.a. per incrementare resistenza e duttilità perseguono il loro scopo attraverso un'azione di confinamento laterale (Sheikh et Al. 1980, Mander et Al. 1988, Saatcioglu et Al. 1998), che viene applicata con tecnologie diverse: incamiciamento con c.a., cerchiaggio con calastrelli e angolari in acciaio (Circ. Min. LL.PP. 1997) o, nelle applicazioni più recenti, incollaggio di fibre di carbonio o di altro tipo. Ciascuno di questi sistemi presenta caratteristiche diverse in termini di efficacia, costi e difficoltà esecutive, anche in relazione alla forma della sezione dell'elemento da confinare. In generale il confinamento passivo che si realizza con l'incamiciamento e con le fibre presenta l'inconveniente di entrare in funzione solo per carichi aggiuntivi rispetto a quelli presenti durante l'esecuzione del provvedimento. Per contro l'intervento con angolari e calastrelli potrebbe applicare un confinamento attivo grazie al preriscaldamento dei calastrelli e alla conseguente contrazione durante il raffreddamento, a saldatura avvenuta, ma l'effettivo verificarsi di tale favorevole condizione è fortemente condizionata da una corretta e precisa esecuzione dell'intervento. È comunque fuor di dubbio che l'entità della precompressione trasversale applicata ha carattere aleatorio, a causa del difficile controllo della temperatura di preriscaldamento all'atto del collegamento.

Nel presente articolo si propone una nuova tecnologia per il confinamento attivo dei pilastri in c.a., realizzato mediante il sistema CAM. L'efficacia del sistema è stata verificata mediante un'estesa campagna sperimentale su 34 pilastri in c.a. di dimensioni 25x25 cm, di cui nell'articolo vengono riportati i risultati principali e le prime elaborazioni.

2 IL SISTEMA CAM PER IL RAFFORZAMENTO DI PILASTRI IN C.A.

Il sistema CAM (Brevetto Dolce-Marnetto), già utilizzato e sperimentato per le Cuciture Attive delle Murature nel rafforzamento delle pareti murarie, è realizzato con nastri in acciaio, di spessore 0.8-1.0 mm e larghezza di 18-20 mm ed elementi in acciaio frapposti tra il manufatto e i nastri, (angolari, piastre imbutite) con funzione di ripartizione e trasferimento degli sforzi (Dolce et al. 2001). Nelle applicazioni alle colonne in c.a. i nastri vengono utilizzati per cerchiare le colonne, richiudendo il singolo nastro ad anello, mediante una macchina capace di imprimere una pretensione regolabile al nastro (fig. 2.1), e dunque una precompressione nella colonna. Il sistema comprende anche 4 angolari in acciaio smussati, disposti sugli spigoli del pilastro, sia per svolgere un'azione di ripartizione degli sforzi trasmessi dai nastri che per ridurre gli attriti durante la messa in tensione dei nastri.

Rispetto al classico intervento di cerchiatura mediante angolari e calastrelli su colonne in muratura o in c.a., il sistema CAM con angolari e nastri in acciaio, potendo utilizzare un numero elevato di nastri (ad esempio a distanza di 40-80 mm), riesce a distribuire meglio le pressioni di confinamento attivo e passivo esercitate dai nastri stessi. La messa in opera dei nastri di acciaio può essere, eventualmente, completata riempiendo i vuoti tra cls e nastri con malta cementizia e successiva finitura ad intonaco. Si ottiene in tal modo un ulteriore rafforzamento dei pilastri, per aumento della sezione resistente, conseguendo complessivamente sensibili guadagni in resistenza e duttilità.

Numerosi sono i vantaggi conseguibili con il sistema CAM, ribattezzato per queste applicazioni Cerchiaggio Attivo dei Manufatti, sia in termini di miglioramento della resistenza e duttilità, che in termini di ingombro, reversibilità, compatibilità con gli impianti e semplicità di posa in opera. Dal punto di vista meccanico si osserva che:

- I nastri di acciaio svolgono un ruolo attivo, imprimendo al calcestruzzo un leggero benefico stato di precompressione (confinamento attivo);
- La resistenza dei nastri viene sfruttata integralmente, non essendo il loro coinvolgimento legato all'aderenza ma ad un collegamento meccanico totalmente controllabile;
- Il confinamento passivo esercitato garantisce una buona duttilità delle colonne, chiamando in causa le riserve di sicurezza nelle condizioni limite di lavoro della struttura.



Fig. 2.1 Applicazione del sistema CAM alle colonne in c.a.

Dal punto di vista della reversibilità e invasività dell'intervento e della funzionalità della costruzione si osserva che:

- L'ingombro è minimo (dell'ordine dei 6-8 mm) e tale da non richiedere variazioni della geometria dei pilastri al finito;
- La posa in opera è rapida e semplice;
- La tecnologia è totalmente reversibile (la rimozione dei nastri richiede eventualmente solo l'asportazione dell'intonaco che ricopre i nastri);

I ridotti spessori e la flessibilità dei nastri di acciaio rendono agevole la loro posa in opera anche in spazi ristretti, ad esempio in presenza delle tubazioni di impianti tecnologici (acqua, gas, elettricità, etc.), minimizzando altresì le demolizioni delle parti non strutturali a contatto con i pilastri (tamponature e tramezzature).

Nella figura 2.2 sono mostrati due diagrammi sperimentali tensione di trazione-deformazione tipici del nastro in acciaio ad alta resistenza e della giunzione dei nastri del sistema CAM, utilizzati nella sperimentazione. Poiché la rottura del sistema si manifesta a causa del cedimento del vincolo offerto dal sigillo, ne consegue, mediamente, una tensione di rottura del sistema CAM inferiore a quella di snervamento del nastro di acciaio e pari a circa 700-800 N/mm², ossia ad una forza massima pari a circa 12 kN per nastro.

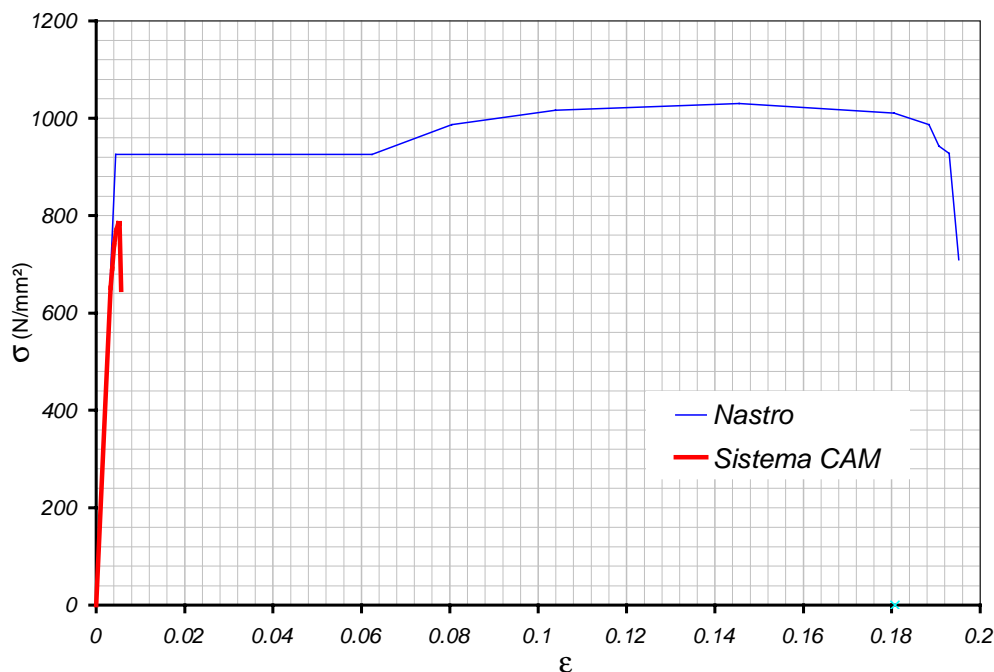


Fig. 2.2 Legge costitutiva tensione di trazione-deformazione del nastro e della giunzione.

3 TIPOLOGIE DELLE COLONNE DI PROVA

L'indagine sperimentale effettuata, finalizzata a valutare gli incrementi di duttilità e resistenza di colonne in c.a. cerchiata con sistema CAM e sottoposte a compressione centrata, ha riguardato 34 pilastri di dimensione $250 \times 250 \times (\sim) 850$ mm realizzati con calcestruzzo di qualità medio bassa ($R_{ck} < 200 \text{ kg/cm}^2$) per riprodurre le condizioni tipiche delle costruzioni esistenti in Italia negli anni 60-70. Sono stati confezionati due differenti tipi di calcestruzzo utilizzando due diversi tipi di cemento TipoS (325 di altoforno e colore grigio Scuro) e TipoC (325 pozzolanico e colore Chiaro) e realizzati quattro tipi di pilastri denominati SoloCls, TipoA, TipoB, TipoC (fig.3.1-3.2, Tab. 3.1, 3.2).



Fig. 3.1 Vista d'insieme dei pilastri realizzati

Mentre il TipoA e il TipoB sono armati con barre lisce e staffati scarsamente, il TipoC è stato armato con barre ad aderenza migliorata e staffatura fitta. Parte dei campioni SoloCls, del TipoA, del TipoB e del TipoC sono stati provati senza rinforzi e parte invece dopo essere stati cerchiati con i CAM usando due diverse spaziature tra i nastri pari rispettivamente a 40mm (CAM40) ed 80mm (CAM80), mentre il TipoC, utilizzato come tipologia di riferimento, non è stato rinforzato (Tab. 3.2).

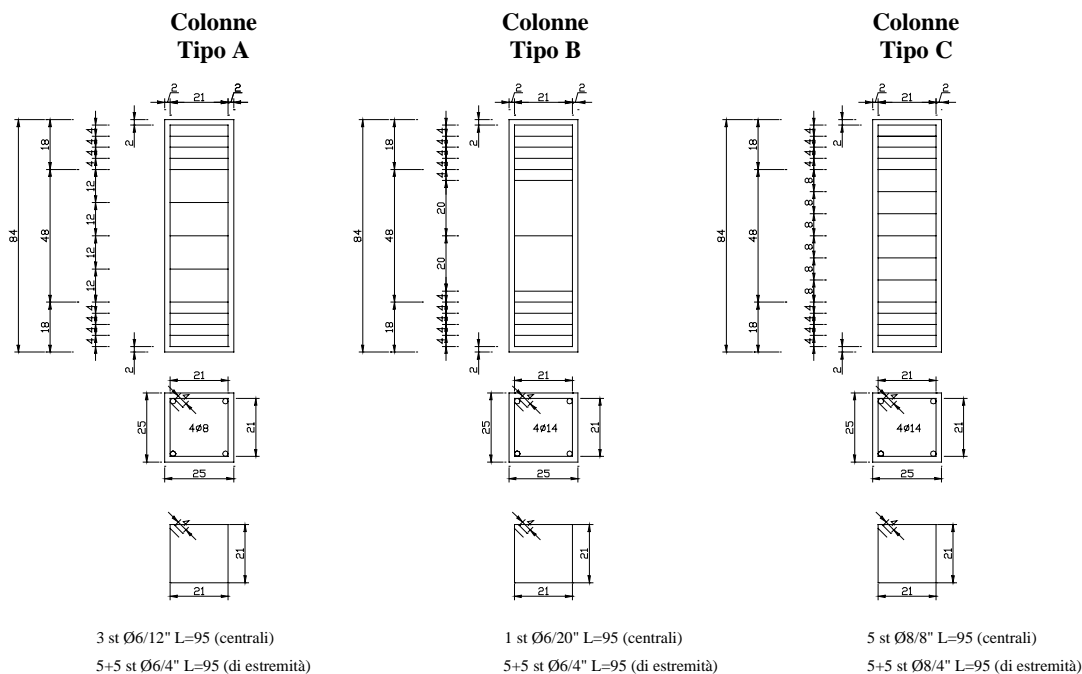


Fig. 3.2 Tipologie dei pilastri realizzati

Gli angolari utilizzati per l'applicazione del CAM sono di acciaio Fe360 ed hanno dimensioni $40 \times 40 \times 4$ mm. Essi sono stati posti in opera, al fine di valutare l'influenza di una redistribuzione del carico verticale agli angolari stessi, secondo due modalità:

- Con interposizione di malta a presa rapida;
- Con interposizione di teflon.

Nel primo caso, infatti, ci si aspetta una redistribuzione mentre nel secondo l'effetto del CAM risulterebbe strettamente legato alla sola compressione laterale prodotta dalla cerchiatura lasciando agli angolari il solo compito di distribuzione delle pressioni laterali esercitate dai CAM.

Tab. 3.1 Tipologie dei pilastri realizzati

Tipo	CAM	Nome pilastri prima serie	Nome pilastri seconda serie	Identificazione
SoloCls	senza	5C-7S-16C	9C-15S	(0,0)
TipoA	senza	26S-27S	34S	(A,0)
TipoB	senza	11S-25C	12S-24C	(B,0)
TipoC	Senza	1S-2S	-	(C,0)
SoloCls	40mm-malta	6C-8S	3C-10C	(0,40m)
SoloCls	40mm-teflon	-	-	(0,40t)
TipoA	40mm-malta	28S-29S	35S	(A,40m)
TipoA	40mm-teflon	32S-33S	-	(A,40t)
TipoA	80mm-malta	30S-31S	-	(A,80m)
TipoA	80mm-teflon	-	-	(A,80t)
TipoB	40mm-malta	13S-23C	20S	(B,40m)
TipoB	40mm-teflon	18S	-	(B,40t)
TipoB	80mm-malta	14S-17C	21S	(B,80m)
TipoB	80mm-teflon	19S	-	(B,80t)

Nella colonna *identificazione*, tra le parentesi tonde, sono individuati due parametri, separati da una virgola, di cui il primo specifica il tipo di armatura longitudinale (0=senza armatura, A=TipoA, B=TipoB, C=TipoC), e il secondo identifica il tipo di CAM e la modalità di applicazione degli angolari (0=senza CAM, 40m=CAM40 ed angolare applicato con malta, 40t=CAM40 ed angolare applicato con teflon, 80m=CAM80 ed angolare con malta, 80t=CAM80 ed angolare con teflon).

Tab. 3.2 – Grandezze caratteristiche pilastri

	Armatura	staffe	% armatura longitudinale	$\rho_s = \text{Vol. staffe} / \text{Vol. nucleo Cls}$
SoloCls	-	-	-	-
TipoA	4 ϕ 8	ϕ 6/120	$4 \times (\pi \times 8^2 / 4) / (250 \times 250) = 0.3$	0.004488
TipoB	4 ϕ 14	ϕ 6/200	$4 \times (\pi \times 14^2 / 4) / (250 \times 250) = 1$	0.002693
TipoC	4 ϕ 14	ϕ 8/80	$4 \times (\pi \times 14^2 / 4) / (250 \times 250) = 1$	0.01197

4 PROVE DI COMPRESSIONE CICLICA

La sperimentazione è stata condotta utilizzando per l'applicazione dei carichi assiali una pressa per prove su calcestruzzo da 3000 kN in controllo di forza, e strumentando le colonne, per la lettura degli spostamenti (Fig. 4.1), con:

- un trasduttore induttivo verticale globale, identificato dalla sigla 'TVC-Le1', che misura l'avvicinamento dei piatti della pressa;
- quattro trasduttori induttivi verticali locali ('TVP-Le-2', 'TVP-Le-3', 'TVP-Le-4' e 'TVP-Le-5'), posti sulla parte mediana (sia in altezza che in larghezza) di ogni faccia dei pilastri, con base di lettura pari a 320mm. Questi trasduttori iniziano a registrare da subito gli spostamenti correttamente, non risentendo dei problemi dovuti all'assestamento dei piatti e alla segregazione degli inerti, che perturbano la fase iniziale dei dati misurati con il trasduttore globale 'TVC-Le1'.

Le prove sono state condotte applicando cicli ripetuti di carico fino al 95% del valore della resistenza di picco corrente e successivo scarico (Fig. 4.2) fino a portare le colonne ad uno stato di danneggiamento molto spinto caratterizzato dalla quasi totale perdita del nucleo di calcestruzzo nelle colonne non rinforzate ed alla rottura dei nastri nelle colonne rinforzate con CAM.

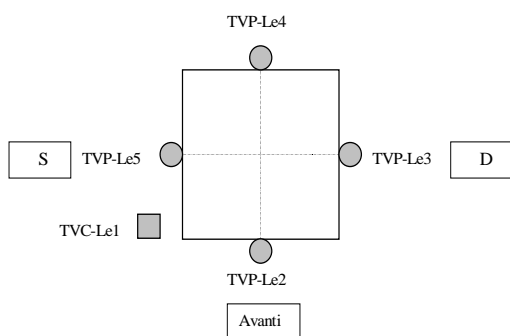


Fig. 4.1 Trasduttori per la misura degli spostamenti.

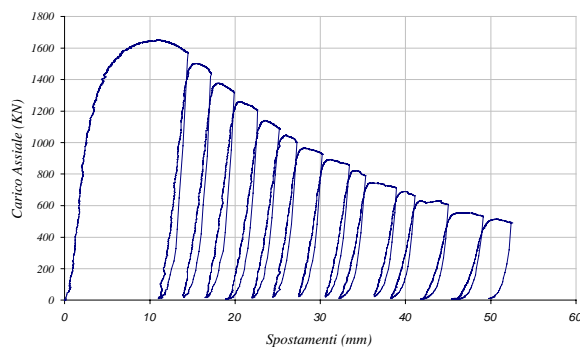


Fig. 4.2 Tipica prova di carico e scarico ciclico effettuata

Nel seguito si farà riferimento, per semplicità, a diagrammi di involucro costruiti unendo i punti corrispondenti all'inizio dello scarico (fig. 4.3). In particolare ci si riferirà dapprima al comportamento delle colonne in termini di tensioni e deformazioni del solo calcestruzzo, avendo decurtato il contributo delle armature longitudinali il cui legame tensioni di trazione-deformazione è riportato in figura 4.4, e successivamente al comportamento in termini di miglioramento globale (tensioni e deformazioni del calcestruzzo armato) delle colonne a seguito degli interventi.

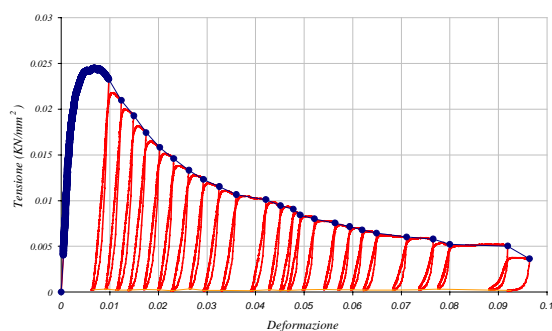


Fig. 4.3 Costruzione del diagramma involucro

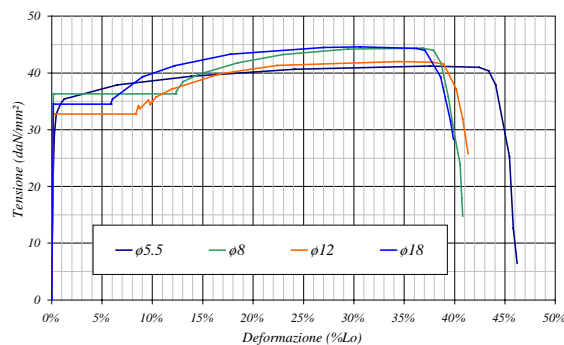


Fig. 4.4 Legami costitutivi delle armature longitudinali (barre lisce ø5.5, ø8, ø12 e ø18)

A tale scopo, nel primo caso (legame costitutivo del solo cls, Figg. 4.5-4.6-4.7), è risultato utile effettuare un confronto considerando gruppi di colonne caratterizzati da uno stesso tipo di intervento riferito all'applicazione dei CAM (assenza, CAM40, CAM80). Nel secondo caso (legame costitutivo del cls+armature longitudinali, Figg. 4.8-4.9-4.10), invece, sono stati considerati i gruppi di colonne aventi stessa tipologia di armatura e diverso tipo di intervento.

Nella figura 4.5 sono messi a confronto i legami costitutivi del calcestruzzo ricavati sperimentalmente sulle colonne senza armatura SoloCls, con armatura del TipoA, del TipoB e del TipoC. E' possibile osservare un migliore comportamento in termini di tensioni di picco, dei pilastri confezionati con cemento 'scuro' ed armatura del TipoB, i quali raggiungono una resistenza media leggermente maggiore di quella del TipoC e maggiore di circa il 14% rispetto a quelli del SoloCls (7S, 15S).

Per quanto riguarda i pilastri del TipoA, il 26S e il 27S hanno un comportamento peggiore del SoloCls mentre il 34S è molto simile ai provini 'scuri' del TipoB (ponendosi in posizione intermedia tra l'11S e il 12S). I due pilastri 'chiaro' (24C, 25C) del TipoB hanno un comportamento dissimile dai due omologhi 'scuri' con resistenza abbastanza uguale ai SoloCls 'chiaro'. Rispetto alle deformazioni post-picco si nota la sostanziale equivalenza di comportamento tra i tre tipi (SoloCls, TipoA, TipoB) senza riuscire mai a competere con il TipoC che raggiunge deformazioni doppie.

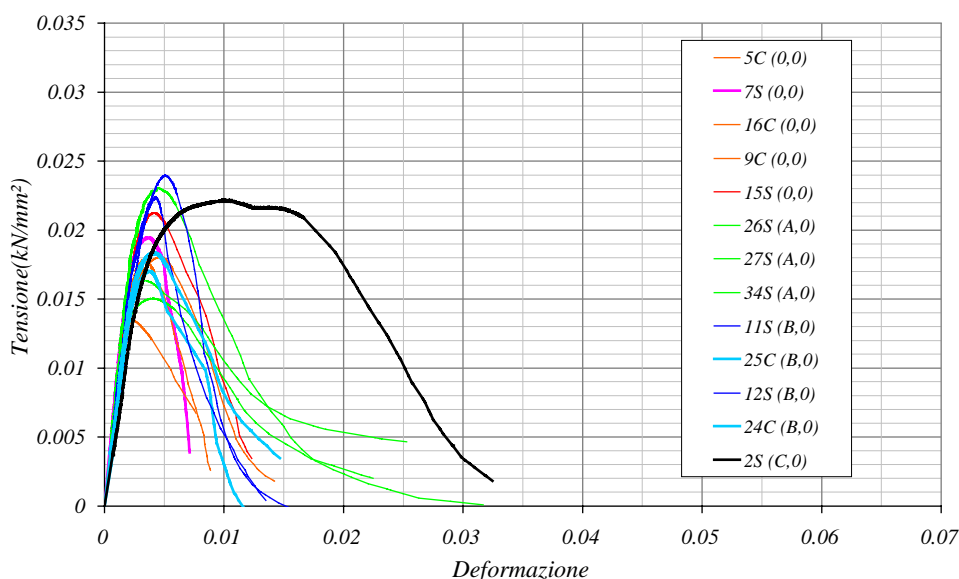


Fig. 4.5 Diagramma tensione-deformazione del cls (SoloCls, TipoA, TipoB, TipoC)

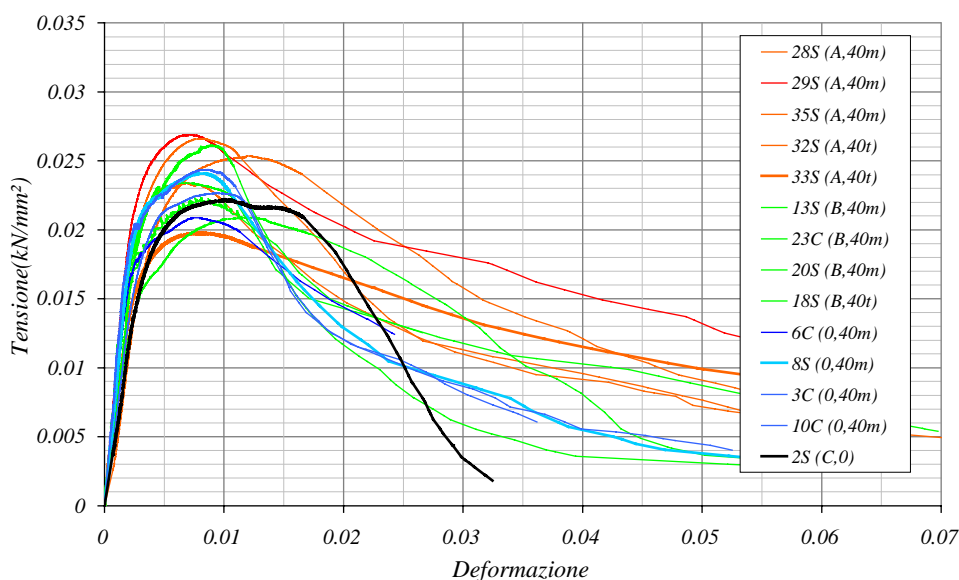


Fig. 4.6 Diagramma tensione-deformazione del cls (SoloCam, TipoA+Cam40, TipoB+Cam40, TipoC)

Nella seconda comparazione (fig.4.6) viene evidenziato il contributo dovuto al cerchiaggio con nastri posti ad una distanza di 40mm (CAM40). Dall'analisi dei legami sperimentali si evince:

- un sostanziale annullamento delle differenze di comportamento tra le colonne confezionate con cemento 'chiaro' e quelli con cemento 'scuro';
- un analogo comportamento di tutti e tre i tipi di colonne (TipoA, TipoB, SoloCam) sia in termini di tensione di picco che in termini di duttilità, anche se il TipoB è tendenzialmente più simile al SoloCam, mentre il TipoA è mediamente di poco più alto degli altri;
- una duttilità paragonabile (e per alcuni addirittura superiore) a quella del TipoC.

Nella terza comparazione (fig.4.7) viene, invece, evidenziato il contributo dovuto al cerchiaggio con nastri posti ad una distanza di 80mm (CAM80). In questo caso si nota la sostanziale equivalenza di comportamento tra i pilastri del TipoA e del TipoB sia in termini di tensione di picco che di deformazione post-picco. Tra i pilastri provati il 17C, confezionato con cemento 'chiaro' ed armatura del TipoB che ha tensione di picco e deformazione inferiore agli altri, conferma le

differenza di comportamento tra le colonne confezionate con i due tipi di cemento anche se attenuata rispetto a quella constatata nel caso senza nastri.

In tutti i casi non sembra invece avere avuto influenza il tipo di collegamento, con teflon o malta, tra la colonna e gli angolari.

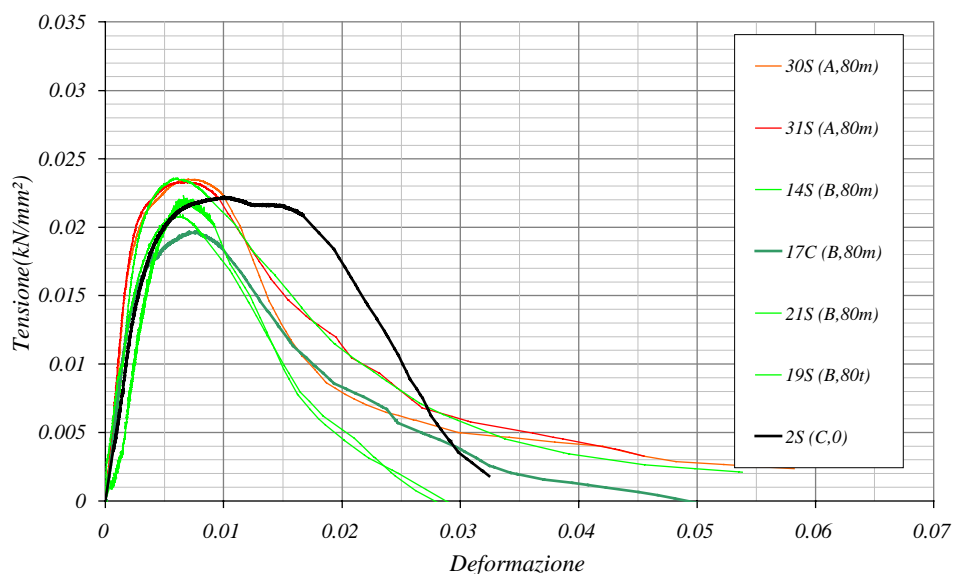


Fig. 4.7 Diagramma tensione-deformazione del cls (TipoA+Cam80, TipoB+Cam80, TipoC)

Il miglioramento del comportamento globale di resistenza e duttilità delle colonne rinforzate con CAM è senza dubbio evidente nei diagrammi tensioni-deformazioni del complesso cls+armature riportato di seguito.

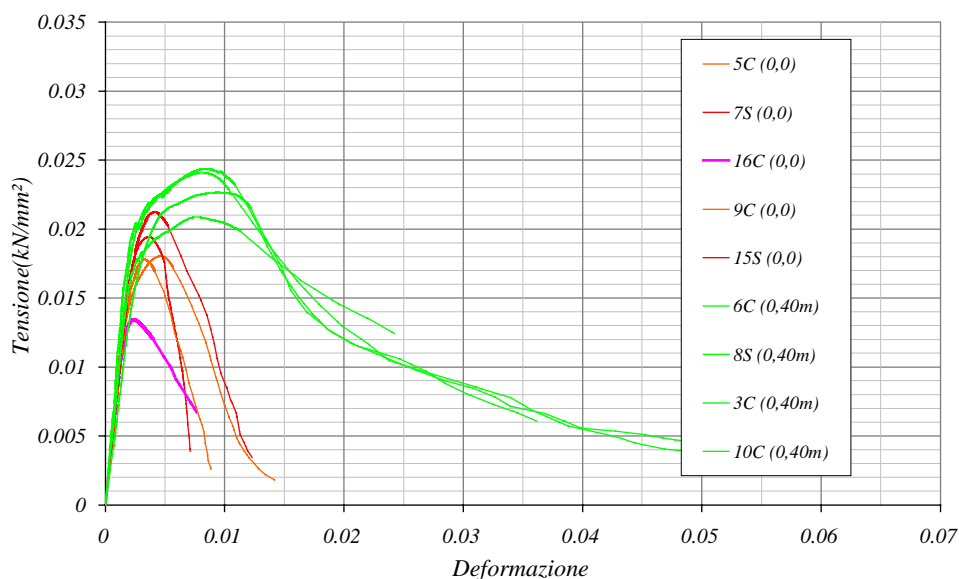


Fig. 4.8 Diagramma tensione-deformazione (cls+acciaio) (SoloCls e SoloCam)

Per primi sono stati messi a confronto (fig.4.8) i pilastri non armati (né longitudinalmente né trasversalmente) e senza CAM (5C, 7S, 16C, 9C, 15S), denominati SoloCls, con gli omologhi fasciati con nastri posti a 40mm, denominati SoloCam, (6C, 8S, 3C, 10C). E' evidente che la presenza dei nastri a 40mm provoca un generale incremento di resistenza e duttilità con una notevole diminuzione della pendenza dei rami calanti. Essendo presenti, nelle due categorie confrontate, pilastri confezionati sia con cemento "scuro" che "chiaro", si nota, anche l'annullamento delle differenze di comportamento tra i pilastri confezionati con i due tipi di cemento e non rinforzati.

Nella figura 4.9 sono stati messi a confronto i pilastri con armatura del TipoA con gli omologhi fasciati con i nastri a 40mm, ad 80mm e con quello del TipoC di riferimento. Ad eccezione della colonna 33S, che ha un comportamento anomalo dal punto di vista della tensione di picco, si nota un miglioramento del comportamento (sia dal punto di vista della resistenza che della duttilità) passando dai pilastri senza nastri CAM a quelli fasciati con passo di 80mm ed infine a quelli con passo di 40mm. Tutte le colonne, eccetto la 33S che come detto ha un comportamento anomalo, raggiungono la resistenza del TipoC. I provini con i CAM80 fanno registrare, in termini di duttilità, un comportamento intermedio tra quelli senza nastri e quelli con i CAM40 che mostrano invece un notevole incremento delle capacità duttili.

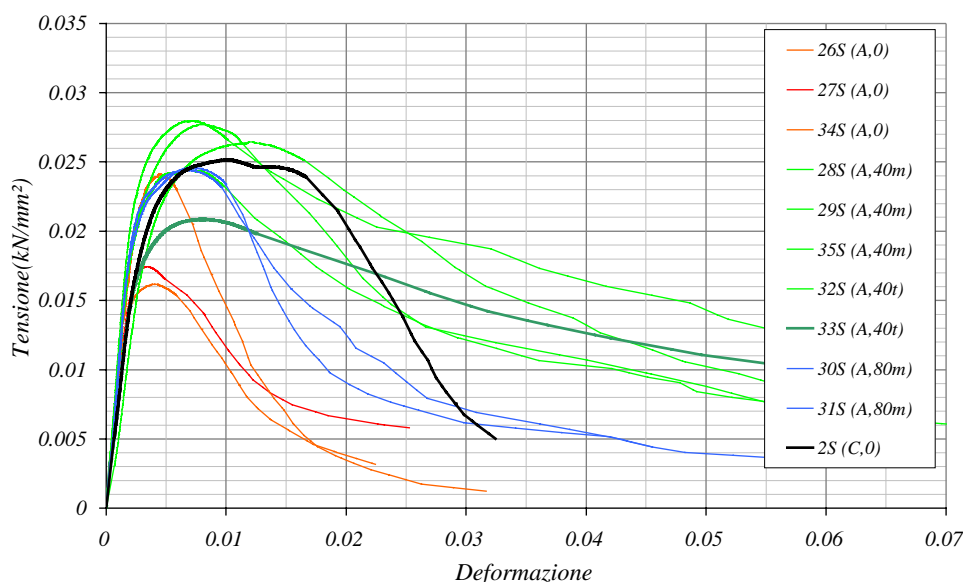


Fig. 4.9 Diagramma tensione-deformazione (cls+acciaio) (TipoA)

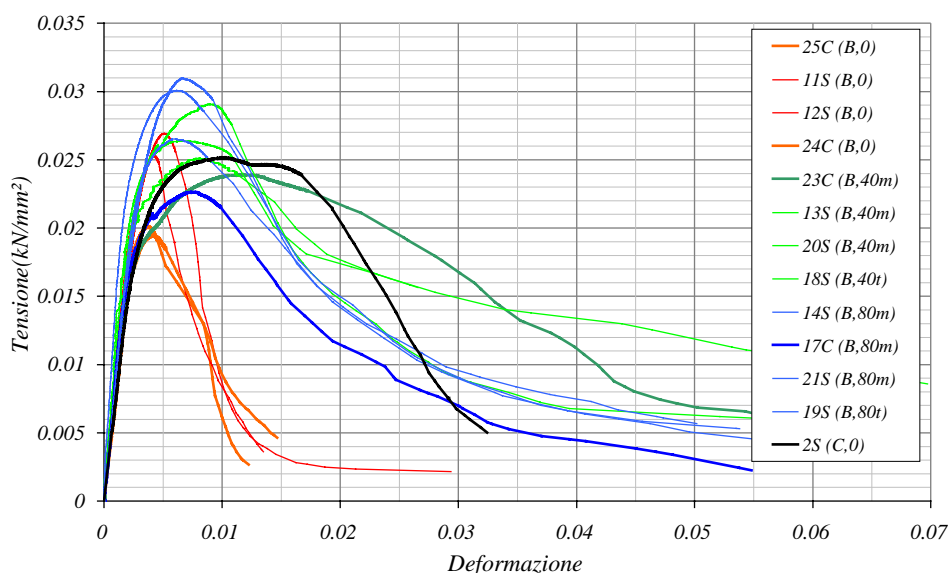


Fig. 4.10 Diagramma tensione-deformazione (cls+acciaio) (TipoB)

Nella terza comparazione (fig.4.10) sono presi in esame i pilastri del TipoB rinforzati con nastri a passo 80mm e 40mm, confezionati sia con cemento "chiaro" che "scuro". Occorre precisare che nei diagrammi tensione-deformazione totali (cls+acciaio longitudinale) è presente anche il contributo degli angolari che, in due casi particolari (19S, 21S), hanno collaborato significativamente alla resistenza, incastrandosi sotto i piatti della pressa, tanto da provocare tensioni di

picco superiori a quelle raggiunte dai pilastri con nastri disposti a passo minore (40mm). Fatta eccezione per i due casi detti, anche qui si nota, comunque, una gradualità nel miglioramento del comportamento passando dai pilastri non rinforzati a quelli con CAM80 ed infine a quelli con CAM40.

5 MECCANISMI DI ROTTURA SPERIMENTALI

Particolare interesse assumono i meccanismi di rottura riscontrati sulle colonne durante le prove, di cui le figure 5.1 e 5.2 riportano alcuni casi tipici. E' interessante in primo luogo osservare che lo stato finale delle colonne non rinforzate evidenzia in tutti i casi una instabilità delle barre longitudinali.

Tale instabilità avviene prevalentemente nell'interasse staffe ed è piuttosto marcata per le colonne del TipoA e del TipoC in cui le staffe hanno sufficiente resistenza e rigidità per opporsi alle dilatazioni trasversali del calcestruzzo, mentre tende ad una instabilità meno evidente nelle colonne del TipoB in cui il confinamento esercitato dalle staffe è sostanzialmente assente ed il calcestruzzo è libero di fuoriuscire dal nucleo prima di trasmettere alle barre longitudinali forze assiali e trasversali tali da instabilizzarle.



Fig. 5.1 Tipiche rotture riscontrate nelle colonne non rinforzate con CAM

La presenza degli angolari, ben trattenuti dai nastri nelle colonne rinforzate con CAM, costringe le barre longitudinali a trovare un percorso di instabilità scomodo in direzione quasi parallela alla faccia laterale del pilastro (Fig. 5.2-f) e tale costrizione è tanto più marcata quanto meno risulta deformabile l'ala dell'angolare rispetto alla barra che spinge. Tale condizione, in aggiunta al contenimento globale del calcestruzzo fratturato esercitato dal sistema di confinamento CAM, permette alla colonna di conservare una buona resistenza post picco ossia di manifestare una elevata duttilità rispetto alle corrispondenti colonne non rinforzate.

In generale è possibile ottenere (Braga, Laterza 1998, Braga et Al. 1999) un incremento di resistenza e duttilità delle colonne confinate aumentando la rigidità flessionale delle armature longitudinali (nel caso specifico gli angolari) deputate alla distribuzione verticale delle pressioni esercitate dalle armature trasversali (nel caso specifico i nastri). L'inflessione eccessiva degli angolari, provocata dall'instabilità delle barre longitudinali, produce quindi una riduzione della capacità distributiva degli stessi e quindi un ulteriore decremento della resistenza delle colonne, e ciò spiegherebbe il minor effetto benefico riscontrato nel rinforzo delle colonne del TipoB rispetto a quanto evidenziato dalle colonne del TipoA.

Si ha infatti che, nel caso delle colonne del TipoA, la presenza del sistema CAM oltre ad incrementare il livello di confinamento del calcestruzzo è in grado di ridurre l'instabilità delle barre longitudinali di piccolo diametro grazie alla sufficiente rigidità flessionale degli angolari.

Nelle colonne TipoB, invece, a causa di una maggiore spinta esercitata sugli angolari dalle barre instabilizzate, di maggior diametro rispetto a quelle presenti nelle colonne TipoA, gli angolari si inflettono con maggiore facilità. Il calcestruzzo delle colonne TipoB confinato dai CAM, infatti, a differenza di quanto accadeva in assenza di rinforzi, raggiunge livelli di deformazione assiale tali da indurre l'instabilità delle armature longitudinali preesistenti che, oltre a ridurre la portanza delle armature stesse, pregiudica la capacità distributiva degli angolari e quindi gli incrementi di resistenza e duttilità della colonna nel suo insieme (cls+armatura longitudinale).



Fig. 5.2 Tipiche rotture riscontrate nelle colonne rinforzate con CAM (a-b-c=CAM40; d-e=CAM80; f=barra d'angolo instabilizzata nell'unica direzione lasciata libera dall'angolare)

6 CONCLUSIONI

Una campagna d'indagine sperimentale su pilastri in c.a. ha permesso di effettuare le prime valutazioni sull'efficacia del sistema CAM nel rafforzamento dei pilastri in c.a.. I risultati ottenuti permettono di formulare le considerazioni di seguito riportate:

- L'applicazione del sistema su colonne in c.a. è semplice, rapida ed affidabile;
- Su colonne di calcestruzzo con resistenza medio-bassa, scarsamente armate, l'applicazione del CAM ne incrementa in misura significativa la resistenza ed in maniera ancor più consistente la duttilità;

- Gli angolari svolgono un'azione benefica nei confronti dell'instabilità delle barre longitudinali d'angolo, azione che può essere resa ancora più efficace con l'adozione di angolari più rigidi di quelli adottati nella sperimentazione (spessore 4 mm).

Per quanto riguarda i futuri sviluppi della ricerca, le successive elaborazioni dei dati sperimentali forniranno indicazioni quantitative sui miglioramenti delle proprietà meccaniche conferiti dal CAM, mentre ulteriori future sperimentazioni, già programmate, avranno per oggetto il confronto tra diverse tecnologie, su pilastri di sezione rettangolare, e pilastri soggetti a pressoflessione. Si potranno così ottenere indicazioni più generali sull'efficacia del sistema ai fini dell'adeguamento sismico di strutture in c.a. esistenti.

Occorre evidenziare, comunque, che il solo incremento di resistenza a compressione riscontrato, unito ai considerevoli incrementi di duttilità, giustificherebbe da solo un utilizzo del sistema CAM per il rafforzamento, in zona non sismica, di numerosi vecchi edifici in c.a. affetti da degrado delle caratteristiche meccaniche del cls dei pilastri per i quali, tradizionalmente, vengono utilizzati metodi di rinforzo più complessi, di maggior ingombro o semplicemente più costosi.

7 RINGRAZIAMENTI

Un ringraziamento particolare va a Giuseppe Dragonetti, per il contributo dato all'elaborazione dei dati sperimentali durante il periodo di preparazione della tesi di laurea.

8 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Gruppo di Lavoro con Gavarini coordinatore 1999, *Proposta di riclassificazione sismica del territorio nazionale*. Ingegneria Sismica n.1, Gennaio-Aprile 1999, Bologna.
- Circ. Min. LL.PP. 10 Aprile 1997, n.65/AA.GG., *Istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al D.M. 16 Gennaio 1996*, Roma.
- Sheikh, Shamin , A. Uzumeri, S. M. 1980. *Strength and Ductility of Tied Concrete Columns*, Journal of Structural Division, Vol. 106, No ST5, May 1980.
- Mander, J. B. Priestley, M. J. N. Park, R. 1988. *Observed Stress – Strain Behaviour of Confined Concrete*, Journal of Structural Engineering, Vol. 114, No 8, August 1988.
- Mander, J. B. Priestley, M. J. N. Park, R. 1988. *Theoretical Stress – Strain Model for Confined Concrete*, Journal of Structural Engineering, Vol. 114, No 8, August 1988.
- Saatcioglu, M. & Razvi, S. R. 1998. *High – Strength Concrete Columns with Square Section under Concentric Compression*, Journal of Structural Engineering, Vol. 124, No 12, December 1998.
- Dolce M., Marnetto R., Nigro D., Ponzo F.C. 2001. *Rafforzamento delle strutture murarie: Il sistema CAM di Cuciture Attive per la Muratura*; 10° Convegno Nazionale "L'Ingegneria Sismica in Italia" (Potenza-Matera, 9-12 Settembre 2001).
- Braga F., Laterza M. 1998. *A new approach to the confinement of R/C columns*; Atti dell'11th European Conference on Earthquake Engineering (Parigi 6-11 September 1998).
- Braga F., Gigliotti R., Laterza M. 1999. *Progetto-verifica delle armature di confinamento negli elementi strutturali in c.a.*. Atti del 9° Convegno Nazionale "L'Ingegneria Sismica in Italia" (Torino, 20-23 Settembre 1999).