

COMPORTAMENTO DI UN BLOCCO LATERIZIO DA SOLAIO IN RESENZA DI FESSURE LOCALIZZATE

C. Bosco, A. Ponzone

*¹Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Politecnico di Torino
Corso Duca degli Abruzzi 24 - 10129 Torino*

SOMMARIO: Per i blocchi di laterizio da impiegare nei solai in latero-cemento le norme fissano i limiti di accettabilità riguardanti il numero e la localizzazione delle fessure presenti nei setti e nelle pareti. L'effetto della presenza delle fessure sulla stabilità del blocco è stato studiato schematizzando il componente come telaio piano, costituito dal reticolo della sua sezione trasversale, nel quale sono presenti due fessure disposte in posizione casuale. I risultati ottenuti indicano che per le condizioni di carico più comunemente riscontrabili nelle applicazioni strutturali, lo stato di fessurazione è sostanzialmente stabile mentre lo stato di tensione nel blocco fessurato subisce incrementi importanti rispetto a quello che si ha nel blocco privo di difetti, anche se ciò avviene in un numero di casi molto limitato. Inoltre appare che la simulazione numerica può risultare un utilissimo supporto per meglio interpretare i risultati di talune prove di laboratorio da eseguire sull'intero blocco.

PAROLE CHIAVE: Blocco laterizio, difetti di produzione, fessure localizzate, meccanica della frattura, sicurezza.

INTRODUZIONE

È noto che sul territorio nazionale l'impiego di elementi di laterizio nelle costruzioni civili ha una lunga tradizione; in particolare nei solai degli edifici per civile abitazione, l'impiego dei blocchi di laterizio riguarda praticamente la totalità delle applicazioni. Questo fatto è talmente consolidato che fin dalle prime regolamentazioni di legge riguardanti la progettazione delle strutture in calcestruzzo armato (R. D. 16/11/1939), è stata dedicata una parte specifica ai solai misti in latero-cemento.

Il blocco forato di laterizio, utilizzato inizialmente come semplice elemento di alleggerimento, è stato successivamente impiegato con compiti strutturali più impegnativi assumendo sempre più il ruolo di elemento a cui affidare compiti di collaborazione col calcestruzzo nella funzione resistente. Per svolgere questa funzione e garantire un adeguato livello di sicurezza al complesso strutturale, il blocco deve possedere requisiti specifici per assicurare un buon comportamento meccanico; quest'ultimo è influenzato principalmente dalle caratteristiche del materiale di base [Bosco e Iori, 1992], [Bosco *et alii*, 1996], [Bosco, 1997] ma anche dalla conformazione strutturale del blocco e dalla presenza in esso di difetti, quali le fessurazioni che risultano dal processo produttivo. Nel presente lavoro si pone particolare attenzione a questo aspetto e, per definite condizioni di carico, si valuta il livello di sicurezza del blocco quando in questo sono presenti due

fessure. Il numero delle fessure è stato definito con riferimento ai limiti di accettabilità che le norme UNI fissano per i blocchi da solaio in latero-cemento.

Il comportamento del materiale è assunto lineare fino alla situazione critica, come riscontrato sperimentalmente per la gran parte della produzione nazionale [Bosco, 1996], [Bosco 1997]. Le fessure sono introdotte nel programma di calcolo strutturale per mezzo dei classici modelli della meccanica della frattura elastica lineare e lo studio è effettuato per condizioni di vincolo e di carico normalmente riscontrabili nelle applicazioni strutturali.

Le condizioni di sicurezza del componente sono valutate in termini tensionali (per confronto con la resistenza unitaria a trazione del materiale) e in termini di stabilità dello stato di fessurazione (per confronto tra il fattore di intensificazione delle tensioni calcolato all'apice delle fessure e il valore determinato sperimentalmente).

Nel lavoro, inoltre, si discute circa la possibilità di utilizzazione delle tecniche di simulazione numerica come strumento integrativo (ma anche sostitutivo) delle prove sperimentali, qualora queste non siano in grado di fornire indicazioni sufficientemente attendibili su taluni aspetti del comportamento del blocco.

MODELLO TEORICO

Per studiare il comportamento di un elemento strutturale contenente una fessura è necessario conoscere la relazione tra carico e deformazione dell'elemento. Quando la dimensione della zona di transizione nell'intorno dell'apice della fessura è piccola rispetto alla lunghezza della fessura stessa, è ammesso assumere che il comportamento dell'elemento fessurato sia elastico lineare e che la sua cedevolezza λ sia data dalla relazione

$$\lambda = \lambda_0 + \Delta\lambda \quad , \quad (1)$$

dove λ_0 rappresenta la cedevolezza dell'elemento integro (rapporto tra lo spostamento generalizzato δ e lo sforzo generalizzato agente S) e $\Delta\lambda$ rappresenta l'incremento di cedevolezza che si produce per la presenza della fessura, secondo la relazione $\Delta\lambda = \Delta\delta/S$, essendo $\Delta\delta$ l'incremento di spostamento generalizzato.

In un elemento strutturale fessurato appartenente ad una struttura piana caricata nel proprio piano, gli incrementi di spostamento assiale $\Delta\delta$ e di rotazione $\Delta\varphi$ che si producono per effetto dello sforzo normale N e del momento flettente M agenti ai lati della fessura sono, rispettivamente

$$\Delta\delta = \Delta\lambda_{NN}N + \Delta\lambda_{NM}M \quad (2)$$

$$\Delta\varphi = \Delta\lambda_{MN}N + \Delta\lambda_{MM}M \quad .$$

Nelle eqn. (2) i termini $\Delta\lambda_{NN}$ e $\Delta\lambda_{MM}$ rappresentano, nell'ordine, gli incrementi di cedevolezza assiale e rotazionale prodotti dallo sforzo normale e dal momento flettente, mentre i termini $\Delta\lambda_{NM} = \Delta\lambda_{MN}$ rappresentano, nell'ordine, l'incremento di cedevolezza assiale prodotto dall'azione flettente e di cedevolezza rotazionale prodotta dallo sforzo normale.

Se a è la profondità della fessura e h è l'altezza della sezione trasversale dell'elemento fessurato, per una generica profondità relativa di fessura $a/h=\xi$, gli incrementi di cedevolezza sono dati dalle espressioni [Okamura *et alii*, 1973], [Okamura *et alii*, 1975]

$$\begin{aligned}\Delta\lambda_{NN} &= \frac{2}{bE} \int_0^\xi Y_N^2(\xi) d\xi \\ \Delta\lambda_{NM} = \Delta\lambda_{MN} &= \frac{2}{bhE} \int_0^\xi Y_N(\xi) Y_M(\xi) d\xi \\ \Delta\lambda_{MM} &= \frac{2}{bh^2E} \int_0^\xi Y_M^2(\xi) d\xi\end{aligned}\quad (3)$$

nelle quali le funzioni di forma $Y_M(\xi)$ e $Y_N(\xi)$ dipendono dalla profondità relativa ξ della fessura, secondo le relazioni [Okamura *et alii*, 1973], [Okamura *et alii*, 1975]

$$\begin{aligned}Y_N(\xi) &= 1.99\xi^{1/2} - 0.41\xi^{3/2} + 18.70\xi^{5/2} - 38.48\xi^{7/2} + 53.85\xi^{9/2} \\ Y_M(\xi) &= 11.94\xi^{1/2} - 14.82\xi^{3/2} + 77.82\xi^{5/2} - 139.02\xi^{7/2} + 148.80\xi^{9/2}\end{aligned}\quad (4)$$

Tenendo conto che le quantità date dalle eqn. (2) vanno sommate a quelle calcolate sull'elemento integro ($\delta_0=\lambda_{0N}N$ e $\varphi_0=\lambda_{0M}M$), è possibile esprimere sia la matrice di rigidezza dell'elemento fessurato, sia il vettore dei termini noti quando l'elemento è caricato lungo il proprio asse e giungere alla formulazione del sistema risolvete per la struttura nella nota forma

$$[K] \cdot \{\delta\} = \{Q\} \quad (5)$$

Nell'eqn. (5) $[K]$, $\{\delta\}$ e $\{Q\}$ rappresentano, nell'ordine, la matrice di rigidezza della struttura contenente uno o più elementi fessurati, il vettore degli spostamenti nodali e il vettore dei termini noti, contenente l'effetto dei carichi applicati alla struttura.

Dopo la risoluzione del sistema (5) è possibile calcolare le caratteristiche di sollecitazione nella sezione fessurata e quindi il fattore di intensificazione delle tensioni all'apice della fessura di lunghezza relativa ξ , con la relazione

$$K_I = \frac{M}{bh^{3/2}} Y_M(\xi) + \frac{N}{bh^{1/2}} Y_N(\xi) \quad (6)$$

dove b e h sono rispettivamente la base e l'altezza della sezione trasversale dell'elemento fessurato. Nello studio è stato assunto $K_{II} \approx 0$.

Ciascun elemento fessurato viene ipotizzato fessurato dalla parte in cui il momento flettente produce tensioni positive. Il risultato dell'analisi strutturale viene considerato valido se il fattore K_I dato dall'eqn. (6) risulta positivo (fessura completamente aperta) mentre viene scartato in caso contrario (fessura completamente chiusa); in questo secondo caso la soluzione non differisce da quella che si ottiene sulla struttura integra.

PRESCRIZIONI NORMATIVE E RIFERIMENTO SPERIMENTALE

La norma UNI 9730 – Parte 2°, fissa i limiti di accettabilità dei blocchi di laterizio per quanto riguarda il numero e la localizzazione dei difetti visibili; tra questi sono annoverate le fessure presenti nei setti e nelle pareti del blocco. La stessa norma indica quali sono i setti e le pareti che non devono essere fessurati, pena la non conformità del blocco e fissa in un massimo di due il numero dei setti e delle pareti rimanenti in cui può essere presente una fessura.

Nello studio, condotto su un disegno di blocco idealizzato nel quale sono presenti due fessure non localizzate nel medesimo setto, si è ammesso per semplicità che le fessure possano essere presenti in tutti i setti e tutte le pareti del blocco.

La verifica di stabilità del blocco fessurato, per una assegnata condizione di carico, va effettuata in termini tensionali, con riferimento alla resistenza unitaria a trazione σ_t del materiale e in termini di stabilità dello stato di fessurazione, con riferimento al valore critico K_{IC} del fattore di intensificazione delle tensioni all'apice delle fessure. Quest'ultimo valore può essere ottenuto sperimentalmente con la relazione

$$K_{IC} = \sqrt{G_F E} \quad , \quad (7)$$

quando siano noti il valore dell'energia di frattura G_F per unità di superficie e il valore del modulo elastico normale E del materiale.

Nel presente studio è stato fatto riferimento ad uno dei dieci materiali che, nel recente passato, sono stati oggetto di una approfondita indagine sperimentale avente come scopo la loro caratterizzazione meccanica e fisica [Bosco, 1997]. I valori sperimentali di energia di frattura e di modulo elastico normale per il materiale scelto (contrassegnato con la lettera A) sono risultati rispettivamente pari a 0,0217 N/mm e 21200 N/mm²; il valore critico K_{IC} del fattore di intensificazione delle tensioni, dato dall'eqn. (7) è perciò eguale a circa 21,5 N/mm^{3/2}. Per lo stesso materiale, il valore σ_t della resistenza unitaria a trazione semplice, ancora ottenuto sperimentalmente, è eguale a 11,1 N/mm².

SIMULAZIONE NUMERICA

Il blocco è stato schematizzato come telaio piano costituito dal reticolo della sua sezione trasversale. È stato considerato lo schema strutturale riportato in Fig. 1, costituito da cinque elementi continui orizzontali e altrettanti verticali, mutuamente ortogonali ed egualmente distanziati tra loro, per un numero complessivo di 40 setti, due dei quali fessurati. La profondità relativa ξ delle due fessure è stata considerata eguale a 0,7.

Lo spessore dei setti è stato assunto costante ed eguale a 10 mm, mentre la distanza tra gli assi delle pareti esterne è stata assunta pari a 400 mm in orizzontale e 200 mm in verticale.

Ciascun setto costituente il blocco è stato suddiviso in 4 conci di eguale lunghezza e ciascuna delle due fessure è stata di volta in volta collocata in una delle 5 sezioni estreme di tali conci, escludendo la loro contemporanea presenza in uno stesso setto. In queste condizioni il numero di disposizioni delle due fessure sulle 200 sezioni totali, risulta pari a 39000. Nella direzione di trafilatura il blocco è considerato di lunghezza unitaria.

Sono state tenute in conto due condizioni di carico uniformemente distribuito: la prima sull'intera lunghezza della parete superiore e la seconda sulle due pareti verticali, come

indicato nella Fig. 1. L'intensità del carico nelle due condizioni e stato assunto pari a 0,01 N/mm e a 1 N/mm, rispettivamente; tali valori corrispondono a quelli comunemente riscontrabili nelle applicazioni strutturali.

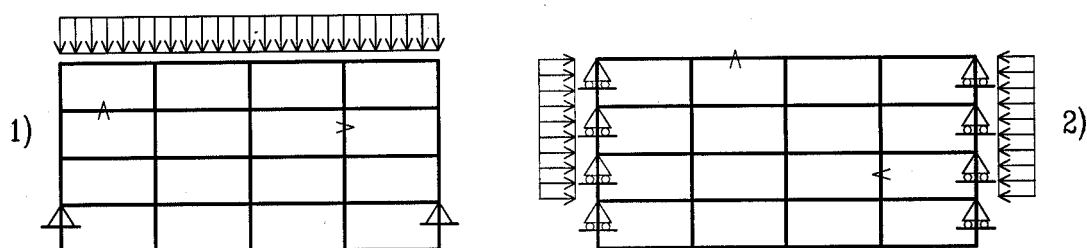


Figura 1: schema strutturale con una generica disposizione delle due fessure, condizioni di carico e di vincolo

Il programma di calcolo, per ogni disposizione delle due fessure, fornisce il valore della massima tensione principale positiva σ_1 nel blocco e il valore del fattore di intensificazione delle tensioni K_I all'apice di ciascuna delle due fessure introdotte.

Il calcolo della tensione principale positiva in ciascuna sezione di suddivisione dei setti, tenuto conto dell'effetto combinato delle tensioni normali di sforzo assiale e momento flettente e della tensione tangenziale prodotta dallo sforzo di taglio, viene effettuato in corrispondenza delle corde estreme dello spessore del setto e di cinque corde intermedie equidistanti tra loro. Il calcolo del fattore K_I è effettuato utilizzando l'eqn. (6). I valori di σ_1 e di K_I vengono quindi confrontati, rispettivamente, con la tensione principale positiva massima σ_0 ottenuta sul blocco integro (nella stessa condizione di carico e vincolo) e con il valore critico K_{IC} del fattore di intensificazione delle tensioni del materiale.

Va osservato che il numero totale dei valori del rapporto σ_1/σ_0 e K_I/K_{IC} è in generale ridotto rispetto al numero di 39000 possibile, in quanto non tutte le disposizioni delle due fessure comportano come risultato l'effettiva apertura di almeno una di esse (con la seconda chiusa). Operativamente, se dall'analisi strutturale risulta che una o entrambe le fessure tendono a compenetrare i loro lembi, fatto fisicamente impossibile, viene ripetuto il calcolo imponendo la chiusura della fessura che tende a compenetrare (o di una delle due fessure che tendono a compenetrare); il nuovo risultato viene tenuto in conto soltanto se la fessura imposta come aperta lo rimane effettivamente.

Per la definita condizione di carico e di vincolo, la stabilità della struttura è assicurata se è contemporaneamente verificata la condizione tensionale (rapporto σ_1/σ_0 non superiore ad un prefissato valore, tenuto conto che deve essere verificata la disequaglianza $\sigma_1 < \sigma_T$) e la condizione di non criticità del fattore di intensificazione delle tensioni all'apice delle fessure ($K_I < K_{IC}$).

Il valore della tensione principale positiva massima σ_0 calcolata sul blocco privo di fessure, è risultata rispettivamente pari a 1,10 N/mm² e 0,126 N/mm², per le due condizioni di carico indicate in Fig. 1.

Il rapporto K_I/K_{IC} , a differenza del rapporto σ_1/σ_0 che indica la sensibilità del blocco alla presenza di fessure, quantifica il pericolo di propagazione delle fessure; l'inverso di tale rapporto indica il livello di sicurezza nei confronti della propagazione di una o entrambe le fessure presenti nel blocco.

DISCUSSIONE DEI RISULTATI

I risultati ottenuti dall'analisi strutturale sviluppata per le due condizioni di carico, sono stati successivamente riordinati per poterli rappresentare in modo sintetico. I valori del rapporto σ_1/σ_0 e K_I/K_{IC} sono stati infatti raggruppati in intervalli di valore rispettivamente pari a 0,01 e 0,0005, e riportati in istogrammi, consentendo in tal modo di sviluppare le seguenti considerazioni:

–Condizione di carico 1 (carico distribuito uniforme sulla parete superiore, pari a 0,01 N/mm).

I risultati utili (almeno una fessura completamente aperta) sono stati 34845 su 39000, pari al 89,3% dei casi possibili e sono riportati sotto forma di densità di probabilità dei valori del rapporto K_I/K_{IC} nell'istogramma di Fig. 2. Da questo si rileva che la densità di probabilità massima, pari a 0,027, si verifica per $K_I/K_{IC} \approx 0,017$. Si osserva tuttavia che la stessa densità di probabilità presenta dei picchi di valore poco inferiore al valore appena indicato fino a rapporti $K_I/K_{IC} \approx 0,05$ e picchi di valore non trascurabile fino a $K_I/K_{IC} \approx 0,07$. Valori di K_I/K_{IC} superiori a tale limite si riscontrano in un numero di casi estremamente limitato (circa 2,5 su 1000) ed il valore massimo assoluto è pari a 0,0805, molto inferiore al valore unitario, in corrispondenza del quale si raggiunge la condizione critica (propagazione delle fessure). Infine si osserva che il 95% dei valori del rapporto K_I/K_{IC} cade al di sotto di 0,058.

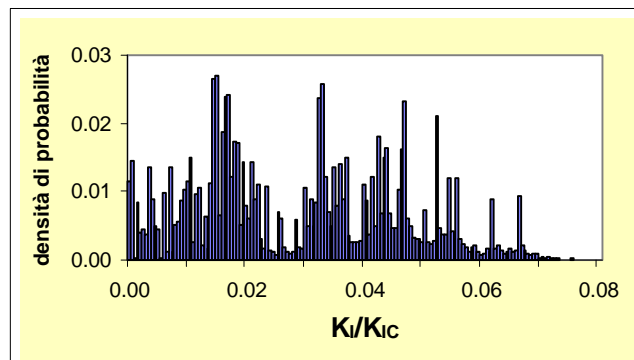


Figura 2: condizione di carico 1 - densità di probabilità del rapporto K_I/K_{IC}

Nell'istogramma di Fig. 3 è invece riportata la densità di probabilità del rapporto σ_1/σ_0 tra la tensione principale positiva massima in condizione di blocco fessurato e in condizione di blocco integro. La densità di probabilità massima del rapporto, pari a 0,111, si colloca al valore unitario del rapporto σ_1/σ_0 . La densità va poi decrescendo in modo praticamente lineare, fino ad assumere valori molto piccoli per σ_1/σ_0 all'incirca eguale a 1,25. Valori superiori a 1,25 si riscontrano in circa 2 casi su 1000. Il valore massimo del rapporto σ_1/σ_0 è pari a 1,31 ed è stato osservato 2 volte: questo significa (ricordando che $\sigma_0=1,10$ N/mm²) che nel caso più sfavorevole di disposizione delle fessure, la massima tensione principale σ_1 risulta circa il 13% della resistenza unitaria a trazione del materiale. Va infine rilevato che nel 7% dei casi (2439 su 34845), il livello tensionale massimo nel blocco fessurato diminuisce (anche se molto poco) rispetto a

quello che si verifica sul blocco privo di difetti, e che il limite di σ_1/σ_0 che contiene il 95% dei valori si colloca a 1,14.

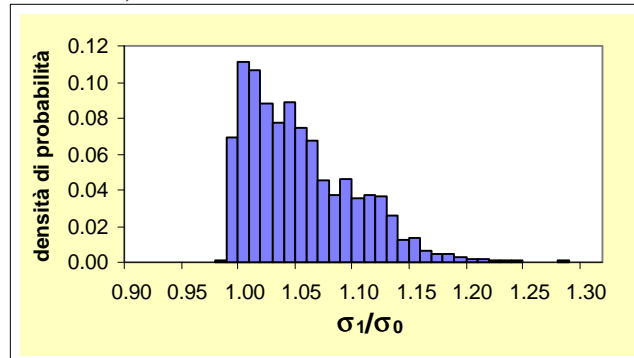


Figura 3: condizione di carico 1 - densità di probabilità del rapporto σ_1/σ_0

–Condizione di carico 2 (carico distribuito uniforme sulle pareti laterali, pari a 1 N/mm). I risultati utili (almeno una fessura completamente aperta) sono stati 32681 su 39000, pari al 83,8% dei casi possibili e sono riportati sotto forma di densità di probabilità dei valori del rapporto K_I/K_{IC} nell'istogramma di Fig. 4. Dalla loro osservazione emerge che la densità di probabilità massima, pari a 0,23, si verifica per $K_I/K_{IC} \approx 5 \cdot 10^{-4}$ e che con una probabilità del 63,6% (prime tre colonne dell'istogramma) i valori di K_I/K_{IC} sono inferiori a 0,0015. Inoltre, emerge che valori di K_I/K_{IC} superiori a 0,009 si riscontrano in soli 8 casi, mentre il valore massimo assoluto è pari a 0,0125, decisamente piccolo rispetto al valore critico, unitario. Infine si osserva che il 95% dei valori del rapporto K_I/K_{IC} cade al di sotto di 0,006.

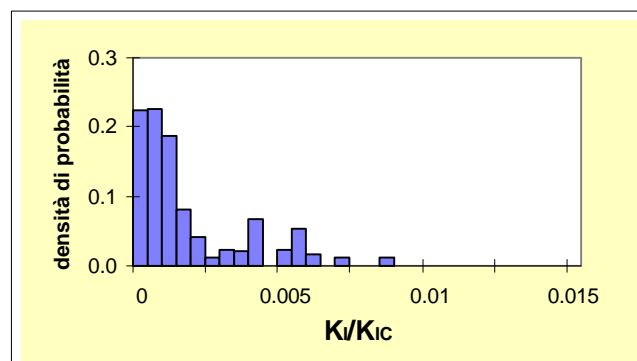


Figura 4: condizione di carico 2 - densità di probabilità del rapporto K_I/K_{IC}

Nell'istogramma di Fig. 5 è riportata la densità di probabilità del rapporto σ_1/σ_0 tra la tensione principale positiva massima in condizione di blocco fessurato e in condizione di blocco integro. La densità di probabilità massima, pari a 0,444, si colloca al valore unitario del rapporto σ_1/σ_0 . La densità decresce poi immediatamente a 0,047 per valori di σ_1/σ_0 eguali a 1,01 e si riduce a valori trascurabili per valori del rapporto σ_1/σ_0 superiori a 1,35. Il valore massimo di σ_1/σ_0 è pari a 1,96 ed è stato osservato 2 volte: questo significa (ricordando che $\sigma_0=0,126$ N/mm²) che nel caso più sfavorevole di disposizione delle fessure, la massima tensione principale σ_1 risulta poco superiore al 2%

della resistenza unitaria a trazione σ_t del materiale. Infine si osserva che, anche per questa seconda condizione di carico, il livello tensionale massimo nel blocco fessurato diminuisce (seppure di molto poco) nel 19,4% dei casi (6331 su 32681) rispetto a quello che si verifica sul blocco privo di difetti. Il limite di σ_1/σ_0 che contiene il 95% dei valori si colloca a 1,32.

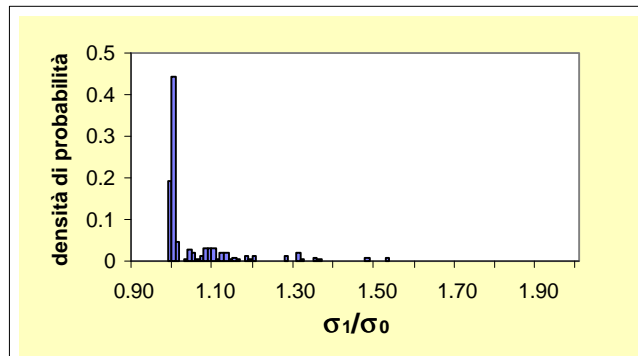


Figura 5: condizione di carico 2 - densità di probabilità del rapporto σ_1/σ_0

Complessivamente, per le due condizioni di carico tenute in conto, si può osservare che sia il livello tensionale, sia il fattore di intensificazione delle tensioni, non assumono valori di particolare rilievo rispetto ai limiti determinati sperimentalmente sul materiale considerato. Va però sottolineato che lo stato di fessurazione presente nel blocco, produce un importante incremento del livello tensionale, pari anche al doppio del livello che si ottiene sul blocco integro. È opportuno infine segnalare che le norme, per la valutazione complessiva della resistenza del blocco di laterizio in condizioni di fornitura, prevedono delle prove di laboratorio che, come nel caso della prova cosiddetta siamese, da una parte sono sperimentalmente complesse e dall'altra forniscono risultati caratterizzati da una elevata incertezza e dispersione. Si ritiene, a tal proposito, che per la valutazione degli effetti della presenza di taluni difetti o imperfezioni nel blocco di produzione corrente, ed è il caso delle fessure localizzate qui considerato, lo strumento della simulazione numerica sia molto efficace e possa in futuro risultare sempre più conveniente e affidabile, tenuto conto degli sviluppi che continuamente si verificano nella messa a punto di nuovi modelli per rappresentare i difetti.

CONCLUSIONI

Lo studio del comportamento sotto carico dei blocchi di laterizio fessurati è necessario per valutare il grado di sicurezza del loro impiego nelle strutture in calcestruzzo armato. Utilizzando uno specifico programma di calcolo è stato studiato un blocco avente un disegno ideale, nel quale sono presenti due fessure (pari al numero massimo ammesso dalle norme) aventi profondità pari a 0,7 volte lo spessore dei setti; queste ultime sono schematizzate secondo i modelli della meccanica della frattura elastica lineare e disposte in posizione casuale nei setti e nelle pareti del blocco; la sola esclusione è la contemporanea presenza delle due fessure nello stesso setto o parete. I valori dei carichi applicati corrispondono a quelli che i blocchi normalmente sopportano nelle applicazioni. L'analisi dei risultati ottenuti fornisce degli spunti per la valutazione di due importanti

aspetti che influiscono sul grado di sicurezza offerto in opera da un blocco avente dei difetti localizzati:

a) il livello tensionale ottenuto in presenza di due fessure, rispetto al livello mostrato in situazione di blocco privo di difetti. Il rapporto tra la tensione principale positiva massima nella situazione di blocco fessurato e in quella di blocco integro, raggiunge il valore 1,96 nella prima condizione di carico. Tale valore è considerato importante, anche se viene osservato in un numero molto limitato di casi rispetto alla totalità delle possibili disposizioni delle due fessure. Tenuto conto che la massima tensione principale positiva ottenuta sul blocco integro è pari a 1,10, si può comunque affermare che, per le condizioni di carico considerate, il livello tensionale massimo sul blocco con fessure localizzate, risulta non superiore al 13% della resistenza unitaria a trazione semplice offerta dal materiale.

b) la valutazione del fattore di intensificazione delle tensioni all'apice delle fessure, in relazione al valore critico al quale una o entrambe le fessure si propagano.

I risultati ottenuti indicano che lo stato di fessurazione è stabile per le condizioni di carico considerate e i margini di sicurezza sono decisamente elevati, non essendosi mai riscontrato un fattore di intensificazione delle tensioni superiore all' 8% del valore critico. Complessivamente, per le due condizioni di carico tenute in conto, non emergono situazioni di particolare rilievo sotto l'aspetto della sicurezza del blocco di laterizio; tuttavia il livello tensionale in condizioni di blocco fessurato potrebbe incrementarsi ulteriormente qualora si considerino fessure aventi profondità superiore a 0,7.

BIBLIOGRAFIA

Bosco, C., 1996, "Fracture energy and mechanical behaviour of clay blocks", Proceedings of 11th European Conference on Fracture, J. Petit Editor, Poitiers, Futurscope, France, pp. 535–540.

Bosco, C., 1997, "Caratterizzazione dei materiali impiegati per la produzione dei blocchi di laterizio da solaio. Risultati dell'indagine sperimentale", Documento finale prodotto nell'ambito della Convenzione tra il Dipartimento di Ingegneria Strutturale del Politecnico di Torino e l'ANDIL.

Bosco, C., Iori, I., 1992, "Fracture mechanics of clay blocks: experimental investigation of specimens in bending and analysis of characteristic parameters", Studi e Ricerche, Scuola di perfezionamento Pesenti, Politecnico di Milano, Vol. **13**, pp. 279–300.

Bosco, C., Cadoni, E., Facchini, M., 1996, "Deformation measurements by ESPI technique on clay components used in beam–block concrete floors", Proceeding of SEM Conference 1996, Nashville (Ten), pp. 17–25.

Okamura, H., Watanabe, K., and Takano, T., 1973, "Applications of the compliance concept in Fracture Mechanics", ASTM STP 536, pp. 423–438.

Okamura, H., Watanabe, K., and Takano, T., 1975, "Deformations and strength of cracked member under bending moment and axial force", Eng. Fracture Mech., Vol 7, pp. 531–539.