

*Guida Tecnico-Operativa per il Professionista*



# Progettare con le Travi Prefabbricate Reticolari Miste, PREM

- INQUADRAMENTO STORICO NORMATIVO
- RACCOMANDAZIONI ASSOPREM – CIS-E
- RICERCA NAZIONALE COORDINATA
- MODELLAZIONE STRUTTURALE CON TRAVI PREM NATIVE
- ISO 9001 E TRAVI PREM
- IDENTIFICAZIONE, QUALIFICAZIONE ED ACCETTAZIONE
- SPECIFICHE TECNICHE

**“ È un privilegio potersi fregiare del Patrocinio degli Enti, degli Istituti e delle Associazioni qui rappresentati ma è anche motivo di orgoglio, sapendo che tale concessione ha fatto seguito ad una analisi attenta dei contenuti di questa Guida ”**

**aicap**

Associazione Italiana  
Calcestruzzo Armato e Precompresso



ASSOCIAZIONE TECNOLOGI PER L'EDILIZIA



**C.N.I.**



Consiglio  
Nazionale delle  
Ricerche



COLLEGIO DEI TECNICI DELLA  
INDUSTRIALIZZAZIONE EDILIZIA



**ICMQ**



ISTITUTO ITALIANO  
DELLA SALDATURA

**INARSIND**  
SINDACATO NAZIONALE  
INGEGNERI E ARCHITETTI  
LIBERI PROFESSIONISTI  
ITALIANI  
(EX SNILPI)



ISTITUTO  
GIORDANO  
Qualità al Plurale.



**C**aro Professionista, se stai scorrendo queste note significa che le Travi PREM hanno un posto nella tua professione, nel tuo lavoro e, quindi, nella tua vita.

Questo fatto ci accomuna ed accomuna a noi tanti altri Colleghi che, avendo sperimentato le grandi potenzialità di queste strutture, vorrebbero da sempre averle nella propria cassetta degli attrezzi (professionali) con le dovute istruzioni per l'uso.

Bene! Finalmente ci siamo! È con profonda soddisfazione e malcelato orgoglio che ti presento questa Guida Operativa. Una Guida Tecnica pensata per darti risposte utili, in una materia tanto complessa quanto affascinante.

Un Documento "storico", che riassume tutte le informazioni tecniche e operative necessarie e sufficienti per Progettare, Dirigere i Lavori e Collaudare opere con Travi Prefabbricate Reticolari Miste PREM.

È solo l'inizio di un percorso. Faremo tesoro di tutti i commenti che vorrai farci pervenire, così come dei risultati del secondo Progetto Nazionale Coordinato di Ricerca in corso, per tenere questo strumento aggiornato al concreto utilizzo professionale ed adeguato al progresso tecnologico, con la speranza che divenga un tuo fedele vademecum.

**ing. Livio Izzo**  
Presidente Assoprem



#### **Soci Assoprem**

##### **Sostenitori**

CSP Prefabbricati, SD, Tubisider.

##### **Ordinari**

Caltiber, Gruppo Calandra, ITO,  
Reato Strutture, S.C.A.V. Prefabbricati,  
Sicilferro, Tecnobau,  
Veneta Travi Reticolari.

##### **Aggregati**

2SI, Engroup Engineering,  
Inge Service, Ve.Cam.

with compliments

*Guida Tecnico-Operativa per il Professionista*

# **Progettare con le Travi Prefabbricate Reticolari Miste, PREM**

© 2011 Assoprem

Tecniche Nuove, via Eritrea 21, 20157 Milano  
Redazione: tel. 0239090264, fax 0239090255  
e-mail: [libri@tecnicheNuove.com](mailto:libri@tecnicheNuove.com)  
Vendite: tel. 0239090440, fax 0239090373  
e-mail: [vendite-libri@tecnicheNuove.com](mailto:vendite-libri@tecnicheNuove.com)  
<http://www.tecnicheNuove.com>

ISBN 978-88-481-2636-6

I diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica, di riproduzione e di adattamento totale o parziale con qualsiasi mezzo sono riservati per tutti i Paesi.

Realizzazione editoriale a cura di Mokarta sas - Gorgonzola (MI)  
Stampa: Andersen, Borgomanero (NO)  
Finito di stampare nel mese di Gennaio 2011  
*Printed in Italy*

# La Trave PREM: dalla preistoria all'era moderna

Il titolo di questa prefazione può sembrare “ad effetto”, ed un po' lo è anche, ma basta fare mente locale agli ultimi avvenimenti, che riguardano le Travi PREM, per capire che mai titolo è stato più appropriato.

Per oltre 40 anni, nessun organismo esterno ai produttori si è preoccupato di fornire indicazioni tecniche ed operative per la progettazione e l'esecuzione delle Travi Reticolari Miste. Neanche a livello associativo. Oggi c'è una attività normativa e pre-normativa a dir poco intensa: il D.M. 14/01/08, con il § 4.6 e, conseguentemente, il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici ed il Servizio Tecnico Centrale, con le emanande “PROCEDURE PER IL RILASCIO DELL'AUTORIZZAZIONE ALL'IMPIEGO DI TRAVI TRALICCIATE CONGLOBATE NEL GETTO DI CALCESTRUZZO COLLABORANTE”; il CNR, con il suo progetto di DOCUMENTO TECNICO.

Inoltre, sul piano dei contributi tecnici disponibili contrattualmente ed adottabili su base volontaria, ci sono Assoprem, con le “RACCOMANDAZIONI PER LA PROGETTAZIONE E L'ESECUZIONE DI TRAVI PREFABBRICATE RETICOLARI MISTE”, ed Acai, con il suo “DISCIPLINARE DI CALCOLO”.

Per gli stessi 40 anni, nessuna Associazione di categoria si è interessata alle Travi PREM. Oggi ce ne sono 3 a rappresentarle: Assoprem, Acai ed Assobeton, una per ciascuno dei 3 distinti codici ATECO (confindustriali) che individuano le 3 categorie di Travi PREM esistenti. Considerando tutti e soli i Produttori aderenti a queste associazioni si evince che più dell'80% del mercato delle Travi PREM è strutturato in almeno una Associazione (fra queste Assoprem, da sola, ne rappresenta più del 50%).

Per gli stessi 40 anni, Confindustria non ha mai avuto occasione di rappresentare i produttori di Travi PREM; oggi ne rappresenta l'80% attraverso le due federazioni di riferimento del mercato delle costruzioni e cioè: Federbeton, di cui fanno parte Assobeton ed Assoprem e che è a sua volta federata in Federcostruzioni assieme ad Ance e ad O.I.C.E, e F.IN.CO., di cui fa parte Acai.

Per gli stessi 40 anni, la letteratura sulle Travi PREM è stata sporadica e non strutturata; oggi esiste un vero periodico, *PremMagazine*, house organ di Assoprem, specializzato sulle Travi PREM, e c'è un fiorire di articoli, servizi, memorie congressuali, tesi di laurea etc. sullo specifico argomento.

---

Per gli stessi 40 anni, la ricerca è stata episodica e parcellizzata; oggi è già al varo il secondo Progetto Nazionale Coordinato Assoprem (il primo è durato dal 2007 al 2009) che vedrà in azione più di 6 Centri di Ricerca Universitari e soprattutto i cui risultati saranno resi disponibili alla Comunità scientifica, come è avvenuto con il primo Progetto, attraverso canali qualificati come Congressi, Convegni, *PremMagazine*, articoli tecnici etc.

Per decine di anni si sono modellate le strutture contenenti Travi PREM con l'approccio del cemento armato ordinario, cioè senza tenere conto della prima fase autoportante; oggi, su iniziativa di Assoprem in collaborazione con alcune Software House di rilievo nazionale, i Professionisti possono finalmente modellare le loro strutture anche con l'elemento Trave PREM "nativo".

Per gli ultimi 20 anni, sono state certificate ISO 9000 le aziende produttrici di Travi PREM con un generico riferimento alle strutture prefabbricate; oggi esiste un Documento Applicativo Assoprem, redatto in collaborazione con ICMQ, che indica esplicitamente ed esaurientemente gli adempimenti di chi progetta, produce ed installa Travi PREM rispettando sia le Norme cogenti previste dalla normativa vigente (NTC) che quelle frutto della ricerca associativa e adottabili su base volontaria (Raccomandazioni Assoprem – CIS-E).

In pratica: si è fatto più negli ultimi 4 anni, per le Travi PREM, che non in tutti i precedenti 40. Ma quali sono i risultati concreti di tutte queste novità sulla vita dell'addetto ai lavori?

Proprio in questo volume è presente un capitolo specifico, molto concreto ed operativo, sulle implicazioni procedurali del nuovo quadro normativo sulle Travi PREM. Queste appaiono sia complesse che onerose, come d'altronde è per tutte le tipologie strutturali, prefabbricate e no, oggi coperte completamente dalle nuove Norme Tecniche delle Costruzioni. Tali nuove regole implicano maggiori costi assoluti, ma non relativi fra diverse soluzioni strutturali, ed una competenza decisamente più alta degli operatori che metterà fuori gioco il produttore fai-da-te, spingendo inevitabilmente verso una sinergia e qualificazione progettuale e produttiva. A fronte di ciò, tuttavia, l'utilizzatore è sicuramente più garantito: da una necessariamente maggiore competenza del personale, fondata su una migliore conoscenza dei prodotti, e da controlli più efficaci essendo effettuati sotto la supervisione di Enti Terzi che, peraltro, hanno dovuto elevare, a loro volta, le proprie conoscenze.

Ciò farà crescere anche il mercato? Questa è la speranza di chi sta investendo fortemente su questa tecnologia: la maggiore affidabilità del prodotto, le nuove certezze sul piano tecnico-normativo, la più ampia letteratura tecnica di riferimento e la migliore conoscenza da parte dei Professionisti non può che spingere nel verso giusto, nel verso, cioè, che riteniamo si meriti questo elemento

---

strutturale “che fa sistema” e che contribuisce grandemente all’industrializzazione del cantiere. E non è solo la Trave PREM a meritarsi un mercato più ampio; è anche il nostro mercato che si merita più Travi PREM! Perché questa tecnologia ci porta verso il futuro con la sua pulizia, la sua biocompatibilità, la sua velocità e la sua potenza.

Ma il mercato è fatto di tanti attori: Professionisti, Produttori ed Imprese ed è solo da un sano equilibrio fra i loro reciproci interessi e le loro specifiche competenze che si possono ottenere i migliori risultati. In questo contesto, quale è stato, quale è e quale vuole essere il ruolo di Assoprem?

Beh, la missione primaria della nostra Associazione è sempre stata quella di dotare le Travi PREM di un preciso riferimento normativo ed ora che il Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici sta per varare una norma procedurale, le Raccomandazioni Assoprem – CIS-E possono costituire un significativo punto di riferimento di come le Travi PREM si possano, o si debbano, progettare ed eseguire. Si possano, perché si tratta di una norma ad applicazione volontaria; si debbano, nel caso siano prescritte in un capitolato o in un contratto o semplicemente in caso di Travi prodotte da un Socio Assoprem tenuto, per statuto, ad applicare le Raccomandazioni.

Ma il varo di questo Documento è solo una tappa di un percorso. Le Raccomandazioni, con il presente volume, vengono diffuse all’interno della comunità scientifica per una naturale e doverosa inchiesta pubblica e, successivamente, occorrerà analizzare i commenti pervenuti da tutti gli utilizzatori, raccordarli fra loro ed arrivare ad una revisione delle stesse.

E tale revisione non si baserà solo sui commenti ricevuti. Il secondo Progetto di Ricerca Coordinato Nazionale, dovrà tararne, verificarne e/o modificarne i contenuti, come succede per qualunque documento tecnico e operativo di rilievo nazionale, oltre che dare indicazioni per lo sviluppo del prodotto.

A questa attività di monitoraggio del Gruppo di Lavoro Assoprem – CIS-E si interfacerà, presumibilmente, anche il CNR che è intenzionato a produrre un Documento Tecnico Proprio.

Solo quando questi documenti saranno “maturi” si potrà ipotizzare una parte delle future NTC dedicate specificatamente a queste Travi. Fino ad allora, le Travi PREM continueranno ad essere trattate provvisoriamente come Prodotti Innovativi, ricadenti cioè nel **caso C**) del cap. 11.1 delle NTC con le rispettive procedure di autorizzazione, cautelative per il Professionista ma impegnative per il Produttore.

Ho usato la parola “provvisoriamente” perché, in verità, le emanande regole procedurali del Servizio Tecnico Centrale individuano anche due categorie di Travi PREM che, pur ricadendo nella definizione generale di “TRAVI TRALICCIATE

---

CONGLOBATE NEL GETTO DI CALCESTRUZZO COLLABORANTE”, non sono soggette alle procedure di autorizzazione ma solo a quelle di qualificazione degli altri prodotti prefabbricati: si tratta di quelle Travi PREM che seguono o in tutto e per tutto le regole delle strutture in acciaio e miste o, in maniera altrettanto esclusiva, le regole del cemento armato. Materiali inclusi. Ma queste due categorie corrispondono solo ad una parte delle Travi PREM ed incidono quindi solo parzialmente sullo scenario complessivo che resta variegato e ricco di tante altre morfologie sicuramente interessanti ed egualmente efficienti. Peraltro, le Raccomandazioni Assoprem – CIS-E sono state pensate e sono quindi applicabili, almeno parzialmente e pur sempre su base volontaria, a tutte le categorie e morfologie di Travi PREM, nessuna esclusa.

La seconda missione di Assoprem era quella di dotare queste Travi di un nome non proprietario, non soggetto cioè a privativa industriale come succedeva a tutti quelli esistenti fino al 2006, che fosse cioè di libero uso per professionisti e per produttori ed utilizzabile anche nei capitolati senza includere o escludere alcuna tipologia presente sul mercato.

Beh, questo nome ora c'è: ed è **PREM**, acronimo di **P**refabbricata **R**eticolare **M**ista, che sta ad indicare semplicemente una tipologia strutturale, così come, nei capitolati, si usa dire “ALVEOLARE” per individuare una tipologia di solaio oppure “TT” o “PIGRECO” per identificare una tipologia di tegolo! Questo nome **NON È REGISTRATO E NON COSTITUISCE UN MARCHIO**; può essere usato liberamente, quindi, da qualunque produttore o professionista o impresa senza implicare la scelta di un marchio o di una tipologia o categoria particolare. Tale nome è stato creato in seno al GdL Assoprem – CIS-E per poter parlare liberamente di queste travi, di qualunque categoria o tipologia e senza incorrere nella violazione di alcuna privativa, ed è stato proposto alla comunità scientifica e produttiva che, ad oggi, l'ha adottato ampiamente come nome comune. Il nome PREM, quindi, non connota alcuna particolarità né alcuna qualità o non qualità né alcun inquadramento storico di queste travi ma le comprende tutte. Esattamente come il termine “fuoristrada” comprende tutte le automobili di quel tipo, indipendentemente dalla marca e dal fatto che il termine stesso sia stato coniato molto tempo dopo il varo del primo modello di questa categoria di automobili.

La terza missione di Assoprem, per qualificare e sviluppare il mercato delle Travi PREM, è stata fin dall'inizio quella di informare puntualmente gli attori della filiera: prima di tutti i Professionisti ma anche le imprese ed i Produttori stessi. Solo con una conoscenza approfondita ed una cultura diffusa si può arrivare ad un utilizzo più massiccio delle Travi PREM nei nostri cantieri. Ed ecco perché è nato *PremMagazine*, il primo ed unico tabloid sulle Travi PREM

---

nella storia, ed ecco perché questo volume, con tutte le informazioni utili al Professionista così come al Prescrittore.

Ma oltre ad informare, Assoprem si è data come missione anche quella di dare ai Professionisti degli strumenti operativi. Ecco perché questa pubblicazione ed ecco perché l'iniziativa "Trave PREM nativa" nella modellazione strutturale, cui è dedicato un capitolo specifico della stessa.

E siccome non basta farle bene le cose ma occorre anche che gli altri lo sappiano, è stata sviluppata una intensa attività di comunicazione che va dalla pubblicità istituzionale alle conferenze stampa, ai comunicati stampa, alle interviste alle testate specializzate, al mailing diretto, alla implementazione di un sito associativo ricco di informazioni, che ha varato anche la novità della "Sinergia delle Conoscenze" in collaborazione con altri siti prevalentemente culturali, ed al neonato *e-prem*, sito di informazione specializzata, agile e tempestivo, in sinergia con la omonima newsletter.

Ma tutti questi servizi sarebbero monchi se gli attori della filiera non avessero un riferimento concreto di dove trovare Travi PREM e, fra esse, di poter scegliere, se così voluto, quelle con le caratteristiche indicate nelle Raccomandazioni.

Ed ecco perché il Servizio nazionale dei *PremMarketPoint*: punti qualificati sul territorio impegnati ad applicare quanto via via emerge dalla ricerca e/o dalla elaborazione collegiale del Gruppo di Lavoro. Punti di eccellenza per tutta la filiera delle costruzioni. E queste parole sono pronunciate con la dovuta enfasi per stigmatizzarne il contenuto. Non soltanto, infatti, i Soci di Assoprem hanno un preciso impegno nello Statuto di osservare ed applicare le Raccomandazioni ma, per dare una forte e chiara garanzia al mercato, si sono attivati per far nascere una specifica "Guida Applicativa" per sottoporre la propria attività di Progettazione, Produzione ed Installazione di Travi PREM, qualificate dall'osservanza volontaria delle Raccomandazioni, al controllo specifico di Enti terzi.

Come sintetizzare, dunque, **la missione e la realtà di Assoprem?**

Con 4 parole semplici ma dense di significato:

**RICERCA, CULTURA, COMUNICAZIONE e SERVIZIO.**



**Ing. Livio Izzo**  
*Presidente Assoprem*



# **La collaborazione Assoprem – CIS-E: il Gruppo di Lavoro e il Gruppo di Ricerca**

Dopo più di 40 anni di vita, vissuta in pieno e rigoglioso sviluppo, le Travi PREM stanno entrando nella loro maturità.

Per cercare di mettere a punto una posizione il più possibile meditata e condivisa e per fornire strumenti applicativi per le Procedure del Ministero delle Infrastrutture e Trasporti, Assoprem e CIS-E hanno promosso la nascita di un Gruppo di Lavoro (GdL) con l'obiettivo di mettere ordine alle attività svolte presso i singoli produttori Assoprem e di preparare delle Raccomandazioni per la "Progettazione e l'esecuzione di Travi Prefabbricate Reticolari Miste". Dopo circa quattro anni di lavoro, le Raccomandazioni sono state completate; il documento ha una struttura simile agli Eurocodici e tratta le verifiche di sicurezza agli stati limite di esercizio e ultimi e i dettagli per le zone sismiche.

Nel Gruppo di Lavoro hanno partecipato attivamente diverse associazioni culturali e di categoria, istituti di certificazione, rappresentanti dei soci Assoprem e docenti provenienti dalle Università di Bergamo, Bologna, Brescia, Calabria, Ferrara, Firenze, Messina, Palermo, Reggio Calabria, Salento e Trieste e dal Politecnico di Milano e di Torino; complessivamente hanno partecipato più di 60 figure Professionali o Accademiche.

Il Gruppo di Lavoro ha operato su base volontaria e trasversale; ciò ne ha garantito la totale autonomia e costituisce il substrato di imparzialità e di scientificità delle Raccomandazioni.

L'attività del Gruppo di Lavoro ha avuto origine dallo Stato dell'Arte sulle Travi PREM, dai risultati di studi sperimentali e/o numerici disponibili nella letteratura tecnica del settore e dai risultati di una ricerca, finanziata da Assoprem, eseguita da alcune delle Università presenti nel Gruppo di Lavoro e con la partecipazione volontaria del laboratorio prove delle Ferriere Nord del Gruppo Pittini. Tale ricerca è stata condotta, a livello nazionale, nell'ambito di

---

un apposito Gruppo di Ricerca, costituito da un sottoinsieme del gruppo di lavoro che ho avuto l'onore di coordinare.

La ricerca ha riguardato diversi temi tra i quali si può citare l'instabilità del traliccio in Fase 1 (corrispondente al getto del calcestruzzo), i comportamenti locali e globali delle travi, il comportamento dei nodi, il ritiro nei fondelli di calcestruzzo, etc.

Le Raccomandazioni, in questa prima versione, intendono fornire indicazioni per un utilizzo appropriato delle Procedure Ministeriali, al fine di regolamentare un settore che ha operato per diversi anni senza precise indicazioni normative. Il documento è particolarmente rivolto ai Progettisti, ai Direttori dei Lavori, ai Collaudatori e ai Produttori di Travi PREM, allo scopo di rendere più trasparente la misura della sicurezza di tali Travi.

L'utilizzo attento delle Procedure ministeriali e delle Raccomandazioni Assoprem – CIS-E consentirà di migliorarne ulteriormente il contenuto nel tempo, in modo da poter produrre versioni successive delle Raccomandazioni ancora più complete. Ciò sarà possibile anche grazie alla disponibilità di ulteriori risultati di ricerche finanziate da Assoprem col fine di approfondire la conoscenza dei modelli resistenti locali e globali delle diverse tipologie di Travi PREM.

Concludo con un sentito e forte ringraziamento a tutti i Colleghi del Gruppo di Lavoro e del Gruppo di Ricerca che hanno contribuito, con il loro entusiasmo e la loro competenza, a colmare una lacuna nella norma sicuramente a vantaggio del nostro mondo professionale ed operativo.



**Prof. Giovanni Plizzari**  
*Coordinatore del Gruppo di Lavoro  
e del Gruppo di Ricerca  
Assoprem – CIS-E*

# Indice generale

Capitolo 1	Inquadramento Storico Normativo .....	13
Capitolo 2	Raccomandazioni Assoprem – CIS-E.....	25
Capitolo 3	Ricerca Nazionale Coordinata .....	153
Capitolo 4	Modellazione strutturale con Travi PREM native .....	239
Capitolo 5	ISO 9001 e Travi PREM.....	251
Capitolo 6	Identificazione, Qualificazione ed Accettazione .....	305
Capitolo 7	Specifiche Tecniche.....	325



**TRAVI PREFABBRICATE  
RETICOLARI MISTE:  
RICERCA NAZIONALE  
COORDINATA  
2007-2009**



## Introduzione

Nel 2007 Assoprem, l'Associazione Nazionale Produttori Travi Prefabbricate Reticolari Miste, ha dato vita al Primo Progetto Nazionale Coordinato di Ricerca, sulle Travi PREM, cui hanno partecipato ben nove Centri Universitari di Ricerca (Bergamo, Bologna, Brescia, Calabria, Ferrara, Lecce, Palermo, Torino e Trieste) più un Centro di Ricerca privato (Ferriere Nord di Osoppo - UD del Gruppo Pittini).

L'obbiettivo era di verificare il comportamento di queste travi rispetto alle attese basate su algoritmi messi a punto nel tempo dai produttori associati ad Assoprem partendo dalle norme sull'acciaio e sul cemento armato.

Per finanziare tale Ricerca, Assoprem ha dato vita ad un fondo di scopo cui hanno aderito la totalità degli Associati di quel periodo e cioè: CSP PREFABBRICATI S.p.A., TUBISIDER S.p.A., ENGROUP Engineering S.r.L., FORNACE CALANDRA S.r.L., I.T.O. S.r.L., LATERIZI REATO S.r.L., S.C.A.V. PREFABBRICATI S.r.L., SD S.r.L., SICILFERRO TORRENOVESE S.r.L., TECNOBAU S.r.L., MANINI PREFABBRICATI S.p.A., STUDIO D'INGEGNERIA SURACI, VE. CAM. S.r.L..

Per coordinare il Progetto è stato creato un Gruppo di Ricerca Nazionale (GdR), composto dai Centri di Ricerca e dai Tecnici delle Aziende finanziatrici e Coordinato dal CIS-E, nella persona del Prof. Giovanni Plizzari con la mia collaborazione.

Nel corso degli anni 2007, 2008 e 2009, le dieci unità di ricerca hanno sviluppato e portato a termine le attività coordinate e monitorate durante le numerose riunioni del GdR.

Le unità di ricerca, i responsabili, gli eventuali collaboratori e il titolo della singola ricerca sono riportati nel seguito così come la composizione del Gruppo di Ricerca.

I risultati completi della ricerca sono contenuti in dieci report specifici, oltre ad uno sintetico del Coordinatore a disposizione dei singoli Soci del Fondo di Ricerca Assoprem. Il tutto per un'opera di circa seicento pagine, proibitive per la loro pubblicazione integrale.

In questo volume riportiamo però una sintesi di ciascuna delle ricerche effettuate per dare la possibilità al lettore di apprezzare i contenuti ed i risultati di ciascuna specifica attività del progetto.

Nel frattempo, è in pieno svolgimento il secondo Progetto Nazionale coordinato di Ricerca i cui risultati saranno resi noti nella seconda metà del 2011.



**Ing. Fausto Minelli,**  
*Ricercatore di Tecnica delle Costruzioni*  
*Dipartimento di Ingegneria Civile,*  
*Architettura, Territorio ed Ambiente*  
*Università di Brescia*

## Indice

<b>Il comportamento delle unioni saldate nelle Travi Prefabbricate Reticolari Miste</b> (Ing. Molinari – Laboratori Ferriere Nord) .....	158
<b>Analisi teorica e sperimentazione sulla stabilità delle Travi PREM in prima fase</b> (Prof. Savoia e Ing. Vincenzi – Università Bologna) .....	162
<b>Prove di Push-out per le Travi Prefabbricate Reticolari Miste</b> (Prof. Aiello e Ing. Cancelli – Università del Salento).....	169
<b>La duttilità e la resistenza nelle connessioni delle Travi PREM</b> (Prof. Tullini – Università Ferrara) .....	177
<b>La resistenza a taglio delle Travi Prefabbricate Reticolari Miste: stato dell'arte e prospettive della ricerca Assoprem</b> (Prof. Riva e Ing. Minelli – Università Bergamo e Brescia) .....	183
<b>Comportamento flessionale delle Travi PREM senza fondello</b> (Prof. Ombres – Università Calabria) .....	189
<b>La duttilità delle sezioni nelle Travi Prefabbricate Reticolari Miste</b> (Prof. La Mendola e Prof. Colajanni, Università Palermo e Messina).....	196
<b>Comportamento ciclico del nodo trave-colonna per Sistemi Reticolari Misti</b> (Prof. Amadio e Ing. Sorgon – Università Trieste) .....	203
<b>Studio sui fondelli di calcestruzzo delle Travi PREM: risultati sperimentali e nuove soluzioni</b> (Prof. Plizzari e Ing. Cominoli – Università Brescia) .....	212
<b>La viscosità delle Travi Prefabbricate Reticolari Miste</b> (Prof. Sassone e Ing. Casalegno – Politecnico Torino).....	219

LABORATORIO FERRIERE NORD, OSOPPO (UD)

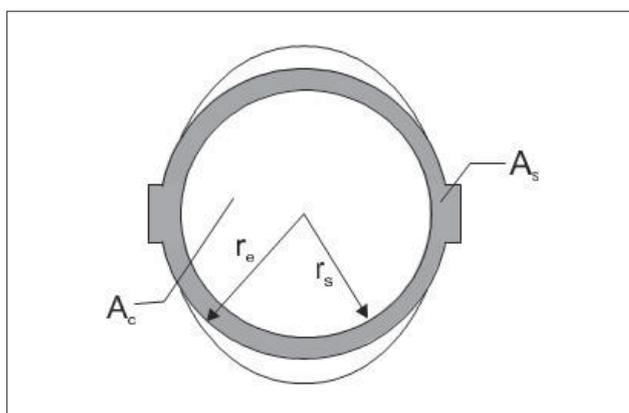
## Il comportamento delle unioni saldate nelle Travi Prefabbricate Reticolari Miste

### Introduzione

Le diverse tipologie di Travi PREM, autoportanti e non, possono essere costruite, sia impiegando solamente acciaio da cemento armato (B450C), utilizzando solo acciaio da carpenteria, oppure impiegando entrambe le tipologie di acciaio.

Gli acciai con cui possono essere realizzate le travi presentano caratteristiche diverse, associate alle diverse lavorazioni e trattamenti subiti: nel caso dell'acciaio da c.a. (B450C), il trattamento di bonifica (tempra e rinvenimento) fa sì che le caratteristiche meccaniche siano una combinazione fra quelle della corona esterna temprata e rinvenuta e quelle fornite dal nocciolo non temprato, perciò più duttile; nel caso dell'acciaio da carpenteria, nelle classi previste dal nuovo D.M. 14/01/08 (S 235, S 275, S 355 ed S 450) le caratteristiche meccaniche sono invece costanti sulla sezione.

Questa diversità, associata alle diverse tipologie dei giunti, richiede perciò una verifica delle caratteristiche meccaniche degli elementi così realizzati.



**Figura 1** – Sezione di una barra da c.a. realizzata con un trattamento di bonifica (processi “Tempcore” o “Termex”).

Le Travi PREM presentano dei giunti saldati che devono essere in grado di trasferire adeguati sforzi. A tal fine, è fondamentale che le saldature non alterino in modo sensibile le caratteristiche degli acciai dei diversi elementi. È ne-

cessario pertanto effettuare prove a rottura per valutare sia il comportamento dei nodi, che devono essere in grado di trasferire le azioni progettate evitando la rottura nel nodo stesso, sia le caratteristiche meccaniche dei componenti. Le barre interessate da un nodo saldato non devono rompersi in corrispondenza della saldatura e soprattutto devono mantenere le caratteristiche meccaniche conformi alla classe d'acciaio utilizzata.

Ferriere Nord ha messo a disposizione del programma di ricerca Assoprem il suo laboratorio prove per permettere una messa a punto dei nodi saldati, in modo tale che le prove sperimentali programmate sulle travi completamente gettate non risentissero negativamente di giunti e componenti in acciaio non conformi.

## Prove di laboratorio

La prova su un elemento di trave PREM che presenta un nodo saldato consiste nel sottoporre a trazione la barra stessa. La rottura non deve avvenire in corrispondenza del nodo e le caratteristiche meccaniche devono essere conformi alla classe dell'acciaio. La determinazione della resistenza della saldatura viene effettuata sottoponendo a trazione lungo il proprio asse l'elemento collegato, predisponendo il campione con alcuni elementi accessori, costituiti da piatti e tondi, che permettano di sottoporre a trazione l'elemento ed il nodo da provare riportando il tutto ad una macchina che sa solo "tirare". Naturalmente, gli elementi accessori non debbono avere alcuna influenza sul nodo e sulla barra soggetta a prova.



*Figura 2 – Prova a trazione su un nodo saldato.*

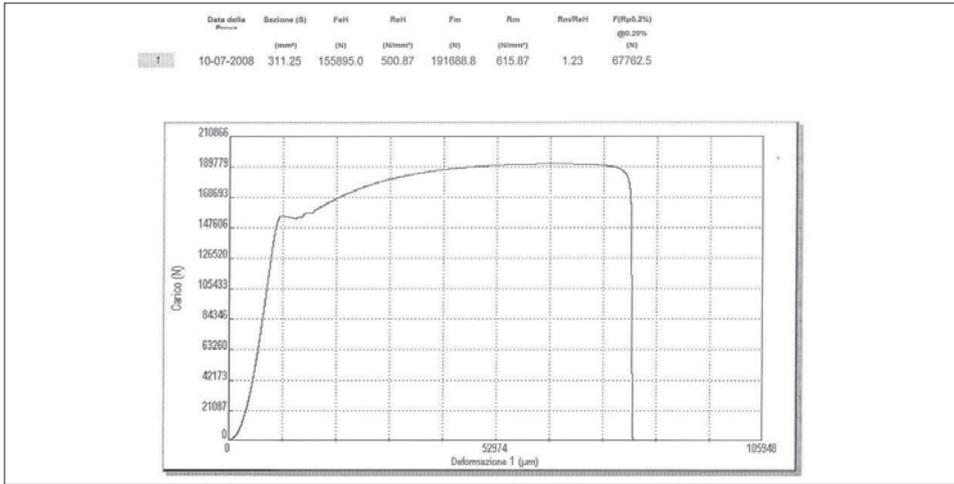


Figura 3 – Prova a trazione su una barra da c.a.(Ø 20mm) con nodo saldato.

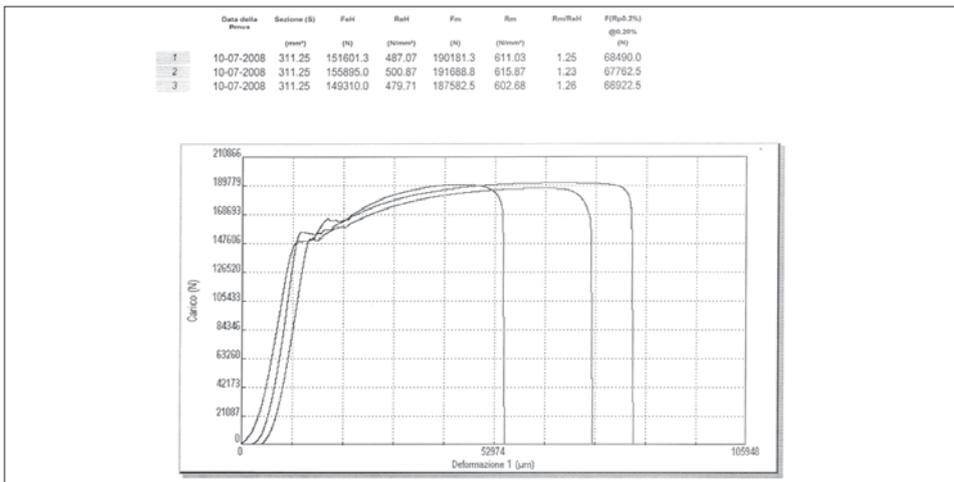


Figura 4 – Prova di resistenza della saldatura su una tripletta di campioni.



Figura 5 – Rottura dell'elemento d'anima fuori del nodo.

Naturalmente, sono state verificate anche le analisi chimiche degli acciai costituenti i nodi in modo da determinare il contenuto di carbonio equivalente secondo la seguente formulazione:

$$C_{eq} = C + \frac{M_n}{6} + \frac{C_r + M_o + V}{5} + \frac{N_i + C_u}{6}$$

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Sn	Al	Rteor	Ceq
x100	x100	x100	x100 0	x100 0	x100	x100	x100	x100	x100 0	x100 0	MPa	x100
18	80	26	11	32	7	6	1	22	10	2	593	35

**Figura 6** – Analisi chimica su una barra da c.a..

I risultati della sperimentazione sono stati positivi in quanto sia le prove a trazione effettuate sulle barre che presentavano un nodo, sia le prove effettuate sui nodi stessi hanno evidenziato un comportamento identico a quello delle barre senza saldature.

Tutta la campagna prove è avvenuta nel Laboratorio Prove Materiali delle Ferriere Nord di Osoppo, sotto la Direzione dell'Ing. Ascanio Cristiano e con la collaborazione dell'Ing. Di Giusto Martino.

## **l'Autore**

**Olivo Molinari.** Laureato con lode in Ingegneria Civile nel 1977 presso l'Università degli Studi di Trieste, fino al 2007 è stato responsabile dell'Ufficio Tecnico Assistenza Clienti della Ferriere Nord S.p.a. di Osoppo (UD). Ha effettuato progettazioni architettoniche, impiantistiche e strutturali relative a capannoni industriali in acciaio e costruzioni in c.a. Esperto di prefabbricazione edilizia per la realizzazione di solai autoportanti su grandi luci e di elementi prefabbricati per pareti col sistema costruttivo "Doppia lastra".



## **Analisi teorica e sperimentazione sulla stabilità delle Travi PREM in prima fase**

### **Premessa**

Le travi reticolari miste hanno rappresentato una innovazione importante nel campo dell'industrializzazione edilizia, consentendo una significativa riduzione dei tempi di costruzione e dei relativi costi, non richiedendo in genere l'uso di banchinaggi per la realizzazione degli orizzontamenti. Tuttavia, sono in corso ancora numerosi studi di tipo sperimentale e numerico per la calibrazione di modelli di calcolo e verifica pienamente validi per la progettazione.

Come ben noto, le travi reticolari miste possono essere trattate alla stregua di travi metalliche in Fase I (fino all'indurimento del getto di calcestruzzo) e di travi miste o in calcestruzzo armato (a seconda dei casi) nella Fase II, cioè a struttura completata (compresi i carichi permanenti aggiuntivi e carichi variabili, nonché nel caso di azioni di tipo sismico).

### **Instabilità di trallicci metallici**

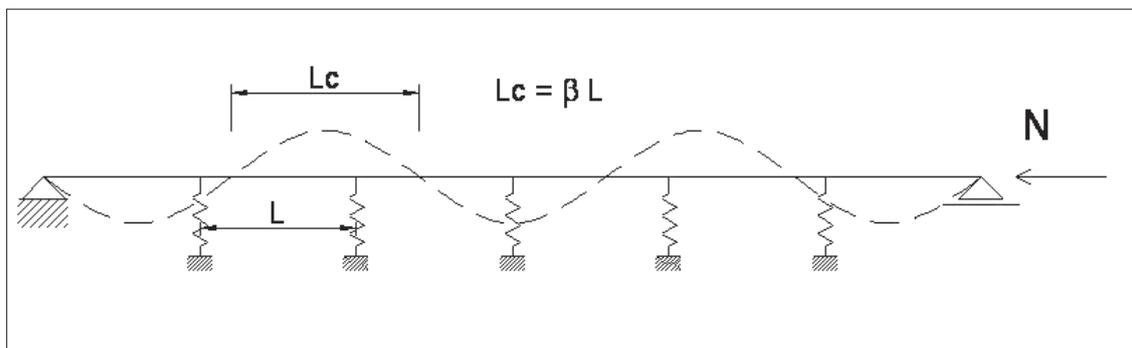
In Fase I, cioè prima del completamento con il getto di calcestruzzo, le verifiche nei riguardi dell'instabilità dell'equilibrio rivestono una importanza fondamentale. Le modalità principali di instabilità del traliccio metallico in Fase I possono essere classificate in tre tipologie principali: a) instabilità delle singole aste (del corrente superiore o delle diagonali del traliccio), b) instabilità di insieme del corrente compresso, c) instabilità flessione-torsionale dell'intera trave.

I criteri classici dell'instabilità possono essere utilizzati solo nel primo caso, cioè quando è definibile la lunghezza libera di inflessione in funzione dell'interasse dei ritegni trasversali del corrente o della lunghezza dell'asta (per le aste diagonali).

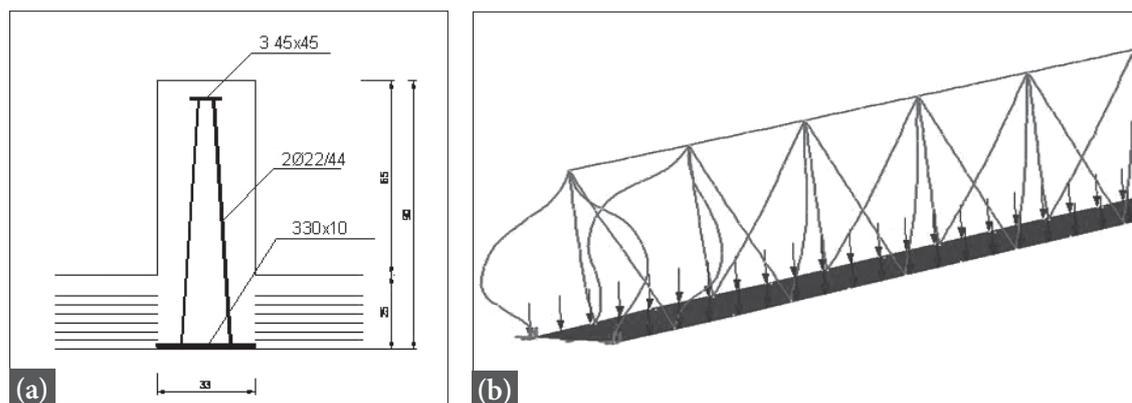
Nel caso b), i ritegni trasversali non hanno una rigidità sufficiente per impedire lo spostamento dei nodi del corrente superiore, il quale può instabilizzarsi con una lunghezza libera che coinvolge più campi del traliccio.

L'instabilità flessione-torsionale, infine, può coinvolgere l'intera trave, con lunghezza d'onda pari alla lunghezza della trave stessa. Essa tipicamente può essere critica nel caso di travi alte, molto rigide nel piano di azione del carico ma deformabili per sollecitazioni torsionali. In questo caso, il carico critico è significativamente inferiore a quello euleriano delle singole aste.

A titolo di esempio, sono stati condotti alcuni calcoli di instabilità di tralicci di travi reticolari miste mediante un programma di calcolo ad elementi finiti, posti a confronto con valutazioni semplificate basate sulla teoria dell'instabilità di Eulero. Tale teoria richiede che sia definita la lunghezza libera di inflessione di un'asta  $L_c = \beta L$  (vedi Figura 1), dove  $L$  è la lunghezza di un campo tra due appoggi e  $\beta$  è un coefficiente numerico. Ad esempio, se  $\beta = 1$ , l'asta può essere considerata incernierata in corrispondenza dei diagonal, se  $\beta = 1/2$  può essere considerata incastrata, se  $\beta > 1$  (come nel caso di Figura 1), i diagonal non sono sufficientemente rigidi da impedire lo spostamento dei nodi e quindi il carico di instabilità può ridursi notevolmente rispetto al carico euleriano.



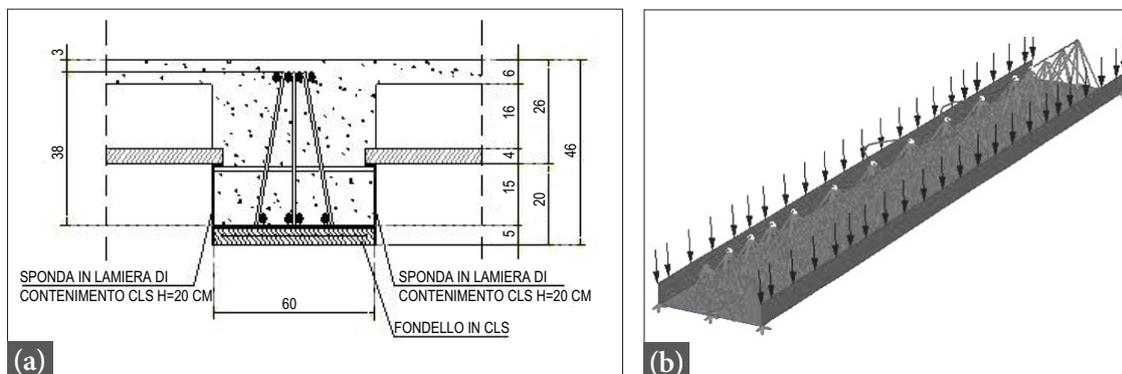
**Figura 1**– Schema di trave su suolo elastico per il calcolo del carico critico del corrente compresso.



**Figura 2** – (a) Sezione di trave reticolare mista spaziale con 2 piani d'anime (b) Instabilità dei diagonal d'anima compressi alle estremità della trave.

Il primo esempio riguarda una trave reticolare mista (lunghezza 15,20 m, sezione 33 × 90 cm) con sezione spaziale e due piani di aste inclinate d'anima Ø22 saldate al corrente superiore (3 quadri 45 mm) e fondello d'acciaio di

spessore 10 mm. La simulazione numerica è condotta considerando un carico distribuito applicato in corrispondenza del fondello inferiore. Come mostra la Figura 2b, a causa della elevata rigidità delle aste d'anima, il carico critico del traliccio corrisponde all'instabilità delle aste diagonali d'anima poste alle estremità della trave, ove cioè è elevata la sollecitazione tagliante. Per confronto con i risultati delle analisi agli elementi finiti, è stato verificato che, in questo caso, il carico critico può essere efficacemente valutato con la teoria di Eulero ed assumendo  $\beta = 1/2$ , a causa dell'elevata rigidità alla rotazione di corrente superiore e fondello che forniscono sostanzialmente vincoli di incastro alle estremità del diagonale.



**Figura 3** – (a) Sezione di una trave reticolare mista spaziale con 3 piani d'anime, (b) Instabilità del corrente compresso della trave con diagonali  $\varnothing 16$ .

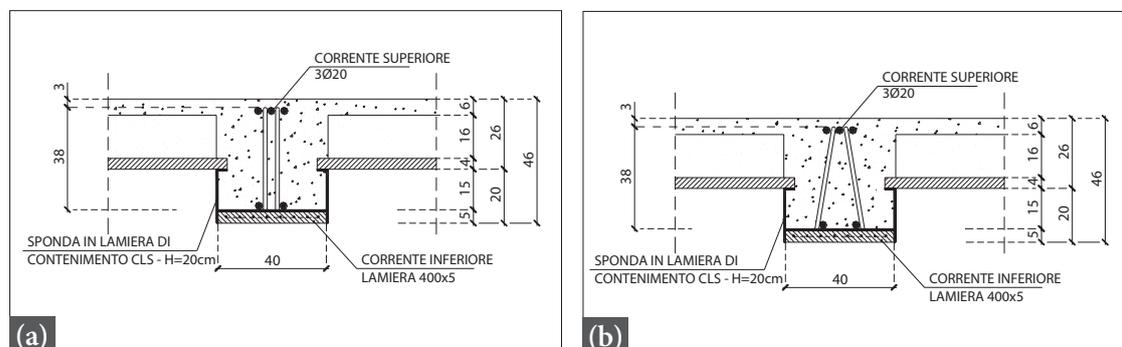
Il secondo esempio riguarda una trave di tipologia analoga ma dimensioni più contenute (lunghezza 3,01 m, sezione  $60 \times 38$  cm), con diagonali d'anima  $\varnothing 16$  oppure  $\varnothing 14$ . La trave ha passo dimezzato dei diagonali nelle porzioni di estremità, fondello di spessore 12 mm, e corrente compresso costituito da  $4\varnothing 20$ . Lo studio agli elementi finiti mostra che, nel primo caso (diagonali d'anima  $\varnothing 16$ ), l'instabilità del corrente compresso precede quella dei diagonali, che sono sufficientemente rigidi sia ad impedire lo spostamento dei nodi che nei riguardi dell'instabilità. Il carico critico è in questo caso circa il 15% superiore a quello che si otterrebbe considerando lo sforzo normale corrispondente al momento massimo in mezzeria e lunghezza libera di inflessione pari alla distanza tra i ritegni. Infatti, essendo il momento variabile, i campi reticolari adiacenti a quello centrale sono soggetti ad uno sforzo normale inferiore, per cui forniscono un vincolo alla rotazione al campo centrale più sollecitato, aumentando quindi il carico critico rispetto a quello valutato con riferimento al solo campo centrale. Nel secondo caso (diagonali

d'anima  $\varnothing 14$ ), invece, la crisi per instabilità avviene in corrispondenza dei diagonali a circa 1/4 della luce, cioè in corrispondenza della variazione di passo dei diagonali.

I successivi esempi riguardano due tipologie di trave più diffuse, che presentano un fondello in acciaio ma con una diversa configurazione dell'anima: la prima tipologia presenta un'anima costituita da barre verticali (nel seguito questa tipologia verrà indicata come "trave mista a sezione piana"), mentre nella seconda è presente un traliccio spaziale con 2 piani d'anime.

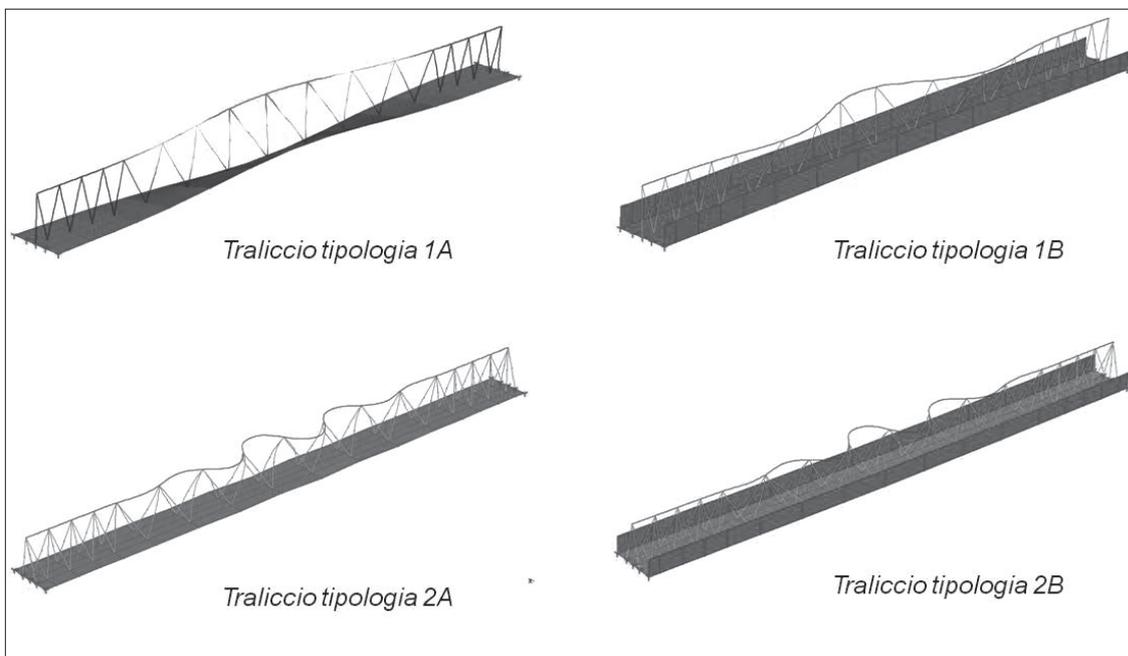
Sono analizzate 4 differenti tipologie di trave. La prima tipologia di traliccio analizzato, denominata nel seguito Tipologia 1A (Figura 4a), ha una sezione di dimensioni  $40 \times 46$  cm e lunghezza di 480 cm. All'intradosso è presente un piatto in Acciaio Fe510 di sezione  $400 \times 5$  mm, che costituisce il corrente inferiore del traliccio metallico, al quale sono saldate due ulteriori barre di acciaio di diametro 20 mm. Il corrente superiore è formato da 3 barre di diametro 20 mm. Gli elementi diagonali che collegano i correnti superiore ed inferiore sono costituiti da barre  $\varnothing 16$  saldate ad essi, formando un traliccio piano con passo regolare di 40 cm lungo l'intera trave ad eccezione delle porzioni estreme ove il passo è ridotto. Le barre costituenti il corrente superiore sono collegate tra loro solo in corrispondenza degli elementi diagonali. Sono presenti inoltre due lamiere verticali, saldate al corrente inferiore, aventi lo scopo di contenere il calcestruzzo in fase di getto.

La seconda tipologia oggetto di indagine (tipologia 1B) si differenzia dalla prima in quanto sono presenti le due lamiere che fungono da irrigidimento. La terza e la quarta tipologia, denominate tipologie 2A e 2B, si differenziano dalle precedenti solo per la disposizione dei diagonali, ora inclinati in modo da formare un traliccio non più piano ma spaziale, come indicato nella Figura 4b.



**Figura 4** – Sezioni trasversali delle Travi PREM analizzate: (a) travi con traliccio piano – tipologie 1A e 2A, (b) travi con traliccio spaziale – tipologie 1B e 2B.

Dal confronto tra le deformate di Figura 5, si nota che il fenomeno dell'instabilità è significativamente influenzato dalla rigidezza del fondello inferiore e dalla tipologia del traliccio (a sezione piana o con 2 piani d'anima). Infatti, per travi reticolari miste di tipologia 1A, l'instabilità è di tipo flessio-torsionale, con un valore del carico critico pari alla metà di quello di progetto (vedi Figura 5a). L'irrigidimento del corrente inferiore mediante le due lamiere verticali (tipologia 1B) aumenta significativamente la rigidezza torsionale della trave, ma si instaurano comunque spostamenti orizzontali del corrente a causa della deformazione del traliccio (Figura 5b): il carico critico risulta essere circa il doppio di quello dalla trave senza irrigidimenti verticali. Adottando un traliccio di tipo spaziale (travi tipo 2A e 2B) si ha la possibilità aumentare ulteriormente il carico critico fino ad ottenere, per il caso esaminato, un moltiplicatore pari a 3 volte il carico verticale di progetto (Figura 5d). L'incremento di carico rispetto ad un traliccio piano non è dovuto ad un aumento delle sezioni bensì ai benefici di uno schema di traliccio con 2 piani d'anima, che sfrutta la rigidezza assiale dei diagonali anziché affidarsi alla rigidezza flessionale degli stessi. Il valore del moltiplicatore critico nel caso 2A è minore rispetto al caso 2B a causa della maggiore deformabilità del fondello inferiore. Infine che, nei quattro casi esaminati, il corrente superiore ha le medesime caratteristiche geometriche e meccaniche.



**Figura 5** – Deformata critica delle travi reticolari miste analizzate: travi con traliccio piano – tipologie 1A e 2A; travi con traliccio spaziale – tipologie 1B e 2B.

Si può dedurre, quindi, che l'analisi di stabilità del corrente superiore delle travi reticolari miste non può prescindere dal considerare anche gli altri elementi strutturali caratterizzanti il traliccio. In altre parole, una metodologia per il calcolo del carico critico della trave reticolare mista deve tenere in conto, oltre alle caratteristiche del corrente compresso, anche la rigidità del fondello e dei diagonali; si mostrerà nel seguito che si possono commettere errori significativi nella valutazione del carico critico non considerando nel calcolo tale deformabilità.

### **Determinazione del carico critico con relazioni analitiche**

I valori del carico critico ottenuti mediante i modelli agli Elementi Finiti per le quattro tipologie di travi reticolari miste analizzate sono poste a confronto con quelli ottenuti da relazioni analitiche.

Il carico critico di una trave su appoggi fissi e sforzo normale con andamento parabolico approssima in modo soddisfacente il carico ottenuto dal modello agli elementi finiti la trave reticolare mista di tipologia 2B, ovvero per la trave che presenta una notevole rigidità del traliccio e del fondello (grazie alla presenza degli irrigidimenti). In assenza di irrigidimenti laterali del fondello (tipologia 2A), la deformabilità della trave reticolare mista è più elevata ed il modello commette errori più significativi. Se la flessibilità dei diagonali risulta essere elevata ma il fondello sufficientemente rigido (trave di tipologia 1B) il modello di trave su suolo elastico con sforzo normale variabile fornisce una buona approssimazione del carico critico. Nel caso esaminato, infatti, l'errore nella determinazione del carico critico è dell'ordine del 3-4%. Utilizzato, invece, un modello con sforzo normale costante, il moltiplicatore critico è sottostimato di oltre il 35%. Infine, per prevedere correttamente il carico critico del traliccio 1A, la cui instabilità è evidente di tipo flessione-torsionale (si veda la Figura 3a), è necessario considerare sia l'instabilità di tipo flessione-torsionale sia la deformazione tagliante del traliccio ed il conseguente scorrimento relativo tra corrente superiore e inferiore causato dalla deformabilità dei diagonali. Considerare il fenomeno di instabilità flessione-torsionale ma non la deformabilità tagliante del traliccio può quindi fornire risultati inaccurati nel caso travi reticolari estremamente deformabili.

### **Validità di una modellazione in campo lineare**

Il calcolo di tralici metallici nei riguardi dell'instabilità andrebbe condotto in campo elastoplastico, al fine di determinare il carico limite della struttura,

che risulta essere in genere inferiore al carico che conduce ad instabilità il traliccio secondo un calcolo elastico lineare. Qualora l'effetto della non linearità del materiale sia significativo, può essere necessario determinare anche il comportamento post-critico della struttura, cioè il percorso di equilibrio della struttura oltre il carico limite teorico tenendo in conto gli effetti del secondo ordine ed il comportamento elastoplastico dell'acciaio. Il problema è rilevante quando il carico critico euleriano è dello stesso ordine di grandezza di quello che corrisponde alla plasticizzazione della sezione. In questo caso, infatti, l'effettivo carico di collasso del traliccio può risultare significativamente ridotto dalla presenza di imperfezioni di tipo geometrico o dissimmetrie del carico applicato. Ciò accade in generale quando la crisi avviene per instabilità dei diagonali o del corrente compresso adeguatamente vincolato dai diagonali, mentre nel caso di sbandamento laterale, l'instabilità avviene generalmente in campo elastico e quindi il calcolo illustrato in precedenza è pienamente valido.

## gli Autori

**Marco Savoia.** Professore Ordinario di Tecnica delle costruzioni presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università di Bologna. È autore di oltre 250 memorie, di cui oltre 50 su riviste internazionali con referee. È responsabile scientifico di numerosi progetti di ricerca, italiani ed europei. È membro di commissioni nazionali per la redazione di norme e linee guida, è Direttore del Centro Interdipartimentale di Ricerca Industriale Edilizia e Costruzioni dell'Università di Bologna. I numerosi argomenti di ricerca spaziano dalla riabilitazione strutturale con tecniche innovative (FRP), allo studio di elementi strutturali in materiale composito e fibrorinforzato, problemi di stabilità delle strutture, affidabilità e identificazione strutturale, viscosità e danneggiamento in elementi in c.a., modellazione e sperimentazione di strutture prefabbricate e sistemi strutturali innovativi.



**Loris Vincenzi.** Laureato nel 2003 in Ingegneria Civile indirizzo strutture. Nel 2007 ha conseguito il titolo di Dottore di Ricerca in Meccanica delle Strutture presso l'Università di Bologna con relatore il Prof. Marco Savoia. Dal dicembre 2009 è Ricercatore presso la Facoltà di Ingegneria "Enzo Ferrari" - Università di Modena e Reggio Emilia. Svolge la sua attività di ricerca con riferimento al comportamento di strutture prefabbricate, all'identificazione e ottimizzazione mediante prove dinamiche.



## **Prove di Push-out per le Travi Prefabbricate Reticolari Miste**

Un aspetto fondamentale del comportamento strutturale delle Travi PREM è il meccanismo di trasmissione degli sforzi tra acciaio e calcestruzzo, sia in condizioni di esercizio sia in condizioni ultime. Infatti, la crisi del collegamento costituisce uno S.L.U. per la Trave PREM, compromettendo l'efficacia del sistema ibrido acciaio-calcestruzzo; d'altra parte, elevati scorrimenti della connessione influenzano in modo rilevante il comportamento in esercizio dell'elemento strutturale. Sebbene in letteratura siano disponibili i risultati di alcuni lavori di ricerca condotti in tale ambito, non possono sicuramente essere ritenuti sufficienti per pervenire a conclusioni e modelli di validità generale, considerate le numerose variabili coinvolte e che influenzano il comportamento all'interfaccia acciaio-calcestruzzo, quali la morfologia del corrente inferiore e della sezione, la morfologia longitudinale del traliccio, i diametri, le proprietà dei materiali utilizzati, ecc.

Si evidenzia, inoltre, che non esiste ad oggi un test sperimentale standardizzato e, di conseguenza, la definizione della modalità di prova necessita essa stessa di ulteriori studi ed approfondimenti al fine di garantire l'affidabilità dei risultati e consentire la comparazione fra gli stessi, sebbene ottenuti in contesti diversi.

Sulla base di tali considerazioni, nell'ambito della ricerca coordinata dal Gruppo di Lavoro Assoprem, l'Università del Salento ha svolto in collaborazione con la ITO S.r.l. di Galatone (LE) una ricerca sperimentale focalizzata allo studio del meccanismo di trasmissione degli sforzi tra acciaio e calcestruzzo nelle travi miste tralicciate. A tal fine è stata utilizzata la prova Push-out, sulla base di quanto indicato dall'Eurocodice 4 per le strutture miste acciaio-calcestruzzo di tipo tradizionale; detta prova consente di analizzare il comportamento della connessione a taglio in termini di resistenza, scorrimento ultimo, andamento della curva carico-scorrimento, nonché di esaminare più in dettaglio il trasferimento degli sforzi tra acciaio e calcestruzzo mediante la valutazione dello stato deformativo.

Le prove sperimentali sono state effettuate su una tipologia di traliccio prodotta dalla Ditta ITO S.r.l. (Figura 1), costituita da un piatto di acciaio di spessore 6 mm, tipo S355, da un corrente superiore di acciaio B450C, di diametro pari a 18 mm, e da un'anima a doppia staffa. Per quanto riguarda l'anima si è scelto

di variare sia il diametro sia il tipo di acciaio; nello specifico sono stati utilizzati due tipi di acciaio, S355 e B450C, e diametri  $\varnothing 12$  e  $\varnothing 14$ . La saldatura dell'anima al piatto di acciaio è stata realizzata con cordoni d'angolo, aventi altezza di gola pari a 6 mm; nella Figura 2 si riporta la geometria dei campioni testati.



Figura 1- Tipologia di traliccio utilizzato.

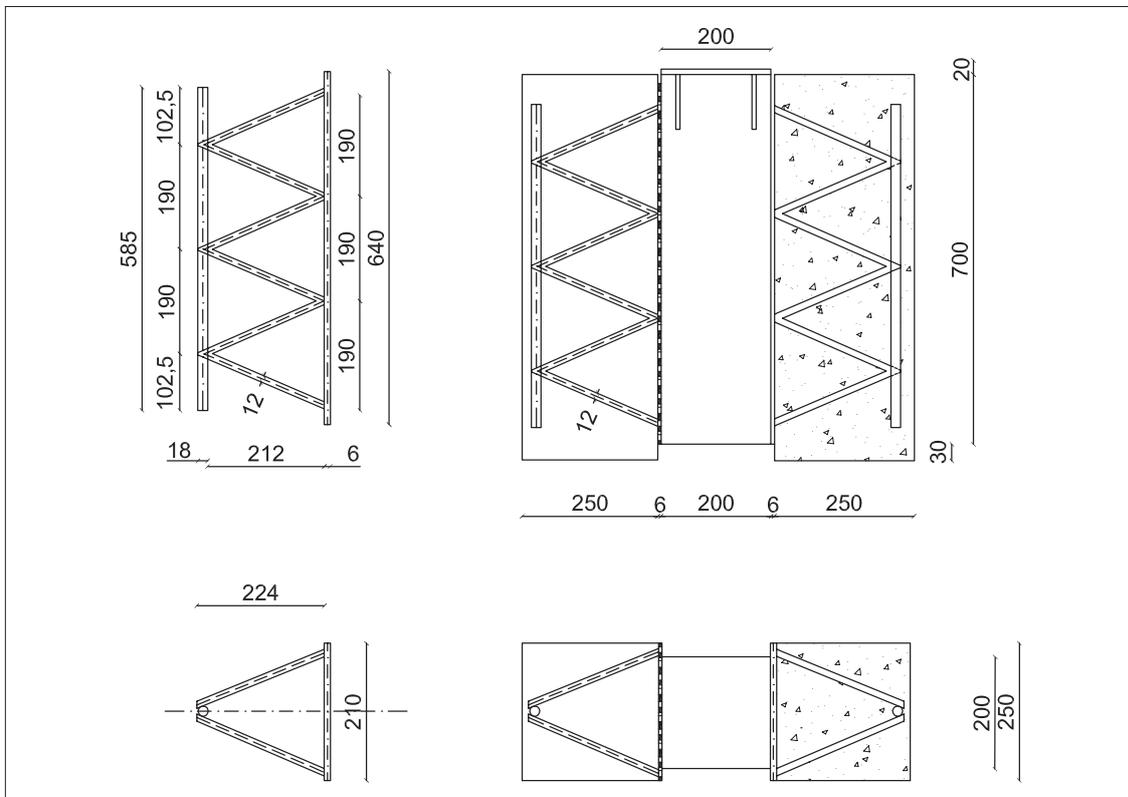
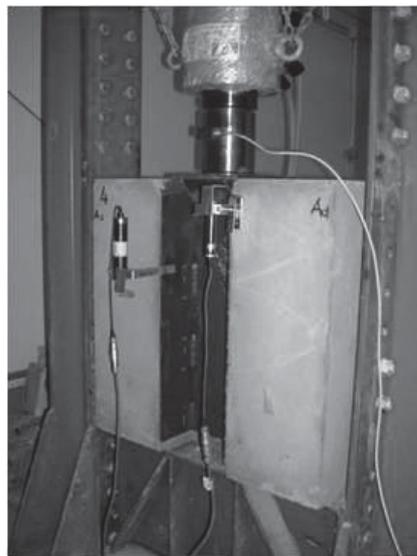


Figura 2 - Geometria dei campioni.

Globalmente sono stati realizzati nove campioni, di cui quattro (S14\_1, S14\_2, S14\_3, S14\_4) con diametro delle barre d'anima pari a 14 mm, in acciaio del tipo S355, due con anime di diametro pari a 12 mm ed acciaio B450C (B12\_1, B12\_2), due con anime di diametro pari a 12 mm ed acciaio S355 (S12\_1, S12\_2) ed uno con anime realizzate in acciaio del tipo B450C e diametro pari a 14 mm (B14\_1).

La preparazione dei campioni è avvenuta in due fasi successive; la resistenza a compressione del calcestruzzo, determinata su cubi di lato pari a 150 mm, è risultata in media pari a 41.5 MPa e 42.6 MPa nella prima e nella seconda fase, rispettivamente.

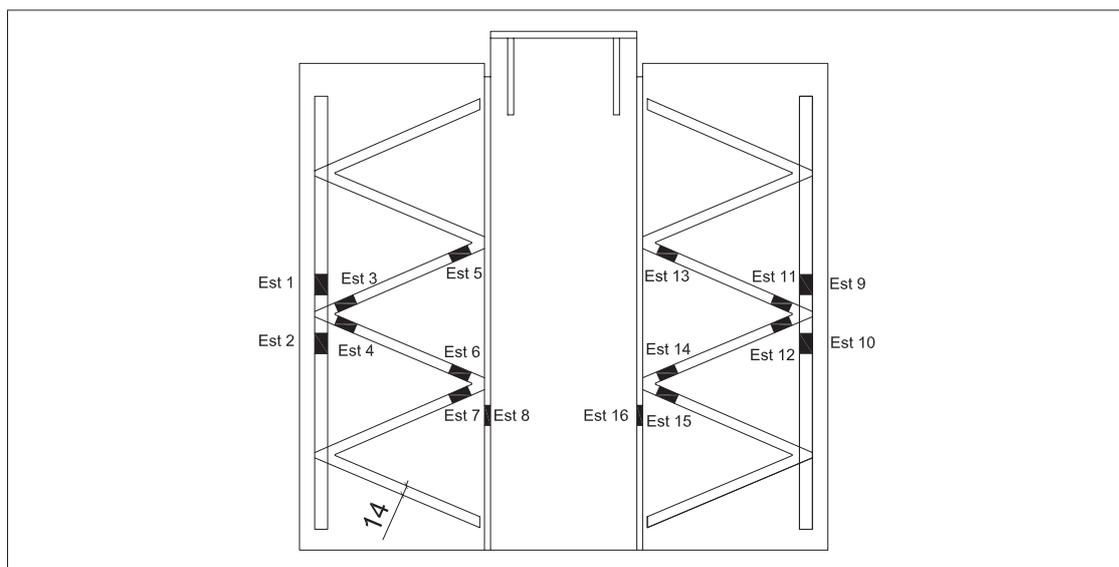
Per la realizzazione della prova il campione è stato inserito all'interno di un telaio di contrasto (Figura 3) e sottoposto ad un carico verticale, applicato sulla parte centrale (elemento metallico).



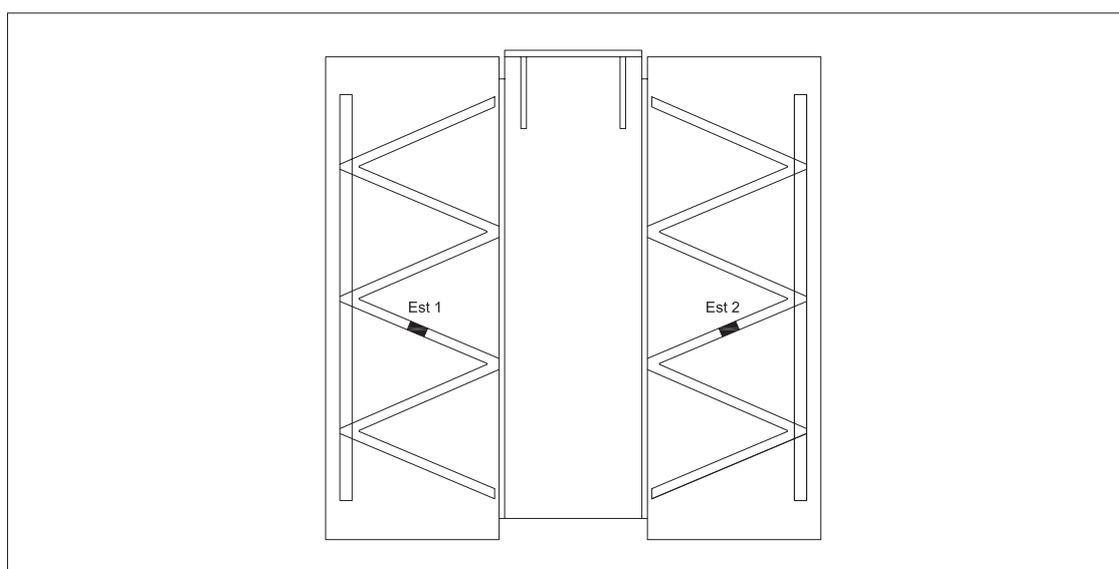
*Figura 3 – Setup di prova.*

Lo scorrimento relativo tra soletta in calcestruzzo e piatto metallico è stato misurato mediante trasduttori di spostamento, posti sia in prossimità della saldatura con le anime sia in prossimità della testa del provino. Inoltre, per rilevare le deformazioni nel piatto, nelle anime e nel corrente superiore sono stati applicati sul traliccio, prima del getto, estensimetri elettrici, secondo gli schemi riportati nelle Figure 4 e 5.

Le prove sono state condotte in controllo di carico; prima di portare il campione a rottura sono stati effettuati 25 cicli di pre-carico tra 0 e circa 400 [kN], pari a circa il 40% del carico massimo.



*Figura 4 - Posizione estensimetri elettrici - I Schema.*

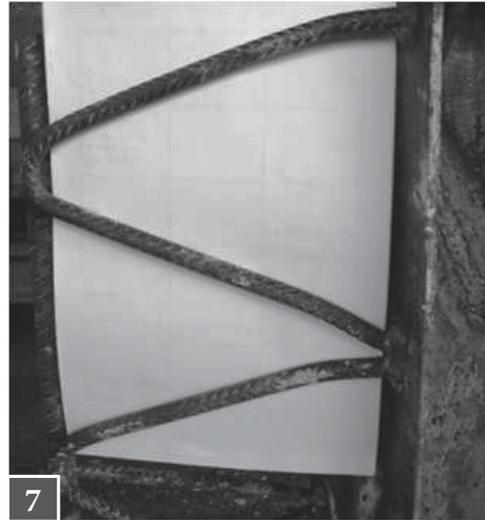


*Figura 5 - Posizione estensimetri elettrici - II Schema.*

Per tutti i campioni testati si è osservato un danneggiamento graduale del calcestruzzo, con fessurazione nella direzione trasversale e successivamente anche in quella longitudinale, senza mai verificarsi il completo distacco del piatto d'acciaio dall'elemento in calcestruzzo. Inoltre, l'analisi dei campioni dopo il test e preliminarmente svuotati del calcestruzzo, ha evidenziato la presenza di rilevanti deformazioni plastiche nel traliccio, soprattutto in prossimità delle saldature con il piatto d'anima (Figure 6 e 7).



*Figura 6– Campione dopo il test.*



*Figura 7– Deformazione del traliccio metallico dopo il test.*

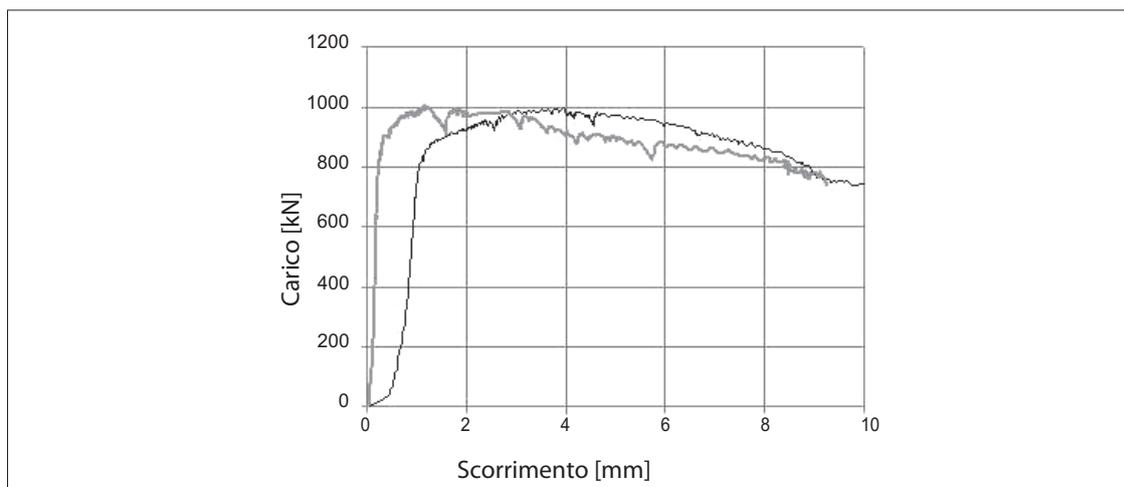
Solo in 2 casi la rottura è avvenuta con la crisi della saldatura, benché accompagnata anche in questo caso dalla fessurazione del calcestruzzo e dallo snervamento dell'acciaio.

Infine, per il solo campione B14\_1 si è registrata la rottura della barra d'anima; tale tipologia di crisi è probabilmente dovuta alla presenza di danneggiamenti locali (saldatura, piegamento).

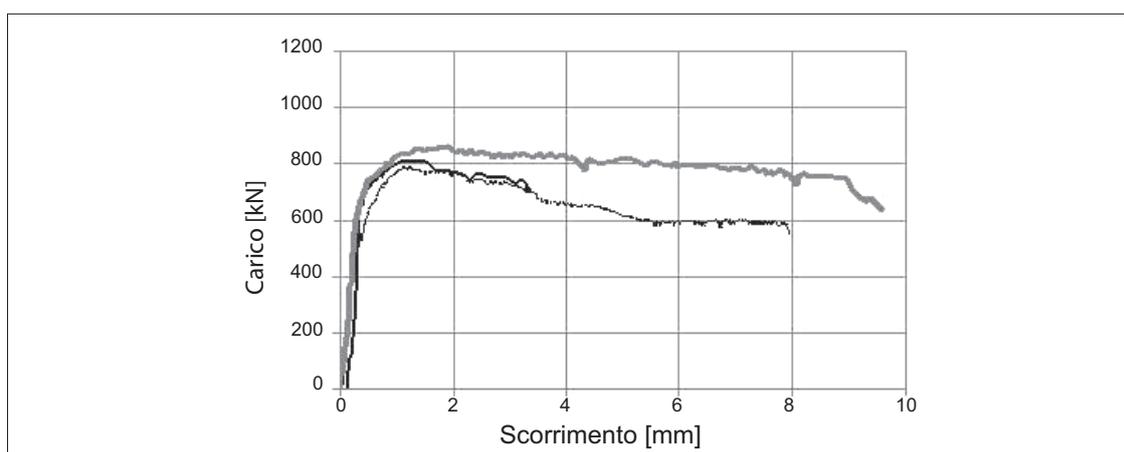
L'analisi dei risultati ottenuti ha consentito di rilevare l'influenza della tipologia di acciaio sui valori di resistenza della connessione; infatti, passando dall'acciaio liscio a quello ad aderenza migliorata si è registrato un aumento del carico pari a circa il 21%, nel caso di diametro  $\varnothing 12$ , e di circa il 39% nel caso di diametro  $\varnothing 14$ .

Il diametro sembra avere, invece, un'influenza limitata sul valore del carico massimo, almeno in relazione ai diametri utilizzati. D'altro canto il valore dello scorrimento al carico massimo sembra maggiormente influenzato dal diametro delle barre più che dalla tipologia di acciaio; infatti, le differenze di scorrimento in corrispondenza del carico massimo, passando dal diametro  $\varnothing 14$  al diametro  $\varnothing 12$ , risultano superiori del 50% e del 75% per l'acciaio liscio e nervato, rispettivamente.

Dall'analisi delle curve carico scorrimento, quali quelle riportate nelle Figure 8 e 9, si è rilevato come in tutti i casi la crisi dell'elemento sia stata preceduta da un significativo danneggiamento, connesso a scorrimenti elevati e ad un abbattimento del carico limitato o anche nullo.



*Figura 8 – Campioni B12.*



*Figura 9 – Campioni S\_14.*

Fa eccezione il campione con anime del traliccio di diametro pari a 14 mm, ad aderenza migliorata, che presenta un decadimento improvviso di capacità resistente nella fase post picco; ciò è giustificato dalla crisi prematura, causata dalla rottura di un'asta del traliccio, come già prima riportato.

Tipici andamenti delle deformazioni registrate nel corso della prova, al variare del carico applicato, sono riportati nelle Figure 10 e 11.

Come atteso, l'analisi dello stato deformativo evidenzia la presenza nel traliccio di aste tese e compresse. Nel caso di deformazioni rilevate secondo lo schema II (estensimetri disposti a metà della singola asta del traliccio) non si osservano variazioni di segno delle deformazioni al variare del carico. Con riferimento ai campioni strumentati secondo lo schema I si rilevano, invece, variazioni di segno delle deformazioni nell'ambito della singola asta del

traliccio, in particolare alle estremità. Ciò evidenzia la presenza di inflessioni nelle zone prossime al nodo; ne consegue la possibilità di rilevare deformazioni di trazione o compressione a seconda della posizione dell'estensimetro nella sezione dell'asta (in zona tesa o compressa).

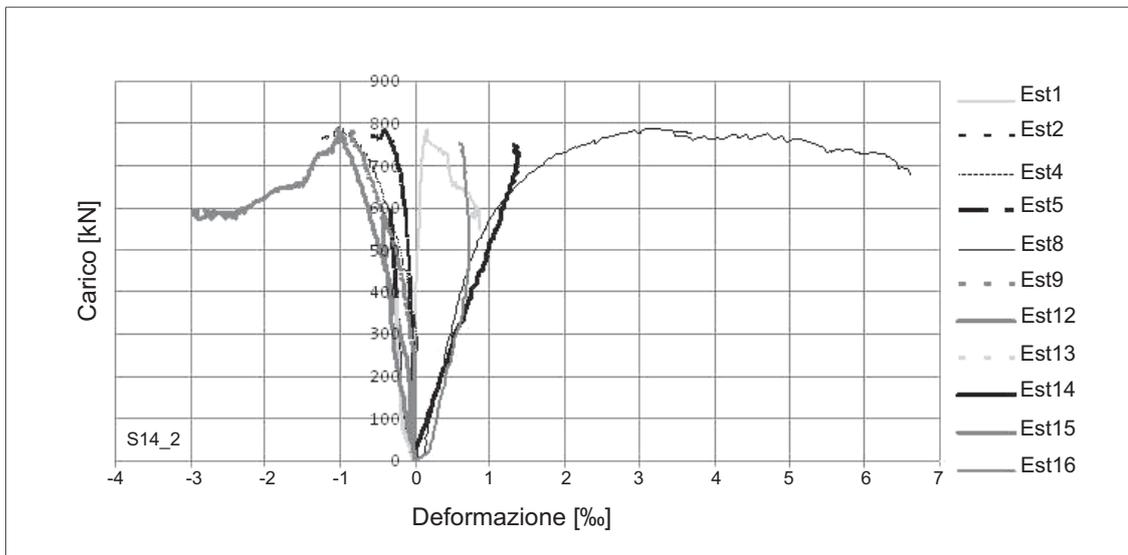


Figura 10 – Curve carico-deformazione. Campione S14\_2.

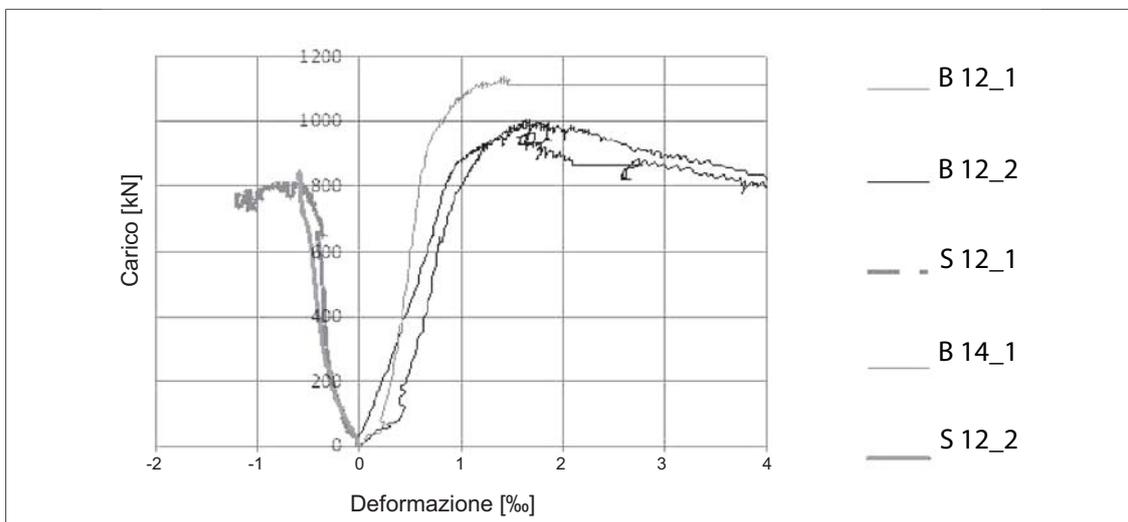


Figura 11 – Curve carico-deformazione. II Schema.

L'indagine sperimentale condotta, sebbene necessiti di ulteriori sviluppi ed approfondimenti, consente di effettuare alcune considerazioni sul comportamento della connessione fra traliccio in acciaio e calcestruzzo nelle Travi PREM:

- La prova di push-out, suggerita dall'EC4, per le strutture miste acciaio-calcestruzzo di tipo tradizionale, appare adeguata a caratterizzare il sistema di connessione in termini di rigidità, resistenza e duttilità, al fine di condurre le necessarie verifiche sia allo SLU sia allo SLE.
- Il verificarsi di crisi premature della connessione, per rottura del nodo o delle aste in acciaio, compromette l'efficacia del sistema strutturale. Pertanto, si evidenzia la necessità di controlli accurati in fase di produzione sia in relazione ai procedimenti di piegatura sia di saldatura. In assenza di rotture premature, la connessione ha evidenziato un comportamento generalmente duttile.

La tipologia di acciaio impiegato (liscio o nervato) ed il diametro delle aste diagonali influenza la risposta della connessione sia in termini di resistenza sia in termini di scorrimento. Il confronto con prove analoghe, condotte da altri ricercatori, evidenzia inoltre l'influenza della tipologia di calcestruzzo, soprattutto sulla duttilità della connessione, risultando il comportamento più fragile al diminuire della resistenza del calcestruzzo.

## gli Autori

**Maria Antonietta Aiello.** Professore Associato di Tecnica delle Costruzioni presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università del Salento (Lecce). I principali interessi di ricerca sono inerenti il comportamento strutturale di costruzioni in calcestruzzo armato e muratura, con particolare riferimento all'utilizzo di nuovi materiali e nuove tecnologie. Autrice o co-autrice di 155 pubblicazioni scientifiche, di cui 120 in campo internazionale. Membro del Gruppo di Lavoro 4.5 (Bond between Reinforcement and Concrete) del fib e del Gruppo di Lavoro RILEM MSC (Masonry Strengthening with Composite Materials).



**Antonia Nadia Cancelli.** Laureata in Ingegneria dei Materiali presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università degli Studi del Salento (Lecce), ha conseguito un Master in Metodi Innovativi per il ripristino di infrastrutture viarie, è tuttora Dottoranda presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Innovazione della Facoltà di Ingegneria dell'Università del Salento e collabora con l'Ufficio Tecnico della ITO srl.

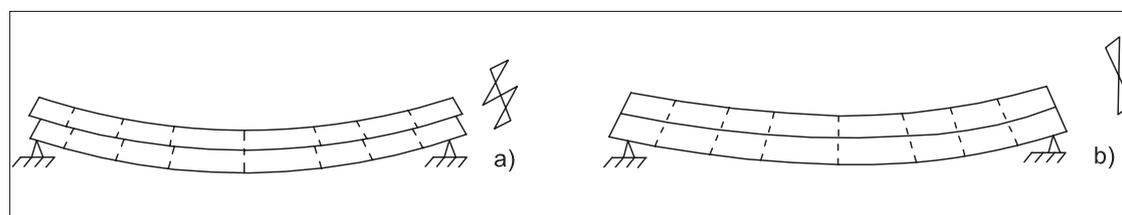


## La duttilità e la resistenza nelle connessioni delle Travi PREM

La Trave Prefabbricata Reticolare Mista (PREM) è costituita da una struttura reticolare d'acciaio inglobata in un getto di calcestruzzo in opera. Nel caso sia presente un fondello d'acciaio il trasferimento degli sforzi non può essere affidato alla sola aderenza fra piatto e calcestruzzo; infatti l'aderenza è efficace solo per modesti valori delle sollecitazioni e non è garantita nel caso in cui fondello e calcestruzzo tendano a separarsi, ciò a causa di fenomeni da ritiro o movimenti verticali indotti dai carichi. Occorre allora prevedere un idoneo sistema di trasferimento degli sforzi, che nelle Travi PREM viene realizzato tramite il traliccio reticolare adeguatamente saldato al fondello. Tale sistema avvicina dunque il comportamento delle Travi PREM alle più comuni travi miste acciaio-calcestruzzo, tradizionalmente costituite da putrelle metalliche connesse, tramite pioli, a solette di calcestruzzo.

Per apprezzare l'essenza del comportamento di una trave "composta" si consideri una trave costituita da due parti identiche (Figura 1).

In un caso le due parti si considerano separate (Figura 1a) e si possono dunque muovere liberamente l'una rispetto all'altra; nell'altro caso le due parti sono unite rigidamente (Figura 1b). Nel caso di Figura 1a avviene uno scorrimento longitudinale che risulta massimo all'estremità, nel caso di Figura 1b le sezioni rette rimangono piane sull'intera altezza anche dopo la deformazione della trave. Nell'ambito della teoria dell'elasticità, si può allora facilmente dimostrare che il caso di Figura 1b è quattro volte più rigido del caso di Figura 1a ed è anche due volte più resistente.

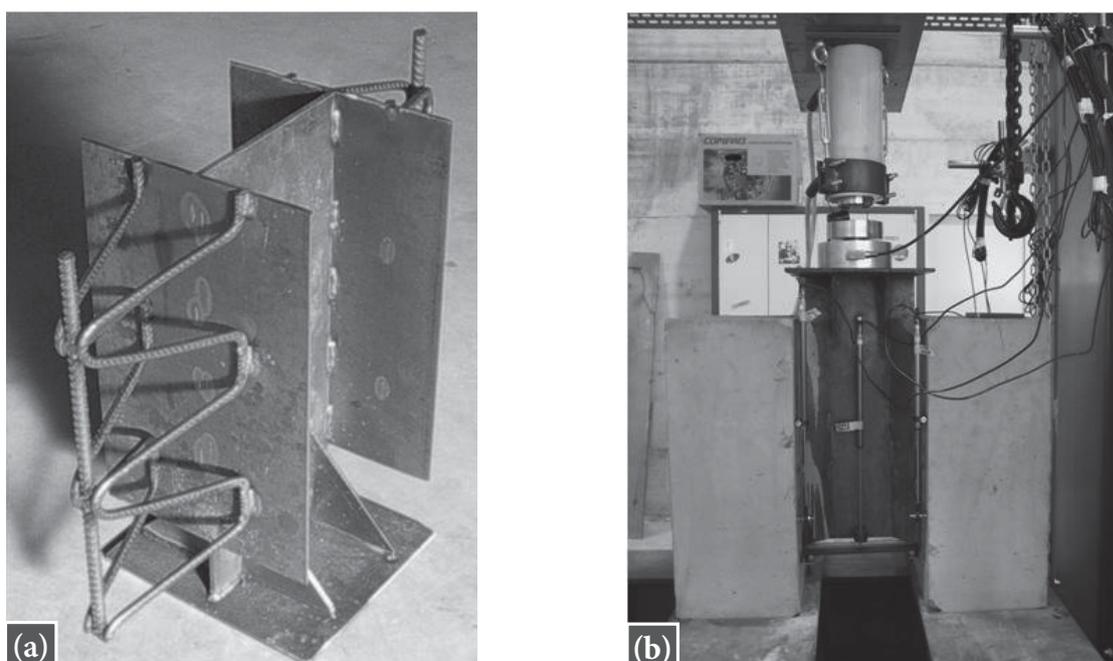


*Figura 1 – Trave composta da due parti identiche.*

Il comportamento effettivo di una Trave PREM sarà intermedio tra i due comportamenti appena descritti, non potendosi mai avere una connessione

perfettamente rigida tra fondello e calcestruzzo. In tal caso gli spostamenti che si possono realizzare all'estremità della trave dovranno essere minori dello spostamento massimo che le connessioni sono in grado di esplicare, ovvero le connessioni devono avere duttilità superiore a quella richiesta. Pertanto l'efficacia del sistema di trasferimento degli sforzi fra acciaio e calcestruzzo è affidato al sistema di connessione, che occorre caratterizzare in termini di resistenza, rigidezza e duttilità. A tal fine appare utile adottare la prova di scorrimento (detta di push-out nella letteratura anglosassone) suggerita dall'Eurocodice 4 per le strutture miste acciaio-calcestruzzo di tipo tradizionale. Con tale prova si è inoltre in grado di valutare se la rottura della connessione avviene nella saldatura o nel calcestruzzo.

Allo scopo di predisporre una prova di push-out, i piatti inferiori di due spezzoni di Trave PREM devono essere collegati mediante un piatto d'acciaio al fine di comporre una trave a forma di I (Figura 2a).

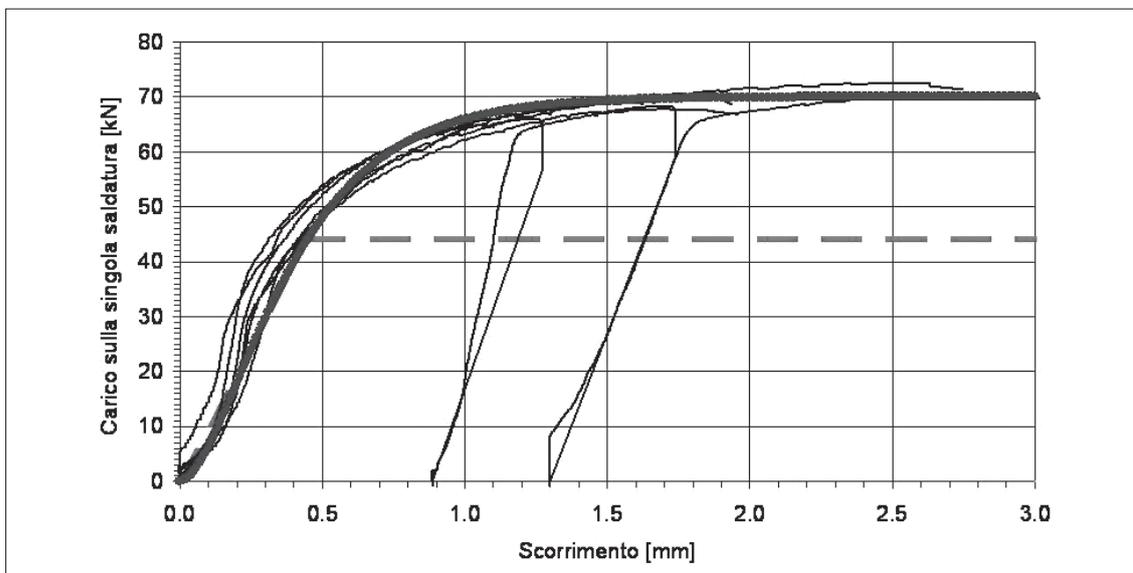


*Figura 2 – Provino per la prova di push-out prima e dopo il getto.*

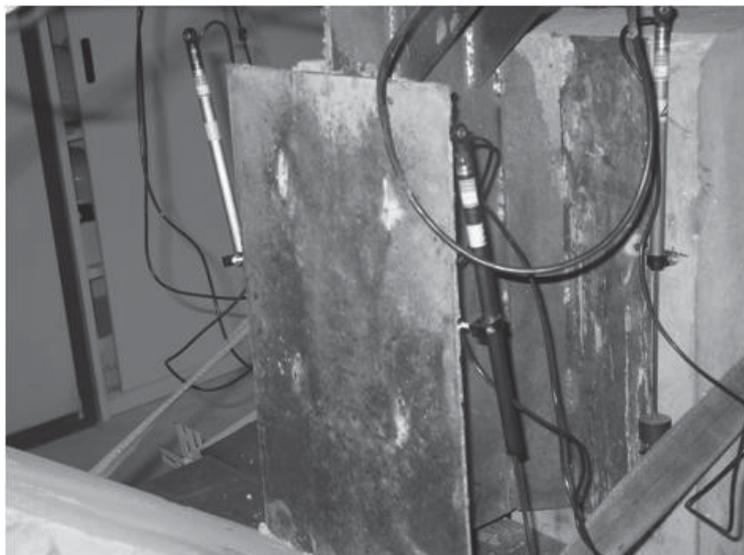
È opportuno rimuovere le mezze saldature inferiori per avere un numero preciso di saldature efficaci. I piatti della Trave PREM devono essere lubrificati prima del getto di calcestruzzo per ridurre l'aderenza all'interfaccia con il calcestruzzo. Con la configurazione proposta in Figura 2a il getto di calcestruzzo all'interno delle casseforme avviene in posizione verticale (Figura 2b). Tuttavia è preferibile gettare in posizione orizzontale i due spezzoni separati di Trave

PREM, per poi unirli successivamente con un piatto d'acciaio. I provini devono essere infine inseriti in un telaio di contrasto e sollecitati con un carico verticale posto al centro del provino (Figura 2b). La misura degli spostamenti relativi tra piatto d'acciaio e calcestruzzo consente la determinazione della curva carico-spostamento della connessione (Figura 3). Ulteriori dettagli su tale tipo di prova sono reperibili nella nota "Indagini sperimentali su travi miste acciaio-calcestruzzo con connessioni a traliccio" presentata dallo scrivente al 16° Congresso CTE di Parma nel 2006 (reperibile anche nel sito [www.buildup.it](http://www.buildup.it)).

Per i provini di Figura 2 la rottura è avvenuta repentinamente con separazione di un blocco di calcestruzzo dal piatto a causa dello strappo delle saldature fra piatto e barre (Figura 4). Tale circostanza, congiuntamente a misure di scorrimento non superiori a 3 mm (come evidenziato nei diagrammi di Figura 3), classifica la connessione a taglio come non duttile. A questo proposito si richiama il punto 6.6.1.1(5) dell'Eurocodice 4, nel quale si afferma che un collegamento è classificato duttile se presenta uno spostamento caratteristico maggiore di 6 mm. Si intende tuttavia osservare che la fragilità del collegamento non pregiudica necessariamente la duttilità dell'elemento strutturale. Infatti nelle travi sufficientemente snelle i collegamenti rimangono in campo elastico fino al raggiungimento del momento ultimo, viceversa un collegamento con spostamento caratteristico di 6 mm non garantisce necessariamente la duttilità dell'insieme strutturale.



**Figura 3** – Diagrammi carico - scorrimento sperimentali (linee sottili), legame teorico approssimato con la legge di Ollgaard (curva in grassetto) e diagramma di progetto (linea tratteggiata).

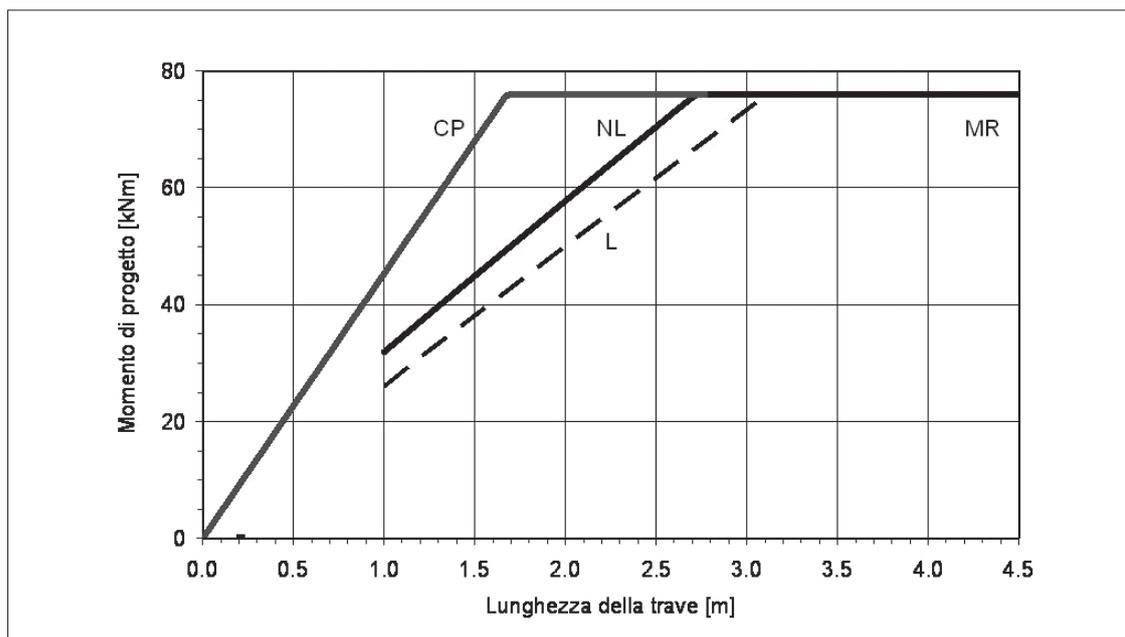


*Figura 4 – Provino al termine della prova di push-out.*

Ad esempio in una trave appoggiata soggetta a carico uniforme il momento è massimo in campata mentre lo scorrimento è nullo in campata e massimo sugli appoggi.

In travi snelle il carico potrà aumentare fino al raggiungimento del momento ultimo in campata fintantoché lo scorrimento della connessione all'estremità della trave non raggiunge il suo valore ultimo. Viceversa in travi tozze la prematura rottura della connessione sugli appoggi non consentirà il raggiungimento del momento ultimo in campata. Pertanto l'occorrenza di una delle due rotture appena descritte non dipende solo dal valore che lo scorrimento della connessione può assumere, ma anche dalla lunghezza della trave. Per tali motivi la limitazione dello spostamento caratteristico a 6 mm appare ingiustificato in assenza di ulteriori considerazioni di carattere strutturale. Ciononostante, al fine di scongiurare eventuali rotture fragili, è utile valutare con attenzione le situazioni nelle quali lo scorrimento richiesto può superare quello disponibile.

Nell'ambito di una ricerca finanziata da Assoprem è stato analizzato lo scorrimento richiesto dalle connessioni di Travi PREM in campo lineare e non lineare. Maggiori dettagli analitici sono riportati nella nota "Indagini sperimentali su travi miste acciaio-calcestruzzo con connessioni a traliccio" presentata dallo scrivente al 17° Congresso CTE di Roma nel 2008. Preliminarmente è stato però essenziale caratterizzare, tramite prove di push-out, il particolare sistema di connessione impiegato, al fine di disporre di un diagramma carico-spostamento come quello riportato in Figura 3.



**Figura 5** – Andamento del momento di progetto al variare della luce della trave. Confronto tra analisi non lineare (NL), modello lineare con rigidità fessurate (L) ed ipotesi di connessioni completamente plasticizzate (CP).

Le prove di push-out su diverse tipologie di connessioni sono riportate nella nota “Prove sperimentali di push-out su travi reticolari miste” presentata dallo scrivente, in collaborazione con le Proff. Aiello e La Mendola, al 25° Convegno Nazionale ‘Giornate AICAP 2009’ tenutosi a Pisa.

L’analisi è stata quindi applicata a tre tipologie di Travi PREM disponibili in commercio e ha permesso di costruire diagrammi di interazione (Figura 5) in cui si distinguono, in termini di momento resistente, le zone corrispondenti ad un collasso per flessione (MR in Figura 5) ed alla rottura delle connessioni (NL in Figura 5).

In particolare, quando la rottura avviene per raggiungimento, agli appoggi, dello scorrimento ultimo del sistema di connessione, il momento resistente presenta un limite superiore corrispondente al caso di connessioni duttili completamente plasticizzate (CP in Figura 5) e un limite inferiore corrispondente al caso di connessioni elasto-fragili fino allo snervamento (L in Figura 5).

Per le travi esaminate il comportamento appare sostanzialmente prossimo alla curva limite inferiore, che può essere ben approssimata a partire dalla soluzione analitica del problema elastico in cui si introducano coefficienti di rigidità assiale e flessionale del conglomerato opportunamente ridotti per tenere conto della fessurazione.

## **l'Autore**

*Nerio Tullini. Docente di "Tecnica delle Costruzioni" presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università di Ferrara. Autore di oltre 60 memorie scientifiche pubblicate su riviste e su atti di convegni nazionali e internazionali, ha sviluppato la propria attività di ricerca nell'ambito della meccanica delle strutture, con particolare attenzione all'analisi di strutture costituite da materiali innovativi ed all'interpretazione di prove sperimentali mediante appropriati modelli numerici.*



## **La resistenza a taglio delle Travi Prefabbricate Reticolari Miste: stato dell'arte e prospettive della ricerca Assoprem**

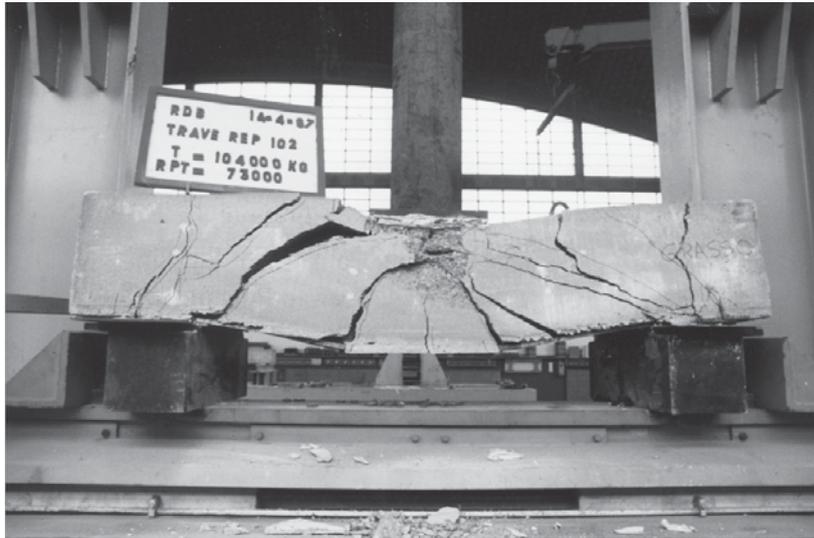
Tra le problematiche strutturali più interessanti e bisognose di approfondita ricerca scientifica, all'interno delle diverse tipologie afferenti alla classificazione di "Travi Prefabbricate Reticolari Miste", spicca senza dubbio il taglio.

Le tematiche legate al taglio sono critiche e con peculiarità tali da far associare tali travi non tanto ad una variante delle strutture in cemento armato, ma piuttosto a travi composte sui generis.

Con riferimento alla letteratura classica per le strutture in calcestruzzo armato, la resistenza a taglio di una trave reticolare mista, ovviamente intesa nelle sue condizioni di esercizio (dopo il completamento del getto, ovvero in fase 2) viene garantita da alcuni meccanismi riferiti al calcestruzzo, quali la resistenza della parte compressa di sezione, l'ingranamento degli inerti e l'effetto spinotto. La resistenza del calcestruzzo risulta significativa e determinante in assenza o presenza di bassa percentuale di armatura trasversale, mentre diviene meno rilevante in zone fortemente armate a taglio.

È evidente pertanto che in presenza di strutture fortemente armate a taglio, che nel caso specifico delle travi reticolari miste significa con un traliccio d'anima significativo (il che avviene nella maggior parte dei casi in presenza di autoportanza in fase 1), i problemi legati alla resistenza a taglio non sono da individuare a partire dai meccanismi legati alla resistenza del calcestruzzo per taglio-trazione (quelli di cui sopra). In tali situazioni, diventa critico il problema del comportamento a taglio-compressione: l'elemento debole del traliccio resistente viene ad essere il puntone compresso, soprattutto se non associato ad alcun elemento metallico del traliccio (ovvero nella morfologia di puntone verticale). Questa è una peculiarità delle travi reticolari miste, soprattutto con forte autoportanza, per le quali il collasso a taglio è spesso legato al collasso del puntone compresso.

Alcune prove a taglio [1] hanno evidenziato come i meccanismi di resistenza a taglio delle travi reticolari miste (Figura 1 e Figura 4) siano significativamente differenti da quelli di analoghe travi in calcestruzzo armato: in particolare la resistenza risulta essere mediamente superiore nelle travi reticolari, usando gli stessi modelli analitici del c.a., e molto differenziata in funzione della morfologia di anima prescelta (puntone verticali od obliqui).



*Figura 1 – Collasso per taglio di una trave reticolare mista [1].*

Indubbiamente il ruolo del traliccio (struttura dotata di una significativa rigidità propria) così come del piattello (soprattutto se in acciaio, al fine della dowel action, ovvero dell'effetto spinotto), contribuiscono a conferire una extra-resistenza a taglio (con riferimento particolare al contributo del calcestruzzo) rispetto ai modelli classici per le strutture in c.a., fondati sul concetto di perfetta aderenza tra acciaio e calcestruzzo e su di un conseguente comportamento a pettine della struttura. Il fondello in acciaio risulta infatti essere una sorta di armatura continua su tutta la larghezza alla base dell'elemento che conferisce un notevole confinamento al calcestruzzo sovrastante che, rispetto ad un comune elemento in calcestruzzo armato, trova una notevole resistenza alla propria espulsione.

Un altro aspetto significativo è quello dell'aderenza. Spesso, nelle Travi PREM, non vengono utilizzate barre nervate, per le difficoltà legate alla realizzazione di saldature, che risultano al contrario più agevoli per acciai da carpenteria e spezzoni lisci. L'aderenza ha un ruolo pertanto marginale nelle Travi Prefabbricate Reticolari Miste: il trasferimento degli sforzi è di fatto affidato meccanicamente al traliccio. Questo fatto comporta che il quadro fessurativo sia differente, caratterizzato da fessure in generale più distanziate e posizionate in corrispondenza degli elementi del traliccio.

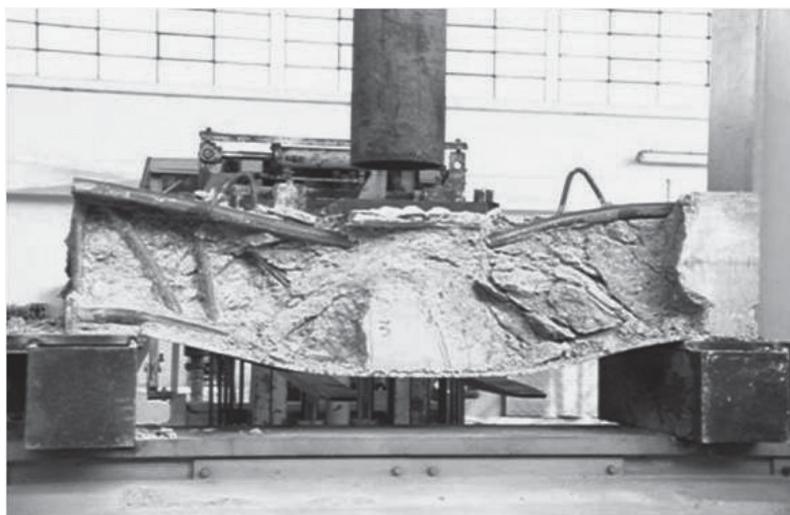
L'assenza di aderenza comporta, inoltre, un contributo non trascurabile dell'effetto arco. Tale effetto consente il trasferimento degli sforzi attraverso la formazione di un arco naturale che si instaura all'interno della trave, le cui spinte orizzontali vengono opportunamente presidiate dall'armatura inferiore tesa che, non essendo nervata, funge da catena con tiro costante. Un tale

meccanismo, fondato sulla variazione del braccio della coppia interna lungo l'asse della trave (mantenendo costante il tiro dell'armatura) si può verificare, nell'ambito delle strutture ordinarie in calcestruzzo armato, solamente per fessurazione a taglio molto avanzate e in corrispondenza di zone in cui è avvenuto scorrimento per aderenza.

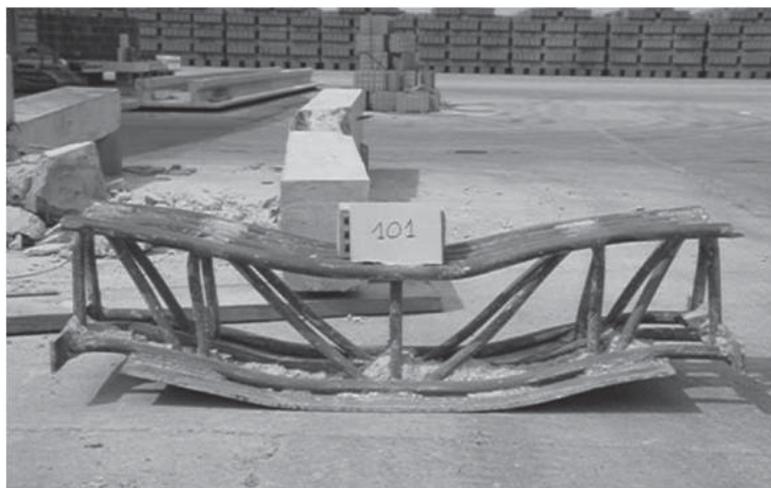
Nelle travi reticolari miste, invece, il comportamento ad arco è peculiare e, per questo, determina un ulteriore acuirsi del rischio di rottura per compressione del puntone in cui si trasferiscono gli sforzi (Figura 1).



**Figura 2** – Tipica fessurazione a taglio di una trave reticolare mista: distacco del fondello e fessurazione inclinata [1].



**Figura 3** – Termine della prova. Si noti l'assenza di spalling di calcestruzzo alle fibre inferiori, grazie alla presenza del fondello in acciaio [1].



**Figura 4** – Traliccio metallico di trave testata a taglio e opportunamente ripulito dal calcestruzzo [1].

La resistenza a taglio è pertanto un ambito in cui la ricerca Assoprem ha già impegnato, nel corso degli ultimi anni, forze e mezzi per una valorizzazione dell'argomento ed una conseguente conoscenza approfondita dei meccanismi resistenti a taglio e delle modalità di trasferimento degli sforzi tra traliccio e calcestruzzo.

La ricerca, finanziata da Assoprem, ha coinvolto l'Unità di Ricerca dell'Università di Bergamo, il cui responsabile è il Prof. Paolo Riva, Professore Ordinario presso il Dipartimento di Progettazione e Tecnologie, coadiuvato dall'Ing. F. Minelli afferente al Dipartimento di Ingegneria Civile, Architettura, Territorio e Ambiente dell'Università di Brescia.

Inizialmente è stata approfondita una ricerca sullo stato dell'arte con particolare attenzione alle prove sperimentali disponibili in letteratura. I risultati sono stati esaminati sia analiticamente sia numericamente al fine di definire ed ottimizzare la fase sperimentale.

Tra le numerose prove sperimentali su travi reticolari miste, ve ne sono in realtà poche che abbiano caratterizzato in maniera specifica ed approfondita il collasso per taglio.

Si è pensato di modellare numericamente, attraverso un software ad elementi finiti (Diana 9.1), alcune delle prove a taglio su travi reticolari miste, svolte nel 1987 dal "Consorzio produttori travi Rep". Tali prove ben caratterizzano il comportamento a taglio delle travi reticolari miste, mettendo in evidenza i relativi meccanismi di rottura per taglio.

È stata quindi eseguita la modellazione numerica di una serie di 6 prove sperimentali su travi. La principale variabile indagata è stata la tipologia di tra-

liccio, obliqua o verticale. Dalle analisi è emerso come le travi reticolari miste non possano essere accomunate a delle travi in c.a.; possono invece essere considerate come strutture ibride aventi specifici meccanismi di rottura per taglio, che le differenziano dalle normali tipologie di travi in cemento armato. Basti infatti pensare al fatto che nel corrente inferiore vi è la presenza di un piatto d'acciaio di  $50 \times 1.2$  cm il quale conferisce un'extra resistenza a taglio alla trave incrementando enormemente l'effetto spinotto.

All'aumentare del diametro del traliccio aumenta la capacità portante della trave. Tale incremento tuttavia non è proporzionale all'aumento di area del traliccio, come atteso, visto che la rottura si è sempre verificata lato calcestruzzo compresso (meccanismo taglio-compressione).

Si è riscontrata la formazione di regioni fessurate nel calcestruzzo, concentrate attorno ai nodi del traliccio d'acciaio. Questo è legato al fatto che sussistono elevate concentrazioni di sforzo nei nodi del traliccio, poiché essi devono garantire il trasferimento degli sforzi fra acciaio e calcestruzzo. Nella realtà questa trasmissione di sforzi deve essere garantita dalle saldature.

Nelle analisi numeriche, così come in quelle sperimentali, si è sempre riscontrato un collasso a taglio con la formazione di un meccanismo ad arco il quale risulta più accentuato all'aumentare del diametro delle armature d'anima. La formazione di un meccanismo ad arco è dovuta alla mancanza di aderenza fra acciaio e calcestruzzo legata all'uso di barre lisce.

Per approfondire ulteriormente le problematiche relative al taglio nelle travi reticolari miste, risulta necessario eseguire ulteriori prove sia numeriche che di laboratorio, andando a considerare altre tipologie di traliccio aventi geometrie e diametri differenti rispetto a quelli trattati nel lavoro di ricerca finora svolto.

A tal fine, sarebbe significativo eseguire prove sperimentali e numeriche con il traliccio già sollecitato, in accordo al comportamento reale (a seconda dell'autoportanza in fase 1).

Tra gli scopi preminenti di tale ricerca, il cui finanziamento è stato già deliberato da Assoprem, è necessario valutare l'affidabilità dei modelli analitici a tutt'oggi disponibili per la verifica di resistenza di queste strutture, con particolare riferimento al contributo di resistenza al taglio del calcestruzzo e al modello a traliccio variabile per le sezioni armate a taglio. Se ne devono valutare le concordanze e le discordanze rispetto alla specificità della tipologia strutturale considerata. Particolare attenzione, per quanto riguarda il contributo del calcestruzzo, deve essere data all'influenza della percentuale di armatura longitudinale (spesso ben superiore a quella di travi classiche in c.a.), della resistenza del calcestruzzo, della resistenza a spinotto offerta dall'eventuale presenza di fondello in acciaio, della dimensione dell'elemento e, infine, dell'effetto arco.

Per quanto concerne il contributo dell'armatura, andrebbe studiato l'effetto della spaziatura degli elementi costituenti il traliccio e dell'inclinazione delle fessurazioni a taglio in rapporto al passo del traliccio.

Opportune modifiche alle formulazioni attuali che tengano in conto delle specificità delle travi reticolari miste, con la corrispondente valutazione del grado di sicurezza misurato rispetto alle prove sperimentali, andrebbero infine proposte.

## Bibliografia

[1] AA. VV. Prove a flessione ed a taglio effettuate nell'ambito del Consorzio Produttori Travi Rep nel laboratorio della RDB a Pontenure (1987 e 1990); disponibili c/o CSP Prefabbricati.

## gli Autori

**Paolo Riva.** *Professore Ordinario di Tecnica delle Costruzioni di Ingegneria dell'Università degli Studi di Bergamo, della quale ricopre la carica di Preside di Facoltà, ed è titolare dei corsi di Progetti di strutture in c.a. e c.a.p. e di Costruzioni in Zona Sismica. I principali temi di ricerca riguardano: analisi non lineare delle strutture in c.a.; studio del comportamento delle strutture in c.a. sotto azioni sismiche, con particolare riferimento allo studio del comportamento delle pareti strutturali; studio delle connessioni per strutture prefabbricate in zona sismica, analisi delle strutture in c.a. soggette a incendio.*



**Fausto Minelli.** *Laureato nel marzo 2001, ha conseguito il dottorato di Ricerca in Ingegneria Strutturale nel febbraio 2005, entrambi presso l'Università degli Studi di Brescia. Nel 2003 ha trascorso un anno di studio presso la University of Toronto, Canada. Dopo oltre due anni in qualità di assegnista di ricerca, dal settembre 2007 è ricercatore di Tecnica delle Costruzioni presso il Dipartimento di Ingegneria Civile, Architettura, Territorio e Ambiente dell'Università degli Studi di Brescia.*



## Comportamento flessionale delle Travi PREM senza fondello

Le numerose tipologie ricadenti nella categoria delle Travi Prefabbricate Reticolari Miste (PREM) possono essere ricondotte all'interno di tre gruppi: le Travi con fondello in calcestruzzo, le Travi con piatto inferiore in acciaio e le Travi senza fondello. A quest'ultimo gruppo appartengono le Travi realizzate con tralicci piani singoli o multipli collegati in modo discontinuo in corrispondenza dei correnti superiore ed inferiore (Figura 1). Le Travi PREM senza fondello non sono autoportanti e costituiscono una soluzione tecnologica intermedia tra le classiche travi in c.a. e le PREM con fondello.



*Figura 1 – Trave PREM con tralicci piani multipli.*

Allo stato attuale le Travi PREM senza fondello vengono analizzate considerandole come vere e proprie travi in c.a.; questa soluzione appare tuttavia limitativa e non consente di cogliere gli effetti favorevoli ai fini strutturali legati al comportamento all'interfaccia tra il traliccio di collegamento ed il calcestruzzo. A tal fine nell'ambito della ricerca coordinata dal Gruppo di Lavoro Assoprem, il Gruppo di Ricerca dell'Università della Calabria in collaborazione con la Tubisider s.p.a. di Cosenza ha svolto una ricerca sul comportamento flessionale di Travi PREM senza fondello con lo scopo di definirne le capacità resistenti, la deformabilità e la fessurazione al variare dei principali parametri coinvolti.

Obiettivi della ricerca sono stati:

- a. L'analisi dell'influenza del tipo di traliccio di collegamento (forma, dimensioni geometriche, aderenza barre-calcestruzzo).
- b. L'analisi dell'influenza della percentuale meccanica di armatura longitudinale.

L'attività di ricerca è stata sviluppata attraverso:

- i) una fase sperimentale con prove di flessione su Travi PREM con traliccio piano multiplo al variare:
  - del tipo di traliccio di collegamento (passo, inclinazione delle aste rispetto all'asse della Trave, diametro delle barre utilizzate, caratteristiche meccaniche dell'acciaio);
  - della percentuale geometrica di armatura longitudinale tesa;
  - del rapporto tra area di armatura longitudinale tesa e compressa;
  - della resistenza meccanica del calcestruzzo;
- ii) una fase di analisi strutturale basata sull'estensione allo studio delle Travi PREM degli usuali modelli adoperati per il calcolo delle grandezze che caratterizzano sia lo stato limite ultimo (momento ultimo) sia lo stato limite di esercizio (frecche, ampiezza delle fessure) nelle travi inflesse in c.a. basati sul meccanismo di trasferimento degli sforzi tra armature e calcestruzzo per aderenza al fine di verificare, attraverso il confronto con i risultati della sperimentazione, la loro efficacia per l'analisi delle Travi PREM.

## Analisi sperimentale

L'attività sperimentale è stata condotta in una prima fase mediante l'esecuzione di prove di flessione fino a rottura di Travi PREM senza fondello e di travi in calcestruzzo armate con la stessa armatura longitudinale utilizzata per la formazione dei correnti delle Travi PREM.

Le prove sono state eseguite presso il Laboratorio Prove Materiali e Strutture del Dipartimento di Strutture dell'Università della Calabria.

Le Travi PREM sono costituite da due tralici piani verticali senza fondello, realizzati con barre di acciaio B450C, collegati con spezzoni orizzontali d'armatura in corrispondenza dei correnti inferiore e superiore (Travi con traliccio piano multiplo).

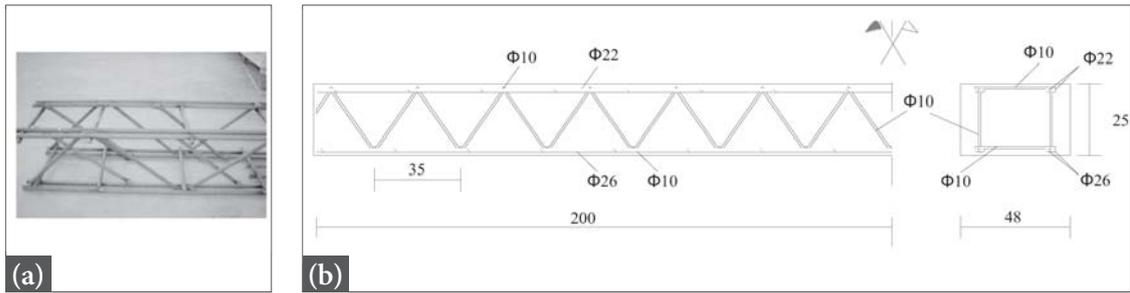


Figura 1a e 1b – Schema delle Travi PREM senza fondello inferiore (Foto + disegno).

La sperimentazione è stata condotta al variare:

- della percentuale geometrica di armatura longitudinale,  $\rho$ ;
- del rapporto armatura longitudinale compressa/armatura tesa,  $u$ ;
- della resistenza meccanica del calcestruzzo compresso,  $f_{cm}$ ;
- della resistenza meccanica dell'acciaio,  $f_{sym}$ .

I valori delle suddette grandezze sono riportate nella Tabella 1.

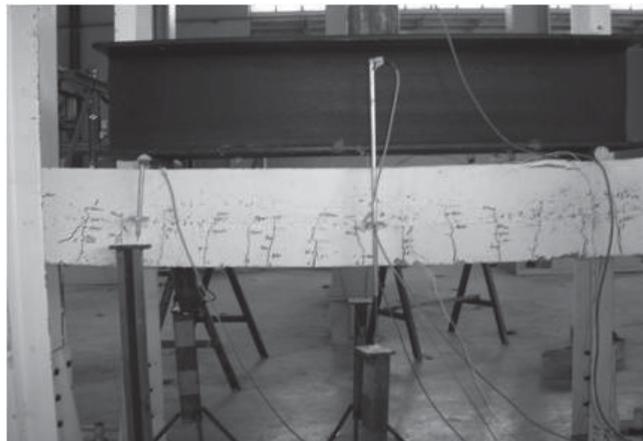
Sigla Trave	Armatura tesa ( $A_s$ )	Armatura compressa ( $A'_s$ )	$\rho = A_s / BH$ (%)	$u = A'_s / A_s$	B (mm)	H (mm)	$f_{cm}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$f_{sym}$ (N/mm <sup>2</sup> )
T1, T2, T3, T4	4 $\phi$ 12	4 $\phi$ 12	0,452	1,000	480	250	20,87	524,14
T5, T7 (c.a.)	4 $\phi$ 12	4 $\phi$ 12	0,452	1,000	480	250	23,80	528,56
T6, T8	4 $\phi$ 12	4 $\phi$ 12	0,452	1,000	480	250	19,75	528,56
TT1, TT2	4 $\phi$ 26	4 $\phi$ 22	1,700	0,716	480	250	19,81	594,72
TC3, TC4 (c.a.)	4 $\phi$ 26	4 $\phi$ 22	1,700	0,716	480	250	19,81	594,72
TT3	4 $\phi$ 22	4 $\phi$ 16	1,220	0,530	480	250	35,53	532,56
TT4	4 $\phi$ 26	4 $\phi$ 32	2,570	0,660	480	250	35,53	473,80

Tabella 1 – Dati geometrici e meccanici delle Travi sperimentate.

Le Travi T5, T7, TC3 e TC4 sono state realizzate come travi in c.a. aventi la stessa armatura longitudinale (sia in trazione che in compressione) delle Travi PREM; la loro sperimentazione ha consentito di porre a confronto le prestazioni delle Travi PREM con quelle delle travi in c.a..

Le anime dei due tralicci costituenti le Travi PREM sono state realizzate con tondi in acciaio B450C inclinati a V rovescia, saldati ad entrambi i correnti, con passo 35 cm; il diametro dei tondi è stato di 8 mm per le Travi T1-T8 e di 10 mm per le altre travi.

Lo schema di carico utilizzato nelle prove è quello di flessione su quattro punti con distanza tra i punti di carico e gli appoggi laterali pari a 120 cm. Le Travi sono state strumentate con strain gauges incollati sia sulle armature longitudinali e trasversali prima del getto di calcestruzzo, sia sulla superficie esterna del calcestruzzo compresso. Gli abbassamenti in mezzeria ed in corrispondenza dei punti di carico sono stati misurati con trasduttori LVDT. Le misurazioni sono state acquisite mediante centralina elettronica.

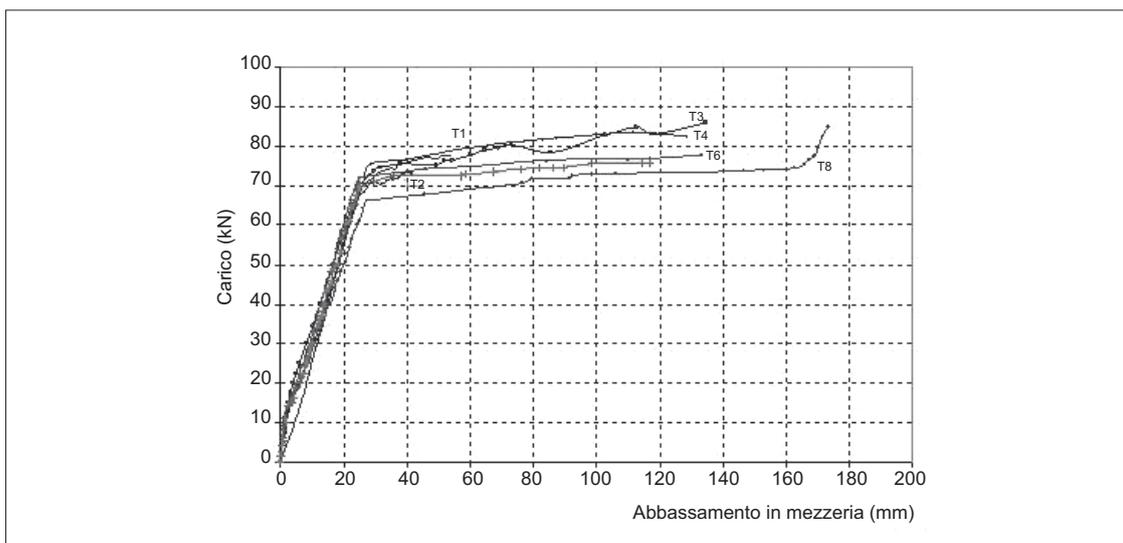


*Figura 2 – Fasi della sperimentazione.*

## Risultati sperimentali

Alcuni dei risultati più significativi ottenuti dalla sperimentazione sono descritti nel seguito. La Figura 3 riporta il confronto tra le curve carico-spostamento in mezzeria delle Travi PREM (T1,T2,T3,T4, T6 e T8) e delle travi in c.a. (T5,T7) caratterizzate da un basso valore della percentuale meccanica di armatura longitudinale tesa (0.452%); il confronto consente di evidenziare le differenti prestazioni delle due tipologie esaminate.

Come si può facilmente rilevare il comportamento delle Travi PREM è pressoché identico a quello delle travi in c.a.; i valori dei carichi di rottura sono poco diversi tra di loro; le modeste differenze rilevate sono da attribuire alla variazione della resistenza meccanica del calcestruzzo e dell'acciaio. Le Travi T3 e T4 hanno mostrato la capacità resistente più elevata ed un incremento di carico di rottura di circa il 10% rispetto al valore ottenuto per le travi in c.a.. Le Travi T1 e T2 hanno raggiunto il collasso con la stessa modalità di rottura delle travi in c.a. ed allo stesso valore del carico (incremento di circa il 2.3 % per la T1 mentre la T2 ha raggiunto il collasso sotto un carico inferiore del 3.5% del carico di rottura della T5).

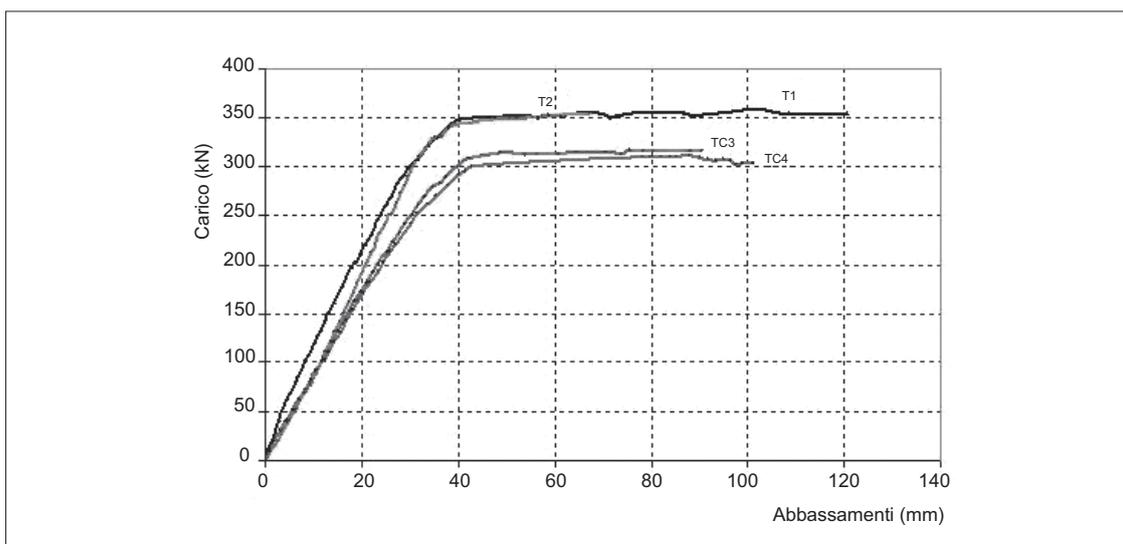


**Figura 3** – Diagrammi carico abbassamenti ( $\rho=0.452\%$ ).

Le Travi T5 e T6 sono state confezionate con lo stesso calcestruzzo e lo stesso tipo di acciaio; la differenza tra i carichi di rottura sperimentali delle due Travi è praticamente trascurabile (differenza di circa il 2%).

Sia quest'ultimo risultato che quelli precedentemente analizzati, evidenziano che la configurazione dell'anima reticolare dei due tralicci laterali ha poca influenza sul comportamento flessionale della tipologia di Trave PREM esaminata.

Il comportamento sperimentale delle Travi TT1, TT2, TC3 e TC4 è descritto dai diagrammi carico-abbassamento in mezzeria riportato nella Figura 4.



**Figura 4** – Diagramma carico-abbassamento ( $\rho=1.70\%$ ).

Analizzando i grafici riportati nella figura appare evidente che le due coppie di travi in cui la percentuale di armatura tesa è elevata (1.70%) presentano un diverso comportamento. Le due Travi PREM sono, infatti, più rigide delle travi in c.a. (la pendenza delle curve è più pronunciata) e presentano una più elevata capacità resistente.

La Tabella 2 riporta il valore sperimentale del momento di rottura delle travi sperimentate ed il valore teorico calcolato con le relazioni valide per le sezioni in c.a. assumendo quali valori di calcolo della resistenza del calcestruzzo e dell'acciaio i valori medi sperimentali riportati nella Tabella 1.

Dal confronto dei valori si può rilevare che per bassi valori della percentuale geometrica d'armatura le previsioni teoriche non si discostano in modo rilevante dai valori sperimentali; ciò a conferma che la tipologia di Trave considerata presenta un comportamento del tutto assimilabile a quello delle travi in c.a..

TRAVE	$M_{u\text{ teor.}}$ (kNm)	$M_{u\text{ sper.}}$ (kNm)	$M_{u\text{ teor.}}/M_{u\text{ sp}}$	TRAVE	$M_{u\text{ teor.}}$ (kNm)	$M_{u\text{ sper.}}$ (kNm)	$M_{u\text{ teor.}}/M_{u\text{ sp}}$
<b>T1</b>	46,08	48,60	0.948	<b>TT1</b>	199,90	212,30	0.940
<b>T2</b>	46,08	45,80	1.006	<b>TT2</b>	199,90	213,25	0.940
<b>T3</b>	46,08	50,30	0.916	<b>TC3</b>	199,90	186,70	1.070
<b>T4</b>	46,08	52,30	0.881	<b>TC4</b>	199,90	190,40	1.050
<b>T5</b>	47,25	47,50	0.995	<b>TT3</b>	147,16	160,09	0.919
<b>T6</b>	46,10	48,60	0.948	<b>TT4</b>	254,31	300,89	0.845
<b>T7</b>	47,25	47,50	0.995				
<b>T8</b>	46,10	46,60	0.989				

**Tabella 2** – Confronto tra i momenti ultimi teorici e sperimentali.

In presenza di elevate percentuali di armatura meccanica le previsioni della modellazione usata per le travi inflesse in c.a. sono cautelative.

Il valore teorico del momento ultimo per la trave TT4 risulta, infatti, inferiore di circa il 15% del valore sperimentale mentre nelle Travi TT1 e TT2 le previsioni teoriche forniscono valori inferiori del 6% rispetto ai valori sperimentali; per le travi in c.a. TC3 e TC4 la previsione è superiore a circa 5% del valore sperimentale.



**Figura 5** – Rottura delle Travi.

Sulla base dei risultati sperimentali si può pertanto ritenere che:

- l'influenza del traliccio d'anima sul comportamento meccanico delle Travi PREM senza fondello è significativa solo in presenza di elevate percentuali di armatura longitudinale;
- le previsioni del comportamento meccanico delle Travi PREM senza fondello, basate sui modelli utilizzati per il c.a. forniscono risultati in buon accordo con i valori sperimentali per valori non elevati della percentuale geometrica di armatura mentre sono cautelative per valori elevati della percentuale geometrica di armatura longitudinale.

## **l'Autore**

**Luciano Ombres.** Professore Associato di Tecnica delle Costruzioni presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università della Calabria. È Responsabile del Laboratorio Prove Materiali e Strutture del Dipartimento di Strutture della stessa Università. Svolge attività di ricerca nel settore della Meccanica dei Materiali e delle Strutture con particolare riferimento al comportamento meccanico di strutture in calcestruzzo armato ed in muratura rinforzate con materiali compositi. È autore di oltre 100 pubblicazioni scientifiche su riviste ed atti di convegno nazionali ed internazionali.



UNIVERSITÀ DI PALERMO – UNIVERSITÀ DI MESSINA

## **La duttilità delle sezioni nelle Travi Prefabbricate Reticolari Miste**

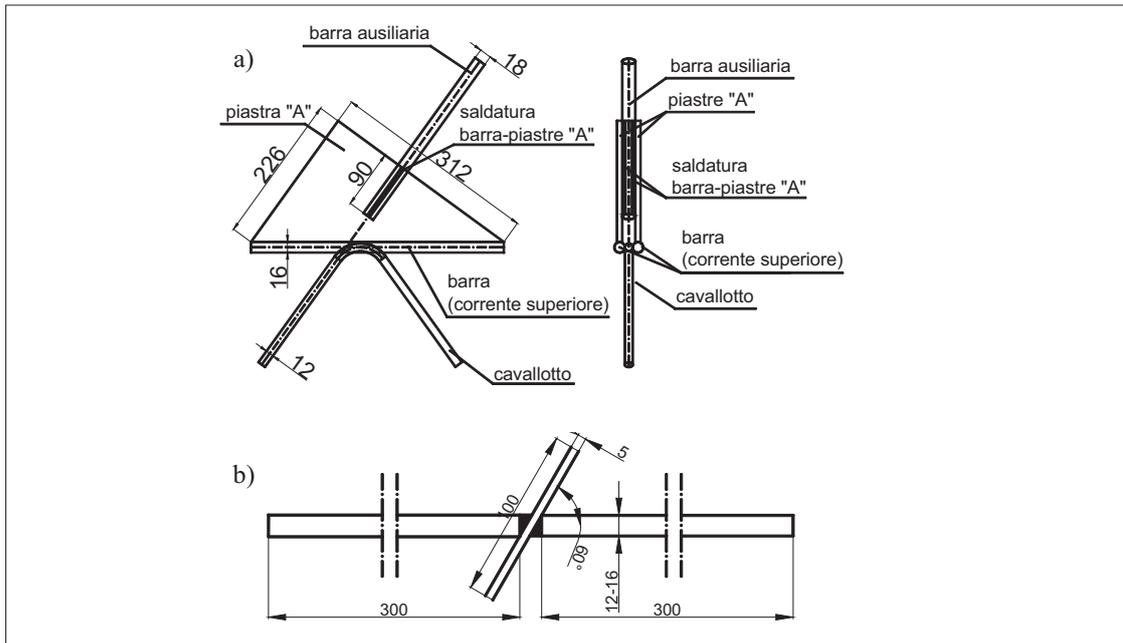
Le travi reticolari miste inserite in strutture intelaiate in zona sismica devono essere progettate in modo da assicurare una adeguata duttilità della trave e dell'intera struttura. Allo scopo è fondamentale la comprensione del meccanismo di trasferimento degli sforzi nella zona di nodo, che dipende dalla tipologia di pilastro a cui la trave è connessa. Nel caso di pilastro in cemento armato, nelle realizzazioni più ricorrenti, la continuità è garantita dalle sole armature aggiuntive al nodo. Con riferimento a questo caso, la ricerca teorico-sperimentale che si sta conducendo presso l'Università di Palermo si basa su un'ampia serie di prove sperimentali per individuare le caratteristiche da assegnare al collegamento della trave al nodo, in modo da evitare l'innescarsi di crisi dovute a rotture per taglio, ad inefficace ancoraggio delle armature resistenti, al cedimento delle saldature del traliccio metallico, a fenomeni di instabilità del piatto compresso, o a formazione di indesiderati meccanismi di piano causati da inaspettate sovreresistenze delle sezioni di estremità della trave.

La sperimentazione è effettuata su campioni di trave con altezza a spessore di solaio e travatura reticolare costituita da un piatto inferiore in acciaio da carpenteria e traliccio con barre in acciaio da cemento armato, con corrente superiore realizzato con barre abbinata e barre d'anima inclinate a V rovescia.

Per la caratterizzazione dei collegamenti fra gli elementi del traliccio sono state condotte prove di trazione su saldature del traliccio d'anima al corrente superiore e al piatto e prove di scorrimento su spezzoni di trave reticolare metallica. Per le verifiche di resistenza e duttilità sono state effettuate prove di scorrimento su spezzoni di trave in presenza di getto di calcestruzzo e prove cicliche a flessione su travi continue.

### **Problemi locali nella trasmissione degli sforzi**

Le prove di trazione condotte sulle saldature su campioni rappresentativi dei due giunti presenti nel traliccio metallico (Figura 1) hanno fornito valori della forza ultima maggiori di quelli nominali di calcolo, garantendo adeguata resistenza in fase I quando vengono sfruttate le caratteristiche di autoportanza.

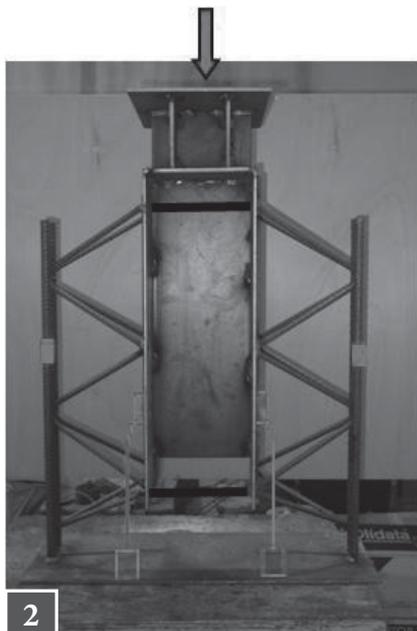


**Figura 1** – Schema dei giunti saldati (dimensioni in mm): a) barra d'anima-corrente superiore; b) barra d'anima-piatto.

I valori nominali di resistenza sono valutati:

- nel caso della saldatura tra barra d'anima e corrente superiore, a cordone d'angolo, seguendo la procedura descritta nella norma italiana CNR 10011-97, assumendo che la sezione di gola abbia larghezza pari all'altezza del triangolo inscritto nella sezione trasversale del cordone e lunghezza pari a quella intera del cordone (pari a  $2\phi$ ), diminuita di due volte l'altezza di gola assunta pari a 0.3 volte il diametro minore delle due barre saldate;
- nel caso della saldatura di testa tra barra d'anima e piatto assumendo che la sezione sia monolitica e la tensione sia quella di snervamento del materiale d'apporto della saldatura, moltiplicando infine per il fattore 0.85 (II classe).

Le prove di push-out su traliccio nudo (Figura 2) hanno evidenziato che le saldature rimangono integre e che la crisi si raggiunge per instabilità delle aste compresse, per l'effetto combinato dello sforzo di compressione e del momento flettente. Valutando gli sforzi sulle aste da un'analisi agli elementi finiti e conducendo una verifica di stabilità della sezione delle aste, così come indicato nel D.M. 14/01/08, si evidenzia che l'instabilità si raggiunge ancor prima che si possano sfruttare le capacità in campo post-elastico dell'acciaio. Il fenomeno dell'instabilità è naturalmente inibito nella fase 2 quando il traliccio viene completato con il getto di calcestruzzo.



*Figura 2 – Campione per la prova di push-out su traliccio nudo.*

*Figura 3 – Campione per la prova di push-out.*

Con riferimento a questa fase, sono state condotte prove di push-out (Figura 3) mirate allo studio della trasmissione degli sforzi tra acciaio e calcestruzzo. Le modalità di prova si ispirano a quelle indicate nell'Eurocodice 4 per le travi tradizionali miste acciaio-calcestruzzo. La crisi in tutte le prove condotte si è manifestata a seguito della rottura per trazione del calcestruzzo, con formazione di ampie fessure longitudinali parallele all'asse del provino. La rottura di tipo fragile è dovuta all'azione tagliente sviluppata dalle aste dei tralicci sul calcestruzzo. I risultati ottenuti, insieme ad altri risultati presenti in letteratura, sono finalizzati ad individuare i meccanismi di trasferimento degli sforzi tra traliccio metallico e calcestruzzo, in quanto diversi da quelli che si verificano nelle travi in cemento armato e nelle travi miste, i primi assicurati dal fenomeno dell'aderenza, i secondi da opportuni elementi di connessione.

### **Sperimentazione su trave continua**

Per analizzare il comportamento delle sezioni di estremità delle travi in presenza di azioni sismiche, sono stati confezionati tre campioni (Figura 4) rappresentativi di una trave di spina a spessore di solaio, appartenente ad un edificio di civile abitazione a due piani, da sottoporre a prove cicliche a momento positivo e negativo. I campioni sono realizzati in modo da riprodurre le due semitravi afferenti al pilastro centrale, simulato con uno spezzone di pilastro

di poche decine di centimetri a cui è stato applicato uno sforzo di precompressione pari a 250 kN. In Figura 5 è rappresentato il campione impiegato per la prima prova, lo schema di carico e la strumentazione. Il traliccio metallico è interrotto a filo di pilastro e la trasmissione degli sforzi al nodo è demandata esclusivamente alle armature aggiuntive.

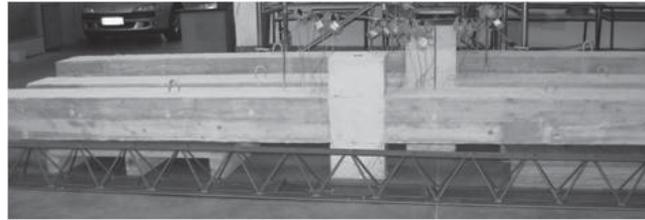


Figura 4 – Campioni di trave continua (n. 3) e traliccio nudo.

Per il rilievo dell'abbassamento sono stati collocati alla base dello spezzone di pilastro due comparatori millesimali e due righe elettroniche, mentre per il rilievo delle deformazioni nelle aste del traliccio e nelle armature aggiuntive sono stati disposti dodici estensimetri prima del getto di calcestruzzo e quattro estensimetri incollati sulla superficie esterna del piatto (Figura 5). Per misurare le rotazioni delle zone potenziali sedi di plasticizzazione, sono stati disposti 4 comparatori con basi di misura pari a una e due volte l'altezza utile della trave, non rappresentati in figura.

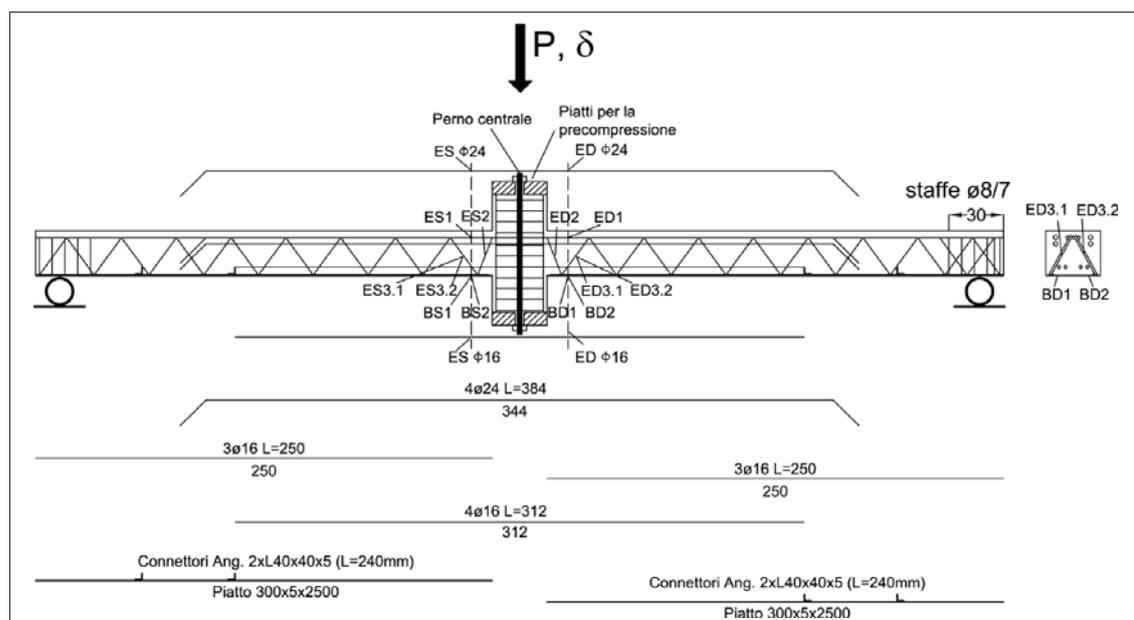
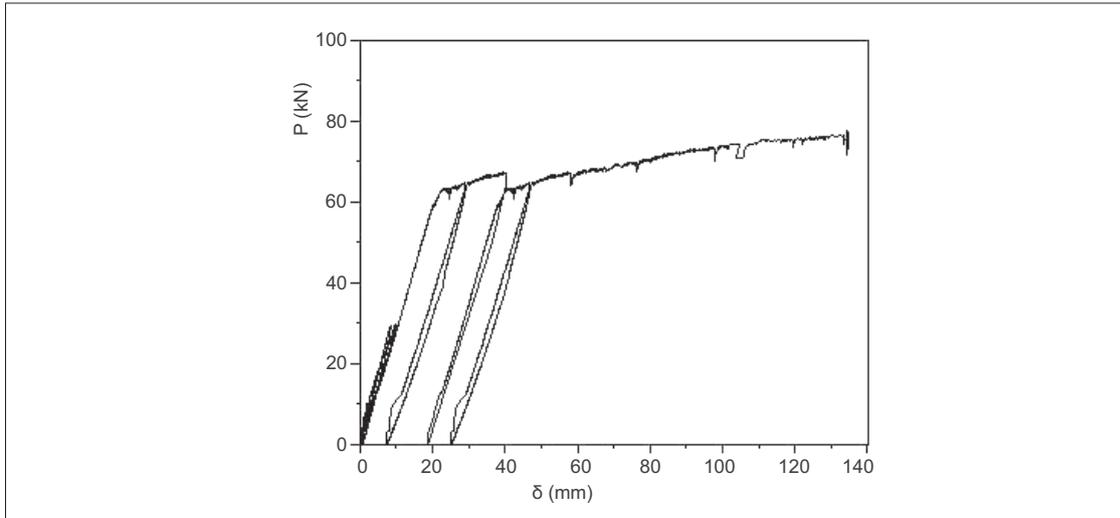
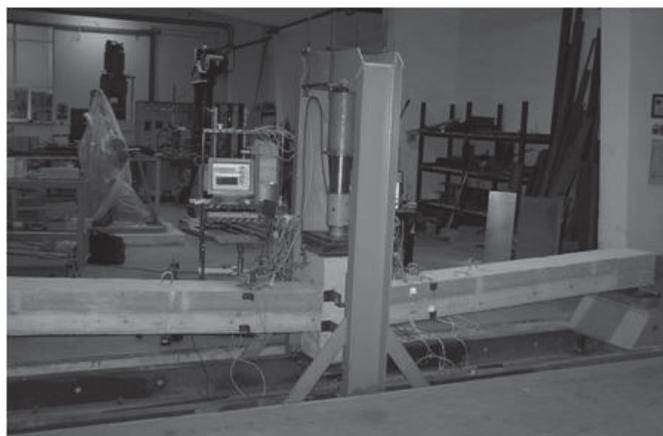


Figura 5 – Campione di prova della trave continua e disposizione degli estensimetri elettrici.



**Figura 6** – Curva carico-spostamento.

In Figura 6 è riportato il diagramma carico-spostamento della prova ciclica senza inversione di segno condotta a controllo di forza in modo da indurre momento positivo. Inizialmente sono stati imposti tre cicli di carico, il primo con carico massimo di 10 kN, i due successivi di 30 kN, raggiungendo spostamenti di 1.91, 9.67 e 8.42 mm rispettivamente, durante i quali si è verificata la fessurazione delle sezioni prossime a quelle di carico. Successivamente sono stati imposti tre ulteriori cicli di carico in grado di produrre lo snervamento delle armature inferiori, con abbassamenti di ampiezza di 29, 40 e 46.9 mm, e valori del carico di 64, 67 e 64 kN rispettivamente. Si è poi proseguito fino allo spostamento di 130 mm e carico di 77 kN, superato il quale la prova è stata interrotta. In Figura 7 è mostrato il campione a fine prova.



**Figura 7** – Configurazione della trave al termine della prova.

La curva in Figura 6 mostra che la trave ha esibito un comportamento stabile, con modesta perdita di resistenza alla fine del 5° ciclo. Tuttavia, fino alla fine della prova si è verificato un incremento del carico applicato, con danni visibili limitati alla rottura delle fibre in calcestruzzo all'estradosso delle sezioni di incastro al pilastro e alla formazione di una fessura al disotto dell'asse neutro nella sezione a circa 3 cm dall'incastro.

I risultati forniti dagli estensimetri hanno consentito di verificare che il piatto, non efficacemente ancorato, non fornisce resistenza alla sezione. Allo snervamento delle armature di collegamento inferiori, la deformazione del calcestruzzo al lembo superiore è contenuta all'1.34‰, mentre in corrispondenza del momento ultimo ha già raggiunto il 3.53‰, lasciando prevedere la crisi del calcestruzzo non efficacemente confinato per l'assenza di staffatura trasversale, per valori di curvatura tali da provocare la crisi della sezione.

Ciononostante, la trave ha poi esibito grandi capacità di deformazioni plastiche senza perdita di resistenza fino a spostamenti verticali di 134 mm. Dalle letture degli estensimetri si è inoltre rilevato che le deformazioni del corrente superiore compresso del traliccio sono prossime a quelle dei monconi compressi, attestando la completa efficacia del corrente compresso del traliccio nel fornire resistenza alla sezione; lo scorrimento fra piatto e calcestruzzo cresce ancora dopo lo snervamento dei monconi inferiori.

Si può pertanto affermare che nelle sezioni di estremità, per il corrente compresso del traliccio deve assumersi una perfetta aderenza con il calcestruzzo, mentre il piatto, non essendo sollecitato significativamente, non collabora a fornire resistenza alla sezione né alla dissipazione di energia.

Ulteriori indagini numeriche condotte per mezzo di modelli a fibre non lineari hanno messo poi in evidenza che l'ampiezza della zona di cerniera plastica a momento positivo è fortemente influenzata dalla inclinazione delle barre d'anima del traliccio e dalla conseguente lunghezza della maglia del traliccio.

Queste grandezze determinano la distanza dal filo del pilastro della sezione a partire dalla quale il piatto metallico inferiore contribuisce a fornire rigidità e resistenza alla sezione.

## gli Autori

**Lidia La Mendola.** Professore Ordinario presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università di Palermo dove insegna *Tecnica delle Costruzioni e Problemi Strutturali dei Monumenti e dell'Edilizia Storica*. È Coordinatore del Dottorato in *Ingegneria delle Strutture* con sede presso l'Università di Palermo. È autore di più di 100 pubblicazioni scientifiche nel campo dell'ingegneria sismica, delle strutture in c.a., in muratura, in calcestruzzo fibrorinforzato e nel campo del rinforzo strutturale con FRP.



**Piero Colajanni.** Professore Associato presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università di Messina, dove insegna *Tecnica delle Costruzioni e Progettazione Antisismica*. È membro del Centro Interuniversitario di *Dinamica Strutturale teorica e sperimentale*. È autore di più di 75 pubblicazioni scientifiche nel campo dell'Ingegneria sismica, delle costruzioni in c.a. e in acciaio, della riabilitazione strutturale e della dinamica aleatoria.

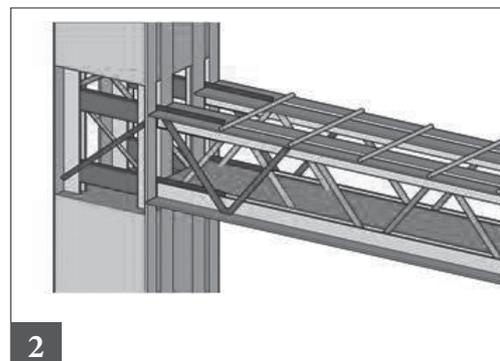
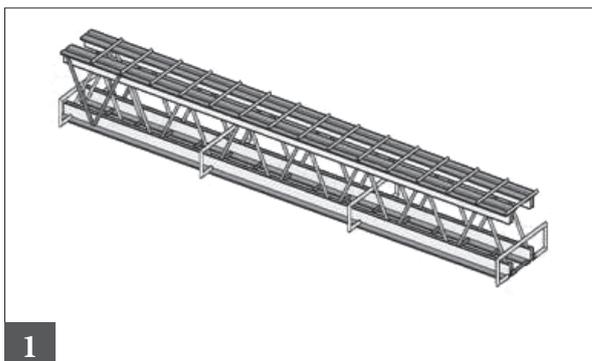


## Comportamento ciclico del nodo trave-colonna per Sistemi Reticolari Misti

Nell'ambito della ricerca coordinata dal Gruppo di Lavoro Assoprem, l'Università di Trieste ha svolto nel primo anno di attività uno studio numerico-sperimentale riguardante il comportamento di elementi tralicciati misti acciaio-calcestruzzo di nuova concezione, appositamente pensati per un utilizzo sismico. Il sistema costruttivo analizzato consente 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 quelle in calcestruzzo armato, in acciaio o miste acciaio-calcestruzzo. Particolarmente importante per il funzionamento d'insieme risulta il comportamento del nodo trave-colonna e della trave in prima e seconda fase. Nel seguito si riportano alcuni risultati sperimentali, assieme alle interpretazioni delle risposte utili ai fini applicativi ed estendibili anche ad altre tipologie similari.

### Sistema Costruttivo

Il nuovo sistema costruttivo, ideato dallo Studio Suraci di Udine, si basa su uno schema ad ossatura portante intelaiata reticolare mista in acciaio-calcestruzzo. La struttura, parzialmente prefabbricata, 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. Le caratteristiche del sistema sono schematicamente indicate nelle Figure 1 e 2.



*Figura 1 – Traliccio metallico.*

*Figura 2 – Collegamento nodo trave-colonna.*

I singoli elementi sono costituiti da tralicci scatolari ottenuti dall'assemblaggio, mediante calastrelli, di due tralicci piani, ciascuno dei quali costituito da due correnti paralleli (formati da due angolari), mutuamente collegati con aste di parete inclinate (serpentina con tondo liscio). Come per le travi, anche i pilastri, sono costituiti da un traliccio in acciaio inglobato nel calcestruzzo, ottenendo così un sistema reticolare misto nella sua interezza.

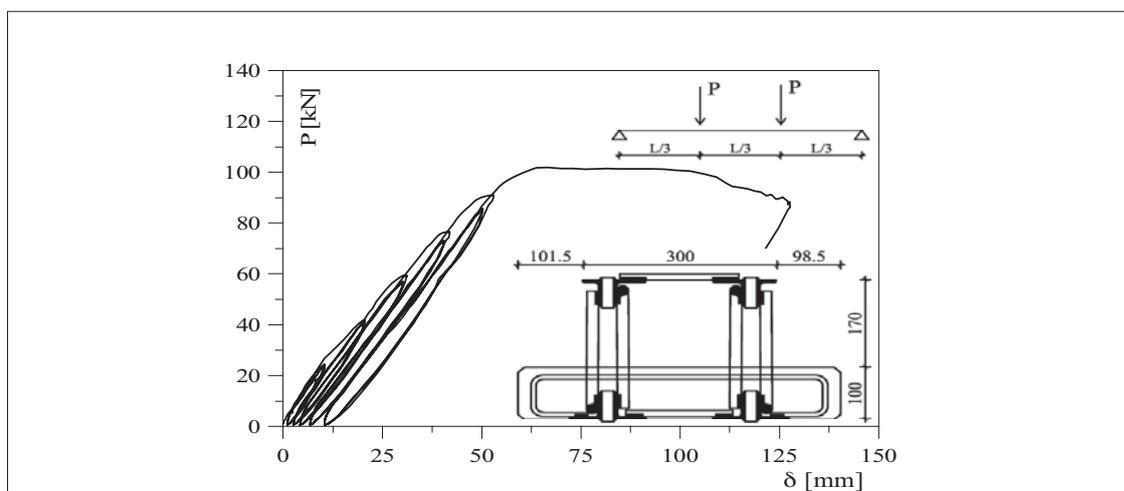
Sono stati realizzati 2 campioni di travi (uno in fase I ed uno in fase II), assieme ad 1 campione di nodo esterno trave-colonna.

## Trave in prima ed in seconda fase

I due provini, ciascuno avente una lunghezza di 6 metri, sono stati realizzati su uno schema statico di trave in semplice appoggio.

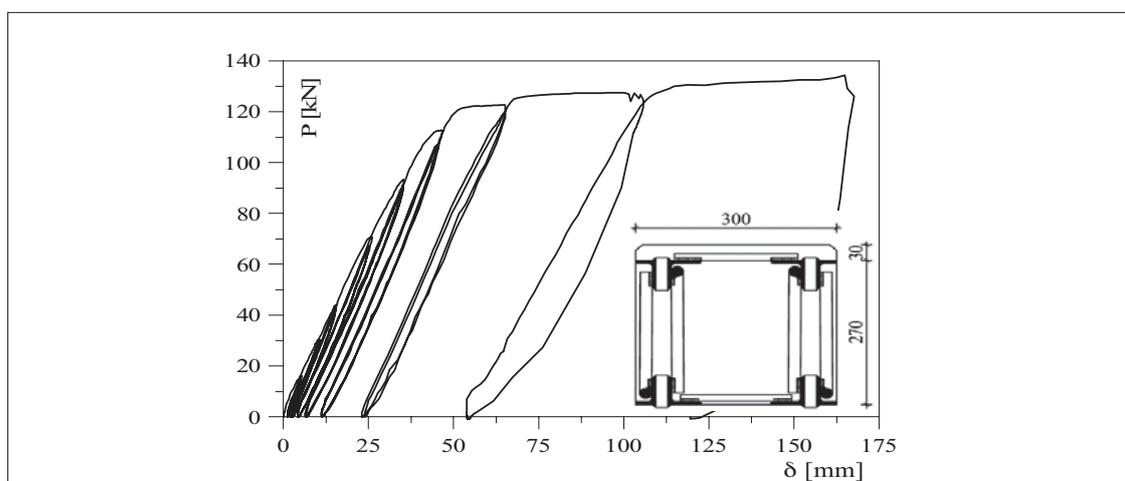
I carichi sono stati applicati mediante 2 martinetti idraulici ai terzi della luce imponendo dei cicli di carico e scarico crescenti fino alla rottura del provino. Per la rilevazione sperimentale dei risultati, le misurazioni condotte hanno riguardato sia le deformazioni dell'acciaio nelle aste diagonali di estremità e nei profilati angolari in mezzzeria, mediante strain-gauges, sia la freccia della trave in mezzzeria e ai terzi della sua luce, tramite trasduttori rotativi.

Per la trave in prima fase, la rottura del campione è avvenuta per un carico, rilevato da ciascun martinetto, pari a 102 kN. In corrispondenza di questo valore si sono riscontrati dei fenomeni di instabilità locale negli angolari superiori, che hanno comportato una limitata duttilità del sistema, come visibile nel diagramma carico-freccia in mezzzeria di Figura 3.



**Figura 3** – Diagramma freccia mezzzeria/carico su un martinetto trave in prima fase.

Il fenomeno di instabilità locale è comparso dopo la plasticizzazione dei correnti inferiore e superiore. Per la trave in seconda fase, 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. Anche in questo caso la rottura del provino è avvenuta per flessione, con elevate capacità deformative (Figura 4).



*Figura 4 – Diagramma freccia mezzzeria/carico su un martinetto trave in seconda fase.*

## 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 (Figura 5).

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. Anche per il nodo sono stati posizionati numerosi strain-gauges per rilevare i valori delle deformazioni nelle aste di parete inclinate, nei profilati angolari e in corrispondenza delle lame di collegamento tra trave e pilastro. 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. 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, assieme allo schiacciamento e all'espulsione del calcestruzzo nella zona superiore. Anche il nodo è stato interessato da una significativa fessurazione diagonale. I valori letti negli strain-gauges hanno evidenziato le plasticizzazioni dei correnti longitudinali della trave e delle aste diagonali all'interno del nodo dalle quali si deduce una rottura per flessione-taglio del provino.

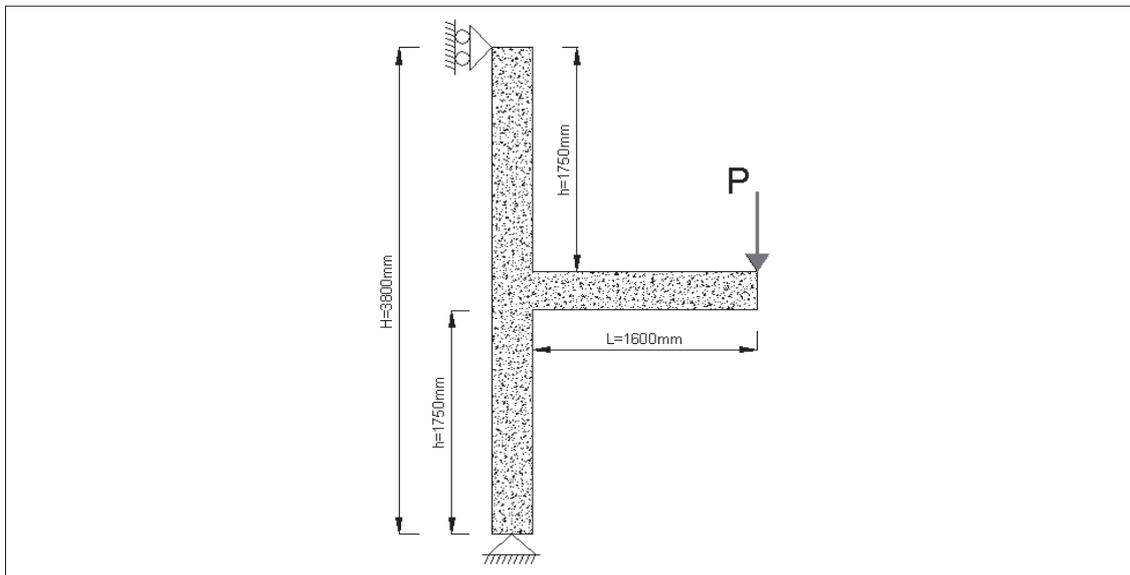


Figura 5 – Campione nodo esterno trave-colonna.

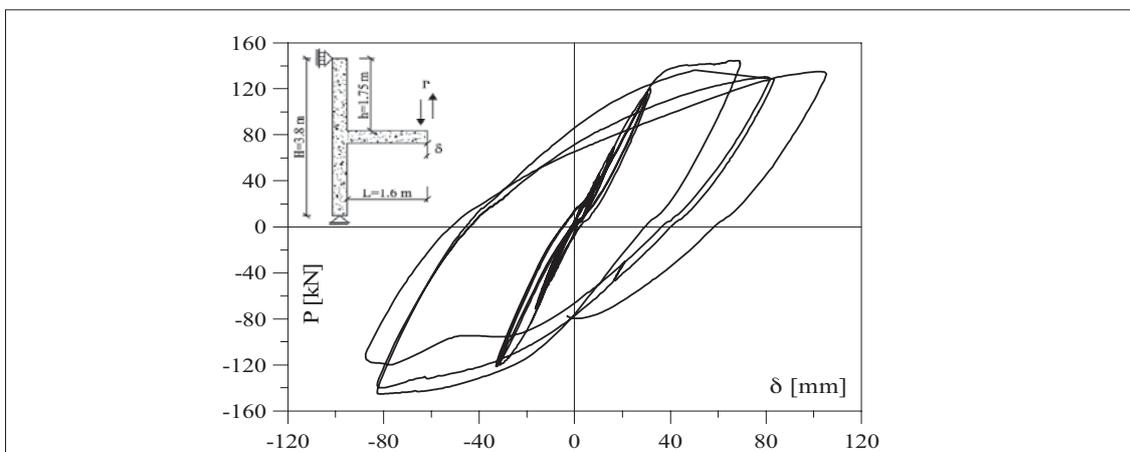
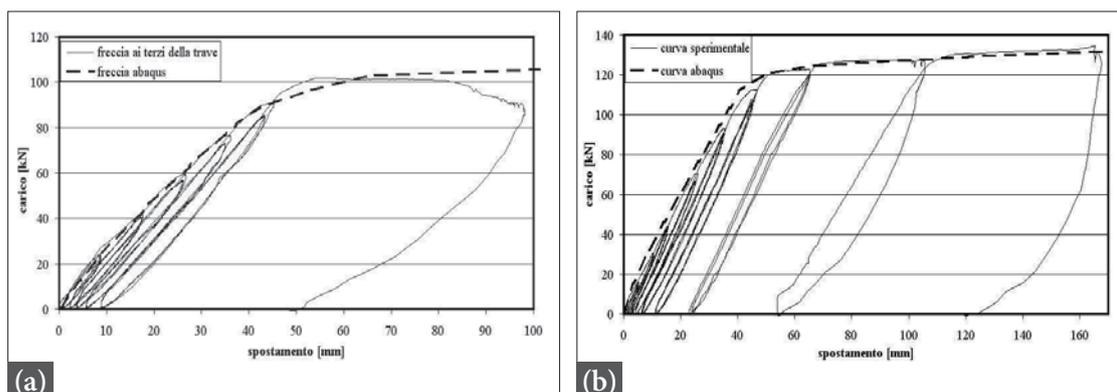


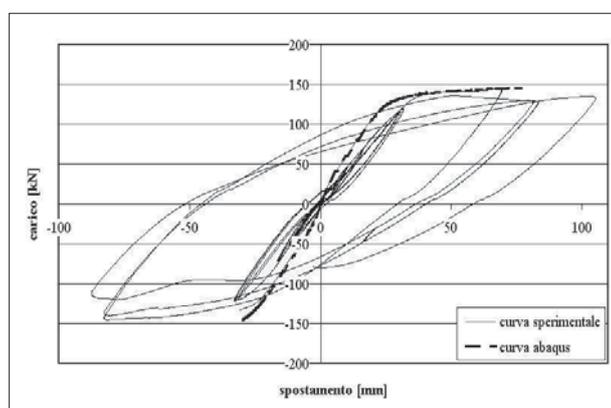
Figura 6 – Diagramma carico/freccia estremità libera della trave.

In Figura 6 è riportata la risposta complessiva in termini di carico applicato-freccia di estremità. Dalla figura si può osservare come la capacità di dissipare energia sia elevata, nonostante il collasso sia avvenuto prematuramente per la fessurazione a taglio della trave.

Per meglio comprendere i risultati delle prove sperimentali ed individuare degli adeguati criteri di progetto, si è analizzato il comportamento delle due travi e del nodo mediante il codice agli elementi finiti Abaqus. Per entrambe le travi inizialmente la fessurazione ha interessato la parte inferiore della soletta, all'aumentare del carico il regime fessurativo si è esteso sulla quasi totalità della trave, con un andamento del tutto simile a quello sperimentale. Nelle Figure 7a, 7b e 8 è riportato un confronto tra le risposte numeriche e sperimentali in termini di carico-freccia ai terzi della trave in prima fase, in mezzeria per la trave in seconda fase e all'estremità della mensola per il nodo trave-colonna.



**Figura 7** – Confronto numerico e sperimentale in termini di carico - freccia  
 (a) Trave in prima fase: sezione ai terzi, (b) Trave in seconda fase: sezione in mezzeria.



**Figura 8** – Confronto numerico e sperimentale in termini di carico - freccia per il nodo trave - colonna.

Come si può osservare dalle figure, la modellazione numerica effettuata con il codice Abaqus riesce a cogliere correttamente l'andamento della deformata della trave, nonché quella del nodo. Ciò avviene sia in fase elastica che in fase plastica. Per quanto riguarda le deformazioni locali nell'acciaio, queste hanno dato risultati analoghi a quanto visto per via sperimentale con una conferma dell'attivazione delle plasticizzazioni rilevate.

## Criteri di progetto preliminari per il taglio

Al fine di determinare i meccanismi resistenti a taglio della trave reticolare mista oggetto dell'analisi, si sono individuati i diversi contributi forniti dal calcestruzzo e dall'acciaio. Per entrambe le travi, sulla base delle risultanze sperimentali e numeriche si è osservato come gli angolari, oltre a riprendere la flessione, assorbono direttamente una parte dello sforzo tagliente ( $V_{ang}$ ), le aste di parete diagonali grazie alla loro resistenza a trazione possano assorbire il taglio ( $V_{diag}$ ), ed il calcestruzzo assorba infine parte del taglio attraverso i meccanismi di effetto pettine, effetto spinotto, effetto dell'ingranamento degli inerti ed effetto arco ( $V_{cls}$ ). In questo primo stadio della ricerca, nelle verifiche in prima fase, si è trascurata la quota di taglio ripresa dagli angolari adottando un modello resistente costituito da un traliccio semplice in acciaio nel quale la condizione limite è in genere legata all'instabilità degli elementi compressi. Così facendo, si è operato a favore di sicurezza riscontrando un taglio ultimo pari a circa l'85% di quello numerico.

Per la trave in esame, il collasso dell'elemento in seconda fase avviene secondo un meccanismo di taglio-trazione, che risulta essere la modalità di rottura da preferire per le sue caratteristiche di duttilità. In queste ipotesi il taglio resistente è considerato come somma di due contributi: il taglio ripreso dall'armatura diagonale del solo traliccio, nel quale non si considerano gli effetti di instabilità in quanto gli elementi compressi in acciaio risultano confinati dal calcestruzzo, e il taglio ripreso dal calcestruzzo racchiuso dal traliccio per effetto arco, ingranamento e pettine (Figura 9).

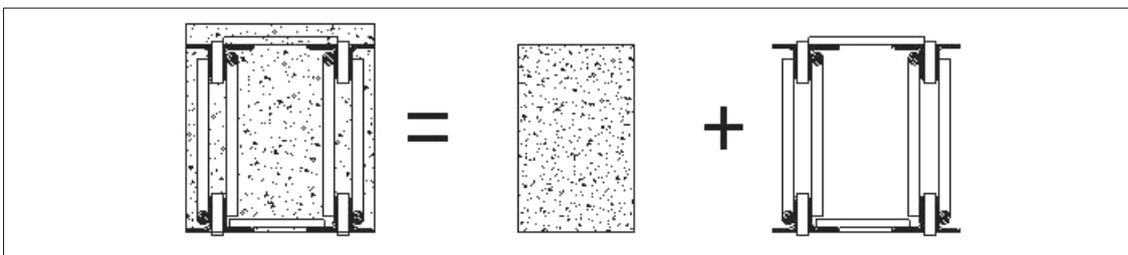


Figura 9 – Schema di resistenza a taglio in seconda fase.

Per valutare quest'ultimo contributo si è fatto riferimento alla soluzione proposta dall'Eurocodice2 per la trave in c.a. non armata a taglio avente armatura longitudinale pari a quella degli angolari. In sintesi il taglio ripreso dalla trave reticolare mista può essere calcolato come:

$$V_{Rd,cls} = A_d \cdot n_b \cdot f_{sd} \cdot \sin \alpha + 0.25 \cdot b \cdot d \cdot f_{ctd} \cdot k \cdot (1 + 50 \cdot \rho_s) \cdot \delta$$

con  $A_d \cdot n_b \cdot f_{sd} \cdot \sin \alpha$  taglio ripreso dal traliccio metallico;

$0.25 \cdot b \cdot d \cdot f_{ctd} \cdot k \cdot (1 + 50 \cdot \rho_s) \cdot \delta$  quota di taglio assorbita dal calcestruzzo attraverso i meccanismi: effetto pettine, effetto spinotto, effetto dell'ingranamento degli inerti ed effetto arco;

$A_d$  area della sezione trasversale dell'asta diagonale;

$n_b$  numero di braccia delle aste diagonali;

$f_{sd}$  tensione di progetto dell'acciaio;

$\alpha$  angolo di inclinazione delle aste diagonali tese;

$b$  larghezza del nucleo di calcestruzzo;

$d$  altezza utile della sezione;

$f_{ctd}$  tensione di progetto del calcestruzzo a trazione;

$\rho_s = \frac{A_s}{b \cdot d}$  rapporto geometrico dell'armatura tesa;

$0.25 \cdot b \cdot d \cdot f_{ctd}$  contributo dell'effetto pettine;

$k = 1.6 - d$  contributo dell'effetto ingranamento degli inerti;

$(1 + 50 \cdot \rho_s)$  contributo dell'effetto spinotto;

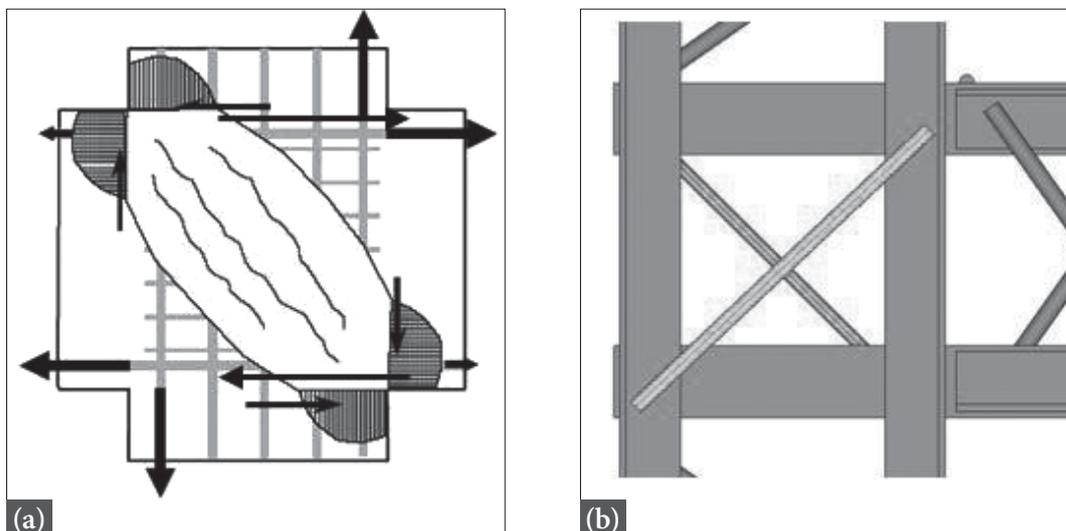
$\delta$  contributo dell'effetto di precompressione.

## **Analisi del comportamento a taglio del nodo trave – colonna: considerazioni preliminari**

Dopo un'analisi tensionale condotta sia per via sperimentale che numerica, è stato possibile determinare la risposta dell'elemento nodo alle sollecitazioni esterne. In condizioni di esercizio il taglio trasmesso dagli elementi adiacen-

ti, conduce alla formazione di una diagonale compressa di calcestruzzo e a tensioni di trazione dirette perpendicolarmente a quest'ultima all'interno del giunto. Si sono individuati i seguenti meccanismi di base per il trasferimento del taglio:

- Meccanismo a puntone: lo stato di compressione presente nel nodo nei due vertici opposti causa la formazione di una diagonale compressa di calcestruzzo (Figura 10a);
- Meccanismo a traliccio: la parte del taglio non assorbita dal meccanismo a puntone viene ripresa dalle aste diagonali presenti all'interno del nodo (Figura 10b).



**Figura 10** – Meccanismi resistenti all'interno del nodo: (a) meccanismo a puntone nel calcestruzzo; (b) meccanismo a traliccio nell'acciaio.

Le relazioni ottenute per il calcolo del taglio trasmesso attraverso i due meccanismi saranno riportate in un articolo specifico.

## gli Autori

**Claudio Amadio.** Professore Associato di Tecnica delle Costruzioni presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università degli Studi di Trieste, presso la quale è titolare dei corsi di Progetto di Strutture II e Costruzioni in Acciaio I e II. I principali temi di ricerca riguardano: Analisi non lineare delle strutture composte acciaio calcestruzzo, Comportamento di strutture in acciaio in zona sismica, Analisi probabilistica delle strutture. È direttore del Master Universitario di II° livello in Progettazione Antisismica delle Costruzioni che si svolge a Gorizia.



**Sveva Sorgon.** Laureata in Ingegneria edile nel 2006 presso l'Università di Trieste. Libera professionista e dottoranda presso il dipartimento di Ingegneria civile di Trieste.



## **Studio sui fondelli di calcestruzzo delle Travi PREM: risultati sperimentali e nuove soluzioni**

### **Introduzione**

I fenomeni fessurativi richiedono particolare attenzione nelle condizioni di esercizio delle strutture in calcestruzzo armato, per effetto anche della maggiore attenzione giustamente dedicata alla durabilità che, in ambienti aggressivi, potrebbe essere seriamente compromessa dalla fessurazione.

L'insorgere di uno stato fessurativo in una trave in c.a. dipende in modo determinante da diversi fattori di origine statica ed igrotermici. Anche se la fessurazione legata alla statica è, in linea di principio, correlata al raggiungimento nel calcestruzzo di stati di trazione superiori alla sua effettiva resistenza, a causa dei fenomeni igrotermici il livello di sollecitazione (dovuto ai carichi) che genera le fessure (e ne determina la loro ampiezza e dislocazione) è fortemente influenzato dalla geometria della sezione e dal rapporto geometrico d'armatura.

Le verifiche a fessurazione assumono particolare importanza nelle travi reticolari miste con fondello prefabbricato di calcestruzzo, anche in considerazione del fatto che, nella Fase I di autoportanza, il fondello inferiore del traliccio (con l'armatura presente) si comporta come un tirante di calcestruzzo armato. La presenza nel fondello prefabbricato di importanti armature metalliche (diverse barre di grosso diametro) necessarie per garantire la capacità resistente del traliccio nella fase di autoportanza (Fase I), determina un rapporto geometrico di armatura elevato che rappresenta un vincolo di elevata rigidità per le deformazioni di ritiro e può causare una prematura fessurazione. Infatti, la libera deformazione da ritiro che si sviluppa nel calcestruzzo è contrastata dall'armatura (che risulta compressa) e genera nel calcestruzzo stati tensionali di trazione preesistenti all'applicazione dei carichi. In tal modo la resistenza apparente a trazione del calcestruzzo risulta ridotta e, in presenza di sollecitazioni di tipo statico, la fessurazione può manifestarsi prematuramente.

Per contrastare (o limitare) i fenomeni fessurativi nei fondelli delle travi reticolari miste, non potendo modificare i carichi di esercizio o le percentuali di armatura in gioco, si può intervenire sul ritiro del fondello attraverso un'appropriata scelta del calcestruzzo da utilizzare. A tal fine, nell'ambito di una

ricerca coordinata dal Gruppo di Lavoro Assoprem, l'Università di Brescia ha svolto, in collaborazione con la CSP Prefabbricati, una ricerca sperimentale sul comportamento fessurativo di fondelli realizzati con calcestruzzi confezionati con additivi antiritiro e fibre. In particolare, con l'obiettivo di aumentare il carico di prima fessurazione e di ridurre la distanza tra le fessure (con la conseguente riduzione della loro ampiezza), si è considerato:

- l'utilizzo di un additivo che abbia effetto antiritiro e, possibilmente, espansivo;
- l'utilizzo di fibre strutturali di diverso materiale (da aggiungere al calcestruzzo in fase di getto) per aumentare la tenacità (ovvero la resistenza allo sviluppo della fessurazione) del composito.

Si è così proceduto all'esecuzione di prove su un modello sperimentale di traliccio nella sua configurazione di autoportanza, al fine di valutare la capacità nei riguardi dello stato limite di fessurazione e di individuare quali fossero i dosaggi ottimali delle aggiunte (additivo e/o fibre) per garantire un buon comportamento in esercizio del fondello. Le prove sperimentali sono state eseguite su provini caratterizzati da una diversa percentuale geometrica di armatura (considerando tre differenti valori pari a 2.8%, 6.3% e 12.5%).

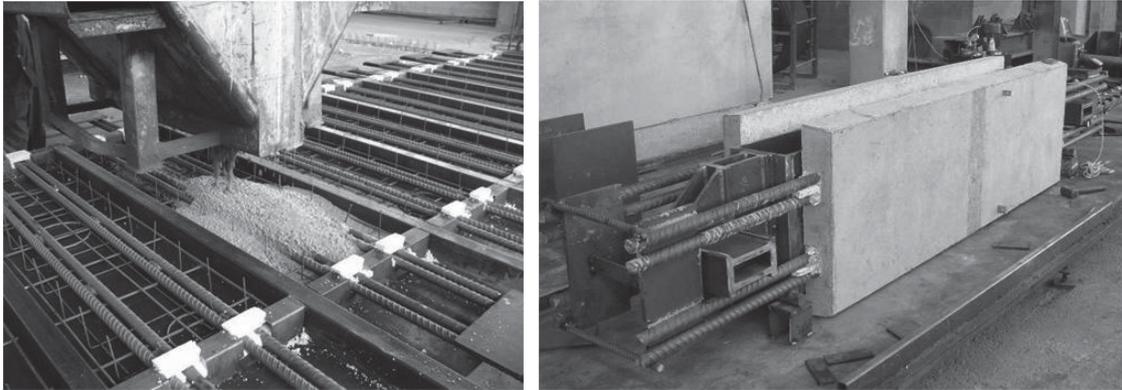
## Programma sperimentale

Poiché le travi reticolari miste vengono realizzate in una gamma molto vasta di morfologie, la sperimentazione ha riguardato una tra le tipologie più diffuse.

Le prove sperimentali sono state eseguite presso lo stabilimento della CSP Prefabbricati con il coordinamento scientifico del Laboratorio Prove Materiali Pietro Pisa dell'Università degli Studi di Brescia.

Per poter disporre di un numero sufficiente di provini, ciascuno con diverso dosaggio di additivo e/o di fibre, si è sottoposta a trazione una serie di coppie di fondelli di calcestruzzo (Figura 1).

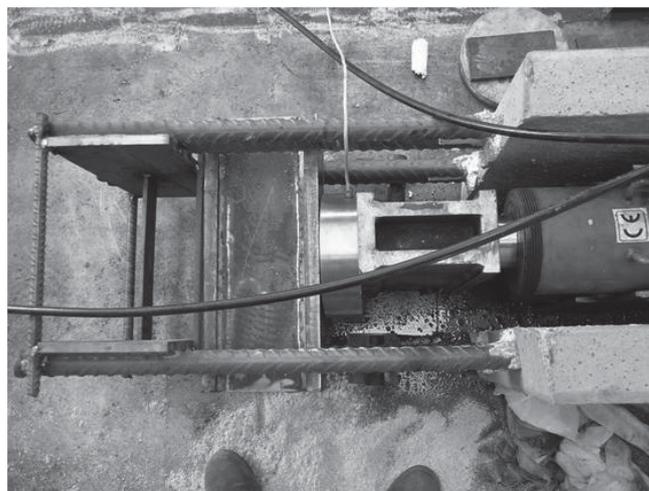
Allo scopo di riprodurre uno stato di pura trazione nel fondello, si è realizzato un apposito telaio di contrasto in acciaio che ha consentito di provare contemporaneamente due provini (Figura 2). Il sistema di prova comprendeva poi una coppia di martinetti idraulici per l'applicazione del carico, una cella da 1000 kN per la misurazione delle sollecitazioni applicate (Figura 3) e due coppie di trasduttori di spostamento potenziometrici, con corsa di 250 mm, per la misura dell'ampiezza delle fessure su una base di lettura di 500 mm (Figura 4).



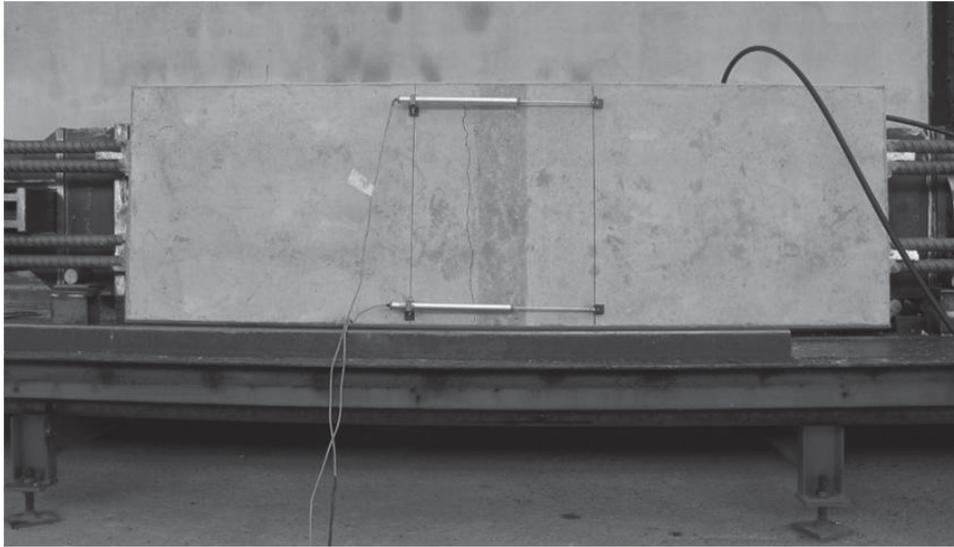
*Figura 1 – Modelli sperimentali sottoposti a prova di trazione.*



*Figura 2 – Telaio di contrasto per la prova di trazione contemporanea su due fondelli.*



*Figura 3 – Coppia di provini in parallelo. Coppia di martinetti in parallelo. Cella di carico.*



*Figura 4 – Strumentazione utilizzata per il rilievo delle fessure.*

La sperimentazione ha riguardato differenti campioni realizzati con diverse matrici cementizie (autocompattanti o autolivellanti), rinforzate alternativamente con:

- 30 kg/m<sup>3</sup> di fibre di acciaio uncinato (lunghezza 50 mm / diametro 1 mm);
- 30 kg/m<sup>3</sup> di fibre di acciaio uncinato (lunghezza 60 mm / diametro 1 mm);
- 5 kg/m<sup>3</sup> di fibre sintetiche (lunghezza 40 mm / sezione rettangolare 0.50×1.20 mm);
- 5 kg/m<sup>3</sup> di fibre sintetiche (lunghezza 54 mm / diametro equivalente 0.067 mm).

Alcuni provini sono stati realizzati con un particolare additivo antiritiro ed espansivo in misura dell'8% del peso di cemento.

La prima coppia di provini è stata realizzata con la tecnologia usuale precedente alla presente sperimentazione. Tutte le matrici hanno garantito per la resistenza a compressione cubica il valore di progetto di 50 MPa.

## **Risultati sperimentali**

I principali risultati delle prove sperimentali riguardano l'apertura di fessura (massima e minima tra le diverse fessure formatesi) ed il numero di fessure, rilevate in corrispondenza del carico di esercizio delle travi (Figura 5). Tali risultati sono mostrati in Figura 6 anche in funzione della percentuale geometrica di armatura.

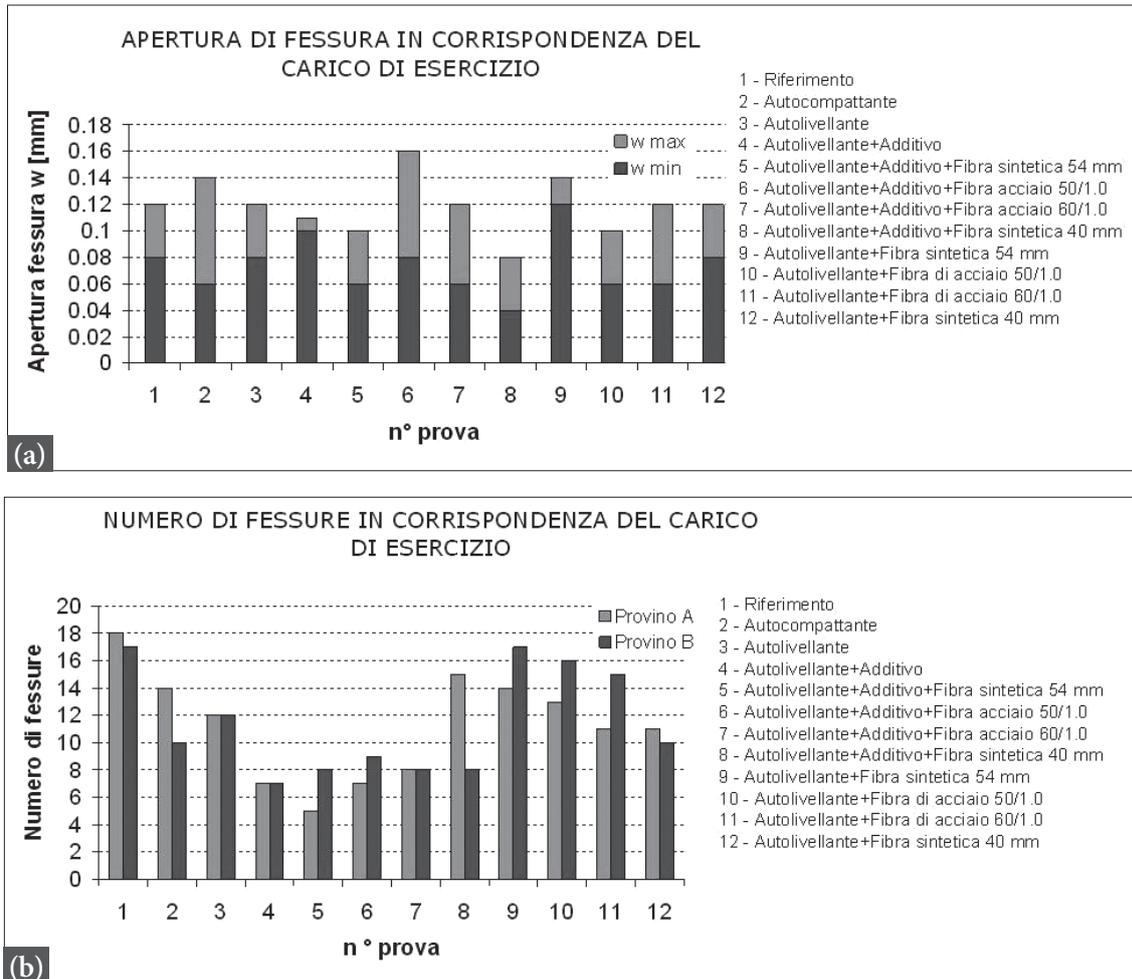


Figura 5 – Apertura di fessura massima e minima (a) e numero di fessure (b) rilevate in corrispondenza del carico di esercizio.

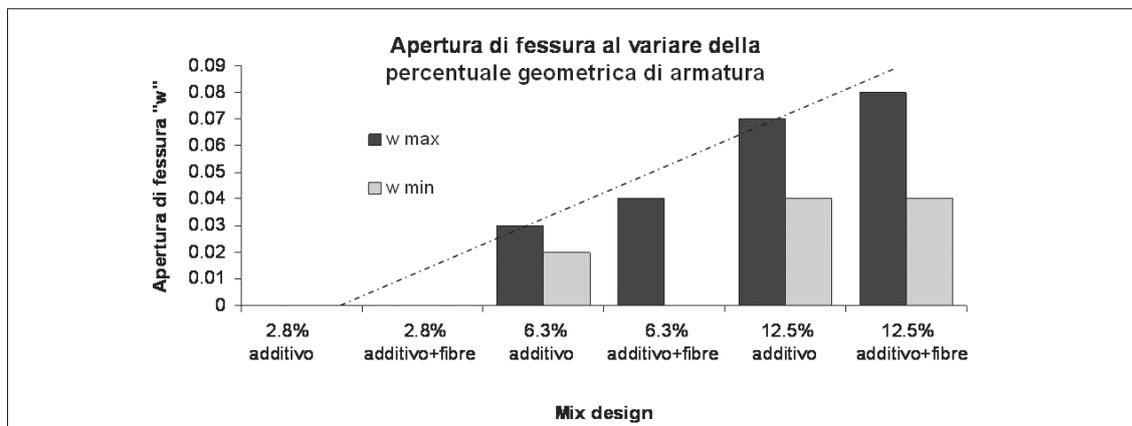


Figura 6 – Apertura di fessura massima e minima rilevata in corrispondenza del carico di esercizio al variare della percentuale geometrica di armatura.

I risultati sperimentali sono stati per diversi aspetti sorprendenti e chiarificatori: è il naturale ritiro del calcestruzzo il principale responsabile delle fessurazioni e non l'autoportanza delle travi.

La soluzione più attendibile è stata quindi individuata nell'aggiunta di una forte componente di additivi chimici antiritiro ed espansivi e di speciali fibre strutturali sintetiche nei nuovi fondelli in calcestruzzo.



*Figura 7 – Coppie di provini dopo i test. Si nota la variabilità del numero di fessure.*

Entrando più nello specifico dei risultati sperimentali, dall'osservazione dei quadri fessurativi dei diversi campioni e dal monitoraggio dell'apertura delle principali fessure (Figura 7), si possono trarre le seguenti considerazioni:

- l'aggiunta dell'additivo espansivo all'impasto di base ha portato allo sviluppo di un minor numero di fessure e con un'apertura poco rilevante (con un dosaggio pari almeno al 6% in peso di cemento);
- buoni risultati si sono rilevati grazie all'utilizzo dell'agente espansivo in combinazione con fibre sintetiche strutturali aventi lunghezza 40 mm, sia per quanto riguarda il numero di fessure comparse sia, ed in particolar modo, per la loro apertura;
- anche le fibre di acciaio hanno mostrato vantaggi in termini di riduzione dell'apertura di fessura, ma presentano l'inconveniente di una non perfetta finitura dei manufatti;

- l'effetto benefico dell'additivo espansivo ha determinato la maggior parte del miglioramento in termini di controllo della fessurazione, alle fibre è rimasto un ruolo più collaterale;
- discreto è stato il comportamento delle nuove matrici in termini di lavorabilità, soprattutto se confrontate con la matrice di riferimento.

## gli Autori

**Giovanni Plizzari.** Professore Ordinario di “Tecnica delle Costruzioni” presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università di Brescia. Autore di più di 200 articoli pubblicati su riviste e su atti di convegni nazionali ed internazionali, si sta occupando delle applicazioni strutturali dei materiali e di tecnologie innovative. È membro attivo dei gruppi di lavoro 4.5 (Bond Models) e 8.3 (Fibre Reinforced Concrete) del fib ed è presidente del Collegio dei Tecnici dell'industrializzazione Edilizia (CTE). È attualmente il coordinatore del Gruppo di Lavoro Assoprem – CIS-E.



**Luca Cominoli.** Ha ottenuto il titolo di Dottore di Ricerca in Materiali per l'Ingegneria presso l'Università degli Studi di Brescia nel Maggio 2007 con una dissertazione relativa alle applicazioni strutturali ed alla modellazione di elementi in calcestruzzo fibrorinforzato. I principali temi di ricerca riguardano lo studio di calcestruzzi rinforzati con fibre e relative applicazioni strutturali.



## **La viscosità delle Travi Prefabbricate Reticolari Miste**

### **Premessa**

Argomento del presente studio sono gli effetti della viscosità ed in generale delle deformazioni differite sul comportamento a lungo termine delle travi reticolari miste e degli organismi strutturali realizzati con queste travi.

La non omogeneità di queste strutture, accentuata dalla presenza del traliccio e del piatto, così come dalla presenza di porzioni della trave prefabbricata realizzati con calcestruzzi di qualità ed età diversa dai getti di completamento (fondelli), rende necessario un approccio al problema basato sul metodo generale (general method) di analisi, cioè attraverso algoritmi di integrazione numerica delle equazioni integrali e integrodifferenziali che modellano il problema fisico.

Gli effetti della viscosità e del ritiro non si riducono ad un incremento della deformazione a lungo termine, ma possono introdurre ridistribuzioni di sforzi fra le diverse membrature, fra il calcestruzzo e le armature e fra i tralicci e le armature di completamento.

Inoltre le diverse formulazioni attualmente recepite a livello internazionale del modello di viscosità e di ritiro richiedono valutazioni di tipo comparativo e parametrico per determinare l'affidabilità delle soluzioni.

In questo quadro è stata condotta una ricerca basata sull'analisi computazionale di alcune tipologie di base delle travi reticolari miste, prendendo in conto la presenza e la distribuzione delle armature e le non omogeneità dovute alla presenza dei fondelli, in modo da fornire un primo quadro interpretativo del fenomeno; a tale indagine di tipo numerico è stata fatta seguire una campagna di ricerca sperimentale basata su provini in scala reale soggetti a carichi costanti e/o variabili nel tempo, prevedendo la misurazione sul lungo periodo; tale campagna è attualmente in corso e concerne un set di sei campioni sotto carico.

### **Introduzione**

La tipologia delle Travi Prefabbricate Reticolari Miste (PREM) vede ormai esteso diffusamente il suo campo di applicazione anche a strutture

complesse ed impegnative dal punto di vista della conformazione, delle fasi costruttive e delle condizioni di carico. Sono esempi eclatanti di questa tendenza le realizzazioni nel settore delle strutture da ponte e, più recentemente, degli edifici alti.

Per questo tipo di strutture è di fondamentale importanza, oltre al necessario grado di sicurezza nei confronti degli stati limite ultimi, anche un adeguato livello di accuratezza nella previsione del comportamento in esercizio, con particolare attenzione ai fenomeni deformativi che, come è noto, possono pregiudicare in modo inaspettato la performance strutturale. È quindi fondamentale l'applicazione di formulazioni e criteri di analisi di livello appropriato alla precisione richiesta.

La situazione è particolarmente complessa per quanto concerne gli effetti strutturali delle deformazioni differite del calcestruzzo, dovute al ritiro e alla viscosità. Le ragioni sono molteplici: da un lato la natura stessa del fenomeno, che si sviluppa nel tempo con durate difficilmente riproducibili sperimentalmente; dall'altro l'incertezza sui parametri ambientali che lo influenzano, temperatura e umidità relativa; in ultimo la discussione ancora aperta sui modelli di previsione stessi. È infatti degno di nota che, mentre nell'ambito della normativa europea il modello di riferimento è il CEB MC90-99, il report ACI 209.2R-08, pubblicato recentemente dal American Concrete Institute recepisce ben quattro modelli di previsione: oltre al sopracitato modello CEB, anche il precedente modello ACI 209R-92 (in realtà obsoleto), il modello Bažant Baweja B3 e il modello GL2000 di Gardner e Lockmann [1][2].

Anche dal punto di vista degli strumenti di analisi strutturale sono possibili diversi modi di operare, come indicato in EC2, caratterizzati da differenti livelli di accuratezza: il Metodo Generale, che comporta la risoluzione numerica delle equazioni integrali [3]; il metodo AAEM, che approssima il legame costitutivo integrale con un legame algebrico [4]; infine l'applicazione dei teoremi fondamentali della viscoelasticità lineare, che forniscono soluzioni esatte per varie categorie di problemi quando la struttura è omogenea [5].

Diversi fattori influenzano il comportamento a lungo termine delle Travi PREM. In primo luogo si tratta di elementi strutturali che possono contenere anche quantità di acciaio molto superiori alle strutture in cemento armato, condividendo alcuni aspetti del comportamento con le strutture composte acciaio calcestruzzo. Di conseguenza, mentre nelle strutture in cemento armato il contributo dell'acciaio nel comportamento viscoso viene generalmente trascurato, nel caso delle Travi PREM l'elemento prefabbricato

cato spesso raggiunge, specialmente in caso di autoportanza, una rigidità confrontabile con quella della parte in calcestruzzo, fornendo un apporto significativo alla rigidità totale.

Una analisi mirata a valutare in modo accurato questo effetto deve essere quindi condotta con riferimento alla teoria delle sezioni composte da una parte elastica e da una parte viscosa. È importante notare che la teoria delle sezioni composte distingue in modo esplicito il caso, più frequente, in cui si possa assumere come valida l'ipotesi di De Saint Venant, da quello in cui la connessione è deformabile e si hanno scorrimenti all'interfaccia fra i due materiali [3]. Questa situazione in effetti può riguardare le Travi PREM, se si considera l'interazione fra il calcestruzzo e l'armatura superficiale inferiore (piatto), oppure quando l'elemento metallico è realizzato con barre e profili lisci.

Un secondo fattore che influenza in modo specifico questa tipologia strutturale è costituito dall'effetto delle fasi costruttive sul comportamento finale. Nel caso di travi completamente autoportanti, ad esempio, il calcestruzzo non è sollecitato dal peso proprio strutturale, che grava invece interamente sugli elementi metallici.

Le deformazioni viscosi sono quindi conseguenza esclusivamente dei carichi permanenti applicati successivamente alla costruzione e, in misura minore, dei carichi variabili. In questo caso la presenza nell'acciaio di uno stato di tensione che precede l'applicazione di questi carichi, una sorta di "presollecitazione" dovuta al peso proprio strutturale, non ha influenza sull'evoluzione successiva, almeno finché si rimane in campo elastico. Una situazione molto più complessa si verifica quando gli elementi prefabbricati contengono delle parti in calcestruzzo, come i fondelli pregettati che frequentemente sostituiscono la lamiera inferiore [6]. In questo caso la configurazione finale è costituita da tre differenti materiali, uno elastico e due viscoelastici con proprietà reologiche differenti. L'analisi degli effetti viscosi dovrà quindi prendere in appropriata considerazione l'eterogeneità strutturale, tenendo in opportuna considerazione il fatto che, soprattutto in presenza di eterogeneità, i fenomeni viscosi interagiscono con il ritiro del conglomerato.

## **Indagini numeriche preliminari**

Per fornire una prima indicazione sugli effetti strutturali della viscosità sulle Travi PREM è stata condotta una serie di analisi parametriche, i cui risultati sono rappresentati nei diagrammi delle Figure 1, 2, 3.

Sono state considerate due diverse situazioni; quella di una trave di lunghezza pari a m 10 e sezione 30×35 cm, in semplice appoggio e quella di una coppia di travi di dimensioni pari alla precedente che vengano solidarizzate introducendo un vincolo di incastro ad un tempo successivo a quello della loro costruzione in corrispondenza dell'appoggio intermedio. Questa seconda circostanza, seppure più frequente nella costruzione mediante elementi in calcestruzzo prefabbricati che mediante Travi PREM, le quali infatti portano di solito ad una costruzione monolitica, costituisce tuttavia un test importante per valutare l'effetto della viscosità sulla redistribuzione delle azioni interne, oltre che sugli stati deformativi.

I dati relativi alle caratteristiche geometrico meccaniche dei modelli testati sono riportate in Tabella 1.

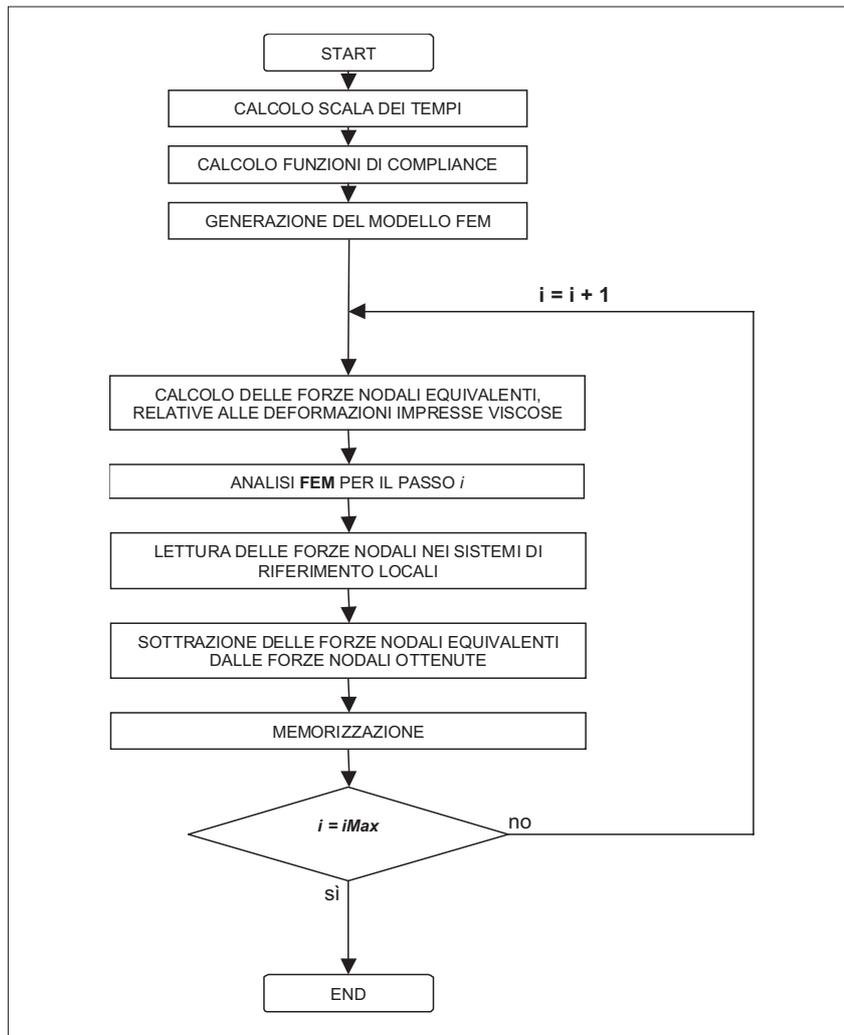


Figura 1 – Flow chart della procedura di analisi incrementale.

**Proprietà generali del modello strutturale**

area della sezione	$A_c$	1050 cm <sup>2</sup>
perimetro della sezione	$u$	1300 cm
momento di inerzia della sezione	$I_x$	107187 cm <sup>4</sup>
modulo elastico dell'acciaio di armatura	$E_s$	200000 MPa
resistenza del cls	$f_{ck,28}$	29.05 MPa
umidità relativa	RH	70 %

**Tempi**

tempo di applicazione del carico	$t_0$	14 giorni
tempo di introduzione del vincolo posticipato	$t_0$	100 giorni

**Parametri modello reologico CEB-90**

tipo di cemento	$s$	0.25
-----------------	-----	------

**Parametri modello reologico B3**

contenuto di cemento	$c$	400 Kg/m <sup>3</sup>
contenuto di acqua	$w$	180 Kg/m <sup>3</sup>
contenuto di aggregati	$a$	1820 Kg/m <sup>3</sup>
coefficiente relativo al tipo di cemento	$\alpha_1$	1
coefficiente relativo al metodo di curing	$\alpha_2$	1.2
coefficiente relativo alla forma della sezione	$k_s$	1

**Parametri modello reologico GL2000**

durata della maturazione	$t_c$	3 giorni
tipo di cemento	$a$	2.8
tipo di cemento	$b$	0.77
tipo di cemento	$k$	1

**Tabella 1 – Dati generali dei modelli numerici.**

Nelle travi, costituite da calcestruzzo omogeneo, sono state inseriti due strati di armatura inferiore e superiore uguali fra loro, dando luogo a tre diverse percentuali di armatura totale, 1%, 5% e 10%, al fine di stimare l'influenza della quantità di acciaio sul comportamento a lungo termine. L'analisi strutturale viscoelastica è stata condotta, nell'ambito del Metodo Generale, accoppiando la tradizionale procedura di soluzione discreta delle equazioni integrali con un solutore FEM di alto livello, in questo caso il codice DIANA™, che fornisce una serie di prestazioni specifiche per l'analisi delle strutture in cemento armato. Nel modello FEM gli strati di armatura sono stati modellati esplicitamente, con elementi elastici, impiegando dei link rigidi per ristabilire la congruenza della sezione. L'accoppiamento è stato implementato in modo classico, attraverso una procedura esterna di controllo e di generazione delle funzioni di viscosità, sviluppata in ambiente MATLAB™, in grado di eseguire in modo automatico le chiamate e il passaggio di dati al solutore FEM.

Questa tecnologia si presta alla risoluzione di problemi del tutto generali, comprensivi di qualsiasi tipo di eterogeneità strutturale (calcestruzzi di di-

verse età o proprietà reologiche, condizioni ambientali differenti, armature lente, armature di precompressione, ecc.) e in linea di principio di quelle non linearità meccaniche e geometriche che possono verificarsi anche entro il range convenzionale di accettabilità della teoria viscoelastica (fessurazioni, effetti del secondo ordine, ecc.).

Lo schema di funzionamento del procedimento incrementale è descritto in Figura 1.

Dai diagrammi riportati in Figura 2, che rappresentano l'evoluzione della freccia in mezzeria per una trave in semplice appoggio con diverse percentuali di armatura, si ricavano due primi risultati: da un lato le deformazioni viscosi, nell'ipotesi di sezione in calcestruzzo completamente reagente, sono influenzate in modo significativo dal quantitativo di armatura presente. Per percentuali totali di armatura superiori al 5% la deformazione differita è minore o uguale a quella iniziale, mentre per la quantità di armatura minima si arriva a deformazioni differite pari al doppio di quelle iniziali.

Il contributo delle armature si riflette quindi in una riduzione sostanziale delle deformazioni differite a lungo termine.

È d'altra parte degna di nota la differenza di previsione che si ottiene applicando i diversi modelli di viscosità proposti in letteratura. Fra il modello europeo CEB90 e i modelli statunitensi B3 e GL2000, in particolare, si ha una differenza sostanziale nella previsione dopo un'età di approssimativamente 1000 giorni: mentre il primo assume un andamento asintotico, lasciando prevedere un sostanziale assestamento del fenomeno, gli altri due, se pure in modo diverso, prevedono invece una continuazione del fenomeno anche in tempi di uno o due ordini di grandezza maggiori.

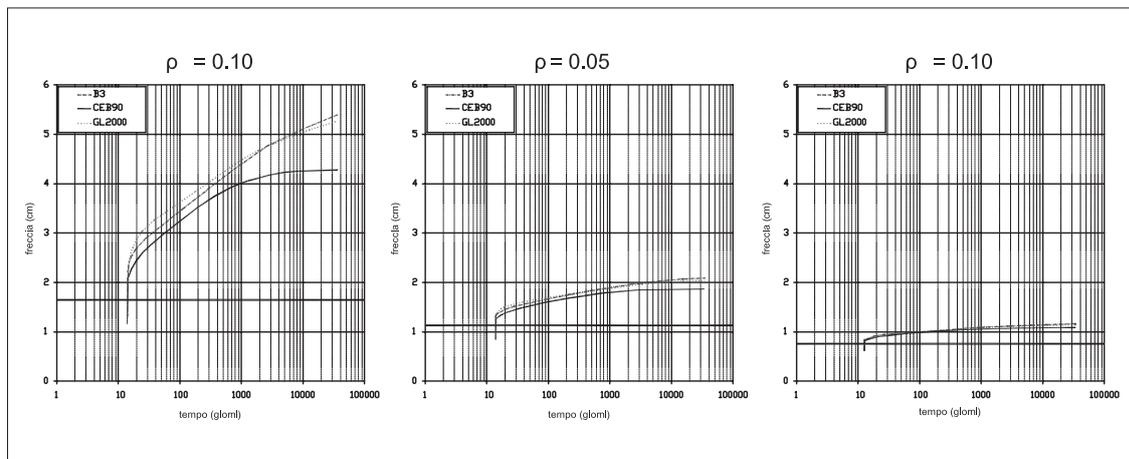
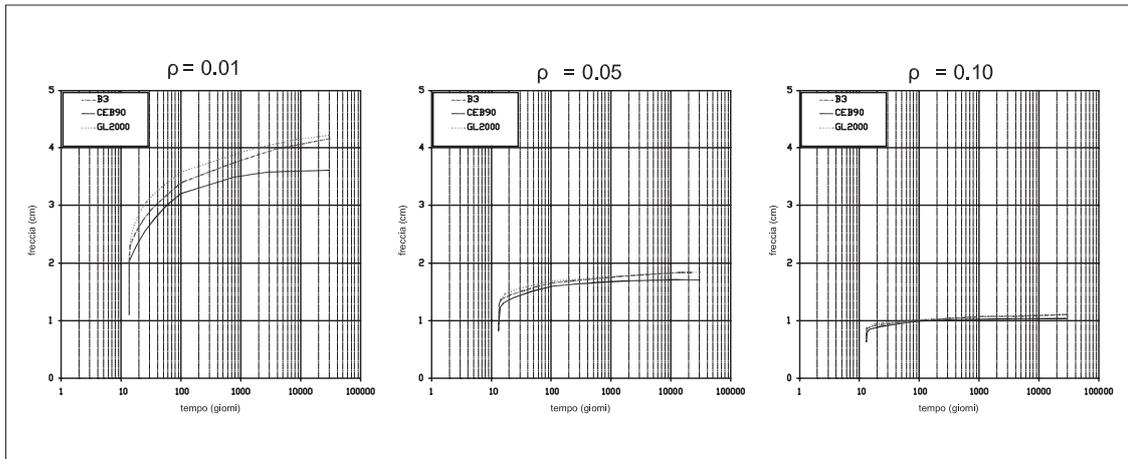
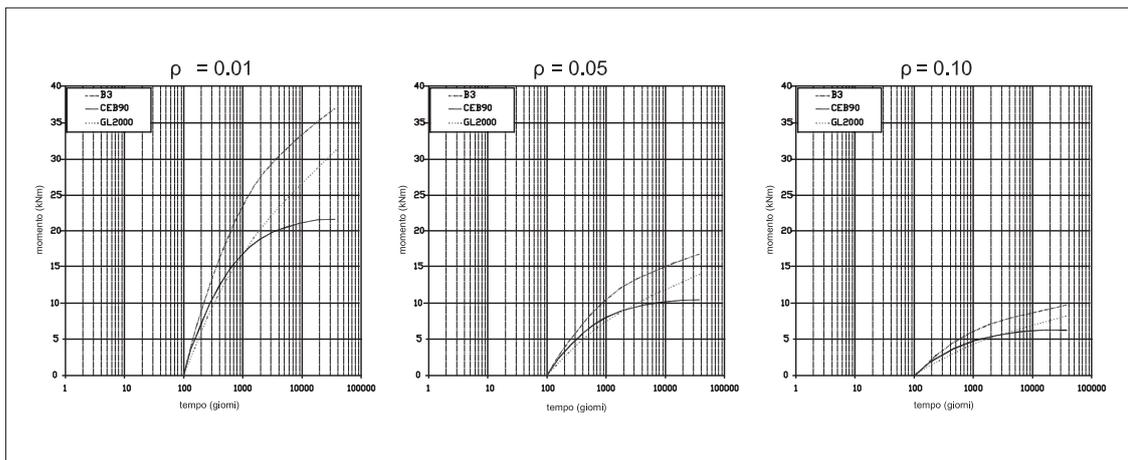


Figura 2 – Freccia in mezzeria della trave in semplice appoggio.



**Figura 3** – Freccia in mezzeria della trave con introduzione del vincolo posticipato.



**Figura 4** – Momento flettente in corrispondenza del vincolo posticipato.

I diagrammi di Figura 3 e Figura 4 rappresentano invece le frecce e i momenti nella mezzeria di una campata del modello in cui si introduce il vincolo posticipato ad un tempo di 100 giorni. Ciò dà luogo alla discontinuità chiaramente visibile in Figura 3 ed alla corrispondente riduzione delle deformazioni a tempo infinito.

D'altra parte in Figura 4 si può seguire l'evoluzione del momento flettente negativo che insorge dopo il bloccaggio del vincolo di continuità. Anche in queste analisi, come è logico attendersi, si ha una influenza significativa dell'armatura sull'evoluzione dei fenomeni viscosi.

Da queste prime indagini, che servono da guida per lo sviluppo della campagna di sperimentazione, emerge dunque come le Travi PREM abbiano

prestazioni a lungo termine particolarmente buone, la cui previsione, tuttavia, richiede analisi accurate e un opportuno confronto fra risultati numerici e risultati sperimentali, per quanto questi ultimi siano di difficile acquisizione a causa dei tempi in gioco.

Lo studio approfondito di questi comportamenti diviene di primaria importanza quando le applicazioni progettuali non sono più di solo tipo corrente ma si spingono anche verso strutture più innovative, come la moderna ingegneria sempre più richiede.

## Programma di prove sperimentali

A partire dalle considerazioni svolte sui risultati delle indagini numeriche, è stata programmata una campagna di prove sperimentali a lungo termine, su campioni in scala reale, in modo da verificare l'attendibilità delle previsioni.

Sono stati realizzati quattro campioni di trave in semplice appoggio, secondo la tipologia PREM a piatto inferiore saldato, e due di caratteristiche generali simili ma a fondello in calcestruzzo pregettato.

Le travi sono state dimensionate in modo da produrre una freccia iniziale con ampiezza prefissata di circa 20 mm, sotto l'azione del carico applicato. L'applicazione di un carico di lunga durata sui campioni è infatti il problema principale in questo genere di prove, ed è stato risolto impiegando pacchetti di lamiera di acciaio corrispondenti a circa 4.00 KN/m.

Trattandosi di un carico di entità modesta, è stato necessario realizzare campioni di trave particolarmente snelli, con dimensioni nominali della sezione pari a 19×20 cm per le travi tipo PREM e di cm 20×24 per le travi a fondello pregettato.

Le travi sono state progettate con diverse percentuali di armatura, simulando un dimensionamento per diverse condizioni di carico di esercizio, in modo da raggiungere una percentuale massima pari a circa il 9% della sezione trasversale in calcestruzzo. Valori così elevati della percentuale di armatura non sono rari nelle travi di tipo PREM progettate in autoportanza e con carichi di prima fase prevalenti rispetto a quelli di seconda fase. In queste condizioni il progetto è governato dalla prima fase, quando solo il traliccio metallico è attivo, e le limitazioni relative alle percentuali di armatura nel conglomerato perdono di significato. L'effetto benefico di percentuali di acciaio così significative sul comportamento reologico è tutt'altro che trascurabile.

Le caratteristiche dei singoli campioni di prova sono le seguenti:

Trave	H [mm]	h <sub>0</sub> [mm]	A <sub>c</sub> [cm <sup>2</sup> ]	I <sub>c</sub> [cm <sup>4</sup> ]	A <sub>s</sub> <sup>inf</sup> [mm <sup>2</sup> ]	A <sub>s</sub> <sup>sup</sup> [mm <sup>2</sup> ]	P [KN]
101	165	99	343.5	10336	950	460	41.00
102	164	99	465.6	21909	950	600	41.14
103	152	91	443.4	20655	1750	930	40.71
104	151	91	365.9	11121	2190	930	41.13
105	165	84	364.5	11113	620	600	41.56
106	155	79	347.7	10663	1960	930	42.20

Tabella 2 – Dati generali dei modelli testati.

La geometria dei tralicci in acciaio corrisponde allo schema standard di produzione che prevede barre ad aderenza migliorata saldate sul piatto inferiore e dispositivi di ancoraggio terminali. L'armatura trasversale è sempre costituita da due ordini di barre piegate e saldate.

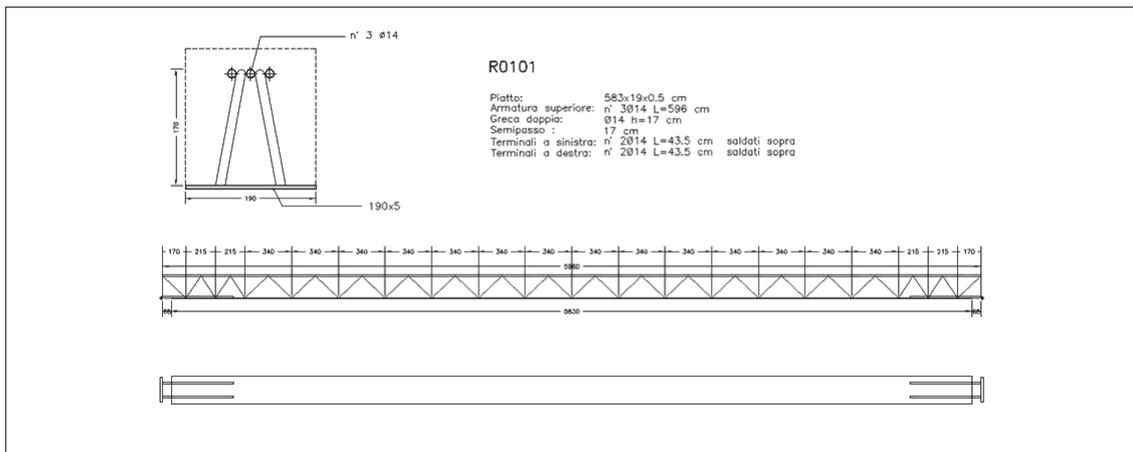


Figura 5 – Campione 101.

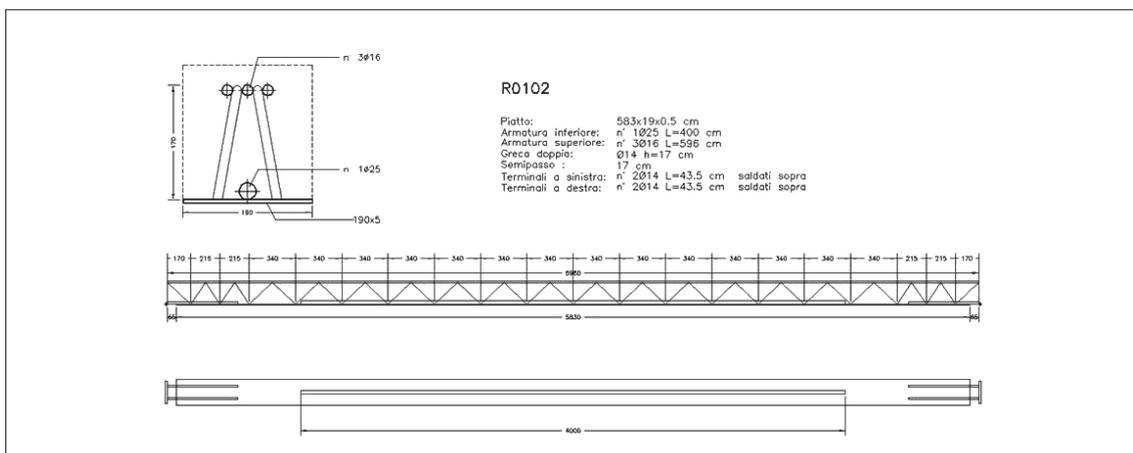


Figura 6 – Campione 102.

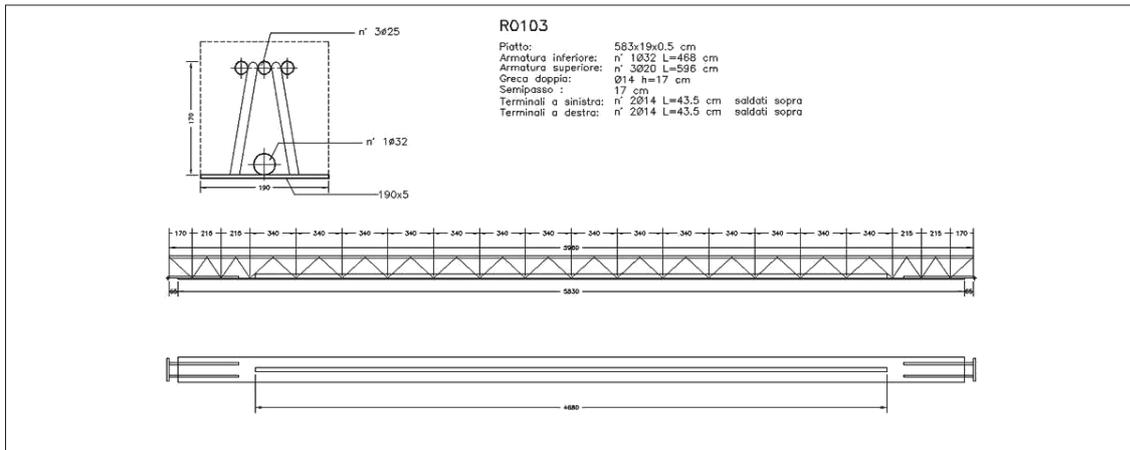


Figura 7 – Campione 103.

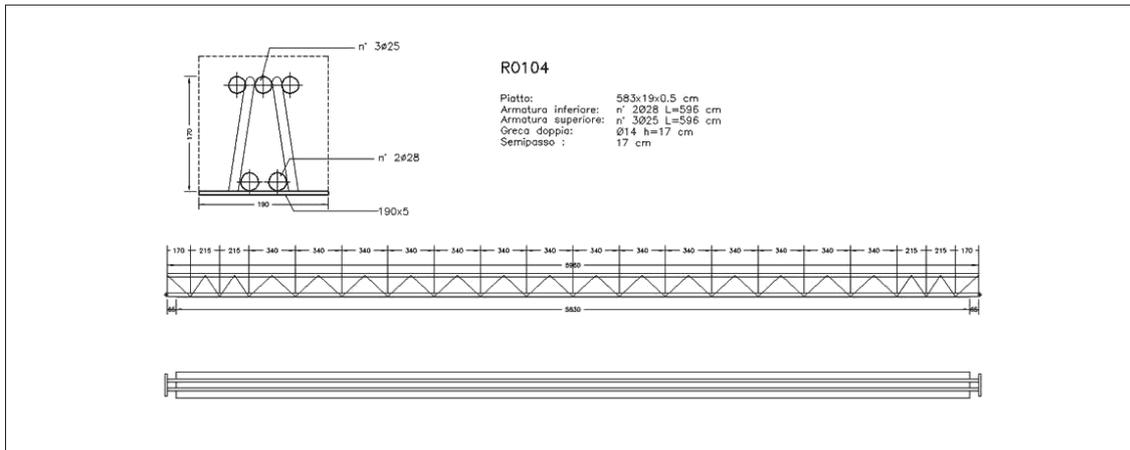


Figura 8 – Campione 104.

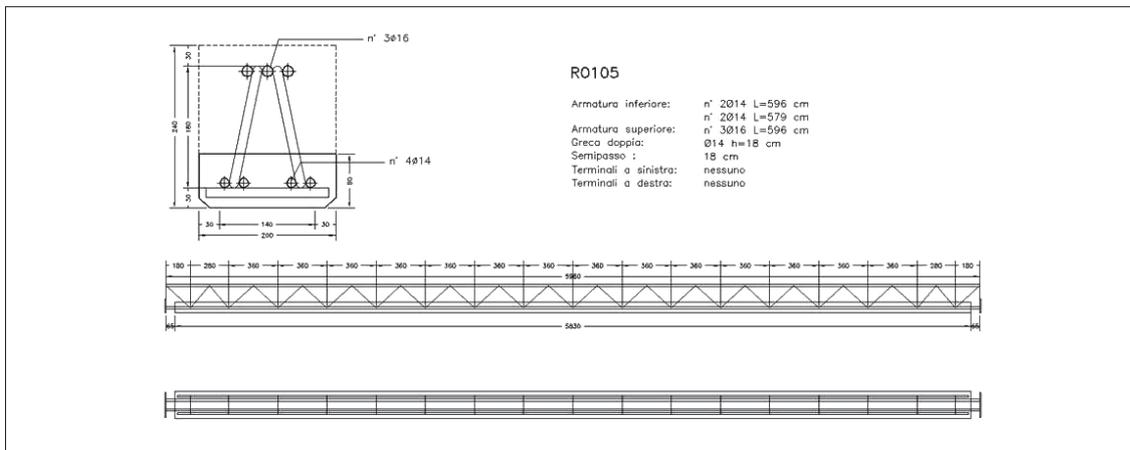


Figura 9 – Campione 105.

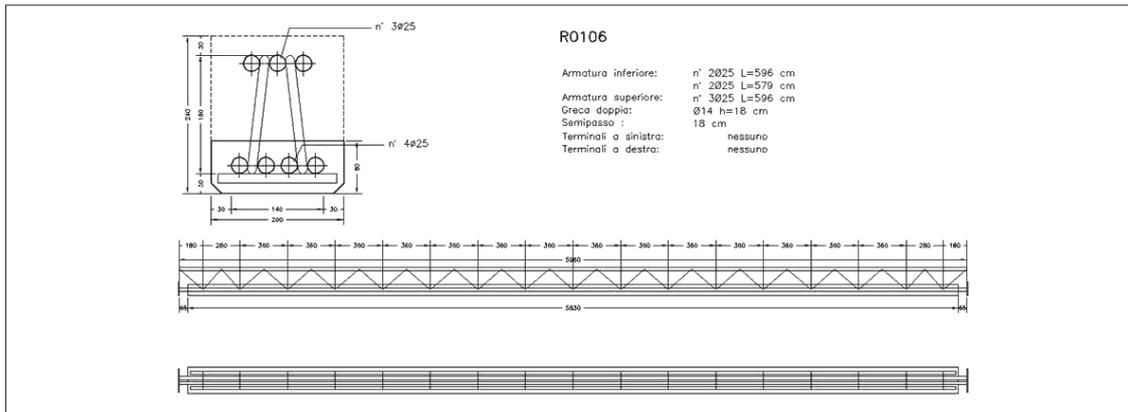


Figura 10 – Campione 106.



Figura 11 – Campioni con il piatto e campioni a fondello pregettato.

## Risultati

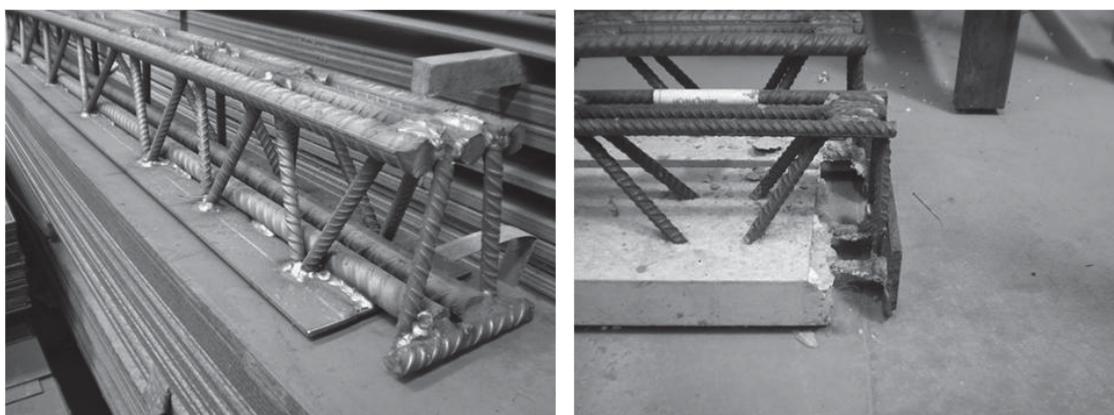
I campioni di prova descritti al paragrafo precedente sono stati gettati, lasciati maturare nel cassero e successivamente posizionati sui supporti a cerniera che costituiscono il banco di misurazione. Dopo 14 giorni sono stati caricati con i pacchi di lamiera ed è stata misurata la deformazione istantanea, dovuta a questo carico. A partire da quel momento è iniziata la procedura di misurazione, che ha portato ai risultati rappresentati in tabella.

tempo	14	15	17	20	27	45	56	63	91	144
trave 101	14.91	17.28	18.27	19.33	20.02	21.93	22.69	23.47	23.77	25.67
trave 102	13.15	15.48	16.48	17.28	18.15	20.05	20.88	21.53	21.68	23.93
trave 103	12.50	14.20	15.15	15.63	16.23	17.43	18.13	18.85	19.13	20.23
trave 104	10.15	11.30	11.88	12.35	12.58	13.43	14.30	14.25	14.25	15.38
trave 105	24.62	26.84	28.36	29.39	30.26	31.55	32.11	32.68	33.11	34.23
trave 106	9.85	11.45	11.80	12.63	12.90	13.43	13.78	14.13	13.93	14.88

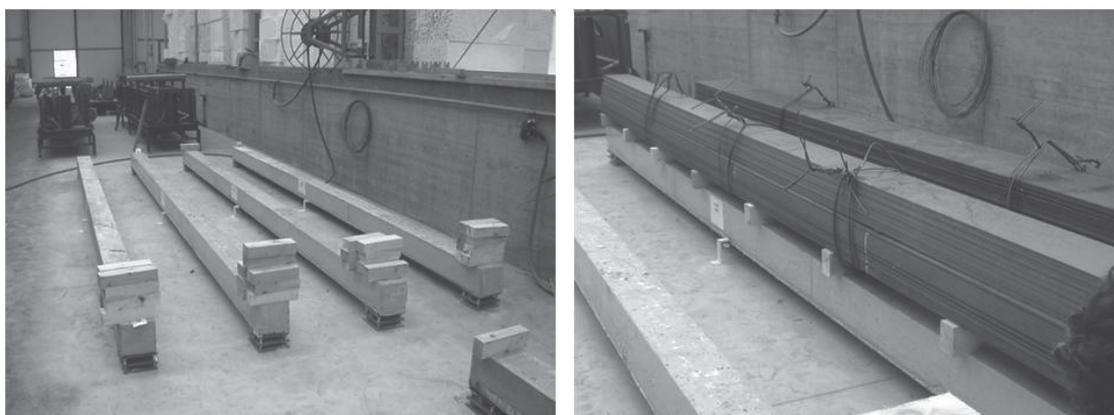
Tabella 3 – Risultati.

I valori numerici ottenuti sono stati diagrammati e sovrapposti alle previsioni fornite dai diversi modelli di viscosità, considerando separatamente la deformazione istantanea iniziale da quella differita che evolve successivamente all'applicazione del carico.

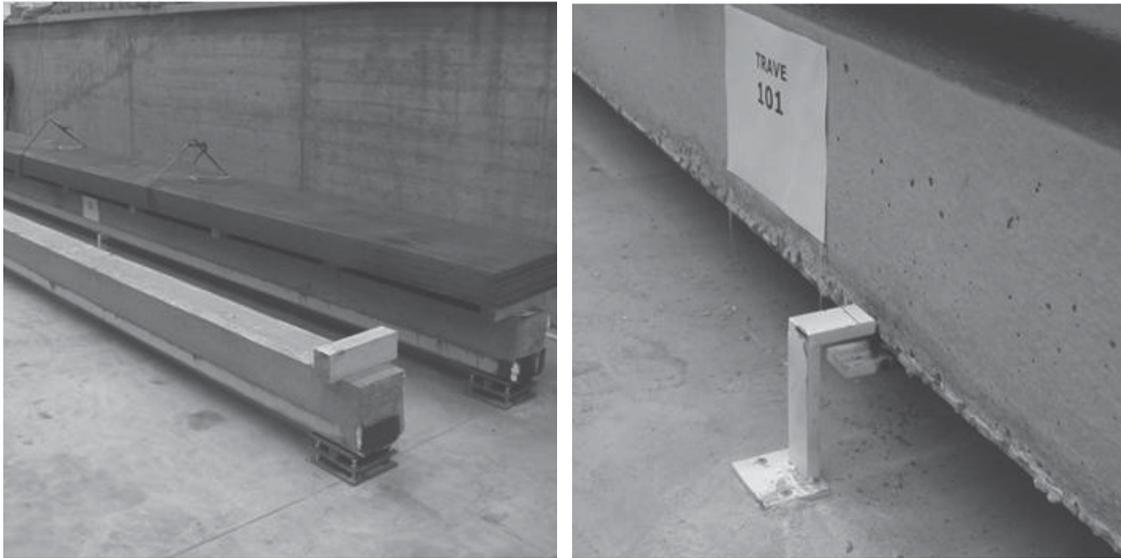
Come si può vedere dai diagrammi seguenti, se si considerano solo le deformazioni differite vi è un ottimo accordo fra i risultati sperimentali e le previsioni. Diversamente le deformazioni iniziali presentano maggiore dispersione, dal momento che sono influenzate dal procedimento di misura, che non è in grado di separare la deformazione della trave dagli eventuali assestamenti dei vincoli, e, nel caso della trave 105, anche dal comportamento anomalo della trave stessa, che ha subito una serie di fessurazioni iniziali, all'atto del carico, non presenti nelle altre travi.



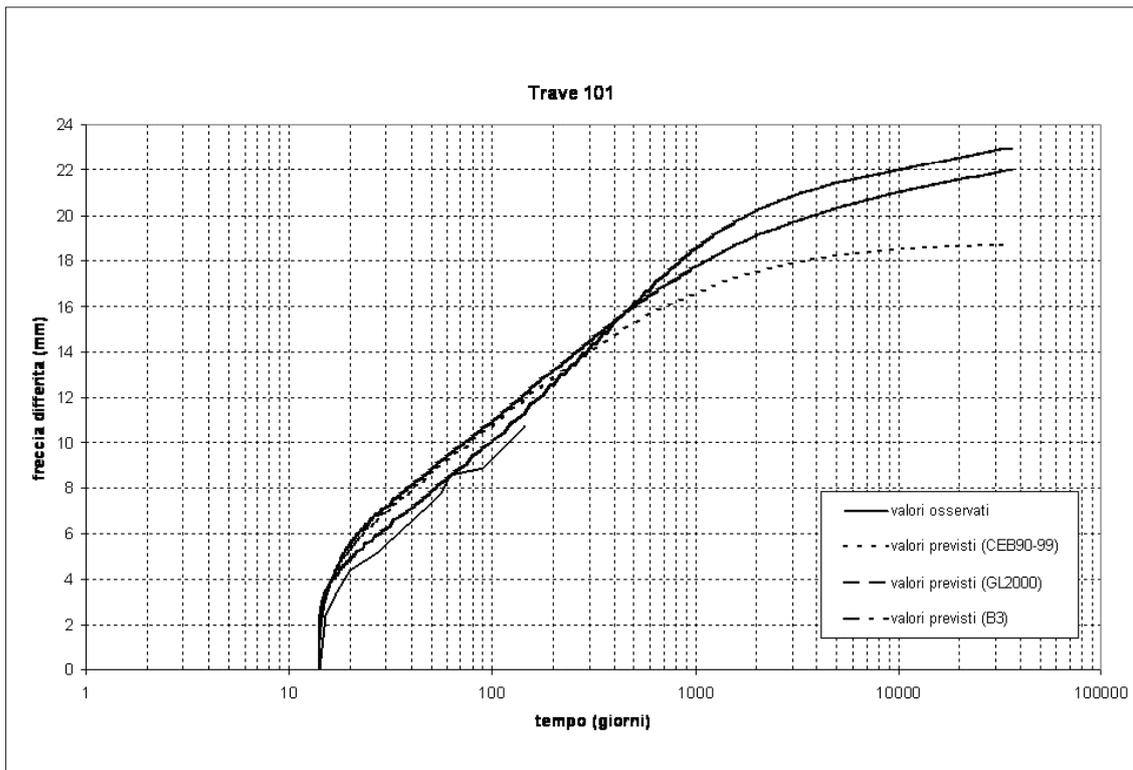
*Figura 12 – Dettagli dei due tipi di campioni.*



*Figura 13 – Campioni sul banco di prova e applicazione dei carichi.*



*Figura 14 – Campioni a fondello sul banco di prova e dettaglio del dispositivo di rilevamento della freccia.*



*Figura 15 – Deformazione differita campione 101.*

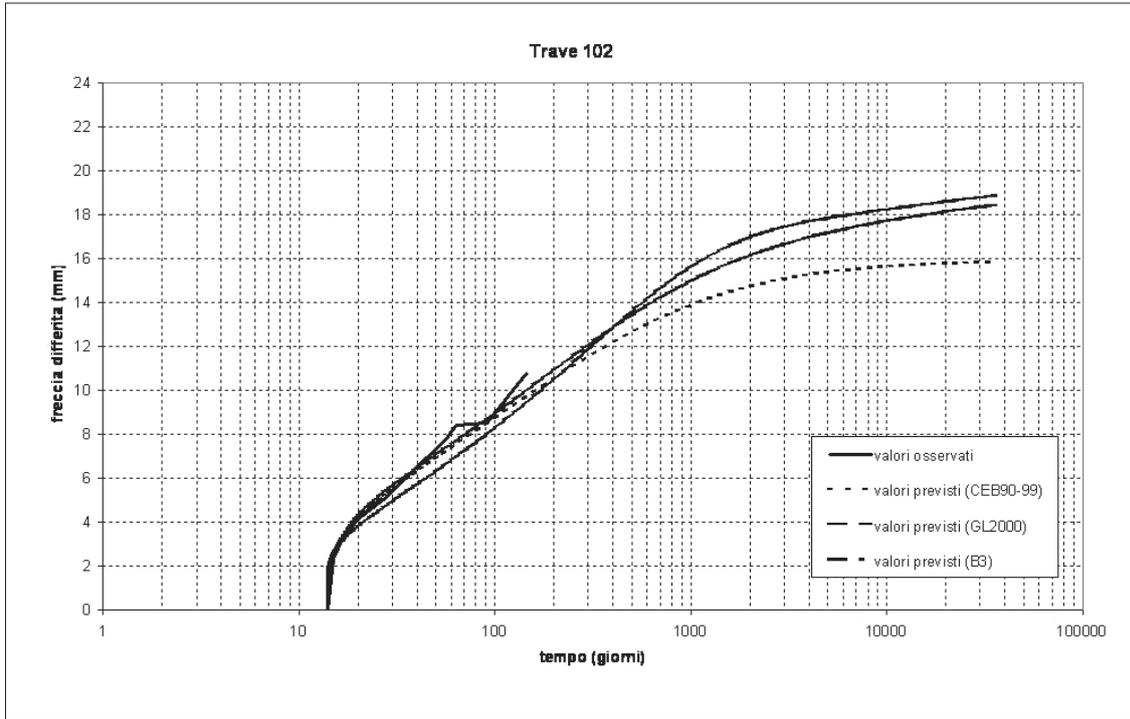


Figura 16 – Deformazione differita campione 102.

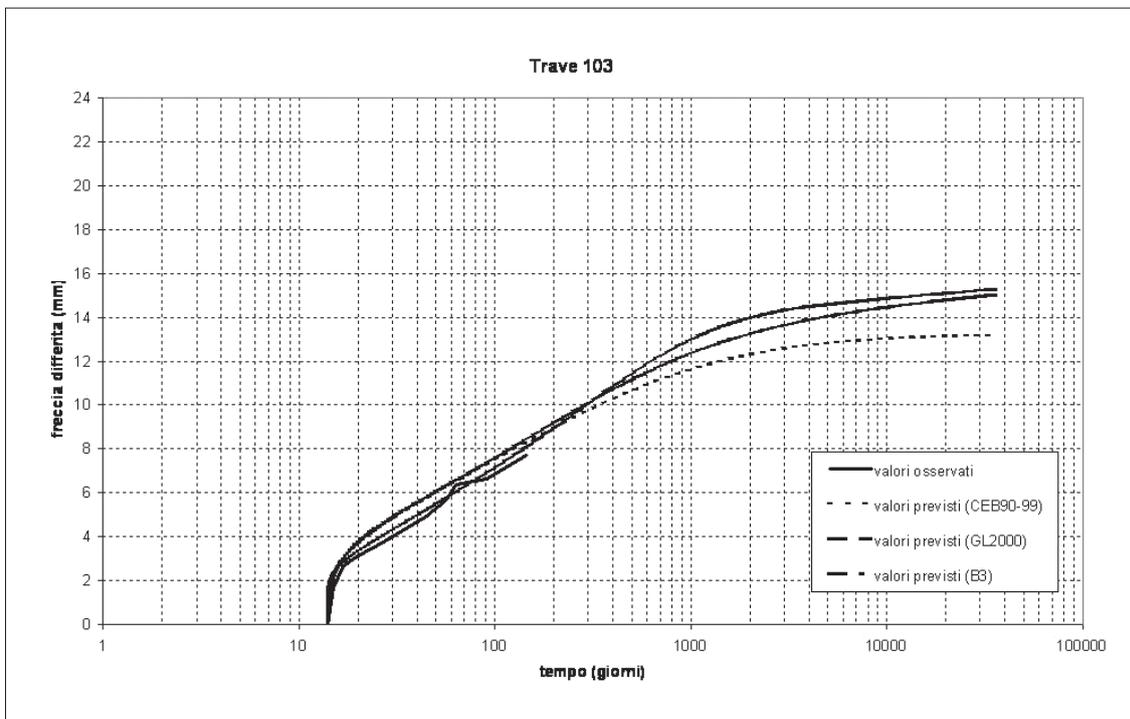


Figura 17 – Deformazione differita campione 103.

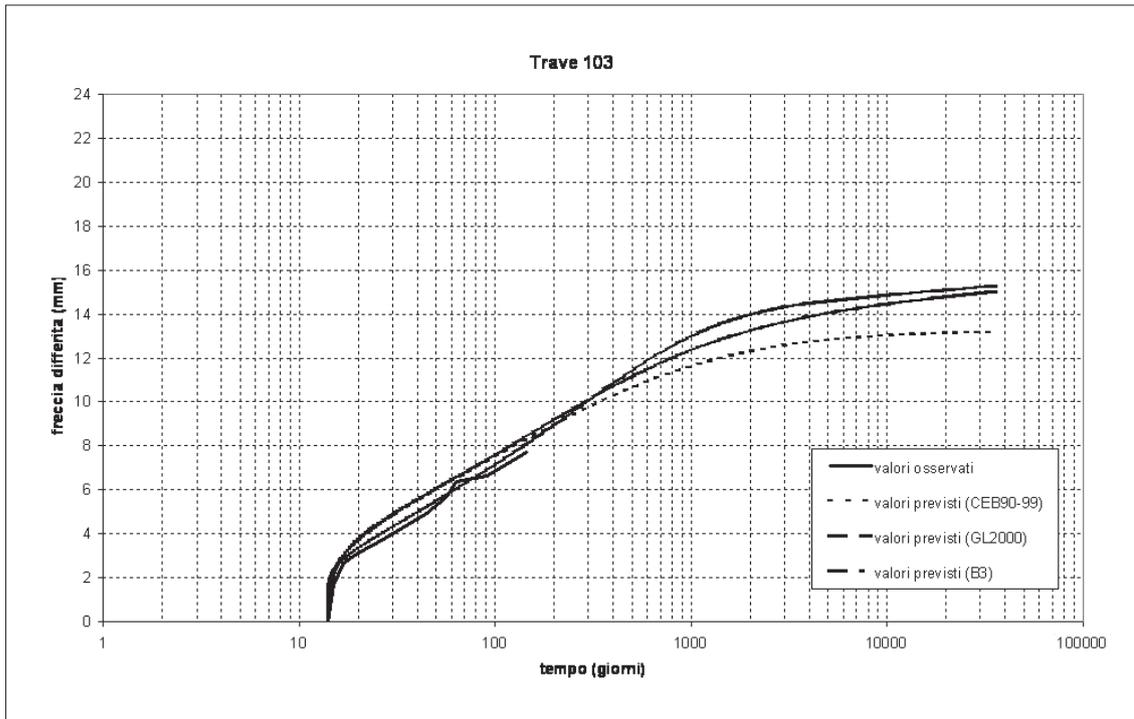


Figura 18 – Deformazione differita campione 104.

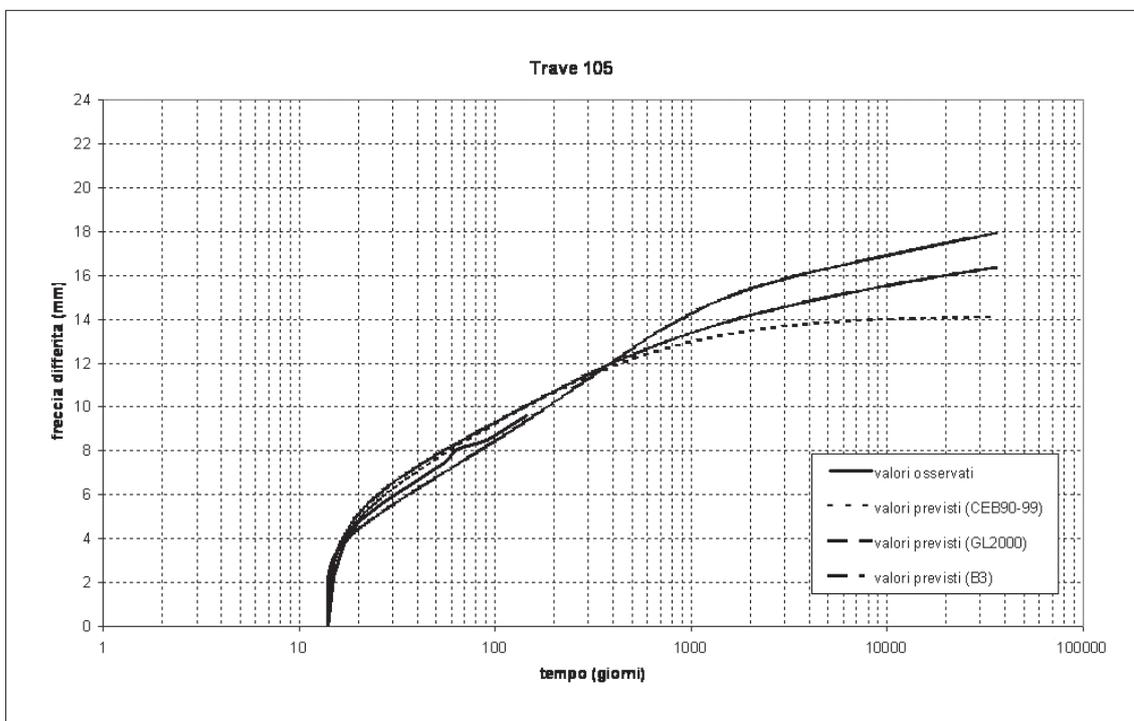


Figura 19 – Deformazione differita campione 105.

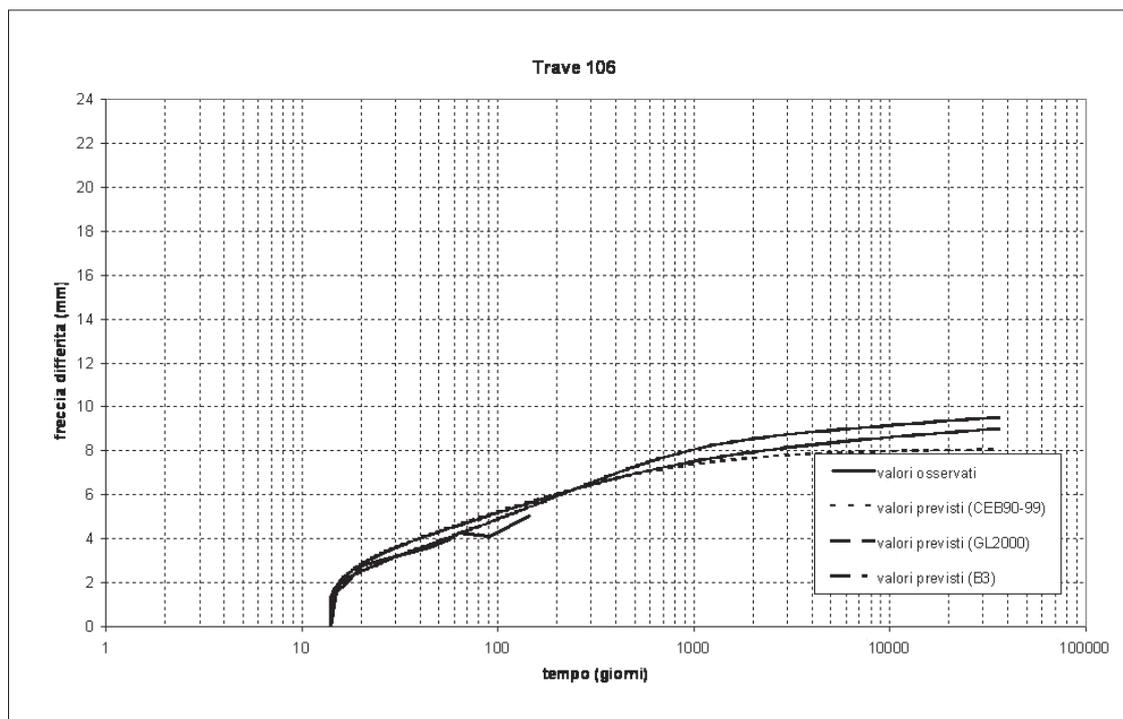


Figura 20 – Deformazione differita campione 106.

## Conclusioni e sviluppi ulteriori

Nell'arco temporale considerato, le deformazioni differite dovute ai fenomeni viscosi misurate sperimentalmente risultano in buon accordo con le previsioni condotte per via numerica.

Le discrepanze maggiori riguardano l'entità delle deformazioni iniziali, che però sono influenzate dalle imperfezioni del dispositivo di prova. La presenza di alte percentuali di armatura, che è stata esplicitamente considerata nelle simulazioni, ha un effetto benefico nella riduzione delle deformazioni viscosi che può essere predetto con un notevole grado di affidabilità.

La ricerca proseguirà con la misurazione delle deformazioni nel tempo e con la valutazione esplicita dell'effetto del fondello pregettato, che è stato realizzato prima del getto, sul comportamento complessivo delle travi di questo tipo.

## Bibliografia

- [1] ACI 209.2R-08 (2008), *Guide for Modeling and Calculating Shrinkage and Creep in Hardened Concrete*, ACI Committee 209, American Concrete Institute, Farmington Hills (USA), 2008.
- [2] Sassone M., Chiorino M. A. (2005), *Design aids for the evaluation of creep induced structural effects*, J. Gardner and J. Weiss Eds., Shrinkage and creep of concrete (vol. SP-227, pp. 239-260), ISBN: 0-87031-178-6 American Concrete Institute, Farmington Hills (USA), April 2005.
- [3] Sassone M., Bigaran D., Casalegno C. (2007), *Numerical Approach to Viscoelastic Analysis of Concrete Structures using Equilibrium and FEM*, Gardner N. J., Chiorino M. A. Edts. Structural Implications of Shrinkage and Creep of Concrete. (vol. SP-246, pp. 21-36), ISBN: 0-87031-250-2 American Concrete Institute, Farmington Hills (USA).
- [4] Bazant Z.P. (1972), *Prediction of Concrete Creep Effects Using Age-Adjusted Effective Modulus Method*. Journal of the American Concrete Institute, April 1972, n° 69, pp. 212-271.
- [5] Chiorino M. A. (2005), *A Rational Approach to the Analysis of Creep Structural Effects*, in J. Gardner and J. Weiss eds., Shrinkage and Creep of Concrete, ACI SP-227 2005, pp. 107-142.
- [6] Plizzari G., Cominoli L., *Studio sui fondelli di calcestruzzo delle Travi Reticolari Miste: risultati sperimentali e nuove soluzioni*, PremMagazine, n° 01, 2008.

## gli Autori

**Mario Sassone.** *Ricercatore in Tecnica delle Costruzioni presso il Politecnico di Torino e membro dell'ACI Committee 209 che si occupa degli effetti strutturali della viscosità. Si occupa di Travi Prefabbricate Reticolari Miste dal 1998 ed è attualmente membro del Gruppo di Ricerca Nazionale. I suoi studi su questo tipo di strutture hanno riguardato l'indagine sperimentale e la simulazione numerica del comportamento a SLU, più recentemente, lo studio delle condizioni di esercizio.*



**Carlo Casalegno.** *Frequenta il Dottorato di Ricerca in Ingegneria delle Strutture presso il Politecnico di Torino. Il suo argomento di studio riguarda esplicitamente l'analisi numerica di problemi strutturali viscoelastici avanzati. Ha già al suo attivo diverse pubblicazioni internazionali e partecipa al programma di ricerca Assoprem sul comportamento a lungo termine delle travi reticolari miste.*



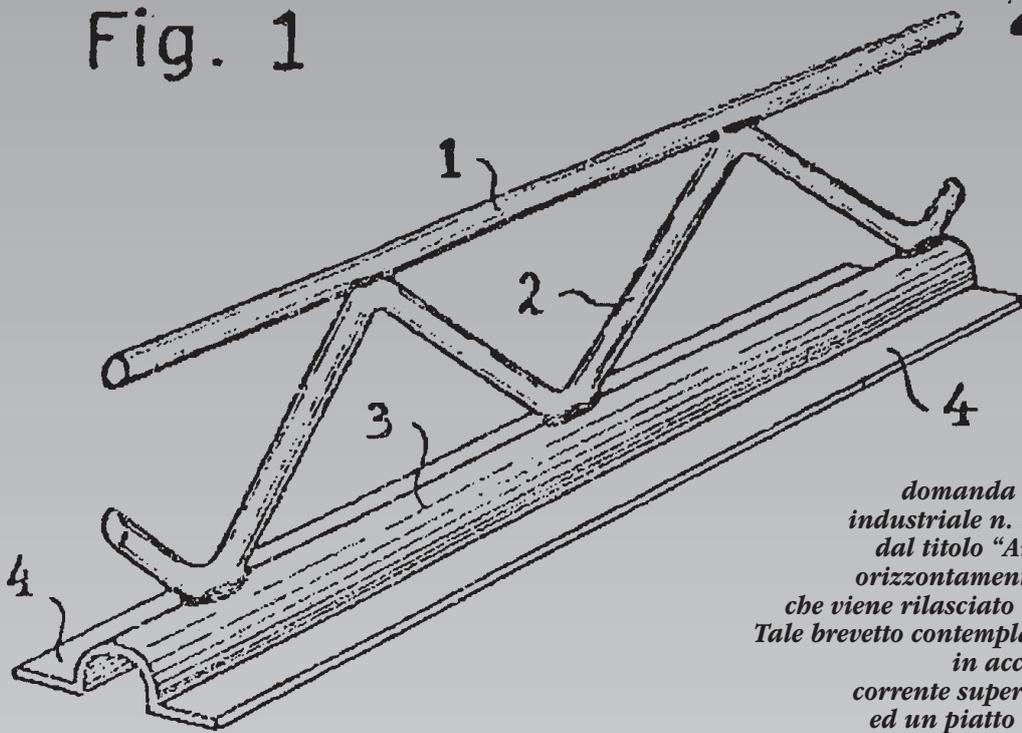
## **Elenco dei partecipanti al Gruppo di Ricerca Assoprem – CIS-E 2007-2009**

*Coordinamento Prof. Giovanni Plizzari*

- *Assoprem* - Ing. Livio Izzo, Ing. Marco Miglioli
- *Assoprem* - Ing. Giuseppe Vinonuovo
- *Assoprem* - Ing. Gaetano Merenda, Ing. Fabio Sorrenti
- *Assoprem* - Ing. Ing. Anna Bati, Ing. Manuela Contaldo, Ing. Andrea Malnati
- *Assoprem* - Ing. Sergio Massa
- *Assoprem* - Ing. Antonia Nadia Cancelli
- *Assoprem* - Ing. Simone Galante, Ing. Pierluigi Reato
- *Assoprem* - Ing. Massimo Bertolini, Ing. Gianni Rocco, Ing. Giuseppe Trentin
- *Assoprem* - Ing. Marco Assini
- *Assoprem* - Ing. Nicolò Cancelliere
- *Assoprem* - Ing. Giuseppe Sergi
- *Assoprem* - Ing. Giuseppe Suraci, Ing. Raffaele Venir
- *Assoprem* - Ing. Giuseppe Borneto, Ing. Stefano Foglietta
- *CIS-E/Università di Brescia* - Prof. Giovanni Plizzari, Ing. Fausto Minelli
- *Ferriere Nord Pittini SPA* - Ing. Olivo Molinari, Ing. Roberta Mallardo
- *Politecnico di Torino* - Arch. Mario Sassone, Ing. Carlo Casalegno
- *Università di Bergamo* - Prof. Paolo Riva, Ing. Andrea Belleri
- *Università di Bologna* - Prof. Marco Savoia
- *Università della Calabria* - Prof. Luciano Ombres
- *Università di Ferrara* - Prof. Nerio Tullini
- *Università di Messina* - Prof. Piero Colajanni
- *Università di Palermo* - Prof. Lidia La Mendola, Prof. Nunzio Scibilia
- *Università di Reggio Calabria* - Ing. Raffaele Pucinotti
- *Università del Salento* - Prof. M. Antonietta Aiello
- *Università di Trieste* - Prof. Claudio Amadio, Ing. Sveva Sorgon

Fig. 1

735007



1964, le Origini.

Viene presentata al Ministero dell'Industria a Torino, dal sig. Savoia Prasseda, domanda di brevetto per invenzione industriale n. 16687/64 del 27 luglio '64 dal titolo "Armatura autoportante per orizzontamenti in calcestruzzo armato" che viene rilasciato nel 1966 con il n. 735007. Tale brevetto contemplava un travetto tralicciato in acciaio composto da un ferro corrente superiore, un traliccio d'anima ed un piatto inferiore, saldati fra loro, che dovevano essere gettati, in autoportanza, a formare una struttura composta.

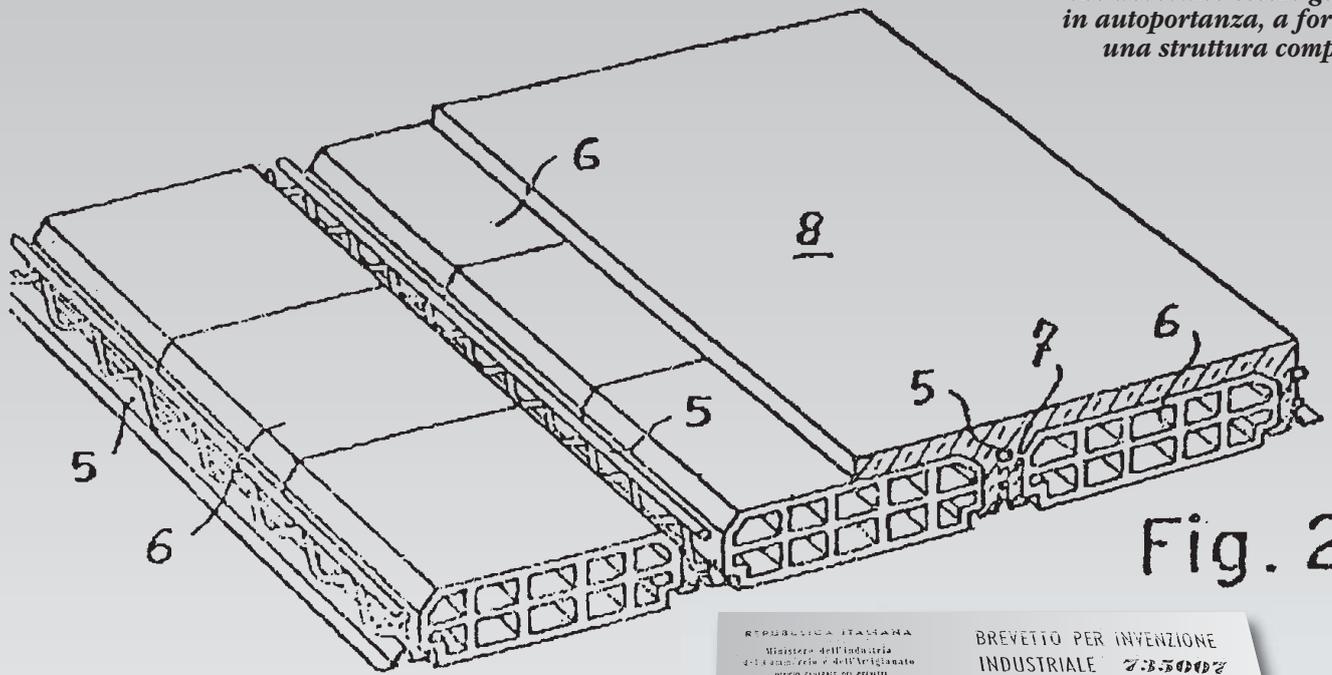


Fig. 2

REPUBBLICA ITALIANA  
Ministero dell'Industria  
Ufficio Centrale Brevetti

**BREVETTO PER INVENZIONE INDUSTRIALE** 735007  
lett. Cl. F. 814

Savoia Prasseda, a Torino

Data di deposito: 27 luglio 1964  
Data di concessione: 15 dicembre 1966

Struttura autoportante per orizzontamenti in calcestruzzo armato

parte considerevole l'azione di un orizzontamento armato è costoso dei materiali impiegati nella costruzione l'informazione D'altra parte la costruzione impiegata in calcestruzzo per la forma continua del fabbricato a laterizi e similabritici all'industrializzazione. Sono state progettate autoportanti in calcestruzzo a base in calcestruzzo di questi armature il da maneggiare e ridurre, ha lo scopo l'orizzontamenti abilitato, autoportanti, ed ha caratterizzate ori non con o di un ferro inferiore in le cui all costituiscono l'impimento.

interamente metallica, e quindi leggera a parità di resistenza, costano il suo impiego non, di luogo ai noti inconvenienti.

l'invenzione è maggiormente chiara nella descrizione che seguita alcune forme di realizzazione, aventi carattere non limitativo e non esemplificativo, rappresentate schematicamente nei disegni annessi, in cui:

Fig. 1 mostra prospetticamente un segmento di armatura secondo l'invenzione;

Fig. 2 mostra una parte di orizzontamento costruito in applicazione dell'invenzione, in due successive fasi della costruzione;

Fig. 3 mostra una disposizione in cui i laterizi di riempimento sono semplicemente appoggiati all'armatura;

Fig. 4 mostra una disposizione in cui fra i laterizi di riempimento e l'armatura sono disposti dei nodi capifilari;

Fig. 5 mostra una disposizione in cui i laterizi di riempimento vengono altresì da travaretti.

L'armatura secondo la fig. 1 comprende un ferro superiore (1) collegato mediante un connettore, costituito da un alzo tendente -2- piegato a zigzag, al ferro inferiore (3) collegato da una lamiera o nastro di ferro preferibilmente piegato o curvato nella sua parte centrale -3- per realizzare una elementare struttura alla fig.

MINISTERO DELL'INDUSTRIA, DEL COMMERCIO E DELL'ARTIGIANATO  
UFFICIO CENTRALE BREVETTI

Brevetto per Invenzione Industriale N. 735007

Si certifica che nel registro dei brevetti per invenzioni industriali è stato redatto apposito atto da cui risulta quanto segue:

In data 27/7/64 è stata depositata presso l'Ufficio Provinciale dell'Industria, del Commercio e dell'Artigianato di Torino

a nome di Savoia Prasseda e Rotian

Reppr. te: Ing. S. Patrino - Torino

la domanda di brevetto per invenzione industriale N. 16687/64 dal titolo: "Armatura autoportante per orizzontamenti in calcestruzzo armato".

“ **Sessant'anni circa per normare le strutture in c.a., altrettanti per la prima norma su quelle miste, ...e poco più di quarant'anni per regolamentare le Travi PREM** ”

**La Trave Prefabbricata Reticolare Mista nasce più di quarant'anni fa...**

...nasce senza nè un nome comune, cioè un termine tecnico univoco, nè un nome proprio, cioè un marchio.

**1966** La prima applicazione del brevetto n. 735007, di cui si ha notizia, è quella relativa alle strutture collegate ad un impianto di frantumazione ghiaia, a San Bartolomeo di Savignone (GE), a cura dell'ing. Giuseppe Borneto.

L'ing. Salvatore Leone deposita domanda di brevetto per una "Trave portante metallica per solai e per volte di copertura, destinata a fungere da elemento di appoggio e ad essere inglobata nella gettata di calcestruzzo". Il primo marchio delle Travi Prefabbricate Reticolari Miste sul mercato fu SEP.



**1970** Nascono i marchi "rep" e "Trave REP" depositati dall'ing. Salvatore Leone.

**1972** Nasce la trave tralicciata con fondello in acciaio a ribasso brevettata dall'ing. Salvatore Leone e concessa in licenza, in pochi anni, ad una decina di produttori sul territorio nazionale assieme al marchio "Trave rep".



**1978** La CSP Prefabbricati, al tempo licenziataria per la produzione di Travi rep, inventa la trave con fondello in calcestruzzo, oggi la più diffusa sul mercato, con i marchi Trave Lastra e, successivamente, TLQ. Mette a punto e sviluppa, inoltre, la più efficiente anima a puntoni verticali per tutte le travi tralicciate.

**1986** Inizia una intensa ricerca effettuata nel laboratorio ufficiale della RDB di Pontenure (PC) a cura esclusiva di alcune aziende riunite nel Consorzio Produttori Travi Rep (formato da RDB, CSP, MAER, EDILrep, TOSCANrep).

**1987-'88** Le innovazioni ed i brevetti continuano: nascono la Trave Reticolare con doppio piano d'anima della S.C.A.V. e quella con piatto binato e anime sfalsate della Reato snc.

La produzione di brevetti e marchi diventa impressionante. **1996** Vengono brevettati la Trave Disassata ed il traliccio passante nel nodo da parte della EDIS srl ed il Corrente Superiore Arretrato da parte della CSP e del sig. Franco Brogi. Il numero di produttori passa da poche unità a parecchie decine e quasi ciascuno propone un proprio marchio: ART, CAM, CALTRUSS, COOPTRAVE, Metallica RDB, Mista RDB, RAFTER, REAM, rep, REP cls, REP DIS, REP NOR, REP TR, SD, SER, SRP, TLQ, TMQ, TRR, TSQ, VTR

**2006** Finalmente un nome comune: PREM. In presenza di così tanti nomi propri, il mercato avvertiva l'esigenza di una terminologia comune che non poteva che nascere in sede tecnica. Il Gruppo di Lavoro Assoprem-CIS-E propone il nome tecnico, Prefabbricata Reticolare Mista, ed un acronimo tecnico: PREM, di libero uso da parte di chiunque ed attribuibile a tutte le Travi Tralicciate conglobate in un getto di calcestruzzo.



**2007** Coordinare la Ricerca. Nata nel 2006, Assoprem impegna gran parte delle proprie risorse nella ricerca tanto da far nascere, in breve tempo, una nuova rivoluzionaria soluzione: le Travi PREM con il fondello in calcestruzzo superperformante.

**2008** Le prime Norme specifiche. Nel D.M. 14/01/2008, le Travi Tralicciate inglobate in un getto di calcestruzzo vengono finalmente specificamente individuate in maniera definita e suddivise, dalle emanande Procedure Ministeriali, in tre distinte categorie strutturali.

**2009** Viene rilasciato parere favorevole sulle Procedure Ministeriali dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (attualmente in attesa di pubblicazione) e vengono completate le Raccomandazioni Assoprem-CIS-E.





Nel marzo 2006, **Assoprem** avvia la collaborazione con il **Consorzio Interuniversitario CIS-E** per lo sviluppo di un progetto con uno storico obiettivo: elaborare un Documento Tecnico, di valenza contrattuale e adottabile su base volontaria, per agevolare la progettazione ed esecuzione delle Travi Prefabbricate Reticolari Miste da proporre alla Comunità Scientifica. Insieme si attivano per far nascere un **Gruppo di Lavoro** composto da Università, Associazioni, Istituti ed Enti Terzi qualificati, provenienti da tutto il territorio nazionale che, insediandosi nel giugno dello stesso anno, inizia i lavori durati quattro anni, che hanno consentito la redazione delle **Raccomandazioni per la Progettazione e l'Esecuzione di Travi Prefabbricate Reticolari Miste**.

### **La Nuova Rivoluzione Copernicana**

Fino ad oggi, il rapporto fra Professionista e Travi PREM è stato sempre mediato da un Produttore perché non esistevano né principi generali né strumenti operativi con cui Egli potesse gestire in proprio, nel suo studio, il processo di progettazione con queste travi.

Ciò ha comportato un grosso limite alla diffusione di questa struttura che, invece, ha reali potenzialità per diventare uno strumento corrente di progettazione e di gestione moderna del cantiere.

*Assoprem*, fin dalla sua nascita, si è data come obiettivo quello di colmare questo vuoto. E lo ha fatto!

Prima di tutto contribuendo alla redazione delle prime Raccomandazioni complete sull'argomento supportate da un Progetto di Ricerca Coordinata Nazionale, poi collaborando con le maggiori Software House ad inserire l'elemento Trave PREM nativa nei loro modellatori ed infine interagendo con Enti di Certificazione per la messa a punto di tutto il Sistema di Gestione dei Controlli.

Questo volume racchiude, in maniera organica, tutti i documenti tecnico-operativi integrali e tutte le indicazioni procedurali per mettere il Progettista, il Direttore Lavori ed il Collaudatore in condizioni di piena autonomia.

Perciò, non crediamo sia esagerato parlare di una vera Rivoluzione Copernicana che mette al Centro del Sistema il Professionista!

**Ing. Giuseppe Borneto** - VE.CAM. srl - Genova

Primo utilizzatore del brevetto "Armatura autoportante per orizzontamenti in calcestruzzo armato" depositato a nome di Savoia Prassede nel 1964.

**€ 00,00**