

ANALISI DI UN SISTEMA IBRIDO SISMO-RESISTENTE COSTITUITO DA ELEMENTI TRALICCIATI IN ACCIAIO INGLOBATI NEL CALCESTRUZZO

CLAUDIO AMADIO, Università di Trieste
LORENZO MACORINI, Università di Trieste
SVEVA SORGON, Università di Trieste
GIUSEPPE SURACI, Professionista in Udine

SUMMARY

In the paper a new hybrid reinforced concrete system, made of steel trusses encased in reinforced concrete members, is presented. Such a system can be used for both columns and beams either in cast-in-place or in precast constructions so as to form frames.

The structural behaviour of such system has been investigated experimentally. Tests up to collapse of hybrid beams and of a beam-to-column hybrid connection have been carried out. In particular, the joint has been analysed under cyclic loads in order to check its performance in the case of horizontal forces acting on frames. The results achieved show as the analysed composite members can guarantee advanced structural performance even when employed in earthquake resistant frames.

1. INTRODUZIONE

Da sempre, nell'ambito dell'ingegneria strutturale c'è stata la ricerca di sistemi costruttivi innovativi, in grado di migliorare le prestazioni in termini di costi e di capacità portanti.

Le travi Prefabbricate Reticolari Miste, definite anche come travi PREM, rappresentano sicuramente uno di questi importanti sistemi. A partire dalla nota trave REP, ideata dall'Ing. Leone più di quaranta anni fa [1], con i continui sviluppi incessantemente verificatisi [2], le travi PREM costituiscono, di fatto, un importante sistema a cavallo tra quello delle strutture in c.a. e quello delle strutture composte classiche acciaio-calcestruzzo, caratterizzato da prerogative proprie di calcolo e di comportamento [3]. Queste strutture, che hanno avuto un notevolissimo impiego, soprattutto in ambito nazionale, sono

state fino ad oggi utilizzate principalmente negli orizzontamenti degli edifici con la funzione di sopportare i carichi verticali, affidando l'assorbimento dei carichi orizzontali ad opportuni sistemi di controvento.

Con l'avvento delle più recenti normative e la classificazione dell'intero territorio nazionale come sismico, si rende ora sempre più importante individuare nuove tipologie costruttive, o di adeguare quelle esistenti, con lo scopo di assolvere direttamente, in modo parziale o completo, la funzione di assorbire anche le azioni orizzontali.

Questo problema è già stato in passato parzialmente affrontato in ambito nazionale con degli studi atti ad adeguare il comportamento della trave REP [4, 5] o di altri sistemi esistenti [6] ad un uso anche sismico, mentre in ambito internazionale sono stati effettuati alcuni interessanti studi sul comportamento del nodo trave colonna [7,8] o sulla trave [9] senza pervenire all'individuazione di un sistema costruttivo appositamente pensato per un utilizzo in ambito sismico, alternativo a quello dei telai in c.a. e dei telai composti acciaio-calcestruzzo che già trovano vasta applicazione.

Per sopperire a queste carenze, nel presente lavoro si presentano i primi risultati di uno studio sperimentale riguardante il comportamento di elementi tralicciati misti acciaio-calcestruzzo di nuova concezione, appositamente pensati per un utilizzo sismico. Il nuovo sistema costruttivo consente infatti la realizzazione di una struttura parzialmente prefabbricata ad ossatura portante intelaiata, atta ad assorbire sia i carichi verticali che quelli orizzontali con le stesse prerogative di quelli misti o in calcestruzzo armato. Particolarmente importante per il funzionamento d'insieme risulta il comportamento del nodo trave colonna e della trave in prima e seconda fase. Nel lavoro si riportano i risultati sperimentali ottenuti su questi elementi, che evidenziano le importanti potenzialità di questo sistema costruttivo per un'applicazione sismica.

2. SISTEMA COSTRUTTIVO

Il nuovo sistema costruttivo, ideato dallo Studio Suraci di Udine, si basa su uno schema di struttura parzialmente prefabbricata ad ossatura portante intelaiata reticolare mista in acciaio-calcestruzzo. Essa viene realizzata montando elementi lineari quali travi e pilastri, collegati in

opera mediante saldatura di opportune parti metalliche di collegamento e getto integrativo di calcestruzzo.

L'ubicazione di questi collegamenti rappresenta un elemento importante caratterizzante il comportamento statico dell'insieme, che deve pertanto essere progettato tenendo presente la duplice esigenza della sicurezza statica e della semplificazione delle operazioni di montaggio, in relazione quest'ultima alle disponibilità dei mezzi di sollevamento.

Per le caratteristiche del sistema costruttivo, la struttura che ne deriva può essere classificata anche come composta "ibrida", in quanto si pone a metà tra un sistema costruttivo in acciaio ed uno a struttura composta tradizionale.

Le caratteristiche del sistema sono schematicamente indicate nelle figure 1÷7. I singoli elementi sono costituiti da tralici scatolari ottenuti dall'assemblaggio, mediante calastrelli (figure 2, 3), di due tralici piani (Fig. 1), ciascuno dei quali costituito da due correnti parallele (formati da due angolari), mutuamente collegati con aste di parete inclinate (tondi lisci).

L'assemblaggio dei vari elementi che costituiscono il traliccio metallico è ottenuto mediante giunzione saldata con processo automatico su appositi banchi di lavoro.

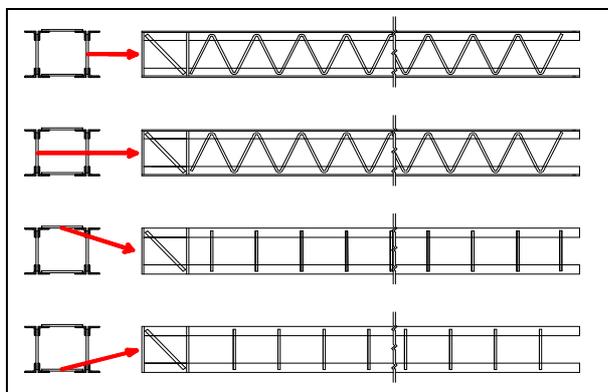


Figura 1. Traliccio metallico di base

Come mostra la figura 4 i collegamenti nodali fra gli elementi scatolari, atti a formare i telai, si realizzano mediante piatti metallici saldati che trovano posto negli interspazi tra le coppie di angolari che costituiscono i quattro correnti posti ai vertici delle sezioni trasversali.

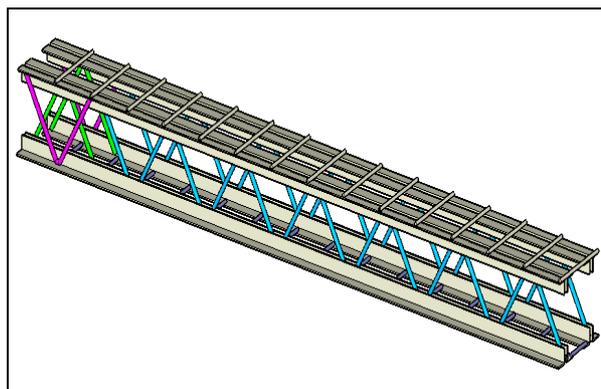


Figura 2. Sistema metallico per la trave in spessore

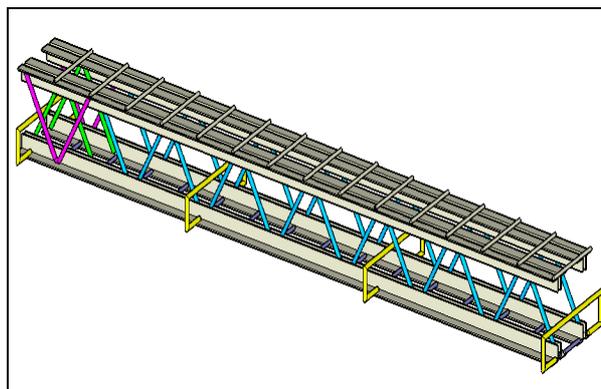


Figura 3. Sistema metallico per la trave fuori spessore

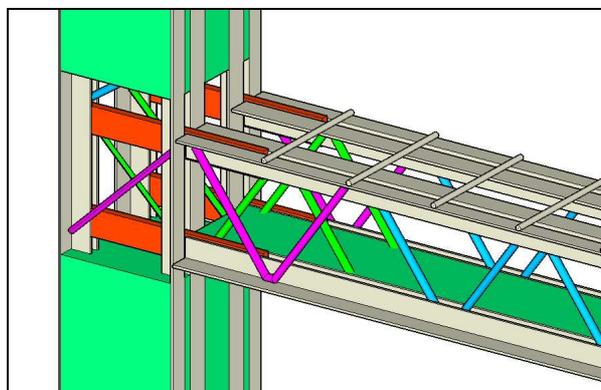


Figura 4. Particolare collegamento nodo trave-colonna, con trave in spessore di solaio

Il sistema metallico viene integrato con un getto prefabbricato di calcestruzzo in modo da realizzare dei sistemi a trave fuori spessore o in spessore come mostrato nelle figure 4, 5.

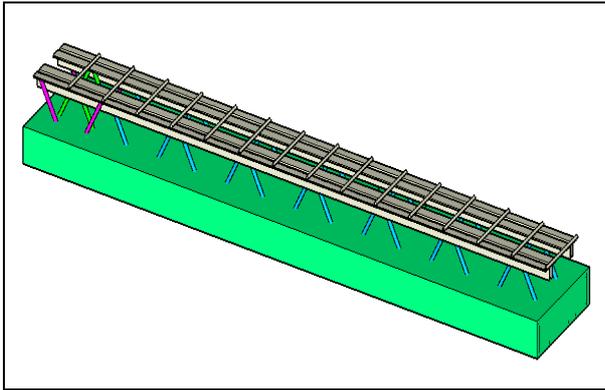


Figura 5. Sistema a trave fuori spessore

Come per le travi, anche i pilastri (Fig. 6), sono costituiti da un traliccio in acciaio inglobato nel calcestruzzo, ottenendo così un sistema reticolare misto nella sua interezza.

I pilastri possono essere realizzati mediante un unico elemento prefabbricato di due-tre piani oppure montati piano per piano tramite opportuni collegamenti.

È prevista la possibilità di utilizzare anche pilastri in c.a. realizzati in opera.

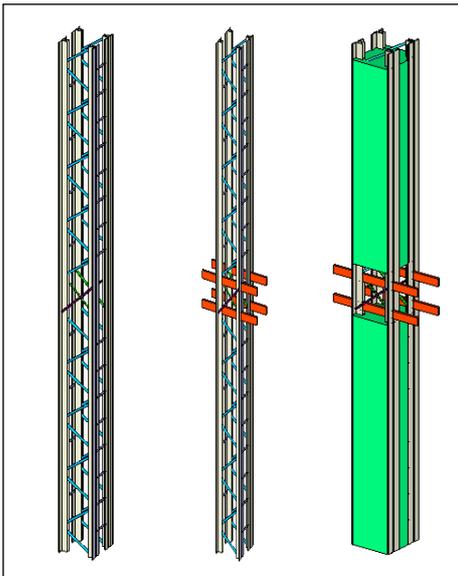


Figura 6. Sistema metallico, inserimento delle lame metalliche, getto di calcestruzzo

Il montaggio in opera della struttura prevede le seguenti operazioni:

- Posa in opera dei pilastri e collegamento con la struttura di fondazione tramite l'uso di plinti a bicchiere o mediante collegamento ad un traliccio immerso nelle fondazioni;
- Collegamento tra le travi ed i pilastri mediante piatti metallici saldati, che trovano posto negli interspazi tra le coppie di angolari;

- Posa in opera del solaio;
- Getto di completamento.

Il sistema può consentire la realizzazione di una maglia ottimale in pianta di 7.5x7.5m, con l'utilizzo di travi anche in auto portanza.

Esso può essere classificato come un sistema a prefabbricazione parziale, caratterizzato da notevole rapidità di montaggio e realizzazione (Fig. 7).

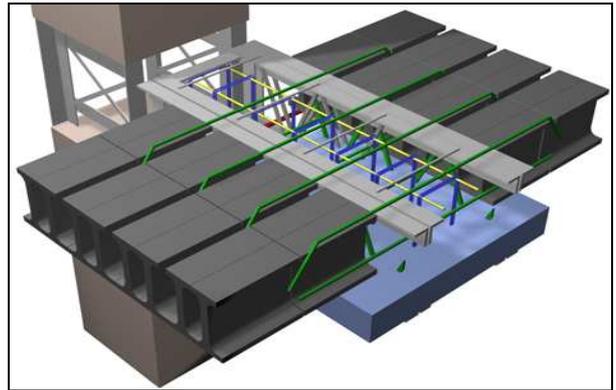


Figura 7. Fasi di montaggio degli elementi portanti tralicciati

3. PROVE SPERIMENTALI

In questa prima fase della ricerca, al fine di comprendere il comportamento di questo sistema costruttivo, sono stati realizzati due campioni di trave per lo studio della stessa in prima e seconda fase e un campione per lo studio del nodo esterno trave-colonna.

3.1. TRAVE IN PRIMA FASE

La prima trave analizzata è costituita da un traliccio scatolare integrato parzialmente con un getto di calcestruzzo in modo da realizzare un sistema rappresentativo della prima fase di costruzione, cioè prima del getto di completamento.

Ognuno dei due tralicci verticali è composto da:

- Corrente superiore: angolare esterno 40x50x5 e interno 50x50x6 mm
- Corrente inferiore: due angolari 50x50x6 mm
- Aste di parete: diametro 18 mm

I due tralicci piani sono mutuamente collegati con calastrelli orizzontali, costituiti da barre del diametro di 12 mm.

Una volta assemblati i due tralicci, sono state saldate delle staffe di diametro 8 mm per il confinamento del calcestruzzo.

Il getto in officina, che integra la struttura metallica è posizionato nella parte inferiore dell'intero sistema a filo dei profilati inferiori. La sezione trasversale ha dimensione di 500 mm e 120 mm rispettivamente per base e altezza e ha una lunghezza pari a quella degli angolari. La trave presenta inoltre due blocchi di conglomerato cementizio posti ai terzi della trave, in prossimità del punto di applicazione del carico, con la funzione di diffondere il carico sulla soletta di calcestruzzo sottostante.

Le prove effettuate sui materiali sono state indispensabili per ottenere una corretta interpretazione dei risultati. La prova a compressione è stata eseguita su nove campioni cubici di lato 15 cm. La resistenza a trazione è stata determinata mediante prova brasiliana su cilindri di diametro 15 cm. Ogni prova è stata effettuata su tre campioni. I risultati sono riportati in tabella 1.

	CLASSE CLS Rck	RESISTENZA CILINDRICA MEDIA Mpa	RESISTENZA A TRAZIONE Mpa
TRAVE SOLETTA PARZIALE	500	50.9	4.15
TRAVE SOLETTA PARZIALE	350	44.69	4.16
NODO TRAVE-COLONNA	350	45.63	4.78

Tabella 1. Resistenza a compressione e trazione del calcestruzzo

Le prove sugli acciai da carpenteria sono state condotte su 3 provini rettangolari, estratti dagli angolari, aventi ciascuno dimensioni trasversali di 4.7x20mm. In tabella 2 sono riportati i risultati delle prove.

TIPO DI SEZIONE (mm)	SEZIONE (mmq)	fsy (Mpa)	fsu (Mpa)	At (%)
4.7x20	94	422	568	28

Tabella 2. Resistenza a trazione acciaio strutturale angolari

3.1.1. Condizioni di vincolo e di carico

La trave, avente una lunghezza di 6 metri, è stata appoggiata su due idonei dispositivi metallici che simulano uno il vincolo di cerniera, l'altro il vincolo di carrello secondo lo schema statico di trave in semplice appoggio. I carichi sono stati applicati mediante due martinetti idraulici a controllo di forza ai terzi della luce. Lo schema statico è riportato in figura 8.

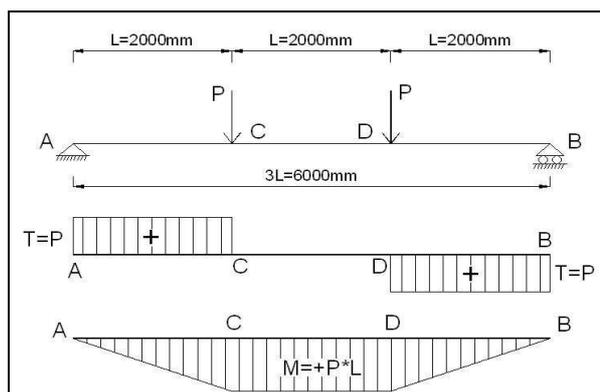


Figura 8. Schema statico per le due travi testate

3.1.2. Posizione degli strumenti di misura

Per la rilevazione sperimentale dei risultati, le misurazioni condotte hanno riguardato sia le deformazioni dell'acciaio nelle aste diagonali di estremità e nei profilati angolari in mezzeria, mediante strain-gauges, sia la freccia della trave in mezzeria e ai terzi della sua luce, tramite trasduttori rotativi (Fig. 9).

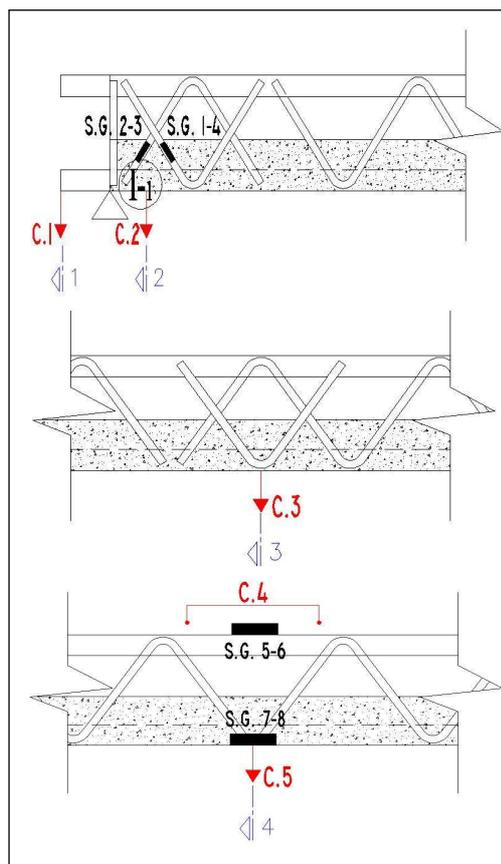


Figura 9. Posizionamento strain-gauges all'estremità, ai terzi della lunghezza e in mezzeria della trave

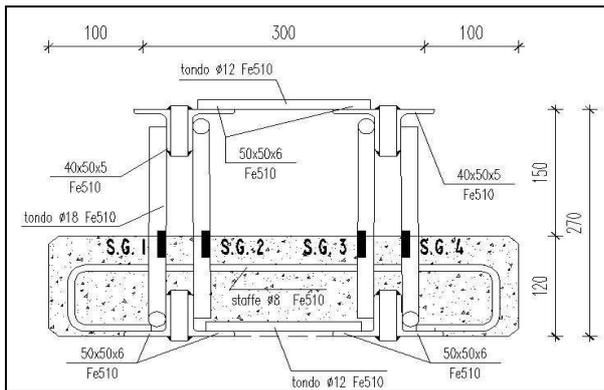


Figura 10. Posizionamento strain-gauges aste di parete

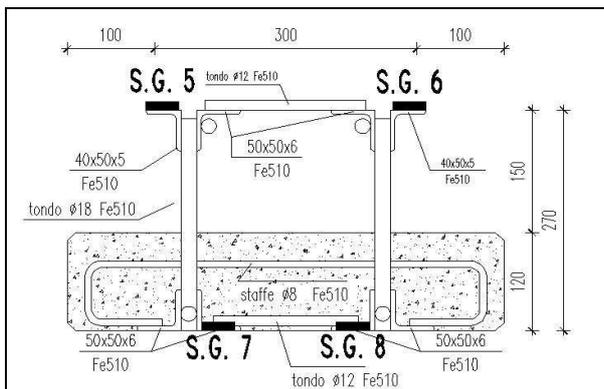


Figura 11. Posizionamento strain-gauges angolari superiori e inferiori in mezzeria

Con riferimento alla figura 9, la sezione 1, posta all'estremità del provino, contiene uno dei due trasduttori rotativi (C.1) atti a determinare, confrontando i dati con quelli forniti dal trasduttore in sezione 2 (C.2), la rotazione di estremità.

La sezione 2 contiene al suo interno un inclinometro (I.1) e quattro *strain-gauges* (Fig. 10), due su ogni lato della trave, sull'asta di parete inclinata esterna e su quella interna.

L'inclinometro è posizionato sulla parete laterale del conglomerato cementizio e misura la rotazione dell'estremità della trave. Sulla sezione 3, posta ai terzi della trave (Fig. 9), è stato fissato un trasduttore rotativo (C.3) nella faccia inferiore del calcestruzzo, allo scopo di determinare la freccia di tale punto. Nella sezione 4 (Fig. 9), corrispondente alla mezzeria dell'elemento, sono presenti due trasduttori rettilinei, un trasduttore rotativo e quattro *strain-gauges* (Fig. 11).

I trasduttori rettilinei (C.4) sono posizionati all'estradosso della soletta allo scopo di determinare l'accorciamento del calcestruzzo.

I trasduttori rotativi (C.5) hanno il compito di determinare la freccia in mezzeria e sono posizionati nella parte inferiore della soletta.

3.1.3. Descrizione della prova

Con i due martinetti idraulici, posti ai terzi della luce, la struttura è stata sollecitata imponendo degli spostamenti, uguali a tre a tre, crescenti, in modo da determinare la risposta ultima del sistema, come si evince dal grafico di figura 12.

La rottura del campione è avvenuta per un carico, rilevato in ciascun martinetto, pari a 102 kN (figure 13, 15).

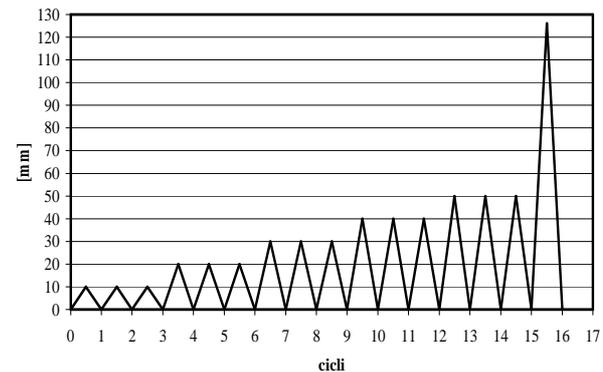


Figura 12. Storia di spostamento per la trave in prima fase



Figura 13. Trave con soletta parziale al collasso

In corrispondenza di questo valore si sono riscontrati dei fenomeni di instabilità locale negli angolari superiori (Fig. 14), che hanno comportato una limitata duttilità del sistema, come visibile nel diagramma carico-freccia in mezzeria di figura 15. La curva riportata presenta un andamento iniziale pressoché lineare, al quale fa seguito una rapida riduzione di rigidità dovuta allo snervamento dei correnti metallici inferiori e superiori del traliccio. L'instabilità locale del corrente superiore si è verificata per uno spostamento di circa 100 millimetri.



Figura 14. Particolare instabilità locale corrente compresso

Il carico ultimo coincide con quello di plasticizzazione della sezione (Il momento plastico teorico della sezione è di 204 kNm, corrispondente a un carico ultimo di 102 kN).

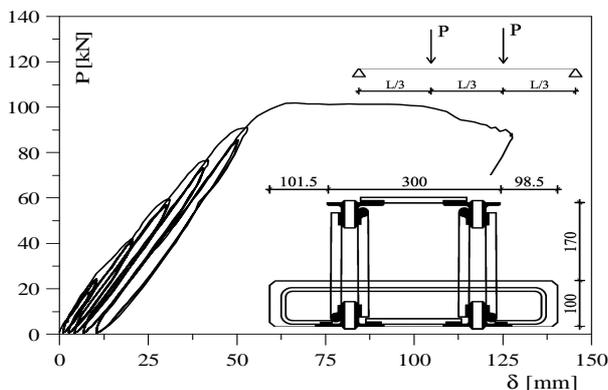


Figura 15. Diagramma freccia mezzeria/carico su un martinetto

Anche i dati forniti dagli *strain gauges* si sono rivelati attendibili e nessuno dei rilevatori è andato fuori uso. In figura 16 sono diagrammati, in funzione del carico, i risultati ottenuti in termini di deformazione in corrispondenza delle aste di parete poste all'estremità della trave.

Dai grafici si può notare che sotto l'azione del carico le deformazioni locali delle due aste di parete presentano segno opposto. L'asta di parete esterna (S.G 1, 4), è risultata tesa mentre quella interna compressa (S.G 2, 3). Per tutta la durata della prova l'acciaio di entrambe le aste si è mantenuto in campo elastico, con valori ultimi di deformazione molto simili tra loro.

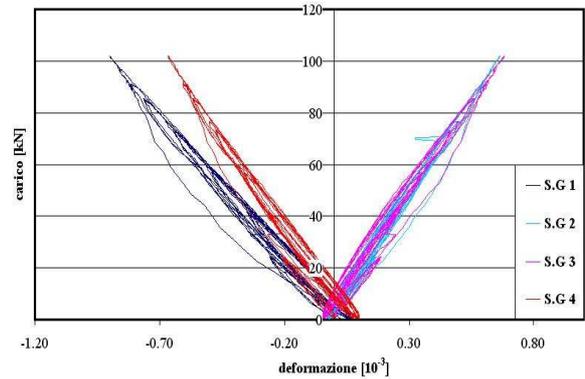


Figura 16. Deformazioni strain gauges aste di parete poste all'estremità della trave

In figura 17 sono riportati i risultati negli *strain gauges* posti nella sezione di mezzeria. Come si può notare, i correnti superiori ed inferiori incominciano a snervare per un carico medio inferiore al carico massimo (circa il 95%). Da questo momento in poi, le deformazioni aumentano notevolmente fino a causare, nel corrente compresso, il distacco dello *strain gauges* a causa del fenomeno di imbozzamento locale. L'aspetto fessurativo (Fig. 13), è stato caratterizzato dall'apertura di micro fessure, ad un interasse circa pari all'altezza della soletta, che si sono mantenute stabili fino a quando gli elementi del traliccio sono rimasti in campo elastico. Solo in prossimità del collasso le fessure si sono aperte, con un'ampiezza massima attorno al millimetro.

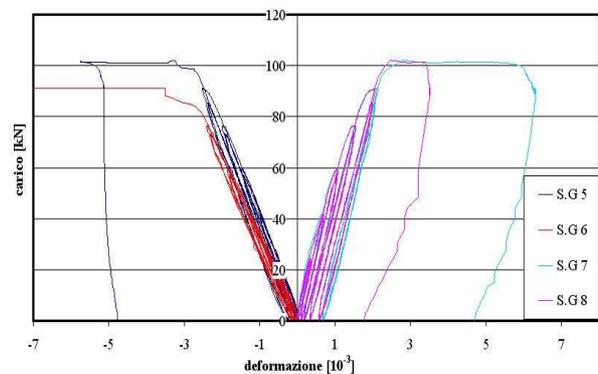


Figura 17. Deformazioni strain gauges angolari della sezione di mezzeria

3.2. TRAVE IN SECONDA FASE

La seconda trave analizzata è caratterizzata da un sistema metallico analogo a quello della prima, completamente integrato in un getto di calcestruzzo in modo da schematizzare il comportamento della trave reticolare mista in seconda fase (Fig. 18). Le condizioni di vincolo e di carico, e la strumentazione del provino rispecchiano completamente quelle della trave in

prima fase (Fig. 19). Anche in questo caso sul provino sono stati imposti degli spostamenti tramite una coppia di martinetti idraulici secondo la storia di spostamento riportata in figura 20.



Figura 18. Trave con soletta piena al collasso

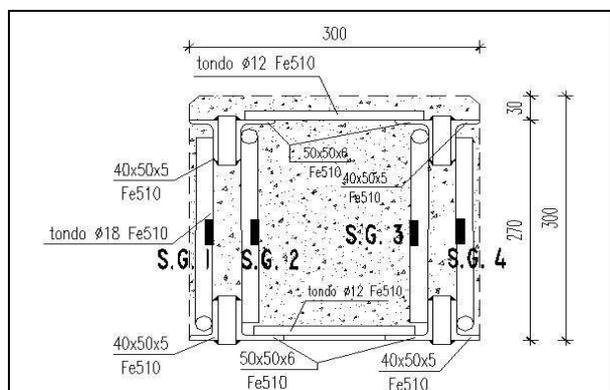


Figura 19. Posizionamento strain-gauges trave in seconda fase: sezione tipo

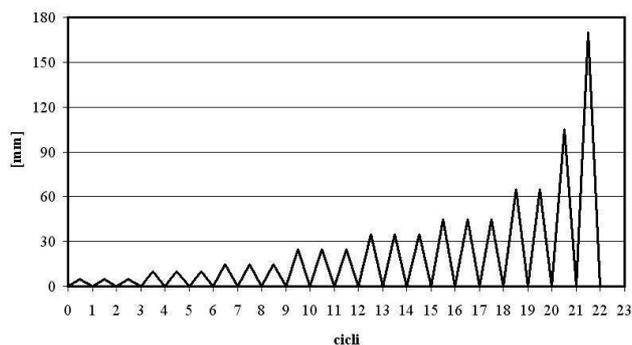


Figura 20. Storia di spostamento per la trave con soletta piena

La rottura del campione è avvenuta per un carico, rilevato in ciascun martinetto, pari a 134 kN. Per tale valore si è riscontrato lo schiacciamento del calcestruzzo superiore con l'espulsione del relativo copriferro. Al contrario di quanto successo in precedenza, gli angolari del

traliccio metallico hanno raggiunto la completa plasticizzazione senza instabilizzare.

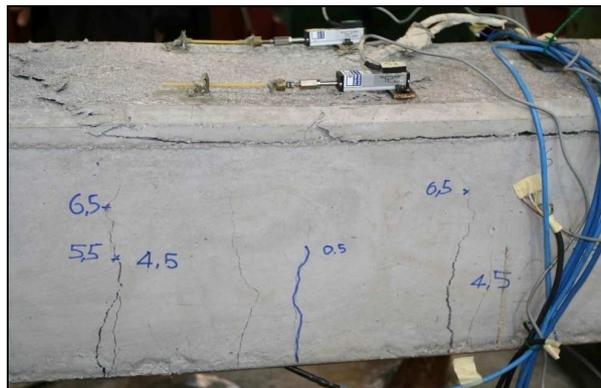


Figura 21. Particolare dello stato fessurativo e dell'espulsione copriferro al collasso

La trave in corrispondenza del collasso, avvenuto per schiacciamento del calcestruzzo non confinato ha praticamente raggiunto il momento plastico teorico della sezione, corrispondente a 270 kNm pari a un carico ultimo di 135 kN. L'elevata duttilità della trave è riscontrabile in figura 22. Si fa presente che la prova è terminata a causa dello scivolamento del sistema di carico dovuto all'elevata freccia in mezzzeria. Anche per la trave in seconda fase l'aspetto fessurativo è stato molto limitato fino a quando non si è avuta la plasticizzazione delle aste del traliccio, per il forte contenimento da esse provocato. In questo caso le micro fessure si sono lentamente propagate lungo lo spessore della trave. Solo in fase plastica le fessure si sono ampliate raggiungendo al collasso una larghezza attorno al millimetro e mezzo (Figure 18, 21).

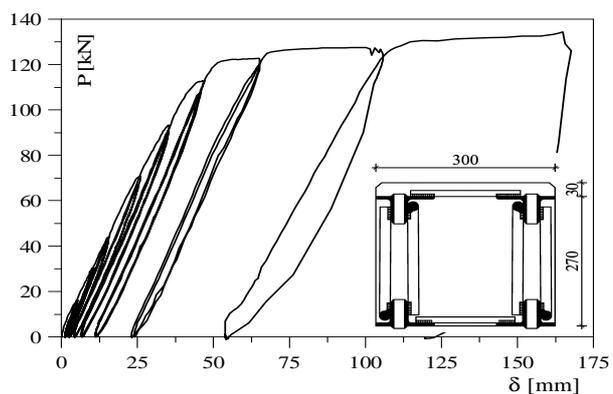


Figura 22. Diagramma freccia mezzzeria/carico su un martinetto

3.3. NODO TRAVE-COLONNA

Il campione utilizzato nella prova sperimentale rappresenta, in scala 1:1, un nodo esterno di un ipotetico telaio piano. Il provino è costituito dall'intersezione di un elemento pilastro ($h=3,8$ m) con un elemento trave ($l=1,6$ m) aventi caratteristiche simili ai campioni di trave precedentemente analizzati. La prova è stata effettuata in condizioni cicliche di tipo statico con lo scopo di investigare il comportamento della zona nodale in termini di resistenza e di duttilità.

Per quanto concerne la trave, ognuno dei due tralicci trasversali è composto da:

- Corrente superiore: angolare 30x50x5 esterno e 50x50x5 mm interno
- Corrente inferiore: due angolari 30x50x6 mm
- Aste di parete: diametro 18 mm, saldate sulle facce interne dei profili
- Aste di parete: diametro 18 mm, saldate sulle facce esterne dei profili in prossimità del collegamento con il pilastro

I due tralicci piani sono collegati da calastrelli costituiti da barre del diametro di 12mm, posti sia all'intradosso che all'estradosso.

Per quanto concerne il pilastro (Fig. 23), esso è composto da due tralicci piani, mutamente collegati da calastrelli diametro 12 mm.

In dettaglio:

- Correnti costituiti da due angolari 30x50x5
- Aste di parete inclinate: diametro 18 mm, saldate sulle facce interne dei profilati.
- Aste diagonali di diametro 18 mm, saldate tra i due tralicci verticali, in prossimità dell'intersezione con il nodo.

Il collegamento nodale fra gli elementi scatolari è stato realizzato mediante lame metalliche (Fig. 23). Queste trovano posto negli interspazi tra le coppie di angolari che costituiscono i quattro correnti paralleli ai vertici delle sezioni trasversali.

Le lame metalliche vengono saldate al pilastro, in corrispondenza del nodo, e quindi vengono collegate mediante saldatura alle ali del profilo metallico della trave. Esse hanno dimensione trasversale 18x60 mm e una lunghezza di 457 mm. Nella trave, la parte inferiore del calcestruzzo e le facce laterali sono a filo dei profilati angolari mentre la parte superiore presenta un copriferro di 3 cm. Il conglomerato del pilastro presenta tutte le quattro facce a filo con i profilati, con copriferro nullo. La sezione

trasversale di entrambi gli elementi ha dimensione 30 cm per 30 cm.



Figura 23. Particolare del sistema metallico in corrispondenza del giunto trave-pilastro

3.3.1. Condizioni di vincolo e di carico

In sommità della colonna il vincolo utilizzato è quello del carrello, libero di muoversi in direzione verticale. Al piede del pilastro è stata inserita una cerniera fissa mentre l'estremità della trave è libera. Tutto il sistema è stato vincolato a muoversi nel piano (Fig. 24).

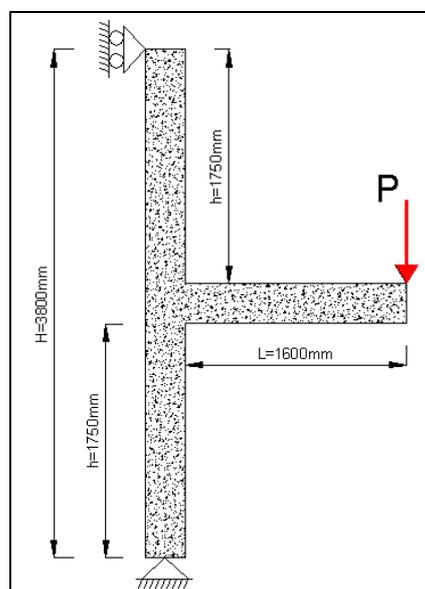


Figura 24. Schema statico per il nodo trave colonna

3.3.2. Posizione degli strumenti di misura

Anche per il nodo sono stati posizionati opportuni *strain-gauges* per avere i valori delle deformazioni nelle aste di parete inclinate, nei profilati angolari e in corrispondenza delle lame di

collegamento tra trave e pilastro (Fig. 25). Le altre misurazioni hanno riguardato la freccia all'estremità libera della trave, gli spostamenti orizzontali di tre sezioni della colonna in prossimità del nodo e le rotazioni rispettivamente nel nodo e nella trave in corrispondenza dell'attacco con la colonna.

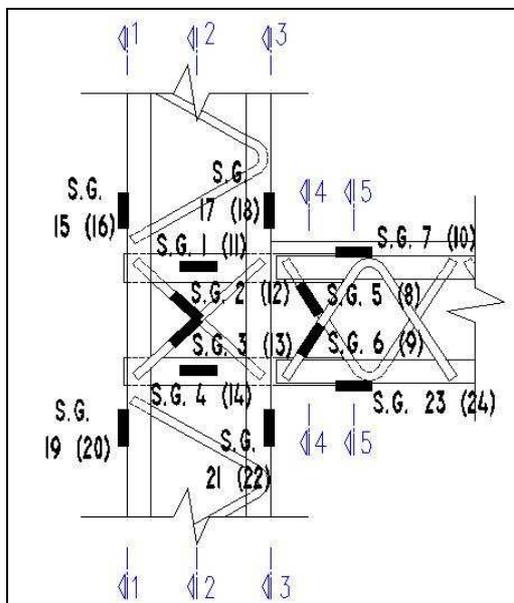


Figura 25. Posizionamento strain-gauges all'interno del nodo

3.3.3. Descrizione della prova

La prova è stata condotta in controllo di spostamento mediante l'utilizzo di un martinetto di tipo meccanico da 500 kN. Le forze applicate sono state determinate mediante cella di carico mentre gli spostamenti verticali imposti sono riportati in figura 26.

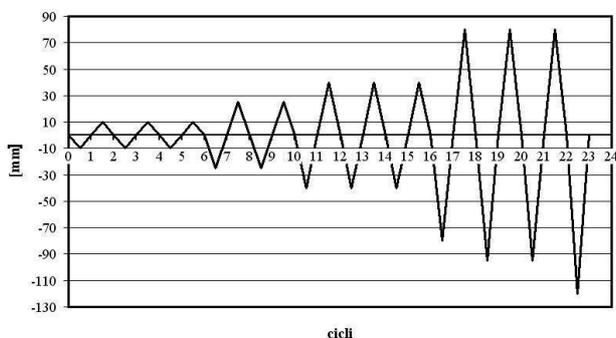


Figura 26. Storia di spostamento del nodo

Il collasso del campione è avvenuto per un carico di 145 kN. La rottura è avvenuta nella trave

in corrispondenza del cambio di armatura longitudinale in prossimità del nodo (alla fine delle lame di collegamento nodale) dove questa presentava una brusca diminuzione di sezione e di armatura trasversale. Per tale valore si è propagata una importante fessura per taglio che ha coinvolto tutta l'altezza della trave, portando alla rottura di un angolare longitudinale nella zona inferiore (Fig. 27), assieme allo schiacciamento e all'espulsione del calcestruzzo nella zona superiore (Fig. 28). Anche il nodo è stato interessato da una significativa fessurazione diagonale (Fig. 29). I valori letti negli *strain-gauges* hanno evidenziato la plasticizzazione dei correnti longitudinali della trave e delle aste diagonali all'interno del nodo dalle quali si deduce una rottura per flessione-taglio del provino.



Figura 27. Espulsione del calcestruzzo e taglio di un angolare

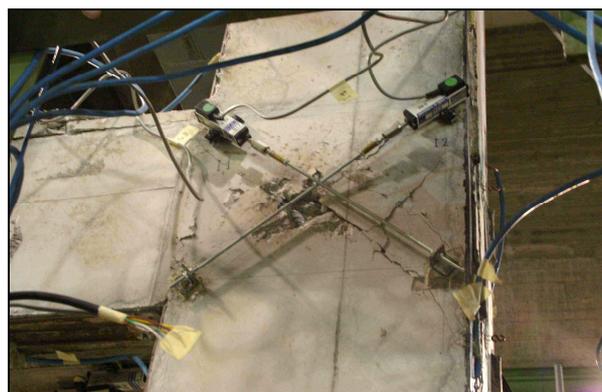


Figura 28. Particolare fessurazione calcestruzzo nodo

In figura 29 è riportata la risposta complessiva in termini di carico applicato- freccia di estremità. Si può osservare come la capacità di dissipare energia sia elevata, nonostante il collasso sia avvenuto prematuramente per la fessurazione a taglio della trave.

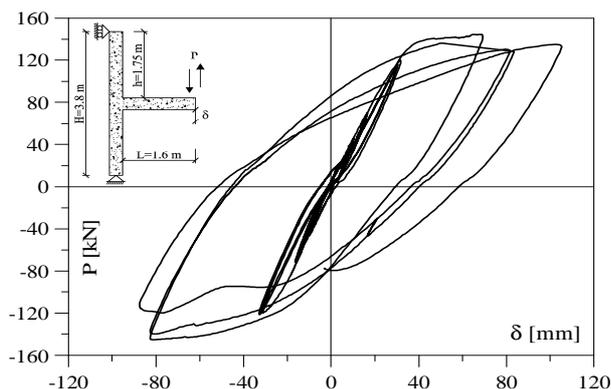


Figura 29. Diagramma carico/freccia estremità libera della trave

4. CONCLUSIONI

L'utilizzo di elementi misti tralicciati riveste attualmente notevole importanza per la possibilità di ridurre drasticamente il numero e la durata delle lavorazioni in cantiere, con un notevole vantaggio in termini economici ed un impiego ottimale dei materiali. Molta strada è stata percorsa per lo sviluppo e la promozione di questo tipo di elementi, ma molto resta ancora da fare, sia nella divulgazione dei vantaggi conseguibili che sotto l'aspetto normativo. In questa prospettiva il presente lavoro ha lo scopo di fornire un contributo sperimentale volto a comprendere meglio le prestazioni raggiungibili con l'uso di elementi tralicciati, basati sull'impiego di angolari. Le prove effettuate sulla trave in prima e seconda fase, soggetta a carichi verticali, hanno evidenziato un buon comportamento sotto l'aspetto sia fessurativo che tensionale, con meccanismi di collasso ben controllabili da un punto di vista progettuale. La prova ciclica effettuata sul nodo trave-colonna ha evidenziato una buona duttilità del sistema, anche se si sono riscontrate carenze di armatura a taglio in prossimità del nodo che hanno comportato un prematuro collasso. Ulteriori approfondimenti, volti ad individuare, per il sistema analizzato, opportuni dettagli costruttivi e criteri di calcolo, sono attualmente in corso.

5. BIBLIOGRAFIA

- [01] **S. LEONE**, "Procedimenti di calcolo per travi REP". Associazione Produttori travi REP, Milano, marzo 1972.
- [02] **L. IZZO, F. MINELLI, G. PLIZZARI**, "Le travi reticolari miste nel cammino verso la

normativa", Atti del Congresso CTE 2006, Parma, Novembre 9-11

- [03] **G. GIORDANO, L. OMBRES, G. SPADEA**, "Modellazione teorica e controllo del comportamento a rottura di travi inflesse di tipo REP". L'industria Italiana del Cemento, n.617, 1987.
- [04] **M. MELE, M. CIAMPOLI, E. MENEGATTI**, "Nuovi sistemi strutturali composti acciaio e calcestruzzo: Prime analisi sperimentali del comportamento sotto azioni cicliche dei nodi trave-pilastro" I° Workshop Italiano sulle Strutture Composte, Trento Giugno 1993.
- [05] **M. MELE, M. SASSONE**, "Sistemi strutturali composti ad armatura superficiale: indagine sperimentale sul comportamento di nodi trave-pilastro soggetti a carichi ciclici." V° Workshop Italiano sulle Strutture Composte, Salerno Novembre 2002.
- [06] **M. FERRARI**, "Sistema costruttivo integrato la prefabbricazione con un sistema pluripiano iperstatico." Atti del Congresso CTE 2004, Bari, Novembre 4-6.
- [07] **KHUNTIA, M. & GOEL, S. C.**, "Analytical study of FRC-encased steel joist composite beams". Journal of Structural Engineering (ASCE) 125(5), 495-502, 1999.
- [08] **KHUNTIA, M. & GOEL, S. C.**, "Experimental study of FRC-encased steel joist composite beams". Journal of Structural Engineering (ASCE) 125(5): 503-509, 1999.
- [09] **HSU, H. L., HSIEH, J. C., JUANG, J. L.**, "Seismic performance of steel-encased composite members with strengthening cross-inclined bars". Journal of Constructional Steel Research (60): 1663-1679, 2004.

Contatti con gli autori:

Amadio Claudio: amadio@units.it
 Macorini Lorenzo: macorini@dica.units.it
 Sorgon Sveva: ing.sorgon@libero.it
 Suraci Giuseppe: suraci.giuseppe@studiosuraci.it