

numero speciale

Tecnostrutture®
TRAVE rep

a cura di **csp fea**

STRUCTURAL

magazine di ingegneria strutturale www.structural-modeling.it

speciale

1

M O D E L I N G

Periodico trimestrale di ingegneria strutturale - anno II n. 1 speciale - Aprile 2011

EVENTI

Roma, 14 aprile 2011
"Tecnologie e ricerca:
nuove prospettive
per ridurre i tempi di
esecuzione e garantire
maggiore sicurezza nelle
opere infrastrutturali"

PONTI

Processi innovativi
per la costruzione
autoportante di ponti
misti

SISMICA

I requisiti delle
moderne costruzioni:
sicurezza sismica,
esecuzione rapida e
a basso impatto
economico ed
ambientale



Ing. Paolo Segala
Direttore Responsabile e CEO di CSPFea s.c.

Le differenze tra struttura mista, struttura in acciaio e struttura in calcestruzzo hanno dei margini di interpretazione non trascurabili. Ecco perché dedicare un numero monografico al Meeting Tecnico-Normativo sulle strutture miste autoportanti, tenutosi presso il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici lo scorso autunno. È stata l'occasione di confronto tra aziende, mondo accademico e istituzione sulle esperienze maturate nel settore delle strutture miste autoportanti in acciaio-calcestruzzo e sugli sviluppi nazionali ed europei della normativa che ne regola il loro utilizzo. Selezionato il pubblico presente nel Parlamentino del C.S.LL.PP, tra cui i maggiori studi di progettazione e committenze. Di tutto rilievo la rosa dei relatori guidata dal **prof. ing. Franco Braga**, professore ordinario alla Sapienza, curatore della traduzione italiana dell'Eurocodice 4, e direttore scientifico del comitato REP®. L'incontro è stato moderato dal **prof. ing. arch. Enzo Siviero**, ordinario di Tecnica delle Costruzioni IUAV Venezia, vicepresidente vicario del CUN Consiglio Universitario Nazionale e coordinatore del comitato scientifico Trave REP®.

Le strutture miste autoportanti rappresentano una tecnologia costruttiva consolidata nel panorama europeo, ma con ancora enormi potenzialità da esprimere, soprattutto nel nostro Paese. Il sistema misto autoportante è in grado di soddisfare i requisiti di sicurezza, flessibilità e durabilità, divenuti ormai imprescindibili. È necessario che la cultura della progettualità derivi da un **lavoro sinergico tra mondo accademico, istituzione, imprese e libere professioni**. Per permettere un adeguato sviluppo tecnologico e culturale, il legislatore deve supportare l'innovatore attraverso un **necessario processo di sburocratizzazione**. L'applicazione pedissequa della norma porta in sé il rischio di avere molte norme sicure ma una scarsa capacità di controllare il loro rispetto. Approfondisce l'argomento l'articolo di pagina 8.

Il tema delle potenzialità delle strutture miste autoportanti ha una rilevanza ben più ampia di quello che può sembrare in prima battuta. Ad esempio, le torri **Eurosky** di Roma, le più alte della città, sono realizzate con strutture miste autoportanti REP®. A pagina 14 presentiamo un **esempio di modellazione per fasi** di travi e pilastri REP® attraverso il software MIDAS.

Il convegno organizzato da Tecnostrutture con il patrocinio di ACAI e Fondazione Promozione Acciaio è stato un utile spunto di riflessione affinché questa tecnologia trovi una comprensione complessiva e si abbandoni qualche perplessità interpretativa che può essere strumentalmente usata. Tutte le **strutture miste acciaio-calcestruzzo autoportanti**, ai sensi della norma UNI EN 10025, devono essere realizzate con **acciaio liscio da carpenteria**. I criteri di calcolo progettuale sono previsti dal **§4.2 e § 4.3 del DM 14.01.2008** e dagli Eurocodici 3 e 4. Approfondisce l'argomento l'articolo a pag. 13. Questi elementi di base qualificano le aziende operanti nell'ambito delle strutture miste autoportanti e definiscono l'appartenenza dei loro prodotti alla tipologia merceologica delle strutture miste acciaio-calcestruzzo già conosciuta da molti anni e regolamentata in campo nazionale ed europeo.

Gli USA, punto di riferimento per molti, tecnica e normativa si muovono in modo sinergico e sono capaci di realizzare opere imponenti in tempi brevi. È giunto il momento di **allargare il contesto di riferimento da nazionale ad europeo** ed internazionale. Vi invitiamo ad approfondire l'argomento a pagina 3 e 13 con due articoli dedicati al panorama europeo delle strutture miste. Buona lettura.

Paolo Segala

Direttore Responsabile e CEO di CSPFea s.c.
direttore@structural-modeling.it

3 eurocodice 4

Normativa europea sulle strutture miste acciaio-calcestruzzo - **Ing. F. Braga**

6 ponti

Processi innovativi per la costruzione autoportante di ponti misti - **Ing. J. M. Calzón**

8 punti di vista

Il punto di vista dell'associazione di categoria ACAI **G. Coracina**

Il punto di vista delle istituzioni - **Ing. E. Gaudenzi**

9 sismica

I requisiti delle moderne costruzioni: sicurezza sismica, esecuzione rapida e a basso impatto economico ed ambientale - **Prof. Ing. G. M. Calvi**

10 norme tecniche

L'attività sperimentale sul comportamento strutturale di travi miste autoportanti REP®
Ing. R. Scotta

13 punti di vista

Il contesto europeo - **Ing. S. Peltonen, Ing. H. Lieb**

14 software

MIDAS/GEN per le strutture miste autoportanti REP®
Ing. L. Griggio, Ing. S. China

16 eventi

Tecnologie e ricerca: nuove prospettive per ridurre i tempi di esecuzione e garantire maggiore sicurezza nelle opere infrastrutturali

magazine di ingegneria strutturale

www.structural-modeling.it

CSPFea s.c. via Zuccherificio, 5 D - 35042 Este (PD) Italy
Tel. +39 0429 602404 - Fax +39 0429 610021
info@cspfea.net

Le opinioni espresse negli articoli pubblicati dalla rivista Structural Modeling, impegnano esclusivamente i rispettivi autori.

Editore: casa editrice *Il Prato* - www.ilprato.com
Progetto grafico: ADV solutions - www.advsolutions.it
© casa editrice *Il Prato* © CSPFea s.c.



www.cspfea.net
www.csp-academy.net

CSPFea distribuisce:



CSPFea è
Ente Sostenitore
di **EUCENTRE**



Normativa europea sulle strutture miste acciaio-calcestruzzo



Ing. F. Braga

Premessa

Le **Norme Tecniche per le Costruzioni** 14-01-2008 (**NTC-08**), hanno significativamente ampliato lo spazio - in precedenza quasi nullo - destinato alle strutture miste acciaio-calcestruzzo dalla normativa italiana. Tale spazio resta comunque angusto e di necessità ha costretto gli estensori delle **NTC-08** a ignorare vari argomenti e, comunque, a trattare in modo sintetico e forse eccessivamente stringato gli altri.

Le **NTC-08** hanno comunque consentito (Cap.12) il ricorso ad altre normative e segnatamente alla normativa europea per le strutture miste acciaio-calcestruzzo, la **EN 1994**, articolata nelle 3 parti:

- **EN 1994-1-1** general rules and rules for buildings;
- **EN 1994 1-2** structural fire design;
- **EN 1994-2** general rules and rules for bridges.

È utile, per i riflessi progettuali che ciò comporta, indicare gli argomenti per i quali le NTC-08 sono carenti, almeno rispetto alla EN 1994-1-1. Alcune di tali carenze sono gravi in quanto, proprio per le strutture miste, escludono soluzioni progettuali particolarmente interessanti. Esempio evidente della necessità di eliminare le carenze dette sono le strutture miste acciaio-calcestruzzo del complesso congressuale "La nuvola" a Roma, progettato da Massimiliano Fuksas, di cui ho curato la cantierizzazione per conto dell'impresa esecutrice la "Società Italiana per le condotte d'acqua".

Sia le NTC-08 che le EN espongono le indicazioni in assenza di azioni sismiche separatamente da quelle in presenza di azioni sismiche. Dal confronto tra **NTC-08** ed **EN1994** emerge con chiarezza una linea di sviluppo della progettazione delle strutture miste acciaio-calcestruzzo particolarmente interessante, linea che le **NTC-08**, per colpa delle carenze già dette, non colgono mentre la **EN 1994** la coglie in modo chiaro.

È questa la linea del superamento della vecchia distinzione progettuale tra i due materiali, calcestruzzo e acciaio, distinzione che portava ad affidare prevalentemente all'acciaio le tensioni di trazione e prevalentemente al calcestruzzo le tensioni di

compressione, ossia ad utilizzare il calcestruzzo pensandolo come non armato o poco armato.

Se la struttura mista acciaio-calcestruzzo viene letta come acciaio-calcestruzzo armato (anche fortemente), l'abbinamento tra i due materiali è nettamente più efficace perché il calcestruzzo armato risolve molti dei problemi tipici dell'acciaio quali l'instabilità e la deformabilità eccessiva.

Indicazioni della norma in assenza di azioni sismiche

Dal confronto tra §4.3 delle **NTC-08** ed **EN 1994-1-1** emergono sostanzialmente le seguenti omissioni (tutte a carico delle **NTC-08**):

- **EN 1994-1-1**, §6.3 Resistenza di travi parzialmente rivestite
- **EN 1994 1-1**, §6.8 Fatica
- **EN 1994 1-1**, Sez. 7 Stati limite di servizio
- **EN 1994 1-1**, Sez.8 Nodi composti di telai per edifici

Nelle **NTC-08** mancano, inoltre, le indicazioni contenute negli Annessi alla **EN 1994-1-1**:

- Annesso A (informativo) rigidezza delle componenti dei nodi negli edifici
- Annesso B (informativo) prove standard

La situazione illustrata è tutt'altro che inconsueta; le travi parzialmente rivestite, sono infatti particolarmente apprezzate ed utilizzate dagli architetti.

Si tratta di sezioni nelle quali il calcestruzzo è assunto collaborante, purché la sezione di acciaio sia di classe 1 o 2, i collegamenti siano sufficienti e siano rispettati i rapporti geometrici minimi di norma.

Resistenza di travi parzialmente rivestite

6.3.2 Resistenza flessionale

Il momento resistente di progetto è valutato con la teoria plastica.

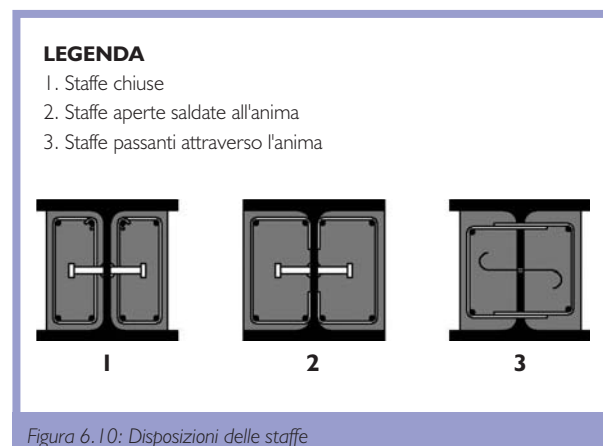


Figura 6.10: Disposizioni delle staffe

6.3.3 Resistenza al taglio verticale

Il taglio resistente di progetto è valutato con la teoria plastica considerando collaborante il rivestimento in calcestruzzo (tenuto conto della fessurazione) purché si utilizzino staffe in accordo con la fig. 6.10 dello stesso paragrafo.

6.3.4 Interazione momento flettente-taglio verticale

Fatica

6.8.1 Generalità

(1)P la resistenza a fatica delle strutture composte dovrà essere verificata se le strutture sono soggette a ripetute fluttuazioni delle tensioni (ad esempio strutture alte soggette al vento).

(2)P La progettazione per lo stato limite di fatica assicura, con un prefissato livello di probabilità, che durante la vita di progetto la struttura non collasserà per fatica e non presenterà danni per fatica.

6.8.2 Fattori parziali per la stima della fatica negli edifici

(1) I fattori parziali per la resistenza a fatica sono dati in EN 1993-1-9, 3 per gli elementi d'acciaio e EN 1992-1-1, 2.4.2.4 per il calcestruzzo e la sua armatura. Per i pioli forniti di testa è suggerito un fattore parziale pari ad 1 (v.NAD).

(2) Per i carichi da fatica si applicheranno fattori parziali (v.NAD)

6.8.3 Resistenza a fatica

(1) Per la resistenza a fatica dell'acciaio strutturale e delle saldature si veda EN 1993-1-9,7.

(2) Per la resistenza a fatica dell'acciaio da c.a. e da precompressione si veda EN 1992-1-1; per il calcestruzzo si veda EN 1992-1-1, 6.8.5.

(3) La curva di resistenza a fatica di un piolo con testa, saldato automaticamente in accordo con 6.6.3.1 è mostrata in figura (6.25).

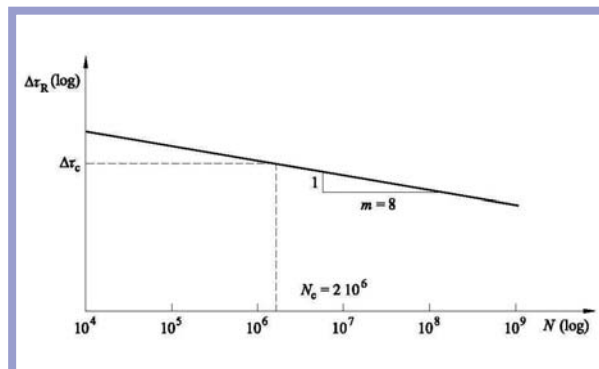


Figura 6.25: Curva di resistenza a fatica per pioli muniti di testa in solette piene

Nodi a struttura mista (sezione 8)

8.3 Metodi di progetto

8.3.1 Basi e scopo

(1) EN 1993-1-8,6 può essere usata come base per il progetto di nodi composti trave-colonna, purché le parti in acciaio siano riconducibili a tale sezione.

(3) Nel valutare le proprietà strutturali di un nodo composto, una fila di barre di armatura in trazione può essere assimilata ad una fila di bulloni in trazione in un nodo in acciaio, purché le caratteristiche meccaniche siano le stesse.

8.4.2 Componenti base del nodo

8.4.2.1 Armatura longitudinale in trazione

(1) la larghezza efficace della flangia di calcestruzzo sarà valutata in accordo con 5.4.1.2

(2) si assumerà che l'area efficace dell'armatura tesa longitudinale lavori alla sua resistenza di snervamento di progetto f_{sd}

(3) per carichi sbilanciati si usi un modello tirante-puntone per verificare il trasferimento delle forze dalla soletta di calcestruzzo alla colonna (figura 8.2).

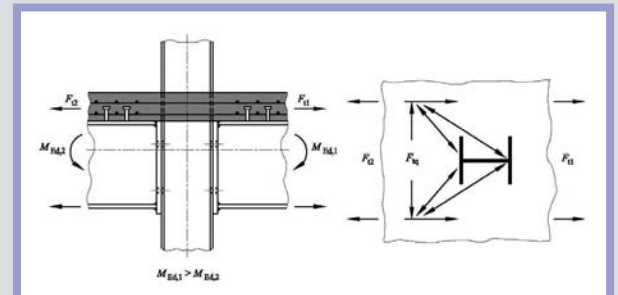


Figura 8.2: Modello a traliccio

Indicazioni della norma in presenza di azioni sismiche

Dal confronto tra §7.6 delle **NTC-08** ed **EN 1998-1** emergono sostanzialmente le seguenti omissioni (tutte a carico della **NTC-08**) e tutte relative alle pareti composte acciaio-calcestruzzo:

- **EN 1998-1**, §7.3. Tipologie strutturali e fattori di struttura (163-164)
- **EN 1998-1**, §7.10. Regole di progetto e dettagli per sistemi strutturali composti che si comportano come pareti a taglio in c.a (183-186)
- **EN 1998-1**, §7.11. Regole di progetto e dettagli per sistemi strutturali composti che si comportano come pareti a taglio in acciaio (186-187)

Nel seguito si illustrano brevemente le diverse omissioni evidenziate.

7.3 Tipologie strutturali e fattori di struttura

7.3.1 Tipologie strutturali

e) sistemi strutturali composti che si comportano sostanzialmente come pareti a taglio c.a. Si hanno i seguenti tipi:

- 1) telaio in acciaio o acciaio-calcestruzzo collaborante con pannelli in c.a. controventanti la struttura in acciaio (figura 7.1a)
- 2) parete in c.a. con colonne in acciaio inglobate e utilizzate come rinforzi verticali di bordo (vedi figura 7.1b);

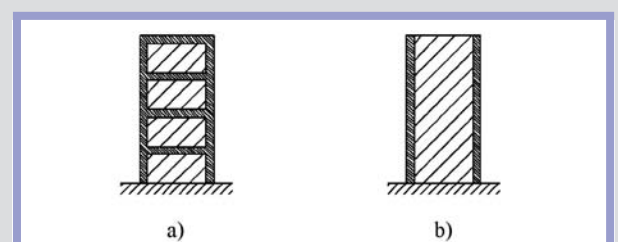


Figura 7.1a e 7.1b

- 3) travi in acciaio o composte acciaio-calcestruzzo usate per accoppiare due o più pareti in c.a. o composte (figura 7.2)

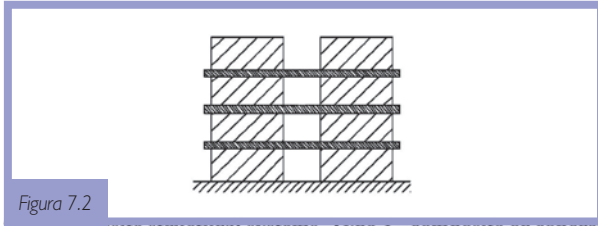


Figura 7.2

Tabella 7.2

STRUCTURAL TYPE	Ductility Class	
	DCM	DCH
a), b), c) and d)	See Table 6.2	
e) Composite structural systems		
Composite walls (Type 1 and Type 2)	$3\alpha_w/\alpha_1$	$4\alpha_w/\alpha_1$
Composite or concrete walls coupled by steel or composite beams (Type 3)	$3\alpha_w/\alpha_1$	$4,5\alpha_w/\alpha_1$
f) Composite steel plate shear walls	$3\alpha_w/\alpha_1$	$4\alpha_w/\alpha_1$

f) sistemi strutturali composti che si comportano essenzialmente come pareti a taglio in acciaio.

- (1) Essi consistono in piastre d'acciaio continue sull'intera altezza dell'edificio, con inglobati rinforzi in c.a. su una sola o ambedue le facce della piastra e degli elementi in acciaio o composti.
- (2) In tutti i tipi di strutture composte la dissipazione di energia avviene negli elementi verticali in acciaio e nelle armature verticali. Nel tipo 3 la dissipazione può avvenire anche nelle travi di accoppiamento.
- (3) Se nei sistemi strutturali composti le pareti non sono connesse alla struttura in acciaio, si applicano le sezioni 5 e 6.

7.3.2 Fattori di struttura

- (2) Se l'edificio non è regolare in altezza (vedi 4.2.3.3) i valori di q nelle tabelle 6.2 e 7.2 dovranno essere ridotti del 20% (vedi 4.2.3.1(7) e tabella 4.1).

Tabella 6.2

STRUCTURAL TYPE	Ductility Class	
	DCM	DCH
a) Moment resisting frames	4	$5\alpha_w/\alpha_1$
b) Frame with concentric bracings	4	4
Diagonal bracings	2	2,5
V-bracings		
c) Frame with eccentric bracings	4	$5\alpha_w/\alpha_1$
d) Inverted pendulum	2	$2\alpha_w/\alpha_1$
e) Structures with concrete cores or concrete walls	See section 5	
f) Moment resisting frame with concentric bracing	4	$4\alpha_w/\alpha_1$
g) Moment resisting frames with infills		
Unconnected concrete or masonry infills, in contact with the frame	2	2
Connected reinforced concrete infills	See section 7	
Infills isolated from moment frame (see moment frames)	4	$5\alpha_w/\alpha_1$

Tabella 4.1

Regularity		Allowed Simplification		Behaviour factor
Plan	Elevation	Model	Linear-elastic Analysis	(for linear analysis)
Yes	Yes	Planar	Lateral force ^a	Reference value
Yes	No	Planar	Modal	Decreased value
No	Yes	Spatial ^b	Lateral force ^a	Reference value
No	No	Spatial	Modal	Decreased value

7.10 Regole di progetto e dettagli per sistemi strutturali composti tipo pareti a taglio in c.a.

7.10.2 Analisi

- (1) L'analisi della struttura sarà basata sulle proprietà di sezione definite nella Sezione 5 per pareti in c.a. e in 7.4.2 per travi composte.
- (2) P In sistemi strutturali di tipo 1 o tipo 2, quando gli elementi strutturali in acciaio parzialmente o totalmente inglobati agiscono come elementi di bordo di pannelli di controventamento in c.a., l'analisi assumerà che gli effetti dell'azione sismica in questi elementi siano solo forze assiali.
- (3) Queste forze assiali si valuteranno assumendo che le forze di taglio siano sopportate dalla parete in c.a. e che la totalità delle gravitazionali e di ribaltamento siano sostenute dalle pareti di taglio insieme agli elementi di bordo verticali.

7.10.3 Dettagli per pareti composte di classe di duttilità DCM

7.10.4 Dettagli per travi di accoppiamento di classe di duttilità DCM

7.10.5 Dettagli aggiuntivi per la classe di duttilità H

7.11 Regole di progetto e dettagli per sistemi strutturali composti tipo pareti a taglio in acciaio

7.11.1 Criteri specifici

7.11.2 Analisi

7.11.3 Dettagli

Conclusioni

Le strutture acciaio-calcestruzzo sono ormai sicuramente adulte e hanno ampi margini di miglioramento.

Se confrontiamo la struttura dell'albergo de "La Nuvola" originariamente prevista in acciaio ed oggi realizzata in acciaio-calcestruzzo, riscontriamo che il risparmio in peso in termini di acciaio da carpenteria è dell'ordine del 20%, mentre il guadagno in termini di rigidezza complessiva della struttura è dell'ordine del 100%.

È evidente che il sistema costruttivo anche su strutture di questa complessità è assolutamente capace di rispondere non solo in termini sostitutivi, ma addirittura sostitutivi e migliorativi alle prestazioni previste e richieste per una struttura tutta in acciaio.

Il metodo costruttivo misto autoportante ha ancora ampi margini di sviluppo. Man mano che ci si confronterà con situazioni più complesse questi sviluppi emergeranno.



Franco Daniele, Amministratore Delegato Tecnostrutture.
Ing. Francesco Karrer, Presidente del C.S.LL.PP.



Processi innovativi per la costruzione autoportante di ponti misti

ponti

Negli ultimi 40 anni ho progettato innumerevoli ponti nei quali ho cercato costantemente di combinare processi di costruzione autoportante con schemi progettuali e metodi di mia creazione, per riuscire a strutturare al massimo le potenzialità intrinseche della struttura mista ed ottenere una costruibilità ottima che potesse anche tradursi in una serie di procedimenti da utilizzare in qualsiasi altro ponte da progettare. L'attenzione all'estetica ha avuto sempre un ruolo di fondamentale importanza nella definizione del progetto, anche se in alcuni casi risulta più modesta che in altri, questo a causa dei diversi condizionamenti richiesti dalle opere.

Il progetto del Ponte del DIABLO a Martorell del 1974 è il primo progetto in cui mi sono occupato di **SISTEMI IBRIDI**. Qui è documentato l'utilizzo di grandi travi miste molto snelle incastrate nei piloni di grandi dimensioni, di cemento armato o precompresso con un ricercato carattere scultoreo, per creare ponti-telaio continui, di grande attrattiva e con una esecuzione autoportante delle travi per prescindere completamente da casseforme. I segmenti in acciaio collegati con i piloni principali riescono a tenere le tensioni.



Puente del
Diablo.
Martorell
(1974)



Nel 1978 per la prima volta è stata utilizzata la doppia azione mista nelle zone di momento negativo del ponte di Ciérvana, (Bilbao). Il progetto presenta la disposizione di cellule di bordo nelle anime per trasformare sezioni snelle di tipo 3 e 4 in sezioni compatte tipo 1 e 2. In queste zone è stata utilizzata esclusivamente armatura passiva mentre si è evitato l'uso di precompressione, la cui efficienza nei sistemi misti risulta poco attiva in seguito alla forte redistribuzione per viscosità e ritiro imposta dal sistema metallico, e il cui utilizzo complica inoltre la costruzione in maniera sproporzionata.

La precompressione in ponti misti può essere interessante solo dove è possibile usare calcestruzzi appropriati o prefabbricati con valori di ϕc ed E_c molto favorevoli, nei sistemi che permettono l'introduzione isostatica della precompressione longitudinale.

Nel Ponte Ciérvana sono state utilizzate piastre prefabbricate che collocate sopra la struttura metallica hanno creato una disposizione di armatura continua capace di resistere alla torsione che la pianta in curva impone, in aggiunta a quella dovuta all'eccentricità dei sovraccarichi.

Sistemi con cassone minimo

La comparsa in Francia alla fine degli anni '80 dei **ponti bipoutre** e l'enorme spiegamento tecnico siderurgico applicato agli stessi - acciai termomeccanici, piastre di spessore variabile, anime piegate, soluzioni tubolari, ecc. (anche se con un'estetica piuttosto fredda e tecnologica) mi spinse a studiare in profondità i suoi vantaggi e a cercare di combinarli con quelli dei sistemi a cassone (molto più estetici e meglio predisposti per l'innovazione). Integrai i vantaggi di entrambe le soluzioni in un sistema che denominai **cajòn estricto** che racchiudeva i vantaggi di entrambi i tipi strutturali ed evitava gli inconvenienti degli stessi.

L'alternanza delle superfici di acciaio e calcestruzzo nel piano inferiore, insieme a quella che offrono le anime e il fondo degli sbalzi, determinano una nuova espressione e chiarificazione del comportamento strutturale e permettono l'incorporazione di nuove relazioni estetiche della trave cassone in sé e nelle sue relazioni con i piloni e le spalle.



A fianco: Ponte di Vilobi, Barcellona 1994
Sopra: Variante di Las Casas, Soria 1998



Ponte su fiume Nalón, Asturie 2006



Ponte di Las Piedras, linea ferroviaria dell'Alta Velocità Siviglia-Malaga (2007)

Cellule elastiche

La realizzazione di incastri elastici nelle spalle, o anche nei piloni intermedi, degli impalcati dei ponti misti permette di utilizzare spessori più ridotti e soprattutto di facilitare enormemente i processi costruttivi consentendo di situare in tali punti elementi autoportanti a sbalzo, in grado successivamente di sostenere bene le zone centrali delle travi, montate sia mediante gru sia per mezzo di sistemi di elevazione con martinetti idraulici. Queste cellule possono adattarsi ai progetti delle opere per ottenere configurazioni dell'insieme di grande qualità estetica.



Ponte dell'Arenal, Cordoba 1993



Quarto ponte sul fiume Urumea, San Sebastián 2000

Sistemi abaco

Questo procedimento permette di effettuare il varo di impalcati di spessore costante in ponti con grandi differenze di luce tra le campate principali e secondarie in modo che al termine del processo di varo, l'impalcato si collega con le zone di appoggio e scivolamento per costituire un sistema a telaio di spessore variabile ottimizzato in relazione alle diverse luci. Per questo, i piloni delle campate principali si costruiscono in forma di elementi a T, in modo che le luci libere tra le estremità dei loro sbalzi e gli assi dei piloni adiacenti risultino di un ordine di grandezza molto simile e pertanto lo spessore costante sia perfettamente appropriato. Durante il varo l'impalcato scivola appoggiandosi alle estremità degli sbalzi per unirsi rigidamente alle ali della T alla fine del processo (da qui il nome abaco, legato all'elemento che gli ordini classici incorporano sopra il fusto delle colonne). Questi elementi abaco possono essere di cemento armato precompresso, misti, con "cajón estricto", ecc., così come con anima piena, con trave reticolare, ecc., poiché sono completamente aperti a tutte le possibilità di utilizzo per luci medie e grandi e facilitano enormemente il processo costruttivo autoportante varato.



A fianco: Ponte di Santa Lucia, Montevideo Uruguay 2005
Sotto: Particolare del Ponte di S. Lucia

Pile miste speciali

Sistemi di tipo semiaperto o chiuso per ottenere fusti molto snelli e caratterizzati da una grande rapidità di esecuzione.



Ponte del Centenario, Siviglia 1991



Ponte delle Americhe, Montevideo 2005

Il punto di vista dell'associazione di categoria ACAI

Giancarlo Coracina
Consigliere anziano ACAI

**Si riporta la sintesi dell'intervento a cura della redazione.*



G. Coracina

ACAI è l'Associazione fra i Costruttori in Acciaio Italiani. Da oltre 60 anni raggruppa le aziende realizzatrici di costruzioni in acciaio per rappresentarne gli interessi nella veste di associazione di categoria. Una volta costruire in acciaio significava costruire solo ed esclusivamente

in acciaio. Nel tempo si sono sviluppate tipologie miste che sposano i due materiali tradizionali per le costruzioni - acciai da carpenteria e calcestruzzo. A questa tipologia ACAI ha dedicato una sezione merceologica specifica "Travi Reticolari Autoportanti".

Tutte le aziende associate devono sottostare, ciascuna per la sua sezione di appartenenza, a linee guida che definiscono un livello qualitativo minimo e comune. I controlli per garantire l'osservanza di queste regole sono severi. Per quanto concerne la sezione delle Travi Reticolari Autoportanti (www.acaiacs.it/soci_travi.asp), ACAI ha preteso da parte di tutte le aziende produttrici associate, l'utilizzo di acciaio da carpenteria strutturale UNI EN 10025 così come l'obbligo che i collegamenti saldati siano eseguiti da operatori qualificati. I criteri di calcolo progettuale devono essere quelli previsti dal §4.2 e §4.3 del DM 14.01.2008 e dagli Eurocodici 3 e 4. Tutti elementi di base che qualificano le aziende operanti in questo ambito e definiscono evidentemente l'appartenenza dei loro prodotti alla tipologia merceologica delle strutture miste acciaio-calcestruzzo, già conosciuta e regolamentata da molti anni in campo nazionale ed europeo.

In quanto associazione di categoria, ACAI alimenta costantemente il confronto costruttivo con gli organismi tecnici nazionali ed europei, per stimolare l'aggiornamento delle normative ai risultati della ricerca scientifica. Sul punto va tuttavia rilevato che, mentre per altri settori produttivi il progresso tecnico-scientifico viene recepito velocemente dalle normative in virtù di un impianto ispirato a criteri prestazionali, per il mondo delle costruzioni persiste una rigidità legislativa nazionale che frena sensibilmente la contaminazione virtuosa tra ricerca e mercato.

L'impianto normativo nazionale, già di per sé fortemente prescrittivo e centralizzato, trova per di più l'empasse di iter autorizzativi burocraticamente macchinosi, laddove nel resto d'Europa le procedure risultano più veloci e snelle.

Sarebbe auspicabile che una volta fissato il livello minimo di sicurezza da garantire al cittadino, il quadro delle regole e la loro interpretazione non si basassero sul divieto a prescindere di tutto ciò che non è espressamente consentito, ma si aprissero a una visione più attuale e dinamica che consente alla ricerca di sperimentare ed applicare quanto semmai non è esplicitamente vietato.

Il punto di vista delle istituzioni

Ing. Eugenio Gaudenzi

Presidente I sezione del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici

**Si riporta la sintesi dell'intervento a cura della redazione.*



Ing. E. Gaudenzi

Diversi relatori del Meeting Tecnico-Normativo hanno fatto riferimento al ruolo della normativa e al ruolo che questa può giocare nel favorire o non favorire, esecuzioni e strutture di carattere innovativo.

Il mondo delle istituzioni deve

proteggere la sicurezza predisponendo norme che contemplino efficacemente tutte le innovazioni tecnologiche che si presentano sull'universo delle realizzazioni, anche quelle di archi-star o ing-star. Un obiettivo duro da perseguire.

Un buon metodo potrebbe essere quello di affiancarsi attivamente ai percorsi innovativi, valutarli per i necessari adeguamenti e avvicinarsi gradualmente, quindi, con prudenza adottarli quando necessario. È un'opinione condivisa che le norme di calcolo debbano lasciare un certo spazio al progettista che si accinge ad innovare nel suo lavoro e nella sua opera, senza cadere nella presunzione che tutto possa essere desunto rigidamente dalle stesse norme perché sappiamo bene che non è possibile. Un approccio di questo genere potrebbe favorire l'introduzione di criteri innovativi nella progettazione.

È stato accennato da molti dei relatori il rinvio agli Eurocodici, ma possono essere efficacemente utilizzate anche le norme di comprovata validità. All'interno del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici sta lavorando in questo senso una commissione di revisione delle norme tecniche entrate in vigore nel luglio del 2008, le NTC, con la finalità principale di produrre a breve una revisione che tra l'altro possa servire a correggere alcune contraddizioni o parametri.

Parallelamente, un'altra commissione si sta occupando della definizione degli annessi tecnici agli Eurocodici: sono stati definiti recentemente i primi 29 annessi e si sta lavorando sugli ulteriori 29 con tempi che auspicabilmente siano i più brevi possibili.

Il presidente della I sezione del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici ha chiuso il Meeting ringraziando "per questo evento che ho apprezzato molto e che abbiamo apprezzato tutti molto

al Consiglio Superiore. **Mi complimento per l'iniziativa che Tecnostrutture ha preso e che invito a riprodurre nel futuro perché il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici vorrebbe essere uno dei principali organi della trasmissione della cultura tecnica** nel nostro paese e credo che oggi questo tema sia stato veramente sviluppato in maniera molto soddisfacente ed efficace."



I requisiti delle moderne costruzioni: sicurezza sismica, esecuzione rapida e a basso impatto economico ed ambientale



Prof. Ing. Gian Michele Calvi

Professore Ordinario di Tecnica delle Costruzioni presso l'Università di Pavia, fondatore e presidente di EUCENTRE, fondazione nata per promuovere la formazione e la ricerca per la riduzione del rischio sismico. Fondatore e direttore della ROSE School dell'Istituto Universitario di Studi Superiori di Pavia per la frequenza a master e dottorato in ingegneria sismica e sismologia applicata. Nel suo intervento vengono

offerti alcuni spunti di riflessione sul problema della sicurezza sismica e sul contesto costruttivo che oggi richiede tempi di esecuzione rapida e al tempo stesso basso impatto economico ed ambientale.

* Si riporta la sintesi dell'intervento del professor G. N. Calvi, a cura della redazione.

La logica costruttiva prestazionale

Quando si parla di progettazione in zona sismica la parola chiave è prestazione. Questa è la nuova filosofia a cui si ispira la normativa a livello mondiale: una logica costruttiva prestazionale richiede che una struttura cambi in funzione delle probabilità di accadimento di un evento sismico o del periodo di ritorno dell'evento. In modo semplificato, secondo questa logica, un ospedale, una scuola, un edificio di civile abitazione o un'edicola, devono comportarsi in modo diverso nello stesso evento sismico; concetto che viene espresso in modi differenti dalla normativa, comprese le NTC 2008 quando vengono definiti gli stati limite prestazionali di un edificio. L'elemento nuovo su cui però è opportuno soffermarsi è il cambiamento nella logica di lettura delle prestazioni, una novità che emerge dall'analisi dei dati relativi quattro recenti terremoti importanti: Cile, Cina, Haiti e L'Aquila. Tralasciando i casi patologici in cui si verificano crolli inattesi, si assiste oggi con grande frequenza a problemi di non utilizzabilità e di lunghi tempi necessari al ripristino delle strutture. Si può ritenere che nel prossimo futuro ci sarà un'accentuazione del problema degli stati limite delle prestazioni per un buon comportamento della struttura in termini di utilizzabilità dopo un terremoto o di riparabilità abbastanza veloce dopo un terremoto. Si assisterà ad una progressiva tendenza nel rendere meno importante uno stato limite di collasso o di danno grave rispetto a stati limite di danno relativamente lieve soprattutto per quanto riguarda gli elementi non strutturali. La modalità costruttiva con pareti di controventamento acquisirà maggiore importanza in futuro, in quanto i controventamenti di una struttura a telaio sono volti proprio alla riduzione della domanda di spostamento in caso di evento sismico. In futuro, per le strutture multipiano, assisteremo al tentativo di ridurre la domanda di spostamento per eventi sismici anche di fronte a bassa probabilità di accadimento. Realisticamente, si affermerà sempre più una logica per cui si passerà ad una distinzione fra il sistema portante delle azioni di gravità e il sistema resistente alle azioni orizzontali. La soluzione strutturale applicata sino ad oggi alle strutture pendolari in acciaio sostenute in senso orizzontale tra pareti di controvento o tra controventi tradizionali concentrici o eccentrici, diventerà sempre più inevitabile. In questo contesto si continuerà ad applicare il principio della gerarchia delle resistenze al fine di controllare il meccanismo di collasso.

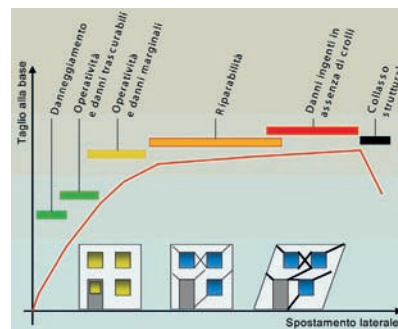
Le strutture composite ed il comportamento del nodo trave-pilastro

Parlando di strutture composite è cruciale il tema del comportamento del nodo. Un tema che, ad oggi, per le strutture in cemento armato, quasi sempre è secondario, soprattutto per quanto concerne i nodi confinati, sono le connessioni con quattro travi sulle quattro facce verticali della colonna e pilastri sia sotto l'intradosso sia sopra l'estradosso delle travi. Si ritiene la connessione un elemento secondario poiché, seguendo la gerarchia delle resistenze, con una scelta cosciente del meccanismo preferito di danno ed eventuale collasso, si impone attraverso resistenze

relative che il danno alla cerniera plastica si formi nelle travi e non si prevede la deformabilità del nodo. La deformità del nodo non è invece trascurata nel caso di edifici esistenti in cui è la connessione trave-pilastro a controllare la risposta strutturale. Si immagini una struttura con pareti accoppiate a strutture quasi pendolari dove non ci sono cerniere o nodi alle sommità dei pilastri o alle estremità delle travi, ma ci sia continuità che collega gli elementi sufficientemente deformabili e che questi elementi siano compatibili con lo spostamento controllato delle strutture resistenti alle forze orizzontali, pareti o strutture di controventamento.

Avere strutture snelle diventa vantaggioso perché i pilastri sono in grado di assorbire abbastanza facilmente, probabilmente senza nessun danno, il livello di spostamento imposto dalle strutture che hanno capacità di resistenza orizzontale, rimanendo in campo elastico e quindi accettando comportamenti in cui c'è una variazione della rigidezza insieme alla variazione di resistenza. Ciò significa che studiando in modo appropriato queste strutture verticali si può pensare di penetrare in campo plastico per aver un contributo a forme di dissipazione di energia che riducono la domanda di spostamento. La struttura descritta è una struttura in cui i controventamenti controllano lo spostamento. Le strutture che portano i carichi verticali devono avere una deformabilità compatibile, ma possono plasticizzarsi. In questo modo, infatti, riducono la domanda di spostamento sulle strutture orizzontali. Le strutture composte sono in grado di offrire alte prestazioni. Pensiamo ad esempio a delle strutture pendolari con pilastri in acciaio (in 1° fase), che successivamente al completamento in calcestruzzo (2° fase) diventano strutture composte. Si tratta di strutture in acciaio che possono essere realizzate con pilastri anche di 3-4 piani. Le uniche criticità da gestire sono il trasporto ed il sollevamento in cantiere, a fronte di un'elevatissima velocità costruttiva, con un controllo del posizionamento che non avviene piano per piano ma ogni 3-4 piani. Dovrà quindi essere certamente più accurato, ma è ridotto di quattro volte rispetto al tipo di livello di controllo da effettuare su una struttura in acciaio normale.

Pilastri a struttura mista acciaio-calcestruzzo si abbinano in modo molto conveniente con travi composte autoportanti.



L'attività sperimentale sul comportamento strutturale di travi miste autoportanti REP®.

Sintesi della ricerca svolta nel periodo 2005-2009.

Interpretazione analitica secondo D.M. 14.01.2008.

10

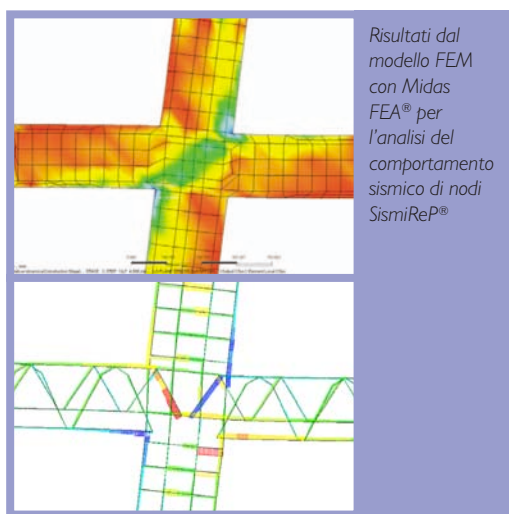
Ing. Roberto Scotta
Ricercatore di Tecnica delle Costruzioni
Dipartimento di Costruzioni e Trasporti Università di Padova



Ing. R. Scotta

* Si riporta la sintesi dell'intervento dell'ingegnere R. Scotta, a cura della redazione.

La ricerca sul comportamento strutturale delle travi miste autoportanti REP® promossa da Tecnostrutture è iniziata nel 2005. Divisa in più fasi è tuttora in corso presso il Dipartimento di Costruzioni e Trasporti dell'Università di Padova. L'analisi preliminare teorica e numerica è stata seguita da serie di prove sperimentali di validazione. In questo sintetico contributo si presentano i risultati degli studi fino ad ora conclusi. Sulla base delle prove sperimentali è stato verificato il comportamento strutturale a rottura e in esercizio delle travi, sia a flessione che a taglio. I risultati ottenuti danno dimostrazione dell'affidabilità della tipologia strutturale in oggetto e confermano che la procedura di progetto sviluppata ne garantisce i coefficienti di sicurezza richiesti dalla norma. Attualmente sono in corso ulteriori prove su una nuova tipologia di nodo trave-pilastro, soggetto a brevetto industriale, denominato SismiReP®: lo scopo di questa più recente fase di ricerca è quello di cercare delle tipologie nodali particolarmente performanti in condizione sismica, con buone caratteristiche di duttilità e resistenza, mediante l'introduzione di una connessione saldata incorporata all'interno del nodo. Anche in questo caso le prove sperimentali sono state precedute da analisi numeriche in campo non lineare.



Risultati dal modello FEM con Midas FEA® per l'analisi del comportamento sismico di nodi SismiReP®

Travi REP® NOR

Le travi REP® Nor rappresentano la tipologia più classica e conosciuta del sistema REP®, la prima ad essere utilizzata fin dal 1967, anno in cui l'Ing. S. Leone ideò questo sistema costruttivo misto autoportante.

Nelle travi REP® Nor il corrente inferiore è costituito da un piatto di acciaio, eventualmente rinforzato al centro, dotato di martelli di estremità di appoggio sui pilastri o muri e con funzione antiribaltamento. La trave è poi formata da un corrente superiore realizzato con profili tondi o quadri pieni e anime reticolari.

Tutta la struttura metallica è in acciaio liscio da carpenteria S355. Scopo delle prove su questa tipologia era quello di verificare il loro comportamento sia in 1° fase (prove su traliccio nudo), sia in 2° fase (sulla sezione composta acciaio-calcestruzzo), portandole a rottura per sollecitazioni di taglio e di flessione. I risultati sperimentali sono stati messi a confronto con le attese teoriche previste secondo la metodologia di calcolo proposta per la progettazione di tali elementi.

Analizzare il comportamento in 1° fase è importante perché alla reticolare in acciaio è affidata la totale autoportanza rispetto ai carichi di costruzione del solaio. L'affidabilità della trave in questa fase è fondamentale per la sicurezza degli operatori in cantiere. Le prove condotte erano mirate a confermare che, in 1° fase, i tralicci nudi siano assimilabili a strutture in acciaio e verificare quindi se le norme di riferimento utilizzate per il loro dimensionamento (UNI EN 10011/97, EC3 o DM 2008 §4.2) siano idonee. Si sono poi eseguite le prove su travi miste, ovvero completate mediante il getto integrativo di calcestruzzo, per cercare conferma delle relazioni analitiche utilizzate per determinarne la resistenza ultima a taglio e per flessione.

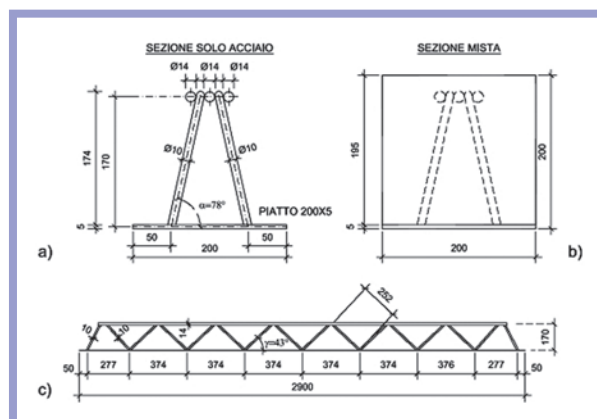


Figura 1: geometria della trave REP® Nor in 1° e 2° fase

Prove a flessione su traliccio nudo

Le prove sperimentali sulle reticolari metalliche sono state precedute da una serie di analisi su un modello numerico formato da elementi beam per schematizzare i correnti e le aste di anima e da elementi shell per il piatto inferiore. Secondo le valutazioni analitiche preliminari, la rottura delle reticolari sottoposte a prova di flessione sarebbe dovuta avvenire per instabilizzazione del corrente compresso.

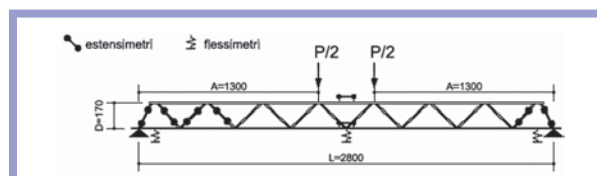


Figura 2: schema di prova e schema statico delle travi per prove a flessione in 1° fase



Figura 3: dettagli di una trave in fase di prova con flessimetri ed estensimetri

Si riporta uno schema di carico insieme alla posizione degli strumenti di misura delle deformazioni e degli spostamenti applicati alla trave (fig. 2). I risultati delle prove di flessione sulle reticolari nude sono riassunti dalle curve carico-freccia in mezzeria che sono riportate in figura 4. Il carico ultimo di rottura è stato per entrambe intorno ai 30 kN, maggiore rispetto ai risultati teorici previsti (21 kN) con instabilizzazione delle aste compresse, con comportamento a rottura molto duttile. Nella figura si evidenzia come la rigidità sperimentale delle travi sia pressoché analoga a quella ottenuta dall'analisi non lineare per geometria, anche se quest'ultima forniva un valore resistente maggiore perché non in grado di tenere in conto della plasticizzazione dell'acciaio. (il modello numerico considerava solo l'instabilità geometrica)

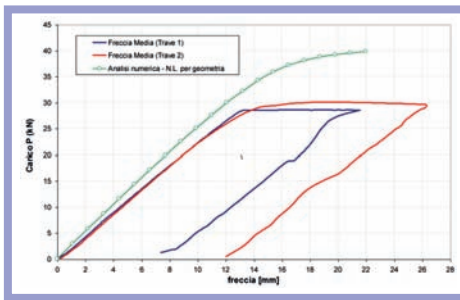


Figura 4: curva carico-freccia in mezzeria nelle prove di rottura a flessione delle reticolari

Prove a taglio su traliccio nudo

Nelle prove di taglio la trave è soggetta a due carichi verticali (fig. 5). L'instabilità dell'asta d'anima è responsabile del carico di rottura e anche in questi casi si sono ottenuti risultati sperimentali in linea con quelli teorici. Le considerazioni che si sono tratte dalle prove di rottura per taglio dei tralicci sono:

- l'assunzione di schema di reticolare ideale, considerando il pericolo di instabilità delle bielle compresse secondo le normative vigenti (CNR 10011/97 o DM 14.01.08), per il calcolo della portata e della rigidità in 1° fase è attendibile;
- l'effetto delle saldature nodali compensa gli effetti di tolleranza esecutiva, curvatura ed eccentricità varie che vi sono nella realtà. Questo perché le saldature garantiscono la solidarizzazione tra le diverse componenti della reticolare e piatto inferiore, rendendola così più iperstatica rispetto allo schema ideale e diminuendo la lunghezza libera di inflessione delle aste.

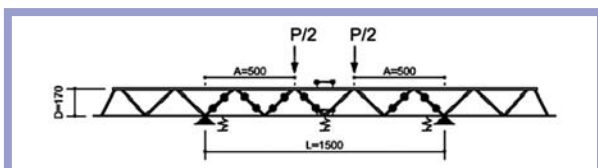


Figura 5: schema di prova e schema statico delle travi per prove a taglio su reticolare in 1° fase

Prove a flessione sulle travi composte

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

superiore e sul piatto inferiore confermano che il primo entra in campo plastico in maniera decisamente più marcata del secondo.

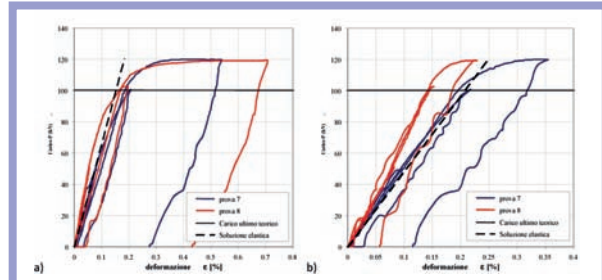


Figura 6: curve carico-deformazione del corrente superiore a) e inferiore b)

Le foto della prova dimostrano la nascita di fessurazioni verticali nella zona compresa fra i carichi, e di scarse fessurazioni nelle zone vicine agli appoggi, confermando la rottura per effetti di flessione.



Figura 7: fessurazioni a rottura per flessione

A fronte di un carico di rottura teorico di 107 kN si sono ottenuti dei risultati sperimentali superiori del 10 % circa, ovvero di 120 kN in entrambe le travi provate. Questa migliore performance è dovuta essenzialmente alla capacità incrudente del materiale, soprattutto dell'acciaio, che aumenta il carico di rottura effettivo rispetto a quello teorico. Nonostante avvenga sul lato compresso, la forte percentuale di acciaio dà origine ad un comportamento globalmente duttile della trave. La resistenza ultima a flessione è ottimamente riprodotta con le assunzioni di conservazione delle sezioni piane, assenza di scorrimenti fra acciaio e calcestruzzo e diagramma di tensioni stress-block per il calcestruzzo, come previsto cioè per lo studio delle strutture in c.a. dal DM 14.01.2008.

Prove di taglio delle travi composte

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



Figura 8: fessurazioni a rottura per taglio

Per la stima del carico di rottura si sono applicate le formule del traliccio a inclinazione variabile previste dall'EUROCODICE 2 e dal DM 2008, adottando un angolo del puntone molto basso. Con l'angolo θ (che varia solitamente tra 20° e 45°) intorno ai 22° si ottiene un carico di rottura di 138 kN, mentre i carichi sperimentali ottenuti sono stati superiori del 20% circa.

Si è concluso che per le strutture miste autoportanti REP® il metodo del traliccio ad inclinazione variabile è affidabile in quanto si può arrivare ad un angolo θ molto ridotto senza incorrere nella rottura del puntone compresso. Nella resistenza a taglio non vi può essere infatti rottura delle bielle compresse, in quanto il calcestruzzo lavora in parallelo con un'anima di acciaio compressa che ha la stessa anima di quella tesa. Nelle travi miste il getto di calcestruzzo avvolge l'armatura stabilizzandola, eliminando gli effetti delle imperfezioni costruttive ed eccentricità nodali del traliccio. In nessun caso si è assistito a rottura delle saldature che avrebbe dato luogo ad un collasso fragile e immediato delle travi, a conferma che le regole costruttive imposte dal Sistema REP® sono adeguate.

ECOTRAVE® Raftile

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

Trave REP® CLS

L'ultima serie di prove è stata eseguita sulle travi REP® CLS, travi miste autoportanti con basamento preconfezionato in calcestruzzo. Si sono testate 12 travi di diversa lunghezza, altezza e percentuale di armatura, tutte sottoposte a rottura a flessione e a taglio. Inizialmente il carico veniva applicato in mezzeria (prove di flessione) e successivamente alla rottura per flessione della trave centrale il carico veniva spostato, ridotta la luce fra gli appoggi e indotto a rottura per taglio su un estremo. Sono state utilizzate le stesse travi per la prova di flessione e di taglio.

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

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

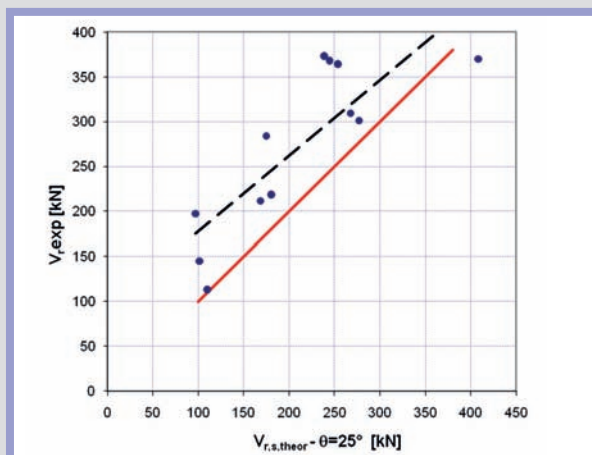
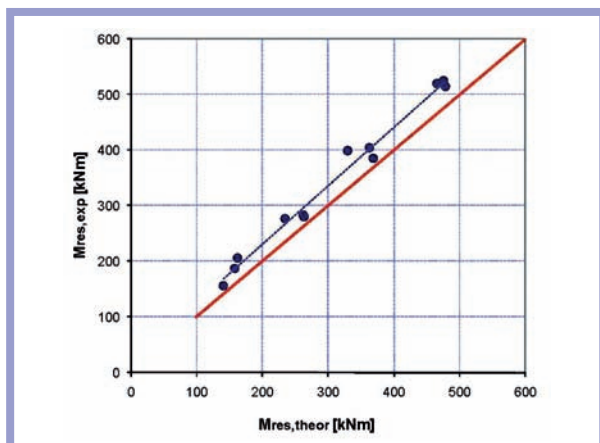


Figura 9: grafico di confronto fra momenti e tagli resistenti teorici e sperimentali

Conclusioni

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

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

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

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

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

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

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

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

Il contesto europeo

Ing. **Simo Peltonen** Direttore R&S DELTABEAM - PEIKKO

Ing. **Helmut Lieb** Direttore R&S - Eurocoles

* Si riporta la sintesi dell'intervento a cura della redazione.



Ing. Simo Peltonen, Direttore R&S DELTABEAM - PEIKKO

Per dare spazio all'innovazione è necessario fare in modo che questa non venga frenata da dispositivi normativi locali, a volte troppo rigidi sull'aspetto formale. Auspicabile l'apertura ad un confronto tra enti normativi e enti di ricerca, pubblici o privati essi siano, per consentire un dialogo più aperto e di ampio respiro su aspetti sostanziali.

Quale percorso si potrebbe intraprendere in Europa per innovare le strutture miste? è la domanda che il moderatore del convegno, il prof. Ing. Enzo Siviero, ha rivolto a due testimonial di rilievo internazionale: all'ing. **Helmut Lieb, direttore Ricerca & Sviluppo di Eurocoles GmbH & Co. (Neumarkt, Germania)** azienda specializzata nella progettazione strutturale e nella produzione di pilastri a struttura mista e all'ing. **Simo Peltonen, Direttore Ricerca & Sviluppo DELTABEAM PEIKKO**, trave in acciaio composita predisposta per il riempimento in loco con calcestruzzo. Deltabeam è una divisione prodotta della PEIKKO Group, multinazionale finlandese leader nella progettazione e produzione di travi miste ed inserti per fissaggio delle strutture.

A parere di entrambi, **un percorso comune e armonizzato, sotto l'ala di una normativa europea**, l'Eurocodice appunto, potrebbe consentire, il superamento delle problematiche legate alle specificità normative delle singole nazioni che spesso rischiano di frenare la spinta innovativa legata alle leggi di sopravvivenza commerciale delle aziende. Realtà che operano a livello internazionale e che si confrontano quotidianamente con le esigenze di mercato e le specificità normative di diversi paesi, non solo europei, ma anche degli Stati Uniti del Medio Oriente, quali ad esempio Eurocoles e Peikko, hanno necessità di creare un network per raccogliere le informazioni provenienti dalle varie reti commerciali e quindi spingere la ricerca e l'innovazione a creare prodotti in linea con le richieste del mercato.

È chiaro che questa attività per avere successo, oltre che anticipare le esigenze del mercato, deve avere quanto più possibile la garanzia di un approccio omogeneo, coerente con le richieste normative. Un'attività che chiaramente comporta degli investimenti in tempo e denaro considerevoli che possono solo avere dei vantaggi nell'applicazione di una linea normativa comune, quale quella definita dall'Eurocodice, piuttosto che nella specificità legata alla normativa di ogni singola nazione. Da un punto di vista formale poi l'utilizzo di una lingua e di prassi comuni non può che snellire l'iter procedurale. Sia le Travi REP® sia le DELTABEAM sono rappresentate all'interno di ACAI con la sezione dedicata alle Industrie Travi Reticolari Autoportanti. ACAI ha un confronto continuo con organismi tecnici di livello internazionale che permette di portare avanti progetti di ricerca che, per quanto riguarda settori diversi da quello delle costruzioni, vengono recepiti immediatamente sia in ambito nazionale che europeo, permettendo di mettere sullo stesso piano i vari operatori presenti sul mercato.

Come base comune per avviare un dialogo con le realtà internazionali nell'ambito delle strutture miste acciaio-calcestruzzo, **ACAI ha preteso da parte di tutte le aziende produttrici associate, l'utilizzo di acciaio liscio da carpenteria strutturale UNI EN 10025** così come l'obbligo che i collegamenti saldati siano eseguiti da operatori qualificati. **È proprio l'Eurocodice a stabilire che le travi a struttura mista possono essere prodotte solo con acciaio liscio da carpenteria.** I criteri di calcolo progettuale devono essere quelli previsti dal **§4.2 e §4.3 del DM 14.01.2008 e dagli Eurocodici 3 e 4.** Tutti elementi di base che qualificano le aziende operanti in questo ambito e definiscono evidentemente l'appartenenza dei loro prodotti alla tipologia merceologica delle strutture miste acciaio-calcestruzzo, già conosciuta e regolamentata da molti anni in campo nazionale ed europeo.



Ing. Helmut Lieb, Direttore R&S - Eurocoles

MIDAS/GEN

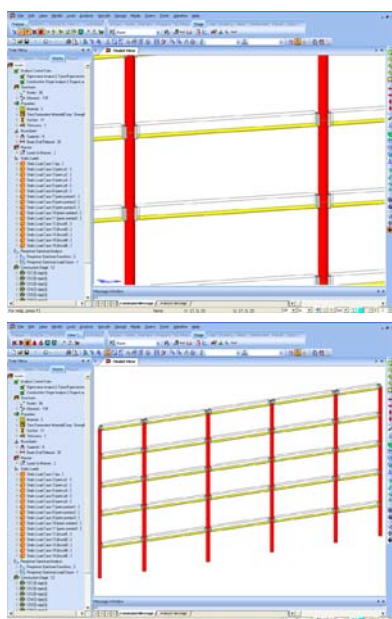
per le Strutture Miste Autoportanti REP®.

L'approccio corretto all'analisi e al progetto

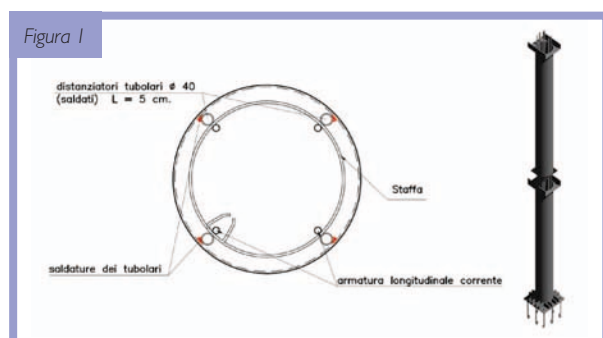
14

Ing. Luigi Griggio, direttore generale CSPFea
Ing. Stefano China, direttore tecnico Tecnostrutture srl
www.tecnostrutture.eu

Il seguente articolo nasce dall'esigenza delle strutture miste Sistema REP® di essere progettate tramite l'analisi di costruzione per fasi. L'approccio per fasi consente di sfruttare al massimo le capacità portanti in campata della trave REP® e semplifica l'attuazione delle verifiche in gerarchia delle resistenze. Il modello viene implementato col software Midas/Gen ottimizzato per portare a termine questo tipo di analisi.

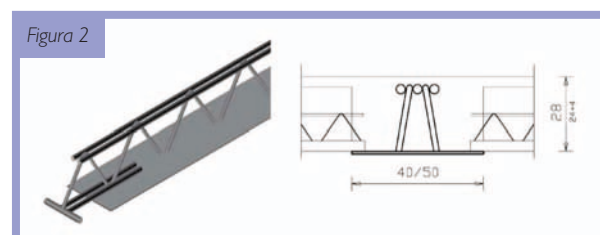


La trave REP® si caratterizza per essere una struttura mista acciaio-calcestruzzo, reticolare e autoportante se stessa ed il solaio che le grava sia in fase di costruzione che in fase definitiva. Del sistema REP® fanno parte anche le colonne, composte da varie tipologie divise per prestazioni e caratteristiche, che, nella seguente dimostrazione, saranno costituite da profili metallici a dilatazione trasversale impedita (pilastrini PDTI®), con riempimento di calcestruzzo da realizzarsi in opera contestualmente al getto di completamento di ciascun impalcato. La tipologia scelta per la colonna ricade quindi sulla PDTI®, con camicia in acciaio S355J0 a sezione tubolare che fa da cassero al getto interno di completamento e con flange alla base e negli appoggi interpiano delle travi REP®. Internamente alla colonna viene inserita una gabbia, in acciaio B450C, in grado di garantire la resistenza al fuoco richiesta (figura 1).

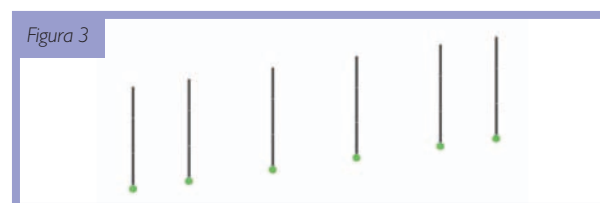


Per la trave REP® invece la tipologia prescelta è la NOR, avente struttura metallica realizzata interamente in acciaio S355J0 e costituita da un corrente inferiore, formato da un piatto ed eventuali ferri

aggiuntivi ad esso saldati, un corrente superiore, formato da almeno una coppia di profilati tondi o quadri a sezione piena e da un'anima reticolare di collegamento semplice o doppia. Le travi REP® sono utilizzate in maniera ottimale con luci medie comprese tra i 5-10 metri (figura 2), tuttavia ed in particolare per uso infrastrutturale sono state realizzate anche con luci fino a 55m.

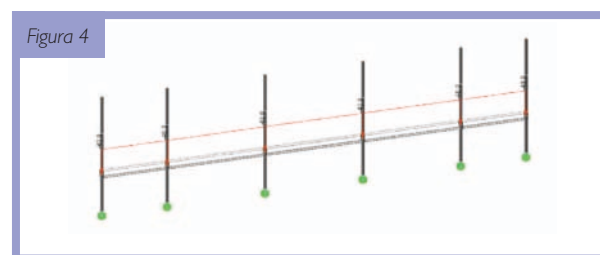


Il modello di studio è caratterizzato da un telaio di 6 piani a 5 campate con luce variabile tra gli 8 e 12m e un'altezza d'interpiano variabile tra 4 e 5.5m. I carichi distribuiti assegnati alle travi hanno i seguenti valori: $q_{perm.} = 40 \text{ kN/m}$ e $q_{acc.} = 50 \text{ kN/m}$. La modalità costruttiva utilizzata per il montaggio di questi tipi di struttura richiede l'utilizzo di un'analisi di costruzione per fasi definita di seguito:



Nella **Fase 1** si installano le colonne dei primi 3 piani in funzione dello sfruttamento ottimale delle colonne in acciaio, dovuto al limite di trasporto ordinario fissato a 13,5m (figura 3).

Le colonne, al momento del fissaggio, sono considerate come semplici mensole incastrate alla base e calcolate in prima fase per resistere a *Pesi Propri*, *Vento*, *Urti accidentali in fase di montaggio* e, *ovviamente, per il getto di completamento*. Le travi si appoggiano alle colonne attraverso delle mensole che decentrano il carico rispetto all'asse della colonna, creando in concomitanza delle coppie di momenti dovuti all'eccentricità del carico. L'implementazione delle mensole viene effettuata attraverso link rigidi di lunghezza pari a 15 cm. Nella **fase 2** si procede con il montaggio delle travi del primo livello (figura 4).



La sezione resistente in questa fase è la struttura reticolare in acciaio della trave REP® la quale deve portare tutto il peso proprio e permanente del solaio, comprensivo del getto di calcestruzzo. In questa fase non vi è continuità nei nodi permettendo quindi di considerare

ogni trave incernierata alle colonne. La trave REP® è, per definizione, autoportante per qualsiasi luce, ma bisogna prestare attenzione alla scelta dei solai che potrebbero dover essere puntellati. Nel caso in esame si è ipotizzato l'impiego di un solaio estruso precompresso che non necessita di puntellazione intermedia, rendendo quindi il montaggio completamente autoportante.

Le travi, inoltre, vengono fissate in seconda fase con dei bulloni alle estremità per evitare problemi di ribaltamento dovuto ad improvvisi urti o a carichi eccentrici.

Nella seguente trattazione si attua una semplificazione, considerando che il getto di completamento di calcestruzzo per la continuità ai nodi non sia eseguito progressivamente piano dopo piano ma solo quando la struttura è completamente montata. Questo porta a considerare la struttura come un telaio solo a partire dall'ultima fase senza considerare il progressivo aumento della resistenza a partire dai getti inferiori. Diversamente infatti si dovrebbe, e questo è comunque possibile con l'impiego del software, tener in considerazione il progressivo aumento della resistenza meccanica del calcestruzzo di completamento legata alla stagionatura ai vari tronchi. Tenendo presente ciò, si procede con la costruzione per fasi che vanno dalla 3 alla 8, inserendo passo per passo i rimanenti elementi fino al completamento della struttura (figura 5).

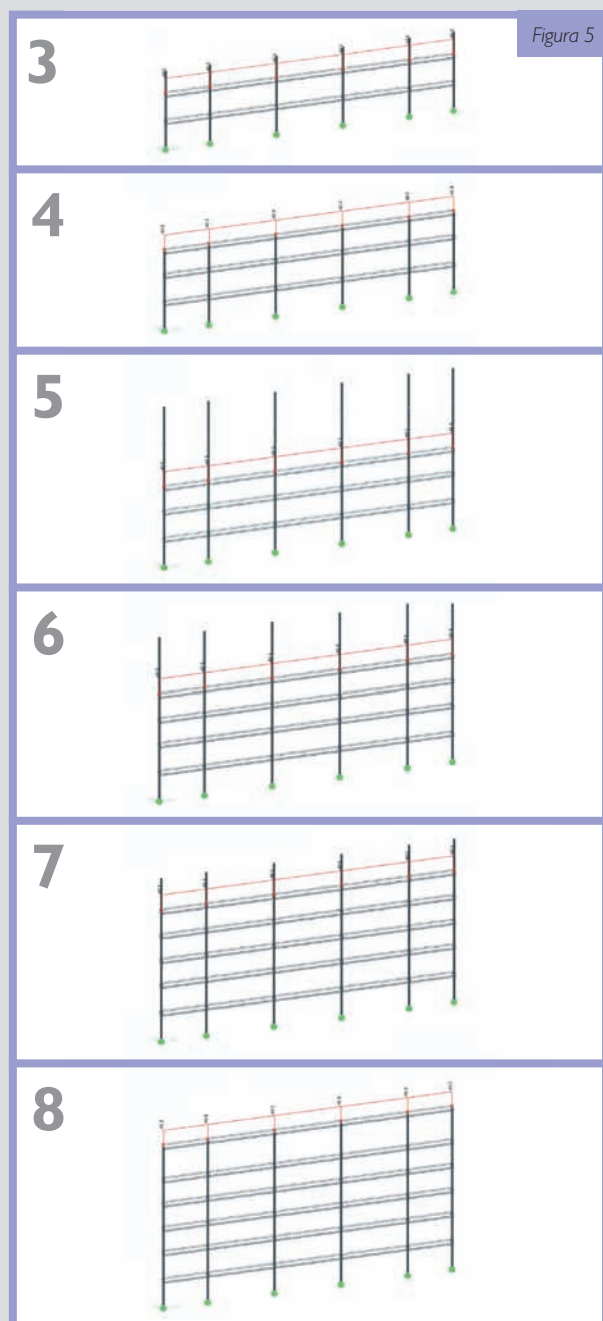


Figura 5

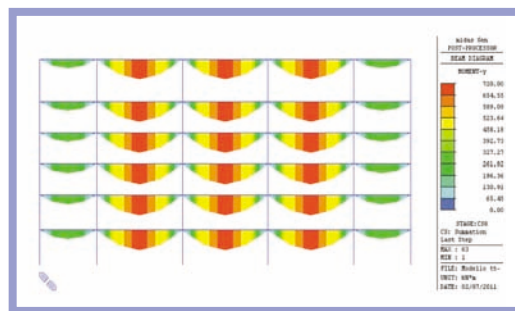


Figura 6

Dalla fase 2 alla 8 i momenti flettenti calcolati dal software sono relativi a travi incernierate con momento flettente pari a $M=(pL^2)/8$ (figura 6). I carichi considerati in queste fasi sono i pesi propri delle travi e i carichi permanenti, come il getto di calcestruzzo e il peso proprio dei solai.

Nella fase 9 si rende dunque attiva la continuità dei nodi trave-colonna tramite il rispettivo getto integrativo; a questo scopo nella modellazione si eliminano le cerniere dalle travi rendendo così la struttura un telaio. In questa fase agiranno tutte le azioni non ancora considerate, come i carichi permanenti portati (pavimenti, tramezzi, divisori ecc), gli accidentali, i carichi termici, il ritiro, la viscosità, il vento, il sisma e i cedimenti di fondazione. Per queste condizioni di carico (figura 7) si può notare che i momenti flettenti della struttura si comportano effettivamente come appartenenti ad un telaio continuo.

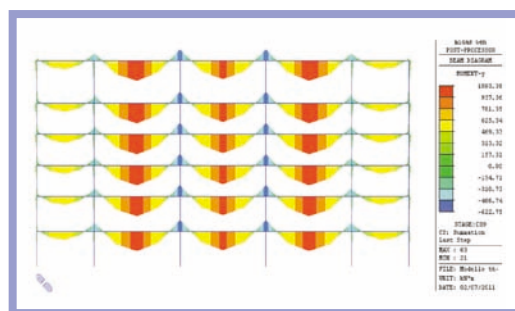


Figura 7

In ultima analisi si procede al calcolo dei valori di sollecitazione a momento flettente attraverso una semplice analisi statica con il modello completamente caricato senza quindi utilizzare l'analisi di costruzione per fasi. Il carico distribuito totale è dunque pari a $q=90$ kN/m.

Il confronto tra le due analisi ci mostra come **nella costruzione per fasi si generi un riequilibrio del momento flettente nelle travi a favore del momento positivo che porta nel complesso ad una diminuzione del momento negli appoggi ed un aumento di quello in campata** (figura 8). Questo è molto vantaggioso rispetto all'altra analisi in quanto: sfrutta al massimo le capacità portanti in campata della trave REP® poiché si dispone di una notevole quantità di armatura (piatto) che può essere disposta (saldata) con facilità in stabilimento; semplifica l'attuazione delle verifiche in gerarchia delle resistenze, riducendo il valore di momento plastico delle travi confluenti al nodo e quindi con un grande risparmio di tempo nella realizzazione dell'opera.

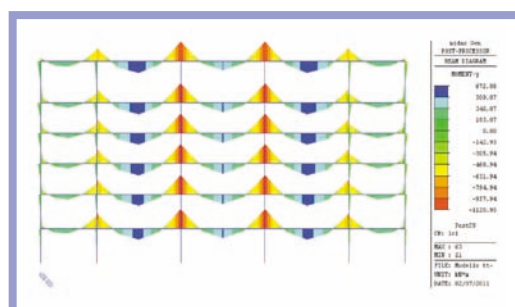
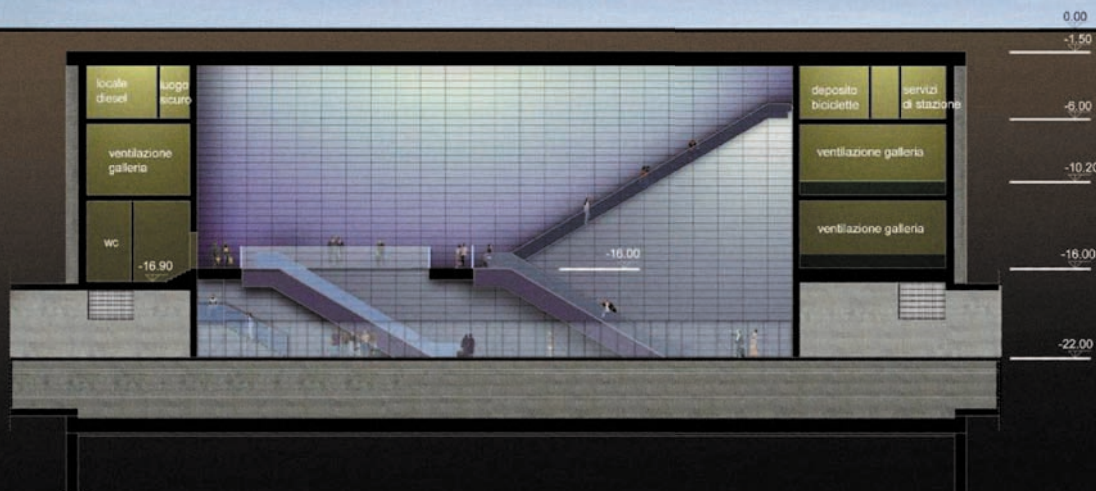


Figura 8

Tecnologia e ricerca: nuove prospettive per ridurre i tempi di esecuzione e garantire maggiore sicurezza nelle opere infrastrutturali.

**ROMA
14 APRILE
2011**

Facoltà di Ingegneria
Università di Roma
"La Sapienza"
Sala del Chiostro



Programma:

14.30 Registrazione dei partecipanti.

15.00 **Prof. ing. Fabrizio Vestroni.**
Professore ordinario di Scienza delle
Costruzioni e Preside della Facoltà
di Ingegneria Civile e Industriale
dell'Università di Roma "La Sapienza".
Saluti e intervento introduttivo.

15.20 **Prof. ing. Augusto Desideri.**
Direttore Dipartimento di Ingegneria
Strutturale e Geotecnica dell'Università
di Roma "La Sapienza".
Scavi e costruzioni in sottoterraneo
in ambiente urbano.

15.50 **Ing. Roberto Sorge.**
Metro C ScpA, Responsabile
Progettazione Linea C di Roma.
Ing. Paolo Ricò.
Metro C ScpA, Project Engineer
per i lotti T6-T7.
Metro Linea C: Esecuzione
e monitoraggio di una stazione profonda
con impiego di elementi prefabbricati.

16.10 **Ing. Paolo Galvanin.**
Responsabile settore geotecnica
e opere in sottoterraneo della Alpina Spa.
Scavi in area urbana a Milano
Porta Nuova.

16.30 **Dott. ing. Riccardo Castellanza.**
Ricercatore e professore associato
in Ingegneria Geotecnica, presso
il Dipartimento di Ingegneria Strutturale
del Politecnico di Milano.

Ing. Adriano Fava.
Direttore tecnico di Alpina Spa.
Galleria stradale di Oudayas
a Rabat in Marocco.

17.00 **Ing. Matteo Moratti.**
Direttore Tecnico dello Studio Calvi Srl.
Il ripristino urgente del Ponte della Becca.

17.20 **Ing. Paolo Segala.**
Amministratore Delegato CSPFea Srl.
La validazione di software di calcolo
avanzati per migliorare la progettazione
e garantire la sicurezza.

17.40 **Franco Daniele.**
Amministratore delegato
di Tecnostrutture Srl.
L'industrializzazione del cantiere: nuovo
approccio tecnico e metodologico.

18.00 Domande e risposte

18.30 Aperitivo

Moderatore dell'evento:
Prof. ing. Franco Braga.
Professore Ordinario di Tecnica
delle Costruzioni e di Costruzioni
in zona sismica presso l'Università
di Roma "La Sapienza".

Più che in qualsiasi altro momento
storico, oggi la fattibilità
di progetti innovativi deve passare
attraverso la capacità di adattare
il know-how tecnologico
e la produzione alle esigenze
della committenza.
Ricerca e sperimentazione
continua unitamente ad una alta
professionalità nell'affrontare
le problematiche di progetto
permettono di rispondere
con tempi di esecuzione certi
e sicuri anche nel caso di interventi
complessi che presuppongono una
progettazione dei dettagli costruttivi
rapida ed efficace.
Il convegno permette di
conoscere alcuni progetti di opere
infrastrutturali brillantemente
affrontati con l'utilizzo della
tecnologia del Sistema REP®
e del software Midas.

Per informazioni e iscrizioni:
segreteria organizzativa CALT
Tel. 0432 229127
Email convegni@caltpr.it

Organizzato da:

Tecnostrutture®
SISTEMA rep

csp fea
MIDAS

Con il patrocinio di:

**A
ACAI**

oice
Associazione delle organizzazioni
di ingegneria di architettura e di
consulenza tecnico-economica

**Ordine degli Ingegneri
della Provincia di Roma**