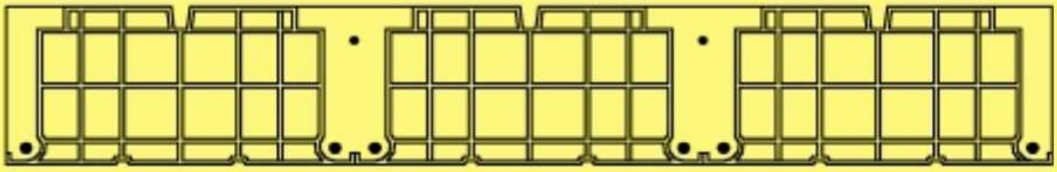
Renato Capozucca, Nicola Del Ciotto, Giorgio Zanarini

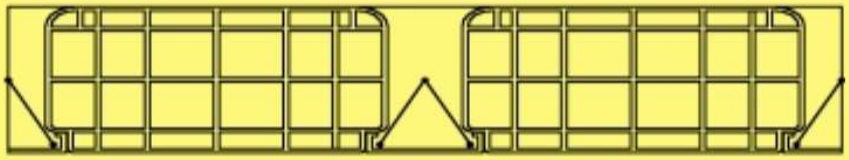
Influenza dell'esecuzione sul comportamento di solai in laterizio

Nell'articolo si presentano i risultati di un ricerca sperimentale condotta sul comportamento a flessione di pannelli di solaio in latero-cemento considerando l'influenza di alcune regole esecutive sulla risposta strutturale. Sono state esaminate tre famiglie di solaio per un totale di 18 pannelli: con nervature in c.a. gettate in opera, con travetti a traliccio e suola in laterizio, con travetti precompressi. Per ogni tipologia sono stati messi a confronto i risultati ottenuti su tre campioni eseguiti con cura con quelli ottenuti su campioni confezionati con difetti esecutivi. I risultati sperimentali permettono una quantificazione, in termini strutturali, della corretta esecuzione e dei suoi riflessi sulla affidabilità delle strutture di solai in laterizio

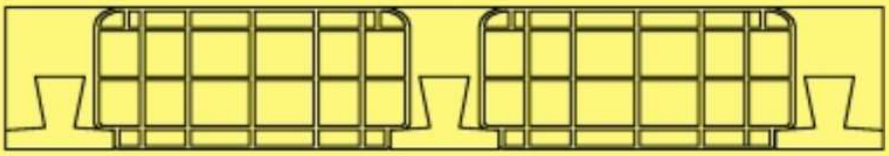
I solai in latero-cemento rappresentano la quasi totalità delle chiusure orizzontali utilizzate nel campo delle costruzioni. Sono ottenuti essenzialmente con due tipologie di materiali che svolgono differenti funzioni all'interno della struttura: il calcestruzzo armato, a cui è attribuita la funzione portante, e gli elementi in laterizio a cui è attribuita la funzione esclusiva di alleggerimento, se di tipo a) secondo il D.M. 9 gennaio 1996, o collaborante se di tipo b). Come si vedrà in seguito, i laterizi sono in grado di incrementare, anche in maniera significativa, la capacità portante del solaio.
Tuttavia, dal punto di vista esecutivo, particolari attenzioni vanno poste nelle operazioni di getto.
Un'insufficiente bagnatura degli elementi in laterizio provoca infatti la sottrazione di una parte, più o meno consistente, dell'acqua di idratazione del calcestruzzo, diminuendone la resistenza, rendendolo poco lavorabile e impedendo un completo avvolgimento delle barre di armatura.
Allo scopo di verificare la riduzione delle prestazioni di pannelli di solai sottoposti a carichi flessionali in funzione delle modalità di esecuzione, è stata condotta una ricerca sperimentale presso il Laboratorio Prove Materiali e Strutture dell'Università Politecnica delle Marche (Ancona) che prevedeva la realizzazione di una serie di campioni in scala reale di pannelli di solaio di varie tipologie, in parte eseguiti in modo corretto ed altri eseguiti senza il controllo esecutivo. Tutti i pannelli sono stati sottoposti a prove di flessione per valutare l'incidenza dei fattori esecutivi considerati nella realizzazione.
Sono state utilizzate tre diverse tipologie di solaio in latero-cemento di seguito indicate con A, B e C (fig. 1) per ognuna delle quali sono stati realizzati sei campioni di cui tre a regola d'arte e tre con insufficiente bagnatura dei laterizi, che, nel caso dei pannelli con nervature realizzate in opera, ha causato la formazione di un "ponte" in corrispondenza delle armature con conseguente insufficiente copriferro e mancanza di adesione fra calcestruzzo e laterizio. Le prove sono state spinte sino a rottura considerando un carico crescente monotonico.
La sperimentazione ha consentito di verificare e di valutare l'influenza che una esecuzione non controllata può avere sulla prestazione dei solai, anche se adeguatamente calcolati.
Inoltre, attraverso i risultati sperimentali, si è controllata l'efficacia della partecipazione dei laterizi alla limitazione delle frecce degli stessi pannelli sotto carico per l'incremento di rigidezza flessionale che determinano.



Tipo A: pannello di solaio con travetti realizzati in opera.



Tipo B: pannello di solaio con travetti tralicciati prefabbricati.



Tipo C: pannello di solaio con travetti prefabbricati in c.a.p.

1. Tipologie di solaio utilizzate nella sperimentazione.

Nella pagina a fianco: 2. I pannelli tipo A, B, C sul banco per la prova a flessione e attrezzature di prova.

Tipologie di pannelli sottoposti a sperimentazione

La figura 2 mostra i tre tipi di pannelli durante la prova di flessione.

Pannello tipo A

Sono pannelli costituiti da nervature in cemento armato completamente realizzate in opera, ad interasse di circa 40 cm, con presenza di elementi in laterizio di tipo b), collaboranti secondo il D.M. 9 gennaio 1996.

I pannelli sottoposti a prova hanno una larghezza complessiva di 1,20 m e sono formati da due nervature centrali e due semi-travetti laterali.

Il pannello misura un'altezza di 20 cm ed è privo di soletta.

L'armatura inferiore è costituita da sei barre del diametro di 12 mm, mentre superiormente sono presenti due barre del diametro di 8 mm soltanto nei travetti centrali.

Pannello tipo B

Sono pannelli costituiti da nervature in cemento armato di sezione rettangolare realizzate con travetti tralicciati di produzione corrente (e quindi non controllati durante la confezione), di larghezza pari a 12 cm, con fondello in laterizio, posti ad interasse di 50 cm, e da elementi in laterizio di tipo b).

I pannelli hanno una larghezza complessiva di 1,00 m e sono formati da una nervatura centrale di 8 cm e due semi-nervature laterali da 6 cm.

L'altezza del pannello, privo di soletta, è di 20 cm. L'armatura inferiore è costituita da quattro barre del diametro di 12 mm, mentre superiormente non sono presenti ferri.

Pannello tipo C

Sono pannelli costituiti da nervature in cemento armato di sezione rettangolare realizzate con travetti in c.a.p., prodotti in serie dichiarata secondo il D.M. LL.PP. 3 dicembre 1987, di formato 9 x 12 cm, e getto di completamento, posti ad interasse di 50 cm con presenza di elementi in laterizio di tipo b). I pannelli sono formati da tre nervature di 12 cm per una larghezza complessiva di 1,12 m.

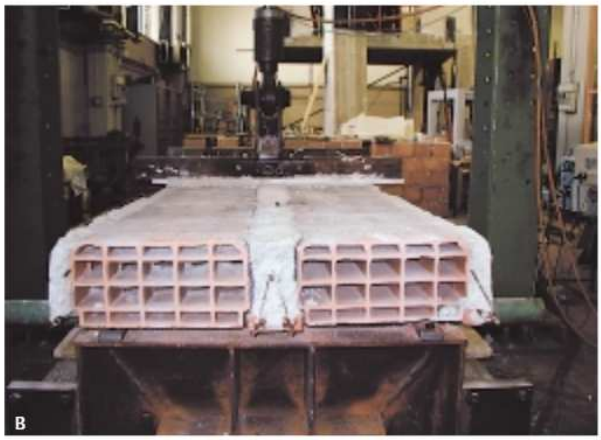
Il pannello è privo di soletta ed ha un'altezza di 20 cm.

L'armatura è costituita da acciaio armonico in trecce a basso rilassamento, per un'area complessiva di 48 mm^2, sottoposte ad una presollecitazione di 135 N/mm^2.

Tutti i pannelli presentano una lunghezza pari a 4,50 m, mentre la luce netta adottata è pari a 4,00 m.

Prove sperimentali di flessione

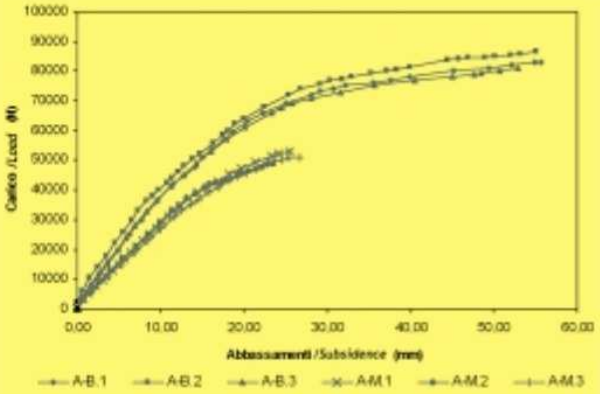
Le prove sperimentali sono state eseguite con il classico schema della prova di flessione pura in assenza di taglio, ossia applicando sul pannello, semplicemente appoggiato alle estre-



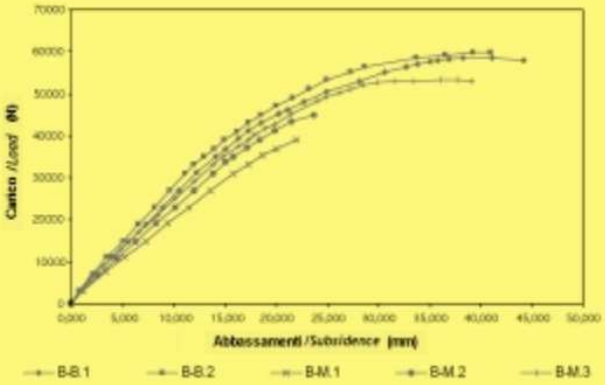
mità, due linee di carico distribuite uniformemente su tutta la larghezza del pannello stesso, poste ad un interasse di 1,00 m (fig. 8).
Gli appoggi di estremità dei pannelli sono costituiti da due cilindri metallici posti ad un interasse di 4,00 m.
I risultati della campagna sperimentale sono stati messi a confronto, per ognuna delle tipologie di pannelli esaminati, attraverso l'analisi dei diagrammi carico-spostamento in modo tale da avere una valutazione sull'influenza che le modalità di esecuzione hanno sulle prestazioni delle diverse tipologie di pannelli esaminati (figg. 3÷5). Il confronto dei diagrammi sperimentali sottolinea come le modalità di esecuzione risultino essenziali per un corretto comportamento della struttura nel caso, soprattutto, dei pannelli *tipo A*. Nei diagrammi sono riportati con le sigle A-B.i e A-M.i , con i = 1, 2, 3, rispettivamente, i pannelli ben confezionati e confezionati in modo non corretto. Per le altre tipologie, soprattutto per il *tipo C*, risulta una influenza meno accentuata. Nel *tipo A* - pannelli completamente realizzati in opera - i provini testati, confezionati a regola d'arte, presentano una maggiore duttilità da attribuirsi alla migliore aderenza fra le barre d'acciaio ed il calcestruzzo. I pannelli confezionati con modalità non corrette presentano un comportamento lineare nel campo dell'esercizio ma sono caratterizzati da una rigidezza minore, rispetto a pannelli analoghi confezionati con cura. Per gli stessi si perviene, inoltre, alla rottura con valori di carico nettamente inferiori senza ampie deformazioni. Nel caso dei pannelli *tipo C*, invece, l'influenza delle modalità di confezionamento risulta più contenuta. Infatti, i valori del carico di rottura, delle rigidezze e degli spostamenti ultimi sono simili fra i campioni esaminati.
In termini di capacità prestazionale, la perdita registrata nei pannelli sottoposti a prova, valutata con riferimento al valore del carico di rottura, è pari ad un massimo di circa il 40%, per i pannelli t*ipo A*, e ad un minimo pari al 7% per i pannelli *tipo C*.

Controllo della deformazione dei pannelli di solaio

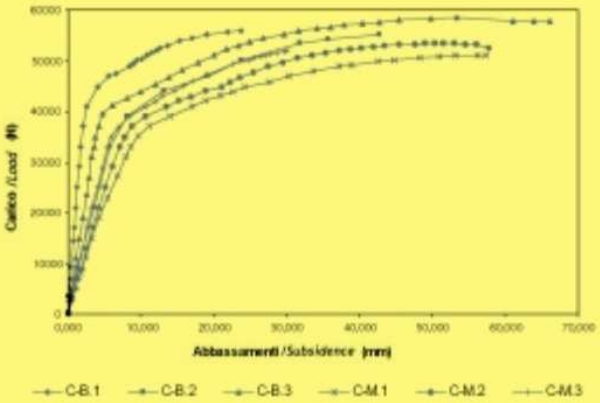
I diagrammi sperimentali ottenuti dalle prove di flessione condotte sui pannelli di solaio sono stati confrontati con i diagrammi teorici carico-spostamento elaborati sia riferendosi al modello proposto dal CEB (Model Code, 1978), in particolare attraverso il cosiddetto metodo bilineare utilizzato per il calcolo delle frecce, sia determinando i valori degli sposta-



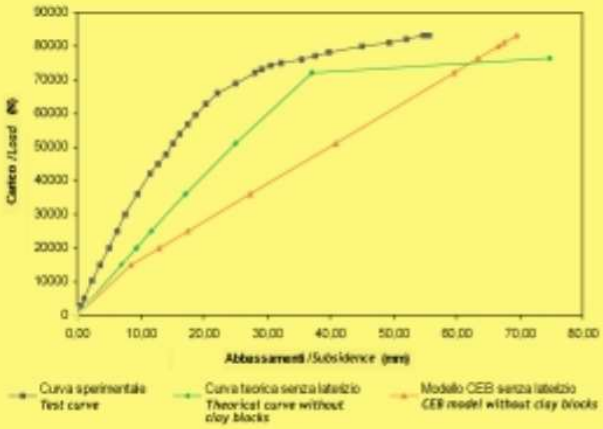
3. Diagrammi sperimentali carico-spostamento (pannelli tipo A).



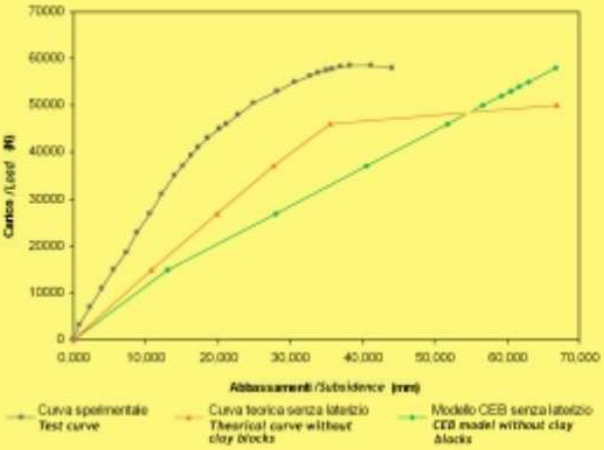
4. Diagrammi sperimentali carico-spostamento (pannelli tipo B).



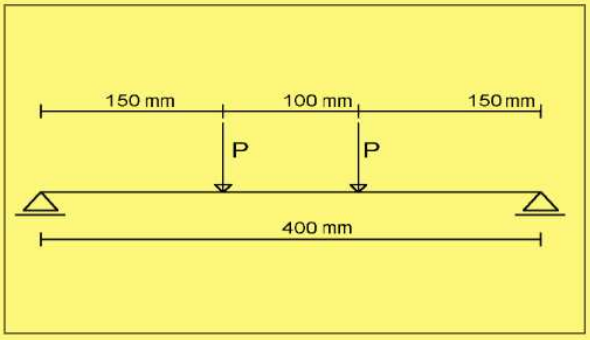
5. Diagrammi sperimentali carico-spostamento (pannelli tipo C).



6. Diagrammi sperimentale e teorici carico-spostamento (pannelli tipo A eseguiti con modalità corrette).



7. Diagrammi sperimentale e teorici carico-spostamento (pannelli tipo B eseguiti con modalità corrette).



8. Modalità di carico per la prova a flessione.

9. La rottura di un pannello tipo B sollecitato a taglio-flessione.

menti, attraverso l'integrazione dei diagrammi delle curvature per i pannelli sperimentati.
Tali metodi sono stati utilizzati per le tipologie di pannelli *A* e *B*. Per ciascuna tipologia è stata determinata una curva carico-abbassamento sia trascurando il contributo offerto dai blocchi in laterizio, sia considerandolo in parte. Il confronto fra i diagrammi ottenuti con il modello teorico e quelli sperimentali mette in evidenza come la presenza del laterizio abbia un ruolo fondamentale sia in termini di resistenza che di rigidezza.
Nelle figure 6 e 7 sono riportati i confronti fra i diagrammi sperimentali carico-spostamento e quelli teorici relativi ai pannelli *tipo A* e *B* ottenuti anche tenendo conto del contributo alla rigidezza offerto dai laterizi.

Prove sperimentali di taglio-flessione

Le prove di taglio-flessione sono state eseguite su pannelli quadrati di dimensioni 1,00x1,00 m di tipologie analoghe a quelle delle prove di flessione, limitatamente ai *tipi A* e *B*. Il numero di pannelli portati a rottura è pari a dodici, sei per il *tipo A* e sei per il *tipo B*. In entrambi i casi, tre pannelli sono stati confezionati a regola d'arte e tre con difetti esecutivi.
Il carico è stato applicato su una linea parallela all'orditura del pannello.
I risultati delle prove evidenziano anche in questo caso come i pannelli *tipo A* - travetti realizzati in opera - presentino la perdita di prestazione più significativa, in media del 50%, rispetto al *tipo B* - travetti tralicciati prefabbricati - in cui la perdita è in media del 40%.
La figura 9 mostra il tipo di rottura in un pannello male eseguito.

Conclusioni

La campagna sperimentale illustrata evidenza le influenze delle modalità di esecuzione sulle prestazioni dei pannelli di solaio di diversa tipologia; i risultati sperimentali mostrano come nei pannelli *tipo A*, completamente realizzati in opera, la perdita di prestazione sia molto importante fino a diventare minima nel *tipo C*, pannelli realizzati con travetti prefabbricati in c.a.p.
I grafici di confronto, inoltre, mettono in evidenza che il confezionamento gioca un ruolo fondamentale non solo in termini di resistenza, ma anche in termini di deformabilità.
I diagrammi sperimentali ottenuti dalle prove di flessione sono poi stati confrontati con i diagrammi teorici carico-spostamento elaborati sia attraverso il cosiddetto metodo bilineare proposto dal CEB, sia determinando i valori degli spostamenti, attraverso l'integrazione dei diagrammi delle curvature per i pannelli sperimentati. Da tale analisi, eseguita per i pannelli appartenenti alle tipologie *A* e *B*, è evidente come la presenza degli elementi in laterizio contribuisca in maniera determinante sia in termini di resistenza che di deformabilità, fino alla condizione ultima. Le curve teoriche, infatti, in nessun caso si sovrappongono a quelle sperimentali, evidenziando una minore rigidezza dovuta proprio all'assenza degli elementi di laterizio nelle procedure di calcolo. ¶

Bibliografia

F.Y. Yokel, S.G. Fattal, *Failure Hypothesis for Masonry Shear walls*, Journal of the Structural Division ASCE, 102, n. ST3, pp. 515-532, 1976.
B. Powell, H.R. Hodgkinson, *Determination of stress-strain relatationship of brickwork*, Proc. 4th IBMaC, Brugge, 1976.
S.K. Arya, G.A. Hegemeir, *On non linear response predictions of concrete masonry assemblies*, Proc. North American Masonry Conference, U.S.A., 19-1÷19-24, 1978.
L. Binda, A. Fontana, G. Frigerio, *Mechanical behaviour of brick masonries from unit and mortar characteristics*, Proc. 8th IBMaC, Dublino, vol. 1, 205-215, 1988.
European Committee for Standardisation, EC6, *Design of Masonry Structures, Part 1-1: general rules for buildings – rules for reinforced and unreinforced masonry*, ENV 1996 1-1. Bruxels. CEN, 1995.
D.M. 20 nov. 1987, *Norme tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo degli edifici in muratura e per il loro consolidamento*.
ASTM E 519-74, *Standard test method for diagonal tension in masonry assemblages*.
European Committee for Standardization, *Eurocode 8, Design provisions for earthquake resistance of structures. Part 1-1: general rules for buildings - seismic actions and general requirements for structures*. ENV 1998-1-1, Bruxels, CEN, 1995.