

Intervento dell' Ing. Prof. Roberto Scotta, ricercatore di tecnica delle costruzioni, Dipartimento di Costruzioni - Università di Padova

L'attività sperimentale sul comportamento strutturale di travi miste autoportanti REP®. Sintesi della ricerca svolta nel periodo 2005-2009. Interpretazione analitica secondo D.M. 14.01.2008.

La ricerca sul comportamento strutturale delle travi miste autoportanti REP® promossa da Tecnosttrutture è iniziata nel 2005. Divisa in più fasi è tuttora in corso presso il Dipartimento di Costruzioni e Trasporti dell'Università di Padova.

L'analisi preliminare teorica e numerica è stata seguita da serie di prove sperimentali di validazione. In questo sintetico contributo si presentano i risultati degli studi fino ad ora conclusi. Sulla base delle prove sperimentali è stato verificato il comportamento strutturale, a rottura e in esercizio delle travi, sia a flessione che a taglio. I risultati ottenuti danno dimostrazione dell'affidabilità della tipologia strutturale in discorso e confermano che la procedura di progetto sviluppata ne garantisce i coefficienti di sicurezza richiesti dalla norma.

Attualmente sono in corso ulteriori prove su una nuova tipologia di nodo trave-pilastro, soggetto a brevetto industriale, denominato SismiRep®. Lo scopo di questa più recente fase di ricerca è quello di cercare delle tipologie nodali resi particolarmente performanti in condizione sismica, quindi con buone caratteristiche di duttilità e resistenza, mediante l'introduzione di una connessione saldata incorporata all'interno del nodo. Anche in questo caso le prove sperimentali sono state precedute da analisi numeriche in campo non lineare.

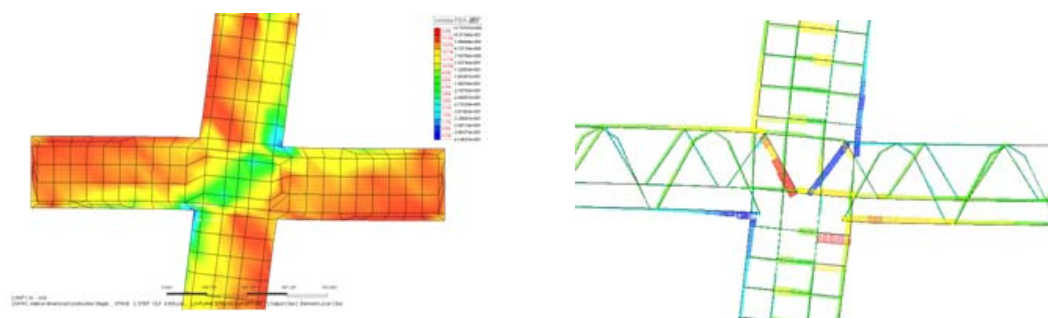


Figura 1: Risultati dal modello FEM con Midas FEA® per l'analisi del comportamento sismico di nodi SismiRep®

UFFICIO STAMPA **CALT** snc
Via San Francesco, 23
33100 Udine
Tel. +39 0432 229127
Fax +39 0432 228672
clatora@caltpr.it

Travi REP[®] NOR

Le travi REP[®] Nor rappresentano la tipologia più classica e conosciuta del sistema REP[®], la prima ad essere utilizzata fin dal 1967, anno in cui l'Ing. S. Leone ideò questo sistema costruttivo misto autoportante. Nelle travi REP[®] Nor il corrente inferiore è costituito da un piatto di acciaio, eventualmente rinforzato al centro, dotato di martelli di estremità di appoggio sui pilastri o muri e con funzione antiribaltamento. La trave è poi formata da un corrente superiore realizzato con profili tondi o quadri pieni e anime reticolari. Tutta la struttura metallica è in acciaio liscio da carpenteria S355.

Scopo delle prove su questa tipologia era quello di verificare il loro comportamento sia in 1a fase di carico (prove su traliccio nudo), sia in 2a fase (sulla sezione composta acciaio-calcestruzzo), portandole a rottura per sollecitazioni di taglio e di flessione. I risultati sperimentali sono stati messi a confronto con le attese teoriche previste secondo la metodologia di calcolo proposta per la progettazione di tali elementi.

Analizzare il comportamento in 1° fase è importante perché alla reticolare in acciaio è affidata la totale autoportanza rispetto ai carichi di costruzione del solaio. L'affidabilità della trave in questa fase è fondamentale per la sicurezza degli operatori in cantiere. Le prove condotte erano mirate a confermare che in 1a fase i tralicci nudi siano assimilabili a strutture in acciaio e verificare quindi se le norme di riferimento utilizzate per il loro dimensionamento (UNI EN 10011/97, EC3 o DM 2008 §4.2) siano idonee.

Si sono poi eseguite le prove su travi miste, ovvero completate mediante il getto integrativo di calcestruzzo, per cercare conferma delle relazioni analitiche utilizzate per determinarne la resistenza ultima a taglio e per flessione.

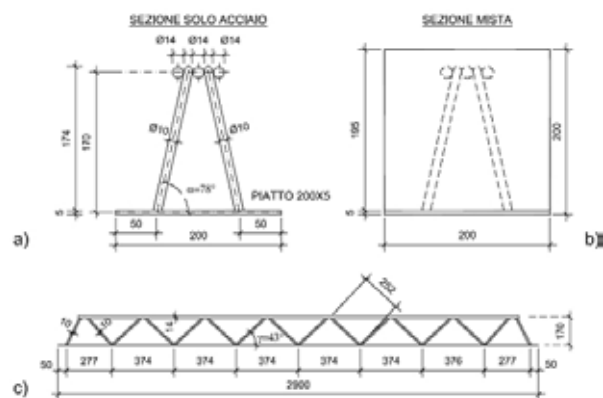


Figura 2: geometria della trave REP[®] Nor in 1° e 2° fase

Prove a flessione su traliccio nudo

Le prove sperimentali sulle reticolari metalliche sono state precedute da una serie di analisi su un modello numerico formato da elementi beam per schematizzare i correnti e le aste di anima e da elementi shell per il piatto inferiore.

Secondo le valutazioni analitiche preliminari, la rottura delle reticolari sottoposte a prova di flessione sarebbe dovuta avvenire per instabilizzazione del corrente compresso.

Si riporta uno schema di carico insieme alla posizione degli strumenti di misura delle deformazioni e degli spostamenti applicati alla trave.

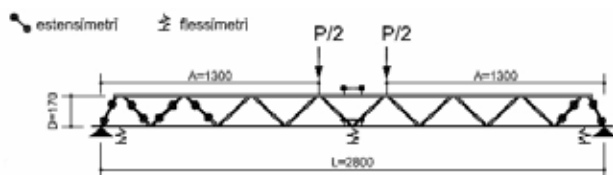


Figura 3: schema di prova e schema statico delle travi per prove a flessione in 1° fase



Figura 4: dettagli di una trave in fase di prova con flessimetri ed estensimetri.

I risultati delle prove di flessione sulle reticolari nude sono riassunti dalle curve carico – freccia in mezzzeria che sono riportate in figura. Il carico ultimo di rottura è stato per entrambe intorno ai 30 kN, maggiore rispetto ai risultati teorici previsti (21 kN) con instabilizzazione delle aste compresse, con comportamento a rottura molto duttile. Nella figura si evidenzia come la rigidità sperimentale delle travi sia pressochè analoga a quella ottenuta dall'analisi non lineare per geometria, anche se quest'ultima forniva un valore resistente maggiore perché non in grado di tenere in conto della plasticizzazione dell'acciaio.

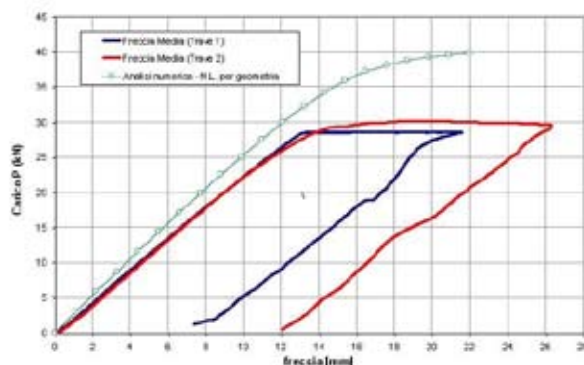


Figura 5: curva carico-frezia in mezzeria nelle prove di rottura a flessione delle reticolari

Prove a taglio su traliccio nudo

Nelle prove di taglio la trave è soggetta a due carichi verticali. L'instabilità dell'asta d'anima è responsabile del carico di rottura e anche in questi casi si sono ottenuti risultati sperimentali in linea con quelli teorici.

Le considerazioni che si sono tratte dalle prove di rottura per taglio dei tralicci sono:

- l'assunzione di schema di reticolare ideale, considerando il pericolo di instabilità delle bielle compresse secondo le normative vigenti (CNR 10011/97 o DM 14.01.08), per il calcolo della portata e della rigidezza in 1° fase è attendibile;
- l'effetto delle saldature nodali compensa gli effetti di tolleranza esecutiva, curvatura ed eccentricità varie che vi sono nella realtà.

Questo perché le saldature garantiscono la solidarizzazione tra le diverse componenti della reticolare e piatto inferiore, rendendola così più iperstatica rispetto allo schema ideale e diminuendo la lunghezza libera di inflessione delle aste

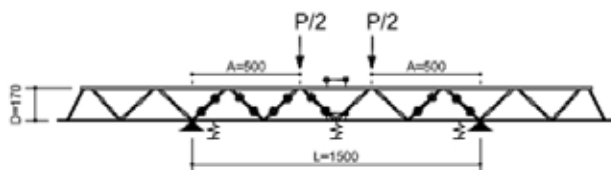


Figura 6: schema di prova e schema statico delle travi per prove a taglio su reticolare in 1° fase

Prove a flessione sulle travi composte

Nelle prove a rottura per flessione delle travi miste il meccanismo di rottura previsto teoricamente era quello di eccesso di compressione sul corrente compresso.

Le misure di deformazione effettuate sul corrente superiore e sul piatto inferiore confermano che il primo entra in campo plastico in maniera decisamente più marcata del secondo.

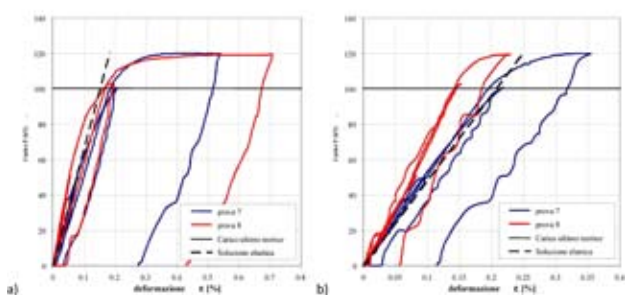


Figura 7: curve carico – deformazione del corrente superiore a) e inferiore b)
 Le foto della prova dimostrano la nascita di fessurazioni verticali nella zona compresa fra i carichi, e di scarse fessurazioni nelle zone vicine agli appoggi, confermando la rottura per effetti di flessione.



Figura 8: fessurazioni a rottura per flessione

A fronte di un carico di rottura teorico di 107 kN si sono ottenuti dei risultati sperimentali superiori del 10 % circa, ovvero di 120 kN in entrambe le travi provate. Questa migliore performance è dovuta essenzialmente alla capacità incoerente del materiale, soprattutto dell'acciaio, che aumenta il carico di rottura effettivo rispetto a quello teorico. Nonostante avvenga sul lato compresso, la forte percentuale di acciaio dà origine ad un comportamento globalmente duttile della trave.

La resistenza ultima a flessione è ottimamente riprodotta con le assunzioni di conservazione delle sezioni piane, assenza di scorrimenti fra acciaio e calcestruzzo e diagramma di tensioni stress-block per il calcestruzzo, come previsto cioè per lo studio delle strutture in c.a. dal DM 14.01.2008.

Prove di taglio delle travi composte

Nelle prove di rottura a taglio di travi composte REP[®] la rottura era attesa per meccanismo di taglio-trazione, ovvero per snervamento delle armature d'anima tese. Ciò è stato confermato sperimentalmente dove il cedimento finale si è infatti manifestato con formazione di fessura diagonale che attraversava la biella d'anima tesa vicino agli appoggi.



Figura 9: fessurazioni a rottura per taglio

Per la stima del carico di rottura si sono applicate le formule del traliccio a inclinazione variabile previste dall'EUROCODICE 2 e dal DM 2008, adottando un angolo del puntone molto basso. Con la cotangente dell'angolo α intorno ai 22° si ottiene un carico di rottura di 138 kN, mentre i carichi sperimentali ottenuti sono stati superiori del 20% circa.

Si è concluso che per le strutture miste autoportanti REP[®] il metodo del traliccio ad inclinazione variabile è affidabile in quanto si può arrivare ad un angolo α molto ridotto senza incorrere nella rottura del puntone compresso. Nella resistenza a taglio non vi può essere infatti rottura delle bielle compresse, in quanto il calcestruzzo lavora in parallelo con un'anima di acciaio compressa che ha la stessa anima di quella tesa. Nelle travi miste il getto di calcestruzzo avvolge l'armatura stabilizzandola, eliminando gli effetti delle imperfezioni costruttive ed eccentricità nodali del traliccio.

In nessun caso si è assistito a rottura delle saldature che avrebbe dato luogo ad un collasso fragile e immediato delle travi, a conferma che le regole costruttive imposte dal Sistema REP[®] sono adeguate.

ECOTRAVE® Raftile

Altre prove sperimentali sono state condotte su ECOTRAVE® Raftile, trave mista autoportante REP® con fondello in laterizio, con risultati analoghi a quelli registrati per le travi REP® Nor. Le prove sperimentali sono state anche in questo caso precedute da analisi di tipo numerico per carichi ultimi sia per la reticolare in 1a fase che per la struttura mista di 2 a fase.

Trave REP® CLS

L'ultima serie di prove è stata eseguita sulle travi REP® CLS, travi miste autoportanti con basamento preconfezionato in calcestruzzo.

Si sono testate 12 travi di diversa lunghezza, altezza e percentuale di armatura, tutte sottoposte a rottura a flessione e a taglio. Inizialmente il carico veniva applicato a metà (prove di flessione) e successivamente alla rottura per flessione della trave centrale il carico veniva spostato, ridotta la luce fra gli appoggi e indotto a rottura per taglio su un estremo. Sono state utilizzate le stesse travi per la prova di flessione e di taglio.

I grafici riassuntivi delle prove di flessione e di quelle di taglio dimostrano che i valori di sollecitazione resistente sperimentale (in ordinata) sono sempre maggiori dei corrispondenti valori resistenti teorici (in ascissa), calcolati con le ipotesi già descritte per le travi Rep® Nor. Nel caso di travi soggette a taglio tale evenienza si è ottenuta anche considerando un angolo di inclinazione del traliccio di 25°, vicino al limite inferiore previsto da normativa.

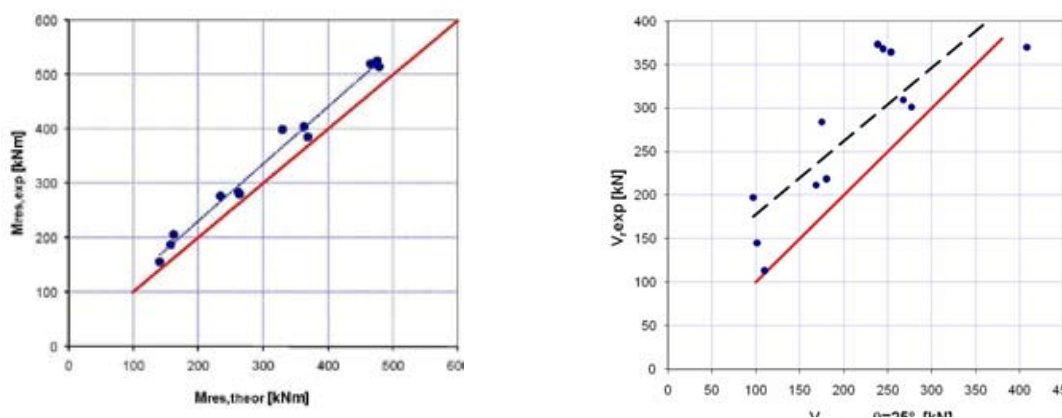


Figura 10: grafico di confronto fra momenti e tagli resistenti teorici e sperimentali

Si registra pertanto un'ottima rappresentazione dell'attesa teorica rispetto al risultato sperimentale, con quest'ultimo che è sempre superiore rispetto alle attese teoriche.

Conclusioni

Dalle prove a flessione e a taglio condotte su travi miste autoportanti REP[®] nel periodo 2005-2009 si possono trarre le seguenti conclusioni:

1. Comportamento della trave in 1° fase e importanza dei dettagli costruttivi;

Le prove sperimentali condotte sui tralicci nudi hanno permesso di evidenziare che il comportamento strutturale delle travi in 1° fase può condursi con le regole di progetto e verifica normalmente adottate per le strutture in acciaio a patto che vengano mantenute entro le tolleranze le eccentricità del traliccio.

2. Comportamento flessionale delle travi, efficacia dell'aderenza tra reticolare di acciaio e calcestruzzo, duttilità;

Si è dimostrato che non servono elementi di connessione specifici fra correnti di acciaio e calcestruzzo, ma che la normale conformazione della reticolare delle travi REP[®] assicura perfetta collaborazione fra i due materiali. In tutte le prove effettuate si è dimostrata una grande duttilità nel comportamento a rottura per flessione non inferiore a quella ottenibile con le travi in c.a. ordinario in alta duttilità, grazie alla presenza di una percentuale di armatura compressa vicina se non superiore a quella tesa - per esigenze di autoportanza di 1° fase - a cui si somma il contributo del calcestruzzo pur se solo parzialmente confinato dalla reticolare d'acciaio.

3. Comportamento a taglio delle travi, efficacia del meccanismo reticolare.

Nella valutazione della capacità resistente a taglio si dovrà tenere conto solamente della resistenza limite delle armature di anima tese, e si suggerisce di assumere angoli di inclinazione delle bielle di calcestruzzo cautelativamente intorno ai 30° anche se, come le evidenze sperimentali dimostrano, si può arrivare ad angoli anche inferiori.

La resistenza limite delle bielle di calcestruzzo compresse non costituirà mai un limite alla resistenza a taglio delle travi.

UFFICIO STAMPA_CALT snc
Via San Francesco, 23
33100 Udine
Tel. +39 0432 229127
Fax +39 0432 228672
clatora@caltpr.it